

발 간 등 록 번 호

978-89-93841-52-7

극지역 공간정보 활용성 제고방안 연구

제 출 문

국토지리정보원장 귀하

본 보고서를 「극지역 공간정보 활용성 제고방안 연구」 과제의 최종
보고서로 제출합니다.

2021. 9

사단법인 한국측량학회 회장 권 재 현

참여연구진

| | | |
|-----|------------|-------|
| 오재홍 | 한국해양대학교 | 연구책임자 |
| 이창노 | 서울과학기술대학교 | 연구원 |
| 이효성 | 순천대학교 | 연구원 |
| 장영재 | 한국해양대학교 | 연구원 |
| 정재준 | 성신여자대학교 | 연구원 |
| 최재완 | 충북대학교 | 연구원 |
| 한동엽 | 전남대학교 | 연구원 |
| 하은혜 | (주)태영정보시스템 | 연구원 |
| 전준영 | (주)태영정보시스템 | 연구원 |

자문위원

| | | |
|-----|-----------|-------|
| 김창재 | 명지대학교 | 교수 |
| 이병길 | 경기대학교 | 교수 |
| 이승수 | 공간정보산업진흥원 | 팀장 |
| 지준화 | 극지연구소 | 선임연구원 |
| 최진무 | 경희대학교 | 교수 |
| 황창수 | 국립해양조사원 | 사무관 |

국토지리정보원

| | | |
|-----|--------|-------|
| 김혜원 | 국토위성센터 | 센터장 |
| 양효진 | 국토위성센터 | 시설연구관 |
| 황정인 | 국토위성센터 | 연구사 |

우리나라는 미국, 영국, 호주, 일본 등에 비해 수십 년 늦게 극지역에 대한 연구를 시작했으나 현재까지 집중도 있는 극지연구를 통해 북극이사회의 영구 옵저버 국가 및 남극조약 협의당사국으로서의 국제적 지위를 갖는 성과를 이루었다. 현재 우리나라는 극지활동 진흥법, 남극활동 및 환경보호에 관한 법률 등의 법적근거, 북극정책기본계획, 남극연구활동진흥 기본계획 등의 정책을 수립하여 극지 연구를 장려하고 있다.

극지연구는 기후 변화 연구, 자원 탐사활동 등의 다양한 활동에 걸쳐있는데, 이러한 연구는 기본적으로 답사 계획, 원격 변화 분석 등을 위한 공간정보(수치지도, 정사영상, DEM 등)를 필수적으로 요구한다. 그러나 극지역은 공간적 범위가 매우 넓고, 기후가 빠르게 변화하여 적설에 의한 지형의 변화가 심한 특성이 있다. 또한 매해 탐사를 진행해야 하는 극지 관심 지역의 경우 신규로 취득되고 구축된 공간정보를 적극적으로 필요로 하고 있다. 이에 우리나라는 2008년 이후 극지역 일부 지역에 대한 공간정보 구축을 수행해 왔으나, 그 원천 데이터를 해외 인공위성정보 등에 의존해왔고, 따라서 구축범위가 한정되고 갱신주기 또한 길어, 효율적인 극지역 공간정보 생성 및 제공의 어려움이 있었다. 그러나 2021년 3월에 우리나라의 공공수요 대응을 위한 첫 번째 국토위성이 발사되었고, 내년에도 2호기가 발사되면 2기의 고해상도 국토위성의 운용이 가능해진다. 이에 독자 국토위성을 활용하여 극지역의 공간정보 구축을 진행하게 되면 보다 효율적이고 신속한 극지역 공간정보 생성 및 제공이 가능해질 것으로 기대된다.

그러나 지금까지 위성영상 기반 극지역 공간정보 구축기술, 그리고 극지역 공간정보 구축을 위한 전략 및 제도의 마련을 위한 종합적인 연구가 부족하여 체계적인 극지역 공간정보 구축 정책의 진행이 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 국토위성을 운용 및 활용하여 극지역에 대한 공간정보를 효과적으로 구축하기 위한 고려사항, 정확도 확보 가능성, 검증 방안 등에 관한 연구를 수행하고, 실험을 통해 검증하였다. 또한 그 활용성을 향상하기 위한 극지역 공간정보 구축 계획 수립 시 고려해야 할 주요 구축 대상 지역, 갱신주기 결정, 품질관리 방안 등도 도출하였다. 세부적인 주요 연구 내용은 아래와 같다.

위성영상 기반 공간정보 구축 기술현황 분석 및 개발

위성영상 기반 극지역 공간정보 구축 시 고려사항, 한계, 정확도 확보 등의 분석을 위해 국내에서 공간정보 구축의 기본 규정에 활용되는 항공사진 기반 공간정보 구축기술과의 차별성을 분석하였다. 특히, 항공사진과 위성영상의 플랫폼, 센서의 차이에 따른 취득 방식의 차이점을 세부적으로 정리하고, 위성 촬영각의 종류 및 촬영 시 고려사항을 제시하였다. 또한, 항공 및 위성영상 프로세싱 측면의 차별성을 항공삼각측량 및 정확도 기준, 위성 센서모델링 특징에 따라 분석하고, 입체영상 처리 측면에서 센서 및 플랫폼 특성에 따른 차이점을 분석하였다. 이를 통해

극지역 특수성에 맞춘 위성영상 취득, 처리 및 공간정보 구축 방안 도출을 위해 먼저 극지역 위성영상의 획득을 위해 고려해야 할 사항들을 도출하고 분석하였다. 즉, 촬영시간, 촬영각, 경사각에 따른 지상해상도, 구름량, 급경사 등 지형지물의 영향, 촬영모드, 국토위성 2기 운용 계획 등에 관한 내용으로 구성하였다.

다음으로 기준점의 취득이 어려운 극지역에 대한 기하정확도 향상방안 도출을 위해 ICESat-2(Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite-2)기반 센서보정기법과 다중영상기반 센서모델링의 두 가지의 기법을 제안하고 실험을 통해 평가하였다. 먼저 기준점 대체용으로 전 지구적으로 위치관측이 가능한 ICESat-2 포인트 자료와 기준점의 영상좌표 독취과정이 필요 없는 3D 매칭기법을 이용하여 국토위성 영상과 함께 제공되는 RPC 센서모델을 보정하여 정확도 향상을 확인하였다. 서울, 대전, 남극 3개 지역에 대해 테스트를 수행하였고, 이를 통해 10픽셀 이상의 오차를 1~3픽셀 정도의 수준으로 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 다음으로 동일한 영역의 반복 관측에 의한 다중영상은 영상 점들 간의 상호표정을 통해 위치정확도를 향상시킬 수 있는 점에 착안하여, 무기준점 다중영상 기반 센서모델링을 위해서는 먼저 영상 매칭을 통해 자동으로 접합점을 추출하고, 취득된 접합점의 영상좌표와 주어진 RPC를 활용하여 다중영상 기반의 센서모델링을 통해 보정하였다. 실험을 통해 완전한 무기준점 기반의 방식으로 수직 오차를 크게 저하시킬 수 있었으며, 과대 오차를 줄이는 데에도 기여할 수 있음을 확인하였다. 항공사진측량이 불가능한 극지역에 대해 국토위성을 기반으로 수치지형도 구축을 위해서 위성 영상 기반 수치지형도 제작에 적합한 정확도 규정, 극지역 연구 활동에 필요한 레이어 선정, 남극에 적합한 지도좌표계 도출 등을 진행하였다. 이를 통해 해빙, 수계, 크레바스 등 레이어 개선방안을 도출하였고, 판독성을 평가하였으며, 수치도화 방안을 도출하였다. 극지역 수치표고 모델 제작을 위해 REMA 등 국제 극지 지형 정보 현황을 조사하고 지형정보 생성 기법을 도출하였다. 특히 입체 영상 기반 DEM 추출 S/W를 조사하고, 입체 영상 기반 수치표고모델 실험 및 추출 시 중요한 고려사항으로 적설지 대조도, 급경사지의 입체영상 간 기하차이와 태양고도각에 의한 그림자 등을 도출하였다. 극지 정사모자이크 생성 기술에 관한 연구로서는, 다수 위성영상을 이용하여 전체적인 정사모자이크영상을 획득하기 위해서는 위성영상 간 접합부 균일성 확보가 중요하였으며, 영상 간 밝기 차와 색상 차에 따른 색상 불일치 현상을 최소화한 모자이크 접합라인 처리 기법에 대한 실험을 진행하였다. 마지막으로 해안환경, 기후 변화 등의 인자로서 중요한 극지 해안선 정보 구축을 위해 SCAR, ADD 등 극지 해안선 정보를 조사하고 분석하였으며, NDWI 기반 해안선 추출 기법 및 TPXO 조석 정보 분석을 통한 조위 정보 추출 및 해안선 도출 기법을 도출하고 실험하였다.

위성영상 기반 지도제작 및 공간정보 기술 시범적용

극지역 유사환경 내 위성영상을 기반으로 하는 공간정보 제작 검증방안은 위성영상 기반 공간 정보 구축 기술현황 분석 및 개발 연구에서 수행된 연구성과를 활용하여 검증을 수행하였다. 검증 대상 지역은 극지역의 경우 기준점 데이터를 이용하여 작업을 수행한 장보고과학기지 주변으로 선정하였고, 접근 가능한 지역은 서울 및 대전지역을 대상 지역으로 선정하였다. 수치지형도, 수치표고모델, 정사영상의 검증 방안 및 정확도는 국토지리정보원의 작업규정 및 규칙에 따라 검증 방법을 수립하였다. 검증 결과는 평면 및 표고 RMSE를 계산하고 계산된 결과를 CE95%, LE95% 수준으로 변환하였다. 서울지역은 국토지리정보원에서 제작한 1/5,000 수치지형도와 1/1,000 정위치 파일을 기준으로 47개 검사점에 대해 정확도를 비교하였다. 다수의 위성영상을 이용하여 무기준점 방법의 정확도는 평면 RMSE는 5.75m, 높이 RMSE는 6.27m로 나타났다. 1/1,000 데이터와 비교한 평면 RMSE는 5.70m이다. ICESat-2 포인트를 이용하여 보정된 영상은 평면 RMSE는 4.38m, 높이 RMSE는 2.17m인 것으로 나타났다. 대전지역은 무기준점 보정 모의 영상과 1/5,000 수치도화 성과를 비교한 결과는 평면 RMSE는 4.17m, 높이 RMSE는 2.45m로 나타났다. ICESat-2를 활용한 보정 결과는 평면 RMSE는 1.62m, 높이 RMSE는 1.78m로 나타났다. 장보고과학기지 주변의 평균 정확도는 무기준점 보정 방식을 이용한 영상의 평면 오차 평균은 7.05m, 높이 오차 평균은 3.49m로 나타났으며, ICESat-2 보정 방식의 평면 오차는 1.94m, 높이 오차 평균은 2.23m로 나타났다. 수치표고모델의 정확도 평가 결과 모의영상의 정확도는 RMSE 기준으로 1.55m, LE95% 수준에서 3.03m로 나타났으며 매칭 DEM을 이용한 정확도 평가 결과는 RMSE 3.94m, LE95% 수준에서 7.72m로 나타났다. 마지막으로 모의영상을 이용한 정사영상의 정확도는 영상에서 판독이 가능한 건물 위주로 검사점을 선정하여 검사하였을 경우 오차 평균은 1.54m로 나타났다. 평가 결과를 종합하여 보면 ICESat-2를 활용한 기준점 보정 방식을 활용하면 1/25,000 수치지형도 제작기준인 RMSE 17.5m에 만족하였으며 1/5,000 최종정확도 RMSE 1.5m에는 다소 미흡한 것으로 나타났다.

극지역 공간정보 구축을 위한 작업 규정 개선에서는 수치지형도 작업 규정에서는 남한 및 한반도 중심의 지도 좌표계만 정의되어 있으나, 극지역의 경우 남극과 북극에서 사용하는 좌표계에 대한 기술적 정의가 필요하다. 정위치 편집 과정에서 극지역에서만 특수하게 발생할 수 있는 빙하, 적설, 크레바스 등에 대한 정위치 편집 방법에 관한 내용을 별첨 형식으로 기술하는 것이 필요하다. 위상관계를 갖는 구조화 데이터 공유를 위한 파일 포맷에 관한 내용으로 극지역 구조화 데이터는 SHP 기반 정의가 필요하다. 기존 작업 규정에서 수치표고모형 제작 시 위성영상을 활용하는 것은 현재 없는 것으로 파악되어 국토위성 등 영상정보 및 수치지형도의 등고선과

표고점을 이용하는 작업 방법에 대해서 별도의 작업 규정에 관련 항목을 추가할 필요성이 있다. 영상지도제작에 작업 규정은 다른 규정(수치지형도 작업규정, 항공레이저측량 작업규정)에 비하여 항공사진뿐만 아니라 위성영상을 활용하는 방법과 정확도 규정이 잘 정리가 된 것으로 파악되었다. 다만, 위성영상을 이용하여 제작하는 성과품에 대해 촬영된 위성영상 품질부터 정사영상 및 영상지도 품질관리에 관한 세부적인 항목 추가가 필요하다.

극지역 공간정보 구축 시행계획 구체화 방안 마련

국내·외 극지역 관련 정책·개발·연구기관 및 국내 극지역 공간정보 관련 수요기관의 요구사항 분석 등을 통하여 극지역 공간정보 구축 시행계획의 구체화 방안을 마련하고자 하였다. 기존에 수행된 극지역 공간정보 구축사업은 남극 및 북극의 과학기지를 중심으로 이루어졌으며, 수요기관의 수요조사를 통해 도출된 관심 지역의 공간정보 구축이 주를 이루고 있었다. 극지역의 지형지물은 일반적인 지형과 비교하여 변화량이 적지만, 크레바스, 해안선, 빙봉 등과 같이 비정기적으로 변화하는 지형들이 다수 존재한다. 또한, 해당 지형의 범위는 상대적으로 매우 넓은 특징을 가지고 있다. 국토위성의 발사로 인하여 극지역 공간정보를 구축하기 위한 제원 마련이 이루어졌으나, 우리나라 국토와 비교하여 극지역은 매우 넓은 면적으로 이루어져 있으므로, 2~4년의 갱신주기를 가지고 극지역 공간정보의 갱신을 수행하는 것이 합리적으로 판단된다. 다만, 국가정책 등으로 인하여 최신의 극지역 공간정보가 있어야 하는 지역이 있으므로, 정기 갱신과 더불어 관심 지역에 대한 비정기 갱신을 병행해야 한다. 장기적으로는 극지역 전체에 대한 수치표고모델 및 정사영상을 제작하여 국내·외 극지역 관련 연구자 및 정책 결정자들이 기본자료로 활용할 수 있도록 해야 한다. 공간정보별 구축 대상 지역의 경우, 남극 및 북극의 과학기지를 중심으로 구축지역을 확대해나가는 것이 합리적이며, 최근 전 세계적으로 관심 대상 지역인 스웨이트 빙하지역 및 코리안루트 개발 등을 위한 신규지역의 극지역 공간정보 구축이 병행되어 이루어져야 한다. 정사영상 및 수치표고모델의 요구가 높으므로 국토위성을 활용하여 생성된 정사영상 및 DEM을 지속적으로 사용자들에게 제공하여야 한다. 극지역 공간정보를 사용하는 주 수요기관은 타 공간정보와 비교하여 한정되어 있다. 극지역 공간정보 활용을 활성화하기 위해서는 수요기관들이 극지역 공간정보 접근의 편의성을 확보해야 할 것이다. 극지역 공간정보를 국토정보플랫폼을 이용하여 온라인으로 빠르게 자료를 취득할 수 있는 환경을 마련하고, 이를 각 수요기관에 홍보해야 한다. 또한, 구축된 극지역 공간정보 자료들은 오픈소스 소프트웨어 및 API 기반의 사용 환경을 마련하여 구축된 극지역 공간정보에 대한 접근성을 개선해야 할 것으로 판단된다. 극지역 공간정보의 지속 가능한 수요조사를 위해서는 극지역 공간정보 관련 활용협의체(안) 및 워킹그룹 등을 국토지리정보원 주도로 구성하여 운영해야 한다.

극지역 공간정보를 사용하는 수요기관은 상대적으로 제한적이기 때문에, 수요기관의 요청사항 및 수요조사를 효과적으로 수행하고, 이를 환류할 수 있는 체계가 마련되어야 한다. 또한, 국외 극지역 공간정보 관련 위원회 등에 국토지리정보원이 참여하여 국내 극지역 공간정보 구축 결과를 홍보하는 것도 국내·외 극지역 공간정보 구축 결과를 홍보하고, 수요조사를 진행하는 데에도 도움이 될 수 있을 것이다.

위성영상 기반 공간정보 구축 제도

기존 공간정보 구축 제도에서는 주로 항공측량 위주의 규정 및 매뉴얼이 작성되어 활용되고 있다. 그리고 위성영상을 이용한 공간정보 구축 규정이 국토지리정보원 규정에 일부 포함되어 있지만 주로 국내 지역의 환경을 가정하여 관련 규정이 세워져 있다. 따라서 극지역을 포함하여 위성영상 기반의 공간정보를 구축할 수 있도록 제도를 정비할 필요성이 있다. 이러한 제도적 측면의 개선을 위하여 위성영상 기반 공간정보 구축에 적용 가능한 공간정보 구축 관련 작업 매뉴얼, 일반지역과 극지역 업무량 비교분석을 통한 공정별 비용을 산정, 현지조사가 불가능한 지역의 공간정보 구축성과 품질관리 방안을 수행하였다. 매뉴얼 작성을 위하여 기존 공간정보 구축 규정 및 보고서를 분석하고, 최신 위성영상 처리 기술을 조사하여 접근불능지역 등을 고려한 매뉴얼을 도출하였다. 품셈은 1:5,000 지형도의 국내 지역과 극지역의 공정별 작업시간을 비교하였으며 적설 여부에 따라 품셈을 구분할 필요성이 제기되었다. 현지조사 불가능한 지역의 공간정보 구축성과 품질관리를 위하여 기존 품질 평가 방법을 분석하고, 품질 개선 방안을 제시하였으며, 접근불능지역의 공간정보 구축 사례집 샘플을 제작하여 활용할 것을 제안하였다.

본 연구에서 분석된 위성영상 기반 공간정보 구축 기술, 위성영상 기반 지도제작 및 공간정보 기술 시범 적용 결과, 극지역 공간정보 구축 시행계획 구체화를 위한 갱신주기, 대상지 분석, 위성영상 기반 극지 공간정보 구축 제도 등은 단기적으로 국토위성의 운용 및 활용을 통한 극지역 공간정보 구축 기술의 개발 및 시행계획 수립에 직접 활용될 수 있을 뿐 아니라 중장기적으로 순수 국내 위성정보를 활용하여 체계적인 극지역 공간정보 생성을 통한 국제적 위상 정립에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

| | |
|---|-----|
| 제1장 연구개요 | 3 |
| 1. 연구의 배경 및 목적 | 3 |
| 가. 연구 배경 | 3 |
| 나. 연구 목적 | 5 |
| 2. 연구 내용 | 6 |
| 제2장 위성영상 기반 공간정보 구축 기술현황 분석 및 개발 | 11 |
| 1. 항공사진과 위성영상 기반 공간정보 구축 기술 특성 및 차별성 분석 | 11 |
| 가. 일반 | 11 |
| 나. 영상 취득 | 14 |
| 다. 영상 해상력 | 23 |
| 라. 센서모델링(항공삼각측량, AT) | 24 |
| 마. 입체영상 처리 | 38 |
| 2. 극지역 특수성에 기반한 위성영상 처리 및 공간정보 구축 방안 | 41 |
| 가. 영상 취득 방안 | 41 |
| 나. 위치정확도 향상방안 | 66 |
| 다. 수치지형도 제작방안 | 117 |
| 라. DEM 제작방안 | 132 |
| 마. 정사영상 제작방안 | 152 |
| 바. 해안선 정보 추출 | 162 |
| 제3장 위성영상 기반 지도제작 및 공간정보 기술 시범 적용 | 177 |
| 1. 모의영상 기반 공간정보 검증방안 수립과 평가 방안 | 177 |
| 가. 개요 | 177 |
| 나. 검증 대상 지역 선정 | 178 |
| 다. 검증방안 수립 | 180 |
| 2. 모의영상 기반 공간정보 정확도 평가 | 201 |
| 가. 정확도 평가 개요 | 201 |

| 목차 |

| | |
|---|------------|
| 나. 수치지형도 정확도 평가 | 202 |
| 다. DEM 정확도 평가 | 219 |
| 라. 정사영상 평가 | 236 |
| 3. 극지역 공간정보 구축 관련 작업규정 개선을 위한 기술적 시사점 | 244 |
| 가. 기존 관련 규정 분석 | 244 |
| 나. 시사점 | 259 |
| 제4장 극지역 공간정보 구축 시행계획 구체화 방안 | 263 |
| 1. 지형지물 변화량 및 특성 분석을 통한 공간정보 갱신주기 도출 | 263 |
| 가. 개요 | 263 |
| 나. 해외 극지역 공간정보 갱신주기 분석 | 268 |
| 다. 지형지물 변화량 분석방안 | 288 |
| 라. 공간정보별 갱신주기 도출 | 295 |
| 마. 시사점 | 297 |
| 2. 공간정보별 구축 대상지역 선정 | 299 |
| 가. 관련 정책·개발·연구기관 조사 | 299 |
| 나. 공간정보별 구축 대상지역 선정 | 326 |
| 다. 시사점 | 335 |
| 3. 수요기관 현황 및 요구사항 분석을 통한 활용 활성화 방안 수립 | 337 |
| 가. 수요기관 발굴을 위한 현황 분석 | 337 |
| 나. 활용 활성화 방안 마련 | 347 |
| 다. 시사점 | 350 |
| 4. 지속 가능한 수요조사 방안 및 전략 수립 | 352 |
| 가. 수요조사 방안 마련 | 352 |
| 나. 수요조사 전략 마련 | 356 |
| 다. 시사점 | 365 |
| 제5장 위성영상 기반 공간정보 구축 제도 정비 | 369 |

| | |
|---|---------|
| 1. 개요 | 369 |
| 2. 위성영상 기반 공간정보 구축 작업 매뉴얼 | 370 |
| 가. 매뉴얼 사례 분석 | 370 |
| 나. 공간정보 구축 규정 및 규칙 분석 | 373 |
| 다. 구축 매뉴얼 현황 분석 | 378 |
| 라. 매뉴얼 | 385 |
| 3. 일반지역과 극지역 업무량 비교분석을 통한 공정별 비용 산정 | 389 |
| 가. 기존 품셈 분석 | 389 |
| 나. 개정 품셈(안) 작성 | 396 |
| 4. 현지조사가 불가능한 지역의 공간정보 구축성과 품질관리 방안 | 403 |
| 가. 산출물별 품질 평가 방법 | 403 |
| 나. 기존 품질관리 규정 분석 | 419 |
| 다. 접근불능지역 공간정보 품질 관리 방안 | 421 |
| 제6장 맺음말 | 435 |
| 참고문헌 | 441 |
| 부록 | 449 |
| Abstract | 539 |

| | |
|--|-----|
| <표 2-1> 항공사진과 위성사진측량의 유사점/차이점 | 11 |
| <표 2-2> 지상기준점 측량의 정확도 기준 | 30 |
| <표 2-3> 항공삼각측량 조정 정확도 기준 | 30 |
| <표 2-4> 수치지형도 위치 정확도 기준 | 31 |
| <표 2-5> 고해상도 위성영상 주요 제원 | 36 |
| <표 2-6> 고해상도 위성영상의 사용자별 실험 위치결정 정확도(RMSE; 단위: m) | 37 |
| <표 2-7> 고해상도 위성영상의 사용자별 실험 위치결정 정확도(RMSE; 단위: m) | 37 |
| <표 2-8> 해외 기상서비스 기관 | 52 |
| <표 2-9> 촬영된 입체 영상의 촬영각 분석 | 58 |
| <표 2-10> 국토위성 제원 | 64 |
| <표 2-11> 아리랑 3A 서울시 스테레오 위성영상 현황 | 77 |
| <표 2-12> 영상별 RPC 보정계수 | 81 |
| <표 2-13> RPC 보정 전 영상좌표 오차(단위: pixel) | 82 |
| <표 2-14> RPC 보정 후 영상좌표 오차(단위: pixel) | 82 |
| <표 2-15> RPC 보정 전, 후 검사점의 지상좌표 오차(단위: meter) | 82 |
| <표 2-16> 아리랑 3A 대전지역 위성영상 현황 | 83 |
| <표 2-17> 영상별 RPC 보정계수(단위: pixel) | 86 |
| <표 2-18> RPC 보정 전 영상좌표 오차(단위: pixel) | 87 |
| <표 2-19> RPC 보정 후 영상좌표 오차(단위: pixel) | 87 |
| <표 2-20> RPC 보정 전, 후 검사점의 지상좌표 오차(단위: meter) | 87 |
| <표 2-21> 아리랑 3A 장보고과학기지 근처 스테레오 위성영상 세트 현황 | 89 |
| <표 2-22> 위·아래 스테레오 영상에 대한 RPC 보정계수 | 92 |
| <표 2-23> RPC 보정 전 영상좌표 오차(단위: pixel) | 93 |
| <표 2-24> RPC 보정 후 영상좌표 오차(단위: pixel) | 93 |
| <표 2-25> RPC 보정 전 후 검사점의 지상좌표 오차(단위: meter) | 93 |
| <표 2-26> 영상 간 수렴각(도) | 97 |
| <표 2-27> 각 단계에 따른 매칭점 수의 변화 | 98 |
| <표 2-28> 사용데이터 사양(서울) | 101 |
| <표 2-29> 검사점 지상좌표(서울) | 103 |

I 표목차

| | |
|--|-----|
| <표 2-30> 검사점 영상좌표(서울) | 104 |
| <표 2-31> 영상별 RPC 보정계수(서울) | 104 |
| <표 2-32> 영상점 RPC 보정계수 오차(서울, 단위: pixel) | 104 |
| <표 2-33> 지상좌표에 의한 RPC 보정계수 오차(서울, 단위: m) | 105 |
| <표 2-34> 사용데이터 사양(대전) | 106 |
| <표 2-35> 검사점 지상좌표(대전) | 108 |
| <표 2-36> 검사점 영상좌표(대전) | 109 |
| <표 2-37> 영상별 RPC 보정계수(대전) | 111 |
| <표 2-38> 영상점 RPC 보정계수 오차(대전, 단위: pixel) | 111 |
| <표 2-39> 지상좌표에 의한 RPC 보정계수 오차(대전, 단위: m) | 112 |
| <표 2-40> 사용데이터 사양(장보고과학기지) | 112 |
| <표 2-41> 검사점 지상좌표(장보고과학기지) | 114 |
| <표 2-42> 검사점 영상좌표(장보고과학기지) | 114 |
| <표 2-43> 영상별 RPC 보정계수(장보고과학기지) | 115 |
| <표 2-44> 영상점 RPC 보정계수 오차(장보고과학기지, 단위: pixel) | 116 |
| <표 2-45> 지상좌표에 의한 RPC 보정계수 오차(장보고과학기지, 단위: m) .. | 116 |
| <표 2-46> 도화축척 1/5,000, 1/25,000에 대한 정확도 관련 규정 | 119 |
| <표 2-47> 조정계산 및 오차의 한계(평면, 표고 동일) | 119 |
| <표 2-48> 1/5,000 수치도화를 위한 표정 검사 기준 | 120 |
| <표 2-49> 1/5,000 수치지도 최종위치 정확도 검사 기준 | 120 |
| <표 2-50> 표정 및 기준점 요구정확도 | 120 |
| <표 2-51> 북극 수치지형도에 사용된 레이어 | 123 |
| <표 2-52> 극지 추가 레이어 판독결과(Pleiades 위성영상) | 128 |
| <표 2-53> 남극지역 위성영상과 1/5,000 도화 성과 (Pleiades 위성영상) | 129 |
| <표 2-54> DEM 자동 추출 테스트 영상 | 143 |
| <표 3-1> 수치지형도 표정오차 한계 | 183 |
| <표 3-2> 지형도의 위치정확도 표준 | 184 |
| <표 3-3> 1/5,000 수치지형도에서 오차 범위 | 184 |
| <표 3-4> 수치지형도 위치정확도 평가표의 예시 | 185 |

| | |
|---|-----|
| <표 3-5> DEM의 수직 위치정확도 | 191 |
| <표 3-6> DEM 검사표 예시 | 192 |
| <표 3-7> REMA 수치표고 데이터 사양 | 194 |
| <표 3-8> 정사영상 정확도 평가표의 예시 | 200 |
| <표 3-9> 수치지형도 정확도 검증에 활용된 모의영상 목록 | 201 |
| <표 3-10> 서울지역 검수 대상 시설물 도화 결과 중첩(일부) | 204 |
| <표 3-11> 서울지역 1/5,000 수치지형도 비교 결과표 | 207 |
| <표 3-12> 서울지역 1/1,000 정위치 데이터와 비교 결과표 | 207 |
| <표 3-13> 대전지역 검수 대상 시설물 도화 결과 중첩(일부) | 211 |
| <표 3-14> 대전지역 영상보정 비교 결과표 | 214 |
| <표 3-15> 장보고과학기지 검수 대상 시설물 도화 결과 중첩(일부) | 217 |
| <표 3-16> 장보고과학기지 일대 영상보정 비교 결과표 | 218 |
| <표 3-17> 2019년 DEM 성과와 REMA DEM 비교 결과표 | 225 |
| <표 3-18> 2019년 DEM vs REMA DEM vs ICESat-2 비교 결과표 | 226 |
| <표 3-19> 모의영상과 2019년도 DEM 성과 비교 결과표 | 229 |
| <표 3-20> 매칭 DEM 성과와 2019년도 DEM 성과 비교 결과표 | 233 |
| <표 3-21> 정사영상과 2019년도 수치지형도 성과 비교 결과표 | 240 |
| <표 3-22> 수치지형도 작성 작업규정 검토 | 245 |
| <표 3-23> 규정에서의 높이 값 데이터의 정의 | 252 |
| <표 3-24> 접근 불능 및 극지역 사업에서 DEM 작업 방법 과업지시서 내용 | 252 |
| <표 3-25> 항공레이저측량 작업규정 검토 | 253 |
| <표 3-26> 영상지도제작에 관한 작업규정 검토 | 255 |
| <표 4-1> 세종과학기지 주변 공간정보 구축 | 264 |
| <표 4-2> 장보고과학기지 주변 공간정보 구축 | 266 |
| <표 4-3> AADC Map Catalogue의 메타데이터 | 269 |
| <표 4-4> AADC 내 대상지도의 투영법 종류 | 270 |
| <표 4-5> AADC 지도 분석을 위한 구분 | 271 |
| <표 4-6> 지도의 종류와 지도의 축척 | 272 |
| <표 4-7> 지도의 종류와 평균 갱신 주기 | 273 |

| 표목차 |

| | |
|--|-----|
| <표 4-8> 지도의 종류와 중복 구축 횟수 | 273 |
| <표 4-9> 지도의 축척과 평균 갱신 주기 | 274 |
| <표 4-10> 지도의 축척과 중복 구축 횟수 | 274 |
| <표 4-11> 지도의 평균 갱신 주기와 중복 구축 횟수 | 275 |
| <표 4-12> AADC 교차 분석 결과 | 275 |
| <표 4-13> 상세분석 사례1 | 276 |
| <표 4-14> 상세분석 사례2 | 278 |
| <표 4-15> 상세분석 사례3 | 280 |
| <표 4-16> 상세분석 사례4 | 281 |
| <표 4-17> 상세분석 사례5 | 282 |
| <표 4-18> 상세분석 사례6 | 283 |
| <표 4-19> 상세분석 사례7 | 284 |
| <표 4-20> 상세분석 사례8 | 285 |
| <표 4-21> 상세분석 사례9 | 285 |
| <표 4-22> 국외 극지역 공간정보 구축 사례의 예 | 286 |
| <표 4-23> 공간정보별 갱신 주기(안) | 296 |
| <표 4-24> 「북극활동 진흥 기본계획」의 전략별 주요 추진 내용 | 301 |
| <표 4-25> 「제2차 남극연구활동진흥기본계획」의 주요 성과 | 303 |
| <표 4-26> 「제4차 남극연구활동진흥기본계획」의 기본 내용 | 306 |
| <표 4-27> 극지활동 진흥법 중 극지활동진흥기본계획 및 극지활동진흥시행계획의 수립·시행에 관한 사항 | 307 |
| <표 4-28> 극지활동 진흥법 중 극지통합정보시스템 관련 | 308 |
| <표 4-29> ArcticDEM 구축지역 | 315 |
| <표 4-30> ADD에서 제공하는 극지역 공간정보 | 320 |
| <표 4-31> AADC에서 제공하는 공간정보 관련 데이터 | 323 |
| <표 4-32> 국토지리정보원에서 제작한 주요 극지역 공간정보 생산품 | 327 |
| <표 4-33> 북극지역의 주요 공간정보 구축 대상지역(안) | 329 |
| <표 4-34> 세종과학기지 주변의 공간정보 구축 대상 지역 | 332 |
| <표 4-35> 장보고과학기지 주변의 공간정보 구축 대상 지역 | 333 |

| | |
|---|-----|
| <표 4-36> 남극지역의 주요 공간정보 구축 대상지역(안) | 335 |
| <표 4-37> 극지역 공간정보의 활용이 가능한 대표적 기관 | 337 |
| <표 4-38> 활용협의체 대상 기관의 공간정보 주요 업무 | 358 |
| <표 4-39> 전문가 그룹 대상 기관의 공간정보 주요 업무 | 359 |
| <표 4-40> CGA에 등록된 국가별 지명 (총 38,996) | 360 |
| <표 4-41> 2011년 CGA에 등록된 세종과학기지 주변 남극지명 | 361 |
| <표 4-42> 2012년 CGA에 등록된 세종과학기지 주변 남극지명 | 363 |
| <표 5-1> 영상지도제작에 관한 작업규정 분석 | 374 |
| <표 5-2> 항공사진측량에 관한 작업규정 분석 | 374 |
| <표 5-3> 공간정보 구축 규정 및 규칙 구성 | 375 |
| <표 5-4> 정밀기하수립을 위한 우선 개발 기술 | 383 |
| <표 5-5> 극지역 공정별 품셈에 따른 단위 단가 | 389 |
| <표 5-6> 접근불능지역 공정별 품셈에 따른 단위 단가 | 391 |
| <표 5-7> 접경지역 공정별 품셈에 따른 단위 단가 | 393 |
| <표 5-8> 추진 사업 및 공정별 평균 단가 비교표 | 395 |
| <표 5-9> 극지역 1/5,000 품셈 산출 기초 | 396 |
| <표 5-10> 극지역 1/25,000 품셈 산출 기초 | 397 |
| <표 5-11> 1/5,000 및 1/25,000 품셈 실사 지역 위성영상 | 398 |
| <표 5-12> 적설 지역과 비 적설 지역 1/5,000 및 1/25,000 도화 성과 | 400 |
| <표 5-13> 1/5,000 2020년 극지역 사업(남극) 품셈과 실사작업 비교표(시간/km ² 당) | 401 |
| <표 5-14> 1/25,000 2020년 극지역 사업(남극) 품셈과 실사작업 비교표(시간/km ² 당) | 401 |
| <표 5-15> DEM 실사작업 비교표(km ² 당) | 402 |
| <표 5-16> 표준품셈에서 활용 영상에 따른 증감계수 | 402 |
| <표 5-17> 용인시 일대 국가기본정보 품질평가 기준 | 411 |
| <표 5-18> 사용자 참여형 공간정보 구축 품질평가 기준(안) | 412 |
| <표 5-19> 항공사진측량 작업규정 제67조1항 정확도 검사 | 414 |
| <표 5-20> 재난정보 DB 품질 기준 항목 수립 사례 | 416 |
| <표 5-21> 공간정보 품질평가 기준 및 오류율 산정기준 | 421 |
| <표 5-22> 공간정보 품질요소 적용 범위 및 합격기준 | 422 |

| | |
|--|----|
| <그림 1-1> 연구 배경 | 4 |
| <그림 1-2> 연구 목적 | 5 |
| <그림 2-3> 항공사진측량 프로세스를 기준으로 한 위성사진측량의 차별성 | 13 |
| <그림 2-4> 항공사진측량 중복도 | 15 |
| <그림 2-5> 인공위성 촬영 시나리오 | 17 |
| <그림 2-6> 인공위성 촬영각 | 18 |
| <그림 2-7> Revisit Time | 19 |
| <그림 2-8> Along-track Stereo | 19 |
| <그림 2-9> Across-track Stereo | 20 |
| <그림 2-10> 인공위성의 입체 촬영시 고려 각도 | 21 |
| <그림 2-11> 촬영각에 따른 정확도 (시뮬레이션 결과) | 22 |
| <그림 2-12> 영상 판독의 요소 | 24 |
| <그림 2-13> 항공 카메라 구성 | 25 |
| <그림 2-14> IKONOS, WorldView-2 CCD 배치 | 26 |
| <그림 2-15> 국토위성 AEISS-C 센서 CCD 배치 | 26 |
| <그림 2-16> 인접 CCD 간의 중첩 보정 | 26 |
| <그림 2-17> 프레임 카메라(좌측) vs. 푸쉬부름 카메라(우측) | 27 |
| <그림 2-18> 항공삼각측량(AT, 번들조정) | 29 |
| <그림 2-19> 위성 라인별 모델링 | 31 |
| <그림 2-20> Rational Function Model | 33 |
| <그림 2-21> 에피폴라 선의 특성비교 | 38 |
| <그림 2-22> 항공사진 에피폴라 영상 생성 | 39 |
| <그림 2-23> 항공사진 에피폴라 영상 생성의 예 | 39 |
| <그림 2-24> 위성영상 에피폴라 영상 생성 | 40 |
| <그림 2-25> 위성영상 에피폴라 영상 생성의 예 | 40 |
| <그림 2-26> 일반적 위성 영상 촬영 계획 수립 절차 | 41 |
| <그림 2-27> 국토위성정보 센터와 외부기관과의 연계 | 42 |
| <그림 2-28> 국토위성정보 운영 시스템 내 촬영요구 서브시스템 | 42 |
| <그림 2-29> 장기-단기 영상획득 계획 수립 | 43 |

그림목차

| | |
|--|----|
| <그림 2-30> 남극지역의 위도에 따른 낮의 길이-1 | 45 |
| <그림 2-31> 남극지역의 위도에 따른 낮의 길이-2 | 46 |
| <그림 2-32> 태양고도각 예측 | 47 |
| <그림 2-33> 태양 방위각/고도각과 촬영각과의 관계 | 49 |
| <그림 2-34> 경사각의 증가에 따른 해상도 저하 (IKONOS 영상의 경우) | 50 |
| <그림 2-35> 경사각의 증가에 따른 해상도 저하 (SPOT 영상의 경우) | 51 |
| <그림 2-36> 국부적으로 존재하는 구름으로 인한 영상 품질 저하 | 53 |
| <그림 2-37> 극지역 구름량 예측 서비스 제한 | 54 |
| <그림 2-38> WorldView View-Ready Stereo 기본 제원 | 55 |
| <그림 2-39> 수렴각과 위치정확도의 관계 | 56 |
| <그림 2-40> 입체 영상 취득 예-1 [WV-3, WV-2] | 57 |
| <그림 2-41> 입체 영상 취득 예-2 [IKONOS] | 57 |
| <그림 2-42> 입체 영상 취득 예-3 [K-3A, K-3] | 57 |
| <그림 2-43> 두 영상의 이질성 [WV-2] 및 [K-3] | 59 |
| <그림 2-44> 입체 영상 취득각 시뮬레이션 | 60 |
| <그림 2-45> 남극 급경사 지형의 예 | 60 |
| <그림 2-46> 경사를 고려한 촬영방향 | 61 |
| <그림 2-47> Tri-stereo의 필요성 | 62 |
| <그림 2-48> B/H의 개념 | 62 |
| <그림 2-49> SPOT 6,7의 Stereo, Tristereo 획득 B/H | 63 |
| <그림 2-50> 국토위성 Multi-pass stereo 모드 | 64 |
| <그림 2-51> 인접 궤도 입체 촬영 | 65 |
| <그림 2-52> 국토위성 1호/2호 임무궤도 (위상차 180도) | 65 |
| <그림 2-53> 남극 장보고 과학기지 주변의 AIRBUS GCP 2.0 제공 기준점 | 67 |
| <그림 2-54> ICESat, ICESat-2 레이저 빔 제원 | 69 |
| <그림 2-55> ICESat, ICESat-2 레이저 빔의 사이즈와 수집 간격 | 69 |
| <그림 2-56> ICESat, ICESat-2 레이저 고도 데이터 수집 웹사이트 | 69 |
| <그림 2-57> RPC 보정 순서와 3D 매칭 개념도 | 70 |
| <그림 2-58> 좌로부터 비지면과 지면 ICESat 레이저 포인트, 분류영상에서 지면 | |

| | |
|--|----|
| 포인트 선정을 위한 개념도 | 71 |
| <그림 2-59> DEM과 ICESat 포인트 위치자료를 이용한 매칭 개념 | 72 |
| <그림 2-60> 서울시 위치와 아리랑 3A 스테레오 영상 | 76 |
| <그림 2-61> 확보한 초기 ICESat-2 포인트(좌측상단), 분류영상(좌측하단), 선정된 지면 ICESat-2 포인트와 수치지도 기준점이 포함된 컬러영상(우측상단), 지면 ICESat-2 포인트가 포함된 DEM(우측하단) | 78 |
| <그림 2-62> LS3D 매칭과 반복계산 과정에 따른 3축 변환계수와 표준오차 | 79 |
| <그림 2-63> DEM 보정 전 평면거리 차(왼쪽그림)와 공간거리 차(오른쪽 그림)(빨 간색 점: ICESat-2 점; 파란색 점: DEM 점) | 79 |
| <그림 2-64> DEM 보정 후 평면거리 오차(왼쪽그림) 공간거리 오차(오른쪽 그림) (빨간색 점: ICESat-2 점; 파란색 점: DEM 점) | 80 |
| <그림 2-65> ERDAS Imagine S/W로 추출한 두 영상의 타이 포인트 | 80 |
| <그림 2-66> 첫 번째 영상의 RPC 업데이트 전후 | 81 |
| <그림 2-67> 대전시 위치와 사용된 아리랑 3A 영상 | 83 |
| <그림 2-68> 좌측으로부터 선정된 ICESat-2 포인트(빨간색 점)와 수치지도 기준 점(노란색 점)이 포함된 컬러영상, DEM과 선정된 ICESat-2 포인트 | 84 |
| <그림 2-69> LS3D 매칭과 반복계산 과정에 따른 3축 변환계수와 표준오차 | 85 |
| <그림 2-70> DEM 보정 전 평면거리 차(좌)와 공간거리 차(우)(적색: ICESat-2 점; 청색: DEM 점) | 85 |
| <그림 2-71> DEM 보정 후 평면거리 차(좌)와 공간거리 차(우)(적색: ICESat-2 점; 청색: DEM 점) | 86 |
| <그림 2-72> 장보고과학기지 근처 아리랑 3A 스테레오 위성영상 세트 | 88 |
| <그림 2-73> 좌측으로부터 위쪽 영상(ICESat-2 포인트 포함)과 아래쪽 영상, 위쪽 DEM에 포함된 ICESat-2 포인트(빨간색 점)와 아래쪽 DEM | 89 |
| <그림 2-74> LS3D 매칭과 반복계산 과정에 따른 3축 변환계수와 표준오차 | 90 |
| <그림 2-75> 위쪽 DEM 보정 전 평면거리 차(왼쪽그림)와 공간거리 차(오른쪽 그 림)(빨간색 점: ICESat-2 점; 파란색 점: DEM 점) | 91 |
| <그림 2-76> 아래쪽 DEM 보정 후 평면거리 오차(왼쪽그림) 공간거리 오차(오른쪽 그림)(빨간색 점: ICESat-2 점; 파란색 점: DEM 점) | 91 |

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

| | |
|--|-----|
| <그림 2-77> 영상매칭을 위한 타겟영상의 변환 | 95 |
| <그림 2-78> 영상매칭을 위한 기준영상 및 변환영상 | 95 |
| <그림 2-79> 영상 간의 매칭점 추출 | 96 |
| <그림 2-80> 공간 전방교회법에 의한 매칭점 지상좌표의 계산 | 97 |
| <그림 2-81> 아리랑 3A 다중영상(서울) | 102 |
| <그림 2-82> 1/1,000 수치지형도 원도에서 측정한 검사점(서울) | 103 |
| <그림 2-83> 아리랑 3A 다중영상(대전) | 106 |
| <그림 2-84> 1/5,000 수치지형도 원도에서 측정한 검사점(대전) | 107 |
| <그림 2-85> 아리랑 3A 다중영상(장보고과학기지) | 113 |
| <그림 2-86> TerraSAR-X GCP Chip에 의한 검사점(장보고과학기지) | 113 |
| <그림 2-87> 제공 받은 RPC에 의한 지상기준점 오차 분포(남극 장보고과학기지) | 117 |
| <그림 2-88> 수치지형도 제작 과정 | 117 |
| <그림 2-89> 장보고과학기지 주변의 1/5,000 영상지도와 수치지도 | 123 |
| <그림 2-90> 기 구축 극지역 수치지도의 해빙 내 등고선 | 124 |
| <그림 2-91> 기 구축 극지역 수치지도의 수계 미포함과 해안선 묘사여부 | 124 |
| <그림 2-92> 기 구축 극지역 수치지도의 크레바스 묘사 | 125 |
| <그림 2-93> 북극해빙과 아이슬란드 Vatnajökull의 빙원 | 126 |
| <그림 2-94> 남극 빙상과 북극 그린란드의 Geikie Plateau 빙하 | 126 |
| <그림 2-95> 남극 Ross 해의 빙봉과 미국 워싱턴주 Baker산 Easton 빙하의 크레바스 | 127 |
| <그림 2-96> 남극에서 본 남반구의 UTM Zone | 130 |
| <그림 2-97> Antarctic Polar Stereographic 투영법 | 131 |
| <그림 2-98> 2019년 극지역 공간정보 구축사업에 적용된 수치지형도 기반 수치 표고모델 제작시 활용 레이어 | 133 |
| <그림 2-99> 수치지형도 기반 DEM 제작 흐름도 | 134 |
| <그림 2-100> 입체영상 기반 DEM 제작 | 136 |
| <그림 2-101> 입체영상기반 DEM 생성용 상용 SW | 137 |
| <그림 2-102> REMA 격자(arcgis) | 139 |
| <그림 2-103> 극지역 입체 영상 매칭을 통한 DEM 생성 사례 | 140 |
| <그림 2-104> REMA DEM과 ICESAT-1, Cryosat-2와의 수직오차 차이 | 140 |

| | |
|--|-----|
| <그림 2-105> 급경사 지역에서 스테레오 영상의 기하학적 상이성 | 141 |
| <그림 2-106> 급경사 지역에서 에피폴라 영상 | 142 |
| <그림 2-107> 급경사 지역을 고려한 매칭 패치의 변형 | 142 |
| <그림 2-108> 남극 IKONOS 입체 영상을 이용한 DSM 추출 예 | 144 |
| <그림 2-109> 남극 아리랑 3A 입체 영상을 이용한 DSM 추출 테스트 | 144 |
| <그림 2-110> DEM 생성을 위한 기초 도화 데이터 | 145 |
| <그림 2-111> 자동화 매칭 및 등고 보완을 통한 DEM 생성 | 146 |
| <그림 2-112> 다중영상 매칭 기반 DSM 생성 | 147 |
| <그림 2-113> 아리랑 3A 영상의 경우 Tri Stereo매칭 기반 DSM 생성 | 148 |
| <그림 2-114> Multi-View Stereo 3D Mapping Challenge S2P 결과 | 149 |
| <그림 2-115> S2P 개요 | 150 |
| <그림 2-116> S2P로 제작한 스위스 몽블랑 산맥 적설지역 | 150 |
| <그림 2-117> REMA의 데이터 구성 | 151 |
| <그림 2-118> REMA의 메타데이터 예 | 151 |
| <그림 2-119> 정사영상 제작원리와 정사모자이크 영상제작 과정 | 152 |
| <그림 2-120> 토지피복도를 활용한 접합선 추출과정 | 153 |
| <그림 2-121> 히스토그램 매칭 방법과 접합할 영상 feathering | 154 |
| <그림 2-122> 남극 장보고과학기지 주변 정사모자이크 영상(구글어스) | 155 |
| <그림 2-123> LIMA 홈페이지와 남극 장보고과학기지 주변 모자이크 영상 | 155 |
| <그림 2-124> 장보고과학기지 주변 정사모자이크 영상(Geometric-based Seamline) · | 156 |
| <그림 2-125> 장보고과학기지 주변 정사모자이크 영상(Weighted Seamline) | 157 |
| <그림 2-126> 장보고과학기지 주변 정사영상 평활화 전과 후 | 158 |
| <그림 2-127> 이 연구에서 제안한 모자이크 툴박스의 선택 옵션 | 159 |
| <그림 2-128> 히스토그램 매칭, 좁은 패더링 적용에 의한 자연색 모자이크 영상 | 160 |
| <그림 2-129> 정사영상 평활화 적용과 미적용에 의한 자연색 컬러 모자이크 영상 | 161 |
| <그림 2-130> 제안 모자이크 옵션을 적용한 위색채 컬러 모자이크 영상 | 161 |
| <그림 2-131> SCAR ADD(Antarctic Digital Database)에서 제공 중인 장보고과학기지 부근 해안선 | 163 |
| <그림 2-132> 우리나라 SWBD 격자 | 163 |

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

| | |
|---|-----|
| <그림 2-133> 여러 해안선 데이터간의 차이 | 164 |
| <그림 2-134> 조석에 따른 해안선의 차이 | 165 |
| <그림 2-135> 국내 해안선 갱신의 예 | 165 |
| <그림 2-136> NDWI와 GSHHS | 167 |
| <그림 2-137> 위성영상별 NDWI 범위 차이 | 168 |
| <그림 2-138> 다시기 위성 NDWI 평균을 통한 구름, 그림자 영향 저하 | 169 |
| <그림 2-139> 다시기 위성 정보를 이용한 해안선 추출 결과 및 비교 | 170 |
| <그림 2-140> 아리랑 위성영상을 활용한 NDWI 추출 실험 | 171 |
| <그림 2-141> 아리랑 위성영상과 WVS 해안선 비교 | 172 |
| <그림 2-142> TPXO 조석 모델 | 173 |
| <그림 2-143> 장보고과학기지 부근 조석모델을 통한 조석 정보 추출 | 174 |
| <그림 3-1> KOMPSAT 영상 검색 서비스 | 178 |
| <그림 3-2> 남극과학기지 위성영상 | 179 |
| <그림 3-3> 수치지형도 검증 절차 | 181 |
| <그림 3-4> DEM 정확도 검증 절차 | 186 |
| <그림 3-5> 음영기복도를 이용한 DEM 검수의 예 | 188 |
| <그림 3-6> DEM 절대정확도 평가 방법 | 189 |
| <그림 3-7> DEM 상대정확도 점검 방법 | 191 |
| <그림 3-8> 남극 REMA DEM 제작지역 현황 | 194 |
| <그림 3-9> 수치적 미분편위수정 기법을 이용한 정사보정 과정 | 196 |
| <그림 3-10> 정사보정 흐름도 | 197 |
| <그림 3-11> ERDAS Photogrammetry에서 정사영상 처리 | 198 |
| <그림 3-12> 정사보정 전·후 영상과 수치지형도 중첩 비교의 예시 | 199 |
| <그림 3-13> 서울지역 입체시 모의영상에서 검사점 분포도 | 203 |
| <그림 3-14> 비교 대상 지역 1/5,000 도화 성과(건물 레이어) | 203 |
| <그림 3-15> 서울지역 오차 벡터 | 206 |
| <그림 3-16> 대전지역 입체시 모의영상에서 검사점 분포도 | 209 |
| <그림 3-17> 비교 대상 지역 1/5,000 도화 성과(건물 레이어) | 210 |
| <그림 3-18> 대전지역 오차 벡터 | 213 |

| | |
|--|-----|
| <그림 3-19> 장보고과학기지 기존 도화 성과와 검사점 분포 | 216 |
| <그림 3-20> 자료 간 DEM 정확도 비교 처리 흐름도 | 219 |
| <그림 3-21> 장보고과학기지 주변 REMA 타일 INDEX 번호(14_39) | 220 |
| <그림 3-22> 장보고과학기지 주변 REMA DEM(8 × 8m) | 221 |
| <그림 3-23> 장보고과학기지 주변 TerraSAR-X 기준점 활용 DEM 성과(5 × 5m) | 221 |
| <그림 3-24> 대상 지역 REMA 표고 오차 분포도 | 222 |
| <그림 3-25> 비교 점 위치와 ICESat-2 데이터 점 위치 | 223 |
| <그림 3-26> 정표고에서 타원체고와 지오이드고 관계 | 224 |
| <그림 3-27> 모의영상을 활용하여 제작한 등고선과 DEM | 227 |
| <그림 3-28> 대상 지역 음영기복도 | 228 |
| <그림 3-29> 극지역 매칭 DEM과 제작된 등고선 결과 | 231 |
| <그림 3-30> 1/5,000 및 1/25,000 수치지형도와 모의영상 등고선 중첩 결과 | 232 |
| <그림 3-31> 그림자로 인한 매칭 오류 발생지역(적색 영역) | 234 |
| <그림 3-32> 매칭 DEM 음영기복도 | 235 |
| <그림 3-33> 크레바스 지역 매칭 DEM 결과와 프로파일 | 236 |
| <그림 3-34> 모의영상 Pan-Sharpen 처리 결과 | 237 |
| <그림 3-35> 제작된 상하 정사영상 | 238 |
| <그림 3-36> 정사영상과 2019년도 수치지형도 중첩 | 239 |
| <그림 3-37> 검사점을 활용한 정사영상 정확도 비교 | 240 |
| <그림 3-38> 모자이크 전후 정사영상 비교 | 242 |
| <그림 3-39> 두 영상 교차 지점의 접합선 지역의 예시 | 243 |
| <그림 4-1> 세종과학기지 1/25,000 수치지형도 구축지역(2009년) | 264 |
| <그림 4-2> 세종과학기지 1/5,000 수치지형도 구축지역(좌: 2009년 우: 2020년) | 265 |
| <그림 4-3> 2009년 세종과학기지 1/5,000 수치지형도(좌)와 정사영상(우) | 265 |
| <그림 4-4> 2020년 세종과학기지 1/5,000 수치지형도(좌)와 정사영상(우) | 265 |
| <그림 4-5> 장보고과학기지 1/25,000 수치지형도 구축지역(좌: 2010년 우: 2019-2020년) | 266 |
| <그림 4-6> 장보고과학기지 1/5,000 수치지형도 구축지역(좌: 2010년 우: 2019년) | 267 |
| <그림 4-7> 장보고과학기지 주변 1/25,000 핵심보급 루트 구축지역 | 267 |
| <그림 4-8> 장보고과학기지 1/25,000 수치지형도(좌: 2010년(기지구축 전), 우: 2019년) | 267 |

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

| | |
|---|-----|
| <그림 4-9> AADC 내 Map catalogue 검색화면 및 지도검색 출력 화면 | 269 |
| <그림 4-10> 상세분석 사례1 | 277 |
| <그림 4-11> 상세분석 사례2 | 279 |
| <그림 4-12> 상세분석 사례3 | 280 |
| <그림 4-13> 상세분석 사례4 | 281 |
| <그림 4-14> 상세분석 사례5 | 282 |
| <그림 4-15> 상세분석 사례6 | 283 |
| <그림 4-16> 상세분석 사례7 | 284 |
| <그림 4-17> 상세분석 사례8 | 285 |
| <그림 4-18> 상세분석 사례9 | 286 |
| <그림 4-19> 다시기 DSM을 이용한 표고 변화 분석의 예 | 290 |
| <그림 4-20> 극지역 공간객체추출을 위한 검증과정의 예 | 293 |
| <그림 4-21> 딥러닝 기반 변화량 분석을 위한 고려사항 | 294 |
| <그림 4-22> Nanse 지역의 빙붕의 균열에 따른 이동의 예 | 295 |
| <그림 4-23> 「북극활동 진흥 기본계획」의 목표 및 세부추진과제의 개요 | 302 |
| <그림 4-24> 「남극연구활동진흥기본계획」의 목표 및 세부추진과제의 개요 | 305 |
| <그림 4-25> KPDC 시스템의 예 | 311 |
| <그림 4-26> KAOS 시스템의 예 | 311 |
| <그림 4-27> 국립해양조사원의 극지항해 정보 구성의 예 | 312 |
| <그림 4-28> 기상청 북극해빙감시시스템 | 313 |
| <그림 4-29> SCAR 홈페이지 | 314 |
| <그림 4-30> REMA 구축 영역 및 해상도의 개요 | 316 |
| <그림 4-31> Amundsen Sea의 지형도 구축의 예 | 317 |
| <그림 4-32> USGS에서 제공중인 LIMA의 예 | 318 |
| <그림 4-33> ADD Map viewer의 예 | 319 |
| <그림 4-34> BEDMAP 생성과정과 결과의 예 | 321 |
| <그림 4-35> NPI의 Toposvalbard의 예 | 322 |
| <그림 4-36> Quanaarctica 및 이에 수록된 장보고과학기지 정보 | 322 |
| <그림 4-37> AADC의 공간정보 관련 메뉴 구성의 예 | 323 |

| | |
|--|-----|
| <그림 4-38> 북극의 해빙 변화 분석의 사례 | 324 |
| <그림 4-39> 우리나라가 CGA에 등록한 지명 | 325 |
| <그림 4-40> IBCSO의 데이터 제작의 예 | 326 |
| <그림 4-41> 북극의 주요관심지역인 스발바르 제도 및 다산과학기지의 위치 · | 329 |
| <그림 4-42> 남극의 주요 관심대상지역 | 330 |
| <그림 4-43> 위버반도 및 바톤반도의 위치 | 331 |
| <그림 4-44> 빅토리아 랜드의 관련 연구 동향의 예 | 333 |
| <그림 4-45> 스웨이트 빙하 지형의 예 | 334 |
| <그림 4-46> 극지역 공간정보 수요조사를 위한 인터뷰 자료의 예 | 341 |
| <그림 4-47> 국토정보 플랫폼 활성화에 대한 로드맵(안)의 예 | 348 |
| <그림 4-48> 극지역 공간정보의 API 제공(안)의 예 | 349 |
| <그림 4-49> 극지역 공간정보 활용사례 및 수요조사서의 예 | 352 |
| <그림 4-50> 극지역 공간정보 활용사례 및 수요조사서(안) | 355 |
| <그림 4-51> 지속가능한 수요조사를 위한 극지역 공간정보 관련 추진체계 ···· | 356 |
| <그림 4-52> 활용협의체와 워킹그룹의 구성 | 358 |
| <그림 4-53> CGA에 등록된 세종과학기지 주변 27개 지명 | 361 |
| <그림 4-54> SCAR의 SCAGI member | 364 |
| <그림 5-1> 북한지역 지리정보 구축방법 | 370 |
| <그림 5-2> 북극과 남극 주변 지역 IGS 위치 | 379 |
| <그림 5-3> 일본 국립지리원의 1/250,000 남극 "류초 홀름만" 위성영상지도 ···· | 380 |
| <그림 5-4> National Map Viewer를 이용한 북극 지도 | 381 |
| <그림 5-5> 국내 위성영상을 이용한 지도 제작 흐름도 | 384 |
| <그림 5-6> 극지역 2015년도 기준 공정별 금액 변동량 | 391 |
| <그림 5-7> 접근불능지역 2018년도 기준 공정별 금액 변동량 | 392 |
| <그림 5-8> 접경지역 2018년도 기준 공정별 금액 변동량 | 394 |
| <그림 5-9> 공간정보 데이터 품질 요소 및 구성요소 관계도 | 409 |
| <그림 5-10> KS X ISO 19157 지리정보: 데이터 품질 평가 과정 | 410 |
| <그림 5-11> 지도 등의 간행심사 흐름도 | 415 |

제1장

연구개요

1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구 내용

1. 연구의 배경 및 목적

가. 연구 배경

최근 기후 변화 등으로 극지역에 대한 과학연구, 자원 탐사 활동 등에 관한 관심이 지속해서 증가하고 있다. 우리나라의 극지 연구는 미국, 영국, 호주, 일본 등에 비해 약 30년가량 늦게 시작했지만, 세종과학기지(1988년 2월), 다산과학기지(2002년 4월), 장보고과학기지(2014년 2월) 등 현지 기지를 거점으로 활발한 극지 연구를 진행하고 있다. 현재 우리나라는 북극의 경우 영토가 없으나 북극이사회의 영구 옵저버 국가이며, 주권국가가 없는 남극의 경우 남극조약협약(1986년에 가입) 당사국이다. 2017년부터는 남극 대륙에서 새로운 연구 영역 확보를 위해 코리안루트(K-루트) 탐사 사업을 진행하고 있다.

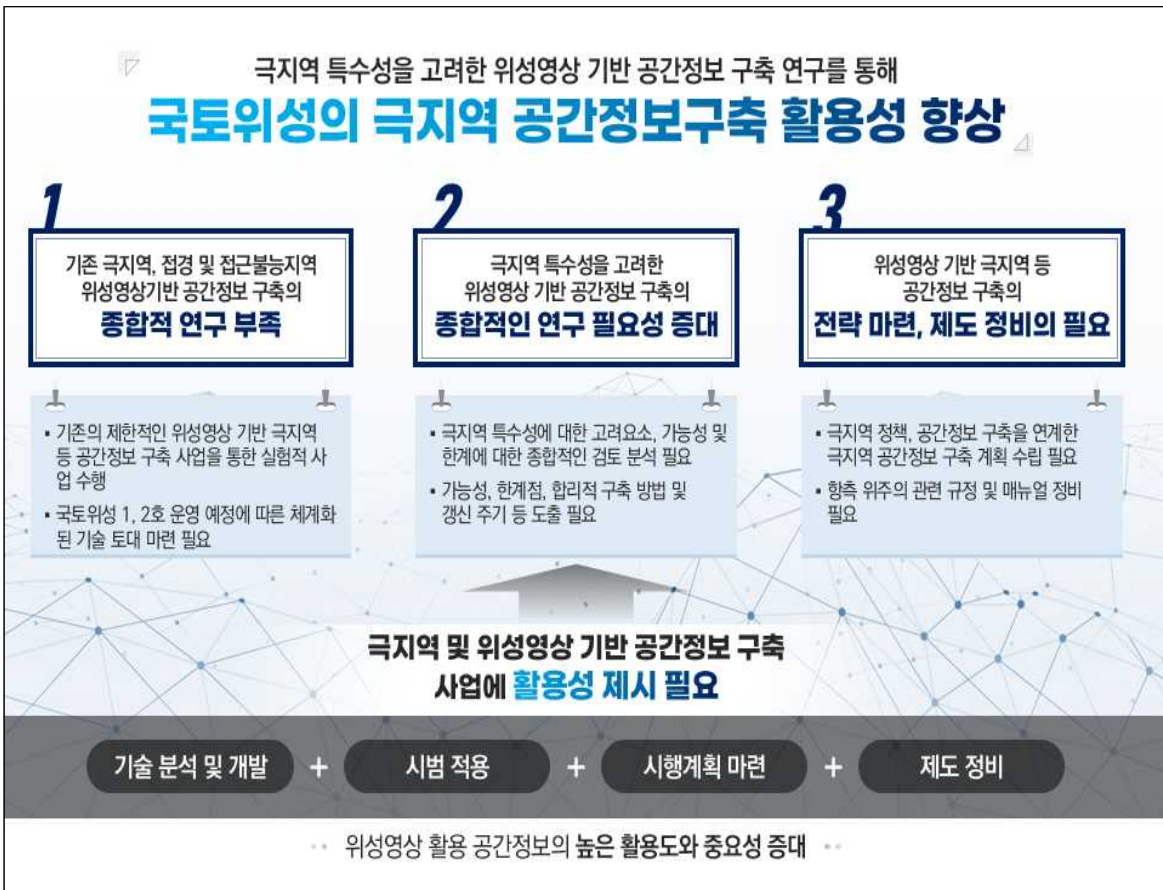
광활한 영역의 남북극 지역에 과학연구, 자원 탐사 활동을 확대해나가기 위해서 매년 변화하는 극지의 환경과 지형 등에 대한 공간정보가 있어야 하지만 아직 많은 부분을 미국, 영국 등 해외에서 구축하여 제공하는 공간정보에 의존하고 있다. 따라서 우리나라는 국토지리정보원을 중심으로 2008년 이후 극지역 공간정보 제작을 위해 기본계획을 수립하고, 수치지형도 및 영상지도, 그리고 수치표고모델(Digital Elevation Model, 이하 DEM)을 제작해오고 있다. 최근 들어 2014년~2019년까지 북극지역 1/5,000 및 1/25,000 정사영상 및 수치지형도, 그리고 10m 간격 격자의 DEM을 제작하였고, 2019년에는 남극 장보고과학기지 주변에 대한 공간정보를 갱신 구축하였다. 2020년과 2021년 세종과학기지, 장보고과학기지 및 K-루트 주변으로도 공간정보 구축을 진행하고 있다.

그러나 극지역은 공간적 범위가 매우 넓고, 기후가 빠르게 변화하여 적설에 의한 지형의 변화가 심한 특성이 있다. 또한 매해 탐사를 진행해야 하는 지역 특성상 신규로 취득된 공간정보가 필수요건임에도 불구하고 현재 공간정보 구축 및 제공 인프라는 이러한 요구에 미치지 못하고 있다.

인공위성은 원격으로 광범위하면서 매우 짧은 주기로 지형정보 획득이 가능하므로 접근이 어려우면서 광활한 극지역 공간정보 구축에 높은 효율성을 기대할 수 있다. 기존에 국내에서 구축한 극지역 공간정보의 경우, 미국, 유럽의 고해상도 인공위성 정보를 활용하여 제작되었다.

2021년 3월에 우리나라의 첫 번째 공공수요 대응을 위한 고해상도 위성이 발사되었고, 내년도 2호기가 발사되면 2기의 고해상도 국토위성 운용이 가능해진다. 2기의 국토위성을 활용하여 공간정보 구축사업을 진행하면 극지역에 대한 독자적인 공간정보 구축이 가능해지며, 더욱 최신의 공간정보 서비스가 가능해질 것으로 기대된다.

국토위성의 사양에 맞추어 극지역에 대한 공간정보(수치지형도, 정사영상, DEM 등)를 구축하게 될 경우 고려해야 할 사항이 많다. 첫 번째, 국내 공간정보 구축 관련 규정이 항공사진 위주로 되어 있으므로, 국토위성을 활용할 경우 판독과 위치정확도의 한계, 정확도 확보방안과 검증방안 등에 관한 연구가 필요하다. 두 번째, 극지역 특수성에 맞는 영상획득, 처리 방안에 대한 기술적인 검토가 필요하다. 세 번째, 국토위성을 활용하여 극지역 공간정보 구축을 위한 계획 수립 시 고려해야 할 주요 대상 지역, 갱신주기 결정 등에 관한 연구가 필요하다. 네 번째로 국토위성을 활용한 극지역 공간정보 구축 시 매뉴얼 및 품질관리 방안에 대한 검토가 필요하다.



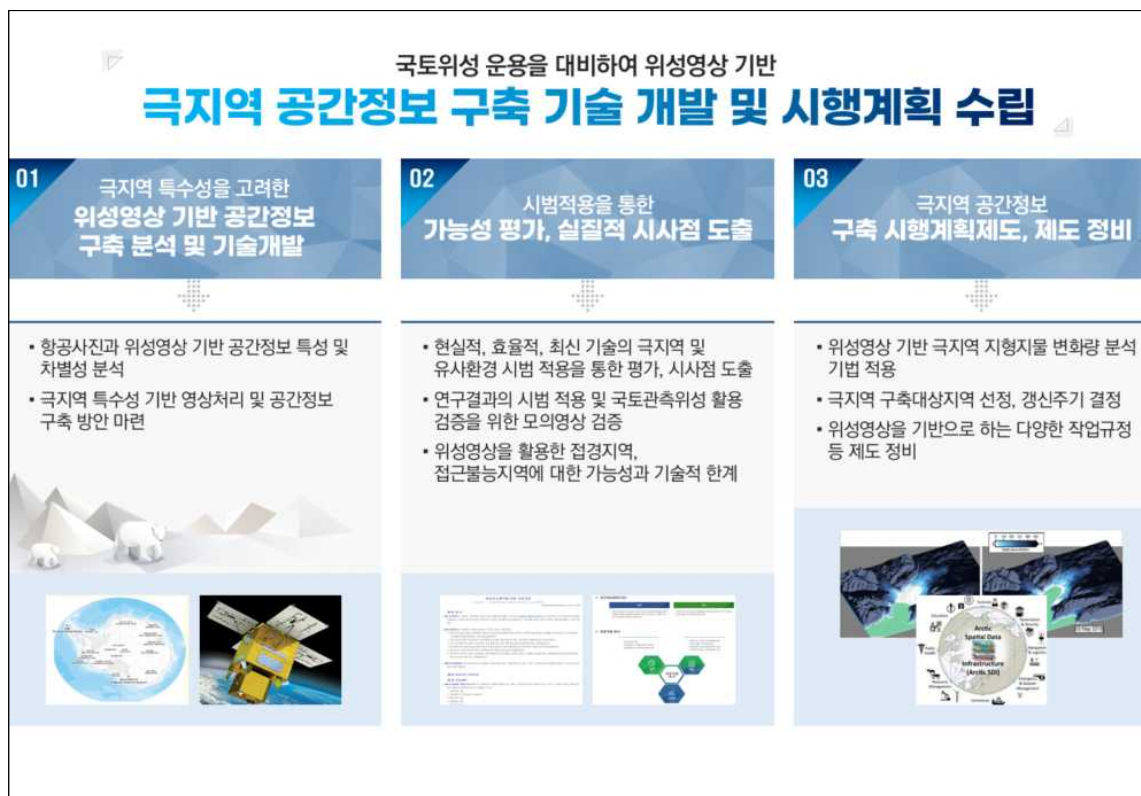
자료: 저자 작성

<그림 1-1> 연구 배경

나. 연구 목적

본 연구는 극지역 특수성을 고려한 위성영상 기반 공간정보 구축 연구를 통해 국토위성의 극지역 공간정보구축 및 활용성을 향상하기 위한 목적을 하고 있다.

즉, 위성영상 기반의 공간정보(수치지형도, 정사영상, DEM 등) 제작기술 연구를 통한 극지역 공간정보 구축 시행계획 및 국토위성 활용을 가능성 검증한다. 극지역 공간정보 구축 비용, 작업 방법의 효율성 향상을 통한 제도 정비와 관련 기본계획 및 수요조사를 통해 극지역 공간정보 활용 활성화를 도모하고, 관심 영역 확대 방안을 도출한다.



자료: 저자 작성

<그림 1-2> 연구 목적

2. 연구 내용

본 사업은 극지역 특수성을 고려한 위성영상 기반 공간정보 구축 연구 성과를 도출하기 위하여, 위성영상 기반 공간정보 구축 기술 현황 분석 및 개발, 위성영상 기반 지도제작 및 공간정보 기술 시범적용, 극지역 공간정보 구축 시행계획 구체화 방안 마련, 위성영상 기반 공간정보 구축 제도 정비 연구 등으로 구성되었으며, 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

□ 위성영상기반 공간정보 구축기술 현황분석 및 개발

- 항공사진과 위성영상기반 공간정보(수치지형도, 정사영상, DEM 등) 구축기술 특성 및 차별성 분석
 - * 위성영상기반 공간정보 구축 시 고려사항, 한계, 정확도 확보 및 검증 방안
- 극지역 특수성에 기반한 위성영상 처리 및 공간정보 구축 방안 마련
 - * 기하정확도 향상 방안(예: GCP Chip 구축 및 활용, Direct Referencing), 해안선 추출 방안, DEM 제작방안 등

□ 위성영상 기반 지도제작 및 공간정보 기술 시범 적용

- 극지역 유사 환경 내 위성영상 기반 공간정보 제작 기술, 검증 방안 시범적용과 평가
 - * 기술현황 분석 및 개발에서 고려된 항공 및 위성기반 공간정보 구축기술의 일반지역 및 극지역 유사 환경에서 시범적용
- 극지역 공간정보 구축 관련 작업 규정* 개선을 위한 기술적 시사점 도출
 - * 「영상지도 제작에 관한 작업규정」, 「수치지형도 작성 작업규정」, 「국토지리정보원 기관표준」 등
- 국토위성 활용 가능성 검증을 위한 모의영상(아리랑 3A, 해외위성 등 50cm급 고해상도 광학 영상) 기반 공간정보 구축 및 정확도 평가

□ 극지역 공간정보 구축 시행계획 구체화 방안 마련

- 극지역 내 지형지물 변화량 분석 등을 통한 공간정보*별 갱신주기 도출

* 정사영상(0.5m, 1.5m), 수치지도(1/5k, 1/25k), DEM(5m, 10m)

- 극지역 관련 정책·개발·연구 기관의 기본계획 등을 분석하여 공간정보별 구축 대상지역 선정
- 수요기관 발굴 및 공간정보 배포, 서비스 확대 등을 통한 활용 활성화 방안 마련
- 극지역 관계기관 협의체, 워킹그룹, 학술대회 참여 등 지속 가능한 수요조사 전략 마련

□ 위성영상 기반 공간정보 구축 제도 정비

- 위성영상기반 공간정보 구축에 적용 가능한 공간정보 구축 관련 작업 매뉴얼 제시
- 일반지역과 극지역 업무량 비교분석을 통한 공정별 비용 산정
- 현지조사가 불가능한 지역의 공간정보 구축성과 품질관리 방안 제시

제2장

위성영상 기반 공간정보 구축 기술현황 분석 및 개발

1. 항공사진과 위성영상 기반 공간정보 구축 기술 특성 및 차별성 분석
2. 극지역 특수성에 기반한 위성영상 처리 및 공간정보 구축 방안

1. 항공사진과 위성영상 기반 공간정보 구축 기술 특성 및 차별성 분석

가. 일반

항공사진 및 위성영상을 이용한 공간정보 구축은 플랫폼, 센서의 특성, 촬영 기하 등 특징에 따라 유사성 및 차이점을 갖는다.

카메라의 경우 항공사진은 일반적으로 2차원 CMOS 센서로 된 프레임 센서를 탑재하여 활용하고 (단, Leica Geosystems의 ADS 시리즈나 CASI 시리즈 등과 같은 하이퍼스펙트럴 영상은 푸쉬부룸센서를 활용), 위성은 라인 형태의 CCD와 같은 푸쉬부룸 센서를 탑재하여 활용한다. 이로 인해 항공사진과 위성영상 간 촬영방식 및 기하에서 큰 차이가 발생하게 된다. 카메라 초점거리는 일반적으로 항공사진의 경우 100mm 내외의 값을 보이며, 위성의 경우 고배율이 필요함에 따라 약 10m가량으로 설계된다.

촬영고도의 경우 항공사진은 주로 2~3km 내외로 설정되며, 원하는 축척에 따라 촬영 계획을 수립하고 고도를 변경할 수 있으며 촬영 시기와 주기 또한 자유롭게 조정할 수 있다. 이에 반해 위성의 경우 대부분 고도를 변경하지 못하고 정해진 궤도를 따라 촬영하게 된다. 또한 위성사진측량은 궤도가 정해져 있으므로 보통 오후 1시 30분 주변 시간으로 촬영하게 되며, 주기 또한 원하는 해상도에 따라 다를 수는 있으나 1~3일 간격으로 재촬영이 가능하다.

촬영 폭은 비행 고도에 따라 달라질 수 있는 항공사진에 비해 위성은 촬영 폭이 거의 일정하며 위성의 경우 13~16km 정도의 촬영 폭을 갖는 것이 보통이다.

<표 2-1> 항공사진과 위성사진측량의 유사점/차이점

| 구분 | 항공사진측량 | 위성 사진측량 |
|-------|---------------------------------|---|
| 센서 | 프레임 센서 - 2차원 CMOS (일부, 푸쉬부룸) | 푸쉬부룸센서 - 라인 CCD |
| 초점거리 | DMC카메라의 경우 120mm | 수 m (아리랑위성 약 10m) |
| 플랫폼 | 항공기 | 위성 (촬영고도 및 궤도 고정) |
| 촬영 고도 | 변화가능 (일반적으로 2~3km) | 국토위성 고도 497.8km |
| 해상도 | 비행고도에 따라 조절 (수cm~수십cm) | 거의 고정 - 수직촬영시 최대해상도 - 촬영각 증가에 따라 저하 |

| 구분 | 항공사진측량 | 위성 사진측량 |
|-------------|--|--|
| | | 국토위성 최대 50cm WorldView-3 31cm |
| 촬영 시기 | 비행시간에 따라 언제든 가능 | Sun-synchronous orbit의 경우 보통 오후 1:30 전후 |
| 촬영 주기 | 비행계획에 따른 조정 | Revisit time 국토위성 2기 활용 시 2.3일 아리랑 3호 1.4 days WorldView-3 1.0 days |
| 촬영 폭 | 비행계획에 따른 변동 가능 | 국토위성 12km 아리랑 3호 16km WorldView-3 13.1km |
| 센서 모델링 | 공선조건식 -영상별로 위치자세 1세트 | 위성공선조건식 (엄밀모델) -라인별로 위치자세1세트 RFM (Rational Function Model) |
| 대기영향보정의 필요성 | 덜 중요 | 중요 |
| 촬영절차 | 절차 복잡 (비행허가 등) | 상대적으로 단순 |
| 기타 제약조건 | Direct Georeferencing을 위한 GNSS 상시관측소 반경 30km 범위 내 비행 | 없음 |

자료: 저자 작성

프로세스 관점에서 수치지형도 및 공간데이터 제작을 위한 항공사진과 위성영상은 많은 유사점을 보이지만 차별성도 존재한다. 아래 그림은 항공사진측량 작업규정, 수치지형도 작성 작업규정에 따른 항공사진측량의 통상적 프로세스를 나타낸 것이다.

카메라 검정의 경우 항공카메라의 경우 1년 주기로 카메라 검정을 수행하도록 규정되어 있는데, 위성의 경우 검보정의 수행이 상대적으로 까다로우나, 한번 수행 후 상대적으로 안정적인 위성 플랫폼의 특성상 오랜 기간 활용하게 된다. 참고로 검보정 데이터 유효기간은 별도로 규정되어 있지 않은 상태이다.

촬영 계획 및 비행의 경우 항공사진의 경우 비행허가, 기상 등을 고려하고 비행고도, 촬영방향, 중복도 등을 위주로 대상지 프로젝트에 맞는 설정을 진행하나, 위성의 경우 비행허가가 필요 없고, 대상지의 기상을 고려하는 것은 유사하지만 촬영 폭이 넓기 때문에 구름, 연무 등이 위성영상 품질에 영향을 많이 미치므로, 더욱 엄격하게 광범위 지역에 대한 구름량 등을 촬영 계획 시에 고려해야 한다. 또한 위성의 경우 정해진 궤도를 진행하게 됨에 따라 태양각, 입체 영상 획득을 위한 중복 촬영 시 기하 등에 대한 면밀한 고려가 추가로 필요하게 된다.

촬영 후 데이터는 항공사진의 경우 획득되는 영상의 개수가 많고, GNSS/INS 데이터와의 후처

리를 위한 다량의 데이터 정리가 필요한데, 위성사진의 경우 하루에 촬영되는 영상의 개수는 상대적으로 적으나 각 영상별 용량이 크고, 거의 매일 촬영하게 됨에 따라 영상 개수도 많아지므로 이에 대한 카탈로그 형태의 관리가 필요한 것이 일반적이고, 위성 궤도 데이터 등의 메타데이터 관리 또한 필요하게 된다.

수치지형도 제작의 경우 지상기준점 측량부터 점검 및 납품까지의 과정은 유사하나 센서 및 플랫폼의 차이에 따라 항공삼각측량(AT) 또는 번들 조정 부분에서 큰 차별성을 보이게 된다. 특히 위성의 경우 접근이 힘든 접근불능지역이나 극지역과 같은 경우에도 촬영할 수 있으나 지상기준점 측량이 불가능한 경우가 많으므로 이에 대해 무기기준점에 의한 번들조정 기법, 또는 기구측 공간 데이터에 의한 번들조정 등으로 지상기준점의 부재를 대체하여야 한다. 이 부분에 관한 연구는 지속해서 진행되고 있다.

세부도화, 지리조사 등에 있어서도 접근불능지역이나 극지역의 경우 지리조사 등을 수행하기 어려우므로 보조 데이터 등을 활용해야 하는 한계점이 존재한다.

| | 항공사진측량 내용 | 위성사진측량 시 차별성 |
|------------|-----------------------------------|--|
| 카메라 검정 | 검정데이터 1년 유효 | 수년간 유효 |
| 촬영계획 및 비행 | 중복도, 촬영방향, 비행조건 등 | 궤도에 따른 촬영각 고려 (입체기하 등) |
| 촬영데이터정리 | 영상품질 검사(재촬영고려), GPS/INS, 외부표정요소산출 | 전처리 (Radiometric/Geometric Correction) |
| 지상기준점측량 | 선점, 관측, 평면/표고 망구성 등 | 직접측량 또는 기구측 데이터 활용 (해상도 1/3 이상의 위치정확도) |
| 항공삼각측량(AT) | 공선조건식 번들조정 (연결점, 결합점, 오차 분석) | 단일 또는 멀티 RPC 보정 (기준점, 검사점 오차 분석) |
| 세부도화 | 묘사, 수정도화 등 | 묘사, 수정도화 등 |
| 지리조사 | 사각지대, 지명조사 등 | 사각지대, 지명조사 등 (비접근지역의 경우 간접조사) |
| 정위치 편집 | 지리조사 반영, 등고선, 도로, 하천 수정 | 지리조사 반영, 등고선, 도로, 하천 수정 |
| 구조화 편집 | 레이어편집, 속성입력, 교차면, 노드 생성 | 레이어편집, 속성입력, 교차면, 노드 생성 |
| 점검 및 납품 | 품질검사, 성과납품 | 품질검사, 성과납품 |

[항공사진측량]

자료: 항공사진측량 작업규정(2020), 수치지형도 작성 작업규정(2019)

<그림 2-3> 항공사진측량 프로세스를 기준으로 한 위성사진측량의 차별성

다음은 항공사진측량과 위성사진측량의 차별성을 주요 공종인 영상 촬영(취득), 해상력, 센서모델링(항공삼각측량), 공간 정확도, 입체영상처리 등의 관점에서 더욱 자세히 설명한 것이다.

나. 영상 취득

영상 취득 측면에서 항공사진과 위성영상은 큰 차이를 보인다. 특히 항공사진은 촬영을 위한 비행 방향을 계획에 의거하여 선택할 수 있지만, 위성영상은 주어진 궤도를 이탈할 수 없는 특성을 갖는다.

항공사진 촬영을 위해서는 항공사진측량 작업규정 제22조에 따라 촬영계획서를 제출하여야 하는데, 이때 포함되어야 하는 내용은 아래와 같다. 즉, 촬영기관에 따라 보유한 촬영 카메라 및 항공기가 다를 수 있고, 장비가 다르므로 이에 관한 내용을 명확히 제시해야 한다.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 촬영항공기의 종류 및 등록번호 2. 촬영카메라(필터포함)의 종류 3. 촬영필름의 종류, 촬영영상의 저장매체, 유효년도 4. 예정공정표 5. 촬영종사자명단 6. GNSS/INS장비와 처리프로그램의 세부사양(품명, 규격, 사양, 성능의 표기) 7. 카메라 정기점검서, 카메라 위치정확도 및 공간해상도 검사표 등 검정과 관련된 자료 일체 |
|--|

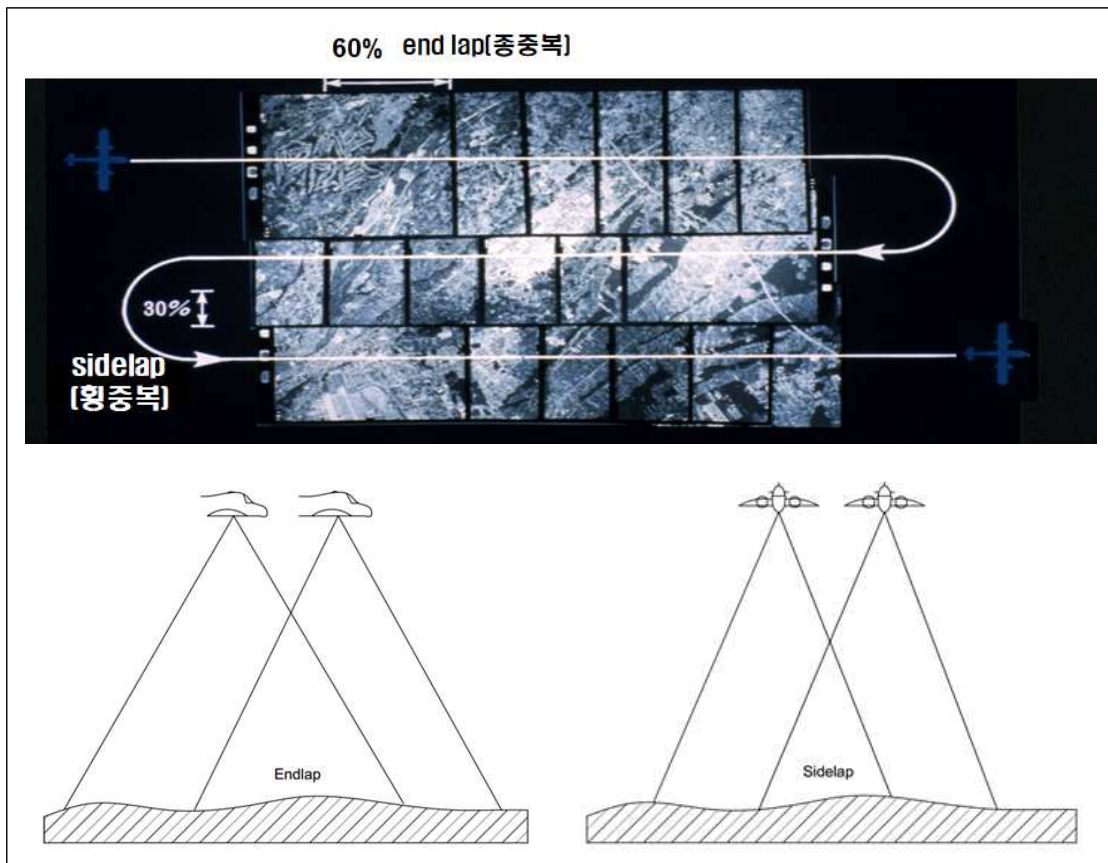
또한 최근 Direct-Georeferencing을 위해 항공사진 촬영 시 GNSS/INS 장비를 이용하는 경우가 많으므로 촬영 시의 원활한 센서 활용환경 (예, GNSS 기준국과의 거리 등)에 대한 고려가 필요하다.

촬영 계획 시 가장 중요한 요소는 해상도 결정을 통한 촬영고도 결정, 그리고 촬영 중복도 결정이다. 즉, 항공기를 이용한 항공영상 촬영 시 요구 해상도를 계산 후, 활용되는 카메라의 초점거리를 기반으로 촬영 고도는 결정된다. 그리고 항공사진은 3차원 공간정보 생성을 위해 일정량의 중/횡 중복을 갖도록 영상을 취득한다. 아래 식에서 촬영고도와 초점거리 간의 비율을 통해 영상의 지상표본거리(GSD: Ground Sampling Distance)가 결정된다. 즉, 촬영고도가 높아질수록 GSD가 커지며 이는 해상도가 낮아짐을 의미한다.

$$GSD = \frac{\text{촬영고도}(m)}{\text{초점거리}(mm)} \times \text{센서1픽셀크기}(mm)$$

여기서, GSD의 단위는 m/pixel

입체 영상 획득을 위한 중복도 설정은 과거 60% 비행 방향의 종중복, 영상 간의 이격 방지를 위한 30% 이상의 횡중복을 설정하였으나, 최근에는 다중영상 획득을 위해 도심지의 경우 70~80% 이상의 종/횡중복도를 설정하여 촬영하는 경우도 많이 있다. 참고로 항공사진측량 작업 규정에는 “제20조(항공사진의 중복도) 항공사진은 반드시 입체시 사진이어야 하며 중복도는 촬영 진행 방향으로 60%, 인접 코스 간 30%를 표준으로 하며, 필요에 따라 촬영 진행 방향으로 80%, 인접코스 중복을 50%까지 중복하여 촬영할 수 있다. 다만, 선형방식의 디지털카메라에서는 인접코스의 중복만을 적용한다.”라고 제시되어 있다.



자료: 저자 작성

<그림 2-4> 항공사진측량 중복도

촬영 후, 다음과 같이 항공사진측량 작업규정의 각호에 해당하는 경우에는 재촬영 요인으로서 판정되어 재촬영을 수행해야 한다.

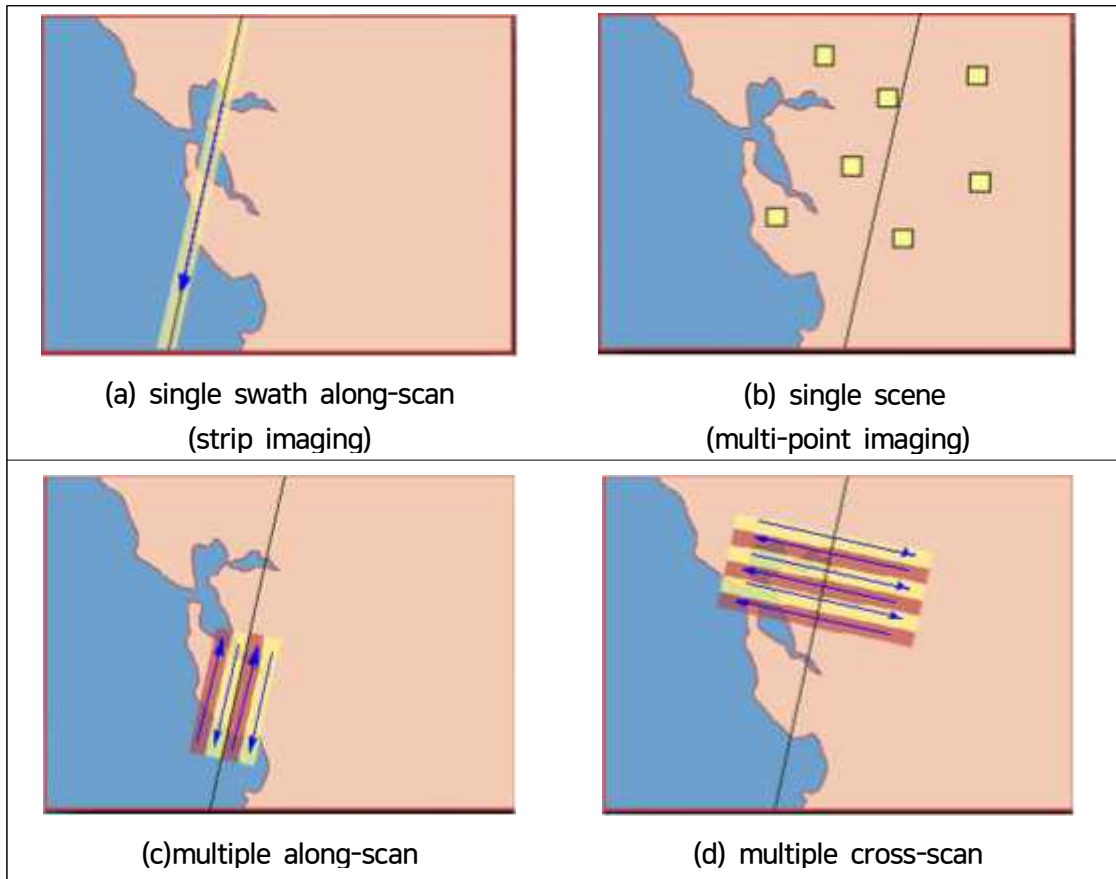
1. 항공기의 고도가 계획촬영 고도의 15% 이상 벗어날 때
2. 촬영 진행방향의 중복도가 53% 미만인 경우가 전 코스 사진매수의 1/4 이상일 때
3. 인접한 사진축척이 현저한 차이가 있을 때
4. 인접 코스간의 중복도가 표고의 최고점에서 5%미만일 때
5. 구름이 사진에 나타날 때
6. 적설 또는 홍수로 인하여 지형을 구별할 수 없어 도화가 불가능하다고 판정될 때
7. 필름의 불규칙한 신축 또는 노출 불량으로 입체시에 지장이 있을 때
8. 촬영 시 노출의 과소, 연기 및 안개, 스모그(smog), 촬영셔터(shutter)의 기능불능, 현상처리의 부적당 등으로 사진의 영상이 선명하지 못할 때
9. 보조자료(고도, 시계, 카메라번호, 필름번호) 및 사진지표가 사진 상에 분명하지 못할 때
10. 후속되는 작업 및 정확도에 지장이 있다고 인정될 때
11. 지상 GNSS 기준국과 항공기에서 수신한 GNSS 신호가 단절되어 GNSS 데이터 처리가 불가능할 때
12. 디지털항공사진 카메라의 경우 촬영코스 당 지상표본거리(GSD)가 당초 계획하였던 목표 값보다 큰 값이 10%이상 발생하였을 때

위성의 경우 항공사진과 영상 취득에 있어서 가장 큰 차이점은 촬영 고도가 고정되어 있고, 정해진 궤도를 따라 촬영을 진행해야 하는 점이다. 하나의 궤도상에서 자세의 변환이 가능한 위성의 경우 촬영 시 4가지 촬영 시나리오의 활용이 가능하다.

먼저 첫 번째(single swath along-scan)의 경우 하나의 궤도에서 위성 자세를 변화시키지 않고 스트립 형태의 영상을 획득하는 경우로서 가장 일반적인 형태의 시나리오이다. 이 방식이 영상 취득의 효율로 보았을 때 주어진 궤도 시간 내에 촬영할 수 있는 면적이 가장 넓다.

두 번째(single scene)는 하나의 궤도를 지나가며 주변의 몇 개의 관심 지역을 촬영하며 자세를 변화시키는 형태의 시나리오이다. 여러 다른 궤도에서 관심지역 영상획득이 가능해지므로 시계열 데이터 확보에 유리하나, 여러 번 자세를 회전 변환시켜야 하므로 촬영 효율이 급격히 낮아진다.

세 번째(multiple along-scan) 및 네 번째(multiple cross-scan) 시나리오는 궤도 방향 또는 궤도 방향의 수직 방향으로 지그재그 형태로 영상을 촬영하는 것으로서 위성을 회전시키는 과정에서 영상을 촬영해야 하는 시나리오이다.



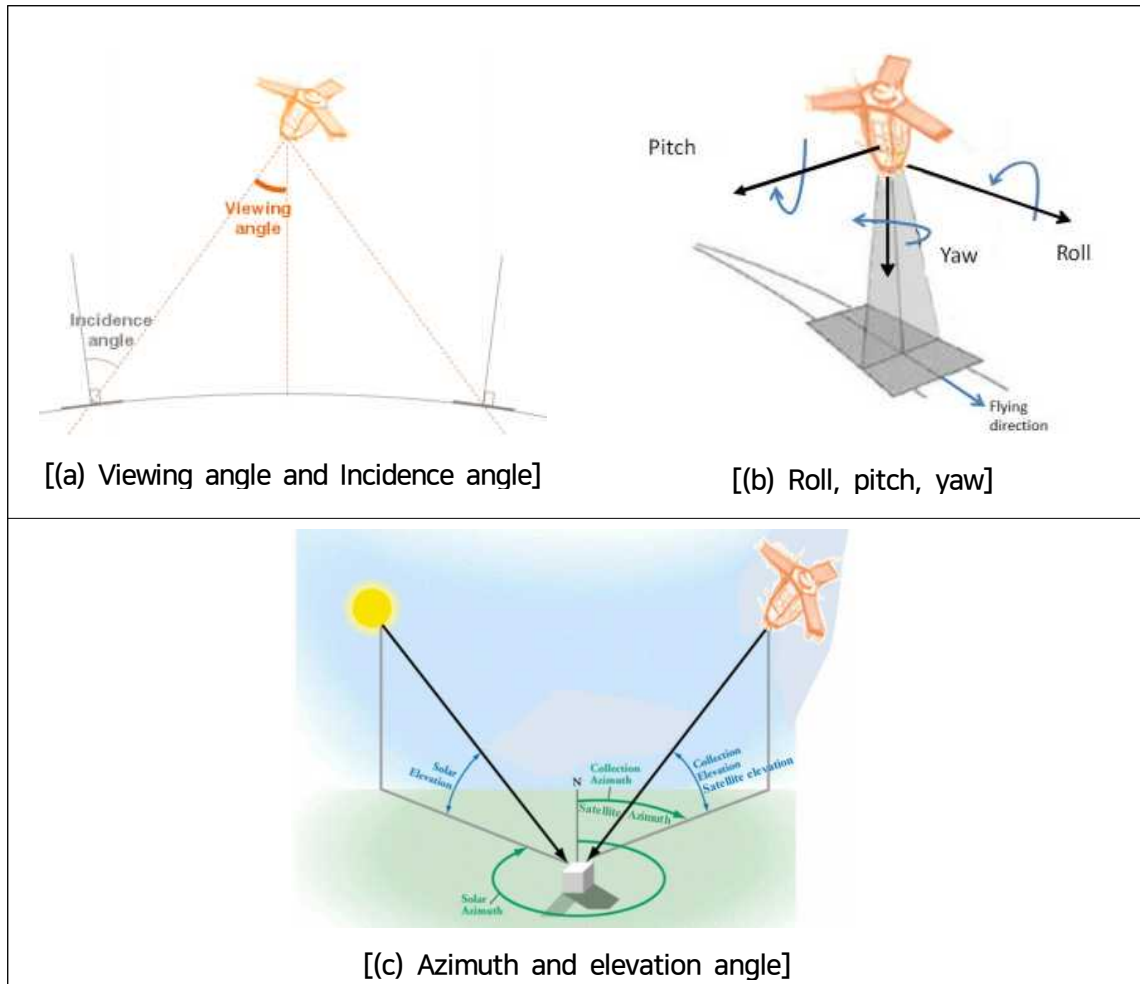
자료: WorldView(2021)

<그림 2-5> 인공위성 촬영 시나리오

위성 영상의 경우 촬영 시 촬영각에 대한 고려가 중요하며, <그림 2-6>에서 (a)에 나타난 위성을 기준으로 또는 대상 타겟을 기준으로 한 viewing angle과 incidence angle이 제일 기본적인 고려 각도이다. 두 각이 커질수록 경사로 촬영하게 되며 이에 따라 촬영 범위는 넓어지나 대상까지의 거리가 커짐에 따라 공간해상도는 낮아지게 된다.

(b)에 나타난 roll, pitch, yaw의 경우 위성 자세각이며, roll은 진행 방향 축에 대한 회전, yaw는 연직 방향 축에 대한 회전, pitch는 두 축의 수직방향 축에 대한 회전 각을 나타낸다.

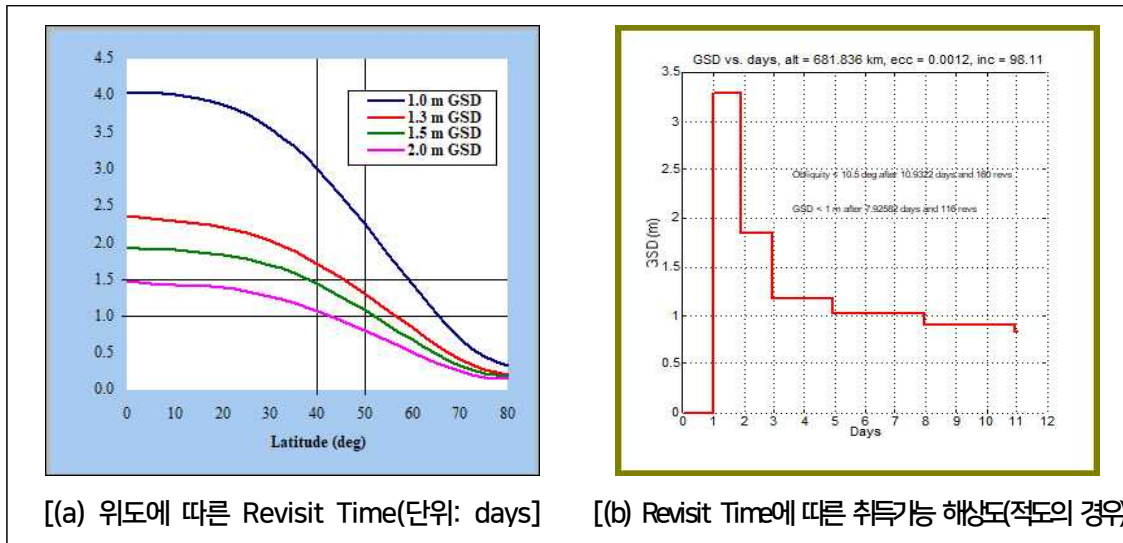
(c)에 나타난 각은 북쪽을 기준으로 방위각과 고도각을 나타낸 것인데, 방위각은 북쪽을 기준으로 시계방향으로 0~360까지의 각이며, 고도각은 지표면에서 연직 방향으로 위성까지의 각이다. 촬영 시 태양의 방위각 및 고도각 또한 중요한 고려 요소이다.



자료: ESA(2021)

<그림 2-6> 인공위성 촬영각

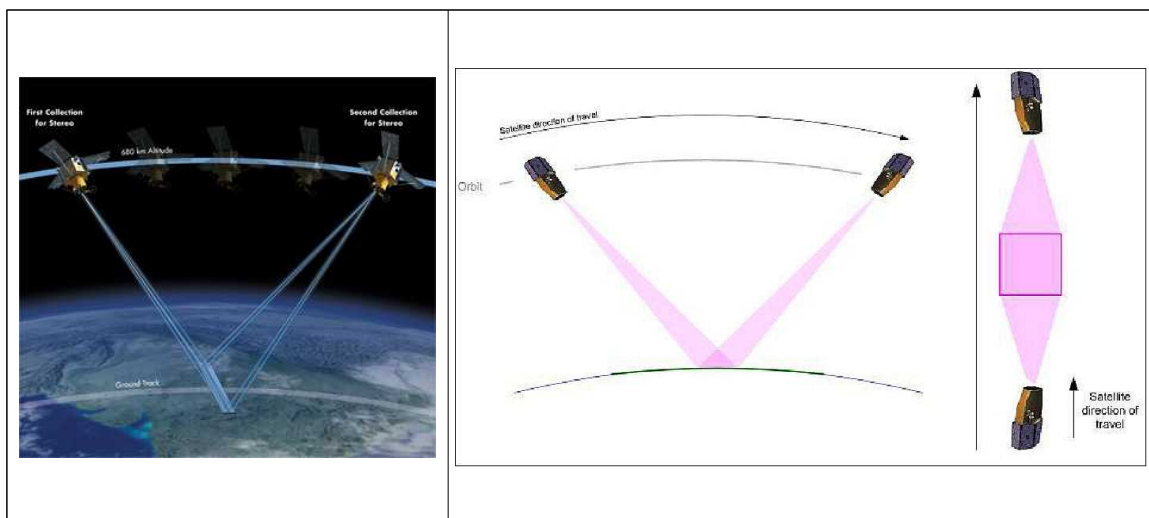
정해진 궤도를 따라 진행되는 인공위성의 특징으로 인해 동일지역을 지나가기 위한 재방문 주기(Revisit Time)의 고려가 필요하다. <그림 2-7>은 IKONOS 경우의 예를 나타낸 것으로서 고위도로 올라갈수록 방문주기가 짧아지는 것을 알 수 있다. IKONOS의 경우 적도에서 1m 공간해상도를 획득하기 위해서는 약 4일의 재방문 주기를 필요로 하게 되며, 약 60도 위도 지역의 경우 1.5일을 기다려야 한다. 또한 보다 높은 공간해상도를 얻기 위해서는 궤도에서 약간 벗어나는 촬영각을 구성해야 하므로 공간해상도가 저하되는 효과가 나타날 수 있다.



자료: DigitalGlobe(2021)

<그림 2-7> Revisit Time

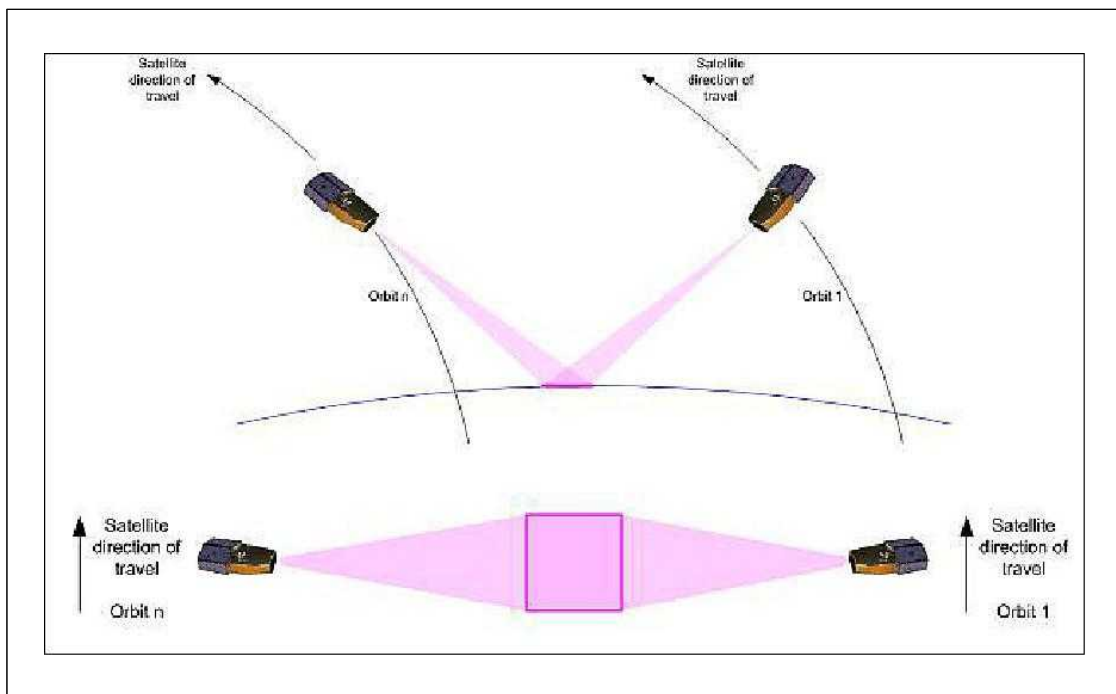
입체위성영상 획득을 위한 along track 스테레오는 in-track 또는 single pass stereo라고도 불리며, 첫 번째 영상을 양(+)의 pitch각으로 회전한 상태에서 취득하고, 두 번째 영상을 음(-)의 pitch각으로 회전하여 동일지역에 대하여 영상을 취득하는 방식으로 입체 영상을 취득하는 방식이다.



자료: eoPortal Directory(2021)

<그림 2-8> Along-track Stereo

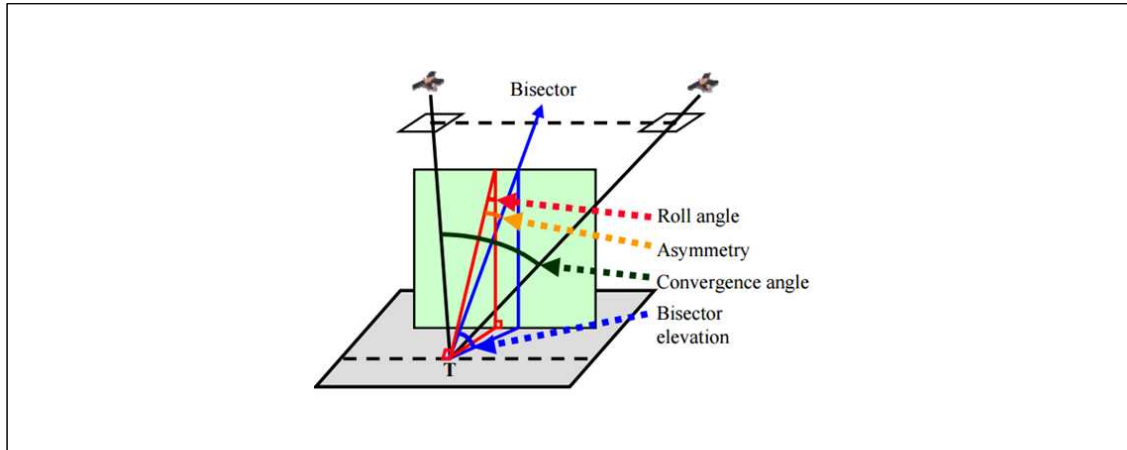
Across track 스테레오는 서로 다른 날짜 또는 궤도에서 입체 영상을 획득하는 방식이며, 첫 번째 영상을 하나의 궤도에서 roll 각으로 회전한 상태에서 취득하고, 두 번째 영상을 다른 궤도에서 다른 방향의 roll 각으로 회전하여 동일지역에 대하여 영상을 취득하는 방식으로 입체 영상을 취득하는 방식이다.



자료: eoPortal Directory(2021)

<그림 2-9> Across-track Stereo

입체영상 획득 시 고려해야 하는 입체각에는 Convergence angle(수렴각), Bisector Elevation(BIE), Asymmetry(비대칭각) 등이 있다. Convergence angle은 스테레오 촬영방향이 형성하는 평면 내에서 이루어지는 사이각을 지칭하고, BIE의 경우 해당 평면이 지평선으로부터 얼마나 고도각을 갖고 있는지를 나타낸다. Asymmetry의 경우 입체 영상의 촬영이 좌/우에서 대칭성을 갖고 있는지를 나타내는 각이다.



자료: Zhu et al.(2008)

<그림 2-10> 인공위성의 입체 촬영시 고려 각도

입체 영상의 촬영 시 고도각을 각각 E_1 , E_2 라고 하고, 방위각을 A_1 , A_2 라고 한다면, 각 위성으로부터의 촬영방향 단위벡터는 u_1, u_2 와 같이 계산될 수 있다.

$$u_1 = \begin{bmatrix} \cos(E_1)\sin(A_1) \\ \cos(E_1)\cos(A_1) \\ \sin(E_1) \end{bmatrix}, u_2 = \begin{bmatrix} \cos(E_2)\sin(A_2) \\ \cos(E_2)\cos(A_2) \\ \sin(E_2) \end{bmatrix}, u_3 = \frac{u_1 + u_2}{|u_1 + u_2|}$$

촬영 시 기하를 엄밀하게 분석하기 위해서는 엄밀 센서모델링에 사용되는 위치정보를 활용해야 하지만, 아래와 같이 수렴각 및 BIE각 등을 간략 방법으로 계산할 수 있다(Jeong, 2017). 이 때 alt 는 촬영고도이므로 국토 위성의 경우 촬영고도 약 497.8km를 설정하여 사용할 수 있다.

$$Conv = \cos^{-1}(u_1 \cdot u_2) \text{ 또는 } Conv = 180 - \theta_1 - \theta_2$$

$$BIE = \cos^{-1}\left(\sqrt{u_3(1)^2 + u_3(2)^2}\right)$$

$$Asymm = \frac{\theta_1 - \theta_2}{2}$$

$$Roll = \cos^{-1}\left(\frac{\sin(BIE)}{\cos(Asymm)}\right)$$

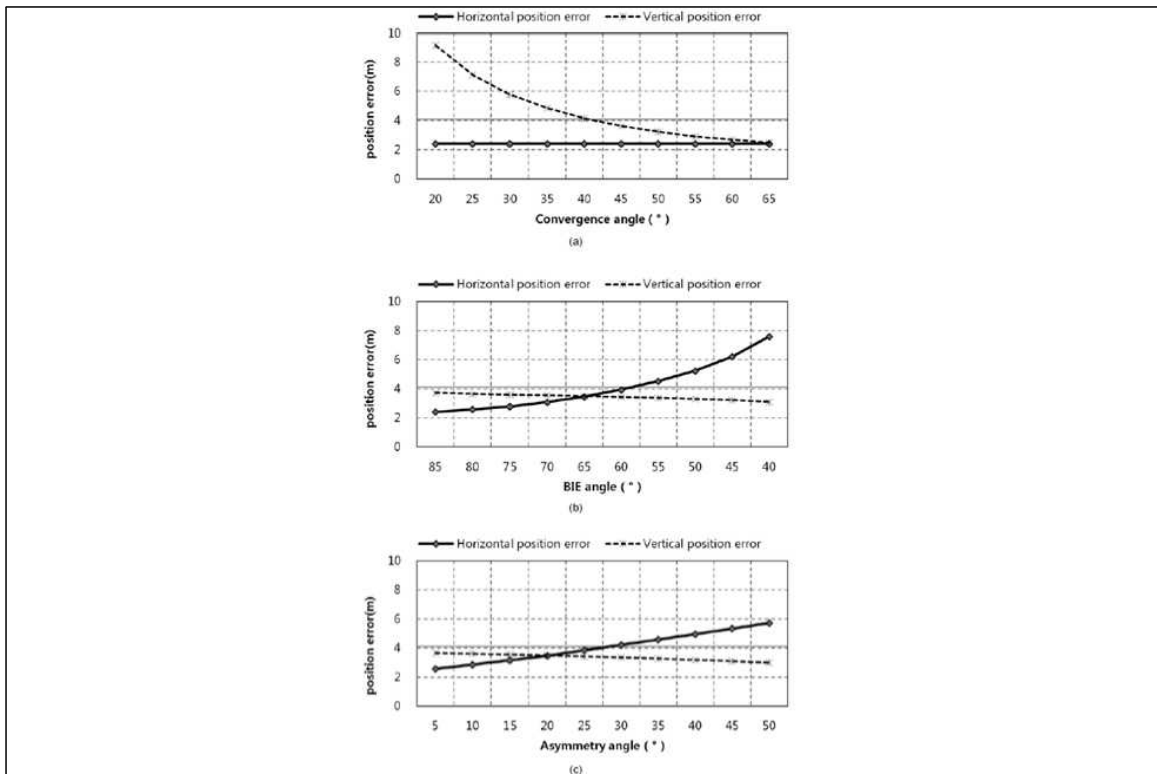
여기서,

$$\theta_1 = \cos^{-1} \left(\frac{K_1 \cdot B_{12}}{|K_1| |B_{12}|} \right), \theta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{K_2 \cdot B_{12}}{|K_2| |B_{12}|} \right)$$

$$B_{12} = K_1 - K_2$$

$$K_1 = \frac{alt}{\sin(E_1)} \times u_1, K_2 = \frac{alt}{\sin(E_2)} \times u_2$$

〈그림 2-11〉에서 보는 것과 같이 수렴각(Convergence angle)의 경우 수직 방향의 오차 (Vertical error)에 주로 큰 영향을 주게 되는데 최소 30도 이상을 권장한다. 그러나 과도하면 시물레이션에 따른 정확성은 좋아지게 보이나, 입체 영상 간의 상호 이질성이 높아지게 되므로 판독력 저하에 따른 실질 정확도 저하가 발생할 수 있으므로 유의해야 한다. BIE와 Asymmetry의 경우 주로 수평 방향의 오차(Horizontal error)에 영향을 주는데 BIE 70도 이상이 좋고 (이상적으로는 90도), 비대칭각의 경우 10도 이하가 좋다.



자료: Jeong and Kim(2016)

〈그림 2-11〉 촬영각에 따른 정확도 (시뮬레이션 결과)

위성영상의 경우에도 항공사진과 동일하게, 촬영 영상 품질의 저하 시 재촬영을 결정해야 하는데, 항공사진측량 작업규정에 따른 재촬영 판정요건 중 위성에 적용 가능한 부분은 5, 6, 8, 10항이다. 이에 대한 정량적인 값을 설정하여 재촬영 여부를 결정해야 하며, 이 중 구름량의 경우 재촬영 요건으로 가장 많이 활용되고 있다.

- | |
|--|
| 5. 구름이 사진에 나타날 때 6. 적설 또는 홍수로 인하여 지형을 구별할 수 없어 도화가 불가능하다고 판정될 때 8. 촬영시 노출의 과소, 연기 및 안개, 스모그(smog), 촬영셔터(shutter)의 기능 불능, 현상처리의 부적당 등으로 사진의 영상이 선명하지 못할 때 10. 후속되는 작업 및 정확도에 지장이 있다고 인정될 때 |
|--|

다. 영상 해상력

국토활용, 도시계획, 교통조사, 토지이용, 환경오염 및 재해, 농업 및 산림, 지형해석, 군사적 정보 등에 활용하기 위하여 공간영상을 이용한 지형·지물의 식별이 필요하며, 식별을 위한 영상 판독에 영향을 미치는 가장 큰 정량적 요소에는 해상도가 있으며 기타 정성적 요소에는 모양, 색조, 음영, 형태 등이 있다.

해상도 측면에서 항공사진의 경우 1/1,000 수치지형도를 제작하기 위해서는 공간해상도 12cm 영상이 필요하며, 1/5,000 수치지형도 제작 및 전국 정사영상 제작을 위한 영상의 공간해상도는 25cm 있다. 일반적으로 지자체에서는 개발제한구역 관리, 불법 건축물 단속 등 도시행정과 관련된 다양한 업무 수행을 위해 1/5,000 수치지도 제작용으로 촬영한 항공사진 성과를 활용하고 있다.



자료: 저자 작성

<그림 2-12> 영상 판독의 요소

항공사진 및 위성 영상을 이용하여 지형, 지물에 대한 판독을 진행할 경우에도 해상도 등의 차이로 인하여 판독력에서 차이가 발생한다. 본 연구에서는 별도의 부록으로 25cm 항공사진과 50cm 리샘플링된 위성영상(실제 75cm급)의 판독력을 비교하였다.

참고로 단 영상에 의한 판독과 입체영상에 기반한 판독의 정도가 달라질 수 있다. 입체 영상은 기본적으로 3차원 정보(높이) 추출을 위해 필수적이거나 지형의 높낮이가 다름을 인식할 수 있게 되므로 판독력 향상에 기여하게 되는 점이 다르므로 이에 대한 고려가 필요하다.

라. 센서모델링(항공삼각측량, AT)

일반적인 항공카메라에는 2차원 CMOS 센서가 탑재된 프레임 카메라가 사용되며 (예외로 Leica Geosystem사의 ADS 시리즈 등은 라인 카메라 형태임), 국토위성과 같은 고해상도 위성의 경우 라인 형태의 CCD의 조합으로 구성된 푸쉬부름 센서가 탑재된다.

1) 프레임 센서

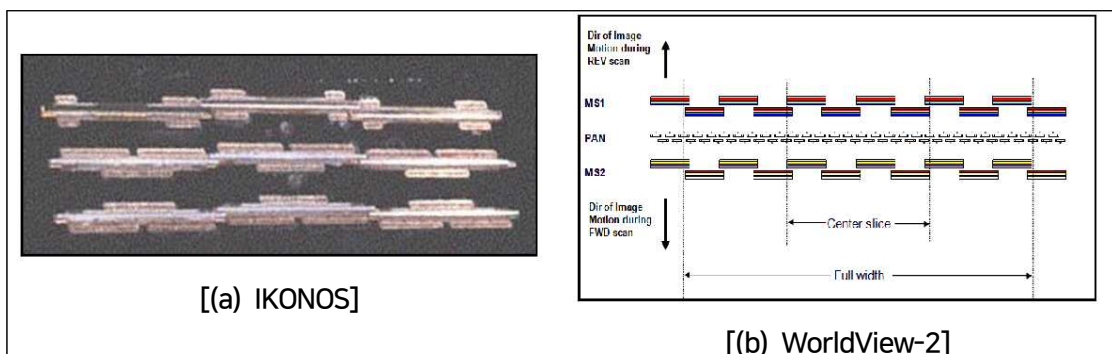
항공 카메라의 경우 Leica Geosystem사의 DMC 시리즈, Vexcel사의 UltraCAM이 널리 사용되고 있으며, <그림 2-13>에서 보는 것과 같이 2차원 CMOS 센서를 카메라 내부에 탑재하고 있다.



자료: Leica Geosystems(2021)

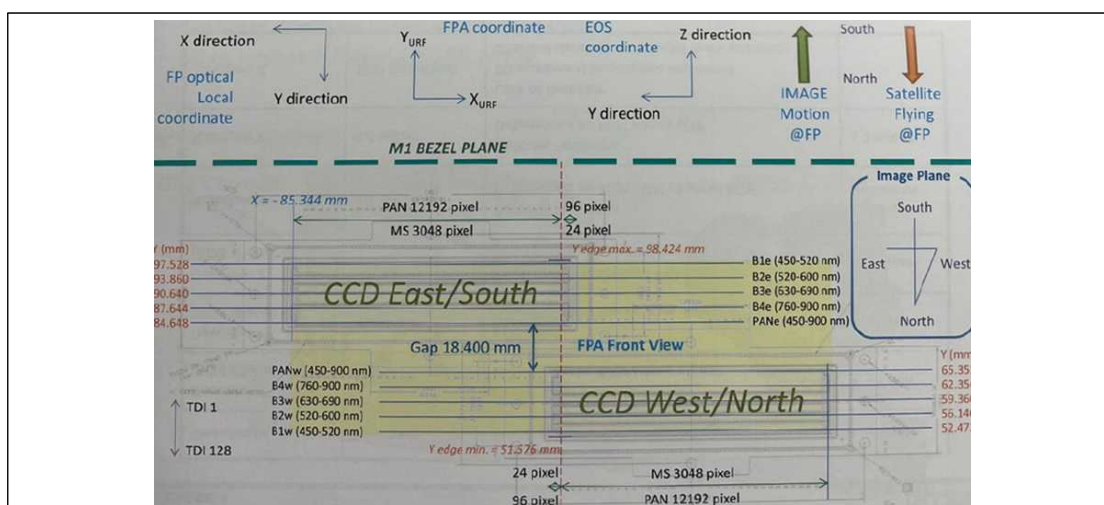
<그림 2-13> 항공 카메라 구성

항공사진에 채용되는 프레임 카메라와는 달리 푸쉬부름 카메라는 한 줄로 된 CCD를 기반으로 하며, 카펫과 같은 길고 연속적인 영상을 획득한다. <그림 2-15>은 국토위성 AEISS-C센서의 CCD 배치를 나타낸 그림으로써 PAN(흑백) 및 MS(Multi-spectral) 별로 두 개 또는 그 이상의 각으로 구성된 CCD 라인이 배치된 것을 확인할 수 있다. 두 개 또는 그 이상의 CCD가 하나의 라인을 구성함에 따라 두 개의 인접된 영상을 하나로 합쳐야 실제 하나의 영상이 구성됨을 알 수 있다.



자료: Inner FoV Stitching of Spaceborne TDI CCD Images Based on Sensor Geometry and Projection Plane in Object Space(2021)

<그림 2-14> IKONOS, WorldView-2 CCD 배치



자료: 항공우주연구원(2021)

<그림 2-15> 국토위성 AEISS-C 센서 CCD 배치

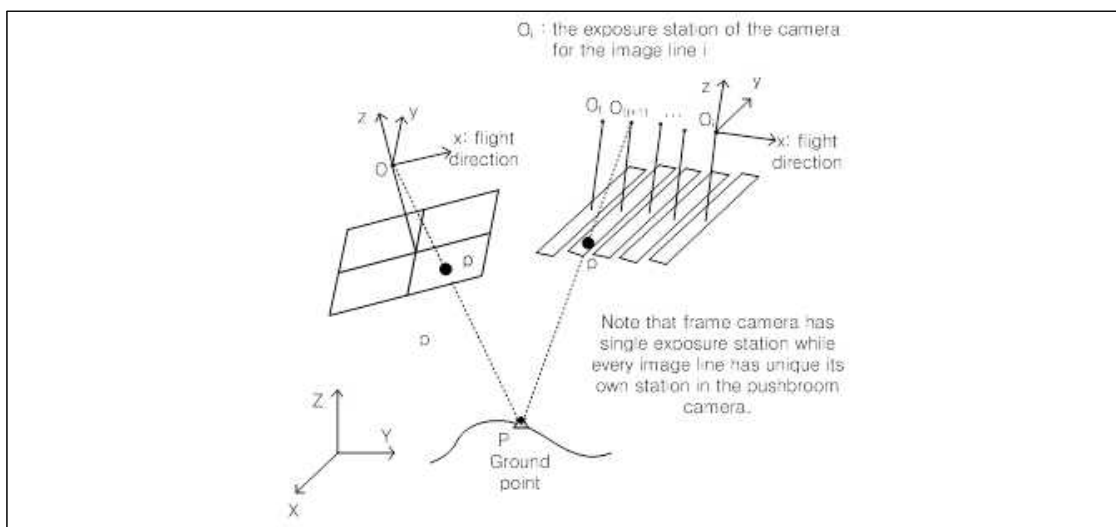


자료: 항공우주연구원(2021)

<그림 2-16> 인접 CCD 간의 중첩 보정

일반적으로 2차원 CMOS를 탑재한 프레임 타입 항공 카메라와 1차원 라인 형태의 CCD를 탑재한 위성 카메라 시스템의 차이로 인해 결과적으로 영상 취득 시 <그림 2-17>과 같은 차이를 발생시킨다.

좌측 프레임 카메라의 경우 한번 영상 촬영 시 하나의 영상이 생성되며 해당 영상 촬영시의 렌즈 중심(그림에서 O점)의 위치와 카메라의 자세는 하나가 된다. 그러나 위성 푸쉬부름 카메라의 경우 영상의 각각의 라인별로 노출점이 존재하여, 라인별로 위치와 자세가 모두 달라진다.



자료: Oh(2010)

<그림 2-17> 프레임 카메라(좌측) vs. 푸쉬부름 카메라(우측)

프레임 카메라의 센서모델링은 기본적으로 공선조건식에 기반하여 이루어진다. 공선조건식은 초점거리(Focal length), 주점 이동량(Principal points), 렌즈 방사왜곡(Radial lens distortion), 렌즈 편심 왜곡(Decentering distortion), 초점면 왜곡(In-plane distortion) 등의 내부 표정요소를 포함한 Fraser(1997)에 의해 제안된 <식 2-1>을 활용한다.

그러나 고가의 항공카메라의 경우 기하학적인 왜곡을 최소화하여 제작되므로 방사왜곡이나 편심왜곡 등이 거의 0에 가깝게 제작되어, 주점 이동량 정도만 반영한 식을 사용하는 것이 일반적이다.

$$\begin{aligned} x - x_0 + \Delta x_r(K_1, K_2, K_3) + \Delta x_d(P_1, P_2) + \Delta x_f(b_1, b_2) &= -f \frac{U}{W} \\ y - y_0 + \Delta y_r(K_1, K_2, K_3) + \Delta y_d(P_1, P_2) &= -f \frac{V}{W} \end{aligned} \quad <2-1>$$

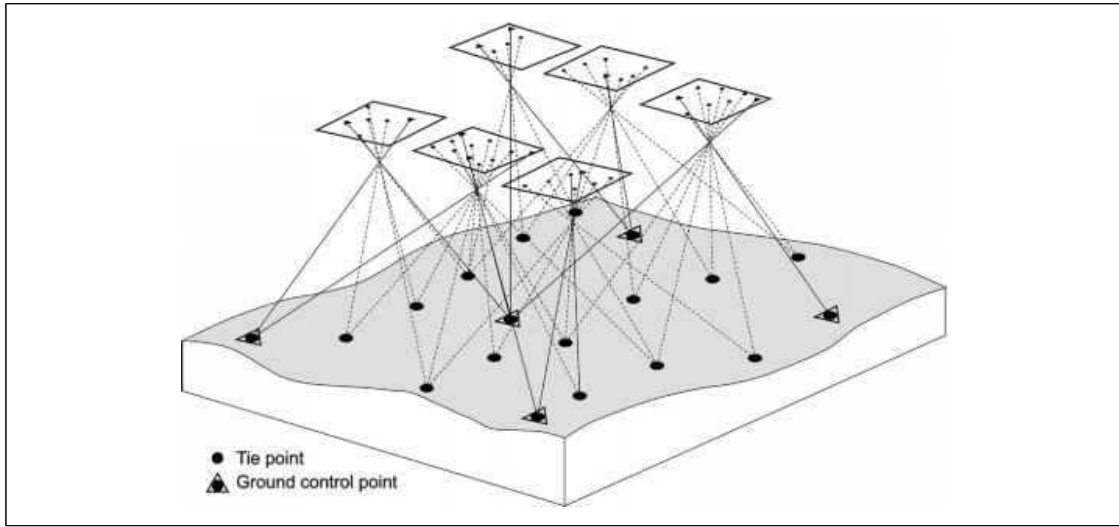
$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X - X_L \\ Y - Y_L \\ Z - Z_L \end{bmatrix}$$

여기서, x, y 는 영상 좌표 (mm), X, Y, Z 는 해당 지점의 지상좌표, X_L, Y_L, Z_L 는 촬영 시의 투영중심 좌표, M 은 roll(ω), pitch(ϕ), yaw(κ) 로 이루어진 회전행렬 ($M = M_\kappa M_\phi M_\omega$). f 는 초점 거리, x_0, y_0 는 주점 이동량, K_1, K_2, K_3 는 방사왜곡 파라미터, P_1, P_2 편심왜곡 파라미터, b_1, b_2 는 초점면 왜곡 파라미터이다.

항공사진 촬영 후 이루어지는 항공삼각측량(AT 또는 변들조정)은 각각 촬영된 사진별로 촬영 시의 투영중심 좌표 X_L, Y_L, Z_L 와 회전각 roll(ω), pitch(ϕ), yaw(κ)를 지칭하는 외부표정요소 (EOPs: exterior orientation parameters) 정밀하게 추정해내는 과정으로서, 외부표정요소 및 지상기준점 모두를 미지수로 설정하고, 지상기준점의 초기치 값을 기반으로 하여 상기 비선형 공선 조건식을 테일러급수 전개를 통해 선형화하고 단일 최소제곱식(unified least square equation) 을 구성하여 정규방정식<식 2-2>을 통해 해법을 도출한다(Mikhail et al., 2001).

$$\begin{bmatrix} \dot{v} \\ \ddot{v} \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{B} & \ddot{B} \\ -I & 0 \\ 0 & -I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\delta} \\ \ddot{\delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{l} \\ \ddot{l} \\ l \end{bmatrix} \quad <2-2>$$

여기서 $\dot{\cdot}$ 는 외부표정요소를 나타내며, $\ddot{\cdot}$ 는 지상기준점을 나타낸다. B 는 공선조건식을 외부 표정요소와 지상기준점으로 편미분하였을 때 도출된 계수 행렬이다. δ 는 보정량, I 는 단위행렬, l 는 상수, v 는 잔차벡터이다.



자료: Geosilicon(2021)

<그림 2-18> 항공삼각측량(AT, 번들조정)

항공삼각측량을 위해서는 지상기준점(GCP: Ground Control Point)이 필요한데, 항공사진측량 작업규정 제36조에 따르면 평면기준점과 표고기준점으로 나뉜다. 이때, 평면기준점은 삼변, 삼각, 다각, GNSS 측량 기법으로부터 획득할 수 있으며, 표고기준점은 직접수준측량을 원칙으로 한다.

기준점의 배치(선점)는 항공사진측량 작업규정 제37조에 따라 반영구적인 점으로서 아래의 기준으로 배치토록 규정하고 있다.

항공사진측량 작업규정 제37조(선점)

5. 평면기준점의 배치는 전면기준점측량(FG) 방식에서는 모델당 4점, 항공삼각측량(AT) 방식에서는 블록(Block) 외곽에 촬영 진행방향으로는 2모델마다 1점씩 모델 중복부분에 촬영방향과 직각방향으로는 코스 중복부분마다 1점씩 배치하는 것을 원칙으로 하고 항공삼각측량의 정확도 향상을 위해 블록의 크기, 모양에 따라 20% 범위 내에서 증가시킬 수 있다.
6. 표고기준점의 배치는 전면기준점측량(FG) 방식에서는 모델당 6점, 항공삼각측량(AT) 방식에서는 모델당 4모서리에 4점을 배치하는 것을 원칙으로 한다. 단, 필요할 경우 수준노선을 따라 사진상 3cm ~ 5cm마다 정확한 지점에 표고를 산출할 수 있다.

기준점의 정확성은 항공사진측량작업규정과 용역사업검사기준에 제시되어 있으며 <표 2-3>와 같다.

<표 2-2> 지상기준점 측량의 정확도 기준

| 구분 | 항공사진측량작업규정 | 용역사업검사기준 |
|--------|--|--|
| 평면 기준점 | - 1/1,000 ~ 1/1,200 : 표준편차 $\pm 0.1\text{m}$ 이내 - 1/5,000 ~ 1/6,000 : 표준편차 $\pm 0.2\text{m}$ 이내 | - 1/1,000 : 표준편차 $\pm 0.1\text{m}$ 이내 - 표본 : 5~10% - 1/5,000 : 표준편차 $\pm 0.2\text{m}$ 이내 - 표본 : 5~10% |
| 표고 기준점 | - 1/1,000 ~ 1/1,200 : 표준편차 $\pm 0.1\text{m}$ 이내 - 1/5,000 ~ 1/6,000 : 표준편차 $\pm 0.2\text{m}$ 이내 | - 1/1,000 : 표준편차 $\pm 0.1\text{m}$ 이내 - 표본 : 5~10% - 1/5,000 : 표준편차 $\pm 0.2\text{m}$ 이내 - 표본 : 5~10% |

자료: 국토지리정보원(2019)

항공삼각측량 정확도 기준 또한 항공사진측량작업규정과 용역사업검사기준에 제시되어 있으며 아래 표와 같다. 항공사진측량작업규정에는 디지털 사진을 기준으로 RMSE는 1화소, 최댓값은 2화소로 정해져 있다.

<표 2-3> 항공삼각측량 조정 정확도 기준

| 항공사진측량작업규정 | | | |
|---------------------------|---------|---------|--------|
| 구분 | 지상표본거리 | RMSE(m) | 최댓값(m) |
| 디지털항공사진측량용 카메라로 촬영한 영상 | 8cm 이내 | 0.08 | 0.16 |
| | 12cm 이내 | 0.12 | 0.24 |
| | 25cm 이내 | 0.25 | 0.50 |
| | 42cm 이내 | 0.42 | 0.84 |
| | 65cm 이내 | 0.65 | 1.30 |
| | 80cm 이내 | 0.80 | 1.60 |

| 용역사업검사기준 | | | | | |
|----------|--------|---------|---------|--------|--------|
| 1/1,000 | | | 1/5,000 | | |
| | 평면위치 | 표고 | | 평면위치 | 표고 |
| 신규 | 0.2m이내 | 0.17m이내 | 신규 | 0.8m이내 | 0.6m이내 |
| 수정 | 0.5m이내 | 0.3m이내 | 수정 | 2.5m이내 | 1.0m이내 |

자료: 국토지리정보원(항공사진측량 작업규정)(2020)

참고로 최종 수치지형도 위치정확도 기준은 용역사업 검사기준에 따르면 <표 2-5>와 같이 제시되어 있다.

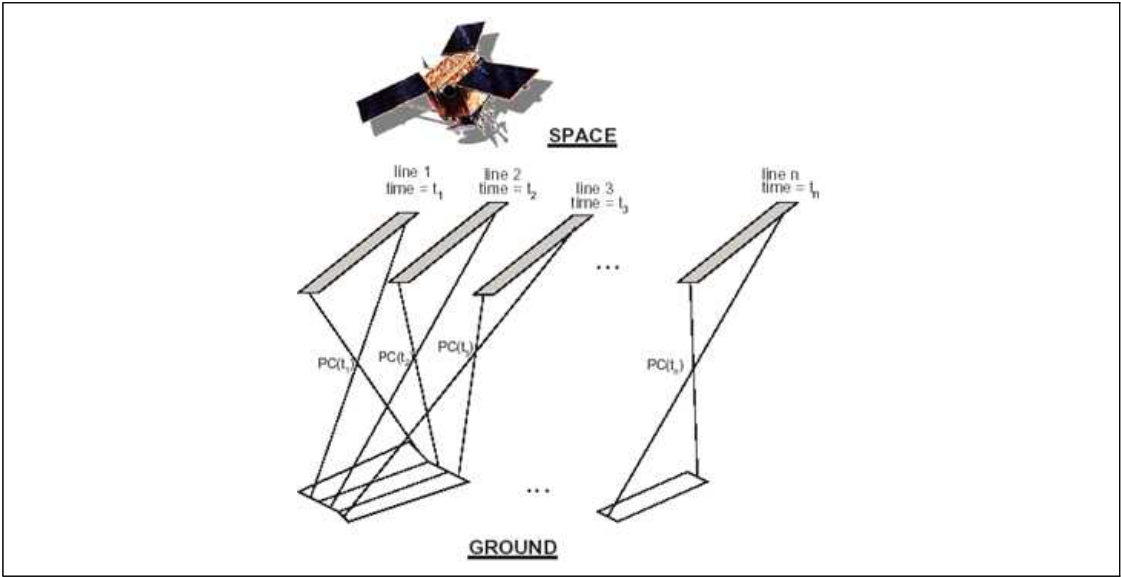
<표 2-4> 수치지형도 위치 정확도 기준

| 평면위치 | 표고 |
|--------------------------------|--------------------------------|
| - 1/1,000 : 표준편차 0.7m | - 1/1,000 : 주곡선간격의 1/3 |
| - 1/5,000 : RMSE 1.5m(최대 3.0m) | - 1/5,000 : RMSE 1.5m(최대 2.5m) |

자료: 국토지리정보원(2019)

2) 푸쉬부름 센서

푸쉬부름의 센서 모델링(physical sensor modelling)은 각 영상 라인별로 촬영 위치와 자세가 달라지게 되므로 영상 라인별로 이루어져야 한다.



자료: IKONOS stereo feature extraction-RPC approach(2021)

<그림 2-19> 위성 라인별 모델링

푸쉬부름 센서 모델링은 국토위성과 유사한 스펙을 보이는 아리랑 3호의 경우에 대하여 푸쉬부름 공선조건식을 아래와 같이 설명하였다. <식 2-3>은 지상의 한 점 X, Y, Z 에 대해 카메라 내 센서

면에서의 위치 x, y 를 구해내기 위한 비선형식이다. 주의할 점은 동일지역 촬영 시의 센서의 위치 및 자세가 달라짐에 따라 PAN과 MS의 촬영 시 위치가 다르므로, 식에 들어가는 외부표정요소가 달라진다.

$$\begin{bmatrix} -y \\ -x \\ f \end{bmatrix} = \frac{1}{k} M_{ECI}^{Body} M_{ECEF}^{ECI} \begin{bmatrix} X - X_S \\ Y - Y_S \\ Z - Z_S \end{bmatrix} \quad \langle 2-3 \rangle$$

여기서, X, Y, Z 는 ECEF 좌표 프레임에서의 관심 지점의 3차원 좌표, X_S, Y_S, Z_S 는 ECEF 좌표 프레임에서 위성의 3차원 위치를 나타낸다. x, y 는 지상 좌표 X, Y, Z 에 대응되는 바디 프레임(the body coordinate frame)에서의 좌표, f 는 초점거리, k 는 축척계수이다. M_{ECEF}^{ECI} 는 ECEF 좌표 프레임에서 ECI(the earth-centered inertial coordinate frame) 좌표 프레임으로의 회전행렬, M_{ECI}^{Body} 는 ECI 프레임에서 바디 프레임으로의 회전행렬이다. 여기서 위성의 위치와 회전행렬은 푸쉬부름의 특성상 각각의 영상 라인별로 다른 값을 지니게 된다.

계산된 x, y 과 영상좌표(행, 열)와의 변환을 위해서 <식 2-3>의 x, y 좌표와 CCD 센서의 열(sample) 좌표와의 관계는 <식 2-4>와 같이 2차식으로 모델링된 식을 사용한다.

$$\begin{aligned} x &= a_0 + a_1 \times s + a_2 \times s^2 \\ y &= b_0 + b_1 \times s + b_2 \times s^2 \end{aligned} \quad \langle 2-4 \rangle$$

여기서, $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ 는 CCD line alignment parameters, 그리고 s 는 열(column (sample) coordinate) 화소 좌표이다.

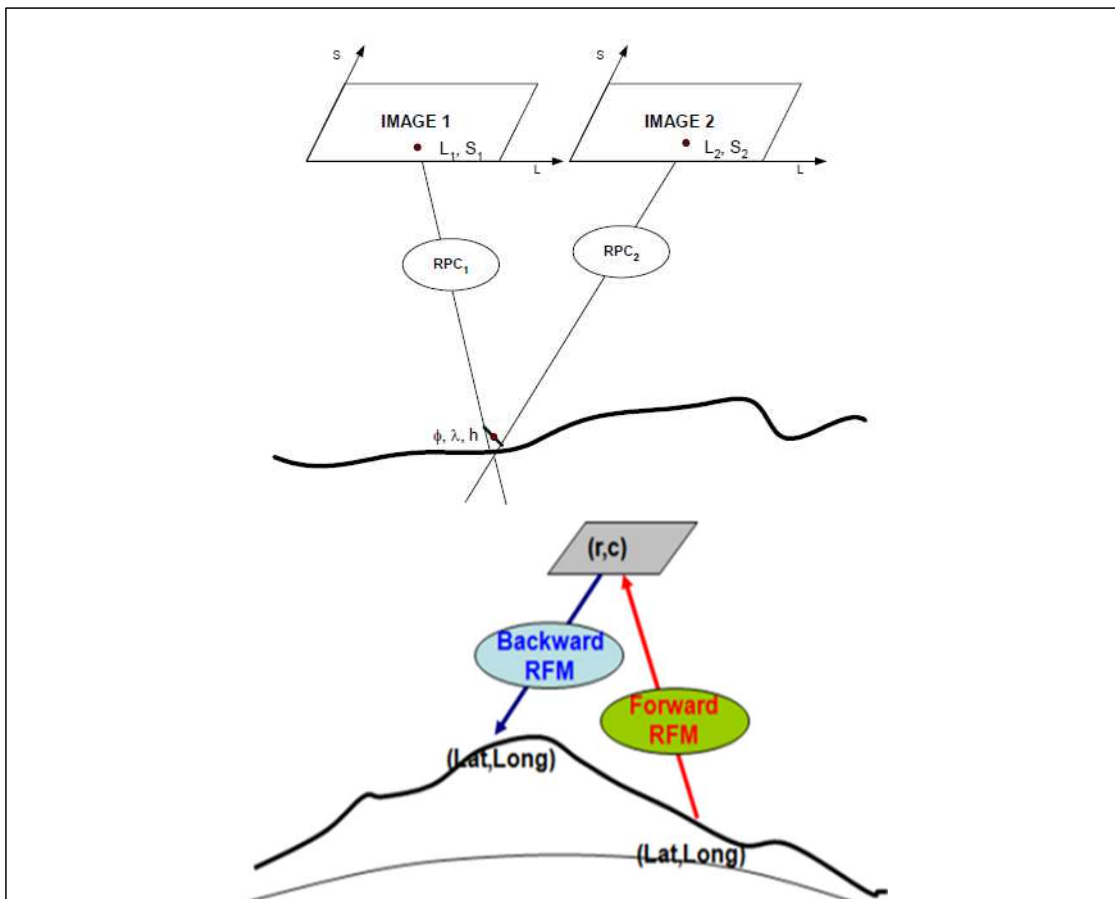
위성의 외부표정요소(위치 및 자세)는 오차를 포함하고 있으므로 정밀한 위성사진측량을 위해서는 지상기준점을 이용하여 이에 대한 보정을 진행해야 하는데, 일반적으로 위치 및 자세에 1차식, 2차식 등으로 이루어진 보정량을 적용하여 활용하게 된다. <식 2-5>의 경우 위치를 2차식으로 보정하고, roll, pitch는 1차식, yaw는 2차식으로 보정하는 경우를 나타내고 있다.

$$\begin{aligned}
X_{L_i} &= X_{L_0} + i \Delta X_{L_1} + i^2 \Delta X_{L_2} \\
Y_{L_i} &= Y_{L_0} + i \Delta Y_{L_1} + i^2 \Delta Y_{L_2} \\
Z_{L_i} &= Z_{L_0} + i \Delta Z_{L_1} + i^2 \Delta Z_{L_2} \\
\omega_i &= \omega_0 + i \Delta \omega_1 \\
\phi_i &= \phi_0 + i \Delta \phi_1 \\
\kappa_i &= \kappa_0 + i \Delta \kappa_1 + i^2 \Delta \kappa_2
\end{aligned}$$

<2-5>

위성 센서모델링의 경우 위성 ephemeris, alignment parameters, 회전행렬 구성 등에 대한 이해가 필수적이며, 위성별로 다른 값을 적용해야 하므로 활용의 어려움이 존재한다. 따라서 이를 보다 보편적 방법인 RFM(Rational Function Model)식을 생성하여 활용하게 된다.

Dial and Grodeck (2005)에 따르면 RFM 방법은 물리센서모델링(physical sensor modeling)에 비하여 정확도 손실이 없이 사진측량에 활용될 수 있음을 결론으로 제시하였다.



자료: Dial and Grodeck(2005)

<그림 2-20> Rational Function Model

RPC는 잘 알려진 RFM의 계수를 지칭한다. 기본적인 RFM은 지상좌표를 이용하여 영상 좌표를 계산하는 식이며, <식 2-6>의 형태를 지닌다 (Grodecki 2001; Dial and Grodecki. 2002). 지상좌표가 주어지면, 대응하는 영상 좌표가 계산될 수 있다. 이 식은 80개의 RPCs 계수로 이루어진 비선형식이다.

$$Y = \frac{a^T u}{b^T u}, X = \frac{c^T u}{d^T u} \quad \text{<2-6>}$$

여기서,

$$u = [1 \quad V \quad U \quad W \quad VU \quad VW \quad UW \quad V^2 \quad U^2 \quad W^2 \quad UVW \\ V^3 \quad VU^2 \quad VW^2 \quad V^2U \quad U^3 \quad UW^2 \quad V^2W \quad U^2W \quad W^3]^T$$

$$U = \frac{\phi - \phi_0}{\phi_s}, V = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_s}, W = \frac{h - h_0}{h_s}, Y = \frac{l - L_0}{L_s}, X = \frac{s - S_0}{S_s}$$

$$a = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_{20}]^T, b = [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_{20}]^T, c = [c_1 \ c_2 \ \dots \ c_{20}]^T, d = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_{20}]^T$$

여기서, X, Y 는 정규화된 영상 좌표, U, V, W 는 정규화된 지상좌표, ϕ, λ, h 지상점의 위도, 경도, 타원체고, l, s 영상좌표 중 행(line), 열(sample) 좌표, $\phi_0, \lambda_0, h_0, S_0, L_0$ offset 값(위도, 경도, 고도, 열, 행), 그리고 $\phi_s, \lambda_s, h_s, S_s, L_s$ 스케일 값(위도, 경도, 고도, 열, 행) 이다.

보정되기 전의 외부표정요소를 이용한 센서모델링을 통해 생성해낸 RPC는 오차 요소로 인해 위치 정확도가 높지 않으므로, 지상기준점을 이용하여 RPC를 보정하여 활용해야 한다. 이러한 작업을 RPC 오차보정 (Bias-compensation)이라고 하며, <식 2-7>을 이용한다. 이 식의 경우 3차 다항식으로 업데이트 되는 경우이며, 영상 전체의 이동량(shift)만 고려하는 경우 A_0, B_0 두개만 사용하며, Affine 변환식(Fraser and Hanley, 2005)의 경우 $A_0 - A_2$ 와 $B_0 - B_2$ 의 6개의 파라미터만을, 2차 다항식의 경우 A_5, B_5 까지 활용한다.

$$\begin{aligned} l' &= l + A_0 + A_1l + A_2s + A_3l^2 + A_4ls + A_5s^2 + A_6l^3 + A_7l^2s + A_8ls^2 + A_9s^3 \\ s' &= s + B_0 + B_1l + B_2s + B_3l^2 + B_4ls + B_5s^2 + B_6l^3 + B_7l^2s + B_8ls^2 + B_9s^3 \end{aligned} \quad \langle 2-7 \rangle$$

여기서, $A_0 - A_9, B_0 - B_9$ 는 다항식의 계수이며 원 RPC에 내재된 편위(shift), 증가량(drift) 및 왜곡량 등을 보정한다. l, s 는 원 RPC로부터 계산되는 영상좌표이며 l', s' 는 보정된 영상좌표이다.

위성 센서모델링을 위한 지상기준점의 배치와 정확도 기준은 별도로 규정되어 있지 않고, 국가 기본도 수정 제작을 위한 검사 기준으로 항공사진측량에 사용되는 기준점과 동일하게 적용하게 된다. 그러나 국외지역이나 해외 비접근 지역 등에 대해 구축의 활용도가 높은 위성의 특성상 1/5,000 등의 대축척 국가기본도가 아닌 경우 이러한 기준점의 요건은 적용 효용성이 높지 않으므로 이에 대한 추가 규정이 필요하다.

앞서 설명한 것과 같이 항공사진측량 작업규정에 따르면 1/5,000 수치지도의 표정 정확도 기준은 항공사진측량작업규정에는 디지털 사진을 기준으로 RMSE는 1화소, 최댓값은 2화소로 정해져 있다.

고해상도 위성영상의 경우 위성별로 제원이 다르고 안정성 또한 다르다. 또한 많은 중복 영상을 획득하여 처리하는 항공사진측량과는 다르게 일반적으로 두 장의 입체 영상을 활용하여 센서모델링을 수행하는 경우가 많아서 센서모델링의 정확도 또한 각 영상의 품질 및 대상지역의 특성에 크게 의존하게 된다. 그럼에도 불구하고 영상 전역에 걸쳐 고르게 분포된 지상기준점을 활용할 경우 1화소 이내의 정확도를 확보하는 경우가 일반적이다.

향후 우리나라에서 발사 운용 계획 중인 국토위성의 참조자료로 활용하기 위해 현재 전 세계적으로 널리 활용되고 있는 공간해상도 1m 이하 급 대표적 고해상도 위성영상들의 위치결정 정확도를 조사하였다. <표 2-6>은 현재 운영 중인 위성영상들의 주요제원과 기준점을 사용하지 않았을 때의 제공 센서모델에 의한 평면위치의 공칭정확도인 원형공산오차(CE90; Circular error at 90% probability)를 나타낸 것이다.

여기서, 우리나라의 다목적 실용위성 아리랑 3A의 CE90은 15m, 미국의 WV-3(WorldView-3), Geoeye-1와 프랑스의 Pleiades-1(A/B) CE90은 약 3m이고 21개의 소형위성으로 구성된 프레임 카메라 촬영방식인 SkySat-(1~21) CE90은 90m 정도로 해상도에 비해 매우 낮게 나타났다. 아리랑 3A 또한 푸쉬브room(pushbroom) 방식의 다른 위성들에 비해 공칭 정확도가 상대적으로 떨어진다는 것을 알 수 있다.

<표 2-5> 고해상도 위성영상 주요 제원

| | 아리랑 3A | WV-3 | Geoeye-1 | Pleiades-1 (A/B) | SkySat (1~21) |
|-----------------------|------------------------------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 관리국가 | 대한민국 | 미국 | 미국 | 프랑스 | 미국 |
| 발사년도 | 2015. 03. | 2014. 08. | 2008. 09. | 2011.12. /2012.12. | 2013.11. ~2020.08. |
| 촬영 폭 (Swath width) | 12km | 13km | 15km | 20km | 2km |
| 해상도 | Pan 0.6m / MS 2.2m / IR 5.5m | Pan 0.3m / MS 1.2m / SWIR 3.7 m | Pan 0.4m / MS 1.6m | Pan 0.5m / MS 2.0m | Pan 0.8m / MS 1.0m |
| 공칭 정확도 (CE90) | 15m | 3.5m | 3.5m | 3.0m | 90m |

자료: 저자 작성

<표 2-6>는 고해상도 위성영상들의 위치결정 정확도 실험 결과를 사용자별로 정리하여 나열한 것이다. 아리랑 3A의 경우 기준점을 사용하지 않고 제품 센서모델만 사용할 때 평면과 높이 정확도(RMSE)는 전반적으로 10m 내외의 결과를 보였다. 반면에 WV-3, Geoeye-1와 Pleiades-1(A/B)의 경우 무기준점일 때 3m 이내의 정확도 결과를 보였다.

기준점을 하나만 사용한 경우 아리랑 3A의 정확도는 8m 이내였으며, 동종의 센서를 가진 다른 위성들은 2m 이내의 결과를 보였다.

기준점을 하나 이상 사용한 경우에는 모든 위성들의 위치 정확도가 2m 이내였다. 특히, 아리랑 3A를 제외한 다른 동종 센서의 위성들은 기준점 하나만 사용하더라도 여러 점을 사용한 경우와의 정확도 차이가 거의 없음을 볼 수 있다(KARI, 2015; Oh et al., 2016; Erdenebaatar et al., 2017; DigitalGlobe, 2018; Barazzetti, et al., 2016; Vajsova et al., 2015; Meguro and Fraser, 2010; Choi et al., 2012; Zheng et al., 2018; Perko et al., 2019; Selim, 2018; Bhushan, et al., 2021).

<표 2-6> 고해상도 위성영상의 사용자별 실험 위치결정 정확도(RMSE; 단위: m)

| 위성 종류 | | 아리랑 3A | | | WV-3 | | | Geoeye-1 | | |
|-------|----|--------|------|------|------|-----|-----|----------|-----|-----|
| Tests | | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| GCP=0 | CE | < 10 | < 14 | < 11 | < 3 | < 3 | < 2 | < 2 | - | < 2 |
| | LE | - | < 10 | < 10 | < 2 | < 2 | - | < 2 | - | < 3 |
| GCP=1 | CE | - | < 8 | - | - | < 2 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |
| | LE | - | - | - | - | - | - | - | < 1 | < 1 |
| GCP>1 | CE | < 1 | < 1 | < 1 | - | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |
| | LE | - | < 1 | < 1 | - | - | - | - | < 1 | < 1 |

자료: 저자 작성

<표 2-7> 고해상도 위성영상의 사용자별 실험 위치결정 정확도(RMSE; 단위: m)

| 위성 종류 | | Pleiades-1(A/B) | | SkySat -(1~21) | |
|-------|----|-----------------|-----|-------------------|-----|
| Tests | | A | B | A | B |
| GCP=0 | CE | < 1 | - | < 10 | - |
| | LE | < 3 | | - | < 7 |
| GCP=1 | CE | - | < 1 | - | - |
| | LE | | < 2 | - | - |
| GCP>1 | CE | < 1 | < 1 | < 2 | - |
| | LE | < 2 | < 1 | - | < 2 |

자료: 저자 작성

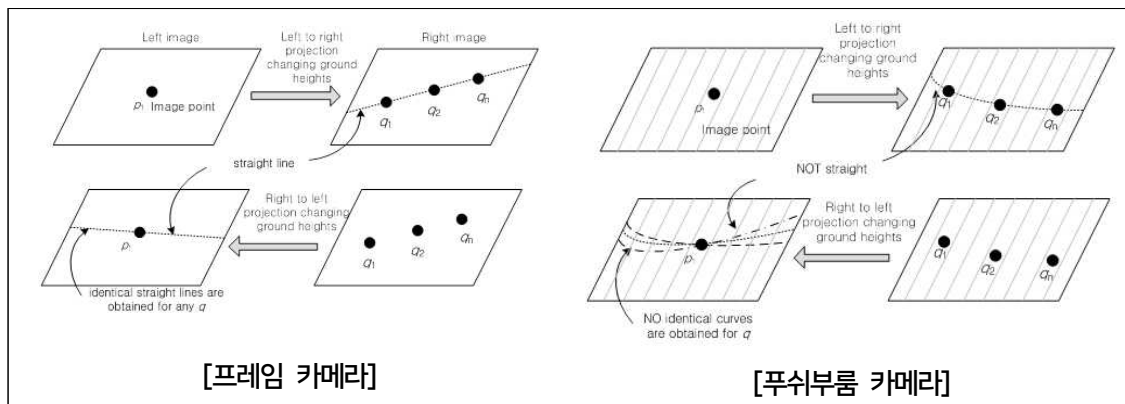
마. 입체영상 처리

중복 촬영된 항공사진 및 위성영상을 이용하여 입체도화기에서 도화하기 위해서는 입체도화가 가능한 영상으로 변환하여야 하며, 이렇게 변환한 영상을 입체영상 또는 에피폴라 영상이라고 한다.

항공사진의 프레임카메라, 위성의 푸쉬부름 카메라의 특성으로 인해 입체 영상 생성 및 처리에 큰 차이가 생기게 된다.

우선 큰 차이는 프레임 센서의 항공사진의 경우 공선조건식에 의해 좌/우 영상 전역에 걸쳐 직선 형태의 에피폴라선이 도출되지만, 위성 푸쉬부름 카메라의 경우 센서모델링을 수행하면 좌/우 영상에 쌍곡선 형태의 곡선 에피폴라 선형이 도출된다는 것이다. 두 번째로는 항공사진의 경우 양 영상에서의 에피폴라 선이 하나씩 도출되어 에피폴라선끼리 하나의 쌍을 이루게 되지만, 위성영상에서는 한 영상을 기준으로 다른쪽에 여러 개의 에피폴라 선형이 생성될 수 있어 문제가 있다.

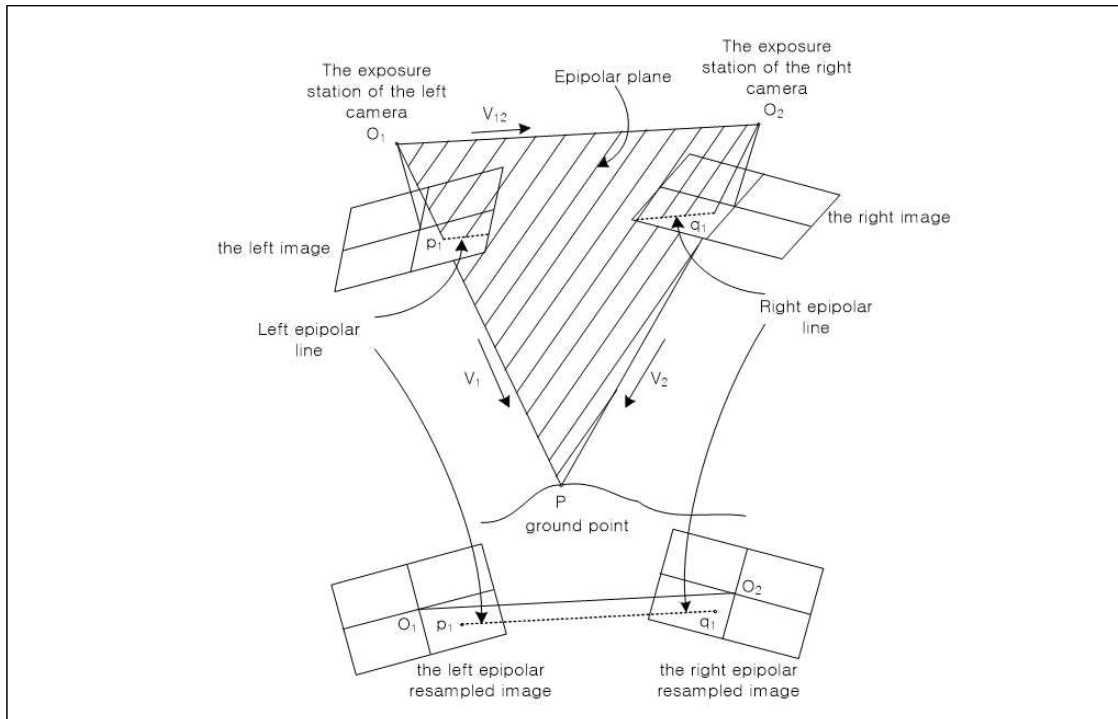
따라서 위성의 경우 이러한 문제점을 극복하기 위해 에피폴라 쌍이 존재 가능한 범위의 국소 영역에서만 에피폴라 쌍을 생성하고 이를 연속적으로 연결하여 영상 전역에 걸친 에피폴라 선형이 존재하도록 생성하여 활용한다(Oh, 2010).



자료: Oh(2010)

<그림 2-21> 에피폴라 선의 특성비교

앞서 중복 영상에서 쌍으로 도출된 에피폴라 선을 수평 방향으로 재배열하여 입체 영상을 생성하게 되는데, 항공사진의 경우 양쪽 영상에서 직선 형태의 에피폴라 선이 도출되므로 이를 수평방향으로 재배열하여 입체 영상을 생성할 수가 있다.



자료: Oh(2010)

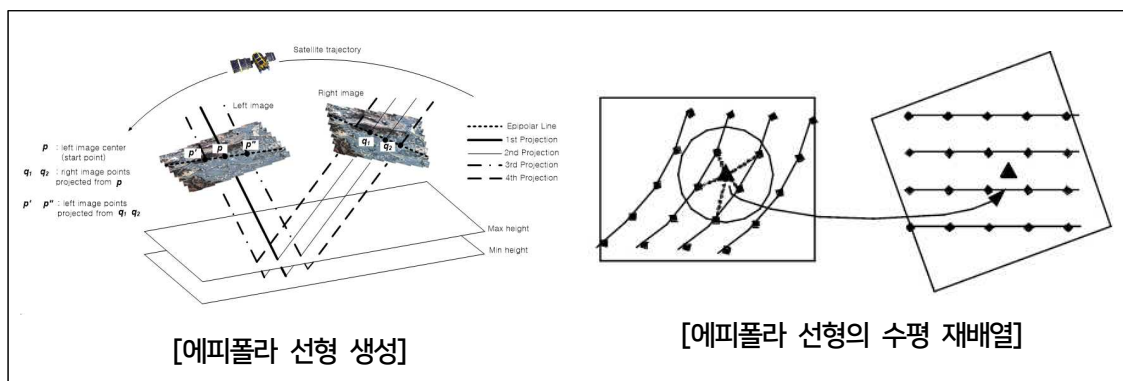
<그림 2-22> 항공사진 에피폴라 영상 생성



자료: 저자 작성

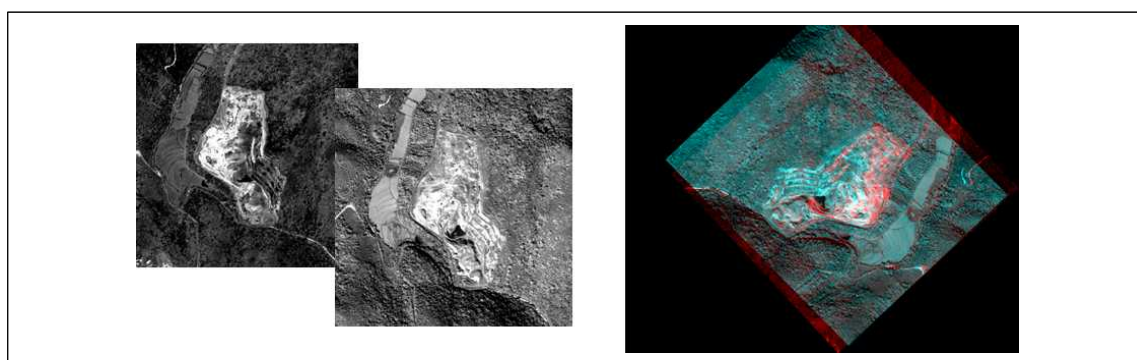
<그림 2-23> 항공사진 에피폴라 영상 생성의 예

위성의 경우에는 에피폴라 선형을 추출하였다 하더라도 직선 형태가 아니기 때문에, 곡선을 직선형태로 변환하기 위한 2차식이나 3차식을 활용하여 변환을 수행하게 된다.



자료: Oh(2010)

<그림 2-24> 위성영상 에피폴라 영상 생성



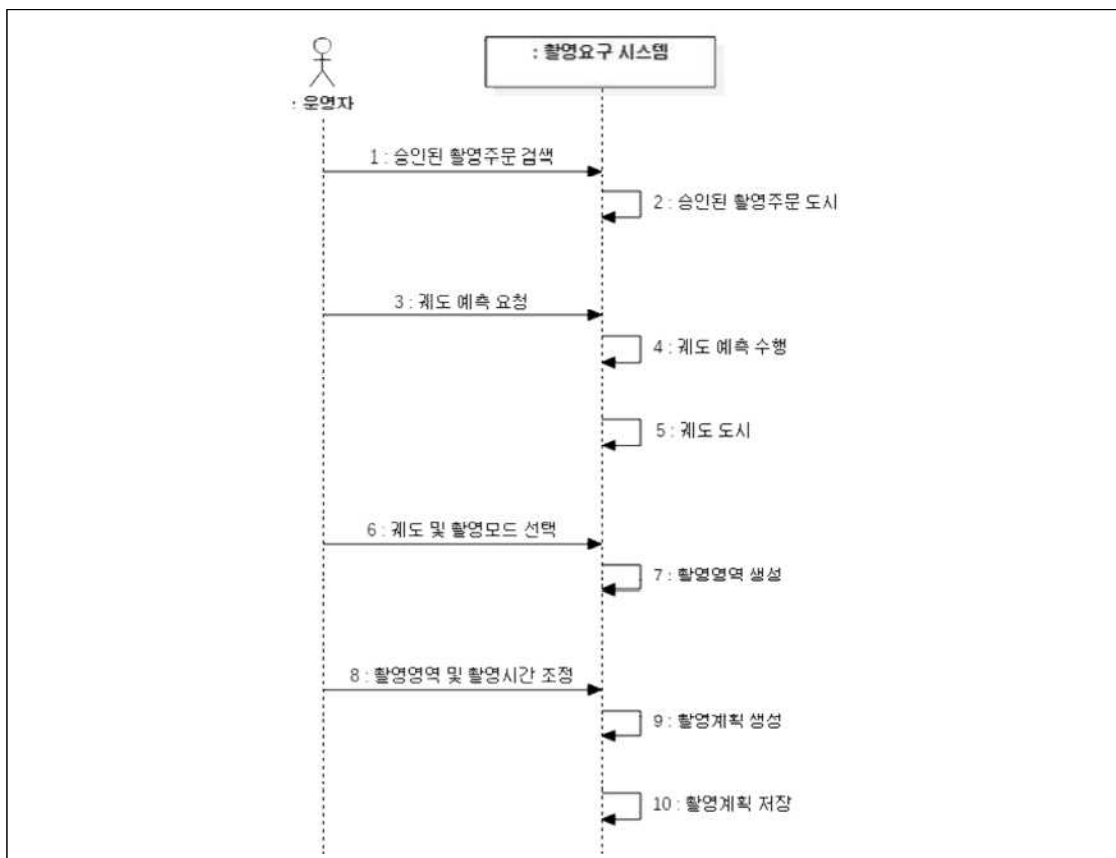
자료: 저자 작성

<그림 2-25> 위성영상 에피폴라 영상 생성의 예

2. 극지역 특수성에 기반한 위성영상 처리 및 공간정보 구축 방안

가. 영상 취득 방안

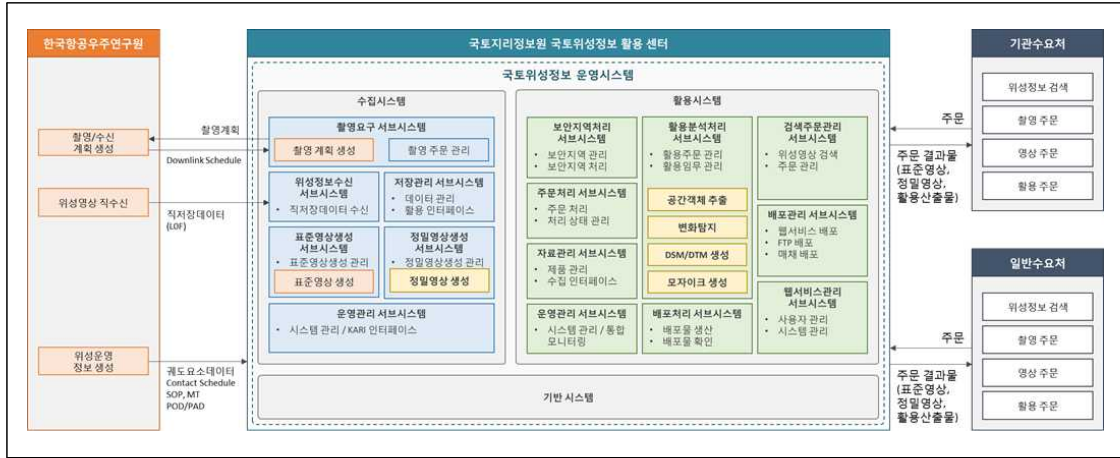
일반적인 위성 영상의 촬영 계획 수립은 촬영 계획 시스템에서 아래 그림과 같은 절차로 진행하게 된다. 촬영 희망 날짜를 선택 후 해당 날짜에 대한 위성의 궤도를 예측하게 되고, 선택된 궤도에 대해 촬영 방식을 선택하게 되면 촬영 가능 영역의 연산이 진행된다. 해당 촬영 영역 및 촬영 시간을 선택하고 촬영 계획을 생성하게 된다.



자료: 국토지리정보원(국토위성정보의 수집·활용시스템 기본설계 및 활용 기초기술 개발)(2018)

<그림 2-26> 일반적 위성 영상 촬영 계획 수립 절차

국토위성의 영상 취득은 국토지리정보원 국토위성정보 활용센터에서 촬영 계획을 수립 후, 항공우주연구원에 촬영계획을 전달하면 촬영 및 수신을 진행하고 이 결과를 다운로드를 통해 센터로 전달하는 구조로 되어 있다.



자료: 국토위성정보 활용기술 및 운영시스템 개발:성과 및 의의(2021)

<그림 2-27> 국토위성정보 센터와 외부기관과의 연계

<그림 2-28>은 국토위성센터에서 구축한 촬영 요구 서버 시스템이다. 촬영요구, 촬영계획 워크스테이션으로 구성되어 있다.

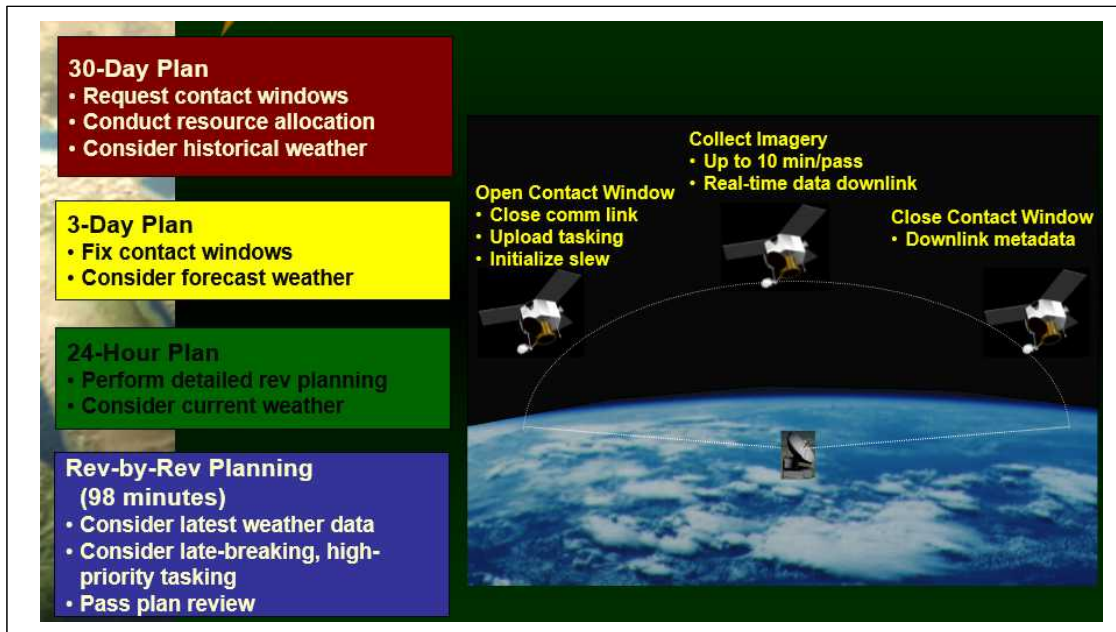


자료: 국토지리정보원(2021)

<그림 2-28> 국토위성정보 운영 시스템 내 촬영요구 서버시스템

영상 촬영 계획은 <그림 2-29>와 같이 30일, 3일, 24시간, 촬영 직전 등으로 장기에서 단기로

획득 계획을 세워 운용할 수도 있는데, 장기 계획일 경우 누적된 기상정보를 바탕으로 자원할당을 미리 수행해두는 것이며, 3일 정도의 단기에 임박해서는 기상예보치 등을 고려하여 수정 보완한다. 또한 24시간 전에는 현재 기상정보를 바탕으로 최종 계획을 수립하는 형태로 진행된다.



자료: DigitalGlobe(2021)

<그림 2-29> 장기-단기 영상획득 계획 수립

국토위성 영상 활용을 위해 사전적으로 취득 전 단계에서 고려해야 할 요소는 대상지의 구름 등 기상정보, 영상의 해상도 등이 있으며 아래와 같이 정리할 수 있겠다. 우선 촬영하고자 하는 대상지의 영역 범위를 설정하되, 궤도를 고려한 해당 촬영 시간을 설정하는데 촬영 시간이 설정되면 태양각이 예측된다. 다음으로 태양각을 고려하여 위성 촬영각을 계획을 수립하게 된다. 위성 촬영각의 경우 태양각과의 관계, 원하는 지상해상도 범위 등을 포괄적으로 고려하여 선택한다. 최종적으로 해당 지역의 구름, 대기 등 기상 상태가 괜찮으면, 촬영을 진행하게 된다.

만약 3차원 지도제작 등을 위한 입체 영상을 촬영하기 위해서는 두 입체 영상 간의 관계도 고려해야 한다. 또한 촬영의 긴급순위가 있을 경우 이에 대한 고려가 필요하다.

1. 대상지 영역 범위
2. 촬영 시간
3. 위성 촬영각과 태양각(고도각, 방위각), 그리고 그림자
4. 지상해상도(GSD: Ground Sample Distance)
5. 허용 구름량 (Acceptable Cloud cover)
6. 지형지물
7. 촬영 모드 (스테레오, 단영상 등)
8. 촬영 긴급 순위

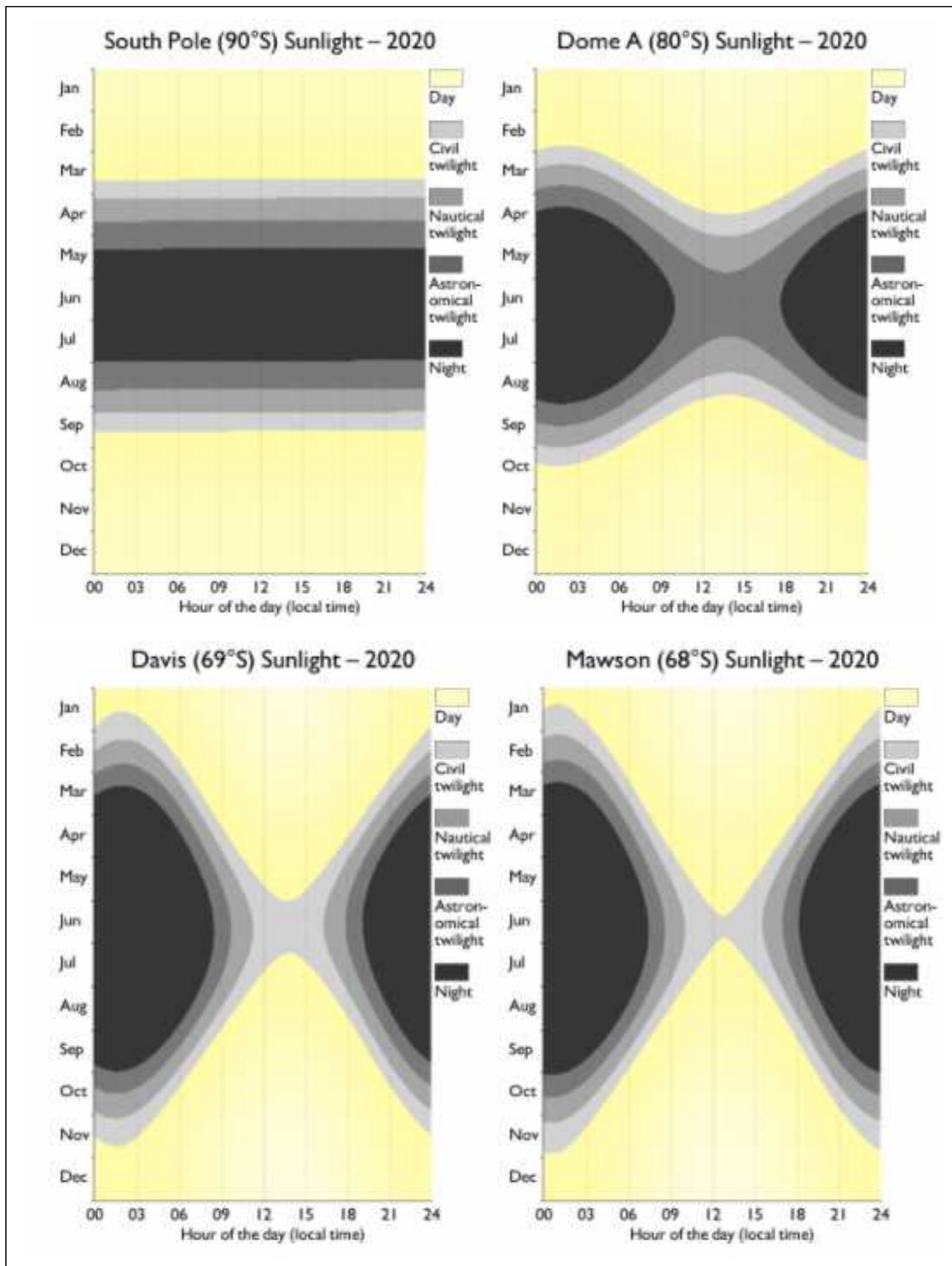
□ 대상지 위치 및 촬영 시간

대상지의 위치와 관련해서 전 세계에서 위치한 관심 대상지의 좌표를 획득하는 것은 과거에 비해 편리해졌다. 최근에는 구글 어스(Google Earth)나, OpenStreetMap등 무료 웹서비스에서 관심지에 대한 좌표를 획득할 수 있기 때문이다.

정해진 궤도를 여행하는 위성의 특성 상 대상지 영역의 위치 관계에 따라 촬영 시간대가 달라질 수가 있다. 북반부 중반영역에 위치한 우리나라의 경우 4계절 모두 촬영이 가능하나 촬영 시간대는 대략 오후 1시 주변으로 촬영하게 된다. 그러나 극지역 촬영의 경우 계절에 영향을 받게 된다. 아래 그림은 남극 지역의 경우를 나타낸 것으로서, 남위 90도 지역의 경우 3월에서 10월 사이는 극야¹⁾ 기간으로서 광원이 부족해져 촬영이 어렵게 된다.

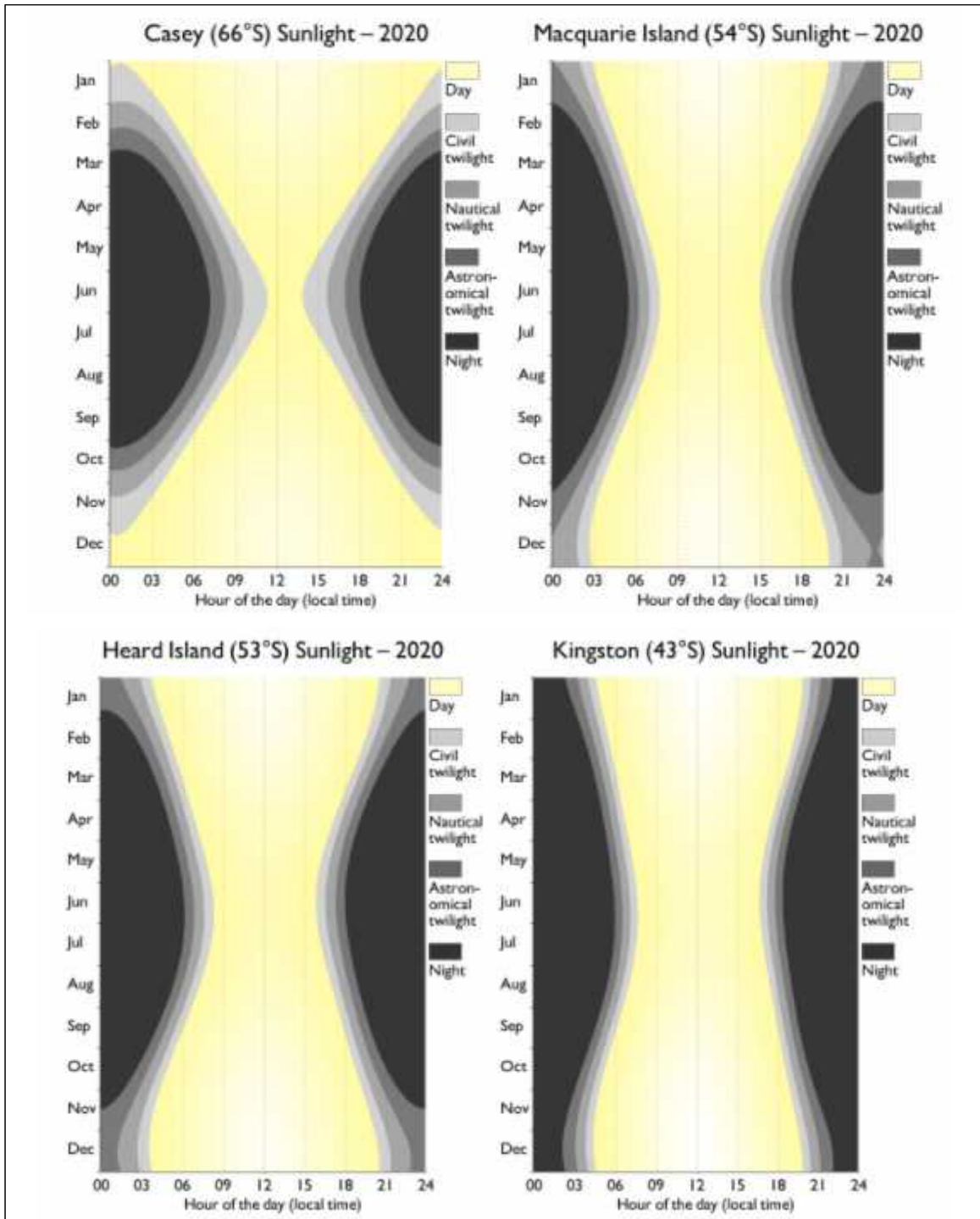
그러나 위도가 작아질수록 낮 시간이 길어지며 남위 66도 부근부터는 12시 부근에 촬영이 가능한 시간대가 관측된다. 그림에서 Civil twilight는 일출 전, 일몰 후 발생하는 황혼을 말하며, 보통 가장 밝은 별이 관측되며, 날씨가 좋으면 지상의 물체가 관측 가능하다. 참고로 일출, 일몰 기준은 태양 중심이 지평선 이하 6도 가량일 때로 본다.

1) 고위도 지역에서 겨울철에 길게는 6개월간 해가지지 않고 밤만 계속되는 현상



자료: Australian Antarctic Data Centre(2021)

<그림 2-30> 남극지역의 위도에 따른 낮의 길이-1



자료: Australian Antarctic Data Centre(2021)

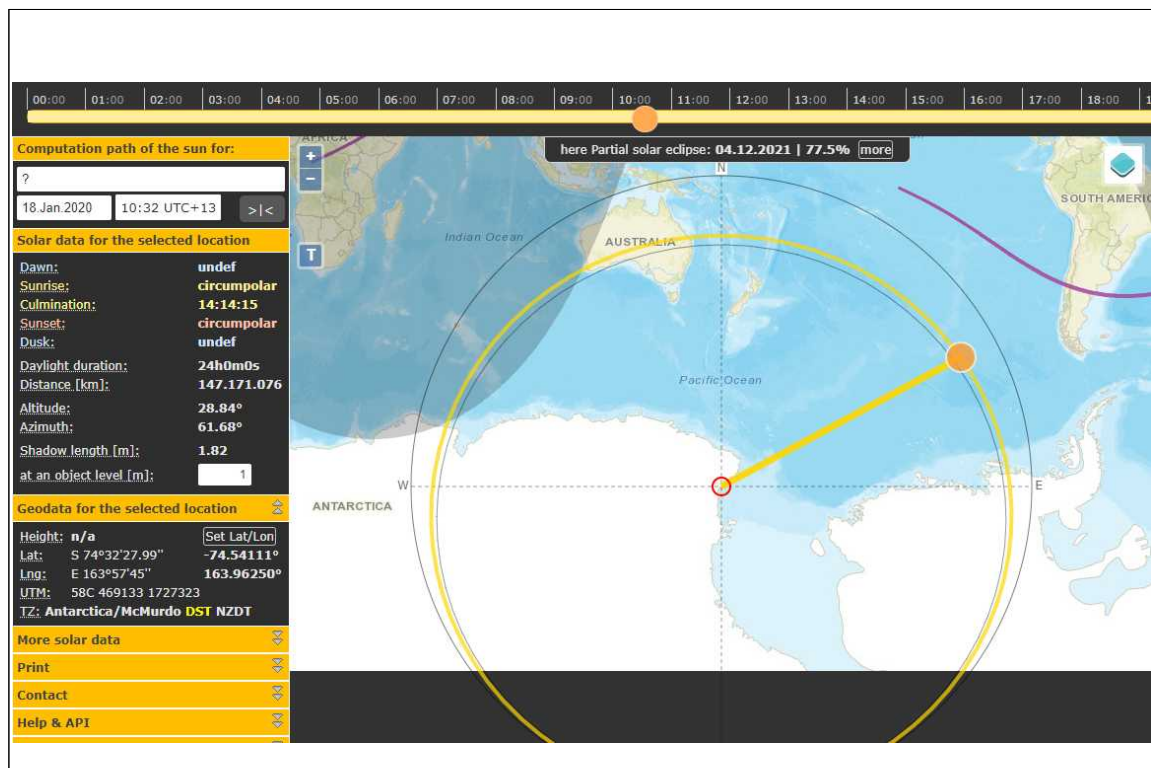
<그림 2-31> 남극지역의 위도에 따른 낮의 길이-2

□ 위성 촬영각, 태양각, 그림자

다음으로 촬영각, 태양 방위각 고도각, 그리고 그림자에 대한 고려 요소를 살펴보도록 한다.

태양은 영상의 빛의 근원이 되는 광원으로서 위성 카메라의 촬영 위치, 각도에 따라 영상의 품질에 큰 영향을 미친다. 특히 태양 고도각이 중요한데, 태양 고도각이 낮을 경우 그림자가 커져서 영상 품질 저하를 크게 유발시키기 때문이다.

태양 고도각은 대상지 좌표와 시간을 이용하여 예측 가능하며, 여러 인터넷 사이트(예, suncalc.org 등)에서도 예측 가능하다. <그림 2-32>은 장보고과학기지 부근에 대해 2020년 1월 촬영 시간에 대한 태양고도각을 도출해본 예이며, 본 예에서는 28.84도로 예측되었다.



자료: 저자 작성 (사이트: suncalc.org)

<그림 2-32> 태양고도각 예측

촬영 시 태양의 방위각/고도각과 위성의 촬영각과의 관계는 반사각 SPEC과 CATS 각도로 나타낼 수가 있다.

먼저 SPEC(or Bidec) 각은 위성의 촬영방향과 태양 빛이 타겟에 반사 후 지나가는 방향과의 차이로 정의되며 0에 가까울수록 반사되는 빛이 그대로 영상에 수신된다. 따라서 반사도가 높은 유

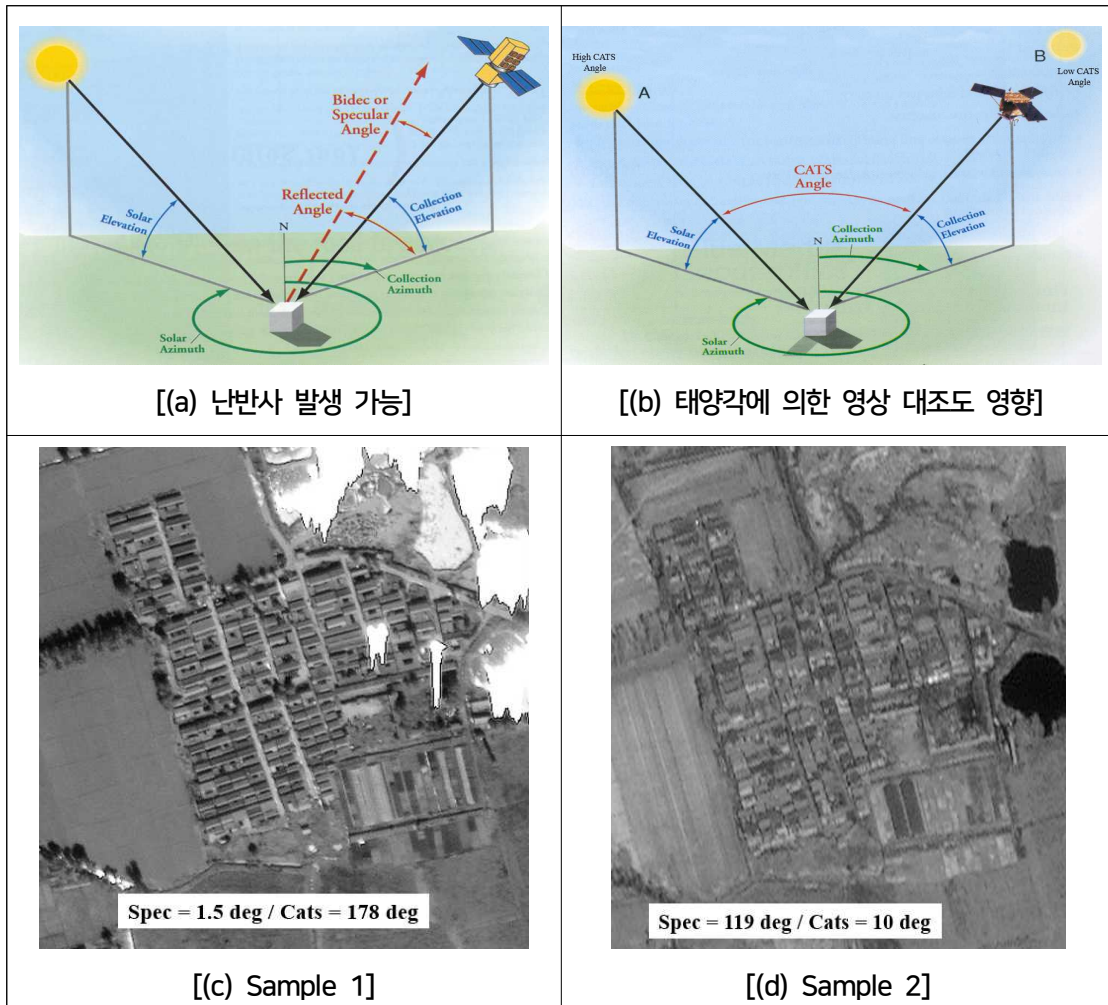
리, 수면 등이 있을 경우 난반사 영상이 그대로 영상화되어 영상의 품질 저하가 생긴다. <그림 2-33>에서 (a)의 경우 낮은 SPEC 각의 위치를 나타내며, (c)의 경우 SPEC 각도 1.5도 이하 품질이 낮아진 영상 샘플을 보여주고 있다.

$$SPEC = \cos^{-1}(\sin(E_{sun})\sin(E_{sat}) - \cos(E_{sun})\cos(E_{sat})\cos(Az_{sun} - Az_{sat}))$$

CATS각은 태양과 위성과의 사이각을 나타내며, 위성이 태양을 마주보고 있을 경우 높은 CATS각을, 태양을 등지고 있을 경우 낮은 CATS각을 갖게 된다. 태양을 완전히 등지고 있을 경우 CATS가 0에 가깝게 되며 태양 빛의 후방반사의 양이 적어 영상의 대조도가 저하될 수가 있다. <그림 2-33>에서 (b)의 경우 두 가지 경우의 CATS각을 보여주고 있다. 태양이 A위치의 경우 높은 CATS각을 보이고 높은 대조도의 영상을 확보 가능하며 (진한 그림자), 태양이 B위치의 경우 낮은 CATS각을 보이고 상대적으로 낮은 대조도 영상의 확보가 된다. (얇은 그림자).

$$CATS = \cos^{-1}(\sin(E_{sun})\sin(E_{sat}) + \cos(E_{sun})\cos(E_{sat})\cos(Az_{sun} - Az_{sat}))$$

결론적으로 일반적으로 태양을 등지고 촬영하는 것이 난반사의 영향을 줄일 수 있고, 그림자가 사물의 뒤로 배치되기 때문에 그림자에 의한 영향을 최소화할 수가 있어 영상 품질 확보에 도움이 된다. 그러나 CATS각을 5도 이하로 설정하는 것은 대조도가 낮아지므로 피하는 것이 좋다.



자료: DigitalGlobe(2021)

<그림 2-33> 태양 방위각/고도각과 촬영각과의 관계

□ 경사각과 지상 해상도

앞서 촬영각에 대하여 기술하였는데, 촬영각은 획득된 영상의 지상 공간 해상도와도 관련이 있다. 촬영각 중 경사각(수직선과 영상촬영방향(LOS: Line of Sight)와의 각)을 증가시킬 경우 촬영 면적은 넓어질 수 있으나, 그에 따라 해상도는 낮아지게 된다. 예로 IKONOS의 경우 경사각의 증가 시 해상도의 저하는 <그림 2-34>와 같다. 따라서 촬영 계획 시 과도한 경사각으로 인한 해상도 저하를 발생시키지 않도록 해야 한다.

GSD 계산식은 지구곡률 고려 여부에 따라 두 가지 식으로 나뉠 수 있다. 지구 곡률을 고려하지 않은 경우 <식 2-8>을 사용한다.

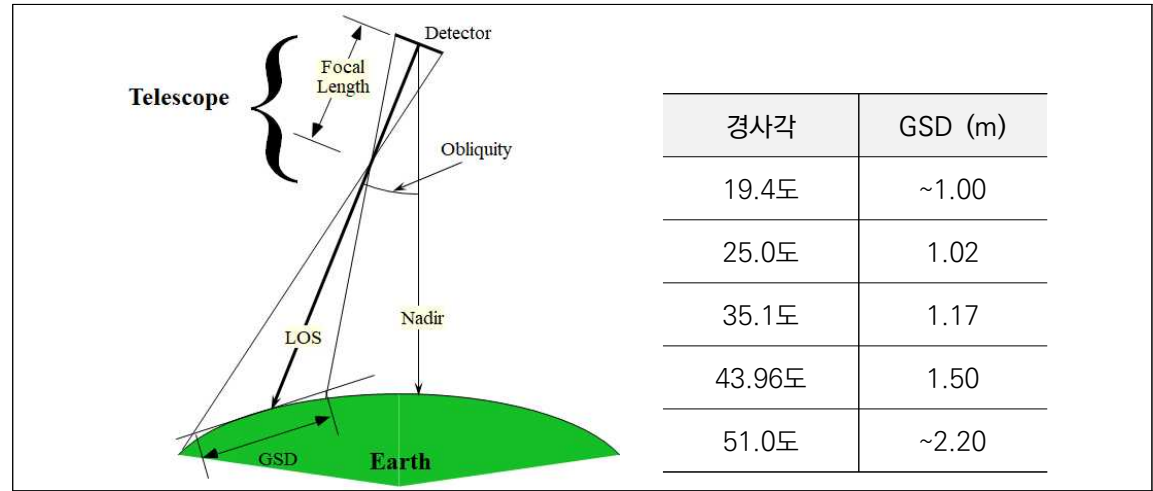
$$GSD = h_{sat} \tan(\alpha + IFOV) - h_{sat} \tan(\alpha) \quad <2-8>$$

여기서, h_{sat} 은 위성의 고도(km), α 는 위성으로부터의 경사각, IFOV는 Instantaneous Field of View로서 순간 시야각이다.

지구 곡률을 고려한 경우 <식 2-9>을 사용한다.

$$GSD_c = R_E \left[\frac{\left(1 + \frac{h_{sat}}{R_E}\right) \cos(\alpha)}{\sqrt{1 - \left(1 + \frac{h_{sat}}{R_E}\right)^2 \sin^2(\alpha)}} - 1 \right] IFOV \quad <2-9>$$

여기서, $R_E = 6367.45km$



자료: IKONOS(2021)

<그림 2-34> 경사각의 증가에 따른 해상도 저하 (IKONOS 영상의 경우)

| Global viewing angle from satellite $\alpha(^{\circ})$ | PAN GSD (m) | MS GSD (m) | SWATH (km) width | PAN GSD _c (m) | MS GSD _c (m) | SWATH _c (km) width | GSD _c -GSD (m) | GSD Error (%) |
|--|---|------------|------------------|---|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------|
| <i>Please refer to part C.4.1 for more details</i> | <i>Without taking into the rotundity of the Earth</i> | | | <i>Taking into the rotundity of the Earth</i> | | | | |
| 0 | 2.19 | 8.77 | 84.6212 | 2.19 | 8.77 | 84.6212 | 0.00 | 0.00% |
| 5 | 2.21 | 8.83 | 85.2689 | 2.21 | 8.85 | 85.3804 | 0.00 | 0.13% |
| 10 | 2.26 | 9.04 | 87.2522 | 2.27 | 9.09 | 87.7179 | 0.01 | 0.53% |
| 15 | 2.35 | 9.40 | 90.6968 | 2.38 | 9.51 | 91.8237 | 0.03 | 1.23% |
| 20 | 2.48 | 9.93 | 95.8314 | 2.54 | 10.16 | 98.0547 | 0.06 | 2.27% |
| 25 | 2.67 | 10.67 | 103.022 | 2.77 | 11.09 | 107.012 | 0.10 | 3.73% |
| 30 | 2.92 | 11.69 | 112.828 | 3.10 | 12.40 | 119.687 | 0.18 | 5.73% |
| 35 | 3.27 | 13.07 | 126.11 | 3.57 | 14.27 | 137.763 | 0.30 | 8.46% |
| 40 | 3.74 | 14.94 | 144.202 | 4.25 | 17.02 | 164.256 | 0.52 | 12.21% |
| 45 | 4.38 | 17.53 | 169.243 | 5.31 | 21.25 | 205.067 | 0.93 | 17.47% |
| 50 | 5.30 | 21.22 | 204.807 | 7.08 | 28.33 | 273.45 | 1.78 | 25.10% |

자료: ASTRIUM(2021)

<그림 2-35> 경사각의 증가에 따른 해상도 저하 (SPOT 영상의 경우)

□ 기상(허용 구름량 등)

기상 정보는 대기의 상태를 결정하기 때문에 촬영되는 광학 위성영상의 품질에 결정적 영향을 미친다. 따라서 기상정보를 고려하여 촬영계획을 수립하기 위해서는 기상서비스 등을 활용해야 하는데 관련한 기상 서비스는 아주 많이 존재한다. 국내의 경우 기상청에서 각 지역별 기온, 최고저기온, 상대습도, 풍향, 풍속, 하늘 상태, 강수확률, 강수량 등을 제공하며, 해외 기상서비스 중 일부를 아래와 같이 조사하였다.

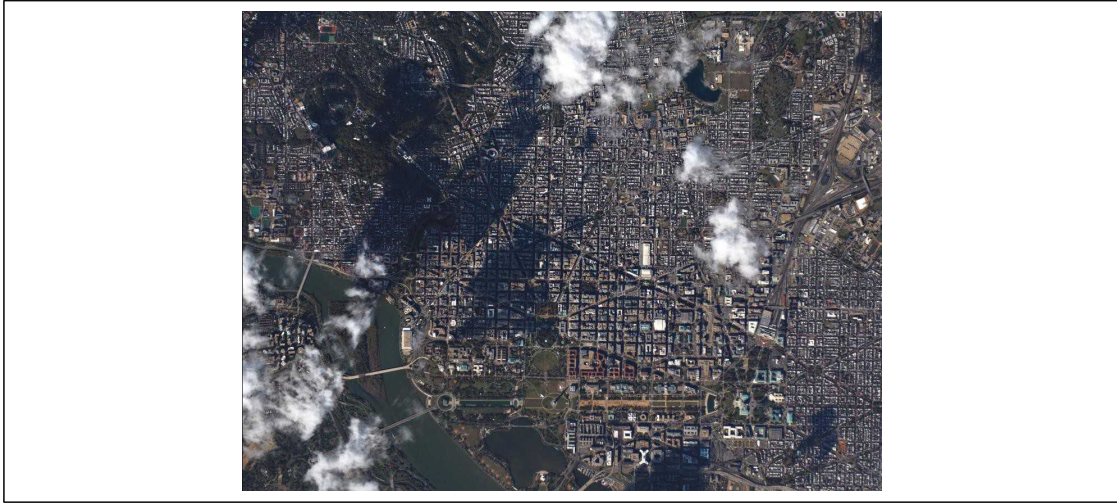
<표 2-8> 해외 기상서비스 기관

| 미국 | 유럽 | 일본 |
|--|--------------------------|--------------------------------|
| National Weather Service (NOAA) | MeteoGroup (영국) | SBS (SHIMADZU Business System) |
| Accu Weather | Met Office(영국) | LBW (Life Business Weather) |
| The Weather Company | Timeanddate (노르웨이) | Weather map |
| My weather2 | Centro Epon Meteo (이탈리아) | HALEX (Happy Life Expert) |
| Atmospheric and Environmental Research | 3BMeteo (이탈리아) | WS (Weather Service) |
| Alert Weather Services, Inc. | Hermess (네덜란드) | |
| Automated Weather Source | Fugro (네덜란드) | |
| Baron Services | Previmeteo SAS (프랑스) | |
| ClimaData Corp. | Wetteronline (독일) | |
| Climatological Consulting Corporation | | |
| Custom Weather, Inc | | |
| Day Weather Inc. | | |
| Marine Weather Center | | |
| Meteorological Solutions Inc. | | |
| The Weather Channel | | |

자료: 저자 작성

특히 위성영상 촬영 시 품질에 큰 영향을 미치는 요소는 구름량이다. 일반적으로 촬영 시에 전체 영상 면적 기준 15% 이하의 경우 허용 가능한 구름량으로 판단하나, 실제 영상 판독 시 15%만 되어도 상당량의 구름량으로 인식되기 때문에 실제로는 거의 0%에 가까운 영상만을 선호하게 된다.

따라서 실시간 기상 정보 서비스를 구독 등을 통해 그리드 형태로 된 구름 현황 및 예측치를 바탕으로 촬영 여부를 결정해야 한다. 기상 서비스, 기상 위성 등을 통해 큰 구름이 관측되지 않아 촬영을 진행하더라도 국소적으로 존재하는 소규모 구름으로 인해 품질 저하가 발생하는 경우가 많아 최종 촬영 전까지 정밀도가 높은 구름 정보를 기반으로 촬영을 진행하는 것이 필요하다. 참고로 최근에는 딥러닝 등을 통해 구름을 탐지하여 제거하기 위한 Cloudless와 같은 오픈소스 코드에 대한 연구 또한 진행 중이다.



자료: WorldView(2021)

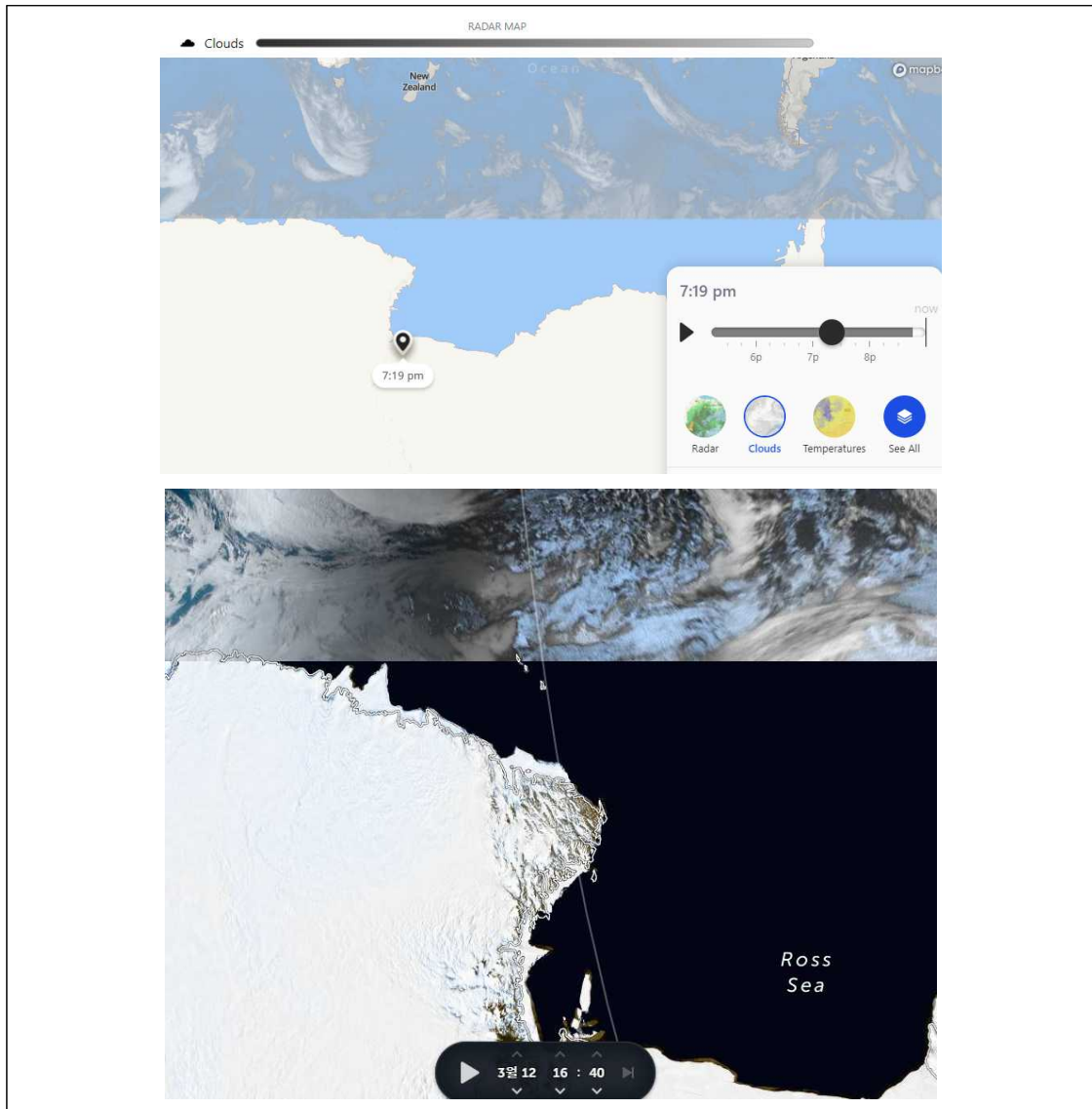
<그림 2-36> 국부적으로 존재하는 구름으로 인한 영상 품질 저하

극지역은 건조기후로서 위성 영상 촬영에 큰 방해가 되는 구름이 많지는 않으나, 해안가의 경우 수증기 및 저기압의 영향이 발생하여 안개 등이 많이 발생할 수 있다. 남극 전체 평균으로 보면 약 1년에 150mm의 강설량을 보이나, 해안가의 경우 200~1000mm 가량으로 상승한다.

극지역의 경우 저기압의 영향으로 시속 100~200km 가량의 바람이 불게 되는데, 눈이 많이 날리게 되고, 눈보라 등이 발생할 경우 1시간씩 지속되어 시야를 100m 이하로 제한시키는 경우가 종종 발생한다.

극지역의 경우에도 기상 예측 정보를 활용하여야 하는데, 극지방은 기상 정보 제공이 제한적인 경우가 많다. <그림 2-37>의 경우 기상 채널인 Zoom Earth 사이트에서 남극 로스해에 대한 Cloud 예측정보 서비스가 되고 있지 않음을 보여준다.

이와 같이 로컬 기상이 중요하나 관련 기상 정보 획득이 제한되기 때문에 세종과학기지나 장보고과학기지 근처의 경우 해당 기지의 도움을 받는 등의 방법을 통해 기상 정보의 부재를 보완하는 것도 필요하다.



자료: Zoom Earth(2021)

<그림 2-37> 극지역 구름량 예측 서비스 제한

입체 영상은 취득된 품질에 따라 관심 대상물의 3차원 위치 좌표의 정밀도, 판독성 등에 대한 차이가 많이 발생하게 되므로 두 영상 간의 상대적인 기하를 우선 고려해야 하나, 앞서 기술한 촬영 각, 태양 방위각 고도각, 그리고 그림자와의 관계 또한 같이 고려해야 한다.

두 영상 간의 상대적 기하를 보다 자세히 살펴보기로 하자. 항공사진과의 차별성에 이미 기술한 것과 같이 입체 촬영각은 지상 좌표 정확도 품질에 영향을 미치므로 촬영 시 중요하게 고려해야 하는 요소이다. 다시 요약하면, 수렴각(Convergence angle)은 일반적으로 30도 이상으로 크게 잡는 것이 좋으나 40~50도를 넘어갈 경우 기복 변위가 많이 발생하여 입체 영상 간의 이질성이 증가

되기 시작하고 또한 폐색으로 인한 주변 지형지물의 가림 현상이 커지게 된다. 더욱이 경사각이 증가(고도각 감소)되기 때문에 이에 따른 해상도의 저하가 발생하게 되므로 주의해야 한다. BIE와 Asymmetry(비대칭각)의 경우 주로 수평 방향의 정밀도에 영향을 주므로 BIE는 70도 이상이 좋고(이상적으로는 90도), Asymmetry는 10도 이하가 좋다.

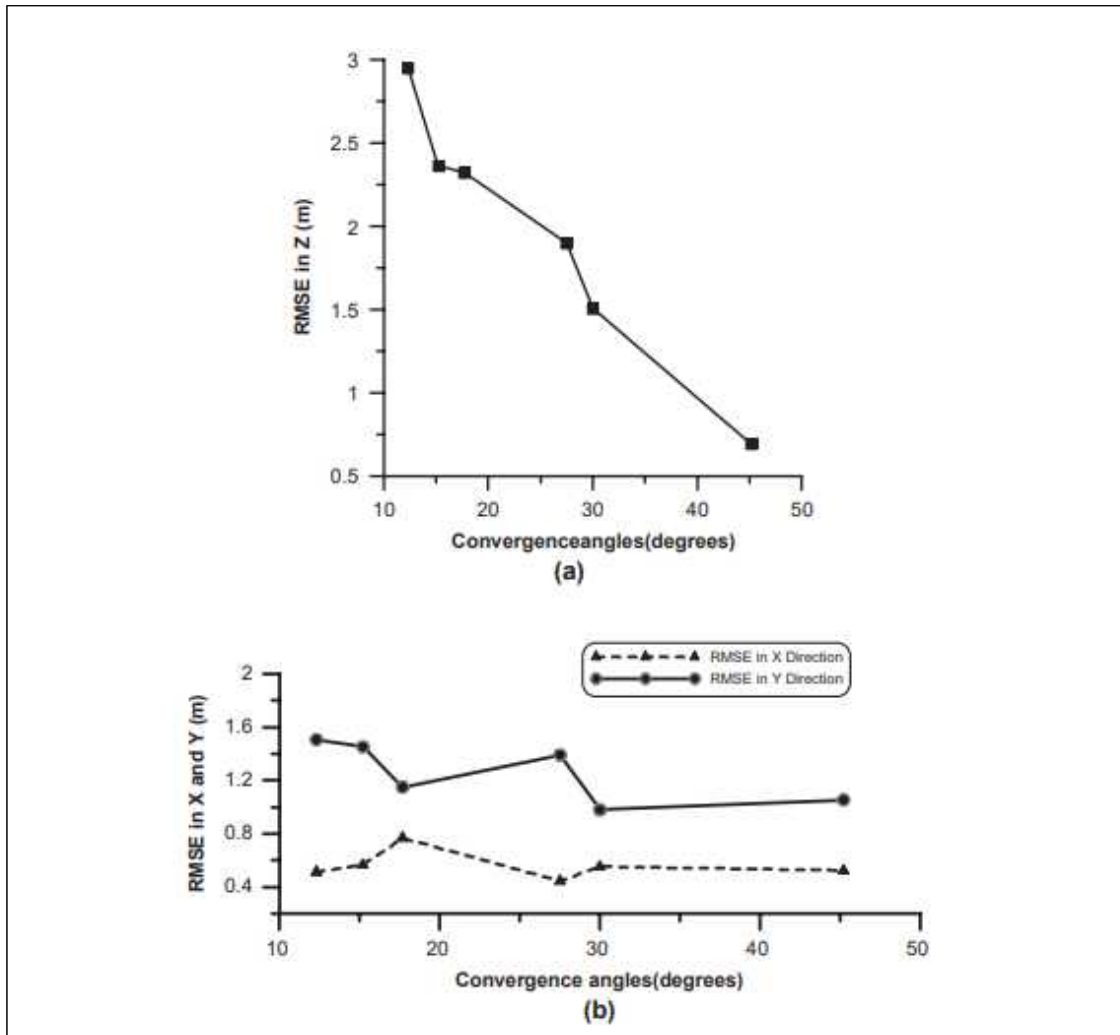
WorldView 데이터의 입체 데이터 기본제원에 대한 경우를 아래 그림에서 살펴볼 수 있다. 수렴각을 30~60도 범위, BIE 각을 60~90도, 비대칭각을 20도 이하를 표준으로 규정하고 있음을 알 수 있다.

| View-Ready Stereo (OR2A) Imagery Products | |
|--|---|
| Digital Scaling Method (applies to 8-bit only) | Linear with a maximum value set to 255 |
| Resampling Option | 4x4 Cubic Convolution, Nearest Neighbor, MTF kernel, Enhanced kernel, Pan-sharpening |
| Dynamic Range Adjustment (DRA) Option | Color correction and contrast enhancement (8-bit only) |
| Atmospheric Compensation (AComp) | Physically based normalization of the image values |
| Output Tile Size Options | None; 8k x 8k pixels; 14k x 14k; 16k x 16k pixels; Map-based |
| Output Pixel Spacing | Panchromatic: 30 cm, 40 cm, 50 cm or 60 cm Pan-sharpened: 30 cm, 40 cm, 50 cm or 60 cm Multispectral: 2.0 m |
| Output Alignment | Rotated to Map North Up |
| Cloud Cover | 0-15% Default, other options available upon request |
| Map Projections | Geographic (Lat/Lon), UTM |
| Ellipsoids and Datums | NAD27, NAD83, WGS84 |
| Convergence Angle | 30 - 60 |
| Bisector Elevation Angle (BIE) | 60 - 90 |
| Asymmetry | < 20 degrees |

자료: WorldView(2021)

<그림 2-38> WorldView View-Ready Stereo 기본 제원

수렴각에 대해 보다 자세히 살펴보면, 수직방향의 정확도에 큰 영향을 주게 되는데, 시뮬레이션이 아닌 실제 위성 데이터를 활용한 실험의 경우에 대해 수렴각에 따른 정확도 결과를 아래 그림에서 참고할 수 있다. 수직 정확도의 경우 수렴각이 증가함에 따라 증가하나, 수평 정확도는 약간의 증가가 있으나 수직과 같은 큰 증가는 보이지 않는다.

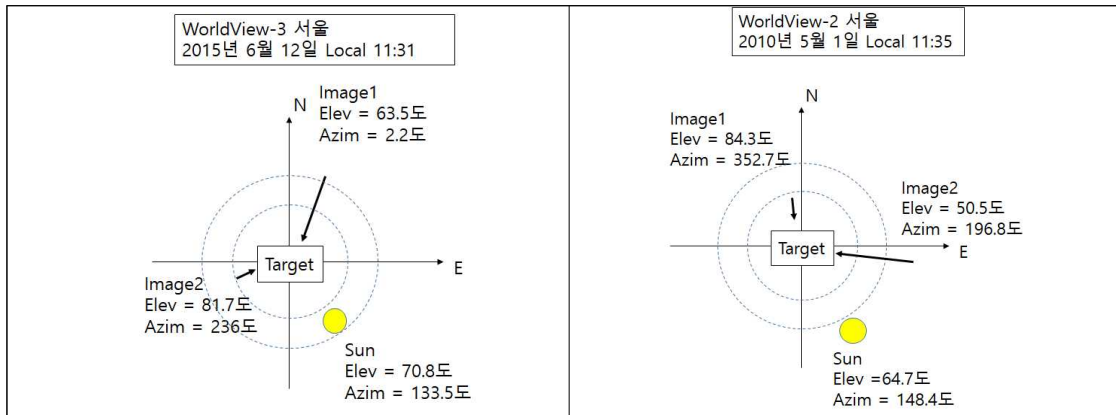


자료: Li et al.(2009)

<그림 2-39> 수렴각과 위치정확도의 관계

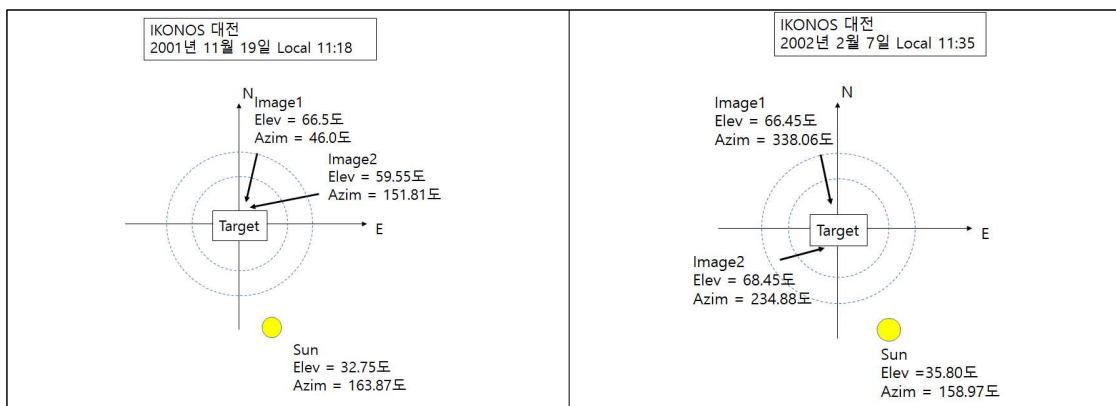
태양과의 관계에 있어 입체 영상 모두 태양을 등지고 촬영하는 것이 난반사의 영향을 줄일 수 있고, 그림자가 사물의 뒤로 배치되기 때문에 그림자에 의한 영향을 최소화할 수 있다. 따라서 입체 영상 두 영상 모두 SPEC각을 크게 하고 CATS각은 작게 설정하되, CATS은 최소 5도 이상으로 설정하는 것이 필요하다.

<그림 2-40, 41, 42>은 WorldView-3(WV-3), WorldView-2(WV-2), IKONOS, 아리랑 3A(K-3A), 아리랑 3(K-3) 위성으로 취득한 입체 영상 총 6세트에 대한 취득각의 예를 제시한 것이다.



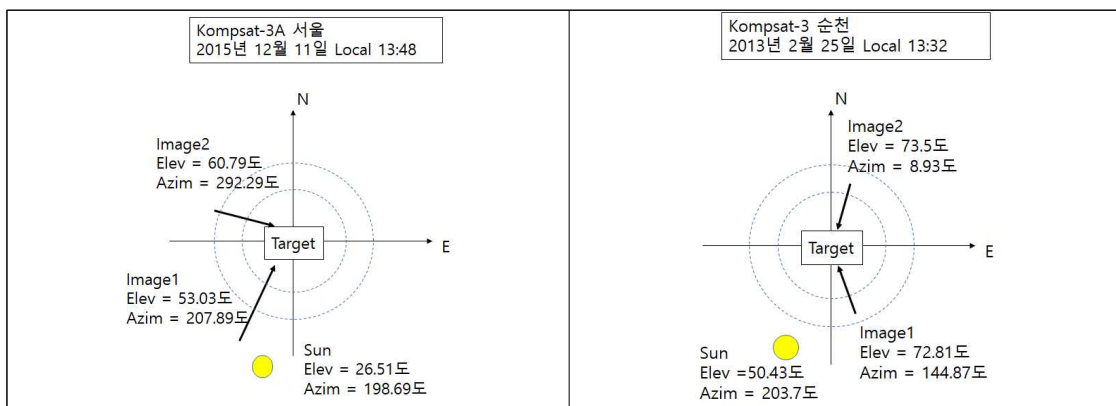
자료: 저자 작성

<그림 2-40> 입체 영상 취득 예-1 [WV-3, WV-2]



자료: 저자 작성

<그림 2-41> 입체 영상 취득 예-2 [IKONOS]



자료: 저자 작성

<그림 2-42> 입체 영상 취득 예-3 [K-3A, K-3]

SPEC 각도의 경우 대부분 너무 작지 않은 60도 이상에서 160도 범위로 촬영된 것을 확인할 수 있고, CATS의 경우에는 입체 영상의 특성상 한 영상의 경우 100도를 넘어가는 경우가 종종 관측된다.

수렴각의 경우 대부분 30~45도 범위에서 획득된 것을 볼 수 있으며, Bisector는 대부분 70도 대의 범위로 촬영되었으나 아리랑의 경우 60도와 80도 대의 각으로 촬영되었다. Asymmetry(비대칭각)는 WV-2 이외에는 대부분 10도 이하로 낮게 촬영되었다.

WV-2의 경우 상대적으로 큰 수렴각, 높은 비대칭각을 보이는데 이는 첫 번째 영상은 높은 고도로 촬영된 반면, 두 번째 영상은 50도 가량의 낮은 고도각으로 촬영된 탓으로 두 영상 간의 이질성이 증가한 사례로서 입체 영상의 품질이 낮다고 볼 수 있다. WV-3의 경우에도 두 영상 간의 고도각의 차이가 존재하여 약 10도에 가까운 비대칭각이 형성되었다.

아리랑 3A의 경우 Bisector 각이 64도로 상대적으로 낮는데 이는 두 영상이 마주 보는 방향이 아니고 또한 상대적으로 낮은 고도각으로 촬영된 결과이다. IKONOS[대전a]의 경우에도 두 영상이 마주보는 방향이 아니지만, 상대적으로 고도각이 높아 Bisector가 아리랑 3A보다 크게 계산되었다.

<표 2-9> 촬영된 입체 영상의 촬영각 분석

| 각도 [°] | WV-3 [서울] | WV-2 [서울] | IKONOS [대전a] | IKONOS [대전b] | K-3A [서울] | K-3 [순천] |
|-------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|-------------|
| SPEC | 70.8 | 67.3 | 77.8 | 137.4 | 130.4 | 161.1 |
| | 96.0 | 98.1 | 98.7 | 162.8 | 90.0 | 127.1 |
| CATS | 32.7 | 58.9 | 139.1 | 78.5 | 12.4 | 82.2 |
| | 82.0 | 55.9 | 72.4 | 76.5 | 142.7 | 148.9 |
| Convergence | 32.1 | 44.8 | 42.6 | 35.0 | 43.4 | 31.2 |
| Bisector (BIE) | 78.6 | 72.8 | 72.7 | 75.5 | 64.1 | 83.5 |
| Asymmetry | 9.9 | 17.1 | 4.5 | 1.3 | 6.3 | 0.4 |

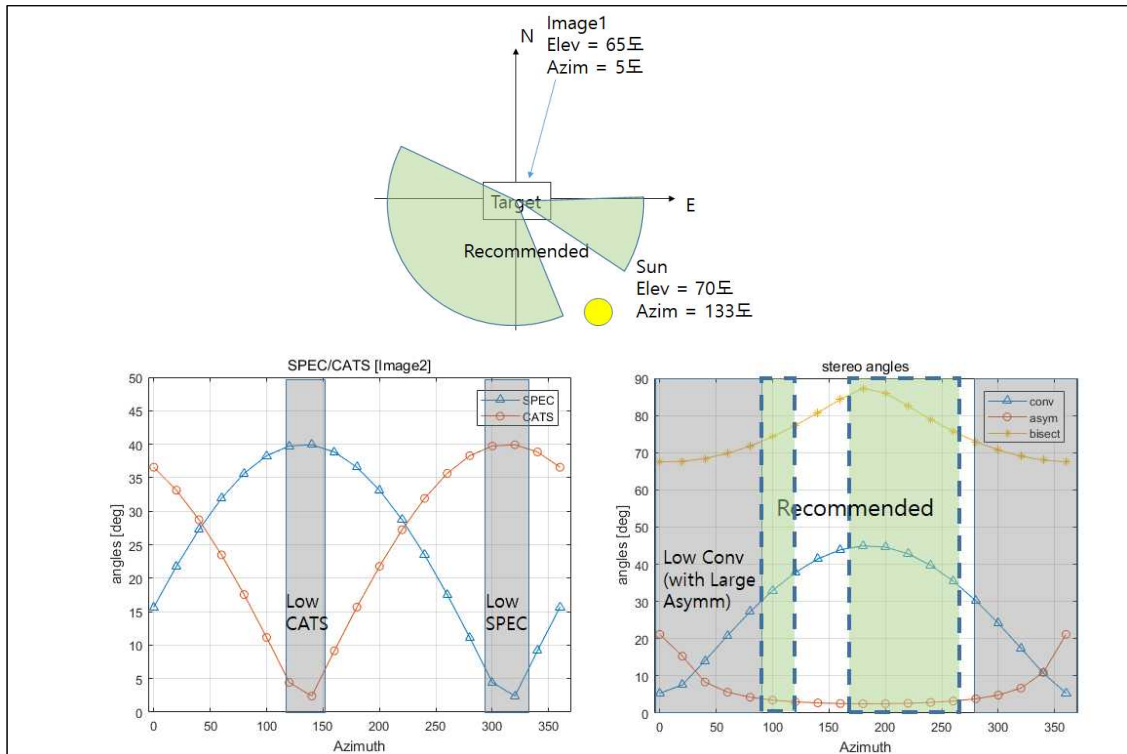
자료: 저자 작성



자료: 저자 작성

<그림 2-43> 두 영상의 이질성 [WV-2] 및 [K-3]

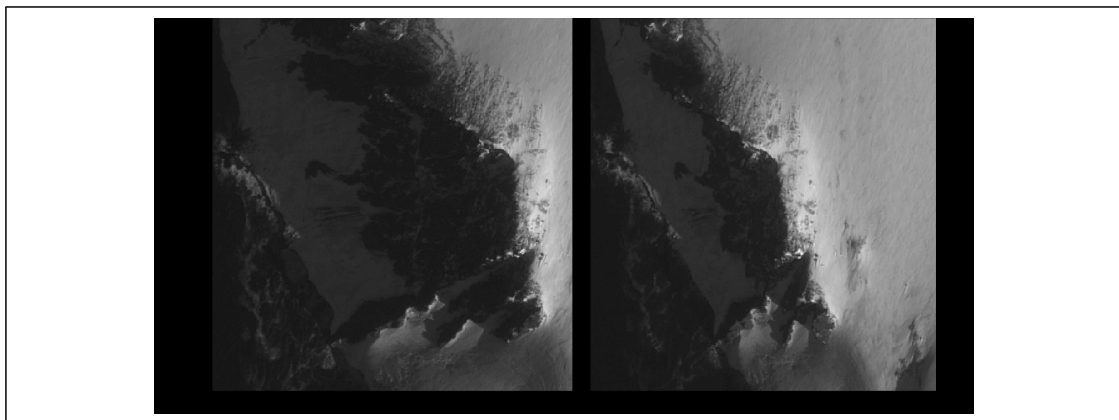
입체 촬영각에 대해 시뮬레이션을 통해 촬영각을 추가 분석해보았다. 시뮬레이션을 위해 태양 고도각 및 방위각을 각각 70도, 133도로 고정하였고, 첫 번째 영상의 고도각 및 방위각을 각각 65도, 5도로 설정하였다. 그리고 두 번째 영상의 취득 고도각을 70도로 고정하고 방위각을 변화시켜 입체 취득각의 변화를 살펴보았다. 변화에 따라 CATS 및 SPEC이 5도 이하로 낮게 나오는 방위각 영역이 확인되고, 수렴각이 30도 이하로 도출되는 영역 등이 확인된다. 이러한 영역을 배제할 경우 초록색 영역으로 표시된 방위각 영역대를 도출할 수 있으며, 이 방위각 범위에서 두 번째 영상 획득 시 상대적으로 높은 품질의 입체 영상을 획득할 수 있을 것으로 판단된다.



자료: 저자 작성

<그림 2-44> 입체 영상 취득각 시뮬레이션

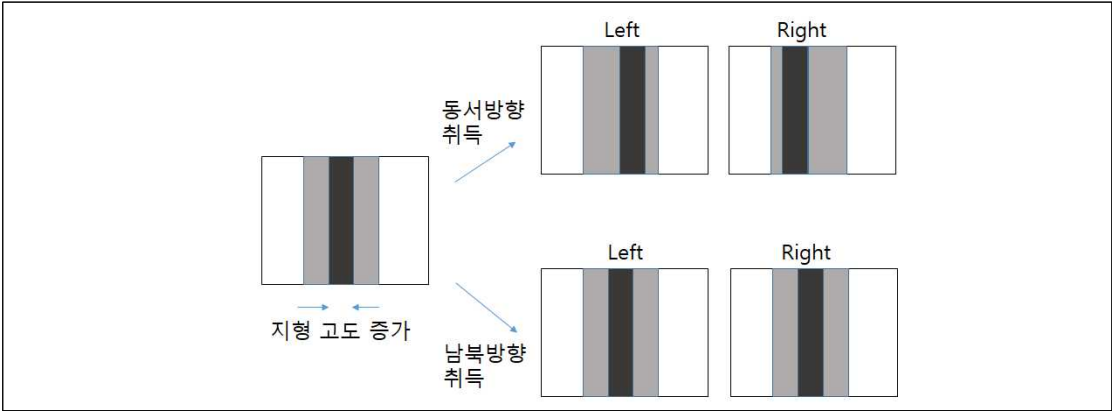
앞서 입체 영상 취득 각에 따르면 지형의 기복이 낮을 경우 수렴각을 크게하는 것이 수직 오차를 최소화하는 방법이나, 건물, 급경사 등 지형 지물의 기복이 커질 경우 수렴각을 크게 하면 두 영상 간의 이질성이 증가하고, 폐색 영역이 발생하여 오히려 입체 영상의 품질을 저하시킬 수 있다.



자료: Lee et al.(2015)

<그림 2-45> 남극 급경사 지형의 예

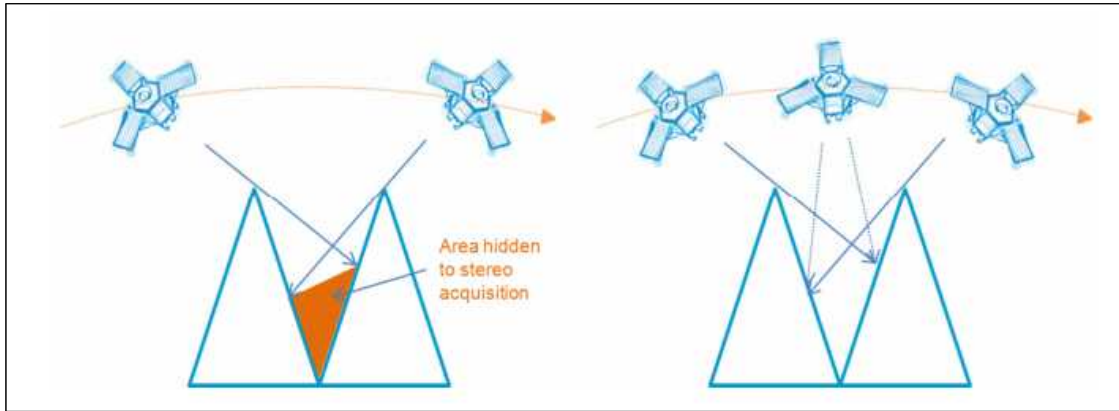
따라서 기복이 큰 지형의 경우에 대해서는 영상 취득을 추가적으로 고려해야 하는데, 영상 전역에 걸친 지형 경사 방향을 고려한다. 즉, 아래 그림과 같이 관심 지형의 주경사가 동서 방향일 경우, 입체 영상에서 시차가 잘 발생할 수 있도록 동서 방향에서 영상을 취득하여야 한다. 그렇지 않고 수직인 남북 방향으로 취득할 경우 시차가 유의미하게 발생하지 않을 수 있고, 또한 급경사 지역에 대한 텍스처 영상정보의 취득이 제한될 수 있다.



자료: 저자 작성

<그림 2-46> 경사를 고려한 촬영방향

또한 급경사 지형이 반복되는 형태의 급경사 지형 고밀 지역 등 특수지형이 있을 경우 두 장의 영상으로 입체를 구성하는 일반적 영상 취득 방법보다 <그림 2-47>과 같은 Tri-stereo 영상을 획득하여 지형정보 생성에 활용하는 것이 보다 나은 품질을 보이는 것으로 보고되고 있다(Rieg et al., 2018). 즉 두 시점에서 취득되는 입체 영상의 경우 폐색지역에 대한 지형 정보 취득이 제한되므로, 이를 제3의 영상으로 보완하는 형태(예로, 전방 12도, 0도, 후방15도에서 촬영 진행)가 된다.

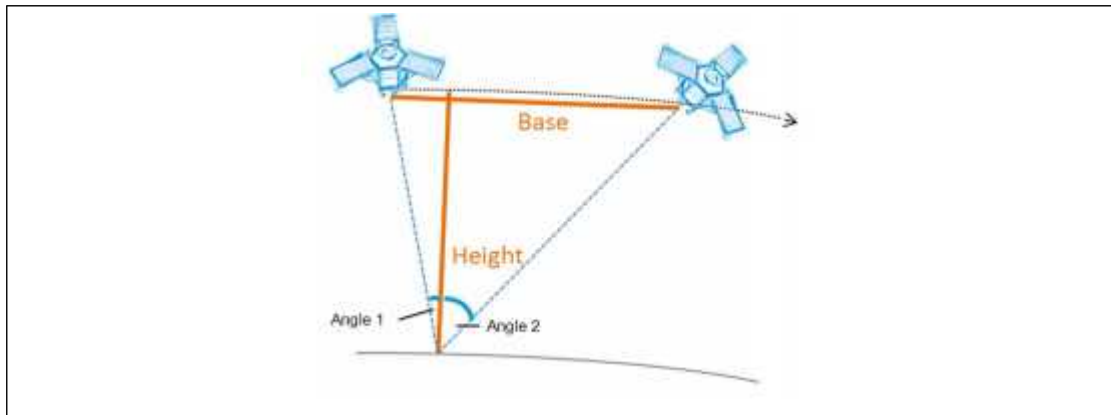


자료: Astrium(2013)

<그림 2-47> Tri-stereo의 필요성

마지막으로 입체 영상 취득 시 고려사항으로는 B/H (Base/Height ratio)가 있다. 촬영 고도 (height) 대비 기선(base)의 비율인데, 위성이므로 촬영 고도는 고정되어 있으므로, 기선을 변화시킴에 따라 해당 비율이 변화하게 된다. 이는 앞서 기술한 수렴각과 유사한 개념으로 이해할 수가 있는데, 즉 B/H 비율이 높아질수록 수렴각이 증대되는 형태가 된다.

적정 수준의 B/H 비율은 일반적으로 0.25~0.4 정도의 범위로 보는데, 편평한 지형의 경우 B/H 비율을 높이더라도, 지형의 기복이 많은 산악지형이나 빌딩숲 등과 같은 지형에서는 B/H 비율을 0.4 이상으로 높일수록 고도각이 낮아져 급경사, 건물 주변으로 폐색되는 지형이 늘어나게 되고 이는 곧 입체 영상 처리시 매칭 정확도의 감소로 이어지므로 주의해야 한다.



자료: Astrium(2013)

<그림 2-48> B/H의 개념

SPOT 6, 7호의 경우 영상 촬영 주문 시 B/H 비율을 기입하도록 되어 있으며, <그림 2-49>와 같이 B/H와 Stereo 또는 Tristereو 획득 가능 면적을 나타내고 있다. 즉, B/H 비율을 높일수록 영상 취득 가능 면적이 늘어나는 것을 볼 수 있다.

| Stereo | | Tristereو | |
|--------|--------|-----------|--------|
| B/H | Length | B/H | Length |
| 0.15 | 35km | 0.3 | 35km |
| 0.2 | 60km | 0.4 | 60km |
| 0.3 | 120km | 0.5 | 90km |
| 0.4 | 180km | 0.6 | 120km |
| 0.5 | 240km | 0.7 | 150km |
| 0.6 | 300km | 0.8 | 180km |

자료: Astrium(2013)

<그림 2-49> SPOT 6,7의 Stereo, Tristereو 획득 B/H

2기의 국토위성 운용을 위한 입체영상 촬영은 동일궤도에서 위성의 자세 변화를 통한 취득 방식인 along-track과 다른 궤도를 지날 때 동일지역 영상을 획득하는 across-track으로 나뉠 수 있다.

along-track은 두 영상 간의 촬영 시간차가 불과 수초에 불과하여 태양각 변화, 기상 변화, 지형변화 등으로 인한 영상 간의 이질성이 최소화되기 때문에 입체 영상 취득 방법으로는 최고의 품질 확보가 가능하다. 그러나 동일 궤도 상에서 위성의 자세를 변환시켜야 하기 때문에 자세 변환 중 영상 취득이 제한되는 경우가 많아 하나의 궤도에서 취득할 수 있는 영상의 양이 현저히 줄어들기 때문에 영상 취득의 효율성 측면에서 trade-off가 발생한다. 또한 Roll/Pitch 각을 조절함에 따라 영상의 위치정확도 품질 등이 악화되는 경우도 발생할 수 있는 단점이 있다.

across-track의 경우 궤도 내에서의 자세변화가 최소화되어 영상 획득 효율성을 극대화시킬 수 있는 높은 대신, 두 영상이 서로 다른 궤도에서 촬영되므로 두 영상 간의 촬영 시간대의 시간차이가 발생하게 되며 이로 인한 태양각 변화, 기상 변화, 지형 변화가 발생 하여 입체 영상 간의 이질성이 발생하는 단점이 있다.

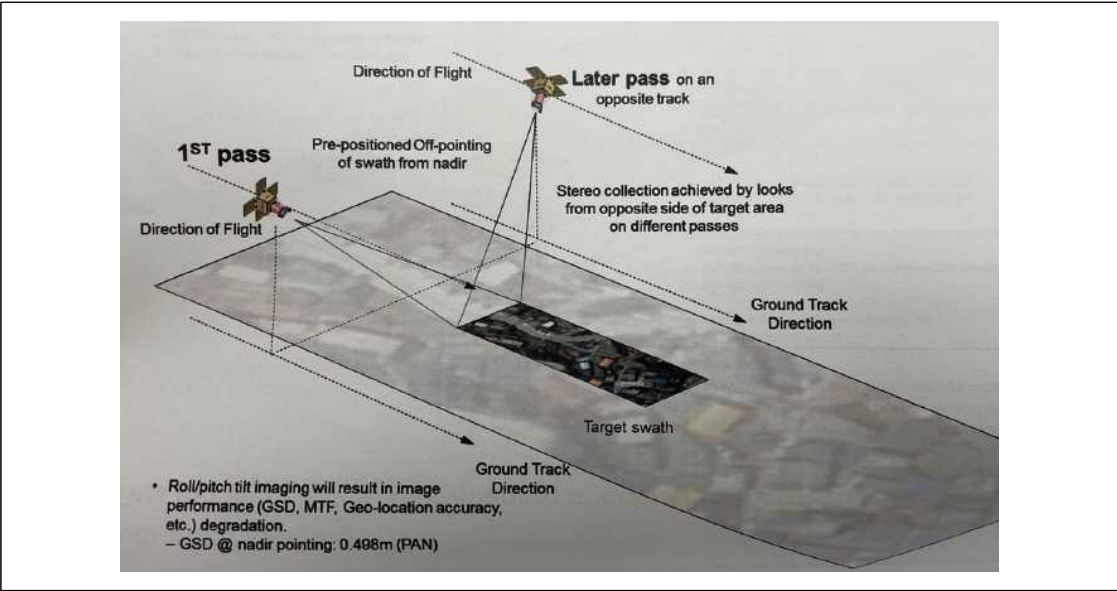
결론적으로 영상의 효율성을 중요시할 경우 across-track방식의 입체 영상 취득이 유리하고, 입체 영상 품질을 중요시할 경우에는 동일궤도인 along-track방식이 유리하다. 참고로 3장 이상의 멀티영상 획득을 통하여 정밀 지형 정보를 생성하고자할 경우에는 두 방식 모두 적용하게 된다.

국토 위성을 이용한 스테레오 촬영의 경우 우선은 관측 운영 모드 중 다중패스 스테레오 (Multi-pass stereo imaging)를 통해 각각 궤도 내 최대 촬영 시간인 5분을 충분히 사용하여 넓은 면적의 입체 영상을 획득할 수가 있을 것이다. 위성 고도가 약 497.8km인 국토 위성의 인접 패스 거리가 90.9km이므로 해당 패스에서 인접 패스를 촬영하기 위한 Roll 각도의 경우 약 10도 ($\tan^{-1}(90.9/497.8)$)로 계산된다. 즉, 인접 궤도에서 인접 궤도 영상 취득 시 Pitch 각도 조절을 통해 입체 영상 취득이 가능하며 이때 주기가 94.57분의 시간 차가 존재하는 입체 영상 취득이 가능하다. 직접 인접 궤도를 넘어설 경우 두 입체 영상 간의 시간 차가 189.14분으로 증가되어 약 3시간의 차이가 생기며 이로 인해 그림자 등의 차이가 커지고 이질감이 증가되기 시작할 것이므로 주의해야 할 것이다.

<표 2-10> 국토위성 제원

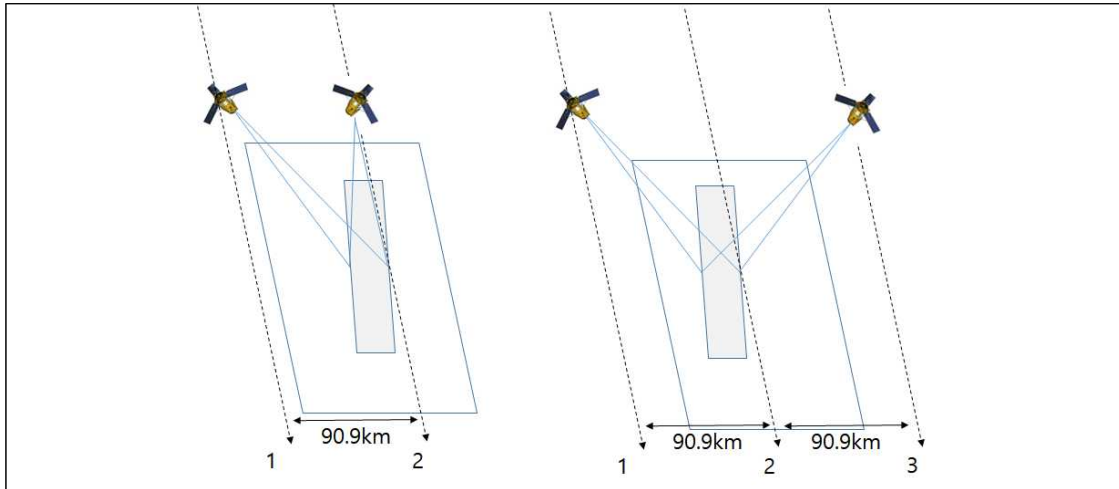
| 궤도 정보 | 국토 위성 제원 |
|----------|----------|
| 위성 고도 | 497.8 km |
| 인접 패스 거리 | 90.9km |
| 주기 | 94.57분 |

자료: 한국항공우주연구원(2021)



자료: 한국항공우주연구원(2021)

<그림 2-50> 국토위성 Multi-pass stereo 모드



자료: 저자 작성

<그림 2-51> 인접 궤도 입체 촬영

국토 위성은 내년 발사 예정인 2호기가 운용되는 시점부터 1, 2호 총 2기의 위성을 이용하여 촬영을 수행하게 되므로 보다 효율적인 입체 영상 획득이 가능해질 것이다. 특히, 1, 2호기 간의 촬영 시차는 약 45분으로서 짧은 시간 차를 갖는 것으로 설계된다. 따라서 두 기의 위성을 활용하여 across-track을 촬영시 두 입체 영상 간의 시간 차이를 1시간 이내로 유지시킬 수 있어 across-track 촬영방식의 단점인 두 영상 간의 이질성을 많이 줄일 수가 있을 것으로 판단된다.



자료: 항공우주연구원(2021)

<그림 2-52> 국토위성 1호/2호 임무궤도 (위상차 180도)

나. 위치정확도 향상방안

고해상도 국토위성 영상을 사용하여 극지역의 고품질 DEM을 확보하기 위해서는 정확한 센서 정보(외부표정요소 또는 Rational Polynomial Coefficient, RPC)가 요구된다. RPC는 물리적 센서모델인 외부표정요소에 비해 3차원 위치 측정 방법이 간편하고 정확도도 떨어지지 않기 때문에 많이 사용되고 있다(Dial and Grodecki, 2005; Fraser and Hanley, 2003; Tao and Hu, 2002).

현재 운용중인 아리랑 3A호 영상에서 제공되는 RPC의 원형공산오차(CE90)는 약 15m이다(Calvalportal, 2015). RPC 보정을 위해서는 최소 한 점 이상의 지상기준점이 요구된다. 전통적인 사진측량분야에서 기준점이란 지상좌표와 영상좌표가 획득되어진 점을 말한다. 따라서 지상기준점 측량은 영상에서 독취작업, 기준점의 현장답사와 GNSS 측량 등을 수행해야 하는 매우 번거로운 작업이다.

한편, 극지역이나 화산지대, 갯벌 등과 같이 접근이 어렵거나 불가능한 지역은 기준점 확보가 어렵다. 기준점 대안으로 수치지도, 기존 정사영상과 글로벌 TanDEM-X DEM을 활용한 GCP(Ground Control Point) Chip, 또는 기 확보 DEM과 상대표정으로 제작한 DEM간 ICP 절대표정 매칭방법 등을 들 수 있다. GCP Chip을 이용하는 경우 사용 자료 축척, 해상도와 위치정확도에 의존되며, ICP 매칭 방법의 경우도 기존 DEM의 해상도와 정확도에 따라 절대표정의 정확도도 달라진다.

최근에는 AIRBUS Defence & Space사에서 TerraSAR-X 레이더 영상처리 기술 기반으로 획득한 GCP Chip을 제공하고 있다. 이 기준점 자료는 다른 각도와 궤도에서 촬영된 여러 장의 TerraSAR-X 이미지를 사용하여 인공구조물과 지표면의 특징점을 대상으로 정확도 0.2m 정도의 지상좌표와 특징점 영상을 제공한다(국토지리정보원, 2019). <그림 2-53>은 장보고과학기지 주변에 획득한 GCP 2.0 기준점의 위치와 영상으로 표시한 지점을 나타낸 것이다.

TerraSAR-X 기준점은 인공구조물 또는 자연 지물의 특징점을 대상으로 획득되기 때문에 SAR 고유의 특성에 따라 GCP 제품 품질에 영향을 줄 수 있으며 지형 조건과 식별 가능한 포인트에 크게 영향을 받는다. 따라서 GCP의 높은 정확도를 보장하기 위해서는, 명확하게 식별 가능하고 탐지가 가능한 물체(가로등, 교통 신호등, 표지판, 울타리와 같은 인공물) 지점이어야만 한다(국토지리정보원, 2019). 그러나 극지역과 같은 인공구조물이 거의 없고 눈과 얼음으로 덮여 있는 지역에서는 이 방법에 의한 기준점 획득 방법은 취약할 수 있다.

따라서 이 연구에서는 전 지구적으로 위치관측이 가능한 ICESat(Ice, Cloud, and Land

Elevation Satellite) 위치 자료와 기준점의 영상좌표가 필요 없는 기법을 이용하는 제안 방법(1)과 멀티 스테레오 고해상도 위성영상을 이용한 무기기준점 RPC 블록조정 제안 방법(2)을 이용하여 제공되는 고해상도 위성영상의 RPC를 보정하고자 한다.

| | | | | |
|--|--|-------------------------------------|---|---------------------------|
| <div>AIRBUS</div> | | Airbus Defence and Space GmbH | <div>GEO GCP-3 location sheet</div> | Date: 25.02.2020 |
| Customer | | | | No.of Sheets: 23 Sheet: 2 |
| Point ID: 5 | | | Inputtype: ST | Input Images: 3 |
| Point East: 477177.189 | | | Point North: 1718367.830 | Point Height: 27.728 |
| AOI: | | | WGS 84 | Projection: UTM zone 58S |
| Remarks / Description | | | | |
| <div><div>Optical Image Overview</div><div></div></div> | | | | |

자료: 국토지리정보원(2019)

<그림 2-53> 남극 장보고 과학기지 주변의 AIRBUS GCP 2.0 제공 기준점

1) ICESat 자료 활용에 의한 정확도 향상

ICESat은 극지대의 모니터링을 위해 2002년 1월에 발사되었으며 2009년까지 레이저 고도계 데이터를 수집하였다(NASA, 2021). ICESat 레이저 고도계의 주요 탑재장비는 지구과학용 레이저 고도계 시스템 (GLAS; Geoscience Laser Altimeter System)이며, <그림 2-54>에서 보는

바와 같이, 고도 약 500km 상공에서 하나 빔으로 지구표면으로부터 반사되는 데이터를 연속적으로 기록한다.

GLAS는 <그림 2-55>에서 보는 바와 같이, 위성궤도 트랙을 따라 약 170m 간격으로 이루어진 직경 약 70m의 레이저 스팟(spot)들을 생성한다. ICESat의 첫 번째 임무는 극지방 빙상 부피의 연중 변화 또는 장기적인 변화를 정밀하게 측정하여 지구 해수면에 미치는 영향을 평가하는 것이다(Zwally et al., 2002). 극지방 해빙에 대한 고도 측정의 정확도는 $\pm 14\text{cm}$ 정도이다(Shuman et al., 2006; Kurtz et al., 2008).

두 번째 임무는 구름과 에어로졸 높이를 측정한 프로파일을 획득하는 것이다. 또한 ICESat의 레이저 반사지점(footprint)으로부터 획득된 위치 데이터는 수목 캐노피와 지면으로 분리될 수 있기 때문에 수목 높이와 지면 높이를 동시에 측정할 수 있다. 이러한 데이터는 숲의 식생 높이를 식별하는데도 사용된다(Lefsky et al., 2005). ICESat은 2010년에 폐기되었지만 후속 임무인 ICESat-2가 개발되어 2018년 9월에 발사되었다.

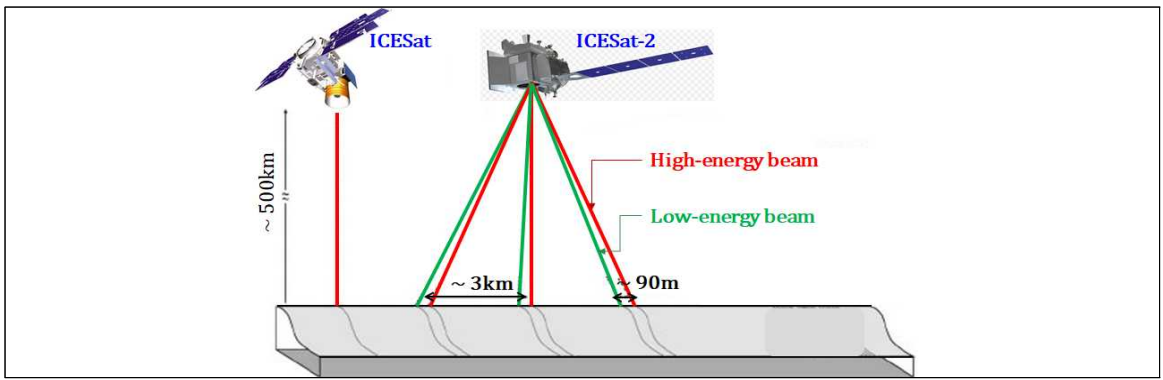
ICESat-2는 ICESat과 마찬가지로 빙권의 육지 얼음과 해빙의 변화를 측정하는 과학적 목적에 중점을 두었다. ICESat-2는 녹는 빙상과 해빙의 두께를 조사하여 그린란드와 남극 대륙의 해수면 변화를 모니터링 하였다. ICESat-2 주요 임무가 빙권변화 모니터링이지만 전 세계의 지상 표면 데이터 또한 수집할 수 있으므로 지형 높이, 산림 높이, 심지어 해수면 높이 측정도 가능하다(NASA, 2021).

ICESat-2에 탑재된 장비는 ATLAS(Advanced Topographic Laser Altimeter System)이다. ATLAS의 레이저 빔은 <그림 2-54>에서 보는 바와 같이, 표면에서 약 3km 떨어진 3쌍으로 분할된다. 각 빔 쌍은 강하고 약한 에너지 빔으로 구성된다(NASA, 2021). ATLAS는 <그림 2-55>에서 보는 바와 같이, 위성트랙의 지상경로를 따라 0.7m마다 측정할 수 있으며 각 펄스의 반사면 사이즈는 직경 약 17m이다.

ICESat-2는 ATL01에서 ATL21까지 다양한 유형의 지구 표면 데이터를 제공한다. 특히, ATL03은 각 광자에 대한 WGS84 타원체 기준의 위도, 경도, 높이, 시간을 포함하는 레벨 2 데이터이다. 이 ATL03 데이터는 극지대 얼음 높이 데이터(ATL06), 해빙 높이 데이터(ATL07), 지면과 초목 높이 데이터(ATL08)와 같은 레벨 3A에 해당하는 광자정보로 재가공되어 사용자들에게 제공된다. 여기서, ATL06 데이터는 극지방의 지표면 고도를 제공하며, ATL08은 극지방의 지표면 고도 뿐만 아니라 비극지대의 지면과 캐노피 높이를 모두 포함한다(NSIDC, 2020).

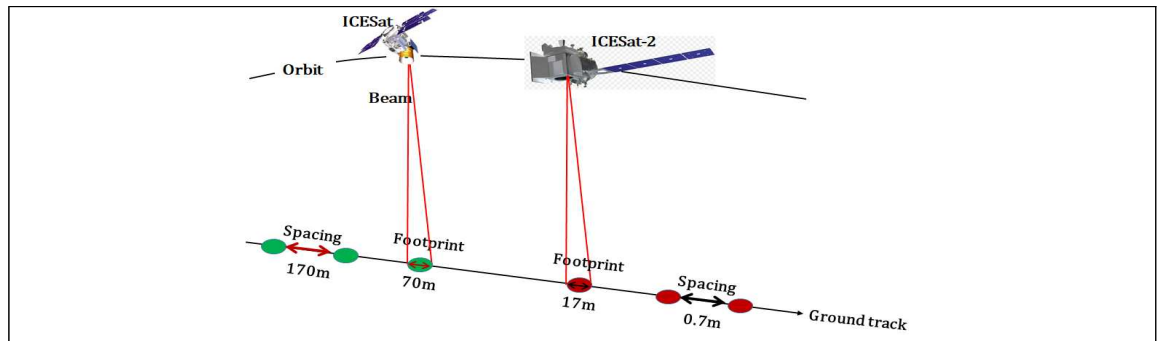
남극에서 수행한 ATL06 고도측정 정확도는 $\pm 5\text{cm}$ 미만이었고(Brunt et al., 2019), 육지에서 지면과 캐노피에 대한 ATL08 고도측정 정확도는 각각 $\pm 0.85\text{m}$, $\pm 3.2\text{m}$ 로 보고된다

(Neuenschwander and Magruder, 2019). ICESat과 ICESat-2 포인트 데이터는 <그림 2-56>에서 보는 바와 같이, Openaltimetry(2021)에서 무료로 다운로드 할 수 있다.



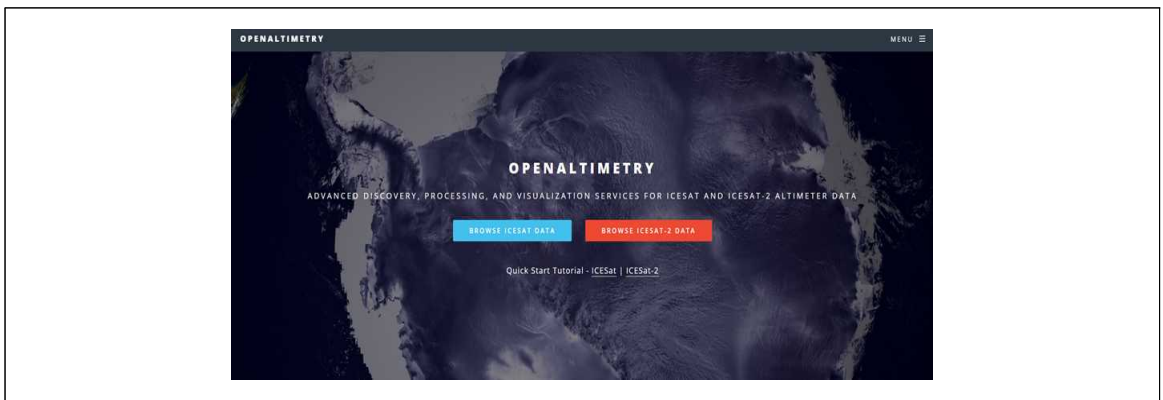
자료: NASA(2021)

<그림 2-54> ICESat, ICESat-2 레이저 빔 제원



자료: NASA(2021)

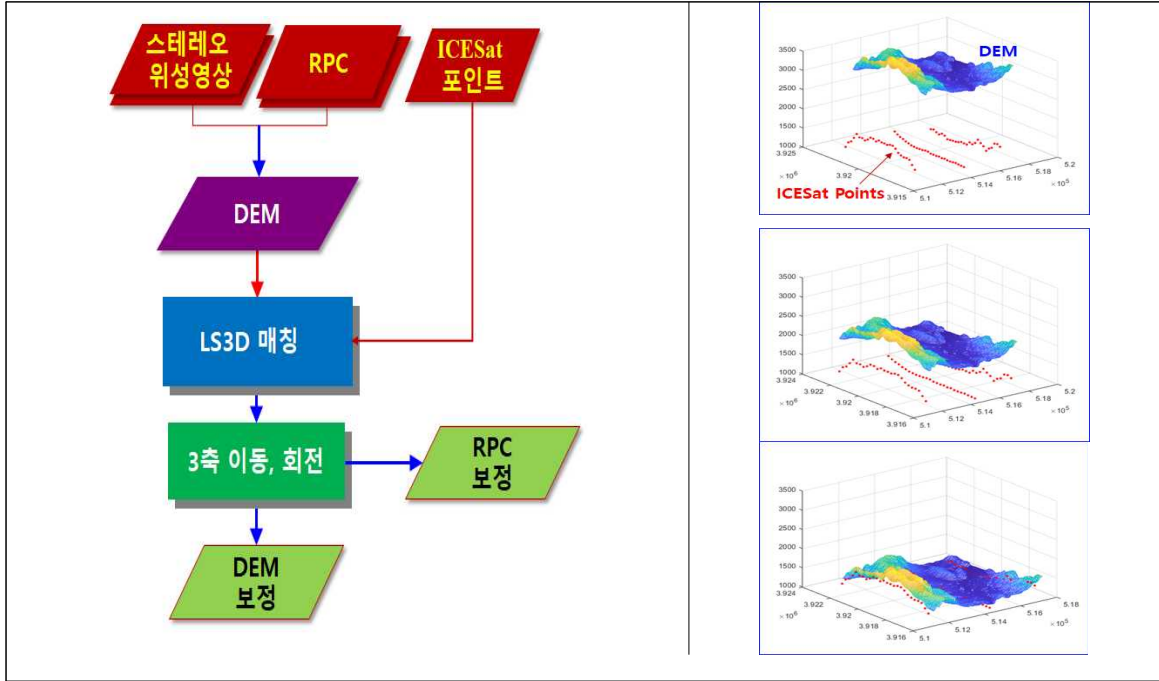
<그림 2-55> ICESat, ICESat-2 레이저 빔의 사이즈와 수집 간격



자료: Openaltimetry(2021)

<그림 2-56> ICESat, ICESat-2 레이저 고도 데이터 수집 웹사이트

본 연구에서는 기준점 측량을 하지 않고 현재 손쉽게 확보할 수 있는 ICESat과 ICESat-2 위치 자료를 활용하여 LS3D(Least Square 3D) 매칭(Gruen and Akca, 2005)에 의한 RPC 보정방법을 제안한다. 이 방법을 적용하면 기준점들의 영상독취 작업은 필요로 하지 않기 때문에 전체 프로세스를 자동화할 수 있다. 제안 방법의 개념과 순서는 다음과 같다.



자료: 저자 작성

<그림 2-57> RPC 보정 순서와 3D 매칭 개념도

가) RPC 보정을 위한 ICESat 위치와 DEM 간 LS3D 매칭이론

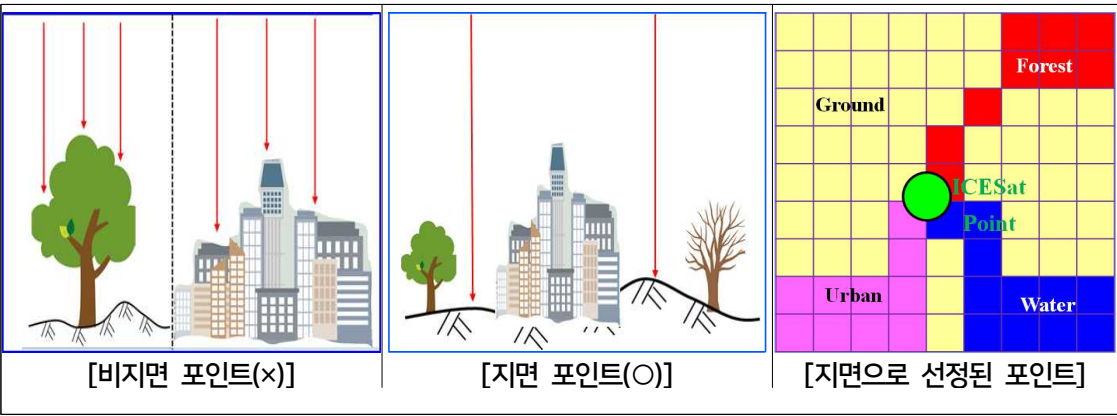
ICESat 포인트 자료와 DEM간 매칭시 앞서서도 언급한 바와 같이 캐노피가 있는 산림지역의 ICESat 포인트 위치 정확도는 3m 내외이므로 이는 RPC 보정오차에 그만큼의 영향을 줄 수 있다. 도심지의 경우 건물 밀집 지역 또한 지면과 비지면 구분이 힘들고, 도심지가 아니더라도 물이나 구름과 그림자 지역은 DEM에서 큰 오차를 포함하기 때문에 이러한 지역에 해당하는 ICESat 포인트는 제외시키고, 가급적 지면에 해당하는 포인트만을 선정하여 DEM과 매칭 시키는 것이 RPC 보정 정확도 향상에 기여할 수 있다. <그림 2-58>에서 좌로부터 첫 번째와 두 번째 그림 참조하면 비지면과 지면 포인트의 차이를 알 수 있다.

이를 위해서는 기구축 분류도를 활용할 수 있다. 분류도는 국내 환경부 자료를 활용할 수 있으나 사용 영상과 지형지물 변화 여부를 확인 후 사용해야겠다. 국외 지역이나 분류도 확보가 힘든 지역은 위성영상을 이용하여 분류 영상을 제작해야 한다. 물론 극지역이나 사막 등과 같이 단순한 형태로 이루어진 지형에서는 대부분의 포인트가 지면이기 때문에 분류가 필요하지 않다. <그림 2-58>에서 세 번째 그림은 지면 포인트 선정을 위한 개념을 나타낸 것이다. 분류영상제작과 이를 이용한 지면 포인트 선정 순서는 다음과 같다.

먼저, 고해상도 전정색 영상과 같이 제공되는 다중밴드 영상(또는 고해상도 융합 영상)을 이용하여 분류영상을 제작한다. 분류영상 항목은 주로, 지면, 물, 산림, 건물로 구분하고 구름과 그림자가 있을 경우 이 또한 분류항목에 포함한다.

다음으로, ICESat 포인트 위치를 다중밴드 영상(또는 고해상도 흑백영상)에서 제공하는 RPC에 입력하여 분류영상 내의 영상좌표를 계산한다.

마지막으로, 계산된 영상좌표를 중심으로 일정한 크기의 박스를 설정하고 <그림 2-58>에서 세 번째 그림과 같이 박스 내에서 평균 이상의 화소수가 지면으로 산출되면 이 지점을 지면 포인트로 선택한다. 여기서 박스 사이즈는 3D 매칭의 수렴 여부와 정밀도 등을 고려하여 결정한다. 여기서도 제공되는 RPC와 분류영상의 오차로 인하여 선정된 ICESat 포인트가 모두 지면에서 반사된 위치라고 볼 수는 없다. 그림에도 불구하고 기존 연구에서 분류영상으로 선정된 포인트 3D 매칭이 비분류 포인트에 비해 결과 정확도가 높게 나타났다는 보고가 있다(Lee and Hahn, 2020).

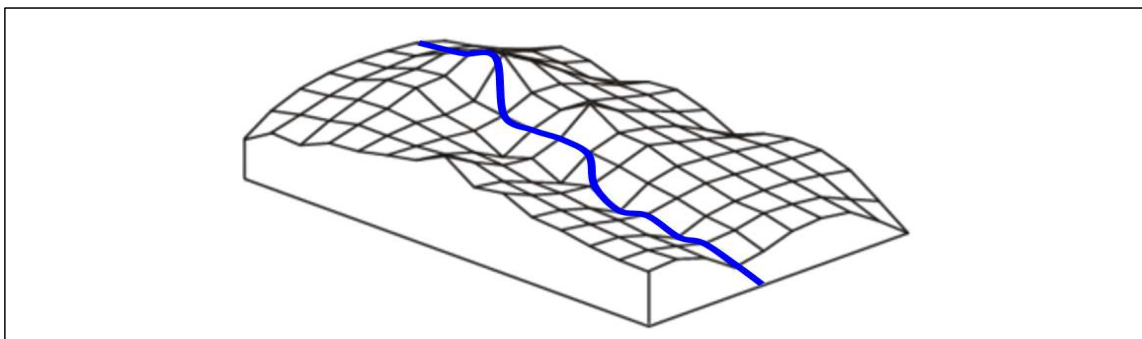


자료: 저자 작성

<그림 2-58> 좌로부터 비지면과 지면 ICESat 레이저 포인트, 분류영상에서 지면 포인트 선정을 위한 개념도

선정된 ICESat 포인트는 초기 생성 DEM과 RPC 보정을 위한 기준자료로 활용될 수 있으며 선

형의 점군자료로 이루어진 ICESat 위치와 DEM은 <그림 2-59>과 같이 표현할 수 있다. 동일한 대 상영역에서 $f(x,y,z)$ 를 ICESat 위치가 포함된 표면이라 가정하고, $g(x,y,z)$ 를 DEM의 표면으로 표현하면 두 자료는 여러 가지 요인으로 인하여 기하학적으로 일치하지 않는다. 따라서 <식 2-10>와 같이 두 자료 사이에 오차 벡터 $e(x,y,z)$ 가 추가된다.



자료: 저자 작성

<그림 2-59> DEM과 ICESat 포인트 위치자료를 이용한 매칭 개념

$$f_i(x,y,z) - e_i(x,y,z) = g_i(x,y,z) \quad <2-10>$$

여기서, $i = 1 \sim n$ (포인트 수)

3차원 매칭은 두 표면 사이의 제곱 거리의 합을 최소화하기 위하여 두 자료 간 3D 변환과 3D 회전, 그리고 축척을 구하는 것이다. 따라서 ICESat 점군과 DEM 표면 사이의 기하학적 관계를 <식 2-11>와 같이 표현할 수 있다.

$$[x \ y \ z]_i^T = sR[x_o \ y_o \ z_o]_i^T + t \quad <2-11>$$

여기서, $R = R(\omega, \varphi, \kappa)$ 은 3차원 회전형렬; $t = [t_x \ t_y \ t_z]^T$ 는 3차원 이동량; s 는 두 자료간 축척; $[x \ y \ z]_i$ 는 ICESat 점의 위치; $[x_o \ y_o \ z_o]_i$ 는 ICESat 점의 위치에 근사적으로 일치하는 DEM 표면의 점($g_i^o(x,y,z)$)에 해당하는 위치를 나타낸다.

<식 2-10>은 최소제곱조정을 위해 <식 2-12>와 같이 선형화 할 수 있다(i 는 생략).

$$f(x,y,z) - e(x,y,z) = g^o(x,y,z) + \frac{\partial g^o(x,y,z)}{\partial x}dx + \frac{\partial g^o(x,y,z)}{\partial y}dy + \frac{\partial g^o(x,y,z)}{\partial z}dz \quad \langle 2-12 \rangle$$

〈식 2-12〉은 〈식 2-13〉와 같이 간략화 할 수 있으며, 〈식 2-14〉가 포함된다.

$$g_x = \frac{\partial g^o(x,y,z)}{\partial x} = \frac{n_x}{|n|} \quad g_y = \frac{\partial g^o(x,y,z)}{\partial y} = \frac{n_y}{|n|} \quad g_z = \frac{\partial g^o(x,y,z)}{\partial z} = \frac{n_z}{|n|} \quad \langle 2-13 \rangle$$

여기서, n 은 DEM 표면의 직교벡터, n_x, n_y, n_z 는 n 직교벡터의 3축 요소를 나타낸다.

$$d_x = \frac{\partial x}{\partial p_k} dp_k, \quad d_y = \frac{\partial y}{\partial p_k} dp_k, \quad d_z = \frac{\partial z}{\partial p_k} dp_k \quad \langle 2-14 \rangle$$

여기서, $p_k \in \{t_x, t_y, t_z, \omega, \varphi, \kappa, s\}$, $k = 1 \sim 7$

〈식 2-13〉와 〈식 2-14〉를 〈식 2-12〉에 대입하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} -e(x,y,z) &= g_x dt_x + g_y dt_y + g_z dt_z \\ &\quad + (g_x a_{10} + g_y a_{20} + g_z a_{30}) ds \\ &\quad + (g_x a_{11} + g_y a_{21} + g_z a_{31}) d\omega \\ &\quad + (g_x a_{12} + g_y a_{22} + g_z a_{32}) d\phi \\ &\quad + (g_x a_{13} + g_y a_{23} + g_z a_{33}) d\kappa \\ &\quad - (f(x,y,z) - g^o(x,y,z)) \end{aligned} \quad \langle 2-15 \rangle$$

여기서, $L = (f(x,y,z) - g^o(x,y,z))$ 은 두 자료 간의 수직거리를 나타낸다.

〈식 2-15〉에서 편미분 항을 A , 3축 회전과 변위, 축척 변수항을 X 로 간략화하여 표현하면 〈식 2-16〉와 같이 표현할 수 있다.

$$-e_{(i,1)} = A_{(i,m)} X_{(m,1)} - L_{(i,1)} \quad \langle 2-16 \rangle$$

여기서, m 은 7개의 변수를 나타내고, $X^T = [dt_x, dt_y, dt_z, d\omega, d\varphi, d\kappa, ds]$ 를 나타낸다.

$dt_x, dt_y, dt_z, d\omega, d\varphi, d\kappa, ds$ 를 구하기 위해 최소제곱법을 적용하면 〈식 2-17〉와 같이 나타낼 수 있으며, 이로부터 두 자료 간의 3축 회전과 이동 그리고 축척을 구할 수 있다.

$$X = (A^T P A)^{-1} (A^T P L) \quad \langle 2-17 \rangle$$

여기서, P 는 경중률이다.

〈식 2-11〉에서 변환계수는 〈식 2-17〉의 반복 계산에 의해 X 항이 0에 가까울 때 결정된다. 따라서 매번 반복 계산마다 변환계수는 $t_x^1 = t_x^0 + dt_x, \dots$ 와 같이 업데이트되므로 제안 방법의 수렴 여부는 참여하는 기준점과 DEM의 품질에 따라 달라진다.

앞에서 LS3D 매칭(이하 3D 매칭)으로 구한 두 자료 간의 변위량을 이용하여 RPC 보정은 다음과 같이 수행하였다.

첫 번째, 스테레오 영상에서 타이 포인트를 추출하였다. 타이 포인트 추출은 기존에 제시된 SIFT(Scale-Invariant Feature Transform) 매칭(Lowe, 2004)을 적용하거나 영상처리 상용 소프트웨어를 이용할 수도 있다. 또한 RPC 관계식〈식 2-18〉에 ICESat 위치를 입력하여 이에 대응하는 초기 영상 좌표를 계산한 후, 상관계수매칭 또는 최소제곱 매칭을 통해 구할 수 있다. 그러나 ICESat 위치를 이용할 경우 지면에서 비 특이점이거나 화소 대비가 빈약한 영상 점으로 추출되면 오매칭이 발생할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 특이점만을 선택하여 타이 포인트를 추출하는 ERDAS Imagine S/W를 이용하였다.

$$\begin{aligned}
& \text{line scale} + \text{line offset} \times \frac{RPC_1 \cdot P(\lambda \phi H)}{RPC_2 \cdot P(\lambda \phi H)} = L_t, \\
& \text{sample scale} + \text{sample offset} \times \frac{RPC_3 \cdot P(\lambda \phi H)}{RPC_4 \cdot P(\lambda \phi H)} = S_t
\end{aligned} \tag{2-18}$$

여기서, λ, ϕ, H = 타이 포인트 영상좌표와 제공 RPC로 구한 정규화된 위치

L_t, S_t = 타이 포인트 영상좌표

$RPC_1 \dots RPC_4$: 위성영상 제공 RPC

λ =(Longitude-longitude offset)/longitude scale,

ϕ =(Latitude-latitude offset)/latitude scale,

H =(Height-height offset)/height scale,

$P(\lambda \phi H)$ =

$$[1 \lambda \phi H \lambda \phi \lambda H \phi H \lambda^2 \phi^2 H^2 \phi \lambda H \lambda^3 \lambda \phi^2 \lambda H^2 \lambda^2 \phi \phi^3 \phi H^2 \lambda^2 H \phi^2 H H^3]^T$$

두 번째, <식 2-11>의 3축 이동량과 회전을 이용하여 타이 포인트들의 위치(λ, ϕ, H)를 재계산하고 난 후, 이들 위치(λ', ϕ', H')를 RPC 관계식<식 2-18>에 입력하여 이에 대응하는 보정된 영상좌표(L_c, S_c)를 계산한다.

$$\begin{aligned}
& \text{line scale} + \text{line offset} \times \frac{RPC_1 \cdot P(\lambda' \phi' H')}{RPC_2 \cdot P(\lambda' \phi' H')} = L_c, \\
& \text{sample scale} + \text{sample offset} \times \frac{RPC_3 \cdot P(\lambda' \phi' H')}{RPC_4 \cdot P(\lambda' \phi' H')} = S_c
\end{aligned} \tag{2-19}$$

여기서, $(\lambda' \phi' H') = s^{-1} R^{-1}[(\lambda \phi H) - t]$

세 번째, 참여한 타이 포인트의 i 개 영상좌표 오차($L_c - L_t = \Delta L, S_c - S_t = \Delta S$)를 이용하여 affine RPC 보정계수를 결정한다. 보정계수는 최소제곱법과 반복 계산을 이용하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}\Delta L_i &= A_0 + A_1 \cdot L_{ci} + A_2 \cdot S_{ci} \\ \Delta S_i &= B_0 + B_1 \cdot L_{ci} + B_2 \cdot S_{ci}\end{aligned}\quad <2-20>$$

여기서, ΔL_i , ΔS_i : $i(=1\sim n)$ 번째 라인, 샘플의 오차

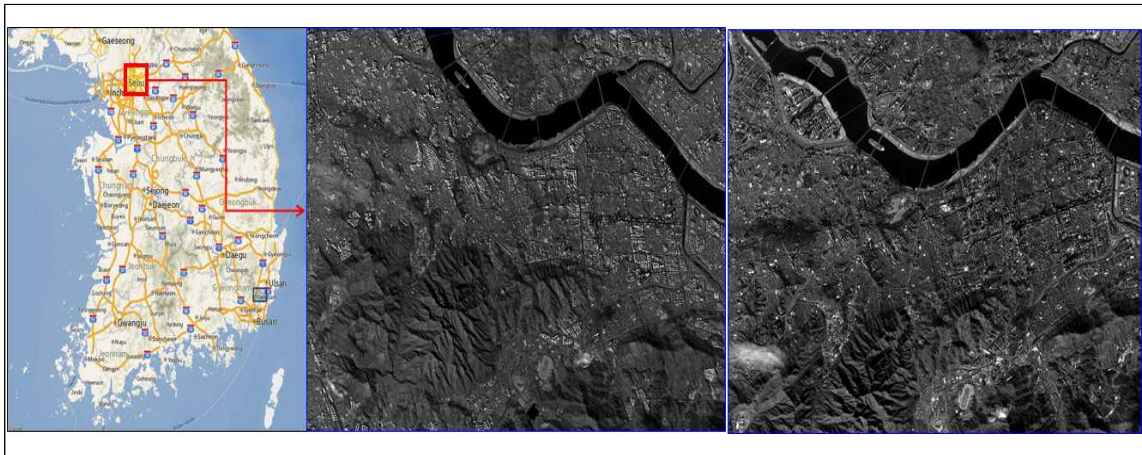
L_{ci} , S_{ci} : <식 2-18>로 구한 보정된 타이 포인트의 i 번째의 라인, 샘플 영상좌표

$A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2$: RPC 오차 보정을 위한 affine 변환 계수

나) 적용실험과 결과분석

(1) 국내 서울시(아리랑 3A)

첫 번째 실험에 사용된 아리랑 3A 스테레오 영상자료는 2015년 12월 11일에 서울시 일대를 대상으로 관측 수집된 스테레오 영상이다<그림 2-60>. <표 2-12>은 스테레오 영상에 대한 정보를 나타낸 것이다. 초기 확보한 대상지역 ICESat-2(ATL 08) 포인트 자료(2018년부터 2020년 위치 자료를 취합)는 728점이었으나, 분류영상을 이용하여 지면에 해당하는 포인트만을 선택하였다. 최종적으로 선정된 ICESat-2 포인트는 70점이다.



자료: 저자 작성

<그림 2-60> 서울시 위치와 아리랑 3A 스테레오 영상

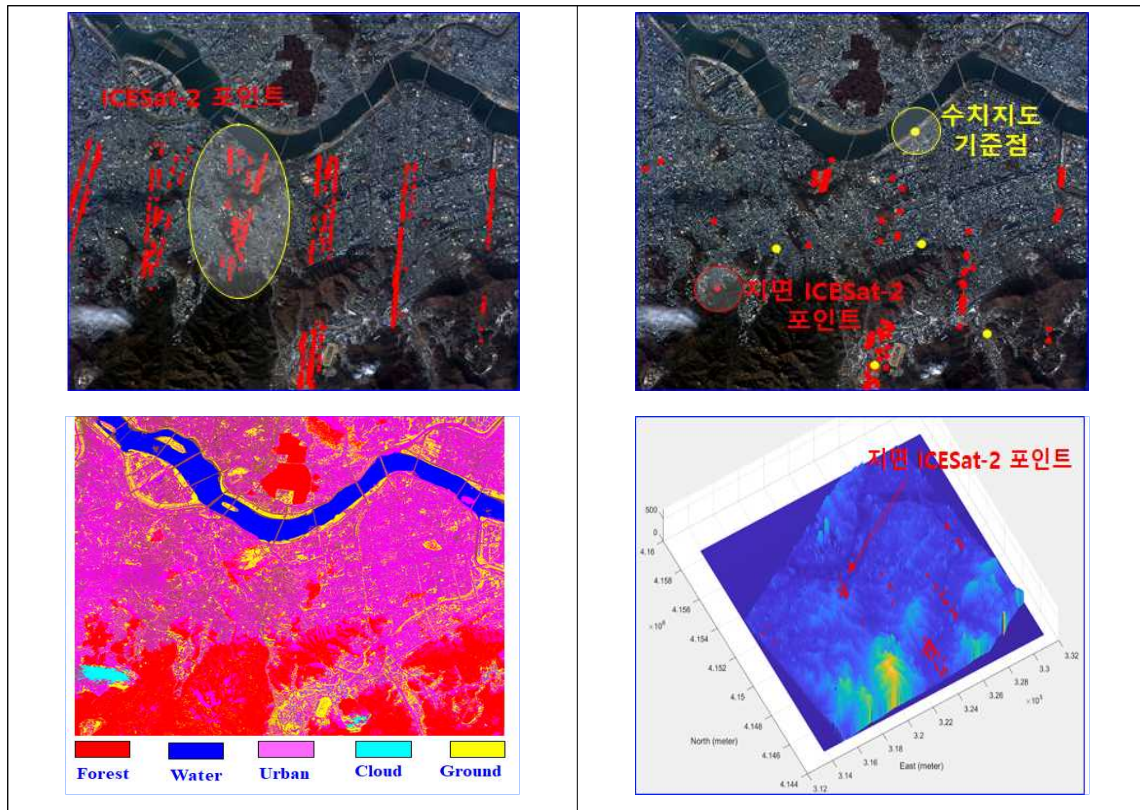
<표 2-11> 아리랑 3A 서울시 스테레오 위성영상 현황

| Image | First Image | Second Image |
|-----------------------|---|---|
| Roll Angle | 25.3° | 23.70° |
| Pitch Angle | -22.8° | 13.0° |
| Yaw Angle | 14.5° | -3.2° |
| Acquisition Date/Time | 2015-12-11/04-50-50(UTC) | 2015-12-11/04-51-08(UTC) |
| Image Size | Column = 24060pixels × Row = 17520pixels | Column = 24060pixels × Row = 20680pixels |
| GSD | 0.7m | 0.7m |
| Image Level | 1R | |

자료: 저자 작성

초기 확보한 대상지역 ICESat-2(ATL 08) 포인트 자료(2018년부터 2020년 위치자료를 취합)는 728 점이였으나, 분류영상을 이용하여 지면에 해당하는 70개 포인트만을 최종적으로 선택하였다.

선정된 ICESat-2 포인트와 제공 RPC로 제작한 DEM 간 3D 매칭을 수행하고 이로부터 3축 변환계수를 결정할 수 있었다. 이 변환계수는 <식 2-11>에 적용하여 RPC 보정계수 계산에 적용할 수 있었다. 계산된 RPC 보정계수의 정확도를 확인하기 위하여 1/1,000 수치지도에서 5점의 지상 좌표와 두 영상의 영상좌표를 획득하였다. DEM은 Correlator3D 소프트웨어를 이용하여 그리드 간격 2m로 제작되었다. <그림 2-61>는 이와 관련한 자료를 나타낸 것이다.

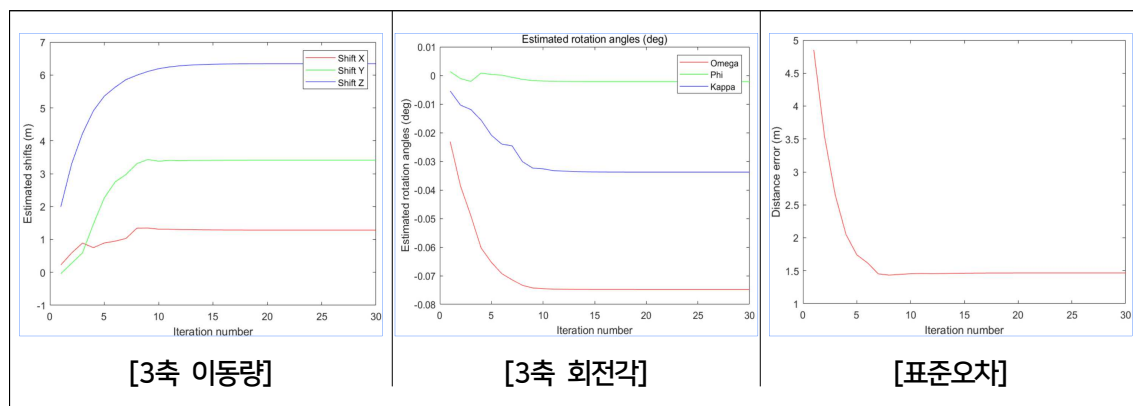


자료: 저자 작성

<그림 2-61> 확보한 초기 ICESat-2 포인트(좌측상단), 분류영상(좌측하단), 선정된 지면 ICESat-2 포인트와 수치지도 기준점이 포함된 컬러영상(우측상단), 지면 ICESat-2 포인트가 포함된 DEM(우측하단)

<그림 2-62>은 DEM과 선택된 ICESat-2 포인트를 이용하여 3D 매칭의 반복 수행과정을 나타낸 것이다. 참고로 실험에서는 축척계수 계산은 생략하였다. <그림 2-62>에서 보는 바와 같이, 3축 이동량과 회전각 계산은 반복횟수 15 이내에서 수렴하는 것을 볼 수 있다.

결정된 3축 변환계수는 $t_x=1.285\text{m}$, $t_y=3.411\text{m}$, $t_z=6.344\text{m}$, $\omega=-0.07480^\circ$, $\varphi=-0.00213^\circ$, $\kappa=-0.03378^\circ$ 이다. 3축 이동량은 높이를 제외한 수평방향 이동이 적은 편이고, 회전각 또한 수 분 이내의 값을 보인다. 이는 제공 RPC로 제작한 DEM의 오차가 크지 않다는 것을 반증한다고 볼 수 있다. 또한 결정된 변환계수에 의한 공간상 거리의 표준오차는 변환 전 5m에서 1.5m로 감소 후 더 이상의 변화가 없었다.

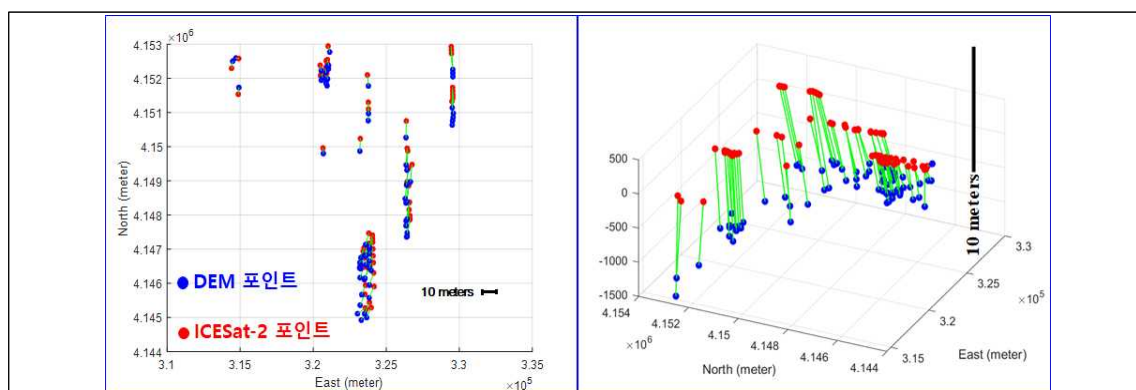


자료: 저자 작성

<그림 2-62> LS3D 매칭과 반복계산 과정에 따른 3축 변환계수와 표준오차

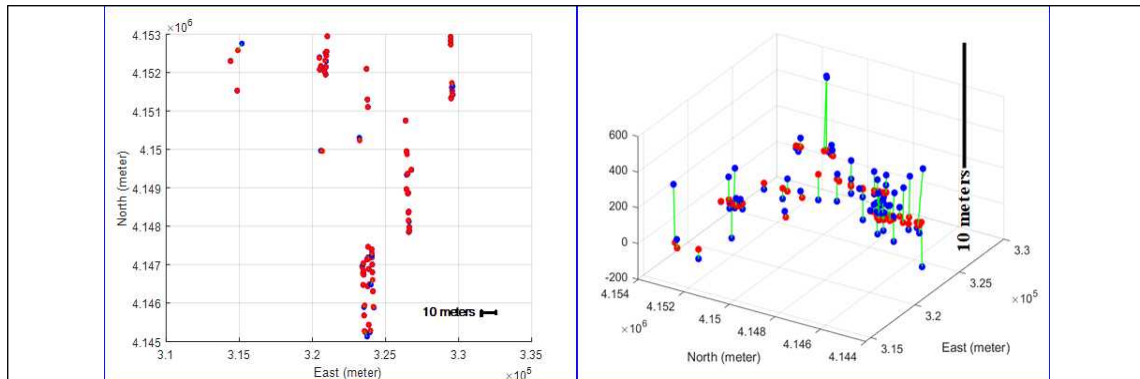
<그림 2-63>과 <그림 2-64>는 보정 전, 후 DEM과 선정된 ICESat-2 포인트 사이에서 공간상 가장 가까운 거리 내에 있는 지점 간 평면상 거리차와 공간상 거리차를 나타낸 것이다. 보정 전 평면과 공간위치 차이에서 전반적으로 일정한 패턴을 볼 수 있다. 이는 결정된 3축 변환계수에서 볼 수 있듯이 제공 RPC가 회전의 영향이 적고 대부분 3축 이동오차에 의한 센서모델이기 때문이다.

여기서, 평면거리상의 RMSE와 최대 거리오차는 보정전 4.4m와 6.9m에서 보정후 0.6m와 3.3m로 향상되었다. 공간거리상의 RMSE와 최대 거리오차는 보정전 9.0m와 15.2m에서 보정후 1.4m와 4.5m로 향상되었다. 보정 후 공간거리 RMSE는 앞에서 결정된 3축 변환계수 결정에 의한 표준오차와 유사한 결과를 보여준다.



자료: 저자 작성

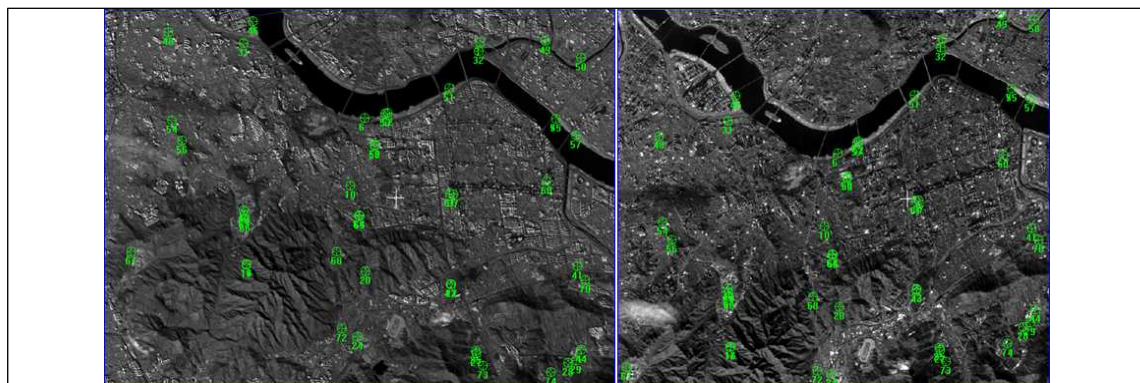
<그림 2-63> DEM 보정 전 평면거리 차(왼쪽그림)와 공간거리 차(오른쪽 그림)(빨간색 점: ICESat-2 점; 파란색 점: DEM 점)



자료: 저자 작성

<그림 2-64> DEM 보정 후 평면거리 오차(왼쪽그림) 공간거리 오차(오른쪽 그림)(빨간색 점: ICESat-2 점; 파란색 점: DEM 점)

다음으로 3D매칭으로 결정된 3축 이동과 회전요소와 ERDAS Imagine S/W로 구한 45점의 타이 포인트<그림 2-65>를 이용하여 앞에서 제시한 순서대로 RPC affine 조정계수를 구하고, 제공 RPC를 업데이트하였다.



자료: 저자 작성

<그림 2-65> ERDAS Imagine S/W로 추출한 두 영상의 타이 포인트

<표 2-13>는 첫 번째 영상과 두 번째 영상의 RPC affine 조정계수를 나타낸 것이며, <그림 2-66>는 RPC 업데이트 전, 후를 나타낸 것이다.

<표 2-12> 영상별 RPC 보정계수

| Image | A_0 | A_1 | A_2 | B_0 | B_1 | B_2 |
|-------|-------|------------|------------|---------|-----------|-----------|
| 1 | 9.309 | 1.464E-04 | -2.312E-04 | 0.775 | -4.328-05 | 1.230E-04 |
| 2 | 1.898 | -1.222E-04 | 2.078E-04 | -13.047 | 1.455E-05 | 8.216E-05 |

자료: 저자 작성

| 제공 RPC | | | | 수정 RPC | | | |
|---|---|--|--|---|--|--|---|
| LINE_OFF: +8760.00 pixels SAMP_OFF: +12030.00 pixels LAT_OFF: +37.48168451 degrees LONG_OFF: +126.99312692 degrees HEIGHT_OFF: +243.22 meters LINE_SCALE: +8759.50 pixels SAMP_SCALE: +12029.50 pixels LAT_SCALE: +0.09282252 degrees LONG_SCALE: +0.10929004 degrees HEIGHT_SCALE: +243.22 meters | | | | LINE_OFF: +8751.66 pixels SAMP_OFF: +12115.90 pixels LAT_OFF: +37.48187806 degrees LONG_OFF: +126.99335481 degrees HEIGHT_OFF: +243.00 meters LINE_SCALE: +8530.66 pixels SAMP_SCALE: +12093.36 pixels LAT_SCALE: +0.07238885 degrees LONG_SCALE: +0.08523126 degrees HEIGHT_SCALE: +189.39 meters | | | |
| LINE_NUM_COEFF_1: -1.090123663977079e-004 | SAMP_NUM_COEFF_1: +6.839804991067653e-003 | LINE_NUM_COEFF_2: +6.042938708930943e-001 | SAMP_NUM_COEFF_2: +1.069961426057891e+000 | LINE_NUM_COEFF_1: +1.034854258526637e-04 | SAMP_NUM_COEFF_1: +2.297907877738792e-03 | LINE_NUM_COEFF_2: +8.298949772903427e-01 | SAMP_NUM_COEFF_2: +1.717424481401519e-01 |
| LINE_NUM_COEFF_3: -1.464366286713291e+000 | SAMP_NUM_COEFF_3: +2.212864674590112e-001 | LINE_NUM_COEFF_4: -1.748809388154827e-002 | SAMP_NUM_COEFF_4: +1.290778689535392e-002 | LINE_NUM_COEFF_3: -1.172308856243997e+000 | SAMP_NUM_COEFF_3: +9.99848686748768e-03 | LINE_NUM_COEFF_4: -1.694643318574189e-03 | SAMP_NUM_COEFF_4: +1.235259073036029e-04 |
| LINE_NUM_COEFF_5: -3.924597627940808e-004 | SAMP_NUM_COEFF_5: -2.813977439075845e-003 | LINE_NUM_COEFF_6: -2.516708028846148e-006 | SAMP_NUM_COEFF_6: +1.244174215432914e-004 | LINE_NUM_COEFF_5: -2.294837091258811e-04 | SAMP_NUM_COEFF_5: +1.694643318574189e-03 | LINE_NUM_COEFF_6: -2.516708028846148e-006 | SAMP_NUM_COEFF_6: +1.235259073036029e-04 |
| LINE_NUM_COEFF_7: -7.078232950828449e-008 | SAMP_NUM_COEFF_7: +4.471524793419423e-003 | LINE_NUM_COEFF_8: -3.485129518146327e-004 | SAMP_NUM_COEFF_8: +6.895151623200803e-003 | LINE_NUM_COEFF_7: -1.992761127167811e-06 | SAMP_NUM_COEFF_7: +3.385609111524198e-05 | LINE_NUM_COEFF_8: -3.485129518146327e-004 | SAMP_NUM_COEFF_8: +1.235259073036029e-04 |
| LINE_NUM_COEFF_9: -2.096913101260960e-005 | SAMP_NUM_COEFF_9: -1.166537535823460e-006 | LINE_NUM_COEFF_10: +7.40018717805393e-007 | SAMP_NUM_COEFF_10: +1.827526924616610e-006 | LINE_NUM_COEFF_9: -9.559774240290110e-05 | SAMP_NUM_COEFF_9: -2.666930762859874e-05 | LINE_NUM_COEFF_10: +7.40018717805393e-007 | SAMP_NUM_COEFF_10: +1.600003684895327e-06 |
| LINE_NUM_COEFF_11: +3.268185294854037e-006 | SAMP_NUM_COEFF_11: +1.663189215436488e-006 | LINE_NUM_COEFF_12: +2.78563298392252e-005 | SAMP_NUM_COEFF_12: +3.454001296438544e-005 | LINE_NUM_COEFF_11: +2.468317765689187e-06 | SAMP_NUM_COEFF_11: +9.813955461952398e-07 | LINE_NUM_COEFF_12: +2.78563298392252e-005 | SAMP_NUM_COEFF_12: +2.003291418153581e-05 |
| LINE_NUM_COEFF_13: +9.11061517203701e-004 | SAMP_NUM_COEFF_13: +6.6115031407541358e-005 | LINE_NUM_COEFF_14: +2.76258145790523e-005 | SAMP_NUM_COEFF_14: -1.45303319510757e-005 | LINE_NUM_COEFF_13: +1.435223485870378e-04 | SAMP_NUM_COEFF_13: +4.237894375607999e-05 | LINE_NUM_COEFF_14: +2.76258145790523e-005 | SAMP_NUM_COEFF_14: +1.705253002487692e-06 |
| LINE_NUM_COEFF_15: -9.682394745753471e-005 | SAMP_NUM_COEFF_15: -1.21063959615596e-005 | LINE_NUM_COEFF_16: -2.190859705924571e-004 | SAMP_NUM_COEFF_16: -1.09510199445239e-005 | LINE_NUM_COEFF_15: -8.837890501140161e-05 | SAMP_NUM_COEFF_15: -1.166010831444660e-05 | LINE_NUM_COEFF_16: -2.190859705924571e-004 | SAMP_NUM_COEFF_16: -5.047232268064497e-05 |
| LINE_NUM_COEFF_17: -6.6045591456043675e-005 | SAMP_NUM_COEFF_17: -3.05620479458698e-005 | LINE_NUM_COEFF_18: -1.238853765074583e-006 | SAMP_NUM_COEFF_18: -2.35641548889214e-005 | LINE_NUM_COEFF_17: -4.775037692905915e-05 | SAMP_NUM_COEFF_17: -1.1532532620779804e-06 | LINE_NUM_COEFF_18: -1.238853765074583e-006 | SAMP_NUM_COEFF_18: -1.231750699268419e-06 |
| LINE_NUM_COEFF_19: -4.266401357299078e-006 | SAMP_NUM_COEFF_19: -4.408590768114243e-008 | LINE_NUM_COEFF_20: -7.885014629330863e-007 | SAMP_NUM_COEFF_20: -1.754800328058048e-007 | LINE_NUM_COEFF_19: -5.926430914199802e-06 | SAMP_NUM_COEFF_19: -1.486305829257178e-06 | LINE_NUM_COEFF_20: -7.885014629330863e-007 | SAMP_NUM_COEFF_20: +9.93696064197628e-08 |
| LINE_DEN_COEFF_1: +1.000000000000000e+000 | SAMP_DEN_COEFF_1: +1.000000000000000e+000 | LINE_DEN_COEFF_2: +7.577774870682386e-005 | SAMP_DEN_COEFF_2: +6.815754671590212e-004 | LINE_DEN_COEFF_1: +1.000000000000000e+000 | SAMP_DEN_COEFF_1: +1.000000000000000e+000 | LINE_DEN_COEFF_2: +7.577774870682386e-005 | SAMP_DEN_COEFF_2: +1.388948116282758e-03 |
| LINE_DEN_COEFF_3: -8.990511991285992e-008 | SAMP_DEN_COEFF_3: -2.313443951565825e-003 | LINE_DEN_COEFF_4: +3.637718705278797e-004 | SAMP_DEN_COEFF_4: +8.613475053725614e-006 | LINE_DEN_COEFF_3: +1.299213018795883e-04 | SAMP_DEN_COEFF_3: +0.016087438287451e-03 | LINE_DEN_COEFF_4: +3.637718705278797e-004 | SAMP_DEN_COEFF_4: -1.313225648190736e-04 |
| LINE_DEN_COEFF_5: +4.249199791484322e-006 | SAMP_DEN_COEFF_5: +1.959880264575517e-006 | LINE_DEN_COEFF_6: -1.145800174278704e-005 | SAMP_DEN_COEFF_6: -5.137897484065051e-006 | LINE_DEN_COEFF_5: +2.194365295989225e-04 | SAMP_DEN_COEFF_5: +4.074894310485160e-06 | LINE_DEN_COEFF_6: -1.145800174278704e-005 | SAMP_DEN_COEFF_6: +6.101661297441043e-07 |
| LINE_DEN_COEFF_7: -5.292643328165310e-005 | SAMP_DEN_COEFF_7: -5.389844077362952e-007 | LINE_DEN_COEFF_8: -3.760214416921354e-004 | SAMP_DEN_COEFF_8: -5.448378189531573e-005 | LINE_DEN_COEFF_7: -4.308534001426011e-06 | SAMP_DEN_COEFF_7: -5.862102304135947e-06 | LINE_DEN_COEFF_8: -3.760214416921354e-004 | SAMP_DEN_COEFF_8: -2.125881403177119e-06 |
| LINE_DEN_COEFF_9: +4.500500323804452e-005 | SAMP_DEN_COEFF_9: -1.364031348368672e-005 | LINE_DEN_COEFF_10: +3.001466826654958e-006 | SAMP_DEN_COEFF_10: +5.635525973757983e-008 | LINE_DEN_COEFF_9: -2.061559314463446e-04 | SAMP_DEN_COEFF_9: -2.790925409468180e-05 | LINE_DEN_COEFF_10: +3.001466826654958e-006 | SAMP_DEN_COEFF_10: -7.78286675814095e-08 |
| LINE_DEN_COEFF_11: +6.597821639863751e-006 | SAMP_DEN_COEFF_11: +2.82993923950170e-007 | LINE_DEN_COEFF_12: +1.381966690433067e-004 | SAMP_DEN_COEFF_12: +2.800799215090215e-006 | LINE_DEN_COEFF_11: +1.325573790264530e-06 | SAMP_DEN_COEFF_11: +2.989901582616916e-08 | LINE_DEN_COEFF_12: +1.381966690433067e-004 | SAMP_DEN_COEFF_12: +4.88271508687396e-06 |
| LINE_DEN_COEFF_13: -2.691407995266150e-009 | SAMP_DEN_COEFF_13: -9.552440368088476e-008 | LINE_DEN_COEFF_14: -5.071799554606460e-005 | SAMP_DEN_COEFF_14: -1.102325998817345e-006 | LINE_DEN_COEFF_13: +6.251607779139344e-05 | SAMP_DEN_COEFF_13: +1.530114811604411e-08 | LINE_DEN_COEFF_14: -5.071799554606460e-005 | SAMP_DEN_COEFF_14: -3.43537248829306e-07 |
| LINE_DEN_COEFF_15: -1.119217830996844e-004 | SAMP_DEN_COEFF_15: -2.652711645316005e-006 | LINE_DEN_COEFF_16: -4.149907612060498e-008 | SAMP_DEN_COEFF_16: -3.706180201497625e-008 | LINE_DEN_COEFF_15: -2.445290632400257e-05 | SAMP_DEN_COEFF_15: -1.083444618592224e-06 | LINE_DEN_COEFF_16: -4.149907612060498e-008 | SAMP_DEN_COEFF_16: -1.954836330412033e-07 |
| LINE_DEN_COEFF_17: -5.826374746627088e-007 | SAMP_DEN_COEFF_17: -3.740252635667180e-008 | LINE_DEN_COEFF_18: -3.874721477996999e-006 | SAMP_DEN_COEFF_18: -6.935532014297646e-008 | LINE_DEN_COEFF_17: -1.648620731276047e-07 | SAMP_DEN_COEFF_17: -1.069864086432666e-08 | LINE_DEN_COEFF_18: -3.874721477996999e-006 | SAMP_DEN_COEFF_18: -7.625339055925239e-08 |
| LINE_DEN_COEFF_19: -1.771021695436913e-010 | SAMP_DEN_COEFF_19: +5.841207884396566e-009 | LINE_DEN_COEFF_20: -1.771021695436913e-010 | SAMP_DEN_COEFF_20: -1.771021695436913e-010 | LINE_DEN_COEFF_19: -1.742063628812446e-06 | SAMP_DEN_COEFF_19: +1.549404222076538e-07 | LINE_DEN_COEFF_20: -1.771021695436913e-010 | SAMP_DEN_COEFF_20: +1.549404222076538e-07 |

자료: 저자 작성

<그림 2-66> 첫 번째 영상의 RPC 업데이트 전후

RPC 보정계수 정확도 평가를 위해 1/1,000 수치지형도에서 측정한 5개 검사점의 지상좌표를 각 영상의 업데이트 RPC를 이용하여 영상좌표로 변환 후, 측정된 영상좌표와 비교하였다. <표 2-14>과 <표 2-15>는 RPC 보정 전, 후 영상좌표 오차를 나타낸 것이다. 두 영상 모두 RPC 보정 후 오차가 줄어든 것을 볼 수 있다.

여기서, 보정 후 RMSE는 라인이 샘플에 비해 2화소 정도 크게 발생하였으며, 두 번째 영상의 오차가 상대적으로 크게 나타났다. 오차 평균은 대부분 0에 가깝지만 첫 번째 영상 라인이 -1 화소

정도로 두 번째 영상에 비해 오차편의가 1화소 정도 크게 나타났다. 최대오차는 두 번째 영상의 라
인에서 5화소 정도로 RMSE에 비해 2화소 크게 나타났다.

<표 2-13> RPC 보정 전 영상좌표 오차(단위: pixel)

| Image | RMSE | | Mean Error | | Max Abs. Error | |
|-------|------|--------|------------|--------|----------------|--------|
| | line | sample | line | sample | line | sample |
| 1 | 7.7 | 1.4 | 7.6 | -1.0 | 9.2 | 1.9 |
| 2 | 4.9 | 11.0 | 2.7 | -11.0 | 7.4 | 12.2 |

자료: 저자 작성

<표 2-14> RPC 보정 후 영상좌표 오차(단위: pixel)

| Image | RMSE | | Mean Error | | Max Abs. Error | |
|-------|------|--------|------------|--------|----------------|--------|
| | line | sample | line | sample | line | sample |
| 1 | 2.1 | 0.9 | -1.2 | 0.1 | 2.9 | 1.4 |
| 2 | 3.3 | 1.1 | -0.4 | 0.7 | 5.5 | 2.3 |

자료: 저자 작성

검사점의 영상좌표, 업데이트 RPC를 이용하여 지상좌표를 계산한 후, 검사점의 측정 지상좌표
와 비교하였다. <표 2-16>는 RPC 보정 전, 후 지상좌표 오차를 나타낸 것이다. 지상좌표 오차도
RPC 보정 전에 비해 보정 후 오차가 3축 모든 방향에 대해 줄어 든 것을 볼 수 있다. RMSE는 전반
적으로 영상 해상도(0.7m) 보다 2배 정도로 나타났다. 오차의 평균은 해상도 내외로 오차편의가
거의 0에 가까웠으나 높이 최대오차는 3m로 RMSE 두 배 정도의 결과를 나타냈다.

<표 2-15> RPC 보정 전, 후 검사점의 지상좌표 오차(단위: meter)

| Correction | RMSE | | | Mean Error | | | Max Abs. Error | | |
|------------|------|-----|-----|------------|------|------|----------------|-----|------|
| | E | N | H | E | N | H | E | N | H |
| Before | 1.3 | 3.9 | 6.8 | 0.9 | 3.3 | 6.2 | 1.9 | 5.7 | 10.9 |
| After | 0.8 | 1.8 | 1.6 | 0.2 | -0.5 | -0.9 | 0.9 | 3.1 | 3.0 |

자료: 저자 작성

(2) 국내 대전시(아리랑 3A)

이 연구에서 확보한 대전지역 15개 아리랑 3A 위성영상들은 대부분 스테레오 모드가 아닌 스트
립 모드로 관측 수집되었다 <그림 2-67>. DEM은 <표 2-17>에서 보는 바와 같이, 이중 촬영 기하
가 가장 양호한 2015년과 2016년 영상을 선정하여 Correlator3D 소프트웨어로 제작되었다. 그

러나 두 영상 간 시기적 차이, 영상 내 구름과 구름으로 인한 그림자 영역의 영향 등은 제작된 DEM (그리드 간격= 2m)의 품질 저하를 초래한다. 특히, 두 영상의 시간과 계절적 차이는 산림지역의 유사성을 급격히 떨어뜨림에 따라 두 영상간 오매칭으로 인한 산림지역 DEM 오차의 요인이 된다.

확보한 대상지역 ICESat-2(ATL 08) 포인트 자료(2018년부터 2021년 위치자료를 취함)는 분류영상을 이용하여 지면에 해당하는 포인트만을 선택하였다. 최종적으로 3D 매칭에 사용된 ICESat-2 포인트는 75점이다. 그러나 대전 영상도 서울영상과 같이 건물에 비해 노출된 지면의 빈도가 상대적으로 떨어지기 때문에 제공되는 다중밴드 영상으로 분류영상을 제작하고 지면 ICESat 자료만을 선정하더라도 밀집된 건물 주변의 지면은 제작된 DEM에서 건물로 잘 못 인식될 가능성이 있다.



자료: 저자 작성

<그림 2-67> 대전시 위치와 사용된 아리랑 3A 영상

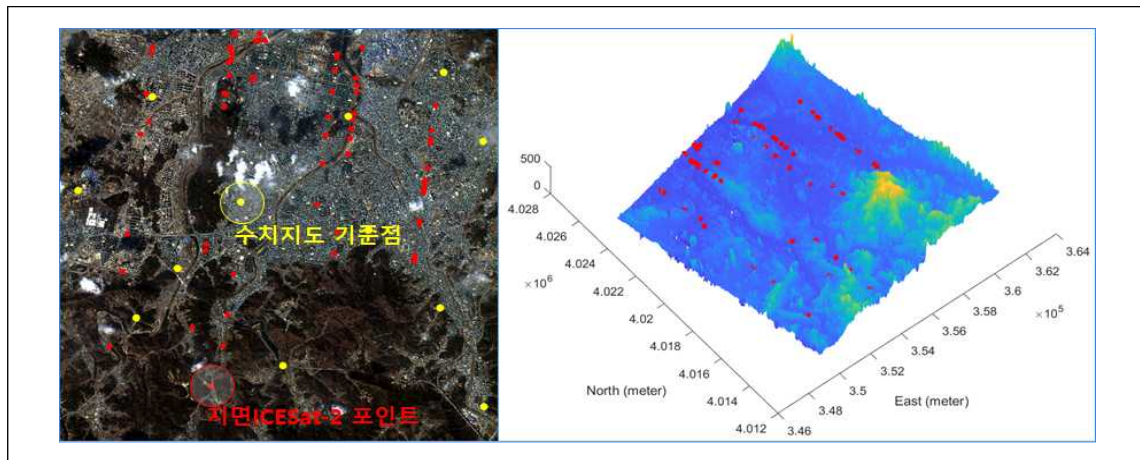
<표 2-16> 아리랑 3A 대전지역 위성영상 현황

| Image | First Image | Second Image |
|-----------------------|---|---|
| Roll Angle | 27.8° | -9.2° |
| Pitch Angle | 1.3° | -1.8° |
| Yaw Angle | 2.2° | 2.6° |
| Acquisition Date/Time | 2015-10-18/04-49-51(UTC) | 2016-03-11/04-33-53(UTC) |
| Image Size | Column = 24060pixels × Row = 21080pixels | Column = 24060pixels × Row = 23720pixels |
| GSD | 0.7m | 0.7m |
| Image Level | 1R | |

자료: 저자 작성

3D 매칭으로 결정된 3축 변환계수로부터 계산된 RPC 보정계수의 정확도를 확인하기 위하여 1/1,000 수치지도에서 10점의 지상좌표와 두 영상의 영상좌표를 획득하였다. <그림 2-68>은 지

면 위치로 선정된 ICESat-2 포인트와 수치지도 기준점이 포함된 컬러영상, 사용된 두 영상과 제공되는 RPC를 이용하여 제작한 DEM, DEM에 선정된 ICESat-2 포인트를 중첩하여 나타낸 것이다.

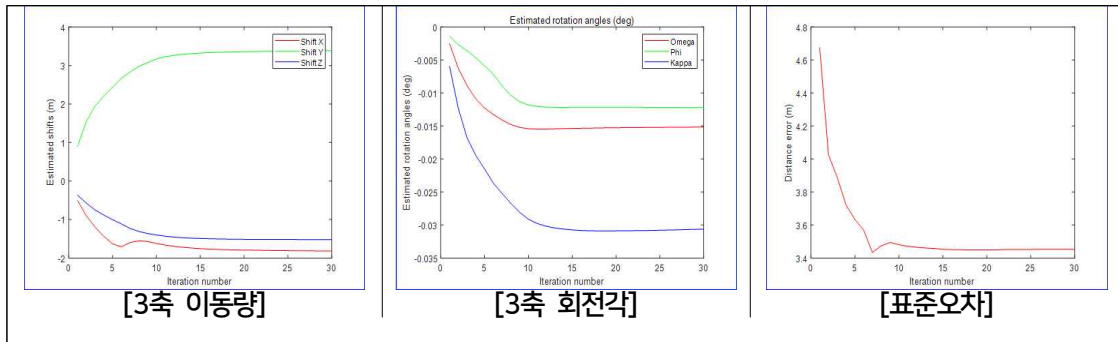


자료: 저자 작성

<그림 2-68> 좌측으로부터 선정된 ICESat-2 포인트(빨간색 점)와 수치지도 기준점(노란색 점)이 포함된 컬러영상, DEM과 선정된 ICESat-2 포인트

<그림 2-69>은 DEM과 선택된 ICESat-2 포인트를 이용하여 3D 매칭의 반복 수행과정을 나타낸 것이다. <그림 2-69>에서 보는 바와 같이, 3축 변환계수 계산은 반복횟수 15이내에서 수렴하는 것을 볼 수 있다.

결정된 3축 변환계수는 $t_x=-1.816\text{m}$, $t_y=3.389\text{m}$, $t_z=-1.520\text{m}$, $\omega=-0.01516^\circ$, $\varphi=-0.01221^\circ$, $\kappa=-0.03062^\circ$ 으로써 3축 이동량과 회전량 모두 적은편이다. 따라서 대전지역 실험에서도 제공 RPC로 제작한 DEM 오차가 크지 않다는 것으로 분석될 수 있다. 또한 결정된 변환계수에 의한 공간상 거리의 표준오차는 변환 전 약 4.7m에서 3.4m로 약 1m 감소한 후 더 이상의 변화가 없었다. 보정 후 표준오차는 같은 시간에 스테레오 모드로 획득한 서울 실험에 비해 다소 큰 결과를 보여준다.



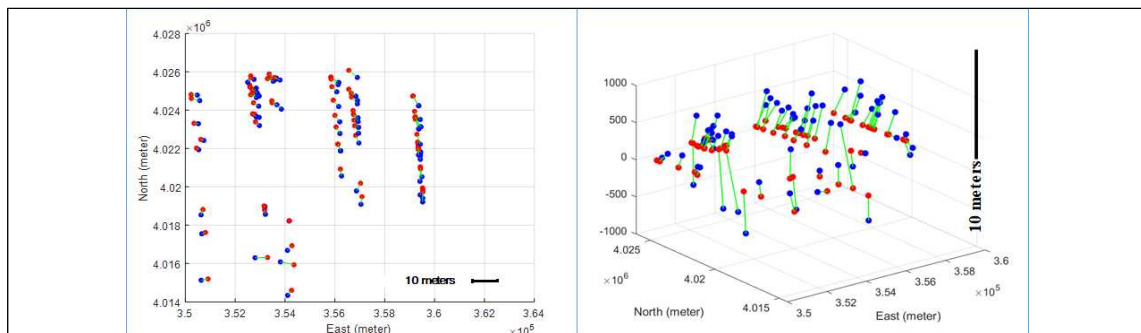
자료: 저자 작성

<그림 2-69> LS3D 매칭과 반복계산 과정에 따른 3축 변환계수와 표준오차

<그림 2-70>와 <그림 2-71>는 보정 전, 후 DEM과 최종 선정된 ICESat-2 포인트와 공간상 가장 가까운 거리 내에 있는 지점 간 평면상 거리 차와 공간상 거리차를 나타낸 것이다. 여기서, 보정 전 평면과 공간위치 차이패턴이 아래쪽 분포 점들에서는 불규칙한 반면 위쪽 분포 점들에서는 비교적 일정한 패턴을 보여준다.

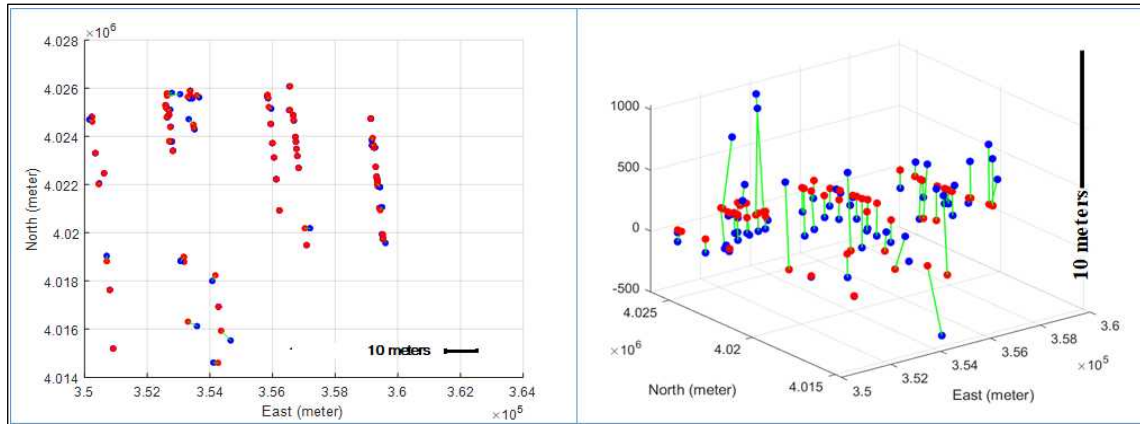
이는 앞에서도 언급한바와 같이, 제작된 DEM에서 변화가 심하지 않은 도심지에 비해 산림지역 주변의 품질이 떨어짐에 따라 지면으로 선정된 ICESat-2 포인트라 하더라도 DEM과 3D 매칭과정에서는 산림지역에 포함됐을 가능성이 크다고 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 평면거리상의 RMSE와 최대 거리오차는 보정 전 3.9m와 6.5m에서 보정 후 1.2m와 5.1m로 향상되었다.

공간거리상의 RMSE는 보정 전 5.2m에서 보정 후 3.3m로 향상된 반면 최대오차는 보정 전 10.5m에서 보정 후 10.0m로 거의 변화가 없었다. 대전지역 실험에서도 보정 후 공간거리 RMSE는 앞에서 결정된 3축 변환계수 결정에 의한 표준오차와 유사한 결과를 보여준다.



자료: 저자 작성

<그림 2-70> DEM 보정 전 평면거리 차(좌)와 공간거리 차(우)(적색: ICESat-2 점; 청색: DEM 점)



자료: 저자 작성

<그림 2-71> DEM 보정 후 평면거리 차(좌)와 공간거리 차(우)(적색: ICESat-2 점; 청색: DEM 점)

<표 2-18>은 서울지역과 같은 방법으로 3D매칭으로 결정된 3축 변환계수와 타이 포인트 65점을 이용하여 결정한 첫 번째 영상과 두 번째 영상의 RPC affine 조정계수를 나타낸 것이며 조정계수를 이용하여 RPC를 업데이트하였다. 여기서는 RPC 업데이트 전후에 대한 자료를 생략하였다.

<표 2-17> 영상별 RPC 보정계수(단위: pixel)

| Image | A_0 | A_1 | A_2 | B_0 | B_1 | B_2 |
|-------|-------|-----------|------------|--------|-----------|------------|
| 1 | 6.280 | 3.606E-07 | -1.668E-06 | 1.513 | 7.289E-06 | 1.185E-06 |
| 2 | 6.528 | 1.852E-05 | -6.860E-06 | -1.370 | 1.859E-05 | -1.557E-05 |

자료: 저자 작성

다음은 1/1,000 수치지형도에서 획득한 10개 검사점의 지상좌표를 각 영상의 업데이트 RPC를 이용하여 영상좌표로 변환한 후 측정된 영상좌표와 비교하였다. <표 2-19>, <표 2-20>은 보정 전, 후 RPC의 영상좌표 정확도를 나타낸 것이다.

RPC 보정 전 RMSE는 라인이 샘플에 비해 크게 발생하였으며, 전반적으로 두 번째 영상의 오차가 더 크게 나타났다. 보정한 RPC 이더라도 앞에서 제시한 문제들로 인하여 오차평균은 여전히 1~3화소 정도의 편이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 최대오차 또한 6 화소 정도로 RMSE에 비해 두 배 정도 크게 나타났다.

<표 2-18> RPC 보정 전 영상좌표 오차(단위: pixel)

| Image | RMSE | | Mean Error | | Max Abs. Error | |
|-------|------|--------|------------|--------|----------------|--------|
| | line | sample | line | sample | line | sample |
| 1 | 10.3 | 1.9 | 10.2 | -0.1 | 11.7 | 5.4 |
| 2 | 8.4 | 7.8 | 8.2 | -7.7 | 10.6 | 10.3 |

자료: 저자 작성

<표 2-19> RPC 보정 후 영상좌표 오차(단위: pixel)

| Image | RMSE | | Mean Error | | Max Abs. Error | |
|-------|------|--------|------------|--------|----------------|--------|
| | line | sample | line | sample | line | sample |
| 1 | 2.1 | 1.8 | 0.8 | 0.3 | 3.4 | 3.6 |
| 2 | 2.0 | 3.3 | 1.2 | 3.1 | 4.3 | 5.3 |

자료: 저자 작성

검사점의 영상좌표와 업데이트한 RPC를 이용하여 지상좌표를 계산한 후 <표 2-21>과 같이 검사점의 측정 지상좌표와 비교하였다. 보정 후 RMSE는 보정 전에 비해 X축 방향은 거의 차이가 없으나 Y, Z축 방향은 3~4m 정도 향상된 것을 볼 수 있다. 보정 후 오차평균은 -2m에서 2m 사이로써 비교적 큰 편의를 보이고 있다. 특히, 최대오차의 경우 동서방향(E)에서 4.4m로 보정 전 3.2m에 비해 1m 정도 크게 발생하였다. 이는 앞에서 언급한 산림지역 주변 DEM과 ICESat-2 포인트 간 3D 매칭의 오차에 의한 영향인 것으로 보여진다.

<표 2-20> RPC 보정 전, 후 검사점의 지상좌표 오차(단위: meter)

| Correction | RMSE | | | Mean Error | | | Max Abs. Error | | |
|------------|------|-----|-----|------------|-----|------|----------------|-----|-----|
| | E | N | H | E | N | H | E | N | H |
| 전 | 2.3 | 6.0 | 6.0 | 2.3 | 6.0 | -6.0 | 3.2 | 6.9 | 8.3 |
| 후 | 2.7 | 2.5 | 2.7 | -2.0 | 0.8 | 2.1 | 4.4 | 4.4 | 5.7 |

자료: 저자 작성

(3) 장보고과학기지(아리랑 3A)

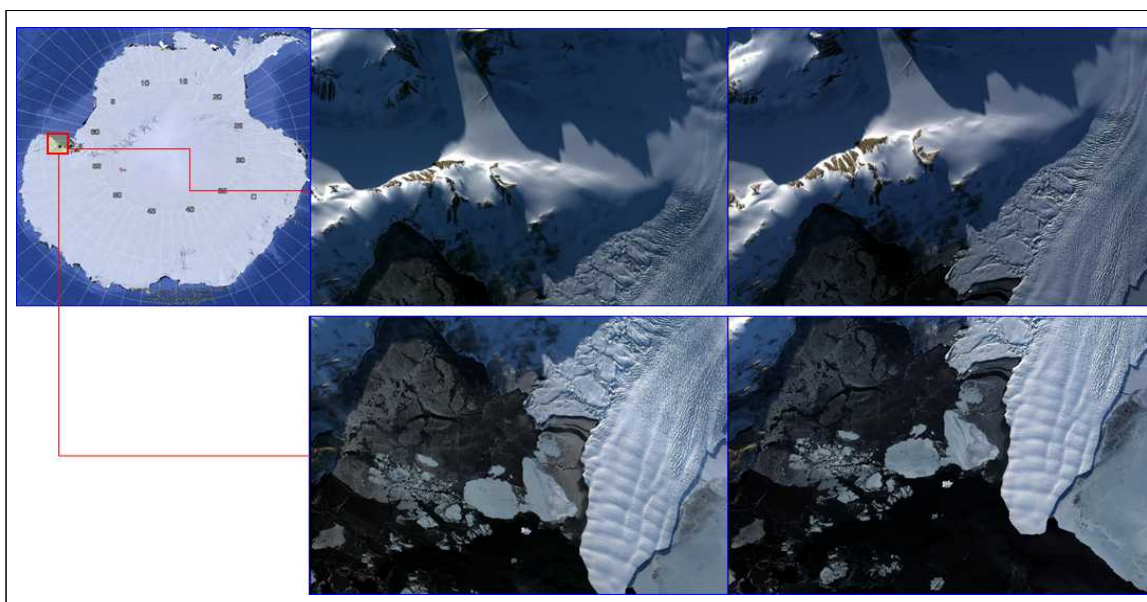
극지역 실험으로는 장보고과학기지 주변에서 2016년 3월 25일 촬영된 아리랑 3A 스테레오 위성영상을 이용하여 RPC 보정을 수행하였다. 영상은 장보고과학기지 주변 위쪽 스테레오 영상, 장보고과학기지 아래쪽 스테레오 영상세트로 이루어져 있다(그림 2-72). <표 2-22>은 스테레오 영

상에 대한 정보를 나타낸 것이다. 이 연구에서는 <그림 2-72>에서 좌측영상을 첫 번째 영상(위/아래), 우측영상을 두 번째 영상(위/아래)이라 부르고 <표 2-21> 또한 이를 따른다.

두 스테레오 세트는 동일 트랙에서 관측되었으므로 촬영시기와 촬영기하가 모두 동일하다. DEM은 Correlator3D 소프트웨어를 이용하여 그리드 간격 2m로 각각 제작되었다. 위쪽 내륙지역 스테레오 영상으로 제작한 DEM은 그림자 영역을 제외한 지역에서는 양호한 품질로 제작된 반면 아래쪽 스테레오 영상으로 제작한 DEM은 대부분 해빙과 바다가 차지하고 있으므로 오른쪽 빙하 부분만 표현된 것을 볼 수 있다.

ICESat-2(ATL 06) 포인트는 영상획득일과는 2, 3년 차이가 나는 2018년 10월부터 2019년 12월 자료를 수집하여 DEM 보정에 이용하였다. 초기 확보한 대상지역 ICESat-2 포인트 자료는 66,352 점이였으나 그림자 영역, 바다와 빙하지역을 제외한 나머지 포인트만을 선택하였다. 최종적으로 DEM 보정에 사용된 ICESat-2 포인트는 660점이다.

여기서, 아래쪽 영상으로 제작한 DEM에서 바다를 제외한 빙하지역과 일치하는 ICESat-2 포인트는 시기적으로 2, 3년 차이가 나고, 빙하지역 또한 변화가 심하게 진행되었을 가능성이 크다. 따라서 이 지역에 대한 DEM 보정과 RPC 보정은 위쪽 스테레오 영상으로 제작된 DEM과 ICESat-2 포인트 간 3D 매칭결과를 활용하였다.



자료: 저자 작성

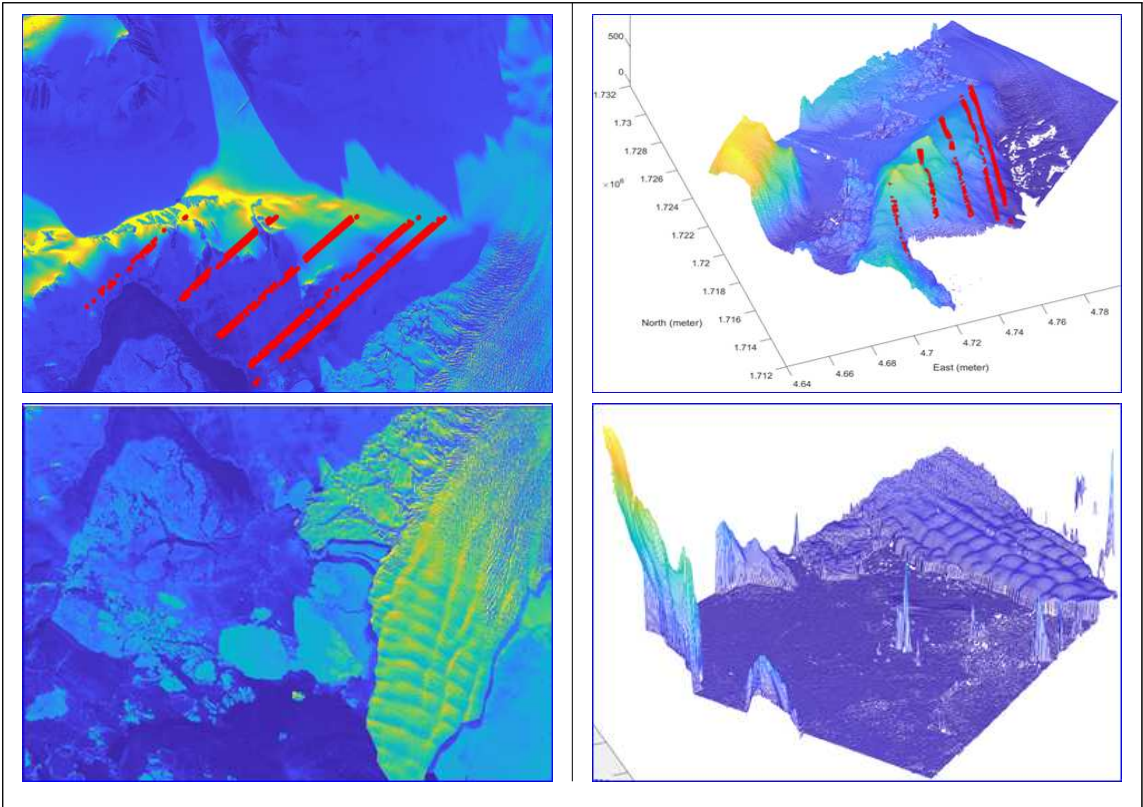
<그림 2-72> 장보고과학기지 근처 아리랑 3A 스테레오 위성영상 세트

<표 2-21> 아리랑 3A 장보고과학기지 근처 스테레오 위성영상 세트 현황

| Image | | First Image(Top / Bottom) | Second Image(Top / Bottom) |
|-----------------------|--------|---|---|
| Roll Angle | | 12.5° | 12.5° |
| Pitch Angle | | -29.2° | 29.3° |
| Yaw Angle | | 7.6° | -5.9° |
| Acquisition Date/Time | Top | 2016-03-25/04-44-06(UTC) | 2016-03-25/04-45-40(UTC) |
| | Bottom | 2016-03-25/04-44-03(UTC) | 2016-03-25/04-45-39(UTC) |
| Image Size | | Column = 24060pixels × Row = 16080pixels | Column = 24060pixels × Row = 16000pixels |
| GSD | | Column=0.7m / Row=0.8m | Column=0.7m / Row=0.8m |
| Image Level | | 1R | |

자료: 저자 작성

<그림 2-73>은 ICESat-2 포인트가 포함된 영상(좌측그림), 사용된 각각의 스테레오 영상과 제
공되는 RPC를 이용하여 제작한 DEM(우측그림)을 나타낸 것이다.

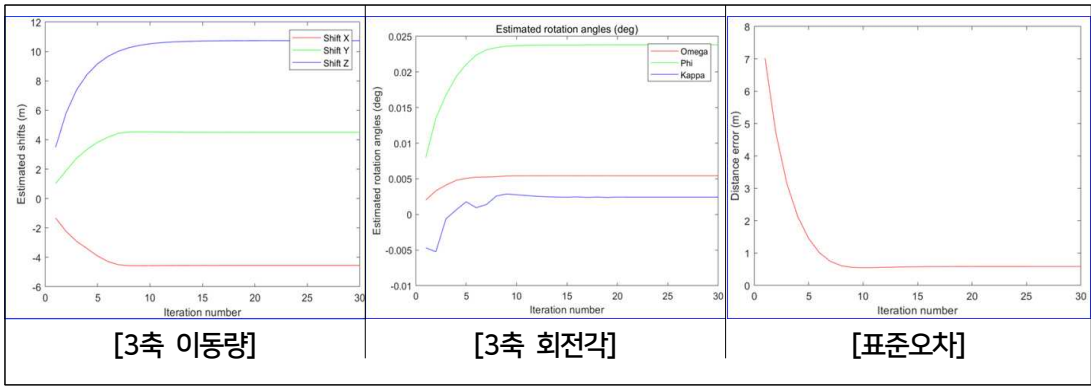


자료: 저자 작성

<그림 2-73> 좌측으로부터 위쪽 영상(ICESat-2 포인트 포함)과 아래쪽 영상, 위쪽 DEM에 포함된
ICESat-2 포인트(빨간색 점)와 아래쪽 DEM

〈그림 2-74〉는 DEM과 선택된 ICESat-2 포인트를 이용하여 3D 매칭의 반복 수행과정을 나타낸 것이다. 〈그림 2-74〉에서 보는 바와 같이, 3축 이동량과 회전각 계산은 반복횟수 10 이내에서 수렴하는 것을 볼 수 있다.

결정된 3축 변환계수는 $t_x=-4.544\text{m}$, $t_y=4.504\text{m}$, $t_z=10.738\text{m}$, $\omega=0.00542^\circ$, $\varphi=0.02380^\circ$, $\kappa=0.00243^\circ$ 이다. 3축 이동량은 10m 내외로 크지 않으며, 회전각 또한 1분 내외의 적은 값을 보이고 있다. 이 또한 제공 RPC로 제작한 DEM의 오차가 비교적 크지 않다고 볼 수 있다. 또한 결정된 변환계수에 의한 공간상 거리의 표준오차는 변환 전 7.0m에서 0.6m로 감소한 후 더 이상의 변화가 없었다.

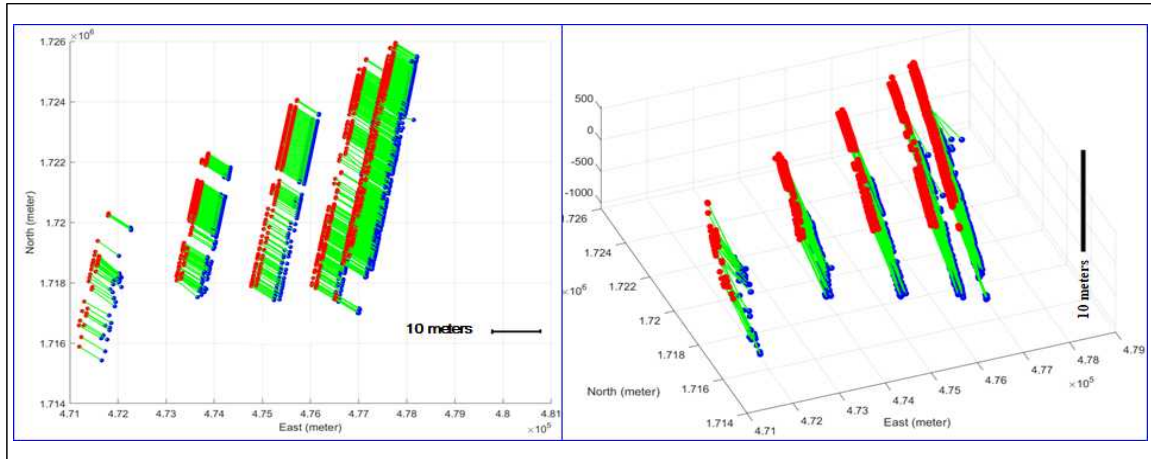


자료: 저자 작성

〈그림 2-74〉 LS3D 매칭과 반복계산 과정에 따른 3축 변환계수와 표준오차

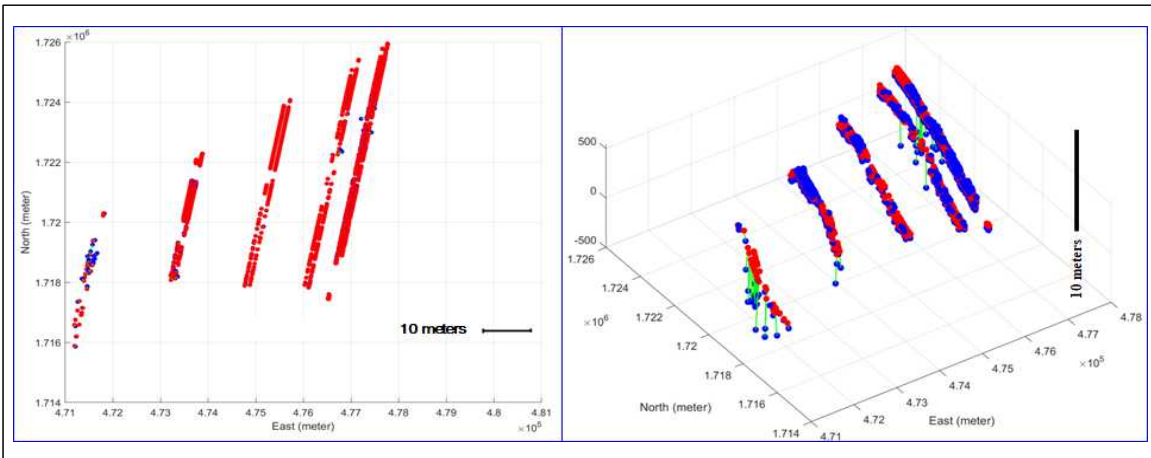
〈그림 2-75〉과 〈그림 2-76〉는 보정 전, 후 위쪽 DEM과 최종 선정된 ICESat-2 포인트들 간 가장 가까운 거리 내에 있는 평면상 거리 차와 공간상 거리차를 나타낸 것이다. 여기서, 평면거리상의 RMSE와 최대 거리오차는 보정 전 6.2m와 8.3m에서 보정 후 0.1m와 3.1m로 향상되었다.

공간거리상의 RMSE와 최대 거리오차는 보정 전 12.7m와 13.6m에서 보정 후 0.6m와 5.8m로 급격히 줄어들었다. 이 실험에서도 보정 후 공간거리 RMSE는 앞에서 결정된 3축 변환계수 결정에 의한 표준오차와 같은 결과를 보여준다.



자료: 저자 작성

<그림 2-75> 위쪽 DEM 보정 전 평면거리 차(왼쪽그림)와 공간거리 차(오른쪽 그림)(빨간색 점: ICESat-2 점; 파란색 점: DEM 점)



자료: 저자 작성

<그림 2-76> 아래쪽 DEM 보정 후 평면거리 오차(왼쪽그림) 공간거리 오차(오른쪽 그림)(빨간색 점: ICESat-2 점; 파란색 점: DEM 점)

<표 2-22>는 앞 실험과 같은 방법으로 3D매칭으로 결정된 3축 변환계수와 타이 포인트 83점을 이용하여 결정한 첫 번째 영상과 두 번째 영상의 RPC affine 조정계수를 나타낸 것이다. 한편 아래쪽 스테레오 영상은 대부분 바다와 변화가 심한 빙하가 차지하고 있고, 위·아래 스테레오 세트가 동일 트랙에서 촬영시기와 촬영기하가 모두 동일하므로 아래쪽 스테레오 영상의 RPC 조정계수를 위쪽 스테레오 영상과 동일하게 적용하였다. 구한 조정계수를 이용하여 RPC를 업데이트 하였다. 여기서도 RPC 업데이트 전후에 대한 자료는 생략하였다.

업데이트한 RPC의 정확도 평가를 위해 과거 2019년에 제작한 장보고과학기지 주변 1/5,000 수치지형도(극지역 공간정보 구축사업, 2019)에서 측정한 지상좌표를 검사점으로 활용하였다. 검사점에 해당하는 위·아래 스테레오 영상<그림 2-72>의 영상좌표는 좌측영상에서 2점, 우측영상에서 5점을 획득하였다. 우측영상 5점 중 2점은 좌측영상과 같은 지점인 타이 포인트다. 먼저 검사점의 지상좌표와 각 영상의 업데이트 RPC를 이용하여 영상좌표를 계산한 후 측정된 영상좌표와 비교하였다. <표 2-23>과 <표 2-24>는 보정 전, 후 RPC의 영상좌표 정확도를 나타낸 것이다.

<표 2-22> 위·아래 스테레오 영상에 대한 RPC 보정계수

| Image | | A_0 | A_1 | A_2 | B_0 | B_1 | B_2 |
|--------|------|--------|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|
| Top | 1(좌) | -14.41 | -1.99E-06 | -1.60E-06 | 2.17 | -3.50E-05 | -1.37E-05 |
| | 2(우) | -1.81 | 1.45E-04 | 1.43E-06 | -0.65 | 3.37E-05 | -1.89E-05 |
| Bottom | 1(좌) | -14.41 | -1.99E-06 | -1.60E-06 | 2.17 | -3.50E-05 | -1.37E-05 |
| | 2(우) | -1.81 | 1.45E-04 | 1.43E-06 | -0.65 | 3.37E-05 | -1.89E-05 |

자료: 저자 작성

<표 2-23>에서 보는 바와 같이, 위·아래 영상의 촬영기하와 촬영시기가 동일하기 때문에 RPC 보정 전 영상좌표 오차는 위쪽 영상과 아래쪽 영상이 비슷한 경향성을 보이고 있다. 위, 아래 스테레오 영상에서 첫 번째 영상(표에서 1) 라인이 샘플에 비해 RMSE가 14화소 정도 더 크게 발생한 것에 반해 두 번째 영상(표에서 2)은 라인과 샘플 RMSE가 단지 1화소 정도 차이가 발생한 것을 볼 수 있다. 특히, 실험을 통하여 위·아래 스테레오 영상에서 첫 번째 영상에 비해 두 번째 영상의 보정 전 RPC 오차가 최대 4화소 이내의 높은 정확도로 제공되었음을 확인할 수 있다.

RPC 보정 후 영상좌표 RMSE는 모두 3화소 내외였다(<표 2-24>). 보정 전 RPC에 비해 첫 번째 영상 라인의 오차가 10화소 이상 급격히 줄어들었으며, 두 번째 영상 또한 라인오차가 1화소 정도 감소하였다. 반면 샘플 오차는 두 번째 영상에서 1화소 정도 약간 늘어난 것을 볼 수 있다. 하지만 검사점으로 사용된 지상좌표는 과거 Pleiades 스테레오 위성영상과 TerraSAR-X 기준점으로 보정된 RPC로 제작된 1/5,000 수치지형도(국토지리정보원(b)(극지역 공간정보 구축사업 연구 보고서), 2019) 기준이기 때문에 2~3화소 정도(2m 내외)의 오차는 포함되어 있다고 판단되므로 샘플 오차 증가는 크게 문제 되지 않는 것으로 본다.

<표 2-23> RPC 보정 전 영상좌표 오차(단위: pixel)

| Image | | RMSE | | Mean Error | | Max Abs. Error | |
|--------|---|------|--------|------------|--------|----------------|--------|
| | | line | sample | line | sample | line | sample |
| Top | 1 | 15.8 | 1.5 | -15.7 | 1.5 | 17.6 | 1.6 |
| | 2 | 2.0 | 1.8 | -1.9 | 0.5 | 2.3 | 2.7 |
| Bottom | 1 | 15.4 | 1.6 | -15.2 | 1.2 | 17.1 | 2.3 |
| | 2 | 3.6 | 0.7 | -3.5 | 0.2 | 5.0 | 1.0 |

자료: 저자 작성

<표 2-24> RPC 보정 후 영상좌표 오차(단위: pixel)

| Image | | RMSE | | Mean Error | | Max Abs. Error | |
|--------|---|------|--------|------------|--------|----------------|--------|
| | | line | sample | line | sample | line | sample |
| Top | 1 | 2.6 | 0.8 | -1.7 | -0.8 | 3.6 | 1.0 |
| | 2 | 0.5 | 1.9 | -0.3 | 0.6 | 0.6 | 2.6 |
| Bottom | 1 | 2.3 | 1.4 | -1.2 | -0.9 | 3.2 | 2.0 |
| | 2 | 2.0 | 0.7 | -1.8 | 0.1 | 3.4 | 1.1 |

자료: 저자 작성

검사점 중 타이포인트 2점의 영상좌표, 업데이트 RPC를 이용하여 지상좌표를 계산한 후 <표 2-25>과 같이 2개 검사점의 측정 지상좌표와 비교하였다. RPC 보정 전이더라도 10m 이내의 비교적 적은 오차결과를 보이고 있으며, 평면오차는 위, 아래 스테레오 영상에서 거의 같은 값을 보이고 높이는 1m 이하의 차이를 보이고 있다. 보정 후 오차는 위, 아래 영상 모두 보정 전에 비해 X축 방향에서 3m, Y축 방향에서 4m, 높이 74m 정도로 정확도가 향상된 것을 볼 수 있다. 또한 보정 후 전반적으로 아래쪽 영상보다 위쪽 영상의 오차가 약간 더 적게 발생한 것을 볼 수 있다. 이는 위쪽 영상을 기준으로 RPC 보정계수를 결정하였기 때문이다.

<표 2-25> RPC 보정 전, 후 검사점의 지상좌표 오차(단위: meter)

| Correction | | RMSE | | | Mean Error | | | Max Abs. Error | | |
|------------|--------|------|-----|-----|------------|------|------|----------------|-----|-----|
| | | E | N | H | E | N | H | E | N | H |
| Top | Before | 5.5 | 5.2 | 8.5 | 5.4 | -5.2 | -8.5 | 6.7 | 5.3 | 9.5 |
| | After | 1.6 | 0.5 | 1.2 | 1.0 | -0.5 | -0.6 | 2.3 | 0.5 | 1.6 |
| Bottom | Before | 5.6 | 5.7 | 7.4 | 5.4 | -5.7 | -7.4 | 6.8 | 6.4 | 7.5 |
| | After | 1.7 | 1.1 | 0.5 | 1.0 | -0.9 | 0.5 | 2.3 | 1.6 | 0.6 |

자료: 저자 작성

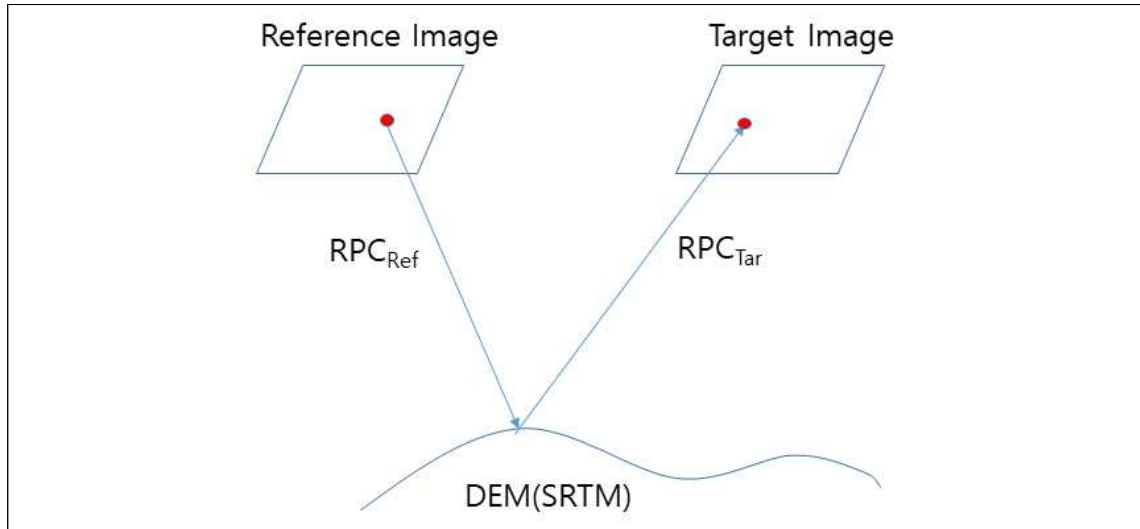
이 연구를 통한 제안으로, 극지역은 접근이 용이하지 않고 인공지물 또한 희박하기 때문에 기준점 획득이 어렵다. 실험에 사용한 기준점 또한 장보고과학기지 주변에 국한되기 때문에 정확도를 검증하기 위한 검사점으로는 부족하다고 볼 수 있다. 따라서 향후 국토위성 영상으로 획득한 지형 정보의 신뢰성 검증을 위해서, 보정한 DEM과 동일한 평면위치의 ICESat 포인트의 높이를 비교하거나 업데이트 RPC와 ICESat 포인트 위치를 이용하여 스테레오 영상에서 판별 가능한 동일점의 영상좌표를 계산하여 영상간 동일점의 이격량으로 신뢰도를 테스트하는 방법도 고려할 필요가 있다.

2) 무기기준점 다중영상 기반 센서모델링

고해상도 위성영상의 경우 지상기준점이 없는 경우에도 높은 위치정확도를 가지고 있다. 무기기준점 위치정확도는 위성센서에 따라 차이가 있으며, CE90 기준으로 WorldView-3(GSD 0.31m)이 3.5m 이내, GeoEye-1(GSD 0.46m)이 5m 이내, 아리랑 3호(GSD 0.7m)가 48.5m 이내이다. 지상기준점을 이용하여 기하보정을 할 경우 위치정확도는 1-2 pixel 정도로 크게 향상된다. 그러나 지상기준점의 획득은 시간이 많이 걸리고 접근제한구역과 접근불가구역에서는 불가능하거나 매우 어렵다.

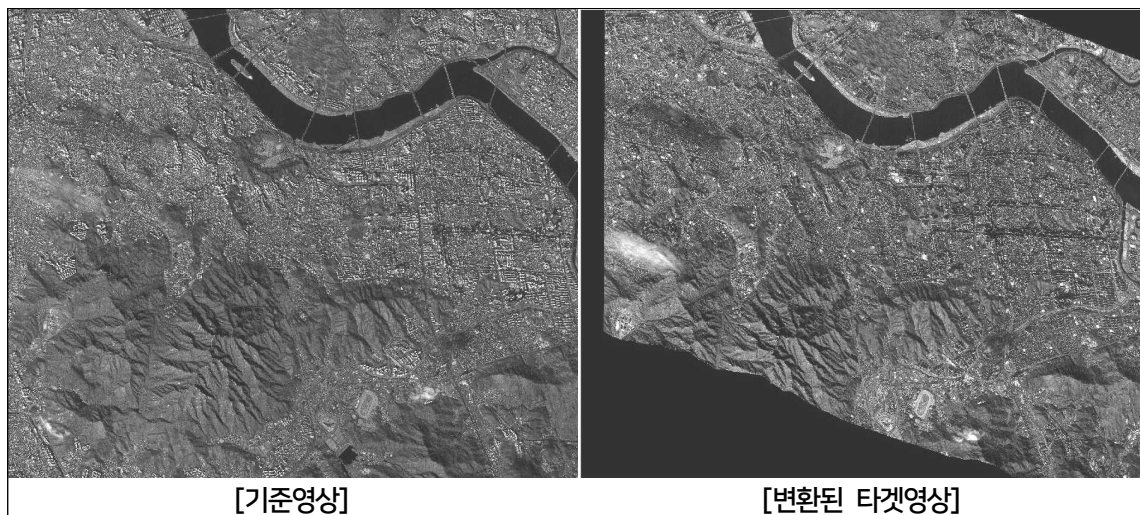
고해상도 위성은 지구를 반복적으로 관측하고 있으며, 동일한 영역의 반복관측에 의한 다중영상은 영상점들간의 상호표정을 통해 위치정확도를 향상시킬 수 있다. 무기기준점 다중영상 기반 센서모델링을 위해서는 먼저 다중영상에서 수동 또는 자동으로 접합점을 취득하고, 취득된 접합점을 활용하여 다중영상의 센서모델을 블록 보정하여야 한다. 본 연구에서는 국토위성과 유사한 아리랑 3A 영상을 사용하여 무기기준점 기반 위치정확도 향상을 위한 다중영상 센서모델링을 수행하였다. 실험에 사용한 데이터는 국내의 경우 서울과 대전지역, 접근불능지역으로 장보고과학기지를 선정하였다.

위성영상 접합점 자동추출은 기준 영상에서 특징점을 추출하고 매칭을 통해 정확한 매칭포인트를 결정한다. 먼저 영상 매칭을 위해 <그림 2-77>와 같이 기준영상의 각각의 화소에 대해 기준영상의 RPC와 SRTM DEM(1초 간격)를 활용하여 지상좌표(longitude, latitude, height)를 계산하고 타겟영상의 RPC를 사용하여 타겟영상 영상좌표를 계산한 후 bilinear 내삽법에 의해 타겟영상을 기준영상으로 변환하였다. 영상 매칭은 정규상관계수매칭 기법을 적용하였으며, 계수값이 0.8 이상인 경우만 매칭점 후보로 선정하였다.



자료: 저자 작성

<그림 2-77> 영상매칭을 위한 타겟영상의 변환



자료: 저자 작성

<그림 2-78> 영상매칭을 위한 기준영상 및 변환영상

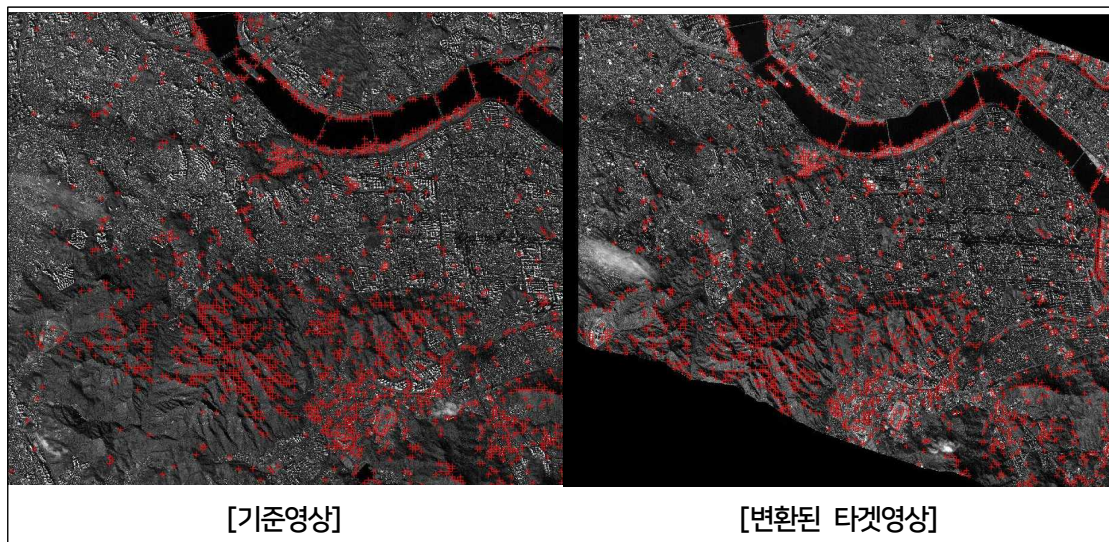
타겟영상은 기준영상으로 변환하였으므로 매칭을 위한 영상 페어와 초기 위치를 쉽게 구할 수 있다. 따라서 기준영상의 각 특징점에 대해 타겟영상의 동일 위치를 기준으로 50 화소 이내 영역을 대상으로 유사도를 측정하여 그 매칭 효율을 높이하고자 하였다.

매칭은 NCC (Normalized Cross Correlation) 정규상관계수매칭을 사용하였다. NCC 매칭은 아래 식과 같이 계산되는 영역 기반 매칭기반 방법이다. 기준영상 P 의 관심지점 주변 $w \times w$ 화

소 크기의 윈도우 내의 화소값과 타겟영상 M 의 관심지점 주변 $w \times w$ 화소 내 화소값을 이용하여 유사도를 측정한다. 1에 가까운 값일수록 유사도가 높음을 의미하며, 일반적으로 0.7 이상이면 유사도가 높다고 판단하며, 본 연구에서는 0.8로 설정하였다.

$$NCC = \frac{\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^w (P_{ij} - \bar{P})(M_{ij} - \bar{M})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^w (P_{ij} - \bar{P})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^w (M_{ij} - \bar{M})^2 \right]}}$$

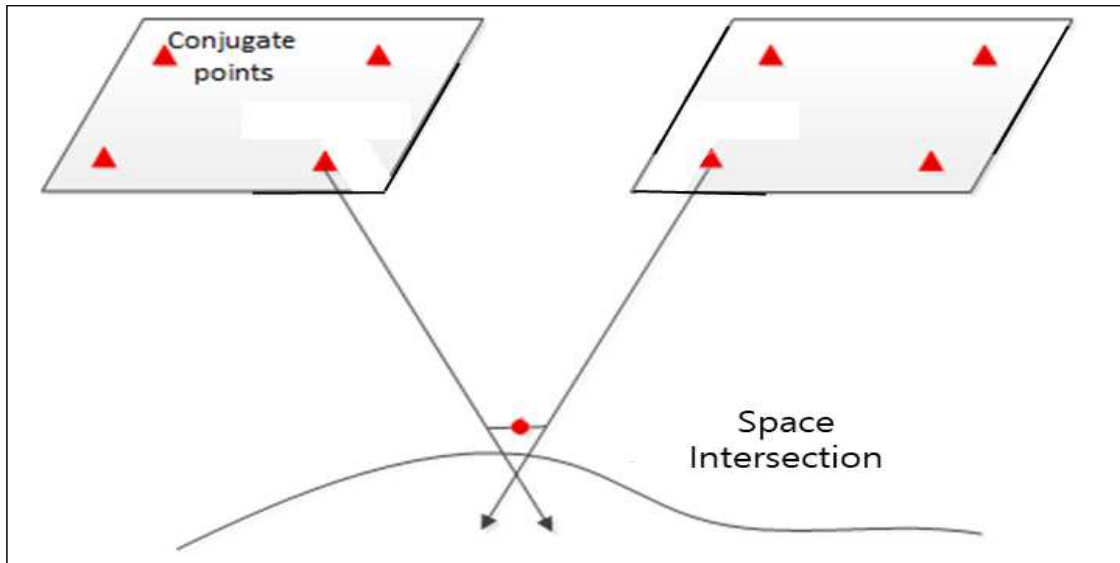
여기서, P 는 기준영상 패치, M 은 변환된 타겟영상 패치, 패치의 크기는 $w \times w$ 이고, \bar{P}, \bar{M} 은 각 패치의 평균이다.



자료: 저자 작성

<그림 2-79> 영상 간의 매칭점 추출

매칭점의 지상좌표 초기값은 <그림 2-80>와 같이 각 입체영상의 RPC를 이용하여 공간전방교 회법(space intersection)에 의해 계산하였다. 영상 간의 수렴각이 적절하지 않은 경우 지상좌표의 정확도를 확보할 수 없으므로 <표 2-27>와 같이 수렴각을 계산하여 확인하였으며 모든 쌍이 기준값(30도 이상 150도 이내) 이내인 것을 확인한 후 매칭을 실시하였다.



자료: 저자 작성

<그림 2-80> 공간 전방교회법에 의한 매칭점 지상좌표의 계산

<표 2-26> 영상 간 수렴각(도)

| | Image2 | Image3 |
|--------|---------|---------|
| Image1 | 43.4127 | 48.9892 |
| Image2 | - | 55.0778 |

영상매칭에는 항상 오매칭의 가능성이 존재하므로 적절한 방법으로 이상점들을 제거하여야 한다. 먼저 ransac 기법을 사용하여 이상점을 제거하였다. 이때 RPC 오차와 DEM 오차가 포함되어 있으므로 이상점 확인이 어려우므로 높이에 대한 오차 성분을 고려하여 ransac 기법을 적용하였다.

또한 영상매칭에 의한 접합점 추출은 두 영상에 제한되므로 접합점이 3 영상 이상에서 나타나는 경우도 수용할 수 있도록 검사하여야 한다. 이러한 목적으로 첫 매칭점의 영상좌표와 초기 지상좌표가 지정되면 이후에는 이미 추출된 접합점과 동일한 영상과 영상좌표를 갖는 경우는 동일한 점으로 간주하여 지상점번호와 지상좌표 일치시켰다. 최종적으로 5,634개의 영상점이 얻어졌으며 RPC 전방교회법에 의해 2,735개의 지상점에 대해 초기 지상좌표가 구해졌다.

<표 2-27> 각 단계에 따른 매칭점 수의 변화

| | 매칭점 추출 | ransac 매칭 | 3 영상 이상에 대한 검사 |
|--------|--------|-----------|-------------------------|
| Image1 | 3,388 | 2,403 | 2,239 |
| Image2 | 3,572 | 2,607 | 2,607 |
| Image3 | 1,420 | 788 | 788 |
| 합계 | 8,380 | 5,798 | 5,634 (2,735 ground) |

가) 무기준점 다중영상 기반 센서모델링 이론

자동으로 추출된 접합점을 사용하여 RPC 기반 블록조정을 수행하였고, 정확도 검증은 국내의 경우 수치지형도 원도에서, 남극의 경우 TerraSAR-X GCP Chip으로부터 지상기준점을 측정하여 실시하였다. RPC 기반 블록조정에서 내부표정요소는 위성영상시스템의 특성상 이미 높은 정확도로 결정되었으므로 내부표정이 필요 없고, 조정 모델이 영상공간에서 정의된다는 점에서 항공사진 블록조정과는 차이가 있다(Grodeck and Dial, 2002). 본 연구의 RPC 기반 블록조정은 Grodeck and Dial(2002)이 제안한 방법을 사용하였으며, 지상기준점 유무에 관계없이 다수의 독립적인 영상을 조정할 수 있다.

RPC 모델은 3차원 지상좌표를 영상좌표(line, sample)로 변환하는 식이다. RPC 함수 모델은 지상좌표의 2개의 3차 다항식의 비의 형태이다.

$$l = RPC_l(\phi, \lambda, h) = \frac{a^T u}{b^T u} L_S + L_0,$$

$$s = RPC_s(\phi, \lambda, h) = \frac{c^T u}{d^T u} S_S + S_0$$

여기서

$$u = [1 \quad V \quad U \quad W \quad VU \quad VW \quad UW \quad V^2 \quad U^2 \quad W^2 \quad UVW \\ V^3 \quad VU^2 \quad VW^2 \quad V^2U \quad U^3 \quad UW^2 \quad V^2W \quad U^2W \quad W^3]^T$$

$$U = \frac{\phi - \phi_0}{\phi_S}, V = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_S}, W = \frac{h - h_0}{h_S}, Y = \frac{l - L_0}{L_S}, X = \frac{s - S_0}{S_S}$$

$$a = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_{20}]^T, b = [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_{20}]^T, c = [c_1 \ c_2 \ \dots \ c_{20}]^T, d = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_{20}]^T$$

여기서, X, Y 는 정규화된 영상 좌표, U, V, W 는 정규화된 지상좌표, ϕ, λ, h 지상점의 위도, 경도, 타원체고, l, s 영상좌표 중 행(line), 열(sample) 좌표, $\phi_0, \lambda_0, h_0, S_0, L_0$ offset 값 (위도, 경도, 고도, 열, 행), 그리고 $\phi_s, \lambda_s, h_s, S_s, L_s$ 스케일 값 (위도, 경도, 고도, 열, 행) 이다

RPC 블록 조정은 영상 공간에서 정의된다. RPC에 의해 지상좌표로부터 영상좌표를 계산한 후 계산된 라인(l) 및 샘플(s)에 보정량 $\Delta l, \Delta s$ 를 추가한다.

$$\begin{aligned} l &= RPC_l(\phi, \lambda, h) + \Delta l + v_l, \\ s &= RPC_s(\phi, \lambda, h) + \Delta s + v_s \end{aligned}$$

조정 가능한 함수 $\Delta l, \Delta s$ 에는 일반적으로 line과 sample에 대한 다항식이 사용되고, 미지 계수의 선택은 위성영상의 종류 및 지상기준점의 따라 2차식 이내에서 정해지며 아리랑 3A의 경우 다음과 같은 1차식이 적절하다.

$$\begin{aligned} \Delta l &= A_0 + A_1 s + A_2 l \\ \Delta s &= B_0 + B_1 s + B_2 l \end{aligned}$$

여기서, l, s 영상좌표 중 행(line), 열(sample) 좌표, A, B 매개변수, $\Delta l, \Delta s$ 행(line), 열(sample) 보정량

매개변수 A_0 는 line 방향의 오프셋을 일으키는 모든 in-track 오차를 보정하고, 매개변수 B_0 는 sample 방향의 오프셋을 일으키는 모든 cross-track 오차를 보정한다. 매개변수 A_1 와 B_1 은 방사 궤도 오류와 초점거리 및 렌즈왜곡과 같은 내부표정 오류를 보정한다. line 방향은 시간과 동일하기 때문에 매개변수 A_2 과 B_2 는 영상 스캔 중에 자이로 드리프트로 인한 작은 효과를 보정한다 (Grodeck and Dial, 2002).

중복된 지역을 갖는 영상들은 각 영상에서 측정된 영상좌표에 의해 접합점으로 서로 연결되어 영상점 마다 다음과 같은 관측방정식을 구성한다. k 는 지상점, j 는 영상, i 는 영상점을 나타내는 인덱스이다.

$$\begin{aligned} F_{li} &= -l_i^j + RPC_l^j(\phi_k, \lambda_k, h_k) + \Delta l^j + v_{li} = 0 \\ F_{si} &= -s_i^j + RPC_s^j(\phi_k, \lambda_k, h_k) + \Delta s^j + v_{si} = 0 \end{aligned}$$

여기서

$$\begin{aligned} \Delta l^j &= A_0^j + A_1^j \cdot s_i^j + A_2^j \cdot l_i^j \\ \Delta s^j &= B_0^j + B_1^j \cdot s_i^j + B_2^j \cdot l_i^j \end{aligned}$$

항공사진 블록 조정과 마찬가지로 RPC 블록 조정 관측방정식에 Taylor 시리즈 전개를 적용하여 선형 모델을 생성하여, 단일 최소제곱식(unified least square equation)을 구성한다 (Mikhail et al., 2001). 즉, RPC 보정요소 그리고 지상기준점에 대하여 편미분하여 선형화를 수행하고, 관측방정식을 구성한다. RPC 보정요소와 지상기준점에 대한 매개변수의 초기값 역시 관측방정식으로 취급하여 다음 식을 구성한다. 초기 근사값으로부터 보정량을 계산하여 미지매개변수를 계산한다.

$$\begin{aligned} v + \dot{B}\dot{\delta} + \ddot{B}\ddot{\delta} &= f \\ \dot{v} - I\dot{\delta} &= \dot{f}, \ddot{v} - I\ddot{\delta} = \ddot{f} \end{aligned}$$

여기서, \cdot 는 RPC 보정요소, $\ddot{\cdot}$ 는 지상점에 대한 표식이며, B는 각각에 대한 편미분 계수 행렬, δ 는 각 요소에 대한 보정량, I는 단위행렬, f는 관측방정식의 상수항 그리고 v는 잔차벡터이다.

위 식들을 하나의 행렬로 나타내고, 정규방정식으로 나타내면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} v \\ \dot{v} \\ \ddot{v} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{B} & \ddot{B} \\ -I & 0 \\ 0 & -I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\delta} \\ \ddot{\delta} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} f \\ \dot{f} \\ \ddot{f} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \dot{N} & \ddot{N} \\ \overline{N}^T & \ddot{N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\delta} \\ \ddot{\delta} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \dot{t} \\ \ddot{t} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

여기서, $\dot{N} = \dot{B}^T W B + \dot{W}$, $\overline{N} = \dot{B}^T W \ddot{B}$, $\ddot{N} = \ddot{B}^T W \ddot{B}$, $\dot{t} = \dot{B}^T W f - \dot{W} f$, $\ddot{t} = \ddot{B}^T W f - \ddot{W} f$

일반적으로 지상점에 관련된 정규방정식 행렬은 매우 크고 지상점 좌표는 본 연구의 목적 상 의미가 없으므로 역행렬 계산을 위해 축약하면, 다음과 같은 축약 정규방정식이 만들어진다. 축약 정규방정식에서 역행렬은 전체 지상점에 대해 적용할 필요가 없고, 하나의 관측식에서 지상점은 한 점씩만 관련이 있으므로 효율적으로 한 점씩 적용하여 축적하는 것이 가능하다. 이와 같은 과정으로 반복계산을 통해 최종적인 RPC 보정요소를 구해내게 된다.

$$\ddot{\delta} = \ddot{N}^{-1}(\ddot{i} - \overline{N}^T \dot{\delta})$$

$$\dot{\delta} = (\dot{N} - \overline{N} \ddot{N}^{-1} \overline{N}^T)^{-1}(\dot{i} - \overline{N} \ddot{N}^{-1} \ddot{i})$$

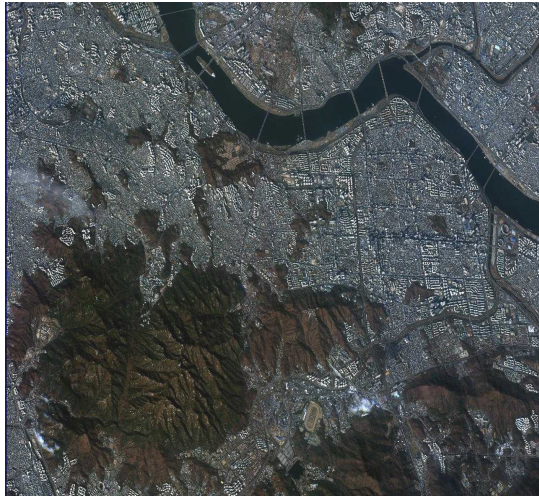
나) 적용실험과 결과분석

(1) 국내 서울시(아리랑 3A)

본 연구 실험에서 사용한 아리랑 3A 영상은 아래 그림에 나타난 것과 같이 서울, 서부지역에 대해 2015년, 2017년 겨울에 취득된 3개의 영상이며, 대상지 표고는 약 0m~500m 범위를 갖는다. 사용된 데이터에 대한 사양은 <표 2-28>과 같다.

<표 2-28> 사용데이터 사양(서울)

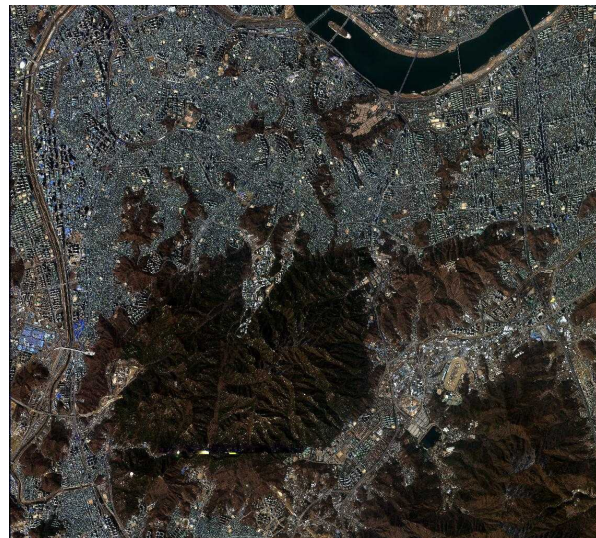
| Product level | #1 | #2 | #3 |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Acquisition\date | 2015-12-11 | 2015-12-11 | 2017-02-24 |
| Image size [pixels] | Sample 24,060 Line 17,520 | Sample 24,060 Line 20,680 | Sample 24,060 Line 21,680 |
| Incidence/Azimuth | 36.97°/207.89° | 29.21°/292.29° | 26.15°/104.38° |
| GSD(col/row) | 0.76/0.75m | 0.69/0.64m | 0.65/0.61m |



[Image 1]



[Image 2]

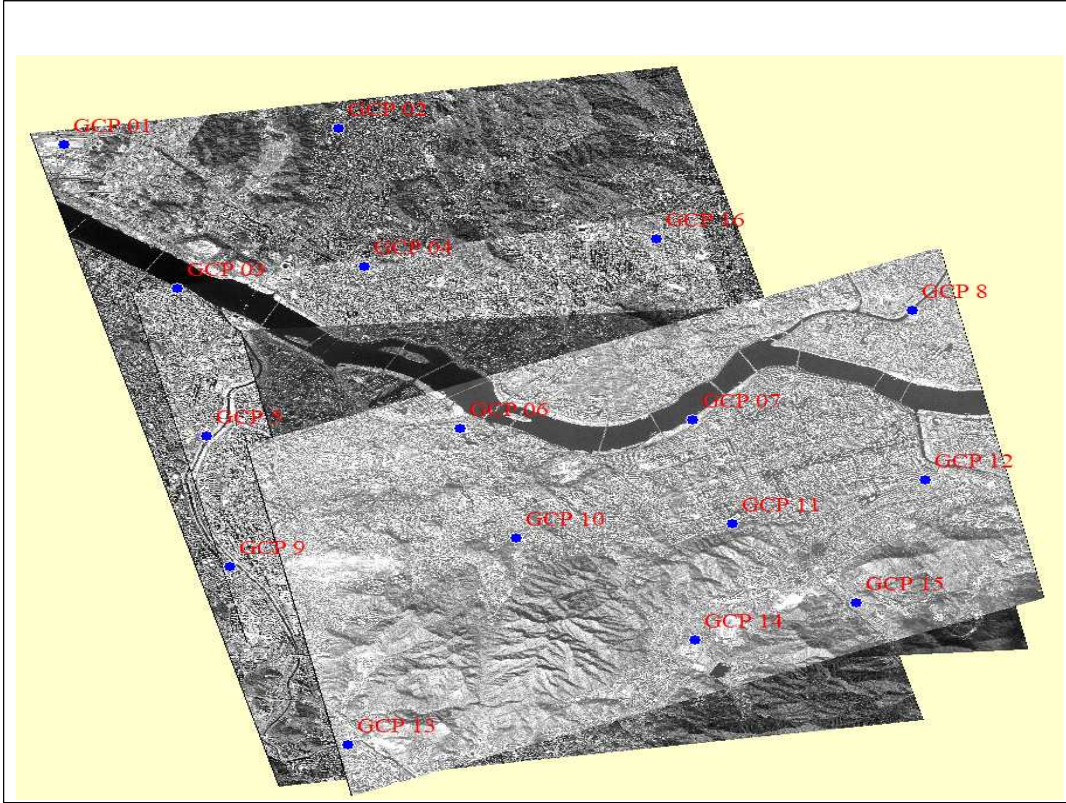


[Image 3]

자료: 저자 작성

<그림 2-81> 아리랑 3A 다중영상(서울)

실험결과의 정확도 평가를 위해 1/1,000 수치지형도 원도를 사용하여 영상좌표와 함께 3차원 검사점 지상좌표를 측정하였다. 기준점의 배치는 <그림 2-82>와 같이 전체적으로 골고루 배치되었으며, 영상당 6~8점 정도로 취득되었다.



자료: 저자 작성

<그림 2-82> 1/1,000 수치지형도 원도에서 측정한 검사점(서울)

취득된 검사점의 지상좌표와 영상좌표는 각각 <표 2-29>와 <표 2-30>에 표시하였다.

<표 2-29> 검사점 지상좌표(서울)

| Point_ID | 위도(deg) | 경도(deg) | h(m) |
|----------|------------|-------------|--------|
| 1 | 37.5138812 | 126.9440692 | 12.971 |
| 2 | 37.5168185 | 127.0071870 | 9.233 |
| 3 | 37.5532170 | 127.0667316 | 9.713 |
| 4 | 37.4774465 | 126.9591446 | 40.204 |
| 5 | 37.4822537 | 127.0179301 | 43.342 |
| 6 | 37.4967127 | 127.0700480 | 15.170 |
| 7 | 37.4436909 | 127.0077781 | 40.261 |
| 8 | 37.4560364 | 127.0515656 | 28.177 |

<표 2-30> 검사점 영상좌표(서울)

| ID | Image1 | | Image2 | | Image3 | |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | line | sample | line | sample | line | sample |
| 1 | 2068.0 | 7114.5 | - | - | 1328.5 | 11314.0 |
| 2 | 4724.5 | 14636.0 | 6486.0 | 14865.0 | 2245.5 | 19799.5 |
| 3 | 2573.5 | 22621.5 | 715.5 | 23509.5 | - | - |
| 4 | 7817.5 | 7863.5 | 12892.5 | 7541.5 | 8245.0 | 11791.0 |
| 5 | 10000.5 | 14930.0 | 12646.0 | 15201.0 | 8720.5 | 19780.5 |
| 6 | 10541.0 | 21417.0 | 10624.0 | 22231.0 | - | - |
| 7 | 14842.5 | 12634.0 | 19278.0 | 12728.0 | 15453.5 | 16844.5 |
| 8 | 15264.0 | 18115.0 | 17555.0 | 18667.0 | 14227.0 | 23191.0 |

자동으로 얻어진 접합점의 지상좌표와 영상좌표를 사용하여 RPC 블록조정에 의해 영상별 RPC 보정계수가 계산되었다. 영상별 RPC 보정계수 $A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2$ 의 초기값은 모두 0으로 지정하고, 모든 지상좌표와 RPC 보정계수의 초기값에 대한 오차는 충분히 크게 하여 RPC 블록조정에 의해 쉽게 조정되도록 하였다. RPC 블록조정에 의한 각 영상별 RPC 보정계수는 <표 2-31>과 같다.

<표 2-31> 영상별 RPC 보정계수(서울)

| | A_0 | A_1 | A_2 | B_0 | B_1 | B_2 |
|--------|-------|-----------|----------|-------|-----------|-----------|
| Image1 | 1.16 | 2.50E-05 | 5.16E-04 | 10.04 | 5.29E-04 | -3.30E-04 |
| Image2 | 7.40 | 3.89E-04 | 1.86E-04 | -3.07 | 5.39E-04 | -1.99E-05 |
| Image3 | 0.95 | -5.59E-05 | 5.00E-04 | -6.65 | -8.54E-06 | -3.49E-04 |

RPC 보정계수에 대한 영상공간 상 정확도 평가를 위해 검사점의 지상좌표를 각 영상의 RPC와 RPC 보정계수를 이용하여 영상좌표로 변환 후 <표 2-32>과 같이 측정된 영상좌표와 비교하여 오차를 구하였다.

<표 2-32> 영상점 RPC 보정계수 오차(서울, 단위: pixel)

| | RMSE | | Mean Error | | Max Abs. Error | |
|------|-------|--------|------------|--------|----------------|--------|
| | line | sample | line | sample | line | sample |
| 보정 전 | 14.25 | 7.56 | 13.44 | 4.47 | 19.77 | 19.95 |
| 보정 후 | 11.68 | 7.29 | 10.69 | 3.74 | 16.31 | 19.52 |

RMSE는 라인과 샘플 각각 12와 7화소이었고, 오차의 평균은 라인은 11화소 샘플의 경우 4 화소 정도로 라인이 크게 높았다. 최대 절댓값 오차는 라인과 샘플이 각각 16 화소, 20 화소로 나타났다.

검사점의 영상좌표, RPC, RPC 보정계수를 사용하여 지상좌표를 계산한 후 <표 2-33>과 같이 검사점의 지상좌표와 비교하여 오차를 구하였다. 먼저 영상좌표에 RPC 보정계수를 적용하여 영상좌표를 보정하고 보정된 영상좌표와 RPC를 사용하여 RPC 기반 공간전방교회법에 의해 지상좌표를 계산한 후 오차를 m 단위로 계산하기 위해 경위도로 계산된 지상좌표를 TM좌표로 변환하여 검사점의 TM 좌표와 비교하였다.

<표 2-33> 지상좌표에 의한 RPC 보정계수 오차(서울, 단위: m)

| | RMSE | | | Mean Error | | | Max Abs. Error | | |
|------|------|------|-------|------------|-------|-------|----------------|------|-------|
| | E | N | h | E | N | h | E | N | h |
| 보정 전 | 2.89 | 3.23 | 18.66 | -1.69 | -1.38 | 17.94 | 5.37 | 6.11 | 25.23 |
| 보정 후 | 5.01 | 6.03 | 8.79 | -4.77 | 5.66 | 6.42 | 7.84 | 8.86 | 15.10 |

사용된 영상의 평균 GSD는 약 0.68m였으며, RMSE는 E 좌표와 N 좌표가 평균 GSD의 7~9배 정도였으며, 높이는 9m정도의 결과를 얻었다. 오차의 평균은 5~6m로 다소 높았으며 최대 절댓값 오차는 RMSE의 1.5~1.7 배 정도의 결과를 얻었다.

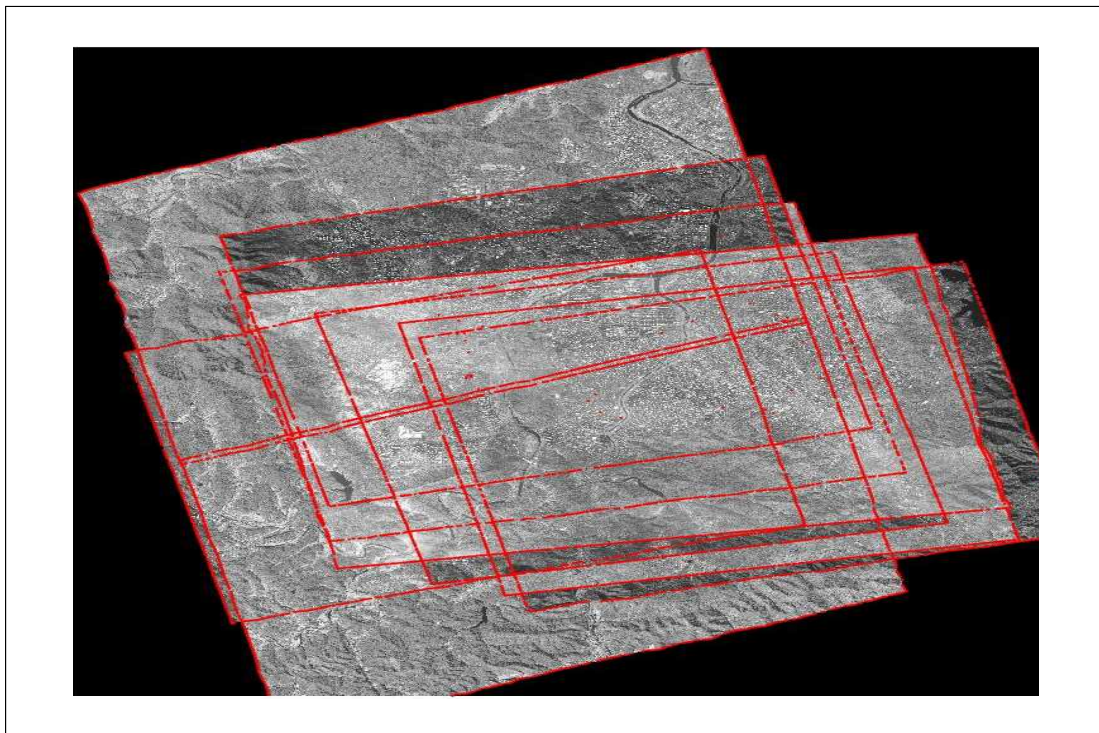
최종적으로 검사점을 지상기준점으로 사용하여 블록조정 후 영상좌표의 잔차를 구하여 자동추출된 접합점만을 사용한 경우와 비교하였다. 지상기준점을 사용한 경우 영상좌표의 라인RMSE가 1.01 화소, 샘플 RMSE가 0.96 화소로 높은 정확도를 보였다.

(2) 국내 대전시(아리랑 3A)

이 연구에서 확보된 2015년부터 2020년까지 촬영된 대전지역 9개 영상을 사용하여 동일한 방법으로 실험을 하였다.

<표 2-34> 사용데이터 사양(대전)

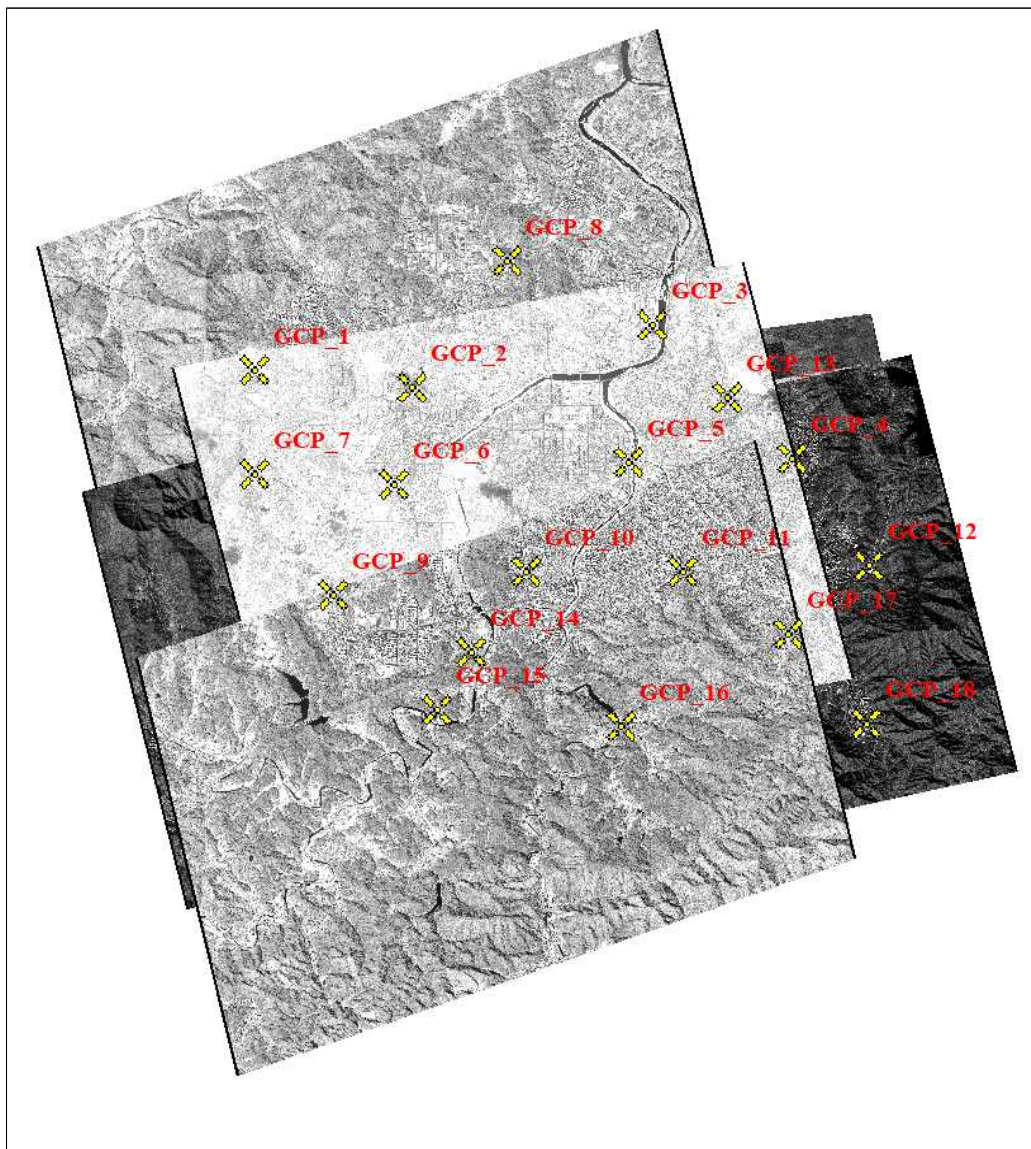
| Image | Acquisition date | Image size [pixels] | Incidence/ Azimuth | GSD (col/row) |
|-------|------------------|------------------------------|-----------------------|------------------|
| #1 | 2015-10-18 | Sample 24,060 Line 21,080 | 30.40°/262.56° | 0.728/0.627m |
| #2 | 2016-03-11 | Sample 24,060 Line 23720 | 10.16°/89.30° | 0.566/0.557m |
| #3 | 2018-07-07 | Sample 24,060 Line 24080 | 10.57°/261.21° | 0.559/0.549m |
| #4 | 2018-01-02 | Sample 24,060 Line 20720 | 22.79°/187.75° | 0.602/0.638m |
| #5 | 2019-01-20 | Sample 24,060 Line 20400 | 24.42°/181.84° | 0.598/0.647m |
| #6 | 2019-05-16 | Sample 24,060 Line 17920 | 31.87°/167.85° | 0.627/0.737m |
| #7 | 2020-10-20 | Sample 24,060 Line 17000 | 36.53°/197.46° | 0.721/0.778m |
| #8 | 2020-10-20 | Sample 24,060 Line 17000 | 36.52°/197.45° | 0.721/0.778m |
| #9 | 2020-11-25 | Sample 24,060 Line 18800 | 30.14°/190.09° | 0.642/0.703m |



자료: 저자 작성

<그림 2-83> 아리랑 3A 다중영상(대전)

대전지역 실험결과의 정확도 평가를 위해 1/5,000 수치지형도 원도를 사용하여 영상좌표와 함께 3차원 검사점 지상좌표를 측정하였다. 기준점의 배치는 <그림 2-84>와 같이 전체적으로 골고루 배치되어 있으며, 전체 18점 취득되었다.



자료: 저자 작성

<그림 2-84> 1/5,000 수치지형도 원도에서 측정한 검사점(대전)

취득된 검사점의 지상좌표와 영상좌표는 각각 <표 2-35>와 <표 2-36>에 표시하였다.

<표 2-35> 검사점 지상좌표(대전)

| Point_ID | 위도 ϕ (deg) | 경도(deg) | h(m) |
|----------|-----------------|-------------|---------|
| 1 | 36.37487821 | 127.2948178 | 137.697 |
| 2 | 36.37018852 | 127.3399828 | 78.264 |
| 3 | 36.387465 | 127.408928 | 69.391 |
| 4 | 36.35021631 | 127.4487381 | 98.212 |
| 5 | 36.34910857 | 127.4017245 | 66.745 |
| 6 | 36.34276338 | 127.3346282 | 87.816 |
| 7 | 36.34585428 | 127.2948494 | 129.736 |
| 8 | 36.40516245 | 127.3668565 | 96.421 |
| 9 | 36.31201557 | 127.3171885 | 86.895 |
| 10 | 36.3186823 | 127.3726263 | 99.731 |
| 11 | 36.31848911 | 127.4175302 | 98.141 |
| 12 | 36.32033592 | 127.4709651 | 115.512 |
| 13 | 36.36717384 | 127.4301115 | 93.801 |
| 14 | 36.29624127 | 127.3567128 | 83.527 |
| 15 | 36.27993622 | 127.3469016 | 103.144 |
| 16 | 36.27540217 | 127.3997866 | 112.374 |
| 17 | 36.30105907 | 127.447589 | 96.639 |
| 18 | 36.27603119 | 127.4700654 | 115.335 |

<표 2-36> 검사점 영상좌표(대전)

| ID | Image1 | | Image2 | | Image3 | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | line | sample | line | sample | line | sample |
| 1 | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 480 | 7735 | - | - | - | - |
| 3 | - | - | - | - | - | - |
| 4 | 6565 | 20368 | 6468 | 23063 | 4579 | 19901 |
| 5 | 5636 | 14645 | 5039 | 15734 | 3250 | 12456 |
| 6 | 5137 | 6331 | 3918 | 5090 | 2295 | 1631 |
| 7 | 3642 | 1578 | - | - | - | - |
| 8 | - | - | - | - | - | - |
| 9 | 10080 | 3340 | 9277 | 1057 | - | - |
| 10 | 10250 | 10309 | 9929 | 9891 | 8324 | 6656 |
| 11 | 11359 | 15745 | 11542 | 16828 | 9845 | 13721 |
| 12 | 12312 | 22242 | - | - | 11237 | 22196 |
| 13 | 3162 | 18583 | 2521 | 20920 | 604 | 17657 |
| 14 | 13782 | 7737 | 13732 | 6456 | 12248 | 3230 |
| 15 | 16392 | 6102 | 16554 | 4221 | 15157 | 1024 |
| 16 | 18450 | 12425 | 19289 | 12186 | 17802 | 9191 |
| 17 | 15118 | 18897 | 15980 | 20723 | 14290 | 17746 |
| 18 | 20021 | 20937 | 21630 | 23107 | 19995 | 20278 |
| ID | Image4 | | Image5 | | Image6 | |
| | line | sample | line | sample | line | sample |
| 1 | 3419 | 2901 | - | - | - | - |
| 2 | 5903 | 9317 | - | - | 2574 | 9484 |
| 3 | 5527 | 20033 | - | - | 1866 | 19778 |
| 4 | - | - | 3561 | 17996 | 8373 | 23937 |
| 5 | 11721 | 17526 | 2098 | 11039 | 7316 | 17313 |
| 6 | 10315 | 7487 | 759 | 924 | 6455 | 7688 |
| 7 | 8307 | 1791 | - | - | 4913 | 2244 |
| 8 | 998 | 14583 | - | - | - | - |
| 9 | 14844 | 3752 | - | - | 10511 | 4074 |
| 10 | 15751 | 12125 | 6093 | 5583 | 10989 | 12083 |
| 11 | 17433 | 18676 | 7722 | 12180 | - | - |
| 12 | - | - | 9298 | 20107 | - | - |
| 13 | 9708 | 22361 | 90 | 15917 | 5391 | 21975 |
| 14 | 18950 | 8934 | 9265 | 2362 | 13879 | 8999 |
| 15 | - | - | 11609 | 282 | 16000 | 7002 |
| 16 | - | - | 14234 | 7898 | - | - |
| 17 | - | - | 11681 | 15925 | 15567 | 21903 |
| 18 | - | - | 16618 | 18259 | - | - |

| ID | Image7 | | Image8 | | Image9 | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | line | sample | line | sample | line | sample |
| 1 | 3419 | 2901 | - | - | - | - |
| 2 | 5903 | 9317 | - | - | 2574 | 9484 |
| 3 | 5527 | 20033 | - | - | 1866 | 19778 |
| 4 | - | - | 3561 | 17996 | 8373 | 23937 |
| 5 | 11721 | 17526 | 2098 | 11039 | 7316 | 17313 |
| 6 | 10315 | 7487 | 759 | 924 | 6455 | 7688 |
| 7 | 8307 | 1791 | - | - | 4913 | 2244 |
| 8 | 998 | 14583 | - | - | - | - |
| 9 | 14844 | 3752 | - | - | 10511 | 4074 |
| 10 | 15751 | 12125 | 6093 | 5583 | 10989 | 12083 |
| 11 | 17433 | 18676 | 7722 | 12180 | - | - |
| 12 | - | - | 9298 | 20107 | - | - |
| 13 | 9708 | 22361 | 90 | 15917 | 5391 | 21975 |
| 14 | 18950 | 8934 | 9265 | 2362 | 13879 | 8999 |
| 15 | - | - | 11609 | 282 | 16000 | 7002 |
| 16 | - | - | 14234 | 7898 | - | - |
| 17 | - | - | 11681 | 15925 | 15567 | 21903 |
| 18 | - | - | 16618 | 18259 | - | - |

자동으로 얻어진 접합점의 지상좌표와 영상좌표를 사용하여 RPC 블록조정에 의해 영상별 RPC 보정계수가 계산되었다. 영상별 RPC 보정계수 $A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2$ 의 초기값은 모두 0으로 지정하고, 모든 지상좌표와 RPC 보정계수의 초기값에 대한 오차는 충분히 크게 하여 RPC 블록조정에 의해 쉽게 조정되도록 하였다. RPC 블록조정에 의한 각 영상별 RPC 보정계수는 <표 2-37>와 같다.

<표 2-37> 영상별 RPC 보정계수(대전)

| Image | A0 | A1 | A2 | B0 | B1 | B2 |
|-------|--------|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|
| #1 | -1.13 | 1.17E-04 | -2.01E-04 | -9.64 | 1.25E-04 | -2.32E-04 |
| #2 | -0.22 | -1.02E-04 | -1.73E-04 | -5.98 | 6.57E-05 | 8.12E-05 |
| #3 | 0.57 | -1.28E-04 | 6.82E-04 | -10.04 | -2.24E-05 | 8.84E-04 |
| #4 | 1.15 | -6.61E-05 | -6.65E-05 | -2.97 | -3.75E-05 | 1.23E-04 |
| #5 | 0.51 | 1.81E-05 | 2.07E-05 | 7.06 | -4.04E-05 | -8.08E-05 |
| #6 | 14.65 | -1.12E-04 | 5.94E-06 | 2.90 | -1.13E-04 | -1.52E-04 |
| #7 | -1.02 | 3.52E-05 | -1.02E-04 | 6.28 | -3.15E-05 | -1.18E-04 |
| #8 | -4.05 | 1.57E-04 | 6.35E-05 | 11.49 | -6.31E-05 | -2.94E-04 |
| #9 | -10.40 | 6.18E-05 | -1.42E-04 | 4.82 | 7.83E-05 | -1.52E-04 |

RPC 보정계수에 대한 영상공간 상 정확도 평가를 위해 검사점의 지상좌표를 각 영상의 RPC와 RPC 보정계수를 이용하여 영상좌표로 변환 후 <표 2-38>와 같이 측정된 영상좌표와 비교하여 오차를 구하였다.

<표 2-38> 영상점 RPC 보정계수 오차(대전, 단위: pixel)

| | RMSE | | Mean Error | | Max Abs. Error | |
|------|-------|--------|------------|--------|----------------|--------|
| | line | sample | line | sample | line | sample |
| 보정 전 | 11.24 | 6.95 | -5.90 | -2.87 | 38.46 | 16.35 |
| 보정 후 | 9.02 | 5.53 | -5.36 | -3.21 | 26.85 | 13.01 |

RMSE는 라인과 샘플 각각 9.02와 5.53화소 이었고, 오차의 평균은 라인은 -5.36 화소 샘플의 경우 -3.21 화소 정도로 다소 높았다. 최대 절댓값 오차는 라인과 샘플이 각각 26.85화소, 13.01 화소로 나타났다.

검사점의 영상좌표, RPC, RPC 보정계수를 사용하여 지상좌표를 계산한 후 <표 2-39>와 같이 검사점의 지상좌표와 비교하여 오차를 구하였다. 먼저 영상좌표에 RPC 보정계수를 적용하여 영상좌표를 보정하고 보정된 영상좌표와 RPC를 사용하여 RPC 기반 공간전방교회법에 의해 지상좌표를 계산한 후 오차를 m 단위로 계산하기 위해 경위도로 계산된 지상좌표를 TM좌표로 변환하여 검사점의 TM좌표와 비교하였다.

<표 2-39> 지상좌표에 의한 RPC 보정계수 오차(대전, 단위: m)

| | RMSE | | | Mean Error | | | Max Abs. Error | | |
|------|------|------|-------|------------|-------|-------|----------------|-------|-------|
| | E | N | h | E | N | h | E | N | h |
| 보정 전 | 1.57 | 8.43 | 15.01 | 0.98 | -7.68 | 12.68 | 3.23 | 17.87 | 37.92 |
| 보정 후 | 1.44 | 7.16 | 13.83 | 0.96 | -7.02 | 13.66 | 2.32 | 9.23 | 18.58 |

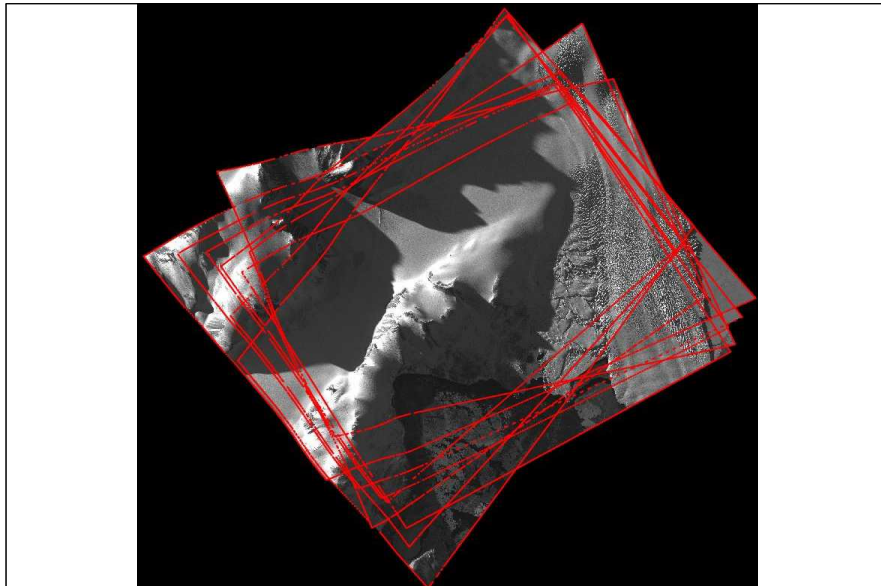
사용된 영상의 평균 GSD는 약 0.7m 였으며, RMSE는 E 좌표와 N 좌표가 각각 1.4m, 7.1m 정도였으며, 높이는 14m정도의 결과를 얻었다. 오차의 평균은 E 좌표와 N 좌표가 각각 1m, 7m 정도로 N좌표가 높았으며 최대 절댓값 오차는 RMSE의 1.5~1.7 배 정도의 결과를 얻었다.

(3) 장보고과학기지(아리랑 3A)

남극지역은 2016년 촬영된 장보고과학기지 주변 지역으로 급경사 지역에 대한 9개 영상을 선정하였다,

<표 2-40> 사용데이터 사양(장보고과학기지)

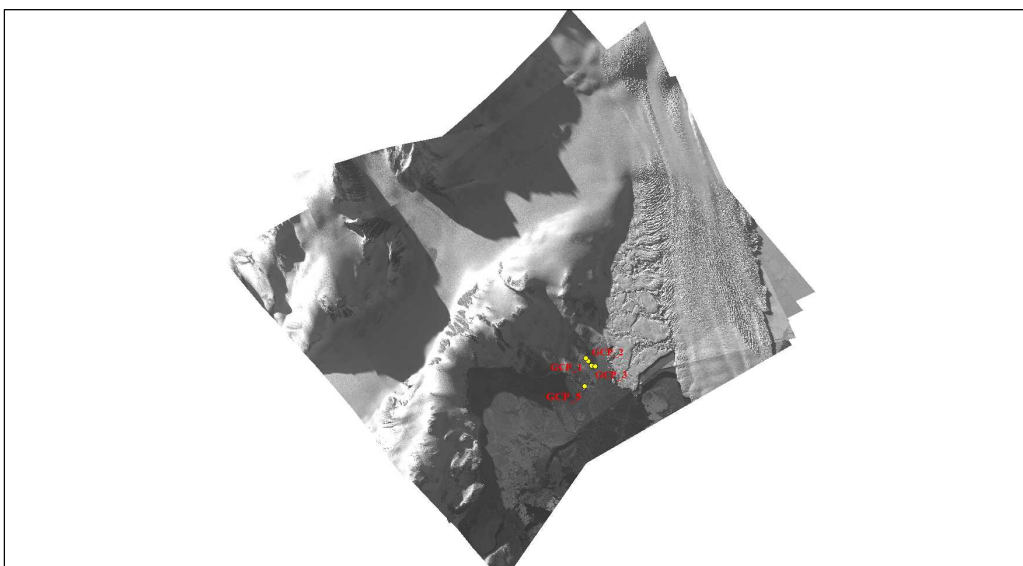
| Image | Acquisition date | Image size [pixels] | Incidence/ Azimuth | GSD (col/row) |
|-------|------------------|----------------------------|--------------------|---------------|
| #1 | 2016-03-23 | Sample 24060 Line 15080 | 40.14°/173.88° | 0.841/0.876m |
| #2 | 2016-03-23 | Sample 24060 Line 14920 | 40.68°/287.76° | 0.847/0.886m |
| #3 | 2016-03-24 | Sample 24060 Line 15640 | 37.11°/169.65° | 0.766/0.845m |
| #4 | 2016-03-24 | Sample 24060 Line 15520 | 37.57°/296.88° | 0.769/0.852m |
| #5 | 2016-03-25 | Sample 24060 Line 16080 | 34.63°/163.42° | 0.712/0.822m |
| #6 | 2016-03-25 | Sample 24060 Line 16000 | 34.95°/308.01° | 0.714/0.826m |
| #7 | 2016-03-26 | Sample 24060 Line 16320 | 33.30°/321.09° | 0.683/0.811m |
| #8 | 2016-03-29 | Sample 24060 Line 15480 | 37.55°/130.15° | 0.769/0.853m |
| #9 | 2016-03-29 | Sample 24060 Line 15720 | 37.06°/1.97° | 0.762/0.840m |



자료: 저자 작성

<그림 2-85> 아리랑 3A 다중영상(장보고과학기지)

장보고과학기지 지역 실험결과의 정확도 평가를 위해 TerraSAR-X 레이더 이미징 기술을 기반으로 획득한 GCP Chip을 사용하여 영상좌표와 함께 3차원 검사점 지상좌표를 구하였다. 기준점의 배치는 <그림 2-86>와 같이 TerraSAR-X GCP Chip의 특성상 장보고과학기지 주변에 몰려 있으며, 전체 5점이 취득되었다.



자료: 저자 작성

<그림 2-86> TerraSAR-X GCP Chip에 의한 검사점(장보고과학기지)

취득된 검사점의 지상좌표와 영상좌표는 각각 <표 2-41>와 <표 2-42>에 표시하였다.

<표 2-41> 검사점 지상좌표(장보고과학기지)

| Point_ID | 위도(deg) | 경도(deg) | h(m) |
|----------|--------------|-------------|--------|
| 1 | -74.62418134 | 164.2248844 | 17.737 |
| 2 | -74.62533794 | 164.2277794 | 18.624 |
| 3 | -74.62704695 | 164.2336752 | 14.367 |
| 4 | -74.62739654 | 164.238697 | 2.507 |
| 5 | -74.63541055 | 164.2223127 | 7.636 |

<표 2-42> 검사점 영상좌표(장보고과학기지)

| ID | Image1 | | Image2 | | Image3 | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | line | sample | line | sample | line | sample |
| 1 | 11877 | 11744 | 12961 | 11829 | 13335 | 11732 |
| 2 | 12056 | 11772 | 13144 | 11811 | 13524 | 11723 |
| 3 | 12370 | 11734 | 13443 | 11815 | 13847 | 11746 |
| 4 | - | - | 13549 | 11909 | - | - |
| 5 | 12682 | 10665 | 14278 | 10747 | 14288 | 10621 |
| ID | Image5 | | Image5 | | Image6 | |
| | line | sample | line | sample | line | sample |
| 1 | 12676 | 11835 | - | - | 12564 | 11863 |
| 2 | 12864 | 11825 | 15282 | 11738 | 12755 | 11862 |
| 3 | 13170 | 11845 | 15612 | 11779 | 13068 | 11900 |
| 4 | 13282 | 11957 | - | - | 13186 | 12029 |
| 5 | 14013 | 10717 | - | - | 13904 | 10737 |

| ID | Image7 | | Image8 | | Image9 | |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | line | sample | line | sample | line | sample |
| 1 | 11218 | 11888 | 14062 | 11798 | 12809 | 11988 |
| 2 | 11413 | 11899 | 14242 | 11836 | 13003 | 12024 |
| 3 | 11731 | 11956 | 14520 | 11937 | 13315 | 12125 |
| 4 | 11856 | 12098 | - | - | - | - |
| 5 | 12542 | 10792 | - | - | 14005 | 11183 |

자동으로 얻어진 접합점의 지상좌표와 영상좌표를 사용하여 RPC 블록조정에 의해 영상별 RPC 보정계수가 계산되었다. 영상별 RPC 보정계수 $A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2$ 의 초기값은 모두 0으로 지정하고, 모든 지상좌표와 RPC 보정계수의 초기값에 대한 오차는 충분히 크게 하여 RPC 블록조정에 의해 쉽게 조정되도록 하였다. RPC 블록조정에 의한 각 영상별 RPC 보정계수는 <표 2-43>와 같다.

<표 2-43> 영상별 RPC 보정계수(장보고과학기지)

| Image | A0 | A1 | A2 | B0 | B1 | B2 |
|-------|-------|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|
| #1 | -1.54 | 6.92E-05 | -1.21E-05 | 4.90 | -3.86E-04 | -2.77E-04 |
| #2 | -2.17 | 2.45E-04 | 2.23E-04 | -6.20 | 7.91E-06 | -3.29E-04 |
| #3 | 1.33 | 5.32E-05 | 3.00E-04 | -4.22 | -4.10E-04 | -2.77E-04 |
| #4 | -1.70 | 1.70E-04 | 2.18E-04 | -2.52 | 3.39E-05 | -2.16E-04 |
| #5 | -4.25 | 5.13E-05 | 6.44E-05 | 4.60 | -4.34E-04 | -1.11E-04 |
| #6 | -1.45 | 1.03E-04 | 2.55E-04 | 0.32 | -4.57E-05 | -2.82E-04 |
| #7 | -1.36 | 3.61E-05 | 3.88E-04 | -7.49 | 5.81E-06 | -1.67E-04 |
| #8 | -2.08 | 4.98E-05 | 3.20E-04 | 2.64 | -4.98E-04 | -4.77E-05 |
| #9 | 6.84 | -1.79E-04 | 2.33E-04 | 0.51 | 8.85E-05 | -3.12E-04 |

RPC 보정계수에 대한 영상공간 상 정확도 평가를 위해 검사점의 지상좌표를 각 영상의 RPC와 RPC 보정계수를 이용하여 영상좌표로 변환 후 <표 2-44>와 같이 검사점 영상좌표와 비교하여 오차를 구하였다.

<표 2-44> 영상점 RPC 보정계수 오차(장보고과학기지, 단위: pixel)

| | RMSE | | Mean Error | | Max Abs. Error | |
|------|-------|--------|------------|--------|----------------|--------|
| | line | sample | line | sample | line | sample |
| 보정 전 | 16.30 | 13.69 | 12.94 | -8.95 | 34.70 | 25.25 |
| 보정 후 | 18.84 | 18.20 | 16.28 | -15.26 | 37.71 | 28.13 |

RMSE, 오차의 평균, 최대 절댓값 오차 모두 보정에 대한 효과가 없으며 오히려 다소 오차가 증가했다.

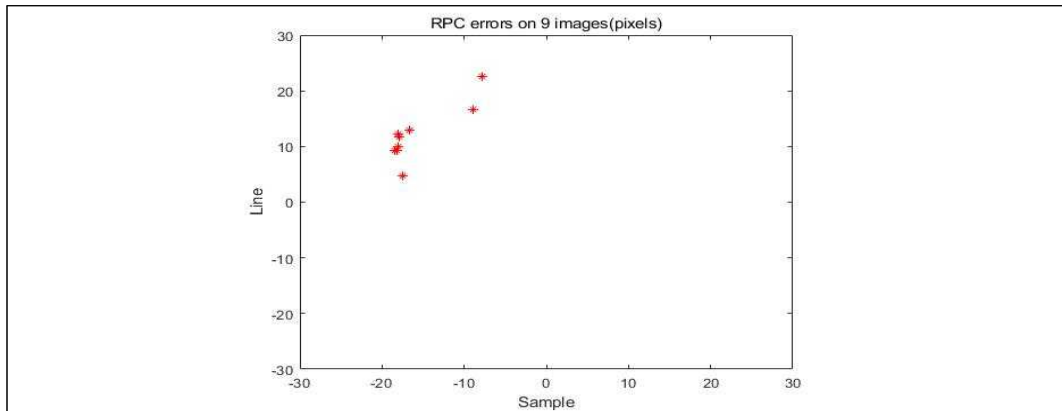
검사점의 영상좌표, RPC, RPC 보정계수를 사용하여 지상좌표를 계산한 후 <표 2-45>와 같이 검사점의 지상좌표와 비교하여 오차를 구하였다. 먼저 영상좌표에 RPC 보정계수를 적용하여 영상좌표를 보정하고 보정된 영상좌표와 RPC를 사용하여 RPC 기반 공간전방교회법에 의해 지상좌표를 계산한 후 오차를 m 단위로 계산하기 위해 경위도로 계산된 지상좌표를 UTM좌표로 변환하여 검사점의 UTM좌표와 비교하였다.

<표 2-45> 지상좌표에 의한 RPC 보정계수 오차(장보고과학기지, 단위: m)

| | RMSE | | | Mean Error | | | Max Abs. Error | | |
|------|-------|-------|------|------------|-------|------|----------------|-------|-------|
| | E | N | h | E | N | h | E | N | h |
| 보정 전 | 9.75 | 12.65 | 5.71 | 5.40 | 11.02 | 5.09 | 14.64 | 20.61 | 9.89 |
| 보정 후 | 12.80 | 15.22 | 6.30 | 10.06 | 14.02 | 5.60 | 19.09 | 23.50 | 10.73 |

영상좌표에서와 같이 RMSE, 오차의 평균, 최대 절댓값 오차 모두 보정에 대한 효과가 없으며 오히려 다소 오차가 증가했다.

이러한 결과는 9개 모든 영상에 대해 제공된 RPC 오차의 분포가 한쪽으로 편향되어 있기 때문이다. 아래 그림은 지상기준점 중 모든 영상에서 나타난 한 점의 지상좌표를 제공 RPC를 이용하여 영상좌표로 변환 후 측정 영상좌표와 비교한 오차이다. 모든 영상의 오차가 <그림 2-87>에서처럼 한 곳에 몰려 있으므로 무기준점 보정의 효과를 기대할 수 없다.



자료: 저자 작성

<그림 2-87> 제공 받은 RPC에 의한 지상기준점 오차 분포(남극 장보고과학기지)

다. 수치지형도 제작방안

우리나라는 2개의 남극과학기지를 구축하고 과학기지를 중심으로 대기, 지질, 빙하 등에 대해 활발한 과학연구를 수행하고 있다. 남극지역의 연구 활동을 지원하기 위해서는 최신의 대축척 수치 지형도가 요구된다. 국내에서는 <그림 2-88>와 같이 항공사진 촬영을 통해 각종 지형공간정보를 취득하여 전산시스템에서 처리할 수 있는 형태로 제작하거나 변환하는 일련의 과정을 거쳐 제작된다.

그러나, 남극지역에서는 항공사진축량에 의한 자료 취득이 현실적으로 불가능하므로 위성영상을 활용하여야 한다. 국토위성은 연직촬영의 경우 지상표본거리가 0.5m로서 동일한 지상표본거리를 갖는 Pleiades 위성영상이 북한지역 1/5,000 수치지도에 사용되고 있으며, 2019년 극지역 공간정보 구축사업에서도 남극과 북극의 1/5,000 축척의 수치지형도에 사용되었다.



자료: 국토지리정보원

<그림 2-88> 수치지형도 제작 과정

남극지역 수치지형도에는 해안선, 하천, 도로, 건물, 등고선, 지명 등과 같은 기본적인 지형공간 정보뿐 아니라 광역 해빙 분포와 빙하, 빙봉, 빙벽, 크레바스, 펭귄이나 물범의 서식지 등과 같은 남극지역에서 연구활동에 필요한 레이어가 포함되어야 한다. 또한 필요한 레이어에 대해 위성영상에서의 판독가능 여부, 묘사 가능 여부를 확인하여야 하고, 이들 레이어를 점, 선, 면 중 어떤 형태로 나타낼지에 대한 분석도 필요하다.

다음으로 수치지도의 지형·지물의 위치와 기하학적 관계를 수학적으로 나타내기 위해서는 좌표계 선정이 필요하다. UTM 좌표계는 지구를 80°S(남위)부터 84°N(북위)까지를 180°W(서경)부터 시작하여 경도 6° 간격으로 총 60개의 세로 격자(띠)로 나눈다. 세종과학기지와 장보고과학기지의 위도는 각각 62° 13' S, 74° 37.4' S로 모두 UTM 좌표계 사용이 가능하지만, 남극지역에서 가장 많이 채택되어 사용되는 좌표계는 WGS 84 타원체 기준의 Stereographic 투영법(이하 EPSG:3031)이며, 국토지리정보원 국토정보플랫폼의 극지공간정보 서비스에서 제공하는 지도서비스 역시 EPSG:3031를 사용한다고 명시되어 있다.

고해상도 위성영상으로 제작 가능한 수치지도의 축척을 결정하는데 있어서 가장 중요한 요소는 축척에 따른 위치 정확도 기준이다. 국내 수치지도 작성의 경우 항공사진의 지상표본거리, 지상기준점 오차, 표정 정확도, 수치지도의 묘사 오차에 대한 위치 정확도 기준이 정해져 있지만, 접근불능지역에 적합한 위성영상과 관련해서 별도의 기준은 정립되어 있지 않다.

현 항공사진측량작업규정에 따르면 1/5,000 수치지도에 대한 디지털 항공사진의 지상표본거리는 0.42m이내, 기준점 오차의 한계는 평면, 표고 모두 RMSE ± 0.2 m 이내, 조정계산 후 오차는 지상표본거리에 따라 대략 표준편차 1 화소 이내, 최대오차 2 화소 이내 이어야 하며, 세부도화 묘사오차 허용범위는 평면위치 1.0m(표준편차), 2.0m(최대오차), 표고 0.5m(표준편차), 1.0m(최대오차) 이다. 수치지도에 대한 최종 정확도 기준은 규정에 포함되어 있지 않다. 그러나, 용역사업 검사기준에는 <표 2-46>와 같이 표정에 대한 오차기준이 별도로 있고, 최종위치 정확도는 평면위치 표준편차 3.5m 이내, 표고점은 주곡선(5m)의 1/3 이내이다. 최종위치 정확도는 평면위치, 표고점 모두 1.5m 이내이다.

국토위성의 해상도를 기준으로 했을 때, 항공사진측량 작업규정에 따르게 되면 1/10,000 또는 1/25,000 축척의 수치지형도만을 제작 가능한 것으로 되므로, 별도의 작업규정 작성을 통해 제작 가능한 축척의 재정의가 필요해 보인다.

<표 2-46> 도화축척 1/5,000, 1/25,000에 대한 정확도 관련 규정

| 항목 | 1/5,000 허용기준 | | 1/25,000 허용기준 | |
|-------------------|--------------|-------------|---------------|-------------|
| 지상표본거리 | 0.42m이내 | | 80cm 이내 | |
| 기준점오차 (RMSE) | ±0.2m이내(평면) | ±0.2m이내(표고) | ±0.5m이내(평면) | ±0.3m이내(표고) |
| 세부도화 묘사 오차(평면) | 1.0m(RMSE) | 2.0m(최대오차) | 5.0m(RMSE) | 10.0m(최대오차) |
| 세부도화 묘사 오차(표고) | 0.5m(RMSE) | 1.0m(최대오차) | 1.5m(RMSE) | 2.5m(최대오차) |

자료: 국토지리정보원(항공사진측량작업규정)(2020)

<표 2-47> 조정계산 및 오차의 한계(평면, 표고 동일)

| 구분 | 도화축척 | RMSE(m) | 최대값(m) |
|----------------------------|-----------------|---------|--------|
| 아날로그항공사진측량용 카메라로 촬영한 영상 | 1/500~1/600 | 0.14 | 0.28 |
| | 1/1,000~1/1,200 | 0.20 | 0.40 |
| | 1/2,500~1/3,000 | 0.36 | 0.72 |
| | 1/5,000 | 0.72 | 1.44 |
| | 1/10,000 | 0.90 | 1.80 |
| | 1/25,000 | 1.00 | 2.00 |
| 디지털항공사진측량용 카메라로 촬영한 영상 | 8cm 이내 | 0.08 | 0.16 |
| | 12cm 이내 | 0.12 | 0.24 |
| | 25cm 이내 | 0.25 | 0.50 |
| | 42cm 이내 | 0.42 | 0.84 |
| | 65cm 이내 | 0.65 | 1.30 |
| | 80cm 이내 | 0.80 | 1.60 |

자료: 국토지리정보원(항공사진측량작업규정)(2020)

<표 2-48> 1/5,000 수치도화를 위한 표정 검사 기준

| 구분 | 평면위치 | 표고 |
|----|---------|---------|
| 신규 | 0.8m 이내 | 0.6m 이내 |
| 수정 | 2.5m 이내 | 1.0m 이내 |

자료: 국토지리정보원(용역사업검사기준)(2019)

<표 2-49> 1/5,000 수치지도 최종위치 정확도 검사 기준

| 검 사 기 준 | | 검사방법 | 비고 |
|-------------------|------|--------------------------|------|
| 1/5,000 수치지도 표준편차 | | 현장(표본)검사 (5 ~ 10% 검사) | 적, 부 |
| 평면위치 | 높이 | | |
| ± 1.5m | 1.5m | | |

자료: 국토지리정보원(용역사업검사기준)(2019)

2014년 미국 ASPRS(미국 사진측량 및 원격탐사 학회)에서는 이전의 기준이 필름사진 또는 필름 사진의 스캔본에서부터 유래된 기준을 사용하고 있어서 시대에 뒤떨어져 있고 디지털 항공사진 측량 및 관련 기술에 발달에 따라 정확도가 크게 향상된 것을 반영하지 못하므로 새 시대에 맞는 새로운 기준을 공표하였다. 즉, 매핑 정확도는 더 이상 카메라 기하학적 특성과 비행 고도(초점 거리, 촬영고도비 등)에만 관련이 있는 것이 아니라 CCD의 품질 및 물리적 크기, GNSS 신호의 품질, GNSS의 드리프트와 시프트를 처리하고 카메라의 셀프 검보정을 처리하는 소프트웨어 성능 등 다양한 요소에 의해 영향을 받는다. 새로운 기준은 센서에 구애받지 않고, 지도 축척이나, 등고선 간격과도 무관한 위치정확도만을 기준으로 한다.

예로서 <표 2-50>와 같이 지도의 축척별 기준이 아니라 요구되는 수치지도의 최종정확도를 기준으로 한다. 평면 위치와 표고(등고선)에 대한 수치지도의 경우 수치지도의 경우 평면 위치와 표고(등고선)에 대한 표정 정확도는 지도의 최종정확도의 1/2 이내이어야 하고, 지상기준점은 표정 정확도의 1/2 즉, 지도 최종정확도의 1/4 이내이어야 한다. 그리고 검사점은 지도 최종정확도의 1/3 이내이어야 한다(ASPRS, 2015).

<표 2-50> 표정 및 기준점 요구정확도

| 수치지도 최종 정확도 (RMSE _x , RMSE _y) (cm) | 표정 정확도 | | 기준점 정확도 | |
|--|---|---------------------------|---|---------------------------|
| | RMSE _x and RMSE _y (cm) | RMSE _z (cm) | RMSE _x and RMSE _y (cm) | RMSE _z (cm) |
| 50 | 25 | 25 | 12.5 | 12.5 |

자료: ASPRS(2015)

- $RMSE_x(AT), RMSE_y(AT) \text{ or } RMSE_z(AT) = 1/2 * RMSE_x(Map), RMSE_y(Map) \text{ or } RMSE_z(DEM)$
- $RMSE_x(GCP), RMSE_y(GCP) \text{ or } RMSE_z(GCP) = 1/4 * RMSE_x(Map), RMSE_y(Map) \text{ or } RMSE_z(DEM)$

이전 기준(1990 class1)과 비교하면 평면위치 정확도 RMSE 1.77m 이내가 1/5,000 수치지도의 평면위치 기준에 해당하며, 표고 오차의 기준은 RMSE가 등고선 간격의 1/3 이내이다 (ASPRS,2015).

위성영상과 관련해서 별도의 국내 기준은 정립되어 있지 않다. 항공사진측량과 동일한 기준을 위성영상에 적용하게 되면 연직 촬영시 지상표본거리가 0.5m인 국토위성은 1/5,000 수치지도 제작에 부적합하다. 그러나 접근불능지역에 대해선 항공사진측량이 불가능하며 0.42m 이내의 지상 표본거리를 갖는 위성영상 취득은 매우 제한적이므로 항공사진의 기준을 그대로 적용하는 것은 무리가 있다.

또한 위치정확도의 큰 영향을 미치는 지상기준점의 경우, 남극지역에서는 현장측량이 불가능하므로 항공사진측량 규정에 적합한 지상기준점 확보가 불가능하다. 남극지역에서 사용할 수 있는 기준점으로는 TerraSAR-X 기준점과 ICESat 위성라이다 자료이다. 국토지리정보원 보고서(국토지리정보원 접근불능지역 1/5.000 공간정보 시범구축, 2019)에 따르면 TerraSAR-X 기준점의 실제 정확도는 수평 정확도 1m 내외, 수직정확도 0.5m 이내로 보고되고 있다.

TerraSAR-X 레이더 이미지는 명확하게 식별 가능한 물체(특히, 인공구조물)에서만 탐지가 가능하기 때문에 눈과 얼음으로 뒤덮인 극지역에서는 기준점 확보가 어렵다. 한편 극지역을 포함한 전 지구적으로 획득이 가능한 ICESat 또는 ICESat-2 자료는 이미지가 아닌 일정한 간격의 포인트로 이루어졌으므로 이 위치자료를 적극 활용할 필요가 있다. 극지방에서 수행한 ICESat과 ICESat-2 위치자료의 고도 측정 정확도는 각각 $\pm 14\text{cm}$, $\pm 5\text{cm}$ 정도였으며, 육지에서 지면에 대한 ICESat-2의 고도측정 정확도는 $\pm 85\text{cm}$ 로 보고된다(Shuman et al., 2006; Kurtz et al.,

2008; Neuenschwander and Magruder, 2019).

지상기준점과 관련해서 정확도만큼 중요한 것이 기준점의 선점이다. 항공사진측량과는 달리 위성영상의 경우 어떤 영상을 사용하느냐에 따라 RPC 보정식이 다르므로 필요로 하는 기준점의 수와 배치도 달라진다. 예를 들면 WorldView 위성영상의 경우 하나의 지상기준점 만으로도 높은 위치 정확도를 기대할 수 있지만 국내 위성영상의 경우엔 같은 위치정확도를 얻기 위해선 더 많은 지상기준점이 요구된다. 따라서 남극지역에서 위치에 제한을 덜 받고 쉽게 확보가 가능한 지상기준점 확보가 필요하다.

마지막으로 수치지형도의 위치정확도를 확보하기 위해서는 지상기준점과 별도로 검사점을 사용하여 최종 수치지형도의 위치정확도 오차를 확인할 필요가 있다. 항공사진측량에 의한 수치지형도 작성의 경우 일련의 과정이 체계화되어 있으므로 단계별 정확도 기준에 의해 품질관리가 가능하지만 위성영상의 경우 아직 체계화되어 있지 않으며 특히 접근불능지역에서는 단일 규정을 적용하기엔 어려움이 많기 때문이다. 따라서 단계별 기준은 완화하고 최종 위치정확도 위주로 품질관리하는 것이 바람직하다.

국토위성의 경우 지상표본거리가 50cm 이상이므로 동일한 1/5,000 수치지형도에 사용되는 25cm 급 항공사진과는 큰 차이가 있으므로 레이어 판독 및 묘사에 대해 충분히 검토할 필요가 있다. <부록 1-2>에서는 아리랑 위성 3A 위성영상을 사용하여 서울지역에 대해 판독성 및 묘사성에 대해 전문 도화사가 실험한 결과를 표현하였다.

실험한 결과에서 알 수 있듯이 시설물의 경우 판독 및 묘사가 불가능한 레이어가 많고 지형에 대한 해선 바위, 웅벽과 같은 경사가 급한 항목은 묘사가 어렵다. 반면에 남극지역에 필요한 하천, 호수, 해안선 등의 항목과 건물, 도로, 등고선 등은 완전 묘사 또는 대부분 묘사가 가능하였다. 남극지역에서는 국내에 적용되는 모든 레이어가 존재하지 않으며, 반면에 국내 수치지형도 레이어에는 없지만 광역 해빙 분포와 빙하, 빙봉, 빙벽, 크레바스, 펭귄이나 물범의 서식지 등과 같은 남극지역에서 연구활동에 필요한 레이어가 필요하다.

국토지리정보원 극지역 공간정보 구축사업(2019)에서는 <표 2-51>에서 제시한 극지역 수치지도 레이어를 토대로 도화가 수행되었다. <그림 2-89>은 기존 국토지리정보원에서 제작한 장보고 과학기지 주변의 영상지도와 수치지도를 나타낸 것이다. 여기서, 빙하지역의 경우, 기존에는 적설 지역과 비 적설 지역을 구별하지 않고 동일하게 등고선을 작성하였으며, 크레바스를 포함한 극지역 특수성은 배제된 레이어로 구성되어 있다.

<표 2-51> 북극 수치지형도에 사용된 레이어

| 사용 레이어 | | 레이어 코드 | 비고 |
|--------|-------|--------|----|
| 도로 | 실폭도로 | 3115 | 선 |
| | 단선도로 | 3119 | |
| 수부 | 해안선 | 2122 | 선 |
| | 저수지 | 2114 | 선 |
| | 단선하천 | 2112 | 선 |
| | 실폭하천 | 2111 | 선 |
| 건물 | 건물 | 4111 | 선 |
| 시설 | 교량 | 3314 | |
| | 댐 | 4122 | |
| 지형 | 주곡선 | 7111 | 선 |
| | 계곡선 | 7114 | 선 |
| | 등고수치 | 7131 | 문자 |
| | 표고점수치 | 7132 | 문자 |

자료: 국토지리정보원(극지역 공간정보 구축사업)(2019)



자료: 국토지리정보원(극지역 공간정보 구축사업)(2019)

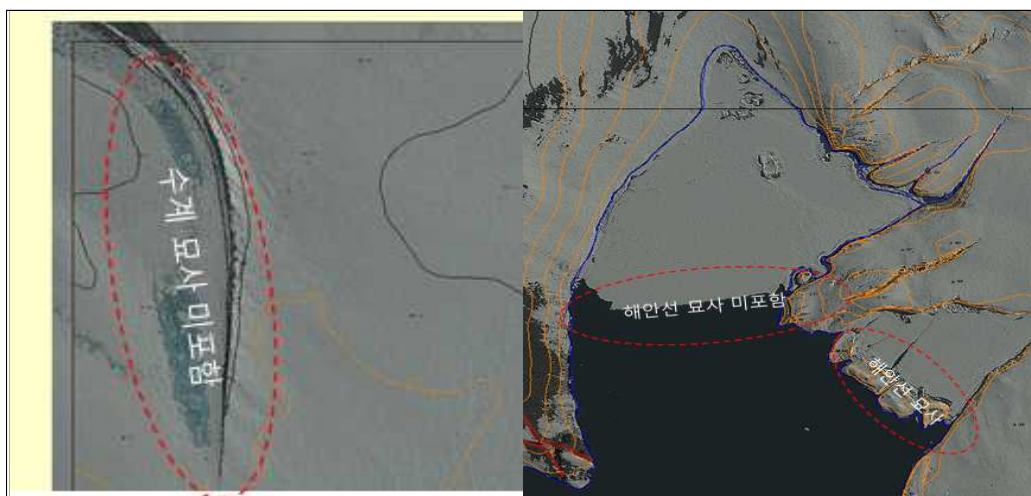
<그림 2-89> 장보고과학기지 주변의 1/5,000 영상지도와 수치지도

그리고 <그림 2-90>에서 보는 바와 같이 해빙 내의 높이를 표현하기 위해 등고선을 묘사하였으나 해빙으로 간주된 지형묘사는 별도 레이어로 묘사할 것을 제안한다. 수계 레이어 또한 묘사 규정이 불명확하고 남극지역 내에서 일부 지역은 묘사가 되지 않은 지점이 발견되었으며, 해안선 또한 묘사 범위가 모호하다<그림 2-91>. 크레바스 또는 빙하가 갈라지는 지역에 대한 등고선 묘사 기준도 명확하지 않다<그림 2-92>. 위성영상에서 나타나는 모든 복잡한 형상을 묘사하는 것은 불가능하므로 비영구적인 크레바스로 간주되는 지점 또는 일정 크기 이상의 크레바스 묘사를 위한 규정이 필요하다.



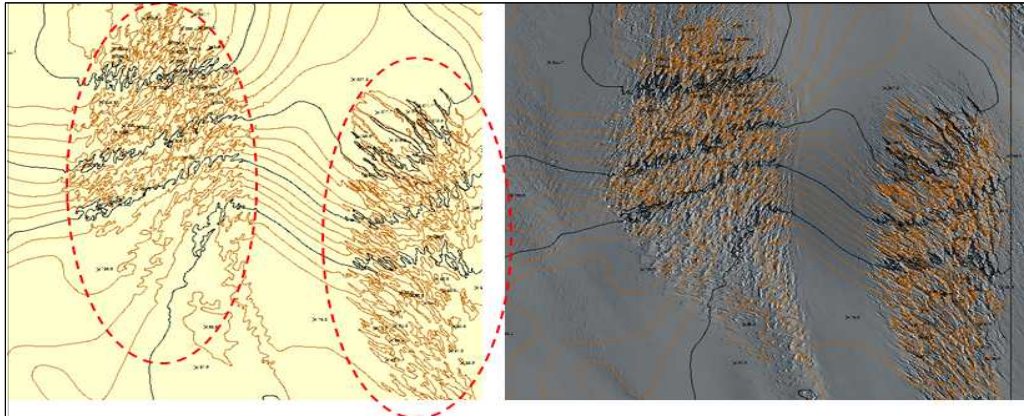
자료: 저자 작성

<그림 2-90> 기 구축 극지역 수치지도의 해빙 내 등고선



자료: 저자 작성

<그림 2-91> 기 구축 극지역 수치지도의 수계 미포함과 해안선 묘사여부

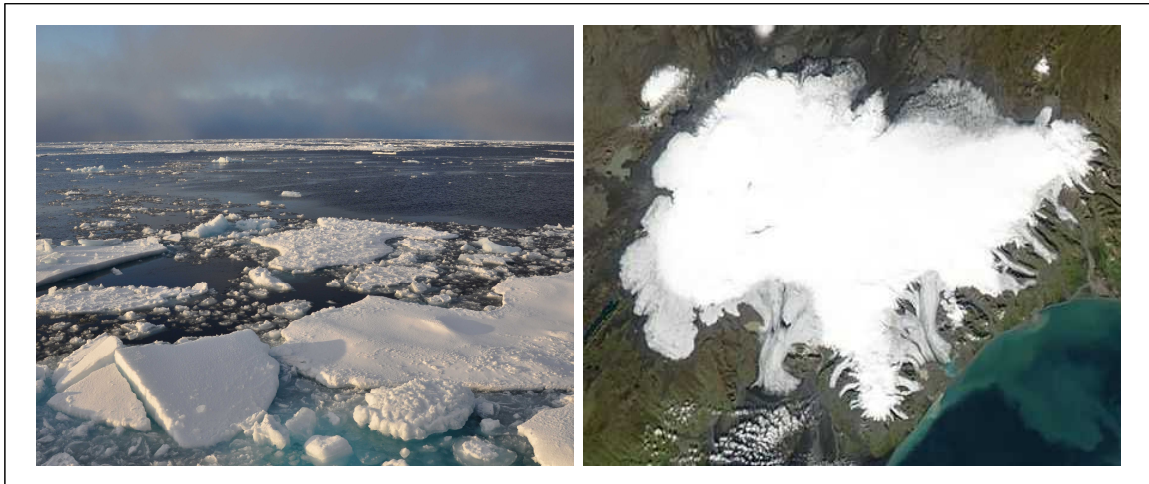


자료: 저자 작성

<그림 2-92> 기 구축 극지역 수치지도의 크레바스 묘사

기존 ‘국토지리정보원 극지역 공간정보 구축사업(2019)’에서 수행한 극지역 수치지도 레이어 외에 추가적으로 남극지역 과학활동에 필요할 것으로 예상되는 레이어에는 해빙(sea ice), 빙원(ice cap), 빙상(ice sheet), 빙하(galcier), 빙붕(ice shelf) 크랙, 영상에서 탐지 가능한 크레바스(crevasse) 등과 남극지역에 설치되어 있는 각종 기준점(통합기준점 등)이 있다.

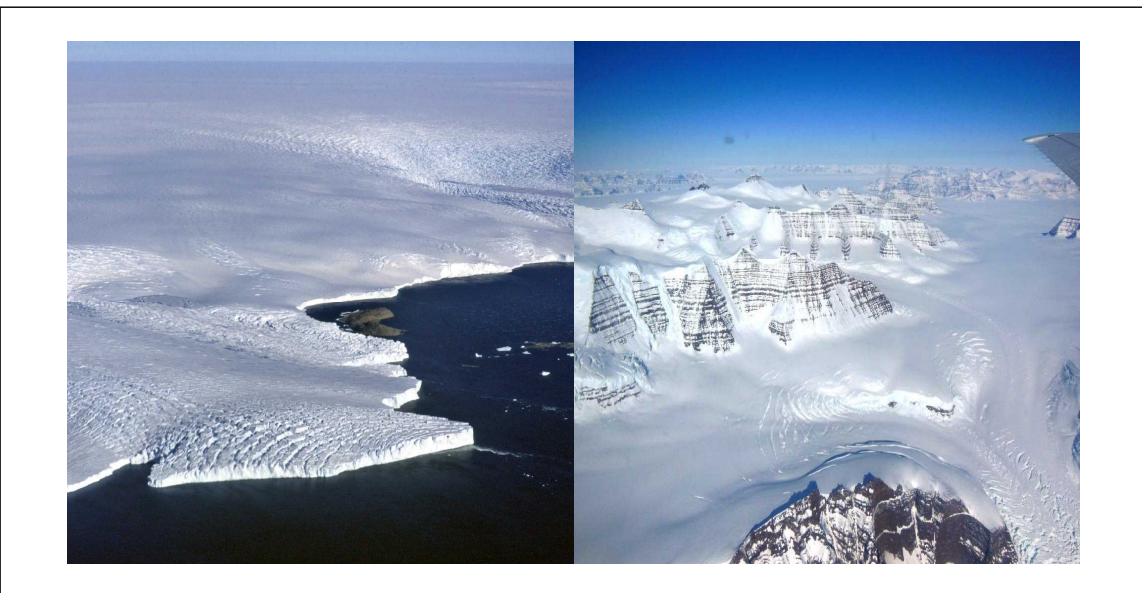
- 해빙: 해수면에 떠다니는 얼음 조각들 (wikipedia.org)
- 빙원: 지형에 영구적으로 두껍게 덮여있는 얼음층
- 빙상: 지형의 50,000km² 이상 덮은 얼음 덩어리를 일컬으며 남극과 북극의 빙하와 같은 개념으로 사용. 빙상의 두께는 3m 정도로 보고됨
- 빙하: 눈이 중력과 높은 압력으로 축적되어 형성된 거대한 얼음덩어리이며, 자체 무게에 의해 끊임없이 이동함
- 빙붕: 빙하가 흘러 내려와 바다 위로 퍼지며 평평하게 얼어붙은 것. 남극 해안선의 약 44%가 빙붕이며, 빙붕 두께는 100m에서 1000m까지로 보고됨.
- 크레바스: 빙상이나 빙하 등의 골짜기에 형성된 깊은 균열. 벽면은 대부분 수직으로 깊이 45m, 폭 20m까지 형성됨.
- 통합기준점: 남극 세종과학기지에 설치



자료: Sciencetimes(2021)

자료: Wikipedia(2021)

<그림 2-93> 북극해빙과 아이슬란드 Vatnajökull의 빙원



자료: Theconversation(2021)

자료: NASA(2021)

<그림 2-94> 남극 빙상과 북극 그린란드의 Geikie Plateau 빙하



자료: Wikipedia(2021)

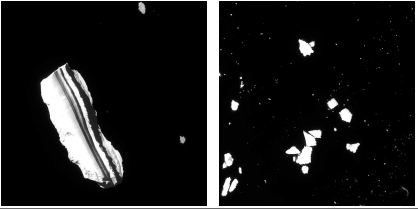
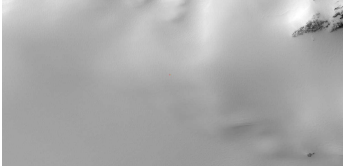
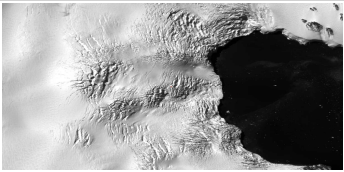
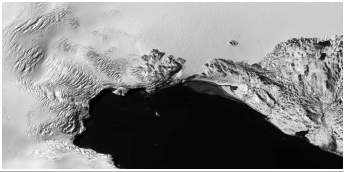
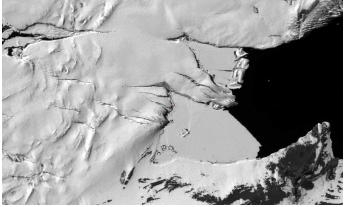
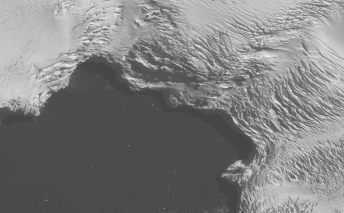
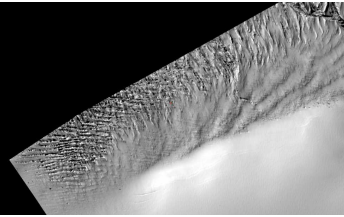
자료: Wikipedia(2021)

<그림 2-95> 남극 Ross 해의 빙붕과 미국 워싱턴주 Baker산 Easton 빙하의 크레바스

〈표 2-52〉은 장보고과학기지와 세종과학기지 주변에서 획득한 Pleiades 스테레오 위성영상을 이용하여 본 연구에서 제안한 추가 레이어 판독결과를 나타낸 것이다. 앞에서 제안한 추가 레이어는 대부분 판독이 가능하였다. 다만 크레바스의 경우 빙상이나 내륙에서는 판독이 명확하게 이루어지나 빙하 지역의 해안지역에서는 크레바스 판독이 불명확하였다.

따라서 크레바스는 깊이 3m 이상, 폭이 3m 이상일 경우는 실폭으로, 3m 이하일 경우는 단선으로 표시하고, 길이는 5m 이상이면 판독과 도화가 가능하다. 추가로 도화작업시 극지역은 빙벽지역의 경우 등고선이 너무 촘촘히 들어가고 중간에 안 보이는 부분이 있어서 빙벽은 레이어로 표시하고 보이는 최상단과 최하단의 높이 값만 표현하는 것을 제안한다. 세종과학기지에 설치된 통합기준점의 판독은 어려운 것으로 판정되었다.

<표 2-52> 극지 추가 레이어 판독결과(Pleiades 위성영상)

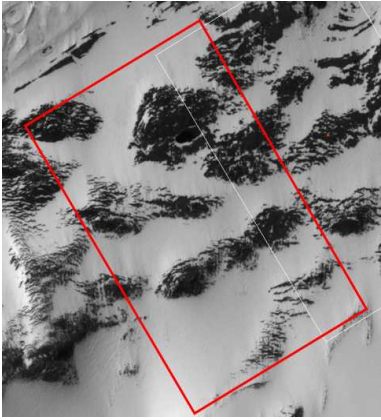
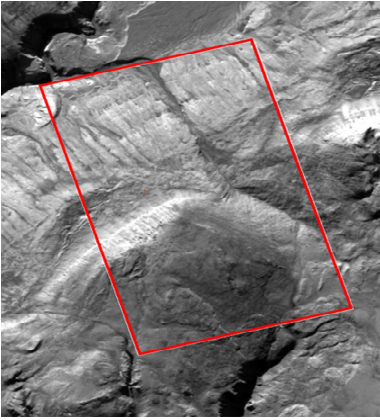
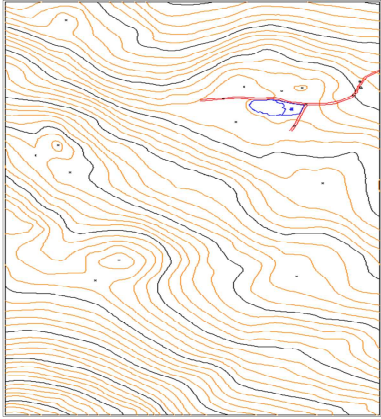
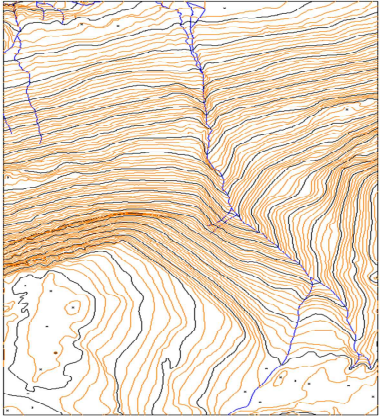
| 항목 | 1/5,000 | 1/25,000 | 추출 영상 |
|-------|---------|----------|--|
| 해빙 | ○ | ○ |  |
| 빙원 | ○ | ○ |  |
| 빙상 | ○ | ○ |  |
| 빙하 | ○ | ○ |  |
| 빙봉 | ○ | ○ |  |
| 빙벽 | △ | ○ |  |
| 크레바스 | ○ | △ |  |
| 통합기준점 | × | × | |

※주 : ○ : 명확히 판독 가능, △ : 다소 부정확, × : 판독 불가능
자료: 저자 작성

〈표 2-53〉은 남극지역 Pleiades 스테레오 위성영상으로 적설 지역과 비 적설 지역을 구분하여 도화한 1/5,000 수치지도 결과를 나타낸 것이다. 비 적설지역은 지형의 기복이 대체로 심하며 표면이 노출된 형태로 복잡하고 거친 형상을 보이는 반면 적설지역은 빙설로 거친 표면을 덮고 있어 비교적 지형의 모양이 매끄럽고 완만한 형상을 보인다.

따라서 비 적설지역과 적설지역이 연결된 지형인 경우 아래 그림과 같이 등고선 묘사도 달라질 뿐만 아니라 같은 높이의 등고선으로도 연결될 수 없다. 고해상도 컬러영상에서는 적설과 비적설 지역에 대한 판독이 가능하므로 본 연구에서는 이를 분리하여 도화하는 방안을 제안한다.

〈표 2-53〉 남극지역 위성영상과 1/5,000 도화 성과 (Pleiades 위성영상)

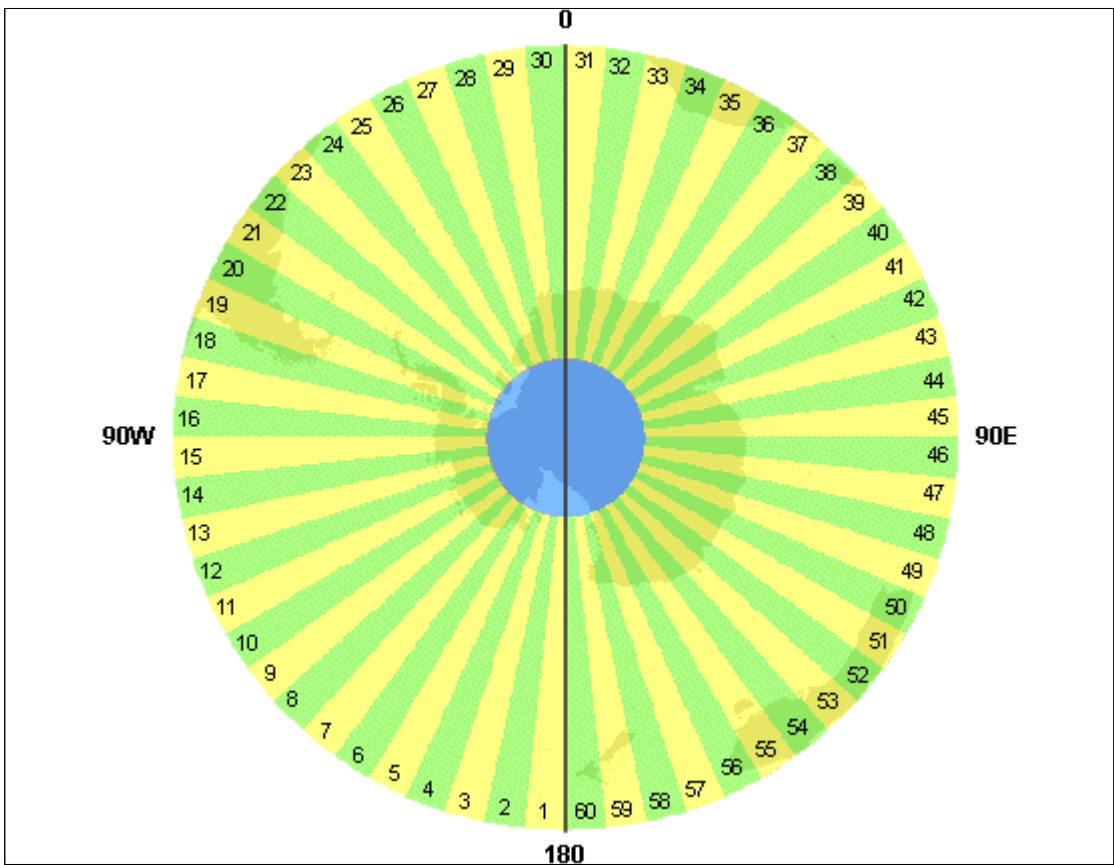
| | 적설지역 | 비 적설지역 |
|-------|---|--|
| 위성 영상 |  |  |
| 도화 성과 |  |  |

자료: 저자 작성

극지역 수치지도 좌표계는 해당 지역의 경위도, 축척의 크기, 해외의 극지공간정보와의 호환성 등이 고려되어야 한다. 1/5,000과 같은 대축척 수치지도인 경우 일반적으로 UTM 좌표계가 적합하다. UTM 좌표계는 지구를 80°S(남위)부터 84°N(북위)까지를 나타낼 수 있으며 구역이라고 하

는 스트립은 180도 자오선에서 시작하여 서쪽에서 동쪽으로 이동하여 1에서 60까지 번호가 매겨진다(Zone 1은 180°W ~ 174°W, Zone 2는 174°W ~ 168°W 등).

각 Zone은 적도의 북쪽(N)인지 남쪽(S)인지 표시하기 위해 더 세분된다. UTM 영역의 자연적 원점은 중심 자오선과 적도의 교차점이지만 이 원점은 일부 위치에 음의 좌표를 할당한다. 이를 방지하기 위해 False Easting 및 Northing 값이 적용되는데, False Easting은 남북과 관계없이 500,000m이며, False Northing은 남반구에 대해서만 10,000,000m가 된다. 세종과학기지와 장보고과학기지의 위도는 각각 62° 13' S, 74° 37.4' S로 UTM 좌표계 사용이 가능하며, 세종과학기지와 장보고과학기지의 경도는 각각 58° 47' W, 164° 12' E로 각각 Zone 21 S, Zone 58 S에 해당한다.



자료: Universal Transverse Mercator system(2021)

<그림 2-96> 남극에서 본 남반구의 UTM Zone

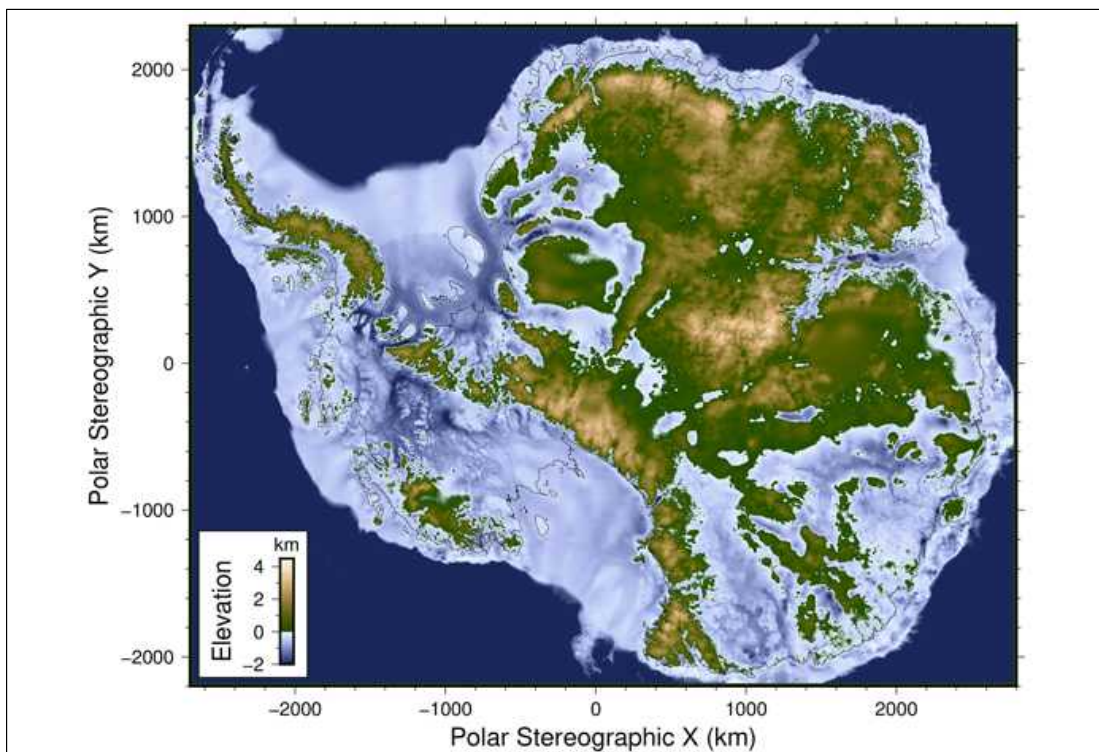
소축척의 경우 남극지역에서 가장 많이 채택되어 사용되는 좌표계는 WGS 84 타원체 기준의 Antarctic Polar Stereographic 투영법(이하 EPSG:3031)이며, 국토지리정보원 국토정보플랫폼

의 극지공간정보 서비스에서 제공하는 지도서비스 역시 EPSG:3031를 사용한다고 명시되어 있다.

입체투영법(stereographic projection)은 투영면을 지구본의 한 점에 접하게 하고 점점의 대척점을 시점으로 하여 경선과 위선을 투시하는 도법으로, 극지역 지도 제작에 쓰인다. 중심이 어디에 놓이건 경선과 위선의 간격이 동일한 비율로 넓어지기 때문에 각도 관계가 정확하게 나타나며, 극 중심의 고위도 지역 지도 제작에 많이 쓰인다.

〈그림 2-97〉와 같이 Antarctic Polar Stereographic 투영법에서 원점은 남극이며, Y(N)축은 본초자오선 방향이며, X(E)축은 동경 90° 방향이다. 축척계수가 1인 지역은 남위 71° 이고, 원점은 남극, 적용구간은 남위 60°까지이며 좌표값은 -3,000km ~ 3,000km로서 남극데이터 베이스 또는 1/1,000,000 이하의 소축척 지도에 적용한다(openstreetmap, 2021).

우리나라 남극수치지도에 적용할 경우 장점으로는 세종과학기지, 장보고과학기지 둘 다 남위 71° 에 가까워서 지도투영에 따른 오차가 작고, 두 개의 기지를 하나의 좌표계로 지도제작이 가능하며 국내 극지공간정보 및 해외 남극데이터 베이스 좌표계와 동일하므로 좌표변환 없이 서로 호환될 수 있다.



자료: Leong and Horgan(2020)

〈그림 2-97〉 Antarctic Polar Stereographic 투영법

라. DEM 제작방안

극지역에서 대규모 빙하 지역에 대한 과학적 연구에는 종종 정확하고 최신의 DEM (Digital Elevation Model, DEM)이 필요하다. DEM은 얼음 속도와 두께 변화를 추정하고 배수 유역 추출과 해수면 상승을 모니터링하는 데 사용되기도 하고, 한국의 남극기지 주변 지역의 연구 활동에도 중요한 역할을 하기 때문이다. DEM은 일정한 간격으로 지형의 높낮이를 수치로 나타낸 모형으로서, 일반적으로 DEM에 이용되는 원시자료는 수치지형도의 등고선, LiDAR 등의 측량자료, 위성영상이나 항공사진영상의 스테레오(stereo pair) 영상 등이 있다.

국내의 경우 DEM 제작은 수치지형도의 등고선을 기반으로 지표면 표고 형상을 묘사하는 DTM (Digital Terrain Model)을 제작하는 경우가 많다. 그 예로, 해당 방법으로 국토지리정보원에서는 2014년에 남한지역에 대해 1/5,000 수치지형도와 일부 라이다 등의 보조 자료를 사용하여 5m 격자간격의 DEM을 제작하였고, 2006년에 북한 지역에 대해 1/25,000 지형도를 사용하여 10m 격자간격의 DEM을 제작하였다. 그러나 이는 수치지형도의 주기적인 갱신 등이 가능할 경우에 해당하며, 인공지물과 같은 구조물의 정보가 담긴 DSM (Digital Surface Model)의 생성이 필요할 경우 해당 관심지물에 대한 별도의 정보반영이 필요한 경우가 생긴다.

비접근 지역, 광범위 지역 등과 같이 수치지형도 작성, 갱신이 어려운 경우에는 입체 영상에 기반한 자동화된 기법의 DEM 제작이 필요하다. 작업환경이 열악하고 접근이 어려운 극지역에서 고해상도 위성영상은 고정밀 DEM을 구축을 위해 적합하지만 영상매칭을 통해 눈과 얼음으로 덮여 있는 극지역에서 DEM을 자동으로 생성하는 것은 어려운 작업이다. 얼음과 눈이 덮인 지역이 많은 환경에서는 영상의 수치값이 특징이 없으므로 영상매칭이 어렵고 지표가 들어난 산봉우리와 가파른 경사면에서는 수직 정확도가 낮아지기 때문이다.

수치지형도를 기반으로 한 DEM의 제작 절차는 아래와 같다.

먼저 수치도화 결과로 획득한 1/5,000 및 1/25,000 수치지형도 파일이 오류 없이 열리는지 확인한 후에 수치지형도의 공간적인 좌표가 실제 공간의 좌표와 논리적으로 일치하는가를 확인하고, 인접 도면이 존재할 경우 접합 상태 및 인접된 등고선의 표고값 일치 여부를 확인한다.

다음으로 수치지형도에는 다양한 레이어(Layer)들이 존재하기 때문에, 수치지형도를 이용하여 DEM을 제작하기 위해서는 높이 값(H)을 가지는 레이어 항목만 분류한다<그림 2-98>. 극지역의 경우 수치지형도에서 높이 값을 가지고 있는 레이어는 등고선 레이어와 표고점 레이어로서 레이어 코드 7111, 7114, 7217 등의 레이어만 추출하여 사용할 수 있다.

| 추출 레이어 | 레이어명 |
|--------|--|
| 도로 | A0013100, A0013111, A0013112, A0013113, A0013117 |
| 경지계 | D0015112, D0025111 |
| 하천 | E0032111, E0052114 |
| 옹벽 | F0037221, F0037222, F0037223, F0037224, F0037225 |
| 제방 | C0052211, C0052212, C0052213, C0052214, C0052215 |
| 등고 | F0010000(연속수치지형도) |
| 표고점 | F0020000(연속수치지형도) |
| 해안선 | E0080000(연속수치지형도) |

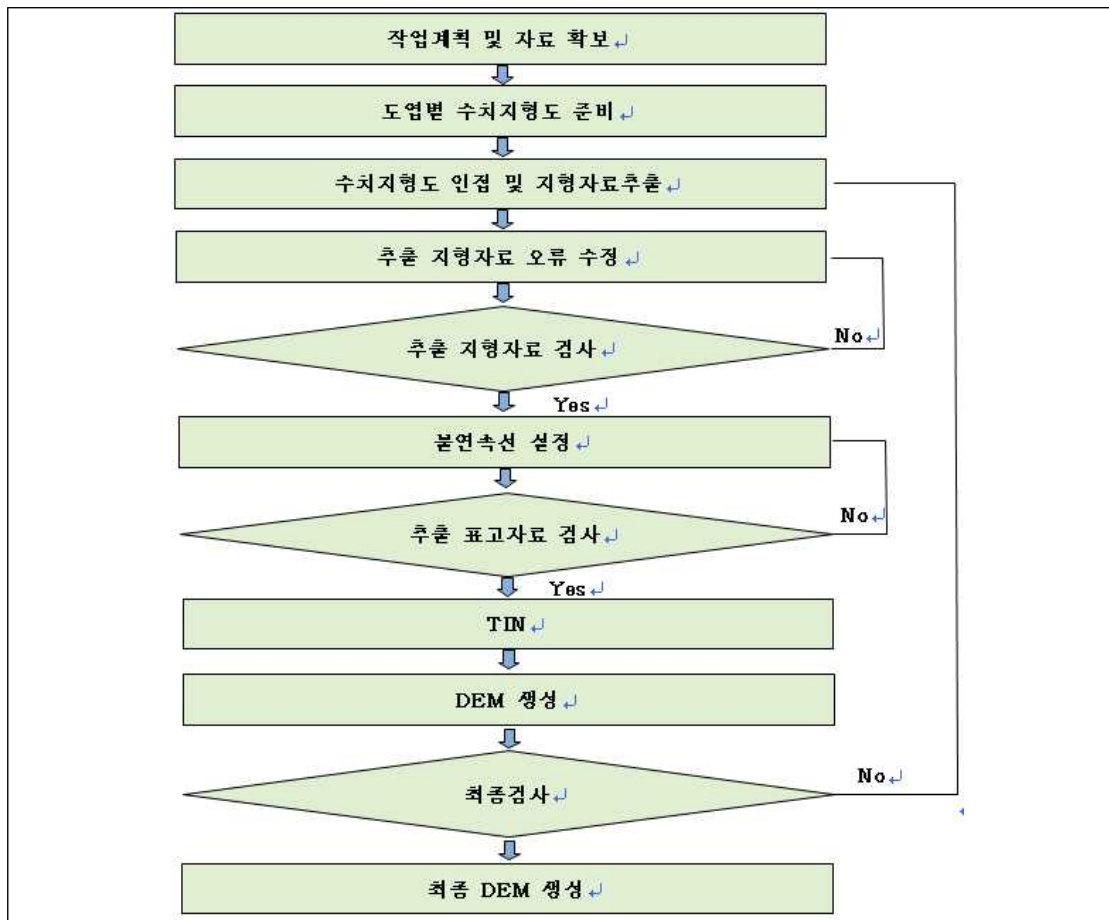
자료: 국토지리정보원(극지역 공간정보 구축사업)(2019)

<그림 2-98> 2019년 극지역 공간정보 구축사업에 적용된 수치지형도 기반 수치표고모델 제작시 활용 레이어

고도정보 자료로부터 DEM을 제작할 경우 일부 지역에서는 고도 정보의 불충분으로 인하여 고도값 보간이 잘못될 수도 있다. 이러한 오류는 호수, 강 등과 같이 수계로 인하여 지형 고도 정보의 불연속이 발생하는 곳과 산지와 평지가 인접하여 수치지형도 상에 등고선이 없어지기 시작하는 곳에서 주로 발생된다. 고도값 보간이 잘못되어 DEM에 임의의 굴곡이 생길 때에는 이들 오류가 정사영상 제작 시에 반영이 되고, 이는 오류 누적의 효과를 발생시킨다. 위와 같은 오류를 보정하기 위해서는 고도 정보 자료의 구조화 작업 시 각 지형특성들에 대한 정보를 속성으로 할당하여 DEM 제작에 반영되도록 해야 한다.

다음으로 수치지형도에서 추출된 높이값 레이어 항목의 포인트 값을 보간하여 불규칙삼각망(TIN)을 생성한다. 불규칙 삼각망은 불규칙하게 위치해 있는 데이터의 상호 기하학적 관계를 고려하여 지형의 3차원적인 표현을 가능케 하는 데이터 구조의 하나인데 불규칙한 구조는 정규 격자망 형태의 데이터 구조와는 달리 불규칙한 상태이므로 상호 점들 간 인식에 어려움이 있어 데이터의 구축이 쉽지는 않다. 그러나 지형의 특성이나 대상 지형의 경계선에 관계없이 표면을 묘사할 수 있어 불규칙한 경계선을 가진 DEM의 생성에는 가장 이상적 묘사방법이라고 할 수 있다.

불규칙삼각망 제작이 완료되면 격자(Grid) 형태의 DEM을 제작하여야 한다. 그리드는 값을 가지고 있는 셀(cell)이 격자형으로 배열된 것이다. 규칙적인 간격을 나타내는 DEM, DTM, DSM의 경우 높이 값은 각 셀의 중심에 저장되어 있다. 여기서 셀은 면적을 나타내는 단위이며, 대부분의 지형모델에서의 그리드 셀은 보통 정사각형으로 나타난다.



자료: 국토지리정보원(극지역 공간정보 구축사업)(2019)

<그림 2-99> 수치지형도 기반 DEM 제작 흐름도

입체 영상을 기반으로 한 DEM 제작 절차는 아래와 같다.

먼저 작업계획을 수립하고 자료를 확보하게 되는데, 입체 영상의 촬영각 등을 확인하여 입체영상 처리에 적합한지 해당 품질을 확인하는 부분이 중요하다. 이 부분은 앞서 본 장의 영상취득에서 설명한 내용을 참고하면 된다.

입체 영상이 확보되면, 일반적으로 DEM 생성을 위한 4가지 주요 과정을 주로 거치게 되는데, 센서모델링, 에피폴라 영상생성, 입체 영상매칭, 그리고 지상좌표계산이다.

- 센서모델링 : 지상기준점, 공액점 등을 활용하여 제공되는 RPCs의 오차를 보정
- 에피폴라 영상 생성 : 에피폴라 영상 재배열을 통한 종시차(γ -시차) 제거
- 입체 영상매칭 : 입체 영상 간의 유사도 측정을 통한 동일 영상 좌표 획득

- 지상좌표계산 : 매칭으로 추출된 영상좌표를 활용하여 지상좌표 계산 (오매칭으로 인한 오차 필터링 등의 절차 필요)

우선 정확한 센서모델링이 수행되어야 이후의 과정들이 정밀하게 수행될 수 있으며, 최종적으로 표고계산에 오차를 최소화할 수 있다. 따라서 기본적으로 풍부한 지상 기준점을 바탕으로 센서 모델링이 필요하나 극지역 등의 경우 이러한 조건이 만족되기 어려우므로 무기준점 기반, 보조데이터 기반 등의 기법을 통해 해당 부분의 정밀도 저하를 최소화해 나가는 것이 필요하다. 이때 중요한 점은 절대적인 위치좌표 확보도 중요하지만 더욱 중요한 부분이 두 영상 간의 기하학적 일치성을 갖도록 하는 것이다. 두 영상 간의 일치도가 높아야 이후 과정들에서 품질 확보가 가능해지기 때문이다.

두 번째로 에피폴라 영상의 생성으로서 이 과정을 통해 입체 영상 간의 시차를 최소화시켜 이후 과정인 정밀한 입체 영상매칭을 가능케 한다. 이뿐 아니라 정밀하게 생성되는 에피폴라 영상의 경우 종시차가 최소화되어 있으므로, 매칭 시 한 방향으로만 매칭점 탐색을 가능케 해주므로 오차 발생률을 줄이고, 매칭 시간 또한 줄일 수가 있어 아주 중요한 과정이라 할 수 있다.

다음으로는 입체 영상매칭이며, 입체영상 간의 유사도를 측정하여 동일점(공액점)을 찾는 과정이다. 지형 정보 생성을 위해서는 모든 화소 또는 촘촘한 화소 간격에 대해 많은 영상 매칭을 수행하게 되는데, 이를 센서모델링을 위한 1차적인 영상매칭과 구분지어 고밀도 영상 매칭(Dense Image Matching)이라 부른다.

영상매칭을 위한 유사도 측정 방법으로 상관계수 매칭인 NCC(the normalized cross-correlation)가 가장 많이 사용되며 기타 방법으로 MI (Mutual Information), Census 등이 있다. 매칭 전략으로는 전통적으로 피라미드 영상을 만들고 저해상도에서 고해상도로 해상도를 점진적으로 증가시키며, 매칭 범위를 좁혀나가는 방법을 주로 사용하게 되며, 이를 통해 오매칭을 줄여나가게 된다.

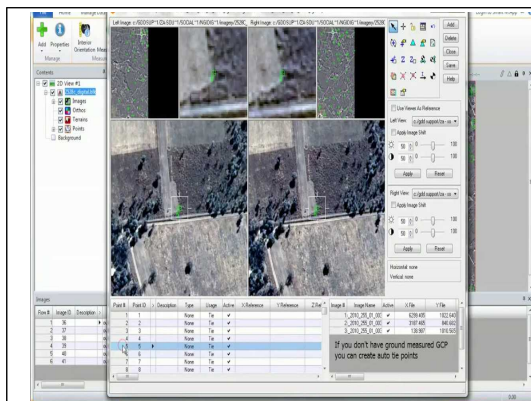


자료: 저자 작성

<그림 2-100> 입체영상 기반 DEM 제작

매칭을 통해 생성된 조밀한 공역점을 이용하여 각 점에 대한 3차원 지상 좌표를 계산하면 조밀한 지상 3차원 점군 자료(Point Cloud)가 생성된다. 이 때 매칭의 불완전성 등으로 인해 점군 자료에는 여러 과대 오차(outlier)가 포함되어 있을 수 있다. 따라서 보간(interpolation)을 통해 격자화된 DEM을 생성할 때, 이러한 과대 오차를 인접 점들과 비교하여 통계학적 방법으로 제거하는 과정을 거쳐야 한다 (정재훈과 김태정, 2013).

고해상도 입체 영상 간의 매칭을 기반으로 DEM을 생성하기 위한 상업용 툴(tool)로는 <그림 2-101>와 같은 프로그램들이 존재하나 대체로 비용이 수백만 원 이상이다.



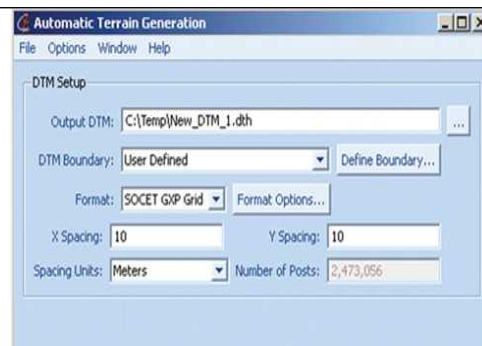
[ERDAS Photogrammetry]



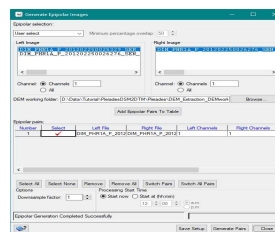
[SimActive Correlator3D]



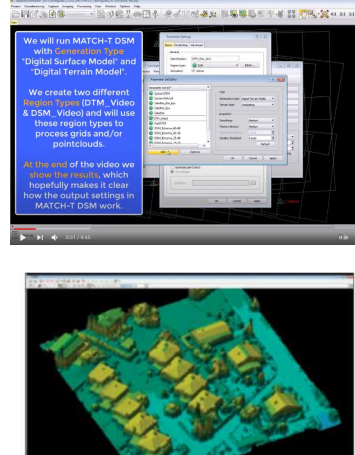
[ENVI 4.8]



[The Automatic Terrain Generation (ATG) module in SOCET GXP]



[PCI Geomatics OrthoEngine]



[Trimble Inpho with Match-T DSM]

자료: 저자 작성

<그림 2-101> 입체영상기반 DEM 생성용 상용 SW

아래 나열한 바와 같이 입체 매칭을 통한 DEM 생성용 오픈소스 프로그램들도 존재하는데, 이러한 프로그램은 일반적으로 사용자 친화적인 인터페이스를 갖고 있지 않기 때문에 코드레벨 수준에서 해당 기능을 구동해야 하므로 전문적인 지식을 갖고 있어야 하는 경우가 많다. 또한 내부적으로만 개발하여 사용하는 등 공개하지 않는 경우도 많이 있다.

- ASP (The NASA Ames Stereo Pipeline, 2021)
- RSP (RPC Stereo Processor – a Software Package for Digital Surface Model and Orthophoto Generation from Satellite Stereo Imagery, 2021)
- RMA (DSM Tool from the Royal Military Academy of Brussels, 2021)
- RSG(Remote Sensing software package from Joanneum Research , 2021)
- MicMac (IGN, 2021)
- SURE (Institute for Photogrammetry, University of Stuttgart, 2021)
- FPGA implementation of SGM (The German Aerospace Center(DLR), 2021)

앞서 소개한 입체영상 매칭 기반 DEM 생성 기술 및 SW 등은 일반적인 지형에 대하여 구현이 되어있으며, 도시, 지형 경사 등에 대한 입력 파라미터 조절을 통해 매칭 최적화를 수행할 수 있도록 옵션을 제공하는 경우가 많다.

따라서 극지역과 같은 특수 지형에 대해 입체영상기반으로 DEM을 생성하기 위해서는 극지역에 대한 특징을 분석하고 이해해야 한다. 극지역의 경우 지형의 특징은 여러 가지 있을 수 있다.

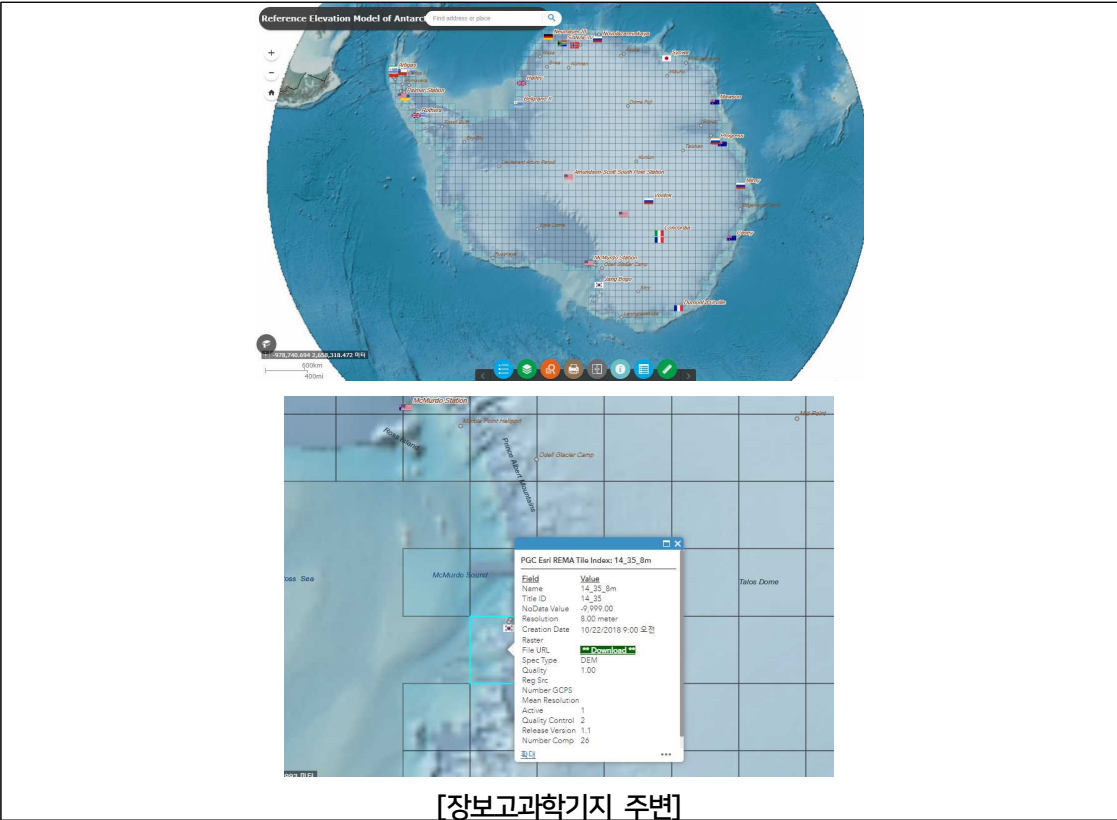
- 적설 지역의 영상 대조도가 낮은 표면
- 해안이나 지형 급경사로 인한 좌/우 영상의 기하학적 이상
- 급경사지 주변 그림자

첫 번째는 적설 지역에 대한 균일한 표면 상태로서 영상에서 나타나는 영상 대조도가 아주 낮아 영상 매칭이 어려운 경우가 존재한다. 그러나 WorldView나, IKONOS 등 영상을 통해 적설, 빙산 지역에 대해 입체 매칭을 수행해 본 사례를 살펴보면 해당 위성들이 공간해상도 뿐 아니라 방사해상도가 높아 매칭 윈도우 크기를 크게 하는 등 파라미터 조절을 통해 매칭이 기대 이상으로 잘 작동되고 적설 지역에 대한 형상을 도출할 수 있다는 연구사례가 존재한다 (Porter et al., 2011; Lee

et al., 2015).

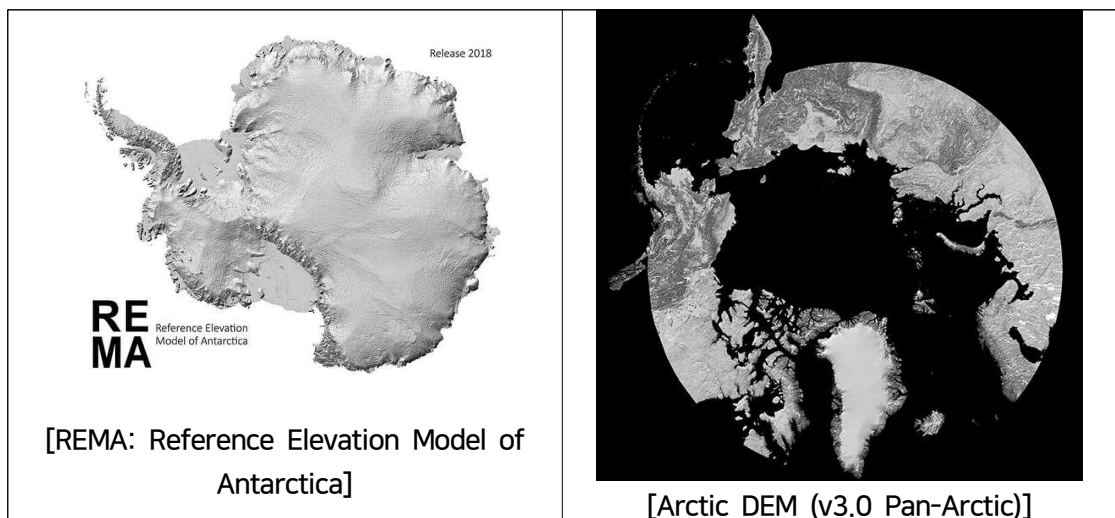
가장 유명한 DEM은 미네소타 대학의 PGC와 오하이오 주립대의 버드폴라센터에서 만들어 2018년에 공개한 REMA (Reference Elevation Model of Antarctica)이며, 이는 2009~2017년 사이(영상 대부분은 2015, 2016년) 획득된 WorldView-1,2,3영상 및 GeoEye영상 187,585장을 이용하여 입체영상 기법으로 제작되었다. 각각의 DEM은 ICESat과 Crysat-2 Altimeter 데이터와 정합 작업을 수행하여 수직 1m 가량의 정확도를 확보하려 하였다. DEM의 격자 간격은 8m이다(일부 2m). Arcgis 사이트에서 편리하게 REMA의 격자를 서비스해주고 있으니 격자번호를 참고하여 REMA 사이트에서 데이터를 다운로드하여 활용할 수 있다.

북극 지역에 대해서는 2m 해상도로 북극 전역에 대하여 제작되었으며, 현재 버전은 Release 7이다. 이 또한 고해상도 입체영상 스테레오 매칭을 통해 제작되었고, 사용된 프로그램은 REMA와 동일한 Surface Extraction from TIN-based Searchspace Minimization (SETSM) software 이다. 영상 또한 WorldView-1, 2, 3 영상 및 GeoEye를 활용하였다.



자료: REMA(arcgis)(2021)

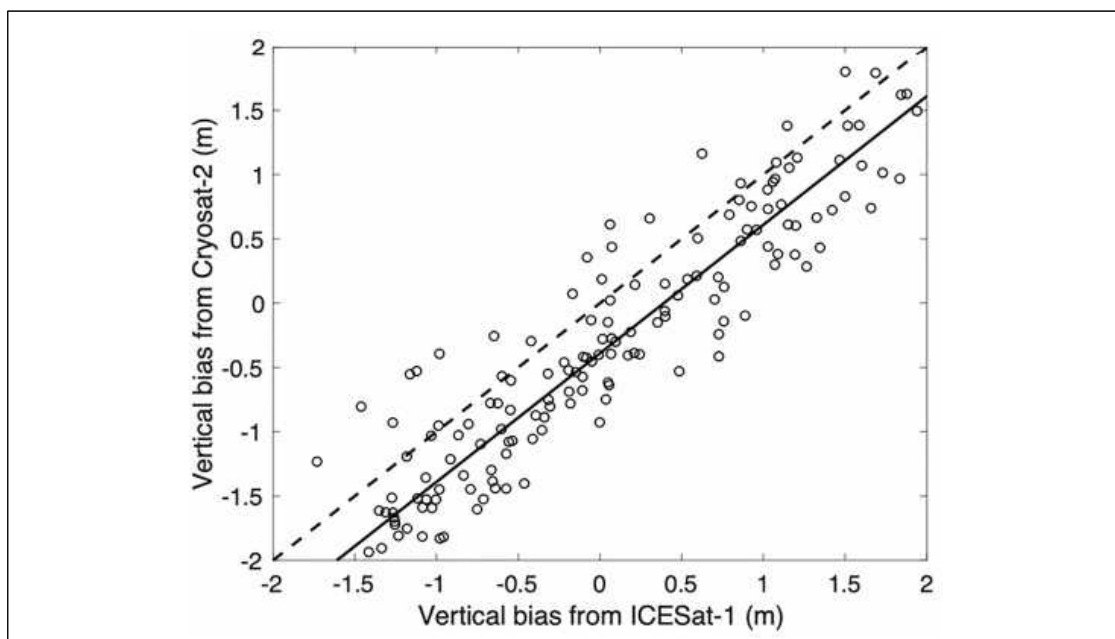
<그림 2-102> REMA 격자(arcgis)



자료: PGC(2021)

<그림 2-103> 극지역 입체 영상 매칭을 통한 DEM 생성 사례

<그림 2-104>는 REMA DEM과 ICESAT-1, Cryosat-2와 수직오차 차이를 보여주는 그림으로써, 두 데이터와의 차이가 대략 -2 ~ +2m를 보인다.

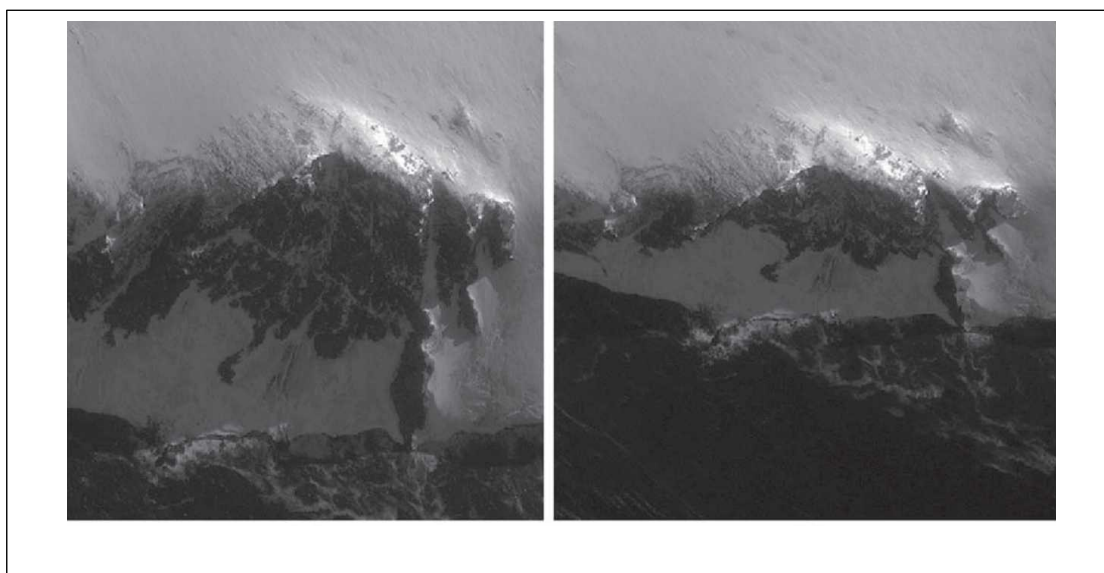


자료: Howat et al.(2019)

<그림 2-104> REMA DEM과 ICESAT-1, Cryosat-2와의 수직오차 차이

두 번째로 스테레오 위성영상에서 미터 레벨 간격으로 정확한 DEM을 생성 할 때 가장 큰 장애물은 가파른 빙하 지역의 영상매칭이 제대로 작동하지 않는다는 것이다. 얼음 내의 균일한 방사값과 가파른 지형에 대한 강한 기하학적 영상왜곡은 NCC와 같은 매칭기술의 사용을 제한한다. 따라서 급경사 지역의 경우 생성된 표고의 오차가 급격히 상승하는 결과를 초래하기도 한다.

특히 만년설과 해안 지역과 같은 가파른 지역에서는 지형에 따라 <그림 2-105>와 같이 전혀 다른 스테레오 영상을 생성한다. 좌측 영상에서 바닥을 향한 지형은 바닥에서 볼 때 넓게 보이고, 대조적으로, 우측 그림은 같은 지형이지만 위에서 아래로 볼 때 영상이 훨씬 좁게 보인다. 가파른 경사면은 기하학적으로 다른 영상을 만들고 촬영각도와 방향에 따라 차이가 다르다. 따라서 입체 영상매칭은 상대적으로 평평하거나 매끄러운 표면에서 가장 잘 작동하기 때문에 이러한 큰 차이는 매칭 성공률을 크게 낮추게 된다.

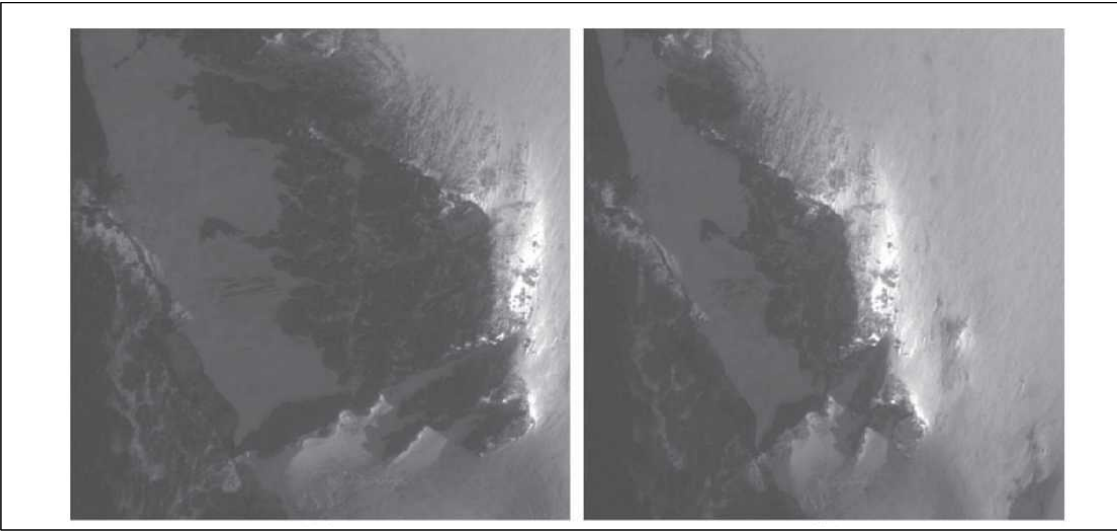


자료: Lee et al.(2015)

<그림 2-105> 급경사 지역에서 스테레오 영상의 기하학적 상이성

이러한 문제를 극복하기 위해 매칭 윈도우 내에서 영상패치를 변환하는 새로운 템플릿 매칭 방식도 제안되었다. 먼저 <그림 2-106>과 같이 스테레오 영상의 시야각을 영상의 행과 평행하게 정확히 정렬하기 위해 에피폴라 영상 리샘플링을 수행한다. 에피폴라 리샘플링은 모든 y-시차(스테레오 쌍 사이의 행 차이)를 제거하고 높이 또는 고도와 직접 관련된 x-시차 만 남긴다. 그런 다음 가파른 영역 내의 큰 기하학적 비 유사성에 대한 일치율을 향상시키기 위해 샘플(스케일링), 라인(스

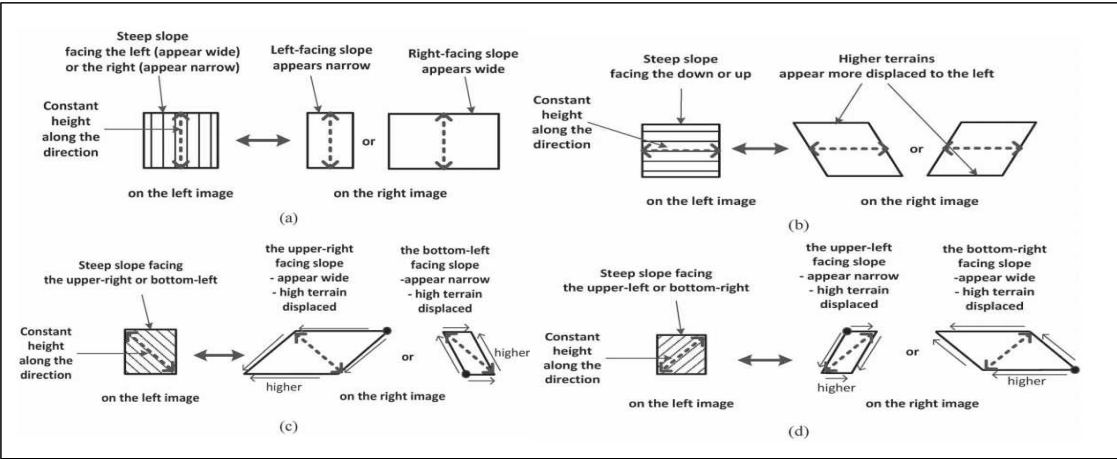
큐잉) 및 대각선 (스케일링 및 스큐잉) 방향을 따라 일치하는 창 내에서 영상패치를 변환하여 NCC를 사용한다.



자료: Lee et al.(2015)

<그림 2-106> 급경사 지역에서 에피플라 영상

즉 <그림 2-107>와 같이 매칭의 대상이 되는 한쌍의 영상패치에 대해 하나의 패치는 직사각형의 형태를 그대로 유지하고 다른 영상패치에 대해서는 경사방향에 따라 좌우, 상하, 대각선방향으로 경사를 고려하여 다양한 패치를 적용하여 유사도를 계산한다.



자료: Lee et al.(2015)

<그림 2-107> 급경사 지역을 고려한 매칭 패치의 변형

그러나 아직까지는 이러한 자동화된 기법도 급경사지역 및 저조도 지역 등에 대한 완전한 형태의 지형정보를 추출하는 것은 한계를 보이는데, 따라서 이러한 지형에 대해서는 지형정보를 수동으로 수정, 보완하는 형태의 절차를 거쳐야할 것으로 판단된다.

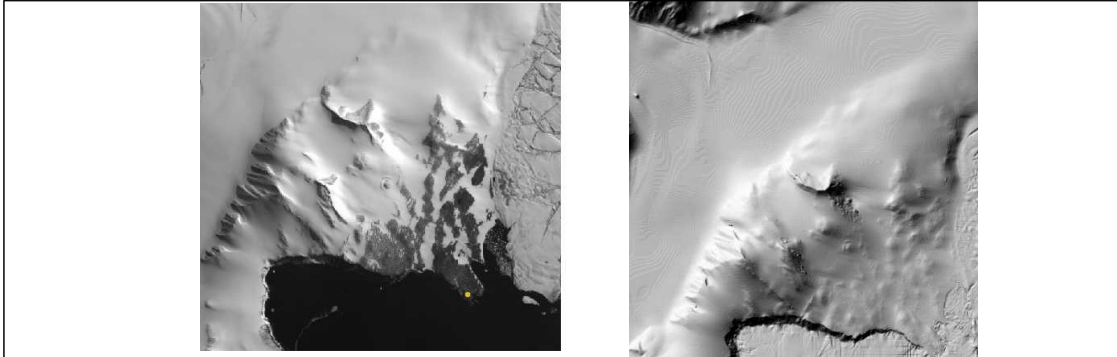
〈그림 2-108〉은 장보고과학기지 주변에 대한 IKONOS 영상과 아리랑 3A 영상에 대해 각각 DEM을 자동추출해본 예이다. 아래 표에 촬영일 및 촬영각과 태양각을 제시해두었다. 촬영각과 태양각을 살펴보면 IKONOS의 경우 촬영고도각이 70도 내외로 높은 고도각을 유지하고 있으나 아리랑의 경우 고도각이 50도 대 초반으로서 낮음을 확인할 수 있다. 또한 태양각 중 태양고도각의 경우 아리랑 3A가 10도 이하로서 아주 낮음을 볼 수 있다. 이로 인해 영상의 해상도가 제원에 비해 상대적으로 낮게 획득되었을 것이며 및 경사 지형의 경우 주변으로 길게 드리워진 그림자로 인해 영상의 품질이 많이 저하될 것을 예상할 수 있다. 촬영각에 기반하여 계산한 입체각 중 수렴각은 두 영상 모두 30~40도 범위, 비대칭각의 경우 5도 이하로 적정한 것을 볼 수 있다.

<표 2-54> DEM 자동 추출 테스트 영상

| 영상 | 촬영일 | 촬영각 (Azimuth/ Elevation) | 태양각 (Azimuth/ Elevation) | Conv/Asymm Roll/BIE |
|--------|----------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| IKONOS | 2011년 1월 | 248.6°/76.9° 7.5°/68.4° | 58.2°/29.7° | 30.09°/4.94° 8.38°/80.28° |
| 아리랑 3A | 2016년 3월 | 130.16°/52.4° 1.9°/52.9° | 304.3°/3.9° 314.8°/9.7° | 38.1°/0.6° 18.4°/71.6° |

자료: 저자 작성

먼저 IKONOS 영상의 처리 결과를 살펴보면 영상 자체가 높은 고도각으로 인해 해상도가 높고 두 입체 영상 간의 기하차이가 크지 않아 매칭이 성공적으로 이루어진 것으로 판단되며, 이로 인해 지형정보가 절벽지형 등 일부를 제외하고는 대부분의 지형의 도출이 이루어진 것으로 보인다.

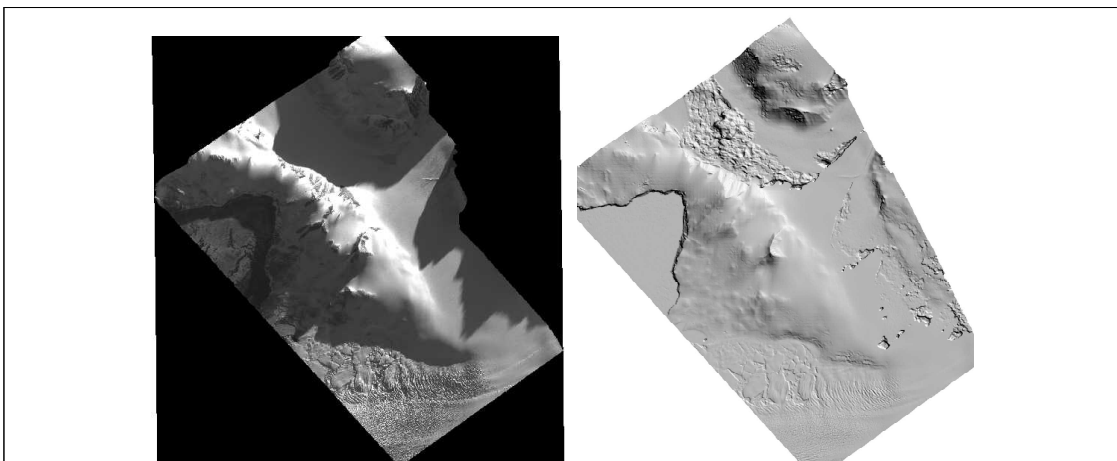


자료: 저자 작성

<그림 2-108> 남극 IKONOS 입체 영상을 이용한 DSM 추출 예

아리랑 3A 데이터의 경우 상대적으로 IKONOS에 비하여 입체매칭이 제대로 이루어지지 않는 것을 확인해볼 수 있다. 완만한 구릉부의 적설 지형의 경우 매칭을 통해 지형도출이 가능함을 볼 수 있으나, 급경사 지형의 주변 짙은 그림자(낮은 태양 고도각으로 인한)로 인한 대조도가 현격하게 낮아진 지역 및 좌측 절벽지형 등에서는 품질이 상당히 나쁘게 도출되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 남극 지형 정보 추출을 위해서 가장 중요한 고려 요소로 높은 태양고도각의 유지를 뽑을 수 있겠다.

또한 촬영된 원 영상을 그대로 입체 처리를 할 경우 부정확한 센서모델 및 매칭오류로 인하여 고품질의 DSM을 추출하기는 어려우므로, 우선 상호표정 등을 통한 입체 영상 간의 센서모델 정밀도를 향상시키고, 이후 에피폴라 영상 생성을 통해 매칭 정밀도 향상을 위한 전처리를 수행한 후 입체 매칭을 진행하는 것이 좋다.



자료: 저자 작성

<그림 2-109> 남극 아리랑 3A 입체 영상을 이용한 DSM 추출 테스트

앞서 살펴본 것과 같이 극지역에 대한 특수성을 고려하여 대상지에 대한 DEM 생성은 지형의 구성 및 제작 방안에 따라 아래와 같이 접근법을 나누어 볼 수 있다.

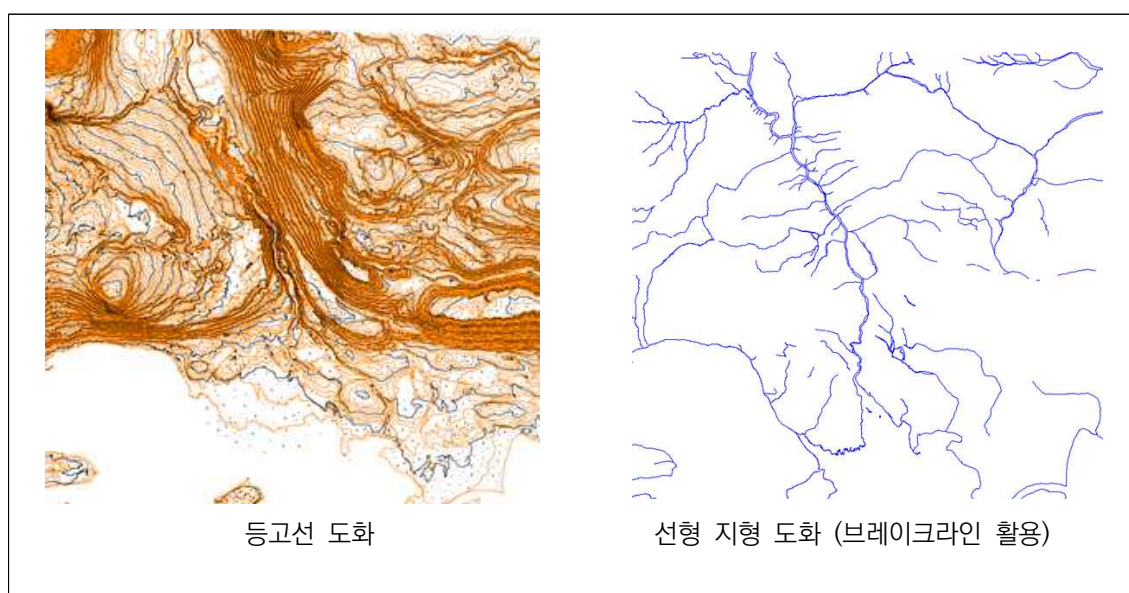
□ 수치지형도 포함한 신규 공간정보 제작

- 도화를 통한 DEM 생성 : 등고선 도화, 수계 등 선형 지형 추가 도화를 통한 브레이크 라인으로 활용

도화를 통해 구축한 등고선만을 고도 정보로 활용하여 DEM을 제작할 경우 일부 지역에서는 고도 정보의 불충분으로 인하여 고도값 보간이 잘못될 수도 있다. 이러한 오류는 호수, 강 등과 같이 수계로 인하여 지형 고도 정보의 불연속이 발생하는 곳과 산지와 평지가 인접하여 수치지형도 상에 등고선이 없어지기 시작하는 곳에서 주로 발생 된다.

고도값 보간이 잘못되어 DEM에 임의의 굴곡이 생길 때에는 이들 오류가 정사영상 제작 시에 반영이 되고, 이는 오류 누적의 효과를 발생시킨다. 따라서 이러한 오류 보정을 위해 고도 정보 자료의 구조화 작업 시 수계 등 선형 지형 특성들에 대한 정보를 속성으로 할당하여 DEM 제작에 반영되도록 해야 한다.

<그림 2-110> DEM 생성을 위한 기초 도화 데이터

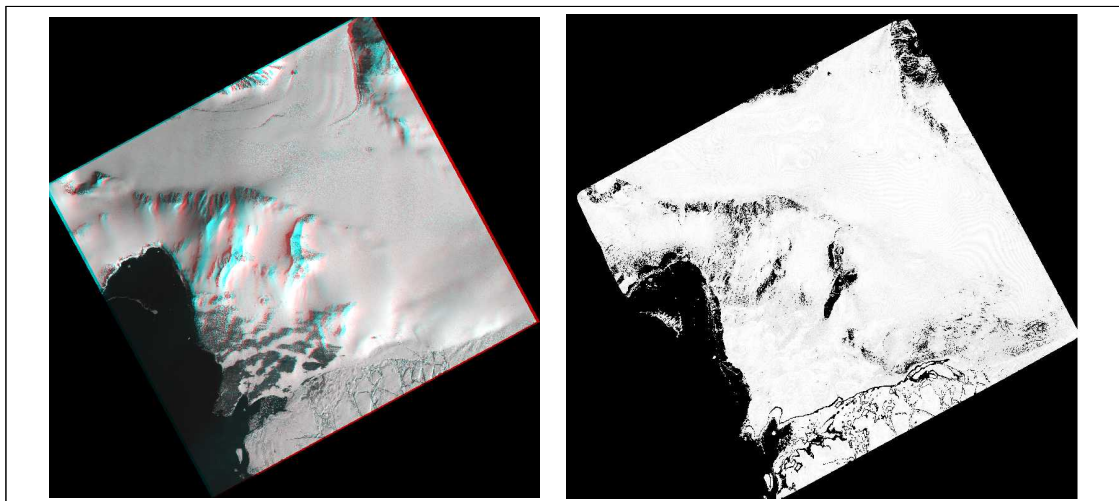


자료: 국토지리정보원(극지역 공간정보 구축사업)(2019)

□ 수치지형도 작성하지 않을 경우

- 만년 적설 지역: 자동 영상 매칭을 통한 자동화된 기법 적용
- 급경사 지형: 비경사지는 자동화 기법 적용, 급경사지는 수동 등고선 도화보완을 통한 급경사지역 포인트 대체

〈그림 2-111〉의 경우 IKONOS 영상 입체 영상 매칭을 통해 상관도를 분석한 그림이다. 좌측 그림은 에피플라 영상을 여색입체로 나타낸 그림이고, 우측그림에서 하얀색이 상관도 0.8 이상인 지역을 나타낸다. 좌측 하단부에 바닷가 부근이나 영상 중앙부에 지대가 높은 급경사 지역에서 상관도가 저하되어 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 이러한 지형에 대해서만 수동 등고선 보완을 통해 대체한다면 더욱 완성도 있는 DEM 생성이 가능할 것이다.



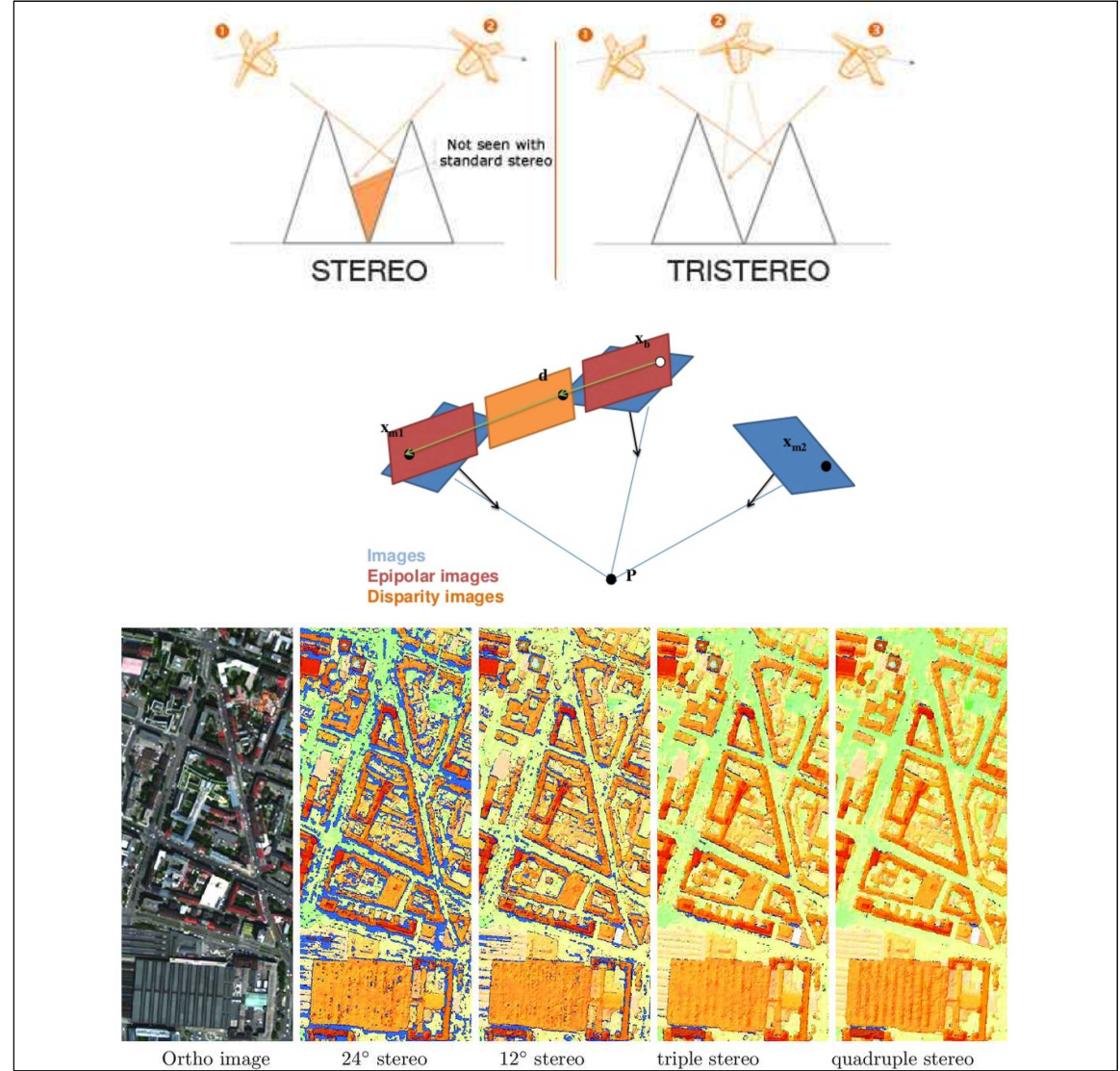
자료: Lee et al.(2015)

〈그림 2-111〉 자동화 매칭 및 등고 보완을 통한 DEM 생성

한편, 최근 1세트의 입체 영상만을 활용하는 것에서 더 나아가 여러 장의 중복 영상을 활용하여 DSM을 생성하는 다중 영상매칭 연구가 많이 진행되고 있다. 2장 이상의 중복관측, 잉여관측을 통해, 오매칭에 대한 보완이 가능해지며, 폐색지역에 대한 데이터 보완 등의 효과를 얻을 수가 있다. 〈그림 2-112〉은 다중영상 매칭을 통한 DSM생성의 예를 보여주고 있다.

대상지가 밀도가 높고 폐색이 발생하기 쉬운 지역임을 감안했을 때, 수렴각이 좁은 경우가 오히

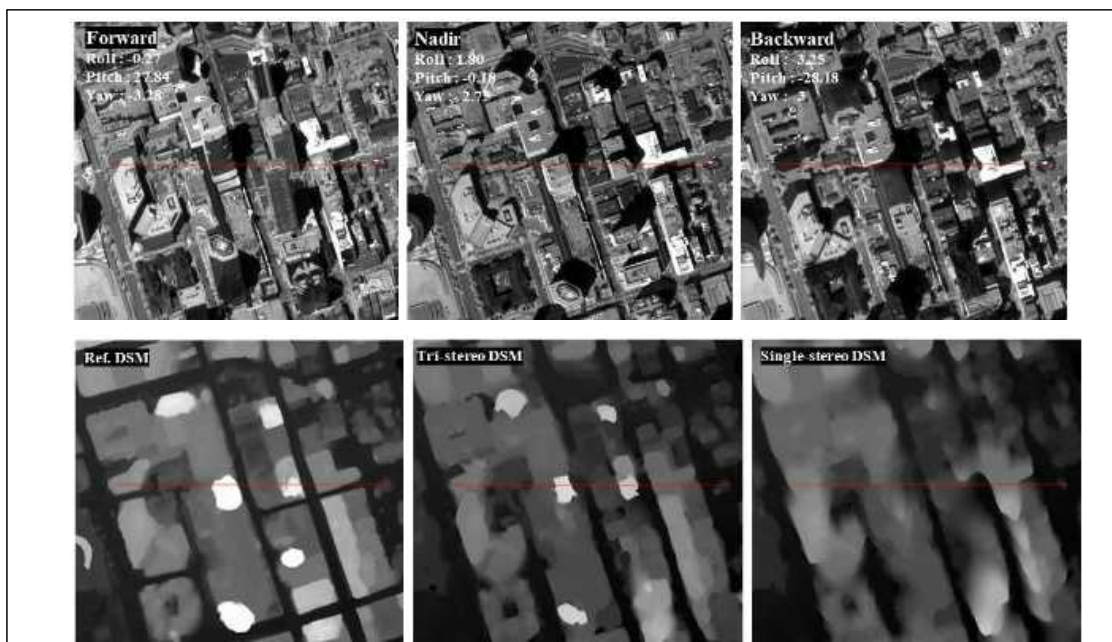
려 폐색영역이 줄어들어 DSM의 품질이 나아짐을 알 수 있다. 그럼에도 불구하고 폐색에 기반한 DSM 품질 저하가 발생하는 것을 관찰할 수 있으나, Tri Stereo를 통해 보완했을 때 품질의 향상이 눈에 띄게 확인되고, 잉여 관측을 추가한 경우 보다 나은 품질의 DSM 생성이 가능해짐을 알 수 있다.



자료: Carl et al.(2021)

<그림 2-112> 다중영상 매칭 기반 DSM 생성

<그림 2-113>은 항공우주연구원에서 아리랑 3호 Tri Stereo 데이터를 활용하여 캐나다 토론토 도심에 대해 DSM을 생성해본 결과이다. Airbus 참조 DSM과 비교했을 때, 단일 입체 영상 기반 매칭 보다 좋은 결과를 보여주고 있다.



자료: Oh et al.(2021)

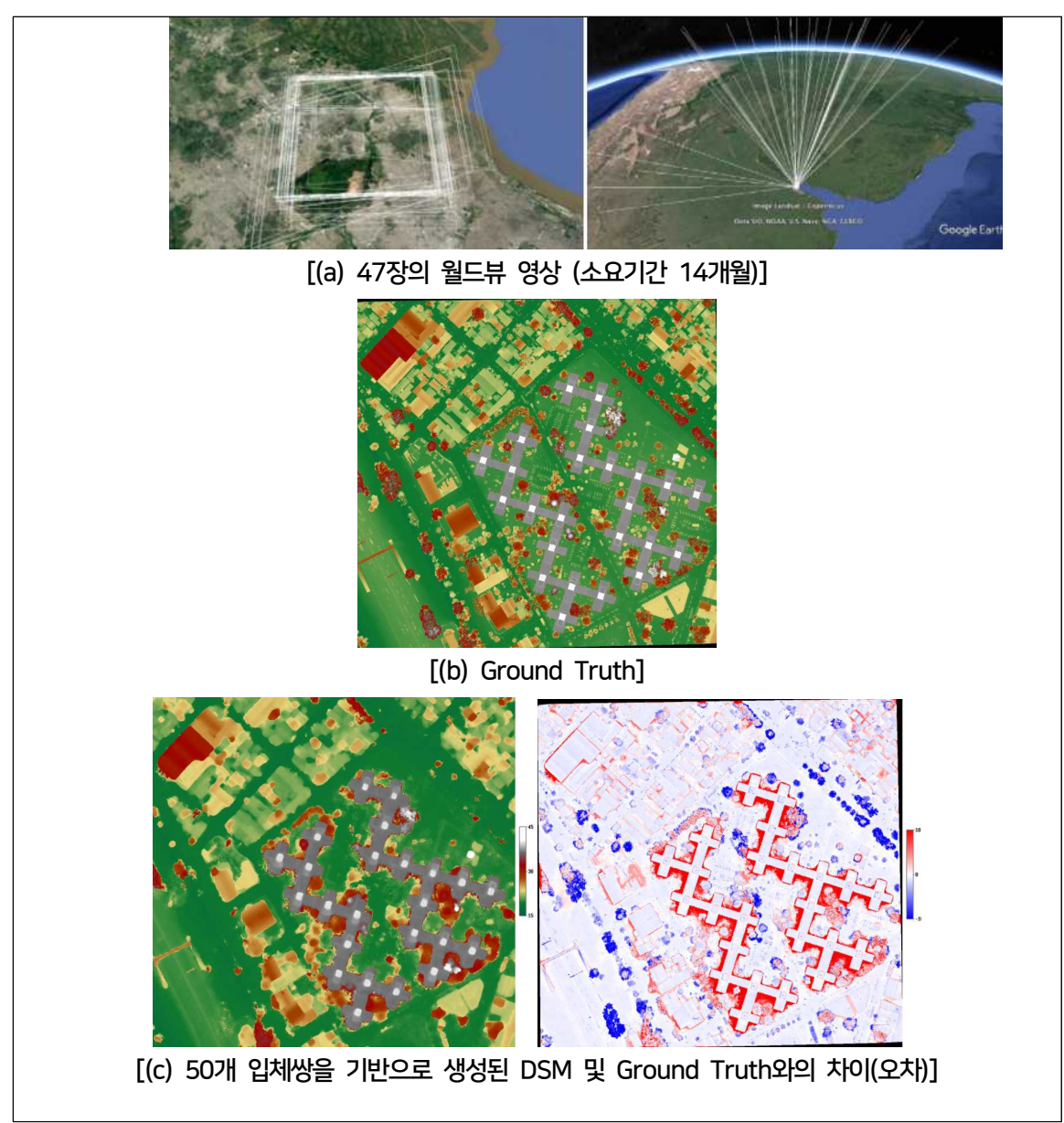
<그림 2-113> 아리랑 3A 영상의 경우 Tri Stereo매칭 기반 DSM 생성

남극, 북극과 같은 극지역의 경우 완만한 경사 지형의 경우 해당 멀티 영상 매칭 기법을 활용의 효용성은 크다고 보기 어렵다. 급작스러운 지형의 변화에 따른 폐색이나 두 영상 간의 기하학적 이질감이 크지 않기 때문이다. 그러나 급경사 지형의 경우 멀티영상 기법 활용 시 지형 생성 품질의 확보에는 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 즉, 특수 관심지형이나 해안선 절벽을 포함한 지형정보를 생성하고자 할 때, 다수의 영상 획득을 통한 멀티영상 매칭기법은 이러한 지형에 대해 자동화된 공정으로 고품질의 공간정보를 획득하는데 효용성이 있을 것으로 보인다.

그러나 현재 문제는 멀티 영상을 활용한 지형정보 생성의 경우 구현이 매우 어렵고, 정밀도를 확보하기 위한 노하우 등이 많이 필요하다는 것이다. 따라서 아직 상용 SW 등에서도 이러한 기능을 제공하는 경우가 많지 않으며, 스웨덴 Saab와 미국 Maxar의 합작사인 Vricon등의 회사에서는 멀티영상 처리에 대한 기술 및 노하우를 바탕으로 독자적으로 데이터 구축 서비스를 별도로 제공하기도 한다.

참고로 2016년에 IARPA(미국 국가정보국)에서는 이러한 멀티영상 기술개발을 장려하고 우수 기술을 뽑기 위해 10만불의 상금으로 Multi-View Stereo 3D Mapping Challenge (<https://www.iarpa.gov/challenges/3dchallenge.html>)라는 대회가 열렸다. 다수의 팀 중 프랑스 CMLA Research Center for Applied Maths 팀의 s2p 프로그램이 1위를 하였다. <그림

2-114>에서 결과를 살펴보면, 전반적으로 구조물들 형상 도출이 우수하게 이루어지고 있으나 다수의 영상이라 하더라도 급격한 표고 변화를 보이는 건물 주변이나 식생 주변으로 표고 오차가 커짐을 알 수 있다.

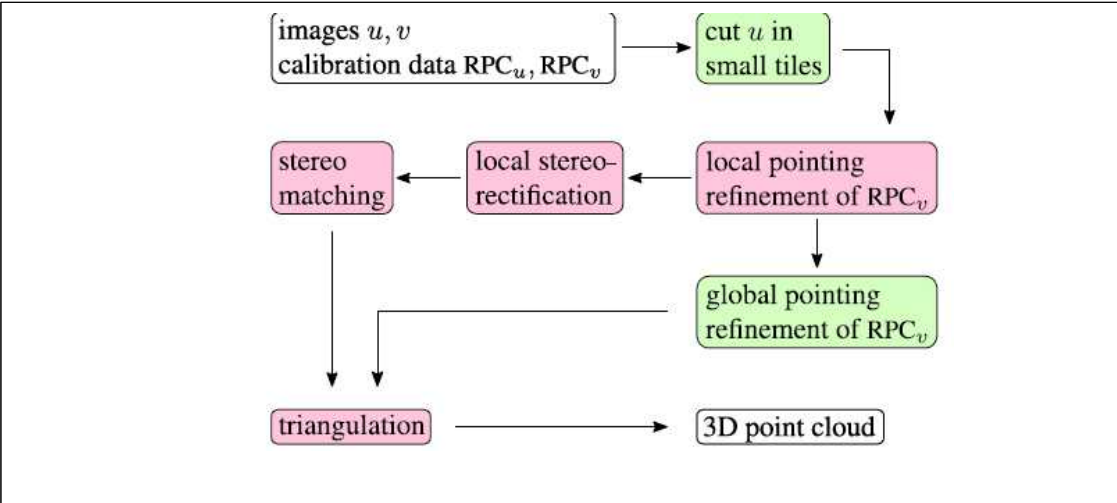


자료: Facciolo et al.(2021)

<그림 2-114> Multi-View Stereo 3D Mapping Challenge S2P 결과

아래 그림<2-115>에서 S2P의 개요를 볼 수 있는데, 다수의 영상에서 다수 조합의 입체쌍을 선택 후 매칭을 수행하는 것은 동일하나, 로컬 영역에 대해 에피플라 생성 및 입체처리를 별도로 수행

한 후 매칭하는 부분이 특징이다. 또한 연산 속도 향상을 위해 병렬처리를 활용한다 (Franchis et al., 2015). 매칭시 유사도측정 기법으로는 SGM (Hirschmüller, 2008)을 기본으로 활용하며, 타 알고리즘도 지원한다.



자료: Franchis et al.(2015)

<그림 2-115> S2P 개요



자료: Franchis et al.(2015)

<그림 2-116> S2P로 제작한 스위스 몽블랑 산맥 적설지역

DEM 생성 후 메타데이터의 관리 또한 중요한 부분이다. <그림 2-117>은 REMA의 경우를 예로 든 것으로서 32비트 GeoTIFF 포맷을 기본으로, 해상도는 2m, 8m로 제공되고 있다. 좌표계는

WGS84 Antarctic Polar Stereographic Projection(EPSC: 3031)으로 제공되고 있으며, 수직 기준은 타원체고이다.

메타데이터로서는 제작일자, 사용된 위성데이터의 종류, RMSE 등에 대한 내용을 제공하고 있다.

| | |
|----------------------|---|
| Format | Data is stored and distributed in 32 bit GeoTIFF file format with floating point elevation values. |
| Resolution | REMA strip files are distributed at a ground sample distance (GSD) of 2 meters and 8 meters. Mosaic files are distributed at 8 meter resolution. |
| Coordinate System | All strip and tiled mosaic REMA deliverables are projected to WGS84 Antarctic Polar Stereographic projection and referenced to WGS84 horizontal datum (EPSG:3031). |
| Vertical Reference | Vertical reference is height above the WGS84 ellipsoid. |
| Elevation Units | Elevation unit of measure is meters. |
| NULL Values (NoData) | Data may contain void pixels or regions over lakes, rivers, and other hydrographic features. Data voids may also be present where the source imagery contains cloud cover or shadowed areas. The void areas will contain null values (-9999) in lieu of the terrain elevations. |
| Metadata | Basic source material and production metadata is contained within the Esri shapefile and associated text files provided for each REMA strip and mosaic file. |
| Accuracy | Strips: 3.5 meters CE90 (Noh and Howat, 2015). Accuracy of the tiles are given in the *_err.tif and average around 0.6 meters. |

자료: PGC(2021)

<그림 2-117> REMA의 데이터 구성

| |
|---|
| <p>Reference Elevation Model of Antarctica (REMA) Tile Metadata</p> <p>Creation Date: 22-Oct-2018 21:31:37</p> <p>Version: 1.1</p> <p>Registration Dataset: CS2</p> <p>Strip Registration Statistics (meters) in order of addition</p> <p>Registration Flags: (R)egistered, (A)ligned, (N)one</p> <p>Strip, Registration Flag, RMSE, DZ, DX, DY</p> <p>WV01_20111003_1020010017EBF600_102001001734BF00_seg1_8m R 0.98 1.5676 0.0000 0.0000</p> <p>W2W2_20131026_10300100289DB300_1030010029146800_seg1_8m A 0.45 -1.1675 3.4831 -2.4269</p> <p>WV01_20151116_1020010044CABF00_1020010045D4FB00_seg1_8m A 0.58 0.1367 2.3214 2.4761</p> <p>WV01_20150306_102001003ABEB900_1020010039B4A800_seg1_8m A 0.43 1.2918 -2.6286 6.9815</p> <p>WV02_20150930_103001004A23C800_1030010048282000_seg4_8m A 0.42 -4.8115 7.0553 3.4193</p> <p>WV01_20170317_102001005D9EB300_102001005CC4E600_seg1_8m A 0.50 -0.1516 5.3723 7.0270</p> <p>WV01_20160904_10200100556AB500_1020010053BF1B00_seg3_8m A 0.58 -1.3437 -6.1331 7.3918</p> <p>WV01_20130109_102001001FEB7D00_10200100204F4800_seg1_8m A 0.22 -4.0680 -2.9369 -1.0024</p> |
|---|

자료: PGC(2021)

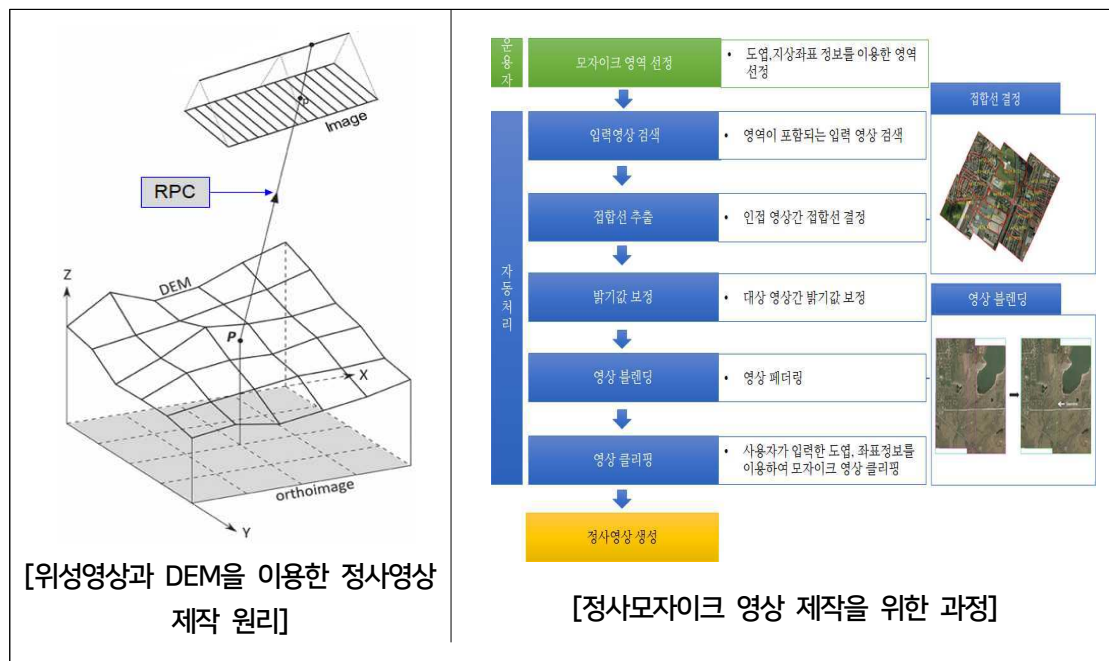
<그림 2-118> REMA의 메타데이터 예

마. 정사영상 제작방안

위성영상은 중심투영과 기복 변위를 포함한 여러 요인에 의하여 영상자료의 기하학적 왜곡을 포함하고 있다. 이러한 기하학적 왜곡은 영상 내 각 점의 위치변동을 의미하며, 이렇게 휘어진 영상을 평면 위에 존재하는 지형도와 중첩시키기 위해서는 위성영상에 나타나는 각 점의 위치를 지형도와 같은 크기와 투영값을 갖도록 변환해 주는 과정이 필수적이다.

정사영상은 촬영각에 의한 왜곡과 지형의 기복에 의한 왜곡 및 중심투영에 의한 영상왜곡을 보정한 영상을 말한다. 정사영상 생성에는 위성영상, 센서모델(RPC), DEM이 필요하다. 정사영상 제작을 위한 기하학적 원리는 <그림 2-119>의 좌측그림과 같다. 다수의 위성영상을 이용하여 전체적인 정사영상 즉, 정사모자이크영상을 획득하기 위해서는 위성영상 간 접합부가 두드러지지 않도록 하여야 하며, 영상 간 밝기 차와 색상 차에 따른 색상 불일치 현상을 최소화한 모자이크 방법이 요구된다.

<그림 2-119>의 우측 그림은 이러한 문제를 해결하기 위해 제안한 정사모자이크 영상 제작 자동화 과정 예를 나타낸 것이다(국토지리정보원, 2018). 일반적인 지형영상을 이용한 정사영상 제작과 정사모자이크 영상 제작은 기존의 상용 소프트웨어를 활용한다.



자료: 국토지리정보원(2018)

<그림 2-119> 정사영상 제작원리와 정사모자이크 영상제작 과정

먼저 정사모자이크영상 제작을 위한 접합선 추출은 모자이크 영상에서 인접한 영상들이 하나의 영상으로 보이도록 선행되어야 하는 과정이다. 접합선 추출 방법으로는 주로 윤곽선 추출 방법이 사용된다. 위성영상의 경우 도심지의 건물 주변이나 경사지에서는 영상별로 기복변위 양상이 다르게 나타나기 때문에, 보다 정교한 접합선 추출 방법이 요구된다. 또한 산악지형이 많이 존재하여 대상지역에 대해 동일한 접합선 추출 방법을 적용한다면 불필요한 연산이 가증될 수 있다.

따라서 대상지역에 대해 대략적인 피복분류를 선행하고, 피복종류에 따라 최적의 접합선 추출 방법을 가변적으로 적용함으로써 처리 과정 상에 효율을 높일 수 있는 모자이크 기술 개발이 이루어질 필요가 있다. <그림 2-120>는 토지피복도를 활용한 접합선 추출과정을 나타낸 것이다.



자료: 국토지리정보원(2018)

<그림 2-120> 토지피복도를 활용한 접합선 추출과정

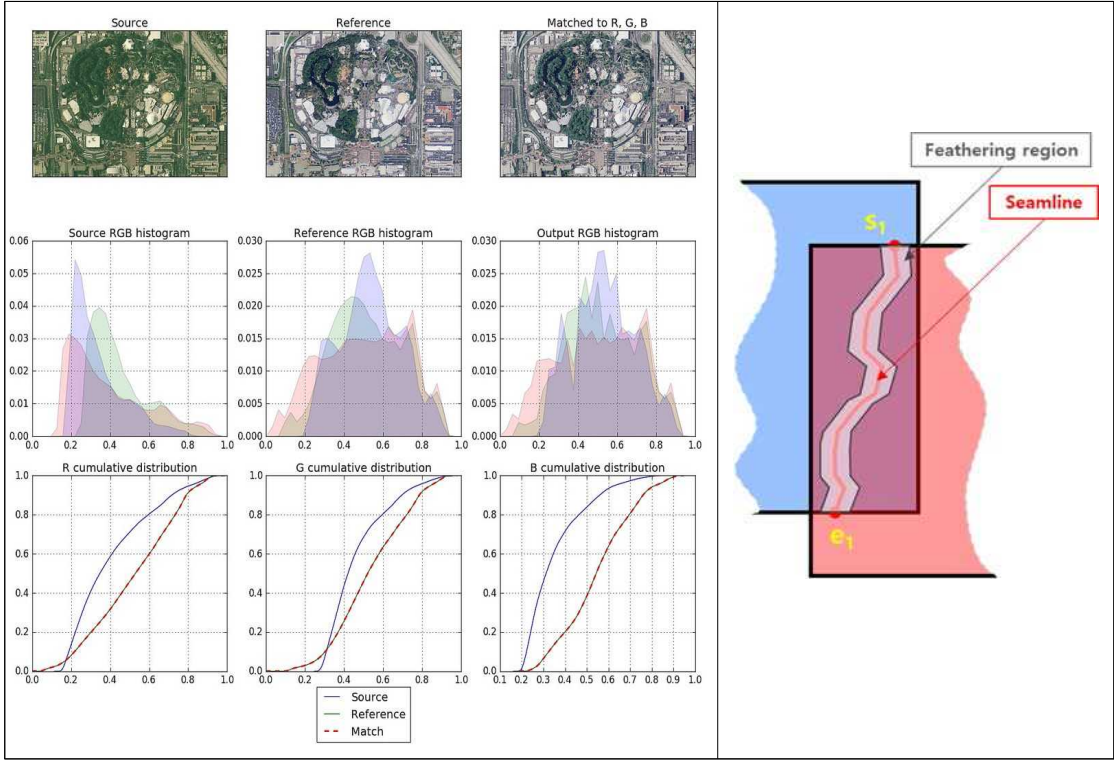
다음으로 밝기값 보정은 촬영시기, 촬영지역, 촬영 당시의 태양 고도각 및 대기상태 등의 차이로 인해 영상들 사이에서 발생 가능한 색상 불일치를 최소화하는 과정을 의미한다. 색상보정 기술은 크게 선형회귀분석 방식과 히스토그램 매칭 방식으로 구분할 수 있다. 선형회귀분석 방식은 영상들 사이의 색상 차이를 선형관계로 정의하고 서로 중복된 영역의 화소값들로 선형변환 계수를 추정하여 개별 영상들의 색상을 보정한다.

<그림 2-121>의 좌측그림에서 보는 바와 같이, 히스토그램 매칭 방식은 대상영상의 히스토그램 분포를 기준 영상의 히스토그램 분포에 맞춰 조정함으로써 색상 차이를 최소화한다. 선형회귀분석 방식과 히스토그램 매칭 기법은 각각 장단점이 있으므로 두 기법을 획득되는 국토위성 영상 품질에 따라 적절히 혼용하여 사용한다.

두 개의 데이터가 중첩된 지역에서 데이터 값을 혼합(blending)하여 하나의 데이터 값에서 다른 데이터 값으로 점진적으로 변화하게 하는 방법을 패더링(feathering)이라고 한다. 영상의 경우에는 인접 영상 간의 접합선이 육안으로 식별되는 것을 감소시키기 위한 목적으로 사용한다. 히스토그램 정합에 의해서 인접 영상 간의 색조가 유사하게 조절되었다 하더라도 접합선의 존재가 보이

는 경우가 있으므로, 더욱 자연스럽게 하나의 영상처럼 보이도록 하는 과정인 패더링을 수행하여 seamless 영상 모자이크를 생성한다.

대표적인 기법으로는 Laplacian pyramid blending (Burt and Adelson, 1983)과 gradient domain blending (Horn, 1986)이 있다. <그림 2-121>의 우측그림에서 보는 바와 같이 접합선을 중심으로 패더링을 수행할 영역을 설정하여야 한다(김동한 등, 2018).



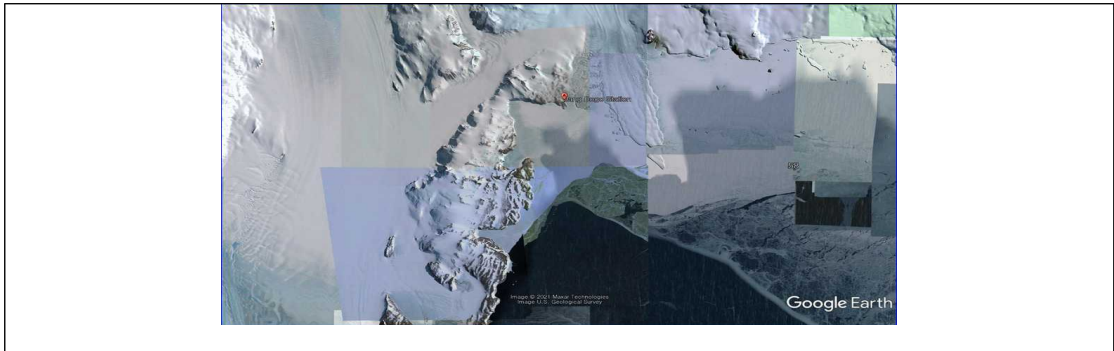
자료: Color balancing imagery with histogram matching(2021)

자료: 김동한 등(2018)

<그림 2-121> 히스토그램 매칭 방법과 접합할 영상 feathering

극지역은 대부분 눈과 얼음으로 이루어져 있으므로 빛 반사 강도가 큰 반면, 빙하계곡과 같이 기복이 심한지역 이거나 해안선 근처에서는 그림자와 물의 영향으로 인해 동일 위성영상 내에서도 화소값의 변화가 크다. 따라서 앞에서 제시한 일반적인 영상모자이크 방식 즉, 접합선 추출, 색상보정, 패더링을 그대로 적용하기 힘들다.

<그림 2-122>와 같이 구글어스에서 제공하는 정사모자이크 영상들은 지형지물의 연속성 뿐만 아니라 색상보정이 이루어지지 않은 상태에서 단순히 정사영상간 접합을 시도한 것처럼 보인다.

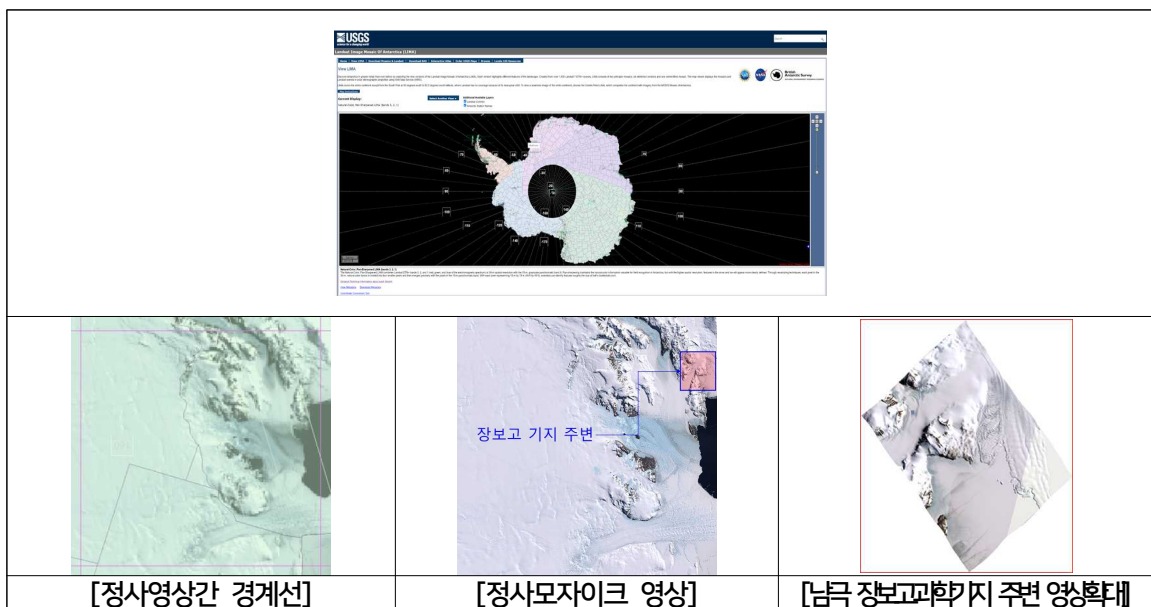


자료: Google Earth(2021)

<그림 2-122> 남극 장보고과학기지 주변 정사모자이크 영상(구글어스)

한편, LIMA(The Landsat Image Mosaic of Antarctica)에서는 Landsat 위성영상을 이용하여 남극 눈과 얼음 표면의 빛 반사율 특징 등을 밴드별로 분석하여 남극지형 특성에 맞는 정사모자이크 방법(특히, 색상 또는 밝기값 보정)을 제시하였다(Bindschadler et al., 2008).

그리고 대부분의 남극지역을 커버하는 Landsat 7ETM+ (1999년부터 2003년까지 촬영한 영상, 15m 해상도의 자연색 3개 밴드로 제공) 정사보정된 모자이크 영상을 무료로 서비스하고 있다(LIMA, 2021). <그림 2-123>는 남극지역 정사영상간 경계선과 색상보정이 이루어진 정사모자이크 영상을 다운로드할 수 있는 LIMA 홈페이지와 그 영상을 나타낸 것이다.



자료: LIMA(2021)

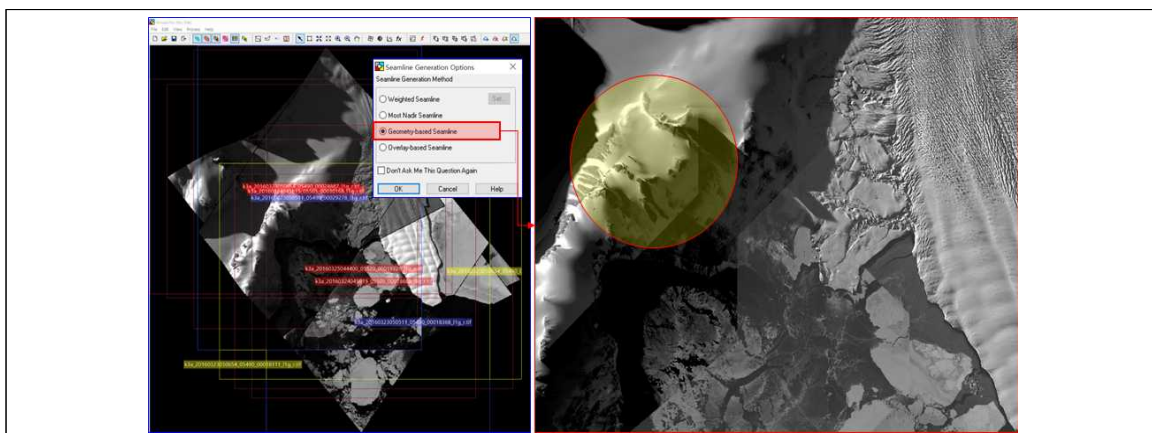
<그림 2-123> LIMA 홈페이지와 남극 장보고과학기지 주변 모자이크 영상

기존 영상처리 소프트웨어를 활용할 경우, 접합선은 정사영상의 센서모델 또는 등록좌표에 기반하는 것(geometric-based seamline, GSL)에 비해 두 정사영상 경계지역 화소 간 유사도 기반(weighted seamline, WSL)으로 구하는 것을 권장한다. 그리고 절벽과 같은 급경사지인 경우 두 영상 간 폐색 영역이 존재하므로 폐색영역 부분을 제외한 공통지역을 기준으로 모자이크 수행을 권장한다.

<그림 2-124>과 <그림 2-125>은 이 연구에서 ERDAS Imagine 모자이크 툴박스를 이용하여 GSL과 WSL 결과를 비교하기 위해 수행한 장보고과학기지 근처 정사 모자이크 영상을 나타낸 것이다. 모자이크에 참여한 정사영상은 총 8개이며, 모두 2016년 3월 23일과 26일 사이에 촬영한 영상들이다. 각각의 정사영상들을 이용하여 모자이크 수행시 먼저 컬러 밸런싱과 히스토그램 매칭을 기본적으로 수행하였다. 이후 접합라인 설정을 GSL과 WSL 두 가지 경우로 수행하였다.

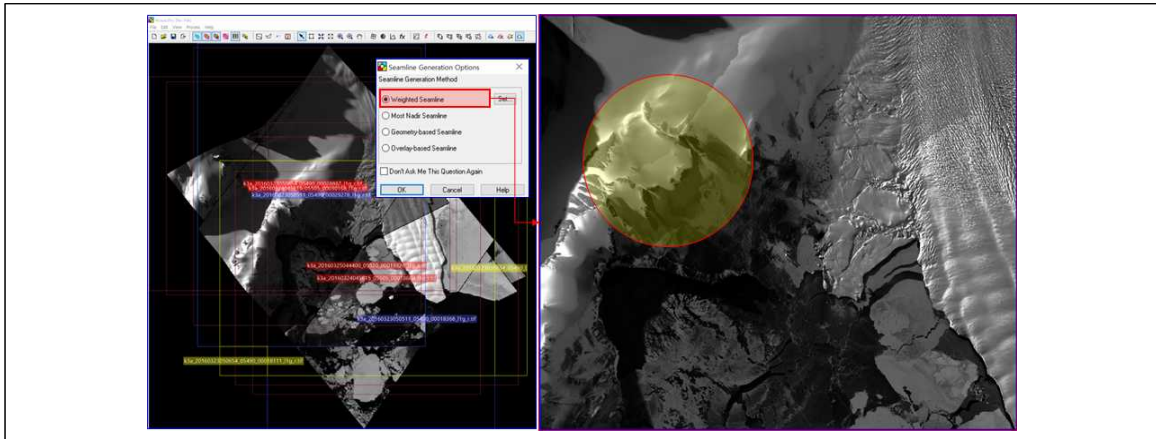
여기서, GSL은 인접영상간 정확한 위치정보가 필요한 반면, WSL은 인접영상간 화소값을 기준으로 접합을 수행하기 때문에 GSL 보다는 매끄러운 모자이크 영상을 획득할 수 있었다(원안의 지형 참조). 그리고 두 그림에서 비교되는 바와 같이 급경사지나 폐색지역에서 인접영상간 보다 화소값 분포가 더 많은 지역을 기준으로 접합라인이 생성되는 것을 볼 수 있다.

그러나 WSL, 컬러 밸런싱과 히스토그램 매칭을 적용했음에도 불구하고 접합선과 밝기값 차이가 여전히 존재하는 것을 볼 수 있다. 이는 영상 간 그림자와 눈 지역에 의한 밝기값 대비가 크기 때문으로 보인다.



자료: 저자 작성

<그림 2-124> 장보고과학기지 주변 정사모자이크 영상(Geometric-based Seamline)



자료: 저자 작성

<그림 2-125> 장보고과학기지 주변 정사모자이크 영상(Weighted Seamline)

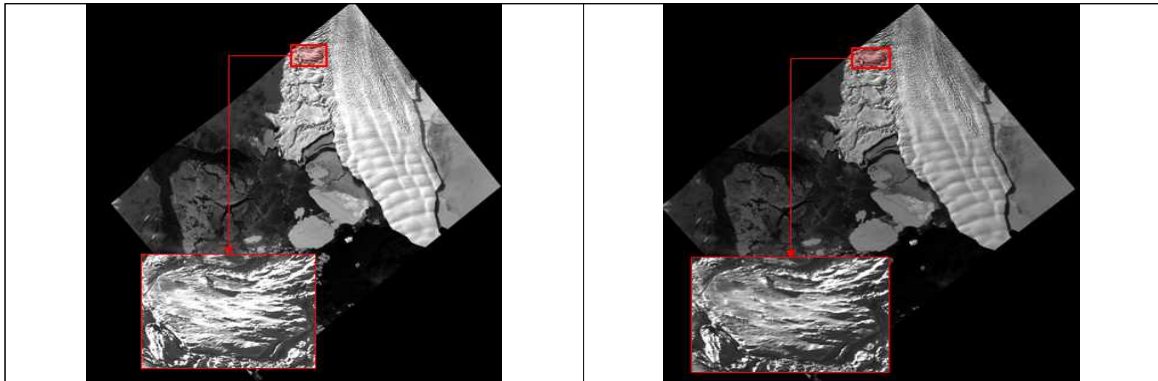
색상보정은 앞 실험에서도 적용한 바와 같이 한 영상을 기준으로 모자이크할 영상들에 대해 히스토그램 매칭을 대부분 수행하나 극지역에서는 한 영상 내에서도 영상의 밝기값 기복이 크므로 이 방법을 권장하지 않는다.

패더링의 경우 두 영상간 밝기값 변화가 크기 때문에 접합선을 기준으로 육지에서 적용하는 것보다 큰 범위를 설정하여 수행하는 것을 권장한다.

따라서 이 연구에서는 ERDAS Imagine 상용 소프트웨어로 남극에서 여러 시기로 촬영되어 제작된 아리랑 3A 정사영상들을 이용하여 모자이크 실험을 수행하고 남극에 적절한 모자이크 제작방법을 제시하고자 하였다. 다음은 모자이크를 위한 여러 가지 경우의 실험방법을 나타낸 것이다.

- ① 히스토그램 매칭: 적용 / 비적용
- ② Low-Pass 필터로 평활화: 적용 / 비적용
- ③ 접합선 기준 패더링 간격: 확장 / 비확장
- ④ 단밴드별 모자이크 / 다중밴드 모자이크

<그림 2-126>은 모자이크를 실행하기 전에 Low-Pass 필터로 평활화 이전과 이후의 영상을 비교한 것이다. 여기서, 눈으로 덮인 지역의 경우 빛 반사가 크기 때문에 지형의 형태를 구분하기 쉽지 않다. 따라서 평활화를 적용하면 이점을 극복할 수 있을 것이다.



자료: 저자 작성

<그림 2-126> 장보고과학기지 주변 정사영상 평활화 전과 후

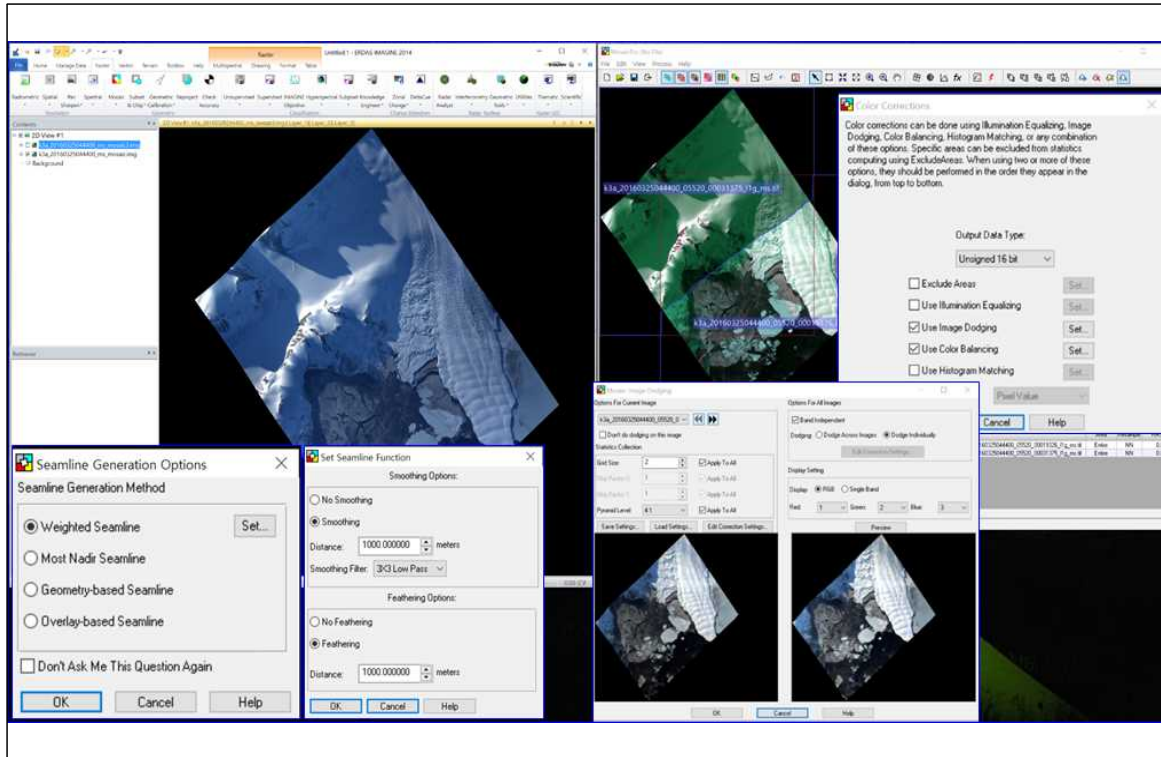
여기서, 컬러 밸런싱 방법은 기본적으로 모든 영상에 대해 Image Dodging 방법을 적용하였다. 이 방법은 영상그룹에 대한 방사학적 불균형을 보정 해주기 위하여 각 영상 내에서 그리드 기반으로 영상 간 밝기값과 음영대비의 불일치를 조정해준다(ERDAS FieldGuide, 2021). 특히 아래의 문제점 해결에 도움을 준다.

- 영상그룹에서 어두운 지점(그림자)이 발생하는 영역의 밝기값을 향상시키고 조정
- 다양한 종류의 센서로 수집된 영상그룹에서 색상 밴드의 밝기와 대비를 제어하는 동시에 각 밴드별 개별 색상 비율을 유지
- 다양한 태양고도각으로 이루어진 영상그룹에서 밝기와 대비를 조정
- 해안선과 수계지역이 포함된 영상그룹에서 Dodging 알고리즘의 그리드 크기를 작게 줄수록 밝은 육지 부분과의 밝기값 균형을 유지

<그림 2-127>는 앞에서 제시한 4가지 경우 실험을 위해 이 연구에서 기본적으로 제안한 모자이크 옵션들을 나타낸 것이다. 구체적인 사항은 다음과 같다.

- 접합선: Weighted Seamline을 선택하고, 추가기능으로 Smoothing과 Feathering에서 접합선 기준 Distance= 1,000m로 설정
- 컬러밸런싱(모자이크 툴 : Color Correction): Dodging과 Color Balancing을 선택하고, Dodging 옵션에서 Grid Size=2 또는 3과 같이 최대한 적게 설정

여기서, 실험 결과 Smoothing과 Color Balancing은 생략해도 결과 영상에 큰 영향을 주지 않았다.

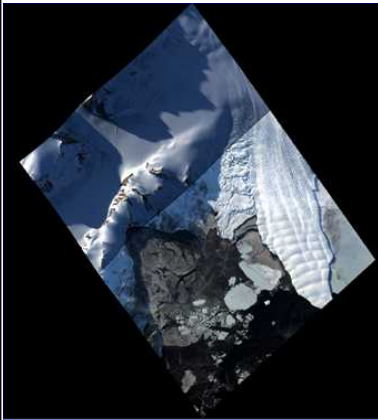
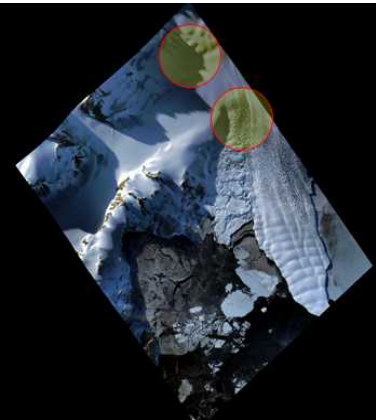
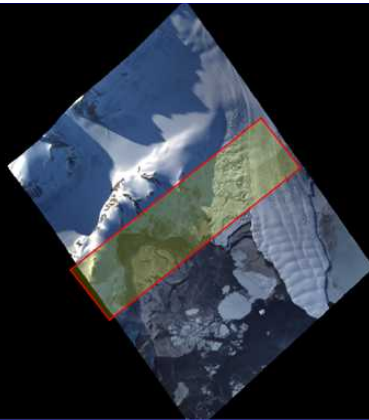


자료: 저자 작성

<그림 2-127> 이 연구에서 제안한 모자이크 툴박스의 선택 옵션

<그림 2-128>은 2016년 03월 25일에 촬영된 두 영상을 이용하여 제안 모자이크 옵션 기준으로 히스토그램 매칭 적용과 비적용, 패더링 간격 확장과 비확장(제안 모자이크 옵션보다 적게 적용)에 따른 모자이크 결과 차이를 나타낸 것이다. 여기서, 두 영상 중 위쪽 영상에서 그림자 영향으로 인하여 아래 영상과 색조와 밝기값 대비가 큰 것을 볼 수 있다.

두 영상 모자이크 결과, Dodging 적용 시 히스토그램 매칭을 추가하면 오히려 밝기값이 불균형하게 나타나는 것을 볼 수 있다(두 번째 그림에서 원형 내 어두운 부분 발생). 그리고 패더링 간격을 100m로 설정했을 경우 접합선 주변으로 색조대비가 나타나는 것을 볼 수 있다(세 번째 그림에서 박스 부분).

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| [단순접합 정사영상] | [제한한 모자이크 옵션에 히스토그램 매칭을 추가한 모자이크] | [제한한 모자이크 옵션에 히스토그램 매칭하지 않고, 패더링 간격=100m로 모자이크] |

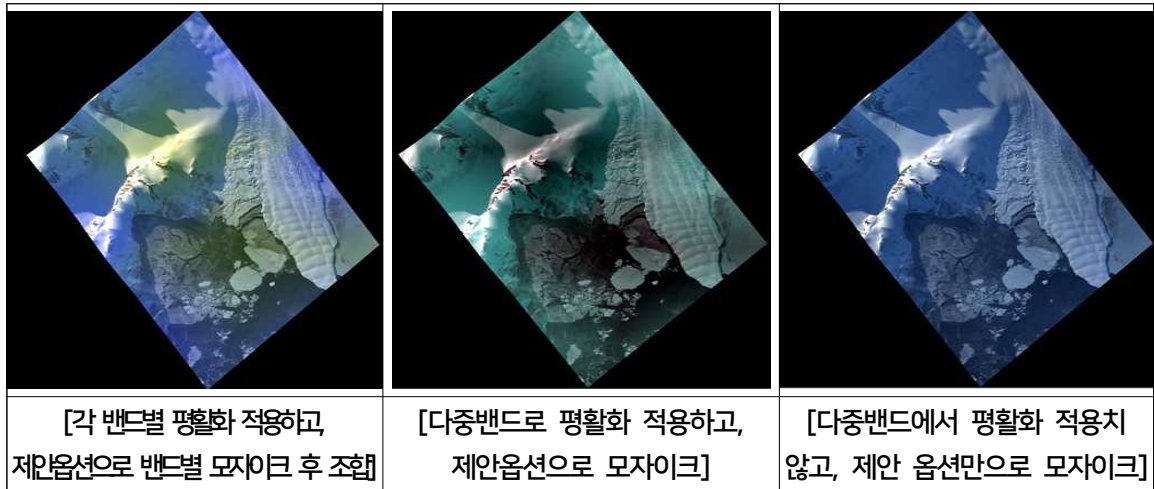
자료: 저자 작성

<그림 2-128> 히스토그램 매칭, 좁은 패더링 적용에 의한 자연색 모자이크 영상

<그림 2-129>은 동일한 영상을 이용하여 평활화 적용 여부에 따른 결과를 나타낸 것이다. 왼쪽 그림은 각 밴드별 평활화를 적용하고 제안 옵션으로 각 밴드별로 모자이크를 수행한 후 조합한 것을 표현한 것이다.

다음 그림은 다중밴드를 평활화하고 제안 옵션으로 모자이크한 것을 나타낸 것이다. 마지막 그림은 다중밴드에서 평활화를 적용하지 않고, 제안 옵션으로 모자이크한 것을 나타낸 것이다.

평활화 적용 영상에 의한 모자이크 결과는 전반적으로 색조와 밝기값이 불균형하게 발생하는 것을 볼 수 있는 반면에 평활화를 적용하지 않은 영상의 경우는 전반적으로 자연스러운 색조와 밝기의 균형을 이루고 있음에 따라 3가지 모자이크 영상 중 시각적으로 가장 양호한 결과로 보인다.

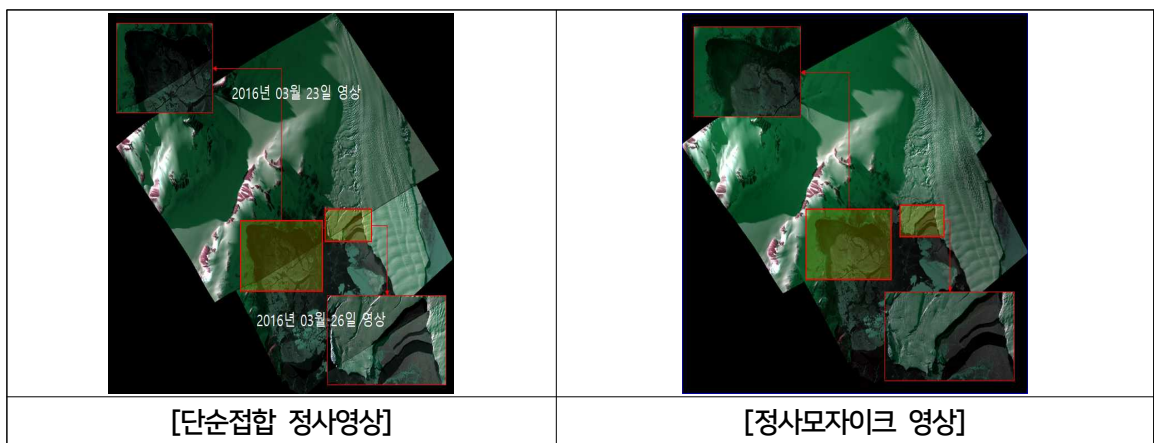


자료: 저자 작성

<그림 2-129> 정사영상 평활화 적용과 미적용에 의한 자연색 컬러 모자이크 영상

<그림 2-130>는 앞의 결과를 토대로 다른 날짜에 촬영된 두 영상을 이용하여 제안 옵션 그대로 모자이크한 결과를 나타낸 것이다. <그림 2-130>에서 단순접합영상에서 볼 수 있듯이 두 정사영상의 등록좌표 오차로 인한 두 영상간 접합부분의 이격이 발생한 것을 볼 수 있으나 제안 옵션의 Weighted Seamline 방법, 패더링 확장 방법과 Dodging 컬러밸런싱 방법으로 양호한 모자이크 결과를 얻을 수 있었다.

그러나 이 결과는 다양한 센서, 여러 시기에 걸쳐 촬영되어 획득된 영상들을 이용한 실험 결과가 아니기 때문에 이 연구에서 제안한 모자이크 옵션 방법을 참조하는 것은 가능하나, 극지역에 적용하기 위한 일반화는 힘들다.



자료: 저자 작성

<그림 2-130> 제안 모자이크 옵션을 적용한 위색채 컬러 모자이크 영상

정사모자이크영상의 정확도 평가방법은 정성적, 정량적 방법으로 평가할 수 있다. 먼저 정성적 평가방법은 국토지리정보원고시 제2019-147호 [영상지도제작에 관한 작업규정] 제 24조(영상집성) 지침(국가법령정보센터, 2021)에 따라 아래에 제시한 항목을 시각적으로 점검한다.

- 정사영상간 밝기값 차이에 따른 색상보정
- 접합선 주변에 대한 음영과 색상 연속성
- 경계부분 지형지물의 선사상 이격
- 지형지물 중복성

정량적 평가 방법은 아래에 제시한 항목을 기준으로 점검한다.

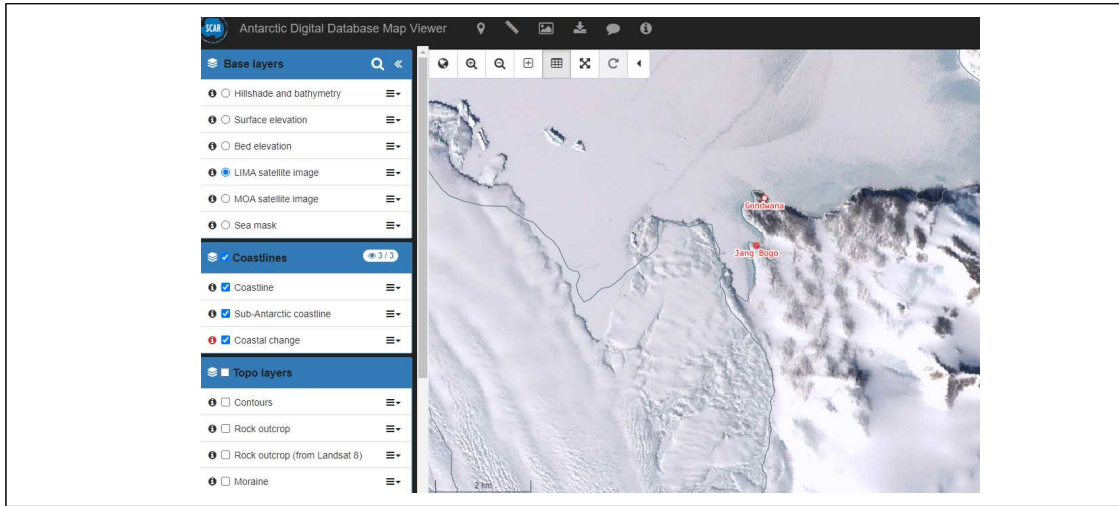
- 이웃 영상간 위치오차는 1/5,000(또는 1/25,000) 수치지도의 평면위치 정확도 규정을 따름
- 이웃 영상 간 접합라인의 편차
- 경계부분 지형지물 불연속에 의한 이격량

바. 해안선 정보 추출

해안선 정보는 항해, 해안 환경 모델링 및 시설물 계획 등을 위해 필수적인 데이터이다. 해안선은 조석, 기후 등에 의해 꾸준히 변화하고 있으며 특히 요즘에는 급격한 온난화 등 기후 변화에 의한 해수면 상승으로 인해 주요한 기후 변화 인자로 예의 주시되고 있다.

참고로 <그림 2-131>은 남극 연구 과학위원회 SCAR의 ADD(Antarctic Digital Database)에서 제공 중인 장보고과학기지 부근 해안선 정보이다. LIMA(Landsat 모자이크) 영상 위에 선형으로 제공되고 있는 해안선을 확인할 수 있다. SCAR에서는 해안선 정보도 지속적으로 업데이트 중이며 가장 최근은 2021년 5월에 Larsen, Stange, Brunt, West ice shelves, Pine Island Glacier, Adelaide Island 지역의 해안선 업데이트를 진행한 것으로 보고되었다.

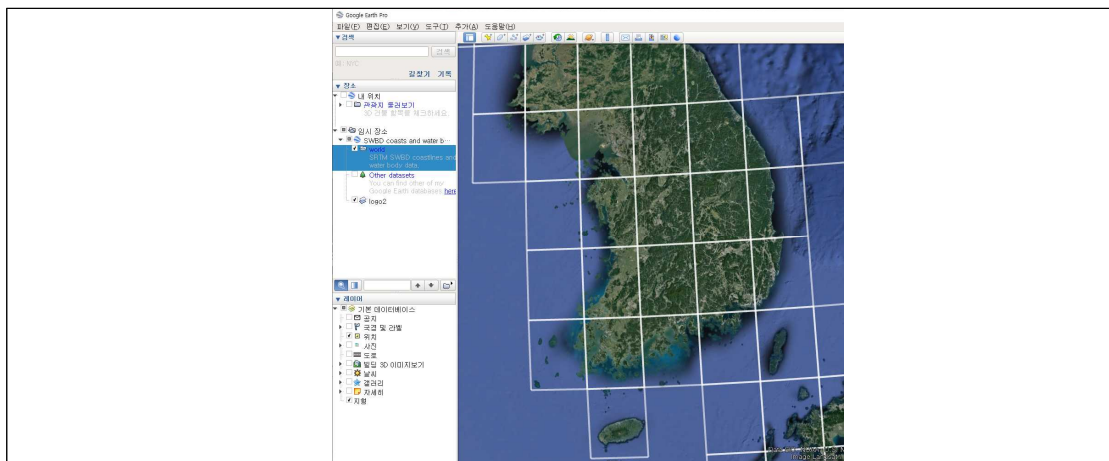
우리나라도 2014년에 장보고과학기지 부근 임시해도를 제작한 바 있고, 2017년 해도 갱신, 2019년부터 2020년 8월까지 1차 종합해양조사를 통해 King Sejong Island 남극 세종과학기지 주변의 지형, 해안선을 파악한 바가 있다. 그러나 극지역의 어려운 접근성으로 인해 기지 주변만의 조사가 가능했으며 향후 주기적 갱신 또한 많은 비용 등이 소요될 것으로 예상된다.



자료: SCAR ADD(2021)

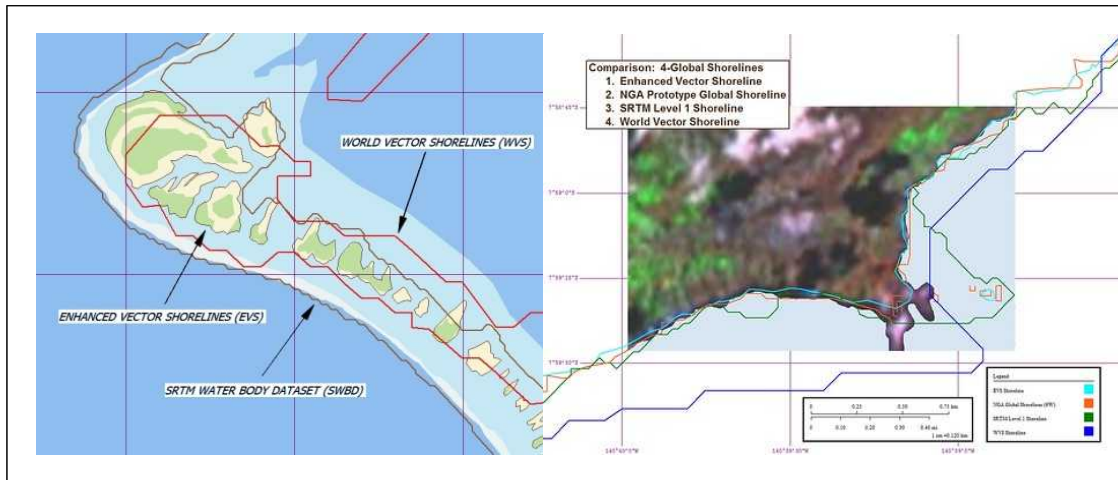
<그림 2-131> SCAR ADD(Antarctic Digital Database)에서 제공 중인 정보고과학기지 부근 해안선

전 세계적 범위로 많이 알려진 해안선 데이터베이스로는 하와이 대학교와 NOAA에 의해 유지 및 관리되고 있는 GSHHS(A Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Geography Database)와 남위 56도에서 북위 60도 범위를 커버하는 SRTM 기반 30m 격자 해상도 데이터인 SWBD(SRTM WaterBody Data)가 있다. 참고로 GSHHS는 미국방부(NGA) 등의 WVS(World Vector Shoreline) 데이터로부터 작성된 50~500m 해상도의 해안선 데이터이다. 그로 인해 80~90년대 해안선 정보에서 업데이트되지 않은 경우도 많은 등 최신성의 문제가 존재한다.



자료: Google Earth(2021)

<그림 2-132> 우리나라 SWBD 격자



자료: Enhanced Vector Shorelines(2021)

<그림 2-133> 여러 해안선 데이터간의 차이

참고로 WVS (World Vector Shoreline)의 경우 6개의 레벨로 데이터를 구분하여 제공하는데, 아래와 같다. 남극의 경우 레벨5와 6로 제공되며 이는 빙하경계와 육지경계로 구분하여 제공하므로 참고할 수 있다.

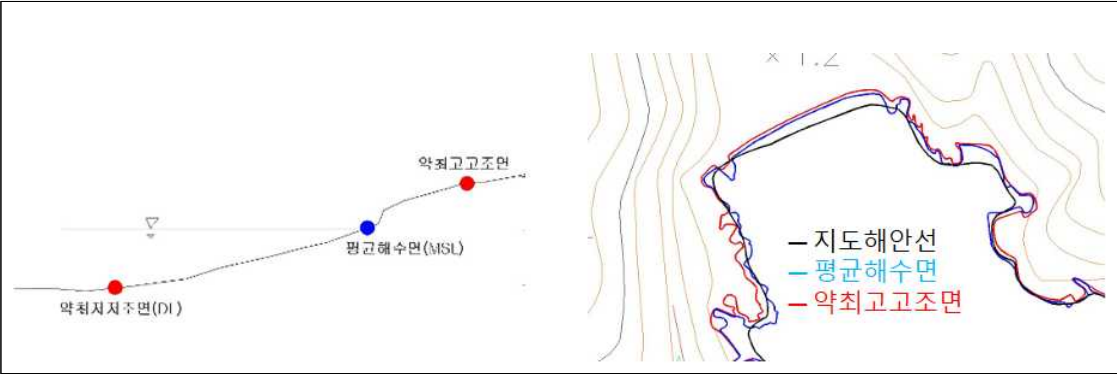
- Level 1: Continental land masses and ocean islands, except Antarctica.
- Level 2: Lakes
- Level 3: Islands in lakes
- Level 4: Ponds in islands within lakes
- Level 5: Antarctica based on ice front boundary.
- Level 6: Antarctica based on grounding line boundary.

해안선은 해면이 약최고고조면에 달하였을 때의 육지와 해면의 경계로 표시되며, 아래와 같이 해안선의 종류로 나뉜다.

- ① 급사안(stEEP coast) : 해안지형의 경사가 45°이상이며 높이가 그다지 높지 않은 것.
- ② 절벽안(cliffy coast) : 급사안보다 경사가 더욱 급하여 90°에 가까운 해안.
- ③ 해안선의 경계를 결정하기 힘든 경우 : 수목안, 덩불안, 균석안 등.
- ④ 기타 : 모래해안, 인공안.

해안선 추출에 대한 방법으로는 국내와 같이 정밀한 해안선 정보 구축을 위해서는 조석관측, 기준점 및 수준측량, 항공사진측량, 지형현황측량, 해저지형측량, 노/간출암 조사 등의 복합 측량을 수행해야 한다.

그러나 북극, 남극과 같은 접근이 어려운 원격지의 해안선 정보의 구축 및 갱신은 위성 영상 정보 등으로부터 해안선을 수동으로 추출하는 것이 경제적이고 합리적인 방식이다. 항공사진 측량이나 위성사진 측량에서 도출된 3차원적인 지형 정보를 바탕으로 현장에서 구한 조석정보 기반 약최고고조면의 타원체고를 교차시켜 해안선 정보를 추출하게 된다. 즉, 사진상 기준점의 높이를 기준으로 하여 약최고고조시의 높이를 도화기에 입력하여 등고선 도화와 같은 원리로 해안선 위치를 결정한다. 항만, 방파제 등의 인공물은 그대로 해안선으로 결정한다.



자료: 국토지리정보원(2021)

<그림 2-134> 조석에 따른 해안선의 차이



자료: 해양수산부(2021)

<그림 2-135> 국내 해안선 갱신의 예

항공사진측량과 같은 고해상도 영상에 기반하지 않을 경우에는 중저해상도 해안선 정보 추출의 경우 2차원적인 영상 정보를 바탕으로 도출하게 된다. 3차원 지형을 도출하지 않고 정사보정된 영상에서 촬영된 영상을 기준으로 해안선을 도출하되, 촬영시각이 약최고고조시와 일치할 경우에는 사진상 해면과 육지의 경계를 해안선으로 결정하고, 해안경사가 완만한 바위 또는 모래해안에서는 해안에 떠 밀려온 부유물의 흔적, 즉 고조흔을 해안선으로 한다. 항만, 방파제 등의 인공안은 그대로 해안선으로 활용할 수 있다.

지속적으로 변화하고 최근 들어 변동성이 커지고 있는 해안선 정보를 지속적으로 그리고 객관적으로 업데이트하기 위해서는 고해상도 위성 데이터를 활용하여 수계 정보를 추출하는 것의 필요성이 증대되고 있다. 또한 최근에는 수동 추출의 작업의 저효율성을 개선시키기 위하여 자동화된 기법을 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 특히 적외선 영역대의 영상을 획득할 수 있는 경우에는 수계 추출을 위해 Landsat TM 위성 등 중저해상도 위성데이터로부터 NDWI를 추출하여 사용하는 기법이 가장 많이 활용되어 왔다.

최근 들어서는 WorldView-2, 3과 같은 고해상도 다중분광 영상에 이러한 기법을 적용하는 경우도 보고되고 있다. WorldView-2, 3과 같은 8개 밴드 위성영상의 경우에는 수계 추출을 위한 NDWI는 아래와 같이 계산된다. 해당 식은 화소값으로 DN(Digital Number)가 아닌 reflectance를 사용하므로 검보정을 통해 제공되는 방사보정 정보를 이용하여 DN을 reflectance로 바꾸어 사용해야 한다.

$$NDWI = (Coastal - NIR2) / (Coastal + NIR2)$$

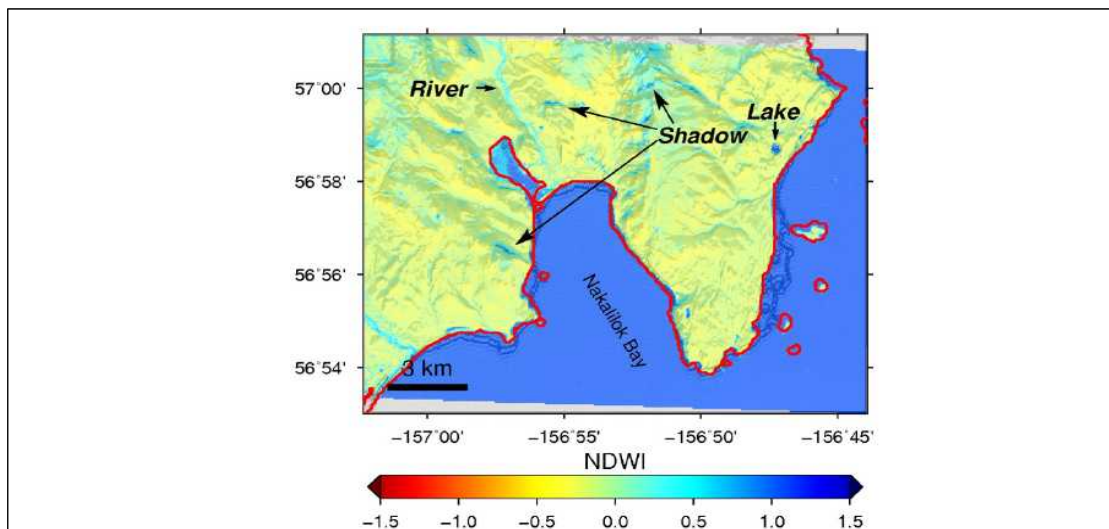
여기서, Coastal은 coastal 밴드의 top-of-atmosphere 반사도(reflectance)이고, NIR2는 근적외선 밴드이다.

GeoEye-1이나 IKONOS, Quickbird 등의 경우에는 WorldView-2, -3과는 다르게 Coastal 밴드와 NIR2 밴드가 존재하지 않으므로 아래와 같이 유사하게 계산될 수 있다.

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$

여기서, Green은 초록 밴드의 top-of-atmosphere 반사도(reflectance)이다.

〈그림 2-136〉은 WorldView-2로 부터 추출된 NDWI의 예를 보여주는 그림으로써, 육지지역이 평균 -0.4 정도의 값을 보이며, 수계는 양(+)의 값을 보여주는 것을 볼 수 있다. 또한 육지지역에서도 강이나 호수 또한 수계로 도출되는 것을 볼 수 있다. 붉은색 선은 앞서 언급한 GSHHS 해안선으로서 WorldView-2 영상과 비교했을 때 자세히 살펴보면 불일치가 발생하는 것을 볼 수 있다. 여기서 문제는 산악지형 등에 의해 발생하는 그림자인데, 이러한 지역의 경우 수계와 유사한 NDWI 값을 보이게 되어 해안선 정보 추출에 어려움을 발생시키게 된다. 또한 구름이 존재할 경우에도 구름지역이 높은 NDWI를 보이게 되므로 이에 대한 고려가 필요하다.

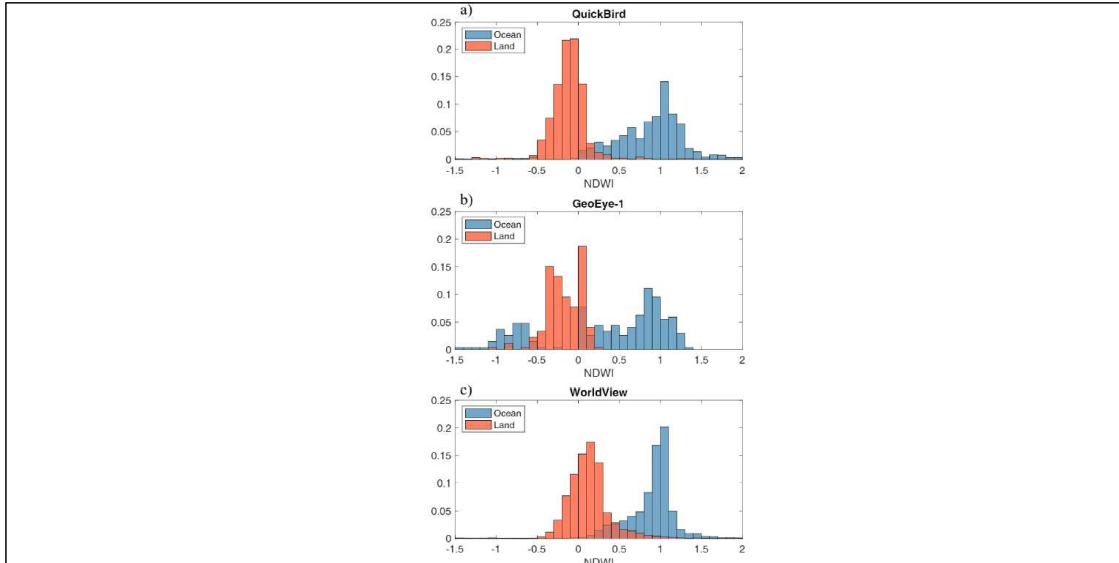


자료: Dai et al.(2019)

〈그림 2-136〉 NDWI와 GSHHS

또한 위성데이터별로 NDWI의 범위가 달라질 수가 있는데, 〈그림 2-137〉은 1,319개의 Quickbird 영상, 272개의 GeoEye-1 영상, 11,045개의 WorldView-2 영상에서 평균 NDWI를 도출해본 그림이며 위성별 각 수계 평균이 1.0, 0.4, 0.98로 달랐다. 참고로 육지에 대한 NDWI는 각각 -0.1, -0.2, 0.05이다.

또한 주의 깊게 볼 부분이 GeoEye-1의 수계 지역 표준편차가 3.6으로서 타 위성의 약 0.2에 비해 현격히 높다. 따라서 이러한 표준편차가 높은, 즉 정밀도가 낮은 영상을 활용 시에는 육지와 수계 분리가 어려울 수 있으므로 주의할 필요가 있다.



자료: Dai et al.(2019)

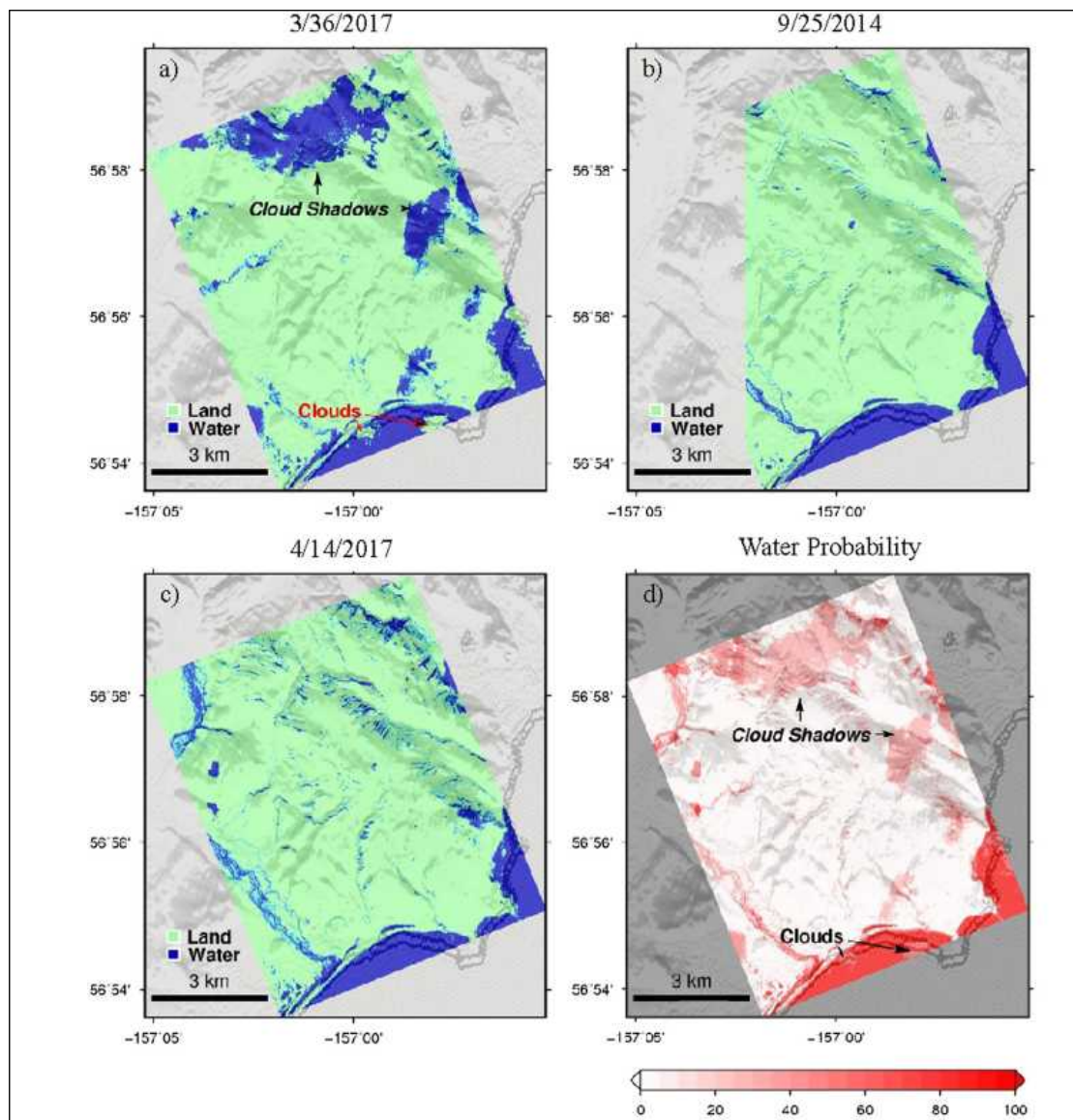
<그림 2-137> 위성영상별 NDWI 범위 차이

수계 분리를 위한 임계치는 아래와 같이 두 평균치를 평균한 값을 사용해도 큰 무리가 없음이 보고되기도 하였다.

$$T = \frac{mean_W + mean_L}{2}$$

2019년 들어 오하이오주립대 버드폴라연구소, NASA JPL, 그리고 미네소타 대학의 PGC에서는 다시기에 걸쳐 반복 관측된 고해상도 위성영상 정보를 활용하여 해안선 정보를 추출한 연구를 진행하였다(Dia et al., 2019). 먼저 전처리를 통해 모든 위성 영상을 수평 좌표가 일치하도록 정밀 상호좌표등록(co-registration) 처리를 수행한 후, 앞서 언급된 그림자나 구름으로 인한 잘못된 NDWI 값 도출을 피하고자 육지와 수계의 NDWI 값을 평균하여 사용하였다.

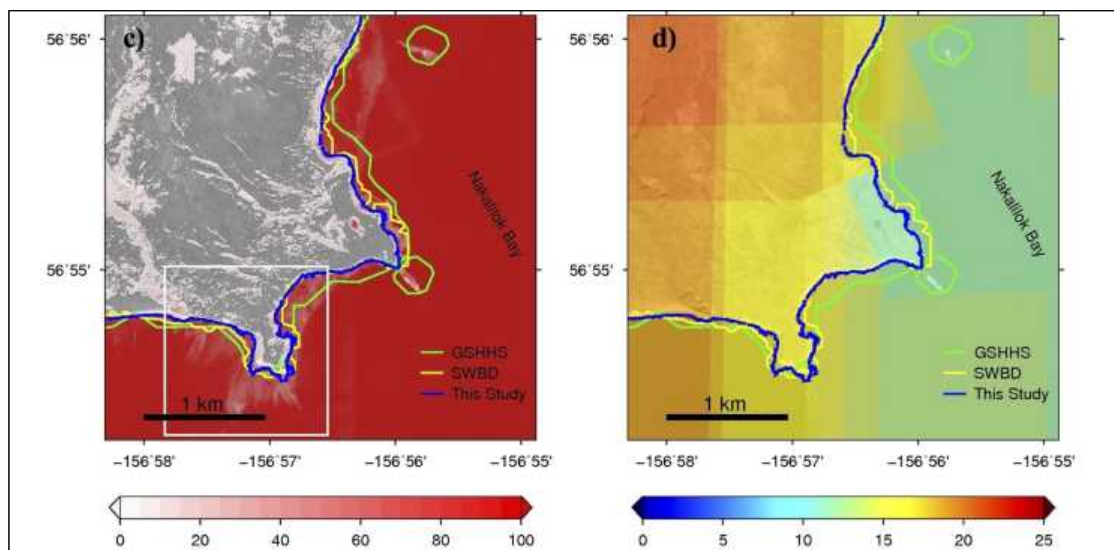
이 과정을 통해 그림자, 구름 지역의 경우 NDWI 값이 통상범위를 벗어나므로 이를 제거하거나 영향을 경감시킬 수 있게 된다. 그러나 그림자의 경우 유사한 시간대에 촬영한 영상을 이용할 경우 동일하게 그림자가 발생하게 되므로 이에 대한 처리가 어려워질 수 있으므로 시간대를 달리하여 촬영한 영상의 활용이 필요하다.



자료: Dai et al.(2019)

<그림 2-138> 다시기 위성 NDWI 평균을 통한 구름, 그림자 영향 저하

<그림 2-139>는 다시기 위성 정보를 이용한 해안선 추출 결과 예로서, GSHHS, SWBD와 비교하여 나타낸 그림이다. 좌측의 빨간색이 진할수록 수계일 확률이 높은 지역을 의미한다. 하얀 박스 내의 지역을 보면 수계 확률이 낮아지는 지역이 확인되며 이는 저지대로서 시기에 따라 해안에 잠기는 지역을 보여주고 있다. 우측 그림에서 색상은 중복 활용된 영상의 개수를 나타낸다.



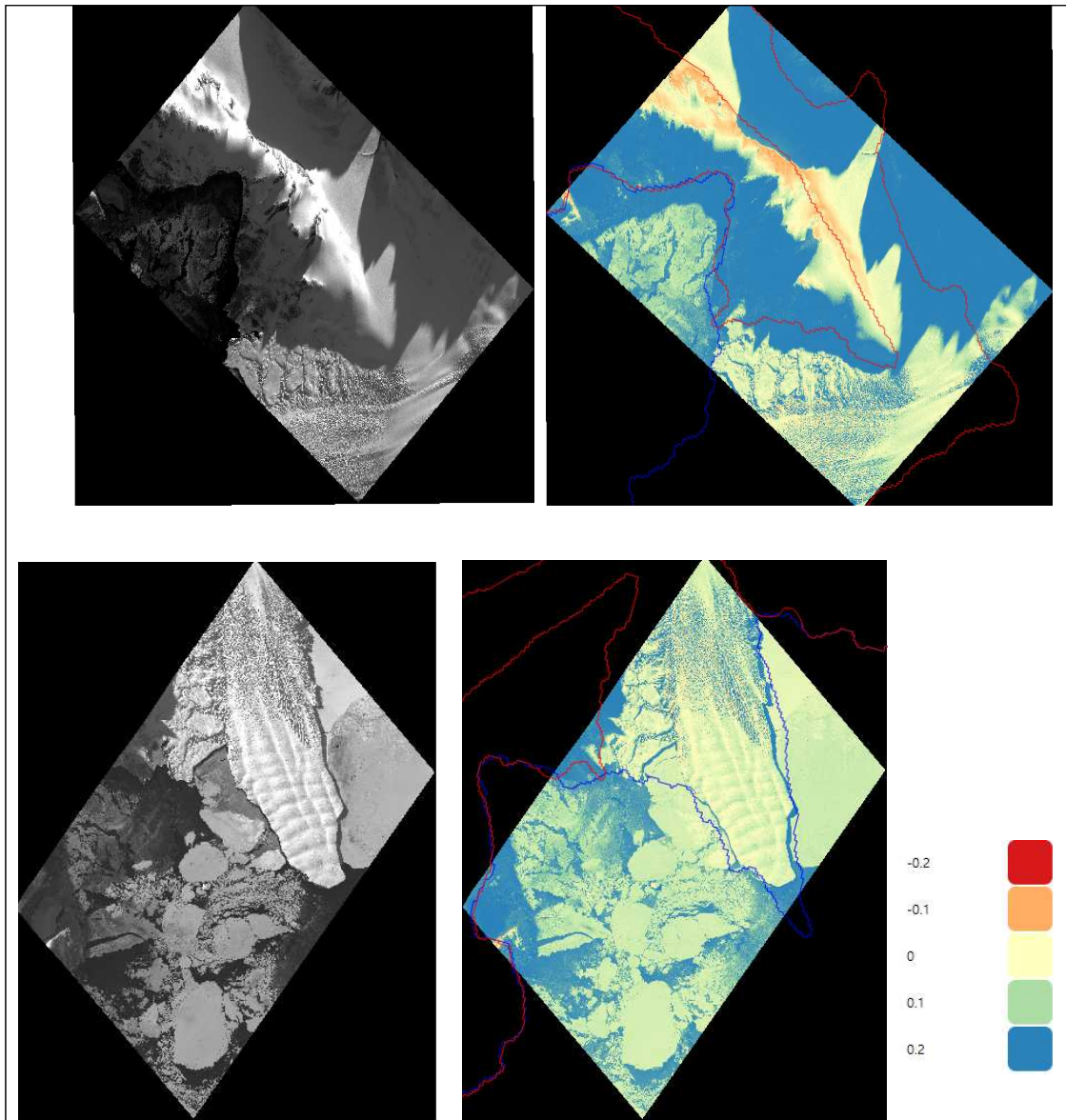
자료: Dai et al.(2019)

<그림 2-139> 다시기 위성 정보를 이용한 해안선 추출 결과 및 비교

아리랑 3A 두 남극 영상을 대상으로 NDWI를 도출해본 결과의 예를 <그림 2-140>에서 확인할 수 있다. 첫 번째 아리랑 3A 영상의 경우 좌하단에 해안선이 위치하고, 낮은 태양고도각(약 4도)으로 인한 영상 상단부에 길게 드리워진 짙은 그림자를 특징적으로 보여주고 있다.

해안선쪽으로도 산악지형 하단부 또한 그림자가 확인된다. Green 밴드와 적외선 밴드를 활용하여 NDWI를 도출해본 결과 그림자 부분을 위주로 0.2 이상의 NDWI 값을 보이는 것이 확인되고 해안의 수계와의 구분이 어려워지는 것을 확인할 수 있었다. NDWI 영상 위에 빨간색과 파란색으로 경계표시한 것이 WVS(World Vector Shoreline) 데이터 레벨 5, 6이다. 빨간색이 지형을 기준으로 한 레벨 6 라인이며, 파란색이 빙하를 경계로 한 레벨5 데이터이다. 두 번째 데이터의 경우 아리랑 3A 영상의 경우를 보여주고 있다.

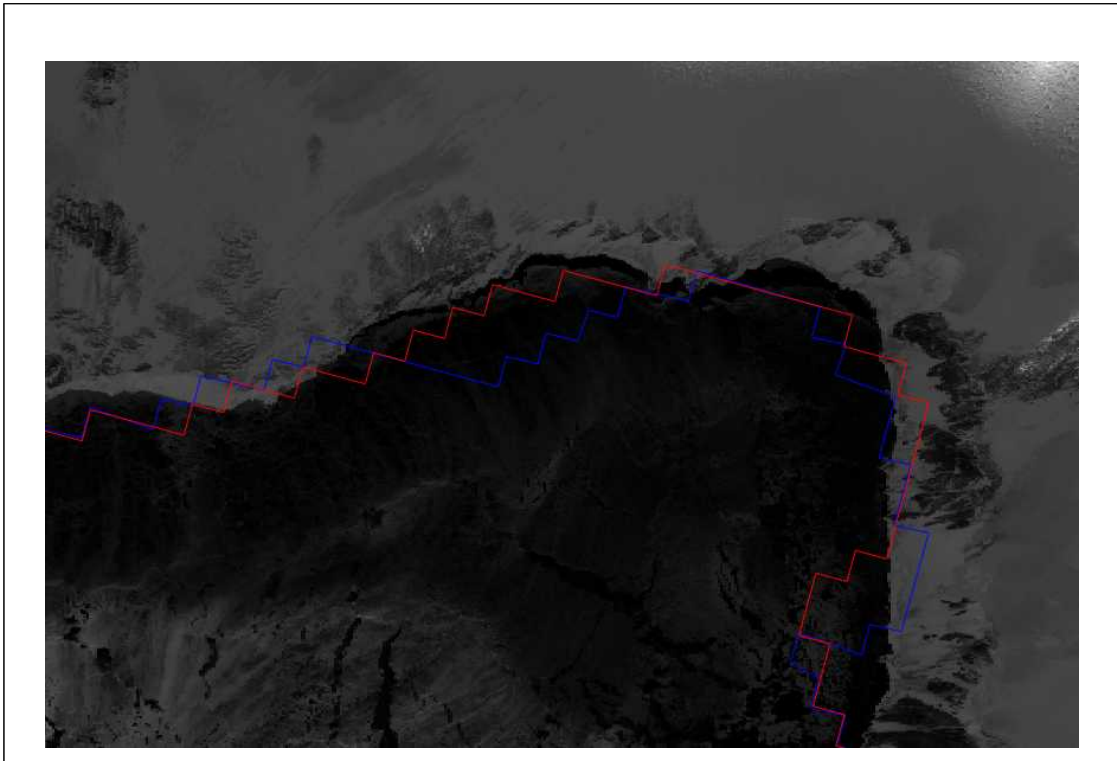
아리랑 3A 영상에서 NDWI를 추출해본 결과로는 영상만으로 해안선을 자동 추출하는 방법은 그림자의 영향으로 인해 합리적으로 보긴 어렵다는 것을 알 수 있다. 또한 지형과 빙하의 구분이 어려우므로 WVS를 바탕으로 국토위성이 제공되는 부분에 대해 정보를 업데이트하여 활용하는 방식의 해안선 정보 구축이 필요할 것으로 판단된다.



자료: 저자 작성

<그림 2-140> 아리랑 위성영상을 활용한 NDWI 추출 실험

실제 아리랑 3A 영상의 해안선과 WVS 데이터와의 경계 비교를 해본 결과를 아래 그림에서 확인할 수 있는데, 기존의 해안선 정보가 저해상도 위성 등에서 도출됨에 따라 해안선의 선형정보가 정밀하지 않다는 것을 알 수 있고, 주요 관심 지역의 경우 정밀한 해안선 정보의 구축이 필요하다는 것을 확인해볼 수 있다.



자료: 저자 작성

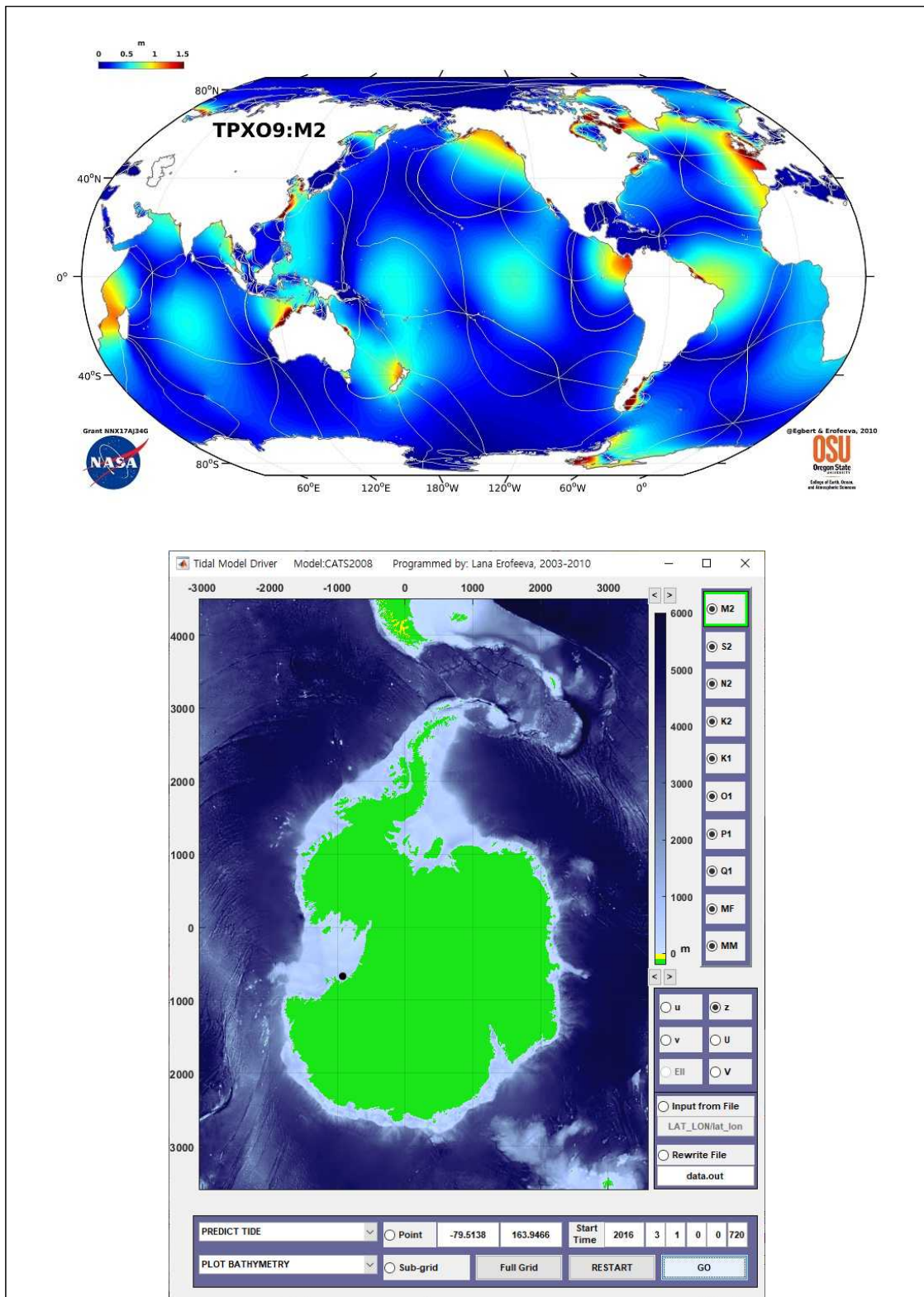
<그림 2-141> 아리랑 위성영상과 WVS 해안선 비교

두 번째로는 입체촬영된 위성 영상을 활용하여 3차원 기법을 통한 해안선 추출을 진행할 수 있다. 동일지역의 입체 위성 영상 처리를 통해 입체쌍을 만들고 도화기에 입력하여 조석정보에 기반하여 해안선을 추출하는 방안을 제시한다.

이를 위해서는 먼저 조석 정보가 필요한데, 관심지역, 영상 촬영시간대에 대한 시간에 따른 조석 변화는 TPXO-9.1 조석 모델(<https://www.tpxo.net/global>)을 통해 획득될 수 있으며, 웹서비스(<https://tpxows.azurewebsites.net/>)로도 정보를 제공하고 있다. 참고로 TPXO9-atlas의 경우 가장 최신 모델 솔루션이다.

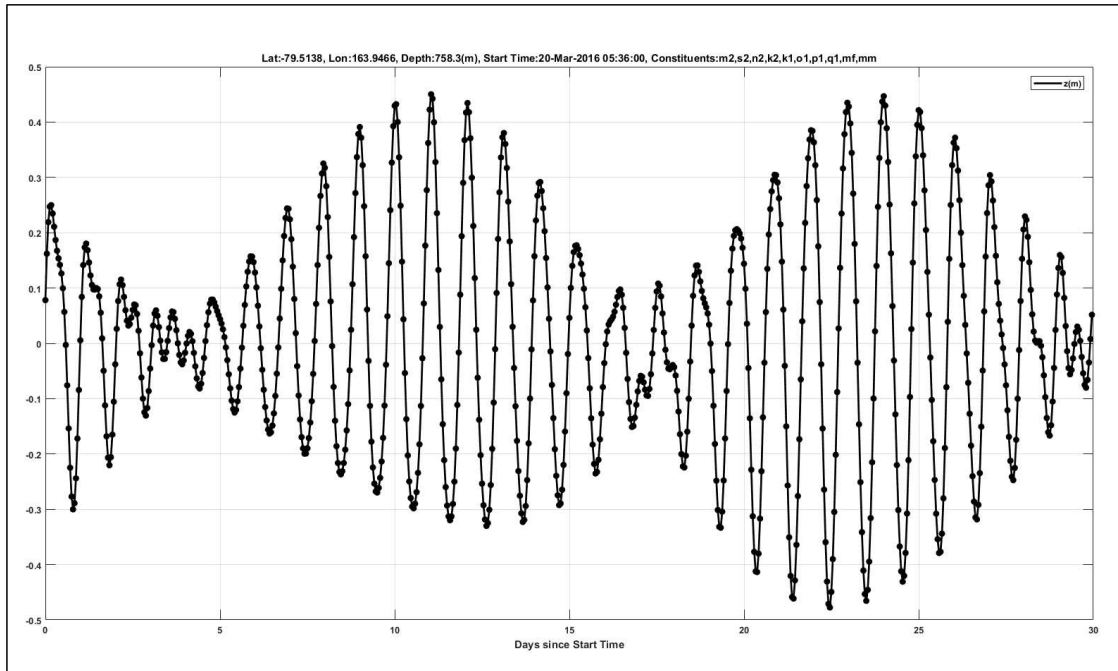
남극의 경우 TPXO 모델은 조석 게이지와 RMSE 오차 4cm 가량을 보이는 것으로 보고되고 있어 접근이 어려운 지역에 대한 고해상도 인공위성 데이터로부터 해안선을 추출하는데 보조 데이터로서의 활용이 가능할 것으로 판단된다. 극지역에 대한 솔루션도 Polar Tide Models²⁾로 제공된다. 위성 영상 촬영 시간대의 조석 정보를 모델을 통해 추출하고 이를 추출된 해안선의 속성정보로 활용하여 향후 변화 모니터링에 활용할 필요가 있다.

2) <https://www.esr.org/research/polar-tide-models/list-of-polar-tide-models/>



자료: TPXO Global Tidal Models(2021)

<그림 2-142> TPXO 조석 모델



자료: 저자 작성

<그림 2-143> 장보고과학기지 부근 조석모델을 통한 조석 정보 추출

장보고과학기지 주변의 아리랑 3A 영상의 촬영 시점이 2016년 3월 23일 UTC로 오전 5시 36 분가량이었으며 이때의 조석 정보가 거의 평균해수면에 가까웠고, 전후의 조석 정보를 시뮬레이션 통해 판단한 결과 평균해수면 기준 약 +0.45m 높이를 약최고고조면으로 간주하여 해안선 추출을 진행할 수 있다. 그러나 고해상도 위성 데이터의 해상도를 고려했을 때 1화소 이하의 해수면 고도 차이는 오차범위로 간주할 수 있으므로 아주 낮은 경사 지형이 아니면 해안선 경계의 차이가 크게 발생하지 않을 것이다.

제3장

위성영상 기반 지도제작 및 공간정보 기술 시범적용

-
1. 모의영상 기반 공간정보 검증방안 수립과 평가 방안
 2. 모의영상 기반 공간정보 정확도 평가
 3. 극지역 공간정보 구축 관련 작업규정 개선을 위한 기술적 시사점 도출

1. 모의영상 기반 공간정보 검증방안 수립과 평가 방안

가. 개요

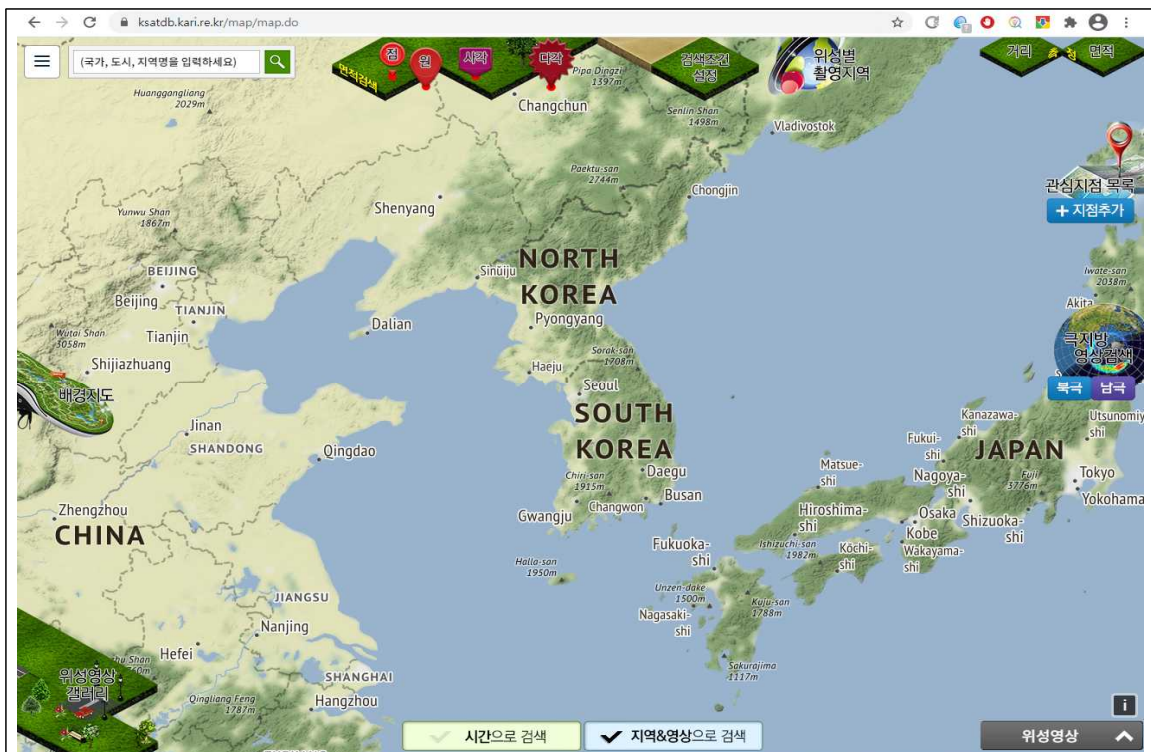
본 연구에서는 극지역 특수성을 반영한 위성영상처리 및 공간정보 구축 방안에서 도출된 연구 결과를 토대로 향후 국토지리정보원에서 운영 예정인 국토위성을 활용한 접근 가능 지역과 접근 불가능 지역에서 수치지형도, DEM 및 정사영상 제작 가능성을 확인하고자 하였다. 국토위성은 현재 영상 검보정 등의 작업이 진행 중이고, 성과 검증을 위한 충분한 위성영상을 확보하지 못한 관계로 인하여 본 연구에서는 국토위성과 유사한 위성영상을 선별하여 제작기술을 적용하고 정확도 평가를 수행하였다.

시범 구축은 극지역 및 접근 가능한 지역에서 아리랑 3, 3A 위성영상을 대상으로 영상을 선택하였다. 영상 선택은 동일 대상 지역에 중복으로 촬영된 영상과 수치도화기(DPW, Digital Photogrammetric Workstation)에서 입체시 기반 테스트를 진행하기 위한 입체시 가능 영상을 선별하였다. 공간정보의 정확도 평가를 위해 본 연구의 위치보정 기술을 적용한 위성영상을 이용하여 수치지형도, DEM 및 정사영상을 제작하여 제작 결과물에 대한 정확도 평가를 수행하였으며 평가 기준은 국토지리정보원의 수치지형도 작업규정, 항공레이저측량 작업규정 및 정사영상 작업 규정 내의 정확도 평가 기준을 준용하였으며, 수치지형도의 정확도 기준은 최근 국가기본도의 수치지형도 품질평가 기준 내의 위치정확도 기준을 참고하여 비교 평가를 수행하였다.

공간정보 구축 및 정확도 평가는 기존 국토지리정보원에서 위성영상을 이용하여 성과를 제작하는 장비와 소프트웨어를 사용하였다. 수치지형도는 RPC(Rational Polynomial Coefficients) 기반 위성영상 활용이 가능한 SocetSet 소프트웨어를 활용하고, DEM과 정사영상 제작을 위해 CAD, QGIS 및 원격탐사 처리 소프트웨어를 활용하였다. 국토지리정보원의 공간정보 구축 기반 작업 규정은 항공사진과 접근 가능한 지역에서는 구체적이고 체계적으로 구성되어 있으나 위성영상 기반과 접근이 불가능한 지역에 대해서는 관련 규정이 이에 비해 다소 미비하여 본 연구에서는 기존 공간정보 구축과 관련한 규정을 분석하고 위성영상과 접근 불가능 지역에 적용할 수 있는 기술적인 시사점을 도출하였다.

나. 검증 대상 지역 선정

극지역 및 접근가능지역 검증지역 대상 지역을 선정하기 위해 기촬영된 영상 현황을 분석하였다. 촬영된 위성영상은 국토위성과 영상 사양이 가장 유사한 아리랑 3A 위성영상에 관해 본 연구에 활용할 수 있는지에 대한 검토를 먼저 수행하였다. 검증 대상 위성영상은 광학위성영상으로 구름 양, 잡음(noise) 등 영상의 품질에 문제가 없어야 하며, 수치지형도 제작 및 평가를 위해서는 입체 시가 가능한 영상을 사용해야 한다. 극지역 위성영상 검색은 항공우주연구원의 KOMPSAT 위성영상 검색 사이트 내 극지역 영상검색 활용하였다.



자료: <https://ksatdb.kari.re.kr/map/map.do>

<그림 3-1> KOMPSAT 영상 검색 서비스

남극과학기지의 위치를 보면 먼저 세종과학기지는 1988년 2월에 건설된 과학기지로 서남극 남극반도에 평행하게 발달한 남 쉼틀랜드 군도(South Shetland Islands)의 킹조지섬에 건설하였으며, 경위도 좌표는 남위 62도 13분 23초, 서경 58도 47분 11초에 위치하고 있다. 장보고 과학기지는 2014년에 동남극 북 빅토리아랜드(Northern Victoria Land) 테라노바 만(Terra Nova Bay) 연안에 건설하였으며, 경위도 좌표는 남위 74도 37분 28초, 동경 164도 13분 46초에 위치하고 있

다.

본 연구에서는 기존 사업에서 과학기지 인근에 기준점 측량성과를 활용할 수 있는 장보고과학기지 일대를 검증 대상 지역으로 선정하였다. 장보고과학기지 일대는 2019년도 과학기지 주변에 13개의 기준점을 TerrSAR-X 기준점을 이용하여 선점한 결과가 존재하여 검증 대상 지역으로 선정하였다.



자료: 구글어스

<그림 3-2> 남극과학기지 위성영상

남극 제2과학기지가 있는 장보고과학기지의 영상은 촬영 각도, 촬영 시간 등을 고려하여 18개의 활용 영상을 선택하였다<부록 2-1>.

영상자료를 활용한 정확도 검수는 위성영상의 해상도, 촬영 각, 촬영 당시 위성영상 위치정보, 카메라 정보 등 물리적인 요소와 대상 지역의 지형·지물의 특성에 따라 달라질 수 있으므로 검증 대상 지역의 위성영상은 검증지역 현황과 유사한 자료를 사용하여 평가하는 것이 정확도 검증의 효과를 높이는 요소가 될 수 있다.

그러나 본 연구지역인 북극 및 남극지역의 경우 연구 결과의 위치정확도를 명확하게 측정할 수 있는 기준점 및 검사점이 극히 제한적으로 분포하고 있거나 없는 경우가 대부분이다. 따라서 보정된 영상의 정확한 결괏값을 구하기 위해 현장 측량 등의 측량자료가 필요하나 본 사업의 여러 가지 여건상 직접 측량을 수행할 수 없으므로 본 연구 결과의 모델 정확도를 측정하기 위해 대축척 수치

지형도, 기준점 측량자료 및 현장 접근이 가능하여 직접 측량이 가능한 지역을 별도의 검증지역으로 선정하였다. 다양한 후보군의 영상 중에 국토위성과 영상 공간해상도 등이 유사하며 향후 국토위성과 비슷한 촬영방식으로 운영 중인 아리랑 3A 영상 중에서 정확도 검증을 위한 참조자료(대축척 수치지형도 및 기준점 등)와 필요할 때 현장 접근이 가능한 지역에서 입체시 구현이 가능한 영상을 선택하였다.

접근이 가능한 검증 대상 지역의 위성영상은 서울시 일대 위성영상으로 구름양이 0%이고, 입체시가 가능하도록 촬영된 영상은 2015년, 2017년도까지 5씬(scene)의 영상이 활용 가능한 것으로 파악되었다<부록 2-2>.

다. 검증방안 수립

본 연구에서는 향후 국토위성센터에서 운영 예정인 국토위성의 극지역 공간정보 구축 활용 가능성을 파악하기 위해 시범 연구를 통해 정확도가 향상된 위성영상자료를 이용하여 수치지형도, 정사영상 및 DEM 산출물에 대하여 정확도 평가를 수행하고 정확도 향상 이전의 원 영상과 영상보정을 통해 정확도가 보정된 영상의 평가를 통해 국토위성의 활용성을 검토한다.

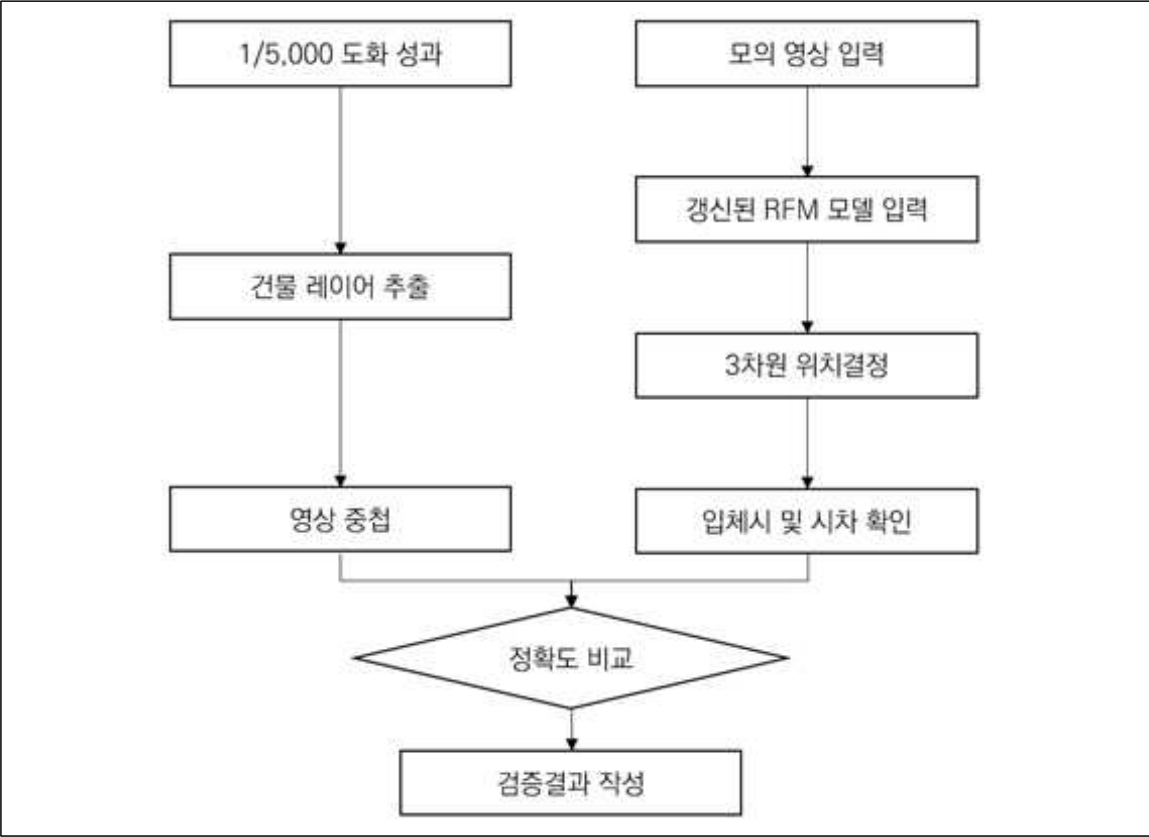
1) 수치지형도 정확도 검증방안

수치지형도 검증은 입체로 촬영된 영상의 3차원 위치결정 과정에서 위성 기하를 결정하는 촬영시점의 위치 및 센서 자세에 대한 정확도 평가를 수행한다. 본 연구에서 3차원 입체 도화기를 활용하여 입체시 상태에서 위성영상 보조 정보와 지상 좌표를 이용하여 물리적 모델링을 통해 비교 대상 데이터와 검증을 수행한다.

수치지형도 검증은 지상기준점 및 검사점이 존재하는 경우와 지상기준점이 존재하지 않는 경우로 나눠 수행한다. 지상기준점이 존재하지 않으면 정확도 검증은 무기준점 또는 최소기준점을 활용하여 물리적 모델을 보정한 결과와 비교를 통하여 기준 정확도 이내에 만족하는지를 검증한다.

수치지형도 검증을 위한 관련 법규 및 준수 준용 자료는 수치지도 작성 작업규칙 [국토교통부령 제209호(2015.6.4.)], 수치지형도 작성 작업규정 [국토지리정보원고시 제2019-145호(2019.7.01.)] 및 국가기본도 수정·제작 검사표 (국토지리정보원 예규 제67호, '14. 03. 21)를 참고하여 검증을 수행하도록 한다. 기존의 수치지형도 정확도 검증은 묘사정확도와 위치정확도로 구분될 수 있다. 묘사정확도는 위성영상에서 나타난 지형지물을 누락 없이 묘사되었는지 검수하는 방법을 의미하며 위치정확도는 위성영상을 이용한 표정 정확도와 위성영상의 지형지물을 정확하게

묘사하였는지 확인하는 검수로 구분될 수 있다. 본 연구에서는 묘사정확도와 위성영상에서 나타난 지형·지물이 정확한 위치에 묘사되었는지를 판단하는 묘사 위치정확도는 별도로 수행하지 않고, 위성영상의 기준점 및 RFM모델을 이용한 표정 정확도에 대해 검증을 수행하도록 한다.



자료: 저자 작성

<그림 3-3> 수치지형도 검증 절차

정확도 계산은 두 영상 간의 위치 차이를 이용하여 계산한다. 미국 FGDC(Federal Geographic Data Committee)에서 1998년에 제안한 NSSDA(National Standard for Spatial Data Accuracy)는 위치정확도 측정을 위하여 평균제곱근오차를 사용하며 정확도는 95% 신뢰구간을 적용하여 나타내고 있다. 정확도 평가를 위하여 사용되는 검사점은 작업지역 내에 잘 분포되어 있어야 하며 적어도 20개 이상의 검사점을 사용하도록 하고 있다. 따라서 본 연구에서도 일부 극지역을 제외하고 최소 20점 이상의 검사점을 이용하여 정확도를 비교하였다. 정확도를 비교하는 방법은 수평 정확도를 비교하는 방법과 수직 정확도를 비교하는 방법으로 나눌 수 있다. 먼저 수평 위치정확도를 계산하는 방법은 <식 3-1>의 RMSE(Root Mean Square Error)를 이용하

여 계산할 수 있다(ASPRS, 2007). RMSE는 추정 값 또는 모델이 예측한 값과 실제 환경에서 관찰되는 값의 차이를 다룰 때 흔히 사용하는 측도로 정확도를 표현하는 데 적합하다. 각각의 차이값을 잔차(residual)라고도 하며, 평균 제곱근 편차는 잔차들을 하나의 측도로 종합할 때 사용된다.

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \quad <3-1>$$

여기서,

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum (x_{data,i} - x_{check,i})^2}{n-1}} \quad <3-2>$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum (y_{data,i} - y_{check,i})^2}{n-1}} \quad <3-3>$$

여기서, $x_{data,i}$, $x_{check,i}$ 는 각각 i 번째 점에 대한 관측점과 검사점의 x 좌표값을 나타낸다고 할 수 있으며, $y_{data,i}$, $y_{check,i}$ 는 각각 i 번째 점에 대한 관측점과 검사점의 y 좌표값을 나타낸다. n 은 검사점의 총 개수를 나타낸다.

만약 $RMSE_x$ 와 $RMSE_y$ 가 같으면 CE(Circular Error)는 <식 3-4>을 이용한다.

$$RMSE_r = 1.4142 \times RMSE_x = 1.4142 \times RMSE_y \quad <3-4>$$

만약 정오차가 제거되고 오차가 정규분포 형태를 가지고 있어 x 와 y 방향 오차가 서로 독립적 이라면 CE95% 신뢰구간에 대한 수평 위치정확도는 <식 3-5>과 같이 나타낸다(Greenwalt와 Melvin, 1962).

$$\begin{aligned} CE95\% &= 2.4477 \times RMSE_x = 2.4477 \times RMSE_y \\ &= 2.4477 \times RMSE_r / 1.4142 = 1.7308 \times RMSE_r \end{aligned} \quad <3-5>$$

수직 정확도의 계산법은 <식 3-6>에 의해서 계산된다.

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{[\sum (z_{data,i} - z_{check,i})^2]}{n-1}} \quad <3-6>$$

여기서, $z_{data,i}$, $z_{check,i}$ 는 각각 i 번째 점에 대한 관측점과 검사점의 z 좌표값을 나타내며, n 은 검사점의 총 개수를 나타낸다. 정규분포 LE(Linear Error)95% 신뢰구간에 대한 수직 위치정확도는 <식 3-7>과 같이 표현된다.

$$LE95\% = 1.960 \times RMSE_z \quad <3-7>$$

제작된 수치지형도의 오차 한계는 <표 3-1>의 한계에 따라 판단한다.

<표 3-1> 수치지형도 표정오차 한계

| 구분 | | 표정오차 한계(RMSE) |
|----|----|---------------|
| 항목 | 신규 | 0.8m |
| | 수정 | 2.5m |
| 표고 | 신규 | 0.6m |
| | 수정 | 1.0m |

자료: 수치지형도작업규정(국토지리정보원, 2019)

지형도 축척에 따른 지형도의 평면 및 표고 정확도는 국토지리정보원의 수치지형도 및 항공영상 품질관리 품질검사 기준항목에 의해 <표 3-2>와 같다(국토지리정보원, 2021).

<표 3-2> 지형도의 위치정확도 표준

| 항목 \ 구분 | 축척 1/1,000 이하 | 비고 |
|---------|------------------|--------|
| 평면 위치 | 1.5m(최대 3.0m 이내) | |
| 수직 위치 | 1.5m(최대 2.5m 이내) | 등고선 기준 |

자료: 수치지형도 및 항공영상 품질관리 기준(국토지리정보원, 2021)

따라서 수치지형도 정확도 표준에 따라 1/5,000 축척의 지형도를 기준으로 한 정확도의 표준 오차 범위를 CE95%와 LE95%로 변환하면 기준 정확도는 <표 3-3>과 같다.

<표 3-3> 1/5,000 수치지형도에서 오차 범위

| 항목 \ 구분 | 구분 | 축척 1/5,000 기준 | 비고 |
|-----------------|-------|---------------|---------------|
| 평면정확도 | RMSE | 1.5m | |
| | CE95% | 2.59m | RMSE × 1.7308 |
| 표고점 정확도 (높이) | RMSE | 1.5m | |
| | LE95% | 2.94m | RMSE × 1.9600 |

자료: 저자 작성

위치정확도는 대축척 수치지형도 및 측량 검사점과 보정된 영상에서 동일점을 최대 20점 이상을 선점하여 계산된 검증 결과값을 <표 3-4>의 양식을 이용하여 작성하고 최종 위치정확도를 평가한다.

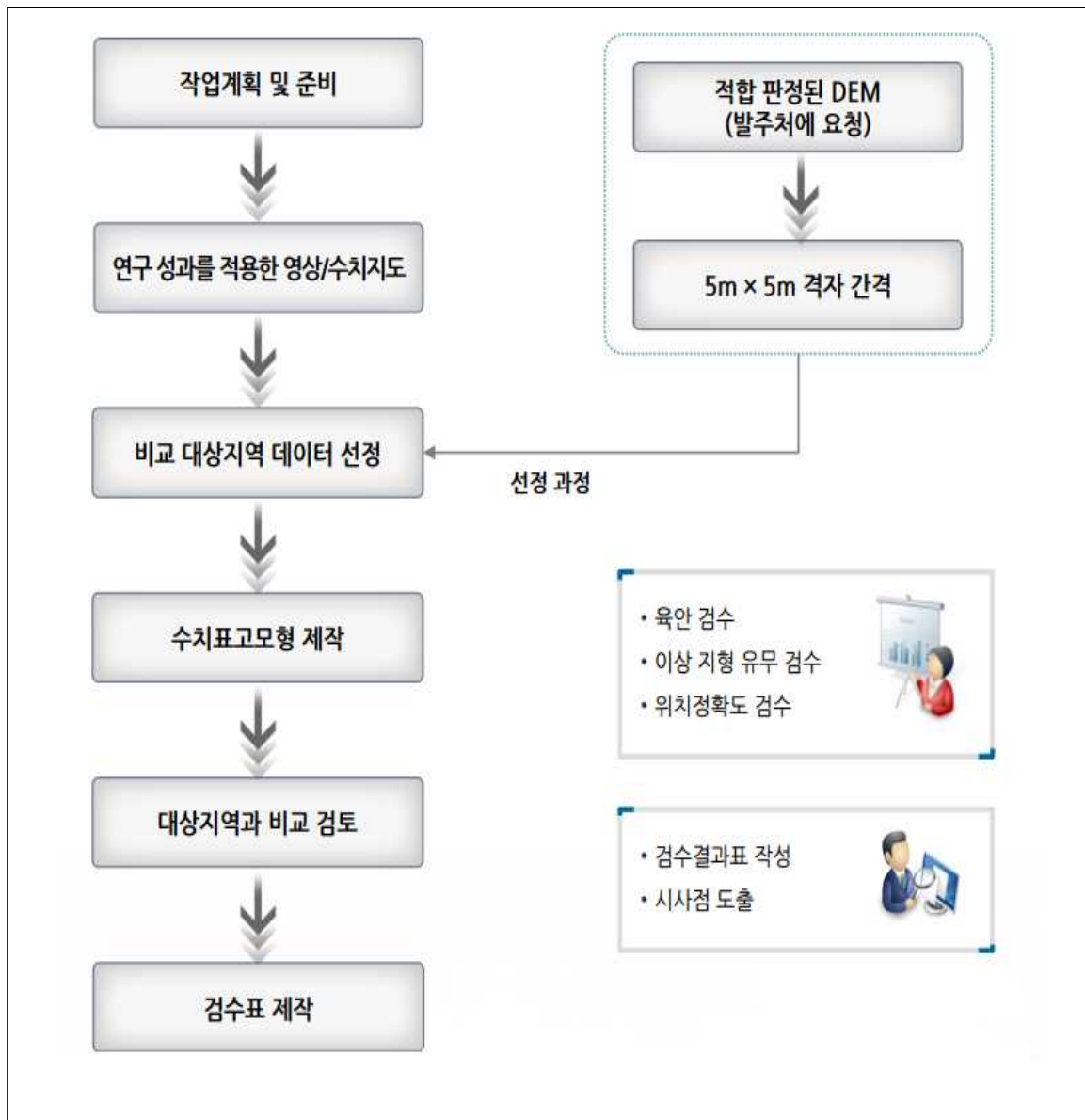
<표 3-4> 수치지형도 위치정확도 평가표의 예시

| 항목 번호 | 검사점 | | 보정된 영상 | | 잔차 | | |
|----------|-----|---|----------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|
| | x | y | x ₁ | y ₁ | dx ₁ | dy ₁ | V(dx ₁ y ₁) |
| 01 | | | | | | | |
| 02 | | | | | | | |
| ⋮ | | | | | | | |
| ⋮ | | | | | | | |
| | | | | | 평균 | | |
| | | | | | 최대 | | |
| | | | | | 최소 | | |
| | | | | | RMSE | | |
| | | | | | CE95 | | |

자료: 저자 작성

2) DEM 정확도 검증방안

DEM의 정확도 검증은 비교 대상 지역에 관하여 본 연구에서 제안된 방법에 따라 제작된 등고 및 표고 데이터를 이용하여 제작한 수치지형도와 이미지 매칭 등의 기법을 활용하여 제작한 DEM을 비교한다. DEM의 정확도 검증은 제작된 DEM의 지형 형상의 이상 여부를 확인하기 위한 육안 검수 방법과 제작된 DEM의 제작 정확도 검수를 위한 위치정확도 검수를 수행하여 평가하도록 한다.



자료: 저자 작성

<그림 3-4> DEM 정확도 검증 절차

가) DEM 이상 지형 유무 검수

DEM은 수치지형도 및 위성영상의 3차원 좌표정보를 이용하여 3차원 정보(x, y, z)를 포함하는 격자형(Grid) 자료를 의미한다. 따라서 DEM의 높이 값에 의해 발생하는 오류는 제작된 DEM이 실제 지형과의 형상 차이를 발생시킬 수 있을 뿐만 아니라 DEM을 이용하는 3차원 지형 모델, 3차원

분석 및 정사영상 제작 결과 등의 성과에 영향을 줄 수 있으므로 제작된 DEM의 높이 값에 따른 정확도를 반드시 확인해야 한다.

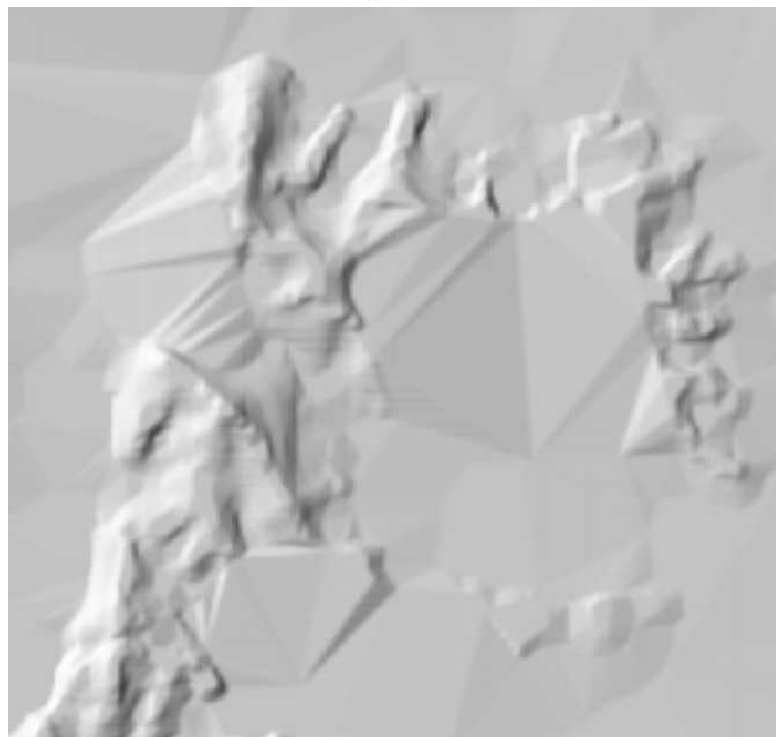
제작된 DEM의 정확도를 가장 쉽게 확인하는 방법은 음영기복도(Shaded Relief Image)를 제작하여 육안 검수를 시행하여 오류를 확인하는 방법이라고 할 수 있다. 음영기복도란 지형의 표고에 따른 음영효과를 시각적으로 표현함으로써 2차원 표면의 높낮이를 3차원으로 보이게 한 영상 또는 지도를 말한다. 2차원 평면 영상에서 착시현상을 이용해 지형의 높낮이를 표현하므로 2.5차원이라고도 한다.

DEM에서 오류가 주로 발생하는 현상으로는 절토, 성토 및 단지 조성 등의 인공적인 지형 변화로 인한 오류와 홍수 재해 등의 자연적인 지형 변화로 인한 오류 등 사업 시기와 자연적인 지형 변화에 의한 오류로 이는 DEM의 구축 절차상 도로, 교각 등 불연속 경계 처리에 대한 오류들을 음영기복도를 통해 육안으로 오류를 수정할 수 있다.

또한, 수치지형도의 등고선은 축척에 따라 구축되는 높이 간격(주곡선)의 높이 차이가 있으나 축척이 다르더라도 주곡선의 높이 간격은 일정하므로 특정 지점에서 등고선의 높이 값에 급격하게 변화되었다면 수치지형도의 등고 값 오류를 의심해야 한다. 표고점은 수준점에서 측정한 높이가 정확하게 나타나 있는 지점으로 지역의 높이를 알기 위해서 뿐만 아니라 등고선으로 표현이 부족한 부분, 산 정상, 평면 지점의 일정 간격 표현을 위해 생성한다. 따라서 <그림 3-5>처럼 표고점의 경우 표고점들이 인접한 지점에 다른 표고점들이 높이 값에 심한 차이를 보이면 또한 오류를 의심해야 한다. 이처럼 DEM에서 제작된 DEM의 품질을 검수하기 위해 음영기복도는 유용한 검수 방법이라고 할 수 있어 본 연구에서 DEM의 제작 품질은 음영기복도를 통한 육안 검수를 통해 품질을 평가한다.



<표고 값 오류의 예>



<등고 값 오류의 예>

자료: 저자 작성

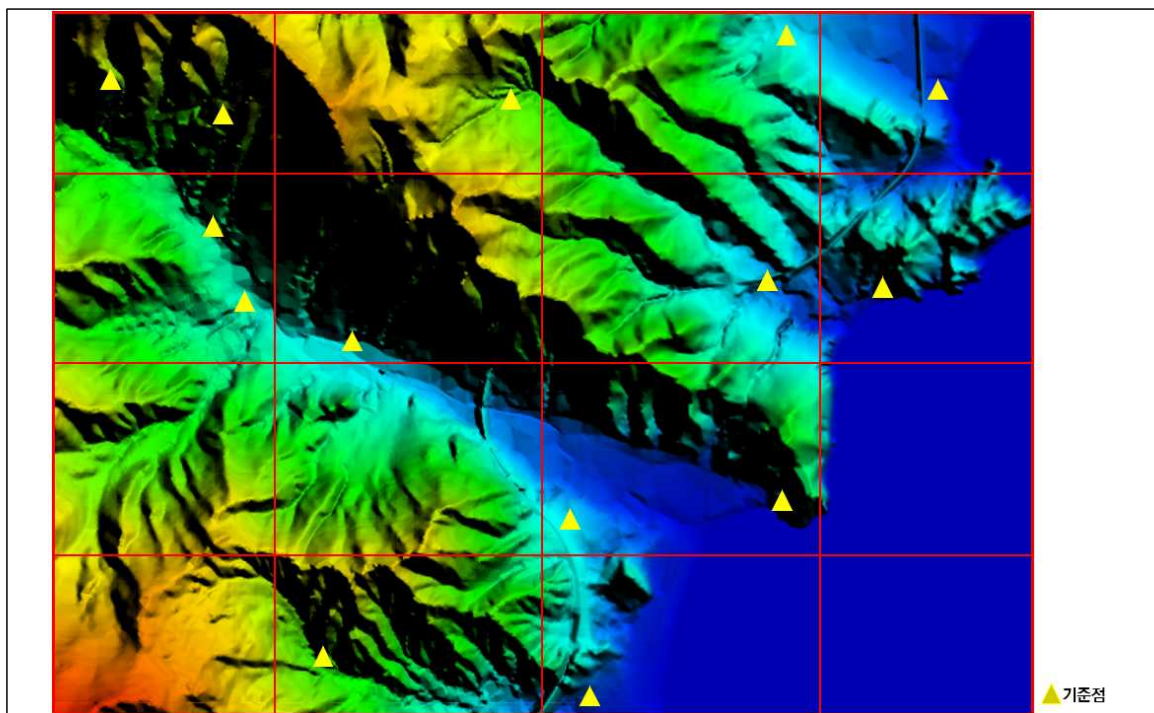
<그림 3-5> 음영기복도를 이용한 DEM 검수의 예

나) DEM 정확도 검수 방안

DEM 정확도 검수는 절대정확도와 상대정확도로 구분할 수 있다.

절대정확도는 <그림 3-6>에서 보는 것과 같이 기준점 등을 이용하여 관측한 위치 좌표(x, y, h) 값과 제작된 DEM의 동일 지점의 높이 값을 비교하여 정확도를 평가하는 방법이다.

절대정확도를 평가하기 위해서는 제작된 DEM 전반에 검사점을 위한 GNSS 측량점이 고루 분포되어야 제작된 성과물의 전반적인 절대정확도 평가가 가능하나 본 연구지역인 극지역의 특성상 기준점이 제한적으로 분포되어 있으면 제작지역 전체의 전반적인 평가가 이루어지지 못할 가능성이 있다는 점을 고려하였다.



자료: 저자 작성

<그림 3-6> DEM 절대정확도 평가 방법

절대 위치정확도 평가 평균, 표준편차 및 RMSE 방법을 이용하여 위치정확도를 비교할 수 있다.

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - y_1)}{n} \quad <3-8>$$

$$STD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=n} [(x_i - y_i) - ME]^2} \quad <3-9>$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} [(x_i - y_i)^2]}{n-1}} \quad <3-10>$$

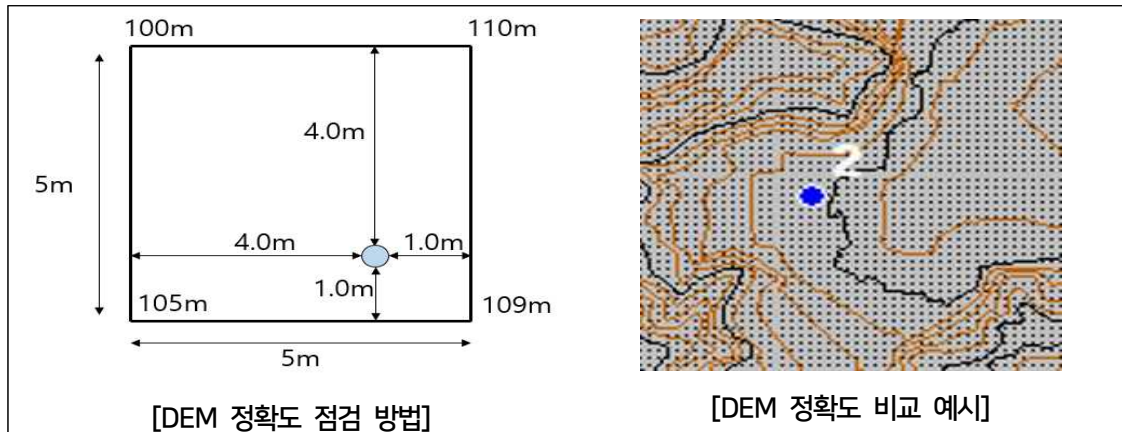
$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (|x_i - y_i|)}{n} \quad <3-11>$$

여기서 n 은 검사점 숫자, x 는 기준점 값, y 는 DEM 값을 의미한다.

상대 정확도 평가는 등고선과 표고점을 이용하여 제작된 DEM이 원시 자료(등고선, 표고점)를 통해 제작된 결과와 어느 정도 오차가 존재하는지에 대한 검수 방안이다. 상대 정확도 평가는 원시 자료의 평면 위치의 높이 값과 제작된 DEM과 같은 평면 위치에서의 높이 값을 비교하는 방법으로 진행하게 된다.

DEM은 정표고로 변환된 DEM을 이용하여 격자 자료로 제작한다. 격자 자료는 사용 목적 및 정밀도를 고려하여 불규칙삼각망(TIN, Triangulated Irregular Network), 크리깅(Kriging)보간 및 공삼차보간 등 항공레이저측량 작업규정([국토지리정보원고시 제2016-429호] 제44조(DEM 규격 및 정확도))에 규정된 정확도를 확보할 수 있는 보간 방법으로 제작한다.

DEM의 정확도 검수는 DEM 제작에 사용된 수치지형도 및 입체영상 등 원 데이터와 제작된 DEM의 동일한 평면위치(x, y)에서 표고값(h)의 차이를 계산하여 제작된 DEM의 높이 값이 <그림 3-7>와 같이 원 데이터의 높이 값이 제대로 반영되었는지 확인하는 작업이라고 할 수 있다.



자료: 저자 작성

<그림 3-7> DEM 상대정확도 점검 방법

DEM의 격자 규격에 따른 수직 위치정확도의 한계는 항공레이저측량 작업 규정에 정확도가 규정되어 있어 본 연구에서는 해당 작업 규정의 정확도에 따라 검수 기준을 정립하였다. DEM 5m × 5m 격자간격의 위치정확도는 <표 3-5>과 같다.

<표 3-5 > DEM의 수직 위치정확도

| 항목 | 5m × 5m |
|---------------|---------|
| 원 수치지형도 제작 축척 | 1/5,000 |
| RMSE | 1.0m 이내 |
| 최대오차 | 1.5m 이내 |

자료: 항공레이저측량 작업규정(국토지리정보원, 2016)

최종 DEM 위치정확도 검수를 위해 실측된 기준점 및 검사점과 DEM과의 표고 차이를 이용하여 최댓값, 최솟값, 평균, LE95% 및 RMSE를 구하여 수직 위치정확도를 기준으로 <표 3-6>의 양식을 이용하여 정확도를 점검한다.

<표 3-6> DEM 검사표 예시

| 번호 \ 항목 | 기준점 · 검사점 좌표 | | | DEM (z ₁) | V(dz ₁) |
|---------|--------------|---|--------|--------------------------|---------------------|
| | x | y | 정표고(z) | | |
| 01 | | | | | |
| 02 | | | | | |
| ⋮ | | | | | |
| | | | | 평균 | |
| | | | | 최대 | |
| | | | | 최소 | |
| | | | | RMSE | |
| | | | | LE95 | |

자료: 저자 작성

다) 극지역에 활용 가능한 DEM 현황

극지역에서 활용 및 비교를 할 수 있는 DEM은 상업용 DEM과 공개용 DEM으로 구분할 수 있다. 먼저 사업용 DEM을 살펴보면 Elevation30으로 해당 DEM은 Airbus Defense와 French Survey and Mapping Agency IGN(Institut Géographique National)에 의해 협력 개발된 SPOT-5 광학 위성 데이터로부터 파생된 DEM 제품이다. SPOT DEM은 30m 해상도 DSM(Digital Surface Model)만 포함되어 있는 DEM이라고 할 수 있다. WorldDEM은 Airbus Defense & Space와 독일 항공우주센터(DLR) 사이의 공공-민간 파트너십으로 실현된 DSM으로 이 제품은 TanDEM-X 임무(DEM을 위한 TerraSAR-X 추가 기능)을 기반으로 한다. WorldDEM은 이미 전 세계에 편집되지 않은 DEM으로 제공되며, 아프리카와 동남아시아의 주요 지역에서 편집되었다. Vricon DSM 0.5은 디지털 글로브의 고해상도 위성 이미지 보관소의 상업용 광학 위성 이미지에서 파생된 0.5m 해상도의 DSM이다.

공개용 DEM으로는 Aster GDEM v2은 2011년 10월 17일 NASA와 METI/Japan Space Systems에 의해 제공되었으며 여러 시기의 Terra 위성에 탑재된 ASTER 기기에 의해 수집된 광학

ASTER 영상의 스테레오 상관관계를 통해 생성되었다. 현재 사용 가능한 ver2는 평탄화 측면에서 상당한 개선을 보여준다. ALOS WORLD 3D 30m DSM은 일본 항공우주국(JAXA)이 2006년부터 2011년까지 ALOS Prism Triple-Stereo 위성 데이터를 사용하여 제작하였다.

극지역에서 활용이 가능한 DEM은 <부록 3-1, 3-2>로 자세히 정리하였다.

상업용 DEM의 상대적 이점은 상업용 DEM의 경우 제품 품질에 대한 보증이 이루어지고, 인공 지물 및 데이터 누락 오류 등이 대부분 제거되었으며, 일반적으로 DEM의 격자간격의 공간해상도가 높고 정확도가 높다는 점이다.

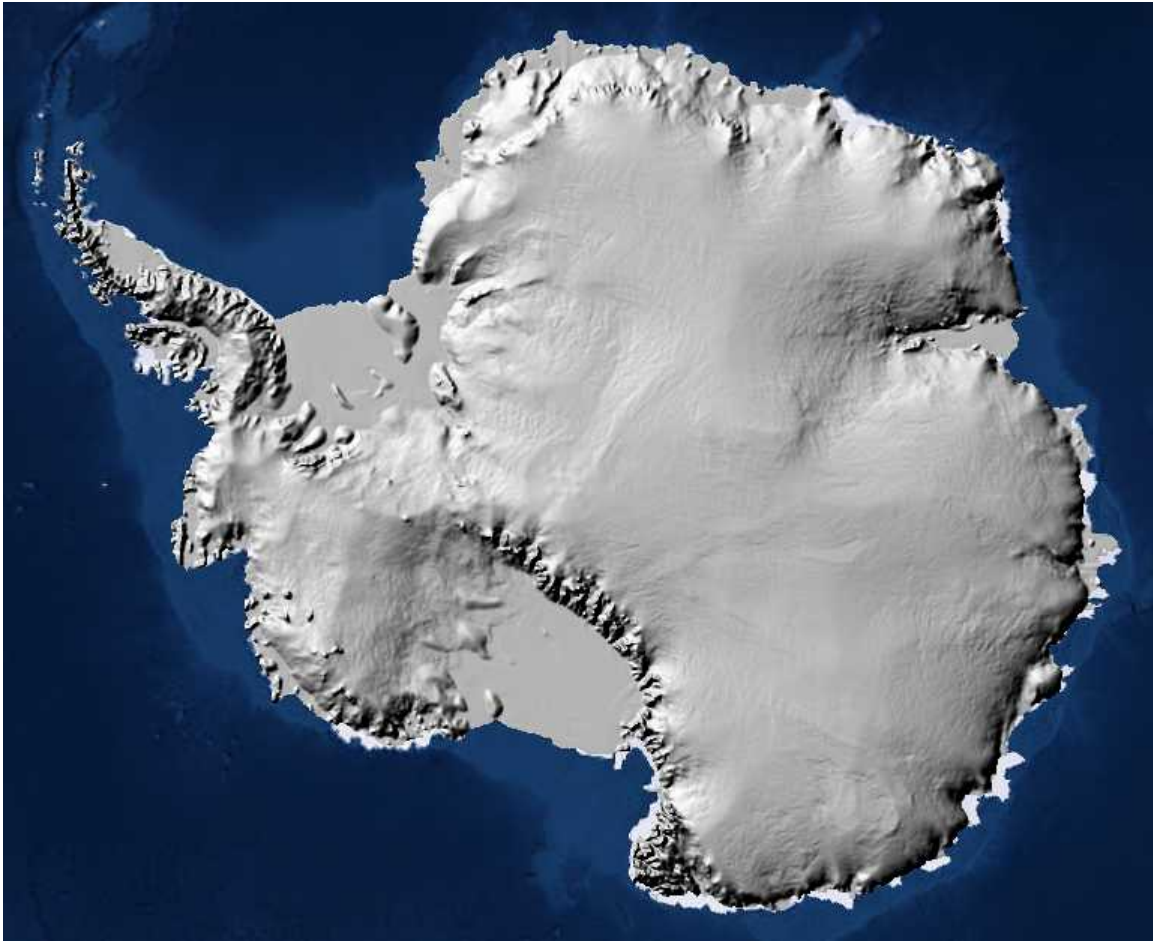
한편, 상업용 DEM의 주요 상대적 단점은 최종 사용자의 요구사항(예: 다중 사용, 파생 제품 등)을 항상 충족하지 못하는 제품 구매에 따른 라이선스 비용과 라이선스 조건이다. 표준 라이선스 조건은 일반적으로 광범위한 사용 사례와 사용자 그룹에 제한을 두지는 않지만, 일부 제품군은 개별 사용자 지정 라이선스 조건만 제공되어 광범위한 사용이 어렵다.

반대로 공개용 DEM의 사용 데이터의 출처 등을 명시한다면 사용 조건에 제한이 없어 다양한 분야에 적용이 가능하다는 장점이 있으나, 상업용 DEM에 비하여 공간해상도가 낮고 시간의 변화에 따른 지형 변화 요소 적용 등에 한계가 존재한다는 단점이 존재한다.

라) 남극지역 비교용 REMA DEM

본 연구에서는 남극 지역 DEM 자료 활용에 가장 많이 활용되고 있으며, 공개용 DEM보다 해상도와 정확도가 향상된 REMA 을 사용하여 비교하고자 한다.

REMA는 The Reference Elevation Model of Antarctica를 의미하며 남극 대륙 전체에 대해 고해상도 8m의 지형지도를 제공한다. REMA는 WorldView-1, WorldView-2 및 WorldView-3의 데이터를 포함한 서브미터급 공간해상도(0.32 ~ 0.5m)의 DigitalGlobe 위성 이미지 쌍에서 추출한 수십만 개의 개별 입체 DEM으로 제작되었다. 남극 지역의 98%를 제작하였으며 남위 최대 88도까지 제작하였다.



자료: <https://livingatlas2.arcgis.com/antarcticdemexplorer/>

<그림 3-8> 남극 REMA DEM 제작지역 현황

<표 3-7> REMA 수치표고 데이터 사양

| | |
|--------|----------------------|
| 자료 포맷 | 32bit GeoTIFF |
| 해상도 | 8m |
| 좌표계 | WGS84(EPSG:3031) |
| 수직 좌표계 | WGS84 타원체 높이 |
| 높이 단위 | Meter |
| Null 값 | 호수, 강 및 기타 수계(-9999_ |
| 메타데이터 | Shp 파일에 포함 |
| 정확도 | 3.5m(CE90%) |

자료: The Reference Elevation Model of Antarctica(2018)

3) 정사영상 검증방안

위성영상 이미지는 지형·지물의 정확한 위치를 나타내지 못하기 때문에 지도로써 활용을 못 한다. 이것은 투영방식에서 근본적인 원인이 있다. 지도는 정사투영인 데 비해 사진은 렌즈의 중심을 통한 중심투영으로 투영의 중심점에서는 정사의 형태를 띠지만, 렌즈의 중심에서 멀어질수록 외곽으로 지형·지물의 상이 높게 된다. 그리고 지형의 기복이 있는 경우 기복에 따라 이미지의 차이가 나타나는데 이것을 변위(displacement)라 한다. 또한 카메라의 초점거리와 인공위성의 지상으로부터의 고도와 비율로서 정의되는 위성영상의 축척은 사진상의 경사와 높이의 변화로 인하여 카메라 초점과의 거리가 다르므로 모든 점의 축척이 같지 않다.

따라서 위성영상은 이미지 전체에 대하여 일정한 축척을 가지고 있지 않기 때문에 변위제거 과정을 거쳐야 한다. 이렇게 위성영상에 나타나는 변위를 제거함으로써, 사진상에 나타나는 상이 일반지도에서 보는 것처럼 사진상의 모든 점에서 축척이 일정하여지도록 만든 사진을 정사사진이라 하며, 이 사진을 컴퓨터에서 사용이 가능한 데이터로 만든 것을 수치정사사진 이라고 한다.

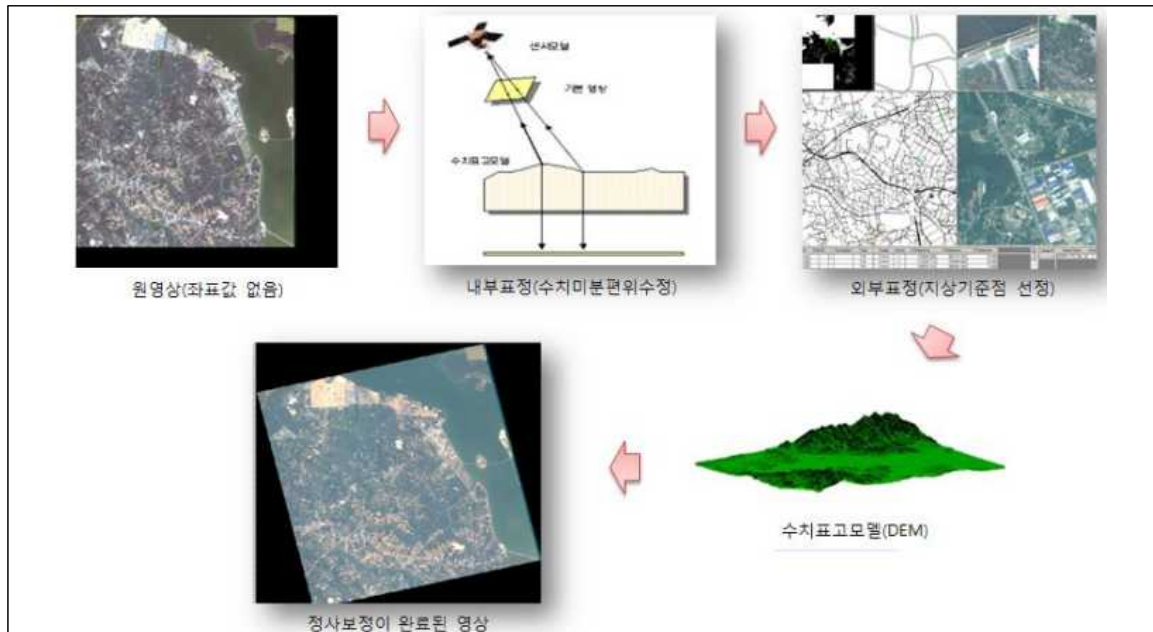
기복변위를 제거하여 정사영상을 제작하는 과정을 미분편위수정(differential rectification)이라 부르고, 미분편위수정 기법은 광학적 미분편위수정(optical differential rectification) 방법과 수치적 미분편위수정(digital differential rectification) 방법으로 나뉜다. 본 연구에서 정확도 검증은 DEM을 이용한 수치적 미분편위수정 방법을 이용하여 정사영상을 제작하고 제작된 정사영상에 대한 정확도 검증을 수행하였다. 수치적 미분편위수정 기법은 인공위성에서 취득된 영상을 수치데이터와 DEM을 이용하여 정사투영 영상을 제작하는 방법이다.

정사영상 품질을 좌우하는 요소는 크게 3가지로 나눌 수 있다. 먼저 원 영상의 품질 및 해상도를 좌우하는 공간해상도(GSD, Ground Sample Distance)이다. 본 연구에서 사용되는 영상의 공간 해상도는 0.5m로 고정되어 영상 촬영 각의 변화에 따라 시뮬레이션할 수 있다.

두 번째로는 영상의 표정 정확도에 영향을 줄 수 있는 내부표정 및 외부표정 요소로 먼저 내부표정 요소는 위성영상의 카메라 정보는 시스템적 표정 요소로 근래 위성영상들은 RFM 모델을 기반으로 하는 RPC 파일을 제공하여 해당 파일을 정사영상 처리 과정에서 선택하여 입력함으로써 내부표정을 수행할 수 있다. 외부표정 요소 정확도는 기준점의 선점과 처리 과정에 따라 정확도가 좌우되는 항목으로 기준점 위치정확도, 영상에서의 일치성, 기준점의 개수와 분포도에 따라 다르게 나타날 수 있다.

마지막으로 대상물의 높이에 따라 발생하는 기복 변위를 보정하는 변위 과정에서의 정확도에

영향을 줄 수 있는 지형 모델의 정확도라고 할 수 있다.



자료: 저자 작성

<그림 3-9> 수치적 미분편위수정 기법을 이용한 정사보정 과정

가) 정사보정 과정

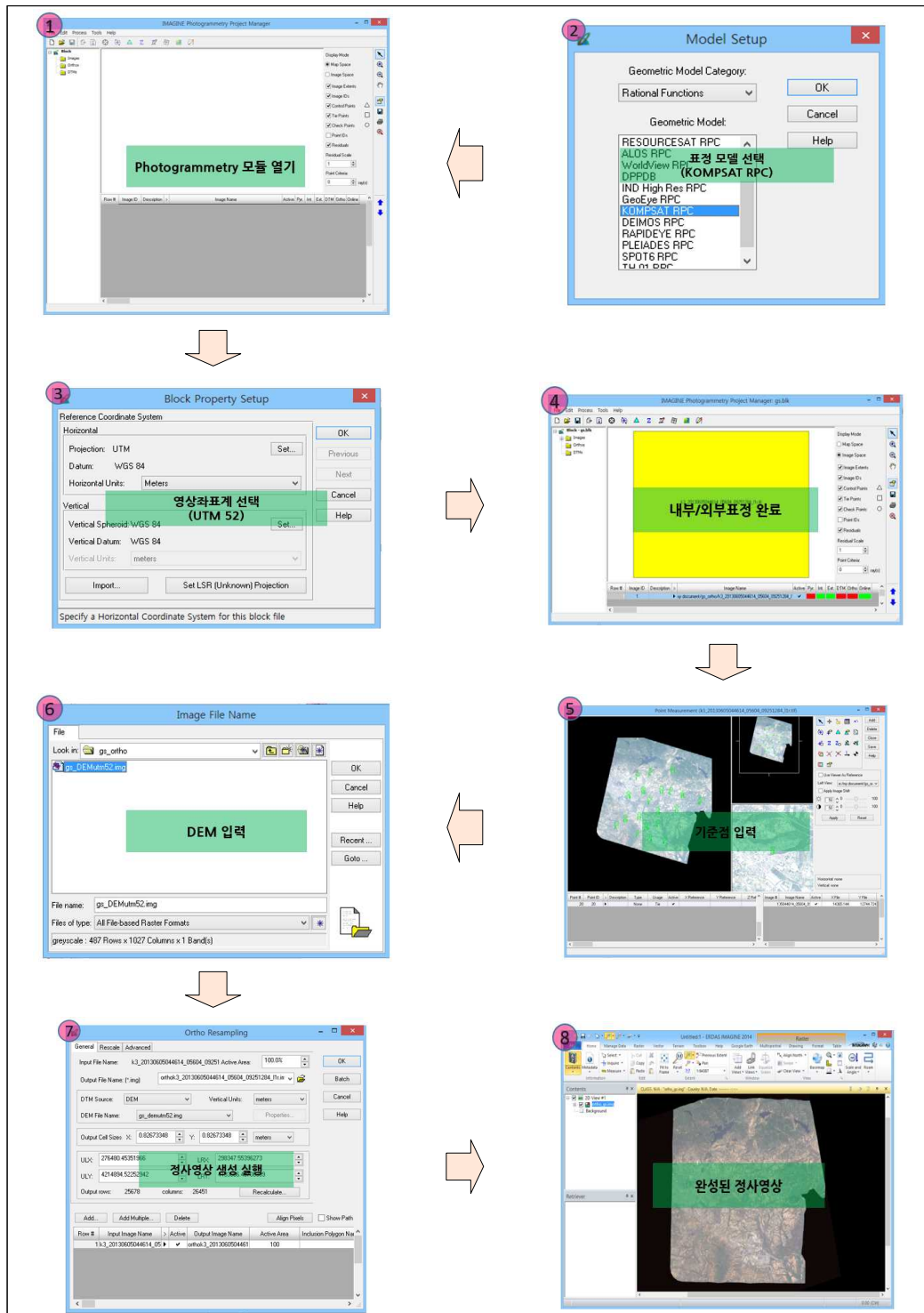
정사보정 과정은 크게 내부표정, 외부표정, 화소재배열(Resampling) 과정으로 구분되어 진다. 내부표정은 영상 촬영 당시 카메라의 위치, 초점거리, 촬영방식 등의 정보를 입력하여 센서 모델식을 통해 중심투영방식 촬영으로 인한 기복 변위를 제거하는 과정을 말한다. 본 연구에 사용된 아리랑 3A 영상의 경우 내부표정 정보를 RFM(Rational Function Model) 형식의 파일 형태로 제공하고 있다. 외부표정은 기존에 생성한 참조자료를 기반으로 지상기준점을 선정하는 과정으로서 영상에 실 좌표값이 부여된다. 내부표정과 외부표정이 끝나면 화소 재배열방식에 의하여 화소 재배열을 거쳐 최종적으로 보정이 완료된 영상을 생성하게 된다. 본 연구에서 수행한 정사보정 처리 흐름 과정은 <그림 3-10>과 같다.

정사영상을 처리할 수 있는 원격탐사 소프트웨어는 다양하게 존재하고 있으나, 본 연구에서는 위성영상처리에 일반적으로 많이 사용하고 있고, GUI(Graphic User Interface)가 편리하게 구성된 ERDAS Imagine(HEXAGON Geospatial 社)의 IMAGINE Photogrammetry 모듈을 이용하여 정사보정을 수행하였다. <그림 3-11>은 ERDAS Imagine의 정사영상 처리 과정이다.



자료: 저자 작성

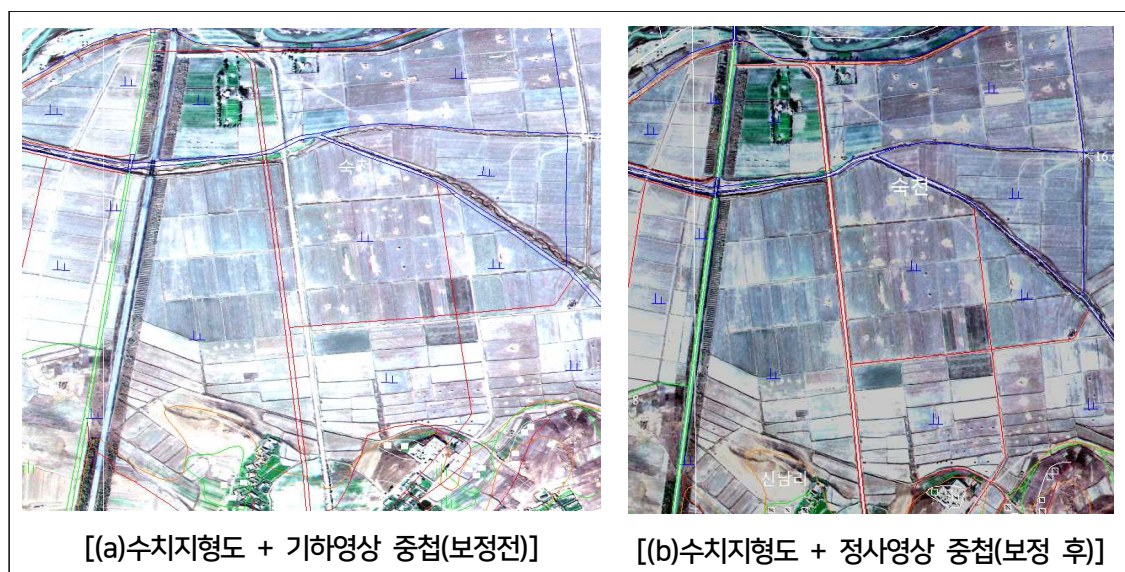
<그림 3-10> 정사보정 흐름도



자료: 저자 작성

<그림 3-11> ERDAS Photogrammetry에서 정사영상 처리

정사 보정을 시행하기 전 영상과 후 영상을 수치지형도와 중첩하여 비교하면 <그림 3-12>와 같이 정확도가 향상된 것을 확인할 수 있다<그림 3-12>(a). 영상은 정사보정 전 영상 수치지형도를 중첩한 영상이고, <그림 3-12>(b) 영상은 정사보정 후 수치지형도와 중첩한 영상이다. 그림에서 보는 것과 같이 정사보정 전 영상과 정사보정 후 영상의 평면 위치정확도 변화를 알 수 있다.



자료: 저자 작성

<그림 3-12> 정사보정 전후 영상과 수치지형도 중첩 비교의 예시

나) 정사영상 정확도 검증 방안

정사영상의 정확도 검증은 영상지도제작에 관한 작업 규정 [국토지리정보원 고시 제시 제 2019-147호(2019.7.01.)]을 참고하여 검증을 수행한다.

제작된 정사영상과 참조자료인 1/5,000 및 1/1,000 수치지형도 중첩을 통해 상대 정확도를 비교하였다. 정확도 검증은 국토지리정보원에서 기준점 성과를 이용하여 구축한 1/5,000 수치지형도를 기준으로 수평 위치에 대하여 검증을 수행한다. 절대정확도를 평가하기 위해서는 제작된 정사영상에서 관측점을 선정한 후 GNSS(Global Navigation Satellite System)를 이용하여 현장 검측을 통하여 평면 위치값을 비교하는 것이 가장 정확한 방법이지만 본 연구에서는 사업 기간 및 대상 지역에 대축척 수치지형도 등이 존재하는 이유 등을 고려하여 대축척 수치지형도를 이용한 상대 정확도 평가를 시행하는 데 초점을 맞추었다.

영상의 검수는 전체 영역에 대하여 균등 분할을 통해 상대 정확도의 신뢰성을 증대시켰으며 평면 위치의 정확도 검수 결과는 <표 3-8>에서 보는 바와 같이 정확도 검수표를 이용하여 정사영상 정확도를 평가하였다.

정사영상은 2차원 영상으로 평면에 대한 평면 위치(x, y)의 값만 가지고 있고 높이 값(z)을 가지고 있지 않기 때문에 높이 값에 대한 정확도 평가는 불가능하므로 평면 위치에 대한 정확도 평가만 하였다.

<표 3-8> 정사영상 정확도 평가표의 예시

| 항목 번호 | 수치지형도 | | 정사영상 | | 잔차 | | |
|----------|-------|---|----------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|
| | x | y | x ₁ | y ₁ | dx ₁ | dy ₁ | V(dx ₁ y ₁) |
| check 01 | | | | | | | |
| check 02 | | | | | | | |
| ⋮ | | | | | | | |
| ⋮ | | | | | | | |
| | | | | | | 평균 | |
| | | | | | | 최대 | |
| | | | | | | 최소 | |
| | | | | | | RMSE | |
| | | | | | | CE95 | |

자료: 저자 작성

2. 모의영상 기반 공간정보 정확도 평가

가. 정확도 평가 개요

본 연구에서 수치지형도 정확도 평가를 이용한 모의 영상은 영상보정 후 보정된 영상을 검증할 수 있는 접근 가능한 서울 및 대전 2개 지역을 선정하였다. 극지역의 경우 2019년도 TerraSAR-X 기준점을 이용하여 대상 지역에 1/5,000 수치지형도를 제작한 지역을 선정하여 정확도 평가를 수행하였다. 국토위성의 공간해상도와 촬영방식이 유사한 모의 영상을 기반으로 하는 공간정보 구축 및 정확도 평가를 위해 선택하여 사용하였다. 정확도 평가는 영상보정 이전 영상, ICESat-2 자료를 이용하여 보정한 영상과 무기준점을 이용하여 보정한 영상을 사용하였다.

DEM 정확도 평가는 장보고과학기지 일대 모의 영상을 이용하여 보정한 영상을 수치도화장비를 이용하여 등고선을 제작한 후 제작된 등고선을 활용하여 DEM으로 변환한 후 정확도 평가를 수행하였다. 평가 대상 DEM은 2019년도 사업에서 제작한 DEM, ICESat-2 및 남극 전체 지역에 8m급 격자간격으로 구축된 REMA(The Reference Elevation Model of Antarctica)를 활용하였다.

<표 3-9> 수치지형도 정확도 검증에 활용된 모의영상 목록

| 정확도 평가지역 | 모의 영상 | 비고 |
|----------|---------------------------------------|----|
| 서울 | K3A_20151211044753_03933_00020757_L1R | |
| | K3A_20151211044854_03933_00023801_L1R | |
| 대전 | K3A_20151018044951_03117_00314395_L1R | |
| | K3A_20160311043353_05308_00353224_L1R | |
| 장보고 과학기지 | K3A_20160325044400_05520_00019326_L1R | |
| | K3A_20160325044400_05520_00031375_L1R | |
| | K3A_20160325044536_05520_00019188_L1R | |
| | K3A_20160325044536_05520_00031258_L1R | |

자료: 저자 작성

나. 수치지형도 정확도 평가

1) 서울지역

수치지형도 정확도 평가의 가장 중요한 공정은 수치도화 작업이라고 할 수 있다. 도화 공정은 수치지형도를 제작하는 가장 첫 공정이며 수치지형도의 등고선과 표고점을 이용한 DEM과 정사영상 제작에 활용되기 때문에 모의 영상을 기반으로 하는 수치지형도 정확도 평가하는 중요 단계라고 할 수 있다.

수치지형도의 정확도 평가는 평면 위치와 높이 위치정확도 평가를 수행하였으며 정확도 평가의 비교 대상 자료는 25cm 항공사진을 기반으로 작성된 국토지리정보원의 1/5,000 도화 파일을 이용하여 평면 및 높이 정확도를 평가하였다. 또한 평면정확도의 경우 현재 제작된 가장 대축척 지도인 1/1,000 정위치 편집 자료를 이용하여 평면정확도 평가를 수행하였다.

평면과 표고 정확도 평가는 정확도가 보정된 입체시가 가능한 모의 영상을 수치도화기에 세팅한 후 1/5,000 도화 파일을 중첩해서 모의 영상에서 판독이 명확한 시설물(건물)을 대상으로 3차원 도화를 수행한 후 결과를 비교하였다. 정확도는 관측값이 <그림 3-13>에서 보는 것과 같이 한 곳에 집중되지 않도록 47개의 검사점을 모의 영상에 고루 분포되도록 하였다.

모의 영상 입력 시 별도의 기준점 및 Tie 점 보정 등 AT(Aerial Triangulation, 항공삼각측량) 작업은 사용하지 않고, 모의 영상과 연구진에서 영상보정을 통해 갱신된 RPC 파일만을 이용하여 입체시 가능 여부, 시차 발생 여부를 확인하였다. 두 조건에 문제가 없는 것으로 확인되면 입체시를 통하여 같은 비교 대상 시설물을 선정하고 3차원 묘사 결과를 토대로 정확도 평가를 수행하였다.

모의 영상에서 제작한 건물은 <표 3-21>과 같이 1/5,000 및 1/1,000 축척의 정위치 파일과 중첩하여 평면정확도 평가를 수행하였다.



자료: 저자 작성

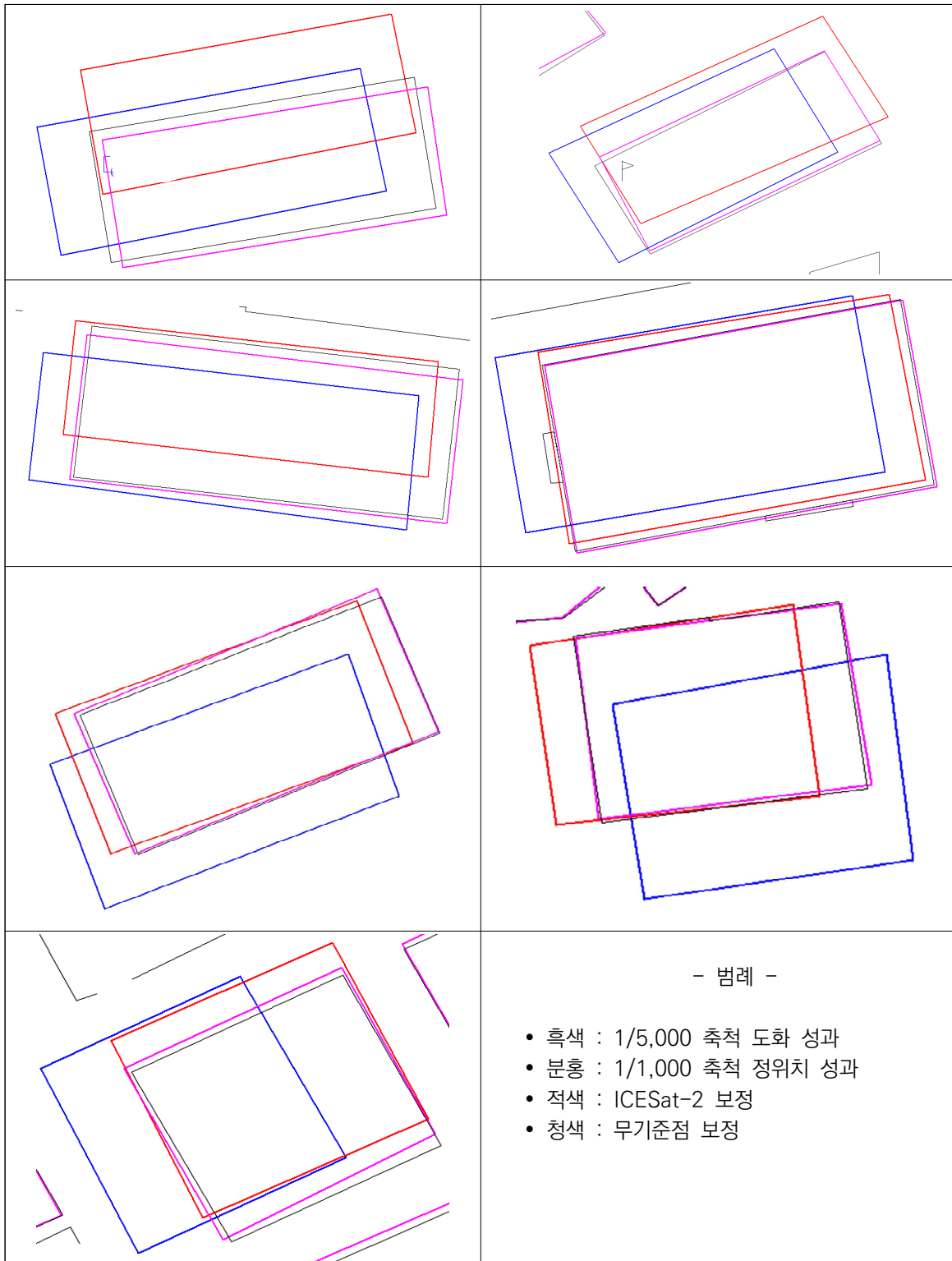
<그림 3-13> 서울지역 입체시 모의영상에서 검사점 분포도



자료: 저자 작성

<그림 3-14> 비교 대상 지역 1/5,000 도화 성과(건물 레이어)

<표 3-10> 서울지역 검수 대상 시설물 도화 결과 중첩(일부)



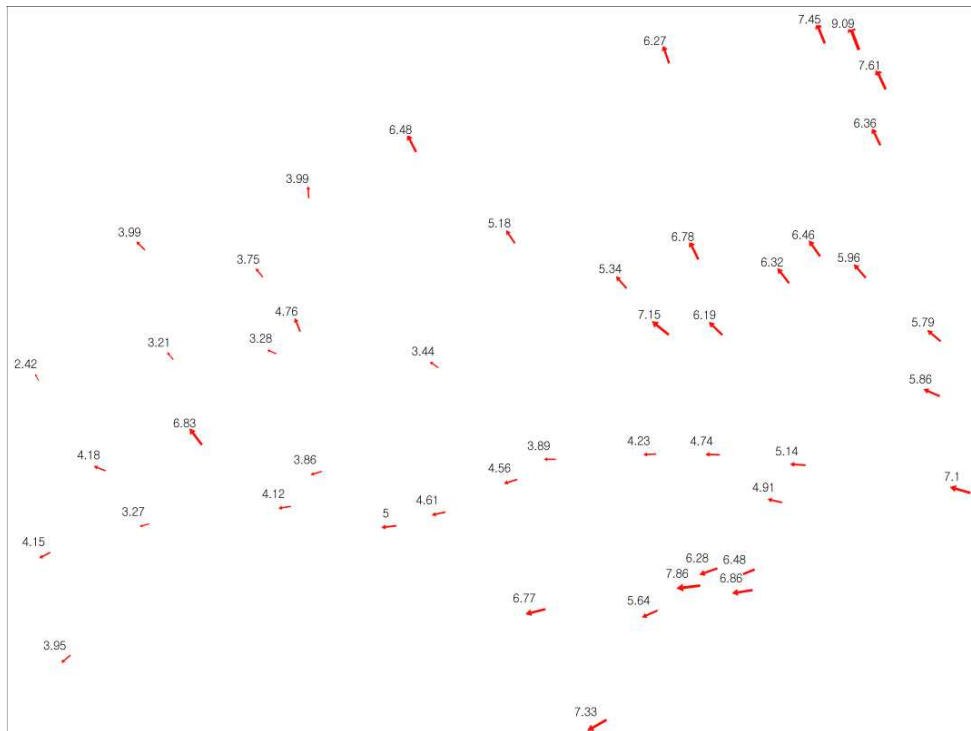
자료: 저자 작성

정확도 평가 결과를 정리하면 다음과 같다.

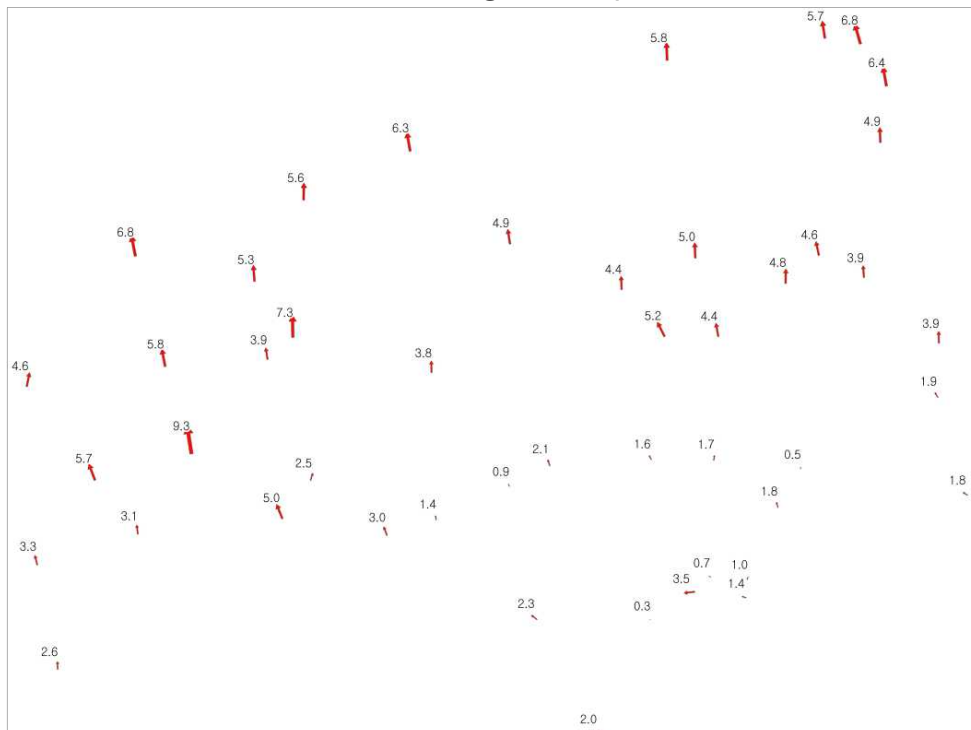
첫 번째로 일반 기하보정만 처리하여 제공된 좌우 모의 영상은 기준점 및 Tie 점 처리를 위한 별도의 AT 작업을 수행하지 않고 위성영상과 제공된 RPC 파일만을 이용하여 수치도화기에 입력 입체시 여부를 평가한 결과 일반 기하보정된 모의 영상은 좌우 영상 간의 과도한 시차로 인하여 입체시가 불가능하며 이로 인하여 입체시 기반의 3차원 도화 작업이 불가능하여 정확도 평가는 불가능하였다. 따라서 일반 기하보정된 영상은 도화 성과를 활용한 수치지형도 정확도 평가 대상에서 제외하였다.

두 번째로 검증 대상 지역에서 다수의 위성영상을 이용하여 무기준점 방법으로 보정한 영상은 수치도화장비에서 입체시가 가능하였으며 시차 발생도 현저히 줄어든 것을 확인하였다. 무기준점 보정 모의 영상과 1/5,000 수치도화 성과를 비교한 결과는 <표 3-11>에서 보는 것과 같이 평면 RMSE는 5.75m, 높이 RMSE는 6.27m로 나타났다. <표 3-12>에서와 같이 1/1,000 데이터와 비교한 결과는 평면 RMSE는 5.70m로 1/5,000 성과와 거의 같은 값으로 나타났다. 무기점을 활용한 보정 영상의 오차 벡터를 보면 오차 방향은 서쪽과 북서쪽으로 나타났으며 영상의 우상단 부분의 오차량이 다른 지역에 비하여 상대적으로 크게 나타났다.

마지막으로 ICESat-2 자료를 이용하여 보정된 RPC 정보를 사용하여 수치도화기에 입력한 결과 무기준점 방법을 이용하여 보정 영상과 같이 3차원 도화를 위한 입체시가 가능하였으며 좌우 영상 간에 시차도 거의 발생하지 않는 것을 확인하여 정확도 평가를 수행할 수 있었다. ICESat-2 자료를 활용하여 보정한 결과와 1/5,000 수치도화 성과와 비교한 최종 결과는 평면 RMSE는 4.38m, 높이 RMSE는 2.17m인 것으로 나타났다. 1/1,000 데이터와 비교한 결과의 평면 RMSE는 4.29m로 1/5,000과 비교하였을 때 거의 동일한 값으로 나타났다. ICESat-2 자료를 활용하여 보정한 오차 벡터를 보면 영상의 하단 부분의 오차량이 영상의 상단 부분보다 적은 것으로 나타났고, 전체적인 오차 경향은 대체로 북쪽으로 발생한 것으로 확인되었다.



<무기준점 보정의 오차 벡터>



<ICESat-2 보정의 오차 벡터>

자료: 저자 작성

<그림 3-15> 서울지역 오차 벡터

<표 3-11> 서울지역 1/5,000 수치지형도 비교 결과표

단위 : m

| ID | 1/5,000 항공사진 도화 성과 | | | 무기준점 보정 도화 성과 | | | ICESat-2 보정 도화 성과 | | | V | | | | V ² | | | |
|--|--------------------|-----------|-------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | x ₁ | y ₁ | z ₁ | x ₂ | y ₂ | z ₂ | dxy ₁ | dxy ₂ | dz ₁ | dz ₂ | dxy ₁ | dxy ₂ | dz ₁ | dz ₂ |
| 1 | 207465.62 | 542402.26 | 71.77 | 207458.79 | 542404.19 | 71.82 | 207464.08 | 542403.16 | 73.07 | 7.10 | 1.78 | 0.06 | 1.31 | 50.34 | 3.17 | 0.00 | 1.71 |
| 2 | 206968.31 | 544102.12 | 26.21 | 206962.92 | 544104.42 | 24.11 | 206967.32 | 544103.73 | 26.97 | 5.86 | 1.88 | 2.10 | 0.76 | 34.32 | 3.55 | 4.42 | 0.57 |
| 3 | 205999.09 | 548574.64 | 23.84 | 205996.3 | 548580.35 | 14.45 | 205998.94 | 548579.54 | 20.88 | 6.36 | 4.90 | 9.39 | 2.95 | 40.46 | 24.03 | 88.19 | 8.73 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 45 | 195223.48 | 546195.94 | 22.59 | 195221.1 | 546198.84 | 12.95 | 195223.15 | 546201.2 | 18.31 | 3.75 | 5.27 | 9.63 | 4.27 | 14.07 | 27.78 | 92.80 | 18.27 |
| 46 | 193150.56 | 546668.64 | 21.67 | 193147.74 | 546671.46 | 11.19 | 193149.22 | 546675.35 | 17.29 | 3.99 | 6.84 | 10.48 | 4.38 | 15.89 | 46.75 | 109.74 | 19.22 |
| 47 | 204920.98 | 546624.43 | 41.04 | 204917.28 | 546629.73 | 33.74 | 204920 | 546628.95 | 38.77 | 6.47 | 4.63 | 7.30 | 2.27 | 41.80 | 21.40 | 53.23 | 5.16 |
| <div>$RMSE = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}}$<div>CE95% = RMSE × 1.7308</div><div>LE95% = RMSE × 1.9600</div></div> | | | | | | | | | | | | | | 무기준점 보정 | | ICESat-2 보정 | |
| | | | | | | | | | | | | | | 평면 | 높이 | 평면 | 높이 |
| | | | | | | | | | | | | 평균 | 5.42 | 5.08 | 3.81 | 1.77 | |
| | | | | | | | | | | | | 최대 | 9.09 | 12.34 | 9.27 | 4.76 | |
| | | | | | | | | | | | | 최소 | 2.43 | 0.05 | 0.28 | 0.24 | |
| | | | | | | | | | | | | RMSE | 5.75 | 6.27 | 4.38 | 2.17 | |
| | | | | | | | | | | | | CE95% | 9.95 | – | 7.58 | – | |
| | | | | | | | | | | | | LE95% | – | 12.28 | – | 3.67 | |

☞ 전체 검사 결과는 부록에 수록
자료: 저자 작성

<표 3-12> 서울지역 1/1,000 정위치 데이터와 비교 결과표

단위 : m

| 항목 번호 | 1/1,000 정위치 데이터 | | 무기준점 도화성과 | | ICESat-2 보정 도화성과 | | V | | V ² | |
|--|-----------------|-----------|----------------|----------------|------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | x | y | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | dxy ₁ | dxy ₂ | dxy ₁ | dxy ₂ |
| 1 | 191339.01 | 544367.34 | 191337.55 | 544369.95 | 191339.55 | 544372.37 | 2.99 | 5.06 | 8.96 | 25.58 |
| 2 | 191844.67 | 539449.26 | 191841.53 | 539446.66 | 191844.48 | 539451.78 | 4.08 | 2.53 | 16.62 | 6.38 |
| 3 | 192435.27 | 542776.86 | 192432.07 | 542777.97 | 192433.97 | 542781.74 | 3.39 | 5.05 | 11.49 | 25.49 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 29 | 206079.84 | 549584.60 | 206075.94 | 549591.17 | 206078.05 | 549590.61 | 7.64 | 6.27 | 58.44 | 39.31 |
| 30 | 206967.64 | 544101.73 | 206962.92 | 544104.42 | 206967.32 | 544103.73 | 5.43 | 2.02 | 29.52 | 4.09 |
| 31 | 207465.26 | 542402.45 | 207458.79 | 542404.19 | 207464.08 | 542403.16 | 6.70 | 1.37 | 44.86 | 1.89 |
| $RMSE = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}}$ CE95% = RMSE × 1.7308 | | | | | | | | 무기준점 보정 | | ICESat-2 보정 |
| | | | | | | | 평균 | 5.43 | | 3.76 |
| | | | | | | | 최대 | 7.79 | | 6.35 |
| | | | | | | | 최소 | 2.99 | | 0.00 |
| | | | | | | | RMSE | 5.70 | | 4.29 |
| | | | | | | | CE95 | 9.87 | | 7.42 |

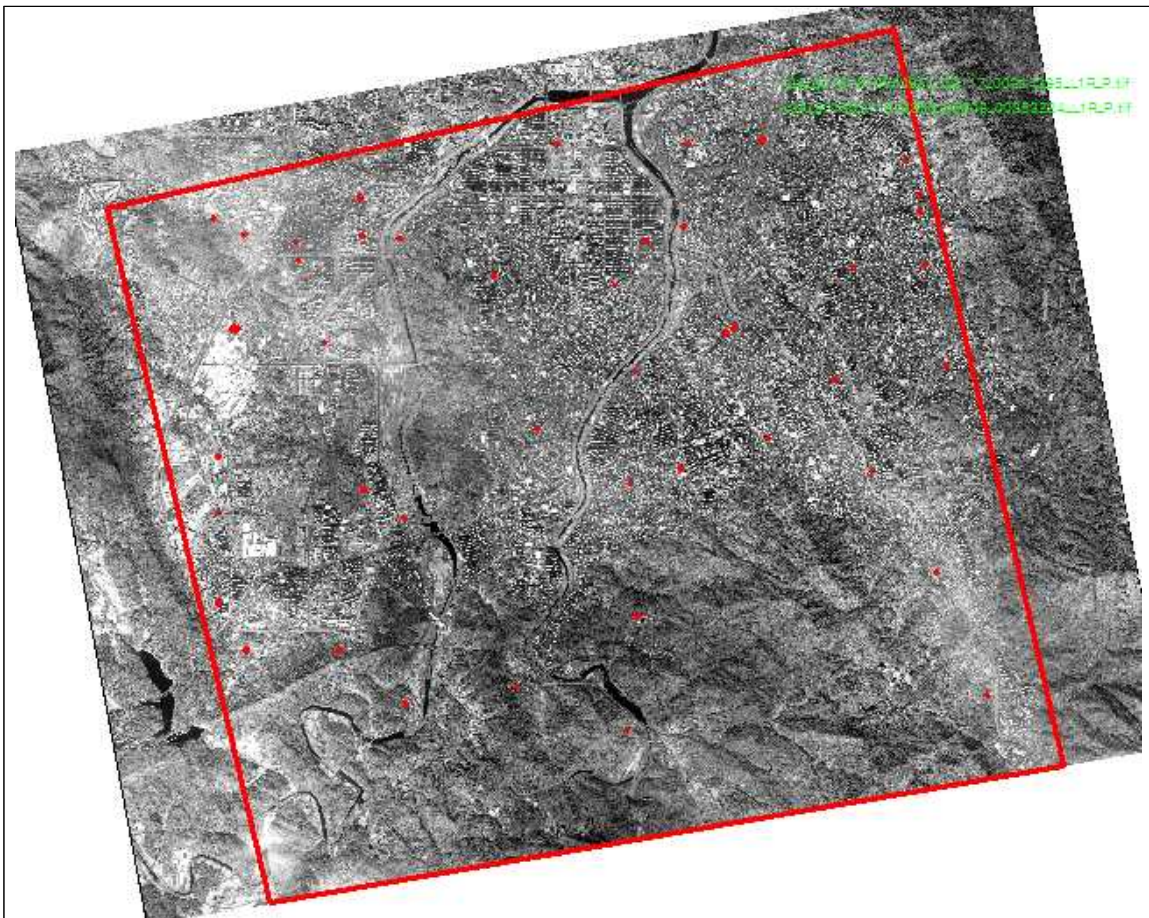
☞ 전체 검사 결과는 부록에 수록

자료: 저자 작성

2) 대전지역

수치지형도의 정확도 평가는 서울지역 정확도 평가와 같은 방법으로 수행하였다. 평면 위치와 높이 위치정확도 평가를 수행하였으며 정확도 평가의 비교 대상 자료는 25cm 항공사진을 기반으로 작성된 국토지리정보원의 1/5,000 도화 파일을 이용하여 정확도를 평가하였다. 정확도는 관측 값이 <그림 3-16>에서 보는 것과 같이 한 곳에 집중되지 않도록 51개의 검사점을 모의 영상에 고루 분포되도록 하였다.

모의 영상을 활용한 평가는 연구진에서 영상보정을 통해 수정된 RPC 파일만을 이용하여 입체시 가능 여부, 시차 발생 여부를 확인하였다. 두 조건에 문제가 없는 것이 확인되면 입체시를 통하여 같은 비교 대상 시설물을 선정하고 3차원 묘사 결과를 토대로 정확도 평가를 수행하였다.



자료: 저자 작성

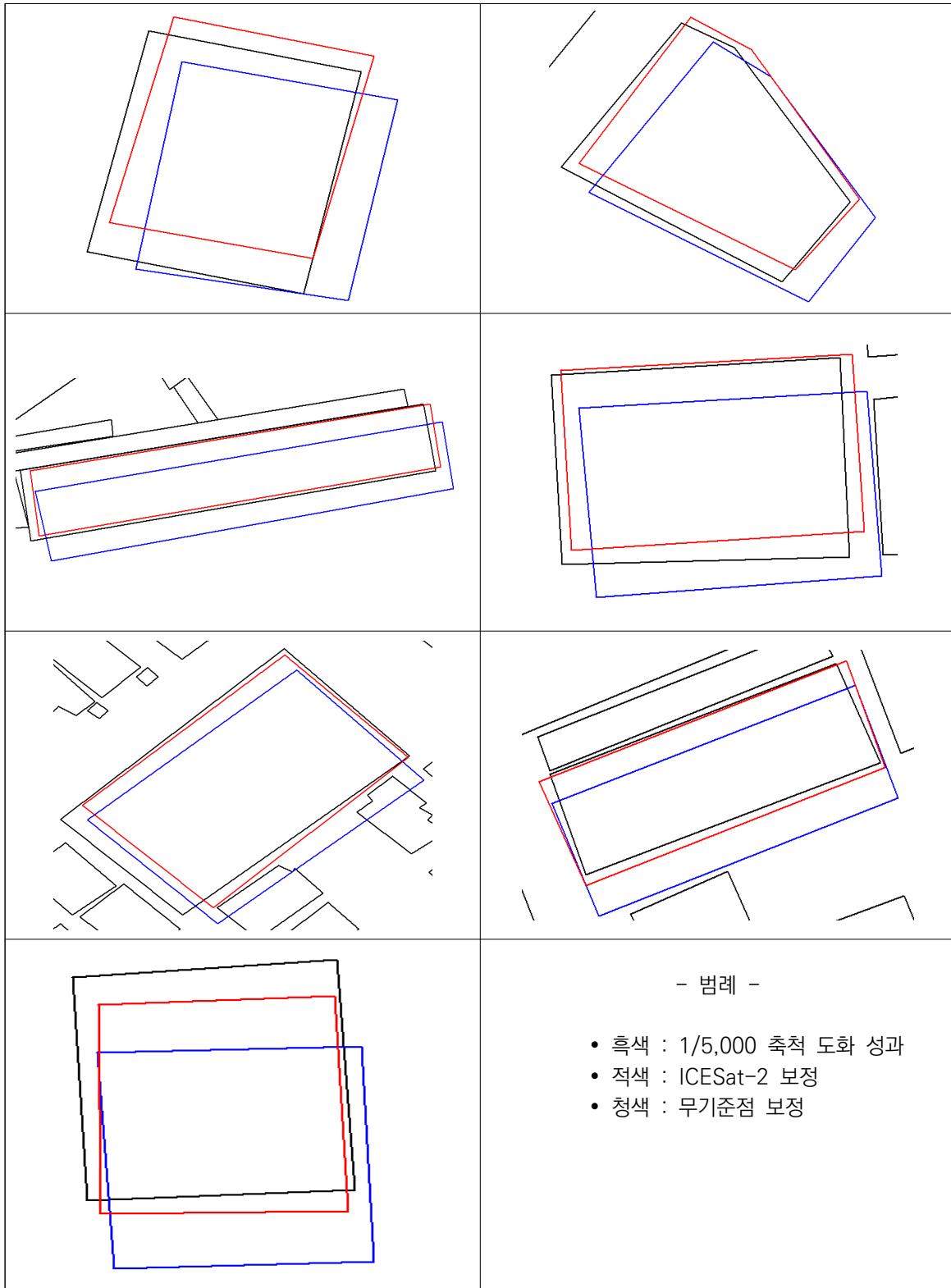
<그림 3-16> 대전지역 입체시 모의영상에서 검사점 분포도



자료: 저자 작성

<그림 3-17> 비교 대상 지역 1/5,000 도화 성과(건물 레이어)

<표 3-13> 대전지역 검수 대상 시설물 도화 결과 중첩(일부)



자료: 저자 작성

대전지역은 멀티 영상을 이용한 무기준점 보정된 RPC 파일을 이용하여 검증을 수행하였다.

검증 대상 지역에서 다수의 위성영상을 이용하여 무기준점 방법으로 보정한 영상은 수치도화기에서 입체시가 가능하였다. 무기준점 보정 모의 영상과 1/5,000 수치도화 성과를 비교한 결과는 <표 3-14>에서 보는 것과 같이 평면 RMSE는 4.17m, 높이 RMSE는 2.45m로 나타났다. 보정 영상의 오차 벡터는 오차 방향이 남동 방향으로 나타났으며 영상의 하단 부분의 오차량이 상대적으로 크게 나타났다.

ICESat-2를 활용한 보정 결과는 평면 RMSE는 1.62m, 높이 RMSE는 1.78m로 나타났으며 이를 CE95%와 LE95% 수준으로 계산하면 2.81m와 3.49m로 나타난다.



<무기준점 보정 오차 벡터>



<ICESat-2 보정 오차 벡터>

자료: 저자 작성

<그림 3-18> 대전지역 오차 벡터

<표 3-14> 대전지역 영상보정 비교 결과표

단위 : m

| 항목 번호 | 1/5,000 항공사진 도화 성과 | | | 무기준점 보정 도화 성과 | | | ICESat-2 보정 도화 성과 | | | V | | | | V ² | | | |
|---|--------------------|-----------|-------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | x | y | z | x ₁ | y ₁ | z ₁ | x ₂ | y ₂ | z ₂ | dxy ₁ | dz ₁ | dxy ₂ | dz ₂ | dxy ₁ | dz ₁ | dxy ₂ | dz ₂ |
| 1 | 228542.31 | 417438.61 | 68.82 | 228544.64 | 417435.96 | 67.08 | 228543.82 | 417438.97 | 67.51 | 3.53 | 1.74 | 1.55 | 1.31 | 12.45 | 3.03 | 2.41 | 1.70 |
| 2 | 229058.38 | 417172.94 | 73.03 | 229060.87 | 417170.74 | 69.75 | 229058.80 | 417173.56 | 69.82 | 3.32 | 3.28 | 0.75 | 3.21 | 11.04 | 10.76 | 0.56 | 10.28 |
| 3 | 230413.96 | 415367.93 | 60.84 | 230415.74 | 415365.22 | 61.19 | 230414.01 | 415367.83 | 60.10 | 3.24 | 0.35 | 0.11 | 0.74 | 10.51 | 0.12 | 0.01 | 0.55 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 49 | 233665.99 | 409556.48 | 74.44 | 233667.43 | 409551.03 | 77.05 | 233667.35 | 409553.90 | 72.62 | 5.64 | 2.61 | 2.92 | 1.82 | 31.78 | 6.81 | 8.51 | 3.30 |
| 50 | 230681.84 | 410200.09 | 73.90 | 230683.55 | 410195.84 | 70.53 | 230682.41 | 410198.91 | 71.23 | 4.58 | 3.37 | 1.31 | 2.67 | 20.99 | 11.36 | 1.72 | 7.13 |
| 51 | 230656.35 | 410379.37 | 85.80 | 230657.73 | 410374.84 | 88.01 | 230657.33 | 410377.84 | 83.91 | 4.74 | 2.21 | 1.82 | 1.89 | 22.43 | 4.88 | 3.30 | 3.57 |
| $RMSE = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}}$ CE95% = RMSE × 1.7308 LE95% = RMSE × 1.9600 | | | | | | | | | | | | 무기준점 | | ICESat-2 | | | |
| | | | | | | | | | | | | 평면 | 높이 | 평면 | 높이 | | |
| | | | | | | | | | | | | 평균 | 4.00 | 1.81 | 1.32 | 1.33 | |
| | | | | | | | | | | | | 최대 | 6.32 | 8.79 | 4.04 | 6.88 | |
| | | | | | | | | | | | | 최소 | 2.03 | 0.02 | 0.10 | 0.07 | |
| | | | | | | | | | | | | RMSE | 4.17 | 2.45 | 1.62 | 1.78 | |
| | | | | | | | | | | | | CE95% | 7.22 | - | 2.81 | - | |
| | | | | | | | | | | | | LE95% | - | 4.79 | - | 3.49 | |

☞ 전체 검사 결과는 부록에 수록

자료: 저자 작성

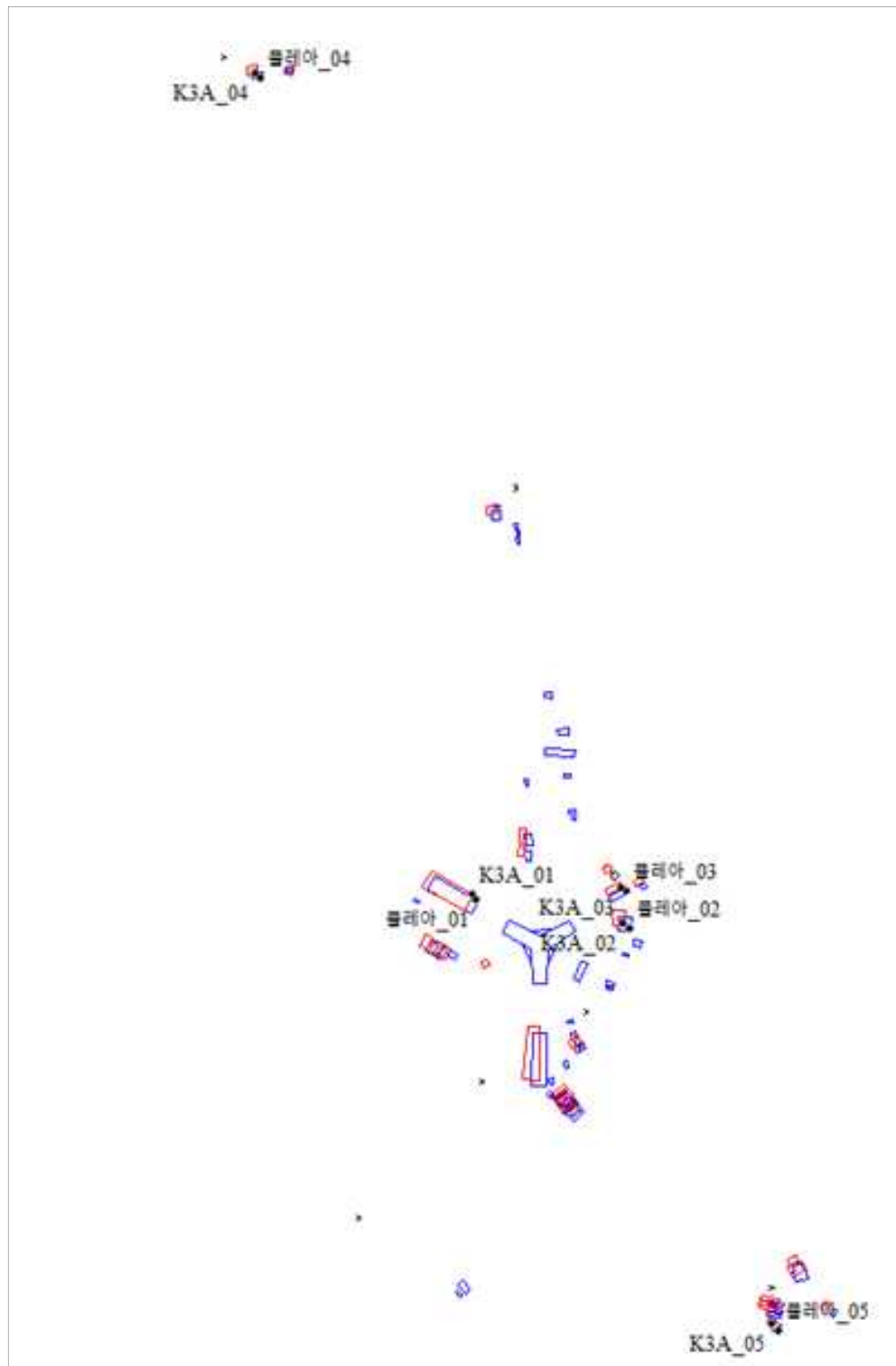
3) 장보고과학기지 주변

본 연구에서는 서울 및 대전 일대 이외에 극지역인 장보고과학기지 일대에 모의영상을 이용한 정확도 평가를 수행하였다. 장보고과학기지를 선정한 이유는 극지역의 특성상 위성영상을 활용하여 수치지형도를 제작하는 과정에 있어 현장 접근이 어려운 이유로 인하여 기준점 측량을 통한 AT 작업을 생략하고 위성의 자세 정보와 위치정보를 이용한 RPC 파일만을 사용하여 도화 작업을 수행하였으나, 2019년도 극지역 공간정보 구축사업에서는 사업 대상 지역에서 TerraSAR-X 기준점 자료를 활용하여 1/5,000 수치지형도를 제작함으로써 위성의 자세와 위치정보만을 활용한 수치지형도보다 위치정확도가 향상된 이유가 있으며 또한, 대상 지역에는 장보고과학기지 건물이 위치하여 정확도 평가를 위한 기준점 활용이 가능하여 대상 지역을 모의영상 정확도 평가 기준자료로 선정하였다.

과학기지 건물이 있다고 하나 서울 및 대전처럼 영상 전체에 정확도 평가 기준으로 선정할 만한 건물 다수가 영상 전체에 고루고루 분포하지 않고 있다는 점과 모의영상으로 활용한 아리랑 3A 영상이 서울 및 대전지역의 영상에 대비하여 공간해상도 저하와 극지역 촬영 시간 문제로 모의영상에서 그림자가 길고 어두운 문제로 인해 그림자 영역의 영상 판독 문제 등으로 인하여 비교점이 영상의 일부 지역에 집중되어 있으며 비교 대상점 개수가 접근지역에 비하여 적다는 단점이 있다.

영상에서 비교점은 무기준점 보정 방법과 ICESat-2를 이용한 보정 방법을 이용하여 갱신된 좌우 영상의 RPC 파일을 이용하여 수치도화기에서 입체시를 구현하고 <그림 3-19>, <표 3-15>에서 보는 것과 같이 기존 TerraSAR-X를 이용하여 제작한 수치지형도 건물과 같은 건물을 3차원 입체도화 성과로 비교하였다.

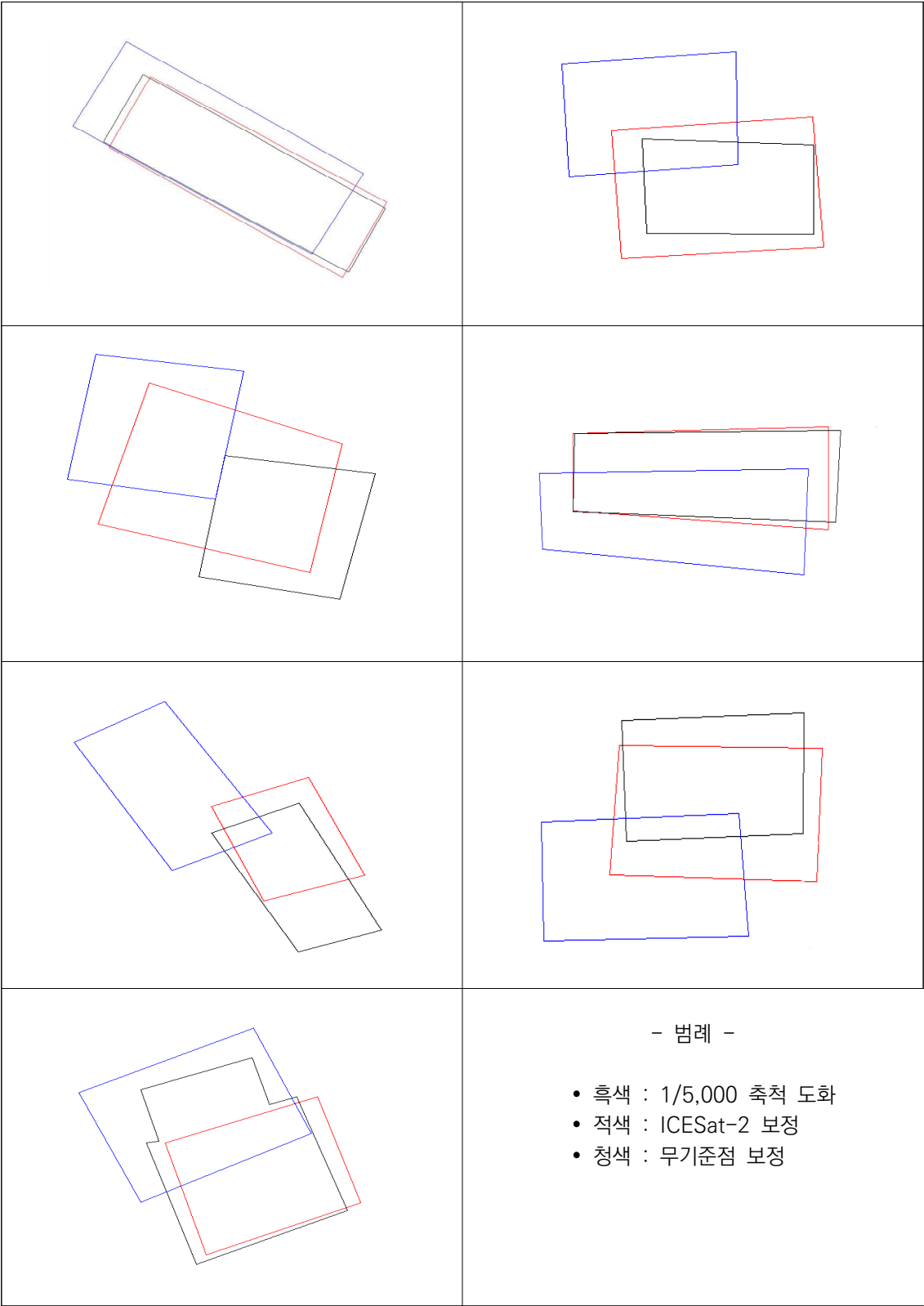
정확도 비교 결과값 <표 3-16>은 대상 지역의 비교점 개수가 10점 미만인 것을 고려하여 RMSE, CE95% 및 LE95% 결과는 계산하지 않고 평균값만 계산하였다. 무기준점 보정 방식을 이용한 영상의 평면 오차 평균은 7.04m, 높이 오차 평균은 3.48m로 나타났다. ICESat-2 보정 방식의 평면 오차는 1.94m, 높이 오차 평균은 2.23m로 나타났다. 평면, 높이 정확도 면에서 ICESat-2 보정 영상이 무기준점 보정 영상보다 크게 좋은 것으로 나타났으나 모의영상의 공간해상도와 묘사 및 표정오차를 고려할 때 두 값의 차이는 비슷하다고 할 수 있다.



자료: 저자 작성

<그림 3-19> 장보고과학기지 기존 도화 성과와 검사점 분포

<표 3-15> 장보고과학기지 검수 대상 시설물 도화 결과 중첩(일부)



자료: 저자 작성

<표 3-16> 장보고과학기지 일대 영상보정 비교 결과표

단위 : m

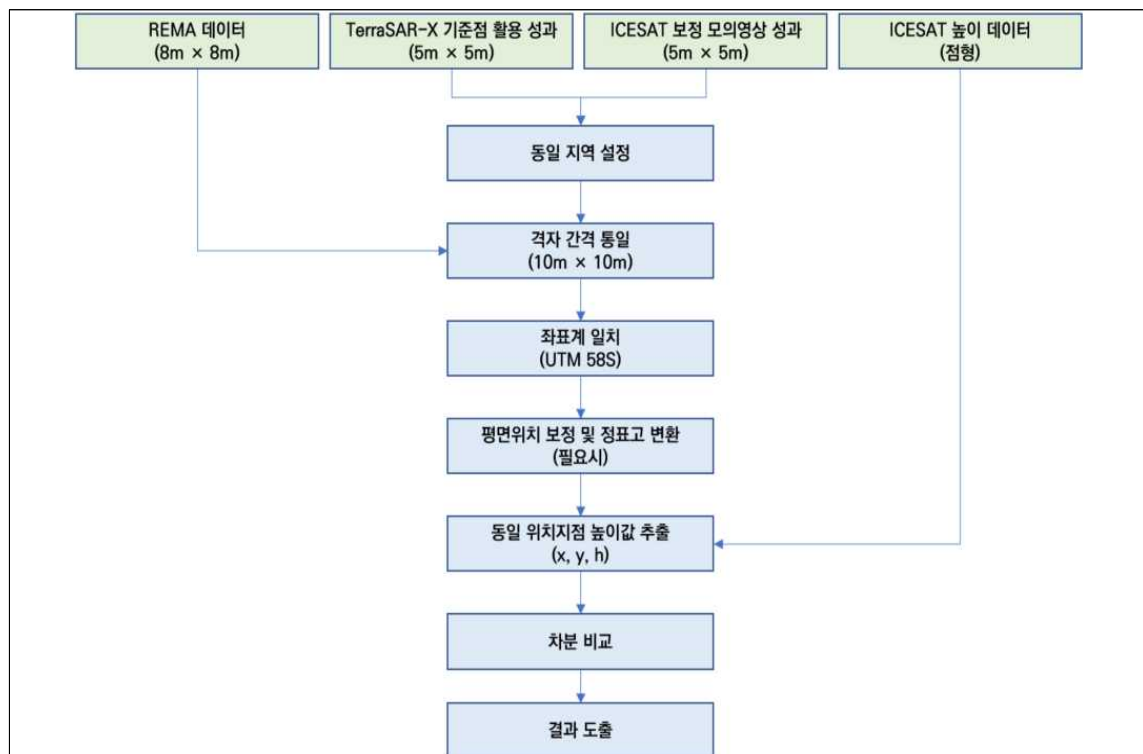
| 번호 | 항목 | 기구측 1/5,000 도화 (TerraSAR-X 기준점 활용성과) | | | 무기준점 보정 영상 | | | ICESat-2 보정 영상 | | | V | | | | |
|----|----|---|------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------|
| | | x | y | z | x ₁ | y ₁ | z ₁ | x ₂ | y ₂ | z ₂ | dx _{y1} | dz ₁ | dx _{y2} | dz ₂ | |
| 1 | | 477114.01 | 1718244.72 | 26.8 | 477110.09 | 1718251.26 | 22.00 | 477114.31 | 1718245.83 | 27.09 | 7.62 | 4.80 | 1.14 | 0.29 | |
| 2 | | 476896.85 | 1719076.35 | 75.6 | 476892.21 | 1719081.45 | 69.72 | 476897.46 | 1719075.40 | 74.05 | 6.90 | 5.88 | 1.13 | 1.55 | |
| 3 | | 477418 | 1717809.67 | 11.1 | 477412.17 | 1717815.61 | 10.00 | 477416.59 | 1717811.26 | 15.89 | 8.32 | 1.10 | 2.12 | 4.79 | |
| 4 | | 477182.96 | 1718111.6 | 24 | 477176.26 | 1718118.86 | 23.22 | 477182.89 | 1718112.02 | 27.08 | 9.88 | 0.78 | 0.42 | 3.08 | |
| 5 | | 477213.93 | 1718091.93 | 23.7 | 477208.95 | 1718096.46 | 24.28 | 477212.56 | 1718094.76 | 28.55 | 6.73 | 0.58 | 3.15 | 4.85 | |
| 6 | | 477169.13 | 1718300.99 | 29.4 | 477163.33 | 1718305.48 | 23.85 | 477167.10 | 1718299.71 | 28.93 | 7.33 | 5.55 | 2.41 | 0.47 | |
| 7 | | 476920.41 | 1719080.88 | 97.4 | 476921.14 | 1719082.55 | 89.41 | 476924.27 | 1719080.97 | 97.06 | 1.82 | 7.99 | 3.86 | 0.34 | |
| 8 | | 477447.74 | 1717864.62 | 12.28 | 477444.89 | 1717871.82 | 11.09 | 477448.78 | 1717865.34 | 14.72 | 7.74 | 1.19 | 1.27 | 2.44 | |
| | | | | | | | | | | | 무기준점 | | ICESat-2 | | |
| | | | | | | | | | | | 평면 | 높이 | 평면 | 높이 | |
| | | | | | | | | | | | 최소 | 1.82 | 0.58 | 0.42 | 0.29 |
| | | | | | | | | | | | 최대 | 9.88 | 7.99 | 3.86 | 4.85 |
| | | | | | | | | | | | 평균 | 7.04 | 3.48 | 1.94 | 2.23 |

자료: 저자 작성

다. DEM 정확도 평가

1) 모의영상 평가를 위한 기준자료

먼저 본 연구에서는 보정된 RPC 파일을 이용하여 제작된 모의 영상의 DEM 정확도 평가를 위해 사용된 데이터는 미네소타 대학교의 극지역 공간정보센터(PGC, The Polar Geospatial Center)에서 제작한 격자간격 $8 \times 8\text{m}$ DEM, ICESat-2 위성 자료의 점형 높이 데이터 자료, 2019년도 TerraSAR-X 기준점을 활용하여 제작한 1/5,000 수치지형도 기반 격자간격 $5 \times 5\text{m}$ DEM를 활용하여 <그림 3-20>의 처리 흐름도를 통하여 정확도를 평가하였다. 모의영상에서 수정된 RPC를 이용하여 제작한 DEM과 비교 대상은 2019년도 제작한 TerraSAR-X 기준점을 활용한 자료를 대상 자료로 하였다. 해당 자료를 비교자료로 선정한 이유는 먼저 국토지리정보원에서 제작한 기본측량 성과라는 점, 다른 극지역 공간자료와는 다르게 외부 기준점 자료를 활용하여 보정한 영상자료를 이용하였다는 점, 다른 DEM 자료 보다 격자 해상도가 가장 높다는 점에서 해당 자료를 비교자료 선정하였다.

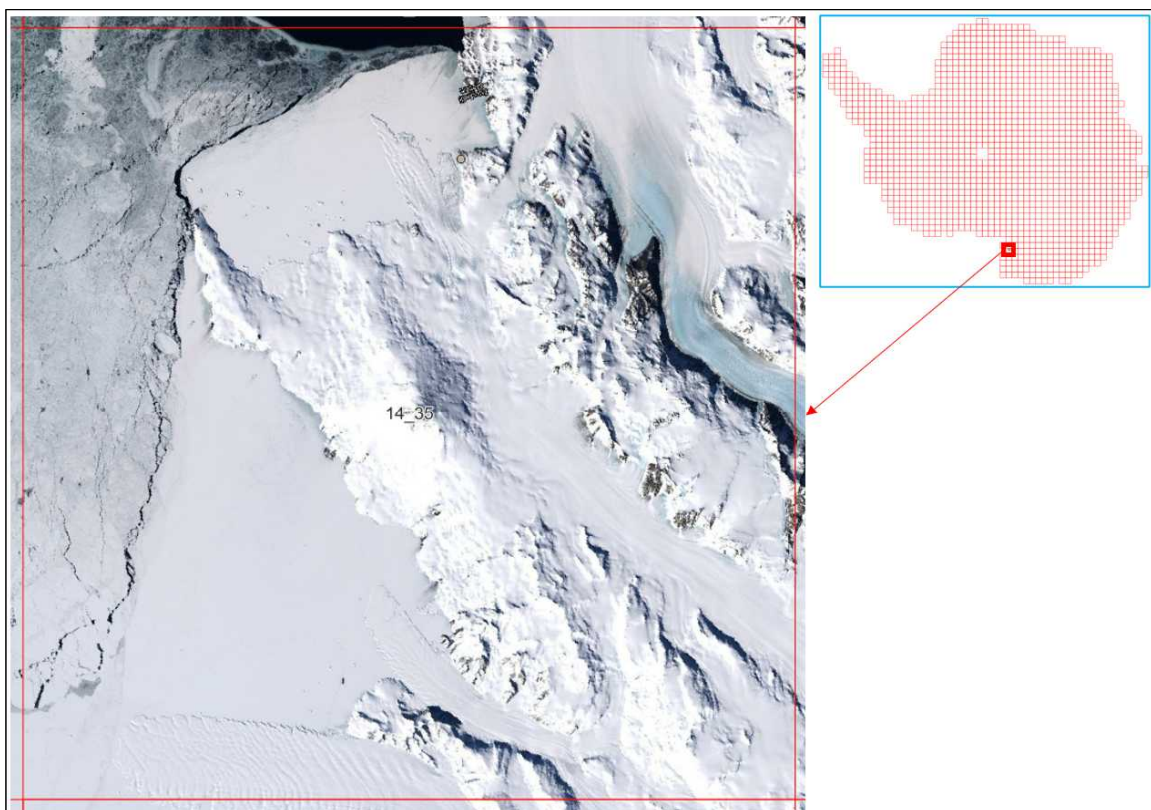


자료: 저자 작성

<그림 3-20> 자료 간 DEM 정확도 비교 처리 흐름도

우선 비교자료로 선정한 2019년도 자료의 DEM 정확도를 비교 평가하기 위해 REMA 데이터와 ICESat-2에서 취득한 높이 데이터의 상호 비교를 통하여 비교 기준자료로 사용하게 될 2019년도 TerraSAR-X 위성영상 기반 DEM의 정확도 평가를 수행하였다. 평가 대상 지역은 모의영상 기반 DEM 제작지역보다 넓은 면적에 대하여 비교를 진행하여 제작지역 전역에 검사점이 고루 분포되도록 하였다.

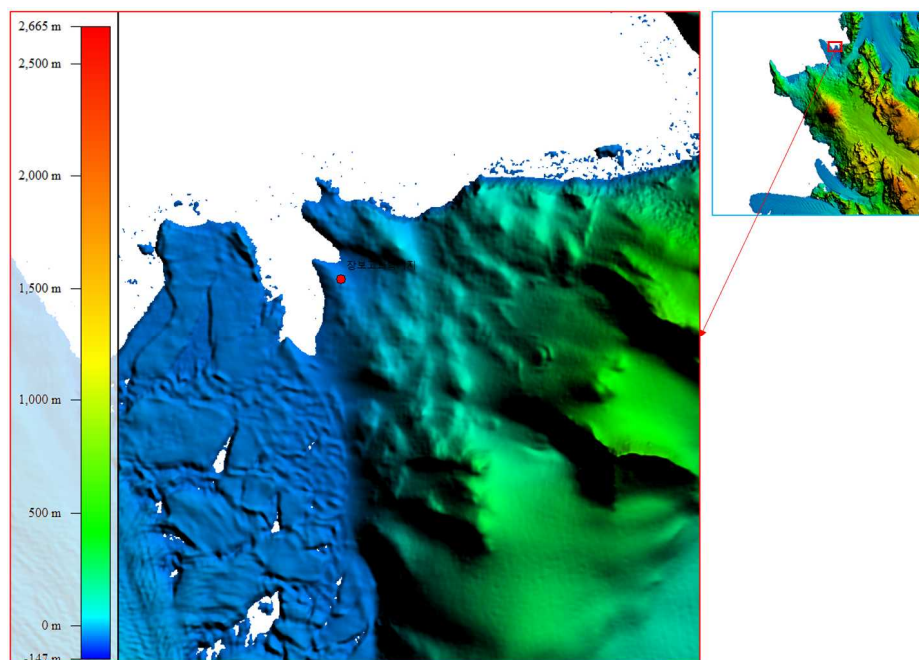
대상 지역의 REMA DEM의 INDEX 번호는 14_39에 해당하며 INDEX 하나의 크기는 10,000 km²(100 × 100km)이다.



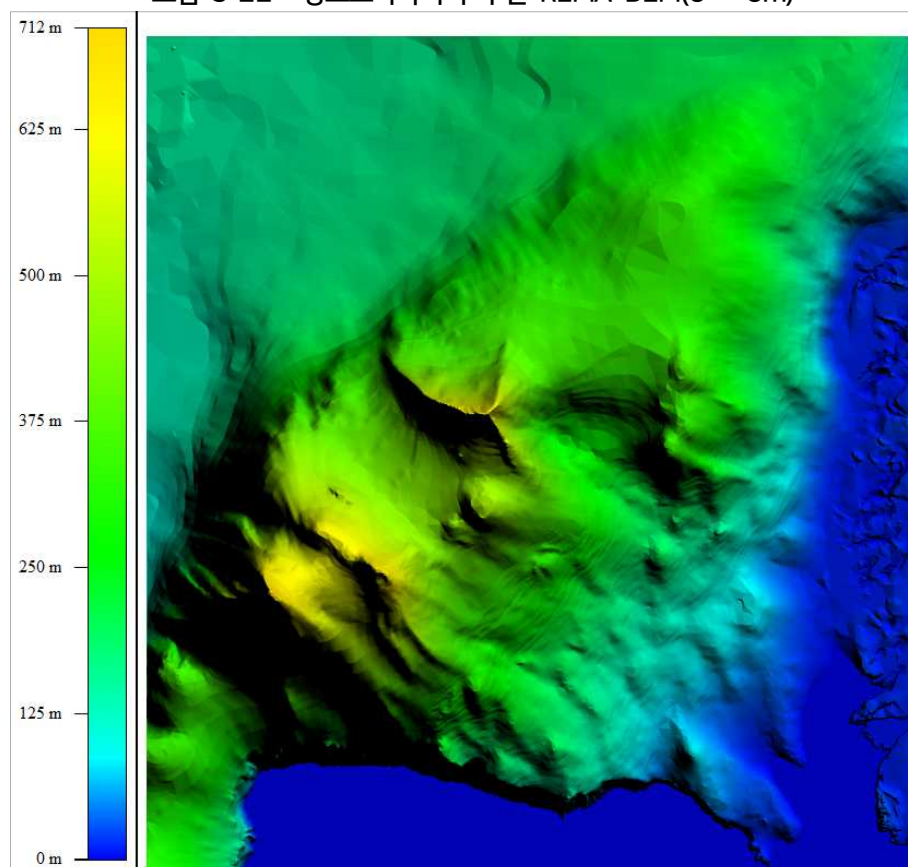
자료: 저자 작성

<그림 3-21> 장보고과학기지 주변 REMA 타일 INDEX 번호(14_39)

2019년도 제작한 장보고과학기지 주변의 5 × 5m 격자 간격 DEM 성과는 <그림 3-23>과 같다.



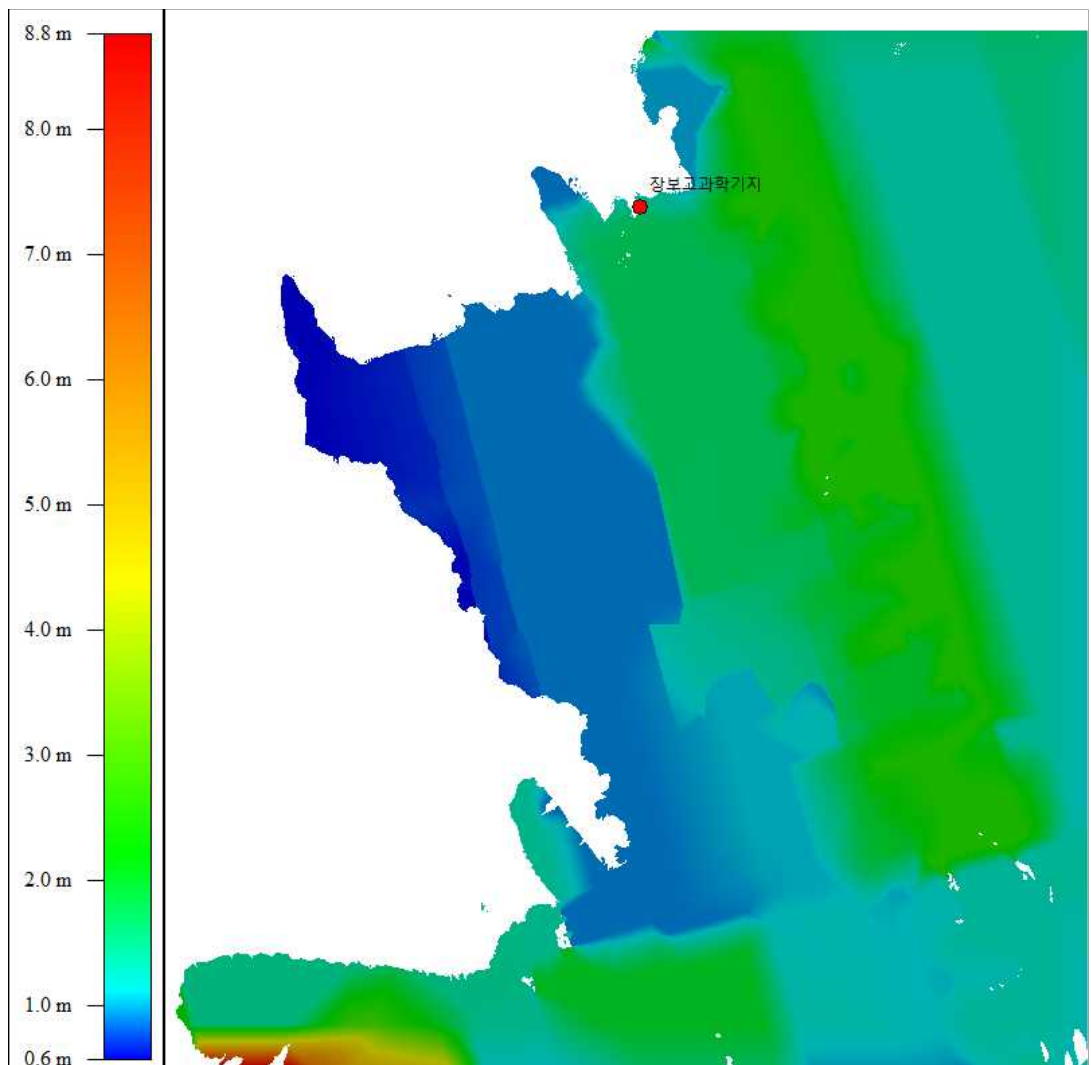
<그림 3-22> 장보고과학기지 주변 REMA DEM(8 × 8m)



<그림 3-23> 장보고과학기지 주변 TerraSAR-X 기준점 활용 DEM 성과(5 × 5m)

자료: 저자 작성

REMA 데이터의 높이 정확도는 DEM 파일과 함께 ERR 파일을 같이 제공하고 있어 대상 지역의 높이 정확도를 예측할 수 있다. 색인번호 14_39 지역의 오차는 <그림 3-24>에서와 같이 작게는 0.6m에서 크게는 8.8m까지 분포하는 것으로 나타났다. 장보고과학기지가 위치한 지역의 오차량은 2 ~ 3m로 나타났다. 따라서 정확도 비교 시 해당 지역 오차량을 고려할 때 참고하였다.



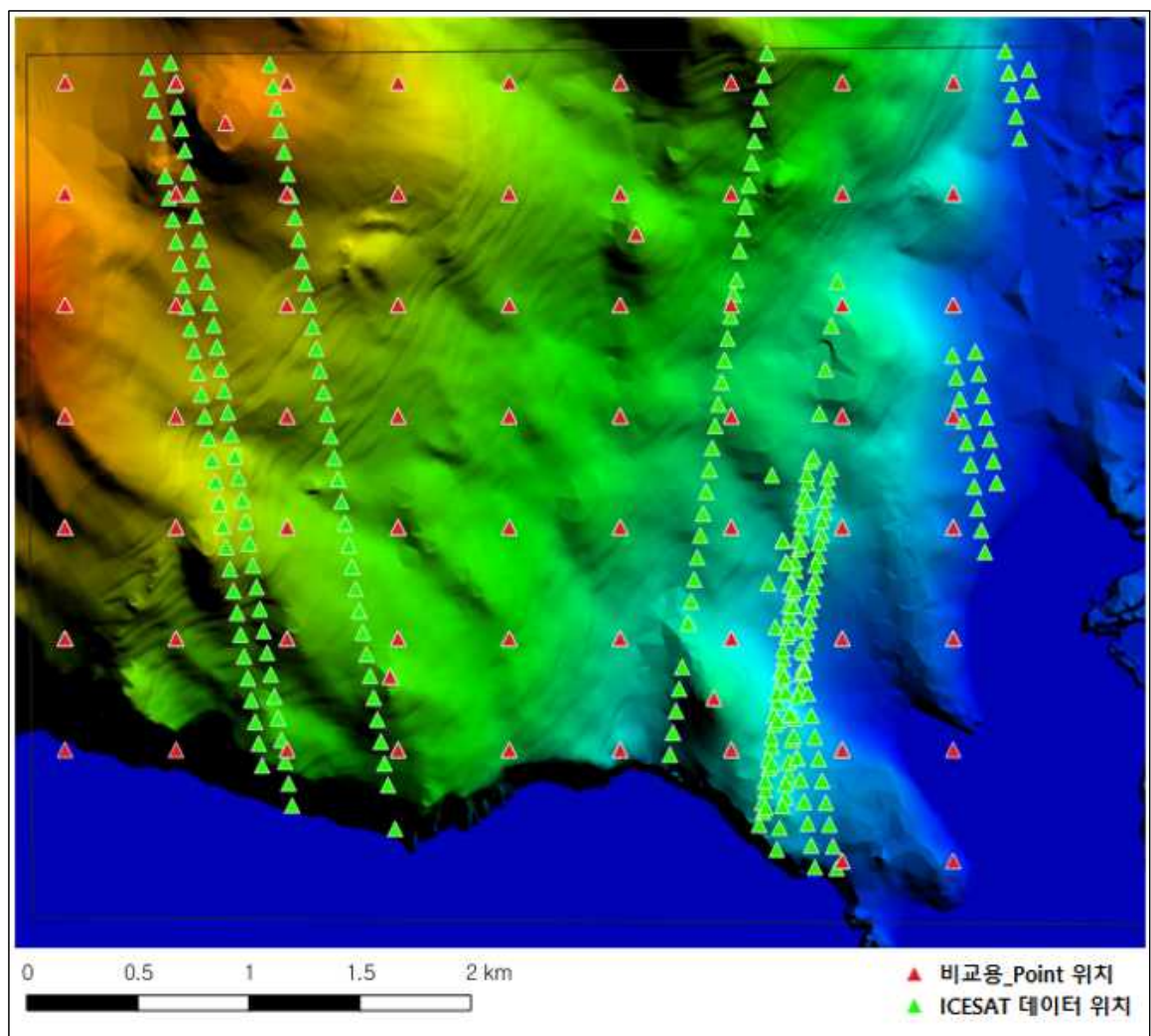
자료: 저자 작성

<그림 3-24> 대상 지역 REMA 표고 오차 분포도

비교 점의 위치는 <그림 3-25>에서 보는 것과 같이 비교 대상 지역에서 500m 간격으로 비교지 점을 추출하였다. 추출한 데이터에서 바다와 빙붕이 포함된 지역을 제외하였으며, 산 정상 높이

값이 비교하기 위해 산 정상에 비교 점을 추가하였다.

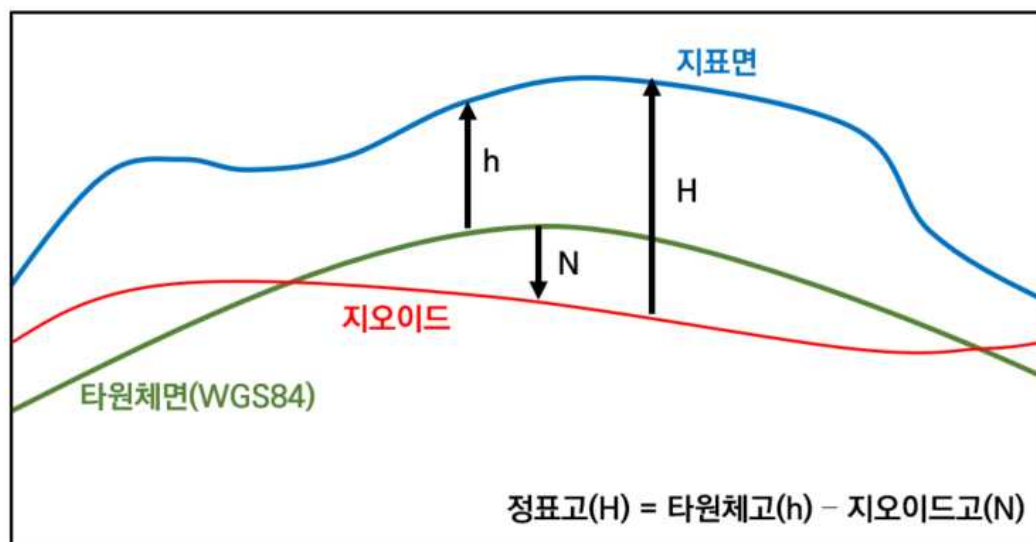
ICESat-2에서 취득된 높이 데이터는 점형 데이터로 위성이 지나가는 지상 궤도에서 데이터가 획득되어 남북 방향 궤도 방향에서는 조밀한 데이터를 획득할 수 있으나 동서 방향에서는 빈 공간이 많이 발생하여 획득된 데이터를 이용하여 보간법을 이용하여 DEM을 제작하기에는 부적합하다. 따라서 본 연구에서는 2019년도 제작 DEM, REMA 제작지역에서 ICESat-2 자료에서 취득한 동일 지점의 높이 값을 추출하여 비교하였다.



자료: 저자 작성

<그림 3-25> 비교 점 위치와 ICESat-2 데이터 점 위치

2019년도 제작된 DEM과 REMA 데이터는 지오이드(geoid) 높이를 반영한 정표고 높이로 제작되었으나 ICESat-2 데이터는 WGS84 기준으로 제작되어 있어 정표고 변환을 위해 Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)을 이용하여 정표고로 변환 비교하였다.



자료: 저자 작성

<그림 3-26> 정표고에서 타원체고와 지오이드고 관계

2) 2019년도, REMA, ICESat-2 사이의 높이 값 비교

2019년도 자료와 비교 결과는 2가지로 나눠서 비교 결과를 도출하였다. 첫 번째는 ICESat-2 데이터를 제외하고 2019년도 자료와 REMA 데이터를 비교한 값이고, 두 번째는 ICESat-2 데이터 취득 지역에서 2019년도 자료와 REMA 자료를 비교한 값이다.

먼저 ICESat-2를 제외한 500m 간격과 산 정상에서 비교 점을 선정한 결과 총 64점의 비교 점을 획득할 수 있었다. 비교 결과 RMSE는 1.69m, LE95%에서 3.31m의 결괏값이 나타났다. 이 값은 REMA의 오차량 데이터와 유사한 값으로 나타났다.

대상 지역에서 ICESat-2에서 취득 가능한 비교 점의 개수는 238점이 비교 가능한 점으로 나타났다. 대상점을 2019년도 성과, REMA 성과, ICESat-2 성과와 비교하였다. 이때 ICESat-2 성과와 2019년도 성과와 비교하여 10m 이상 차이가 나는 점 14점은 과대 오차(Outlier)로 비교 대상에서 제외하였다. 또한 ICESat-2 자료는 타원체고 기준으로 대상 지역의 EGM2008 지오이드 모

델을 사용하여 정표고로 변환하였다. 대상 지역의 지오타이드 높이는 약 -56m로 나타났다.

<표 3-17> 2019년 DEM 성과와 REMA DEM 비교 결과표

단위 : m

| 항목 번호 | TerraSAR-X 활용성과(2019년도 성과) | | | REMA | V | V ² |
|---|----------------------------|-------------|---------|----------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | z ₁ | dz ₁ | dz ₁ |
| 1 | 473370.910 | 1720667.390 | 456.737 | 456.04 | 0.70 | 0.49 |
| 2 | 473370.910 | 1720167.390 | 472.023 | 471.258 | 0.76 | 0.59 |
| 3 | 473370.910 | 1719667.390 | 531.467 | 526.102 | 5.36 | 28.78 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 62 | 474094.450 | 1720485.560 | 503.926 | 503.701 | 0.22 | 0.05 |
| 63 | 475942.600 | 1719987.710 | 194.694 | 195.479 | 0.79 | 0.62 |
| 64 | 476292.620 | 1717899.830 | 84.356 | 86.7217 | 2.37 | 5.60 |
| $RMSE = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}}$ $LE95\% = RMSE \times 1.960$ | | | | | 평균 | 1.46 |
| | | | | | 최대 | 8.20 |
| | | | | | 최소 | 0.14 |
| | | | | | RMSE | 1.69 |
| | | | | | LE95% | 3.31 |

☞ 전체 검사 결과는 부록에 수록
자료: 저자 작성

2019년도 성과와 비교하였을 때 REMA 데이터와의 RMSE는 0.81m, LE95%에서 1.59m로 나타났으며 ICESat-2 데이터 성과와는 RMSE 1.03m, LE95%에서는 2.02m 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 2019년도 제작한 DEM 성과는 REMA 데이터와 ICESat-2 데이터와 RMSE 기준 0.81 ~ 1.69m 이내로 모의 영상을 이용한 제작한 DEM 성과와 비교를 할 수 있는 데이터로 평가되었다.

<표 3-18> 2019년 DEM vs REMA DEM vs ICESat-2 비교 결과표

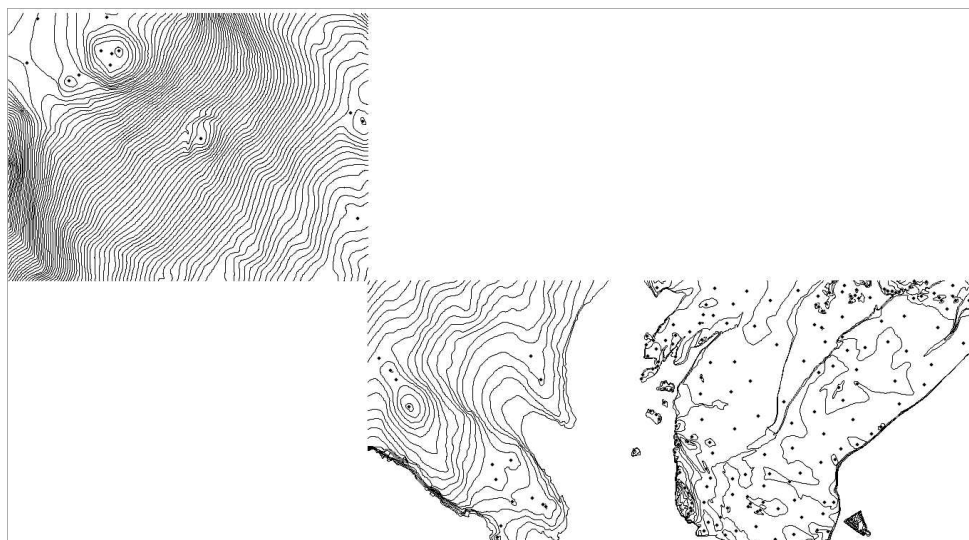
단위 : m

| 항목 번호 | TerraSAR-X 활용성과(2019년도 성과) | | | REMA | ICESat-2 | V | | V ² | |
|---|----------------------------|------------|--------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | z ₁ | z ₂ | dz ₁ | dz ₂ | dz ₁ | dz ₂ |
| 1 | 476728.13 | 1718964.85 | 73.64 | 72.33 | 72.99 | 1.30 | 0.64 | 1.70 | 0.41 |
| 2 | 476714.53 | 1718865.92 | 68.15 | 66.95 | 67.68 | 1.20 | 0.47 | 1.44 | 0.22 |
| 3 | 476700.92 | 1718767.84 | 62.42 | 60.01 | 60.45 | 2.41 | 1.97 | 5.79 | 3.88 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 236 | 473855.76 | 1720050.80 | 437.69 | 435.45 | 435.94 | 2.24 | 1.75 | 5.01 | 3.05 |
| 237 | 473839.39 | 1720148.45 | 454.07 | 451.29 | 451.85 | 2.78 | 2.21 | 7.70 | 4.90 |
| 238 | 473823.00 | 1720246.96 | 468.04 | 466.17 | 466.60 | 1.87 | 1.44 | 3.49 | 2.06 |
| <div>$RMSE = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}}$$LE95\% = RMSE \times 1.960$</div> | | | | | | 비교 대상 항목 | REMA | ICESat-2 | |
| | | | | | | 평균 | 1.02 | 1.08 | |
| | | | | | | 최대 | 4.09 | 6.65 | |
| | | | | | | 최소 | 0.01 | 0.01 | |
| | | | | | | RMSE | 0.81 | 1.03 | |
| | | | | | | LE95% | 1.59 | 2.02 | |

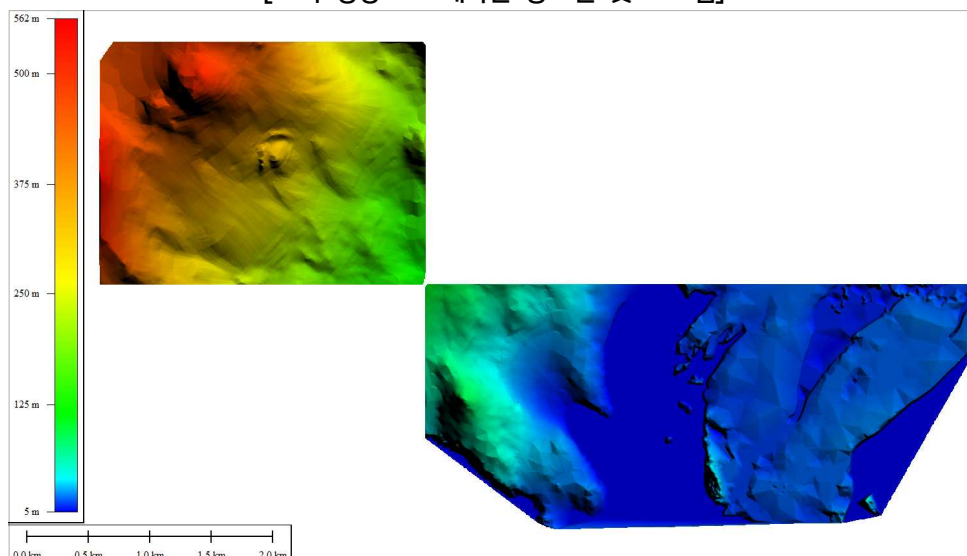
자료: 저자 작성

3) 모의영상 DEM 정확도 비교

모의영상을 기반으로 하는 DEM 정확도 비교는 ICESat-2 자료를 이용하여 업데이트한 RPC 파일을 활용하여 수치도화기에서 입체시 상태에서 급경사지, 평지 및 빙하가 위치한 지역에 대해 등고선 간격 5m의 등고를 제작하였다. 제작된 성과를 활용하여 5 × 5m 격자간격의 DEM을 제작하였다.



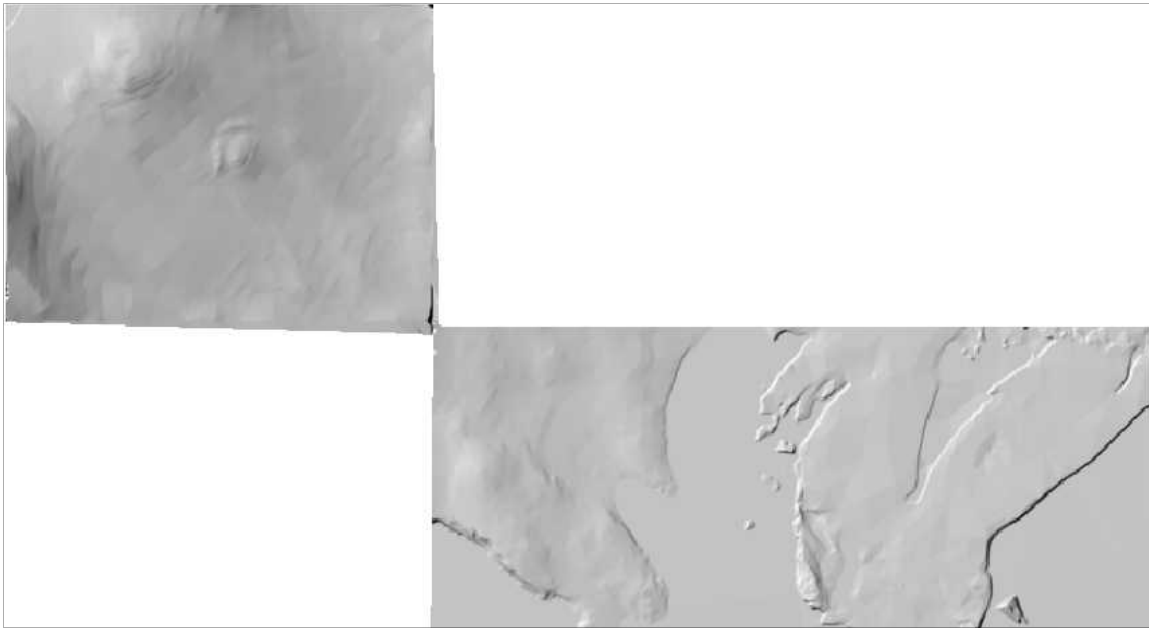
[모의 영상으로 제작한 등고선 및 표고점]



[등고선과 표고점으로 제작한 DEM]

자료: 저자 작성

<그림 3-27> 모의영상을 활용하여 제작한 등고선과 DEM



자료: 저자 작성

<그림 3-28> 대상 지역 음영기복도

모의 영상으로 제작된 DEM의 정확도 평가 기준은 앞서 검토한 것 같이 2019년도 TerraSAR-X 기준점을 활용하여 제작한 수치지형도를 이용하여 제작한 DEM을 비교 대상으로 하였다. 검사점은 검사 대상 지역과 모의영상이 일치하는 지역에서 114개의 동일한 검사점을 추출하여 높이 값에 대한 정확도 평가를 수행하였다.

정확도 평가 결과 모의 영상의 정확도는 RMSE 기준으로 1.55m, LE95% 수준에서 3.03m로 나타났다.

<표 3-19> 모의영상과 2019년도 DEM 성과 비교 결과표

단위 : m

| 항목 번호 | 모의 영상 DEM | | | 2019년 성과 | V | V ² |
|---|------------|-------------|--------|----------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | z ₁ | dz ₁ | dz ₁ |
| 1 | 473570.283 | 1720546.803 | 462.54 | 463.463 | 0.92 | 0.85 |
| 2 | 473570.283 | 1720296.803 | 459.69 | 460.000 | 0.31 | 0.10 |
| 3 | 473570.283 | 1720046.803 | 456.18 | 455.467 | 0.71 | 0.51 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 112 | 479221.222 | 1717075.472 | 13.829 | 19.980 | 6.15 | 37.83 |
| 113 | 479471.222 | 1718075.472 | 9.37 | 10.000 | 0.63 | 0.40 |
| 114 | 479971.222 | 1718575.472 | 17.464 | 20.000 | 2.54 | 6.43 |
| $RMSE = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}}$ $LE95\% = RMSE \times 1.960$ | | | | | 평균 | 1.48 |
| | | | | | 최대 | 6.15 |
| | | | | | 최소 | 0.01 |
| | | | | | RMSE | 1.55 |
| | | | | | LE95% | 3.03 |

☞ 전체 검사 결과는 부록에 수록
자료: 저자 작성

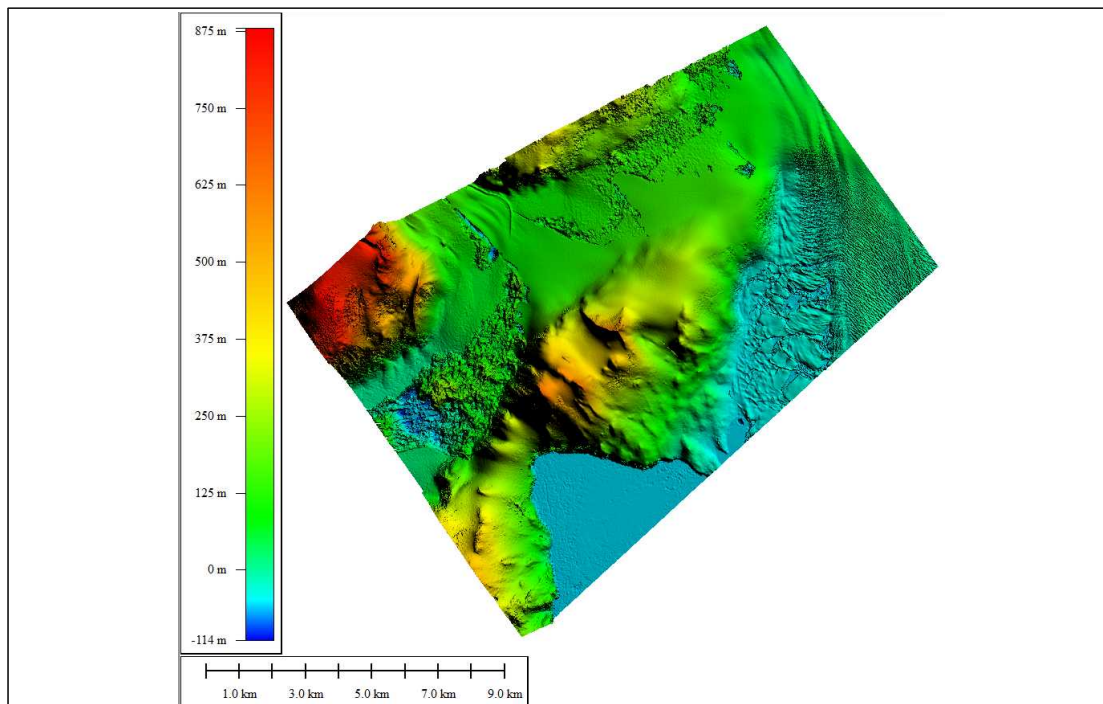
4) 매칭 DEM 정확도 비교

본 연구에서는 기존 극지역에서 DEM 구축 방법인 스테레오로 촬영된 영상을 수치도화기를 이용하여 입체시 도화를 통해 획득한 등고선과 표고점을 이용하여 DEM을 제작한 방법 이외에 원격탐사소프트웨어에서 입체영상 자료를 활용하여 제작한 DEM에 대한 정확도 평가도 수행하였다.

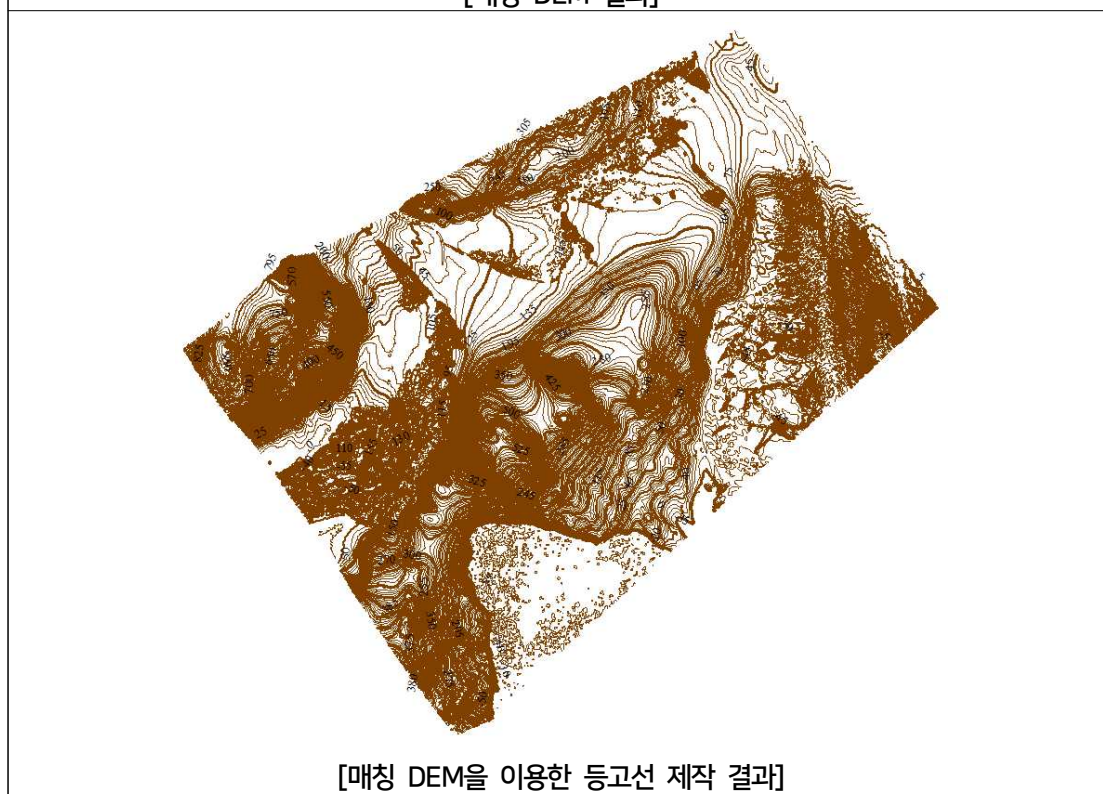
제작된 결과에 대해서는 2019년도 TerraSAR-X 기준점을 활용하여 제작한 DEM 제작지역에서 일정한 간격으로 검사점을 추출한 후 매칭 DEM 성과의 동일지역의 높이 값을 비교하는 방식으로 진행하였다. 또한 제작된 DEM 자료를 수치지형도의 등고선 자료로 활용할 수 있는지 평가하기 위하여 DEM 자료를 5m 간격의 등고선으로 변환하여 변환된 등고선의 선형 모형을 평가하였다.

극지역은 인공시설물이 거의 없고 수목 또한 없는 지형과 적설 및 빙하로 이루어진 지역으로 기존 수치지형도 자료의 대부분 레이어 또한 등고선과 수계 레이어로만 구성되어 있어 매칭 DEM으로 생성한 등고선의 높이 정보와 선형을 수치지형도의 레이어로 활용할 수 있다면 적은 비용으로 짧은 시간 내에 넓은 지역을 구축할 수 있다.

본 연구에서 매칭 DEM의 결과와 이를 활용한 등고선 제작 결과는 <그림 3-29>와 같다. 변환된 등고선과 기존 수치지형도와 중첩한 결과는 <그림 3-30>의 형태와 같다. 그림 오른쪽의 빙하 지역을 제외하면 이미 구축된 1/5,000 축척 4 도엽과 1/25,000 축척 1 도엽 기준 수치지형도의 등고선 형태와 거의 유사한 형태로 등고선이 제작된 것을 확인할 수 있다.



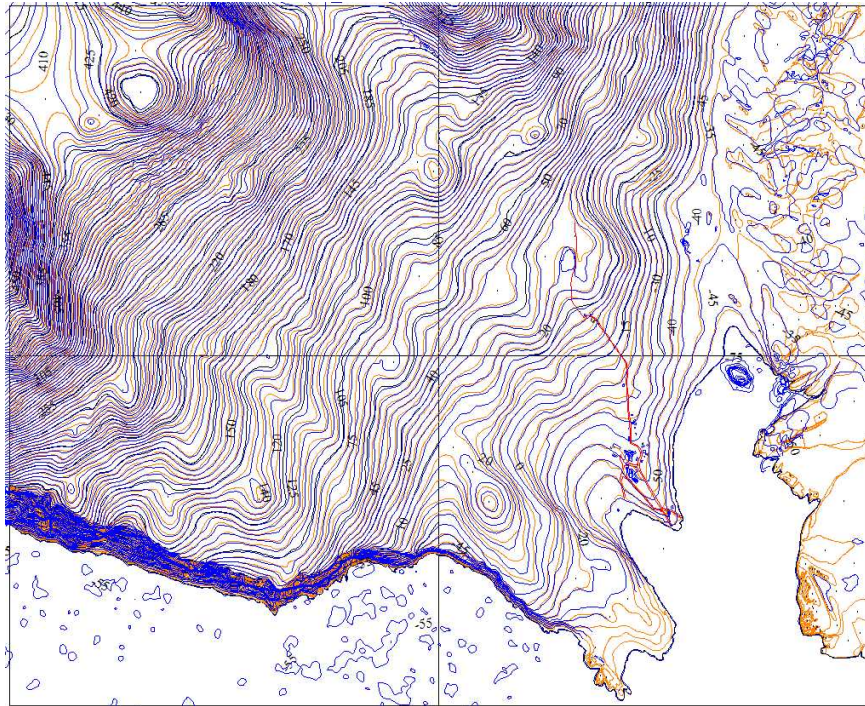
[매칭 DEM 결과]



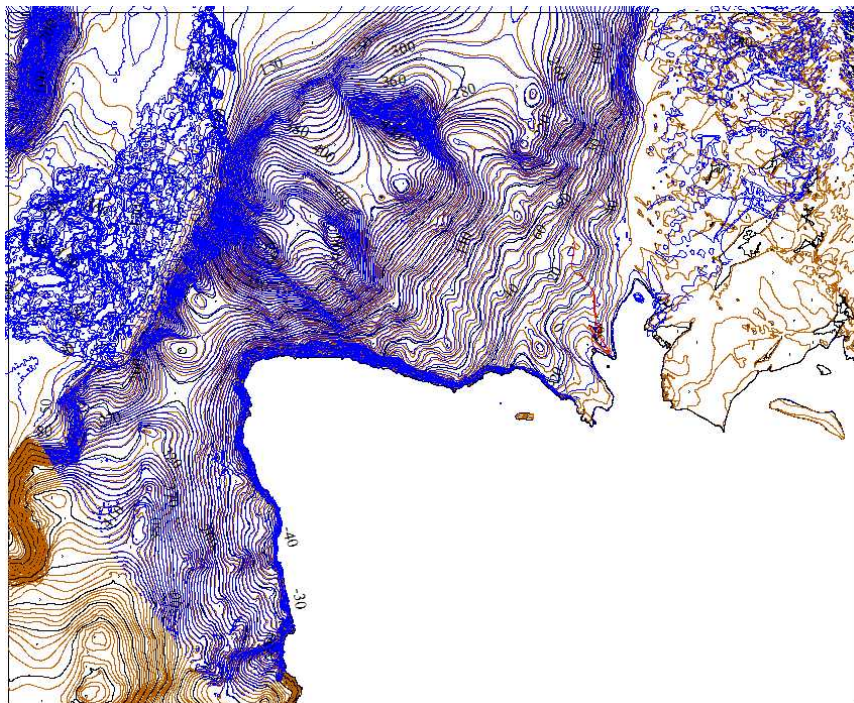
[매칭 DEM을 이용한 등고선 제작 결과]

자료: 저자 작성

<그림 3-29> 극지역 매칭 DEM과 제작된 등고선 결과



[1/5,000 수치지형도 등고선과 중첩 결과(청색 : 수치지형도)]



[1/25,000 수치지형도 등고선과 중첩 결과(청색 : 수치지형도)]

자료: 저자 작성

<그림 3-30> 1/5,000 및 1/25,000 수치지형도와 모의영상 등고선 중첩 결과

매칭 DEM 성과와 2019년 TerraSAR-X 기준을 활용하여 제작한 DEM의 정확도 비교표는 <표 3-20>과 같다. 전체 65점에 대한 RMSE는 4.42m로 나타났으며 이 값을 LE95% 신뢰 수준으로 변경하면 8.67m이다. 이때 영상의 그림자 영역 등으로 인해 매칭이 잘 이루어지지 않는 점들을 아웃라이어(Outlier)로 고려하여 기존 높이 값과 7m 이상 차이가 발생하는 값들을 제외한 59점을 비교한 RMSE는 3.94m, LE95%에서는 7.72m로 나타났다.

<표 3-20> 매칭 DEM 성과와 2019년도 DEM 성과 비교 결과표

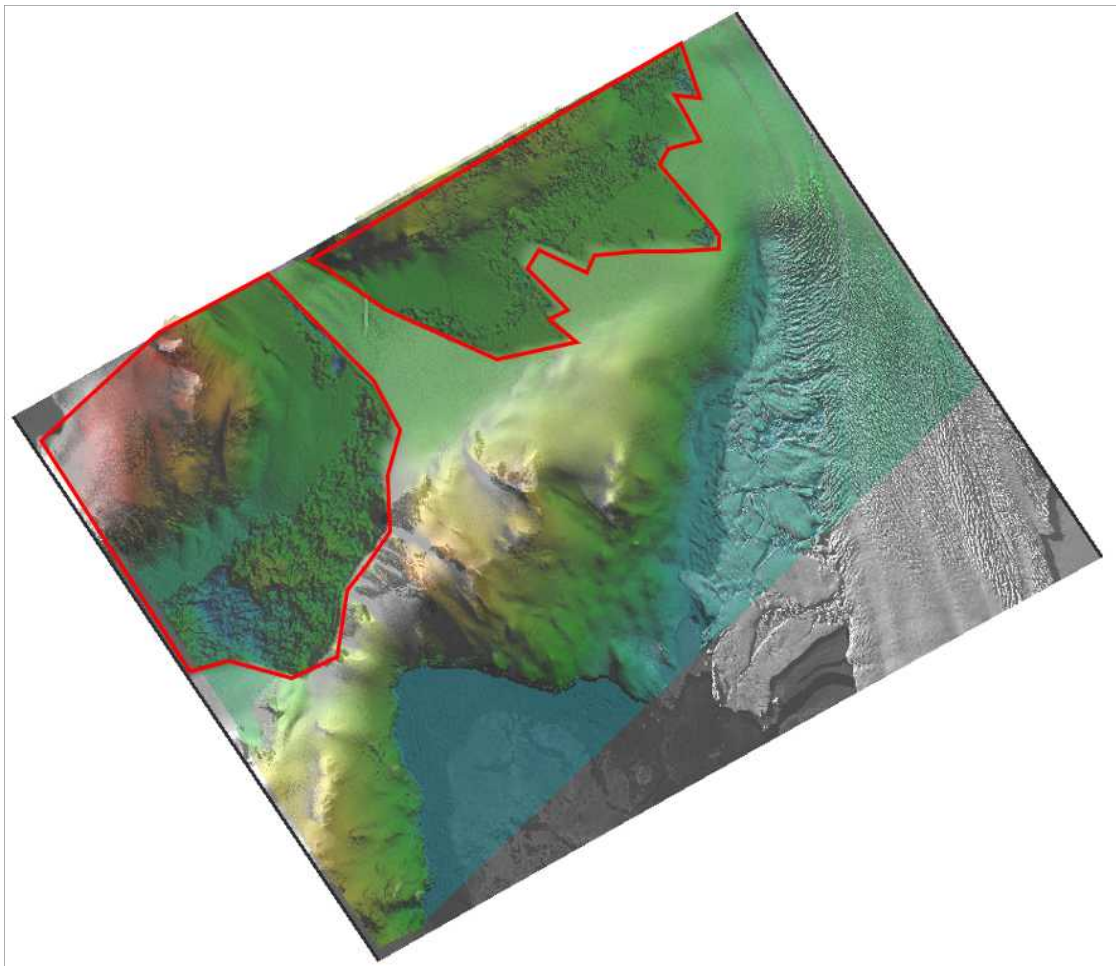
단위 : m

| 항목 번호 | 매칭 DEM | | | 2019년 성과 | V | V ² |
|---|------------|-------------|---------|----------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | z ₁ | dz ₁ | dz ₁ |
| 1 | 469778.136 | 1716633.887 | 324.225 | 321.583 | 2.64 | 6.98 |
| 2 | 469760.092 | 1715964.049 | 371.493 | 368.706 | 2.79 | 7.77 |
| 3 | 469773.538 | 1715183.165 | 466.11 | 463.092 | 3.02 | 9.11 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 57 | 476782.027 | 1721538.358 | 266.204 | 262.066 | 4.14 | 17.12 |
| 58 | 477479.196 | 1725006.364 | 216.563 | 212.655 | 3.91 | 15.27 |
| 59 | 477487.732 | 1724336.998 | 212.714 | 208.514 | 4.20 | 17.64 |
| $RMSE = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}}$ $LE95\% = RMSE \times 1.960$ | | | | | 평균 | 3.82 |
| | | | | | 최대 | 6.80 |
| | | | | | 최소 | 0.13 |
| | | | | | RMSE | 3.94 |
| | | | | | LE95% | 7.72 |

☞ 전체 검사 결과는 부록에 수록
자료: 저자 작성

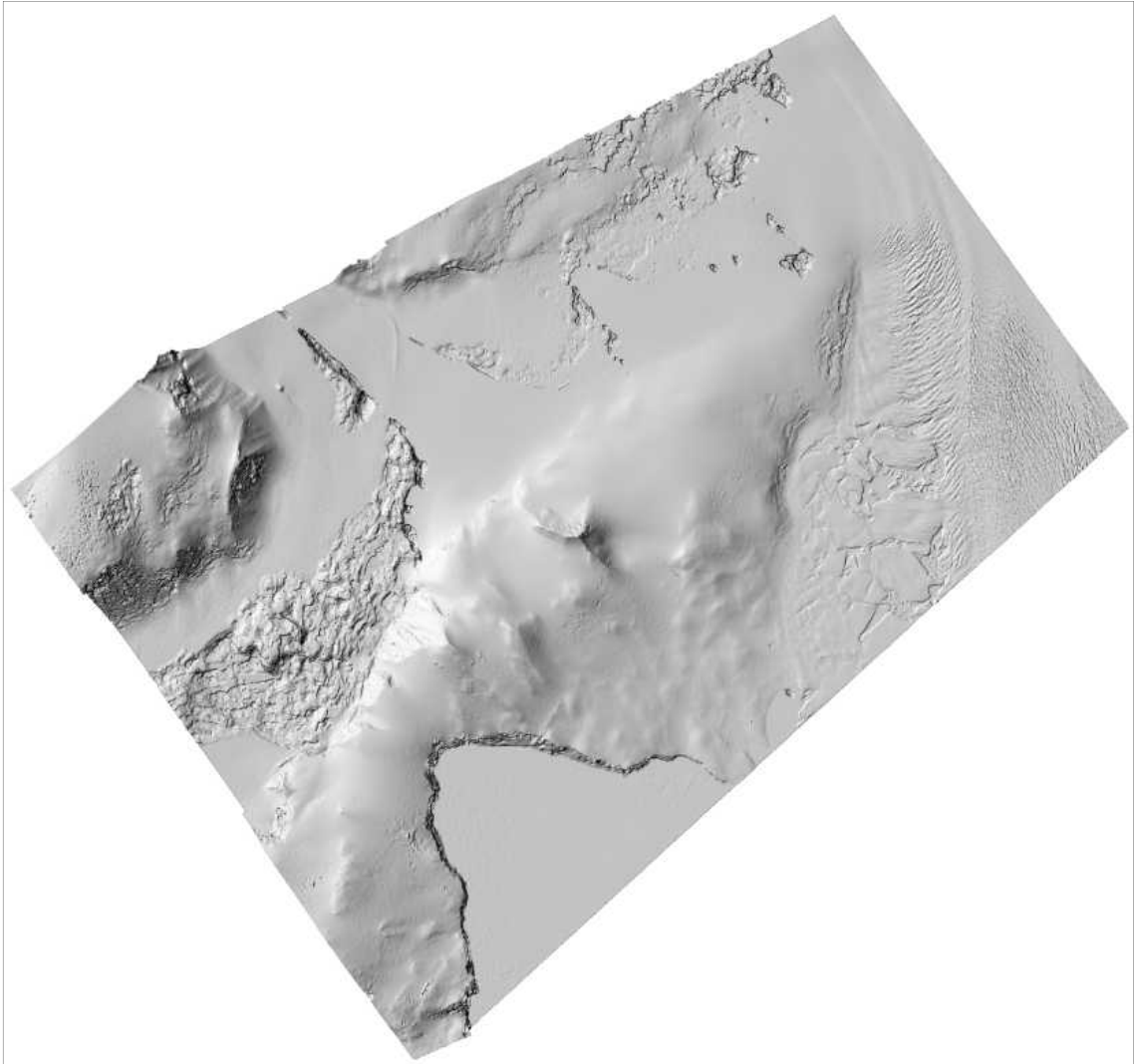
본 연구에 사용된 모의 영상은 영상 촬영 시간으로 인하여 그림자의 영향이 크다. 따라서 <그림 3-31>에서 보는 것과 같이 그림자 영역에서 매칭 DEM의 정확도가 저하되는 것을 확인하였다. 이는 음영기복도 <그림 3-32>를 제작하였을 때 더욱 명확하게 나타난다. 빙벽과 같이 급경사 지역에서 매칭 정확도가 상대적으로 저하되는 것으로 확인되었다.

극지역은 수목이 없으므로 매칭 DEM 값을 이용하면 순수 지표면에 대한 DEM 값을 획득할 수 있으며 등고선형의 형태에서 수치도화기에서 도화사가 작업하는 등고선의 형태와 유사하게 부드러운 등고선형을 획득할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 빙하의 크레바스 지역과 같이 도화사가 작업으로 도화하기 어려운 지역에서 매칭 DEM을 이용하면 활용성이 높을 것으로 판단된다.



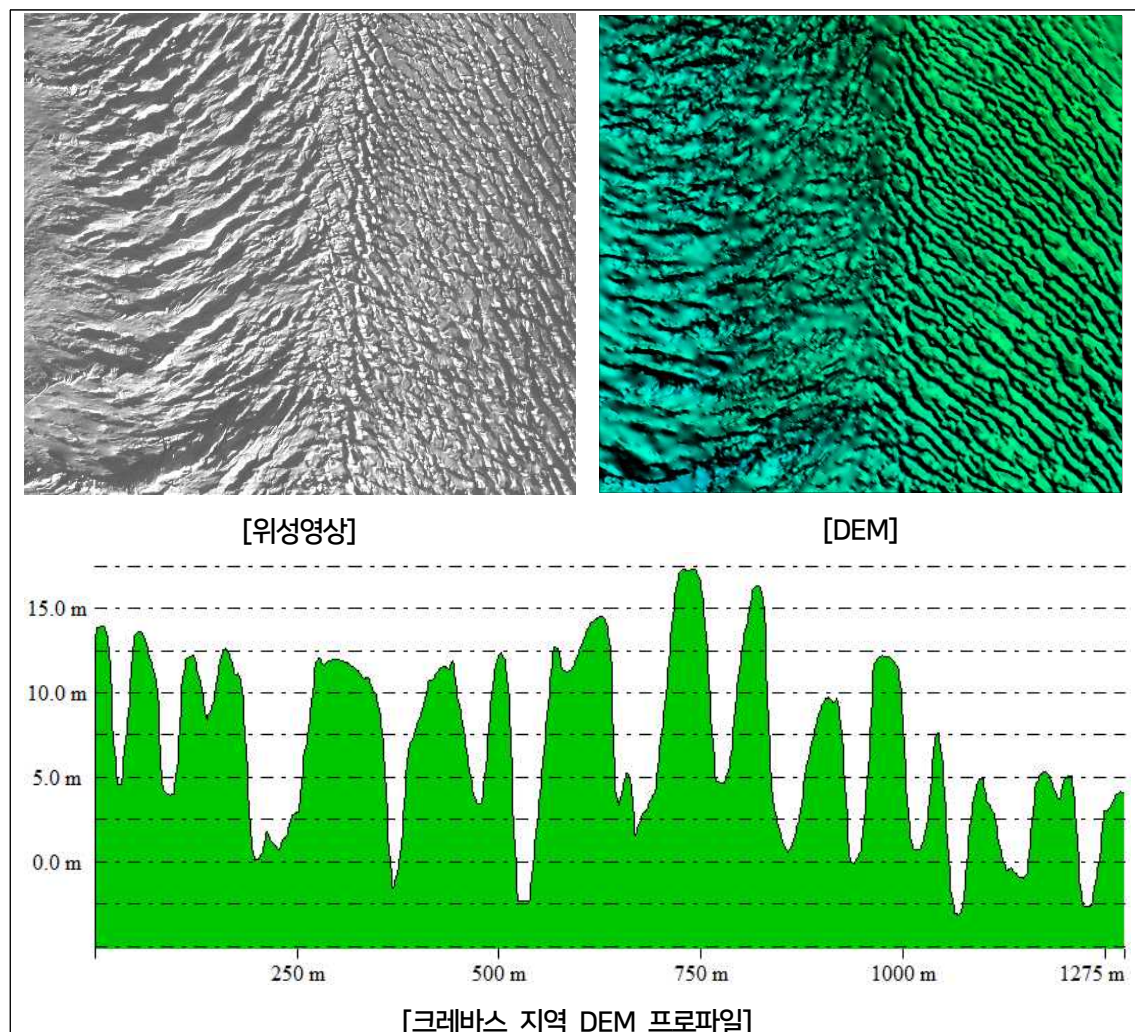
자료: 저자 작성

<그림 3-31> 그림자로 인한 매칭 오류 발생지역(적색 영역)



자료: 저자 작성

<그림 3-32> 매칭 DEM 음영기록도



자료: 저자 작성

<그림 3-33> 크레바스 지역 매칭 DEM 결과와 프로파일

라. 정사영상 평가

모의 영상을 평가는 위치정확도 평가와 영상 품질 평가로 구분하여 수행하였다. 위치정확도 평가는 모의영상, 모의 영상으로 제작된 DEM과 RPC 파일을 이용하여 원격탐사 처리 소프트웨어에서 정사영상을 제작하였다. 본 연구에서 획득된 모의영상은 저해상도 멀티 영상과 고해상도 흑백 영상으로 고해상도 컬러영상을 제작하기 위해 <그림 3-34>에서 보는 것과 같이 Pan-sharpen을 선행 작업으로 작성하고 정사영상을 제작하였다.



[저해상도 멀티 영상]



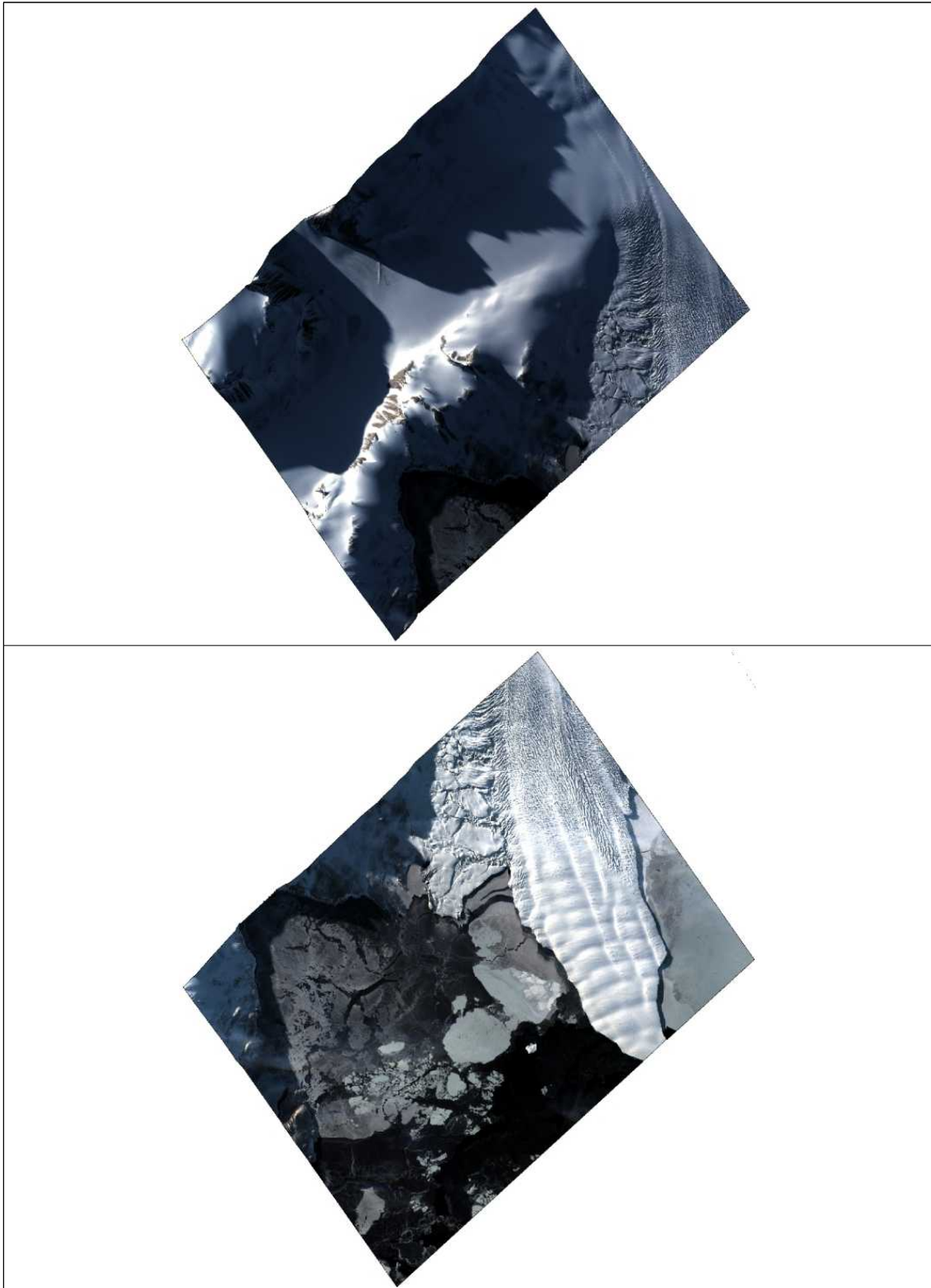
[고해상도 흑백 영상]



[고해상도 멀티 영상]

자료: 저자 작성

<그림 3-34> 모의영상 Pan-Sharp 처리 결과



자료: 저자 작성

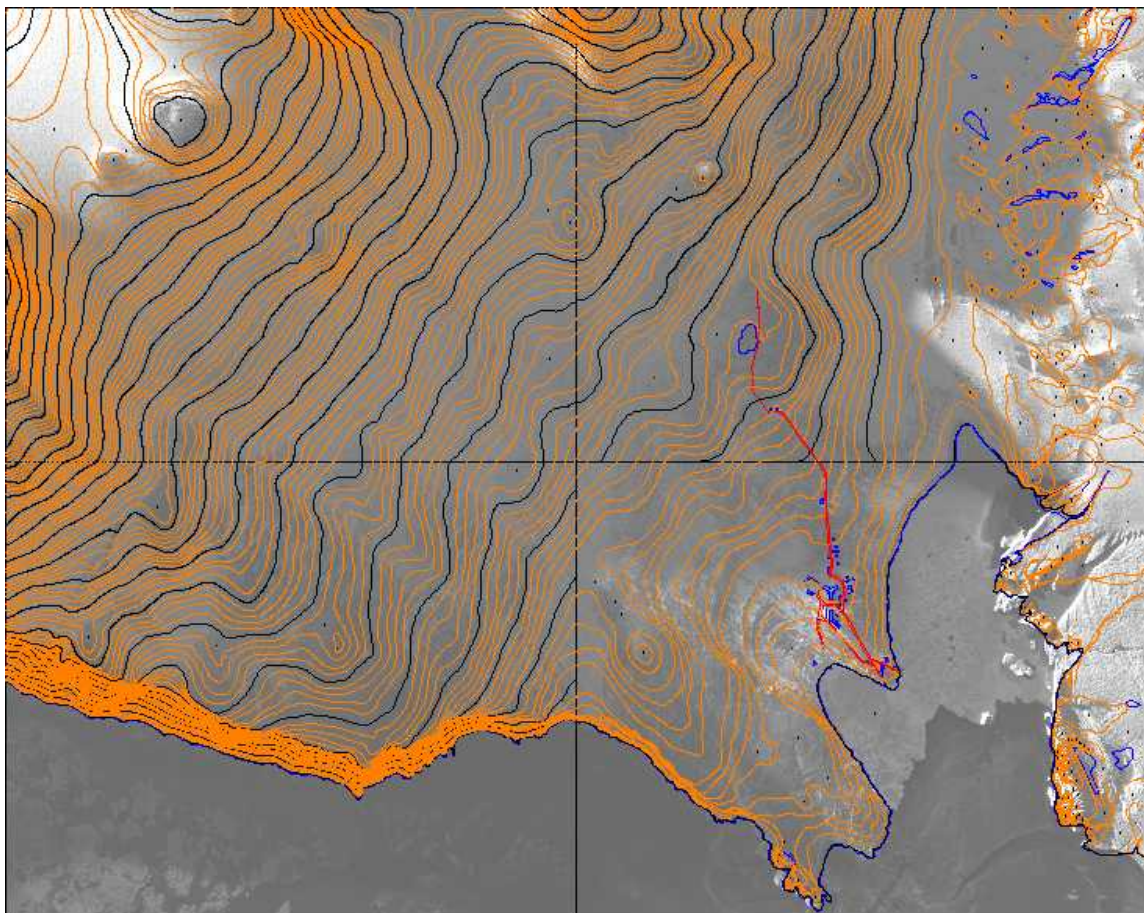
<그림 3-35> 제작된 상하 정사영상

1) 정확도 평가

정사영상 정확도는 제작된 영상영상에서 검사점으로 활용이 가능한 지형·지물을 식별하여 현장 측량이나 별도 검사점을 사용하여 정확도를 평가하는 방법이 일반적인 방법이라고 할 수 있다. 그러나 모의영상을 기반으로 제작한 정사영상 지역은 장보고과학기지가 위치한 지역으로 현실적으로 직접 측량을 통한 정확도 검수는 불가능하다. 따라서 2019년도 TerraSAR-X 기준으로 이용하여 제작한 1/5,000 수치지형도를 기준 영상으로 정확도 평가를 수행하였다.

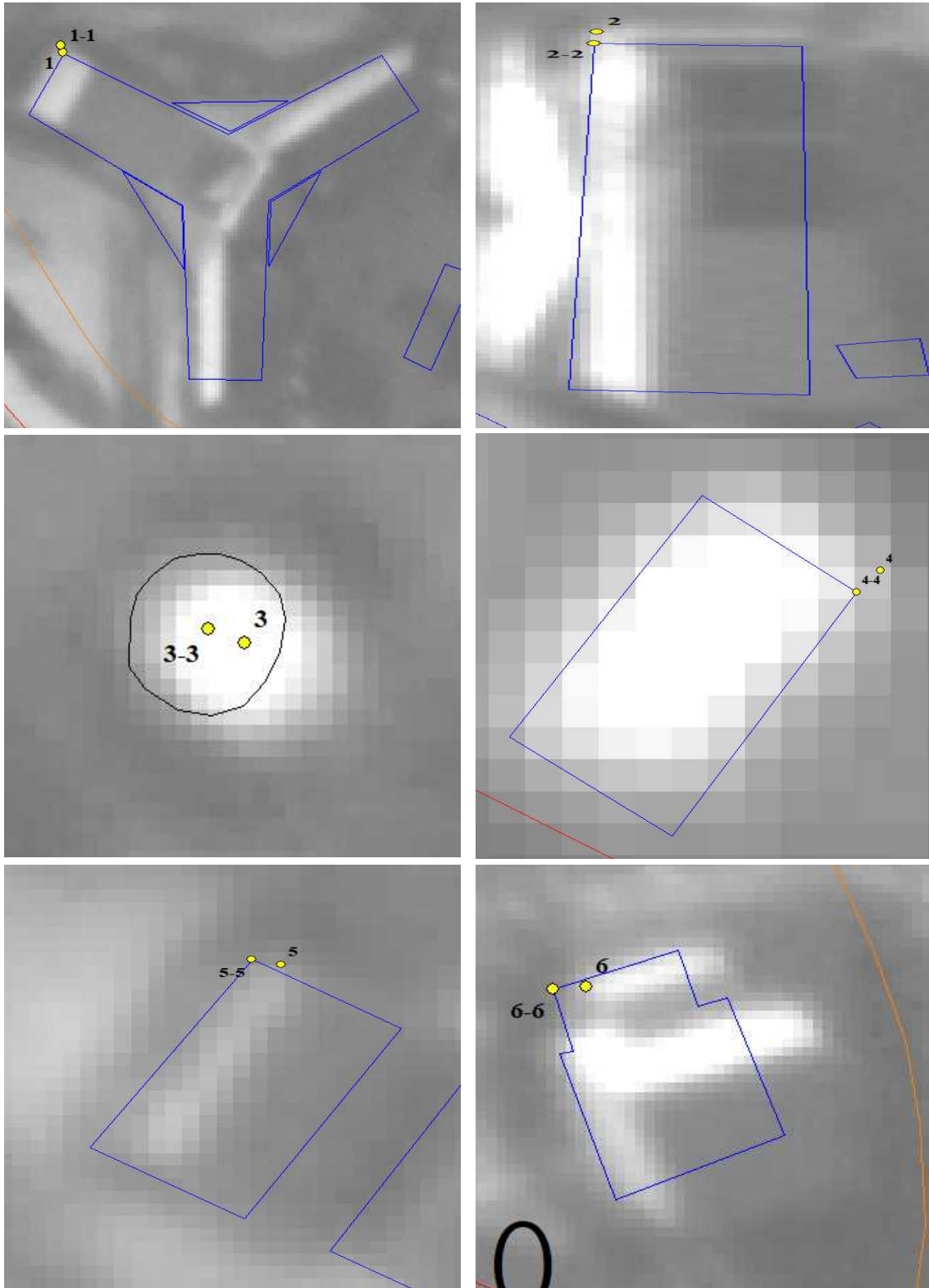
모의영상 대상 지역은 대부분이 적설 지역으로 정확도 비교를 위한 검사점 선정에 있어 장보고과학기지가 위치한 지역 일대의 건물을 검사점으로 선정하였다. 그러나 연구에 사용된 모의영상의 공간해상도 저하, 촬영 각 및 그림자로 인하여 대상 지역의 검사점은 6개 점만 확인할 수 있었다.

모의영상을 활용한 대상 지역의 정사영상 정확도는 평균 1.05m로 나타났다.



자료: 저자 작성

<그림 3-36> 정사영상과 2019년도 수치지형도 중첩



<그림 3-37> 검사점을 활용한 정사영상 정확도 비교

<표 3-21> 정사영상과 2019년도 수치지형도 성과 비교 결과표

단위 : m

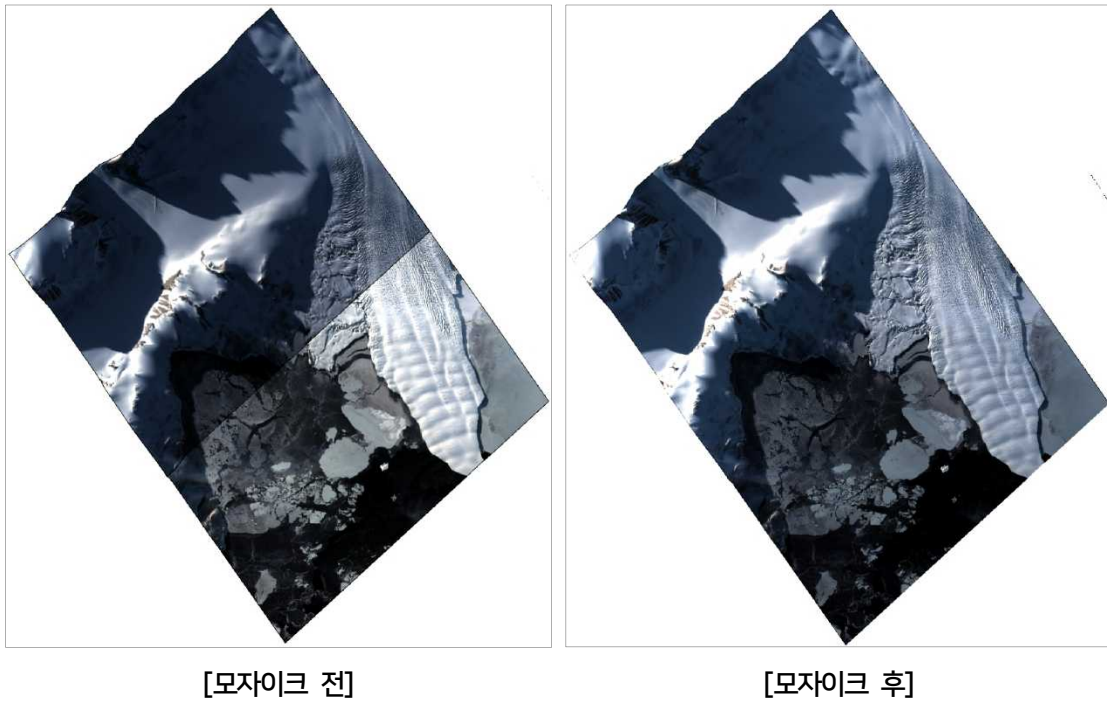
| 항목 번호 | 모의영상 정사영상 성과 | | 2019년도 성과 | | dxy ₁ |
|----------|--------------|-------------|----------------|----------------|------------------|
| | x | y | x ₁ | y ₁ | |
| 1 | 477145.349 | 1718226.925 | 477145.720 | 1718225.630 | 0.37 |
| 2 | 477170.133 | 1718113.851 | 477169.930 | 1718112.040 | 0.20 |
| 3 | 477254.017 | 1718270.636 | 477252.386 | 1718271.264 | 1.63 |
| 4 | 477476.849 | 1717831.466 | 477476.380 | 1717830.990 | 0.47 |
| 5 | 477069.523 | 1718205.334 | 477068.320 | 1718205.640 | 1.20 |
| 6 | 477433.749 | 1717876.057 | 477431.340 | 1717875.910 | 2.41 |
| 평균 | | | | | 1.05 |

자료: 저자 작성

2) 품질평가

모의영상으로 제작된 정사영상의 품질평가는 인접한 두 영상의 색상보정과 접합선(Seamline)이 만나는 지점에서 지형지물의 이격 차이 발생 여부를 평가하였다. 모의영상으로 제작된 정사영상은 K3A_20160325044400_05520_00031258와 K3A_00031375영상을 활용하였다.

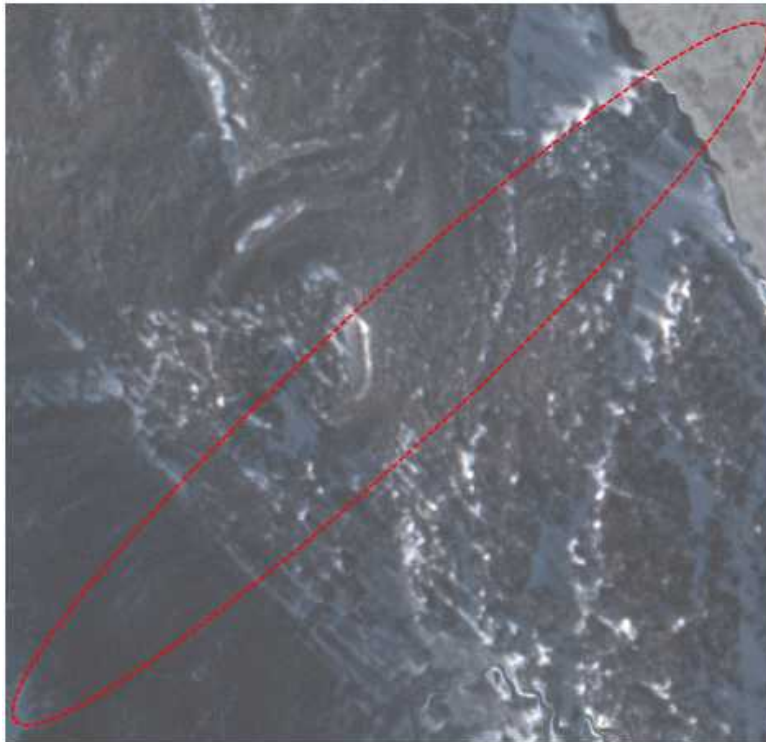
두 영상을 모자이크하기 전에는 영상 사이에 밝기 차이가 발생하고 화소의 null 값으로 접합선에 흑백 영역이 존재한다(그림 3-38). 이는 원격탐사 처리 소프트웨어에서 모자이크 생성 시 밝기 값과 색상 조정 옵션을 통하여 제작하였을 경우 두 영상 사이에 밝기값과 색상에서 데이터 활용에 문제가 없는 것으로 파악되었다.



자료: 저자 작성

<그림 3-38> 모자이크 전후 정사영상 비교

두 영상의 접합지점에서의 영상 위치오차에 따른 이격 현상 발생 여부를 확인한 결과 DEM에서 $5 \times 5\text{m}$ 격자간격 생성이 되지 않는 일부 빙하 지역(크레바스 지역)에서 이격 현상이 발생한 것을 파악하였으나 해상 자료를 영상지도, 정사영상지도 등 파생 제품으로 사용할 때도 문제가 없는 것으로 파악되었다<그림 3-39>.



[내륙지역 접합선]



[빙하(크레바스)지역 접합선]

자료: 저자 작성

<그림 3-39> 두 영상 교차 지점의 접합선 지역의 예시

3. 극지역 공간정보 구축 관련 작업규정 개선을 위한 기술적 시사점

가. 기존 관련 규정 분석

1) 수치지형도 관련 작업 규칙 및 규정 분석

본 연구에서는 수치지형도 작업 규정 개정을 위하여 기존의 수치지형도 작업과 관련한 각종 규정과 국토지리정보원 지리정보과에서 수치지형도 작업자들의 수치지형도 작업의 편의를 위해 제작한 작업 및 편집 매뉴얼을 분석하였다.

수치지형도와 수치지도의 정의는 다르게 표현되고 있는데 먼저 수치지형도의 정의를 살펴보면 "수치지형도"란 측량 결과에 따라 지표면 상의 위치와 지형 및 지명 등 여러 공간정보를 일정한 축척에 따라 기호나 문자, 속성 등으로 표시하여 정보시스템에서 분석, 편집 및 입력·출력할 수 있도록 제작된 것(정사영상지도는 제외한다)을 말한다(수치지형도 작성 작업 규정, 국토지리정보원, 2019). 반면 "수치지도"라 함은 지표면·지하·수중 및 공간의 위치와 지형·지물 및 지명 등의 각종 지형공간정보를 전산시스템을 이용하여 일정한 축척에 의하여 디지털 형태로 나타낸 것을 말한다(수치지도작성 작업규칙, 국토지리정보원, 2015).

따라서 본 연구에서는 수치지형도와 관련된 작업 규정에 대하여 분석하고 시사점을 도출하고자 한다.

2) 수치지형도 작업 규정 검토

기존 수치지형도 작업 규정을 검토하고 위성영상을 활용하여 극지역 및 접근지역 작업 방법과 차이가 발생하여 현실성이 떨어지거나, 규정이 모호한 내용을 다음 <표 3-22>와 같이 정리하였다.

<표 3-22> 수치지형도 작성 작업규정 검토

| 수치지형도 작성 작업규정 [국토지리정보원 고시 제2019-145호] | 검토내용 |
|---|-------------------------------|
| 제1장 총칙 제1조(목적) 이 규정은 「수치지도 작성 작업규칙」(이하 “규칙”이라 한다)에 따라 수치지형도 작성에 관한 세부사항을 규정하여 작업방법, 규격 등을 표준화하고, 정확도를 확보하는데 있다. | |
| 제2조(용어의 정의) 이 규정에서 사용하는 용어의 정의는 다음 각 호와 같다. 1. “수치지형도”란 측량 결과에 따라 지표면 상의 위치와 지형 및 지명 등 여러 공간정보를 일정한 축척에 따라 기호나 문자, 속성 등으로 표시하여 정보 시스템에서 분석, 편집 및 입력·출력할 수 있도록 제작된 것(정사영상지도는 제외한다)을 말한다. 2. “수치지형도 작성”이란 각종 지형공간정보를 취득하여 전산시스템에서 처리할 수 있는 형태로 제작하거나 변환하는 일련의 과정을 말한다. 3. “정위치편집”이란 지리조사 및 현지측량에서 얻어진 자료를 이용하여 도화 데이터 또는 지도입력 데이터를 수정·보완하는 작업을 말한다. 4. “구조화편집”이란 데이터 간의 지리적 상관관계를 파악하기 위하여 지형·지물을 기하학적 형태로 구성하는 작업을 말한다. | |
| 제3조(적용) ① 수치지형도 작성에 대한 별도의 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 이 규정에서 정하는 바에 의한다. ② 항공사진촬영, 지상기준점측량, 사진기준점측량, 세부도화 및 수정도화작업은 항공사진측량작업규정에 의한다. | |
| 제4조(좌표계 등) ① 좌표계 및 좌표의 기준은 규칙 제4조에 따른다. 다만, 단일평면직각좌표계의 경우는 투영원점의 수치를 X(N) 2,000,000m, Y(E) 1,000,000m로 하며, 좌표계 X축상에서의 축척계수는 0.9996으로 한다. ② 좌표는 m단위로 하고 세부도화, 정위치편집 및 구조화편집의 좌표값은 소수점 이하 3자리까지 기록하여야 한다. | 남극 및 북극지역 좌표계에 대한 기술적 정의 필요 |
| 제5조(사용장비) ① 측량수로조사 및 지적에 관한 법률 제92조의 규정에 따라 성능검사를 필한 장비를 사용한다. ② 사용하는 장비는 요구되는 각종 축척 및 정확도를 유지할 수 있는 성능을 가져야 한다. | |
| 제2장 작업계획 제6조(작업계획서 제출) 작업기관은 각 작업별로 다음사항을 포함한 계획서를 작성하여 제출하여야 한다. 1. 투입장비현황(품명, 규격, 성능, 고유번호) 2. 작업지역(모델)색인도 3. 작업예정공정표 | 위성영상 촬영 및 품질에 관한 계획서 제출 추가 필요 |

| 수치지형도 작성 작업규정 [국토지리정보원 고시 제2019-145호] | 검토내용 |
|---|------|
| 4. 참여기술자 명단(자격증사본 등 포함) 5. 보안관리계획 | |
| 제3장 작업방법 제7조(자동독취) ① 자동독취는 신축이 없는 지도의 원판 또는 인화된 양판을 사용하는 것을 원칙으로 하며, 독취하고자 하는 원판 또는 양판은 구겨짐, 얼룩짐, 굵힘 등의 흠집이 없는 깨끗한 상태를 유지하여야 한다. ② 지형도 원판을 자동독취할 때는 해상도를 500dpi 이상으로 하여야 한다. ③ 자동독취 이전에 기기의 기하 및 방사보정하여 최적의 결괏값을 얻을 수 있도록 독취 인자값을 설정하여 지형도 원판 내용과 도곽선 등이 명확히 식별되어야 한다. ④ 자동독취 후에는 잡음을 제거하여야 하며, 네 도곽의 좌표값에 의한 도곽 보정을 실시하여야 한다. 단, 독취된 파일과 도곽좌표와의 차이가 도상 0.2mm 이상일 경우에는 재독취 하여야 한다. ⑤ 독취파일은 네 지점의 도곽을 일치시켜 병합하여야 한다. | |
| 제8조(좌표변환) 좌표변환은 국토지리정보원에서 제공한 도곽좌표값을 사용하되 정확히 일치되어야 하며, 도곽 4개의 모서리지점은 작업이 완료된 후에도 삭제하여서는 안 된다. | |
| 제9조(벡터화) 각 지형·지물의 벡터화는 다음방법에 의하고, 공간정보의 분류 체계는 규칙을 따르며, 세부 지형·지물의 표준코드는 별표 1에 따른다. 1. 벡터화는 독취파일(래스터데이터)을 이용하여야 한다. 2. 벡터데이터는 래스터데이터의 범위 내에서 생성하여야 한다. 3. 실형건물 중 직선건물은 각 코너에 하나씩의 점 데이터만 있어야 하며, 반드시 폐합되어야 한다. (단, 도면간의 인접부분은 정확히 연결(접합)한 후 분리하여야 한다.) 4. 곡선데이터의 점간 입력간격은 축척 1/1,000은 1m, 1/1,000은 2.5m, 1/5,000은 5m, 1/25,000은 10m로, 중간점을 생략할 수 있는 각도는 직선 진행방향을 기준으로 축척 1/1,000, 1/1,000 및 1/5,000은 6°, 1/25,000은 1°로 하는 것을 원칙으로 한다. | |
| 제10조(벡터화의 정확도) 정확도는 래스터데이터와 최종 벡터데이터를 화면에서 비교하여 도상 0.2mm 이내이어야 하며, 확인용 출력도면은 지도원판과 비교하여 상대 최대오차가 도상 0.7mm, 표준편차가 도상 0.4mm 이내이어야 한다. | |
| 제11조(수동독취) ① 입력항목의 독취 시작 및 종료 후에는 도곽 네 모서리를 각각 독립적으로 2회씩 측정하고 교차가 0.3mm를 초과했을 경우에는 재측정 한다. 다만, 입력용 기준도의 상황에 따라서는 도곽 네 모서리 부근에서 좌표를 확인할 수 있는 점을 사용할 수 있다. | |

| 수치지형도 작성 작업규정 [국토지리정보원 고시 제2019-145호] | 검토내용 |
|--|------|
| ② 지물 등의 독취 정확도는 도상 표준편차 0.3mm 이내로 한다. ③ 기계좌표에서 평면직각좌표로의 변환은 부등각변환을 표준으로 한다. ④ 변환계수는 독취한 도곽 네 모서리의 기계좌표 및 도곽 네 모서리의 평면 직각좌표에서 최소제곱법에 의해 결정한다. ⑤ 도곽 네 모서리의 잔차는 도상 최대 0.2mm로 한다. | |
| 제12조(수동독취의 표정) ① 표정은 4점 이상의 기준점을 사용하여야 하며, 기준점간의 거리는 가능한 한 멀어야 한다. ② 표정오차는 도상 0.2mm 이내이어야 한다. | |
| 제13조(수동독취의 입력) 각 지형·지물의 수동입력은 제9조 벡터화의 제3호, 제4호를 준용한다. | |
| 제14조(수동독취의 정확도) 입력 시의 정확도는 도상 0.2mm 이내이어야 하며, 확인용 출력도면은 지도원판과 비교하여 상대 최대오차가 도상 0.7mm, 표준편차가 도상 0.4mm 이내이어야 한다. | |
| 제15조(지리조사 대상 및 범위) 조사는 항공사진(영상 포함), 도화성과와 수치지도1.0 또는 수치지도2.0 등의 자료를 이용하여 조사 당시 나타난 지형·지물과 이에 관련되는 지명·명칭을 그 대상으로 하며, 그 범위는 별표 2를 기준으로 한다. | |
| 제16조(조사기준) ① 조사는 항공사진촬영 당시를 기준으로 하되, 항공사진의 사각지대 또는 단순 변경된 독립 주택 등 조사측량이 가능한 경우는 보완하여 반영하고, 대규모 공사지역 등은 공사명칭(기간) 및 완공일 등을 조사하여 표기하여야 한다. ② 수치지형도 상 반영하지 못하는 변경된 지형·지물 및 주기에 대하여는 그 지역 및 주기임을 확인 할 수 있는 사진을 촬영하여 첨부하여야 한다. | |
| 제17조(지리조사의 작업방법) 지리조사 시 작업방법은 다음과 같다. 1. 색인도 작성 및 자료수집 색인도 작성은 기본도 축척 중 한 단계 아래의 지형도 상에 기본도도곽, 도엽명, 사진도곽 및 번호를 표기하고, 지리조사를 실시하기 전에 각종 참고자료를 수집, 분석하여 지리조사 시 참고자료로 이용한다. 2. 도엽설정 항공사진 상에 도엽을 설정할 때는 계획축척의 한 도엽과 동일하게 설정하되, 인접도엽과 3-5cm 이내에 중복되게 하고, 적색으로 도곽선을 표시하여야 한다. 3. 색인번호 삽입 항공사진 상 좌측상단에 도엽번호, 사진촬영코스 및 사진번호를 표시하여야 한다. 4. 지명조사 지명조사는 법정지명, 행정지명, 동리명, 부락명, 인공지물, 지명 등을 모 | |

| 수치지형도 작성 작업규정 [국토지리정보원 고시 제2019-145호] | 검토내용 |
|---|---|
| <p>두 조사하여야 하며, 읍, 면 단위로 법정지명, 행정지명, 부락명 등은 별표 3의 행정지명일람표를 작성한 후 별표 4의 지리지명조사보고서를 작성하여야 한다.</p> <p>5. 항공사진 상에 성과 기록 조사사항을 전부 기록하기 곤란할 때는 일련번호를 사용하여 지형·지물과 지명을 구분하여 파악하기 쉽게 종이를 별도 부착 기록하여야 한다.</p> <p>6. 기본도 정리 시·군(구)·읍(동)·면 경계 또는 기본도와 다른 지명(고시지명 기준), 지형·지물의 변경사항 등을 적색으로 정리 기록하여야 한다.</p> <p>[별표 3] 행정지명 일람표 [별표 4] 수치지도 2.0 지형·지물 속성 목록</p> | |
| <p>제18조(지리조사의 확인) 지리조사의 확인은 다음과 같이 실시한다.</p> <p>1. 모든 성과는 현지에서 정리 완료한 후 현장대리인이 확인하고, 날인을 하여야 한다.</p> <p>2. 조사정리 완료된 지리지명조사보고서, 행정지명일람표 및 행정경계 등은 소속 행정기관장(동·읍·면장) 또는 소속 행정기관 담당자의 확인과 근거자료를 첨부하여야 한다.</p> | |
| <p>제19조(정위치편집)</p> <p>① 각 지형·지물의 정위치 편집은 다음 방법에 의하고, 공간정보의 분류체계는 규칙을 따르며, 세부 지형·지물의 표준코드는 별표 1에 따른다.</p> <p>1. 국가기준점(삼각점, 수준점, 통합기준점)은 성과표에 따라 모두 입력하여야 한다.</p> <p>2. 숲 또는 장애물 등으로 항공사진 판독이 불가능한 지역은 지리조사성과를 이용하여 수정 또는 보완하여야 하며, 모니터 상에서 직접 수정이 어려운 부분은 현지보완측량 성과를 이용하여 입력하여야 한다.</p> <p>3. 숲 또는 장애물 등으로 인한 등고선의 불합리한 부분은 산지에 한하여 주곡선 간격의 1/3범위 이내에서 수정할 수 있다.</p> <p>4. 항공사진 촬영과 지리조사 시점의 차이로 단순 변경된 독립주택 등은 지리조사 성과 또는 조사측량 된 성과를 이용하여 입력 또는 수정하여야 한다.</p> <p>5. 도로, 철도, 교량, 제방, 댐 등 각종 지형·지물의 제원은 지리조사에서 얻은 자료를 이용하여 정확히 수정 또는 입력하여야 한다.</p> <p>6. 지류는 축척 1/1,000의 경우 필지별 경지계로 개별 폐합하고, 1/1,000 및 1/5,000의 경우에는 같은 지류집단 외곽을 지류계로 폐합한 후 필지별 경지계로 분할, 계단식 등 독의 폭이 큰 경우는 지류계로 단독폐합 방법에 따라 편집하여야 한다.</p> | <p>극지역 특성(빙하, 적설 등)이 반영된 정위치 편집 방법에 대한 내용 추가 필요</p> |

| 수치지형도 작성 작업규정 [국토지리정보원 고시 제2019-145호] | 검토내용 |
|--|--------------------------------|
| <p>7. 도로와 하천 폭이 축척 1/1,000에서는 0.6m 이상, 1/1,000에서는 1.5m이상, 1/5,000에서는 3m 이상, 1/25,000에서는 6m 이상은 실폭으로 표현하여야 한다.</p> <p>8. 축척별 실폭도로에는 도로중심선을 생성하고, 국가하천, 지방하천은 제방과 제방 사이를 중심으로 하천중심선을 생성하여야 한다.</p> <p>9. 철도, 도로, 도로중심선, 하천, 하천중심선이 고가부, 교량 등과 교차할 경우에는 통과하여 연결하여야 한다.</p> <p>10. 모든 데이터의 분기점은 일치되어야 한다.</p> <p>11. 연속되는 모든 선형데이터는 연결되어야 한다.</p> <p>12. 등고선, 표고점, 삼각점, 수준점, 통합기준점에는 높이값(3차원 데이터)을 정확히 입력하여야 한다.</p> <p>13. 등고선은 단락시키지 않게 연결해야 한다. 단, 축척 1/1,000인 경우는 건물, 교량에서 단락시켜 입력하여야 한다.</p> <p>14. 등고선 수치는 등고선을 단락시키지 않고 등고선 상에 입력하여야 한다.</p> <p>15. 지류기호는 한필지에 하나씩 해당지류의 중앙에 표시하는 것을 원칙으로 한다.</p> <p>16. 수시수정으로 변경된 도로, 철도 등의 지형지물이 주변 지형(등고선을 포함한다)과 불일치하더라도, 기존 지형 및 등고선을 수정하지 않고 향후 항공사진촬영 성과 등을 이용하여 일괄 수정한다.</p> <p>② 수치지형도의 모든 지형·지물 및 내용물은 각각 별도의 독립적인 의미를 가지므로 같은 위치에 여러 선이 겹치더라도 삭제하거나 임의로 전위 할 수 없다.</p> <p>③ 해안선 및 등심선은 국립해양조사원에서 제작한 해도에서 추출하여 다음 각 호의 방법으로 표시하되, 자료가 부족하거나 오류 등으로 인하여 표시할 수 없는 경우에는 생략할 수 있다.</p> <p>1. 해안선은 약최고고조면을 기준으로 입력한다. 다만, 해도 제작 시점의 차이로 지형지물 변동사항이 발생하여 해안선이 다를 경우 항공사진 및 지리조사 등을 통해 보완한다.</p> <p>2. 등심선은 약최저저조면을 기준으로 입력한다. 다만, 자료의 부족 등으로 등심선이 단락된 경우, 해도에 있는 데로 표시한다.</p> | <p>해안선 표현 방법에 대한 내용 보완 필요.</p> |
| <p>제20조(주기의 입력)</p> <p>① 주기는 한글, 영어, 숫자로 입력하되 유니코드체계를 사용하여야 한다.</p> <p>② 지리조사 시 조사 확인된 주기를 입력하여야 한다.</p> <p>③ 크기, 글자 간격, 배열방법은 지도도식규칙에서 정한 바에 의하되 선상주기의 배열은 직선으로 표현하여야 하며, 가능한 한 선상과 일치하여야 한다.</p> <p>④ 주기를 입력시키기 위해 다른 지형·지물을 삭제하여서는 안 된다.</p> | |

| 수치지형도 작성 작업규정 [국토지리정보원 고시 제2019-145호] | 검토내용 |
|--|---|
| <p>제21조(구조화편집)</p> <p>① 각 지형·지물의 구조화 편집은 다음 방법에 의하고, 공간정보의 분류체계는 규칙을 따르며, 세부 지형·지물의 표준코드 및 속성목록은 별표 1, 별표 2에 따른다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 기존의 정위치편집이 완료된 수치지형도의 레이어를 구조화편집 레이어와 일치하도록 레이어를 변환하여야 하며, 불필요한 레이어는 삭제하여야 한다. 2. 모든 도형정보는 점·선·면의 기하학적 구조를 갖도록 편집하고 각 도형정보에 대한 속성정보를 입력하여야 한다.19조 3. 도로 또는 하천이 분리되는 부분에 대하여 교차면을 생성하고, 도로가 교차되는 부분의 객체와 도로경계선, 도로중심선이 교차하는 부분은 분리하여 노드를 생성하여야 한다. 4. 면 구조의 계층에 대한 구조화 작업 시 지형·지물간의 상관관계에 대한 위치 및 연결 구조를 확인 후 작업을 실시하여야 한다. 5. 속성입력은 지리조사 및 관련 자료를 참조하여 입력하되, 동일객체에 대하여 같은 필드에 속성항목이 다를 경우 객체를 분리하여 입력을 수행한다. 6. 행정경계의 면처리시 해안의 경우 행정경계와 해안선을 연결하여 면 처리하며, 도서의 경우 해안선만으로 면처리하여 행정구역을 표현한다. 7. 구조화편집 시 표현 레이어, 색상, 폰트 등은 규정에 따라 작성하며, Table의 순서에 주의하여 작성하여야 한다. <p>② 구조화편집 파일의 작성 양식은 아래 각호를 원칙으로 한다. 다만, 필요한 경우 다른 양식을 사용할 수 있다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 도형정보 : NGI 2. 속성정보 : NDA | <p>타 기관 및 해외배포를 고려한 공통 및 표준 포맷 반영 필요.</p> |
| <p>제22조(도면제작편집) 축척별 지형도에 대한 도면제작편집은 지도도식규칙과 각 축척별 도식적용규정을 적용한다.</p> | |
| <p>제4장 정리점검 및 납품</p> <p>제23조(인접처리) 작업이 완료되면 상호 인접되는 데이터를 지형·지물의 표현상 모순이 없도록 수정하여 일치시켜야 한다. 또한 다른 좌표계와의 인접지역은 동일좌표계로 치환하여 일치시킨 후 원래 좌표계로 전환시켜야 한다.</p> | |
| <p>제24조(정리 및 품질검사)</p> <p>① 작업이 완료되면 책임자는 각 작업별 성과의 오기, 누락, 지형·지물 표준코드의 적정 사용, 정확도 등을 검사하여 성과점검 및 관리파일을 작성하여야 한다. 또한 확인 완료된 성과는 감독관의 확인검사를 받은 후 후속작업의 자료로 사용하여야 한다.</p> <p>② 품질검사는 각 공정별로 규칙 제10조에 따라 시행하여야 한다.</p> | |

| 수치지형도 작성 작업규정 [국토지리정보원 고시 제2019-145호] | 검토내용 |
|---|------|
| <p>제25조(성과납품) 납품하여야 할 성과는 해당 작업 공정별로 다음과 같으며 각 공정별로 별표 5와 같이 성과점검 및 관리파일을 작성하여야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 자동독취기 <ol style="list-style-type: none"> 가. 지형도 원판 독취파일 나. 성과점검표 2. 세부도화 <ol style="list-style-type: none"> 가. 도화일지 나. 도화파일 3. 벡터화 <ol style="list-style-type: none"> 가. 벡터화파일 나. 성과점검 및 관리파일 4. 수동독취 <ol style="list-style-type: none"> 가. 수동독취파일 나. 성과점검 및 관리파일 5. 지리조사 <ol style="list-style-type: none"> 가. 지리지명조사보고서 나. 조사사항을 기록한 도면, 데이터(전자야장 또는 스캔파일 등) 다. 행정지명일람표 라. 기타 지리지명 조사에 사용된 모든 참고자료와 지리지명 조사에서 얻은 모든 자료 일체 마. 사진첩 6. 정위치편집 <ol style="list-style-type: none"> 가. 정위치편집파일 나. 성과점검 및 관리파일 7. 구조화편집파일 <ol style="list-style-type: none"> 가. 구조화편집파일 나. 성과점검 및 관리파일 8. 도면제작편집 <ol style="list-style-type: none"> 가. 도면제작편집파일 나. 지형도 출력도면 <p>[별표 5] 수치지도 성과 점검 및 관리파일</p> | |

자료: 저자 작성

3) DEM 작업 규정 분석

현재 DEM 제작을 위한 작업 규정은 기존 수치표고자료구축에관한작업규정(국토지리정보원 내규 제2002-107호(2002. 12. 24))은 2009년 8월 폐지되어 항공레이저측량작업규정(2016.02.12.)에 의해 제작 기준 및 방법이 정의되어 작업에 활용되고 있다. 그러나 현재 항공레이저측량작업규정 용어 정의에서 높이 값을 갖는 데이터는 항공 LiDAR 촬영에 의해 취득된 데이터만을 정의하고 있어 항공 LiDAR 촬영성과를 이용한 데이터 항목만 한정한다면 위성영상, 수치지형도의 등고 및 표고 데이터 등을 이용하여 DEM을 제작하는 데는 부적합 하다고 할 수 있다.

<표 3-23> 규정에서의 높이 값 데이터의 정의

| 항목 | 수치표고자료구축에관한작업규정(폐지) | 항공레이저측량 작업규정 |
|-----------|---|---|
| 높이 데이터 정의 | “지형자료취득” 이라 함은 항공사진측량 및 원격탐사, 지상측량 등을 이용하여 직접 지형의 표고값을 추출하거나 취득하는 것을 말한다. | 기존 ‘지형자료취득’ 용어 정의 항목 삭제 "원시자료(Mass Points)"라 함은 항공레이저측량에 의하여 취득한 최초의 점자료를 말한다. |

자료: 저자 작성

국토지리정보원에서 LiDAR 이외에 센서 및 장비를 활용하여 DEM을 제작하여 납품하는 사업은 극지역 공간정보 구축사업, 접근불능지역 공간정보 구축, 접경지역 공간정보 구축사업에서 DEM 성과납품을 요구하고 있으며 해당 지역은 항공 LiDAR를 이용하여 데이터 취득할 수 없는 지역으로 과업지시서 분석 결과 별도 규정에 따른 DEM 관련 작업 규정은 없는 것으로 나타났다.

<표 3-24> 접근 불능 및 극지역 사업에서 DEM 작업 방법 과업지시서 내용

| 사업명 | 관련 과업 내용 | 비고 |
|----------------|--|---------------------------|
| 접근불능지역 공간정보 구축 | <ul style="list-style-type: none"> 『수치지도 작성 작업규칙(국토교통부령 제209호, 2015.6.4.)』 『수치지형도 작성 작업규정(국토지리정보원 고시 제2019-145호, 2019.7.1.)』 『항공사진측량 작업규정(국토지리정보원 고시 제2016-2609호, 2016.11.17.)』 『영상지도제작에 관한 작업규정(국토지리정보원 고시 제2019-147호, 2019.7.1.)』 <p>⑧ DEM(DEM) 구축 : DEM은 본 사업으로 제작한 수치지형도, 도화성과, 기준점 측량성과 등을 이용하여 제작한다.</p> | 세부 작업 항목에 DEM 구축 자료 별도 명시 |
| 접경지역 | <ul style="list-style-type: none"> 『수치지도 작성 작업규칙(국토교통부령)』 | DEM 구축 방법 |

| 사업명 | 관련 과업 내용 | 비고 |
|----------------|---|------------------------|
| 공간정보 구축 | <ul style="list-style-type: none"> 『수치지형도 작성 작업규정(국토지리정보원 고시)』 『항공사진측량 작업규정(국토지리정보원 고시)』 『영상지도제작에 관한 작업규정(국토지리정보원 고시)』 | 에 대한 별도 명시 없음 |
| 극지역 공간정보 구축 | <ul style="list-style-type: none"> 영상지도제작에 관한 작업 규정(국토지리정보원 고시 제2019-147호)」, 「수치지형도 작성 작업규정(국토지리정보원 고시 제2019-145호)」, 「수치지도 작성 작업규칙(국토교통부령 제209호)」, 「지도도식규칙(국토교통부령 제209호)」, 「공공측량 작업규정(국토지리정보원 고시 제2019-153호)」, 「2008년도 극지역 측량 및 지도제작 기본계획 연구」, 「북극지역 공간정보 구축 기본계획 연구 보고서(국토교통부)」, 「2014 북극지역 측량 및 지도제작(국토교통부)」, 「국토지리정보원 기관표준」 등을 준용하여 실시 단, 작업규정에서 제시되지 않은 사항은 발주기관과 협의 | DEM 구축 방법에 대한 별도 명시 없음 |

따라서 본 연구에서는 기존의 항공레이저 작업 측량 규정 중 항공레이저 센서 특성에 해당하는 부분을 제외한 제8장 DEM의 제작 항목만을 분석하였다.

<표 3-25> 항공레이저측량 작업규정 검토

| 항공레이저측량 작업규정 [국토지리정보원고시 제2016-429호] | 검토내용 |
|--|-----------------------------|
| 제8장 DEM의 제작 | |
| 제42조(DEM의 제작) DEM은 정표고로 변환된 수치지면자료를 이용하여 격자 자료로 제작하여야 한다. | |
| 제43조(격자자료의 제작) 격자자료는 사용목적 및 점밀도를 고려하여 불규칙 삼각망, 크리깅(Kriging)보간 또는 공삼차보간 등 제44조에 규정된 정확도를 확보할 수 있는 보간방법으로 제작하여야 한다. | |
| 제44조(DEM 규격 및 정확도) DEM의 격자 규격에 따른 평면 및 수직 위치 정확도의 한계는 다음 각 호와 같다. 다만, DEM의 활용분야 및 제작목적에 따라 정확도를 별도로 정할 수 있다. 1. 평면위치 정확도 : $H(\text{비행고도})/1,000$ 2. 수직위치 정확도 | 극지역 사업에서 평면위치 정확도 별도 명시 필요. |

| 항공레이저측량 작업규정 [국토지리정보원고시 제2016-429호] | | | | | 검토내용 |
|--|---------|---------|---------|-----|------|
| 격자규격 | 1m × 1m | 2m × 2m | 5m × 5m | 비 고 | |
| 수치지도축척 | 1/1,000 | 1/2,500 | 1/5,000 | | |
| RMSE | 0.5m이내 | 0.7m이내 | 1.0m이내 | | |
| 최대오차 | 0.75m이내 | 1m이내 | 1.5m이내 | | |
| 제45조(DEM의 정확도 점검) 실측된 기준점 및 검사점과 DEM과의 표고 차이에 대한 최댓값, 최솟값, 평균, 표준편차 및 DEM의 RMSE를 구하여 제44조를 기준으로 정확도를 점검한다. | | | | | |
| 제46조(DEM 오류 확인 및 수정) DEM로 음영기복도를 생성하여 화면상에서 육안으로 검사하고 오류를 확인하여 수정한다. | | | | | |
| 제47조(음영기복도 제작) 음영기복도는 DEM을 이용하여 지형의 표고에 따라 음영효과를 시각적으로 표현하여야 하며, 발주처가 정하는 축척의 수치지도 도엽단위로 제작한다. | | | | | |
| 제48조(DEM의 기록) ① DEM의 좌표는 미터(m) 단위로 하고, 소수 2자리(소수점 3자리에서 반올림)까지 표시하여야 한다. ② 생성된 DEM은 발주처가 정하는 축척의 수치지도 도엽단위로 분할하여 저장하고, 도곽보다 50m 크게 제작한다. ③ DEM의 최종 성과는 별표27에 의하여 기록한다. | | | | | |
| 제49조(검사결과 작성) DEM의 정확도 검증과 오류 점검 및 수정에 대한 결과는 다음 각 호에 따라 작성하여야 한다. 1. DEM 검사표(별표28) 2. DEM 오류 정정표(별표29) | | | | | |

자료: 저자 작성

4) 정사영상 작업 규정 분석

정사영상 작업 규정은 국토지리정보원의 영상지도제작에 관한 작업규정(국토지리정보원고시 제2019-147호)에 명시되어 있다. 해당 규정에서 사용되는 영상이라고 함은 항공사진 뿐만 아니라 인공위성에 탑재된 감지기까지 포함되어 있어 위성영상을 활용하여 정사영상을 제작하는 극지역, 접경 및 접근 불능지역 사업에 적용할 수 있다.

다만, 영상지도 제작 규정이 항공사진을 이용한 제작 방법에 중점을 두고 있어 위성영상을 활용한 영상지도 제작 시 위성영상 촬영성과 품질 검수, 극지역 지역 특수성에 기반한 영상지도 품질 검수 항목에 대해서 별도 명시 및 별표 양식으로 작성하는 것이 필요한 것으로 나타났다.

<표 3-26> 영상지도제작에 관한 작업규정 검토

| 영상지도제작에 관한 작업규정 [국토지리정보원고시 제2019-147호] | 검토내용 |
|---|----------|
| 제1장 총칙 제1조(목적) 이 규정은 「공간정보 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제12조 및 같은법 시행규칙 제8조에 의거 항공사진 및 인공위성영상 등을 이용하여 수치정사 영상지도(이하 "영상지도"라 한다) 제작을 위한 작업방법 및 기준 등을 정하여 성과의 정확도 등을 확보함을 그 목적으로 한다. | |
| 제2조(용어의 정의) 이 규정에서 사용하는 용어의 정의는 다음 각 호와 같다. <ol style="list-style-type: none"> 1. "영상"이라 함은 항공사진측량용 카메라 및 인공위성에 탑재된 감지기로 부터 취득된 지형지물 등 대상물에 대한 항공사진 및 위성영상(수치화된 영상)을 포함한다. 이하 같다)를 말한다. 2. "영상지도"라 함은 정사영상에 색조보정을 실시하여 지형·지물 및 지명, 각종 경계선 등을 표시한 지도를 말한다. 3. "수치사진측량"이라 함은 수치도화기 또는 컴퓨터로 지형·지물 등에 대한 정보를 취득하는 작업을 말한다. 4. "정사영상"이라 함은 중심투영에 의하여 취득된 영상의 지형·지물 등에 대한 정사편위수정을 실시한 영상을 말한다. 5. "영상처리"라 함은 영상의 분석 및 판독을 위한 일련의 영상조정 작업을 말한다. 6. "정사편위수정"이라 함은 사진촬영시 중심투영에 의한 대상물의 왜곡과 지형의 기복에 따라 발생하는 기복변위를 제거하여 영상전체의 축척이 일정하도록 하는 작업을 말한다. | |
| 제3조(적용범위) 영상지도제작은 이 규정에서 정한 바에 따르는 것을 원칙으로 한다. 다만, 수치지도제작과 관련된 작업은 "수치지도작성작업규칙"을 적용한다. | |
| 제2장 항공사진 자동독취 | 본 표에서 생략 |
| 제3장 정사영상제도제작 | |
| 제14조(공종별 작업순서) 영상지도제작을 위한 공정별 작업순서는 다음 각 호와 같다. 다만 작업공종 중 활용이 가능한 성과 또는 자료가 있을 경우에는 작업의 공종 일부를 변경하거나 생략할 수 있다. <ol style="list-style-type: none"> 1. 작업계획의 수립 2. 자료수집(수치영상자료, 기준점성과, 수치지도) 3. 지상기준점의 선점 및 외부표정요소 4. 수치표고자료의 제작 5. 정사영상제작 6. 영상지도의 편집 | |

| 영상지도제작에 관한 작업규정 [국토지리정보원고시 제2019-147호] | 검토내용 |
|--|-------------------------------------|
| <p>7. 정리점검</p> <p>제15조(작업계획서) 항공사진 및 위성영상 등의 영상을 이용하여 정사 영상지도를 제작할 경우에는 작업계획서를 다음 각 호와 같이 수립하여야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 작업방법 및 품질관리 계획 2. 자료수집 계획 3. 세부예정 공정 4. 인원과 장비의 투입 5. 보안대책 및 안전관리 | |
| <p>제16조(자료의 형식) 정사영상의 형식은 좌표를 포함한 파일 형식으로 하며 영상지도는 별도로 지정하지 않는 한 범용의 출력기기에서 출력할 수 있는 파일 형식으로 제작한다.</p> | |
| <p>제2절 정사영상 제작</p> <p>제17조(작업방법) 정사영상제작은 다음 각 호와 같이 작업을 실시하여야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 정사영상제작에 사용될 초기영상의 지형지물 상태와 수치표고자료의 일치성 여부를 검토하여야 한다. 2. 정사영상은 모델별 인접지역과 밝기값의 차이가 나지 않도록 제작되어야 한다. 3. 정사영상의 정확도 확보에 필요한 최적의 작업방법으로 정사보정을 실시하여야 한다. | |
| <p>제18조(자료의 점검) 작업지역에 필요한 수치영상과 수치지도 등 기타 자료를 확보하여 다음의 각 호와 같이 이상(異相) 유무를 점검하여야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 영상자료의 처리가능 여부를 점검한다. 2. 수치지도의 갱신, 벡터처리 가능여부, 공간적 위치정확성, 속성정확성 여부를 점검한다. | |
| <p>제19조(영상의 평가) ① 영상은 인접영상의 색상과 명암, 대비, 잡음, 구름에 의한 지형의 가림 정도를 고려하여 영상의 면적을 4내지 8등분하여 평가한다.</p> <p>② 영상지도제작에 지장이 있을 때에는 재독취 또는 교체하여야 한다.</p> | |
| <p>제20조(수치표고 자료) ① 정사영상제작에 이용하는 수치표고자료의 격자간격은 영상의 2화소 이내의 크기에 해당하는 간격이어야 하며, 그 정확도는 영상표정 결과의 2배 이내이어야 한다.</p> <p>② 지형·지물이 변화된 수치지도를 이용하여 추출된 수치표고자료를 이용할 때에는 "항공레이저측량작업규정"에 따라 이를 보완하여야 한다.</p> | |
| <p>제21조(지상기준점의 선정) 지상기준점의 선정은 "항공사진측량작업규정"에 의하며 다음 각 호와 같은 자료로부터 지상기준점을 선정할 수 있다. 다만, 기준점의 정확도는 정사영상에서 요구되는 정확도에 따라 정할 수 있다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 기존의 항공사진기준점 | 극지역 및 접근불능지역 지상기준점 선정에 대한 내용 추가 필요. |

| 영상지도제작에 관한 작업규정 [국토지리정보원고시 제2019-147호] | 검토내용 | | | | | | | | |
|--|----------|------|---------|--------|---------|----------|---------|--------|--|
| <p>2. 1/1,000, 1/5,000 수치지도 또는 1/25,000 국가기본도</p> <p>3. 지형이 변화되어 제1호 또는 제2호를 이용한 지상기준점의 선정이 불가능할 때에는 "항공사진측량작업규정"에 의거 지상기준점측량 또는 사진기준점측량을 실시할 수 있다.</p> | | | | | | | | | |
| <p>제22조(표정) ① 항공사진의 경우에는 "항공사진측량작업규정"에 따른다.</p> <p>② 위성영상의 경우에는 다음 각 호에 의한다.</p> <p>1. 지상기준점과 위성궤도정보를 이용하여 표정을 하여야 한다.</p> <p>2. 표정요소 계산은 전체 기준점을 대상으로 각 기준점에 대한 잔차를 분석하여 오차가 3σ 이상이 되는 기준점을 제외한 후 재표정을 실시하여 아래와 같은 정확도를 갖추어야 한다.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>공간해상도</th><th>허용범위</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10m급 미만</td><td>2화소 이내</td></tr> <tr> <td>20m급 미만</td><td>1.5화소 이내</td></tr> <tr> <td>20m급 이상</td><td>1화소 이내</td></tr> </tbody> </table> | 공간해상도 | 허용범위 | 10m급 미만 | 2화소 이내 | 20m급 미만 | 1.5화소 이내 | 20m급 이상 | 1화소 이내 | |
| 공간해상도 | 허용범위 | | | | | | | | |
| 10m급 미만 | 2화소 이내 | | | | | | | | |
| 20m급 미만 | 1.5화소 이내 | | | | | | | | |
| 20m급 이상 | 1화소 이내 | | | | | | | | |
| <p>제23조(정사편위수정) 표정의 결과와 수치지표고자료를 이용하여 엄밀법에 의한 미분편위수정을 실시하여야 한다. 다만, 특별한 경우에는 다항식에 의한 방법을 사용할 수 있다.</p> | | | | | | | | | |
| <p>제24조(영상집성) ① 인접 정사영상 간의 영상집성을 실시하기 전 과정으로 영상 간의 밝기값 차이를 제거하기 위한 색상보정을 실시하여야 한다.</p> <p>② 중심투영에 의한 영향을 최소화 할 수 있는 범위 내에서 집성하여야 한다.</p> <p>③ 영상을 집성하기 위한 접합선은 기복변위나 음영의 대조가 심하지 않은 산능선, 하천, 도로 등으로 설정하여 영상 색상의 연속성을 유지하여야 한다.</p> <p>④ 영상집성 후 경계부분에서 음영이나 선사상의 이격 등이 없어야 한다.</p> <p>⑤ 영상에서 지형지물의 판독을 용이하게 하기 위해 영상강조 처리를 실시한다.</p> | | | | | | | | | |
| <p>제25조(영상융합) ① 위성영상의 경우 고해상의 전정색 영상과, 저해상의 다중분광영상을 융합하여 고해상의 칼라정사영상을 생성할 수 있다.</p> <p>② 영상융합에 이용하는 전정색 영상과 다중분광영상은 취득시기에 따른 지형의 변화가 없는 것을 원칙으로 한다. 다만 불가피할 경우에는 영상의 지형변화지역을 보완하여야 한다.</p> | | | | | | | | | |
| <p>제26조(보안지역 처리) 국가주요목표시설물은 주변지역의 지형·지물 등을 고려하여 위장처리 하여야 한다.</p> | | | | | | | | | |

| 영상지도제작에 관한 작업규정 [국토지리정보원고시 제2019-147호] | 검토내용 |
|---|--------------------------|
| 제3절 영상지도제작 제27조(작업방법) ① 정사영상과 중첩될 벡터자료는 지형·지물 일치성 여부를 검토하여야 한다. ② 벡터에 의한 지형·지물은 영상자료와 색상이 조화를 이룰 수 있도록 표현하여야 한다. ③ 영상지도의 축척별 도곽은 축척별"지도도식규칙"에 따른다. ④ 정사영상 분할은 후속작업을 고려하여 도곽의 크기보다 도상 1cm 이상의 여유를 두어 제작한다. | |
| 제28조(수치지도 레이어 추출) ① 영상지도의 축척에 적합한 레이어를 수치지도에서 추출하며 "수치지도작성작업규칙"에 제시된 레이어 분류를 기준으로 선정하여야 한다. ② 영상지도에 표현할 지형지물의 벡터자료는 수치지도에서 추출하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 수치지도가 없을 경우에는 일반지도 또는 정사영상으로부터 직접 묘사할 수 있다. | |
| 제29조(주기의 형식) 영상지도에 포함되는 주기의 크기 및 색상은 축척에 따른 영상의 식별성을 고려하여 주기를 표현하여야 한다. | |
| 제30조(영상지도의 편집) 최종적인 영상지도제작을 위하여 다음 각 호와 같이 영상지도제작을 위한 편집을 실시하여야 한다. 1. 영상지도편집은 해당 축척별 "지형도도식적용규정"을 적용한다. 2. 영상지도 판독의 용이성을 확보하기 위하여 제1호에서 규정되지 않은 산지, 농경지, 호수, 과수원 등과 같은 면요소를 갖는 지형·지물을 추가할 수 있다. | |
| 제31조(도면구성 및 난외주기 편집) 도면의 구성 및 난외주기는 "지도 도식규칙"을 적용한다. 다만, 영상지도의 사용용도에 따라 이를 변경할 수 있다. | |
| 제4절 품질관리 제32조(품질관리) 품질관리는 다음 각 호와 같이 실시하여야 한다. 1. 지상기준점의 선정 2. 수치표고 자료의 제작 3. 정사영상제작 4. 영상집성·융합·분할 5. 수치지도 레이어 추출 6. 영상/벡터중첩 7. 난외주기 제작 | 촬영된 위성영상의 품질관리 항목 추가 필요. |
| 제33조(지상기준점) 지상기준점은 제21조를 준용하여 다음 각 호를 점검하여야 한다. 1. 지상기준점 선점의 적정성 여부 | |

| 영상지도제작에 관한 작업규정 [국토지리정보원고시 제2019-147호] | 검토내용 |
|---|------|
| 2. 지상기준점 좌표값의 평균제곱근오차는 0.5화소 이내이어야 한다. 3. 국토지리정보원에서 보유한 기준점 성과 이외의 자료를 활용하는 경우에는 자료의 신뢰성 | |
| 제34조(수치표고자료) 수치표고자료의 정확도는 검사점을 선정하여 "항공레이저측량작업규정"에 따라 점검하여야 한다. | |
| 제35조(정사영상제작) 정사영상은 제22조를 준용하여 다음 각 호의 사항을 점검하여야 한다. 1. 정사영상의 평면위치오차는 출력시 도상 1.0mm 이내이어야 한다. 2. 인접지역 및 음영지역의 색상 변화로 인한 불연속성 | |
| 제36조(영상지도) 영상지도는 다음 각 호의 사항을 점검하여야 한다. 1. 색상 2. 지형지물의 표현 및 난외주기 3. 레이어별 속성 4. 지형지물 중첩 5. 도곽선의 일치 및 파일명 | |

자료: 저자 작성

나. 시사점

본 연구에서 항공사진 촬영이 불가능하여 위성영상을 사용하여 공간정보를 구축하는 수치지형도, DEM 및 정사영상 제작에 관한 작업 규정을 살펴본 결과 다음과 같은 시사점을 도출하였다.

첫째, 수치지형도 작업 규정에서는 남한 및 한반도 중심의 지도 좌표계만 정의되어 있으나, 극지역의 경우 남극과 북극에서 사용하는 좌표계에 대한 기술적 정의가 필요하다. 과업지시서 상에는 WGS84 기반의 평면직각좌표(UTM 또는 TM)에 소수점 2자리까지 사용하는 것으로 명시되어 있으나, 수치지형도에서는 단일평면직각좌표계(UTM-K)에 대한 정의와 좌표값의 자릿값은 소수점 이하 3자리까지 표현하는 것으로 정의되어 있으므로 해당 항목에 대한 별도 정의 및 통일이 필요하다. 또한 작업계획서 제출 시 위성영상 촬영 및 품질 규정에 관한 별도 계획서를 제출함으로써 작업 방법에 따른 혼돈을 방지하고 작업 방법을 구체화할 수 있다.

둘째, 정위치 편집 과정에서 극지역에서만 특수하게 발생할 수 있는 빙하, 적설, 크레바스 등에 대한 정위치 편집 방법에 관한 내용을 별첨 형식으로 기술하는 것이 필요하다. 현재 극지역 수치지형도 제작과 정위치 편집 과정에서 해당 레이어에 대한 별도 작업 방법 및 규정에 대한 명시이 되어

있지 않아 극지역 대부분 지역에서 광범위하게 나타나고 있는 빙하지역, 작설 지역 및 크레바스 레이어가 별도로 존재하지 않는다. 또한 극지역은 위성영상의 촬영 시점에 따라 해안선의 기준이 다르게 나타나므로 해안선 표현 방법에 대한 기준 설정에 관한 별도 연구 진행도 필요한 것으로 나타났다.

셋째, 위상관계를 갖는 구조화 데이터 공유를 위한 파일 포맷에 관한 내용으로 수치지형도 작업 규정에서 필요에 따라 다른 포맷을 사용한다고 명시되어 있으나 기본적인 데이터 형식을 보면 도형 정보는 NGI 포맷을 속성정보는 NDA 포맷을 사용하게 되어 있다. 극지역 데이터의 경우 향후 국제 협력 차원에서 많은 나라에서 공용으로 사용하는 데이터 포맷 형태로 제작하는 것이 향후 배포를 위한 데이터 변환 과정을 거치지 않기 때문에 필요한 사항이라고 할 수 있다. 따라서 극지역 구조화 데이터는 SHP 기반의 GIS 포맷 데이터로 구축하는 것이 가장 활용도가 높고 효율적인 데이터 교환 포맷이 될 수 있다.

넷째, 기존 작업 규정에서 DEM 제작 시 위성영상을 활용하는 것은 현재 없는 것으로 파악되었다. 기존의 DEM 작업 규정은 항공레이저측량을 위한 작업 방법에 관한 내용으로 국토지리정보원에서 항공레이저 측량을 활용하지 않고 DEM을 제작하여 납품하는 극지방 공간정보 구축, 접경지역 공간정보 구축 및 접근불능지역 공간정보 구축의 경우 DEM 작업과 관련된 과업지시서는 별도 규정을 명시하지 않고 간단한 제작 방법에 대해서만 언급되어 있다. 따라서 향후 국토위성 등 영상 정보 및 수치지형도의 등고선과 표고점을 이용하는 작업 방법에 대해서 별도의 작업 규정에 관련 항목을 추가할 필요성이 있다.

마지막으로 영상지도 작업 규정은 다른 규정에 비하여 항공사진뿐만 아니라 위성영상을 활용하는 측면과 정확도 규정이 다른 항목에 비하여 잘 정리가 된 것으로 파악되었다. 다만, 위성영상을 이용하여 제작하는 성과품에 관해서는 위성영상 품질부터 정사영상 및 영상지도 품질관리에 관한 세부적인 항목 추가가 필요하다는 점을 도출하였다.

제4장

극지역 공간정보 구축 시행계획 구체화 방안

1. 지형지물 변화량 및 특성 분석을 통한 공간정보 갱신주기 도출
2. 공간정보별 구축 대상지역 선정
3. 수요기관 현황 및 요구사항 분석을 통한 활용 활성화 방안 수립
4. 지속 가능한 수요조사 방안 및 전략 수립

1. 지형지물 변화량 및 특성 분석을 통한 공간정보 갱신주기 도출

가. 개요

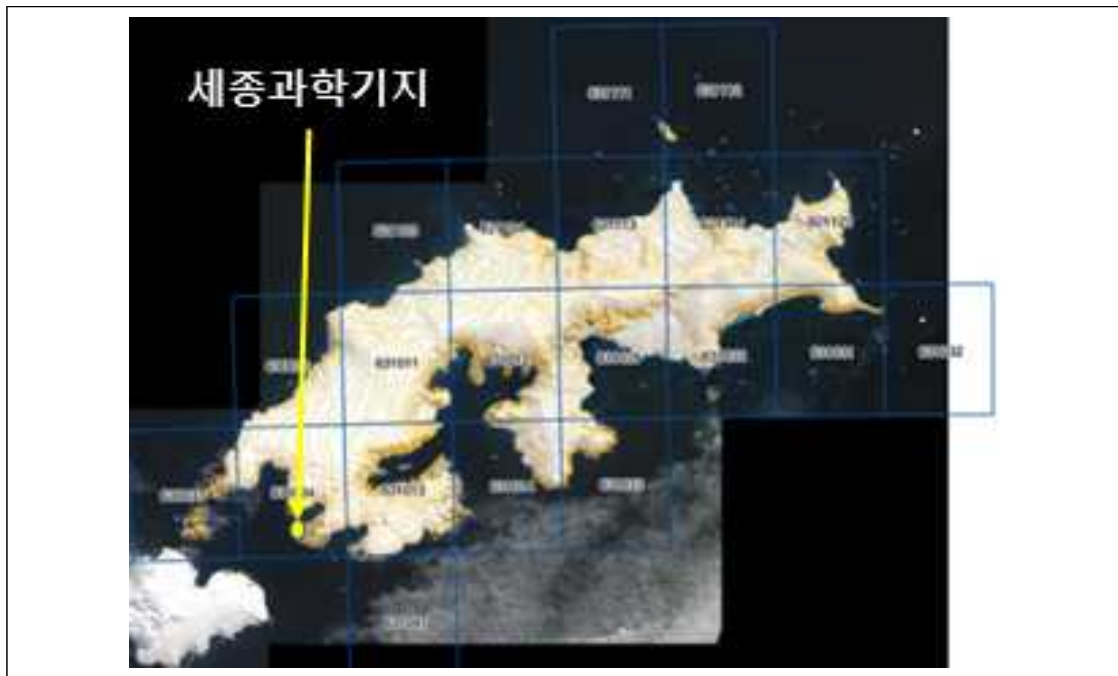
극지역 공간정보 구축은 구축 방법에 따라 신규 구축과 갱신으로 구분할 수 있으며, 공간정보의 종류에 따라 DEM, 정사영상, 수치지도로 구분할 수 있다. 국토지리정보원은 2009년 이후 남극의 세종과학기지, 장보고과학기지 및 북극의 다산기지를 중심으로 다양한 극지역 공간정보를 구축하고 있다. 2009~2013년 기간 동안에는 남극지역, 2015~2019년에는 북극지역 공간정보를 구축했으며 2019년부터는 다시 남극지역 공간정보를 갱신 및 구축하고 있다. 극지역 공간정보 구축 과정에서는 위성영상을 이용하는 것이 보편적이며 이 과정에서 DEM과 정사영상 제작이 동시에 이루어지며, 정사영상을 디지털타이징 하여 수치지형도를 제작하게 된다, 따라서 수치지형도, 정사영상, DEM은 특별한 상황이 아니라면 같은 시기에 제작된다고 볼 수 있다. 2009~2013년 기간에는 주로 IKONOS, TerraSAR-X, Cartosat-2, Rapideye 위성영상을 활용하였고, 2015~2019년 기간에는 주로 Pleiades, SPOT-6, SPOT-7 위성영상을 이용하였다.

국토지리정보원의 극지역 공간정보 중 남극 지역에 대한 공간정보 구축 내용은 세종과학기지과 장보고과학기지 지역으로 구분할 수 있으며 그 내용은 다음과 같다. 세종과학기지의 경우에는 2009년 이후 약 11년 만에 1/5,000 수치지형도, 정사영상, DEM에 대한 갱신이 이루어졌다. 장보고과학기지는 2010년 처음 수치지도를 제작한 후 약 10년 만에 2019년과 2020년에 거쳐 1/5,000과 1/25,000 수치지형도, 정사영상, DEM에 대한 갱신이 이루어졌다. 장보고과학기지의 경우 2014년 완공되어 실제 2010년 공간정보 구축 시에는 기지가 없었기 때문에 시설물이 포함된 지도는 처음 제작되었다.

<표 4-1> 세종과학기지 주변 공간정보 구축

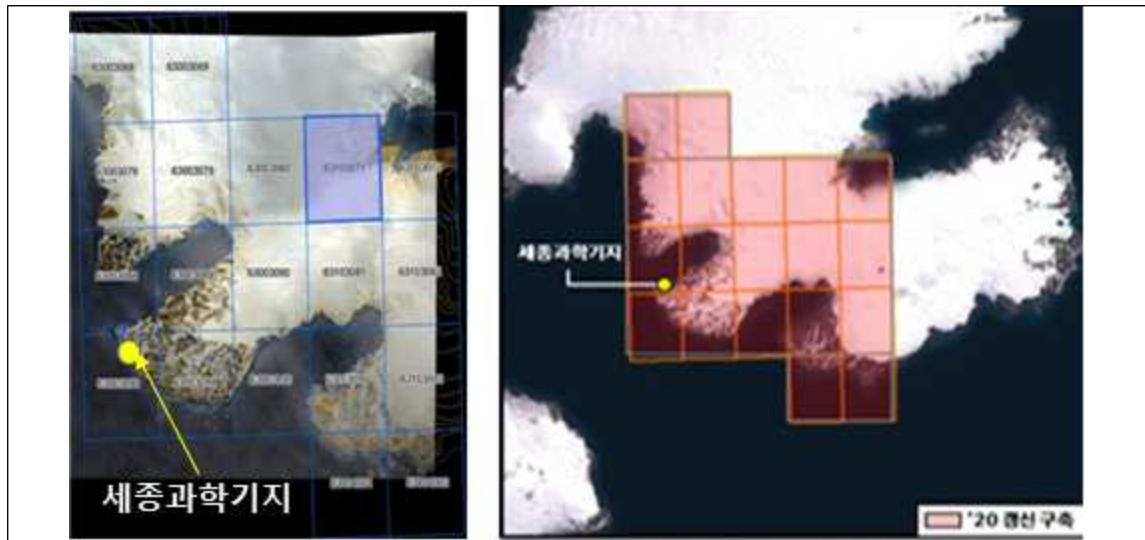
| | 2009년 | | 2020년 | |
|-------|---------------------|----|----------------|----|
| | 축척(매수) | 비고 | 축척(매수) | 비고 |
| 수치지형도 | 1/5,000 (19도엽) | 신규 | 1/5,000 (19도엽) | 갱신 |
| | 1/25,000 (20도엽) | 신규 | | |
| 정사영상 | 1/5,000 (19도엽) | 신규 | 1/5,000 (19도엽) | 갱신 |
| | 1/25,000 (20도엽) | 신규 | | |
| DEM | 1/25,000 (20도엽) | 신규 | 1/5,000 (19도엽) | 갱신 |
| 기타 | 1:6,800,000 남극전도 | | | |

자료: 국토지리정보원



자료: 국토지리정보원

<그림 4-1> 세종과학기지 1/25,000 수치지형도 구축지역(2009년)



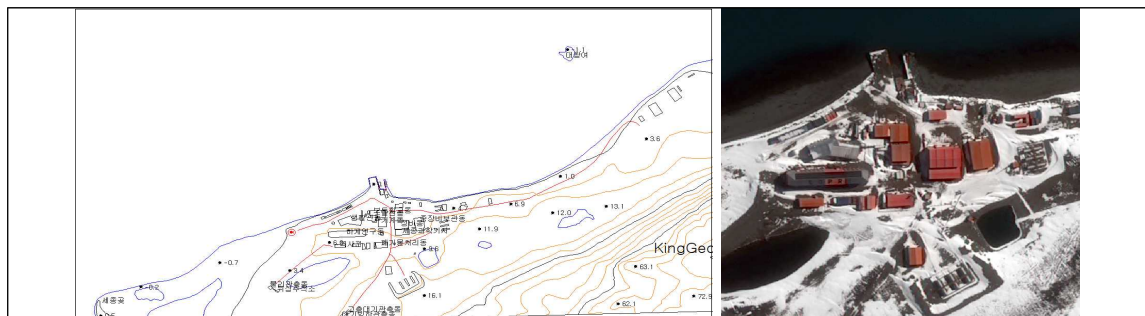
자료: 국토지리정보원

<그림 4-2> 세종과학기지 1/5,000 수치지형도 구축지역(좌: 2009년, 우: 2020년)



자료: 국토지리정보원

<그림 4-3> 2009년 세종과학기지 1/5,000 수치지형도(좌)와 정사영상(우)



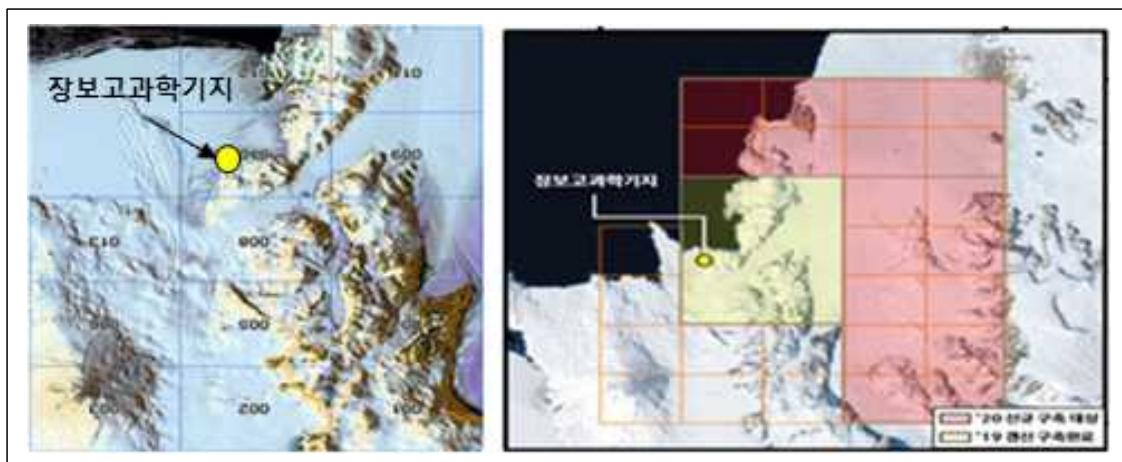
자료: 국토지리정보원

<그림 4-4> 2020년 세종과학기지 1/5,000 수치지형도(좌)와 정사영상(우)

<표 4-2> 장보고과학기지 주변 공간정보 구축

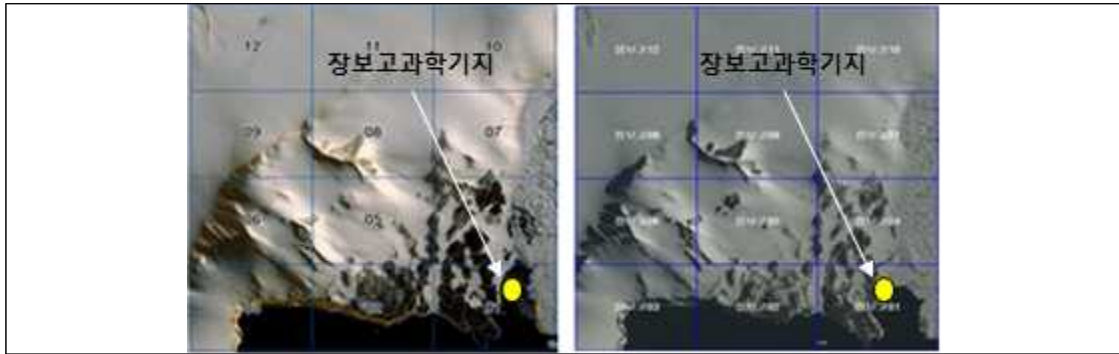
| | 2010년 | | 2019년 | | 2020년 | |
|-------|--------------------|----|-------------------|----|-----------------------------|--------|
| | 축척(매수) | 비고 | 축척(매수) | 비고 | 축척(매수) | 비고 |
| 수치지형도 | 1/5,000 (12도엽) | 신규 | 1/5,000 (12도엽) | 갱신 | | |
| | 1/25,000 (13도엽) | 신규 | 1/25,000 (6도엽) | 갱신 | 1/25,000 (18도엽) | 신규, 갱신 |
| 정사영상 | 1/5,000 (12도엽) | 신규 | 1/5,000 (12도엽) | 갱신 | | |
| | 1/25,000 (13도엽) | 신규 | 1/25,000 (6도엽) | 갱신 | 1/25,000 (18도엽) | 신규, 갱신 |
| DEM | | | 1/5,000 (12도엽) | 갱신 | | |
| | 1/25,000 (13도엽) | 신규 | 1/25,000 (6도엽) | 갱신 | 1/25,000(18도엽) | 신규, 갱신 |
| 기타 | 1/25,000 빙하변화지도 | | | | 1/25,000 핵심보급루트 (3도엽) | 신규 |
| | 1:60,000 해빙변화지도 | | | | | |

자료: 국토지리정보원



자료: 국토지리정보원

<그림 4-5> 장보고과학기지 1/25,000 수치지형도 구축지역(좌: 2010년, 우: 2019-2020년)



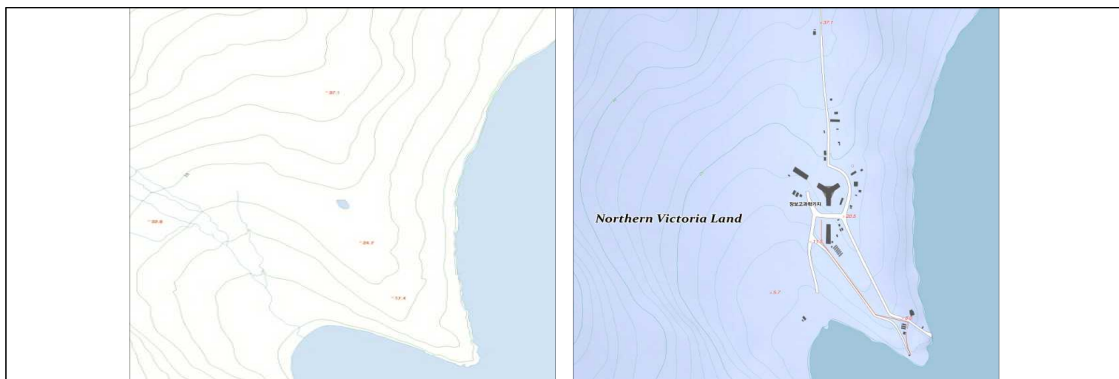
자료: 국토지리정보원

<그림 4-6> 장보고과학기지 1/5,000 수치지형도 구축지역(좌: 2010년, 우: 2019년)



자료: 국토지리정보원

<그림 4-7> 장보고과학기지 주변 1/25,000 핵심보급 루트 구축지역



자료: 국토지리정보원

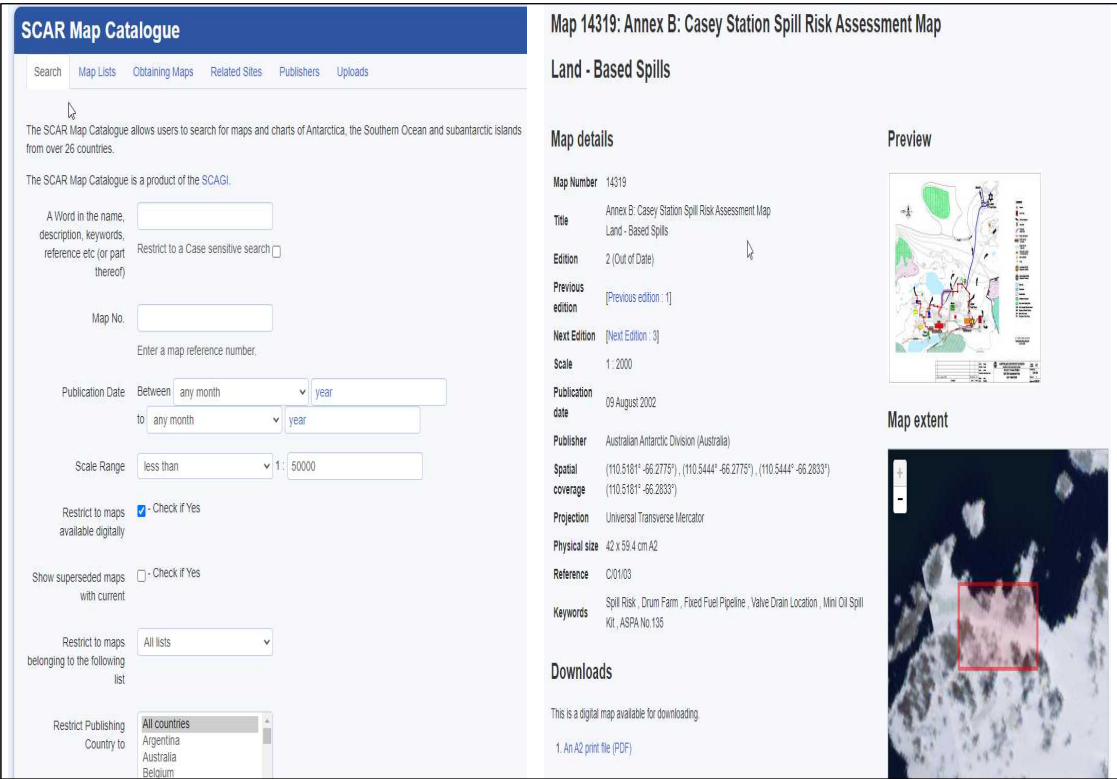
<그림 4-8> 장보고과학기지 1/25,000 수치지형도(좌:2010년(기지구축 전), 우: 2019년)

우리나라 극지역 공간정보의 갱신주기는 세종과학기지나 장보고과학기지의 사례에서 볼 수 있는 것처럼 특정한 별도의 기준을 선정하여 갱신한다고 볼 수 없다. 따라서 본 연구에서는 외국의 사례를 통해 공간정보의 갱신주기를 파악하는 것을 그 목표로 한다. 이를 위해 먼저 다양한 남극 공간정보를 보유하고 있는 호주의 남극 데이터 센터인 AADC(Australian Antarctic Data Centre) 및 국외 남극 데이터 제작 관련 기관의 데이터를 조사하여 극지역 공간정보 갱신주기를 분석하고자 하였다. 또한, 지형지물 변화량 분석을 위한 DEM 기반의 표고 분석 방안 및 지형지물 분석 방안에 대한 기술적인 검토를 진행하였으며, 마지막으로 DEM, 정사영상, 수치지도 및 주제도로 구분하여 공간정보별 갱신주기를 도출하고자 한다.

나. 해외 극지역 공간정보 갱신주기 분석

1) AADC 내 공간정보의 갱신주기 세부분석

호주는 지리적으로도 남극과 가깝고 남극에 대한 영유권 주장을 하고 있어 많은 지도를 제작하고 있다. 호주의 남극 데이터 센터인 AADC(Australian Antarctic Data Centre, <https://data.aad.gov.au/>) 내에는 다양한 공간정보들이 존재한다. 본 연구에서는 AADC Map Catalogue 수록 지도를 대상으로 조사 및 분석을 수행하였다. AADC Map Catalogue에는 2021년 1월 기준 6,243매의 지도가 수록되어 있다. AADC Map Catalogue에서는 지도를 검색하면 지도 번호, 지도 제작, 이전 버전, 다음 버전, 축척, 발행일자, 공간적 범위, 투영법, 물리적 지도의 크기, 제작국가 등 다양한 정보가 표출된다. 또한, 경우에 따라 디지털 형태의 자료로 다운로드 할 수도 있다.



자료: <https://data.aad.gov.au/>

<그림 4-9> AADC 내 Map catalogue 검색화면 및 지도검색 출력 화면

<표 4-3> AADC Map Catalogue의 메타데이터

| 구분 | 내용 |
|------------------|-------------|
| Map Number | 지도 번호 |
| Title | 지도 제목 |
| Edition | 현 지도 버전 |
| Previous edition | 이전 버전 |
| Next Edition | 다음 버전 |
| Scale | 축척 |
| Publication date | 발행일자 |
| Publisher | 발행처 |
| Spatial coverage | 공간적 범위(경위도) |
| Projection | 투영법 |
| Physical size | 물리적 지도 크기 |
| Reference | 참조 |
| Keywords | 키워드 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>

본 연구에서는 AADC Map Catalogue를 이용한 지도의 갱신주기 파악을 위해 축척 1/50,000 이상 대축척지도 중 디지털 형태로 다운로드 할 수 있으며, 경위도 범위가 명확한 663매의 지도를 추출하였다. 해당 자료들이 공간정보 갱신주기를 조사할 수 있는 가용한 근거가 될 것으로 판단하였으며, 1:50,000 이상의 대축척 지도를 대상으로 하였기 때문에 대부분 UTM 투영법을 사용하여 제작된 것을 확인할 수 있었다.

<표 4-4> AADC 내 대상지도의 투영법 종류

| 투영법 | 지도매수 |
|-------------------------------|------|
| Lambert Conformal Conic | 1 |
| Polar Stereographic | 13 |
| Transverse Mercator | 13 |
| Universal Transverse Mercator | 634 |
| 표시없음 | 2 |
| 총합계 | 663 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>

AADC Map Catalogue 내의 663개 지도 중 지도의 제목, 축척, 경위도 범위로 판단할 때 지도가 갱신되어 제작되는 경우가 많았다. 이를 통해 지도의 갱신주기를 분석할 수 있을 것으로 판단하였다. 이 중 한 시기에만 제작된 지도는 제외하고, 갱신 제작된 지도 441매를 이용하여 갱신주기를 판단하였다. 갱신 제작된 지도 441매는 117종으로 구분되었으며, 중복 구축횟수는 2~9회 였다.

동일지역에 대한 지도라 하더라도 지도의 제목, 축척, 경위도 범위 등이 정확히 일치하지 않은 경우도 있어 해당 공간정보에 대한 전수 검토를 수행하였다. 전수조사 과정에서는 지도의 이전버전과 다음버전을 검색할 수 있는 기능을 이용하여 전수 검토를 수행하고, 이를 DB화 하였다. 특히, 갱신주기는 지도의 형태에 따라서 매우 다양하였으며, 지도는 부분수정이나 전면수정을 한 경우를 제외하고도 간단한 명칭 변경의 경우도 포함되어 있었다. 117종 441매 갱신지도에 대한 정보는 부록에 수록하였다.

2) AADC 내 공간정보의 갱신주기 분석 결과

지도 분석을 위해 먼저 AADC Map Catalogue 내 117종 441매의 지도를 지도의 종류, 축척, 평균 갱신주기, 중복구축 횟수로 구분하여 현황을 파악하였다. 첫 번째로 지도의 종류는 117종의 지도를 직접 살펴본 후 10가지로 구분하였으며, 두 번째 지도의 축척은 매우 다양하므로 분석을 위해 우리나라에서 사용하는 지도의 축척에 대응하는 6가지로 구분하였다. 세 번째인 평균 갱신주기는 117종의 발행일 사이의 평균 날수를 계산한 후 2년 단위로 5가지로 구분하였으며, 마지막으로 중복구축 횟수는 117종의 지도의 매수이다.

<표 4-5> AADC 지도 분석을 위한 구분

| 구분 | 구분 내용 |
|----------|---|
| 지도의 종류 | 보호구역, 비행, 소화전, 시설물, 안내도, 위성영상, 일반도, 지질, 헬기이착륙, 헬기장 |
| 축척 | 축척 분모수 기준 1,000이상, 2,500이상, 5,000이상, 10,000이상, 25,000이상, 50,000이상 |
| 평균 갱신주기 | 2년 미만, 4년 미만, 6년 미만, 8년 미만, 8년 이상 |
| 중복 구축 횟수 | 2회, 3회, 4회, 5회, 6회, 7회, 8회, 9회 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>

현황파악을 위해서 지도 구분에 따라 총 6회의 교차 분석을 실시하였다. 6종의 교차 분석은 차례로 지도의 종류와 축척, 지도의 축척과 평균 갱신주기, 지도의 종류와 중복 구축횟수, 축척과 평균 갱신주기, 축척과 중복 구축 횟수, 평균 갱신주기와 중복 구축횟수이며 그 결과는 다음과 같다.

먼저 지도의 종류와 지도의 축척을 분석한 결과 대축척 지도는 시설물 관련하여 중복구축횟수가 많음을 알 수 있었다. 일반도와 헬기 이·착륙에 필요한 지도의 경우 1:50,000 소축척 지도의 사용빈도가 높았으며, 시설물은 대축척 지도의 빈도가 높았다. 즉, 사용목적에 따라 다양한 축척의 지도가 사용되고 있음을 알 수 있었다.

<표 4-6> 지도의 종류와 지도의 축척

| 종류 \ 1/축척 | 1,000이상 | 2,500이상 | 5,000이상 | 10,000이상 | 25,000이상 | 50,000이상 | 총합계 |
|-----------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|-----|
| 보호구역 | | | 2 | 2 | 8 | 4 | 16 |
| 비행 | | | | | | 2 | 2 |
| 소화전 | | | 3 | | | | 3 |
| 시설물 | 4 | 13 | 7 | 9 | 6 | 2 | 41 |
| 안내도 | | | | 1 | 1 | | 2 |
| 위성영상 | | | | | 1 | | 1 |
| 일반도 | | | | | 2 | 25 | 27 |
| 지질 | | | | | | 1 | 1 |
| 헬기이착륙 | | | 1 | 6 | 1 | 13 | 21 |
| 헬기장 | | 3 | | | | | 3 |
| 총합계 | 4 | 16 | 13 | 18 | 19 | 47 | 117 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>

지도의 종류별 평균 갱신주기는 전술한 바와 같이 117 종류별 지도의 발행일 간 차이를 계산한 후 평균을 한 것이기 때문에, 갱신일 간 차이가 작을 수도 있고, 클 수도 있으며, 실제로는 호주의 전체적인 남극 공간정보 관리차원에서 비슷한 성격의 지도(예를 들면 남극기지 관련 지도)의 경우 갱신 시기가 유사한 경우가 많다. 전체적으로는 갱신주기를 살펴보면 4년 미만(2~4년) 정도가 가장 많았다. 그런데 이 갱신에는 주요한 변화가 반드시 있어서 갱신하는 것은 아니며, 단순한 지도의 표현 변화 역시 이에 포함된다. 즉, 중요한 것은 지형지물의 변화가 많을 때만 지도를 갱신하는 것이 아니라 지도를 지속적으로 유지관리한다는 차원에서 지도의 갱신이 주기적으로 이루어져야 한다는 점이다.

<표 4-7> 지도의 종류와 평균 갱신 주기

| 종류 \ 갱신 주기 | 2년 미만 | 4년 미만 | 6년 미만 | 8년 미만 | 8년 이상 | 총합계 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 보호구역 | | | 15 | | 1 | 16 |
| 비행 | | 1 | | | 1 | 2 |
| 소화전 | | | | | 3 | 3 |
| 시설물 | 7 | 17 | 9 | 5 | 3 | 41 |
| 안내도 | | 1 | | | 1 | 2 |
| 위성영상 | | 1 | | | | 1 |
| 일반도 | 6 | 20 | | 1 | | 27 |
| 지질 | | | | | 1 | 1 |
| 헬기이착륙 | | 1 | 5 | 1 | 14 | 21 |
| 헬기장 | | 3 | | | | 3 |
| 총합계 | 13 | 44 | 29 | 7 | 24 | 117 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>

지도의 종류별 중복 구축횟수를 살펴보면, 시설물과 일반도의 경우 8~9회에 달하는 중복구축 횟수가 있을 정도로 중복 구축이 활발한 경우도 있었는데 이런 지역은 호주의 시설물이 많은 지역 또는 호주가 자국의 영토라 주장하는 지역이 대부분이었다.

<표 4-8> 지도의 종류와 중복 구축 횟수

| 종류 \ 중복 구축 | 2회 | 3회 | 4회 | 5회 | 6회 | 7회 | 8회 | 9회 | 총합계 |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 보호구역 | 3 | 13 | | | | | | | 16 |
| 비행 | 1 | 1 | | | | | | | 2 |
| 소화전 | 3 | | | | | | | | 3 |
| 시설물 | 11 | 10 | 9 | 1 | 2 | 4 | 1 | 3 | 41 |
| 안내도 | 2 | | | | | | | | 2 |
| 위성영상 | | 1 | | | | | | | 1 |
| 일반도 | 8 | 3 | 1 | 4 | | | 6 | 5 | 27 |
| 지질 | 1 | | | | | | | | 1 |
| 헬기이착륙 | 12 | 5 | 3 | | 1 | | | | 21 |
| 헬기장 | 1 | 1 | 1 | | | | | | 3 |
| 총합계 | 42 | 34 | 14 | 5 | 3 | 4 | 7 | 8 | 117 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>

지도의 축척에 따른 평균 갱신 주기를 살펴보면, 축척과 갱신 주기의 특별한 상관성은 존재하지 않았다. 즉, 축척의 대소에 따라 갱신을 한다기 보다는 지도의 갱신 필요성에 따라 갱신을 한다고 보는 것이 타당할 것이다.

<표 4-9> 지도의 축척과 평균 갱신 주기

| 1/축척 \ 갱신 주기 | 2년미만 | 4년미만 | 6년미만 | 8년미만 | 8년이상 | 총합계 |
|--------------|------|------|------|------|------|-----|
| 1,000이상 | | 1 | 2 | 1 | 1 | 5 |
| 2,500이상 | 3 | 8 | 1 | | 3 | 15 |
| 5,000이상 | 1 | 3 | 6 | 1 | | 11 |
| 10,000이상 | 1 | 5 | 8 | 2 | 6 | 22 |
| 25,000이상 | 1 | 6 | 6 | 2 | 2 | 17 |
| 50,000이상 | 7 | 21 | 6 | 1 | 12 | 47 |
| 총합계 | 13 | 44 | 30 | 7 | 24 | 117 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>

지도의 축척에 따른 중복 구축 횟수를 살펴봐도 특별한 경향을 띄고 있지는 않았다. 지도의 축척과 중복 구축 횟수 사이에는 특별한 상관성을 가지지는 않았다.

<표 4-10> 지도의 축척과 중복 구축 횟수

| 1/축척 \ 중복 구축 | 2회 | 3회 | 4회 | 5회 | 6회 | 7회 | 8회 | 9회 | 총합계 |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1,000이상 | 1 | | 3 | | | 1 | | | 5 |
| 2,500이상 | 7 | 1 | 3 | | 1 | 1 | | 2 | 15 |
| 5,000이상 | 1 | 7 | 2 | | | | | 1 | 11 |
| 10,000이상 | 7 | 7 | 4 | 1 | 2 | 1 | | | 22 |
| 25,000이상 | 8 | 8 | | | | | 1 | | 17 |
| 50,000이상 | 18 | 11 | 2 | 4 | | 1 | 6 | 5 | 47 |
| 총합계 | 42 | 35 | 14 | 5 | 3 | 4 | 7 | 8 | 117 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>

마지막으로 지도의 평균 갱신 주기별 중복 구축 횟수를 살펴보면, 평균 갱신 주기가 4년 미만이면서도 중복구축 횟수가 많은 지도가 있는 반면 지도의 평균 갱신주기가 8년 이상이면서 중복구축 횟수 역시 2회에 머무는 경우가 있다. 이는 지역의 중요도 및 지형지물의 변화 정도와 관련이 있으리라 판단된다.

<표 4-11> 지도의 평균 갱신 주기와 중복 구축 횟수

| 중복 구축 갱신 주기 | 2회 | 3회 | 4회 | 5회 | 6회 | 7회 | 8회 | 9회 | 총합계 |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 2년미만 | 10 | | 1 | | 1 | | 1 | | 13 |
| 4년미만 | 6 | 10 | 4 | 5 | 1 | 4 | 6 | 8 | 44 |
| 6년미만 | 4 | 17 | 7 | | 1 | | | | 29 |
| 8년미만 | 2 | 3 | 2 | | | | | | 7 |
| 8년이상 | 20 | 4 | | | | | | | 24 |
| 총합계 | 42 | 34 | 14 | 5 | 3 | 4 | 7 | 8 | 117 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>

이상의 분석을 토대로 AADC Map Catalogue 지도를 이용하여 지도의 갱신주기를 분석한 결과 지도의 갱신은 지도가 제작된 지역의 중요도와 관련된다는 점이며, 대략적인 평균 갱신기간은 2-4년 정도라는 사실을 알 수 있었다. 구체적인 교차 분석 방법간 분석 결과는 다음과 같다.

<표 4-12> AADC 교차 분석 결과

| 교차 분석 방법 | 분석 결과 |
|--------------------|--|
| 지도의 종류 - 축척 | 지도의 종류에 따라 특정한 축척을 사용하는 경향이 많음 |
| 지도의 종류 - 평균 갱신주기 | 일반도와 시설물 지도 모두 2-4년 정도 평균갱신 주기가 가장 많음 |
| 지도의 종류 - 중복 구축 횟수 | 자국과 관련있는 시설물 지도와 일반도에 대해 중복 구축 횟수 높음 |
| 축척 - 평균 갱신주기 | 특별한 상관성은 없으며 갱신 주기는 지도의 중요성에 영향을 받음 |
| 축척 - 중복 구축 횟수 | 특별한 상관성은 없음 |
| 평균 갱신주기 - 중복 구축 횟수 | 갱신주기와 중복 구축 횟수는 지역의 중요도 및 지형지물의 변화 정도와 관련이 단단됨 |

자료: 저자 작성

3) AADC 내 공간정보의 상세 분석 사례

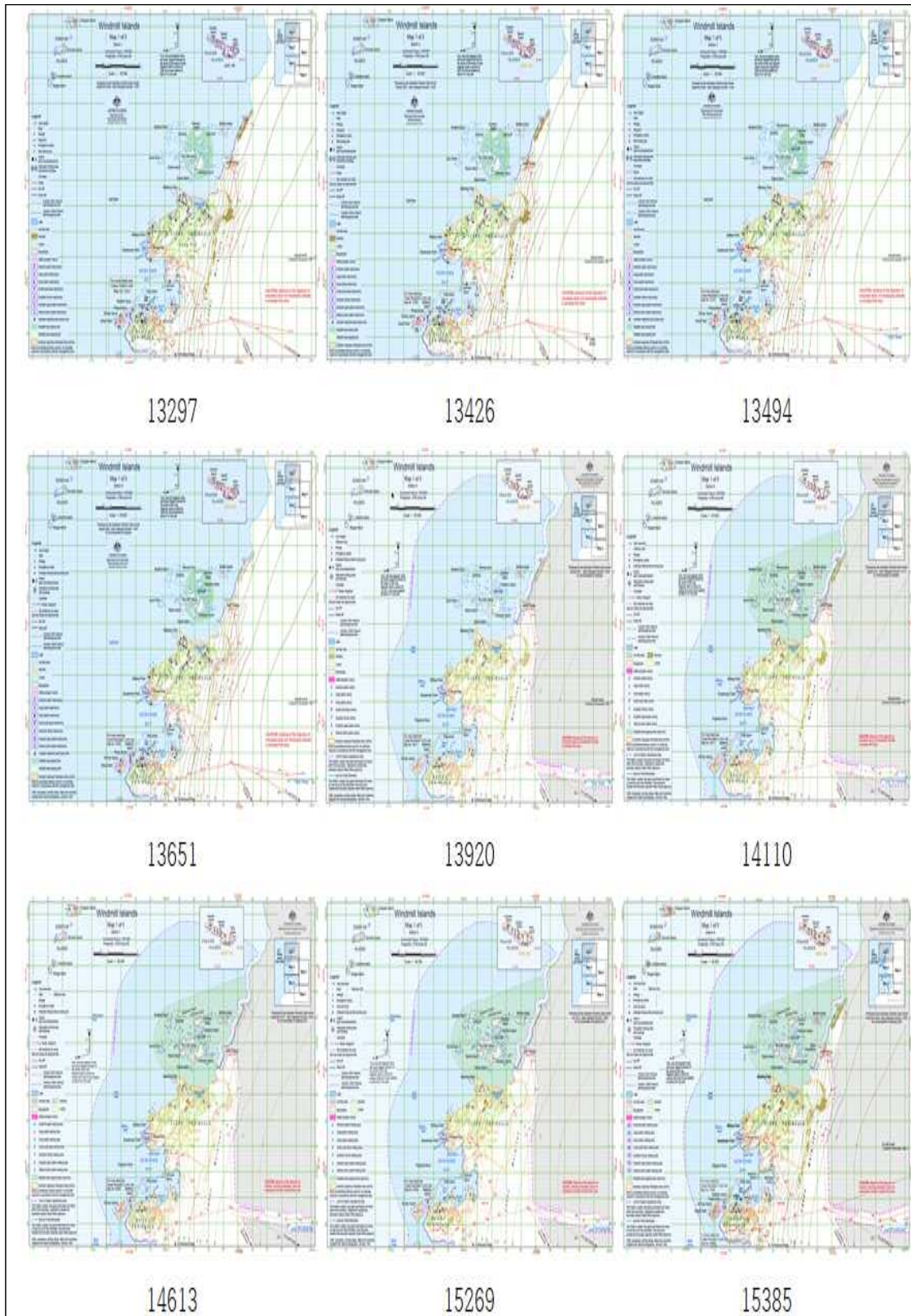
AADC Map Catalogue 내 117종 441장의 갱신된 공간정보의 갱신 사례를 분석하기 위해 사례를 들어 이를 살펴보았다. 본 연구에서는 총 9개의 사례를 들어 구체적으로 어떤 방식으로 지도가 갱신되고 있는지 파악하였다.

사례1은 Windmill Islands에 일반도의 갱신에 대한 것이다. 아래 표에 제시된 113은 부록에 수록된 중복 구축 분석 사례의 번호이며, 이 지역에 대한 일반도는 총 9번 중복제작되었다. 또한 이 도엽 분만 아니라 주변의 5도엽이 모두 동일한 시기에 갱신되었으며 1/50,000 축척으로 비교적 많은 지형지물과 시설물이 표현되어 있다(부록의 구분 113-117 5지역의 일반도가 동일한 시기에 갱신됨을 알 수 있음). 이 일반도 갱신은 우리나라 남극지역 지도 갱신에 시사점이 있을 것으로 판단된다. 지도에서는 단순한 수정도 포함되어 있으며 특히 주목할 만한 것을 버전 관리로 인해 시계열적으로 지도의 변화를 명확히 알 수 있도록 한다는 점이다.

<표 4-13> 상세분석 사례1

| 구분 | 주요 대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 수정내용 |
|-----|-------|-------|-------------------------------|------------|------------------|
| 113 | 일반도 | 13297 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2006-09-01 | |
| | | 13426 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2007-10-01 | 부분수정: 범례, 지물 |
| | | 13494 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2008-09-01 | 부분수정: 범례, 지물, 지명 |
| | | 13651 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2009-08-01 | 부분수정: 보호구역 위치 |
| | | 13920 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2011-01-01 | 부분수정: 영역설정 |
| | | 14110 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2012-08-01 | 부분수정: 바다생물 서식지 |
| | | 14613 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2017-09-01 | 부분수정: 범례, 지명 |
| | | 15269 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2019-07-01 | 부분수정: 시설물 위치 |
| | | 15385 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2020-11-01 | 부분수정: 지명, 범례 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>



자료: <https://data.aad.gov.au/>

<그림 4-10> 상세분석 사례1

사례2는 호주의 남극기지인 Casey Station의 Spill Risk(기름 유출 위험도) 평가 지도이다. 이에 해당하는 지도는 총 6장이 갱신 구축되었다. 사례2는 지도 수정에 대한 주석이 별도로 추가된 좋은 사례라 할 수 있는데 시설물 관리 차원에서 수정 내역을 명확히 한 사례이다.

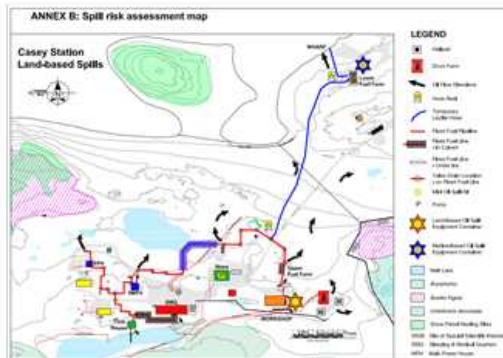
사례 2를 살펴보면 크게 부분수정과 전면 수정으로 나눌 수 있다. 이는 시설물 관리 차원에서 제작된 것이며, 사례 2에서 지도번호 14318, 14319, 14320, 14321까지는 14318에서 부분수정이 된 것이다. 14318→14319과정에서는 지도 하단에 주석이 추가되었으며, 14319→14320 과정에서는 주석의 명칭이 변경되었으며, 14320→14321 과정에서는 지도에서 관심 지점의 용어가 SSSI(Site of Special Scientific Interest)에서 ASPA(Antarctic Special Protected Area)로 바뀌는 것이었다. 이 네 장의 지도에서는 눈에 띄는 큰 수정은 없으나 사소한 수정이라도 반드시 지도 수정의 이유를 명시하고 업데이트 시기를 주석에 표기하였다.

14321→13702 과정은 전면 수정에 해당하는데 지도의 영역, 색상, 표현 지형의 표현 방법 등에서 많은 변화가 있었다. 그러면서 주석은 새롭게 빈칸이 되었다. 13702→14322 과정은 부분수정에 해당하며 지도의 범례에서 약간의 변동이 있었다. 이를 통해서 알 수 있듯이 지도의 갱신이 반드시 지형지물의 변화가 클 때만 이루어지는 것이 아니라 지도의 관리차원에서 시설의 명칭, 범례의 변화 등이 있을 때에도 갱신이 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

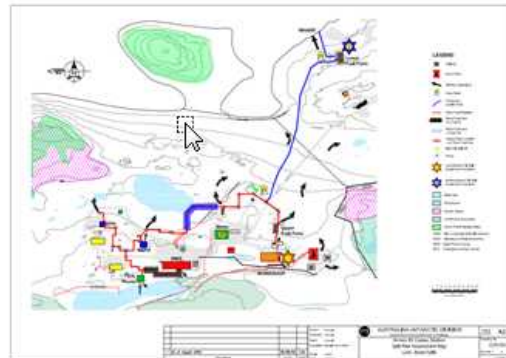
<표 4-14> 상세분석 사례2

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 수정내용 |
|----|------|-------|--|------------|------------------------------|
| 1 | 시설물 | 14318 | Annex B: Spill Risk Assessment Map Casey Station Land - Based Spills | 2001-06-10 | |
| | | 14319 | Annex B: Casey Station Spill Risk Assessment Map Land - Based Spills | 2002-08-09 | 부분수정: 주석 추가 |
| | | 14320 | Annex B: Casey Station Spill Risk Assessment Map Land - Based Spills | 2004-05-03 | 부분수정: 주석 명칭 변경 |
| | | 14321 | Annex B: Casey Station Spill Risk Assessment Map Land - Based Spills | 2008-07-07 | 부분수정: 지도에서 SSSI 용어가 ASPA로 바뀜 |
| | | 13702 | Annex B: Casey Station Spill Risk Assessment Map Land and Marine-Based Spills. | 2008-11-20 | 전면수정 |
| | | 14322 | Annex B: Casey Station Spill Risk Assessment Map Land and Marine-Based Spills. | 2014-06-27 | 부분수정: 지도 범례 변경 |

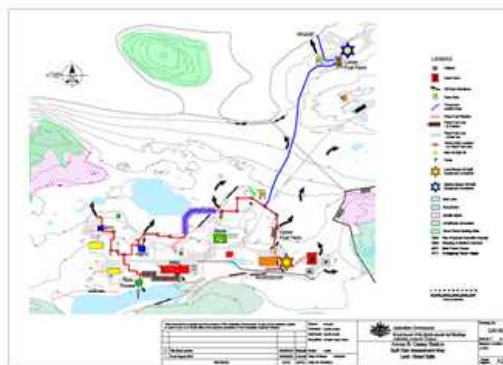
자료: <https://data.aad.gov.au/>



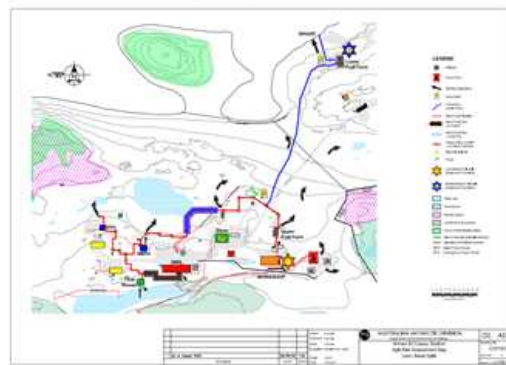
14318



14319



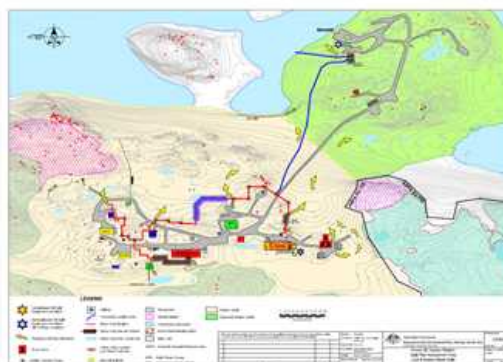
14320



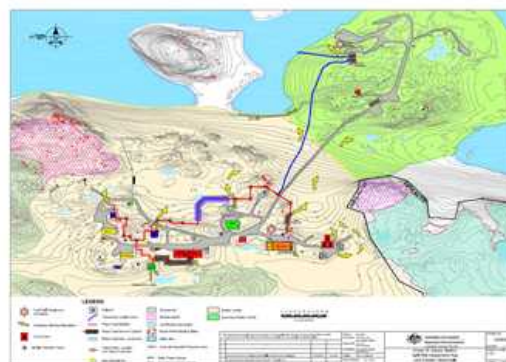
14321

| | | |
|---|------------------------------------|-------------------------|
| This document is copyright and the property of the Australian Government. It may not be retained, copied or used in part or in whole without the express permission of the Australian Antarctic Division. | | |
| | | |
| 3 | SSSI's have been changed to ASPA's | 07/07/08 A.R. |
| 2 | Title Block Update | 03/05/2004 D.Riewestahl |
| 1 | As at August 2002 | 09/08/2002 C.Boxall |
| REVISION | | DATE APPD |

14321의 주석 부분



13702



14322

자료: <https://data.aad.gov.au/>

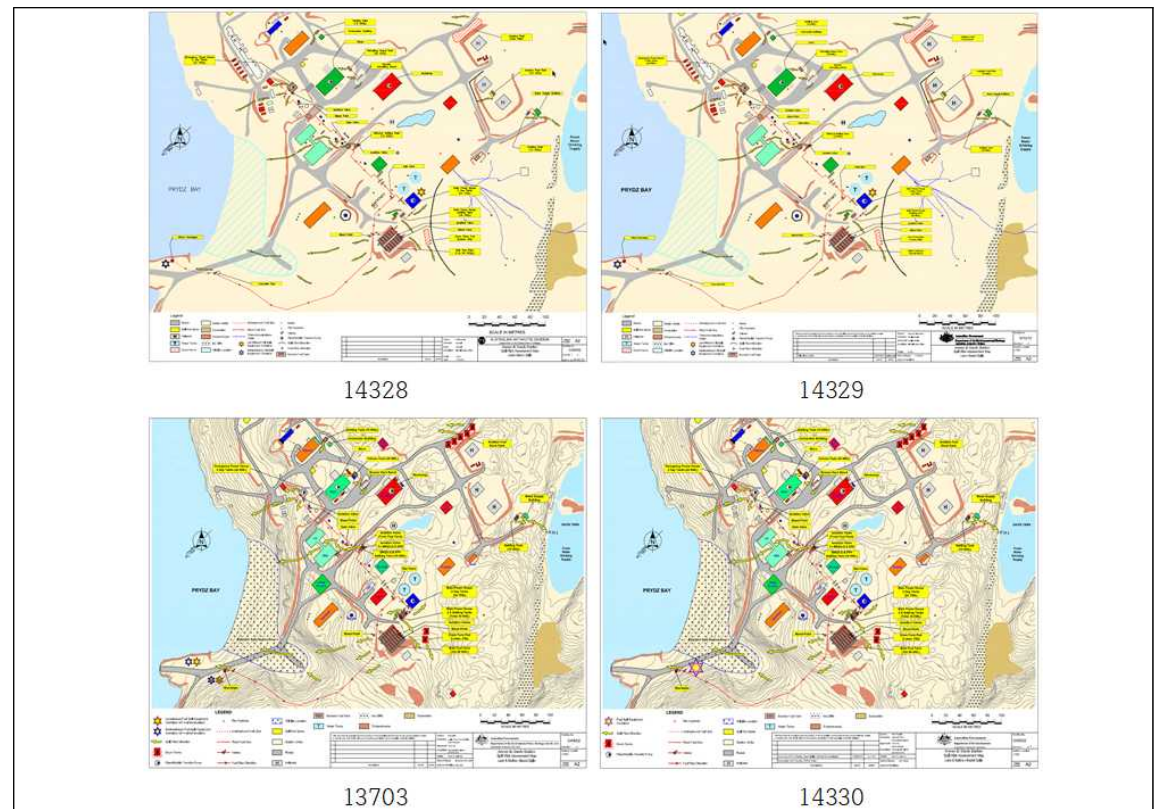
<그림 4-11> 상세분석 사례2

사례 3은 호주의 남극기지인 Davis Station 기지의 Spill Risk(기름 유출 위험도) 평가지도이다. 사례 3 역시 사례 2와 마찬가지로 부분수정과 전면 수정으로 구분할 수 있으며, 각 수정에는 주석을 추가하여 어떤 부분이 수정되었는지를 표시하고 있다.

<표 4-15> 상세분석 사례3

| 구분 | 주요 대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 수정내용 |
|----|-------|-------|--|------------|---------------|
| 2 | 시설물 | 14328 | Annex B: Davis Station Spill Risk Assessment Map Land-Based Spills. | 2002-06-11 | |
| | | 14329 | Annex B: Davis Station Spill Risk Assessment Map Land-Based Spills. | 2004-04-30 | 부분수정: 주석명칭변경 |
| | | 13703 | Annex B: Davis Station Spill Risk Assessment Map Land and Marine-Based Spills. | 2008-11-20 | 전면수정: 전체적 수정 |
| | | 14330 | Annex B: Davis Station Spill Risk Assessment Map Land and Marine-Based Spills. | 2014-06-19 | 부분수정: 범례형태 변경 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>



자료: <https://data.aad.gov.au/>

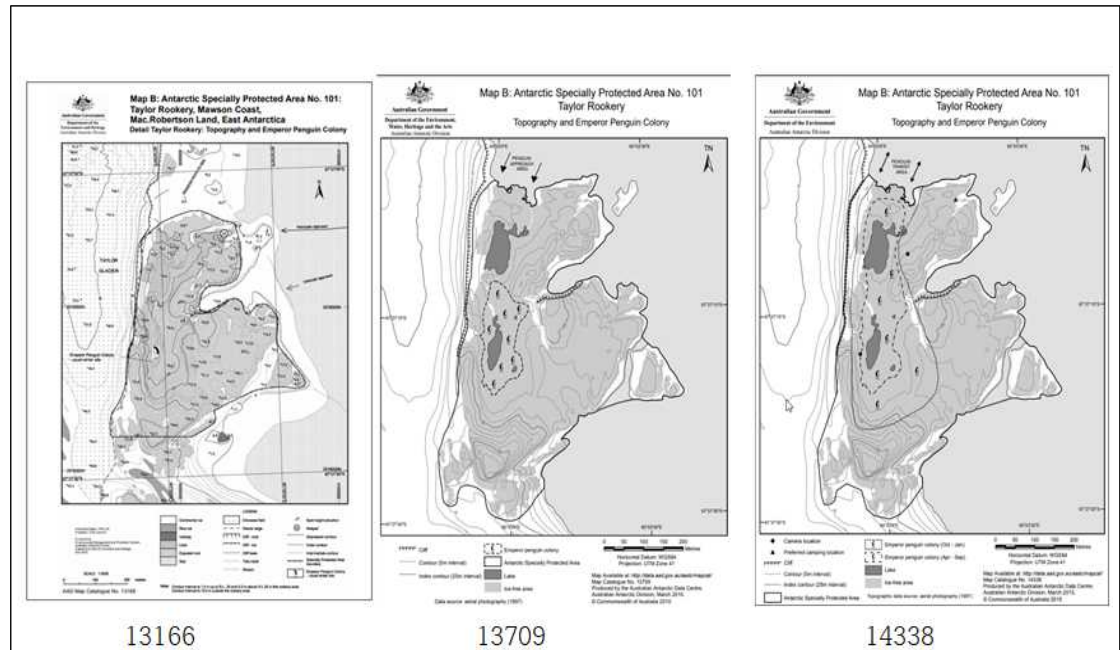
<그림 4-12> 상세분석 사례3

사례 4는 보호구역을 나타낸 지도로 Talyor Rookery 지역의 지형과 황제펭귄의 군락지를 나타내고 있다. 사례 2와 사례 3에 해당하는 주석의 내용은 없으며 지도에서 수정된 내용을 유관으로 판독하여 수정내용을 파악하였다. 이 사례는 지도 도화에 있어서 시설물이 아닌 동식물의 서식지를 실제 조사를 근거로 하여 변화를 기록한 것이다.

<표 4-16> 상세분석 사례4

| 구분 | 주요 대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 수정내용 |
|----|-------|-------|---|------------|---------------------|
| 6 | 보호 구역 | 13166 | Taylor Rookery, Mawson Coast. Map B : Antarctic Specially Protected Area No. 101. Detail Taylor Rookery : topography and emperor penguin colony | 2005-05-01 | |
| | | 13709 | Antarctic Specially Protected Area No. 101 Taylor Rookery Map B: Topography and Emperor Penguin Colony | 2010-03-01 | 지형삭제, 범례변경 |
| | | 14338 | Antarctic Specially Protected Area No. 101 Taylor Rookery Map B: Topography and Emperor Penguin Colony | 2015-03-01 | 펭귄서식지를 계절별로 분리하여 표시 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>



자료: <https://data.aad.gov.au/>

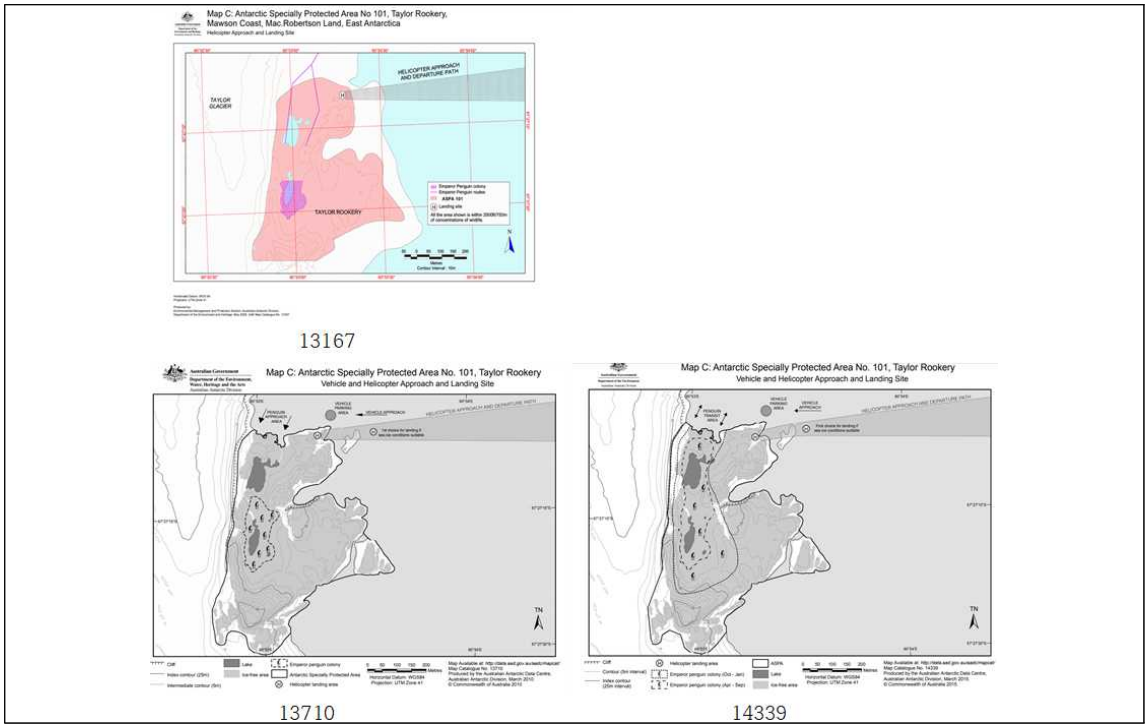
<그림 4-13> 상세분석 사례4

사례 5는 헬기의 이착륙을 방향을 나타내는 지도의 갱신을 나타낸 것이다. 이 지도는 위의 사례 4과 동일한 지역이다. 13167 지도는 헬기의 이착륙 방향만을 나타내고 있으나 13710 지도로 갱신 되면서 사례 4의 지형과 펭귄 서식지를 수정하였으며, 14339 지도에서는 사례 4과 마찬가지로 펭귄 서식지를 계절별로 분리하여 표시하였다.

<표 4-17> 상세분석 사례5

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 수정내용 |
|----|-----------|-------|--|------------|---------------------------|
| 7 | 헬기 이착륙 | 13167 | Taylor Rookery, Mawson Coast. Map C : Antarctic Specially Protected Area No. 101. Helicopter approach and landing site | 2005-05-01 | |
| | | 13710 | Antarctic Specially Protected Area No. 101 Taylor Rookery Map C: Helicopter Approach and Landing site | 2010-03-01 | 전면수정수정: 지형, 서식지 표시 |
| | | 14339 | Antarctic Specially Protected Area No. 101 Taylor Rookery Map C: Helicopter Approach and Landing site | 2015-03-01 | 부분수정: 펭귄서식지를 계절별로 분리하여 표시 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>



자료: <https://data.aad.gov.au/>

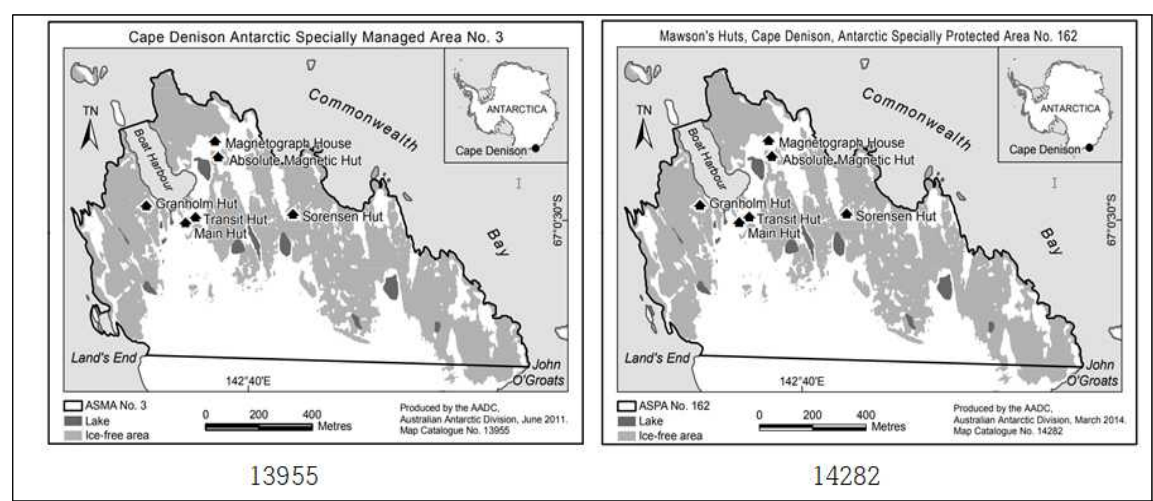
<그림 4-14> 상세분석 사례5

사례6은 안내도로 Denison 곶 지역을 나타내고 있다. 이 사례에서는 실제로 두 지도간 차이는 전혀 없으며 단지 지도의 제목이 변경되었을 뿐이다. 지도의 명칭이 변경되었다 할 지라도 이를 갱신으로 관리하는 것을 알 수 있다.

<표 4-18> 상세분석 사례6

| 구분 | 주요 대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 수정내용 |
|----|-------|-------|---|------------|--------|
| 21 | 안내도 | 13955 | Cape Denison Antarctic Speciall y Managed Area No. 3 | 2011-06-01 | |
| | | 14282 | Cape Denison Antarctic Speciall y Protected Area No. 162 | 2014-03-01 | 도엽명칭변경 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>



자료: <https://data.aad.gov.au/>

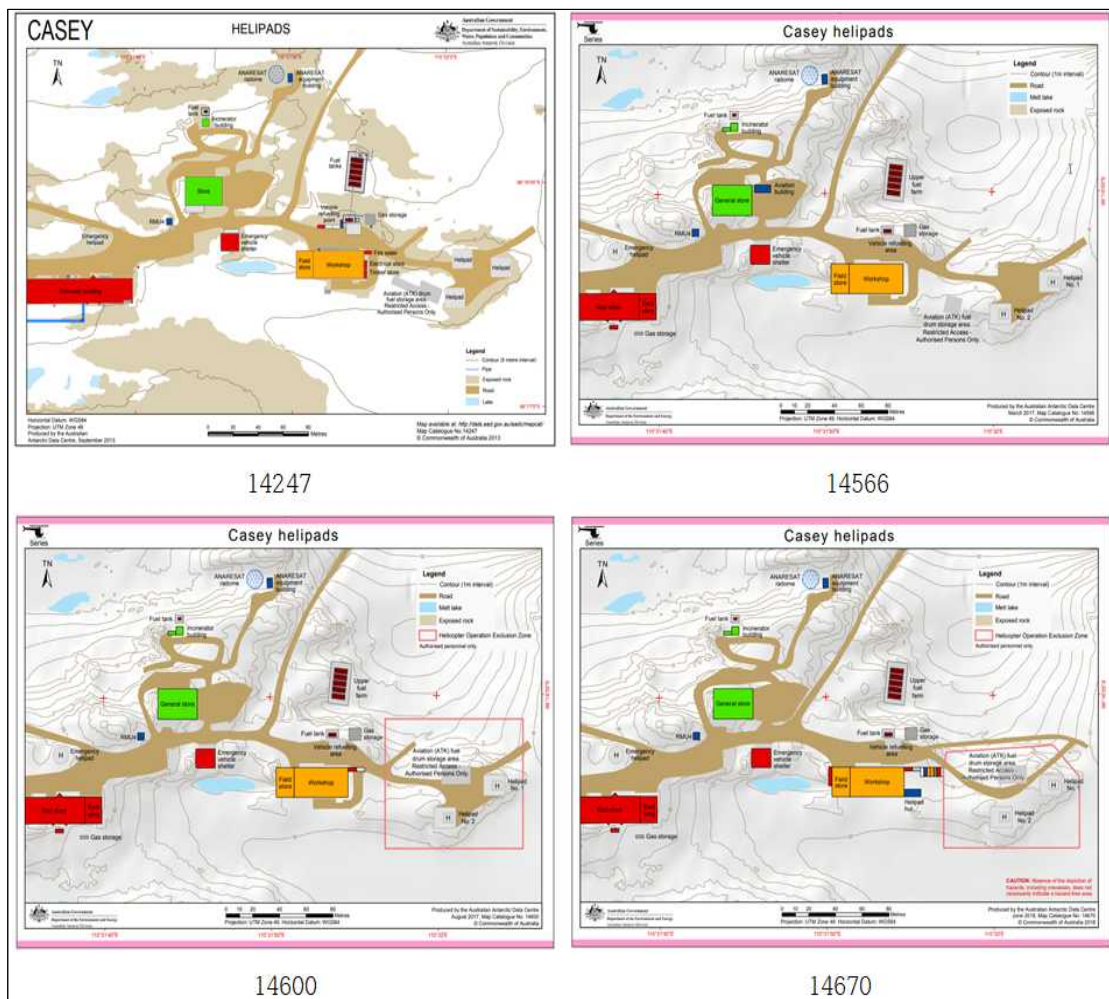
<그림 4-15> 상세분석 사례6

사례7은 헬기장의 변화를 나타낸 지도이다. 호주 남극 영구기지인 Casey 의 헬기장의 변화를 나타낸 것이다. 시기별로 지형이 추가되고, 범례가 수정되고, 붉은색 주석이 추가되는 변화가 있었다. 호주의 남극기지의 경우 헬기 운항과 관련된 많은 지도가 있는 것을 알 수 있다.

<표 4-19> 상세분석 사례7

| 구분 | 주요 대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 수정내용 |
|----|-------|-------|----------------|------------|------|
| 25 | 헬기장 | 14247 | Casey Helipads | 2013-09-01 | |
| | | 14566 | Casey Helipads | 2017-03-01 | 지형추가 |
| | | 14600 | Casey Helipads | 2017-08-01 | 범례수정 |
| | | 14670 | Casey Helipads | 2018-06-01 | 주석추가 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>



자료: <https://data.aad.gov.au/>

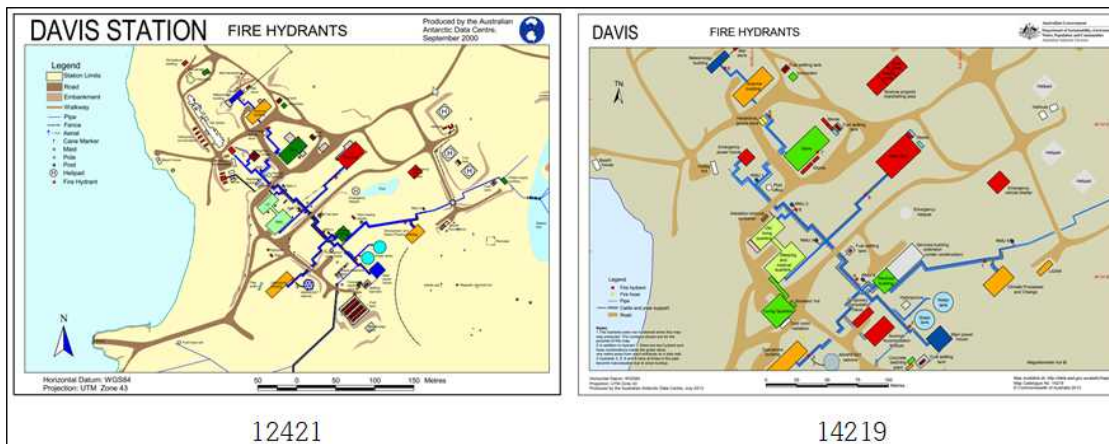
<그림 4-16> 상세분석 사례7

사례8은 호주 남극 영구기지인 Davis 기지의 소화 시설 위치를 나타낸 것이다. 범례의 변경과 시설물이 추가된 것을 알 수 있다. Davis 기지를 나타낸 지도는 많이 있지만 특정한 목적에 맞는 지도를 별도로 제작하여 관리함을 알 수 있다.

<표 4-20> 상세분석 사례8

| 구분 | 주요 대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 수정내용 |
|----|-------|-------|----------------------------------|------------|--------------|
| 45 | 소화전 | 12421 | Davis Station Fire Hydrants | 2000-09-01 | 범례변경, 시설물 추가 |
| | | 14219 | Davis Fire Hydrants (Superceded) | 2013-07-01 | |

자료: <https://data.aad.gov.au/>



자료: <https://data.aad.gov.au/>

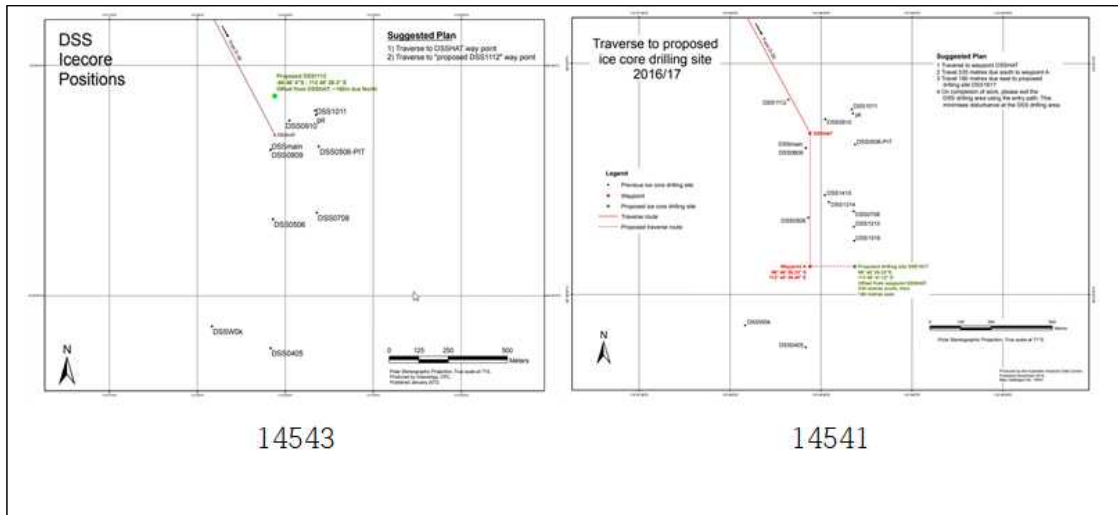
<그림 4-17> 상세분석 사례8

사례 9는 아이스 코어를 시추한 곳의 위치를 나타낸 것이다. 이 지도에서는 각 지점의 위치와 다른 지점으로부터의 이동량 등이 누적되어 표현되어 있다.

<표 4-21> 상세분석 사례9

| 구분 | 주요 대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 수정내용 |
|----|-------|-------|---|------------|----------|
| 51 | 시설물 | 14543 | DSS Icecore Positions 2011/12 | 2012-01-01 | 아이스코어 누적 |
| | | 14544 | DSS Icecore Positions 2012/13 | 2013-01-01 | |
| | | 14545 | DSS Icecore Positions 2013/14 | 2013-10-01 | |
| | | 14546 | DSS Icecore Positions 2014/15 | 2014-11-01 | |
| | | 14547 | DSS Icecore Positions 2015/16 | 2015-11-01 | |
| | | 14541 | Traverse to proposed ice core drilling site 2016/17 | 2016-11-01 | |

자료: <https://data.aad.gov.au/>



자료: <https://data.aad.gov.au/>

<그림 4-18> 상세분석 사례9

4) 극지역 공간정보 갱신주기 국외 사례 분석 시사점 도출

여기에서는 앞서 분석한 호주의 AADC의 공간정보 갱신 사례 이외의 국외 극지역 공간정보 구축 관련 해외 사례들을 조사하여 최종적으로 극지역 공간정보 갱신주기의 시사점을 도출하고자 하였다. 북극 및 남극을 포함한 극지역 공간정보를 제작하는 대표적인 기관은 PGC(Polar Geospatial Center)와 노르웨이의 NPI(Norwegian Polar Institute)가 존재하며, 국외 극지역 공간정보 구축 사례의 예는 <표 4-22>와 같다.

<표 4-22> 국외 극지역 공간정보 구축 사례의 예

| 구분 | 공간정보 | 제작기관 | 대상지역 | 갱신주기 | 비고 |
|----|-------|---|---|--------------------------|--------------------------|
| 북극 | DEM | PGC(Polar Geospatial Center), University of Minnesota | 북극전체 | 2016.09~2018.09까지 2년간 제작 | 공간해상도 :2m |
| | | NPI(Norwegian Polar Institute) | - Svalbard - Jan Mayen - Bouvet øya - Peter I Øy | - | 공간해상도 : 20m (일부지역은 2~5m) |
| | 수치지형도 | NPI(Norwegian Polar Institute) | - Svalbard - Jan Mayen - Bouvet øya | | 지역별 축척 상이함 |

| 구분 | 공간정보 | 제작기관 | 대상지역 | 갱신주기 | 비고 |
|----|-------|---|--|------------------|---|
| 남극 | | | - Dronning Maud Land - Peter I Øy | | |
| | | Arctic Centre, University of Lapland | 북극전체 | 2016, 2017, 2020 | 북극해빙면적 모니터링 |
| | DEM | PGC(Polar Geospatial Center), University of Minnesota | 남극전체 | 단일 생산 | 2009~2017년에 취득한 고해상도 스테레오 광학위성영상을 이용 |
| | | BAS(British Antarctic Survey) | 남극전체(contour map) | 6개월 | 등고선, DEM |
| | 수치지형도 | PGC(Polar Geospatial Center), University of Minnesota | - Amundsen Sea - Ellsworth Mountains - Mrie Byrd Land - South Pole - Ross Ice Shelf - Victoria Land | 1년 | 1/1,000,000 |
| | | BAS(British Antarctic Survey) | ADD(Antarctic Digital Database)를 이용하여 남극 전체 구축 | 6개월 | 해안선, 빙봉, 기반암, 표고점, 시설물, 기지위치, Landsat 모자이크 영상, 빙하와 빙봉의 변화(일부지역) |

자료: 저자 작성

극지역의 DEM의 제작과 관련하여 대부분의 국외 기관에서는 갱신주기는 정량적으로 명시하지 않고 있으며, 북극 혹은 남극 지역 전체에 대한 DEM을 구축하는 것을 주요 목표로 하고 있다. BAS의 경우, 갱신주기 6개월 단위로 DEM을 생성하는 경우도 존재하지만, 일반적으로 운용 가능한 위성영상들을 이용하여 극지역 전체에 대한 하나의 DEM을 작성하는 것을 기본목표로 하고 있다.

PGC의 경우와 같이 2년여간 작업을 통하여 극지역 전체의 DEM을 작성한 사례도 존재하며, NPI도 DEM의 갱신주기는 언급하지 않고 있다. DEM의 갱신주기가 명확하게 명시하지 않은 것은 극지역 내 관심지역 뿐 아니라, 향후 극지역 공간정보 구축에 있어서 DEM이 다양한 형태로 활용될 수 있기 때문에, 극지역 전체의 DEM을 우선적으로 구축하는 것에 초점을 맞추고 있는 것으로 판단된다. 특히, PGC에서 수행한 DEM 구축 사례를 살펴보면, 약 8년간 수집한 위성영상을 이용하여 극지역 공간정보를 구축하였는데, DEM 구축에 필요한 위성영상의 수집 주기도 갱신주기에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 극지역 공간정보의 사용 빈도 및 사용 가능한 위성영상의 제원에 따라서 DEM의 갱신주기가 결정될 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 국내 극지역 공간정보의 활용성 강화를 위해서는 수요조사를 통하여 관심 지역에 대한 DEM을 우선적으로 구축한 후에, 과학기지 주변 지역 등에 대하여 갱신을 수행하는 단계적인 계획을 세우는 것도 가능할 것으로 판단된다.

수치지형도의 갱신주기와 관련하여, 북극의 경우 영토 문제로 인하여 갱신의 타당성 확보가 상대적으로 어려운 부분이 존재한다. 다만, 국외 사례를 분석하였을 때, 6개월 ~ 3년의 갱신주기를 가진 지형도 자료들이 존재하는 것을 확인하였다. 한편, 극지역 공간정보 구축범위에 따라서 극지역의 갱신주기도 결정될 가능성이 높다. 대부분 국외 공간정보 구축 사례에서는 관심지역의 변화주기를 기반으로 갱신주기를 설정하기 보다는 DEM과 마찬가지로 자료의 취득주기를 고려하여 지형도를 갱신하기 때문에 관심지역별로 상이한 갱신주기를 가지고 있다.

한편, 극지역 공간정보 구축에 대하여 갱신주기와 함께 다양한 부분들도 고려해야 할 것으로 판단된다. 남극 인문지리정보의 경우 갱신주기는 AADC의 지도제작 사례를 참고하는 것이 가능하지만, 지형공간정보의 경우에는 상대적으로 참고사례가 많지 않은 문제가 있다. 대부분의 기관에서 실질적으로 인문지리정보의 갱신을 함께 고려하고 있기 때문에, 지형도 자체의 갱신주기를 명확하게 설정하기 어려운 문제점이 발생하였다. 또한, 국내의 극지 자료들의 경우, 시기별로 도곽 정보, 표고점의 정확성 등의 차이가 발생하는 것으로 확인된다. 극지 관련 다양한 자료들의 버전관리가 매우 중요한 요소가 될 것으로 판단되며, 공간정보 구축에 있어서도 극지 관련 자료들과의 통합 및 활용을 위해서 명확한 표준을 정의해야 할 것으로 생각된다.

다. 지형지물 변화량 분석방안

공간정보의 갱신은 시간의 흐름에 따른 공간정보의 변화에 따라 이루어진다. 국토지리정보원은 그간 국내 수치지형도 제작 과정에서 수치지형도의 갱신이 필요한 지역을 추출함에 있어 위성영상을 이용하여 변화지역을 추출하고 그 지역에 대한 수치지형도 갱신을 실시한 사례가 있다. 이는 인간의 활동에 의해 지역 내 변화가 많이 발생한 지역을 우선적으로 갱신한 것으로 판단할 수 있다. 하지만 극지역은 이런 인간의 활동이 빈번하지 않기 때문에 앞 절에서 살펴본 바와 같이 수치지도 등의 공간정보는 시설물 등의 변동이 있는 지역을 갱신하거나 극지역 연구자에 의해 갱신이 필요한 지역을 선정한 후 이 지역에 대한 갱신을 실시하는 것이 일반적이다. 이와는 별도로 DEM이나 정사영상 등은 지형지물의 변화량의 분석을 통해서도 공간정보를 갱신할 수도 있으며 이하에서는 지형지물 변화량 분석을 통한 공간정보의 갱신에 대한 일반론적 접근법을 살펴보고자 한다. 이하에서 살펴보는 접근법은 특정지역에 대한 공간정보 보다는 광범위한 지역에 대한 공간정보를 구축하는 기관의 극지역 공간정보 구축 방식에 적합할 것으로 판단된다.

극지역 공간정보의 수정 및 갱신을 위해서는 해안선, 표고정보와 같은 지형의 변화분석과 더불어 인공구조물과 같은 지물의 변화량을 분석하기 위한 방안도 마련해야 한다. 일반적으로 위성영상

을 이용하여 지형지물의 변화량을 분석하기 위한 방안은 변화탐지(change detection) 기법을 적용할 수 있다. 극지역 지형지물 변화량을 분석하기 위한 대표적인 변화탐지 기법은 분류 후 변화탐지 기법과 무감독 변화탐지(unsupervised change detection) 기법으로 구분할 수 있다.

분류 후 변화탐지 기법은 개별 단위 영상에 대하여 분류(classification)를 수행한 후, 분류된 영상의 클래스를 분석하여, 변화가 발생한 클래스를 변화 지역으로 탐지하는 방법이다. 사용자의 관심 지형지물에 대한 분석을 효과적으로 수행할 수 있다는 장점을 가지고 있으나, 지형지물 변화 결과의 성능이 분류기법의 정확도에 의존적이며, 사용자의 개입이 필요하다는 단점을 가진다.

무감독 변화탐지 기법은 변화 전/후의 영상을 기반으로 영상처리 기법을 적용하여 변화된 지형지물을 자동으로 탐지하는 방법이다. 분류 변화탐지 기법과 비교하여 사용자의 개입을 최소화할 수 있다는 장점을 가지고 있으나, 상대적으로 정확도가 낮을 수 있으며, 지형지물의 속성 및 특성에 대해서는 분석할 수 없는 단점을 지닌다.

수치지형도를 기준으로 하는 변화량 분석은 육안 판독에 의한 방법이 실질적인 방법이기 때문에, 해당 부분에서는 국토위성을 통해서 생성된 정사영상 및 DEM을 활용하여 극지역 내의 지형지물에 대한 변화량을 분석할 수 있는 방법론을 분석하고, 가능 방안을 도출하고자 한다.

1) DSM 기반 표고 분석방안

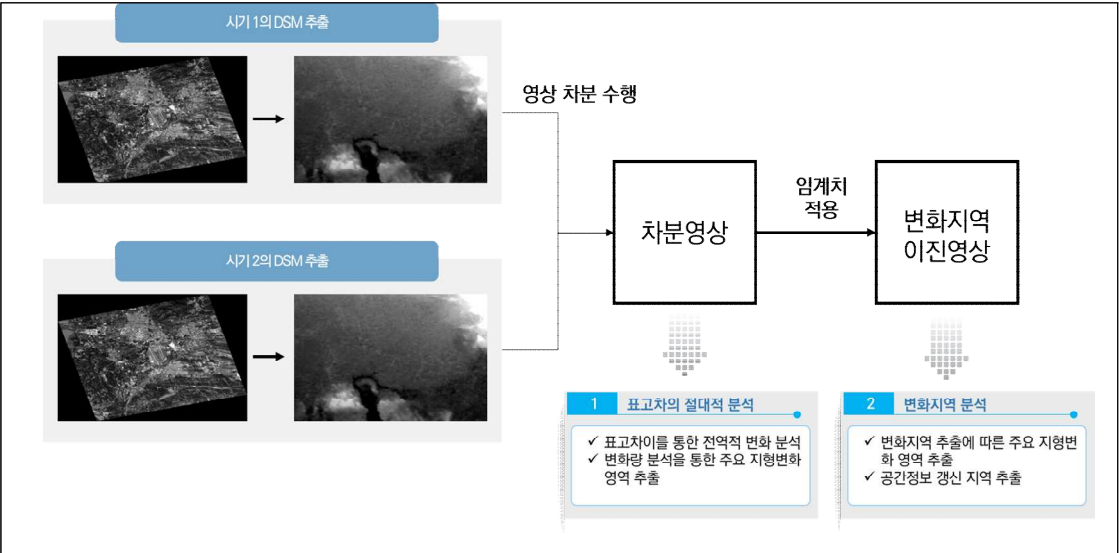
스테레오로 촬영된 위성영상을 활용하여 해당 지역의 DSM(Digital Surface Model)을 생성할 수 있다. 특히, 국토위성은 0.5m 내외의 공간해상도를 가지고 있기 때문에, m급의 해상도를 가지는 DSM을 생성할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서, 극지역 내의 표고정보들의 변화량은 다시기 DSM을 이용하여 분석할 수 있다. 특히, 고해상도 위성영상을 이용하여 생성된 DSM이 높은 정확도를 가지고 있다고 판단될 경우에는 지형의 절대적인 수치변화의 분석이 가능하다고 생각된다. 따라서, DSM 기반 표고 분석 방안은 크게 절대적인 지형의 변화분석과 상대적인 지형의 변화분석으로 구분할 수 있을 것으로 판단된다.

가) 절대적인 표고정보의 변화량 분석

절대적인 표고정보의 분석을 위해서는 우선적으로 생성된 DSM이 높은 정확도를 가지고 있다는 것을 전제로 이루어진다. 생성된 DSM의 오차가 낮은 경우에는 다시기 DSM 자료의 차분(differencing)을 통하여 표고정보의 변위량을 산출하고, 이를 직접적으로 해당 지형의 변위량으로 분석한다. 다만, DSM 생성과정에서 내재된 표고값의 오차를 포함하고 있기 때문에, 일부 범위

내의 변위량을 가지는 지역에 대해서는 변화하지 않는 지역으로 간주하여야 하며, 이에 따른 최적의 임계치를 도출하기 위한 방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다. 다음의 그림은 다시기 DSM 자료를 이용하여 관심 지역의 표고 변화량을 분석하기 위한 방법론의 예이다. 시기 1, 2에 취득된 DSM 영상의 차분을 통하여 생성된 차분 영상을 이용하여 표고차의 절대적 분석을 수행할 수 있다.

해당 지역 내의 전반적인 표고 변화량을 분석할 수 있으며, 이를 통하여 주요 지형변화 영역을 추출할 수 있을 것이다. 또한, 차분영상에 임계치를 적용하여 생성한 이진영상(binary image)의 경우에는 차분영상을 통하여 분석된 주요 지형변화 지역을 정량적으로 도출하고, 이를 통하여 등고선도 등과 같은 공간정보 갱신이 필요한 지역을 추정할 수 있을 것으로 판단된다.



자료: 저자 작성

<그림 4-19> 다시기 DSM을 이용한 표고 변화 분석의 예

나) 상대적인 표고정보의 변화량 분석

다시기 DSM 영상의 차분을 통하여 생성된 차분영상 및 변화지역 이진영상은 DSM의 위치정확도에 따라서 품질의 영향을 받을 수 있다. 따라서, 다시기 DSM 영상에 영상처리 기법을 적용하여 표고정보의 변화량을 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 국토정보위성의 활용에 있어서 기개발된 일부 알고리즘들을 수정/변환하여 다시기 DSM의 활용할 수 있을 것이다.

첫 번째로, 국토정보위성에 활용하기 위하여 개발된 DSM/DTM 기반의 변화탐지는 앞서 언급한 영상 차분기반의 변화탐지를 기반으로 하고 있다. 다만, 단순 영상 차분을 활용하는 것이 아니라, 기존의 화소기반 변화탐지 기법을 통하여 생성된 1차 변화지역을 DSM/DTM을 활용하여 구체

화하는 방법을 차용하고 있다. 따라서, 기개발된 DSM/DTM 기반의 변화탐지 기법은 표고변화에 직접적으로 활용하는 것을 불가능하며, 해당 기법의 경우에는 극지역 내의 지물을 탐지하기 위한 기법에 적절할 것으로 판단된다.

한편, 국토위성을 이용하여 산림황폐화(deforestation)을 분석하기 위하여 적용된 ITPCA(ITerative Principal Component Analysis) 기반의 변화탐지 기법은 다시기 DSM 자료의 상대적인 변화지역을 추출하는 데 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

ITPCA 기반의 변화탐지 기법은 시기가 다른 단밴드 영상을 활용하여 변화탐지를 수행하는 기법이며, 다시기 영상 내의 특정 밴드에서의 PCA 기법 적용을 통하여 위성영상을 2개의 주성분으로 구분한다. 생성된 2개의 주성분 중, 첫 번째 주성분은 미변화지역의 전체적인 경향을 나타내는 밴드가 산출되며, 두 번째 주성분에서는 평균값을 기준으로 양 끝에 위치한 화소들이 변화가능성이 높은 지역으로 가정할 수 있다. 산림황폐화 분석에 있어서 산림훼손이 발생한 지역은 미변화지역과 비교하여 낮은 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 값을 가지고 있기 때문에, ITPCA 기법을 통하여 산림변화지역을 자동으로 산출할 수 있다.

ITPCA 기법은 축 변환을 통하여 영상분석을 수행하기 때문에, 다시기 위성영상이 동일한 분광 특성 및 통계적 특성을 가질 필요가 없다. 이는 방사보정, 히스토그램 매칭 등과 같은 입력자료 간의 상대 정규화(relative normalization) 과정이 요구되지 않는다는 장점을 가진다.

다시기 DSM의 경우에도 상대적으로 표고값의 변화가 큰 지역은 산림황폐화 분석과 동일하게 추출할 수 있을 것으로 판단된다. ITPCA 기법을 DSM 변화에 적용하기 위해서는 기존의 산림황폐화 기법의 적용에 있어서 사용된 기법의 입력자료를 다시기 DSM 자료로 대체하면 적용가능하며, DSM 자료의 상대적인 표고값 보정 등의 과정이 필요치 않다는 장점을 가진다. 그러나, ITPCA 등의 기법을 통하여 생성된 다시기 DSM 자료의 변화탐지 결과는 절대적인 표고변화의 분석을 위한 것이 아니라, 해당 지역 내에서 상대적으로 표고값의 차이가 크게 발생한 지역만을 분석할 수 있기 때문에, 빙붕의 이동 등과 같은 변화양상은 파악하기 어려운 단점을 가질 수 있다. 따라서, 장기적인 관점에서 환경변화 등에 의한 표고값의 변화가 매우 큰 지형에 대하여 분석을 수행하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

2) 지형지물의 분석방안

극지역에 존재하는 지형지물은 크게 인공구조물과 빙붕/해안선 등과 같은 자연지물로 분류할 수 있다. 지형지물의 특성에 따라서 변화량 분석 방안을 수립해야 할 것으로 판단되며, 이에 대한

세부적인 분석 사항은 다음과 같다.

가) 인공구조물의 분석 방안

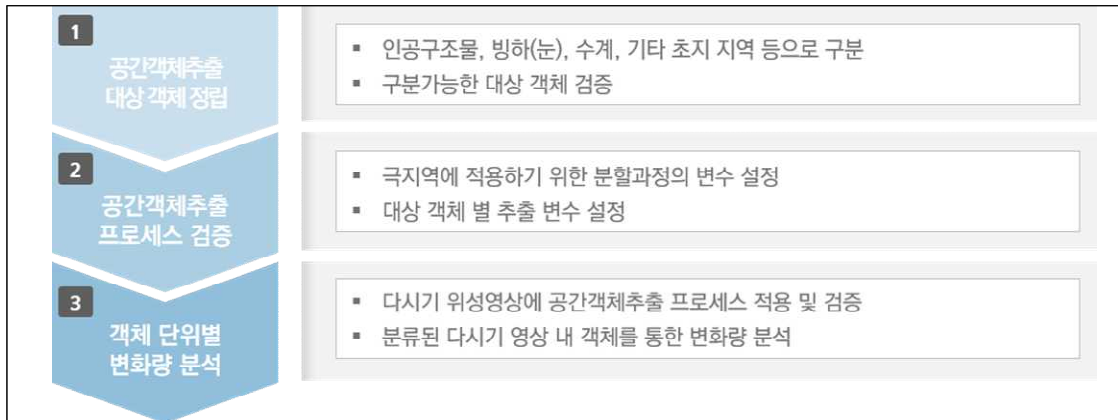
극지역에 존재하는 인공구조물들도 국내 지형에 존재하는 인공구조물과 유사한 특성을 가지고 있다고 가정할 수 있다. 따라서, 인공구조물의 변화 분석을 위하여 개발된 위성영상 처리 방법들을 극지역 공간정보에도 적용할 수 있을 것이다.

분류 후 변화탐지 기법은 위성영상을 객체(object) 단위로 분할(segmentation)을 수행한 후, 각 객체별 특성을 통하여 분류하는 체계를 가진다. 현재, 국토위성에 활용하기 위하여 아리랑 3A 위성영상을 기반으로 개발된 공간객체추출 프로세스는 분할된 객체의 공간/분광적 특성을 고려하여 총 6종류(건물, 도로, 산림, 초지, 나지, 수계)로 분류하는 시스템을 갖추고 있다.

극지역의 경우, 건물, 수계를 제외한 나머지 객체들은 매우 적은 비율로 존재할 것으로 판단되며, 극지역의 효과적인 분류를 위해서는 눈 혹은 빙하 지역에 대한 분류가 이루어져야 될 것으로 판단된다. 공간객체추출 프로세스를 극지역에 적용하여 변화량 분석에 사용하기 위해서는 다음의 과정을 거쳐 극지역 공간정보 추출에 대한 가능성을 타진해야 한다.

첫 번째로, 극지역에서 추출가능한 대표적인 객체들인 인공구조물, 빙하, 수계 등에 대하여 위성영상에서 추출 가능한지에 대한 여부를 검증하여 가능대상 객체를 검증해야 한다. 인공구조물의 경우에는 세분화된 객체로 분석하는 것은 현재의 기술로는 어려울 것으로 판단된다. 컨테이너 등의 특수 인공구조물의 경우에는 딥러닝 기법을 통하여 특정 객체만을 추출할 수 있을 것으로 판단되지만, 극지역 내 지형의 특수성으로 인하여 훈련자료를 새롭게 구축해야 할 것이다. 구분 가능한 대상 객체가 정의되면, 대상 객체를 추출하기 위한 분할/분류과정의 변수를 결정해야 한다.

일반적인 지형에 대해서는 연구논문 등을 통하여 초기값으로 결정된 변수들이 일부 존재하지만, 극지역 내에서는 해당 변수들을 이용하는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한, 극지역의 빙하 등에 대해서는 최적의 변수를 도출하지 못하였기 때문에, 이에 대한 실험이 추가적으로 필요하다. 극지역 내의 공간객체추출 프로세스가 정립된다면, 다시기 위성영상 내에 해당 기법을 적용하여 분류된 다시기 영상 내 객체들의 변화량은 분류 결과를 통하여 추출할 수 있을 것으로 판단된다. 결과적으로, 공간객체추출 프로세스를 위한 대상 객체를 정의하고, 해당 객체들에 대한 변수를 재정의하여 변화량 분석에 활용할 수 있을 것이다.



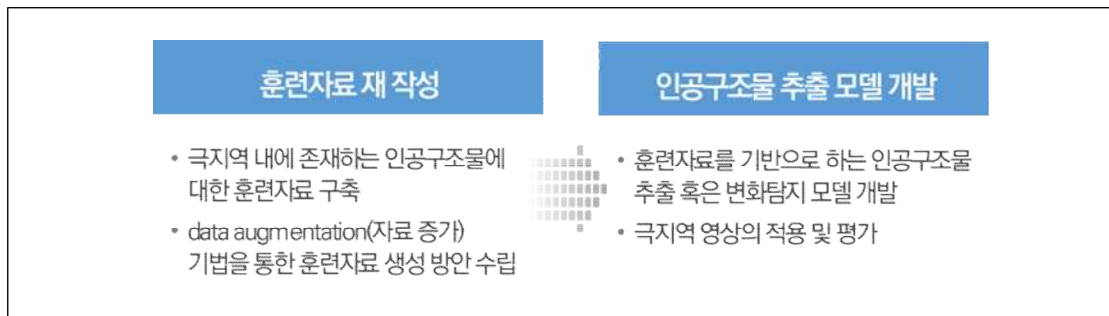
자료: 저자 작성

<그림 4-20> 극지역 공간객체추출을 위한 검증과정의 예

국토정보위성에 적용하기 위하여 개발된 무감독 변화탐지 기법은 일반 지형에 대한 건설 등으로 인한 인공구조물의 변화에 초점을 맞추어 개발되었다. 화소기반의 변화탐지 기법의 경우에도 인공구조물의 변화를 탐지하기 위하여 식생지역의 후처리 등이 포함되어 있으며, 딥러닝 기법의 경우에도 수계지역의 변화 등을 제외한 인공구조물의 변화에만 초점을 맞추어 개발되었다.

기존의 화소기반의 변화탐지 기법들은 인공구조물의 변화에는 현재 기술로도 일부 적용가능할 것으로 판단된다. 그러나, 딥러닝 기반의 변화탐지 기법은 극지역을 촬영한 위성영상에 대하여 대상 지형지물에 대한 훈련자료를 구축할 경우에는 변화량 분석에 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 딥러닝 기반의 변화탐지 기법을 극지역 내 인공구조물의 변화량 분석에 적용하기 위해서는 세종과학기지 등 인공구조물이 존재하는 지역을 촬영한 위성영상 자료들을 수집하여, 이에 대한 추가적인 훈련자료를 구축해야 한다.

한편, 변화지역 분석을 위해서는 많은 개수의 변화 전/후의 훈련자료가 필요하지만, 극지역 내의 인공구조물은 해당 훈련자료를 작성하기에 자료의 양이 부족할 수 있다. 이러한 경우에는 자료증가(data augmentation) 기법을 통하여 가상의 훈련자료를 부가적으로 생성하여 학습에 사용할 수 있을 것이다. 구축된 훈련자료를 토대로 인공구조물 추출 및 변화탐지 모델을 구성하기 위해서는 기존의 인코더-디코더(encoder-decoder) 네트워크를 기반으로 하는 U-Net, SegNet, FC-DenseNet 등의 딥러닝 모델을 활용하여도 무방할 것이며, 이를 통해 극지역 위성영상 내의 인공구조물 추출을 통한 변화량 분석 혹은 다시기 위성영상을 입력자료로 사용하는 변화탐지 모델을 생성하여 활용할 수 있을 것으로 사료된다.



자료: 저자 작성

<그림 4-21> 딥러닝 기반 변화량 분석을 위한 고려사항

나) 자연지물(빙붕, 해안선 등)의 분석방안

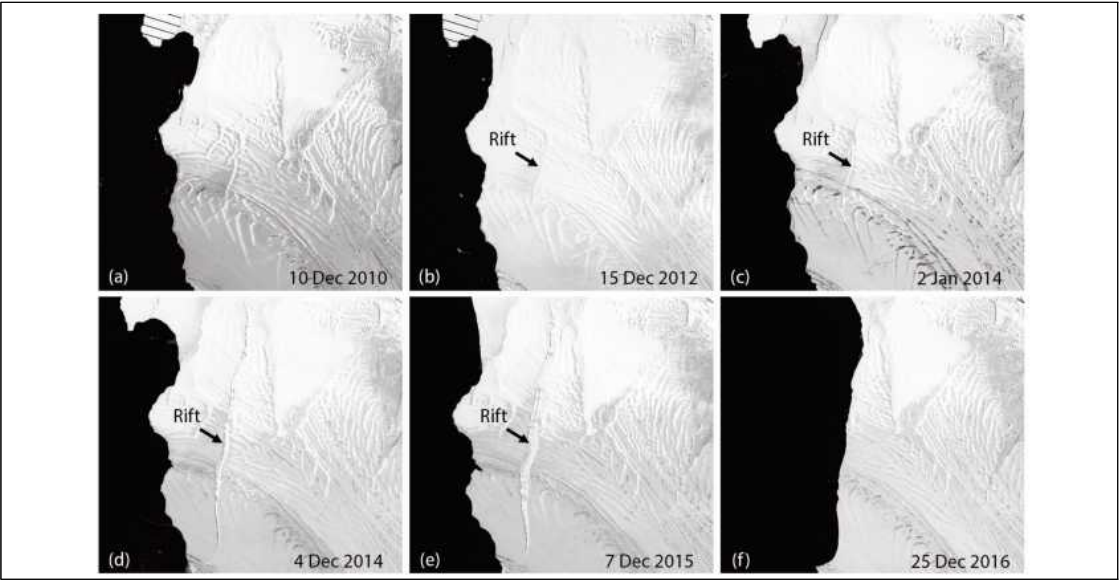
해안선과 빙붕 등의 자연지물 분석 방안은 앞서 언급한 변화량 분석을 위한 영상처리 방법들을 이용하는 것이 가능하다고 판단된다. 해안선의 경우에는 표고분석에 사용가능한 영상 차분기법을 사용하는 것이 가능하며, NDWI(Normalized Difference Water Index) 등을 통하여 수계지역을 우선적으로 추출하고, 이를 활용하여 해안선 변화량을 추정할 수 있다. 그러나, 극지역의 경우, 해안선 주변 빙하 등의 영향으로 인하여 NDWI를 이용하여 해안선을 추출하는 것이 어려울 수 있다. 이러한 경우에는 ITPCA 기법 혹은 해안선 지역을 훈련자료로 구축하여 딥러닝 모델을 생성한 후에 해안선의 변화량을 분석할 수 있을 것이다.

빙붕의 경우에는 대부분의 극지역 원격탐사 연구에서 빙붕의 탐지보다는 빙붕의 이동량을 분석하는 경우가 대부분이다. 빙붕의 변화량을 분석하기 위해서는 일반적으로 SAR(Synthetic Aperture Radar) 위성영상을 사용하지만, 시계열 위성영상을 사용하여 빙붕의 이동량을 분석하는 것도 가능하다. 그 실례로 중저해상도 위성영상인 Landsat 위성영상을 활용하여 다시기 영상의 영상정합(image matching)을 활용한 빙붕의 흐름속도 변화를 분석한 경우 등이 있다.

영상정합은 일반적으로 DSM을 생성하기 위해서도 적용 가능한 방법이지만, 정합점을 이용하여 해당 지역의 변위를 산출하기 위해서도 활용할 수 있다. 따라서, 충분한 수의 다시기 위성영상을 취득할 수 있을 경우에는 국토위성과 같은 고해상도 위성영상에 영상 정합 기법을 활용하여 빙붕과 같은 이동체 등의 변위량을 분석할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 해당 변위량 측정 결과는 주제도 작성 및 수정 등에도 활용할 수 있을 것이다.

극지역 공간정보를 활용하는 사용자들에 따라서 관심 대상 지형지물들은 빙하, 빙붕, 해안선, 크레바스 등 매우 다양하게 구성되어 있다. 또한, 일부 지형지물의 경우에는 변화량 분석을 실질적으로 수행하기 어려운 대상물들도 존재한다. 따라서, 지형지물의 갱신을 수행하기 위하여 해당 지

형의 변화량을 분석할 수도 있지만, 다시기 위성영상에 대하여 지형지물을 추출하고, 추출된 지형지물의 비교를 통하여 변화량을 분석하는 것이 더욱 효과적일 수 있다. 이를 통해, 지형지물의 갱신 주기도 단축시키고, 변화량 분석 결과물의 정확도도 향상시킬 수 있을 것이다.



자료: 한향선과 이춘기(2018)

<그림 4-22> Nanse 지역의 빙붕의 균열에 따른 이동의 예

라. 공간정보별 갱신주기 도출

극지역 공간정보의 갱신주기를 도출하기 위해서는 공간정보 구축 항목, 대상 지역 등의 특성이 종합적으로 고려되어야 한다. 국토지리정보원은 극지역 전체에 대한 세계적인 공간정보의 데이터 제공자로서 해야 할 역할보다는 극지역 중 우리나라와 관련된 지역의 공간정보를 직접 구축하는 주체로서의 역할을 하기 때문에 국내 극지역 연구 및 정책을 지원하고 수요에 대응하기 위한 역할을 수행해야 할 것이다. 따라서, 본 연구에서는 국토지리정보원이 제작한 공간정보를 기반으로 하여, 신규구축, 정기갱신, 수시갱신으로 구분하여 갱신주기를 도출하고자 하였다.

한편, 구축 항목은 국토지리정보원이 제작할 수 있는 공간정보로 한정하고자 하였으며, DEM, 정사영상, 수치지도 및 주제도의 3가지로 구분하였다. 또한, 구축되는 공간정보는 국토위성을 포함한 원격탐사 자료들을 이용하여 생성하는 것으로 가정한다. <표 4-23>은 국외 극지역 공간정보 구축사례를 종합적으로 고려하여 극지역 공간정보별 갱신주기에 대한 방안을 정리한 표이다.

<표 4-23> 공간정보별 갱신 주기(안)

| 공간정보 | 갱신주기 |
|------------|--|
| DEM | <ul style="list-style-type: none"> - 신규제작 : 수요조사 구축대상 지역 → 대상지역 확대하여 남극/북극지역 전체에 대한 자료 구축을 목표로 함 - 정기갱신 : 4년주기 - 수시갱신 : 2년 주기 혹은 수요기관 요청시 |
| 정사영상 | <ul style="list-style-type: none"> - 신규제작 : DEM과 동일지역 제작 - 정기갱신 : 4년주기 - 수시갱신 : 2년 주기 혹은 수요기관 요청시 |
| 수치지도 및 주제도 | <ul style="list-style-type: none"> - 신규제작 : 수요기관의 관심대상 지역, 지형지물 위주 - 정기갱신 : 4년주기(1/25,000) - 수시갱신 : 2년 주기 혹은 수요기관 요청시(1/25,000 및 1/5,000) |

자료: 저자 작성

1) DEM

DEM은 국토위성을 통하여 취득된 스테레오 위성영상의 처리를 통하여 생성될 수 있다. 국외 기관의 경우에는 정기/수시갱신보다는 남극 및 북극 전체지역에 대한 DEM을 생성하는 데에 중점을 두고 있다. 따라서, 국토지리정보원의 경우에도 2가지 형태로 DEM 구축 및 갱신주기를 수립하는 것이 가능하다고 판단된다. 갱신주기는 호주 AADC의 평균 지도갱신 주기를 고려하여 4년 단위의 갱신을 원칙으로 하되, DEM은 정사영상 및 수치지도를 생성하는데 기본자료로 활용할 수 있기 때문에, 2년 단위의 정기갱신 혹은 수요기관의 요청시 수시갱신을 수행하는 것을 고려한다.

한편, 국토지리정보원의 극지역에 대한 위상정립을 위하여 장기적으로는 남극 및 북극 지역 전체에 대한 DEM을 생성하는 것도 적극적으로 고려할 필요가 있다. 국외 기관의 경우, 4~5년에 걸쳐 취득된 고해상도 위성영상을 이용하여 극지역 전체에 대한 DEM을 제작하여 배포한 사례들이 존재하며, 해당 자료를 구축할 경우에는 국토위성 및 국가기술 홍보에도 도움이 될 것으로 판단된다.

국내·외에서 극지역 공간정보 사용자들이 PGC 및 BAS에서 생성한 극지역 전체의 공간정보를 극지역 분석에의 배경지도로 활용하고 있으며, 국내의 경우에도 해외의 자료를 배경자료로 사용하고 있다. 특히, DEM의 변화량은 상대적으로 낮기 때문에 국내의 과학기지를 중심으로 생성된 DEM 및 영상지도를 배경지도로 사용하는 것이 주기적인 갱신보다 중요한 부분이라고 판단된다.

2) 정사영상

정사영상은 생성된 DEM 및 기준점 등을 이용하여 제작할 수 있기 때문에, DEM과 함께 제작 및 갱신하는 것이 효율적인 것으로 판단된다. 한편, 정사영상은 국토위성을 이용하여 제작하는 것을 원칙으로 하되, 국내·외 고해상도 위성영상을 보조적으로 활용하는 것이 효율적일 것이다.

갱신주기에 있어서는 구축대상지역에 공간정보 제작이 이루어지지 않았을 경우에는 신규제작을 수행하며, 신규제작은 지속적으로 대상을 확대하도록 한다.

정기갱신 및 수시갱신은 DEM과 동일하게 4년, 2년 단위로 갱신하는 것을 목적으로 한다. 다만, 앞에서 언급한 바와 같이 정사영상의 경우에도 DEM과 함께 과학기지를 중심으로 한 극지역 전체에 대한 기본 자료를 구성하는 것이 1차적으로 이루어져야 하는 과제라고 판단된다.

3) 수치지형도 및 주제도

수치지도 및 주제도의 경우, 관심 갱신지역, 기관별 관심사항에 따라서 지형도의 속성 및 갱신 주기가 상이할 수 있다. 수치지도 레이어는 등고선과 일부 시설물 레이어가 포함되며, 남극 및 북극 연구에 필요한 해빙 경계, 빙하 방향, 해안선 경계 등에 대한 주제도도 제작가능할 것으로 판단된다.

수치지도의 갱신범위는 1/25,000과 1/5,000 축척을 가지는 지도를 원칙으로 하되, 1/25,000 수치지도의 경우에는 DEM과 정사영상과 동일한 갱신주기, 1/5,000 수치지도는 수요기관의 요청 시에 수시갱신을 수행하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 다만, 극지역 연구에 있어서 많은 활용이 예상되는 해안선 정보들은 주기적인 갱신을 수행하는 것이 필요할 것으로 예상되며, 크레바스 등과 같은 특수지형지물들은 수요조사를 통하여 작성시기, 갱신 필 요주기에 대한 항목을 협의하여 진행하는 것이 필요하다.

마. 시사점

기존에 수행된 극지역 공간정보 구축사업의 경우, 남극 및 북극의 과학기지를 중심으로 이루어졌으며, 수요기관의 수요조사를 통한 당해연도의 관심지역의 공간정보 구축이 주를 이루고 있었다.

극지역의 지형지물은 일반적인 지형과 비교하여 변화량이 크지는 않지만, 크레바스, 해안선, 빙봉 등 비정기적으로 변화하는 지형들이 존재하며, 해당 지형의 범위는 상대적으로 매우 넓은 특징

을 가지고 있다. 또한, 극지역 연구활동 및 정책활동의 수립을 위해서는 과학기지 등을 중심으로 한 광범위지역에 대한 자료의 요구도 존재함을 확인하였다.

국토위성의 발사로 인하여, 극지역 공간정보를 구축하기 위한 제원이 마련이 되었다고 판단되지만, 우리나라 국토와 비교하여 극지역은 매우 넓은 면적으로 이루어져 있기 때문에, 2~4년의 갱신주기를 가지고 극지역 공간정보의 갱신을 진행하는 것이 합리적으로 판단된다. 다만, 국가정책 등으로 인하여 최신의 극지역 공간정보를 필요로 하는 지역이 있기 때문에, 정기갱신과 더불어, 관심지역에 대한 비정기갱신을 병행하여 진행해야 하며, 장기적으로는 극지역 전체에 대한 수치표고 모델 및 정사영상의 제작을 통하여 국내·외 극지역 관련 연구자 및 정책결정자들이 기본자료로 활용할 수 있는 기본자료를 제작하는 방향으로 나아가야 한다고 판단된다.

2. 공간정보별 구축 대상지역 선정

가. 관련 정책 · 개발 · 연구기관 조사

국토지리정보원은 매년 수요조사 및 「남극지역 측량 및 지도제작 기본계획」, 「극지역 측량·지도제작 기본계획」, 「북극 공간정보 구축 계획」, 「극지역 공간정보 구축 기본계획」 등의 다양한 계획들을 바탕으로 극지역 공간정보 구축 대상지역을 선정하고, 이에 대한 과업을 진행하고 있다. 그러나, 효과적으로 극지역 공간정보를 구축하고, 극지역 공간정보 구축의 장기 로드맵을 구축하기 위해서는 극지역 공간정보별 구축에 대한 주요 대상지역을 선정하고, 이를 바탕으로 수요조사 결과를 반영하여 구축 계획을 수립해야 한다. 이를 위하여, 본 과제에서는 국내·외 극지역 관련 정책 및 연구기관에 대한 현황 등을 분석하여, 극지역 공간정보 구축이 필요한 주요 대상지역을 선정하고자 하였다.

1) 국내·외 극지역 관련 정책 조사

가) 국내 극지역 관련 정책 조사

극지역과 관련된 정부의 정책도 북극과 남극으로 구분하여 이루어지고 있으며, 이를 위한 관련 세부 정책들과 연계되어 진행되고 있다. 이를 위하여, 크게 북극과 남극으로 구분하여 각 부처에서 추진한 관련 정책을 정리하면 다음과 같다.

(1) 북극관련 정책 현황

북극관련 정책은 미래창조과학부, 외교부, 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부, 해양수산부, 기상청 총 7개 부처·청에서 추진하고 있는 사업들을 종합하여 수립한 「북극정책 기본계획」(‘13~’17)을 기반으로 하여 진행되었다. 2018년 수립된 「북극활동 진흥 기본계획」(‘18.7)은 해양수산부, 과학기술정보통신부, 외교부, 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부, 기상청, 북방경제협력위원회 등 8개 정부기관이 참여하여 수립하였으며, 4대 전략을 마련하여 2022년까지 시행될 예정이다. 「북극활동 진흥 기본계획」의 목표 및 세부추진과제의 개요는 <그림 4-23>, <표 4-24>와 같으며, 각 추진전략 별 주요 추진과제 및 세부추진내용에 따른 국토지리정보원의 참여방안을 간략하게 정리하면, 다음과 같다.

「북극활동 진흥 기본계획」내에는 공간정보와 연계된 다양한 세부추진 내용들이 존재한다. 4대

전략 중 “인류 공동과제 해결을 위한 연구활동 강화”에 포함되어 있는 북극해 환경변화 통합관측 시스템 구축의 경우, 아리랑 위성을 활용하여 북극활동에 대한 관측활동을 강화하고, 해빙 등 다양한 북극지역의 환경변화에 대한 모니터링 체계를 수립하는 것을 목표로 진행되고 있다.

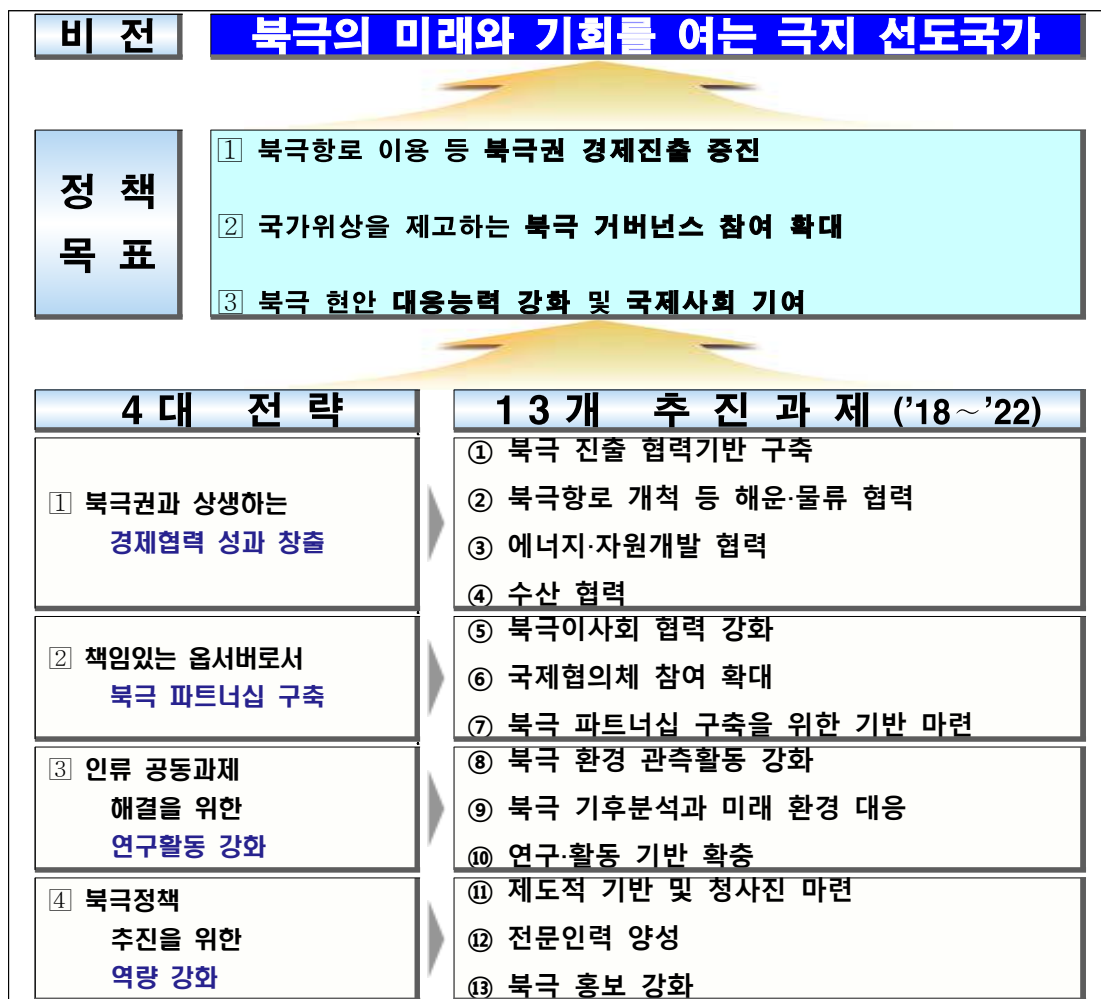
극지역은 항공촬영 등을 통하여 공간정보를 구축하는 것이 불가능하기 때문에, 국내 고해상도 광학위성인 아리랑위성을 활용하고 있으며, 위성영상을 통하여 생성할 수 있는 주기적인 극지역 공간정보들을 북극지역의 환경변화에 대한 기초자료로 제공하고 있다. 따라서, 국토지리정보원의 국토위성센터를 통하여 생성된 수치지형도, 정사영상, DEM은 북극해 환경변화 통합관측 시스템의 기본자료로 활용될 수 있으며, 국토위성센터에서 현재 운용중인 국토위성을 통하여 취득된 고해상도 위성영상들은 북극해 환경변화 모니터링을 위하여 지속적인 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. “북극권과 상생하는 경제협력 성과 창출” 전략 내의 북극항로 가이드라인 및 북극항로 해운정보센터 구축·운영을 위해서도 극지역 공간정보를 활용하여 항로에 대한 세부적인 정보를 추출할 수 있을 것이다. 현재, 국립해양조사원에서 수행한 극지역 해도제작에 대한 사업의 경우에도 해도제작에 필요한 기초공간정보 및 북극의 위성영상을 국토지리정보원에서 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

끝으로, “북극정책 추진을 위한 역량 강화” 내의 북극홍보 활동에 대해서도 최선의 극지역 공간정보를 활용하여 극지정보포털 ‘극지 e야기’ 서비스 내의 콘텐츠를 공급하고, 북극과 관련된 교육 프로그램 운영 및 홍보를 위한 기초자료 제작에 국토지리정보원에서 제작한 북극지역의 공간정보가 활용될 수 있을 것이다. 따라서, 「북극활동 진흥 기본계획」의 주요 전략 내 추진내용 중에서는 국토지리정보원에서 제작하고 있는 공간정보 및 국토위성에서 취득된 위성영상이 필요한 분야들이 다양하게 분포하고 있다. 그러나, 「북극활동 진흥 기본계획」에도 국토교통부가 참여하고 있음에도 불구하고, 국토지리정보원의 북극활동에 대한 기본계획 내의 역할이 명시되어 있지 않기 때문에, 북극활동 진흥에 있어서 극지역 공간정보가 활용될 수 있는 다양한 분야들을 선제적으로 마련하고, 이를 지원·홍보하기 위한 계획이 필요할 것이다.

<표 4-24> 「북극활동 진흥 기본계획」의 전략별 주요 추진 내용

| 전략 | 내용 |
|-------------------------|---|
| 북극권과 상생하는 경제협력 성과 창출 | <ul style="list-style-type: none"> - (북극 진출 협력기반 구축) 북극 경제진출 협력 강화, 극한지 공학 R&D 추진, 북극경제이사회 협력사업 추진 - (해운·물류 협력) 북극연안 수송인프라 수요 분석 및 시범운항, 북극항로 운항 가이드라인 마련, 북극항로 해운정보센터 구축·운영 추진 - (에너지·자원 개발 협력) 북극 연안국 배타적 경제수역에서 자원·에너지 조사를 위한 국제 공동연구 탐사 등 - (수산협력) 북극해 수산자원공동조사 및 수산물류가공 복합단지 조성 추진 |
| 책임있는 옵서버로서 북극 파트너십 구축 | <ul style="list-style-type: none"> - (북극이사회 협력강화) 북극권 국가와의 양자협력 강화, 북극이사회 북극대학 네트워크(UArctic) 협력 - (국제협약체 참여 확대) 북극서클 지역포럼 개최 등 국제협력 강화, “북극협력주간” 활성화, 상시사무국 설치 추진 - (북극 파트너십 구축을 위한 기반 마련) 북극교류협력센터 설치 추진, “분야별 북극교류협력기관” 지정 |
| 인류 공동과제 해결을 위한 연구 활동 강화 | <ul style="list-style-type: none"> - (북극 환경 관측활동 강화) 북극해 환경변화 통합관측 시스템 구축(아라온호-아리랑-관측기지), 기후변화 관련 국제협력 관측사업 추진 - (북극 기후분석과 미래 환경 대응) 극지예측시스템 구축(기후전망, 해빙에 따른 탄소흡수 변화), 기후변화 영향조사 연구협력사업 추진 - (연구활동 기반 확충) 극지 연구 인프라 개방 및 공동활용 방안 마련 |
| 북극정책 추진을 위한 역량 강화 | <ul style="list-style-type: none"> - (제도적 기반 및 청사진 마련) 극지 종합계획 수립 - (전문인력 양성) ‘북극연구 컨소시엄’ 중장기 발전전략 수립 - (북극 홍보 강화) 극지정보포털 ‘극지 e야기’ 서비스 고도화, 교육 프로그램 운영 및 홍보 |

자료: 「북극정책 기본계획」(2018)



자료: 「북극정책 기본계획」(2018)

<그림 4-23> 「북극활동 진흥 기본계획」의 목표 및 세부추진과제의 개요

(1) 남극관련 정책 현황

현재 진행 중인 남극관련 정책은 2017년에 수립된 제3차 남극연구활동진흥 기본계획이다. 제3차 남극연구활동진흥 기본계획은 해양수산부의 주관으로 관계부처(미래창조과학부, 외교부, 환경부), 극지역연구소, 대학, 남극관련 10개의 연구기관의 수요조사를 바탕으로 2017년에 수립되었으며, 제2차 남극연구활동진흥기본계획을 바탕으로 수립되었다. 제2차 남극연구활동진흥 기본계획('12~'16)의 주요성과 중, 극지역 공간정보와 관련되었다고 판단할 수 있는 성과들은 다음의 표와 같다. 첫 번째로, 아라온호를 활용하여 남극해(로스해, 아문젠해, 웨델해, 중앙해령)에서 연평균 60일 이상의 연구활동을 수행하였으며, 아라온호를 통하여 남극해에서 조난된 선박을 구조하는 성과를 이루었다. 또한, 세종 과학기지 보수공사에 착수('15~)하여 연구환경을 주기적으로 개선하고 있

다. 장보고 과학기지 준공('14)과 극지종합상황실을 설치('14)하여 남극지역에 대한 실시간 모니터링 시스템을 구축한 시점에서 남극 내륙의 독자적 육상경로(코리안 루트)를 개척하고, 대륙기반 연구를 주도할 남극점(미국, 아문센-스콧 기지), 가장 추운 곳(러시아, 보스톡 기지) 등의 제 3의 기지 인프라를 확보할 필요성을 제시하였다.

<표 4-25> 「제2차 남극연구활동진흥기본계획」의 주요 성과

| 주요 성과 | 내용 |
|------------------------|---|
| 남극 아문센해 빙봉의 붕괴원인 규명 | - 세계에서 가장 빠르게 녹고 있는 남극 아문센해의 파인아일랜드 빙하의 융빙과정을 규명하고, 남극 빙봉변화와 적도 라니냐 현상의 상관성 발견 |
| 원격탐사 활용 서남극해 국제공동연구 추진 | - 서남극해 원격탐사연구(STAR)을 통해 11~3월에 만 가능했던 남극해 현장 관측을 연중 수행으로 확대 |
| 남극장보고과학기지 건설('14) | - 장보고과학기지 준공으로 2개 이상의 남극 상주과학기지를 보유한 세계 10번째 국가로서 대륙연구 및 내륙진출의 거점 확보 |
| 극지종합상황실 설치('14) | - 과학기지와 쇄빙연구선의 운영·운항, 기상, 인원, 안전 등을 실시간 모니터링할 수 있는 종합상황실 설치 |
| 아라온호, 남극 결빙해역의 조난선박 구조 | - 남극해에서 조난된 러시아의 스파르타호('11)에 이어 우리나라 정우2호('12), 썬스타호('15)를 구조하여, 국제사회에서 우리나라의 국격 제고 |

자료: 「제3차 남극연구활동진흥기본계획」(2017)

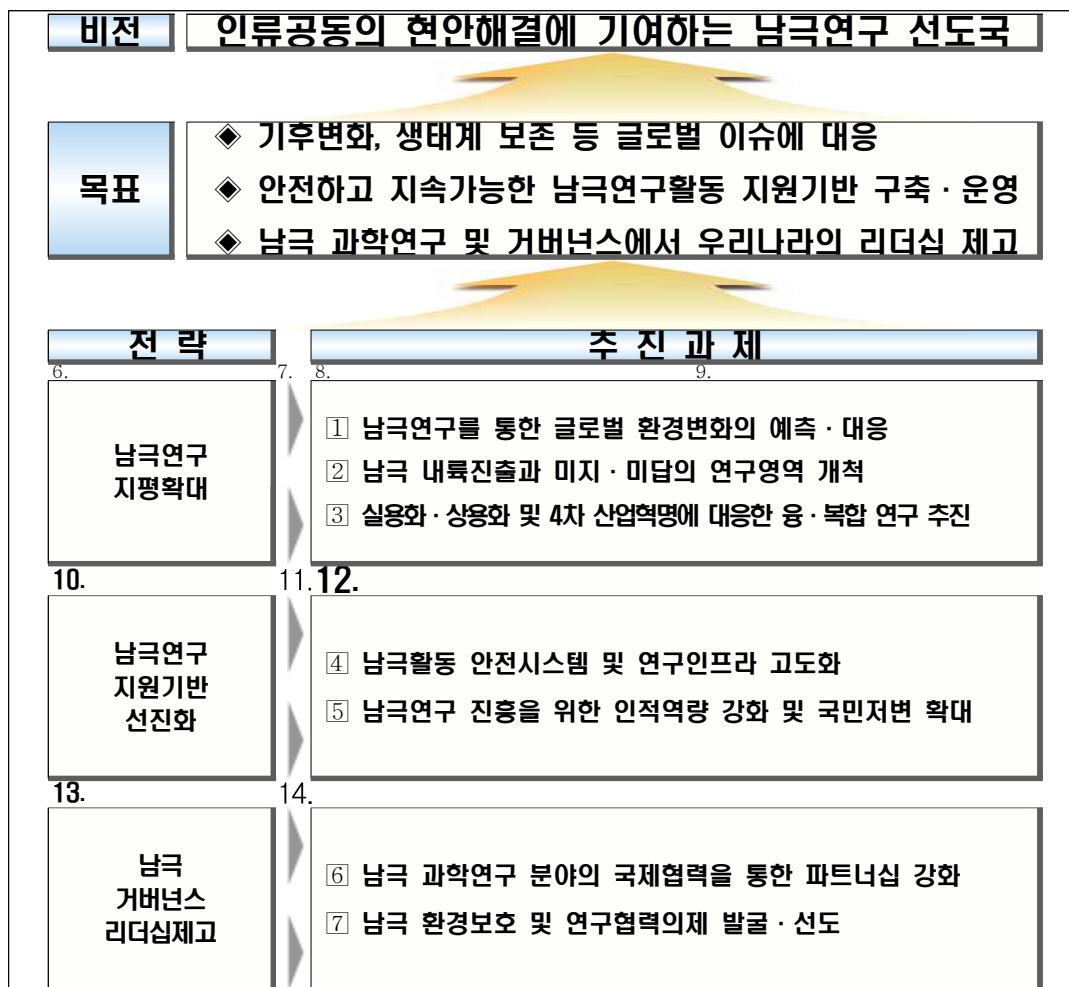
한편, 남극과학위원회(SCAR, Scientific Committee on Antarctic Research)는 2014년 중장기비전(Horizon Scan)을 발표하고, 향후 20년간 우선해야 할 남극연구 6대 분야와 80개 과제를 제시하였다. 「제3차 남극연구활동진흥기본계획」은 SCAR의 중장기 비전과 남극생물자원보존위원회(CCAMLR)의 남극해 해양보호구역(MPA) 확대를 기반으로 한 세부 추진전략과 과제를 구성하였으며, 제2차 남극연구활동진흥 기본계획의 환류를 바탕으로 수립되었다. 「제3차 남극연구활동진흥기본계획」의 주요 내용들은 <그림 4-24>, <표3-26>와 같다.

첫 번째로, “남극연구 지평확대” 전략에서는 남극연구를 통한 극로별 환경변화의 예측·대응과 연구를 계획하여 운용하고 있으며, 장보고과학기지 주변의 빙권변화에 대한 연구(해수부), 아문센해 빙봉소멸 속도 및 해양변동 추세(극지연구소)에 대한 국제공동연구를 지속적으로 수행하고 있

다. 빙봉, 빙권, 해안선 등의 변화를 모니터링하기 위해서는 주기적으로 생성되거나 취득 가능한 공간정보가 필수적으로 요구되며, 이를 위해서 국토지리정보원에서 생성된 공간정보를 바탕으로 주기적으로 촬영되는 국토위성의 위성영상을 남극연구기관에 제공하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 남극 내륙진출과 미지·미답의 연구영역 개척을 위한 코리안 루트 및 제3 과학기지 건설 지역을 분석하기 위해서도 해당 지역을 촬영한 최신의 위성영상들이 필요하다. 따라서, 코리안 루트를 개척하기 위해서는 과학기지과 남극점 사이에 존재하는 크레바스 등의 최신의 정보가 필수적이며, 제 3과학기지의 건설을 위한 초기 부지를 조사하기 위해서도 남극 지역 내 과학기지 후보지역에 대한 공간정보가 미리 구축되어 있어야 입지성 분석 등을 사전에 수행할 수 있을 것이다.

“남극연구 지원기반 선진화” 전략에는 남극활동 안전시스템 및 연구인프라 고도화를 위한 연구활동이 계획되어 있으며, 해당 활동 내에는 주요 남극활동 지역의 공간정보 구축 확대(장보고과학기지 인근 로스해 일대 수로조사 및 해도작성)가 정의되어 있다. 이를 바탕으로 하여 국립해양조사원은 남극 해양조사 및 해도제작 사업을 추진하고 있으며, 장보고과학기지 및 세종과학기지 주변 해역에 대한 수심측량 및 해안선조사를 수행하여 해도를 작성하고 있다 국립해양조사원에서 수행하는 해도 제작에 대한 업무가 진흥기본계획에 포함되어 있기 때문에, 해당 지역에 대한 지속적인 모니터링 및 공간정보 구축에 대한 당위성을 확보하고 있다. 따라서, 국토지리정보원에서 지속적으로 수행하고 있는 극지역 공간정보 제작 사업의 경우에도 지속적인 활용성 및 공간정보 제작의 당위성을 확보하기 위해서는 남극연구활동진흥기본계획 등에 극지역 공간정보 제작의 당위성 및 로드맵을 추가하는 것이 필요하다.

“남극 거버넌스 리더십 제고” 전략에는 한국극지데이터센터(KPDC) 등을 통한 DB 고도화 및 정보공유 분야가 공간정보와 직접적으로 연계되어 있다. 한국극지데이터센터(KPDC)는 극지연구소에서 운용하고 있는 대표적인 극지역 데이터베이스 포털로써, 극지역과 관련된 공간/비공간정보들이 관리되고 있다. 진흥기본계획에도 극지역의 각종 연구활동 등을 위한 정보는 KPDC를 이용하여 관리하고, 관계기관들이 해당 자료들을 공유할 수 있도록 명시하고 있다. 국토지리정보원에서 제작한 극지역 공간정보의 경우에는 공간정보포털 등을 통하여 관리되고 있기 때문에, 현실적으로 국내의 극지역 공간정보들은 부처별로 관리될 수 밖에 없는 실정이다. 향후, 극지활동 진흥법 상에도 이러한 극지역 정보에 대한 공유를 위한 방안이 수립될 예정이기 때문에, 국토지리정보원에서도 데이터 공유 방안에 대한 계획을 선제적으로 수립할 필요성이 있다.



자료: 「제3차 남극연구활동진흥기본계획」(2017)

<그림 4-24> 「남극연구활동진흥기본계획」의 목표 및 세부추진과제의 개요

한편, 2022년에는 「제4차 남극연구활동진흥기본계획」이 수립될 예정이며, 2021년 현재 이에 대한 계획수립이 이루어지고 있다. 「제4차 남극연구활동진흥기본계획」은 크게 5개의 관점에서 계획을 수립하려고 준비되고 있으며, 이에 대한 개략적인 내용은 <표 4-26>와 같다. 「제4차 남극연구활동진흥기본계획」은 과학기술, 연구기관 및 인력, 시설물 및 연구장비, 국내외 협력, 정책의 5개 사항으로 구분되어 있다. 수립계획들을 미루어볼 때, 과학기술 분야에 있어서는 연구활동 지원을 위한 기초 자료 구성에 공간정보가 포함될 수 있으며, 연구 활동 지원을 위한 연구기관 육성 등에 대해서도 국토지리정보원이 참여할 분야가 존재할 것이다. 다만, 「제4차 남극연구활동진흥기본계획」은 21년도에 제정된 극지활동 진흥법에 기반한 계획이기 때문에, 국토지리정보원에서 「제4차 남극연구활동진흥기본계획」 내에 공간정보 구축 및 활용에 관한 활동들을 세부과제로 반드시

포함시켜야 할 것으로 판단된다.

<표 4-26> 「제4차 남극연구활동진흥기본계획」의 기본 내용

| 전략 | 내용 |
|------------|--|
| 과학기술 | 탐사 기술, 첨단 연구장비 개발 등 국가 차원의 연구 활동 지원 및 성과창출 강화 방안 마련 |
| 연구기관 및 인력 | 연구 활동 지원을 위한 연구기관 및 전문 인력 육성 방안 제시 |
| 시설물, 연구 장비 | 남극 과학기지, 쏘방연구선, 연구 장비 등 중장기 구축 계획 및 운영체계 효율화 방안 마련 |
| 국내외 협력 | 국가 간 양다자 협력, 산·학·연 공동연구 및 과기부, 산업부 등 관계부처 간 협력 활성화를 위한 전략과 사업 발굴 |
| 정책 기반 | 「극지활동 진흥법」, 극지과학 미래발전전략('20.11) 등 법적, 제도적 환경과 조화로운 발전 정책 제시 |

자료: 「제4차 남극연구활동진흥기본계획」(2022년 예정)

(1) 극지역 활동을 위한 법령

극지역 관련 정책은 앞서 언급한 것과 같이 「북극활동 진흥 기본계획」, 「남극연구활동진흥기본계획」 등의 계획이 대표적이다. 그러나, 극지역 활동 등을 위한 법령은 명확하게 제정되어 있지 않은 한계점을 지닌다. 극지역의 연구개발·보존·이용에 적극적으로 참여하기 위해서는 법령을 통하여 극지역 연구 및 개발 등에 대한 명확한 정의가 필요하지만, 현재는 남극의 활동과 환경보호에 대한 「남극활동 및 환경보호에 관한 법률」만이 존재하며, 북극권을 포함한 극지의 연구 및 개발에 관한 근거는 마련되지 않은 실정이다. 이에, 남극과 북극을 포함한 극지역 전체에 대한 연구개발 등의 활동을 지원하기 위한 「극지활동 진흥법」이 2021년 4월 13일에 제정되었다. 또한, 앞서 언급한 바와 같이 「제4차 남극연구활동진흥기본계획」도 「극지활동 진흥법」을 기반으로 수립되고 있는 상황이기 때문에, 극지역 공간정보 활용 등을 위하여 「극지활동 진흥법」의 주요 내용을 확인할 필요가 있다. 특히, 국토지리정보원에서 제작 및 배포하고 있는 극지역 공간정보의 활용도를 극대화하고, 지속적인 제작의 당위성을 확보하기 위해서는 극지역 공간정보 구축과 관련된 내용들이 「극지활동 진흥법」 및 관련 계획에 명시되어야 할 것이다. 따라서, 「극지활동 진흥법」에 대한 주요사항을 분석하고, 이에 따라 국토지리정보원 및 국토교통부에서 대응해야 할 사항들을 도출해보고자 한다. 「극지활동 진흥법」의 주요사항은 다음과 같다. 첫 번째로, <표 4-27>에서 확인할 수 있는 것과 같

이, 「극지활동 진흥법」에는 해양수산부장관이 극지활동진흥기본계획을 5년마다 수립하도록 정의하고 있다. 극지활동진흥계획은 남극연구활동진흥기본계획과 연계되어 총 11개의 사항이 포함되도록 명시되어 있다. 「극지활동 진흥법」이 2021년에 제정되었기 때문에, 극지활동진흥계획도 빠른 시기에 수립될 것이며, 극지역 공간정보 활용의 활성화를 위해서는 극지활동진흥계획에 국토지리정보원의 역할이 명확하게 명시되는 것이 필요할 것으로 판단된다.

<표 4-27> 극지활동 진흥법 중 극지활동진흥기본계획 및 극지활동진흥시행계획의 수립·시행에 관한 사항

| |
|--|
| 제6조(극지활동진흥기본계획 및 극지활동진흥시행계획의 수립·시행) |
| ① 해양수산부장관은 극지활동의 진흥을 위하여 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 극지활동진흥기본계획(이하 “기본계획”이라 한다)을 5년마다 수립하여야 한다. 이 경우 기본계획 중 남극의 연구활동 진흥에 관한 사항은 「남극활동 및 환경보호에 관한 법률」 제21조에 따른 남극연구활동진흥기본계획과 연계되어야 한다. |
| ② 기본계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다. |
| 1. 극지활동의 기본방향, 추진체계 및 전략에 관한 사항 |
| 2. 극지 연구의 추진목표 및 재원확보에 관한 사항 |
| 3. 극지 관련 과학기술의 발전방안에 관한 사항 |
| 4. 극지 연구를 위한 첨단연구장비의 개발에 관한 사항 |
| 5. 극지 관련 전문인력의 양성 및 극지 관련 연구기관의 지원에 관한 사항 |
| 6. 북극의 지속가능한 발전과 북극에서의 경제활동 진흥에 관한 사항 |
| 7. 극지활동 기반시설의 설치·운영에 관한 사항 |
| 8. 극지활동을 위한 국제협력에 관한 사항 |
| 9. 제13조에 따른 극지통합정보시스템의 구축·운영에 관한 사항 |
| 10. 극지환경 보호 및 안전관리에 관한 사항 |
| 11. 그 밖에 극지활동의 진흥에 필요한 사항 |
| ③ 해양수산부장관은 기본계획을 수립하거나 변경하려는 경우에는 국무회의의 심의를 거쳐야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 경미한 사항을 변경하는 경우에는 그러하지 아니하다. |
| ④ 해양수산부장관은 기본계획을 시행하기 위하여 관계 중앙행정기관의 장과의 협의를 거쳐 매년 극지활동진흥시행계획(이하 “시행계획”이라 한다)을 수립·시행하여야 한다. |
| ⑤ 제1항부터 제4항까지에서 규정한 사항 외에 기본계획 및 시행계획의 수립·시행에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다. |

자료: 국가법령정보센터(2021)

특히, 「극지활동 진흥법」 13조에는 극지활동의 진흥을 위하여 극지 관련 정보를 관리할 수 있는 극지통합정보시스템을 구축하고 운영할 수 있음을 정의하고 있다. 이는 해양수산부에서 극지활동 관련 전반에 대한 정보들을 단일 포털 내에 구축할 계획을 세우고 있는 것을 의미한다. 이를 위하여 「극지활동 진흥법」 제13조 2항에는 관계 중앙행정기관의 장에게 필요한 자료의 요청을 할 수 있다고 명시되고 있다. 현재, 국토지리정보원에서 제작하고 있는 극지역 공간정보는 국토지리정보원을 통하여 배포되고 있지만, 「극지활동 진흥법」을 통하여 구축하고자 하는 극지통합정보시스템과의

연계 및 통합은 필연적으로 발생될 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 따라서, 극지역 공간정보의 활용성을 극대화하기 위해서는 국토지리정보원이 구축한 자료를 수동적으로 제공하기 보다는 극지통합정보시스템과의 연계 및 융합 방안을 고려해야 한다고 판단된다.

또한, 현재 「극지활동 진흥법」에 대한 시행령 및 시행규칙을 통하여 「극지활동 진흥법」을 이행하기 위한 구체적인 내용들을 정의해야 한다. 해당법률에 대한 하위법령들은 제정되지 않은 상태이기 때문에, 해당 법령의 시행령과 시행규칙에 따라서 극지역 공간정보 활용에 대한 세부 내용들은 구체화될 수 있을 것으로 판단된다.

<표 4-28> 극지활동 진흥법 중 극지통합정보시스템 관련

| |
|---|
| 제13조(극지통합정보시스템의 구축·운영) |
| ① 해양수산부장관은 극지활동의 진흥을 위하여 극지 및 극지활동 관련 정보를 체계적으로 관리할 수 있는 극지통합정보시스템(이하 “극지통합정보시스템”이라 한다)을 구축·운영할 수 있다. |
| ② 해양수산부장관은 관계 중앙행정기관의 장, 지방자치단체의 장, 「공공기관의 운영에 관한 법률」에 따른 공공기관의 장 및 그 밖의 관계 기관·단체의 장에게 극지통합정보시스템의 구축·운영에 필요한 자료의 제출을 요청할 수 있다. 이 경우 자료제출의 요청을 받은 자는 특별한 사유가 없으면 그 요청에 따라야 한다. |
| ③ 제1항 및 제2항에서 규정한 사항 외에 극지통합정보시스템의 구축·운영에 필요한 사항은 해양수산부령으로 정한다. |
| 자료: 국가법령정보센터(2021) |

나) 국내 극지역 관련 정책의 시사점

(1) 극지역 개발을 위한 기초 자료 제공

북극항로 운항 가이드 라인, 북극해 환경변화의 통합관측 시스템, 극지역측 시스템 등의 북극 활동과 장보고과학기지/로스해 일대 공간정보 구축, 남극환경보호활동 등을 위해서는 수치지형도, DEM 등과 같은 기본적인 공간정보가 필요하다. 이러한 공간정보의 구축을 위하여 앞서 언급한 바와 같이 「제3차 남극연구활동진흥기본계획」에도 해도제작 등과 같이 주요 남극활동 지역의 공간정보 구축 확대를 추진과제로 계획하여 추진하기도 하였다. 따라서, 국내 극지역 관련 정책의 실현 및 지속성을 지원하기 위해서는 극지역 공간정보 구축이 필수적이라고 판단된다. 우선적으로는 국내 남극 및 북극 관련 정책에서 관심대상으로 선정한 지역들에 대한 공간정보 구축 여부를 파악해야 하며, 해당 지역들에 대한 국외 공간정보 구축 사례 및 갱신주기에 대한 분석을 수행하여, 공간정보 구축의 우선순위 수립 계획 및 수요기관에 대한 대응 방안을 마련해야 한다.

(2) 극지역 교육활동의 자료 제작 - 교육자료 작성 및 제공

극지역 개발을 위한 기본 자료로서의 역할과 함께, 극지역 공간정보는 극지역 교육활동에 대한 자료로 활용될 수 있다. 교육 및 홍보 콘텐츠를 제작함에 있어서 접근불능 지역인 극지역의 특성상 항공사진, 위성영상 등과 같은 원격탐사 자료들을 이용하여 구축된 공간정보가 필수적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 현재, 동영상, 3차원 지도, VR 등에 대한 도입도 진행중이기 때문에, 교육자료의 경우에도 관산학 관련기관의 수요조사를 통하여 교육에 활용가능한 공간정보 기반자료의 공급도 중요한 역할이 될 수 있다.

(3) 기본계획 내 중점추진과제의 참여 및 협력 - 코리안루트, 제3과학기지 지원

코리안루트 및 제3과학기지 개척은 남극지역의 연구활동에서 중점적으로 추진하고 있는 분야 중의 하나이다. 일반적으로, 경로 및 입지 선정을 위해서는 해당 지역에 대한 지형적인 분석 및 모니터링이 필요하며, 남극지역은 접근이 어려운 지역의 특성상, 고해상도 위성영상을 통하여 생성된 공간정보들을 이용한 공간분석(spatial analysis) 기법을 통한 후보지역 등의 우선적인 파악이 필요하다. 따라서, 극지역 공간정보 구축 및 지원을 통하여 코리안루트 및 제3 과학기지와 구축과 같은 기본계획 내 중점추진과제의 참여가 가능할 것이다.

(4) 데이터 공유의 계획

앞서 언급한 바와 같이 「극지활동 진흥법」 제13조에는 극지통합정보시스템을 구축·운영할 수 있음을 명시하고 있다. 이로 미루어볼 때, 해양수산부에서는 장기적으로 극지역 공간/비공간정보를 단일 플랫폼에 통합하여 운영할 계획임을 파악할 수 있다. 현재, 국토지리정보원에서 구축한 극지역 공간정보는 공간정보포털을 이용하여 배포되고 있지만, 수요기관에 직접적으로 구축된 공간정보에 접근하는 것이 상대적으로 어려운 것도 현실이다. 국내 대부분의 극지역 관련정보들은 극지연구소의 KPDC에서 융통하고 있기 때문에, 국토지리정보원에서는 구축한 극지역 공간정보들을 어떠한 형태로 배포하고 수요기관과 공유할 것인지에 대한 방안을 수립해야 한다. 실현가능한 방안으로는 KPDC 및 향후 운영될 극지통합정보시스템에 지속적으로 국토지리정보원의 공간정보들을 제공하여 탑재하는 방법이다. 이는 극지통합정보시스템 관점에서는 이상적일 수 있으며, 극지역 공간정보 구축의 당위성도 확보할 수 있으나, 국토지리정보원에서 극지역 공간정보를 구축하는 독자성이 줄어들 수 있다는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해서는 국토지리정보원에서 운용중인 공간정보포털을 개편하여 극지역 공간정보의 접근성을 용이하게 개선하는 방안이 존재한다. 그러나, 해당 방법의 경우에는 극지통합정보시스템에의 기여도가 낮아질 수 있으며, 이로 인하여 「극지활

동 진흥법」 및 각종 극지역 관련 계획에 극지역 공간정보 구축의 당위성을 포함시키기 어려울 수 있는 문제가 발생할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 극지역 공간정보의 공유 방법은 법령에 명시되어 있으며, 수요기관의 입장에서도 명확하게 정의되어야 하는 사항이기 때문에, 이에 대한 적극적인 고려가 필요하다,

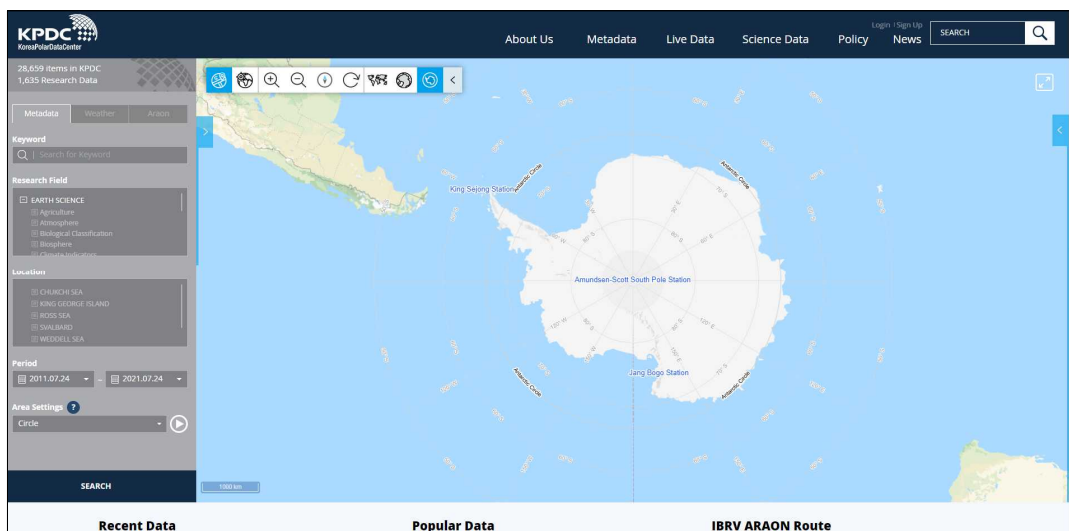
(5) 법령 및 정책에의 적극적 참여

「극지활동 진흥법」이 2021년에 제정된 후에 각종 하위법령 및 「제4차 남극연구활동진흥기본 계획」의 수립이 계획되고 있다. 따라서, 2021년은 극지역 연구활동에 대한 정보의 로드맵이 생성되는 시기로 판단된다. 극지역과 관련된 법령 및 기본계획에는 극지역 연구활동을 위한 공간정보의 구축 및 역할이 분명하게 명시되어 있지 않은 한계점이 존재한다. 그러나, 현재 하위법령과 기본계획들의 수립이 진행되고 있는 과정이기 때문에, 이에 대한 빠른 대응을 통하여 정책·법령에 공간정보의 역할을 명시하여 극지역 공간정보 구축의 당위성 및 지속가능성을 확보할 수 있을 것이다.

2) 국내 극지역 관련 연구기관 조사

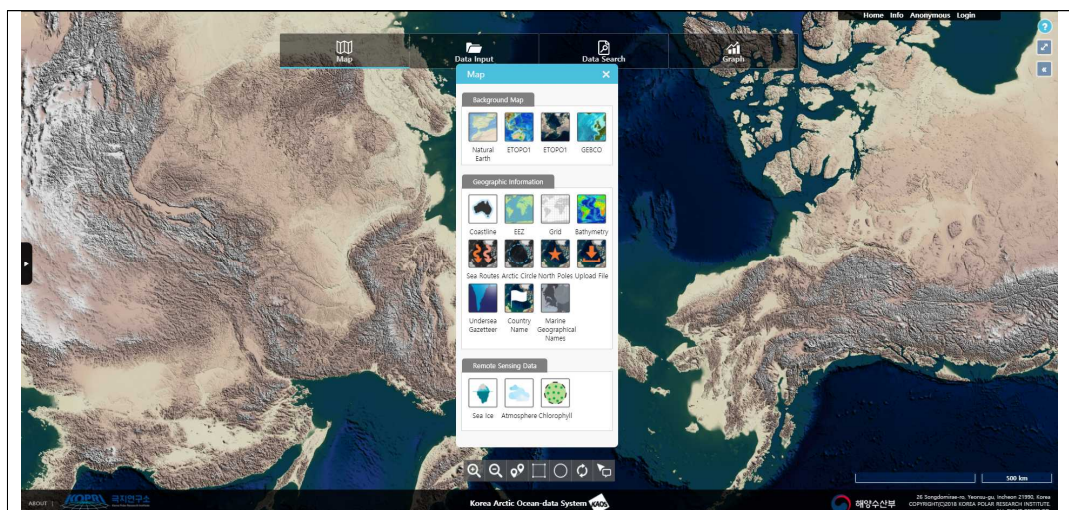
가) 극지연구소

극지연구소는 국가 극지활동의 확대를 위한 국내의 극지연구 전문기관이며, 극지역 공간정보의 서비스 및 활용을 위하여, KPDC(Korea Polar Data Center)와 KAOS(Korea Arctic Ocean System)을 운영하고 있다. KPDC는 극지역에 존재하는 과학기지 및 아라온호의 각종 정보를 제공하며, 극지역과 관련된 약 28,600개의 자료 및 1,597개의 연구자료를 국민에게 제공하고 있다. 제공하는 주요 지역은 Chukchi sea, King George Island, Ross sea, Svalbard, WEddell sea의 5개 지역을 들 수 있으며, 농업, 대기, 기후 등의 다양한 지구과학 분야에 대한 정보들을 제공하고 있다. KAOS는 서북극해에서 관측된 물리, 화학, 생물학적 자료를 제공하며, 과거와 현재의 해빙-해양-생태계의 변화 양상과 기후변화 시나리오에 따른 미래 전망을 동시에 가시화 할 수 있는 웹 기반 지리정보 시스템이다. KAOS에는 해안선, EEZ, Bathymetry, Sea Routes 등의 공간정보와 Sea ica, 대기, 염록소 등의 원격탐사자료도 동시에 제공하고 있다. 아래의 그림은 KPDC와 KAOS에 대한 예이다<그림 4-25>, <그림 4-26>.



자료: <https://kpdc.kopri.re.kr/>

<그림 4-25> KPDC 시스템의 예



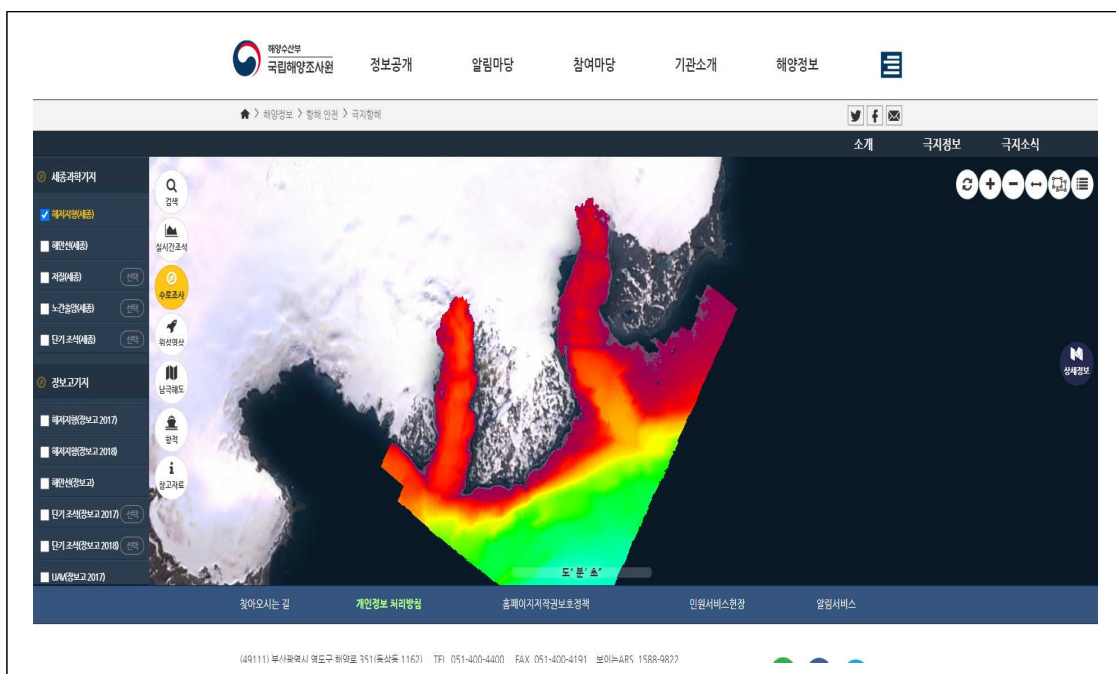
자료: <https://kaos.kopri.re.kr/cmm/main/mainPage.do>

<그림 4-26> KAOS 시스템의 예

나) 국립해양조사원

국립해양조사원은 해안선, 해저지형, 수온, 염분 등 우리나라 바다에 대한 기초적인 자료를 조사하고, 국내 유일의 해도제작 기관으로 항해 안전 등을 위한 다양한 해양정보를 제공하고 있다. 또한, 해양영토관련 국제적 우위 선점을 위하여 영해기준점을 관리하는 등의 관할해역의 조사 및 국제활동을 수행하고 있다. 특히, 국내 유일의 해도제작 기관의 이점을 살려, 국립해양조사원은

2016년부터 남극 해양조사 및 해도제작 사업을 수행하고 있다. 2019~2020년에는 1차 종합해양 조사를 실시하여 남극 세종과학기지 주변의 해저지형, 해안선 등을 분석하였으며, 2021년에는 아 라온호를 이용하여 2차 정밀해저지형 조사를 수행하였다. 이를 토대로, 세종과학기지 부근에 대한 해도를 제작하였으며, 국토지리정보원에서 제작하는 수치지형도, 정사영상, DEM, 위성기준점 등을 해도제작 시의 기초자료로 활용하고 있다. <그림 4-27>은 국립해양조사원에서 구축·제작한 남극지역의 해도, 수로조사, 위성영상 등을 비롯한 극지항해정보에 대한 자료를 구축한 포털의 예이다.

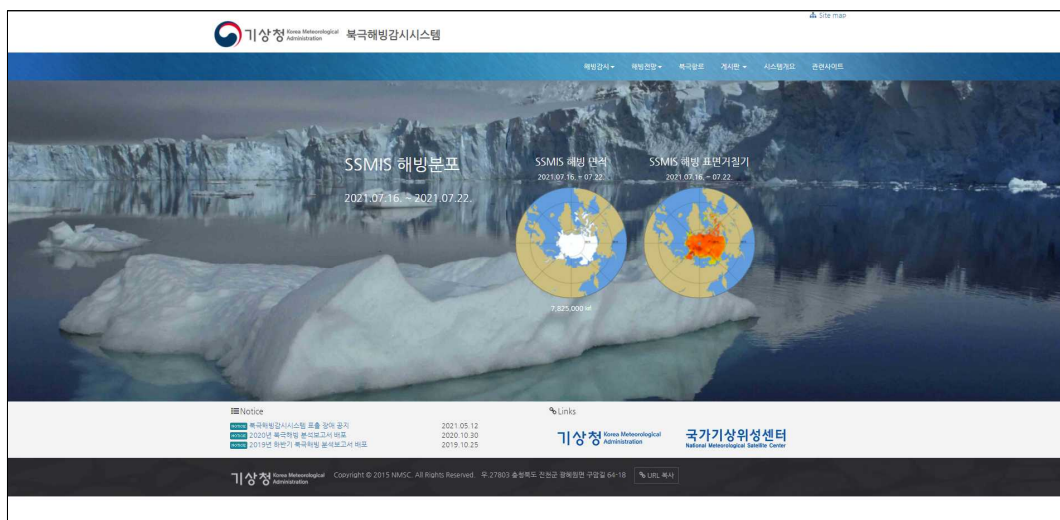


자료: <http://www.khoa.go.kr/polar/main.do#>

<그림 4-27> 국립해양조사원의 극지항해 정보 구성의 예

다) 기상청

기상청은 국내를 포함한 지구의 기상변화를 모니터링하기 위하여 다양한 연구활동을 수행하고 있다. 이 중, 북극 지방의 해빙은 우리나라를 포함한 동아시아, 북미지역의 기후변화에 영향을 주기 때문에, 기상청은 북극해빙을 지속적으로 모니터링하기 위한 감시시스템을 운용중에 있다. <그림 4-28>은 기상청 북극해빙감시시스템 포털의 예이며, 북극지역 전체에 대한 해빙면적, 해빙 표면거 칠기를 포함한 다양한 기상 및 환경정보를 배포하고 있다.



자료: <http://seaice.kma.go.kr/cmm/main/mainPage.do>

<그림 4-28> 기상청 북극해빙감시시스템

라) 한국건설기술연구원

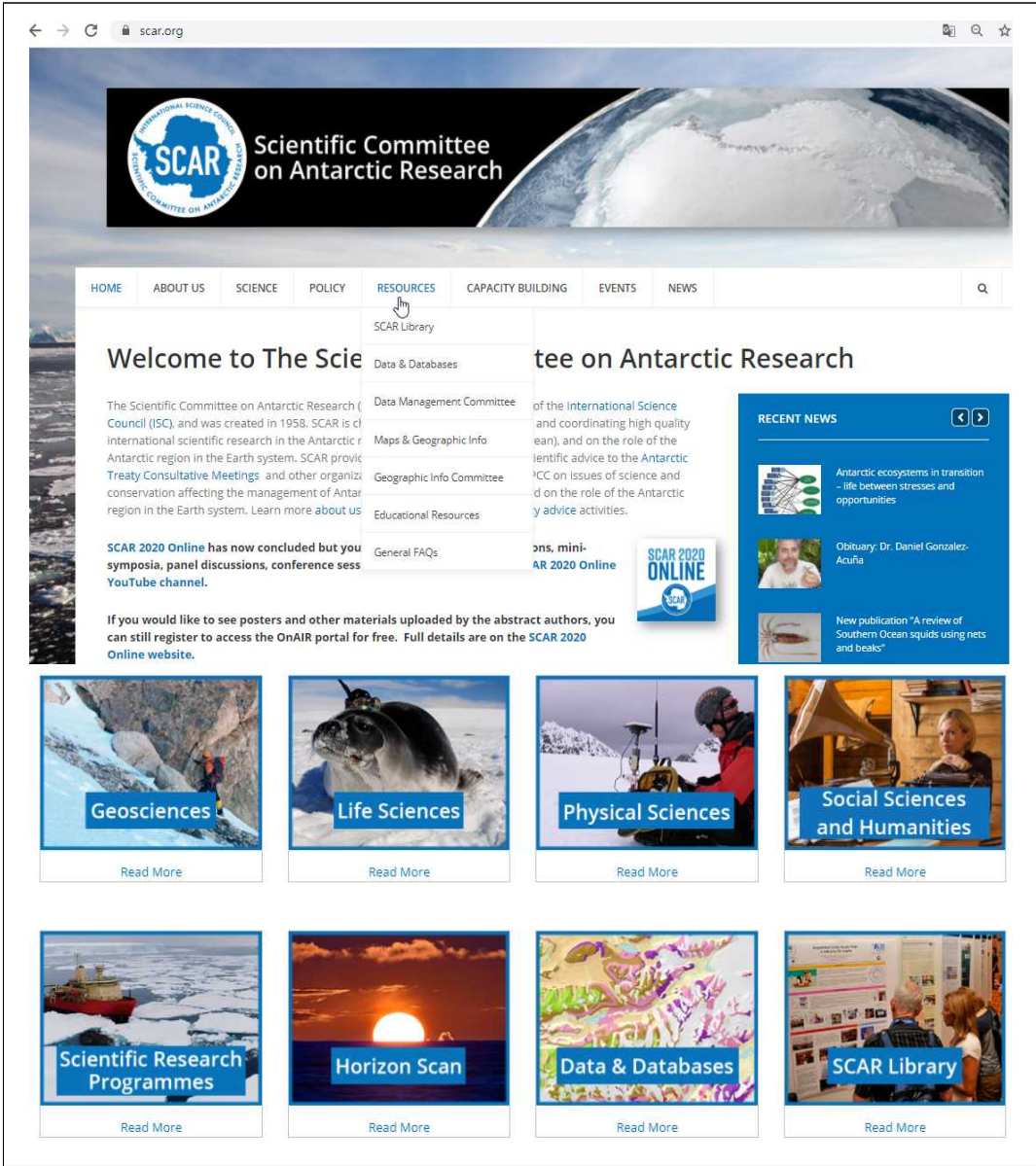
한국건설기술연구원은 광역적 극한지 건설환경 분석을 위한 광역 원격탐사 기법을 설계하고, 극지역에 해당 방법론을 적용하고자 하였다. 이를 위하여 테라노바베이(Terra Nova Bay) 지역을 연구지역으로 선정하고, 해당 지역에 대한 노출암반분류도, 토지피복도, DEM, 3차원 모형 등을 제작하였다(한국건설기술연구원, 2012). 이를 통하여 극한지역에 대한 모니터링 및 건설을 위한 각종 기초 정보 제작의 가능성을 타진한 바 있으며, 이는 향후 극한지 건설기술 개발을 위한 연구 인프라로 사용하고자 하였다.

3) 국외 극지역 관련 연구기관 조사

가) SCAR(Scientific Committee on Antarctic Research)

SCAR는 ISC(International Science Council)의 전문조직으로 1958년 창립되었으며, 남극 지역에 대한 국제적 과학 연구를 위한 대표적인 조직이다. 남극의 공간정보에 대한 데이터를 보유하고 있으며, 우리나라도 1987년 Associate Membership으로 가입하여, 1990년 Full Membership을 취득하였다. SCAR의 매년 활동 리포트는 홈페이지에 게시하고 있으며, 이를 통하여, 관련 보유 자료를 공유하고 있다. 대표적인 자료는 ADD(Antarctic Digital Database)와 CGA(Composite Gazetteer of Antarctica)를 들 수 있다. 또한, SCAR 산하 내 남극 지리정보

상임위원회(STANDING COMMITTEE ON ANTARCTIC GEOGRAPHIC INFORMATION; SCAGI)을 구성하여 극지역 공간정보에 대한 구체적인 위원회 운영을 수행하고 있다. SCAGI는 2006년에 설립되어 남극 대륙의 지명, 공간정보 데이터베이스, 지도 카탈로그, 항공 운행을 위한 계획지도 등에 대한 연구, 운영, 개발 등에 관한 사항을 논의하고 진행하고 있으며, 국내에서도 2명의 위원회 위원이 SCAGI에 참여하고 있다.



자료: <https://www.scar.org>

<그림 4-29> SCAR 홈페이지

나) PGC(Polar Geospatial Center)

PGC는 University of Minnesota에서 2007년부터 운영하고 있는 연구기관으로, 극지역에 대한 매핑 및 원격탐사 분야에 대한 연구를 수행하고 있다. NSF(National Science Foundation)과 NASA(National Aeronautics and Space Administration)에서 펀드를 지원받아 운영되고 있으며, PGC에서 제작하는 대표적인 공간정보는 ArcticDEM과 REMA(Reference Elevation Model of Antarctica)를 들 수 있다. ArcticDEM은 60°N의 지역에 대한 자료이며, 그린란드의 모든 영토, 알래스카 주 전체 및 러시아 연방의 캄차카 반도가 포함되어 있다. 2016년 9월 알래스카에 대한 자료 제작을 시작으로, 타 지역에 대한 자료 제작을 수행하고 있으며, 2018년 9월 전체 지역에 대한 DEM 구축을 완료하였다. ArcticDEM은 고해상도 스테리오 광학 위성영상을 활용하여 제작되었으며, 주기적으로 북극지역에 대한 DEM을 제작하지는 않으며, 주요 위치별로 지속적인 DEM을 구축하는 것을 목표로 하고 있다. 다음은 PGC에서 구축한 DEM의 주요지역을 정리한 표이다<표 4-29>.

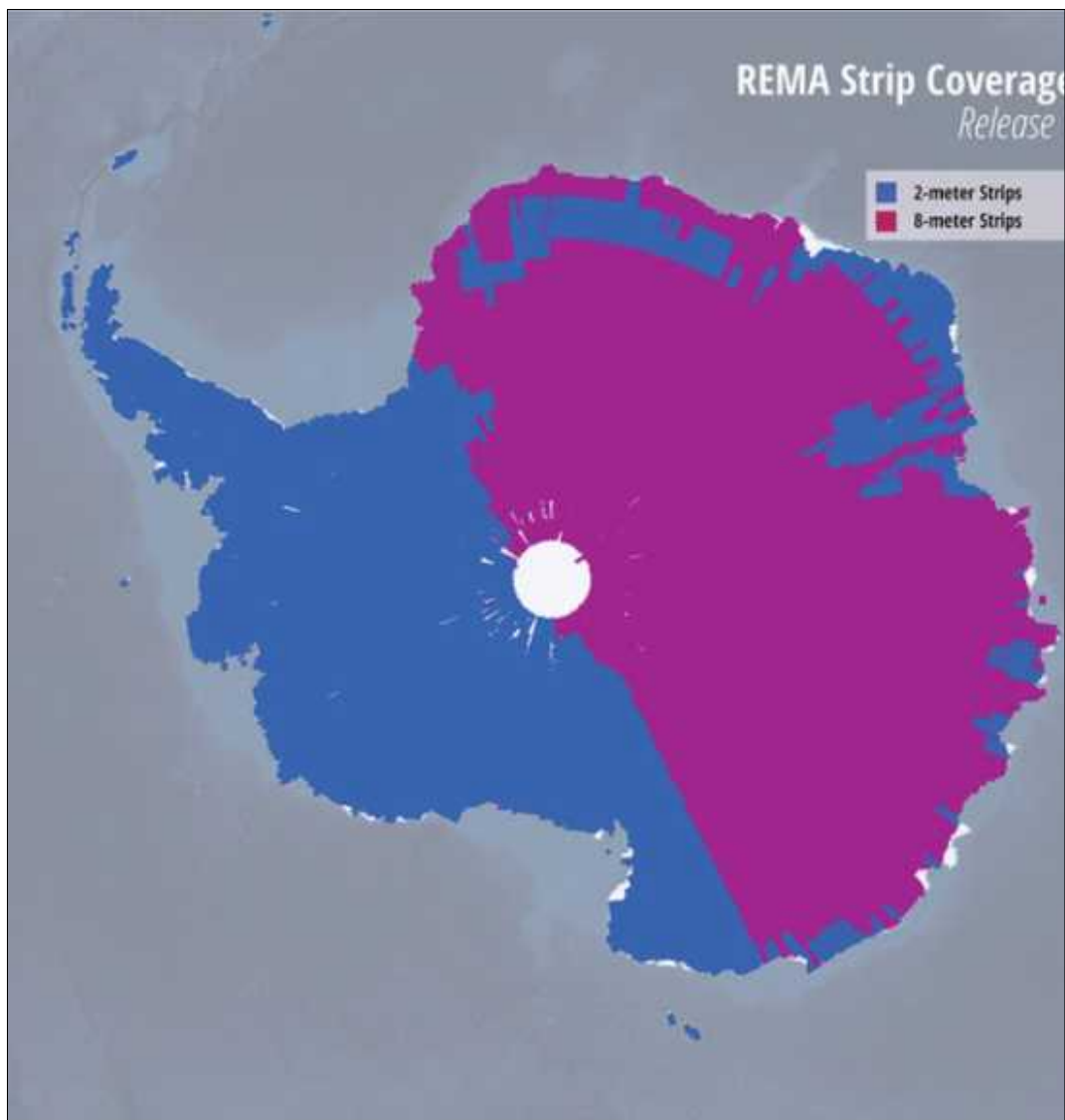
<표 4-29> ArcticDEM 구축지역

| 공개 | 구축지역 |
|-----------|---|
| RELEASE 1 | v1.0: Alaska |
| RELEASE 2 | v1.0: Novaya Zemlya (Russia) and Franz Josef Land (Russia) |
| RELEASE 3 | v2.0: Alaska, Novaya Zemlya (Russia), Franz Josef Land (Russia), Baffin Island (Canada), Svalbard (Norway), and Iceland |
| RELEASE 4 | v2.0 Kamchatka Peninsula (Russia), Canadian archipelago islands within Nunavut and the Northwest Territories (Canada), Faroe Islands, and northern and western regions of Greenland |
| RELEASE 5 | v2.0 Yukon Territory, Northwest Territories, Nunavut (Canada), Northern Siberia (Russia), and central and southern regions of Greenland |
| RELEASE 6 | v2.0 Siberia (Russia), Scandinavia |
| RELEASE 7 | v3.0 Pan-Arctic |

자료: <https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/>

REMA는 남극 대륙에 대한 8m 공간해상도의 DEM을 제공하며, 각 그리드 포인트에 대한 시계열 자료를 제공하여 고도변화 측정을 할 수 있도록 제공하고 있다. REMA는 2009~2017년에 취득한 고해상도 스테레오 광학위성영상을 이용하여 제작되었으며, 각 개별 DEM은 Cryosat-2 및

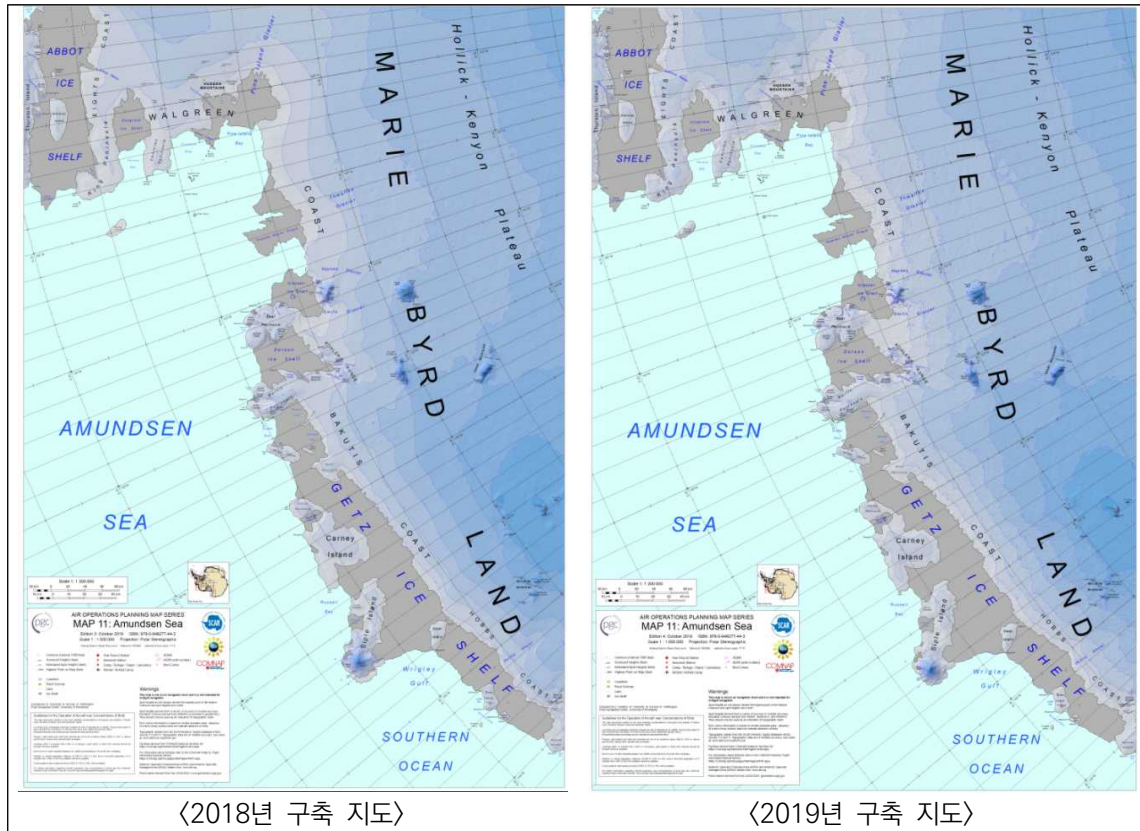
ICESat 자료를 이용하여 기하보정되어 1m 이내의 위치정확도를 가지고 있도록 처리되었다. <그림 4-30>은 REMA의 각 스트립별 자료의 위치와 이에 따른 해상도를 표현한 것이다.



자료: <https://www.pgc.umn.edu/data/rema/>

<그림 4-30> REMA 구축 영역 및 해상도의 개요

또한, PGC는 남극지역에 대한 지형도(topographic map)을 제작하여 배포하고 있으며, 대체적으로 1/1,000,000 축척의 지도로 제작하여 배포하고 있다. 해당 지도의 갱신주기는 지역마다 상이하지만 1년주기의 단위로 지도를 제작하는 것이 일반적이다. <그림 4-31>은 Amundsen Sea 지에 대한 2018, 2019년에 제작된 1/1,000,000 축척의 지도에 대한 예이다.



자료: <https://maps.apps.pgc.umn.edu/antarctica/20>

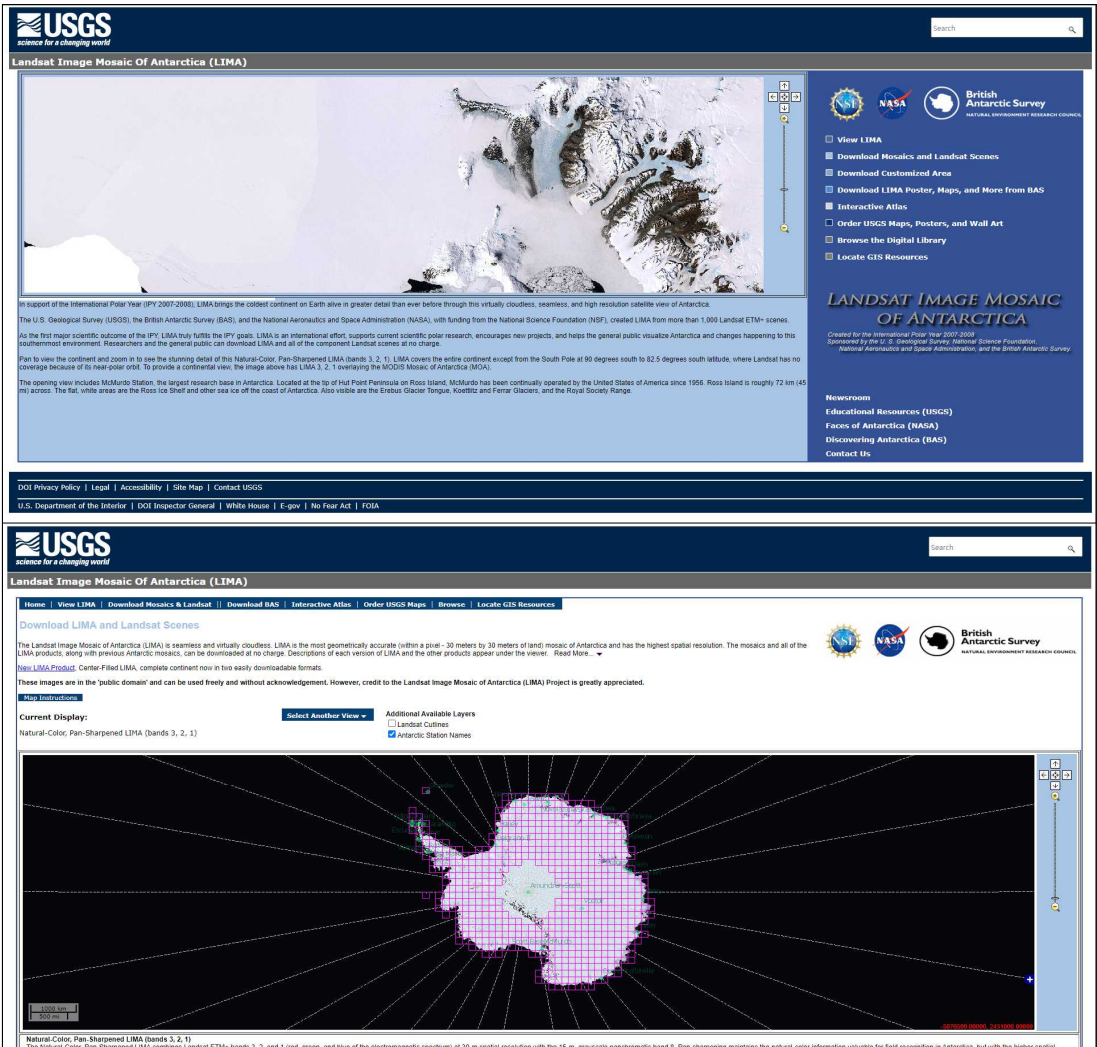
<그림 4-31> Amundsen Sea의 지형도 구축의 예

다) BAS(British Antarctic Survey)

BAS는 남극지역에 대한 공간정보를 구축하기 위하여 구성된 영국의 대표적인 기관이며, BAS 내의 Mapping and Geographic Information Centre (MAGIC) 팀이 실제 공간정보의 제작을 담당하고 있다. MAGIC 팀은 USGS, NASA와 함께 NSF의 지원을 받아 1,000여 장 이상의 Landsat ETM+ 영상을 이용한 남극지역의 모자이크 영상인 LIMA(Landsat Image Mosaic of Antarctica)를 제작하여 배포하였다.

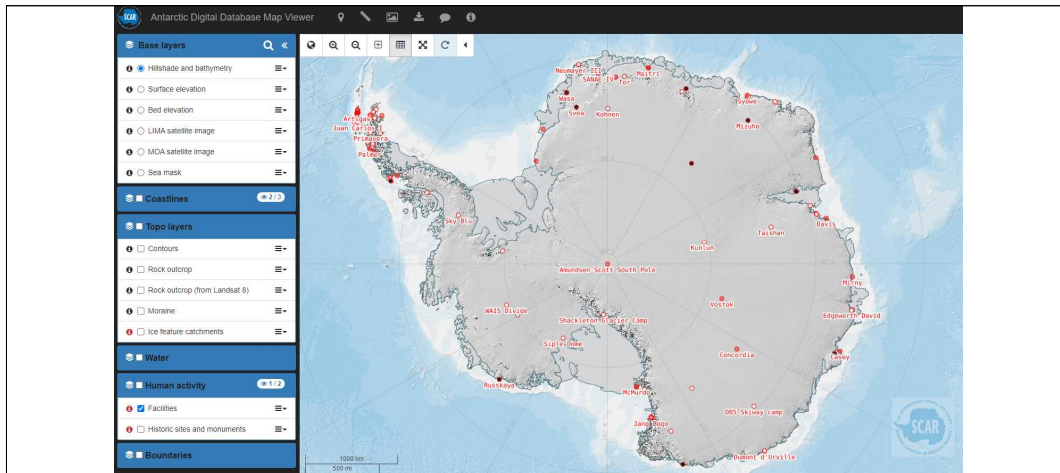
Landsat 자료를 이용하여 천연색 영상을 제작하였으며, 모자이크된 남극지역 전체에 대한 영상과 함께, 타일(tile) 별로 부분된 영상들도 개별적으로 사용할 수 있도록 설계되었다. 또한, BAS는 Specim 사의 초분광 센서(Fenix, Owl), LiDAR 시스템인 Leica Geostems ALS50-II, 사진 측량용 카메라(Intergraph's Z/I Imaging Digital Mapping Camera)를 보유하여 극지방에 대한 직접적인 공간정보 구축을 수행하고 있다. 특히, BAS 산하의 MAGIC 팀은 SCAR 지리정보 상

임위원회인 SCAGI를 대신하여 ADD(Antarctic Digital Database)를 관리하고 배포하는 역할을 하고 있다. <그림 4-33>은 ADD 맵 뷰어(map viewer)의 예이다.



자료: <https://lima.usgs.gov/>

<그림 4-32> USGS에서 제공중인 LIMA의 예



자료: <https://www.add.scar.org/>

<그림 4-33> ADD Map viewer의 예

ADD는 base layers, coaslines, topo layers, water, human activity, boundaries의 항목으로 이루어져 있으며, Coastline, Contours, Rock outcrop, Seamask, Moraine, Lakes, Streams, Data limit at 60°S의 자료를 구축하여 제공하고 있다. Web Map Service(WMS)를 통해 남위 60도 이상 고위도 지역에 대한 250,000 ~ 1:10,000,000 지형도를 벡터 데이터와 위성영상 배경으로 표현하고 있으며, 해안선, 빙봉, 기반암, 등고선, 표고점, 시설물, 기지위치, Landsat 모자이크 영상, DEM, 빙하와 빙봉의 변화(일부지역)에 대한 자료들도 제공하고 있다.

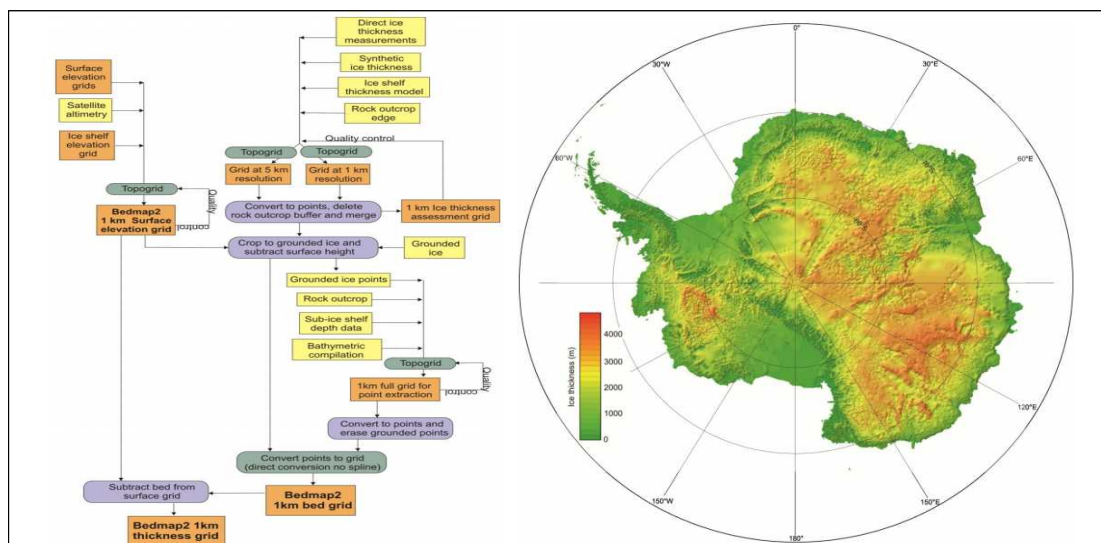
모든 자료들은 WGS84 Antarctic Polar Stereographic projection으로 이루어진 Geopackage 혹은 Shapefile의 형태로 제공하고 있다. 특히, ADD를 통하여 직접 취득할 수 있는 공간정보는 총 17종류로 이루어져 있으며, 해당 자료들은 모두 6개월의 갱신주기를 가지고 있다.

ADD에서 제공 받을 수 있는 공간정보와 이의 주요 사항을 간략하게 정리하면 다음의 표와 같다. 한편, BAS에서는 APIP(Antarctic Peninsula Information Portal)을 통해서도 남극의 공간정보를 제공하고 있다. 예를 들어, BEDMAP(Antarctic Map Catalogue Antarctic Bedrock Mapping)은 빙하를 제외한 남극 기반암 고도자료를 제공하고 있으며, 이에 대한 생성과정과 결과물은 <그림 4-34>와 같다.

<표 4-30> ADD에서 제공하는 극지역 공간정보

| 자료명 | 최근 갱신 시기 | 비고 |
|--|------------|--|
| High resolution vector polylines of the Antarctic coastline | 2020-11-04 | |
| Medium resolution vector polylines of the Antarctic coastline | 2020-11-04 | |
| High resolution vector polygons of the Antarctic coastline | 2020-11-04 | land, ice shelf, ice tongue, rumple 표현 |
| Medium resolution vector polygons of the Antarctic coastline | 2020-11-04 | |
| High resolution vector contours for Antarctica | 2020-11-04 | |
| Medium resolution vector contours for Antarctica | 2020-11-04 | |
| Automatically extracted rock outcrop dataset for Antarctica | 2020-11-05 | Landsat 8 이용 |
| High resolution vector polygons of Antarctic rock outcrop | 2020-11-05 | 1960년대부터 |
| Medium resolution vector polygons of Antarctic rock outcrop | 2020-11-05 | 1960년대부터 |
| High resolution Antarctic moraine dataset | 2020-11-05 | 일부지역 |
| Medium resolution Antarctic lakes dataset | 2020-11-05 | 일부지역 |
| High resolution Antarctic lakes dataset | 2020-11-05 | 일부지역 |
| Medium resolution Antarctic lakes dataset | 2020-11-05 | 일부지역 |
| Antarctic streams dataset | 2020-11-05 | 일부지역 |
| High resolution vector polygon seamask for areas south of 60°S | 2020-11-05 | |
| Medium resolution vector polygon seamask for areas south of 60°S | 2020-11-05 | |
| Antarctic Digital Database data limit at 60°S | 2020-05-12 | |

자료: <https://data.bas.ac.uk/collections/e74543c0-4c4e-4b41-aa33-5bb2f67df389/>



자료: <https://www.bas.ac.uk/project/bedmap-2/>

<그림 4-34> BEDMAP 생성과정과 결과의 예

라) NPI(Norwegian Polar Institute)

노르웨이 극지연구소(NPI)는 노르웨이 극지방의 지형 및 지질도를 생성하는 대표 기관이다. Svalbard, Jan Mayen, Bouvet øya 및 남극 내 노르웨이의 주요 영토를 매핑하는 주요 업무를 담당하고 있으며, 디지털지도와 종이지도를 모두 제작하고 있다.

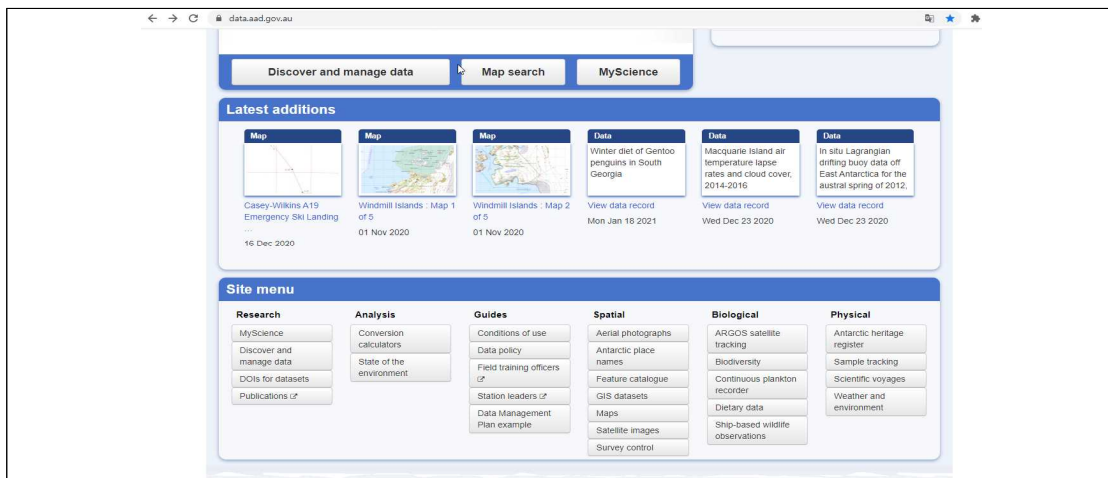
Svalbard 및 Jan Mayen 지역에 대해서는 개별적인 Web-GIS를 구성하여 사용자들에게 제공하고 있으며, 각 지역별 자료들은 웹페이지를 통하여 원 자료를 제공 받을 수 있도록 하였다. Svalbard 지역을 기준으로 1/1,000,000 / 1/250,000 / 1:100,000 축척의 벡터자료와 DEM 자료 및 다양한 종류의 주제도를 제공하고 있으며, 현재 갱신주기 등에 대해서는 명시되어 있지 않다(<https://geodata.npolar.no/>).

NPI는 QGIS에서 사용 가능한 남극 공간정보 데이터베이스인 Quantarctica도 개발하여 제공하고 있다. 2013년 version 1.0을 개발한 이후, 현재 version 3.0을 수요자들에게 제공하고 있으며, ADD, IBCSO 등의 데이터를 포함한 8.3GB에 달하는 공간정보를 수록하고 있다. <그림 4-36>은 Quantarctica의 디스플레이 및 Quantarctica에 수록된 장보고과학기지 정보의 예이다.

마) AADC(Australian Antarctic Data Centre)

호주 남극 데이터 센터인 ADDC는 1996년 설립되었으며, 남극 관련 공간 데이터, 생물학적 데이터, 물리학적 데이터를 제공하고 있다.

호주는 남극의 상당 부분에 대한 영유권을 주장하고 있으며, 영유권 주장 지역에 대한 공간정보가 많이 수록되어 있다. AADC의 공간정보 관련 메뉴 구성은 다음의 그림과 같으며, AADC에서 제공 받을 수 있는 공간정보 관련 데이터의 예는 <표 4-31>와 같이 정리할 수 있다.



자료: <https://data.aad.gov.au/>

<그림 4-37> AADC의 공간정보 관련 메뉴 구성의 예

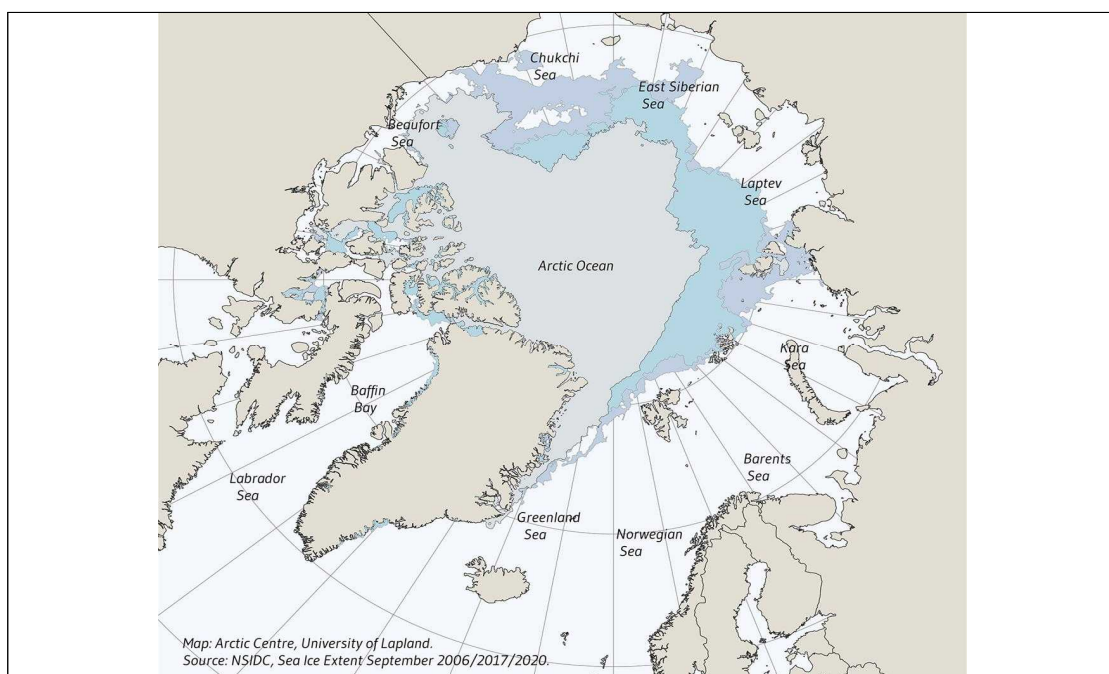
<표 4-31> AADC에서 제공하는 공간정보 관련 데이터

| 자료명 | 비고 |
|---------------|---|
| 항공사진 | - AADC에서 보유하고 있는 항공사진 검색 및 다운로드 |
| 남극지명 | - SCAR CGA지명, 아남극지명(남위 50도 이하), GEBCO(General Bathymetric Chart of the Oceans) 지명, 비공식적 지명 수록 |
| 백터 카탈로그 | - SCAR의 남극지리정보 위원회에서 정의한 남극 공간정보에 대한 정의 (2002년 중국 상하이에서 발표) |
| GIS 데이터 셋 | - 남극 베이스맵, 호주와 관련된 남극지역 등에 대한 백터 데이터 위주의 데이터 셋을 제공(shape file 포맷) |
| MAP catalogue | - 1900년대 초 자료부터 최근 자료까지의 26개국 5000 여장의 하드카피 지도 및 1000여장의 디지털 맵 수록 - 지도_ID, 제목, 발간일, 축척, 투영법, 디지털 제공여부(JPG/PDF), 경위도범위 등 수록 |
| 위성영상 | - 보유 위성영상 검색 및 일부 다운로드 가능 |
| 기준점 | - 호주가 자국 영토라 주장하는 지역에 대한 기준점 |

자료: <https://data.aad.gov.au/>

바) Arctic Centre, University of Lapland

핀란드 Lapland 대학의 Arctic Centre에서도 북극과 관련된 다양한 주제도들을 제작하여 배포하고 있다. 특히, 2016년, 2017년, 2020년의 북극 해빙의 면적을 제작하여, 해빙의 변화양상을 파악할 수 있도록 관련 정보를 제공하고 있다.



자료: <https://www.arcticcentre.org/EN/arcticregion/Maps>

<그림 4-38> 북극의 해빙 변화 분석의 사례

사) 기타 국외 기관

Arctic SDI는 캐나다, 덴마크, 핀란드, 아이슬란드, 노르웨이, 러시아, 스웨덴 및 미국 국가 맵핑 기관의 협력을 통하여 북극 공간정보 및 주제별 북극 자료에 대한 SDI를 제공한다.

Arctic SDI는 수지치형도와 함께, DEM을 참조자료로 제공하며, 해양 등과 같은 북극의 주제정보를 함께 서비스할 수 있다(<https://arctic-sdi.org/>). 또한, 국제북극과학위원회(IASC, International Arctic Science Committee) 산하의 ADC(Arctic Data Committee)는 IASC과 SAON(Sustaining Arctic Observing Networks)의 위원회의 구성원들이 모여 통합한 대표적인 데이터 위원회이다.

각 국가, 지역 등에서 구축한 다양한 종류의 극지역 정보들을 모아서 공개하고 있다 (https://arcticdc.org/products/partner-data-products). 한편, 극지역 지형정보 이외에도 지명에 대한 정보들을 제공하는 기관들도 존재한다.

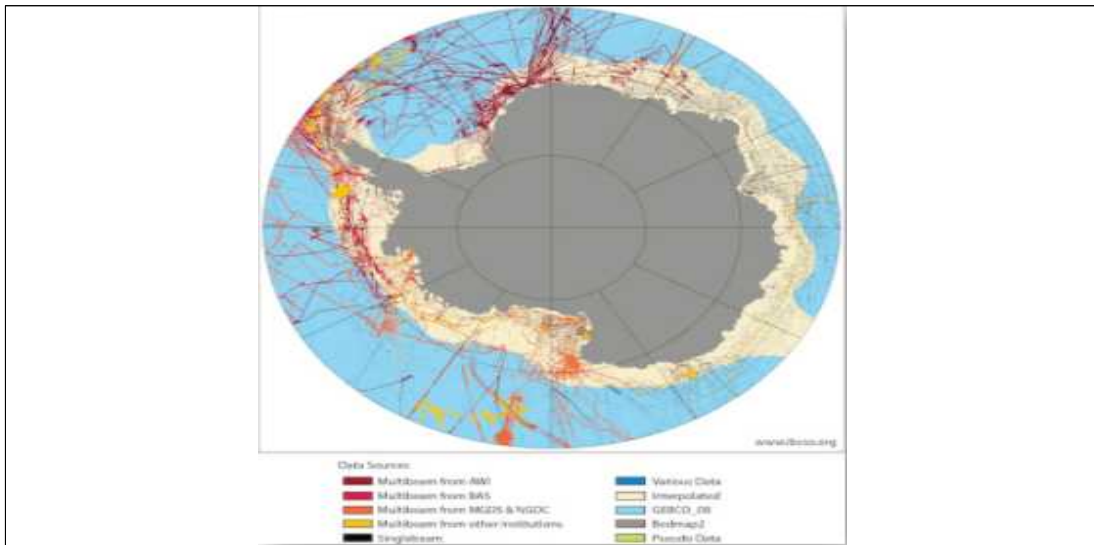
CGA(Composite Gazetteer of Antarctica)는 남위 60도 이남의 육지 및 해양지명에 대한 정보를 제공하고 있으며, 점(point) 데이터의 형태로 KML, CSV 파일 포맷의 자료를 제공하고 있다. 남극 지역의 공식적인 지명들이 정의되어 있으며, 우리나라는 27개의 지명을 등록하였다. 우리나라가 CGA에 등록한 지명의 예는 다음과 같다<그림 4-39>.

| Name | Latitude | Longitude | Feature Type |
|--|-----------------|-----------------|--------------|
| Araon Valley (KOR) Name ID: 137306 Place ID: 18972 The name came from the icebreaker Araon which plowed through a glaciers, and reflected a intention to cut through valley with glaciers. | 62° 13' 30.0" S | 58° 45' 20.0" W | Valley |
| Arirang Hill (KOR) Name ID: 137309 Place ID: 18966 The name is compared to dreams and hopes for Antarctic research of Korea composed of the Arirang people. | 62° 13' 56.1" S | 58° 45' 21.1" W | Hill |
| Auraji Valley (KOR) Name ID: 137700 Place ID: 19341 The form, which overlaps two thin valleys and continues over the beach, resembles "Auraji" in Jeongseon-gun, Gangwon province, which means the place overlapping two flows. Gangwon province, which means the place overlapping two flows. | 62° 13' 40.0" S | 58° 47' 00.0" W | Valley |

자료: https://data.aad.gov.au/aadc/gaz/scar/

<그림 4-39> 우리나라가 CGA에 등록한 지명

IBCSO(International Bathymetric Chart of the Southern Ocean)는 남위 60도 이하의 격자형 수심자료 및 등심선 자료를 구축하여 제공하고 있다. 15개국 30개 기관의 177개 멀티빔 자료를 합성하여 제작하였으며, 다음의 그림과 같이 2013년 version 1.0을 개발하고, 현재는 남위 50도 이하 지역으로 범위를 넓힌 2.0을 준비 중에 있다.



자료: <https://www.scar.org/science/ibcsa/resources/>

<그림 4-40> IBCSO의 데이터 제작의 예

나. 공간정보별 구축 대상지역 선정

국내·외 극지역 공간정보의 구축 사례 및 정책조사를 기반으로 국내·외에서 극지역에 대한 다양한 공간정보를 제작하고 있음을 확인하였다. 이를 통하여, 국내·외 극지역 관련 연구기관들이 극지역 공간정보를 구축하고 대상지역을 선정한 방법은 크게 2가지로 구분할 수 있었다.

첫 번째로, 극지역 전반의 모니터링 및 기초자료를 제공하고 위한 남극 혹은 북극 전체의 자료 구축이다. BAS, PGC 등에서는 지속적으로 수집한 위성영상 자료들을 활용하여 남극 혹은 북극에 대한 모자이크 영상을 제작하거나 DEM 전체를 제작하였다. 이는 극지역 연구 활동의 기초자료로 활용하거나 포털서비스를 가능하게 하는 지역 전체를 포괄할 수 있는 자료를 의미한다.

두 번째로, 해당 기관 및 국가의 수요에 맞는 지역에 대한 지속적인 공간정보 구축이다. 국가의 상황 및 연구활동 관련 관심사항에 따라서 특정 지역에 대한 공간정보를 정기적으로 구축하는 경우도 존재하였다.

극지역 전체에 대한 공간정보를 구축하여 사용자들에게 제공할 경우에는 일반사용자들이 관심 지역에 대한 지형특성을 빠르게 확인할 수 있다는 점에서 장점을 가지지만 환경변화 등의 모니터링을 위하여 특정 지역에 대한 많은 수의 다시기 자료를 얻기는 어려운 문제가 발생한다. 본 절에서는 극지역 공간정보 별 구축 대상지역 선정에 위한 방안을 마련하고자 하였다. 공간정보별 구축 대상지역은 국내 남극 및 북극의 정책조사 및 구축사례를 토대로 진행하였으나, 극지역 공간정보 수요기관의 수요조사를 통하여 보완해야 할 필요성이 있다. 또한, 앞서 언급한 바와 같이 극지역 연구를

위하여 공간정보를 요구하는 수요기관 등이 기본적으로 사용할 수 있는 기본정보 성격의 공간정보를 구축하여 연구진 입장에서 사용할 수 있는 자료들을 선제적으로 제작해야 할 필요도 동시에 존재한다. 그럼에도 불구하고, 극지역 공간정보를 효과적으로 구축하기 위한 전체적인 관심대상 지역 및 우선순위를 제안해보고자 하였다. 국토지리정보원의 주요 극지역 공간정보 생산품은 아래의 표와 같으며, 주로 세종과학기지, 장보고과학기지, 다산과학기지 및 기지 주변지역(그린란드, 스발바르 등)을 기준으로 기본 공간정보를 제작하고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, 장보고과학기지 주변 해빙 경계 및 빙하 방향에 대한 주제도를 작성하기도 하였다. 본 과제에서는 북극 및 남극의 공간정보를 구축하기 위한 대상지역 선정 방안을 개별적으로 마련하고, 이에 따른 공간정보 구축 생산품을 정의하고자 하였다.

<표 4-32> 국토지리정보원에서 제작한 주요 극지역 공간정보 생산품

| 년도 | 축척 | 지역 |
|-----------|----------|-----------------------------------|
| 2009~2013 | | 남극 세종과학기지, 장보고과학기지 주변의 공간정보 구축 |
| 2015 | 1/5,000 | 북극 이메르 지역, 케케르삭, 스발바르 |
| | 1/25,000 | 북극 이메르 지역, 케케르삭, 스발바르, 미국, 러시아 지역 |
| 2016 | 1/5,000 | 북극 그린란드, 스발바르 지역 |
| | 1/25,000 | 북극 그린란드, 스발바르, 캐나다, 미국, 러시아 지역 |
| 2017 | 1/5,000 | 북극 그린란드, 스발바르, 캐나다, 미국, 러시아 지역 |
| | 1/25,000 | 북극 그린란드 지역 |
| 2018 | 1/5,000 | 북극 그린란드 지역 |
| | 1/25,000 | 북극 그린란드, 스발바르 지역 |
| 2019 | 1/5,000 | 장보고과학기지 주변, 북그린란드 시리우스팻셋 |
| | 1/25,000 | 장보고과학기지 주변, 북그린란드 시리우스팻셋 |

자료: 국토지리정보원

북극지역의 경우, 다산과학기지가 존재하는 스발바르지역 중심으로 공간정보를 구축하는 것이 효과적이지만, 남극지역과 비교하여 상대적으로 중요도는 낮다고 할 수 있다. 남극지역의 경우, 세종 및 장보고과학기지 중심으로 구축지역을 지속적으로 확대하여 연구 및 정책활용 등에 사용가능한 광역의 자료를 제작할 필요성이 있다. 또한, 최근 정책·과학적인 중요도가 높아지고 있는 서남극 지역과 코리안루트 관련 남극점 지역에 대해서도 공간정보 구축이 필요하다.

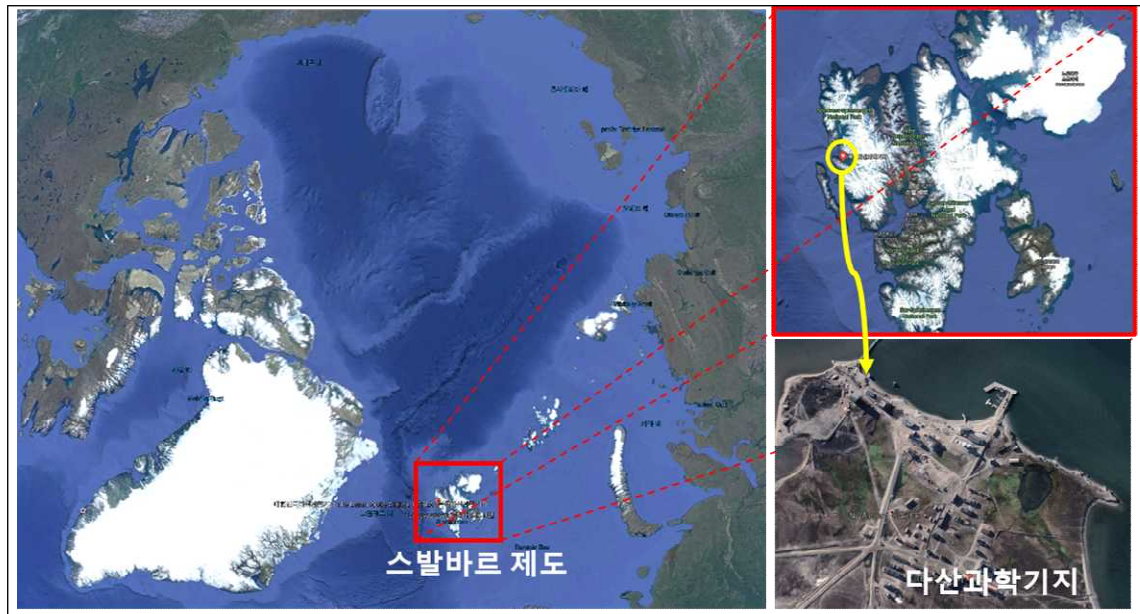
1) 북극

북극지역은 일반적으로 각국의 고유 영토를 포함하고 있기 때문에, 국토지리정보원에서 북극지역의 공간정보를 구축하기에는 남극에 비하여 효율성이 낮다고 판단된다. 그럼에도 불구하고 2015~2018년까지 북극 지역을 위주로 공간정보를 생산한 것을 확인할 수 있었다. 이는 현재 북극 지역에 대하여 다산과학기지가 존재하는 스발바르지역 및 주변지역에 대한 관심이 높은 상태였으며, 상대적으로 수요기관의 요청에 의하여 소규모 대상지역의 공간정보를 구축하였기 때문으로 판단된다. 따라서, 북극에 대한 극지역 공간정보의 경우, 극지역 연구활동에 대한 장기적인 로드맵 없이 수요기관의 요청에 따른 대응이 최우선시 되었다고 할 수 있다. 현시점에서는 스발바르제도에 위치하고 있는 다산과학기지와 주변 스발바르 제도 일부에 대한 공간정보의 신규제작은 완료된 상태이기 때문에, 이를 제외한 타 국의 고유 영토의 공간정보 구축에 대한 당위성이 확보되어야 해당 지역에 대한 공간정보를 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

스발바르 제도 내 다산과학기지는 독자적 상설기지라고는 정의하기 어려우며, 북극 내 기타 지역은 영토 문제로 인하여 다산과학기지를 제외한 지역은 공간정보를 구축하는 것이 활용적인 측면에서 장점을 가지기 어렵기 때문이다.

따라서, 기 구축된 다산과학기지를 포함한 스발바르 지역은 정기갱신 및 수시갱신 위주로 진행하되, 스발바르 제도 외 그린란드, 알래스카, 캐나다, 러시아 등의 지역은 공간정보 구축의 필요성과 구축정보의 활용성을 점검하여 공간정보 구축이 진행되어야 할 것으로 판단된다.

북극지역의 주요 공간정보 구축 대상지역(안)은 스발바르 지역과 그 외지역으로 구분할 수 있으며, 우리나라에서는 스발바르 제도 내 다산과학기지 주변을 기준으로 공간정보의 갱신을 수행하는 것을 최우선으로 고려해야 할 것이다. 그 외에 북극 지역의 경우, 수요조사에 따른 공간정보의 수요가 발생하거나, 극지역 연구활동 관련계획에서 특정 지역에 대한 주기적인 모니터링이 필요하다고 판단될 때, 이에 따른 수요를 반영하여 비정기적으로 생산하는 것이 타당할 것이다. 또한, 수요발생에 따라서 생성된 공간정보들도 주기갱신이 필수적이라고 판단되지 않는다. 다산과학기지 주변을 제외한 북극 지역의 공간정보는 수요발생에 따른 비정기적 생산 및 갱신을 원칙으로 하는 것이 바람직할 것이다.



자료: 저자 작성

<그림 4-41> 북극의 주요관심지역인 스발바르 제도 및 다산과학기지의 위치

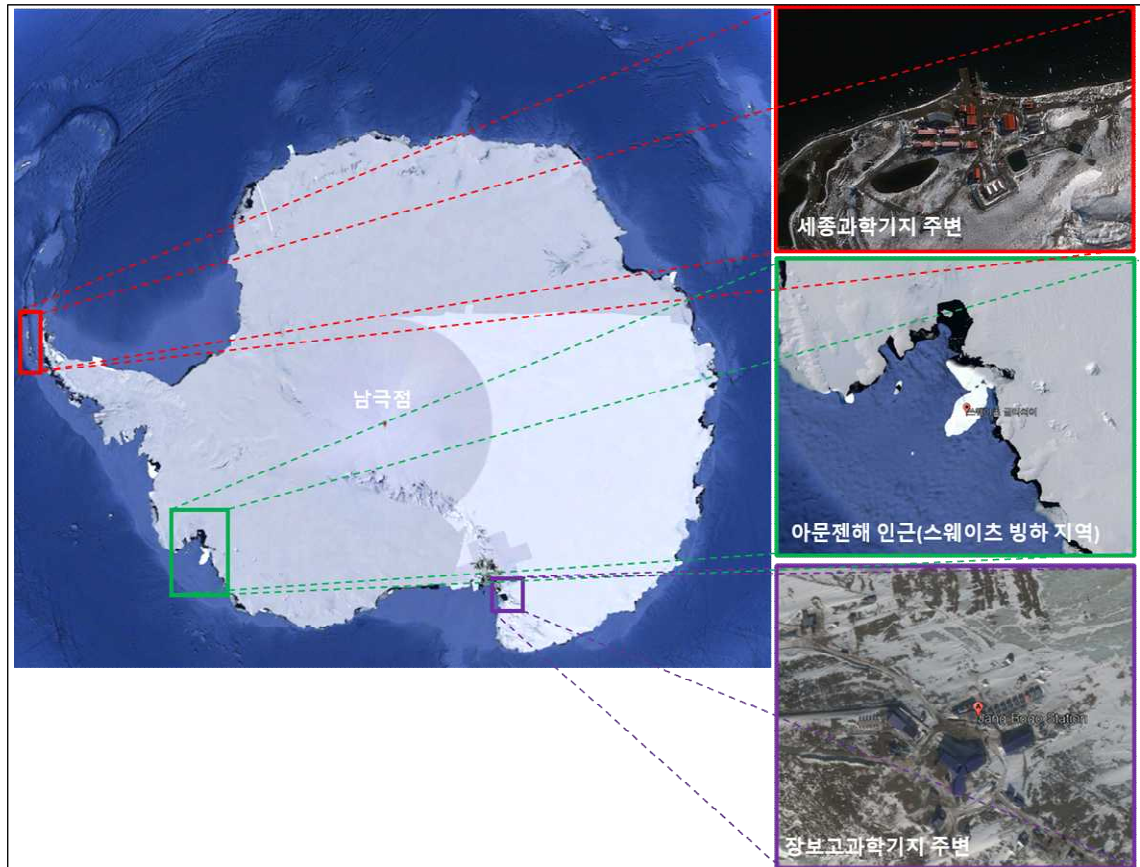
<표 4-33> 북극지역의 주요 공간정보 구축 대상지역(안)

| 대상지역 | 비고 |
|----------------------------|---|
| 스발바르 | - 다산과학기지 포함 지역 - 현재 신규제작은 완료되었기 때문에, 정기갱신 및 수시갱신 대상지역 |
| 그린란드 알래스카 캐나다 러시아 | - 향후 수요조사에 따른 수요발생 시 순차적으로 제작 필요(수요 기관의 요청 혹은 극지역 관련 정책 반영) |

자료: 저자 작성

2) 남극

남극지역은 북극과 비교하여, 독자적 과학기지인 세종과학기지과 장보고과학기지를 운영하고 있으며, 해당 지역에 대한 공간정보의 신규제작은 완료되었거나 진행중인 상황이다. 남극과 관련된 정책 및 국내·외 현황 등을 고려하여 도출된 남극 내 주요관심지역의 후보지는 아래의 그림과 같이 세종과학기지 주변, 아문젠해 인근, 장보고과학기지 주변의 3개의 지역으로 분석할 수 있다. 해당 지역은 대부분 국토지리정보원의 극지역 공간정보 구축사업의 대상지역으로 포함되었던 지역이지만, 구축된 지역의 범위 및 갱신유무 등을 고려하여 선정되었다.



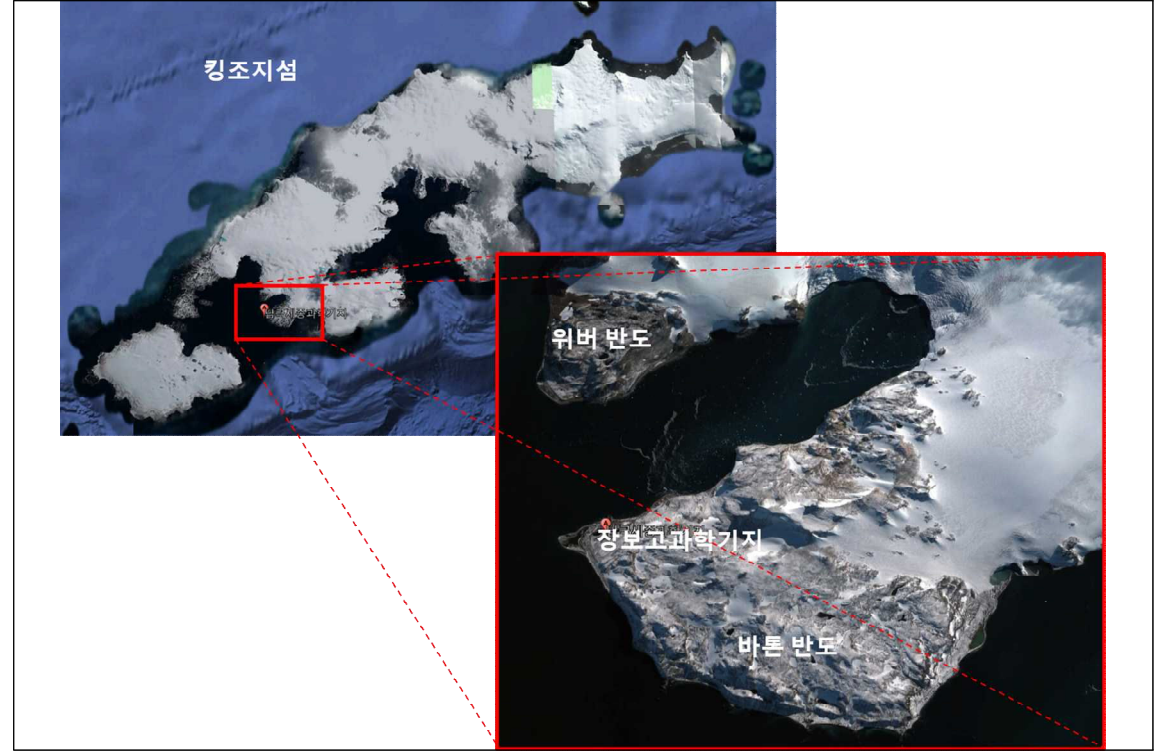
자료: 저자 작성

<그림 4-42> 남극의 주요 관심대상지역

첫 번째 관심대상지역으로 선정된 세종과학기지 지역은 남쉐틀랜드 군도(South Shetland Islands)의 킹조지섬에 위치하고 있다. 세종과학기지는 기후변화, 해양, 대기, 오존층, 고기후, 유용생물자원 연구, 기상관측, 남극조류에 대한 생태계 모니터링 등에 대한 임무를 담당하고 있다. 세종과학기지 지역의 경우, 2009~2013년도에 극지역 공간정보 구축 사업을 통하여 해당 지역에 대한 공간정보를 구축하고, 2020년 사업을 통하여 해당 공간정보의 갱신 및 인근 주변 지역의 공간정보를 추가적으로 생산하고 있다. 이는 해당 지역에 대한 일차적인 공간정보 제작이 우선적으로 완료되었다고 볼 수 있다. 따라서, 향후 수요기관의 요구 등에 의하여 정기/수시갱신을 수행하거나, 인근 주변지역에 대한 공간정보 구축 확장이 필요하다고 보여진다.

특히, 남극지역의 연구활동에 있어서 세종과학기지 주변의 위버반도와 바톤반도에 연구가 집중되고 있었으나, 점차적으로 킹조지섬 전체를 대상으로 하는 남극지역의 연구에 대한 관심이 증대되

고 있다. 따라서, 세종과학기지 지역 주변의 공간정보 구축을 확대하고, 수요에 따라서 주기적인 갱신을 수행하되, 공간정보 구축 범위는 바톤반도, 위버 반도 주변에서 킹조지섬 전역의 공간정보를 구축하는 것으로 방안을 수립하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 장보고과학기지의 경우에는 기지 운영 및 주변 지역 연구 등의 목적을 위하여 수치지형도, DEM, 정사영상의 제작이 필요하지만, 위버 반도 및 바톤반도를 포함한 킹조지섬 인근지역들은 우선적으로 영상판독 및 지형모니터링을 위한 DEM 및 정사영상 제작을 우선적으로 진행하는 것이 효율적일 수 있다. <표 4-34>는 세종과학기지 주변 공간정보 구축에 따른 우선 순위 및 방안을 정리한 표이다.



자료: 저자 작성

<그림 4-43> 위버반도 및 바톤반도의 위치

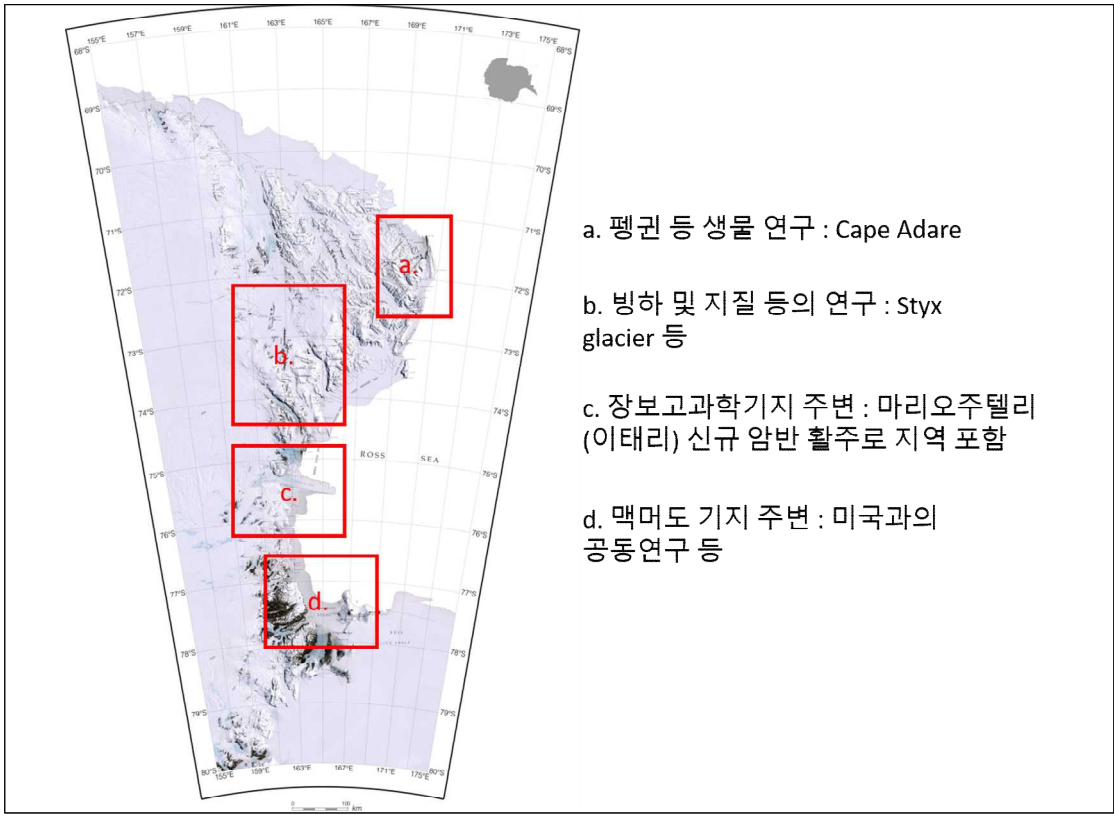
<표 4-34> 세종과학기지 주변의 공간정보 구축 대상 지역

| 대상지역 | 비고 |
|-----------------|---|
| 세종과학기지 기준 주변 지역 | <ul style="list-style-type: none"> - 장보고과학기지 및 향후 공동운영될 활주로를 기준으로 영역을 확장하여 제작 - 수치지형도, DEM, 정사영상 제작 |
| 위버반도 및 바톤반도 | <ul style="list-style-type: none"> - 세종과학기지 기준으로 공간정보 구축 구역 확장 - DEM, 정사영상 위주 제작 - 수치지형도는 수요조사에 따라서 비주기 제작 |
| 킹조지섬 | <ul style="list-style-type: none"> - 위버반도 및 바톤반도 구축 후 구역 확장 - DEM, 정사영상 위주 제작 - 수치지형도는 수요조사에 따라서 비주기 제작 |

자료: 저자 작성

두 번째로, 남극지역 과학기지인 장보고과학기지 주변지역이다. 장보고과학기지는 동남극 북빅토리아랜드(Northern Victoria Land) 테라노바 만(Terra Nova Bay) 연안에 위치하고 있으며, 우주, 천문, 빙하, 운석 등 대륙기간 연구, 빙권 변화 기작 파악 및 예측을 통한 기후변화 연구와 더불어 극지분야 융복합 연구의 테스트베드 역할을 담당하고 있다. 세종과학기지 지역과 마찬가지로 장보고과학기지는 기본 공간정보가 구축되어 있기 때문에, 세종과학기지 지역 주변의 공간정보 구축을 확대하고, 수요에 따라서 구축지역을 확대해 나가는 것이 바람직하다. 장보고과학기지를 중심으로 공간정보 구축 확대 대상지역은 <그림 4-44>와 같이 빅토리아 랜드 내 3개의 소지역으로 구분할 수 있다. <그림 4-44>에서 확인할 수 있는 것과 같이, c 지역은 장보고과학기지가 포함된 지역으로 현재 이탈리아와 우리나라가 공동으로 이용할 예정인 마리오주텔리 신규 암반 활주로 지역이 장보고과학기지를 기준으로 약 15km 떨어져 위치해 있다. 따라서, c 지역은 기구축된 장보고과학기지를 중심으로 하여 활주로 주변지역들을 갱신하거나 신규제작하는 방안으로 우선 구축해야 할 필요성이 있다. 해당 지역의 경우에는 세종과학기지 지역과 같이, 수치지형도, DEM, 정사영상의 제작이 필요하다. a 및 b 지역은 펭귄 등에 대한 생물연구(cape adare) 및 빙하, 지질 등의 연구를 위한 주요관심지역 들이 포함되어 있기 때문에, 정사영상 및 DEM을 제작하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 다만, 관심분야별로 필요한 공간정보가 달라질 수 있기 때문에, 수치지형도의 경우에는 사전수요조사를 통하여 관심 레이어를 명확하게 정의해야 한다. 마지막으로, d 지역은 미국의 맥머도 기지가 존재하는 지역으로 미국과의 남극 관련 공동연구에 필요한 지역으로 판단되며, 해당 지역들에 대한 최신의 공간정보를 구축한다면, 향후 남극 연구 관련 국외협력에 있어서도 도움이 될 것으로 판단된다. 다만, a, b, d 지역의 경우에는 장보고과학기지과 비교하여 구축지역의 우선순위가 낮을 수 있기 때문에, 장보고과학기지 주변 지역 구축과정에서 수요 발생시 정사영상

위주로 제작하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. <표 4-35>는 장보고과학기지 주변 공간정보 구축에 따른 우선순위 및 방안을 정리한 표이다.



자료: 저자 작성

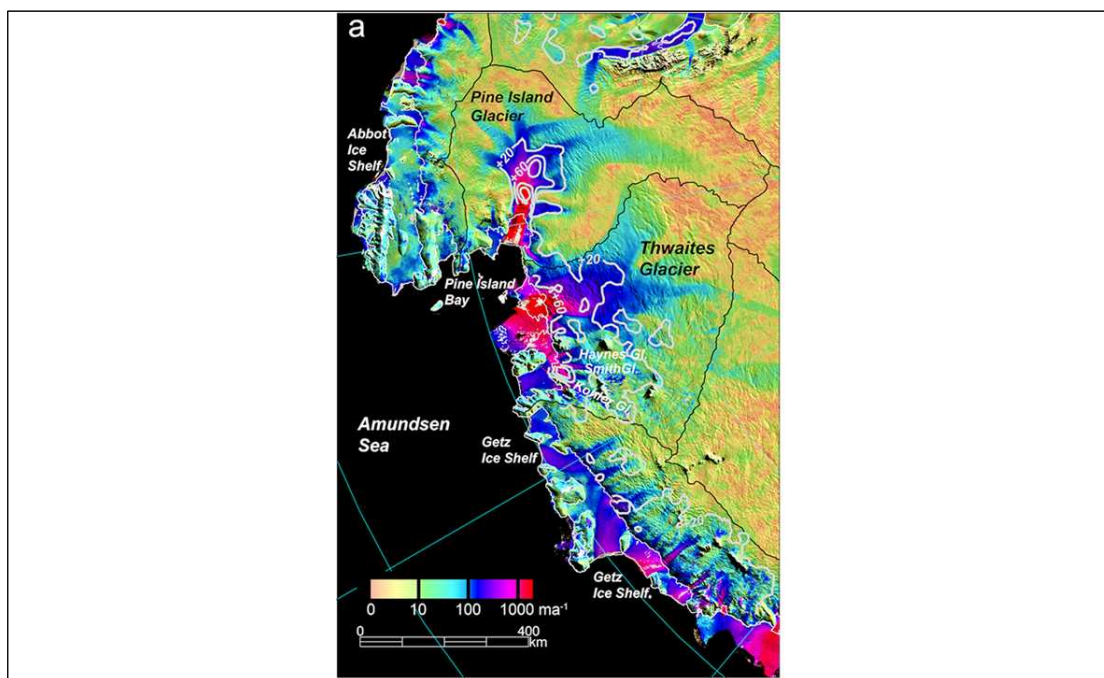
<그림 4-44> 빅토리아 랜드의 관련 연구 동향의 예

<표 4-35> 장보고과학기지 주변의 공간정보 구축 대상 지역

| 대상지역 | 비고 |
|---------------------|---|
| 1. 장보고과학기지 기준 주변 지역 | <ul style="list-style-type: none"> - 장보고과학기지 및 향후 공동운영될 활주로를 기준으로 영역을 확장하여 제작 - 수치지형도, DEM, 정사영상 제작 - 신규 제작 및 갱신 병행하여 구축 |
| 2. 남극 연구관련 지역 | <ul style="list-style-type: none"> - 장보고과학기지 제작 및 갱신과 함께 소요발생시 공간정보 구축 구역 확장 - DEM, 정사영상 위주 제작 - 수치지형도는 수요조사에 따라서 비주기 제작 |
| 3. 맥머도 기지 주변 | |

자료: 저자 작성

세 번째로, 서남극에 위치한 아문젠해 인근이다. 아문젠해 인근지역은 국외 다양한 국가들이 남극연구와 관련하여 관심을 가지고 있는 지역으로, 특히 스웨이츠 빙하에 대한 관심이 크게 증대되고 있는 실정이다. 극지역은 연도에 따라서 관심지역이 크게 변화될 수는 있지만, 아문젠해 주변지역은 생태, 빙하, 환경 등에 관한 다양한 연구들이 이루어진 지역이다. 특히, 아문젠해 인근의 스웨이츠 빙하는 지구 온난화에 따른 빙하 붕괴의 대표적인 사례로 알려져 있으며, 이로 인하여 학계에서 가장 관심을 가지고 있는 지역 중에 하나이다. 따라서, 아문젠해 지역은 학술연구적인 측면에서 공간정보를 구축해야 할 필요성이 있다고 판단되어 지며, 영상 판독 및 향후 다양한 형태의 주제도 작성을 위하여 정사영상과 DEM을 우선적으로 제작하되, 수요요청에 맞추어 요구 레이어 위주의 주제도를 제작하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.



자료: Scambos et al.(2017)

<그림 4-45> 스웨이츠 빙하 지형의 예

마지막으로, 국내 남극 정책 중점추진과제의 참여 및 협력을 위한 K-route 및 제3과학기지 지원을 위한 대상지역의 공간정보 구축이다. 현재, 장보고과학기지를 기준으로 남극점까지의 K-route를 개발하기 위한 다양한 과제들이 진행되고 있으며, 남극 연구를 위한 제3의 과학기지 조성도 논의되고 있다. 다만, 제3 기지와 코리안루트가 남극 내륙이므로 위성영상을 기반으로 공간정

보를 구축하는 것은 한계가 있을 것으로 판단되지만, K-route 개발의 지원을 위한 DEM과 판독을 위한 정사영상의 제작이 필수적이라고 판단된다. K-route 주변 해안지역, 만년설이 없는 지역, 기복 변화가 심한 지역 등 일부 지역에 대해서만 수치지도, DEM, 영상지도 제작이 가능할 것으로 예상된다. 또한, 앞으로 진행될 제3과학기지의 준비를 위하여 관심지역의 정사영상 제작을 진행하되, 수요기관의 수요조사 등을 통하여 구체적인 우선순위를 마련하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 최종적으로 본 과제에서 도출한 주요 관심지역들의 특성 및 공간정보 제작 방안을 정리하면 <표 4-36>와 같다.

<표 4-36> 남극지역의 주요 공간정보 구축 대상지역(안)

| 대상지역 | 비고 |
|-------------------------------|--|
| 세종과학기지 | <ul style="list-style-type: none"> - 세종과학기지 → 위버반도/바톤반도 → 킹조지섬 전역으로 공간정보 구축 확대 계획 수립 - 신규제작은 완료되었기 때문에, 정기갱신 및 수시갱신을 고려 - 수치지형도, DEM, 정사영상의 구축 필요 |
| 장보고과학기지 | <ul style="list-style-type: none"> - 장보고과학기지 → 이태리/한국 공동활주로 구역 방향으로 확대 제작 - 기타 인근 관심지역들은 수요조사에 따라서 비정기 구축 - 수치지형도, DEM, 정사영상의 구축 필요 |
| 서남극지역 아문젠해 지역 | <ul style="list-style-type: none"> - 빙하 등 현재연구관련 주요 대상지역 - 국외 기관의 주요 공간정보 구축 대상 지역 - 남극관련 연구 지원을 위한 공간정보 구축이 요구되며, 수요조사에 따라 비정기 구축 필요 - DEM, 정사영상의 구축 필요 |
| K-route 및 제3과학기지 개발 지원을 위한 지역 | <ul style="list-style-type: none"> - 장보고과학기지와 남극점 사이 지역 - 공간정보 구축에 어려움 존재(남극 내륙) - 정책 내 중점추진과제 지원 가능한 장점 - DEM, 정사영상의 구축 필요 |

자료: 저자 작성

다. 시사점

공간정보별 구축 대상지역의 경우, 남극 및 북극의 과학기지를 중심으로 전체적으로 구축지역을 확대해나가는 것이 합리적이며, 최근 전세계적으로 관심대상지역인 스웨이트 빙하지역 및 코리안루트 개발 등을 위한 신규지역의 극지역 공간정보 구축이 병행되어 이루어져야 한다고 판단된다. 특히, 수요조사 결과, 정사영상 및 수치표고모델의 요구가 높기 때문에, 국토위성을 활용하여 생성된 정사영상 및 수치표고모델은 지속적으로 사용자들에게 제공하여야 한다. 또한, 앞서 언급한 바

와 같이, 극지역 전체에 대한 정사영상 및 수치표고모델을 제작하여 공급하는 것도 국내·외에 국토
지리정보원의 위상을 높일 수 있는 기회가 될 것이라고 판단된다.

3. 수요기관 현황 및 요구사항 분석을 통한 활용 활성화 방안 수립

가. 수요기관 발굴을 위한 현황 분석

본 과제에서는 수요기관 발굴을 통한 극지역 공간정보 활용 활성화를 위하여 주요 극지역 공간정보 활용기관의 수요조사를 통하여 공간정보 활용을 위한 현황을 분석하고자 하였다. 주요 공간정보 활용기관 및 활용현황의 분석을 토대로, 수요기관의 극지역 공간정보에 대한 요구사항을 분석하여 활용 활성화 방안을 도출하고자 하였다.

1) 극지역 공간정보 활용기관 및 활용현황 분석

국내에서 극지역 공간정보를 활용하는 기관은 타 분야와 비교하여 상대적으로 다양하지 못한 실정이다. 이는 국내에서 남극 및 북극을 연구하는 기관이 매우 제약적이며, 극지역 연구 기관의 일부는 공간정보가 필요하지 않는 자연과학 혹은 사회 분야에 속하고 있는 경우도 발생한다. 또한, 국내에서 극지역 분야의 연구에 대해서는 극지연구소 위주로 연구가 진행되고 있기 때문에, 극지연구소를 제외한 타 기관 및 연구소에서 극지역 관련 연구를 다루는 사례는 크게 나타나지 않고 있다. <표 4-37>은 본 과제에서 분석을 통하여 도출한 극지역 공간정보를 활용할 수 있을 것으로 판단된 연구기관 등을 간략하게 정리한 것이다. 이를 토대로, 각 기관의 활용현황 등을 정리하면 다음과 같다.

<표 4-37> 극지역 공간정보의 활용이 가능한 대표적 기관

| 기관 | 주요 활용현황 |
|---------|--|
| 국립해양조사원 | <ul style="list-style-type: none"> - 극지연구소와 업무협약을 맺고 남극지역 등에 대한 공동연구를 수행함 - 극지역에 대한 항행정보의 제공 등을 위한 공간정보의 구축 및 해안선 측량을 통하여 극지역에 대한 해도를 구축하여 제공하고 있음 |
| 극지연구소 | <ul style="list-style-type: none"> - 국내에서 극지역에 대한 연구를 가장 활발하게 수행하고 있는 대표적인 기관 - 남극 및 북극 지역 전반에 대한 연구를 수행하고 있기 때문에, 다양한 공간정보 필요함 |
| 기상청 | <ul style="list-style-type: none"> - 북극해빙감시시스템(http://seaice.kma.go.kr) 구축 및 운영 - SSMIS(Spectral Sensor Microwave Imager/Sounder) 위성을 활용하여 해빙에 대한 자료를 제공하고 있음 - 북극 해빙 변화에 따른 북극 항로 개척 및 환경변화에 대한 연구에 활용할 수 있음 |

자료: 저자 작성

가) 국립해양조사원

국립해양조사원은 해양예보와 더불어 항행 및 안전을 위한 각종 항해정보들을 제공하고 있으며, 3차원 해저정보, 국가해양기본도 등에 대한 공간정보 구축 관련 업무를 담당하고 있다. 특히, 2021년 5월에는 세종과학기지 부근 2차 정밀해저지형 조사를 완료하여 남극 킹조지섬 맥스웰만(Maxwell Bay) 해역에 대한 해저지형 관련 공간정보를 구축하였다. 취득된 해저지형 자료를 이용하여 1:10,000의 축척을 가지는 해도를 제작하여 배포할 예정이며, 이를 통해 남극과학기지 주변을 항해하는 선박들에게 최신의 해양정보를 제공하고 있다. 국토지리정보원에서 구축하는 극지역 공간정보들은 고해상도 위성영상을 이용하여 생성하는데, 현재 국립해양조사원에서 조사하는 해저지형은 위성영상을 통하여 분석할 수 없다. 다만, 해도의 제작에 있어서 해저지형과 더불어 해안선에 대한 정보도 반드시 필요하다. 고해상도 위성영상을 이용하여 최신의 해안선 정보를 구축할 수 있기 때문에, 국립해양조사원에서도 극지역 공간정보에 대한 수요는 존재할 것으로 판단할 수 있다. 또한, 국립해양조사원은 극지연구소와 업무협약을 맺어, 남극지역 등에 대한 공동연구를 수행하고 있다. 따라서, 국립해양조사원에서 작성하는 해도의 갱신계획과 함께, 국토지리정보원에서 국립해양조사원에게 업무와 관련된 극지역 공간정보를 지속적으로 홍보할 필요성이 있다고 보여진다. 특히, 국립해양조사원의 해도제작은 극지역 관련 정책에 포함되어 있기 때문에, 국토지리정보원에서도 해도제작을 위한 기본 공간정보를 체계적으로 제공한다면, 장기적으로는 국토지리정보원의 극지역 사업들도 관련 정책에 포함될 수 있을 것이다. 향후 극지역 공간정보 구축에 있어서의 당위성을 확보할 수 있는 계기를 마련할 수 있다고 판단된다.

나) 극지연구소

극지연구소는 국내에서 남극 및 북극지역에 대한 각종 연구를 가장 활발하게 수행하고 있는 대표적인 기관이다. 남극 및 북극 지역 전반에 대한 연구를 수행하고 있기 때문에, 극지역 공간정보에 대한 소요 및 활용이 가장 높은 기관이라고 할 수 있다. 극지연구소 내 대부분의 극지역 공간정보를 이용한 연구분야는 자연과학 위주로 진행되고 있으며, 수치지형도 위에 연구소의 성과물을 표기하거나 연구관련 지역에 대한 주변 지역을 확인하는 정도의 용도로 공간정보를 활용하고 있다. 예를 들어, 관측된 샘플 등의 위치를 지도 위에 표현하고, GIS 툴을 이용하여 이를 시각화하여 활용하는 것이다. 따라서, 극지연구소에서 우선적으로 필요한 자료는 연구 관련 지역 전체에 대한 지형특성 등을 확인할 수 있는 정사영상 등이라고 할 수 있으며, 측량 분야의 관점에서 높은 정확도를 가지는

공간정보 보다는 관심 대상 지역을 효과적으로 모니터링할 수 있는 최신 시점의 공간정보가 극지연구소에서 요구하는 공간정보일 것으로 판단된다. 또한, 극지연구소에서는 환경, 생태, 빙하 등 다양한 연구를 수행하는 부서들이 있기 때문에, 관심지역도 극지역 전체를 포함할 것으로 판단된다. 다만, 수요조사를 통하여 최신의 공간정보가 필요한 분야들이나, 사회/국가적인 이슈가 발생한 지역을 공간정보 구축 우선순위로 설정하고, 해당지역의 공간정보를 우선적으로 구축하는 것이 필요할 것이다. 그러므로, 극지역 공간정보의 지속적인 활용을 위해서는 극지연구소와의 협업 및 수요조사를 구체적으로 수행할 필요성이 있다.

다) 기상청

기상청은 SSMIS(Spectral Sensor Microwave Imager/Sounder) 위성을 활용하여 해빙면적과 해빙 표면거칠기에 대한 정보를 제공하는 북극해빙감시시스템(<http://seaice.kma.go.kr>)를 구축하여 운영하고 있다. 북극 해빙 변화에 따른 북극 항로 개척 및 환경변화에 대한 연구에 활용할 수 있으며, 해빙은 지구온난화 및 우리나라의 기후변화에도 영향을 미치기 때문에, 기후예측의 관점에서 기상청은 북극 해빙을 모니터링하고 있다. 한편, 기상청에서는 장기적/전역적인 관점에서 해빙관측을 수행하고 있지만, 국토지리정보원의 국토위성을 통해서도 고해상도의 해빙 정보를 취득할 수 있으며, 이를 통해 SSMIS에서 획득한 자료들을 일부 보완할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 기상청에서 수행하고 있는 해빙감시는 축척 및 해상도의 차이로 인하여 국토지리정보원의 극지역 공간정보가 필요하지 않을 수 있기 때문에, 수요조사 및 협업 등에 대한 요청 등을 통하여 기상청에 제공할 수 있는 북극 지역관련 공간정보의 형태를 우선적으로 파악할 필요성이 있다.

2) 극지역 공간정보 수요기관의 주요 요구사항

국토지리정보원은 앞서 언급한 수요기관들의 주요 요구사항을 주기적으로 모니터링할 수 있는 환류체계를 구축해야 한다. 이를 위해, 조사된 대표적 수요기관인 극지연구소와 국립해양조사원의 수요를 우선적으로 파악하기 위하여 각 기관의 주요 요구사항 및 극지역 공간정보 활용에 관한 인터뷰를 진행하였다. 인터뷰는 서면 및 온라인 면담의 방법을 이용하여 수행하였으며, 수요조사를 통한 인터뷰 항목별 주요 내용은 아래의 그림과 같이 구성하였다. 인터뷰 자료 내에는 일부 수요기관들이 국토지리정보원에서 구축한 극지역 공간정보에 대한 전체적인 정보가 없을 수 있다고 판단하여, 국토지리정보원의 주요 극지역 공간정보 생산품 및 레이어 정보를 제공하였다. 수요기관의 인터뷰는 2가지 관점에서 이루어졌다. 첫 번째로 국토지리정보원에서 구축한 공간정보들을 어떠

한 방식으로 취득하여 활용하고 있는지에 대한 사항을 확인하고자 하였다. 수요기관의 확대를 위하여 해당기관 외에 타 기관에서 공간정보를 사용한 실태에 대한 조사도 수행하였다. 특히, 장기적인 관점에서 국토지리정보원의 극지역 공간정보 구축사업이 극지역 관련 정책에 반영되는 것이 이상적이기 때문에 정책관련에 대한 수요기관들의 의견도 조사하였다. 두 번째로 각 수요기관 별로 기본적인 극지역 공간정보의 수요 현황을 파악하고자 하였다. 이를 위해, 국토지리정보원의 극지역 공간정보 구축지역에 포함되고자 하는 지역 및 갱신주기에 대한 각 기관의 의견을 취합하였다. 또한, 극지역 공간정보는 현재 운용중인 국토위성 1, 2호를 이용하여 구축될 예정이기 때문에, 극지역 공간정보와 관련한 국토위성의 활용방안에 대해서도 의견을 취합하였다. 극지역 공간정보의 활용 현황 및 수요조사와 관련하여 도출된 의견사항들을 정리하면 다음과 같다<그림 4-46>.

국지역 공간정보 활용성 제고방안 연구의 주요 내용

국지연구소 인터뷰 사항

① 국토지리정보원의 주요 국지역 공간정보 생산품

- (수치지형도) 등고선, 표고점, 일부 시설물 위주로 구축
- (수치표고모형) 스테레오영상으로 제작한 국지방의 DEM(Digital Elevation Model)
- (영상지도) 수치지형도 및 수치표고모형 등에 사용된 정사영상
- (해빙변화도, 빙하변화도) 장보고기지 주변 해빙 경계 및 빙하 방향 (2011~2012)
- (기준점) 공간정보 등의 제작을 위한 과학기지 주변의 기준점
- (지역) 그린란드, 스발바르, 과학기지 주변 지역

② 인터뷰 사항과 관련된 본 과제의 주요 연구 내용

- 국지역 내 지형지물 변화량 분석 등을 통한 공간정보*별 갱신주기 도출

* 정사영상(0.5m, 1.5m), 수치지도(1/5k, 1/25k), 수치표고모형(5m, 10m)

- 국지역 관련 정책·개발·연구 기관의 기본계획 등을 분석하여 공간정보별 구축 대상지역 선정
- 수요기관 발굴 및 공간정보 배포, 서비스 확대 등을 통한 활용 활성화 방안 마련
- 국지역 관계기관 협의체, 워킹그룹, 학술대회 참여 등 지속 가능한 수요조사 전략 마련

가. 국지역 공간정보의 활용 현황 관련

1. 국지연구소에서는 KPDC 운영 및 연구활동을 위하여 국지역의 공간정보를 어떻게 활용하고 계시며, 국토지리정보원에서 제작한 국지역의 공간정보가 본 기관에서 어떻게 활용되고 있는지요?
2. 타 수요기관에서 본 기관에 공간정보를 요청한 사례가 존재하는지요? 혹은 본 기관을 제외한 다른 공공기관이나 민간기관에서 국지역의 공간정보를 필요로 하는 사례를 알고 계시다면 말씀해주시기를 부탁드립니다.
3. 북극정책 기본계획, 제8차 남극연구활동진흥기본계획 등 국지역 관련 정책의 추진에 있어서 국지역의 공간정보가 어떠한 필요성을 가지고 있다고 생각하십니까?

나. 국지역 공간정보의 수요조사

4. <참고> 자료는 국지역의 공간정보에 포함되어 있는 주요 레이더 및 레이더의 용어입니다. 국토지리정보원에서 제작하고 있는 수치지도/주제도의 제작에 있어서 포함되었으면 하는 지형/지물에 대해서 말씀해주시고.
5. 국토지리정보원은 국지역의 공간정보 구축을 위해 수치지도/DEM/정사영상의 지속적인 신규제작을 계획하고 있습니다. 본 기관에서 요청하고자 하는 주요 국지역이 있으신가요?
6. 국지역의 공간정보의 활용에 있어서 갱신주기가 미치는 영향이 있다고 생각하십니까? 국토지리정보원에서 제작하는 국지역의 공간정보의 갱신주기에 대한 의견을 듣고자 합니다.
7. 국토지리정보원은 국토관측위성을 발사하여 현재 운용계획 중에 있습니다. 국지역의 공간정보 구축과 관련하여 국토관측위성의 활용방안에 대한 의견이 있으시면 말씀해주시기 바랍니다. 특히, 국지연구소에서 현재 국지역의 공간정보 취득을 위하여 계획중인 큐브위성과는 어떠한 협력관계가 가능하다고 보시나요?
8. 기타 국토지리정보원의 국지역의 공간정보에 대한 개선 요구 사항이 있다면 말씀해주시고.

<참고> 국지역 공간정보의 레이더 용어 및 레이더 정보

| 참고 자료에서 국지역 레이더 용어 정리 | | | |
|-----------------------|-------------------------|------------------|------|
| 지명 | 표현 | 지명 | 표현 |
| Cape ~ | 곶 | Inlet | 작은 만 |
| ~ Fjordland | 모어랜드(곶) | ~ Plain | 평지 |
| C. ~ | 지치구 | ~ Peninsula | 반도 |
| Island ~ | 섬 | ~ Str. | 해협 |
| ~ Is. | 섬 | ~ Strait | 해협 |
| ~ L. | 만 | ~ Channel | 해협 |
| ~ bay | 해 | ~ Coast | 해안 |
| ~ Fjord | 협(피오르드) | ~ Bluff | 절벽 |
| Mt. ~ | 산 | ~ Peak | 봉우리 |
| ~ Mts | 산맥 | ~ Pl. | 봉우리 |
| ~ Massif | 산(Monson Massif : 몬슨 산) | ~ Plateau | 고원 |
| ~ Hill | 언덕 | ~ Pla. | 고원 |
| ~ Gl. | 빙하 | ~ Ice Shelf | 빙붕 |
| ~ Glacier | 빙하 | ~ Glacier Tongue | 빙하협 |
| ~ Ice Tongue | 빙설 | ~ Ice Stream | 빙하협 |

| 스발바르 천도의 레이더 | | | |
|--------------|--------|-------|-----|
| 주기 레이더 | | 벡터레이더 | |
| 반도 | Range | 고원 | 등고선 |
| 해안 | RA | 봉우리 | 빙하선 |
| 산 | 고도 | 곶 | 빙하 |
| 산맥 | 빙하 고도 | 섬 | 유빙 |
| 언덕 | 등고선 고도 | 만 | 빙붕 |
| 빙하협 | 작은만 | - | 해안선 |

국지역 레이더 : 년도별 동일

| 사용 레이더 | | 레이더코드 | 비고 |
|--------|--------|-------|----|
| 도로 | 실목도로 | 3115 | 선 |
| | 단선도로 | 3119 | |
| 수부 | 해안선(섬) | 2122 | 선 |
| | 저수지 | 2114 | 선 |
| | 단선하천 | 2112 | 선 |
| | 실목하천 | 2111 | 선 |
| 건물 | 건물 | 4111 | 선 |
| 시설 | 교량 | 3314 | |
| | 담 | 4122 | |
| 지형 | 주곡선 | 7111 | 선 |
| | 계곡선 | 7114 | 선 |
| | 등고수치 | 7131 | 문자 |
| | 표고침수치 | 7132 | 문자 |

자료: 저자 작성

<그림 4-46> 국지역 공간정보 수요조사를 위한 인터뷰 자료의 예

가) 극지역 공간정보의 필요성 및 현황

극지역 공간정보를 취득하는 방법은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째로 해당 기관에서 직접 관심지역에 대한 공간정보를 구축하는 방법이며, 이는 비용/시간적인 측면에서 비효율적이지만, 원하는 정보를 취득할 수 있다는 점에서는 장점을 지닌다. 두 번째는 한국항공우주연구원을 통하여 아리랑 2, 3, 3A, 5호 등의 위성영상자료를 취득하고, 이를 판독하여 활용하는 방법이다. 예를 들어, 극지연구소에서는 극지역 활동과 관련하여 한국항공우주연구원으로부터 아라온호의 이동경로와 관련된 지역들에 대한 영상을 제공받아 아라온에 제공하는 형태로 극지역 공간정보를 활용한 사례도 존재한다. 해당 방법은 관심 지역의 최신정보를 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있지만, 관심지역을 촬영한 자료가 존재하지 않을 가능성이 존재한다는 문제점을 지닌다. 또한, 아리랑위성은 극지역 공간정보를 구축하기 위한 용도로 발사되지 않았기 때문에, 상대적으로 양질의 자료를 얻지 못할 가능성도 있다. 세 번째는 국내 측량 및 공간정보 구축을 담당하는 국토지리정보원에서 극지역 공간정보를 제공하는 경우이며, 해당 방법은 대상지역 및 정보구축 시점 등에 대한 정보만 명확하다면 가장 효율적인 방법이라고 할 수 있다. 예를 들어, 국립해양조사원은 2016년부터 남극 해양조사 및 해도제작을 추진하고 있으며, 장보고과학기지 및 세종과학기지의 주변 해역에 대한 수심측량과 해안선조사를 수행하여 과학기지 부근의 해도를 제작하고 있으며, 국토지리정보원에서 제작한 남극지역 공간정보를 다양하게 활용하고 있다. 수치지형도를 이용하여 해도 제작과정에서 내륙지역의 건물, 도로, 강, 호수, 등고선, 표고, 과학기지 주변의 해안선, 육상지명, 타 국가의 시설 현황 정보를 해도제작의 기초자료로 활용하고 있다. 정사영상은 해상의 노출암, 해안선 정보, 빙하 지역 등을 일차적으로 판단하여 과학기지 주변지역 현장조사를 대체하기 위한 자료로 활용되었다. DEM은 해상과 육상 경계 부분에 대한 지형분석자료 검토를 위한 참고 자료로 활용하고 있다.

남극 내륙진출을 위한 코리안 루트 개척, 제3 과학기지 발굴, 극지역 환경 분석 등의 다양한 연구활동 수행을 위해서는 현지조사 등을 통한 정책 수립 등 연구에 대한 종합계획 수립이 필수적이다. 그러나, 극지역은 극한의 환경과 해빙 등 다양한 위험 요소가 산재하고 있으며, 비용적인 측면도 다른 지역에 비해 많이 소요되는 문제점이 있다. 따라서, 빙하/크레바스/해빙 등의 환경 분석, 지형모니터링, 다양한 지형도 생성 등과 함께 극지역 연구활동을 위한 계획수립의 관점에서도 극지역 공간정보는 극지역 연구활동 진흥계획 수립에 매우 유용한 기초자료로 활용될 것이다. 그러나, 국토지리정보원에서 구축한 극지역 공간정보가 극지역 관련기관에서 연구활동 및 계획수립을 위하여 사용되기 위해서는 2021년에 제정된 “극지활동진흥법”에 국토지리정보원에서 구축한 극지역 공간정보의 위상이 반영되어야 할 것이다. 예를 들어, 국립해양조사원의 해도제작은 극지역 관련 정책에 반영이 되어 있는데, 이에 따른 국토교통부 및 국토지리정보원의 위상은 명확히 정립되

어 있지 않다. 따라서, 국토지리정보원의 극지역 공간정보 구축 사업도 로드맵을 수립하여, 관련 정책에 반영함으로써 향후 극지역 공간정보 구축에 있어서의 당위성을 확보해야 한다.

또한, 기후 및 환경변화에 대응하기 위한 연구들에 대한 관심이 높아짐에 따라 해당 연구들을 지원하거나 결과물을 시각화하기 위한 관점에서도 공간정보가 사용되고 있다. 특히, 극지역 공간정보 활용에 있어서는 고정밀의 공간정보보다는 관심지역에 대한 빠른 정보 제공 혹은 극지역 전체를 모니터링할 수 있는 플랫폼의 요구가 존재함을 확인하였다. 예를 들어, 극지역 관련 연구 종사자 중, 극지역 공간정보의 활용에 있어서 구글지도(google map), QGIS 등을 많이 사용하고 있음을 확인하였으며, 국토지리정보원의 극지역 공간정보는 상대적으로 접근성의 문제로 인하여 활용도가 낮은 것으로 나타났다. 따라서, 극지역 공간정보의 활용성을 증대하기 위해서는 극지역 전체에 대하여 기반 공간정보를 구축하고, 이를 QGIS 플러그인 등을 통하여 공개하는 것이 이상적일 것으로 판단된다. 국토지리정보원에서 구축한 수치지도와 정사영상을 이용하여 코리안루트 뿐만 아니라, 과학기지 주변의 배경지도 및 내비게이션을 위한 기초자료 서비스를 수행할 수 있다면, 극지역 관계자들에게 국토지리정보원의 공간정보 위상을 홍보하고, 향후 극지역 관련 정책 반영에도 당위성을 확보할 수 있을 것이다.

나) 극지역 공간정보 구축을 위한 관심지역 및 대상 관련 의견

극지역 공간정보 구축을 위한 관심지역 및 관심대상은 다양하게 존재한다. 따라서, 구축을 위한 우선순위를 효과적으로 결정하는 한편, 장기적인 로드맵을 수립하는 것이 필요하다.

첫 번째로, 북극지역은 영토권 문제로 공간정보를 제작하는데에 어려움이 존재한다. 다만, 노르웨이/미국/북그린란드 부분의 미답지부분에 대해서는 일부 탐사가 진행중이며, 미개척 지역에 대한 수요조사 후에 국토지리정보원에서 해당 지역에 대한 자료를 구축하는 것이 효과적일 것이다. 또한, 남극지역과 비교하여 북극지역의 수요는 상대적으로 적은 편이기 때문에, 북극지역에 대한 자료 구축은 수요가 분명한 지역에 대해서 이루어져야 한다.

남극지역은 국토지리정보원에서 지속적으로 공간정보를 구축하고 있지만, 국내 지형과 비교하여 매우 넓은 면적이기 때문에, 남극지역 전체에 대한 공간정보를 구축하는 것은 시간과 비용이 많이 발생할 수 있다. 그러나, 극지연구소를 포함하여 일반적인 극지역 공간정보를 활용하는 기관들은 DEM, 수치지도와 비교하여 배경지도로 활용할 수 있는 관심시기에 촬영된 위성영상에 대한 수요가 상대적으로 높다. 또한, 극지역의 지형변화는 상대적으로 심하지 않기 때문에, DEM/수치지도의 갱신보다는 주기적으로 획득되는 정사영상에 대한 품질을 높이는 것이 더욱 중요하다고 판단

된다. 예를 들어, 장보고 과학기지 상부 주변의 경우에도 우리나라 면적 대비 매우 넓은 육지지역을 포함하고 있기 때문에, 해당 부분들에 대한 지속적인 갱신에만 드는 시간과 비용도 매우 클 것이다. 또한, 남극 연구활동이 진행되고 있는 장보고과학기지 및 세종과학기지 주변지역들은 최신의 위성 영상 및 공간정보의 요구가 높아지고 있는 추세이다. 따라서, 낮은 축척의 자료들을 이용하여 관심 지역 전체에 대한 자료를 구축하고, 대축척 자료는 수요조사를 통하여 도출된 지역 위주로 생성하는 것이 합리적일 것으로 생각된다.

관심대상에 있어서는 극지역에 위치한 관측센서 및 코리안루트 중간의 오일 탱크의 위치, 대피소의 정보, 남극 과학기지의 모니터링, 활주로 등의 모니터링에 대한 수요가 존재한다. 또한, 주제도 내의 지형/지물과는 관계가 없을 수 있으나, 빙붕의 이동/빙산의 부피/빙하 모니터링 등에 대한 정보 및 모니터링을 수행하는 것도 필요하다. 따라서, 국토지리정보원에서 전통적으로 생산하는 공간정보들과 비교하여 특수한 지형/지물에 대한 수요가 존재하기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다. 예를 들어, 해안선을 중심으로 하는 빙하의 거동, 붙어있는 해빙 등에 대한 관심도 다양한 수요기관에서 존재하기 때문에, 기본적으로 해안선에 대한 주기적인 모니터링이 가능하면 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 또한, 빙하두께 및 지형 내 하부정보도 관심을 가지고 있으나, 현재 시점에서 위성영상을 이용하여 이를 구축하는 것은 상대적으로 어려울 것이다. 따라서, 극지역 환경을 고려하여 수치지형도에 해빙, 빙벽, 크레바스, 분지 레이어를 추가하여 구성하는 것이 필요하며, 해빙에 등고선을 표시할 수 있다면, 해빙의 규모 변화 모니터링에도 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다. 극지역 목적에 따라 설정된 일반보호구역, 특별과학조사구역, 남극 특별보호구역 등과 같은 특정 구역의 정보들도 포함시키면 도움이 될 것이다.

한편, 극지역 공간정보의 극지역 갱신주기에 있어서는 매년 혹은 2~4년 단위의 갱신을 요구하는 경우가 있으나, 국내 지역의 공간정보 갱신주기를 고려할 때, 2년 단위의 갱신은 현실적으로 어려울 것으로 파악된다. 다만, 국토위성을 이용한 정사영상은 지속적으로 제공가능할 것이기 때문에, 정사영상을 제작 및 보급을 적극적으로 수행하는 것이 효과적일 것이다. 한편, 극지역 내의 특정 공간정보는 갱신주기에 있어서는 특수성을 가지고 있다. 예를 들어, 코리안 루트 개발에 있어서 크레바스는 매우 중요한 요소인데, 극지연구소에서는 위성영상을 이용하여 크레바스 정보를 수집하고 있다. 일반적으로, 9~10월에 촬영된 위성영상을 이용하여 크레바스 정보를 수집하고, 1년단위로 벡터 형태의 크레바스 정보를 갱신하고 있는데, 이에 대한 정보 갱신이 가능하다면 극지역 개발에 크게 도움이 될 것으로 판단된다. 이러한 크레바스는 전체지역을 선형으로 표시하고, 위험지역을 도식화하거나, 확률지도와 유사한 형태로 제작하면 장점을 가질 수 있을 것이다.

다) 기타 극지역 공간정보 활용성 확대를 위한 사항

극지역 공간정보를 활용하는 기관에서 공간정보의 활용을 위한 장애요소로 언급하는 대표적인 사항들은 수요조사의 환류체계 부재 및 자료 취득에의 어려움이었다. 극지역 공간정보 등에 대한 수요조사 요청이 오는 경우, 수요조사서에 대한 피드백은 매우 부족한 실정이며, 국토지리정보원에서 작성한 극지역 공간정보에 대한 접근성 및 홍보방안이 부족한 문제도 존재한 것으로 파악된다. 따라서, 국토지리정보원에서 구축한 공간정보의 서비스를 기타기관과 공동운영하거나 해당 데이터를 지속적으로 제공하는 방안에 대한 검토가 필요하다. 극지연구소 내에서도 국토위성의 검색 시스템이 존재하면 극지역 공간정보 활용에 도움이 될 것으로 판단된다. 해양수산부에서 구축하고자 하는 극지통합정보시스템에 국토지리정보원의 극지역 공간정보를 제공할 수 있는 방안을 마련하는 것도 극지역 관련 정책에 참여할 수 있는 좋은 기회가 될 것이다.

또한, 국토지리정보원에서 국토위성을 운영함에 따라서, 이를 극지역 공간정보 구축에 효과적으로 활용할 수 있는 추진체계가 마련되어야 한다. 자연과학 분야에 종사하는 연구자들의 경우에도 시계열 위성영상을 많이 사용하고 있기 때문에 시계열 위성영상의 위치정확도가 중요한 요소로 판단되며, 사용자가 원하는 시기의 영상 획득 여부가 중요하다. 따라서, 지속적으로 극지역에 대한 영상자료를 수집하고 정사영상을 생성하는 것이 코리안루트 등에의 활용에 있어서도 크게 도움이 될 것으로 생각된다. 일반적으로 동일지역에 대하여 촬영한 다시기 위성영상은 위치정확도의 한계로 인하여 중첩하여도 동일위치를 나타내기 어려운 문제를 지닐 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 활용분야에서 위성영상을 사용하고자 하는 대다수의 사용자는 다시기 위성영상의 보정을 하기 어렵기 때문에, 국토위성의 배포에 있어서도 다시기 영상의 위치정확도 문제를 심도있게 고려해야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 극지연구소에서 진행중인 무인기 사업 등을 통하여 취득된 고해상도 자료들을 image chip으로 활용하거나, 극지연구소의 인프라를 적극 활용하여 국토 위성정확도를 높이고 기지 주변의 DB를 구성하는 것도 가능할 것으로 판단된다. 또한, 극지연구소는 수동마이크로파 센서를 중심으로 광학센서가 보조하는 시스템을 구상하고 있다. 광학센서의 기본적인 사양은 국토위성과 유사할 것으로 생각되는데, 향후 상호 검보정에 국토위성을 이용하거나, 지속적인 자료구축에 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

끝으로, 국내 관련 기관뿐만 아니라, 전세계에 국토지리정보원의 극지역 공간정보 구축 사례 및 국토위성을 홍보하기 위한 방안으로 SCAR 등의 대외활동이 효과적이라는 의견도 존재한다. 현재, 극지연구소에서 SCAR 내 위원회 활동을 수행하고 있는데, 국토지리정보원에서 이를 지원하고, 장기적으로는 국토지리정보원도 SCAR 내 위원회에 소속되는 것이 극지역 공간정보 구축의 당위성을 수립할 수 있을 것이다.

3) 인터뷰를 통한 시사점 정리

극지역 공간정보 활용 관련 수요기관들과의 인터뷰 내용 등을 토대로 하여 극지역 공간정보 구축, 갱신, 활용 활성화 등과 관련한 주요 내용을 정리하면 다음과 같다.

가) 극지역 공간정보 구축 관련

극지역 공간정보의 구축지역과 관련해서는 각 수요기관의 연구 및 관심 사항에 따라서 지역의 차이가 존재한다. 다만, 영토문제가 존재하는 북극에 비하여 남극에 대한 수요가 높은 것이 현실적인 사항이며, 본 연구에서 분석하여 도출한 주요 남극지역과도 위치가 유사함을 확인하였다. 일부 미개척지역에 대한 수요조사가 발생한 지역의 경우에는 신규 제작을 수행해야 하지만, 남극의 과학기지의 경우에도 매우 넓은 면적을 차지하고 있기 때문에, 공간정보 구축에도 많은 시간이 소요될 것이다. 특히, 특정 극지역 공간정보의 주기적인 갱신보다는 주요 지역 전체에 대한 공간정보 구축이 우선시되어야 한다는 의견이 많기 때문에, 가장 수요가 높은 대표지역에 대한 전체 공간정보를 구축하는 것을 고려해야 할 것이며, DEM 및 정사영상의 경우에는 북극 혹은 남극 전체에 대한 제작을 1차적으로 시도하는 것도 바람직할 것으로 생각된다.

나) 극지역 공간정보 갱신 관련

극지역 공간정보의 갱신과 관련해서는 구축과 비교하여 상대적으로 수요가 낮은 편으로 판단된다. 대부분의 지역에 대해서는 갱신에 대한 요구사항보다는 앞서 언급한 것과 같이 구축에 대한 요구가 높다고 판단하였다. 그러나, 세종과학기지, 장보고과학기지, 다산과학기지 주변지역에 대해서는 관련 연구 활동이 활발히 이루어지고 있기 때문에, 해당 지역은 공간정보의 주기적인 갱신이 필요하며, 이를 위한 장기적인 계획이 필요할 것으로 판단된다. 다만, 남극 및 북극 연구와 관련하여 빙하 관련 지역 등에 대해서는 수요조사 및 극지역 변화 등을 감안하여 비정기적 갱신 위주로 업무를 진행하는 것이 더욱 합리적일 것으로 판단된다.

다) 극지역 공간정보 활용 활성화 방안

국내 극지역 공간정보 활용 수요기관에서는 대부분의 공간정보를 판독 및 내비게이션 용도로 활용하고 있었다. 따라서, 국토지리정보원에서 생산되는 공간정보들도 장기적으로는 극지역 내 관

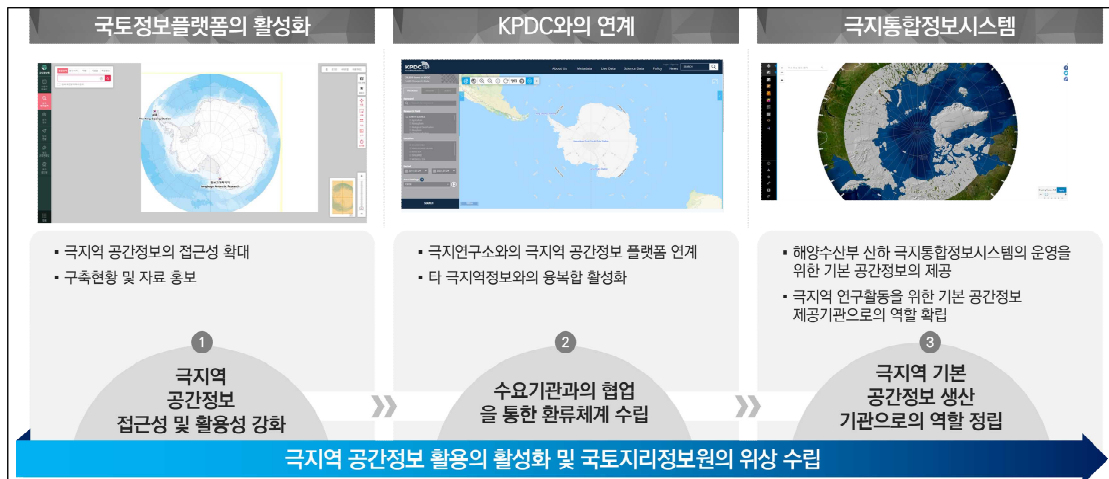
심지역에 대한 배경지도 및 내비게이션을 위한 기초자료의 역할을 진행해야 할 것이다. 해당 자료들은 「극지활동 진흥법」의 극지통합정보시스템의 기본자료로도 활용할 수 있을 것이며, 향후 SCAR 등의 대외활동을 통해서도 국토지리정보원의 극지역 공간정보 구축 성과를 홍보할 수 있을 것으로 생각된다. 현재 운용되고 있는 국토위성의 경우, 위에서 언급한 극지역 공간정보 생성을 위한 기본자료로의 역할과 함께, 정사영상의 제공도 수요기관에서 도움이 될 것이며, 향후 계획되고 있는 다양한 위성과의 융복합 활용에 대한 준비를 시작해야 할 것이다. 최종적으로는 「극지활동 진흥법」 내 하위 법령에 국토지리정보원이 제작하는 극지역 공간정보에 대한 내용들이 포함된다면 극지역 공간정보의 활용도 극대화 될 수 있을 것이다.

나. 활용 활성화 방안 마련

수요기관 발굴을 위한 현황 분석 및 주요 기관의 요구사항을 토대로 극지역 공간정보 활용 활성화 방안을 도출하고자 하였다. 이를 위하여, 극지역 공간정보 구축과 관련하여 개선사항과 정책적인 측면에서의 개선사항을 도출하였다. 이에 대한 세부적인 사항은 다음과 같다.

1) 국토정보 플랫폼의 활성화

관련 수요기관의 인터뷰, 실태분석 등을 통하여 도출된 극지역 공간정보 활용 활성화를 위한 주요 요구사항은 극지역 공간정보의 접근성 개선이다. 이를 위하여 극지역 공간정보가 포함되어있는 플랫폼을 향상시키는 것이 가장 이상적인 방법으로 판단되며, <그림 4-47>와 같이 세 단계에 걸쳐 국토정보 플랫폼을 향상시키고자 한다.



자료: 저자 작성

<그림 4-47> 국토정보 플랫폼 활성화에 대한 로드맵(안)의 예

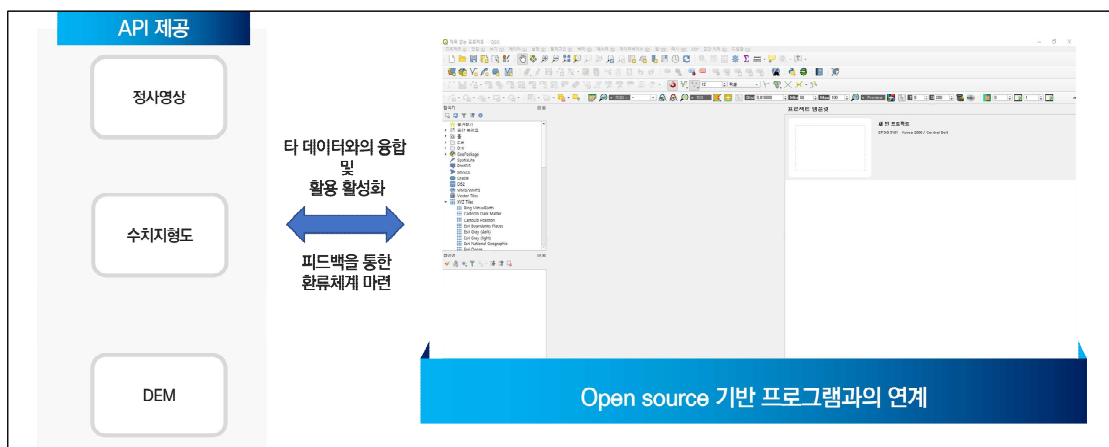
첫 번째 단계는 현재 극지역 공간정보가 존재하는 국토지리정보원 산하 국토정보플랫폼을 활성화시키는 단계이다. 이를 위하여, 각 수요기관에 극지역 공간정보에 대한 구축현황 및 자료홍보를 수행함과 동시에 극지역 공간정보를 웹 기반으로 DB화하여 항공사진과 수치지형도와 마찬가지로 온라인 기반으로 자료를 취득할 수 있도록 국토정보 플랫폼을 개선한다. 이를 통하여, 극지역 공간정보의 접근성을 확대할 수 있으며, 극지역 공간정보의 홍보를 통하여 환류체계 수립에도 도움을 줄 수 있을 것이다.

두 번째 단계는 극지연구소 산하 KPDC와 국토정보플랫폼을 연계하는 단계이다. 해양수산부는 「극지활동 진흥법」을 통하여 극지통합정보시스템을 운용할 계획을 가지고 있다. 장기적으로는 국토지리정보원의 극지역 공간정보도 극지통합정보시스템에 통합되는 것이 바람직할 수 있으나, 극지역 공간정보를 국토교통부 및 국토지리정보원에서 해양수산부에 지원하는 형태를 단계적으로 진행해야 한다. 이를 위하여, 우선적으로 극지역 공간정보에 대하여 가장 많은 수요를 가지고 있는 극지연구소의 KPDC와 국토지리정보원 공간정보와의 연계를 수행한다. 극지연구소 및 국토지리정보원의 플랫폼 연계를 수행한다.

최종적으로는 극지통합정보시스템이 운용될 경우, 해당 시스템과의 통합을 진행하도록 한다. KPDC와 극지통합정보시스템간의 통합도 예상할 수 있기 때문에, KPDC와 극지역 공간정보가 효과적으로 연계된다면, 극지통합정보시스템과의 연동도 큰 문제없이 진행될 수 있을 것이다. 이를 통하여 국토지리정보원이 극지역 연구활동을 위한 기본 공간정보 제공기관으로의 역할을 확보할 수 있을 것이다.

2) 맞춤형 대응 전략

극지역 공간정보의 접근성을 확대하기 위하여 제안될 두 번째 방안은 생성된 극지역의 정사영상, 수치지형도, DEM의 API를 생성하여, 이를 QGIS와 같은 오픈 소스 기반 프로그램에서 연동시킬 수 있도록 사용자에게 제공하는 방법이다. 예를 들어, QGIS와 같은 소프트웨어에서는 OSM(Open Street Map), 구글의 위성지도 및 벡터지도, 브이월드의 위성영상 및 일반도를 타일의 형태로 시각화할 수 있도록 제공하고 있다. 공간정보를 활용하는 일반 사용자들의 경우에도 개별적으로 취득한 공간정보와 타일 기반의 API 자료를 연동하여 공간분석을 수행하거나 지형모니터링을 수행하고 있다. 국토교통부의 경우, 브이월드를 API화하여 제공한 사례가 있기 때문에, 극지역 공간정보의 경우에도 API를 통하여 오픈 소스 기반 프로그램과 연계할 수 있도록 제작할 수 있을 것이다. 극지역 공간정보의 경우, 극지역 현장에서 직접 사용할 수도 있기 때문에, API 제공 등을 적극적으로 활용할 경우, 극지역 공간정보의 활용성 증대와 함께 국내·외에서 국토지리정보원의 성과를 효율적으로 홍보할 수 있을 것이다.



자료: 저자 작성

<그림 4-48> 극지역 공간정보의 API 제공(안)의 예

3) 활용 협의체 구축

고품질의 극지역 공간정보들을 다양한 사용자 및 수요기관들이 사용하지 못하는 이유는 앞서 언급한 접근성의 한계와 더불어, 해당 자료에 대한 이해도가 부족하기 때문으로 판단된다. 극지역

공간정보의 활용성을 증대시키기 위해서 극지연구소, 국립해양조사원 등을 중심으로 하는 활용 협의체(안)를 구축하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 활용 협의체(안)는 극지역 공간정보를 활용하거나 해당 자료와 연관되어 있는 부처, 공공기관, 연구소 등의 거버넌스 구조를 의미하며, 활용 협의체에서는 극지역 공간정보를 우선적으로 제공하거나, 극지역 공간정보의 구축, 활용 등과 같은 세미나 및 워크숍 등을 진행하도록 한다. 이를 통하여, 수요기관들의 요청사항을 협의체 안에서 지속적으로 반영할 수 있을 것이며, 이에 대한 환류체계도 적절하게 수립할 수 있을 것이다. 특히, 지속 가능한 수요조사를 위해서도 극지역과 관련한 활용협의체를 구성하는 것은 장기적으로 필수적인 사항이기 때문에, 국토지리정보원에서 활용협의체를 구성하고 운영하는 역할을 선제적으로 담당하여 극지역 공간정보를 구축하고 활용하는 데에 있어서 주도적인 기관으로 발전할 수 있을 것이다.

4) 정책적 기틀 마련

극지역 공간정보의 활용성을 증대시키고, 당위성을 확보하기 위해서는 정책적으로 뒷받침이 이루어져야 한다. 이를 위해서는 각 연구활동 분야에 극지역 공간정보가 어떻게 사용되어야 하는지에 대한 당위성이 「극지활동 진흥법」의 하위법령이나 관련 기본계획 내에 명시되어야 한다. 특히, 해당 법령 및 계획들은 현재 수립중에 있기 때문에, 해당 계획에 극지역 공간정보의 제공 및 활용에 대한 부분들이 포함된다면 정책적인 당위성을 확보할 수 있을 것이다. 우선적으로는 관련 극지연구소, 국립해양조사원 등과 협력하여 기본계획 내에 극지역 공간정보의 활용과 관련된 과제 및 내용들을 관련 기본계획 내에 포함시켜 극지역 공간정보 구축의 당위성을 확보해야 한다. 이를 토대로, 극지역 관련 연구기관 및 관련기관에서 극지역 공간정보의 필요성을 확대시켜 극지활동 진흥법에 극지역 공간정보의 구축 및 운영과 관련된 사항들을 포함시켜야 한다. 다만, 극지활동 진흥법은 해양수산부 산하에서 운영되고 있기 때문에, 국토교통부와 해양수산부 간의 긴밀한 협조관계가 필요할 것이다.

다. 시사점

극지역 공간정보를 사용하는 주 수요기관은 타 공간정보와 비교하여 한정되어 있다. 극지역 공간정보 활용을 활성화 하기 위해서는 수요기관들이 극지역 공간정보를 편리하게 접근할 수 있도록 국토지리정보원에서 극지역 공간정보에 대한 시스템·활용 측면에서의 접근 편의성을 확보해야 할 것이다. 이를 위하여, 국내 정사영상 및 수치지도와 마찬가지로 극지역 공간정보를 국토정보플랫폼

품을 이용하여 온라인으로 빠르게 자료를 취득할 수 있는 환경을 마련해야 하며, 이를 각 수요기관에 적극적으로 홍보해야 할 필요성이 있다. 또한, 구축된 극지역 공간정보 자료들을 오픈 소스 소프트웨어 등을 통하여 직접적으로 접속할 수 있는 환경을 마련하여 구축된 극지역 공간정보에 대한 접근성을 개선해야 할 것으로 판단된다.

4. 지속 가능한 수요조사 방안 및 전략 수립

가. 수요조사 방안 마련

극지역의 공간정보 수요조사를 위해서는 현재 이루어지고 있는 극지역 공간정보 수요조사의 현황과 이에 대한 문제점을 우선적으로 도출해야 할 필요성이 있다. 이를 통하여 수요조사 전략을 수립하기 위한 기초적인 수요조사 방안을 제시하고자 한다.

1) 수요조사 관련 현황 및 문제점 도출

현재 극지역 공간정보를 구축하기 위하여 수요기관을 대상으로 극지역 공간정보에 대한 수요 및 요구사항을 매년 수집하고 있다. 그러나, 현재 극지역 공간정보에 대한 직접적인 수요를 가지고 있는 대표적인 기관이 한국해양과학기술원 부설 극지연구소이기 때문에, 매년 극지연구소를 중심으로 한 수요기관에 공간정보 구축 계획에 대한 수요조사 및 활용사례를 수집하고 있다. <그림 4-49>은 2020년도에 수행한 극지역 공간정보 활용사례 및 수요조사에 대한 조사서이다.

붙임1 2020년도 극지역 공간정보 구축 계획

□ 조사대상 공간정보

① 극지역대상(전지역) 구축 속척 1/25,000 공간정보
 ② 주요연구 대상지역 및 관심지역 중심의 구축 속척 1/5,000 공간정보

□ 극지역 공간정보 활용사례 조사

① 속척 1/25,000 수치지형도, 정사영상 및 수치표고(10m)의 활용사례

| 공간정보 | 용도(목적) | 공간정보 활용사례 |
|-------|----------|-----------|
| 수치지형도 | 1) _____ | 1) _____ |
| | 2) _____ | 2) _____ |
| | 3) _____ | 3) _____ |
| | 4) _____ | 4) _____ |
| 정사영상 | 1) _____ | 1) _____ |
| | 2) _____ | 2) _____ |
| | 3) _____ | 3) _____ |
| | 4) _____ | 4) _____ |
| 수치표고 | 1) _____ | 1) _____ |
| | 2) _____ | 2) _____ |
| | 3) _____ | 3) _____ |
| | 4) _____ | 4) _____ |

② 주요연구 대상지역 및 관심지역의 구축한 속척 1/5,000 공간정보 활용사례

| 공간정보 | 용도(목적) | 공간정보 활용사례 |
|-------|----------|-----------|
| 수치지형도 | 1) _____ | 1) _____ |
| | 2) _____ | 2) _____ |
| | 3) _____ | 3) _____ |
| | 4) _____ | 4) _____ |
| 정사영상 | 1) _____ | 1) _____ |
| | 2) _____ | 2) _____ |
| | 3) _____ | 3) _____ |
| | 4) _____ | 4) _____ |
| 수치표고 | 1) _____ | 1) _____ |
| | 2) _____ | 2) _____ |
| | 3) _____ | 3) _____ |
| | 4) _____ | 4) _____ |

□ 2020년도 극지역 공간정보 구축을 위한 수요조사

① 2020년도 속척 1/25,000 수치지형도, 정사영상 및 수치표고(10m) 제작 분야 요구사항(수요) 및 그 사유

1) _____

2) _____

3) _____

② 2020년도 속척 1/5,000 수치지형도, 정사영상 및 수치표고(5m) 제작 분야 구축 대상지역, 속성정보, 구축사항 등 요구사항(수요) 및 그 사유

1) _____

2) _____

3) _____

4) _____

자료: 저자 작성

<그림 4-49> 극지역 공간정보 활용사례 및 수요조사서의 예

〈그림 4-49〉에서 확인할 수 있는 것과 같이, 활용사례의 경우, 각 공간정보에 대한 용도 및 구체적인 사례를 작성하도록 구성되어 있으며, 수요조사의 경우에는 1/25,000 및 1/5,000에 대한 공간정보의 요구사항 및 사유를 작성하도록 되어 있다. 그러나, 지속 가능한 수요조사를 위하여 기존에 운영되었던 수요조사 방안은 몇 가지 문제점을 가지고 있다고 할 수 있다. 이를 정리하면 다음과 같다.

가) 구축 공간정보의 활용실태 파악 및 환류체계 미비

극지역 공간정보 구축은 매년 수행되고 있지만, 구축된 공간정보의 결과물에 대한 활용실태 등이 명확하게 정의되고 있지 않다. 지속가능한 수요조사 전략을 수립하기 위해서는 당해연도에 수행된 수요조사 결과 혹은 수요조사 결과에 따른 공간정보 구축 결과물을 수요조사 기관에게 통보/제공하여 구축된 공간정보의 지속적인 활용을 유도하도록 하여야 한다. 그러나, 현재의 수요조사 방안은 극지역 공간정보 구축지역을 정의하기 위해서만 단편적으로 이루어지고 있다고 판단된다. 국토정보지리원에서 구축한 극지역 공간정보들이 타 기관에서 적극적으로 활용할 수 있도록 하기 위해서는 수요조사 시에 국토지리정보원에서 구축한 공간정보들을 적극적으로 홍보하여야 할 것이며, 이를 통해 수요조사에 따른 활용 결과도 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 현재의 수요조사 체계는 극지역 공간정보 구축 사업을 지속적으로 운영하기 위한 환류체계가 수립되지 않은 것으로 분석된다. 앞서 언급한 바와 같이, 수요조사를 통하여 도출된 공간정보 구축 대상지역에 대한 제작 결과는 사업종료 후에 수요조사 기관들에게 제공되어야 할 것으로 판단된다. 이러한 환류체계가 수립되지 않을 경우, 수요조사 기관들이 요구조사에 대한 의견을 적극적으로 개진하지 못할 것으로 판단된다. 따라서, 매년 이루어지는 수요조사를 지속적으로 관리하기 위한 공간정보 제작의 환류체계를 수립해야 할 것이다. 이를 위하여, 수요조사시에 현행 운용하고 있는 공간정보 시스템 혹은 공간정보 제공 목록과 더불어 당해연도 사업을 통하여 제작된 극지역 공간정보의 리스트를 적극적으로 홍보하고, 이를 바탕으로 수요조사를 수행하는 것이 이상적일 것으로 판단된다.

나) 적극적인 수요조사 방안 마련의 필요성

현재의 수요조사 방안은 수요조사 각 기관들의 의견을 주관적으로 작성하도록 하고 있다. 따라서, 국토지리정보원의 장기적인 기본계획 및 극지역 관련 정책과 부합되지 않고, 일회성으로 대상지역이 결정될 우려가 있다. 당해연도의 수요조사를 통하여 시급한 대상지역을 도출하는 것도 필요

하지만, 지속가능한 수요조사를 위해서는 국토지리정보원이 장기적인 극지역 공간정보 계획을 수립하고, 해당 지역 중에서 당해연도에 어떠한 지역의 공간정보를 구축하는 것이 좋을지에 대한 수요를 조사하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 최종적으로, 국토지리정보원에서 남극 혹은 북극 전체에 대한 DEM 등의 제작에 대한 요구사항도 존재하기 때문에 장기적인 관점에서 국토지리정보원이 구축대상 후보 리스트 및 기본 계획을 수립한 후에, 수요조사를 통하여 가장 시급한 지역들의 순위를 조정하여 공간정보 구축을 진행하는 것이 이상적일 것이다. 이를 통하여 극지역 공간정보 수립에 대한 국토교통부의 장기계획 및 「극지활동 진흥법」의 하위법령 내에 국토지리정보원의 역할을 확보할 수 있는 계기가 마련될 수 있다.

2) 수요조사 방안 마련을 위한 기본전략 도출

위에서 언급한, 현재 수요조사 방안의 개선사항을 토대로, 수요조사 방안을 마련하기 위한 기본전략을 도출하면 크게 2가지로 구분할 수 있다. 첫 번째로, 환류체계 마련 및 수요조사 요청 기관의 피드백을 위하여 국토지리정보원에서 구축한 국토지리정보원의 공간정보 목록 및 이에 따른 활용 실적, 개선사항 등에 대한 분석이다. 두 번째로는 국토지리정보원의 극지역 공간정보 구축 계획에 따른 구체적인 수요조사 목록 마련이다. 이를 기존에 진행한 극지역 공간정보 활용사례 및 수요조사서에 반영한 예는 다음과 같다.

첫 번째로, 수요조사 기관에게 국토지리정보원의 공간정보 구축 현황 및 활용가능한 자료의 목록을 제공하는 측면에서 극지역 공간정보 구축 목록과 당해연도 공간정보 구축 현황에 대한 설명이 필요한 것이다. 이를 통하여, 수요조사 결과에 따른 피드백도 반영이 될 것으로 판단되며, 수요조사 기관들이 향후 공간정보 지역 및 대상을 요청하는 데에도 도움이 될 것이다. 이를 바탕으로 하여, 극지역 공간정보 활용사례 조사에서는 각기관이 현재 사용하고 있는 공간정보 용도 및 활용사례를 조사하도록 하고, 이를 바탕으로 국토지리정보원 극지역 공간정보의 활용실태를 보다 명확하게 파악하도록 할 수 있다.

두 번째로, 현재의 수요조사 방안은 1/25,000 및 1/5,000의 축척을 가지는 공간정보 구축지역 및 대상에 대한 요구를 조사하도록 되어 있다. 그러나, 요청사항 및 지역이 추상적이기 때문에 국토지리정보원에서 계획하고 있는 관심지역 및 대상에 대한 기본적인 사항을 제시하고, 이를 바탕으로 수요조사를 수행한다면 보다 구체적인 항목이 도출될 것으로 판단된다. 1/25,000 및 1/5,000의 축척을 가지는 대상지역들은 중복될 가능성이 높기 때문에, 1/25,000의 경우에는 국토지리정보원에서 장기적인 로드맵을 가지고 구축하고, 1/5,000 축척의 경우에는 수요조사 결과를 반영하여 공간정보 대상지역을 구체화시키는 것을 효과적일 것이다.

붙임1

2021년도 극지역 공간정보 구축 계획

□ 조사대상 공간정보

① 주요연구 대상지역 및 관심지역 중심의 구축 축척 1/5,000 공간정보

② 구축 공간정보의 개선사항 및 요청사항

□ 극지역 공간정보 구축 목록

| 년도 | 축척 | 지명 |
|-----------|----------|-----------------------------------|
| 2009~2013 | | 남극 세종기지, 강보고기지 주변의 공간정보 구축 |
| 2015 | 1:5,000 | 북극 이매르 지역, 케케르락, 스탈마르 |
| | 1:25,000 | 북극 이매르 지역, 케케르락, 스탈마르, 미국, 러시아 지역 |
| 2016 | 1:5,000 | 북극 그린란드, 스탈마르 지역 |
| | 1:25,000 | 북극 그린란드, 스탈마르, 캐나다, 미국, 러시아 지역 |
| 2017 | 1:5,000 | 북극 그린란드, 스탈마르, 캐나다, 미국, 러시아 지역 |
| | 1:25,000 | 북극 그린란드 지역 |
| 2018 | 1:5,000 | 북극 그린란드 지역 |
| | 1:25,000 | 북극 그린란드, 스탈마르 지역 |

□ 당해년도 공간정보 구축 성과

| 년도 | 축척 | 비고 |
|-------|----------|----|
| 수치지형도 | 1:5,000 | |
| | 1:25,000 | |
| 정사영상 | 1:5,000 | |
| | 1:25,000 | |
| 수치표고 | 1:5,000 | |
| | 1:25,000 | |

□ 극지역 공간정보 활용사례 조사

① 축척 1/25,000 수치지형도, 정사영상 및 수치표고(10m)의 활용사례

| 공간정보 | 용도(목적) | 공간정보 활용사례 |
|-------|--------|-----------|
| 수치지형도 | 1) | 1) |
| | 2) | 2) |
| | 3) | 3) |
| | 4) | 4) |
| 정사영상 | 1) | 1) |
| | 2) | 2) |
| | 3) | 3) |
| | 4) | 4) |
| 수치표고 | 1) | 1) |
| | 2) | 2) |
| | 3) | 3) |
| | 4) | 4) |

② 주요연구 대상지역 및 관심지역의 구축한 축척 1/5,000 공간정보 활용사례

| 공간정보 | 용도(목적) | 공간정보 활용사례 |
|-------|--------|-----------|
| 수치지형도 | 1) | 1) |
| | 2) | 2) |
| | 3) | 3) |
| | 4) | 4) |
| 정사영상 | 1) | 1) |
| | 2) | 2) |
| | 3) | 3) |
| | 4) | 4) |
| 수치표고 | 1) | 1) |
| | 2) | 2) |
| | 3) | 3) |
| | 4) | 4) |

□ 2021년도 극지역 공간정보 구축을 위한 수요조사

※ 2021년도 수치지형도, 정사영상 및 수치표고(10m) 제작의 주요대상지역

| 주요대상지역 | 활용 목적 | 수요조사 요구사항 |
|--------|-------|-----------|
| 수치지형도 | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| 정사영상 | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| 수치표고 | | |
| | | |
| | | |
| | | |

① 2021년도 축척 1/25,000 수치지형도, 정사영상 및 수치표고(10m) 제작 분야 지역, 요구사항(수요) 및 그 사유

1)

2)

3)

② 2021년도 축척 1/5,000 수치지형도, 정사영상 및 수치표고(5m) 제작 분야 구축 대상지역 축성정보, 구축사항 등 요구사항(수요) 및 그 사유

1)

2)

3)

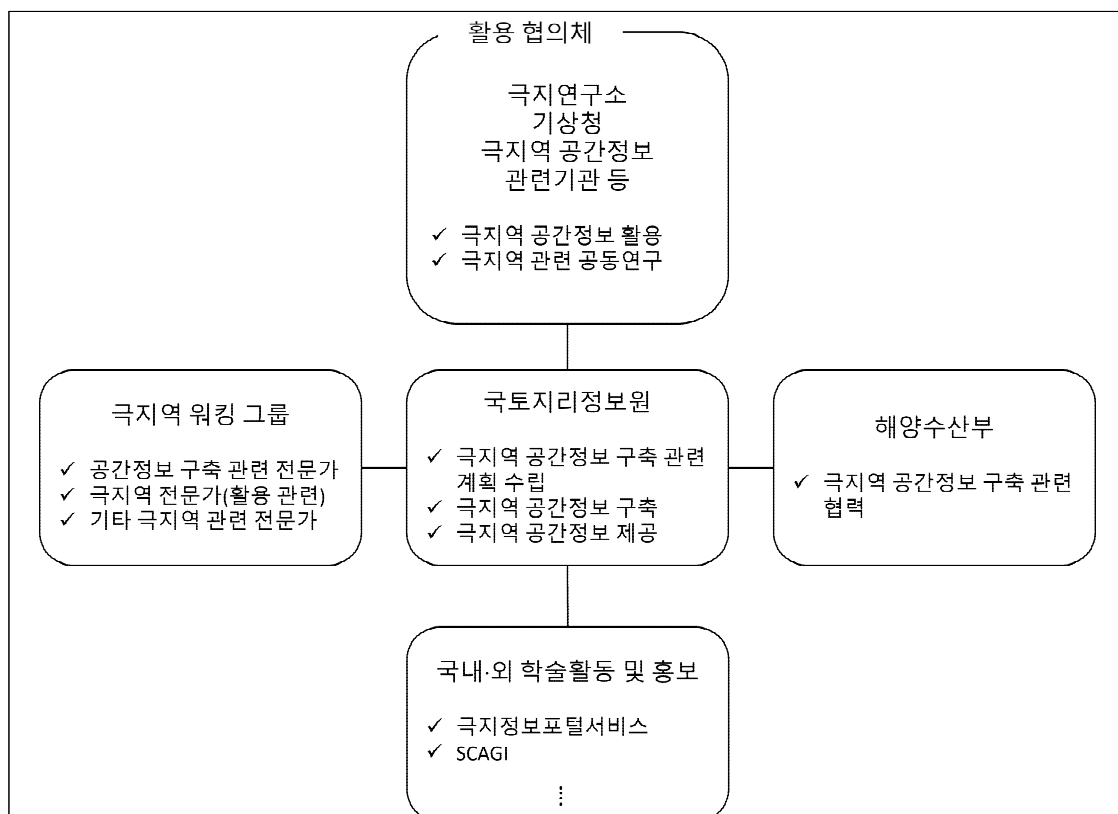
자료: 저자 작성

<그림 4-50> 극지역 공간정보 활용사례 및 수요조사서(안)

제4장 극지역 공간정보 구축 시행계획 구체화 방안 355

나. 수요조사 전략 마련

지속적으로 국토지리정보원에서 생산하는 극지역 공간정보를 활용하고, 활용성을 극대화하기 위한 수요조사를 수행하기 위해서는 관계기관, 워킹그룹 등의 수립 및 다양한 행사참여, 홍보 등을 통하여 적극적인 수요조사 및 창구를 마련해야 할 것이다. 이를 위하여 다음의 그림과 같이, 극지역 공간정보 구축 및 활용을 위한 추진체계를 마련하고, 이를 바탕으로 수요조사 전략을 수립하는 것이 합리적일 것이다. 지속가능한 수요조사 전략을 마련하기 위한 체계도는 <그림 4-51>와 같다.



자료: 저자 작성

<그림 4-51> 지속가능한 수요조사를 위한 극지역 공간정보 관련 추진체계

1) 해양수산부와 협력 마련

앞서 언급한 바와 같이, 해양수산부는 「극지활동 진흥법」을 2021년 4월에 제정하였다. 이를 통하여 극지활동진흥기본계획을 5년마다 수립하도록 정의하고 있으며, 해당 법령 내에는 극지활동 전반과 극지통합정보시스템 설치 및 운영에 대한 조항을 담고 있다. 극지역 연구 및 관련 활동 전반

에 대하여 「극지활동 진흥법」 및 극지활동진흥계획에 정의될 수 있기 때문에, 장기적으로는 「극지활동 진흥법」의 하위법령 및 극지활동진흥계획에 국토지리정보원의 극지역 공간정보 구축 관련 업무 및 활동내용들이 포함되어 있어야 지속가능한 사업 및 수요조사의 타당성이 확보될 수 있을 것이다. 특히, 「극지활동 진흥법」을 통하여 극지통합정보시스템을 구축·운영할 계획이기 때문에, 「극지활동 진흥법」의 하위법령 등을 통하여 국토지리정보원의 극지역 공간정보 구축 관련 업무가 명확히 정의될 수 있도록, 협력체계를 마련하고, 해양수산부로부터 극지역 공간정보 구축 및 활용과 관련한 지속적인 수요를 받을 수 있도록 한다.

2) 활용협의체 및 워킹그룹 구성

활용협의체와 워킹그룹을 통해 극지역 공간정보를 활용할 뿐만 아니라 극지역 공간정보 구축에 대한 장기적인 수요조사를 방안을 마련할 수 있도록 한다. 여기에서 활용협의체는 국토지리정보원에서 구축한 공간정보를 활용하기 위한 국가기관 및 연구소의 협의체를 의미한다. 반면 워킹그룹은 전문가그룹과 활용협의체를 모두 포함한 포괄적인 의미로 극지역 공간정보 구축에 대한 수요를 창출할 수 있는 모든 유관 기관과 전문가 그룹을 지칭한다. 활용협의체의 대표적인 기관은 극지연구소가 될 수 있으며, 지속적인 수요조사 및 대외활동을 통하여 활용협의체의 포함기관을 지속적으로 확대하도록 한다. 활용협의체에 대해서는 매년 극지역 공간정보 현황 혹은 정보 취득 방법들을 고려하고, 워크숍/세미나 등을 통하여 해당 기관들의 수요사항들을 직접적으로 전달받도록 한다. 또한, 활용된 공간정보들의 개선사항은 즉각 피드백 받도록 하고, 극지역 공간정보 제공에 대해서는 활용협의체 제공을 우선적으로 하여 해당 활동을 활성화 시키도록 한다. 최종적으로 활용협의체 활동 내에서 수요조사가 자연스럽게 이루어질 수 있도록 추진체계를 마련할 수 있을 것이다.



<그림 4-52> 활용협의체와 워킹그룹의 구성

<표 4-38> 활용협의체 대상 기관의 공간정보 주요 업무

| 기관 | 주요 업무 |
|------------|---|
| 한국해양과학기술원 | 해양 및 극지과학기술 정책, 제도 연구 |
| 극지연구소 | 3개 기지(다산, 세종, 장보고) 운용 아라온호 운용 |
| 한국해양수산개발원 | 북극연안국, 이사회 등 협력업무 극지정보포털 (www.koreapolarportal.or.kr) 운용 |
| 선박해양플랜트연구소 | 극지항로 안전운항기술 |
| 기상청 | 북극해빙감시시스템(seaice.kma.go.kr)운용 |
| 국립해양조사원 | 극지연구소와 업무협약, 해도제작 |

자료: 저자 작성

극지역 공간정보 워킹그룹은 활용협의체 뿐만 아니라 공간정보 구축 전문가, 극지역 공간정보의 활용과 관련된 실무진 혹은 전문가, 기타 극지역 관련 전문가들이 모여, 극지역 공간정보 구축과 관련된 이슈를 토의하고, 이를 바탕으로 연구분야, 기본계획, 발전방향 등에 대한 로드맵을 제시할

수 있도록 한다. 극지역의 특수성을 고려한 공간정보 구축의 개선사항 및 극지역 공간정보의 활용을 위해서 장기적으로 논의되어야 할 사항들을 도출하도록 한다. 또한, 국토지리정보원에서 수행하는 극지역 공간정보의 수요조사에 대한 결과를 분석하고, 극지역 공간정보 관련 사업 운영과정에서 발생하는 문제들을 해결하는 데에 지원하도록 한다.

<표 4-39> 전문가 그룹 대상 기관의 공간정보 주요 업무

| 기관 | 주요 업무 |
|----------|--|
| 극지해양미래포럼 | 극지와 해양에 대한 대중 강연 및 교육 문화 사업 |
| 극지기술연구회 | 대한조선학회 산하 기관으로 극지 정책 방향에 대한 제언과 전략을 수립하고, 국·내외 산·학·연·관 교류 및 협력활동 |

자료: 저자 작성

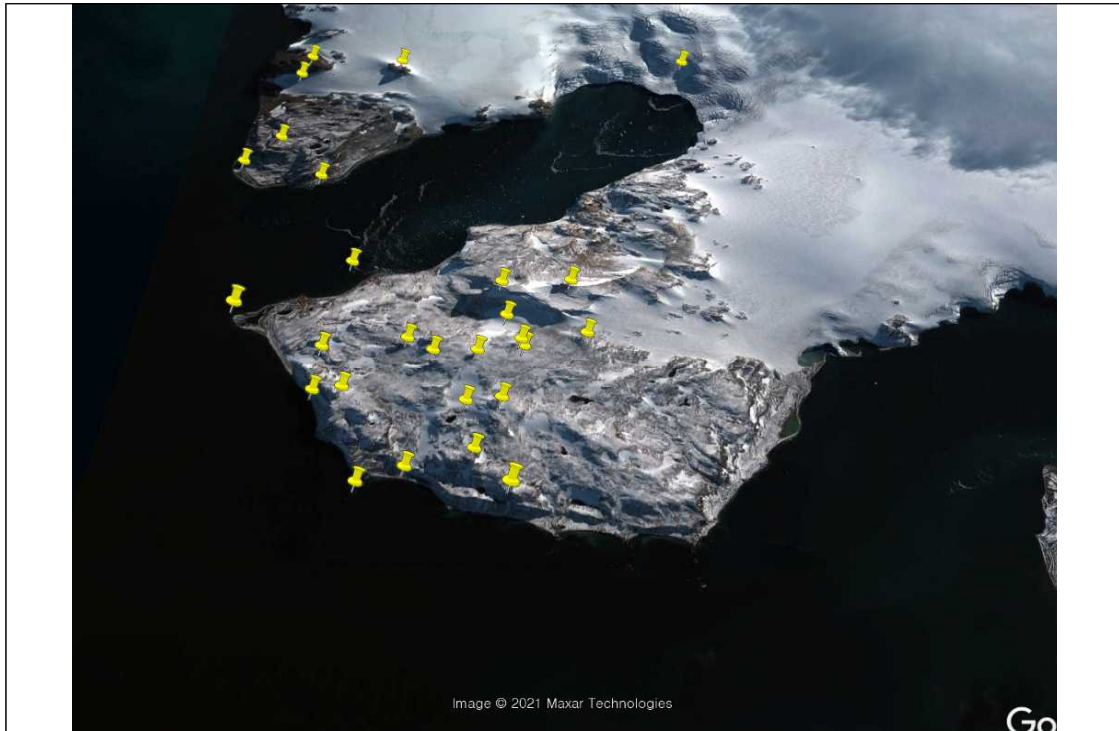
이러한 활용협의체 및 워킹그룹의 구성은 국제적인 극지에 대한 연구 및 대외활동과도 연계되어야 한다. 예를 들면 남극의 공간정보 워킹그룹은 남극과학연구위원회(SCAR:Scientific Committee on Antarctic Research)의 활동과도 연계되어야 한다. SCAR는 국제적으로 남극관련 연구 활동을 주도하고, 조정, 장려하기 위해 1958년 설립된 조직으로, 2021년 현재 45개 회원국(정회원 34개국, 준회원 11개국)으로 구성되어 있으며, 우리나라는 1987년 준회원국으로 가입하여 1990년 정회원국이 되었다. SCAR의 많은 활동 중 남극의 지리정보 관련한 활동을 담당하는 SCAGI(Standing Committee on Antarctic Geographic Information)를 통해 이루어지고 있으며 남극지명색인(Composite Gazetteer of Antarctica: CGA) 관리 역시 SCAGI를 통해 이루어지고 있다. CGA에는 현재 약 20,000건의 지형지물에 대해 약 39,000개 정도의 지명이 24개국으로부터 등록되어 있다.

<표 4-40> CGA에 등록된 국가별 지명 (총 38,996)

| 국가 | 등록 지명 수 | 국가 | 등록 지명 수 |
|-----------|---------|--------------------|---------|
| Argentina | 2,545 | Japan | 345 |
| Australia | 2,562 | Korea, Republic of | 27 |
| Belgium | 117 | New Zealand | 3,457 |
| Bulgaria | 1,540 | Norway | 1,706 |
| Canada | 2 | Poland | 365 |
| Chile | 1,866 | Russia | 4,806 |
| China | 359 | South Africa | 2 |
| Ecuador | 9 | Spain | 35 |
| France | 227 | Ukraine | 1 |
| Germany | 399 | United Kingdom | 5,156 |
| India | 21 | U.S.A. | 13,192 |
| Italy | 53 | Uruguay | 5 |

자료: <https://data.aad.gov.au/aadc/gaz/scar/>

우리나라는 2011년과 2012년 각각 17건과 10건 모두 27건에 달하는 남극지명을 등록하였다. 당시 국토지리정보원의 남극지역 측량 및 지도제작 사업의 목적으로 세종과학기지가 있는 바톤반도 주변의 공간정보를 구축하였고, 세종과학기지 주변 지형의 독특한 특성에 따라 우리나라 지명을 CGA에 등록하였다. 하지만 현재 장보고과학기지 주변의 경우 CGA에 등록된 지명이 전무하여 향후 장보고과학기지 주변의 지명 등록을 위한 노력이 필요한 실정이다. 이러한 점을 고려할 때 남극 지역에 대한 공간정보 구축은 장보고과학기지 주변 지명 등록 등에서 활용협의체와 전문가 그룹을 포함한 워킹그룹과의 유기적인 협력이 요구된다. 뿐만 아니라, 북극 지역에 대한 공간정보 구축 역시 북극 항로 또는 북극 지역 연구활동과 관련된 워킹그룹과의 유기적인 협력이 필요하다.



자료: 저자 작성

<그림 4-53> CGA에 등록된 세종과학기지 주변 27개 지명

<표 4-41> 2011년 CGA에 등록된 세종과학기지 주변 남극지명

| No. | 남극지명(영문명) | 비 고 |
|-----|---------------------------|--|
| 1 | 백두봉 (Baekdu Hill) | 세종과학기지 설립이래 연구원들이 20여 년 동안 사용해 왔으며, 우리나라 최고봉을 상징하는 명칭 |
| 2 | 세종봉 (Sejong Hill) | 세종과학기지에서 보이는 가장 높은 봉우리로서 상징성을 갖고 있으며, 세종과학기지 초기에 사용하던 명칭 |
| 3 | 전재규봉 (Jeonjaegyu Hill) | 세종과학기지에서 조망이 가능한 봉우리로서 고 전재규 대원의 숭고한 정신을 기리는 명칭 |
| 4 | 고구려봉 (Goguryeo Hill) | 정상에 존재한 4봉우리의 형상을 삼국시대에 비유한 명칭 |
| 5 | 백제봉 (Baekje Hill) | 정상에 존재한 4봉우리의 형상을 삼국시대에 비유한 명칭 |
| 6 | 신라봉 (Silla Hill) | 정상에 존재한 4봉우리의 형상을 삼국시대에 비유한 명칭 |

| No. | 남극지명(영문명) | 비 고 |
|-----|---------------------------|--|
| 7 | 발해봉 (Balhae Hill) | 삼국시대 통일 국가인 신라와 같은 시기에 번성했던 나라이며 한반도의 활동영역과 한민족의 정서를 고려한 명칭 |
| 8 | 아리랑봉 (Arirang Hill) | 아리랑의 민족인 우리 대한민국의 남극탐구를 향한 꿈과 희망을 비유한 명칭, 국민제안 반영 |
| 9 | 가야봉 (Kaya Hill) | 병풍처럼 펼쳐진 형상을 강력한 연맹국가인 가야국에 비유한 명칭이며 발음하기 좋음, 국민제안 반영 |
| 10 | 나비봉 (Nabi Hill) | 봉우리 주변에 대한 등고선 형상이 나비모양인 것에 비유한 명칭 |
| 11 | 화석봉 (Hwaseok Hill) | 신생대 시대의 여러 식물 화석이 발견되었다는데서 유래한 명칭 |
| 12 | 세종곶 (Sejong Cape) | 10년 이상 관용적으로 사용하고 있으며, 세종과학기지의 상징성을 갖는 명칭 |
| 13 | 춧대암 (Chotdae Point) | 바위가 마치 춧대 형상이라 하여 관용적으로 사용하고 있는 명칭, 지형 분류상 “암”으로 함 |
| 14 | 아라온곡 (Araon Valley) | 빙하를 해치고 나아가는 쇄빙선 아라온호에서 따온 것으로, 빙하로 된 곡을 해치고 나아가라는 의도가 반영된 명칭, 국민지명제안 반영 |
| 15 | 해운대해빈 (Haeundae Beach) | 바톤반도의 남쪽에 위치한 해빈으로서 이를 우리나라의 남쪽에 위치한 해운대에 비유한 명칭 |
| 16 | 나래절벽 (Narae Cliff) | 병풍처럼 활짝 펼쳐진 나래(=날개)같은 절벽에 비유한 명칭, 국민제안 반영 |
| 17 | 대왕여(碕) (Daewang rock) | 세종과학기지 앞에 있는 암초로 조석간만의 차이에 따라 보이며, 세종과학기지 연구원들이 사용하는 명칭 |

자료: 저자 작성

<표 4-42> 2012년 CGA에 등록된 세종과학기지 주변 남극지명

| No | 남극지명(영문명) | 비 고 |
|----|-----------------------------|---|
| 1 | 세석평원 (Seseok Flat) | 바톤반도의 백제봉, 신라봉, 발해봉, 아라랑봉으로 둘러싸인 넓은 고위평탄면으로 지리산의 세석평전을 떠올릴 수 있는 형상을 이루고 있다. |
| 2 | 아우라지계곡 (Auraji Valley) | 두 갈래의 얇은 계곡이 만나 해안가로 내려오는 형태가 마치 강원도 정선군의 '아우라지'를 닮았다. '아우라지'는 두 갈래의 물줄기가 만나는 곳을 말한다. |
| 3 | 부리곶 (Buri Cape) | 세종과학기지에서 조망이 가능한 지역으로 뾰족한 모양의 지형으로 마치 새의 부리모양을 닮았다. |
| 4 | 미리내 빙하 (Mirinae Glacier) | 반톤반도와 위버반도사이에 밤하늘을 수놓은 은하수처럼 다양한 모양과 빛을 가지는 빙하가 펼쳐져있다. '미리내'는 은하수의 순우리말이다. |
| 5 | 마포항 (Mapo Harbour) | 마리안 소만에서 위버반도에 접하는 작은 포구로 서울의 마포항에서 이름을 따왔다. |
| 6 | 반달곶 (Bandal Cape) | 해안저지로서 반달 모양의 형상을 이루고 있다. |
| 7 | 인수봉 (Insubong Hill) | 북한산의 인수봉을 따온 것으로 세종과학기지대원들이 이미 이 봉우리를 '인수봉'으로 부르고 있다. |
| 8 | 우이동 계곡 (Uidong Valley) | 인수봉에서 해안으로 계곡이 위치하므로 북한산의 계곡 이름을 따왔다. |
| 9 | 삼각봉 (Samgak Peak) | 산의 모양이 삼각뿔의 모양을 하고 있다. |
| 10 | 울산바위봉 (Ulsanbawi Peak) | 봉우리의 형태와 능선이 설악산의 울산바위와 유사하다. |

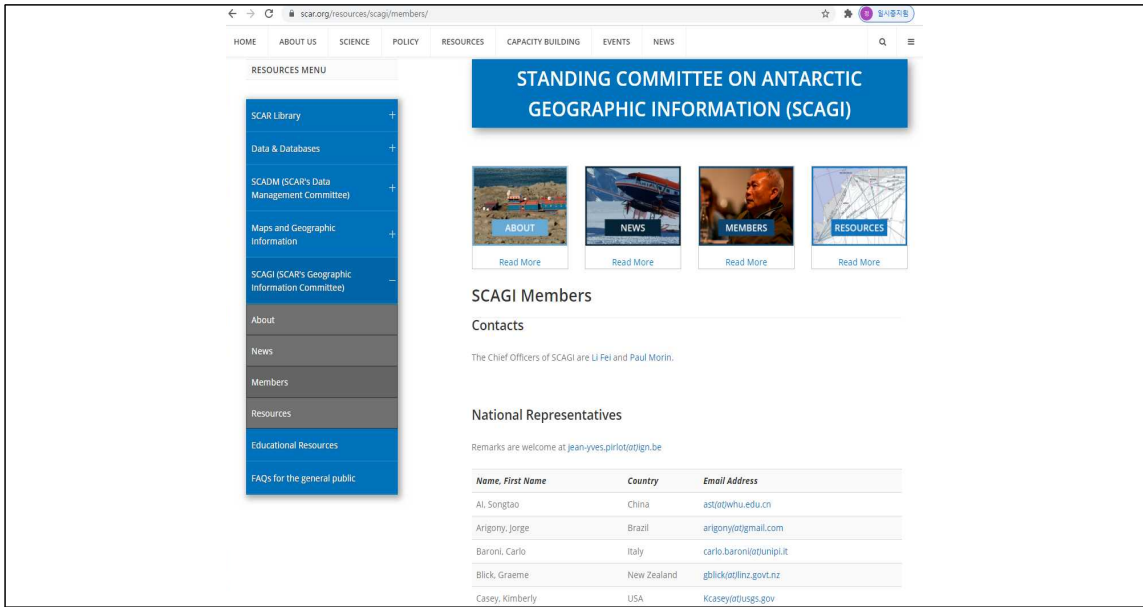
자료: 저자 작성

3) 학술활동 등을 통한 수요조사

지속가능한 수요조사를 위해서는 구축된 극지역 공간정보에 대한 홍보를 통하여 사용자 그룹을 확대하고, 이로부터 다양한 피드백을 받는 것이 중요하다. 따라서, 다양한 국내·외 학술대회에 참여하여, 국토지리정보원의 극지역 공간정보 구축관련 결과물들을 적극적으로 홍보하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 또한, 현재시점에서 극지역 관련 연구자들 및 연구단체들이 국토지리정보원의 극지역 공간정보 구축 현황 등을 명확히 인식하지 못하고 있는 것도 사실이다. 따라서, 우선적으로는

해양수산부 산하 극지정보포털서비스 등을 통하여 국토지리정보원에서 구축한 다양한 극지역 공간정보들의 현황과 정보취득 방법들을 홍보하는 것이 필요하다. 이러한 홍보를 기반으로 하여 학술 대회 부스 참여 및 발표 등으로 수요조사 창구를 확대하는 것이 효과적일 것이다.

또한, 장기적으로는 국외의 극지역 관련 연구단체 및 국가에도 국토지리정보원에서 구축한 극지역 공간정보를 홍보하는 것이 필요하다. 이를 위하여 SCAR의 남극 지리정보 상임위원회 (STANDING COMMITTEE ON ANTARCTIC GEOGRAPHIC INFORMATION; SCAGI)에 적극적으로 참여하여 국내의 극지역 공간정보 구축 현황을 알리고, 위원회 활동을 통하여 국외의 관심대상지역을 파악하는 것이 필요하다. SCAGI는 2006년에 설립되었으며, 남극 대륙의 지명, 공간정보 데이터베이스, 지도 카탈로그, 항공 운행을 위한 계획지도 등에 대한 연구, 운영, 개발 등을 목적으로 하고 있다. SCAGI는 남극 대륙에 대한 다양한 학문적 결과들을 자유롭게 교환할 수 있도록 하여 제한없는 데이터 접속을 지원하고 있다. SCAGI는 특히, 매년 회의를 개최하고 있으며, 국내에서도 2명의 위원회 위원이 포함되어 있다. 따라서, SCAGI를 통하여 국토지리정보원에서 구축한 극지역 공간정보를 적극적으로 홍보하여 장기적으로는 SCAGI에서 배포하는 공간정보 데이터베이스에 국토지리정보원의 공간정보가 포함될 수 있도록 홍보할 필요성이 있으며, 이를 위하여 매년 개최되는 회의에 국내 위원들의 활동을 지원해야 할 것이다. 또한, 장기적으로는 국토지리정보원의 극지역 공간정보 담당 부서에서 직접 SCAGI 활동을 하는 것도 이상적이다.



자료: <https://www.scar.org/resources/scagi/members/>

<그림 4-54> SCAR의 SCAGI member

다. 시사점

극지역 공간정보의 지속 가능한 수요조사를 위해서는 극지역 공간정보 관련 활용협의체(안) 및 워킹그룹 등을 국토지리정보원 주도로 구성하여 운영해야 한다. 극지역 공간정보를 사용하는 수요기관은 상대적으로 제한적이기 때문에, 수요기관의 요청사항 및 수요조사를 효과적으로 수행하고, 이를 환류할 수 있는 체계가 마련되어야 한다. 이를 통하여, 국토위성의 활용성 강화와 함께, 향후 극지역 관련 정책 및 기본계획에 국토지리정보원의 역할이 정의되는 기회를 마련할 수 있을 것이다. 또한, 국외 극지역 공간정보 관련 위원회 등에 국토지리정보원이 참여하여 국내 극지역 공간정보 구축 결과를 홍보하는 것도 국내·외 극지역 공간정보 구축 결과를 홍보하고, 수요조사를 진행하는 데에도 도움이 될 수 있을 것이다.

제5장

위성영상 기반 공간정보 구축 제도 정비

-
1. 개요
 2. 위성영상 기반 공간정보 구축 작업 매뉴얼
 3. 일반지역과 극지역 업무량 비교분석을 통한 공정별 비용 산정
 4. 현지조사가 불가능한 지역의 공간정보 구축성과 품질관리 방안

1. 개요

위성영상을 이용하여 국내외 공간정보를 구축하고 이용하는 사례는 계속 증가하고 있다. 특히 국토위성을 활용하여 공간정보를 구축하는 작업도 빈번할 것으로 여겨진다. 일반적인 위성영상 처리 매뉴얼은 다양하게 국내외에서 공개되어 있지만, 고품질의 국가 기본도를 구축하기 위한 매뉴얼은 찾아보기 어렵다. 국내의 경우 위성영상을 이용한 공간정보 구축 규정이 국토지리정보원 일부 규정에 포함되어 있지만, 그 규정은 국외 환경을 가정하여 포괄적으로 내용을 포함하고 있지는 않다. 따라서 본 장에서는 다음과 같이 위성영상 기반 공간정보 구축 매뉴얼, 품질관리 등을 통하여 구축 제도를 정비하고자 한다.

첫째, 위성영상 기반 공간정보 구축작업 매뉴얼을 생성한다. 국토지리정보원의 공간정보 구축 관련 규정으로 항공사진측량 작업규정, 항공레이저측량 작업규정, 수치지도 작성 작업 규칙, 영상 지도제작에 관한 작업 규정 등이 있다. 접근불능지역 관련 공간정보 구축 사례도 진행되었다. 기존 작업 규정과 사례, 최신 위성영상 처리 기술 등을 분석하여, 극지역을 포함하여 위성영상 기반의 공간정보를 체계적으로 구축할 수 있도록 매뉴얼을 생성한다. 위성영상을 이용한 공간정보 제작 매뉴얼은 위성영상 기반 공간정보 제작의 작업 방법 및 기준을 설명하여 성과품의 일관성과 정확성을 확보에 기여할 수 있다.

둘째, 일반지역과 극지역 업무량 비교분석을 통한 공정별 비용을 산정한다. 품셈은 1/5,000 및 1/25,000 축척 지형도에 관해 국내 품셈과 극지역의 공정별 작업시간을 비교하였으며, 극지역의 특수성을 고려하여 적설 지역과 비 적설 지역 여부에 따라 품셈 차이를 분석한다. 정확한 품셈은 예산 효율성을 높이고, 작업의 공정성을 유도할 수 있다.

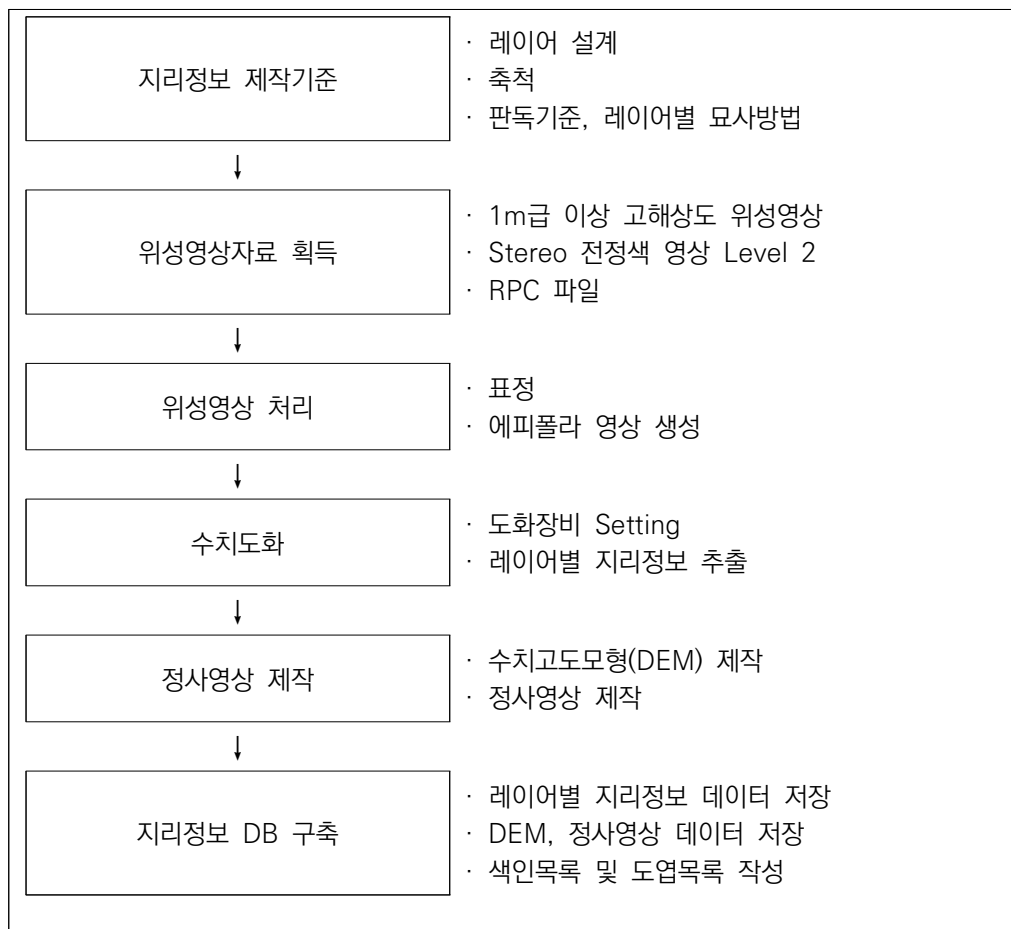
셋째, 현지 조사가 불가능한 지역의 공간정보 구축성과 품질관리 방안을 마련한다. 기존 국토지리정보원 및 타 기관들의 품질 평가 방법을 분석하고, 접근불능지역의 공간정보 구축 사례 등을 통하여 품질 개선 방안을 제시한다.

2. 위성영상 기반 공간정보 구축 작업 매뉴얼

가. 매뉴얼 사례 분석

1) 접근불능지역의 지리정보 구축방법 연구(2004)

실험 연구를 통하여 접근불능지역의 지리정보 구축 방법을 정립하였다. 위성영상은 1/10,000 축척의 지리정보 판독이 가능하고, 지상기준점 없이 3차원 위치정보를 얻을 수 있는 IKONOS 영상을 이용하여 실험하였다. <그림 5-1>은 실험에 사용한 지리정보 구축방법이다.



자료: 접근불능지역의 지리정보 구축방법 연구, 2004

<그림 5-1> 북한지역 지리정보 구축방법

북한지역 지리정보 구축지침(안)

제 1 장 총 칙

1조(목적) 이 지침은 북한지역에 대하여 인공위성영상자료를 이용하여 1/10,000 축척의 지리정보 구축을 위하여 필요한 작업절차와 작업방법 등에 대한 사항을 정함을 목적으로 한다.

제2조(정의) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

1. “영상”이라 함은 항공사진측량용 카메라 및 인공위성에 탑재된 감지기로부터 취득된 지형지물 등 대상물에 대한 항공사진 및 위성영상(수치화된 영상을 포함한다. 이하 같다)을 말한다.
2. “수치해석도화기”라 함은 중첩되는 한 쌍의 항공사진 또는 위성영상을 수학적인 모형으로 간주하여 편위와 오차를 제거하여 도화하는 장비를 말한다.
3. “레이어”라 함은 하나의 물체가 여러 개의 논리적인 객체들로 구성되어 있는 경우 각각의 객체를 말한다.
4. “정사영상”이라 함은 중심투영에 의하여 취득된 영상의 지형 지물 등에 대한 정사편위수정을 실시한 영상을 말한다.
5. “영상처리”라 함은 영상의 분석 및 판독을 위한 일련의 영상조정작업을 말한다.

제3조(적용범위) 이 지침은 IKONOS 위성영상과 Socet Set수치도화 장비를 이용하여 북한지역의 지리정보를 구축하는데 한하여 적용한다.

제4조(좌표계) 좌표계는 다음과 같다.

1. 좌표를 전개할 때 사용되는 지구의 형상 및 크기는 GRS80 타원체의 값을 사용한다.
2. 좌표의 전개는 평면직각좌표계에 의한 횡단메르카토르(TM) 도법으로 하며, 원점 축척계수는 0.9996, 좌표의 단위는 m로 한다.
3. 평면직각좌표계의 원점은 서부(38°, 125), 중부(38°, 127), 동부(38°, 129), 극동부(38°, 131)를 원점으로 한다.
4. 평면직각좌표계의 X축은 좌표원점을 지나는 자오선에 일치하는 축으로 하며, 북의 방향을(+)부호로 한다. 좌표계의 Y축은 좌표원점에 있어서 좌표계의 X축에 대하여 직교하는 축으로 하며 동의 방향을 (-) 부호로 한다.
5. 투영원점의 가산 값은 (0m, 500,000m)로 한다.

제5조(자료형식) 자료형식은 최종성과품과 유통을 위한 형식으로써 위성영상의 경우 GeoTIFF포맷, 지리정보의 경우 DXF포맷으로 한다.

제6조(대상지역 및 제작범위) 위성영상을 이용한 북한지역의 지리정보 구축은 다음과 같은 범위에서 수행한다.

- ① 대상지역은 북한의 도시지역을 대상으로 한다.
- ② 축척은 1/10,000으로 한다.

제7조(제작절차) 북한지역 지리정보 구축을 위한 공정별 작업은 다음 순서에 따른다.

1. 작업계획 및 준비
2. 위성자료 획득
3. 위성자료 전처리

...

2) 접근불능지역 공간정보 통합체계 ISP 수립 연구 (2011)

접근불능지역 공간정보 통합체계 구축을 위해 1/5,000 축척의 공간정보를 구축하고, 공간정보 구축과정에서 필요한 “접근불능지역 공간정보 구축 작업규정(안)”을 개발하였다. 이전 북한지역 지리정보 작업규정을 수정·발전시킨 것으로 보인다.

접근불능지역 공간정보구축 작업규정(안)

제1장 총칙

제1조(목적) 이 규정은 접근불능지역 기본공간정보 구축을 위한 작업방법 및 기준 등을 정하여 성과의 규격을 통일하고 품질을 확보함을 그 목적으로 한다.

제2조(용어의 정의) 이 규정에서 사용하는 용어의 정의는 다음 각 호와 같다.

1. “접근불능지역”이란 군사분계선 이북지역으로 물리적으로 접근할 수 없는 지역을 말한다.
2. “접근불능지역 공간정보”란 접근불능지역에 대한 공간정보로서, 기본공간정보와 주제공간정보를 포함한다.
2. “접근불능지역 기본공간정보”란 접근불능지역 공간정보를 구축하는데 필요한 핵심정보로서, 국가공간정보에 관한 법률 시행령 제15조에 명시한 공간정보를 포함한다.
3. “접근불능지역 기본공간정보 항목”이라 함은 지형지물 특성에 따라 구분되는 데이터를 말한다.
4. “작업규정”이란 접근불능지역 공간정보 생산에 필요한 사항을 정의한 규정을 말한다.

제3조(적용범위) 이 규정은 접근불능 공간정보의 구축에 적용한다. 다만, 이 지침에 없거나 별도의 지침이 있는 경우는 예외로 할 수 있다.

제4조(위치의 기준) ① 접근불능지역 공간정보의 위치기준은 측량법 제 5조 및 같은법시행령 제2조의 4의 규정을 준용하며, 기본공간정보의 효율적 구축 및 활용을 위하여 단일 평면직각좌표계를 적용한다.

② 단일평면직각좌표계의 원점과 투영방법은 “기본지리정보 구축작업지침” 제9조(단일평면직각좌표좌표의 원점 등)를 적용한다.

제5조(제작범위) 접근불능지역의 공간정보는 인공위성을 이용하여 1/5,000 축척으로 구축한다.

제6조(자료 형식) 접근불능지역 공간정보의 자료형식은 다음 각 호와 같다.

1. 접근불능지역 기본공간정보의 데이터 교환형식은 NGI 형식을 원칙으로 한다.
2. 정사영상의 데이터 교환형식은 GeoTIFF 포맷을 사용하는 것을 원칙으로 한다.
3. 그 밖의 국토지리원장이 필요하다고 인정하는 경우 다른 교환형식을 적용할 수 있다.

제7조(접근불능지역 공간정보 구축순서) 구축기관은 접근불능지역 공간정보는 다음 각 호의 순서에 따라 구축하는 것을 원칙으로 한다.

1. 작업계획 및 준비
2. 위성자료 획득
3. 3차원 모델링
4. 수치도화
5. 정위치 편집
6. 구조화 편집

나. 공간정보 구축 규정 및 규칙 분석

수치지도작성작업규칙, 영상지도제작에 관한 작업규정, 항공레이저측량작업규정, 항공사진측량작업규정, 3차원 국토공간정보구축 작업규정 등을 분석하였다. 각각 수치지형도, 영상지도, DEM과 관련이 있으며, 축척을 고려하여 공통으로 적용할 수 있는 항목은 기존 규정 및 규칙을 활용할 필요가 있다.

1) 영상지도제작에 관한 작업규정

항공사진 및 인공위성영상 등을 이용하여 수치정사 영상지도 제작을 위한 작업방법 및 기준 등을 정의하고 있다. 아래와 같이 영상지도 제작 방법을 설명하고 있다.

영상지도제작에 관한 작업규정

[시행 2019. 7. 1.] [국토지리정보원고시 제2019-147호, 2019. 5. 23., 일부개정]

제3장 정사영상지도제작

제1절 작업계획

제14조(공종별 작업순서) 영상지도제작을 위한 공정별 작업순서는 다음 각 호와 같다. 다만 작업공종 중 활용이 가능한 성과 또는 자료가 있을 경우에는 작업의 공종 일부를 변경하거나 생략할 수 있다.

1. 작업계획의 수립
2. 자료수집(수치영상자료, 기준점성과, 수치지도)
3. 지상기준점의 선점 및 외부표정요소
4. 수치표고자료의 제작
5. 정사영상제작
6. 영상지도의 편집
7. 정리점검

제2절 정사영상제작

제17조(작업방법) 정사영상제작은 다음 각 호와 같이 작업을 실시하여야 한다.

1. 정사영상제작에 사용될 초기영상의 **지형지물 상태와 수치표고자료**의 일치성 여부를 검토하여야 한다.
2. 정사영상은 모델별 인접지역과 밝기값의 차이가 나지 않도록 제작되어야 한다.
3. 정사영상의 **정확도 확보에 필요한 최적의 작업방법으로 정사보정을 실시**하여야 한다.

제18조(자료의 점검) 작업지역에 필요한 수치영상과 수치지도 등 기타 자료를 확보하여 다음의 각 호와 같이 이상(異相) 유무를 점검하여야 한다.

영상지도제작에 관한 작업규정은 항공사진 및 인공위성영상 등을 이용하여 수치지도, 정사영상, DEM에 관한 내용을 담고 있지만, 영상지도 제작을 주로 규정하고 있다. 따라서 영상지도제작에 관한 작업규정을 기반으로 하여 DEM, 수치지도 작성 관련 내용을 추가하여 위성영상 지도제작에 관한 매뉴얼로 도출하고자 한다.

<표 5-1> 영상지도제작에 관한 작업규정 분석

| 영상지도제작 규정 | 시사점 |
|---|---|
| 제1장 총칙 제2조(정의) 이 규정에서 사용하는 용어의 정의는 다음 각 호와 같다. 1. "영상"이라 함은 항공사진측량용 카메라 및 인공위성에 탑재된 감지기로부터 취득된 지형지물 등 대상물에 대한 항공사진 및 위성영상(수치화된 영상을 포함한다. 이하 같다)를 말한다. | · 기준점, 접근제한, 접근불능 등에 대한 용어 정의 추가 |
| 제2장 항공사진 자동독취 | · 위성영상 취득 및 영상품질을 통한 선별 관련 내용을 보강 |
| 제3장 정사영상지도제작 제21조(지상기준점의 선정) 제22조(표정) 제23조(정사편위수정) | · 지상기준점 선정 내용 보강 · 위성영상 표정 내용 보강 · 정사편위보정식 보강 |
| 자료: 저자 작성 | |

<표 5-2> 항공사진측량에 관한 작업규정 분석

| 항공사진측량 규정 | 시사점 |
|---|--------------------------------|
| 제26조(재촬영 요인의 판정기준) 5. 구름이 사진에 나타날 때 6. 적설 또는 홍수로 인하여 지형을 구별할 수 없어 도화가 불가능하다고 판정될 때 이하 관련 항목들 | · 위성영상 선정시에 기준 활용 |
| 제4장 지상기준점측량 | · 지상기준점을 활용하는 경우 기준점 측량 규정을 활용 |
| 제5장 항공삼각측량 | · 위성영상 표정시에 오차 등 관련 규정을 활용함 |
| 제6장 세부도화 | · 도화 관련 규정을 활용함 |
| 자료: 저자 작성 | |

<표 5-3> 공간정보 구축 규정 및 규칙 구성

| 수치지도작성 작업규칙 | 영상지도제작에 관한 작업규정 | 항공레이저측량 작업규정 | 항공사진측량 작업규정 | 3차원국토공간정보구축 작업규정 |
|-----------------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 제1조(목적) | 제1장 총 칙 | 제1장 총 칙 | 제1장 총 칙 | 제1장 총칙 |
| 제2조(정의) | 제1조(목적) | 제1조(목적) | 제1조(목적) | 1조 목적 |
| 제3조(적용 범위) | 제2조(정의) | 제2조(용어의 정의) | 제2조(용어의 정의) | 2조 용어의 정의 |
| 제4조(좌표계 및 좌표의 기준) | 제3조(적용범위) | 제3조(적용기준) | 제3조(적용) | 3조 적용기준 |
| 제5조(도엽코 드 및 도곽의 크기) | 제2장 항공사진 자동독취 | 제4조(항공레이저측 량의 기준) | 제4조(위치의 기준) | 4조 위치기준 |
| 제6조(수치지 도의 작성 순서) | 제1절 작업계획 | 제5조(사용장비의 성능기준 등) | 제5조(투영방법) | 5조 표준데이터셋 |
| 제7조(작업계 획의 수립) | 제4조(공종별 작업순서) | 제6조(작업순서) | 제6조(도엽코드 및 도곽의 크기) | 6조 세밀도 |
| 제8조(자료의 취득) | 제5조(작업계획서) | 제7조(작업시행계획 서 작성) | 제2장 대공표지 | 7조 사용장비 및 소프트웨어 |
| 제9조(지형공 간정보의 표현) | 제2절 작업방법 | 제2장 항공레이저측량 | 제7조(재료) | 8조 데이터 형식 |
| 제10조(품질검 사) | 제6조(작업방법) | 제8조(계획수립) | 제8조(형상 및 크기) | 9조 작업순서 |
| 제11조(메타데 이터의 작성) | 제7조(사용장비) | 제9조(GNSS 기준국 설치) | 제9조(설치방법) | 제2장 3차원 |
| 제12조(수치지 도 작성의 세부 기준) | 제8조(최적해상도) | 제10조(항공레이저 측량) | 제10조(설치시기 및 관리) | 국토공간정보 구축방법 |
| 제13조(수치지 도성과의 보관) | 제3절 품질관리 | 제11조(수치영상자 료의 취득) | 제11조(확인) | 제1절 작업계획 및 점검 |
| | 제9조(영상오류 수정) | 제12조(수치영상자 료의 점검) | 제12조(성과) | 10조 작업시행계획서 작성 |
| | 제10조(저장 및 보관) | 제13조(전처리) | 제3장 항공사진촬영 | 제11조(점검) |
| | 제4절 정리점검 및 성과품 | 제14조(결측 확인) | 제13조(항공사진의 측척) | 제2절 기초자료 취득 및 편집 |
| | 제11조(관리파일 작성) | 제15조(점밀도 확인) | 제14조(항공기) | 제12조(기초자료 취득) |
| | 제12조(파일명) | 제16조(점검 및 기록) | 제15조(항공사진측량용 카메라) | 제13조(기초자료 편집) |
| | 제13조(성과품) | 제17조(재측량 요인의 판정기준) | 제16조(항공사진필름 및 영상) | 제3절 3차원 |
| | 제3장 정사영상지도제작 | 제3장 기준점측량 | 제17조(GNSS/INS) | 국토공간정보 제작 |
| | 제1절 작업계획 | 제18조(기준점측량) | 제18조(검정장) | 제14조(3차원 |
| | 제14조(공종별 작업순서) | 제19조(기준점 및 검사점 개수 및 배치) | 제19조(검정) | 국토공간정보 제작기준) |
| | 제15조(작업계획서) | 제20조(기준점측량 결과의 작성) | 제20조(항공사진의 중복도) | 제15조(3차원 |
| | 제16조(자료의 형식) | 제4장 원시자료의 점검 및 조정 | 제21조(촬영방향) | 교통데이터 제작방법) |
| | 제2절 정사영상제작 | 제21조(원시자료의 기록) | 제22조(촬영계획서 제출) | 제16조(3차원 |
| | 제17조(작업방법) | 제22조(원시자료의 점검 및 조정) | 제23조(촬영비행조건) | 건물데이터 제작방법) |
| | 제18조(자료의 점검) | | 제24조(사진 및 영상촬영) | 제17조(3차원 |
| | 제19조(영상의 평가) | | 제25조(재촬영여부의 판정자료) | 수자원데이터 제작방법) |
| | 제20조(수치표고 자료) | | 제26조(재촬영 요인의 판정기준) | 제18조(3차원 |
| | 제21조(자상기준점 의 선점) | | 제27조(재촬영 방법) | 지형데이터 편집방법) |
| | 제22조(표정) | | 제28조(촬영필름) | 제4절 가시화정보 제작 |
| | | | | 제19조(가시화정보 편집) |
| | | | | 제20조(가시화정보 제작방법) |
| | | | | 제21조(가시화정보 지상표본거리) |
| | | | | 제3장 품질관리 |

| 수치지도작성 작업규칙 | 영상지도제작에 관한 작업규정 | 항공레이저측량 작업규정 | 항공사진측량 작업규정 | 3차원국토공간정보구축 작업규정 |
|----------------|---|--|--|---|
| | 제23조(정사편위수정) 제24조(영상집성) 제25조(영상융합) 제26조(보안지역 처리) 제3절 영상지도제작 제27조(작업방법) 제28조(수치지도 레이어 추출) 제29조(주기의 형식) 제30조(영상지도의 편집) 제31조(도면구성 및 난외주기 편집) 제4절 품질관리 제32조(품질관리) 제33조(지상기준점) 제34조(수치표고자료) 제35조(정사영상제작) 제36조(영상지도) 제5절 정리점검 및 성과품 제37조(관리파일 작성) 제38조(파일명) 제39조(성과품) 제40조(재검토기한) | 제23조(코스검사점 선정, 개수 및 배치) 제24조(코스검사점을 이용한 점검) 제25조(기준점을 이용한 점검 및 조정) 제26조(검사점을 이용한 정확도 검증) 제27조(검사결과의 작성) 제5장 수치표면자료의 제작 제28조(수치표면자료의 제작) 제29조(정표고 변환) 제30조(수치표면자료의 기록) 제6장 수치지면자료의 제작 제31조(수치지면자료의 제작) 제32조(수치지면자료의 점검 및 수정) 제33조(인접처리) 제34조(인접접합점 선정, 개수 및 배치) 제35조(인접접합점을 이용한 점검 및 조정) 제36조(수치지면자료의 기록) 제37조(검사결과의 작성) 제7장 불규칙 삼각망자료의 제작 제38조(불규칙삼각망자료의 제작) 제39조(불규칙삼각망자료의 정확도 점검) 제40조(불규칙삼각망자료의 오류확인 및 수정) | 제29조(밀착인화 및 출력) 제30조(GNSS/INS데이터의 처리) 제31조(INS좌표축 보정값 산출) 제32조(사진 및 영상의 외부표정요소 계산) 제33조(성과제출) 제4장 지상기준점측량 제34조(계획) 제35조(계획서제출) 제36조(측량의 구분) 제37조(선점) 제38조(관측망의 구성) 제39조(작업방법 및 관측) 제40조(편심요소의 측정) 제41조(계산) 제42조(평면기준점 오차의 한계) 제43조(수준망의 구성) 제44조(관측) 제45조(계산) 제46조(표고기준점 오차의 한계) 제47조(정리) 제48조(점검) 제5장 항공삼각측량 제49조(계획서 제출) 제50조(프로그램) 제51조(연결점의 선점) 제52조(결합점의 선점) 제53조(점각 등) 제54조(표정도 작성) 제55조(관측) 제56조(조정계산 및 오차의 한계) 제57조(정리) 제58조(점검) 제59조(기준점 메타데이터) | 제22조(품질관리 범위) 제23조(품질요소) 제24조(검사방법) 제25조(화면검사) 제26조(현장검사) 제27조(품질관리표 작성) 제4장 정리점검 및 성과품 제28조(메타데이터 작성) 제29조(성과품) 제30조(재검토기한) |

| 수치지도작성 작업규칙 | 영상지도제작에 관한 작업규정 | 항공레이저측량 작업규정 | 항공사진측량 작업규정 | 3차원국토공간정보구축 작업규정 |
|----------------|--------------------|---|---|---------------------|
| | | 제41조(검사결과의 작성) 제8장 수치표고 모델의 제작 제42조(DEM의 제작) 제43조(격자자료의 제작) 제44조(DEM 규격 및 정확도) 제45조(DEM의 정확도 점검) 제46조(DEM 오류 확인 및 수정) 제47조(음영기복도 제작) 제48조(DEM의 기록) 제49조(검사결과의 작성) 제10장 성과정리 및 납품 제50조(성과정리 및 성과품) 제51조(재검토기한) | 제6장 세부도화 제60조(계획서 제출) 제61조(사용도화기) 제62조(도화촉척) 제63조(도화데이터의 저장매체) 제64조(기준점입력) 제65조(표정) 제66조(도화파일의 기호) 제67조(묘사) 제68조(수정도화) 제69조(정리점검) 제70조(도화데이터의 저장매체) 제71조(가편집) 제72조(재검토기한) | |

자료: 저자 작성

2) 국토지리정보원 매뉴얼 사례 조사

정밀도로지도 품질검사 관련 표준화된 업무처리로 업무 효율화 도모 및 성과 일관성을 확보하기 위하여 국토지리정보원에서는 자율주행차 상용화 지원 등의 핵심 인프라인 정밀도로지도 구축 성과에 대한 품질검사 매뉴얼(2020년 4월)을 작성하였다. 매뉴얼에는 정밀도로지도 품질검사 항목별 검사방법, 검사범위, 판정기준 및 오류사례집 등이 포함되어 있다. 한편 공간영상과에서는 ‘정밀도로지도 제작 매뉴얼(2020년 12월 개정안)도 제공하고 있다.

국토지리정보원 국토조사과에서는 다양한 포맷의 공간정보 데이터를 조회하고 활용할 수 있는 ‘지리OneView’(공간정보 활용도구) 프로그램과 매뉴얼을 제공하고 있다.

국토지리정보원 지리정보과에서는 2006년 기본지리정보 업무매뉴얼을 작성하여, 다양한 사용자가 기본지리정보 구축에 활용할 수 있는 업무처리 절차를 제시하였다. 2015년 공간정보 활용 활성화를 위한 사용자 매뉴얼을 작성하여 온맵의 활용성을 높이고자 하였다.

다. 구축 매뉴얼 현황 분석

1) 일본 국립지리원 극지 지도제작

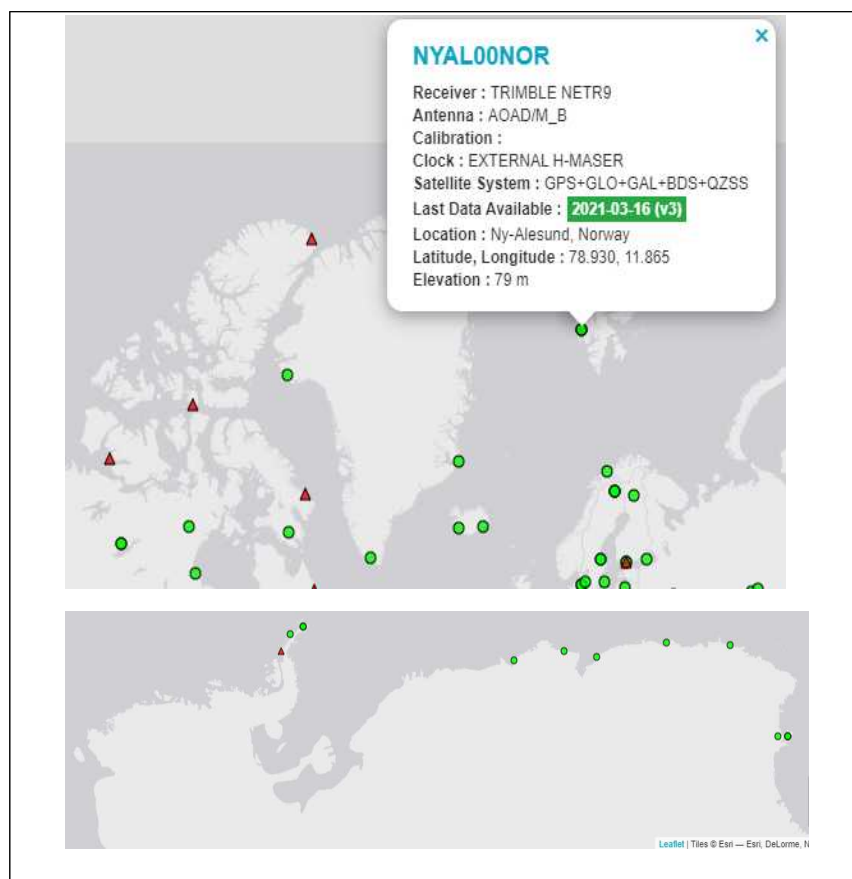
일본 국립지리원 (GSI, Geospatial Information Authority of Japan)은 일본의 기본 측량 및 지도화 사업을 수행하는 국가기관이다. 1956년 이래로 지속적으로 남극지리정보 (<https://www.gsi.go.jp/antarctic/index.html>)를 확대, 갱신하고 있다. 남극지리정보를 위하여 위성영상을 활용하고 있지만, 소축척인 1:25만 축척의 영상지도를 서비스하기 위하여 이용되고 있고, 고해상 공간정보는 항공사진을 이용하여 작성한 것으로 보인다. 극지정보 제공 기관으로 NiPR (National Institute of Polar Research, nipr.ac.jp/english/), JARE (Japanese Antarctic Research Expedition), SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research) 등이 제시되어 있다.

다음은 국립지리원 홈페이지에 게시된 남극지리정보 목록이다.

- ① 벡터지형도 : 1:2,500, 1:25,000, 1:50,000 축척
- ② 정사영상 : 1:2,500 축척의 컬러 항공사진을 이용하여 제작
- ③ DEM : 2006~2011년에 촬영된 ALOS(Advanced Land Observation Satellite) 위성영상을 이용하였으며, 동경 21 ~ 45도, 남위 73도 해안과 산악지역에 초점을 두고

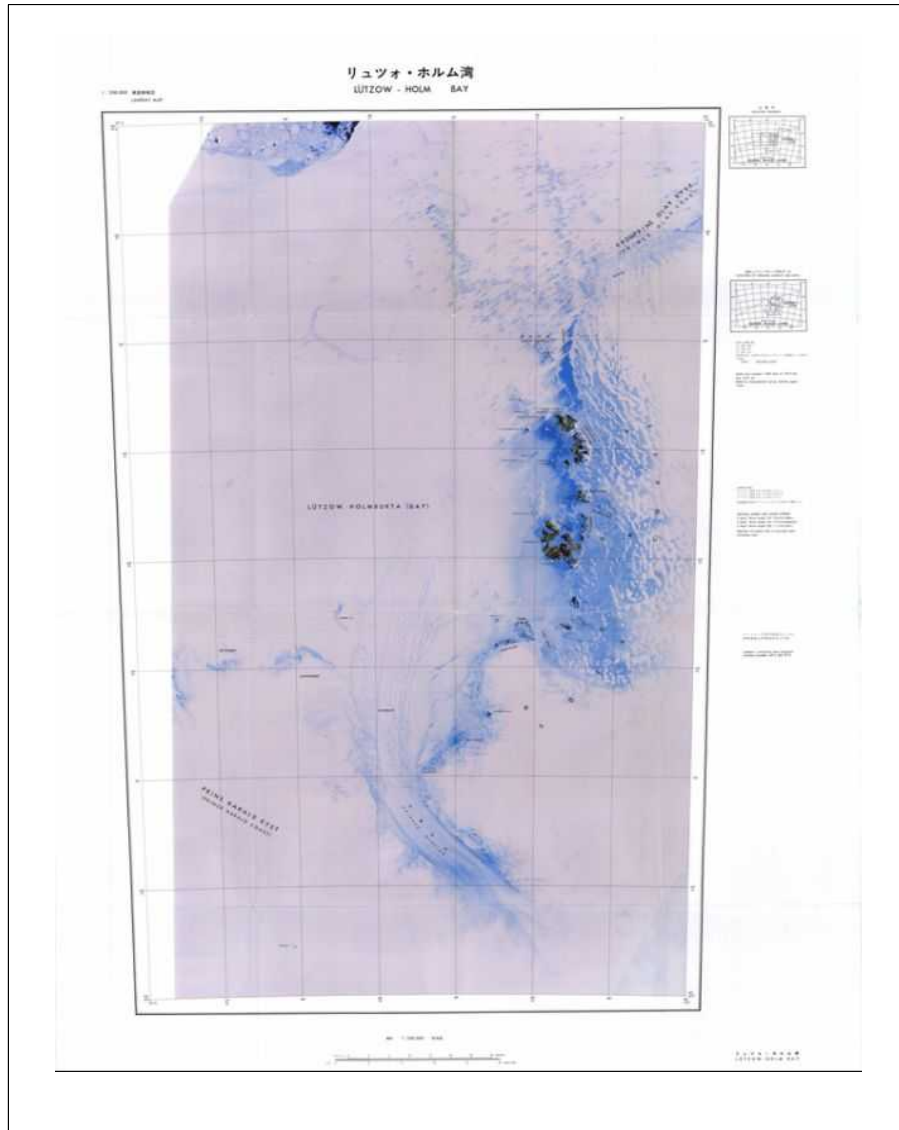
제작

- ④ 기준점 : GNSS 상대 위치 결정을 위한 Syowa 기지(SYOG)에 IGS station을 설치함
- ⑤ 레벨링 : 레벨링은 기준점의 표고 결정에 이용하며, East Ongul 섬과 West Ongul 섬에 설치되어 수준 노선을 형성함
- ⑥ 기타 중력 측정, 지자기 측정, 연속 GNSS(GPS) 관측, 빙하이동 모니터링 등이 이루어지고 있음



자료: <https://www.igs.org/network/>

<그림 5-2> 북극과 남극 주변 지역 IGS 위치



자료: <https://www.gsi.go.jp/antarctic/04.html>

<그림 5-3> 일본 국립지리원의 1/250,000 남극 "류초 홀름만" 위성영상지도

2) 미국 USGS 극지 지도제작

미국지질조사국(U.S. Geological Survey)에 의해 발행된 남극의 지도는 'East View Geospatial'(<https://geospatial.com/>)에서 이용할 수 있다. USGS의 'United States Antarctic Resource Centre' (USARC, <http://usarc.usgs.gov/>)와 'USA Polar Geospatial Center' (<http://www.pgc.umn.edu/maps/antarctic>)에서는 남극 관련 공간자료를 제공하고 있다. 미국 남극 자원 센터 (USARC)는 남극지도, 차트(charts), 측지 기준점, 위성영상, 항공사진,

출판물, 슬라이드, 비디오테이프 등을 보관하고 있다. 남극 대륙의 위성영상 지도, Landsat TM 및 SPOT 영상에서 주로 생성된 1/25,000, 1/50,000, 1/100,000, 1/250,000 축척의 자료를 사용할 수 있다.

미국 기본도의 명칭은 US Topo이며, ‘The National Map Viewer’를 통하여 미국뿐만 아니라 전 세계 지도를 확인할 수 있다. Viewer에서 접경, 북극, 남극, 접근제한 지역에 대하여 최대 1:18,056 축척으로 보는 것이 가능하며, 10m 등고선도 제공하고 있다.



자료: <https://apps.nationalmap.gov/viewer/>

<그림 5-4> National Map Viewer를 이용한 북극 지도

USGS의 ‘ARCTIC RESEARCH PLAN FY2017-2021’ 보고서에 의하면 연방 데이터 센터(Federal data centers)에서 북극 데이터 및 도구의 가용성, 검색 가능성, 이해 및 상호 운용성을 향상시키는 목표를 제시하고 있다. 예를 들어, 국제 북극 과학위원회(SAON)는 EU-PolarNet, 지구 관측 그룹(Group on Earth Observations), 글로벌 지구 관측 시스템(GEOSS), 범 북극 옵션

프로젝트, Fram 센터, 기타 기관과 협력하여 "북극 데이터 생태계 매핑 프로젝트"와 같은 국제적인 노력을 진행 중이다. 성능 요소로 북극해에 대한 추가 차트(chart) 작성, 기본 지형 매핑 및 지원 데이터 갱신, 고해상도 영상에서 생성된 반복된 고도 데이터 갱신을 포함하여 북극 전체의 기본 매핑 및 차트의 갱신 등이 있다.

3) Arctic SDI

북극 공간 데이터 인프라 (Arctic SDI, Spatial Data Infrastructure)는 캐나다, 덴마크, 핀란드, 아이슬란드, 노르웨이, 러시아, 스웨덴 및 미국의 8개 국가 매핑 기관 간의 협업체이다. 북극 SDI의 목표는 북극의 의회, 정치인, 정부, 정책 입안자, 과학자, 민간 기업 및 북극 시민에게 지리적으로 관련된 북극 데이터, 디지털 지도 및 도구에 대한 액세스를 제공하여 모니터링 및 의사 결정을 용이하게 하는 것이다. Arctic SDI의 융합 기본도는 북극 매핑 기관들의 기존 데이터와 새로운 북극 고도 모델인 Arctic DEM을 사용하여 생성된다. 고도, 강, 호수 및 기타 지리적 특징과 같은 세부 사항과 함께 북극 전체에 대한 통합된 지형뷰를 제공한다. Arctic SDI에 참여하고 있는 국가 지형도 기관은 다음과 같다.

- Canada Centre for Mapping and Earth Observation, Natural Resources Canada
- Agency for Data Supply and Efficiency, Denmark
- National Land Survey of Finland
- National Land Survey of Iceland
- Norwegian Mapping Authority
- Federal Service for State Registration, Cadastre and Mapping of the Russian Federation
- Swedish Mapping, Cadastral and Land Registration Authority
- United States Geological Survey

오스트레일리아 남극데이터센터(Australian Antarctic Data Centre), 뉴질랜드의 토지정보(Land Information), BAS (British Antarctic Survey) 지도 지리정보센터(Mapping and Geographic Information Centre) (http://www.antarctica.ac.uk/about_bas/our_organisation/eid/magic.php)를 통하여 지도와 해도를 구입 및 이용할 수 있다. 노르웨이 극지연구소(Norwegian Polar Institute) (<http://www.npolar.no/en/services/maps/>)는 노르웨이가 주장하는 북극 영토에 대한 지형

도 간행을 맡고 있는 기관이다. 그리고 East View Geospatial을 통하여 러시아의 남극 지도도 구입 가능하다.

4) 국내 접근불능지역 위성 지도제작

위성영상을 이용하여 접근불능지역의 지도제작을 위한 기술적 분석이 이루어졌다. 국토위성정보의 수집·활용시스템 기본설계 및 활용 기초기술 개발(2018)에서 정밀기하수립을 위한 우선 개발 기술을 <표 5-4>와 같이 제시하였다.

<표 5-4> 정밀기하수립을 위한 우선 개발 기술

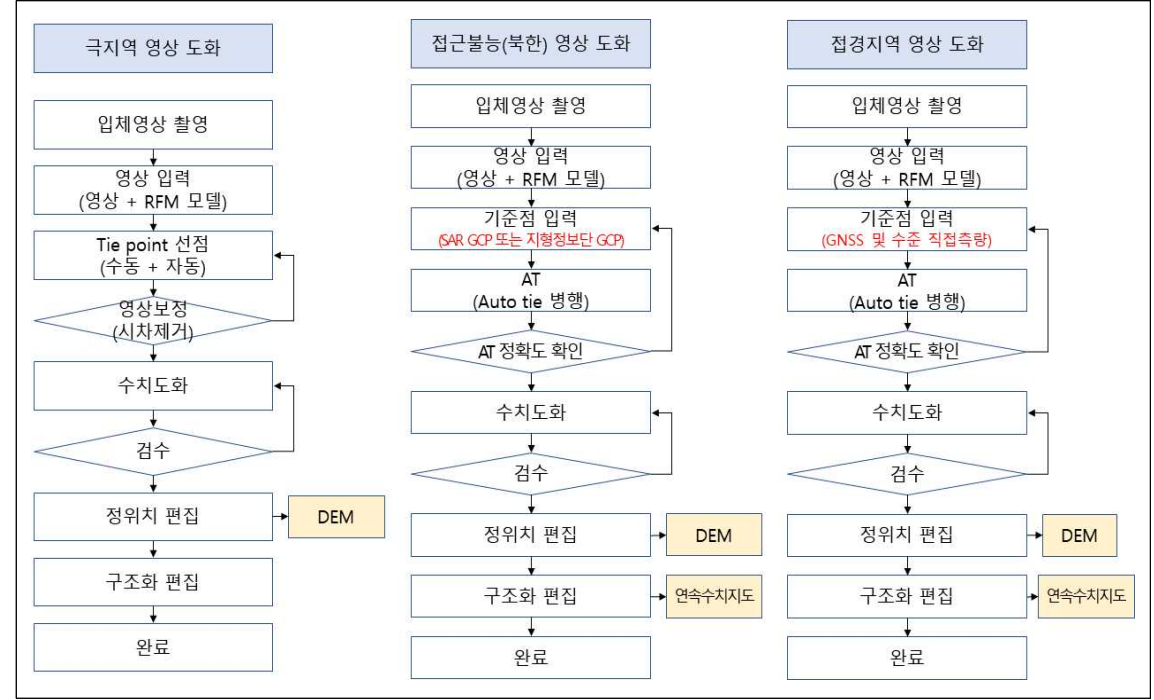
| 세부기술명 | 주요기능 | 원천기술여부/개발방식 (SW종류) |
|---------------------|--|--|
| 국토위성용 기준점 구축 및 갱신기술 | <ul style="list-style-type: none"> - 국토위성영상 정밀기하보정을 위한 기준점 DB 구축 - 지역별 (남한, 접경, 북한 및 극지방) 특성 및 자료구축 현황을 고려한 기준점 구축 - 기준점 수량, 균등성을 감안한 자동화된 기준점 구축 기술 및 SW 개발 - 기준점 영상 및 지상좌표 갱신 기술 및 SW 개발 | 원천기술: <ul style="list-style-type: none"> - DEM 구축-응용기술 - DEM 갱신-원천기술 개발방식: SW제작-국내에 원천기술 확보됨 |
| 자동 기하보정 기술 | <ul style="list-style-type: none"> - 기준점-위성영상 간 자동 영상매칭 기술 및 SW 개발 - RFM 기반 정밀센서모델링 수립 기술 및 SW 개발 | 원천기술/SW 제작: 아리랑 2호, 3호 용으로 국내에서 개발된 바 있음 |
| 정밀 궤도모델링 기술 | <ul style="list-style-type: none"> - 국토위성 궤도모델링을 위한 물리적 센서 모델 개발 - 기준점을 이용한 정밀 궤도모델 수립기술 및 SW 개발 | 원천기술개발방식: 연구개발을 선행한 후 SW제작-아리랑2호용으로 시도되었으나 고해상도 위성용으로는 추가 연구가 필요 |

자료: 국토위성정보의 수집·활용시스템 기본설계 및 활용 기초기술 개발(2018)

국토위성정보의 수집·활용시스템 기본설계 및 활용 기초기술 개발(2018)에 의하면 “북한지역의 경우 2007년에 시행된 접근불능지역 지도제작 시범사업을 통해, 정밀센서모델을 수립을 위해 북한에 존재하는 삼각점을 활용하는 방안을 제시하였으나, 실제 북한지역 지도 제작 사업에서는 활용되지 않고, TerraSAR-X 영상으로부터 생성된 위성기준점을 사용하거나 타 기관이 보유하고 있는 GCP 자료를 사용하였다.”

한편 국토위성정보의 수집·활용시스템 기본설계 및 활용 기초기술 개발(2018)에 의하면 “북극 지역의 공간정보구축은 2013년 국토교통부의 기본계획으로 시작되었으며, 연차별로 북극지역의 수요지역에 대한 지도 제작을 수행하고 있다. 전체 북극지역(약 1,400만 km^2) 대비 공간정보를 구축한 면적은 일부분에 해당한다. 남극지역의 측량 및 지도제작은 2008년 국토해양부의 기본계획으로 시작되었으며 연차별로 남극지역의 우리나라 기지(세종과학기지, 장보고과학기지) 주변의 측량 및 지도제작을 수행하고 있다. 북극 지역과 마찬가지로 전체 남극지역(약 1400만 km^2) 대비 공간정보를 구축한 지역은 일부분에 해당된다.”

위성영상기반 공간정보 구축 매뉴얼의 구성을 위하여 국내에서 위성영상을 도화하여 지도를 작성하는 과정을 살펴보면 대략 아래 그림과 같다. 세부 작업과정은 크게 ① 입체위성영상 취득 ② 영상정보 입력 ③ 기준점 입력 ④ 표정 ⑤ 수치도화 ⑥ 편집으로 구분할 수 있다. 세부 작업의 대부분은 극지역, 접근불능, 접경지역 등에 상관없이 동일하며, 기준점 입력과 표정 작업은 대상 지역에 따라 차이가 발생한다.



자료: 저자 작성

<그림 5-5> 국내 위성영상을 이용한 지도 제작 흐름도

5) 시사점

일본 국립지리원, 미국 USGS, Arctic SDI 모두 국내에서 접근 가능한 자세한 구축 매뉴얼은 찾기 어려웠다. 공개된 자료를 바탕으로 다음과 같이 매뉴얼 구축을 위한 시사점을 도출할 수 있다.

첫 번째로 단일 국가 또는 기관이 극지 관련 공간정보를 다양한 형태로 모든 지역에 대하여 구축하기는 어렵다. 관심 지역을 바탕으로 공간정보를 구축하고, 자료를 공유하여 서로 협력하는 것이 바람직하다. 이러한 특성을 고려하여 국토지리정보원에서 구축한 공간정보를 타 국가와 쉽게 공유할 수 있는 형태로 구축하는 것이 바람직하다.

두 번째로 기존에 이미 구축된 타 국가의 공간정보를 최대한 활용하여, 국토지리정보원의 공간정보 구축을 위한 기준정보로 활용하는 데이터베이스화 작업이 효율성과 정확도를 높일 수 있다.

세 번째로 지상측량을 수행하기 어려운 극지 환경으로 인하여 개별 기관 또는 국가가 많은 지상 기준점을 확보하는 것은 어려우며, 정확도를 높일 수 있는 기술개발이 필요하다. 입체위성영상 취득에서 위성영상 표정까지의 작업이 성과물의 위치정확도 향상에 주요 영향을 끼친다. 작업 규정을 만족하는 지상기준점을 적절히 사용하는 경우 성과물의 정확도를 만족하는 표정이 이루어지지만, 국외 또는 비접근 지역에서는 지상기준점 부재로 인하여 규정 정확도를 만족시키는 표정 결과를 얻기 어렵다. 현지측량이 어려운 경우, 대축척 수치지형도, 기 구축된 글로벌 정사영상과 TanDEM-X 등 DEM을 이용한 기준점, AIRBUS Defence & Space사에서 제공하는 GCP 2.0 (정확도 0.2m) 기준점 Chip을 활용할 수 있다. 극지역과 같이 인공구조물이 거의 없고, 눈이나 얼음으로 덮여 있는 지역에서는 기준점 획득이 제한되며, 본 연구에서 제안한 ICESat-2 위치정보를 이용하거나 고해상도 다중위성영상을 이용한 RPC 블록조정을 이용하여 표정 정확도를 향상시킬 수 있다.

라. 매뉴얼

1) 배경 및 목적

국토지리정보원의 공간정보 구축 관련 주요 규정은 항공사진측량 작업규정, 항공레이저측량 작업규정, 수치지도 작성 작업 규칙, 영상지도제작에 관한 작업 규정 등이 있다. 기존 작업 규정은 대부분 항공측량을 가정하고 작성되었으며, 영상지도제작에 관한 작업 규정의 일부 조항에서만 위성영상을 대상으로 규정을 설명하고 있다.

한편, 국내 대부분 지역의 경우 기존 구축된 규정에 있는 항공측량, 지상측량 등을 이용하여 공간정보를 원활하게 구축하고 있다. 반면에 접경지역, 극지역 등 접근불능 지역의 경우 항공측량 또는 지상측량이 이루어지기 어렵고, 위성영상을 이용한 공간정보 구축 규정도 미비한 실정이다. 국토위성 등 고해상도 위성영상을 이용하여 국내외 지역에서 공간정보를 다양하게 구축하고 있는 최근 상황에 비추어 볼 때, 기존 공간정보 구축 규정은 이러한 상황을 충분히 반영하고 있지 못하고 있다.

따라서 기존 공간정보 구축 규정을 바탕으로 위성영상 기반의 최신 공간정보 구축 기술을 반영하여 다양한 환경 지역에 적용 가능한 매뉴얼을 작성 및 활용할 필요성이 있다. 이에 위성영상을 이용한 공간정보 제작 매뉴얼은 국토지리정보원이 수행하는 위성영상 기반 공간정보 제작의 작업 방법 및 기준을 설명하여 성과품의 일관성과 정확성을 확보하고자 한다.

2) 방향

공간정보 구축 규정 및 규칙과 사례 분석을 통하여 매뉴얼 작성을 위한 시사점을 다음과 같다.

- ① 영상지도제작에 관한 작업규정을 바탕으로 항공사진측량 · 항공레이저측량 · 수치지도 작성 규칙 등을 활용하여 보완한다.
- ② 국내뿐만 아니라 접근불능지역 등 국외 지역에서 공간정보 구축을 고려하며, 특히 기준점측량 불가 상황을 고려한다.
- ③ 수치지형도, 정사영상, 수치표고모델 등 기존 공간정보 작성 세부 기준을 준용하고, 세부 공정을 명확히 한다.
- ④ 구축된 공간정보의 신뢰성을 위하여 도화 기반의 공간정보 구축 방법을 우선한다.
- ⑤ 국토위성 및 국토위성과 유사한 사양의 위성들을 공간정보 구축용 위성으로 고려한다.
- ⑥ 다중영상기반 센서 모델링 등 최신 위성영상 처리 기술을 고려한다.
- ⑦ 국외 지역에서 공간정보 구축 지형지물의 다양성을 반영한다.

3) 매뉴얼 주요 내용

기존 규정을 바탕으로 「위성영상을 이용한 공간정보제작에 관한 매뉴얼」을 구축하였다 (부록

참고). 작성된 매뉴얼은 ① 개요 ② 제작 작업절차 ③ 작업계획 및 준비 ④ 위성영상 및 보조정보 획득 ⑤ 표정 ⑥ 수치도화 ⑦ 지도편집 ⑧ DEM 생성 ⑨ 정사영상 생성 ⑩ 성과 정리로 구성되어 있다. 각 장의 주요 내용은 다음과 같다.

- ① 개요는 매뉴얼의 목적, 기준 등을 기술하였다. 국외 지역을 고려하여 접근불능지역, 접근제한지역 등에 대한 용어를 포함하였다. DEM과 정사영상 등에 대한 공간정보를 구축하기 때문에 이와 관련된 용어도 포함하였다.
- ② 제작 작업절차는 구축과 갱신으로 구분하였다. 위성영상을 이용한 공간정보 구축 과정을 흐름도로 이해하기 쉽게 표현하였다.
- ③ 작업계획 및 준비는 작업계획, 보안, 점검 등에 대하여 기술하였다.
- ④ 위성영상 및 보조정보 획득에서는 영상 선별 기준을 자세히 기술하고, 기준점 측량과 기준정보를 포함하였다. 특히 기준정보는 접근불능지역에서 공간정보 구축을 위하여 기준점을 대체하여 사용될 수 있는 개념이다.
- ⑤ 표정은 영상 전처리, 센서모델링, 정확도 평가를 다루고 있다. 특히 센서모델링은 접근불능지역에서 적용할 수 있는 최신 모델링 기술들을 포함하고 있다.
- ⑥ 수치도화 및 지도편집은 도화기반 지형도 작성을 가정하고 있다. 한편 기본레이어 생성, 지리조사 등에서 접근불능지역을 고려한 상황을 기술하였다.
- ⑦ DEM 생성 및 정사영상 생성 부분은 기존 규정을 보완 설명하고 있다. 수치표고모델은 지형도기반 방법과 위성영상 정합 방법을 나누어 설명하였다. 정사영상 생성에서는 영상 처리 부분을 자세히 기술하였다.
- ⑧ 성과 정리 부분은 품질 관리 및 성과품에 대하여 기술하였다. 구축된 공간정보의 품질 및 성과품에 관하여 기존 규정을 바탕으로 설명되었다.

4) 향후 매뉴얼 개선

「위성영상을 이용한 공간정보제작에 관한 매뉴얼」은 항공측량을 가정한 기존 규정과 배치되지 않으면서 위성영상 처리에 맞게 내용을 갱신하여 작성하고자 노력하였다. 그러나 항공측량을 가정한 일부 기존 규정을 위성영상 처리에 적용하는 것은 여전히 적절하지 않다. 따라서 작성된 매뉴얼을 활용하여 위성영상 기반 공간정보 구축을 수행함과 동시에 기존 규정을 개정하거나, 새롭게 위성영상 기반 공간정보 구축 규정을 신설하는 것이 필요하다고 생각된다. 특히 접근불능지역의 경우

기존 규정 기준으로 공간정보 구축에 어려움을 일으키기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다.

3. 일반지역과 극지역 업무량 비교분석을 통한 공정별 비용 산정

가. 기존 품셈 분석

1) 극지역 품셈 분석

본 연구에서는 국토지리정보원에서 위성영상을 활용한 공간정보의 공정별 비용을 산정하기 위해 현장 지리조사 등 현장 접근이 가능하나 항공사진 촬영이 불가능한 접경지역과 작업 지역의 장소적 특성에 의해 현장 접근이 어렵거나 불가능한 극지역 및 접근불능지역 기존 사업에 대해 공정별 비용을 산출하였다.

극지역 공정별 비용 산정은 2015년부터 2020년까지 국토지리정보원의 설계품을 참고하였다. 단위 단가 항목은 제경비, 기술료와 부가세를 포함한 금액이다. 년도 별 공정에 따른 단위 단가는 <표 5-5>의 항목과 같다. 극지역 공간정보는 접경 및 접근불능지역 사업과 다르게 DEM의 경우 도엽 단위가 아니라 km^2 단위로 단위 단가를 품셈에서 산출하였다.

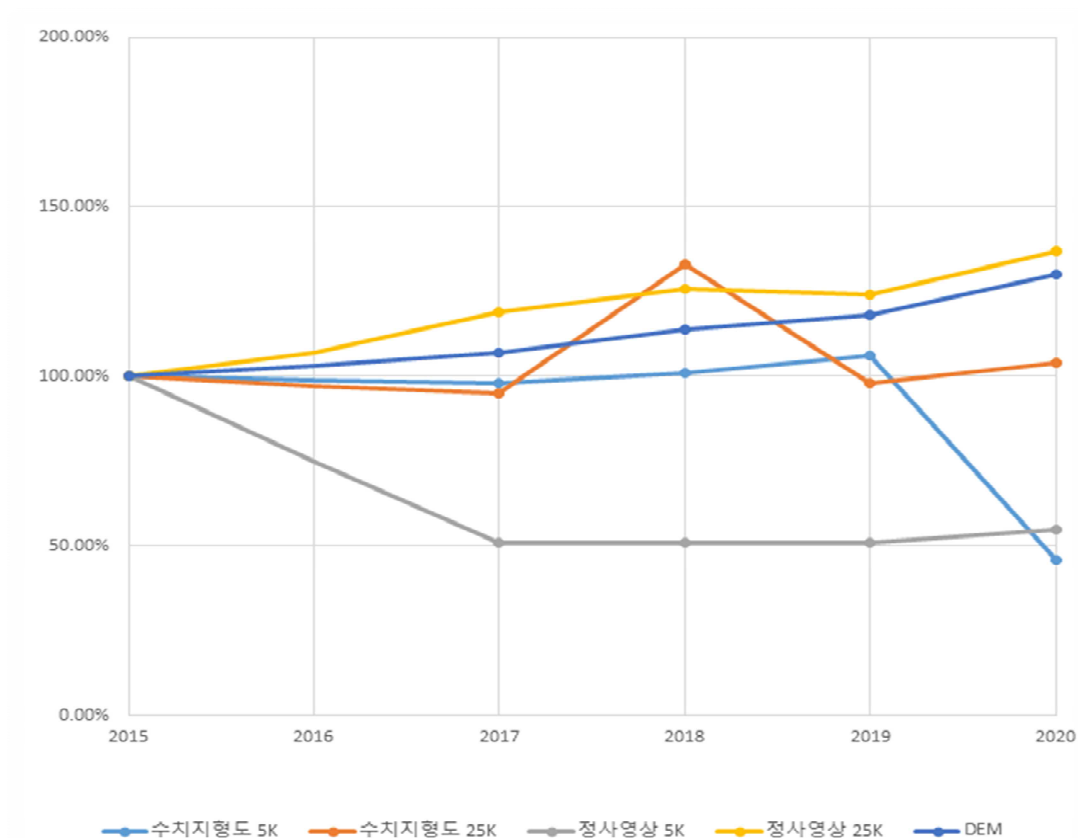
<표 5-5> 극지역 공정별 품셈에 따른 단위 단가

| 년도 | 항목 | | 총액 | 면적(km^2) | 단가 |
|------|-------|----------|-------------|---------------------|-----------|
| 2015 | 수치지형도 | 1/5,000 | 11,045,967 | 8.70 | 1,269,651 |
| | | 1/25,000 | 153,070,398 | 1,806.00 | 84,756 |
| | 정사영상 | 1/5,000 | 1,009,296 | 8.70 | 116,011 |
| | | 1/25,000 | 18,348,025 | 1,806.00 | 10,159 |
| | DEM | 10×10m | 17,599,719 | 1,806.00 | 9,745 |
| 2017 | 수치지형도 | 1/5,000 | 158,699,684 | 127.60 | 1,243,727 |
| | | 1/25,000 | 116,458,800 | 1,445.00 | 80,594 |
| | 정사영상 | 1/5,000 | 7,613,183 | 127.60 | 59,664 |
| | | 1/25,000 | 17,493,780 | 1,445.00 | 12,106 |
| | DEM | 10×10m | 16,377,268 | 1,573.00 | 10,411 |

| 년도 | 항목 | | 총액 | 면적(km ²) | 단가 |
|------|-------|----------|-------------|----------------------|-----------|
| 2018 | 수치지형도 | 1/5,000 | 204,756,256 | 158.91 | 1,288,504 |
| | | 1/25,000 | 74,930,782 | 662.80 | 113,051 |
| | 정사영상 | 1/5,000 | 9,519,082 | 161.65 | 58,886 |
| | | 1/25,000 | 14,373,956 | 1,125.40 | 12,772 |
| | DEM | 10×10m | 13,936,230 | 1,249.95 | 11,149 |
| 2019 | 수치지형도 | 1/5,000 | 171,209,309 | 127.64 | 1,341,345 |
| | | 1/25,000 | 104,265,805 | 1,251.05 | 83,342 |
| | 정사영상 | 1/5,000 | 8,450,751 | 142.45 | 59,324 |
| | | 1/25,000 | 18,635,530 | 1,482.50 | 12,570 |
| | DEM | 10×10m | 17,090,704 | 1,482.50 | 11,528 |
| 2020 | 수치지형도 | 1/5,000 | 36,868,614 | 63.40 | 581,523 |
| | | 1/25,000 | 111,412,620 | 1,270.00 | 87,726 |
| | 정사영상 | 1/5,000 | 7,683,265 | 120.65 | 63,682 |
| | | 1/25,000 | 39,759,776 | 2,857.50 | 13,914 |
| | DEM | 10×10m | 16,915,066 | 1,333.00 | 12,689 |

2015년부터 구축된 극지역 공간정보의 각 공정별 증감추세는 확인해 보기 위해 2015년도 금액을 기준으로 년도 별 금액 증감량을 산출하였다. 2019년도까지는 1/5,000 수치지형도 제작 비용에 변동이 없다가 2020년에는 제작 비용이 50% 감소하였다. 1/5,000 정사영상 제작 비용은 2015년도 대비 50% 수준으로 감소한 것을 확인하였다. 1/25,000 수치지형도 및 정사영상 제작 비용은 측량품셈의 노임단가 상승으로 인하여 2015년도 대비 년도별로 소폭 상승하였다.

2020년도 수치지형도 단위 면적당 제작단가가 줄어든 이유는 2019년까지 북극지역 사업에서 1/5,000 제작 면적은 약 2.65km²이었으나, 2020년도 극지역인 남극지역의 1/5,000 제작 면적은 약 6.35km²로 제작 면적의 차이로 인하여 신규(1.0) 및 수정(0.8)에 따른 품셈계수에서 0.44를 대입하여 2015년 대비 50% 하락한 것으로 파악되었다.



<그림 5-6> 극지역 2015년도 기준 공정별 금액 변동량

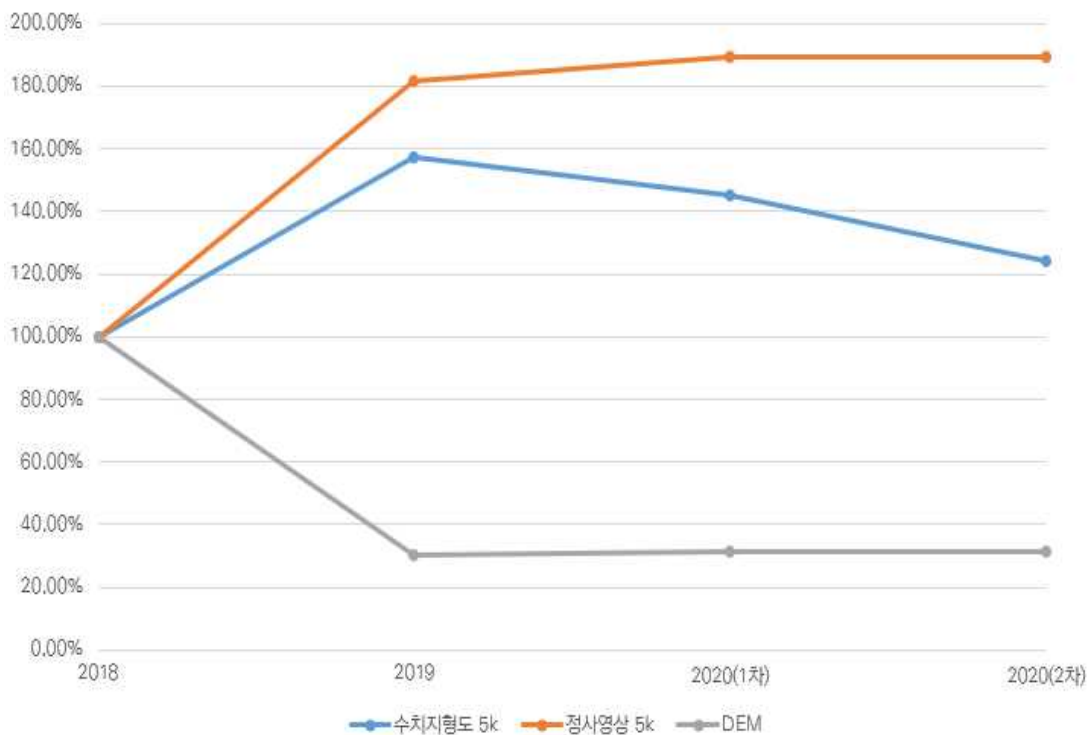
2) 접근불능지역 품셈분석

접근불능지역의 기존 품셈 산정은 2018년도, 2019년도, 2020년 1차 및 2차 품셈을 기준으로 <표 5-6>와 같이 단위 단가를 산정하였다. 단위 단가는 제경비, 기술료와 부가세를 포함한 금액으로 년도 별 단위 단가의 금액 변동률을 살펴보면 2015년도 기준으로 수치지형도와 정사영상의 단위 단가는 180% 정도 증감하였으나, DEM 제작은 2015년도 기준 70% 이상 감소한 것으로 확인되었다.

<표 5-6> 접근불능지역 공정별 품셈에 따른 단위 단가

| 년도 | 항목 | 총액 | 면적(km ²) | 단가 |
|------|----------------|-------------|----------------------|---------|
| 2018 | 수치지형도(1/5,000) | 550,132,310 | 1,150 | 478,375 |
| | 정사영상(1/5,000) | 49,084,250 | 1,150 | 42,681 |
| | DEM(5 × 5m) | 63,420,150 | 1,150 | 55,147 |

| 년도 | 항목 | 총액 | 면적(km ²) | 단가 |
|--------------|----------------|---------------|----------------------|---------|
| 2019 | 수치지형도(1/5,000) | 572,326,310 | 760 | 753,060 |
| | 정사영상(1/5,000) | 58,922,804 | 760 | 77,530 |
| | DEM(5 × 5m) | 12,787,040 | 760 | 16,825 |
| 2020 (1차) | 수치지형도(1/5,000) | 1,171,480,694 | 1,689 | 693,594 |
| | 정사영상(1/5,000) | 136,290,660 | 1,689 | 80,693 |
| | DEM(5 × 5m) | 29,209,829 | 1,689 | 17,294 |
| 2020 (2차) | 수치지형도(1/5,000) | 313,713,230 | 528 | 594,153 |
| | 정사영상(1/5,000) | 42,644,455 | 528 | 80,766 |
| | DEM(5 × 5m) | 9,169,808 | 528 | 17,367 |



<그림 5-7> 접근불능지역 2018년도 기준 공정별 금액 변동량

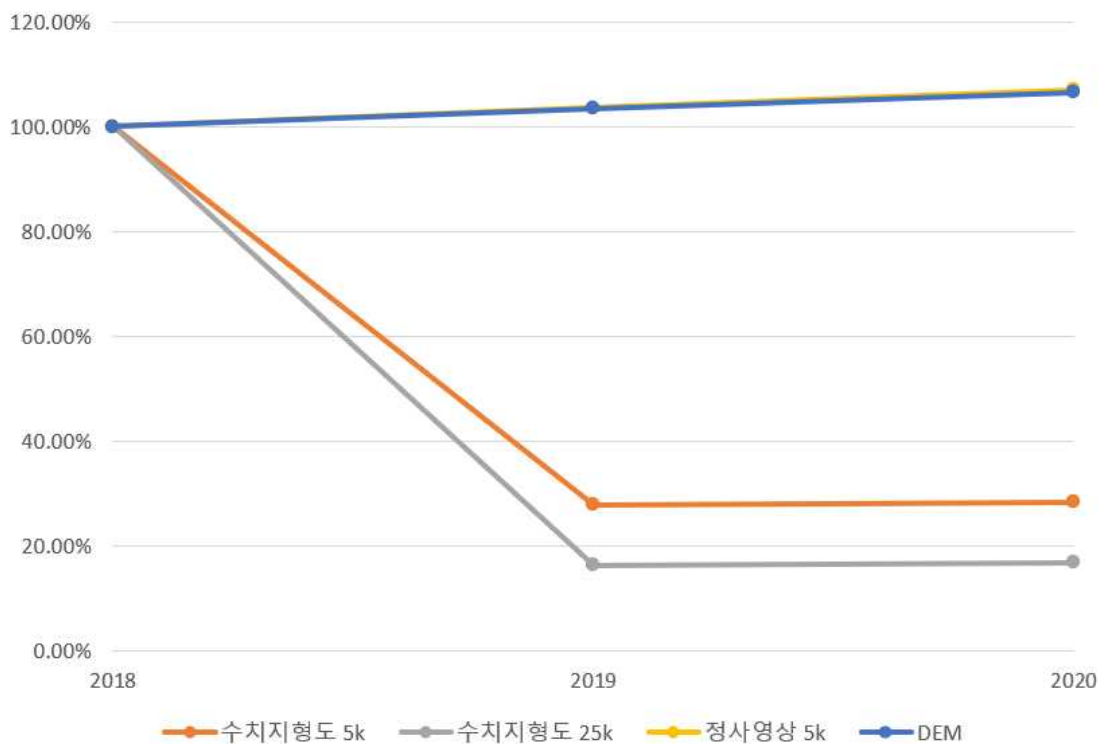
3) 접경지역 품셈분석

접경지역의 연도별 단위 단가는 2018년도, 2019년도와 2020년도 단위 단가를 계산하였다. 극 지역 및 접근불능지역 사업의 공간정보 구축지역은 기존에 공간정보가 구축되지 않는 지역에 대해 공간정보를 구축함으로 인해 신규 단가가 적용되었으나, 접경지역 사업은 기존에 구축한 대상 지역에서 수정된 지역에 대한 구축 사업으로 수정단가가 적용되었다. 또한 1/25,000 및 1/50,000 수치지형도는 신규 제작이 아닌 축소 편집을 통해 제작함으로 인해 단위 단가가 다른 위성영상을 활용하여 제작하는 사업에 비해 다소 낮을 것을 확인할 수 있다.

<표 5-7> 접경지역 공정별 품셈에 따른 단위 단가

| 년도 | 항목 | | 총액 | 수량 | 단가 |
|------|-------|----------|-------------|--------|-----------|
| 2018 | 수치지형도 | 수정 제작 | 43,424,770 | 40 | 1,085,619 |
| | | 수시제작 | 4,059,960 | 50 | 81,199 |
| | | 1/25,000 | 6,178,572 | 17 | 363,445 |
| | | 1/50,000 | 1,712,210 | 10 | 171,221 |
| | 정사영상 | 1/5,000 | 73,599,400 | 175 | 420,568 |
| | DEM | 10m | 17,116,575 | 175 | 97,809 |
| 2019 | 수치지형도 | 수정 제작 | 57,705,471 | 190.78 | 302,471 |
| | | 1/25,000 | 451,950 | 7.63 | 59,233 |
| | | 1/50,000 | 52,714 | 1.9 | 27,744 |
| | 정사영상 | 1/5,000 | 155,099,232 | 356 | 435,672 |
| | DEM | 10m | 19,309,034 | 190.78 | 101,210 |
| 2020 | 수치지형도 | 수정 제작 | 81,384,436 | 264.79 | 307,354 |
| | | 1/25,000 | 647,338 | 10.59 | 61,127 |
| | | 1/50,000 | 70,887 | 2.64 | 26,851 |
| | 정사영상 | 1/5,000 | 289,166,430 | 642 | 450,415 |
| | DEM | 10m | 27,582,909 | 264.79 | 104,168 |

접경지역의 년도 별 품셈 변화량을 보면 2018년도 단위 단가를 100%로 하였을 경우 1/5,000 정사영상 제작과 DEM 제작의 경우 단가에 큰 변화량이 없는 것으로 나타났으나, 1/5,000 수치지형도와 1/25,000 수치지형도의 단위 단가는 2018년도 기준으로 1/5,000은 80% 이상, 1/25,000은 70% 이상 단위 단가가 하락한 것으로 파악되었다.



<그림 5-8> 접경지역 2018년도 기준 공정별 금액 변동량

4) 종합분석 및 시사점

항목별 사업 발주 내용과 공정별 단위 단가를 비교해 보면 먼저 1/5,000 수치지형도 제작의 경우 극지역 공간정보 구축 사업과 접근불능지역 공간정보 구축 사업이 신규 사업임에도 불구하고 극지역 사업은 1㎢당 약 1,144,950원이고, 접근불능지역 사업은 1도엽 당 약 629,000원으로 1.8배의 차이가 발생하였다. 접경지역은 수정사업이나 접근불능지역 신규 사업과 단위 단가는 약 6.8배의 차이가 발생하였다.

1/25,000 수치지형도의 경우 극지역 사업에서는 1㎢당 약 89,893원으로 나타났으며, 접경지역 사업에서는 1㎢당 당 약 1,045원으로 나타났다. 접경지역 사업은 1/5,000 수치지형도를 이용

하여 1/25,000으로 축소 편집하는 공정으로 보이나 두 사업의 단위 단가는 약 86배 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

1/5,000 정사영상 제작 공정에 있어서는 극지역, 접근불능지역 및 접경지역의 단위 단가에 차이가 적은 것으로 나타났다. 정사영상 제작은 수정 및 신규에 상관없이 대상 지역의 작업 공정은 신규 작업으로 이루어진다.

또한 기존 품셈에서 도화에 따른 사진축척계수 일부가 1/5,000으로 계산되어야 하나 1/1,000 도화축척으로 반영된 부분이 있어 본 연구에서 해당 계수에 대한 정확한 사진축척계수를 반영하고자 하였다.

<표 5-8> 추진 사업 및 공정별 평균 단가 비교표

| 구축 항목 | 사업 | 단위 단가(원) | 비고 |
|----------------|--------|---------------------------|----|
| 1/5,000 수치지형도 | 극지역 | 1,144,950/km ² | 신규 |
| | 접근불능지역 | 629,795/km ² | 신규 |
| | 접경지역 | 91,598/km ² | 수정 |
| 1/25,000 수치지형도 | 극지역 | 89,893/km ² | 신규 |
| | 접경지역 | 1,045/km ² | 수정 |
| 1/5,000 정사영상 | 극지역 | 71,513/km ² | |
| | 접근불능지역 | 70,417/km ² | |
| | 접경지역 | 70,591/km ² | |
| 1/25,000 정사영상 | 극지역 | 12,304/km ² | |
| 5×5m DEM | 접근불능지역 | 26,658/km ² | |
| 10×10m DEM | 극지역 | 11,104/km ² | |
| | 접경지역 | 16,379/km ² | |

나. 개정 품셈(안) 작성

현재 위성영상을 이용하여 공간정보를 생산하는 사업은 접경지역, 접근불능지역 및 극지역 사업이 대표적인 사업이라고 할 수 있다. 접경지역과 접근불능지역의 품셈은 촬영을 제외한 부분에서 항공사진을 이용한 품셈을 통한 설계 및 작업이 이루어지고 있다. 접경지역과 접근불능지역은 극지역과 다르게 작업 공정에서 산지, 구릉지, 교외지 및 도심지의 지형 계수 차이가 없으므로 위성영상을 이용한 작업 방법과 항공사진을 이용한 작업 방법에 따른 품셈에 변화는 없다.

그러나 극지역의 경우 표준품셈에 존재하지 않는 영구 적설 지역에 따른 지형 계수가 존재하지 않기 때문에 본 연구에서는 1/5,000 및 1/25,000 축척의 수치지형도 제작에서 적설 지역과 비 적설 지역의 실질적인 작업량을 확인하고 극지역 작업시 품셈의 개정 방안을 제시하고자 하였다.

1) 2020년 극지역 사업(남극) 품셈 산출 기초

2020년 극지역 사업(남극) 품셈 기준은 건설표준품셈의 항공사진 기준 1/5,000 및 1/25,000 수치지형도 제작 표준품셈을 근거로 제작되었다. 시간당 작업량, 1일 작업시간, 지형구성 비율, 지형계수, 작업종류계수, 지역특수성의 곱을 도엽당 작업시간을 계산하여 노임단가를 곱하여 금액을 산출하였다.

2020년 극지역 사업 품셈에서 지형구성의 비율을 산지 100%로 산정하였으며 지형계수 또한 전체 지역을 산지로 산정하였다. 기존 품셈과의 차이점은 작업종류계수와 지역 특수성이라고 할 수 있다. 일반적인 작업종류 계수의 경우 신규의 경우 1.0을 적용하고 수정 작업의 경우에는 0.8을 적용하도록 되어 있으나 극지역 품셈에서는 0.44를 적용하였다. 또한 지역특수성은 표준품셈에는 없는 항목으로 기존 극지역 사업의 설계서를 참고하여 극지역이라는 특수성을 고려하여 적용한 것으로 보인다. 극지역은 건물, 도로, 시설 등 일반적인 인공시설물이 거의 존재하지 않기 때문에 수치지형도에서 묘사되는 항목은 등고선이 대부분이기 때문에 지역 특수성을 적용하지 않을 경우 실제 작업시간과 품셈상의 작업시간 차이 발생에 따라 품셈의 작업시간이 더 증가하기 때문에 지역특수성이라는 항목을 넣을 것으로 판단된다. 이는 1/5,000과 1/25,000 축척에서 동시에 적용되었다. 지역특수성 항목은 DEM과 정사영상 제작 항목에는 적용되지 않았다.

<표 5-9> 극지역 1/5,000 품셈 산출 기초

| 공정 | 면적 (km ²) | 시간당 작업량 | 1일 작업 시간 | 지형구성비율 (산지100%) | 지형계수 (산지) | 작업 종류계수 | 지역 특수성 | 도엽당 작업시간 |
|------|--------------------------|------------|-------------|--------------------|--------------|------------|-----------|-------------|
| 도화 | 6.35 | 0.0055 | 8 | 1.0 | 1.40 | 0.44 | 0.36 | 16.158 |
| 정위치 | 6.35 | 0.0760 | 8 | 1.0 | 1.10 | 0.44 | 0.36 | 1.488 |
| 도면제작 | 6.35 | 0.0998 | 8 | 1.0 | 1.16 | - | 0.36 | 2.442 |
| 구조화 | 6.35 | 0.1740 | 8 | 1.0 | 6.00 | - | 0.36 | 0.271 |

<표 5-10> 극지역 1/25,000 품셈 산출 기초

| 공정 | 면적 (km ²) | 시간당 작업량 | 1일 작업 시간 | 지형구성비율 (산지100%) | 지형계수 (산지) | 작업 종류계수 | 지역 특수성 | 도엽당 작업시간 |
|------|--------------------------|------------|-------------|--------------------|--------------|------------|-----------|-------------|
| 도화 | 158.75 | 0.0902 | 8 | 1.0 | 1.40 | 1.00 | 0.36 | 55.979 |
| 정위치 | 158.75 | 0.7550 | 8 | 1.0 | 1.10 | 1.00 | 0.36 | 8.512 |
| 도면제작 | 158.75 | 0.8860 | 8 | 1.0 | 1.16 | - | 0.36 | 6.878 |
| 축소편집 | | 22.4500 | 8 | 1.0 | 0.83 | - | 0.36 | 6.638 |
| 구조화 | 158.75 | 0.4840 | 8 | 1.0 | 6.00 | - | 0.36 | 2.434 |

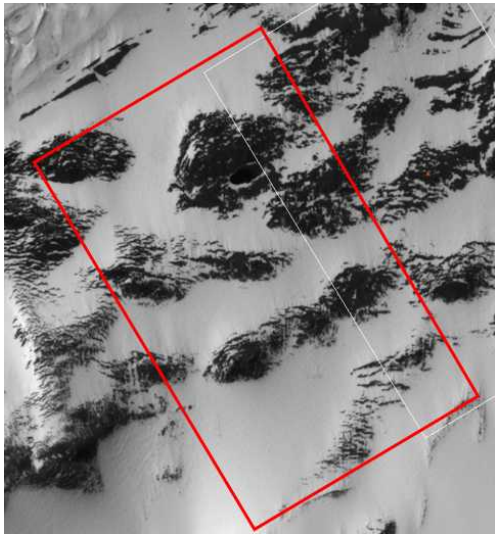
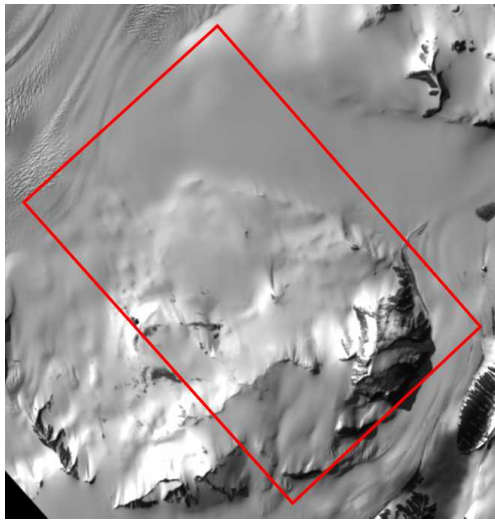
2) 극지역 품셈 실사

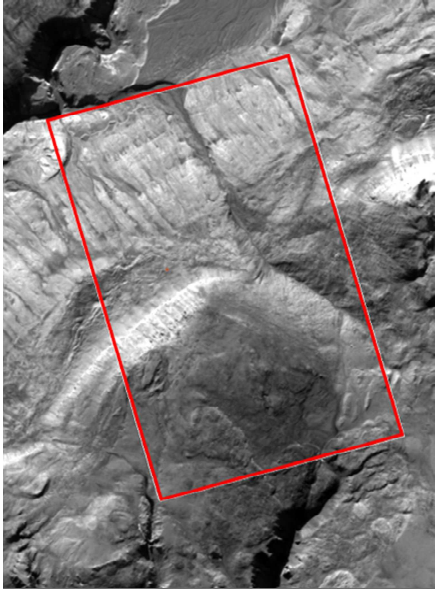
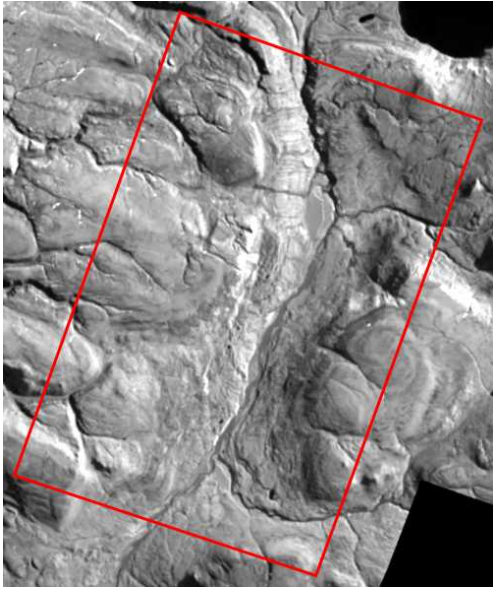
위성영상을 활용하여 공간정보를 구축하고 있는 접경 및 접근불능지역은 산지, 도심지, 구릉지 등을 구분하여 표준품셈을 적용하여 설계에 반영하고 있다. 극지역의 경우 대부분의 지역이 산지와 구릉지로 이루어져 있으나, 산지에 수목이 없고, 구릉지 및 평지에도 건물, 농경지 등 인공지물이 존재하지 않기 때문에 같은 산지와 구릉지라고 해도 극지역에서의 산지와 구릉지에 대한 별도의 계수 산출이 필요하다. 도화 작업에서 산지에 수목이 존재하면 정확한 지면의 높이 값을 추출하기 위해 수목이 없는 지역보다 시간 소요가 많으며, 현재 1/5,000 작업 규정에서는 등고선이 건물을 침범할 수 없으므로 등고선 작업 시 건물을 피해서 등고선 작업을 수행해야 하므로 건물 침범이 발생

하지 않도록 작업해야 하며, 작업 후 해당 오류를 수정하는 시간이 별도로 필요로 하는 등 접경(남한) 및 접근불능지역(북한)에 적용하는 지형계수를 그대로 적용할 수는 없다.

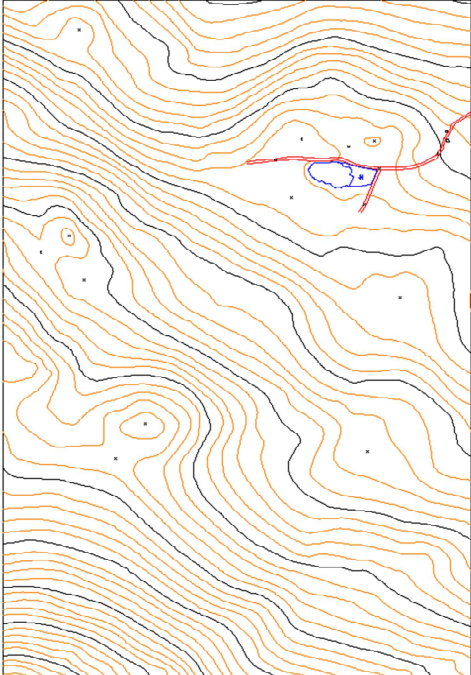
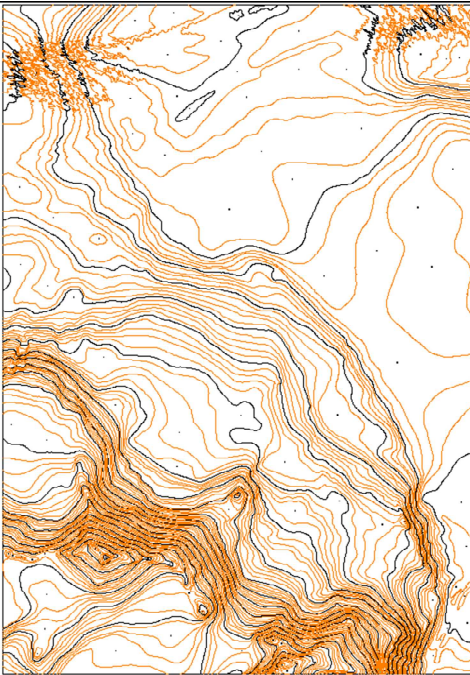
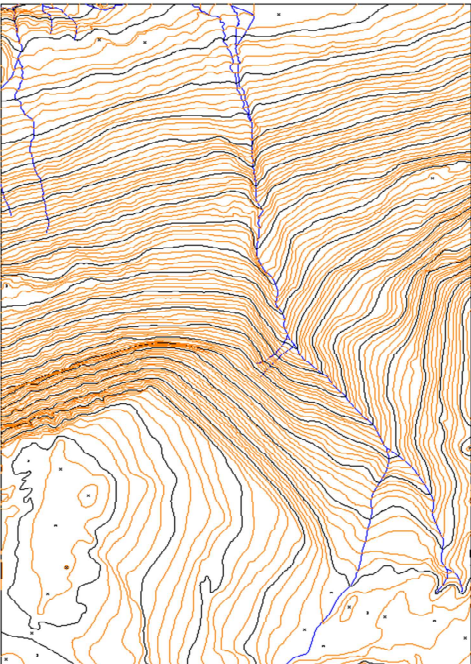
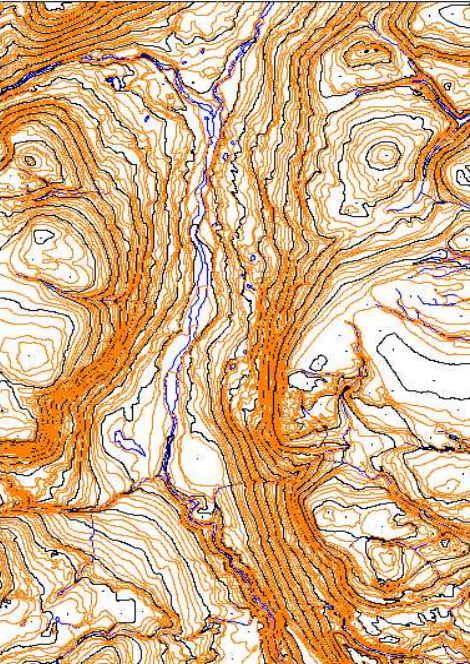
따라서 2020년 극지역 사업(남극) 품셈에서는 극지역의 지역적 특수성을 고려하여 별도의 계수를 산출 기초 항목으로 추가하였다. 그러나 극지역 지역 특수성 계수라는 다소 애매모호한 부분이 존재하며 극지역의 경우 적설 지역과 비 적설 지역의 구분에 따라 도화 공정에서 작업시간에 차이가 발생할 수 있다는 점을 확인하였다. 비 적설 지역의 지형은 극지역 지형의 특성으로 인하여 지형의 기복이 대체로 심하며 암반이 노출된 형태로 지표면이 거친 형상을 보이는 반면 눈으로 상시 덮혀 있는 적설 지역은 빙설로 거친 표면을 덮고 있어 비교적 지형의 모양이 완만한 형상을 보여 도화사가 등고선 작업에서 비 적설 지역에 비하여 작업 시간이 단축될 수 있다는 점에 적설과 비적설 지역을 구분하여 작업시간을 확인하였다. 실사 면적은 남극지역 1/5,000 축척의 1도엽 면적인 6.35 km², 1/25,000 축척의 1도엽 면적인 159km²에 대하여 각각 0.5 도엽 기준으로 적설 지역과 비 적설 지역을 구분하여 도화 작업을 진행하였다. 제작된 지역과 성과는 <표 5-11>과 <표 5-12>이다.

<표 5-11> 1/5,000 및 1/25,000 품셈 실사 지역 위성영상

| 축척 항목 | 1/5,000 | 1/25,000 |
|----------|---|--|
| | | |
| 적설 지역 |  |  |

| 축척 항목 | 1/5,000 | 1/25,000 |
|------------|--|---|
| 비 적설 지역 |  |  |

<표 5-12> 적설 지역과 비 적설 지역 1/5,000 및 1/25,000 도화 성과

| 축척 항목 | 1/5,000 | 1/25,000 |
|------------|---|--|
| 적설 지역 |  |  |
| 비 적설 지역 |  |  |

〈표 5-12〉에서 보는 것과 같이 적설 지역은 비 적설 지역에 비하여 등고선의 형태가 완만하며 등고선의 간격도 덜 조밀한 것을 확인하였다.

단위 ㎥당 품셈 실사 결과는 1/5,000 도화 공정에서 적설 지역이 2020년도 극지역 사업(남극) 작업시간 대비 61.9% 수준으로 나타났으며 비 적설 지역의 경우에는 2020년도 품셈 대비 92.8% 수준으로 것으로 나타났다. 1/25,000 도화 공정에서 비 적설 지역은 2020년도 품셈과 큰 차이가 없었으나 적설 지역의 경우 43.6% 수준으로 확인되었다.

1/5,000 및 1/25,000 작업 시 적설 지역과 비 적설 지역이 50%씩 존재한다고 가정할 때 1/5,000 도화 공정은 2020년도 품셈 대비 77.4%로 수준으로 기준 품셈 대비 22.6%가 줄어든 것으로 나타났으며, 1/25,000 도화 공정의 경우에는 2020년도 사업 품셈 대비 70.8% 수준인 것으로 나타났다.

정위치, 도면제작 및 구조화 공정은 적설 지역과 비 적설 지역에 상관없이 작업시간이 같으며 정위치, 도면제작 및 구조화 공정도 2020년도 사업 품셈 작업 대비 69% ~ 80% 수준으로 나타났다.

<표 5-13> 1/5,000 2020년 극지역 사업(남극) 품셈과 실사작업 비교표(시간/㎥ 당)

| 공정 | 2020년 극지역 사업(남극) 품셈 작업시간(h) | 실사 작업시간 | | | | |
|------|--------------------------------|---------|-------|---------|-------|-------|
| | | 적설 지역 | | 비 적설 지역 | | 평균 |
| | | 작업시간(h) | 대비 비율 | 작업시간(h) | 대비 비율 | |
| 도화 | 2.544 | 1.574 | 61.9% | 2.362 | 92.8% | 77.4% |
| 정위치 | 0.230 | 0.159 | 69.1% | 0.159 | 69.1% | 69.1% |
| 도면제작 | 0.380 | 0.238 | 62.6% | 0.238 | 62.6% | 62.6% |
| 구조화 | 0.043 | 0.031 | 72.1% | 0.031 | 72.1% | 72.1% |

<표 5-14> 1/25,000 2020년 극지역 사업(남극) 품셈과 실사작업 비교표(시간/㎥ 당)

| 공정 | 2020년 극지역 사업(남극) 품셈 작업시간(h) | 실사 작업시간 | | | | |
|------|--------------------------------|---------|-------|---------|-------|-------|
| | | 적설 지역 | | 비 적설 지역 | | 평균 |
| | | 작업시간(h) | 대비 비율 | 작업시간(h) | 대비 비율 | |
| 도화 | 0.353 | 0.154 | 43.6% | 0.346 | 98.0% | 70.8% |
| 정위치 | 0.054 | 0.037 | 68.5% | 0.037 | 68.5% | 68.5% |
| 도면제작 | 0.043 | 0.031 | 72.1% | 0.031 | 72.1% | 72.1% |
| 구조화 | 0.015 | 0.012 | 80.0% | 0.012 | 80.0% | 80.0% |

DEM 실사 작업 결과는 본 연구에서 실사 시간이 기존 품셈 대비 56% 수준으로 나타났으나, 본 연구에서는 제작한 DEM은 인접된 지역이 존재하지 않고, 해안선 등 별도의 편집이 필요하지 않은 지역을 대상으로 하여 여러 도엽이 인접하여 있으면 인접 성과 편집, 버퍼 설정 등의 작업시간이 없었으며, 해안선 등이 존재하지 않아 수계 편집 등의 작업시간에 줄어든 영향으로 기존 품셈과 다소 차이가 있는 것으로 파악되었다.

<표 5-15> DEM 실사작업 비교표(시간/㎢ 당)

| 공정 | 2020년 극지역 사업(남극) 품셈 작업시간(h) | 실사 작업시간(h) | 대비 비율 |
|-----|-----------------------------|------------|-------|
| DEM | 0.712 | 0.4 | 56% |

따라서 향후 극지역 사업 계획시 실 작업 공정에서 제외하는 바다, 강, 하천 이외에 구글어스 또는 저해상도 위성영상을 활용하여 작업 대상 지역에 영구 빙설이 존재하는지에 대한 면적을 확인하여 이를 품셈에 반영하는 방안을 고려해야 한다.

정사영상 제작 품셈은 기존 표준 품셈에 <표 5-16>에서와 같이 위성영상의 해상도에 따른 계수 등이 명시되어 있어 본 연구에서는 별도의 실사 작업을 수행하지는 않았다.

<표 5-16> 표준품셈에서 활용 영상에 따른 증감계수

| 구 분 | | | 계수 | 비고 |
|------------------|------|---------|------|----|
| 축척에 따른 증감계수 | 위성영상 | | 1.0 | |
| | 항공사진 | | 1.3 | |
| 색상보정 및 영상융합 축척계수 | 위성영상 | 1.0m 미만 | 1.15 | |
| | | 1 ~ 5m | 1.10 | |
| | | 5m 미만 | 1.0 | |

4. 현지조사가 불가능한 지역의 공간정보 구축성과 품질관리 방안

가. 산출물별 품질 평가 방법

1) 수치지도

수치지도 작성 작업규칙에 수치지도 품질검사가 5가지 기술되어 있다. 수치지도 산출물의 경우 일반적으로 이 규칙을 따라 작성되고 있다. 정보 완전성, 논리 일관성, 위치정확도, 시간정확도에 대한 정량적 품질 기준을 마련하고 검사하도록 명시하고 있다. 위치정확도는 원시자료(原始資料) 또는 실제 지형·지물과 대비하여 정확히 일치하도록 명시되어 있어, 현지조사가 불가능한 지역의 위치정확도는 원시자료와의 일치성을 기준으로 정할 수 있다. 시간정확도에서도 수치지도 작성의 기준시점으로 원시자료 또는 조사자료의 취득시점과 일치하도록 명시하고 있으며, 현지조사가 불가능한 경우 원시자료, 즉 위성영상 취득 시점을 수치지도 표현 시점으로 정할 수 있다.

작성 순서는 작업 계획, 자료 취득, 공간정보 표현, 품질 검사로 진행된다. 자료 취득에 영상 정보를 포함하고 있어, 위성영상도 자료의 하나로 볼 수 있다.

수치지도 작성 작업규칙

제6조(수치지도의 작성 순서) 수치지도는 다음 각 호의 순서에 따라 작성하는 것을 원칙으로 한다.

1. 작업계획의 수립
2. 자료의 취득
3. 지형공간정보의 표현
4. 품질검사

제8조(자료의 취득) 수치지도 작성을 위한 자료의 취득방법은 다음 각 호와 같다.

1. 사진 또는 영상정보를 이용한 자료의 취득
2. 측량기기를 이용한 현지측량
3. 지형·지물의 속성, 지명, 행정경계 등의 정보를 취득하기 위한 현지조사
4. 기존에 제작된 지도를 이용한 자료의 취득
5. 그 밖에 국토지리정보원장이 필요하다고 인정하는 방법

제10조(품질검사) 수치지도를 작성하는 기관은 작성된 수치지도가 본래의 작성 기준 및 목적에 부합하게 작성되어 있는지를 판정하기 위하여 다음 각 호에 따른 품질요소를 기초로 하여 **정량적(定量的)인 품질 기준을 마련하고 이를 검사**하여야 한다.

1. 정보의 완전성: 수치지도상의 **지형·지물** 또는 그에 대한 **각각의 정보**가 빠지지 아니하여야 한다.
2. 논리의 일관성: 수치지도의 **형식** 및 수치지도상의 **지형·지물의 표현**이 작성기준에 따라 **일관**되어야 한다.
3. 위치정확도: 수치지도상의 지형·지물의 위치가 **원시자료(原始資料)** 또는 **실제 지형·지물과 대비하여 정확히 일치**하여야 한다.
4. 시간정확도: 수치지도 작성의 기준시점은 **원시자료 또는 조사자료의 취득시점과 일치**하여야 한다.
5. 주제정확도: 지형·지물과 **속성의 연계** 및 지형·지물의 **분류**가 정확하여야 한다.

제11조(메타데이터의 작성) 수치지도의 관리 및 유통 등을 위하여 수치지도의 작성 단위별로 메타데이터를 작성하여야 하며, 메타데이터는 수치지도의 이력과 범위 정보 및 담당자 정보를 반드시 포함하여야 한다.

2) DEM

항공레이저측량작업규정에 따르면 표고 자료는 ‘검사점을 이용하여 정확도를 검증’하는 것으로 기술되어 있다. 제32조에 따르면 ‘수치지면자료의 점검 및 수정’은 단면검사 및 수치영상자료와의 중첩에 의해 오류의 유무를 점검하고 수정한다. 제33조에서 인접되는 지역의 자료를 일치시키기 위하여 인접 접합점을 이용하는 것으로 기술되어 있다. 제45조 DEM의 정확도 점검에서 실측된 기준점 및 검사점과 DEM과의 표고 차이에 대한 최댓값, 최솟값, 평균, 표준편차 및 DEM의 RMSE를 구하여 정확도를 점검한다. DEM로 음영기복도를 생성하여 화면상에서 육안으로 검사하고 오류를 확인하고 수정하도록 기술되어 있다. 그리고 DEM의 정확도 검증과 오류 점검 및 수정에 대한 결과를 작성하여야 한다. 이와 같은 작업규정을 바탕으로 다음과 같이 DEM 품질관리 방법을 고려할 수 있다.

- ① 현지 조사가 불가능한 지역에서는 지상기준정보로 사용된 자료의 일부를 검사점을 이용하여 정확도를 검증하거나, 독립 기준정보를 사용하여 정확도를 검증하여야 한다. 기준점 및 검사점과 DEM과의 표고 차이에 대한 통계값은 동일하게 적용하고, 오차 한계는 수치지도 규정을 적용할 수 있다.
- ② 수치지면자료의 검사, 음영기복도를 이용한 육안 검사는 현지 조사 여부와 관계없이 적용 가능하다.
- ③ 작업규정의 [별표 28] DEM 검사표, [별표 29] DEM 오류 정정표를 검사에 활용할 수 있다.

항공레이저측량작업규정

[시행 2016. 2. 12.] [국토지리정보원고시 제2016-429호, 2016. 2. 12., 타법개정]

제25조(기준점을 이용한 점검 및 조정) ①기준점을 중심으로 제작하고자 하는 DEM의 격자간격과 동일한 반경 내에 있는 항공레이저측량 원시자료의 표고 평균과 기준점 표고와의 차이를 계산한다.

②표고 차이의 최대값, 최소값, 평균, 표준편차 및 기준점 표고의 RMSE를 구한다. 이 때, RMSE의 한계는 25cm 이내로 한다.

③RMSE가 25cm 이상인 경우에는 기준점 성과, 항공레이저측량 시스템의 검정(Calibration) 값, 표고 차이의 평균과 표준편차 등 원인을 조사하여 재계산을 하고, 발주처와 협의하여 재측량 여부를 결정한다.

④RMSE가 25cm 이내인 경우는 기준점 성과를 이용하여 항공레이저측량 원시자료를 조정한다.

제26조(검사점을 이용한 정확도 검증) 기준점을 이용하여 조정된 원시자료는 제25조와 동일한 방법으로 제19조 3호의 검사점을 이용하여 정확도를 검증한다.

1. 표고 차이의 최대값, 최소값, 평균, 표준편차 및 검사점 표고의 RMSE를 구한다. 이 때, RMSE의 한계는 25cm 이내로 한다.

2. RMSE가 25cm 이상인 경우는 검사점 성과, 항공레이저측량 시스템의 검정(캘리브레이션) 값, 표고 차이의 평균과 표준편차 등 원인을 조사하여 재계산을 하고, 발주처와 협의하여 재측량 여부를 결정한다.

제27조(검사결과의 작성) 원시자료의 점검 및 조정에 대한 결과는 다음 각 호에 따라 작성하여야 한다.

제32조(수치지면자료의 점검 및 수정) 수치지면자료의 점검 및 수정은 다음 각 호에 따라서 수행하여야 한다.

1. **단면검사**에 의해 오류의 유무를 점검하고 수정한다.
2. 동일한 시기에 촬영된 **수치영상자료와 비교(또는 중첩)**하여 오류의 유무를 점검하고 수정한다.

제33조(인접처리) 작업지역과 인접되는 지역에 항공레이저측량에 의한 기존 수치지면자료(또는 DEM)가 있는 경우에는 **인접접합점**을 이용하여 두 자료를 일치시켜야 한다.

제45조(DEM의 정확도 점검) 실측된 기준점 및 검사점과 DEM과의 표고 차이에 대한 최대값, 최소값, 평균, 표준편차 및 DEM의 RMSE를 구하여 제44조를 기준으로 정확도를 점검한다.

제46조(DEM 오류 확인 및 수정) DEM로 **음영기복도**를 생성하여 화면상에서 **육안으로 검사**하고 오류를 확인하여 수정한다.

제49조(검사결과의 작성) DEM의 정확도 검증과 오류 점검 및 수정에 대한 결과는 다음 각 호에 따라 작성하여야 한다.

1. DEM 검사표(별표28)
2. DEM 오류 정정표(별표29)

3) 영상지도

영상지도제작에 관한 작업규정에서 영상 평가 방법을 아래와 같이 기술하였다. 단, 작업규정에서 영상은 지형지물 등 대상물에 대한 항공사진 및 위성영상을 말하며, 정사영상지도제작은 작업규정의 제3장에서 기술하고 있다.

- ① 제2절 제19조 영상의 평가에서 인접영상의 색상과 명암, 대비, 잡음, 구름에 의한 지형의 가림 정도를 고려하여 영상의 면적을 4내지 8등분하여 평가하며, 영상지도제작에 지장이 있을 때에는 재독취 또는 교체하여야 한다.
- ② 제3절 영상지도제작에서 정사영상과 중첩될 벡터자료는 지형·지물 일치성 여부를 검토하고, 해당 축척별 “지형도도식적용규정”을 적용할 것을 명시하고 있다.
- ③ 제4절 품질관리에서는 지상기준점의 선점, 수치표고 자료의 제작, 정사영상제작, 영상 집성·융합·분할, 수치지도 레이어 추출, 영상/벡터중첩, 난외주기 제작에 대하여 품질관리를 실시할 것을 명시하고 있다.
- ④ 제33조에서 지상기준점 품질관리에서 기준점 선점의 적정성, 외부 기준점 자료의 신뢰성, 정확도 평가에서 좌표값의 평균제곱근오차는 0.5화소 이내를 명시하고 있다.
- ⑤ 제34조에서 수치표고자료의 정확도는 검사점을 선정하여 “항공레이저측량작업규정”에 따라 점검한다.
- ⑥ 제35조 정사영상제작에서는 인접지역 및 음영지역의 색상 변화로 인한 불연속성을 확인한다. 평면위치오차는 도상 1.0mm 이내이어야 한다.
- ⑦ 제36조 영상지도 항목에서는 색상, 지형지물의 표현 및 난외주기, 레이어별 속성, 지형지물 중첩, 도곽선의 일치 및 파일명을 점검한다.

영상지도제작에 관한 작업규정은 영상지도제작을 위한 세부 내용을 포함하고 있기 때문에 적절한 수정 및 보완을 통하여 위성영상 처리 작업 매뉴얼로 활용될 수 있다.

영상지도제작에 관한 작업규정

[시행 2019. 7. 1.] [국토지리정보원고시 제2019-147호, 2019. 5. 23., 일부개정.]

제19조(영상의 평가) ① 영상은 인접영상의 색상과 명암, 대비, 잡음, 구름에 의한 지형의 가림 정도를 고려하여 영상의 면적을 4내지 8등분하여 평가한다.

② 영상지도제작에 지장이 있을 때에는 재독취 또는 교체하여야 한다.

제20조(수치표고 자료) ① 정사영상제작에 이용하는 수치표고자료의 격자간격은 영상의 2화소 이내의 크기에 해당하는 간격이어야 하며, 그 정확도는 영상표정 결과의 2배 이내이어야 한다.

② 지형·지물이 변화된 수치지도를 이용하여 추출된 수치표고자료를 이용할 때에는 "항공레이저측량작업규정"에 따라 이를 보완하여야 한다.

제3절 영상지도제작

제27조(작업방법) ① 정사영상과 중첩될 벡터자료는 지형·지물 일치성 여부를 검토하여야 한다.

② 벡터에 의한 지형·지물은 영상자료와 색상이 조화를 이룰 수 있도록 표현하여야 한다.

③ 영상지도의 축척별 도곽은 축척별"지도도식규칙"에 따른다.

④ 정사영상 분할은 후속작업을 고려하여 도곽의 크기보다 도상 1cm 이상의 여유를 두어 제작한다.

제4절 품질관리

제32조(품질관리) 품질관리는 다음 각 호와 같이 실시하여야 한다.

1. 지상기준점의 선정
2. 수치표고 자료의 제작
3. 정사영상제작
4. 영상집성·융합·분할
5. 수치지도 레이어 추출
6. 영상/벡터중첩
7. 난외주기 제작

제33조(지상기준점) 지상기준점은 제21조를 준용하여 다음 각 호를 점검하여야 한다.

1. 지상기준점 선정의 적정성 여부
2. 지상기준점 좌표값의 평균제곱근오차는 0.5화소 이내이어야 한다.
3. 국토지리정보원에서 보유한 기준점 성과 이외의 자료를 활용하는 경우에 자료의 신뢰성

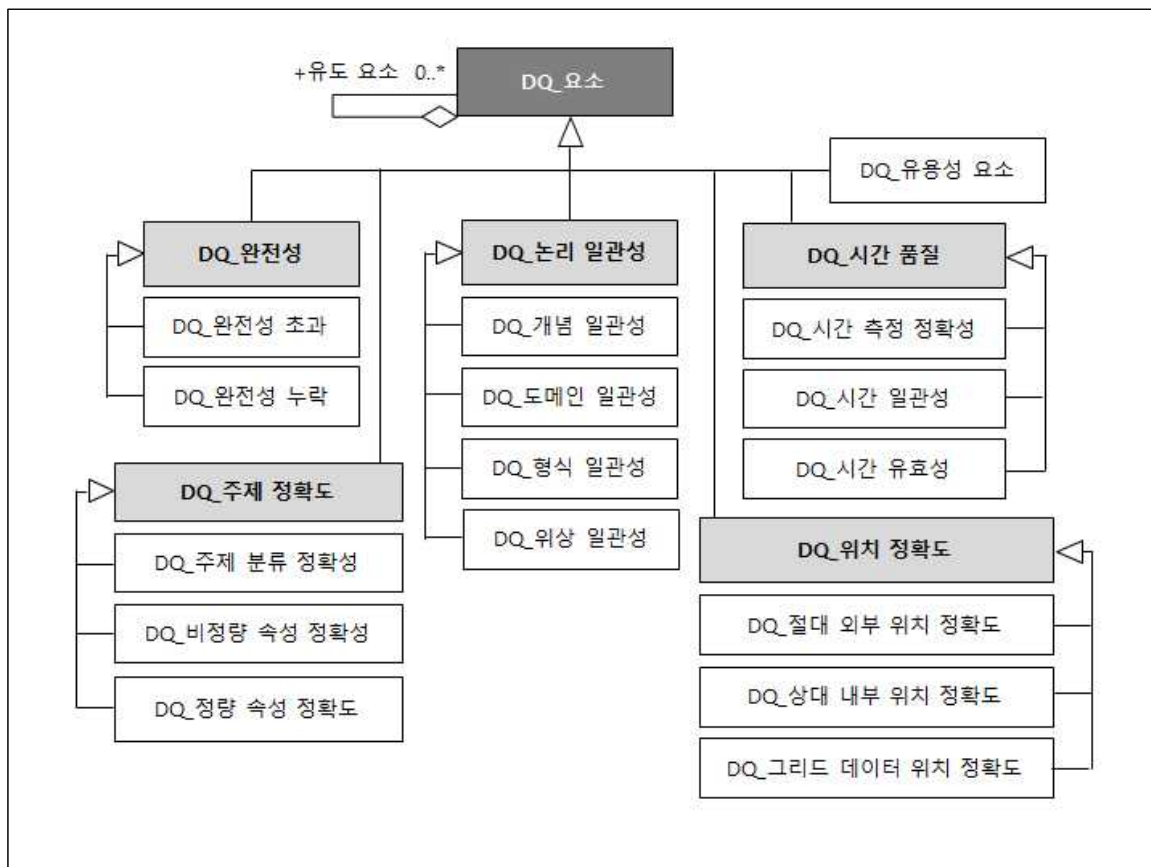
제34조(수치표고자료) 수치표고자료의 정확도는 검사점을 선정하여 "항공레이저측량작업규정"에 따라 점검하여야 한다.

제35조(정사영상제작) 정사영상은 제22조를 준용하여 다음 각 호의 사항을 점검

1. 정사영상의 평면위치오차는 출력시 도상 1.0mm 이내이어야 한다.
2. 인접지역 및 음영지역의 색상 변화로 인한 불연속성

4) ISO 지리정보 데이터 품질

인증규격 국제표준화기구(ISO: International Organization for Standardization)는 국제적으로 통일된 표준을 제정하여 상품과 서비스의 교역을 촉진하고, 과학·기술·경제 전반의 협력 증진을 목적으로 하고 있다. 기존 공간정보 품질 기준인 「ISO 19113」에서 현재 「ISO 19157」이 사용되고 있고, 「ISO/CD 19157-1」이 개발되고 있다. 국내에서는 2017년 ‘국가공간정보 표준화 연구’(한국국토정보공사)에서 메타데이터 표준(KS X ISO 19115), 국제 생산사양표준(ISO 19131), 정보통신기술협회 지리정보표준(TTAS.KO-10.0157), 국제 품질 표준(ISO 19157)의 공간정보 품질관련 표준을 분석하고, 국제 품질표준(ISO 19157) 해설서를 작성하였다.



자료: 국가공간정보 표준화 연구, 2017

<그림 5-9> 공간정보 데이터 품질 요소 및 구성요소 관계도



자료: 국가공간정보 표준화 연구, 2017

<그림 5-10> KS X ISO 19157 지리정보: 데이터 품질 평가 과정

데이터 품질 구성 요소는 다음과 같다. 유용성 요소를 제외하고 수치지도 작성 작업규칙의 품질 기준과 유사하다.

- ① 완전성 (completeness) : 지형지물 속성 및 관계에서 초과하거나 누락된 데이터의 정도
- ② 논리 일관성(logical consistency) : 개념 일관성, 도메인 일관성, 포맷 일관성, 위상 일관성
- ③ 위치 정확성(positional accuracy) : 지형지물의 위치가 실제 값과 일치하는 정도. 절대 외부 정확도, 상대 내부 정확도, 그리드 데이터 정확도
- ④ 주제 정확성(thematic accuracy) : 지형지물 간 관계 분류가 정확한 정도, 양적 속성 정확도, 비정량 속성 정확성
- ⑤ 시간 품질(temporal quality) : 시간 측정의 정확성, 시간 일관성, 시간 유효성
- ⑥ 유용성 요소(usability element) : 위의 사항 외에 사용자 요구사항 기반 평가

품질 평가 요소는 다음과 같다.

- ① 직접 평가 방법 : 데이터셋 내에서 항목 검사. 내부 또는 외부 평가. 전수 검사 또는 표본 추출

② 간접 평가 방법 : 외부 지식이나 경험 기반 평가

③ 종합과 유도 : 직간접 평가를 수행할 수 없을 때 기존 결과를 바탕으로 활용

‘국가공간정보 표준화 연구’에서는 품질표준 해설서 적용성 테스트를 위하여 2016년에 구축된 용인시 일대 1/5,000 국토지리정보원 국가기본정보(연속기본도)를 선정하고, 품질 측정과 품질 평가 방법을 지정하였다.

<표 5-17> 용인시 일대 국가기본정보 품질평가 기준

| 품질정보 항목 | 내용 |
|------------|---|
| 품질 평가방법 | · 본 사양서(부속포함)를 참조하여 해당 구성요소마다 지정된 평가방법에 따라 데이터 품질을 평가한다. |
| | · 포맷 일관성은 파일의 운용 여부를 중점을 둔 형식, 인식 가능, 데이터 일치, 무결성을 측정한다. |
| | · 개념 일관성은 테이블 정의서의 칼럼의 사양대로 저장되어 있는지를 측정한다. |
| | · 도메인 일관성은 테이블 정의서의 규칙항목을 참조하여 속성값이 규칙을 준수하였는지를 측정한다. |
| | · 코드 목록 규칙 측정 평가 시 해당 지형지물에서 사용되지 않는 코드값이 속성값으로 입력된 경우 품질 요소를 준수하지 않은 것으로 본다. |
| | · 위상 일관성은 아래 명시된 위상 측정 항목들을 정의에 따라 평가한다. |
| | · ‘다른 지형지물 레이어의 도형을 침범하는 오류의 비율’을 측정 시 등고선을 기준으로 건물을 침범하는 등고선 지형지물의 전체 비율로 계산한다. |
| | · 완전성은 건물의 초과와 누락요소를 측정하여 평가 시행하되, 반경 300m이상 그리고 200개 이상 지형지물을 포함한 구획 중 하나를 임의 선택하여 화면검사와 현장조사를 한다. |
| | · 주제 정확성은 비 정량 속성으로 하천경계면의 하천명이 올바르게 기입되었는지 측정하여 평가한다. |
| | · 유용성은 각 측정한 포맷 일관성, 개념 일관성, 도메인 일관성, 위상 일관성, 완전성, 주제 정확성이 품질사양에 대한 적합성을 평가하는 것으로 ‘데이터 품질 요소 선택하기(p83)’ 유용성 평가 기준에 따라 평가한다. |
| | · 메타 품질 평가에 대해서 ‘데이터 품질 요소 선택하기(p.83)’를 참조하여 건물의 완전성을 평가할 때 같이 평가한다. |

자료: 국가공간정보 표준화 연구, 2017

평가방법은 ‘직접평가’, 건물 레이어는 샘플조사, 교통·수계·경계·고도 레이어는 전수검사를 수행하였다. 건물 레이어에서 건물을 추출하는 전략은 영역 우선 무작위 표본 추출방식이다.

5) 사용자 참여 공간정보 구축 품질평가 기준(안)

사용자 참여 공간정보(VGI) 웹서비스 활성화를 위한 법제도적 개선 방안(2016, 박정희 등) 연구에서 기존 공간정보 품질 기준인 「ISO 19113」 데이터 품질 세부 항목과 「3차원 국토공간정보 구축 작업규정」의 3차원 국토공간정보 품질평가기준, 「수치지도 작업 규칙」에서 명시하고 있는 수치지도 작성 품질검사 세부 내용을 검토하여 <표 5-18>과 같이 2D, 3D 공간정보 구축 품질평가 기준(안)을 도출하였다.

<표 5-18> 사용자 참여형 공간정보 구축 품질평가 기준(안)

| 품질요소 | 세부요소 | 세세부요소 | 품질평가기준 | 1차 검수 | | 2차 검수 | |
|--------|---------------|---------------|----------------------------|-------|----|-------|----|
| | | | | 자동 | 수동 | 자동 | 수동 |
| 완전성 | 초과 | 대상영역 초과 | 공간적 범위에서 초과된 영역 확인 | | | ○ | ○ |
| | | 대상객체 초과 | 표준데이터셋의 초과된 객체 확인 | | | ○ | ○ |
| 논리일관성 | 위상일관성 | 2차원정보 구조화 일관성 | 기초자료의 위상관계 확인 | | | ○ | ○ |
| | | 3차원정보 구조화 일관성 | 표준데이터셋의 위상관계 확인 | | | ○ | ○ |
| 위치정확성 | 절대적 또는 외적 정확성 | 기준좌표계 정확성 | 3차원 국토공간정보 기준좌표계의 정확성 확인 | | | | ○ |
| | | 2차원 위치정보 정확성 | 편집된 자료의 위치정확성 확인 | | | | ○ |
| | | 3차원 위치정보 정확성 | 표준데이터셋의 위치정확성 확인 | | | ○ | ○ |
| | 상대적 또는 내적 정확성 | 2차원 위치정보 정확성 | 편집된 자료의 위치 정확성 확인 | | ○ | | ○ |
| | | 3차원 위치정보 정확성 | 표준데이터셋의 위치정확성 확인 | | ○ | ○ | ○ |
| | | | | | | | |
| 주제 정확성 | 분류 정확성 | 항목 분류 정확성 | 표준데이터셋 항목의 분류 정확성 확인 | ○ | | ○ | ○ |
| | 속성 정확성 | 속성 내용 불일치 | 표준데이터셋의 속성내용 불일치 확인 | ○ | | ○ | ○ |
| | | 속성 내용 누락 | 표준데이터셋의 속성내용 누락 확인 | ○ | | ○ | ○ |
| 기타 | 이력 | 이력 누락 | 생성객체 및 참조자료에 대한 이력 누락여부 확인 | ○ | | | |

자료: 2016, 박정희 등

6) 국토지리정보원 용역사업 검사기준

2019년 12월 4일 개정된 국토지리정보원 예규 제150호 용역사업검사기준에서 용역사업의 검사업무에 관한 세부기준을 정하고 있다. 검사의 대상 중에서 국가기본도 수정 사업, 1/1,000 수치지도 제작, 수치표고자료제작, 수치정사사진지도·위성영상지도제작에 관하여 살펴보면 다음과 같다.

용역사업검사기준

개정 2019.12. 4. 국토지리정보원 예규 제150호

제5조(검사의 구분 및 방법) ①검사는 당해 검사기준에 따라 "**실내검사**"와 "**현장검사**"로 구분하고, 그 검사의 구체적인 내용은 당해 검사기준이 정하는 바에 따른다.

②당해 검사기준에 따라 "**전수검사**"나 "**표본(Sample)검사**"를 실시하여야 하며 표본검사의 검사물량은 당해 검사기준에서 정하고 있는 범위 안에서 검사의 물량이나 난이도 등에 따라 증감할 수 있다.

③표본검사는 당해 검사기준에 따라 표본에 대한 검사항목 전부를 검사하거나 검사에 소요되는 시간, 비용 및 필요성 등을 감안하여 특정 구역이나 지형지물 등을 별도로 추출하여 검사할 수 있다.

제6조(검사 세부기준 및 검사표의 작성) ①검사는 **각 공정별로 검사세부기준**에 따라 검사를 실시하여야 하며, 그 검사 결과를 검사표로 작성하여야 한다.

제7조(검사결과의 판정) ①용역사업의 검사는 **항목 및 공정별로 실시**하여 당해 용역사업의 검사기준에서 정하는 기준에 따라 "적합" 또는 "부적합"으로 판단하고, 그 결과를 종합하여 최종적인 "합격" 또는 "불합격" 판정한다.

극지 공간정보 구축사업에서 성과검수는 수치도화 성과검수, 정위치 성과검수, 구조화 성과검수, 정사영상 성과검수, DEM 품질관리로 나누어 진행되고 있다.

- ① 수치도화 성과검수 : 검수 자료 준비, 판독묘사사항 검사, 누락여부 검사, 정확도 검사 등
- ② 정위치 성과검수 : 표준코드와 표준도식 적합성, 심볼 적정성, 선의 연결·폐합 또는 누락 여부, 데이터 포맷, 레이어 분류체계 지형지물 논리성, 도로 및 하천 중심성 생성, 객체의 경계 침범, 등고선 수치, 표고점 높이값 등. 검사기준은 수치지형도 작성 작업규정, 지도도식규칙 등

- ③ 구조화 성과검수 : 모든 도형정보에 점·선·면 표현의 정확성, 기하학적·위상학적 구조의 적합성, 속성데이터 정확성, 면 구조의 지형지물간 상관관계 구조 적합성, 하천 및 하천중심선 분리 등
- ④ 정사영상 성과검수 : 접합선(seamline) 적절성, 경계부분에서 음영 등의 이격, 지형 높낮이 표현 적절성, 수직구조물에 의한 영상 왜곡 등. 검사기준은 영상지도제작에 관한 작업규정
- ⑤ DEM 품질관리 : 도곽, 도곽선주변, 도곽내부에서 선정된 점에 대하여 원시자료와 수치표고자료의 높이값 차이에 대하여 표준편차와 최대차이 분석

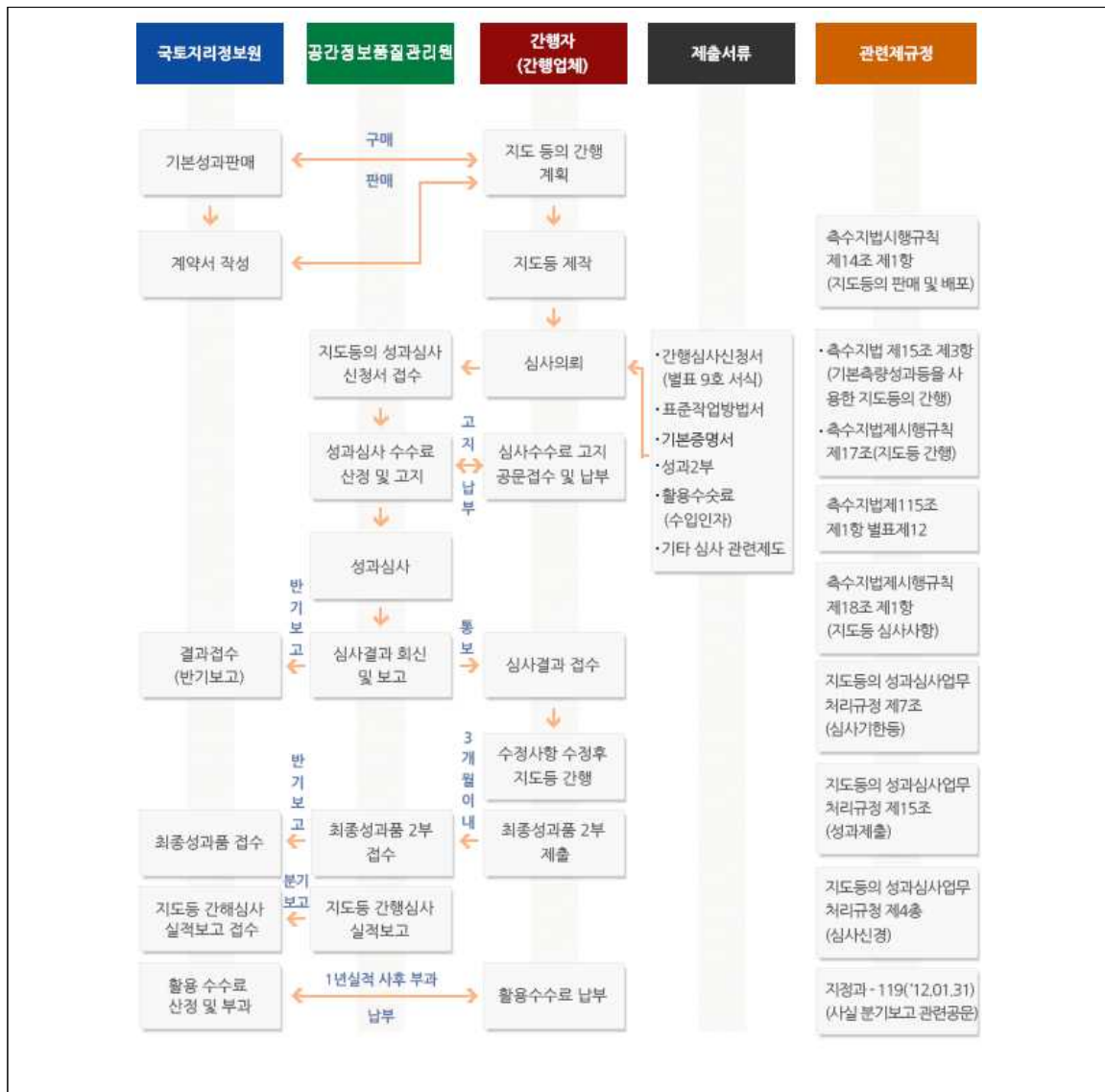
<표 5-19> 항공사진측량 작업규정 제67조1항 정확도 검사

| 묘사오차(표준편차/최대오차) | | | |
|-----------------|--------|-------|-----------|
| 축 척 | 평면위치 | 등고선 | 표고점 |
| 1/5,000 | 1m/2m | 1m/2m | 0.5m/1m |
| 1/25,000 | 5m/10m | 3m/5m | 1.5m/2.5m |

자료: 항공사진측량 작업규정

7) 기타 공간정보

2019년 설립된 공간정보품질관리원(<http://siqms.or.kr>)은 공공측량 성과심사, 지도 등의 간행에 대한 심사, 공간정보 품질과 관련한 정책, 표준화 및 시스템 구축 지원, 공간정보 품질과 관련한 기술의 연구 및 개발 등의 기능을 수행하고 있다.



자료: 공간정보품질관리원 홈페이지

<그림 5-11> 지도 등의 간행심사 흐름도

공간정보연구원에서는 공간정보 품질 표준 연구(2017년 공간정보 표준화 연구)에서 주요 법령, 연관 표준 분석 및 해설서 작성이 이루어졌다. 국제 표준 ISO 19157을 분석하여 국토교통부의 세부 규정을 기준으로 평가 항목을 도출하였으며, 이를 기반으로 품질 점검을 수행하고 있다. 특히 정성적 측정 항목은 배제하고 객관적으로 점검할 수 있는 정량적 측정 항목만을 점검 항목으로 적용하려고 하고 있다. 따라서 ISO 19157 품질 기반 항목을 모두 사용하지 않고, 특성에 맞게 일부 항목을 선정하여 품질 기준을 수립하고 있다. 예를 들어 영상기반 재난정보 DB 구축 기술의 품질

검사에서는 <표 5-20>와 같이 11개 항목을 선정하여 품질을 평가하였다. 한국국토정보공사는 국토교통부 품질관리 위탁기관으로 지정되어 공간정보 수준평가를 수행하고 있다.

<표 5-20> 재난정보 DB 품질 기준 항목 수립 사례

| 구분 | 항목 | 정의 | 방식 |
|-----------|--------------------------|---|----|
| 완전성 | 완전성 초과, 누락 | 데이터 셋에서 기준보다 지형지물의 초과, 누락 정도 | 수동 |
| | | 분석에 필수적인 데이터의 초과, 누락 정도 | 자동 |
| 논리 일관성 | 개념 일관성 (공간참조체계 정확성) | 측지계, 좌표계, 축척 등과 같은 공간정보 참조체계가 유효한 범위를 가지고 있는지 여부 | 자동 |
| | 개념 일관성 (속성 누락) | 데이터 셋에서 속성의 누락 정도 | 자동 |
| | 도메인 일관성 (식별자 정의) | 식별자가 명확하게 정의되어 있는지 여부 | 자동 |
| | 형식 일관성 | 데이터가 물리적 구조에 맞게 저장되는 구조 | 자동 |
| | 위상 일관성 (Geometry 완결성) | 공간 객체들이 공간적 완결성을 유지하는 여부로서 홀 폴리곤의 일부 영역이 오버랩 되는지 확인 | 자동 |
| 위치 정확도 | 상대 내부 정확도 | 지도에서 물체의 크기 조정된 거리를 지면에서 측정한 동일한 거리와 비교하여 근접한 정도 측정 | 수동 |
| | 절대 외부 정확도 | 지도 상의 대상 위치가 허용 좌표계에 따라 지구의 정확한 위치와 일치하는 정도 | 수동 |
| 시간 품질 | 시간 측정 정확성 | 측정 시간의 참으로 알려진 값과의 근접성 | 자동 |
| | 시간 유효성 | 시간과 관련된 데이터 유효성 여부 | 자동 |

자료: 위성·무인기 등 다채널 영상정보를 활용한 연속적 재난상황 인지 및 위험 모니터링 기술 개발(2020)

일본측량작업 규정 준칙 (자료: https://psgs2.gsi.go.jp/koukyou/jyunsoku/pdf/r2/r2_junsoku.pdf, 공간정보품질관리원 기술연구소 번역)에 따르면 작업기관은 품질평가 절차에 따라 품질평가를 실시하며, 당초 요구한 품질을 만족하지 않는 항목이 발견된 경우 필요한 조정을 실시하도록 명시하고 있다. 품질평가는 항공사진측량, 사진지도 제작, 항공레이저측량, 지도편집, 기반지도정보의 작성 등에서 이루어지도록 하고 있다.

3차원 국토공간정보구축작업규정과 실내공간정보 구축 작업규정에 나와 있는 품질관리 및 품질 요소는 다음과 같다.

실내공간정보 구축 작업규정

[시행 2018. 3. 5.] [국토교통부고시 제2018-142호, 2018. 3. 5., 제정.]

제3장 품질관리

제42조(품질기준 및 관리) 작업기관은 실내공간정보의 세밀도 및 활용목적에 따른 품질기준을 만족하는지 여부를 확인하는 품질검사 절차를 다음과 같이 수행하여야 한다.

1. 실내공간정보의 품질검사는 **기하 및 속성검사와 위치정확도 검사**로 구분한다.

가. 기하 및 속성의 품질기준은 완전성, 논리일관성, 위치정확성, 주제정확성, 기타항목을 검사하며 검사방법, 품질기준은 별표 10의 "실내공간정보 품질기준 및 품질검사표"에서 정하는 바에 따른다.

나. 위치정확도 품질기준은 별표 11의 "실내공간정보 위치정확도 품질기준"에서 정하는 바에 따른다.

2. 발주기관에서 활용목적에 따라 별도의 위치정확도 기준을 정할 수 있다.

제43조(완전성 검사) 실내공간정보의 완전성 검사는 객체입력의 완전성과 데이터의 완전성을 다음과 같이 검사한다.

1. 부재객체 입력여부, 누락객체 입력여부, 중복객체 입력여부 등 객체입력의 완전성을 검사한다.

2. 실내공간정보 유통표준 데이터 스키마 무결성, ID입력의 무결성(부재입력, 중복입력, 누락여부), 분류코드 입력의 무결성(부재입력, 중복입력, 누락여부)에 대하여 검사하여 데이터의 완전성을 확인한다.

제44조(논리 일관성 검사) 실내공간정보의 논리 일관성 검사는 과업지시서 또는 이와 동등한 문서에 명시한 세밀도에 따른 표현대상 여부, 표준데이터 사양 준수 여부를 다음과 같이 검사한다.

1. 유통표준인 CityGML2.0 데이터스키마의 검사기준은 별표 12에서 규정한 "실내공간정보 데이터 스키마 : CityGML 2.0"과 같으며, XML문법검사기를 사용할 수 있다.

2. 세밀도에 따른 표현의 적정성의 검사기준은 별표 1에서 규정한 "실내공간정보 세밀도 정의"와 같다.

3. 실내공간정보 표준 데이터 사양 준수 여부의 검사 기준은 별표 3에서 규정한 "실내공간정보 표준데이터 사양"과 같으며 검사항목은 다음 목과 같다.

제45조(위치정확성 검사) 실내공간정보 위치표현의 정확성은 위치의 기준, 위치정확도, 경계인접, 가시화 정보 정합을 다음과 같이 검사한다.

1. 위치의 기준은 절대좌표이며, 제4조에서 정하는 바에 따라 표현되었는지 검사한다.

2. 위치정확도 검사는 공간을 형성하는 구조물과 공간내부에 설치된 고정시설물을 검사대상으로 하는 것을 원칙으로 하되, 실외와 연계되는 출입구를 포함한다.

3. 경계인접은 제작된 실내표현 구조물간의 경계 인접의 겹침, 이격, 누락 여부를 검사한다.

4. 가시화표현의 정합은 실내공간에 위치한 구축대상의 가시화정보의 정합완전성을 검사한다.

제46조(주제정확성 검사) 주제정확성은 속성데이터 항목 입력의 정확성, 속성내용의 일치, 누락 등을 다음과 같이 검사한다.

제47조(누락여부 확인) 별표 13에서 규정한 "실내공간정보 성과물 목록"에서 정의한 세밀도별 실내공간정보 성과물 누락여부를 확인한다.

3차원국토공간정보구축작업규정

[시행 2019. 7. 1.] [국토지리정보원고시 제2019-146호, 2019. 5. 23., 일부개정]

제3장 품질관리

제22조(품질관리 범위) ① 3차원 국토공간정보가 제작기준에 부합하는지 여부를 판정하기 위하여 작업공종별(자료취득 및 편집, 3차원 국토공간정보 제작, 가시화정보 제작, 정리점검 및 성과품)로 정량적인 검사를 수행하여야 한다.

②작업기관은 공종별 작업종료 후 전수검사를 수행하여 결과를 발주처에 보고하고, 이상이 없을 경우에 후속작업을 실시하여야 하며, 발주처는 공종별로 작업이 종료되기 전에 표본검사를 수행하여 품질을 검사할 수 있다.

③제2항의 표본검사를 위한 표본지역의 선정은 다음 각 호의 사항을 고려하여야 한다.

1. 발주처의 주요 관심지역
2. 3차원 국토공간정보 표준데이터셋이 고르게 제작된 지역
3. 전체 작업지역 대비 표본검사 비율에 해당하는 도엽 수

제23조(품질요소) ① 품질검사를 위한 품질요소는 다음 각 호와 같다.

1. 완전성
2. 논리일관성
3. 위치정확성
4. 주제정확성
5. 기타

②품질요소의 평가기준 및 근거는 **별표7 "3차원 국토공간정보 품질평가 기준"**을 따른다.

③품질요소의 오류율 산정기준은 **별표8 "3차원 국토공간정보 품질요소 오류율 산정기준"**을 따른다.

④품질검사 방법별 품질요소의 적용범위는 **별표9 "3차원 국토공간정보 품질검사 방법별 품질요소 적용범위 및 합격기준"**을 따른다.

제24조(검사방법) 3차원 국토공간정보의 품질검사 방법은 다음 각 호와 같으며, 품질요소를 기반으로 작업공종별로 수행하여야 한다.

1. 화면검사
2. 현장검사

제25조(화면검사) ① 3차원 모델의 누락, 인접 오류, 노드점 오류, 방향성 오류 등을 검사한다.

②속성정보는 1/1,000 수치지도2.0, 각종 대장자료간의 비교를 통하여 누락, 오류 사항을 검사한다.

③가시화정보는 누락, 적절성, 영상정합 오류를 검사한다.

제26조(현장검사) ① 현장검사는 가시화정보의 영상정합 오류 및 표현 오류 등을 검사하여야 하며, 현장사진과의 비교로 현장검사를 대신할 수 있다.

②3차원 모델의 위치정확도에 대한 별도의 검증이 필요하다고 판단되는 경우에는 직접 또는 간접측량의 방법으로 현장검사를 실시 할 수 있다.

나. 기존 품질관리 규정 분석

1) 접근불능지역의 지리정보 구축방법 연구 (2004)

‘북한지역 지리정보 구축지침(안)’에서 품질관리 방법을 자체품질관리와 외부품질관리로 구분하였다.

북한지역 지리정보 구축지침(안)

3절 품질관리

제18조(품질관리) 품질관리는 **자체품질관리**와 **외부품질관리**를 한다.

1. **자체품질관리**는 제작과정 중에 지리정보의 정확도에 큰 영향을 줄 수 있는 다음과 같은 공정 단계마다 실시한다.

- ① 위성영상 자료 구입
- ② 위성영상 전처리
- ③ 입체영상 생성
- ④ 수치해석도화
- ⑤ 지도 편집

2. 작업과정 및 최종성과물의 정확도에 대한 신뢰도를 높이기 위하여 주관기관 또는 주관기관이 지정한 **외부기관에 품질관리를 의뢰**한다.

제19조(위성자료 품질관리) 구입한 위성자료를 화면상에 출력하여 육안으로 다음 사항을 점검한다.

- ① 영상내 잡음 및 대기 등의 존재여부(20% 미만)
- ② 주문 대상 지역내 운량(10% 미만 만족), 적설량 여부(10% 미만)
- ③ 좌우측 영상의 촬영시간 차(짧을수록 만족)
- ④ 주문내역에 대한 대상지역 불일치 여부
- ⑤ 공간해상도(1m 이상)
- ⑥ 좌우측 영상의 자체정보가 포함된 RPC파일
- ⑦ 영상중첩도 및 적정 모델수
- ⑧ 위성의 촬영각도(좌우측으로 각각 25°이내)
- ⑨ 촬영된 영상의 최신성

제20조(위성영상 전처리 품질관리) 영상의 전처리에 대하여 다음 사항을 점검한다.

- ① 지도 좌표계 투영
- ② 위성의 위치정보 보정
- ③ 위성의 자세정보 보정 제거 여부
- ④ 보정후 리샘플링시 공간해상도 만족

제21조 (입체영상 품질관리)

- ① RPC(Rational Polynomial Coefficient) 이용한 표정여부
- ② 촬영각도 및 종시차 제거시 좌우측 영상의 위치정확도 만족 여부

제22조(수치해석도화 품질관리) 수치해석도화에 대하여 화면 및 출력 검수를 시행하며, 다음 사항을 점검한다.

- ① 기본 레이어 추출에 대한 표준레이어 코드 확인
- ② 도화시 좌표계 및 축척 확인
- ③ 도엽단위 도화확인

2) 접근불능지역 공간정보 통합체계 ISP 수립 연구 (2011)

접근불능지역 공간정보구축 작업규정에 품질관리 항목이 기술되어 있다.

접근불능지역 공간정보구축 작업규정(안)

제6장 품질검사

제19조(품질검사 범위) ① 접근불능지역 공간정보가 제작기준에 부합하는지 여부를 판정하기 위하여 작업공종별로 정량적인 검사를 수행하여야 한다.

② 작업기관은 공종별 작업종료 후 전수검사를 수행하여 결과를 발주기관에 보고하고, 이상이 없을 경우에 후속작업을 실시하여야 하며, 발주기관은 공종별로 작업이 종료되기 전에 표본검사를 수행하여 품질을 검사할 수 있다.

③ 품질관리는 자체품질관리와 외부품질관리를 수행한다.

④ **자체품질관리**는 제작과정 중에 공간정보의 정확도에 큰 영향을 줄 수 있는 다음과 같은 공정 단계마다 실시한다.

1. 위성영상자료 획득
2. 3차원 모델링
3. 수치도화
4. 정위치편집 및 구조화 편집
5. 도면제작 편집

⑤ 작업과정 및 최종성과물의 정확도에 대한 신뢰도를 높이기 위하여 주관기관 또는 주관기관이 지정한 **외부기관에 품질관리를 의뢰**한다.

제20조(품질검사 요소) 위성영상자료에 대한 품질검사를 제외한 각 공정별 품질검사는 “수치지도작성작업규칙” 제10조에 따라 다음과 같은 요소에 따라 수행함을 기본 원칙으로 한다.

1. 완전성
2. 논리일관성
3. 위치정확성
4. 주제 정확성
5. 기타

제21조(품질관리) ① 위성영상자료에 대한 품질검사를 제외한 각 공정별 품질검사는 다음 각 호를 기준으로 한다.

1. 품질요소의 평가기준 및 근거는 별표 3을 따른다.
2. 품질요소의 오류율 산정기준은 별표 4를 따른다.
3. 품질검사 방법별 품질요소의 적용범위는 별표 5을 따른다.

제22조(위성자료 품질관리) ① 위성영상자료에 대한 품질검사는 화면상에 출력하여 육안으로 다음사항을 점검한다.

1. 영상 내 잡음(20% 미만)
2. 주문 대상 지역 내 윤량(10% 미만 만족), 적설량 여부(10% 미만)
3. 좌우측 영상의 촬영시간 차(1개월 미만, 1개월 이상의 경우 감독관과 협의)
4. 주문내역에 대한 대상지역 불일치 여부
5. 영상중첩도 및 적정 모델수
6. 위성의 촬영각도(좌우측 각각 25° 이내)
7. 촬영된 영상의 최신성

접근불능지역 공간정보 품질평가 기준에서 품질 요소 및 품질평가 기준, 오류율 산정기준은 현행 국토지리정보원 규정과 유사하다.

다. 접근불능지역 공간정보 품질 관리 방안

“북한지역 지리정보 구축지침(안)”과 “접근불능지역 공간정보구축 작업규정(안)” 등 기존 연구 사례와 “영상지도제작에 관한 작업규정”, “3차원국토공간정보구축작업규정” 등 국토지리정보원 작업 규정 등을 고려하여 접근불능지역의 공간정보 품질관리 방안을 작성하였다.

1) 품질관리

- ① 작업공종별(작업계획 및 점검, 기초자료 취득 및 3D 모델링, 도화 및 편집, 공간정보 구축, 품질관리, 정리점검 및 성과품)로 품질관리를 수행한다.
- ② 품질요소는 “공간정보 품질평가 기준 및 오류율 산정기준”을 따른다. 오류율은 품질관리표를 활용하여 산정한다.
- ③ 품질요소 적용범위는 “공간정보 품질요소 적용 범위 및 합격기준”을 따른다.
- ④ 표본검사를 수행하여 품질을 검사하며, 지정된 오류율에 따라 합격 여부를 판단한다.
- ⑤ 현지조사가 불가능한 지역으로 인하여 검사방법은 화면검사를 이용한다. 별도의 검증이 필요하다고 판단되는 경우에는 간접 검사 방법으로 국토지리정보원 내부 및 외부의 자료를 활용할 수 있다.

<표 5-21> 공간정보 품질평가 기준 및 오류율 산정기준

| 품질요소 | 세부요소 | 세세부요소 | 품질평가 기준 | 오류율 산정 |
|--------|---------------|----------------|--|--------------------------|
| 완전성 | 누락 | 대상영역 누락 | ○ 공간적 범위에서 누락된 영역 확인 “작업시행계획서 작성” | $L / (A + L) \times 100$ |
| | | 대상객체 누락 | ○ 데이터의 누락된 객체 확인 “작업시행계획서 작성” | |
| 논리 일관성 | 위상 일관성 | 구조화 일관성 | ○ 기초자료의 위상관계 확인 “기초자료 편집” | $(F / A) \times 100$ |
| 위치 정확성 | 절대적 또는 외적 정확성 | 기준좌표계 정확성 | ○ 기준좌표계의 정확성 확인 “위치기준” | $(E / A) \times 100$ |
| | | 2차원 위치정보 정확성 | ○ 편집된 자료의 위치정확성 확인 “위치기준”, “기초자료 취득”, “기초자료 편집” | |
| | 상대적 또는 내적 정확성 | 2차원정보 경계인접 | ○ 편집된 기초자료의 경계 인접부 정확성 확인 “기초자료 취득”, “기초자료 편집” | $(E / A) \times 100$ |
| | 위치 정확성 | 그리드 데이터 위치 정확성 | ○ DEM의 격자간격 정확도 확인 ○ 정사영상의 위치정확도 확인 ○ 지형데이터의 지형지물 왜곡 및 오류 확인 “지형데이터 편집방법” | $(E / A) \times 100$ |
| 주제 정확성 | 분류 정확성 | 항목 분류 정확성 | ○ 데이터 항목의 분류 정확성 확인 “기본공간정보” | $(B / A) \times 100$ |
| | 속성 정확성 | 속성내용 불일치 | ○ 데이터의 속성내용 불일치 확인 “기본공간정보” | $(B / A) \times 100$ |
| | | 속성내용 누락 | ○ 데이터셋의 속성내용 누락 확인 “기본공간정보” | |
| 기타 | 관리파일 작성오류 | 메타데이터 누락 | ○ 메타데이터의 작성여부, 오류 및 누락 확인 “메타데이터 작성” | $L / (A + L) \times 100$ |
| | 성과품 누락 | 성과품 누락 | ○ 최종성과품들의 누락여부 확인 “성과품” | $L / (A + L) \times 100$ |

※ 범례

| | | | |
|-----|------------------|-----|----------------------|
| L : | 누락항목 | F : | 정해진 위상을 준수하지 않는 항목 수 |
| A : | 품질적용 범위내의 총 항목 수 | E : | 영역을 초과한 항목 수 |
| B : | 분류나 속성이 틀린 항목 수 | | |

<표 5-22> 공간정보 품질요소 적용 범위 및 합격기준

| 품질요소 | 세부요소 | 세세부요소 | 검사방법 화면검사 | 합격기준 (오류율(% 이내)) |
|-----------|------------------|--------------|---------------|---------------------|
| 완전성 | 누락 | 대상영역 누락 | ○ | 0% |
| | | 대상객체 누락 | ○ | 0% |
| 논리 일관성 | 위상 일관성 | 구조화 일관성 | ○ | 5% |
| 위치 정확성 | 절대적 또는 외적 정확성 | 기준좌표계 정확성 | ○ | 0% |
| | | 2차원 위치정보 정확성 | ○ | 5% |
| | 상대적 또는 내적 정확성 | 2차원정보 경계인접 | ○ | 5% |
| | | 위치 정확성 | 그리드 데이터 위치정확성 | ○ |
| 주제 정확성 | 분류 정확성 | 항목 분류 정확성 | ○ | 5% |
| | 속성 정확성 | 속성내용 불일치 | ○ | 5% |
| | | 속성내용 누락 | ○ | 5% |
| 기타 | 관리파일 작성오류 | 메타데이터 누락 | ○ | 5% |
| | 성과품 누락 | 성과품 누락 | ○ | 0% |

2) 품질 개선 방안

‘북한지역 지리정보 구축지침(안)’과 “접근불능지역 공간정보구축 작업규정(안)”에서는 품질관리 방법을 자체품질관리와 외부품질관리로 구분하였다. 자체품질관리는 제작과정 중에 공간정보의 정확도에 큰 영향을 줄 수 있는 주요 공정 단계마다 실시하며, 외부품질관리는 작업공정 및 최종 성과물의 정확도에 대한 신뢰도를 높이기 위하여 주관기관 또는 주관기관이 지정하는 외부기관에서 수행한다. 자체품질관리 방법을 통한 접근불능지역의 공간정보 품질을 개선하기 위하여 다음과 같은 요소를 고려할 수 있다.

① 위치정확성 향상을 위한 기준정보 확보

위성영상 표정 정확도 향상 및 품질 평가를 위하여 지상기준점, 수치지형도, 정사영상 등으로부터 다양한 기준 정보를 확보하여 활용한다. 지리정보원은 다양한 공간정보를 수집하여 축적하며, 관련 정보가 품질 개선에 활용될 수 있도록 활용 방안을 세운다.

② 위성영상 표정 정확도 향상을 위한 최신 기술 적용

멀티위성영상 동시 처리, 향상된 접합점 자동 추출 및 정합 기술, 시계열 위성영상 융합처리 기술, 딥러닝 기술 등 최신 위성영상 처리 기술을 적용하여 정확도 향상을 추구한다.

③ 검사작업의 자동화를 통하여 품질 검사대상의 확대 및 효율화

소프트웨어 기반의 검사(반)자동화를 확대하여 표본 검사 대상을 확대하고, 검사를 효과적으로 수행한다.

④ 국제기준 요소를 반영한 품질관리 방안

데이터의 시간적 속성 및 시간적 관계를 의미한 시간 품질을 반영한다.

⑤ 작업대상지역의 특성을 고려한 체계화된 기본공간정보 정의와 작업 기준 제시

⑥ 체계적인 위성영상 품질평가 기준 적용

위성영상자료에 대한 품질검사는 화면상에 출력하여 육안으로 잡음·운량·적설량 0% 또는 10% 이내, 촬영각 좌우측 각각 25° 또는 30° 이내 등의 조건을 점검하고 있지만, 영상중첩도 및 적정 모델수, 촬영된 영상의 최신성, 좌우측 영상의 촬영시간 차, 축척에 따른 적정 공간해상도, 극지역 등을 고려한 정량적 품질평가 기술을 마련하여 작업 전에 영상품질을 체계적으로 점검한다.

극지역에서는 해빙, 빙원, 빙상, 빙하, 빙봉, 크레바스 등과 같이 판독이 어려운 지형지물이 존재하며, 적절한 레이어 구성 및 표현 방법이 제시되어야 한다. 또한 오류사례집과 같이 작업자를 위한 보조 자료를 축적하고 활용한다.

3) 접근불능지역 오류 사례

기존 극지역 공간정보 구축 성과와 본 연구의 공간정보 구축 성과를 분석하여 접근불능지역 오류 사례를 정리하였다. 본 오류 사례는 접근불능지역의 공간정보 품질의 향상을 위한 참고 자료로 활용될 수 있다. 향후 다양한 지역의 사례를 추가로 축적하여 다양한 환경의 위성영상기반 공간정보 품질 개선의 기초 자료로 활용될 수 있도록 지속적인 연구가 필요하다.

① 3차원 모델링

- RPC 이용한 표정 기준 만족 여부
- 촬영각도 및 종시차 제거시 좌우측 영상의 위치정확도 만족 여부
- 좌우 영상 간의 과도한 시차로 인하여 입체시가 가능 여부

② 수치지형도


수치도화에 대하여 화면 및 출력 검수를 통하여 다음과 같은 품질관리를 수행한다.

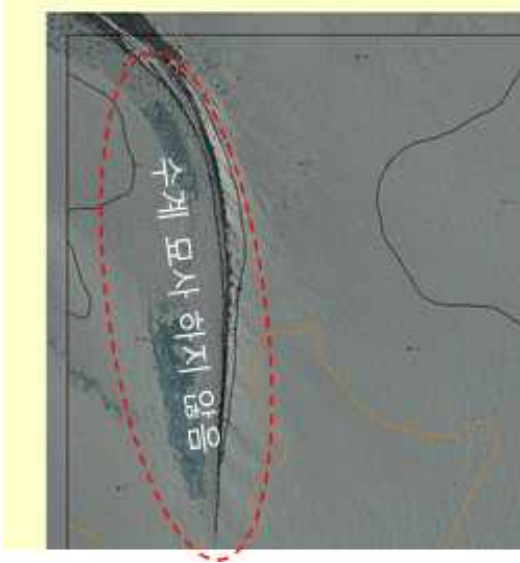
- 기본 레이어 추출에 대한 표준레이어 코드 확인
- 도화시 좌표계 및 축척 확인

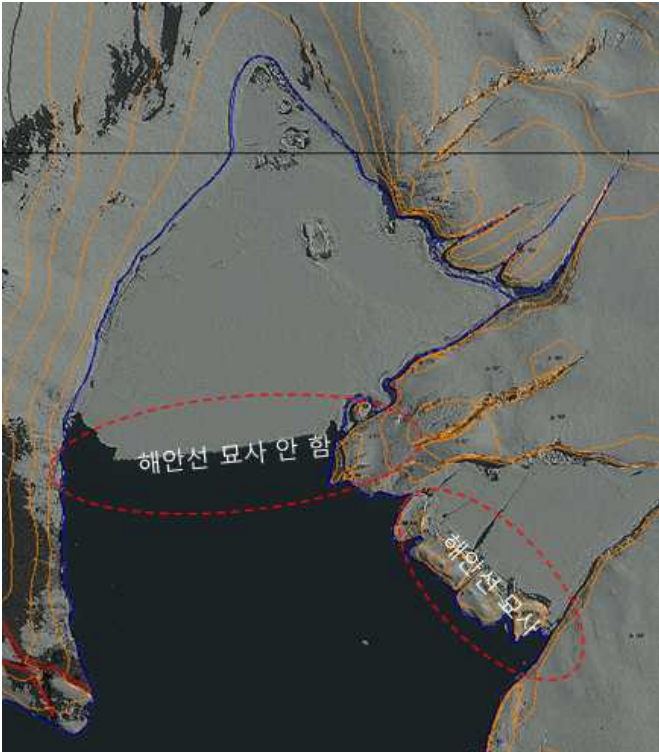
- 도엽단위 도화확인
- 지형지물의 모양이 실제와 얼마나 일치하는가 등의 정확성
- 입력된 데이터의 논리적 모순 여부
- 인접 도엽과의 접합시 연속성 여부 (도상 0.7mm 이하)
- 후속 공정작업시 포맷의 적합 여부
- 도화사 경력에 따른 개인차로 인해 발생하는 정확도 여부

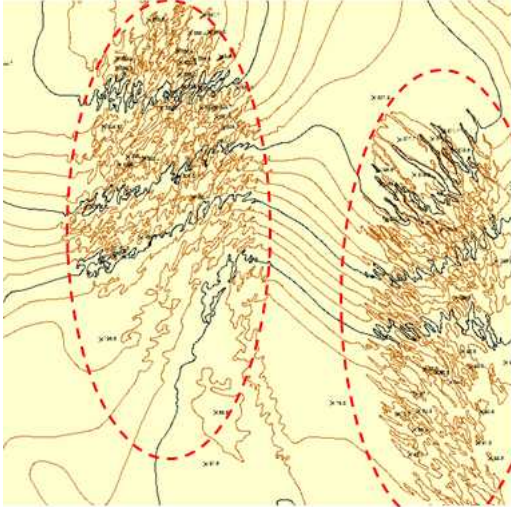
도면편집 품질관리는 각 지형지물의 도면제작 지형코드를 참고하여 점검한다.

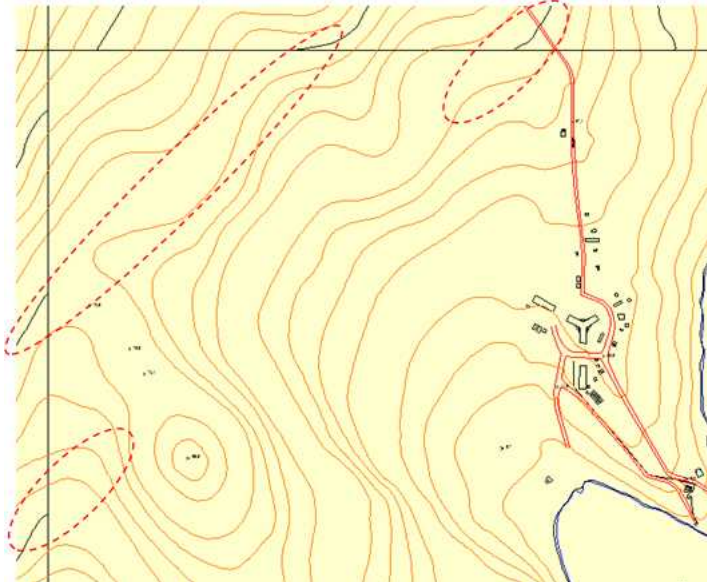
- 평면 및 고도 위치정확도 적정 여부
- 도엽코드, 도곽좌표의 적정 여부
- 지형지물의 누락 또는 코드의 오기여부
- 선의 훼손여부
- 곡선 데이터의 점간 최소간격
- 선형데이터의 실폭 및 단선 표현 적정 여부

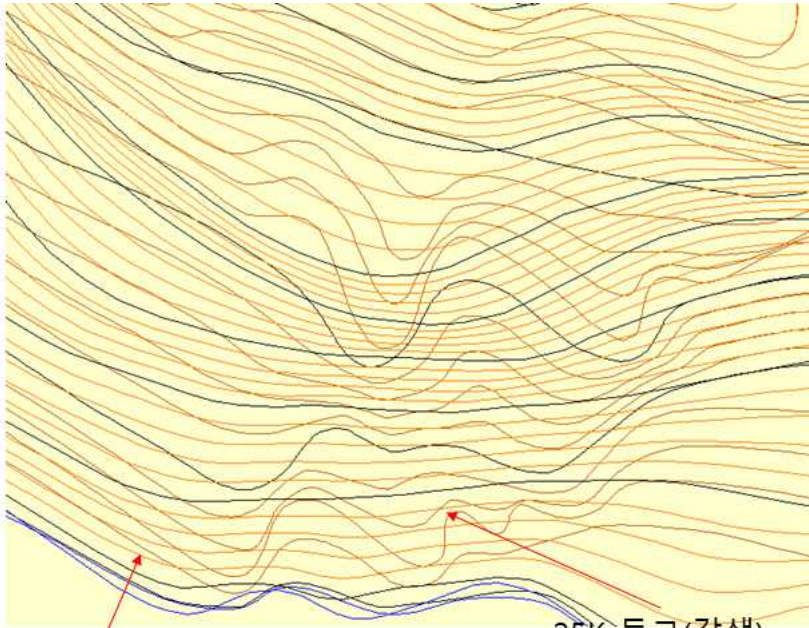
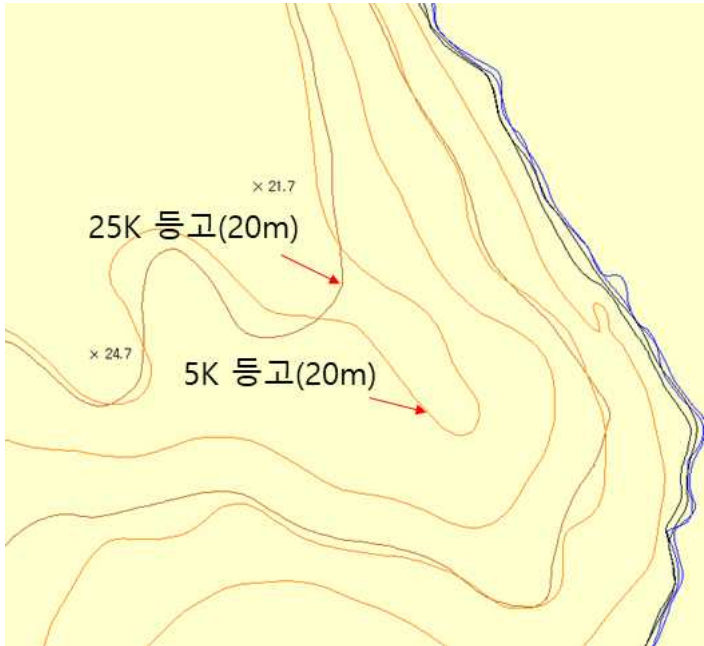
| 검사 항목 | 바다의 빙산 |
|---|--|
| 설명 | 묘사 불필요 |
|  |  |


| | |
|--|-------|
| 검사 항목 | 수계 |
| 설명 | 묘사 누락 |
|  | |

| | |
|--|----------------|
| 검사 항목 | 해안선 |
| 설명 | 일정하지 않은 해안선 묘사 |
|  | |

| | |
|--|---|
| 검사 항목 | 크레바스 또는 빙하가 갈라지는 지역 |
| 설명 | 등고 묘사 기준이 없으며, 비 영구 지역에 대한 묘사 방법을 명확히 할 것 |
|  <p>등고</p> | |

| | |
|--|--------|
| 검사 항목 | 지형의 묘사 |
| 설명 | 계곡선 누락 |
|  | |

| | |
|--|--|
| 검사 항목 | 지형의 묘사 |
| 설명 | 동일지역에서 1/5,000 등고 도화 성과와 1/25,000 등고 도화 성과의 등고 모양이 다름 |
|  <p>5K 등고(적색) 25K 등고(갈색)</p>  <p>25K 등고(20m) × 21.7</p> <p>5K 등고(20m) × 24.7</p> | |

| 검사 항목 | 해안선 |
|---|----------------------------|
| 설명 | 서로 다른 축척에서 해안선 경계 묘사 차이 발생 |
|  | |

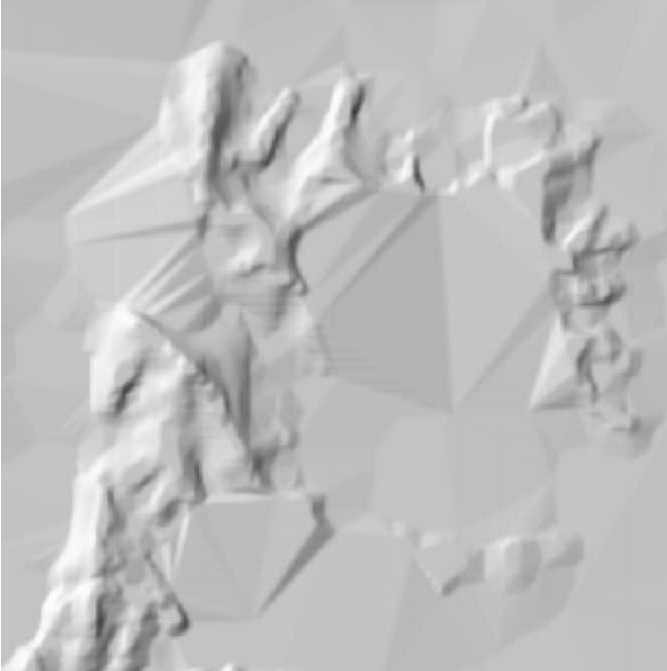
정위치 편집 과정에서 극지역에서만 특수하게 발생할 수 있는 빙하, 적설, 크레바스 등에 대한 정위치 편집 방법에 관한 내용을 별첨 형식으로 기술하는 것이 필요하다. 현재 극지역 수치지형도 제작과 정위치 편집 과정에서 해당 레이어에 대한 별도 작업 방법 및 규정에 대하여 명시되어 있지 않아 극지역 대부분 지역에서 광범위하게 나타나고 있는 빙하지역, 적설 지역 및 크레바스 레이어가 별도로 존재하지 않는다.

③ DEM

DEM의 지형 형상의 이상 여부를 확인하기 위하여 음영기복도 기반의 육안 검수 방법을 활용하였다. DEM의 위치 정확도 검수를 위하여 기준 표고모형을 사용하여 평가한다.

DEM의 주요 오류는 절토, 단지 조성 등의 인공적인 지형 변화로 인한 오류와 홍수 재해 등의 자연적인 지형 변화로 인한 오류이다. 또한, 수치지형도의 등고선은 축척에 따라 구축되는 높이 간격(주곡선)의 높이 차이가 있으며, 특정 지점에서 등고선의 높이 값이 급격하게 변화되면 등고선의 높이값 오류를 의심할 수 있다. 표고점의 경우 인접한 지점에 다른 표고점의 높이값에 차이가 크면 오류일 수 있다.


| | |
|---|------------------|
| 검사 항목 | 표고값 |
| 설명 | DEM에서 표고점 높이값 오류 |
|  | |

| | |
|--|---------------------------|
| 검사 항목 | 등고선 높이 |
| 설명 | 잘못된 등고선 높이로 인한 DEM 높이값 오류 |
|  | |

④ 정사영상

제작된 정사영상과 참조자료인 수치지형도 중첩을 통해 상대 정확도를 비교할 수 있다. 국토지리정보원에서 기준점 성과를 이용하여 구축한 1/5,000 수치지형도를 기준으로 수평 위치에 대하여 검증하였으며, 이를 토대로 오류 사례를 정리하였다.

| 검사 항목 | 접합선 |
|---|----------------------|
| 설명 | 모자이크 과정에서 적절한 접합선 선정 |
|  | |

| 검사 항목 | 위치 정확도 |
|--|-----------------------------|
| 설명 | 수치지형도와 정사 영상의 중첩을 통한 정확도 비교 |
|  | |

제6장

맺음말

본 연구에서는 국토위성을 활용하여 극지역에 대한 공간정보(수치지도, 정사영상, DEM 등)를 구축하게 될 경우 필요로 하는 기술적 정책적 필요사항을 검토하고 각각의 방안을 도출하였다. 첫 번째로 국내 항공사진에 의한 공간정보 구축 등의 기술, 규정 등을 참고하여 국토위성을 활용할 경우 고려사항, 한계, 정확도 확보 가능성, 검증 방안 등을 실험 등을 통해 도출하였고, 두 번째로 극지역 특수성에 맞춘 영상 획득, 처리 방안에 대한 기술적인 검토를 수행하였다. 세 번째로 국토위성을 활용하여 극지역 공간정보 구축을 위한 계획수립 시 고려해야 할 주요 구축대상 지역, 갱신 주기 등을 도출하였다. 네 번째로 국토 위성을 활용한 극지역 공간정보 구축 시 매뉴얼 및 품질관리 방안을 도출하였다.

1. 위성영상 기반 공간정보 구축 기술 현황 분석 및 개발

항공사진과 위성영상을 이용한 공간정보 구축에서의 차이점 조사 분석을 통해 플랫폼과 센서의 차이에 따른 취득 방식에서 발생하는 촬영 계획, 해상력 부분과 이로 인해 프로세싱 측면에서 센서 모델링, 입체처리 등의 차이로 나누어 볼 수 있었다. 이렇게 도출된 국토위성의 특성과 극지역의 특수성을 감안하여 해당 지역의 고품질 공간정보를 취득 및 처리할 경우 고려해야 할 촬영 시간, 촬영 각, 경사각에 따른 지상해상도, 구름량, 급경사 등 지형지물의 영향, 촬영 방식, 국토위성 2기 운용 계획 등에 대한 방법을 도출하여 제시하였다. 특히 극지의 경우 태양고도각의 영향이 매우 중요하였고, 급경사 지형 및 입체시를 위한 수렴각 및 비대칭각 등의 고려 또한 중요함을 알 수 있었다. 또한 2기로 운용되는 국토위성 2기를 이용하여 입체영상을 획득하기 위한 Multi-pass stereo, across-track 방식 등에 대한 방안도 도출하였다.

다음으로 기준점의 취득이 어려운 극지역에 대한 기하정확도 향상방안 도출을 위해 ICESat(Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite) -2 기반 센서 보정 기법과 다중영상기반 센서 모델링의 두 가지의 기법을 제안하고 실험을 통해 평가하였다. 첫 번째, 기준점 대체용으로 전 지구적으로 위치관측이 가능한 ICESat 포인트 자료와 기준점의 영상좌표 독취 과정이 필요 없는 3D 매칭 기법을 이용하여 국토위성 영상과 함께 제공되는 RPC 센서 모델을 보정하여 정확도 향상을 확인하였다. 실험을 위해 국내 서울시와 대전시, 비접근 지역인 남극 장보고과학기지 일대를 대상으로 관측 수집된 아리랑 3A 다시기 영상 중 두 쌍의 영상만 선택하였다. ICESat 포인트 자료와 3D 매칭 기법을 이용하여 RPC를 보정한 결과, 서울지역의 경우 두 영상에서 RPC 보정 전 RMSE가 각각 8화소(라인)와 5화소(라인), 1화소(샘플)와 11화소(샘플) 정도에서 보정 후 각각 2픽셀(라

인)과 3화소(라인), 1화소(샘플)와 1화소(샘플)로 향상되었다. 대전지역의 경우 두 영상에서 RPC 보정 전 RMSE가 각각 10화소(라인)과 8화소(라인), 2화소(샘플)과 8화소(샘플) 정도에서 보정 후 각각 2화소(라인)와 2화소(라인), 2화소(샘플)와 3화소(샘플)로 향상되었다. 비 접근지역인 남극 장보고과학기지 주변의 경우 두 영상에서 RPC 보정 전 RMSE가 각각 16화소(라인)와 2화소(라인), 2화소(샘플)과 2화소(샘플) 정도에서 보정 후 각각 3화소(라인)와 1화소(라인), 1화소(샘플)와 3화소(샘플)로 향상되었다. 두 번째 방법으로서 같은 영역의 반복 관측에 의한 다중영상은 영상점들 간의 상호표정을 통해 위치정확도를 향상시킬 수 있는 점에 착안하여, 무기준점 다중영상 기반 센서모델링을 위해서는 먼저 영상 매칭을 통해 자동으로 접합점을 추출하고, 취득된 접합점의 영상좌표와 주어진 RPC를 활용하여 다중영상 기반의 센서모델링을 통해 보정하였다. 실험을 통해 완전한 무기준점 기반의 방식으로서 수직오차를 크게 저하시킬 수 있었으며, 과대 오차를 줄이는 데 기여할 수 있음을 확인하였다.

다음으로 항공사진측량이 불가능한 극지역에 대해 국토위성을 기반으로 수치지형도 구축을 위해서 위성영상 기반 수치지형도 제작에 적합한 정확도 규정, 극지역 연구 활동에 필요한 레이어 선정, 남극에 적합한 지도좌표계 도출 등을 진행하였다. 국토 위성영상에 의한 1/5,000 수치지형도 제작을 위해서는 국내 항공사진측량 규정에 제시되어 있는 지상표본거리, 기준점오차, 조정계산 오차 등과 같은 기준을 적용하는 것은 적합하지 않은 것으로 판단되었다. 용역사업 규정에 제시된 최종위치 정확도 기준 평면위치 $\pm 1.5\text{m}$, 표고점 $\pm 1.5\text{m}$ 이내와 마찬가지로 위성영상에 대해서도 최종위치 정확도를 먼저 결정하고, 이에 따른 기준점, 검사점 기준을 설정하는 방법의 검토가 필요하다고 보인다. 또한, 기존 극지역 레이어 외에 남극지역 과학 활동에 필요할 것으로 예상되는 해빙, 빙원, 빙상, 빙하, 빙봉 크랙, 크레바스, 통합기준점 등에 대해 국토위성과 공간해상도가 동일한 Pleiades 위성영상에 의한 판독성을 평가하였으며, 그 결과 빙벽의 경우 판독이 다소 부정확하며, 통합기준점은 판독할 수 없었지만, 그 외 모든 레이어들은 명확히 판독이 가능하였다. 지도좌표계는 기존에 사용하는 UTM 좌표계뿐 아니라 남극 전체에 적용 가능한 Antarctic Polar Stereographic 투영법도 적용이 가능한 것으로 분석되었다.

극지역 수치표고모델 제작을 위해서 먼저 REMA, Arctic DEM 등 국제 극지 지형 정보 현황을 조사하고 지형정보 생성 기법 도출하였다. 특히 입체 영상 기반 DEM 추출 SW(상용 및 OpenSource)를 조사하여 제시하고, 입체 영상 기반 수치표고모델 실험 및 추출 시 중요한 고려사항으로 적설지 대조도, 급경사지의 입체영상 간 기하 차이, 특히 낮은 태양고도각에 의한 그림자 등을 도출하였다. 또한 장보고 기지 주변의 아리랑 3A 입체 영상을 이용하여 자동 매칭을 통해 수치표고모델을 생성 실험을 진행하였고, 적설지의 경우 매칭 품질 확보가 가능하나, 낮은 태양각에 의

한 그림자는 극복이 어려움을 확인하였다. 정사영상 생성 실험 또한 동일한 아리랑 3A 다중밴드 정사영상을 이용하였으며, 실험 결과 접합선은 Weighted Seamline을 선택하고, 추가기능으로 Smoothing과 Feathering에서 접합선 기준 거리를 최대한 넓게 설정하는 것이 상대적으로 높은 품질 확보가 가능함을 알 수 있었다. 컬러 밸런싱에 있어서는 Dodging 옵션을 선택하고, Dodging 옵션에서 격자 크기는 최대한 적게 설정하고, 남극 영상에서는 Smoothing은 생략해도 결과 영상에 큰 영향을 주지 않는 것을 알 수 있었다.

마지막으로 해안환경, 기후변화 등의 인자로서 중요한 극지 해안선 정보구축을 위해 SCAR ADD 등 극지 해안선 정보를 조사하고 분석하였으며, NDWI 기반 해안선 추출 기법 및 TPXO 조석 정보 분석을 통한 조위 정보 추출 및 해안선 도출 기법을 도출하고 실험하였다. NDWI의 경우 그림자, 구름 등의 영향이 있으면 많은 오류를 발생시킬 수가 있어 높은 품질의 영상이 아닐 경우 자동화가 아닌 수동 도화의 보조 데이터로 활용해야 할 것으로 판단되었다.

2. 위성영상 기반 지도제작 및 공간정보 기술 시범적용

아리랑 3A 위성영상을 모의영상으로 수치지형도, 수치표고모델 및 정사영상을 제작하여 시범 적용하였다. 수치지형도의 시범 적용은 접근 가능 지역인 수원 및 대전지역과 극지역인 장보고과학기지 주변에 대해 검증을 수행하였다. 검증용 모의 영상은 처리하지 않은 원 영상, 동일지역의 다수의 영상을 이용하여 무기준점 보정을 수행한 영상, ICESat-2 자료를 이용하여 보정한 영상을 대상으로 수행하였다. 원 영상은 도화기에서 입체시 구현이 불가능하여 검증 대상에서 제외하고 무기준점 보정영상과 ICESat-2를 활용하여 보정한 영상을 대상으로 검증을 수행하였다. 검증 결과 수치지형도, 수치표고모델 및 정사영상 분야에서 접근 가능 지역과 장보고과학기지 일대에서 무기준점 영상보다 ICESat-2를 이용하여 보정한 영상의 결과가 향상되는 것으로 나타났다. 무기준점 영상과 ICESat-2 보정 영상 모두 1/25,000 수치지형도 최종정확도에는 만족하는 것으로 나타났으나 무기준점 영상은 1/5,000 수치지형도 최종정확도에는 다소 부적합한 것으로 나타났다. ICESat-2 보정 영상의 경우 대전지역 및 장보고과학기지 일대에서 1/5,000 수치지형도 최종 위치정확도에 근접한 것으로 파악되었다. 수치표고모델은 2019년도 TerraSAR-X를 기반으로 제작한 수치표고모델과 장보고과학기지 주변 무기준점 보정 및 ICESat-2 보정영상 간에 정확도를 검증하였다. 검증 결과 ICESat-2 자료를 이용하여 보정한 수치표고모델의 정확도가 무기준점 보정 영상의 정확도 보다 향상되는 것을 확인하였다. 정사영상 검증은 ICESat-2를 이용하여 보정된 RPC 파일과 수치표고모델을 이용하여 2019년도 제작된 1/5,000 수치지형도를 중첩하여 검증을 수행하였으며

위치오차의 평균은 1.54m로 나타났다.

극지역 공간정보 구축을 위한 작업 규정 개선에서는 수치지형도 작업 규정에서는 남한 및 한반도 중심의 지도 좌표계만 정의되어 있으나, 극지역의 경우 남극과 북극에서 사용하는 좌표계에 대한 기술적 정의가 필요하다. 정위치 편집 과정에서 극지역에서만 특수하게 발생할 수 있는 빙하, 적설, 크레바스 등에 대한 정위치 편집 방법에 관한 내용을 별첨 형식으로 기술하는 것이 필요하다. 위상관계를 갖는 구조화 데이터 공유를 위한 파일 포맷에 관한 내용으로 극지역 구조화 데이터는 SHP 기반 정의가 필요하다. 기존 작업 규정에서 수치표고모형 제작 시 위성영상을 활용하는 현재 없는 것으로 파악되어 국토위성 등 영상정보 및 수치지형도의 등고선과 표고점을 이용하는 작업 방법에 대해서 별도의 작업 규정에 관련 항목을 추가할 필요성이 있다. 영상지도 작업 규정은 다른 규정에 비하여 항공사진뿐만 아니라 위성영상을 활용하는 측면과 정확도 규정이 다른 항목에 비하여 잘 정리가 된 것으로 파악되었다. 다만, 위성영상을 이용하여 제작하는 성과물에 관해서는 위성영상 품질부터 정사영상 및 영상지도 품질관리에 관한 세부적인 항목이 추가되어야 할 것으로 파악되었다.

3. 극지역 공간정보 구축 시행계획 구체화 방안 마련

본 과제에서는 국내·외 극지역 관련 정책·개발·연구기관의 동향 및 요구사항들을 분석하여 극지역 공간정보의 구축지역 및 갱신주기를 도출하였으며, 구축된 공간정보들을 효과적으로 활용하기 위한 방안을 도출하였다.

첫 번째로, 극지역 공간정보 구축지역은 북극과 비교하여 상대적으로 수요가 높은 남극지역 내 과학기지를 중심으로 구축하는 것이 활용적인 측면에서 효과적일 것으로 도출되었다. 특히, 극지역 공간정보를 활용하는 주요 사용자들은 해당 지역에 존재하는 크레바스, 해안선, 빙봉, 자연환경 등에 대한 다양한 정보를 원하기 때문에, 수치지형도보다는 최신의 정사영상과 수치표고모형을 제공하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 따라서 극지역 공간정보 구축에서도 과학기지 등을 중심으로 하는 관심 지역을 대상으로 구축하되, 장기적으로는 극지역 전체를 포함하는 공간정보를 구축하여 사용자들에게 제공하는 방향으로 계획을 수립해야 할 것이다. 그러므로 극지역 공간정보의 갱신 주기의 경우에도 2~4년의 갱신주기를 가지고 극지역 공간정보를 갱신하되, 관심 지역에 대해서는 국토위성 등을 통하여 취득된 위성영상 등을 활용하여 정사영상 및 수치표고모형의 수시갱신 방안을 수립하는 것이 합리적일 것이다.

두 번째로, 구축된 극지역 공간정보를 효과적으로 활용하기 위하여 구축된 공간정보들이 제공

되는 국토정보플랫폼에 대한 적극적인 홍보와 사용자 친화적으로 공간정보 서비스 방안을 마련해야 할 필요성이 있다. 장기적으로는 극지연구소 및 해양수산부에서 운영 중이거나 계획 중인 극지 정보 관련 통합시스템과 연계하여 극지 관련 기관들에게 극지역 공간정보의 접근성을 쉽게 해야 할 것이다. 이를 위하여, 극지역 공간정보 관련 활용협의체나 워킹그룹 등을 지속적으로 운용하여 수요기관의 요청사항 및 수요조사를 수행함과 동시에, 수요사항 등에 대한 환류 체계를 마련해야 할 것이다. 또한, 국토지리정보원에서 구축한 극지역 공간정보를 해외 극지역 관련 위원회를 통하여 홍보하고, API 서비스 등을 통하여 국내·외 관련 연구자들이 극지역 공간정보를 효과적으로 사용할 수 있는 시스템적인 개선방안도 검토할 필요성이 있다.

4. 위성영상 기반 공간정보 구축 제도 정비

국토지리정보원에서 위성영상을 기반으로 공간정보 구축사업에서 활용할 수 있는 매뉴얼, 품셈, 품질관리 방안 등 제도적 보완 연구를 수행하였다. 기존 국토지리정보원 규정은 국내 항공측량 자료를 바탕으로 공간정보를 구축하고 있으므로, 본 연구에서는 국토위성을 포함한 다양한 위성영상과 극지역 등의 특수성이 고려된 공간정보 구축 제도로 기여할 수 있도록 정비하였다.

첫째, 위성영상 기반 공간정보 구축에 적용 가능한 공간정보 구축 관련 작업 매뉴얼을 제시하였다. 매뉴얼 작성을 위하여 우선 기존의 다양한 공간정보 구축 규정 및 보고서를 분석하였으며, 이와 함께 최신 위성영상 처리 기술의 반영 및 접근불능지역 등의 환경적 특수성을 고려하는 매뉴얼을 제작하였다. 구축되는 부가 공간정보로 수치표고모델, 정사영상 등을 제시하고 구축 공정을 매뉴얼에 포함하였다. 또한 기준공간정보를 도입하여 극지역, 접근불능지역 등에서 구축되는 공간정보의 신뢰성과 정확도를 향상시키고자 하였다.

둘째, 일반지역과 극지역 업무량 비교분석을 통한 공정별 비용을 산정하고, 극지역 품셈 적용 방안을 제시하였다. 극지역, 접근불능지역, 접경지역에 따른 1/5,000, 1/25,000 지형도의 평균 단가 비교에서 극지역이 접경지역보다 단가가 높게 나타났으며, 정사영상은 단가 차이가 크지 않았다. 극지역 품셈 산출 실사를 위하여 적설 지역과 비적설 지역으로 작업량을 비교한 결과 비적설 지역이 적설 지역에 비하여 지형 특성으로 인하여 약 2배 시간이 소요되며, 향후 적설 여부에 따라 품셈을 구분할 필요성이 제기되었다.

셋째, 현지조사가 불가능한 지역의 공간정보 구축성과 품질관리 방안을 제시하였다. 우선 기존 국토지리정보원 규정 및 규칙, ISO 지리정보 데이터 품질의 품질 평가 방법을 분석하였다. 품질평가 기준 및 산정 방법의 거의 유사하게 나타났으며, 기존 평가 방법에 특수 환경 지역을 위한 항목

을 추가하는 것을 고려하였다. 품질 개선 방안으로 기준정보 확보, 검사작업 자동화, 대상 지역 특수성을 고려한 작업 기준 확립 등을 제시하고, 접근불능지역의 수치지형도, 수치표고모델 등의 공간정보 구축 사례 샘플을 제시하여 품질 개선에 활용할 것을 제안하였다.

본 연구성과는 위성영상 기반 맞춤형 제도 정비로 공간정보 구축의 효율성과 정확도를 향상하는 데 기여 할 것으로 여겨진다.

연구에서는 위성영상 기반 공간정보 구축기술, 위성영상 기반 지도제작 및 공간정보 기술 시범 적용 결과, 극지역 공간정보 구축 시행계획 구체화를 위한 갱신주기, 대상지 분석, 위성영상 기반 극지 공간정보 구축 제도 등을 종합적으로 분석한 데 의의가 있다. 그러나 연구 일정의 한계로 인해 국토위성 데이터를 직접적으로 활용한 실험은 진행하지 못하는 등의 아쉬움이 있다. 그러나 국토지리정보원 담당자나 연구진은 유사한 사양을 갖는 아리랑 3A 등에 기반한 실질적 실험을 통해 국토 위성 데이터 활용 시 필요한 기술적 정책적 고려사항 등을 도출하고자 노력하였으며, 이러한 연구 결과가 단기적으로 국토위성의 운용 및 활용을 통한 극지역 공간정보 구축기술의 개발 및 시행계획 수립, 그리고 중장기적으로 순수 국내 위성정보를 활용하여 체계적인 극지역 공간정보 생성을 통한 국제적 위상 정립에도 이바지할 수 있기를 기대한다.

참고문헌

- 국토지리정보원. (2018), 국토위성정보의 수집·활용시스템 기본설계 및 활용 기초기술 개발
- 국토지리정보원. (2019), 접근 불능지역 1/5,000 공간정보 시범구축
- 국토지리정보원. (2020), 항공사진 측량 작업규정
- 국토지리정보원. (2019), 용역사업검사기준
- 국토지리정보원. (2021), 영상지도제작에 관한 작업규정
- 국토지리정보원. (2019), 수치지형도 작성 작업규정
- 국토지리정보원. (2014), 대축척 수치지도 정확도 재정립 연구 보고서
- 국토지리정보원. (2019), 극지역 공간정보 구축사업 연구 보고서
- 국토지리정보원. (2021), 수치지형도 및 항공영상 품질관리 기준
- 국토지리정보원. (2016), 항공레이저측량 작업규정
- 김동한, 오채영, 이대영, 이동천. (2018), 모자이크 영상 생성을 위한 영상과 수치지도로부터 접합선 결정, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 36, No. 6, pp. 483-497
- 정재훈, 김태정. (2013), 스테레오 영상분석에 기반한 DSM 과대오차영역의 자동검출기법연구, 대한원격탐사학회, Vol. 29, No. 5, pp.487-497
- 한향선, 이춘기. (2018), Landsat 다중분광 영상정합을 이용한 동남극 난센 빙봉의 2000-2017년 흐름속도 변화 분석, 대한원격탐사학회지, Vol. 34, No. 6, pp.1165-1178.
- American Society for Photogrammetry, and Remote Sensing, eds. Digital elevation model technologies and applications: The DEM users manual. Asprs Publications, 2007. pp 69-70.
- ASPRS. (2015), ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, pp. A1-A26
- Astrium. (2013), SPOT 6 & SPOT 7 Imagery User Guide, 13p, 35p, 105p.
- Bindschadler, R., Vornberger, P., Fleming, A., Fox, A., Mullins, J., Binnie, D.,

- Paulsen, S. J., Granneman, B., and Gorodetzky, D. (2008), The Landsat image mosaic of Antarctic, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 112, pp. 4214-4226.
- Brunt, K. M., Neumann, T. A., and Smith, B. E. (2019), Assessment of ICESat-2 Ice Sheet Surface Heights, Based on Comparisons over the Interior of the Antarctic Ice Sheet, *Geophysical Research Letters* 46., doi.org/10.1029/2019GL084886.
- Burt, P. and Adelson E. (1983), The Laplacian pyramid as a compact image code, *IEEE transactions on Communications*, Vol. 31, No. 4, pp. 532-540.
- Dai, C., Howat, I., Larour, E., and Husby, E. (2019), Coastline extraction from repeat high resolution satellite imagery, *Remote Sensing of Environment*.
- Dial, G. and Grodecki, J. (2005), RPC replacement camera models, In *Proceeding of ASPRS Annual Conference*, Baltimore, Maryland, USA, pp. 7-11.
- Franchis, C. D, Meinhardt-Llopis, E., Michel, J., Morel, J. M., and Facciolo, G. (2014), An automatic and modular stereo pipeline for pushbroom images. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Sep 2014, Zurich.
- Fraser, C. S. and Hanley, H. B. (2003), Bias compensation in rational functions for IKONOS satellite imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 69, No. 1, pp. 53-57.
- Grodeck, J. and Dial, G., (2002), Block Adjustment of High-Resolution Satellite Images Described by Rational Polynomials, *PE&RS*, pp. 59-68.
- Gruen, A. and Akca, D. (2005), Least squares 3D surface and curve matching. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 59, No. 3, pp. 151-174.
- Hirschmüller, H., Scholten, F., and Hirzinger, G. (2005), Stereo Vision Based Reconstruction of Huge Urban Areas from an Airborne Pushbroom Camera (HRSC). In: W. Kropatsch, R. Sablatnig and A. Hanbury (eds), *Pattern Recognition, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3663, Springer Berlin, pp. 58-66 Switzerland.
- Horn, B. (1986), *Robot Vision*, MIT Press, Cambridge, MA, 509p.
- Howat, I., Porter, C., Smith, B., Noh, M.J., and Morin, P. (2019), The Reference Elevation Model of Antarctica. *The Cryosphere*. Vol. 13. pp. 665-674.
- Jeong, J. (2017), Imaging geometry and positioning accuracy of dual satellite stereo

- images: a review, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *ISPRS Geospatial Week*, Wuhan, China, Vol. IV-2/W4, pp. 18-22.
- Jeong, J. H. and Kim, T. J. (2016), Quantitative estimation and validation of the effects of the convergence, bisector elevation, and asymmetry angles on the positioning accuracies of satellite stereo pairs. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 82, No.8, pp. 625-633.
- Kurtz, N. T., Markus, T., Cavalieri, D. J., Krabill, W., Sonntag, J. G., and Miller, J. (2008), Comparison of ICESat data with airborne laser altimeter measurements over arctic sea ice. *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 46, No. 7, pp. 1913 - 1924.
- Lee, H. and Hahn, M. (2020), Point-to-surface matching for DEM correction using ICESat data, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLIII-B4-2020, pp. 715-720.
- Lee, C. N., Oh, J. H., Hong, C. H., and Yoon, J. H. (2015), Automated generation of a digital elevation model over steep terrain in Antarctica from high-resolution satellite imagery, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 53, No. 3, pp. 1186-1194.
- Lefsky, M. A., Harding, D. J., Keller, M., Cohen, W. B., Carabajal, C. C., Espirito-Santo, F. D.B., Hunter, M. O. and Oliveira Jr., R. (2005), Estimates of forest canopy height and aboveground biomass using ICESat. *Geophysical Research Letters* 32, doi:10.1029/ 2005GL023971.
- Leong, W. J. and Horgan, H. J. (2020), DeepBedMap: a deep neural network for resolving the bed topography of Antarctica, *Cryosphere*, pp. 3687-3705.
- Rongxing L., Xutong N., Chun L., Bo W., and Sagar D. (2009), Impact of Imaging Geometry on 3D Geopositioning Accuracy of Stereo Ikonos Imagery, *PE&RS*, Vol. 75. No. 9, pp. 1119-1125.
- Lowe, D. (2004), Distinctive image features from scaleinvariant keypoints, *International Journal on Computer Vision*, Vol. 60, No. 2, pp. 91-110.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S., and McGlone, J. C. (2001), Introduction to modern photogrammetry, John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 136-137.

- Neuenschwander, A. L., Magruder, L. A. (2019), Canopy and terrain height retrievals with ICESat-2: a first look, *Remote Sensing*, 11, doi:10.3390/rs11141721.
- Oh, J. H. (2010), Novel approach to epipolar resampling of HRSI and satellite stereo imagery-based georeferencing of aerial images, The Ohio State University.
- Oh, K. Y., Chae, S. H., Kim Y. S., and Lee, K. J. (2021), Comparison of DSMs generated by Kompsat-3 single/tri-stereo pair, ISRS 2021, Virtual, 26-28 May.
- Porter, C. C., Morin, P. J., Howat, I. M., Niebuhr, S., and Smith, B. E. (2011), DEM Extraction from High-Resolution Stereoscopic Worldview 1 & 2 Imagery of Polar Outlet Glaciers, American Geophysical Union, Fall Meeting, 5-9 December 2011, San Francisco, USA.
- Rieg, L., Klug, C., Nicholson, L., and Sailer, R. (2018), Pléiades Tri-Stereo Data for Glacier Investigations—Examples from the European Alps and the Khumbu Himal, *Remote Sensing*, 10, doi.org/10.3390/rs10101563.
- Scambos, T., Bell, R., Alley, R., Anandakrishnan, S., Bromwich, D., Brunt, K., Christianson, K., Creyts, T., Das, S., DeConto, R. (2017), How much, how fast?: A science review and outlook for research on the instability of Antarctica's Thwaites Glacier in the 21st century. *Global and Planetary Change*, Vol. 153, pp.16-34.
- Shuman, C. A., Zwally, H. J., Schutz, B. E., Brenner, A. C., Dimarzio, J. P., Suchdeo, V. P., and Fricker, H. A. (2006), ICESat antarctic elevation data: preliminary precision and accuracy assessment, *Geophysical Research Letters* 33, doi:10.1029/2005 GL025227.
- Tao, C. V. and Hu, Y. (2002), 3D Reconstruction methods based on the rational function model, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 68, No. 7, pp. 705-714.
- Zwally, H. J., Schutz, B., Abdalati, W., Abshire, J., Bentley, C., Brenner, A., Bufton, J., Dezio, J., Hancock, D., Harding, D., Herring, T., Minster, B., Quinn, K., Palm, S., Spinhirne, J., Thomas, R. (2002), ICESat's laser measurements of polar ice, atmosphere, ocean and land, *J. Geodyn.* Vol. 34, pp. 405-445.
- Zhu et al. (2008), Accuracy investigation of orthoimages obtained from high resolution satellite stereo pairs, *The International Archives of the*

Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008

【전자자료】 사이트명. 인터넷주소 (검색 연월일)

국토위성정보 활용기술 및 운영시스템 개발:성과 및 의의, <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202032254873357.pdf> (2021. 04. 12)

국립해양조사원, <http://www.khoa.go.kr/polar/main.do#> (2021.09.07)

북극해빙감시시스템, <http://seaice.kma.go.kr/cmm/main/mainPage.do> (2021.09.07.)

AADC, <https://data.aad.gov.au/> (2021.09.07)

ALOS, <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/> (2021. 8. 1)

Antarctic Digital Database, <https://www.add.scar.org/> (2021. 08. 18)

Arctic region maps, <https://www.arcticcentre.org/EN/arcticregion/Maps> (2021.09.07)

Australian Antarctic Data Centre, <https://data.aad.gov.au/> (2021. 08. 18)

British Antarctic Survey Bedmap-2, <https://www.bas.ac.uk/project/bedmap-2/> (2021.09.07)

Calvalportal,

http://calvalportal.ceos.org/documents/10136/523597/KOMPSAT-3A_CalVal_s.pdf (2021. 05. 29)

Carl et al., https://elib.dlr.de/89056/1/Carl_PhotogrammetricWeek.pdf (2021. 05. 27)

Color balancing imagery with histogram matching,

<https://blog.mapbox.com/color-balancing-imagery-with-histogram-matching-be1b38c28509> (2021. 06. 30)

DSM Tool from the Royal Military Academy,

<https://www.gim-international.com/content/article/benchmarking-image-based-dsm-generation> (2021. 02. 25)

Enhanced Vector Shorelines, <http://www.evs-islands.com/> (2021. 08.18)

eoPortal Directory, <https://directory.eoportal.org/> (2021. 03. 10)

ESA,

https://spacedata.copernicus.eu/documents/20126/0/CQC_TechnicalNote_09+%28

1%29.pdf (2021, 05. 20)

Facciolo et al., <https://gfacciolo.github.io/multi-date-stereo/> (2021. 05. 27)

Geosilicon, <http://geo-silicon.com/> (2021. 03. 17)

Google Earth, <https://earth.google.com/> (2021. 08. 17)

IKONOS stereo feature extraction - RPC approach,
https://www.researchgate.net/publication/228845277_IKONOS_stereo_feature_extraction-RPC_approach (2021. 04. 02)

IGN, <https://micmac.insg.eu/> (2021. 02. 25)

Infoterra, <http://worldDEM-database.infoterra.de/> (2021. 4. 2)

Inner FoV Stitching of Spaceborne TDI CCD Images Based on Sensor Geometry and Projection Plane in Object Space, <https://doi.org/10.3390/rs6076386> (2021. 03. 17)

Institute for Photogrammetry, University of Stuttgart, <https://www.nframes.com/> (2021. 02. 25)

KAOS, <https://kaos.kopri.re.kr/cmm/main/mainPage.do> (2021.09.07)

KPDC, <https://kpdc.kopri.re.kr/> (2021.09.07)

Leica Geosystems,
<https://www.pobonline.com/articles/99075-midwest-aerial-buys-third-dmc-ii-140-camera-from-leica-geosystems> (2021. 03. 12)

LIMA, <https://lima.usgs.gov> (2021. 06.15)

NASA, <https://icesat.gsfc.nasa.gov/> (2021. 05. 31)

NASA,
https://www.nasa.gov/mission_pages/icebridge/multimedia/spr13/DSC6184_GeikiePlat-eau.html (2021. 01. 27)

NSIDC, <https://nsidc.org/data/icesat> (2021. 05. 07)

PGC, <https://www.pgc.umn.edu/data/rema/> (2021. 08. 18)

PGC Map Catalog, <https://maps.apps.pgc.umn.edu/antarctica/20> (2021.09.07)

Openstreetmap, https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Antarctica/Creating_a_map (2021. 05. 29)

Openaltimetry, <https://openaltimetry.org/data/icesat2/> (2021. 05. 03)

Radarsat Antarctic Mapping Project (RAMP),
<https://asf.alaska.edu/data-sets/derived-data-sets/radarsat-antarctic-mapping-project-ramp/> (2021. 08.18)

REMA(arcgis), <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html> (2021. 05. 12)

Remote Sensing software package from Joanneum Research, <https://www.remote-sensing.at/remote-sensing-software-1> (2021. 02. 25)

RPC Stereo Processor - a Software Package for Digital Surface Model and Orthophoto Generation from Satellite Stereo Imagery, <https://u.osu.edu/qin.324/rsp/> (2021. 02. 25)

SCAR, <https://www.scar.org>, (2021.09.07)

SCAR ADD, <https://www.scar.org/resources/antarctic-digital-database/> (2021. 08. 17)

Sciencetimes, <https://www.sciencetimes.co.kr/news/> (2021. 01. 27)

Theconversation, <https://theconversation.com/how-ice-sheets-collapse-a-lesson-from-the-past-54587> (2021. 01. 27)

The German Aerospace Center(DLR), <https://www.dlr.de/rm/en> (2021. 02. 25)

The NASA Ames Stereo Pipeline,
<https://ti.arc.nasa.gov/tech/asr/groups/intelligent-robotics/ngt/stereo/> (2021. 02. 25)

TopoSvalbard, <https://toposvalbard.npolar.no/> (2021.09.07)

TPXO Global Tidal Models, <https://www.tpxo.net/global> (2021. 08.18)

Universal Transverse Mercator system,
<http://www.geo.hunter.cuny.edu/~jochen/gtech201/lectures/lec6concepts/Map%20coordinate%20systems/UTM%20and%20UPS.htm>
(2021. 08. 11)

Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Vatnajökull> (2021. 01. 27)


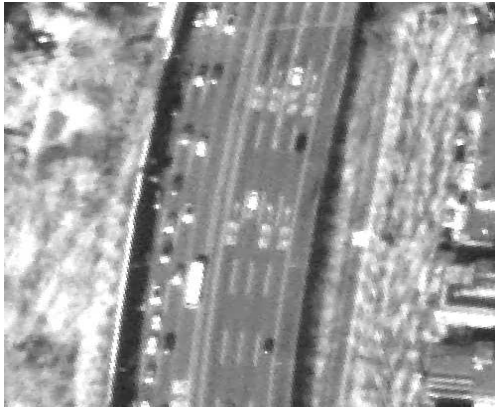




Wikipedia, <https://ko.wikipedia.org/wiki/빙봉> (2021. 01. 27)

Wikipedia, <https://simple.wikipedia.org/wiki/Crevasse> (2021. 01. 27)

Zoom Earth, <https://zoom.earth/> (2021. 04. 12)

부록

부록 1-1. 항공사진과 위성사진측량의 판독성 비교 선정

| 명칭 | 항공사진 | 위성영상(아리랑 3A) |
|-----------|---|--|
| 고속도로 |  |  |
| 일반도로 |  |  |
| 도로 분리대 |  |  |

| 명칭 | 항공사진 | 위성영상(아리랑 3A) |
|-----|---|--|
| 육교 |  |  |
| 주차장 |  |  |
| 묘지 |  |  |

| 명칭 | 항공사진 | 위성영상(아리랑 3A) |
|-----|---|--|
| 밭 |  |  |
| 골프장 |  |  |
| 헬기장 |  |  |

| 명칭 | 항공사진 | 위성영상(아리랑 3A) |
|-----|---|--|
| 기념비 |  |  |
| 송전탑 |  |  |
| 독립수 |  |  |

| 명칭 | 항공사진 | 위성영상(아리랑 3A) |
|--------------|---|--|
| 잔교 (콘크리트) |  |  |
| 제방 (콘크리트) |  |  |
| 제방 (흙) |  |  |
| 무벽건물 |  |  |

| 명칭 | 항공사진 | 위성영상(아리랑 3A) |
|-----|---|--|
| 가건물 |  |  |
| 탱크 |  | 판독불가 |
| 인도 |  | 판독불가 |

자료: 저자 작성

부록 1-2. 국가기본도 레이어 판독 결과(아리랑 3A)측량의 판독성 비교

| 대분류 | 항목 | 판독 | 묘사 |
|-----|----------|----|----|
| 철도 | 보통철도 | I | ◎ |
| | 건설중철도 | I | ◎ |
| | 지하철(지상부) | I | ◎ |
| | 삭도 | D | △ |
| | 철교 | I | ◎ |
| | 고가부 | I | ◎ |
| | 플랫폼 | I | ◎ |
| | 플랫폼의 지붕 | I | ◎ |

| 대분류 | 항목 | 판독 | 묘사 |
|-----|-------------|------|----|
| 하천 | 실폭하천 | I | ◎ |
| | 세류 | I | ◎ |
| | 건천 | I | ◎ |
| | 호수·저수지 | I | ◎ |
| | 해안선(육지) | I | ◎ |
| | 해안선(섬) | I | ◎ |
| | 콘크리트제방(상단) | I, B | ○ |
| | 콘크리트제방(하단) | I, B | ○ |
| | 흙제방(상단) | I, B | ○ |
| | 흙제방(하단) | I, B | ○ |
| | 댐 | I | ◎ |
| | 콘크리트방조제(상단) | B | ○ |
| | 콘크리트방조제(하단) | B | ○ |
| | 흙방조제(상단) | D | △ |
| | 흙방조제(하단) | D | △ |
| | 방파제(상단) | I | ◎ |
| | 방파제(하단) | I | ◎ |
| | 수문 | I, B | ○ |
| | 배수갑문 | - | - |
| | 보 | D | △ |
| | 잔교(콘크리트) | D | △ |
| | 잔교(목재) | - | - |
| | 선착장 | - | - |
| | 용수로(지상) | - | - |
| | 도수터널 | - | - |
| | 갯벌(진흙) | I | ◎ |
| | 모래 | I | ◎ |
| | 습지 | I | ◎ |
| | 염전 | I | ◎ |
| | 폭포 | - | - |

| 대분류 | 항목 | 판독 | 묘사 |
|-----|--------|------|----|
| 건물 | 아파트 | I | ◎ |
| | 무벽건물 | B, D | ○ |
| | 온실 | I | ◎ |
| | 가건물 | I, B | ○ |
| | 콘크리트돌담 | D, N | △ |
| | 판자담 | D, N | △ |
| | 생울타리 | D, N | △ |
| | 흙담 | - | - |
| | 철조망 | D, N | △ |
| | 철책 | D, N | △ |
| | 주택외건물 | I | ◎ |
| | 주택 | I | ◎ |
| | 연립주택 | I | ◎ |
| | 공사중 건물 | I | ◎ |
| 지류 | 지류계 | I | ◎ |
| | 경지계 | I | ◎ |
| | 묘지계 | B | ○ |
| | 기타경계 | I, B | ○ |
| | 논 | I | ◎ |
| | 밭 | I, B | ○ |
| | 과수원 | D | △ |
| | 목초지 | - | - |
| | 황무지 | I, B | ○ |
| | 묘지 | B | ○ |
| | 공동묘지 | - | - |
| | 능묘 | I | ◎ |
| | 성 | - | - |
| | 골프장 | I, B | ○ |
| | 채석장 | B | ○ |
| | 골재 채취장 | - | - |
| | 광산 | - | - |

| 대분류 | 항목 | 판독 | 묘사 |
|-----|------------|------|----|
| 시설물 | 탱크 | D | × |
| | 암거 | N | × |
| | 기념비 | D | △ |
| | 동상 | - | - |
| | 송전탑 | D | △ |
| | 등대 | B | ○ |
| | 우물 | N | × |
| | 관정 | N | × |
| | 분수 | - | - |
| | 독립수 | D | △ |
| | 굴뚝 | D | △ |
| | 헬기장 | D | △ |
| | 양식장 | - | - |
| 도로 | 고속도로 | I, B | ○ |
| | 일반도로 | I, B | ○ |
| | 지방도 | I, B | ○ |
| | 특별시도 | I, B | ○ |
| | 시도 | I, B | ○ |
| | 군도 | I, B | ○ |
| | 면리간도로 | I, B | ○ |
| | 부지안도로 | I, B | ○ |
| | 도로분리대 | I, B | ○ |
| | 건설중도로 | I, B | ○ |
| | 육교 | B | ○ |
| | 지하도 | D | △ |
| | 계단 | D | △ |
| | 인도 | I, B | ○ |
| | 교량 | I | ◎ |
| | 고가차도 | I | ◎ |
| | 지하차도 | I | ◎ |
| | 주차장 | I, B | ○ |
| | 터널입구 | I, B | ○ |
| 지형 | 등고선 | I | ◎ |
| | 벼랑바위 | - | - |
| | 너덜바위 | - | - |
| | 성토(상단) | I | ◎ |
| | 성토(하단) | I | ◎ |
| | 콘크리트옹벽(상단) | B, D | △ |
| | 콘크리트옹벽(하단) | B, D | △ |

I : Identify B : Distinguish Between D : Detect N : Not Detect
◎ : 완전묘사 ○ : 대부분 묘사 △ : 경우에 따라 묘사 × : 묘사 불가능

자료: 저자 작성




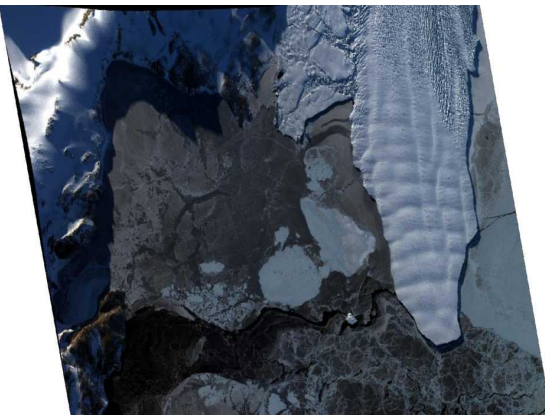

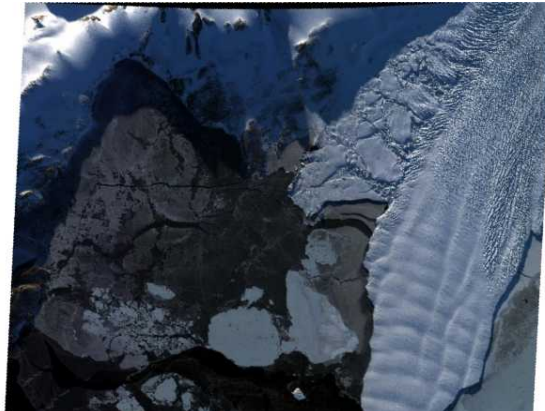
부록 2-1. 극지역 검증지역 영상 선정



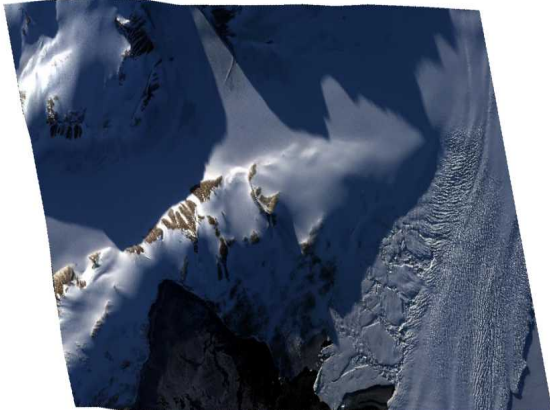



장보고과학기지 아리랑 3A 영상검색 결과



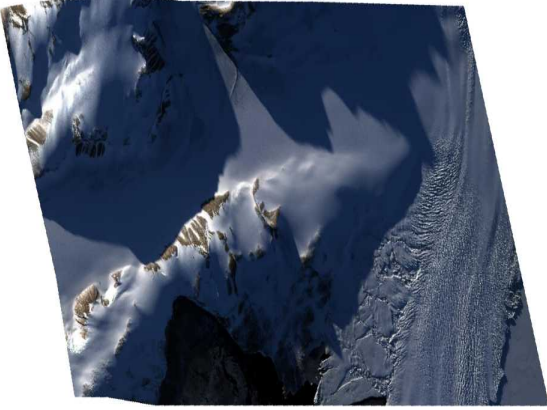



| 연번 | 영상 ID | 취득일시 | 촬영각 |
|----|-----------------------------------|-----------------|--------------|
| 1 | K3A_20160329040302_05580_00030606 | 2016-03-29 4:03 | 33.621505332 |
| 2 | K3A_20160329040302_05580_00018977 | 2016-03-29 4:03 | 33.619091381 |
| 3 | K3A_20160329040123_05580_00029892 | 2016-03-29 4:01 | 34.044521248 |
| 4 | K3A_20160329040123_05580_00018696 | 2016-03-29 4:01 | 34.046996539 |
| 5 | K3A_20160326043457_05535_00031861 | 2016-03-26 4:35 | 30.287014559 |
| 6 | K3A_20160326043323_05535_00019537 | 2016-03-26 4:33 | 30.165157366 |
| 7 | K3A_20160325044536_05520_00031258 | 2016-03-25 4:45 | 31.753589168 |
| 8 | K3A_20160325044536_05520_00019188 | 2016-03-25 4:45 | 31.742867572 |
| 9 | K3A_20160324045615_05505_00030168 | 2016-03-24 4:56 | 34.061613399 |
| 10 | K3A_20160324045615_05505_00018689 | 2016-03-24 4:56 | 34.049031523 |
| 11 | K3A_20160324045436_05505_00030474 | 2016-03-24 4:54 | 33.656143035 |
| 12 | K3A_20160324045436_05505_00018905 | 2016-03-24 4:54 | 33.652562281 |
| 13 | K3A_20160323050654_05490_00028887 | 2016-03-23 5:06 | 36.778680576 |
| 14 | K3A_20160323050654_05490_00018111 | 2016-03-23 5:06 | 36.764067265 |
| 15 | K3A_20160323050511_05490_00029278 | 2016-03-23 5:05 | 36.305182786 |
| 16 | K3A_20160323050511_05490_00018368 | 2016-03-23 5:05 | 36.302729173 |
| 17 | K3A_20160325044400_05520_00019326 | 2016-03-25 4:43 | 31.460732851 |
| 18 | K3A_20160325044400_05520_00031375 | 2016-03-25 4:43 | 31.465005327 |

자료: 저자 작성

장보고과학기지 아리랑 3A 미리보기 영상

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2016-03-29 4:03 · ID: K3A_20160329040302_05580_00030606 · 촬영각 : 33.621505332  | <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2016-03-29 4:03 · ID: K3A_20160329040302_05580_00018977 · 촬영각 : 33.619091381  |
| <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2016-03-29 4:01 · ID: K3A_20160329040123_05580_00029892 · 촬영각 : 34.044521248  | <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2016-03-29 4:01 · ID: K3A_20160329040123_05580_00018696 · 촬영각 : 34.046996539  |
| <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2016-03-26 4:35 · ID: K3A_20160326043457_05535_00031861 · 촬영각 : 30.287014559  | <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2016-03-26 4:33 · ID: K3A_20160326043323_05535_00019537 · 촬영각 : 30.165157366  |

| | |
|---|---|
| · 촬영일자 : 2016-03-25 4:45 · ID: K3A_20160325044536_05520_00031258 · 촬영각 : 31.753589168 | · 촬영일자 : 2016-03-25 4:45 · ID: K3A_20160325044536_05520_00019188 · 촬영각 : 31.742867572 |
|  |  |
| · 촬영일자 : 2016-03-24 4:56 · ID: K3A_20160324045615_05505_00030168 · 촬영각 : 34.061613399 | · 촬영일자 : 2016-03-24 4:56 · ID: K3A_20160324045615_05505_00018689 · 촬영각 : 34.049031523 |
|  |  |
| · 촬영일자 : 2016-03-24 4:54 · ID: K3A_20160324045436_05505_00030474 · 촬영각 : 33.656143035 | · 촬영일자 : 2016-03-24 4:54 · ID: K3A_20160324045436_05505_00018905 · 촬영각 : 33.652562281 |
|  |  |

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2016-03-23 5:06 · ID: K3A_20160323050654_05490_00028887 · 촬영각 : 36.778680576  | <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2016-03-23 5:06 · ID: K3A_20160323050654_05490_00018111 · 촬영각 : 36.764067265  |
| <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2016-03-23 5:05 · ID: K3A_20160323050511_05490_00029278 · 촬영각 : 36.305182786  | <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2016-03-23 5:05 · ID: K3A_20160323050511_05490_00018368 · 촬영각 : 36.302729173  |
| <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2016-03-25 4:43 · ID: K3A_20160325044400_05520_00019326 · 촬영각 : 31.460732851  | <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2016-03-25 4:43 · ID: K3A_20160325044400_05520_00031375 · 촬영각 : 31.465005327  |

자료: 저자 작성

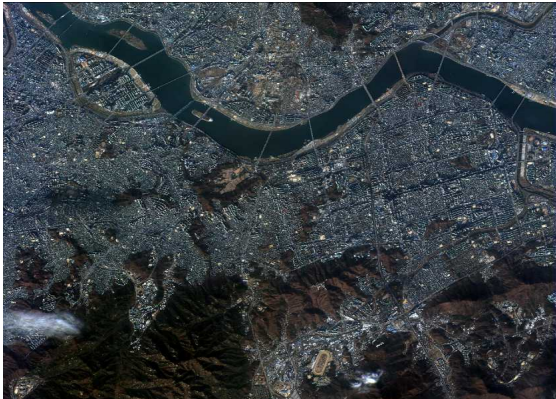
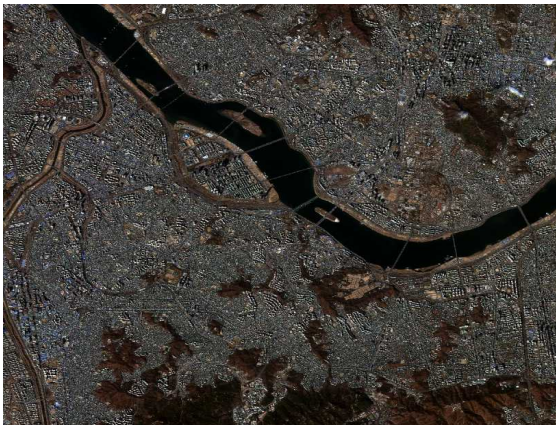
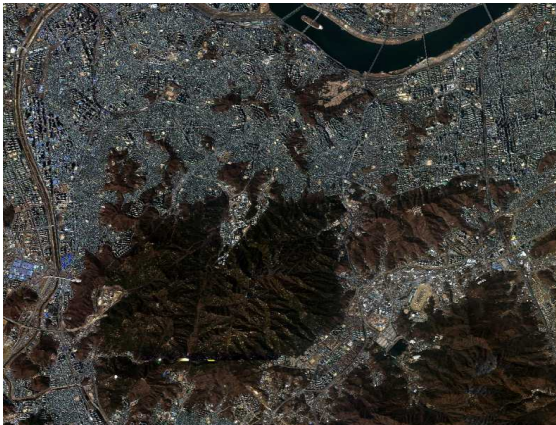
부록 2-2. 접근가능지역 위성영상 선정

접근가능지역 아리랑 3A 영상검색 결과

| 연번 | 대상 지역 | 영상 ID | 취득일시 | 촬영 각 |
|----|-------|-----------------------------------|-----------------|---------|
| 1 | 서울 | K3A_20151211044753_03933_00020757 | 2015-12-11 4:47 | 29.8904 |
| 2 | | K3A_20151211044854_03933_00023801 | 2015-12-11 4:48 | 26.5090 |
| 3 | | K3A_20170223044142_10582_00038309 | 2017-02-23 4:41 | 42.7229 |
| 4 | | K3A_20170224043127_10597_00040025 | 2017-02-24 4:31 | 42.0765 |
| 5 | | K3A_20170224043127_10597_00059162 | 2017-02-24 4:31 | 42.0765 |
| 6 | 대전 | K3A_20151018044951_03117_00314395 | 2015-10-18 4:49 | 27.8307 |
| 7 | | K3A_20160311043353_05308_00353224 | 2016-03-11 4:33 | 9.3703 |
| 8 | | K3A_20180707043623_18123_00027139 | 2018-07-07 4:36 | 9.7618 |
| 9 | | K3A_20190102043431_20828_00309156 | 2019-01-02 4:34 | 20.9274 |
| 10 | | K3A_20190120043337_21100_00304818 | 2019-01-20 4:33 | 22.4367 |
| 11 | | K3A_20190516043240_22853_00074035 | 2019-05-16 4:32 | 29.1932 |
| 12 | | K3A_20201020044722_30757_00287571 | 2020-10-20 4:47 | 33.3248 |
| 13 | | K3A_20201020044722_30757_00304280 | 2020-10-20 4:47 | 33.3217 |
| 14 | | K3A_20201125044519_31301_00169796 | 2020-11-25 4:45 | 27.6061 |



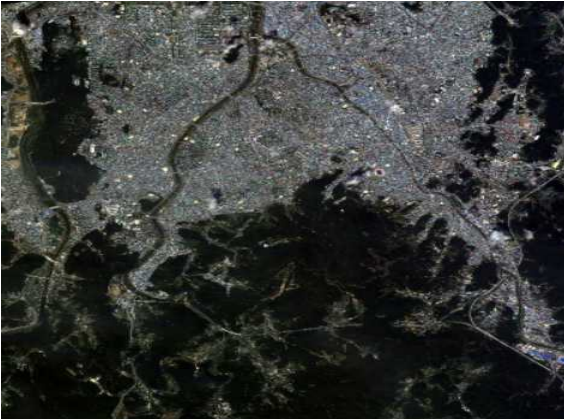



자료: 저자 작성

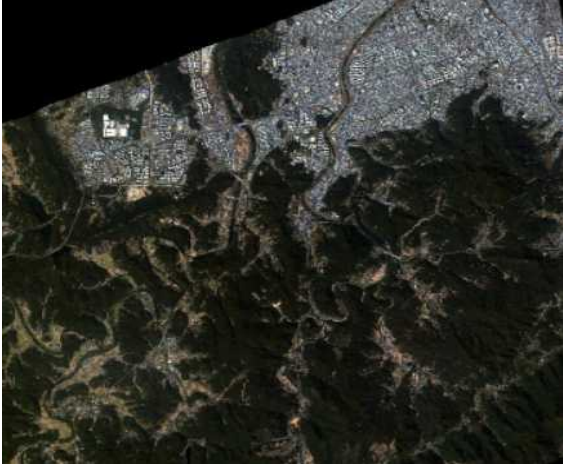


접근가능지역(서울) 아리랑 3A 영상

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2015-12-11 4:47 · ID: K3A_20151211044753_03933_00020757 · 촬영각 : 29.8904 | <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2015-12-11 4:48 · ID: K3A_20151211044854_03933_00023801 · 촬영각 : 26.5090 |
|  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2017-02-23 4:41 · ID: K3A_20170223044142_10582_00038309 · 촬영각 : 42.7229 | <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2017-02-24 4:31 · ID: K3A_20170224043127_10597_00040025 · 촬영각 : 42.0765 |
|  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2017-02-24 4:31 · ID : K3A_20170224043127_10597_00059162 · 촬영각 : 42.0765 | |
|  | |

자료: 저자 작성

접근가능지역(대전) 아리랑 3A 영상

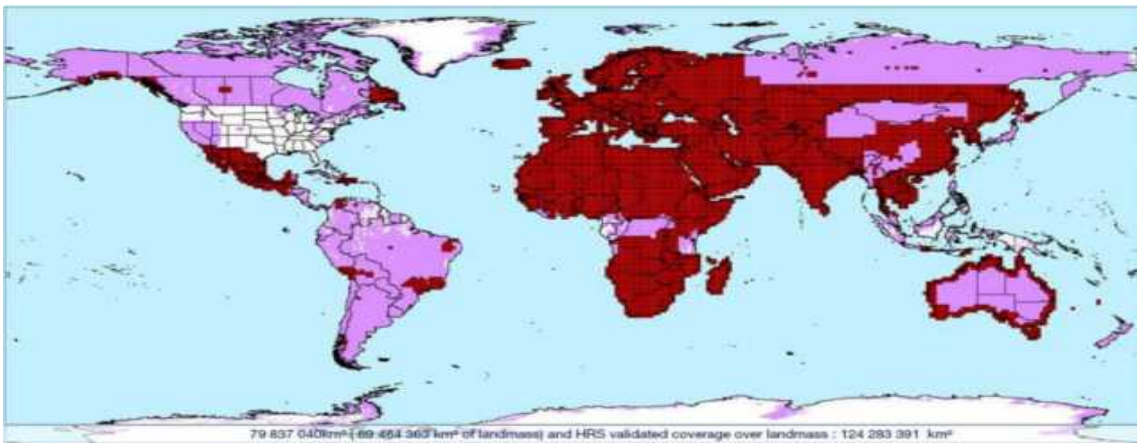
| | |
|--|---|
| <p>· 촬영일자 : 2015-10-18 4:49 · ID : K3A_20151018044951_03117_00314395 · 촬영각 : 27.8307</p>  | <p>· 촬영일자 : 2016-03-11 4:33 · ID : K3A_20160311043353_05308_00353224 · 촬영각 : 9.3703</p>  |
| <p>· 촬영일자 : 2018-07-07 4:36 · ID : K3A_20180707043623_18123_00027139 · 촬영각 : 9.7618</p>  | <p>· 촬영일자 : 2019-01-02 4:34 · ID : K3A_20190102043431_20828_00309156 · 촬영각 : 20.9274</p>  |
| <p>· 촬영일자 : 2019-01-20 4:33 · ID : K3A_20190120043337_21100_00304818 · 촬영각 : 22.4367</p>  | <p>· 촬영일자 : 2019-05-16 4:32 · ID : K3A_20190516043240_22853_00074035 · 촬영각 : 29.1932</p>  |

| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2020-10-20 4:47 · ID : K3A_20201020044722_30757_00287571 · 촬영각 : 33.3248 | <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2020-10-20 4:47 · ID : K3A_20201020044722_30757_00304280 · 촬영각 : 33.3217 |
|  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> · 촬영일자 : 2020-11-25 4:45 · ID : K3A_20201125044519_31301_00169796 · 촬영각 : 27.6061 | |
|  | |

자료: 저자 작성

부록 3-1. 극지역 활용 및 비교 DEM: 상업용 DEM

(1) SPOT DEM



Elevation30 범위(빨간색 : 이미 사용 가능, 분홍색 : 적절한 SPOT 5 HRS 이용 가능)

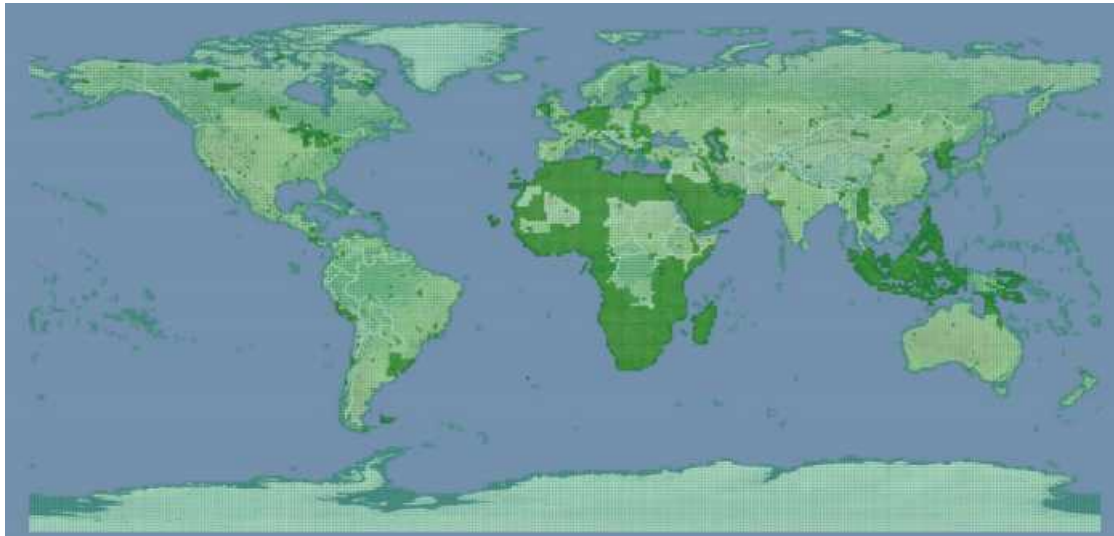
자료: Overview of Global DEM(2017)

SPOT DEM 제품 제원

| | |
|---------------------|--|
| 수평해상도 | 30m(20m 가능) |
| 수평정확도 | CE90에서 10m 이내 |
| 수직해상도 | 1m |
| 수직정확도 | 평지 또는 경사가 있는 경우 10m(경사도 <= 20%) |
| 데이터 사용 기간 및 업데이트 빈도 | 2002~2015(SPOT-5 운용 기간) / 업데이트 예정 없음 |
| 종류(DSM or DTM) | DSM |
| 구축 범위 | 80,000,000km²(2014년 말까지) |
| 라이선스 조건 | 사용 제한 제품, RD3 참조 요청에 따라 다양한 라이선스 조건 가능. |
| 가격 | km²당 2.30유로(단일 사용자 라이선스) 다중 사용자 라이선스의 경우 +35%(최대 30명) |

자료: Overview of Global DEM 재구성

(2) WorldDEM



WorldDEM 가용성(상태: 2017.03.31. 진한 녹색 - 기성품 사용 가능, 녹색 : 편집 예정)

자료: <http://worldDEM-database.infoterra.de/>

WorldDEM 제품 제원

| | |
|---------------------|---|
| 수평해상도 | 12m |
| 수평정확도 | CE90에서 10m 이내 |
| 수직해상도 | 1m |
| 수직정확도 | LE90에서 4m 이내 (DTM의 경우 10m LE90) |
| 데이터 사용 기간 및 업데이트 빈도 | 2010-2.14 / 2014년 이후 업데이트 계획 |
| 종류(DSM or DTM) | DSM(DTM 가능) |
| 구축 범위 | 전 세계 |
| 라이선스 조건 | Airbus의 속성, 독일 위성 데이터 보안법에 의거 파생 작품의 무료 사용 및 배포 : RD7참조. 요청에 따라 다양한 라이선스 조건 가능. |
| 가격 | DSM : km ² 당 10유로(단일 사용자 라이선스) DTM : km ² 당 16유로(단일 사용자 라이선스) 다중 사용자 라이선스의 가격은 Airbus DS에 따라 요청 |

자료: Overview of Global DEM 재구성

(3) Vricon DSM-0.5

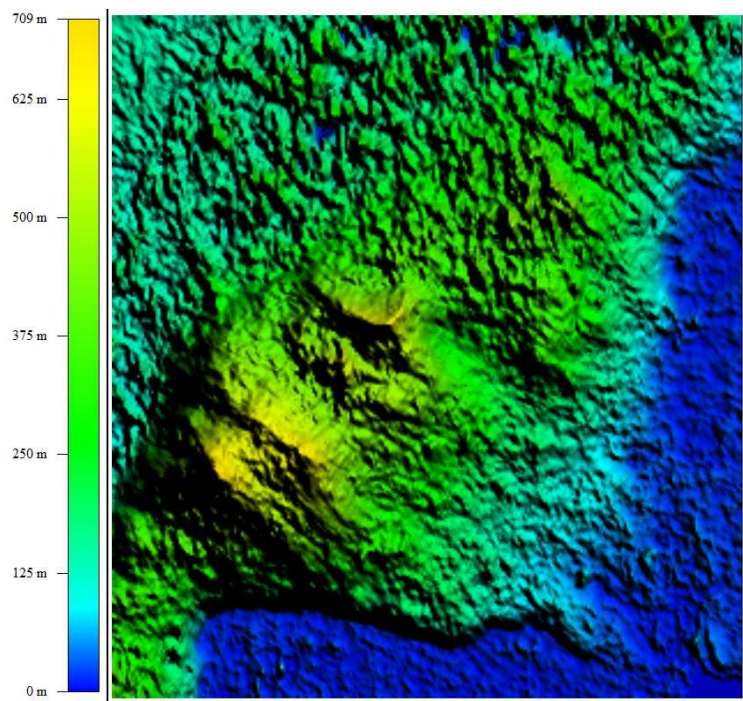
NextMap World 10 제품 제원

| | |
|---------------------|--|
| 수평해상도 | 0.5m |
| 수평정확도 | CE90에서 3m |
| 수직해상도 | 1 dm |
| 수직정확도 | LE90에서 3m |
| 데이터 사용 기간 및 업데이트 빈도 | 다중 저장 데이터 / 적절한 VHR 스테레오 데이터를 사용할 수 있는 경우 업데이트 가능. |
| 종류(DSM or DTM) | DSM, DTM |
| 구축 범위 | 목표는 글로벌(사용 가능한 범위 맵이 없음) |
| 라이선스 조건 | 기업용 라이선스: 무제한 사용자, 영구 사용자, Vricon EULA 약관에 따른 내부 운영. 요청에 따라 다른 라이선스 조건 가능. |
| 가격 | DSM : km ² 당 25달러(최대 200,000 km ²) DTM : km ² 당 35달러(최대 200,000 km ²) - 대규모 영역에 대한 요청 시 가격 책정. |

자료: Overview of Global DEM 재구성

부록 3-2. 극지역 활용 및 비교 DEM: 공개용 DEM

(1) Aster GDEM v2



장보고과학기지 인근 ASTER DEM

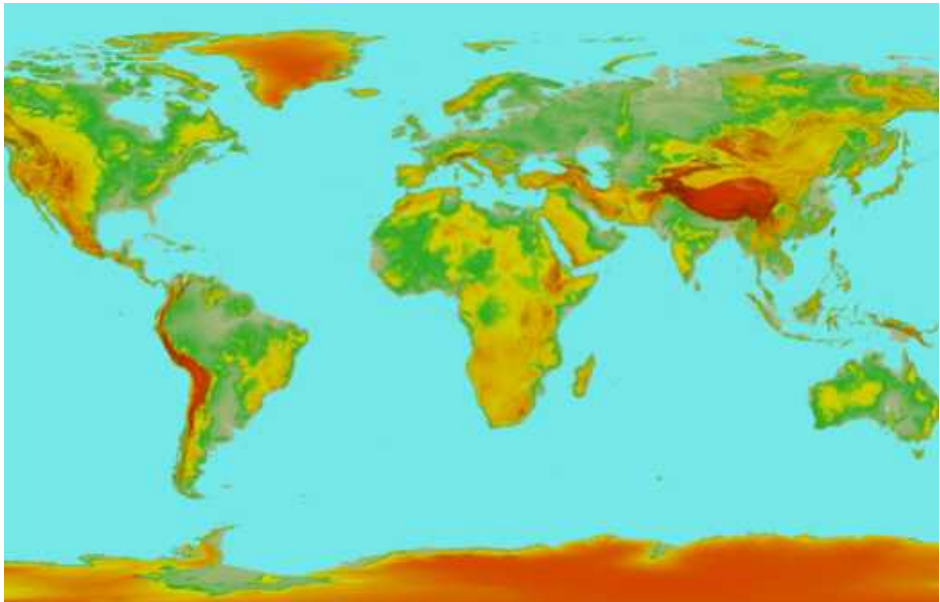
자료: 저자 작성

PlanetDEM 30 제품 제원

| | |
|---------------------|--|
| 수평해상도 | 30m |
| 수평정확도 | CE90에서 15 ~ 20m |
| 수직해상도 | 1m |
| 수직정확도 | CE90에서 15 ~ 20m |
| 데이터 사용 기간 및 업데이트 빈도 | 2000-2009(업데이트 버전 3이 계획됨.) |
| 종류(DSM or DTM) | DSM |
| 구축 범위 | 83°N ~ 83°S 사이 |
| 라이선스 조건 | ASTER GDEM v2 데이터를 제시/게시할 때 사용자는 "ASTER GDEM은 NASA와 METI의 제품"이라는 문구를 포함해야 함. |
| 가격 | 무료 |

자료: Overview of Global DEM 재구성

(2) ALOS WORLD 3D 30



ALOS WORLD 3D 30 가용성

자료: <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30>

PlanetDEM 30 제품 제원

| | |
|---------------------|---|
| 수평해상도 | 30m |
| 수평정확도 | CE90에서 7m 이내 |
| 수직해상도 | 1m |
| 수직정확도 | LE90에서 7m 이내 |
| 데이터 사용 기간 및 업데이트 빈도 | 2006~2011 / ALOS-3 위성을 업데이트에 사용할 수 있음 (2019 이전) |
| 종류(DSM or DTM) | DSM |
| 구축 범위 | 82°N ~ 82°S 사이 |
| 라이선스 조건 | 사용자가 이 데이터 세트를 사용하여 제품과 서비스를 제3자에게 제공하거나 게시할 때 원본 데이터가 JAXA: ©JAXA에 의해 제공된다는 것을 표시해야 함. |
| 가격 | 무료 |

자료: Overview of Global DEM 재구성

부록 4-1. 서울지역 1/5,000 수치지형도 비교 결과표

단위 : m

| ID | 1/5,000 항공사진 도화 성과 | | | 무기준점 보정 도화 성과 | | | ICESat-2 보정 도화 성과 | | | V | | | | V ² | | | |
|----|--------------------|-----------|-------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | x ₁ | y ₁ | z ₁ | x ₂ | y ₂ | z ₂ | dxy ₁ | dxy ₂ | dz ₁ | dz ₂ | dxy ₁ | dxy ₂ | dz ₁ | dz ₂ |
| 1 | 207465.62 | 542402.26 | 71.77 | 207458.79 | 542404.19 | 71.82 | 207464.08 | 542403.16 | 73.07 | 7.10 | 1.78 | 0.06 | 1.31 | 50.34 | 3.17 | 0.00 | 1.71 |
| 2 | 206968.31 | 544102.12 | 26.21 | 206962.92 | 544104.42 | 24.11 | 206967.32 | 544103.73 | 26.97 | 5.86 | 1.88 | 2.10 | 0.76 | 34.32 | 3.55 | 4.42 | 0.57 |
| 3 | 205999.09 | 548574.64 | 23.84 | 205996.3 | 548580.35 | 14.45 | 205998.94 | 548579.54 | 20.88 | 6.36 | 4.90 | 9.39 | 2.95 | 40.46 | 24.03 | 88.19 | 8.73 |
| 4 | 206079.19 | 549584.29 | 20.92 | 206075.94 | 549591.17 | 11.06 | 206078.05 | 549590.61 | 18.76 | 7.61 | 6.42 | 9.86 | 2.16 | 57.95 | 41.23 | 97.27 | 4.67 |
| 5 | 205612.36 | 550314.74 | 26.43 | 205609.14 | 550323.24 | 14.08 | 205610.55 | 550321.26 | 22.3 | 9.09 | 6.77 | 12.34 | 4.13 | 82.66 | 45.84 | 152.40 | 17.06 |
| 6 | 205026.86 | 550388.57 | 17.48 | 205024.08 | 550395.48 | 6.69 | 205025.97 | 550394.21 | 14.88 | 7.46 | 5.72 | 10.79 | 2.60 | 55.65 | 32.69 | 116.45 | 6.75 |
| 7 | 202328.72 | 550012.2 | 28.08 | 202326.68 | 550018.13 | 16.55 | 202328.53 | 550018.01 | 24.31 | 6.27 | 5.81 | 11.53 | 3.77 | 39.29 | 33.72 | 133.03 | 14.20 |
| 8 | 199611.33 | 546826.49 | 27.71 | 199608.44 | 546830.79 | 18.83 | 199610.57 | 546831.29 | 24.5 | 5.19 | 4.86 | 8.88 | 3.21 | 26.89 | 23.61 | 78.87 | 10.29 |
| 9 | 195442.57 | 544814.7 | 51.00 | 195439.55 | 544815.98 | 45.48 | 195441.94 | 544818.5 | 49.96 | 3.28 | 3.85 | 5.52 | 1.04 | 10.78 | 14.83 | 30.49 | 1.08 |
| 10 | 195891.25 | 545285.64 | 80.08 | 195889.5 | 545290.07 | 75.47 | 195891.16 | 545292.89 | 79.71 | 4.76 | 7.25 | 4.61 | 0.37 | 22.68 | 52.57 | 21.22 | 0.13 |
| 11 | 191338.69 | 544367.81 | 20.59 | 191337.55 | 544369.95 | 13.18 | 191339.55 | 544372.37 | 17.73 | 2.43 | 4.64 | 7.41 | 2.86 | 5.91 | 21.58 | 54.87 | 8.20 |
| 12 | 192435.96 | 542776.45 | 23.48 | 192432.07 | 542777.97 | 19.81 | 192433.97 | 542781.74 | 22.71 | 4.18 | 5.65 | 3.67 | 0.77 | 17.47 | 31.97 | 13.46 | 0.59 |
| 13 | 195664.39 | 542098.08 | 55.37 | 195660.32 | 542097.41 | 52.97 | 195662.48 | 542102.72 | 56.31 | 4.13 | 5.02 | 2.41 | 0.93 | 17.03 | 25.21 | 5.80 | 0.87 |
| 14 | 198353.81 | 541989.5 | 32.62 | 198349.31 | 541988.5 | 30.28 | 198353.62 | 541990.91 | 32.02 | 4.61 | 1.43 | 2.34 | 0.60 | 21.26 | 2.05 | 5.47 | 0.36 |
| 15 | 194112.42 | 543333.63 | 51.00 | 194108.35 | 543339.11 | 46.85 | 194110.97 | 543342.79 | 49.85 | 6.83 | 9.27 | 4.15 | 1.15 | 46.71 | 86.01 | 17.24 | 1.31 |
| 16 | 191844.57 | 539449.18 | 41.63 | 191841.53 | 539446.66 | 41.8 | 191844.48 | 539451.78 | 42.25 | 3.95 | 2.60 | 0.17 | 0.62 | 15.60 | 6.75 | 0.03 | 0.39 |
| 17 | 191475.35 | 541261.13 | 50.68 | 191471.68 | 541259.19 | 48.4 | 191474.55 | 541264.28 | 50.41 | 4.15 | 3.25 | 2.29 | 0.27 | 17.21 | 10.56 | 5.23 | 0.08 |
| 18 | 203067.63 | 540977.33 | 25.02 | 203061.74 | 540975.16 | 24.97 | 203067.06 | 540977.65 | 25.33 | 6.27 | 0.65 | 0.05 | 0.31 | 39.36 | 0.42 | 0.00 | 0.09 |
| 19 | 202716.69 | 540706.74 | 22.74 | 202708.88 | 540705.82 | 24.64 | 202713.19 | 540706.28 | 24.88 | 7.87 | 3.54 | 1.90 | 2.14 | 61.91 | 12.51 | 3.63 | 4.58 |

단위 : m

| ID | 1/5,000 항공사진 도화 성과 | | | 무기준점 보정 도화 성과 | | | ICESat-2 보정 도화 성과 | | | V | | | | V ² | | | |
|----|--------------------|-----------|-------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | x ₁ | y ₁ | z ₁ | x ₂ | y ₂ | z ₂ | dxy ₁ | dxy ₂ | dz ₁ | dz ₂ | dxy ₁ | dxy ₂ | dz ₁ | dz ₂ |
| 20 | 202042.5 | 540236.05 | 35.84 | 202037.33 | 540233.79 | 36.92 | 202042.28 | 540235.88 | 37.05 | 5.64 | 0.28 | 1.08 | 1.21 | 31.76 | 0.08 | 1.17 | 1.47 |
| 21 | 201119.14 | 538290.22 | 51.05 | 201112.81 | 538286.52 | 55.49 | 201117.74 | 538288.73 | 53.86 | 7.34 | 2.05 | 4.43 | 2.81 | 53.82 | 4.19 | 19.67 | 7.89 |
| 22 | 202043.69 | 543024.64 | 32.06 | 202039.46 | 543024.45 | 29.43 | 202042.95 | 543026.01 | 31.81 | 4.23 | 1.56 | 2.62 | 0.24 | 17.93 | 2.42 | 6.88 | 0.06 |
| 23 | 200298.39 | 542937.6 | 47.94 | 200294.5 | 542937.61 | 44.97 | 200297.68 | 542939.62 | 47.41 | 3.89 | 2.14 | 2.97 | 0.53 | 15.10 | 4.57 | 8.83 | 0.28 |
| 24 | 199611.6 | 542549.4 | 30.35 | 199607.24 | 542548.08 | 27.28 | 199611.27 | 542550.21 | 29.27 | 4.55 | 0.87 | 3.07 | 1.08 | 20.74 | 0.76 | 9.41 | 1.16 |
| 25 | 196217.06 | 542695.89 | 68.02 | 196213.38 | 542694.73 | 64.18 | 196217.79 | 542698.27 | 66.53 | 3.86 | 2.49 | 3.85 | 1.50 | 14.89 | 6.22 | 14.79 | 2.24 |
| 26 | 193216.94 | 541786.79 | 77.34 | 193213.8 | 541785.86 | 75.22 | 193216.57 | 541789.82 | 77.03 | 3.27 | 3.06 | 2.12 | 0.31 | 10.69 | 9.34 | 4.49 | 0.10 |
| 27 | 196081.43 | 547603.91 | 16.82 | 196081.23 | 547607.89 | 5.34 | 196081.56 | 547609.48 | 12.06 | 3.98 | 5.58 | 11.48 | 4.76 | 15.86 | 31.09 | 131.84 | 22.69 |
| 28 | 197884.73 | 548459.74 | 19.19 | 197881.81 | 548465.52 | 10.46 | 197883.67 | 548465.93 | 17.65 | 6.48 | 6.28 | 8.73 | 1.54 | 41.95 | 39.50 | 76.14 | 2.36 |
| 29 | 205714.08 | 546226.29 | 26.81 | 205710.18 | 546230.8 | 19.63 | 205713.82 | 546230.17 | 24.66 | 5.97 | 3.89 | 7.18 | 2.15 | 35.59 | 15.14 | 51.52 | 4.63 |
| 30 | 204375.34 | 546146.6 | 53.12 | 204371.43 | 546151.56 | 45.66 | 204375.39 | 546151.36 | 50.67 | 6.32 | 4.76 | 7.46 | 2.44 | 39.92 | 22.66 | 55.64 | 5.98 |
| 31 | 202814.36 | 546590.71 | 50.47 | 202811.4 | 546596.81 | 41.65 | 202814.16 | 546595.74 | 47.86 | 6.78 | 5.03 | 8.82 | 2.61 | 45.92 | 25.33 | 77.76 | 6.82 |
| 32 | 201546.71 | 546030.46 | 28.21 | 201543.18 | 546034.47 | 20.08 | 201546.58 | 546034.83 | 25.22 | 5.34 | 4.37 | 8.13 | 2.99 | 28.49 | 19.12 | 66.03 | 8.92 |
| 33 | 203194.48 | 545224.24 | 55.13 | 203190.03 | 545228.54 | 48.45 | 203193.75 | 545228.6 | 53.06 | 6.19 | 4.42 | 6.68 | 2.07 | 38.29 | 19.50 | 44.64 | 4.30 |
| 34 | 202228.87 | 545231.92 | 33.90 | 202223.3 | 545236.41 | 27.7 | 202226.49 | 545236.55 | 32.2 | 7.15 | 5.21 | 6.20 | 1.70 | 51.16 | 27.11 | 38.50 | 2.90 |
| 35 | 203141.93 | 543020.19 | 35.65 | 203137.19 | 543020.34 | 32.9 | 203142.17 | 543021.83 | 35.18 | 4.74 | 1.66 | 2.75 | 0.47 | 22.49 | 2.75 | 7.57 | 0.22 |
| 36 | 204630.16 | 542843.97 | 11.39 | 204625.03 | 542844.31 | 9.24 | 204630.22 | 542844.48 | 10.99 | 5.14 | 0.51 | 2.15 | 0.40 | 26.43 | 0.26 | 4.61 | 0.16 |
| 37 | 203717.38 | 540949.5 | 28.83 | 203711.37 | 540947.08 | 29.75 | 203717.02 | 540948.57 | 29.95 | 6.48 | 1.00 | 0.91 | 1.12 | 41.99 | 1.00 | 0.84 | 1.25 |
| 38 | 203659.58 | 540625.15 | 28.06 | 203652.81 | 540624.02 | 29.12 | 203658.23 | 540625.61 | 29.14 | 6.87 | 1.43 | 1.06 | 1.07 | 47.19 | 2.04 | 1.12 | 1.15 |
| 39 | 204228.5 | 542211.98 | 35.07 | 204223.72 | 542213.11 | 33.62 | 204228 | 542213.76 | 35.34 | 4.90 | 1.85 | 1.45 | 0.27 | 24.02 | 3.41 | 2.10 | 0.07 |
| 40 | 200046.87 | 540276.61 | 80.36 | 200040.29 | 540275.01 | 80.98 | 200045.01 | 540277.98 | 81.52 | 6.77 | 2.31 | 0.62 | 1.16 | 45.86 | 5.34 | 0.39 | 1.35 |

단위 : m

| ID | 1/5,000 항공사진 도화 성과 | | | 무기준점 보정 도화 성과 | | | ICESat-2 보정 도화 성과 | | | V | | | | V ² | | | |
|--|--------------------|-----------|-------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | x ₁ | y ₁ | z ₁ | x ₂ | y ₂ | z ₂ | dxy ₁ | dxy ₂ | dz ₁ | dz ₂ | dxy ₁ | dxy ₂ | dz ₁ | dz ₂ |
| 41 | 197485.68 | 541761.31 | 73.25 | 197480.72 | 541760.7 | 74.55 | 197484.67 | 541764.14 | 75.95 | 5.00 | 3.01 | 1.30 | 2.70 | 24.97 | 9.06 | 1.70 | 7.29 |
| 42 | 198278.02 | 544589.38 | 32.50 | 198275.21 | 544591.37 | 26.65 | 198277.94 | 544593.17 | 30.78 | 3.44 | 3.79 | 5.85 | 1.72 | 11.83 | 14.35 | 34.20 | 2.97 |
| 43 | 207009.15 | 545096.65 | 32.45 | 207004.74 | 545100.4 | 27.75 | 207009.09 | 545100.51 | 31.02 | 5.79 | 3.86 | 4.70 | 1.43 | 33.52 | 14.93 | 22.06 | 2.04 |
| 44 | 193668.17 | 544742.94 | 53.66 | 193666.11 | 544745.4 | 47.33 | 193667.09 | 544748.64 | 51.65 | 3.21 | 5.80 | 6.33 | 2.00 | 10.32 | 33.60 | 40.02 | 4.01 |
| 45 | 195223.48 | 546195.94 | 22.59 | 195221.1 | 546198.84 | 12.95 | 195223.15 | 546201.2 | 18.31 | 3.75 | 5.27 | 9.63 | 4.27 | 14.07 | 27.78 | 92.80 | 18.27 |
| 46 | 193150.56 | 546668.64 | 21.67 | 193147.74 | 546671.46 | 11.19 | 193149.22 | 546675.35 | 17.29 | 3.99 | 6.84 | 10.48 | 4.38 | 15.89 | 46.75 | 109.74 | 19.22 |
| 47 | 204920.98 | 546624.43 | 41.04 | 204917.28 | 546629.73 | 33.74 | 204920 | 546628.95 | 38.77 | 6.47 | 4.63 | 7.30 | 2.27 | 41.80 | 21.40 | 53.23 | 5.16 |
| <div><div>CE95% = RMSE × 1.7308</div><div>LE95% = RMSE × 1.9600</div></div> <div>$RMSE = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}}$</div> | | | | | | | | | | | | | 무기준점 보정 | | ICESat-2 보정 | | |
| | | | | | | | | | | | | | 평면 | 높이 | 평면 | 높이 | |
| | | | | | | | | | | | | 평균 | 5.42 | 5.08 | 3.81 | 1.77 | |
| | | | | | | | | | | | | 최대 | 9.09 | 12.34 | 9.27 | 4.76 | |
| | | | | | | | | | | | | 최소 | 2.43 | 0.05 | 0.28 | 0.24 | |
| | | | | | | | | | | | | RMSE | 5.75 | 6.27 | 4.38 | 2.17 | |
| | | | | | | | | | | | | CE95% | 9.95 | - | 7.58 | - | |
| | | | | | | | | | | | | LE95% | - | 12.28 | - | 3.67 | |

자료: 저자 작성

부록 4-2. 서울지역 1/1,000 수치지형도 비교 결과표

단위 : m

| 항목 번호 | 1/1,000 정위치 데이터 | | 무기준점 도화성과 | | ICESat-2 보정 도화성과 | | V | | V ² | |
|----------|-----------------|-----------|----------------|----------------|------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | x | y | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | dxy ₁ | dxy ₂ | dxy ₁ | dxy ₂ |
| 1 | 191339.01 | 544367.34 | 191337.55 | 544369.95 | 191339.55 | 544372.37 | 2.99 | 5.06 | 8.96 | 25.58 |
| 2 | 191844.67 | 539449.26 | 191841.53 | 539446.66 | 191844.48 | 539451.78 | 4.08 | 2.53 | 16.62 | 6.38 |
| 3 | 192435.27 | 542776.86 | 192432.07 | 542777.97 | 192433.97 | 542781.74 | 3.39 | 5.05 | 11.49 | 25.49 |
| 4 | 193150.12 | 546669.18 | 193147.74 | 546671.46 | 193149.22 | 546675.35 | 3.30 | 6.23 | 10.86 | 38.85 |
| 5 | 194112.78 | 543338.44 | 194108.35 | 543339.11 | 194110.97 | 543342.79 | 4.49 | 4.71 | 20.12 | 22.19 |
| 6 | 195442.68 | 544814.86 | 195439.55 | 544815.98 | 195441.94 | 544818.50 | 3.33 | 3.71 | 11.08 | 13.79 |
| 7 | 195663.94 | 542098.50 | 195660.32 | 542097.41 | 195662.48 | 542102.72 | 3.78 | 4.47 | 14.29 | 19.98 |
| 8 | 195891.64 | 545286.98 | 195889.50 | 545290.07 | 195891.16 | 545292.89 | 3.76 | 5.93 | 14.13 | 35.15 |
| 9 | 196082.46 | 547604.21 | 196081.23 | 547607.89 | 196081.56 | 547609.48 | 3.88 | 5.35 | 15.03 | 28.63 |
| 10 | 196217.23 | 542695.62 | 196213.38 | 542694.73 | 196217.79 | 542698.27 | 3.95 | 2.71 | 15.64 | 7.35 |
| 11 | 197884.72 | 548459.67 | 197881.81 | 548465.52 | 197883.67 | 548465.93 | 6.53 | 6.35 | 42.70 | 40.36 |
| 12 | 199611.36 | 546826.65 | 199608.44 | 546830.79 | 199610.57 | 546831.29 | 5.07 | 4.71 | 25.72 | 22.15 |
| 13 | 199611.87 | 542548.77 | 199607.24 | 542548.08 | 199611.27 | 542550.21 | 4.68 | 1.56 | 21.93 | 2.43 |
| 14 | 201118.94 | 538289.90 | 201112.81 | 538286.52 | 201117.74 | 538288.73 | 7.00 | 1.68 | 49.07 | 2.82 |
| 15 | 201547.15 | 546030.35 | 201543.18 | 546034.47 | 201546.58 | 546034.83 | 5.72 | 4.52 | 32.68 | 20.40 |
| 16 | 202042.39 | 540235.98 | 202037.33 | 540233.79 | 202042.28 | 540235.88 | 5.51 | 0.15 | 30.34 | 0.02 |
| 17 | 202229.57 | 545234.18 | 202223.30 | 545236.41 | 202226.49 | 545236.55 | 6.65 | 3.88 | 44.22 | 15.08 |
| 18 | 202328.55 | 550012.59 | 202326.68 | 550018.13 | 202328.53 | 550018.01 | 5.85 | 5.42 | 34.17 | 29.33 |

단위 : m

| 항목 번호 | 1/1,000 정위치 데이터 | | 무기준점 도화성과 | | ICESat-2 보정 도화성과 | | V | | V ² | |
|--|-----------------|-----------|----------------|----------------|------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | x | y | x ₁ | y ₁ | x ₂ | y ₂ | dxy ₁ | dxy ₂ | dxy ₁ | dxy ₂ |
| 19 | 202713.87 | 540705.57 | 202708.88 | 540705.82 | 202713.19 | 540706.28 | 5.00 | 0.98 | 24.97 | 0.97 |
| 20 | 202814.43 | 546590.81 | 202811.40 | 546596.81 | 202814.16 | 546595.74 | 6.72 | 4.94 | 45.18 | 24.39 |
| 21 | 203194.54 | 545224.40 | 203190.03 | 545228.54 | 203193.75 | 545228.60 | 6.12 | 4.27 | 37.48 | 18.25 |
| 22 | 203660.04 | 540625.69 | 203652.81 | 540624.02 | 203658.23 | 540625.61 | 7.42 | 1.81 | 55.08 | 3.29 |
| 23 | 203717.10 | 540949.37 | 203711.37 | 540947.08 | 203717.02 | 540948.57 | 6.17 | 0.81 | 38.11 | 0.65 |
| 24 | 204630.22 | 542844.48 | 204625.03 | 542844.31 | 204630.22 | 542844.48 | 5.19 | 0.00 | 26.95 | 0.00 |
| 25 | 204920.48 | 546623.87 | 204917.28 | 546629.73 | 204920.00 | 546628.95 | 6.68 | 5.10 | 44.58 | 26.03 |
| 26 | 205027.14 | 550388.79 | 205024.08 | 550395.48 | 205025.97 | 550394.21 | 7.36 | 5.55 | 54.21 | 30.77 |
| 27 | 205612.44 | 550316.18 | 205609.14 | 550323.24 | 205610.55 | 550321.26 | 7.79 | 5.42 | 60.67 | 29.36 |
| 28 | 205714.00 | 546226.06 | 205710.18 | 546230.80 | 205713.82 | 546230.17 | 6.09 | 4.11 | 37.09 | 16.93 |
| 29 | 206079.84 | 549584.60 | 206075.94 | 549591.17 | 206078.05 | 549590.61 | 7.64 | 6.27 | 58.44 | 39.31 |
| 30 | 206967.64 | 544101.73 | 206962.92 | 544104.42 | 206967.32 | 544103.73 | 5.43 | 2.02 | 29.52 | 4.09 |
| 31 | 207465.26 | 542402.45 | 207458.79 | 542404.19 | 207464.08 | 542403.16 | 6.70 | 1.37 | 44.86 | 1.89 |
| $RMSE = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}}$ CE95% = RMSE × 1.7308 | | | | | | | | 무기준점 보정 | | ICESat-2 보정 |
| | | | | | | | 평균 | 5.43 | | 3.76 |
| | | | | | | | 최대 | 7.79 | | 6.35 |
| | | | | | | | 최소 | 2.99 | | 0.00 |
| | | | | | | | RMSE | 5.70 | | 4.29 |
| | | | | | | | CE95 | 9.87 | | 7.42 |

자료: 저자 작성

부록 4-3. 대전지역 영상보정 비교 결과표

단위 : m

| 항목 번호 | 1/5,000 항공사진 도화 성과 | | | 무기준점 보정 도화 성과 | | | ICESat-2 보정 도화 성과 | | | V | | | | V ² | | | |
|----------|--------------------|-----------|-------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | x | y | z | x ₁ | y ₁ | z ₁ | x ₂ | y ₂ | z ₂ | dxy ₁ | dz ₁ | dxy ₂ | dz ₂ | dxy ₁ | dz ₁ | dxy ₂ | dz ₂ |
| 1 | 228542.31 | 417438.61 | 68.82 | 228544.64 | 417435.96 | 67.08 | 228543.82 | 417438.97 | 67.51 | 3.53 | 1.74 | 1.55 | 1.31 | 12.45 | 3.03 | 2.41 | 1.70 |
| 2 | 229058.38 | 417172.94 | 73.03 | 229060.87 | 417170.74 | 69.75 | 229058.80 | 417173.56 | 69.82 | 3.32 | 3.28 | 0.75 | 3.21 | 11.04 | 10.76 | 0.56 | 10.28 |
| 3 | 230413.96 | 415367.93 | 60.84 | 230415.74 | 415365.22 | 61.19 | 230414.01 | 415367.83 | 60.10 | 3.24 | 0.35 | 0.11 | 0.74 | 10.51 | 0.12 | 0.01 | 0.55 |
| 4 | 228610.30 | 413438.47 | 72.68 | 228612.87 | 413434.37 | 74.19 | 228611.80 | 413437.36 | 71.94 | 4.84 | 1.51 | 1.87 | 0.74 | 23.41 | 2.28 | 3.48 | 0.55 |
| 5 | 227757.80 | 417743.99 | 78.58 | 227759.56 | 417741.98 | 75.71 | 227759.15 | 417744.89 | 75.64 | 2.67 | 2.87 | 1.62 | 2.94 | 7.14 | 8.24 | 2.63 | 8.62 |
| 6 | 229934.64 | 417056.53 | 58.98 | 229936.17 | 417055.20 | 57.68 | 229935.53 | 417058.54 | 57.07 | 2.03 | 1.30 | 2.20 | 1.91 | 4.11 | 1.69 | 4.83 | 3.64 |
| 7 | 231043.27 | 417811.37 | 51.63 | 231044.99 | 417809.67 | 51.31 | 231043.59 | 417811.88 | 52.02 | 2.42 | 0.32 | 0.60 | 0.39 | 5.85 | 0.10 | 0.36 | 0.16 |
| 8 | 231046.93 | 417178.60 | 59.31 | 231048.42 | 417176.15 | 60.26 | 231047.78 | 417178.50 | 61.15 | 2.87 | 0.95 | 0.86 | 1.84 | 8.22 | 0.90 | 0.73 | 3.39 |
| 9 | 229965.01 | 416743.79 | 64.89 | 229966.72 | 416740.80 | 64.49 | 229964.70 | 416743.71 | 63.60 | 3.44 | 0.40 | 0.32 | 1.29 | 11.86 | 0.16 | 0.10 | 1.65 |
| 10 | 228198.88 | 415844.55 | 82.45 | 228200.97 | 415841.61 | 81.09 | 228199.83 | 415844.37 | 79.50 | 3.61 | 1.36 | 0.97 | 2.95 | 13.01 | 1.85 | 0.93 | 8.69 |
| 11 | 231718.26 | 417108.74 | 57.27 | 231720.88 | 417106.10 | 56.97 | 231719.02 | 417109.31 | 56.53 | 3.72 | 0.30 | 0.95 | 0.74 | 13.83 | 0.09 | 0.90 | 0.55 |
| 12 | 232889.82 | 417112.36 | 58.27 | 232892.05 | 417109.90 | 58.69 | 232891.00 | 417112.36 | 58.34 | 3.32 | 0.42 | 1.18 | 0.07 | 11.02 | 0.18 | 1.39 | 0.01 |
| 13 | 233095.92 | 417497.51 | 57.06 | 233097.77 | 417494.43 | 55.67 | 233096.42 | 417497.54 | 56.31 | 3.59 | 1.39 | 0.50 | 0.75 | 12.91 | 1.93 | 0.25 | 0.57 |
| 14 | 234322.17 | 418704.76 | 68.17 | 234324.29 | 418702.97 | 65.74 | 234322.53 | 418705.32 | 67.39 | 2.77 | 2.43 | 0.67 | 0.78 | 7.70 | 5.90 | 0.44 | 0.60 |
| 15 | 236531.61 | 418714.50 | 59.27 | 236533.12 | 418712.16 | 57.86 | 236531.58 | 418714.76 | 59.52 | 2.78 | 1.41 | 0.26 | 0.25 | 7.76 | 1.99 | 0.07 | 0.06 |

단위 : m

| 항목 번호 | 1/5,000 항공사진 도화 성과 | | | 무기준점 보정 도화 성과 | | | ICESat-2 보정 도화 성과 | | | V | | | | V ² | | | |
|----------|--------------------|-----------|--------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | x | y | z | x ₁ | y ₁ | z ₁ | x ₂ | y ₂ | z ₂ | dxy ₁ | dz ₁ | dxy ₂ | dz ₂ | dxy ₁ | dz ₁ | dxy ₂ | dz ₂ |
| 16 | 237760.22 | 418735.68 | 62.93 | 237762.38 | 418734.50 | 63.36 | 237760.90 | 418736.82 | 65.25 | 2.46 | 0.43 | 1.33 | 2.32 | 6.06 | 0.18 | 1.76 | 5.38 |
| 17 | 240207.97 | 418420.18 | 113.99 | 240209.85 | 418417.60 | 113.80 | 240208.24 | 418420.04 | 115.78 | 3.19 | 0.19 | 0.30 | 1.79 | 10.19 | 0.04 | 0.09 | 3.20 |
| 18 | 238320.24 | 418213.79 | 73.08 | 238321.99 | 418210.91 | 73.04 | 238320.15 | 418213.74 | 74.19 | 3.37 | 0.04 | 0.10 | 1.11 | 11.36 | 0.00 | 0.01 | 1.23 |
| 19 | 236462.66 | 417319.41 | 47.99 | 236465.21 | 417316.15 | 48.45 | 236463.72 | 417319.30 | 48.95 | 4.14 | 0.46 | 1.07 | 0.96 | 17.13 | 0.21 | 1.14 | 0.93 |
| 20 | 235810.90 | 417076.23 | 65.32 | 235812.47 | 417073.62 | 64.93 | 235811.33 | 417076.97 | 65.67 | 3.05 | 0.39 | 0.86 | 0.35 | 9.28 | 0.15 | 0.73 | 0.12 |
| 21 | 235294.66 | 416320.88 | 50.66 | 235296.32 | 416316.81 | 50.41 | 235295.01 | 416320.46 | 50.94 | 4.40 | 0.25 | 0.55 | 0.28 | 19.32 | 0.06 | 0.30 | 0.08 |
| 22 | 233249.84 | 416487.85 | 77.29 | 233252.09 | 416485.18 | 74.93 | 233250.64 | 416488.27 | 75.45 | 3.49 | 2.36 | 0.90 | 1.84 | 12.19 | 5.57 | 0.82 | 3.38 |
| 23 | 229917.79 | 413845.03 | 83.17 | 229919.52 | 413841.20 | 83.48 | 229918.72 | 413844.05 | 81.90 | 4.20 | 0.31 | 1.35 | 1.27 | 17.66 | 0.10 | 1.83 | 1.62 |
| 24 | 228621.25 | 412504.22 | 71.29 | 228622.84 | 412500.21 | 72.09 | 228621.38 | 412503.01 | 69.23 | 4.31 | 0.80 | 1.22 | 2.06 | 18.61 | 0.64 | 1.48 | 4.25 |
| 25 | 240443.36 | 417841.87 | 95.81 | 240444.80 | 417838.55 | 96.13 | 240443.31 | 417841.16 | 97.21 | 3.62 | 0.32 | 0.71 | 1.40 | 13.10 | 0.10 | 0.51 | 1.95 |
| 26 | 240426.74 | 417591.69 | 95.04 | 240428.05 | 417588.15 | 95.06 | 240426.40 | 417591.83 | 95.87 | 3.77 | 0.02 | 0.37 | 0.83 | 14.25 | 0.00 | 0.14 | 0.69 |
| 27 | 240537.80 | 416653.99 | 91.02 | 240539.21 | 416651.22 | 92.25 | 240537.77 | 416654.18 | 91.68 | 3.11 | 1.23 | 0.19 | 0.66 | 9.66 | 1.51 | 0.04 | 0.44 |
| 28 | 239323.96 | 416628.69 | 76.78 | 239325.53 | 416625.91 | 77.25 | 239324.29 | 416628.72 | 77.52 | 3.19 | 0.47 | 0.33 | 0.74 | 10.19 | 0.22 | 0.11 | 0.55 |
| 29 | 237326.58 | 415617.16 | 59.99 | 237328.64 | 415613.54 | 61.43 | 237327.54 | 415616.63 | 61.16 | 4.17 | 1.44 | 1.10 | 1.17 | 17.35 | 2.07 | 1.20 | 1.38 |
| 30 | 237180.50 | 415544.37 | 56.38 | 237182.12 | 415540.75 | 57.45 | 237180.57 | 415543.33 | 56.87 | 3.97 | 1.07 | 1.04 | 0.49 | 15.73 | 1.14 | 1.09 | 0.24 |
| 31 | 235642.19 | 414894.34 | 49.54 | 235642.82 | 414891.09 | 51.11 | 235642.13 | 414894.68 | 51.91 | 3.31 | 1.57 | 0.35 | 2.37 | 10.96 | 2.46 | 0.12 | 5.63 |

단위 : m

| 항목 번호 | 1/5,000 항공사진 도화 성과 | | | 무기준점 보정 도화 성과 | | | ICESat-2 보정 도화 성과 | | | V | | | | V ² | | | |
|----------|--------------------|-----------|--------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | x | y | z | x ₁ | y ₁ | z ₁ | x ₂ | y ₂ | z ₂ | dxy ₁ | dz ₁ | dxy ₂ | dz ₂ | dxy ₁ | dz ₁ | dxy ₂ | dz ₂ |
| 32 | 233480.16 | 414395.61 | 70.69 | 233481.55 | 414391.65 | 72.83 | 233480.96 | 414394.78 | 70.58 | 4.20 | 2.14 | 1.15 | 0.11 | 17.61 | 4.58 | 1.33 | 0.01 |
| 33 | 231087.31 | 412910.43 | 66.14 | 231089.18 | 412906.50 | 67.08 | 231087.82 | 412909.23 | 64.41 | 4.35 | 0.94 | 1.30 | 1.73 | 18.94 | 0.88 | 1.70 | 2.99 |
| 34 | 228617.44 | 410988.39 | 89.69 | 228619.76 | 410984.01 | 91.07 | 228618.93 | 410986.82 | 87.47 | 4.96 | 1.38 | 2.16 | 2.22 | 24.57 | 1.90 | 4.68 | 4.93 |
| 35 | 231746.87 | 412399.48 | 62.73 | 231748.88 | 412395.61 | 65.55 | 231747.99 | 412398.27 | 63.00 | 4.36 | 2.82 | 1.65 | 0.27 | 19.02 | 7.95 | 2.72 | 0.07 |
| 36 | 233393.59 | 412860.58 | 77.80 | 233396.14 | 412856.50 | 80.33 | 233395.28 | 412859.93 | 78.11 | 4.81 | 2.53 | 1.81 | 0.31 | 23.15 | 6.40 | 3.28 | 0.09 |
| 37 | 234002.13 | 413937.78 | 56.74 | 234003.71 | 413934.35 | 58.55 | 234002.48 | 413937.34 | 56.48 | 3.78 | 1.81 | 0.56 | 0.26 | 14.26 | 3.28 | 0.32 | 0.07 |
| 38 | 235568.73 | 412993.99 | 60.55 | 235570.87 | 412990.01 | 63.84 | 235569.22 | 412992.74 | 62.26 | 4.52 | 3.29 | 1.34 | 1.71 | 20.42 | 10.82 | 1.80 | 2.92 |
| 39 | 236419.75 | 413239.52 | 64.06 | 236421.72 | 413235.52 | 65.60 | 236420.86 | 413238.09 | 63.93 | 4.46 | 1.54 | 1.81 | 0.13 | 19.88 | 2.37 | 3.28 | 0.02 |
| 40 | 237894.79 | 413752.28 | 81.57 | 237896.67 | 413748.41 | 84.29 | 237895.14 | 413750.39 | 82.60 | 4.30 | 2.72 | 1.92 | 1.03 | 18.51 | 7.40 | 3.69 | 1.06 |
| 41 | 239030.23 | 414747.42 | 52.42 | 239032.52 | 414744.75 | 61.21 | 239031.47 | 414747.72 | 59.30 | 3.52 | 8.79 | 1.28 | 6.88 | 12.37 | 77.26 | 1.63 | 47.37 |
| 42 | 240883.04 | 414985.07 | 94.10 | 240884.37 | 414980.22 | 95.09 | 240882.73 | 414983.33 | 95.01 | 5.03 | 0.99 | 1.77 | 0.91 | 25.29 | 0.98 | 3.12 | 0.84 |
| 43 | 241040.87 | 413259.60 | 74.36 | 241042.07 | 413254.93 | 79.48 | 241042.14 | 413257.92 | 77.24 | 4.82 | 5.12 | 2.11 | 2.88 | 23.25 | 26.21 | 4.44 | 8.29 |
| 44 | 239775.40 | 411872.40 | 90.86 | 239777.92 | 411867.25 | 94.06 | 239777.09 | 411870.38 | 92.02 | 5.73 | 3.20 | 2.63 | 1.16 | 32.87 | 10.24 | 6.94 | 1.35 |
| 45 | 240721.23 | 411486.73 | 76.66 | 240722.58 | 411480.64 | 79.76 | 240721.59 | 411483.69 | 78.07 | 6.24 | 3.10 | 3.06 | 1.41 | 38.91 | 9.61 | 9.37 | 1.98 |
| 46 | 241592.97 | 409445.04 | 86.37 | 241595.24 | 409439.14 | 91.12 | 241594.56 | 409441.33 | 86.67 | 6.32 | 4.75 | 4.04 | 0.30 | 39.96 | 22.56 | 16.29 | 0.09 |
| 47 | 235665.34 | 410731.04 | 148.68 | 235668.38 | 410726.06 | 151.59 | 235667.75 | 410729.07 | 149.08 | 5.83 | 2.91 | 3.11 | 0.40 | 34.04 | 8.47 | 9.69 | 0.16 |

단위 : m

| 항목 번호 | 1/5,000 항공사진 도화 성과 | | | 무기준점 보정 도화 성과 | | | ICESat-2 보정 도화 성과 | | | V | | | | V ² | | | |
|--|--------------------|-----------|-------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | x | y | z | x ₁ | y ₁ | z ₁ | x ₂ | y ₂ | z ₂ | dxy ₁ | dz ₁ | dxy ₂ | dz ₂ | dxy ₁ | dz ₁ | dxy ₂ | dz ₂ |
| 48 | 235522.40 | 408835.81 | 88.85 | 235524.44 | 408830.01 | 93.48 | 235524.37 | 408832.77 | 88.70 | 6.15 | 4.63 | 3.62 | 0.15 | 37.80 | 21.44 | 13.12 | 0.02 |
| 49 | 233665.99 | 409556.48 | 74.44 | 233667.43 | 409551.03 | 77.05 | 233667.35 | 409553.90 | 72.62 | 5.64 | 2.61 | 2.92 | 1.82 | 31.78 | 6.81 | 8.51 | 3.30 |
| 50 | 230681.84 | 410200.09 | 73.90 | 230683.55 | 410195.84 | 70.53 | 230682.41 | 410198.91 | 71.23 | 4.58 | 3.37 | 1.31 | 2.67 | 20.99 | 11.36 | 1.72 | 7.13 |
| 51 | 230656.35 | 410379.37 | 85.80 | 230657.73 | 410374.84 | 88.01 | 230657.33 | 410377.84 | 83.91 | 4.74 | 2.21 | 1.82 | 1.89 | 22.43 | 4.88 | 3.30 | 3.57 |
| <div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><</div></div></div></div> | | | | | | | | | | | | | | | | | |

자료: 저자 작성

부록 4-4. 2019년 DEM 성과와 REMA DEM 비교 결과표

단위 : m

| 항목 번호 | TerraSAR-X 활용성과(2019년도 성과) | | | REMA | V | V ² |
|----------|----------------------------|-------------|---------|----------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | z ₁ | dz ₁ | dz ₁ |
| 1 | 473370.910 | 1720667.390 | 456.737 | 456.04 | 0.70 | 0.49 |
| 2 | 473370.910 | 1720167.390 | 472.023 | 471.258 | 0.76 | 0.59 |
| 3 | 473370.910 | 1719667.390 | 531.467 | 526.102 | 5.36 | 28.78 |
| 4 | 473370.910 | 1719167.390 | 498.755 | 500.492 | 1.74 | 3.02 |
| 5 | 473370.910 | 1718667.390 | 393.354 | 391.568 | 1.79 | 3.19 |
| 6 | 473370.910 | 1718167.390 | 263.544 | 262.437 | 1.11 | 1.23 |
| 7 | 473870.910 | 1720667.390 | 477.339 | 478.328 | 0.99 | 0.98 |
| 8 | 473870.910 | 1720167.390 | 455.662 | 452.628 | 3.03 | 9.20 |
| 9 | 473870.910 | 1719667.390 | 390.756 | 390.964 | 0.21 | 0.04 |
| 10 | 473870.910 | 1719167.390 | 342.698 | 341.091 | 1.61 | 2.58 |
| 11 | 473870.910 | 1718667.390 | 314.402 | 310.405 | 4.00 | 15.97 |
| 12 | 473870.910 | 1718167.390 | 233.797 | 234.614 | 0.82 | 0.67 |
| 13 | 473870.910 | 1717667.390 | 70.28 | 62.0763 | 8.20 | 67.30 |
| 14 | 474370.910 | 1720667.390 | 465.192 | 463.952 | 1.24 | 1.54 |
| 15 | 474370.910 | 1720167.390 | 410.58 | 407.093 | 3.49 | 12.16 |
| 16 | 474370.910 | 1719667.390 | 329.976 | 330.304 | 0.33 | 0.11 |
| 17 | 474370.910 | 1719167.390 | 287.232 | 284.753 | 2.48 | 6.15 |
| 18 | 474370.910 | 1718667.390 | 247.344 | 248.97 | 1.63 | 2.64 |
| 19 | 474370.910 | 1718167.390 | 226.014 | 224.606 | 1.41 | 1.98 |
| 20 | 474370.910 | 1717667.390 | 175.278 | 174.08 | 1.20 | 1.44 |
| 21 | 474870.910 | 1720667.390 | 369.851 | 366.062 | 3.79 | 14.36 |
| 22 | 474870.910 | 1720167.390 | 334.577 | 331.485 | 3.09 | 9.56 |
| 23 | 474870.910 | 1719667.390 | 270.659 | 268.883 | 1.78 | 3.15 |
| 24 | 474870.910 | 1719167.390 | 222.242 | 222.666 | 0.42 | 0.18 |
| 25 | 474870.910 | 1718667.390 | 193.332 | 191.265 | 2.07 | 4.27 |
| 26 | 474870.910 | 1718167.390 | 186.046 | 186.77 | 0.72 | 0.52 |
| 27 | 474870.910 | 1717667.390 | 160.773 | 158.91 | 1.86 | 3.47 |
| 28 | 475370.910 | 1720667.390 | 243.697 | 241.887 | 1.81 | 3.28 |
| 29 | 475370.910 | 1720167.390 | 250 | 248.923 | 1.08 | 1.16 |
| 30 | 475370.910 | 1719667.390 | 202.203 | 201.658 | 0.54 | 0.30 |
| 31 | 475370.910 | 1719167.390 | 171.672 | 170.306 | 1.37 | 1.86 |
| 32 | 475370.910 | 1718667.390 | 147.847 | 147.558 | 0.29 | 0.08 |
| 33 | 475370.910 | 1718167.390 | 141.217 | 140.487 | 0.73 | 0.53 |
| 34 | 475370.910 | 1717667.390 | 115.442 | 115.277 | 0.17 | 0.03 |
| 35 | 475870.910 | 1720667.390 | 213.709 | 212.782 | 0.93 | 0.86 |
| 36 | 475870.910 | 1720167.390 | 188.242 | 187.823 | 0.42 | 0.18 |
| 37 | 475870.910 | 1719667.390 | 156.304 | 155.054 | 1.25 | 1.56 |

단위 : m

| 항목 번호 | TerraSAR-X 활용성과(2019년도 성과) | | | REMA | V | V ² |
|---|----------------------------|-------------|---------|----------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | z ₁ | dz ₁ | dz ₁ |
| 38 | 475870.910 | 1719167.390 | 129.88 | 129.653 | 0.23 | 0.05 |
| 39 | 475870.910 | 1718667.390 | 110.372 | 108.93 | 1.44 | 2.08 |
| 40 | 475870.910 | 1718167.390 | 76.66 | 77.5918 | 0.93 | 0.87 |
| 41 | 475870.910 | 1717667.390 | 51.384 | 52.4483 | 1.06 | 1.13 |
| 42 | 476370.910 | 1720667.390 | 220.244 | 219.216 | 1.03 | 1.06 |
| 43 | 476370.910 | 1720167.390 | 153.458 | 152.749 | 0.71 | 0.50 |
| 44 | 476370.910 | 1719667.390 | 124.28 | 125.554 | 1.27 | 1.62 |
| 45 | 476370.910 | 1719167.390 | 102.575 | 104.758 | 2.18 | 4.77 |
| 46 | 476370.910 | 1718667.390 | 74.648 | 74.1308 | 0.52 | 0.27 |
| 47 | 476370.910 | 1718167.390 | 52.066 | 52.8955 | 0.83 | 0.69 |
| 48 | 476370.910 | 1717667.390 | 64.867 | 65.5302 | 0.66 | 0.44 |
| 49 | 476870.910 | 1720667.390 | 141.778 | 139.986 | 1.79 | 3.21 |
| 50 | 476870.910 | 1720167.390 | 107.389 | 105.511 | 1.88 | 3.53 |
| 51 | 476870.910 | 1719667.390 | 83.935 | 84.6734 | 0.74 | 0.55 |
| 52 | 476870.910 | 1719167.390 | 78.607 | 77.1011 | 1.51 | 2.27 |
| 53 | 476870.910 | 1718667.390 | 45.068 | 45.2197 | 0.15 | 0.02 |
| 54 | 476870.910 | 1718167.390 | 16.617 | 16.7583 | 0.14 | 0.02 |
| 55 | 476870.910 | 1717667.390 | 25.581 | 26.5698 | 0.99 | 0.98 |
| 56 | 477370.910 | 1720667.390 | 71.793 | 70.1371 | 1.66 | 2.74 |
| 57 | 477370.910 | 1720167.390 | 54.068 | 53.6066 | 0.46 | 0.21 |
| 58 | 477370.910 | 1719667.390 | 23.028 | 21.4842 | 1.54 | 2.38 |
| 59 | 477370.910 | 1719167.390 | 24.14 | 24.9678 | 0.83 | 0.69 |
| 60 | 477370.910 | 1718667.390 | 21.541 | 20.0044 | 1.54 | 2.36 |
| 61 | 477370.910 | 1718167.390 | 9.983 | 11.557 | 1.57 | 2.48 |
| 62 | 474094.450 | 1720485.560 | 503.926 | 503.701 | 0.22 | 0.05 |
| 63 | 475942.600 | 1719987.710 | 194.694 | 195.479 | 0.79 | 0.62 |
| 64 | 476292.620 | 1717899.830 | 84.356 | 86.7217 | 2.37 | 5.60 |
| $RMSE = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}}$ LE95% = RMSE × 1.960 | | | | | 평균 | 1.46 |
| | | | | | 최대 | 8.20 |
| | | | | | 최소 | 0.14 |
| | | | | | RMSE | 1.69 |
| | | | | | LE95% | 3.31 |

자료: 저자 작성

부록 4-5. 모의영상과 2019년도 DEM 성과 비교 결과표

단위 : m

| 항목 번호 | 모의 영상 DEM | | | 2019년 성과 | V | V ² |
|----------|------------|-------------|--------|----------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | z ₁ | dz ₁ | dz ₁ |
| 1 | 473570.283 | 1720546.803 | 462.54 | 463.463 | 0.92 | 0.85 |
| 2 | 473570.283 | 1720296.803 | 459.69 | 460.000 | 0.31 | 0.10 |
| 3 | 473570.283 | 1720046.803 | 456.18 | 455.467 | 0.71 | 0.51 |
| 4 | 473570.283 | 1719796.803 | 449.62 | 450.168 | 0.55 | 0.30 |
| 5 | 473570.283 | 1719546.803 | 443.17 | 443.693 | 0.52 | 0.27 |
| 6 | 473570.283 | 1719296.803 | 425.7 | 427.597 | 1.90 | 3.59 |
| 7 | 473570.283 | 1719046.803 | 428.44 | 427.711 | 0.73 | 0.53 |
| 8 | 473820.283 | 1720546.803 | 474.87 | 472.365 | 2.51 | 6.28 |
| 9 | 473820.283 | 1720296.803 | 470.33 | 470.192 | 0.13 | 0.02 |
| 10 | 473820.283 | 1720046.803 | 437.92 | 439.101 | 1.18 | 1.40 |
| 11 | 473820.283 | 1719796.803 | 413.97 | 413.886 | 0.08 | 0.01 |
| 12 | 473820.283 | 1719546.803 | 384.93 | 384.991 | 0.06 | 0.00 |
| 13 | 473820.283 | 1719296.803 | 368.25 | 368.253 | 0.01 | 0.00 |
| 14 | 473820.283 | 1719046.803 | 343.95 | 346.235 | 2.28 | 5.21 |
| 15 | 474070.283 | 1720546.803 | 503.26 | 501.961 | 1.30 | 1.68 |
| 16 | 474070.283 | 1720296.803 | 484.89 | 483.481 | 1.41 | 1.98 |
| 17 | 474070.283 | 1720046.803 | 424.7 | 421.185 | 3.52 | 12.38 |
| 18 | 474070.283 | 1719796.803 | 386.23 | 383.249 | 2.98 | 8.91 |
| 19 | 474070.283 | 1719546.803 | 355.18 | 353.201 | 1.97 | 3.90 |
| 20 | 474070.283 | 1719296.803 | 327.68 | 327.809 | 0.13 | 0.02 |
| 21 | 474070.283 | 1719046.803 | 299.86 | 300.529 | 0.67 | 0.45 |
| 22 | 474320.283 | 1720546.803 | 477.4 | 478.147 | 0.75 | 0.56 |
| 23 | 474320.283 | 1720296.803 | 451.3 | 450.642 | 0.66 | 0.43 |
| 24 | 474320.283 | 1720046.803 | 392.82 | 393.487 | 0.67 | 0.45 |
| 25 | 474320.283 | 1719796.803 | 351.67 | 351.085 | 0.59 | 0.34 |
| 26 | 474320.283 | 1719546.803 | 325.58 | 325.503 | 0.08 | 0.01 |
| 27 | 474320.283 | 1719296.803 | 303.28 | 305.004 | 1.73 | 2.98 |
| 28 | 474320.283 | 1719046.803 | 269.01 | 270.056 | 1.05 | 1.10 |
| 29 | 474570.283 | 1720546.803 | 429.8 | 430.622 | 0.82 | 0.68 |
| 30 | 474570.283 | 1720296.803 | 399.75 | 403.054 | 3.31 | 10.94 |
| 31 | 474570.283 | 1720046.803 | 355.13 | 351.688 | 3.44 | 11.87 |

단위 : m

| 항목 번호 | 모의 영상 DEM | | | 2019년 성과 | V | V ² |
|----------|------------|-------------|--------|----------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | z ₁ | dz ₁ | dz ₁ |
| 32 | 474570.283 | 1719796.803 | 326.71 | 327.335 | 0.62 | 0.39 |
| 33 | 474570.283 | 1719546.803 | 295.09 | 295.315 | 0.23 | 0.05 |
| 34 | 474570.283 | 1719296.803 | 272.34 | 274.208 | 1.87 | 3.49 |
| 35 | 474570.283 | 1719046.803 | 242.88 | 245.308 | 2.43 | 5.92 |
| 36 | 474820.283 | 1720546.803 | 380.8 | 379.357 | 1.44 | 2.08 |
| 37 | 474820.283 | 1720296.803 | 358.98 | 362.569 | 3.59 | 12.87 |
| 38 | 474820.283 | 1720046.803 | 323.54 | 324.172 | 0.63 | 0.40 |
| 39 | 474820.283 | 1719796.803 | 300.75 | 301.901 | 1.16 | 1.33 |
| 40 | 474820.283 | 1719546.803 | 265.93 | 265.184 | 0.74 | 0.55 |
| 41 | 474820.283 | 1719296.803 | 240.66 | 240.224 | 0.44 | 0.19 |
| 42 | 474820.283 | 1719046.803 | 215.72 | 216.905 | 1.19 | 1.42 |
| 43 | 475070.283 | 1720546.803 | 321.25 | 318.818 | 2.44 | 5.93 |
| 44 | 475070.283 | 1720296.803 | 316.1 | 317.691 | 1.59 | 2.52 |
| 45 | 475070.283 | 1720046.803 | 285.38 | 287.434 | 2.05 | 4.21 |
| 46 | 475070.283 | 1719796.803 | 249.99 | 250.920 | 0.93 | 0.86 |
| 47 | 475070.283 | 1719546.803 | 225.48 | 226.504 | 1.03 | 1.06 |
| 48 | 475070.283 | 1719296.803 | 213.57 | 214.325 | 0.76 | 0.57 |
| 49 | 475070.283 | 1719046.803 | 195.4 | 195.634 | 0.23 | 0.05 |
| 50 | 475320.283 | 1720546.803 | 257.31 | 255.030 | 2.28 | 5.18 |
| 51 | 475320.283 | 1720296.803 | 266.39 | 266.900 | 0.51 | 0.26 |
| 52 | 475320.283 | 1720046.803 | 246.53 | 248.004 | 1.47 | 2.17 |
| 53 | 475320.283 | 1719796.803 | 218.69 | 220.722 | 2.04 | 4.15 |
| 54 | 475320.283 | 1719546.803 | 193.76 | 195.406 | 1.65 | 2.71 |
| 55 | 475320.283 | 1719296.803 | 180.88 | 182.873 | 2.00 | 3.98 |
| 56 | 475320.283 | 1719046.803 | 167.82 | 170.164 | 2.34 | 5.49 |
| 57 | 475570.283 | 1720546.803 | 218.95 | 220.118 | 1.17 | 1.37 |
| 58 | 475570.283 | 1720296.803 | 221.75 | 220.219 | 1.53 | 2.33 |
| 59 | 475570.283 | 1720046.803 | 210.41 | 211.252 | 0.84 | 0.71 |
| 60 | 475570.283 | 1719796.803 | 184.58 | 185.462 | 0.88 | 0.78 |
| 61 | 475570.283 | 1719546.803 | 161.7 | 164.442 | 2.74 | 7.51 |
| 62 | 475570.283 | 1719296.803 | 158.26 | 159.147 | 0.89 | 0.79 |
| 63 | 475570.283 | 1719046.803 | 148.86 | 149.862 | 1.00 | 1.00 |
| 64 | 475820.283 | 1720546.803 | 204.43 | 205.616 | 1.19 | 1.42 |
| 65 | 475820.283 | 1720296.803 | 192.6 | 194.450 | 1.85 | 3.42 |

단위 : m

| 항목 번호 | 모의 영상 DEM | | | 2019년 성과 | V | V ² |
|----------|------------|-------------|--------|----------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | z ₁ | dz ₁ | dz ₁ |
| 66 | 475820.283 | 1720046.803 | 190.17 | 190.146 | 0.03 | 0.00 |
| 67 | 475820.283 | 1719796.803 | 167.88 | 169.428 | 1.55 | 2.39 |
| 68 | 475820.283 | 1719546.803 | 147.08 | 147.890 | 0.81 | 0.66 |
| 69 | 475820.283 | 1719296.803 | 134.7 | 135.994 | 1.30 | 1.68 |
| 70 | 475820.283 | 1719046.803 | 122.77 | 124.508 | 1.74 | 3.03 |
| 71 | 476221.222 | 1718575.472 | 76.19 | 78.180 | 1.99 | 3.96 |
| 72 | 476221.222 | 1718325.472 | 62.543 | 65.809 | 3.27 | 10.67 |
| 73 | 476221.222 | 1718075.472 | 72.372 | 71.095 | 1.28 | 1.63 |
| 74 | 476221.222 | 1717825.472 | 72.634 | 74.518 | 1.88 | 3.55 |
| 75 | 476221.222 | 1717575.472 | 47.982 | 50.355 | 2.37 | 5.63 |
| 76 | 476471.222 | 1718575.472 | 57.962 | 60.195 | 2.23 | 4.99 |
| 77 | 476471.222 | 1718325.472 | 43.128 | 44.754 | 1.63 | 2.64 |
| 78 | 476471.222 | 1718075.472 | 46.382 | 47.101 | 0.72 | 0.52 |
| 79 | 476471.222 | 1717825.472 | 63.283 | 66.035 | 2.75 | 7.57 |
| 80 | 476471.222 | 1717575.472 | 59.37 | 60.000 | 0.63 | 0.40 |
| 81 | 476471.222 | 1717325.472 | 45.641 | 44.512 | 1.13 | 1.27 |
| 82 | 476721.222 | 1718575.472 | 51.149 | 52.175 | 1.03 | 1.05 |
| 83 | 476721.222 | 1717575.472 | 38.592 | 40.886 | 2.29 | 5.26 |
| 84 | 476721.222 | 1717325.472 | 31.671 | 34.694 | 3.02 | 9.14 |
| 85 | 476971.222 | 1718575.472 | 33.45 | 35.906 | 2.46 | 6.03 |
| 86 | 476971.222 | 1717575.472 | 23.409 | 23.292 | 0.12 | 0.01 |
| 87 | 476971.222 | 1717325.472 | 24.898 | 27.337 | 2.44 | 5.95 |
| 88 | 477221.222 | 1718575.472 | 30.858 | 32.507 | 1.65 | 2.72 |
| 89 | 477221.222 | 1718325.472 | 21.792 | 23.453 | 1.66 | 2.76 |
| 90 | 477221.222 | 1718075.472 | 18.504 | 19.666 | 1.16 | 1.35 |
| 91 | 477221.222 | 1717325.472 | 15.788 | 18.132 | 2.34 | 5.49 |
| 92 | 478471.222 | 1718575.472 | 12.985 | 10.000 | 2.99 | 8.91 |
| 93 | 478471.222 | 1718325.472 | 9.268 | 10.000 | 0.73 | 0.54 |
| 94 | 478471.222 | 1717825.472 | 10.459 | 10.000 | 0.46 | 0.21 |
| 95 | 478471.222 | 1717575.472 | 9.766 | 10.000 | 0.23 | 0.05 |
| 96 | 478471.222 | 1717325.472 | 13.804 | 15.041 | 1.24 | 1.53 |
| 97 | 478471.222 | 1717075.472 | 9.37 | 10.284 | 0.91 | 0.84 |
| 98 | 478721.222 | 1718575.472 | 9.45 | 10.000 | 0.55 | 0.30 |
| 99 | 478721.222 | 1718325.472 | 13.631 | 8.159 | 5.47 | 29.94 |

단위 : m

| 항목 번호 | 모의 영상 DEM | | | 2019년 성과 | V | V ² |
|---|------------|-------------|--------|----------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | z ₁ | dz ₁ | dz ₁ |
| 100 | 478721.222 | 1718075.472 | 12.425 | 11.540 | 0.89 | 0.78 |
| 101 | 478721.222 | 1717825.472 | 12.214 | 10.763 | 1.45 | 2.11 |
| 102 | 478721.222 | 1717575.472 | 9.905 | 10.000 | 0.10 | 0.01 |
| 103 | 478721.222 | 1717325.472 | 9.37 | 10.000 | 0.63 | 0.40 |
| 104 | 478721.222 | 1717075.472 | 11.256 | 9.804 | 1.45 | 2.11 |
| 105 | 478971.222 | 1718575.472 | 14.37 | 12.780 | 1.59 | 2.53 |
| 106 | 478971.222 | 1718325.472 | 12.716 | 10.362 | 2.35 | 5.54 |
| 107 | 478971.222 | 1718075.472 | 10.314 | 10.718 | 0.40 | 0.16 |
| 108 | 478971.222 | 1717325.472 | 14.216 | 10.611 | 3.61 | 13.00 |
| 109 | 478971.222 | 1717075.472 | 13.909 | 13.650 | 0.26 | 0.07 |
| 110 | 479221.222 | 1717575.472 | 15.445 | 11.595 | 3.85 | 14.82 |
| 111 | 479221.222 | 1717325.472 | 14.37 | 16.232 | 1.86 | 3.47 |
| 112 | 479221.222 | 1717075.472 | 13.829 | 19.980 | 6.15 | 37.83 |
| 113 | 479471.222 | 1718075.472 | 9.37 | 10.000 | 0.63 | 0.40 |
| 114 | 479971.222 | 1718575.472 | 17.464 | 20.000 | 2.54 | 6.43 |
| $RMSE = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}}$ LE95% = RMSE × 1.960 | | | | | 평균 | 1.48 |
| | | | | | 최대 | 6.15 |
| | | | | | 최소 | 0.01 |
| | | | | | RMSE | 1.55 |
| | | | | | LE95% | 3.03 |

자료: 저자 작성

부록 4-6. 매칭 DEM 성과와 2019년도 DEM 성과 비교 결과표

단위 : m

| 항목 번호 | 매칭 DEM | | | 2019년 성과 | V | V ² |
|----------|------------|-------------|---------|----------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | z ₁ | dz ₁ | dz ₁ |
| 1 | 469778.136 | 1716633.887 | 324.225 | 321.583 | 2.64 | 6.98 |
| 2 | 469760.092 | 1715964.049 | 371.493 | 368.706 | 2.79 | 7.77 |
| 3 | 469773.538 | 1715183.165 | 466.11 | 463.092 | 3.02 | 9.11 |
| 4 | 470487.784 | 1716645.951 | 334.994 | 332.574 | 2.42 | 5.86 |
| 5 | 470469.47 | 1715976.121 | 352.157 | 348.227 | 3.93 | 15.45 |
| 6 | 470482.601 | 1715195.231 | 379.17 | 372.478 | 6.69 | 44.78 |
| 7 | 471162.691 | 1718777.295 | 358.874 | 352.079 | 6.80 | 46.17 |
| 8 | 471175.492 | 1717996.403 | 318.667 | 315.694 | 2.97 | 8.84 |
| 9 | 471178.853 | 1715987.906 | 227.256 | 224.556 | 2.70 | 7.29 |
| 10 | 471162.123 | 1715206.526 | 239.322 | 232.831 | 6.49 | 42.14 |
| 11 | 471173.12 | 1714537.188 | 252.74 | 247.081 | 5.66 | 32.02 |
| 12 | 471184.116 | 1713867.849 | 271.582 | 269.038 | 2.54 | 6.47 |
| 13 | 471167.437 | 1713086.469 | 317.503 | 314.887 | 2.62 | 6.84 |
| 14 | 471870.74 | 1720797.292 | 486.771 | 482.386 | 4.38 | 19.23 |
| 15 | 471881.43 | 1720127.953 | 532.517 | 528.355 | 4.16 | 17.32 |
| 16 | 471862.504 | 1719458.139 | 690.72 | 686.716 | 4.00 | 16.03 |
| 17 | 472569.914 | 1721589.409 | 379.894 | 377.151 | 2.74 | 7.52 |
| 18 | 472582.069 | 1720808.509 | 470.726 | 466.947 | 3.78 | 14.28 |
| 19 | 472562.861 | 1720138.703 | 624.173 | 617.679 | 6.49 | 42.17 |
| 20 | 472573.292 | 1719469.359 | 585.715 | 581.671 | 4.04 | 16.35 |
| 21 | 472585.461 | 1718688.458 | 441.236 | 440.38 | 0.86 | 0.73 |
| 22 | 473271.414 | 1722269.689 | 330.895 | 328.173 | 2.72 | 7.41 |
| 23 | 473283.254 | 1721488.785 | 435.129 | 433.277 | 1.85 | 3.43 |
| 24 | 473263.764 | 1720818.988 | 452.346 | 447.155 | 5.19 | 26.95 |
| 25 | 473273.924 | 1720149.64 | 490.998 | 487.689 | 3.31 | 10.95 |
| 26 | 473284.084 | 1719480.293 | 562.269 | 562.401 | 0.13 | 0.02 |
| 27 | 473266.335 | 1718698.937 | 414.997 | 409.938 | 5.06 | 25.59 |
| 28 | 473973.46 | 1722949.689 | 271.124 | 265.961 | 5.16 | 26.66 |
| 29 | 473983.337 | 1722280.339 | 360.062 | 356.477 | 3.59 | 12.85 |
| 30 | 473965.211 | 1721498.992 | 624.414 | 619.594 | 4.82 | 23.23 |
| 31 | 473975.101 | 1720829.642 | 488.668 | 484.691 | 3.98 | 15.82 |
| 32 | 473984.99 | 1720160.29 | 452.154 | 448.988 | 3.17 | 10.02 |

단위 : m

| 항목 번호 | 매칭 DEM | | | 2019년 성과 | V | V ² |
|---|------------|-------------|---------|----------------|-----------------|-----------------|
| | x | y | z | z ₁ | dz ₁ | dz ₁ |
| 33 | 473965.264 | 1719490.501 | 361.428 | 358.252 | 3.18 | 10.09 |
| 34 | 473976.816 | 1718709.591 | 312.311 | 309.521 | 2.79 | 7.78 |
| 35 | 473986.718 | 1718040.238 | 211.411 | 207.969 | 3.44 | 11.84 |
| 36 | 474685.657 | 1722960.055 | 312.496 | 308.51 | 3.99 | 15.89 |
| 37 | 474665.6 | 1722290.275 | 362.967 | 359.113 | 3.85 | 14.85 |
| 38 | 474686.441 | 1720840.008 | 434.022 | 428.939 | 5.08 | 25.84 |
| 39 | 474666.433 | 1720170.227 | 365.8 | 362.06 | 3.74 | 13.98 |
| 40 | 474677.669 | 1719389.313 | 272.699 | 268.187 | 4.51 | 20.36 |
| 41 | 474687.3 | 1718719.957 | 209.602 | 207.218 | 2.38 | 5.68 |
| 42 | 474667.34 | 1718050.175 | 198.528 | 195.479 | 3.05 | 9.30 |
| 43 | 475388.521 | 1723639.491 | 302.497 | 299.282 | 3.21 | 10.34 |
| 44 | 475368.182 | 1722969.719 | 326.439 | 322.454 | 3.99 | 15.88 |
| 45 | 475388.437 | 1721519.445 | 300.096 | 296.778 | 3.32 | 11.01 |
| 46 | 475368.147 | 1720849.673 | 253.697 | 249.093 | 4.60 | 21.19 |
| 47 | 476062.232 | 1724318.242 | 265.359 | 260.865 | 4.49 | 20.20 |
| 48 | 476071.309 | 1723648.882 | 333.578 | 328.642 | 4.94 | 24.36 |
| 49 | 476080.387 | 1722979.522 | 331.259 | 325.008 | 6.25 | 39.08 |
| 50 | 476061.316 | 1722198.199 | 343.834 | 339.281 | 4.55 | 20.73 |
| 51 | 476070.405 | 1721528.838 | 346.108 | 340 | 6.11 | 37.30 |
| 52 | 476079.495 | 1720859.477 | 282.993 | 280.849 | 2.14 | 4.60 |
| 53 | 476774.98 | 1724327.764 | 270.272 | 266.09 | 4.18 | 17.49 |
| 54 | 476783.787 | 1723658.401 | 270.589 | 267.707 | 2.88 | 8.30 |
| 55 | 476762.919 | 1722988.647 | 283.286 | 278.804 | 4.48 | 20.09 |
| 56 | 476773.208 | 1722207.722 | 244.224 | 242.868 | 1.36 | 1.84 |
| 57 | 476782.027 | 1721538.358 | 266.204 | 262.066 | 4.14 | 17.12 |
| 58 | 477479.196 | 1725006.364 | 216.563 | 212.655 | 3.91 | 15.27 |
| 59 | 477487.732 | 1724336.998 | 212.714 | 208.514 | 4.20 | 17.64 |
| $RMSE = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}}$ $LE95\% = RMSE \times 1.960$ | | | | | 평균 | 3.82 |
| | | | | | 최대 | 6.80 |
| | | | | | 최소 | 0.13 |
| | | | | | RMSE | 3.94 |
| | | | | | LE95% | 7.72 |

자료: 저자 작성

부록 5. AADC Map Catalogue의 갱신 지도(117종 441매)

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 축척 분모 | 버전 | 투영 |
|----|------|-------|---|------------|----------|----|-----|
| 1 | 시설물 | 14318 | Annex B: Spill Risk Assessment Map Casey Station Land - Based Spills | 2001-06-10 | 2000 | 1 | UTM |
| | | 14319 | Annex B: Casey Station Spill Risk Assessment Map Land - Based Spills | 2002-08-09 | 2000 | 2 | UTM |
| | | 14320 | Annex B: Casey Station Spill Risk Assessment Map Land - Based Spills | 2004-05-03 | 2000 | 3 | UTM |
| | | 14321 | Annex B: Casey Station Spill Risk Assessment Map Land - Based Spills | 2008-07-07 | 2000 | 4 | UTM |
| | | 13702 | Annex B: Casey Station Spill Risk Assessment Map Land and Marine-Based Spills. | 2008-11-20 | 2000 | 5 | UTM |
| | | 14322 | Annex B: Casey Station Spill Risk Assessment Map Land and Marine-Based Spills. | 2014-06-27 | 2000 | 6 | UTM |
| 2 | 시설물 | 14328 | Annex B: Davis Station Spill Risk Assessment Map Land-Based Spills. | 2002-06-11 | 1000 | 1 | UTM |
| | | 14329 | Annex B: Davis Station Spill Risk Assessment Map Land-Based Spills. | 2004-04-30 | 1000 | 2 | UTM |
| | | 13703 | Annex B: Davis Station Spill Risk Assessment Map Land and Marine-Based Spills. | 2008-11-20 | 1000 | 3 | UTM |
| | | 14330 | Annex B: Davis Station Spill Risk Assessment Map Land and Marine-Based Spills. | 2014-06-19 | 1000 | 4 | UTM |
| 3 | 시설물 | 14471 | Annex B: Macquarie Island Spill Risk Assessment Map Land - Based Spills | 2002-06-12 | 1300 | 1 | UTM |
| | | 14472 | Annex B: Macquarie Island Spill Risk Assessment Map Land - Based Spills | 2004-04-30 | 1300 | 2 | UTM |
| | | 13705 | Annex B: Macquarie Island Spill Risk Assessment Map Land and Marine-Based Spills | 2008-11-20 | 1300 | 3 | UTM |
| | | 14473 | Annex B: Macquarie Island Spill Risk Assessment Map Land and Marine-Based Spills | 2014-07-02 | 1300 | 4 | UTM |
| 4 | 시설물 | 14452 | Annex B: Mawson Station Spill Risk Assessment Map Land - Based Spills | 2002-06-12 | 1000 | 1 | UTM |
| | | 14453 | Annex B: Mawson Station Spill Risk Assessment Map Land - Based Spills | 2004-04-30 | 1000 | 2 | UTM |
| | | 13704 | Annex B: Mawson Station Spill Risk Assessment Map Land and Marine-Based Spills | 2008-11-20 | 1000 | 3 | UTM |
| | | 14454 | Annex B: Mawson Station Spill Risk Assessment Map Land and Marine-Based Spills | 2014-07-01 | 1000 | 4 | UTM |
| 5 | 보호구역 | 13948 | Antarctic Specially Protected Area No 167 Hawker Island, Vestfold Hills, Ingrid Christensen Coast, East Antarctica Map B: Topography and Fauna Distribution | 2011-04-01 | 15000 | 1 | UTM |
| | | 14500 | Antarctic Specially Protected Area No 1 | 2016-02-01 | 15000 | 2 | UTM |

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 축척 분모 | 버전 | 투영 |
|----|-------|-------|---|------------|----------|----|-----|
| | | | 67 Hawker Island, Vestfold Hills, Ingrid Christensen Coast, East Antarctica Map B: Topography and Fauna Distribution | | | | |
| 6 | 보호구역 | 13166 | Taylor Rookery, Mawson Coast. Map B : Antarctic Specially Protected Area No. 101. Detail Taylor Rookery : topography and emperor penguin colony | 2005-05-01 | 5000 | 1 | UTM |
| | | 13709 | Antarctic Specially Protected Area No. 101 Taylor Rookery Map B: Topography and Emperor Penguin Colony | 2010-03-01 | 5000 | 2 | UTM |
| | | 14338 | Antarctic Specially Protected Area No. 101 Taylor Rookery Map B: Topography and Emperor Penguin Colony | 2015-03-01 | 5000 | 3 | UTM |
| 7 | 헬기이착륙 | 13167 | Taylor Rookery, Mawson Coast. Map C : Antarctic Specially Protected Area No. 101. Helicopter approach and landing site | 2005-05-01 | 5000 | 1 | UTM |
| | | 13710 | Antarctic Specially Protected Area No. 101 Taylor Rookery Map C: Helicopter Approach and Landing site | 2010-03-01 | 7500 | 2 | UTM |
| | | 14339 | Antarctic Specially Protected Area No. 101 Taylor Rookery Map C: Helicopter Approach and Landing site | 2015-03-01 | 7500 | 3 | UTM |
| 8 | 보호구역 | 13172 | Giganteus Island : Topography and Southern Giant-petrel and penguin distribution. Map C : Antarctic Specially Protected Area 102 : Rookery Island, Mawson Coast | 2006-02-01 | 3000 | 1 | UTM |
| | | 13715 | Antarctic Specially Protected Area No. 102 Giganteus Island (Restricted Zone) Map C: Topography and Bird Distribution | 2010-03-01 | 5000 | 2 | UTM |
| | | 14356 | Antarctic Specially Protected Area No. 102 Giganteus Island (Restricted Zone) Map C: Topography and Bird Distribution | 2015-03-01 | 5000 | 3 | UTM |
| 9 | 보호구역 | 13169 | Rookery Islands, Holme Bay, Mawson Coast. Map B : Antarctic Specially Protected Area no. 102. Bird distribution | 2006-02-01 | 36000 | 1 | UTM |
| | | 13714 | Antarctic Specially Protected Area No. 102 Rookery Islands Map B : Bird Distribution | 2010-03-01 | 36000 | 2 | UTM |
| | | 14355 | Antarctic Specially Protected Area No. 102 Rookery Islands Map B : Bird Distribution | 2015-03-01 | 50000 | 3 | UTM |
| 10 | 보호구역 | 13170 | Ardery Island : Topography and distribution of birds. Map B : Antarctic Specially Protected area no. 103 | 2006-02-01 | 7500 | 1 | UTM |
| | | 13726 | Antarctic Specially Protected Area No. 103 Ardery Island Map B: Topography and Bird Distribution | 2010-03-01 | 8000 | 2 | UTM |
| | | 14363 | Antarctic Specially Protected Area No. 103 Ardery Island Map B: Topography and Bird Distribution | 2015-04-01 | 8000 | 3 | UTM |
| 11 | 헬기이착륙 | 13728 | Antarctic Specially Protected Area No. 1 | 2010-03-01 | 35000 | 2 | UTM |

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 축척 분모 | 버전 | 투영 |
|----|-------|-------|---|------------|----------|----|-----|
| | | | 03 Ardery Island and Odbert Island Map D: Helicopter approach and landing sites | | | | |
| | | 14365 | Antarctic Specially Protected Area No. 103 Ardery Island and Odbert Island Map D: Helicopter Approach and Landing Sites | 2015-04-01 | 35000 | 3 | UTM |
| 12 | 보호구역 | 13176 | Odbert Island : Topography and distribution of birds. Map C : Antarctic Specially Protected Area no. 103 | 2006-02-01 | 12000 | 1 | UTM |
| | | 13727 | Antarctic Specially Protected Area No. 103 Odbert Island Map C: Topography and Bird Distribution | 2010-03-01 | 15000 | 2 | UTM |
| | | 14364 | Antarctic Specially Protected Area No. 103 Odbert Island Map C: Topography and Bird Distribution | 2015-04-01 | 15000 | 3 | UTM |
| 13 | 보호구역 | 13253 | Antarctic Specially Protected Area No. 136 : Map B, Clark Peninsula, Windmill Islands, East Antarctica. Topography and bird distribution. | 2006-03-01 | 30000 | 2 | UTM |
| | | 13596 | Antarctic Specially Protected Area No. 136, Clark Peninsula, Windmill Islands, East Antarctica. Map B: Topography and bird distribution. | 2009-02-01 | 30000 | 3 | UTM |
| | | 14271 | Antarctic Specially Protected Area No. 136 Clark Peninsula Map B: Topography and bird distribution | 2014-01-01 | 35000 | 4 | UTM |
| 14 | 보호구역 | 13255 | Antarctic Specially Protected Area No. 136 : Map C, Clark Peninsula, Windmill Islands, East Antarctica. Distribution of major vegetation types. | 2006-03-01 | 30000 | 2 | UTM |
| | | 13597 | Antarctic Specially Protected Area No. 136, Clark Peninsula, Windmill Islands, East Antarctica. Map C: Distribution of major vegetation types. | 2009-02-01 | 30000 | 3 | UTM |
| | | 14272 | Antarctic Specially Protected Area No. 136 Clark Peninsula Map C : Vegetation | 2014-01-01 | 35000 | 4 | UTM |
| 15 | 보호구역 | 13257 | Antarctic Specially Protected Area No. 136 : Map D, Clark Peninsula, Windmill Islands, East Antarctica. Geology | 2006-03-01 | 30000 | 2 | UTM |
| | | 13598 | Antarctic Specially Protected Area No. 136, Clark Peninsula, Windmill Islands, East Antarctica. Map D: Geology | 2009-02-01 | 30000 | 3 | UTM |
| | | 14273 | Antarctic Specially Protected Area No. 136 Clark Peninsula Map D: Geology | 2014-01-01 | 30000 | 4 | UTM |
| 16 | 보호구역 | 13738 | Scullin Monolith Antarctic Specially Protected Area No. 164 Map D: Helicopter approach and landing site | 2010-03-01 | 24000 | 1 | UTM |
| | | 14345 | Antarctic Specially Protected Area No. 164 Scullin Monolith Map D: Helicopter approach and landing site | 2015-01-01 | 24000 | 2 | UTM |
| 17 | 헬기이착륙 | 12553 | Ardery and Orbert Islands (SPA 3) (Helicopter Operations) | 2000-08-01 | 26000 | 2 | UTM |
| | | 13881 | Ardery and Odbert Islands (ASPA 103) | 2011-05-01 | 26000 | 3 | UTM |

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 축척 분모 | 버전 | 투영 |
|----|-------|-------|--|------------|----------|----|-----|
| | | | (Helicopter Operations) | | | | |
| 18 | 시설물 | 12718 | Australian Antarctic Territory – Cape Denison | 2001-02-01 | 5000 | 1 | UTM |
| | | 13570 | Australian Antarctic Territory – Cape Denison | 2008-11-01 | 5000 | 2 | UTM |
| | | 13575 | Cape Denison | 2010-04-01 | 5000 | 3 | UTM |
| 19 | 헬기이착륙 | 12581 | Bechervaise and Welch Islands (Helicopter Operations) | 2000-08-01 | 36500 | 2 | UTM |
| | | 13904 | Bechervaise and Welch Islands (Helicopter Operations) | 2011-05-01 | 37500 | 3 | UTM |
| 20 | 헬기이착륙 | 12555 | Browning Peninsula and Peterson Island (Helicopter Operations) | 2000-08-01 | 41400 | 2 | UTM |
| | | 13883 | Browning Peninsula and Peterson Island (Helicopter Operations) | 2011-05-01 | 42000 | 3 | UTM |
| 21 | 안내도 | 13955 | Cape Denison Antarctic Specially Managed Area No. 3 | 2011-06-01 | 20000 | 1 | UTM |
| | | 14282 | Cape Denison Antarctic Specially Protected Area No. 162 | 2014-03-01 | 20000 | 2 | UTM |
| 22 | 헬기이착륙 | 12974 | Cape Denison Flight Paths and Bird Colonies | 2003-04-01 | 10000 | 1 | UTM |
| | | 14253 | Cape Denison Flight Paths and Bird Colonies Map C | 2013-12-01 | 10000 | 2 | UTM |
| 23 | 보호구역 | 12973 | Cape Denison Visual Protection Zone | 2003-04-01 | 5800 | 1 | UTM |
| | | 14252 | Cape Denison Visual Protection Zone Map B | 2013-12-01 | 5800 | 2 | UTM |
| 24 | 헬기이착륙 | 12586 | Cape Denison, Commonwealth Bay (Helicopter Operations) | 2000-08-01 | 8000 | 2 | UTM |
| | | 12878 | Cape Denison, Commonwealth Bay (Helicopter Operations) | 2002-09-01 | 8000 | 3 | UTM |
| | | 13927 | Cape Denison (ASMA 3) (Helicopter Operations) | 2011-05-01 | 8000 | 4 | UTM |
| | | 14309 | Cape Denison (ASPA 162) (Helicopter Operations) | 2014-07-01 | 8000 | 5 | UTM |
| 25 | 헬기장 | 14247 | Casey Helipads | 2013-09-01 | 1500 | 1 | UTM |
| | | 14566 | Casey Helipads | 2017-03-01 | 1500 | 2 | UTM |
| | | 14600 | Casey Helipads | 2017-08-01 | 1500 | 3 | UTM |
| | | 14670 | Casey Helipads | 2018-06-01 | 1500 | 4 | UTM |
| 26 | 시설물 | 12221 | Casey Station Quarry Location | 1998-09-01 | 2000 | 1 | UTM |
| | | 13740 | Casey Quarry Location | 2010-01-01 | 2000 | 2 | UTM |
| 27 | 헬기이착륙 | 12552 | Casey station – final approach (Helicopter Operations) | 2000-08-01 | 10000 | 2 | UTM |
| | | 13880 | Casey final helicopter approach (Helicopter Operations) | 2011-05-01 | 10000 | 3 | UTM |
| | | 14248 | Casey final helicopter approach (Helicopter Operations) | 2013-09-01 | 13465 | 4 | UTM |
| | | 14305 | Casey final helicopter approach (Helicopter Operations) | 2014-07-01 | 10000 | 5 | UTM |
| | | 14540 | Casey final helicopter approach (Helicopter Operations) | 2016-10-01 | 10000 | 6 | UTM |
| | | 14669 | Casey final helicopter approach (Helicopter Operations) | 2018-06-01 | 10000 | 7 | UTM |
| 28 | 시설물 | 11112 | Casey Station Area Map | 1999-06-01 | 3200 | 1 | UTM |
| | | 12708 | Casey Station Area Map | 2000-09-01 | 3200 | 2 | UTM |
| | | 13049 | Casey Station Area Map | 2003-12-01 | 3200 | 3 | UTM |
| 29 | 시설물 | 12532 | Casey Station Area Map | 1999-04-01 | 20000 | 1 | UTM |

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 축척 분모 | 버전 | 투영 |
|----|-------|-------|---|------------|----------|----|-----|
| | | 12533 | Casey Station Area Map | 2000-09-01 | 20000 | 2 | UTM |
| | | 13021 | Casey Station Area Map | 2003-08-01 | 20000 | 3 | UTM |
| 30 | 시설물 | 14458 | Casey Station 2000 New Season Snow and Existing Ice Buildup New Road Repairs Existing Roads in Need of Crushed Rock | 2000-10-25 | 1000 | 1 | UTM |
| | | 14459 | Casey Station August 2000 | 2001-01-01 | 1000 | 2 | UTM |
| | | 14460 | Casey Station New Season and Existing Ice Buildup | 2003-01-01 | 1000 | 3 | UTM |
| | | 14461 | Casey Station New Season and Existing Ice Buildup 2005 | 2005-02-16 | 1000 | 4 | UTM |
| | | 13488 | Casey Station New Season and Existing Ice Buildup 2005 | 2005-10-25 | 1000 | 5 | UTM |
| | | 13973 | Casey Station New Season and Existing Ice Buildup 2005 | 2008-10-27 | 1000 | 6 | UTM |
| | | 14462 | Casey Station New Season and Existing Ice Buildup | 2014-06-30 | 1000 | 7 | UTM |
| 31 | 시설물 | 10146 | Casey Station Buildings and Structures | 1999-04-01 | 2500 | 2 | UTM |
| | | 12460 | Casey Station Buildings and Structures | 2000-09-01 | 2500 | 3 | UTM |
| | | 13064 | Casey Station Buildings and Structures | 2004-05-01 | 2500 | 4 | UTM |
| | | 13360 | Casey Station: Buildings and Structures | 2007-08-01 | 2500 | 5 | UTM |
| | | 14292 | Casey: Buildings and Structures | 2014-07-01 | 2500 | 6 | UTM |
| | | 14483 | Casey: Buildings and Structures | 2015-10-01 | 2500 | 7 | UTM |
| | | 14532 | Casey: Buildings and Structures | 2016-09-01 | 2500 | 8 | UTM |
| | | 14596 | Casey: Buildings and Structures | 2017-08-01 | 2500 | 9 | UTM |
| | | 14673 | Casey: Buildings and Structures | 2018-06-01 | 2500 | 10 | UTM |
| 32 | 시설물 | 11325 | Casey Station Quarry and Snow Petrel Nest Sites | 1999-06-01 | 1600 | 1 | UTM |
| | | 12223 | Casey Station Quarry and Snow Petrel Nest Sites | 2000-03-01 | 3000 | 2 | UTM |
| 33 | 시설물 | 12742 | Casey Station Recreation Limits Map | 2001-09-01 | 10000 | 1 | UTM |
| | | 13022 | Casey Station Recreation Limits Map | 2003-08-01 | 10000 | 2 | UTM |
| 34 | 시설물 | 12743 | Casey Station - Station Limits | 2001-08-01 | 6000 | 1 | UTM |
| | | 13361 | Casey Station: Station Limits | 2007-08-01 | 6000 | 2 | UTM |
| | | 13916 | Casey: Station Limits | 2010-11-01 | 6000 | 3 | UTM |
| | | 14294 | Casey: Station Limits | 2014-08-01 | 6000 | 4 | UTM |
| | | 14484 | Casey: Station Limits | 2015-10-01 | 6000 | 5 | UTM |
| | | 14533 | Casey: Station Limits | 2016-09-01 | 6000 | 6 | UTM |
| | | 14597 | Casey: Station Limits | 2017-08-01 | 6000 | 7 | UTM |
| 35 | 시설물 | 13384 | Casey Station: Recreation Limits | 2007-08-01 | 15500 | 1 | UTM |
| | | 13510 | Casey: Recreation Limits | 2008-09-01 | 15500 | 2 | UTM |
| | | 13650 | Casey: Recreation Limits | 2009-06-01 | 15500 | 3 | UTM |
| | | 13917 | Casey: Recreation Limits | 2010-11-01 | 15500 | 4 | UTM |
| | | 14295 | Casey: Recreation Limits | 2014-08-01 | 15500 | 5 | UTM |
| | | 14485 | Casey: Recreation Limits | 2015-10-01 | 15500 | 6 | UTM |
| | | 14534 | Casey: Recreation Limits | 2016-09-01 | 15500 | 7 | UTM |
| | | 14598 | Casey: Recreation Limits | 2017-08-01 | 15500 | 8 | UTM |
| 36 | 시설물 | 13520 | Casey: Station Search Zones | 2008-09-01 | 2500 | 1 | UTM |
| | | 13791 | Casey: Station Search Zones | 2010-06-01 | 2250 | 2 | UTM |
| | | 14315 | Casey: Station Search Zones Map 1 | 2014-10-01 | 2250 | 3 | UTM |
| | | 14647 | Casey: Station Search Zones Map 1 | 2018-06-01 | 2250 | 4 | UTM |
| 37 | 시설물 | 14324 | Casey: Station Search Zones Map 2 | 2014-10-01 | 6400 | 1 | UTM |
| | | 14648 | Casey: Station Search Zones Map 2 | 2018-06-01 | 6400 | 2 | UTM |
| 38 | 헬기이착륙 | 12557 | Davis approach paths (Helicopter Operations) | 2000-08-01 | 40500 | 2 | UTM |
| | | 13888 | Davis helicopter approach paths (Helicopter Operations) | 2011-05-01 | 41000 | 3 | UTM |

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 축척 분모 | 버전 | 투영 |
|----|-------|-------|---|------------|----------|----|-----|
| | | | pter Operations) | | | | |
| 39 | 비행 | 13026 | Davis fixed wing suggested flight paths | 2003-06-01 | 40000 | 1 | UTM |
| | | 13931 | Davis fixed wing suggested flight path | 2012-06-01 | 40000 | 2 | UTM |
| 40 | 헬기장 | 14220 | Davis Helipads | 2013-06-01 | 1100 | 1 | UTM |
| | | 14468 | Davis helipads | 2015-05-01 | 1700 | 2 | UTM |
| | | 14604 | Davis helipads | 2017-08-01 | 1700 | 3 | UTM |
| 41 | 헬기이착륙 | 12558 | Davis station - final approach (Helicopter Operations) | 2000-08-01 | 8300 | 2 | UTM |
| | | 13889 | Davis final helicopter approach (Helicopter Operations) | 2011-05-01 | 8500 | 3 | UTM |
| 42 | 시설물 | 10905 | Davis Station Area Map | 1999-04-01 | 20000 | 1 | UTM |
| | | 12441 | Davis Station Area Map | 2000-09-01 | 20000 | 2 | UTM |
| | | 12891 | Davis Station Area Map | 2002-11-01 | 23000 | 3 | UTM |
| 43 | 시설물 | 11114 | Davis Station Area Map | 1999-06-01 | 1500 | 1 | UTM |
| | | 12709 | Davis Station Area Map | 2000-09-01 | 1500 | 2 | UTM |
| 44 | 시설물 | 10906 | Davis Station Buildings and Structures | 1999-04-01 | 2500 | 1 | UTM |
| | | 12440 | Davis Station Buildings and Structures | 2000-09-01 | 2500 | 2 | UTM |
| | | 13053 | Davis Station Buildings and Structures | 2004-08-01 | 2500 | 3 | UTM |
| | | 13385 | Davis Station: Buildings and Structures | 2007-10-01 | 2500 | 4 | UTM |
| | | 13699 | Davis: Buildings and Structures | 2009-10-01 | 2500 | 5 | UTM |
| | | 14148 | Davis: Buildings and Structures | 2012-10-01 | 2500 | 6 | UTM |
| | | 14605 | Davis: Buildings and Structures | 2017-08-01 | 2500 | 7 | UTM |
| | | 14674 | Davis: Buildings and Structures | 2018-06-01 | 2500 | 8 | UTM |
| 45 | 소화전 | 15276 | Davis: Buildings and Structures | 2019-07-01 | 2500 | 9 | UTM |
| | | 12421 | Davis Station Fire Hydrants | 2000-09-01 | 2600 | 2 | UTM |
| 46 | 시설물 | 14219 | Davis Fire Hydrants (Superceded) | 2013-07-01 | 1100 | 3 | UTM |
| | | 12705 | Davis Station Tide Gauge Locations | 2001-05-01 | 2500 | 1 | UTM |
| | | 13065 | Davis Station Tide Gauge Location | 2004-04-01 | 2800 | 2 | UTM |
| | | 13649 | Davis: Tide Gauge Locations | 2009-06-01 | 4200 | 3 | UTM |
| | | 14262 | Davis: Tide Gauge Location | 2013-11-01 | 4200 | 4 | UTM |
| 47 | 시설물 | 13387 | Davis Station: Recreation Limits | 2007-10-01 | 40000 | 1 | UTM |
| | | 13700 | Davis: Recreation Limits | 2009-09-01 | 40000 | 2 | UTM |
| | | 14150 | Davis: Recreation Limits | 2012-11-01 | 40000 | 3 | UTM |
| | | 14296 | Davis: Recreation Limits | 2014-06-01 | 40000 | 4 | UTM |
| | | 14595 | Davis: Recreation Limits | 2017-08-01 | 40000 | 5 | UTM |
| | | 14630 | Davis: Recreation Limits | 2017-11-01 | 40000 | 6 | UTM |
| | | 15275 | Davis: Recreation Limits | 2019-07-01 | 40000 | 7 | UTM |
| 48 | 시설물 | 13386 | Davis Station: Station Limits | 2007-10-01 | 10000 | 1 | UTM |
| | | 13701 | Davis: Station Limits | 2009-09-01 | 10000 | 2 | UTM |
| | | 14149 | Davis: Station Limits | 2012-11-01 | 10000 | 3 | UTM |
| | | 14606 | Davis: Station Limits | 2017-08-01 | 10000 | 4 | UTM |
| | | 15274 | Davis: Station Limits | 2019-07-01 | 10000 | 5 | UTM |
| 49 | 시설물 | 13793 | Davis: Station Search Zones | 2010-06-01 | 2700 | 1 | UTM |
| | | 14129 | Davis: Station Search Zones Map 1 | 2012-10-01 | 2700 | 2 | UTM |
| | | 14644 | Davis: Station Search Zones Map 1 | 2018-05-01 | 2700 | 3 | UTM |
| 50 | 시설물 | 14138 | Davis: Station Search Zones Map 2 | 2012-10-01 | 10500 | 1 | UTM |
| | | 14645 | Davis: Station Search Zones Map 2 | 2018-05-01 | 10500 | 2 | UTM |
| 51 | 시설물 | 14543 | DSS Icecore Positions 2011/12 | 2012-01-01 | 5500 | 1 | PS |
| | | 14544 | DSS Icecore Positions 2012/13 | 2013-01-01 | 5500 | 2 | PS |
| | | 14545 | DSS Icecore Positions 2013/14 | 2013-10-01 | 5500 | 3 | PS |
| | | 14546 | DSS Icecore Positions 2014/15 | 2014-11-01 | 5500 | 4 | PS |
| | | 14547 | DSS Icecore Positions 2015/16 | 2015-11-01 | 5500 | 5 | PS |
| | | 14541 | Traverse to proposed ice core drilling site 2016/17 | 2016-11-01 | 5500 | 6 | PS |
| 52 | 일반도 | 13182 | Framnes Mountains : Map 1 of 4 | 2005-09-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 13490 | Framnes Mountains : Map 1 of 4 | 2008-09-01 | 50000 | 2 | UTM |

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 축척 분모 | 버전 | 투영 |
|----|-------|-------|--|------------|----------|----|-----|
| | | 13657 | Framnes Mountains : Map 1 of 4 | 2009-08-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 13940 | Framnes Mountains : Map 1 of 4 | 2011-08-01 | 50000 | 4 | UTM |
| | | 14623 | Framnes Mountains : Map 1 of 4 | 2017-11-01 | 50000 | 5 | UTM |
| 53 | 일반도 | 13183 | Framnes Mountains : Map 2 of 4 | 2005-09-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 13491 | Framnes Mountains : Map 2 of 4 | 2008-09-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 13658 | Framnes Mountains : Map 2 of 4 | 2009-08-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 13941 | Framnes Mountains : Map 2 of 4 | 2011-08-01 | 50000 | 4 | UTM |
| | | 14624 | Framnes Mountains : Map 2 of 4 | 2017-11-01 | 50000 | 5 | UTM |
| 54 | 일반도 | 13184 | Framnes Mountains : Map 3 of 4 | 2005-09-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 13492 | Framnes Mountains : Map 3 of 4 | 2008-09-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 13659 | Framnes Mountains : Map 3 of 4 | 2009-08-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 13492 | Framnes Mountains : Map 3 of 4 | 2008-09-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 14625 | Framnes Mountains : Map 3 of 4 | 2017-11-01 | 50000 | 5 | UTM |
| 55 | 일반도 | 13185 | Framnes Mountains : Map 4 of 4 | 2005-09-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 13493 | Framnes Mountains : Map 4 of 4 | 2008-09-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 13660 | Framnes Mountains : Map 4 of 4 | 2009-08-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 13943 | Framnes Mountains : Map 4 of 4 | 2011-08-01 | 50000 | 4 | UTM |
| | | 14626 | Framnes Mountains : Map 4 of 4 | 2017-11-01 | 50000 | 5 | UTM |
| 56 | 일반도 | 12920 | Draft - Framnes Mountains, MacRobertson Land, Antarctica. Sheet 1 | 2002-01-01 | 50000 | 5 | TM |
| | | 13107 | Framnes Mountains, MacRobertson Land, Antarctica. Sheet 1 | 2004-09-01 | 50000 | 2 | TM |
| | | 13191 | Framnes Mountains, MacRobertson Land, Antarctica. Sheet 1 | 2005-10-01 | 50000 | 3 | TM |
| 57 | 일반도 | 12918 | Draft - Framnes Mountains, MacRobertson Land, Antarctica. Sheet 2 | 2002-01-01 | 50000 | 1 | TM |
| | | 13108 | Framnes Mountains, MacRobertson Land, Antarctica. Sheet 2 | 2004-09-01 | 50000 | 2 | TM |
| | | 13192 | Framnes Mountains, MacRobertson Land, Antarctica. Sheet 2 | 2005-10-01 | 50000 | 3 | TM |
| 58 | 일반도 | 12919 | Draft - Framnes Mountains, MacRobertson Land, Antarctica. Sheet 3 | 2002-01-01 | 50000 | 1 | TM |
| | | 13109 | Framnes Mountains, MacRobertson Land, Antarctica. Sheet 3 | 2004-10-01 | 50000 | 2 | TM |
| | | 13193 | Framnes Mountains, MacRobertson Land, Antarctica. Sheet 3 | 2005-10-01 | 50000 | 3 | TM |
| 59 | 헬기이착륙 | 12556 | Frazier Islands (Nelly, Dewart and Charlton) (Helicopter Operations) | 2000-08-01 | 16000 | 2 | UTM |
| | | 13884 | Frazier Islands (ASPA 160) (Helicopter Operations) | 2011-05-01 | 16000 | 3 | UTM |
| 60 | 위성영상 | 13116 | Grove Mountains : satellite image map | 2003-10-01 | 15000 | 1 | UTM |
| | | 13050 | Grove Mountains : satellite image map | 2004-11-01 | 15000 | 2 | UTM |
| | | 13739 | Grove Mountains : satellite image map | 2009-12-01 | 15000 | 3 | UTM |
| 61 | 헬기이착륙 | 12563 | Hawker Island Area Helicopter Operations) | 2000-08-01 | 30000 | 2 | UTM |
| | | 13891 | Hawker Island Area (Helicopter Operations) | 2011-05-01 | 37000 | 3 | UTM |
| | | 14685 | Hawker Island Area (Helicopter Operations) | 2018-11-01 | 37000 | 4 | UTM |
| 62 | 헬기이착륙 | 12202 | Heard Island Interim Operations Map, Including McDonald Islands | 1998-06-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 12204 | Heard Island including McDonald Islands | 2000-07-01 | 50000 | 2 | UTM |
| 63 | 일반도 | 12128 | Heard Island Map 1 of 5 | 1999-11-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 12680 | Heard Island Map 1 of 5 | 2000-12-01 | 50000 | 2 | UTM |
| 64 | 일반도 | 12129 | Heard Island Map 2 of 5 | 1999-11-01 | 50000 | 1 | UTM |

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 축척 분모 | 버전 | 투영 |
|----|-------|-------|---|------------|----------|----|-----|
| 65 | 일반도 | 12681 | Heard Island Map 2 of 5 | 2000-12-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 12130 | Heard Island Map 3 of 5 | 1999-11-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 12682 | Heard Island Map 3 of 5 | 2000-12-01 | 50000 | 2 | UTM |
| 66 | 일반도 | 12131 | Heard Island Map 4 of 5 | 1999-11-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 12683 | Heard Island Map 4 of 5 | 2000-12-01 | 50000 | 2 | UTM |
| 67 | 일반도 | 12132 | Heard Island Map 5 of 5 | 1999-11-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 12684 | Heard Island Map 5 of 5 | 2000-12-01 | 50000 | 2 | UTM |
| 68 | 헬기이착륙 | 12569 | Hop and Filla Islands (Helicopter Operations) | 2000-08-01 | 47000 | 2 | UTM |
| | | 13897 | Hop and Filla Islands (Helicopter Operations) | 2011-05-01 | 47000 | 3 | UTM |
| | | 14688 | Hop and Filla Islands (Helicopter Operations) | 2019-07-01 | 47000 | 4 | UTM |
| 69 | 시설물 | 13262 | Larsemann Hills Antarctic Specially Managed Area [No. 6] Map D: Zhongshan Station, Buildings, Facilities and Zones | 2007-03-01 | 5000 | 1 | UTM |
| | | 14077 | Larsemann Hills Antarctic Specially Managed Area No.6 Map D: Zhongshan Station. | 2013-05-01 | 9000 | 2 | UTM |
| | | 14657 | Larsemann Hills Antarctic Specially Managed Area No.6 Map D: Zhongshan Station | 2019-03-01 | 9000 | 3 | UTM |
| 70 | 시설물 | 13263 | Larsemann Hills Antarctic Specially Managed Area [No.6] Map E: Progress II Station, Buildings, Facilities and Zones | 2007-03-01 | 3200 | 1 | UTM |
| | | 14205 | Larsemann Hills Antarctic Specially Managed Area No.6 Map E: Progress Station | 2013-05-01 | 4700 | 2 | UTM |
| | | 14658 | Larsemann Hills Antarctic Specially Managed Area No.6 Map E: Progress Station | 2019-03-01 | 4700 | 3 | UTM |
| 71 | 시설물 | 13261 | Larsemann Hills Antarctic Specially Managed Area [No. 6], Ingrid Christensen Coast, Princess Elizabeth Land, East Antarctica. Map C: Detail of Northern Brokn | 2007-03-01 | 18200 | 1 | UTM |
| | | 14076 | Larsemann Hills ASMA No.6 Map C: Detail of Northern Brokn | 2013-05-01 | 25000 | 2 | UTM |
| | | 14656 | Larsemann Hills ASMA No.6 Map C: Detail of Northern Brokn | 2019-03-01 | 25000 | 3 | UTM |
| 72 | 헬기이착륙 | 12564 | Long Peninsula, Long Fjord (Helicopter Operations) | 2000-08-01 | 42800 | 2 | UTM |
| | | 13892 | Long Peninsula and Long Fjord (Helicopter Operations) | 2011-05-01 | 43500 | 3 | UTM |
| 73 | 일반도 | 12744 | Macquarie Island (Northern Sheet) | 2001-09-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 12756 | Macquarie Island (Northern Sheet) | 2002-02-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 12885 | Macquarie Island (Northern Sheet) | 2002-10-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 13061 | Macquarie Island (Northern Sheet) | 2004-02-01 | 50000 | 4 | UTM |
| | | 13539 | Macquarie Island (Northern Sheet) | 2012-09-01 | 50000 | 5 | UTM |
| | | 14446 | Macquarie Island (Northern Sheet) | 2015-09-01 | 50000 | 6 | UTM |
| | | 14628 | Macquarie Island (Northern Sheet) | 2018-01-01 | 50000 | 7 | UTM |
| | | 15286 | Macquarie Island (Northern Sheet) | 2020-02-01 | 50000 | 8 | UTM |
| 74 | 일반도 | 12745 | Macquarie Island (Southern Sheet) | 2001-09-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 12757 | Macquarie Island (Southern Sheet) | 2002-02-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 12886 | Macquarie Island (Southern Sheet) | 2002-10-01 | 50000 | 3 | UTM |

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 축척 분모 | 버전 | 투영 |
|----|-------|-------|--|------------|----------|----|-----|
| | | 13062 | Macquarie Island (Southern Sheet) | 2004-02-01 | 50000 | 4 | UTM |
| | | 13540 | Macquarie Island (Southern Sheet) | 2012-09-01 | 50000 | 5 | UTM |
| | | 14447 | Macquarie Island (Southern Sheet) | 2015-09-01 | 50000 | 6 | UTM |
| | | 14629 | Macquarie Island (Southern Sheet) | 2018-01-01 | 50000 | 7 | UTM |
| | | 15287 | Macquarie Island (Southern Sheet) | 2020-02-01 | 50000 | 8 | UTM |
| 75 | 시설물 | 10085 | Macquarie Island Buildings and Structures | 1999-04-01 | 2500 | 1 | UTM |
| | | 12444 | Macquarie Island Buildings and Structures | 2000-09-01 | 2500 | 2 | UTM |
| | | 13056 | Macquarie Island Buildings and Structures | 2004-03-01 | 2500 | 3 | UTM |
| | | 13444 | Macquarie Island Buildings and Structures | 2008-06-01 | 2500 | 4 | UTM |
| | | 14331 | Macquarie Island: Buildings and Structures | 2014-12-01 | 2500 | 5 | UTM |
| | | 14631 | Macquarie Island: Buildings and Structures | 2018-01-01 | 2500 | 6 | UTM |
| | | 14676 | Macquarie Island: Buildings and Structures | 2018-07-01 | 2500 | 7 | UTM |
| 76 | 소화전 | 12400 | Macquarie Island Fire Hydrants | 2000-09-01 | 2600 | 2 | UTM |
| | | 13565 | Macquarie Island Fire Hydrants (Superceded) | 2008-11-01 | 1700 | 3 | UTM |
| 77 | 헬기장 | 14470 | Macquarie Island helipads | 2015-06-01 | 1500 | 1 | UTM |
| | | 14672 | Macquarie Island helipads | 2018-07-01 | 1500 | 2 | UTM |
| 78 | 시설물 | 11113 | Macquarie Island Station Area Map | 1999-04-01 | 2000 | 1 | UTM |
| | | 12710 | Macquarie Island Station Area Map | 2000-09-01 | 2000 | 2 | UTM |
| 79 | 시설물 | 10105 | Macquarie Island Station Area Map | 1999-04-01 | 7500 | 1 | UTM |
| | | 12445 | Macquarie Island Station Area Map | 2000-09-01 | 7500 | 2 | UTM |
| | | 13055 | Macquarie Island Station Area Map | 2004-03-01 | 7500 | 3 | UTM |
| 80 | 일반도 | 5123 | Macquarie Island Vegetation, Structure & Drainage - North | 1998-09-01 | 25000 | 1 | UTM |
| | | 12916 | Macquarie Island Vegetation, Structure & Drainage - North | 2001-05-01 | 25000 | 2 | UTM |
| 81 | 일반도 | 5124 | Macquarie Island Vegetation, Structure & Drainage - South | 1998-09-01 | 25000 | 1 | UTM |
| | | 12917 | Macquarie Island Vegetation, Structure & Drainage - South | 2001-05-01 | 25000 | 2 | UTM |
| 82 | 일반도 | 12541 | Macquarie Island, Tasmania | 2000-10-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 12707 | Macquarie Island, Tasmania | 2001-06-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 12758 | Macquarie Island, Tasmania | 2002-03-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 12884 | Macquarie Island, Tasmania | 2002-10-01 | 50000 | 4 | UTM |
| 83 | 시설물 | 13445 | Macquarie Island Station Limits Map | 2008-06-01 | 7090 | 1 | UTM |
| | | 14333 | Macquarie Island: Station Limits | 2014-12-01 | 7090 | 2 | UTM |
| | | 14632 | Macquarie Island: Station Limits | 2018-01-01 | 7090 | 3 | UTM |
| | | 14706 | Macquarie Island: Station Limits | 2019-03-01 | 7800 | 4 | UTM |
| 84 | 시설물 | 13804 | Macquarie Island: Station Search Zones | 2010-06-01 | 3000 | 1 | UTM |
| | | 14158 | Macquarie Island: Station Search Zones | 2012-10-01 | 3000 | 2 | UTM |
| | | 14455 | Macquarie Island: Station Search Zones | 2015-05-01 | 3000 | 3 | UTM |
| | | 14677 | Macquarie Island: Station Search Zones | 2018-07-01 | 3000 | 4 | UTM |
| 85 | 헬기이착륙 | 12562 | Magnetic, Turner and Bluff Islands (Helicopter Operations) | 2000-08-01 | 26600 | 2 | UTM |
| | | 13890 | Magnetic, Turner and Bluff Islands (Helicopter Operations) | 2011-05-01 | 26600 | 3 | UTM |
| 86 | 보호구역 | 12933 | Distribution of nesting seabirds on the Fitzroy Islands | 2002-06-01 | 12700 | 1 | UTM |

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 축척 분모 | 버전 | 투영 |
|----|-------|-------|--|------------|----------|----|-----|
| | | 13519 | Map B Frazier Islands, Antarctic Speciall y Protected Area No. 160, distribution o f nesting seabirds | 2008-03-01 | 8450 | 2 | UTM |
| | | 14198 | Map B : Antarctic Specially Protected Ar ea No. 160, Frazier Islands Topography and bird distribution | 2013-03-01 | 12570 | 3 | UTM |
| 87 | 헬기이착륙 | 12566 | Marine Plain (SSSI 25) (Helicopter Opera tions) | 2000-08-01 | 37500 | 2 | UTM |
| | | 13894 | Marine Plain (ASPA 143) (Helicopter Op erations) | 2011-05-01 | 37500 | 3 | UTM |
| 88 | 지질 | 12969 | Basement Geology, Marine Plain ASPA, Vestfold Hills. Map C | 2002-07-01 | 47600 | 1 | UTM |
| | | 14208 | Marine Plain, Vestfold Hills, Ingrid Christ ensen Coast, East Antarctica Antarctic Specially Protected Area No 143 Map C: Geology | 2013-03-01 | 50000 | 2 | UTM |
| 89 | 헬기이착륙 | 12576 | Mawson station – final approach path (H elicopter Operations) | 2000-08-01 | 5700 | 2 | UTM |
| | | 13903 | Mawson final helicopter approach (Helic opter Operations) | 2011-05-01 | 5600 | 3 | UTM |
| | | 14671 | Mawson final helicopter approach (Helic opter Operations) | 2018-08-01 | 5600 | 4 | UTM |
| 90 | 시설물 | 11111 | Mawson Station Area Map | 1999-06-01 | 1500 | 1 | UTM |
| | | 12711 | Mawson Station Area Map | 2000-09-01 | 1500 | 2 | UTM |
| 91 | 시설물 | 12261 | Mawson Station Area Map | 1998-07-01 | 6500 | 1 | UTM |
| | | 10165 | Mawson Station Area Map | 1999-03-01 | 6500 | 2 | UTM |
| | | 12443 | Mawson Station Area Map | 2000-09-01 | 6500 | 3 | UTM |
| | | 13057 | Mawson Station Area Map | 2004-05-01 | 6500 | 4 | UTM |
| 92 | 시설물 | 10447 | Mawson Station Buildings and Structure s | 1998-05-01 | 2500 | 1 | UTM |
| | | 12243 | Mawson Station Buildings and Structure s | 1998-07-01 | 3000 | 2 | UTM |
| | | 10166 | Mawson Station Buildings and Structure s | 1999-03-01 | 3000 | 3 | UTM |
| | | 12442 | Mawson Station Buildings and Structure s | 2000-09-01 | 3000 | 4 | UTM |
| | | 13058 | Mawson Station Buildings and Structure s | 2004-05-01 | 3000 | 5 | UTM |
| | | 13389 | Mawson Station: Buildings and Structur es | 2007-12-01 | 3000 | 6 | UTM |
| | | 14456 | Mawson: Buildings and Structures | 2016-07-01 | 3000 | 7 | UTM |
| | | 14675 | Mawson: Buildings and Structures | 2019-03-01 | 3000 | 8 | UTM |
| | | 15320 | Mawson: Buildings and Structures | 2020-09-01 | 3000 | 9 | UTM |
| 93 | 소화전 | 12422 | Mawson Station Fire Hydrants | 2000-09-01 | 3125 | 2 | UTM |
| | | 14218 | Mawson Fire Hydrants (Superceded) | 2013-06-01 | 1000 | 3 | UTM |
| 94 | 시설물 | 12300 | Mawson Station Tide Gauge Location | 1997-01-01 | 950 | 1 | UTM |
| | | 12262 | Mawson Station Tide Gauge Locations | 2000-05-01 | 1000 | 2 | UTM |
| | | 13639 | Mawson: Tide Gauge Locations | 2009-05-01 | 1000 | 3 | UTM |
| | | 14263 | Mawson: Tide Gauge Location | 2013-11-01 | 1000 | 4 | UTM |
| 95 | 시설물 | 13391 | Mawson Station: Recreation Limits | 2007-12-01 | 11500 | 1 | UTM |
| | | 14510 | Mawson: Recreation Limits | 2016-07-01 | 11500 | 2 | UTM |
| 96 | 시설물 | 13390 | Mawson Station: Station Limits | 2007-12-01 | 5500 | 1 | UTM |
| | | 14509 | Mawson: Station Limits | 2016-07-01 | 5500 | 2 | UTM |
| 97 | 시설물 | 13522 | Mawson: Station Search Zones | 2008-09-01 | 3000 | 1 | UTM |
| | | 13792 | Mawson: Station Search Zones | 2010-06-01 | 3000 | 2 | UTM |

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 축척 분모 | 버전 | 투영 |
|-----|-------|-------|---|------------|----------|----|-----|
| 98 | 안내도 | 14665 | Mawson: Station Search Zones | 2018-10-01 | 3000 | 3 | UTM |
| | | 12972 | Cape Denison Management Zones | 2003-04-01 | 10000 | 1 | UTM |
| | | 14251 | Mawson's Huts, Cape Denison Map A | 2013-12-01 | 10000 | 2 | UTM |
| 99 | 비행 | 13858 | Mitchell Peninsula Field Landing Site | 2010-07-01 | 45000 | 1 | UTM |
| | | 14027 | Mitchell Peninsula Field Landing Site | 2012-06-01 | 45000 | 2 | UTM |
| | | 14277 | Mitchell Peninsula Field Landing Site | 2014-02-01 | 45000 | 3 | UTM |
| 100 | 보호구역 | 13163 | Scullin and Murray Monoliths, Mawson Coast. Map C : Antarctic Specially Protected Area no. 164. Murray Monolith: Topography | 2006-02-01 | 16000 | 1 | UTM |
| | | 13733 | Murray Monolith Antarctic Specially Protected Area No. 164 Map C: Topography | 2010-03-01 | 24000 | 2 | UTM |
| | | 14344 | Antarctic Specially Protected Area No. 164 Murray Monolith Map C: Topography and Bird Distribution | 2015-01-01 | 24000 | 3 | UTM |
| 101 | 보호구역 | 12937 | North-east Bailey Peninsula, Antarctic Specially Protected Area No. 135, Topography | 2002-08-01 | 15400 | 1 | UTM |
| | | 13512 | North-east Bailey Peninsula, Antarctic Specially Protected Area No. 135 : Topography, vegetation, birds, roads and structures (Map B) | 2008-03-01 | 12000 | 2 | UTM |
| | | 14180 | Map B: Antarctic Specially Protected Area No. 135, North-east Bailey Peninsula, Topography and Bird Distribution | 2012-12-01 | 6000 | 3 | UTM |
| 102 | 보호구역 | 13162 | Scullin and Murray Monoliths, Mawson Coast. Map B : Antarctic Specially Protected Area no. 164. Scullin Monolith : Topography and bird distribution | 2006-02-01 | 18000 | 1 | UTM |
| | | 13732 | Scullin Monolith Antarctic Specially Protected Area No. 164 Map B: Topography and Bird Distribution | 2010-03-01 | 24000 | 2 | UTM |
| | | 14343 | Antarctic Specially Protected Area No. 164 Scullin Monolith Map B: Topography and Bird Distribution | 2015-01-01 | 24000 | 3 | UTM |
| 103 | 헬기이착륙 | 11398 | Figure 34 - Scullin Monolith Helicopter Operations | 1999-06-01 | 30000 | 1 | UTM |
| | | 12580 | Scullin Monolith : Helicopter approach and departure path | 2000-08-01 | 15800 | 2 | UTM |
| | | 13906 | Scullin and Murray Monoliths (ASP 164) (Helicopter Operations) | 2011-05-01 | 37000 | 3 | UTM |
| | | 14488 | Scullin and Murray Monoliths (ASP 164) (Helicopter Operations) | 2015-09-01 | 37000 | 4 | UTM |
| 104 | 헬기이착륙 | 11397 | Figure 33 - Taylor Rookery Helicopter Operations | 1999-06-01 | 10000 | 1 | UTM |
| | | 12549 | Taylor Rookery (SPA 1) (Helicopter Operations) | 2000-08-01 | 5300 | 2 | UTM |
| | | 13905 | Taylor Rookery (ASP 101) (Helicopter Operations) | 2011-05-01 | 10000 | 3 | UTM |
| | | 14754 | Taylor Rookery (ASP 101) (Helicopter Operations) | 2019-03-01 | 10000 | 4 | UTM |
| 105 | 헬기이착륙 | 12565 | Tryne and Wyatt Islands (Helicopter Operations) | 2000-08-01 | 33500 | 2 | UTM |
| | | 13893 | Tryne and Wyatt Earp Islands (Helicopter Operations) | 2011-05-01 | 40000 | 3 | UTM |

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 축척 분모 | 버전 | 투영 |
|-----|------|-------|---|------------|----------|----|-----|
| | | | r Operations) | | | | |
| | | 14682 | Tryne and Wyatt Earp Islands (Helicopter Operations) | 2018-11-01 | 40000 | 4 | UTM |
| 106 | 일반도 | 13093 | Vestfold Hills : Map 1 of 5 | 2004-08-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 13151 | Vestfold Hills : Map 1 of 5 | 2005-09-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 13314 | Vestfold Hills : Map 1 of 5 | 2006-08-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 13417 | Vestfold Hills : Map 1 of 5 | 2007-09-01 | 50000 | 4 | UTM |
| | | 13482 | Vestfold Hills : Map 1 of 5 | 2008-07-01 | 50000 | 5 | UTM |
| | | 13979 | Vestfold Hills : Map 1 of 5 | 2012-01-01 | 50000 | 6 | UTM |
| | | 14515 | Vestfold Hills : Map 1 of 5 | 2016-08-01 | 50000 | 7 | UTM |
| | | 14590 | Vestfold Hills : Map 1 of 5 | 2017-08-01 | 50000 | 8 | UTM |
| 107 | 보호구역 | 12937 | North-east Bailey Peninsula, Antarctic Specially Protected Area No. 135, Topography | 2002-08-01 | 15400 | 1 | UTM |
| | | 13512 | North-east Bailey Peninsula, Antarctic Specially Protected Area No. 135 : Topography, vegetation, birds, roads and structures (Map B) | 2008-03-01 | 12000 | 2 | UTM |
| | | 14180 | Map B: Antarctic Specially Protected Area No. 135, North-east Bailey Peninsula, Topography and Bird Distribution | 2012-12-01 | 6000 | 3 | UTM |
| 108 | 일반도 | 13095 | Vestfold Hills : Map 3 of 5 | 2004-08-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 13153 | Vestfold Hills : Map 3 of 5 | 2005-09-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 13315 | Vestfold Hills : Map 3 of 5 | 2006-08-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 13419 | Vestfold Hills : Map 3 of 5 | 2007-09-01 | 50000 | 4 | UTM |
| | | 13484 | Vestfold Hills : Map 3 of 5 | 2008-07-01 | 50000 | 5 | UTM |
| | | 13981 | Vestfold Hills : Map 3 of 5 | 2012-01-01 | 50000 | 6 | UTM |
| | | 14517 | Vestfold Hills : Map 3 of 5 | 2016-08-01 | 50000 | 7 | UTM |
| | | 14592 | Vestfold Hills : Map 3 of 5 | 2017-08-01 | 50000 | 8 | UTM |
| 109 | 일반도 | 13096 | Vestfold Hills : Map 4 of 5 | 2004-08-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 13149 | Vestfold Hills : Map 4 of 5 | 2005-09-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 13294 | Vestfold Hills : Map 4 of 5 | 2006-08-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 13420 | Vestfold Hills : Map 4 of 5 | 2007-09-01 | 50000 | 4 | UTM |
| | | 13485 | Vestfold Hills : Map 4 of 5 | 2008-07-01 | 50000 | 5 | UTM |
| | | 13982 | Vestfold Hills : Map 4 of 5 | 2012-01-01 | 50000 | 6 | UTM |
| | | 14518 | Vestfold Hills : Map 4 of 5 | 2016-08-01 | 50000 | 7 | UTM |
| | | 14593 | Vestfold Hills : Map 4 of 5 | 2017-08-01 | 50000 | 8 | UTM |
| 110 | 일반도 | 13097 | Vestfold Hills : Map 5 of 5 | 2004-08-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 13150 | Vestfold Hills : Map 5 of 5 | 2005-09-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 13304 | Vestfold Hills : Map 5 of 5 | 2006-08-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 13421 | Vestfold Hills : Map 5 of 5 | 2007-09-01 | 50000 | 4 | UTM |
| | | 13486 | Vestfold Hills : Map 5 of 5 | 2008-07-01 | 50000 | 5 | UTM |
| | | 13983 | Vestfold Hills : Map 5 of 5 | 2012-01-01 | 50000 | 6 | UTM |
| | | 14519 | Vestfold Hills : Map 5 of 5 | 2016-08-01 | 50000 | 7 | UTM |
| | | 14594 | Vestfold Hills : Map 5 of 5 | 2017-08-01 | 50000 | 8 | UTM |
| 111 | 시설물 | 14123 | Wilkins Aerodrome Search Zones | 2012-10-01 | 30000 | 1 | UTM |
| | | 14260 | Wilkins Aerodrome Search Zones | 2013-10-01 | 30000 | 2 | UTM |
| 112 | 일반도 | 14238 | Windmill Islands | 2013-11-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 15321 | Windmill Islands | 2020-11-01 | 50000 | 2 | UTM |
| 113 | 일반도 | 13297 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2006-09-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 13426 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2007-10-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 13494 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2008-09-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 13651 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2009-08-01 | 50000 | 4 | UTM |
| | | 13920 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2011-01-01 | 50000 | 5 | UTM |
| | | 14110 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2012-08-01 | 50000 | 6 | UTM |
| | | 14613 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2017-09-01 | 50000 | 7 | UTM |

| 구분 | 주요대상 | 지도번호 | 지도제목 | 발행일 | 축척 분모 | 버전 | 투영 |
|-----|------|-------|-------------------------------|------------|----------|----|-----|
| | | 15269 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2019-07-01 | 50000 | 8 | UTM |
| | | 15385 | Windmill Islands : Map 1 of 5 | 2020-11-01 | 50000 | 9 | UTM |
| 114 | 일반도 | 13298 | Windmill Islands : Map 2 of 5 | 2006-09-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 13427 | Windmill Islands : Map 2 of 5 | 2007-10-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 13495 | Windmill Islands : Map 2 of 5 | 2008-09-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 13652 | Windmill Islands : Map 2 of 5 | 2009-08-01 | 50000 | 4 | UTM |
| | | 13921 | Windmill Islands : Map 2 of 5 | 2011-01-01 | 50000 | 5 | UTM |
| | | 14111 | Windmill Islands : Map 2 of 5 | 2012-08-01 | 50000 | 6 | UTM |
| | | 14614 | Windmill Islands : Map 2 of 5 | 2017-09-01 | 50000 | 7 | UTM |
| | | 15270 | Windmill Islands : Map 2 of 5 | 2019-07-01 | 50000 | 8 | UTM |
| | | 15386 | Windmill Islands : Map 2 of 5 | 2020-11-01 | 50000 | 9 | UTM |
| | | 13299 | Windmill Islands : Map 3 of 5 | 2006-09-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 13428 | Windmill Islands : Map 3 of 5 | 2007-10-01 | 50000 | 2 | UTM |
| 115 | 일반도 | 13496 | Windmill Islands : Map 3 of 5 | 2008-09-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 13653 | Windmill Islands : Map 3 of 5 | 2009-08-01 | 50000 | 4 | UTM |
| | | 13922 | Windmill Islands : Map 3 of 5 | 2011-01-01 | 50000 | 5 | UTM |
| | | 14112 | Windmill Islands : Map 3 of 5 | 2012-08-01 | 50000 | 6 | UTM |
| | | 14615 | Windmill Islands : Map 3 of 5 | 2017-09-01 | 50000 | 7 | UTM |
| | | 15271 | Windmill Islands : Map 3 of 5 | 2019-07-01 | 50000 | 8 | UTM |
| | | 15387 | Windmill Islands : Map 3 of 5 | 2020-11-01 | 50000 | 9 | UTM |
| | | 13300 | Windmill Islands : Map 4 of 5 | 2006-09-01 | 50000 | 1 | UTM |
| | | 13429 | Windmill Islands : Map 4 of 5 | 2007-10-01 | 50000 | 2 | UTM |
| 116 | 일반도 | 13497 | Windmill Islands : Map 4 of 5 | 2008-09-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 13654 | Windmill Islands : Map 4 of 5 | 2009-08-01 | 50000 | 4 | UTM |
| | | 13923 | Windmill Islands : Map 4 of 5 | 2011-01-01 | 50000 | 5 | UTM |
| | | 14113 | Windmill Islands : Map 4 of 5 | 2012-08-01 | 50000 | 6 | UTM |
| | | 14616 | Windmill Islands : Map 4 of 5 | 2017-09-01 | 50000 | 7 | UTM |
| | | 15272 | Windmill Islands : Map 4 of 5 | 2019-07-01 | 50000 | 8 | UTM |
| | | 15388 | Windmill Islands : Map 4 of 5 | 2020-11-01 | 50000 | 9 | UTM |
| | | 13301 | Windmill Islands : Map 5 of 5 | 2006-09-01 | 50000 | 1 | UTM |
| 117 | 일반도 | 13430 | Windmill Islands : Map 5 of 5 | 2007-10-01 | 50000 | 2 | UTM |
| | | 13498 | Windmill Islands : Map 5 of 5 | 2008-09-01 | 50000 | 3 | UTM |
| | | 13655 | Windmill Islands : Map 5 of 5 | 2009-08-01 | 50000 | 4 | UTM |
| | | 13924 | Windmill Islands : Map 5 of 5 | 2011-01-01 | 50000 | 5 | UTM |
| | | 14114 | Windmill Islands : Map 5 of 5 | 2012-08-01 | 50000 | 6 | UTM |
| | | 14617 | Windmill Islands : Map 5 of 5 | 2017-09-01 | 50000 | 7 | UTM |
| | | 15273 | Windmill Islands : Map 5 of 5 | 2019-07-01 | 50000 | 8 | UTM |
| | | 15389 | Windmill Islands : Map 5 of 5 | 2020-11-01 | 50000 | 9 | UTM |

자료: <https://data.aad.gov.au/>

부록 6-1. 위성영상을 이용한 공간정보제작에 관한 매뉴얼

목 차

| | |
|-------------------------|-----|
| 1. 개요 | 503 |
| 2. 제작 작업절차 | 505 |
| 3. 작업계획 및 준비 | 506 |
| 4. 위성영상 및 보조정보 획득 | 508 |
| 5. 표정 | 511 |
| 6. 수치도화 | 514 |
| 7. 지도편집 | 517 |
| 8. DEM 생성 | 519 |
| 9. 정사영상 생성 | 522 |
| 10. 성과 정리 | 524 |

1. 개요

가. 목적

위성영상을 이용한 공간정보 제작 매뉴얼은 국토지리정보원이 수행하는 위성영상 기반의 공간정보 제작의 작업방법 및 기준을 설명하여 성과품의 일관성과 정확성을 확보하는 것을 목적으로 한다.

나. 기준

— 적용범위 : 위성영상을 이용한 공간정보(수치지형도, DEM, 정사영상)을 제작하기 위한 작업 계획 수립에서 성과정리까지 적용한다. 성과품의 축척은 1/5,000, 1/25,000으로 한다.

— 세부기준 : 공간정보를 제작하기 위한 공종 단계별로 데이터의 위치 정확성, 품질 등을 만족하도록 다음의 세부 기준을 따른다.

○ 세부도화 항목 기준, 속성정보의 형식과 정보입력 기준, 정확도 기준

「수치지도작성작업규칙」(국토교통부령 제209호, 2015. 6. 4.)

「영상지도제작에 관한 작업규정」(국토지리정보원고시 제2019-147호, 2019. 5. 23.)

「항공레이저측량작업규정」(국토지리정보원고시 제2016-429호, 2016. 2. 12.)

○ 자료 형식과 규격, 위상 및 참조 관계 기준

「위성영상을 이용한 공간정보 제작 매뉴얼」(국토지리정보원)

○ 작업 및 데이터 보안 기준

「국가공간정보 보안관리 규정(예규)」(국토지리정보원), 「정보보안업무 규정」(국토교통부), 「보안업무 관리지침(예규)」(국토지리정보원), 「보안업무 시행규칙」(국토교통부)

다. 용어

이 매뉴얼에서 사용하는 용어의 정의는 다음 각 호와 같다.

1. “위성영상을 이용한 공간정보”란 수치지형도, DEM, 정사영상지도를 말한다.
2. “접근불능지역”이란 접경지역, 북한지역, 극지역 등 물리적으로 접근하기 어려워 항공촬영, 측량 등이 불가능한 지역을 말한다.
3. “접근제한지역”이란 접경지역 내 DMZ와 같이 항공촬영이 불가능한 국내 지역을 말한다.

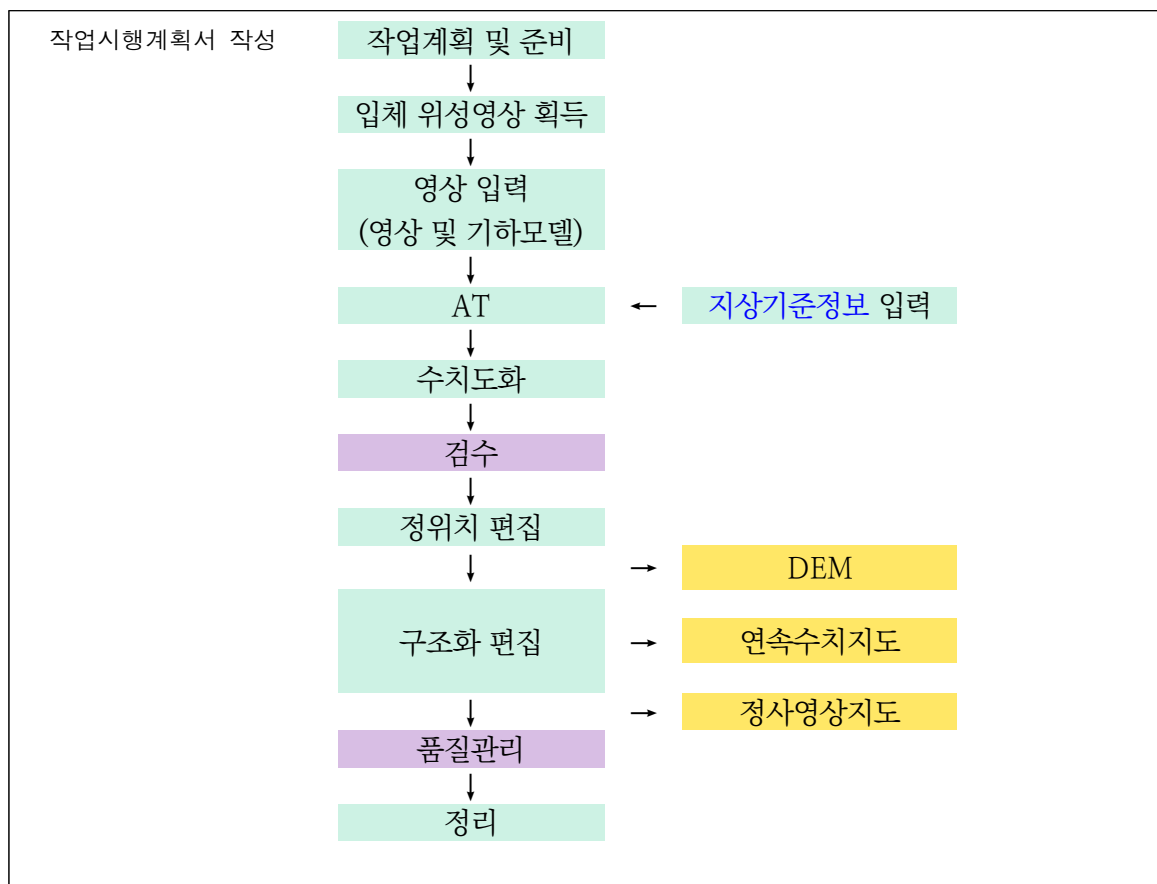
4. “레이어”라 함은 하나의 물체가 여러 개의 논리적인 객체들로 구성되어 있는 경우 각각의 객체를 말한다.
5. “영상처리”라 함은 영상의 분석 및 판독을 위한 일련의 영상조정작업을 말한다.
6. “수치지형도”란 측량 결과에 따라 지표면 상의 위치와 지형 및 지명 등 여러 공간정보를 일정한 축척에 따라 기호나 문자, 속성 등으로 표시하여 정보시스템에서 분석, 편집 및 입력·출력할 수 있도록 제작된 것(정사영상지도는 제외한다)을 말한다.
7. “기준점”이라 함은 위성삼각측량 및 세부도화 작업에 필요한 위치 기준이 되는 점을 말한다.
8. “지상기준점측량”이라 함은 기준점의 성과를 얻기 위하여 실시하는 지상측량을 말한다.
9. “지상기준정보”라 함은 영상 표정을 위하여 지상기준점을 대체하여 사용할 수 있는 칩(GCP chip), 표고정보, 선 및 면형 정보를 말한다.
10. “위성삼각측량”이라 함은 도화기 또는 좌표측정기에 의하여 위성영상상에서 측정된 점의 모델좌표 또는 영상좌표를 지상기준점 및 RFM 표정 요소를 기준으로 지상좌표로 전환시키는 작업을 말한다.
11. “점자료”라 함은 3차원 좌표를 가지고 있는 점들로 불규칙하게 구성된 자료를 말한다.
12. “격자자료”라 함은 종(X)·횡(Y) 방향으로 동일한 크기의 간격으로 나누어진 격자 형태의 자료로써, 보간을 통해 각 격자점에 높이값을 가지고 있는 자료를 말한다.
13. “보간”이라 함은 미지점 주변의 자료를 이용하여 미지점의 값을 결정하는 방법을 말한다.
14. “수치표면자료(Digital Surface Data)”라 함은 원시자료를 기준점을 이용하여 기준좌표계에 의한 3차원 좌표로 조정한 자료로써 지면 및 지표 피복물에 대한 점자료를 말한다.
15. “수치지면자료(Digital Terrain Data)”라 함은 수치표면자료에서 인공지물 및 식생 등과 같이 표면의 높이가 지면의 높이와 다른 지표 피복물에 해당하는 점자료를 제거(이하 ‘필터링’이라고 한다.)한 점자료를 말한다.
16. “DEM(Digital Elevation Model)”이라 함은 수치지면자료(또는 불규칙삼각망자료)를 이용하여 격자형태로 제작한 지표모형을 말한다.
17. “정사영상”이라 함은 중심투영에 의하여 취득된 영상의 지형 지물 등에 대한 정사편위수정을 실시한 영상을 말한다.
18. “연속수치지형도”라 함은 도엽별로 분리된 지도정보를 연속화하여 실 세계의 단위 정보를 일치화한 지도이다.

2. 제작 작업절차

위성영상을 이용한 공간정보 제작은 새롭게 제작하는 ‘구축’과 변화구간만을 제작하는 ‘갱신’으로 구분한다. 공간정보 제작과정에서 생산되는 데이터의 품질관리를 위하여 공종별 품질검사를 수행하고 품질관리표를 작성한다.

- ‘구축’은 계획 지역에 대하여 공간정보 항목 전부를 제작한다.
- ‘갱신’은 기 구축 공간정보의 변화 지역만을 대상으로 ‘도엽 단위’로 변화가 발생한 항목에 대해서만 제작한다.

위성영상을 이용한 공간정보 제작(구축/갱신) 주요 절차는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 위성영상을 이용한 공간정보 제작(구축/갱신) 주요 절차

3. 작업계획 및 준비

가. 작업계획

1. 구축계획 : 위성영상을 이용한 공간정보 신규 구축 또는 갱신 계획을 확인하고, 작업계획을 수립한다. 공간정보 갱신 계획을 수립하기 위하여 지형지물 변화정보를 정기적으로 확인한다.

2. 수요조사 : 공간정보 수요 기관(극지연구소, 지방자치단체, ... 등)으로부터 수요 지역에 대한 정보를 수집 및 확인한다. 수요 지역에 대한 조사 결과를 바탕으로 작업 방법 및 범위를 계획한다.

나. 작업시행계획서 작성

위성영상을 이용한 공간정보 제작의 공종별 작업순서는 <그림 5-6>에 의하여 실시한다. 기 구축한 성과가 있을 경우에는 공종의 일부를 변경하거나 생략할 수 있다. 작업기관은 착수 전에 다음 각 호와 같이 작업시행계획서를 작성한다.

1. 작업개요
2. 작업인원계획(공종별 투입인원)
3. 성과별 세밀도
4. 장비투입계획(사용장비 및 소프트웨어에 대한 제작사, 품명, 규격, 수량 및 성능)
5. 사업추진계획서(사용자요구분석, 자료취득 계획, 작업방법 등)
6. 작업지역에 대한 색인도
7. 작업예정 세부공정표
8. 품질관리 계획
9. 보안대책 및 안전관리 계획

다. 보안

1. “「국토지리정보원 국가공간정보 보안관리규정(국토지리정보원예규 제152호, 2020.03.06.)」 및 「국토지리정보원 보안업무 관리지침(국토지리정보원예규 제116호, 2018.03.16.)」을 준수한다.

2. 위성영상을 이용한 공간정보 성과의 통제관리, 품질관리 및 보안관리를 위해 사업장 및 사업

참여자에 대한 보안관리를 수행한다. 사업장 보안관리는 작업공간, 장비 및 자료를 포함한다.

3. 사업 참여자 보안관리를 위하여 보안책임자를 지정하고, 사업수행 전 또는 계약 후 30일 이내에 사업 참여자 보안교육을 실시한다.

가. 품질관리

1. 위성영상을 이용한 공간정보 품질관리를 위하여 사업수행기술자 교육을 실시하고 점검한다.
2. 위성영상을 이용한 공간정보 제작 과정에서 생산되는 성과의 자체검사계획을 수립한다.
3. 각 공종별로 생산되는 성과의 품질관리표를 작성하고, 감독관에게 보고한다.

나. 점검

작업기관은 위성영상을 이용한 공간정보구축 작업을 착수하기 전에 다음 항목을 점검한다.

1. 기존 공간정보 제작현황, 축척, 좌표계 등 기초자료. 국내 작업지역의 경우 좌표의 기준은 「공간정보 구축 및 관리 등에 관한 법률 시행령」 제7조의3항에 의한 직각좌표의 기준에 의한다. 국외 지역의 경우 국내 지역의 좌표계 또는 글로벌 공간정보와 호환이 가능하도록 좌표계를 정의하고 공간정보 구축에 적용하며, 극지의 경우 기존 구축된 공간정보의 좌표계를 참조한다.

2. 사용장비와 활용 소프트웨어에 따른 운용 호환성

3. 사용장비의 성능 및 조정. 「공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률」 제92조의 규정에 따라 성능검사를 필한 장비를 사용한다. 장비제작자에 의한 점검 및 조정을 실시한 경우에는 관련 보고서로 대체할 수 있다.

4. 위성영상 및 보조정보 획득

공간정보 구축에 사용하는 위성영상은 사업 착수 전·후에 확인하여, 사업에서 요구되는 품질을 만족하도록 한다. 위성영상 데이터의 경우 사업착수 전에 자료명, 자료형태, 자료관리, 수량 등을 확인한다.

다. 영상 선별

위성영상 데이터는 궤도데이터 등의 메타데이터 검색을 통하여 작업 대상지역의 축척 요구 조건을 만족하는 영상을 정한다. 정해진 영상에 대하여 촬영각, 태양고도각, 명암, 대비, 잡음(구름량, 화질이 지저분한 상태 등)을 고려하여 사용 가능한 영상을 선정한다. 사용 영상 선정의 주요 고려 사항은 다음과 같다.

<표 1> 공간정보 축척과 위성영상 데이터

| 축척 | 지상해상도 | 위성자료 | 유형 | 전처리수준 |
|----------|----------------|-------------|------------------------|-----------------|
| 1/1,000 | 0.12m급 | | 스테레오 전정색 (RPC 파일포함) | |
| 1/5,000 | 0.3m급 | WorldView-3 | | |
| | 0.5m급 | 국토위성 1호 | | |
| | 0.5m급(product) | Pleiades | | Pléiades 0.5-m |
| | 0.7m급 | 아리랑3호 | | |
| | 1.0m급 | IKONOS | | Level 2 (Geo제품) |
| 1/25,000 | 2.5m급 | SPOT-5,6,7 | | |

자료 : 저자 작성

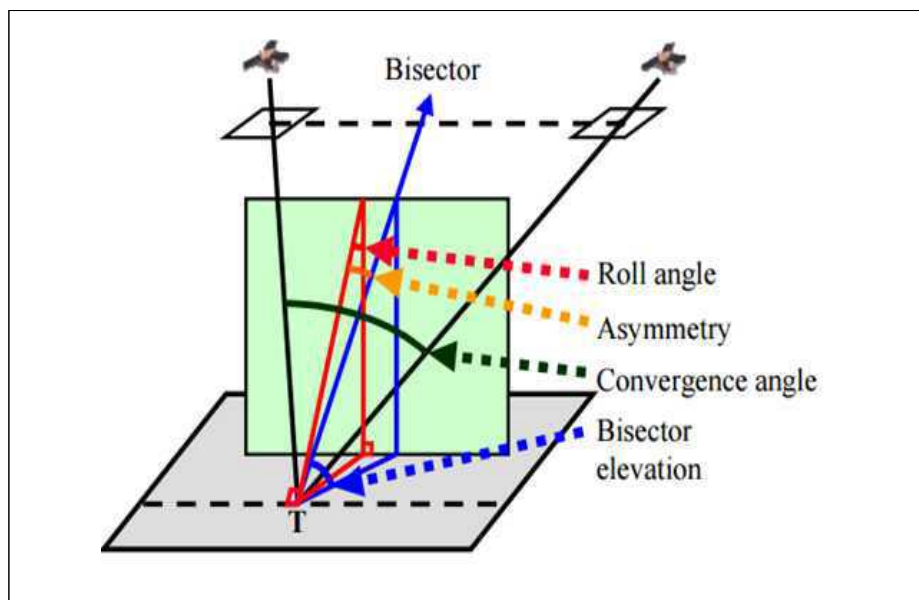
1. 운량(cloud cover) : 전체 영상 내 10% 이내. 작업 대상지역의 운량도 확인한다.
2. 입체영상의 촬영 기하 : 입사각(incidence angle)이 커질수록 경사로 촬영되며, 촬영 범위는 넓어지고, 공간해상도는 낮아진다. 입체영상의 입사각 차이인 수렴각(convergence angle)은 수직방향의 오차에 영향을 주로 주며, 최소 30도 이상을 권장한다. 수렴각이 너무 크면 영상 간의 상호 이질성이 높아져, 판독력 저하 및 정확도 저하로 이어질 수 있다. BIE(bisector elevation)과 입사각의 대칭도 차이인 비대칭각(asymmetry angle)은 주로 수평방향 오차에 영향을 준다. BIE

는 70도 이상, 비대칭각은 10도 이하를 고려한다.

3. 연기, 안개, 스모그, 황사 등으로 인한 영상의 선명성
4. 적설(snow cover) 또는 홍수 등으로 인하여 지형지물을 구별하기 어려운 조건
5. 태양의 방위각 및 고도각 등으로 인하여 판독의 어려움

라. 영상 주문

기존 촬영된 위성영상이 대상 작업지역에 존재하는 경우에 선별된 위성영상을 주문하거나, 적당한 위성영상이 존재하지 않는 경우 새로운 위성영상 획득을 위하여 촬영을 주문한다.



자료: Zhu et al., 2008

<그림 2> 위성영상 입체 촬영시의 고려 각도

마. 지상기준점 측량

지상기준점의 선점 및 측정 방법은 「항공사진측량작업규정」에 의한다. 지상기준점의 정확도는 위성영상 성과물에서 요구되는 정확도에 따라 정할 수 있다. 일반적으로 지상기준점 측량방법은 다음과 같다.

1. GNSS를 이용한 수평 기준점과 직접 수준측량을 이용한 표고 기준점 정보를 얻는다.

2. GNSS 지상기준점을 보완하기 위하여 다른 방법을 사용하는 경우, 정해진 정확도를 만족하여야 한다.

<표 2> 지상기준점 측량의 정확도 기준

| 구분 | 항공사진측량작업규정 | 용역사업검사기준 | 비고 |
|-----------|--|--|----|
| 평면 기준점 | <ul style="list-style-type: none"> - 1/1,000~1/1,200 : 표준편차 $\pm 0.1\text{m}$이내 - 1/5,000~1/6,000 : 표준편차 $\pm 0.2\text{m}$이내 | <ul style="list-style-type: none"> - 1/1,000 : 표준편차 $\pm 0.1\text{m}$이내 - 1/5,000 : 표준편차 $\pm 0.2\text{m}$이내 - 표본 : 5~10% | |
| 표고 기준점 | <ul style="list-style-type: none"> - 1/1,000~1/1,200 : 표준편차 $\pm 0.1\text{m}$이내 - 1/5,000~1/6,000 : 표준편차 $\pm 0.2\text{m}$이내 | <ul style="list-style-type: none"> - 1/1,000 : 표준편차 $\pm 0.1\text{m}$이내 - 1/5,000 : 표준편차 $\pm 0.2\text{m}$이내 - 표본 : 5~10% | |

바. 기준 정보

지상기준점 측량이 어려운 접근불가지역이나 극지역이 대상 지역인 경우에 지상기준점측량을 대체하는 기준 정보를 취득한다. 기준 정보는 기 구축된 국가기본도, 영상 칩(chip), TerraSAR-X 등 SAR 기준점 정보, ASTER GDEM 등 표고 정보 등의 이용가능한 점, 선, 면의 공간 기준 정보를 말한다. 기준 정보를 사용하는 경우 위성영상에 포함된 RFM 정확도보다 기준 정보의 정확도가 높아야 한다.

사. 기준점의 배치

위성영상 센서모델링을 위한 지상기준점의 배치 기준은 별도로 규정되어 있지 않고, 국가기본도 수정 제작을 위한 검사기준으로 항공사진측량에 사용되는 기준점과 동일하게 적용하게 된다. 국외지역이나 비접근 지역 등의 경우 기준점 구축이 어렵고, 위성영상을 이용한 공간정보 구축의 활용도가 높기 때문에, 대축척 국가기본도가 아닌 경우 기준점의 요건을 완화하여 적용할 수 있다. (이에 대한 관련 규정의 제정 또는 개정이 필요하다.)

5. 표정

아. 영상 전처리

표정 및 수치도화를 위한 최적의 상태를 만들기 위하여 소프트웨어를 활용하여 영상 대비(contrast), 강조(enhancement), 필터링 등 영상 전처리를 수행할 수 있다.

자. 접합점

2개 이상의 위성영상에서 동일한 개체를 나타내는 접합점을 수동 또는 자동으로 선정한다. 자동으로 접합점 선정하기 위하여 특징점 추출은 해리스(Harris) 연산자 등 위성영상에 효과적인 방법을 사용한다. 위성영상들간의 동일 특징점을 찾는 정합을 위하여 정규상관계수(Normalized Cross Correlation) 등의 방법을 사용한다. 접합점의 오차를 줄이기 위하여 위성수렴각, RANSAC 등의 방법을 적용한다.

차. 센서 모델링

물리센서모델링에 대비하여 정확도 손실이 없고, 다양한 위성에 보편적으로 활용가능한 RFM(Rational Function Model) 센서 모델링식을 활용하여 표정한다. 위성영상과 해당 영상의 위성센서모델링 계수인 RPC(Rational Polynomial Coefficients)파일을 입력한다. 초기 RPC는 수m ~수십m 오차를 포함하고 있으므로, 지상기준점을 이용하여 보정 및 활용한다.

지상기준점을 얻기 어려운 국외나 비접근 지역의 경우 글로벌 DEM을 이용한 RPC 보정 방법이나 다중영상기반 센서모델링을 수행한다. DEM기반 RPC 보정은 기준(reference) 글로벌 DEM과 위성영상기반 DEM의 3차원 최소제곱정합을 통하여 두 DEM의 대응쌍을 찾고, 대응쌍의 영상좌표 비교를 통하여, RPC의 어핀(affine) 보정계수를 찾아 정확도를 향상시킨다. DEM기반 RPC 보정은 기준 DEM 및 위성영상기반 DEM의 정확도, 두 DEM의 유사도, 대상 지역의 지형지물 특성 등에 따라 정확도에 영향을 받는다.

지상기준점이 없는 경우 동일한 영역의 다중영상들간의 상호표정을 통해 표정 정확도를 향상시킬 수도 있다. 무기준점 다중영상 기반 센서모델링을 위해서 다중영상에서 수동 또는 자동으로 접합점을 취득하고, 취득된 접합점을 활용하여 다중영상의 센서모델을 블록 보정한다. 블록 보정은 RPC 식을 이용하여 접합점에 대하여 RPC를 최소제곱보정할 수 있다.

카. 정확도 평가

표정작업을 통해 종시차가 제거된 입체영상에서 기준 화소 이상의 종시차가 발견될 경우 또는 오차 경향이 일정한 경우에 오차 조정처리를 수행한다. 오차 조정 처리는 지상기준점, 기준 정보, 접합점 등을 추가하거나 수정을 통하여, 각 기준점에 대한 잔차를 분석하여 오차가 3σ 이상이 되는 기준점을 제외한 후 재표정을 실시한다. 화소기준 표정 정확도는 다음과 같다.

<표 3> 위성영상 표정 정확도 기준

| 대상 지역 | 공간해상도 | 허용범위 |
|----------------|---------|----------|
| 지상기준점 측량 가능지역 | 10m급 미만 | 2화소 이내 |
| | 20m급 미만 | 1.5화소 이내 |
| | 20m급 이상 | 1화소 이내 |
| 지상기준점 측량 비가능지역 | | 3화소 |

자료: 영상지도제작에 관한 작업규정

위성영상을 이용한 센서모델링의 경우 사용된 위성영상의 품질 및 대상지역의 특성에 따라 표정 정확도가 크게 의존하게 된다. 또한 비접근지역이나 극지역과 같이 지상기준점의 확보가 쉽지 않은 경우에는 1화소 정확도를 얻기 어려운데, 국토위성과 유사한 제원을 갖는 타 위성의 경우 기준점을 사용하지 않았을 때, 확보가능한 정확도 실험 사례는 다음 표와 같다. 여기에서 공칭평면위 치정확도(CE90; Circular Error 90%)는 기준점 없이 가능한 센서모델에 의한 정확도이다. 1개의 기준점을 사용한 실험 사례에서 KOMPSAT-3A의 정확도 8m 이내였으며, WV-3, Geoeye-1, Pleiades-1(A/B) 위성들은 정확도 2m 이내였다.

<표 4> 주요 고해상도 위성영상의 CE90 정확도

| | KOMPSAT-3A | WV-3 | Geoeye-1 | Pleiades-1(A/B) | SkySat-(1~21) |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 해상도 | Pan 0.6m MS 2.2m | Pan 0.3m MS 1.2m | Pan 0.4m MS 1.6m | Pan 0.5m MS 2.0m | Pan 0.8m MS 1.0m |
| 공칭 정확도 | 15m | 3.5m | 3.5m | 3.0m | 90m |

지형도 제작을 위한 항공삼각측량 정확도 기준은 「항공사진측량작업규정」에 제시되어 있으며, 「용역사업검사기준」에도 기준이 제시되어 있다.

<표 5> 항공삼각측량 조정(표정) 정확도 기준

| 구분 | 항공사진측량작업규정 | 용역사업검사기준 | | | 비고 |
|---------|--|----------|--------|---------|----|
| | | 구분 | 평면위치 | 수직위치 | |
| 1/1,000 | - 표준편차 $\pm 0.20\text{m}$ - 최대 0.40m | 신규 | 0.2m이내 | 0.17m이내 | |
| | | 수정 | 0.5m이내 | 0.3m이내 | |
| | | | | | |
| 1/5,000 | - 표준편차 $\pm 0.72\text{m}$ - 최대 1.44m | 신규 | 0.8m이내 | 0.6m이내 | |
| | | 수정 | 2.5m이내 | 1.0m이내 | |
| | | | | | |

자료: 항공사진측량작업규정 및 용역사업검사기준

6. 수치도화

타. 기본레이어

위성영상을 이용하여 공간정보를 구축하는 경우, 사용 위성영상의 종류, 국내 또는 국외 환경 등에 맞춰 적절한 수치지형도의 레이어를 사용하여 제작하며, 제작목적에 따라 레이어를 추가할 수 있다. 예를 들어, 접근불능지역 레이어는 <표 6> 내용으로 추출할 수 있고, 극지역 레이어는 <표 7> 와 같이 빙하, 적설 등을 추가할 수 있다. 그 외 대상 지역의 특성에 맞는 레이어가 존재할 경우 추가 하여 제작한다.

<표 6> 접근불능지역 공간정보 레이어 샘플

| 코드 | 레이어명 | 코드 | 레이어명 | 코드 | 레이어명 |
|------|----------|------|--------|------|-------------|
| | 철도 | 2012 | 모래 | 5003 | 논 |
| 1001 | 보통 철도 | 2013 | 습지 | 5004 | 밭 |
| 1002 | 특수 철도 | 2014 | 염전 | 5005 | 과수원 |
| 1003 | 지하철(지상부) | | 도로 | 5006 | 목초지 |
| 1004 | 철교 | 3001 | 소로 | 5007 | 황무지 |
| 1005 | 철도터널 | 3002 | 중로 | 5008 | 활엽수 |
| 1006 | 철도관련 시설 | 3003 | 대로 | 5009 | 침엽수 |
| 1007 | 지하철관련 시설 | 3004 | 광로 | 5010 | 공동묘지 |
| | 하천 | 3005 | 콘크리트교 | 5011 | 운동장 |
| 2001 | 실폭하천 | 3006 | 터널 | 5012 | 유적지 |
| 2002 | 세류 | | 건물 | | 시설물 |
| 2003 | 건천 | 4001 | 일반주택 | 6001 | 송전탑 |
| 2004 | 호수, 저수지 | 4002 | 저층형아파트 | 6002 | 기타 콘크리트 구조물 |
| 2005 | 해안선(육지) | 4003 | 고층형아파트 | 6003 | 저장조 |
| 2006 | 해안선(섬) | 4004 | 주택외 건물 | | 지형 |
| 2007 | 댐 (상단) | 4005 | 철책 담 | 7001 | 주곡선 |
| 2008 | 댐 (하단) | 4006 | 콘크리트 담 | 7002 | 계곡선 |
| 2009 | 방파제상단 | | 지류 | 7003 | 표고점 |
| 2010 | 방파제하단 | 5001 | 지류계 | 7012 | 점높이 |
| 2011 | 갯벌(진흙) | 5002 | 경지계 | | |

<표 7> 북극지역 공간정보 레이어 샘플

| 코드 | 레이어명 | 코드 | 레이어명 | 코드 | 레이어명 |
|------|---------|------|-------|------|---------------|
| 수부 | | 도로 | | (추가) | |
| 2111 | 실폭하천 | 3115 | 실폭도로 | | 해빙 |
| 2112 | 단선하천 | 3119 | 단선도로 | | 빙원 |
| 2114 | 호수, 저수지 | 지형 | | | 빙상 |
| 2122 | 해안선 | 7111 | 주곡선 | | 빙하 (영역 또는 지형) |
| 시설 | | 7114 | 계곡선 | | 빙붕 |
| 3314 | 교량 | 7131 | 등고수치 | | 빙벽 |
| 4122 | 댐 | 7132 | 표고점수치 | | 크레바스 |
| 건물 | | | | | |
| 4111 | 건물 | | | | |

자료: 저자 작성

파. 도화

수치도화는 입체 위성영상 데이터의 범위 내에서 생성한다.

1. 실형건물 중 직선건물은 각 코너에 하나씩의 점 데이터만 있어야 하며, 반드시 폐합되어야 한다. (단, 도면간의 인접부분은 정확히 연결(접합)한 후 분리하여야 한다.)

2. 곡선데이터의 점간 입력간격은 1/1,000은 1m, 1/5,000은 1m, 1/25,000은 10m로, 중간 점을 생략할 수 있는 각도는 직선진행방향을 기준으로 축척1/1,000 및 1/5,000은 6°, 1/25,000은 1°로 하는 것을 원칙으로 한다.

하. 검수

수치도화 정확도는 위성영상 데이터와 최종 벡터데이터를 화면에서 비교하여 도상 0.2mm 이내이어야 한다. 작업 성과물에 대한 축척별 지정된 정확도도 확인한다.

거. 지리조사

위성영상, 도화성과, 수치지도 1.0 또는 수치지도 2.0 등의 자료를 이용하여 촬영 당시 나타난 지형·지물과 이에 관련되는 지명·명칭을 그 대상으로 한다. 국내 또는 국외 대상 지역의 접근 가능성에 따라 현지 조사를 제외할 수 있으며, 기존 구축된 공간정보를 활용할 수 있다. 극지역의 주기

및 속성 정보 입력을 위하여 미국지질조사국, 노르웨이 항공사진시스템, 남극연구과학위원회, 기타 민간단체(예, Natural Earth) 자료 등을 활용한다.

너. 장비

공간정보를 구축하는데 사용하는 수치해석도화 장비의 성능 및 기능은 다음 각 호에 의한다.

1. 스테레오 위성영상 입·출력이 가능하여야 한다.
2. RPC파일을 불러들여 표정(내부, 외부)이 가능하여야 한다.
3. 도화축척에 따른 정확도를 유지할 수 있어야 한다.
4. 레이어 코드의 입력과 기호의 생성이 가능하여야 한다.
5. X,Y,Z 좌표가 수치형식으로 자동기록 되어야 한다.
6. 시간간격 또는 거리간격으로 연속측정이 가능하여야 한다.
7. 좌표계 설정 및 변환이 자유로워야 한다.

7. 지도편집

위성영상으로부터 추출된 공간객체는 정위치 편집 및 구조화 편집을 수행하며, 구조화 편집과 동시에 속성정보를 입력한다. 정위치 편집, 구조화 편집 등의 지도편집 사항은 「수치지형도 작성 작업규정」을 적용한다,

더. 정위치 편집

정위치 편집 작업내용은 다음 각 호에 의한다.

1. 편집 소프트웨어는 상호호환이 되는 포맷을 지원하는 소프트웨어를 사용한다.
 2. 축척은 표준코드에 의한다.
 3. 대상지역의 접근 가능성을 감안하여 현지조사를 제외한다. 단 행정경계, 행정명 등의 자료입수가 가능한 속성정보는 입력한다.
 4. 도화는 도엽 단위로 하고, 기본지리정보 레이어 코드를 사용한다.
 5. 정확도를 확보할 수 있도록 지형지물의 특성에 알맞은 시간간격 또는 거리 간격으로 좌표를 취득한다.
 6. 기호는 도화작업 시 또는 도면 편집 시 부가하여 표준도식에 따른다.
 7. 모델간의 접합은 도화 작업시 실시하며, 인접오차가 도상 0.7mm 이상일 때에는 다시 도화하여 후속작업에 지장이 없도록 처리한다.
- 극지역의 경우 복잡한 해안선 양상에 비하여 위성영상 정보가 제한되어 있으므로 해안선 표현 방법에 대하여 작업 기준을 명확히 하고, 이에 대하여 기술한다.

러. 구조화 편집

정위치 편집된 수치지형도는 수치지도2.0으로 구조화 편집한다. 국외 대상지역의 경우 지역 환경에 따라 세부 지형·지물의 표준코드 및 속성목록을 추가로 정의할 수 있다. 한편 국내외의 다양한 활용 기관을 고려하여 공통 및 표준 포맷외에 SHP와 같은 GIS 호환 포맷을 추가할 수 있다.

머. 도면제작 편집

축척별 지형도에 대한 도면제작편집은 지도도식규칙과 각 축척별 도식적용규정을 적용하며, 추가로 정의된 지형·지물은 도식규칙을 예외적으로 적용한다.

지리정보의 교환형식은 NGI 형식을 원칙으로 한다. 필요한 경우 DXF포맷으로 한다.

버. 연속수치지도

도엽단위의 수치지형도 2.0을 동일 지형·지물 레이어별로 연결하여 도엽간 객체가 끊김없이 연속되도록 구현한 연속수치지도를 지형도의 일부 레이어에 대하여 작성한다.

8. DEM 생성

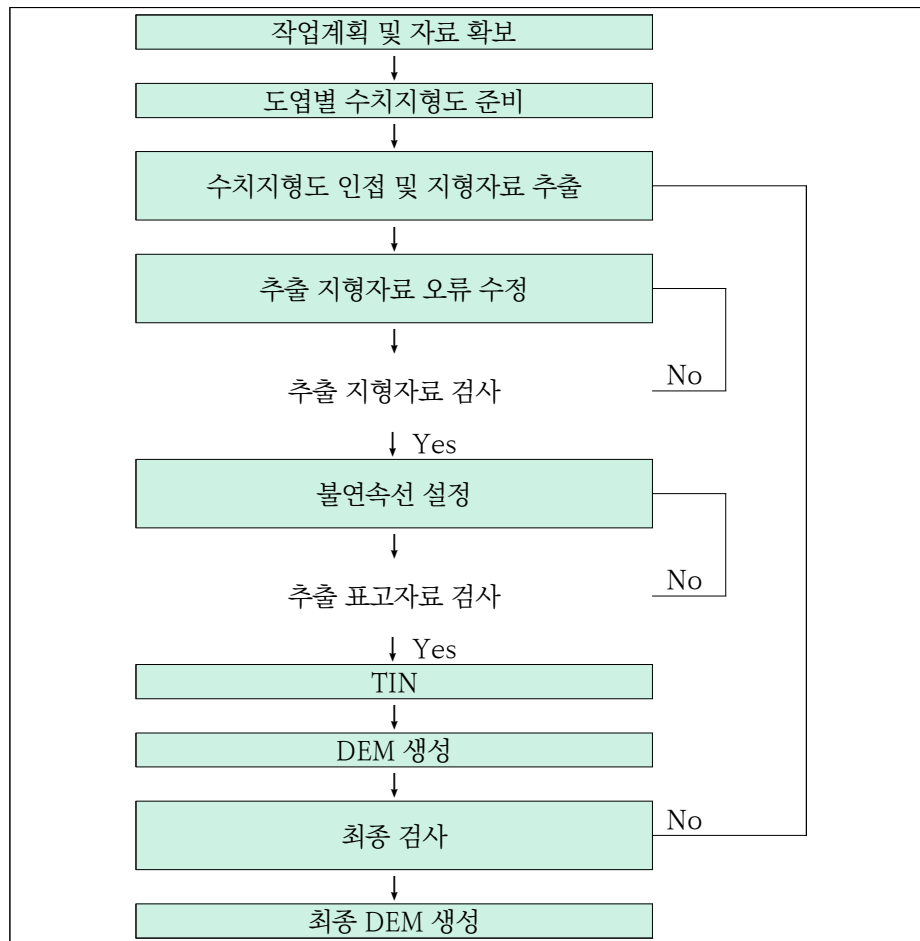
DEM(Digital Elevation Model) 제작은 주로 「항공레이저측량작업규정」을 적용하지만, 「항공레이저측량작업규정」은 항공레이저측량으로부터 생성된 점자료를 바탕으로 DEM을 생성한다. 반면에 본 매뉴얼에서는 위성영상기반의 수치지형도 또는 점자료를 바탕으로 DEM 생성 방법을 기술한다.

위성영상기반 수치지형도에서 등고선과 표고점을 보간기법을 이용하여 격자형태의 DEM을 제작한다. 제작되는 DEM은 축척에 따라 5m, 10m 등이 될 수 있다. 수치지형도를 기반으로 DEM 제작의 주요 절차는 다음과 같다.

- 좌표계 및 좌표값, 인접도면 접합, 등고선 표고 등 수치지형도의 오류를 확인한다.
- 높이값을 갖는 레이어를 추출하고, 높이값 오차를 점검한다.
- 점, 선, 면의 특성을 고려하여 불규칙삼각망(TIN)을 생성한다.
- 지형표현에 효과적인 보간방법을 적용하여 격자 형태의 DEM을 생성한다.

<표 8> 주요 위성영상의 DEM 격자해상도 사례

| | KOMPSAT-3A | WV-3 | Geoeye-1 | Pleiades-1 (A/B) | SkySat-(1~21) | SPOT5,6,7 |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 해상도 | Pan 0.6m MS 2.2m | Pan 0.3m MS 1.2m | Pan 0.4m MS 1.6m | Pan 0.5m MS 2.0m | Pan 0.8m MS 1.0m | Pan 2.5m MS 10m |
| 격자해상도 | 5m | | | | | 10m |
| 축척 | 1/5,000 | | | | | 1/25,000 |



<그림 3> 수치지형도 기반 DEM 제작 흐름도

수치지형도를 제작하기 위하여 도화 및 편집이 필요하고, 이 방법은 시간 및 경제성 측면에서 단점이 된다. 이에 반하여 위성영상에 기반한 자동화된 정합으로 수치표면자료(Digital Surface Data)를 생성하면, 이로부터 수치지면자료(Digital Terrain Data)를 생성하고, DEM도 효율적으로 생성할 수 있다.



<그림 4> 입체위성영상 기반 DEM 제작 흐름도

자동화된 정합에 의한 수치표면자료는 눈과 얼음으로 덮여있는 극지역에서는 영상정합의 어려움으로 인하여 정확도가 낮다. 특히 적설지역의 영상 대조도가 낮은 표면, 해안이나 지형 급경사로 인한 좌/우 영상의 기하학적 이상, 급경사지 주변의 그림자 등으로 인하여 정합 오류가 많이 나타나며, 정합을 위한 영상윈도우 크기 변화, 에피폴라 재배열(resampling) 패치 방식 변경, 피라미드 영상 기반 정합, Census 등 다양한 정합 방법 적용 등이 필요하다.

수치표고자료의 정확도는 검사점을 선정하여 「항공레이저측량작업규정」에 따라 점검하여야 한다. 다만 DEM의 격자 규격에 따른 수직 위치정확도 한계는 제시되어 있지만, 평면 위치정확도는 위성영상에 적용하기 어렵기 때문에 평면 위치정확도 한계를 작업 전에 명확히 한다.

<표 9> DEM 수직위치 정확도

| 격자규격 | 1m X 1m | 2m X 2m | 5m X 5m | 비고 |
|--------|----------|---------|---------|----|
| 수치지도축척 | 1/1,000 | 1/2,500 | 1/5,000 | |
| RMSE | 0.5m 이내 | 0.7m 이내 | 1.0m 이내 | |
| 최대오차 | 0.75m 이내 | 1m 이내 | 1.5m 이내 | |

자료: 항공레이저측량 작업규정

9. 정사영상 생성

정사영상지도제작은 「영상지도제작에 관한 작업규정」을 적용한다, 여기에서는 정사영상지도를 제작하기 위한 주요 내용을 정리한다.

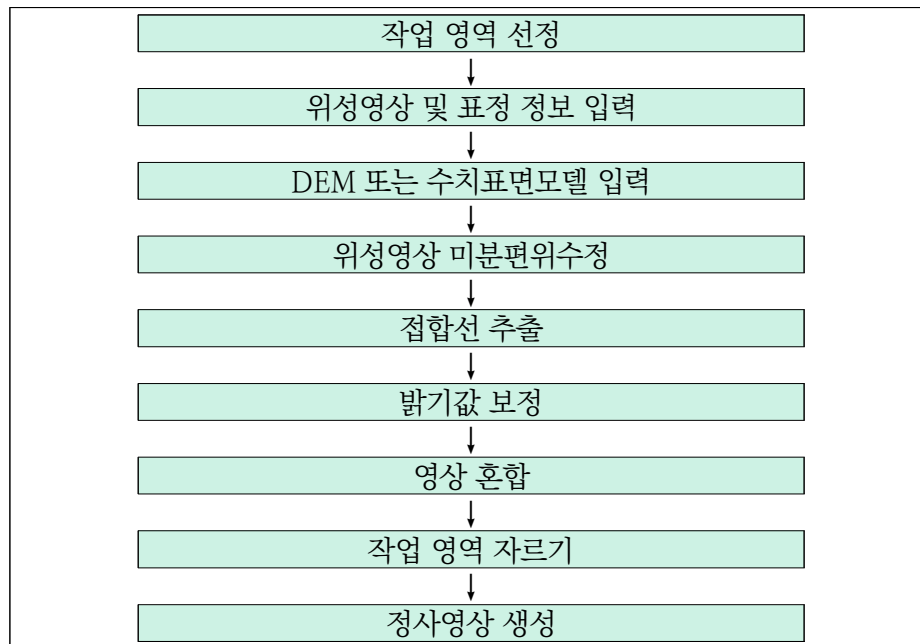
작업을 수행하기 전에 준비자료는 위성영상 및 표정 정보, DEM 또는 이를 생성할 수 있는 공간 정보이다.

작업순서는 자료수집, 정사영상제작, 영상지도의 편집, 정리점검이다.

자료수집 과정에서 영상의 판독 가능성, 위성영상과 수치표고자료의 일치성 여부, 공간적 위치 정확성을 검토한다. 위성영상과 다른 공간정보로부터 추출된 수치표고자료를 이용하는 경우 이를 보완하여 사용한다. 수치표고자료의 격자간격은 영상의 2화소 이내의 크기에 해당하는 간격이어야 하며, 그 정확도는 영상표정 결과의 2배 이내이어야 한다.

위성영상 표정의 결과와 수치표고자료를 이용하여 엄밀법에 의한 미분편위수정을 실시한다.

인접 정사영상 간의 영상집성(mosaic)을 실시하기 전에 영상 간의 밝기값 차이를 제거하기 위한 색상보정을 실시한다. 영상 간의 밝기값은 촬영시기, 촬영지역, 태양 고도값 및 대기상태 등의 차이로 발생한다. 선형회귀분석 방법, 히스토그램 정합 방법 등과 중복 영상영역의 혼합(blending) 방법을 적용하여 자연스러운 색상변이로 유도한다. 고해상의 전정색(panchromatic) 영상과, 저해상의 다중분광(multispectral)영상이 존재하는 경우 이 영상들을 융합(pansharpening)하여 고해상의 칼라정사영상을 생성하여 사용한다. 융합방법은 일반적으로 성능이 검증된 방법이나 위성영상에 맞게 개발된 방법을 사용한다. 영상을 집성하기 위한 접합선(seamline)은 기복변위나 음영의 대조가 심하지 않은 산능선, 하천, 도로 등으로 설정하여 영상 색상의 연속성을 유지하여야 한다. 영상집성 후 영상간 경계부분에서 음영이나 선사상의 이격 등이 없어야 한다.



<그림 10> 위성영상 기반 정사영상 제작 흐름도

최종 영상지도제작을 위한 영상지도편집은 해당 축척별 "지형도도식적용규정"을 적용한다. 품질관리는 정사영상제작, 영상집성·융합·분할, 영상/벡터중첩, 난외주기 제작에 실시한다. 정사영상의 평면위치오차는 출력시 도상 1.0mm 이내이어야 한다. 인접지역 및 음영지역의 색상 변화로 인한 불연속성을 점검한다.

정사영상의 데이터 교환형식은 GeoTIFF 포맷을 사용하는 것을 원칙으로 한다. 필요하다고 인정하는 경우 다른 교환형식을 적용할 수 있다.

10. 성과 정리

서. 품질 요소 및 관리

위성영상을 이용한 공간정보 제작 성과의 품질관리를 위한 품질요소, 품질검사 세부항목 및 판정기준은 「3차원국토공간정보구축작업규정」 제3장을 준용한다. 품질관리표 작성은 국토지리정보원 용역사업검사기준을 참고한다.

1. 수치지형도 품질 : 수치지형도 품질검사는 「수치지도 작성 작업규칙」(국토교통부령 제209호, 2015. 6. 4.)에 따라 시행한다.

제10조(품질검사) 수치지도를 작성하는 기관은 작성된 수치지도가 본래의 작성 기준 및 목적에 부합하게 작성되어 있는지를 판정하기 위하여 다음 각 호에 따른 품질요소를 기초로 하여 정량적(定量的)인 품질기준을 마련하고 이를 검사하여야 한다.

1. 정보의 완전성: 수치지도상의 지형·지물 또는 그에 대한 각각의 정보가 빠지지 아니하여야 한다.

2. 논리의 일관성: 수치지도의 형식 및 수치지도상의 지형·지물의 표현이 작성기준에 따라 일관되어야 한다.

3. 위치정확도: 수치지도상의 지형·지물의 위치가 원시자료(原始資料) 또는 실제 지형·지물과 대비하여 정확히 일치하여야 한다.

4. 시간정확도: 수치지도 작성의 기준시점은 원시자료 또는 조사자료의 취득시점과 일치하여야 한다.

5. 주제정확도: 지형·지물과 속성의 연계 및 지형·지물의 분류가 정확하여야 한다.

2. DEM 품질

3차원국토공간정보구축작업규정의 위치정확성 품질요소에서 그리드데이터중에서 ‘DEM의 격자간격 정확도 확인’과 ‘3차원 지형데이터의 지형지물 왜곡 및 오류 확인’ 품질평가 기준이 있다. 검사방법은 화면검사와 현장검사를 수행한다.

항공레이저측량 작업규정에서 수치표고모델의 정확도 점검, 수치표고모델 오류 확인 및 수정에 관한 조항과 검사표 및 오류 정정표를 참고하여 품질관리를 수행한다.

3. 정사영상 품질

영상지도제작에 관한 작업규정의 품질관리에서 지상기준점의 선점, 수치표고 자료의 제작, 정사영상제작, 영상집성·융합·분할 등에 대하여 품질관리를 실시하도록 제시하고 있다. 추가로 위성 영상에 대해서도 품질관리를 수행한다.

어. 성과정리

1. 수치지형도 성과정리

작업이 완료되면 상호 인접되는 데이터를 지형·지물의 표현상 모순이 없도록 수정하여 일치시킨다. 책임자는 각 작업별 성과의 오기, 누락, 지형·지물 표준코드의 적정 사용, 정확도 등을 검사하여 성과점검 및 관리파일을 작성한다. 납품하여야 할 성과는 「수치지형도 작성 작업규정」을 준용한다. 각 공정별로 <표 5-14>와 같이 성과점검 및 관리파일을 작성한다.

2. 정사영상 성과정리

영상지도제작에 관한 작업규정을 참고하여 위성영상, 기준점 또는 기준정보, 정사영상 및 관리파일 등을 납품받아 관리한다.

3. DEM 성과정리

항공레이저측량 작업규정을 참고하여 위성영상 및 외부표정요소, 수치표고모델, 도엽별 수치표고모델 관리파일, 수치표고모델 검사표 및 오류 정정표 등을 납품받아 관리한다.

4. 위성영상의 메타데이터 관리

성과물 제작에 사용된 작업 위성영상의 메타데이터를 정리하여 관리한다.

<표 11> 수치지도 성과 점검 및 관리파일

1) header

| 레코드 번호 | 작업 구분 | 도엽 코드 | 도엽명 | 축척 | 저장매 체보관 번호 | 계획 기관 | 작업 기관 | 계약 년월일 | 준공 년월일 | 지구명 |
|-----------|----------|----------|-----|----|------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----|
| 1 | | | | | | | | | | |

2) 세부도화

| 레코드 번호 | 사진 축척 | 촬영 년월일 | 사진 번호 | 도화 년도 | 신규/ 수정 | Format | 작업 기관 | 작업자 | 점검자 | 감독관 |
|-----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|--------|----------|-----|-----|-----|
| 2 | | | | | | | | | | |

11) 지형도독취

| 레코드 번호 | 원판 종류 | 지도 제작 년도 | 독취년도 | 해상도 | Format | 작업기관 | 작업자 | 점검자 | 감독관 |
|-----------|----------|----------------|------|-----|--------|------|-----|-----|-----|
| 11 | | | | | | | | | |

12) 벡터화

| 레코드 번호 | 작업 년도 | Format | 작업 기관 | 작업자 | 점검자 | 감독관 |
|-----------|----------|--------|----------|-----|-----|-----|
| 12 | | | | | | |

13) 수동입력

| 레코드 번호 | 구 분 | 원판 보유 기관 | 원판 제작 년도 | Format | 작업 기관 | 작업 년도 | 작업자 | 점검자 | 감독관 |
|-----------|-----|----------------|----------------|--------|----------|----------|-----|-----|-----|
| 13 | | | | | | | | | |

14) 지리조사 및 정위치구조화편집

| 레코드 번호 | 촬영 년도 | 사진 축척 | 사진 번호 | 조사 년도 | 편집 년도 | Format | 작업 기관 | 작업자 | 점검자 | 감독관 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|----------|-----|-----|-----|
| 21 | | | | | | | | | | |

31) 성과점검

| 잡음제거 | 도곽보정 | 지형코드 | 도 식 | 인 점 확 인 | | | |
|------|------|------|-----|---------|---|---|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | | | | | | |

자료: 수치지형도 작성 작업규정

부록 6-2. 현재조사 불가능한 지역의 공간정보 구축성과 품질관리 방안의 규정

| 항공레이저측량작업규정 | | | | | | |
|--|-----|------------------|---|--------|---------------|------------|
| [별표 28] DEM 검사표(제49조 및 제50조 제2항 관련) | | | | | | |
| 점이름 | 구분 | 기준점/검사점 좌표 | | | DEM 정표고(Z) | H-Z (m) |
| | | X | Y | 정표고(H) | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| 분 석 | | 최대 | | | | |
| | | 최소 | | | | |
| | | 평균 | | | | |
| | | 표준편차 | | | | |
| | | RMSE | | | | |
| 가. 구분에는 기준점 또는 검사점으로 기입한다. | | | | | | |
| 나. 기준점 또는 검사점의 평면좌표의 높이를 DEM에서 계산하여 DEM 정표고에 기입한다. | | | | | | |
| [별표 29] DEM 오류 정정표(제49조 및 제50조 제2항 관련) | | | | | | |
| 지구명 | | 작업자 | | | | |
| 오류정정자료 | | 작업일자 | | | | |
| 위치 | X : | Y : | | | | |
| 오류 내용 | | 조치 내용 | | | | |
| * 오류내용을 서술 | | * 오류를 정정한 내용을 서술 | | | | |
| * 오류내용이 나타난 그림을 첨부 | | * 정정한 후의 그림을 첨부 | | | | |
| 가. 필요한 경우에는 오류내용 그림 부분에 대상지역의 영상자료를 첨부하여 작성한다. | | | | | | |

용역사업검사기준

[별표 5] 국가기본도 수정 및 1/1,000수치지도 제작

국가기본도 수정·제작 검사표(○○지구)

축척 : 1/1,000

| 검 사 항 목 | 검사대상 | 기준이내 | 완성도(%) | 판 정 | 비고 |
|---------------|----------------|------|--------|--------------|------|
| 1. 항공사진 촬영 | 매 | 매 | | 적 합 (부적합) | 붙임1 |
| 2. 평면기준점 측량 | 점 | 점 | | " | 붙임2 |
| 3. 표고기준점 측량 | 점 | 점 | | " | 붙임3 |
| 4. 사진기준점 측량 | 모델 | 모델 | | " | AT블록 |
| 5. 수치지화 | 모델 | 모델 | | " | 붙임4 |
| 6. 지리조사 | 도엽 | 도엽 | | " | 붙임5 |
| 7. 정위치편집(1:1) | 도엽 | 도엽 | | " | 붙임6 |
| 8. 축소편집 | 도엽 | 도엽 | | " | " |
| 9. 구조화편집 | 도엽 | 도엽 | | " | 붙임7 |
| 10. 최종위치정확도 | 도엽 | 도엽 | | " | 붙임8 |
| 11. 도면제작편집 | 도엽 | 도엽 | | " | 붙임 9 |
| 총 합 판 정 | 구 분 직 책 | 직 급 | 성 명 | 서 명 | |
| 합 격 (불합격) | 검 사 관 보조검사관 | | | | |

붙임 4

수치지화(○○지구)

☐ 세부 검사표

| 구분 | 번호 | 납품성과(m) | 검사성과(m) | V(m) | 비 고 |
|--------|----|----------|---------|------|-----|
| 평면 | | X: Y: | | | |
| 2 | | X: Y: | | | |
| 표고 | | H: | | | |
| · · | | H: | | | |
| 등고 | | H: | | | |

☐ 검사 결과표

| 구분\오차 | 표 정 오 차 (교 차) | | | 표 사 오 차 | | | | | |
|-------|---------------|------|----|---------|----|----|---------|----|----|
| | | | | 표 준 편 차 | | | 최 대 오 차 | | |
| | 오차한계 | 최대오차 | 판정 | 오차한계 | 오차 | 판정 | 오차한계 | 오차 | 판정 |
| 평면 | | | | | | | | | |
| 등고 | | | | | | | | | |
| 표고 | | | | | | | | | |

용역사업검사기준

[별표 5] 국가기본도 수정 및 1/1,000수치지도 제작

붙임 5

지리조사(○○지구)

☐ 검사 결과표

| 도엽번호 | 전체 객체수 | 추출 객체수 | 오류 객체수 | 오류내역 |
|------|-----------|-----------|-----------|---|
| | | | | |
| 합계 | | | | |
| 완성도 | | | | 완성도 $= 100 -$ $\left\{ \left(\frac{1}{\text{전체객체수합계}} \right) \right.$ $\left. \times \Sigma(1\text{도엽당객체수} \times \frac{\text{오류객체수}}{\text{추출객체수}}) \right\}$ $\times 100$ |

붙임 6.

정위치편집(○○지구)

☐ 검사 결과표

| 도엽번호 | 전체 객체수 | 추출 객체수 | 오류 객체수 | 오류내역 |
|------|-----------|-----------|-----------|---|
| | | | | |
| 합계 | | | | |
| 완성도 | | | | 완성도 $= 100 -$ $\left\{ \left(\frac{1}{\text{전체객체수합계}} \right) \right.$ $\left. \times \Sigma(1\text{도엽당객체수} \times \frac{\text{오류객체수}}{\text{추출객체수}}) \right\}$ $\times 100$ |

용역사업검사기준

[별표 5] 국가기본도 수정 및 1/1,000수치지도 제작

붙임 8

최종위치정확도(○○지구)

☐ 평면위치 검사 결과표

| 점번호 | 납품성과(m) | 검사성과(m) | V(m) | V ² (m) | 비고 |
|------|-----------------------------------|---------|------|--------------------|----|
| | X: Y: | | | | |
| | | | | | |
| | X: Y: | | | | |
| 표준편차 | $\sqrt{\frac{\sum V^2}{(n-1)}} =$ | | | | |

☐ 표고 검사결과표

| 점번호 | 납품성과(m) | 검사성과(m) | V(m) | V ² (m) | 비고 |
|------|-----------------------------------|---------|------|--------------------|----|
| | H: | | | | |
| | | | | | |
| | H: | | | | |
| 표준편차 | $\sqrt{\frac{\sum V^2}{(n-1)}} =$ | | | | |

붙임 9

도면제작편집(○○지구)

축척 : 1/5,000

| 검사항목 | 검사대상 | 기준이내 | 완성도(%) | 판정 | 비고 |
|-------------|--------------|------|--------|-------------|-------|
| 1. 데이터 | 도엽 | 도엽 | | 적합 (부적합) | 붙임 10 |
| 2. 지형 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 3. 지물 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 4. 주기 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 5. 기호 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 6. 인접 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 7. 난외주기 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 종합판정 | 구분 직책 | 직급 | 성명 | 서명 | |
| 합격 (불합격) | 검사관 보조검사관 | | | | |

용역사업검사기준

[별표 5] 국가기본도 수정 및 1/1,000수치지도 제작

붙임 10

도면제작편집 데이터(○○지구)

☐ 검사 결과표

| 구분 항목 | 검사량(도엽) | | 완성도(%) | 비 고 |
|----------|----------------------|---------|--------|-----|
| | 검사대상(개) | 기준이내(개) | | |
| ㉔ 데이터 | | | | |
| ㉕ 지형 | | | | |
| ㉖ 지물 | | | | |
| ㉗ 주기 | | | | |
| ㉘ 기호 | | | | |
| ㉙ 인접 | | | | |
| ㉚ 난외주기 | | | | |
| 완성도 계산 | 각 항목별 산출 (완성율 ≒ 완성도) | | | |

용역사업검사기준

[별표 6]

수치표고자료제작 검사표

수치표고자료제작(○○지구)

| 검 사 항 목 | 검 사 대 상 | 기 준 이 내 | 완성도(%) | 판 정 | 비고 |
|-----------------|----------------|---------|--------|--------------|----|
| 1. 장비보정 및 특이점측량 | 도엽 | 도엽 | | 적 합 (부적합) | |
| 2. 레이저 점 밀도 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 3. GNSS 기준국 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 4. 항공기 경사 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 5. 검사점 측량 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 6. 파일 형태 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 7. 불연속선설정 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 8. 정확도 | 점 | 점 | | | |
| 총 합 판 정 | 구 분 직 책 | 직 급 | 성 명 | 서 명 | |
| 합 격 (불합격) | 검 사 관 보조검사관 | | | | |

용역사업검사기준
수치표고자료제작 검사기준

| 검사항목 | 검 사 기 준 | | | | | | 검사방법 | 비고 | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---|------|-------------|-----|-------|-----|------------------------|--------------------------------------|---|---|-----|-----|------|--|--|--|--|--|------------------------|------|
| 장비보정 및 특이점 측량 | - 1블럭(50km*50km)내 3개소 이상 실시 여부 - 종단측량지 적정성(100~200미터, 5-10미터 표고값 측량) - 특이점 측량 : 지역별 5 - 10개 - 특이점측량은 4급 기준점 측량, 종단측량은 2급 수준측량 기준 적용 | | | | | | 실내(표본)검사 (5~10% 검사) | 적, 부 | | | | | | | | | | | | |
| 레이저 점 밀도 | <table><tr><td>격자간격</td><td>1m</td><td>2m</td><td>5m</td><td>10m</td><td>30m</td></tr><tr><td>밀도 (점수/)^{m²}</td><td>5</td><td>2</td><td>0.5</td><td>0.2</td><td>0.04</td></tr></table> | 격자간격 | 1m | 2m | 5m | 10m | 30m | 밀도 (점수/) ^{m²} | 5 | 2 | 0.5 | 0.2 | 0.04 | | | | | | 실내(표본)검사 (5~10% 검사) | 적, 부 |
| 격자간격 | 1m | 2m | 5m | 10m | 30m | | | | | | | | | | | | | | | |
| 밀도 (점수/) ^{m²} | 5 | 2 | 0.5 | 0.2 | 0.04 | | | | | | | | | | | | | | | |
| GNSS 기준국 | - 기준국 설치 및 적정성 | | | | | | 실내(표본)검사 (5~10% 검사) | 적, 부 | | | | | | | | | | | | |
| 항공기 경사 | - 15도 이내 | | | | | | 실내(표본)검사 (5~10% 검사) | 적, 부 | | | | | | | | | | | | |
| 검사점 측량 | - 검사점은 작업량의 5-10%에 대하여 도엽당 5점 이상 선정 - 작업지역 외곽으로 4점 이상, 중앙부분에 1점 이상 배치 - 품질관리표 작성 - 관리파일 | | | | | | 실내(표본)검사 (5~10% 검사) | 적, 부 | | | | | | | | | | | | |
| 파일 | - ASCII X Y Z 형식 또는 DXF 등 - 격자크기 - 사용된 보간법의 적정 - 도곽분할 (측척별 수치지도 도엽과 동일) | | | | | | 실내(표본)검사 (5~10% 검사) | 적, 부 | | | | | | | | | | | | |
| 불연속선설정 | | | | | | | 실내(표본)검사 (5~10% 검사) | 적, 부 | | | | | | | | | | | | |
| 정확도 | 저작된 표고자료와 검사점에 대한 RMSE의 적정 여부 | | | | | | 실내(표본)검사 (5~10% 검사) | 적, 부 | | | | | | | | | | | | |
| | 격자규격 | | 표준편차 | | 최대오차 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5m×5m | | ±1.0m | | ±1.5m | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10m×10m | | ±2.0m | | ±3.0m | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 30m×30m | | 설계서에 준하여 검사 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

용역사업검사기준

[별표 8]

수치정사사진지도·위성영상지도제작 검사표

수치정사사진지도제작, 위성영상지도제작(○○지구)

| 검 사 항 목 | 검 사 대 상 | 기 준 이 내 | 완성도(%) | 판 정 | 비고 |
|--------------|----------------|---------|--------|--------------|----|
| 1. 자료수집 | | | | 적 합 (부적합) | |
| 가. 영상자료 | 썬(매) | 썬(매) | | | |
| 나. 기준점성과 | 개 | 개 | | | |
| 다. 수치표고자료 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 2. 정사영상제작 | | | | | |
| 가. 표정 | 매 | 매 | | | |
| 나. 영상집성 | 매 | 매 | | | |
| 다. 영상융합 | 매 | 매 | | | |
| 라. 보안지역 | 매 | 매 | | | |
| 3. 영상지도제작 | | | | | |
| 가. 레이어 추출 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 나. 주기형식 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 다. 영상편집 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 라. 난외주기 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 마. 성과파일 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 바. 도곽구성 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 사. 평면오차 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 아. 인접색상 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 자. 관리파일 | 도엽 | 도엽 | | | |
| 총 합 판 정 | 구 분 직 책 | 직 급 | 성 명 | 서 명 | |
| 합 격 (불합격) | 검 사 관 보조검사관 | | | | |

용역사업검사기준

수치정사사진지도 · 위성영상지도제작 검사기준

| 작업공정 | 검 사 항 목 | 검 사 기 준 | | 검 사 방 법 | 비고 |
|---------------|---------|----------------------------|----------|------------------------|------|
| 정사영상 제작 | 표정 | 해상도 | 허용오차 | 실내(표본)검사 (5~10% 검사) | 적, 분 |
| | | 10m/화소 이상 | 2화소 이내 | | |
| | | 20m/화소 이상 | 1.5화소 이내 | | |
| | | 20m/화소 미만 | 1화소 이내 | | |
| | 영상집성 | 색상보정, 색상의 연속성 | | | |
| | 영상융합 | 고해상의 영상 생성 | | | |
| | 보안지역 | 보안지역에 대한 위장처리 | | | |
| 영상지도 제작 | 레이어추출 | 수치지도에서 추출한 지형·지물에 대한 벡터 자료 | | 실내(표본)검사 (5~10% 검사) | 적, 부 |
| | 주기형식 | 축척 및 영상의 식별성 고려 | | | |
| | 영상편집 | 지형도도식적용규정 적용 | | | |
| | 난외주기 | 지도도식규칙 적용(변경가능) | | | |
| | 성과파일 | 누락 및 오기 확인 | | | |
| | 도곽구성 | 지도도식규칙 적용 | | | |
| | 평면오차 | 도상 1.0mm 이내 | | | |
| | 인접색상 | 인접지역의 색상 일치 | | | |
| | 관리파일 | 위성영상자료관리파일 확인 | | | |
| | | 영상지도성과 파일 확인 | | | |
| 수치표고자료관리파일 확인 | | | | | |

3차원국토공간정보구축작업규정

[별표7] 3차원 국토공간정보 품질평가 기준

| 품질요소 | 세부요소 | 세세부요소 | 품질평가 기준 |
|-----------|--------------------------------|-----------------------|---|
| 완전성 | 누락 | 대상영역 누락 | ◦ 공간적 범위에서 누락된 영역 확인 - 제10조(작업시행계획서 작성) |
| | | 대상객체 누락 | ◦ 표준데이터셋의 누락된 객체 확인 - 제10조(작업시행계획서 작성) |
| 논리 일관성 | 개념 일관성 | 세밀도 일관성 | ◦ 표준데이터셋이 세밀도 규정에 맞게 제작되었는지 확인 - 제15조(3차원 교통데이터 제작방법) - 제16조(3차원 건물데이터 제작방법) - 제17조(3차원 수자원데이터 제작방법) |
| | | 가시화 일관성 | ◦ 가시화정보가 세밀도 규정에 맞게 제작되었는지 확인 - 제20조(가시화정보 제작방법) |
| | 위상 일관성 | 2차원정보 구조화 일관성 | ◦ 기초자료의 위상관계 확인 - 제13조(기초자료 편집) - 별표2(3차원 국토공간정보 기본 기하 제약조건) |
| | | 3차원정보 구조화 일관성 | ◦ 표준데이터셋의 위상관계 확인 - 별표2(3차원 국토공간정보 기본 기하 제약조건) - 별표3(3차원 국토공간정보 공간객체 기본 제약조건) |
| 위치 정확성 | 절대적 또는 외적 정확성 | 기준좌표계 정확성 | ◦ 3차원 국토공간정보 기준좌표계의 정확성 확인 - 제4조(위치기준) |
| | | 2차원 위치정보 정확성 | ◦ 편집된 자료의 위치정확성 확인 - 제4조(위치기준) - 제12조(기초자료 취득) - 제13조(기초자료 편집) |
| | | 3차원 위치정보 정확성 | ◦ 표준데이터셋의 위치정확성 확인 - 제4조(위치기준) - 제12조(기초자료 취득) - 제14조(3차원 국토공간정보 제작기준) |
| | 상대적 또는 내적 정확성 | 2차원정보 경계인접 | ◦ 편집된 기초자료의 경계 인접부 정확성 확인 - 제12조(기초자료 취득) - 제13조(기초자료 편집) |
| | | 3차원정보 경계인접 | ◦ 표준데이터셋 각각의 경계인접부 정확성 확인 - 제12조(기초자료 취득) - 제13조(기초자료 편집) - 제14조(3차원 국토공간정보 제작기준) |
| | | 가시화정보 정합 | ◦ 가시화정보 정합여부 확인 - 제20조(가시화정보 제작방법) - 제21조(가시화정보 지상표본거리) |
| | 그리드 데이터 위치 정확성 | 3차원 지형데이터 위치정확성 | ◦ DEM의 격자간격 정확도 확인 ◦ 정사영상의 위치정확도 확인 ◦ 3차원 지형데이터의 지형지물 왜곡 및 오류 확인 - 제18조(3차원 지형데이터 편집방법) |
| | | | |
| 주제 정확성 | 분류 정확성 | 항목 분류 정확성 | ◦ 표준데이터셋 항목의 분류 정확성 확인 - 별표 1(3차원 국토공간정보 표준데이터셋) |
| | 속성 정확성 | 속성내용불일치 | ◦ 표준데이터셋의 속성내용 불일치 확인 |
| | | 속성내용누락 | ◦ 표준데이터셋의 속성내용 누락 확인 |
| 기타 | 관리파일 작성오류 | 메타데이터 누락 | ◦ 메타데이터의 작성여부, 오류 및 누락 확인 - 제28조(메타데이터 작성) |
| | 성과품 누락 | 성과품 누락 | ◦ 최종성과품들의 누락여부 확인 - 제29조(성과품) |

3차원국토공간정보구축작업규정

〔별표8〕 3차원 국토공간정보 품질요소 오류율 산정기준

| 데이터 품질요소 | 데이터품질 세부요소 | 데이터 품질 오류율 산정 공식 |
|-----------|---------------|--------------------------|
| 완전성 | 누락 | $L / (A + L) \times 100$ |
| 논리 일관성 | 개념 일관성 | $(E / A) \times 100$ |
| | 데이터형식 일관성 | $(C / A) \times 100$ |
| | 위상 일관성 | $(F / A) \times 100$ |
| 위치 정확성 | 절대적 또는 외적 정확성 | $(E / A) \times 100$ |
| | 상대적 또는 내적 정확성 | $(E / A) \times 100$ |
| | 그리드데이터 위치정확성 | $(E / A) \times 100$ |
| 주제 정확성 | 분류 정확성 | $(B / A) \times 100$ |
| | 속성 정확성 | $(B / A) \times 100$ |
| 기타 | 관리파일 작성 오류 | $L / (A + L) \times 100$ |
| | 성과품 누락 | $L / (A + L) \times 100$ |

※ 범례

L : 누락항목

C : 정해진 구성을 준수하지 않는 항목 수

A : 품질적용 범위내의 총 항목 수

E : 영역을 초과한 항목 수

F : 정해진 위상을 준수하지 않는 항목 수

B : 분류나 속성이 틀린 항목 수

〔별표9〕 3차원 국토공간정보 품질검사 방법별 품질요소 적용범위 및 합격기준

| 항 목 | | | 검사방법 | | 합격기준 |
|-------------|------------------|--------------------|----------|----------|---------------|
| 데이터 품질요소 | 데이터품질 세부요소 | 데이터품질 세세부요소 | 화면 검사 | 현장 검사 | 오류율 (% 이내) |
| 완전성 | 누락 | 대상영역 누락 | ● | | 0% |
| | | 대상객체 누락 | ● | | 0% |
| 논리 일관성 | 개념 일관성 | 세밀도 일관성 | ● | | 5% |
| | | 가시화 일관성 | ● | | 5% |
| | 위상 일관성 | 2차원정보 구조화 일관성 | ● | | 5% |
| | | 3차원정보 구조화 일관성 | ● | | 5% |
| 위치 정확성 | 절대적 또는 외적 정확성 | 기준좌표계 정확성 | ● | | 0% |
| | | 2차원 위치정보 정확성 | ● | ● | 5% |
| | | 3차원 위치정보 정확성 | ● | ● | 5% |
| | 상대적 또는 내적 정확성 | 2차원정보 경계인접 | ● | ● | 5% |
| | | 3차원정보 경계인접 | ● | ● | 5% |
| | | 가시화이미지 정합 | ● | ● | 5% |
| | 그리드데이터 위치정확성 | 3차원 지형데이터 위치정확성 | ● | ● | 5% |
| 주제 정확성 | 분류 정확성 | 항목 분류 정확성 | ● | | 5% |
| | 속성 정확성 | 속성내용 불일치 | ● | | 5% |
| | | 속성내용 누락 | ● | | 5% |
| 기타 | 관리파일 작성오류 | 메타데이터 누락 | ● | | 5% |
| | 성과품 누락 | 성과품 누락 | ● | | 0% |

접근불능지역 공간정보구축 작업규정(안)

<별표 4> 접근불능지역 기본공간정보 품질요소 오류율 산정기준

| 데이터 품질요소 | 데이터품질 세부요소 | 데이터 품질 오류율 산정 공식 |
|----------|---------------|--------------------------|
| 완전성 | 누락 | $L / (A + L) \times 100$ |
| 논리 일관성 | 개념 일관성 | $(E / A) \times 100$ |
| | 데이터형식 일관성 | $(C / A) \times 100$ |
| | 위상 일관성 | $(F / A) \times 100$ |
| 위치 정확성 | 절대적 또는 외적 정확성 | $(E / A) \times 100$ |
| | 상대적 또는 내적 정확성 | $(E / A) \times 100$ |
| | 그리드데이터 위치정확성 | $(E / A) \times 100$ |
| 주제 정확성 | 분류 정확성 | $(B / A) \times 100$ |
| | 속성 정확성 | $(B / A) \times 100$ |
| 기타 | 관리파일 작성 오류 | $L / (A + L) \times 100$ |
| | 성과품 누락 | $L / (A + L) \times 100$ |

※ 범례

L: 누락항목

C: 정해진 구성을 준수하지 않는 항목 수

A: 품질적용 범위내의 총 항목 수

E: 영역을 초과한 항목 수

F: 정해진 위상을 준수하지 않는 항목 수

B: 분류나 속성이 틀린 항목 수

<별표 5> 접근불능지역 기본공간정보 품질검사 방법별 품질요소 적용범위 및 합격기준

| 항 목 | | | 검사방법 | 합격기준 |
|-----------|---------------|-------------|------|-----------|
| 데이터 품질 요소 | 데이터품질 세부요소 | 데이터품질 세부요소 | 화면검사 | 오류율(% 이내) |
| 완전성 | 누락 | 대상영역 누락 | ● | 0% |
| | | 대상객체 누락 | ● | 0% |
| 논리일관성 | 위상 일관성 | 구조화 일관성 | ● | 5% |
| 위치 정확성 | 절대적 또는 외적 정확성 | 기준좌표계 정확성 | ● | 0% |
| | | 위치정보 정확성 | ● | 5% |
| | 상대적 또는 내적 정확성 | 경계인접 | ● | 5% |
| | | 지형데이터 위치정확성 | ● | 5% |
| 주제 정확성 | 분류 정확성 | 항목 분류 정확성 | ● | 5% |
| | 속성 정확성 | 속성내용 불일치 | ● | 5% |
| | | 속성내용 누락 | ● | 5% |
| 기타 | 관리파일 작성오류 | 메타데이터 누락 | ● | 5% |
| | 성과품 누락 | 성과품 누락 | ● | 0% |

접근불능지역 공간정보구축 작업규정(안)

<별표 3> 접근불능지역 공간정보 품질평가 기준 (접근불능지역 공간정보 통합체계 ISP 수립 연구, 2011)

| 품질 요소 | 세부요소 | 세세부 요소 | 품질평가 기준 |
|--------|---------------|-----------|--|
| 완전성 | 누락 | 대상영역 누락 | ○ 공간적 범위에서 누락된 영역 확인 - 제9조(작업시행계획서 작성) |
| | | 대상객체 누락 | ○ 데이터의 누락된 객체 확인 - 제9조(작업시행계획서 작성) |
| 논리 일관성 | 위상 일관성 | 구조화 일관성 | ○ 기초자료의 위상관계 확인 - 제12조(자료의 편집) ○ 기본공간정보 위상관계 확인 - 별표3(공간객체 기본 제약조건) |
| 위치 정확성 | 절대적 또는 외적 정확성 | 기준좌표계 정확성 | ○ 기준좌표계의 정확성 확인 - 제4조(위치기준) |
| | | 위치정보 정확성 | ○ 편집된 자료의 위치정확성 확인 - 제4조(위치의 기준) - 제13조(자료의 취득) - 제14조(자료의 편집) |
| | 상대적 또는 내적 정확성 | 경계인접 | ○ 편집된 기초자료의 경계 인접부 정확성 확인 - 제13조(자료의 취득) - 제14조(자료의 편집) |
| | 지형 데이터 위치 정확성 | | ○ DEM의 격자간격 정확도 확인 ○ 정사영상의 위치정확도 확인 ○ 지형데이터의 지형지물 왜곡 및 오류 확인 |
| 주제 정확성 | 분류 정확성 | 항목 분류 정확성 | ○ 기본공간정보 항목의 분류 정확성 확인 |
| | 속성 정확성 | 속성내용 불일치 | ○ 기본공간정보의 속성내용 불일치 확인 |
| | | 속성내용 누락 | ○ 기본공간정보의 속성내용 누락 확인 |
| 기타 | 관리파일 작성 오류 | 메타데이터 누락 | ○ 메타데이터의 작성여부, 오류 및 누락 확인 |
| | 성과품 누락 | 성과품 누락 | ○ 최종성과품들의 누락여부 확인 |

Abstract

A Study on Large Scale Geospatial Data Generation from High-Resolution Satellite Images for the Polar Application

Oh, Jaehong · Lee, Changno · Lee, Hyoseong · Jang, Youngjae · Jeong, Jaejoon ·
Choi, Jaewan · Han, dongyeob · Ha, Eunhye · Jeon, Junyeong

Korea started the polar research relatively late than other countries such as USA, UK, Australia, and Japan but accredited as full member of scientific committee on Antarctic research (SCAR) and gained observer status in the Arctic council through the recent academic contribution. Nowadays Korea supports various polar researches based on established laws to promote polar activities, and master plans for Arctic and Antarctic researches.

Polar research includes various studies on climate change, natural resource exploration, etc. These studies require a lot of geospatial data such as topographic maps, orthoimages, and digital elevation models for field trips and remote surveyings. However the polar areas are vast and rapidly change due to heavy snow and climate changes. In addition, the field strips for area of interests require up-to-date geospatial data. To meet these requirement, National Geographic Information Institute (NGII) has been generating basic geospatial data for area of interests since 2008. The data coverage is limited to Arctic and Antarctic stations and the data update was not rapid enough. However first CAS-500 satellite was launched in Mar 2021 and the second satellite will be launched in 2022. These high-resolution satellite data are expected to significantly improve the polar data acquisition capability and the up-to-date geospatial data generation will be possible.

This study presents technical and administrative geospatial data generation strategies from CAS-500 1/2. The polar geospatial data generation from high-resolution satellite

data has been sporadically carried out so the need for the systematical data generation strategy has been raised. Therefore this report consisting of four sub-chapters includes the satellite data acquisition and process strategy, geospatial accuracy analysis without control points, surveying of area of interests in top priority, data update cycles, and guidelines for the processing and quality controls. Firstly, the satellite image acquisition strategies were presented considering acquisition times, angles, weather, the topography, and stereo geometry. Then the sensor modeling approaches without control information were proposed such as multi-image bundle adjustment and ICESAT (Ice, Cloud, and Land Elevation Satellite) matching. In addition, strategies have been derived for large scale digital topographic mapping, orthorectification, digital elevation model extraction, and coastline derivation. Secondly, the data generation strategies were tested and verified for areas in Korea and Antarctica. Through the tests, we verified accuracy and derived implications about the coordinate system, layer descriptions such as contour line, glacier and crevasses. Thirdly, we proposed the update cycle of 2~4 years with non-periodic on-demand data update considering the data coverage and applications. It is necessary to increase data accessibility through the API of NGII data platform and organize a geospatial working group. Finally, the manuals and guidelines for geospatial data generation and quality controls are presented considering CAS-500 and inaccessible area characteristics.

The proposed and derived strategies should be used for the operation and application of CAS-500 1/2 for geospatial data generation in polar and inaccessible area. In long term, it is expected to contribute to international polar researches.

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토교통부 국토지리정보원의 수탁을 받아 사단법인 한국측량학회 컨소시엄에서 수행한 보고서입니다.
2. 본 내용을 대외적으로 게재, 인용할 때에는 반드시 국토교통부 국토지리정보원의 사전 허락을 받기 바라며, 무단 복제는 절대 금합니다.

극지역 공간정보 활용성 제고방안 연구

인쇄·2021년 9월

발행·2021년 9월

발행자·사단법인 한국측량학회

발행처·국토교통부 국토지리정보원

주소·경기도 수원시 영통구 월드컵로 92(원천동)

전화·031-210-2700

FAX·031-210-2644