

발 간 등 록 번 호
11-1613436-000303-01

국토위성 사용자 친화형 영상 제품 연구개발 및 시범제작

제 출 문

국토지리정보원장 귀하

본 보고서를 「국토위성 사용자 친화형 영상 제품 연구개발 및 시범 제작」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2022. 5

(주)쓰리디랩스 권소시엄

참여연구진

김태정	(주)쓰리디랩스	연구책임자
김한결	(주)쓰리디랩스	연구원
황윤혁	(주)쓰리디랩스	연구원
서원우	(주)쓰리디랩스	연구원
남윤지	(주)쓰리디랩스	연구원
김선화	(주)유에스티21	책임연구원
김태호	(주)유에스티21	연구원
민지은	(주)유에스티21	연구원
박진호	(주)유에스티21	연구원
유정미	(주)유에스티21	연구원
신혜경	(주)유에스티21	연구원
은 정	(주)유에스티21	연구원
이규성	인하대학교	정교수
윤성주	인하대학교	연구원
반승환	인하대학교	연구원
김문규	(주)에스아이아이에스	대표이사
최옥현	(주)에스아이아이에스	연구원
홍민녀	(주)에스아이아이에스	연구원
문영란	(주)에스아이아이에스	연구원

자문위원

송아람	경북대학교	조교수
신정일	서울기술연구원	수석연구원
안호용	국립농업과학원	연구사
이기원	한성대학교	정교수
임중빈	국립산림과학원	연구사
정재훈	국립환경과학원	연구관

국토지리정보원

김형수	국토위성센터	센터장
양효진	국토위성센터	연구관
홍단비	국토위성센터	연구사

국토위성 복사/대기보정 기술개발

복사보정(Radiometric correction)은 탑재체(카메라)가 감지/기록된 영상신호에서 지표물에서 반사된 순수한 광량과 무관한 잡음 또는 오차를 최소화하는 처리과정을 의미한다. 본 과업에서는 국토위성영상의 절대복사보정방안과 대기보정방안을 마련하였다. 우선, 국토위성영상의 절대복사보정을 위해 국제 검보정사이트인 RadCalNet과 현장 타프 설치 사이트를 대상으로 위성 촬영 시 현장에서 측정된 지표 반사율, 수증기량, 오존량, AOD 자료를 수집한다. 이 자료들을 복사전달모델에 입력하여 국토위성에서 탐지될 Radiance를 모의한 후 이를 국토위성영상의 DN값과 비교, 1차 회귀식을 산출하며, 회귀식의 기울기와 y절편값이 절대복사보정계수로 정의된다. 회귀식 산출을 위해서는 10개 이상의 자료가 사용되어야 하며, 부정확도가 10%이하로 추정되어야 한다. 절대복사보정된 Radiance영상을 표면반사율로 변환하기 위해서 대기보정이 수행된다. 이를 위해서는 절대대기보정용 LUT가 선구축되어야 하며, 본 LUT에는 국토위성 촬영 시 예측되는 기하학적 정보와 함께 센서, 대기정보와 국토위성의 Radiance에 해당되는 반사율 변환계수정보가 저장된다. 화소별 Radiance가 입력되면, 해당 기하, 대기, 센서 정보를 LUT에서 찾아 화소별 반사율 변환계수가 정의, 적용되면서 화소별 반사율값이 산출된다. 단, 절대대기보정이 실패 시 백업 모델인 상대대기보정이 적용된다. 상대대기보정은 Invariant target을 추출, 사전 정의된 참조 반사율과의 회귀식을 산출, 영상 전체에 적용하여 반사율 영상을 획득한다. 이렇게 산출된 국토위성 표면반사율영상은 현장 관측 반사율이나 드론, 타위성 영상을 이용하여 유효성 검증이 수행된다. 국토위성 표면반사율의 부정확도는 아직 초기 운용 단계이기 때문에 10% 이하로 설정된다. 본 복사 및 대기보정 기술은 탑재체 개발 및 기술 영상 품질관리 기관에서 보다 정확한 기본 복사보정 및 절대복사보정이 수행되는 것을 가정하고 개발하였으며, 이를 통해 보다 정확도 높은 국토위성 표면반사율 영상의 생성을 기대할 수 있다. 또한 국토위성을 비롯하여 광학위성영상의 지속적인 복사보정을 위해 몽골 사막지역에 영구적인 복사보정 사이트의 설치·운영이 요구된다.

픽셀단위정보 생성 기술 개발

국토위성 영상의 픽셀단위정보 생성 기술을 개발하기 위해 구름, 그림자, 수계 등 각 픽셀단위 정보 항목에 특화된 알고리즘을 설계하고 개발하였다. 픽셀단위정보 알고리즘 설계는 기존 연구사례를 통해 국토위성영상 사양에 적합한 알고리즘을 선별하고 그 중에서 시간 대비 처리 성능이 뛰어난 알고리즘을 다시 한번 선별하여 기술개발을 진행하였다. 고해상도 위성영상은 일반적으로 중·저해상도 위성영상과 영상 특성이 달라 알고리즘을 국토위성에 맞게 최적화하는

Ⅰ 요약 Ⅰ

과정을 수행하였으며, 국토지리정보원이 보유하고 있는 DEM 및 수치지형도를 이용하여 보완할 수 있는 절차를 추가로 고려하였다. 본 과업에서 설계한 픽셀단위정보 알고리즘은 사용자에게 보다 정확한 정보만을 제공하고 오탐지율을 줄이는 것에 초점을 맞춰 포함오차가 최대한 발생하지 않도록 설계하였으며 검증 결과에서도 포함오차가 낮은 결과를 확인할 수 있다. 픽셀단위정보 제공 방안 및 신뢰도 제공 방안은 해외 ARD 관련 공개 자료 및 문헌을 조사하여 국토위성에 적합한 제공 방안을 수립하고자 하였다. 그 결과로 비전문가도 즉각적으로 이해하고 사용할 수 있도록 국토위성 픽셀단위정보는 입력영상의 지리좌표체계를 채택한 0과 1값으로 구성된 이진마스크 형태를 기반으로 사양과 제공 형태를 정의하였다. 해당 과정에서 기존 산출물 파일 명명 규칙을 분석하여 국토위성 픽셀단위정보와 더불어 사용자 친화형 영상 제품의 파일 명명 규칙을 새롭게 수립하였다. 또한, 국토위성 픽셀단위정보에서 구름 산출물은 사용자가 원하는 신뢰도 정보만을 사용할 수 있도록 OCM 알고리즘 기반의 높은 신뢰도 구름과 낮은 신뢰도 구름 산출물을 제공할 수 있도록 방안을 수립하였다.

국토위성기반 사용자 친화형 영상 제품 시범제작

아직까지 공식적인 국토위성의 절대복사보정계수가 제공되고 있지 않아, 본 과업에서는 국토위성 표면반사율 영상을 제작하기 앞서 RadCalNet 사이트를 대상으로 총 10개의 자료를 사용하여 국토위성영상의 밴드별 초기 절대복사보정계수를 산출하였다. 이후 한반도를 촬영한 국토위성영상 총 8편을 대상으로 각종 대기, 기하, 센서정보를 수집하여 FLAASH S/W기반 절대대기보정을 수행, 표면반사율 영상을 제작하였다. 픽셀단위정보는 절대복사보정계수를 기반의 TOA 반사율로 자료를 변환한 후 제작을 수행하였다. 또한, 국토지리정보원에서 보유하고 있는 수치지형도와 DEM 자료를 수집 및 활용하였다. Scene 단위로 제작된 표면반사율 영상과 픽셀단위정보는 정해진 사양에 맞게 제작되었는지 검수 과정을 거치고 나서 자체 개발한 모듈을 통해 1:5,000 도엽단위로 분할되어 도엽단위 제품 패키지로 재생성하였다. 최종적으로 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 패키지 제작을 위해 썸네일 이미지와 메타정보를 제작하여 표면반사율 영상, 픽셀단위정보, 썸네일 이미지, 메타정보로 구성된 최종산출물 패키지를 제작하였다. 최종 산출물 패키지는 총 49개 패키지를 제작하였으며, 해당 산출물은 사용자 만족도 설문조사의 테스트 제품으로 제공하였다.

사용자 친화형 영상 제품 관련 설명서 제작

국토위성 사용자 친화형 영상 제품 관련 설명서는 제품 사양설명서와 제품 사용설명서로 구분할 수 있으며, 본 문서는 향후 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 서비스 운영 시 배포 및 관리되는 문서이다. 시범제작 제품 관련 문서를 제작하기 위해 국내·외 위성정보 산출물 제품 설명서를 참고하여 적합한 항목으로 내용을 구성하였다. 제품 사양설명서에 서술할 내용을 도출하기 위해 시범제작 산출물 패키지를 분석하여 제품 사양(자료형, 파일 포맷, 좌표계 등)을 결정하고 산출물의 명명 규칙과 메타정보의 구조를 새로 설계하였다. 제품 사용설명의 경우, 위성영상을 전문적으로 사용해오던 전문 사용자가 아닌 위성영상 및 사용자 친화형 영상 제품에 생소한 일반 사용자에게 초점을 맞춰 내용을 구성하였다. 제품의 이해와 사용을 이끌어내기 위해 대표 원격탐사·GIS 소프트웨어인 QGIS, ENVI, ArcGIS를 기반으로 산출물의 활용 예시에 대한 가이드를 제공하였다. 제품 관련 문서는 알고리즘의 변경이나 사용자 피드백 등을 반영하여 지속적으로 업데이트가 수행되므로 문서 작성과 함께 문서 관리 방안을 수립하였다. 제품 관련 문서는 모두 2자리 버전형식으로 수정·관리·배포가 이루어져야 하며, 버전이 변경될 때마다 문서 버전, 일자, 개정 이력이 모두 최신화될 수 있도록 방안을 수립하였다.

시범제작 결과 검증

시범 제작된 국토위성의 표면반사율 영상의 검증을 위해 국내 화성과 의왕지역에 테스트베드를 선정하였고, 향후 지속될 현장 실험의 일관적인 수행을 위해 현장 반사율 관측 실험 매뉴얼, 계획 및 결과보고서를 작성하였다. 이를 통해 화성(47지점)과 의왕(28지점)지역을 대상으로 총 3회의 현장 지표반사율 측정 및 드론 촬영이 수행되었다. 또한, 대기보정을 위한 다양한 대기, 기상정보의 (준)실시간 자동 수집 방안이 설계되었다. 교차 검증을 위해 Landsat 8/9, Sentinel-2A/B, 드론 영상도 수집되었다. 동시에 관측된 국토위성과 ASD 반사율과의 관계는 0.75~0.95의 높은 상관계수를 보이고 있다. 반사율이 비교적 높은 근적외선에서 가장 높은 RMSE가 나타났다. 두 영상의 비율을 살펴보면 청색광영역을 제외하고 0.6~0.8사이의 ratio를 보이고 있으며, 청색광영역에서는 화성시 영상의 경우 ASD가 국토위성에 비해 2배 이상 높은 반사율 수치를 보이고 있다. 전체적으로 국토위성영상의 청색광 영역은 낮은 반사율을 보이는 것으로 나타났다. Sentinel이나 드론 영상은 국토위성영상과 대부분 0.6~0.8 사이의 상관계수를 나타내나, Landsat 8/9 위성영상의 경우 도심지와 같이 다양한 피복을 보이는 지역에서는 0.3의 낮은 상관계수를 보이고, 산림과 같이 단일 피복이 주로 분포하는 지역에서는 0.7 이상의 상관계수를 나타내었다. Invariant target에 대해 국토위성영상의 반사율 영상에서는 시계열적

Ⅰ 요약 Ⅰ

변화가 작게 나타났다. 결론적으로 향후 정확한 국토위성 표면반사율 영상 제작을 위해서는 보다 정확한 기본복사보정 및 절대복사보정이 선행되어야 한다.

시범제작한 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보 유효성 검증을 위해 영상 육안 분석을 통해 기준자료를 생성하였으며, 생성된 기준자료와 픽셀단위정보 비교결과를 정확도 (Accuracy), 정밀도 (Precision), 재현율 (Recall), F1 score, IoU, 작위오류 (Commission Error), 누락오류 (Omission Error), Cohen's Kappa 계수로 구분하여 총 8개의 통계적 성능 지표로 제시하였다. 픽셀단위정보별 성능분석 결과 모든 항목의 Cohen's Kappa 계수가 0.42 ~ 0.92로 대체적으로 양호하거나 우수한 성능을 나타냈다. 그러나, 구름, 구름 그림자, 지형 그림자와 항목에서 상대적으로 높은 누락오류를 확인하였다. 따라서, 더욱 정확한 픽셀단위정보 제공을 위해 과소추정에 대한 추가적인 개선이 이루어져야 할 것이다.

제품 활용성과 용이성을 검토하기 위해 유상/무상 원격탐사 소프트웨어를 활용하였으며, 분석 내용을 토대로 제품 사용설명서를 제작하였다. 추가로 ARD 규격 중 하나인 CARD4L SR의 요구사항에 대한 자체평가를 수행하였다. 자체평가 결과, 시범제작한 제품 기준으로 요구사항을 모두 만족하였으나, 일반 메타정보의 알고리즘 정보, 자료 접근 항목, 복사/대기 정보의 대기분산, 수증기보정 및 오존 정보와 기하보정 항목들은 아직 시범제작단계로서 지속적인 관리가 요구된다.

시범제작된 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 실효성 및 편의성을 평가하고 개선점을 도출하기 위해 위성정보 관련 전문가를 대상으로 만족도 조사를 실시하였다. 만족도 조사 결과, 종합만족도 76점 (100점 만점 기준)으로 전체적으로 양호한 만족도를 보여주어, 정밀정사보정, 표면반사율 제공, 규격화, 픽셀단위정보 제공 등 국토위성 사용자 친화형 영상 제품이 국토위성 위성영상 제품의 사용자 용이성 및 편의성을 향상시켰음을 확인하였다. 기타 의견을 통해 정밀정사보정에 대한 세분화된 정보와 표면반사율에 대한 품질 제고 및 지속적 관리, 픽셀단위정보의 과소추정 등에 대한 개선점이 도출되었으며 이를 위한 추가적인 연구 및 개발이 진행되어야 한다.

주요 기능 및 인프라 요구사항 도출

국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 정의 및 사양을 충족하는 영상 제품을 자동 생산하기 위해 먼저 절대대기보정에 필요한 외부 보조자료를 식별하였다. 웹에 업로드된 외부 보조자료가 시스템에 자동으로 저장할 수 있는지 알아보기 위해 웹 크롤러를 이용한 웹 크롤링을 수행하였고, 그 결과 시정, 수증기량, 에어로졸 두께, 오존 자료 모두 정상적일 크롤링이 되는 것을 확인하였

다. 그 후 외부 보조자료 시스템과 기존 국토위성센터와의 연계 방안을 설계하였다. 기존 국토 위성센터에 망연계 네트워크가 구성되어 있어 외부망과 내부망을 통과하는 내·외부 공용 스토 리지를 통해 보조자료를 수집할 수 있도록 시스템을 설계하였다. 수집된 보조자료는 내부망을 통해 활용시스템에 접근하고사 용자 친화형 영상 제품 생산 SW가 설치된 PC와 연계되어 국토 위성 사용자 친화형 영상 제품을 자동으로 생산하는 프로세스를 설계하였다. 해당 프로세스와 국토위성 설계수명, 국토위성센터 보유 자원을 고려한 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 자동 생산에 필요한 기능 및 인프라 요구사항도 제시하여 최종적으로 국토위성센터 시스템과의 연계 구축 및 서비스 구성도를 제시하였다.

국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 방안 마련

위성센서의 성능은 발사 후 지속적으로 저하되기 때문에 위성 발사 후 주기적인 품질 모니터링 이 필요하다. 이에 국토위성도 타위성의 갱신주기와 동일하게 2년 주기로 안정적이며 지속적인 절대복사보정계수를 공급해야 한다. 이를 위해 지속적으로 운영되는 RadCalNet이나 몽골 같 은 사막 지역에 타프를 고정 설치하여 주기적으로 절대복사보정계수를 추정한다. 이와 함께 국 토위성센서의 광학적 품질 확인을 위해 분기별 MTF와 SNR을 시계열로 모니터링이 수행된다. 또한, 국토위성영상의 대기보정 산출물의 검증을 위해서는 지상에서 관측된 반사율자료, 드론 영상, 타위성자료를 이용한 반사율 패턴 및 정확도 평가가 이루어진다. 검증을 위해서는 반드시 국토위성의 분광반응함수에 맞춰 보정해야 하며, 좌표정보를 맞춰져야 한다. 점관측자료인 ASD 분광반사율 자료와는 위성영상에서 3*3 평균 반사율값을 추출 후 일대일 대응 그래프와 RMSE값을 계산해야 한다. 래스터자료인 드론 및 타위성자료는 해상도가 낮은 영상의 공간해 상도로 리샘플링한 후 중첩지역에 대해 화소 대 화소의 일대일 대응 그래프 및 상관계수를 산출 한다. 이와 함께 시간적 반사율 변이가 적은 Invariant target을 선정하여 국토위성영상의 시계 열 반사율 변이를 분석해 대기보정 결과의 유효성을 검증할 수 있다. 복사·대기보정 관련 품질 관리 방안에 추가로 픽셀단위정보는 3개월 혹은 6개월의 주기로 검증을 수행하는 것으로 품질 관리 방안을 수립하였다. 관리자는 검증 영상에 대한 참값 자료를 수집하고 정확도를 측정하여 사용자에게 픽셀단위정보에 대한 성능을 정량적으로 제공해야 한다. 또한, 기하정보에 대한 성 능도 3개월 혹은 6개월의 주기로 검증 영상을 대상으로 절대위치정확도와 다중 분광-시계열 영상 정합 정확도를 측정하여 사용자에게 정량적 평가 결과를 제공해야 할 것으로 생각된다. 품질관리 평가 결과를 제공할 때, 타 위성 관련 기관과 동일하게 알고리즘 문서 혹은 품질관리 보고서 형태로 제공해야 한다.

| 목차 |

제1장 연구개요	1
1. 연구 배경	3
2. 연구 목표	4
3. 연구 범위	4
제2장 국토위성 표면반사율 영상 및 픽셀단위정보 생성 기술 개발	5
1. 국토위성 복사/대기 보정 기술 개발	7
가. 절대복사보정계수 산출 방안 수립	7
나. 표면반사율 영상 생성 기술 개발	34
2. 픽셀단위정보 생성 기술 개발	61
가. 구름 및 구름그림자 탐지 기술 개발	61
나. 지형 및 지물그림자 탐지 기술 개발	78
다. 수계 탐지 기술 개발	97
라. 픽셀단위정보 제공 방안 연구	111
마. 픽셀단위정보(구름) 신뢰도 제공 방안 연구	124
제3장 사용자 친화형 영상 제품 시범제작	133
1. 국토위성기반 사용자 친화형 영상 제품 시범제작	135
가. 국토위성영상 및 보조자료 확보	135
나. 시범제작 프로세스 구축	140
다. 표면반사율 영상 제작	142
라. 픽셀단위정보 제작	180
마. 최종산출물 패키지 제작	190
2. 사용자 친화형 영상 제품 관련 설명서 제작	196
가. 사용자 친화형 영상 제품 사양 도출	196
나. 제품 사양설명서 제작	202
다. 제품 사용설명서 제작	203
라. 제품관련 문서 버전관리 방안 수립	204

제4장 시범제작 결과 검증 및 지속적 구축 방안 마련	207
1. 시범제작 결과 검증	209
가. 표면반사율 유효성 검증	209
나. 픽셀단위정보 유효성 검증	226
다. 시범제작 산출물 용이성 검증	241
라. 시범제작 패키지의 사용자 만족도 조사	248
마. 현장검증 테스트베드 선정	264
2. 주요 기능 및 인프라 요구사항 도출	285
가. 외부 보조자료 수집 방안 설계	285
나. 보조자료 수집 시스템 연계방안 설계	303
다. 자동생산 기능 및 인프라 요구사항 도출	314
라. 시스템 연계 및 서비스 구성도 제시	319
3. 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 방안 마련	321
가. 절대복사보정계수 주기적 갱신 방안 수립	321
나. 대기보정 산출물 검·보정 방안 마련	326
다. 산출물 품질관리 방안 마련	335
제5장 추가 제안	355
1. 시범제작 산출물 상호운용성 검증	357
2. 시범제작 산출물 기계가독성 검증	373
3. 항공기, 드론 등의 융복합 가능성 분석	383
4. 향후 연구 방향 제시	386
참고문헌	398
Abstract	404

| 표목차 |

<표 2-1> 광학 위성영상의 복사보정 단계 및 내용	8
<표 2-2> KOMPSAT-3A 위성영상의 절대복사보정 계수 (SIIS 제공)	16
<표 2-3> 다양한 시기, 지역에서 추정된 KOMPSAT-3, 3A 위성영상의 절대복사보정 계수 (Yeom et al., 2018)	16
<표 2-4> KOMPSAT-3A위성의 절대복사보정계수 추정 시 오차 (Yeom et al., 2017)	17
<표 2-5> 6SV 모델 입력 인자 정의	21
<표 2-6> 국내·외 사이트별 절대복사보정 계수 산출을 위한 입력자료 및 6SV 입력 조건	22
<표 2-7> RadCalNet 사이트 정보	23
<표 2-8> 국토위성이 촬영된 국외사이트 메타파일 목록	24
<표 2-9> 국토위성 국외사이트 촬영 예상(안)(Google Earth 지도사용)	24
<표 2-10> SkySat 위성영상 촬영 요청 지역	26
<표 2-11> SkySat 위성영상 수집현황	26
<표 2-12> 절대복사보정계수 산출을 위한 결정사항	27
<표 2-13> KOMPSAT-3A위성의 대기보정 결과 비교 (김광섭 외 1명, 2020) ..	35
<표 2-14> 위성별, 대기보정 툴별 입력정보 (이기원 외 1명, 2020)	36
<표 2-15> 조건표 구축을 위해 사용한 입력인자 및 그 범위 (정대성 외, 2020)37	
<표 2-16> 조건표 검증을 위해 위성에서 탐지된 TOA Radiance값을 모의하기 위한 조건(정대성 외, 2020)	37
<표 2-17> 천리안 GOCI 위성영상의 대기보정용 LUT 제작에 사용된 조건 (이화선과 이규성, 2018)	39
<표 2-18> 항공 및 위성영상 기반 대기보정 방법 (Lee and Yum, 2019)	46
<표 2-19> 광학위성영상의 복사보정 단계	48
<표 2-20> 국토위성의 대기보정을 위한 LUT 입력 정보	51
<표 2-21> 국토위성의 대기보정을 위한 촬영 시점의 입력 정보 획득 방법	53
<표 2-22> 상대대기보정 적용에 따른 밴드별 RMSE 산출 결과	58
<표 2-23> 구름 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석	65
<표 2-24> 구름그림자 영역 추출을 위한 밴드연산 조건	68

<표 2-25> 구름그림자 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석	69
<표 2-26> 국토위성 구름 및 구름그림자 탐지 사용 자료	70
<표 2-27> 국토위성 구름 및 구름그림자 탐지 참값(Ground truth) 자료	70
<표 2-28> 구름그림자 이동거리 및 이동방향 산출 수식	72
<표 2-29> 경기도 화성 지역 구름 탐지 결과	73
<표 2-30> 함경북도 청진 지역 구름 탐지 결과	74
<표 2-31> 황해북도 신평 지역 구름 탐지 결과	75
<표 2-32> 충청북도 단양 지역 구름 탐지 결과	76
<표 2-33> 국토위성영상 구름그림자 탐지 결과	77
<표 2-34> 지형그림자 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석	81
<표 2-35> 지물그림자 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석	82
<표 2-36> 국토위성 지형그림자 탐지를 위한 국토위성영상 및 DEM	83
<표 2-37> 황해북도 청진 지역의 지형그림자 탐지 결과	86
<표 2-38> 경기도 화성 지역의 지형그림자 탐지 결과	87
<표 2-39> 함경북도 신평 지역의 지형그림자 탐지 결과	88
<표 2-40> 충청북도 단양 지역의 지형그림자 탐지 결과	89
<표 2-41> 지물그림자 탐지 가능성 분석을 위한 실험자료	90
<표 2-42> 화성 지역 지물그림자 탐지 실험 결과	94
<표 2-43> Gao가 제안한 NDWI (왼쪽) 및 McFeeters가 제안한 NDWI(오른쪽)	97
<표 2-44> 수계 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석	99
<표 2-45> 남한 지역의 수계 보조자료 구축을 위한 수치지형도 수집 목록	101
<표 2-46> 함경북도 청진시 국토위성영상 및 수계 탐지 결과	106
<표 2-47> 경기도 화성시 국토위성영상 및 수계 탐지 결과	107
<표 2-48> 황해북도 신평군 국토위성영상 및 수계 탐지 결과	108
<표 2-49> 충청북도 단양군 국토위성영상 및 수계 탐지 결과	109
<표 2-50> 경기도 의왕시 국토위성영상 및 수계 탐지 결과	110
<표 2-51> QA_PIXEL 밴드 비트 속성 (USGS, 2020a)	112
<표 2-52> 해외 ARD 선도그룹의 픽셀단위정보 제공 방안	116

표목차

<표 2-53> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 제공 여부	117
<표 2-54> 국토위성 픽셀단위정보 항목 및 정의	117
<표 2-55> 국토위성 미획득자료 및 손실자료 예시	118
<표 2-56> 국토위성 픽셀단위정보 제공 방식 및 자료형에 따른 파일 용량 비교	120
<표 2-57> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보 예시	121
<표 2-58> 국토위성 픽셀단위정보 제공 방안 수립	121
<표 2-59> 국토위성 L2G 영상 파일 명명 규칙	122
<표 2-60> 파일 명명 규칙: 영상 파일 (Image File)	122
<표 2-61> 파일 명명 규칙: 썸네일 이미지 (Thumbnail image File)	123
<표 2-62> 파일 명명 규칙: 메타정보(Auxiliary File)	123
<표 2-63> Landsat 픽셀단위정보 신뢰도 구분 조건	124
<표 2-64> CFMask 알고리즘에 사용된 위성 및 보조자료	124
<표 2-65> Landsat CFMask 알고리즘을 이용한 신뢰도 산출 절차(1)	125
<표 2-66> Landsat CFMask 알고리즘을 이용한 구름 산출물의 신뢰도 산출 절차(2)	125
<표 2-67> Landsat CFMask 알고리즘을 이용한 구름 산출물의 신뢰도 산출 절차(3)	126
<표 2-68> Landsat 데이터 신뢰도 기준	127
<표 2-69> Sentinel-2 신뢰도 단계별 구름 산출물 생성의 임계값 적용 절차(1)	128
<표 2-70> Sentinel-2 신뢰도 단계별 구름 산출물 생성의 임계값 적용 절차(2)	128
<표 2-71> Sentinel-2 신뢰도 단계별 구름 산출물 생성의 임계값 적용 절차(3)	128
<표 2-72> Planet 픽셀단위정보 밴드 구성 항목	129
<표 2-73> 해외 ARD 선도그룹의 픽셀단위정보 제공 방안	130
<표 2-74> 국토위성 구름 산출물에 대한 신뢰도 수준별 산출 조건(1)	132
<표 2-75> 국토위성 구름 산출물에 대한 신뢰도 수준별 산출 조건(2)	132

<표 2-76> 국토위성 픽셀단위정보(구름) 신뢰도 제공 예시	132
<표 3-1> 외부보조자료 수집 목록	143
<표 3-2> 국토위성 표면반사율 유효성 검증에 사용된 영상자료	145
<표 3-3> Landsat 9 위성영상의 분광밴드 특성	146
<표 3-4> Sentinel-2A/B 위성영상의 분광밴드 특성	146
<표 3-5> 수집된 드론 영상자료의 촬영 파장영역	146
<표 3-6> 절대복사보정에 사용된 국토위성영상의 자연색합성영상	148
<표 3-7> 국토위성영상의 초기 절대복사보정계수 추정에 사용된 자료 리스트	149
<표 3-8> 국토위성영상의 초기 절대복사보정계수 (2022.03.18.기준, 총 10개 영 상 활용)	151
<표 3-9> 절대복사보정 계수 갱신 현황	152
<표 3-10> 절대복사보정계수 대기보정 결과	153
<표 3-11> 복사보정 계수 따른 피복별 대기보정 결과	154
<표 3-12> 1st 복사보정계수 산출비교 결과 (only gain mode vs. gain and offset mode)	156
<표 3-13> 수증기 및 표면 대기온도에 따른 대기 모델	163
<표 3-14> 계절-위도-표면 온도 기반한 대기 모델	163
<표 3-15> 기상 상황을 기반한 가시도	164
<표 3-16> 항목별 최적 파장대역	165
<표 3-17> FLAASH 대기보정 입력자료	170
<표 3-18> 대기보정 입력자료가 들어간 FLAASH GUI	171
<표 3-19> 5개 지역 대기보정 결과영상	173
<표 3-20> 단계별 파일 자료의 명칭	176
<표 3-21> 가시거리에 따른 피복별 대기보정 결과	177
<표 3-22> 에어로졸 모델에 따른 피복별 대기보정 결과	178
<표 3-23> 해외 ARD 선도그룹별 산출물 패키지 제공 방안	193
<표 3-24> 국토위성 L2G 영상의 제품 사양	196
<표 3-25> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 표면반사율 영상 예시	197
<표 3-26> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보 예시	198

| 표목차 |

<표 3-27> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 썸네일 이미지 예시	199
<표 3-28> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 보조파일 예시	199
<표 3-29> 정사영상 제품사양 표준 메타데이터	201
<표 3-30> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 관련 문서 버전 관리 규칙	204
<표 4-1> 유효성검증에 사용된 2021년 11월 17일 ASD 측정 자료	210
<표 4-2> 유효성검증에 사용된 2022년 2월 17일 ASD 측정 자료	211
<표 4-3> ASD 관측자료를 이용한 화성지역 국토위성 표면반사율 영상의 유효성 검증 결과	212
<표 4-4> ASD 관측자료를 이용한 의왕지역 국토위성 표면반사율 영상의 유효성 검증 결과	212
<표 4-5> 국토위성영상 밴드별 RMSE 백분율(%)	213
<표 4-6> 국토위성 표면반사율 유효성 검증에 사용된 영상자료	214
<표 4-7> 화성지역의 유효성 검증을 위한 타 위성 및 드론위성영상의 처리 결과	216
<표 4-8> 의왕지역의 유효성 검증을 위한 타 위성 및 드론위성영상의 처리 결과	217
<표 4-9> 단양지역의 유효성 검증을 위한 타 위성 및 드론위성영상의 처리 결과	218
<표 4-10> 북한 부령군 지역의 유효성 검증을 위한 타 위성 및 드론위성영상의 처리 결과	219
<표 4-11> 타 위성 및 드론 영상을 이용한 국토위성 표면반사율의 유효성 비교, 검증 결과	220
<표 4-12> 픽셀단위정보 유효성 검증용 영상	227
<표 4-13> 기준자료 예시	228
<표 4-14> 오차행렬 (Confusion Matrix)	229
<표 4-15> 픽셀단위정보 유효성 지표	229
<표 4-16> 픽셀단위정보 유효성 검증 결과	230
<표 4-17> 구름정보(High & Low) 유효성 검증 결과	231
<표 4-18> 구름 그림자 유효성 검증 결과	233

<표 4-19> 지형 그림자 유효성 검증 결과	235
<표 4-20> 수계 유효성 검증 결과	236
<표 4-21> Missing Data 유효성 검증 결과	237
<표 4-22> 방사포화 유효성 검증 결과	238
<표 4-23> 픽셀단위정보 유효성 지표 비교	240
<표 4-24> 요구사항 만족도 표시	241
<표 4-25> 일반 메타정보 요구사항 만족도	242
<표 4-26> 픽셀단위정보 메타정보 요구사항 만족도	244
<표 4-27> 복사/대기보정 요구사항 만족도	245
<표 4-28> 기하보정 요구사항 만족도	246
<표 4-29> 시계열 자료 상대위치 오차 측정	246
<표 4-30> 사용자 만족도 설문 조사 내용	248
<표 4-31> 사용자 검토의견	260
<표 4-32> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 사용자 만족도 통합 결과 ...	262
<표 4-33> 현장검증 대상지역 위치정보	264
<표 4-34> 확보예정 위성 및 현장 관측자료 목록(안)	266
<표 4-35> 현장검증 실험 일정표(안)	271
<표 4-36> 화성시 현장검증 지표 반사율 측정 대상 목록(안)	272
<표 4-37> 분광측정기의 제원	274
<표 4-38> 현장 관측 자료 목록 (안)	276
<표 4-39> 국내 종관기상관측(ASOS) 분포현황	285
<표 4-40> 환경위성 위성자료 배포용(1~2차) 산출물	289
<표 4-41> 기상자료개방포털 내 천리안위성 자료 제공항목	292
<표 4-42> 외부 보조자료 제원 및 수집방안 설계	293
<표 4-43> 기상청 외부자료 크롤링 결과	305
<표 4-44> 외부 보조자료 자동 수집 가능 여부	311
<표 4-45> 보조자료 수집 시스템 및 ARD 자동생산 시스템 고려사항	313
<표 4-46> 국토위성정보 시스템 및 소프트웨어 설계 관련 용어 및 약어	314
<표 4-47> 보조자료 수집 시스템 기능 요구사항	314

표목차

<표 4-48> ARD 생산 SW 기능 요구사항	315
<표 4-49> 활용분석처리지원 서브시스템 기능 요구사항	316
<표 4-50> 자료관리 서브시스템 기능 요구사항	317
<표 4-51> 보조자료 수집 시스템 하드웨어 구성	318
<표 4-52> ARD 생산 SW 하드웨어 구성	318
<표 4-53> 복사보정의 종류에 따른 국내외 기술 현황 정리	321
<표 4-54> KOMPSAT-3A 위성영상의 절대복사보정 계수 갱신 현황	322
<표 4-55> WorldView-3 위성영상의 절대복사보정 계수 갱신 현황	322
<표 4-56> 위성영상의 절대복사보정 계수 현황 (DigitalGlobe 제공)	322
<표 4-57> KOMPSAT-3A 영상품질 사양 (서두천 외, 2020)	323
<표 4-58> 도출된 대리교정 상수(가시광 밴드만을 대상으로)	327
<표 4-59> 대기보정 알고리즘 적용방법 및 결과	330
<표 4-60> 정확도 평가 지표	333
<표 4-61> FGDC 데이터 품질 정보 속성 정리표	337
<표 4-62> L1C 데이터 품질 측정	341
<표 4-63> L2A 데이터 품질 측정	342
<표 4-64> 분류 정확도 측정 예시	343
<표 4-65> 해외 ARD 선도그룹의 품질관리 방안 정리	347
<표 4-66> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 항목 식별표	348
<표 4-67> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 정의	349
<표 4-68> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 항목	351
<표 4-69> 한국항공우주연구원에서 제시한 운량조건	352
<표 5-1> 국토위성영상 및 Landsat8-9, Sentinel-2, Skysat 위성영상 좌표체계	358
<표 5-2> 경기도 화성 지역의 국토위성영상 및 타 위성영상 수집 목록	358
<표 5-3> 황해북도 청진 지역의 국토위성영상 및 타 위성영상 수집 목록	359
<표 5-4> 경기도 의왕 지역의 국토위성영상 및 타 위성영상 수집 목록	359
<표 5-5> 충청북도 단양 지역의 국토위성영상 및 타 위성영상 수집 목록	359
<표 5-6> 국토위성영상-타 위성자료 간의 위치정확도 검증을 위한 X,Y 좌표 추출	

(화성)	361
<표 5-7> 국토위성영상-타 위성자료 간의 X, Y, XY 오차 (화성)	361
<표 5-8> 국토위성영상-타 위성자료 간의 위치정확도 검증을 위한 X,Y 좌표 추출 (청진)	362
<표 5-9> 국토위성영상-타 위성자료 간의 X, Y, XY 오차 (청진)	362
<표 5-10> 국토위성영상-타 위성자료 간의 위치정확도 검증을 위한 X,Y 좌표 추출 (의왕)	363
<표 5-11> 국토위성영상-타 위성자료 간의 X, Y, XY 오차 (의왕)	363
<표 5-12> 국토위성영상-타 위성자료 간의 위치정확도 검증을 위한 X,Y 좌표 추출 (단양)	364
<표 5-13> 국토위성영상-타 위성자료 간의 X, Y, XY 오차 (단양)	364
<표 5-14> 중·저해상도 위성영상을 활용한 육안 검증 (화성)	365
<표 5-15> 중·저해상도 위성영상을 활용한 육안 검증 (청진)	366
<표 5-16> 중·저해상도 위성영상을 활용한 육안 검증 (의왕)	367
<표 5-17> 중·저해상도 위성영상을 활용한 육안 검증 (단양)	368
<표 5-18> 고해상도 위성영상 및 1:5,000 수치지형도를 이용한 육안 검증 (화성)	370
<표 5-19> 고해상도 위성영상을 활용한 육안 검증 (화성)	371
<표 5-20> 국토위성영상 패치 정보	374
<표 5-21> 실험 가상환경 제원	377
<표 5-22> 실험 데스크탑 제원	377
<표 5-23> U-Net 모델 하이퍼파라미터	378
<표 5-24> 다중원격탐사자료의 융합 시 고려해야 하는 항목(김경옥 등, 2005)	383
<표 5-25> 다중원격탐사자료의 융합 융합 기법 및 사례	385
<표 5-26> 세부 과업별 전문가 의견	386
<표 5-27> 과업 수행결과 평가 요약	389

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

<그림 1-1> 국토위성센터 사용자 친화형 영상 제품(ARD) 구축 배경 및 연구목표 3	
<그림 2-1> 복사보정의 단계 및 처리 과정	7
<그림 2-2> 국토위성 DN영상의 횡방향 프로파일 추출 (2022.01.16. 청진근처 바다영역)	9
<그림 2-3> 국토위성 DN 영상의 밴드별 횡방향 평균 프로파일(바다영역 100개 프로파일 평균)	9
<그림 2-4> 절대복사보정을 위해 선택된 고흥 항공센터 사이트(좌)와 몽골 Zuunmod 사이트(우) (Yeom et al., 2017)	11
<그림 2-5> 절대복사보정계수 추정 방법 (Yeom et al., 2018)	12
<그림 2-6> 대기 측정 장비(좌: MFRSR, 우: Microtops II 장비) (Yeom et al., 2017; 2018)	12
<그림 2-7> KOMPSAT-3, 3A위성 센서의 밴드별 분광반응함수 (Yeom et al., 2018)	13
<그림 2-8> 타프 ASD분광기를 이용한 반사율 측정 및 결과 (Yeom et al.,2018)	13
<그림 2-9> KOMPSAT-3위성영상의 절대복사보정 결과 (Yeom et al., 2018) 14	
<그림 2-10> KOMPSAT-3A 위성영상 대기 절대복사보정과 교차 복사보정이 병행 되는 과정 (Jin et al., 2020)	15
<그림 2-11> KOMPSAT-3 위성영상 교차 복사보정 대상 PICS 사이트 (Kim et al., 2015)	15
<그림 2-12> 절대복사보정을 위한 고흥 항공센터 전경	18
<그림 2-13> Orbview 절대복사보정계수 계산 결과	18
<그림 2-14> 국토위성의 절대복사보정계수 산출 과정	19
<그림 2-15> 6SV 복사전달모델 이용 위성 탐지 Radiance (혹은 TOA reflectance) 추정 과정 (Vermote E. et al., 2006) 20	
<그림 2-16> RadCalNet 사이트 분포 및 측정 기기 (https://ceos.org/)	23
<그림 2-17> RadCalNet 자료 중 BSCN00_2021_318_v00.03.input 예시	25
<그림 2-18> 국토위성영상의 절대복사보정계수 산출 방안	28
<그림 2-19> 국토위성의 CCD별 분광반응함수(상:CCD A, 하:CCD B)	29

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

<그림 2-20> 6SV 입력정보(예시)	30
<그림 2-21> 6SV 결과 출력 화면 (예시)	30
<그림 2-22> RadCalNet 사이트의 공간적 영역 (참고문헌: RadCalNet Quick Start Guide)	31
<그림 2-23> 대기보정 과정(좌)와 절대대기보정 과정(우) (이규성, 2019)	34
<그림 2-24> KOMPSAT-3A 위성영상의 대기보정 과정 (Kim and Lee, 2020)	35
<그림 2-25> KOMPSAT-3/3A 위성영상의 대기보정 조건표의 상대 오차 결과 (정대성 외, 2020)	38
<그림 2-26> 천리안 GOCI 위성영상의 대기보정 시 사용된 위성 정보 (이화선과 이규성, 2018)	38
<그림 2-27> 천리안 GOCI 위성영상의 대기보정용 LUT와 LUT 제작 과정 (이화선과 이규성, 2018)	39
<그림 2-28> 에어로졸 모델과 AOT값에 따른 천리안 GOCI 위성영상의 밴드별 민감도(이화선과 이규성, 2018)	40
<그림 2-29> 대기보정된 GOCI 위성영상의 반사율과 ASD 관측 반사율과 비교 (이화선과 이규성, 2018)	40
<그림 2-30> 대기보정된 GOCI 위성영상의 반사율과 MODIS영상의 시계열 반사율 패턴 (이화선과 이규성, 2018)	41
<그림 2-31> Planet사에서 제작한 대기보정 LUT 제작 시 입력 정보	42
<그림 2-32> Planet사의 대기보정 알고리즘의 정확도	43
<그림 2-33> 국토위성영상의 대기보정용 LUT 제작 방식	52
<그림 2-34> 6SV 복사전달모델의 대기보정 시 사용된 입력 파일 예시(좌)와 대기보정된 반사율 결과 파일 예시(우)	52
<그림 2-35> 6SV LUT를 이용한 국토위성의 대기보정 절차	54
<그림 2-36> 대기보정 계수 산출 식 및 대기보정 반사율 변환식	54
<그림 2-37> QUAC 대기보정 알고리즘 절차	57
<그림 2-38> 상대대기보정 적용에 따른 토지피복별 반사율 비교	58
<그림 2-39> 국토위성 표면반사율 영상 제작 방안	60
<그림 2-40> 반사율 유효성 분석을 위한 처리 과정	60

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

<그림 2-41> 주요 표면의 파장별 분광특성 (Zhuge et al., 2017)	61
<그림 2-42> 기상위성센터 기상자료처리시스템(CMDPS)의 구름 탐지 결과	62
<그림 2-43> Landsat에서 CFMask 알고리즘을 통해 탐지된 구름 및 구름그림자 의 이동에 의한 효과	63
<그림 2-44> OCM 알고리즘 기반 구름영역 탐지 결과 - 산지(왼쪽) 및 도심지(오 른쪽)	64
<그림 2-45> HMR 알고리즘의 원리(상단) 및 각 알고리즘별 구름탐지 결과 (하단)	64
<그림 2-46> 일반적인 경우(왼쪽)와 특수한 경우(오른쪽)의 구름그림자 투영	66
<그림 2-47> Landsat 위성의 SWIR-NIR-Red 영상(왼쪽) 및 구름그림자 탐지 결과(오른쪽)	67
<그림 2-48> 밴드연산 조건에 의해 생성된 구름그림자맵(CSM)	68
<그림 2-49> 국토위성영상 구름 탐지 절차	71
<그림 2-50> 국토위성영상 구름그림자 탐지 절차	72
<그림 2-51> DEM과 광원 정보를 이용한 Hillshade 제작 예시	78
<그림 2-52> Hillshade와 태양 고도각에 따른 그림자 탐지 결과 고도각 낮음(가운 데) / 고도각 높음(오른쪽)	79
<그림 2-53> DEM을 이용한 그림자 모델링	79
<그림 2-54> LSI (왼쪽), WorldView-3 위성에서의 LSI 기반 지형그림자 탐지 결과(오른쪽)	80
<그림 2-55> NSI (왼쪽), RapidEye 위성(중간) 및 NSI 기반 지형그림자 탐지 결과(오른쪽)	80
<그림 2-56> Shadow Boundary 알고리즘(왼쪽), Ikonos 영상(중간) 및 지형지물 그림자 탐지(오른쪽)	82
<그림 2-57> 음영기복도(Hillshade) 기반 지형그림자 탐지 절차	84
<그림 2-58> 국토위성 및 DEM 기반 지형그림자 탐지 결과	85
<그림 2-59> 영상처리 기반 지형그림자 탐지 결과 이슈	85
<그림 2-60> 영상처리 기반 지형그림자 탐지 결과 이슈	86
<그림 2-61> 국토위성영상 및 보조자료를 이용한 지물그림자 탐지 실험 절차 ..	90

<그림 2-62> 지물그림자 탐지 참조자료 구축 절차- 토지피복도 수집(1)	91
<그림 2-63> 지물그림자 탐지 참조자료 구축 절차- 데이터 전처리(2)	91
<그림 2-64> 지물그림자 탐지 참조자료 구축 절차- 도심지 영역 추출(3)	92
<그림 2-65> 지물그림자 탐지 참조자료 구축 절차- 제작된 도심지 영역 마스크(4)	92
<그림 2-66> 지물그림자 탐지 참조자료 구축 절차- 최종 도심지 마스크(5)	93
<그림 2-67> 국토위성 지형 및 지물그림자 개선 결과	95
<그림 2-68> 국토위성영상 및 지형·지물그림자 비교	95
<그림 2-69> 고정밀 DSM 기반 Hillshade 알고리즘 적용 결과	96
<그림 2-70> Landsat SWIR-NIR-Red 합성영상(왼쪽) 및 수계 영역 마스크 (오른쪽)	98
<그림 2-71> 원본 영상(왼쪽) 및 K-means Clustering 기반 수계 추출 결과 (오른쪽)	98
<그림 2-72> 국토위성 수계 탐지 기술 개발 사용 데이터	100
<그림 2-73> 국토위성용 수계 탐지 기술 개발 사용 데이터 (2)	100
<그림 2-74> 남한 수계 보조자료 구축 절차 (1)	101
<그림 2-75> 남한 수계 보조자료 구축 절차 (2)	102
<그림 2-76> 남한 수계 보조자료 구축 절차 (3)	102
<그림 2-77> 남한 수계 보조자료 구축 절차 (4)	103
<그림 2-78> 북한 지역 수계 공간정보 문제점	103
<그림 2-79> 북한 지역 수계 공간정보 업데이트	104
<그림 2-80> 국토위성영상 기반 수계 탐지 절차	104
<그림 2-81> USGS Landsat ARD 패키지 항목 및 QA 밴드 예시	111
<그림 2-82> GIPP of the scene classification module(ESA, 2016)	113
<그림 2-83> Sentinel-2 픽셀단위정보 및 세부사항(ESA, 2016)	113
<그림 2-84> Planet 픽셀단위정보 산출물 및 제공 형태 예시 (Planet, 2020)	114
<그림 2-85> MAXAR 픽셀단위정보 산출물 및 제공 형태 예시 (Maxar, 2020a)	115
<그림 2-86> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보 제작 과정 ...	119

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

<그림 2-87> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보 시범제작 항목 및 파일 명명 규칙	123
<그림 2-88> Sentinel-2 Scene classification 내 구름 산출물의 신뢰도 단계	127
<그림 2-89> Planetscope confidence map 제작 방법	129
<그림 3-1> 국토위성영상 및 보조자료 확보 방안	135
<그림 3-2> 경기도 수원 지역(1) 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2021.10.24.)	136
<그림 3-3> 황해북도 청진 지역 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2021.11.04.)	136
<그림 3-4> 경기도 화성 지역 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2021.11.17.)	136
<그림 3-5> 경기도 수원 지역(2) 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2021.12.12.)	137
<그림 3-6> 함경북도 신평 지역 국토위성영상 및 보조자료확보 현황 (2021.12.12.)	137
<그림 3-7> 충청북도 단양 지역 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2021.12.17.)	137
<그림 3-8> 경기도 수원 지역(3) 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2022.02.17.)	138
<그림 3-9> 경기도 의왕 지역 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2022.02.17.)	138
<그림 3-10> 국토위성 시계열 데이터(수원, 의왕) 중첩 영역	139
<그림 3-11> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 시범제작 프로세스	141
<그림 3-12> 국토위성의 CCD 타입별 분광반응함수	144
<그림 3-13> 국토위성영상(배경), 드론영상(선명한 영상)과 ASD 측정지점(노란색 점)의 중첩 그림	145
<그림 3-14> 센서 검출기 균질성에 문제가 보이는 미국 RUVS 지역 (a:2021.12. 11.), 중국 BSCN, BTCN 지역 (b: 2021.11.14., c: 2021.11.24.)을	

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

촬영한 국토위성영상	147
<그림 3-15> 절대복사보정계수 갱신 (2022.03.18.기준)	151
<그림 3-16> 음의 값의 나온 예(붉은색, 3rd)	153
<그림 3-17> 1st 복사보정계수 산출 (only gain mode vs. gain and offset mode 비교))	156
<그림 3-18> 1st 복사보정계수 (gain vs. gain & offset mode) 적용에 따른 지표물별 반사도 비교	157
<그림 3-19> 2nd 절대복사보정계수 산출을 위한 회귀식	158
<그림 3-20> ENVI 5.2에서 복사보정 방법	159
<그림 3-21> KOMPSAT-3A의 gain/off 입력 예시	160
<그림 3-22> 자료 입출력 화면 예시	160
<그림 3-23> 영상 및 센서 정보 입력 예시	161
<그림 3-24> 대기보정 모델 설정값 입력 예시	162
<그림 3-25> 다중분광 설정값 입력 예시	165
<그림 3-26> FLAASH 기능 향상 설정값	166
<그림 3-27> FLAASH 기능향상 설정값 입력 예시	166
<그림 3-28> FLAASH 촬영각 기하정보 입력 예시	168
<그림 3-29> FLAASH 처리 컨트롤 기능 입력 예시	168
<그림 3-30> Filter Function File	170
<그림 3-31> QGIS를 이용한 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 속성정보 확인	180
<그림 3-32> 경기도 수원 지역1 (2021.10.24.) 픽셀단위정보 제작 결과	181
<그림 3-33> 황해북도 청진 지역 (2021.10.24.) 픽셀단위정보 제작 결과	182
<그림 3-34> 경기도 화성 지역 (2021.11.17.) 픽셀단위정보 제작 결과	183
<그림 3-35> 함경북도 신평 지역 (2021.12.12.) 픽셀단위정보 제작 결과	184
<그림 3-36> 경기도 수원 지역2 (2021.12.12.) 픽셀단위정보 제작 결과	185
<그림 3-37> 충청북도 단양 지역 (2021.12.17.) 픽셀단위정보 제작 결과	186
<그림 3-38> 경기도 의왕 지역 (2022.02.17.) 픽셀단위정보 제작 결과	187
<그림 3-39> 경기도 수원 지역3 (2022.02.17.) 픽셀단위정보 제작 결과	188

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

<그림 3-40> 국토위성 표면반사율 영상 및 픽셀단위정보 1:5,000 도엽단위 영상 분할 처리 절차	189
<그림 3-41> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 패키지 제공 예시	190
<그림 3-42> USGS에서 제공하는 ARD 제품 패키지 압축 포맷	191
<그림 3-43> Planetscope(Planet) 제품 구성요소 및 자료 포맷	192
<그림 3-44> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 최종산출물 패키지 제작 절차	194
<그림 3-45> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 최종산출물 패키지 제작 결과	195
<그림 3-46> 국토지리정보원 정사영상(L2G) 제품사양 표준 문서	200
<그림 3-47> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 사양설명서 표지	202
<그림 3-48> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 사용설명서 표지	203
<그림 3-49> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 관련 문서 수정 절차	205
<그림 3-50> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 관련 문서 수정 절차 예시 1	205
<그림 3-51> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 관련 문서 수정 절차 예시 2	206
<그림 4-1> 국토위성 대기보정 알고리즘의 검증 방안 흐름도(안)	209
<그림 4-2> 2021년 11월 17일 화성지역의 ASD 측정지점 분포 (다음지도) ..	210
<그림 4-3> 2022년 2월 17일 ASD 측정지점 분포(배경: 동일 일시의 국토위성 영상)	211
<그림 4-4> 화성과 의왕지역의 국토위성 표면반사율영상과 ASD관측 반사율과의 1:1 대응 그래프	212
<그림 4-5> 타 위성영상을 이용한 국토위성영상의 유효성 비교/검증 방법	215
<그림 4-6> 국토위성과 타 위성과의 분광반응함수 비교 (국토위성영상의 분광밴드 와 일치밴드만을 표시)	215
<그림 4-7> 대기보정 된 국토위성 시계열 자료(3썸) 중첩 현황	221
<그림 4-8> 대기보정 된 국토위성 시계열 자료(2썸) 중첩 현황	222
<그림 4-9> 국토위성 시계열 자료(2개월 간격) 반사율 비교	223

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

<그림 4-10> 대기보정 된 국토위성 시계열 자료(3개월 간격) 반사율 비교	224
<그림 4-11> 구름 픽셀단위정보 화소값 비교	232
<그림 4-12> 구름 픽셀단위정보 예시	232
<그림 4-13> 구름 그림자 픽셀단위정보 예시	234
<그림 4-14> 지형 그림자 픽셀단위정보 예시	235
<그림 4-15> 수계 픽셀단위정보 예시	236
<그림 4-16> MissingData 픽셀단위정보 예시	237
<그림 4-17> 방사포화 픽셀단위정보 예시	239
<그림 4-18> 배포 목록	249
<그림 4-19> 연구 분야	250
<그림 4-20> 근무 경력	250
<그림 4-21> ARD 인지도	251
<그림 4-22> 해외 ARD 사용 경험	251
<그림 4-23> 업무용 소프트웨어	252
<그림 4-24> 제품평가에 사용한 소프트웨어	254
<그림 4-25> 소프트웨어를 이용한 제품 평가 용이성	254
<그림 4-26> 규격화 만족도	255
<그림 4-27> 절대위치정확도 만족도	255
<그림 4-28> 상대위치정확도 만족도	256
<그림 4-29> 추가적인 정밀기하보정 필요성	256
<그림 4-30> 표면반사율 제공에 대한 만족도	257
<그림 4-31> 독자적인 방사보정 및 대기보정 필요성	257
<그림 4-32> 픽셀단위정보별 필요성 및 만족도	258
<그림 4-33> 타 위성자료 상호운용성	259
<그림 4-34> 사용자 친화형 영상 제품 종합 만족도	259
<그림 4-35> 화성시 현장검증 대상지 주변 현황(배경자료: Google Earth)	264
<그림 4-36> 의왕시 현장검증 대상지 주변 현황(배경자료: Google Earth)	264
<그림 4-37> 현장 관측실험의 순서도	265
<그림 4-38> 현장검증 실험 계획서(예)	270

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

<그림 4-39> 화성시 현장검증 실험 이동경로(안)	270
<그림 4-40> 드론 비행 금지구역 (V-World WebGL)	271
<그림 4-41> 절대복사보정 검증을 위한 현장 관측자료 활용 방안(안)	273
<그림 4-42> 절대대기보정 검증을 위한 현장 관측자료 활용 방안(안)	274
<그림 4-43> 현장검증 결과보고서(안)	275
<그림 4-44> 2021년 11월 17일 화성지역의 ASD 측정지점 분포 (배경:다음지도)	277
<그림 4-45> 2022년 2월 17일 ASD 측정지점 분포(배경: 동시기의 국토위성영상)	277
<그림 4-46> 보도블럭 분광반사도	278
<그림 4-47> 목재(우드판넬) 분광반사도	278
<그림 4-48> 수체(연못) 분광반사도	279
<그림 4-49> 초지(경사) 분광반사도	279
<그림 4-50> 농구장 분광반사도	280
<그림 4-51> 천연잔디 분광반사도	280
<그림 4-52> Red Track 분광반사도	281
<그림 4-53> Green Track 분광반사도	281
<그림 4-54> 인조잔디 분광반사도	282
<그림 4-55> 콘크리트 및 아스팔트 분광반사도	282
<그림 4-56> 식물(수풀) 분광반사도	283
<그림 4-57> 나지 분광반사도	283
<그림 4-58> 화성 지역 M-300 드론 영상 및 ASD 관측 위치	284
<그림 4-59> 종관기상관측 자료 검색창(기상자료개방포털)	285
<그림 4-60> AERONET 홈페이지 내 자료제공 현황	286
<그림 4-61> AERONET Download File (예시)	286
<그림 4-62> MODIS CMA 파일 구성 및 hdf.met 정보	287
<그림 4-63> MODIS CMG 파일 구성 및 hdf.xml 정보	288
<그림 4-64> 환경위성 누리집에서 제공되는 위성자료 및 알고리즘 문서 화면 (예시)	289

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

<그림 4-65> 환경위성 누리집에서 제공되는 위성자료 예시(전층 오존, 2021.12.12.)	290
<그림 4-66> GEMS 누리집에서 제공 중인 에어로졸 광학두께(443nm) 이미지 영상 (PNG 파일)	290
<그림 4-67> 기상위성 누리집에서 제공되는 천리안위성2A호 위성자료 (RGB,2021.12.14.)	291
<그림 4-68> 시정정보 수집 흐름도	294
<그림 4-69> 시정정보(일자료) 수집 절차(예)	295
<그림 4-70> AERONET 정보 수집 흐름도	296
<그림 4-71> AERONET 자료 수집 절차(예)	297
<그림 4-72> MODIS CMA 정보 수집 흐름도	298
<그림 4-73> MODIS CMA(수증기, AOT) 정보 수집 절차(예)	299
<그림 4-74> MODIS CMA Water Vaper 자료(예시, 2022.02.17.)	300
<그림 4-75> MODIS CMA TOA at 550nm 자료(예시, 2022.02.17.)	300
<그림 4-76> MODIS CMG 정보 수집 흐름도	301
<그림 4-77> MODIS CMG(오존) 정보 수집 절차(예)	302
<그림 4-78> MODIS CMG Ozone 자료(예시, 2022.02.17.)	302
<그림 4-79> 국토위성 표면반사율 영상 처리 타임라인	303
<그림 4-80> 기상청 OPEN API 이용 절차	304
<그림 4-81> 기상청 내 외부자료 다운로드 절차(1)	304
<그림 4-82> 기상청 내 외부자료 다운로드 절차(2)	305
<그림 4-83> AERONET 웹 사이트내 외부자료 다운로드 절차	306
<그림 4-84> AERONET 웹 사이트내 외부자료 다운로드 절차(2)	307
<그림 4-85> AERONET 웹 사이트내 외부자료 다운로드 절차(3)	307
<그림 4-86> AERONET 다운로드 데이터 형태	308
<그림 4-87> Earthdata 외부자료 다운로드 절차(1)	309
<그림 4-88> Earthdata 외부자료 다운로드 절차(2)	309
<그림 4-89> Earthdata 외부자료 다운로드 절차(3)	310
<그림 4-90> USGS 외부자료 다운로드 절차(1)	310

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

<그림 4-91> USGS 외부자료 다운로드 절차(2)	311
<그림 4-92> USGS 외부자료 다운로드 절차(2)	311
<그림 4-93> ARD 생산 SW 및 보조자료 수집 시스템 연계 구성도	319
<그림 4-94> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 서비스 구성도	319
<그림 4-95> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 생산 프로세스	320
<그림 4-96> KOMPSAT-3A LEOP Cal/val 결과 (서두천 외, 2020)	324
<그림 4-97> GOCI-II 대기보정 연구흐름도 (안재현 외, 2021)	327
<그림 4-98> 대양에서 수집한 현장자료를 이용한 대기보정 검증결과	328
<그림 4-99> AERONET-OC 현장자료를 이용한 GOCI-II 대기보정 검증결과	329
<그림 4-100> 대기보정 산출물 검보정 처리 과정	334
<그림 4-101> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 방안 예시	335
<그림 4-102> FGDC 데이터 품질 정보	336
<그림 4-103> SDLM 처리과정	338
<그림 4-104> Planetscope 데이터 품질 보고서	344
<그림 4-105> Maxar 데이터 품질 인증제도	345
<그림 4-106> 한국항공우주연구원의 아리랑위성 영상품질보고서 제공 현황 (KSATDB)	350
<그림 4-107> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 위치정확도 검증 방법 예시	353
<그림 4-108> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보 검증 방법 예시	353
<그림 5-1> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 상호운용성 검증 과정	357
<그림 5-2> 시범제작 산출물 상호운용성 검증을 위한 전처리 과정	360
<그림 5-3> 국토위성영상과 Skysat의 경계 불일치 현상	369
<그림 5-4> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 기계가독성 검증 과정	373
<그림 5-5> 국토위성영상 및 픽셀단위정보 기반 영상 패치 제작 현황	375
<그림 5-6> 국토위성영상 및 픽셀단위정보 기반 영상 패치 제작 결과	375
<그림 5-7> U-Net 모델 구조	376
<그림 5-8> U-Net 모델 훈련 및 검증 과정	377

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

<그림 5-9> Epoch에 따른 U-NET 훈련 손실(Loss) 변화	379
<그림 5-10> 모델 학습횟수(Epoch)에 따른 모델 정확도 및 손실 변화	380
<그림 5-11> U-NET 모델 기반 구름 탐지 결과 입력영상 / 참값 / 예측값 결과	381
<그림 5-12> 수준별 영상 융합 과정(김경옥 등, 2005)	383
<그림 5-13> 화소 수준 융합 기법의 종류(Zhang J., 2010)	384
<그림 5-14> 융복합 사용자 친화형 영상 제품 생성 과정 예시	397

Ⅰ 용어 및 약어 Ⅰ

약어	설명
ADAM	Adaptive Moment Estimation
AOD	Aerosol Optical Depth
AOT	Aerosol Optical Thickness
AR	Apparent reflectance model
ARD	Analysis Ready Data
ATREM	ATmosphere REMoval(ATREM)
ATCOR	Atmospheric and Topographic Correction
BIL	Band Interleave-By Line
BIP	Band Interleave-By-Pixel
BOA	Bottom of Atmosphere
BRDF	Bidirectional Reflectance Distribution Function
CMH	Cloud Map with High confidence
CML	Cloud Map with Low confidence
CMA	Cloud Map with Ambiguity
COG	Cloud Optimized GeoTIFF
COST MODEL	Cosine approximation model
DEM	Digital Elevation Model
DMP	Data Management Plan
DN	Digital Number
DQR	Data Quality Report
DOS	Dark Object Subtraction technique
FFC	Flat Field Correction
ELA	Empirical Line Approach
FLAASH	Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes
HATCH	Atmospheric Correction for Hyperspectral Data
HOT	Haze-Optimized Transformation
HSV	Hue-Saturation Value
IARR	Internal Average Relative Reflectance

LSI	Logarithmic Shadow Index
LUT	Look-Up-Table
MAE	Mean Absolute Error
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
MFRSR	Multi-Filter Rotating Shadowband Radiometer
MODTRAN	MODerate resolution atmospheric radiance and TRANsmittance Model
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
NSI	Near-Infrared Saturation Index
OTB	Orfeo ToolBox
PICS	Pseudo Invariant Calibration Site
PIF	Pseudo-invariant features
QA	Quality Assessment
QUAC	Quick Atmospheric Correction
RadCalNet	The Radiometric Calibration Network
RMSE	Root Mean Square Error
RSM	Relative Scattering MODEL
RTM	Radiative Transfer Model
SCCE	Sparse Categorical Cross-Entropy
SDLM	Science Data Lifecycle Model
SHV	Starting Haze Value
SR	Surface Reflectance
SRF	Spectral Response Function
SVC	System Vicarious Calibration
TDI	Time Delay Intergration
TOA	Top of Atmosphere
WV	Water Vapor
6S	Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum
6SV	Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum vector code

제1장

연구개요

1. 연구 배경
2. 연구 목표
3. 연구 범위

1. 연구 배경

차세대중형위성 제1단계 개발 사업으로 국토교통부와 과학기술정보통신부가 위성산업의 발전과 국토자원관리 관련 공공부문 수요 대응, 국가공간정보 활용 서비스 제공을 위하여 차세대중형위성 1·2호기(해상도 흑백 0.5m급, 컬러 2m급, 이하 국토위성)를 개발하고, 2021년 3월 국토위성 1호기가 성공적으로 발사되었다. 국토지리정보원의 국토위성센터는 국토위성의 주 활용기관으로 금년 10월 말부터 본격적으로 위성의 운영과 활용을 시작하였다. 현재 위성영상 처리 시스템 및 산출물의 이·활용은 영상기반의 전문지식이 요구되어 非 전문가의 사용 편의성 및 활용도가 낮고, 항공 정사영상, 국가기본도, 수치표고모형 등 타 공간정보와 제공 규격이 달라 용·복합 활용에 어려움이 많다. 이는 지구관측위성 자료의 활용 확산을 막는 주된 요인으로, 보다 쉽게 현업에 활용할 수 있는 산출물의 필요성이 대두되고 있다. 따라서 국토위성센터는 국토위성 설계 수명 내 사용자들이 자신의 분야에 위성영상을 손쉽게 즉시 활용·분석할 수 있고, 타 위성 및 공간정보와 상호연용 검증이 가능한 사용자 친화형 영상 제품(Analysis Ready Data, 이하 ARD)를 생산 및 서비스를 기획하였다. 본격적인 서비스에 앞서 필요한 요소 기술을 개발하고 기술 검증 및 지속가능한 품질 관리 방안을 수립하기 위해 연구개발 및 시범제작을 수행하였다.



<그림 1-1> 국토위성센터 사용자 친화형 영상 제품(ARD) 구축 배경 및 연구목표

2. 연구 목표

본 사업에서는 국토위성 사용자 친화형 영상 제품을 생산 및 서비스하기 위해 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 구축에 필요한 표면반사율 영상 생성 및 픽셀단위정보 생산을 위한 요소 기술을 개발한다. 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 시범제작을 통해 제작된 산출물은 비교 분석 및 검증 과정을 통해 최종 사양을 결정한다. 또한, 국토위성 환경을 고려한 품질관리 방안 및 검보정 방안을 수립하여 지속적 구축 방안을 마련한다.

3. 연구 범위

본 사업의 범위는 다음과 같다.

□ 국토위성 표면반사율 영상 및 픽셀단위정보 생성 기술 개발

- 국토위성 복사/대기보정 기술 개발
- 픽셀단위정보 생성 기술 개발

□ 사용자 친화형 영상 제품 시범제작

- 국토위성기반 사용자 친화형 영상 제품 시범제작
- 사용자 친화형 영상 제품 관련 설명서 제작

□ 시범제작 결과 검증 및 지속적 구축 방안 마련

- 시범제작 결과 검증
- 자동 생산을 위한 주요 기능 및 인프라 요구사항 도출
- 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 방안 마련

□ 추가제안

- 사용자 친화형 영상 제품 산출물의 기계가독성 및 상호운용성 검증
- 드론, 타 위성영상을 활용한 국토위성 표면반사율의 공간적 비교·분석

제2장

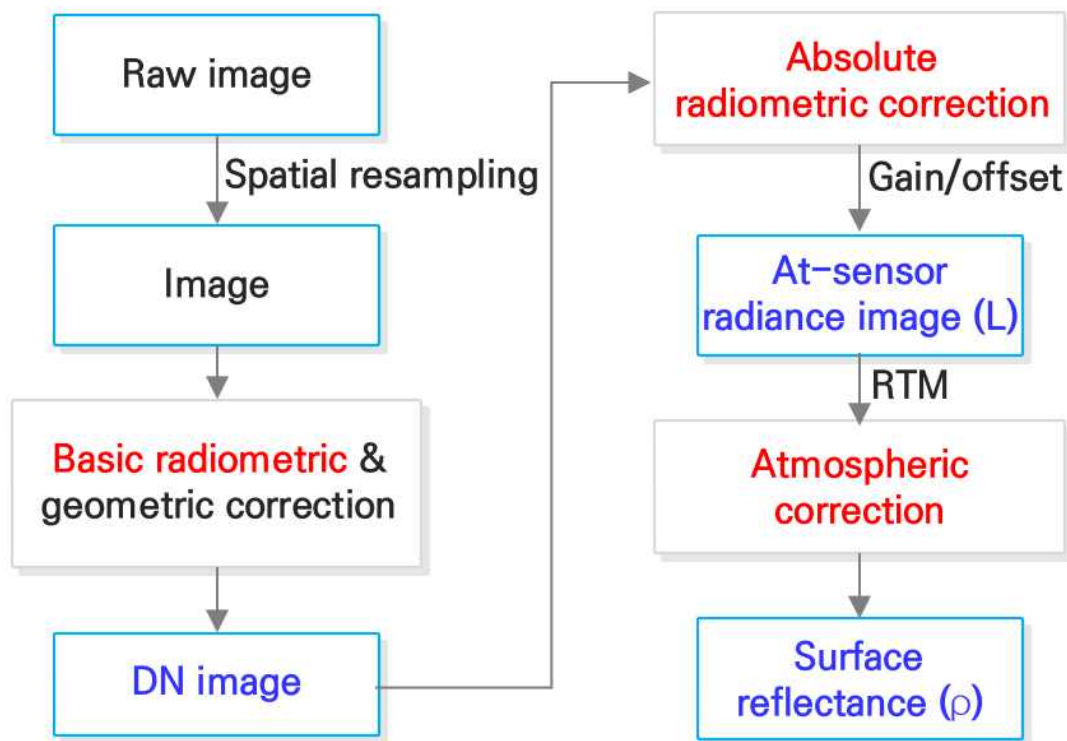
국토위성 표면반사율 영상 및 픽셀단위정보 생성 기술 개발

-
1. 국토위성 복사/대기보정 기술 개발
 2. 픽셀단위정보 생성 기술 개발

1. 국토위성 복사/대기 보정 기술 개발

가. 절대복사보정계수 산출 방안 수립

복사보정(Radiometric correction)은 탑재체(카메라)에서 감지/기록된 영상신호가 지표물에
서 반사된 순수한 광량과 무관한 잡음 또는 오차를 최소화하는 처리과정을 의미한다. 영상 신호에
포함된 잡음 또는 오차의 원인은 크게 탑재체 및 위성의 문제로 발생하는 내부 요인과 대기에 의한
외부요인으로 구분한다. 복사보정 단계 1과 2는 위성을 운영하고 영상자료를 제공하는 기관에서
담당하는 게 원칙이다. 최근에는 대기보정(단계 3)의 필요성이 증가하고 있으므로, 여러 외국의 영
상공급 기관에서는 직접 대기보정된 영상을 제공하고 있다.

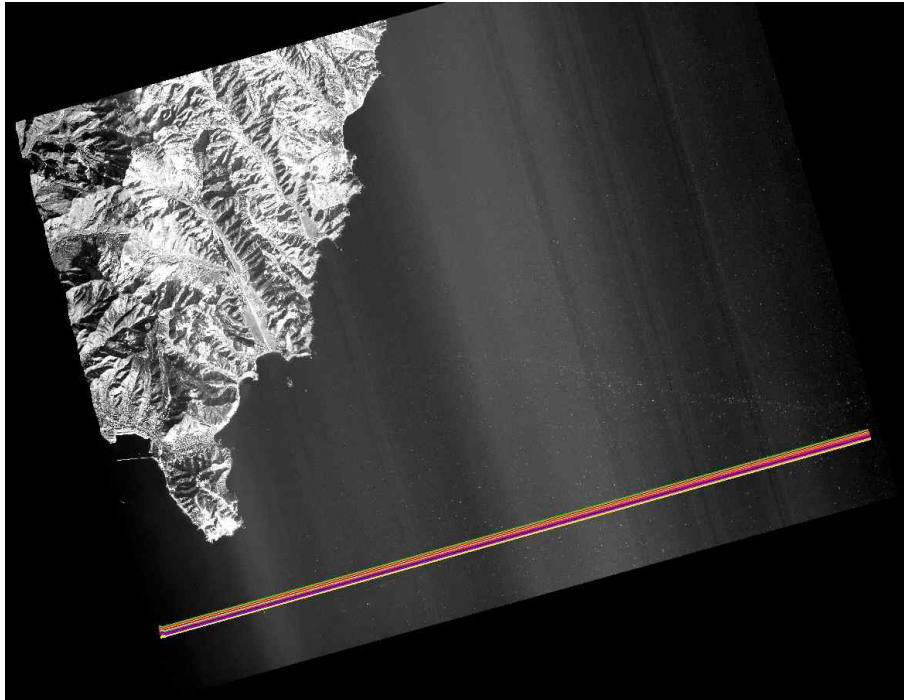


<그림 2-1> 복사보정의 단계 및 처리 과정

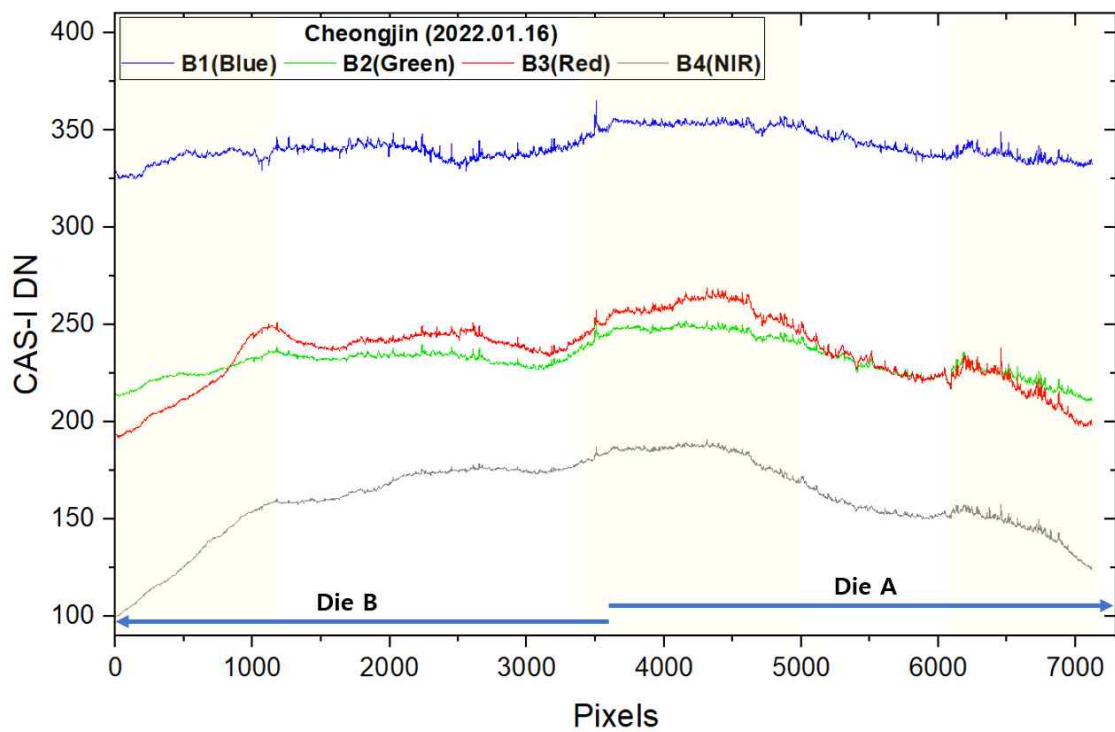
<표 2-1> 광학 위성영상의 복사보정 단계 및 내용

단계	복사보정 분류	보정 내용
1	센서시스템 문제로 발생하는 기본복사보정	<ul style="list-style-type: none"> 검출기 감도의 균질성 문제 (줄무늬 현상 및 색상 차이) 보정 광학계 및 주사장치 이상
2	절대복사보정 (복사검보정으로 표기하기도 함)	<ul style="list-style-type: none"> 대기보정을 하려면 먼저 정수(Digital Number)로 기록된 영상신호를 물리양인 복사휘도(Radiance)로 변환하여야 함 센서시스템에서 감지하는 광량의 범위, 민감도, 촬영 지역의 지표물 반사량 등을 정량적으로 해석하기 위해서 복사휘도를 파악해야 함
3	대기보정	<ul style="list-style-type: none"> 대기 입자에 의한 산란, 흡수를 계산하여 영상신호를 지표물의 특성만을 반영하는 순수한 신호값인 반사율(reflectance)로 변환

위에서 설명한 광학위성영상 복사보정의 각 단계의 중요성은 아래 국토위성 DN영상의 광학적 품질에서도 잘 나타난다. 많은 국토위성영상에서 디텍터별 광학적 질의 차이가 육안으로 확인되었다. 이는 위성영상 수신 후 바로 처리되어야 하는 전처리 광학보정으로, 절대복사보정이나 대기보정의 정확도에 영향을 줄 수 있다. 본 과업에서는 절대복사보정이나 대기보정에 앞서 원 DN영상에서의 광학적 품질 중 디텍터별 변이를 분석하였다. 이를 위해 지표 중 상대적으로 균질한 분포를 나타내는 바다지역을 대상으로 6,000개 이상의 디텍터로 구성된 횡 방향 라인 100개를 평균하여 밴드별로 분석하였다. 칼라 합성 영상에서와 같이 횡 방향으로 구간별 밝기값의 차이가 발생함을 볼 수 있다. 이는 횡방향 프로파일에서도 잘 나타난다. 대체적으로 모든 밴드에서 중앙 오른쪽 영역에서 밝기값이 상대적으로 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 특히 적색과 근적외선 밴드에서는 75~80의 큰 DN값 차이가 나타났다. 이와 같이 디텍터별로 DN값의 차이를 보이는 초기 국토위성영상의 낮은 품질은 이후 절대복사보정과 대기보정의 정확도에 영향을 끼친다. 향후 초기 광학 보정 기술이 향상되면 이에 따른 후처리 기법의 정확도가 증대될 것 예상된다.



<그림 2-2> 국토위성 DN영상의 횡방향 프로파일 추출(2022.01.16. 청진근처 바다영역)



<그림 2-3> 국토위성 DN 영상의 밴드별 횡방향 평균 프로파일(바다영역 100개 프로파일 평균)

1) 절대복사보정 기술 조사 및 분석

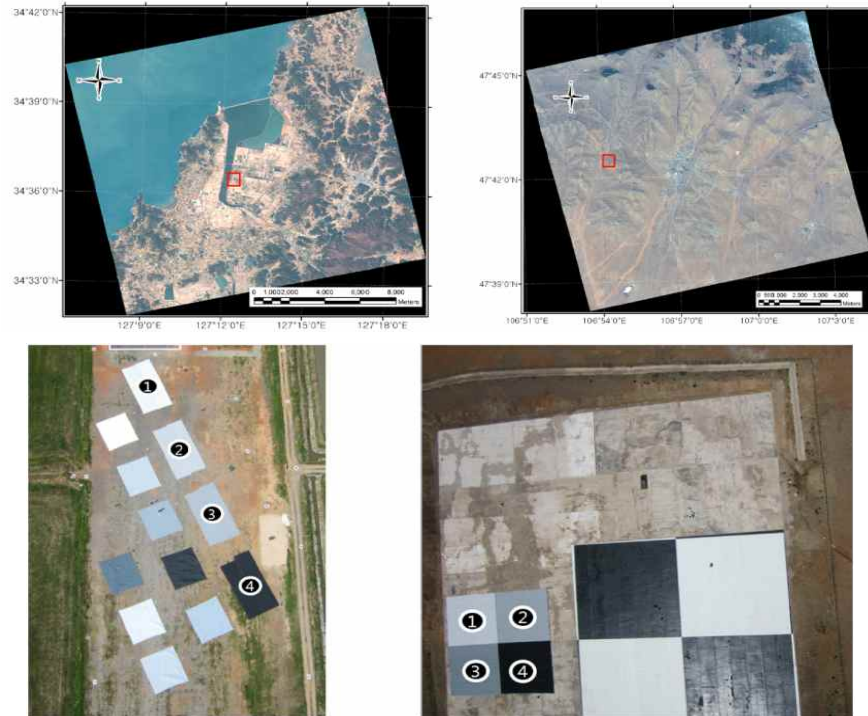
초기 1m 이하급 고해상도 영상이 공급될 시 고해상도 위성영상의 주요 활용이 주로 지형도 제작이므로, 대기보정과 같은 광학보정의 필요성이 크지 않았다. 그러나 최근 수많은 상업용 고해상도 위성영상이 본격적으로 제공됨에 따라 분광정보의 활용이 요구되어지면서 각 위성운영사에서는 절대복사보정 및 대기보정을 수행하고 있다. 대부분 6S(V)와 같이 복사전달모델(Radiative Transfer Model, RTM)을 기반으로 하는데, RTM은 위성영상 촬영시점에 측정된 반사율과 대기/태양조건과 센서의 촬영조건이 주어졌을 때 센서에서 감지될 복사휘도를 추정하는 도구로서 사용된다. 복사전달모델은 대기의 물리학적, 화학적 특징을 정형화한 수치 모델로, 대기를 통해 흡수, 산란, 투과되는 태양 에너지의 양을 산출하기 위해, 대기의 상태를 시뮬레이션한다. 다음 수식은 대기 복사전달모델의 입력 인자들과 센서에 감지되는 Radiance와의 관계를 나타내고 있다.

$$\rho^* = f(\text{Geometric}, \text{Atmospheric}, \text{Aerosol}, \lambda, \rho)$$

ρ^* : 센서에 감지되는 Radiance, λ : 파장, ρ : 지표물의 reflectance

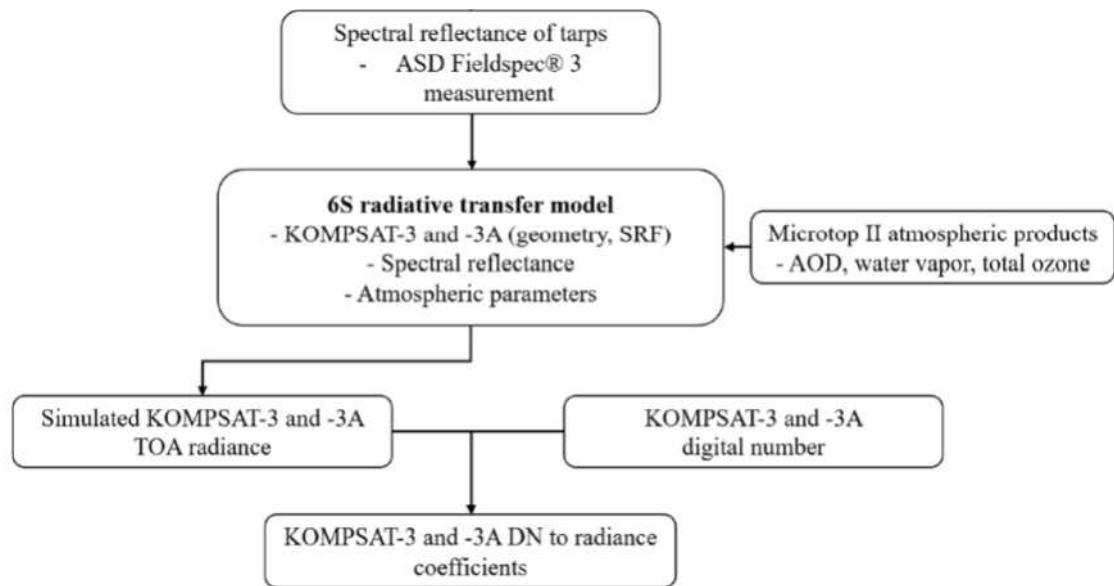
- 기하학적 조건(Geometric condition): 태양 천정각, 방위각, 센서 천정각, 센서 방위각, 센서 고도, 지표면의 고도
- 대기 모델(Atmospheric model): 표준 대기 모델 타입
- 에어로졸 모델(Aerosol Model): 표준 에어로졸 모델 타입, 가시거리 등
- 분광 조건 (Spectral condition): 분광 모델, 센서의 분광 반응도 등
- 지표면의 반사율 (Surface Reflectance)

현재 사용되고 있는 복사전달모델은 미공군 지구물리 실험실(Air Force Geophysics Laboratory: AFGL)에서 개발된 LOWTRAN, LOWTRAN을 파장대를 더욱 세분화 하여 개발된 MODTRAN(MODerate resolution atmospheric radiance and TRANsmittance Model), 프랑스에서 개발된 S6(Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum)가 있다. 국토위성과 가장 비슷한 제원을 가진 KOMPSAT-3과 KOMPSAT-3A를 대상으로 복사 검보정(Radiometric calibration) 사례를 조사, 분석하였다. 검보정 사례는 일정한 반사율을 나타내는 타프를 설치, 관측하는 현장실험을 수행하는 절대복사보정기법과, 타 위성영상과의 비교를 기반으로 하는 교차보정기법으로 나눌 수 있다. 우선 타프를 이용한 절대복사보정 사례를 살펴보면 2017년 5월, 6월, 9월에 아래 그림 2-4와 같이 몽골지역에는 3.5%, 23%, 32%, 53% 반사율의 타프와 검은 색, 흰색 타프가 교차로 분포된 총 6개, 국내 고흥지역에는 3.5%, 5%, 15%, 23%, 30%, 32%, 40%, 45%, 53%, 60%, 70% 반사율의 총 12개의 타프가 설치되었다(Yeom et al., 2017; 2018).



<그림 2-4> 절대복사보정을 위해 선택된 고흥 항공센터 사이트(좌)와 몽골 Zuunmod 사이트(우) (Yeom et al., 2017)

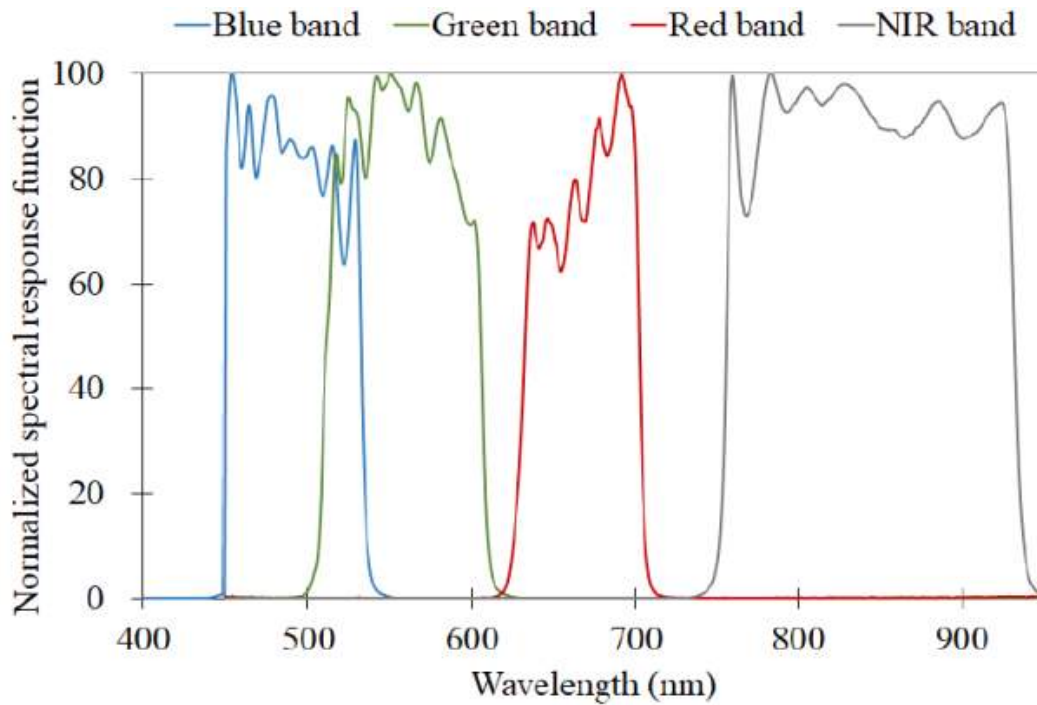
해당 사이트를 대상으로 KOMPSAT-3 및 3A 위성촬영이 수행되고 동시에 현장 타프에 대한 반사율 측정이 수행되며, 대기 관측 기기(Multifilter rotating shadowband radiometer; MFRSR, Microtops II 장비)를 통해 AOD, 수증기량, 오존량 등 대기정보도 관측한다. 이렇게 수집된 자료는 6S 복사전달모델에 입력된다. 그림 2-5를 보면, 지표반사율, 대기정보, 기하학적 정보, 센서 정보 등이 복사전달모델에 입력하여 KOMPSAT-3, 3A 위성의 Radiance값을 추정한다. 이 모델링된 Radiance값과 촬영된 KOMPSAT-3, 3A위성의 DN값과의 1차 회귀식을 산출하여 절대복사보정계수를 제시하게 된다.



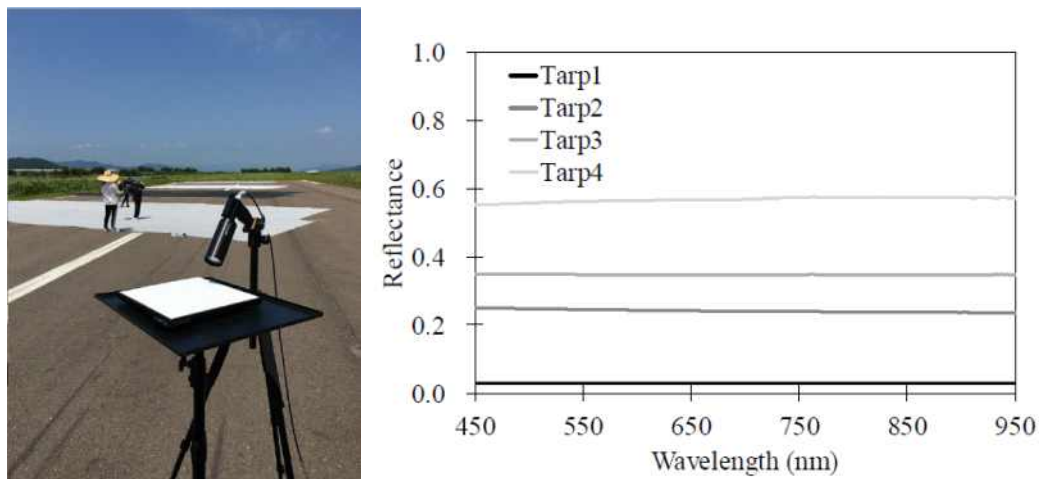
<그림 2-5> 절대복사보정계수 추정 방법 (Yeom et al., 2018)



<그림 2-6> 대기 측정 장비(좌: MFRSR, 우: Microtops II 장비) (Yeom et al., 2017; 2018)



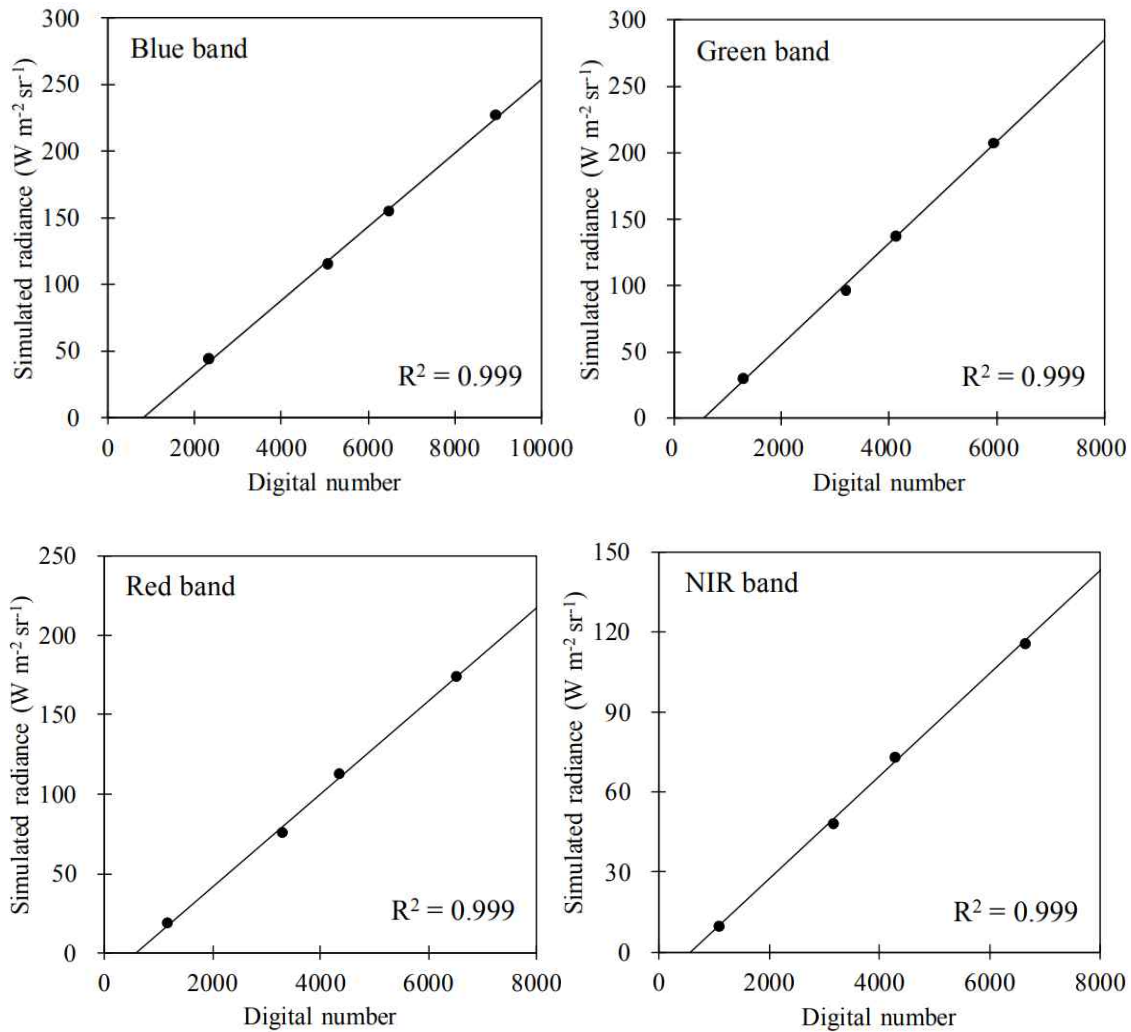
<그림 2-7> KOMPSAT-3, 3A 위성 센서의 밴드별 분광반응함수 (Yeom et al., 2018)



<그림 2-8> 타프 ASD분광기를 이용한 반사율 측정 및 결과 (Yeom et al., 2018)

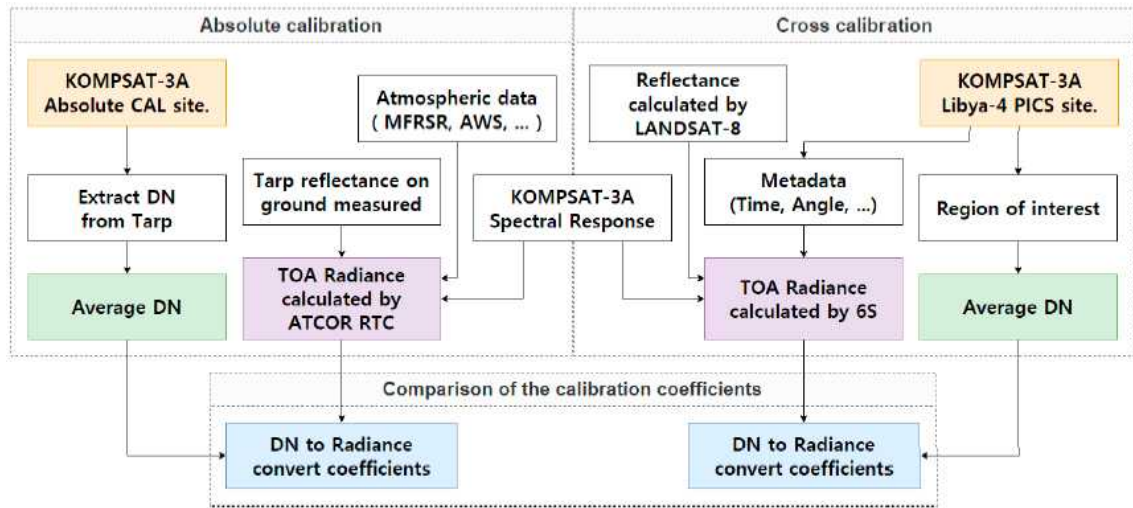
위성의 DN값은 아래 식과 같이 Gain과 Offset을 통해 Radiance로 변환할 수 있다.

$$Radiance = gain \times DN + offset$$

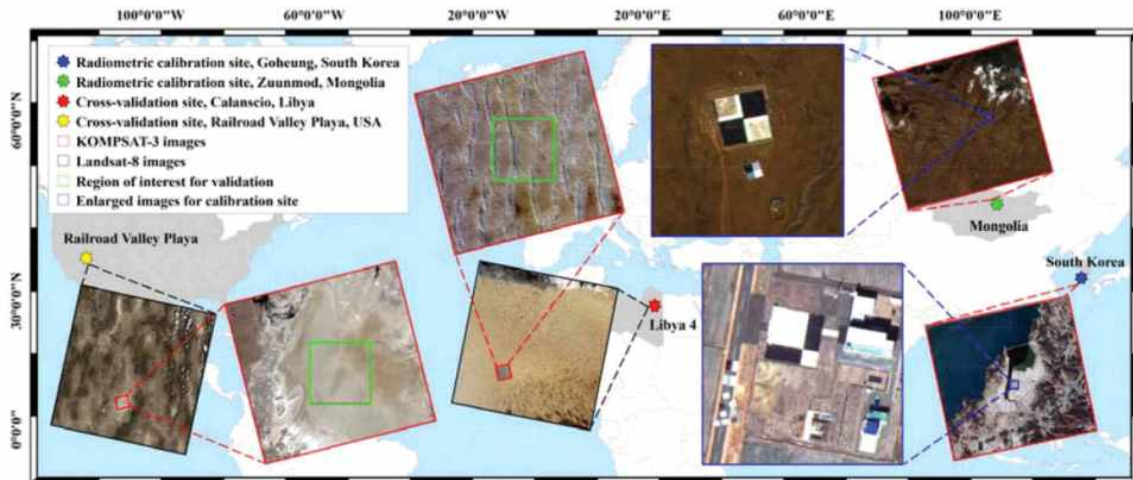


<그림 2-9> KOMPSAT-3위성영상의 절대복사보정 결과 (Yeom et al., 2018)

위성영상의 촬영 시 동시 현장 관측이 어려울 경우, 복사보정이 체계적으로 잘 수행된 Landsat-8 위성과 같은 타 위성자료의 반사율을 이용해 Radiance를 추정해 보정하는 교차 복사보정이 수행되었다. 교차복사보정이 수행되는 지역은 주로 사막지역인 Pseudo Invariant Calibration Site (PICS) 지역이 선택되었다. 이는 시간적으로 반사율의 변화가 적고, 많은 위성들이 검보정을 위해 자주 촬영되는 지역이기 때문이다. KOMPSAT-3A 위성영상의 교차복사보정에 주로 사용되는 위성영상은 Landsat-8 반사율 영상으로, USGS에서 제공하는 자료나 상용 대기보정 툴을 이용해 산출한 반사율 영상을 사용한다 (Jin et al., 2020). 본 교차보정방법은 최종 복사보정계수가 산출되지 않는다고, 이에 따라 정확도도 추정되지 않았다. 따라서 현 국토위성영상에 교차보정방법을 적용하는 것은 적합하지 않고, 단, 공식적인 절대복사보정계수가 제공된 후 비교 연구로 시도될 수 있다.



<그림 2-10> KOMPSAT-3A 위성영상 대기 절대복사보정과 교차 복사보정이 병행되는 과정 (Jin et al., 2020)



<그림 2-11> KOMPSAT-3 위성영상 교차 복사보정 대상 PICS 사이트 (Kim et al., 2015)

다음 표 2-2는 KOMPSAT-3A 위성영상 판매 시 제공되었던 복사보정계수 값을 보여주고 있다. 시간의 흐름에 따라 센서의 감응도가 감소됨으로써 복사보정계수를 갱신하여 제시하고 있다. 이와 함께 표 2-3과 같이 다양한 지역 및 시기를 대상으로 실험적인 절대복사보정계수가 제시되기도 하였다.

<표 2-2> KOMPSAT-3A 위성영상의 절대복사보정 계수 (SIIS 제공)

	1.4v (2017.12)		1.5v (2019.07)	
	Gain *	Offset	Gain *	Offset
BLUE	0.024860	No Provided	0.036200	-22.1416
GREEN	0.017997		0.024900	-14.0210
RED	0.017881		0.022900	-13.0457
NIR	0.010677		0.013000	-10.2834

* 단위 : $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ (TDI HIGH:64/32/32/8)

<표 2-3> 다양한 시기, 지역에서 추정된 KOMPSAT-3, 3A 위성영상의 절대복사보정 계수 (Yeom et al., 2018)

Band	Scale Factor			
	K-3, 05/14	K-3, 07/27	K-3A, 09/19	K-3, 09/20
Blue	0.0256 (0.0260) ¹	0.0239	0.0362	0.0275
Green	0.0359 (0.0365) ¹	0.0309	0.0279	0.0382
Red	0.0259 (0.0265) ¹	0.0230	0.0229	0.0294
NIR	0.0177 (0.0181) ¹	0.0149	0.0130	0.0192
Offset				
Blue	-47.8711 (-48.7996) ¹	-45.0553	-22.1416	-28.4989
Green	-38.8875 (-40.5952) ¹	-24.9649	-14.0210	-27.3846
Red	-21.5454 (-21.6730) ¹	-14.8416	-13.0457	-21.6854
NIR	-20.5972 (-20.2303) ¹	-14.2401	-10.2834	-13.5910

Band	KOMPSAT-3		KOMPSAT-3A	
	Previous	Updated	Previous	Updated
Blue	0.0185	0.0275	0.0301	0.0362
Green	0.0248	0.0382	0.0438	0.0249
Red	0.0214	0.0294	0.0443	0.0229
NIR	0.0141	0.0192	0.0235	0.0130

위와 같이 위성영상의 절대복사보정계수를 획득한 후, 계수 추정에 대한 정확도가 검증되는데, 표 2-4와 같이 오차가 발생할 수 있는 요인들을 정의하고, 정확도와 Radiance 오차량을 계산한다. 오차량을 단순 합하거나, 아래의 식과 같이 계산하기도 한다(Kim and Lee, 2020). 이렇게 추정된 오차량은 교차 추정의 경우 대부분 5%이하로 제시되고, 절대복사보정시 7%이하의 오차량이 제시되기도 하였다(Yeom et al., 2018; Kim and Lee., 2020). 이와 함께 대상 지역을 두 지역으로 나눠 두 사이트에 대한 절대복사보정계수를 산출 후 두 계수의 비를 분석하기도 하였다(Yeom et al., 2018). 절대복사보정이 잘 된 경우 두 사이트 계수의 비가 1에 가까운 값을 나타내야 되므로, 이를 기준으로 비교 분석하기도 하였다.

<표 2-4> KOMPSAT-3A위성의 절대복사보정계수 추정 시 오차 (Yeom et al., 2017)

	Accuracy(%)	Radiance Error(%)
Relative radiometric correction	5	5
Solar irradiance data	3	3
Surface reflectance measurement	1	1
Laboratory-based BRDF measurements	2.5	2.5
ASD FiedSpec®3 instrument	1	1
6S Radiative transfer	1	1
Aerosol optical depth from MFRSR	1	<1
Total ozone from OMI ozone	2	<1
Column water vapor amounts from MFRSR	10	<1
Combined error		~6.8

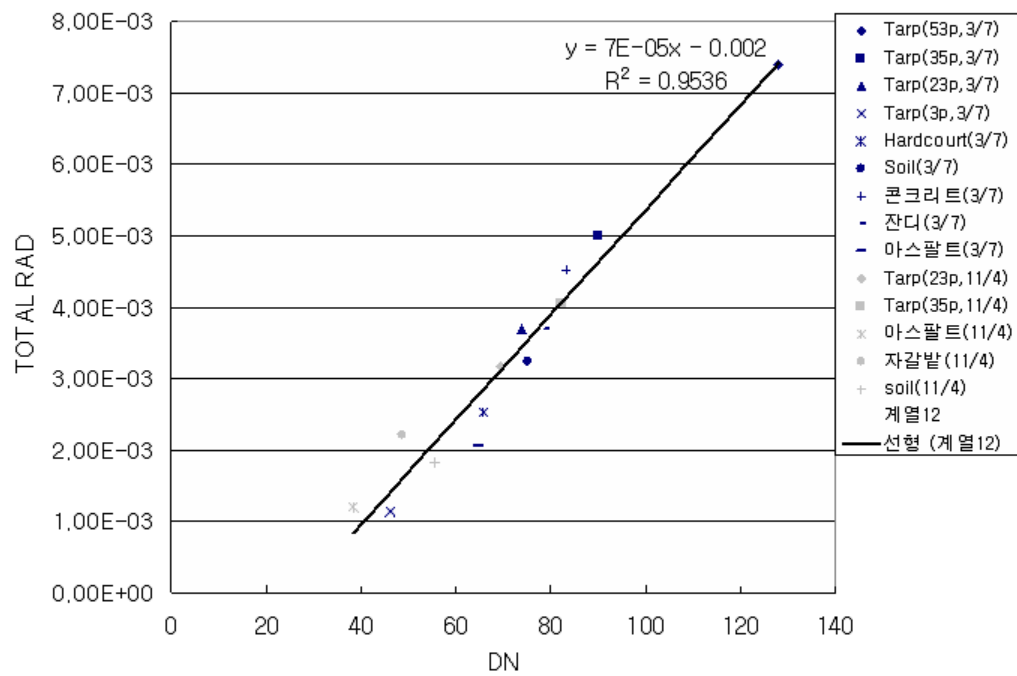
$$\sigma_0 = \sqrt{\sigma_{Ref}^2 + \sigma_{DN}^2 + \sigma_{ATM}^2 + \sigma_{BRDF}^2 + \sigma_{Ozone}^2}$$

이밖에 항공우주연구원에서는 고흥 항공센터를 대상으로 Orbview-3 위성의 절대복사보정을 위한 현장 실험 결과 사례를 분석하였다. 이때 절대복사보정 장소 선정에 위한 조건 8가지를 제시하였으며, 이 조건에 따라 고흥 항공센터가 선택되어, 현장 조사 시나리오가 설계되었다.

- 대기 산란에 의한 영향을 줄이기 위해 반사도가 큰 지표면 선택
- 위성의 공간해상도가 pixel size보다 상대적으로 넓은 target이 많은 지역
- 표면특성이 일정하며 평평한 target이 분포하는 지역
- 확률적으로 맑은 날이 많은 지역
- 에어로졸과 멀리 떨어진 지역
- 토양수분의 영향을 적게 받는 강수량이 낮은 지역
- 대기에 존재하는 수증기 영향을 최소화하기 위해 바닷가로부터 상대적으로 먼 곳
- 접근성이 용이한 지역



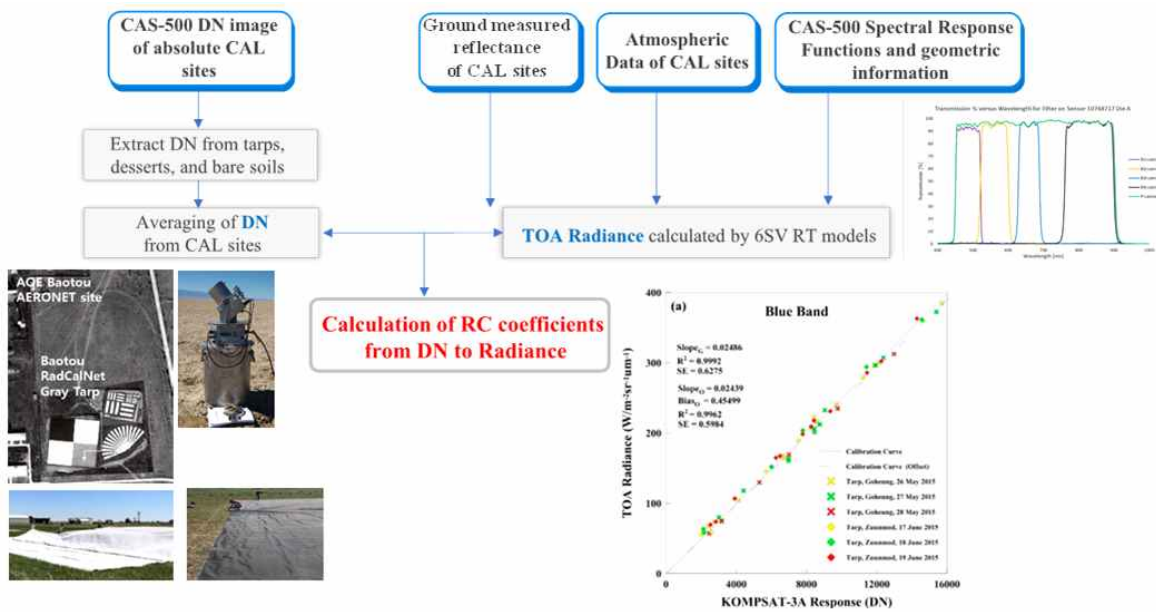
<그림 2-12> 절대복사보정을 위한 고흥 항공센터 전경



<그림 2-13> Orbview 절대복사보정계수 계산 결과

2) 절대복사보정계수 산출을 위한 입력자료

절대복사보정은 위성에서 획득된 DN값을 위성의 스캔 방향, 스캔율, TDI 모드와 같은 복사인자들을 고려하여 절대물리적 단위인 Radiance로 변경하기 위한 변환계수를 추정하는 것이다. 국토위성의 절대복사보정 계수 추정을 위해서는 절대복사보정 사이트(예: RadCalNet, 사막, 나지 등) 선정, Tarp 설치, 현장 반사율 측정(대기정보, 센서분광반응함수 고려), 사이트 촬영 시 조건 등이 설정되어야 한다. 또한 영상 화소값의 범위인 dynamic range가 10~85%인 값을 사용하여, 촬영각이 20도 미만, 태양 천정각 등이 고려되어야 한다. 이러한 조건들을 고려한 위성 영상 촬영 및 동시 현장관측을 수행하며, 이를 통해 획득된 자료는 복사전달모델에 입력하여 위성에서 탐지될 Radiance가 추정되고 이는 실제 촬영한 국토위성의 DN값과 밴드별 1차 선형 회귀식을 산출하게 된다. 이때 1차 선형 회귀식의 기울기와 y절편 값이 절대복사보정 계수인 gain과 offset값이 된다. 연직 촬영 국내의 절대복사보정계수 산출 사례를 분석해 보면 국토위성의 절대복사보정계수 산출을 위해서는 아래 그림과 같은 처리 과정을 정의할 수 있다.

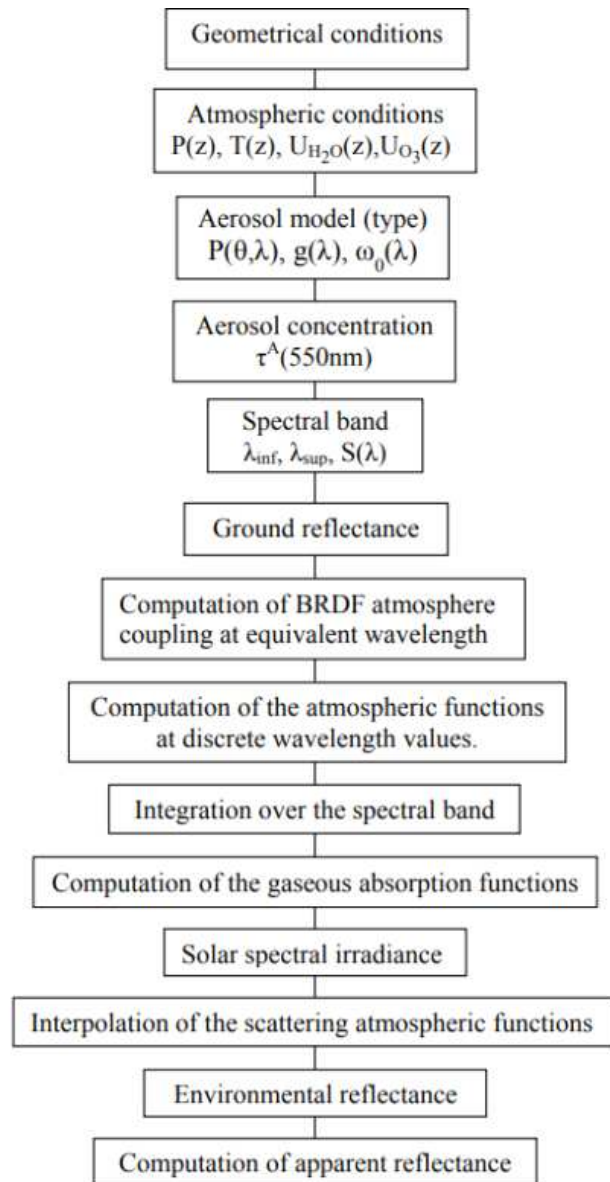


<그림 2-14> 국토위성의 절대복사보정계수 산출 과정

본 과업에서는 6SV 복사전달모델을 기반으로 절대복사보정계수 산출 방안을 수립하려 한다. 이에 6SV 모델 기반 위성 센서에서 탐지될 Radiance값을 추정하는 과정을 아래 그림과 같이 정의하였다. 주요 입력 인자 정보는 아래와 같이 정의될 수 있다.

- Geometric condition
- Atmospheric model for gaseous components
- Ground and satellite altitude

- Aerosol model (type and concentration)
- Spectral condition
- Ground reflectance (type and spectral variation)



<그림 2-15> 6SV 복사전달모델 이용 위성 탐지 Radiance (혹은 TOA reflectance) 추정 과정
(Vermote E. et al., 2006)

이때 본 값을 추정하기 위한 수집, 사용될 입력 정보는 아래 표와 같다.

<표 2-5> 6SV 모델 입력 인자 정의

대분류	소분류	활용 자료 소스
Geometric condition	Solar Zenith Angle (SZA) Solar Azimuth Angle (SAA) View Zenith Angle (VZA) View Azimuth Angle (VAA) Month Day	국토위성영상 meta file
Atmospheric model for gaseous components	Tropical Midlatitude summer Midlatitude winter Subarctic summer Subarctic winter US standard 1962 User define (1)	라디오존데자료 RadCalNet (수증기량, 오존량) MODIS CMA자료
Aerosol model (type and concentration)	Aerosol model Continental Maritime Urban User Desert Biomass burning Stratospheric Visibility or AOT at 550nm	RadCalNet AERONET MODIS CMA자료
Ground and satellite altitude	Target altitude Satellite altitude	DEM 국토위성영상 meta file
Spectral condition	Spectral bands Spectral response function	국토위성 SRF file
Ground reflectance (type and spectral variation)	Surface type Mean spectral value of surface type	토지피복도 현장 사진 ASD 반사율 처리 자료

(1) User define

- $P(z)$: the pressure at the altitude z
- $T(z)$: the temperature at the altitude z
- UH₂O(z): the H₂O density at the altitude z
- UO₃(z): the O₃ density at the altitude z
- τ^A : aerosol optical thickness(AOT)

- $w_o(\lambda)$: single scattering albedo

- $P(\theta, \lambda)$: phase function

- $g(\lambda)$: asymmetry factor

- λ_{inf} : wavelength

- λ_{sup} : wavelength

- $S(\lambda)$: spectral response

이에 따라 국외 RadCalNet 사이트와 국내 현장 관측 사이트에 대해서는 아래와 같은 입력자료를 이용하여 6SV를 수행시켜 국토위성에서 탐지될 Radiance값을 추정할 예정이다.

<표 2-6> 국내·외 사이트별 절대복사보정 계수 산출을 위한 입력자료 및 6SV 입력 조건

입력자료 종류	국외 RadCalNet 사이트	국내 관측 사이트
Geometric condition	본 지역 촬영한 국토위성영상 meta file	본 지역 촬영한 국토위성영상 meta file
Atmospheric model for gaseous components	사이트별로 정의 US standard 1962, Tropical	US standard 1962 혹은 라디오존데 profile
Aerosol model (type and concentration)	Aerosol model (dessert/urban) AOT at 550nm	Aerosol model (urban) 시정 관측자료
Ground and satellite altitude	사이트 정보, 국토위성영상 meta file	DEM정보, 국토위성영상 meta file
Spectral condition	국토위성 SRF file	국토위성 SRF file
Ground reflectance (type and spectral variation)	BOA reflectance file	ASD 관측 처리 file

3) 절대복사보정계수 산출 가능 사이트 및 제공 자료 현황

가) RadCalNet 사이트 제공 자료

위성영상의 광학 검보정을 위해 국제적으로 구축된 사이트인 RadCalNet에서는 대부분 사막지역에 설치되어 있으며, 대기 및 광학 정보를 측정하고 있다. 본 사이트는 지구관측 광학위성영상의 광학 보정 및 광학 품질을 모니터링하기 위해 운영되는 국제적 사이트로, 반사율이 일정한 지표물이 존재하고, 영상신호에 큰 영향을 미치는 에어로졸과 수증기의 영향이 최소화된 건조한 지역에 주로 위치한다. 현재 WorldView-3를 비롯한 대부분의 고해상도 위성센서가 본 RadCalNet 지역을 대상으로 절대복사보정을 수행하고 있다. 현재, RadCalNet에서 제공하는 지표 반사율자료는 400~2500nm 파장 영역에 10nm 간격으로 측정되고 있으며, 기압, 기온, 수증기량, 오존량, AOD, 에어로졸타입 등의 대기 자료가 오전 9시부터 오후 3시 30분까지 30분 간격으로 제공되고 있다. 현재 아래 표 2-7과 같이 총 5지점에 대해 구축되어 웹사이트를 통해 정보를 제공하고 있다. 국내에서도 국토위성을 비롯해 자국 광학위성영상의 지속적인 복사보정을 위해 몽골 사막지역에 영구적인 복사보정 사이트를 설치, 운영하는게 필요하다.

<표 2-7> RadCalNet 사이트 정보

Site		Lat(°)	Lon(°)	Altitude (m)	Spatial area	Offer
Railroad (RVUS)	미국	38.497	-115.69	1,435	1km × 1km 사막	2013.03.01.~
La Crau (LCFR)	프랑스	43.559	4.864	20	반지름 30m 원형 초지	2015.01.06.~
Gobabeb (GONA)	나미비아	-23.600	15.120	510	반지름 30m 원형 사막	2017.07.19.~
Baotou (BTCN)	중국	40.852	109.629	1,307	48m × 48m 회색 자갈	2016.04.05.~
Baotou Sand (BSCN)	중국	40.866	109.616	1,295	300m × 300m 사막	2017.06.26.~



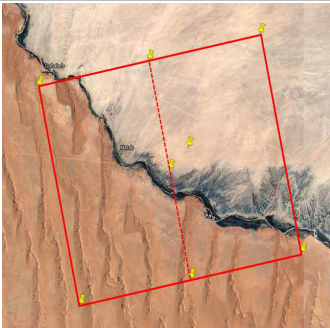
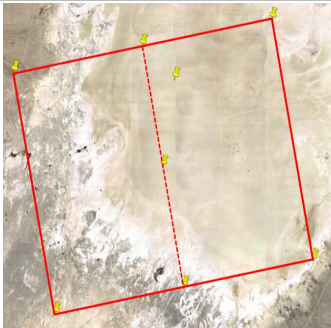
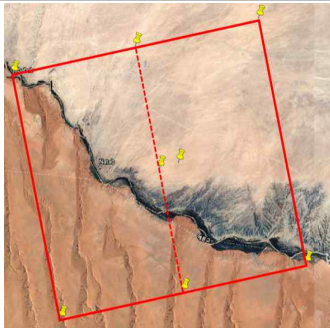
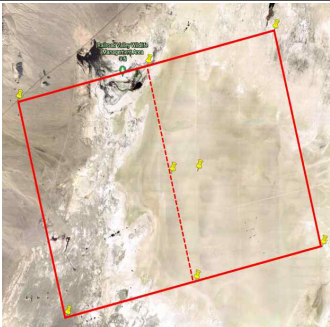

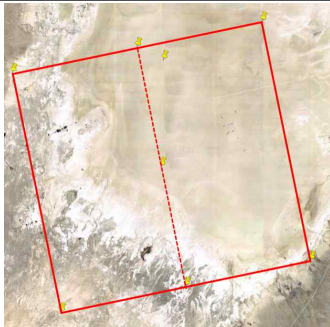



<그림 2-16> RadCalNet 사이트 분포 및 측정 기기 (<https://ceos.org/>)

본 RadCalNet사이트를 대상으로 국토위성영상의 절대복사보정을 수행하기 위한 자료를 아래와 같이 검색하였다.

<표 2-8> 국토위성이 촬영된 국외사이트 메타파일 목록

국토위성영상 파일명	촬영지역	RadCalNet 측정자료 제공 유무
C1_20211111101505_03561_00114934_L1R	나미비아	제공
C1_20211111182500_03566_00112984_L1R	미국	제공
C1_20211116101238_03637_00118054_L1R	나미비아	제공 (21/11/17일 자료 사용)
C1_20211117180321_03657_00046603_L1R	미국	제공
C1_20211121101013_03713_00006119_L1R	나미비아	제공
C1_20211121182007_03718_00006119_L1R	미국	제공
C1_20211122100832_03728_00006119_L1R	프랑스	미제공 (최신자료: 21/09/29)
C1_20211114031452_03602_00280847_L1R	중국	제공
C1_20211124031004_03754_00029130_L1R	중국	제공

<표 2-9> 국토위성 국외사이트 촬영 예상(안)(Google Earth 지도사용)

2021.11.11. 나미비아	2021.11.11. 미국	2021.11.16. 나미비아
		
2021.11.17. 미국	2021.11.21. 나미비아	2021.11.21. 미국
		
2021.11.22. 프랑스	2021.11.14. 중국	2021.11.24. 중국
		

RadCalNet사이트에서 수집된 자료는 사이트약자_년도_Julianday_version.input파일(예시:BSCN00_2021_318_v00.03.input)로 제공되며, 아래 표와 같이, Site명, 경위도, 고도, 날짜, 시간, 기압, 온도, 수증기량, 오존량, AOD, 에어로졸타입, 분광반사율 정보와 측정자료의 정확도 정보가 제공된다.

Site:	BSCN00												
Lat:	40.8658												
Lon:	109.6155												
Alt:	1270												
Year:	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021	2021
DOY(U):	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318
UTC:	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	6:30	7:00
DOY(L):	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318	318
Local:	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
P:	872	873	872	872	872	872	872	872	871	871	871	871	871
T:	269.956	270.237	271.837	273.69	275.324	275.623	275.951	276.149	276.709	276.892	277.163	277.265	277.297
WV:	0.2063	0.2075	0.2047	0.2033	0.1974	0.2043	0.2069	0.2092	0.2093	0.2083	0.1996	0.1961	0.1916
O3:	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311	311
AOD:	0.1494	0.1482	0.149	0.1481	0.1448	0.1491	0.1629	0.1751	0.1751	0.179	0.1708	0.1658	0.1599
Ang:	0.2606	0.3181	0.2955	0.2844	0.2603	0.2484	0.2312	0.2323	0.2294	0.2165	0.2043	0.2004	0.2027
Type:	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
400	0.0555	0.0537	0.0524	0.0517	0.0517	0.0508	0.0505	0.05	9996	9996	9996	9996	9996
410	0.0633	0.0613	0.0599	0.0594	0.0595	0.0584	0.0582	0.0575	9996	9996	9996	9996	9996
420	0.07	0.0679	0.0664	0.066	0.0661	0.0649	0.0647	0.0638	9996	9996	9996	9996	9996
430	0.0764	0.0741	0.0726	0.0721	0.0723	0.0711	0.0708	0.0698	9996	9996	9996	9996	9996
440	0.0828	0.0803	0.0787	0.0782	0.0784	0.0771	0.0767	0.0756	9996	9996	9996	9996	9996
450	0.0897	0.087	0.0853	0.0847	0.0849	0.0835	0.0831	0.0819	9996	9996	9996	9996	9996
460	0.0971	0.0941	0.0922	0.0916	0.0917	0.0903	0.0898	0.0884	9996	9996	9996	9996	9996
470	0.1054	0.1021	0.1001	0.0994	0.0995	0.0979	0.0973	0.0958	9996	9996	9996	9996	9996
480	0.1144	0.1107	0.1085	0.1077	0.1077	0.106	0.1053	0.1036	9996	9996	9996	9996	9996
490	0.1227	0.1187	0.1163	0.1155	0.1155	0.1138	0.1129	0.111	9996	9996	9996	9996	9996
500	0.1314	0.1271	0.1245	0.1236	0.1236	0.1218	0.1208	0.1188	9996	9996	9996	9996	9996
510	0.1402	0.1356	0.1329	0.1319	0.1318	0.1299	0.1287	0.1266	9996	9996	9996	9996	9996
520	0.1487	0.1438	0.141	0.1399	0.1398	0.1378	0.1365	0.1342	9996	9996	9996	9996	9996
530	0.1567	0.1516	0.1486	0.1474	0.1473	0.1452	0.1438	0.1413	9996	9996	9996	9996	9996
540	0.1644	0.1591	0.156	0.1548	0.1547	0.1525	0.1509	0.1483	9996	9996	9996	9996	9996
550	0.172	0.1665	0.1633	0.1621	0.1619	0.1596	0.1579	0.1552	9996	9996	9996	9996	9996
560	0.1793	0.1737	0.1704	0.1691	0.169	0.1666	0.1648	0.1619	9996	9996	9996	9996	9996

<그림 2-17> RadCalNet 자료 중 BSCN00_2021_318_v00.03.input 예시



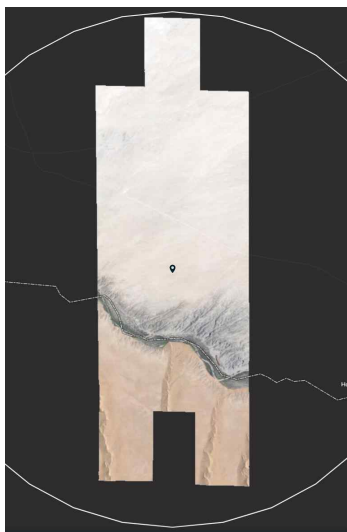
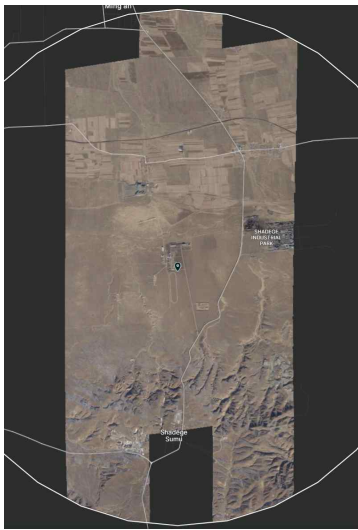
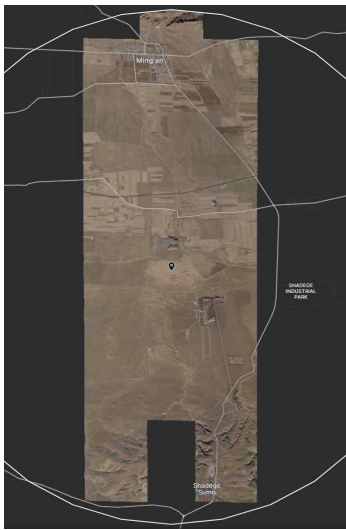

나) 국외위성 고해상도 위성영상 자료 수집

RadCalNet 사이트를 대상으로 고해상도 위성영상인 Skysat 위성영상 자료 수집을 진행하였다. SkySat 위성영상 자료는 유료위성으로 미국의 Planet에서 운영 중이며, 군집위성으로 촬영 요청일을 기준으로 2주 이내의 촬영영상을 제공 받을 수 있다(단, 기상조건에 따라 변동 가능). 0.5m의 공간해상도를 가진 광학영상(B, G, R, NIR)을 Tiff 파일 형태로 제공하며, 본 과업을 위해 2021년 11월 30일을 기준으로 위성영상을 촬영 요청하였으며, Radiance 영상자료와 Reflectance 영상을 확보하였다. 확보한 SkySat 위성자료는 다음과 같다.

<표 2-10> SkySat 위성영상 촬영 요청 지역

No.	지명(주소)	중심좌표	특이사항	촬영일
1	Railroad	38.497000, -115.690000	미국	2021.11.30.
2	La Crau	43.558889, 4.864167	프랑스	2021.11.30.
3	Gobabeb	-23.600200, 15.119560	나미비아	2021.11.30.
4	Baotou	40.851500, 109.629100	중국	2021.11.30.
5	Baotou Sand	40.865870, 109.615500	중국	2021.12.01.
6	Libya 4	28.550000, 23.390000	리비아	2021.11.30.

<표 2-11> SkySat 위성영상 수집현황

Railroad	La Crau	Gobabeb
2021.11.30. UTC 18:08	2021.11.30. UTC 10:04	2021.11.30. UTC 07:25
		
Baotou	Baotou Sand	Libya 4
2021.11.30. UTC 03:01	2021.12.01. UTC 04:56	2021.11.30. UTC 08:35
		

4) 절대복사보정계수 산출방안

가) 절대복사보정계수 산출을 위한 결정사항

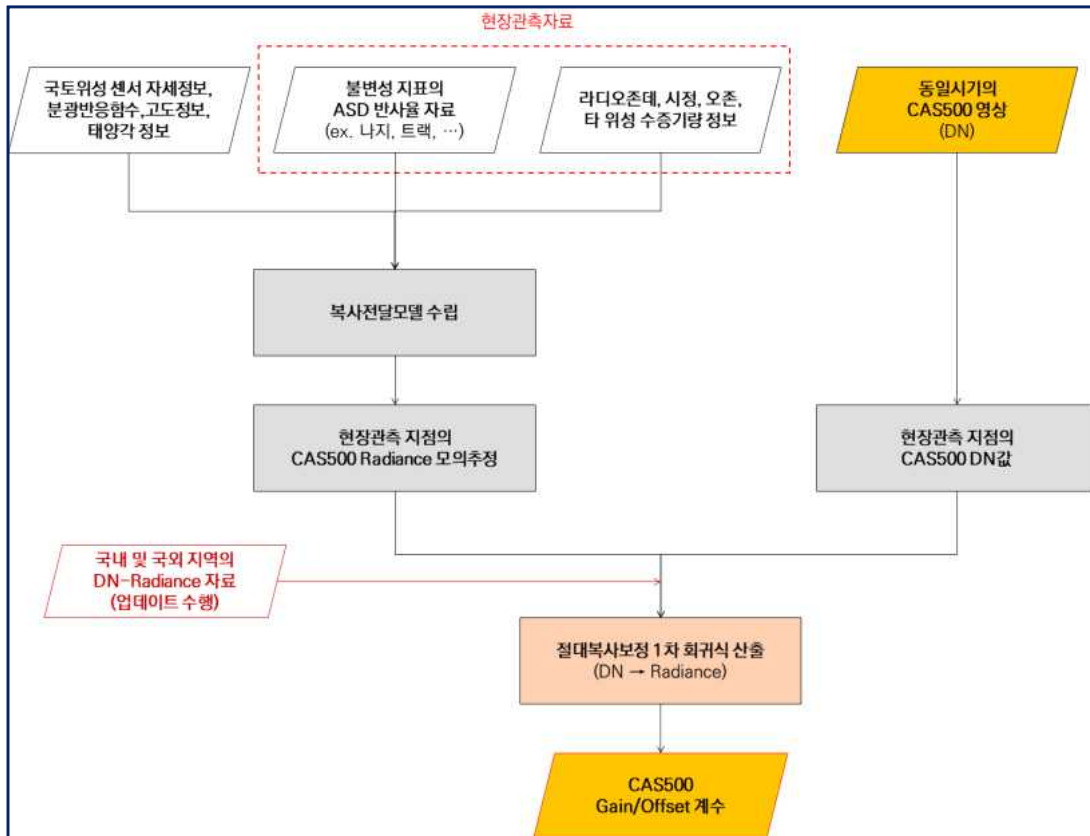
절대복사보정계수 산출을 위한 각 항목별 특징은 아래 표 2-12와 같다.

<표 2-12> 절대복사보정계수 산출을 위한 결정사항

항목	특징
Radiance 추정 사이트	<ul style="list-style-type: none"> - 절대복사보정용 국제 사이트 RadCalNet (총 5지점) - 국외 사막지역, 국내 나지지역에 반사율이 명확하고, 공간적으로 homogeneous한 타프 설치 지역, 현장 반사율 및 대기 관측 수행 가능한 지역으로 설정
필수 수집 자료	<ul style="list-style-type: none"> - 위성 촬영 당시 경위도, 고도, 수증기량, 오존량, AOD, 에어로졸 타입, 분광반사율, 위성 분광반응함수 파일, 위성 meta 파일 등
수집 기간	<ul style="list-style-type: none"> - 다양한 계절, TDI 모드별 자료 수집 필요
사용 자료 선택 기준	<ul style="list-style-type: none"> - Dynamic range 10~85% 자료만을 사용 - 촬영각 20도 미만 영상 사용, 태양 천정각도 고려
복사전달모델	<ul style="list-style-type: none"> - 6S(V), MODTRAN 등
측정 지점 추출 방법	<ul style="list-style-type: none"> - RadCalNet자료의 공간적 대표성을 나타내는 영역에 대한 국토위성영상의 평균값 사용
복사보정 회귀식	<ul style="list-style-type: none"> - 1차 회귀식 산출, 결정계수(r^2) 산출, 1차 회귀식 기울기(변환계수 gain), y절편 (변환계수 offset)

나) 국토위성 절대복사보정계수 산출 방안 및 과정

아래 그림은 국토위성의 절대복사보정계수 산출을 위한 전반적인 과정을 보여주고 있다. 계수 산출을 위한 다양한 입력자료를 수집, 복사전달모델에 입력, 실행하여 획득한 Radiance와 위성영상에서 추출한 DN값과의 회귀식 산출까지 일련의 과정이 제시되어 있다. 각 단계에 대한 상세 내용은 다음과 같다.



<그림 2-18> 국토위성영상의 절대복사보정계수 산출 방안

(1) 입력자료 정의 및 추출 정보

(가) RadCalNet 사이트 (<https://www.radcalnet.org/>) 관측 정보

사이트약자_년도_Julianday_version.input파일(예시:BSCN00_2021_318_v00.03.input)에서 위성촬영 동시시간대에 대한 사이트 경위도, 고도, 날짜, 시간, 수증기량, 오존량, AOD, 에어로졸타입, 분광반사율정보를 추출한다.

(나) 현장 관측 정보

RadCalNet 사이트를 기반으로 하지 않고, 특정 타프를 설치한 현장 실험자료를 활용할 경우, 현장 사이트에서 직접 측정한 대기정보를 사용한다. MFRSR 혹은 Microtops II 장비 등을 통해 AOD, 수증기량, 오존량 등이 측정되며, 본 자료를 절대복사전달모델에 입력하여 사용한다.

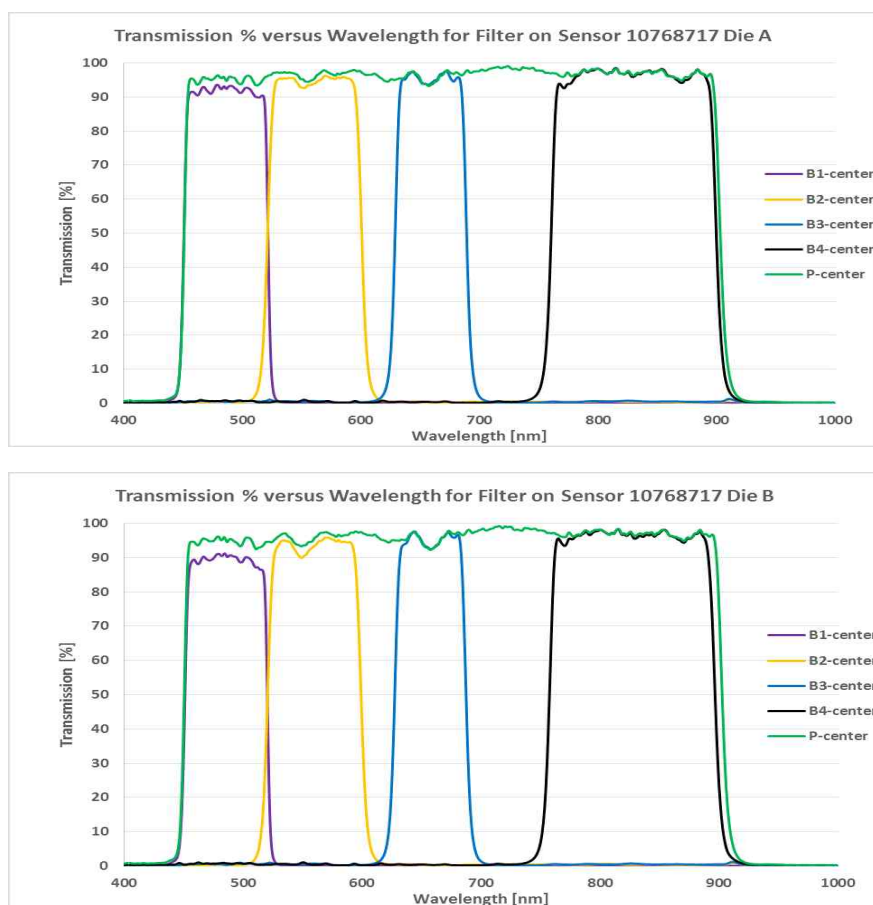
(다) 국제 MODIS CMG 정보 및 Aeronet 정보

만일 현장 대기정보 획득이 어렵다면, 대안으로 MODIS 및 AERONET 사이트의 대기정보를 사용할 수 있다. 수증기 및 AOD 정보를 제공하는 MOD09_CMA 자료는 EarthData 및 USGS에서 제공하고 있으며, MOD09_CMG 자료에서는 오존 정보를 추출하여 사용한다. 이와 관련한 자세한

자료 정보는 4장에 기술하였다. 국제 AERONET 사이트 (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>) 에서 해당 사이트에 맞는 자료 다운로드, 위성영상 촬영 당시 시점, 지점의 AOT (at 555nm) 정보만을 추출해서 사용한다.

(라) 국토위성 및 센서 관련 파일

국토위성영상의 메타파일에서 위성 중심 경위도, 촬영 일시, 태양 천정각, 방위각, 센서 천정각, 방위각 정보 추출한다. 국토위성영상은 두 종류의 CCD 분광반응함수를 제공하고 있어, 사이트의 위치에 따라 CCD A와 CCD B의 분광반응함수를 선택해서 사용한다.



<그림 2-19> 국토위성의 CCD별 분광반응함수(상:CCD A, 하:CCD B)

(2) 복사전달모델 실행

6SV나 MODTRAN의 절대복사모델의 forward mode를 통해 위성 촬영 일시, 지점의 Radiance를 추정한다. 위에서처럼 수집된 센서, 대기, 지표반사율 등의 입력 정보를 아래 예와 같이 파일로 생성 후, 복사전달모델을 수행하여 해당 조건에 대한 위성 센서의 화소 Radiance (Pixel radiance) 추정한다. 추정 결과물의 예는 그림 2-21과 같다.

```

0 (User-defined geometry)
61.48 160.5 6.48 260.6 11 14 (SZA, SAA, VZA, VAA, Month, Day)
8 (Atmospheric model)
0.197 0.311
5 (Aerosol model)
0 (Visibility, input 0 visibility when AOT value is used in next line)
0.145 (AOT at 550nm)
-1.27 (target altitude in km)
-1000 (satellite altitude in km)
1 (Spectral Bands)
0.450 0.520
0.339 0.716 0.903 0.915 0.912 0.905 0.918 0.929 0.920 0.912 0.914 0.930 0.935 0.924 0.931
0.926 0.933 0.930 0.923 0.914 0.914 0.925 0.926 0.920 0.906 0.900 0.899 0.904 0.817
0 (0: Homogeneous surface, 1: Non-homogeneous surface)
0 (0: No directional effect, 1: Directional effect)
0 (Mean spectral value of surface type)
0.112
-1 (Atm. corrections selected)

```

<그림 2-20> 6SV 입력정보(예시)

```

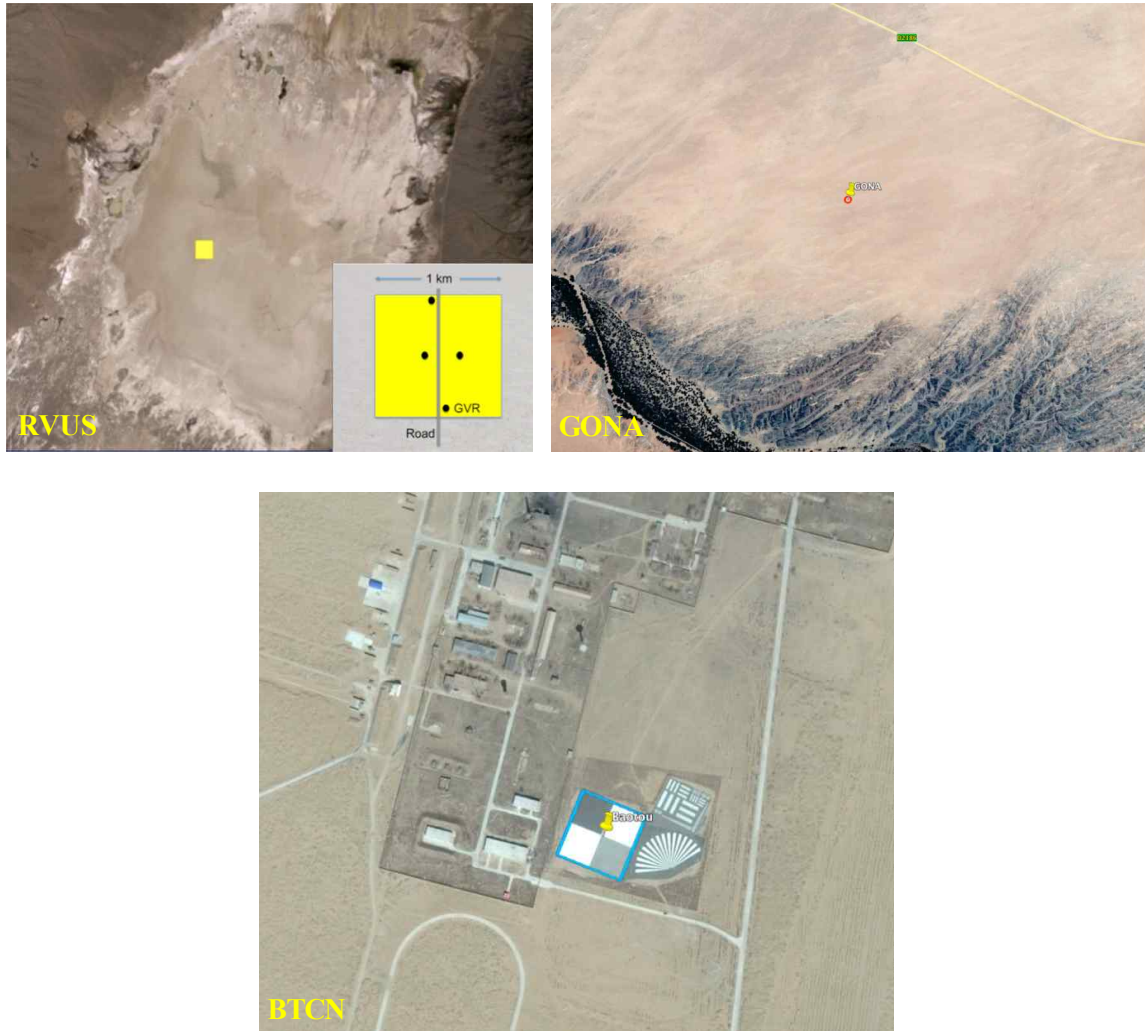
***** 6SV version 1.1 *****
*
*      geometrical conditions identity      *
*      -----                          *
*      user defined conditions              *
*      *****                          *
*
*      int. normalized values of :          *
*      -----                          *
*      % of irradiance at ground level      *
*      % of direct irr.  % of diffuse irr.  % of enviro. irr      *
*      0.646              0.337              0.016              *
*      reflectance at satellite level        *
*      atm. intrin. ref.  background ref.  pixel reflectance      *
*      0.084              0.016              0.066              *
*
*      int. absolute values of              *
*      -----                          *
*      irr. at ground level (w/m2/mic)      *
*      direct solar irr.  atm. diffuse irr.  environment irr      *
*      500.292              260.824              12.590              *
*      rad at satel. level (w/m2/sr/mic)    *
*      atm. intrin. rad.  background rad.  pixel radiance      *
*      25.447              4.730              20.210              *
*
*      int. funct filter (in mic)            int. sol. spect (in w/m2) *
*      0.0629050              125.921              *
*
*****

```

<그림 2-21> 6SV 결과 출력 화면 (예시)

(3) 위성영상에서 DN 추출

RadCalNet 및 현장 관측 지점에 대한 공간적 대표성을 나타내는 영역을 정의 후 국토위성영상에서 그 영역의 평균 DN값을 추출한다.



<그림 2-22> RadCalNet 사이트의 공간적 영역 (참고문헌: RadCalNet Quick Start Guide)

(4) 회귀식 산출 및 gain/offset값 산출

독립변수를 국토위성의 DN값으로, 종속변수를 복사전달모델에서 모의한 Radiance값으로 설정 후, 밴드별 1차 회귀식 산출한다. 1차 회귀식의 기울기는 복사전달모델의 gain, y절편은 offset 값으로 설정하며, 회귀식 산출 시 결정계수(r^2)도 산출한다. 이때 y절편이 없이 회귀식을 산출하는 경우도 있는데, IKONOS과 KOMPSAT-3A과 같은 고해상도 위성영상을 이용하여 적용한 결과 gain값만 적용(offset은 0)해도 차이가 거의 없는 것으로 나타났다(Pagnutti et al., 2003; Jin et al., 2020). 현재 대부분의 상용 고해상도 위성영상에서는 gain과 offset을 모두 사용하고 있다.

다) 국토위성 절대복사보정계수의 정확도 추정 방안

절대복사보정결과의 정확도 척도는 기 논문에서 제시된 Percentage RMSE나 Percent difference 척도를 사용하는 것이 바람직하다. 기 위성영상의 경우 절대복사보정의 정확도 기준치가 5% 내외로 제시되어 있으나, 국토위성영상의 경우 초창기임을 감안할 때, 10% 내외 기준이 바람직하다. 절대복사보정결과의 정확도 추정 방법은 기 절대복사보정계수 추정에 사용된 사이트를 제외한 타사이트를 대상으로 복사전달모델로 모의된 Radiance와 기 제시된 절대복사보정계수가 적용되어 산출된 위성의 Radiance와의 차이 혹은 동시 촬영된 타위성과의 Radiance와의 차이를 계산하는 방식이 필요하다. 이때 정확도 뿐만 아니라, 절대복사보정 계수 추정 시 사용한 자료의 수가 10개 이상 정도 확보 필요하다.

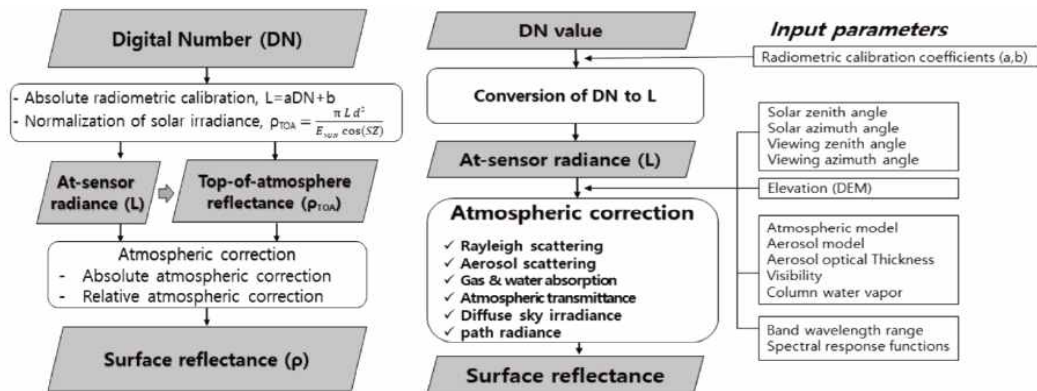
라) 결론

현 제공되는 국토위성 DN(Digital Number)영상의 광학적 품질을 살펴보았을 때 아직까지 운영 초기로 디텍터간의 차이 보정이 제대로 수행되지 못하고 있어, 절대복사보정에 앞서 기본 복사보정의 정확도를 향상시키는 것이 시급하다. 국토위성 표면반사율 생성을 위해 필수적인 복사보정계수를 산출하기 위해 현 상용 고해상도 위성영상의 광학 검보정 사이트로 많이 사용되는 RadCalNet사이트 자료 활용 방안과 함께 국내외 현장 타프 설치 실험자료를 활용하는 방안을 모두 반영된 국토위성영상의 절대복사보정 방안을 그림 2-18과 같이 수립하였다. 절대복사보정을 위해서 RadCalNet 사이트 혹은 타프 설치 지역을 대상으로 할 시 지표 반사율자료와 수증기량, 오존량, AOD가 현장에서 국토위성 촬영에 동시에 측정되어야한다(표 2-12 참조). 본 현장 측정자료와 함께 국토위성 분광반응함수, 태양천정각, 태양방위각, 센서천정각, 센서방위각, 촬영시간, 고도 정보가 수집되어 6SV와 같은 절대복사모델에 입력, forward mode를 통해 그 시간의 국토위성 센서에서 탐지될 Radiance가 시뮬레이션 되어야한다(그림 2-20 참조). 시뮬레이션 된 Radiance와 이 사이트 위치에 해당되는 지점을 국토위성영상에서 3*3 윈도우 평균 DN값을 추출 후 밴드별로 기울기와 y절편값이 있는 1차 회귀식을 산출해야하며, 이를 통해 본 회귀식의 기울기와 y절편값이 절대복사보정계수로 정의된다. 본 회귀식 산출 시, 국토위성영상의 광학적 품질(자연광합성 색감 및 타 품질 척도 등)이 좋은 자료만을 선택·사용해야 하며, 10개 이상의 자료가 입력되어야한다. 또한, 회귀식의 결정계수를 제시하여 산출된 절대복사보정계수에 대한 신뢰도 정보가 산출되어야한다. 절대복사보정결과와 정확도 추정방법은 기 절대복사보정계수 추정에 사용된 사이트를 제외한 타사이트를 대상으로 복사전달모델로 모의된 Radiance와 기 제시된 절대복사보정계수가 적용되어 산출된 위성의 Radiance와의 차이 혹은 동시 촬영된 타 위성과의 Radiance와의 차이를 계산되며, 절대복사보정결과와 정확도 척도는 Percentage RMSE나 Percent Difference를 사용하고, 그 기준치는 10% 내외여야 한다. 국토위성을 비롯해 자국 광학위성영상의 지속적인 복사보정을 위해 몽골 사막지역에 영구적인 복사보정 사이트 설치, 운영하는 것이 필요하다.

나. 표면반사율 영상 생성 기술 개발

1) 대기보정 기술 사례 분석 (고해상도위성 중심)

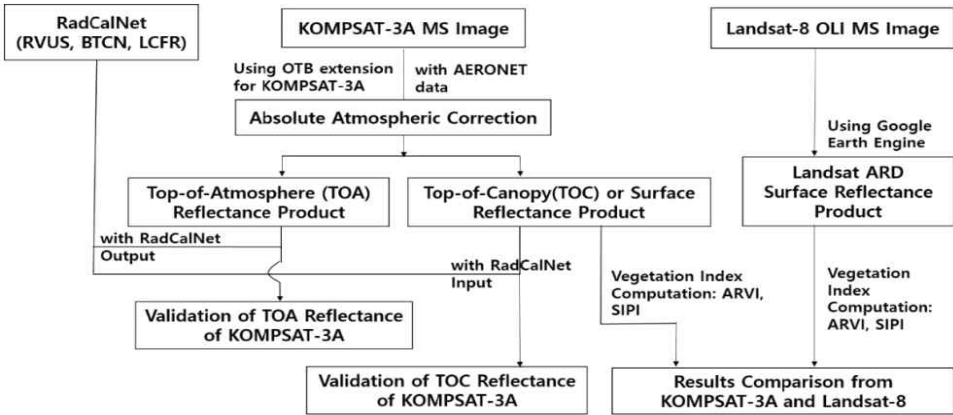
위성영상의 대기보정은 정량적 활용에 있어 필수적인 과정이나, 대기 정보의 수집이나, 처리 과정의 난이도, 효과의 불확실성을 고려할 때 꼭 필요한 분야에서만 적용하는 것이 적합하다(이규성, 2019). 대기보정의 정확도에 큰 영향을 주는 에어로졸과 수증기량 정보는 시공간적으로 변화가 심에 정확한 정보 획득이 힘들다. 특히 고·중해상도의 위성영상은 그 해상도에 맞는 대기자료를 획득하기 어려워 높은 정확도의 대기보정 결과를 획득하기 어렵다. 대기보정은 크게 복사전달모델에 대기정보를 직접 입력하여 보정하는 절대대기보정기법과 위성 자체에서 대기정보를 추정해 입력하는 상대대기보정으로 나눌 수 있다. 이와 함께 대기 보정 시 Lambertian 표면으로 가정하나, 실제 지표면은 이방성 반사특성을 가지므로, BRDF 보정이 적용되어야 보다 정확한 반사율을 획득할 수 있다(이규성, 2019).



<그림 2-23> 대기보정 과정(좌)와 절대대기보정 과정(우) (이규성, 2019)

현재까지 대부분 KOMPSAT-3, 3A의 대기보정 사례는 RadCalNet 사이트와 같이 깨끗한 대기 에, 알고 있는 반사율 타겟을 대상으로 지속적으로 대기정보와 반사율 측정이 이뤄지는 특정 사이트에서 주로 수행되었다(이기원 외 1명, 2019; 2020; 김광섭 외 1명, 2020, Kim and Lee, 2020). 혹은 PICS 사이트와 같은 사막지역을 대상으로 타 위성, 항공영상의 반사율과 비교하는 연구가 진행되었다. 그러나 PICS 사이트는 위성영상 촬영 당시 대기정보를 획득하기 어려워 대부분 TOA 반사율을 비교하는 연구 결과만 제시되었다(신동운 외 3명, 2016). 대기보정 방식은 절대대기보정방식인 오픈소스 기반의 Orfeo ToolBox (OTB)에 KOMPSAT-3A위성에 맞게 추가하여 적용하였다. 다만, 이 OTB는 RadCalNet사이트에 대기정보가 제공되지만, 이 자료를 사용하지 못하고, AERONET 자료만을 입력해야 한다는 제약점이 있다. 이밖에 상용 절대대기보정 툴인 FLAASH와 QGIS가 적용되기도 하였다. 대기보정 시 입력하는 정보의 종류는 대부분 동일하나 대기보정 툴 종류에 따라 입력하는 방식이 다르다. 특정 연구에서는 KOMPSAT-3A 위성의 버전별

절대복사보정계수를 적용하여 계수별 대기보정된 반사율을 비교하였다. 이렇게 대기보정된 반사율의 활용성을 분석하기 위해 식생지수를 변환하여 활용 분석하기도 하였다. 이렇게 대기보정된 KOMPSAT-3A 위성영상은 RadCalNet에서 측정한 TOC 반사율과 비교 했을 시 최대 ± 0.02 차이가 나타난 결과도 있었으며, 중국 BTCN RadCalNet사이트의 경우에는 밴드별로 약간의 차이가 있었다(이기원 외 1명, 2020; 김광섭 외 1명, 2020). 타 위성과의 비교에서도 $\pm 5\%$ 이하의 반사율 차이값이 나타나는 것을 볼 수 있었다(김광섭 외 1명, 2020). 단, 본 반사율 비교에 사용되는 KOMPSAT-3A영상의 수가 년 1개로 그 수가 매우 적어 대표성이 있다고 보기는 어렵다.



<그림 2-24> KOMPSAT-3A 위성영상의 대기보정 과정 (Kim and Lee, 2020)

<표 2-13> KOMPSAT-3A위성의 대기보정 결과 비교 (김광섭 외 1명, 2020)

Year/Band		KOMPSAT-3A			Landsat-8			Sentinel-2B		
		RadCalNet (Avg.)	Avg.	Sub.	RadCalNet (Avg.)	Avg.	Sub.	RadCalNet (Avg.)	Avg.	Sub.
2016	Blue	0.127	0.148	-0.021	0.138	0.168	-0.030	0.140	0.109	0.031
	Green	0.153	0.154	-0.001	0.170	0.208	-0.038	0.171	0.130	0.041
	Red	0.158	0.229	-0.071	0.177	0.235	-0.058	0.177	0.180	-0.003
	NIR	0.148	0.208	-0.060	0.162	0.250	-0.088	0.165	0.183	-0.018
2017	Blue	0.139	0.170	-0.031	0.138	0.173	-0.034	0.137	0.090	0.047
	Green	0.179	0.184	-0.005	0.170	0.225	-0.055	0.175	0.109	0.067
	Red	0.199	0.271	-0.072	0.177	0.250	-0.073	0.198	0.137	0.061
	NIR	0.201	0.235	-0.034	0.162	0.285	-0.123	0.197	0.168	0.029
2018	Blue	0.145	0.112	0.033	0.146	0.158	-0.011	0.149	0.106	0.043
	Green	0.187	0.124	0.063	0.190	0.200	-0.010	0.191	0.131	0.060
	Red	0.202	0.175	0.026	0.207	0.235	-0.028	0.207	0.165	0.042
	NIR	0.191	0.202	-0.011	0.191	0.253	-0.062	0.195	0.180	0.015

<표 2-14> 위성별, 대기보정 틀별 입력정보 (이기원 외 1명, 2020)

OTB extension(KOMPSAT-3A)	QGIS(Landsat-8)	ENVI FLAASH(Landsat-8)
Time: 2018.05.04. 20:40	Time: 2018.05.04. 18:20	
Sun angles Elevation :63.539893194 Azimuth :216.252466066 Viewing angles Elevation :7.654360150 Azimuth :79.930947697 Gain(B/G/N/R) 27.6243093, 40.1606425, 43.6681222, 76.9230769 Biases(B/G/N/R) -22.1416, -14.021, -13.0457, -10.2834 Solar illuminations(B/G/N/R) 2001, 1875, 1525, 1027 Aerosol Model noaerosol	Sun elevation 61.42108424 Earth sun distance 1.0083731 Radiance Multi(B/G/N/R) 1.2645E-02, 1.1652E-02, 9.8255E-03, 6.0127E-03 Radiance Add(B/G/N/R) 63.22306, -58.25951, -49.12770, -30.06370 Reflectance Multi, Add 2.0000E-05, -0.100000 Radiance Maximum 765.44159, 705.34790, 594.78906, 363.98126 Reflectance Maximum 1.210700	Scene Center Location Lat:38.90071944 Lon:-115.50965000 Sensor Type Landsat-8 OLI Sensor Altitude(km) 705 Ground Elevation(km) 0 Pixel Size(m) 30 Atmospheric Model U.S Standard Aerosol Model Rural Aerosol Retrieval 2-band(K-T)
Aeronet File	MTL File	-

2) 복사전달모델 기반 대기보정 기술 개발 사례

정대성 등(2020)에서는 KOMPSAT-3/3A 위성영상을 대상으로 밴드별 6SV 조건표(LUT)의 지표 반사도 민감도 분석을 수행하였다. 복사전달모델 기반의 대기보정은 높은 정확도 대비 복잡한 계산과정으로 반사율 산출 시 많은 시간이 소요된다. 따라서 위성영상의 화소별 대기보정 처리시간을 단축하기 위해 대기/기하조건에 대해 미리 계산하는 조건표를 사용하는 방법이 연구되고 있다. 기존 연구들은 각 밴드에 대해 동일한 대기/기하 조건을 적용하나, 해당 연구에서는 밴드별 다른 대기/기하 조건으로 조건표를 구축하였다. 이는, 조건표의 주요 인자인 에어로졸, 오존, 수증기가 각각 특정 파장대에서 민감하게 반응하기 때문이다. 조건표를 구축하기 위한 입력인자 종류 및 값의 범위는 아래 표 2-15와 같다. 일반적으로 조건표는 대기/기하조건들의 간격으로 인해 오차가 발생한다. 따라서, 이렇게 구축된 조건표의 검증을 위해, 조건표 인자들의 사이값을 검증 조건으로 아래와 같이 설정하여 위성에서 탐지될 TOA Radiance를 추정하였으며, 이 값을 이용하여 대기보정 조건표 기반 대기보정을 수행하여 밴드별 반사율 상대오차를 비교하였다.

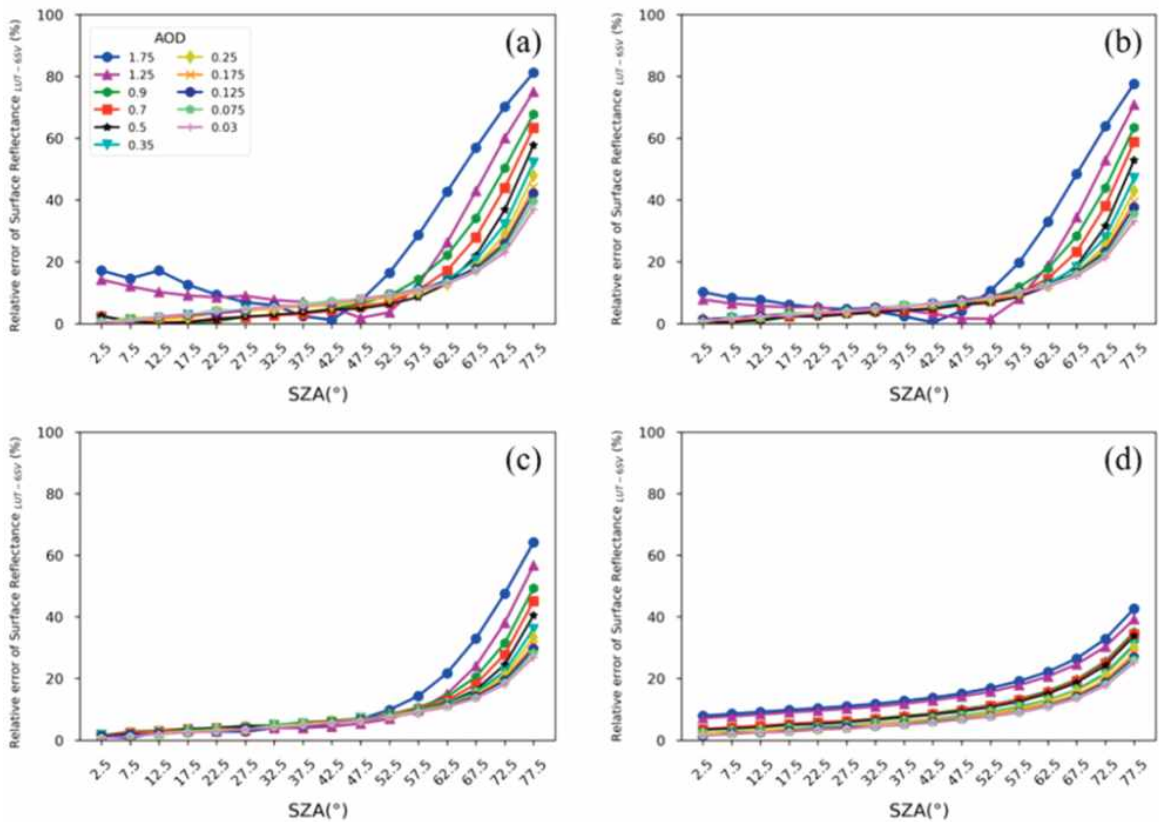
<표 2-15> 조건표 구축을 위해 사용한 입력인자 및 그 범위 (정대성 외, 2020)

Parameter	Min	Max	Increment
Solar Zenith Angle(°)	0	80	5
Relative Azimuth Angle(°)	0	180	10
Viewing Zenith Angle(°)	0	30	5
Total Precipitable Water($g\ cm^{-2}$)	0	3	0.5
Total Column Ozone(atm-cm)	0.25	0.35	0.05
Aerosol Optical Depth(Continental)	0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0		
Spectral Response Function(nm)	Blue, Green, Red, NIR channels(every 2.5nm)		
Ground Type	vegetation		

<표 2-16> 조건표 검증을 위해 위성에서 탐지된 TOA Radiance값을 모의하기 위한 조건 (정대성 외, 2020)

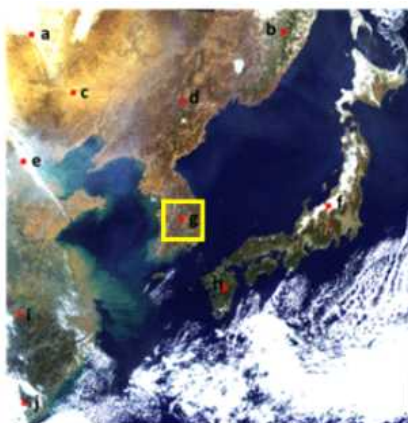
Parameter	Value
Solar Zenith Angle(°)	2.5~77.5(Increment 5)
Relative Azimuth Angle(°)	85
Viewing Zenith Angle(°)	12.5
Total Precipitable Water($g\ cm^{-2}$)	1.25
Total Column Ozone(atm-cm)	0.325
Aerosol Optical Depth(Continental)	0.03, 0.075, 0.125, 0.175, 0.25, 0.35, 0.5, 0.7, 0.9, 1.25, 1.75
Spectral Response Function(nm)	Blue, Green, Red, NIR channels(every 2.5nm)
Ground Type	vegetation

결과적으로 태양 천정각과 에어로졸 광학 두께가 증가함에 따라 대기보정 결과의 변동폭이 증가하였으며, 특히 파장대가 짧을수록 에어로졸 광학 두께의 변화에 따라 대기보정 결과의 변동이 크게 나타났다. 아래 그림은 참값으로 가정된 6SV 모의 반사도와 조건표 기반 반사도와의 상대 오차를 밴드별로 보여주고 있다. 태양 천정각이 낮은 구간(2.5~52.5°)에서는 에어로졸 광학 두께의 변화에 따른 영향이 낮게 나타났지만, 태양 천정각의 높은 구간(57.5~77.5°)에서는 에어로졸 광학 두께의 모든 조건이 높은 상대오차를 발생시켰다. NIR 밴드에서는 최대 상대오차가 42.67%로 나온 것에 비해, 청색광 밴드에서는 최대 81.14%의 큰 상대오차가 발생하였다.



<그림 2-25> KOMPSAT-3/3A 위성영상의 대기보정 조건표의 상대 오차 결과 (정대성 외, 2020)

이와 함께 이화선과 이규성(2018)은 천리안 GOCI 위성영상의 대기보정을 위해 6S기반 GOCI 센서용 대기보정 LUT를 제작하였다. 우선 천리안위성은 정지궤도 위성으로 그 위치가 고정되어 있어 아래 그림과 같이 센서 관련 정보가 고정되어 사용되었다.



- Sensor: GOCI-1
- Img acquisition: 2011-04-05 (9h~16h)
- Spectral bands: b1~b8 (412nm~865nm)
- Location: site g
 - Lat: 36.49
 - Lon: 128.09
 - VZA: 42.34
 - VAA: 179.81
 - Altitude: from SRTM DEM, 30m
 - AOT: from AERONET data

<그림 2-26> 천리안 GOCI 위성영상의 대기보정 시 사용된 위성 정보 (이화선과 이규성, 2018)

또한 GOCI 위성영상은 한반도를 포함 다양한 피복이 분포하는 광역을 촬영하기 때문에 아래 표와 같이 다양한 범위의 대기 및 환경인자를 반영한 대기보정 LUT가 제작되었다. 아래 조건에 따라 6S 복사전달모델을 실행시켜야 하는데 그 계산량이 4,366,656개였다.

<표 2-17> 천리안 GOCI 위성영상의 대기보정용 LUT 제작에 사용된 조건
(이화선과 이규성, 2018)

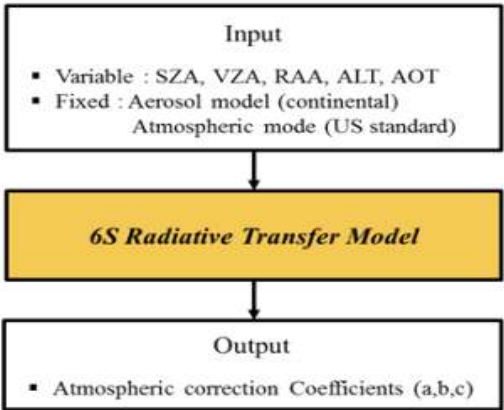
Parameters	Range	Interval	Number of class
Solar zenith angle	0~90°	5°	19
Viewing zenith angle	25~60°	5°	8
Relative azimuth angle	0~180°	10°	19
Terrain elevation	0~4,000m	500m	9
Atmospheric model	US standard	-	1
Aerosol model	Continental	-	1
Aerosol Optical Thickness(AOT)	0~2	0.1	21
Spectral bands	8	-	8

이 조건으로 구축된 LUT의 샘플과 LUT 제작 과정은 아래 그림과 같다. LUT에 맞는 대기보정 계수를 화소별로 적용하면 대기보정된 GOCI 반사율 영상을 산출할 수 있다.

LUT Design

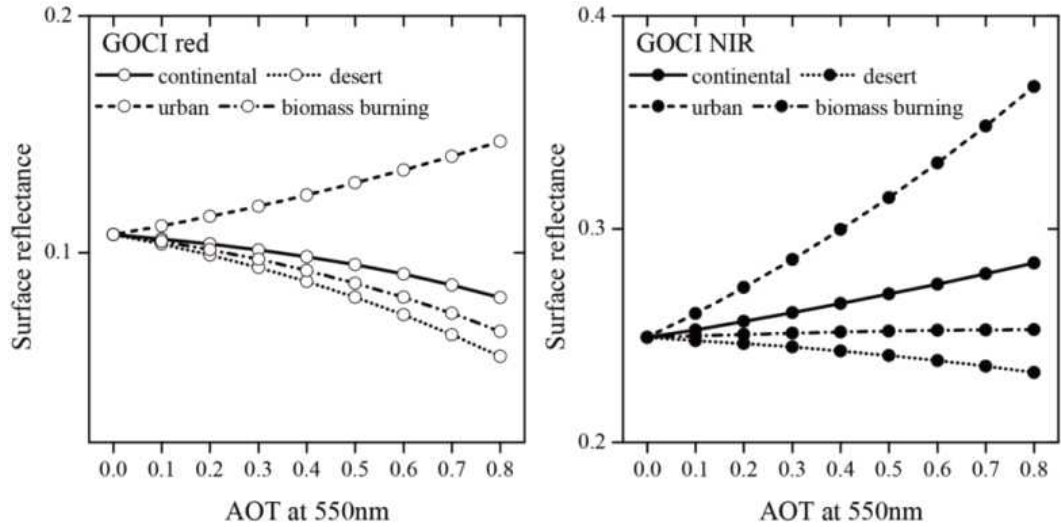
Index	SZA	VZA	RAA	ALT	AOT
0	0	25	0	0	0
1	5	30	10	0.5	0.1
2	10	35	20	1.0	0.2
3	15	40	30	1.5	0.3
4	20	45	40	2.0	0.4
5	25	50	50	2.5	0.5
6	30	55	60	3.0	0.6
7	35	60	70	3.5	0.7
8	40		80	4.0	0.8
9	45		90		0.9
10	50		100		1.0
11	55		110		1.1
12	60		120		1.2
13	65		130		1.3
14	70		140		1.4
15	75		150		1.5
16	80		160		1.6
17	85		170		1.7
18	90		180		1.8
19					1.9
20					2.0
21					2.1
Dim	19	8	19	9	21
LUT Dim = 8 band x 545,832 (19 x 8 x 19 x 9 x 21)					

LUT Production



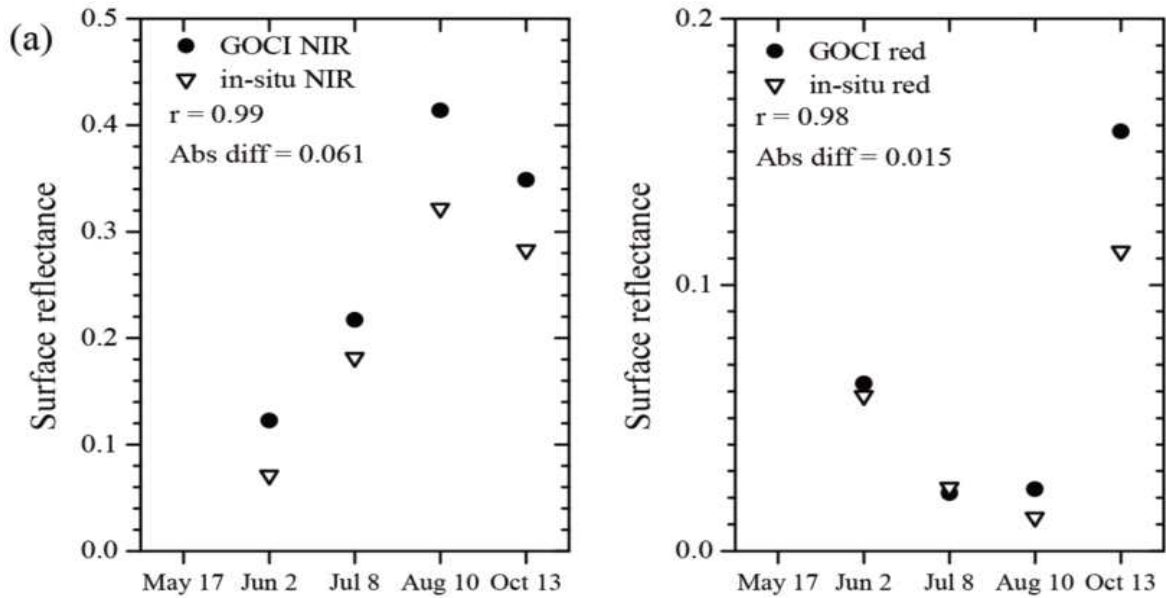
<그림 2-27> 천리안 GOCI 위성영상의 대기보정용 LUT와 LUT 제작 과정
(이화선과 이규성, 2018)

아래 그림은 대기보정 시 정확도에 큰 영향을 주는 에어로졸 모델과 AOT에 따른 반사율의 민감도를 보여주고 있다. 도시 에어로졸 모델의 경우, AOT 값에 따라 반사율이 크게 변화하는 것을 볼 수 있다.

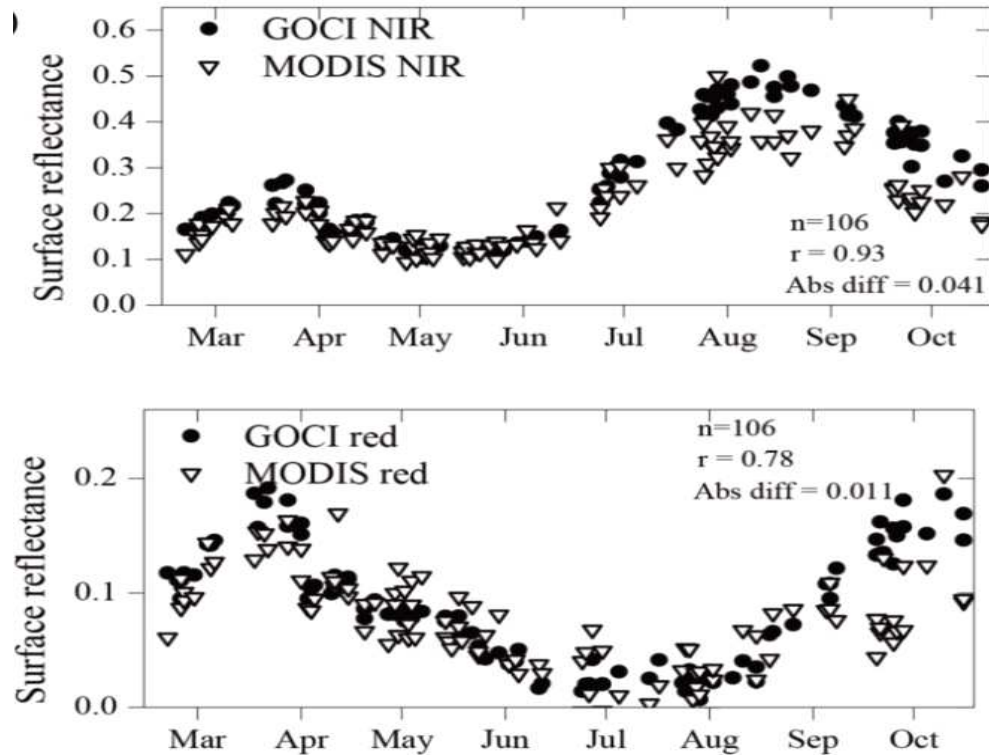


<그림 2-28> 에어로졸 모델과 AOT값에 따른 천리안 GOCI 위성영상의 밴드별 민감도 (이화선과 이규성, 2018)

대기보정된 GOCI 반사율영상은 현장 측정된 ASD 관측 반사율과 MODIS영상을 이용하여 비교, 검증하였는데, 아래 그림과 같이 시계열 패턴은 비슷하게 나타났으나, 0.01~0.06 정도 GOCI 반사율값이 높게 나타났는데, 이는 view angle의 차이로 인한 것으로 사려된다.



<그림 2-29> 대기보정된 GOCI 위성영상의 반사율과 ASD 관측 반사율과 비교 (이화선과 이규성, 2018)



<그림 2-30> 대기보정된 GOCI 위성영상의 반사율과 MODIS영상의 시계열 반사율 패턴
(이화선과 이규성, 2018)

현 고해상도 상업 위성영상을 제공하고 있는 Planet사에서는 대기보정된 반사율 영상을 제공하고 있다. 위의 논문과 마찬가지로 6SV2.1 복사전달모델을 기반으로 LUT를 제작후 화소별 대기보정된 반사율값으로 변환한다. LUT 제작에 입력된 인자 종류 및 값은 아래 그림 2-31과 같다. 또한 대기보정 시 사용하는 AOD, 오존량, 수증기량은 MODIS CMA자료를 사용하고 있다. 개발된 대기보정 알고리즘의 검증은 위해 두 지점의 RadCalNet사이트를 선정하여 아래 그림 2-32와 같이 2017년 1월~2019년 10월까지 두 지역을 촬영한 Dove위성영상과, 2010년 1월~2019년 10월까지 RapidEye위성영상을 사용하여 대기보정 알고리즘의 정확도를 제시하였다.

Atmospheric Conditions		
H2O, O3, pressure and temperature profile	Water vapor and ozone concentrations or one of the following built-in atmospheric models: midlatitude_summer, midlatitude_winter, tropical, subarctic_summer, subarctic_winter	Internal models provided by 6S
Aerosol type	continental.	Internal model provided by 6S
Aerosol optical depth (AOD)	0.02, 0.04, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.1, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18, 0.2, 0.22, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.55, 0.75	
Geometry		
Solar Zenith Angle	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80	Zenith angle for the center of the scene footprint is used
Satellite Zenith Angle	Range is fleet specific: Dove: nadir pointing (0) RapidEye: 0, 4, 8, 12, 16, 20	
Azimuth angle difference	0 - 180, 10 degree increments	Difference in azimuth angle between sun and satellite
Target Elevation	sea level	

Surface Conditions		
Reflectance Type	Lambertian	Corrections for BDRF effects would be applied to the SR product
Reflectance Values	0 - 1.0, increments of 0.025	
Spectral Conditions		
Bands	VNIR plus RedEdge for RapidEye	Dove: B: 455 - 515 nm G: 500 - 590 nm R: 590 - 670 nm NIR: 780 - 860 nm RapidEye: B: 440 - 510 nm G: 520 - 590 nm R: 630 - 685 nm RE: 690 - 730 nm NIR: 760 - 850 nm
Spectral Response	Defined for each sensor type	Every Planet satellite with the same sensor type uses the same set of LUTs. RapidEye satellites have a separate, single set of LUTs.

<그림 2-31> Planet사에서 제작한 대기보정 LUT 제작 시 입력 정보

〈 Dove 위성영상 〉

Measured Performance (LaCrau + Gobabeb)			
Band	Absolute Accuracy %	Precision %	Uncertainty % (1 sigma)
Blue	10.67	11.33	15.56
Green	9.94	9.04	13.34
Red	6.37	7.90	10.15
NIR	2.13	7.20	7.51

〈RapidEye 위성영상〉

Measured Performance (LaCrau + Gobabeb)			
Band	Absolute Accuracy %	Precision %	Uncertainty % (1 sigma)
Blue	-4.34	32.02	32.32
Green	6.70	17.39	17.40
Red	0.01	16.34	16.34
NIR	0.19	12.04	12.04

<그림 2-32> Planet사의 대기보정 알고리즘의 정확도

3) 상대대기보정 사례

상대 대기보정 기법은 위성영상의 촬영 당시 정확한 대기 및 기상정보의 획득이 어렵거나, 절대 복사보정계수의 부재 및 낮은 정확도로 인해 적용이 힘든 경우를 위해 개발된 대기보정 방법이다. 이에 따라 상대대기보정 방법은 대기 및 센서정보가 없어도 영상 자체 정보만을 이용하여 보정할 수 있는 간단한 방법이나, 절대대기보정방법에 비해 정확도가 상대적으로 안정적이지 못하다는 문제가 있다. 아래 내용은 기존에 제공된 상대 대기보정 알고리즘의 소개 및 적용 사례를 제시하였다.

□ Mahiny A. S. and Turner B. J., 2007. A Comparison of Four Common Atmospheric Correction Methods, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 73(4):361-368.

① PIF(Pseudo-invariant features) 상대대기보정

- 시간에 따른 변화가 나타나지 않는 대상 선택(콘크리트, 아스팔트, 지붕 등)
- 기본 영상과 다른 시기에 촬영된 영상이 필요
- 기본영상과 다른 시기의 영상의 각 밴드를 회귀방정식을 이용하여 선형의 관계가 존재한다고 가정
- 동일 위치의 화소가 서로 선형관계를 가진다고 가정하여 둘의 대기상태를 일치시켜줌

② COST MODEL(Cosine approximation model) 상대대기보정

- 대기가스, 분자 산란에 의한 대기흡수의 영향을 추정하는 방법
- 태양천정각의 코사인 값(θ), 비대기권에서의 평균 태양 irradiance ($ESUN$), 지구와 태양사이의 정규거리(d)를 이용
- 각 band별 Dark Object Radiance(L_{min})값을 추출 - 밝기값이 0이어야 하는데 아니므로, 대기에 의한 영향인 L_p 라고 생각
- 영상 haze값 계산
- 전체 영상에서 dark object가 차지하는 비율을 1%라고 생각하였을 때 그에 해당하는 복사에너지

$$L_{1\%} = \frac{0.01 ESUN_i \cos \theta^2}{pd^2}$$

- L_{haze} 는 영상에서 가장 낮은 Radiance(대기의 영향을 포함)값에서 Dark object의 Radiance를 감해준 것

$$L_{haze\ i} = \frac{L_{min} - 0.01 ESUN_i \cos \theta^2}{pd^2}$$

- Cost 대기 보정식을 입력하여 대기영향이 제거된 반사율 획득

$$\rho_i = \frac{\pi d^2 (L_i - L_{haze\ i})}{ESUN_i \cos \theta^2}$$

□ 이광재, 김용승, 2005. 다중분광 자료를 이용한 영상기반의 대기보정 연구, Korea Aerospace Research Institute, pp.211-215.

- ① 연구목적 : 영상기반의 대기보정(image-based atmospheric correction) 모델 비교
- ② 사용자료 : KOMPSAT-2와 유사한 분광특성을 지니는 Landsat ETM+
- ③ DOS 모델 이론
 - Landsat 위성이 발사된 초기에는 대기의 영향을 감소시키기 위하여 주로 Dark Object Subtraction(DOS)와 같은 간단한 방법이 많이 이용되었음.
 - DOS기법은 짙은 그림자 지역과 같은 완전히 dark한 지역의 픽셀 DN값은 0이며 어떠한 Radiance값도 존재하지 않지만, 만약 대기산란과 같은 영향이 존재한다면 완전히 0 이 될 수 없다는 가정하에, 최소 DN value를 차감해 줌으로써 대기산란의 영향을 감소시키는 방법
 - 단점으로는 표준 DOS 기법의 경우 영상촬영 당시의 대기상태를 완전히 무시한다는 점과 영상 내에서 dark-object를 잘못 선정하였을 경우 과대보정이 될 수 있음
- ④ 향상된 DOS 모델
 - 대기상태에 따른 Relative Scattering MODEL(RSM)을 활용하여 보다 향상된 DOS모델이

Chavez(1988)에 의해 제시

- 대기상태에 따른 RSM을 very clear, clear, moderate, hazy, very hazy의 5가지 경우로 나누어서 Starting Haze Value(SHV)를 예상할 수 있게 되었음
- 아래 식에서와 같이 RSM으로 인하여 예측된 $Haze_i$ 값을 이용하여 $DN(HAZE_i)$ 값을 획득할 수 있음

$$DN(Haze_i) = Norm_i \times Haze_i + Offset_i$$

- 향상된 DOS모델의 경우 기존모델과는 달리 영상촬영 당시의 대기상태를 고려한다는 점과, 영상 내에 존재하는 haze값 계산이 쉽다는 장점이 존재하나, 최종적으로 산출된 haze값이 기존의 haze값이나 predicted haze값보다 지나치게 커지는 문제점이 발생함

⑤ Chavez(1989)가 개발한 surface reflectance 모델

$$\rho_{surface} = \frac{(\pi D^2)(L_{sat} - L_{path})}{E_{sun} \cos(\theta_z)}$$

- 현실적으로 reflectance가 0인 surface는 존재하지 않을 것이라는 가정하에 1% reflectance가 감안된 stand-alone method와 대기관측 장비로 측정된 자료를 사용한 sky radiance method로부터 계산되어진 haze value가 비슷하다고 밝히고 있음
- 그러나 이전것과 마찬가지로 영상내에서 dark-object를 선정하여 starting haze value를 추출함에 있어 여전히 주관적인 판단에 의존할 수 밖에 없는 문제점이 존재함

⑥ Moran(1992) model

- Chavez(1989), Jackson (1992)등의 연구결과를 바탕으로 DOS모델의 문제점을 제기함
- Moran은 항공기를 이용하여 1년동안 Landsat TM overflight 시점과 일치하는 날짜에 대하여 aerosol, Rayleigh, ozone optical depth등과 같은 대기관측 자료를 획득하였으며, 영상에 기반을 두어 RTC를 고려한 경우와 그렇지 않은 경우로 구분하여 실험하였음

$$\rho_{surface} = \frac{\pi(L_{sat} - L_{path})}{T_v(E_{sun} \cos(\theta_z) T_z + E_{down})}$$

- 실험결과 대기의 영향을 제거하는데 있어 Chavez(1989)가 제안한 DOS모델만을 이용하기 보다는 RTC모델을 함께 병행하여 사용하는 것이 보다 효과적임을 알 수 있음

⑦ Chavez(1996) COST MODEL

- Moran et al(1992)의 연구결과를 apparent reflectance 모델, DOS 모델, Moran 모델에 적용한 후 그 결과를 바탕으로 COST 모델을 개발함
- T_z 를 $\cos(\theta_z)$ 로 1.0으로 해석하였는데 이는 nadir view를 위하여 θ_v 가 0이기 때문으로, 이 연구에서는 $\cos(\theta_z)$ 를 사용하는 것이 Default T_z 를 사용하는 것보다 더 좋은 결과를 나타내

었음

⑧ 실험결과

- Moran(1992) 식을 변형하여 획득한 아래의 식을 이용하여 3가지 경우로 나누어서 실험을 실행함
- Case 1)Chavez(1996) COST MODEL을 기본으로 한 식 Case 2) T_z 의 diffuse가 완전히 0이 아니며 direct성분에 대한 일정부분의 영향을 가질 것으로 가정한 식 Case 3) aerosol과 Rayleigh factor로 구성되며 diffuse를 direct 성분의 일정비율로 감산하여 적용한 식

$$\rho_{surface} = \frac{\pi(L_{sat} - L_{path})}{T_v E_{sun} \cos(\theta_z)(T_z^{dir} + T_z^{diff})}$$

- 각 case의 결과와, 영상자료와 동시기에 자상에서 관측한 surface reflectance 자료를 이용하여 비교한 결과 case 1의 경우 기존 선행연구와 마찬가지로 비교적 현장관측 자료와 잘 일치하는 것으로 나타남
- 그러나 diffuse를 0으로 가정한다는 물리적 고려를 배제한 한계를 가지고 있음
- 따라서 diffuse 성분이 direct의 약 1/4정도로 가정한 case2를 실행하였는데 그 결과 case1의 reflectance와 일치하였으나 전반적으로 현장관측 자료보다 낮은 reflectance를 나타냄
- 기존 선행연구 결과로부터 AOD, ROD등을 유추하여 실험한 case3역시 현장관측 reflectance와 차이가 있음을 확인하였음

□ 이권호, 염종민, 2019. 인공위성 원격탐사를 이용한 대기보정 기술 고찰, 대한원격탐사학회지, pp.1011-1030

- 대기보정방법은 아래와 같이 크게 실험적 상대대기보정 기법과 복사전달모델 기반 기법으로 나뉜다. 현장 분광반사값이 사용되는 실험적 방법과, 복사전달모델이나 영상 자체에서 대기정보를 추출하는 방법으로 나눌 수 있음

<표 2-18> 항공 및 위성영상 기반 대기보정 방법 (Lee and Yum, 2019)

Atmospheric correction method	Name	Principle	Reference
Empirical Method	Internal Average Relative Reflectance(IARR)	normalize images to a scene average spectrum	Kruse, 1988
	Flat Field Correction(FFC)	normalize images to known uniform 'flat' reflectance	Roberts et al.,1986
	Empirical Line Approach(ELA)	force image data to match with selected field reflectance spectra	Conel et al.,1987; Kruse et al.,1990
Radiative transfer	ATmosphere REMoval(ATREM)	water vapor based atmospheric transmittance	Gao and Goetz,1990;

model based Method		6S based scattering	Gao et al.,1993
	Atmospheric and Topographic Correction(ATCOR)	MODTRAN-4 based LUT aerosol, water vapor can derive BRDF correction module de-shadowing module dehaze module	Richter et al.,2006
	Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH)	MODTRAN-4 based LUT adjacency effect correction	Adler-Golden et al., 1998; 1999
	Quick Atmospheric Correction (QUAC)	image based	Bernstein et al., 2004; 2012
	High-accuracy Atmospheric Correction for Hyperspectral Data (HATCH)	HITRAN 2000 based radiative transfer smoothness test technique for water vapor assumes a Lambertian surface	Goetz et al., 2003; Qu et al., 2003

4) 절대대기보정 알고리즘 설계

앞에서도 설명한 바와 같이, 정확한 표면반사율 영상을 생성하기 위해서는 센서 시스템 이상을 조정하는 기본 복사보정(단계 1)과 화소값을 물리적인 Radiance로 변환하는 절대복사보정(단계 2)를 성공적으로 수행되어야 한다. 국토위성센서의 경우 초기 운영으로 인해, 아직까지 공식적인 절대복사보정 계수가 제공되지 않고 있으며, 국토위성 DN영상에서 센서 시스템 이상 증상이 보여지고 있다. 이에 따라 정확한 국토위성의 표면반사율 영상을 획득하기 위해서는 우선적으로 기본 복사보정과 절대복사보정의 정확도를 향상시키기 위한 노력이 수행되어야 한다. 아래 내용은 단계 1과 단계 2의 복사보정이 성공적으로 수행되는 것을 가정하고 설계한 표면반사율 영상 생성 기술을 설명하고 있다.

<표 2-19> 광학위성영상의 복사보정 단계

단계	복사보정 분류
1	센서시스템 문제로 발생하는 기본복사보정
2	절대복사보정 (복사검보정으로 표기하기도 함)
3	대기보정

대기는 복잡한 구조와 시간적, 공간적으로 변이가 큰 특징을 가진다. 따라서 영상의 대기보정을 위해 필요한 영상 촬영당시의 대기정보를 획득하는 것을 쉽지 않다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 대기의 물리학적, 화학적 특징을 수치 모델로써 정형화 시키는 노력이 시도되었다. 이를 위해 대규모의 대기 자료 및 대기의 물리적, 화학적 특징에 대한 방대한 이론들이 정리되어, 대기복사전달모델이 개발되었다. 대기 복사전달 모델은 대기를 통해 흡수, 산란, 투과되는 태양 에너지의 양을 산출하기 위해, 대기의 상태를 시뮬레이션 하는 수치적 모델을 말한다. 다음 수식은 대기 복사전달 모델의 입력 인자들과, 센서에 감지되는 radiance와의 관계를 나타내고 있다.

$$\rho^* = f(\text{Geometric}, \text{Atmospheric}, \text{Aerosol}, \lambda, \rho)$$

ρ^* : 센서에 감지되는 radiance, λ : 파장, ρ : 지표물의 reflectance

- 기하학적 조건(Geometric condition) : 태양 천정각, 방위각, 센서 천정각, 센서 방위각, 센서 고도, 지표면의 고도
- 대기 모델(Atmospheric model) : 표준 대기 모델 타입
- 에어로졸 모델(Aerosol Model) : 표준 에어로졸 모델 타입, 가시거리 등
- 분광 조건 (Spectral condition) : 분광 모델, 센서의 분광 반응도 등
- 지표면의 반사율 (Ground Reflectance)

현재 사용되고 있는 복사전달모델은 미공군 지구물리 실험실(Air Force Geophysics Laboratory: AFGL)에서 개발된 LOWTRAN, LOWTRAN을 파장대를 더욱 세분화 하여 개발된 MODTRAN(MODerate resolution atmospheric radiance and TRANsmittance Model), 프랑스에서 개발된 S6(Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum)가 있으며 그 상세 특징은 다음과 같다.

MODTRAN은 대기를 거친 특정 경로에서의 Transmittance와 radiance를 계산하는 모델로서 이를 추정하기 위해서는 다음과 같은 입력인자를 입력하게 된다.

- 대기모델
- 에어로졸 모델 : MODTRAN은 사용자가 선택한 에어로졸 모델에 따라 평균된 extinction coefficient와 HAZE값을 사용하거나, 사용자가 직접 입력할 수 있음
- Path geometry
- Band model : Narrow band model (NBM)과 Wide band model (WBM)

1990년 프랑스의 Laboratoire d'Optique Atmospherique에서 개발한 S5를 시작으로 1997년 S6가 개발되었다. 위의 LOWTRAN이나 MODTRAN과 비슷한 구조를 가졌으나, 사용하는 기본 복사전달식의 종류가 다르다. 또한 LOWTRAN이나 MODTRAN이 센서에서 감지되는 radiance를 구현하는 forward 모드만이 가능하다면, 이 복사전달모델에서는 센서에서 감지되는 radiance를 이용하여 지표면의 반사율을 추정하는 inversion 모드도 가능하다는 장점이 있다. 하지만 대기복사전달모델의 입력 방식이나 출력방식이 LOWTRAN과 MODTRAN과 전체적으로 비슷하다. 대기 보정 알고리즘의 중요한 부분은 대기 복사전달모델의 입력 인자들의 가능한 다양한 변이를 가정한 후 대부분의 대기 상태에 대한 대기 데이터베이스를 미리 제작하는 부분이다. 이를 통해 영상 촬영시의 대부분의 대기상태에 대한 path radiance, transmittance, flux등 값을 계산 후 이를 Look-up-table화하여, 대기 보정 하고자 하는 위성영상의 radiance영상을 입력 시 영상 촬영당시의 대기 상태에 해당되는 path radiance, transmittance, flux 등 값을 LUT에서

추출 후 대기보정식에 입력하여 지표면의 반사율을 계산하게 된다. 이와 같이 미리 LUT를 제작하는 이유는 고해상도 위성영상을 처리하는데 처리 시간을 최소화하며, 그때마다 복사전달모델을 실시간 실행시키게 되는 경우 매우 느린 처리 속도가 예상되기 때문이다. 아래 그림에서와 같이 복사전달모델의 입력인자 중 위성 탑재체/센서에 맞게 고정된 값으로 입력되는 인자들과, 센서와는 별개로 다양한 대기상태를 나타내는 변이가 있는 인자들로 나뉘진다. 특히 변이가 다양한 인자들의 경우 모든 경우의 값을 입력할 수 없으므로, 값의 전체 범위를 두고 일정 간격의 값들을 입력하게 된다. 이와 같이 매우 다양한 경우의 대기 상태에 대한 입력인자들을 복사전달모델인 MODTRAN에 각각 입력하여 실행 후 *.tp6, *.tp7, *.tp8 등과 같은 결과 파일들에서 대기보정에 필요한 세 가지 결과값만을 추출하게 된다. 대기 보정식에 입력 할 세 가지 변수들은 path radiance, total transmittance와 solar flux이며, 이는 해당 대기 입력 인자값들과 함께 테이블 화하여 LUT로 제작되어진다. 이렇게 미리 계산된 LUT는 대기보정 해당 영상과 함께 대기보정에 사용되어진다.

국외 상업용 고해상도 위성영상의 대기보정을 위해 복사전달모델 기반의 절대대기보정 알고리즘이 개발, 적용되고 있다. 국내의 경우에도 KOMPSAT-3/3A위성에 대해서도 복사전달모델 기반 대기보정 알고리즘이 개발되었다. 국토위성의 절대대기보정 알고리즘의 개발을 위해서는 복사전달모델 기반의 대기보정방식이 보다 정확하나, 많은 계산량에 의해 빠른 처리가 어렵기 때문에 예견될 수 있는 대기 및 기하정보를 정의하여 복사전달모델 기반 조건표(LUT)를 미리 제작하여 위성영상의 화소별 대기보정을 수행해야 한다. 대기보정을 위해 사용되는 복사전달모델은 최근 많은 위성의 대기보정에 사용되고 있는 6SV 복사전달모델을 사용한다. 6SV는 이전 버전인 6S에 비해 에어로졸 산란 위상 함수의 설정에 사용되는 산란각의 수, 수직 에어로졸 프로파일의 고도 범위 등 세밀한 조건에 대한 복사휘도의 모의가 가능하며, 6S에서 고려하지 않은 복사휘도의 편광효과를 계산하여 정확도를 향상 시켰다 (정대성 외, 2020). 국토위성의 절대대기보정 알고리즘은 아래 그림과 같은 과정을 거쳐야 한다.

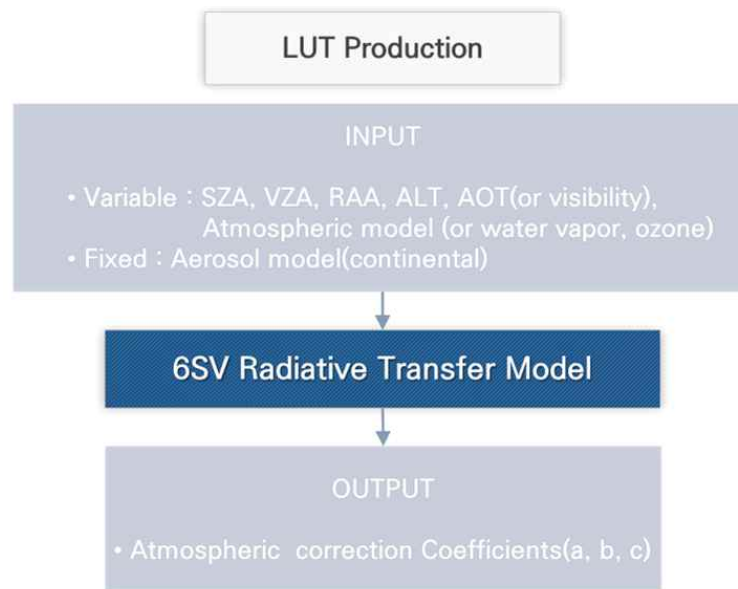
가) LUT 제작 방법

기존 사례 중 고해상도 위성영상 및 국내 촬영 위성영상 대상으로 정의된 대기보정용 LUT 제작을 위한 입력인자와 값을 종합하여, 아래 표 2-20과 같이 정의하였다.

<표 2-20> 국토위성의 대기보정을 위한 LUT 입력 정보

입력자료 종류	범위	간격	갯수
Solar Zenith Angle (°)	0 ~ 90°	5°	19
View Zenith Angle (°)	0 ~ 30°	5°	7
Relative Azimuth Angle (°)	0 ~ 180°	10°	19
Terrain Elevation (km)	0 ~ 2.5km	0.5km	6
Atmospheric model	mid-latitude summer/ winter/tropical/subarctic summer/winter/US standard	-	6
	[or] Water vapor 0.5 ~ 4.0 g/cm2	0.5 g/cm2	8
	[or] Total Column Ozone 0.25-0.35 atm-cm	0.05 atm-cm	3
Aerosol model	Continental		1
Aerosol Optical Thickness (AOT)	AOT 0 ~ 2	0.1	21
	Visibility 0 ~ 120km 5,10,15,20,30,40,60,80,100,120	5km/20km	10
Reflectance type	Lambertian	-	1
Reflectance value	0 ~ 1.0	0.025	41
Bands	B: 450-520nm G: 520-600nm R: 630-690nm NIR: 760-900nm		4
Spectral response	CAS500-I SRF	-	1

이와 같은 조건으로 6SV 모델의 입력 파일들을 각각 생성한 후, 6SV 모델을 배치 파일(.bat) 형태로 생성 후 자동 수행 시킨다. 총 1,253,230,272의 실행 횟수를 거친 후 구축될 수 있다. 6SV 모델 수행 후에는 아래 그림 2-33과 같이 각 경우에 대한 결과 파일에 대기보정된 반사율과 변환 계수 (a,b,c)가 제공된다. 이 변환 계수는 입력정보와 함께 LUT에 저장된다.



```

***** 6SV version 1.1 *****
*
* geometrical conditions identity
* -----
* user defined conditions
*
* month: 4 day : 5
* solar zenith angle: 46.40 deg solar azimuthal angle: 221.50 deg
* view zenith angle: 42.34 deg view azimuthal angle: 179.81 deg
* scattering angle: 150.92 deg azimuthal angle difference: 41.69 deg
*
* atmospheric model description
* -----
* atmospheric model identity :
* us standard 1962 (u02=1.42g/cm2.uo3=.344cm-atm)
* aerosols type identity :
* Continental aerosol model
* optical condition identity :
* visibility : 16.10 km opt. thick. 550 nm : 0.3000
*
* spectral condition
* -----
* seawifs 8
* value of filter function :
* wl inf= 0.380 mic wl sup= 1.150 mic
*
* Surface polarization parameters
* -----
*
***** atmospheric correction result *****
*
* input apparent reflectance : 0.527
* measured radiance [w/m2/sr/mic] : 114.300
* atmospherically corrected reflectance
* Lambertian case : 0.57508
* BRDF case : 0.57508
* coefficients xa xb xc : 0.00552 0.03410 0.06297
* y=xa*(measured radiance)-xb; acr=y/(1.+xc*y)
*****

```

나) 대기보정을 위한 국토위성 촬영 시점의 입력 정보 수집 방법

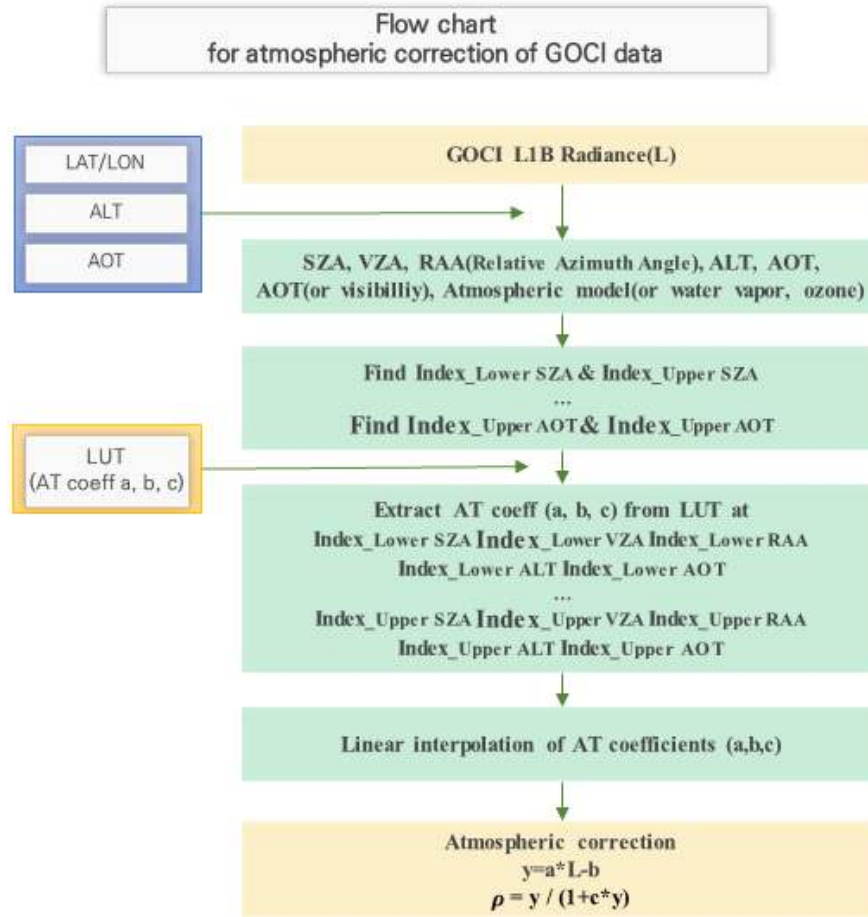
정확한 대기보정을 위해서는 국토위성의 촬영 시점에 맞는 대기 및 기하정보가 획득되는 것이 중요하다. 아래 표에서는 국토위성 촬영 시점 시 획득될 수 있는 입력정보 및 제공 소스를 정의하고 있다. 이때 이 소스에서 정보를 읽고 입력하는 과정이 자동화될 필요가 있다.

<표 2-21> 국토위성의 대기보정을 위한 촬영 시점의 입력 정보 획득 방법

대분류	소분류	활용 자료 소스
Geometric condition	Solar Zenith Angle (SZA) Solar Azimuth Angle (SAA) View Zenith Angle (VZA) View Azimuth Angle (VAA) Month Day	국토위성영상 meta file에서 자동으로 읽어 드림(위치 정의)
Atmospheric model for gaseous components	Tropical Midlatitude summer Midlatitude winter Subarctic summer Subarctic winter US standard 1962 User define1)	위성영상 중심 경위도좌표에 따른 옵션 선택 1) 모델 선택 (모델별 지역 정의) 2) 라디오존데자료 활용(가능지역 정의) 3) RadCalNet (해당지역 사전정의) 4) MODIS CMA자료 (사용자 옵션)
Aerosol model (type and concentration)	Aerosol model Continental Visibility or AOT at 550nm	위성영상 중심 경위도좌표에 따른 옵션 선택 1) RadCalNet (해당지역 사전정의) 2) AERONET (해당지역 사전정의) 3) 기상청 시정 (나머지 지역) 4) MODIS CMA 자료 (사용자 옵션)
Ground and satellite altitude	Target altitude	위성영상 중심 경위도좌표에 따른 DEM에서 자동 추출
Spectral condition	Spectral bands Spectral response function	국토위성 SRF file 적용
Satellite TOA radiance	Surface type Mean spectral value of surface type	토지피복도 절대복사보정된 CAS500-I 위성 Radiance영상에서 산출

다) 화소별 대기보정 변환 방법

위에서 구축된 국토위성의 절대대기보정용 LUT와 위성 촬영 당시의 환경정보들이 자동으로 획득되면, 아래 그림 2-35와 같은 과정을 거쳐, 대기보정된 반사율 영상이 획득될 수 있다. 화소별 환경정보들이 정의되면, 그 환경정보에 해당되는 LUT를 찾아, 반사율 변환 계수가 획득된다.



<그림 2-35> 6SV LUT를 이용한 국토위성의 대기보정 절차

화소별 반사율 변환계수는 아래 그림 및 수식처럼 정의된 값으로, 각 화소 TOA radiance값에 적용되어 대기보정된 반사율값이 산출된다. 화소별 연산이 맞춰지면, 대기보정된 국토 위성 반사율 영상이 생성된다.

$$\rho_s(\theta_s, \theta_v, \phi_r) = \frac{\rho_s'}{1 + \frac{c}{s} \rho_s'}$$

$$\rho_s' = \frac{\frac{\rho_{toa}(\theta_s, \theta_v, \phi_r)}{T_G} - \rho_s(\theta_s, \theta_v, \phi_r)}{\frac{a}{T_{\theta_s} T_{\theta_v}} - b}$$

<그림 2-36> 대기보정 계수 산출 식 및 대기보정 반사율 변환식

5) 상대대기보정 알고리즘 설계

고해상도 위성영상의 경우 안정적인 광학적 품질을 획득하기 어렵고, 보다 정확한 대기정보가 제공되지 않을 경우, 절대대기보정의 적용이 어렵다. 이런 경우를 위해 상대대기보정 알고리즘을 백업모델(backup model)로 설정하였다. 상대대기보정은 크게 현장 관측치를 이용해 실험식을 도출해 대기보정하는 방식과, 영상 자체에서 대기 영향을 추정하여 보정하는 방식으로 나눌 수 있다. 본 과업에서는 위성 촬영과 함께 획득된 분광측정자료를 이용해 실험식을 세워 보정하는 방식과 기존 위성영상 상용 틀에서 지원하는 QUAC방식을 대상으로 비교, 분석하였다.

가) Empirical Line을 이용한 대기보정

(1) 실험식 획득을 위한 target 설정(Karpouzli and Malthus, 2003)

- 분광적으로 하나의 피복으로 구성된 지역
- 평평한 지역
- 식생과 같이 다양한 반사율값 및 패턴을 나타내는 피복은 피함
- 고해상도위성영상의 경우 최소 3*3 윈도우 이상의 site를 설정

(2) Target의 기준 분광 스펙트럼 획득

- 다양한 피복 선정
- 각 site마다 5*5 window로 평균값 사용
- 기준 분광 스펙트럼의 경우, 위성과 동시에 관측된 ASD 분광측정 자료 사용
- 기준 분광 스펙트럼의 경우 국토위성의 분광반응함수에 맞춰 resampling한 자료를 사용

(3) 대기보정을 위한 실험식 획득

- 독립변수는 국토위성 DN값으로, 종속변수는 위의 기준 반사율값으로 설정 후 1차 선형 회귀식을 계산함.
- 기존 사례를 살펴보면, 이 회귀식은 사용하는 site의 수에 따라 달라지며, 기존 사례에서는 많은 수의 site를 사용한다고 해서 좀 더 정확한 대기보정 결과를 나타내는 것은 아닌 것으로 나타남 (Baugh & Groeneveld, 2008; Ferrier and Wadge, 1996; Karpouzli and Malthus, 2003).

Case 1) 위성 관측 시간에 동시에 관측된 지상 관측 분광반사율 자료가 있는 경우

- 수체와 식생을 제외한 평평하고 공간적으로 균일한 피복을 대상으로 위성 촬영과 동시에 관측된 분광반사율자료가 있는 경우 관측자료에 국토위성의 분광반응함수를 적용하여 국토위성 비교용 반사율 추정
- 독립변수를 위성 DN로 설정, 종속변수는 현장 관측된 반사율로 설정 후 1차 선형 회귀식(y 절편 없음) 계산

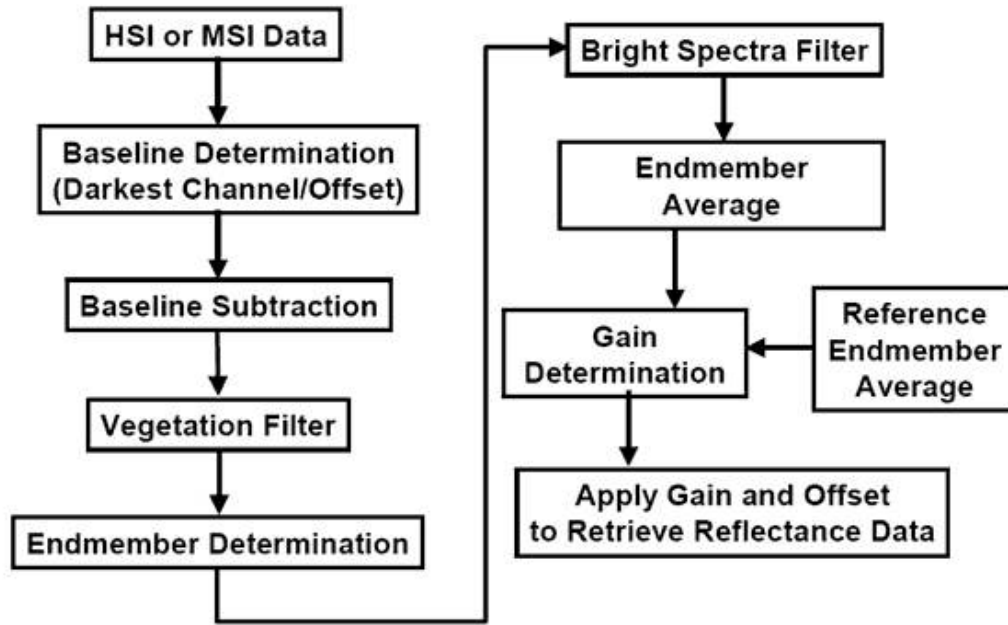
Case 2) 위성 촬영과 동시에 관측된 지상 관측 분광반사율 자료가 없는 경우

- 시간에 따라 반사율 변화가 크지 않는 invariant target(예: 콘크리트, 나지, 공장 파란 지붕 등)을 대상으로 표준화된 분광라이브러리 자료를 활용, 국토위성의 분광반응함수를 적용하여 국토위성 비교용 반사율 추정
- 독립변수를 위성 DN로 설정, 종속변수는 현장 관측된 반사율로 설정 후 1차 선형 회귀식(y 절편 없음) 계산

나) QUick Atmospheric Correction(QUAC) 대기보정

- DN 영상과 밴드별 파장영역을 정의한 후, 기 구현된 Quick Atmospheric Correction 적용
- scene내에 관측된 pixel의 spectra에서 바로 대기보정에 필요한 parameter를 추출하는 scene approach 대기보정 기법
- 센서의 복사보정이 되지 않거나, 센서정보 태양정보를 알지 못하는 경우에도 대기보정이 수행
- DN or Radiance 형태의 input자료와 센서파장 정의가 요구됨
- scene내에 최소 10개의 다양한 대상이 존재해야 함
- scene내에 baseline spectrum 추정에 충분한 dark pixel이 존재해야 함
- 보조 정보 없이 장면에서 관찰된 픽셀 스펙트럼에서 직접 대기 보정 매개변수를 결정
- 일반적으로 실측값의 약 10% 범위 내에서 반사 스펙트럼을 생성(Bernstein et al., 2012).
- QUAC는 다양한 재료 스펙트럼(초목, 얇은 물, 진흙과 같이 고도로 구조화된 재료 제외)의 평균 반사율이 각 장면에 의존하지 않는다는 실증적 발견을 기반으로 함
- QUAC는 또한 모든 시야각 또는 태양 고도 각도를 허용
- 센서에 적절한 방사 측정 또는 파장 보정이 없는 경우 또는 태양 조명 강도를 알 수 없는 경우 (예: 클라우드 데크의 경우) QUAC는 다음 조건이 충족되는 한 여전히 합리적으로 정확한 반사 스펙트럼을 검색할 수 있음
- 한 장면에 최소 10가지 이상의 다양한 피복이 분포해야 함
- 베이스라인 스펙트럼을 잘 평가할 수 있도록 장면에 충분히 어두운 픽셀이 있음

- 고도로 구조화된 재료를 제외하기 위해 진흙 필터링을 적용
- 대부분의 센서에 사용할 수 있는 대역의 작은 하위 집합을 기반으로 엔드멤버를 선택
- 이득 곡선을 650nm 미만의 파장에 대해 일정하게 제한
- 백백한 식물의 영향을 억제



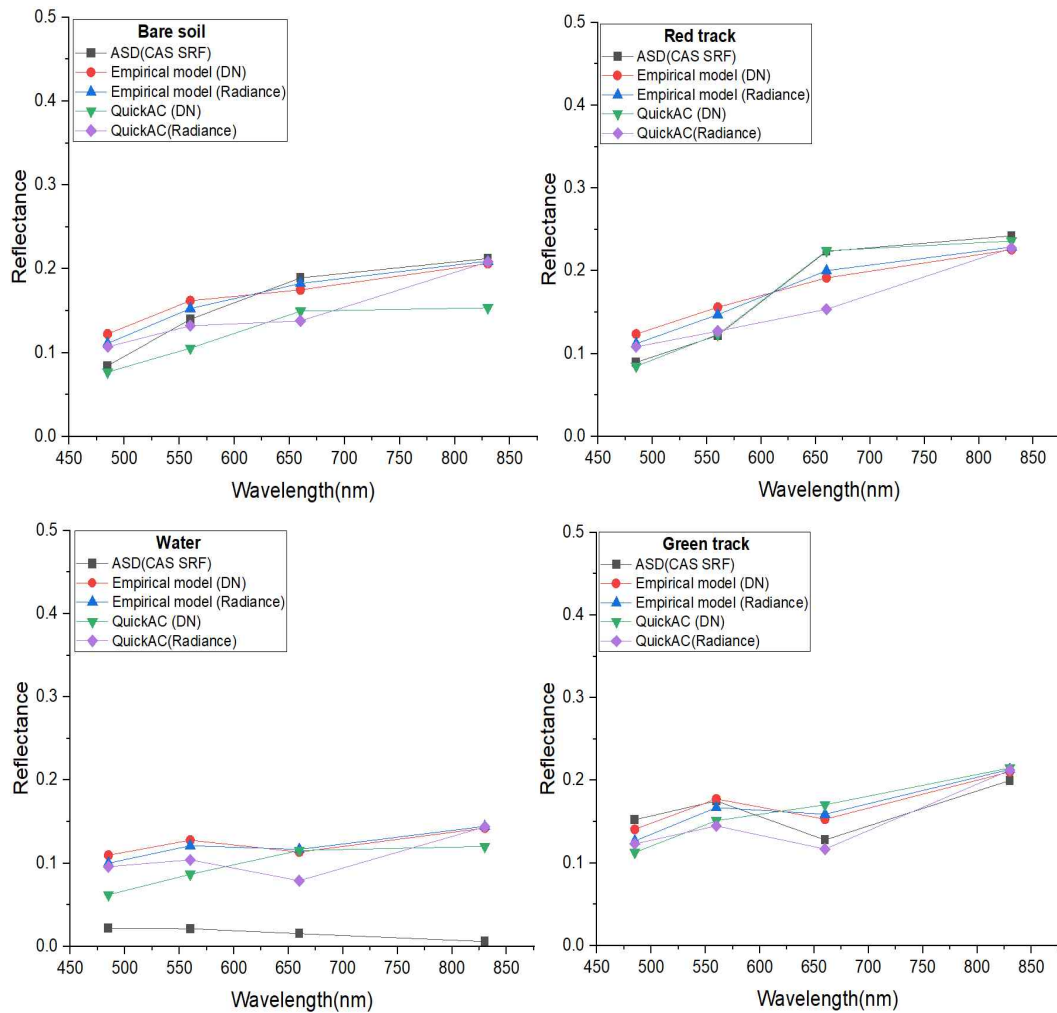
<그림 2-37> QUAC 대기보정 알고리즘 절차

다) 알고리즘 적용 및 검증 비교 결과

본 과업에서는 국토위성의 DN, radiance 영상을 대상으로 Empirical Line 및 QUAC 상대대기보정 알고리즘을 각각 적용하여 피복별 반사율값을 비교하였다. 결과현장에서 관측된 자료를 참조자료로 정확도(RMSE)를 추정한 결과 국토위성 DN영상에 QUAC 알고리즘을 적용했을 시 가장 작은 RMSE가 나타났다. 다만, 피복별 반사율 패턴을 살펴보면 실험모델 방식이 밴드별 분광패턴이 현장 ASD 반사율 패턴과 더 비슷한 결과를 보였다. 실험모델의 경우 현장 관측치가 있어야 하고, 영상에서 그 부분을 자동 추출하는 부분의 자동화가 어렵다. 비교에 앞서, 실험식에 의한 보정 방법은 현장관측자료를 사용함으로써 보다 정확한 대기보정이 수행될 수 있으나, 위성 촬영 동시에 현장 관측이 수행되어야 하고, 자동화 수행이 어렵다는 단점이 있다. 그러나 이 문제는 국토위성의 한반도 촬영 경로에 영구적인 참조 반사율 판넬을 설치하여 국토위성 촬영 시 매번 촬영하면 해결할 수 있다. 참조 반사율 판넬을 포함하는 씬을 상대대기보정 시 기준 영상(reference scene)으로 설정하여 같은 패스에서 촬영된 영상들을 본 기준 영상을 이용하여 상대 보정을 수행할 수 있다.

<표 2-22> 상대대기보정 적용에 따른 밴드별 RMSE 산출 결과

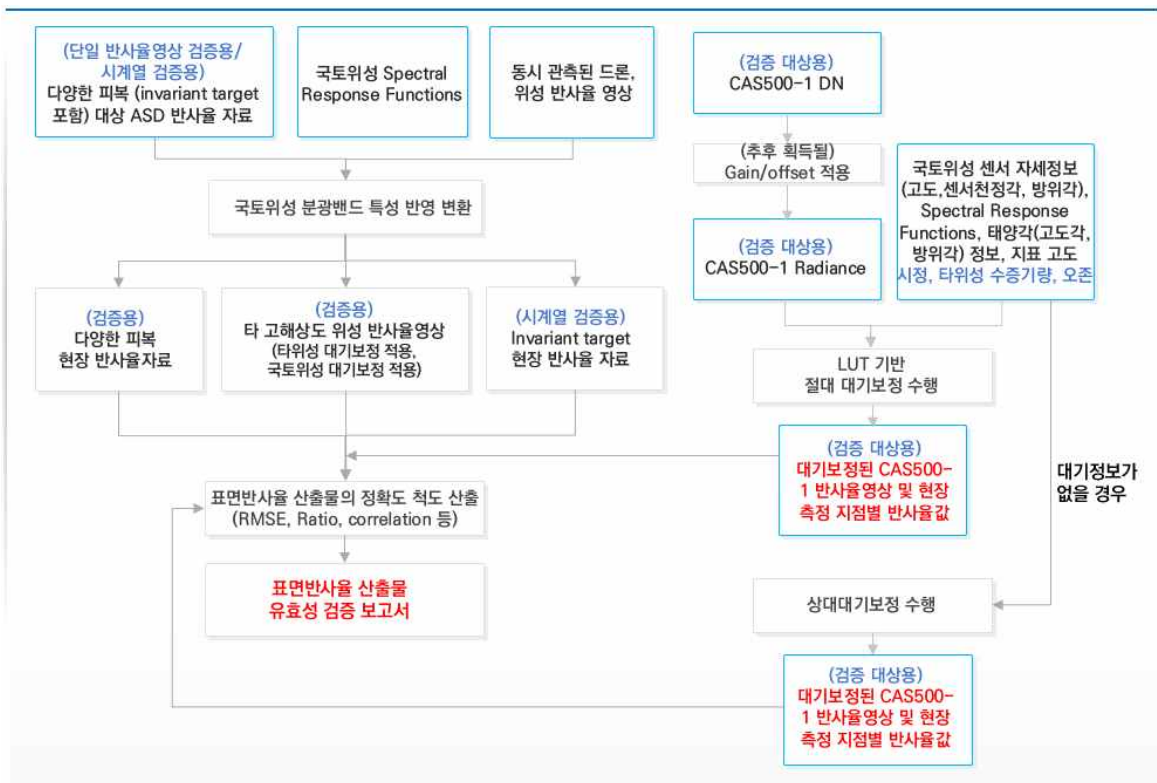
RMSE	Empirical model		QUAC	
	DN	Radiance	DN	Radiance
Band 1	0.045	0.038	0.027	0.036
Band 2	0.051	0.047	0.038	0.043
Band 3	0.056	0.058	0.062	0.059
Band 4	0.068	0.068	0.059	0.068



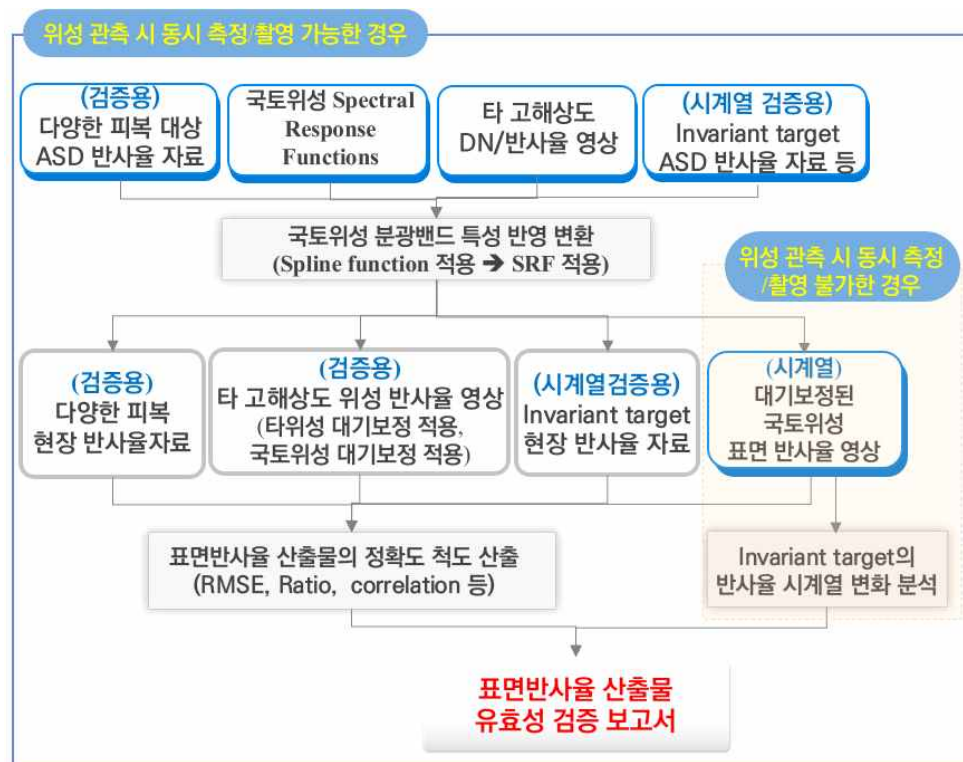
<그림 2-38> 상대대기보정 적용에 따른 토지피복별 반사율 비교

6) 국토위성용 표면반사율 영상 생성 방안

국토위성용 표면반사율영상을 생성하기 위해서는 대기보정이 수행되어야 하며, 물리적인 이론 배경의 절대대기보정을 주 알고리즘으로 설정하였으며, 주 알고리즘의 수행 실패 시 백업 알고리즘으로 상대대기보정을 설정한다. 우선, 국토위성의 대기보정을 위해서는 국토위성영상의 절대복사보정 후 변환된 Radiance영상이 획득되어야하며, 본 절대복사보정방안은 그림 2-18에 상세 설명되어 있다. 향후 항공우주연구원에서 제시할 국토위성영상의 절대복사보정계수가 공식적으로 적용될 예정이다. (준)실시간 대기보정의 수행을 위해 국토위성 촬영 시 대기정보(수증기량, 오존량, AOD 등)가 실시간으로 수집되어야 하며 이는 표 4-42에 상세 설명되어 있다. 이와 함께 국토위성 분광반응함수, 태양천정각, 태양방위각, 센서천정각, 센서방위각, 촬영시간, 고도 정보등이 국토위성영상의 메타파일등에서 자동으로 산출되어야한다. 국토위성영상의 (준)실시간 대기보정을 위해서는 절대대기보정용 LUT가 선구축되어야하며, LUT 상세 구축 방안은 표 2-20에 상세 설명되어 있다. 이 LUT에는 국토위성 촬영 시 예측되는 기하학적 정보와 함께 센서, 대기정보와 국토위성의 radiance에 해당되는 반사율 변환계수정보가 저장된다. 절대대기보정의 대상인 국토위성의 화소별 radiance가 입력되면, 해당 기하, 대기, 센서정보를 LUT에서 찾아 화소별 반사율 변환계수가 정의 및 적용된다. 이를 통해 국토위성영상의 화소별 표면반사율 값이 산출되고, 영상이 제작되나, 입력 정보들이 수집되지 않을 경우, 상대대기보정이 적용된다. 백업모델인 상대대기보정을 위해서는 국토위성영상에서 invariant target을 추출, 사전 정의된 참조 반사율과의 회귀식을 산출, 영상 전체에 적용한다. 이렇게 산출된 국토위성 표면반사율 영상은 현장 관측 반사율이나 드론, 타 위성 영상을 이용하여 유효성 검증이 수행되며 상세 검증 방법은 4장 대기보정 산출물 검보정 방안 부분 (그림 4-100)에 기술되어 있다.



<그림 2-39> 국토위성 표면반사율 영상 제작 방안



<그림 2-40> 반사율 유효성 분석을 위한 처리 과정

2. 픽셀단위정보 생성 기술 개발

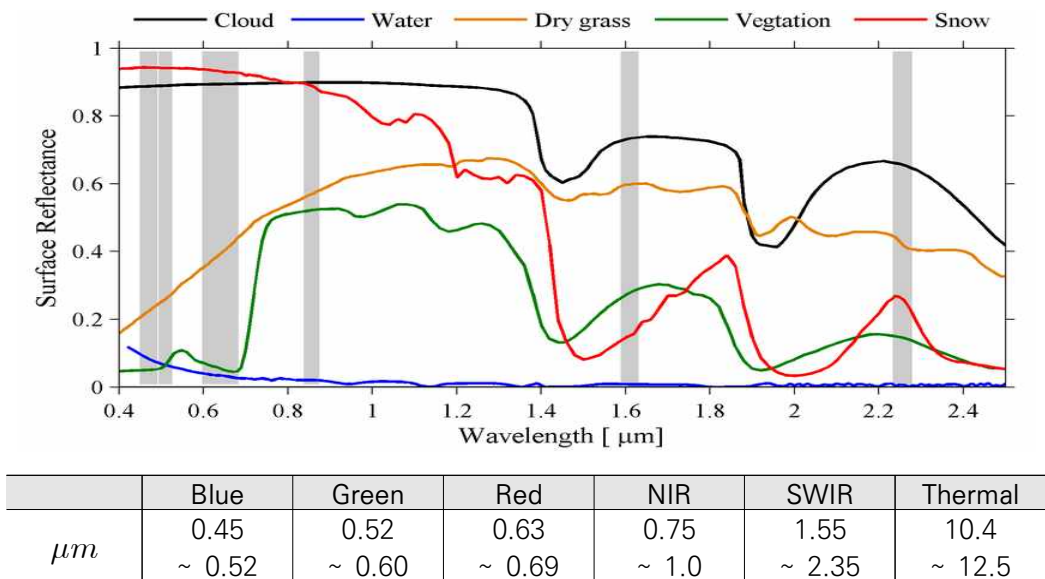
가. 구름 탐지 및 구름그림자 탐지 기술 개발

1) 구름 탐지 기술 조사

구름 탐지는 위성영상 내 존재하는 구름 픽셀을 탐지하는 것을 의미한다. 구름 영역이 탐지되면 사용자에게 위성영상의 각 픽셀 단위별 구름, 청천 정보 제공이 가능해지며, 구름을 제외한 나머지 픽셀에 대한 정보도 제공이 가능해진다. 위성영상 내 구름영역은 사용자가 국토를 관측함에 있어 주요 장애 요인으로 작용하기 때문에 사용자가 별도의 분석 절차 없이도 비관심 영역으로 분류하기 위해서는 구름 탐지가 필수적이라 할 수 있다.

가) Spectral threshold 기법

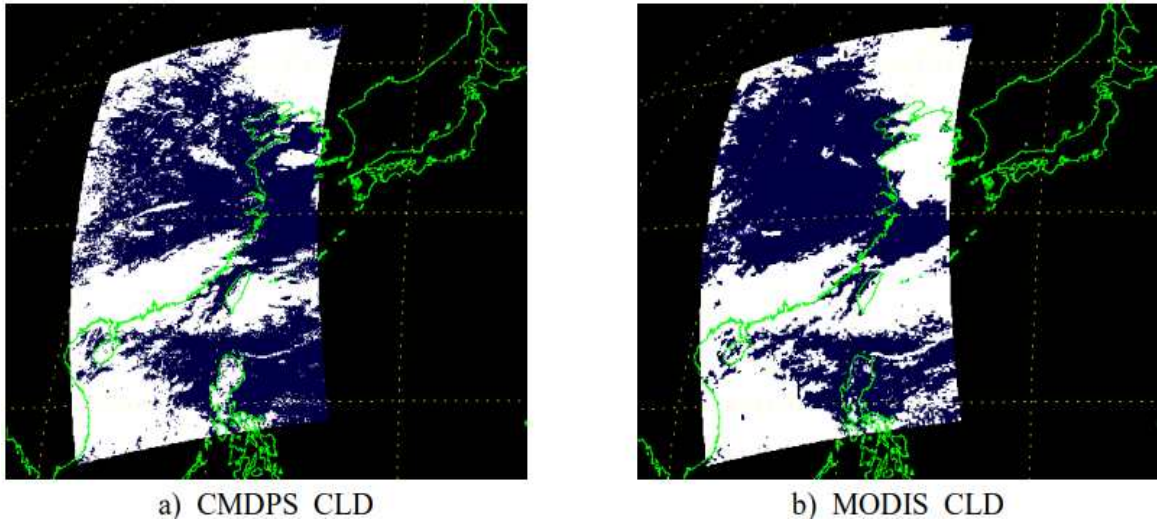
구름은 일반적으로 가시광선(VIS), 근적외선(NIR), 및 단파적외선(SWIR) 파장 대역에서 높은 반사율 특성 및 지구 표면보다 온도가 낮은 특성을 갖는다. 이러한 분광반사율 특성을 이용한 Spectral threshold 방법은 영상 히스토그램에서 구름 화소에 해당하는 임계값을 탐색하며, 간단하고 효과적인 방법을 제공한다. Spectral threshold 방법은 대부분의 위성에 적용 가능하기 때문에 가장 널리 사용되고 있으며 신뢰할 수 있는 접근 방식으로 간주된다(Wang et al., 2019). 그러나 SWIR 밴드가 없는 위성은 구름뿐만 아니라 눈/얼음이나 모래, 높은 반사율을 갖는 인공 구조물 등이 분류되지 못하고 함께 식별된다. 그림 2-41은 주요 표면의 파장별 분광 특성을 나타낸다.



<그림 2-41> 주요 표면의 파장별 분광특성 (Zhuge et al., 2017)

나) GK-2A 위성의 구름 탐지 알고리즘

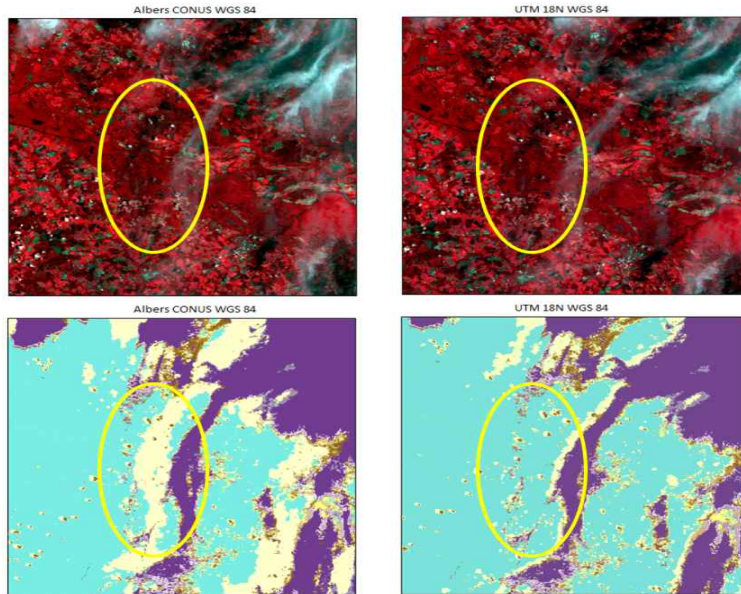
국내 국가기상위성센터 차세대위성개발팀은 기상위성 GK-2A로부터 반사도와 휘도 온도를 임계값과 비교하여 구름 영역을 탐지하는 알고리즘을 개발하였으며, 구름, 구름확률 높음, 청천의 단계로 구분되는 구름의 정보와 적용된 15개 알고리즘에 대한 테스트 결과를 제공하였다(양이석 등, 2019).



<그림 2-42> 기상위성센터 기상자료처리시스템(CMDPS)의 구름 탐지 결과

다) CFMask 알고리즘

Landsat-7/8 위성 및 Sentinel-2 위성에 적용가능한 CFMask 알고리즘은 보스턴 대학에서 구름탐지를 위해 개발한 matlab 기반의 FMask 알고리즘을 USGS EROS에서 C 언어 기반의 오픈소스로 제작한 알고리즘이다. USGS에서 제시한 논문에 의하면, Landsat 위성에서 사용되는 다양한 구름 탐지 알고리즘을 비교 검증한 결과, CFMask 알고리즘의 정확도가 가장 좋다는 결론을 제시하고, CFMask 알고리즘에 대한 주요 정보를 제공한다(Foga et al., 2017). CFMask 알고리즘은 SWIR 및 Thermal Data를 기반으로 실행된다. Sentinel-2 위성은 Thermal Data가 없어 구름 및 구름그림자 탐지 성능이 Landsat 위성보다 다소 떨어진다. Landsat 위성은 CFMask 알고리즘을 통해 구름 및 구름그림자 영역에 대한 정보와 신뢰도(confidence) 정보를 품질속성 밴드로 제공한다. 이와 별개로 구름그림자 탐지 성능 향상을 위해 DEM을 이용한 구름그림자 탐지 연구를 수행하고 있다. 그림 2-43은 CFMask 알고리즘을 적용한 구름 탐지 기법 적용 결과를 원본영상과 비교하여 보여준다.



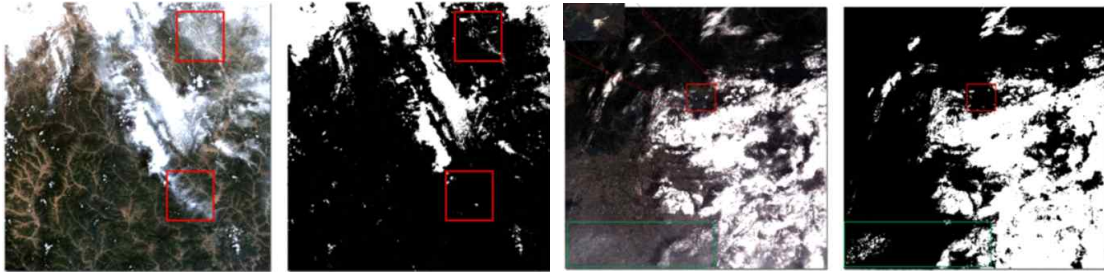
<그림 2-43> Landsat에서 CFMask 알고리즘을 통해 탐지된 구름 및 구름그림자의 이동에 의한 효과

라) Sen2Cor 기법

Sentinel-2 위성은 구름 탐지에 핵심 밴드인 열적외선 밴드의 부재로 구름 및 구름그림자 추출 알고리즘인 CFMask의 성능을 발휘하지 못하는 점을 고려하여 Sentinel-2 위성에 최적화된 구름 탐지 알고리즘인 Sen2Cor 프로세서를 개발하였다. Sen2Cor에 탑재된 구름 탐지 알고리즘은 가시광선(RGB) 밴드와 더불어 근적외선, 중적외선 밴드를 혼합하여 구름과 눈을 분리하고 그 외 나머지 지표물을 구분한다. Sen2Cor는 SNAP의 Plug-In 형태로 제공하고 있다(ESA, 2021b).

마) OCM (Object Oriented Cloud-Shadow Matching) 기법

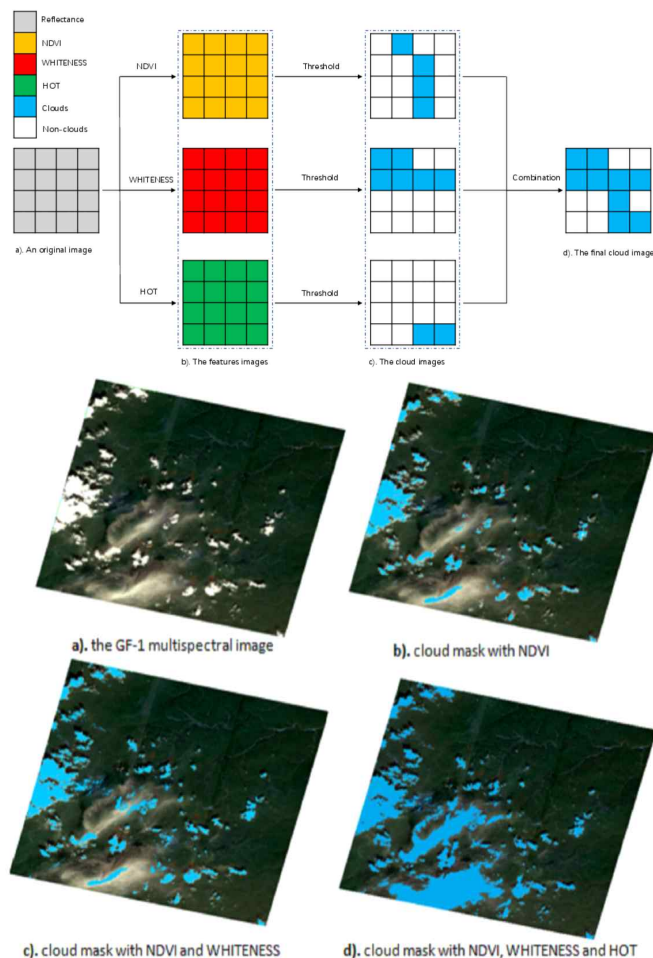
중국의 환경 보호 및 재난 모니터링 30m 급의 중·저해상도 위성인 HJ-1은 Red, Green, NIR 밴드로 구성되어 있다. 해당 위성에서 적용된 OCM 기법은 HJ-1 위성과 같이 가시광선 밴드와 근적외선 밴드로 구성된 분광해상도 사양에서 구름 및 구름그림자를 자동으로 탐지하는 알고리즘이다(Zhong et al., 2017). 아래의 그림 2-44는 OCM 알고리즘을 적용한 구름 탐지 결과를 보여준다. 분광 사양에 한계가 있음에도 구름이 잘 탐지되었으며, 구름 개체를 이용하여 구름그림자도 효과적으로 탐지하고 있다. 다만, 두꺼운 구름 외 얇은 구름 혹은 연무에 대한 탐지 능력은 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.



<그림 2-44> OCM 알고리즘 기반 구름영역 탐지 결과 - 산지(왼쪽) 및 도심지(오른쪽)

바) HMF (Hybrid Multispectral Features) 기법

중국의 고해상도 위성영상인 GF-1은 Pan-chromatic 8m, 다중분광 16m급 공간해상도와 가시광선 및 근적외선 밴드로 구성되어 있다. 해당 위성에 적용된 HMF 기법은 NDVI, Whiteness 및 HOT (Haze-Optimized Transformation) 기능을 결합하여 구름영역을 탐지하는 알고리즘이다(Xiong et al., 2020). 그림 2-45는 HMF 알고리즘 처리 과정 및 HMF 알고리즘을 적용한 구름 탐지 결과를 보여준다.



<그림 2-45> HMR 알고리즘의 원리(상단) 및 각 알고리즘별 구름탐지 결과 (하단)

사) 구름 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석

구름 탐지 알고리즘의 조사 결과를 바탕으로 국토위성 사양에서 해당 기법의 적용 가능성을 아래 표와 같이 정리하였다.

국토위성은 구름 탐지에 효과적이라고 알려진 중적외선 밴드와 열적외선 밴드의 부재하기 때문에 조사한 알고리즘 중 적용할 수 있는 알고리즘은 매우 한정적이었다. 그 중에서 Spectral threshold와 OCM 알고리즘은 가시광선 및 근적외선 밴드를 가지고 있는 고해상도 위성영상에서 충분히 적용가능 하기 때문에 국토위성용 구름 탐지 알고리즘 대상으로 우선적으로 고려하였다. 하지만 Spectral threshold의 경우, 영상 히스토그램에서 구름 화소에 해당하는 임계값을 탐색하여 구름 탐지를 수행하는 단순한 알고리즘인 만큼 제한된 분광정보로 신속한 탐지가 가능하나 영상의 지표물, 대기 상태 등에 따라 오탐지 이슈가 존재한다. OCM 알고리즘은 국토위성 사양에 적합하면서 신뢰도 정보를 구분하여 제공하고 더불어 구름그림자를 추정할 수 있기 때문에 국토위성에 적합한 알고리즘이다. HMF 알고리즘은 국토위성 사양에 적합한 알고리즘이나 여러 장의 영상을 이용하여 하늘-수평축의 각도정보를 추정해야하므로 다소 부적합하다.

<표 2-23> 구름 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석

	구름 탐지 기술	국토위성 적용가능성	비고
가	Spectral threshold	O	적용 가능, 오탐지 이슈 존재
나	CMDPS	X	중적외선, 열적외선 밴드 부재
다	CFMask	X	중적외선, 열적외선 밴드 부재
라	Sen2Cor	X	중적외선 밴드 부재
마	OCM	O	적용 가능
바	HMF	△	하늘-수평축 각도정보 필요

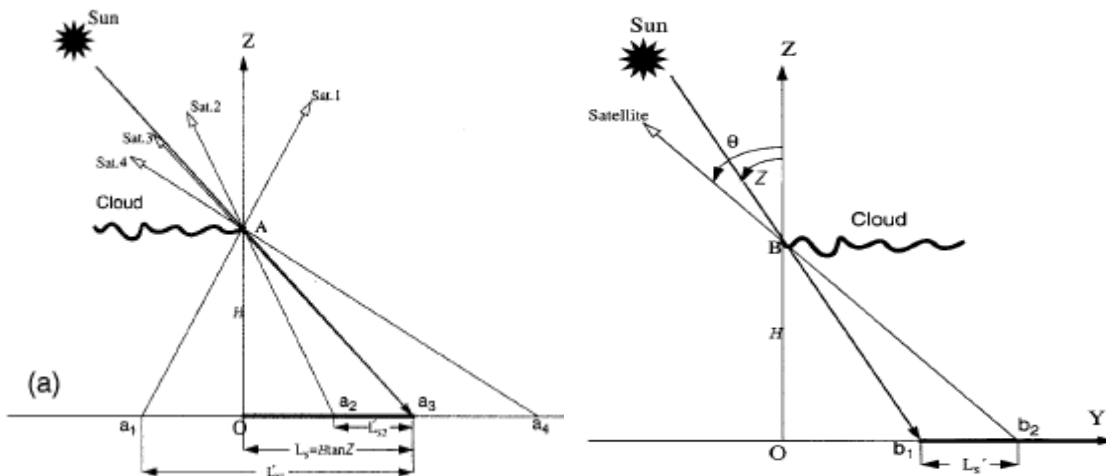
2) 구름그림자 탐지 기술 조사

구름그림자 탐지는 위성영상 내 구름으로 인해 발생한 그림자 영역을 탐지하는 것을 의미한다. 구름그림자는 광원의 위치와 지형적 특성으로 관측이 안될 수도 있으나, 대부분 구름과 인접한 영역에서 관측된다. 구름그림자는 일반적으로 낮은 반사율로 나타나 어두운 객체(Dark object) 혹은 지형그림자, 물과 유사한 특성을 보여 관측에 어려움이 있다.

현재 보편적으로 사용되고 있는 구름그림자 탐지 기술은 기하학적인 방법과 분광학적 방법으로 구분할 수 있다. 기하 기반 구름그림자 탐지 기술은 탐지된 구름과 태양 및 위성 간 기하학적 관계를 이용하여 구름그림자의 위치와 분포를 결정하는 방법이다. 다만, 구름 상단 높이의 정확한 추정이 어려워 자동 탐지에 한계가 있다. 분광 기반 구름그림자 탐지 기술은 구름그림자의 분광반사율 특성을 이용하여 구름그림자를 탐지하는 방법이다. 그러나, 지형그림자, 물과 같이 구름그림자와 유사한 분광 특성을 갖는 대상에 대한 구분이 어렵고, 두께가 얇은 구름의 그림자는 탐지하기 어렵다는 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 Landsat, Sentinel 위성의 경우, Thermal 밴드 및 SWIR 밴드를 추가로 활용하여 구름그림자를 탐지하고 있다.

가) 태양-위성 조건별 구름그림자 탐지 기법

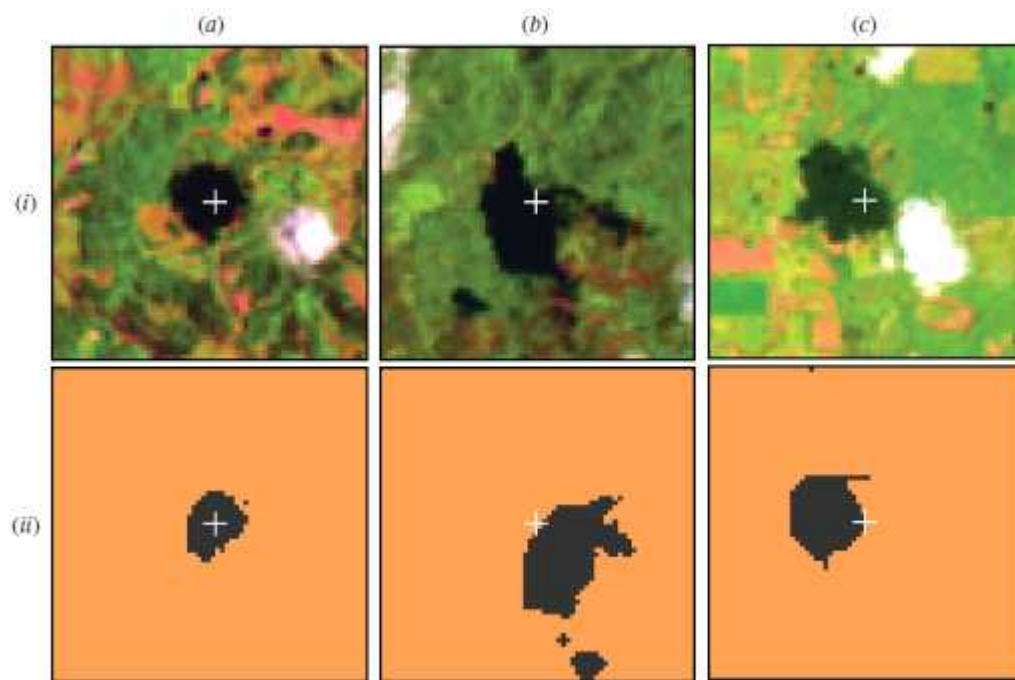
구름으로부터 태양 및 위성의 기하 조건을 이용하여 구름그림자를 탐지한 연구 사례가 있다 (Simpson et al., 2000). 해당 논문에서는 시간별 태양 및 위성의 위치에 따라 구름에서 관찰되는 구름그림자를 일반적인 경우와 특수한 경우로 분류해 수학적 모델로 설명하고 있다.



<그림 2-46> 일반적인 경우(왼쪽)와 특수한 경우(오른쪽)의 구름그림자 투영

나) 분광 특성 기반 구름그림자 탐지 기법

Landsat 위성영상으로부터 NIR 밴드, SWIR 밴드 및 Thermal 밴드 정보를 이용하여 구름 및 구름그림자를 탐지하는 기법이 있다. Landsat 위성영상에서 구름 높이는 구름 픽셀과 근처 지표 공기 사이의 온도차를 이용하여 추정되며, 구름그림자는 분광 특성을 기반으로 탐지한다(Huang et al., 2010). 분광 기반 구름그림자 탐지 결과는 아래 그림 2-47과 같다.



<그림 2-47> Landsat 위성의 SWIR-NIR-Red 영상(왼쪽) 및 구름그림자 탐지 결과(오른쪽)

위 그림의 (b) 및 (c) 구름그림자 탐지 결과를 보면 탐지된 구름그림자(ii)와 실제 구름그림자(i)의 형상이 다른 것을 확인할 수 있다. 이처럼 구름그림자 탐지가 불분명한 원인은 다음과 같다.

- 구름 높이가 잘못 추정된 경우
- 구름의 두께에 따라 구름그림자의 밝기값 정도가 달라 임계치에서 구분된 경우
- 구름그림자 주변에 구름그림자와 유사한 분광 특성을 갖는 대상이 함께 식별되는 경우
- 구름그림자 영역에 다른 구름이 위치하여 가려진 경우

이처럼 분광 기반 구름그림자 탐지 기법은 구름그림자의 위치는 추정하였으나, 탐지 성능의 한계가 존재한다.

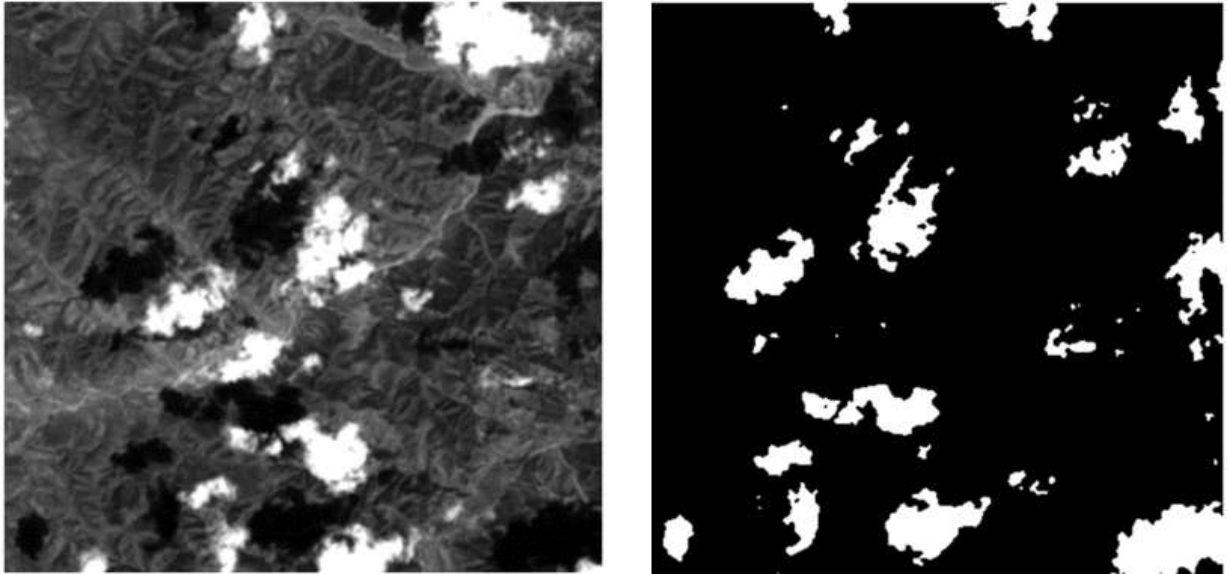
다) OCM (Object Oriented Cloud and Cloud-Shadow Matching)

OCM 기법은 가시광선 및 근적외선 밴드만 존재하는 위성영상에서도 자동화된 구름 및 구름그림자 탐지가 가능하도록 설계된 알고리즘이다. OCM 기법의 구름 및 구름그림자 탐지 과정은 앞 절에서 설명하였으므로 본 절에서는 구름그림자 탐지 내용을 기술하였다. OCM 기법에서는 구름그림자맵(CSM)을 생성하기 위해 기하 기반 방법과 분광 기반 방법이 혼합된 기술을 사용했다. 구름그림자의 분광 특성을 고려해 NIR 및 Blue 밴드를 이용하여 아래 표의 연산 조건에 따라 초기 구름그림자 영역을 추출할 수 있다. 초기 구름그림자 영역에는 물과 같이 분광 특성이 유사한 대상이 함께 포함되어 있다. 이를 제거하기 위해 Seed-Fill 알고리즘을 수행하여 구름 및 구름그림자 개체를 생성하고, 태양 방위각과 고도각 정보를 이용해 구름과 구름그림자 개체를 매칭하는 기하 기술을 적용하면, 유사한 분광 특성을 가지는 개체를 제외한 구름그림자만을 추출할 수 있다.

<표 2-24> 구름그림자 영역 추출을 위한 밴드연산 조건

$$\text{조건 1. } Band_4 < 0.15, \quad \text{조건 2. } \frac{Band_4}{Band_3} > 1, \quad Band_3 : Red, Band_4 : NIR$$

밴드연산 조건에 의해 생성된 구름그림자맵(CSM)은 아래 그림과 같다.



<그림 2-48> 밴드연산 조건에 의해 생성된 구름그림자맵(CSM)

라) 구름그림자 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석

구름그림자 탐지 알고리즘의 조사 결과를 바탕으로 국토위성 사양에서 해당 기법의 적용 가능성을 아래 표와 같이 정리하였다. 태양-위성 조건별 구름그림자 탐지 방법은 시간에 따른 태양과 위성의 변화를 고려하였을 때 구름에서 발생하는 구름그림자 영역을 이론적으로 설명 및 계산할 수 있으나, 실제 위성영상에서 구름그림자 영역을 탐지하기 위한 직접 기술은 아니며 처리 시간 및 자동화 가능성 측면에서 한계가 있다. 분광 기반 구름그림자 탐지 기법은 중적외선과 열적외선 밴드를 필요로 하여 적용하기에 한계가 있으며, 이전 사례에서 분광 기반 탐지 성능의 한계도 나타났다. OCM 기법은 구름뿐만 아니라 구름그림자의 탐지가 가능한 알고리즘을 포함하고 있어 활용도 및 적용 가능성이 높을 것으로 기대된다. 또한, OCM 알고리즘은 태양-위성 조건과 유사하게 태양 및 위성의 각도 정보를 이용하여 구름-구름그림자 방향각을 계산하는 내용이 포함되어 있어 기존의 분광정보만을 이용한 방법보다 우수한 성능을 보일 것으로 생각된다.

<표 2-25> 구름그림자 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석

	구름그림자 탐지 기술	국토위성 적용가능성	비고
가	태양-위성 기하학적 특성 기반 탐지	X	구름그림자 탐지를 위한 기술 이 아니며, 자동화 불가
나	분광 특성 기반 탐지	X	중적외선, 열적외선 밴드 부재
다	OCM	O	적용 가능

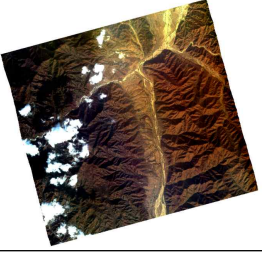
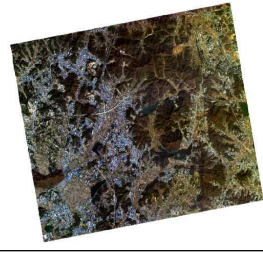
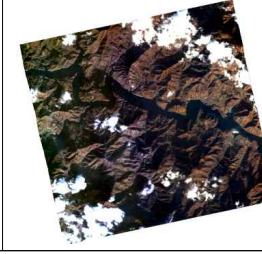
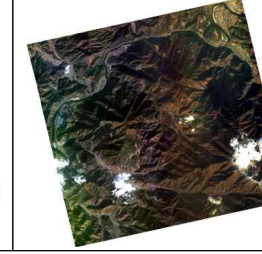
3) 구름 및 구름그림자 탐지 기술 개발

본 절에서는 구름 및 구름그림자 탐지 알고리즘 조사 결과와 국토위성 적용 가능성 분석 결과를 바탕으로 국토위성에 적합한 구름 및 구름그림자 탐지 기술 개발 내용에 대해 서술한다.


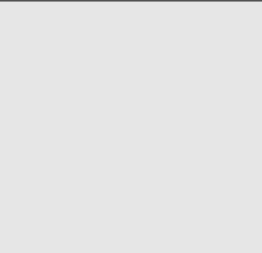
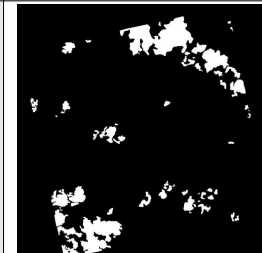
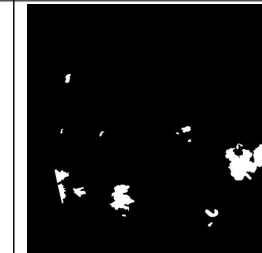
가) 사용 자료

국토위성영상 구름 탐지에는 절대복사보정계수를 기반으로 산출한 TOA Reflectance 자료를 사용하였다. 2021년 11월 4일에 촬영된 청진 지역 영상과 2021년 11월 17일에 촬영된 화성 지역 영상, 2021년 12월 12일에 촬영된 신평 지역 영상, 2021년 12월 17일에 촬영한 단양 지역 영상을 사용하였다. 북한 지역 수계 탐지 실험에는 2021년 11월 4일에 촬영된 신평 지역 영상과 2021년 12월 12월에 촬영된 신평 지역 영상을 사용하였다(표 2-26). 구름 탐지 검증에 위한 참값 자료는 구름이 없는 화성 지역을 제외한 청진, 신평, 단양 지역에 대해서 육안 판독을 통해 직접 디지털라이징을 수행하여 취득하였다. 최종 검수를 마친 벡터 자료는 각 국토위성영상의 해상도와 크기에 맞게 래스터화하여 0 과 1값으로 구성된 이진 마스크로 제작하였다.

<표 2-26> 국토위성 구름 및 구름그림자 탐지 사용 자료

황해북도 청진 (2021.11.04.)	경기도 화성 (2021.11.17.)	함경북도 신평 (2021.12.12.)	충청북도 단양 (2021.12.17.)
			

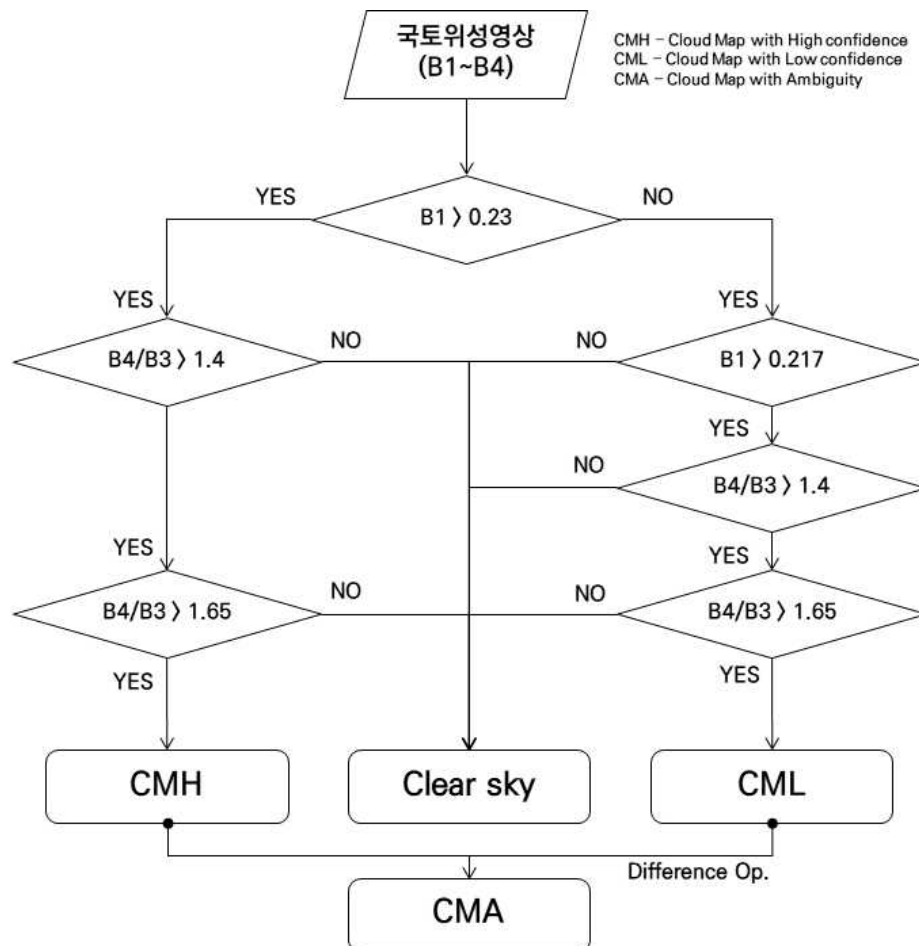
<표 2-27> 국토위성 구름 및 구름그림자 탐지 참값(Ground truth) 자료

황해북도 청진 (2021.11.04.)	경기도 화성 (2021.11.17.)	함경북도 신평 (2021.12.12.)	충청북도 단양 (2021.12.17.)
			

나) 구름 및 구름그림자 탐지 절차

(1) 국토위성영상 기반 구름 탐지 절차

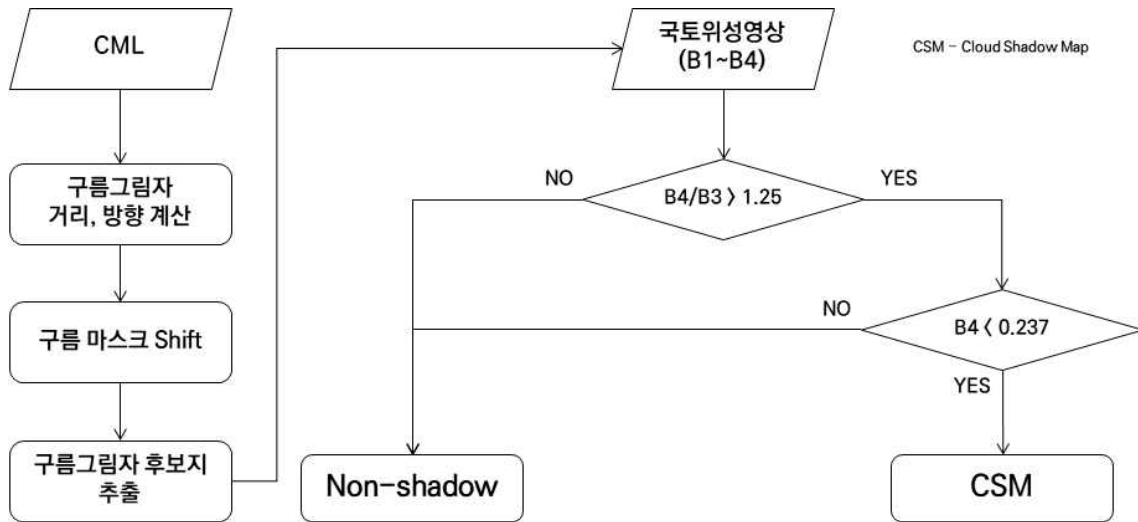
국토위성용 구름 탐지 입력영상은 절대복사보정계수(최종 업데이트된 보정계수)를 기반으로 변환한 TOA(Top of Atmosphere) 반사율을 이용하여 픽셀단위정보를 제작하였다. CMH(Cloud Map with High confidence)는 높은 신뢰도를 나타내는 구름으로 상대적으로 두꺼운 구름에 해당하는 픽셀을 나타낸다. CML(Cloud Map with Low confidence)는 낮은 신뢰도를 나타내는 구름으로 높은 신뢰도의 구름을 포함하여 얇은 구름 혹은 연무에 해당하는 픽셀을 나타낸다. CMA(Cloud Map with Ambiguity)는 높은 신뢰도 구름과 낮은 신뢰도 구름을 구분하기 위한 산출물로 CMH와 CML의 차연산을 통해 CML에서 높은 신뢰도 구름이 제외된 나머지 픽셀을 나타낸다. CMA에서는 구름의 경계, 연무 등이 주로 나타난다. 구름 탐지 알고리즘 설계 과정에서 높은 신뢰도와 낮은 신뢰도 구름을 구분하기 위해 CMH와 CMA를 산출물로 지정하였다. 다만, 기존 OCM 알고리즘에서 제시한 임계값으로 적용하면 많은 오탐지가 발생하여 국토위성에 맞는 임계값을 찾아 최적하는 과정을 수행하였고, 탐지 절차 및 신뢰도 수준별 임계값은 그림 2-49와 같다. 추가 과정으로 구름 탐지 결과에서 잡음을 제거하기 위해 9x9 최빈값 필터를 적용하였다.



<그림 2-49> 국토위성영상 구름 탐지 절차

(2) 국토위성영상 기반 구름그림자 탐지 절차

구름 탐지와 동일하게 절대복사보정계수를 기반으로 변환한 TOA(Top of Atmosphere) 반사율을 이용하여 구름그림자를 제작하였다. 그러나, TOA 반사율을 사용하여도 CSM 임계값만 적용할 경우에 구름그림자와 지형그림자 혹은 어두운 물체(Dark object)가 동시에 탐지된 문제가 여전히 존재한다. 그래서 구름 탐지 결과와 메타정보(태양 및 센서 정보)를 이용하여 지형그림자가 제거된 구름그림자를 탐지 및 추출하는 과업을 수행하였다. 구름그림자 탐지 절차와 임계값은 아래 그림 2-50과 같다.



<그림 2-50> 국토위성영상 구름그림자 탐지 절차

<표 2-28> 구름그림자 이동거리 및 이동방향 산출 수식

구름그림자 이동거리	구름그림자 이동방향
$\phi_a = \pi + \arctan \left(\frac{\sin \phi_s \tan \theta_s - \sin \phi_v \tan \theta_v}{\cos \phi_s \tan \theta_s - \cos \phi_v \tan \theta_v} \right)$	$d_m = h \sqrt{(\sin \theta_s \tan \theta_s - \sin \theta_v \tan \theta_v)^2 + (\cos \theta_s \tan \theta_s - \cos \theta_v \tan \theta_v)^2}$

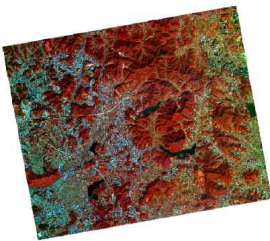
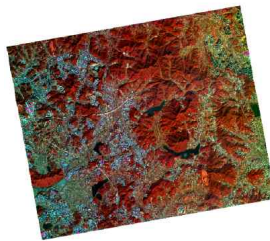
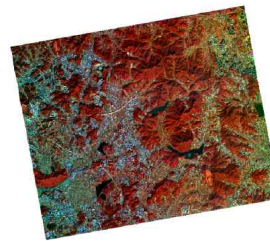



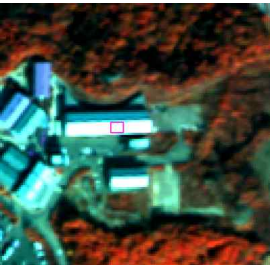

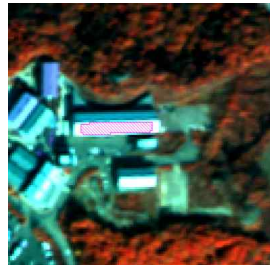
여기서, h는 구름 추정 높이, ϕ_s 는 태양방위각, ϕ_v 는 센서방위각, θ_s 는 태양천정각, θ_v 는 센서천정각을 의미한다.

다) 구름 및 구름그림자 탐지 결과

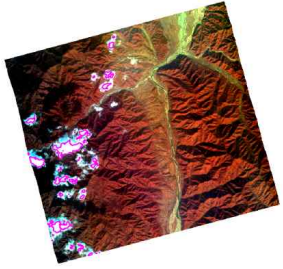
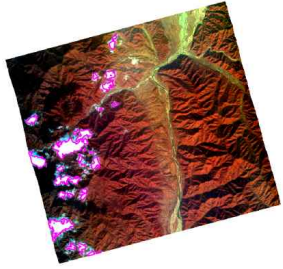
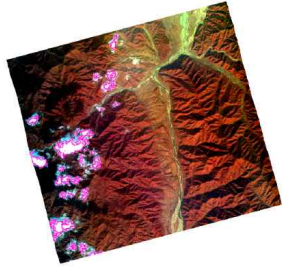
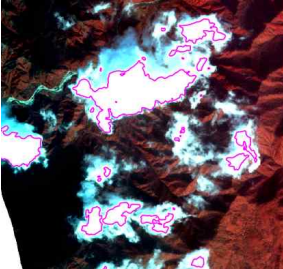
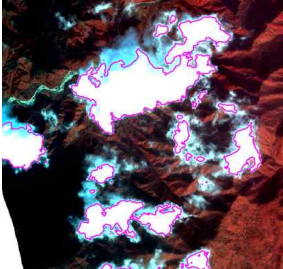
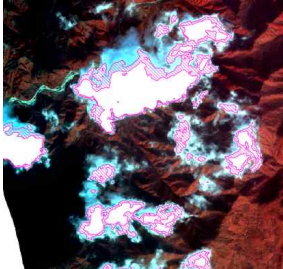
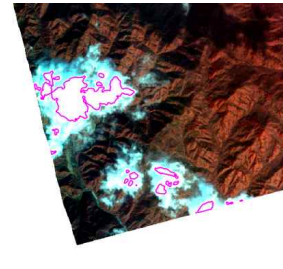
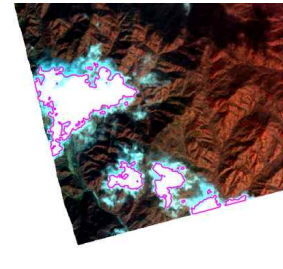
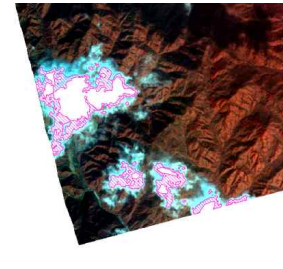



(1) 구름 탐지 결과

국토위성용 구름 탐지 알고리즘은 최대한 정확한 구름 픽셀만을 제공하기 위해 오탐지 요소를 최소화하도록 설계하였다. 해당 알고리즘을 이용하여 구름을 탐지 결과는 아래 표 2-29~32과 같다. 영상에서 구름이 관측된 함경북도 청진, 함경북도 신평, 충청북도 단양 지역의 경우, 구름을 정상적으로 탐지한 결과를 확인할 수 있다. 신뢰도 수준별로 관측된 구름의 면적이 달랐으며, 높은 신뢰도의 구름의 경우, 두꺼운 구름에 해당하는 픽셀만 탐지되었으며, 낮은 신뢰도의 구름의 경우, 얇은 구름까지 탐지한 것을 확인할 수 있다. 다만, 위에서도 서술하였듯이 오탐지 요소를 최소화하기 위해 너무 얇은 구름 혹은 연무와 같이 애매한 화소는 구름 픽셀로 탐지가 되지 않은 현상이 일부 확인되었다. 또한, 영상 전체적으로 Dynamic range에 이상이 있는 경우에도 미탐지 문제가 발생하는 문제를 확인하였다. 경기도 화성 지역의 경우 구름이 존재하지 않기 때문에 구름 픽셀이 공장 지붕과 같이 빛 반사가 많은 지표물에서 구름 화소로 분류되는 현상이 일부 확인되었다. 그럼에도 모든 결과에서 정밀도(Precision)가 높은 결과를 도출하였다.

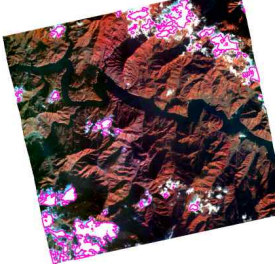
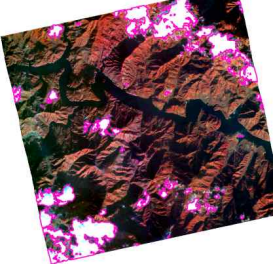
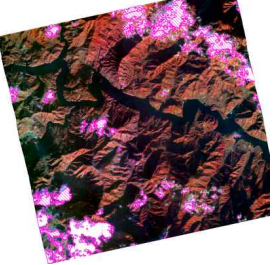
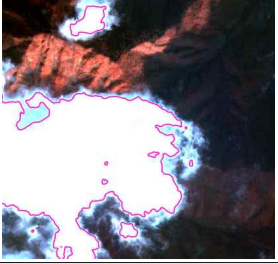

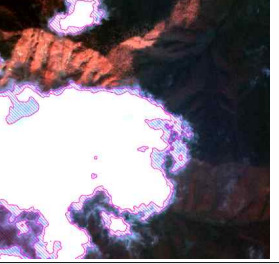
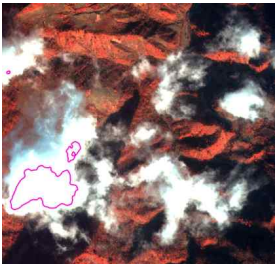
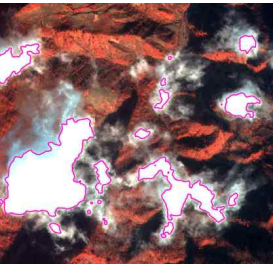
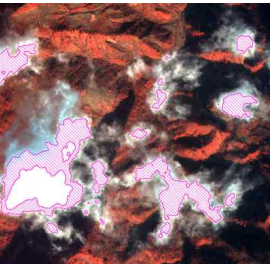
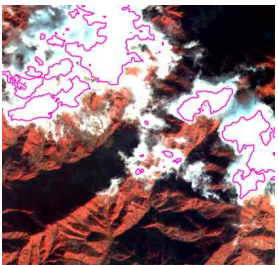
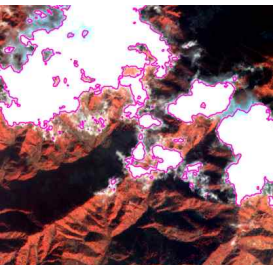
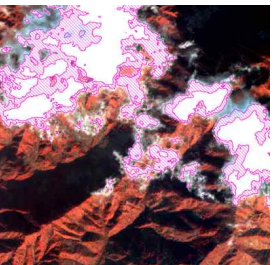
<표 2-29> 경기도 화성 지역 구름 탐지 결과

		CMH	CML	CMA	
화성	#1				
	#2				
	#3				
Recall		Precision		F-score	Accuracy
-		-		-	-

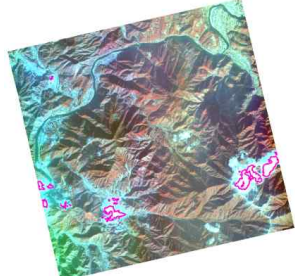
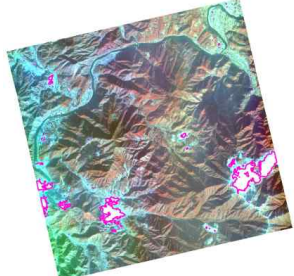
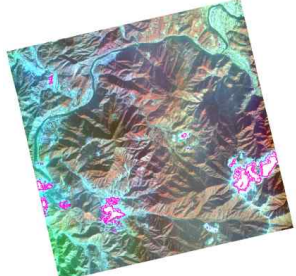

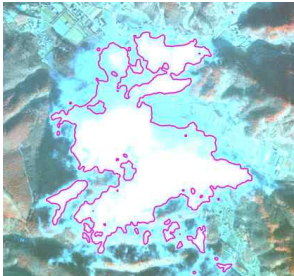
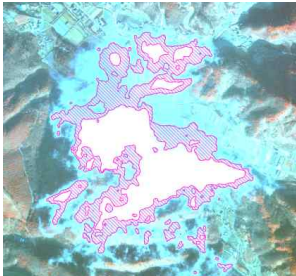
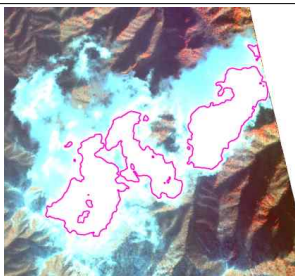
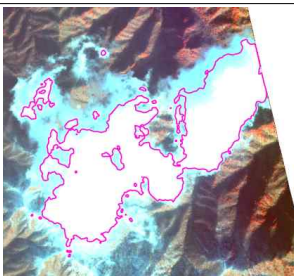
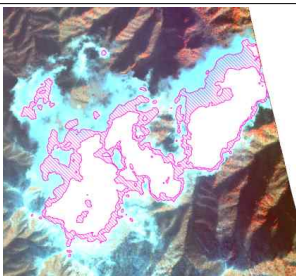



<표 2-30> 함경북도 청진 지역 구름 탐지 결과

		CMH	CML	CMA
청진	#1			
	#2			
	#3			
	#4			
Recall		Precision	F-score	Accuracy
0.5148		0.9957	0.6787	0.9822

<표 2-31> 황해북도 신평 지역 구름 탐지 결과

		CMH	CML	CMA
신평	#1			
	#2			
	#3			
	#4			
Recall		Precision	F-score	Accuracy
0.8093		0.9540	0.8757	0.9826


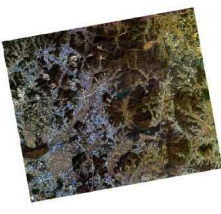







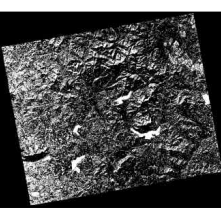
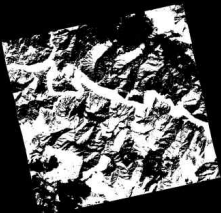
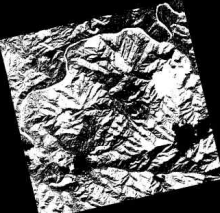
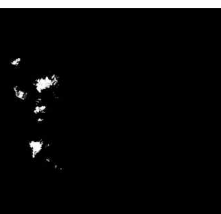

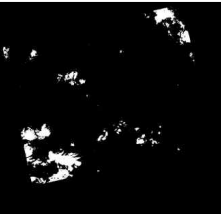

<표 2-32> 충청북도 단양 지역 구름 탐지 결과

		CMH	CML	CMA
단양	#1			
	#2			
	#3			
	#4			
Recall		Precision	F-score	Accuracy
0.5573		0.9899	0.7131	0.9883

(2) 구름그림자 탐지 결과

국토위성영상 기반 구름그림자 탐지 결과는 아래 표 2-33과 같다. 임계값만 적용한 단순 CSM 결과와 비교하여 정제된 CSM은 영상 전반적으로 나타나던 오탐지가 제거되었으며, 구름 그림자가 위치한 곳에 그림자와 비슷한 형태로 그림자가 형성되었다. 이를 통해 국토위성영상 내 구름그림자를 탐지하는 과정에서 구름 마스크가 효과적임을 확인할 수 있다. 다만, 구름 개별적으로 이동거리와 이동방향이 다른 점과 구름 높이를 추정하는 과정에서 오탐지가 발생한 점으로 미루어 보아 이와 관련된 많은 실험이 필요할 것으로 판단된다.

<표 2-33> 국토위성영상 구름그림자 탐지 결과

	함경북도 청진	경기도 화성	황해북도 신평	충청북도 단양
원본 영상				
구름 마스크				
단순 CSM				
정제 CSM				

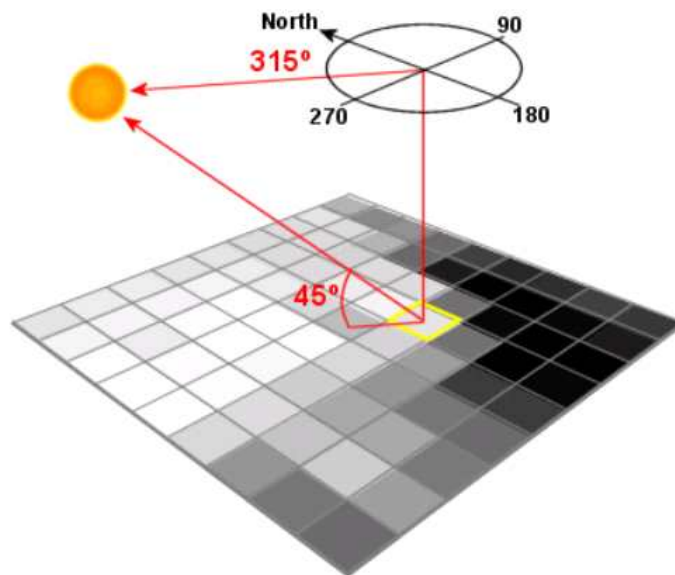
나. 지형 및 지물그림자 탐지 기술 개발

1) 지형그림자 탐지 기술 조사

지형그림자 탐지는 위성영상 내 건물, 지형 주변에 발생하는 그림자 영역을 탐지하는 것을 의미한다. 지형폐색 탐지는 위성영상 내 건물 벽면, 절벽 등 급격한 높이변화에 의한 폐색 영역을 탐지하는 것을 의미한다. 위성영상 내 지형그림자 및 지형폐색 영역은 표면 정보가 없거나 왜곡되기 때문에 사용자가 지표면을 관측 및 분석함에 있어 주요 장애 요인으로 작용한다.

가) Hillshade 알고리즘

Hillshade 알고리즘은 광원의 위치와 DEM의 고도값을 사용하여 지형그림자를 탐지한다. 먼저, DEM을 기반으로 중심화소와 인접 화소의 고도값으로 Slope(Gradient)를 계산하면, 산출된 Slope와 태양 고도각, 방위각을 사용하여 DEM에 대한 Aspect를 계산한다. Hillshade는 Slope와 Aspect 그리고 태양 고도각, 방위각을 사용하여 산출되며, 임계값 처리 기법을 적용하여 지형그림자를 탐지할 수 있다(김승호, 윤진일, 2016). 해당 알고리즘은 DEM과 광원 정보만을 요구하기 때문에 신속하게 지형그림자를 추출할 수 있으며, 자동화 처리에도 용이하다. 하지만 DEM의 공간 해상도에 따라 처리 시간에 차이가 존재하는 결과도 보고되고 있기 때문에, 국토지리정보원에서 제공하는 DEM을 사용하여 검증하는 과정이 필요하다.



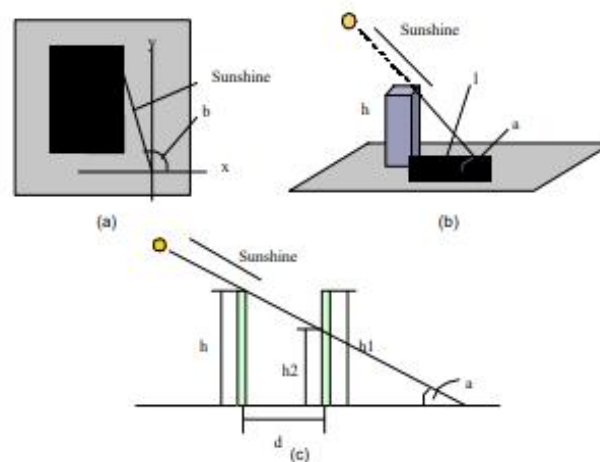
<그림 2-51> DEM과 광원 정보를 이용한 Hillshade 제작 예시



<그림 2-52> Hillshade와 태양 고도각에 따른 그림자 탐지 결과
고도각 낮음(가운데) / 고도각 높음(오른쪽)

나) Shadow Simulation and Extract 기법

지형그림자는 지형의 모양과 고도를 반영하여 생기기 때문에 여러 기하학적인 정보를 이용해 그림자의 위치를 모의예측(Simulation)할 수 있다. 이러한 모의예측 방법으로 Shadow Simulation and Extract 기법이 있으며, 이는 대표적인 모델링 기반 지형그림자 탐지 기술에 속한다 (Nakajima et al., 2002). 태양의 방위각과 고도각, 센서 위치 및 관측 대상 지역의 기하학적인 정보를 이용하여 관측 상황에 대한 모델링을 통하여 지형그림자 탐지가 가능하다.



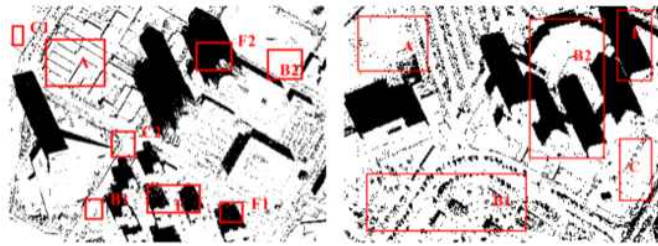
<그림 2-53> DEM을 이용한 그림자 모델링

Shadow Simulation and Extract 기법은 DEM, DSM 등 관측 대상에 대한 높이 자료가 필수적이며, 자료의 정확도에 따라 지형그림자 탐지 결과물의 품질이 결정된다. 따라서 사용된 DEM과 위성영상에서 지형 변화가 발생하였을 때, 정확도가 저하될 수 있음을 고려해야 한다.

다) LSI (Logarithmic Shadow Index)

LSI는 그림자가 갖는 분광 특성을 이용하여 HSV(Hue-Saturation Value)와 강도(Intensity) 및 여러 다중분광밴드의 픽셀값을 기반으로 설계된 지수로, log 연산을 이용하여 그림자와 비그림자간의 차를 확대하여 지형그림자 및 지형폐색을 탐지한다(그림 2-54). LSI는 그림자를 탐지하는 여러 지수에 비해 더 높은 지형그림자 추출 성능을 보인다는 연구 결과가 있다(Han et al., 2020). 다만, 어두운 영역에서는 객체와 그림자의 구분이 어려워 오탐지 발생 가능성을 염두하여야 한다.

$$LSI = \ln\left(NIR \times \frac{I-H}{I+H} + 1\right)$$



<그림 2-54> LSI (왼쪽), WorldView-3 위성에서의 LSI 기반 지형그림자 탐지 결과(오른쪽)

라) NSI (Near-Infrared Saturation Index)

NSI는 근적외선을 기반으로 하는 지형그림자 추출 지수이다(그림 2-55). WorldView-2, TripleSat-2, RapidEye 영상의 도심지를 대상으로 검증을 수행하였으며, 우수한 탐지 정확도를 제공한다는 연구 결과가 있다(Fang et al., 2019). LSI와 마찬가지로 영역 자체가 어두운 경우, 그림자의 경계가 모호하여 오탐지 발생 가능성이 있으나, 수계영역을 먼저 제거하면 오탐지 가능성을 줄일 수 있다.

$$NSI = \frac{S - X_{NIR2}}{S + X_{NIR2}}$$



<그림 2-55> NSI (왼쪽), RapidEye 위성(중간) 및 NSI 기반 지형그림자 탐지 결과(오른쪽)

마) 지형그림자 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석

지형그림자 탐지 알고리즘의 조사 결과를 바탕으로 국토위성 사양에서 해당 기법의 적용 가능성을 아래 표와 같이 정리하였다. Hillshade 알고리즘은 수치표고자료(DEM)를 기반으로 태양각을 고려한 인접 픽셀의 높이값과의 차이만으로도 빠르게 그림자를 탐지할 수 있는 장점이 있다. 국토지리정보원은 5m, 10m 해상도의 DEM을 보유하고 있기 때문에 한반도 지역을 대상으로 적용 가능하며, DEM의 해상도가 높을수록 성능도 높아지고 처리 시간도 짧아 자동화 기법으로 매우 적절한 알고리즘이다. Shadow Simulation and Extract(SSE) 알고리즘도 수치표면자료(DSM)를 이용하여 지형그림자의 위치를 탐지하므로 공간해상도에 의존적이지 않으며, 영상 노이즈와 같은 시스템적인 오류에 의한 영향이 미미하다. 그러나 매 픽셀 높이에 대한 기하학적 연산 및 그림자 픽셀 결정과정이 필요하여 상당한 처리속도가 소요되는 것으로 알려져 자동화에는 다소 부적합하다. 지수(LSI & NSI) 기반 방법은 가시광 및 근적외선 밴드를 이용하므로 국토위성 사양에도 적합하며 뒷장의 지물그림자 탐지도 탐지할 수 있어 적합한 방법으로 확인된다. 하지만 지수 기반 탐지 방법과 관련된 연구에서는 항상 그림자를 제외한 어두운 객체 혹은 수체가 함께 검출되어 높은 오탐지율이 보고되었기 때문에 다른 알고리즘과 혼용해서 사용할 수 있는 방법을 모색해야 한다.

<표 2-34> 지형그림자 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석

	지형그림자 탐지 기술	국토위성 적용가능성	비고
가	Hillshade 알고리즘	O	적용 가능
나	Shadow Simulation and Extract (SSE) 알고리즘	△	고정밀 DSM 필요, 처리속도 이슈 존재
다	LSI	O	적용 가능
라	NSI	O	적용 가능

2) 지물그림자 탐지 기술 조사

지물그림자는 구름그림자, 지형그림자를 제외한 인공건축물에 의해 발생하는 그림자를 의미한다. 지물그림자도 다른 그림자와 마찬가지로 다른 지표물을 가리거나 분광 특성 왜곡의 원인이 될 수 있을 뿐만 아니라 사용자의 관측 및 분석에 주요 장애 요인으로 꼽을 수 있기 때문에 픽셀단위정보로 제공한다면 유용하게 활용될 수 있다. 지물그림자 탐지 기술 조사는 지형그림자에서 설명하였던 Hillshade 알고리즘, LSI, NSI 외 지물그림자를 탐지할 수 있는 기술에 대해 서술하였다.

가) Shadow Boundary Classification

Shadow Boundary Classification은 Sliding Window 방식의 N*N 필터 내 밝기 값을 비교하고, 그림자 경계 부근에서의 높은 편차를 이용하여 지형그림자를 탐지하는 알고리즘이다 (Sarabandi et al., 2004). 그림자 크기가 작거나 그림자와 객체 간의 밝기 값 차이가 크지 않을 경우, 탐지율이 저하되는 한계가 있다. 그림 2-56은 그림자 추출 알고리즘 적용 결과이다.

$$\text{var} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} [f(i, j) - \overline{f(i, j)}]^2$$

$$\text{where: } \overline{f(i, j)} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j)^2$$



<그림 2-56> Shadow Boundary 알고리즘(왼쪽), Ikonos 영상(중간) 및 지형지물 그림자 탐지(오른쪽)

나) 지물그림자 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석

지형그림자 탐지 알고리즘의 조사 결과를 바탕으로 국토위성 사양에서 해당 기법의 적용 가능성을 아래 표와 같이 정리하였다. 지수기반 방법은 지형그림자 파트에서 설명하였기 때문에 제외한다. 그림자 경계 분류 방법은 그림자와 그림자가 아닌 부분의 높은 편차를 이용하여 그림자를 탐지하므로 어두운 지형지물을 대상으로 적용할 경우에 그림자 탐지에 어느정도 한계가 있다고 보고되고 있다. 또한, 해상도가 높을 경우 인접 픽셀에 변이가 높아지기 때문에 국토위성 정도의 공간해상도에서는 오탐지 가능성이 높다고 판단된다.

<표 2-35> 지물그림자 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석

	지물그림자 탐지 기술	국토위성 적용가능성	비고
가	Shadow Boundary 알고리즘	△	지물그림자 이외 지표물로 인한 오탐지 이슈 존재

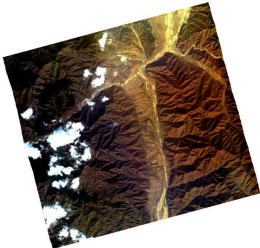
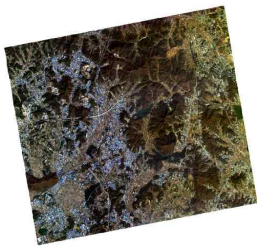


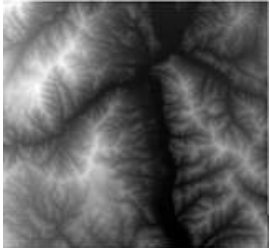

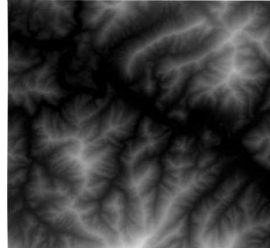
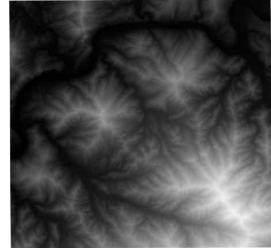
3) 지형그림자 탐지 기술 개발

본 절에서는 지형그림자 탐지 알고리즘 조사 결과와 국토위성 적용 가능성 분석 결과를 바탕으로 국토위성에 적합한 지형그림자 탐지 기술 개발 내용에 대해 서술한다.

가) 사용 자료

국토위성용 지형그림자 탐지는 국토위성영상 기반 탐지 방법과 DEM을 기반 탐지 방법으로 생성하고자 하였으며, 이를 위해 국토지리정보원에 기보유한 DEM(Digital Terrain Model)을 이용하였다. DEM은 남한 지역의 경우 5m 공간해상도, 북한 지역의 경우 10m 공간해상도로 지역별로 공간해상도가 상이함을 확인할 수 있다. 국토위성영상은 구름 탐지에 사용하였던 자료와 동일하게 황해북도 청진, 경기도 화성, 함경북도 신평, 충청북도 단양 지역의 자료를 사용하였다. 실험을 위해 확보한 국토위성영상과 DEM은 아래 표 2-36과 같다.

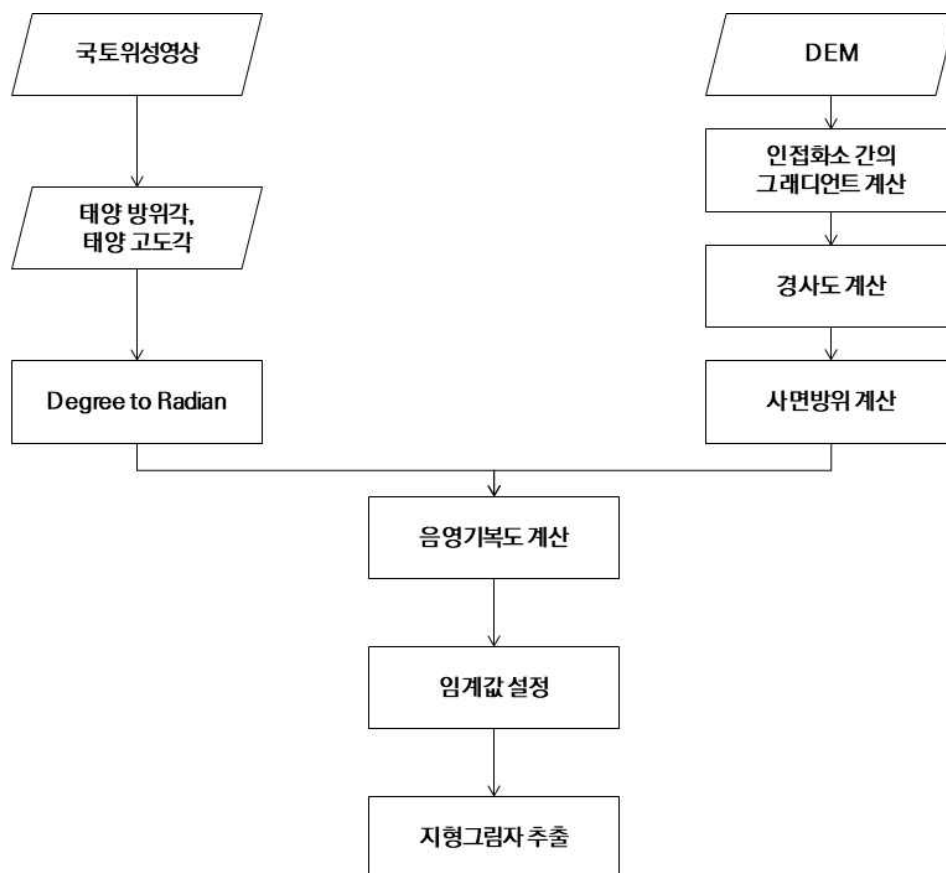
<표 2-36> 국토위성 지형그림자 탐지를 위한 국토위성영상 및 DEM

황해북도 청진 (2021.11.04.)	경기도 화성 (2021.11.17.)	함경북도 신평 (2021.12.12.)	충청북도 단양 (2021.12.17.)
			
			

나) 지형그림자 탐지 절차

(1) DEM 기반 지형그림자 탐지 절차

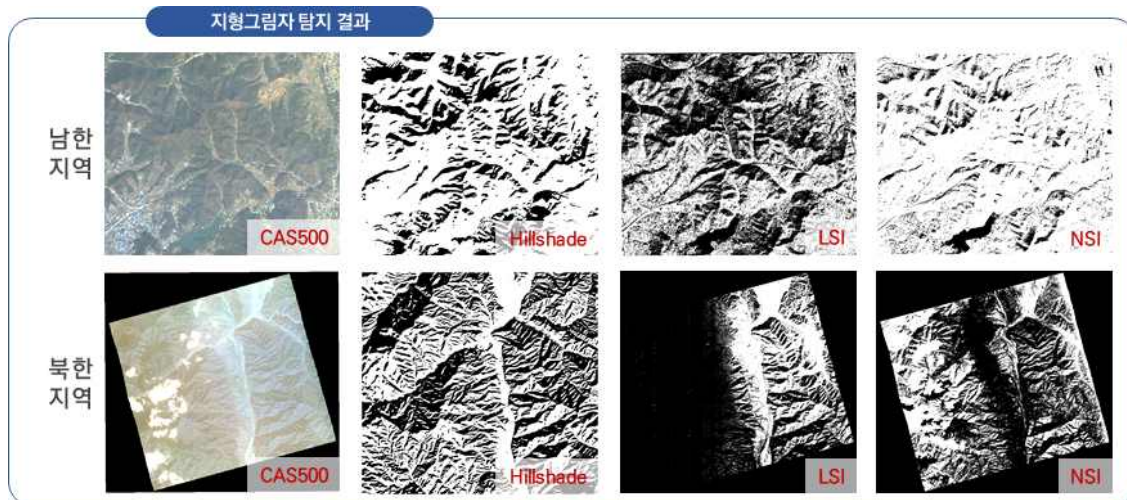
DEM을 이용한 지형그림자 탐지 절차는 아래 그림 2-57과 같다. DEM 기반 지형그림자 탐지는 국토위성영상을 직접적으로 사용하지는 않지만 국토위성영상 촬영 당시 태양 방위각과 태양 고도각을 필요로 한다. 메타데이터를 통해 수집한 광원 정보는 도 단위에서 라디안 단위로 변환한다. 그 다음, DEM 자료를 이용하여 인접화소 간의 그래디언트를 계산한 다음 그래디언트 정보를 바탕으로 경사도와 사면방위를 계산한다. 촬영 당시 광원정보와 경사도, 사면방위를 이용하여 0~255 범위로 구성된 음영기복도(Hillshade)를 산출하고 Otsu 임계값을 적용하여 최종적으로 지형그림자 마스크를 추출하였다.



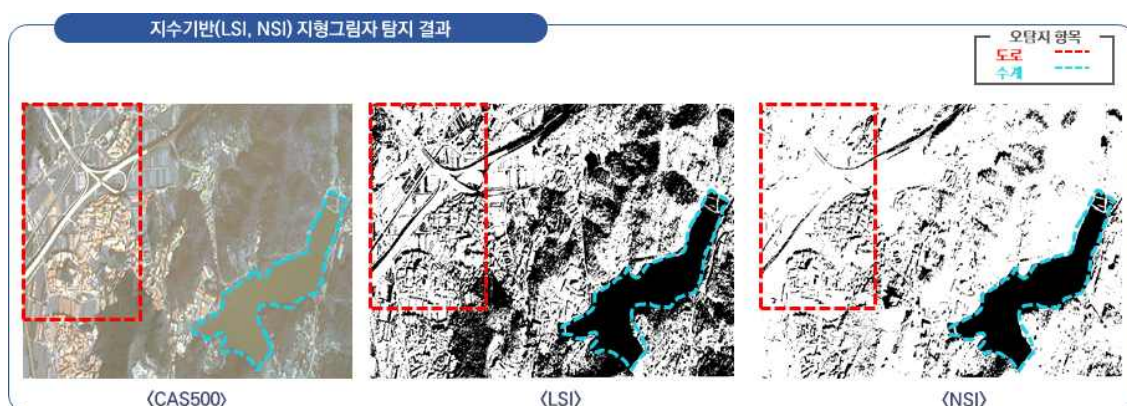
<그림 2-57> 음영기복도(Hillshade) 기반 지형그림자 탐지 절차

다) 지형그림자 탐지 결과

먼저, 황해북도 청진과 경기도 화성 지역을 대상으로 영상처리 기반 및 DEM 기반의 지형그림자 탐지 알고리즘을 적용한 결과 두 지역 공통적으로 DEM을 사용하는 Hillshade 알고리즘 기반 탐지 결과가 가장 높은 신뢰도의 그림자 정보를 제공하고 있었다. 영상과 중첩하여 그림자 위치 및 면적을 계산하여도 실제 그림자와 매우 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 그러나, DEM은 인공건축물에 대한 높이값을 가지고 있지 않기 때문에 화성 지역에서 지물그림자를 탐지할 수 없었으며, 보안지역 처리가 수행된 지역의 정확한 그림자 정보를 제공하기 어려웠다. 반면에, 영상처리 기반 지형그림자 탐지 결과는 지형그림자뿐만 아니라 지물그림자도 함께 추출할 수 있다는 장점이 존재하였으나, 그림 2-58과 같이 그림자와 분광반사특성이 유사한 수계 및 어두운 객체가 그림자로 탐지되어 오탐지가 과다하게 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 국토위성영상의 Dynamic range의 불안정으로 청진 지역의 LSI 결과에서 왼쪽 화면 전체가 그림자로 분류되었고 NSI도 그림자를 과다하게 탐지는 경향을 보였다. 두 방법의 결과 중 명백하게 DEM 기반의 지형그림자 탐지 방법이 보다 높은 신뢰도를 가지는 지형그림자를 제공하는 것을 확인할 수 있었다.



<그림 2-58> 국토위성 및 DEM 기반 지형그림자 탐지 결과



<그림 2-59> 영상처리 기반 지형그림자 탐지 결과 이슈

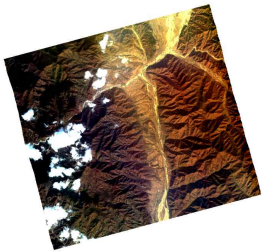










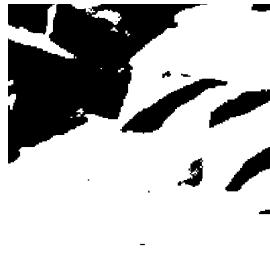
또한, 아래 그림 2-60과 같이 DEM 기반의 지형그림자 탐지 기술은 위성영상에서 관측된 구름의 영향과 무관하며, 구름그림자와의 구분이 용이한 이점이 있다.



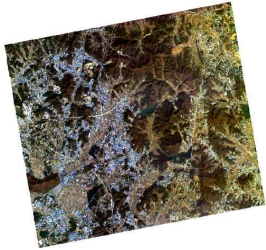
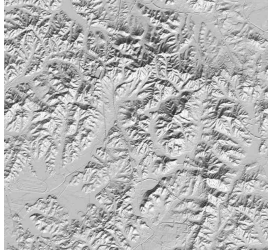
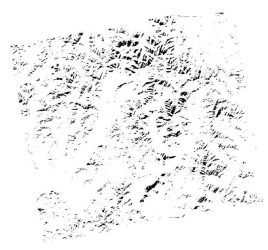





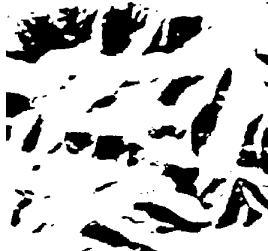



<그림 2-60> 영상처리 기반 지형그림자 탐지 결과 이슈

아래 표 2-37~40은 4개 지역을 대상으로 DEM 기반의 지형그림자 추출 결과를 나타내고 있다.

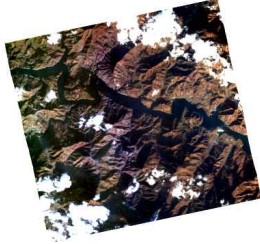











<표 2-37> 황해북도 청진 지역의 지형그림자 탐지 결과

		국토위성영상	음영기복도	지형그림자
청진	#1			
	#2			
	#3			
	#4			

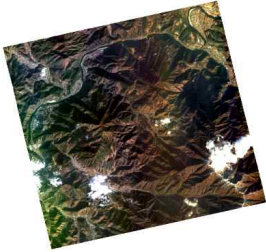
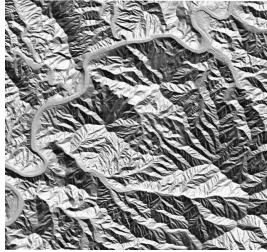
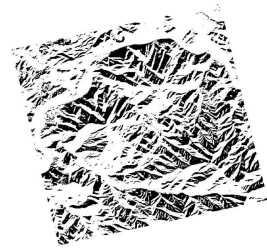









<표 2-38> 경기도 화성 지역의 지형그림자 탐지 결과

		국토위성영상	음영기록도	지형그림자
화성	#1			
	#2			
	#3			
	#4			

<표 2-39> 함경북도 신평 지역의 지형그림자 탐지 결과

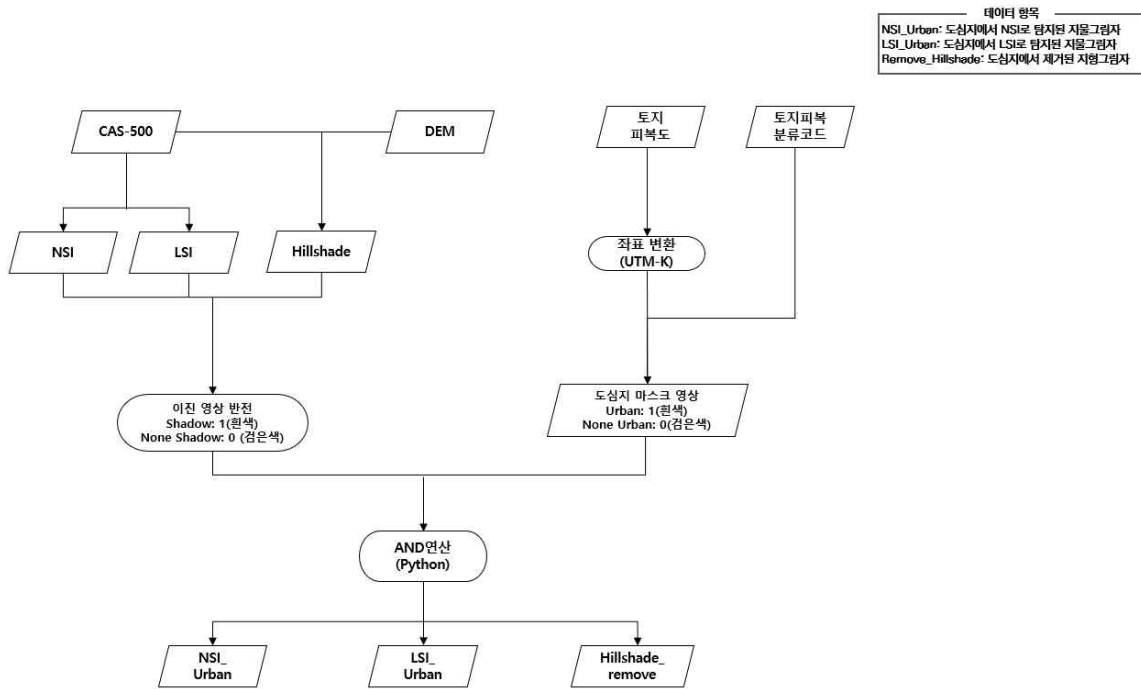
		국토위성영상	음영기록도	지형그림자
신평	#1			
	#2			
	#3			
	#4			

<표 2-40> 충청북도 단양 지역의 지형그림자 탐지 결과

		국토위성영상	음영기록도	지형그림자
단양	#1			
	#2			
	#3			
	#4			

4) 지물그림자 탐지 가능성 평가

본 실험은 국토위성 지형그림자 탐지에 적용되었던 Hillshade 알고리즘과 영상처리 기반(LSI, NSI) 그림자 탐지기법에서 나타난 문제점을 개선하여 지물그림자 탐지 가능성을 확인 및 평가하기 위해 수행하였다. 실험에 사용된 자료는 지형그림자 탐지에 사용되었던 경기도 화성 지역의 자료이며, 도심지 영역을 추출하기 위해 토지피복도를 추가적으로 이용하였다(표 2-41). 지물그림자 탐지 실험절차는 아래 그림 2-61과 같다.



<그림 2-61> 국토위성영상 및 보조자료를 이용한 지물그림자 탐지 실험 절차

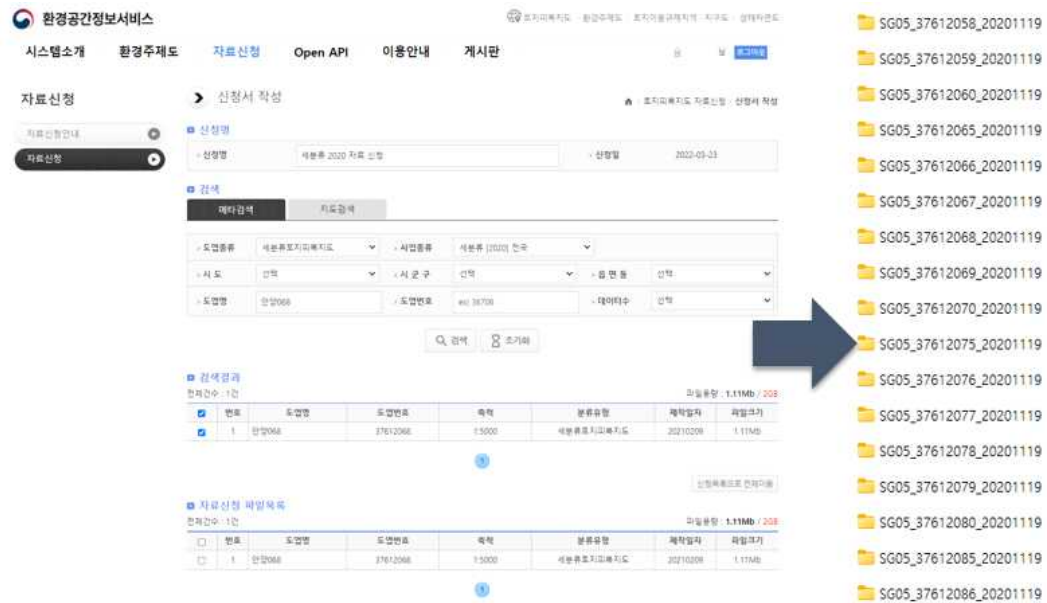
<표 2-41> 지물그림자 탐지 가능성 분석을 위한 실험자료

	남한 경기도 화성시	
	국토위성영상	참조자료 (토지피복도)
입력자료		

가) 지물그림자 탐지 참조자료 구축

(1) 1:5,000 토지피복도 수집 및 데이터 전처리

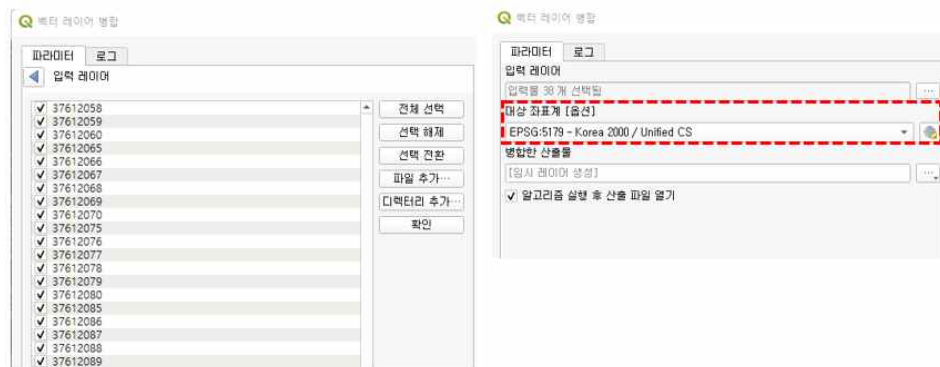
도심지 영역의 지물그림자와 도심지 영역이 제거된 지형그림자를 제작하기 위해 현재 환경부에서 제작 및 배포하고 있는 1: 5,000 토지피복도를 대상 지역별로 수집하였다. 해당 실험에서 사용된 토지피복도는 총 38장으로 아래의 그림과 같다.



<그림 2-62> 지물그림자 탐지 참조자료 구축 절차- 토지피복도 수집(1)

(2) 데이터 전처리

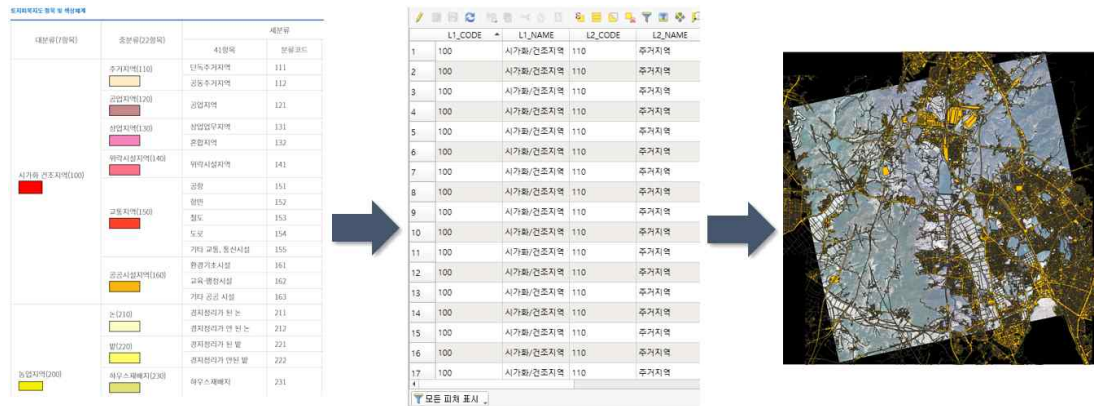
수집된 토지피복도는 벡터 형식의 폴리곤으로 제공되며, 도엽별로 제작되었기 때문에 QGIS SW 내 벡터 레이어 병합 기능을 활용하여 일괄적으로 병합 처리하여 한 장의 레이어로 생성하였다. 또한, 제공되는 토지피복도의 좌표계는 ITRF_2000_TM 좌표계로 국토위성과의 중첩 분석을 위해 UTM-K로 좌표변환 하였다.



<그림 2-63> 지물그림자 탐지 참조자료 구축 절차- 데이터 전처리(2)

(3) 토지피복도 내 도심지 영역 추출

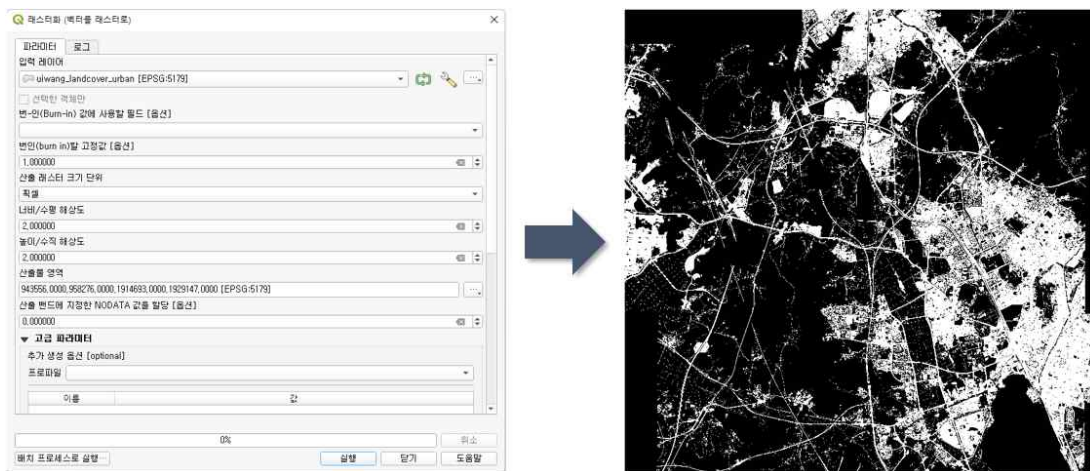
병합된 토지피복도 내 도심지 영역을 추출하기 위해 토지피복지도 항목 체계표를 참고하였으며, QGIS 소프트웨어를 이용하여 대분류 항목인 시가화 건조지역(100) 영역만 추출하여 도심지 영역을 산출하였다.



<그림 2-64> 지물그림자 탐지 참조자료 구축 절차- 도심지 영역 추출(3)

(4) 추출된 도심지 영역 래스터화

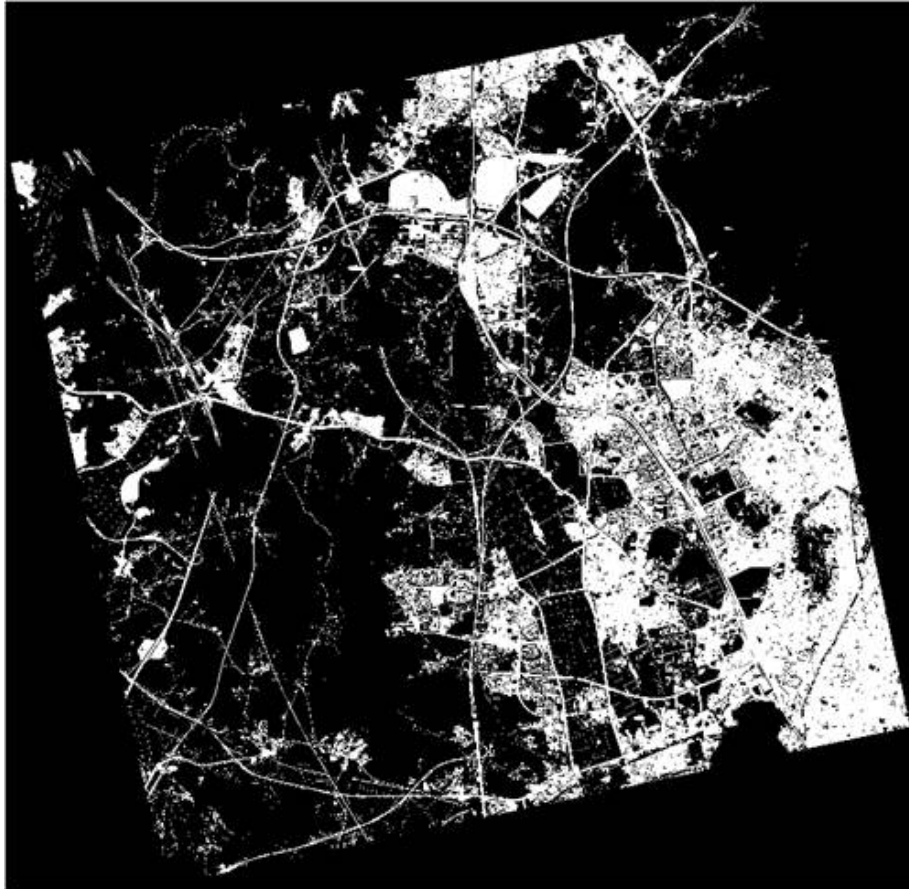
추출된 도심지 영역은 벡터 형식으로 국토위성영상과의 중첩분석을 위해 QGIS 소프트웨어 기능 중 하나인 래스터화 기능을 활용하여 도심지에 대한 이진 마스크 맵을 제작하였다.



<그림 2-65> 지물그림자 탐지 참조자료 구축 절차- 제작된 도심지 영역 마스크(4)

(5) 배경 영역 제거

제작된 도심지 마스크는 도엽단위의 토지피복도를 기반으로 제작되어 국토위성영상의 범위를 벗어난 영역이 존재하기 때문에 중첩 분석을 통한 육안 판독 시 혼란을 초래할 수 있다. 그러므로, Python의 OR 연산자를 활용하여 실험에 불필요한 영역을 제거하였고, 최종적으로 도심지 영역은 1, 비도심지 영역은 0인 이진 형태의 도심지 마스크 영상을 제작하였다.

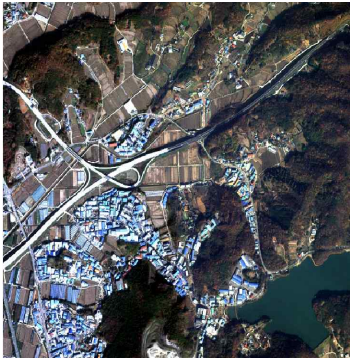



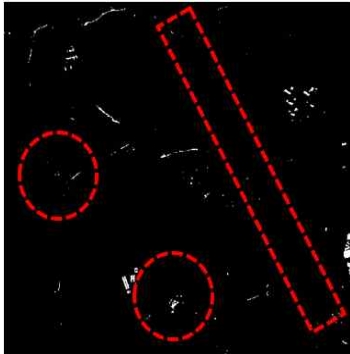
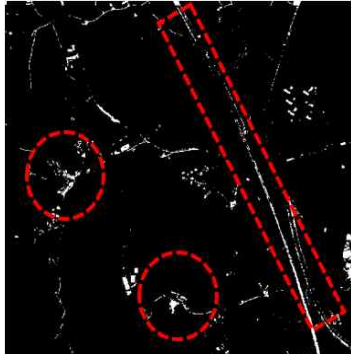


<그림 2-66> 지물그림자 탐지 참조자료 구축 절차- 최종 도심지 마스크(5)

나) 지물그림자 탐지 실험 결과

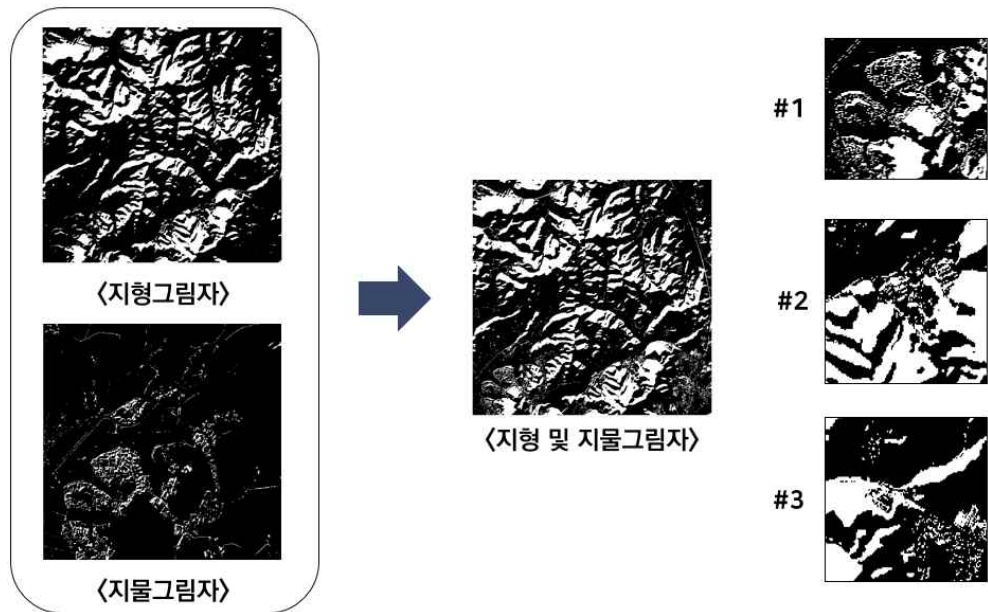
토지피복도를 이용하여 도심지 외 나머지 영역의 그림자가 제거된 LSI와 NSI 결과 중 오탐지의 문제가 적었던 NSI를 지물그림자 탐지에 활용하였으며, 탐지 결과는 아래 표 2-42와 같다.

<표 2-42> 화성 지역 지물그림자 탐지 실험 결과

국토위성영상	NSI 기반 도심지 지물그림자	LSI 기반 도심지 지물그림자
		
		

지형 및 지물그림자를 통합한 결과는 아래 그림 2-67과 같으며, DEM 단독 사용으로 제작한 지형그림자보다 지물그림자를 보다 효과적으로 나타내고 있었다. 하지만, 지물그림자 뿐만 아니라 어두운 객체 혹은 수계의 경계에서 그림자로 산출되는 문제가 관측되면서 영상처리 기반의 지물그림자에는 여전히 많은 오탐지를 내포하고 있음을 확인할 수 있었다.

추가적으로 기존에 보유하고 있던 1.4m 공간해상도의 DSM(Digital Surface Model)을 이용하여 Hillshade 알고리즘을 적용한 결과, 지형그림자 뿐만 아니라 지물그림자도 효과적으로 추정하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 점을 미루어 보아 향후 국토지리정보원에서 1m 내외의 DSM을 구축한다면, DSM 이용하여 지형 및 지물그림자가 통합된 그림자 산출물을 제공할 수 있을 거라 생각된다.



<그림 2-67> 국토위성 지형 및 지물그림자 개선 결과



<그림 2-68> 국토위성영상 및 지형·지물그림자 비교

DSM (1.4m)



Hillshade 기반 지형·지물그림자 탐지 결과



<그림 2-69> 고정밀 DSM 기반 Hillshade 알고리즘 적용 결과

다. 수계 탐지 기술 개발

1) 수계 탐지 기술 조사

수계 탐지는 위성영상에 존재하는 수계 영역을 탐지하는 것을 의미한다. 수계 내 수체(Water body)는 파장이 길어질수록 반사가 아닌 흡수가 이루어지기 때문에 적외선 파장영역에서 상대적으로 낮은 표면반사율을 보이고 있다. 이러한 특성으로 수계 탐지와 관련된 많은 연구에서 근적외선을 포함한 적외선 밴드를 적극 활용하고 있는 추세를 보이고 있다. 국토위성은 중적외선을 제공하지는 않지만 근적외선과 가시광선 밴드를 제공하고 있기 때문에 밴드 비율 혹은 분광지수를 이용한 수계 탐지 기법을 적용할 수 있다.

가) NDWI (Normalized Difference Water Index)

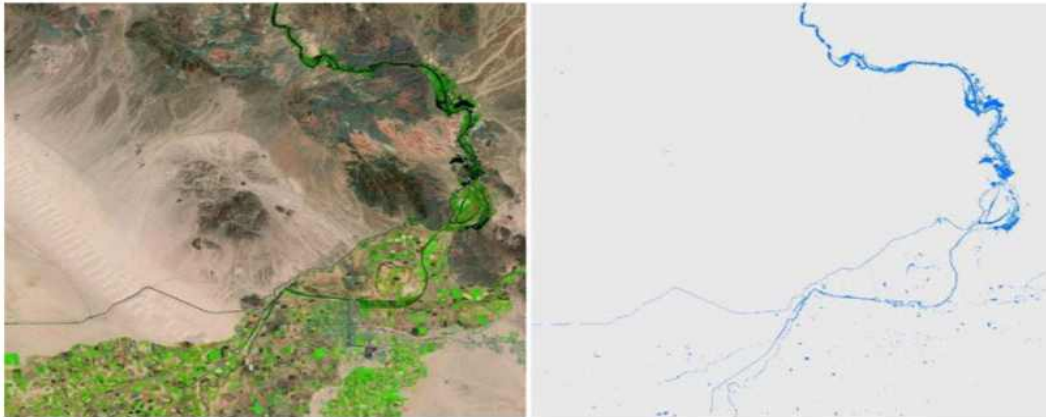
화소 기반 수계 탐지 방법 중 NDWI는 수계 탐지에서 가장 보편적으로 사용되고 있으며, 물이 특정 파장대에서 갖는 분광 특성을 이용한다. NDWI는 2가지가 있는데, 1996년 Gao가 제안한 NIR 및 SWIR 밴드를 이용한 방법(Gao et al., 1996)과 같은 해 McFeeters가 제안한 Green 및 NIR 밴드를 이용한 방법(McFeeters et al., 1996)이 있다(표 2-43). NDWI는 수계뿐만 아니라 구름, 눈/얼음 등이 함께 식별될 수 있으므로, 다른 알고리즘과 복합적으로 활용하는 방식을 통해 정확도 향상을 기대할 수 있다.

<표 2-43> Gao가 제안한 NDWI (왼쪽) 및 McFeeters가 제안한 NDWI (오른쪽)

Gao 제안 수식	McFeeters 제안 수식
$NDWI = \frac{(X_{NIR} - X_{SWIR})}{(X_{NIR} + X_{SWIR})}$	$NDWI = \frac{(X_{GREEN} - X_{NIR})}{(X_{GREEN} + X_{NIR})}$

나) DSWE 알고리즘

Landsat 위성은 DSWE 알고리즘을 개발하여 수계 픽셀단위정보를 제공하고 있다. DSWE 알고리즘은 Landsat 위성의 가시광선, 근적외선, 중적외선 밴드를 종합적으로 사용하며, NDWI 정규화 연산 및 각 분광해상도별 임계값 적용을 통해 수계 영역을 추출한다. 또한 고도 자료 및 태양의 방위각, 고도각을 이용한 경사면 정보 등 보조자료를 활용하여 수계 탐지 및 추출 성능을 향상시킨다(Dittmeier et al., 2018). 그림 2-70은 Landsat 위성영상을 이용하여 DSWE 알고리즘 적용을 통해 수계 영역 마스크를 추출한 결과를 보여준다.



<그림 2-70> Landsat SWIR-NIR-Red 합성영상(왼쪽) 및 수계 영역 마스크(오른쪽)

다) K-means Clustering

K-means Clustering 기법은 매개변수로 군집 수를 입력함으로써 고정된 수의 군집을 형성하고 화소를 병합하는 처리 기법이다. 해당 기법은 군집 간 유클리디안 거리 차이의 분산(이질성)을 최소화하여 군집화를 수행하며, 수계는 영상에서 영역 전체에서 일관적으로 어둡게 보이기 때문에 비교적 손쉽고 효과적으로 수계 탐지가 가능하다(Kaplan and Avdon, 2017). 다만 군집화 개수에 따라 수계 탐지 정확도가 달라질 수 있으며, 군집화 이후 수계에 해당하는 군집을 사용자가 지정 해주어야 한다.



<그림 2-71> 원본 영상(왼쪽) 및 K-means Clustering 기반 수계 추출 결과(오른쪽)

라) 수계 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석

수계 알고리즘의 조사 결과를 바탕으로 국토위성 사양에서 해당 기법의 적용 가능성을 아래 표와 같이 정리하였다. 화소기반 수계 탐지 기법은 알고리즘 자체는 간단하면서도 빠르지만 영상 및 환경 특성에 따라 오탐지, 미탐지의 정도가 다른 문제가 존재한다. 다만 오탐지는 기존에 지리원에서 보유하고 있는 수치지형도 기반의 수계 공간정보를 이용하면 비교적 간단하게 보완할 수 있어 알맞게 적용할 수 있다. 다만 임계값을 정의할 수 방법은 단순, 적응, 오프 방법을 포함하여 다양한 방법이 존재하지만 영상의 Dynamic range가 불안정할 경우 자동화 기법보다 Landsat, Sentinel과 같이 수동임계값을 부여하는 방법이 적합한 것을 앞선 실험 및 연구사례를 통해 확인할 수 있었다. DSWE 알고리즘의 경우 근적외선과 더불어 중적외선을 요구하기 때문에 국토위성 사양에 구현하기 어렵다. 무감독분류 기법에 해당하는 K-means 알고리즘은 군집 과정에서 영상 특성별로 사용자가 매개변수를 다르게 설정해야 할 필요성과 군집화 이후 생성된 클래스를 사용자가 정의해야 한다는 문제가 고려했을 때, 국토위성용 수계 탐지 자동화를 위한 방법으로 적절치 못한 방법임을 확인할 수 있다.

<표 2-44> 수계 탐지 알고리즘 조사 결과 및 국토위성 적용 가능성 분석

	수계 탐지 기술	국토위성 적용가능성	비고
가	NDWI	O	적용 가능
나	DSWE	X	중적외선 밴드 부재
다	K-means	△	적용 가능 토지피복에 따라 매개변수 및 오탐지 정도가 다름

2) 수계 탐지 기술 개발

본 절에서는 수계 탐지 알고리즘 조사 결과와 국토위성 적용 가능성 분석 결과를 바탕으로 국토위성에 적합한 수계 탐지 기술 개발 내용에 대해 서술한다.

가) 사용 자료

국토위성영상 수계 탐지에는 절대복사보정계수를 기반으로 산출한 TOA Reflectance 자료를 사용하였다. 남한 지역 수계 탐지 실험에는 2021년 11월 17일에 촬영된 화성 지역 영상, 2021년 12월 17일에 촬영한 단양 지역 영상, 그리고 2022년 2월 17일에 촬영된 의왕 지역 영상을 사용하였다. 북한 지역 수계 탐지 실험에는 2021년 11월 4일에 촬영된 신평 지역 영상과 2021년 12월 12월에 촬영된 신평 지역 영상을 사용하였다(그림 2-72). 또한 영상처리 기반 결과에서 관측된 오탐지의 요소를 제거하기 위해 국토지리정보원에서 서비스 중인 1:5,000 수치지형도와 1:25,000 수치지형도를 수집하여 구축한 보조자료를 이용하였다(그림 2-73).



<그림 2-72> 국토위성 수계 탐지 기술 개발 사용 데이터



<그림 2-73> 국토위성용 수계 탐지 기술 개발 사용 데이터 (2)

나) 보조자료 구축 절차

보조자료를 활용한 정확한 수계 마스크 제공을 위해 국토위성영상에 해당하는 수치지형도를 수집하여 수계 보조자료를 구축하였다. 수계 보조자료 구축은 남한 지역과 북한 지역으로 나누어 진행하였다.

(1) 남한 지역

(가) 1:5,000 수치지형도 수집

현재 국토지리정보원에서 제작 및 배포 중인 1:5,000 수치지형도를 대상지역 별로 수집한다. 수집한 수치지형도는 모두 병합처리하여 수계 탐지 보조자료를 구축을 위한 자료로 사용하며, 본 절차에서 수집한 남한 지역의 수치지형도는 아래 표와 같다(표 2-45).

<표 2-45> 남한 지역의 수계 보조자료 구축을 위한 수치지형도 수집 목록

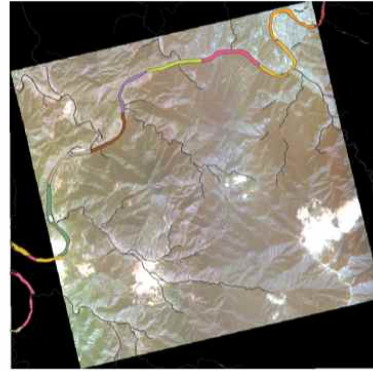
항목	지역	수치지형도 장수
1:5,000 수치지형도 (남한 지역)	경기도 화성시	40장
	충청북도 단양군	42장
	경기도 의왕시	30장



<그림 2-74> 남한 수계 보조자료 구축 절차 (1)

(나) 수치지형도 내 수계 필드 추출

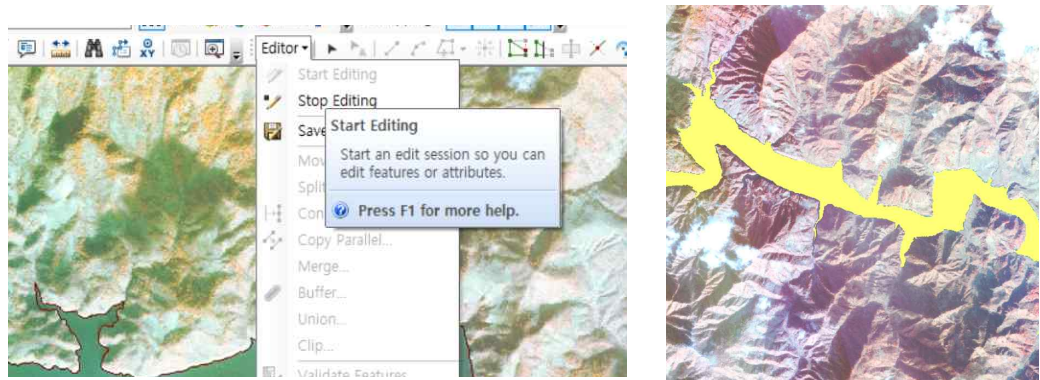
수집한 1:5,000 수치지형도 내 필드 중 수계 필드는 ①하천, ②호수지/저수지, ③폭포 ④용수로 ⑤해안선이 포함되어있다. 수계 필드 중 아래 그림 2-75와 같이 Polygon 형태의 하천과 호수지에 해당하는 E0032111, E0052114 필드를 추출한다.



(다) 벡터 레이어 병합

(라) 병합된 산출물 래스터화

102 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 연구개발 및 시범제작



<그림 2-79> 북한 지역 수계 공간정보 업데이트

다) 국토위성영상 기반 수계 탐지 절차

국토위성영상과 수치지형도를 이용한 수계 탐지 절차는 아래 그림 2-80과 같다. 먼저, 국토위성영상 수집과 함께 동일 지역의 수치지형도를 이용하여 수계 보조자료를 구축한다. 수계 보조자료를 통해 국토위성영상과 동일한 격자 및 크기의 참조 수계 마스크를 제작한다. 그 다음 국토위성영상을 이용하여 수계후보지를 추출하는데, NDWI와 NDVI 산출하고 각 영상에 임계값을 적용하여 1차 수계 후보지를 추출한다. 오탐지 요소가 포함된 1차 수계 후보지가 추출되면, 참조 수계 마스크를 이용하여 오탐지 요소를 제거한다. 위 과정을 통해 국토위성영상과 보조자료 기반의 최종 수계 마스크를 추출한다.

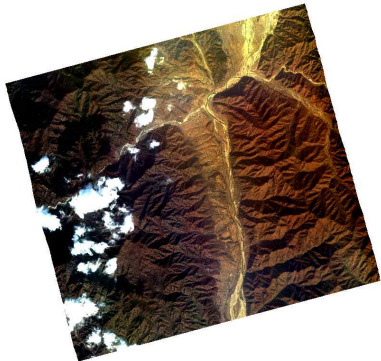



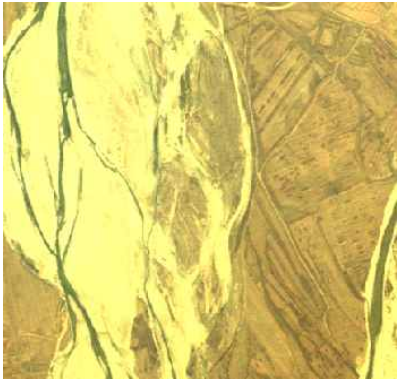





<그림 2-80> 국토위성영상 기반 수계 탐지 절차

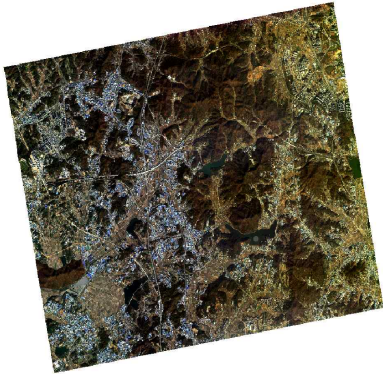







라) 수계 탐지 결과

앞서 서술한 수계 보조자료 구축 절차에 따라 수계 보조자료를 구축하고 국토위성영상과 보조자료를 알고리즘에 적용하여 수계 탐지를 진행하였다. 각 지역별 수계 탐지 결과는 아래와 같으며 수계가 아닌 영역은 0, 수계 영역은 1로 구성된 이진 마스크 맵 형태로 생성하였다. 실험 지역 공통적으로 보조자료와 동일한 형태로 추출되고 있는 것을 확인하였으며 보조자료 내 수체가 아닌 다른 지표물이 혼재된 경우 최종 수계 탐지 결과에서 비수계로 구분되는 결과를 확인하였다. 하지만, 분광특성이 혼재된 영역 혹은 폭이 좁은 하천에서는 미탐지율이 높게 나타나는 것을 확인하였고 대기 환경과 영역별 밝기값 차이로 인해 일부 수계도 미탐지 되는 문제가 관측되었다. 수계 보조자료를 활용을 통해 오탐지 요소를 효과적으로 식별할 수 있었지만, 보조자료의 주기적인 업데이트가 필요할 것으로 판단된다.

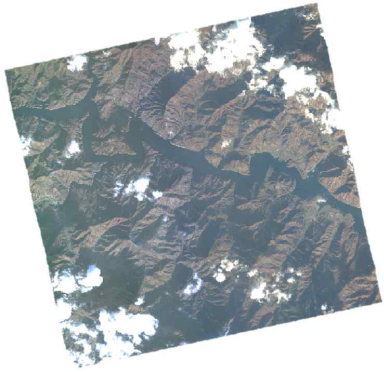







<표 2-46> 함경북도 청진시 국토위성영상 및 수계 탐지 결과

	국토위성영상	수계 탐지 결과
#1		
#2		
#3		
#4		

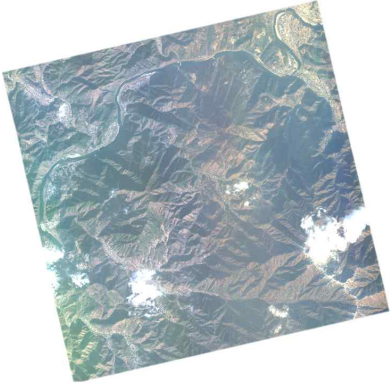
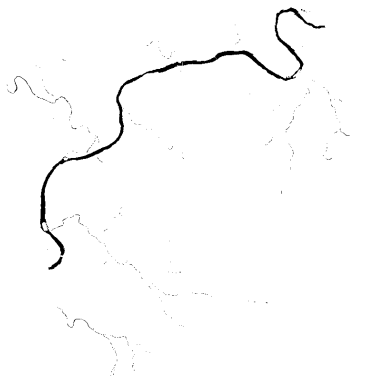





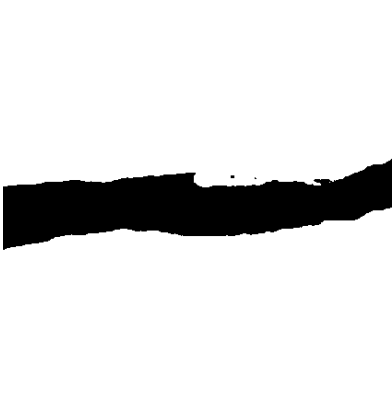
<표 2-47> 경기도 화성시 국토위성영상 및 수계 탐지 결과

	국토위성영상	수계 탐지 결과
#1		
#2		
#3		
#4		









<표 2-48> 황해북도 신평군 국토위성영상 및 수계 탐지 결과

	국토위성영상	수계 탐지 결과
#1		
#2		
#3		
#4		

<표 2-49> 충청북도 단양군 국토위성영상 및 수계 탐지 결과

	국토위성영상	수계 탐지 결과
#1		
#2		
#3		
#4		

<표 2-50> 경기도 의왕시 국토위성영상 및 수계 탐지 결과

	국토위성영상	수계 탐지 결과
#1		
#2		
#3		
#4		

라. 픽셀단위정보 제공 방안 연구

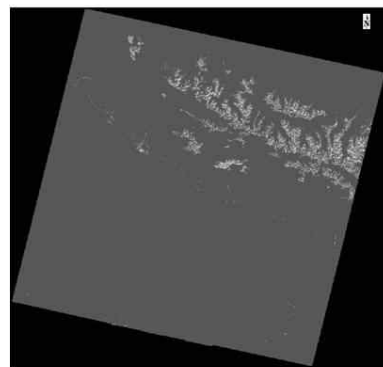
해외 ARD 선도그룹은 사용자에게 픽셀단위정보를 포함한 위성 산출물을 패키지 형태로 제공하고 있다. 픽셀단위정보를 제공하는 대표적인 그룹으로 USGS, ESA, Planet, MAXAR가 있으며, 그룹별로 제공되는 픽셀단위정보 형태도 상이하다. 국토위성 기반 픽셀단위정보 제공 방안을 선정하기 이전에 해당 기술 관련된 그룹의 사례를 조사하여 기술하였다.

1) 픽셀단위정보 제공 방안 사례 조사

가) USGS

CARD4L에서 요구하는 픽셀단위정보를 Landsat은 QA(Quality Assessment) 밴드를 통해 제공하고 있으며, 이는 밴드 속성 내 항목을 나타내는 해당 픽셀값을 통해 유효성을 나타낸다. QA 밴드는 Level 1의 밴드와 동일한 값을 나타내며, 16bit COG(Cloud Optimized GeoTIFF) 영상으로 제공된다 (USGS, 2020c). 그리고 픽셀별 방사 포화도와 픽셀 값의 유무 정보를 포함하는 RADSAT QA 밴드는 각 항목에 대한 해당 픽셀값의 유효성을 판별한다. SR Cloud QA 밴드는 일반적인 QA 밴드와 달리 Level 2 처리 단계에 맞는 LEPAPS 알고리즘을 활용하여 생성된 값으로, Level 1의 값을 유지하는 QA 밴드보다 신뢰도 높은 정보를 제공한다(USGS, 2021b).

LC08_CU_008014_20211219_20211227_02
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_BT_B10
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_BT_B11
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_QA_LINEAGE
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_QA_PIXEL
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_QA_RADSAT
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_SAA
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_SR_B1
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_SR_B2
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_SR_B3
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_SR_B4
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_SR_B5
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_SR_B6
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_SR_B7
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_SR_QA_AEROSOL
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_ST_ATRAN
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_ST_B10
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_ST_CDIST
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_ST_DRAD
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_ST_EMIS
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_ST_EMISD
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_ST_QA
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_ST_TRAD
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_ST_URAD
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_SZA
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_TOA_B1
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_TOA_B2
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_TOA_B3
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_TOA_B4
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_TOA_B5
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_TOA_B6
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_TOA_B7
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_TOA_B9
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_VAA
LC08_CU_008014_20211219_20211227_02_VZA



<그림 2-81> USGS Landsat ARD 패키지 항목 및 QA 밴드 예시

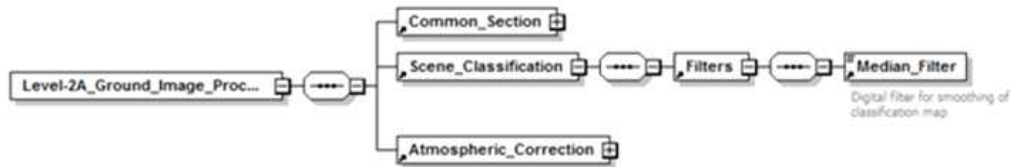
<표 2-51> QA_PIXEL 밴드 비트 속성 (USGS, 2020a)

Bit	Flag Description	Values
0	Fill	0 for image data 1 for fill data
1	Dilated Cloud	0 for cloud is not dilated or no cloud 1 for cloud dilation
2	Unused	Unused
3	Cloud	0 for cloud confidence is not high 1 for high confidence cloud
4	Cloud Shadow	0 for Cloud Shadow Confidence is not high 1 for high confidence cloud shadow
5	Snow	0 for Snow/Ice Confidence is not high 1 for high confidence snow cover
6	Clear	0 if Cloud or Dilated Cloud bits are set 1 if Cloud and Dilated Cloud bits are not set
7	Water	0 for land or cloud 1 for water
8-9	Cloud Confidence	00 for no confidence level set 01 Low confidence 10 Medium confidence 11 High confidence
10-11	Cloud Shadow Confidence	00 for no confidence level set 01 Low confidence 10 Reserved 11 High confidence
12-13	Snow/Ice Confidence	00 for no confidence level set 01 Low confidence 10 Reserved 11 High confidence
14-15	Unused	Unused

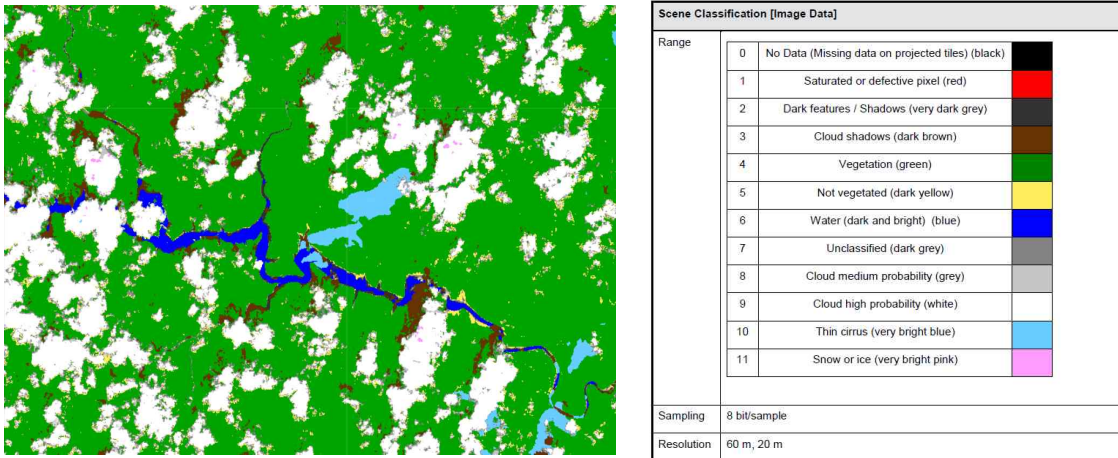
USGS의 QA 밴드는 개별 화소를 여러 비트로 구분하여 비트마다 정해진 픽셀단위정보를 입력하여 만들어낸 정보를 의미한다. 비트 스트림 연산을 통해 하나의 레이어(밴드)에 여러 속성정보를 저장하여 제공할 수 있어 용량 측면에서 매우 효율적이다. 그러나 QA 밴드로부터 원하는 픽셀단위정보를 추출하기 위해서 사전에 각 비트 속성을 파악해야 하며, 별도의 변환 프로그램 사용하여 추출해야 한다는 단점이 존재한다.

나) ESA

ESA의 Sentinel-2 위성영상은 Level-2A TOA reflectance를 기반으로 자체적으로 픽셀단위정보를 구축하여 Scene classification layer라는 하나의 밴드 형태로 사용자들에게 제공하고 있다. ESA는 그림 2-82와 같은 Ground image processing parameter (GIPP) of the scene classification module을 활용하여 픽셀단위정보를 구축한다 (ESA, 2016). 이러한 모듈을 통해 제작된 Sentinel-2의 픽셀단위정보는 8bit 영상에 20m와 60m 해상도로 각기 제공되며, 픽셀단위정보 항목은 그림 2-83과 같다. Sentinel-2의 픽셀단위정보는 CARD4L에서 요구하는 항목뿐만 아니라 그림과 같이 식생 및 비식생지역에 대한 정보도 추가적으로 제공해준다. 또한, ESA는 Sentinel-2 픽셀단위정보 항목 중 구름에 대한 신뢰도 정보를 제공한다.



<그림 2-82> GIPP of the scene classification module(ESA, 2016)



<그림 2-83> Sentinel-2 픽셀단위정보 및 세부사항(ESA, 2016)

ESA의 Scene classification layer는 단일 레이어로 여러 픽셀단위정보를 제공할 수 있으며, 사용자가 사전에 픽셀단위정보를 나타내는 인덱스를 이해하고 있으면 공간분석에 즉시 활용할 수 있는 장점이 존재한다. 또한, 단일 레이어로 제공되어 파일 용량을 줄일 수 있다는 점도 매우 효율적이다. 하지만, QA 밴드와 다르게 개별 화소에 단일 픽셀단위정보만을 저장할 수 있기 때문에 다양한 픽셀단위정보를 나타내는데 제한이 있다.

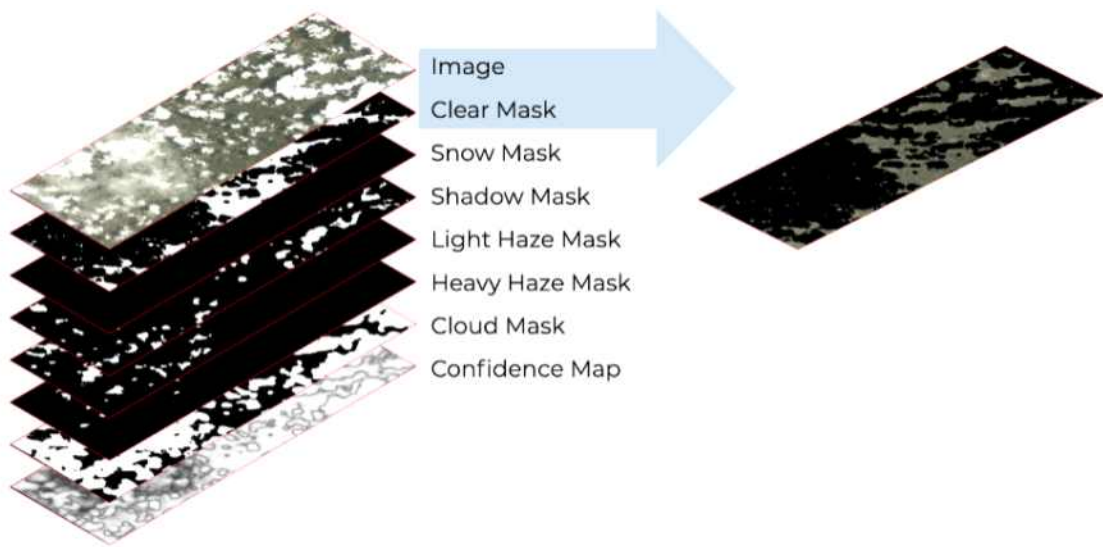
다) Planet

미국의 Planet은 Planetscope, RapidEye, Skysat 등 다양한 고해상도 위성을 발사 및 운영하고 있다(Planet, 2016). Planet은 자사 위성영상의 효율적인 관리 및 사용자들에게 고품질 데이터를 제공하기 위해 ARD 필요성을 인지하고, Planetscope와 Rapideye에서 취득된 고해상도 위성영상을 ARD로 구축하여 배포하고 있다.

Planetscope 영상은 전처리 수준에 따라 처리 레벨이 총 3가지로 구분된다. Level 1B는 간단한 방사 및 기하보정만 처리된 영상, Level 3B는 정사보정된 영상과 표면반사율 영상, Level 3A는 Level 3B 영상을 UTM 좌표로 투영시킨 영상이다. Level 3B부터 ARD 구축 기준요건에 충족하

며, 총 4가지 형식의 데이터가 함께 제공된다. Level 3B와 3A 영상은 GeoTiff 형식의 16 bit 위성 영상과 함께 섬네일 파일, 메타데이터, 8bit 영상의 Unusable data mask(UDM)와 Usable data mask(UDM2)가 함께 제공된다(Planet, 2020).

Planetscope와 RapidEye 영상은 모두 Unusable data mask를 제공한다. Planet사에서 정의하는 Unusable data mask는 CEOS CARD4L 픽셀단위정보 구축항목 중 손실데이터를 구체화하여 나타낸 마스크이다. 위성영상 내 다양한 요소로 인해 손실된 데이터를 정량화하여 GeoTiff 형식으로 제공한다. Planetscope는 위성센서 특성으로 CEOS CARD4L 항목 중 구름, 눈 마스크, 그림자와 추가로 Light haze, Heavy haze, Confidence map, Unusable mask를 제공한다 (Planet, 2020).

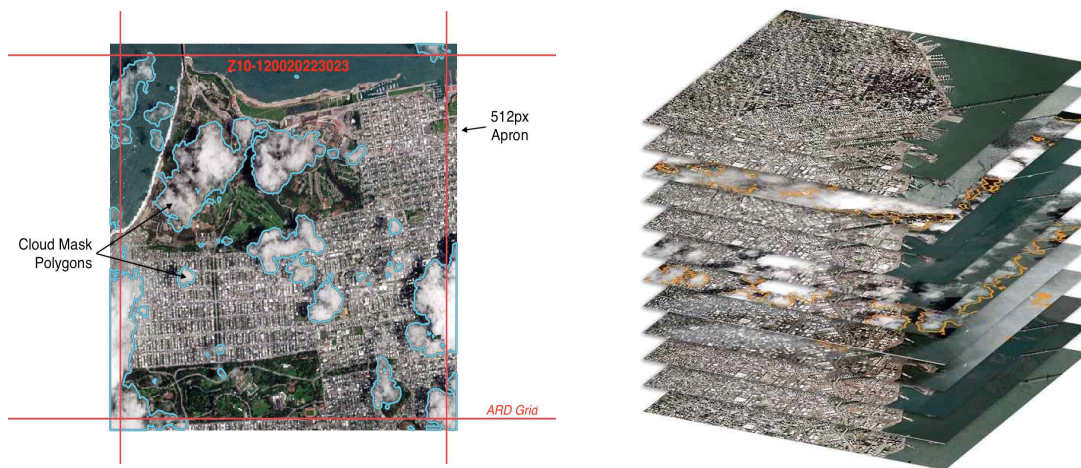


<그림 2-84> Planet 픽셀단위정보 산출물 및 제공 형태 예시 (Planet, 2020)

Planet의 UDM2와 같은 스택 방식은 픽셀단위정보가 밴드별로 구분되어 있기 때문에 사용자는 별도의 처리 없이 필요한 픽셀단위정보를 즉각적으로 인지하고 활용할 수 있어 사용자 친화적 제공 방법에 해당한다. 하지만 여러 개 레이어로 구분된 픽셀단위정보를 하나의 영상 파일에 쌓아서 제공하기 때문에 제공하는 정보가 많아질수록 파일 용량도 비례해 커지는 단점이 존재한다.

라) MAXAR

MAXAR는 전 세계를 대상으로 취득된 GeoEye-1과 Worldview-2, 3, 4 등 다양한 고해상도 위성영상을 이용하여 ARD로 구축하기 위해 지속적인 연구 개발을 수행하고 있다. MAXAR ARD는 여러 관측위성을 기반으로 사용자가 활용하고자 하는 날짜에 해당하는 전처리된 시계열 영상을 제공하므로 분석 시간을 단축할 수 있는 장점이 있다. 특히, 인공지능 및 기계학습 수행에 요구되는 고품질의 고해상도 데이터를 제공하므로 추가적인 데이터 전처리 작업이 요구되지 않는다. MAXAR ARD는 USGS 및 Planet과 동일하게 전처리된 위성영상과 픽셀단위정보를 제공하지만, 타 기관들과 비교하여 상대적으로 높은 공간해상도의 위성영상을 제공한다는 특징이 있다.




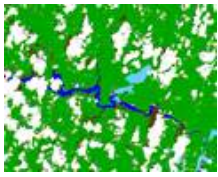
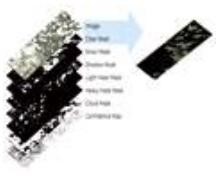
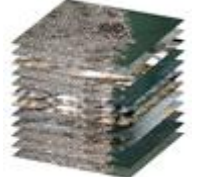
<그림 2-85> MAXAR 픽셀단위정보 산출물 및 제공 형태 예시 (Maxar, 2020a)

MAXAR의 ARD 제품은 대기보정 처리가 완료된 GeoEye-1과 WorldView 시리즈 영상과 함께 CEOS CARD4L 픽셀단위정보 항목 중 구름, 구름그림자, 방사포화도, 지형그림자, 수계에 대한 데이터 마스크를 제작하여 사용자들에게 배포하고 있다. 마스크 맵은 0과 1값으로 구성된 8bit 이진 영상 형태로 개별적으로 제공되며, 사용자는 원하는 픽셀단위정보를 선택하여 즉시 이해하고 사용할 수 있는 장점이 있다. 하지만 Planet UDM2 제품과 동일하게 제공되는 픽셀단위정보가 많아 질수록 파일 용량이 커지는 단점도 존재한다.

마) 픽셀단위정보 제공 방안 정리

픽셀단위정보 제공 방안 조사 결과를 아래 표 2-52와 같이 정리하였으며, 조사 결과와 CARD4L 픽셀단위정보 요구사항을 바탕으로 국토위성용 픽셀단위정보 제공 방안을 수립하였다.

<표 2-52> 해외 ARD 선도그룹의 픽셀단위정보 제공 방안

	USGS	ESA	PLANET	MAXAR
위성 종류	Landsat	Sentinel-2	RapidEye / PlanetScope	GeoEye / Worldview
픽셀단위정보 예시				
파일 포맷	*.GeoTIFF	*.jp2	*.GeoTIFF	*.GeoTIFF
자료형	UInt16	UInt8	UInt8	UInt8
제공 형태	QA 밴드 형태	SC 밴드 형태	밴드 스택 형태	개별 레이어 형태
제공 항목	구름, 구름그림자, 수계, 눈 등 12 항목 제공	구름, 구름그림자, 수계, 눈 등 12 항목 제공	구름, 눈, 그림자, 신뢰도 등 8 항목 제공	구름, 구름그림자, 지형그림자, 수계 등 8 항목 제공

2) 국토위성 픽셀단위정보 제공 방안 수립

가) 픽셀단위정보 제공 항목

국토위성용 픽셀단위정보를 제공하기 앞서 어떤 산출물을 사용자에게 제공할 것인지 산출물 제공 항목을 결정해야 한다. 픽셀단위정보 제공 항목은 국토위성 사양과 발주처 의견을 통해 조정하였으며, 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보 제공 여부는 아래 표 2-53과 같이 결정하였다. CARD4L 최소 요구사항을 요구하는 구름, 구름그림자를 포함하여 지형그림자, 수계, 미획득 자료, 손실 자료, 방사포화도를 제공한다.

<표 2-53> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 제공 여부

종류	내용	제공 여부
표면반사율영상(SR)	B·G·R·NIR 밴드 SR 영상	○
	축소영상	○
	영상 메타정보	○
픽셀단위정보	구름	○
	구름그림자	○
	수계	○
	지형그림자	○
	지형폐색	-
	방사포화도	○
	손실자료	○
	미획득자료	○
	데이터신뢰도	○

픽셀단위정보 생성 기술 개발 파트에서 설명한 구름, 구름그림자, 지형그림자, 수계를 포함한 나머지 픽셀단위정보에 해당하는 미획득 자료, 손실자료, 방사포화도의 정의는 아래 표와 같다.

<표 2-54> 국토위성 픽셀단위정보 항목 및 정의

픽셀단위정보 (8 Layers)
<ul style="list-style-type: none"> 높은 신뢰도 구름(HighConfidenceCloud): 위성영상 내 95% 이상 신뢰도를 가지는 구름 화소를 나타낸다(마-2 참고). 낮은 신뢰도 구름(LowConfidenceCloud): 위성영상 내 위성영상 내 95% 이하 신뢰도를 가지는 구름 화소를 나타낸다(마-2 참고). 구름그림자(CloudShadow): 위성영상 내 구름그림자 화소를 나타낸다. 지형그림자(TerrainShadow): 위성영상 내 지형그림자 화소를 나타낸다. 수계(Water): 위성영상 내 수계 화소를 나타낸다. 미획득자료(NoData): 위성영상 내 관측값이 아닌 의미 없는 값을 포함하는 화소를 나타낸다. 손실자료(MissingData): 위성영상 내 관측값 중 관측 오류 및 기하보정 처리 과정에서 오류가 발생한 화소를 나타낸다. 방사포화도(Saturation): 위성영상 내 방사포화가 발생한 화소를 나타낸다.

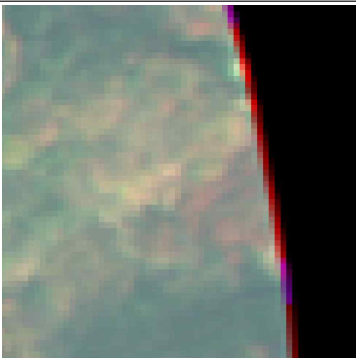
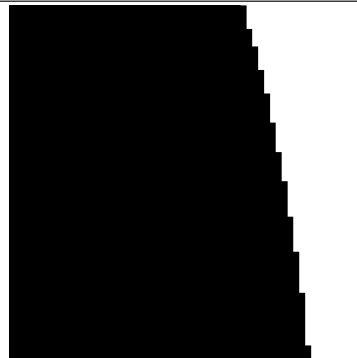
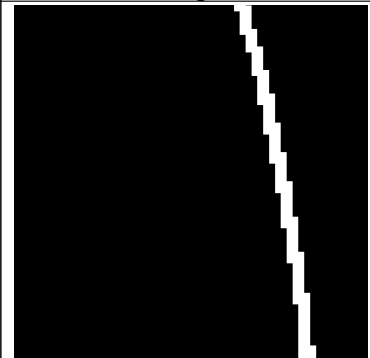
(1) 미획득자료

미획득자료는 국토위성영상 내 관측값이 아닌 의미 없는 값을 포함하는 화소를 나타낸 산출물로, 의미 없는 값은 센서에 관측된 값이 없거나 기하보정 처리 과정에서 L2G 산출물의 모든 밴드에서 화소값이 0인 화소를 의미한다. 미획득자료 산출물은 별도의 TOA 반사율 변환을 거치지 않고 L2G 영상을 이용하여 4개 밴드에서 모든 값이 0인 화소를 추출하여 산출물을 제작하였다.

(2) 손실자료

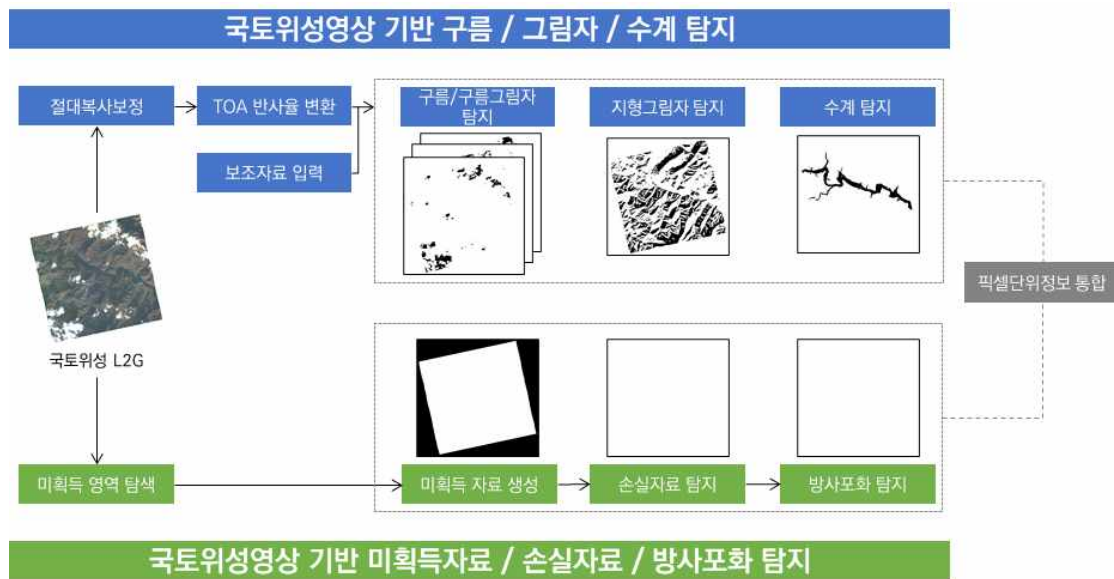
손실자료는 국토위성영상 내 미획득자료의 화소를 제외한 나머지 화소에서 하나의 밴드라도 화소값이 0인 화소인 결측 화소를 나타낸 산출물이다. 손실자료 산출물은 미획득자료와 동일하게 별도의 TOA 반사율 변환을 거치지 않고 L2G 영상을 이용하여 4개 밴드 영상 중 하나의 밴드에서 결측 화소가 발생하면 손실자료로 추출하여 산출물을 제작하였다. 미획득자료와 손실자료에 대한 예시는 아래 그림 2-55와 같다

<표 2-55> 국토위성 미획득자료 및 손실자료 예시

CAS500	NoData	MissingData
		

(3) 방사포화도

방사포화도는 국토위성영상 내 센서에 기록된 화소 값 중 포화(Saturation)가 발생한 화소를 나타낸 산출물이다. 포화는 용어 그대로 센서가 값을 인식할 수 있는 범위를 나타내는 방사해상도(Radiometric resolution)의 허용한계를 초과하여 출력이 포화되어 최대값으로 영상에 기록된 화소를 나타낸 산출물에 해당한다. 방사포화도 산출물도 위와 동일하게 별도의 TOA 반사율 변환을 거치지 않고 L2G 영상을 이용하여 Unsigned integer 16bit의 최댓값(65535)으로 관측된 화소를 추출하여 산출물을 제작하였다.



<그림 2-86> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보 제작 과정

나) 픽셀단위정보 제공 형태

픽셀단위정보 제공 방법 중 기존 USGS의 QA 밴드 방식은 파일 관리 측면에서 효율적이지만, 자료를 사용하는 사용자 입장에서 사용성이 떨어질 수 있다. 반면에, Planet 및 MAXAR의 제공 형태는 파일 관리 측면에서 다소 비효율적일지라도 사용자 입장에서 사용성을 끌어올릴 수 있는 장점이 존재한다.

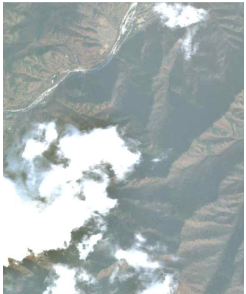

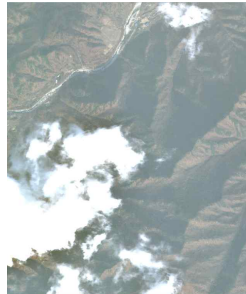

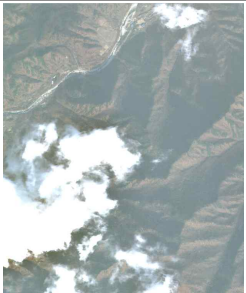
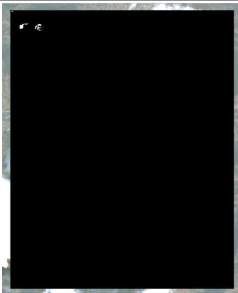
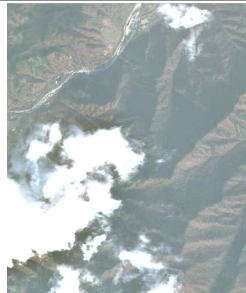
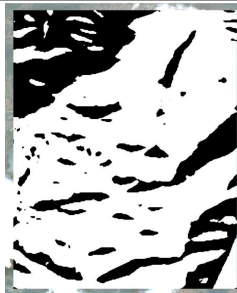
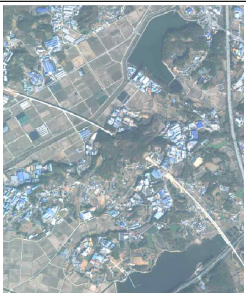


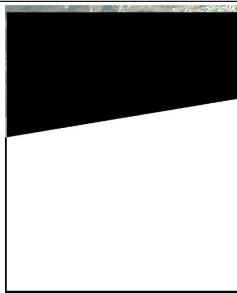
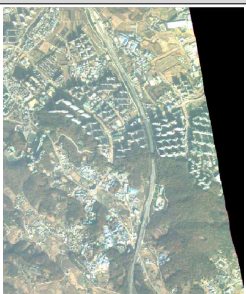
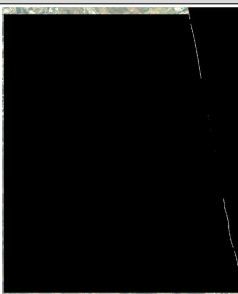
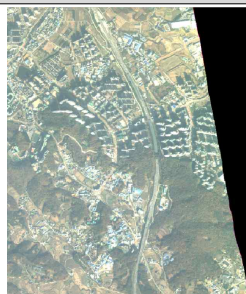

본 장에서는 국토위성 L2G을 기반으로 제작한 픽셀단위정보를 각각 QA 밴드 방식과 스택 방식으로 처리하여 두 제공 방식의 파일 용량을 비교하였다. 무압축상태(GeoTiff)와 압축상태(Zip)로 비교한 결과는 아래 표 2-56과 같다. QA 밴드 방식의 픽셀단위정보 파일 용량은 16bit 영상을 기준으로 약 3MB 정도 차지하는 것을 확인할 수 있다. 스택 방식의 픽셀단위정보 파일 용량은 8 bit, 16bit 영상을 기준으로 개별 레이어는 각각 1.6, 3.2MB를 차지하여, 8개 픽셀단위정보에 대해서 총 12, 25MB를 차지하였다. 무압축을 기준으로 약 4배에서 8배정도의 파일 용량 차이를 보이고 있다. 하지만, 압축이 수행될 경우, 자료형에 상관없이 절대적인 파일 용량의 차이는 미미한 것으로 나타났다. 국토위성 사용자 친화형 영상 제품은 기존 위성영상보다 쉽게 현업에 적용할 수 있는 산출물로 사용자에게 제공하기 위한 제품이기에 QA밴드 방식보다 이진 마스크 형태의 스택 혹은 개별 레이어로 제공하는 것이 적절하다고 할 수 있다. 스택 방식과 개별 레이어 방식 중에서는 파일 용량 측면에서는 차이는 미미하지만, 전문 사용자가 아닌 일반 사용자의 사용성과 이해성을 높이기 위해서는 개별 레이어 제공 방식이 적합하다고 할 수 있다.

<표 2-56> 국토위성 픽셀단위정보 제공 방식 및 자료형에 따른 파일 용량 비교

	QA 밴드 방식		스택 방식	
uint16	무압축 (.tif)	크기: 2.97MB (3,124,408 바이트) 디스크 할당 크기: 3.00MB (3,145,728 바이트)	무압축 (.tif)	크기: 24.6MB (25,812,992 바이트) 디스크 할당 크기: 24.6MB (25,821,184 바이트)
		크기: 184KB (188,591 바이트) 디스크 할당 크기: 188KB (192,512 바이트)	압축 (.zip)	크기: 190KB (195,126 바이트) 디스크 할당 크기: 192KB (196,608 바이트)
uint8	-		무압축 (.tif)	크기: 12.3MB (12,910,592 바이트) 디스크 할당 크기: 12.3MB (12,910,592 바이트)
			압축 (.zip)	크기: 148KB (151,645 바이트) 디스크 할당 크기: 152KB (155,648 바이트)

결론적으로 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보는 0, 1값으로 구성된 이진 마스크 형태로 제공하며, 제공 방식은 8개 레이어의 속성정보를 파악할 수 있는 명칭을 부여하여 개별 레이어 형태로 제공한다. 속성정보별 픽셀단위정보 제작과 결과 예시는 아래 그림 2-57, 2-58과 같다.

<표 2-57> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보 예시

HighConfidenceCloud		LowConfidenceCloud	
			
CloudShadow		TerrainShadow	
			
Water		NoData	
			
MissingData		Saturation	
			

<표 2-58> 국토위성 픽셀단위정보 제공 방안 수립

항목	설명
제공 형태	개별 레이어 형태로 제공 (8개 레이어)
자료형	Unsigned integer 8bit
플래그	0: 무효값 / 1: 유효값
파일 포맷	GeoTIFF

다) 픽셀단위정보 파일 명명 규칙

국토위성 사용자 친화형 영상 제품은 제공 항목, 처리 레벨, 영상 단위가 기존 산출물과 상이함에 따라 새로운 파일 명명 규칙을 부여해야 한다. 새로운 파일 명명 규칙을 부여하기 위해 입력 영상인 국토위성 정밀정사영상(L2G)의 파일 명명 규칙을 분석하였고, 아래 표 2-59와 같은 명명 규칙을 나타내고 있다.

<표 2-59> 국토위성 L2G 영상 파일 명명 규칙

C1_“Time”_“OrbNo”_“LineOffsetNo”_“ProcLevel”_“Band”.tif ex) C1_20211104014533_03449_00050757_41903007_L2G_B.tif	
항목	설명
Time	촬영 영상의 중심점이 관측된 시간 (YYYYMMDDHHMMSS)
OrbNo	궤도 번호
LineOffsetNo	라인 오프셋 번호
ProcLevel	처리 레벨
Band	밴드 정보 For bundle : P – PAN, R – Red, G – Green, B – Blue, N – NIR For PS : PR – Red, PG – Green, PB – Blue, PN – NIR

국토위성 사용자 친화형 영상 제품은 현재까지 정해진 처리 레벨이 정의되지 않아 L2G 파일 명명 규칙에서 처리 레벨을 제외하고 1:5,000 도엽 번호(Map_Num)을 추가하여 새로운 파일 명명 규칙을 수립하였다. 표면반사율 영상 및 픽셀단위정보 파일 명명 규칙은 아래 표 2-60과 같으며, 파일 명명 규칙 수립 과정에서 썸네일 이미지와 메타정보의 파일 명명 규칙도 함께 수립하였다.

<표 2-60> 파일 명명 규칙: 영상 파일 (Image File)









C1_“Time”_“OrbNo”_“LineOffsetNo”_“MapNum”_“Band”.tif ex) C1_20211104014533_03449_00050757_41903007_B_SR.tif	
항목	설명
Time	촬영 영상의 중심점이 관측된 시간 (YYYYMMDDHHMMSS)
OrbNo	궤도 번호
LineOffsetNo	라인 오프셋 번호
MapNum	도엽 번호
Band	밴드 정보 For SR : B_SR – Blue, G_SR – Green, R_SR – Red, N_SR – NIR For Perpixel : HighConfidenceCloud – Cloud Mask with High Confidence LowConfidenceCloud – Cloud Mask with Low Confidence CloudShadow – Cloud Shadow Mask. TerrainShadow – Terrian Shadow Mask, Water – Water Mask, NoData – No Data Mask, MissingData – Missing Data Mask, Saturation – Saturation Mask

<표 2-61> 파일 명명 규칙: 썸네일 이미지 (Thumbnail image File)

C1_“Time”_“OrbNo”_“LineOffsetNo”_“MapNum”_th.jpg ex) C1_20211104014533_03449_00050757_41903007_th.jpg	
항목	설명
Time	촬영 영상의 중심점이 관측된 시간 (YYYYMMDDHHMMSS)
OrbNo	궤도 번호
LineOffsetNo	라인 오프셋 번호
MapNum	도엽 번호
Type	썸네일 이미지 (Thumbnail image, th)

<표 2-62> 파일 명명 규칙: 메타정보(Auxiliary File)

C1_“Time”_“OrbNo”_“LineOffsetNo”_“MapNum”_Aux.xml ex) C1_20211104014533_03449_00050757_41903007_Aux.xml	
항목	설명
Time	촬영 영상의 중심점이 관측된 시간 (YYYYMMDDHHMMSS)
OrbNo	궤도 번호
LineOffsetNo	라인 오프셋 번호
MapNum	도엽 번호

	C1_20211024021358_03282_00136229_37616010_CloudShadow
	C1_20211024021358_03282_00136229_37616010_HighConfidenceCloud
	C1_20211024021358_03282_00136229_37616010_LowConfidenceCloud
	C1_20211024021358_03282_00136229_37616010_MissingData
	C1_20211024021358_03282_00136229_37616010_NoData
	C1_20211024021358_03282_00136229_37616010_Saturation
	C1_20211024021358_03282_00136229_37616010_TerrainShadow
	C1_20211024021358_03282_00136229_37616010_Water

<그림 2-87> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보 시범제작 항목 및 파일 명명 규칙

마. 픽셀단위정보(구름) 신뢰도 제공 방안 연구

데이터 신뢰도는 어떤 데이터가 특정한 조건, 표준, 정상적 수준을 만족하는지에 대한 비율 혹은 자료의 정확도 또는 자료의 오류가 없는 정도를 의미한다. 일부 ARD 선도그룹은 픽셀단위정보의 신뢰도를 제공하기 위해 사용자 친화형 영상 제품 패키지 내 데이터 신뢰도에 해당하는 산출물을 같이 제공하고 있다. 현재까지 픽셀단위정보의 데이터 신뢰도 제공 현황은 아래 표 2-63과 같다.

기존 사례를 토대로 데이터 신뢰도를 제공하는 방식은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 USGS, ESA와 같이 픽셀단위정보(구름, 구름그림자, 눈)에 대한 데이터 신뢰도를 단계별로 구분하여 제공하는 방식이 있다. 두 번째는 Planet의 Confidence map과 같이 데이터 신뢰도를 단일 파일로 제공하는 방식이 있다. 데이터 신뢰도 제공 방식에 따른 차이는 아래에서 자세히 서술한다.

1) 픽셀단위정보 신뢰도 제공 방안 사례 조사

가) USGS-Landsat

USGS의 Landsat은 보스턴 대학 및 USGS EROS에서 개발한 CFMask 구름 탐지 알고리즘을 적용한 결과를 바탕으로, 아래 표와 같이 QA 비트를 통해 구름 픽셀단위정보에 대해서 없음, 낮음, 중간, 높음 단계로 구분하여 신뢰도 정보를 제공하고 있다. CFMask는 알고리즘은 가시광선(RGB) 밴드를 포함하여 구름 탐지에 효과적인 열적외선, 중적외선, 근적외선 밴드를 사용하여 신뢰도 수준을 구분하고, 각 신뢰도 수준별 조건은 임계값 설정, 래스터 연산을 통해 정의된다.

<표 2-63> Landsat 픽셀단위정보 신뢰도 구분 조건

bits	단계	내용
00	None	조건에 충족하지 않음
01	Low	Low confidence level 조건을 만족 (0-33% 신뢰도)
10	Medium	Medium confidence level 조건을 만족 (34-66% 신뢰도)
11	High	High confidence level 조건을 만족 (67-100% 신뢰도)

<표 2-64> CFMask 알고리즘에 사용된 위성 및 보조자료

데이터	Level
TOA Reflectance Data	OLI bands 2-7, 9 or TM/ETM+ bands 1-5 and 7
TOA Brightness Temperature Data	TIRS Band 1 or TM/ETM+ band 6
Digital Elevation Model	Scene

CFMask는 Pass 1 - 2 -3 -4 순으로 진행되며, CFMask 알고리즘에 필요한 고정변수는 아래와 같은 값으로 설정한다.

- $t_buffer = 4.0$
- $cloud_prob_threshold = 22.5$

□ Pass 1. Basic Tests

<표 2-65> Landsat CFMask 알고리즘을 이용한 신뢰도 산출 절차(1)

- | |
|---|
| (1) NDVI와 NDSI 계산
(2) 구름 여부 판별 테스트 진행
(3) Haze Optimized Transformation (HOT) 진행
(4) 눈 여부 판별 테스트 진행
(5) 수계 여부 판별 테스트 진행
(6) Clear, Water Statistics 계산 |
|---|

□ Pass 2. Temperature Statistic 계산

<표 2-66> Landsat CFMask 알고리즘을 이용한 구름 산출물의 신뢰도 산출 절차(2)

- | |
|---|
| (1) Landsat 8, 9 외의 위성의 경우 픽셀이 TOA saturation 값에 해당하면 밴드의 픽셀값을 TOA 최대값으로 설정한다.
(2) 픽셀이 물이고 thermal을 사용하는 경우 물의 밝기온도를 계산한다.
(3) Thremal을 사용하는 경우 다음과 같이 온도 백분위수를 계산한다.
* $t_templ = 17.5\% \text{ land 온도} - t_buffer$
* $t_temph = 82.5\% \text{ land 온도} + t_buffer$
* $t_wtemp = 82.5\% \text{ water 온도}$ |
|---|

□ Pass 3. 구름 존재 가능성 판별

<표 2-67> Landsat CFMask 알고리즘을 이용한 구름 산출물의 신뢰도 산출 절차(3)

<p>(1) 픽셀이 물인 경우</p> <ul style="list-style-type: none">① $\text{brightness_prob} = \text{swir1}/0.11$로 0.0~1.0 사이로 clip② $\text{wtemp_prob} = (\text{t_wtemp} - \text{thermal BT})/4.0$. * $\text{wtemp_prob} < 0$인 경우 = 0으로 설정 * $\text{brightness_prob} = \text{brightness_prob} * \text{wtemp_prob}$③ cirrus 밴드를 사용하는 경우 $\text{brightness_prob} = \text{brightness_prob} + \text{cirrus 반사율}/0.04$④ $\text{wfinal_prob} = 100.0 * \text{brightness_prob}$ <p>(2) 픽셀이 육지인 경우</p> <ul style="list-style-type: none">① $\text{NDVI} = (\text{r} - \text{nir})/(\text{r} + \text{nir})$ * $\text{r} + \text{disc} == 0$이면 $\text{NDVI} = 0.01$로 설정② $\text{NDSI} = (\text{g} - \text{swir1})/(\text{g} + \text{swir1})$ * $\text{g} + \text{sq1} == 0$이면 $\text{NDSI} = 0.01$로 설정③ NDVI와 NDSI를 모두 + 값으로 클립 * 0보다 작으면 0으로 설정 <p>(3) Whiteness 계산하기</p> <ul style="list-style-type: none">① 가시 평균 계산 * $\text{visi_mean} = (\text{b} + \text{g} + \text{r})/3.0$② Whiteness 계산 * $\text{visi_mean} = 0$인 경우, $\text{Whiteness} = 0$으로 설정 * $\text{visi_mean} = 0$이 아닌 경우, $\text{Whiteness} = (\text{abs}(\text{b} + \text{g} + \text{r} - \text{visi_mean})/\text{visi_mean})$ <p>(4) Probability 계산하기</p> <ul style="list-style-type: none">① $\text{vari_prob} = 1.0 - (\text{max}(\text{abs}(\text{NDVI}), \text{abs}(\text{NDSI}), \text{whiteness}))$의 최대값② Thermal 사용하는 경우, $\text{temp_prob} = (\text{t_temph} - \text{thermal BT})/(\text{t_temph} - \text{t_temp})$ ($\text{temp_prob} < 0$인 경우 0으로 설정) * $\text{variate_prob} = \text{variate_prob} * \text{temp_prob}$③ cirrus를 사용하는 경우 $\text{vari_prob} = \text{variate_prob} + \text{cirrus reflectance}/0.04$.④ $\text{final_prob} = 100.0 * \text{variate_prob}$ <p>(5) Dynamic land cloud 임계값 계산</p> <ul style="list-style-type: none">① $\text{clr_mask} = \text{final_prob}$ 픽셀의 82.5%② clr_mask에 $\text{cloud_prob_threshold}$ 더하기 <p>(6) Dynamic water cloud 임계값 계산</p> <ul style="list-style-type: none">① $\text{wclr_mask} = \text{wfinal_prob}$ 픽셀의 82.5%② wclr_mask에 $\text{cloud_prob_threshold}$ 더하기
--

□ Pass 4. 신뢰도 수준 할당

각 픽셀마다 다음과 같은 기준으로 신뢰도 단계를 결정한다. Water와 Land에 해당하는 픽셀의 경우, Pass 2. Basic test에서 픽셀이 구름으로 표시된 경우에만 다음과 같은 기준을 따른다.

<표 2-68> Landsat 데이터 신뢰도 기준

항목	내용	Confidence levels
BT(p)	Thermal BT < (t_templ + t_buffer - 35.0)인 경우	High Confidence
Water	wfinal_prob > wclr_mask인 경우	
Land	final_prob > clr_mask인 경우	
Water	wfinal_prob > wclr_mask - 10.0인 경우	Medium Confidence
Land	final_prob > clr_mask - 10.0인 경우	
기타 모든 경우		Low Confidence

나) ESA-Sentinel

ESA의 Sentinel은 Landsat과 유사하게 구름에 대한 데이터 신뢰도를 구분하여 산출물로 제공하고 있으며, 데이터 신뢰도 수준도 사전에 정의된 밴드별 임계값에 따라 구분할 수 있다. 다만 Sentinel은 High probability와 Medium probability, Cirrus로 구분하여 구름 산출물을 제공하고 있다.

```
<SCENE_CLASSIFICATION_TEXT>SC_CLOUD_MEDIUM_PROBA</SCENE_CLASSIFICATION_TEXT>
<SCENE_CLASSIFICATION_INDEX>8</SCENE_CLASSIFICATION_INDEX>
</Scene_Classification_ID>
<Scene_Classification_ID>
<SCENE_CLASSIFICATION_TEXT>SC_CLOUD_HIGH_PROBA</SCENE_CLASSIFICATION_TEXT>
<SCENE_CLASSIFICATION_INDEX>9</SCENE_CLASSIFICATION_INDEX>
```

<그림 2-88> Sentinel-2 Scene classification 내 구름 산출물의 신뢰도 단계

Sentinel-2 Scene classification의 신뢰도별 구름 탐지 알고리즘 처리 절차는 아래와 같다.

(1) 1A 단계 - Brightness Thresholds on Red (Band 4)를 이용한 구름 판별

Band 4(Red)를 이용하여 구름 유무를 판별한다.

<표 2-69> Sentinel-2 신뢰도 단계별 구름 산출물 생성의 임계값 적용 절차 (1)

조건	내용
Band 4의 반사율 < Band 4의 T1 임계값 (0.07)	구름 없음으로 판단
Band 4의 반사율 > Band 4의 T2 임계값 (0.25)	구름으로 판단 및 2단계 처리 진행
Band 4의 T1 임계값 < Band 4의 반사율 < Band 4 T2 임계값	1B 단계 처리 진행

(2) 1B 단계 - NDSI(Normalized Difference Snow Index)

Band 3(Green) 과 Band 11(SWIR)을 이용하여 NDSI 값 산출 후 구름 유무를 판별한다.

<표 2-70> Sentinel-2 신뢰도 단계별 구름 산출물 생성의 임계값 적용 절차 (2)

$$\text{Normalised Difference Snow Index (NDSI)} = \frac{\text{Band 3} - \text{Band 11}}{\text{Band 3} + \text{Band 11}}$$

조건	내용
NDSI > NDSI T1 임계값 (-0.24)	구름 없음으로 판단
NDSI > NDSI T2 임계값 (0.20)	구름으로 판단
NDSI T1 임계값 < NDSI < NDSI T2 임계값	구름으로 판단

(3) 2단계 ~ 7 단계 => 구름을 제외한 나머지 지표물(눈, 식생, 물, 그림자, ...) 분류

(4) 권운(Cirrus) 탐지 알고리즘

Cirrus 탐지는 밴드 10 반사율(1.375 μm)을 기반으로 진행하며 구름 마스크를 이용하여 얇은 권운(Thin cirrus cloud)을 판별한다.

<표 2-71> Sentinel-2 신뢰도 단계별 구름 산출물 생성의 임계값 적용 절차 (3)

조건	내용
Clear sky T1 (0.012) < 반사율 < Thick cloud T2 (0.035)	Thin cirrus cloud
cloud probability > 0.65	Cloud high probability
cloud probability > 0.35	Cloud medium probability
cloud probability < 0.35	Thin cirrus cloud

다) Planet-Planetscope

Planet의 Planetscope는 아래의 표 2-72와 같이 데이터 신뢰도를 하나의 레이어(band 7)로 구분하여 제공하고 있으며, 해당 레이어의 데이터 범위는 0부터 100 사이의 값으로 구성되어 있다. 해당 신뢰도 값은 TOA Reflectance 영상과 구름 마스크를 기반으로 사전에 학습시킨 기계학습 모델(컨볼루션 신경망 모델) 기반의 픽셀단위정보 분류 알고리즘을 사용하여 산출한다.

또한, 제작된 산출물의 정확도를 다시 한번 검증하기 위해 해당 사에서 보유하고 있는 샘플 지역을 선정하여 해당 지역의 Truth scene을 검증자료로 사용하여 비교·분석을 수행한 후, 최종적으로 픽셀단위정보의 신뢰도 값을 산정하여 사용자에게 제공된다.

<표 2-72> Planet 픽셀단위정보 밴드 구성 항목

밴드	구분	데이터 범위	내용
Band1	clear map	0, 1	0: 청천일 아님, 1 : 청천일
Band2	snow map		0: 눈 또는 얼음이 아님, 1 : 눈 또는 얼음
Band3	shadow map		0: 그림자가 아님, 1 : 그림자
Band4	light haze map		0: 옅은 안개가 아님, 1 : 옅은 안개
Band5	heavy haze map		0: 짙은 안개가 아님, 1 : 짙은 안개
Band6	cloud map		0: 구름이 아님, 1 : 구름
Band7	confidence map	0-100	신뢰도 값: 픽셀단위정보 분류 신뢰도 알고리즘 사용하여 산출
Band8	Unusable pixels	-	픽셀단위정보 asset에 해당하며, 자세한 내용은 planet 영상 사양 관련 문서 참조

UDM2 Classification Methodology

Planet's UDM2 classification approach is based on supervised machine learning techniques that use observation data from Planet-sensors to train a classification model.

Planet collects a set of truth scenes that are used to train the model. The truth scenes consist of 4-band top-of-atmosphere-radiance (TOAR) images and their corresponding cloud masks (usable data masks). Each usable data mask is created by manually labeling the TOAR images to assign a UDM2 value to each pixel in the image.

To ensure that the truth scenes dataset are representative of the global catalog of Planet images, Planet draws from a diversity of satellites, scene content, seasonality, geography and cloud types to contribute to the truth scene curation and classification process.

The labeled cloud mask dataset is then used to train a machine learning model, which is based on convolutional neural networks. The model can then be applied to generate a usable data mask for any new input image. A portion of the labeled cloud mask dataset is not used for training and instead is passed into the completed model for validation. If particular areas perform poorly (e.g., light haze accuracy over urban scenes), additional scenes are added to the truth set to improve the classification accuracy.

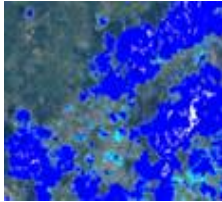


Planet's engineering team regularly reviews cloud masks and identifies new scenes to add to the truth scene training set. Additionally, customer reports of poorly performing scenes or regions are part of the feedback process to improve the truth training set.

<그림 2-89> Planetscope confidence map 제작 방법

라) 픽셀단위 신뢰도 제공 방안 정리

픽셀단위정보 신뢰도 제공 방안 조사 결과를 아래 표 2-73과 같이 정리하였으며, 조사 결과를 바탕으로 국토위성용 픽셀단위정보 신뢰도 제공 방안을 수립하였다.

<표 2-73> 해외 ARD 선도그룹의 픽셀단위정보 제공 방안

	USGS	ESA	PLANET	MAXAR
신뢰도 제공 여부	O	O	O	X
데이터 신뢰도 예시				
제작방식	밴드 임계값	밴드 임계값	기계학습 분류 모델	
제공형태	신뢰도 단계별 마스크 맵 제공	신뢰도 단계별 마스크 맵 제공	단일 신뢰도 레이어 제공	
플래그	0, 1	0, 1	0 - 100 (Percentage value)	
비고	1. 픽셀단위정보 제작 과정에서 신뢰도 생성 2. 주기적인 검증 필요	1. 픽셀단위정보 제작 과정에서 신뢰도 생성 2. 주기적인 검증 필요	1. 관리자 검수 수행 2. 주기적으로 학습 모델 업데이트 필요	

2) 국토위성 픽셀단위정보 신뢰도 제공 방안 수립

위 절에서 언급된 신뢰도 제공 방안 중 각각 장·단점이 존재한다. USGS와 ESA의 픽셀단위정보(구름) 신뢰도 제공 방식은 사용자는 데이터 신뢰도를 따로 찾아볼 필요 없이 원하는 픽셀단위정보의 신뢰도를 선택하여 이를 분석에 활용할 수 있으며, 무엇보다 기존의 다른 픽셀단위정보와 형태도 동일하고 제작 방식도 비교적 간단하므로 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 초기 제작 과정에 적합할 수 있다. 다만, 밴드 임계값을 기반으로 픽셀단위정보의 신뢰도를 구분하기 때문에 주기적으로 신뢰도에 대한 검증을 수행해주어야 한다. 반면, Planet의 기계학습 분류 모델 기반 신뢰도 제공 방식은 신뢰성 있는 분류 모델을 구축하기 위해서 많은 학습자료가 필요하며 레이블 자료에 해당하는 참값 데이터도 함께 확보해야 한다. 다양한 조건 및 환경을 고려한 분류 모델을 구축하기 위해서는 그만큼 많은 자료를 확보해야하기 때문에 국토위성 초기운용 과정에 다소 부적합할 수 있다. 해당 방식으로 신뢰도 검증과 더불어 학습 모델을 업데이트하는 작업도 함께 수행되어야 하지만, 신뢰성 있는 분류 모델이 구축되고 나면 위성영상을 입력하는 것만으로도 데이터 신뢰도를 제작할 수 있다. 하지만 국토위성은 아직까지 초기 운용단계이기 때문에 Planet의 기계학습 분류 모델기반으로 데이터 신뢰도를 제공하는 것보다 픽셀단위정보를 신뢰도 단계별로 제공하는 USGS, ESA 방식이 적합하다.

국토위성의 픽셀단위정보 신뢰도 제공 항목은 ESA와 Planet과 동일하게 우선 구름에 대한 신뢰도 정보를 제공한다. 구름 산출물은 OCM 알고리즘 기반으로 높은 신뢰도 구름(High confidence level)과 낮은 신뢰도 구름(Low confidence level)로 구분하여 산출물을 제작할 수 있으므로 초기 국토위성 픽셀단위정보 신뢰도 정보로 제공하기 매우 적합하다. 신뢰도 수준에 대한 정의는 기관별로 정의하기 나뉘며, 국토위성에서 정의한 신뢰도 수준은 검증용 영상의 정밀도(=포함 오차)에 대한 산술평균 결과를 기반으로 우선적으로 정의하였다. 높은 신뢰도 구름은 검증 결과에서 98~99%에 가까운 정밀도를 나타내었지만, 화성 지역의 높은 신뢰도 구름 결과에서 일부 포함 오차가 발생한 점을 고려하여 95%를 기준으로 높은 신뢰도와 낮은 신뢰도로 구분하였다.

구름 탐지 알고리즘이 설계 과정에서 포함 오차를 최대한 포함하지 않도록 설계되어 낮은 신뢰도 구름의 정량적인 신뢰도 퍼센트가 다소 높게 형성되어있는 문제가 있어, 향후 알고리즘 개선 과정과 함께 신뢰도 수준도 개선해야 할 것으로 생각된다. 또한, 위에서도 언급하였듯이 품질 관리와 별도로 주기적으로 국토위성영상과 픽셀단위정보를 이용하여 신뢰도별 산출물에 대한 검증을 수행하여 사용자에게 신뢰도 단계에 따라 검증된 신뢰도 수치를 제공할 수 있는 검증 체계를 마련해야 한다.








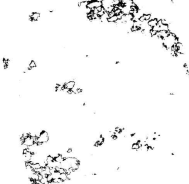

<표 2-74> 국토위성 구름 산출물에 대한 신뢰도 수준별 산출 조건(1)

조건	내용
$B1 > 0.23$	구름으로 판단
$B1 > 0.217$	구름으로 판단
$B1 < 0.217$	구름 없음으로 판단

<표 2-75> 국토위성 구름 산출물에 대한 신뢰도 수준별 산출 조건(2)

조건	내용
$B1 > 0.23$ & $B4/B3 > 1.4$ & $B4/B3 > 1.65$	높은 신뢰도 구름으로 판단 (95~100% 신뢰도)
$B1 > 0.217$ & $B4/B3 > 1.4$ & $B4/B3 > 1.65$	낮은 신뢰도 구름으로 판단 (0~95% 신뢰도)
$B1 > 0.217$ & $B4/B3 < 1.4$ & $B4/B3 < 1.65$	구름 없음으로 판단

<표 2-76> 국토위성 픽셀단위정보(구름) 신뢰도 제공 예시

	황해북도 청진시	함경북도 신평군	충청북도 단양군
국토위성영상			
높은 신뢰도 구름			
낮은 신뢰도 구름			

사용자 친화형 영상 제품 시범제작

-
1. 국토위성기반 사용자 친화형 영상 제품 시범제작
 2. 사용자 친화형 영상 제품 관련 설명서 제작

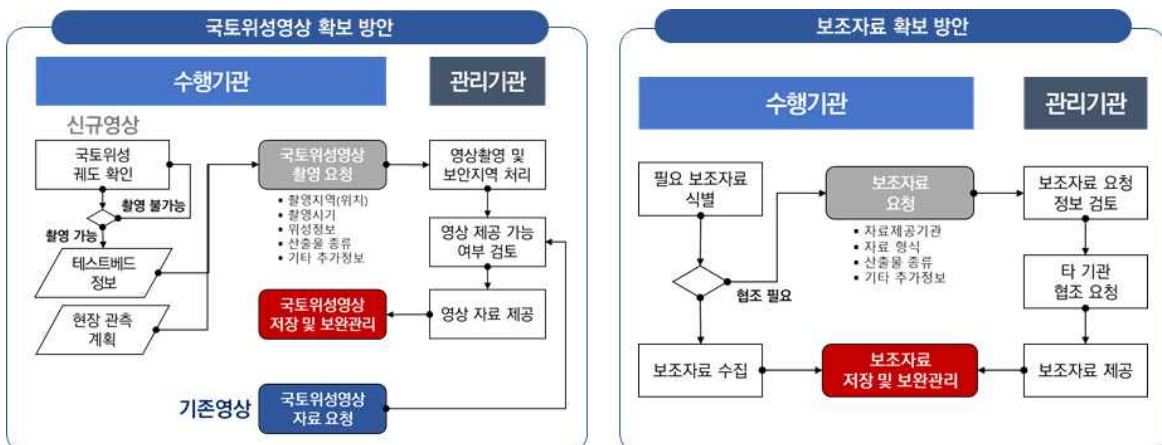
1. 국토위성기반 사용자 친화형 영상 제품 시범제작

가. 국토위성영상 및 보조자료 확보

국토위성 사용자 친화형 영상 제품 시범제작을 위한 국토위성영상 및 보조자료 확보 방안은 아래 그림 3-1과 같이 수립하였으며, 그림 3-2부터 3-9까지 사업 기간동안 확보한 자료를 나타냈다.

신규 촬영을 통한 국토위성영상 자료 확보 시 테스트베드 지역의 선정 내용을 참고하였다. 그리고 테스트베드 지역 선정 결과 및 현장검증 일정과 국토위성 촬영 계획 등을 종합적으로 고려하여 촬영시기와 촬영지역, 위성정보 등을 사전에 정리한 다음, 관리기관과의 협의를 통해 국토위성영상을 촬영·확보하였다. 기존 촬영영상자료에 대해서는 필요한 영상정보를 관리기관에 전달한 후, 영상제공 가능 여부를 검토하고 자료를 제공 받을 수 있도록 방안을 수립하였다.

시범제작 및 자료 검증 과정에 필요한 보조자료는 수행기관에서 자체적으로 확보 가능한 자료와 기관별 협조를 통해 구할 수 있는 자료가 혼용되어 있다. 따라서 본 과업 수행에 필요한 보조자료를 식별하고, 관리기관 및 타기관의 협조가 필요한 자료를 구분하였다. 먼저, 협조가 필요한 보조자료는 구체적인 보조자료 요청 목록을 작성하고, 관리기관과의 협조를 요청하여 확보하였다. 협조가 불필요한 보조자료는 수행기관이 자체적으로 온라인/오프라인을 통해 수집하여 확보하였다. 해당 과정에서 수집한 모든 보조자료는 자료의 저장 및 보안관리를 위한 관리대장 문서를 작성하고, 자료의 보안 관리하였다.



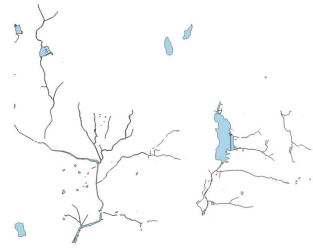
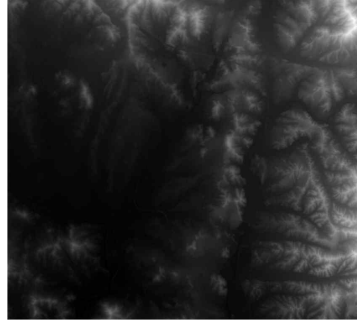
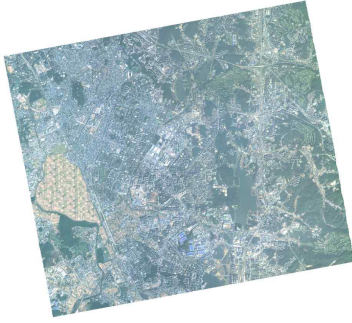
<그림 3-1> 국토위성영상 및 보조자료 확보 방안

C1_20211024021358_03282_00136229

국토위성영상

DEM (5m)

수치지형도 (1:5,000)



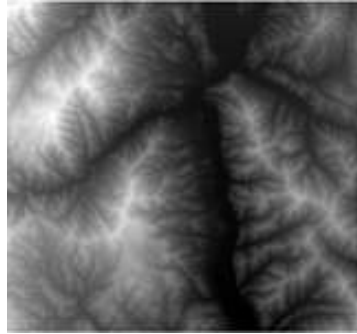
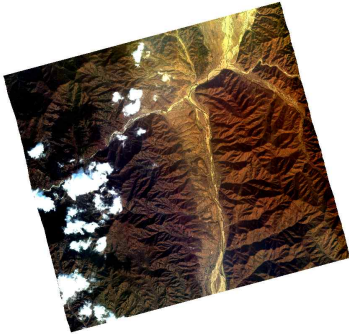
<그림 3-2> 경기도 수원 지역(1) 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2021.10.24.)

C1_20211104014533_03449_00050757

국토위성영상

DEM (10m)

수치지형도 (1:25,000)



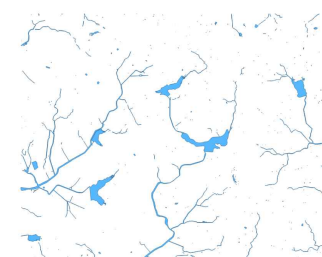
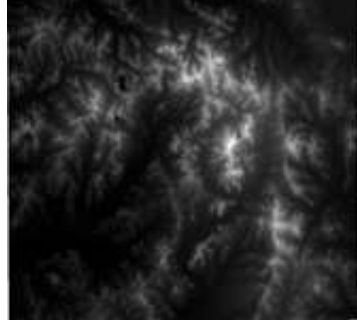
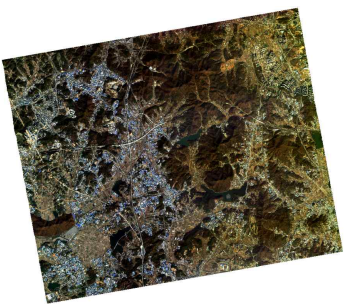
<그림 3-3> 황해북도 청진 지역 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2021.11.04.)

C1_20211117021545_03647_00070141

국토위성영상

DEM (5m)

수치지형도 (1:5,000)



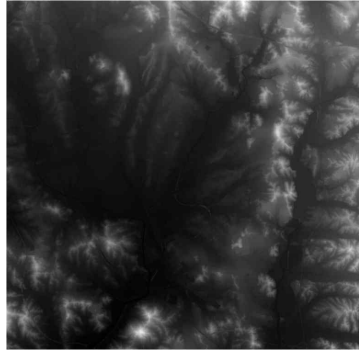
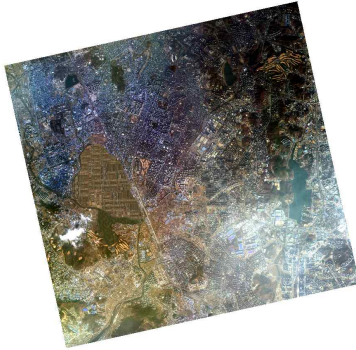
<그림 3-4> 경기도 화성 지역 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2021.11.17.)

C1_20211212020142_04027_00282719

국토위성영상

DEM (5m)

수치지형도 (1:5,000)



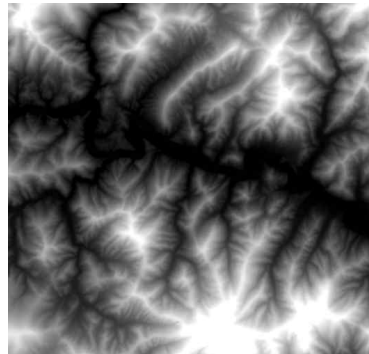
<그림 3-5> 경기도 수원 지역(2) 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2021.12.12.)

C1_20211212020142_04027_00651519

국토위성영상

DEM (10m)

수치지형도 (1:25,000)



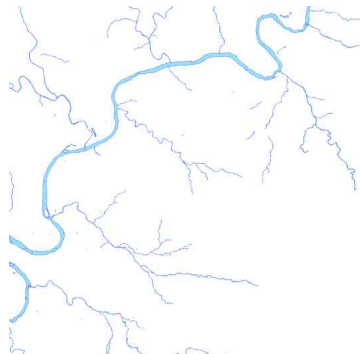
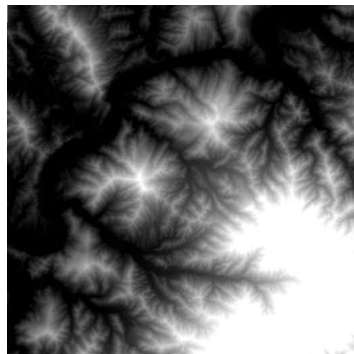
<그림 3-6> 함경북도 신평 지역 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2021.12.12.)

C1_20211217015822_04103_00444810

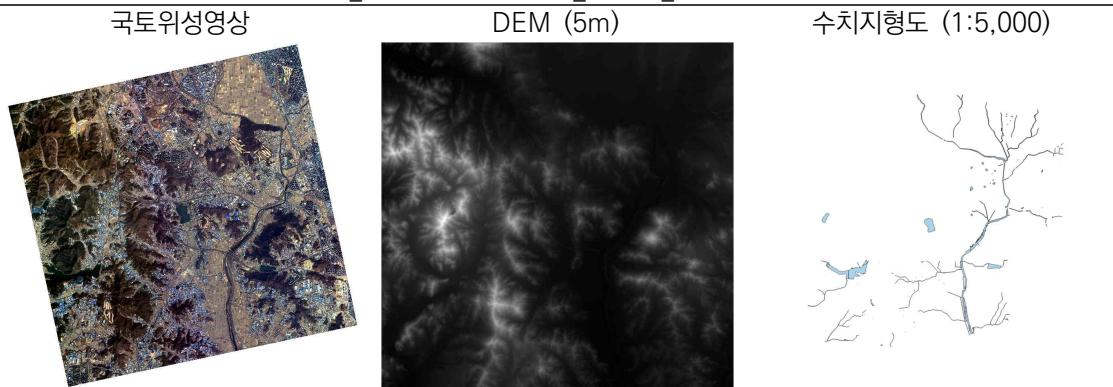
국토위성영상

DEM (5m)

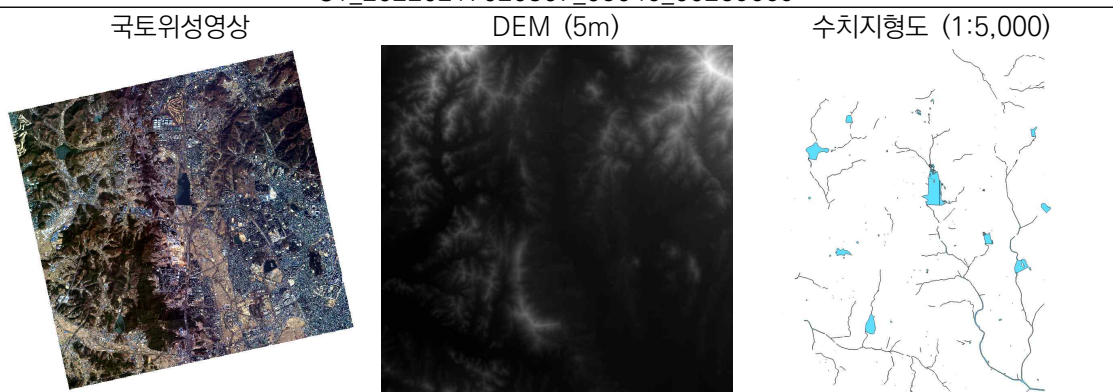
수치지형도 (1:5,000)



<그림 3-7> 충청북도 단양 지역 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2021.12.17.)



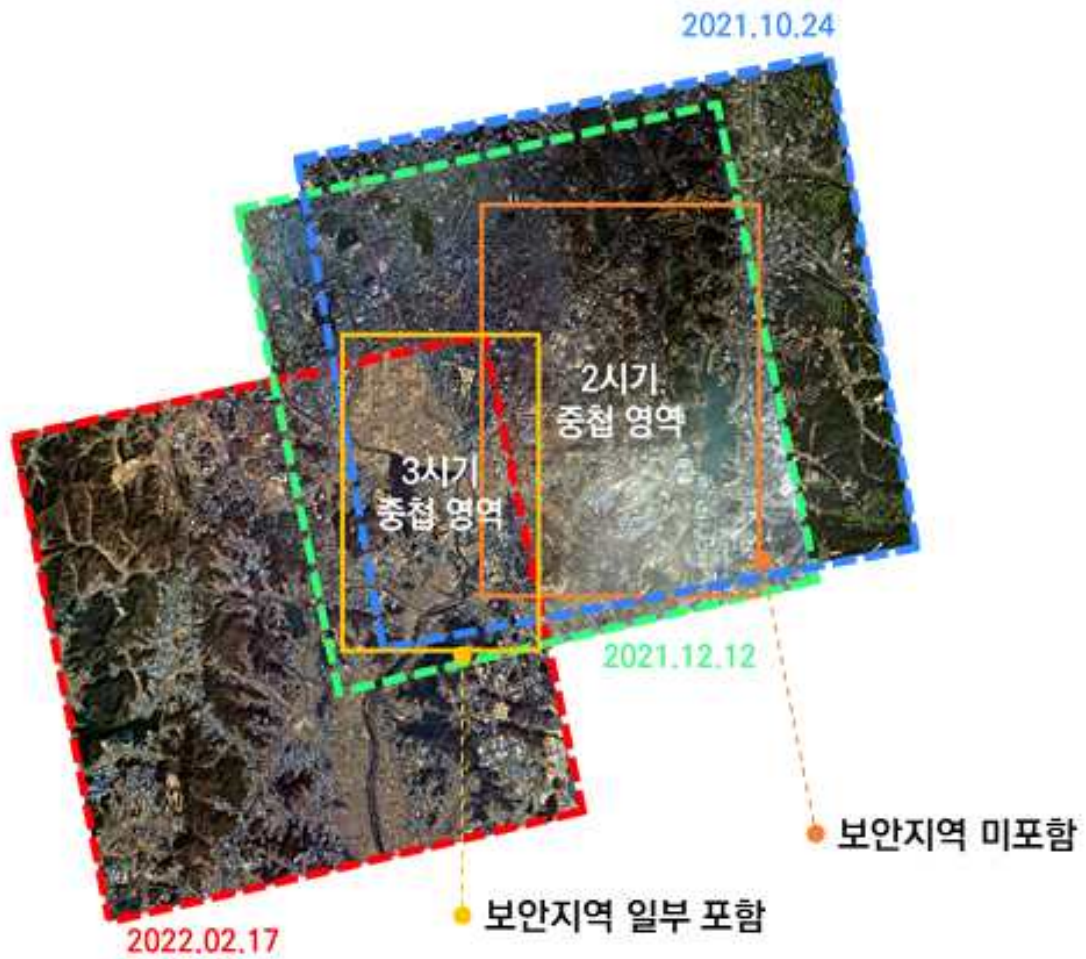
<그림 3-8> 경기도 수원 지역(3) 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2022.02.17.)



<그림 3-9> 경기도 의왕 지역 국토위성영상 및 보조자료 확보 현황 (2022.02.17.)

시계열 지역 선정 기준으로는 3가지를 중점적으로 고려하였다. 첫 번째, 3개 시기 이상 데이터가 존재하는 지역이어야 한다. 두 번째, 촬영 당시 대기 상태가 구름 및 에어로졸, 황사 등으로부터 안정성을 확보해야 한다. 세 번째, 촬영 지역에 보안지역을 최대한 포함하지 않는다.

위 3개의 조건으로 시계열 지역을 탐색한 결과, 경기도 수원 지역과 북한 청진 지역이 가장 조건에 타당하였으나, 북한 지역은 표면반사율 유효성 검증을 위한 적절한 타겟이 존재하지 않았기 때문에 경기도 수원 지역으로 선정하였다. 다만, 수원 지역은 보안 지역이 일부 포함되어 있고 12월 영상의 경우 스모그가 일부 지역에서 관측되어 해당 지역을 제외한 나머지 지역을 대상으로 국토위성 사용자 친화형 영상 제품을 시범제작하였다.



<그림 3-10> 국토위성 시계열 데이터(수원, 의왕) 중첩 영역

나. 시범제작 프로세스 구축

국토위성영상 표면반사율 영상 및 픽셀단위정보 생성 과정 및 결과를 검토하여 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 시범제작 프로세스를 구축하였다. 시범제작 프로세스는 자료획득, 자료처리, 산출물 생성, 최종산출물 패키지 제작 4가지 단계로 구분할 수 있다.

□ 자료획득 단계

□ 자료처리 단계

□ 산출물 생성 단계

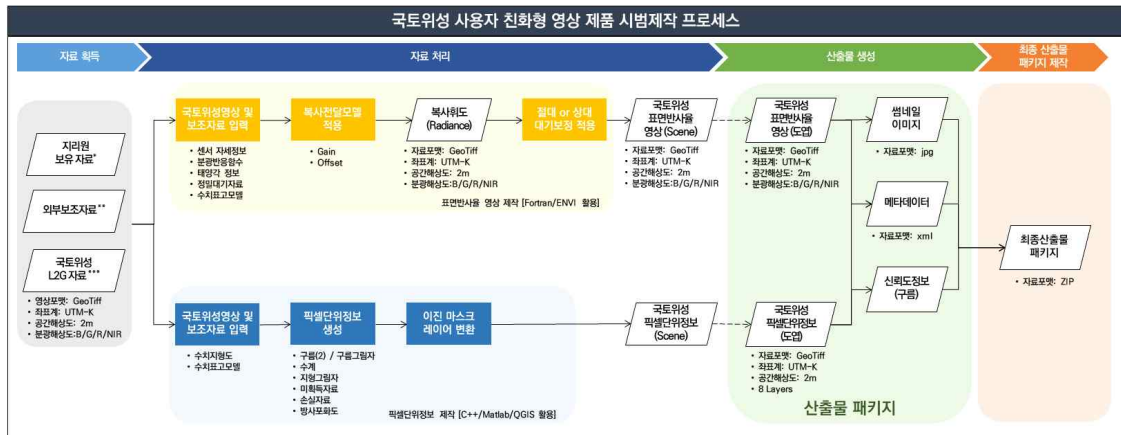
□ 최종산출물 패키지 제작 단계

첫 번째, 자료 획득 단계는 표면반사율 및 픽셀단위정보 제작을 위해 국토위성 정밀정사영상자료와 지리원 보유 자료, 절대대기보정을 위한 외부보조자료를 입력하는 단계이다. 지리원 보유 자료는 수치지형도와 수치표고모델, 분광반응함수 자료가 해당되며, 외부보조자료는 시정, AERONET AOD, MODIS CMA, CMG 자료가 이에 해당된다.

두 번째, 자료 처리 단계에서는 입력된 국토위성 정밀정사영상과 보조자료를 기반으로 표면반사율 및 픽셀단위정보 산출물 제작하는 업무를 수행한다. 표면반사율 처리 중간 과정으로 절대복사보정이 수행되며, 복사휘도(Radiance) 영상이 중간산출물로 산출된다. 절대대기보정 혹은 상대대기보정이 적용되면 표면반사율 영상이 산출된다. 픽셀단위정보는 수치표고모델, 수치지형도를 입력자료로 받아 구름, 구름그림자, 수계, 지형그림자를 생성하며, 미획득자료와 손실자료, 방사포화도를 추가적으로 생성한다. 이렇게 생성된 픽셀단위정보는 특별한 합성처리 없이 국토위성 표면반사율 영상과 함께 산출물 생성 단계로 전달한다.

세 번째, 산출물 생성 단계에서는 1:5,000 도엽 단위로 영상을 분할하여 도엽 단위 영상으로 제작하고 제작된 표면반사율 영상 및 픽셀단위정보를 기반으로 썸네일 이미지(.jpg)와 메타데이터(.xml)를 생성하는 업무를 수행한다.

마지막, 최종산출물 패키지 제작 단계에서는 사용자에게 모든 산출물을 하나의 패키지 형태로 제공하기 위해, ZIP 포맷으로 산출물을 패키징하는 업무를 수행한다.



* 지리원 보유자료: 수치지형도 v1.0 or v2.0 / 수치표고모델(DEM) / 분광반응함수(SRF)

** 외부보조자료(정밀대기자료): 라디오존데 / RadCalNet / MODIS CMA / AERONET 자료

*** 국토 위성 L2G 자료: 국토 위성 정밀정사영상(L2G), 메타데이터 - 센서 자세정보, 태양각 정보, 촬영일자 정보

<그림 3-11> 국토 위성 사용자 친화형 영상 제품 시범제작 프로세스

다. 표면반사율 영상 제작

표면반사율 영상 제작을 위해서는 우선적으로 절대복사보정계수가 필요한데, 아직까지 항공우주연구원에서 제시하지 못한 실정으로 본 대기보정을 위한 임의 절대복사보정계수를 추정하였다. 절대복사보정 및 대기보정에 필수적인 대기, 기하학, 센서 분광정보 등이 수집되어야 한다. 이후, 6SV를 이용해 절대복사보정을 수행하여 초기 절대복사보정계수를 추출한다. 이 계수를 적용하여 radiance로 변환하고, 이를 절대대기보정 S/W인 FLAASH에 입력해 표면반사율영상을 산출하였다. 이후, 반사율 영상의 유효성 검증을 수행하여 현 산출된 국토위성 표면반사율 영상에 대한 정확도를 제시하였다. 아래 내용은 각 단계에 대해 구체적으로 설명하고 있다.

1) 반사율 영상 제작 및 검증을 위한 보조자료 수집

가) 대기 및 기상 자료 수집

국내외 국토위성영상의 절대복사보정 및 대기보정을 위해 다양한 대기정보의 수집이 선제적으로 수행되어야 한다. 우선 RadCalNet 사이트에서는 30분 간격으로 현장에서 관측된 대기정보를 제공하고 있다. 이중 절대복사보정을 위해 위성영상 촬영 시간에 맞는 수증기량, 오존, AOD, 에어로졸 타입 정보가 산출된다. 이와 함께 국내를 촬영한 국토위성영상에 대한 대기보정을 위해서 우선적으로 국토위성영상 촬영 시간에 맞게 관측되고, 촬영지점에서 가장 가까운 기상청의 시정자료를 수집한다. 이와 함께 총 12개의 국내 AERONET 사이트 중 위성영상 촬영 시간 및 촬영 지점에 매칭될 수 있는 자료를 검색하여 Sun/Sky Radiometer로 관측된 AOD(555nm) 정보만을 추출해 사용한다. 두 자료의 결손을 대비하여 보다 넓은 지역의 정보를 제공하는 MODIS 대기정보도 수집하였다. 국토위성영상의 촬영일에 대한 전세계 MOD09CMG.CMA 영상에서 영상 촬영 지점에 대한 오존, 수증기량, AOD, 에어로졸타입 정보를 추출한다. 대기 및 기상자료의 자세한 설명은 4장에 기술하였으며, 실제 표면반사율 추정에 사용된 정보는 본 3장의 절대복사보정수행 및 절대대기보정수행 부분에서 제시되었다.

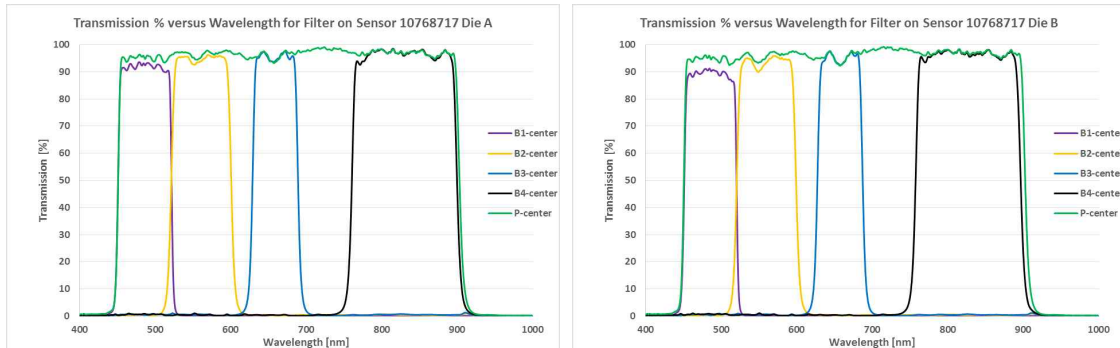
<표 3-1> 외부보조자료 수집 목록

구분		절대복사보정	
		국토위성 영상촬영일	RadCalNet
국 외	미국	2021.11.11. 2021.11.17. 2021.11.21. 2021.12.01. 2022.01.28.	RVUS-2021_315.zip RVUS-2021_321.zip RVUS-2021_325.zip RVUS-2021_335.zip RVUS-2022_028.zip
	나미비아	2021.11.11. 2021.11.16. 2021.11.21. 2021.11.26. 2021.12.01.	GONA-2021_315.zip GONA-2021_321.zip GONA-2021_325.zip GONA-2021_330.zip GONA-2021_335.zip

구분		절대대기보정				
		국토위성 영상촬영일	기상청(시정)	AERONET	MODIS CMA	MODIS CMG
한 반 도	화성	2021.11.17.	OBS_ASOS_TI M_2021112217 1506.csv	20211116_2021 1118_Seoul_SN U.zip	MOD09CMA.A2 021321.061.NR T.hdf	MYD09CMG.A2 021321.006.20 21323044247.h df
	의왕	2022.01.05.	OBS_ASOS_TI M_2022010615 3544.csv	20220104_2022 0105_Yonsei_U niversity.zip	MOD09CMA.A2 022005.061.NR T.hdf	MOD09CMG.A2 022005.006.20 22007025835.h df
		2022.02.17.	OBS_ASOS_TI M_2022021916 0956.csv	20220217_2022 0218_Yonsei_U niversity.zip	MOD09CMA.A2 022048.061.20 22049014657.N RT.hdf	MOD09CMG.A2 022048.006.20 22050061845.h df
	단양	2021.12.17.	OBS_ASOS_TI M_2022021614 2956.csv	20211217_2021 1217_KORUS_U NIST_Ulsan.zip	-	MYD09CMG.A2 021351.006.20 21353031718.h df
북 한	청진	2021.11.04.	OBS_NKO_TIM_ 202202161736 30.csv	20211104_2021 1104_Ussuriysk .zip	-	MYD09CMG.A2 021308.006.20 21310035052.h df
	신계	2021.12.12.	OBS_NKO_TIM_ 202202161737 12.csv	20211212_2021 1212_Baengnye ong.zip	-	MYD09CMG.A2 021346.006.20 21348035334.h df

나) 기하정보 및 센서 분광정보

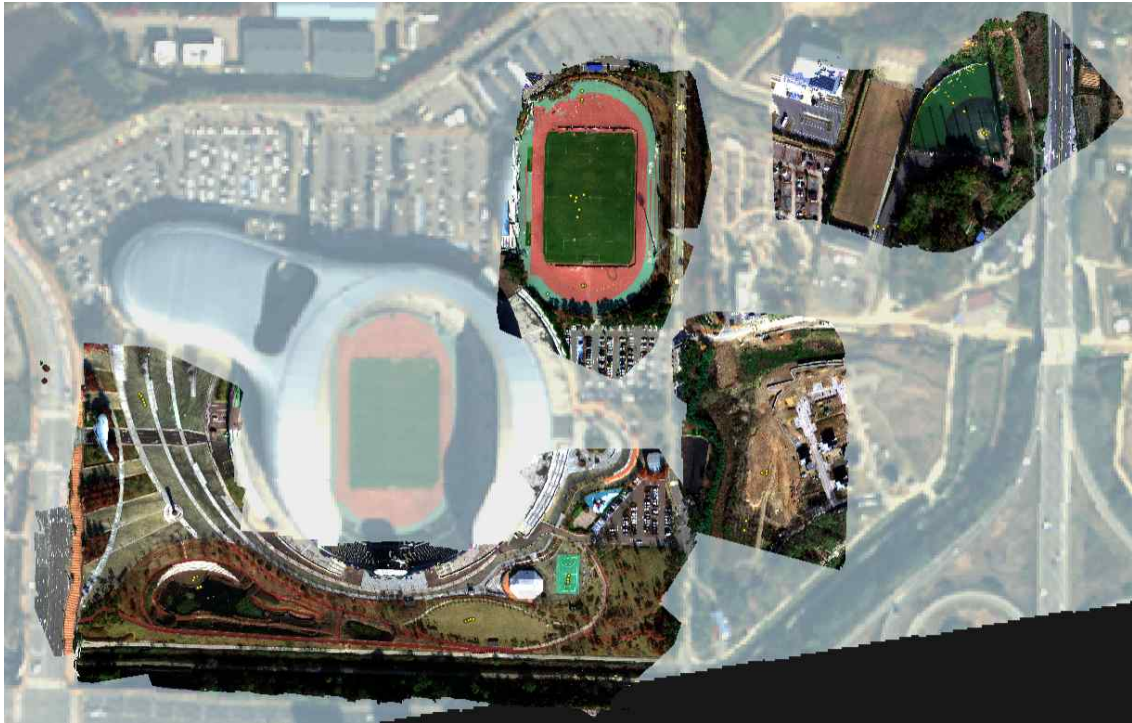
대기정보와 함께 절대복사보정과 대기보정에 중요한 위성촬영 당시의 기하정보와 센서 분광정보가 수집되었다. 기하정보로는 아래 그림과 같이 태양 천정각, 태양 방위각, 센서 천정각, 센서 방위각이 있으며 국토위성영상의 메타파일(C1_~Aux.xml)에서 수집된다. 국토위성센서의 분광반응함수는 아래 CCD type별로 수집되었다.



<그림 3-12> 국토위성의 CCD 타입별 분광반응함수

다) 현장관측 실험자료 및 타 위성자료 수집

국토위성의 표면반사율영상이 제작된 후, 유효성 검증을 위해서 화성 및 의왕지역에 대해 국토위성촬영과 동시에 현장 관측 실험이 수행되었다. 2021년 11월 17일(화성)과 2022년 2월 17일(의왕)에서 총 2회의 현장관측실험을 통하여, 다양한 지표 반사율 측정 및 드론 촬영이 수행되었다. 이와 함께 비슷한 시기에 촬영된 Landsat 8, 9와 Sentinel-2A/B 위성영상이 수집되었다. 동시기는 아니지만 비슷한 시기의 SkySat 위성영상(국외, 유료)의 Reflectance 영상을 확보하였으나 복사정보의 부족으로 본 검증에 사용되지는 못하였다. 사용한 자료에 대한 구체적인 설명은 4장 표면반사율 유효성검증 결과에서 제시하고 있다.



<그림 3-13> 국토위성영상(배경), 드론영상(선명한 영상)과 ASD 측정지점(노란색 점)의 중첩 그림

<표 3-2> 국토위성 표면반사율 유효성 검증에 사용된 영상자료

Sensor	Spatial resolution	Spectral bands	Bits
Landsat 9 OLI L2SP	30m	11 bands	unsigned 16-bit integer
Sentinel-2A L2A	10m	13 bands	unsigned 16-bit integer
MicaSense Rededge MX Drone	10cm~20cm	5 bands	Float

<표 3-3> Landsat 9 위성영상의 분광밴드 특성

#	Band	Minimum Lower Band Edge(nm)	Maximum Upper Band Edge(nm)	Center Wavelength (nm)	Spatial Resolution (m)
1	Coastal / Aerosol	433	453	443	30
2	Blue	450	515	482	30
3	Green	525	600	562	30
4	Red	630	680	655	30
5	NIR	845	885	865	30
6	SWIR 1	1560	1660	1610	30
7	SWIR 2	2100	2300	2200	30
8	Panchromatic	500	680	590	15
9	Cirrus	1360	1390	1375	30
10	Thermal	10300	11300	10800	100
11	Thermal	11500	12500	12000	100

<표 3-4> Sentinel-2A/B 위성영상의 분광밴드 특성

#	Band	Sentinel-2A		Sentinel-2B		Spatial resolution
		Center wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Center wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	
1	Coastal / Aerosol	442.7	21	442.2	21	60
2	Blue	492.4	66	492.1	66	10
3	Green	559.8	36	559.0	36	10
4	Red	664.6	31	664.9	31	10
5	Vegetation red edge	704.1	15	703.8	16	20
6	Vegetation red edge	740.5	15	739.1	15	20
7	Vegetation red edge	782.8	20	779.7	20	20
8	NIR	832.8	106	832.9	106	10
8A	Narrow NIR	864.7	21	864.0	22	20
9	Water vapour	945.1	20	943.2	21	60
10	SWIR-Cirrus	1373.5	31	1376.9	30	60
11	SWIR	1613.7	91	1610.4	94	20
12	SWIR	2202.4	175	2185.7	185	20

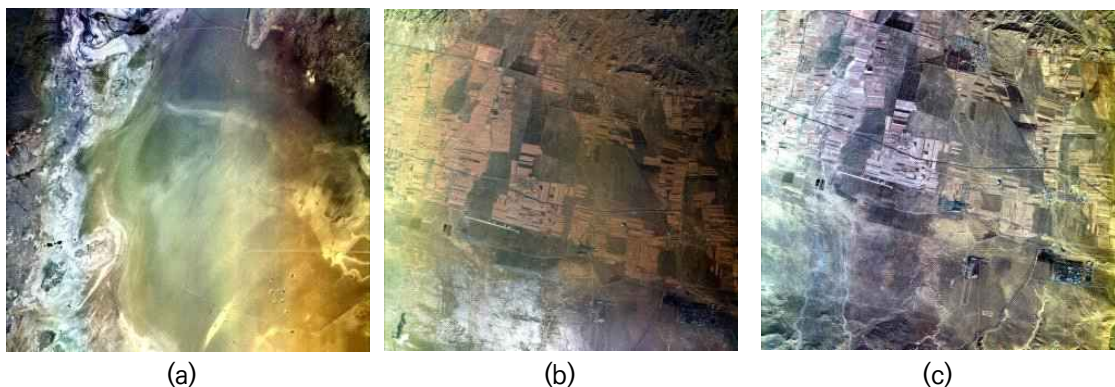
<표 3-5> 수집된 드론 영상자료의 촬영 파장영역

Wavelength(nm)				
Blue	Green	Red	Red_Edge	NIR
475	560	668	717	840

2) 절대복사보정 수행





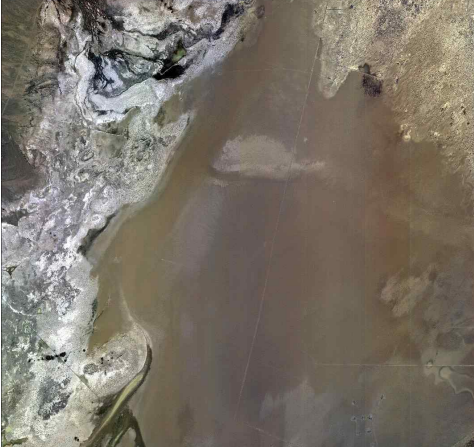

가) 절대복사보정 초기 계수 산출

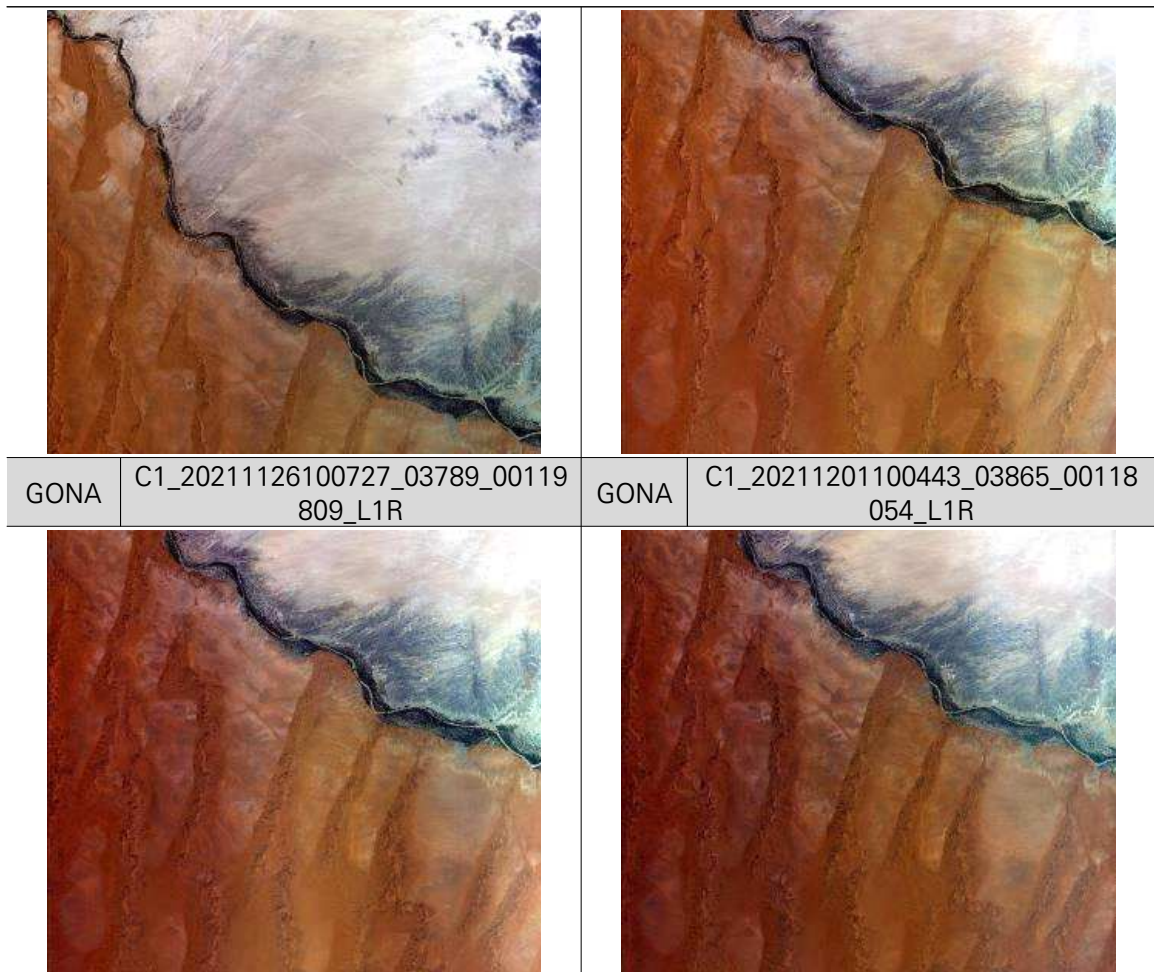
국토위성의 표면반사율을 추정하기 앞서, 국토위성영상의 절대복사보정계수는 필수적이다. 하지만 아직까지 항공우주연구원에서 공식적인 절대복사보정계수를 제공하지 못한 실정으로, 본 과업에서는 국토위성 표면반사율영상 시범 제작을 위한 임시 절대복사보정계수를 산출하였다. 이를 위해 총 5개의 국제 RadCalNet 사이트에 대해 국토위성영상 촬영을 요청, 수집하였으나, 2021년 12월 11일에 촬영된 미국 RUVS와 중국 BSCN, BTCN의 국토위성영상들은 아래 그림과 같이 국토위성의 광학적 질이 떨어져 본 절대복사보정계수 산출에 제외하였다. 이는 센서의 검출기 균질성의 문제로, 본 영상에서 추정되는 복사휘도(Radiance)값 역시 균일하고 일정한 값을 획득하기 어렵다. 절대복사보정에 사용할 수 있는 상대적으로 안정적인 광학적 질을 보이는 국토위성영상을 선정한 결과 미국 RUVS(총 5썸)와 아프리카 GONA사이트(총 5썸)가 선정되었다. 해당 국토위성영상에서 현장 관측 자료가 대표하고 있는 공간 범위에 대해 평균 DN값을 산출하였다. 아래 표는 절대복사보정계수 산출에 사용된 현장관측정보, 시뮬레이션된 Radiance와 국토위성영상에서 추출한 DN값을 보여주고 있다.



<그림 3-14> 센서 검출기 균질성에 문제가 보이는 미국 RUVS 지역 (a: 2021.12.11.), 중국 BSCN, BTCN 지역 (b: 2021.11.14., c: 2021.11.24.)을 촬영한 국토위성영상

<표 3-6> 절대복사보정에 사용된 국토위성영상의 자연색합성영상

RUVS	C1_20211111182500_03566_00112 984_L1R	RUVS	C1_20211117180321_03657_00046 603_L1R
			
RUVS	C1_20211121182007_03718_00006 119_L1R	RUVS	C1_20211201181436_03870_00121 564_L1R
			
RUVS	C1_20220128181024_04752_00119 614_L1R	GONA	C1_20211111101505_03561_00114 934_L1R
			
GONA	C1_20211116101238_03637_00118 054_L1R	GONA	C1_20211121101013_03713_00006 119_L1R

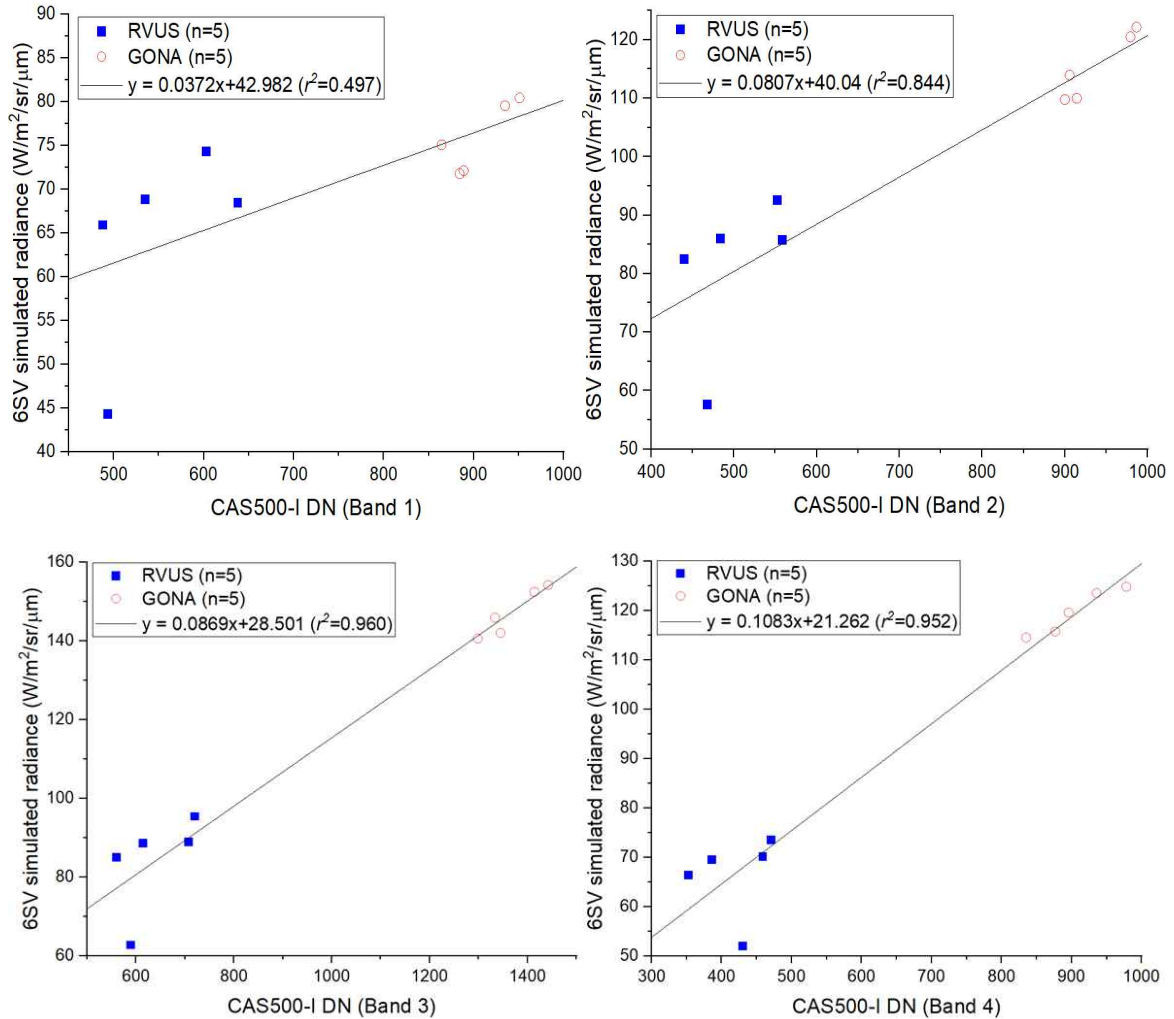


<표 3-7> 국토위성영상의 초기 절대복사보정계수 추정에 사용된 자료 리스트

사이트	국토위성파일	Radcalnet 정보		6SV기반 모의된 radiance (w/m2/sr/mic)	국토위성영상 DN
미국 RUVS	C1_20211111182 500_03566_00112 984_L1R	WV(g/cm2)	1.126	Band1 : 74.286 Band2 : 92.528 Band3 : 95.372 Band4 : 73.5	Band1 : 602.839 Band2 : 552.769 Band3 : 720.834 Band4 : 470.630
		O3(cm-atm)	0.281		
		Aerosol model	Continental		
		AOT	0.023		
		Target altitude (km)	1.435		
		B1 ref	0.299		
		B2 ref	0.375		
		B3 ref	0.418		
		B4 ref	0.443		
	C1_20211117180 321_03657_00046 603_L1R	WV(g/cm2)	0.281	Band1 : 68.473 Band2 : 85.76 Band3 : 88.933 Band4 : 70.14	Band1 : 637.937 Band2 : 558.448 Band3 : 707.182 Band4 : 458.960
		O3(cm-atm)	0.285		
		Aerosol model	Continental		
		AOT	0.022		
		Target altitude (km)	1.435		
		B1 ref	0.300		
		B2 ref	0.376		
		B3 ref	0.419		
		B4 ref	0.444		
	C1_20211121182 007_03718_00006 119_L1R	WV(g/cm2)	0.283	Band1 : 68.801 Band2 : 85.962 Band3 : 88.533	Band1 : 534.830 Band2 : 483.558 Band3 : 614.41
		O3(cm-atm)	0.277		
		Aerosol model	Continental		

아프리카 GONA		AOT	0.023	Band4 : 69.457	Band4 : 386.583
		Target altitude (km)	1.435		
		B1 ref	0.298		
		B2 ref	0.374		
		B3 ref	0.417		
		B4 ref	0.442		
	C1_20211201181 436_03870_00121 564_L1R	WV(g/cm2)	0.33	Band1 : 65.902 Band2 : 82.479 Band3 : 84.905 Band4 : 66.328	Band1 : 487.967 Band2 : 440.113 Band3 : 560.381 Band4 : 352.755
		O3(cm-atm)	0.263		
		Aerosol model	Continental		
		AOT	0.016		
		Target altitude (km)	1.435		
		B1 ref	0.297		
		B2 ref	0.373		
		B3 ref	0.416		
		B4 ref	0.441		
	C1_20220128181 024_04752_00119 614_L1R	WV(g/cm2)	0.159	Band1 : 44.277 Band2 : 57.626 Band3 : 62.68 Band4 : 51.92	Band1 : 493.331 Band2 : 467.971 Band3 : 588.753 Band4 : 430.723
		O3(cm-atm)	0.294		
		Aerosol model	Continental		
		AOT	0.019		
		Target altitude (km)	1.435		
		B1 ref	0.198		
		B2 ref	0.259		
		B3 ref	0.303		
		B4 ref	0.336		
	C1_20211111101 505_03561_00114 934_L1R	WV(g/cm2)	1.14	Band1 : 71.79 Band2 : 110.001 Band3 : 142.038 Band4 : 115.787	Band1 : 884.476 Band2 : 914.274 Band3 : 1344.839 Band4 : 876.556
		O3(cm-atm)	0.288		
		Aerosol model	Desert		
		AOT	0.125		
		Target altitude (km)	0.51		
		B1 ref	0.17		
		B2 ref	0.255		
		B3 ref	0.253		
		B4 ref	0.394		
	C1_20211116101 238_03637_00118 054_L1R	WV(g/cm2)	1.33	Band1 : 71.121 Band2 : 109.755 Band3 : 140.643 Band4 : 114.566	Band1 : 888.805 Band2 : 899.877 Band3 : 1298.267 Band4 : 835.110
		O3(cm-atm)	0.297		
		Aerosol model	Desert		
		AOT	0.132		
		Target altitude (km)	0.51		
		B1 ref	0.17		
		B2 ref	0.254		
		B3 ref	0.349		
		B4 ref	0.39		
	C1_20211121101 013_03713_00006 119_L1R	WV(g/cm2)	0.45	Band1 : 75.089 Band2 : 113.931 Band3 : 145.941 Band4 : 119.633	Band1 : 864.299 Band2 : 905.789 Band3 : 1333.591 Band4 : 895.731
		O3(cm-atm)	0.291		
		Aerosol model	Desert		
		AOT	0.097		
		Target altitude (km)	0.51		
		B1 ref	0.168		
		B2 ref	0.251		
		B3 ref	0.348		
		B4 ref	0.389		
	C1_20211126100 727_03789_00119 809_L1R	WV(g/cm2)	0.4	Band1 : 79.559 Band2 : 120.499 Band3 : 152.508 Band4 : 123.574	Band1 : 934.840 Band2 : 979.280 Band3 : 1413.815 Band4 : 935.654
		O3(cm-atm)	0.287		
		Aerosol model	Desert		
		AOT	0.062		
		Target altitude (km)	0.51		
		B1 ref	0.170		
		B2 ref	0.255		
		B3 ref	0.352		
		B4 ref	0.392		
	C1_20211201100 443_03865_00118 054_L1R	WV(g/cm2)	0.56	Band1 : 80.447 Band2 : 122.145 Band3 : 154.238	Band1 : 951.056 Band2 : 986.599 Band3 : 1442.341
		O3(cm-atm)	0.284		
		Aerosol model	Desert		

		AOT	0.051	Band4 : 124.839	Band4 : 978.161
		Target altitude (km)	0.51		
		B1 ref	0.172		
		B2 ref	0.256		
		B3 ref	0.353		
		B4 ref	0.395		



<그림 3-15> 절대복사보정계수 갱신 (2022.03.18.기준)

<표 3-8> 국토위성영상의 초기 절대복사보정계수 (2022.03.18.기준, 총 10개 영상 활용)

Band	gain	offset	R ²
Blue	0.0372	42.982	0.497
Green	0.0807	40.04	0.8437
Red	0.0869	28.501	0.9601
NIR	0.1083	21.262	0.9517

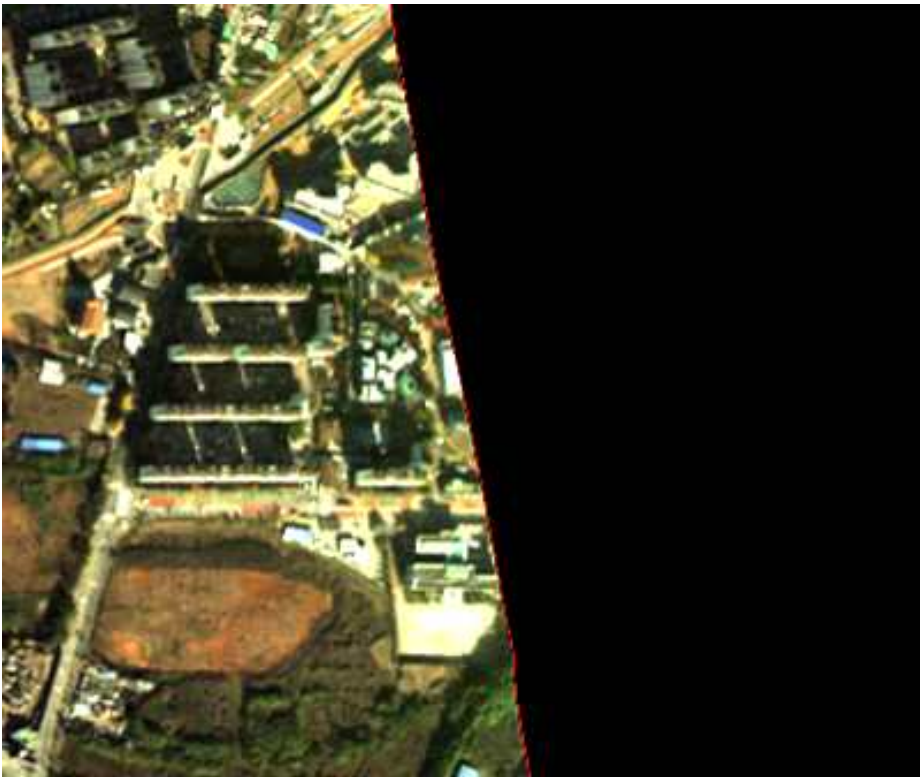
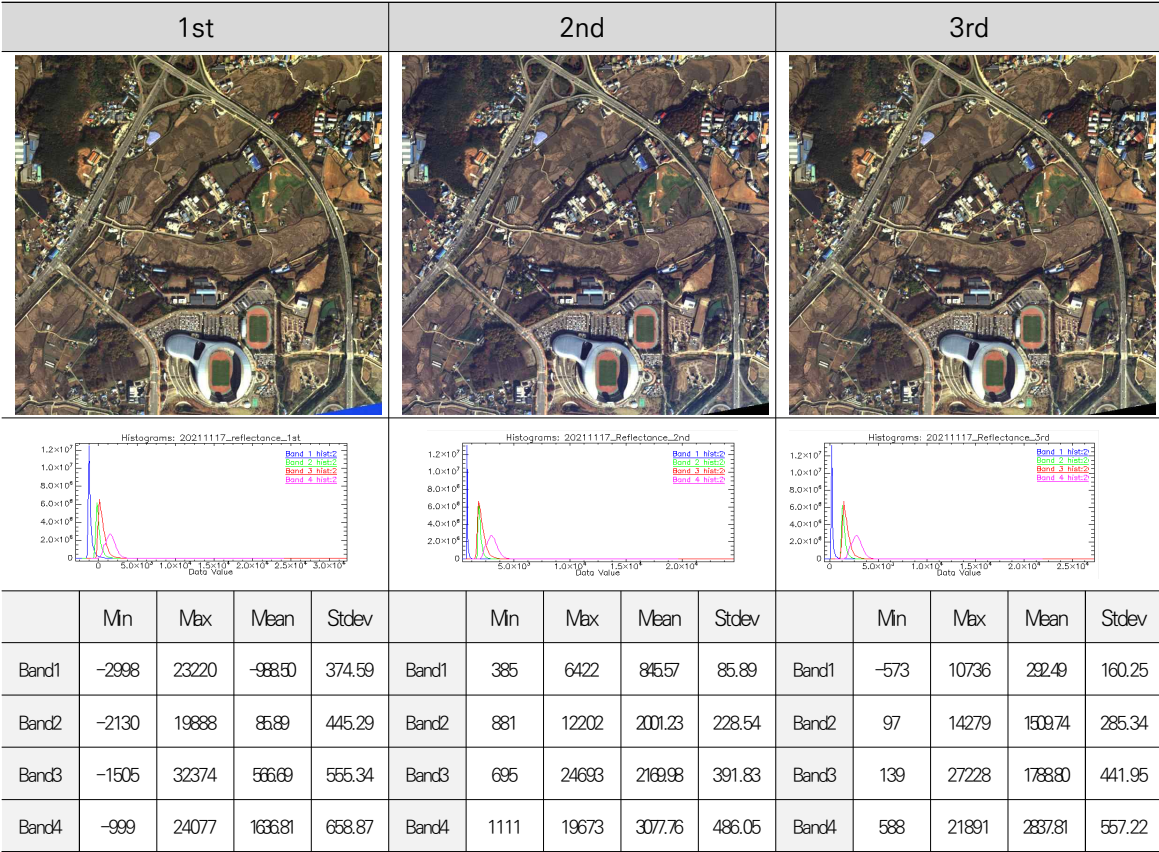
위의 초기 절대복사보정계수가 산출 되기 전에, 사용하는 영상 수에 대해 보정계수를 각각 산출하고 그 결과에 대해 분석하는 실험을 진행하였다. 각 계수를 산출하는 과정 및 계수 적용 후 대기 보정 결과에 대한 비교, 분석 결과를 제시하였다.

<표 3-9> 절대복사보정 계수 갱신 현황

	Band	Gain	Offset	R ²
1st (21.11~12, n=14)	Blue	0.0881	1.9509	0.752
	Green	0.1273	0.7279	0.832
	Red	0.1112	-1.0343	0.919
	NIR	0.1347	0.0161	0.919
2nd (21.11~12, n=9)	Blue	0.021	57.124	0.618
	Green	0.0675	52.178	0.965
	Red	0.0802	37.367	0.993
	NIR	0.1008	28.192	0.992
3rd (21.11~22.2, n=10)	Blue	0.0372	42.982	0.497
	Green	0.0807	40.04	0.844
	Red	0.0869	28.501	0.960
	NIR	0.1083	21.262	0.952

절대 복사 보정 계수 따라 대기보정 결과도 달라졌다. 1st 복사 보정계수를 적용한 대기보정을 수행결과 Band1 에서 음의 값이 나왔다. 2nd, 3rd에서 양의 반사도 값을 가졌으나 3rd Band1에서 음의 값이 나왔으며 음의 값의 지역을 살펴보았을 때 다음과 같이 영상의 가장자리 부분이였다. 밴드 별 평균 값을 보았을 때 1st, 3rd, 2nd 순으로 높았다. 표준편차의 경우 1st, 3rd, 2nd 순으로 높았으며 Band 4의 경우에만 1st, 2nd,3rd 순으로 높았다.

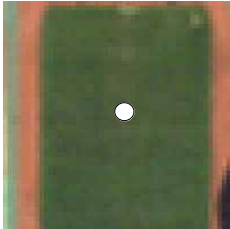
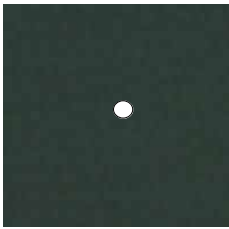
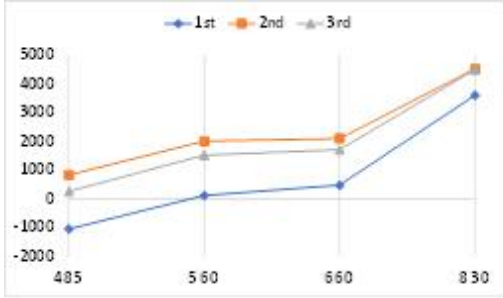
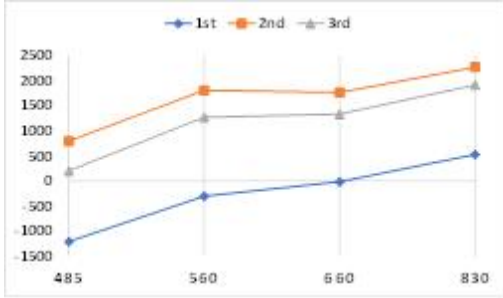


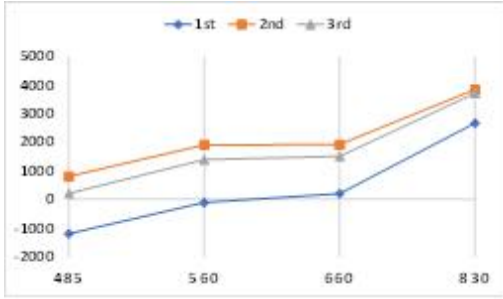
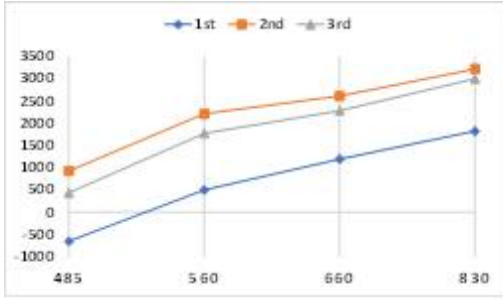

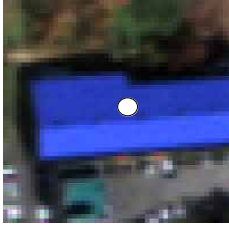
<표 3-10> 절대복사보정계수 대기보정 결과

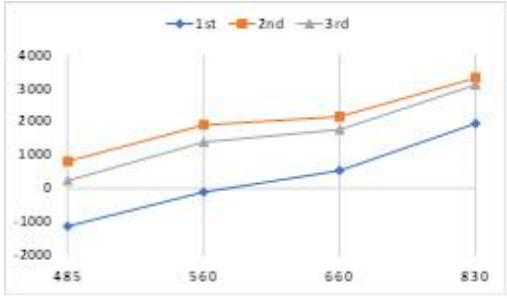
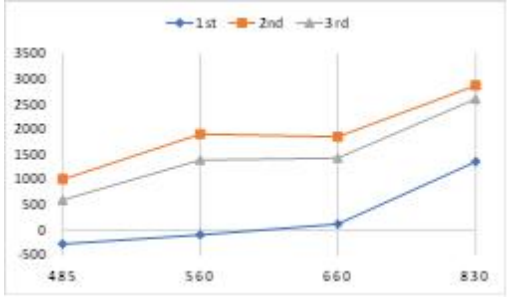


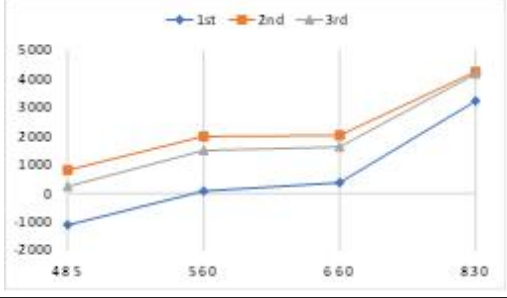
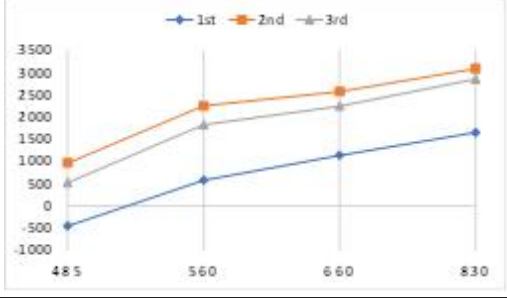
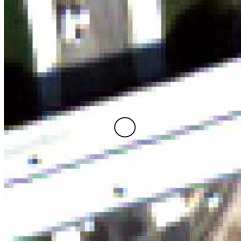

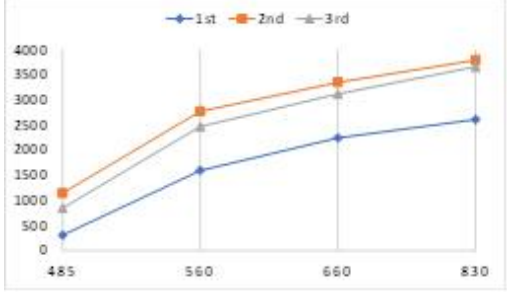
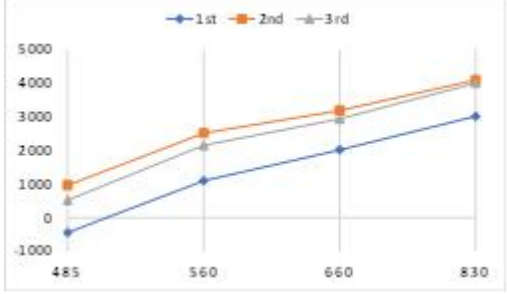


<그림 3-16> 음의 값의 나온 예(붉은색, 3rd)

토지 피복별로 보았을 때 반사도의 패턴은 유사하였으며 반사도 값은 전체적으로 1st에서 가장 낮게 나왔으며 2nd, 3rd 반사도 값이 유사하였으나 2nd이 조금 더 높았다.

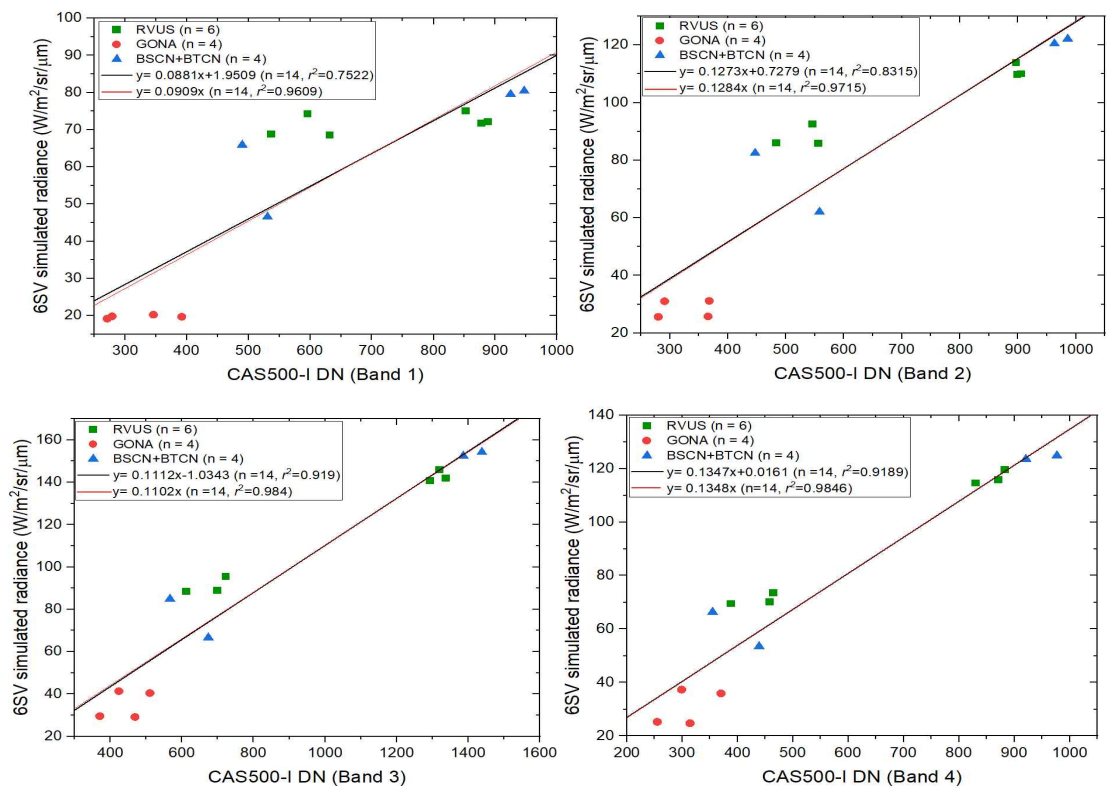
<표 3-11> 복사보정 계수 따른 피복별 대기보정 결과

피복	1. 천연잔디	2. 담수(댐)
영상		
반사도		
피복	3. 침엽수	4. 휴경지
영상		
반사도		
피복	5. 활엽수	6. 파란지붕
영상		

반사도		
피복	7. 밭	8. 도로
영상		
반사도		
피복	9. 도로	10. 나지
영상		
반사도		

아래 내용은 1st 와 2nd 복사보정계수 산출 과정을 보여주고 있고, 1st 복사보정계수의 경우 offset이 없는 경우와도 추가적으로 비교해 보았다. 우선, 다양한 radiance의 범위가 반영된 1st 복사보정계수의 경우 높은 결정계수를 나타냈으며, 낮은 offset값을 보였다. 실제 대기보정 적용 시 음수를 포함한 낮은 반사율을 보였다. 이는 낮은 광학적 질의 국토위성영상의 영향으로 분석된다. 단, gain값만 사용했을 때와 offset도 같이 사용했을 때 기존 사례와 마찬가지로 대기보정 결과에

서 큰 차이가 나타나지 않는다.



<그림 3-17> 1st 복사보정계수 산출 (only gain mode vs. gain and offset mode 비교)

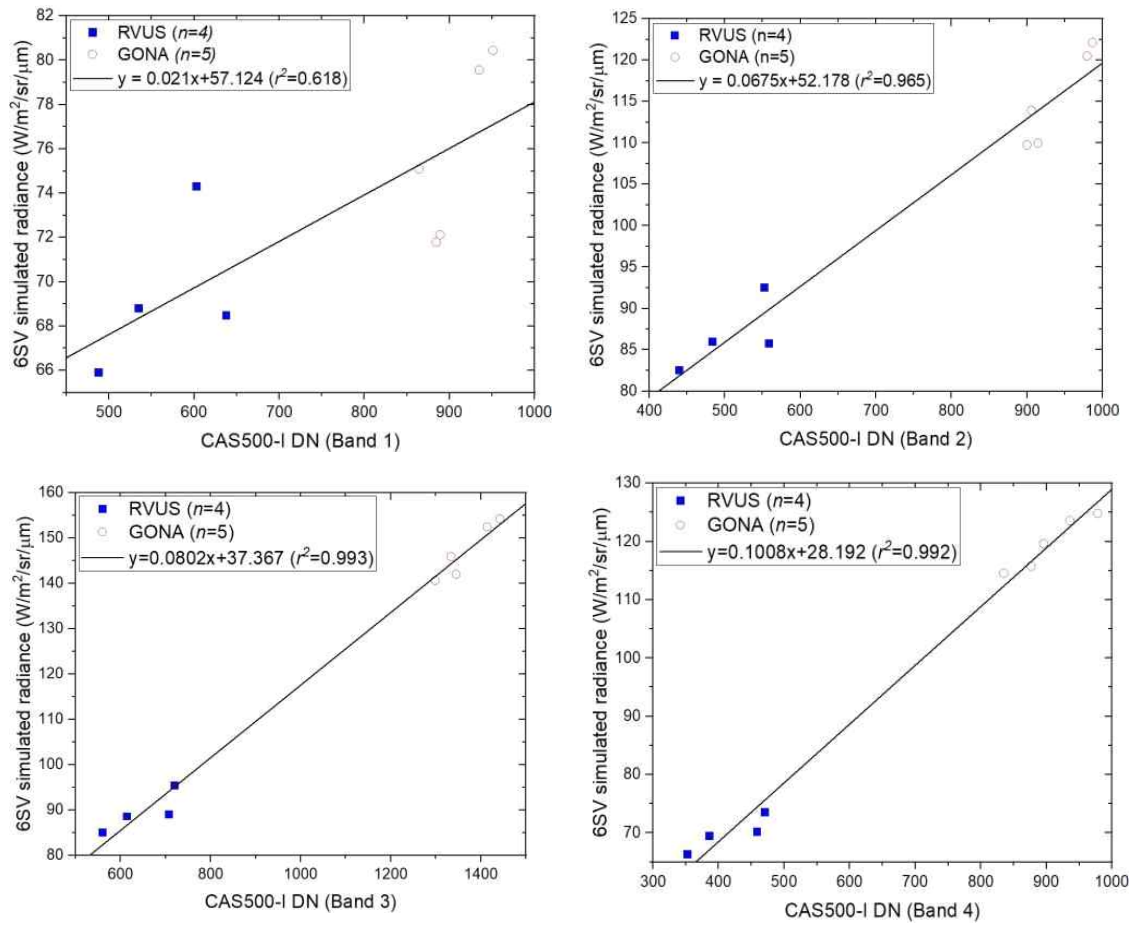
<표 3-12> 1st 복사보정계수 산출비교 결과 (only gain mode vs. gain and offset mode)

Gain 적용	Gain/Offset 적용
	



<그림 3-18> 1st 복사보정계수 (gain vs. gain & offset mode) 적용에 따른 지표물별 반사도 비교

2nd 절대복사보정계수는 3rd 절대복사보정계수에 비해 높은 결정계수를 나타냈으나, 미국 RVUS 사이트에 대한 보다 다양한 radiance값이 반영되지 못했으며, 대기보정 적용 결과 ASD 관측자료와 비교 시 모든 밴드에서 높은 반사율값이 나타났다.



<그림 3-19> 2nd 절대복사보정계수 산출을 위한 회귀식

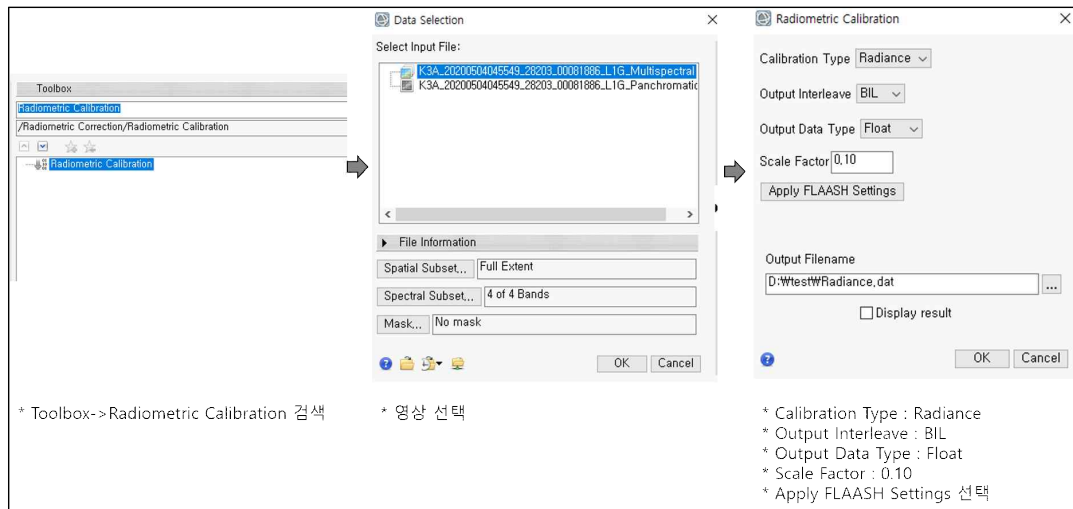
3) FLAASH 기반 절대대기보정 방법

ENVI는 위성영상 처리하고 분석하는 대표적인 상용 프로그램이다. ENVI에서 제공하는 대기보정 모듈 중에 Spectral Sciences사와 미공군 연구기관(AFRL)의 공동 개발한 FLAASH가 있다. FLAASH(Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes)는 MODTRAN 와 대기복사 전달 방정식을 결합한 모듈로, 각 이미지에 해당하는 대기 상태나 에어로졸 타입에 따라 표준 MODTRAN(MODerate resolution atmospheric TRANsmission) 모델을 선택하여 대기보정을 수행할 수 있다. 현재 ENVI는 버전 5.6까지 개발되었으며, 5.6 버전 ENVI에 포함된 FLAASH의 MODTRAN의 버전은 5.2이다.

가) FLAASH 입력자료

FLAASH 입력 자료는 BIL(Band Interleave-By Line) 또는 BIP(Band Interleave-By-Pixel) 포맷의 복사보정이 된 자료로, 데이터 형식은 부동소수점, 4바이트 부호 정수, 2바이트 부호 정수 또는 2바이트 부호 없는 정수이어야 하며 $\mu W/cm^2 * nm * sr$ 단위로 맞춰야 한다.

복사 보정은 아래의 방법으로 수행할 수 있다. 'Apply FLAASH Setting' 선택함으로 위의 조건에 만족하는 복사 보정된 자료를 처리할 수 있다.



<그림 3-20> ENVI 5.2에서 복사보정 방법

만약 ENVI5.2에서 지원하지 않는 위성영상의 경우 ASCII file(*.hdr)에 밴드별 gain/off 값을 입력해야 한다.

```
data gain values = {
    3.62000000e-02, 2.49000000e-02, 2.29000000e-02, 1.30000000e-02}
data offset values = {
    -2.21416000e+01, -1.40210000e+01, -1.30457000e+01, -1.02834000e+01}
```

<그림 3-21> KOMPSAT-3A의 gain/off 입력 예시

나) FLAASH 기능 설명

(1) 자료 입출력 입력

<그림 3-22> 자료 입출력 화면 예시

- Input Radiance Image : FLAASH 입력 자료는 BIL(Band Interleave-By Line) 또는 BIP(Band Interleave-By-Pixel) 포맷의 복사보정이 된 자료로, 데이터 형식은 부동소수점, 4바이트 부호 정수, 2바이트 부호 정수 또는 2바이트 부호 없는 정수이어야 하며, ASCII file(*.hdr)에 파장정보, 단위정보가 포함되어 있어야 한다. 자료 입력 시 Scale factor에 대한 정보를 묻는 창이 생성된다. 'Read array of scale factors (1 per band) from ASCII file'은 밴드별로 ASCII file을 이용해서 scale factors를 적용하는 방법과 'Use single scale factor for all bands'를 선택하여 모든 밴드에 동일하게 scale factors 적용하여 값의 범위를 조정할 수 있다.
- Output Reflectance File : 대기보정이 완료된 결과 파일의 저장소 및 파일명을 입력한다.
- Output Directory for FLAASH : 대기보정 결과 파일 이외 FLAASH 모듈로 처리하면서 생성되는 보조 파일 저장소를 입력한다.

(2) 영상 및 센서 정보 설정

‘Sensor Type’에 항목에 포함된 센서(ENVI에서 지원하는)의 경우 해당 센서를 선택하였을 때 ‘Scene Center Location’, ‘Sensor Altitude’, ‘Flight Date’ Flight Time’ 이 자동으로 입력되지만, 그렇지 않으면 ‘Sensor Type’-> ‘UNKNOWN-MSI’ 선택 후 수동으로 입력한다.

<그림 3-23> 영상 및 센서 정보 입력 예시

⇒ 국토위성의 경우 ‘Sensor Type’-> ‘UNKNOWN-MSI’ 선택 후 메타데이터 파일에 포함된 아래의 정보를 수동으로 입력한다.

- Scene Center Location : 영상의 중심점의 위경도
- Sensor Type : ENVI가 지원하는 센서 목록 선택 가능
- Sensor Altitude : 영상 촬영시 센서의 고도
- Ground Elevation : 해수면 위의 평균 고도
- Pixel Size : 한 화소의 공간적 크기(공간해상도)로 인접효과 보정시 사용되는 자료이며, 연직으로 촬영되지 않았을 때 가장 큰 공간적 범위를 가지는 화소의 공간적 크기
- Flight Date : 영상 촬영일
- Flight Time GMT : 영상 촬영시간으로 세계시 기준

(3) 대기보정 모델 설정값 입력

FLAASH를 이용하여 대기보정을 수행하기 위해서 Atmospheric Model, Aerosol Model을 촬영시점의 환경에 맞게 설정해야 한다. 수증기나 에어로졸 값을 추정할 수 있는 밴드를 가진 자료일 경우(보통은 초분광 센서자료) ‘Water Retrieval’, ‘Aerosol Retrieval’을 통해 자세한 보정을 수행할 수 있다. ‘Water Retrieval’, ‘Aerosol Retrieval’의 대한 밴드 설정 ‘Multispectral Settings’에서 입력한다.

<그림 3-24> 대기보정 모델 설정값 입력 예시

Atmospheric Model은 표준 MODTRAN 대기모델 중의 하나를 선택한다. 대기모델의 선택 기준은 대기 수증기 농도로 해수면부터 센서 고도까지의 3차원 대기층에 포함된 수증기량(column water vapor amount)을 의미한다. 각 모델에 대한 수증기 농도는 아래와 같다. 만약 대기 수증기 농도 정보가 없다면 표면 대기 온도로 선택할 수 있으며, 대기 수증기 농도 정보가 없다면 계절-위도-표면 온도 기반한 대기 모델을 이용할 수 있다.

<표 3-13> 수증기 및 표면 대기온도에 따른 대기 모델

Model Atmosphere	O3 (std atm-cm)	Water Vapor (g/cm2)	Surface Air Temperature
Sub-Arctic Winter (SAW)	518	0.42	-16 °C or 3 °F
Mid-Latitude Winter (MLW)	1060	0.85	-1 °C or 30 °F
U.S. Standard (US)	1762	1.42	15 °C or 59 °F
Sub-Arctic Summer (SAS)	2589	2.08	14 °C or 57 °F
Mid-Latitude Summer (MLS)	3636	2.92	21 °C or 70 °F
Tropical (T)	5119	4.11	27 °C or 80 °F

<표 3-14> 계절-위도-표면 온도 기반한 대기 모델

Latitude(°N)	Jan.	March	May	July	Sept.	Nov.
80	SAW	SAW	SAW	MLW	MLW	SAW
70	SAW	SAW	MLW	MLW	MLW	SAW
60	MLW	MLW	MLW	SAS	SAS	MLW
50	MLW	MLW	SAS	SAS	SAS	SAS
40	SAS	SAS	SAS	MLS	MLS	SAS
30	MLS	MLS	MLS	T	T	MLS
20	T	T	T	T	T	T
10	T	T	T	T	T	T
0	T	T	T	T	T	T
-10	T	T	T	T	T	T
-20	T	T	T	MLS	MLS	T
-30	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS	MLS
-40	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS	SAS
-50	SAS	SAS	SAS	MLW	MLW	SAS
-60	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-70	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW	MLW
-80	MLW	MLW	MLW	SAW	MLW	MLW

Water Retrieval(Yes)는 정확한 대기보정을 위해서는 픽셀에 대한 열 수증기량의 정보가 필요하며 FLAASH는 각 픽셀에 대한 수증기의 양을 추정하는 방법을 포함한다. 수증기량을 추정을 위해서는 15nm를 이상의 분광 분해능을 가진 아래의 밴드 중 하나에는 포함되어야 한다.

- 1050-1210 nm
- 770-870 nm
- 870-1020 nm

1135nm가 수증기량을 추정하는데 가장 적절한 밴드이다. 다중분광영상의 경우 'Multispectral Settings'에서 수동으로 밴드를 선택 할 수 있다. Water Retrieval(No)는

Atmospheric Model에서 선택한 대기 모델에서 정의한 수증기량을 일정하게 적용하며, 'Water Column Multiplier'로 수증기량을 곱할 수 있다.

⇒ 국토위성의 경우 해당하는 밴드가 없으므로 'No'를 선택한다.

Aerosol Model은 표준 MODTRAN에서 정의된 에어로졸과 헤이즈 형태를 선택한다. 가시가 높다면 영향을 크게 미치지 않는다(가시거리 : 40km 이상). Rural는 도시 또는 산업 공급원의 영향을 크게 받지 않는 지역에 적합하며 에어로졸로 입자 크기는 큰 것과 작은 것이 혼합되어 있다. Urban은 80%의 시골 에어로졸과 20%의 그을음 같은 에어로졸이 혼합된 고밀도 도시 및 산업 지역에 적합하다. Maritime은 바다에서 부는 바람이 많은 지역이나 대륙 경계층에 적합하며, Tropospheric은 시정거리가 40km를 초과하는 지역에 적합하며 시골 모델의 작은 입자 구성요소로 구성된다.

Aerosol Retrieval의 FLAASH는 Kaufman 등(1997)에 기반한 어두운 픽셀 반사 비율 방법을 사용해 에어로졸 양을 추정하고 영상의 평균 가시성을 추정하는 방법으로 대기보정의 정확도를 높일 수 있다. None은 'Aerosol Retrieval' 기능을 사용하지 않는다면 'Initial Visibility (tm)'에 입력된 값을 사용한다. 2-Band (K-T)는 어두운 픽셀 반사 비율 방법을 사용하며, 적합한 어두운 픽셀이 없다면 'Initial Visibility (tm)'을 사용한다. 다중분광영상의 경우 'Multispectral Settings'에서 수동으로 밴드를 선택 할 수 있다.

⇒ 국토위성의 경우 해당하는 밴드가 없으므로 'None'을 선택한다.

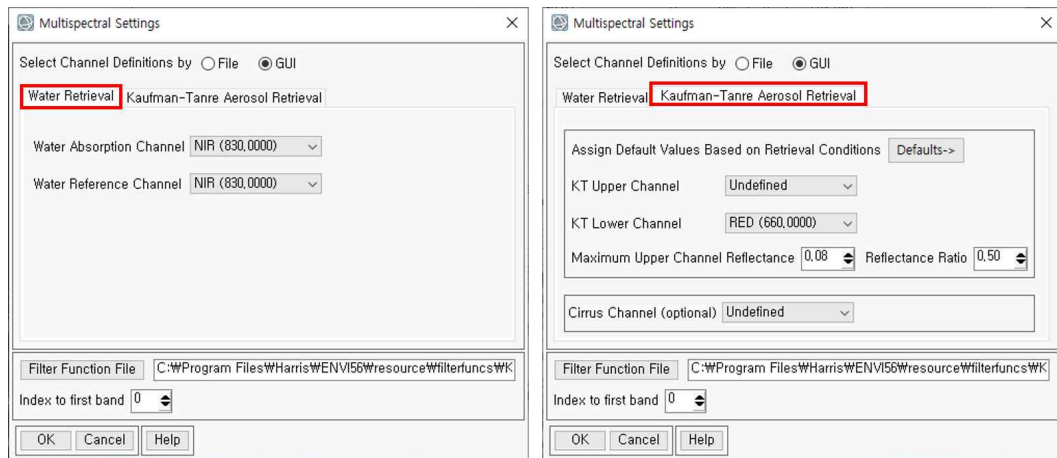
Initial Visibility는 가시도를 입력한다. 기상상황에 따른 대략적인 가시도는 아래와 같다.

<표 3-15> 기상 상황을 기반한 가시도

Weather Condition	Scene Visibility
Clear	40 to 100 km
Moderate Haze	20 to 30 km
Thick Haze	15 km or less

Multispectral Settings은 FLAASH 대기 보정 모델을 적용할 때는 수증기 또는 에어로졸 추정 에 사용되는 밴드를 적절하게 선택한다. FLAASH에서 사전 정의된 파장 범위에 따라 기본 파장대역을 선택한다. 'Multispectral Settings'은 대기보정 모델 설정값 창 좌하단에 위치한다.

⇒ 국토위성의 경우 해당하는 밴드가 없으므로 ‘Undefined’으로 선택한다.



<그림 3-25> 다중분광 설정값 입력 예시

Multispectral Settings(Water Retrieval(Yes))은 대기보정 모델 설정값 창의 ‘Water Retrieval’에서 ‘Yes’를 선택하였다면 해당 항목에 맞는 파장을 선택한다. Multispectral Settings(Kaufuman-Tanre Aerosol Retrieval(Yes))는 대기보정 모델 설정값 창의 ‘Aerosol Retrieval’에서 ‘2-Band(K-T)’를 선택하였다면 해당 항목 맞는 파장을 선택한다.

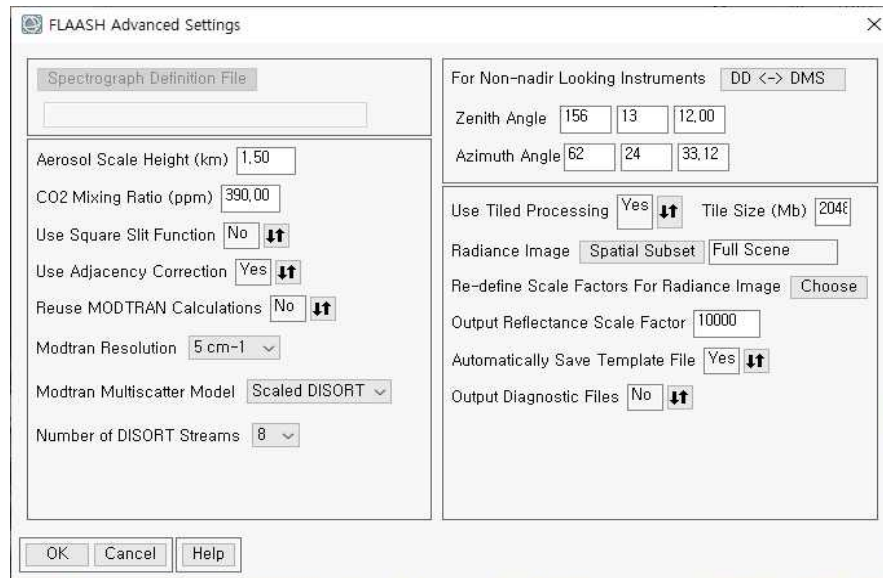
<표 3-16> 항목별 최적 파장대역

Water Retrieval	1135 nm	absorption	1117 - 1143 nm
		reference upper wing	1184 - 1210 nm
		reference lower wing	1050 - 1067 nm
	940 nm	absorption	935 - 955 nm
		reference upper wing	870 - 890 nm
		reference lower wing	995 - 1020 nm
	820 nm	absorption	810 - 830 nm
		reference upper wing	850 - 870 nm
		reference lower wing	770 - 790 nm
Aerosol Retrieval	KT upper		2100 - 2250 nm
	KT lower		640 - 680 nm
Cloud Masking	cirrus clouds		1367 - 1383 nm

Filter Function File은 다중 분광 센서의 경우 필터 기능 파일을 사용하여 SRF(Spectral Response Function)를 정의해야 한다. ‘Filter Function File’ 클릭하여 다중 스펙트럼 센서의 Filter Function File을 선택한다. Filter Function File은 ENVI 스펙트럼 라이브러리 형식 파일이어야 하며, 센서의 Filter Function에 각 밴드 대역이 연속적으로 나열되어 있어야 한다.

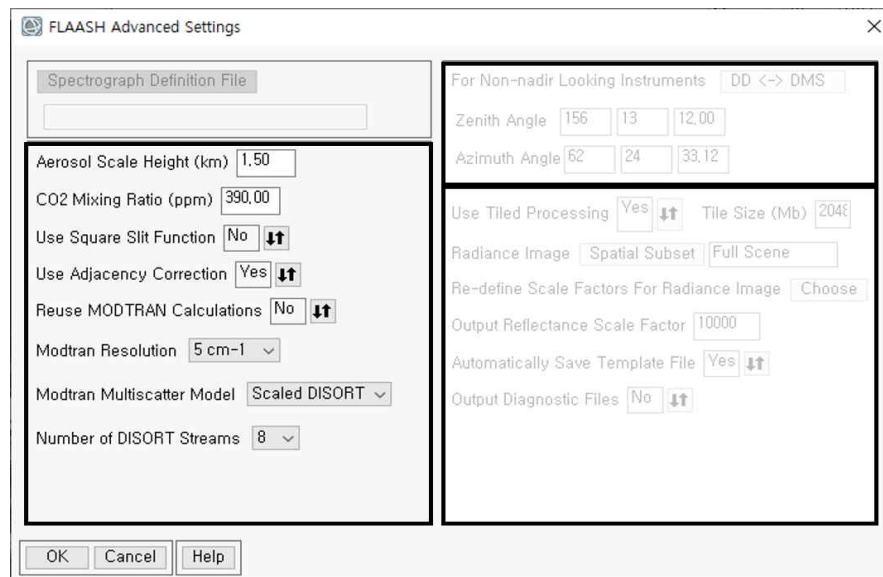
⇒ 국토위성은 신규위성으로 ENVI에 내장되어 있지 않으므로 국토 위성 전용 Filter Function File 은 생성해야 하며, ENVI에 요청하거나 SRF(Spectral Response Function)을 이용하여 ENVI 형 식로 직접 생성해야 한다.

FLAASH Advanced Settings은 ‘FLAASH Advanced Settings’은 모델입력자료, 촬영각 기하 정보, FLAASH 처리 컨트롤로 구성되어 있다.



<그림 3-26> FLAASH 기능 항상 설정값

FLAASH 모델 입력자료에 대한 설명은 아래와 같다.

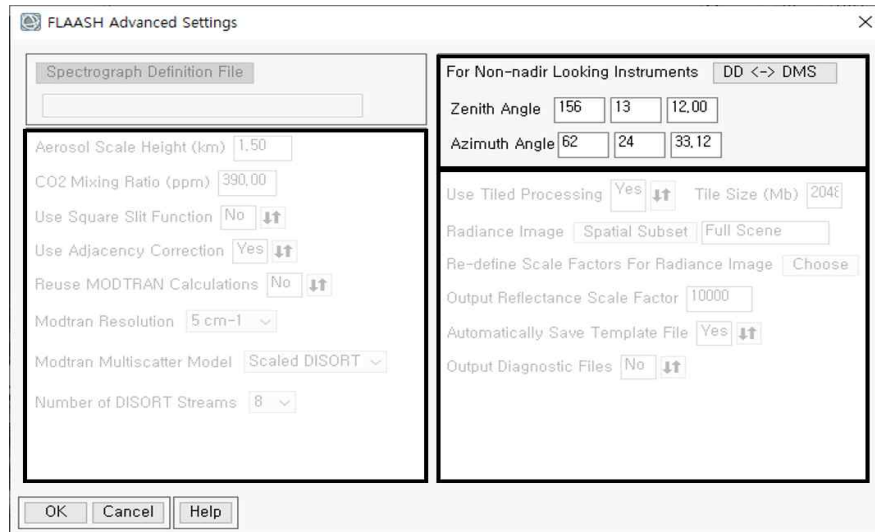


<그림 3-27> FLAASH 기능항상 설정값 입력 예시

- Aerosol Scale Height : 에어로졸 수직 프로파일의 유효 높이를 km 단위로 입력한다. 일반적인 값은 1~2km이며, 기본값은 1.5km이다.
- CO2 Mixing Ratio (ppm) : 이산화탄소(CO2) 혼합 비율을 부피별로 백만 분의 일로 입력한다. 2001년 수치는 약 370ppm이었으며 보다 좋은 결과를 얻기 위해 실제 값에 20ppm을 더한 값을 입력한다. 기본값은 390ppm이다.
- Use Square Slit Function : 파생된 대역의 SR(분광반응)모델을 더 좋게 하는 기능으로 LASH와 같은 초분광위성영상 보정시 선택한다.
- Use Adjacency Correction : 인접 보정 사용 여부 선택하는 것으로, 좀 더 정확한 대기보정 결과를 위해 선택한다.
- Reuse MODTRAN Calculations : 이전 MODTRAN 계산을 재사용할지 여부를 선택하는 기능으로 이전의 MODTRAN 계산에서 사용된 acc_modroot파일(FLAASH output directory에 있는)이 있다면 동일한 조건에서 촬영한 여러 이미지를 신속하게 처리할 수 있다.
- Modtran Resolution : MODTRAN 스펙트럼 분해능과 속도 대 정확도의 균형을 제어하는 기능으로 해상도가 낮을수록 속도는 향상되지만 정확도는 떨어진다. 정확도의 주요 차이는 2000nm와 그 이상에서 볼 수 있으며, 초분광 센서를 입력으로 선택할 때는 5cm⁻¹ 해상도가 기본값이지만 다중 스펙트럼 센서를 선택할 때는 15cm⁻¹로 변경된다.
- Modtran Multiscatter Model : MODTRAN4에서 사용할 다중 산란 알고리즘으로 단파(~1000nm 미만) 보정에 DISORT 모델 또는 Scaled DISORT이 가장 정확하다. Scaled DISORT이 처리속도가 DISORT 모델보다 빠르다.

⇒ 국토위성의 경우 Aerosol Scale Height : 1.5, CO2 Mixing Ratio (ppm) :390.00, Use Square Slit Function : No, Use Adjacency Correction : Yes, Reuse MODTRAN Calculations :No, Modtran Resolution : 15m⁻¹, Modtran Multiscatter Model : Scaled DISORT, Number of DISORT Stream :8 로 설정한다.

위성영상 자료가 연직촬영이 아닌 경우 촬영각의 기하정보를 수동으로 입력해주어야 한다.

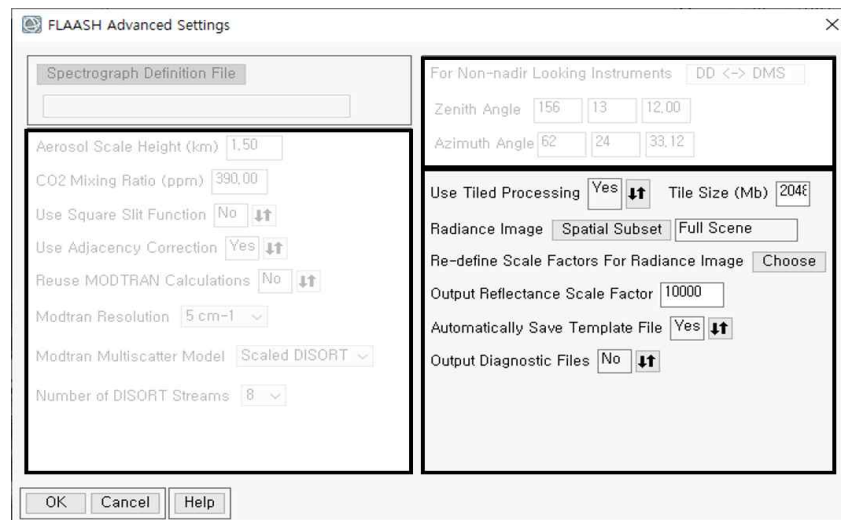


<그림 3-28> FLAASH 촬영각 기하정보 입력 예시

- Zenith Angle : 천정각은 센서에서 방향과 천정 사이의 각도로 정의된다(예: 연직 촬영 일 때 180도). 천정각 양수여야 하며 90도에서 180도 사이이다.
- Azimuth Angle : 방위각은 지면에서 볼 때 센서의 방위각으로 방위각 값은 -180도에서 180도 사이이다.(예: 센서의 방위각이 90도인 경우 지면에서 방위각은 -90도)

⇒ 국토위성의 경우 Zenith Angle = 180- offnadir, Azimuth Angle = Sensor Azimuth Angle- 180로 입력한다.

FLAASH의 처리 컨트롤 기능은 다음과 같다.



<그림 3-29> FLAASH 처리 컨트롤 기능 입력 예시

- Use Tiled Processing : 타일 처리 사용 여부를 선택하는 기능으로 자료 처리시 조각으로 나누어 처리 후 다시 재조합하여 결과물을 생성한다. 'Yes'를 선택하며 'Tile size'를 입력하게 된다. 입력값은 100MB ~ RAM 75% 사이 값이다.
- Spatial Subset : Map info, AOI, evf, shp 파일을 이용하여 대기보정할 공간적 범위를 선택한다.
- Re-define the scale factors for Radiance image : 복사보정 파일 입력 시 설정했던 Scale factor 다시 입력하여 처리할 수 있다. (참고, 'Input Radiance Image')
- Output Reflectance Scale Factor : 기본적으로 10000으로 설정되어 있으며, 대기보정 결과 값을 2바이트로 정수로 저장할 수 있는 설정값이다.
- Automatically Save Template File : FLAASH 입력자료가 저장된 template file을 'Output Directory for FLAASH'에서 설정된 저장공간에 자동 저장한다.
- Output Diagnostic Files : 초분광 및 다중분광 위성영상의 채널 정의 파일을 포함한 중간 데이터 파일의 생성 여부를 선택하는 기능이다. 중간 파일은 FLAASH로 자료 처리하는 동안 문제가 발생하였을 때 사용한다. 중간 파일을 생성하기 위해서 'No'로 선택한다.

⇒ 국토위성의 경우 Use Tiled Processing: Yes, Tile Size : 100MB ~ RAM 75% (기본값 사용), Spatial Subset : 필요시, Re-define the scale factors for Radiance image : 필요시, Output Reflectance Scale Factor : 10000, Automatically Save Template File : Yes, Output Diagnostic Files : No로 선택한다.

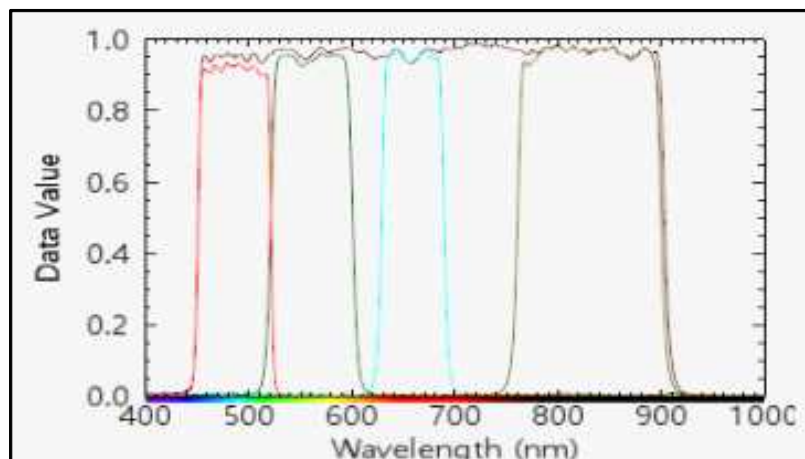
4) FLAASH 기반 절대대기보정 결과

가) 국토위성영상의 대기보정 결과 비교 분석

복사보정계수를 적용한 복사보정 영상을 입력하여 FLAASH 대기 보정을 거쳐 국토위성용 표면 반사율 영상 생성하였다. 이번 달 의왕지역을 추가하여 총 5개 지역에 대한 CAS(국토위성) 영상을 처리하였다. 5개 지역의 대기보정 입력자료와 Filter Function File은 아래와 같다.

<표 3-17> FLAASH 대기보정 입력자료

	지역	촬영시간 (UST)	촬영고도 (km)	지표면 고도 (km)	대기 모델	에어로 졸모델	가시거리 (km)	센서천장각	센서방위각
1	화성시	2021.11.17. 02:15:52	497.8	0.03	MLW	rural	16.68	158.31	82.13
2	단양군	2021.12.17. 01:58:55	501.4	0.37	SAS	rural	20	177.29	-99.05
3	의왕시	2022.02.17. 02:03:24	507.1	0.037	SAW	urban	19.94	176.80	-98.82
4	부령군 (북한)	2021.11.04. 01:45:38	510.3	0.23	SAS	rural	20	166.97	-100.79
5	신평군 (북한)	2021.12.12. 02:02:30	502.1	0.3	SAS	rural	10	171.39	-99.91
6	수원시	2021.10.24. 02:14:10	509.2	0.04	SAS	urban	15.87	161.38	81.83
7	수원시	2021.12.12. 02:02:03	501.9	0.02	SAS	urban	11.93	171.39	-99.66
8	의왕시	2021.12.12. 02:02:05	501.9	0.3	SAS	rural	11.93	171.39	-99.67
9	화성시	2022.02.17. 02:03:25	507.1	0.04	SAS	rural	19.94	176.80	-98.82

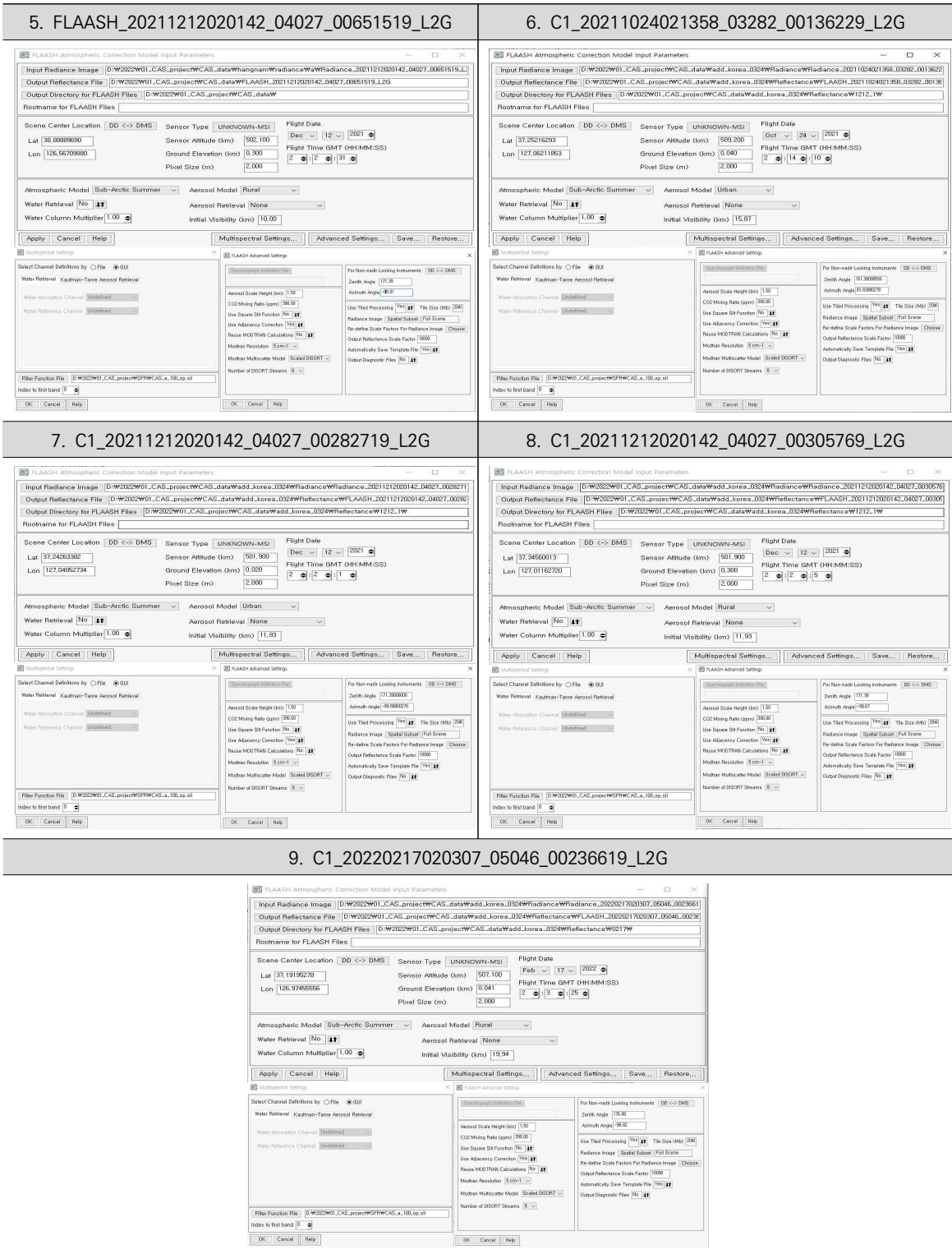


<그림 3-30> Filter Function File

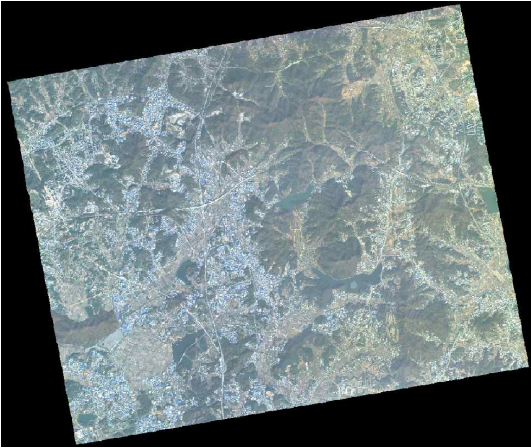
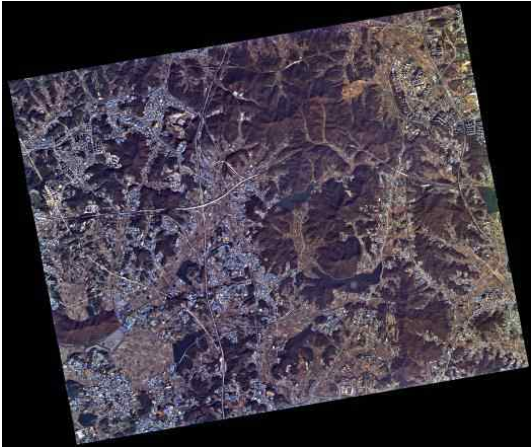
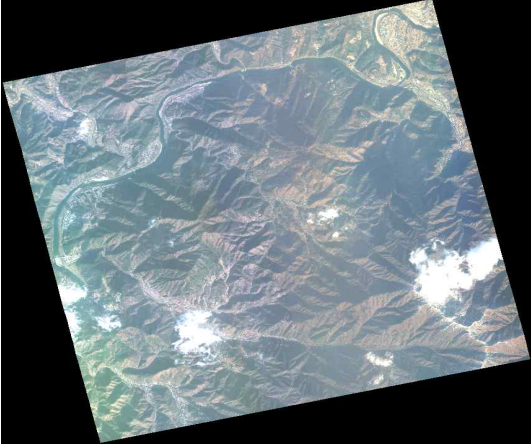
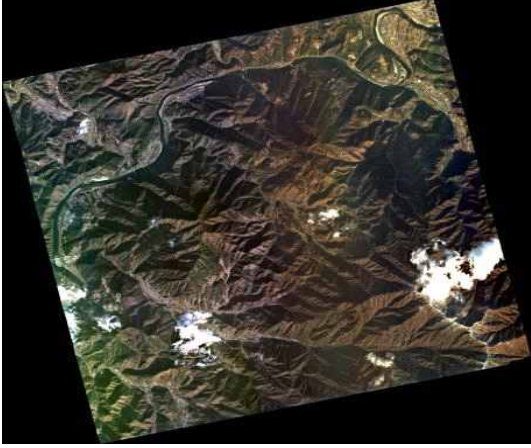

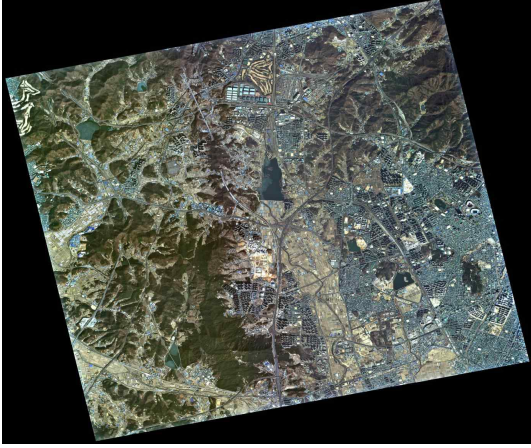
FLAASH의 입력 자료 중에 촬영 시간, 촬영 고도, 센서천정각, 센서방위각은 L1B에서 제공하는 *_Aux.xml에서 획득하였다. 센서천정각과 센서방위각은 FLAASH에 읽을 수 있는 값으로 재변환하여 입력하였다. 대기모델 입력자료의 경우 FLAASH에서 제공하는 수증기 및 표면 대기온도에 따른 대기 모델과 계절-위도-표면 온도 기반한 대기 모델에 맞춰 대기 모델을 선택하였다. 화성 지역(1)과 의왕지역(3)은 MODIS의 Water Vapor를 기반하여 선택하였고, 그 외 지역의 경우 정확한 정보 획득에 어려움이 있어 계절-위도-표면 온도 기반하여 대기 모델을 선택하였다. 예를 들어 화성시의 Water Vapor는 0.62g/cm2, 의왕시의 Water Vapor는 0.255g/cm2이기 때문에 각 MLW와 SAW를 선택하여 대기보정을 수행하였다. 계절-위도-표면 온도 기반하여 대기 모델을 활용하여 대기모델을 활용한 북한 지역 부령군의 경우 11월에 촬영하였고 중심 위도가 41.9도이기 때문에 가장 근접한 SAS 선택하여 대기보정을 수행하였다. 에어로졸 모델은 영상에서 대부분을 차지하는 피복의 형태에 따라 입력하였다. 가시거리는 기상청에서 제공하는 자료를 활용하였으며 지표면의 고도는 DEM 정보가 획득 가능한 지역은 DEM을 활용하였으며 불가능한 지역은 구글어스에서 제공하고 고도정보를 활용하였다.

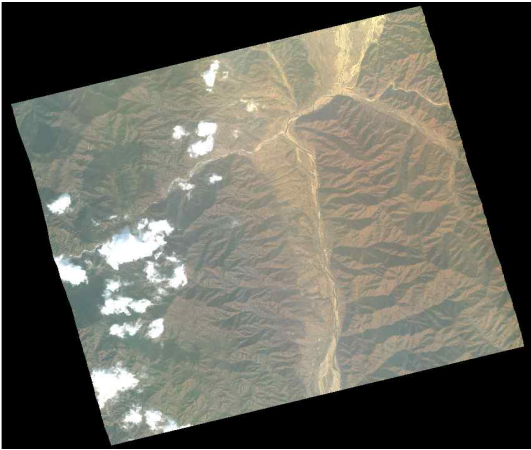


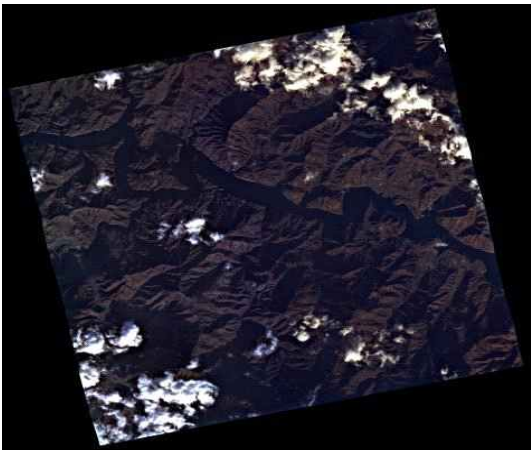


<표 3-18> 대기보정 입력자료가 들어간 FLAASH GUI

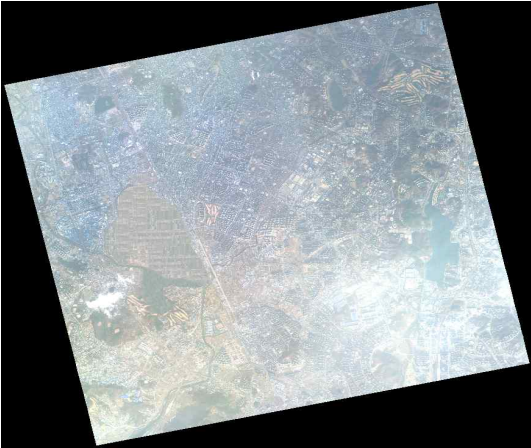

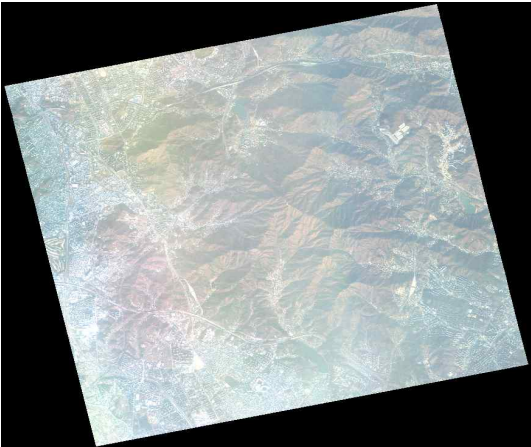

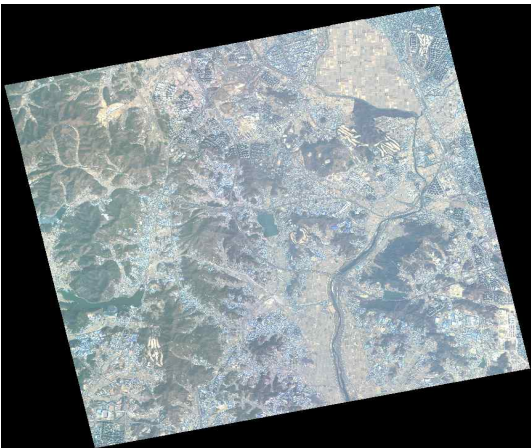
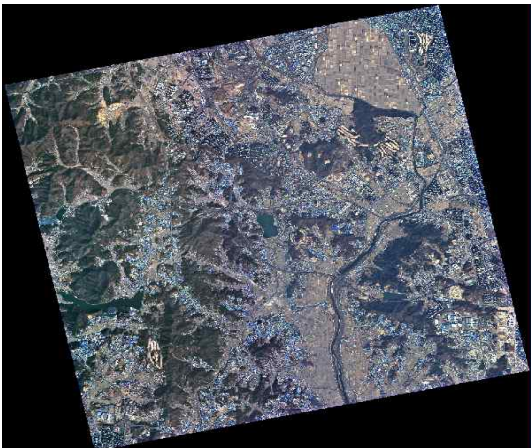
1. FLAASH_20211117021545_03647_00070141_L2G	2. FLAASH_20211217015822_04103_00444810_L2G



<표 3-19> 5개 지역 대기보정 결과영상

<p>절대대기보정 전 C1_20211117021545_03647_00070141_L2G</p> 	<p>절대대기보정 후 FLAASH_20211117021545_03647_00070141_L2G</p> 
<p>절대대기보정 전 C1_20211217015822_04103_00444810_L2G</p> 	<p>절대대기보정 후 FLAASH_20211217015822_04103_00444810_L2G</p> 
<p>절대대기보정 전 C1_20220217020307_05046_00259669_L2G</p> 	<p>절대대기보정 후 FLAASH_20220217020307_05046_00259669_L2G</p> 

<p>절대대기보정 전 C1_20211104014533_03449_00050757_L2G</p> 	<p>절대대기보정 후 FLAASH_20211104014533_03449_00050757_L2G</p> 
<p>절대대기보정 전 C1_20211212020142_04027_00651519_L2G</p> 	<p>절대대기보정 후 FLAASH_20211212020142_04027_00651519_L2G</p> 
<p>절대대기보정 전 C1_20211024021358_03282_00136229_L2G</p> 	<p>절대대기보정 후 FLAASH_20211024021358_03282_00136229_L2G</p> 

<p>절대대기보정 전 C1_20211212020142_04027_00282719_L2G</p> 	<p>절대대기보정 후 FLAASH_20211212020142_04027_00282719_L2G</p> 
<p>절대대기보정 전 C1_20211212020142_04027_00305769_L2G</p> 	<p>절대대기보정 후 FLAASH_20211212020142_04027_00305769_L2G</p> 
<p>절대대기보정 전 C1_20220217020307_05046_00236619_L2G</p> 	<p>절대대기보정 후 FLAASH_20220217020307_05046_00236619_L2G</p> 

<표 3-20> 단계별 파일 자료의 명칭

	지역	원시영상	복사보정 된 자료	대기보정 된 자료
1	화성시	C1_20211117021545_03647_00070141_L2G	Radiance_20211117021545_03647_00070141_L2G	FLAASH_20211117021545_03647_00070141_L2G
2	단양군	C1_20211217015822_04103_00444810_L2G	Radiance_20211217015822_04103_00444810_L2G	FLAASH_20211217015822_04103_00444810_L2G
3	의왕시	C1_20220217020307_05046_00259669_L2G	Radiance_20220217020307_05046_00259669_L2G	FLAASH_20220217020307_05046_00259669_L2G
4	부령군(북한)	C1_20211104014533_03449_00050757_L2G	Radiance_20211104014533_03449_00050757_L2G	FLAASH_20211104014533_03449_00050757_L2G
5	신평군(북한)	C1_20211212020142_04027_00651519_L2G	Radiance_20211212020142_04027_00651519_L2G	FLAASH_20211212020142_04027_00651519_L2G
6	수원시	C1_20211024021358_03282_00136229_L2G	Radiance_20211024021358_03282_00136229_L2G	FLAASH_20211024021358_03282_00136229_L2G
7	수원시	C1_20211212020142_04027_00282719_L2G	Radiance_20211212020142_04027_00282719_L2G	FLAASH_20211212020142_04027_00282719_L2G
8	의왕시	C1_20211212020142_04027_00305769_L2G	Radiance_20211212020142_04027_00305769_L2G	FLAASH_20211212020142_04027_00305769_L2G
9	화성시	C1_20220217020307_05046_00236619_L2G	Radiance_20220217020307_05046_00236619_L2G	FLAASH_20220217020307_05046_00236619_L2G

나) FLAASH 설정값에 따른 대기보정 결과 비교 분석

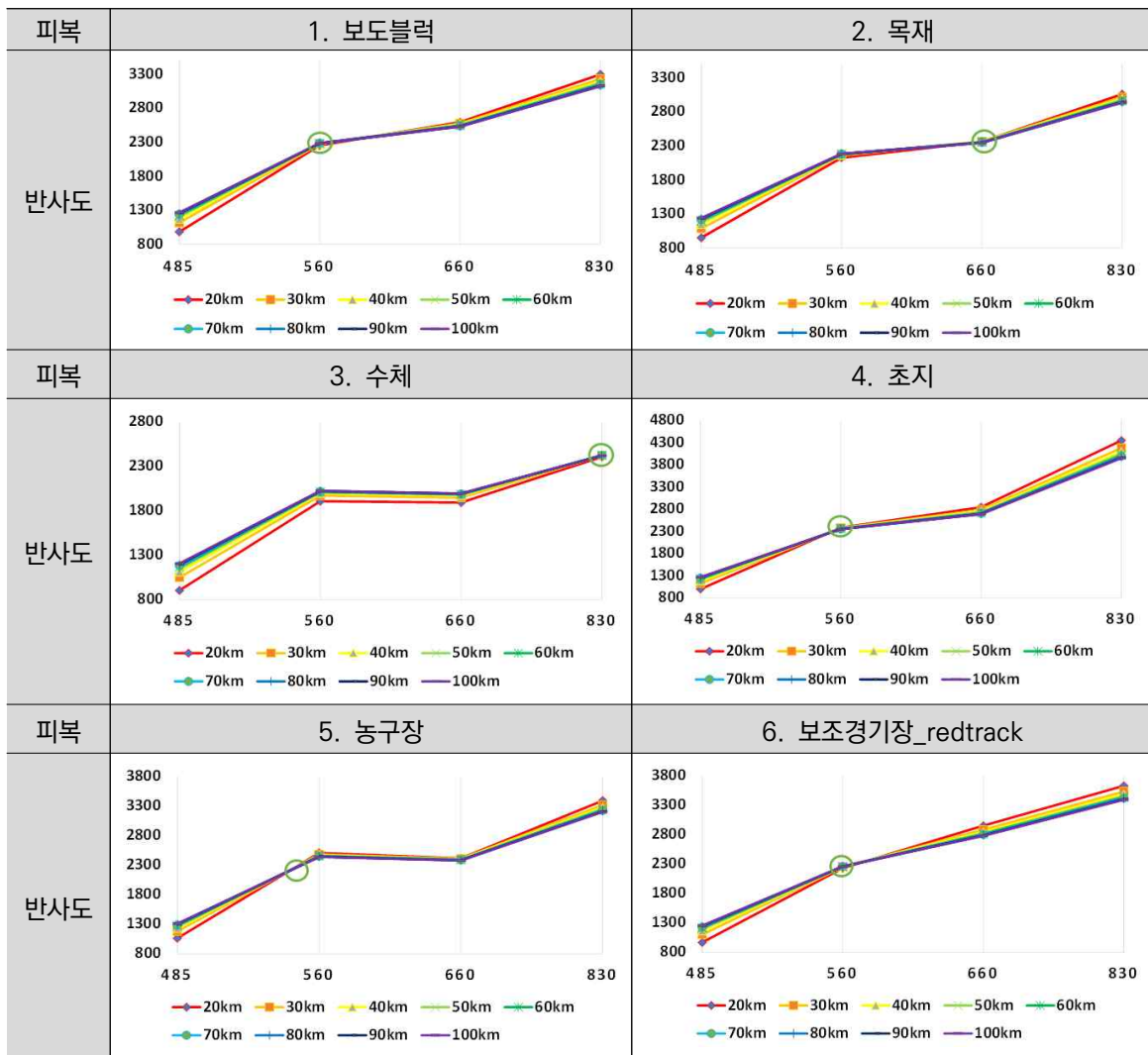
(1) 가시거리에 따른 피복별 대기보정 결과

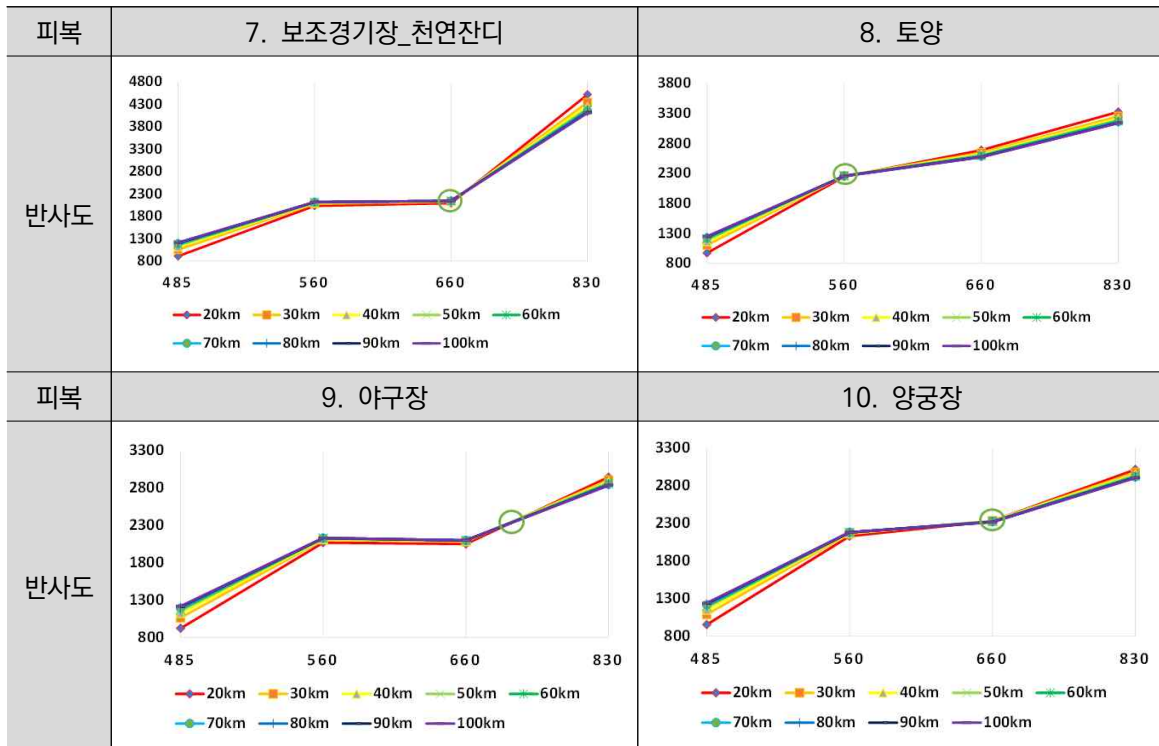
가시거리에 따른 피복별 반사도를 살펴보았을 때 가시거리에 따라 모든 피복에서 485nm에서는 가시거리가 적을수록 반사도가 낮고 830nm에서는 이와 반대로 가시거리가 짧을수록 반사도가 높았다. 피복에 따라 특정 지점(초록색 동그라미)에서 가시거리에 상관없이 거의 비슷한 값을 가졌으며, 특정 지점의 피복 특성에 따라 달라졌다. 또한, 특정 지점을 기준으로 가시거리에 따른 반사도의 패턴이 반대로 나타났다.

(2) 에어로졸 모델에 따른 피복별 대기보정 결과

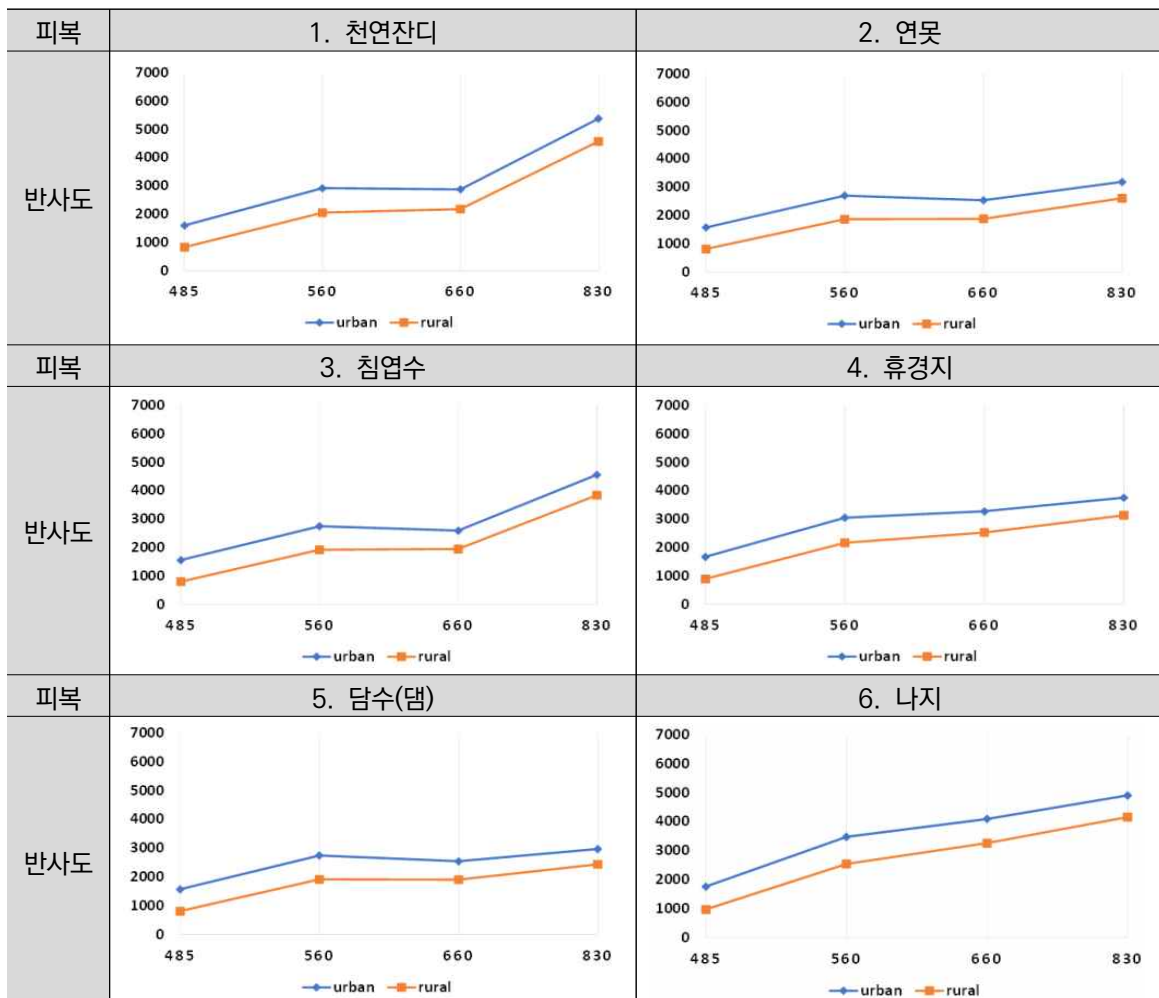
Urban과 Rural을 비교해 보았을 때 피복별 패턴을 유사하며 10개의 피복에서 평균적으로 485nm에서 772, 560nm에서 867, 660nm에서 727, 830nm에서 693 정도 urban에서 높은 것을 알 수 있었다.

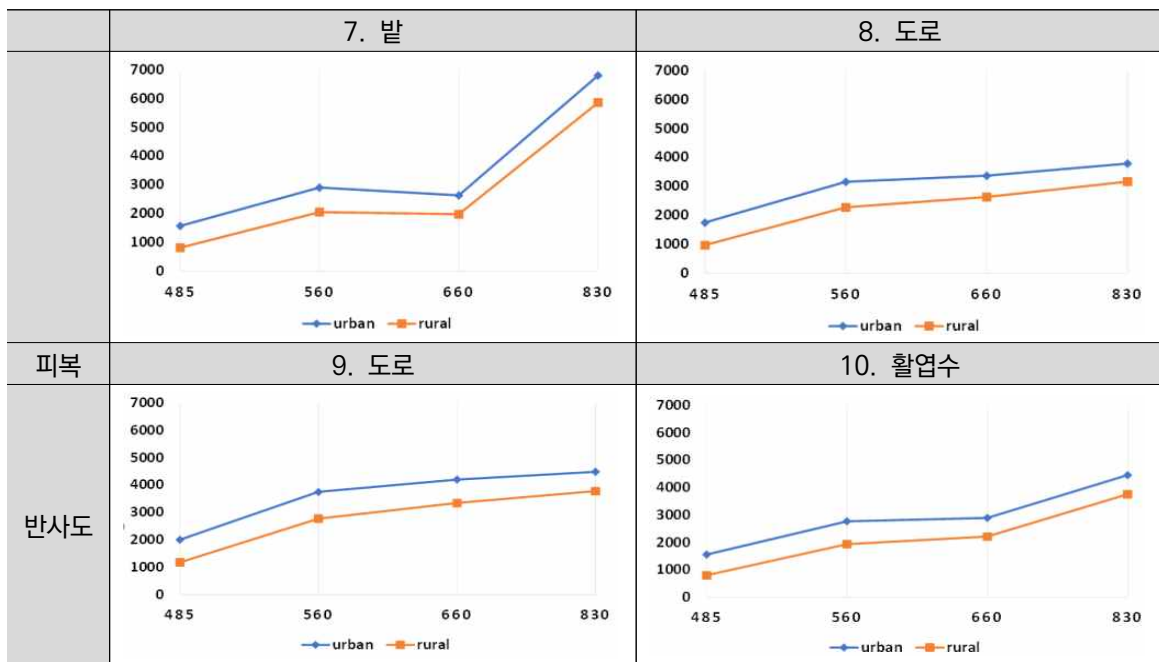
<표 3-21> 가시거리에 따른 피복별 대기보정 결과





<표 3-22> 에어로졸 모델에 따른 피복별 대기보정 결과



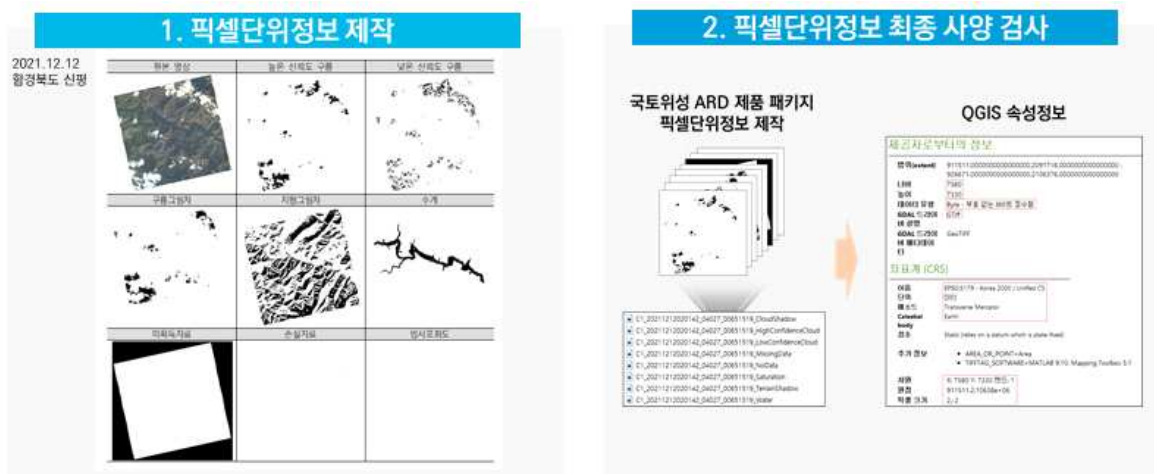


라. 픽셀단위정보 제작

본 절에서는 국토위성영상 및 보조자료를 기반으로 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보 제작에 사용된 자료와 절차, 결과에 대한 내용을 서술한다.

1) 픽셀단위정보 제작 결과




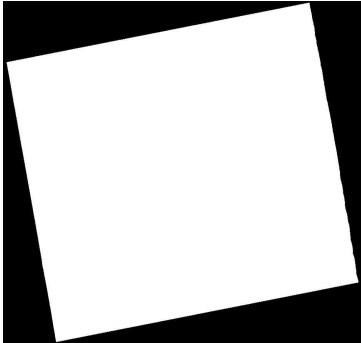
국토위성영상 및 보조자료를 기반으로 픽셀단위정보를 제작한 결과 예시는 아래 그림 3-31과 같으며, 픽셀단위정보 항목은 앞 장 픽셀단위정보 제공 방안에서 서술하였듯이 높은 신뢰도 구름/낮은 신뢰도 구름/구름그림자/지형그림자/수계/미확득자료/손실자료/방사포화도 8개 레이어를 제작하였다. QGIS 소프트웨어를 이용하여 도엽단위로 영상분할하기 이전에 시범제작한 픽셀단위정보가 사전에 정의된 제품 사양에 맞게 제작되었는지 검수를 수행하였다. 영상 크기 및 좌표체계, 파일 포맷이 원본 영상의 사양과 동일한지, 자료형은 Unsigned integer 8bit인지, 정상적으로 0과 1 값으로 구성된 이진 마스크 형태인지 중점적으로 확인하였다.



<그림 3-31> QGIS를 이용한 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 속성정보 확인

가) 경기도 수원1 (2021.10.24.)

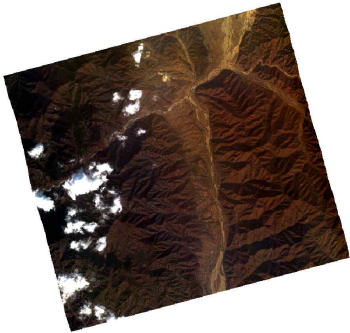




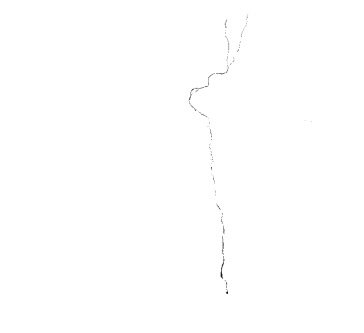
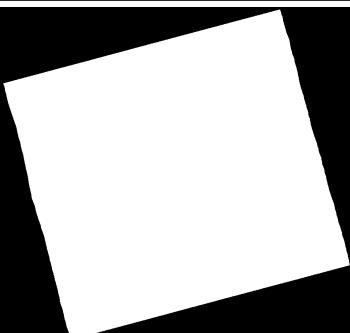
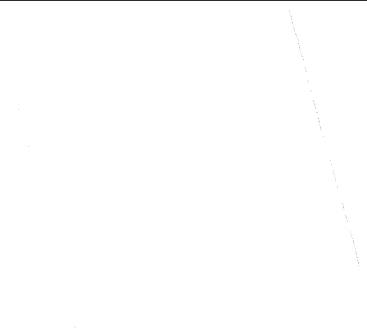

[흰색-0, 검은색-1 표시]

원본 영상	높은 신뢰도 구름	낮은 신뢰도 구름
		
구름그림자	지형그림자	수계
		
미획득자료	손실자료	방사포화도
		

<그림 3-32> 경기도 수원 지역1 (2021.10.24.) 픽셀단위정보 제작 결과

나) 황해북도 청진 (2021.11.04.)

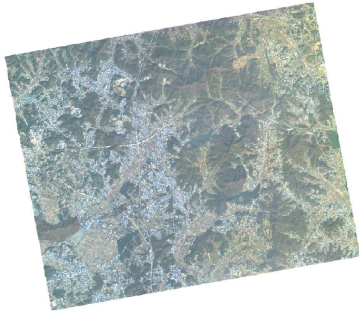



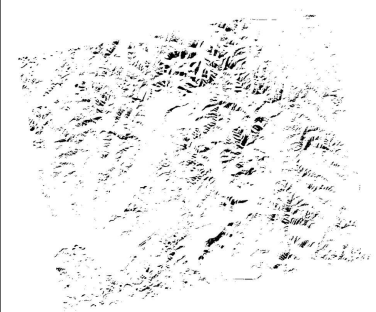

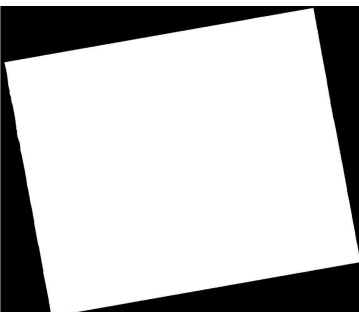


[흰색-0, 검은색-1 표시]

원본 영상	높은 신뢰도 구름	낮은 신뢰도 구름
		
구름그림자	지형그림자	수계
		
미획득자료	손실자료	방사포화도
		

<그림 3-33> 황해북도 청진 지역 (2021.10.24.) 픽셀단위정보 제작 결과

다) 경기도 화성 (2021.11.17.)







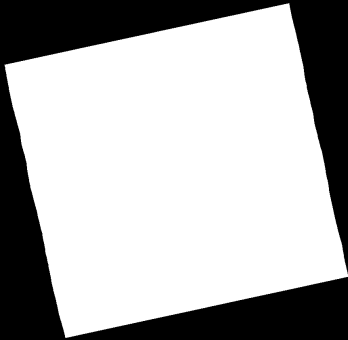
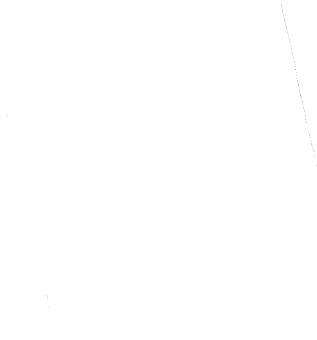

[흰색-0, 검은색-1 표시]

원본 영상	높은 신뢰도 구름	낮은 신뢰도 구름
		
구름그림자	지형그림자	수계
		
미획득자료	손실자료	방사포화도
		

<그림 3-34> 경기도 화성 지역 (2021.11.17.) 픽셀단위정보 제작 결과

라) 함경북도 신평 (2021.12.12.)




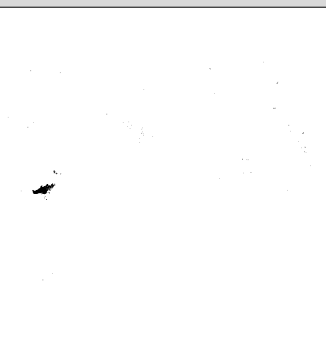
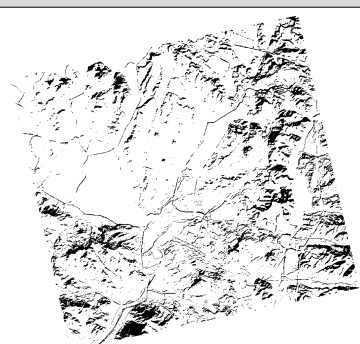
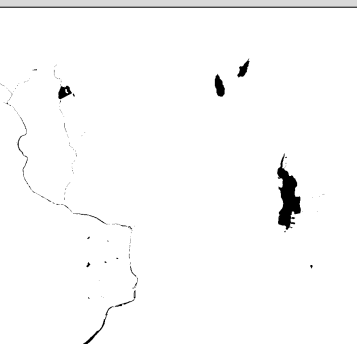
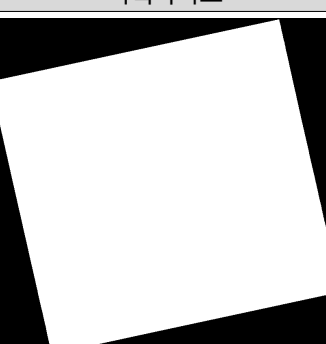
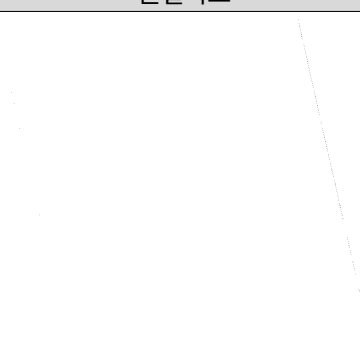
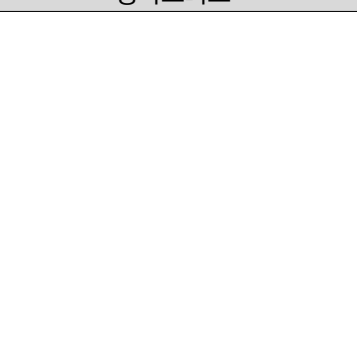
[흰색-0, 검은색-1 표시]

원본 영상	높은 신뢰도 구름	낮은 신뢰도 구름
		
구름그림자	지형그림자	수계
		
미획득자료	손실자료	방사포화도
		

<그림 3-35> 함경북도 신평 지역 (2021.12.12.) 픽셀단위정보 제작 결과

마) 경기도 수원2 (2021.12.12.)

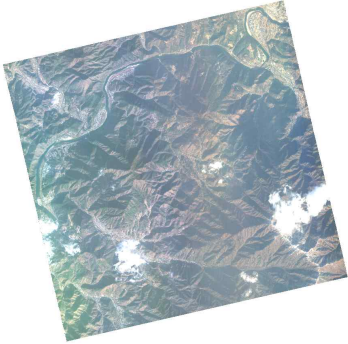

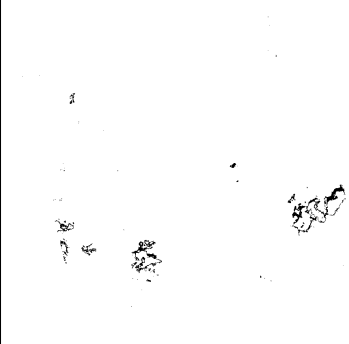

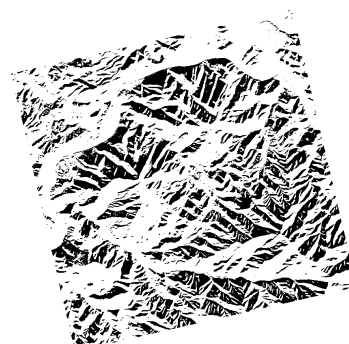

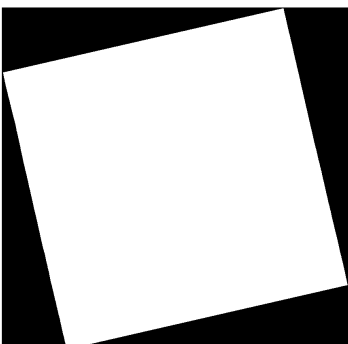
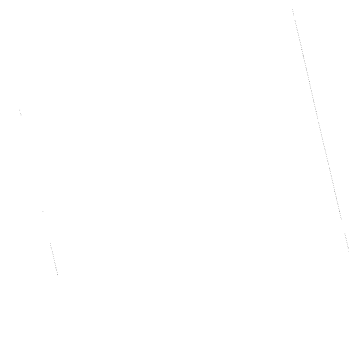

[흰색-0, 검은색-1 표시]

원본 영상	높은 신뢰도 구름	낮은 신뢰도 구름
		
구름그림자	지형그림자	수계
		
미획득자료	손실자료	방사포화도
		

<그림 3-36> 경기도 수원 지역2 (2021.12.12.) 픽셀단위정보 제작 결과

바) 충청북도 단양 (2021.12.17.)

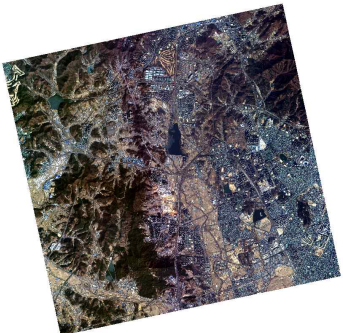


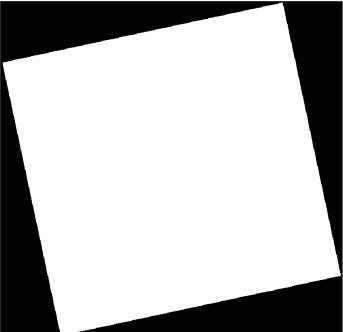

[흰색-0, 검은색-1 표시]

원본 영상	높은 신뢰도 구름	낮은 신뢰도 구름
		
구름그림자	지형그림자	수계
		
미획득자료	손실자료	방사포화도
		

<그림 3-37> 충청북도 단양 지역 (2021.12.17.) 픽셀단위정보 제작 결과

사) 경기도 의왕 (2022.02.17.)







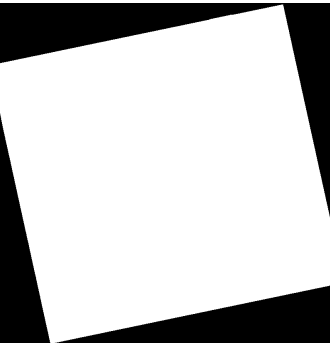


[흰색-0, 검은색-1 표시]

원본 영상	높은 신뢰도 구름	낮은 신뢰도 구름
		
구름그림자	지형그림자	수계
		
미획득자료	손실자료	방사포화도
		

<그림 3-38> 경기도 의왕 지역 (2022.02.17.) 픽셀단위정보 제작 결과

아) 경기도 수원3 (2022.02.17.)

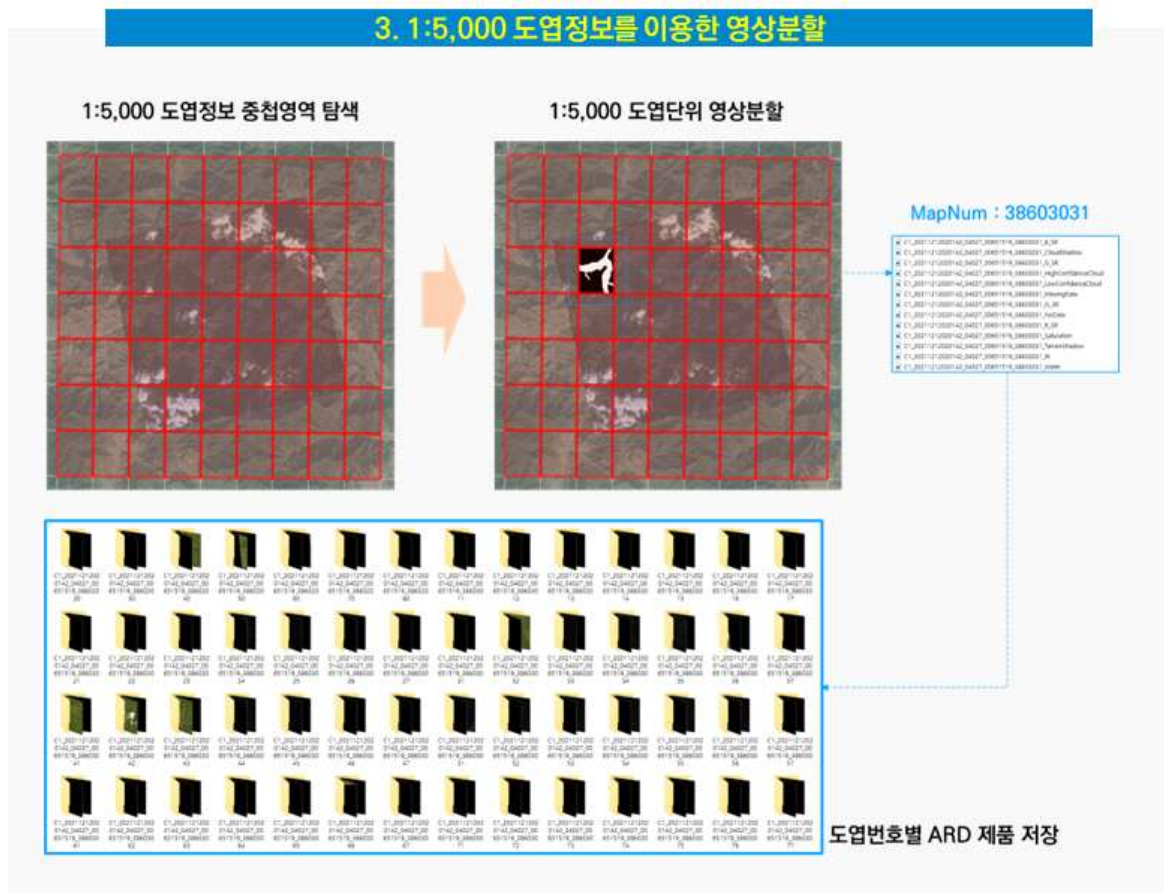
[흰색-0, 검은색-1 표시]

원본 영상	높은 신뢰도 구름	낮은 신뢰도 구름
		
구름그림자	지형그림자	수계
		
미획득자료	손실자료	방사포화도
		

<그림 3-39> 경기도 수원 지역3 (2022.02.17.) 픽셀단위정보 제작 결과

2) 1:5,000 도엽단위 영상분할

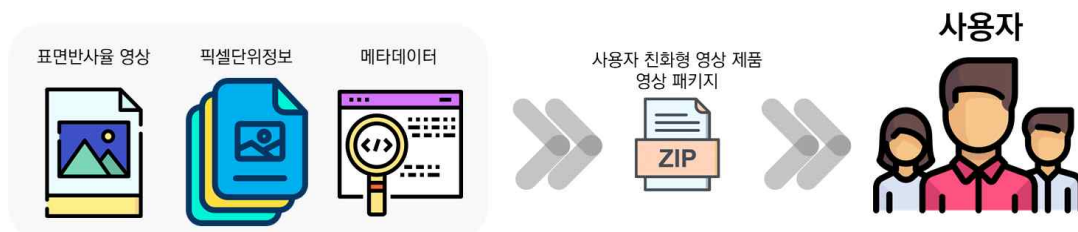
국토위성 사용자 친화형 영상 제품은 1:5,000 도엽단위로 제작하여 사용자에게 배포할 예정으로 시범제작 과정에서 국토지리정보원의 남북한 통합 1:5,000 도엽정보를 이용하여 영상분할을 수행하였다. 픽셀단위정보는 아래 그림 3-40과 같이 1:5,000 도엽단위로 분할되어 표면반사율 영상과 함께 도엽번호로 구분된 폴더에 일괄 저장된다.



<그림 3-40> 국토위성 표면반사율 영상 및 픽셀단위정보 1:5,000 도엽단위 영상분할 처리 절차

마. 최종산출물 패키지 제작

국토위성 사용자 친화형 영상 제품을 사용자에게 제공하는 과정에서 모든 산출물을 하나의 패키지 형태로 제작하여 관리 및 제공이 원활할 수 있도록 패키지 제공 방안을 수립해야 한다. 본 절에서는 기존 ARD 관련 제품의 패키징 제공 방안을 조사하고 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 패키지 제공 방안을 수립하였다. 산출물 패키징 도구는 상용 소프트웨어를 이용하였으며, 사용자 친화형 영상 제품 패키지를 하나의 압축 파일로 저장하는 기능을 제공한다. 제작된 최종산출물 패키지의 파일 명명 규칙은 기존 산출물의 명명 규칙을 따른다.



<그림 3-41> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 패키지 제공 예시

1) 최종산출물 패키지 제작 방안

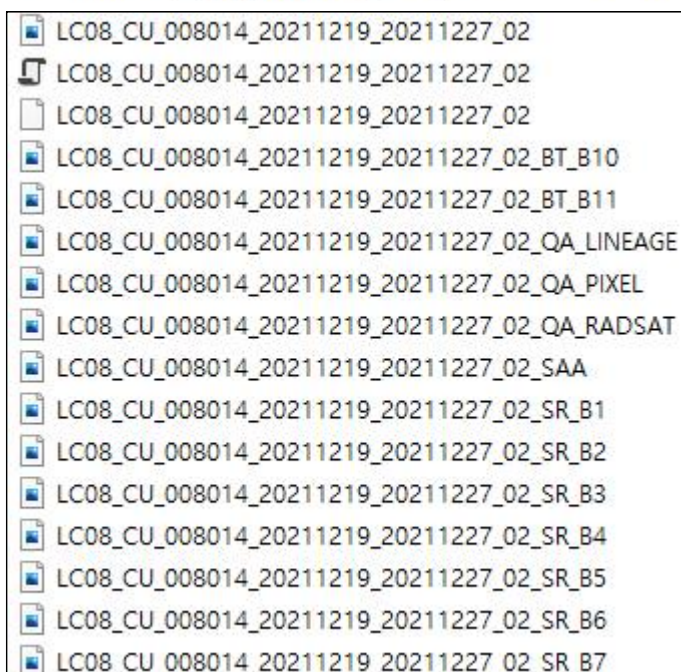
해외 ARD 선도그룹은 고품질 위성자료를 제공하기 위해 ARD 필요성을 인지하고 자체적으로 ARD 체계를 구축하여 사용자에게 제공하고 있다. 자료에 대한 정보 및 위성영상 정보 활용 방법에 대한 적절한 정보 제공과 사용자 편의성을 고려하기 위해 ARD 구축을 제공하는 국내외 기관 중 USGS, ESA, Planet에서 제공하는 영상 정보와 ARD 산출물 패키지의 파일 포맷을 조사 및 분석하여 사용자 친화형 영상 제품 패키지 제공 방안을 수립한다.

가) USGS

USGS에서는 ARD 서비스를 다음 그림과 같이 TAR 형태로 제공하고 있다. TAR 파일은 백업 또는 배포 목적으로 파일을 함께 패키징 하는 데 사용되는 유닉스 기반 컴퓨터 소프트웨어 유틸리티로 여러 파일을 보관하고 인터넷을 공유하는데 널리 사용되는 파일 보관 형식이다. 여기에는 아카이브에 대한 메타데이터와 함께 압축되지 않은 형식으로 저장된 여러 파일이 포함되어 있다. TAR는 주로 많은 파일을 디렉터리 구조, 파일 속성 등 파일의 중요한 정보들을 보존하면서 하나의 큰 파일로 묶어 배포 용도로 사용된다. 파일을 하나로 묶는 역할만 하기 때문에 처리 속도가 빠르다는 장점이 있다. 일반적으로 유닉스 및 리눅스 시스템에서 여러 파일을 하나의 파일로 통합하기 위해 사용되며 파일을 백업하거나 여러 파일을 다른 위치로 전송하는데 유용하다. 하지만 TAR 파일은 파일이 압축되지 않고 단순히 다수의 파일을 하나로 묶는 용도이기 때문에 리눅스에서 압축을

추가하는 추가 단계가 필요하다.

LXSS_US_HHHVVV_YYYYMMDD_yyyymmdd_CC_PRODUCT.tar



<그림 3-42> USGS에서 제공하는 ARD 제품 패키지 압축 포맷

나) ESA

ESA는 표면반사율 영상과 다양한 픽셀정보가 담긴 토지피복도를 사용자들에게 ZIP 파일 형식으로 제공하고 있다. ZIP 파일은 데이터를 압축, 보관하기 위한 파일 형식으로 하나 혹은 여러 개의 파일들을 그 크기를 줄여 압축하고 하나로 묶어 저장한다. ZIP 파일은 중복된 데이터를 제거함으로써 정보를 더 적은 수의 비트로 인코딩해 파일의 크기를 줄이고 무손실 데이터 압축 지원을 통해 원본 데이터를 손상하지 않은 채 그대로 보존이 가능하다.

또한, ZIP 파일은 저장 공간을 절약하고 파일 전송 속도가 빨라 파일을 제품 사용자에게 편리하게 전송할 수 있다. 간단한 방식으로 파일 처리의 효율성을 극대화한다는 장점이 있는 반면 모든 파일을 올바르게 추출하지 못할 수 있어 데이터 손상으로 다른 파일에 영향을 줄 수도 있는 단점도 존재한다.

다) Planet

Planet은 고해상도 위성영상인 Planetscope를 이용하여 ARD와 동일한 Unusable Data Mask(UDM)와 Usable Data Mask(UDM2)를 제공하고 있다. 고해상도 위성영상을 포함하여 메타데이터, RPC 계수, 썸네일 이미지, UDM, UDM2는 ZIP 파일 포맷으로 압축하여 하나의 패키지

형태로 제공하고 있다. ESA와 동일한 해당 패키지 형태는 컴퓨터의 효율성을 높이고 중복된 데이터를 제거함으로써 정보를 더 적은 수의 비트로 인코딩해 파일의 크기를 줄여 저장 공간을 절약할 수 있다. 하지만 일부 파일은 더 작은 크기로 압축이 불가능하기 때문에 ZIP 파일로 저장한다고 해도 저장공간이 크게 절약되지는 않는다.

PLANETSCOPE BASIC SCENE PRODUCT ATTRIBUTES	
Product Attribute	Description
Product Components and Format	<p>The PlanetScope Basic Scene product consists of the following file components:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Image File – GeoTIFF format • Metadata File – XML format • Rational Polynomial Coefficients (RPC) – XML format • Thumbnail File – GeoTIFF format • Unusable Data Mask (UDM) File – GeoTIFF format • Usable Data Mask (UDM2) File – GeoTIFF format

<그림 3-43> Planetscope(Planet) 제품 구성요소 및 자료 포맷

2) 최종산출물 패키지 제공 방안

해외 ARD 선도그룹에서 제공하는 산출물 패키지의 자료 포맷을 분석한 결과는 아래 표와 정리할 수 있다. ARD 선도그룹의 산출물 패키징 방법 조사 결과에서 TAR 형식과 ZIP 형식으로 두 가지 형식으로 제공되는 것을 확인할 수 있다. USGS에서는 Landsat 위성영상 기반의 ARD 산출물을 TAR 형식으로 제공하고 있다. TAR 압축 포맷은 처리 속도가 빠르며, 메모리 관리에 효율적인 장점이 있다. 하지만 윈도우 환경에서는 보편적으로 쓰이지 않으며, 호환성도 낮은 편에 속한다. 또한 사실상 압축 파일이 아닌 여러 개의 파일을 하나로 묶는 용도로 사용되어 리눅스에서는 파일을 압축하는 단계를 추가한다.

ESA와 Planet의 경우 산출물을 공통적으로 ZIP 파일 형식으로 패키징하여 사용자에게 제공하고 있다. ZIP 파일 형식은 거의 모든 OS환경에서 사용할 수 있으며, 여러 파일의 저장과 전송이 간단하고 데이터 압축이 효과적이어서 저장매체의 공간도 절약된다. 그리고 무손실 압축으로 품질에 영향을 미치지 않으면서 데이터 저장이 가능하지만, 파일 확장자의 손상 가능성이 다소 존재하기 때문에 데이터 보안관리가 필요하다.

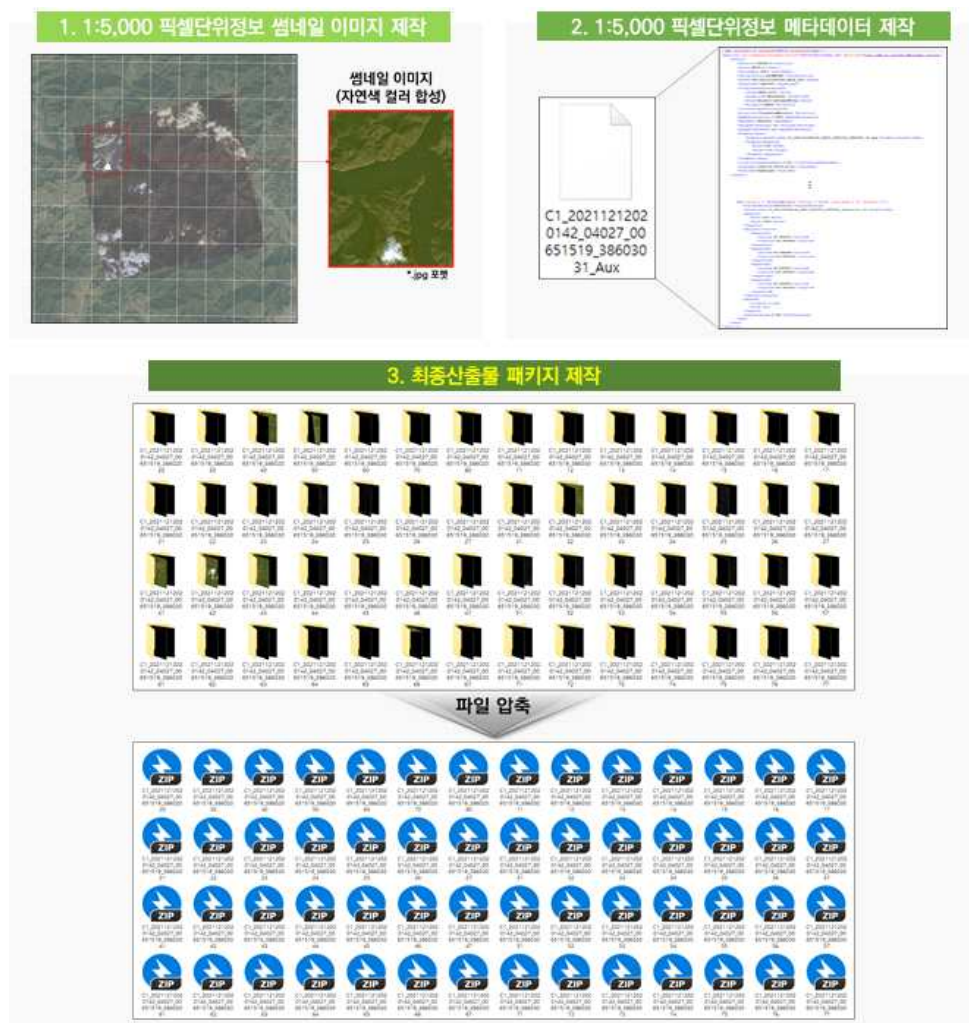
결론적으로 최종산출물의 형태와 국토위성센터 환경 등을 종합적으로 고려하면 최종산출물 패키지는 ZIP 포맷으로 제공하는 것이 적절하다.

<표 3-23> 해외 ARD 선도그룹별 산출물 패키지 제공 방안

ARD 서비스 제공 그룹	패키징 포맷	장점	단점
USGS	TAR	처리 속도 빠름 메모리 관리가 효율적임	추가 압축 방안 필요 윈도우 환경과 호환성 낮음
ESA	ZIP	호환성 높음 무손실 데이터압축 지원 자료 송·수신에 효율적임 디스크 공간 절약 가능	파일 확장자 손상 가능성 존재
Planet			
MAXAR			

3) 최종산출물 패키지 제작 결과

국토위성 사용자 친화형 영상 제품은 1:5,000 도엽단위의 표면반사율 영상과 픽셀단위정보, 메타데이터, 썸네일 이미지로 구성되었으며, 그림 3-44와 같은 절차로 산출물 파일을 모두 ZIP 포맷으로 압축을 수행하여 최종산출물 패키지를 제작하였다. 최종산출물 패키지는 시계열 패키지와 비시계열 패키지로 구분할 수 있으며, 비시계열 제품 패키지는 청진/화성/신평/단양/의왕 지역을 대상으로 총 23개 패키지를 제작하였다. 시계열 제품 패키지는 경기도 수원 지역에서 수집된 2, 3 시기 영상에서 중첩되는 영역에 포함되는 도엽을 대상으로 시범제작을 수행하였다. 2021.10.24, 2021.12.12, 2022.02.17 영상이 포함된 3시기 영상은 중복도가 상대적으로 낮기 때문에 3 시기에서 중첩하는 제품 패키지와 더불어 2022.02.17 영상이 제외된 2 시기에서 중첩되는 영역을 대상으로 추가 시범제작하여 총 26개 최종산출물 패키지를 제작하였다.



<그림 3-44> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 최종산출물 패키지 제작 절차

2. 사용자 친화형 영상 제품 관련 설명서 제작

가. 사용자 친화형 영상 제품 사양 도출

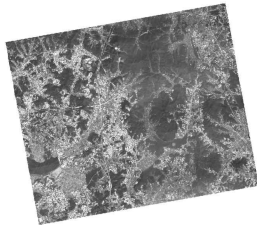
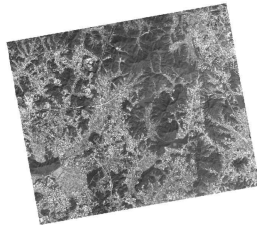
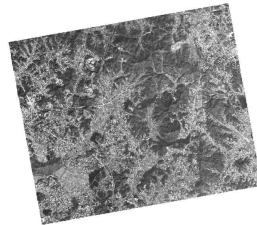
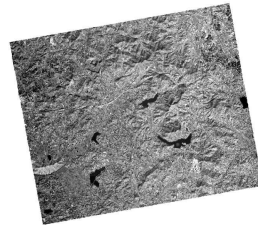
본 장에서는 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 제품 사양을 도출하고 제품 사양 및 사용설명서를 제작하기 위해 국토지리정보원의 정사영상의 제품 사양 표준을 참고하였으며, 해당 내용을 기반으로 입력영상과 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 제품 사양을 도출하였다.

1) 국토위성 정밀정사영상(L2G) 제품 사양

국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 제품 사양을 도출하고 제품 사양 및 사용설명서를 제작하기 앞서 국토지리정보원 제품 사양을 정의하기 위한 항목과 입력 영상에 대한 분석을 수행하였다.

국토위성 사용자 친화형 영상 제품은 입력영상으로 정밀정사보정 처리된 국토위성 L2G 산출물을 필요로 한다. L2G 영상은 PAN 밴드를 제외한 2m 공간해상도를 가지는 Blue, Green, Red, NIR 4개 밴드를 대상으로 하며, 영상 단위는 Scene 단위로 입력한다. 복사보정 및 대기보정 처리를 위해 입력영상의 메타정보도 입력한다. 입력영상의 자세한 제품 사양은 아래 표 3-24와 같다.

<표 3-24> 국토위성 L2G 영상의 제품 사양

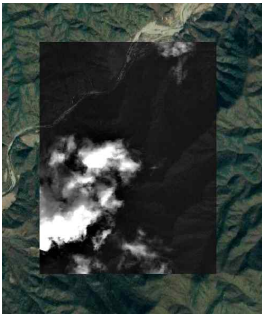



Blue	Green	Red	NIR
			
영상 단위	Scene		
좌표계	Korea 2000 / Unified CS		
데이텀	한국측지체계 (Geocentric datum of Korea)		
타원체	GRS1980		
투영법	Transverse Mercator		
공간해상도	2.0m		
분광해상도	4 (Blue, Green, Red, NIR)		
플래그	0 : 무효(Invalid)값, 1-65535 : 유효(Valid)값		
자료형	Unsigned Integer 16		
파일 포맷	Geotiff		

2) 사용자 친화형 영상 제품 사양

가) 표면반사율 영상

국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 표면반사율(Surface Reflectance, SR) 영상은 PAN 밴드를 제외한 Blue, Green, Red, NIR 밴드를 제공하고 있으며, 정밀정사보정 처리된 국토위성 L2G 산출물의 DN값을 기반으로 절대복사보정, 절대대기보정 처리를 거쳐 산출한다. 영상 단위는 국토지리정보원의 1:5,000 도엽 단위로 제공된다. 표면반사율 영상의 자세한 제품 사양은 아래 표 3-25와 같다.





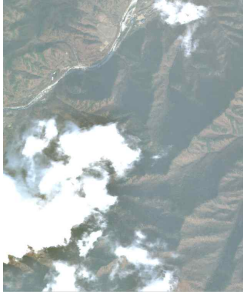
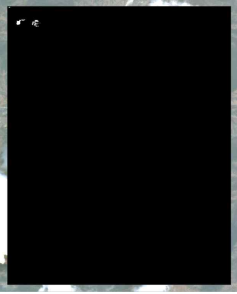
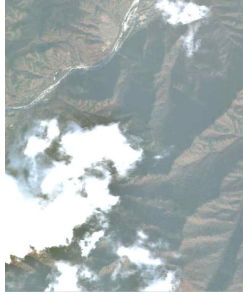



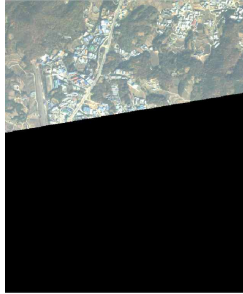
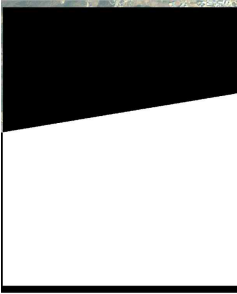
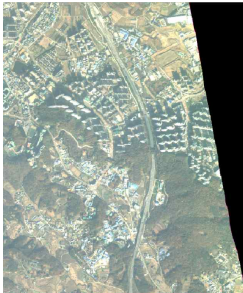
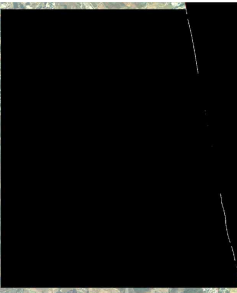
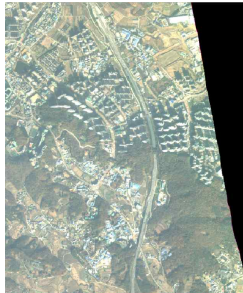
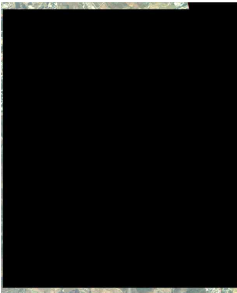
<표 3-25> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 표면반사율 영상 예시

Blue	Green	Red	NIR
			
영상 단위	도엽 (1:5,000)		
좌표계	Korea 2000 / Unified CS (EPSG:5179)		
데이텀	한국측지체계 (Geocentric datum of Korea)		
타원체	GRS1980		
투영법	Transverse Mercator		
공간해상도	2.0m		
분광해상도	4 (Blue, Green, Red, NIR)		
표면반사율 환산계수	0.0001		
플래그	0 : 무효(Invalid)값, 1-9999 : 유효(Valid)값, 10000~32767 : 방사포화		
자료형	Integer 16		
파일 포맷	Geotiff		

나) 픽셀단위정보

국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보(Perpixel Metadata)는 높은 신뢰도 구름, 낮은 신뢰도 구름, 구름그림자, 지형그림자, 수계, 미획득자료, 손실자료, 방사포화도에 대한 정보를 이진(Binary)파일로 제공하고 있다. 픽셀단위정보는 정밀정사보정 처리된 국토위성 L2G 산출물의 DN값으로부터 TOA 반사율을 계산하고, TOA 반사율을 기반으로 픽셀단위정보를 산출한다 (2.4장 참고). 표면반사율 영상과 동일하게 국토지리정보원의 1:5,000 도엽 단위로 제공된다. 픽셀단위정보의 자세한 사양은 아래 표 3-26과 같다.


<표 3-26> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보 예시

HighConfidenceCloud		LowConfidenceCloud	
			
CloudShadow		TerrainShadow	
			
Water		NoData	
			
MissingData		Saturation	
			
영상 단위	도엽 (1:5,000)		
좌표계	Korea 2000 / Unified CS (EPSG:5179)		
데이텀	한국측지체계 (Geocentric datum of Korea)		
타원체	GRS1980		
투영법	Transverse Mercator		
공간해상도	2.0m		
플래그	0 : 무효(Invalid)값, 1 : 유효(Valid)값		
자료형	Unsigned Integer 8		
파일 포맷	Geotiff		

다) 썸네일 이미지

썸네일 이미지는 RGB 컬러 합성 영상으로 기존 국토위성 정밀정사영상과 함께 제공된 썸네일 이미지와 동일한 파일 포맷인 *.jpg이며, 영상 크기는 원본영상의 8배 축소된 크기로 제작하였다.


<표 3-27> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 썸네일 이미지 예시

Thumbnail image	
	
영상 크기	원본영상 8배 축소
파일 포맷	*. jpg

3) 보조 파일 제품 사양

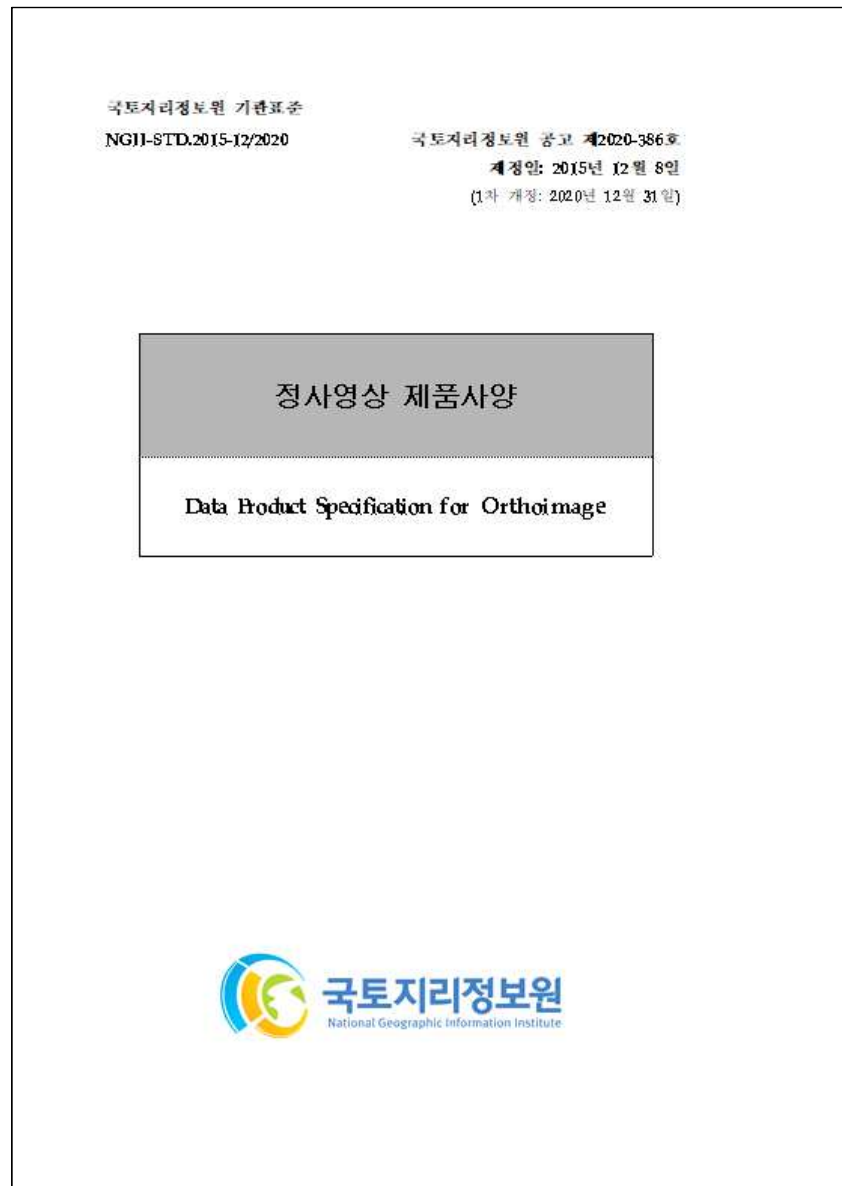
보조 파일은 기존 국토위성 정밀정사영상과 함께 제공된 보조 파일과 동일한 파일 포맷인 *.xml로 제작하였다.

<표 3-28> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 보조파일 예시

Auxiliary file (Metadata)	
	
C1_2021110401 4533_03449_00 050757_419030 07_Aux	
파일 포맷	*. xml

4) 국토지리정보원 제품 사양 표준 만족 여부 검토

향후 국토지리정보원에서 국토위성 사용자 친화형 영상 제품에 대한 표준을 수립하는 과정에서 시범제작 과정에서 도출된 제품사양이 표준에 내용을 포함하고 있는지에 대한 여부를 파악하였다. 아래 표 3-29는 산출물 제품사양 표준에 포함되어야 하는 항목을 나타낸다. 12개 항목 중 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 사양이 미비하는 부분에 대해서 검토를 수행하였다. 시범제작 산출물이기 때문에 자세한 용어 및 정의, 연락처 등의 제공기관의 검토가 필요한 항목은 제외하였다.



<그림 3-46> 국토지리정보원 정사영상(L2G) 제품사양 표준 문서


그 결과, 제공기관(국토지리정보원)의 정보가 포함된 개요, 연락처, 내용 등을 제외한 일자, 식별, 참조체계, 메타데이터에 대한 내용은 표준에 만족하는 것을 확인할 수 있으며, 영상 제품과 함께 제공되는 보조파일에 이와 관련된 내용이 모두 수록되어 있다.

<표 3-29> 정사영상 제품사양 표준 메타데이터

	항목 명칭	정의	의무/조건	영역	만족 여부
1	개요 (Overview)	제품에 대한 개요정보	M	자유기재	-
2	연락처 (Contact)	제품 사양 제공자의 연락처	O	ISO 19115-1	-
3	일자 (DateInfo)	제품 사양의 제작 일자	O	ISO 19115-1	O
4	역할: 식별 (Identification)	제품 사양의 식별정보	M	부속서 A	O
5	역할: 내용 (Content)	제품의 내용 및 구조에 대한 정보	M	부속서 B	-
6	역할: 참조체계 (rs)	제품 사양이 기술하는 제품이 따르는 참조 체계정보	M	부속서 C	O
7	역할: 품질 (Quality)	제품 사양이 기술하는 제품의 품질정보	M	부속서 D	-
8	역할: 유지관리 (Maintenance)	제품 사양의 유지관리 정보	O	부속서 E	-
9	역할: 배포 (Delivery)	제품 사양이 기술하는 제품의 배포 정보	M	부속서 F	-
10	역할: 데이터획득 (Capture)	제품 사양이 기술하는 제품의 데이터 획득처	O	부속서 G	-
11	역할: 메타데이터 (Metadata)	제품사양이 기술하는 제품에 대한 메타데이터 정보	M	부속서 H	O
12	역할: 부가정보 (AdditionalInfor mation)	제품 사양이 기술하는 제품에 대한 부가 정보	O	부속서 I	-

나. 제품 사양설명서 제작

국토위성 사용자 친화형 영상 제품 사양설명서는 앞 장에서 도출된 제품의 최종사양을 기반으로, 샘플 패키지를 이용하여 제품 사양설명서를 제작하였다. 해당 문서에는 국토위성의 전반적인 개요와 사용자 친화형 영상 제품의 구축 목적에 관한 내용을 담고 있으며, 표면반사율 영상과 픽셀단위 정보, 썸네일 이미지, 보조 파일에 대한 세부 내용을 기술하였다. 보조 파일은 메타파일을 나타내는데, CARD4L 요구사항을 충족할 수 있도록 메타파일 내 세부 항목들을 설계하였으며, 관련 내용을 함께 기술하였다. 추가로 부록에는 국토위성 사용자 친화형 영상 제품이 CARD4L 요구사항을 충족하고 있는지에 대한 전반적인 검토 내용을 기술하였다. 또한, 체계적이고 효율적인 문서관리를 위해 버전번호, 문서번호, 발행일, 개정 이력을 포함하고 있다.

 국토지리정보원 National Geographic Information Institute	문서번호	버전	발행일	페이지
	CAS500-ARD-Manual-001	v1.0	2022-03-13	1/20

국토위성 사용자 친화형 영상 제품
연구개발 및 시범제작

제품 사양설명서

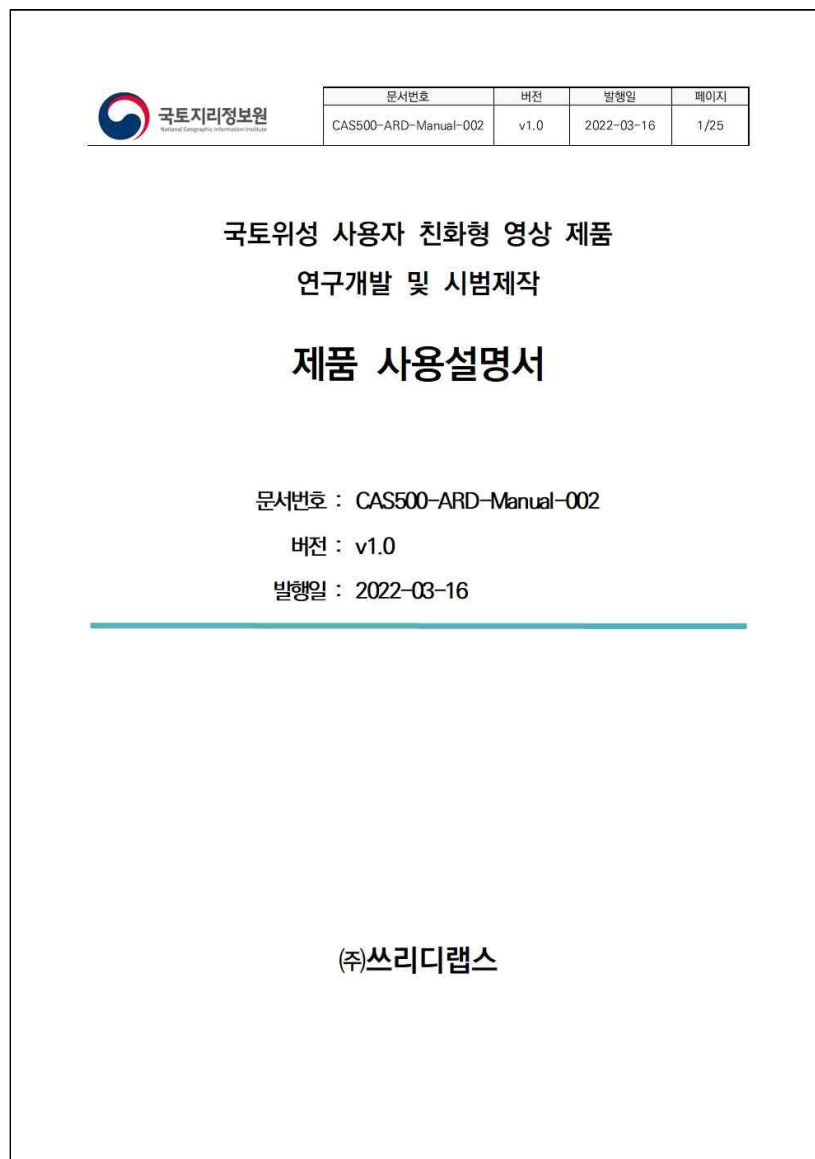
문서번호 : CAS500-ARD-Manual-001
버전 : v1.0
발행일 : 2022-03-13

(주)쓰리디랩스

<그림 3-47> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 사양설명서 표지

다. 제품 사용설명서 제작

국토위성 사용자 친화형 영상 제품 사용설명서는 전문 사용자가 아닌 일반 사용자를 대상으로 영상 제품의 이해를 돕고 사용성을 높이기 위해, 샘플 패키지를 이용하여 제품 사용설명서를 제작하였다. 해당 문서에는 국토위성의 전반적인 개요와 사용자 친화형 영상 제품의 구축 목적에 관한 내용을 담고 있으며, ENVI, QGIS, ArcGIS를 이용한 RGB 컬러 합성 방법과 픽셀단위정보 활용 방법에 대해 기술하였다. 제품 사양설명서와 동일하게 문서관리를 위해 버전번호, 문서번호, 발행일, 개정 이력을 포함하고 있다.



<그림 3-48> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 사용설명서 표지

라. 제품관련 문서 버전관리 방안 수립

국토위성 사용자 친화형 영상 제품을 기반으로 작성된 제품관련 문서는 제품 사양설명서와 제품 사용설명서로 구분할 수 있으며, 본 문서는 향후 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 서비스 운영 시 배포 및 관리되는 문서이다. 따라서 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 사용 알고리즘의 버전이나 데이터 포맷 등과 관련된 내용이 일부 수정될 경우, 수정사항에 따른 문서 형상의 변화 내용 및 이력이 공지되고 지속적인 추적 관리가 수행되어야 한다.

1) 제품관련 문서 버전 관리 규칙

국토위성 사용자 친화형 영상 제품 관련 문서 버전은 2자리 버전형식으로 관리되며, 자릿수별 버전 관리 규칙은 아래 표 3-30과 같다. 현재까지 작성 및 배포된 문서 버전은 v1.0에 해당한다.

<표 3-30> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 관련 문서 버전 관리 규칙

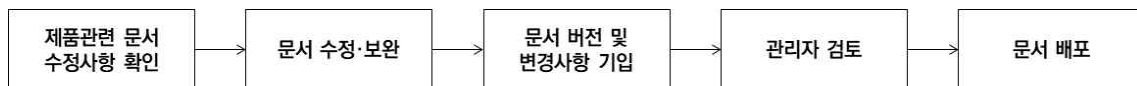
	자릿수	내용	설명
1	v 1.1	Major Version	- 사용 알고리즘 및 데이터 사양 변경 등의 Minor Version과 호환되지 않는 업데이트
2	v 1.1	Minor Version	- 자잘한 오류 및 오타자 수정 - 새로운 기능 및 설명 개선·추가

- 버전 번호는 Major, Minor의 형태로 배포하고, Major, Minor는 각각 자연수이고 절대 앞에 0이 붙어서는 안 된다.
- 각 번호의 수는 항상 증가해야 한다.
- 특정 버전으로 문서를 배포하고 나면, 그 버전의 내용은 절대 변경하지 말아야 한다. 변경분이 있다면 반드시 새로운 버전으로 배포하도록 한다.
- 버전이 변경될 때마다 개정 이력에 버전번호, 변경내용, 변경위치를 반드시 표기해야 한다.
- Major 버전이 변경될 때, Minor는 0으로 초기화된다.

2) 제품관련 문서 버전 관리 예시

국토위성 사용자 친화형 영상 제품 관련 문서는 업데이트가 필요한 항목이 발생할 경우, 관리자에 의해 수정·변경이 가능하며, 아래와 같은 절차로 관리 및 배포할 수 있다.

관리자는 제품관련 문서에서 수정사항이 생기면 기존 내용을 확인하고 수정·보완 작업을 수행한다. 내용 수정이 완료되면 앞 페이지의 버전과 발행일을 최신일자로 업데이트하고 개정 이력에 수정된 내용을 명시한다. 내용 수정을 수행한 관리자는 문서를 감독관에게 검토요청을 하고 최종 승인이 결정되면 문서를 배포한다. 문서는 파일명에 버전번호를 기입하여 번호별로 관리한다.



<그림 3-49> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 관련 문서 수정 절차

[illegible]

<그림 3-50> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 관련 문서 수정 절차 예시 1

제4장

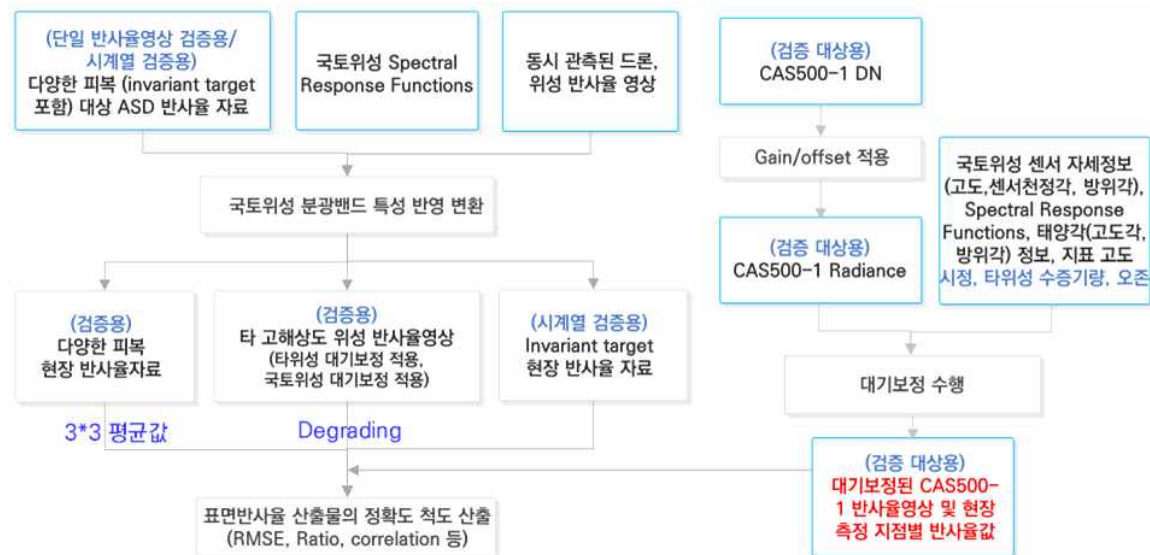
시범제작 결과 검증 및 지속적 구축 방안 마련

-
1. 시범제작 결과 검증
 2. 주요 기능 및 인프라 요구사항 도출
 3. 국토ARD 품질관리 방안 마련

1. 시범제작 결과 검증

가. 표면반사율 유효성 검증

대기보정이 완료된 국토위성 표면반사율 영상의 유효성 검증을 위하여 그림 4-1과 같이 ASD 관측 자료를 이용한 검증, 타 위성 및 드론을 이용한 비교 검증, 시계열 영상을 이용한 반사율 비교로 구분하여 제작된 표면반사율 영상의 유효성 검증을 수행하였다.



<그림 4-1> 국토위성 대기보정 알고리즘의 검증 방안 흐름도(안)

1) ASD 관측을 이용한 국토위성 표면반사율 영상의 유효성 검증

국토위성 표면반사율 영상의 유효성 검증을 위해 우선, 3~9회 연속관측된 ASD 관측 자료를 평균하여 현장 관측 반사율 자료를 구축하였다. ASD 관측지점을 중심으로 3*3 화소의 평균값을 국토위성 반사율영상에서 추출한다. 본 연구에서는 2021년 11월 17일 화성지역 영상과 2022년 2월 17일 의왕지역 영상을 사용하였다.



<그림 4-2> 2021년 11월 17일 화성지역의 ASD 측정지점 분포 (다음지도)

<표 4-1> 유효성검증에 사용된 2021년 11월 17일 ASD 측정 자료

NO.	지표물	NO.	지표물	NO.	지표물
1	Black1	17	초지4	33	잔디5
2	Black2	18	초지5	34	잔디6
3	Black3	19	초지6	35	밝은인조잔디
4	Black4	20	농구장1	36	짙은인조잔디
5	Red	21	농구장2	37	토양1
6	Yellow	22	농구장3	38	토양2
7	목재1	23	RedTrack1	39	콘크리트1
8	목재2	24	RedTrack2	40	콘크리트2
9	목재3	25	RedTrack3	41	아스팔트
10	목재4	26	RedTrack4	42	나지1
11	수체1	27	GreenTrack1	43	나지2
12	수체2	28	GreenTrack2	44	나지3
13	수체3	29	잔디1	45	식물1
14	초지1	30	잔디2	46	식물2
15	초지2	31	잔디3	47	식물3
16	초지3	32	잔디4	-	



<그림 4-3> 2022년 2월 17일 ASD 측정지점 분포(배경: 동일 일시의 국토위성영상)

<표 4-2> 유효성검증에 사용된 2022년 2월 17일 ASD 측정 자료

NO.	지표물	NO.	지표물	NO.	지표물
1	콘크리트1	11	초록페인트1	21	수체1
2	콘크리트2	12	초록페인트2	22	수체2
3	아스팔트1	13	redtrack1	23	수체3
4	아스팔트2	14	redtrack2	24	수체4
5	운동장1	15	농구장1	25	갈대+흙
6	운동장2	16	농구장2	26	콘크리트3
7	운동장3	17	농구장3	27	팜
8	인조잔디1	18	잔디+흙	28	벼짚
9	인조잔디2	19	갈대+흙	-	
10	인조잔디3	20	흙		

유효성 검증을 위해 우선, 3~9회 연속관측된 ASD 관측 자료를 평균하여 현장 관측 반사율 자료를 구축하였다. ASD 관측지점을 중심으로 3*3 화소의 평균값을 국토위성 반사율영상에서 추출한다. 본 연구에서는 2021년 11월 17일 화성지역 영상과 2022년 2월 17일 의왕지역 영상을 사용하였다. 본 국토위성영상의 반사율값과 ASD 반사율과의 상관관계, RMSE, ratio값을 추출한다.

동시에 관측된 국토위성과 ASD 반사율과의 관계는 0.75~0.95의 높은 상관계수를 보이고 있다. 반사율이 비교적 높은 근적외선에서 가장 높은 RMSE가 나타났다. 두 영상의 비율을 살펴보면 청

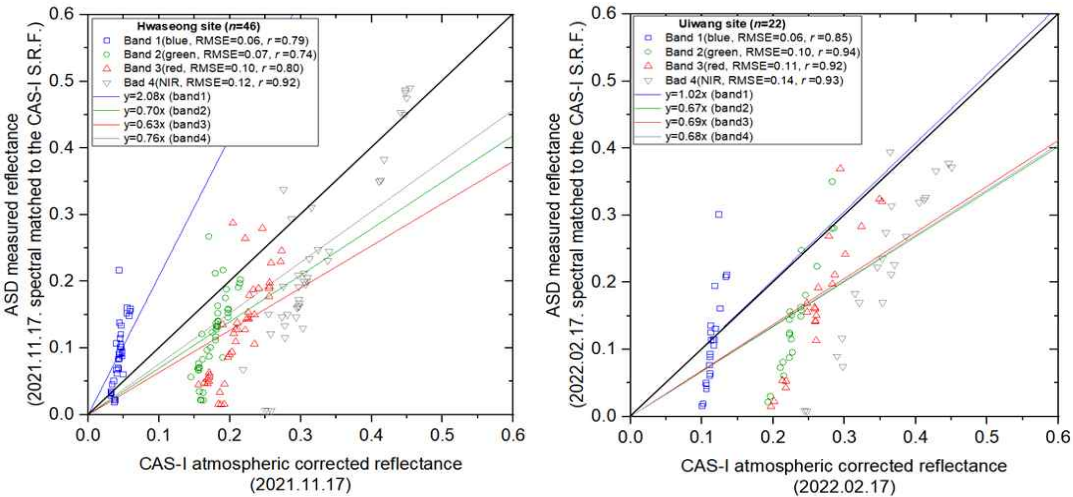
색광영역을 제외하고 0.6~0.8사이의 ratio를 보이고 있으며, 청색광영역에서는 화성시에서는 2배 이상 ASD가 국토위성에 비해 높은 반사율값을 보이고 있다. 전체적으로 국토위성영상의 청색광영역은 낮은 반사율을 보이는 것으로 나타났다.

<표 4-3> ASD 관측자료를 이용한 화성지역 국토위성 표면반사율 영상의 유효성 검증 결과

척도	Band1	Band2	Band3	Band4
RMSE	0.059	0.073	0.099	0.118
Correlation	0.794	0.745	0.803	0.916
Ratio (ASD/국토위성)	2.081	0.698	0.634	0.762

<표 4-4> ASD 관측자료를 이용한 의왕지역 국토위성 표면반사율 영상의 유효성 검증 결과

척도	Band1	Band2	Band3	Band4
RMSE	0.061	0.102	0.112	0.142
Correlation	0.853	0.944	0.92	0.928
Ratio (ASD/국토위성)	1.022	0.671	0.687	0.676



<그림 4-4> 화성과 의왕지역의 국토위성 표면반사율영상과 ASD관측 반사율과의 1:1 대응 그래프

화성과 의왕지역의 국토위성 반사율 영상을 이용하여 Kambezidis H.D.(2012)에서 제시된 수식을 밴드별로 적용하여 RMSE 백분율을 확인하였다. Band1(Blue)에서 낮은 백분위를 나타내고, Band4(NIR)에서 높게 나타났다.

$$RMSE(\%) = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{ASD} - H_{CAS})^2}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_{ASD}} \times 100$$

<표 4-5> 국토위성영상 밴드별 RMSE 백분율(%)

척도	Band1	Band2	Band3	Band4
RMSE(%)	4.28	12.36	14.41	20.66

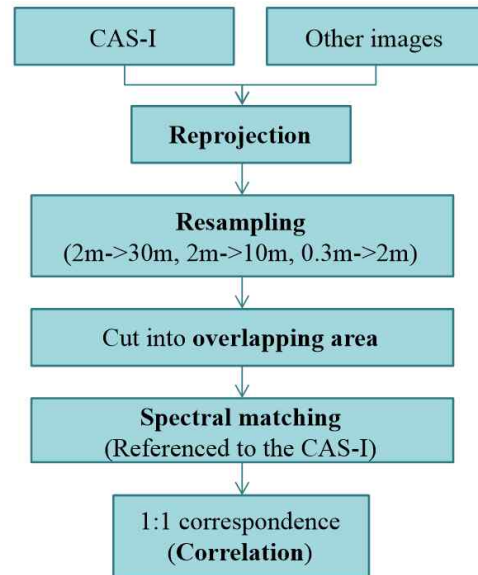
2) 타 위성 및 드론 영상을 이용한 비교, 검증

본 연구를 위해 국토위성영상의 촬영날짜를 기준으로 일주일 이내 촬영된 타 위성자료를 수집하였다. 현 기존 사례에서 검보정 자료로 가장 많이 사용되고 있고 신뢰성 있는 절대복사보정 및 대기보정 정확도를 제공하고 있는 Landsat 8,9 위성자료와 Sentinel-2A/B 광학영상을 대상으로 하였다. 이와 함께 국토위성과 동시에 촬영된 드론 반사율 영상도 유효성 비교에 사용하였다. 검증에 사용된 대상 영상은 북한과 남한지역으로 나뉘 선정되었고, 남한지역은 다양한 피복이 포함된 도시지역인 화성시와 의왕시, 대부분 산림지역인 단양군 촬영 영상이 선정되었고, 북한 부령군 영상은 대부분 산림지역이 분포하였다. 또 다른 북한 신평군 지역은 구름의 양이 너무 많아서 본 유효성 검증에서는 사용하지 않았다.

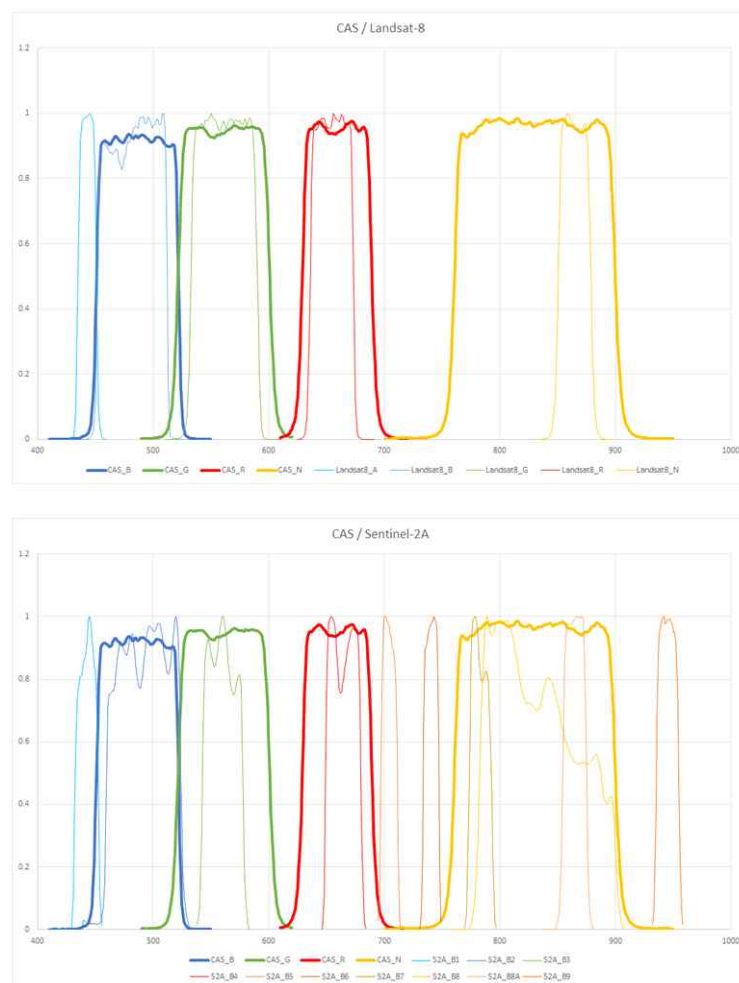
<표 4-6> 국토위성 표면반사율 유효성 검증에 사용된 영상자료

사용자료	화성시	단양군	의왕시	부령군(북한)
	FLAASH_202111170 21545_03647_00070 141_L2G	FLAASH_202112170 15822_04103_00444 810_L2G	FLAASH_202202170 20307_05046_00259 669_L2G	FLAASH_202111040 14533_03449_00050 757_L2G
Sentinel-2A/B	2021.11.13. (S2B_MSIL2A_20211113T021929_N0301_R003_T52SCG_20211113T042504)	2021.12.13. (S2B_MSIL2A_20211213T022059_N0301_R003_T52SDG_20211213T041716)	Cloudy	2021.10.29. (S2A_MSIL2A_20211029T021821_N0301_R003_T52TDL_20211029T050825)
Landsat 8/9	2021.11.16. (LC09_L2SP_116034_20211116_20220119_02_T1)	2021.12.04. (LC08_L2SP_115034_20211204_20211209_02_T1)	2022.02.05. (LC09_L2SP_116034_20220205_20220208_02_T1)	2021.10.17. (LC08_L2SP_115031_20211017_20211026_02_T1)
Drone	2021.11.17. (MicaSense Rededge MX Drone)	None	2022.02.17. (MicaSense Rededge MX Drone)	None

비교를 위해서는 타 위성 및 드론 영상과 국토위성영상간의 좌표체계가 동일해야 한다. 타 위성들이 UTM좌표체계(WGS84, 52N zone)을 사용하고 있어, 본 연구에서는 국토위성영상을 해당 좌표체계로 재투영하였다. 다양한 공간해상도의 위성영상을 비교하기 위해 낮은 공간해상도에 맞춰 리샘플링을 수행하였다. Landsat-8/9과의 비교를 위해 국토위성영상을 30m로, Sentinel-2A/B의 비교를 위해 10m로 리샘플링을 수행하였다. 드론 영상은 국토위성영상에 맞춰 2m로 리샘플링을 수행하였다. 또한 각 위성의 반사율값을 산출하기 위해 환산계수(Scale Factor)를 확인하여 적용한다. 본 연구에서는 0~1 사이의 반사율 값을 갖도록 적용하였다. 또한, 국토위성과 타 위성자료, 드론 반사율자료와의 중첩지역 정의하고, 동일 영상 크기로 잘라준다. 이후, 타 위성영상에 국토위성영상의 4개 분광밴드의 분광반응함수를 적용하여 분광매칭과정을 수행한다.



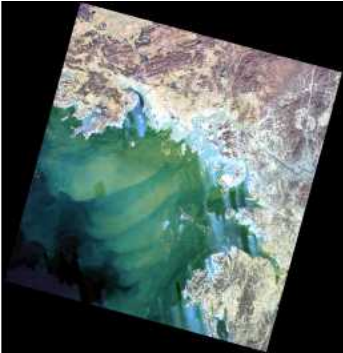
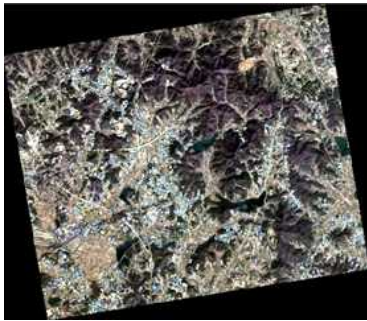
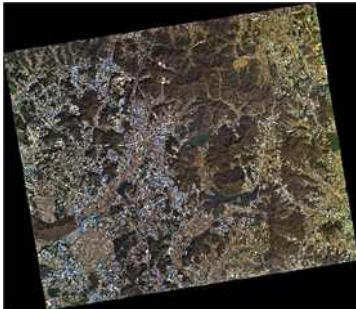

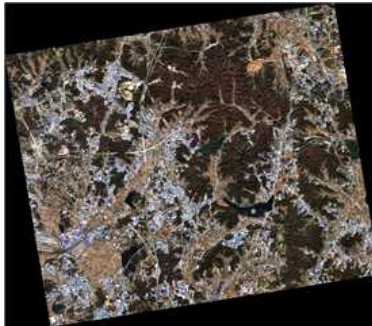
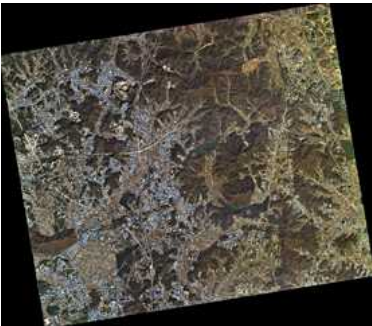

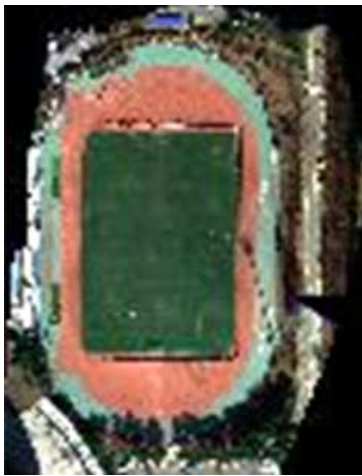
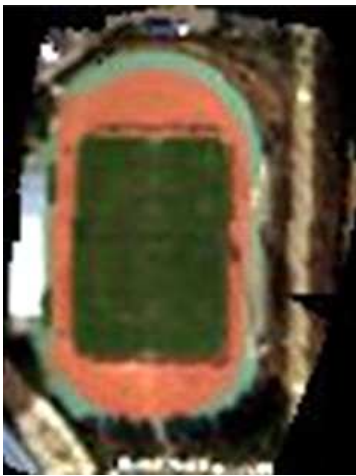
<그림 4-5> 타 위성영상을 이용한 국토위성영상의 유효성 비교/검증 방법



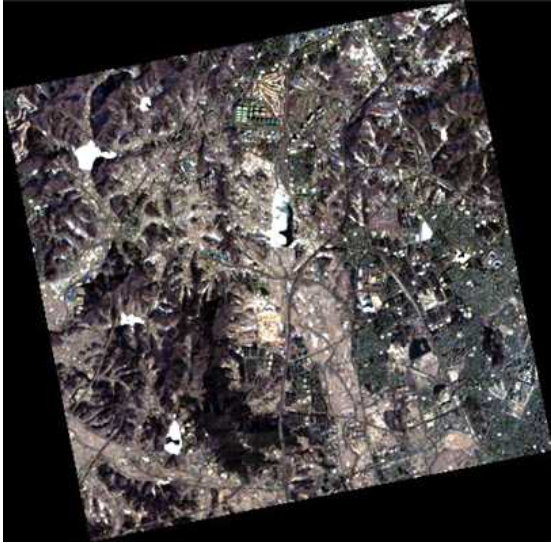



<그림 4-6> 국토위성과 타 위성과의 분광반응함수 비교
(국토위성영상의 분광밴드와 일치밴드만을 표시)

아래 그림은 유효성 검증에 사용된 지역별 타 위성 및 드론 영상을 보여주고 있다. 위의 처리과정에 따라 최종 처리된 비교 대상영상을 보여주고 있다. 만일 국토위성영상이나 타 위성영상에 구름이 있는 경우 구름 영역을 제외한 나머지 지역만을 선정하여 비교, 분석하였다.


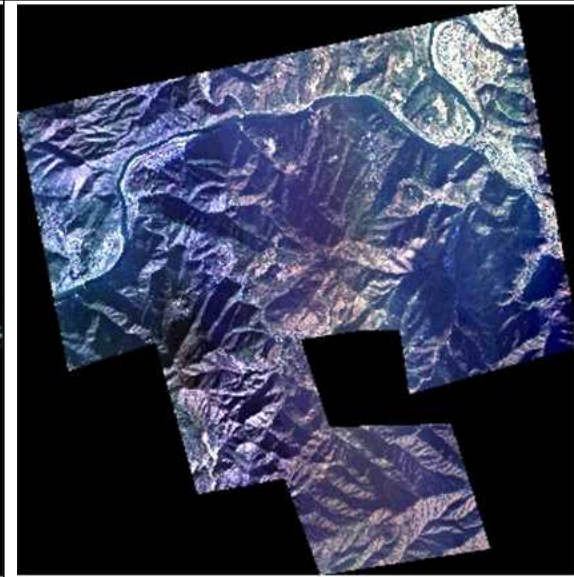
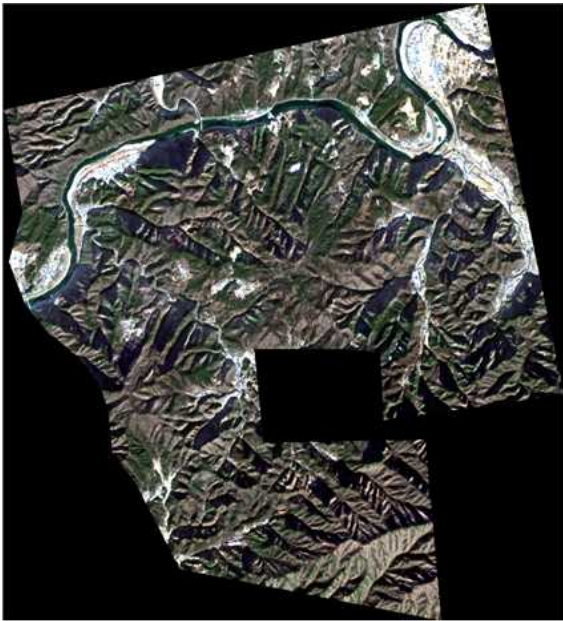
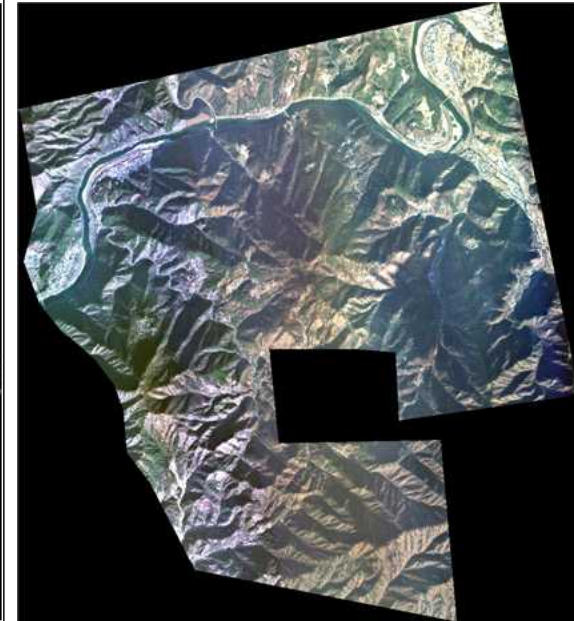
<표 4-7> 화성지역의 유효성 검증을 위한 타 위성 및 드론위성영상의 처리 결과

2021.11.16. Original Landsat9(30m)	(화성) 2021.11.16. Subset/ Spectral matched Landsat9(30m)	(화성) 2021.11.17. Degrading CAS-I(30m)
		
2021.11.13. Original Sentinel-2A(10m)	(화성) 2021.11.13. Subset Sentinel-2A(10m)	(화성) 2021.11.17. Degrading CAS-I(10m)
		
(화성) 2021.11.17. Original Drone(10cm)	(화성) 2021.11.17. Degrading Drone(2m)	(화성) 2021.11.17. Subset CAS-I(2m)
		





<표 4-8> 의왕지역의 유효성 검증을 위한 타 위성 및 드론위성영상의 처리 결과

(의왕) 2022.02.05. Subset/ Spectral matched Landsat9(30m)	(의왕) 2022.02.17. Degrading CAS-I(30m)
	
(의왕) 2022.02.17. Degrading Drone(2m)	(의왕) 2022.02.17. Subset CAS-I(2m)
	

<표 4-9> 단양지역의 유효성 검증을 위한 타 위성 및 드론위성영상의 처리 결과

<p>(단양) 2021.12.04. Subset/ Spectral matched Landsat9(30m)</p>	<p>(단양) 2021.12.17. Degrading CAS-I(30m)</p>
	
<p>(단양) 2021.12.13. Subset Sentinel-2A(10m)</p>	<p>(단양) 2021.12.17. Degrading CAS-I(10m)</p>
	

<표 4-10> 북한 부령군 지역의 유효성 검증을 위한 타 위성 및 드론위성영상의 처리 결과

(부령군) 2021.10.17. Subset/Spectral matched Landsat9(30m)	(부령군) 2021.11.04. Degrading CAS-I(30m)
	
(부령군) 2021.10.29. Subset/Spectral matched Sentinel-2A(10m)	(부령군) 2021.11.04. Degrading CAS-I(10m)
	

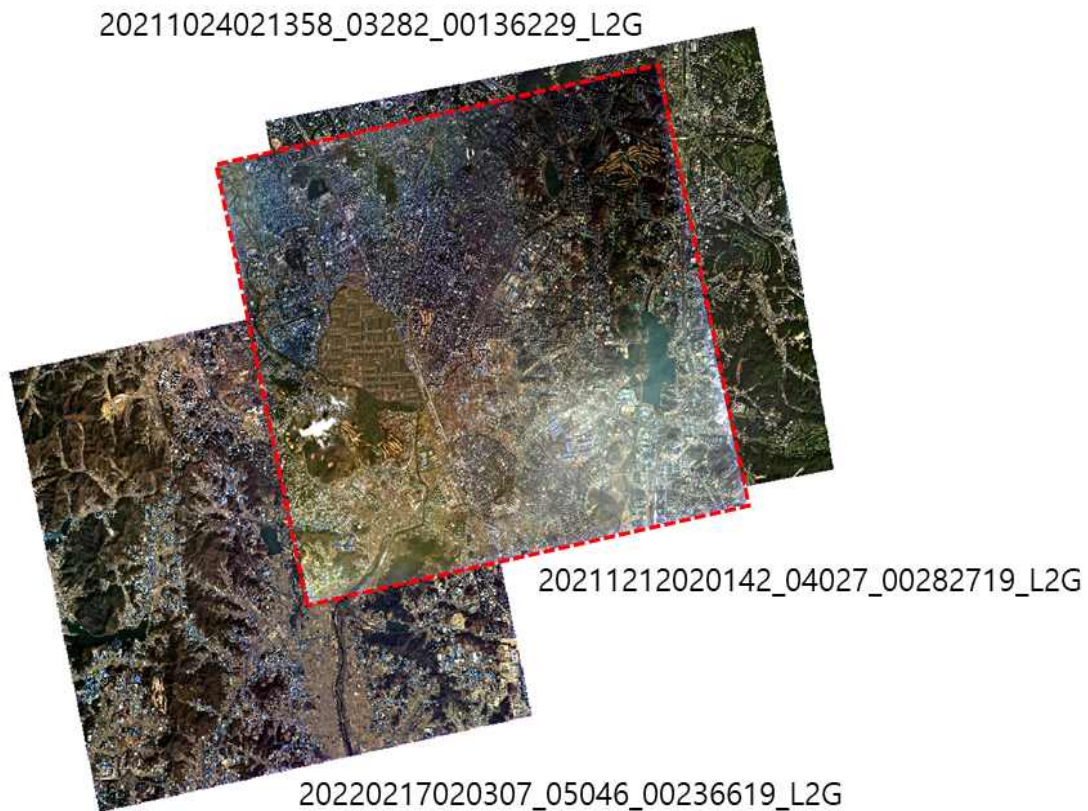
타 위성 및 드론 영상이 지표반사율의 참값으로 가정하기에는 촬영 일시의 차이, 반사율 처리 정확도 등을 고려할 때 현실적으로 어려워서 상관관계만을 비교하는 것이 적합하다. 이에 따라 아래 표와 같이, 다양한 지역에 대한 타 위성 및 드론 영상과의 상관계수를 산출하였다. Sentinel이나 드론 영상은 국토위성영상과 대부분 0.6~0.8 사이의 상관계수를 나타내나, Landsat 8/9 위성영상의 경우 도심지와 같이 다양한 피복을 보이는 지역에서는 0.3의 낮은 상관계수를 보이고, 산림과 같이 단일 피복이 주로 분포하는 지역에서는 0.7 이상의 상관계수를 나타내었다.

<표 4-11> 타 위성 및 드론 영상을 이용한 국토위성 표면반사율의 유효성 비교, 검증 결과

CAS-I	화성시 (2021.11.17.)		단양군 (2021.12.17.)		의왕시 (2022.02.17.)		부령군(북한) (2021.11.04.)	
Sentinel 2A/B	B1	0.684	B1	0.662	Cloudy		B1	0.757
	B2	0.677	B2	0.717			B2	0.818
	B3	0.676	B3	0.716			B3	0.798
	B4	0.552	B4	0.545			B4	0.649
Landsat 8/9	B1	0.320	B1	0.715	B1	0.314	B1	0.752
	B2	0.362	B2	0.809	B2	0.380	B2	0.835
	B3	0.356	B3	0.822	B3	0.438	B3	0.784
	B4	0.265	B4	0.808	B4	0.335	B4	0.761
Drone	B1	0.640	None		B1	0.677	None	
	B2	0.645			B2	0.686		
	B3	0.695			B3	0.698		
	B4	0.704			B4	0.676		

3) 시계열 국토위성 영상을 이용한 반사율 비교

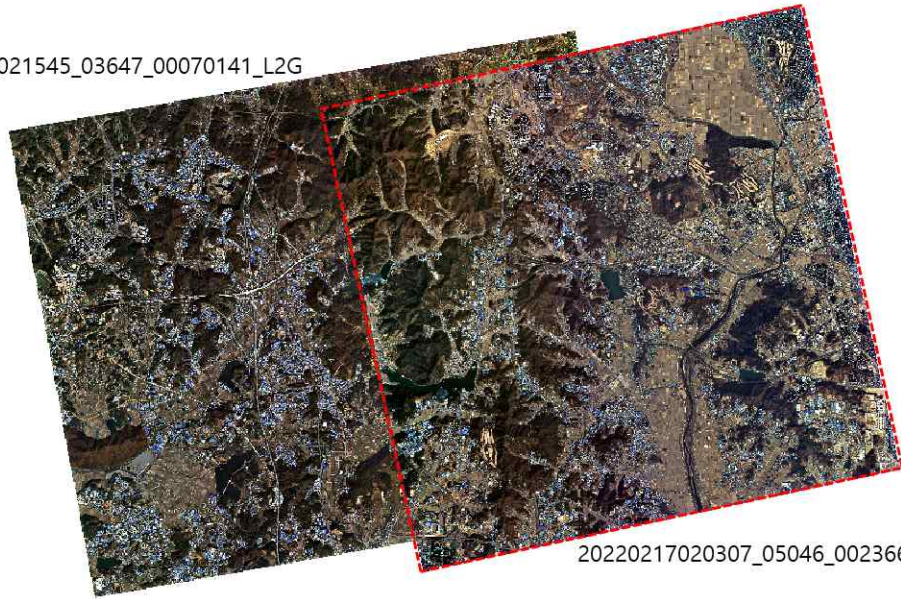
시계열 자료를 이용한 비교, 검증에 사용된 자료는 2021.10.24., 2021.12.12., 2022.02.17.에 촬영된 자료로 각각 약 2달간의 간격을 두고 촬영된 영상이다. 대략적인 위치로는 수원 지역을 포함하는 영상으로, 2021.12.12.에 촬영된 영상의 경우 영상 일부에 연무가 확인되며, 영상 하반부는 헤이즈가 심한 영상임을 확인할 수 있다.



<그림 4-7> 대기보정 된 국토위성 시계열 자료(3썸) 중첩 현황

2021.11.17.과 2022.02.17.에 촬영된 화성시 인근 국토위성 영상은 다음과 같다. 두 영상은 3개월의 차이가 있는 영상으로 두 영상 모두 구름이 없이 맑은 날 촬영이 되었다.

20211117021545_03647_00070141_L2G

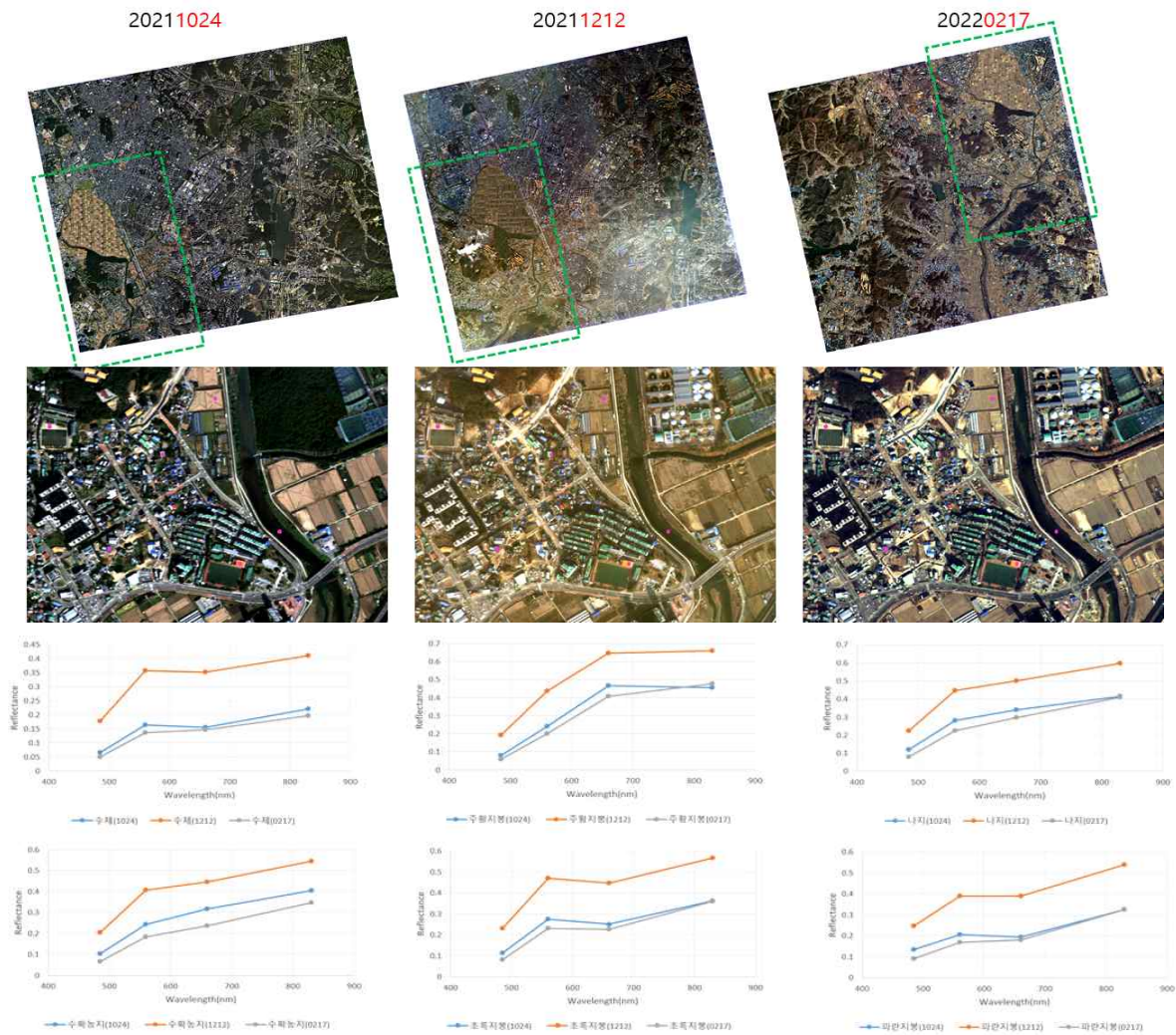


20220217020307_05046_00236619_L2G

<그림 4-8> 대기보정 된 국토위성 시계열 자료(2썸) 중첩 현황

대기보정된 반사율의 유효성 검증 방법 중 시계열 위성영상에서 시간에 따라 반사율의 변화가 거의 없는 Invariant target을 선정하여, 해당 타겟의 반사율이 영상에 따라 어느정도의 차이가 발생하는지 분석한다. 이를 통해, 대기의 영향이 최소화되었을 경우, 시계열 위성자료에서 그 반사율의 차이가 최소인지를 살펴본다. 이를 위해 해당 영상에서 확인된 Invariant target으로 유색지붕(주황, 파랑) 및 옥상(녹색), 수확 후 농지 및 나지 화소를 선정하였다.

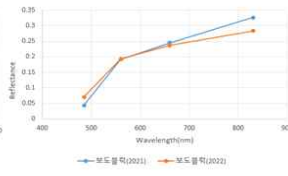
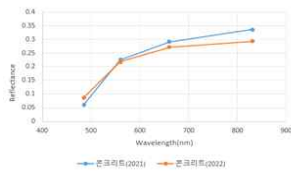
시계열 영상의 중첩되는 지역은 다음과 같으며, 다양한 지표물이 혼재하는 지점에 대하여 영상별로 동일 타겟에 대한 반사율 패턴을 확인하였다. 수채, 유색지붕(주황, 파랑) 및 옥상(녹색), 수확 후 농지 및 나지에 대한 영상별 반사율을 비교하였다. 반사율 확인 결과 각각의 지표물이 시계열 영상 모두 비슷한 패턴을 나타내고 있으나, 12월의 영상의 반사율이 전체적으로 눈에 띄게 높게 나타났다.



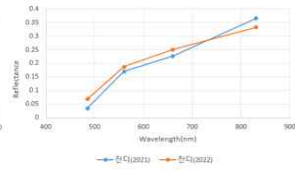
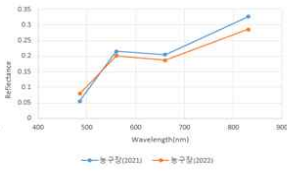
<그림 4-9> 국토위성 시계열 자료(2개월 간격) 반사율 비교

콘크리트 및 보도블럭, 농구장, 잔디, 유색지붕 및 운동장 트랙, 나지 등의 반사율을 비교하였다. 두 시기 영상에서 나타나는 지표물의 반사율은 패턴은 매우 유사하게 나타났다. 이는 불변성 지표물을 대상으로 반사율을 확인한 결과이며, 타 밴드에 비해 근적외선 밴드에서 약간의 차이가 발생되었다. 향후 다중시기, 다양한 피복에 대한 반사율 비교·검증이 필요할 것으로 사려된다.

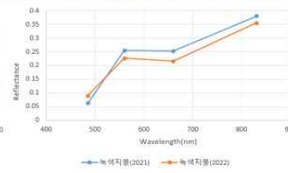
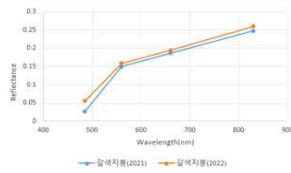
20211117



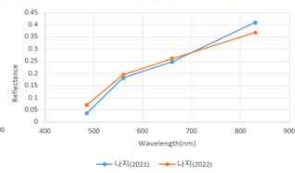
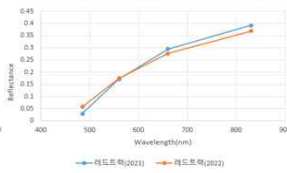
20220217



20211117



20220217



<그림 4-10> 대기보정 된 국토위성 시계열 자료(3개월 간격) 반사율 비교

4) 결론

표면반사율 영상의 유효성을 검증하기 위하여 ASD 관측 자료를 이용한 검증, 타 위성 및 드론을 이용한 비교 검증, 시계열 영상을 이용한 반사율 비교로 구분하여 유효성 검증을 수행하였다. 국토 위성이 촬영된 동일 날짜에 관측된 화성과 의왕 지역을 대상으로 현장 지표반사율 측정 및 드론 촬영, 대기·기상정보 자료수집, 타 위성자료 수집을 진행하였다. 국토위성과 ASD 반사율과의 관계는 0.75~0.95의 높은 상관계수를 보이고 있으며, 반사율이 비교적 높은 근적외선에서 가장 높은 RMSE가 나타났다. 청색광영역을 제외하고 0.6~0.8사이의 Ratio를 보이고 있으며, 전체적으로 국토위성영상의 청색광 영역은 낮은 반사율을 보이는 것으로 나타났다. Sentinel이나 드론 영상은 국토위성영상과 대부분 0.6~0.8 사이의 상관계수를 가지고있으며, Landsat 8/9 위성영상의 경우 도심지와 같이 다양한 피복을 보이는 지역에서는 0.3의 낮은 상관계수를 보이고, 산림과 같이 단일 피복이 주로 분포하는 지역에서는 0.7 이상의 상관계수를 나타내었다. Invariant target에 대해 국토위성영상의 반사율 영상에서는 시계열적 변화가 작게 나타났다. 향후, 정확한 국토위성 표면 반사율 영상 제작을 위해서는 본 과업에서 수행한 보정 방법보다 정확한 기본복사보정 및 절대복사 보정이 선행되어야 한다.

나. 픽셀단위정보 유효성 검증

1) 검증 목적

국토위성 사용자 친화형 영상 제품은 사용자가 영상분석을 용이하게 하기 위하여 각각의 픽셀단위 특성 정보를 별도의 QA 레이어로 제공하고 있다. 제공되는 픽셀단위정보는 두꺼운 구름 (High Confidence Cloud), 얇은 구름 및 연무 (Low Confidence Cloud), 구름그림자 (Cloud Shadow), 지형그림자 (Terrain Shadow), 수계 (Water), 관측값이 없는 화소 (NoData), 관측 및 처리 오류 화소 (MissingData) 및 방사포화 화소 (Saturation) 총 8종이다. 픽셀단위정보 유효성 검증은 다음과 같은 목적으로 수행되었다.

- 사용자에게 픽셀단위정보 유효성 정보 제시
- 픽셀단위정보 생성 알고리즘 비교평가 지표 수립

2) 검증 방법


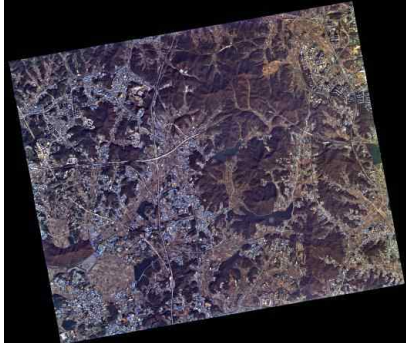
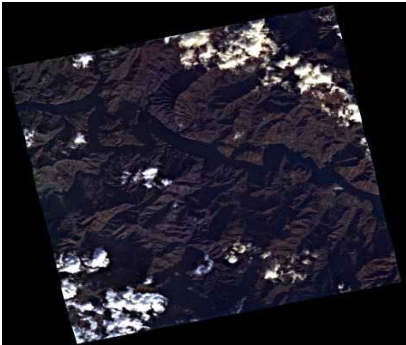
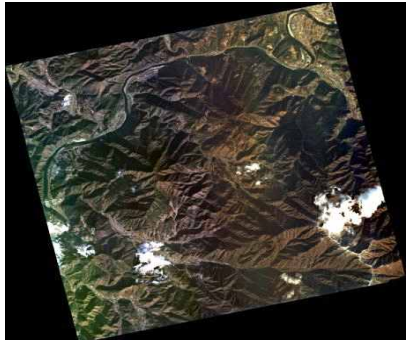
픽셀단위정보 유효성 검증을 위해 육안 분석을 통해 각각의 픽셀단위정보별 기준자료를 생성하고, 이를 시범제작된 사용자 친화형 영상 제품에서 제공하는 정보와 비교하여 통계적 특성을 제시하도록 한다.

가) 시험대상 영상 선정

픽셀단위정보 유효성 검증을 위해 토지피복, 지형, 구름 유무, 수계 유무, 촬영시기, 촬영각 등을 고려해 아래 표 4-12와 같이 4장의 영상을 선정하였다.

향후 지금보다 많은 영상이 확보된다면, 좀 더 다양한 조건을 가진 영상들을 선정하여 알고리즘 성능평가를 위한 데이터 세트로 활용이 가능할 것이다.

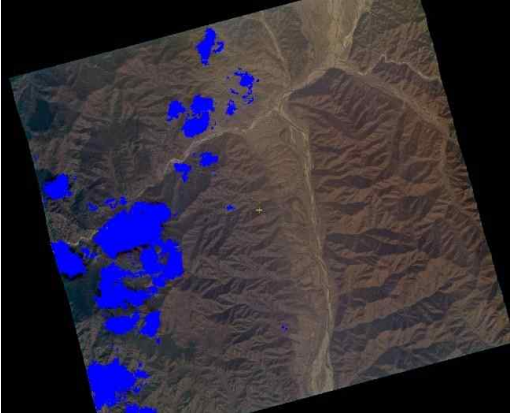
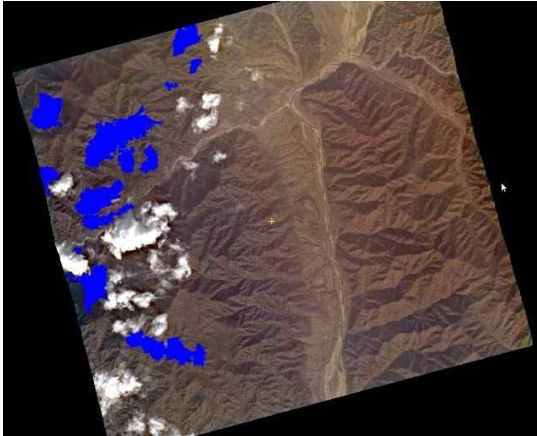
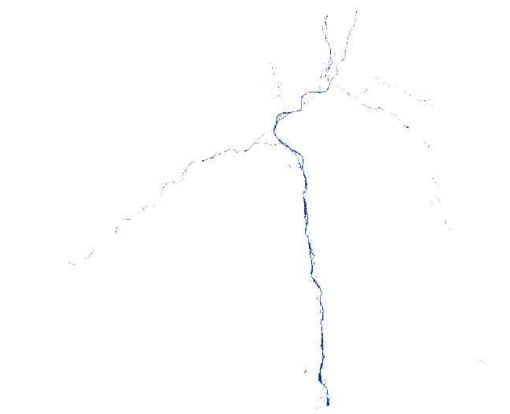
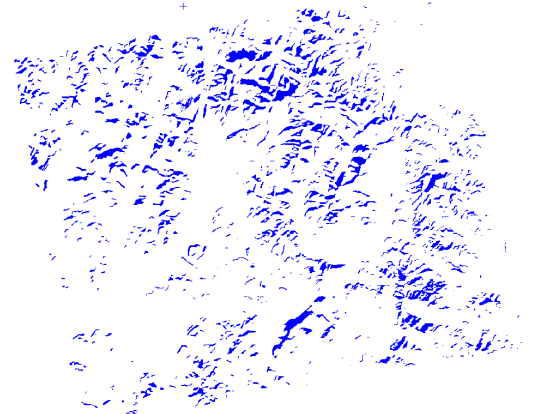
<표 4-12> 픽셀단위정보 유효성 검증용 영상

지역	촬영일	촬영각	영상	특징
함경북도 청진시	2021/11/04	13.0331		구름 수계 산지
경기도 화성	2021/11/17	21.6883		수계 도심 산지
황해북도 신평군	2021/12/12	8.6102		구름 수계 산지
충청북도 단양군	2021/12/17	2.7076		구름 수계 산지

나) 기준자료 생성

픽셀단위정보 유효성 분석을 위해 해당 영상을 육안으로 분석하여 각 픽셀단위정보 기준자료를 생성하였다. 단, 구름의 경우 구름의 종류를 구분하지 않고 생성하였으며, 지형그림자 (Terrain Shadow)는 화성지역에 대해서만 생성하였다. 후보 영상 중 방사포화가 발생한 영상이 없어 방사포화는 검증에 포함하지 않았다.

<표 4-13> 기준자료 예시

Cloud	Cloud Shadow
	
Water	Terrain Shadow
	

다) 통계적 분석

각 검증 대상영상의 픽셀단위정보는 육안분석으로 생성된 기준자료와 픽셀단위로 비교를 수행하여 오차행렬을 작성하였다.

<표 4-14> 오차행렬 (Confusion Matrix)

		픽셀단위정보 기준자료 (육안분석)	
		TRUE (1)	FALSE (0)
시범제작 제품 픽셀단위정보	TRUE (1)	True Positive (TP)	False Positive (FP)
	FALSE (0)	False Negative (FN)	True Negative (TN)

오차행렬을 이용하여 픽셀단위정보의 유효성 평가를 위해 아래와 같이 통계적 지표를 산출하였다.

<표 4-15> 픽셀단위정보 유효성 지표

지표	수식	설명
Accuracy (정확도)	$\frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN}$	<ul style="list-style-type: none"> - 전체 픽셀 중 픽셀단위정보와 기준자료가 일치한 픽셀 비율 - 전체적인 모델의 성능을 의미
IoU	$\frac{TP}{TP + FN + FP}$	<ul style="list-style-type: none"> - 픽셀단위정보와 기준자료의 유사성(Similarity) - 일반적으로 0.5 이상이면 모델 성능 준수
Precision (P, 정밀도)	$\frac{TP}{TP + FP}$	<ul style="list-style-type: none"> - 픽셀단위정보에서 예측한 True 중 정답의 비율 (사용자 정확도) - 일반적으로 Precision과 Recall은 Trade-off 관계
Recall (R, 재현율)	$\frac{TP}{TP + FN}$	<ul style="list-style-type: none"> - 기준자료의 True 중 픽셀단위정보에서 True로 검출된 비율 (생산자 정확도)
F1 Score	$\frac{2 * (P * R)}{P + R}$	<ul style="list-style-type: none"> - Precision과 Recall의 조화평균 - Precision과 Recall의 불균형 정도 확인 가능
Commission Error (작위오류)	$1 - P$	<ul style="list-style-type: none"> - 픽셀단위정보의 True 중 오답의 비율 - 오검출 비율
Omission Error (누락오류)	$1 - R$	<ul style="list-style-type: none"> - 기준자료가 True이나 픽셀단위정보는 검출하지 못한 픽셀 비율 - 미검출 비율
Cohen's Kappa	$\frac{Accuracy - P_e}{1 - P_e}$	<ul style="list-style-type: none"> - 픽셀단위정보와 기준자료의 일치도를 의미 - 1에 가까울수록 픽셀단위정보와 기준자료가 일치 $P_e = \frac{(TP + FP) * (TP + FN) + (TN + FP) * (TN + FN)}{(TP + TN + FP + FN)^2}$

3) 검증 결과

아래 표는 4장의 검증대상 영상에 대해 유효성 성능 지표를 산출한 결과이다. 구름의 경우 High Confidence Cloud와 Low Confidence Cloud를 합해서 평가하였으며, 지형 그림자의 경우 경기도 화성지역에 대해서만 평가하였다.

전체적으로 Kappa 값이 0.4 이상으로 양호 또는 우수한 성능을 보이고 있으나, 구름 그림자, 지형그림자, 구름 영역 탐지의 경우 추가적인 개선이 가능할 것으로 보인다.

<표 4-16> 픽셀단위정보 유효성 검증 결과

지표	구름	구름 그림자	지형 그림자	수계	NoData	Missing Data	방사포화
Accuracy (정확도)	0.9761	0.9760	0.9542	0.9972	1.0000	0.9999	0.9998
IoU	0.5004	0.2768	0.4105	0.8545	1.0000	0.9102	0.0000
Precision (P, 정밀도)	0.9977	0.7211	0.6412	0.9465	1.0000	0.9231	0.0000
Recall (R, 재현율)	0.5009	0.3100	0.5329	0.8979	1.0000	0.9848	0.0000
F1 Score	0.6670	0.4336	0.5821	0.9215	1.0000	0.9530	0.0000
Commission Error (작위오류)	0.0022	0.2788	0.3587	0.0534	0.0000	0.0768	1.0000
Omission Error (누락오류)	0.4990	0.6899	0.4670	0.0102	0.0000	0.0151	1.0000
Cohen's Kappa	0.6560	0.4233	0.5581	0.9202	1.0000	0.9529	0.0000

가) 구름 정보

구름 정보의 기준자료는 구름의 종류에 상관없이 제작되었다. 그러므로, 시범 제작된 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보 중 두꺼운 구름 (High Confidence Cloud), 얇은 구름 및 연무 (Low Confidence Cloud) 정보를 합하여 검증에 사용하는 것이 타당하다 하겠다. 다음 표는 영상별 구름 정보의 성능지표를 보여준다.

<표 4-17> 구름정보(High & Low) 유효성 검증 결과

지표	청진	화성	신평	단양	표준편차 ¹⁾	전체 ²⁾
Accuracy (정확도)	0.9686	0.9999	0.9528	0.9821	0.0147	0.9761
IoU	0.3762	0	0.5766	0.4514	0.1012	0.5004
Precision (P, 정밀도)	0.9999	0	0.9993	0.9947	0.0028	0.9977
Recall (R, 재현율)	0.3762	0	0.5768	0.4525	0.1013	0.5009
F1 Score	0.5468	0	0.7314	0.6220	0.0928	0.6670
Commission Error (작위오류)	0.0000	1	0.0006	0.0052	0.0028	0.0022
Omission Error (누락오류)	0.6237	1	0.4231	0.5474	0.1013	0.4990
Cohen's Kappa	0.5340	0	0.7076	0.6142	0.0869	0.6560

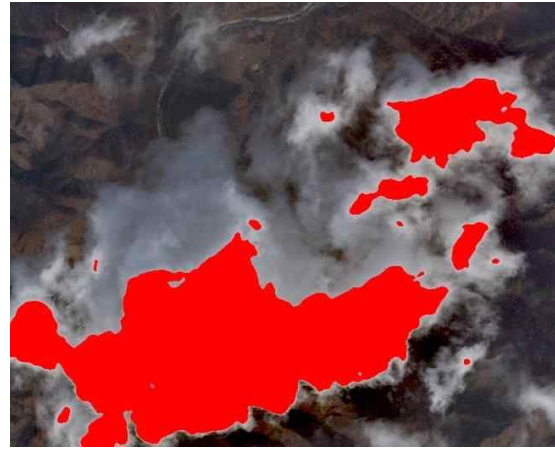
표에서 확인할 수 있듯이 구름정보는 기준자료와 상당한 일치도를 보이거나, 작위오류는 매우 낮고 누락오류가 높은 과소추정의 양상을 보인다. 아래 그림에서 보면 구름 중 그림자가 진 영역, 옅은 구름을 미탐지하는 경우가 가장 많고, 밝은 지붕 등 도심지역에서의 오탐지가 발생하고 있음을 알 수 있다.

1) 구름이 없는 화성지역 제외

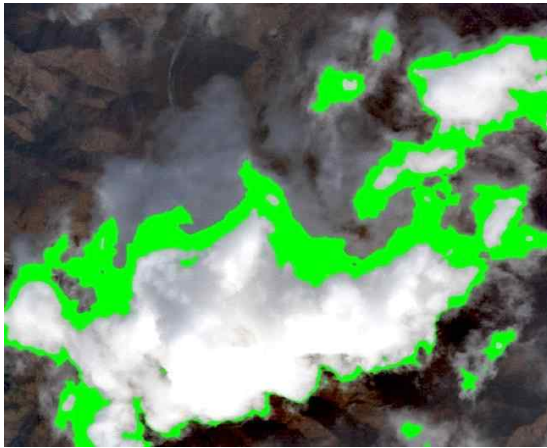
2) 4장 영상의 모든 픽셀정보를 합하여 오차행렬 생성 후 산출한다. 이하 정보도 동일한 방식으로 계산하였다.



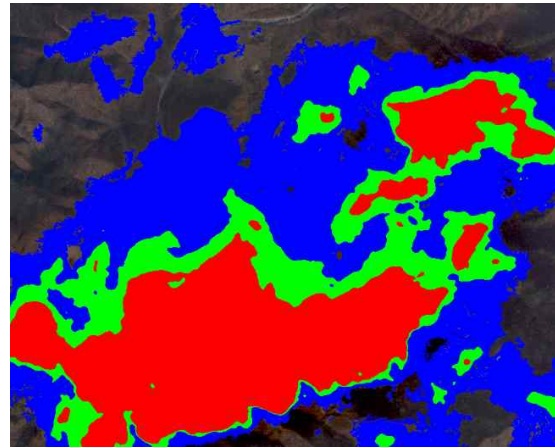
RGB 영상



High Confidence Cloud



Low Confidence



기준자료(청색)와 비교 (적색+녹색)

<그림 4-11> 구름 픽셀단위정보 화소값 비교



구름 미검출 사례



구름 오검출 사례

<그림 4-12> 구름 픽셀단위정보 예시

나) 구름 그림자 정보

<표 4-18> 구름 그림자 유효성 검증 결과

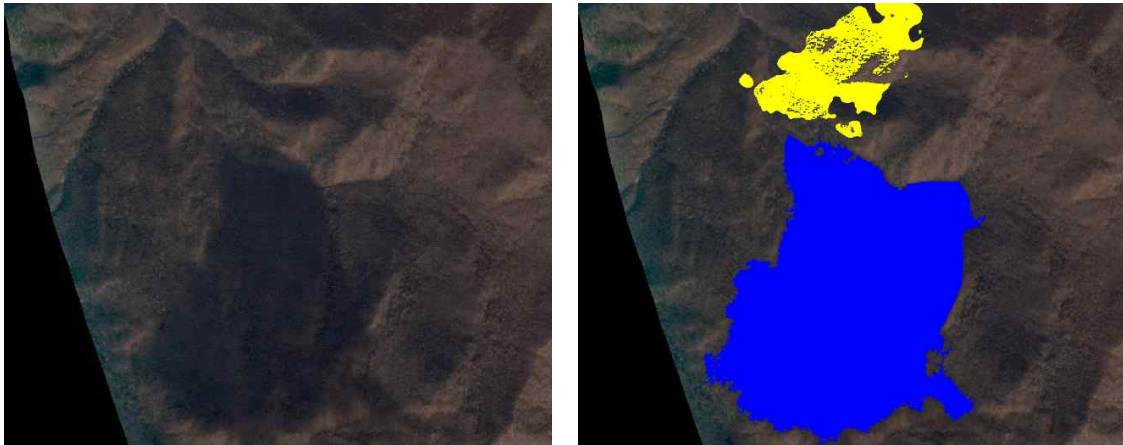
지표	청진	화성	신평	단양	표준편차 ³⁾	전체
Accuracy (정확도)	0.9719	0.9999	0.9503	0.9801	0.0154	0.9760
IoU	0.1916	0	0.3383	0.2218	0.0775	0.2768
Precision (P, 정밀도)	0.7784	0	0.7782	0.5003	0.1605	0.7211
Recall (R, 재현율)	0.2027	0	0.3744	0.2849	0.0859	0.3100
F1 Score	0.3217	0	0.5056	0.3631	0.0965	0.4336
Commission Error (작위오류)	0.2215	1	0.2217	0.4996	0.1605	0.2788
Omission Error (누락오류)	0.7972	1	0.6255	0.7150	0.0859	0.6899
Cohen's Kappa	0.3123	0	0.4828	0.3538	0.0889	0.4233

구름 그림자의 경우 높은 미검출률이 발생하고 있다. 기준자료와 비교결과 1) 그림자가 상대적으로 밝은 경우, 2) 지형에 따른 그림자 모양, 위치 변형, 3) 구름정보 검출에 실패한 경우 또는 구름이 영상 외부에 존재하는 경우 등이 미검출 결과를 생성하는 것으로 보인다.

3) 구름이 없는 화성지역 제외



구름 그림자 미검출 사례, 우측 기준자료



구름 그림자 위치 오류 사례, 우측 기준자료(청색)와 픽셀단위정보 중첩
작위오류 및 누락오류 증가

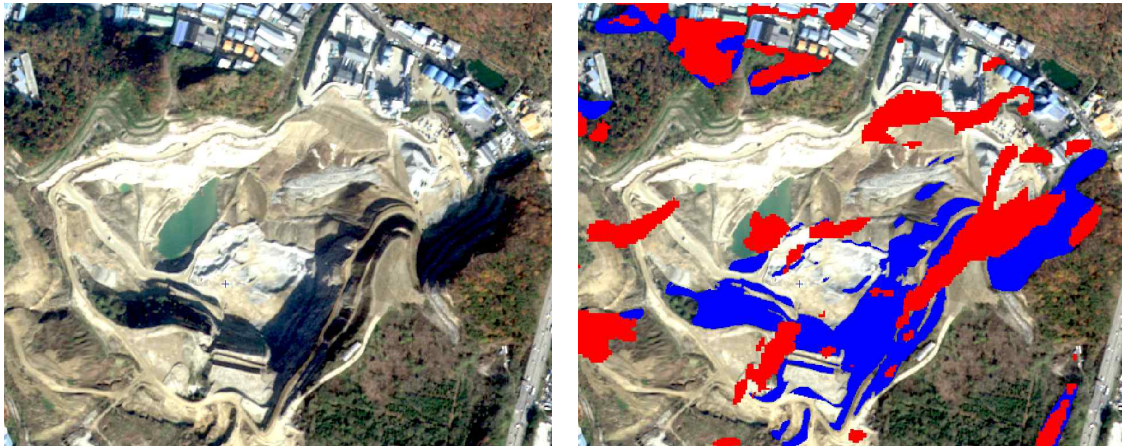
<그림 4-13> 구름 그림자 픽셀단위정보 예시

다) 지형그림자

지형그림자의 경우 산지 및 도심지역이 섞여 있는 화성지역에 대해 기준자료를 생성하였다. 전체적으로 양호한 성능을 보이나, 지형의 변화가 심한 지역에서는 오류가 증가하는 경향을 보인다.

<표 4-19> 지형 그림자 유효성 검증 결과

지표	청진	화성	신평	단양	표준편차	전체
Accuracy (정확도)	NA	0.9542	NA	NA	NA	0.9542
IoU	NA	0.4105	NA	NA	NA	0.4105
Precision (P, 정밀도)	NA	0.6412	NA	NA	NA	0.6412
Recall (R, 재현율)	NA	0.5329	NA	NA	NA	0.5329
F1 Score	NA	0.5821	NA	NA	NA	0.5821
Commission Error (작위오류)	NA	0.3587	NA	NA	NA	0.3587
Omission Error (누락오류)	NA	0.4670	NA	NA	NA	0.4670
Cohen's Kappa	NA	0.5581	NA	NA	NA	0.5581



지형 그림자 오류 사례 , 우측 기준자료(청색)와 픽셀단위정보(적색) 중첩

<그림 4-14> 지형 그림자 픽셀단위정보 예시

라) 수계

수계정보는 전체적으로 우수한 결과를 보여줬으나, 청진 영상에서는 매우 높은 누락오류를 보여주고 있다. 이는 폭이 좁은 수계 및 새로 생긴 수계 등의 검출 실패에 기인하는 것으로 보인다.

<표 4-20> 수계 유효성 검증 결과

지표	청진	화성	신평	단양	표준편차	전체
Accuracy (정확도)	0.9983	0.9983	0.9949	0.9973	0.0016	0.9972
IoU	0.3583	0.8479	0.8985	0.7984	0.2484	0.8545
Precision (P, 정밀도)	0.9849	0.8965	0.9886	0.8323	0.0754	0.9465
Recall (R, 재현율)	0.3606	0.9408	0.9078	0.9515	0.2870	0.8979
F1 Score	0.5276	0.9177	0.9465	0.8879	0.1963	0.9215
Commission Error (작위오류)	0.015	0.1043	0.0113	0.1676	0.0755	0.0534
Omission Error (누락오류)	0.6396	0.0591	0.0921	0.0484	0.2871	0.102
Cohen's Kappa	0.5269	0.9168	0.9439	0.8866	0.1958	0.9202



청진 지역 수계 오류 사례 , 우측 기준자료(노란색)와 픽셀단위정보 중첩

<그림 4-15> 수계 픽셀단위정보 예시

마) NoData

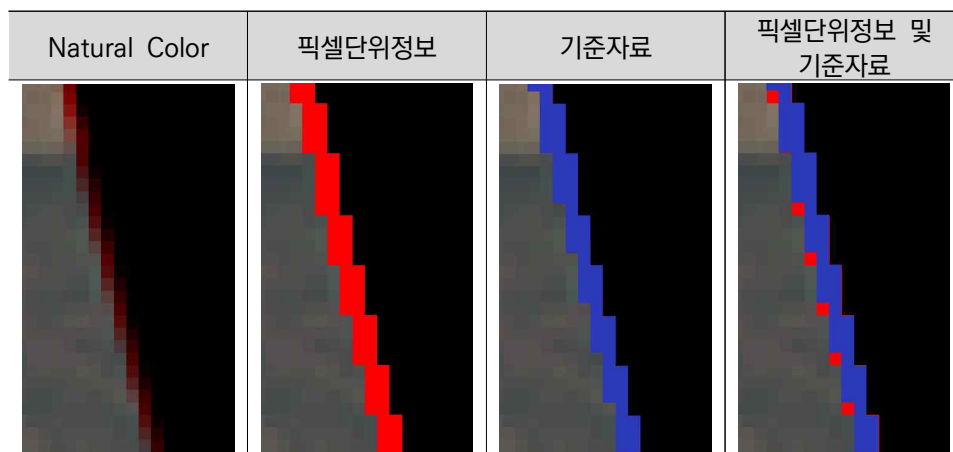
NoData 의 경우 4장의 영상 모두 기준자료와 일치하는 결과를 제공하고 있다.

바) MissingData

Missing Data는 “위성영상 내 관측값 중 관측 오류 및 기하보정 처리 과정에서 오류가 발생한 화소”로 정의된다. Missing Data의 기준자료는 4 band 중 일부 자료가 없거나, 육안으로 보기에 색감 이상이 발생한 것으로 판단되는 픽셀을 선정하였다. 평균 91% 이상의 IoU로 기준자료와 픽셀단위정보가 매우 잘 일치하는 결과를 얻었다.

<표 4-21> Missing Data 유효성 검증 결과

지표	청진	화성	신평	단양	표준편차	전체
Accuracy (정확도)	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.0000	0.9999
IoU	0.9303	0.8624	0.8924	0.9286	0.0325	0.9102
Precision (P, 정밀도)	0.9553	0.8893	0.8968	0.9351	0.0314	0.9231
Recall (R, 재현율)	0.9726	0.966	0.9945	0.9925	0.0143	0.9848
F1 Score	0.9638	0.9261	0.9431	0.9629	0.0180	0.9530
Commission Error (작위오류)	0.0446	0.1106	0.1031	0.0648	0.0314	0.0768
Omission Error (누락오류)	0.0273	0.0339	0.0054	0.0074	0.0143	0.0151
Cohen's Kappa	0.9638	0.9261	0.9431	0.9629	0.0180	0.9529



<그림 4-16> MissingData 픽셀단위정보 예시

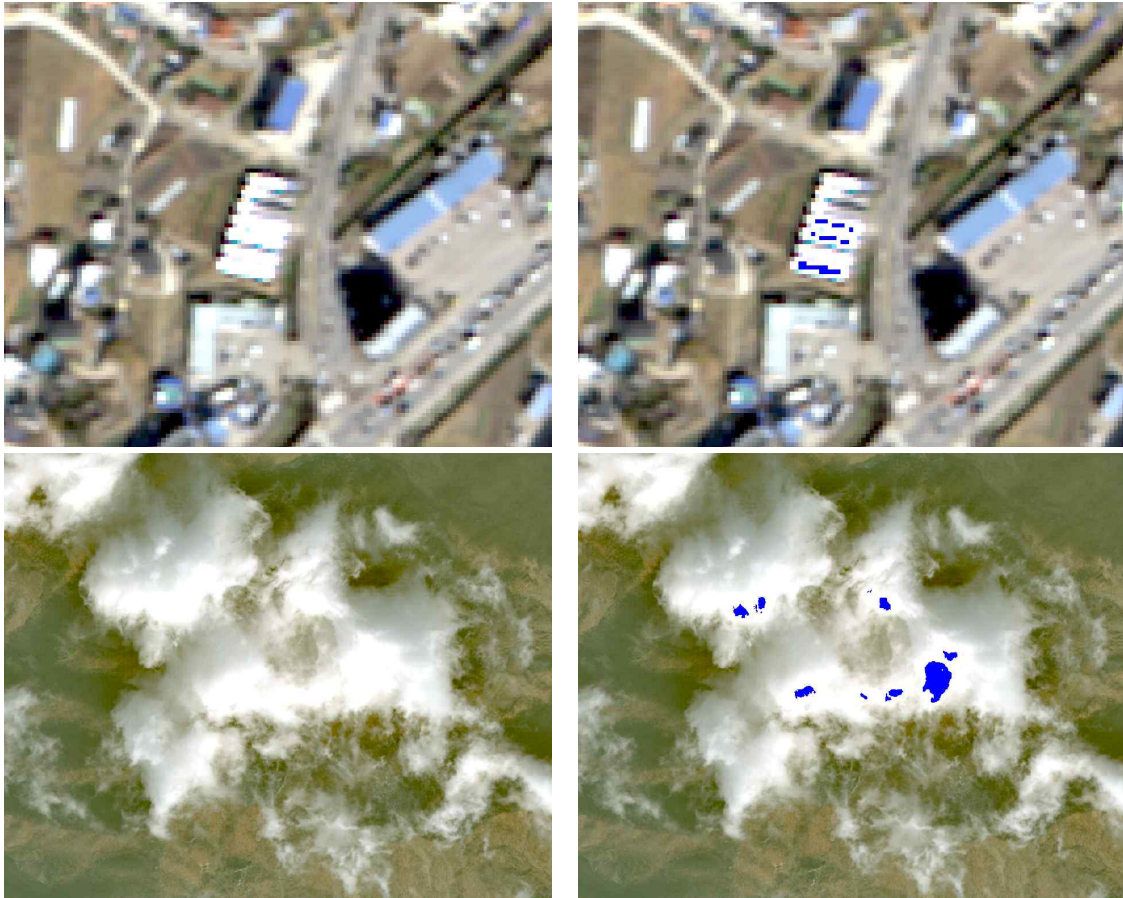
사) 방사포화

방사포화 픽셀단위정보 유효성은 아래 표와 같이 매우 우수한 성능을 보여준다.

<표 4-22> 방사포화 유효성 검증 결과

지표	청진	화성	신평	단양	표준편차	전체
Accuracy (정확도)	1.0000	1.0000	0.9995	0.9999	0.0002	0.9998
IoU	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Precision (P, 정밀도)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Recall (R, 재현율)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
F1 Score	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Commission Error (작위오류)	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Omission Error (누락오류)	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Cohen's Kappa	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

그러나, 화성, 신평, 단양에서 SR영상 기준 픽셀값이 10,000 이상인 방사포화 픽셀이 각각 549 픽셀, 22416 픽셀, 918 픽셀 발생하였으나, 시범제작 픽셀단위정보에서는 이를 식별하지 못하였다.



방사포화 오류 사례 , 우측 기준자료(파란색) 영상 중첩

<그림 4-17> 방사포화 픽셀단위정보 예시

4) 타 위성자료 비교

M Main-Knorn et al. (2019)은 Sentinel-2 L2A 제품에서 제공하고 있는 픽셀단위정보를 검증하였다. Sentinel-2 L2A에서 제공하고 있는 픽셀단위정보 중 국토위성 사용자 친화형 영상 제품과 동일한 정보는 구름, 구름 그림자 및 수계며 세 가지 정보에 대한 지표 비교는 아래와 같다.

<표 4-23> 픽셀단위정보 유효성 지표 비교

픽셀단위정보	Sentinel-2 L2A		시범제작 사용자 친화형 영상 제품	
	Commission Error	Omission Error	Commission Error	Omission Error
구름	0.056	0.165	0.0022	0.4990
구름 그림자	0.045	0.556	0.2788	0.6899
수계	0.056	0.019	0.0534	0.0102

구름의 경우 국토위성이 Sentinel 위성에 비해 매우 낮은 작위오류(Commission error)를 보이나, 누락오류(Omission error)는 매우 높아 상대적으로 과소 추정하는 경향이 강하다. 이는 알고리즘 개발 정책이 작위오류를 최소화하는 방향으로 설정되었기 때문이다. 구름 그림자의 경우 국토위성이 작위오류, 누락오류 모두 높아 알고리즘의 개선이 필요하다. 수계는 Sentinel-2 자료와 유사하거나 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있었다.

5) 결론

픽셀단위정보의 유효성을 검증하기 위해 육안분석 기반의 기준자료를 생성하고 픽셀단위정보와 비교하여 정성적, 정량적 분석을 진행하였다. 정성적 분석은 영상과 픽셀단위정보를 중첩하여 육안 판독을 실시하였으며, 정량적 분석은 각 기준자료와 비교를 통해 오차행렬을 생성한 뒤, 오차행렬을 기반으로 8가지의 통계적 지표를 산출하였다. 산출된 픽셀단위정보 중 구름, 구름 그림자, 수계 정보의 경우 타 위성의 픽셀단위정보에 대한 검증 결과가 존재하여 지표비교를 함께 진행하였다.

산출 결과, Cohen's Kappa 계수가 전체적으로 0.42 ~ 0.92로 양호 또는 우수한 성능을 보이고 있으나, 상대적으로 계수가 낮은 구름 (0.66), 구름 그림자 (0.42), 지형 그림자 (0.56)의 경우 추가적인 개선이 가능할 것으로 보인다. 세가지 항목 모두 높은 누락오류(Omission error)를 보여 과소추정 양상을 보여주었다. 구름 그림자, 지형 그림자 항목은 상대적으로 높은 작위오류(Commission error)를 함께 보여주어 오탐지도 발생하고 있음을 알 수 있다. 이는 추가적인 연구를 통해 개선되어야 할 부분이다.

다. 시범제작 산출물 용이성 검증

1) 용이성 검증의 목표 및 수행 내용

사용자 친화형 영상 제품 개발 목적은 사용자가 위성영상을 쉽게 활용할 수 있는 제품을 제공하기 위한 것이다. 이러한 목적달성을 위해 사용자 친화형 영상 제품의 사양은 분석준비자료(Analysis Ready Data: ARD) 요구사항을 참조하여 개발되었다. 그러므로, 시범제작된 산출물의 용이성 검증의 목표는 기본적으로 제작된 산출물이 설계된 사양대로 개발되었는지 검증하는 것이다. 반복적인 검증과 피드백을 통해 최종제작된 시범제작 제품은 모든 설계 사양을 만족하였다. 추가로, 사양 설계 시 참조한 CARD4L SR (CEOS ARD for Land Surface Reflectance) 요구사항 만족도를 자체적으로 평가하였다.

또한, 사용자가 기존에 사용하던 소프트웨어를 이용하여 국토위성 사용자 친화형 영상 제품을 읽고 처리하는 과정에서 문제가 없는지 검토하였다.

2) 사용자 친화형 영상 제품 CARD4L 요구사항 만족도 검증

CARD4L SR Product Family Specification 은 VIS/NIR/SWIR 밴드를 이용하는 다중분광 센서에 적용할 수 있는 ARD 사양서이다. 사양서에서는 일반 메타정보, 픽셀단위정보 메타정보, 복사/대기보정, 기하보정에 대한 요구사항을 정의하고 있다. 요구사항은 임계(최소)요구사항과 목표 요구사항 두 가지 기준으로 작성되어 있으며, 국토위성 사용자 친화형 영상제품은 임계 요구사항 만족을 목표로 한다. 본 절에서는 시범제작된 국토위성 사용자 친화형 영상제품이 이 임계요구사항을 만족하는지 검증하도록 한다. 만족도는 아래의 표를 따른다.

<표 4-24> 요구사항 만족도 표시

만족	부분만족	불만족
O	△	X
CARD4L 요구사항 만족	CARD4L 요구사항을 만족하나, 향후 지속적인 업데이트 필요	CARD4L 요구사항 불만족

가) 일반 메타정보

일반 메타정보 요구사항은 사용자가 수집된 위성자료가 활용목적에 적합한지 판단하기 위해 필요한 최소한의 메타정보를 임계 요구사항으로 정의하고 있다. 총 17개의 항목으로 구성되어 있고, 각 항목별로 만족도를 아래와 같이 자체 평가하였다.

<표 4-25> 일반 메타정보 요구사항 만족도

번호	항목	임계(최소) 요구사항	설명	만족도
1.1	추적가능성 (Traceability)	필요 없음	요구사항 없음.	O
1.2	기계가독형 메타데이터 (Metadata Machine Readability)	메타데이터는 컴퓨터가 일관되게 그리고 자동으로 각각의 구성 요 소를 추출하고 해석할 수 있는 구 조로 제공되어야 한다.	기계 가독이 가능한 xml 형태 메타데이터 제 공	O
1.3	자료취득시간 (Data Collection Time)	메타데이터는 자료 취득 시각을 명시해야 하며, 해당 시각은 날짜 와 초 단위의 UTC 시간을 명확히 제공해야 한다.	메타데이터 내 영상 획득시간을 UTC로 제공 〈CreateDate〉2022-02-08T12:00:00 〈/CreateDate〉	O
1.4	지리적 위치 (Geographical Area)	메타데이터는 검증된 좌표계 상의 네 모서리 점의 집합으로 자료의 지리적 위치를 명시해야 한다.	메타데이터 내 영상 네 모서리 좌표 제공 〈ImagingCoordinates〉 〈ImageGeogTL〉 〈Latitude〉37.2000155〈/Latitude〉 〈Longitude〉126.9248101〈/Longitude〉 〈/ImageGeogTL〉 〈ImageGeogTR〉 〈Latitude〉37.2001351〈/Latitude〉 〈Longitude〉126.9500054〈/Longitude〉 〈/ImageGeogTR〉 〈ImageGeogBL〉 〈Latitude〉37.1748673〈/Latitude〉 〈Longitude〉126.9250008〈/Longitude〉 〈/ImageGeogBL〉 〈ImageGeogBR〉 〈Latitude〉37.1749868〈/Latitude〉 〈Longitude〉126.9501878〈/Longitude〉 〈/ImageGeogBR〉 〈/ImagingCoordinates〉	O
1.5	좌표계 (Coordinate Reference System)	메타데이터는 사용된 좌표계를 명 시해야 한다.	메타데이터 내 좌표계 제공 〈CoordinateReferenceSystem〉 〈CSCode〉EPSG:5179〈/CSCode〉 〈GeodeticCRS〉Korea2000 〈/GeodeticCRS〉 〈Datum〉GeocentricDatumofKorea 〈/Datum〉 〈Ellipsoid〉GRS80〈/Ellipsoid〉 〈/CoordinateReferenceSystem〉	O
1.6	투영법 (Map Projection)	메타데이터는 사용된 지도 투영법 과 해당 투영법에서 자료를 활용 하기 위해 요구되는 모든 파라미 터를 명시해야 한다.	메타데이터 내 투영법 제공 〈Projection〉TransverseMercator〈/Projection〉	O
1.7	기하보정법 (Geometric Correction Methods)	필요 없음	요구사항 없음.	O
1.8	기하정확도 (GeometricAccuracy of the Data)	필요 없음	요구사항 없음.	O
1.9	장비 (Instrument)	메타데이터는 자료 수집에 사용된 장비를 명시해야 한다.	메타데이터 내 위성 및 장비명 제공 〈Satellite〉CAS500-1〈/Satellite〉 〈Sensor〉AEISS-C〈/Sensor〉	O

번호	항목	임계(최소) 요구사항	설명	만족도
1.10	분광밴드 (Spectra Bands)	메타데이터는 자료가 포함된 각 밴드의 중앙 파장대 값을 SI 표준 단위계로 명시해야 한다.	메타데이터 내 분광밴드 정보 제공 <BandWavelength> <MIN unit="nm">450</MIN> <MAX unit="nm">520</MAX> <CENTRAL unit="nm">485</CENTRAL> </BandWavelength>	O
1.11	센서보정 (Sensor Calibration)	요구사항 없음.	요구사항 없음.	O
1.12	복사정확도 (Radiometric Accuracy)	요구사항 없음.	요구사항 없음.	O
1.13	알고리즘 정보 (Algorithms)	메타데이터는 모든 알고리즘과 생성 단계에서 적용된 순서를 명시해야 한다. 참고1: 알고리즘에 대한 정보는 메타데이터에서 단일 DOI랜딩페이지로 제공되어야 한다.	메타데이터 내 방사, 대기보정 알고리즘명 제공 <RadiometricCorrectionAlgorithm>6SV</RadiometricCorrectionAlgorithm> <AtmosphericCorrectionAlgorithm>FLAASH</AtmosphericCorrectionAlgorithm>	△
1.14	보조자료 (Auxiliary Data)	메타데이터는 생성 프로세스에서 사용되는 보조자료를 제공해야 한다. (DOI 권장) 참고1: 보조자료는 DEM, 에어로졸 등이 포함된다.	메타데이터 내 보조자료 정보 제공 <LUTVersionNo>Undefined</LUTVersionNo> <AtmosphericModel>MSL</AtmosphericModel> <AerosolModel>Rural</AerosolModel> <AOTSource>MOD09CMA_NRT</AOTSource> <WaterVapourSource>MOD09CMA</WaterVapourSource> <OzoneSource>MOD09CMG_NRT</OzoneSource> <DEMSource>NGII_DEM_5m</DEMSource> <DTMSource>NGII_DTM_5000_v2.0</DTMSource>	O
1.15	처리과정 (Processing Chain Provenance)	요구사항 없음.	요구사항 없음.	O
1.16	자료 접근 (Data Access)	메타데이터는 자료 접근에 대한 정보를 단일 DOI 랜딩 페이지로 제공해야 한다. 참고1: 수동 및 오프라인 작업이 필요할 수 있다.	DOI 형태는 아니나 메타데이터 내 정보 제공 <DataAccess>http://map.ngii.go.kr/mn/mainPage.do/</DataAccess>	△
1.17	종합 자료 품질 (Overall Data Quality)	적용 불가	요구사항 없음.	O

나) 픽셀단위정보 메타정보

픽셀단위정보 메타데이터 요구사항은 픽셀 단위로 제공되어야 할 메타정보의 요구사항을 명시한다. 총 13개의 항목으로 구성되어 있고, 각 항목별로 임계요구사항에 대한 만족도를 아래와 같이 자체 평가하였다.

<표 4-26> 픽셀단위정보 메타정보 요구사항 만족도

번호	항목	임계(최소) 요구사항	설명	만족도
2.1	기계 가독형 메타데이터 (Metadata Machine Readability)	메타데이터는 컴퓨터가 일관되게 그리고 자동으로 각각의 구성 요소를 추출하고 해석할 수 있는 구조로 제공되어야 한다.	기계 가독이 가능한 xml 형태 제공	O
2.2	미획득자료 (NoData)	관찰값이 아닌 의미 없는 값을 포함하는 화소에 별도 플래그가 지정되어야 한다.	별도 레이어로 제공 NoData	O
2.3	손실 자료 (Missing Data)	메타데이터는 픽셀 별 테스트가 성공적으로 완료되지 않은 픽셀을 식별해야 한다.	별도 레이어로 제공 MissingData	O
2.4	포화도 (Saturation)	메타데이터는 하나 혹은 다중 분광 밴드가 과포화 상태임을 명시해야 한다.	별도 레이어로 제공 Saturation	O
2.5	구름 (Cloud)	메타데이터는 픽셀이 구름으로 판단되는 여부를 명시해야 한다.	2개의 별도 레이어로 제공 HighConfidenceCloud LowConfidenceCloud	O
2.6	구름 그림자 (Cloud Shadow)	메타데이터는 픽셀이 구름 그림자로 판단되는 여부를 명시해야 한다.	별도 레이어로 제공 CloudShadow	O
2.7	육상/수계 마스크 (Land/Water Mask)	요구되지 않음.	별도 레이어로 제공 Water	O
2.8	눈/빙 마스크 (Snow/IceMask)	요구되지 않음.	요구되지 않음.	O
2.9	지형그림자 마스크 (Terrain Shadow Mask)	요구되지 않음.	별도 레이어로 제공 TerrainShadow	O
2.1	지형차폐 (Terrain Occlusion)	요구되지 않음.	요구되지 않음.	O
2.11	광원 및 센서 시야각기하정보 (Solar and Viewing Geometry)	메타데이터는 평균 광원 및 센서 시야각 기하정보를 명시해야 한다.	메타데이터 내 평균값 제공 <SensorAngle> <Roll>21.622563498</Roll> <Pitch>1.164082657</Pitch> <Yaw>2.505282127</Yaw> <Azimuth>262.136517911</Azimuth> <Incidence>23.512855583</Incidence> <Elevation>66.487144417</Elevation> <OffNadir>21.688329808</OffNadir> </SensorAngle> <SunAngle> <Azimuth>340.345239633</Azimuth> <Elevation>32.050811731</Elevation> </SunAngle>	O
2.12	지형 조명 보정 (Terrain Illumination Correction)	요구되지 않음.	요구되지 않음.	O
2.13	에어로졸 광학두께 매개변수 (Aerosol Optical Depth Parameters)	요구되지 않음.	요구되지 않음.	O

다) 복사/대기보정

복사/대기보정 항목은 표면반사율 산출물에 대한 요구사항과 이를 처리하기 위해 필요한 최소 과정에 대한 요구사항 6개로 구성되어 있다. 각 항목별로 임계요구사항에 대한 만족도를 아래와 같이 자체 평가하였다.

<표 4-27> 복사/대기보정 요구사항 만족도

번호	항목	임계(최소) 요구사항	설명	만족도
3.1	측정값 (Measurement)	픽셀값은 지표면의 표면반사율에 대한 측정값을 표시해야 한다. 해당 값은 차원이 존재하지 않는다.	사용자 친화형 영상 제품의 픽셀값은 차원이 없는 표면반사율로 제공됨	○
3.2	측정값 불확실성 (Measurement Uncertainty)	요구되지 않음.	요구되지 않음.	○
3.3	측정값 정규화 (Measurement Normalization)	요구되지 않음.	요구되지 않음.	○
3.4	대기 분산 (Directional Atmospheric Scattering)	에어로졸과 분자(레일리)산란에 대한 보정이 시행되어야 한다. 메타데이터는 단일 DOI 페이지로 다음에 대한 내용을 포함하는 정보를 제시해야 한다. (동료평가를 거친 알고리즘에 대한 인용, 해당 알고리즘에 대한 기술 문서, 보정에 사용된 보조자료의 출처) 참고1: 기술문서의 예시는 알고리즘 기초기술 문서와 사용자 가이드 등을 포함한다.	에어로졸과 분자(레일리)산란에 대한 보정을 수행하며, 메타데이터 내 알고리즘 명시 <AtmosphericModel>MSL</AtmosphericModel> <AerosolModel>Rural</AerosolModel> <AOTSource>MOD09CMA_NRT</AOTSource>	△
3.5	수증기 보정 (WaterVapour Corrections)	수증기에 대한 보정이 시행되어야 한다. 메타데이터는 단일 DOI페이지로 다음에 대한 내용을 포함하는 정보를 제시해야 한다. (동료평가를 거친 알고리즘에 대한 인용, 해당 알고리즘에 대한 기술문서) 참고1: 기술문서의 예시는 알고리즘 기초기술 문서와 사용자 가이드 등을 포함한다.	수증기에 대한 보정을 수행하며, 메타데이터 내 관련 보조자료 명시 <WaterVapourSource>MOD09CMA</WaterVapourSource>	△
3.6	오존 보정 (Ozone Corrections)	요구되지 않음.	요구되지 않음 메타데이터 내 관련 보조자료 명시 <OzoneSource>MOD09CMG_NRT</OzoneSource>	△

라) 기하보정





기하보정 요구사항은 시계열 분석을 위한 상대오차 1개 항목에 대한 요구사항이 있다.

<표 4-28> 기하보정 요구사항 만족도

번호	항목	임계(최소) 요구사항	설명	만족도
4.1	기하보정 (Geometric Correction)	상대 지리오차 레퍼런스 영상 기준 0.5 pixel RMSE 일관된 그리드로 영상 제공	국토위성 자료는 GCP 데이터베이스를 이용해 정밀정사 보정을 수행하고 있으며, 아리랑 3호 영상을 사용한 실험에서 MS 기준 0.55 pixel RMSE 성능을 보임 1:5,000 지도 규격에 따라 제품 제작	△

추가적인 검증을 위해 2021년 11월 17일 촬영된 영상과 2022년 2월 17일 촬영된 영상의 사용자 친화형 영상 제품을 이용하여 상대 위치오차를 측정하였으며, 0.5 pixel RMSE (1m) 이내의 상대 위치 오차를 확인하였다. 자체 평가의 신뢰도 향상을 위해서는 더 많은 자료에 대해 상대오차를 측정하도록 한다.

<표 4-29> 시계열 자료 상대위치 오차 측정

도엽	2021년 11월 17일	2022년 2월 17일	위치 오차			
37616028				$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta XY(m)$
			RMSE	0.74	0.54	0.92 (0.46 pixel)
37616029				$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta XY(m)$
			RMSE	0.6	0.54	0.80 (0.40 pixel)

3) 위성영상 처리 소프트웨어 처리 검증

사용자가 국토위성 사용자 친화형 영상 제품을 기존 원격탐사 소프트웨어를 이용해 용이하게 사용 가능한지 확인하기 위해, 무료 소프트웨어인 QGIS, 유료 소프트웨어인 PCI Geomatica, ENVI 및 ArcGIS를 사용해 데이터를 읽고 처리하는 과정에서 문제가 없는지 확인하였다. 이런 검증작업은 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 시범제작 과제 개발 기간 반복적으로 수행되었으며, 발견된 오류는 모두 수정되었고, 사용자 용이성을 위한 권장 사항도 일부 반영되었다. 국토위성 사용자 친화형 영상 제품을 무료, 유료 원격탐사 소프트웨어에서 사용하는 방법은 제품사용설명서로 작성되었다.

명시된 원격탐사 소프트웨어를 이용해 시범제작된 제품을 활용 시 1) 수동으로 밴드간 조합 수행, 2) 자동 메타데이터 정보 인식이 되지 않는 점은 사용자 불편 사항으로 도출되었으며, 이를 해결하기 위해 상용 소프트웨어 제작사를 접촉하여 국토위성 사용자 친화형 영상 제품을 지원하도록 할 예정이다.

4) 결론

시범제작 산출물의 용이성 검증에서는 산출된 ARD의 설계 사양에 대한 만족 여부를 확인하였다. 추가로 CARD4L SR 요구사항 만족도와 기존 소프트웨어를 이용한 사용 용이성을 확인하여 평가하였다.

시범제작 산출물 개발 과정에서 반복적인 검증과 피드백을 통해 최종 시범제작 산출물은 모든 설계 사양을 만족함을 확인하였다. 시범제작된 사용자 친화형 영상 제품은 CARD4L SR 임계 요구사항을 대부분 만족하였다. 그러나 일반 메타정보의 알고리즘 정보, 자료 접근 항목, 복사/대기 정보의 대기분산, 수증기보정, 오존 정보와 같은 항목들은 지속적인 관리가 필요할 것으로 보인다. 기존 소프트웨어를 이용한 사용자 친화형 영상 제품의 사용 용이성 확인을 위해, QGIS와 PCI Geomatica, ENVI 및 ArcGIS 등 무료 및 유료 소프트웨어에서 데이터 읽기 및 처리에 대한 평가를 진행하였다. 평가 과정에서 1) 수동으로 밴드간 조합수행, 2) 자동 메타데이터 정보 인식 미지원과 같은 사용자 불편 사항이 도출되었으며, 상용 소프트웨어 제작사에 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 지원 요청으로 개선할 수 있다.

라. 시범제작 패키지의 사용자 만족도 조사

시범 제작된 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 실효성 및 편의성을 평가하고 개선점을 도출하고자 만족도 조사를 실시하였다. 국토위성 사용자 친화형 영상 제품에 대한 만족도 조사는 시범제작된 사용자 친화형 영상 제품 사용 후 설문조사에 답하는 형태로 계획하였다. 산학연 중심의 국내 위성정보 관련 전문가를 대상으로 하여 총 19인을 설문조사 대상으로 선정하였다. 설문지의 구성은 1) 만족도 조사의 개요, 2) 설문 내용의 이해를 돕기 위한 사용자 친화형 영상 제품의 특징 및 장점, 활용 예시, 3) 제공되는 샘플 패키지 제품에 대한 설명, 4) 만족도 조사를 위한 설문 내용으로 구성하였으며, 설문 참여대상자에게 설문지 및 참고자료를 DVD 형식으로 배포하였다. 완료된 설문지의 수거 기한은 4월 8일부터 4월 20일까지로 설정하였다.

설문 내용은 응답자에 대한 정보(5문항)와 국토위성 사용자 친화형 영상 제품에 대한 평가(12문항)로 분류하여 총 17문항으로 구성하였으며, 구성 내용은 아래 표와 같다.

<표 4-30> 사용자 만족도 설문 조사 내용

문항 구분		문항 수	문항 구성 내용
대분류	세분류		
응답자 정보	-	5문항	연구분야, 근무 경력, ARD 사용 경험, 사용한 ARD 위성 자료, 주 사용 소프트웨어
국토위성 사용자 친화형 영상 제품	사용 소프트웨어	2문항	제품 확인을 위한 사용 소프트웨어 제품 확인 시 불편 사항
	규격화 및 정밀정사보정	4문항	도엽단위 규격화에 대한 평가 절대 위치정확도 평가 시계열 영상 간 상대 위치정확도 평가 추가 기하보정 필요성
	표면반사율 제공	2문항	제공된 표면반사율 제품에 대한 만족도 사용자 주도의 방사보정 및 대기보정 필요성
	픽셀단위정보 제공	1문항	픽셀단위정보에 대한 필요성 및 만족도 평가
	타 자료와 상호 운용	1문항	국토위성 상호운용성에 대한 만족도
	전체적인 만족도	2문항	국토위성 사용자 친화형 영상 제품에 대한 전체적인 만족도, 개선 사항 등 추가 의견

설문지 외에 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 평가를 위한 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 도엽단위 샘플 패키지 제품과 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 상세 사양이 기재된 제품사양설명서, 무료/유료 영상처리 소프트웨어를 이용한 영상 제품의 제품사용설명서, 국토위성의 상호운용성 평가를 위해 화성시 시계열 샘플 패키지 제품과 유사시기에 획득된 Sentinel-2 위성영상의 Level-2A 데이터를 참고자료로 동봉하여 배포하였다. Sentinel-2 위성영상의 Level-2A 데이터는 Level-1C 데이터에서 파생된 BOA(Bottom Of Atmosphere) 반사율 영상을 제공한다.



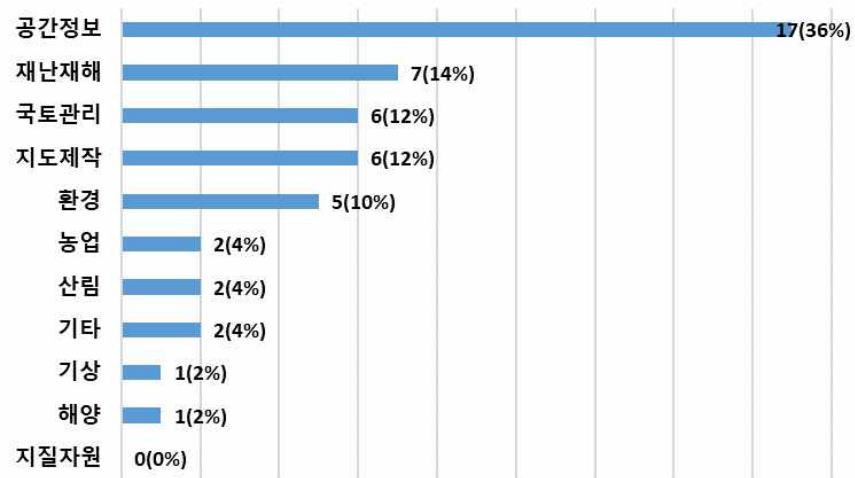
<그림 4-18> 배포 목록

19인의 설문 참여대상자 모두 설문에 응하였으며, 설문지 응답 상세 문항 및 설문 참여자의 응답 결과는 다음과 같다.

1) 응답자 정보

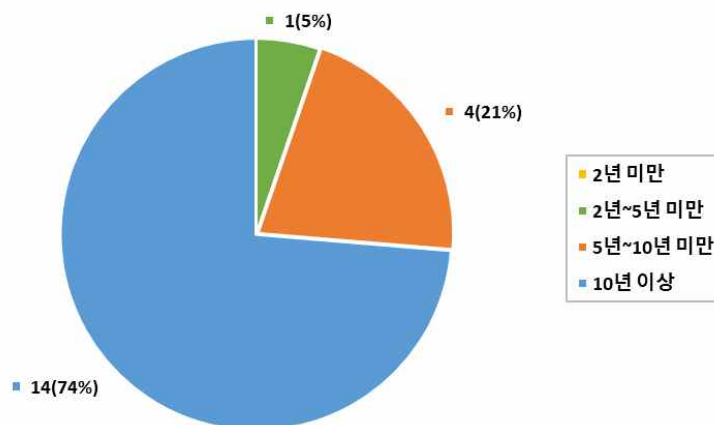
설문참여자 대상으로 문항 1.1 ~ 1.5를 통해 응답자 정보를 파악하였다. 응답자들의 연구 분야는 중복 응답 가능한 문항으로 공간정보(36%), 재난재해(14%), 국토관리(12%), 지도 제작(12%), 환경(10%), 농업(4%), 산림(4%), 기타(4%), 기상(2%), 해양(2%) 순으로 많았으며, 기타 응답에는 검·보정 분야와 위성영상서비스 발굴 및 고객연계서비스 분야를 포함하였다. 응답자들의 위성정보 활용 관련 분야의 근무 경력은 10년 이상이 74%, 5년~10년 미만이 21%, 2년~5년 미만이 5%의 분포를 보였다. 업무 수행을 위해 해외 ARD (Analysis Ready Data)를 사용해 본 응답자가 57%, ARD를 알고 있으나 사용 경험이 없는 응답자가 32%, 사용해 본 적 없는 응답자가 11%의 분포를 보였으며, ARD를 사용해 본 응답자의 경우 Landsat(41%), Sentinel-2(38%), Planet Dove(17%), 기타(4%) 순으로 타위성 ARD를 사용한 경험이 있었다. 응답자들이 주로 활용하는 소프트웨어는 QGIS(26%), ENVI(24%), ESRI ArcGIS(24%), ERDAS Imagine(19%), 기타(5%), PCI Geomatica(2%) 순이었으며, 기타 응답에는 ESA의 SNAP Desktop 소프트웨어를 포함하였다.

[문항1.1] 귀하의 연구 분야는 무엇입니까? (중복 응답 가능)



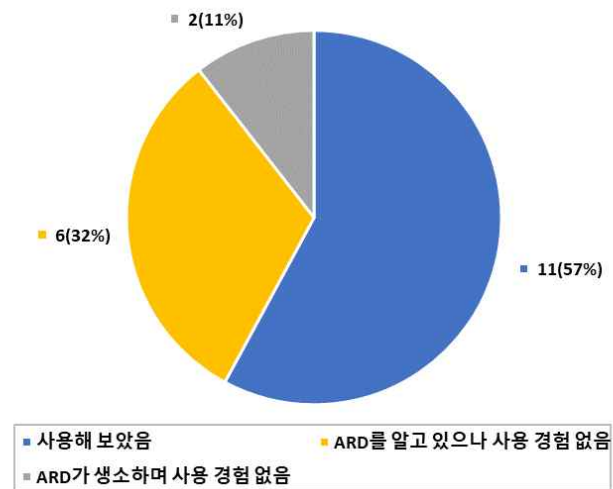
<그림 4-19> 연구 분야

[문항1.2] 귀하의 위성정보활용 관련 분야의 근무 경력은 어떻게 됩니까?



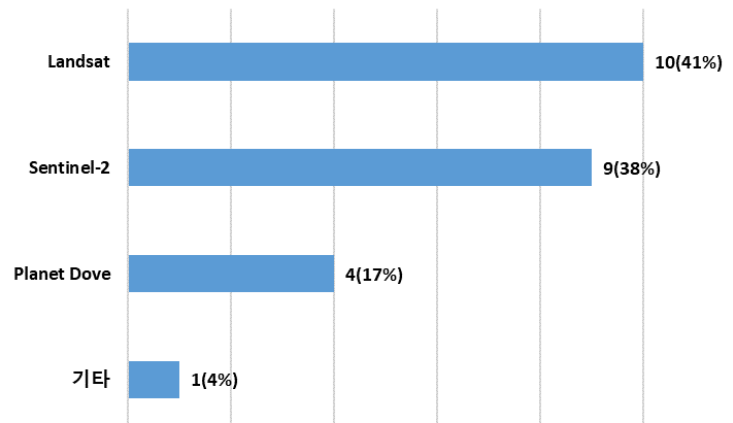
<그림 4-20> 근무 경력

[문항1.3] 업무 수행을 위해 해외 ARD (Analysis Ready Data)를 사용해 보신 적이 있나요?



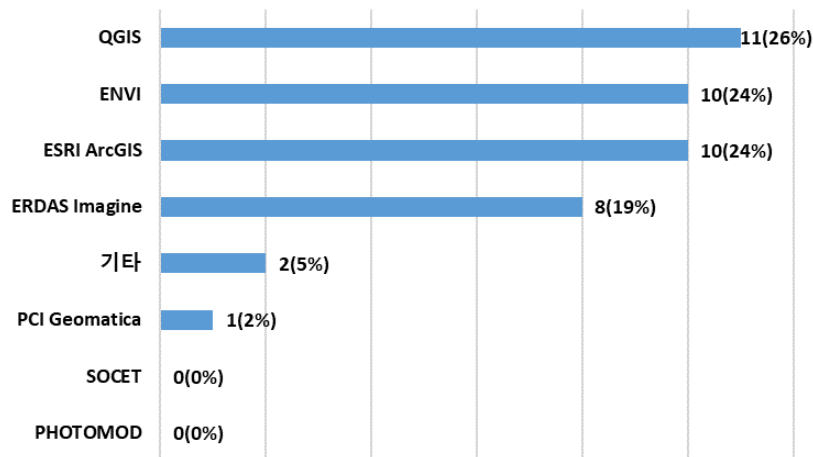
<그림 4-21> ARD 인지도

[문항1.4] ARD (Analysis Ready Data)를 사용해 보신 적이 있다면, 어떤 위성 자료를 사용해 보셨나요? (중복 응답 가능)



<그림 4-22> 해외 ARD 사용 경험

[문항1.5] 업무 수행을 위해 주로 사용하시는 소프트웨어는 다음 중 무엇가요? (중복 응답 가능)



<그림 4-23> 업무용 소프트웨어

2) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 만족도 항목

국토위성 사용자 친화형 영상 제품에 대한 설문은 총 12문항으로, 응답자가 설문지와 함께 배포된 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 샘플 패키지 제품을 검토하여 시범 제작된 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 실효성, 편의성 및 만족도를 파악하기 위한 문항으로 구성하였다.

문항 2.1 ~ 2.2를 통해 응답자가 국토위성 사용자 친화형 영상 제품을 평가하는데 사용한 소프트웨어를 파악하고 불편한 점이 없는지 파악하고자 하였다. 응답자들은 ENVI(35%), QGIS(32%), ESRI ArcGIS(23%), Global Mapper(5%), Adobe Photoshop(5%) 소프트웨어를 사용하여 제품을 확인하였으며, 89%의 응답자가 “아무 문제없이 사용 가능하다”고 응답하였다. 영상 제품 확인 시 “불편하다”고 응답한 응답자는 11%로 1) ENVI 소프트웨어에 국토위성 제품이 등록되지 않아 밴드별로 영상을 확인해야 하며, Metadata 확인 시 Spectral 정보나 Time 정보는 호환되지 않음, 2) ARD 항목이 많고 독립된 파일로 존재한다고 불편 사항에 대한 상세 의견을 제시하였다.

문항 2.3 ~ 2.6은 제품의 규격화 및 정밀정보보정에 대한 문항으로, 1:5,000 도엽 단위로 제공되는 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 타 공간정보와의 연계성에 대해 37%의 응답자가 “매우 만족”, 58% 응답자가 “만족”, 5%의 응답자가 “불만족”에 응답하였다. 정밀정보보정된 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 절대 위치정확도에 대한 평가는 16%의 응답자가 “매우 만족”, 84%의 응답자가 “만족”에 응답하였다. 단일 지역에 대한 시계열 제품도 배포하여 상대 위치정확도에 대한 평가도 수행하였는데 26%의 응답자가 “매우 만족”, 74%의 응답자가 “만족”에 응답하였다. 업무 활용을 위해 사용자가 추가적인 기하보정이 필요한지에 대한 문항에는 21%의 응답자는 “필요 없

다”고 응답하였고, 79%의 응답자가 “경우에 따라 필요하다”고 응답하였다.

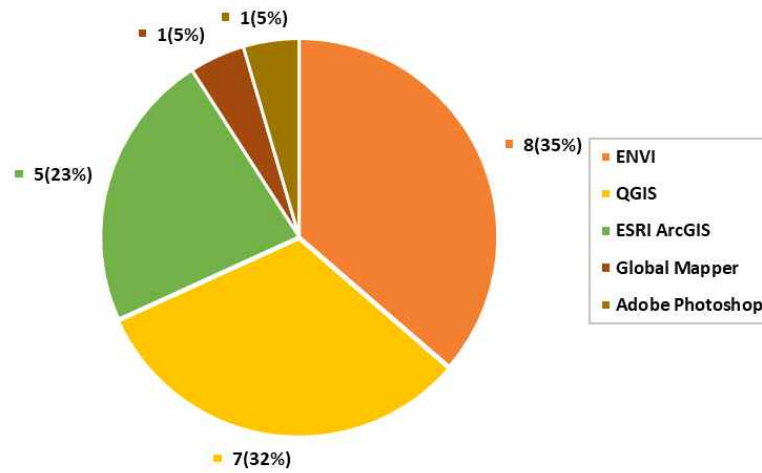
문항 2.7 ~ 2.8은 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 표면반사율에 대한 평가를 위한 문항으로, 제공된 표면반사율에 대해 15% 응답자가 “매우 만족”, 74% 응답자가 “만족”에 응답하였으며 11%의 응답자가 “불만족”에 응답하였다. 사용자가 직접 방사보정 및 대기보정을 수행하는 것이 필요한지에 대한 문항에는 “필요 없다”고 응답한 비율이 21%이며, 79%는 “경우에 따라 필요하다”고 응답하였다.

문항 2.9는 별도의 QA 밴드로 제공되는 픽셀단위정보에 대해 평가하기 위한 문항으로, High confidence cloud, Low confidence cloud, Cloud Shadow, Water, Terrain Shadow, Saturation, No Data, Missing Data 총 8개의 픽셀단위정보에 대한 필요성 및 만족도를 상·중·하로 평가하도록 하였다. 필요성 측면에서 상을 선택한 응답자는 High confidence cloud (68%), Water (63%), Low confidence cloud (53%), Missing Data (42%), Cloud Shadow (37%), No Data (37%), Terrain Shadow (32%), Saturation (32%) 순이었으며, 만족도 측면에서 상은 Water (68%), High confidence cloud (58%), Missing Data (53%), No Data (53%), Saturation (47%), Low confidence cloud (42%), Cloud Shadow (37%), Terrain Shadow (37%) 순이었다. 전체적으로 수계에 대한 필요성과 만족도가 높고, 구름에 대한 픽셀단위정보에 대한 필요성 대비 만족도가 떨어지는 것을 알 수 있다.

문항 2.10은 정밀한 위치정보 및 표면반사율을 제공하는 사용자 친화형 영상 제품과 유사한 분광특성을 가진 타위성 ARD 자료와의 상호 운용성에 대한 만족도를 평가하는 문항으로, 16%의 응답자가 “매우 만족”, 68%의 응답자가 “만족”, 16%의 응답자가 “불만족”에 응답하였다.

문항 2.11 ~ 2.12는 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 전체적인 만족도에 대한 문항으로 21%의 응답자가 “매우 만족”, 63%의 응답자가 “만족”, 16%의 응답자가 “보통”에 응답하였다. 추가 의견으로는 표면반사율, 픽셀단위정보, 위치정확도, 좌표계, 규격화, 공간해상도, 영상 가시화, 데이터 제공, 데이터 품질에 대해 개선 의견이 있었으며, 상세 의견은 문항 2.12의 응답 결과로 요약하였다.

[문항2.1] 제품을 확인하기 위해 사용한 소프트웨어는 무엇인가요?



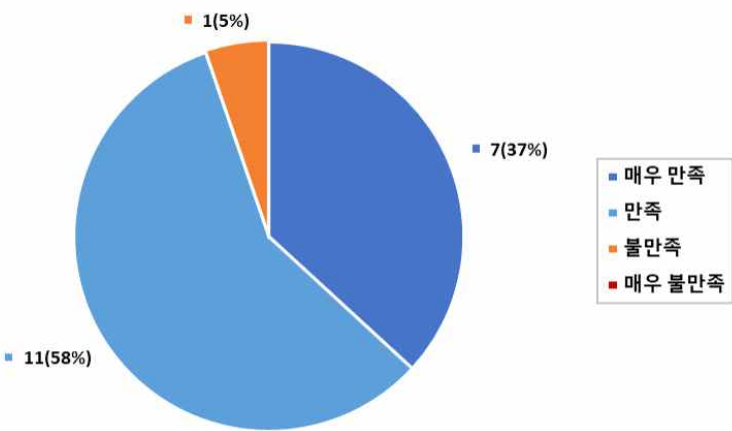
<그림 4-24> 제품평가에 사용한 소프트웨어

[문항2.2] 상기 소프트웨어를 이용하여 영상 제품 확인 시 불편한 점은 무엇인가요?



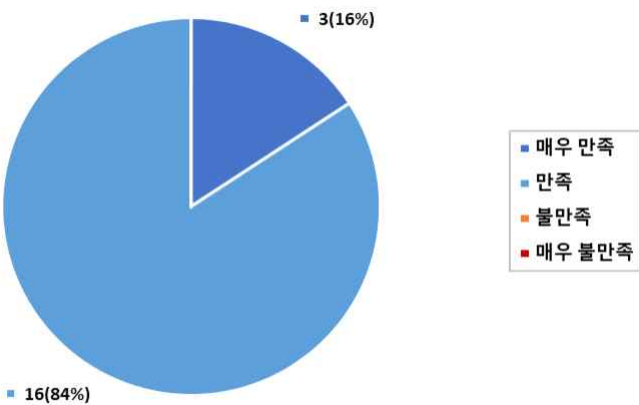
<그림 4-25> 소프트웨어를 이용한 제품 평가 용이성

[문항2.3] 국토위성 사용자 친화형 영상 제품은 1:5,000 도엽단위로 제공되어, 별도의 처리없이 수치지도, 토지피복도 등 타 공간정보와 연계하여 분석이 가능하도록 하고 있습니다. 이에 대한 의견을 부탁드립니다.



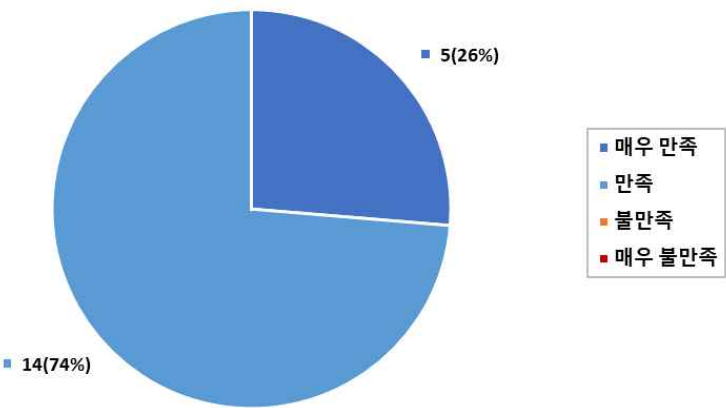
<그림 4-26> 규격화 만족도

[문항2.4] 사용자 친화형 영상 제품은 지상기준점과 DEM을 이용하여 자동 정밀정사보정을 수행하여 남한 지역은 1.2m RMSE, 북한 지역은 3.3m RMSE 정도 오차의 위치정보를 제공하고 있습니다. 따라서, 타 공간정보와 연계 시 대부분 별도의 전처리를 필요로 하지 않습니다. 본 제품의 절대 위치정확도는 어떻게 평가하십니까?



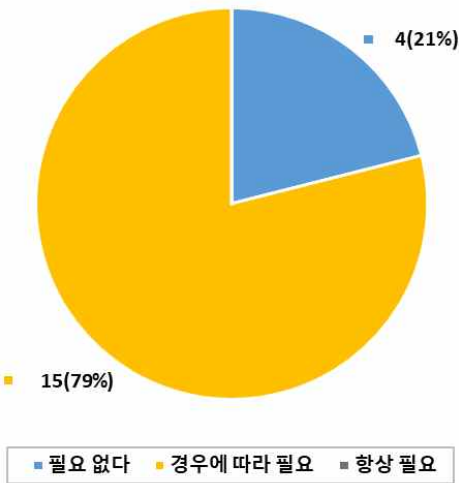
<그림 4-27> 절대위치정확도 만족도

[문항2.5] 사용자 친화형 영상 제품은 정밀정사보정을 통한 높은 위치정확도를 제공하여, 다른 시기에 촬영된 영상 간에도 우수한 정합 성능을 제공합니다. 그러므로, 대부분의 시계열 분석에서 별도의 전처리를 필요로 하지 않습니다. 본 제품의 상대 위치정확도는 어떻게 평가하십니까?



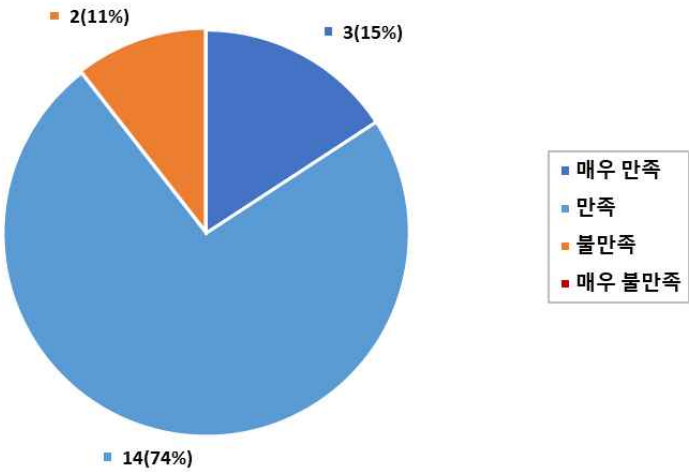
<그림 4-28> 상대위치정확도 만족도

[문항2.6] 사용자 친화형 영상 제품을 본인 업무에 활용하기 위해 추가적인 기하보정이 필요하다고 생각하십니까?



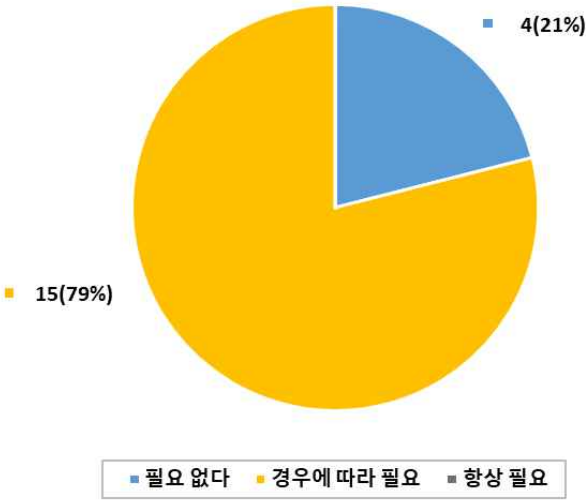
<그림 4-29> 추가적인 정밀기하보정 필요성

[문항2.7] 국토위성 사용자 친화형 영상 제품은 복사보정 및 대기보정을 통해 지표면의 물성 중 하나인 표면 반사율 값을 제공하고 있습니다. 이를 통해 신뢰도 높은 식생지수 산출 등이 가능하고, 다중 시기 영상 분석 시 우수한 결과를 제공합니다. 표면반사율 제공에 대한 귀하의 만족도는 무엇입니까?



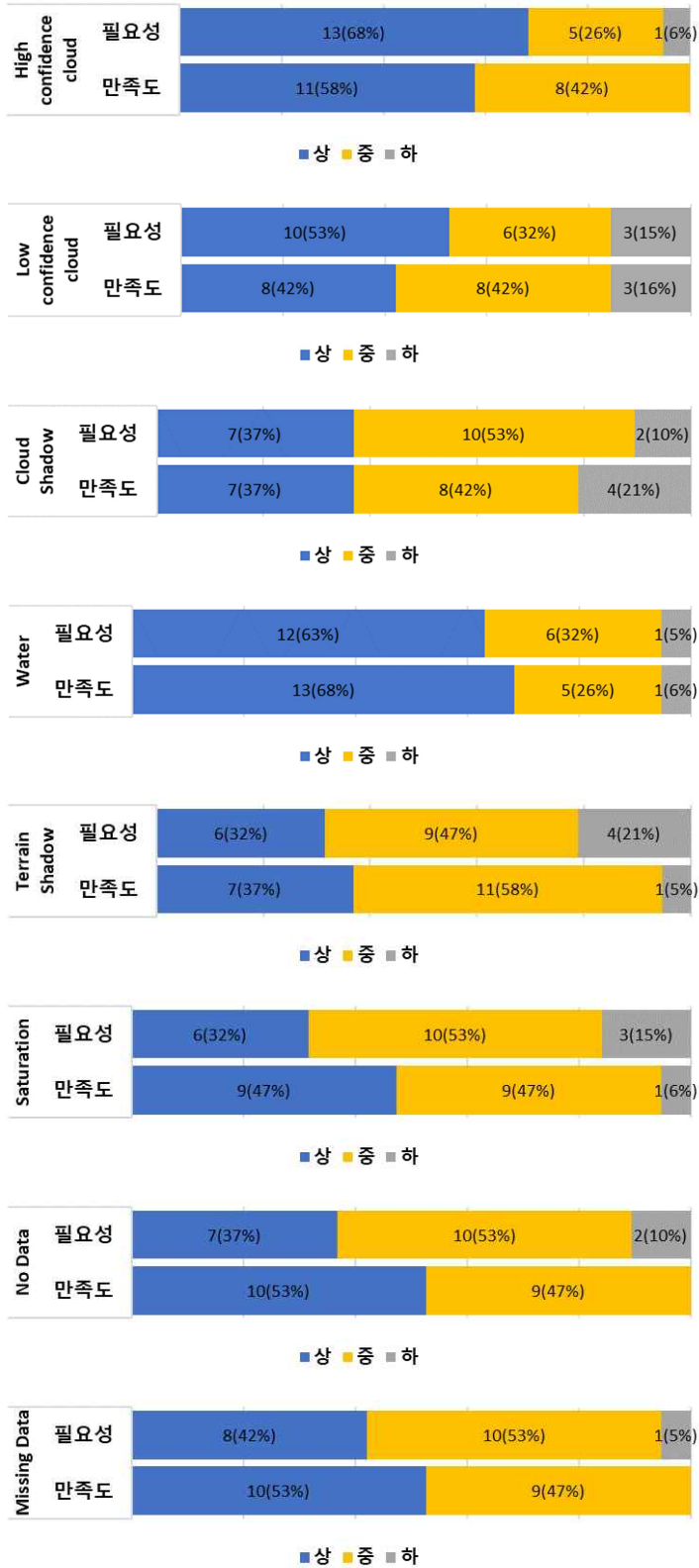
<그림 4-30> 표면반사율 제공에 대한 만족도

[문항2.8] 사용자 친화형 영상 제품을 활용하기 위해 사용자가 직접 방사보정 및 대기보정을 수행하는 것이 필요하다고 생각하십니까?



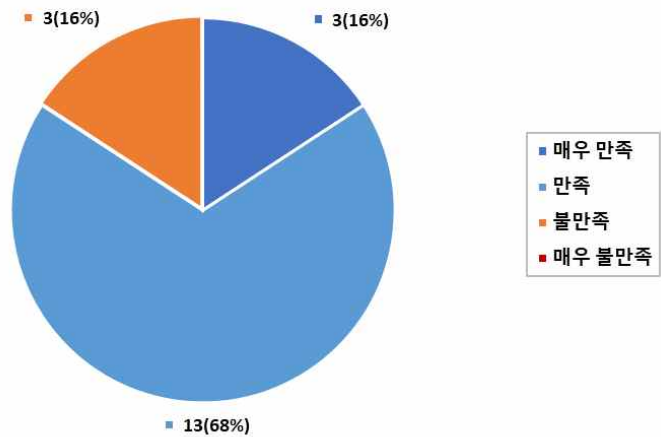
<그림 4-31> 독자적인 방사보정 및 대기보정 필요성

[문항2.9] 사용자 친화형 영상 제품은 영상 활용 시 사용자가 별도의처리 없이 사용자가 영상 정보를 알 수 있도록 QA 밴드 형태로 구름, 구름 그림자, 수계 등 픽셀단위 정보를 제공하고 있습니다. 각 항목별로 필요성과 만족도를 표시하여 주십시오.



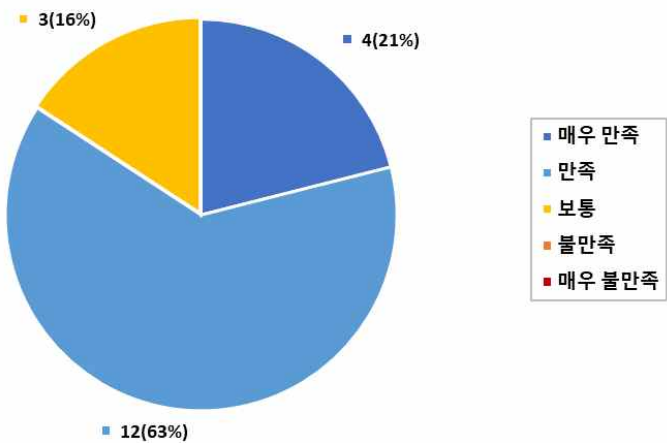
<그림 4-32> 픽셀단위정보별 필요성 및 만족도

[문항2.10] 사용자 친화형 영상 제품은 정밀한 위치정보 및 대기보정된 표면반사율을 제공하여, 유사한 분광특성을 가진 타 위성 ARD 자료와 상호 운용이 용이합니다. 국토위성 상호운영성에 대한 귀하의 만족도는 무엇입니까?



<그림 4-33> 타 위성자료 상호운용성

[문항2.11] 전체적인 국토위성 사용자 친화형 영상 제품에 대한 만족도를 표시하여 주시기 바랍니다.



<그림 4-34> 사용자 친화형 영상 제품 종합 만족도

[문항2.12] 국토위성 사용자 친화형 영상 제품에 대한 개선 사항 등 추가 의견이 있으면 기술해 주시기 바랍니다.

<표 4-31> 사용자 검토의견

구분	상세 의견
표면반사율	<ul style="list-style-type: none"> 반사율의 경우 대기보정의 방법론에 대해서는 이견이 없으나, 원본 영상 품질에 대한 문제로 인해 반사도 결과 활용성이 낮을 것으로 판단됨. 일부 영상의 경우 영상에서의 점진적으로 색상이 진해지는 현상(NUC 보정)으로 인해 절대복사보정 등의 계수가 있더라도 전체 영상의 적용에 있어 잘못된 반사율을 산출할 가능성이 높음. 따라서, 이러한 문제는 본체 혹은 탑재체 개발기관과 지속적으로 협의하여 반드시 개선이 필요할 것으로 판단됨 Blue 밴드 영상이 상대적으로 매우 불안정한 성과를 나타내어 이에 대한 보정 여부가 향후 활용성 확보에 큰 요소로 판단됨 대기보정의 경우 R값만 제공하지 말고, 실제 현장 관측자료와 어느정도 차이를 보여주는지를 제공해 주면 사용자에게 도움이 될 것 같음. 현장에서 분광복사계와 타프를 이용한 관측자료가 사용되었는지 궁금하며, 드론 영상과의 상대 비교는 만약 정확한 radiance 자료가 필요한 경우에는 크게 도움이 안될 수 있음 제품사양설명서에는 값의 범위가 0~10000으로 명시되어 있어서 사용하는 데 문제는 없었지만, 각 파일의 메타데이터 Auxiliary File에서 scale factor=10000으로 명시되어 있으면 사용에 더 효율적일 것으로 판단됨 Sentinel 데이터와의 표면반사율 상관관계수 개선 필요 규모가 큰 모자이크 수행 시 일관된 반사율 유지 고려
픽셀단위정보	<ul style="list-style-type: none"> TOA 반사율 기반의 픽셀단위정보 산출에 대한 세부내용 추가 필요 과소 추정되는 경향을 나타냈음. 과대 추정보다 과소추정의 경우 신뢰도 혹은 정확도 측면에서 높으므로 기관에서의 산출물에 대한 공식자료로서 입장을 충분히 이해하나, 향후 추가 연구나 개발을 통해 개선을 해야 될 것으로 판단 일부 water, cloud shadow는 오류를 포함하고 있음. 오류가 많은 자료를 배포할 수 있을지에 대한 논의 필요
위치정확도	<ul style="list-style-type: none"> 산림지역에서 발생하는 위치 오차를 최소화하는 방안 필요. RMSE 6~7m인 경우 산림에서는 현장 조사에서 측정한 값이 아닌 다른 수종/임분에 매칭되는 오류를 야기할 수 있음 국토위성의 주 활용 지역이 도시라고 하더라도 도시 숲이나 인근 산림에도 잘 맞는지 따로 검증 결과가 제공되면 좋겠음 메타 데이터에 기하보정 성능 지표, 위치정확도를 알 수 있는 지표들이 추가되었으면 좋겠음(예: GCP 개수, RMSE 등)
좌표계	<ul style="list-style-type: none"> 좌표계를 EPSG:5179(Korea2000/Unified CS)로 선택한 이유가 있는지를 제품사양설명서에 기술 필요 UTM-K 좌표계의 경우 범용성 확보에 대한 의문점이 있으므로, 국가표준 혹은 범용성 확보의 차원에서 좌표계는 논의가 필요할 것으로 판단됨
규격화	<ul style="list-style-type: none"> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 격자단위는 수치지도 격자단위로 배포되고 있으나, 이는 활용도 측면에서 많이 떨어지는 측면이 있음. 타 위성제품의 경우 ARD 제품을 씬단위로 제공. 물론 수치지도 및 항공사진의 활용에 있어 도엽단위로 제공되나 실제 활용측면에서는 연속수치지도 등을 더 많이 활용하고 있음. 특히 실무(협업) 사용자 입장에서는 다른 규격 (EX; 행정경계) 단위의 영상이 활용도가 높으므로 향후 추가 연구 혹은 개발을 통해 확장이 필요할 것으로 사료됨
공간해상도	<ul style="list-style-type: none"> 국토위성 자료 배포 시 Pansharpening 과정도 수행되므로, 0.5m 공간해상도의 자료를 배포하는 것이 바람직해 보임

구분	상세 의견
영상 가시화	<ul style="list-style-type: none"> 구름이 많은 산악지형의 영상에 대해 기본옵션으로 영상을 확인하였을 때 Dynamic Range가 크기 때문에 어두운 지역의 영상이 상대적으로 육안 확인이 어려운 것으로 나타남
데이터 제공	<ul style="list-style-type: none"> Saturation이나 Missing Data 화소가 없는 경우에는 이들을 제외한 나머지 사용자 친화형 영상 제품 항목들만 다운로드하는 등의 선택이 가능하면 효율적일 것으로 판단됨 사용자에 따라 다를 수 있겠지만 사용자 친화형 영상 제품 항목 각각 독립된 파일로 제공하는 것보다 하나의 파일에 멀티밴드 형태로 제공하는 것이 사용하기 편리할 것으로 생각됨 사용자가 원본 raw data를 활용하여 정사보정, 복사보정 및 대기보정 등을 직접 수행할 경우를 대비하여 관련 tutorial 등을 작성하여 필요할 경우 raw data와 함께 배포가 되었으면 좋겠음 추후 ARD(Analysis Ready Data) 이외에도 국토위성 이미지 정보를 활용하여 2차 가공된 자료를(예, 토지피복분류, 수체 정밀분류 등) 추가적으로 Product로 만들어 제공하면 좋겠음 기존 S/W로 간단한 분석이 가능하나 활용도를 높이기 위해서는 별도의 S/W 개발이 필요해 보임
데이터 품질	<ul style="list-style-type: none"> MS 밴드의 pattern noise는 그 자체로 영상 품질을 저하시키는 요인이며 영상 활용 방법에 따라(예: NDVI 지수 영상 생성 등) 그 결과 제품의 성능 저하에도 영향을 미칠 수 있는 사항으로 이를 제거 또는 저감시키는 pattern noise 저감 전처리 과정의 적용이 필요하다고 판단됨 Blue band의 경우 수직 경사 방향으로 라인 형태의 noise가 다수 관찰되며, 일부 noise 화소들은 saturation 상태로 주변 화소보다 intensity가 높게 관측되고, 일부 noise 화소는 주변 화소보다 매우 낮은 intensity가 관찰됨 일부 지역의 자료에 strip noise가 발견되는 것으로 판단됨. 어떠한 처리과정에서 발생한 문제인지에 대한 검토가 필요 궤도방향인 것으로 추정되는 스트라이프 형태의 띠가 종종 보임. 이런 부분이 개선되면 좋을 것 같음 샘플 지역에 따라 격차가 조금 보이는 것 같으며, 품질관리 및 만족도 조사의 빈도를 늘리고, 조사 방법을 달리해야 할 필요가 있음

3) 만족도 조사 결과 분석

시범 제작된 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 사용자 만족도에 대한 종합 평가를 위해 평가된 모든 리커트 척도는 0~100 사이로 정규화하였으며 합산 후 백분율을 통해 점수를 산출하였다. 만족도 점수의 경우 ‘매우 만족’을 100점 기준으로, 필요성 점수의 경우 ‘매우 필요’를 100점 기준으로 산정하였다.

종합 만족도 점수는 76점으로 양호한 만족도를 보이나, 타 위성과의 상호 운용 (67), 표면반사율 제공 (68) 항목에서 상대적으로 낮은 점수를 확인하였다. 픽셀단위정보 중에서는 High Confidence Cloud와 수계 항목에서 높은 점수가 나타났고, Low Confidence Cloud (63), Cloud Shadow (58), Terrain Shadow (66) 항목에서 만족도가 낮아 정량적으로 분석한 픽셀단위정보 유효성과 일치된 결과를 보여주었다. ‘추가 정밀 기하보정 필요성’ 항목과 ‘독자적인 방사보정 및 대기보정 필요성’ 항목은 낮은 점수를 보여 현재 제공되는 기하보정, 방사보정, 대기보정에 대해 양호한 만족도를 보여주었다.

<표 4-32> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 사용자 만족도 통합 결과

만족도		종합 점수 (100)	필요성		종합 점수 (100)
규격화		77	추가 정밀 기하보정		39
절대위치정확도		72			
상대위치정확도		75	독자적인 방사보정 및 대기보정		39
표면반사율 제공		68			
픽셀 단위 정보	High Confidence Cloud	79	픽셀 단위 정보	High Confidence Cloud	82
	Low Confidence Cloud	63		Low Confidence Cloud	68
	Cloud Shadow	58		Cloud Shadow	63
	Water	82		Water	79
	Terrain Shadow	66		Terrain	55
	Saturation	71		Saturation	58
	No Data	76		No Data	63
	Missing Data	76		Missing Data	68
타 위성 상호 운용		67	-		
종합 만족도		76			

문항 2.12 사용자 검토의견 중 Blue 밴드를 포함한 데이터 품질 이슈가 가장 많았으며, 이는 ‘표면반사율 제공’에 대한 만족도(68)를 낮추었을 것으로 판단된다. 입력 영상의 개선이 필수적이다. 위치정확도의 경우 대체로 현재 결과물에 대한 양호한 만족도에도 불구하고, 산림 지역에 대한 개선이 요구되었다. 그 외, 범용성 차원에서 좌표계 검토, 행정경계 단위 모자이크 요구, 0.5m 공간 해상도 요구 등은 검토가 필요할 것이다.

4) 결론

시범제작 패키지의 사용자 만족도 조사에서는 산학연 중심의 국내 위성정보 관련 전문가 19명을 대상으로 설문조사를 진행하였다. 조사 결과 ‘종합 만족도’ 점수가 76점으로 ‘만족’ 이상의 만족도를 보여주었고, 상세 항목에서도 규격화 및 위치정확도등에서 70점 이상의 점수를 나타내었다. 단, 표면반사율 제공 (68), 타 위성 상호운용 (67), 픽셀단위정보 중 일부 항목이 70점 이하의 낮은 점수를 받아 개선이 필요할 것으로 보인다.

추가 의견으로 노이즈 등 원본 데이터 품질관리, 산악지형 위치 정확도 개선, 좌표계의 범용성 검토, 모자이크 제품 제공, 0.5m 공간해상도 제공, 주기적인 관리와 사용자 만족도 조사 등이 제시되었다. 위 만족도 조사결과를 반영한 추가적인 개선을 통해 사용자 친화형 영상 제품의 만족도를 증대할 수 있을 것으로 기대된다.

마. 현장검증 테스트베드 선정

1) 절대대기보정을 위한 테스트베드 선정

대기보정 현장자료 확보를 위한 국내 사이트로 경기도 화성시와 의왕시를 선정하였다. 해당 지역은 지형학적으로 평평하고 다양한 피복과 불변성 지표가 고루 분포된 곳이다.



<그림 4-35> 화성시 현장검증 대상지 주변 현황(배경자료: Google Earth)



<그림 4-36> 의왕시 현장검증 대상지 주변 현황(배경자료: Google Earth)

<표 4-33> 현장검증 대상지역 위치정보

지명 (주소)	중심좌표	비고
화성시 (경기도 화성시 향남읍)	37.13735°N, 126.92474°E	화성시종합경기타운 일대
의왕시 (경기도 의왕시 월암동)	37.3150°N, 126.9541°E	한국교통대학교 의왕캠퍼스

2) 현장 검증 테스트베드 운용매뉴얼



<그림 4-37> 현장 관측실험의 순서도

가) 현장 관측 실험 지역 선정

(1) 국토위성 국내 촬영 Path 확인 (국토위성센터→사업수행사)

- 매주 금요일 TLE 예측자료 기반 차주(7일) 예상 궤도 확인

(2) 국토위성 촬영 유무 결정 (사업수행사, D-5)

(가) 고려사항 1. 현장 관측 후보지 촬영여부

- 후보지 1. 경기도 화성시 화성종합경기타운
- 후보지 2. 경기도 의왕시 한국교통대학교 의왕캠퍼스

(나) 고려사항 2. 기상예보

- 기상청 사이트의 기상정보를 바탕으로 국토위성 영상촬영 일자 및 관측실험 후보지 날씨 확인

나) 위성영상 촬영요청

(1) 국토위성(사업수행사 → 국토위성센터, D-5)

(가) 촬영요청 시 필요 정보 / 고려 사항

- AOT, 시정 정보 등 대기 기상자료 측정 지점 인근
- 드론 금지구역에 해당하지 않는 지역
- 지형학적으로 평평하고 다양한 피복이 고루 분포한 지점

(2) 해외위성 (사업수행사 → 국외위성 판매처(판매대행업체), D-3)

(가) 촬영요청 시 필요 정보

- 국토위성 촬영 일자 및 현장 관측 실험 후보지 위치정보

<표 4-34> 확보예정 위성 및 현장 관측자료 목록(안)

항목	설명 (시간 제약 사항)
국토위성영상	국내 위성촬영 Path 내 관측지 연직촬영 (오전 11시~11시 30분) (촬영각 20도 내외는 대기보정에 사용가능*)
타위성영상	SkySAT (0.5m, B,G,R,NIR), 동시기 촬영예정 (±일주일)
대기/기상정보	오산기상대에서 관측한 대기 프로파일 및 시정정보 (오전 9시)
	MODIS CMA(WV, AOD), MODIS CMG(Ozone) (오전 10시30분)
피복별 표면반사율	지상 ASD장비 활용, 세부 피복 종류는 답사 후 확정 (오전 10~11시 30분)
드론 반사율영상	MicaSense Rededge MX 카메라 이용 (오전 11~11시 30분)

다) 현장 관측실험 준비

(1) 현장 관측실험 유무 결정(사업수행사, D-5)

- 1-가) 결과에 따른 현장 관측 실험 여부 결정

(2) 현장 관측실험 사이트 사전조사(사업수행사, D-3)

- 사이트 내 분광측정 경로 및 대상 지표물 선정
- 드론 촬영 공간 구분 및 대상위치 현황 파악

(3) 현장 관측실험 계획보고(사업수행사, D-2)

- 현장 관측실험 사전조사에 따른 계획서 작성 및 보고

(4) 국토위성 촬영정보 확인(국토위성센터→사업수행사, D-1)

- 국토위성 촬영 Path 및 촬영각 확인

라) 현장 관측실험 수행(D-day)

(1) ASD 관측 (사업수행사)

(가) 분광복사기(ASD) 장비를 이용한 현장 관측 실험 준비

(나) 방법

- 국토위성 해상도를 고려한 지표별 2m 간격 분광측정
- 국토위성 촬영(센서)각을 고려한 ASD 측정 각도 조정
- GPS 장비를 이용한 측정지표물 위치정보 수집

(다) 유의사항

- 다양한 지표물에 대한 표면반사율 측정

⇒ 기 KOMPSAT 시리즈 위성의 경우 보다 정확한 현장 관측자료가 있고, 안정적인 대기 특성을 보이는 Cal/Val 사이트 (예: 사막, 타프)에서 수행되었으며, 이를 통해, 상대적으로 보다 높은 반사율 정확도 수치 제시가 가능했음

⇒ 국토위성의 경우 사용자가 활용 분야별 (예: 하천 수질 모니터링, 식생의 분광반사특성, 토지피복 분류 등) 다양한 피복의 반사율 정보를 활용할 것으로 예상되는 바 다양한 피복의 반사율 정보를 획득 및 제공하는 게 보다 실용적인 것으로 사료됨. 이는 제안서에도 다양한 피복의

반사율 검증 내용으로 제시함

- 지점별 3~6회 측정값 획득 후 평균 측정값 사용

(2) 드론 촬영 (사업수행사)

(가) 드론(카메라 장착) 장비를 이용한 현장검증 영상자료 수집 준비

(나) 방법

- 촬영고도 및 드론 촬영 영역 설정
- RTK, 웨이포인트방식⁴⁾을 통한 촬영 진행

(다) 유의사항

- 드론 비행 금지구역 및 현장 장애물 등 사전조사 필요

마) 현장 관측 결과정리 및 활용

(1) 국토위성영상 혹은 메타파일 수집(국토위성센터, D+7)

(2) ASD 반사율 라이브러리 구축 (사업수행사, D+7)

(3) 기상관측 등 보조자료 수집 (사업수행사, D+7)

- 기상대 및 기상청에서 제공되는 대기/기상 자료 수집
- MODIS Product 자료 수집
- AERONET 자료 수집

※ 자료 업데이트 현황에 따라 자료수집 기간 변동

(4) 현장 관측실험 결과보고서 내용 목록(사업수행사, D+30)

- (반사율검증용) ASD 분광자료에 국토위성 SRF를 적용한 밴드별 반사율 자료
- (반사율검증용) ASD 측정지점에 대한 드론 및 타위성 반사율값
- (절대복사보정용) ASD 측정지점에 대한 국토위성에서 탐지될 radiance값
- ASD 분광라이브러리 리스트(분광패턴, 사진 등 포함)
- 수집한 대기 및 기상자료 리스트 및 모델 입력값

(5) 현장 관측자료 활용(안)

4) 웨이포인트방식: 사용자가 설정한 경로(포인트)에 따라 영역을 촬영하는 방식 / 약 20분 소요
면적스캔방식: 사용자가 설정한 포인트 전체를 포함하는 영역을 촬영하는 방식 / 약 40분~1시간 소요

- 향후 국토위성의 절대복사보정계수 추정 및 절대대기보정 검증용 자료 활용

3) 현장검증 계획서 및 결과보고서

가) 현장검증 계획서

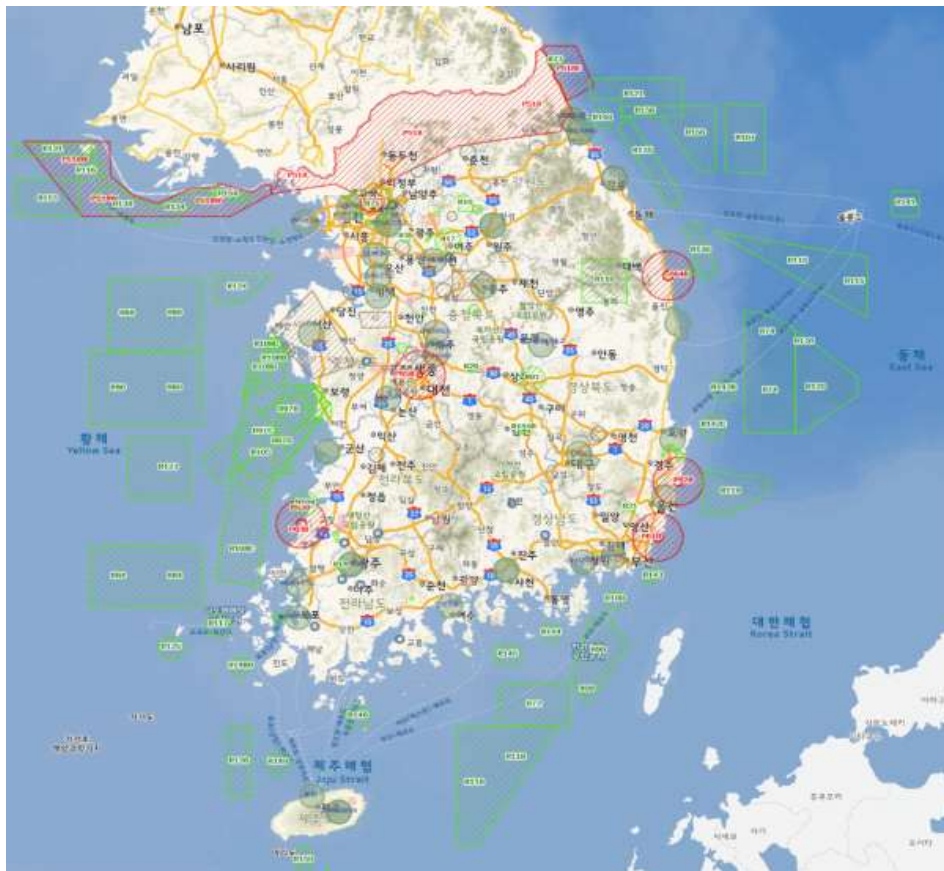
현장 관측 실험의 목적은 절대복사보정 및 절대대기보정 실험용 영상/지상자료 확보이다. 국토위성의 경우 사용자가 활용 분야별 (예: 하천 수질 모니터링, 식생의 분광반사특성, 토지피복 분류 등) 다양한 피복의 반사율 정보를 활용할 것으로 예상되는 바 다양한 피복의 반사율 정보를 획득, 제공하는 게 보다 실용적인 것으로 사료된다. 다양한 지표물이 존재하고, 기상대 인근 장소이며, 드론촬영이 가능한 곳으로 테스트베드를 선정하였다.

본 과업의 현장검증 대상지로 화성시와 의왕시를 선택하였다. 현장검증이 수행될 지역의 주변에는 물, 콘크리트, 잔디, 트랙 등의 다양한 지표물이 혼재하고 있으며, 드론 촬영 금지구역에 해당되지 않는 지역으로 현장자료 확보에 용이하다. 또한, 수원기상대 인근에 위치한 지역으로서 시정자료를 확보하기 적합한 것으로 판단되었다.

현장조사는 각각의 보유 장비에 따른 파트별로 구분하여 진행되었다. (주)유에스티21는 ASD 측정장비를 이용하여 현장지표물의 반사율을 측정하고, (주)쓰리디랩스와 인하대는 합동으로 드론 영상을 촬영하는 것으로 진행되었다. 원활한 현장 관측 실험을 위해 사전조사를 진행하였으며, 이를 통해 주변 현황 및 지표물 선정을 하였다. 2021년 11월 17일 국토위성 촬영과 동일한 시기에 현장조사를 수행할 목적으로 계획서를 작성하여 현장실험을 진행하였다. 효과적인 현장실험 이동을 위해 국토위성의 촬영시간에 맞춰 동일 시간내에 최대한 반사율을 측정하고자 최적의 이동경로를 구성하였다.

<표 4-35> 현장검증 실험 일정표(안)

시간	내용
~ 09:00	현장검증 대상지 도착
09:05 ~ 09:30	현장 관측 순서 재공지 및 장비 확인
09:30 ~ 10:00	ASD팀 / 드론팀 장비 테스트 및 관측 준비
10:00 ~ 11:30	ASD팀 / 드론팀 현장 관측 수행 ASD팀 : 현장지표반사율 타겟별 3~6회 측정 드론팀 : ASD팀과 동일 지역으로 광역 촬영
11:30 ~ 12:00	현장 측정자료 확인
12:00 ~ 15:00	중식 및 사무실 복귀
15:00 ~ 18:00	자료 후처리



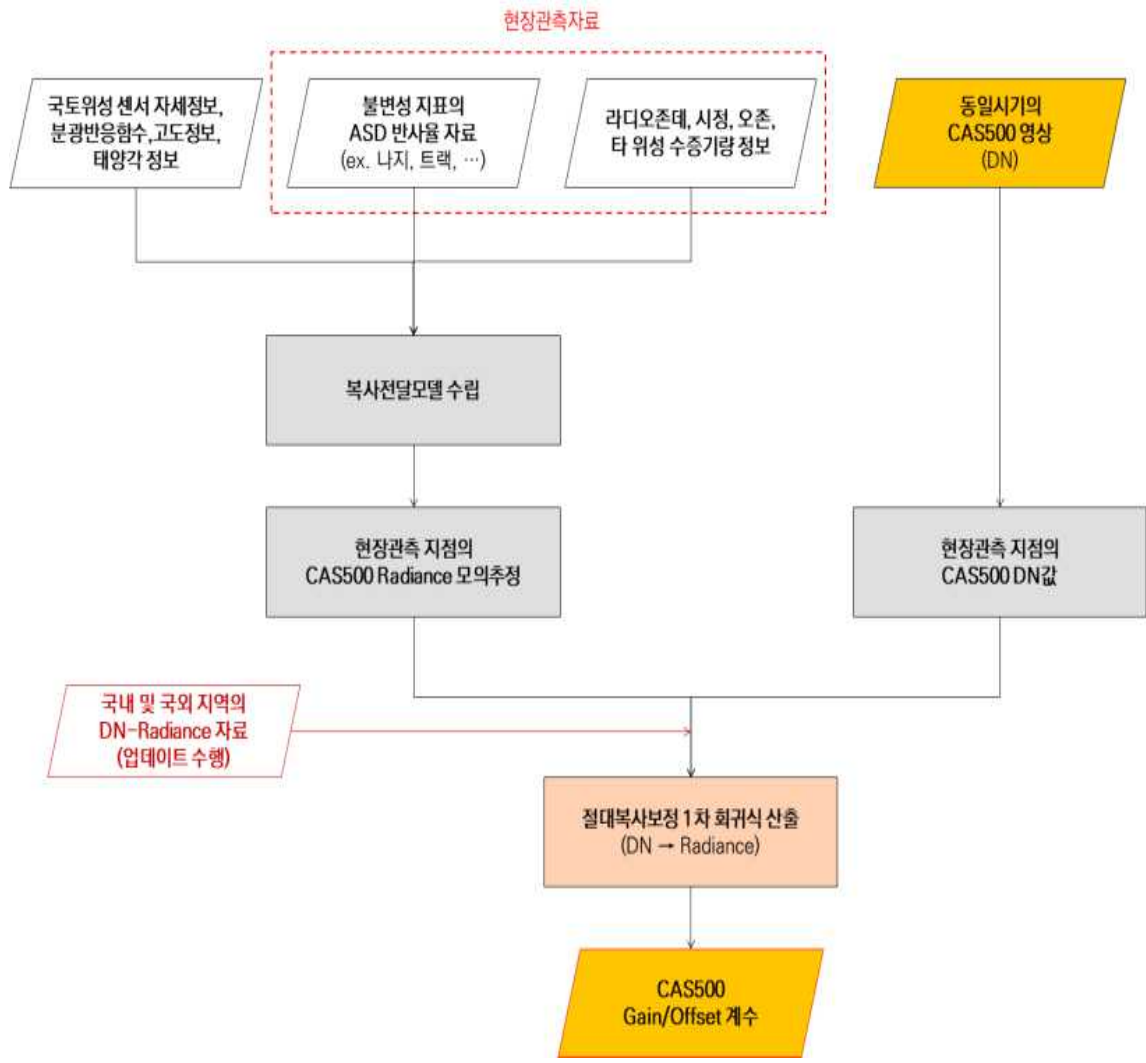
<그림 4-40> 드론 비행 금지구역 (V-World WebGL)

<표 4-36> 화성시 현장검증 지표 반사율 측정 대상 목록(안)

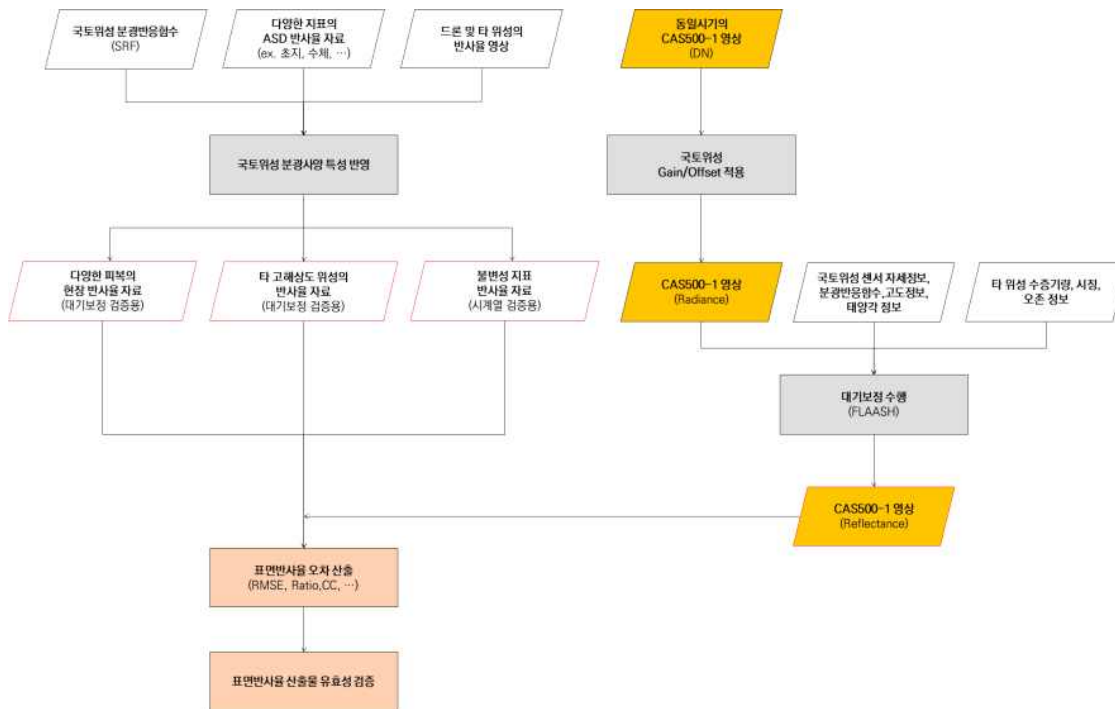
보도블럭	2. 목재(합판)
	
3. 수체(연못)	4. 초지(경사)
	
5. 농구장	6. 잔디 + 트랙
	
7. 초지(평지) + 콘크리트	8. 인조잔디(야구장) + 나지
	
9. 토양(공사장)	-
	

현장 관측 자료 활용(안)으로는 ASD, 드론, 타 위성의 표면반사율 관측자료는 향후 국토위성의 절대복사보정계수 추정 및 절대대기보정 검증용으로 사용할 예정이며, 표면반사율이 일정하면서 평지인 지점(ex.나지, 트랙 등)은 절대복사보정 시 입력자료로 사용하여, 절대복사보정계수 추정의

입력자료로 사용된다. 표면반사율이 일정치 않은 식생, 물, 나지, 기타 피복의 지표반사율은 대기보정된 반사율 영상의 정확도 검증 자료로 사용된다.



<그림 4-41> 절대복사보정 검증을 위한 현장 관측자료 활용 방안(안)



<그림 4-42> 절대대기보정 검증을 위한 현장 관측자료 활용 방안(안)

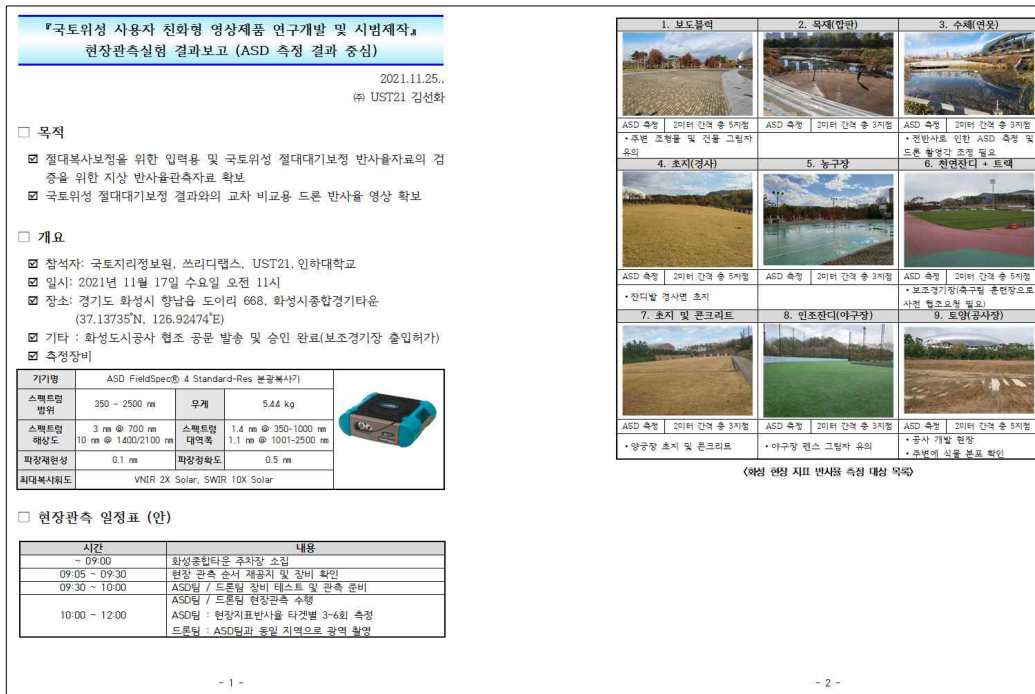
나) 현장검증 결과보고서

BRDF영향을 최소화하기 위해 KOMPSAT 검보정 시 위성의 촬영 각도와 동일하게 측정한 사례를 참고하여, 국토위성의 촬영(센서)각을 고려한 ASD 측정 각도 및 높이를 조정(연직에서 위성 관측각과 동일하게 측정각도를 기울여 측정)하여 현장 관측을 진행하였다. ASD 분광 측정기는 각 지점 측정 시 solar irradiance를 측정하여 촬영 시점에 맞는 태양 총광량을 측정하기 때문에, 태양 각도 변화에 따른 광량의 차이가 반영되며, 분광 관측 시간이 자동으로 기록되기 때문에 복사전달 모델에 입력 시 그 시점의 태양각 정보를 입력할 수 있다. 현장실험에 사용된 분광측정기는 2021년 7월 미국 본사에서 calibration된 제품으로 별도의 추가보정은 필요하지 않다.

<표 4-37> 분광측정기의 제원

기기명	ASD FieldSpec® 4 Standard-Res 분광복사기		
스펙트럼 범위	350 - 2500 nm	무게	5.44 kg
스펙트럼 해상도	3 nm @ 700 nm 10 nm @ 1400/2100 nm	스펙트럼 대역폭	1.4 nm @ 350-1000 nm 1.1 nm @ 1001-2500 nm
파장재현성	0.1 nm	파장정확도	0.5 nm
최대복사휘도	VNIR 2X Solar, SWIR 10X Solar		





<그림 4-43> 현장검증 결과보고서(안)

현장검증 사이트 주변의 다양한 피복들을 확인하였으며, 선택된 지표를 기준으로 지상자료 측정을 진행하였다. 국토위성 해상도를 고려하여 지표별 2m 간격 분광측정 진행을 하였으며, 지점별 3~6회 측정값 획득 후 평균값을 이용하여 지표물별 분광반사도를 확인하였다. 현장 실험 전 사전 답사를 통해 지표물의 위치 및 현황을 파악하였으며, 이동경로 파악 후 현장실험을 진행하였다. 화성지역 현장검증 시, 화성종합경기타운 주 경기장의 경우 주변 시설물과 지붕으로 인해 그림자의 영향을 많이 받을 것으로 예상되어 지붕이 없고 주변에 높은 건물이 위치하지 않은 보조경기장 내 지표물을 선정하였다. 보조경기장은 외부인 출입이 금지되어 있는 곳이라 화성도시공사의 협조를 얻어 시설 출입허가를 받아 지표물에 대한 측정을 진행할 수 있었다. 각 지표물별 위치 및 분광반사율(txt)파일과 현장사진을 구분하여 현장 실험 자료를 아래 표와 같이 정리하였다.

<표 4-38> 현장 관측 자료 목록 (안)

구분	No.	지표물	위치	ASD_파일명	현장사진	
1. 보도블럭	1	gray1	37.137447	126.92232685	20211117.block_gray1.txt	20211117.block_gray1.jpg
	2	gray2	37.137414	126.92235243	20211117.block_gray2.txt	20211117.block_gray2.jpg
	3	gray3	37.137401	126.92235715	20211117.block_gray3.txt	20211117.block_gray3.jpg
	4	gray4	37.137361	126.92237920	20211117.block_gray4.txt	20211117.block_gray3.jpg
	5	Red	37.137385	126.92236713	20211117.block_red.txt	20211117.block_red.jpg
	6	Yellow	37.137428	126.92234308	20211117.block_yellow.txt	20211117.block_yellow.jpg
2.목재(합판)	7	목재1	37.136084	126.92289472	20211117.wood_annel1.txt	20211117.wood_annel.jpg
	8	목재2	37.136080	126.92288262	20211117.wood_annel2.txt	20211117.wood_annel.jpg
	9	목재3	37.136079	126.92286890	20211117.wood_annel3.txt	20211117.wood_annel.jpg
3.수채(연못)	10	목재4	37.136059	126.92286763	20211117.wood_annel4.txt	20211117.wood_annel.jpg
	11	수채1	37.136000	126.92289662	20211117.water1.txt	20211117.water1.jpg
	12	수채2	37.136004	126.92291220	20211117.water2.txt	20211117.water2.jpg
	13	수채3	37.136012	126.92293908	20211117.water3.txt	20211117.water2.jpg
4.초지(경사)	14	초지1	37.135799	126.92541305	20211117.dry_grass1.txt	20211117.dry_grass1.jpg
	15	초지2	37.135797	126.92542747	20211117.dry_grass2.txt	20211117.dry_grass2.jpg
	16	초지3	37.135803	126.92544060	20211117.dry_grass3.txt	20211117.dry_grass3.jpg
	17	초지4	37.135804	126.92545138	20211117.dry_grass4.txt	20211117.dry_grass4.jpg
	18	초지5	37.135813	126.92546838	20211117.dry_grass5.txt	20211117.dry_grass5.jpg
	19	초지6	37.135813	126.92549270	20211117.dry_grass6.txt	20211117.dry_grass6.jpg
5.농구장	20	농구장1	37.136108	126.92637122	20211117.basketball_court1.txt	20211117.basketball_court1.jpg
	21	농구장2	37.136123	126.92637120	20211117.basketball_court2.txt	20211117.basketball_court2.jpg
	22	농구장3	37.136154	126.92637357	20211117.basketball_court3.txt	20211117.basketball_court3.jpg
6.보조경기장	23	RedTrack1	37.138329	126.92646373	20211117.red_track1.txt	20211117.red_track1.jpg
	24	RedTrack2	37.138329	126.92644927	20211117.red_track2.txt	20211117.red_track2.jpg
	25	RedTrack3	37.139714	126.92640318	20211117.red_track3.txt	20211117.red_track3.jpg
	26	RedTrack4	37.139729	126.92640287	20211117.red_track4.txt	20211117.red_track4.jpg
	27	GreenTrack1	37.139788	126.92640098	20211117.green_track1.txt	20211117.green_track1.jpg
	28	GreenTrack2	37.138266	126.92612462	20211117.green_track2.txt	20211117.green_track2.jpg
	29	잔디1	37.138959	126.92636420	20211117.green_grass1.txt	20211117.green_grass1.jpg
	30	잔디2	37.138987	126.92636543	20211117.green_grass2.txt	20211117.green_grass2.jpg
	31	잔디3	37.139000	126.92631990	20211117.green_grass3.txt	20211117.green_grass3.jpg
	32	잔디4	37.139011	126.92644145	20211117.green_grass4.txt	20211117.green_grass3.jpg
	33	잔디5	37.138901	126.92639950	20211117.green_grass5.txt	20211117.green_grass3.jpg
	34	잔디6	37.138846	126.92638202	20211117.green_grass6.txt	20211117.green_grass3.jpg
7.야구장	35	밝은인조잔디	37.139761	126.92986970	20211117.green_azrtificial_turf.txt	20211117.green_azrtificial_turf.jpg
	36	짙은인조잔디	37.139699	126.92997617	20211117.darkgreen_azrtificial_turf.txt	20211117.darkgreen_azrtificial_turf.jpg
	37	토양1	37.139544	126.93016837	20211117.bare_soil4.txt	20211117.bare_soil4.jpg
	38	토양2	37.139528	126.93018883	20211117.bare_soil5.txt	20211117.bare_soil5.jpg
8.양궁장	39	콘크리트1	37.138817	126.92920103	20211117.concrete1.txt	20211117.concrete1.jpg
	40	콘크리트2	37.138826	126.92919882	20211117.concrete2.txt	20211117.concrete1.jpg
	41	아스팔트	37.138805	126.92925248	20211117.asphalt.txt	20211117.asphalt.jpg
9.토양(공사장)	42	나지1	37.136947	126.92820240	20211117.bare_soil1.txt	20211117.bare_soil1.jpg
	43	나지2	37.136970	126.92820295	20211117.bare_soil2.txt	20211117.bare_soil2.jpg
	44	나지3	37.136958	126.92816452	20211117.bare_soil3.txt	20211117.bare_soil2.jpg
	45	식물1	37.136593	126.92802190	20211117.vegetation1.txt	20211117.vegetation1.jpg
	46	식물2	37.136533	126.92801108	20211117.vegetation2.txt	20211117.vegetation2.jpg
	47	식물3	37.136520	126.92801067	20211117.vegetation3.txt	20211117.vegetation3.jpg

아래는 ASD 관측 위치를 나타내었다. ASD 측정 시 GPS를 연결하여 측정 위치를 파악할 수 있으며, 아래 그림과 같이 현장검증 사이트 주변으로 여러 지표물에 대한 실험을 진행하였다.

화성 지역의 경우, 총 47지점에 대한 분광반사도를 구축할 수 있었으며, 대상 지표물마다 3회 이상의 자료를 확보하였다. 보도블럭의 경우 유색(Gray, Red, Yellow)의 벽돌이 혼재되어 있으며, 각 블록을 중심으로 ASD 측정을 진행하였다. 목재의 경우 주변 연못 주변에 우드판넬로 데크가 꾸며져 있는 곳이 있어 관측지점으로 선정하여 ASD 측정을 진행하였으며, 연못을 수채로 대체하고 측정을 진행하였다. 수채의 경우 주변 환경조성 공사로 인해 수질의 상태가 양호하지 않은 점을 감안해야 할 것이다. 초지의 경우 경사진 지형에 분포하고 있었으며, 화성종합경기타운 보조경기장 내 천연잔디와 유색(Red, Green) 트랙을 지표물로 선정하고 ASD 측정을 진행하였다. 농구장은 현장실험 시 물기가 없는 상태였으며, 양궁장의 경우 양궁이용객으로 인한 초지 측정은 불가능하였으나 주변 콘크리트와 아스팔트의 ASD 측정을 진행하였다. 야구장의 경우 인조잔디로써 잔디의 색이 다르게 구성하고 있었으며, 마른토양이 자리잡고 있어 지표물 측정자료로 선정하였다. 처음

웹사이트에서 제공하는 위성지도를 이용하여 나지 및 논으로 예상되었던 지역은 현재 개발지역으로 공사가 진행중에 있었으며, 토양과 수풀이 분포하는 위치에 반사도 측정을 진행하였다.

의왕지역의 경우, 총 28지점에 대한 분광반사도를 구축하였다. 화성 지역과 동일하게 지표물마다 3회 이상 측정을 통한 자료를 확보하였다. 한국교통대학교 의왕캠퍼스를 중심으로 현장 관측실험을 진행하였으며, 교내 분포한 콘크리트, 아스팔트, 운동장(나지), 축구장(인공잔디), 농구장 등의 분광반사 측정을 진행하였다. 운동장 트랙의 경우 화성 지역은 Red 트랙과 Green 트랙으로 구분되어 있었으나, 의왕 지역에는 Green 트랙이 존재하지 않아 운동장 테두리에 조성된 녹색페인트가 칠해진 관중석에 대한 ASD 측정을 진행하였다. 수체의 경우 계절적인 영향으로 인해 수체의 결빙구간이 많이 분포하였으며, 진입의 한계로 인하여 얼음구간에 대한 수체 측정이 대부분 이루어졌다. 또한, 현장 관측 대상지 주변에 분포한 호수공원에는 갈대습지가 넓게 분포되어 있었으며, 농지, 초지와 구분하여 반사도 측정을 진행하였다.

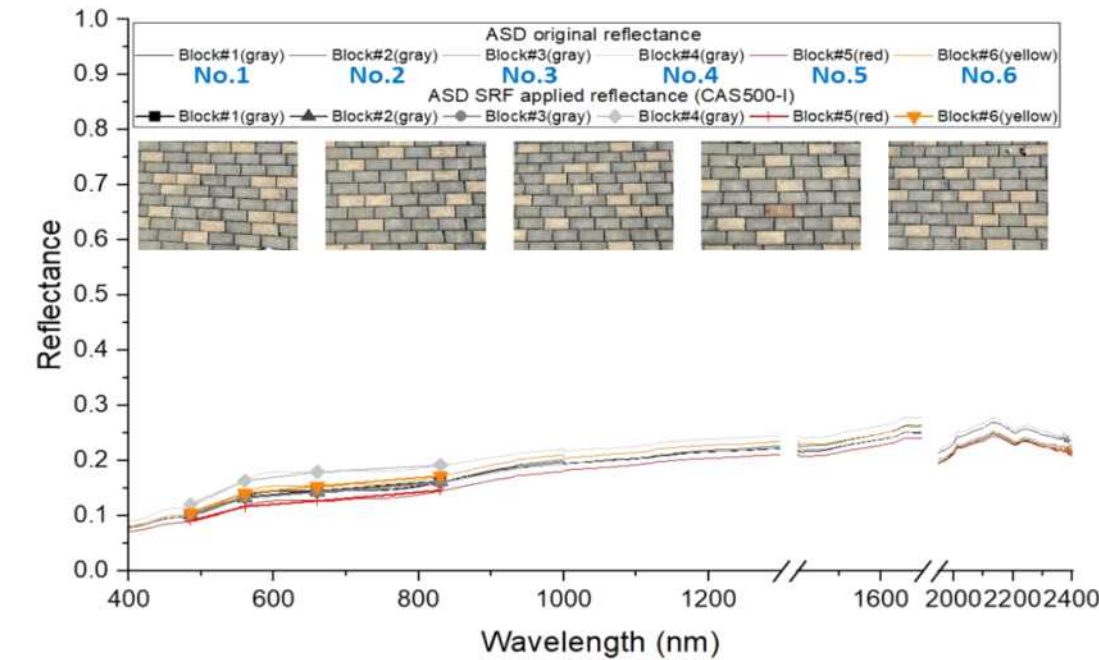


<그림 4-44> 2021년 11월 17일 화성지역의 ASD 측정지점 분포(배경: 다음지도)

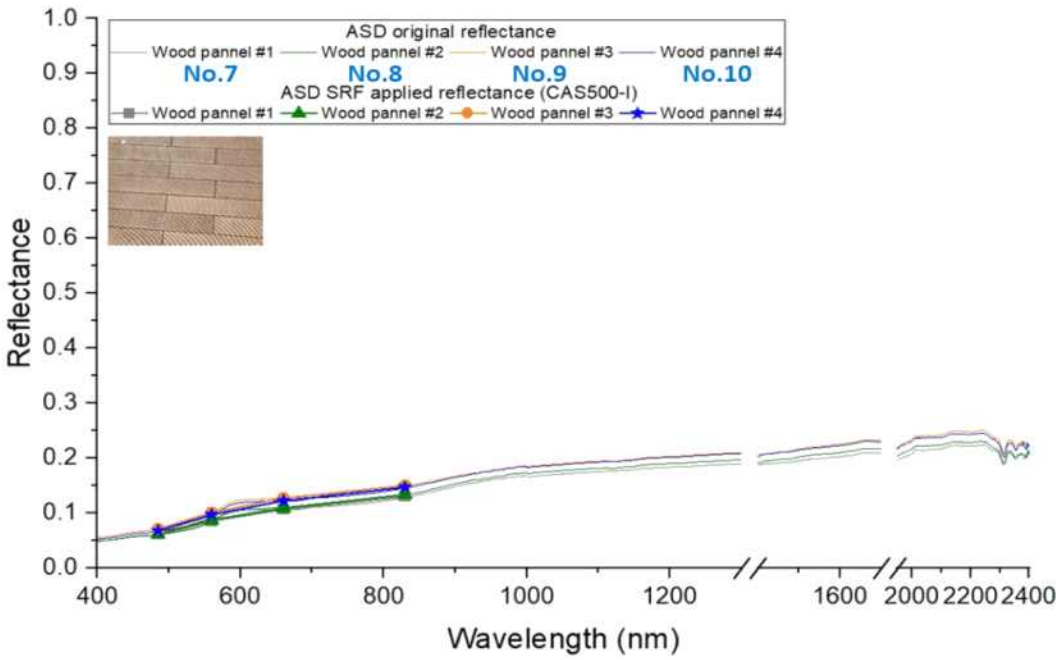


<그림 4-45> 2022년 2월 17일 ASD 측정지점 분포(배경: 동시기의 국토위성영상)

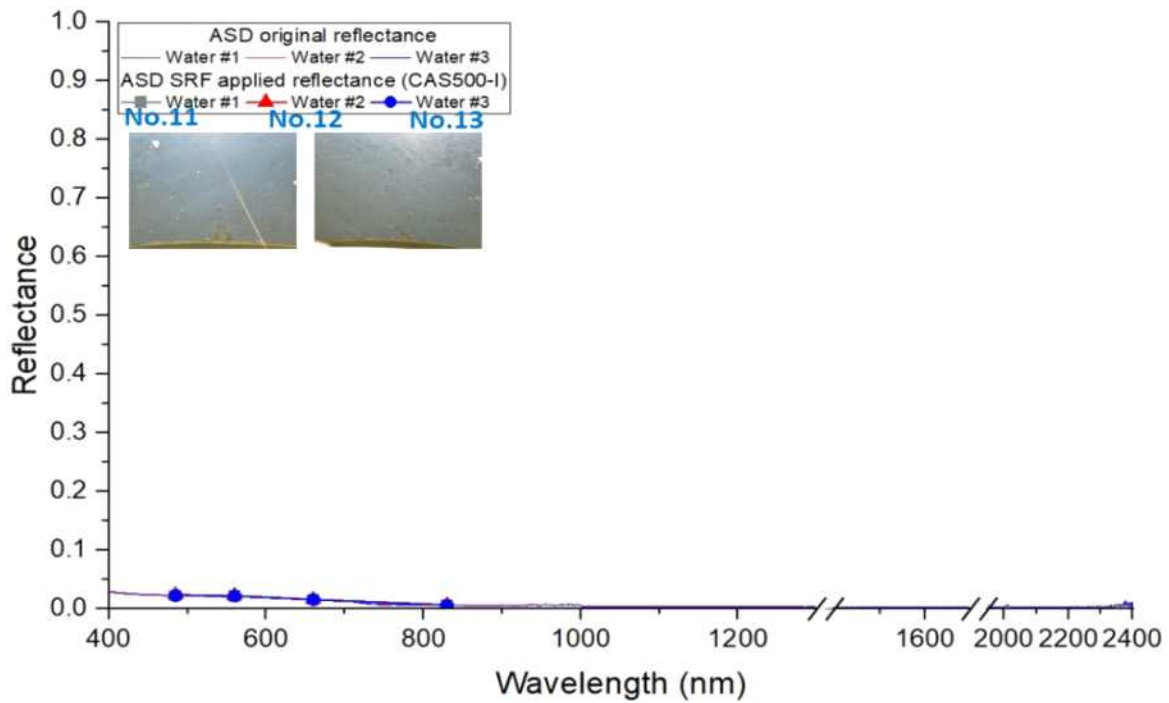
본문에서는 화성 지역의 예시로 측정결과 기술하였다. 동일 지표물에 대해 항목별로 구분하여 반사도를 확인하고, 측정된 현장 지표반사율과 국토위성의 Spectral Response Function을 이용하여 Reflectance 값을 추정하였으며, 국토위성 반사율로 계산된 지표물의 반사율 패턴을 확인하였다. 현장 실험을 통해 얻은 지표물별 분광반사 패턴은 아래 그림과 같다.



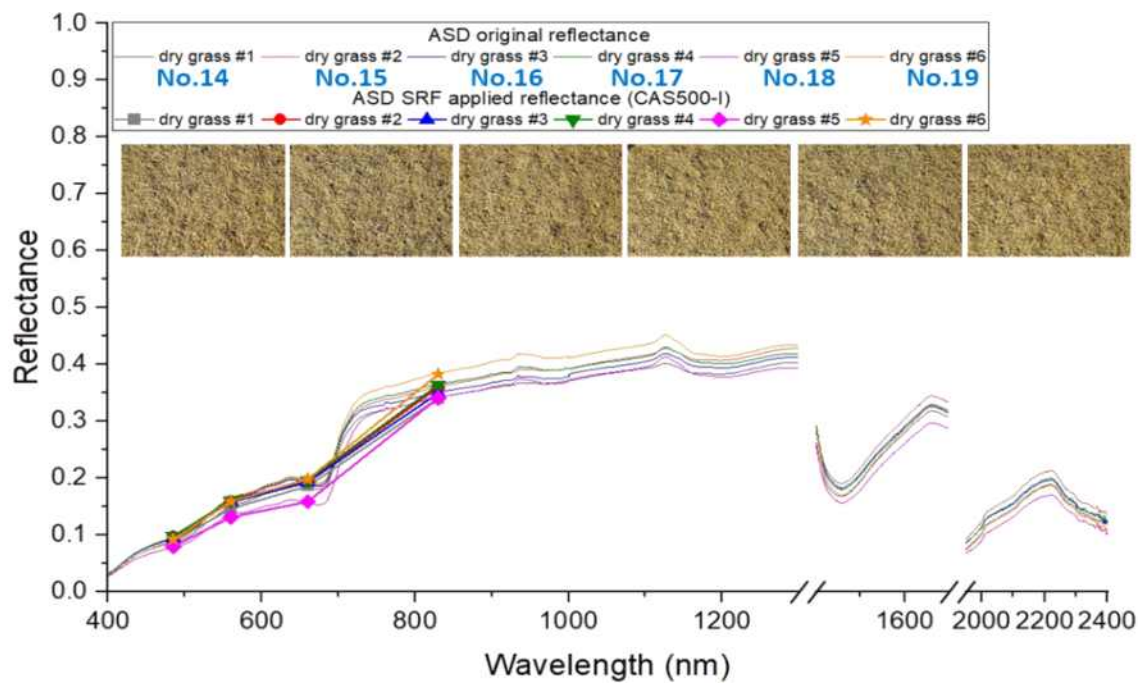
<그림 4-46> 보도블럭 분광반사도



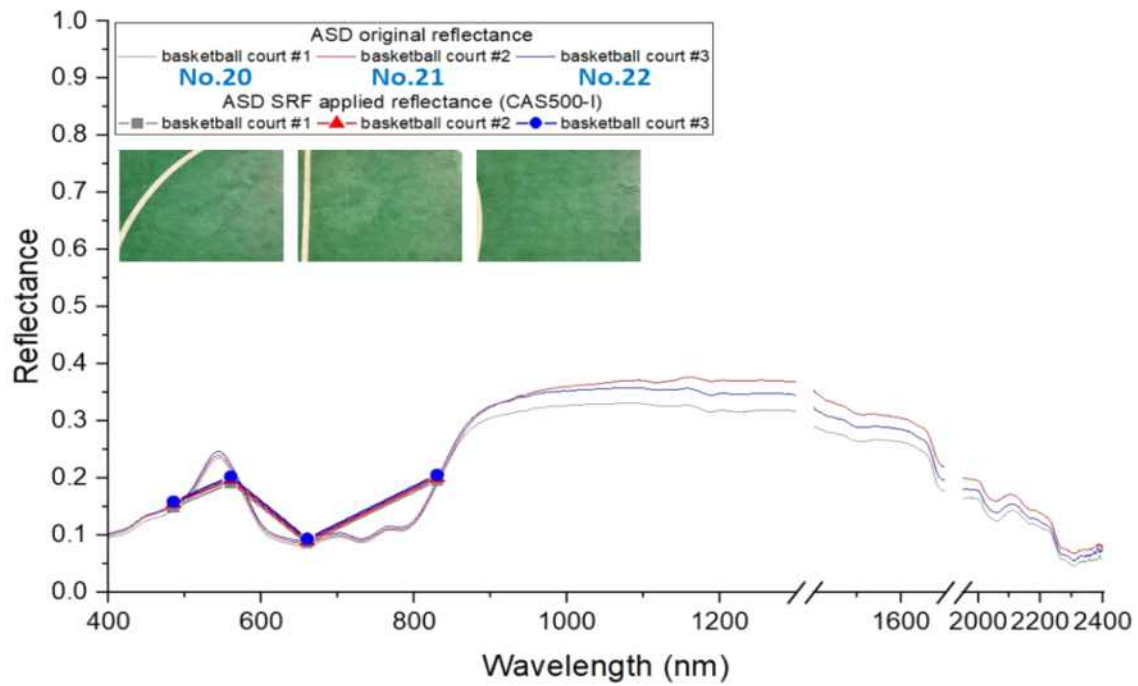
<그림 4-47> 목재(우드판넬) 분광반사도



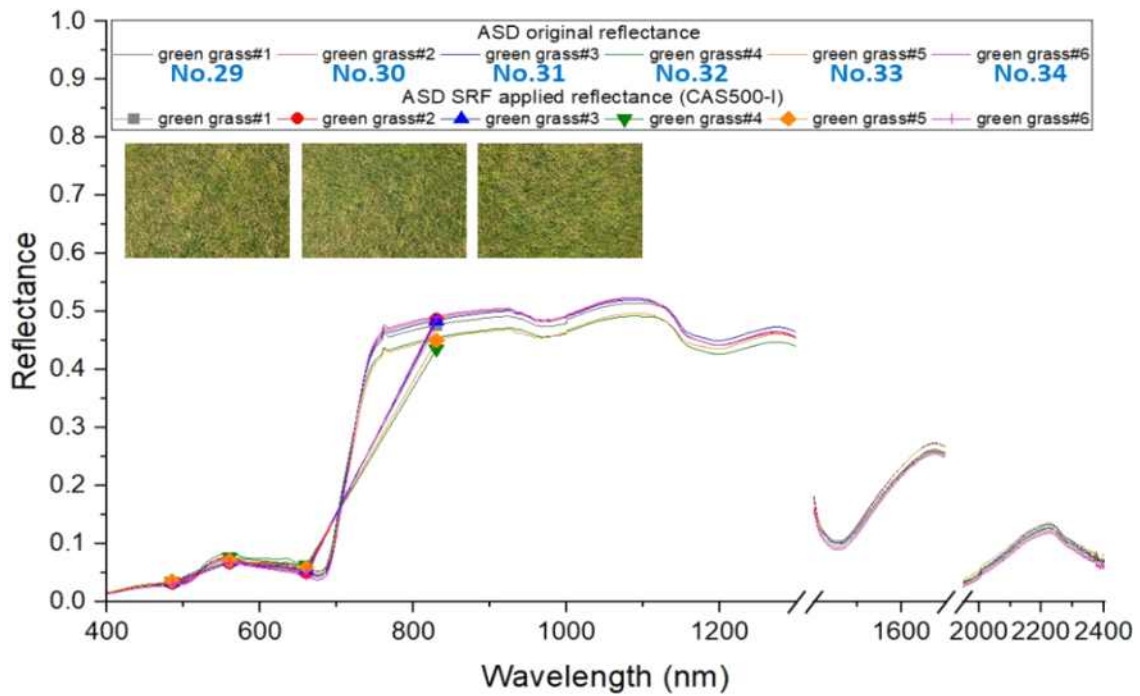
<그림 4-48> 수체(연못) 분광반사도



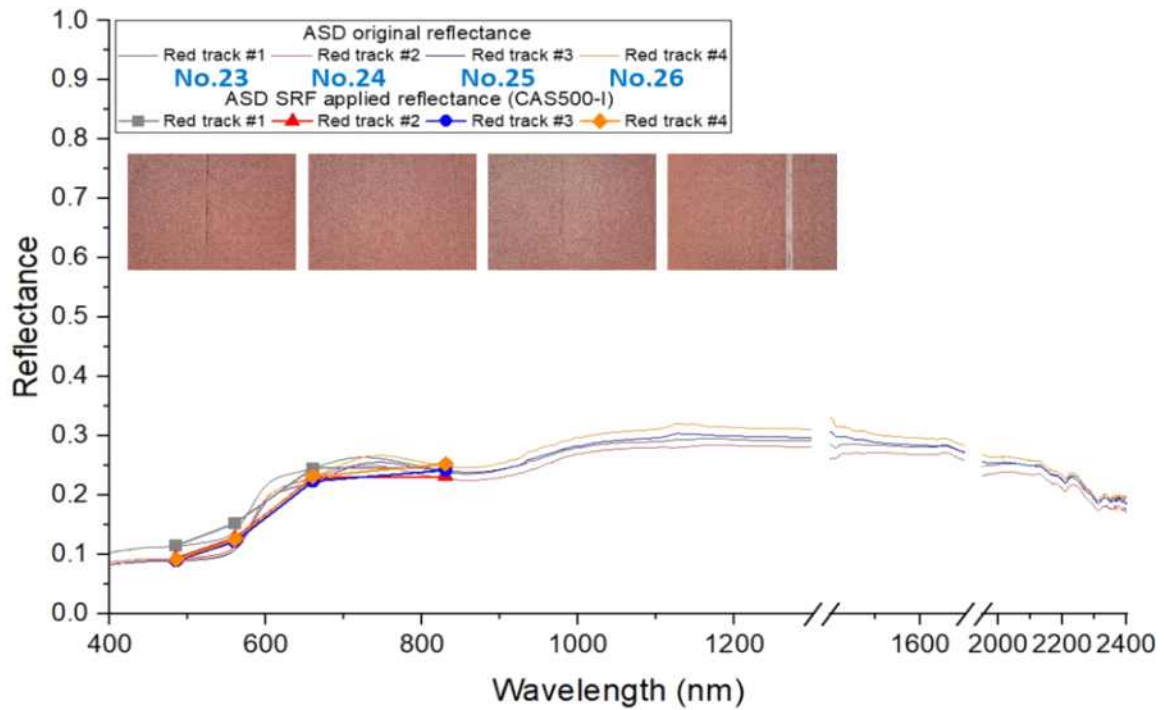
<그림 4-49> 초지(경사) 분광반사도



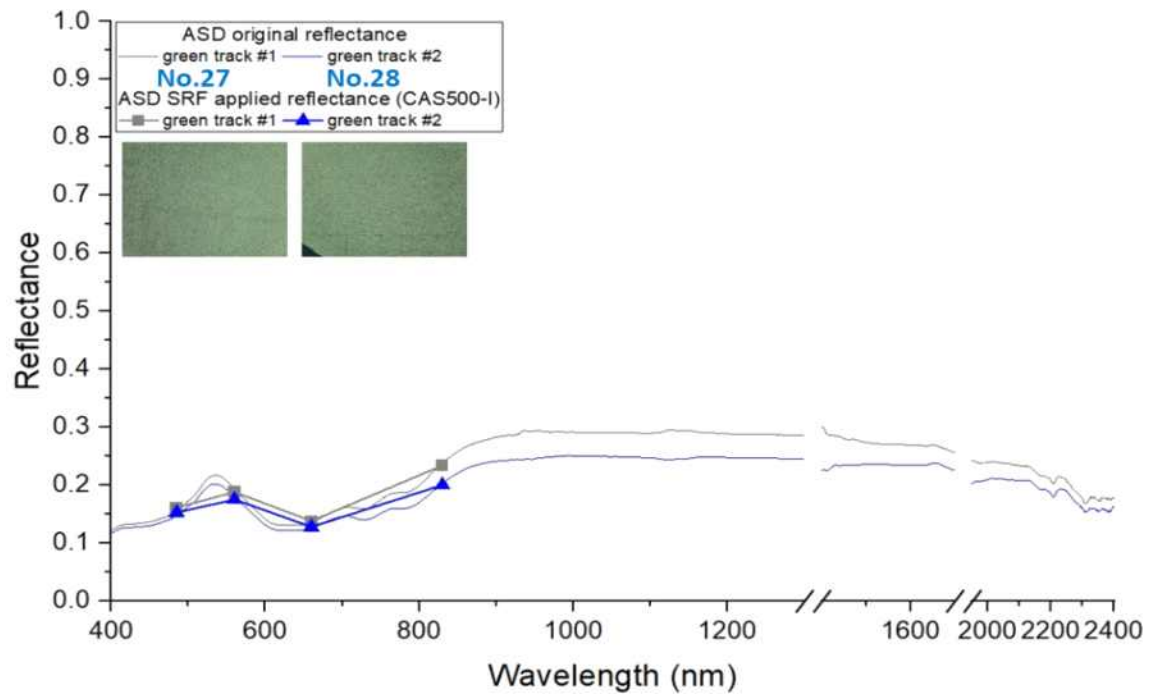
<그림 4-50> 농구장 분광반사도



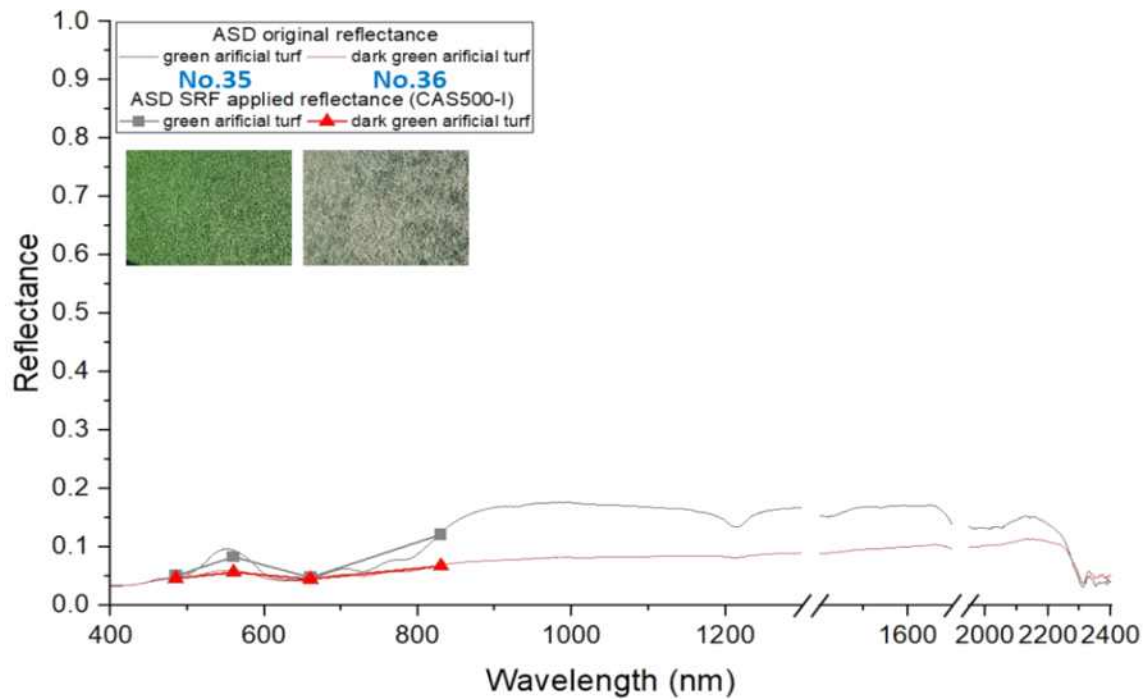
<그림 4-51> 천연잔디 분광반사도



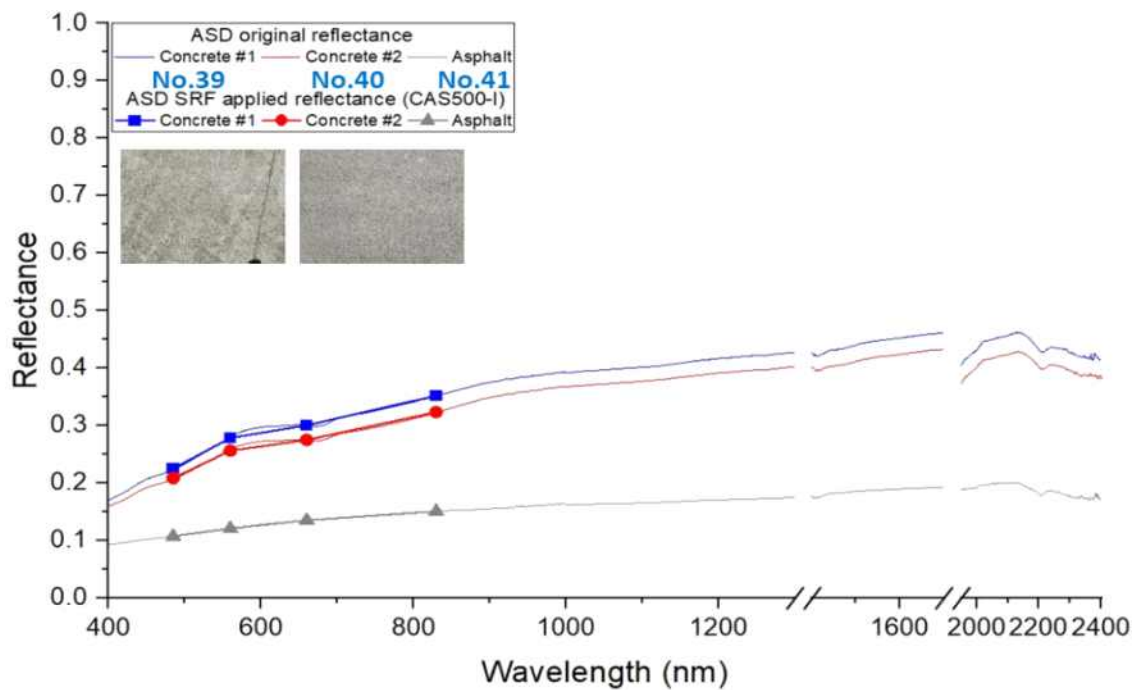
<그림 4-52> Red Track 분광반사도



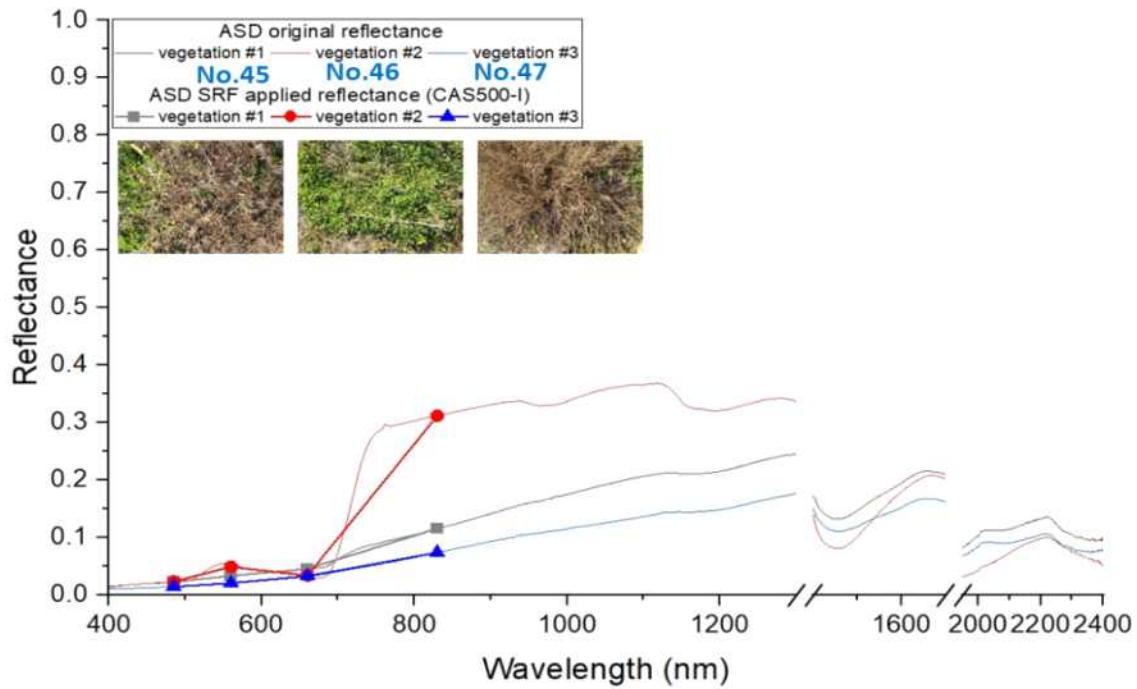
<그림 4-53> Green Track 분광반사도



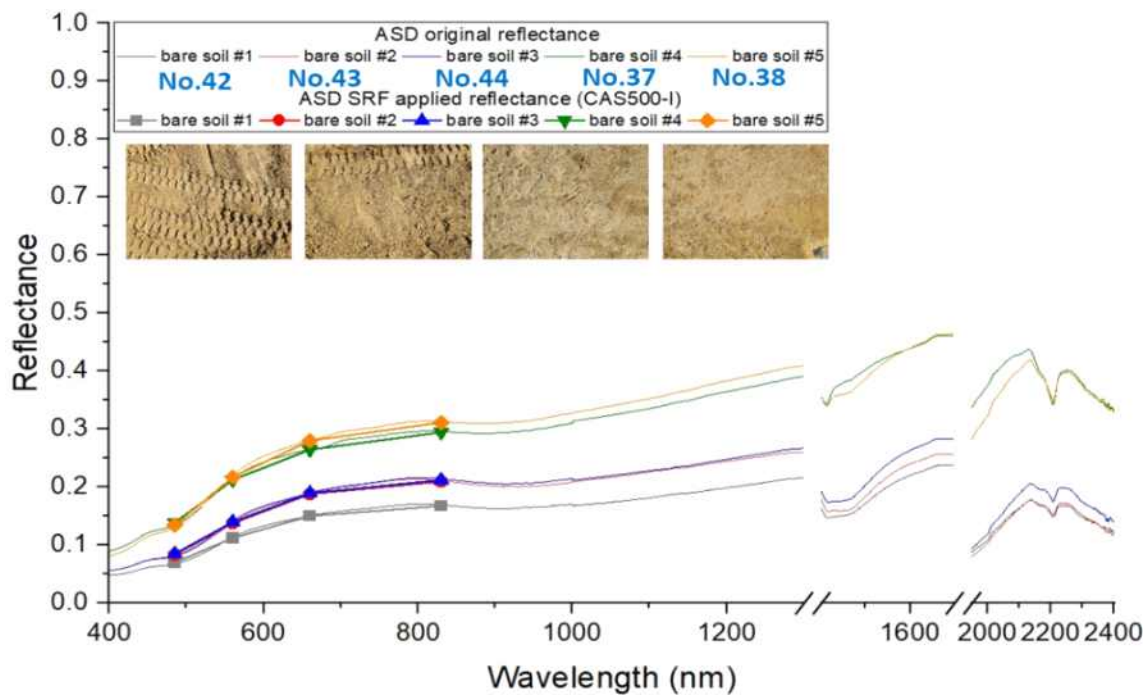
<그림 4-54> 인조잔디 분광반사도



<그림 4-55> 콘크리트 및 아스팔트 분광반사도



<그림 4-56> 식물(수풀) 분광반사도



<그림 4-57> 나지 분광반사도

인하대에서 촬영한 M300 드론을 이용한 Reflectance 영상자료를 공유받아 ASD 측정한 동일 지점의 반사율 확인 및 기타 보조자료 수집을 진행한다. 국토위성 촬영날짜와 동일 날짜의 보조자료는 기상청의 시정자료 및 MODIS 영상자료를 수집하였다.

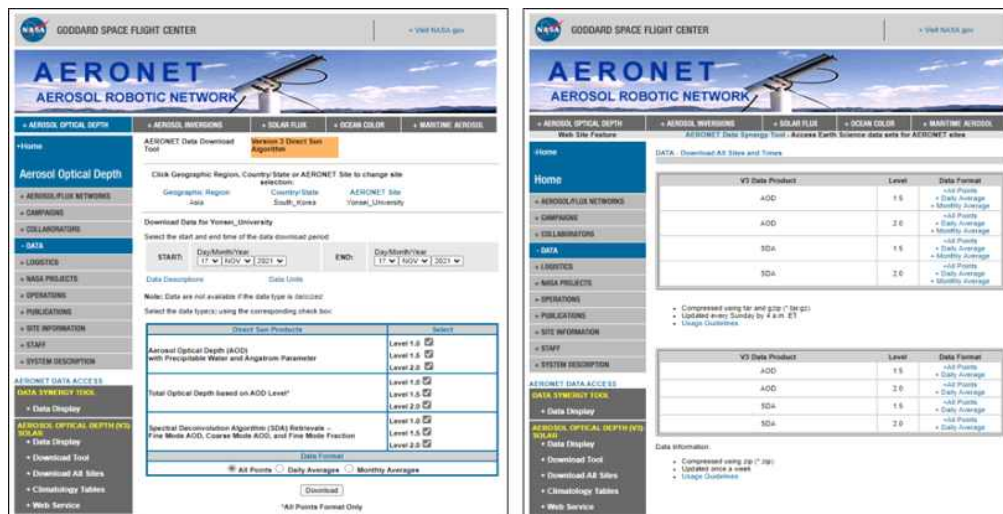


<그림 4-58> 화성 지역 M-300 드론 영상 및 ASD 관측 위치

나) AERONET

국외 대기정보 자료는 다음과 같다. 미국 GSFC에서 운영하고 AERONET 사이트에서 제공되는 대기자료는 지상관측값으로 위성자료의 검보정을 위한 참(Truth value)로 알려져 있으며, 매우 높은 정확도의 자료를 생산하고 있으나, 공간적인 측정 범위가 제한적이라는 단점이 있으며, AERONET 관측값은 지점 관측으로 인한 공간상의 대표 한계가 있으나, 매우 높은 정확도를 가지고 있어 장기간 위성 관측자료와 비교 시 유용한 측면이 있다(이권호, 2018). AERONET 자료는 지상에서 Sun/Sky Radiometer로 관측된 AOD 자료로서 전 세계에서 위성관측자료의 검증용으로 사용되고 있으며, 관측자료는 온라인 DB (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>)로 구축되어 있다. AERONET의 Sun/Sky Radiometer는 일정 시간동안 직달일사량과 산란일사량을 일정한 각도별로 센서의 방향을 회전하면서 관측하여 에어로졸의 의한 산란복사량을 파장별로 측정한다.

현재 AERONET에서 제공되는 관측자료 중 본 연구에 적용 가능한 지점은 연세대학교 지점으로 2011년부터 관측이 시작되어 현재까지 관측이 진행되고 있는 지점이다. AERONET 제공자료는 측정별 기간을 정하고 원하는 자료 레벨을 선택하여 다운로드 받을 수 있다.



<그림 4-60> AERONET 홈페이지 내 자료제공 현황

<p>AERONET Version 3: Yonsei_University Version 3: AOD Level 1.0 The following data are uncorrected and may not have final calibration applied. Contact: Pihoon.Kim; P1 Email: kim2@yonsei.ac.kr Daily Averages, UNITS can be found at... https://aeronet.gsfc.nasa.gov/new_web/units.html Date(ddmm/yyyy), Time(hh:mm:ss), Day.of.Year, Day.of.Year(Fraction), AOD... 1640nm-Total.AOD, 1640nm-AOD, 1640nm-Rayleigh.AOD, 1640nm-O3.AOD... 1640nm-NO2.AOD, 1640nm-CO2.AOD, 1640nm-CH4.AOD, 1640nm- WaterVapor.AOD, 1020nm-Total.AOD, 1020nm-AOD, 1020nm-Rayleigh.AOD... 1020nm-O3.AOD, 1020nm-NO2.AOD, 1020nm-CO2.AOD, 1020nm-CH4.AOD... 1020nm-WaterVapor.AOD, 870nm-Total.AOD, 870nm-AOD, 870nm- Rayleigh.AOD, 870nm-O3.AOD, 870nm-NO2.AOD, 870nm-CO2.AOD, 870nm- CH4.AOD, 870nm-WaterVapor.AOD, 865nm-Total.AOD, 865nm-AOD, 865nm- Rayleigh.AOD, 865nm-O3.AOD, 865nm-NO2.AOD, 865nm-CO2.AOD, 865nm- CH4.AOD, 865nm-WaterVapor.AOD, 779nm-Total.AOD, 779nm-AOD, 779nm- Rayleigh.AOD, 779nm-O3.AOD, 779nm-NO2.AOD, 779nm-CO2.AOD, 779nm- CH4.AOD, 779nm-WaterVapor.AOD, 675nm-Total.AOD, 675nm-AOD, 675nm- Rayleigh.AOD, 675nm-O3.AOD, 675nm-NO2.AOD, 675nm-CO2.AOD, 675nm- CH4.AOD, 675nm-WaterVapor.AOD, 667nm-Total.AOD, 667nm-AOD, 667nm- Rayleigh.AOD, 667nm-O3.AOD, 667nm-NO2.AOD, 667nm-CO2.AOD, 667nm- CH4.AOD, 667nm-WaterVapor.AOD, 620nm-Total.AOD, 620nm-AOD, 620nm- Rayleigh.AOD, 620nm-O3.AOD, 620nm-NO2.AOD, 620nm-CO2.AOD, 620nm- CH4.AOD, 620nm-WaterVapor.AOD, 560nm-Total.AOD, 560nm-AOD, 560nm- Rayleigh.AOD, 560nm-O3.AOD, 560nm-NO2.AOD, 560nm-CO2.AOD, 560nm- CH4.AOD, 560nm-WaterVapor.AOD, 555nm-Total.AOD, 555nm-AOD, 555nm- Rayleigh.AOD, 555nm-O3.AOD, 555nm-NO2.AOD, 555nm-CO2.AOD, 555nm- CH4.AOD, 555nm-WaterVapor.AOD, 551nm-Total.AOD, 551nm-AOD, 551nm-</p>	<p>AERONET Version 3: Yonsei_University Version 3: Total Optical Depth based on AOD Level 1.0 The following data are uncorrected and may not have final calibration applied. Contact: Pihoon.Kim; P1 Email: kim2@yonsei.ac.kr All Points, UNITS can be found at... https://aeronet.gsfc.nasa.gov/new_web/units.html Date(ddmm/yyyy), Time(hh:mm:ss), Day.of.Year, Day.of.Year(Fraction), AOD... 1640nm-Total.AOD, 1640nm-AOD, 1640nm-Rayleigh.AOD, 1640nm-O3.AOD... 1640nm-NO2.AOD, 1640nm-CO2.AOD, 1640nm-CH4.AOD, 1640nm- WaterVapor.AOD, 1020nm-Total.AOD, 1020nm-AOD, 1020nm-Rayleigh.AOD... 1020nm-O3.AOD, 1020nm-NO2.AOD, 1020nm-CO2.AOD, 1020nm-CH4.AOD... 1020nm-WaterVapor.AOD, 870nm-Total.AOD, 870nm-AOD, 870nm- Rayleigh.AOD, 870nm-O3.AOD, 870nm-NO2.AOD, 870nm-CO2.AOD, 870nm- CH4.AOD, 870nm-WaterVapor.AOD, 865nm-Total.AOD, 865nm-AOD, 865nm- Rayleigh.AOD, 865nm-O3.AOD, 865nm-NO2.AOD, 865nm-CO2.AOD, 865nm- CH4.AOD, 865nm-WaterVapor.AOD, 779nm-Total.AOD, 779nm-AOD, 779nm- Rayleigh.AOD, 779nm-O3.AOD, 779nm-NO2.AOD, 779nm-CO2.AOD, 779nm- CH4.AOD, 779nm-WaterVapor.AOD, 675nm-Total.AOD, 675nm-AOD, 675nm- Rayleigh.AOD, 675nm-O3.AOD, 675nm-NO2.AOD, 675nm-CO2.AOD, 675nm- CH4.AOD, 675nm-WaterVapor.AOD, 667nm-Total.AOD, 667nm-AOD, 667nm- Rayleigh.AOD, 667nm-O3.AOD, 667nm-NO2.AOD, 667nm-CO2.AOD, 667nm- CH4.AOD, 667nm-WaterVapor.AOD, 620nm-Total.AOD, 620nm-AOD, 620nm- Rayleigh.AOD, 620nm-O3.AOD, 620nm-NO2.AOD, 620nm-CO2.AOD, 620nm- CH4.AOD, 620nm-WaterVapor.AOD, 560nm-Total.AOD, 560nm-AOD, 560nm- Rayleigh.AOD, 560nm-O3.AOD, 560nm-NO2.AOD, 560nm-CO2.AOD, 560nm- CH4.AOD, 560nm-WaterVapor.AOD, 555nm-Total.AOD, 555nm-AOD, 555nm- Rayleigh.AOD, 555nm-O3.AOD, 555nm-NO2.AOD, 555nm-CO2.AOD, 555nm- CH4.AOD, 555nm-WaterVapor.AOD, 551nm-Total.AOD, 551nm-AOD, 551nm-</p>
---	--

<그림 4-61> AERONET Download File (예시)

다) MODIS CMA

MODIS 위성자료는 Terra/Aqua 위성 2기로 전지구를 매일 관측하고 데이터를 무료로 제공한다. MODIS 산출물 자료 중 Product09 대기기상자료는 Daily 자료로써 미국 EarthDATA와 USGS 등에서 제공하고 있다. EarthDATA에서 제공되는 MODIS CMA NRT 산출물은 HDF 파일 형태로 제공되고 있으며, HDF 파일 안에는 Coarse Resolution Surface Reflectance, Coarse Resolution TOA Reflectance, Coarse Resolution Water Vapor, Coarse Resolution Atmospheric Optical Depth 등의 정보를 포함하는 17개의 밴드로 구성되어 있다.

<div> <div>[1] MOD09CMA.A2021321.061.NRT</div> <ul style="list-style-type: none"> Metadata Vector Data Bands <ul style="list-style-type: none"> Coarse_Resolution_Surface_Reflectance_Band_8 Coarse_Resolution_Surface_Reflectance_Band_9 Coarse_Resolution_Surface_Reflectance_Band_10 Coarse_Resolution_Surface_Reflectance_Band_11 Coarse_Resolution_Surface_Reflectance_Band_12 Coarse_Resolution_TOA_Reflectance_Band_1 Coarse_Resolution_TOA_Reflectance_Band_3 Coarse_Resolution_TOA_Reflectance_Band_8 Coarse_Resolution_TOA_Reflectance_Band_9 Coarse_Resolution_TOA_Reflectance_Band_10 Coarse_Resolution_AOT_Model_Residual_Values Coarse_Resolution_AOT_at_550_nm Coarse_Resolution_Atmospheric_Optical_Depth_Model Coarse_Resolution_Water_Vapor Coarse_Resolution_Air_Temperature_(2m) Coarse_Resolution_Atmospheric_Optical_Depth_OA Coarse_Resolution_Number_Mapping_AOT </div>	<table> <tr><td>GROUP</td><td>= INVENTORYMETADATA</td></tr> <tr><td>GROUPTYPE</td><td>= MASTERGROUP</td></tr> <tr><td>GROUP</td><td>= ECSDATAGRANULE</td></tr> <tr><td>OBJECT</td><td>= LOCALGRANULEID</td></tr> <tr><td>NUM_VAL</td><td>= 1</td></tr> <tr><td>VALUE</td><td>= "MOD09CMA.A2021321.061.NRT.hdf"</td></tr> <tr><td>END_OBJECT</td><td>= LOCALGRANULEID</td></tr> <tr><td>OBJECT</td><td>= PRODUCTIONDATETIME</td></tr> <tr><td>NUM_VAL</td><td>= 1</td></tr> <tr><td>VALUE</td><td>= "2021-11-18T01:12:11.000Z"</td></tr> <tr><td>END_OBJECT</td><td>= PRODUCTIONDATETIME</td></tr> <tr><td>OBJECT</td><td>= DAYNIGHTFLAG</td></tr> <tr><td>NUM_VAL</td><td>= 1</td></tr> <tr><td>VALUE</td><td>= "Day"</td></tr> <tr><td>END_OBJECT</td><td>= DAYNIGHTFLAG</td></tr> <tr><td>OBJECT</td><td>= REPROCESSINGACTUAL</td></tr> <tr><td>NUM_VAL</td><td>= 1</td></tr> <tr><td>VALUE</td><td>= "Near Real Time"</td></tr> <tr><td>END_OBJECT</td><td>= REPROCESSINGACTUAL</td></tr> <tr><td>OBJECT</td><td>= LOCALVERSIONID</td></tr> <tr><td>NUM_VAL</td><td>= 1</td></tr> <tr><td>VALUE</td><td>= "SCF VAL"</td></tr> <tr><td>END_OBJECT</td><td>= LOCALVERSIONID</td></tr> <tr><td>OBJECT</td><td>= REPROCESSINGPLANNED</td></tr> <tr><td>NUM_VAL</td><td>= 1</td></tr> <tr><td>VALUE</td><td>= "Further update is anticipated"</td></tr> <tr><td>END_OBJECT</td><td>= REPROCESSINGPLANNED</td></tr> <tr><td>END_GROUP</td><td>= ECSDATAGRANULE</td></tr> <tr><td>GROUP</td><td>= MEASUREDPARAMETER</td></tr> <tr><td>OBJECT</td><td>= MEASUREDPARAMETERCONTAINER</td></tr> <tr><td>CLASS</td><td>= "1"</td></tr> </table>	GROUP	= INVENTORYMETADATA	GROUPTYPE	= MASTERGROUP	GROUP	= ECSDATAGRANULE	OBJECT	= LOCALGRANULEID	NUM_VAL	= 1	VALUE	= "MOD09CMA.A2021321.061.NRT.hdf"	END_OBJECT	= LOCALGRANULEID	OBJECT	= PRODUCTIONDATETIME	NUM_VAL	= 1	VALUE	= "2021-11-18T01:12:11.000Z"	END_OBJECT	= PRODUCTIONDATETIME	OBJECT	= DAYNIGHTFLAG	NUM_VAL	= 1	VALUE	= "Day"	END_OBJECT	= DAYNIGHTFLAG	OBJECT	= REPROCESSINGACTUAL	NUM_VAL	= 1	VALUE	= "Near Real Time"	END_OBJECT	= REPROCESSINGACTUAL	OBJECT	= LOCALVERSIONID	NUM_VAL	= 1	VALUE	= "SCF VAL"	END_OBJECT	= LOCALVERSIONID	OBJECT	= REPROCESSINGPLANNED	NUM_VAL	= 1	VALUE	= "Further update is anticipated"	END_OBJECT	= REPROCESSINGPLANNED	END_GROUP	= ECSDATAGRANULE	GROUP	= MEASUREDPARAMETER	OBJECT	= MEASUREDPARAMETERCONTAINER	CLASS	= "1"
GROUP	= INVENTORYMETADATA																																																														
GROUPTYPE	= MASTERGROUP																																																														
GROUP	= ECSDATAGRANULE																																																														
OBJECT	= LOCALGRANULEID																																																														
NUM_VAL	= 1																																																														
VALUE	= "MOD09CMA.A2021321.061.NRT.hdf"																																																														
END_OBJECT	= LOCALGRANULEID																																																														
OBJECT	= PRODUCTIONDATETIME																																																														
NUM_VAL	= 1																																																														
VALUE	= "2021-11-18T01:12:11.000Z"																																																														
END_OBJECT	= PRODUCTIONDATETIME																																																														
OBJECT	= DAYNIGHTFLAG																																																														
NUM_VAL	= 1																																																														
VALUE	= "Day"																																																														
END_OBJECT	= DAYNIGHTFLAG																																																														
OBJECT	= REPROCESSINGACTUAL																																																														
NUM_VAL	= 1																																																														
VALUE	= "Near Real Time"																																																														
END_OBJECT	= REPROCESSINGACTUAL																																																														
OBJECT	= LOCALVERSIONID																																																														
NUM_VAL	= 1																																																														
VALUE	= "SCF VAL"																																																														
END_OBJECT	= LOCALVERSIONID																																																														
OBJECT	= REPROCESSINGPLANNED																																																														
NUM_VAL	= 1																																																														
VALUE	= "Further update is anticipated"																																																														
END_OBJECT	= REPROCESSINGPLANNED																																																														
END_GROUP	= ECSDATAGRANULE																																																														
GROUP	= MEASUREDPARAMETER																																																														
OBJECT	= MEASUREDPARAMETERCONTAINER																																																														
CLASS	= "1"																																																														

<그림 4-62> MODIS CMA 파일 구성 및 hdf.met 정보

라) MODIS CMG

USGS에서 제공하는 MODIS CMG 산출물은 MYD09CMG 자료로 HDF 파일 형태로 제공받을 수 있으며, HDF 파일 안에는 Coarse Resolution Surface Reflectance, Coarse Resolution Solar Zenith Angle, Coarse Resolution Relative Azimuth Angle, Coarse Resolution Ozone, Coarse Resolution Brightness Temperature 등의 정보를 포함하는 25개의 밴드로 구성되어 있다.

<표 4-40> 환경위성 위성자료 배포용(1~2차) 산출물

순번	산출물명	비고	
1	에어로졸 광학두께	이미지 자료	(443nm 자료)
2	전층 오존		
3	구름유효운량		구름에 의해 빛이 반사되는 정도를 나타내며, 광학적으로 유효한 구름양
4	전층 이산화질소		
5	이산화황		(특이사항 발생 시)
6	식물 반응 가중선량률		식물 반응 가중함수를 적용하여, 자외선이 식물의 반응에 미치는 영향을 정량화
7	DNA 손상 가중선량률		DNA 손상 가중함수 적용, 자외선이 DNA에 미치는 영향을 정량화
8	비타민D 합성 가중선량률		비타민D 합성 가중함수를 적용, 자외선이 비타민D 합성에 미치는 영향을 정량화
9	에어로졸 단일산란알베도		에어로졸에 의해 빛이 산란되는 정도를 나타내며 수치를 통해 에어로졸 구성 성분 유추
10	자외선·가시광 에어로졸 지수		자외선을 흡수하는 정도에 관한 정보, 에어로졸의 크기에 대한 정보
11	구름중심기압		태양광을 기반으로 측정된 구름 유효 중심 고도를 기압의 형태로 나타냄
12	구름복사비율		관측된 복사량 중 구름에 의해 반사된 복사량의 비율
13	자외선 지수		피부가 붉게 되는 현상(홍반)을 가중함수로 적용, 자외선이 홍반에 미치는 영향을 정량화



알고리즘 문서

순번	제목	내용	파일명	날짜	비밀번호	비밀번호
1	대기오염물질의 산란계수	산란계수	산란계수	2021-04-01	4780-000-000	비밀번호
2	대기오염물질의 흡수계수	흡수계수	흡수계수	2021-04-01	4780-000-000	비밀번호
3	대기오염물질의 산란계수	산란계수	산란계수	2021-04-01	4780-000-000	비밀번호
4	대기오염물질의 흡수계수	흡수계수	흡수계수	2021-04-01	4780-000-000	비밀번호
5	대기오염물질의 산란계수	산란계수	산란계수	2021-04-01	4780-000-000	비밀번호
6	대기오염물질의 흡수계수	흡수계수	흡수계수	2021-04-01	4780-000-000	비밀번호
7	대기오염물질의 산란계수	산란계수	산란계수	2021-04-01	4780-000-000	비밀번호
8	대기오염물질의 흡수계수	흡수계수	흡수계수	2021-04-01	4780-000-000	비밀번호
9	대기오염물질의 산란계수	산란계수	산란계수	2021-04-01	4780-000-000	비밀번호
10	대기오염물질의 흡수계수	흡수계수	흡수계수	2021-04-01	4780-000-000	비밀번호

<그림 4-64> 환경위성 누리집에서 제공되는 위성자료 및 알고리즘 문서 화면(예시)

카테고리 검색

전송 코돈

레벨

선택

산출물

선택

활용 모드

전체선택

검색

활용 기간

2021-12-12 ~ 2021-12-14

UTC / KST

시각

00:00 ~ 24:00

활용 시작

00:00 ~ 24:00

재생 간격

1초

검색 결과: [4/12]

2021-12-12 12:43 (KST)

전체

전체 영상 다운로드

영상 다운로드

◀

▶

⏮

⏭

⏪

⏩

⏴

⏵

⏶

⏷

⏸

⏹

⏺

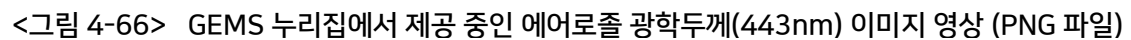
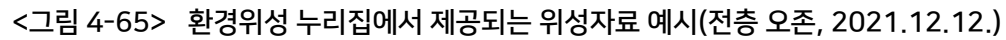
⏻

⏼

⏽

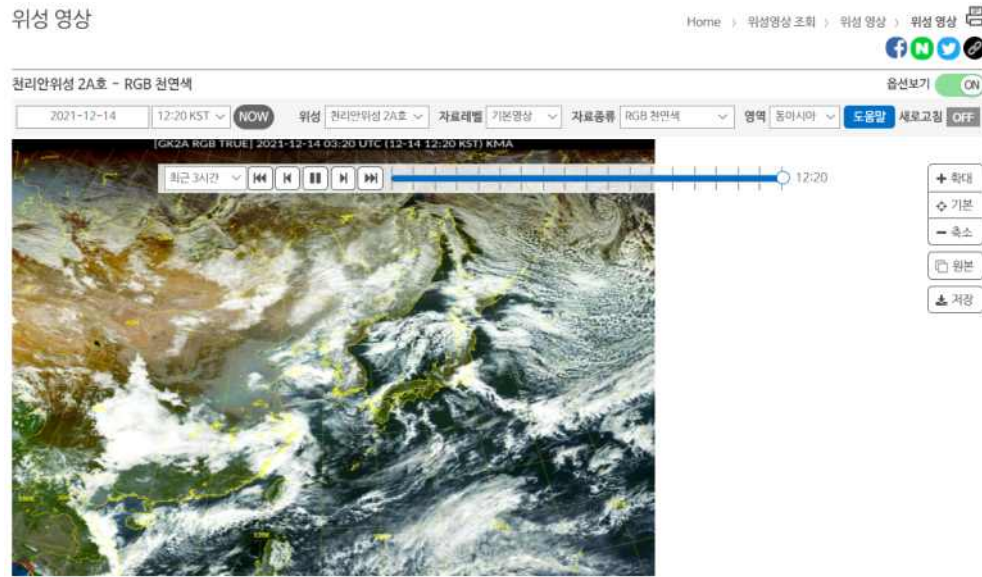
⏾

⏿



(2) 기상위성(AMI)

국가기상위성센터에서 운영중이며, 기상청에서 보유하고 있는 위성자료는 기상현상의 실시간 감시 이외에 기상연구소 및 대학의 연구용 자료로도 그 활용 가치가 높다고 할 수 있으며, 기상청 외부에 있는 사용자가 접근할 수 있는 위성자료 제공시스템(ftp site)을 설치하고 사용자 계정과 암호를 부여하여 관리하고 있다. 이 위성자료 제공시스템에 수록되어 있는 자료들은 기상청과 공동협력 연구과제를 수행하는 국공립기관에 대해서만 개방되어 있다(국가기상위성센터 홈페이지 참조).



<그림 4-67> 기상위성 누리집에서 제공되는 천리안위성2A호 위성자료(RGB, 2021.12.14.)

기상 자료 개방 포털에서 검색되는 기상위성자료는 천리안 위성 1호, 천리안위성 2A호이다. 천리안 1호 위성 COMS 자료는 기상임무 종료에 따라 2011년 1월 1일~2020년 3월 31일 자료를 제공하고 있으며, 한반도지역 및 아시아, 확장북반구, 전구 범위의 자료로 제공된다. 기본 관측자료는 적외1, 적외2, 수증기, 단파적외, 가시 자료를 제공하며, 기본 산출물은 구름탐지, 해수면온도, 지표면온도, 해빙 및 적설, 표면도달 일사량, 상층수증기량, 가강수량, 운정온도 및 고도, 구름분석, 안개, 강우강도, 지구방출복사량, 에어로졸 탐지, 에어로졸 광학두께, 대기운동벡터로 제공된다. 천리안 2A호는 천리안위성 1호의 기상관측 역할을 승계하는 차세대 정지궤도 기상위성으로, 2019.7.25. 정식 서비스를 시작하였으며, 총 16개 채널을 통해 다양한 관측이 가능하며, 동아시아는 10분, 한반도 영역은 2분 간격으로 관측자료가 생산되고 있다. 2019년 7월 25일 자료부터 제공되며, NetCDF 데이터 형태와 PNG자료로 제공된다.

<표 4-41> 기상자료개방포털 내 천리안위성 자료 제공항목

	기본관측자료	기본산출물	자료형태	제공기간
천리안 위성 1호	적외1, 적외2, 수증기, 단파적외, 가시	구름탐지, 해수면온도, 지표 면온도, 해빙 및 적설, 표면 도달 일사량, 상층수증기량, 가강수량, 운정온도 및 고도, 구름분석, 안개, 강우강도, 지구방출복사량, 에어로졸탐 지, 에어로졸 광학두께, 대기 운동벡터	이진(BIN), HDF, 영상	2011.01.01. ~ 2020.04.01.
천리안 위성 2A호	적외(8.7 μ m), 적외(9.6 μ m), 적외(10.5 μ m), 적외(11.2 μ m), 적외(12.3 μ m), 적외(13.3 μ m), 근적외(1.37 μ m), 근적외(1.6 μ m), 단파적외(3.8 μ m), 가시 (0.47 μ m), 가시(0.51 μ m), 가 시(0.64 μ m), 가시(0.86 μ m), 수증기(6.3 μ m), 수증기(6.9 μ m), 수증기(7.3 μ m), RGB주 야간합성, RGB 황사	대기불안정도, 에어로졸 산출 물, 대류운 탐지, 구름분석, 구름탐지, 운정산출물, 주간 구름 산출물, 산불탐지, 안 개, 지표면온도, 장파복사, 강우강도, 적설/해빙, 해수면 온도, 단파복사, 총오존량, 총가강수량	바이너리 NetCDF, 이미지	2019.07.25. ~

2) 외부자료의 자동 수집 설계

대기보정을 위한 보조자료는 시정, 수증기, AOD, 오존 자료를 사용한다. 보조자료는 텍스트자료와 영상자료(Raster)로 구분된다. 국내 기상청 자료 및 에어로넷 자료는 시간별로 관측되는 텍스트 자료이며, MODIS 자료의 경우 한 파일 내에 여러 개의 레이어로 정보가 제공되는 영상자료로, 그 중 필요한 정보만 추출해서 보조자료로 이용된다.

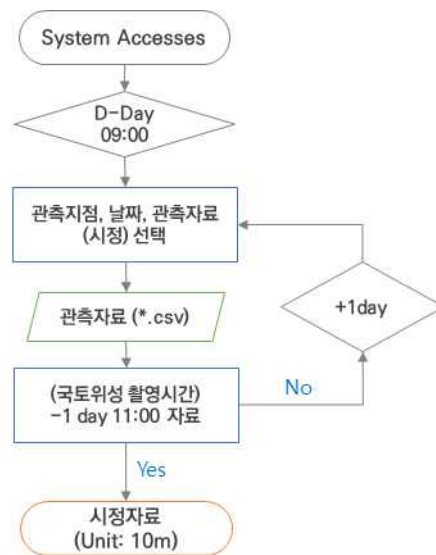
<표 4-42> 외부 보조자료 제원 및 수집방안 설계

자료	제공기관	수집사이트	자료 범위	파일 포맷	파일 용량	자료 제공 주기	자료 수집 시간	수집 방법
시정	기상청	기상자료개방포털	관측 지점	*.csv (점관측자료)	1KB	실시간 갱신	+ 1day 09:00	Open API
수증기, 에어로졸두께	미국 GSFC	AERONET	관측 지점	*.zip (점관측자료)	50KB	관측 2시간 후	D-day 14:00	크롤링
	미국 Earthdata	MODIS CMA NRT service	전구	*.hdf (raster자료)	500 MB	촬영 익일오전	+ 1day 11:00	Wget 크롤링
오존	미국 USGS	MODIS CMG ozone service	전구	*.hdf (raster자료)	600 MB	촬영 익일오후	+ 2day 02:00	Wget 크롤링

- 자료 : 대기보정에 필요한 인자로서, 시정자료, 수증기, 에어로졸두께, 오존 자료로 구분됨
 - 제공기관 : 국내 기상청 및 미국에서 운영하는 각각의 사이트에서 정보 수집
 - 수집사이트는 아래 상세 설명에 포함되어 있으며, 자료 수집 절차도 설명하였음
 - 자료 범위 : (국내) 기상청 자료 및 (국외) 에어로넷 자료는 점관측 자료로서 csv 파일로 제공되고 있으며, MODIS 자료의 경우 전지구를 하나의 파일(hdf)로 제공하고 있음
 - 파일 용량 : 텍스트 자료의 경우 자료 수집 시간 및 다운로드 자료 항목에 따라 용량의 차이가 있으며, 영상자료의 경우 파일 크기가 500~600MB 전후 용량을 가지는 것으로 확인됨
 - 자료 제공 주기 : 각각의 자료 관측(관측, 촬영) 후 서비스(제공)되는 시간을 의미함. 실시간 자료 제공 시간 체크를 통해 평균적인 제공주기를 제시함
 - 자료 수집시간 : 국토위성의 촬영시간인 11시를 기준으로 자료 수집시간을 설정하였으며, Local Time은 한국시간(지역 시간)을 기준으로 설정된 시간임
- * 자료 수집시간의 경우 조건부에 따른 자료 수집 시간 설정이 필요함(예: MODIS 자료의 경우, 자료처리 등으로 인한 자료제공(업로드)이 늦어질 경우, 수집시간 2일 후 재수집 진행 필요)

가) 시정

기상청 시정자료는 기상청에 문의 결과 제공되는 자료는 수시로 갱신되어 홈페이지에 제공하고 있다고 답변하나, 실시간 자료 검색 결과 대부분 검색일을 기준으로 1일전(-1day) 자료를 제공하고 있어, 국토위성 촬영 후 익일에 오전에 자료를 받는 것이 효과적일 것으로 판단된다.



<그림 4-68> 시정정보 수집 흐름도

□ 시정정보 자료 수집 방법

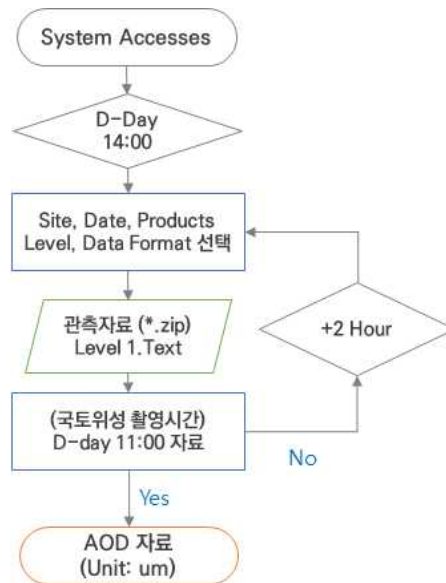
- 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/>) 홈페이지 회원가입 및 로그인
- 데이터 → 기상관측 → 지상 → 종관기상관측(ASOS)
- 자료형태 : 시간자료 / 기간(시간) 설정 / 관측지점 선택 / 시정자료 선택 → 조회
- CSV or Excel 파일 선택 (사용분야 선택 ex: 연구/학술 등) → 신청
- 다운로드 파일 : 지점명, 측정일시, 시정정보(선택한 정보) 포함되어 있음

□ 자료 수집 및 자료 활용 시 참고 사항

- 국토위성 촬영 주변 지점 및 해당 시간의 (약 11시 한반도 통과) 시정정보 추출
- 관측자료의 종류가 다양하게 제공되고 있으나 시정자료만 선택하여 자료수집 가능
- 시정정보의 단위: 10m (예: 2000 이라고 정보가 제공되면 시정거리는 20km 임)
- Open-API 방식으로 데이터 다운로드 가능(자동)

나) AERONET

실시간 자료를 제공하는 현장 관측 대기자료로 수증기, 에어로졸두께 정보 등을 수집할 수 있다.



<그림 4-70> AERONET 정보 수집 흐름도

□ AERONET 자료 수집 방법

- 에어로넷 홈페이지(<https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>) 회원가입 불필요
- Download Tool → 관측지점 선택 → 날짜선택 → 포인트자료 파일 선택 → Download
- 해당지점 관리자 및 관련 정보안내 창 뜨면 → Accept 버튼 클릭
- 다운로드 된 자료는 zip 형태의 텍스트 파일 제공
- 다운로드 파일 : 관측지점, 자료 레벨, 담당자 정보 및 Date(dd:mm:yyyy), Time(hh:mm:ss) 정보 등 파일 내 구성 정보 확인 가능

□ 자료 수집 및 자료 활용 시 참고 사항

- 국토위성 촬영 주변 지점 Point 자료 내 AOD 정보 선택
- 후처리가 된 Level 1.0자료를 사용하며, 최종 처리된 2.0 자료는 업로드가 늦어 본 자료에서는 수집하지 않음

AERONET Data Download Tool

Version 3 Direct Sun Algorithm

Click Geographic Region, Country/State or AERONET Site to change site selection:

Geographic Region

Country/State

AERONET Site

Asia

South_Korea

Yonsei_University

Download Data for Yonsei_University

Select the start and end time of the data download period

START:

Day/Month/Year

18 FEB 2022

END:

Day/Month/Year

20 FEB 2022

Data Descriptions

Data Units

Note: Data are not available if the data type is italicized

Select the data type(s) using the corresponding check box:

Direct Sun Products	Select
Aerosol Optical Depth (AOD)	Level 1.0 <input checked="" type="checkbox"/>
	Level 1.5 <input checked="" type="checkbox"/>
	Level 2.0 <input checked="" type="checkbox"/>
Total Optical Depth based on AOD Level*	Level 1.0 <input checked="" type="checkbox"/>
	Level 1.5 <input checked="" type="checkbox"/>
	Level 2.0 <input checked="" type="checkbox"/>
Spectral Deconvolution Algorithm (SDA) Retrievals --	Level 1.0 <input checked="" type="checkbox"/>
Fine Mode AOD, Coarse Mode AOD, and Fine Mode Fraction	Level 1.5 <input checked="" type="checkbox"/>
	Level 2.0 <input checked="" type="checkbox"/>

Data Format

☒ All Points
 ☐ Daily Averages
 ☐ Monthly Averages

Download

*All Points Format Only

AERONET Download Site

Notice to users:

The public domain data you are about to download are contributed by the International AERONET Federation. Each user has a Principal Investigator(s) (PI), responsible for deployment, maintenance and data collection. The PI has priority use of the data collected at the site. The PI is entitled to be informed of any other use of that site data.

The Principal Investigator(s) and Co-Investigator(s) of 'Yonsei University' is/are: **Joon Kim**. If you intend to use the following data please consult with him/her/them via e-mail(s) :

joon2@yonsei.ac.kr

Recommended guidelines for data use and publication:

Although journal paper authorship and acknowledgement is the domain of the senior author and no policy is universally applicable, the AERONET contributors ask that every practical attempt be made to honor the following general guidelines.

Using AERONET data:
Please consult with the PI(s) and Co-PI(s) of the data to be used.

Referencing:
Always cite the appropriate [AERONET papers](#) for any publications as well as cite relevant manuscripts pertaining to previously published site data.

Publishing AERONET data from a 'few' sites:
Please consider authorship for the PI(s) and Co-PI(s) and/or the following acknowledgement:
We thank the (Project/PI(s)/Co-PI(s)) for (his/their) effort in establishing and maintaining site name(s) sites.

Publishing data from 'many' sites:
A general acknowledgement is typically sufficient and may read:
We thank the PI(s) and Co-PI(s) and their staff for establishing and maintaining the (Sites used in this investigation).
However if the AERONET data are a principal component of the paper then co-authorship to PI and Co-PI(s) should be offered.

If you accept the above conditions, please click the "Accept" button below to download the ZIP file.
If you do not agree to the above conditions, click "Do Not Accept" to return to the data list.

Accept

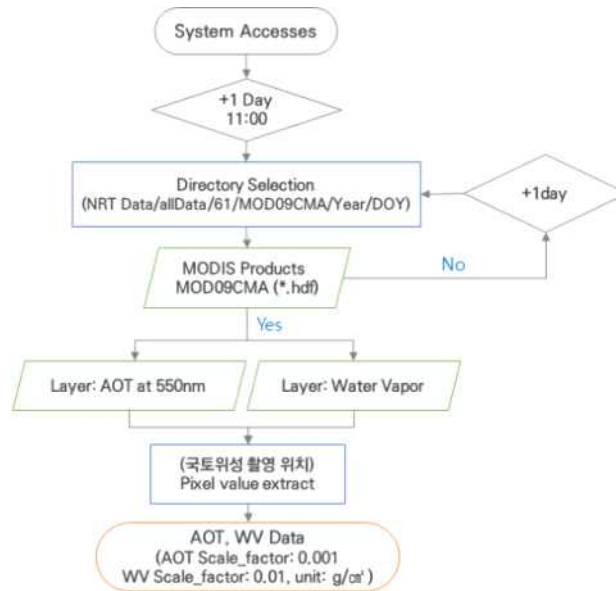
Do Not Accept

[Close Window](#)

<그림 4-71> AERONET 자료 수집 절차(예)

다) MODIS CMA

MODIS CMA 자료를 이용하여 수증기와 에어로졸 두께 정보를 활용한다. 아래 예시 그림의 표시된 지역은 전구를 나타내는 영상자료 내 우리나라 경기도 지역에 해당하는 위치를 표시하였다.



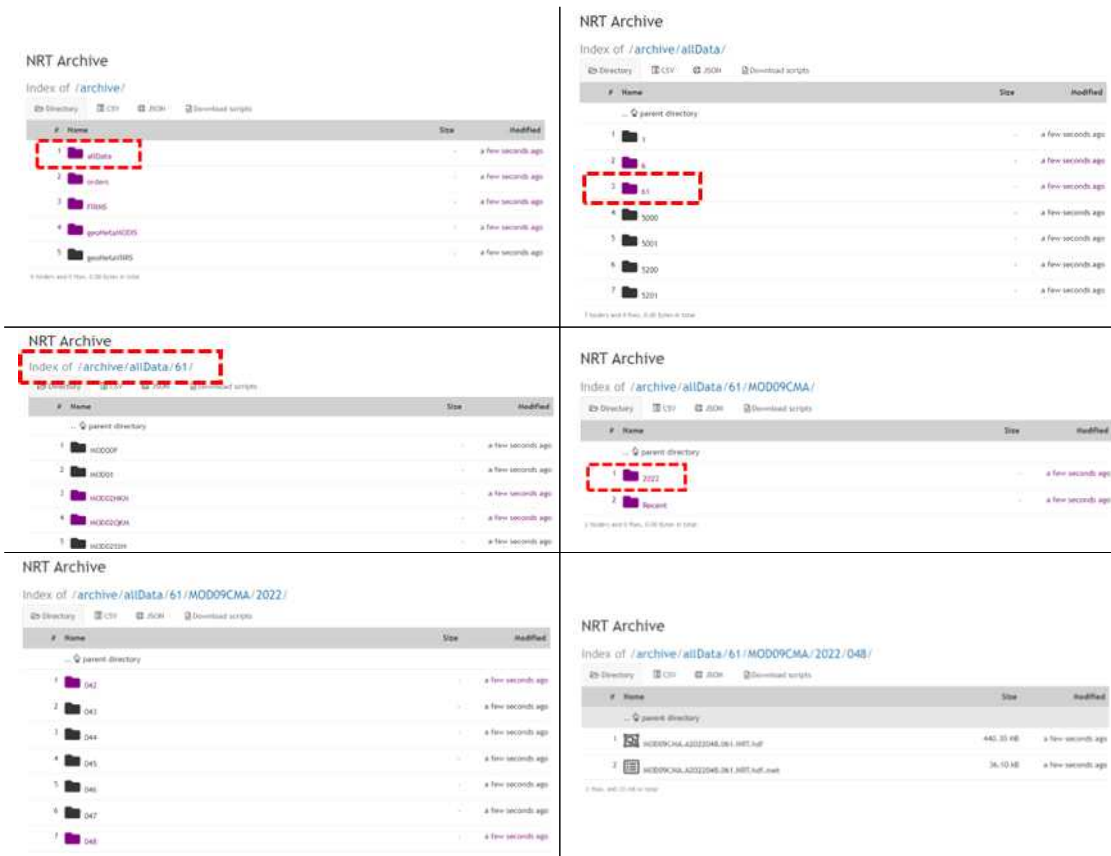
<그림 4-72> MODIS CMA 정보 수집 흐름도

□ MODIS CMA 자료 수집 방법

- MODIS CMA NRT (<https://nrt4.modaps.eosdis.nasa.gov/>) 홈페이지 회원가입 및 로그인
- NRT Data → allData → 61 → MOD09CMA → Year → DOY 선택 → *.hdf 다운로드
- 다운로드 파일 : 여러 레이어가 포함되어 있으며, 이중 Water Vapor, AOT at 550nm 레이어 선택하여 해당지역 정보 추출

□ 자료 수집 및 자료 활용 시 참고 사항

- 산출물 명 MOD는 Terra 위성의 산출물 / MYD는 Aqua 위성의 산출물
- 검색 기준: 최근 자료 7일간의 자료만 제공됨(예: DOY 042-048, DOY 043-049)
- Water vapor Band Scale_Factor : 0.01, Units : g/cm²
- AOT at 550nm Band Scale_Factor : 0.001

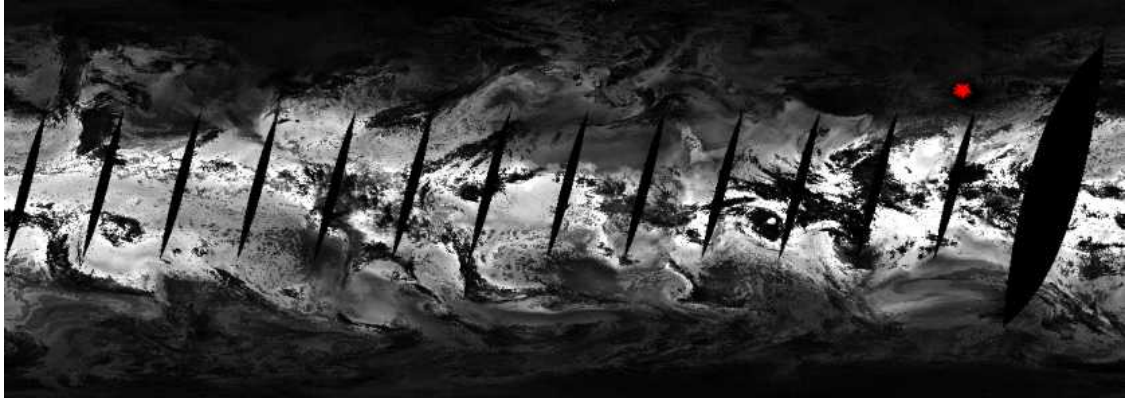


산출물 이름 DOY

파일명: MOD09CMA_A2022048.061.2022049014657.NRT.hdf

항목	설명
MOD09CMA "Coarse Resolution Air Temperature (2m)"	[3600x7200] Coarse Resolution Air Temperature (2m) MOD09CMA (16-bit unsigned integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution AOT at 550 nm"	[3600x7200] Coarse Resolution AOT at 550 nm MOD09CMA (16-bit integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution AOT Model Residual Values MOD09CMA"	[3600x7200] Coarse Resolution AOT Model Residual Values MOD09CMA (16-bit integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution Atmospheric Optical Depth Model MOD09CMA"	[3600x7200] Coarse Resolution Atmospheric Optical Depth Model MOD09CMA (5-bit unsigned integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution Atmospheric Optical Depth QA MOD09CMA"	[3600x7200] Coarse Resolution Atmospheric Optical Depth QA MOD09CMA (8-bit unsigned integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution Humidity Mapping AOT"	[3600x7200] Coarse Resolution Humidity Mapping AOT MOD09CMA (32-bit unsigned integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution Surface Reflectance Band 10"	[3600x7200] Coarse Resolution Surface Reflectance Band 10 MOD09CMA (16-bit integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution Surface Reflectance Band 11"	[3600x7200] Coarse Resolution Surface Reflectance Band 11 MOD09CMA (16-bit integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution Surface Reflectance Band 12"	[3600x7200] Coarse Resolution Surface Reflectance Band 12 MOD09CMA (16-bit integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution Surface Reflectance Band 8"	[3600x7200] Coarse Resolution Surface Reflectance Band 8 MOD09CMA (16-bit integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution Surface Reflectance Band 9"	[3600x7200] Coarse Resolution Surface Reflectance Band 9 MOD09CMA (16-bit integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution TOA Reflectance Band 1"	[3600x7200] Coarse Resolution TOA Reflectance Band 1 MOD09CMA (16-bit integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution TOA Reflectance Band 10"	[3600x7200] Coarse Resolution TOA Reflectance Band 10 MOD09CMA (16-bit integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution TOA Reflectance Band 3"	[3600x7200] Coarse Resolution TOA Reflectance Band 3 MOD09CMA (16-bit integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution TOA Reflectance Band 8"	[3600x7200] Coarse Resolution TOA Reflectance Band 8 MOD09CMA (16-bit integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution TOA Reflectance Band 9"	[3600x7200] Coarse Resolution TOA Reflectance Band 9 MOD09CMA (16-bit integer)
MOD09CMA "Coarse Resolution Water Vapor"	[3600x7200] Coarse Resolution Water Vapor MOD09CMA (16-bit unsigned integer)

<그림 4-73> MODIS CMA(수증기, AOT) 정보 수집 절차(예)



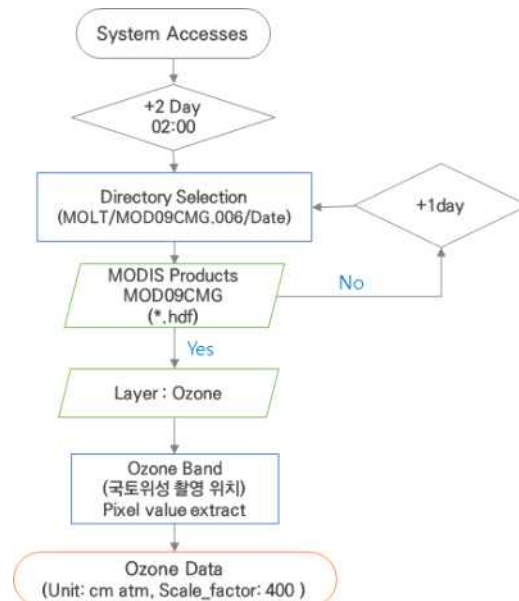
<그림 4-74> MODIS CMA Water Vapor 자료(예시, 2022.02.17.)



<그림 4-75> MODIS CMA TOA at 550nm 자료(예시, 2022.02.17.)

라) MODIS CMG

MODIS CMG 자료를 이용하여 오존 정보를 활용한다. 아래 예시 그림의 표시된 지역은 전구를 나타내는 영상자료 내 우리나라 경기도 지역에 해당하는 위치를 표시하였다.



<그림 4-76> MODIS CMG 정보 수집 흐름도

□ MODIS CMG 자료 수집 방법

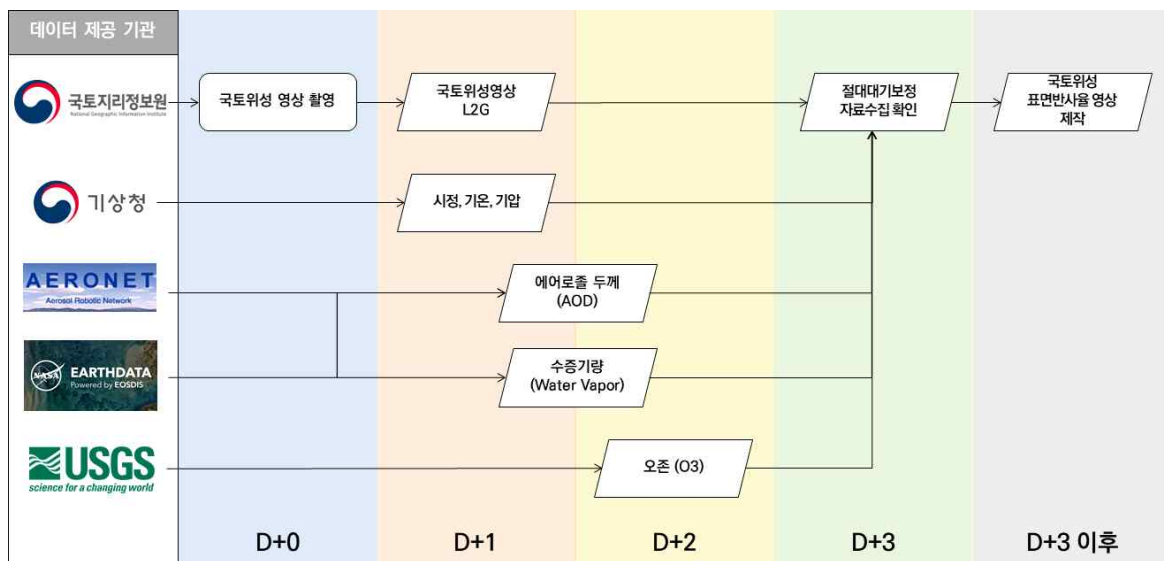
- MODIS CMG (<https://e4ftl01.cr.usgs.gov/>) 홈페이지 회원가입 및 로그인
- MOLT → MOD09CMG.006 → 날짜선택 → *.hdf 파일 다운로드
- 다운로드 파일 : 여러 레이어가 포함되어 있으며, 이중 Ozone `레이어` 선택 후 해당지역 정보 추출

□ 자료 수집 및 자료 활용 시 참고 사항

- MOLT는 Terra 위성의 산출물 / MOLA는 Aqua 위성의 산출물
- Ozone Band Scale_Factor : 400, Units : cm atm
- Version 006(MOD09CMG.006) 기준이며, Version 061(MOD09CMG.061)로 자료를 수집하게 된다면 Scale_factor: 0.0025

나. 보조자료 수집 시스템 연계방안 설계

보조자료 수집 시스템은 절대대기보정 입력자료인 대기관측자료를 수집하기 위한 시스템으로 웹 크롤링(Web crawling)을 기반으로 외부 기관으로부터 자료를 수집하여 국토위성센터의 국토 위성정보 활용시스템에서 저장할 수 있도록 업무를 수행한다. 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 생산 SW는 국토위성 사용자 친화형 영상 제품을 자동 및 수동으로 제작하기 위한 소프트웨어로 활용분석처리 서브시스템과 연동하여 업무를 수행한다. 본 장에서는 보조자료 수집 시스템 및 사용자 친화형 영상 제품 생산 SW의 기능 및 인프라 요구사항을 도출하고 기존 시스템과 연계방안을 도출한다.



<그림 4-79> 국토위성 표면반사율 영상 처리 타임라인

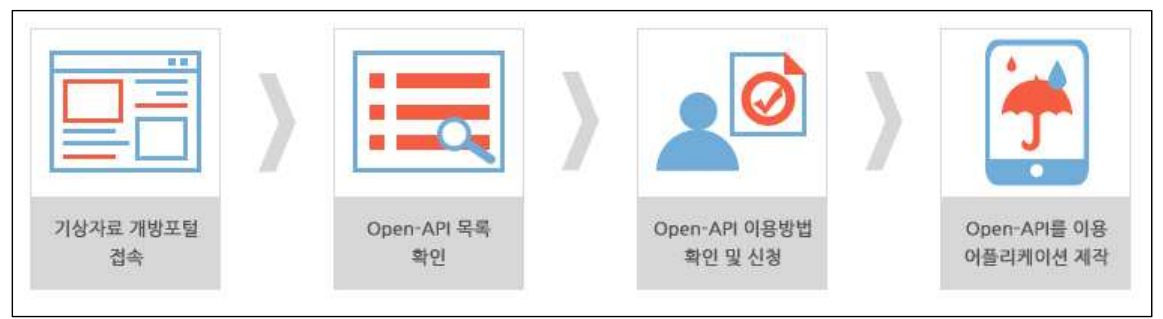
1) 웹 크롤링 기반 보조자료 수집 테스트

웹 크롤링은 웹(Web)상에 존재하는 콘텐츠를 수집하는 작업으로 HTML 페이지를 불러와, HTML/CSS 등을 파싱(Parsing)하여 필요한 데이터를 추출하는 기법이다. Open API(Rest API)를 제공하는 서비스에서는 Open API를 호출하여, 받은 데이터 중 필요한 데이터만을 추출할 수 있고 Selenium, BeautifulSoup4 등의 라이브러리를 이용하여 프로그래밍으로 필요한 데이터를 자동으로 추출할 수도 있다.

가) 시정 자료

기상청에서 제공하는 대기정보 중 시정(가시거리)에 해당하는 자료를 사이트에서 수집한다. 기

상청에서는 OPEN API를 통해 데이터를 제공하고 OPEN API 서비스는 공공데이터포털을 통해 제공하는 것을 확인하였다. OPEN API를 신청 후 API를 통해 필요한 데이터를 크롤링하는 작업을 수행하였다.



<그림 4-80> 기상청 OPEN API 이용 절차

(1) 공공데이터포털 내 Open API 신청

기상청에서 제공하는 Open API를 사용하기 위해 공공데이터 포털에 접속하여 사용하고자 하는 API를 신청한다. 발급된 인증키를 사용하면 필요한 데이터 호출이 가능하다. 해당 절차에서는 시정자료를 수집하기 위해 지상 시간자료 조회 서비스를 신청하였다.

기본정보

데이터명	기상청_지상(종관, ASOS) 시간자료 조회서비스 <div>상세설명</div>		
서비스유형	REST	심의여부	자동승인
신청유형	개발계정 활용신청	처리상태	승인
활용기간	2022-04-11 ~ 2024-04-11		

서비스정보

참고문서	기상청01 지상(종관,ASOS)시간자료 조회서비스 오픈API활용가이드.docx		
데이터포맷	JSON+XML		
End Point	http://apis.data.go.kr/1360000/AsosHourlyInfoService		
API 환경 또는 API 호출 조건에 따라 인증키가 적용되는 방식이 다를 수 있습니다. 포털에서 제공되는 Encoding/Decoding 된 인증키를 적용하면서 구동되는 키를 사용하시기 바랍니다. * 향후 포털에서 더 명확한 정보를 제공하기 위해 노력하겠습니다.			
일반 인증키 (Encoding)	%2FBbDd728ElyhOTCA4tnaf1IBM3wE%2F9g3lRl29nzfMnpulyDHlfgwiZ59xwYBF4fhCDM1qKID <input type="text"/>		
일반 인증키 (Decoding)	/BbDd728ElyhOTCA4tnaf1IBM3wE/9g3lRl29nzfMnpulyDHlfgwiZ59xwYBF4fhCDM1qKE5vV <input type="text"/>		

<그림 4-81> 기상청 내 외부자료 다운로드 절차(1)

(2) API 호출하여 필요한 데이터 불러오기

발급받은 인증 키와 파라미터를 입력하여 API를 호출한다. Python으로 API를 활용하여 필요한 정보의 크롤링 작업이 가능한 것을 확인하였다. 입력에 필요한 정보들은 오픈 API 활용 가이드를 참고하였으며 종관기상관측 지점번호에 해당하는 stnId, 자료 수집에 해당하는 tm, 시정(10m)에 해당하는 자료인 vs 정보만 호출하여 csv파일로 자동 저장하도록 코드를 작성하였다. 그 결과, 그림 4-43과 같이 시정 정보가 1시간 단위로 저장된 결과를 확인할 수 있었다.

```
url = 'http://apis.data.go.kr/1360000/AsosHourlyInfoService/getWthrDataList'

queryParams = '?' + \
    'ServiceKey=' + '%2F8bDd728Elyh0TC44tnaf1IBM3wE%2F9g3LrRL29nzfMnpuIyDHIfgwiZ59xwYBF4fhCOM1qKE5vVzUt0h' + \
    '&pageNo=' + '1' + \
    '&numOfRows=' + '20' + \
    '&dataType=' + 'JSON' + \
    '&dataCd=' + 'ASOS' + \
    '&dateCd=' + 'HR' + \
    '&startDt=' + '20220101' + \
    '&startHh=' + '01' + \
    '&endDt=' + '20220401' + \
    '&endHh=' + '01' + \
    '&stnIds=' + '108' + \
```

<그림 4-82> 기상청 내 외부자료 다운로드 절차(2)

<표 4-43> 기상청 외부자료 크롤링 결과

stnId	tm	vs
108	2022-01-01 1:00	2000
108	2022-01-01 2:00	2000
108	2022-01-01 3:00	2000
108	2022-01-01 4:00	2000
108	2022-01-01 5:00	2000
108	2022-01-01 6:00	2000
108	2022-01-01 7:00	2000
108	2022-01-01 8:00	2000
108	2022-01-01 9:00	2000
108	2022-01-01 10:00	2000
108	2022-01-01 11:00	2000
108	2022-01-01 12:00	2000
108	2022-01-01 13:00	2000
108	2022-01-01 14:00	2000

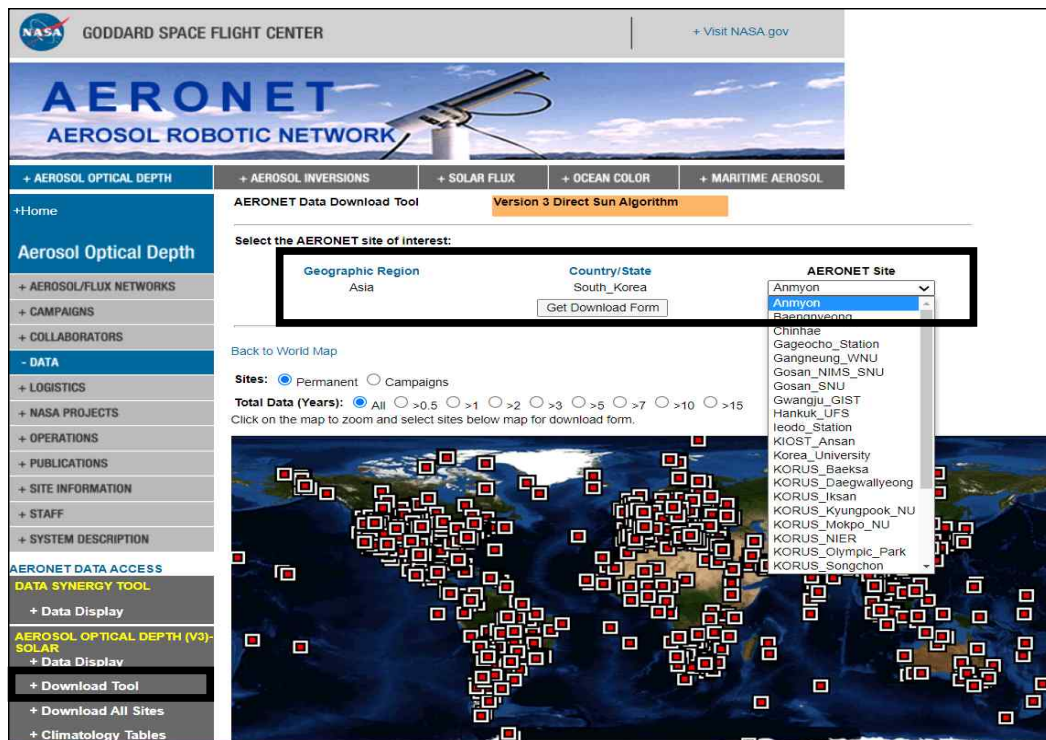
나) 수증기량, 에어로졸 두께

(1) AERONET 웹

미국 GSFC에서 제공하는 수증기량 에어로졸 두께 자료를 AERONET 웹 사이트에서 수집한다. AERONET Data Download Tool에 접속하여 별도의 로그인 절차없이 자료 다운로드가 가능함을 파악하였다. 다운로드하고자 하는 자료의 지역을 선택하고 Aeronet Site를 선택하였다. 날짜를 지정한 후 Aerosol Optical Depth (AOD) Level 1.0 에 해당하는 데이터 다운을 진행하였으며 웹 크롤링 코드로 자동으로 ZIP파일 다운로드가 가능한 것을 확인하였다.

다운로드한 데이터 내 AOD 555nm에 해당하는 데이터 추출이 필요할 것으로 판단되며 매일 12개 지역에 해당하는 데이터 취득이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 일부 지역에서는 데이터가 제공되지 않고 있어 정상적으로 수집되지 않는 문제도 발견되었다.

(가) 사이트 접속 후 다운로드하고자 하는 대상 지역 선택



<그림 4-83> AERONET 웹 사이트내 외부자료 다운로드 절차

(나) 날짜 지정 후 해당하는 데이터 선택하기

<그림 4-84> AERONET 웹 사이트내 외부자료 다운로드 절차(2)

(다) 데이터 다운로드

<그림 4-85> AERONET 웹 사이트내 외부자료 다운로드 절차(3)

```

Date(dd:mm:yyyy),Time(hh:mm:ss),Day_of_Year,Day_of_Year(Fraction),AOD_1640nm,AOD_1020nm,AOD_870nm,AOD_865nm,AOD_779nm,A
01:06:2012,22:57:11,153,153.956377,0.501659,0.652962,0.732587,-999.000000,-999.000000,0.910783,-999.000000,-999.000000,-
01:06:2012,23:13:00,153,153.967361,0.411961,0.566277,0.646195,-999.000000,-999.000000,0.823258,-999.000000,-999.000000,-
01:06:2012,23:15:57,153,153.969410,0.527744,0.676838,0.752964,-999.000000,-999.000000,0.923828,-999.000000,-999.000000,-
01:06:2012,23:21:58,153,153.973588,0.619105,0.763102,0.868424,-999.000000,-999.000000,1.057621,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,00:18:58,154,154.013171,0.613765,0.781368,0.861044,-999.000000,-999.000000,1.043185,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,00:30:57,154,154.021493,0.538324,0.699113,0.783782,-999.000000,-999.000000,0.962027,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,00:40:57,154,154.028437,0.545834,0.699604,0.785078,-999.000000,-999.000000,0.963737,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,00:48:32,154,154.033704,0.507058,0.671993,0.763114,-999.000000,-999.000000,0.951233,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,00:51:59,154,154.036100,0.641395,0.803591,0.895194,-999.000000,-999.000000,1.082285,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,00:54:59,154,154.038183,0.725690,0.876832,0.965808,-999.000000,-999.000000,1.146947,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,00:57:57,154,154.040243,0.863675,1.014679,1.107554,-999.000000,-999.000000,1.292744,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,01:00:57,154,154.042326,1.135579,1.280045,1.367464,-999.000000,-999.000000,1.547833,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,01:03:59,154,154.044433,1.266942,1.411249,1.491127,-999.000000,-999.000000,1.669084,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,01:06:58,154,154.046505,1.328939,1.463965,1.534660,-999.000000,-999.000000,1.703102,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,01:09:59,154,154.048600,1.249827,1.374826,1.450611,-999.000000,-999.000000,1.617681,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,01:12:57,154,154.050660,1.150584,1.272485,1.341286,-999.000000,-999.000000,1.497715,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,01:15:58,154,154.052755,1.120421,1.241594,1.314839,-999.000000,-999.000000,1.473568,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,01:18:58,154,154.054838,1.390688,1.499105,1.573129,-999.000000,-999.000000,1.727016,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,01:21:58,154,154.056921,1.779203,1.897896,1.963566,-999.000000,-999.000000,2.117110,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,01:27:58,154,154.061088,3.128445,3.186680,3.193108,-999.000000,-999.000000,3.290483,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,01:30:57,154,154.063160,1.754321,1.872320,1.924205,-999.000000,-999.000000,2.073077,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,01:52:05,154,154.077836,0.374375,0.570044,0.674154,-999.000000,-999.000000,0.874031,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,01:54:58,154,154.079838,0.403078,0.586983,0.681189,-999.000000,-999.000000,0.871029,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,01:57:58,154,154.081921,0.355780,0.533562,0.625666,-999.000000,-999.000000,0.813463,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,02:00:56,154,154.083981,0.346905,0.520524,0.613076,-999.000000,-999.000000,0.799552,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,02:03:58,154,154.086088,0.343037,0.515951,0.606113,-999.000000,-999.000000,0.790940,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,02:06:58,154,154.088171,0.332974,0.499679,0.590767,-999.000000,-999.000000,0.770774,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,02:09:58,154,154.090255,0.695279,0.816191,0.911189,-999.000000,-999.000000,1.084644,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,02:12:58,154,154.092338,0.555463,0.757450,0.855679,-999.000000,-999.000000,1.057459,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,02:15:56,154,154.094398,0.496317,0.672110,0.754029,-999.000000,-999.000000,0.928211,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,02:19:02,154,154.096551,0.340983,0.500007,0.584526,-999.000000,-999.000000,0.757358,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,02:22:00,154,154.098611,0.274715,0.471300,0.572897,-999.000000,-999.000000,0.774453,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,02:24:58,154,154.100671,0.259720,0.464212,0.569084,-999.000000,-999.000000,0.778073,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,02:27:59,154,154.102766,0.235357,0.413333,0.507259,-999.000000,-999.000000,0.695091,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,02:30:58,154,154.104838,0.257233,0.473957,0.580702,-999.000000,-999.000000,0.801448,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,02:39:58,154,154.111088,0.218252,0.434811,0.546460,-999.000000,-999.000000,0.765660,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,02:42:59,154,154.113183,0.199970,0.422588,0.545130,-999.000000,-999.000000,0.774609,-999.000000,-999.000000,-
02:06:2012,02:46:00,154,154.115278,0.181747,0.399739,0.506461,-999.000000,-999.000000,0.717325,-999.000000,-999.000000,-

```

<그림 4-86> AERONET 다운로드 데이터 형태

(2) MODIS CMA NRT service

미국 Earthdata에서 제공하는 수증기량 에어로졸 두께자료를 MODIS CMA NRT service 사이트에서 수집한다. 웹 크롤링 작업을 통해 자동으로 사이트에 접속하여 로그인 후 데이터 파일을 자동으로 다운로드 되는 것을 확인하였으며 일별로 데이터 파일이 존재하고 매일 오전 전날에 해당 자료가 업데이트 되는 것을 확인하였다.

Earthdata에서 데이터 크롤링을 위해 Python의 셀레니움(Selenium) 라이브러리 설치 작업을 진행하였다. 셀레니움은 웹 자동화 테스트 용도로 실제 브라우저를 사용하여 크롤링을 진행할 수 있고 직접 마우스로 클릭하지 않아도 자동화 작업이 가능하다. 셀레니움을 이용하여 크롤링을 진행하면 로그인해야 볼 수 있는 페이지에 접속이 가능하다. 셀레니움 라이브러리 설치 후 크롬 브라우저를 컨트롤할 수 있도록 크롬 드라이버 설치 작업을 진행하였다.

(가) 사이트 접속 후 로그인

<그림 4-87> Earthdata 외부자료 다운로드 절차(1)

(나) 다운받고자 하는 데이터 클릭

#	Name	Size	Modified
1	091	-	a few seconds ago
2	092	-	a few seconds ago
3	093	-	a few seconds ago
4	094	-	a few seconds ago
5	095	-	a few seconds ago

<그림 4-88> Earthdata 외부자료 다운로드 절차(2)

(다) 수증기량 에어로졸 두께 자료 다운로드

- 파일은 hdf 형식의 Raster자료



<그림 4-89> Earthdata 외부자료 다운로드 절차(3)

다) 오존







미국 USGS에서 제공하는 오존 대기정보를 MODIS CMG ozone service에서 수집하였다. 수증기량 에어로졸 두께 대기정보와 마찬가지로 EARTHDATA에서 자료를 제공하는 것을 확인하였다. 앞에서 진행한 방법과 동일하게 로그인 진행 후 오존 대기정보를 다운로드 하는 페이지로 이동하여 다운받고자하는 파일 임의로 선택하고 파일이 자동으로 다운이 되는 것을 확인하였다.

(1) 로그인 후 로그인 유지한 상태로 MODIS CMG ozone service 접속



<그림 4-90> USGS 외부자료 다운로드 절차(1)

(2) 수집하고자 하는 데이터의 날짜 자동 클릭

	2022.03.26/	2022-03-28 14:35	-
	2022.03.27/	2022-03-29 15:54	-
	2022.03.28/	2022-03-30 14:54	-
	2022.03.29/	2022-03-30 23:12	-
	2022.03.30/	2022-03-31 22:55	-
	2022.03.31/	2022-04-05 15:04	-

<그림 4-91> USGS 외부자료 다운로드 절차(2)

(3) 오존 정보 데이터 다운로드

- 파일은 hdf 형식의 Raster자료

Name	Last modified	Size	Description
 Parent Directory		-	
 BROWSE.MYD09CMG.A2022090.006.2022095193836.1.jpg	2022-04-05 15:04	5.7M	
 MYD09CMG.A2022090.006.2022095193836.hdf	2022-04-05 15:03	452M	
 MYD09CMG.A2022090.006.2022095193836.hdf.xml	2022-04-05 15:03	11K	

<그림 4-92> USGS 외부자료 다운로드 절차(2)

라) 시사점

국토위성용 절대대기보정을 위한 외부 보조자료의 수집을 웹 크롤링(Web crawling) 방법을 사용하여 자동 수집 가능 여부를 파악하였다. 보조자료의 자동 수집 가능 여부는 아래 표와 같다.

<표 4-44> 외부 보조자료 자동 수집 가능 여부

대기정보	출처	수집방식	자동 수집 가능 여부
시정	기상자료개방포털	OPEN API	O
수증기량 에어로졸 두께	AERONET 웹	크롤링	O
	MODIS CMA NRT service	크롤링	O
오존	MODIS CMG ozone service	크롤링	O

기상청 대기정보는 OPEN API를 활용하여 시정 데이터를 csv파일로 수집 가능한 것을 확인하였다. 미국 GSFC에서 제공하는 수증기량 에어로졸 두께 자료는 별도의 로그인 절차가 없어도 데이터를 zip 파일형식으로 크롤링 작업이 가능한 것을 확인하였다. 미국 Earthdata에서 제공하는 수증기량 에어로졸 두께와 오존 자료의 경우 별도의 로그인 절차가 필요하여 셀레니움 라이브러리를 활용하여 실제 브라우저를 사용하여 웹 자동화 작업이 가능한 것을 확인하였다.

총 4개의 사이트 모두 웹에 표출된 데이터를 자동으로 수집하는 웹 크롤링 방법을 사용하여 정상적으로 수집이 가능한 것을 확인하였으나, 향후 보조자료의 DB 구축 및 관리를 위해 데이터 다운로드 후 압축 파일을 해제하여 각 데이터의 값들을 테이블화 하는 작업과 수집 일시, 수집 항목에 따라 분류하여 관리될 수 있도록 하는 구체적인 자동화 작업 절차가 필요한 것으로 판단된다.

2) 보조자료 수집 시스템 및 ARD 자동생산 SW 설계 고려사항

국토위성 외부보조자료 수집 시스템 및 ARD 자동생산 시스템 설계 과정에서 식별한 주요 고려사항은 아래 표 4-45와 같으며, 각 항목에 대해서 다음과 같이 설계하였다.

<표 4-45> 보조자료 수집 시스템 및 ARD 자동생산 시스템 고려사항

항목	설명
보조자료 수집시스템 위치	내외부 망연계 시스템 상에서 외부 인터넷과 연결이 가능한 서버에 설치. 수집된 보조자료는 내외부 공용 스토리지에 저장됨. 내외부 공용 스토리지에 저장된 보조자료는 활용분석처리지원 서브시스템을 통해서 ARD 생산 서브시스템으로 전달
보조자료 저장관리	절대대기보정을 위해서 수집된 보조자료는 별도로 목록화되거나 자료관리서브시스템에 의해서 저장관리하지 않으나 내외부 공용 스토리지에 저장되며 재처리 등에 활용 가능
ARD 생산 SW 배치	ARD 생산 SW는 활용시스템에 설치 운영됨 (L3 산출물로 간주). 활용분석처리지원 서브시스템으로부터 자동/수동 생성된 작업지시서 기반으로 ARD생산 SW가 자동으로 실행
ARD 제품 검색기능	ARD 생산 후 카탈로그를 생성하여 활용시스템 DB에 저장하고 검색주문관리 서브시스템을 통해서 확인 가능 (센터 내부 운영자용)
ARD 제품 배포방식	ARD 제품은 국토정보플랫폼을 통해서 배포. 배포를 위한 국토정보플랫폼 개선사항은 별도로 도출 필요
당일 Strip영상 병합처리	ARD 제품 생산시, 같은 날 촬영된 Strip 영상은 병합처리하여 상하로 배치된 두 개의 Scene 연결에서 NoData가 발생하지 않도록 처리
대기보정(L2A) Scene 저장	ARD 생산 SW를 통해서 대기보정을 마친 Scene은 L2A 레벨로 시스템에 저장관리됨
절대복사보정인자 파일관리	밝기값(DN)으로부터 복사휘도(Radiance) 변환을 위한 절대복사보정인자는 특정형식의 파일에 저장되어 ARD 생산 SW에서 사용. 절대복사보정인자가 갱신될 경우, 운영자가 해당파일을 편집하여 사용
대기보정자료 파일관리	대기보정을 위한 LUT (Look Up Table)은 특정형식의 디렉토리 구조에 특정형식의 파일로 저장되어 AGS에서 사용. LUT가 갱신될 경우 특정형식의 디렉토리 구조를 추가하여 사용
수동처리기능 추가	ARD 생산 SW는 활용시스템으로부터 입력받은 작업지시서에 의해서 자동처리하는 것을 기본으로 하되, 필요시 수동으로 처리할 수 있도록 함 (특정 절대복사보정인자 및 대기보정LUT 선택적용)
상대대기보정	ARD 생산 SW는 수동처리 시에 상대대기보정 기능을 선택·처리할 수 있도록 함

다. 자동생산 기능 및 인프라 요구사항 도출

본 장에서는 보조자료 수집 시스템 및 ARD 자동생산 SW 설계 고려사항을 바탕으로 보조자료 수집 시스템 기능 요구사항, 활용분석처리지원 서브시스템 기능 요구사항, ARD 생산 SW 기능 요구사항, 자료관리 서브시스템 기능 요구사항을 설계하였다. 요구사항 설계에서 사용된 용어 및 약어는 아래 표 4-46과 같다.

<표 4-46> 국토위성정보 시스템 및 소프트웨어 설계 관련 용어 및 약어

약어	영문 정의	한글 정의
ADCS	Auxiliary Data Collection Subsystem	보조자료 수집 서브시스템
AASS	Application Analysis Support Subsystem	활용분석처리지원 서브시스템
ARDGS	ARD product Generation Software	ARD 생산 소프트웨어
DMS	Data Management Subsystem	자료관리 서브시스템
SFR	Software/System Function Requirement	소프트웨어/시스템 기능 요구사항

보조자료 수집 서브시스템 및 활용분석처리지원 서브시스템, ARD 생산 SW, 자료관리 서브시스템의 기능 요구사항은 아래 표와 같다.

<표 4-47> 보조자료 수집 시스템 기능 요구사항

요구사항 ID	요구사항 명	설명
R-ADCS-SFR-001	보조자료 수집	데이터공급자(기상청, AERONET, Earth Data, USGS)로부터 자료를 자동으로 수집할 수 있어야 한다. 1. 주기적으로 데이터공급자에게 자료 요청을 수행해야 한다. 2. 자료 요청이 승인되었을 경우 데이터공급자로부터 자료를 수집해야 한다.
R-ADCS-SFR-002	수동 보조자료 수집	데이터공급자(기상청, AERONET, Earth Data, USGS)로부터 자료를 운영자에 의해 수동으로 수집할 수 있어야 한다. 1. 수동으로 외부자료 수집 시, 자료 요청 정보를 운영자가 설정할 수 있어야 한다.
R-ADCS-SFR-003	보조자료 저장	수집한 자료를 내·외부 공용 스토리지에 저장할 수 있어야 한다. 1. 보조자료 수집시스템은 ARD 생산 유무에 관계없이 매일 수집할 수 있어야 한다. 2. 보조자료 수집시스템은 한반도 전역에 대한 자료를 저장할 수 있어야 한다.
R-ADCS-SFR-004	보조자료 수집	보조자료 수집 작업의 수행 이력을 생성하고 저장할 수

	작업 이력 저장	있어야 한다. 1. 수행 완료된 자료의 작업 이력을 저장할 수 있어야 한다. 2. 자료수집작업을 재실행 했을 경우, 해당 이력을 저장할 수 있어야 한다. 3. 작업이력은 활용분석처리지원 서브시스템에서 접근 및 확인할 수 있어야 한다.
R-ADCS-SFR-005	보조자료 확인	수집한 보조자료를 상태 유무를 확인할 수 있어야 한다.

<표 4-48> ARD 생산 SW 기능 요구사항

요구사항 ID	요구사항 명	설명
R-ARDGS-SFR-001	작업지시서 입력	작업지시서의 경로를 Argument로 입력받아 SW가 실행되어야 하며, 이때 SW는 작업지시서의 정보에 따라 자동적으로 프로젝트를 생성하고, 입력영상을 로드하고 산출물 출력경로를 설정한다. 이후 작업지시서에 따라 사용자가 ARD 생산 작업을 수행할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-002	수동 작업지시서 생성	관리자가 수동으로 작업지시서를 생성하여 SW를 실행할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-003	보조자료 입력	수동 처리 과정에서 관리자가 보조자료를 선택하여 입력할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-004	보조자료 가공	보조자료 수집 시스템에 저장되어 있는 보조자료로부터 입력영상의 절대대기보정에 필요한 데이터만을 추출할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-005	상대대기보정	수동 처리 과정에서 관리자가 상대대기보정 기능을 선택 및 처리할 수 있도록 해야 한다.
R-ARDGS-SFR-006	대기보정 파라미터 입력	수동 처리 과정에서 관리자가 대기보정 파라미터(시정)를 입력할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-007	절대대기보정 변환계수 추출	기구축된 LUT로부터 입력영상에 대한 절대대기보정 변환계수를 추출할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-008	절대대기보정	입력영상과 보조자료, 대기보정 파라미터를 기반으로 절대대기보정을 수행할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-009	L2A 카탈로그 생성	절대대기보정이 완료된 영상에 L2A 카탈로그를 부여할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-010	TOA 반사율 변환	L2G 입력영상을 TOA 반사율 영상으로 변환할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-011	구름 탐지	입력영상 및 보조자료를 이용하여 데이터 신뢰도를 포함한 구름 탐지 산출물을 생산할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-012	구름그림자 탐지	입력영상 및 보조자료를 이용하여 구름그림자 탐지 산출물을 생산할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-013	지형그림자 탐지	입력영상 및 보조자료를 이용하여 지형그림자 탐지 산출물을 생산할 수 있어야 한다.

R-ARDGS-SFR-014	수계 탐지	입력영상 및 보조자료를 이용하여 수계 탐지 산출물을 생산할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-015	미획득자료 탐지	입력영상을 이용하여 미획득자료 산출물을 생산할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-016	손실자료 탐지	입력영상을 이용하여 손실자료 산출물을 생산할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-017	방사포화 탐지	입력영상을 이용하여 방사포화 산출물을 생산할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-018	도엽단위 영상분할 및 저장	입력영상에 대해 1:5,000 도엽단위로 영상 분할 및 저장할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-019	입접 Scene 병합	ARD 제품 생산 시 같은 날 촬영된 입접 Scene 영상은 병합 처리할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-020	ARD 제품생산	정밀정사영상 생성 이후 운영자의 검토가 완료된 영상을 바탕으로 ARD 생산할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-021	ARD 카탈로그 생산	ARD 처리가 완료된 영상에 ARD 카탈로그를 부여할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-022	수계공간정보 구축	수계 탐지에 필요한 한반도 전역의 수계 공간정보를 구축할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-023	DEM 구축	절대대기보정 및 지형그림자 탐지에 필요한 한반도 전역의 DEM을 구축할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-024	절대대기보정 LUT 구축	국토위성 절대대기보정에 필요한 Look Up Table을 구축할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-025	절대복사보정계수 관리	국토위성 절대복사보정에 필요한 절대복사보정계수를 버전별로 관리할 수 있어야 한다.
R-ARDGS-SFR-026	도움말	관리자가 ARD 생산 SW에 대한 매뉴얼을 제공 받을 수 있어야 한다.

<표 4-49> 활용분석처리지원 서브시스템 기능 요구사항

요구사항 ID	요구사항 명	설명
R-AASS-SFR-001	ARD 작업지시서 자동 생성	입력영상 및 보조자료를 주기적으로 확인하여 ARD 작업지시서를 자동으로 생성할 수 있어야 한다.
R-AASS-SFR-002	ARD 작업지시서 수동 생성	관리자가 수동으로 ARD 작업지시서를 생성할 수 있어야 한다.
R-AASS-SFR-003	영상정보 검색	관리자가 수동으로 ARD 작업지시서를 생성하는 과정에서 영상정보를 검색할 수 있어야 한다.
R-AASS-SFR-004	대기보정 보조자료 검색	관리자가 수동으로 ARD 작업지시서를 생성하는 과정에서 대기보정 보조자료를 검색할 수 있어야 한다.
R-AASS-SFR-005	ARD 제품 생산 작업 실행	관리자가 수동 조작으로 ARD 제품 생산 작업을 실행할 수 있어야 한다.

R-AASS-SFR-006	ARD 제품 생산 작업 모니터링	관리자가 ARD 제품 생산 작업 현황을 모니터링할 수 있어야 한다.
R-AASS-SFR-007	ARD 제품 생산 작업 관리	관리자가 ARD 제품 생산 작업 이력을 관리할 수 있어야 한다.
R-AASS-SFR-008	절대대기보정 영상 관리 요청	관리자가 절대대기보정 처리된 영상을 관리 요청할 수 있어야 한다.
R-AASS-SFR-008	ARD 제품 관리 요청	관리자가 ARD 제품을 관리 요청할 수 있어야 한다.
R-AASS-SFR-009	ARD 제품 검토 및 승인	관리자가 생산된 ARD 제품을 검토 및 승인할 수 있어야 한다.
R-AASS-SFR-010	도움말	관리자는 활용분석처리지원 서브시스템에 대한 매뉴얼을 제공 받을 수 있어야 한다.

<표 4-50> 자료관리 서브시스템 기능 요구사항

요구사항 ID	요구사항 명	설명
R-DMS-SFR-001	정밀대기보정영상 등록	ARD 생산 SW를 통해 생성된 정밀대기보정영상을 자료관리 서브시스템에 등록 및 관리할 수 있어야 한다.
R-DMS-SFR-002	ARD 제품 등록	ARD 생산 SW를 통해 생성된 ARD 제품을 자료관리 서브시스템에 등록 및 관리할 수 있어야 한다.
R-DMS-SFR-003	정밀대기보정 카탈로그 등록	ARD 생산 SW를 통해 생성된 정밀대기보정영상의 카탈로그를 서브시스템에 등록 및 관리할 수 있어야 한다.
R-DMS-SFR-004	ARD 제품 카탈로그 등록	ARD 생산 SW를 통해 생성된 ARD 제품의 카탈로그를 서브시스템에 등록 및 관리할 수 있어야 한다.
R-DMS-SFR-005	자료관리	정밀대기보정영상 및 ARD 제품을 자료관리 항목에 추가하여 관리할 수 있어야 하며, 아래 기능을 제공해야 한다. - 등록된 자료 검색 기능 - 검색 결과를 목록과 지도(뷰어)에 표출하는 기능 - 검색 결과를 CSV 포맷으로 표출하는 기능 - 자료에 #태크 및 관리작 Comment 추가 기능 - 검색 결과에서 산출물 상세보기 기능 - 자료 검토 결과 수정 기능
R-DMS-SFR-006	자료관리 현황 모니터링	자료관리 현황 모니터링 기능에 정밀대기보정영상 및 ARD 제품을 추가하여 산출물을 확인할 수 있어야 한다.

보조자료 수집 시스템의 하드웨어 구성요소는 다음과 같다.

<표 4-51> 보조자료 수집 시스템 하드웨어 구성

HP Z4 G4 워크스테이션	
	
HW 항목	설명
자료수집 PC	<ul style="list-style-type: none">● HP Z4 워크스테이션<ul style="list-style-type: none">- 4.0GHz 4 Core/16GB Memory/512GB SSD/2TB/Quadro P1000/10GB Eth/Windows 10 이상● Web Browser● SQL Server 2019 Standard

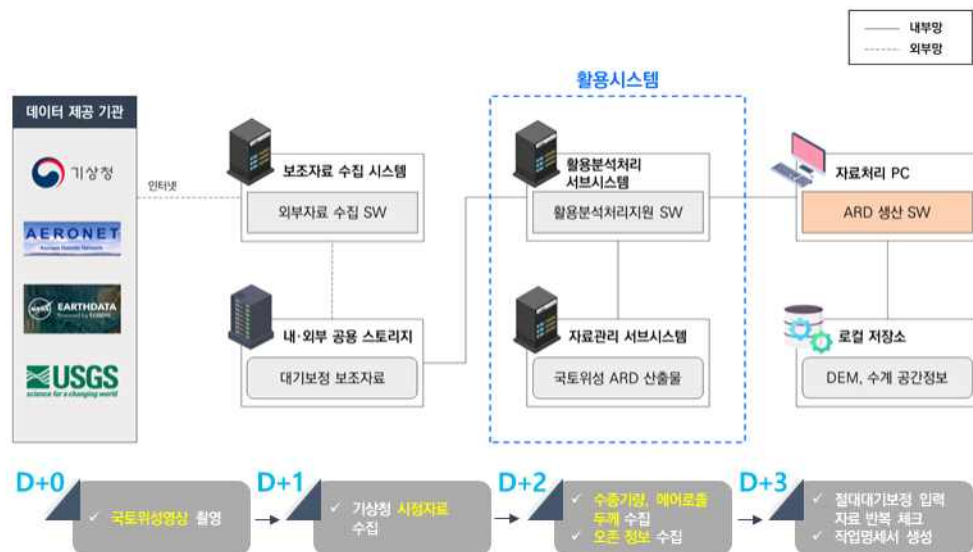
ARD 생산 SW의 하드웨어 구성요소는 다음과 같다.

<표 4-52> ARD 생산 SW 하드웨어 구성

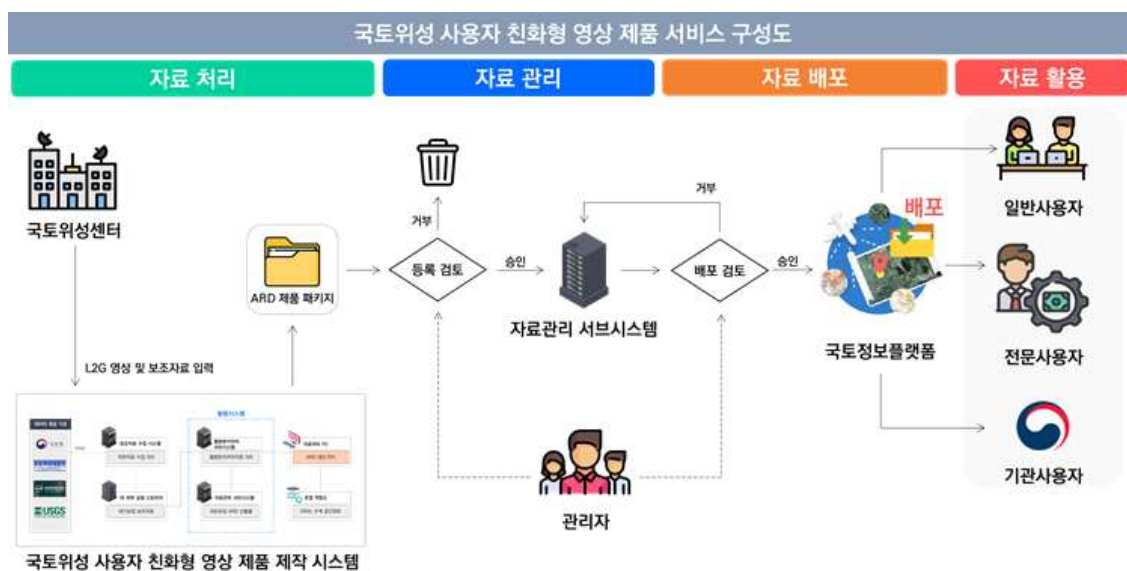
HP Z8 G4 워크스테이션	
	
HW 항목	설명
자료처리 PC	<ul style="list-style-type: none">● HP Z8 워크스테이션 x 2<ul style="list-style-type: none">- 3.8GHz 4 Core/32GB Memory/512GB M.2 SSD/2TB/Quadro RTX4000/10GB Eth/Windows 10 이상● Web Browser● SQL Server 2019 Standard

라. 시스템 연계 및 서비스 구성도 제시

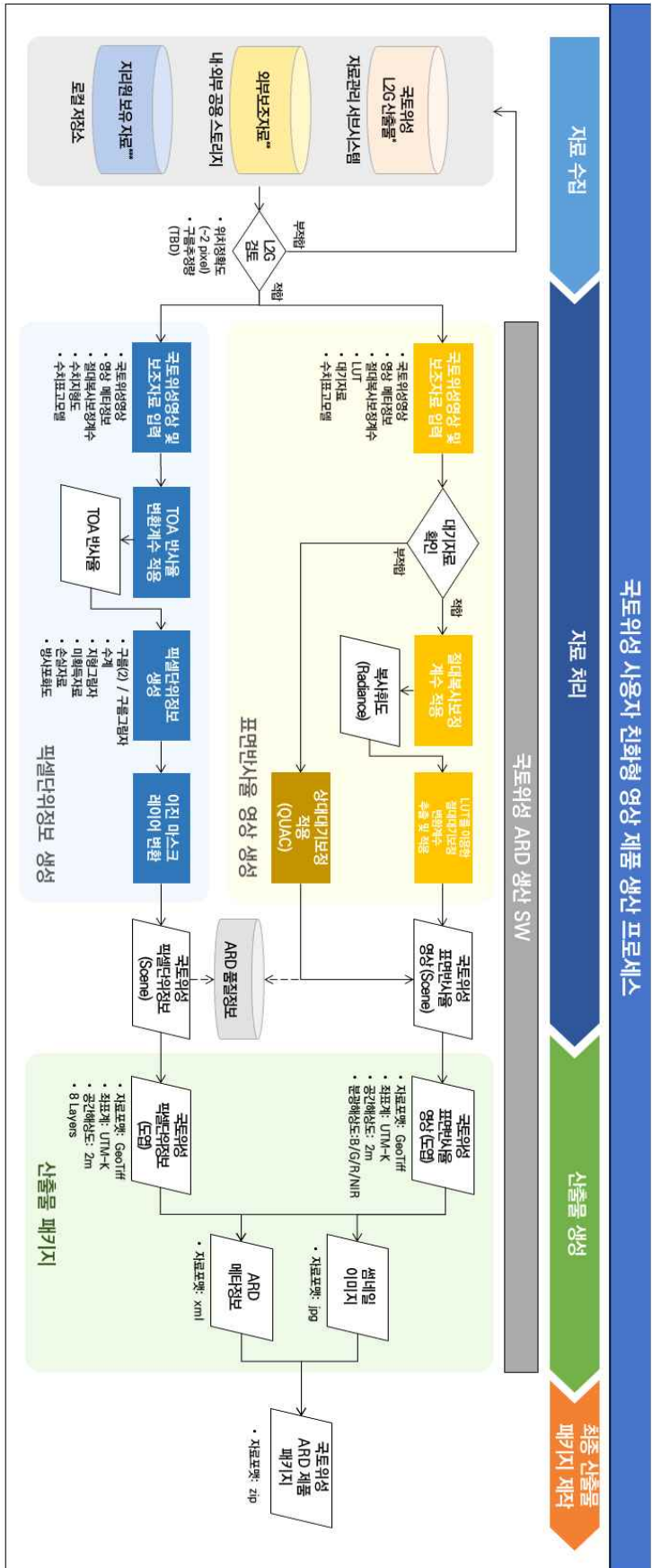
국토위성 보조자료 수집 시스템 및 ARD 자동생산 시스템 고려사항을 기반으로 설계한 시스템 구성도와 국토위성 ARD 제품 자동 생산 프로세스는 아래 그림 4-93, 95와 같다. 보조자료 수집 시스템은 외부망(인터넷)을 통해 수집한 외부보조자료를 내·외부 공용스토리지에 저장한다. 공용 스토리지에 저장된 보조자료는 내부망을 통해 활용분석처리 서브시스템에 전달되어 ARD 생산 SW와 연동하여 업무를 진행한다. ARD 생산 SW는 자동 및 관리자에 의한 수동 조작으로 업무를 수행한다. 패키지 형태로 생산된 사용자 친화형 영상 제품은 자료관리 서브시스템에 저장되고, 그림 4-94와 같이 관리자의 최종 검토를 거쳐 배포 승인 처리된 사용자 친화형 영상 제품은 국토정보 플랫폼에 등록하여 일반사용자와 전문사용자, 기관사용자가 받을 수 있도록 서비스를 제공한다.



<그림 4-93> ARD 생산 SW 및 보조자료 수집 시스템 연계 구성도



<그림 4-94> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 서비스 구성도



<그림 4-95> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 생산 프로세스

3. 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 방안 마련

가. 절대복사보정계수 주기적 갱신 방안 수립

1) 절대복사보정계수 갱신방안 및 주기 관련 사례

위성센서의 성능은 발사 후 지속적으로 저하되기 때문에 절대복사보정계수도 계속 변화할 수 밖에 없다. 따라서 영상 공급자는 위성 발사 후 안정적이고 지속적인 복사보정계수를 공급해주어야 한다. 항공우주연구원에서는 지속적인 우주개발사업에 따라 증가하는 지구관측위성 영상의 절대 복사보정의 중요성을 인식하고 복사보정의 효율성을 높이기 위하여 해외에 검보정 장소를 마련하였고, 미국 및 유럽의 검보정 담당 기관과의 협력 체계를 갖추어 기초적인 영상 검보정 기술 능력을 향상시키고 있다. 최근에는 영상에서 정량적인 속성정보 획득을 위하여 반드시 필요한 절대복사보정계수를 제공할 정도로 복사보정의 중요성을 인식하고 있다.

<표 4-53> 복사보정의 종류에 따른 국내외 기술 현황 정리

복사보정의 종류		국내현황	외국현황
초기 복사보정 (센서 및 수신처리 문 제점 보정)		항공우주연구원에서 수행되고 있음 KOMPSAT 1호부터 검보정 기술을 축적 하고 있으나, 탑재체 설계 사양을 검보정 하는 단계임	영상 공급자가 초기 복사보정에 관한 기술적 내용을 사용자에게 제공하고 있음
절대복사보정 (보정계수 제공, 주기 적 대리검보정)		항공우주연구원에서 KOMPSAT 3호 영 상부터 절대복사보정계수를 제공하고 있 으나, 보정계수의 정확도에 대한 검증이 미흡 발사 후 센서상태가 변화됨에 따라 주기 적인 보정계수 갱신이 이루어지지않음	사용자가 요구하는 영상 신호값의 최 소한의 기준으로 판단 상대복사보정 및 대기보정에 절대적 으로 필요 영상공급자에 의하여 주기적으로 갱 신된 보정계수를 제공하고 있음
지형효과복사보정		Landsat TM 등 중해상도 영상에 적용되었음 특정 사용자 그룹에서 필요에 의해 수행되는 기법 고해상도 위성영상에 적용된 사례는 없음	
상대복사 보정 (정규화)	시계열 영상	중해상도 영상(TM 등)에 적용했던 기존 의 방법을 고해상도 영상에 적용한 사례	동종 센서의 시계열 영상에 적합한 상대복사보정 기법 이종 센서의 시계열 영상에 적합한 상대복사보정 기법
	모자이크 영상	모자이크 정사영상 생성과정에서 영상의 밝기값 보정기술 미흡	영상 공급 단계에서 자동으로 상대복 사보정을 적용하여 밝기값 보정
대기효과보정		별도의 기술분야로 분리하여 작성	

절대복사보정계수는 공식적으로 1~2년 주기로 절대복사보정계수를 갱신되고 있다. KOMPSAT-3A의 위성영상의 절대복사보정 계수는 아래 표와 같다. 시간의 흐름에 따라 센서의 감응도가 감소됨에 따라 복사보정계수를 갱신하여 제시하고 있다.

<표 4-54> KOMPSAT-3A 위성영상의 절대복사보정 계수 갱신 현황

	1.4v (2017.12)		1.5v (2019.07)	
	Gain *	Offset	Gain *	Offset
BLUE	0.024860	No Provided	0.036200	-22.1416
GREEN	0.017997		0.024900	-14.0210
RED	0.017881		0.022900	-13.0457
NIR	0.010677		0.013000	-10.2834

* 단위 : $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ (TDI HIGH:64/32/32/8)

MAXAR에서는 WorldView-3 위성에 대한 절대복사보정 계수 갱신 및 유효성 검사를 주기적으로 진행하고 있다. 타프를 이용한 현장자료를 확보하여 표면반사율 보정에 이용하였으며, 작업자(사람)의 실수를 줄이기 위한 자동화 소프트웨어를 이용하여 통계치의 이상값(오류)를 제거하는 작업을 수행한다. RadCalNet 사이트 중 하나인 미국의 RVUS에 대한 데이터를 이용하여 검증에 활용하였다.

<표 4-55> WorldView-3 위성영상의 절대복사보정 계수 갱신 현황

	Pre-Launch		2016v0		2018v0	
	Gain	Offset	Gain	Offset	Gain	Offset
PAN	1.000	0.000	0.950	-3.629	0.955	-5.505
COASTAL	1.000	0.000	0.905	-8.604	0.938	-13.099
BLUE	1.000	0.000	0.940	-5.809	0.946	-9.409
GREEN	1.000	0.000	0.938	-4.996	0.958	-7.771
YELLOW	1.000	0.000	0.962	-3.649	0.979	-5.489
RED	1.000	0.000	0.964	-3.021	0.969	-4.579
REDEDGE	1.000	0.000	1.000	-4.521	1.027	-5.552
NIR1	1.000	0.000	0.961	-5.522	0.977	-6.508
NIR2	1.000	0.000	0.978	-2.992	1.007	-3.699

아래 표는 DigitalGlobe에서 제공된 위성별 gain/offset 현황을 보여주고 있다.

<표 4-56> 위성영상의 절대복사보정 계수 현황 (DigitalGlobe 제공)

	GEOEYE-1		QUICKBIRD		IKONOS	
	2016v3		2016v0		2014v3	
	Gain	Offset	Gain	Offset	Gain	Offset
PAN	0.970	-1.926	0.870	-1.491	0.907	-4.461
BLUE	1.053	-4.537	1.105	-2.820	1.073	-9.699
GREEN	0.994	-4.175	1.071	-3.338	0.990	-7.937
RED	0.998	-3.754	1.060	-2.954	0.940	-4.767
NIR	0.994	-3.870	1.020	-4.722	1.043	-8.869

절대복사보정 계수에서 offset값을 0로 두기 위해 위성 운영사에서 위성영상의 dark count를 측정해 처리하는 과정이다. 이 처리를 적용한 사례는 IKONOS와 KOMPSAT-3A에서 찾아볼 수 있었다. 이 Pagnutti et al.,(2003), Jin et al.,(2020)은 고해상도 위성영상(IKONOS, KOMPSAT-3A)을 이용하여 gain/offset 적용 여부를 달리하여 비교하였으나, gain만 적용(offset은 0)해도 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

2) 절대복사보정 관련 품질 관리 및 검보정 방향 (KOMPSAT-3A 참조)

서두천 외(2020)은 정상운영기간동안의 KOMPSAT-3A호 주요 영상 품질 인자별 특성을 분석하는 연구를 진행하였다. KOMPSAT-3A의 초기 검보정 완료 후, 영상 품질은 Spatial, Radiometric, Geometric 항목별로 각각 측정하였다.

<표 4-57> KOMPSAT-3A 영상품질 사양 (서두천 외, 2020)

구분	Quality Parameters	System requirement	Cal/Val result
Spatial	MTF	PAN : 8% MS : 12%	PAN : 10~11% MS : 23%
	MTFC	PAN : >13%	PAN : >20%
Radiometric	SNR	>100	>100
Geometric	GSD	0.55m, 2.2m	0.54m, 2.16m
	Swath width	>12km	13.152km
	Location accuracy	70m(POD/PAD)	13.5m(Strip image) 14.9m(One-pass stereo)
	Registration	0.5 pixel	0.3 pixel (Strip, one-pass stereo)
	Ortho-image	3.5m	0.8m(Strip image)

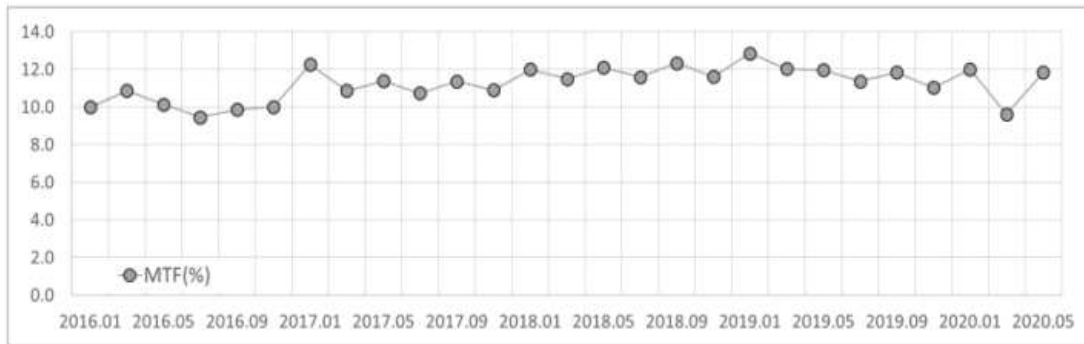


Fig. 9. MTF characteristics from Jan. 2016 to May. 2020.

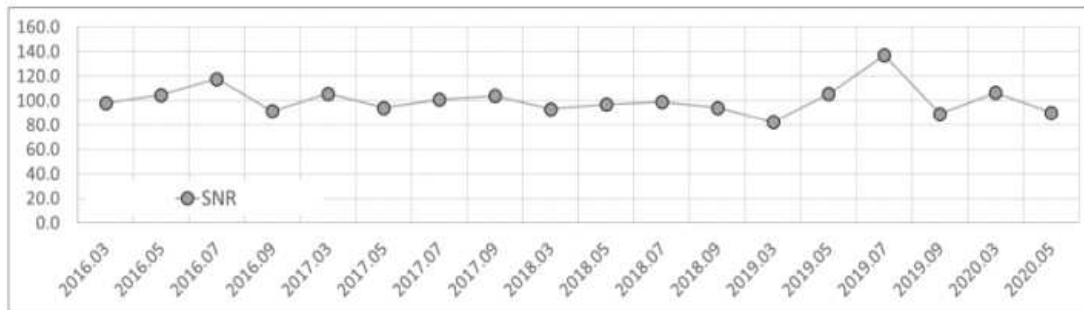


Fig. 10. SNR characteristics from Jan. 2016 to May. 2020.

<그림 4-96> KOMPSAT-3A LEOP Cal/val 결과 (서두천 외, 2020)

현재 항우연이 제시한 광학적 영상 품질 매개변수 및 방향의 경우, KOMPSAT-3A 기준에 맞춰 작성된 것으로 추정할 수 있다. 국토위성도 센서 노화에 대한 모니터링을 위해 분기별 MTF와 SNR을 시계열로 확인해야 한다. 현 국토위성 품질을 살펴봤을 경우, KOMPSAT-3A의 품질 기준정도를 맞추기도 힘든 실정으로 사려되어, 항우연에서 정한 본 목표치를 국토위성의 시계열 품질 검증 목표치로 설정하는 것이 적합하다. 단, 절대복사보정 내용은 아래 내용과 같이 품질기준 추가사항이 요망된다.

- 절대복사보정결과의 정확도 척도는 Percentage RMSE나 Percent difference를 사용하며, 그 기준치는 10% 내외로 설정
- 절대복사보정결과의 정확도 추정방법은 기 절대복사보정계수 추정에 사용된 사이트를 제외한 타 사이트를 대상으로 복사전달모델로 모의된 Radiance와 기존에 제시된 절대복사보정계수가 적용되어 산출된 위성의 Radiance와의 차이 혹은 동시 촬영된 타 위성과의 Radiance와의 차이를 계산
- 이때 정확도뿐만 아니라, 절대복사보정 계수 추정 시 사용한 자료의 수가 10개 이상 정도 확보 필요

3) 절대복사보정계수 주기적 갱신 방안

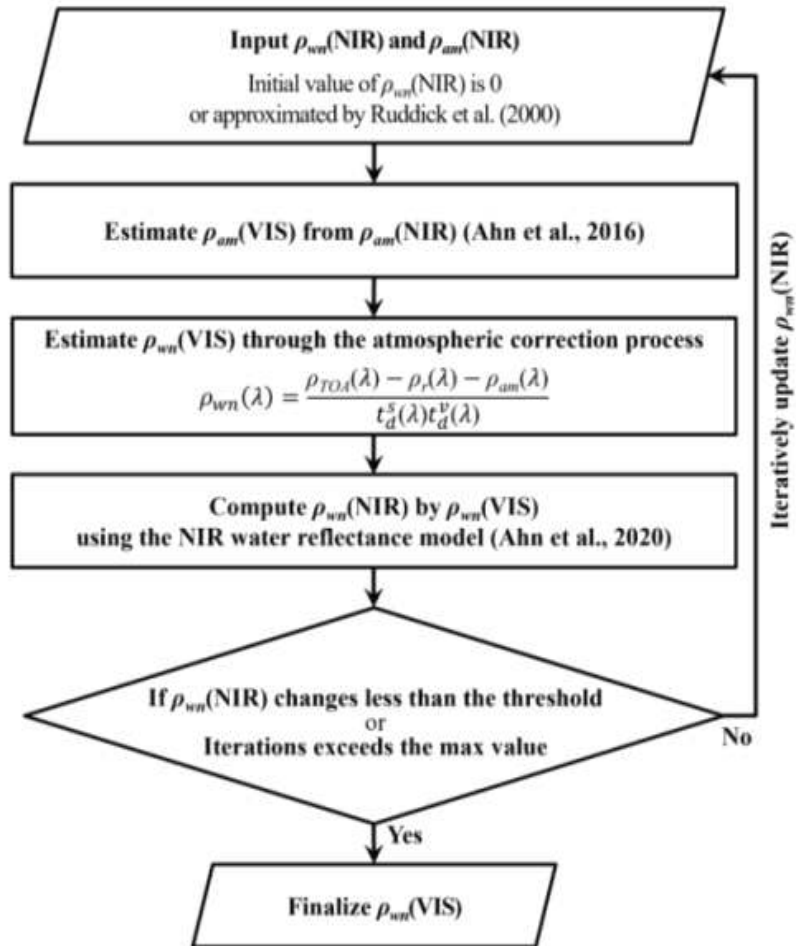
위성센서의 성능은 발사 후 지속적으로 저하되기 때문에 위성 발사 후 안정적이고 지속적인 복사보정계수를 공급이 필요하다. 이에 국토위성의 절대복사보정 계수도 타 위성의 갱신주기와 동일하게 2년의 주기로 갱신을 수행해야한다. 각 절대복사보정계수 추정에 대한 방안은 그림 2-18에서 제시되었으며, 주기적 갱신 시 본 방안 및 정확도 임계치를 준수해야한다. 주기적 갱신을 위해 지속적으로 운영되는 RadCalNet사이트에서 제공되는 측정 자료와 해당지역의 국토위성 영상자료를 이용하여 절대복사보정계수가 제시되거나, 몽골 같은 사막지역에 타프를 고정 설치하여 주기적으로 절대복사보정계수가 추정되어야한다. 향후 국내 고정적인 타프 사이트가 설치된다면 본 절대복사보정계수의 주기적 갱신에 추가적으로 사용될 수 있다. 절대복사보정에 큰 영향을 주는 국토위성 센서의 광학적 품질 확인을 위해서 국토위성 센서 노화에 따른 분기별 MTF와 SNR을 시계열로 확인해야한다. 현 국토위성 품질을 살펴봤을 경우, KOMPSAT-3A의 품질 기준정도를 맞추기도 힘든 실정으로 사려되어, 항우연에서 정한 본 목표치를 국토위성의 시계열 품질 검증 목표치로 설정하는 것이 적합하다(표 4-57 참조). 각 절대복사보정계수 추정 시, 좋은 광학적 질의 10개 이상의 자료가 입력되어야 하며, 다양한 계절 및 다양한 피복에 대한 많은 양의 자료의 활용이 요구된다.

나. 대기보정 산출물 검·보정 방안 마련

1) 대기보정 산출물 검보정 사례

현재까지 개발된 대기보정 기법은 특정 센서 또는 특정 지역을 기준으로 설계되었기 때문에 센서의 기술 사양이 높아도 특정 대기보정기술의 적용에는 한계가 발생할 수 있다. 안재현 외(2021) 논문에서는 GOCI-II는 기존 GOCI 보다 4개의 추가밴드(380, 510, 620, 709nm)를 이용하여 대기보정 뿐 아니라 해양환경 추정 정확도를 향상시켰다. GOCI-II를 이용하여 해양의 환경정보를 추정하기 위해서는 해수의 정확한 색 정보인 해수표면 반사도나 원격반사도를 분석해야 한다. 그러나 위성궤도인 대기상층(TOA)에서 관측된 복사휘도 영상에서는 대기광 복사휘도가 대부분을 차지하며 순수 해수의 색 정보를 담고 있는 휘도는 전체 휘도의 10% 미만이다. 이처럼 위성에서 관측된 TOA 복사 휘도 영상에서 해수표면반사도나 원격반사도를 추정해 내는 과정을 대기보정이라고 한다. 대기 복사 휘도의 크기가 해수 복사 휘도보다 10배이상 크기 때문에 1%의 대기 복사 휘도 오차는 10% 이상의 해수표면반사도 추정오류를 일으키며, 이러한 이유로 위성기반 해색원격탐사 임무는 높은 대기보정 정밀도를 요구하고 있으며, 대기보정 알고리즘의 개발이 전체 해색 알고리즘 개발 중 큰 부분을 차지하고 있다(안재현 외, 2021). GOCI-II 대기보정의 정확도 평가를 위하여 현장측정자료를 통해 대기보정 최종 산출물인 원격반사도(R_{rs})의 정확도를 우선적으로 검증하였고, 또한 해양관측타워에서 수집된 현장 R_{rs} 자료와의 비교를 통해 추가적인 검증을 수행하였다.

해당 연구에서는 복사전달 시뮬레이션을 위해 6SV를 이용하였으며 처리속도의 향상을 위해 계산결과 및 계산에 필요한 상수 값들을 미리 조건표(look-up table)에 저장 후 내삽하여 계산하였다. 대기보정 알고리즘에 사용된 복사전달모델과 실제 위성관측 복사 휘도와의 차이도 존재하는데, 이런 복사전달모델과의 차이 및 복사보정 오차는 대기보정의 결과에 규칙적인 오차를 발생시키게 된다. 이러한 이유로 복사보정과 대기보정 알고리즘 시스템과 실제 위성의 관측결과와의 차이를 해색 원격탐사 요구사항 수준으로 줄이기 위해 센서의 복사보정 감도(gain)을 조절해야 하는데 이를 시스템 대리교정(system vicarious calibration: SVC)이라 부른다. GOCI-II의 SVC 방법은 NASA의 해색 임무에 적용되는 방법을 GOCI 관측영역에 맞게 수정한 방법을 기본적으로 따르고 있다. 대리교정 상수 도출에 앞서 언급해야 할 점은 아직 GOCI-II는 1년이 안 되는 짧은 운영기간에 의해 NIR 밴드 상대 복사보정에 필요한 자료를 충분히 확보하지 못하였으며, 실제 대리교정의 수행은 가시광 밴드들만을 대상으로 대리교정상수를 수정하였다. 이 대리교정 상수는 추후 검보정 활동을 통해 누적된 현장 수집 레퍼런스 R_{rs} 들을 이용하여 지속적으로 업데이트 될 예정이다.



<그림 4-97> GOCI-II 대기보정 연구흐름도 (안재현 외, 2021)

<표 4-58> 도출된 대리교정 상수(가시광 밴드만을 대상으로)

(nm)	380	412	443	490	510	555	620	660	680	709	745	865
대리교정 상수	1.020	0.951	0.971	0.944	0.971	0.941	0.959	0.969	0.985	1.0	1.0	1.0

GOCI-II 대기보정의 검증을 위해 전형적인 1형수⁵⁾의 특징을 지닌 필리핀해에서 수집된 4개의 Rrs 자료를 이용하였으며, 추가적으로 연안의 해양 관측 타워에서 무인 관측장비인 AERONET-OC를 통해 수집된 현장자료도 사용하였다. 정확도를 평가하기 위한 지표로 아래의 평균절대 오차(Mean Absolute Percentage Error: MAPE)과 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error: RMSE)을 사용하였다.

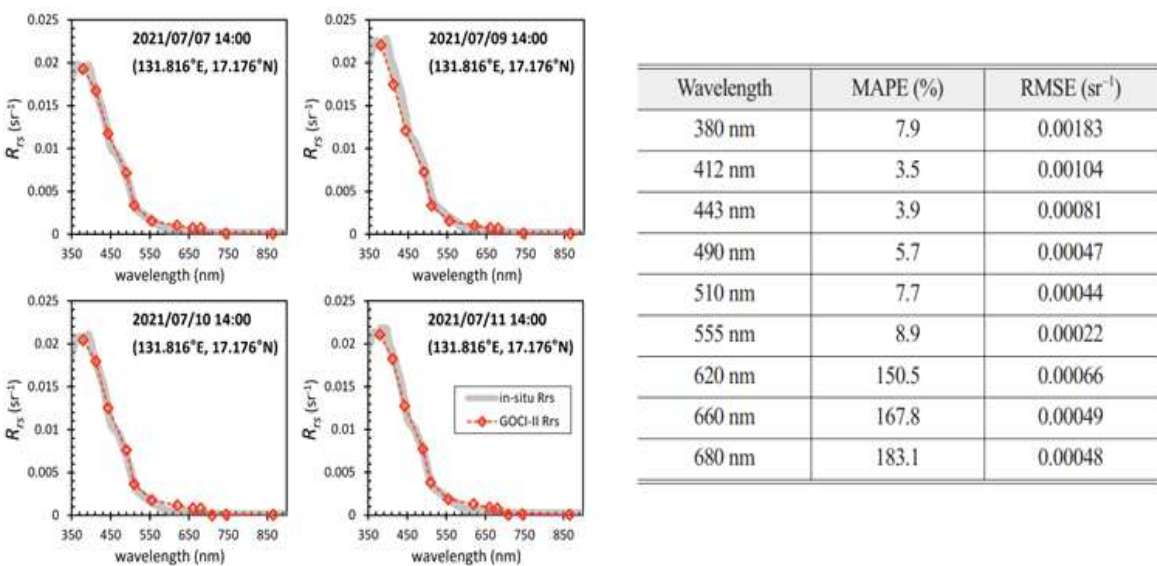
5) 해수의 광특성이 식물성플랑크톤에 의한 1차 생산 활동에 지배되는 특성을 가지며 이런 해역을 1형수(case-I water)라고 하며 그 이외의 해수는 2형수(case-II water)로 구분

$$MAPE(\%) = \frac{100}{K} \sum_{n=1}^K \left(\frac{|R_{rs}^{in-situ} - R_{rs}^{GOCI2}|}{R_{rs}^{in-situ}} \right)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^K (R_{rs}^{in-situ} - R_{rs}^{GOCI2})^2}{K}}$$

(K: 검증에 사용된 샘플의 개수, $R_{rs}^{in-situ}$: 참값(현장자료의 R_{rs} 값), R_{rs}^{GOCI2} : GOCI-II 가 산출한 R_{rs} 값)

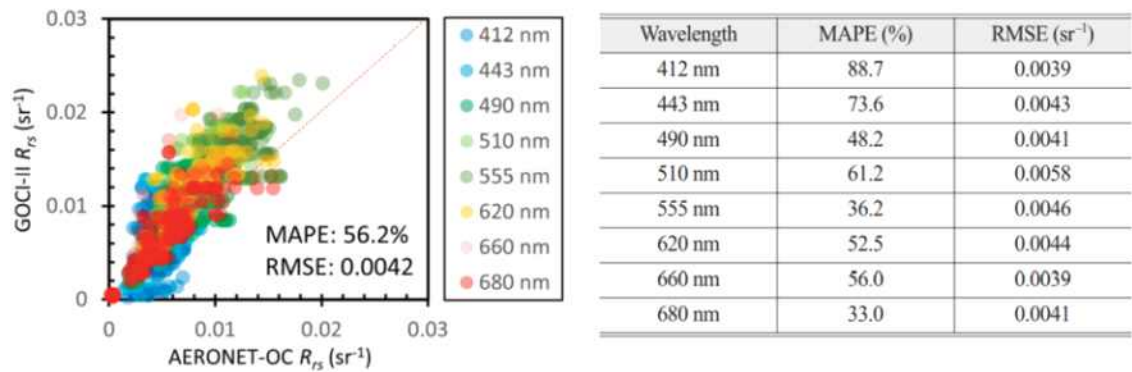
한국해양과학기술원 해양위성센터는 2021년 7월 3일부터 15일까지 1형수 광특성을 지닌 필리핀해에서의 고정 정점 관측을 수행하였으며, 이 기간동안 비교 · 검증이 가능한 4개의 현장 R_{rs} 분광 스펙트럼들을 수집할 수 있었다. 현장 R_{rs} 는 TriOS-RAMSES 장비를 이용 측정 및 수집되었다. 필리핀해에서 측정한 현장자료를 이용한 GOCI-II 대기보정의 검증결과 필리핀 해와 같이 매우 맑은 해역에서 적색 파장대의 R_{rs} 절대값이 다른밴드들 보다 상대적으로 작은 것이 원인이며, 이런 이유로 대양을 대상으로 하는 대부분의 해색 알고리즘들은 청색~녹색 파장 영역까지만 주로 이용한다.



<그림 4-98> 대양에서 수집한 현장자료를 이용한 대기보정 검증결과

NASA는 해양 및 대기환경의 검보정을 위해 무인 관측 장비인 AERONET-OC 관측 네트워크를 운용해오고 있으며, AERONET-OC의 경우 현장에서 측정 전문가가 직접 수집한 자료와 비교하여 품질은 다소 낮을 수 있지만 무인 운영을 통해 낮은 비용으로 대량의 자료수집이 가능하다는 장점이 있다. 본 연구에서는 GOCI-II 관측영역에 포함된 AERONET-OC 사이트들이며 2형수 광특성을 가진 소청초 해양과학기지과 일본의 아리아케 관측타워에서 수집된 레벨 2 자료를 사용하였다. AERONET-OC 배포자료는 GOCI-II 대기보정 산출물인 R_{rs} 산출물을 포함하지 않기 때문에 AERONET-OC 자료 중 양방향 반사 분포 함수가 보정된 정규화된 수출 복사 휘도(f/Q

corrected normalized water-leaving radiance: nL_w)에서 태양상수 값을 나눠서 R_{rs} 로 변환해 주었다.



<그림 4-99> AERONET-OC 현장자료를 이용한 GOCI-II 대기보정 검증결과

AERONET-OC를 통한 검증 결과 GOCI-II 대기보정 산출 결과가 모든 파장에서 현장자료 보다 R_{rs} 를 과대 추정하고 있음을 보여주었다. 이는 AERONET-OC 검증 자료가 필리핀해와는 달리 대부분 탁도가 높은 해역(660nm의 R_{rs} 가 0.0015 보다 큰 경우)의 자료이며, 이 경우 대기보정에서 일반적인 대기 광 산란 보정과정 보다 NIR밴드에서의 탁수 영향을 보정해주는 과정이 결과에 더욱 큰 영향을 주기 때문에 맑은 해역과는 검증 결과 정확도가 크게 달라질 수 있다. GOCI-II 대기보정의 주 검증 대상이었던 1형수 해역에서는 일반적인 해색 원격탐사 대기보정요구 정확도 범위인 청색파장 오차율 5% 이내 수준을 만족하고 있으며 적색 파장대에서 발생하는 오차의 경우 추후 검보정을 통해 해당밴드의 대리교정 상수들을 수정하는 것으로 개선이 가능할 것으로 예상된다. 탁도가 높은 해역의 경우 대기보정 결과는 탁수에 의한 NIR 해수 반사도 보정 모델에 영향을 크게 받는다. 이 NIR 해수 반사도 보정모델의 경우 시뮬레이션과 현장자료를 통해 정확도 검증을 수행한바 있지만, 이 모델에 사용되는 GOCI-II NIR 밴드(709, 745, 865 nm)는 아직 대리교정을 수행하지 않았다. 지난 10여년 동안 운영되며 충분한 검보정이 수행된 GOCI 자료를 활용할 경우 GOCI-II 검보정 기간의 단축이 가능할 것으로 예상된다. 이를 위해서는 1) GOCI의 센서 감도저하까지 모두 고려하여 GOCI와 GOCI-II의 745와 865 nm 밴드 비교를 통한 대리교정을 수행, 2) 기존의 방법론 등을 적용하여 GOCI-II 709nm 밴드 대리교정 수행, 3) 충분한 현장 광측정자료 및 MODIS-Aqua나 VIIRS 등의 타 해색 위성 자료를 확보하여 GOCI 감도저하까지 고려한 가시광 파장대 대리교정 수행, 4) GOCI와 GOCI-II 비교를 통한 GOCI-II 가시광 밴드 교차 대리교정 등을 수행해야 한다. 대기보정의 일반적이고 가장 중요한 과정은 대기 광 산란에 의한 영향 보정이지만 탁도가 높은 연안해역에서는 탁수에 의한 NIR 파장대 해수 반사도 영향을 보정하는 과정이 대기보정 결과를 더 크게 좌우하기 때문이다. 탁수의 영향의 보정에 중요한 역할을 하는 NIR밴드 대리교정이 수행되지 않을 경우 탁수 대기보정 과정에서 전체적으로 오차가 더 발생할 수 있으며 이

는 추후 대리기정 상수 업데이트를 통해 개선되어야 할 것이다.

국립환경과학원에서는 지준화(2008)과 송정현 등(2009) 연구결과를 기반으로 복사보정계수를 이용하여 절대대기보정을 적용한 연구사례가 있었다. KOMPSAT-2 위성영상을 이용하여 대기보정 결과/검증을 나타냈다. 시계열 KOMPSAT-2영상을 이용하여 다양한 절대대기보정 및 상대대기보정 알고리즘을 적용 및 분석한 결과는 다음과 같다.

<표 4-59> 대기보정 알고리즘 적용방법 및 결과

구분	대기보정알고리즘	적용 방법	적용 결과
절대 대기 보정	MODTRAN기반-KOMPSAT-2 복사보정계수1 적용 (지준화, 2008)	<ul style="list-style-type: none"> - 시계열 KOMPSAT-2영상에 대한 기상청 및 AERONET 자료적용 - KOMPSAT-2 센서, 분광정보 입력 - 환경부 DEM자료에서 평균 지표 고도정보 획득, 입력 	<ul style="list-style-type: none"> - 반사율범위(0-100%) 유지 - 에어로졸이 많은 2010년 5월 20일 영상 과보정 - Invariant target에 대해 2010년 5월 20일 영상 제외한 영상에서 비슷한 시계열 패턴보임 - 수체 반사율 정확도 떨어짐 - KOMPSAT-2 복사보정계수의 오차 영향 받음
	MODTRAN기반-KOMPSAT-2 복사보정계수2 적용 (송정현, 2009)	<ul style="list-style-type: none"> - 시계열 KOMPSAT-2영상에 대한 기상청 및 AERONET 자료적용 - KOMPSAT-2 센서, 분광정보 입력 - 환경부 DEM자료에서 평균 지표 고도정보 획득, 입력 	<ul style="list-style-type: none"> - 100% 이상의 반사율 발생 - 시계열로 invariant target의 차이가 큼 - 대부분 지표면의 이상 반사율 패턴 보임 - 절대대기보정에서 센서의 복사보정계수의 부정확성이 대기보정 정확도에 큰 영향을 끼침
상대 대기 보정	COST 모델-KOMPSAT-2 복사보정계수 적용 (지준화, 2008)	<ul style="list-style-type: none"> - 밴드별 최소 radiance값 입력 - Solar irradiance값 입력 - 지구-태양간 거리값 입력 - 태양천정각, 고도각 입력 	<ul style="list-style-type: none"> - 반사율범위(0-100%) 유지 - 시계열로 invariant target의 반사율이 15-20% 차이발생 - 다양한 지표물의 일반적 반사율 패턴 보임 - 단, 식생의 경우 녹색광에서 반사율 낮게 추정됨
	COST 모델-KOMPSAT-2 복사보정계수 적용 (송정현, 2009)	<ul style="list-style-type: none"> - 밴드별 최소 radiance값 입력 - Solar irradiance값 입력 - 지구-태양간 거리값 입력 - 태양천정각, 고도각 입력 	<ul style="list-style-type: none"> - 가시광선영역에서는 0에 가까운 이상 반사율을 나타냄 - 반사율 100% 이상값 발생 - 상대대기보정에서 센서의 복사보정계수의 부정확성이 대기보정 정확도에 큰 영향을 끼침
	Empirical line 모델	<ul style="list-style-type: none"> - 어두운 타겟과 밝은 타겟 지점의 DN값 추출 - 추출지점의 반사율 값 입력 - DN-반사율간의 회귀식 산출 	<ul style="list-style-type: none"> - 반사율범위(0-100%) 유지 - Invariant target의 시계열 변화율 5%미만으로 안정된 값 산출 - 다양한 지표물의 일반적 반사율 패턴 보임 - 사용자가 직접 타겟을 선정해야 되는 점에서 자동화 모듈 구현 힘들
	수정된 DOS 상대대기보정모델	<ul style="list-style-type: none"> - 최소 radiance값 대신 DN값 입력 - DN에서 반사율로 바로 변환 - 영상 이상 최소값을 제외한 실제 최소값을 자동 추출 및 입력 - Solar irradiance값 입력 - 지구-태양간 거리값 입력 - 태양천정각, 고도각 입력 - 자동화 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - KOMPSAT-2 복사보정계수의 영향을 받지 않음 - Invariant target의 시계열 변화율 5%미만으로 안정된 값 산출 - 다양한 지표물의 일반적 반사율 패턴 보임 - 완전한 자동화 대기보정모델 구현 가능 - 산출 결과를 반사율로 변환필요

Wu J. et al.,(2005)는 농지를 대상으로 고해상도 QuickBird의 대기보정자료와 현장 실측치와의 비교를 통한 농업분야의 활용성을 제시하였다. DOS(Dark Object Subtraction technique), COST(Cosine approximation model), AR(Apparent reflectance model) 대기보정 방법을 적용하여 수관표면 분광반사율 측정기기(CROPSCAN)로 측정된 옥수수과 감자밭의 반사율 측정자료와 비교하였다. 상대대기보정방법에 비해 절대대기보정의 상대적 높은 정확도를 제시하나, 영상 촬영당시의 정확한 대기 Profile, 현장 측정된 기상정보, 다양한 대기 구성성분에 대한 Optical thickness 정보등이 요구되었다. QuickBird 영상의 대부분의 사용자는 절대대기정보에 입력되는 정보를 획득하기 쉽지 않으며, 복잡한 보정작업을 고려할 때 비경제적 방법일 수 있다는 한계를 지적하였다. 특히 농업 분야의 원격탐사 사례에서 절대대기보정보다는 대부분 Image-based atmospheric correction을 적용하고 있다. AR방법은 가시광선영역의 밴드에서는 과추정, 근적외선영역에서는 과소추정되었다. DOS나 COST모델의 경우 가시광선영역에서는 RMSE가 0.01 이하로 추정이 잘 되었으나, 근적외선영역에서 RMSE가 0.16이상으로 과소추정되었다. 이는, COST모델의 경우 습한 대기조건에서 촬영된 QuickBird 근적외선영상의 보정시 수증기에 의한 흡수량을 과소추정하였기 때문으로 연구결론이 나타났다. Karpouzli E. and Malthus T.,(2003)는 기존에 적용된 중저해상도 위성영상에서 뿐만 아니라 고해상도 위성영상에서도 실험식 이용 대기보정 방법이 효과적이라는 것을 검증하기 위하여 IKONOS 위성영상을 이용하여 지상관측자료와의 회귀식을 만들고, 회귀식에서 획득한 반사율과 현지측정 반사율을 비교·검증하였다. Calibration/Validation Target은 분광학적으로 homogeneous하고, 평평한 곳에 식생을 제외한 곳으로 선택하였으며, 위성영상 공간해상도(pixel size)의 3배 이상인 곳에 대하여 GER 1500 spectroradiometer(300-1100nm)를 이용하여 현장자료를 획득하여 이용하였다. 현장측정자료와 -1.8~2.7 정도의 차이가 발생하는 반사율을 획득하였으며, 대기보정을 위한 조건표를 생성하였다. 대기보정에 사용된 Empirical line 방법론이 고해상도 영상에서도 효과적인 대기보정 방법으로 나타났다. 단, 영상촬영시기의 현지측정자료가 요구된다는 결과를 나타내었다.

기존의 고해상도 위성영상의 대기보정 사례를 조사 분석한 결과, 절대대기보정보다는 상대대기보정방법을 많이 적용했으며, 이는 절대대기보정에 필요한 정확한 대기정보의 획득이 힘들며, 센서의 복사보정계수나 복사보정 결과가 기존 중·저해상도 위성영상에 비해 떨어져 신뢰할 수 있는 절대대기보정결과를 기대하기 어렵기 때문이다. 대기보정은 영상의 화소값(DN value)을 물리적 복사량(L)으로 변환부터 시작되어, 복사량에서 대기의 영향을 제거한 후 표면반사율로 변환된다. 따라서 절대방사보정계수의 정확도는 대기보정 결과에도 큰 영향을 미치게 된다. 절대방사보정계수가 불확실하다면, 그 다음 단계에서 대기보정 처리가 제대로 수행되어도 최종 얻어지는 표면반사율을 신뢰할 수 없게 된다. 중·저해상도 위성영상은 궤도 연직 방향으로 촬영되어 모든 영상이 동일한 촬영각을 가지고 있지만, 고해상도 위성영상은 상대적으로 좁은 촬영폭 때문에 원하는 지역의 영상을 얻기 위해서는 궤도의 좌우 방향으로 촬영각으로 수시로 바뀌어 촬영한다. 따라서 동일 지

역의 시계열 영상이라도, 영상마다 촬영각이 상이하므로 이에 대한 적절한 보정처리가 이루어져야 한다. 즉, 대부분의 지표물이 태양과 센서의 기하학적 위치에 따라 반사율이 다르게 나타나는 이방향성반사특성(bidirectional reflectance distribution function, BRDF) 때문에 대기효과 보정과 함께 이에 대한 적절한 보정이 필요하다.

일반적으로 대기보정 방법은 상대 및 절대보정 기술을 포함하는 두가지 범주로 구분될 수 있다. 상대보정 방법은 영상에서 추출한 일부 통계 정보와 현장 측정에서 얻은 지표면에 대한 사전 지식을 활용하고, 절대보정방법은 태양 기하정보(천정각, 방위각), 센서 기하정보(관측각, 방위각), 장면 중심위치, 에어로졸 모델, 대기 모델과 같은 물리적 정보를 활용하여 계산된 보정계수를 이용한다. 대기보정 기법에 대한 주요 방법론은 다음과 같으며 주요 대기보정 알고리즘에 대해 간략하게 정리하였다(이권호와 염종민, 2019). 현재까지 개발된 대기보정 기법은 특정 센서 또는 특정 지역을 기준으로 설계되었기 때문에 센서의 기술 사양이 높아도 특정 대기보정기술의 적용에는 한계가 발생할 수 있다. 대기보정 결과를 비교하는 연구사례를 살펴보면 실측자료와의 비교를 통한 분석이 많았다. 대기보정 결과와 현장에서 분광 관측기기(ASD 등)를 이용하여 관측한 자료와의 비교를 통해 오차범위를 확인하거나(이권호와 염종민, 2019), RadCalNet 지표반사도 값과 대기보정 영상과의 비교(김광섭 외, 2020; 이기원 외, 2020)를 통해 대기보정을 검증하였다. 또한, 타위성자료를 이용하여 비교분석하는 연구가 수행되었으며, 전의익 외(2019)는 드론 영상 활용을 위하여 절대적 대기보정 방법의 비교 분석 연구에 타프를 이용하여 경험적 선형 보정기법을 적용하고, 대기 복사 전달모델 기반 대기보정 알고리즘을 적용하여 결과의 정확도 평가는 반사율간의 차이를 최소, 최대, 표준편차, RMSE, 상관도를 비교하였다. 안재현 외(2021)은 GOCI-II 대기보정 검증 시 정확도 평가를 위한 지표로 평균절대오차(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)와 RMSE(Root Mean Squared Error)를 사용하였으며, 안호용 외(2018)에서는 결정계수(R^2)를 이용하여 대기보정 전후를 비교하였다. 정확도 평가를 위해 많이 사용되는 지표인 상관계수, 평균제곱근오차(RMSE), 평균절대오차(Mean Absolute Error, MAE), 평균제곱오차(Mean Squared Error, MSE), 평균절대비오차(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)에 대한 수식과 내용을 다음과 같이 정리하였다.

<표 4-60> 정확도 평가 지표

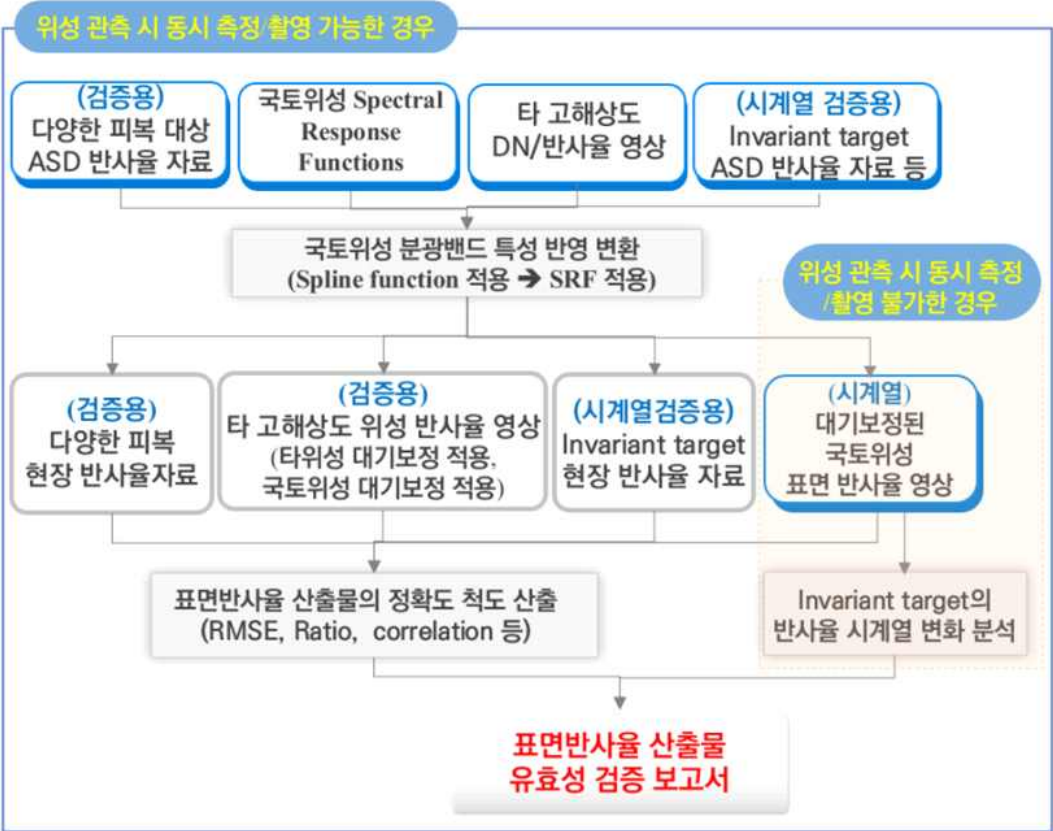
구분	수식	내용
R	-	통계적 유의성을 표현하기 위한 상관관계를 수치로 표현
RMSE	$\sqrt{\frac{\sum (X_t - Y_t)^2}{n}}$	MSE에 루트를 씌운 값으로 큰차이의 에러에 덜 민감함 오류 지표를 실제 값과 유사한 단위로 다시 변환하여 해석용이 잔차를 제공하여 생기는 값의 왜곡이 MSE보다 적음 실제값의 크기에 의존적이기 때문에 크기 의존적 에러 발생
MAE	$\frac{\sum X_t - Y_t }{n}$	- 실제값과 예측값의 차이를 절대값으로 변환해 평균한 값 - 절대값으로 인한 가장 직관적인 지표 실제값 대비 예측값의 차이를 쉽게 보여줌
MSE	$\frac{\sum (X_t - Y_t)^2}{n}$	실제값과 예측값의 차이를 제곱해 평균한 값 - 특이치에 민감하며 지표 자체가 직관적임 잔차를 제공하기 때문에 이상치에 민감함 1미만의 에러는 더 작아지고, 그 이상의 에러는 더 커지는 한계점
MAPE	$\frac{\sum \frac{ X_t - Y_t }{X_t}}{n} * 100$	실제값 대비 예측값을 실제값으로 나눈 절대값 평균의 백분율 실제값이 0일 경우 계산할 수 없으며, 해석이 의미있는 값에만 적용할 수 있는 한계점

*X는 실제값, Y는 예측값, n은 샘플의 개수

2) 대기보정 산출물 검토정 방안

국토위성 영상의 대기보정 산출물의 검증을 위해서는 우선적으로 국토위성영상 촬영과 동시에 획득된 현장자료, 드론 영상 및 타위성자료를 이용한 반사율 패턴 및 정확도 평가가 이루어져야 한다. 현장자료 획득 시, 다양한 반사율 값과 패턴을 나타내는 다양한 피복을 측정해야 하며, 위성 센서각을 참조하여 측정하는 것이 필요하다. 또한, 공간적으로 국토위성의 공간해상도인 2m에 맞춰 지점과 지점 간격을 2m 이상으로 선정하여 측정하였다. 검토정을 위한 상세 현장 관측 방법은 4장 현장 검증 테스트베드 운용매뉴얼에 상세 설명되어 있다. 드론 영상은 국토위성영상과 동시에 수집될 수 있으나, 타 위성영상의 경우 동시 촬영이 어려울 수 있어 국토위성영상 촬영일 기준으로 일주일 안에 촬영된 타 위성영상을 검토정에 사용해야 한다. 검토정에 사용할 자료는 대기가 깨끗한 날에 획득된 자료를 선호하나, 특히 haze 보정의 선수행이 필요한 haze가 심한 날의 자료는 검토정에 사용하지 않는 것이 적합하다. 검토정을 위해 수집된 각 측정 및 촬영된 영상은 반드시 국토위성의 분광반응함수에 맞춰 보정 후 사용해야 하며, 사용된 자료의 반사율은 0~1 사이의 무단위 반사율로 변환하여 비교하였다. 현장자료를 이용한 상세 검증 방법은 그림 4-42에 제시되었으며, 전반적인 검증방법은 아래 그림과 같다. 이후 점 관측자료인 ASD 자료와는 위치 오차를 고려하여 위성 영상에서 3*3 평균 자료로 계산 후, 밴드별 ASD 자료와 일대일 대응 그래프, 각종 척도 (r, RMSE 등)를 계산하였다. 래스터자료인 드론 및 타 위성자료의 경우 공간해상도를 일치시키며, 이때 해상도가 낮은 영상을 기준으로 Degrading 시킨 후, 두 비교 지역의 중첩된 지역을 선정하고 화소 대

화소의 일대일 대응 그래프 산출하고, 상관계수나 결정계수 등을 산출하였다. 동시 관측이 어렵거나, 대기보정 산출물의 시계열 안정성을 확인하기 위해 동일 지역을 촬영한 시계열 국토위성영상을 확보하고, 영상 안에 나지, 인공물 등 시간에 따라 반사율의 변이가 적인 Invariant target의 3*3 화소를 설정 후 평균 반사율을 계산하여, 시계열 반사율 변이를 분석하였다. 본 대기보정 산출물의 검보정에 사용된 자료, 방법, 결과들은 표면반사율 산출물 유효성 검증 보고서로 자동으로 작성, 관리자와 사용자에게 제공되어야 한다.



<그림 4-100> 대기보정 산출물 검보정 처리 과정

다. 산출물 품질관리 방안 마련

사용자들이 영상 제품을 신뢰하고 효율적으로 사용하기 위해서는 영상 제품에 대한 상세 설명과 화소별 품질정보의 제공이 필요하다. 국토위성 사용자 친화형 영상 제품에 대한 품질 정보를 제공하기 위해서는 활용산출물 이전의 원시자료(L1)의 품질정보와 자동생산 과정에서 식별된 추가적인 품질정보(L2)의 관리가 선행되어야 한다. 이를 위해, 산출물 메타 정보에 입력된 L1 품질정보(Dynamic Range, 방사포화도, 미회득 자료, 손실 자료 등), L2 품질정보(위치정확도, 대기보정정보, 픽셀단위정보 등)를 식별하여 이러한 품질항목을 DB에 저장 및 관리할 수 있는 방안을 마련해야 한다. 따라서, 품질 향상이 가능한 산출물을 식별하여 대상 산출물에 대한 처리를 재차 수행하고 별도의 단계로 구분하여 품질향상이 적용된 산출물에 대한 추가 저장 및 관리체계 구축방안을 도출하여 품질향상을 통해 사용자에게 고품질 서비스를 제공 방안을 수립한다.

1) ARD 선도그룹의 산출물 품질관리 방안 조사

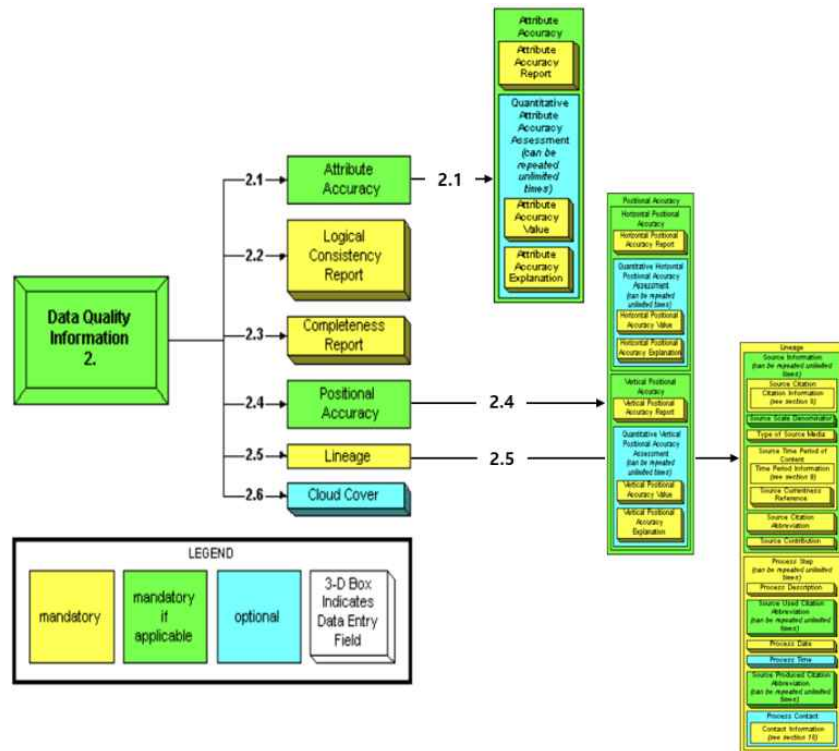
산출물 품질관리는 산출물의 품질 목표와 개별값에 대해 정의된 품질 기준을 충족하는지에 대한 여부를 결정하는 방법을 의미한다. 다양한 산출물이 어느 정도의 품질을 지니는가를 결정하기 위해서는 산출물의 평가 기준과 품질 목표가 존재해야한다. 그러므로, 해외 ARD 선도 그룹의 산출물 품질관리 방안을 조사 및 분석을 바탕으로 국토위성 사용자 친화형 영상 품질관리 방안을 수립하고자 한다.



<그림 4-101> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 방안 예시

가) USGS

USGS는 산출물 품질 관리 문서 작성시 FGDC의 표준을 고려하여 데이터 품질 관리 문서를 작성한다. 아래의 다이어그램은 FGDC에서 제작한 데이터 품질에 대한 일반적인 평가 기준을 나타내며, 노란색은 필수, 녹색은 해당하는 경우 필수, 파란색은 선택적으로 기술할 수 있음을 나타낸다.



<그림 4-102> FGDC 데이터 품질 정보

FGDC의 데이터 품질정보는 Attribute Accuracy(선택 필수), Logical Consistency Report(필수), Completeness Report(필수), Positional Accuracy(선택 필수), Lineage(필수), Cloud Cover(선택) 총 6가지의 내용이 포함되어 있어야 한다.

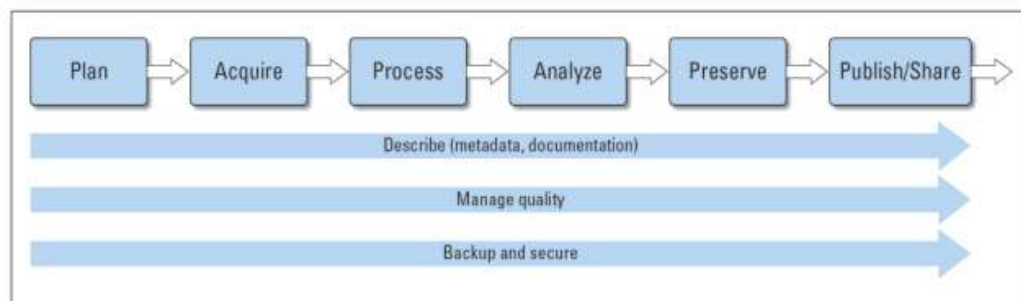
Positional Accuracy는 산출물의 위치 정확도의 정량적인 평가 결과를 나타낸다. Lineage는 데이터셋을 구성하는 매개변수, 소스 데이터에 대한 전반적인 정보를 나타낸다. Cloud Cover는 산출물 영역 내 구름의 비율을 정량적인 수치로 제공한다. Attribute Accuracy는 데이터셋의 개체 식별 정확도 및 할당 값에 대한 정보를 제공한다. Logical Consistency Report는 데이터 집합의 관계에 대한 정확도 및 사용된 검증 데이터셋에 대한 정보를 제공한다. Completeness Report는 누락, 기준, 도출 등에 사용된 규칙정보를 제공한다. 아래의 표는 FGDC 데이터 품질 정보 속성을 정리한 표이다.

<표 4-61> FGDC 데이터 품질 정보 속성 정리표

구성	중분류	세분류		내용
Attribute Accuracy	Attribute Accuracy Report			속성정확도에 대한 보고서 제공
	Quantitative Attribute Accuracy	Attribute Accuracy Value		속성 정확도 값
		Attribute Accuracy Explanation		속성정확도 값에 대한 설명
Logical Consistency Report				데이터셋을 구성하는 매개변수, 소스 데이터에 대한 전반적인 정보 제공
Completeness Report				누락, 기준, 도출 등에 사용한 규칙정보 제공
Positional Accuracy	Horizontal Positional Accuracy	Horizontal Positional Accuracy Report		수평 좌표 측정 정확도에 대한 설명과 테스트에 대한 설명
	Vertical Positional Accuracy	Quantitative Attribute Accuracy	Vertical Positional Accuracy Value	meter(미터)로 표현된 데이터셋에서 수직 좌표 측정의 정확도 추정치
			Vertical Positional Accuracy Explanation	수직 정확도 값을 산출한 테스트에 대한 정보 제공
Lineage	Source information	Source Citation		소스 데이터셋에 대한 참조자료에 대한 설명
		Source Scale Denomination		지도에서의 축척 정보 제공
		Type of Source Media		데이터 소스의 유형 정보 제공
		Source Time Period of Content	Time Period information	일자에 대한 정보 제공
			Source Currentness Reference	소스 데이터셋에 대한 항목 정보가 결정된 시간 작성
		Source Citation Abbreviation		출처 인용 약어 작성
	Source Contribution		소스가 데이터셋에 기여한 정보를 식별하여 요약 작성	
Process step	Process Description		이슈 사항에 대한 설명 및 관련 파라미터 또는	

			오차 내용 서술
		Source Used Citation Abbreviation	데이터셋의 Source Citation 처리 단계에서 사용된 약어 정보 서술
		Process Date	이벤트가 완료된 날짜 제공
		Process Time	이벤트가 완료된 시간 제공
		Source Produced Citation Abbreviation	(1) 데이터 처리자의 중요한 의견, (2) 일반적인 데이터 처리 절차, (3) 과거 처리절차에서 사용된 약어 내용 정리
	Process contact	Contact Information	데이터셋과 관련된 담당자 및 관련 조직의 신원 및 소통 수단 정보 제공

USGS는 프로젝트별로 Data Management Plan(DMP)를 설계하고, 수명주기에 따라 포괄적으로 관리하기 위해 Science Data Lifecycle Model(SDLM)을 개발하여 산출물 관리를 진행하고 있다. SDLM은 아래의 그림과 같은 과정을 통해 처리되며, 모든 단계에서 데이터가 적절하게 유지되도록 프로토콜과 같은 방법을 사용한다는 특징을 가지고 있다.



<그림 4-103> SDLM 처리과정

위의 그림에서 파란색 네모 박스는 SDLM 모델의 요소들을 나타낸다. Plan, Acquire, Process, Analyze, Preserve, Publish/Share 요소는 SDLM 모델의 주 요소를 나타내며, 각 요소는 해당 단계에서 고유한 개별 활동과 산출물을 다룬다. 각 단계에서 수행된 내용은 문서화해야 하며, 문서로 작성시 고려해야할 사항은 아래의 항목과 같다.

- 주기적인 산출물 품질 평가 결과 기록
- 직원 기술 요구 사항 및 교육 기록
- 사용된 방법 및 표준 프로세스에 대한 인용

- 산출물 검증 절차
- 산출물 검사 방법
- 산출물 품질 지표에 대한 내용
- 불확실성 데이터 값에 대한 내용
- FGDC 표준 품질 정보에 대한 메타데이터 레코드 내 산출물 품질 정보 섹션 사용

위의 내용을 고려해 작성된 내용은 메타데이터에 대한 내용과 함께 산출물 품질관리 문서로 작성되며, 산출물 품질관리 문서의 적합성을 검증하기 위해 동료 검토(release 또는 배포 전 데이터 문제 파악), 산출물 평가 전략 비교(테스트 계획, 특정 목표 등), 산출물 품질 메타데이터 및 문서 유지 관리, 산출물 변경 사항 추적 및 산출물 버전 관리 체계 구현, 신규 산출물과 기존 산출물의 비교, 지도와 공간데이터 중첩 방법을 활용하여 산출물의 품질 평가·관리한다.

나) ESA Sentinel

ESA는 산출물 품질 상태를 측정 및 관리하기 위해 MPC-CC(Mission Performance Center-Coordinating Center)를 설립하였다. MPC-CC에서는 Sentinel-2 A/B 위성영상의 Level-1C(L1C)와 Level-2A(L2A) 제품의 품질 상태를 Sen2Cor 소프트웨어를 사용하여 측정 및 분석하여 데이터 품질 보고서(Data Quality Report, DQR)의 형태로 문서화하여 관리하고 있다. 산출물 품질관리를 위한 품질 측정 요소는 아래와 같은 항목이 기술되며, 모니터링 내 식별된 결함이 있는 픽셀 목록(예. Anomalous Pixels, Saturation noise on Band 10 Images 등) 및 산출물 품질 처리 기준 변경으로 인한 개선 사항 등을 포함한다.

□ Geometric Performance

- Geometric Calibration Status
- Absolute Geolocation
- Multi-Spectral Registration
- Multi-Temporal Registration

□ Radiometric Performance

- Radiometric Calibration Status
- Radiometric Uncertainty
- Noise
- Modulation Transfer Function

ESA는 Sentinel L1C와 L2A에 대한 품질 측정 기준을 다르게 설정하여 품질관리를 수행하고 있으며, 아래의 내용은 각 제품 단계별로 품질 측정 항목을 정리하였다.

(1) L1C

L1C 제품에서는 기하 및 방사 성능에 대한 산출물 품질 측정을 수행하고 있으며, 아래의 그림은 ESA에서 데이터 품질 기준에 대한 설명을 요약한 테이블이다. L1C 제품은 2015년 10월부터 2021년 11월까지 총 69건의 데이터 품질 관리 보고서가 제공되고 있다.

<표 4-62> L1C 데이터 품질 측정

Requirement	Description	Measured performance
Absolute geolocation	The geo-location uncertainty shall be better than 20 m at 2 σ confidence level (unrefined products)	< 11 m at 95.5% confidence (unrefined products)
Multi-temporal registration	The spatial co-registration accuracy of Level 1 c data acquired at different dates over the same geographical area shall be better than or equal to 0.3 SSD at 2 σ confidence level.	< 5 m at 95.5% confidence (refined products)
Multi-spectral registration	The inter-channel spatial co-registration of any two spectral bands shall be better than 0.30 of the coarser achieved spatial sampling distance of these two bands at 3 σ confidence level.	< 0.3 pixel at 99.7% confidence
Absolute radiometric uncertainty	The absolute radiometric uncertainty shall be better than 5 % (goal 3%). (see Table 2-4 in this document)	B1 to B12, excl. B10: < 3%±2%
SNR	The Signal-to-Noise Ratio (SNR) shall be higher than specified values (see Table 2-5 in this document)	All bands compliant with > 27% margin

☐ Absolute geolocation

산출물의 절대 위치 정확도를 측정하여 정량적인 평가 결과로 제공한다.

☐ Absolute radiometric uncertainty

산출물의 절대 복사 정확도를 측정하여 측정하여 정량적인 평가 결과로 제공한다.

☐ Multi-temporal registration

다중 시계열 산출물에 대한 영상 정합성을 측정하여 정량적인 평가 결과로 제공한다.

☐ Multi-spectral registration

단일 산출물의 밴드별 영상 정합성을 측정하여 정량적인 평가 결과로 제공한다.

☐ SNR (Signal to noise)

산출물의 영상(신호) 품질을 측정하여 측정하여 정량적인 평가 결과로 제공한다.

(2) L2A

L2A 제품은 Sen2Cor(v2.5/ 툴박스 버전)을 기반으로 표면반사율과 토지피복에 대한 데이터 품질을 추가로 측정하고 있으며, 아래의 그림은 L1C와 마찬가지로 ESA에서 제공하고 있는 항목별 데이터의 품질 기준을 나타낸다. L2A 제품은 2018년 5월부터 2021년 11월까지 총 43건의 품질 관리 보고서가 제공되고 있다.

<표 4-63> L2A 데이터 품질 측정

Requirement	Description	Measured performance
Surface reflectance accuracy	Uncertainty of Bottom-of-Atmosphere reflectance ρ shall be less than $0.05\rho_{\text{reference}} + 0.005$	Uncertainty (U): all bands outside specification Accuracy: B5 and B12 outside specification for U, all other bands within
Water Vapour accuracy	The difference ΔWV of retrieved Water vapour to reference from AERONET WV_{ref} shall be within $ \Delta WV \leq 0.1 * WV_{\text{ref}} + 0.2$	92% of retrieved Water vapour values are within requirement
Aerosol Optical Depth accuracy	The difference ΔAOT of retrieved Aerosol optical thickness at 550 nm to reference from AERONET AOT_{ref} shall be within $ \Delta AOT \leq 0.1 * AOT_{\text{ref}} + 0.03$	41% of retrieved Aerosol optical thickness values at 550 nm are within requirement
Classification accuracy	No requirement defined.	omission and commission classification errors are 15% and 16% for recognition of clear pixels over land and water

□ Surface reflectance accuracy

산출물의 지표반사율에 대한 정확도를 측정하여 정량적인 평가 결과로 제공한다. AERONET -corrected surface reflectance 데이터셋은 품질 분석을 위한 참조자료로 사용된다.

□ Water Vapour accuracy & Aerosol Optical Depth accuracy

수증기량과 AOD에 대한 정확도를 측정하여 정량적인 평가 결과로 제공한다. Water Vapour accuracy와 Aerosol Optical Depth accuracy의 평가는 평균 9km X 9km 영역의 Sen2Cor 결과와 AERONET 태양 광도계의 기준값과 직접 비교함으로써 결정된다. Midlatitude S를 제외한 모든 대륙과 기후 지역에 분산된 25개의 AERONET 위치에서 559개의 대규모 매칭 데이터셋을 기반으로 실시한다.

□ Classification accuracy

토지피복에 대한 정량적인 평가 결과로 제공한다. Classification accuracy는 Sen2Cor의 결과와 참조자료를 비교하여 산출되며, 14개의 Sentinel-2 L2A 영상을 기반으로 현재 13개 테스트

사이트에서 실시한다. 테스트 사이트별 정확도 평가는 각 픽셀별로 전체 정확도, 사용자 정확도 및 생산자 정확도 계산을 통해 이뤄지며 대상 항목은 Classification map 내 식생, 비 식생, 수계, 토지, cloud medium probability, cloud high probability, thin cirrus이다. 아래의 그림은 품질관리보고서 내 정확도 평가 예시를 나타낸다.

<표 4-64> 분류 정확도 측정 예시

Site	OA	OA clear pixels	OA clouds	Pixel validated	
Antarctic	94.7	96.8	98.8	527803	
Barrax (Spain) -1	64.6	96.9	98.7	141546	
Barrax (Spain) -2	90.5	98.7	99.5	104799	
Berlin (Germany)	93.4	96.5	no clouds	51964	
Casleo (Argentina)	63.8	86.1	98.1	186238	
Dunhuang (China)	57.3	66.2	no clouds	105454	
Manila (Phillipines)	82.1	90.0	91.6	106263	
Rimrock (USA)	90.2	98.2	99.2	103394	
Yakutsk (Russia)	69.9	93.8	92.9	177983	
Etna Volcano (Italy)	95.8	97.9	99.4	132340	
Kilauea Volcano (USA - Hawaii)	60.4	75.4	74.2	118357	
Lagos (Portugal)	96.8	97.3	no clouds	69753	
Buenos Aires (Argentina)	91.8	97.3	no clouds	31841	
Tallin (Estonia)	84.3	90.4	95.6	71773	
	Average	81.1	91.5	94.8	137822
	Stdev	14.1	9.4	7.4	

Clear pixels over land and water				
	Clear pixels Land-Water	Others	Sum	Commission
Clear pixels Land-Water	733113	78587	811700	16.136
Others	72526	1045282	1117808	26.874
Sum	805639	1123869	1929508	
Omission	15.011	18.818		
All clouds				
	Clouds	Others	Sum	Commission
Clouds	491769	30212	521981	25.013
Others	54967	1352560	1407527	5.082
Sum	546736	1382772	1929508	
Omission	10.788	2.642		

다) Planet

Planet사는 산출물의 품질 관리를 위해 분기별로 품질보고서를 작성한다. 이는 ESA의 데이터 품질 보고서의 구조를 차용한다. 해당 문서는 Planet의 Dove-Classic(PS), RapidEye, SkySat(L1), Dove-R(PS), Planetscope(L1, L2)에 대한 내용으로 기술되며, 아래의 그림은 2019년 9월 14일에 작성된 품질보고서 내 Planetscope(L1, L2)에 대한 내용 일부를 발췌하였다.

L1 DATA QUALITY REPORT PLANETSCOPE
Geometry

Absolute Geolocation

Sample Size	Average RMSE rad [m]	PCTL90(RMSE rad) [m]	Max RMSE rad [m]
653	3.32	5.69	15.94

Temporal Registration

Sample Size	Average RMSE rad [m]	PCTL90(RMSE rad) [m]	Max RMSE rad [m]
3542	2.33	3.56	91.79

Relative Geolocation

Sample Size	Average RMSE rad [m]	PCTL90(RMSE rad) [m]	Max RMSE rad [m]
1089	3.72	4.81	86.44

(a) Planetscope L1 품질 보고서

L2 DATA QUALITY REPORT PLANETSCOPE

- Radiometric Accuracy of Surface Reflectance Product
- Product Anomalies
- Product Features

Stay tuned
There is a dedicated technical presentation about this topic by Alan Collison on Thursday morning.

Planet Surface Reflectance: Implementing Atmospheric Correction for a Heterogenous Fleet of Satellites
Alan Collison, Planet

(b) Planetscope L2 품질 보고서

<그림 4-104> Planetscope 데이터 품질 보고서

품질관리 보고서에는 Geometry, Radiometry, Noise, Focus, Product Anomalies, Product Feature에 대한 내용이 기술된다. Product Anomalies는 Saturation, Blooming, Frame rate issue 등 이상현상을 의미한다. Product Feature는 산출물 영역 내 구름, 비행기, 파도, 이격현상 등 특이사항을 의미한다.

라) Maxar

Maxar에서는 ISO 9001:2015 또는 AS9100:2016 표준에 따라 유료로 데이터의 품질을 관리하고 있다. ISO 9001:2015는 ISO에서 개발한 품질관리 시스템에 대한 국제표준규격을 의미하며, 끊임없이 변화하는 고객의 요구사항에 대응하기 위해 프로세스를 지속적으로 개선해 나가는 품질경영시스템을 구축하고, 실행의 적합성을 제 3자 인증기관의 심사를 통하여 인증받는 제도이다. 가장 대표적으로 사용되는 품질관리표준이다. AS9100은 항공우주산업에서 보편적으로 사용되는 품질관리시스템으로 이 표준은 ISO 9001을 기반으로 하며, 추가적인 항공, 우주 및 방위산업의 요구사항을 규정한 품질경영시스템 인증서비스이다. 또한, ISO 9001 요구사항, 항공우주방위산업 품질 요구사항, FAA(미연방항공청) 규정을 포함한다. 아래의 그림은 (a)는 Maxar에서 각 데이터 품질 표준에 따라 인증받은 내역을 나타내며, (b)는 AS9100의 인증제도 구조, (c)는 ISO9001의 처리절차를 나타낸다.



(a) CA ISO 9001:2015 and AS9100:2016 인증서



(b) AS9100 인증제도 처리 절차



(c) ISO 9001 처리 절차

<그림 4-105> Maxar 데이터 품질 인증제도

마) 품질관리 방안 조사 결과

해외 ARD 품질관리 방안 사례 조사 및 분석 결과, USGS, ESA, Planet에서는 산출물 품질관리를 위해 특정 주기마다 품질 보고서를 작성하여 품질관리를 실시하고 있으며, 해당 보고서에는 기하 및 방사의 특징, 제품 특징, 제품의 이상현상 등의 내용이 공통으로 기술되어 있었으며, 아래의 표에 품질정보 관리 목록을 정리하여 나타냈다.

USGS는 SDLM모델과 FDGC 표준을 활용해 각 산출물의 처리 단계별 내용을 문서화하여, 동료평가, 신규 산출물과 기존 데이터의 비교, 공간데이터와 지도와의 중첩 등의 방법을 활용해 산출물의 품질을 평가하여 품질관리 문서의 적합성을 검증하고 있다.

ESA의 경우, 자체 소프트웨어를 활용하여 산출물을 생성하여 산출물의 품질을 측정하고 L1C, L2A 제품별로 품질관리 보고서를 월별로 작성하는 것으로 확인되었다.

Planet은 ESA의 품질관리 구조를 가져다 활용하였으며, 각 위성의(PlanetScope, SkySat 등) 제품별 품질관리 보고서 작성을 통해 산출물의 품질을 관리하고 있다.

Maxar는 다른 타 기관과 다르게 국제데이터 품질 표준기관 등의 인증기관의 증명을 3년 주기로 인증을 갱신하여 산출물의 품질이 관리되고 있다. 아래의 표 4-65는 기관별 ARD 품질정보 관리 방안을 정리한 표이다.

<표 4-65> 해외 ARD 선도그룹의 품질관리 방안 정리

구분		USGS	ESA	Planet	Maxar
형태		알고리즘 문서 및 품질관리 보고서 제공			국제 데이터 품질 표준 기관 및 인증기관에서 인증 (인증서 발급)
주기		비주기적	월별	분기별	3 년마다 재인증
표면 반사율 영상 (SR)		<ul style="list-style-type: none"> •MODIS 자료와 대조를 통한 정확도 측정 방법 (LMCCS 구축) •AERONET 데이터셋 기반의 각 밴드별 정확도, 정밀도, 불확실성 측정 •Ground Truth 측정을 활용한 유효성 검증 	<ul style="list-style-type: none"> •산출물의 지표반사율에 대한 정확도 측정 후 정량적 평가로 제공 •Sen2Cor를 기반으로 불확실성 및 정확도 측정 •참조자료 : AERONET-corrected surface reflectance 데이터셋 	<ul style="list-style-type: none"> •LaCrau, GoBabeb RadCalNet 사이트 자료 기반의 각밴드별 정확도, 정밀도, 불확실성 측정 •Landsat, Sentinel-2 위성자료와 표면반사율 상관성 비교·검증 •Landsat과의 AOT 추정치 비교 	-
일반 메타 정보	기 하 정 보	<ul style="list-style-type: none"> •위치정확도 정량적 평가 측정 •수평 및 수직 정확도 오차정보 제공 (RMSE, 처리수준 등) 	<ul style="list-style-type: none"> •Sen2Cor 를 활용하여 산출물의 절대 위치정확도 측정 후 정량적 평가 제공 	<ul style="list-style-type: none"> •절대 위치정확도와 Temporal registration, relative geolocation 의 RMSE 측정 (평균값 , 최대 · 최소값) 	
	복 사 보 정 메 타 정 보	<ul style="list-style-type: none"> •PICS 에서 측정 및 검증 •현장자료 및 참조자료와의 비교분석을 통해 정확도 검증 실시 	<ul style="list-style-type: none"> •PICS 에서 측정 및 검증 •현장자료 및 참조자료와의 비교분석을 통해 정확도 검증 실시 (참조자료: Landsat8 , S2A, S2B) 	<ul style="list-style-type: none"> •참조자료 기반으로 보정 (참조자료 : RadCalNet, SDSU) •RapidEye 와 Landsat 8 / sentinel-2 자료와의 대조 •정확도와 불확실성에 대한 평균값 측정 	
픽셀 단위정보		-	분류정확도 정확도 측정	기계학습 분류 모델 업데이트	

2) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질 관리 방안 수립

가) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질 관리 항목 식별

국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 품질관리를 위한 항목으로는 표면반사율 영상, 일반 메타정보, 픽셀단위정보 등이 있으며 이에 따른 국토위성 및 타 위성별 적용 여부를 아래와 같이 정리할 수 있다.

<표 4-66> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 항목 식별표

항목	내용	포맷	국토위성 적용 여부	타 위성별 적용 여부			
				USGS	ESA	Planet	Maxar
표면반사율 영상(SR)	B · G · R · NIR SR영상	GeoTIFF	○	○	○	○	○
	축소영상	JPEG	○	-	-	-	-
	영상 메타 정보	XML	×	×	×	×	×
일반 메 타 정 보	기 하 보 정 메 타 정 보	위치정확도	○	○	○	○	○
		좌표계	○	○	○	○	○
		투영법	○	○	○	○	○
		원점 위치 좌표	○	○	○	○	○
		영상모서리 위치좌표	○	○	○	○	○
		타일 정보	○	○	○	△ (L3A만 제공)	○
	복 사 보 정 메 타 정 보	기하보정법	○	○	○	○	○
		복사보정법	△	○	○	○	×
		대기보정법	△	○	○	○	×
		오존보정 보조자료	△	×	×	×	×
		수증기보정 보조자료	△	×	○	○	×
		에어로졸 보정 보조 자료	△	○	○	×	×
		보정계수	△	×	×	○	×
픽셀 단위정보	구름	GeoTIFF	○	○	○	○	○
	구름그림자		○	○	○	×	○
	수계		○	○	○	×	○
	지형그림자		○	×	×	○	○
	지형폐색		×	○	×	×	×
	방사포화도		○	○	○	×	○

	미획득자료		○	○	○	×	×
	손실자료		○	○	×	×	×
	데이터 신뢰도		○	○	○	○	×

나) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 정의

해외 ARD 선도그룹별 품질관리 방안 조사 결과, 국토위성 ARD의 품질관리 항목은 품질정보의 제공 형태, 주기, 표면반사율 영상(SR), 일반 메타정보(기하, 복사, 대기보정 정보)로 크게 5가지로 분류되었으며 이를 기반으로 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 품질관리를 정의하였다.

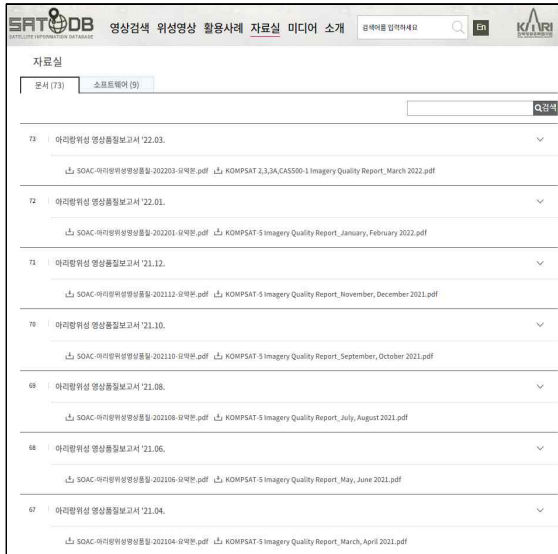
<표 4-67> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 정의

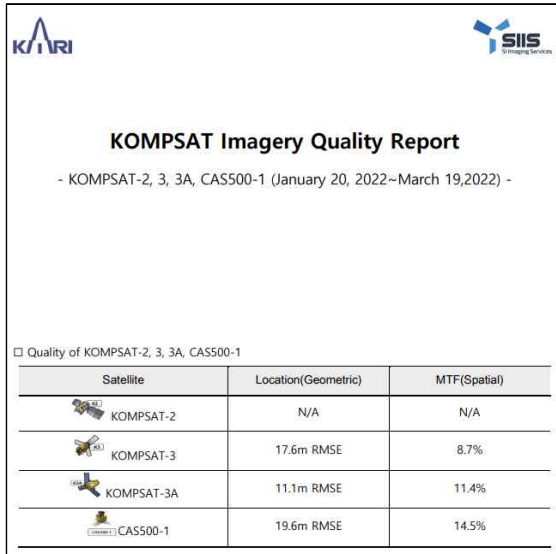
번호	항목		국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 정의 (안)
1	형태		• ARD의 품질정보는 보고서, 인증서 등과 같은 형태로 사용자들에게 제공되어야 한다.
2	제공주기		• ARD의 품질정보는 특정 주기마다 사용자들에게 품질정보를 제공할 수 있어야 한다.
3	표면반사율영상(SR)		• 대기 관련 참조자료 (AERONET 등)를 활용하여 지표반사율에 대한 정확도와 불확실성을 측정해야 한다. • 현장 관측자료 또는 타 위성영상과의 비교·분석을 통해 유효성을 검증할 수 있어야 한다.
4	일반 메타정보	기하보정 메타정보	• 기하보정 정확도는 아래와 같은 방법으로 절대위치정확도를 측정하여 정량적 평가 결과를 제공할 수 있어야 한다. - 특정 SW 를 활용한 기하보정 정확도 산출 - Absolute geolocation - Multi-spectral / Multi-temporal registration
		복사보정 메타정보	• 특정 주기마다 현장 관측을 수행하여 정확도 검증에 필요한 자료를 취득하여 자료의 신뢰성을 확보해야 한다. • 복사보정과 관련된 계수와 참조자료와의 비교 및 분석을 통한 복사보정에 대한 정량적 평가 결과를 제공할 수 있어야 한다.
5	픽셀단위정보		• 참조자료와의 비교 및 분석을 통해 픽셀단위정보에 대한 정확도를 검증이 가능해야 한다. • 다만, 픽셀단위정보의 각 항목은 보조자료로써 제공하기 때문에 정확도 세부 검증 계획은 추후 논의가 필요하다.

다) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 방안

국토위성 사용자 친화형 영상 제품 정의에 따른 품질관리 방안은 아래 표 4-68과 같이 정리하였으며, 자세한 내용은 다음 페이지에 서술하였다. 주요 항목 중 품질관리 주기는 그림 4-106과 같이 한국항공우주연구원의 아리랑 영상품질보고서 형태와 제공주기가 1~2개월인 점을 참고하여 분기(3개월)별 혹은 반기(6개월)별로 제공하는 것으로 설계하였다.

또한, 분기 혹은 반기별로 측정된 품질정보는 시스템 내 품질정보DB가 구축되기 전까지 관리자가 보고서 형태로 저장 및 관리하는 방안으로 수립하였다.





<그림 4-106> 한국항공우주연구원의 아리랑위성 영상품질보고서 제공 현황 (KSATDB)

<표 4-68> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 항목

주요 항목		품질관리 방안 도출 결과 (안)
형태		<ul style="list-style-type: none"> 국토위성 산출물 품질 관련 정보는 사용자가 제품 정보를 쉽게 접근할 수 있도록 보고서 형태로 제공되어야 한다.
주기		<ul style="list-style-type: none"> 국토위성 산출물 품질 관련 정보는 분기 혹은 반기별로 사용자에게 보고서 형태로 제공되어야 한다.
표면반사율영상(SR)		<ul style="list-style-type: none"> 표면반사율 영상 정확도 검증을 위해 3개월 또는 6개월마다 현장 관측을 통한 검보정 활동을 수행해야 할 것으로 판단된다. 현장 관측자료 또는 국토위성 유사사양의 위성과의 비교·분석을 통해 정확도 검증을 수행해야 할 것으로 판단된다. 절대대기보정 정확도 검증의 참조자료인 대기관측자료도 동시에 확보해야 한다.
일반 메타정보	기하보정 메타정보	<ul style="list-style-type: none"> 3개월 또는 6개월에 1번 남·북한을 대상으로 샘플 사이트를 선정하여 검증자료를 확보해야 한다. 아래의 항목과 같은 절대 위치정확도를 측정하여 정량적 평가를 제공해야 한다. <ul style="list-style-type: none"> Absolute geolocation Multi-spectral / Multi-temporal registration
	복사보정 메타정보	<ul style="list-style-type: none"> 3개월 또는 6개월에 1번 현장 관측을 통해 정확도 검증에 필요한 자료를 취득해야 한다. 참조자료와의 비교 및 분석을 통해 정확도 검증을 수행할 수 있어야 한다. <ul style="list-style-type: none"> 참조자료 : 타 위성 자료(Landsat, Sentinel-2 등), RadCalNet, SDSU
픽셀단위정보		<ul style="list-style-type: none"> 3개월 또는 6개월에 1번 혹은 검보정 수행 시 한반도 내 샘플 사이트를 선정하여 정량적 평가를 수행하고 검증 결과를 사용자에게 제공해야 한다. 참조자료와의 비교 및 분석을 통해 정확도 검증을 수행할 수 있어야 한다. 다만, 픽셀단위정보의 각 항목은 보조자료로써 제공하기 때문에 정확도 검증 계획은 추후 논의 필요하다.

(1) 검증용 영상 선정

국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 품질관리를 위해 10 scene 내외의 검증용 영상을 확보한다. 정해진 주기별로 새로운 품질정보를 확보하기 위해 기존 영상이 아닌 3개월 혹은 6개월 내 촬영된 신규 영상 중 검증용 영상을 선정한다. 영상 선정 과정에서 위성 센서의 틸트 및 대기 상태가 좋지 못할 경우, 신뢰성 있는 품질정보 제공이 어렵기 때문에 센서의 틸트가 20° 내면서 구름의 양이 적은 영상(표 4-69 기준 A)을 선정하되, 픽셀단위정보 중 구름 산출물의 품질정보를 확보를 위해 구름이 관측된 영상(표 4-69 기준 B) 2 scene을 포함한다.

향후 국토위성센터 자체 검증용 사이트가 확보된다면 검증용 사이트가 촬영된 시계열 영상을 확보하여 검증용 영상으로 사용한다.

<표 4-69> 한국항공우주연구원에서 제시한 운량조건

A	B	C	D	E
0 %	10 %	25 %	75 %	100 %

(2) 표면반사율 영상

표면반사율 영상은 3-나의 대기보정 산출물 검토정 방안에서 서술된 방법으로 품질정보를 측정할 수 있으며, 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 제작에 사용된 Scene 단위 표면반사율 영상을 이용하여 품질정보를 산출한다. 표면반사율 영상의 품질정보는 검증용 영상에 대한 산출평균 정확도로 제공해야 한다.

(3) 기하보정 메타정보

기하보정 정보는 2가지 방법으로 구분하여 품질정보를 제공할 수 있으며, 검증용 영상에 대한 산출평균 정확도를 제공해야 한다.

- 입력영상(L2G)에 사용된 GCP Chip의 모델링 정확도(Modeling accuracy) 및 교차검증 정확도(Jackknife accuracy) 제공
- 수치지형도 (1:5,000)을 이용한 위치정확도 분석 결과 제공

첫 번째 방법은 정밀정사보정에 사용된 GCP chip의 평균 모델링 정확도와 평균 교차검증 정확도를 제공하는 방법으로 관리자가 추가적으로 검증을 수행할 필요 없이 Log에 기록된 정보를 이용하여 기하보정 정보의 품질을 관리하는 방안에 해당한다.

두 번째 방법은 관리자가 위치정확도 검증을 위해 직접 국토지리정보원에 보유한 1:5,000 수치지형도를 이용하여 위치오차를 측정 및 제공하는 방법이다. 관리자는 위치정확도 검증을 위해 국토

위성영상과 수치지형도의 전체 영역에서 9점의 검사점의 수집하여 픽셀 혹은 Meter 단위의 평균 위치오차 및 RMSE를 측정해야 한다. 해당 방법은 아래 그림 4-107과 같은 절차로 수행할 수 있으며, 다중분광 및 시계열 위치정확도도 같은 방법으로 측정할 수 있다.



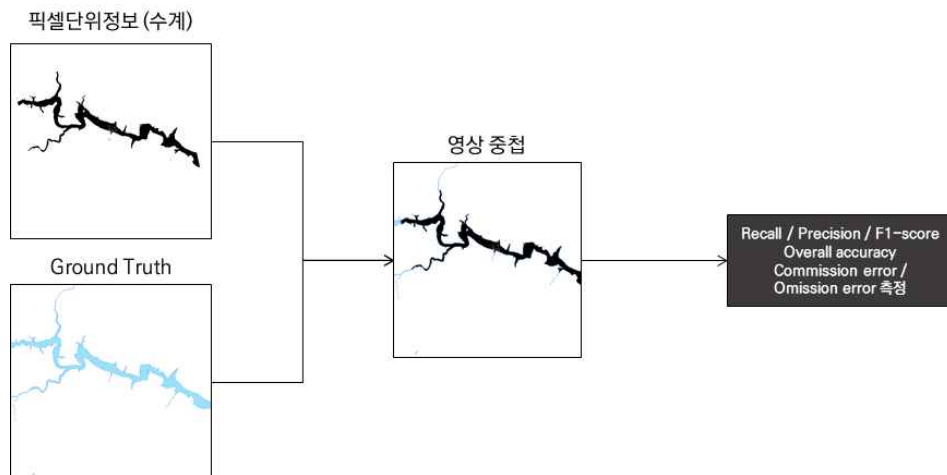
<그림 4-107> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 위치정확도 검증 방법 예시

(4) 복사보정 메타정보

복사·대기보정 정보는 3-가의 KOMPSAT-3A 품질관리 및 검보정 방향 및 절대복사보정계수 주기적 갱신 방안에서 서술된 방법으로 품질정보를 측정할 수 있다. 복사보정 메타정보의 품질정보는 검증용 영상에 대한 밴드별 절대복사보정계수(Gain, Offset)와 상관계수(R) 혹은 결정계수(R^2), 검증 사이트 정보를 제공해야 한다.

(5) 픽셀단위정보 메타정보

픽셀단위정보는 관리자가 픽셀단위정보 제작에 사용한 수치지형도 및 수동으로 수집한 참값 자료를 이용하여 8개 산출물에 대한 품질정보를 측정할 수 있으며, Scene 단위 픽셀단위정보 산출물을 기반으로 품질정보를 산출한다. 픽셀단위정보의 품질정보는 검증용 픽셀단위정보에 대한 산술평균 정확도로 제공해야 한다. 픽셀단위정보의 검증 절차는 아래 그림 4-108과 같다.



<그림 4-108> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 픽셀단위정보 검증 방법 예시

제5장

추가 제안

-
1. 시범제작 산출물 상호운용성 검증
 2. 시범제작 산출물 기계가독성 검증
 3. 항공기, 드론 등의 융복합 가능성 분석
 4. 향후 연구 방향 제시

1. 시범제작 산출물 상호운용성 검증

가. 연구 개요

국토위성 사용자 친화형 영상 제품 산출물의 상호운용성은 국내 지역을 촬영 및 서비스 중인 Landsat, Sentinel, RapidEye 등의 타 위성자료를 확보하여 국토위성 활용산출물 간의 비교 분석을 통해 수행한다. 국토위성자료와 타 위성자료의 비교 분석을 위해서는 상호 좌표계 일치와 격자(공간)해상도의 조정이 필요한 것으로 파악되었다. 현재 ARD를 제공 중인 Landsat, Sentinel은 국토위성에서 사용하고 있는 지리좌표체계와 공간해상도가 상이하기 때문에 본 장에서는 좌표계를 상호 일치시키기 위한 좌표변환과 격자체계를 동일하게 만들어주기 위한 리샘플링 작업을 수행하였다. 두 위성자료의 중첩 작업을 통해 표면반사율 및 픽셀단위정보에 대한 비교 분석을 진행한다. 상호운용성 검증에는 육안 판독으로 비교 검증하는 정성적인 방법과 두 위성자료의 유사성을 수치적으로 파악 가능한 정량적인 방법을 적용한다.



<그림 5-1> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 상호운용성 검증 과정

나. 연구 내용

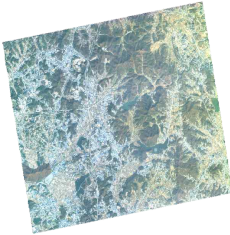
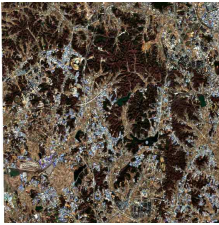


1) 사용 자료

시범제작 산출물의 상호운용성 검증을 위해 남·북한 지역을 대상으로 아래 표와 같이 국토위성과 동일 시기 및 지역의 타 위성자료를 수집하였다. 경기도 화성시, 함경북도 청진시, 경기도 의왕시, 충북 단양군 지역을 대상으로 타 위성자료로는 Landsat8-9, Sentinel-2 , Skysat 위성영상을 수집하였다. 아래 표 5-1과 같이 국토위성영상을 제외한 나머지 타 위성영상은 모두 WGS84 - UTM 좌표체제시스템을 사용하고 있다.

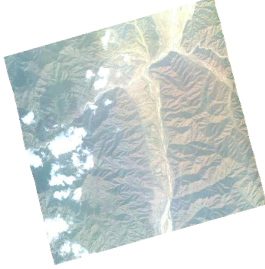
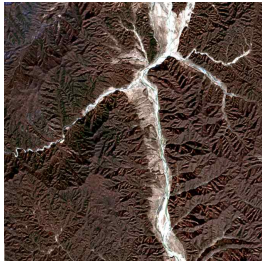
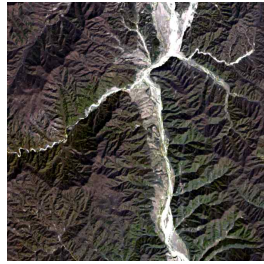
<표 5-1> 국토위성영상 및 Landsat8-9, Sentinel-2, Skysat 위성영상 좌표체계

	CAS500	Sentinel-2	Landsat8-9	Skysat
좌표계	UTM-K (EPSG:5179)	WGS84-UTM (EPSG:32652)		


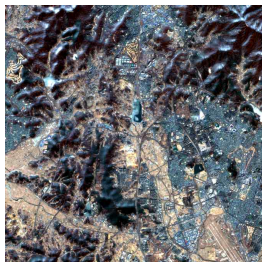

<표 5-2> 경기도 화성 지역의 국토위성영상 및 타 위성영상 수집 목록

구분	CAS500	Sentinel-2	Landsat8	Skysat
화성				
촬영 일자	2021.11.17	2021.11.25	2021.11.28	2021.11.14
GSD (m)	2.0m	10.0m	30.0m	0.5m

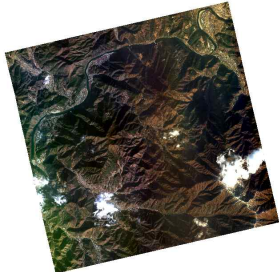

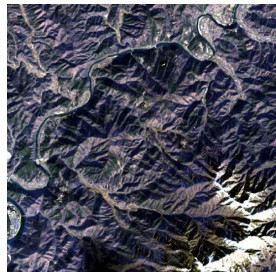
<표 5-3> 황해북도 청진 지역의 국토위성영상 및 타 위성영상 수집 목록

구분	CAS500	Sentinel-2	Landsat8
청진			
촬영 일자	2021.11.04	2021.11.13	2021.10.26
GSD (m)	2.0m	10.0m	30.0m

<표 5-4> 경기도 의왕 지역의 국토위성영상 및 타 위성영상 수집 목록

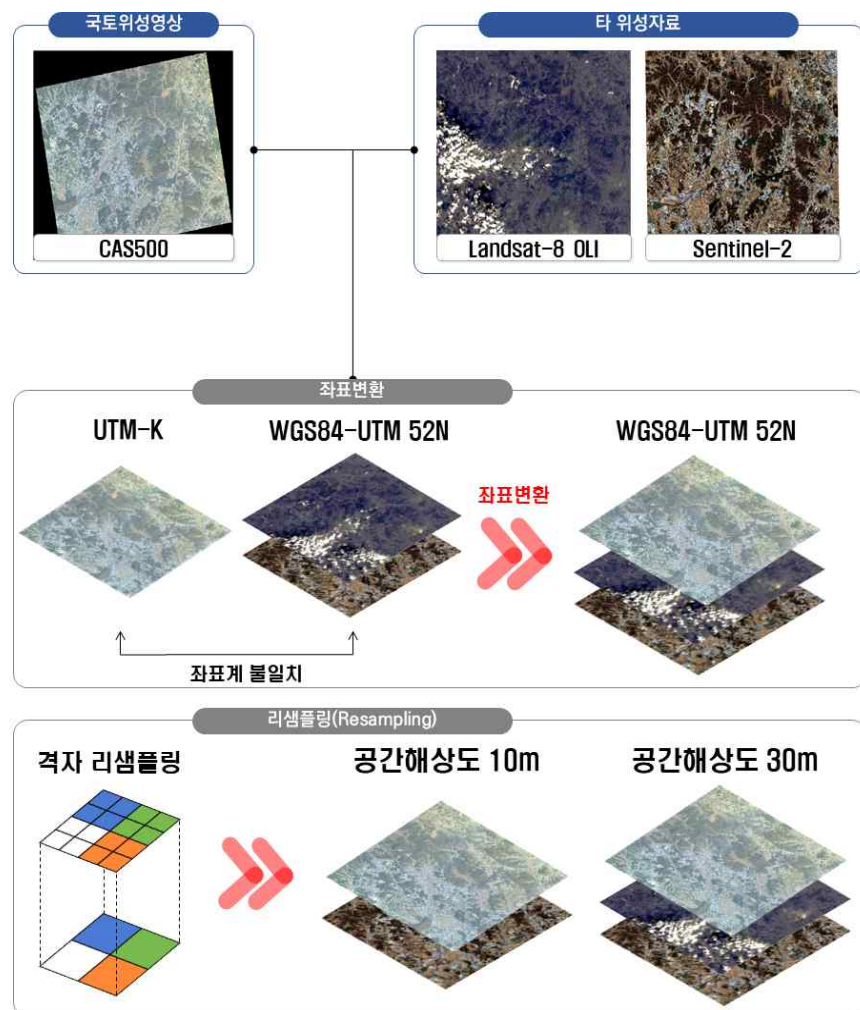
구분	CAS500	Sentinel-2	Landsat9
의왕			
촬영 일자	2022.02.17	2022.02.11	2022.02.05
GSD (m)	2.0m	10.0m	30.0m

<표 5-5> 충청북도 단양 지역의 국토위성영상 및 타 위성영상 수집 목록

구분	CAS500	Sentinel-2	Landsat8
단양			
촬영 일자	2021.12.17	2021.12.23	2021.12.04
GSD (m)	2.0m	10.0m	30.0m

2) 전처리 과정

시범제작 산출물의 상호운용성 검증을 위해서는 타 위성자료와 국토위성영상 산출물 간의 중첩을 통한 영상분석이 요구된다. 하지만, 타 위성자료와 국토위성영상(픽셀단위정보)는 격자 해상도와 좌표정보체계가 상이하기 때문에 시범제작 산출물의 상호운용성을 검증하기 전 전처리 과정을 통해 일치시켜주는 작업이 필요한 것으로 판단했다. 본 장에서는 국토위성영상과 픽셀단위정보의 좌표체계를 타 위성자료의 좌표체계로 변환한 다음 공간해상도를 타 위성 공간해상도와 동일하게 각각 10m, 30m로 변환하여 상호운용성 검증을 수행하였다.




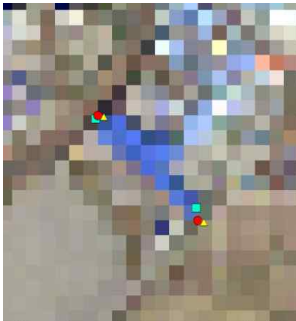
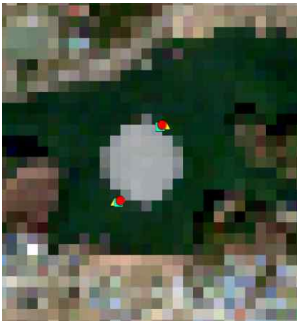


<그림 5-2> 시범제작 산출물 상호운용성 검증을 위한 전처리 과정

3) 위치정확도 검증

시범제작 산출물의 상호운용성 검증을 위해서는 타 위성자료와 국토위성영상 산출물 간의 중첩을 통한 영상분석이 요구된다. 앞서 서술한 전처리 과정을 통해 타 위성자료와 국토위성영상(픽셀 단위정보)의 격자 해상도와 좌표정보체계를 일치시킨 후 격자 크기를 동일한 크기로 리샘플링 하는 작업을 수행하였다. 위치정확도 검증에는 경기도 화성시 지역, 함경북도 청진시 지역, 경기도 의왕시 지역(도심지), 충북 단양군 지역(산림지)을 대상으로 수행하였으며 각 지역의 위성영상별로 동일한 위치에 대한 X, Y 좌표를 화성시와 의왕시는 20개의 지점에서, 충북 단양군은 15개의 지점에서 추출하여 검증을 진행하였다.


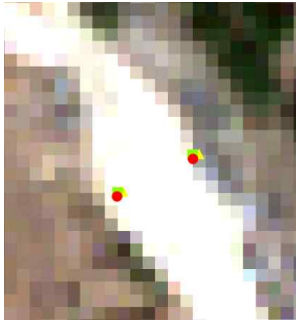

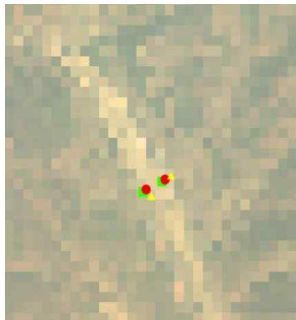
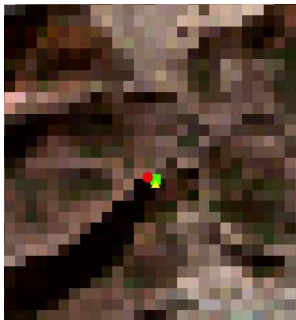
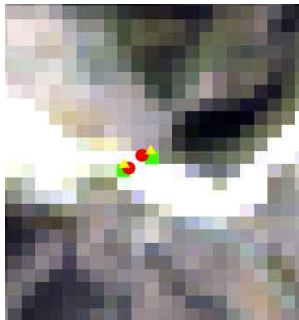
<표 5-6> 국토위성영상-타 위성자료 간의 위치정확도 검증을 위한 X,Y 좌표 추출 (화성)

	#1	#2	#3
10m GSD			
30m GSD			

<표 5-7> 국토위성영상-타 위성자료 간의 X, Y, XY 오차 (화성)

		10m GSD			30m GSD		
		$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta XY(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta XY(m)$
CAS-Sentinel	Avg.	4.37	5.71	7.64	15.23	9.11	19.84
	RMSE	5.43	6.27	8.29	15.41	18.14	23.80
CAS-Landsat	Avg.	6.42	7.68	11.26	14.95	7.09	19.40
	RMSE	8.29	8.72	12.03	15.26	16.67	22.60




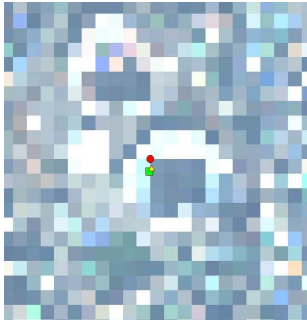
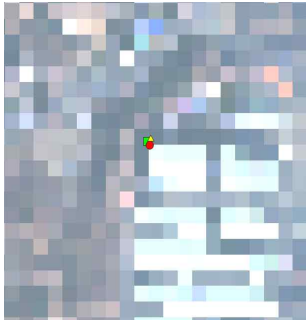
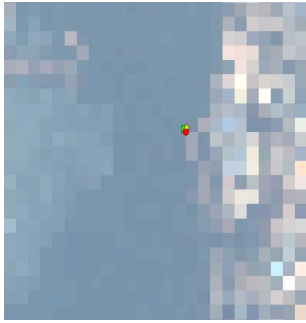
<표 5-8> 국토위성영상-타 위성자료 간의 위치정확도 검증을 위한 X,Y 좌표 추출 (청진)

	#1	#2	#3
10m GSD			
30m GSD			

<표 5-9> 국토위성영상-타 위성자료 간의 X, Y, XY 오차 (청진)

		10m GSD			30m GSD		
		$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta XY(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta XY(m)$
CAS-Sentinel	Avg.	2.60	5.39	6.81	16.22	10.05	20.38
	RMSE	5.02	6.86	8.50	16.94	14.65	22.40
CAS-Landsat	Avg.	7.66	5.19	10.08	8.85	11.90	16.46
	RMSE	9.53	6.15	11.34	11.83	13.54	17.98

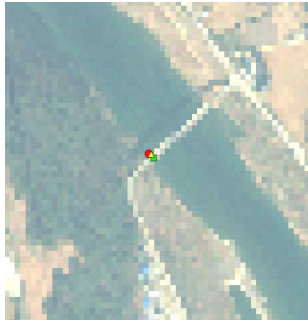
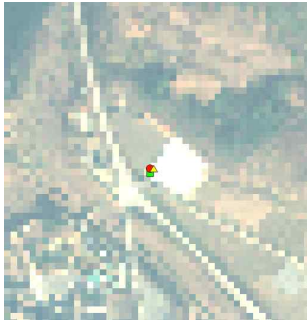
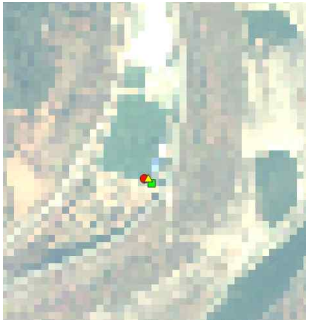
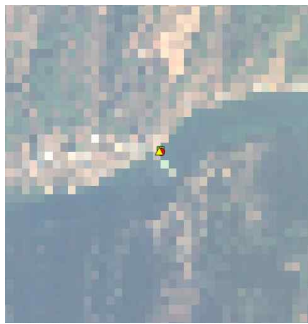
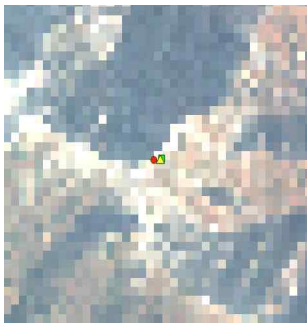
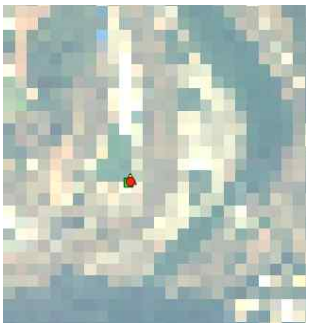
<표 5-10> 국토위성영상-타 위성자료 간의 위치정확도 검증을 위한 X,Y 좌표 추출 (의왕)

	#1	#2	#3
10m GSD			
30m GSD			

<표 5-11> 국토위성영상-타 위성자료 간의 X, Y, XY 오차 (의왕)

		10m GSD			30m GSD		
		$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta XY(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta XY(m)$
CAS-Sentinel	Avg.	3.32	4.84	6.12	4.17	7.93	9.93
	RMSE	3.98	4.88	6.30	6.60	9.25	11.40
CAS-Landsat	Avg.	5.34	5.43	8.77	4.87	12.86	14.78
	RMSE	7.08	6.51	9.62	7.67	12.71	14.84

<표 5-12> 국토위성영상-타 위성자료 간의 위치정확도 검증을 위한 X,Y 좌표 추출 (단양)

	#1	#2	#3
10m GSD			
30m GSD			

<표 5-13> 국토위성영상-타 위성자료 간의 X, Y, XY 오차 (단양)

		10m GSD			30m GSD		
		$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta XY(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta XY(m)$
CAS-Sentinel	Avg.	4.66	6.36	9.01	8.77	6.40	13.95
	RMSE	6.66	7.17	9.79	15.63	10.61	18.90
CAS-Landsat	Avg.	5.55	3.58	7.01	11.40	4.38	13.86
	RMSE	6.09	4.85	7.78	15.01	8.85	17.43

리샘플링한 위성영상 간의 위치정확도를 상호 비교한 결과, RMSE 오차가 모두 1픽셀 이내로 들어오는 것을 확인할 수 있었으며, Landsat 보다 GSD가 상대적으로 높은 Sentinel이 RMSE도 보다 낮게 나타나는 것을 확인하였다. 또한, 4개 지역 중 촬영 센서의 틸트가 20도 이상이었던 화성 지역의 위치오차의 경우 다른 3개 지역과 비교하여 상대적으로 높은 것을 확인할 수 있었지만(표 5-7), 그림에도 1픽셀 이내의 차이만을 보이고 있었다.

4) 육안 검증






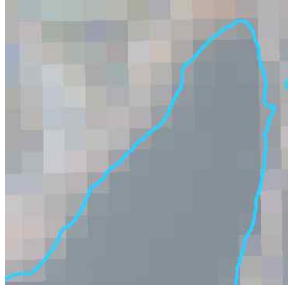
시범제작 산출물의 상호운용성 검증을 위해 육안 판독을 수행하였다. 육안 판독은 국토위성영상을 포함한 위성자료와 픽셀단위정보(수계)의 중첩분석을 통해 수행하였으며, 중·저해상도 위성영상인 Sentinel-2 영상과 Landsat 영상을 이용한 육안 검증과 고해상도 위성영상인 Skysat 영상을 이용한 육안 검증으로 나누어 진행하였다.


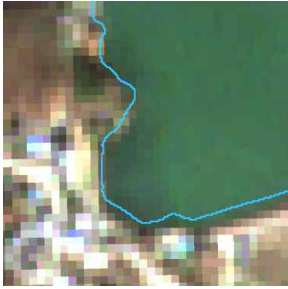
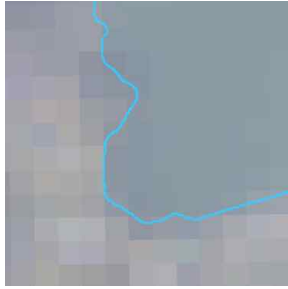

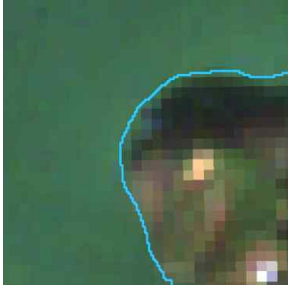

가) 중·저해상도 위성영상을 활용한 육안 검증

중·저해상도 위성영상인 Sentinel-2 영상 및 Landsat 영상에 국토위성영상 기반으로 제작된 픽셀단위정보(수계)를 중첩하여 육안 판독을 진행하였다. 픽셀단위정보는 국토위성영상과의 경계선 매칭이 가장 정확하게 나타나는 것을 확인하였으며, Sentinel-2 영상과의 매칭 정확도 또한 비교적 높았으나, 공간해상도가 10m인 점에서 1픽셀 내외의 오차가 관측되었다. Landsat 영상에서는 면적이 넓은 호수에서는 매칭이 가능하였으나, 경계선이 불분명한 하천, 호수 외곽 혹은 수계 범위 내 다리, 토사 등과 같은 객체는 정확하게 식별되지 않는 문제를 확인할 수 있었다.

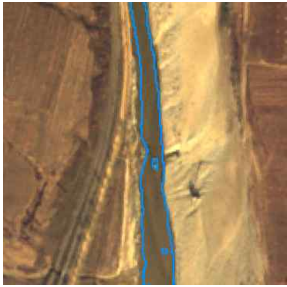
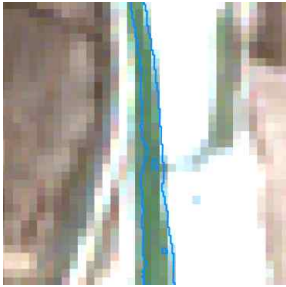
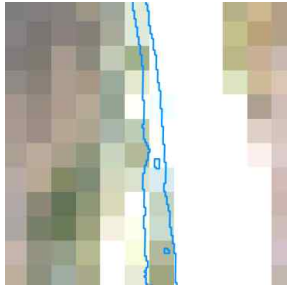
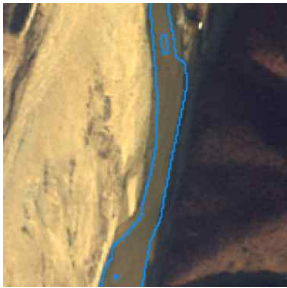

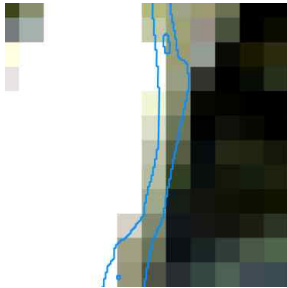


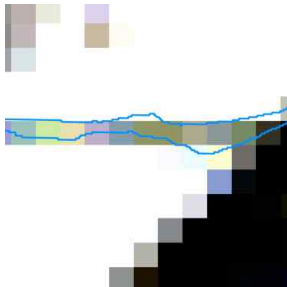
중·저해상도를 이용한 수계 관련 연구는 공간해상도의 한계로 수계의 경계가 불분명하여 참조자료로 고해상도 위성영상 혹은 고해상도 위성영상에서 비롯된 GT 자료와 비교하곤 한다. 이러한 점을 미루어 보아 국토위성영상 및 픽셀단위정보는 충분히 활용 가치가 매우 높을 것으로 생각된다.

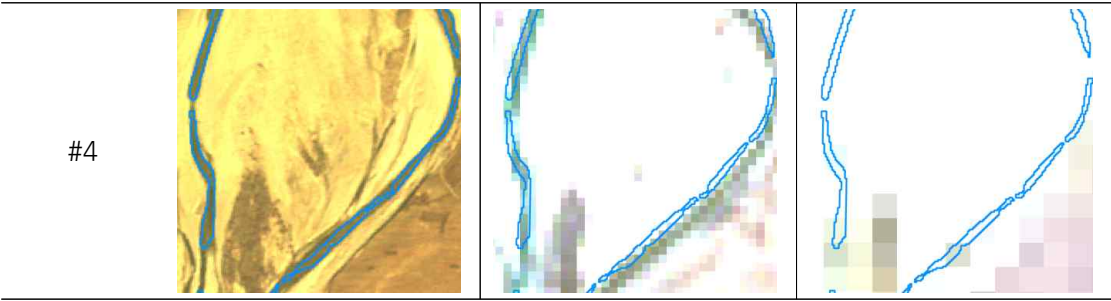
<표 5-14> 중·저해상도 위성영상을 활용한 육안 검증 (화성)

	CAS500	Sentinel-2	Landsat8
#1			
#2			

#3			
#4			

<표 5-15> 중 · 저해상도 위성영상을 활용한 육안 검증 (청진)


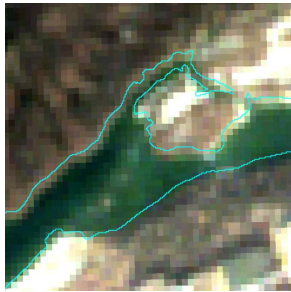
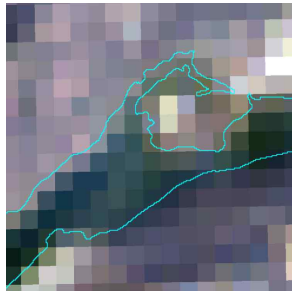


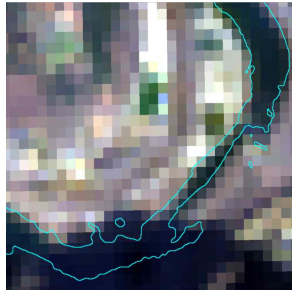


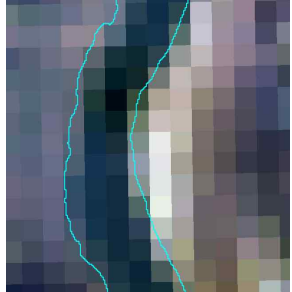


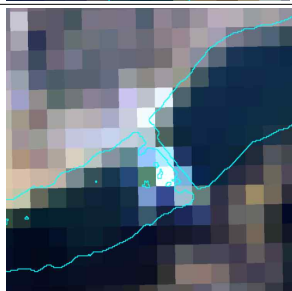
	CAS500	Sentinel-2	Landsat8
#1			
#2			
#3			



<표 5-16> 중 · 저해상도 위성영상을 활용한 육안 검증 (의왕)

	CAS500	Sentinel-2	Landsat8
#1			
#2			
#3			
#4			

<표 5-17> 중·저해상도 위성영상을 활용한 육안 검증 (단양)

	CAS500	Sentinel-2	Landsat8
#1			
#2			
#3			
#4			

나) 고해상도 위성영상을 활용한 육안 검증









국토위성영상과 Planet 사의 고해상도 위성영상 중 하나인 Skysat 영상에 픽셀단위정보를 중첩하여 육안 검증을 진행하였다. 앞서 진행한 중·저해상도 위성영상을 이용한 육안 검증과 다르게 Skysat 영상의 경우, 영상 경계 부근에서 접합이 되지 않은 이슈가 확인되었다. 국토위성영상이 정밀정사가 수행되었음에도 국토위성은 21.7° , Skysat은 25.9° 만큼 틸트 되어있기 때문에 이러한 영상정합 불일치 현상이 관측된 것으로 분석된다. 이러한 영상정합 불일치가 있음에도 국토위성영상 기반 픽셀단위정보는 Skysat 영상과 중첩하였을 때 수체 경계가 비교적 정확하게 위치한 것을

확인할 수 있었으며, 참조자료에서 수계라고 표현된 일부 영역이 시계열 변화 혹은 주변 건축물에 가려져 수계로 나타나지 않는 점이 같이 확인되었다. 1:5,000 수치지형도 레이어를 중첩하여 확인한 결과에서는 수치지형도의 수계 경계와 영상이 일치하지 않는 현상이 확인되었다. 시계열 변화로 지표물의 변화가 있는 점이 가장 큰 주된 원인으로 확인되었으며, 이러한 문제는 향후 국토관측위성을 활용하여 수치지형도와 같은 보조자료를 주기적으로 수정하고 검증하여 보완할 수 있을 것으로 생각된다.











<그림 5-3> 국토위성영상과 Skysat의 경계 불일치 현상

<표 5-18> 고해상도 위성영상 및 1:5,000 수치지형도를 이용한 육안 검증 (화성)

	CAS500	Skysat
#1		
#2		
#3		
#4		

<표 5-19> 고해상도 위성영상을 활용한 육안 검증 (화성)

	CAS500	Skysat
#1		
#2		
#3		
#4		

다. 결론

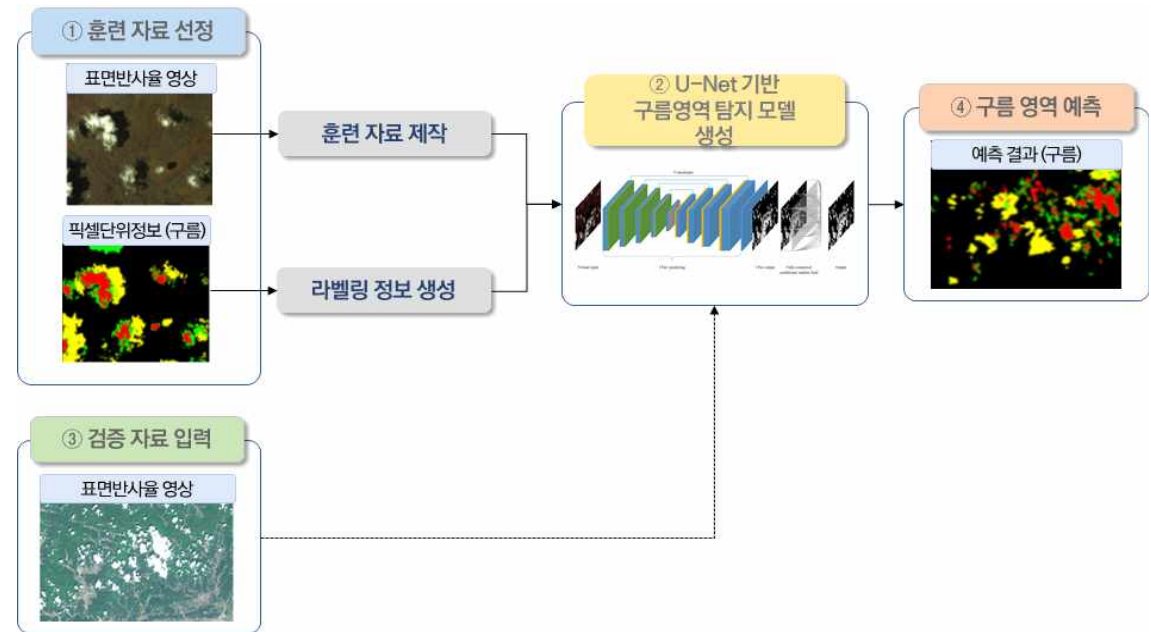
국토위성 사용자 친화형 영상 제품 시범제작 산출물의 상호운용성을 검증하기 위해 국토위성영상과 타 위성자료를 이용하여 정성적 평가와 정량적 평가를 통한 검증을 수행하였다. 국토위성영상의 위치정확도를 검증하기 위해 전처리 과정을 수행하였으며, 국토위성영상은 우리나라 지리좌표 표준체계를 사용하고 있어 타 위성자료의 좌표체계로 변환하는 과정을 수행하였다. 이후 격자체계를 통일하기 위해 리샘플링을 수행하여 통해 각각 10m, 30m로 새로운 격자영상을 생성하였다.

리샘플링 된 영상에서 동일 지점에 위치한 특징점을 추출하여 위치 오차를 비교한 결과, 중·저해상도 위성영상을 이용한 상호운용성 검증 결과에서는 모두 1픽셀 내외의 오차를 보이며, 중·저해상도-고해상도 영상간의 상호 위치정확도는 매우 정밀한 것으로 나타났다. 국토위성영상의 MS는 2m, Pan은 0.5m인 점을 고려하였을 때, 향후 2025년부터 농촌진흥청-산림청에서 운용 계획 중인 농림위성을 포함하여 Sentinel, Landsat, MODIS 위성영상의 검증자료로써 국토위성영상의 활용 가치가 매우 높을 것으로 판단된다. 또한, 중·저해상도 위성영상 뿐만 아니라 고해상도 위성영상 간의 복사·대기 혹은 기하보정 상호 검증자료로 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 수요가 증가할 것으로 전망된다.

2. 시범제작 산출물 기계가독성 검증

가. 연구 개요

국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 제공 목적인 사용자가 별도의 처리없이 국토위성 표면반사율 영상과 픽셀단위정보를 활용할 수 있는가에 대한 검증을 수행하기 위해 시범제작 산출물을 기반으로 기계가독성 검증을 수행하였다. 기계가독성 검증을 통해 시범제작 산출물이 사용자 친화형 영상 제품의 요구사항을 충족하는지에 대한 여부를 파악하고 시범제작 산출물의 결과를 검증한다. 기존에 구축된 U-Net 기반 구름영역 탐지 딥러닝 모델을 이용하고 국토위성영상 및 픽셀단위정보를 기반으로 제작한 영상 패치를 딥러닝 테스트의 훈련자료로 사용하여 사용자 친화형 영상 제품 산출물에 대한 기계가독성을 검증한다(그림 5-4).



<그림 5-4> 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 기계가독성 검증 과정

나. 연구 내용

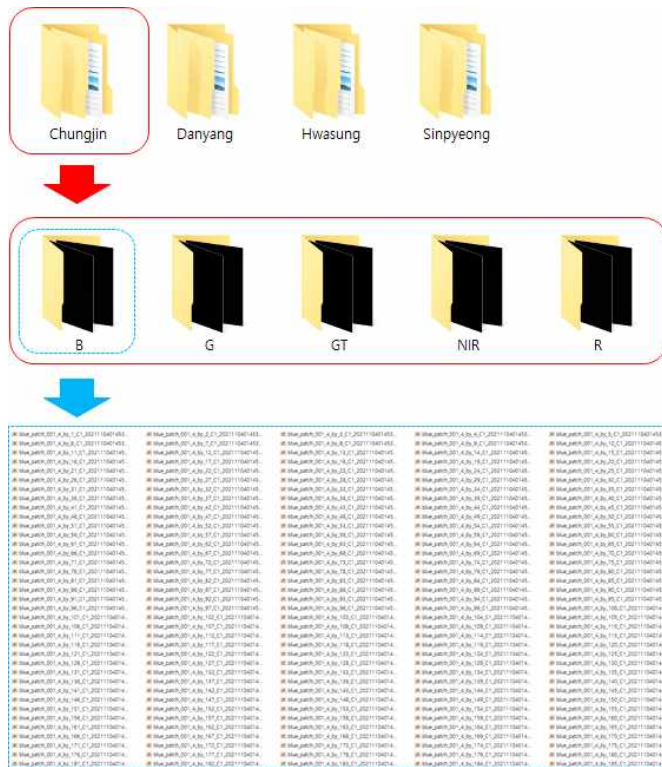
1) 영상 패치 제작

기계가독성 검증에 사용할 모델인 딥러닝 모델 중 하나인 U-Net 모델의 훈련자료는 기본적으로 패치(Patch) 단위를 입력으로 받는다. 그래서 U-Net 모델 학습 전, 국토위성영상 및 픽셀단위정보를 이용하여 영상 패치(학습자료)를 제작하였다. 영상 패치 제작은 경기도 화성, 충청북도 단양, 함경북도 청진, 함경북도 신평 총 4개 지역의 국토위성영상을 이용하였으며, 표 5-20은 영상 패치 제작에 사용된 국토위성영상 리스트를 나타냈다. 기존에 구축된 U-Net 모델의 훈련 및 검증자료에 사용된 영상 패치 크기와 동일하게 384×384 크기로 패치를 제작하였다.

<표 5-20> 국토위성영상 패치 정보

	경기도 화성시	충청북도 단양군	함경북도 청진시	함경북도 신평군
카탈로그 ID	C1_2021111702 1545_03647_000 70141_L2G	C1_2021121701 5822_04103_004 44810_L2G	C1_2021110401 4533_03449_000 50757_L2G	C1_2021121202 0142_04027_006 51519_L2G
촬영일자	2021.11.17	2021.12.17	2021.11.04	2021.12.12
영상크기	384 × 384 × 4			
학습자료 수	378장	342장	399장	361장
	총 1,480장			

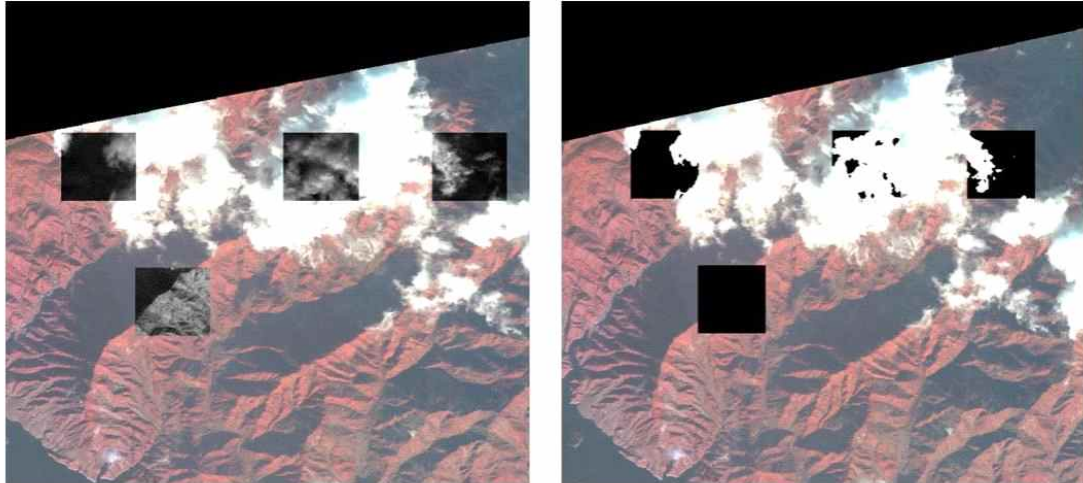
국토위성영상 영상 패치는 Blue, Green, Red, NIR, GT(Ground truth) 총 5개의 각 폴더로 구분하여 화성지역은 378장, 단양지역은 342장, 청진지역은 399장, 신평지역은 361장으로 총 1,480장의 학습자료를 제작하였다(그림 5-5). 제작된 국토위성영상 기반의 영상 패치는 U-Net 모델의 훈련 및 검증자료로 사용하였으며, 그림 5-6은 국토위성영상 기반 패치 제작 결과를 QGIS 소프트웨어로 자료를 업로드하여 검증한 결과를 나타낸다.



<그림 5-5> 국토위성영상 및 픽셀단위정보 기반 영상 패치 제작 현황

신평 지역 Blue 밴드 패치

신평 지역 픽셀단위정보 패치

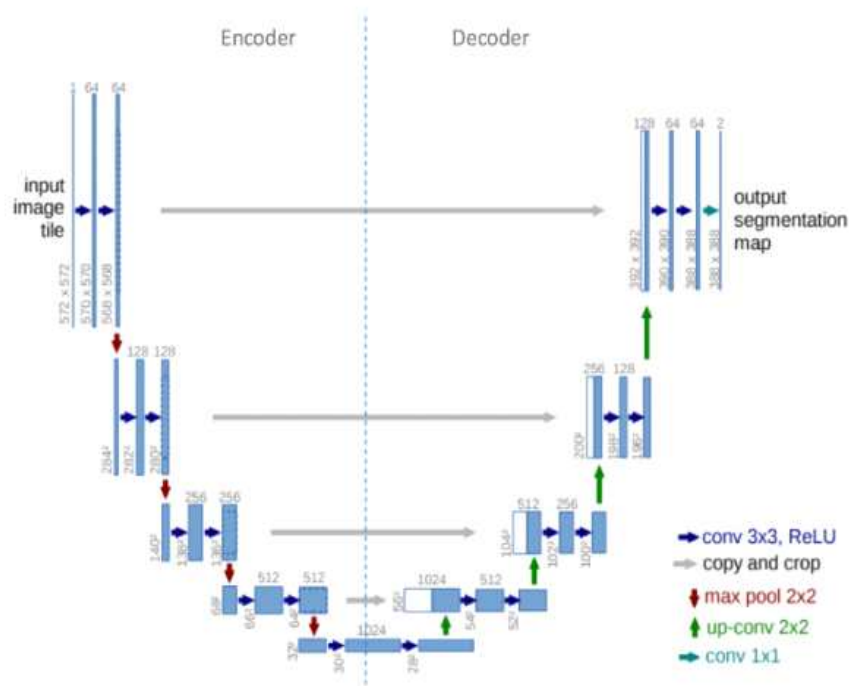


<그림 5-6> 국토위성영상 및 픽셀단위정보 기반 영상 패치 제작 결과

2) U-Net 모델 훈련 및 검증

가) U-Net 모델 구조

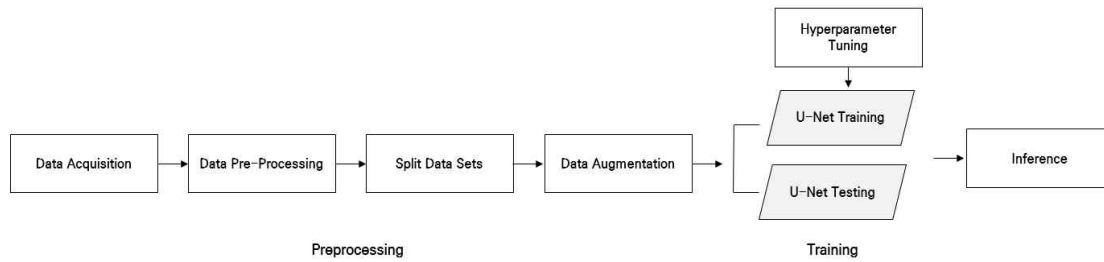
U-Net 기반 구름 영상 탐지 딥러닝 모델은 영상 분할(Image segmentation)을 목적으로 제안된 U자 형태의 네트워크를 나타낸다(그림 5-7). 기존 CNN 모델은 단순 분류(Classification)를 목적으로 사용되었다면, U-Net 모델은 분류와 지역화(Localization)를 목적으로 사용된다. End to End 방식으로 이미지 처리 속도가 빠르며 Data Augmentation을 활용하여 적은 양의 학습자료만으로 모델 학습이 가능하다는 장점을 가지고 있다.



<그림 5-7> U-Net 모델 구조

나) U-Net 모델 테스트 과정

그림 5-8는 U-Net 모델 기반 훈련 및 검증 과정을 나타낸다. U-Net 모델에 국토위성영상과 픽셀단위정보를 입력자료로 구성하고 해당 입력자료는 훈련자료와 검증자료로 분할하여 테스트를 진행한다. 훈련에 적합한 하이퍼파라미터를 적용하여 모델을 훈련 시킨 후 검증자료의 구름 영역을 예측한다. 입력자료에 대한 예측 결과는 2차원 영상자료와 탐지 정확도로 산출되며 예측된 결과를 바탕으로 국토위성의 사용자 친화형 영상 제품 산출물에 대한 기계가독성 검증을 진행한다.



<그림 5-8> U-Net 모델 훈련 및 검증 과정

다) U-Net 모델 테스트 환경설정

시범제작 산출물의 기계가독성 검증을 위한 U-Net 모델 테스트의 실험환경을 아래 표 5-21, 표 5-22와 같이 조성하였다. 딥러닝 코드 개발은 Python 언어 기반 Pytorch 라이브러리를 이용하고 훈련과정에서 손실 함수는 SCCE(Sparse Categorical Cross-Entropy)를 사용하였다. 세밀한 가중치 부여를 위해 학습률(learning rate)은 0.01로 설정하고 옵티마이저는 학습의 안정성과 속도를 보장하는 ADAM(Adaptive Moment Estimation)을 사용하였다. 하이퍼파라미터 값을 조정하여 학습을 진행한 후, 딥러닝 모델 테스트에 적절한 파라미터값을 선정하여 모델 학습을 진행하였다(표 5-23).

<표 5-21> 실험 가상환경 제원

항목	설명
IDE	Spyder (Anaconda3)
Python ver.	3.7.11
Conda ver.	4.10.3
Pytorch ver.	1.10.1
Cuda ver.	11.1

<표 5-22> 실험 데스크탑 제원

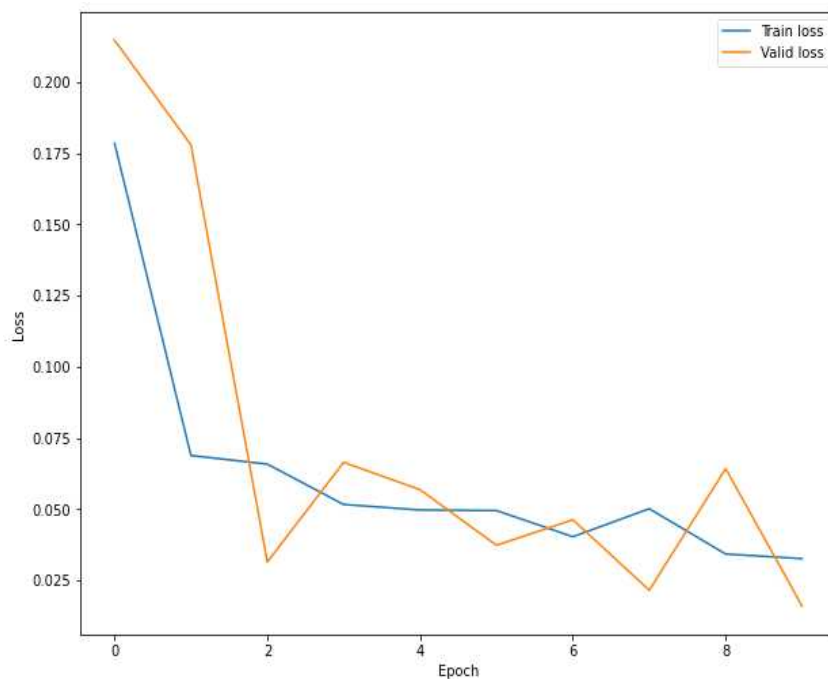
항목	설명
OS	Window 10
CPU	i5-12100k
RAM	32GB
GPU	GTX1660 / 3GB

<표 5-23> U-Net 모델 하이퍼파라미터

Batch size	12
Step per epoch	500
Epoch	10
No. of Input images	4.10.3
Input bands	5 (Blue/Green/Red/NIR/GT)
Input size	384 × 384
Loss function	CrossEntropyLoss
Optimizer	ADAM
Learning rate	0.01

3) U-NET 모델 검증

앞서 서술한 U-Net 모델 학습 과정을 통해 산출된 모델을 통해 예측 결과를 산출하였고 해당 결과를 분석하여 기계가독성 검증을 수행하였다. U-Net 모델에 입력자료로 사용된 국토위성영상 기반 패치 총 1,480장 중 70%(1036장)는 훈련에 30%(444장)는 검증에 사용하도록 데이터를 분할하여 U-Net 모델 학습을 진행하였다. 학습을 진행하면 입력되는 데이터에 따라 정확도와 손실이 그래프가 결과물로 산출된다. 그림 5-9는 Epoch에 따라 U-Net 모델의 훈련 손실값 변화를 나타내며 이를 통해 훈련이 진행될수록 학습 및 검증 정확도는 점점 증가하고 손실은 점점 감소하는 것을 파악하였다. 초기 검증 정확도와 손실은 약 0.981, 0.214로 나타났지만, 최종 정확도와 손실은 0.996, 0.160으로 나타나면서 모델의 정확도가 향상된 것을 파악하고 데이터 학습이 정상적으로 진행된 것을 확인할 수 있었다. 다만 초기 검증 정확도가 매우 높은 것으로 봐서 학습 모델이 과적합되어 있음을 확인하였고, 향후 다른 위성자료까지 고려한 구름 탐지 모델로 제작하기 위해서는 모델 학습 과정에서 다양한 위성영상이 입력되어야 한다.



<그림 5-9> Epoch에 따른 U-NET 훈련 손실(Loss) 변화

```

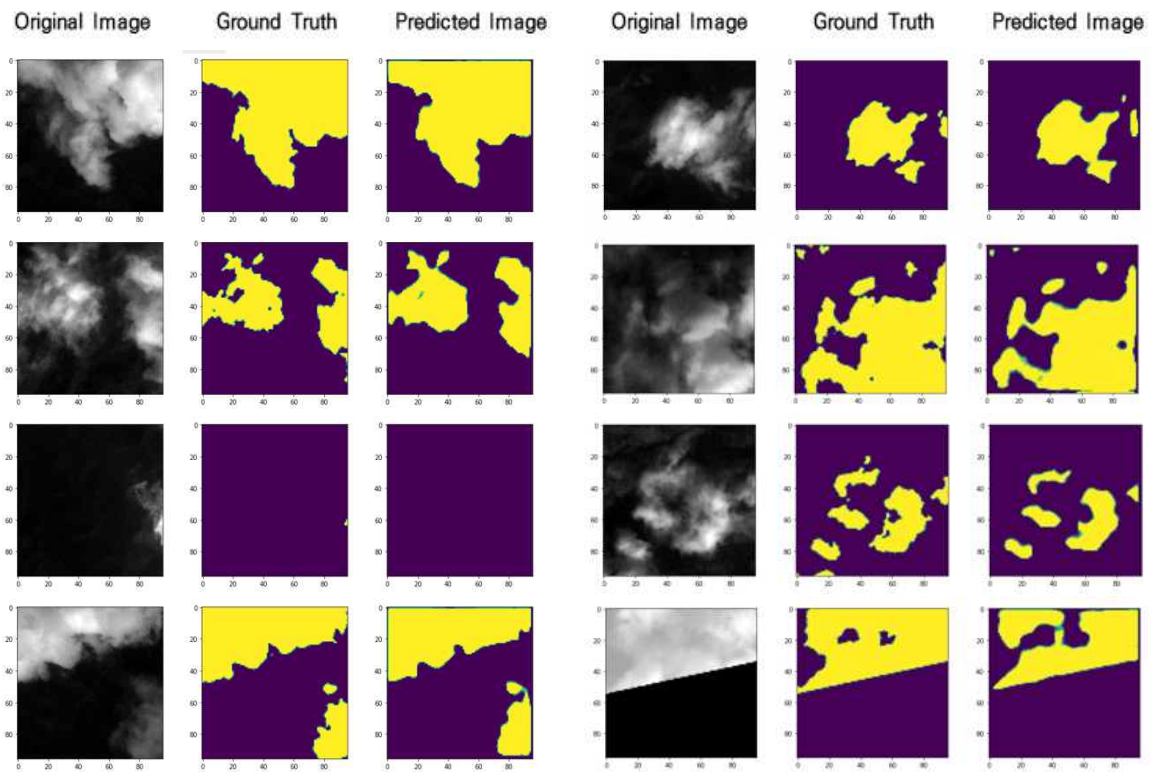
Gen RAM Free: 27.5 GB | Proc size: 277.7 MB
GPU RAM Free: 3337MB | Used: 759MB | Util 19% | Total 4096MB
1480
torch.Size([12, 4, 384, 384]) torch.Size([12, 384, 384])
torch.Size([12, 4, 384, 384]) torch.Size([12, 384, 384])
torch.Size([12, 2, 384, 384])
Epoch 0/9
-----
Epoch 0/9
-----
train Loss: 0.1785 Acc: 0.9776166081428528
-----
Epoch 0/9
-----
valid Loss: 0.2147 Acc: 0.9810067415237427
-----
Epoch 1/9
-----
Epoch 1/9
-----
train Loss: 0.0689 Acc: 0.9797338843345642
-----
Epoch 1/9
-----
valid Loss: 0.1779 Acc: 0.9810070991516113
-----
.
.
.

Epoch 8/9
-----
train Loss: 0.0343 Acc: 0.9920434951782227
-----
Epoch 8/9
-----
valid Loss: 0.0643 Acc: 0.9423711895942688
-----
Epoch 9/9
-----
Epoch 9/9
-----
train Loss: 0.0327 Acc: 0.9959957003593445
-----
Epoch 9/9
-----
valid Loss: 0.0160 Acc: 0.9964737892150879
-----
Training complete in 13m 52s
torch.Size([12, 2, 384, 384])

```

<그림 5-10> 모델 학습횟수(Epoch)에 따른 모델 정확도 및 손실 변화

다음 그림 5-11은 U-Net 모델 테스트를 통해 산출된 구름 탐지 결과를 나타낸다. 원본 영상과 참값(Ground truth) 영상, 예측(Predict) 영상을 비교하여 입력자료에 대한 예측 결과를 분석하였다. 예측 영상에서 구름의 위치 및 형태가 참값 영상과 매우 유사하게 탐지된 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 구름 경계에서 관측되는 얇은 구름은 다소 모호하게 나타나는 것을 확인하였으며 구름과 지표의 분광반사특성이 유사한 경우 오탐지 요소도 일부 관측되었다. 예측 영상에서 나타나는 이러한 문제는 더 많은 학습자료와 더불어 데이터 신뢰성이 높은 참값을 입력한다면 충분히 보완할 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 5-11> U-NET 모델 기반 구름 탐지 결과 입력영상 / 참값 / 예측값 결과

다. 결론

국토위성 표면반사율 영상과 픽셀단위정보 산출물이 사용자가 별도의 처리 없이 활용 가능한지 파악하기 위해 국토위성영상 및 픽셀단위정보 기반 학습자료를 생성하고, U-Net 기반 구름 영역 탐지 딥러닝 모델에 적용하여 기계가독성 검증을 수행하였다.

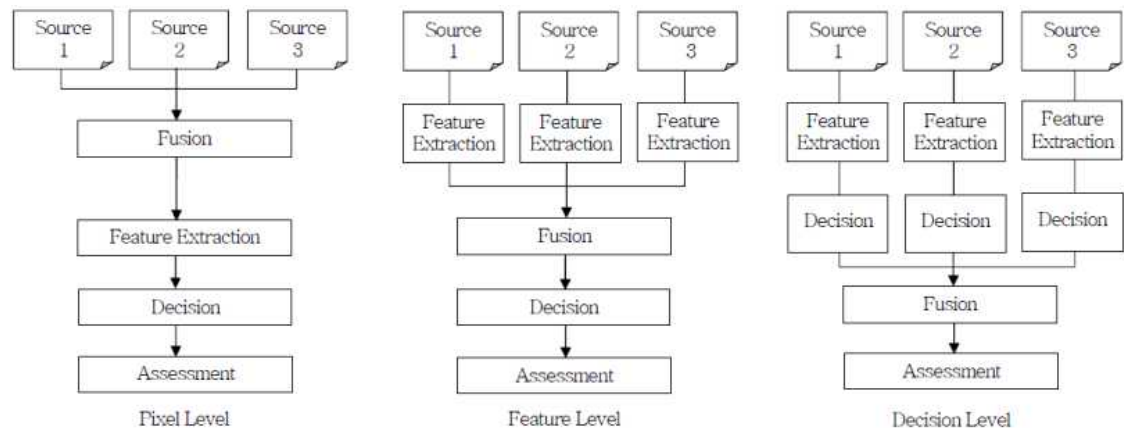
국토위성 기반 영상 패치를 이용하여 훈련과 검증을 수행한 결과, 데이터 학습 시 산출된 정확도와 손실을 통해 모델 학습을 진행할수록 학습 및 검증 정확도는 증가하고 손실은 점점 감소하는 것을 확인하였다. 또한, 국토위성영상의 원본 영상과 참값 영상, 구름 탐지 예측 영상을 비교한 결과 참값 영상의 구름 위치 및 형태가 예측 영상에서도 유사하게 탐지된 것을 확인하였다.

하지만, 예측 영상에서 구름의 경계가 전반적으로 다소 모호하게 나타났으며, 분광반사특성에 따른 구름 탐지 오류도 존재하였다. U-Net 모델 테스트 과정에서는 딥러닝 학습을 진행하기에 훈련 자료가 부족하여 훈련이 진행될수록 손실이 급격하게 상승하는 문제가 확인되었다. 일부 입력영상에서 Dynamic range에 따라 검증 정확도가 떨어지는 문제도 나타났다.

향후 국토위성 사용자 친화형 영상 제품이 현재보다 더 많이 제공되어 충분한 훈련자료를 구축하고 Dynamic range의 불안정 요소를 보정하여 보다 더 안정적인 국토위성 사용자 친화형 영상 제품을 도출한다면 일반 사용자들도 쉽게 사용할 수 있는 AI 기반 데이터로 활용 가능할 것으로 판단된다.

3. 항공기, 드론 등의 융복합 가능성 분석

자료 융합(data fusion)은 1980년대 말부터 활발하게 진행되고 있으며, 적용 분야에 따라 data integration, data fusion, data merging, data assimilation 등의 다양한 용어로 사용(김경옥 등, 2005; Pohl and van Genderen, 1998)하였다. 자료 융합은 화소(Pixel), 특징(Feature), 결정(Decision), 모델링(Modeling) 등 다양한 수준에서 수행될 수 있다.



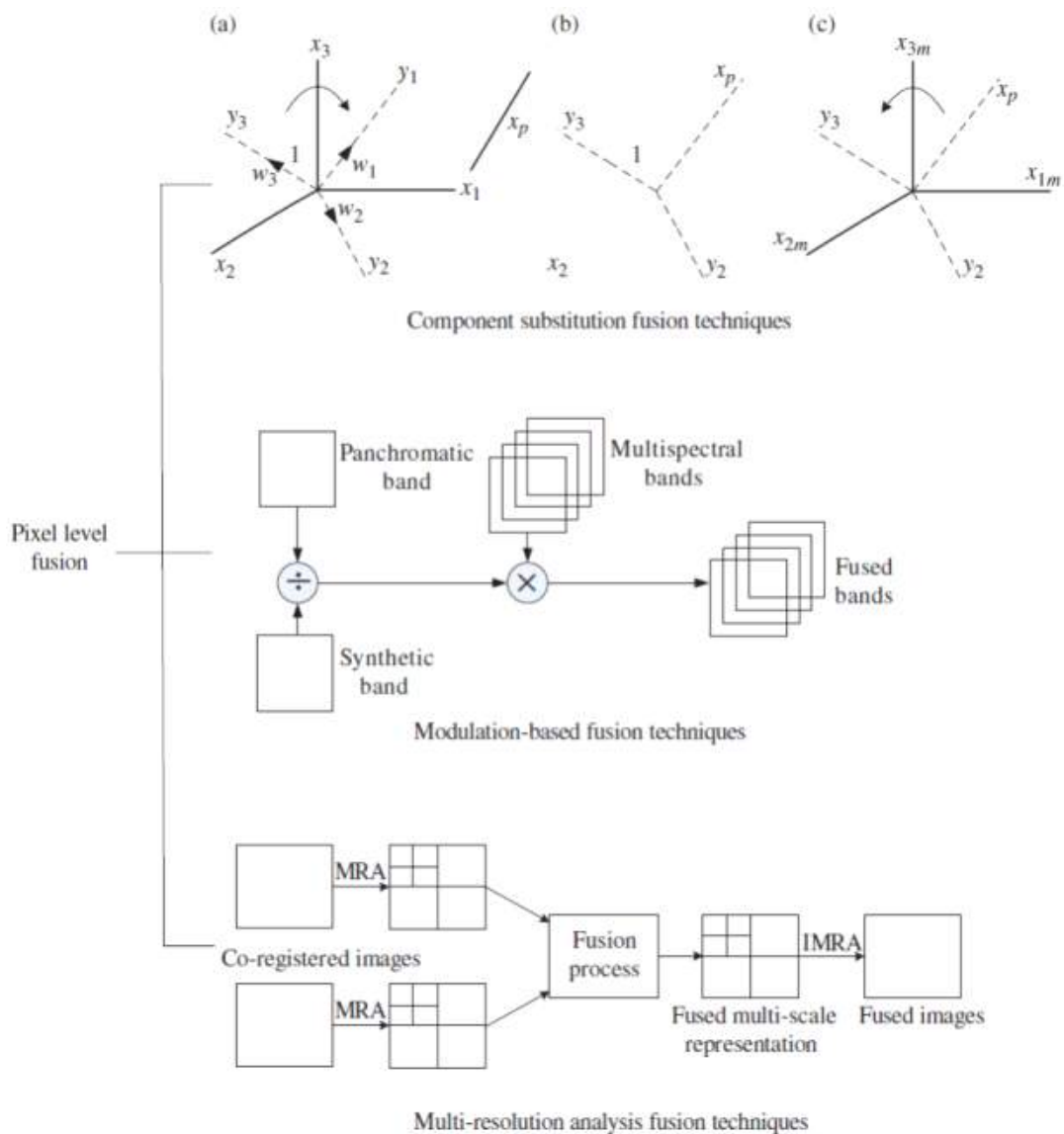
<그림 5-12> 수준별 영상 융합 과정(김경옥 등, 2005)

국내의 경우 자료 융합연구는 주로 고해상도 영상, 중/저해상도 다중분광영상의 통합인 화소 수준 융합에 집중되어, 자료 융합의 용어를 제한적으로 사용해 왔다. 국외의 경우 이러한 화소 수준 융합뿐만 아니라, 특징, 결정 수준 융합 등에 대한 연구가 자료 융합 분야에서 더욱 활발하게 진행되고 있다. 영상 융합에 방법의 구현에 앞서 아래 항목에 대한 정의 후 방법을 결정해야 한다.

<표 5-24> 다중원격탐사자료의 융합 시 고려해야 하는 항목(김경옥 등, 2005)

융합방법 설계 항목	고려 인자
사용 목적 혹은 활용 대상은 무엇인가?	활용할 융합결과물의 정성·정량적 상세 조건(정보 종류, 형식, 해상도 등)
사용 목적을 달성하기 위해서는 어떤 형태의 자료가 가장 유용한가?	위성 궤도, 위성 탑재 시스템, 위성의 촬영 기하, 분광해상도, 공간해상도, 주기해상도
선택된 자료를 융합하기 위한 최적의 기술은 무엇인가?	융합수준(화소, 특징, 의사결정) 결정에 따른 합성 기술
어떠한 전처리 기술이 필요한가?	공동 공간 참조, 재배열, 상호등록 등
어떠한 자료의 조합이 가장 이상적인가?	시너지효과를 최대한로 산출할 수 있는 자료의 조합 결정 센서 종류, 촬영 날짜, 구름 영향 유무, 센서 제공 정보 등

화소 수준에서의 합성 기법은 아래 그림과 같이 세 가지 기법으로 나뉜다(Zhang J., 2010).



<그림 5-13> 화소 수준 융합 기법의 종류(Zhang J., 2010)

아래 표는 최근 융합 자료에 따라 적용된 융합 기법 및 사례를 보여주고 있다.

<표 5-25> 다중원격탐사자료의 융합 융합 기법 및 사례

융합 대상 자료	융합 기법
광학위성 + SAR위성	Bayesian detection theory Shafer's theory Statistical approach Neural network Markov Random Field(MRF) Support Vector Machines(SVM)
LiDAR + 항공영상	Point + point Footprint extraction Hough transform
광학영상 + GIS 자료	Knowledge-based techniques Neural network Statistical approach Fuzzy set theories Bayesian techniques Dempster-Shafer based method
위성영상 + 항공영상(UAV)	Local/global segmentation algorithm High-resolution textured 3D object models
SAR위성영상 + 광학위성영상 + LiDAR영상	Pan-sharpening technique Block-regression

현 국외에서 융합 기법은 활용 목적에 맞게 영상을 합성하는 추세로 가고 있으며, 더 나아가 3차원 생물리학적 인자 추정과 생태학적 모델링을 위한 LiDAR와 각종 위성자료 융합 기법이 시도되고 있다(Zhang J., 2010).

본 과업에서는 국토위성영상 표면반사율 검증에 드론 반사율 영상을 활용하는 방식으로 융합 활용이 시도되었다. 본 과업의 드론 반사율 영상은 드론에 조도계를 달아 상대적인 반사율을 추출하는 방식으로, 이는 현재 현업에 운영되고 있는 항공영상에도 적용할 수 있다. 곧, 항공영상 촬영 시 항공기에 조도계를 달아 항공 반사율 영상을 추출할 수 있으며, 본 항공 반사율영상은 국토위성 반사율 영상과 융합되어 다양한 분야에 활용할 수 있다.

향후 본격적인 국토위성영상과 항공영상 및 드론 영상의 융합 기술 개발을 위해서는 아래와 같은 항목의 연구 및 개발이 필요하다.

- 상관성 분석기법을 이용한 다중원격탐사자료 융합 전처리 기법 개발
- 현안대응 맞춤형 다중원격탐사자료 화소·특징별 융합기법 연구
- 융합자료 품질 자동 평가 기술 개발

4. 향후 연구 방향 제시

가. 전문가 의견 종합 및 과업 평가

<표 5-26> 세부 과업별 전문가 의견

과업 내용	의견
국토위성 복사/대기보정 기술 개발	반사율의 경우 대기보정의 방법론에 대해서는 이견이 없으나, 원본 영상 품질에 대한 문제로 인해 반사도 결과 활용성이 낮을 것으로 판단됨. 일부 영상의 경우 영상에서의 점진적으로 색상이 진해지는 현상(NUC 보정)으로 인해 절대복사보정 등의 계수가 있더라도 전체 영상의 적용에 있어 잘못된 반사율을 산출할 가능성이 높음. 따라서, 이러한 문제는 본체 혹은 탑재체 개발기관과 지속적으로 협의하여 반드시 개선이 필요할 것으로 판단됨
	국토위성센터의 공식적인 Gain/Offset 값을 얻기 위한 연구와 실험이 필요함
	대기보정 알고리즘 개발 과정에서 지역·계절적 다양성을 고려하기 위해 해외 검보정 사이트 중 우리나라 봄~가을 기상 조건과 유사한 사이트를 이용할 필요가 있음 => 반영
	자동 대기보정을 위한 입력자료 수집·적용에 관한 후속 연구가 필요함(ex. GK2A)
	Blue 밴드 영상이 상대적으로 매우 불안정한 결과를 나타내어 이에 대한 보정 여부가 향후 활용성 확보에 큰 요소로 판단됨
	대기보정의 경우 R 값만 제공하지 말고, 실제 현장 관측자료와 어느정도 차이를 보여주는지를 제공해주면 사용자에게 도움이 될 것 같음
	Sentinel 데이터와의 표면반사율 상관계수 개선 필요함
픽셀단위정보 생성 기술 개발	지형 및 지물에 의한 그림자 추출 오류를 최소화하기 위하여 향후 국토위성에서 생산되는 최신 DSM을 활용하는 것이 바람직할 것으로 생각됨
	픽셀단위정보는 과소 추정되는 경향을 나타냈음. 과대 추정보다 과소추정의 경우 신뢰도 혹은 정확도 측면에서 높으므로 기관에서의 산출물에 대한 공식자료로서 입장을 충분히 이해하나, 향후 추가 연구나 개발을 통해 개선해야 할 것으로 판단됨
	TOA 반사율 기반의 픽셀단위정보 산출에 대한 세부내용이 추가적으로 필요함
국토위성기반 사용자 친화형 영상 제품 시범제작	UTM-K 좌표계의 경우 범용성 확보에 대한 의문점이 있으므로, 국가표준 혹은 범용성 확보의 차원에서 좌표계는 논의가 필요할 것으로 판단됨
	국토위성영상 L2G Product에서 제공하는 Auxiliary file과 국토위성영상 ARD Product의 aux file은 세부 내용이 달라져야 함. ARD aux file에 대한 기본안을 정리할 필요가 있음 => 반영
	상대대기보정에 의한 반사율 정보는 영상에 따라 일관성 있는 정확도를 보장하기 어려우므로 절대대기보정 알고리즘에 의한 ARD 생성을 해야 함 => 반영

	ARD 제작의 지역적 범위는 신뢰성 있는 ARD가 가능한 지역을 우선적으로 고려할 필요가 있음. 즉, 전국 대상의 ARD를 초기부터 투자하는 것은 무리가 있음
	표면반사율 및 픽셀단위정보 알고리즘, 품질, 메타정보 등 개선은 시간을 두고 수행할 필요가 있음
	메타데이터에 기하보정 성능 지표, 위치정확도를 알 수 있는 지표들이 추가되었으면 좋겠음 (예: GCP 개수, RMSE 등)
	국토위성 ARD 제품의 격자 단위는 수치지도 격자 단위로 배포되고 있으나, 이는 활용도 측면에서 많이 떨어지는 측면이 있음. 타 위성제품의 경우 ARD 제품을 scene 단위로 제공 중에 있음. 물론 수치지도 및 항공사진의 활용에 있어 도엽 단위로 제공되나 실제 활용측면에서는 연속수치지도 등을 더 많이 활용하고 있음. 하지만 실무(협업) 사용자 입장에서는 다른 규격 (ex. 행정경계) 단위의 영상이 활용도가 높으므로 향후 추가 연구 혹은 개발을 통해 확장이 필요할 것으로 생각됨
	Saturation이나 Missing Data 화소가 없는 경우에는 이들을 제외한 나머지 ARD 항목들만 다운로드하는 등의 선택이 가능하면 효율적일 것으로 판단됨
	사용자에 따라 다를 수 있겠지만 ARD 항목 각각 독립된 파일로 제공하는 것보다 하나의 파일에 멀티밴드 형태로 제공하는 것이 사용하기 편리할 것으로 생각됨
	샘플 지역에 따라 품질의 격차가 조금 보이는 것 같으며, 품질관리 및 만족도 조사의 빈도를 늘리고, 조사 방법을 달리해야 할 필요가 있음
사용자 친화형 영상 제품 관련 설명서 제작	제품 사양설명서에는 값의 범위가 0~10000으로 명시되어 있어서 사용하는 데 문제는 없었지만, 각 파일의 메타데이터 Auxiliary File에서 scale factor=10000으로 명시되어 있으면 사용에 더 효율적일 것으로 판단됨 => 반영
	좌표계를 EPSG:5179(Korea2000/Unified CS)로 선택한 이유가 있는지를 제품 사양설명서에 기술이 필요함 => 반영
시범제작 결과 검증	U-Net은 대표적인 Semantic segmentation의 알고리즘으로 U-Net을 사용한 검증결과는 적절하게 수행되었다고 생각됨. 한 장의 영상을 작은 패치로 구성하시어 총 1,480장의 학습자료가 생성되어 학습을 수행하였는데, 추후 국토위성영상의 취득이 용이해질 때, 동일한 지역의 여러 영상을 활용하시고 패치의 크기를 크게 학습할 경우, 국토위성영상의 활용가능성을 더욱 증명할 수 있을 것이라고 생각됨
	물과 같이 어두운 객체의 경우 그 차이가 작게 나타나는 경향이 있을 수 있어 사막이나 눈과 같이 반사율이 높은 객체에 대한 분석도 병행할 필요가 있음
	향후 상대 대기보정 또는 검증을 위하여 지역별로 정확도가 매우 높게 대기보정이 된 국토위성 Reference scene을 마련한다면 오차 요소를 감소시키는 방안이 될 수 있을 것으로 생각됨. 또한, Reference scene에 대한 주기적인 검증 및 업데이트 등 관리가 필요할 것임

	<p>전문가 대상으로 수행한 사용자 만족도 조사의 응답 인원은 다소 적지만 어느 정도 대표성은 있는 것으로 판단됨. 향후 ARD 배포 시 사용자 Pool을 구축하고 주기적인 만족도 조사를 통해 지속적인 제품 개선이 필요할 것으로 보임</p>
	<p>대기보정 테스트베드 지역이 경기 남부 지방에 밀집되어 있음. 다양한 제약 조건을 고려하더라도 신뢰도 향상을 위해 공간적 범위(예: 강원도, 남부지방 등)를 확장하여 현장 검증을 수행해야 할 필요가 있음</p>
	<p>Sensor 노화를 측정하기 위한 모니터링 및 검증(크로스캠) 방안 마련 필요함 => 반영</p>
주요 기능 및 인프라 요구사항 도출	-
국토 ARD 품질 관리 방안 마련	<p>산출물 품질관리 방안 마련 부분에 항목별로 조건을 정의해 주셨으나 그 조건을 충족하기 위한 활동 목록들이 없음. 조건을 충족하기 위해 관리자는 어떤 활동을 해야 한다는 제언이 추가되거나, 향후 활동 리스트를 도출하는 후속 연구가 진행되면 좋겠음 => 반영</p>
	<p>국토위성의 주 활용 지역이 도시라고 하더라도 도시 숲이나 인근 산림에도 위치정확도가 정확한지 따로 검증 결과가 제공되면 좋겠음</p>
	<p>품질정보보고서 제공시 ATBD 형태(알고리즘) 자료 제공한다면 사용자 친화형 데이터의 의미가 더 높아질 것으로 판단됨</p>

<표 5-27> 과업 수행결과 평가 요약

우수점	<ul style="list-style-type: none"> • 현 국토위성영상의 절대복사보정계수는 부재하나, 본 과업을 위해 국외 검보정 사이트를 활용하여 국토위성영상의 초기 절대복사보정을 수행하고 절대복사보정계수 산출하여 제품의 시범제작을 수행 • 드론 및 현장 반사율 자료, 2종의 타 위성자료를 확보하여 표면반사율영상의 유효성 검증을 정량적으로 수행 • 우리나라 지리체계 표준을 준수하면서, 일반 사용자들도 자신의 분야에서 위성 영상을 손쉽게 활용·분석하고 이해할 수 있도록 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 최종사양 설계 • 발주기관과의 주기적인 피드백을 통해 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 사용의 이해를 돕기 위한 문서(사용설명서) 작성 및 제공 • 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질 향상 및 활용 증대를 위해 위성 활용 분야별 전문가(19인)를 대상으로 제품(안) 만족도 평가 및 의견수렴 <ul style="list-style-type: none"> - 평가 결과, 종합 만족도 점수가 76점(100점 만점)으로 양호 • 과업 수행 결과를 토대로 외부 보조자료 수집, 기존 시스템의 연계를 고려한 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 생산 프로세스 설계 • 타 위성영상과의 상호운용성 및 기계가독성 검증 등 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 실효성에 대한 다양한 검증 수행 • 국토위성센터 자체적으로 수행 가능한 복사·대기보정 산출물 검보정 방안 및 산출물의 품질관리 방안 수립
미흡한 점	<ul style="list-style-type: none"> • 국토위성 DN 영상의 낮은 품질 및 공식적인 절대복사보정계수의 부재로 인해 시범제작된 표면반사율 영상의 정확도 10% 이상 오차 발생 • 다양한 시기 및 지역을 고려한 테스트베드에 대한 검증 부족 • 픽셀단위정보 산출물이 전체적으로 과소 추정되는 경향을 나타내고 있음 (특히 구름 및 구름그림자) • 타 위성 ARD 제품군과 비교하여 시범제작 산출물의 호환성이 다소 떨어짐 (좌표계, 제공 단위 등) • 국토위성 ARD 제품의 메타데이터에 성능지표 부재
향후 개선이 필요한 사항	<ul style="list-style-type: none"> • 국토위성영상의 개발기관(항우연)에서 보다 향상된 복사보정 기술을 적용하고, 공식적인 절대복사보정계수를 제시함에 따라 반사율의 정확도 향상을 기대할 수 있음 • 주기적으로 국토위성 표면반사율 영상의 신뢰성을 검증할 수 있도록 국토위성센터 자체 검보정 사이트 혹은 타 위성센터와의 협업 체계 구축 필요 • 국토위성의 공식적인 절대복사보정계수 제공 이후 TOA 반사율 기반의 알고리즘 최적화 과정을 통해 과소 추정 문제를 줄일 수 있음. 알고리즘 개선과 더불어 구름 산출물에 대한 신뢰도 개선을 기대할 수 있음 • 시범제작 산출물의 좌표계는 대한민국 지리좌표체계 표준을 따랐으나, 향후 세계 지리좌표체계로 변경하여 호환성을 높일 수 있는 여지가 충분히 있음. 제공 단위는 1:5,000 도엽뿐만 아니라 모자이크 처리를 통해 행정구역 단위를 고려할 수 있음 • 성능정보 제공과 관련하여, 기하정보에 대한 성능은 정밀정보보정에 사용된 GCP chip에 대한 정확도를 통해 제공할 수 있으며, 복사정보에 대한 성능은 추후 정식 공식적인 절대복사보정계수가 제공 시 가능함

나. 산출물 품질관리를 위한 추가 활동 제언

1) 절대복사보정 및 대기보정 산출물

본 과업에서 제시된 절대복사보정 및 대기보정안을 소프트웨어로 구현하여 국토위성영상 수신으로부터 자동으로 반사율까지 산출되는 시스템 구축이 진행되어야 한다. 본 과업의 산출물인 표면 반사율 영상의 검증을 위해서 현장 관측 반사율 자료를 주기적으로 획득하는 것이 필요하다. 이와 함께 본 과업에서 제시한 산출물의 품질관리 방안과는 별도로 국토위성영상의 원 DN영상부터 품질 관리 체계 구축에 대한 연구가 함께 진행되어야 한다. 특히 현재 국토위성영상의 초기 운영상 품질 문제에 대해 일회성으로 해결할 문제가 아닌 위성 수신 동시에 DN영상에 대한 정량적 품질 체크 과정이 수행되어야 한다. 이뿐만 아니라, 초기 복사보정에 대한 문제점을 정의하고 이를 보정하는 연구도 진행하여, 현 국토위성영상의 품질을 향상시켜야 한다. 또한 다중분광영상뿐만 아니라 활용성이 높은 Panchromatic 영상에 대해서도 현 상용 고해상도 위성영상에서 수행되는 품질척도에 대한 관리 방안이 구현되어야 한다. 이와 같은 지속적 품질관리체계를 구축하여 국토위성영상의 품질정보를 제공하고, 이를 통해 신뢰성을 제공할 수 있다.

2) 픽셀단위정보 산출물

본 과업에서 제안한 픽셀단위정보 알고리즘은 전체적으로 과대 추정보다 과소 추정의 특성을 나타내고 있으며, 이는 영상 영역별로 추출 결과가 다른 문제를 최소화하고자 과소 추정이 나타나도록 설계하였다. 위에서 언급한 바와 같이 국토위성의 센서 특성을 고려한 공식적인 절대복사보정계수가 제공이 되면 알고리즘과 신뢰도 제공 방안을 개선하는 추가 연구개발 과정이 필요하며, 최적화 과정에서 과소 추정 문제는 크게 완화할 것으로 기대된다. 절대복사보정 및 대기보정 산출물과 동일하게 픽셀단위정보 품질관리를 위해서는 현장 관측 자료 수집 혹은 관리자가 수동으로 제작한 참조자료를 이용하여 주기적으로 검증하고 정량적인 품질정보를 제공할 수 있는 관리체계가 필요하다. 또한, 후속 연구를 통해 픽셀단위정보의 검증 주기, 세부 검증 방법, 적절 검증 영상 개수 및 지역 등 해당 과업에서 설계한 관리 방안이 적절한지 분석할 필요가 있다.

다. 후속 연구 목록화

아래 후속 연구 목록은 선행 사업인 “국가기본도 활용을 위한 사용자 친화형 영상 제품 구축 기획”의 국토위성센터 사용자 친화형 영상 제품 구축 중장기 로드맵 추진과제 세부 내용 중 일부이다. “국토위성 사용자 친화형 영상 제품 연구개발 및 시범제작” 사업을 통해 도출된 결과를 기반으로 아래 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 관련 후속 과제에서 수행해야 할 과업을 최신회하였다. 세부 과업에서 기존 과업에서 추가된 과업은 ‘추가’, 일부 내용이 변경되어야 할 과업은 ‘수정’, 필요하지 않은 과업은 ‘삭제’로 구분하였다.

1) 사용자 친화형 영상 제품 생산 SW 개발

가) 국토위성용 표면반사율 영상 생성 SW 개발

- (1) 절대복사보정계수 및 절대대기보정 LUT 구축 (추가)
- (2) LUT 기반 표면반사율 영상 생성 SW 설계 및 개발 (수정)
- (2) 국토위성 수집·활용시스템과 표면반사율 영상 생성 소프트웨어 연동 기능 구현
- (3) 외부 보조자료(대기관측자료 등) 수집 시스템 개발
- (4) 표면반사율 영상의 알고리즘, 품질, 메타정보에 대한 개선 방안 및 주기 수립 (추가)

나) 국토위성용 픽셀단위정보 생성 SW 개발

- (1) 픽셀단위정보 산출물 제작을 위한 수계 공간정보 및 DEM 구축 (추가)
- (2) 국토위성영상 내 픽셀단위정보 생성 소프트웨어 설계 및 개발
- (3) 국토위성 수집·활용시스템과 픽셀단위정보 생성 소프트웨어 연동 기능 구현
- (4) 품질속성밴드로부터 특정 속성값을 이용한 이진마스크영상을 생성하는 변환기 개발 (삭제)
- (5) 최신 DSM을 활용한 지형 및 지물그림자 추출 오류 최소화 연구 (삭제)
- (6) 픽셀단위정보의 알고리즘, 품질, 메타정보에 대한 개선 방안 및 주기 수립 (추가)

다) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 산출물 품질향상 방안연구

- (1) 국토위성영상 복사·대기보정 품질향상 방안 연구

- (2) 국토위성영상 기하보정 품질향상 방안 연구
- (3) 국토위성영상 픽셀단위정보 품질향상 방안 연구 (추가)
- (4) 국토위성영상 품질관리 DB 구축 방안 연구 (추가)
- (5) 국토위성영상 품질정보 관련 문서관리 방안 연구 (추가)

2) 사용자 친화형 영상 제품의 기초기술 고도화 연구

가) 상대 및 절대대기보정 기술 고도화

- (1) 표면반사율영상 생성 SW와 외부 보조자료 수집 시스템 연계 (삭제)
- (2) 국토위성용 대기보정을 위한 복사전달모델의 LUT 구축 (삭제)
- (3) LUT를 이용하여 표면반사율을 계산하는 대기보정 라이브러리 개발 (삭제)
- (4) 국토위성용 상대대기보정 및 절대대기보정 정확도 개선, 고도화 (추가)
- (4) 주기적 검·보정 체계 운영
- (5) 산출물 품질 관리 체계 운영
- (6) 자동 대기보정을 위한 입력자료 수집·적용 (삭제)
- (7) 위성영상 탑재체 개발기관과의 지속적인 협의 방안 수립
- (8) 공식적인 Gain / Offset 값을 관리 방안 연구 (수정)
- (9) 절대대기보정 기술을 통한 반사율 정확도 개선 (삭제)
- (10) 오차 감소를 위한 Reference scene 구축 및 주기적인 검증 방안 연구

나) 표면반사율영상 SW 고도화

- (1) 대기보정 라이브러리 적용 (삭제)
- (2) 상대대기보정 모듈 개발 및 적용 (삭제)
- (3) 국토위성영상 대리검보정 실험을 통한 산출물 품질 향상 방안 연구

다) 정밀정사영상 생성 SW 고도화

- (1) 전지구 L2 생산을 위한 기준점 구축 기술 개발
- (2) 전지구 정밀정사영상 생성 기술 개발 및 관련 DEM DB 구축
- (3) L2 정밀정사영상 생성 시스템 설계 및 개발
- (4) 점진적 전지구 기준점 구축기술 및 관련 모듈 개발
- (5) 국토위성정보 운영시스템 연계통합 개선 (수정)

(6) 국토위성정보 사용자 친화형 영상 제품 정확도 개선 (수정)

라) 한반도 기준점·DEM DB 고도화

- (1) 남한지역 고정밀 기준점 DB 추가 구축 및 검증
- (2) 정밀 궤도모델링을 통한 북한지역 기준점 갱신 기술 개발
- (3) 다중촬영영상 기반 기준점 고도화 기술 개발
- (4) 한반도 DEM DB 구축 및 갱신

마) 전지구 기하보정 기술 개발

- (1) 전지구 기준점 DB 구축 및 관련 기술 개발
- (2) 국토위성영상 전지구 정밀기하보정 기술 및 관련 모듈 개발
- (3) 전지구 정밀기하수립이 완료된 영상(L2R) 생성 기술 개발

3) 사용자 친화형 영상 제품 활용 활성화 방안 기획연구

가) 국토위성사용자 친화형 영상 제품 활용 활성화 촉진 방안 마련

- (1) 사용자 친화형 영상 제품 활용 사용자그룹 참여 관심 기관 현황 분석
- (2) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 활용 사용자그룹 구성 및 운영 방안
- (3) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 활용 사용자그룹 운영을 위한 자문위원회 구성 및 운영
- (4) 국토위성사용자 친화형 영상 제품 활용 확대를 위한 대외 홍보 방안

(경진대회/공모전/학술활동 등)

나) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 활용 협업 파트너 발굴 방안 마련

- (1) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 활용 사용자그룹 참여 관심 기관의 협업 요소 조사 및 분석
- (2) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 활용 관련 해외 기관 협업 요소 조사 및 분석

다) 국토위성센터 사용자 친화형 영상 제품 개선 방안 마련 (추가)

- (1) 사용자 및 기관별 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 사용 추이 분석
- (2) 전문가 및 비전문가 대상 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 사용자 만족도 조사 및 개선점 도출

라) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 활용을 위한 상용 SW 지원 및 후속 조치

방안 마련 (추가)

- (1) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품의 영상 제공 방안 확장 방안 연구
(예:행정경계 규격 단위 영상 배포)
- (2) 원격탐사 및 GIS 관련 상용 SW 지원 방안 연구 (Plug-in 및 제품 등록)

4) 사용자 친화형 영상 제품 서비스 고도화 기획연구

가) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질향상 방안 연구

- (1) 국토위성영상 복사·대기보정 품질향상 방안 연구
- (2) 국토위성영상 기하보정 품질향상 방안 연구
- (3) 국토위성영상 픽셀단위정보 품질향상 방안 연구 (추가)

나) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 융복합 방안 연구

- (1) 항공·위성영상 융복합을 통한 사용자 친화형 영상 제품 생성 방안 연구
 - 항공촬영 현황 분석
 - 항공 사용자 친화형 영상 제품 서비스를 위한 자료취득 및 처리기술 연구
 - 이종영상 융복합 처리를 통한 사용자 친화형 영상 제품 생성 방안 연구

다) 사용자 요구사항 파악 및 방안 연구

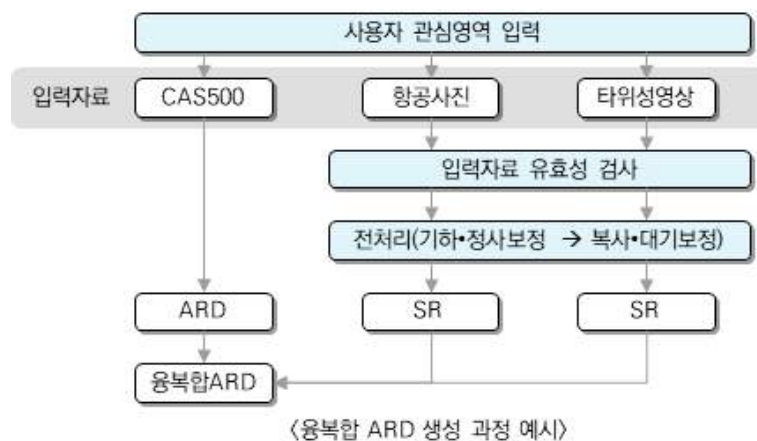
라) 고해상도 위성 ARD 규격 수용 방안 연구

- (1) 고해상도 위성 ARD 규격화 현황 분석
- (2) 고해상도 위성 ARD 규격화 수용 방안 수립
- (3) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 자체/동료평가 방안 수립
- (4) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 산출물 관련 문서 규격화 (수정)
- (5) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품 품질관리 체계 수립 (추가)

5) 융복합 사용자 친화형 영상 제품 제품 연구개발

가) 융복합 사용자 친화형 영상 제품 자료 생성 기술 개발

- (1) 융복합 사용자 친화형 영상 제품의 사용자 요구사항 수집 및 분석
- (2) 융복합 사용자 친화형 영상 제품 입력자료 검토 및 선정
- (3) 이종영상 입력자료 유효성 검토 시스템 설계
- (4) 국토위성 사용자 친화형 영상 제품과 이종영상의 융복합 기술 개발



<그림 5-14> 융복합 사용자 친화형 영상 제품 생성 과정 예시

나) 융복합 사용자 친화형 영상 제품 자료 생성 플랫폼 개발

- (1) 융복합 사용자 친화형 영상 제품 자료 생성 플랫폼 설계
- (2) 융복합 사용자 친화형 영상 제품 생산 SW 개발
- (3) 융복합 사용자 친화형 영상 제품 자료 생성 플랫폼 개발

다) 융복합 활용을 위한 융합 제품 개발 (추가)

- (1) 국내·외 광학위성 간의 융합 제품 개발 (예. Harmonized Landsat-Sentinel Project)

참고문헌

- 국토지리정보원, 2021, 국가기본도 활용을 위한 사용자 친화형 영상 제품 구축 기획 연구-보고서.
- 김경옥, 신성웅, 임영재, 김홍갑, 이재홍 (2005), 멀티센서 공간영상정보 통합처리 기술개발 동향, 전자통신동향분석 제20권 제3호, pp. 92-103.
- 김광섭, 이기원 (2020), 다목적실용위성 3A 영상 자료의 지표 반사도 성과 검증: RadCalNet Baotou(BTCN) 자료 적용 사례, 대한원격탐사학회지, 제36권 6-2호, pp. 1509-1521.
- 김승호, 윤진일 (2016), 하늘상태와 음영기복도에 근거한 복잡지형의 일조시간 분포 상세화, 한국농림기상학회지, 제18권 제4호, pp. 233-241.
- 서두천, 김현호, 정재현, 이동한 (2020), 정상운영기간동안의 KOMPSAT-3A호 주요 영상 품질 인자별 특성, 대한원격탐사학회지, 제36권 6-2호, pp. 1493-1507.
- 송정현, 이동한, 김용승, 임효숙 (2009). 다목적실용위성2호의 발사 후 복사검보정 결과, GIS 공동춘계학술대회, pp. 45-51.
- 신동윤, 최철웅, 이선구, 안호용 (2016), 다목적실용위성 3호 AEISS센서의 방사 특성 교차 검증, 대한원격탐사학회지, 제32권 5호, pp.529-538.
- 안재현, 김광석, 이은경, 배수정, 이경상, 문정언, 한태현, 박영제 (2021), GOCI-II 대기보정 알고리즘의 소개 및 초기단계 검증 결과, 대한원격탐사학회지, 제37권 5-2호, pp. 1259-1268.
- 안호용, 나상일, 박찬원, 소규호, 이경도 (2018), 다중분광위성자료의 대기보정에 따른 반사도 및 식생지수 분석, 대한원격탐사학회지, 제34권 6-1호, pp. 981-996.
- 양이석, 염성수, 엄준식 (2019), 주간 구름광학두께 및 미세물리량 산출 알고리즘, GK-2A AMI Algorithm Theoretical Basis Document, version 1.0, 국가기상위성센터.
- 이규성 (2019), 육상원격탐사에서 광학영상의 대기보정, 대한원격탐사학회지, 제35권 6-3호, pp. 1299-1312.
- 이권호, 염종민 (2019), 인공위성 원격탐사를 이용한 대기보정 기술 고찰, 대한원격탐사학회지, pp.1011-1030.
- 이광재, 김용승 (2005), 다중분광 자료를 이용한 영상기반의 대기보정 연구, Korea Aerospace Reseach Institute, pp.211-215.
- 이기원, 김광섭 (2019), 오픈소스 기반 다목적실용위성 3A호 영상자료의 지표면 반사도 영상 제

- 작 실험, 대한원격탐사학회지, 제35권 6-4호, pp. 1327-1339.
- 이기원, 김광섭 (2020), RadCalNet 자료를 이용한 다목적실용위성 3A 영상 자료의 지표 반사도 성과 검증, 대한원격탐사학회지, 제36권 2-1호, pp. 167-178.
- 이기원, 김광섭 (2021), 고해상도 위성 정보의 지표 반사도 Analysis-Ready Data (ARD) 구축과 응용을 위한 제언, Korean Journal of Remote Sensing.
- 전의익, 김경우, 조성빈, 김성학 (2019), 드론 초분광 영상 활용을 위한 절대적 대기보정 방법의 비교 분석, 대한원격탐사학회지, 제35권 2호, pp. 203-215.
- 정대성, 진동현, 성노훈, 이경상, 서민지, 최성원, 심수영, 한경수, 김보람 (2020), KOMPSAT-3/3A 채널별 6SV 조건표의 지표반사도 민감도 분석, 대한원격탐사학회지, 제36권 5-1호, pp. 785-791.
- 지준화 (2008). KOMPSAT-2 고해상도 위성영상의 절대복사보정과 검증, 인하대학교 공과대학 석사학위논문.
- Baugh W.M., Groeneveld D.P., (2008), Empirical proof of the empirical line, International Journal of Remote Sensing, Vol. 29, No. 3, pp. 665-672.
- Bernstein L.S., Steven M. Adler-Golden, Xuemin Jin, Brian Gregor, Robert L. Sundberg (2012), Quick atmospheric correction (QUAC) code for VNIR-SWIR spectral imagery: Algorithm details, IEEE, Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing.
- CEOS, Analysis Ready Data Strategy, 2019.
- CEOS, CARD4L Framework, <https://ceos.org/ard/files/CARD4L-Framework-V2.0.pdf>, Accessed on Jan 03, 2022b.
- CEOS, Product Alignment Assessment, <https://ceos.org/ard/files/PAA-V3.0.pdf>, Accessed on Jan 03, 2021c.
- CEOS, Product Family Specification (CARD4L-SR) v5.0, https://ceos.org/ard/files/PFS/SR/v5.0/CARD4L_Product_Family_Specification_Surface_Reflectance-v5.0.pdf, Accessed on Jan 03, 2021a.
- CEOS, RadCalNet Quick Start Guide, https://www.radcalnet.org/resources/RadCalNetQuickstartGuide_20180702.pdf, Accessed on Feb 04, 2022d.
- Dittmeier, R., Zanter, K., 2018, Landsat Dynamic Surface Water Extent (DSWE) Algorithm Description Document (ADD), version 1.0, USGS.
- ESA, Level-2A algorithm theoretical basis document, 2021.
- ESA, Level-2A input output data definition, 2016.

ESA, Sentinel-2 user handbook, 2015.

ESA, [snap-supported-plugins, http://step.esa.int/main/snap-supported-plugins/sen2cor/](http://step.esa.int/main/snap-supported-plugins/sen2cor/), Accessed on July 14, 2021.

Jin C. J., Ahn H. Y., Seo D. C., Choi C. L., (2020), Radiometric Calibration and Uncertainty Analysis of KOMPSAT-3A Using the Reflectance-Based Method, *Sensors*, 20(9), 2564.

Fang, H., Wei, Y., Luo, H., Hu, Q., (2019), Detection of Building Shadow in Remote Sensing Imagery of Urban Areas With Fine Spatial Resolution Based on Saturation and Near-Infrared Information. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(8), pp. 2695-2706.

Ferrier G., Wadge G., (1996), The application of imaging spectrometry data to mapping zones associated with gold mineralization in southern Spain, *International Journal of Remote Sensing*, 17, 2, pp. 331-350.

Foga, S., Scaramuzza, P. L., Guo, S., Zhu, Z., Dilley, R. D., Beckmann, T., Schmidt, G. L., Dwyer, J. L., Hughes, M. J., Laue, B., (2017). Cloud detection algorithm comparison and validation for operational Landsat data products. *Remote sensing of environment*, 194, pp. 379-390.

Gao, B. C., (1996), NDWI: A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), pp. 257-266.

Han, H., Han, C., Lan, T., Huang, L., Hu, C., Xue, X., (2020), Automatic shadow detection for multispectral satellite remote sensing images in invariant color spaces. *Applied Sciences*, 10(18), 6467.

Huang, C., Thomas, N., Goward, S. N., Masek, J. G., Zhu, Z., Townshend, J. R., Vogelmann, J. E., (2010). Automated masking of cloud and cloud shadow for forest change analysis using Landsat images. *International Journal of Remote Sensing*, 31(20), pp. 5449-5464.

Lee H. S., Lee K. S., (2018), Operational Atmospheric Correction Method over Land Surfaces for GOCI Images, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol.34, No.1, pp. 127-139.

Kambezidis H.D., (2012), 30.2-The Solar Resource, *Comprehensive Renewable Energy*, Vol.3, pp. 27-84.

Kaplan, G., Avdan, U., (2017). Object-based water body extraction model using

- Sentinel-2 satellite imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), pp. 137-143.
- Karpouzli E., Malthus T., (2003), The empirical line method for the atmospheric correction of IKONOS imagery, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 5, pp. 1143-1150.
- Kim J., Jin C., Choi C., Ahn H., (2015), Radiometric characterization and validation for the KOMPSAT-3 sensor, *Remote Sensing Letters*, Vol. 6, No. 7, pp. 529-538.
- Kim K., Lee K., (2020), A Validation Experiment of the Reflectance Products of KOMPSAT-3A Based on RadCalNet Data and Its Applicability to Vegetation Indexing, *Remote Sensing*, 12, 3971.
- Mahiny A. S., Turner B. J., (2007), A Comparison of Four Common Atmospheric Correction Methods, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 73(4), pp. 361-368.
- Main-Knorn, M., Pflug, B., Louis, J., Debaecker, V., Mueller-Wilm, U., Boccia, V. (2019), Validation of Sentinel-2 cloud masking and classification products - potential for Sentinel-3 Validation, *International Network on Remote Sensing of Terrestrial and Aquatic Fluorescence*.
- MAXAR, Future of Remote Sensing and Data Quality, 2020b.
- MAXAR, MAXAR Analysis-Ready Data, 2020a.
- MAXAR, Using ARD to Minimized Preprocessing and Accelerate Your Pixel-to-Answer Workflow, 2021.
- McFeeters, S. K., (1996), The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), pp. 1425-1432.
- Nakajima, T., Tao, G., Yasuoka, Y. (2002, November). Simulated recovery of information in shadow areas on IKONOS image by combining ALS data. In *Proceeding of Asian conference on remote sensing (ACRS)*.
- Pagnutti M., Ryan R.E., Kelly M., Holekamp K., Zanoni V., Thome K., Schiller S., (2003), Radiometric characterization of IKONOS multispectral imagery, *Remote Sensing of Environment*, 88, pp. 53-68.
- Planet, Planet imagery product specifications: PlanetScope & RapidEye, 2020.
- Planet, Planet SkySat Initial Radiometric Correction and Radiometric Calibration,

<https://calval.cr.usgs.gov/apps/sites/default/files/jacie/abrunnJACIESkySatAbsCalfi n.pdf>, Accessed on Feb 04, 2022d.

- Pohl C., Van Genderen J.L., (1998), Multisensor Image Fusion in Remote Sensing: Concepts, Methods and Applications. *International Journal of Remote Sensing*, 19, pp. 823-854.
- Ren, J., Shao, Y., Wan, H., Xie, Y., Campos, A, (2021), A two-step mapping of irrigated corn with multi-temporal MODIS and Landsat analysis ready data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 176: pp. 69-82.
- Sarabandi, P., Yamazaki, F., Matsuoka, M., Kiremidjian, A., (2004), Shadow detection and radiometric restoration in satellite high resolution images. In *IGARSS 2004. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Vol. 6, pp. 3744-3747.
- Simpson, J. J., Jin, Z., Stitt, J. R., (2000). Cloud shadow detection under arbitrary viewing and illumination conditions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(2), pp. 972-976.
- USGS, Landsat 4-7 Collection 2 Level 2 Science Product Guide, 2020b
- USGS, Landsat Collection 1 vs Collection 2 summary, 2021a.
- Vermote E., Maurice Herman, Jean-Jacques Morcrette (2006), Second simulation of a satellite signal in the solar spectrum-vector (6SV), 6S User Guide Version 3.
- Wang, T., Shi, J., Letu, H., Ma, Y., Li, X., Zheng, Y., (2019), Detection and removal of clouds and associated shadows in satellite imagery based on simulated radiance fields. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(13), pp. 7207-7225.
- Wu J., Wang D., Bauer M.E., (2005), Image-based atmospheric correction of QuickBird imagery of Minnesota cropland, *Remote Sensing of Environment*, 99, pp. 315-325.
- Xiong, Q., Wang, Y., Liu, D., Ye, S., Du, Z., Liu, W., ..., Zhang, X., (2020), A Cloud Detection Approach Based on Hybrid Multispectral Features with Dynamic Thresholds for GF-1 Remote Sensing Images. *Remote Sensing*, 12(3), 450.
- Yeom J.M., Hwang J.S., Jung J.H., Lee K.H., Lee C.S., (2017), Initial Radiometric Characteristics of KOMPSAT-3A Multispectral Imagery Using the 6S Radiative Transfer Model, Well-Known Radiometric Tarps, and MFRSR Measurements, *Remote Sensing*, 9, 130.

Yeom J.M., Ko J.H., Hwang J.S., Lee C.S., Choi C.U., Jeong S.T., (2018), Updating Absolute Radiometric Characteristics for KOMPSAT-3 and KOMPSAT-3A Multispectral Imaging Sensors Using Well-Characterized Pseudo-Invariant Tarps and Microtops II, Remote Sensing, 10, 697.

Zhang Jixian (2010), Multi-source remote sensing data fusion: status and trends, International Journal of Image and Data Fusion, Vol. 1, No. 1, pp. 5-24.

Zhong, B., Chen, W., Wu, S., Hu, L., Luo, X., & Liu, Q., (2017), A cloud detection method based on relationship between objects of cloud and cloud-shadow for Chinese moderate to high resolution satellite imagery. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 10(11), pp. 4898-4908.

Zhuge, X. Y., Zou, X., & Wang, Y., (2017), A fast cloud detection algorithm applicable to monitoring and nowcasting of daytime cloud systems. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 55(11), pp. 6111-6119.

국가기상위성센터 홈페이지 (<https://nmsc.kma.go.kr/homepage/html/main/main.do>)

기상자료개방포털 (<https://data.kma.go.kr/>)

한국해양과학기술원 해양위성센터(<https://kosc.kiost.ac.kr/index.nm>)

환경위성센터 홈페이지 (<https://nesc.nier.go.kr/>)

Aeronet Web page (<https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>)

CEOS Web page (<https://ceos.org/>)

DigitalGlobe (<http://worldview3.digitalglobe.com>)

Google Earth (<https://earth.google.com/web/>)

MODIS CMA NRT (<https://nrt4.modaps.eosdis.nasa.gov/>)

MODIS CMG (<https://e4ftl01.cr.usgs.gov/>)

RadCalNet Web page (<http://www.radcalnet.org/>)

SIIS Web page (<https://www.si-imaging.com>)

Abstract

Research & Development and Prototype Production of User-Friendly Image Products of CAS500

Kim Tae Jung·Kim Han Gyeol·Hwang Yun Hyuk·Seo Won Woo· Nam Yun ji·
Kim Sun Hwa·Kim Tae Ho·Min Jee Eun·Park Jin Ho·Ryu Joung Mi·Shin Hye
Kyeong·Eun Jeong·Lee Kyu Sung·Yoon Sung Joo·Ban Seung Hwan·
Kim Moon Gyu·Choi Wook Hyun·Hong Min Nyu·Moon Young Ran

NGII's National Land Satellite Center is the main utilization organization of Compact Advanced Satellite 500(CAS500)-1/2, and started to operate and utilize satellites in earnest from the end of October last year. Currently, image-based expertise is required for the utilization and utilization of satellite products, and it is difficult to utilize convergence because spatial information and standards such as aerial orthographic images, country-based maps, and digital altitude models are different. Accordingly, the National Land Satellite Center built ARD (analysis ready data) and planned to produce output that users can easily utilize and analyze. In this project, element technology necessary for ARD products was developed and pilot production was carried out.

The CAS500 ARD package consists of surface reflectance imagery, per-pixel metadata, metadata, and thumbnail images. For the production of surface reflectance images of CAS500, high-resolution satellite image-based absolute radiometric correction and atmospheric correction-related technologies were investigated. In this task, based on the RadCalNet data, a method to calculate the initial absolute radiometric correction coefficient, relative atmospheric correction and absolute atmospheric correction methods suitable for CAS500, and atmospheric correction calibration methods were established. For the production of per-pixel metadata, technology development was carried out to detect clouds, cloud shadows, topographic shadows, and water. In consideration of the difference in characteristics between low and medium-resolution satellite imagery and high-resolution satellite images, the algorithm was optimized for the CAS500 and the performance was supplemented using auxiliary data Owned by NGII. In addition, development for the production of no data, missing data, and saturation products was additionally carried out to comply with CARD4L requirements.

We have also established ASD product specifications and forms of provision.

Surface reflectance imagery was produced using MODTRAN-based FLAASH after performing radiometric correction using the initial absolute radiometric correction coefficient. For per-pixel metadata, the 8 layers described above were produced as a binary mask. After that, it was segmented into 1:5,000 digital terrain map units, and metadata and thumbnail images were created to produce the final product package for the CAS500 ARD. By analyzing the ARD product packages, the final specifications were defined, ARD-related documents were produced and management plans were established.

Validation and easiness verification of the prototype was performed. In the surface reflectance imagery, except for the blue band, the other bands showed a high correlation with the ASD(ground truth) data, and the time-series similarity was also very high. However, the similarity of the spectral characteristics with other satellite data was not high. Per-pixel metadata generally performed well but was somewhat prone to underestimation.

The ARD prototype produced in this way was used in a user survey for experts to collect excellent points and points for improvement.

In order to prepare a continuous implementation plan, the ARD product quality management plan was prepared along with the periodic update plan of the absolute radiometric correction coefficient and atmospheric correction product.

As an additional suggestion, verification of interoperability and machine readability was performed. From the interoperability results, it was confirmed that interoperability between high-resolution satellite imageries as well as medium and low-resolution satellite imageries was possible by using satellite imageries and per-pixel metadata. And From the machine readability result, It was confirmed that ARD product can be used as AI-based data through Unet-based cloud detection model learning and validation. Also, Based on existing research cases, a convergence method with other remote sensing data suitable for the National Land Satellite Center was presented.

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토교통부 국토지리정보원의 수탁을 받아
(주)쓰리디랩스 컨소시움에서 수행한 보고서입니다.
2. 본 내용을 대외적으로 게재, 인용할 때에는 반드시 국토교통부 국토지리정보원의 사전 허락을 받기 바라며,
무단 복제는 절대 금합니다.

국토위성 사용자 친화형 영상 제품 연구개발 및 시범제작

인쇄·2022년 5월

발행·2022년 5월

발행자·(주)쓰리디랩스 컨소시움

발행처·국토교통부 국토지리정보원

주소·경기도 수원시 영통구 월드컵로 92(원천동)

전화·031-210-2700

FAX·031-210-2644