

발 간 등 록 번 호

11-1613436-000280-01

국토위성정보 산출물 가공기술 개발

제 출 문

국토지리정보원장 귀하

본 보고서를 「국토위성정보 산출물 가공기술 개발」 과제의 완료보고서로 제출합니다.

2021. 12

(주)쓰리디랩스 컨소시엄

참여연구진

이수암	(주)쓰리디랩스	연구책임자
김한결	(주)쓰리디랩스	연구원
윤완상	(주)쓰리디랩스	연구원
임평채	(주)쓰리디랩스	연구원
손종환	(주)쓰리디랩스	연구원
최재승	썬트렉아이	연구책임자
정형진	썬트렉아이	연구원

자문위원

정재훈	국립환경과학원	연구관
주용진	인하공업전문대학	정교수
김현숙	한화시스템	과장
김덕인	지오스토리	이사

국토지리정보원

김혜원	국토위성센터	센터장
양효진	국토위성센터	연구관
홍단비	국토위성센터	연구사

국토교통부와 과학기술정보통신부가 위성산업의 발전 및 국토관리 필요성에 부합하기 위해 중형위성 1호를 발사하였으며 2호도 발사할 계획이다. 이에 발 맞춰 국토지리정보원의 국토위성센터는 국토위성정보 수집 및 활용 시스템을 구축('18.6월~'20.12월)하였고, 국토위성정보를 수집하고 이를 활용 가능한 산출물의 형태로 제공 중에 있다. 국토위성정보 산출물의 활용 활성화를 위해서는 사용자 친화적인 형태로 제공될 필요가 있다. 사용자의 경우 관심영역에 대해 scene 단위의 여러 장의 영상을 사용하는데 불편함을 느끼고 있고, 영상 내에 존재하는 무용(無用)영역을 제거한 가시성 높은 영상을 원하고 있다. 따라서 본 사업에서는 국토위성정보의 효율적인 사용 및 활용 확대를 위한 핵심가공기술인 모자이크와 무용영역 추출 및 복원 기술을 개발하고 해당 기술을 SW로 구현하여 기 구축된 시스템에 연계하였다.

국토위성정보 산출물 모자이크 기술 개발

본 사업에서는 먼저 고용량 고해상도 국토위성정보 산출물의 모자이크 기술을 개발하였다. 기술조사를 통해 국토위성정보 산출물에 적합한 4가지의 대표 알고리즘을 선정하였다. 선정된 알고리즘은 Voronoi Diagram, MAGDS(Minimum Absolute Gray Difference Sum), Dijkstra, Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘이다.

선정된 4가지의 대표 알고리즘의 핵심기술과 순서도(Flowchart)를 분석하고 구현하였다. 대표 알고리즘 중 국토위성정보 산출물에 가장 적합한 최적 알고리즘을 선정하기 위해 ① 대상 지역별 접합선 추출 실험, ② 상대 기하 강인성 실험, ③ Scene 단위 접합선 추출 실험을 수행하고 성능을 분석하였다. 실험 결과, Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘이 가장 좋은 성능을 보여주었다. Dijkstra 기법은 선형 지형·지물을 따라 접합선이 규칙적으로 추출되는 것을 확인할 수 있다. 이에 반해 영상의 화소값을 사용하지 않는 Voronoi Diagram 기반 알고리즘과 라인별 화소값 차이만을 고려하는 MAGDS 기반 알고리즘의 경우 비교적 접합선 추출 성능이 떨어졌다. Graph-Cut의 경우 보다 복잡한 그래프 구조를 활용함으로 Scene단위 접합선 추출 실험에서 높은 성능의 접합선이 추출되기도 하였지만, 과대추정 및 지나치게 높은 처리시간 문제가 발생하였다. 따라서 Dijkstra 기반 접합선 추출 알고리즘을 국토위성정보 산출물 모자이크를 위한 알고리즘으로 선정하였다.

선정된 Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘의 성능을 개선하기 위하여 Graph-cut 기반 모자이크 알고리즘과 비교분석을 수행하였고, 그 결과 Dijkstra 기반 알고리즘의 약점인 단순한 그래프 구성을 개선하였다. 먼저 그래프의 Edge를 증가시켜 그래프의 구성을 개선하였으며, 이에 따라 생기는 부작용을 방지하기 위해 weight 산출방식을 개선하였다. 그 결과 Graph-cut 기반 모자이크 알고리즘 보다 훨씬 적은 처리시간으로 기존 Dijkstra 기반 알고리즘 보다 높은 성능의

Ⅰ 요약 Ⅰ

접합선을 추출할 수 있었다.

추가적으로 다중 영상 모자이크 처리를 위해 Strip-wise 접합선 추출 알고리즘을 구현하였다. Strip-wise 접합선 추출에서는 접합선 추출의 효율성을 높이기 위해 먼저 동일 Strip 영상 간 모자이크를 수행하고 이후 Strip 간 접합선 추출을 수행하였다. 이를 통해 Pair-wise 방식의 접합선 추출보다 훨씬 효율적으로 산출되는 것을 확인할 수 있었다.

마지막으로 입력영상 간 화소값 보정 및 영상 집성 기술 개발을 개발하여 모자이크 기술을 완성하였다. 화소값 보정의 경우 ① Histogram Matcing 기반 초기 화소 값 보정을 먼저 수행하고, 접합선 추출 후, ② 접합선 인근 영역에 대해 Alpha Blending 기반 추가 보정을 수행하였다. 영상 집성의 경우 접합선 추출을 통해 영상 마스크를 산출하고 영상 마스크를 기반으로 각 입력 영상을 모자이크 그리드에 재배열하여 최종적으로 여러 장의 영상을 한 장의 모자이크 영상으로 산출하였다.

국토위성정보 산출물 무용영역 추출 및 영역 복원 기술 개발

국토위성정보 산출물 가공기술 SW의 무용 영역 추출 기술 개발을 위해 워터셰드 기반의 무용 영역 객체 분할을 수행하고 사용자가 선택한 일부의 객체 영역에 기초하여 히스토그램 역투영 기법을 통해 전체 무용 영역을 검출할 수 있었다. 이후 무용 영역의 경계 부분을 충분히 포함할 수 있도록 형태학적 연산을 적용하여 최종 무용 영역 마스크를 생성하였다.

무용영역 복원은 동일지역의 다른 시기에 관측된 영상을 사용하는 참조 영상 기반과 동일한 영상을 사용하는 동일 영상 기반으로 구분할 수 있다. 참조 영상을 이용한 무용 영역 복원 성능 비교를 위해 세가지 기법(① 분광 유사도 그룹 기법, ② 히스토그램 매칭 기법, ③ 순차적 로컬 방사 조정 기법)을 정량적(SSIM, Histogram Similarity, MRMSE), 정성적으로 평가하였다. 이를 위해 먼저 타겟 영상과 참조 영상 간 상호정보량 기반의 영상 등록을 수행하여 두 영상의 좌표를 일치시켰다. 무용 영역 복원 성능의 평가 결과, 순차적 국부 방사 조정 기법이 다른 기법보다 우수한 정성적 정량적으로 우수한 성능을 보여 무용 영역 복원에 적합한 알고리즘이라 판단된다. 추가적으로 건물 지역, 농경지, 산림 지역 유형별로 각각 3개의 사이트를 선정하여 순차적 국부 방사 보정을 이용한 참조 영상 기반의 무용 영역 복원을 실험한 결과, 보간 결과 영상에서 무용영역이 자연스럽게 보간된 결과를 얻을 수 있었다.

동일 영상을 이용한 무용 영역 복원을 위해 기존 문헌에서 발표된 알고리즘의 적용 가능성을 살펴보았으나 사용자에게 따라 다양한 크기와 형태를 가지는 무용영역의 복원에는 한계가 있음을 확인하였다. 이에 무용 영역 주변의 분광 특성과 유사한 영역 정보를 자동 탐색하여 복원하는 방법을 개발하였다. 건물 지역, 농경지, 산림 지역 유형별로 각각 3개의 사이트를 선정하여 적용

한 결과, 동일영상에서 히스토그램 유사도가 높은 지역이 자동으로 식별되었으며, 무용영역이 자연스럽게 보간된 결과를 얻을 수 있었다.

시스템 연계 및 품질 점검

국토위성정보 산출물 가공SW와 기 구축 시스템과의 연계를 위해 먼저 업무흐름도를 정의하고 요구사항을 도출하였으며 이에 따라 연계기능을 개발하였다. 본 사업에서 개발된 SW는 활용분석처리 서브시스템과 연동되어 가공기술 처리 업무를 수행한다. 활용분석처리 서브시스템은 국토위성 활용시스템의 서브시스템 중 하나로 작업지시서 기반 활용주문 관리, 활용임무 관리를 수행한다. 국토위성정보 산출물 가공 SW는 활용분석처리 서브시스템과 연동하여 해당 서브시스템에서 전달하는 작업지시서의 정보를 활용하여 자동으로 모자이크 영상을 제작하고, 사용자가 무용영역 처리를 수행할 수 있는 환경을 구성하도록 연계 기능을 개발하였다. 이후 통합시험 및 인수시험을 통해 시스템 연동기능 시험을 수행하였다.

이와 함께, 국토위성정보 산출물 가공 SW에서 제작된 각 산출물의 품질을 분석하기 위한 방안을 제시하였다. 제시한 품질 및 오류점검 방안은 접합선 육안분석 방안, 기하정확도 분석 방안, 화소값 보정 성능지표이다. 해당 방안은 국토위성정보 산출물 가공 SW에서 사용자가 산출물의 품질 및 오류를 점검할 수있도록 기능이 구현되어 있다.

교육 및 시범제작

본 사업의 성과물에 대한 이해를 돕기 위해 국토위성센터 직원을 대상으로 운영자/사용자 매뉴얼 제작과 교육을 수행하였다. 교육은 모자이크 처리, 무용영역 추출 및 복원에 대한 이론 및 국토위성정보 산출물 가공 SW 실습 교육으로 구성하였다.

이와 함께, 국토위성정보 산출물 가공 SW를 이용하여 모자이크 산출물을 시범제작 하였다. 먼저 국토위성 Level 2G 영상 1 Set에 적용한 결과 모자이크 산출물이 잘 생산됨을 확인하였다. 이후 국토위성영상과 유사한 사양을 가지는 KOMPSAT-3A 영상 3 Set을 선정하여 다양한 지역에서 시범제작을 수행하였다. 시범제작된 결과는 앞서 도출한 품질 및 오류 점검 방안을 적용해본 결과 모든 결과물에서 접합선 품질, 기하정확도 품질, 화소값 보정 품질에 오류없이 제작되었음을 확인하였다.

촬영기하별 영상 모자이킹 결과 분석

촬영기하에 따른 모자이크 성능 분석을 수행하기 위해 다양한 위성 자세조건에서 촬영된 국토

Ⅰ 요약 Ⅰ

위성영상을 활용하였다. 실험 결과, 도심지역에서는 원본영상에서 발생된 높이불연속면에 따른 가시성 왜곡이 촬영각도 20도 부근부터 발생하여 그 영향이 모자이크 산출물에도 전달되었으나 산림지역에서는 촬영각도 30도 부근의 영상에서도 도심지와 같은 현상이 발생하지 않았다. 따라서 고품질 모자이크 영상 생성을 위해서는 도심지역은 촬영각도 15도 이내의 영상을 사용하고 산림지역에 대해서는 촬영각도 30도 이내의 영상을 사용할 것을 제안하였다.

제1장 개요	1
1. 연구배경	3
2. 연구목표	5
3. 연구범위	5
제2장 위성영상 핵심 가공기술 개발	7
1. 국토위성정보 산출물 모자이크 기술개발	9
가. 기술조사	10
나. 모자이크 알고리즘 분석 및 구현	29
다. 접합선 추출 기술개발	44
라. 최적 알고리즘 선정 및 개선	60
마. 화소값 보정 및 영상집성 기술개발	102
바. 결론	129
2. 국토위성정보 산출물 무용영역 추출 및 영역복원 기술개발	130
가. 기술조사	130
나. 무용 영역 추출 및 복원 기술 개발 방안	148
다. 무용 영역 추출 및 복원 실험	161
라. 결론	239
제3장 국토위성정보 수집 및 활용시스템 연계	241
1. 기 구축 시스템과 연계기능 개발	243
2. 품질 및 오류점검 기능 개발	264
제4장 교육 및 시범제작	275
1. 국토위성정보 산출물 가공기술 교육	277

Ⅰ 목차 Ⅰ

2. 시범제작	278
제5장 촬영기하별 영상 모자이킹 결과 분석	343
1. 촬영기하 별 영상 모자이킹 실험	346
2. 모자이크 영상제작을 위한 국토위성 촬영 방식 제안	356
제6장 결론	357

<표 2-1> 모자이크 기술 관련 논문 조사 결과	10
<표 2-2> 선정 모자이크 알고리즘 주요 특징 및 활용 가능성	29
<표 2-3> Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘 분석 결과	40
<표 2-4> Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘 분석 결과	43
<표 2-5> 접합선 추출 실험에 사용한 실험 영상 예시	44
<표 2-6> 도심지#2에 대한 접합선 추출 알고리즘 적용 결과 (전체)	45
<표 2-7> 산림지#2에 대한 접합선 추출 알고리즘 적용 결과 (전체)	45
<표 2-8> 상대기하 강인성 실험 결과 (도심지#2)	48
<표 2-9> Voronoi diagram 기반 접합선 추출 알고리즘 강인성 실험 결과 (확대 영상)	50
<표 2-10> MAGDS 기반 접합선 추출 알고리즘 강인성 실험 결과 (확대 영상)	51
<표 2-11> Dijkstra 기반 접합선 추출 알고리즘 강인성 실험 결과 (확대 영상)	52
<표 2-12> Graph-Cut 기반 접합선 추출 알고리즘 강인성 실험 결과 (확대 영상)	53
<표 2-13> 접합선 추출 실험에 사용한 동일 Strip#1 K-3A NIR 영상	54
<표 2-14> 접합선 추출 실험에 사용한 동일 Strip#2 K-3A NIR 영상	55
<표 2-15> 동일 Strip Set #1에 대한 접합선 추출 결과	56
<표 2-16> 동일 Strip Set #2에 대한 접합선 추출 결과	56
<표 2-17> 접합선 추출 실험에 사용한 다른 Strip#1 K-3A NIR 영상	57
<표 2-18> 접합선 추출 실험에 사용한 다른 Strip#2 K-3A NIR 영상	57
<표 2-19> 동일 Strip에 대한 접합선 추출 실험 결과	58
<표 2-20> 대상 지역별 접합선 추출 실험결과 (도심지#2)	61
<표 2-21> 상대 기하 강인성 실험결과 (도심지#2)	62
<표 2-22> Scene 단위 접합선 추출 성능 실험결과 (서로 다른 Strip Set#2)	63
<표 2-23> Dijkstra, Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘 Vertex Map 비교 분석	66
<표 2-24> 접합선 추출 실험에 사용한 동일 Strip#1 K-3A NIR 영상	71
<표 2-25> 접합선 추출 실험에 사용한 동일 Strip#2 K-3A NIR 영상	72
<표 2-26> 접합선 추출 실험에 사용한 다른 Strip#1 K-3A NIR 영상	72

<표 2-27> 접합선 추출 실험에 사용한 다른 Strip#2 K-3A NIR 영상	73
<표 2-28> Dijkstra 기법 개선에 따른 접합선 추출 결과(동일 Strip Set#1)	74
<표 2-29> Dijkstra 기법 개선에 따른 접합선 추출 결과(동일 Strip Set#2)	75
<표 2-30> Dijkstra 기법 개선에 따른 접합선 추출 결과 (서로 다른 Strip Set#1)	76
<표 2-31> Dijkstra 기법 개선에 따른 접합선 추출 결과 (서로 다른 Strip Set#2)	77
<표 2-32> 동일 Strip Set#1 전체 영상	78
<표 2-33> 동일 Strip Set#2 전체 영상	79
<표 2-34> 서로 다른 Strip Set#1	80
<표 2-35> 서로 다른 Strip Set#2	81
<표 2-36> 처리시간 분석 HW 환경	82
<표 2-37> 동일 Strip Set#1 처리시간 분석 결과	82
<표 2-38> 동일 Strip Set#2 처리시간 분석 결과	83
<표 2-39> 서로 다른 Strip Set#1 처리시간 분석 결과	83
<표 2-40> 서로 다른 Strip Set#2 처리시간 분석 결과	83
<표 2-41> 다중영상 데이터셋#1 입력 영상	87
<표 2-42> 다중영상 단순 중첩 결과	88
<표 2-43> Dijkstra 기법과 Graph-Cut 기법을 이용한 접합선 추출 결과	89
<표 2-44> 다중영상 접합선 추출 결과 확대 분석	90
<표 2-45> 다중영상 데이터셋#2 입력 영상	91
<표 2-46> 다중영상 단순 중첩 결과	92
<표 2-47> Dijkstra 기법과 GraphCut 기법을 이용한 접합선 추출 결과	93
<표 2-48> Strip-wise 다중영상 접합선 추출 실험 영상	95
<표 2-49> Strip#1 모자이크 결과	97
<표 2-50> Strip#2 모자이크 결과	98
<표 2-51> 최종 모자이크 결과	99
<표 2-52> 다중영상 모자이크 결과 비교	100
<표 2-53> 다중영상 모자이크 결과 비교 (확대 영상)	101

<표 2-54> HistogramMatching 실험에 사용한 영상 Pair Set#1	104
<표 2-55> HistogramMatching 실험에 사용한 영상 Pair Set#1 Histogram	105
<표 2-56> NIR 전체 영상 Set#1	106
<표 2-57> NIR 확대 영상 Set#1	107
<표 2-58> RGB 전체 영상 Set#1	108
<표 2-59> RGB 확대 영상 Set#1	109
<표 2-60> HistogramMatching 실험에 사용한 영상 Pair Set#2	110
<표 2-61> HistogramMatching 실험에 사용한 영상 Pair Set#2	111
<표 2-62> NIR 전체 영상 Set#2	112
<표 2-63> NIR 확대 영상 Set#2	113
<표 2-64> RGB 전체 영상 Set#2	114
<표 2-65> RGB 확대 영상 Set#2	115
<표 2-66> Set#1 NIR 영상 Alpha Blending 적용 결과 (전체 영상)	117
<표 2-67> Set#1 NIR 영상 Alpha Blending 적용 결과 (확대 영상)	118
<표 2-68> Set#1 RGB 영상 Alpha Blending 적용 결과 (전체 영상)	119
<표 2-69> Set#1 RGB 영상 Alpha Blending 적용 결과 (확대 영상)	120
<표 2-70> Set#2 NIR 영상 Alpha Blending 적용 결과 (전체 영상)	121
<표 2-71> Set#2 NIR 영상 Alpha Blending 적용 결과 (확대 영상)	122
<표 2-72> Set#2 RGB 영상 Alpha Blending 적용 결과 (전체 영상)	123
<표 2-73> Set#2 RGB 영상 Alpha Blending 적용 결과 (확대 영상)	124
<표 2-74> 접합선 추출 실험에 사용한 다른 Strip#2 K-3A NIR 영상	126
<표 2-75> 기존 영역 복원 알고리즘 성능 평가	156
<표 2-76> 관심대상(TOI) 주변 영역 유형에 따른 관심 대상 마스크 생성 결과 비교	175
<표 2-77> 농경지 실험 결과	176
<표 2-78> 산림 지역 실험 결과	177
<표 2-79> 구름 그림자 히스토그램 분석	178
<표 2-80> 역투영 임계값에 따른 구름 그림자 무용영역 추출 과정 (Site1)	182

<표 2-81> 역투영 임계값에 따른 구름 그림자 무용영역 추출 과정 (Site2)	183
<표 2-82> 역투영 임계값에 따른 구름 그림자 무용영역 추출 과정 (Site3) ..	184
<표 2-83> 역투영 임계값에 따른 구름 그림자 무용영역 추출 과정 (Site4)	185
<표 2-84> 역투영 임계값에 따른 구름 그림자 무용영역 추출 과정 (Site5)	186
<표 2-85> 역투영 임계값에 따른 구름 그림자 무용영역 추출 과정 (Site6)	187
<표 2-86> 무용 영역 검출 단계별 파라미터 종류, 기능, 최적값	188
<표 2-87> 마커 생성 임계값 변화에 따른 영상 분할 결과(1)	189
<표 2-88> 마커 생성 임계값 변화에 따른 영상 분할 결과(2)	190
<표 2-89> 원영상 및 영상 분할 결과(1)	190
<표 2-90> 원영상 및 영상 분할 결과(2)	191
<표 2-91> 무용영역 마스크 생성 결과 (Site 1)	191
<표 2-92> 무용영역 마스크 생성 결과 (Site 2)	192
<표 2-93> 무용영역 마스크 생성 결과 (Site 3)	192
<표 2-94> 무용영역 마스크 생성 결과 (Site 4)	192
<표 2-95> 무용영역 마스크 생성 결과 (Site 5)	193
<표 2-96> 고해상도 위성영상(아리랑위성 2/3/3A)를 이용한 영상 등록 연구 주요 결과	199
<표 2-97> 원형 템플릿 설정 방안	200
<표 2-98> 복원 기법별 성능지표 산출 결과	212
<표 2-99> 구름 무용영역 보간 결과 (건물지역)	214
<표 2-100> 구름 무용영역 보간 결과 (농경지역)	214
<표 2-101> 구름 무용영역 보간 결과 (산림지역)	215
<표 2-102> 구름 그림자 무용영역 복원 결과 (Site 1)	216
<표 2-103> 구름 그림자 무용영역 복원 결과 (Site 2)	216
<표 2-104> 다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과 (Site1)	220
<표 2-105> 다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과 (Site2)	220
<표 2-106> 다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과 (Site3)	221
<표 2-107> 다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과 (Site4)	221
<표 2-108> 다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과 (Site5)	222

<표 2-109> 다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과 (Site1 ~ Site5) ...	223
<표 2-110> MS 밴드 복원 결과	224
<표 2-111> Pan-sharpening 밴드 복원 결과	224
<표 2-112> 건물지역 동일영상 기반 보간 결과	228
<표 2-113> 농경지역 동일영상 기반 보간 결과	229
<표 2-114> 산림지역 동일영상 기반 보간 결과	230
<표 2-115> 구름 그림자 동일영상 기반 보간 결과	231
<표 2-116> 동일영상 기반 보간 결과 (Site 1)	233
<표 2-117> 동일영상 기반 보간 결과 (Site 2)	234
<표 2-118> 동일영상 기반 보간 결과 (Site 3)	235
<표 2-119> 동일영상 기반 보간 결과 (Site 4)	236
<표 2-120> 동일영상 기반 보간 결과 (Site 5)	237
<표 2-121> 동일영상 기반 보간 결과 (Site 6)	238
<표 3-1> 활용분석처리 서브시스템 연동 요구사항 목록	255
<표 3-2> 정밀영상 DB 연동 요구사항 목록	255
<표 3-3> 시스템 연동시험에 사용한 장비	256
<표 3-4> 연동기능 시험 자료	256
<표 3-5> 작업지시서 생성 시험결과	257
<표 3-6> 모자이크 작업지시서 시험결과	261
<표 3-7> 무용영역 작업지시서 처리 시험결과	262
<표 3-8> 산출물 산물 시험결과	263
<표 3-9> 접합선 육안분석 예시	265
<표 3-10> 모자이크 결과 #2 - 검사점#1	266
<표 3-11> 모자이크 결과 #2 - 검사점#2	267
<표 3-12> 모자이크 결과 #2 - 검사점#3	267
<표 3-13> 모자이크 결과 #2 - 검사점#4	268
<표 3-14> 모자이크 결과 #2 - 검사점#5	268
<표 3-15> 모자이크 결과 #2 - 검사점#6	269

<표 3-16> 모자이크 #2 기하정확도 분석 결과	269
<표 3-17> 성능지표 분석을 위한 NIR 전체 영상 Set#1	270
<표 3-18> 모자이크 영상뷰어의 기하정확도 분석 관련 기능	272
<표 4-1> Strip #01	278
<표 4-2> Strip #02	280
<표 4-3> Strip #01	282
<표 4-4> Strip #02	283
<표 4-5> Strip #03	284
<표 4-6> Strip #01	285
<표 4-7> Strip #02	287
<표 4-8> Strip #01	289
<표 4-9> Strip #02	291
<표 4-10> 국토위성영상 모자이크 결과 Strip #01	292
<표 4-11> 국토위성영상 모자이크 결과 Strip #02	293
<표 4-12> 국토위성영상 시범제작 결과	293
<표 4-13> 국토위성영상 시범제작 영상 육안분석 영역	295
<표 4-14> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#1	296
<표 4-15> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#2	296
<표 4-16> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#3	297
<표 4-17> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#4	297
<표 4-18> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#5	298
<표 4-19> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#6	298
<표 4-20> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#7	299
<표 4-21> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#8	299
<표 4-22> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#9	300
<표 4-23> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#10	300
<표 4-24> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#11	301
<표 4-25> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#12	301
<표 4-26> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#13	302

<표 4-27> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#14	302
<표 4-28> 국토위성영상 모자이크 결과 분석	303
<표 4-29> 화소값 보정 성능 지표 분석	303
<표 4-30> KOMSAT-3A 영상(하천) 모자이크 결과 Strip #01	304
<표 4-31> KOMSAT-3A 영상(하천) 모자이크 결과 Strip #02	305
<표 4-32> KOMSAT-3A 영상자료(하천) 결과	305
<표 4-33> KOMSAT-3A 영상자료(하천) 육안분석 영역	307
<표 4-34> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#1	308
<표 4-35> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#2	308
<표 4-36> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#3	309
<표 4-37> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#4	309
<표 4-38> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#5	310
<표 4-39> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#6	310
<표 4-40> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#7	311
<표 4-41> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#8	311
<표 4-42> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#9	312
<표 4-43> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#10	312
<표 4-44> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#11	313
<표 4-45> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#12	313
<표 4-46> KOMSAT-3A 영상(하천) 기하정확도 분석 결과	314
<표 4-47> 화소값 보정 성능 지표 분석	315
<표 4-48> 화소값 보정 성능 지표 분석	315
<표 4-49> KOMSAT-3A 영상자료(산악) Strip #01	316
<표 4-50> KOMSAT-3A 영상자료(산악) Strip #02	317
<표 4-51> KOMSAT-3A 영상자료(산악) 결과	317
<표 4-52> KOMSAT-3A 영상자료(산악) 육안분석 영역	319
<표 4-53> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#1	320
<표 4-54> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#2	320
<표 4-55> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#3	321

<표 4-56> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#4	321
<표 4-57> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#5	322
<표 4-58> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#6	322
<표 4-59> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#7	323
<표 4-60> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#8	323
<표 4-61> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#9	324
<표 4-62> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#10	324
<표 4-63> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#11	325
<표 4-64> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#12	325
<표 4-65> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#13	326
<표 4-66> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#14	326
<표 4-67> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#15	327
<표 4-68> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#16	327
<표 4-69> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#17	328
<표 4-70> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#18	328
<표 4-71> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#19	329
<표 4-72> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#20	329
<표 4-73> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#21	330
<표 4-74> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#22	330
<표 4-75> KOMSAT-3A 영상(산악) 기하정확도 분석 결과	331
<표 4-76> 화소값 보정 성능 지표 분석	332
<표 4-77> KOMSAT-3A 영상자료(도심) 모자이킹 결과 Strip #01	333
<표 4-78> KOMSAT-3A 영상자료(도심) 모자이킹 결과 Strip #02	334
<표 4-79> KOMSAT-3A 영상자료(도심) 결과	334
<표 4-80> KOMSAT-3A 영상자료(도심) 육안분석 영역	336
<표 4-81> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#1	337
<표 4-82> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#2	337
<표 4-83> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#3	338
<표 4-84> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#4	338

<표 4-85> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#5	339
<표 4-86> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#6	339
<표 4-87> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#7	340
<표 4-88> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#8	340
<표 4-89> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#9	341
<표 4-90> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#10	341
<표 4-91> KOMSAT-3A 영상(도심) 기하정확도 분석 결과	342
<표 4-92> 화소값 보정 성능 지표 분석	342
<표 5-1> Strip별 촬영일 및 촬영각도	346
<표 5-2> 영상별 관심영역(ROI)	347
<표 5-3> 영상 Pair별 각도차이	348
<표 5-4> 도심지역 모자이크 적용영역	349
<표 5-5> 도심지역 (좌)접합선 표시 영상 (우)접합선 미표시 영상 비교1	350
<표 5-6> 도심지역 (좌)접합선 표시 영상 (우)접합선 미표시 영상 비교2	351
<표 5-7> 산림지역 모자이크 적용 영역	352
<표 5-8> 산림지역 (좌)접합선 표시 영상 (우)접합선 미표시 영상 비교1	354
<표 5-9> 산림지역 (좌)접합선 표시 영상 (우)접합선 미표시 영상 비교2	355

Ⅰ 그림목차 Ⅰ

<그림 1-1> 국토위성정보 산출물 가공기술 추진배경 및 목표	4
<그림 2-1> 모자이크 기술 순서도(Flowchart)	9
<그림 2-2> 모자이크 기술 개발 방안	10
<그림 2-3> 서로 중복된 입력영상들의 Voronoi diagram (Pan et al., 2014)	14
<그림 2-4> 접합선 네트워크 생성과 개선과정의 작업흐름도 (Pan et al., 2014) ·	14
<그림 2-5> 이등분선의 생성($P1 \rightarrow M2 \rightarrow M3 \rightarrow M1 \rightarrow P3$) (Pan et al., 2014)	15
<그림 2-6> 입력영상(a)과 계산된 유효영역(b) (Pan et al., 2014)	16
<그림 2-7> 유효영역으로 정렬된 입력영상 (Pan et al., 2014)	16
<그림 2-8> AVDO에 의해 형성된 초기 접합선 네트워크 (Pan et al., 2014) ·	17
<그림 2-9> 개선작업을 거쳐 최종 획득된 접합선 네트워크 (Pan et al., 2014)	17
<그림 2-10> Minimum Absolute Gray Difference Sum 알고리즘	18
<그림 2-11> 에지추출 알고리즘과 MAGDS 알고리즘의 융합결과(송낙현 외, 2007) (a)에지추출 알고리즘 적용 (b)MAGDS 알고리즘 적용 (c)융합 결과	19
<그림 2-12> twin snake의 초기설정	21
<그림 2-13> 접합선의 계층적 탐지 결과	21
<그림 2-14> 중복영역에 대한 정사영상(left and right)과 계산된 Epho 영상 (middle)	22
<그림 2-15> 대응점 최단경로 접합선 추출 알고리즘(Afek and Brand, 1998)	22
<그림 2-16> 기존 Dijkstra 알고리즘과 개선된 알고리즘간의 메모리 사이즈 비교 (Kim et al., 2015)	23
<그림 2-17> 에지의 주요 구성 요소(Kim et al., 2018)	23
<그림 2-18> 에지 구성요소 가중치에 따른 접합선 추출 결과 (Kim et al., 2018)	24
<그림 2-19> GraphCut Algorithm 기반 접합선 추출	24
<그림 2-20> GraphCut Algorithm 예시	25

<그림 2-21> Deep CNN 기반 접합선 추출 방안 (Li et al., 2017)	26
<그림 2-22> 도로 가능성 지도(Yuan et al., 2020) (a),(c),(e),(g) 도로 가능성 지도, (b),(d),(f),(h) 선호 도로 지역	26
<그림 2-23> NDVI를 활용한 접합선 추출 처리 흐름(Kim et al., 2015)	27
<그림 2-24> 접합선 추출 결과 (a)KOMPSAT-2 (b)KOMPSAT-3	27
<그림 2-25> 수치지도와 영상의 에지 기반 접합선 추출 비교	28
<그림 2-26> Voronoi Diagram 예시	30
<그림 2-27> Voronoi Diagram 기반 모자이크 알고리즘 순서도(Flowchart)	31
<그림 2-28> 입력영상 마스크 산출 및 중복영역 제거	31
<그림 2-29> DistanceTransform 예시	32
<그림 2-30> Voronoi Polygon 산출 및 접합선 추출	32
<그림 2-31> MAGDS 기반 모자이크 알고리즘 순서도(Flowchart)	33
<그림 2-32> 접합선의 시작점, 끝점 산출	34
<그림 2-33> Line 별 MAGDS 및 접합점 산출	35
<그림 2-34> Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘	36
<그림 2-35> 영상 그래프 변환	37
<그림 2-36> Vertex의 누적 Weight 및 Control 산출 방안	38
<그림 2-37> 동적프로그래밍 기반 Dijkstra 알고리즘 접합선 추출	39
<그림 2-38> Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘	40
<그림 2-39> 입력영상 마스크 및 중복영역 산출	41
<그림 2-40> 영상 그리드 그래프 변환 예시	41
<그림 2-41> MaxFlow-MinimumCut 알고리즘을 통한 접합선 추출	42
<그림 2-42> MinimumCut의 과대추정 발생 예시	43
<그림 2-43> 상대기하 강인성 실험 방안	47
<그림 2-44> 동일 Strip pair를 이용한 영상 모자이크 결과 및 중복 영역 길이 측정 예시	55
<그림 2-45> Dijkstra, Graph-Cut 기반 알고리즘의 그래프 구성	65
<그림 2-46> Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘 개선	67
<그림 2-47> edge 구성 개선 예시	68

<그림 2-48> nEdge에 따른 접합선 추출 예시	69
<그림 2-49> weight 산출 개선 방안	70
<그림 2-50> Pair-wise 다중영상 접합선 추출 방안 순서(Flowchart)	85
<그림 2-51> 모자이크 그리드 생성	86
<그림 2-52> Strip-wise 다중영상 접합선 추출 방안 순서도(Flowchart)	94
<그림 2-53> 영상 메타정보의 Strip 정보(OrbitNumber, PassID) 예시	94
<그림 2-54> 국토위성 모자이크 기술 Flowchart 中 화소값 보정 및 영상 집성 단계	102
<그림 2-55> Matching 기반 화소값 보정 순서도(Flowchart)	103
<그림 2-56> Alpha blending 전/후 예시	116
<그림 2-57> 영상 집성 기술 순서도(Flowchart)	125
<그림 2-58> 산출된 입력영상 Mask	126
<그림 2-59> 입력된 접합선 정보	127
<그림 2-60> 산출된 MaskMap	127
<그림 2-61> 영상 집성 결과	128
<그림 2-62> SLIC (Simple Linear Iterative Clustering) 분할 결과 및 알고리즘	131
<그림 2-63> SLIC와 SLICO 분할 결과	132
<그림 2-64> Mean Shift 영상 분할 과정 예시(Cameraman image의 흰색 사각 형 영역에 대한 영상 분할 과정의 3차원 시각화)	133
<그림 2-65> 평균 이동(Mean Shift) 영상 분할 예시 (Balloon 영상)	134
<그림 2-66> 평균 이동(Mean Shift) 영상 분할 예시 (MIT 영상) (a)원본, (b)분할 결과, (c)분할결과경계	134
<그림 2-67> 워터셰드 영상 분할 기법 원리	135
<그림 2-68> 워터셰드 기반 영상 분할 기법의 영역 라벨링 과정 (a)그레디언트 계 산 (b)국부 최소값 선정 및 라벨링 (c)방향탐색 (d)국부 최소값 라벨 할당	136
<그림 2-69> 워터셰드 기반 영역 분할 기법 예시(a)그레디언트 계산 (b)국부 최소 값 선정 및 라벨링 (c)방향탐색 (d)국부 최소값 라벨 할당	136

<그림 2-70> 분광 유사도 그룹(SSG) 기법 원리 (a)타겟영상, (b)참조영상	137
<그림 2-71> 분광 유사도 그룹(SSG) 기반의 복원 예시 (a)타겟영상, (b)참조영상, (c)타겟영상의 구름 및 그림자 마스크, (d)복원결과	138
<그림 2-72> 분광 유사도 그룹(SSG) 기반의 복원 Flow Chart	139
<그림 2-73> 분광 유사도 그룹(SSG) 기반의 복원 결과 (좌: 타겟영상, 중: 참조 영상, 우: 복원결과)	139
<그림 2-74> 해당 알고리즘의 순서도	140
<그림 2-75> 제안된 방법의 의해 얻은 구름 감지 결과	140
<그림 2-76> 제안된 방법의 의해 얻은 영상 복원 결과	141
<그림 2-77> Landsat 7 ETM+ 영상 오류 예시	141
<그림 2-78> Localized Linear Histogram Match (LLHM) 기반 복원 결과	142
<그림 2-79> 유사 화소 선택 방안	142
<그림 2-80> MNSPI 기반 영역 복원 결과 예시 (a)타겟영상 (b)참조영상 (c)복원 결과	143
<그림 2-81> WLR 기반 영상 복원 전/후 비교	144
<그림 2-82> 제안된 구름 제거 방법의 순서도	145
<그림 2-83> 순차적 국부 방사 조정 방식(SRARC) 기반 대상 이미지의 구름 영역 복원 과정	145
<그림 2-84> 복원 방법별 분석 결과	146
<그림 2-85> Inpainting 결과	147
<그림 2-86> Inpainting 원리	147
<그림 2-87> Inpainting 기법 적용 결과 예시	148
<그림 2-88> SLIC 및 SLICO 영상 분할 결과 비교	149
<그림 2-89> SLIC 및 SLICO 영상 분할 결과 비교(부분 확대)	149
<그림 2-90> 평균 이동(Mean Shift) 영상 분할 결과 및 부분 확대	150
<그림 2-91> 워터셰드 영상 분할 결과 및 부분 확대	151
<그림 2-92> 분할 영역의 라벨 및 박스 정보	151
<그림 2-93> 무용 영역 반자동 선택 과정	152
<그림 2-94> 관심 대상 영역 선택에 따른 히스토그램 변화 예시	153

<그림 2-95> 평균 및 표준편차를 이용한 무용 영역 선택의 문제점	154
<그림 2-96> 히스토그램 역투영에 의한 무용 영역 선택	155
<그림 2-97> Alexandru Telea 방법을 이용한 실험 결과(1)	158
<그림 2-98> Alexandru Telea 방법을 이용한 실험 결과(2)	158
<그림 2-99> Navier-Stokes 방법을 이용한 실험 결과	159
<그림 2-100> 무용 영역 복원 과정	160
<그림 2-101> 타겟 영상과 참조 영상을 이용한 방사 조정	160
<그림 2-102> R/G/B 밴드의 무용 영역(구름)의 분광 특성 비교	161
<그림 2-103> 무용 영역 검출을 위한 임계값 적용 효과	162
<그림 2-104> 필터 크기에 따른 Median 필터링 결과	163
<그림 2-105> 워터셰드 영상 분할 알고리즘	164
<그림 2-106> 워터셰드 영상 분할 결과	164
<그림 2-107> 워터셰드 영상 분할 파라미터 변화에 따른 영상 분할 결과 분석	165
<그림 2-108> 사용자 선택에 의한 관심 대상(TOI) 영역 선정 결과	166
<그림 2-109> 무용 영역 반자동 선택 결과 예시	167
<그림 2-110> 히스토그램 역투영에 의한 무용 영역 선택	168
<그림 2-111> (좌) 무용 영역 중심 영역(노란색 원 내부 마우스 1회 클릭) 선택 결과 (우) 역투영 결과 영상	169
<그림 2-112> (좌) 무용 영역 경계 주변 영역(노란색 원 내부 마우스 1회 클릭) 선택 결과 (우) 역투영 결과 영상	169
<그림 2-113> (좌) 무용 영역 중심 및 무용 영역 경계 주변 영역(노란색 원 내부 마우스 총 2회 클릭) 선택 결과 (우) 역투영 결과 영상	169
<그림 2-114> (좌) 무용 영역 중심 및 무용 영역 경계 주변 영역(노란색 원 내부 마우스 총 3회 클릭) 선택 결과 (우) 역투영 결과 영상	170
<그림 2-115> (좌) 무용 영역 중심 및 무용 영역 경계 주변 영역(노란색 원 내부 마우스 총 6회 클릭) 선택 결과 (우) 역투영 결과 영상	170
<그림 2-116> 관심대상(TOI) 영역의 내부와 경계 주변의 형태학적 잡음 성분	171
<그림 2-117> Median 필터의 크기 및 필터링 횟수에 따른 필터링 결과	173

<그림 2-118> 형태학적 팽창(dilation) 연산의 필터링 횟수 및 구조 요소 크기에 따른 필터링 결과	174
<그림 2-119> 블러링 필터링 및 이진화 결과	178
<그림 2-120> 최종 관심대상(TOI) 마스크 영역 정보 계산 과정	180
<그림 2-121> 최종 관심대상(TOI) 마스크 영역 정보 계산 실험 결과	180
<그림 2-122> 임계값 적용에 의한 무용영역(구름) 검출 결과	194
<그림 2-123> 관심대상 마스크 영역 좌표 변환 과정	194
<그림 2-124> 관심대상 마스크 영역 좌표 변환 결과	195
<그림 2-125> 타겟 영상과 참조 영상 간 마스크 보간 수행 결과	196
<그림 2-126> 이진화 임계값에 따른 보간 결과 비교	197
<그림 2-127> 이진화 임계값에 따른 보간 결과 확대 비교	198
<그림 2-128> 영상 등록(Image Registration)을 이용한 참조 영상 좌표 갱신	198
<그림 2-129> 무용 영역 주변의 원형 템플릿 영역	202
<그림 2-130> 타겟 영상의 무용 영역(구름) ROI와 참조 영상의 ROI	202
<그림 2-131> 무용 영역 테스트를 위한 타겟 영상의 관심대상(TOI) 검출	203
<그림 2-132> 상호정보량 기반의 영상 등록 적용 전의 보간 결과	203
<그림 2-133> 상호정보량 기반의 영상 등록 적용 후의 보간 결과	204
<그림 2-134> 상호정보량 기반의 영상 등록 적용 전후의 보간 결과(부분 확대)	204
<그림 2-135> 상호정보량 기반의 영상 등록 적용 후의 보간 결과(부분 확대)	205
<그림 2-136> 영상 등록 정합점 주변의 상호정보량 변화	206
<그림 2-137> 무용 영역의 복원 방법별 복원 결과	207
<그림 2-138> 무용 영역의 복원 방법별 복원 결과 비교(A지역)	208
<그림 2-139> 무용 영역의 복원 방법별 복원 결과 비교(B지역)	208
<그림 2-140> 무용 영역의 복원 방법별 복원 결과 비교(C지역)	209
<그림 2-141> 무용 영역 경계 화소의 필터링 과정	217
<그림 2-142> 무용 영역 경계 필터링의 효과 비교	218
<그림 2-143> 경계 필터링에 사용되는 필터 크기에 따른 필터링 효과 비교 ..	219

<그림 2-144> 사용자 지정에 의한 동일 영상 기반 무용 영역 복원 과정	225
<그림 2-145> 동일 영상 참조 영역 정보를 이용한 무용 영역 보간 과정	225
<그림 2-146> 무용 영역 보간을 위한 마스크 생성 과정	226
<그림 2-147> 동일 영상을 이용한 타겟 영상의 무용 영역 보간 결과	226
<그림 2-148> 동일 영상 기반 무용 영역 보간 과정	227
<그림 2-149> 마커 그레디언트 임계값에 따른 영상 분할 결과 (구름 그림자)	231
<그림 2-150> 동일 영상 기반 복원 결과 후 히스토그램 매칭 적용	232
<그림 3-1> 단독실행 전체 업무흐름도	244
<그림 3-2> 단독실행 모자이크 업무흐름도	245
<그림 3-3> 단독실행 영역 복원 업무흐름도	246
<그림 3-4> 단독실행 모자이크 및 영역 복원 업무흐름도	247
<그림 3-5> 국토위성정보 운영시스템	248
<그림 3-6> 시스템 연동 전체 업무흐름도	249
<그림 3-7> 시스템 연동 모자이크 업무흐름도	250
<그림 3-8> 시스템 연동 영역 복원 업무흐름도	251
<그림 3-9> 시스템 연동 모자이크 및 영역복원 업무흐름도	252
<그림 3-10> 시스템 연동 산출 업무흐름도	253
<그림 3-11> 업무 기능 분해도	254
<그림 3-12> 접합선 육안분석 영역	264
<그림 3-13> 가공기술 SW 접합선 출력을 통한 육안분석 예시	271
<그림 3-14> 입력영상에서 검사점 지상좌표 확인	272
<그림 3-15> 모자이크 결과 영상에서 검사점 지상좌표 확인	273
<그림 3-16> 모자이크 Report의 화소값 보정 성능지표	273
<그림 4-1> 국토위성 시범제작 전체영상 및 육안분석 영역	294
<그림 4-2> KOMSAT-3A 영상(하천) 전체영상 및 육안분석 영역	306
<그림 4-3> KOMSAT-3A 영상자료(산악) 전체영상 및 육안분석 영역	318
<그림 4-4> KOMSAT-3A 영상자료(도심) 전체영상 및 육안분석 영역	335

제1장

개요

1. 연구 배경
2. 연구 목표
3. 연구 범위

1. 연구배경

국토교통부와 과학기술정보통신부가 위성산업의 발전 및 국토관리를 위한 공공분야 위성영상 수요를 충족하기 위하여 국토관측 전용위성인 차세대중형위성 1호를 개발하여 2021년 3월 22일 성공적으로 발사하였다. 국토위성 1호는 0.5m급 공간해상도를 가지는 흑백(전정색) 밴드와 2m급 해상도를 가지는 다중분광밴드를 가지는 고해상도 위성영상을 취득할 수 있는 위성이다. 2022년에는 국토위성 1호기와 동일한 사양을 가지는 국토위성 2호기가 발사될 예정이며 두 개의 위성을 모두 사용하게 될 경우 보다 빠른 주기로 한반도 정밀 관측이 가능하고 준실시간 입체영상 촬영이 가능해져서 향후에 위성영상이 국토관리의 여러 분야에 높은 활용도를 가질 것으로 기대되고 있다.

특히 국토위성영상은 국토위성센터에서 자동화된 처리과정을 거쳐 지표면 기복에 따른 위치오차를 제거하고 높은 위치정확도를 가지는 고품질 산출물인 정밀정사영상으로 제작되게 된다. 이렇게 생산된 국토위성정보 산출물은 다시 다양한 형태로 가공되어 여러 가지 사용자 맞춤형 서비스를 할 수 있을 것으로 기대된다.

여러 가지 사용자 맞춤형 서비스 중에서 사용자에게 최신 국토의 모습을 위치왜곡 없이 제공해주는 영상지도 서비스는 고해상도 위성영상이 가장 널리 활용되고 있는 대표적인 서비스로 볼 수 있다. 그러나, 국토위성정보 산출물을 이용하여 영상지도 서비스를 제공하기 위해서는 여러 가지 추가적인 가공기술이 필요하게 된다.

이 중, 가장 필요한 가공기술은 모자이크 영상 생성기술로 볼 수 있다. 국토위성영상은 높은 해상도를 가지고 있는 반면, 촬영폭이 12km라는 제한을 가지고 있는 위성이다. 특히, 구글지도, 카카오/네이버 지도 등 연속된 영상지도 형태로 제공되고 있는 영상지도 서비스에 익숙한 사용자들에게는 12km x 12km로 구분되어 제공되는 scene 단위의 여러 장의 영상을 사용하는데 불편함을 느낄 수 있다. 따라서 동일패스 또는 서로 다른 패스에서 촬영된 영상으로부터 생성된 국토위성정보 산출물들을 서로 매끄럽게 연결하는 모자이크 영상 생성이 영상지도 서비스를 위해서 가장 필수적으로 갖추어야 하는 기술이다.

아울러, 위성영상은 높은 고도에서 촬영하는 특성상, 영상 내에는 구름, 구름그림자 등 영상지도 서비스에는 사용할 수 없는 무용(無用)영역을 포함하게 된다. 영상지도 서비스에 이러한 무용영역이 포함되게 된다면 전체 영상지도의 가시성을 크게 저하시킬 우려가 있다. 따라서 국토위성정보

산출물에 포함되어 있는 무용영역을 식별하고 이를 다른 부분의 밝기값으로 대체하여 전체 영상지도의 품질을 높이는 무용영역 추출 및 복원기술이 영상지도 서비스를 위해서 갖추어야 하는 기술로 판단된다.

따라서 국토위성정보 산출물의 효율적인 사용 및 활용확대를 위한 핵심가공기술을 개발하고 산출물 가공과정을 기존 구축된 시스템에 연계하여 국토위성정보 산출물의 활용가치를 높이고 산출물 가공절차를 체계화하기 위해서 본 사업이 도출되게 되었다.



<그림 1-1> 국토위성정보 산출물 가공기술 추진배경 및 목표

2. 연구목표

본 사업에서는 Scene 단위로 정밀기하보정 및 정사보정 처리된 국토위성영상을 입력받아서 모자이크 영상으로 생산할 수 있는 위성영상 자동 모자이크 기술 및 무용 영역 제거 및 복원 기술을 개발하여 국토위성정보 산출물을 서비스할 수 있는 핵심 가공기술을 개발한다.

또한 유관 연구개발과제 수행 경험을 바탕으로 국토위성정보 산출물 가공기술이 ‘국토위성정보 수집 및 활용 시스템’과의 연동되어 동작할 수 있도록 기 구축된 시스템과의 연계기술을 개발한다. 개발된 기술을 국토위성센터의 전문인력에게 교육하고 개발된 기술을 이용하여 시범제작을 실시하여 개발된 기술의 적용성을 검증한다.

이를 통해서 국토위성정보 산출물들의 활용성을 넓히고 사용자에게 고품질 국토위성정보를 제공하여 공공분야의 국토관리 활용수요를 충족할 수 있는 기반을 구축한다.

3. 연구범위

본 사업의 연구 범위는 다음과 같다.

□ 위성영상 핵심 가공기술 개발

(위성영상 자동 모자이크 기술)

- 인접영상 간 접합선 추출 기술 개발
- 인접영상 간 화소값 보정 기술 개발
- 영상 페어 자동 선정 기술 개발

(위성영상 무용 영역 추출 및 복원 기술 개발)

- 무용 영역 자동/반자동 추출 기술 개발
- 동일영상 기반 영상 복원 기술 개발
- 참조영상 기반 영상 복원 기술 개발

(위성영상 가공 산출물 제작 및 저장)

- GeoTiff, 카탈로그 파일, 메타데이터 등 가공기술 산출물 제작
- 가공기술 산출물 출력 기능 (기본/ROI/도엽단위 출력) 개발 개발

□ 국토위성정보 수집 및 활용시스템 연계

(기 구축 시스템과의 연동 구현)

- 국토위성영상 검색조건 및 결과관리 기능
- 작업지시서 기반 작업관리 기능
- 가공기술 산출물 DB 저장 기능

(가공 산출물의 품질, 오류 자동 표출 및 리포트 기능)

- 가공기술 작업결과 산출물 품질 및 오류 점검 기능 개발

□ 교육 및 시범제작

- 위성영상 핵심 가공기술의 세부 내용 및 시스템 사용자 교육 실시
- 국토위성정보 수집 및 활용시스템 연동 자동생산 테스트 및 시범제작

□ 촬영기하별 영상 모자이크 결과 분석 (추가 제안)

- 촬영기하에 따른 모자이크 영향 분석
- 모자이크 영상 제작을 위한 국토위성 촬영방식 제안

제2장

위성영상 핵심 가공기술 개발

1. 국토위성정보 산출물 모자이크 기술 개발
2. 국토위성정보 산출물 무용영역 추출 및 영역복원 기술 개발

1. 국토위성정보 산출물 모자이크 기술개발

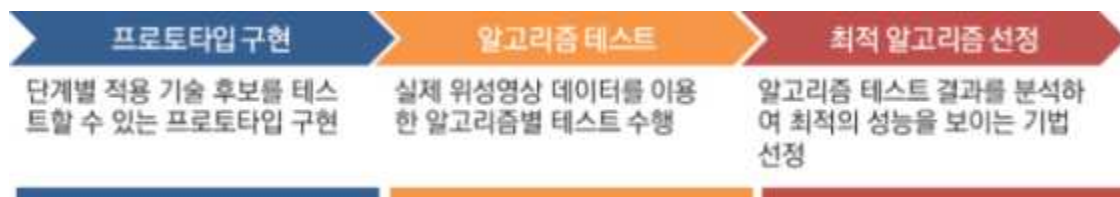
본 장에서는 국토위성정보 산출물 가공기술 SW의 모자이크 기술개발 내용을 기술한다. 가. 기술조사에서는 모자이크 기술과 관련한 기존 기술 현황에 대한 조사 내용을 소개한다. 나. 모자이크 알고리즘 분석 및 구현에서는 가.의 기술 조사를 토대로 국토위성정보 산출물에 적합한 모자이크 기술 대표 알고리즘 선정하고 각 알고리즘을 분석 및 구현 방안에 대해 기술한다. 다. 접합선 추출 기술개발에서는 앞서 구현한 모자이크 알고리즘과 위성영상을 활용하여 다양한 실험을 수행하고 라.에서 그 결과를 분석하여 최적 알고리즘 선정과 개선 방안에 대하여 기술하였다. 마.에서는 화소값 보정 및 영상집성 기술 개발에 대해 작성하였다.

모자이크 기술은 크게 영상 페어 구성, 영상 페어 별 접합선 추출, 화소값 보정, 영상 집성으로 구성된다. 특히 접합선 추출의 경우 모자이크 영상에서 입력영상 간 경계를 추출하는 핵심 단계로서 모자이크 산출물 성능에 가장 큰 영향을 미친다. 앞서 수행한 기술조사 결과, 많은 선행 연구에서 모자이크 성능 향상을 위해 다양한 접합선 추출 기술 연구를 수행하였음을 확인할 수 있었다.



<그림 2-1> 모자이크 기술 순서도(Flowchart)

따라서 국토위성정보 산출물 모자이크 기술개발을 위해서 먼저 접합선 추출 기술 중심으로 대표 알고리즘을 선정하였다. 이후 선정된 알고리즘을 파악하기 위해 알고리즘의 핵심사항을 프로토타입으로 구현하고 다양한 환경에서 테스트를 수행하여 알고리즘의 성능을 비교 분석하였다. 이를 기반으로 최적 알고리즘을 선정하고 추가적으로 국토위성정보 산출물에 최적화되도록 알고리즘의 개선하고자 한다.



<그림 2-2> 모자이크 기술 개발 방안

가. 기술조사

모자이크 기술 개발에 앞서 대표적인 영상 모자이크 알고리즘을 조사하고 국토위성정보 산출물에 적합한 알고리즘을 선별하고자 한다. 먼저 모자이크 기술 관련하여 논문을 조사하고 각 논문의 알고리즘을 분류하였다. 이후 각 알고리즘에 대해 조사하여 기술하였다.

1) 모자이크 기술 관련 논문 조사

총 19편의 모자이크 관련 논문을 조사하고 각 논문의 주요사항을 아래 표와 같이 간단하게 정리하였다. 각 논문의 연구는 크게 Voronoi Diagram, Twin-snake, MAGDS, Graph-cut, Dijkstra기반 알고리즘으로 분류되었다. 이중 Voronoi Diagram 관련 논문 5편, MAGDS 관련 논문 4편, Twin Snake 관련 논문 1편, Dijkstra 관련 논문 6편, Graph-cut 관련 논문 4편이 조사되었다.

<표 2-1> 모자이크 기술 관련 논문 조사 결과

게재 연도	논문명	게재지	저자명	주요사항
1975	Computer Methods for Creating Photomosaics	IEEE Transactions on Computers	D.L.Milgram	- MAGDS 기반 모자이크 기술 개발 - Offset을 적용하여 MAGDS 알고리즘 개선
1989	Two-Dimensional Seam-Point Searching in Digital Image Mosaicking	Photogrammetry Engineering	Y.Shiren, L.Li, G.Pen	- MAGDS 기반 모자이크 기술 개발 - 2차원 탐색영역을 적용하여

		and Remote Sensing		MAGDS 알고리즘 개선
1998	Mosaicking of Orthorectified Aerial Images	Photogrammetry Engineering and Remote Sensing	Y.Afek, A.Brand	<ul style="list-style-type: none"> - Dijkstra 기반 모자이크 기술 개발 - 대응점을 활용하여 Dijkstra 기반 최단경로 접합선 추출
2001	Seamline detection in colour orthoimage mosaicking by use of twin snakes	ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing	M. Kerschner	<ul style="list-style-type: none"> - Twin-Snake 기반 모자이크 기술 개발 - Snake 기술 기반 접합선 추출 기술 개발
2002	Automated Mosaics via Topology Inference	IEEE Computer Graphics and Applications	S.Hsu, H.S.Sawhney, R.Kumar	<ul style="list-style-type: none"> - Voronoi 기반 모자이크 기술 개발 - 이미지와 비디오에서 고속 자동 모자이크 구현
2005	Automated image mosaicking	Journal of the Chinese Institute of Engineering	V.J.Tsai, Y.Huang	<ul style="list-style-type: none"> - MAGDS 기반 모자이크 기술 개발 - 자동 영상 모자이크 기술개발
2007	자동 모자이크 영상제작을 위한 접합선 추출기법에 관한 연구	한국측량학회지	송낙현, 이성훈, 오금희, 조우석	<ul style="list-style-type: none"> - MAGDS 기반 모자이크 기술 개발 - Canny기반 Edge를 적용하여 MAGDS 알고리즘 개선
2009	Automatic Generation of Seamline Network Using Area Voronoi Diagrams With Overlap	IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing	J.Pan, M.Wang, D.Li, J.Li	<ul style="list-style-type: none"> - Voronoi 기반 모자이크 기술 개발 - Voronoi Diagram기반 다중 항공 영상 처리 기술개발
2014	Seamline Network Refinement Based on Area Voronoi Diagrams With Overlap	IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing	J.Pan, M.Wang, D.Ma, Q.Zhou, J.Li	<ul style="list-style-type: none"> - Voronoi 기반 모자이크 기술 개발 - Dijkstra 알고리즘을 결합하여 Seamline Network 개선
2015	고해상도 위성영상 모자이크를 위한 NDVI 특성을 이용한 접합선 추출 기법	대한원격탐사학회	김지영, 채태병, 변영기	<ul style="list-style-type: none"> - Dijkstra 기반 모자이크 기술 개발 - NDVI를 통해 초기 접합선 추출
2016	Optimal seamline detection for multiple image mosaicking via graph cuts	ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote	L.Li, J.Yao, X.Lu, J.Tu, J.Shan	<ul style="list-style-type: none"> - Graph-Cut 기반 모자이크 기술 개발 - Graph-Cut기반 다중 영상 모자이크 기술 개발

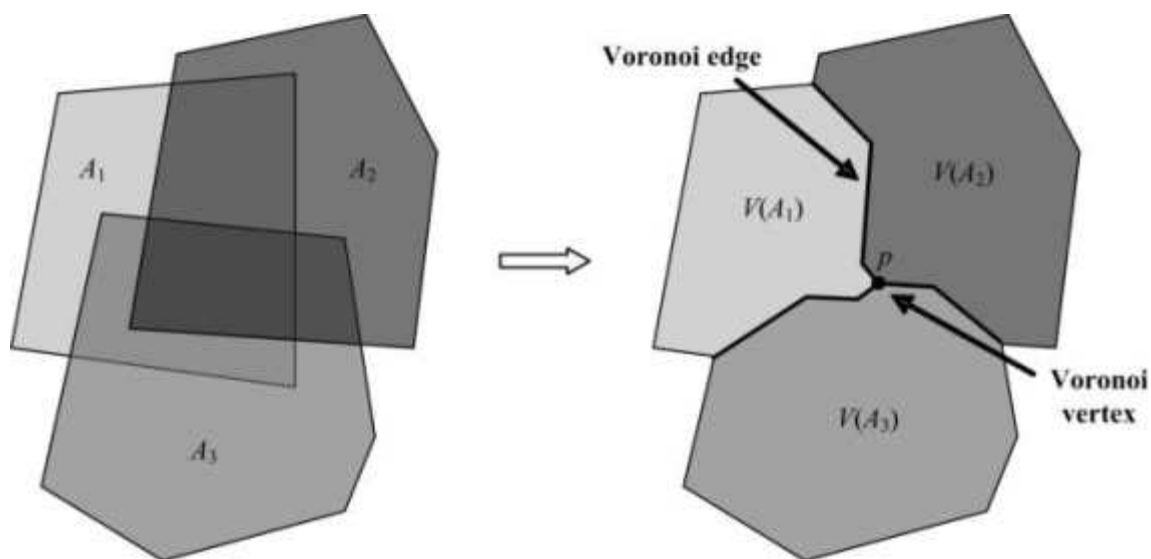
		Sensing		
2017	Seamline optimization based on ground objects classes for orthoimage mosaicking	Remote Sensing Letters	J.Pan, S.Yuan, J.Li, B.Wu	<ul style="list-style-type: none"> - Dijkstra 기반 모자이크 기술 개발 - 피복분류를 통해 접합선 성능향상
2017	Optimal Seamline Detection for Orthoimage Mosaicking by Combining Deep Convolutional Neural Network and Graph Cuts	Remote Sensing	L.Li, J.Yao, Y.Liu, W.Yuan, S.Shi, S.Yuan	<ul style="list-style-type: none"> - Graph-Cut 기반 모자이크 기술 개발 - DeepLearning(DeepCNN) 기반 Cost Weight 산출
2018	Edge-Enhanced Optimal Seamline Detection for Orthoimage Mosaicking	IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS	L.Li, J.Yao, R.Xie, J.Li	<ul style="list-style-type: none"> - Graph-Cut 기반 모자이크 기술 개발 - 영상의 Edge 정보를 강화한 Energy 함수를 산출하여 접합선 추출 성능 향상
2018	360 VR을 구성하는 영상들 간 밝기 차이를 이용한 seam finding 알고리즘	방송공학학회지	남다운, 한종기	<ul style="list-style-type: none"> - Voronoi 기반 모자이크 기술 테스트 - Dijkstra 기반 모자이크 기술 테스트 - 밝기 대비를 이용한 마스크 추출 방법을 통해 모자이크개선
2018	모자이크 영상 생성을 위한 영상과 수치지도로부터 접합선 결정	한국측량학회지	김동한, 오채영, 이대건, 이동천	<ul style="list-style-type: none"> - Dijkstra 기반 모자이크 기술 개발 - 수치지도 활용 접합선 추출
2018	Seamline Optimisation For Urban Aerial Ortho-Image Mosaicking Using Graph Cuts	The Photogrammetric Record	Y.Zhang, M.Zhang, S.Du, Z.Zou, C.Fan	<ul style="list-style-type: none"> - Graph-Cut 기반 모자이크 기술 개발 - 도심지역 항공정사영상 모자이크를 위해 gradient 기반 Graph-cut 연구
2019	An improved approach for generating globally consistent seamline networks for aerial image mosaicking	International Journal of Remote Sensing	J.He, M.Sun, Q.Chen, Z.Zhang	<ul style="list-style-type: none"> - voronoi 기반 모자이크 기술 개발 - 대량의 항공영상을 Voronoi Seamline Network를 통해 일관된 접합선 추출
2020	Automatic Seamline Determination for Urban Image Mosaicking Based on Road Probability Map from the D-LinkNet Neural Network	Sensors	S.Yuan, K.Yang, X.Li, H.Cai	<ul style="list-style-type: none"> - Dijkstra 기반 모자이크 기술 개발 - DeepLearning(D-LinkNetNN) 기반 도로맵을 생성하여 접합선 성능향상

2) 모자이크 알고리즘 상세조사

앞서 수행한 논문 조사를 바탕으로 각 알고리즘을 조사하였다. 논 문서에서 조사한 알고리즘은 크게 6가지로 Voronoi Diagram 기반 모자이크 기술, MAGDS 기반 모자이크 기술, Twin-snake 기반 모자이크 기술, Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘, Graph-cut 기반 모자이크 기술과 그 외 모자이크 연구에 대해 기술하였다.

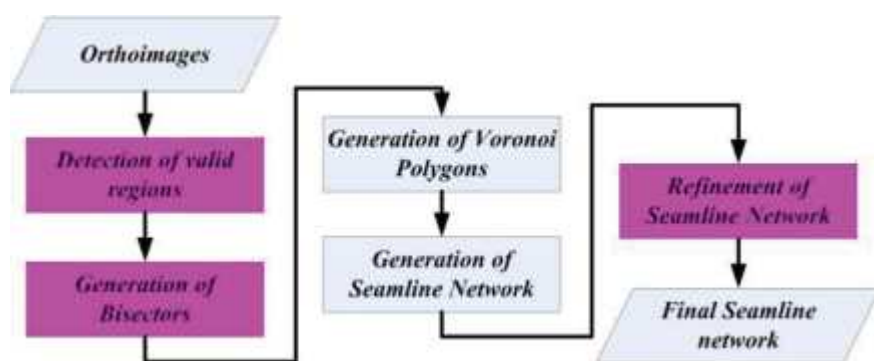
가) Voronoi diagram 기반 모자이크 기술

일반적으로 널리 사용되고 있는 모자이크 제작방식은 영상이 새로 입력될 때 마다 이전 영상들로 이미 제작되어 있는 모자이크 영상에 반복적으로 결합시키는 frame-to-frame 방식을 따른다. 이는 순차적인 처리방식을 기반으로 하고 있기 때문에 낮은 효율성과, 중간 처리과정의 필요성, 그리고 합성순서에 종속적인 결과 산출 등의 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 효과적인 모자이크를 위한 폴리곤, 즉 EMP(Effective Mosaic Polygon)를 생성하여 접합선 네트워크를 구성하고 이를 통해 모자이크를 수행하는 방식이 제안되었다. 이 방식에서는 모자이크를 위한 입력영상들이 추출된 접합선에 의해 각각의 EMP들로 분할된다. 여기서 EMP는 각각의 입력영상에서 실질적으로 모자이크에 사용되는 부분을 의미하며, 이러한 관점에서 모자이크는 이들 EMP를 합성하는 문제로 간주될 수 있다. 이러한 접근방식은 모자이크 과정에서 불필요한 중복을 배제시킬 수 있게 만든다. 이는 높은 중복도를 갖는 원격탐사자료의 경우, 더욱 효과적이다. EMP를 생성하는 방법으로 Voronoi diagram(보로노이 다이어그램)을 이용하는 방법이 제시되었다(Hsu et al., 2002; Pan et al., 2009; Pan et al., 2014). Voronoi diagram을 이용한 접합선 네트워크 방식은 최종 모자이크 생성에 있어 각각의 입력영상이 담당하는 영역을 명확하게 만든다. 이를 통해 처리과정에 높은 효율을 가져올 수 있으며, 또한 영상의 합성순서에 독립성을 가질 수 있다.



<그림 2-3> 서로 중복된 입력영상들의 Voronoi diagram (Pan et al., 2014)

이와 관련한 주요 연구로는 AVDO(Area Voronoi Diagrams with Overlap) 기반 접합선 네트워크 방식을 꼽을 수 있다(Pan et al., 2014; Pan et al., 2009). AVDO를 이용하여 접합선 네트워크를 구성하게 되면, 각 입력영상의 EMP는 생성된 Voronoi 폴리곤과 정확히 일치되며, 각각의 접합선 역시 인접 Voronoi 폴리곤들이 이루는 공통경계 상에 위치하게 된다. 이러한 Voronoi 폴리곤은 AVDO 정의에 의거하여 서로 중복된 인접 영상사이의 이등분선을 기반으로 생성되며, 이 때 생성된 Voronoi 폴리곤들의 경계가 상기의 접합선 네트워크를 구성하는 각각의 접합선이 된다. 최적의 접합선 네트워크는 크게 유효영역탐지, 이등분선(bisector) 생성, 접합선 네트워크 개선과 같이 총 3단계를 거쳐 생성된다.

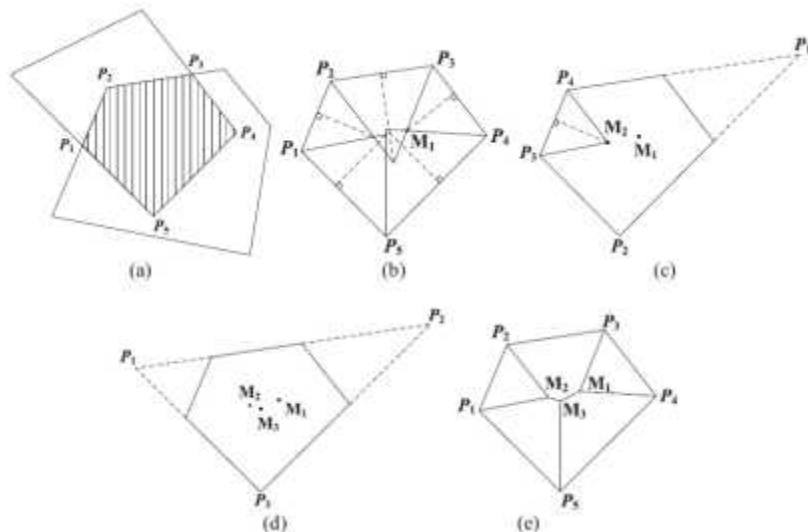


<그림 2-4> 접합선 네트워크 생성과 개선과정의 작업흐름도 (Pan et al., 2014)

유효영역의 탐지단계는 모자이킹 과정에서 입력영상의 유효영역을 획득하기 위한 목적을 가진다. 보통의 경우, 영상 모자이킹을 수행하기에 앞서 획득영상은 기하보정의 과정을 거치기 때문에, 보정 결과영상에는 비 유효영역이 발생하게 된다. 즉, 유효영역탐지단계는 추출된 접합선이 입력

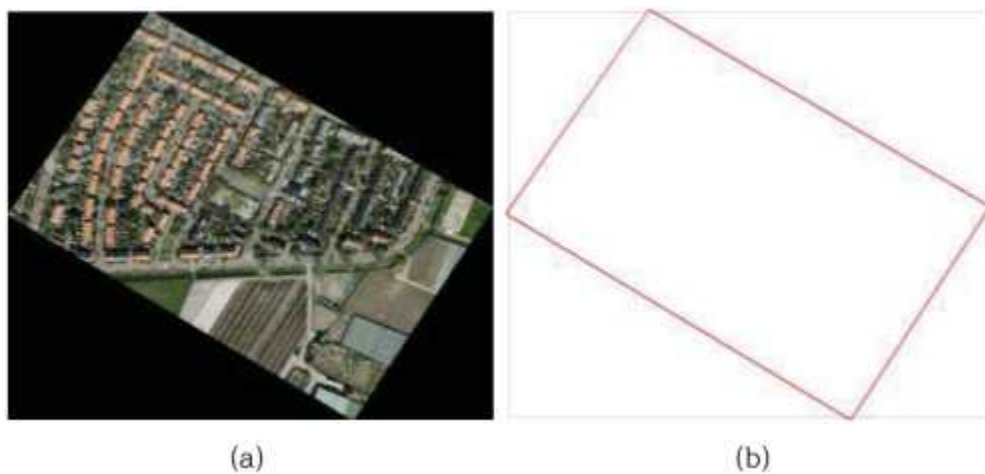
영상에서 유효하지 않은 부분을 가로지르는 것을 막기 위한 과정이라고 할 수 있다.

인접영상 사이의 이등분선 생성은 접합선 네트워크 생성의 기초가 되는 과정이다. 이등분선은 입력영상의 유효영역이 가지는 중복영역에서 생성된다. AVDO의 정의에 따라 생성된 이등분선 임의의 한 점과 두 인접영상의 유효영역까지의 거리는 모두 동일하다. 실제 생성된 이등분선은 두 유효영역의 중복영역을 분할하게 된다.



<그림 2-5> 이등분선의 생성(P1 → M2 → M3 → M1 → P3) (Pan et al., 2014)

생성된 이등분선은 입력영상을 Voronoi 폴리곤으로 분할하는데 사용된다. Voronoi 폴리곤들이 생성되고 나면, 그들 사이의 공통경계를 개별적인 접합선으로 얻을 수 있게 되며, 이들을 서로 연결함으로써 접합선 네트워크를 구성할 수 있게 된다. 그러나 이와 같이 생성된 접합선 네트워크는 입력영상의 geocoding information만이 고려되었을 뿐 아직까지 image content information에 대해서는 고려가 되어 있지 않은 상태이다. 이에 마지막 접합선 네트워크 개선단계에서는 최대 유사도를 갖는 영역을 따라 접합선이 생성될 수 있도록 Voronoi 폴리곤의 조정작업이 이루어진다.



<그림 2-6> 입력영상(a)와 계산된 유효영역(b) (Pan et al., 2014)



<그림 2-7> 유효영역으로 정렬된 입력영상 (Pan et al., 2014)



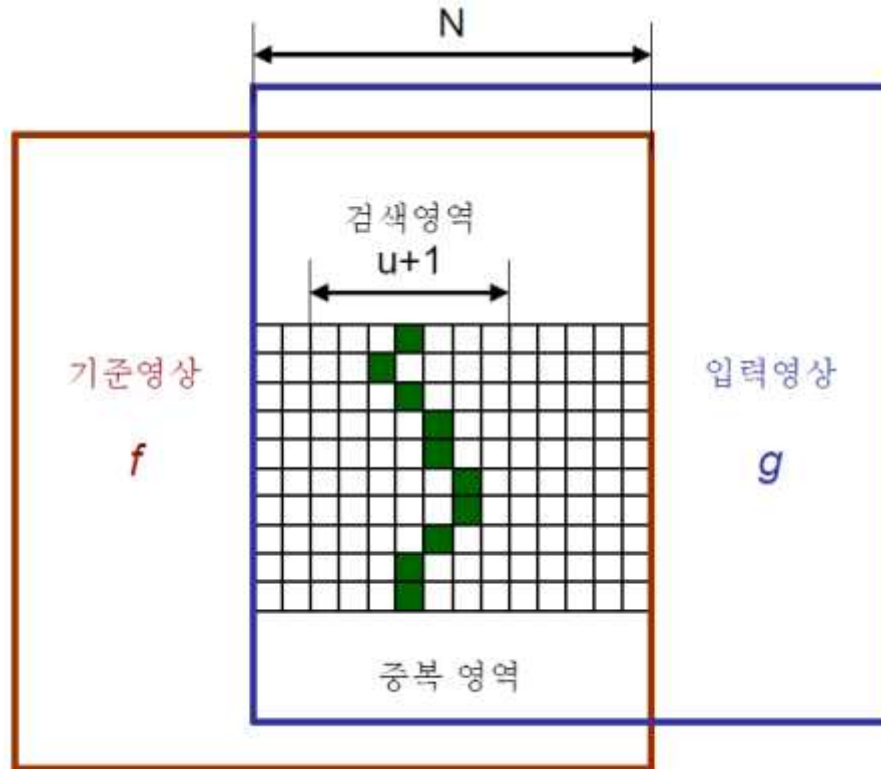
<그림 2-8> AVDO에 의해 형성된 초기 접합선 네트워크 (Pan et al., 2014)



<그림 2-9> 개선작업을 거쳐 최종 획득된 접합선 네트워크 (Pan et al., 2014)

나) MAGDS(Minimum Absolute Gray Difference Sum) 기반 모자이크 기술

MAGDS 기법은 그 이름에서도 알 수 있듯이 중복된 두 장의 영상에서 각각의 대응점 주변 화소값들의 합을 계산한 뒤, 그 차이의 절대값이 최소가 되는 지점들을 연속적으로 찾아가면서 접합선을 구하는 방식이다.



<그림 2-10> Minimum Absolute Gray Difference Sum 알고리즘

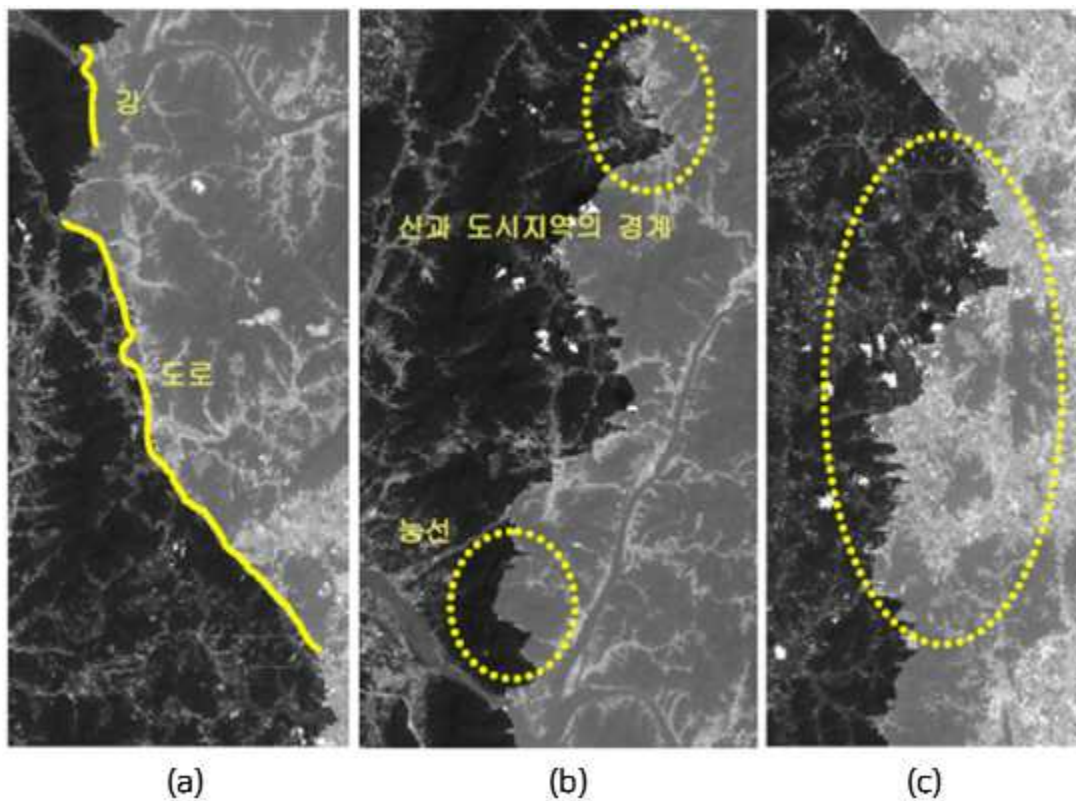
보다 상세한 설명을 위해 상기의 그림에서와 같이 중복영역의 한 행이 총 N 개 화소로 구성되어 있다고 가정하자. 이 경우, 접합점은 중복영역 각 행별로 한 지점씩 선택되며, 이 때, 접합점은 특정 범위의 주변 화소값을(구체적으로는 대상지점 좌우 열의 화소값들) 모두 합한 값이 대응지점에서 계산된 값과 가장 작은 차이를 나타내는 지점으로 결정된다. 즉, 아래 수식에서와 같이 기준영상의 화소값을 f , 입력영상의 화소값을 g 라 했을 때, j 번째 행에 대한 접합지점은 v 의 값을 최소로 하는 k 번째 열의 화소가 된다.

$$v(j,k) = \sum_{i=-u/2}^{u/2} |f(j,k+i) - g(j,k+i)|$$

이 방법은 앞서 설명한 바와 같이 접합점을 찾기 위해 중복영역 각각의 행(또는 열)에 대한 1차원 탐색만이 이루어지기 때문에 인접한 행(또는 열)에서 부분적인 불일치가 나타날 수 있다. 이러한

문제를 최소화하기 위해 Milgram(1975)는 행(또는 열)별로 오프셋을 두어 일정간격으로 접합점을 선정하였다.

이와 관련된 연구로 Shiren et al.(1989)는 접합점을 추출하는데 있어 기존 1차원의 탐색영역을 2차원으로 확장 시키는 방법을 제안하였고, Tsai and Huang(2002)는 특징점 추출 및 정합 기법을 바탕으로 영상등록(image registration)을 수행한 후, MAGDS 기법을 기반으로 접합선을 추출함으로써 모자이크 영상제작의 자동화 절차를 제시한 바 있다. 국내에서는 Song et al.(2007)이 Canny 에지검출 알고리즘과 MAGDS 기법을 융합하여 밝기값의 불연속을 최소화하는 접합선 추출방법을 제안하였다.



<그림 2-11> 에지추출 알고리즘과 MAGDS 알고리즘의 융합결과(송낙현 외, 2007)
(a)에지추출 알고리즘 적용 (b)MAGDS 알고리즘 적용 (c)융합 결과

다) Twin-Snakes 기반 모자이크 기술

Kerschner (2001)은 최적의 접합선을 결정하기 위해 "snake technique"으로 불리는 방법을 제안하였다. 이 알고리즘은 인접영상의 중복영역에서 snake로 불리는 두 개의 선으로부터 시작된다. 이들 선상에서 오정합된 값들의 총합은 에너지로 불리는 목적함수로 사용되며, 이 에너지를 최소화하는 곡선, 즉 두 snakes가 하나로 일치될 때, 이를 최적의 접합선으로 결정한다.

Snakes(Kass et al., 1988)는 원래 선형 객체를 추출하기 위해 반자동의 측정도구로 설계된 동

적 윤곽선이다. Snake는 초기 설정된 모양과 위치로부터 반복적인 절차를 통해 영상에서 그 모양과 위치를 바꾸어 나간다. 이는 에너지 함수를 최소화하는 방향으로 진화한다. 에너지 함수는 다음과 같이 여러 항으로 구성된다.

$$E_{snake} = \int_0^1 E_{snake}(v(s))ds = \int_0^1 [E_{int}\{v(s)\} + E_{pho}\{v(s)\} + E_{ext}\{v(s)\}]ds$$

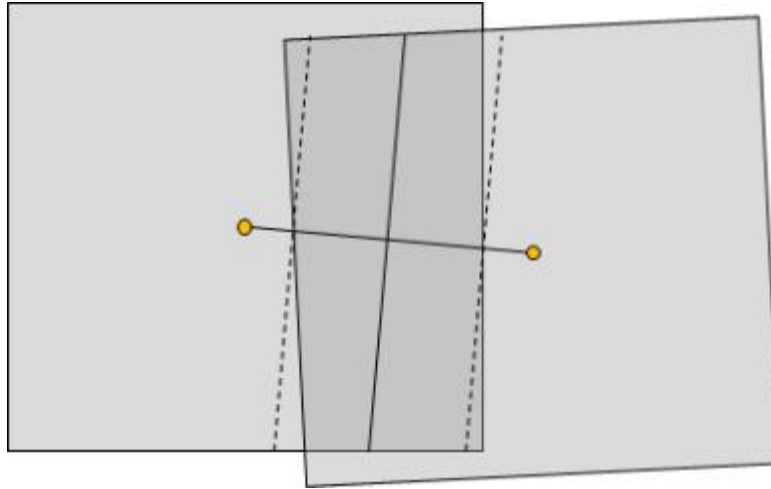
where E_{int} : internal terms, E_{pho} : photometric terms, E_{ext} : external forces

에너지는 각각의 벡터 $v(s)$ 에 대해서 계산되며, snake의 전체 길이 s 에 걸쳐 모두 더해진다. E_{int} 는 곡선의 부드러운 형태를 보존하기 위해 노력하며, E_{pho} 는 보통 에지의 강도나 유사도를 평가하여 객체의 경계와 같이 영상에서 특징이 되는 부분으로 snake를 끌어당긴다. E_{ext} 는 사용자 인터렉션에 의해 도입될 수 있으며 snake의 전역적인 제어 및 진화를 이끌어간다.

Twin snakes는 상술한 본래의 개념을 확장한 것이다. 여기서 E_{ext} 는 두 snake간에 끌어당기는 힘으로 정의되며, 두 snake 사이의 이격거리 d 와 요구되는 d_0 를 비교한다(δ 는 $[0, 1]$ 의 범위를 갖는 가중치를 의미).

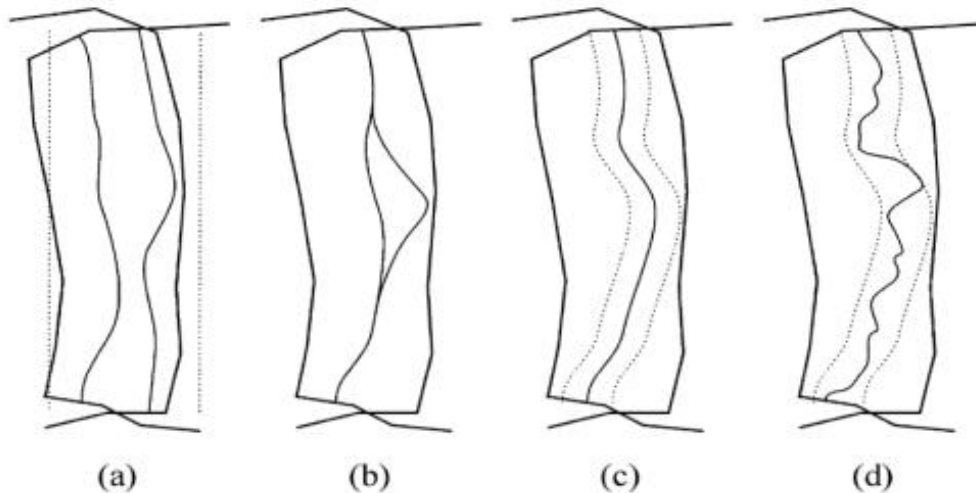
$$E_{ext}(v(s)) = \delta(d(s) - d_0)$$

이 때, 두 snake 사이에 요구되는 거리 d_0 는 '0'으로 설정되며, 이는 두 snake가 하나로 일치될 때 E_{ext} 가 최소화됨을 의미한다. 유사한 색상으로 유사 텍스처를 갖는 접합선을 최적의 접합선으로 고려하기 위해 상기의 twin snakes 개념은 추가적인 기준(색상의 유사도 및 텍스처의 유사도)을 도입한다. 이를 통해 다음의 그림과 같이 중복영역의 경계에서 서로 마주하고 있도록 초기 배치된 snake들은 에너지 최소화 과정을 통해 두 영상의 연직점을 이등분하는 선분에 수직방향으로 서로를 끌어당기게 된다.



<그림 2-12> twin snake의 초기설정

에너지 최소화 과정은 동적 프로그래밍(dynamic programming) 알고리즘을 기반으로 계층적으로 수행된다. 이를 위해, 먼저 E_{pho} 영상으로부터 피라미드 영상이 계산된다. 5의 감소비율이 사용되며 5×5 평균필터링이 수행된다. 피라미드 영상 계산은 중복영역의 가로길이가 50 pixel보다 작아질 때까지 반복한다. 에너지 최소화 과정에서 각 픽셀은 snake를 구성하는 개별 버텍스에 대응된다. 그리고 각 버텍스는 연산량을 줄이기 위해 초기 접합선이 놓인 방향에 따라 횡 또는 종 방향으로 이동된다. 다음의 그림은 이러한 반복과정의 결과를 보여준다.



<그림 2-13> 접합선의 계층적 탐지 결과

몇 번의 최소화 과정을 반복하고 나면 두 snakes는 서로에게 가까워진다(a). 몇 번의 과정을 더 거치게 되면 두 snakes 모두 지역 최소에 도달한다(b). 만약 snake의 각 요소들이 서로 완전히 일치되지 않았다면 각 요소들은 최소점으로부터 빠져나와 몇 번의 반복과정을 더 거치게 되며, 더 이상의 에너지 함수 최소화가 이루어지지 않을 경우에 이를 최적이라 판단하여 다음 단계의 피라미

드에서 초기값으로 사용하게 된다(c). 이러한 과정을 반복하여 모든 단계의 파라미드를 거치게 되면 최종 접합선(d)가 산출될 수 있다.

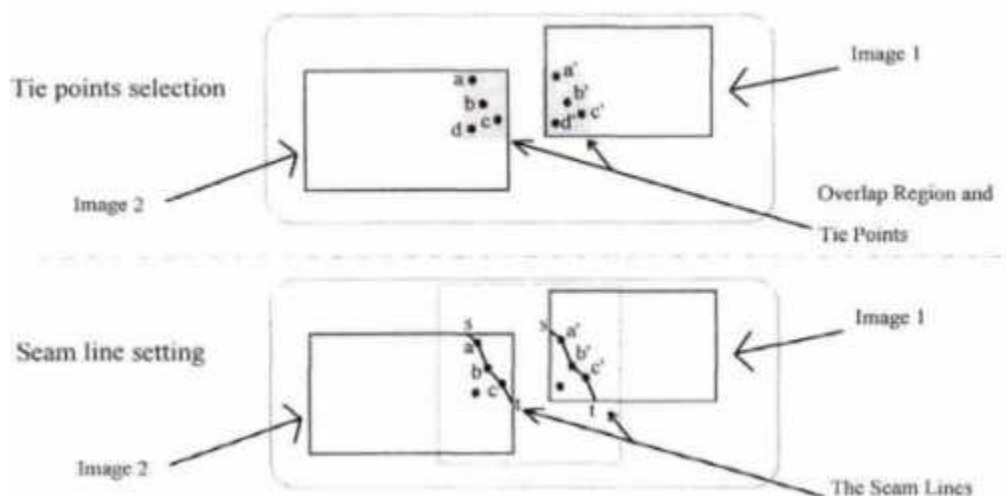


<그림 2-14> 중복영역에 대한 정사영상(left and right)과 계산된 Epho 영상(middle)

그러나 Twin-Snakes 알고리즘은 두 접합선이 합치되는 과정에서 지역 최소(local minimum)에 수렴되는 경우가 발생할 수 있으며, 상대적으로 많은 연산량이 요구된다는 단점을 가지고 있다.

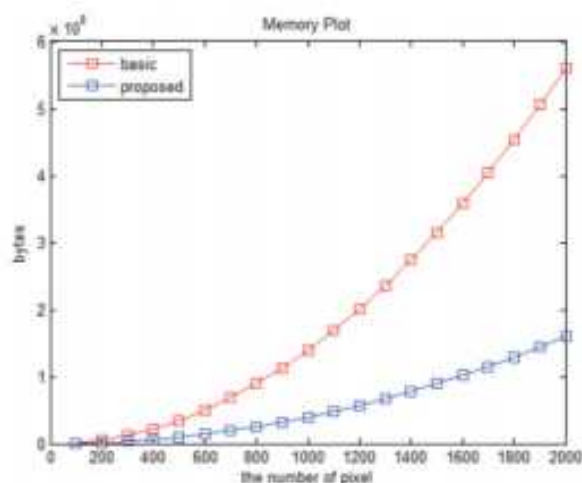
라) Dijkstra 기반 모자이크 기술

Afek and Brand(1998)가 영상에서 추출된 대응점으로부터 최단경로 알고리즘(Dijkstra's algorithm)을 기반으로 접합선을 구성하는 알고리즘을 제안된 이래로 Dijkstra 최단경로 알고리즘을 기반으로 접합선을 추출하는 연구가 꾸준히 수행되어 왔다.



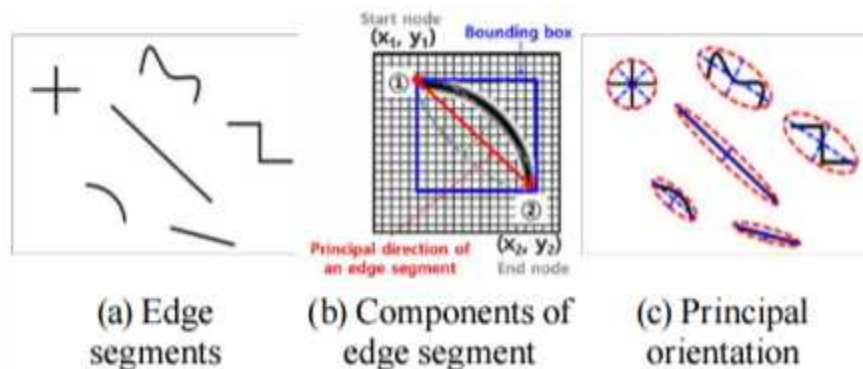
<그림 2-15> 대응점 최단경로 접합선 추출 알고리즘(Afek and Brand, 1998)

Kim et al.(2015)은 고해상도 위성영상에 최단경로 기반 접합선 추출 알고리즘을 적용하기 위해 영상에서 추출한 에지를 기반으로 데이터구조를 개선하여, Dijkstra 알고리즘의 연산시간을 개선하였다. 기존의 Dijkstra 최단거리 알고리즘은 전체 영상에 적용할 경우 영상의 크기에 따라 연산량이 기하급수적으로 증가하는 현상을 보여 고해상도 위성영상에 적용이 어렵다는 단점이 존재한다. 따라서 Kim et al.(2015)은 Canny기반 에지를 추출하고, 에지 화소값을 1에 대한 보수값으로 원본해상도와 같은 크기의 비용영상을 생성하였다. 또한 연산량의 증가를 보완하기 위해 초기접합선에 버퍼링 기법을 적용하여 검색범위를 한정하였다. 검색범위를 설정함으로써 원본 영상보다 훨씬 작은 수의 버텍스를 갖게 되므로 알고리즘의 속도를 향상은 물론 메모리 사용량 또한 감소시키는 효과를 가질 수 있었다.



<그림 2-16> 기존 Dijkstra 알고리즘과 개선된 알고리즘간의 메모리 사이즈 비교(Kim et al., 2015)

Kim et al.(2018) 역시 영상에서 에지를 추출하고 Dijkstra 알고리즘을 통해 접합선을 추출하였다. 해당 연구에서 연구진은 영상에서 추출한 에지의 중요특성을 길이, 방향(orientation 또는 direction) 및 강도(gradient 또는 strength)으로 정의하고 이에 따라 가중치를 부여하여 최단거리를 산출하였다.



<그림 2-17> 에지의 주요 구성 요소(Kim et al., 2018)

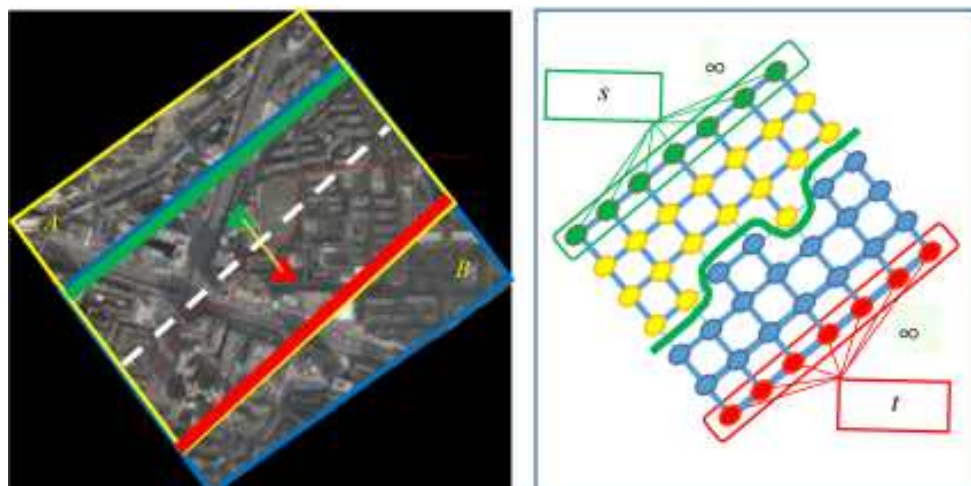
해당 연구에서는 모자이크 수행 영상 간 배치 형태에 따라, 탐색 방향으로 정하고, 윤곽선 길이, 방향 및 강도에 따라 가중치를 설정하여 등급을 정하였다. 탐색 방향에 근접한 윤곽선들을 선택하고 윤곽선의 끝점(node)에서 최단거리 탐색 방법인 Dijkstra 알고리즘으로 윤곽선들을 연결하여 접합선을 결정하였다.

Case	(a) Side-by-side	(b) Left-up/ Right-down	(c) Left-down/ Right-up
Search direction			
Cost matrix			
Seamline extraction			

<그림 2-18> 에지구성요소 가중치에 따른 접합선 추출 결과 (Kim et al, 2010)

마) Graph-Cut 기반 모자이크 기술

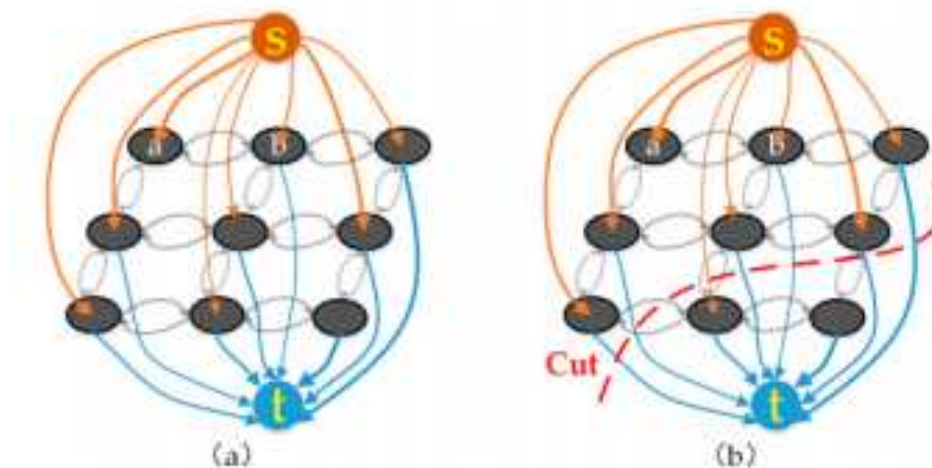
Image Segmentation에서 주로 활용되는 Graph-cut 기법을 통해 영상을 그래프로 해석하고 중첩영역에서 그래프의 노드 간 관계를 분석하여 최적 접합선을 산출하는 방안이다.



<그림 2-19> GraphCut Algorithm 기반 접합선 추출

그래프는 가중치가 있는 방향 구조이며 일반적으로 일부 node와 방향 성분으로 표시된다. 영상을 그래프로 해석하면, vertex는 이미지 픽셀을 나타낸다. 그래프에는 일반적으로 endpoint라고 하는 몇 가지 특수 node가 있다. 아래 그림의 (a)는 두 개의 endpoint가 있는 방향성 그래프 구조 예시이다. node는 일반적으로 source vertex(s), sink vertex(t)라고 불리는 두 개의 endpoint와 나머지 vertex로 구성되어 있다. endpoint와 각 node 사이에는 가중치가 있는 방향 성분이 있으며, 각 node 사이에도 가중치가 있는 방향 성분이 있다.

아래 그림의 (b)는 3×3 그래프의 분할 예시를 보여준다. 여기서 빨간색 점선은 그래프의 컷을 나타낸다. 절단선의 왼쪽 픽셀은 source node(s)에서 시작된 것으로, 절단선의 오른쪽 픽셀은 sink node(t)에서 발생하는 것으로 label이 지정되어 영상 분할된다. 이와 같은 그래프에서 분할은 가장자리 방향 성분의 가중치를 기반으로 절단 비용을 산출하여 수행된다. 절단비용 에너지 최소화 문제의 대부분은 그래프에서 최대 유량 및 최소 절단 알고리즘(MaxFlow-MinimumCut)을 통해 해결한다. (Li et al., 2018)

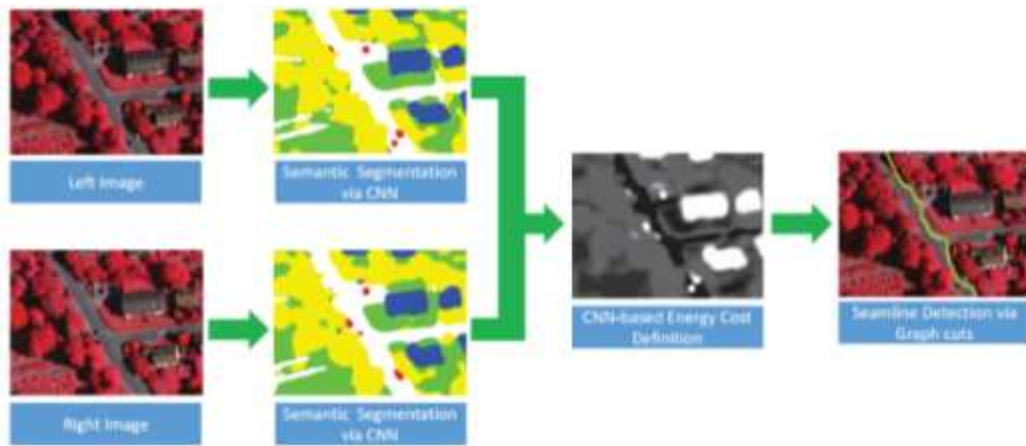


<그림 2-20> GraphCut Algorithm 예시

바) 그 외 모자이크 연구

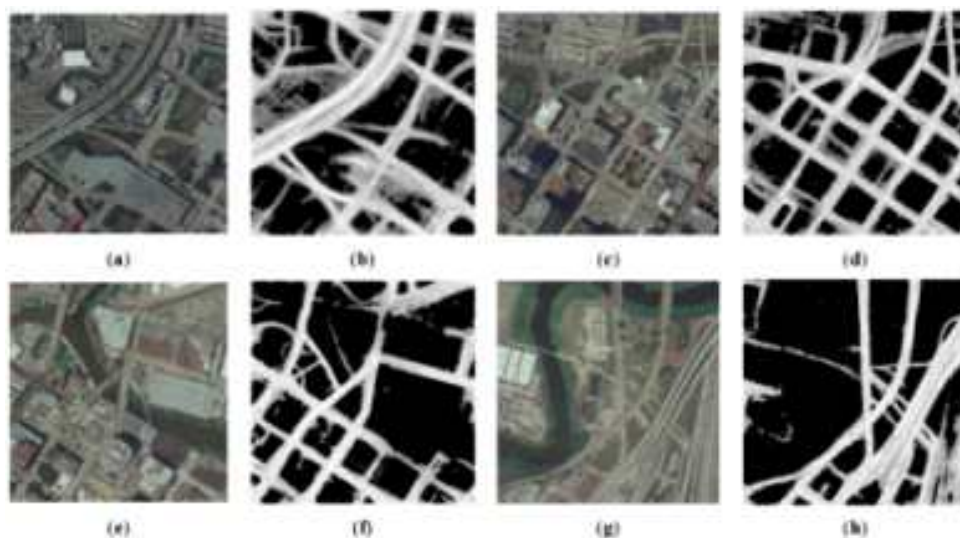
(1) Deep Learning 기반 접합선 추출

최근 모자이크의 접합선 추출 분야에 Deep Learning 기법을 적용하는 연구사례가 발생하고 있다. Li et al.(2017)은 deep CNN을 이용하여 모자이크를 수행할 두 영상의 Semantic Segmentation을 수행하고, 이를 기반으로 Energy Cost를 생성하였다. Graph-Cut 기법을 이용하여 energy가 가장 낮은 지역을 기준으로 최적화된 접합선을 추출하였다.



<그림 2-21> Deep CNN 기반 접합선 추출 방안 (Li et al., 2017)

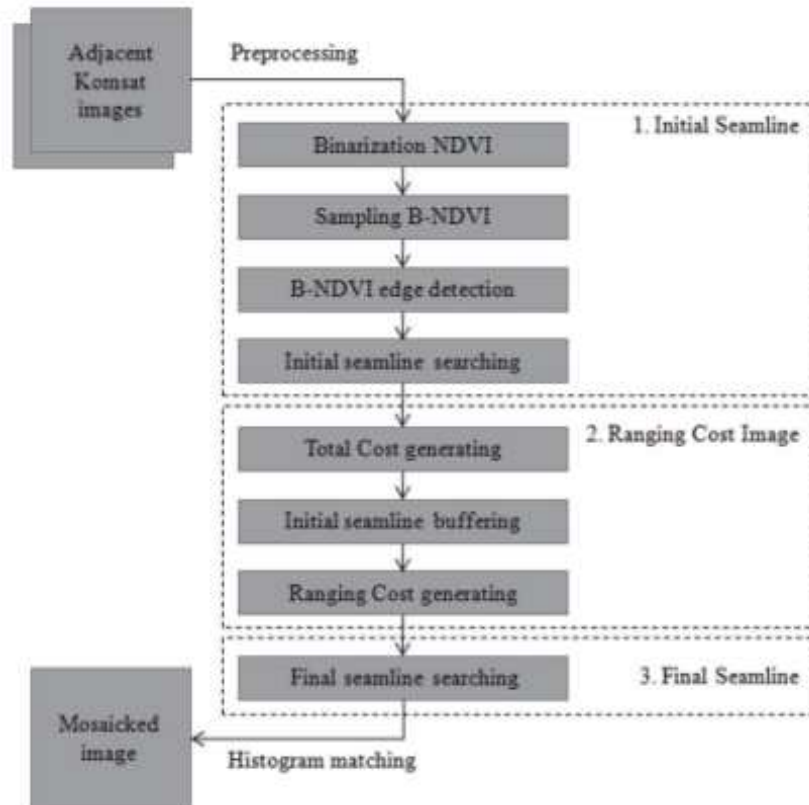
Yuan et al.(2020)은 도심지역에서 딥러닝을 활용하여 도로를 탐지하고 이를 기반으로 접합선을 추출하였다. 먼저 모자이크 수행할 두 영상에서 D-LinkNet neural network을 활용하여 도로 가능성 지도를 제작하고, 도로 가능성 지도를 이진화하여 선호 도로지역(PRA, Preferred Road Areas)를 산출하였다. 최종적으로 Dijkstra 알고리즘을 활용하여 최종 접합선을 추출하였다.



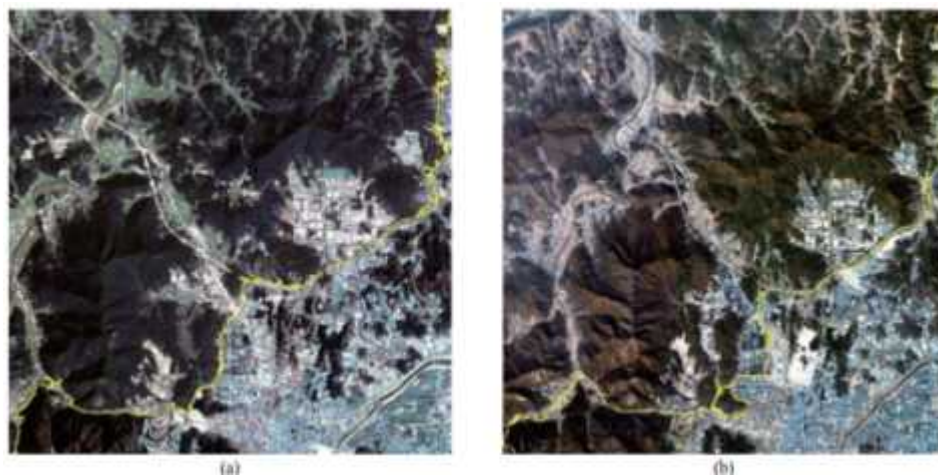
<그림 2-22> 도로 가능성 지도(Yuan et al., 2020)
(a),(c),(e),(g) 도로 가능성 지도, (b),(d),(f),(h) 선호 도로 지역

(2) 추가 자료를 활용한 접합선 추출

Kim et al.(2015)은 NDVI 기반 접합선 추출 알고리즘을 개발하였다. NDVI를 활용하여 인공지역과 자연지역을 분리하여 초기 접합선을 추출하고 이를 바탕으로 에지추출과 Dijkstra 알고리즘을 이용하여 접합선을 추출하였다.

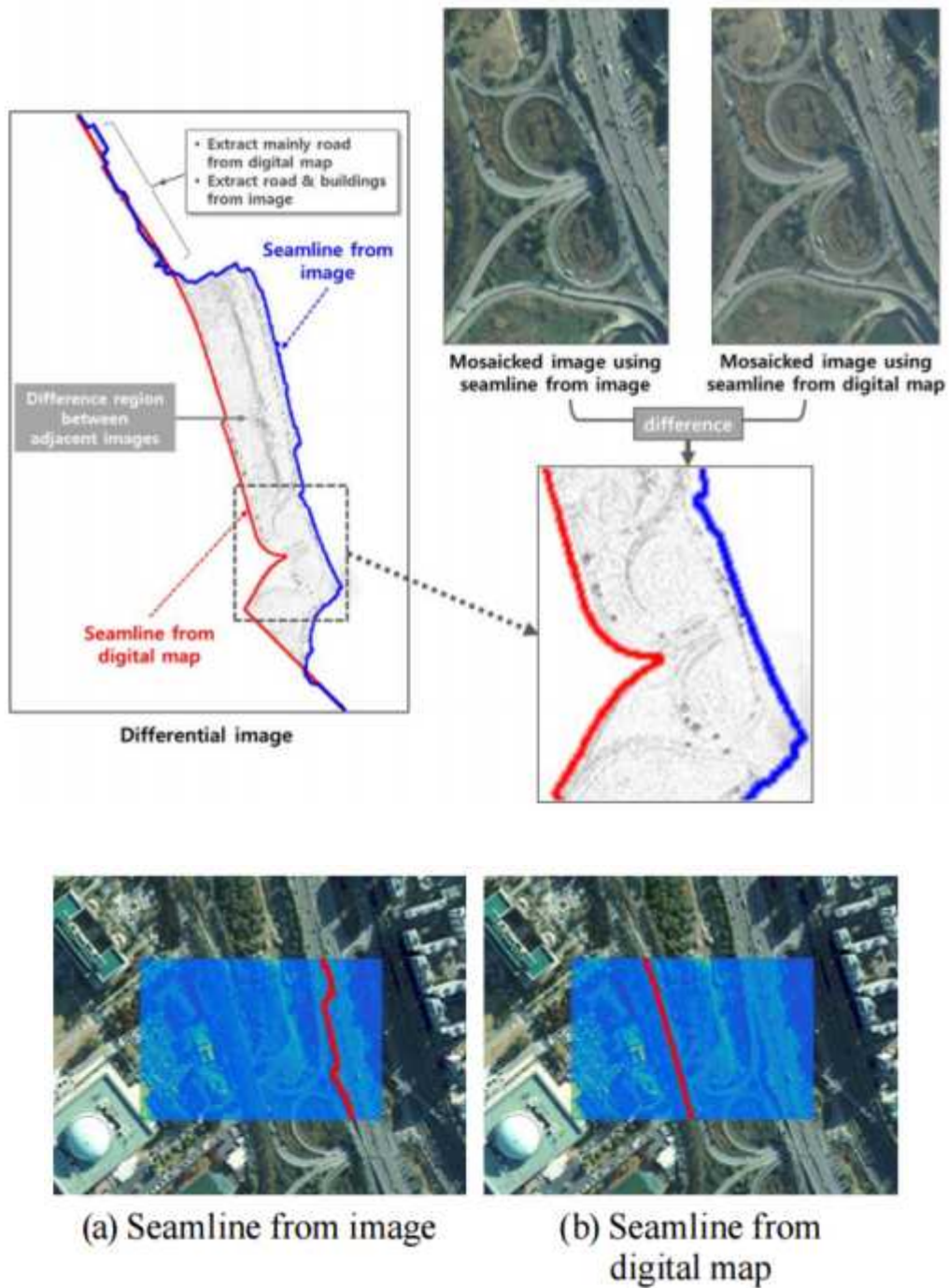


<그림 2-23> NDVI를 활용한 접합선 추출 처리 흐름(Kim et al., 2015)



<그림 2-24> 접합선 추출 결과 (a)KOMPSAT-2 (b)KOMPSAT-3

Kim et al.(2018)은 수치지도의 건물과 도로 레이어를 이용하여 접합선을 추출하고 이를 영상의 에지 기반으로 추출한 접합선과 비교하였다. 또한 해당 연구에서는 접합선 육안식별을 완화하기 위해 Gaussian Pyramid 기반 feathering 기법을 적용하였다.



<그림 2-25> 수치지도와 영상의 에지 기반 접합선 추출 비교

본 사업에서는 국토위성영상 모자이크 기술 개발에서 수치지도의 활용가능성을 직접 추출 방안, 추가자료로 활용 방안으로 분석하였다. 자세한 분석 내용은 「부록 1. 수치지도 활용 가능성」에서 확인 가능하다.

나. 모자이크 알고리즘 분석 및 구현

1) 대표 알고리즘 선정

앞서 총 6가지 모자이크 알고리즘에 대해 조사하였다. 이 중 Twin-snake 기반 모자이크 기술의 경우 다른 알고리즘과 달리 최근 후속연구가 미비하고, 초기 산출된 두 접합선을 합치하는 과정에서 지역 최소(local minimum)에 수렴되는 경우가 발생할 수 있으며, 상대적으로 많은 연산량이 요구된다는 단점이 존재하여 대용량 고해상도의 위성영상에는 적합하지 않는 것으로 판단하여 대표 알고리즘에서 제외하였다. 그 외 모자이크 연구로 언급한 딥러닝 기반 접합선 추출 기술의 경우, 딥러닝 기술은 트레이닝 자료의 양과 품질에 많은 영향을 받은 기술인데 반해 국토위성영상은 아직 대량의 영상 자료가 확보되지 않은 상황이므로 국토위성용 모자이크 기술 개발에 적합하지 않아 대표 알고리즘 구현에서 제외하였다.

따라서 모자이크 기술개발을 위해 선정된 대표 알고리즘으로 Voronoi Polygon 기반 모자이크 알고리즘, MAGDS 기반 모자이크 알고리즘, Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘, GraphCut 기반 모자이크 알고리즘을 선정하였다. 선정한 알고리즘의 주요 특징 및 국토위성영상 모자이크에 활용 가능성은 아래 표와 같다.

<표 2-2> 선정 모자이크 알고리즘 주요 특징 및 활용 가능성

	주요 특징	활용 가능성
Voronoi Diagram	<ul style="list-style-type: none"> - 입력영상 간 중복영역 Polygon을 기반으로 접합선 추출 - 영상의 화소값 정보를 사용하지 않으므로 접합선 경계 입력영상 간 불일치 발생 가능 - 가장 빠른 처리속도 	<ul style="list-style-type: none"> - 영상의 화소값 정보를 사용하지 않아, 영상의 크기에 크게 관계없이 빠른 모자이크 처리가 가능함, 따라서 고용량 고해상도 국토위성영상에 활용 가능
MAGDS	<ul style="list-style-type: none"> - 영상의 화소값 차이를 기반으로 Line 별 화소값 차이가 가장 적은 화소를 접합점으로 추출 - 모자이크 영역 전체를 고려하여 접합선 추출 불가능. Line 간 추출된 접합점의 불일치 발생 가능 - 비교적 빠른 처리속도 	<ul style="list-style-type: none"> - 중첩영역의 화소값 정보를 사용함에 따라 입력된 국토위성영상의 화소 정보를 고려한 접합선 추출 가능 - Line별 독립적으로 추출됨으로 접합선 추출 속도가 비교적 빠르고 병렬 처리에 용이하여 국토위성영상에 활용 가능
Dijkstra	<ul style="list-style-type: none"> - 영상 중복영역을 접합선 추출 방향에 따라 그래프로 변환하고 최단거리 알고리즘을 통해 접합선 추출 - 영상의 화소값뿐만 아니라 Gradient 값 사용 	<ul style="list-style-type: none"> - 영상을 그래프로 변환함에 따라 중첩영역의 정보를 전체적으로 고려한 접합선 추출 가능. - 영상의 Gradient 값을 사용함으로 국토위성영상의 도로, 농경지, 하천의 선형정보에 따라 접합선 추출 가능
Graph-Cut	<ul style="list-style-type: none"> - 영상을 각 화소 간 관계를 그리드 그래프로 변환하여 접합선 추출 - 영상 화소간 차이를 통해 그래프 해석 - 매우 느린 처리속도 	<ul style="list-style-type: none"> - 중첩영상의 각 화소간 관계를 모두 고려하여 접합선을 추출함으로 높은 품질의 접합선 추출 가능 - 많은 연산량으로 처리속도가 느린 편으로 국토위성영상에 테스트 필요

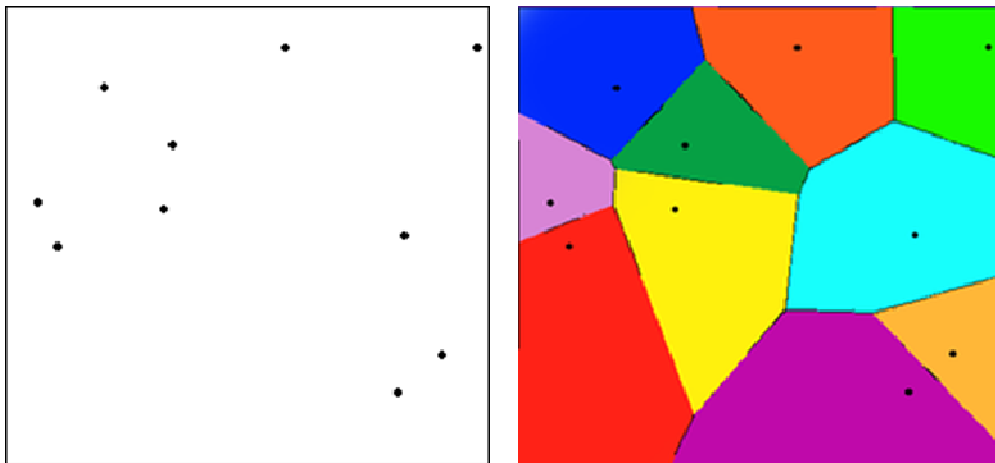
2) 알고리즘 분석 및 구현

선정된 알고리즘의 성능을 테스트하기에 앞서 먼저 각 알고리즘의 핵심기술과 순서도(Flowchart)를 분석하고 알고리즘을 구현하였다. 이후 각 알고리즘 분석 결과에서 알고리즘의 장단점 및 활용 방안 등을 기술하였다.

가) Voronoi diagram 기반 모자이크 알고리즘

Voronoi Diagram 기반 모자이크 알고리즘은 Polygon 기반 접합선 추출 방식의 대표 알고리즘으로, 영상의 화소값을 이용하지 않고 중복영역의 Polygon을 Voronoi Diagram 방식으로 분석하여 접합선을 추출하는 알고리즘이다.

Voronoi Diagram은 평면 위에 n 개의 시드 점(seed point)이 있을 때, 시드 점들과의 거리에 따라서 평면을 분할한 그림으로서, 평면 위에 주어진 시드 점 p_i ($i=1\sim n$)에 대한 Voronoi Diagram은 평면 위의 점들이 어떤 p_i 와 가장 가까운지에 따라서 영역을 분할한 다이어그램을 말한다(Sen, 2016). 예를 들어, 아래 왼쪽 그림과 같이 직사각 평면에 10개의 시드점으로부터 Voronoi Diagram을 산출하면 아래 오른쪽 그림과 같이 각 시드점으로 부터의 거리를 통해 영역이 분할된 다이어그램을 산출한다.



<그림 2-26> Voronoi Diagram 예시

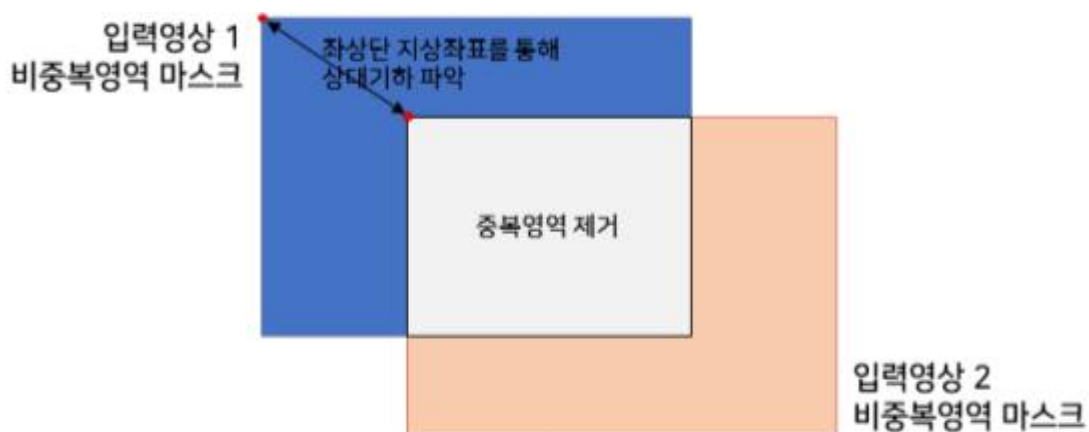
Voronoi Diagram 기반 모자이크 알고리즘에서는 시드점 대신 각 입력영역의 비중복영역을 중심으로 거리를 산출하여 Voronoi Diagram을 산출하고 이를 기반으로 경계선을 추출한다. 전체 순서도(Flowchart)는 다음 그림과 같다. 먼저 입력영상의 마스크 산출하고 각 마스크에서 중복영역 제거한 비중복영역 마스크를 산출한다. 비중복영역 마스크를 거리 변환(Distance Transform)하고 이를 바탕으로 Voronoi Polygon 산출 및 접합선 추출을 통해 모자이크를 수행한다.



<그림 2-27> Voronoi Diagram 기반 모자이크 알고리즘 순서도 (Flowchart)

(1) 입력영상 마스크 산출 및 중복영역 제거

본 모자이크 기술의 입력자료인 국토위성 Level 2G 영상은 기하보정으로 인해 Nodata 영역이 존재한다. 따라서 영상에서 Nodata 영역을 제거하여 실제 모자이크 사용되는 영상 영역을 마스크로 제작한다. 또한 정밀 기하보정이 수행되었으므로 각 입력영상의 좌상단 화소의 지상좌표를 통해 두 영상간 상대기하를 파악할 수 있다. 이를 통해 두 영상의 중첩영역을 파악하고 각 마스크에서 중첩영역을 제외한 비중복영역 마스크를 산출한다.



<그림 2-28> 입력영상 마스크 산출 및 중복영역 제거

(2) 비중복영역 마스크 거리 변환(Distance Transform)

거리 변환(Distance Transform)은 이진 영상(Binary Image)을 객체로부터 거리값으로 변환하는 방안이다. 아래와 같이 이진영상에서 0값을 가지는 화소를 객체라고 하였을 때, 나머지 화소의 값을 객체로부터의 거리로 변환해준다.

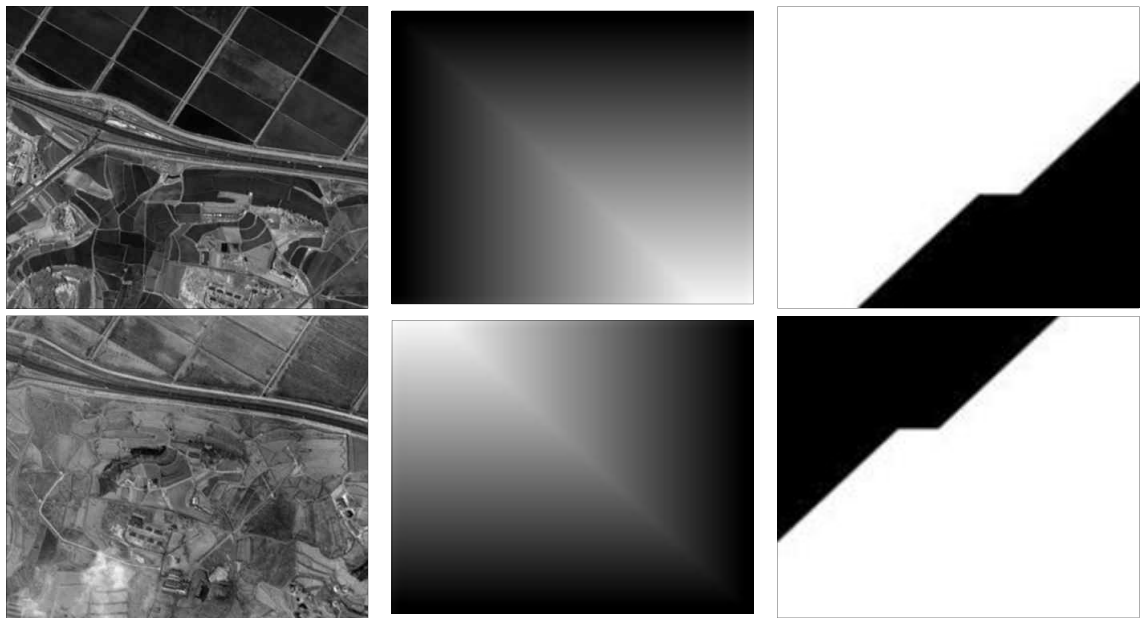


<그림 2-29> DistanceTransform 예시

비중복영역 마스크의 비중복영역을 객체로 설정하여 거리 변환(Distance Transform)을 수행하여 비중복영역을 시드(Seed)로 설정하였을 때 나머지 영역의 거리를 산출한다.

(3) Voronoi Polygon 산출 및 접합선 추출

각 입력영상(f, g)의 거리 변환(Distance Transform) 결과(f_dist, g_dist)의 거리값을 비교하여, f_dist의 값이 g_dist의 값보다 작은 지역은 입력영상 f의 Voronoi Polygon으로, g_dist의 값이 f_dist의 값보다 작은 지역은 입력영상 g의 Voronoi Polygon으로 산출한다. 두 Voronoi Polygon의 경계지역(g_dist의 값 = f_dist의 값)을 접합선으로 추출한다.



입력영상 거리 변환 (Distance Transform) Voronoi Polygon

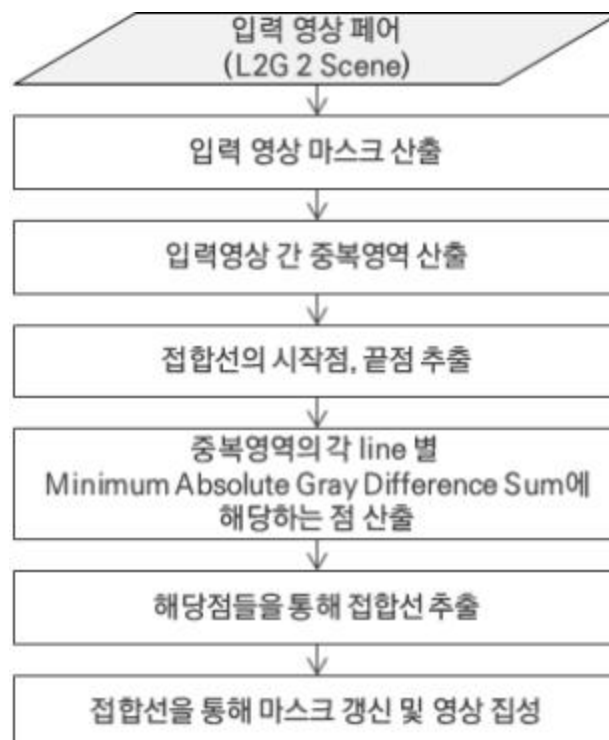
<그림 2-30> Voronoi Polygon 산출 및 접합선 추출

(4) Voronoi diagram 기반 모자이크 알고리즘 분석 결과

Voronoi diagram 기반 모자이크 알고리즘의 경우 화소값 정보를 사용하지 않고 접합선을 산출함으로 영상의 크기와 관계없이 빠르게 접합선 추출이 가능함으로 대용량 고해상도 위성영상에 적용이 용이하다. 또한 영상 중복영역의 Polygon을 기반으로 접합선을 추출함으로 다중영상 모자이크에 용이하다. 다만 화소값 정보 없이 접합선이 추출됨으로 입력영상 간 경계가 불연속적일 확률이 크다. 또한 영상간 상대 기하오차가 클수록 성능이 더 떨어질 확률이 높다. 따라서 상대 기하오차가 매우 낮은 영상간 모자이크에서 활용이 가능하며, 후처리를 통해 접합선 추가보정을 고려해볼 필요가 있다.

나) MAGDS 기반 모자이크 알고리즘

MAGDS 기반 모자이크 알고리즘은 두 입력영상의 중복영역에 대해서 주변 화소값들의 합을 계산한 뒤, 그 차이의 절대값이 최소가 되는 지점들을 연속적으로 찾아가면서 접합선을 구하는 알고리즘이다. MAGDS는 화소값을 활용하는 가장 기본적인 알고리즘으로 앞서 수행한 기술조사와 같이 다양한 후속연구가 수행되어 왔다. 본 기술개발에서는 MAGDS의 기본성능을 파악하기 위해 기본적인 MAGDS 알고리즘을 분석하였다. 알고리즘 구현을 위한 전체 순서도(Flowchart)는 아래와 같다. 입력영상 마스크 및 중복영역 산출, 접합선의 시작점, 끝점 추출, line 별 MAGDS(Minimum Absolute Gray Difference Sum) 산출 및 접합선 추출을 통해 모자이크를 수행한다.



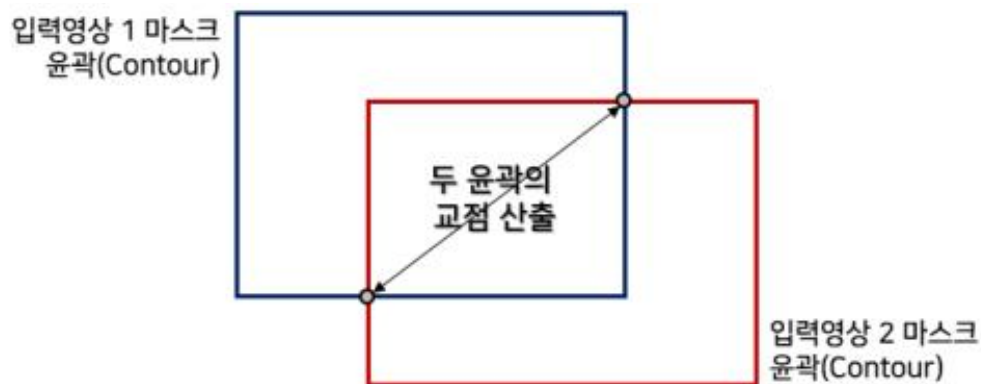
<그림 2-31> MAGDS 기반 모자이크 알고리즘 순서도(Flowchart)

(1) 입력영상 마스크, 중복영역 산출

Voronoi diagram 기반 모자이크 알고리즘과 마찬가지로, 영상에서 Nodata 영역을 제거하여 실제 모자이크 사용되는 영상 영역을 마스크로 제작한다. 또한 두 영상간 상대기하를 통해 두 영상의 중복영역을 산출한다.

(2) 접합선의 시작점, 끝점 산출

접합선의 시작점 및 끝점을 산출하기 위해, 먼저 두 입력영상 마스크의 윤곽(contour)을 산출한다. 두 윤곽의 교점을 산출하고 산출된 교점 중 거리가 가장 먼 두 점을 추출한다. 산출된 두 점 중 Line line(Row) 위치가 위인 점을 시작점, 아래인 점을 끝점으로 산출한다.



<그림 2-32> 접합선의 시작점, 끝점 산출

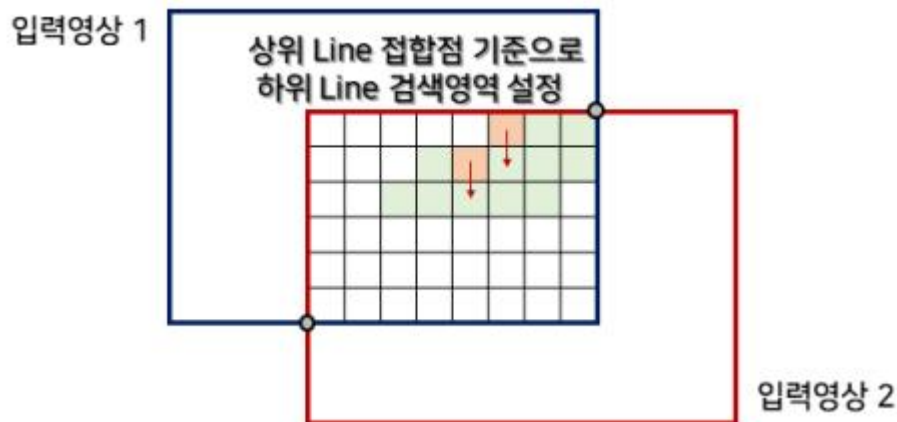
(3) 중복영역 각 line 별 MAGDS 산출 및 접합점 추출

접합점 산출을 위해 각 line 별 MAGDS를 산출한다. MAGDS는 특정범위의 주변 화소값을(구체적으로는 대상지점 좌우 옆의 화소값) 모두 합한 값이 대응지점(중복된 다른 영상에서 해당지점에 대응되는 화소위치)에서 계산된 값과 가장 작은 차이를 의미하고 이 지점을 접합점으로 산출한다. 즉, 아래 수식에서와 같이 기준영상의 화소값을 f , 입력영상의 화소값을 g 라 했을 때, j 번째 행에 대한 접합점은 v 의 값을 최소로 하는 k 번째 열의 화소가 된다.

$$v(j, k) = \sum_{i=-u/2}^{u/2} |f(j, k+i) - g(j, k+i)|$$

이 방법은 앞서 기술조사에서 조사한 바와 같이 접합점 추출을 위해 각 Line에 대한 1차원 탐색만 수행됨으로 인접 Line간의 불일치가 나타날 수 있다. 따라서 하위 Line에서는 상위 Line에서

추출된 접합점을 기준으로 특정영역 내에서만 접합점을 추출하도록 하였다.



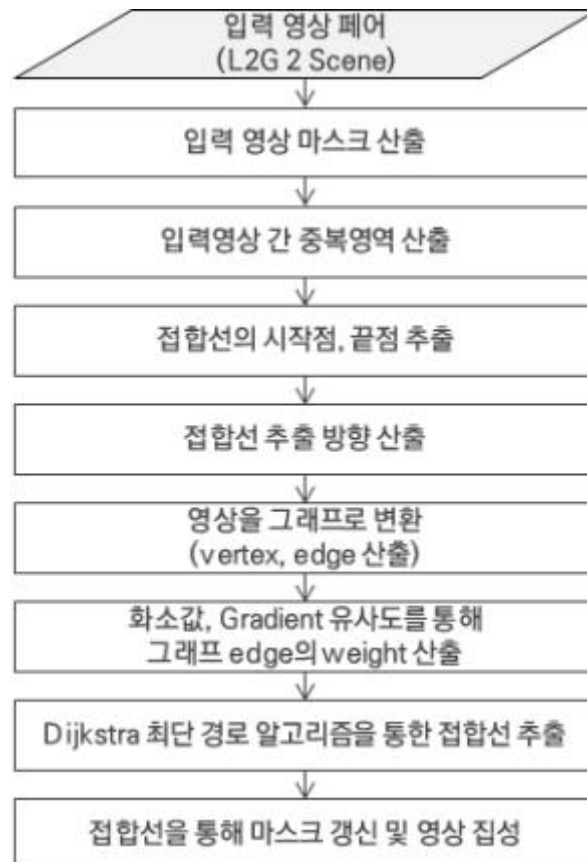
<그림 2-33> Line 별 MAGDS 및 접합점 산출

(4) MAGDS 기반 모자이크 알고리즘 분석 결과

MAGDS은 화소값을 활용하는 기본적인 알고리즘으로 다른 화소값을 활용하는 기술 중에서 비교적 알고리즘이 단순하여 고속처리가 가능한 알고리즘이다. 따라서 고용량 고해상도 위성영상의 적합선 추출에 활용가능하다. 또한, 화소값을 활용함으로 Voronoi diagram 기반 접합선 추출 알고리즘에 비해 비교적 높은 성능의 접합선이 추출될 수 있다. 기본적인 MAGDS 알고리즘은 Line에 대한 1차원 탐색만 수행됨으로 인접 Line간의 불일치가 나타날 확률이 높다. 또한 접합선 추출 영역에 대한 전체적인 화소값을 고려하는 것이 아니라 각 Line 별 접합점을 추출함으로 접합선이 한 방향으로 과대추정되는 문제가 발생할 수 있다. 이를 보완하기 위해 2차원으로 탐색영역을 확대하거나 추가적인 제약사항을 고려하여 알고리즘 구현이 필요하다.

다) Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘

Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘은 최단거리 알고리즘 기반 접합선 추출 방식의 대표 알고리즘이다. 먼저 영상을 그래프로 변환하고, 그래프의 윤곽선 가중치(edge weight)를 영상의 화소값 및 그래디언트(gradient)값을 이용하여 산출한다. 이후 해당 그래프 상에서 접합선의 시작점에서 끝점으로 가는 최단경로를 산출하고 이를 접합선으로 추출한다.



<그림 2-34> Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘

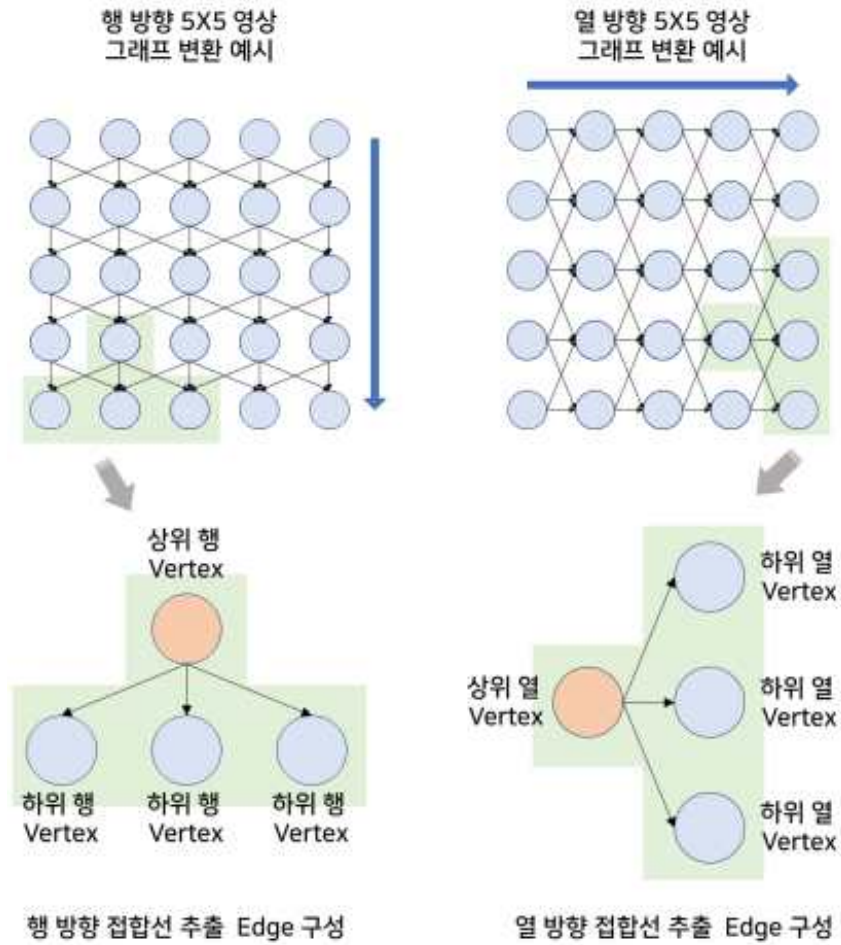
(1) 입력영상 마스크, 중복영역 및 접합선의 시작점, 끝점, 추출방향 산출

앞서 분석한 Voronoi diagram, MAGDS 기반 모자이크 알고리즘과 마찬가지로, 영상에서 Nodata 영역을 제거하여 실제 모자이크 사용되는 영상 영역을 마스크로 제작한다. 또한 두 영상 간 상대기하를 통해 두 영상의 중복영역을 산출한다. 접합선의 시작점 및 끝점은 MAGDS 기반 모자이크 알고리즘과 마찬가지로, 마스크 윤곽(contour)의 교점을 산출하고 산출된 교점 중 거리가 가장 먼 두 점을 추출한다.

이후 접합선 추출 방향은 앞서 산출한 접합선의 시작점과 끝점의 열(column) 방향 차이, 행(row) 방향 차이 비교를 통해 산출한다. 열 방향 차이가 더 크면 수직방향으로, 행 방향 차이가 더 크면 수평방향으로 접합선 추출 방향을 설정한다.

(2) 영상 그래프 변환

최단경로 알고리즘을 이용하기 위해 먼저 영상을 그래프로 변환한다. 영상의 각 픽셀은 vertex로 정의하고, vertex와 vertex 사이 방향을 가지는 연결선은 edge로 정의한다. 이때 edge는 접합선 추출 방향에 따라 다르게 구성하였다.



<그림 2-35> 영상 그래프 변환

(3) 그래프 edge의 weight 산출

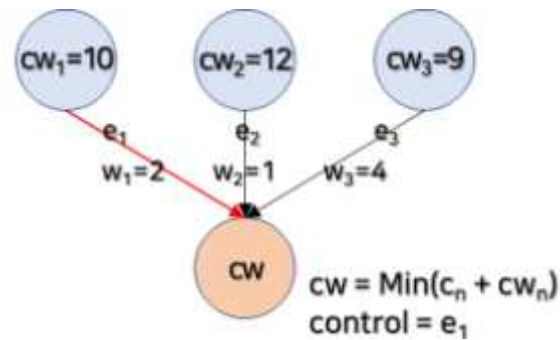
각 edge의 weight는 해당 상위 vertex(v_i)와 그 앞 vertex(v_j)간 화소값 차이와 그래디언트 (gradient) 값을 통해 화소값 차이의 변화율로 산출한다. 두 입력영상의 화소값을 f, g 라 하고, 두 입력영상의 그래디언트(gradient) 값을 $\Delta f, \Delta g$ 라고 하였을 때, edge(e)의 weight(w)는 아래 식과 같다.

$$w(e(v_i, v_j)) = \frac{(f(v_i) - g(v_j))^2 + (f(v_j) - g(v_i))^2}{2(\Delta f(v_i) + \Delta f(v_j) + \Delta g(v_i) + \Delta g(v_j) + 1)}$$

(4) Dijkstra 최단경로를 통한 접합선 추출

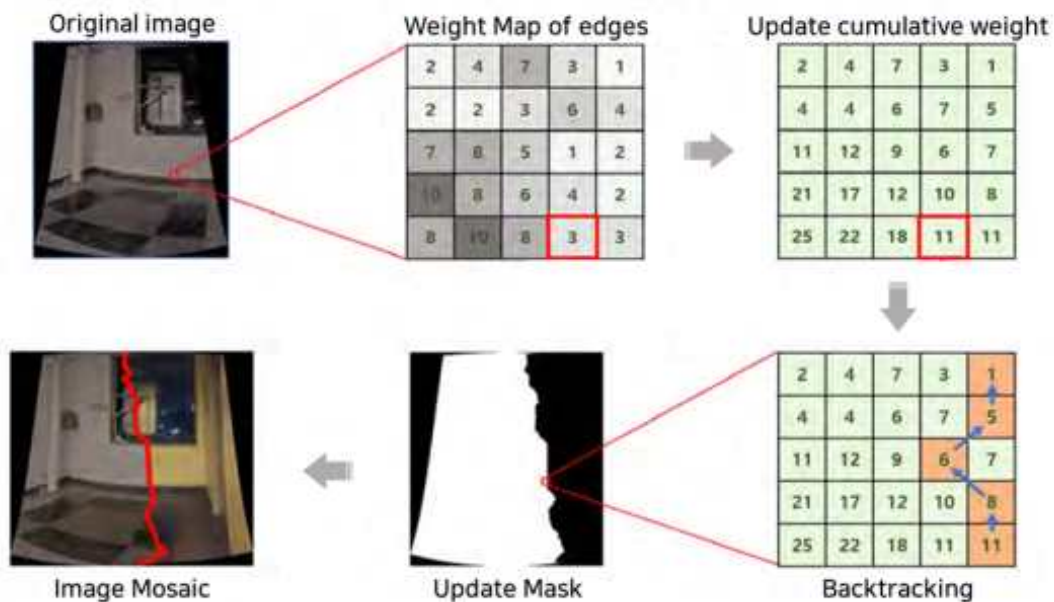
최단경로를 산출하기 위해서는 각 vertex까지의 누적 weight값을 산출하고 경로의 끝에서 누적 weight가 가장 작은 경로를 선택한다. 아래와 같이 하나의 vertex를 기준으로 보았을 때 해당

vertex는 상위 3개의 vertex와 연결된 edge를 통해서만 도달 가능하다. 해당 vertex의 누적 weight(cw)는 연결된 vertex의 누적 weight(cw_i)와 edge weight(w_i)의 합의 최솟값으로 결정되고 이때 선택된 edge(e_i)를 control 값으로 저장한다.



<그림 2-36> Vertex의 누적 Weight 및 Control 산출 방안

이때 산출된 vertex의 누적 weight와 control은 변하지 않으므로 동적 프로그래밍(Dynamic Programming) 방식을 통해 Dijkstra 알고리즘을 구현할 수 있다. 동적 프로그래밍이란 복잡한 문제를 간단한 여러 개의 문제로 나누어 푸는 방법을 말한다. 이것은 부분 문제 반복과 최적 부분 구조를 가지고 있는 알고리즘을 일반적인 방법에 비해 더욱 적은 시간 내에 풀 때 사용한다. 동적 프로그래밍 기반 Dijkstra 알고리즘에서는 앞서 기술한 한 vertex의 누적 weight 및 control 산출을 부분 문제로 정의하고 이를 반복 산출하도록 한다. 이후 Backtracking 방식을 통해 접합선의 끝점에서 control값을 기반으로 접합점을 추출한다.



<그림 2-37> 동적프로그래밍 기반 Dijkstra 알고리즘 접합선 추출

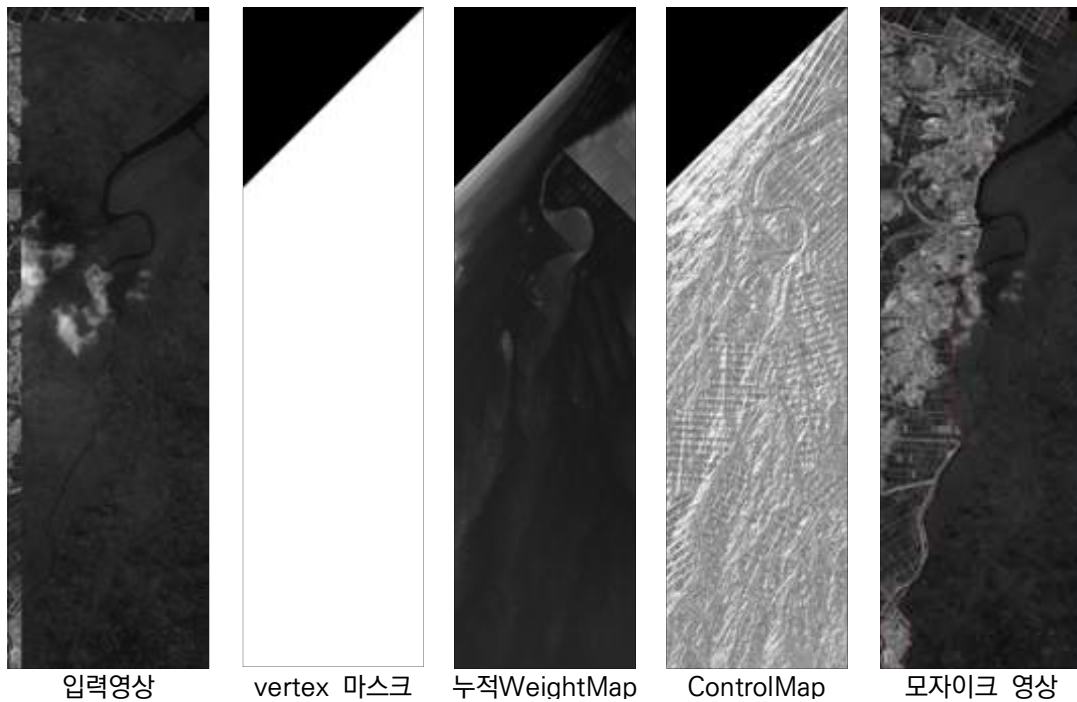
(5) Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘 분석 결과

Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘의 경우 영상의 화소값 뿐만 아니라 그래디언트(gradient)값을 고려하여 edge의 Weight를 구성함으로써 영상의 선형성분을 고려하여 적합선 추출이 될 확률이 높다. 고해상도 국토위성영상의 경우 도로, 하천, 산골짜기 등 영상에 선형성분이 많이 존재하고 이를 바탕으로 적합선을 추출하였을 때 좋은 성능의 적합선이 추출될 가능성이 높음으로 국토위성 영상 적합선 추출에 적합하다.

적합선 추출 영역에 대해 그래프 변환 및 Edge 계산을 수행함으로써 앞서 분석한 Voronoi Diagram, MAGDS 알고리즘 보다는 처리시간이 오래 걸린다. 다만 그래프의 Edge 구성이 비교적 단순하고 동적 프로그래밍을 기반으로 알고리즘을 구성하여 기본적인 최단경로 알고리즘에 비해 빠른 처리가 가능하다.

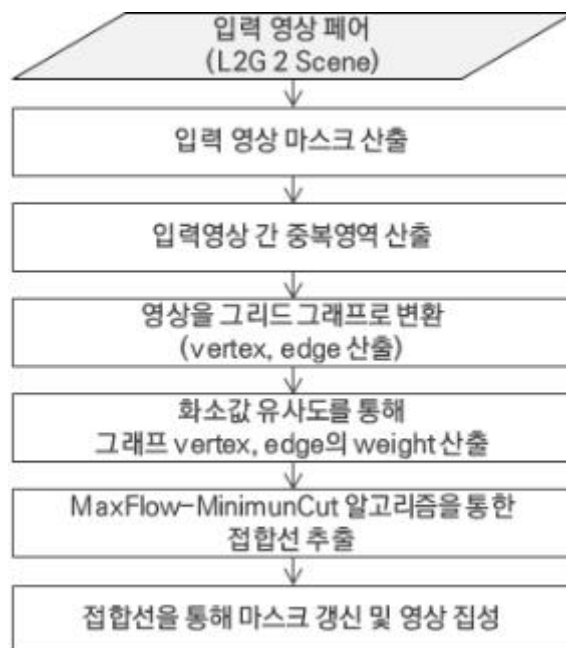
그래프의 Edge 구성이 단순하고 최단경로 알고리즘 기반으로 적합선을 추출함에 따라, 적합선이 과대추정될 확률이 낮다. 다만 Edge 구성이 단순함으로 적합선의 시작점과 끝점을 연결하는 단순한 최단경로에 가까운 적합선이 추출될 확률이 있다. 아래는 위성영상 Dijkstra 기반 모자이크 과정에서 산출된 vertex 마스크, 누적WeightMap, ControlMap이다. 아래 예시에서는 우상단이 적합점의 시작점, 좌하단의 적합점의 끝점이다. vertexMap은 적합선 추출에 고려된 vertex의 분포를 보여준다. White 값이 적합선 추출에 고려된 vertex, black 값이 제외된 vertex이다. 앞서 기술한 바와 같이 edge의 구성이 단순하여 마스크 좌상단 영역이 적합선 추출에 제외되었다는 것을 확인할 수 있다.

<표 2-3> Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘 분석 결과



라) Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘

Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘은 영역분할 알고리즘을 기반으로 접합선을 추출 방식이다. 먼저 영상을 그리드 그래프로 변환하고, 그래프의 vertex, edge weight를 영상의 화소값을 이용하여 산출한다. 이후 MaxFlow-MinimumCut 알고리즘을 통해 그리드 그래프를 두 영역으로 분할한다. 최종적으로 두 영역의 경계를 접합선으로 추출한다.



<그림 2-38> Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘

(1) 입력영상 마스크, 중복영역 산출

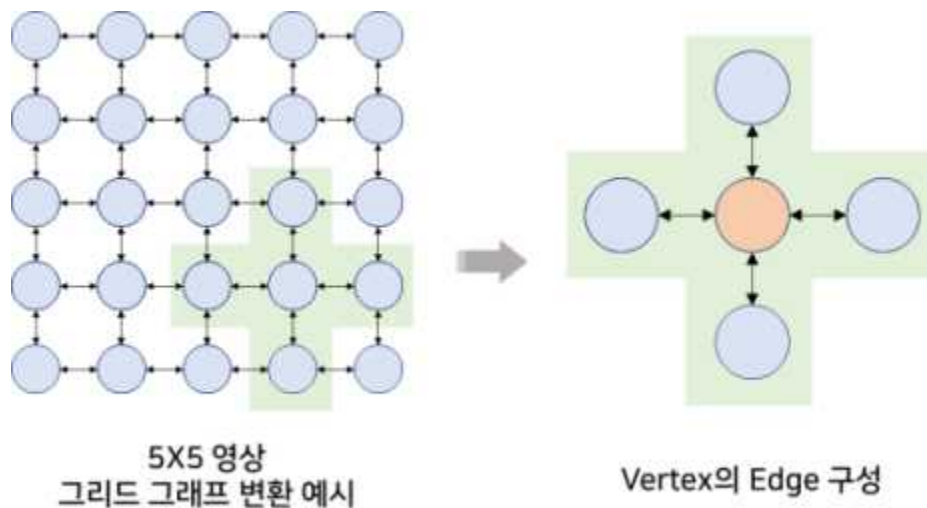
앞서 분석한 모자이크 알고리즘과 마찬가지로, 영상에서 Nodata 영역을 제거하여 실제 모자이크 사용되는 영상 영역을 마스크로 제작한다. 또한 두 영상간 상대기하를 통해 두 영상의 중복영역을 산출한다.



<그림 2-39> 입력영상 마스크 및 중복영역 산출

(2) 영상 그리드 그래프 변환

영역분할 알고리즘을 이용하기 위해 먼저 영상을 그리드 그래프로 변환한다. 영상의 각 픽셀은 vertex로 정의하고, vertex와 vertex 사이 방향을 가지는 연결선은 edge로 정의한다. 이때 edge는 최단경로 알고리즘과 다르게 상하좌우로 인접한 vertex 간 양방향으로 구성한다.



<그림 2-40> 영상 그리드 그래프 변환 예시

(3) 그래프 Vertex, Edge의 Weight 산출

vertex의 weight는 해당 vertex가 실제 접합선 추출 영역인지 아닌지 판단하기 위해 설정한

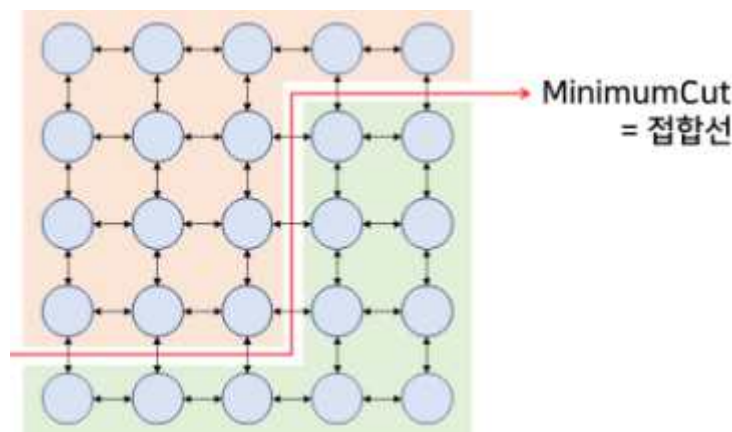
다. 앞서 산출한 중복영역은 입력영상 마스크를 고려하지 않고 산출되었으므로 중복영역 내의 Nodata 영역이 존재할 수 있다. 따라서 각 입력영상의 마스크를 이용하여 vertex가 실제 접합선 추출 영역이 아닐 경우 높은 weight 값을 부여한다.

edge의 weight는 해당 edge가 연결하고 있는 vertex(v_i, v_j)간 화소값 차이를 통해 산출한다. 두 입력영상의 화소값을 f, g 라 하였을 때, edge(e)의 weight(w)는 아래 식과 같다.

$$w(e(v_i, v_j)) = (f(v_i) - g(v_i))^2 + (f(v_j) - g(v_j))^2$$

(4) MaxFlow-MinimumCut 알고리즘을 통한 접합선 추출

그리드 그래프를 두 개의 vertex set P, Q로 나눈다고 할 때, 각각의 set P와 set Q를 cut이라고 한다. set P안에 있는 vertex에서 set Q안에 있는 vertex로 연결된 edge의 weight들의 합을 cut의 size라고 한다. MaxFlow-MinimumCut 알고리즘은 최대유량 알고리즘이라고도 불리며, edge를 물이 흐를 수 있는 통로로 생각하고 어떤 edge를 사용해야 유량(Flow)이 최대한 많이 흐를 수 있는지 결정하는 알고리즘이다. 각 edge의 유량을 최대로 하기 위해서는 cut의 size가 최소가 되도록 그리드 그래프를 분할하여야 한다. 최종적으로 그리드 그래프 분할 후, 두 영역의 경계를 접합선으로 추출한다.



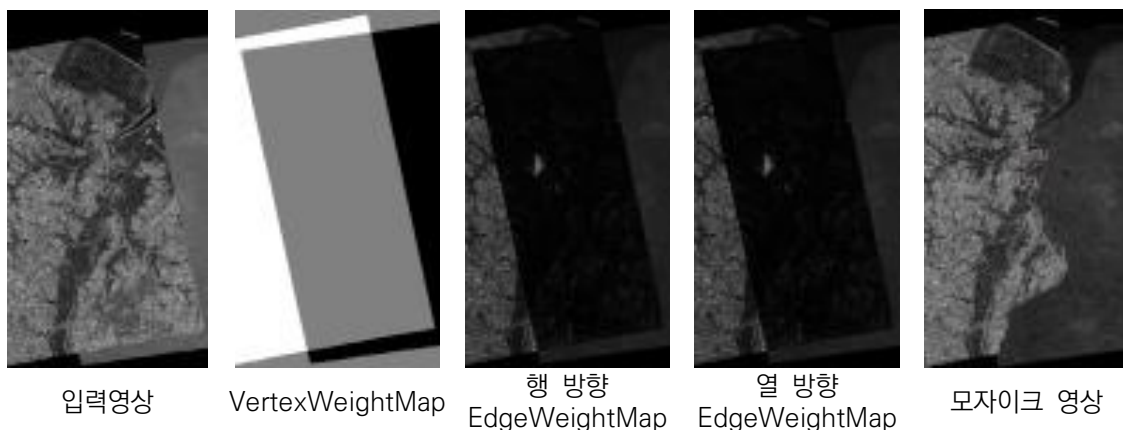
<그림 2-41> MaxFlow-MinimumCut 알고리즘을 통한 접합선 추출

(5) Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘 분석 결과

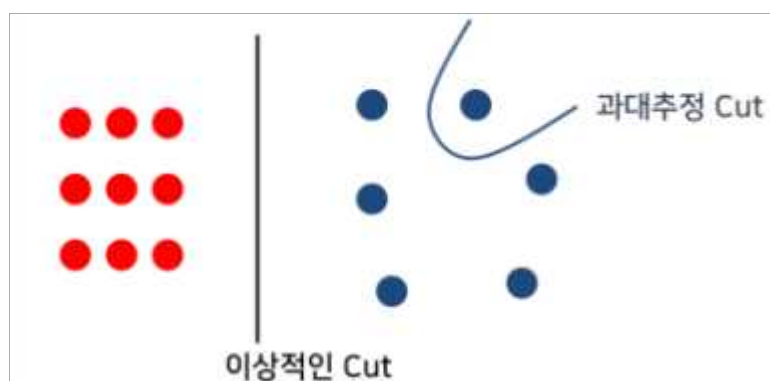
Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘의 경우 영상을 그리드 그래프로 변환하여 접합선을 추출함으로 vertex 간 유사도 즉, 화소간 밝기값 차이를 모두 고려하여 접합선을 추출한다. 따라서 Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘의 Weight에 비해 비교적 단순히 edge의 weight를 구성하여도 훨씬 더 많은 edge와 weight를 고려하여 접합선을 추출함으로 높은 성능의 접합선이 추출될 수

있다. 아래는 위성영상 Graph-Cut 기반 접합선 추출 모자이크 과정에서 산출된 VertexWeightMap, 행/열 방향 Edge Weight Map과 그 입력영상 및 출력 모자이크 영상이다. EdgeWeight가 화소값을 기반으로 산출된 것을 확인할 수 있다. 따라서 그래디언트(gradient)를 고려한 EdgeWeight 산출을 통해 성능향상이 가능하다.

<표 2-4> Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘 분석 결과



다만 그래프의 구성이 완전 그리드로 edge의 구성이 상당히 복잡하여, 높은 연산량과 많은 처리시간을 요구한다. 따라서 병렬 연산 처리 및 영상 피라미드 등 연산량 및 처리속도를 개선방안을 고려하여야 한다.



<그림 2-42> MinimumCut의 과대추정 발생 예시

Graph-cut을 위해 사용된 MaxFlow-MinimumCut 알고리즘의 경우, 과대추정이 발생할 확률이 있는 알고리즘으로 때때로 이상적인 Cut이 아니라 고립된 Vertex만을 추출하는 Cut을 산출하기도 한다. 두 분할 영역의 크기가 비슷하게 산출되도록 하는 Balanced Minimum Cut 등의 알고리즘을 추가 고려해 볼 필요가 있다.

다. 접합선 추출 기술개발

본 문서에서는 실험에서 모자이크 영상제작에 있어 보편적으로 사용되고 있는 4가지 접합선 추출 알고리즘인 Voronoi diagram, MAGDS, Dijkstra, Graph-Cut 기반 모자이크 기술을 적용하여 모자이크를 수행하고 그 결과를 비교·분석하였다. 알고리즘에 따른 다양한 특성을 파악하기 위해 접합선 추출은 대상 지역별 모자이크 테스트, 각 알고리즘의 강인성 테스트, Scene 단위 모자이크 성능 테스트를 수행하였다.


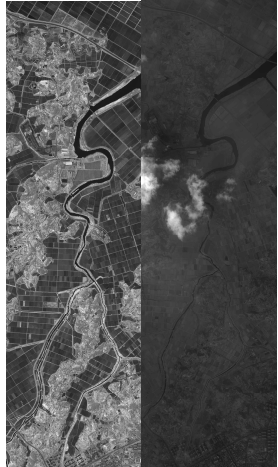
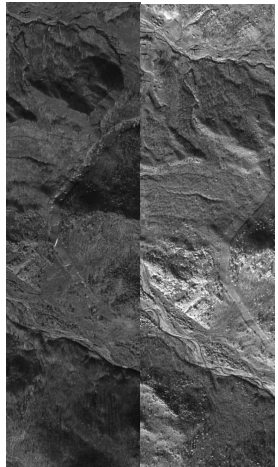

1) 대상 지역별 접합선 추출 성능 실험

국토위성영상은 고해상도 위성영상으로 한반도 전역뿐만 아니라 전 지구의 고해상도 위성영상 촬영이 가능하다. 따라서 다양한 대상지역에서도 일관된 모자이크 기술이 구현되어야 한다. 본 실험에서는 도심지, 농경지, 산림지, 하천유역의 위성영상을 추출하고 각 영상을 이용하여 4가지 대표 모자이크 알고리즘의 성능을 실험하였다. 실험에는 국토위성 Level 2G 영상과 동일한 사양을 가지고 있는 KOMPSAT-3A Level 2G 영상을 사용하였다.

가) 대상 지역별 접합선 추출 실험 영상

실험은 Near Infrared(NIR) 밴드를 이용하여 수행하였다. NIR 밴드는 상대적으로 유역의 경계가 뚜렷하게 나타나며, 식생과 비식생을 구분하기 용이한 밴드이기 때문에 NIR 밴드를 실험에 사용하였다. 전체 실험 영상은 「부록 2. 대상지역별 접합선 추출 실험결과」에서 확인할 수 있다.

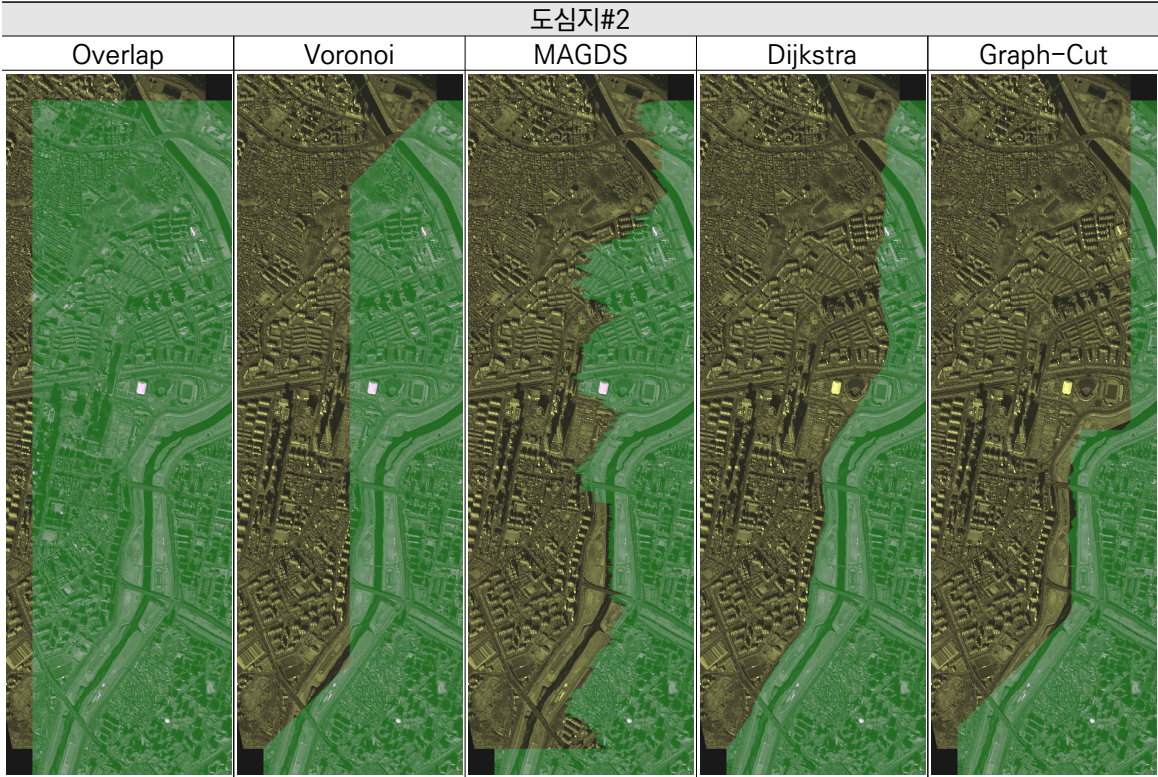
<표 2-5> 접합선 추출 실험에 사용한 실험 영상 예시

도심지	농경지	산림지	하천유역
			

나) 대상 지역별 접합선 추출 실험 결과

아래는 각 모자이크 알고리즘 별 대상 지역 모자이크 수행 결과이다. 대부분의 지역에서 Dijkstra 기반 모자이크 추출 알고리즘이 가장 좋은 성능을 보여주었다. Graph-cut 기반 알고리즘의 경우 종종 거의 접합선이 추출되지 않는 결과를 보여주었는데 이는 Max Flow - Minimum Cut의 과대추정 문제로 판단된다. 추가적인 자세한 분석은 다) 에서 기술하였다. 전체 실험 결과는 「부록 2. 대상지역별 접합선 추출 실험결과」에서 확인할 수 있다.

<표 2-6> 도심지#2에 대한 접합선 추출 알고리즘 적용 결과 (전체)



<표 2-7> 산림지#2에 대한 접합선 추출 알고리즘 적용 결과 (전체)



다) 대상 지역별 접합선 추출 실험 결과 분석

(1) Voronoi Diagram 기반 모자이크 알고리즘 실험결과 분석

대상지역별 접합선 추출 알고리즘 비교 실험 결과, Voronoi 기법으로 추출된 접합선은 실제 경계선과의 상관성이 매우 떨어지는 것으로 확인되면서 접합선 추출 과정에서 영상 내 정보를 거의 이용하고 있지 않은 것으로 나타났다. 그리고 선형성이 비교적 뚜렷한 도심지, 농경지를 비롯하여 그렇지 못한 산림지에 대해 모두 동일한 형태의 접합선이 추출되면서 영상 특성에 따른 차이가 미미한 것으로 나타났다. Voronoi 기법은 다른 알고리즘과 달리 화소값을 사용하지 않고 두 영상의 중첩영역의 Polygon을 기반으로 접합선을 추출하기 때문에 대상 지역별 성능 차이가 나타나지 않은 것으로 판단된다.

(2) MAGDS 기반 모자이크 알고리즘 실험결과 분석

MAGDS 기법은 화소값을 기반으로 접합선을 추출하기 때문에 영상 특성에 따라 추출되는 접합선의 형태가 모두 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그러나 앞서 언급했듯이 각 Line의 화소값만을 이용하여 접합선을 추출하기 때문에 접합선의 형태가 모든 지역에서 불규칙적으로 나타나고 경계영역에서 두 영상 간 일치도가 매우 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

(3) Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘 실험결과 분석

Dijkstra 기법은 각 지역에서 산출된 접합선의 형태가 모두 다르게 나타났으며, 앞선 알고리즘과 비교하여 선형 지형·지물을 따라 접합선이 규칙적으로 추출되는 것을 확인할 수 있다. 이는 해당 알고리즘이 화소값과 그래디언트를 기반으로 영상 특성과 영상 내 선형정보를 보다 많이 고려하고 있음을 의미한다. 특히 선형성이 강하게 나타나는 도심지와 농경지에서는 보다 자연스럽게 접합선이 추출되는 반면에 선형성이 비교적 약한 산림지는 능선 및 계곡을 제외한 일부 지역에서 다소 불규칙한 접합선이 추출되었음을 확인할 수 있다.

(4) Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘 실험결과 분석

Graph-Cut 기법은 영상 특성에 따라 접합선의 형태가 다르게 나타났으나, 추출된 모든 접합선은 공통적으로 실제 경계선과 관계없는 불규칙적인 선형인 것으로 나타났다. Dijkstra 기법과 비교하여, 일부 지역에서는 효과적으로 접합선이 추출되는 결과를 보였으나, 접합선 추출 성능이 대부분 상대적으로 떨어진 것으로 확인되었다. 이는 MaxFlow-MinimumCut 기반 접합선 추출 단계에서 과대추정 Cut이 발생하여 생긴 결과로 판단된다.

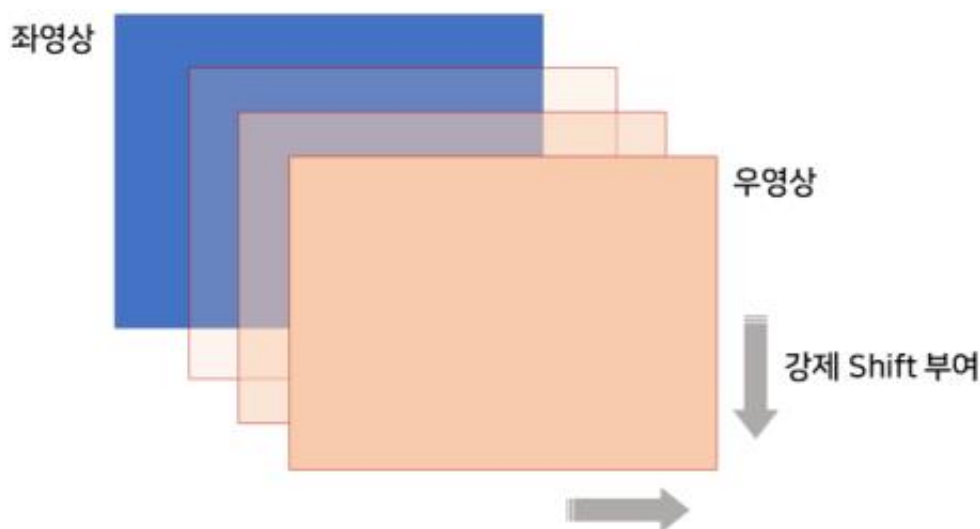
2) 상대 기하 강인성 실험

모자이크를 수행하는 영상은 정밀 기하보정 및 정사보정이 수행된 영상으로 두 영상 간 상대 기하의 거의 일치한다. 다만 영상의 촬영기하 차이와 기록 변위에 따라 상대 기하가 불일치하는 영역이 존재할 수 있다. 따라서 본 테스트에서는 상대 기하에 따른 각 모자이크 알고리즘의 접합선 추출 성능 분석을 수행한다. 이를 통해 각 접합선 추출 알고리즘이 상대 기하 오차가 큰 영상 페어에서도 경계 간 불일치가 많이 발생하지 않는 접합선을 추출할 수 있는지 분석하였다.

가) 상대 기하 강인성 실험 방안

상대 기하에 따른 각 알고리즘의 강인성을 테스트하기 위해 입력영상 중 한 영상에게 강제로 Shift를 부여하여 상대오차를 증가시켰다. 이후 두 실험영상을 각 알고리즘으로 모자이크를 수행하고 그 결과를 분석하였다.

실험에 사용한 위성영상은 앞서 대상 지역별 모자이크 성능 실험에 사용한 영상을 사용하였다. 두 영상중 우 영상을 우하단 방향으로 특정 Shift를 추가하고 모자이크를 수행하였다. Shift의 값은 0 pixel, 10 pixel(20 m), 20 Pixel(40 m)를 부여하여 그 결과를 비교하였다.






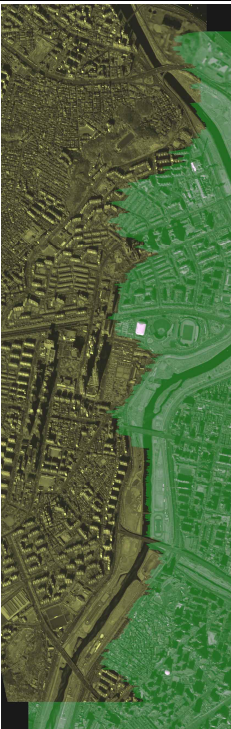


<그림 2-43> 상대기하 강인성 실험 방안




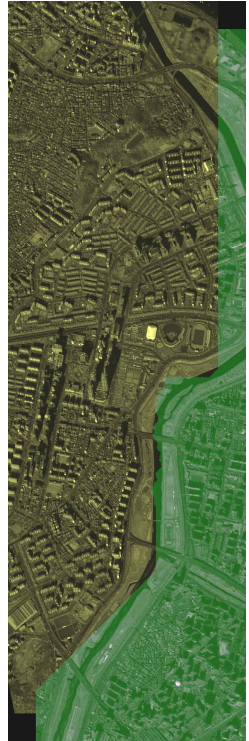

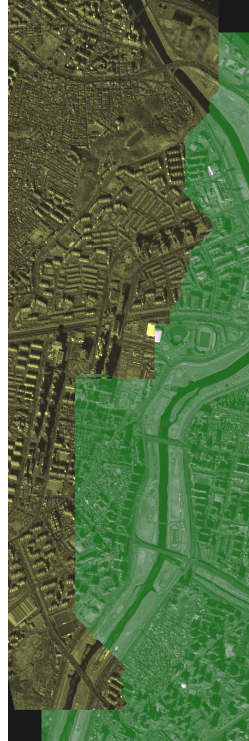
나) 상대 기하 강인성 실험 결과

Voronoi diagram 기반 알고리즘의 경우 영상 Shift에 영향없이 거의 동일한 접합선이 추출된 것을 확인할 수 있었다. MAGDS의 경우 Line 별 화소값 차이를 기반으로 접합선을 추출함으로 Shift값이 변경될 때마다 접합선이 다르게 산출되는 것을 확인할 수 있었다. Dijkstra와

Graph-Cut의 경우 전체적인 접합선의 경향은 동일하게 유지되지만 Shift값이 커짐에 따라 화소 값 차이가 많이 발생하는 지역의 접합선이 조정되는 경향이 있었다. 다만 Graph-cut의 경우 과대 추정이 여전히 발생하였다. 추가적인 자세한 분석은 다) 에서 기술하였다. 자세한 실험 결과는 「부록 3. 상대기하 강인성 실험결과」에서 확인할 수 있다.

<표 2-8> 상대기하 강인성 실험 결과 (도심지#2)

Case	Shift (pixel)		
	0	10	20
Voronoi			
MAGDS			






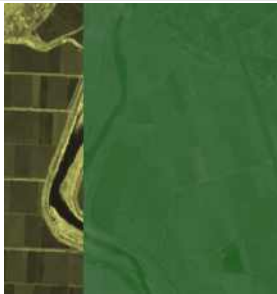
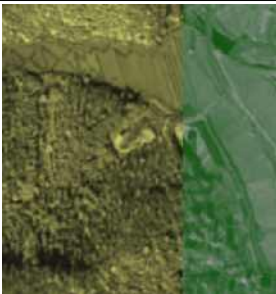
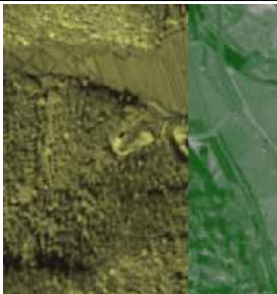
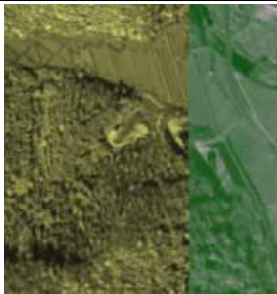



Case	Shift (pixel)		
	0	10	20
Dijkstra			
Graph-cut			

다) 상대 기하 강인성 실험 결과 분석

(1) Voronoi diagram 기반 모자이크 알고리즘 실험 결과 분석

Voronoi diagram 기반 알고리즘의 경우, 화소값을 사용하지 않고 입력영상 페어의 중복영역 Polygon을 기반으로 접합선을 추출함으로 영상 Shift으로 인해 두 영상의 상대 기하 오차가 증가하여도 접합선의 조정없이 거의 동일한 접합선이 추출된 것을 확인할 수 있었다. 따라서 Shift 크기가 커질수록 즉, 상대 기하 오차가 커질수록 Voronoi 기법은 직접적으로 영향을 받아 접합선에서의 두 영상 간의 불일치가 점점 심화되는 것을 확인할 수 있었다.





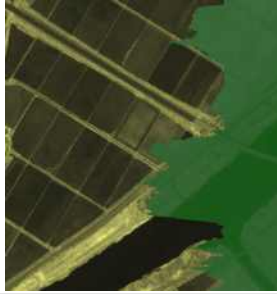

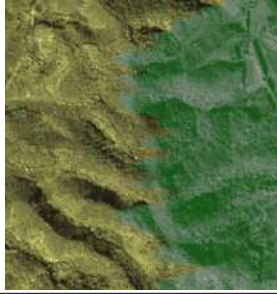
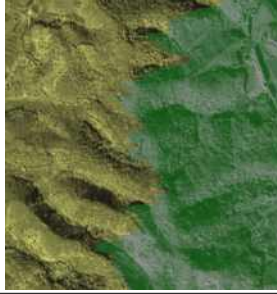

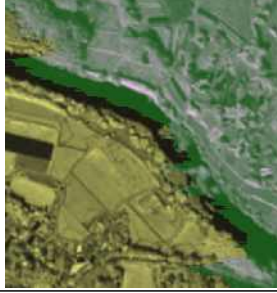
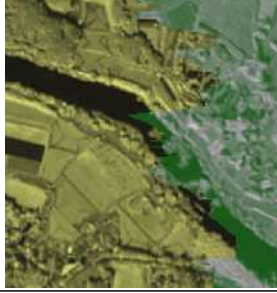
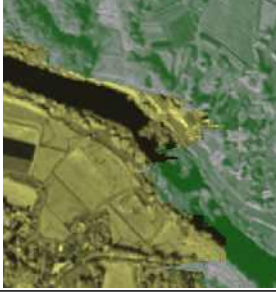
<표 2-9> Voronoi diagram 기반 접합선 추출 알고리즘 강인성 실험 결과 (확대 영상)

CASE	Shift (pixel)		
	0	10	20
도심지 확대 영상			
농경지 확대 영상			
산림지 확대 영상			
유역 확대 영상			

(2) MAGDS 기반 모자이크 알고리즘 실험 결과 분석

MAGDS 기반 모자이크 알고리즘은 Line별 화소값 차이를 기반으로 접합점을 추출한다. 따라서 Shift 크기에 가장 민감하게 반응을 하여 접합선의 많은 조정이 발생하였다. 다만 Line별 접합점을 추출하다 보니 조정된 접합선에서도 Line 별 접합점의 불일치가 여전히 발생하였고, 아래 농경지 확대 영상과 같이 조정된 접합선에서 두 영상 간 불일치가 높은 빈도로 발생하였다.

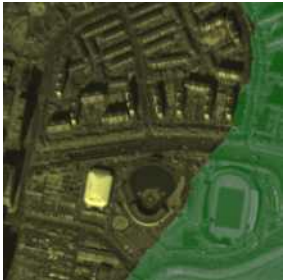

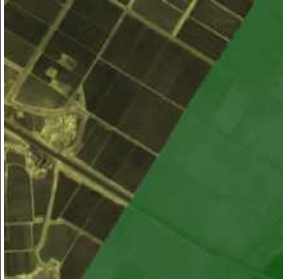
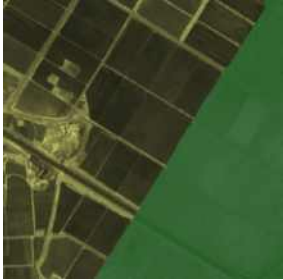
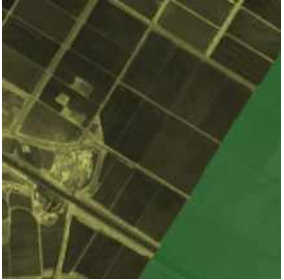
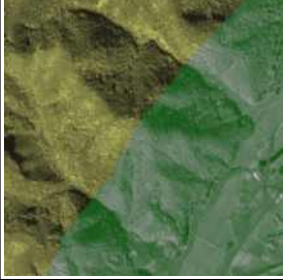
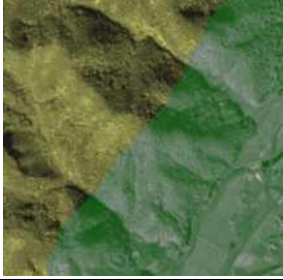

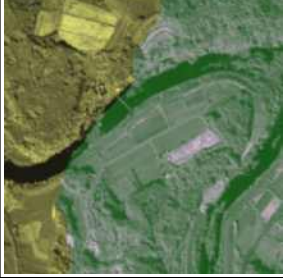
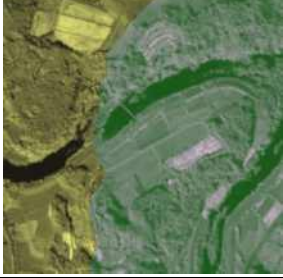
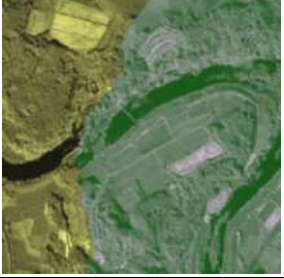
<표 2-10> MAGDS 기반 접합선 추출 알고리즘 강인성 실험 결과 (확대 영상)

CASE	Shift (pixel)		
	0	10	20
도심지 확대 영상			
농경지 확대 영상			
산림지 확대 영상			
유역 확대 영상			

(3) Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘 실험 결과 분석

Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘은 영상의 화소값뿐만 아니라 그래디언트(gradient) 값까지 활용하여 접합선을 추출함으로 영상의 선형 특성을 활용하여 접합선 추출이 가능하다. 또한 중복 영역 전체를 그래프로 변환하여 접합선을 추출함으로 접합선의 전체 경향은 유지하면서 상대 기하 오차가 많이 발생하는 지역에 한하여 조정되는 것을 확인할 수 있었다. 도심지 확대 영상의 경우 Shift 크기가 10 Pixel 까지는 접합선이 도로 및 건물 경계로 거의 동일하게 유지되다가 Shift 크기가 20으로 증가하자 영상 페어 간 불일치가 더 적은 건물 그림자 지역으로 접합선이 조정된 것을 확인할 수 있었다. 농경지, 산림지, 유역의 경우 전체적인 접합선의 경향은 유지하면서 일부 접합선을 조정하여 상대 기하 오차로 인한 영상 간 불일치를 최소화하는 것을 확인할 수 있었다.




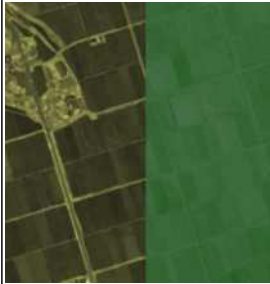
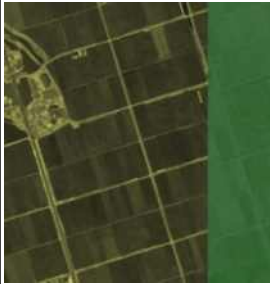
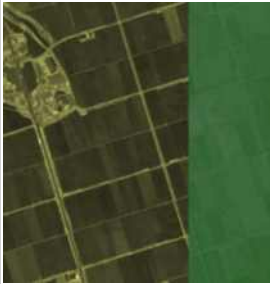
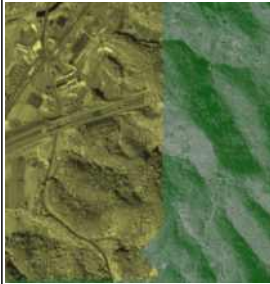
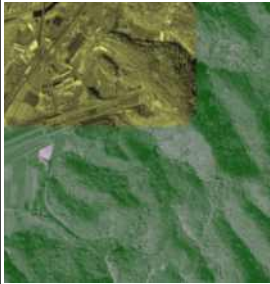
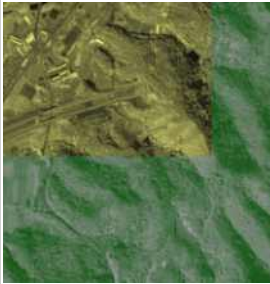
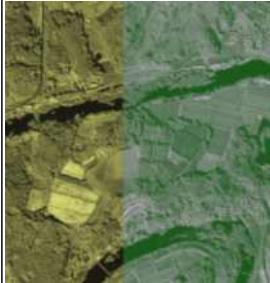
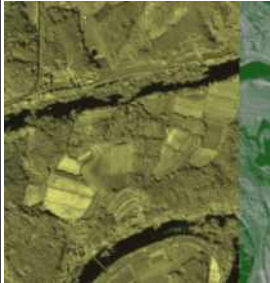
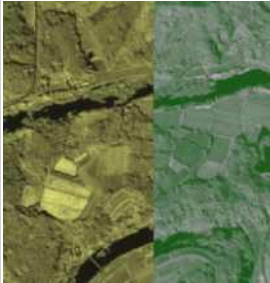
<표 2-11> Dijkstra 기반 접합선 추출 알고리즘 강인성 실험 결과 (확대 영상)

CASE	Shift (pixel)		
	0	10	20
도심지 확대 영상			
농경지 확대 영상			
산림지 확대 영상			
유역 확대 영상			

(4) Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘 실험 결과 분석

Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘 또한 Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘과 유사하게 중복 영역 전체를 그래프로 변환하여 접합선을 추출함으로 접합선의 전체 경향은 유지하면서 상대 기하 오차가 많이 발생하는 지역에 한하여 조정이되는 것을 확인할 수 있었다. Shift크기에 관계없이 과대추정 문제가 발생하여 접합선이 제대로 산출되지 못하는 지역이 종종 발생하였다.

<표 2-12> Graph-Cut 기반 접합선 추출 알고리즘 강인성 실험 결과 (확대 영상)

CASE	Shift (pixel)		
	0	10	20
도심지 확대 영상			
농경지 확대 영상			
산림지 확대 영상			
유역 확대 영상			

3) Scene 단위 접합선 추출 성능 실험

앞서 수행한 실험에서는 위성영상 1 Scene에 실험하고자 하는 대상지역을 Subsampling하고 모자이크를 수행하여 각 알고리즘을 성능을 분석하였다. 본 실험에서는 실제 국토위성정보 산출물 가공기술 SW의 입력자료 단위인 Scene 단위 Level 2G 영상을 입력하여, 각 알고리즘 별 모자이크를 수행하고 그 결과를 비교·분석하였다. 먼저 두 입력영상이 동일 Strip의 영상일 때 각 모자이크 알고리즘의 성능을 분석하고 이후 두 입력영상이 서로 다른 Strip의 영상일 때 각 모자이크 알고리즘의 성능을 분석하였다. 자세한 실험 결과는 「부록 4. Scene 단위 접합선 추출 성능 실험」에서 확인할 수 있다.

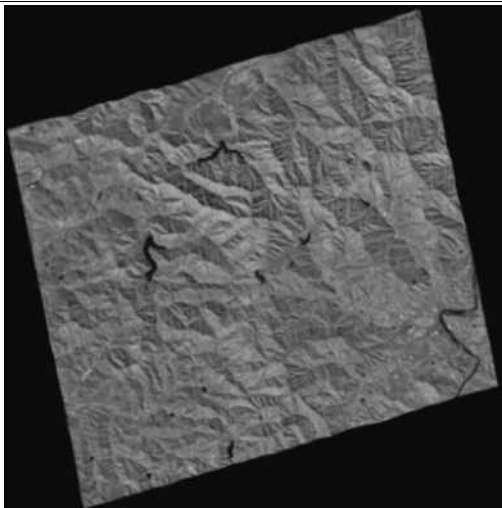
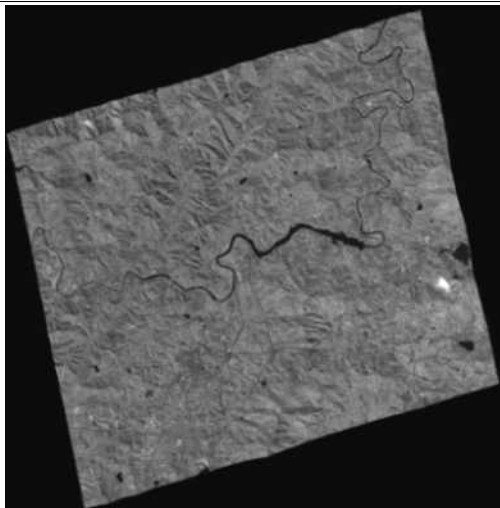
가) 동일 Strip pair에서 접합선 추출 성능 실험

먼저 두 입력영상이 동일 Strip일 때, 각 모자이크 알고리즘의 성능을 분석하였다. 실험자료는 동일 Strip KOMPSAT-3A L2G 위성영상 2 Set으로 Set#1에서는 영상 간 중복영역이 매우 좁은 위성영상 pair를 선정하였고, Set#2에서는 영상 간 중첩영역이 비교적 넓은 위성영상 Pair를 선정하였다.

(1) 동일 Strip 실험영상

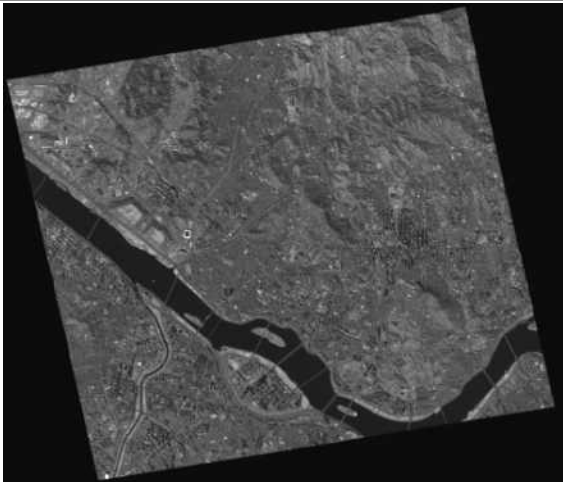
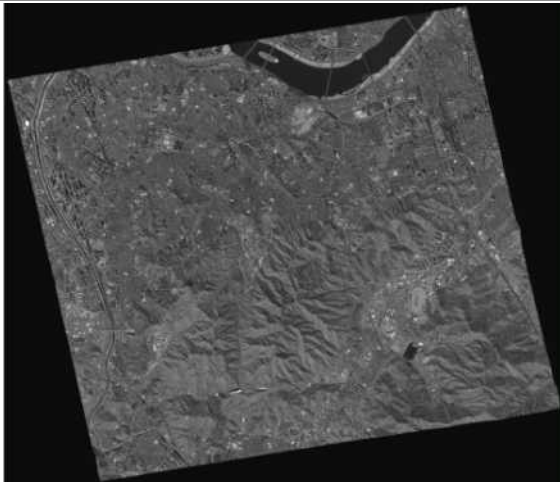
실험에서 사용한 첫 번째 실험 Set의 영상은 아래 그림과 같다. 영상 내 산림이 전체적으로 분포하고 있으며, 소규모의 농경지와 유역이 포함되어 있다. Scene 간의 중복영역의 길이는 약 300m로, Scene 크기에 비해 상대적으로 좁은 중복영역에 해당한다.

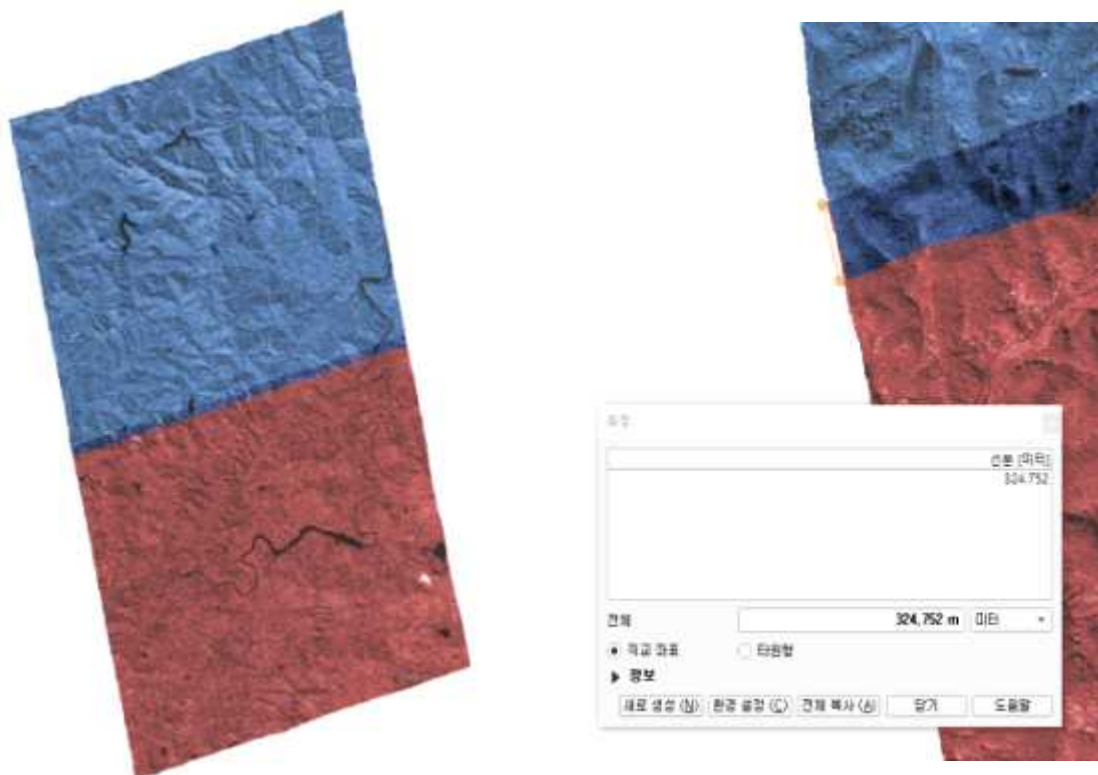
<표 2-13> 접합선 추출 실험에 사용한 동일 Strip#1 K-3A NIR 영상

동일 Strip Set#1	
상	하
K3A_20171021044156_14209_00143898_L2G_NIR	K3A_20171021044156_14209_00123971_L2G_NIR
	

실험에서 사용한 두 번째 실험 Set은 아래 그림과 같으며, 큰 강을 중심으로 주변에 도심지와 산림지가 혼재되어있는 것을 확인할 수 있다. Scene 간의 중복 영역의 길이는 약 1500m로, 앞선 Strip과 비교하여 상대적으로 넓은 중복영역에 해당한다.

<표 2-14> 접합선 추출 실험에 사용한 동일 Strip#2 K-3A NIR 영상

동일 Strip Set#2	
상	하
K3A_20170224043127_10597_00059162_L2 G_NIR	K3A_20170224043127_10597_00040025_L2 G_NIR
	

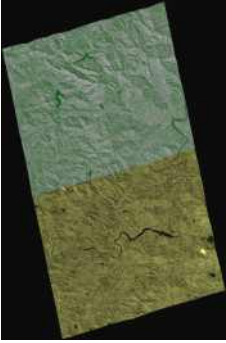
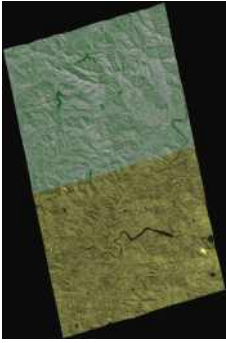
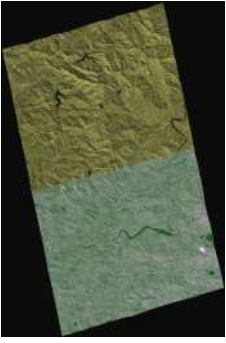
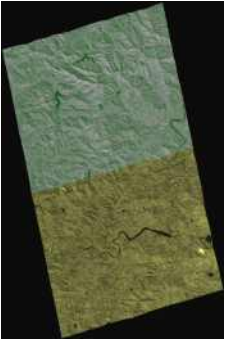
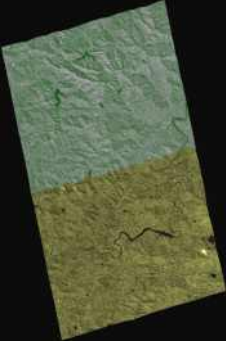


<그림 2-44> 동일 Strip pair를 이용한 영상 모자이크 결과 및 중복 영역 길이 측정 예시

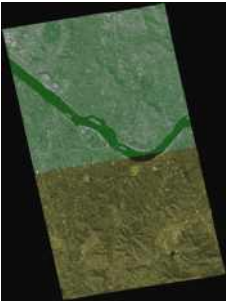
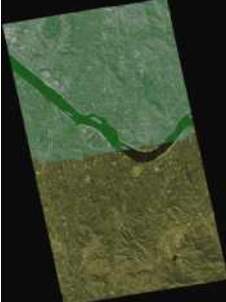
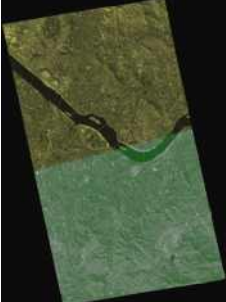
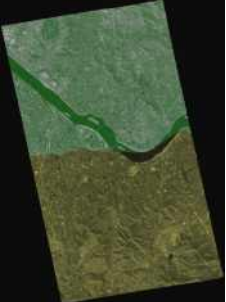
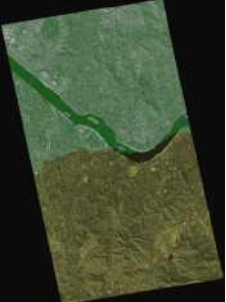
(2) 동일 Strip 실험 결과

동일 Strip pair를 이용한 접합선 추출 성능 비교 실험 결과, Voronoi 결과는 앞선 결과와 동일하게 실제 경계와 상관없이 직선의 형태로 추출된 것을 확인할 수 있다. 좁은 중첩영역으로 인해 두 영상의 단순 Overlap 결과와 비슷한 결과를 나타내고 있다. MAGDS의 경우 Line별 접합점을 산출하는데 중첩영역이 좁으므로 각 Line에서 고려할 화소수가 줄어들어 따라 접합선의 성능이 낮은 것을 확인할 수 있었다. Dijkstra는 좁은 중복영역에서도 산림지 내 능선과 같이 경계선이 뚜렷한 곳을 따라 접합선이 추출되면서 지형을 가로지르는 현상이 상대적으로 적은 것을 확인할 수 있다. Graph-Cut를 이용한 접합선 추출 결과는 이전 결과와 다르게 선형 지형·지물을 따라 Scene 단위 접합선이 추출되어 나타났고, Dijkstra를 포함하여 가장 효과적으로 접합선을 추출하였다.

<표 2-15> 동일 Strip Set #1에 대한 접합선 추출 결과

동일 Strip Set #1				
Overlap	Voronoi	MAGDS	Dijkstra	Graph-Cut
				

<표 2-16> 동일 Strip Set #2에 대한 접합선 추출 결과

동일 Strip Set #2				
Overlap	Voronoi	MAGDS	Dijkstra	Graph-Cut
				

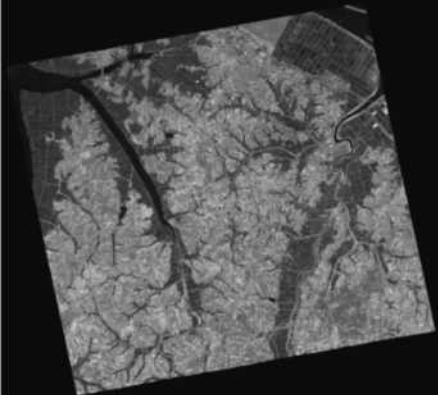
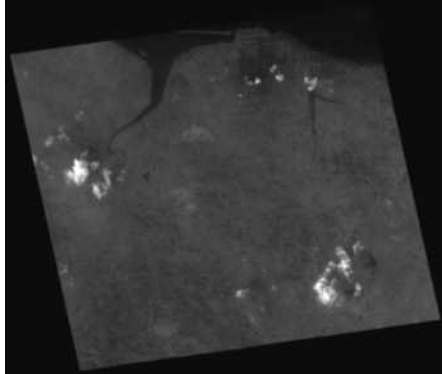
나) 서로 다른 Strip pair에서 접합선 추출 성능 실험

다음으로 두 입력영상이 서로 다른 Strip일 때, 각 모자이크 알고리즘의 성능을 분석하였다. 입력영상이 서로 다른 Strip의 영상일 경우, 두 영상의 촬영기하가 다르므로 동일지역에 대해 실험자료는 서로 다른 Strip의 KOMPSAT-3A L2G 위성영상 2 Set으로 Set#1에서는 영상 간 중복영역이 매우 좁은 위성영상 pair를 선정하였고, Set#2에서는 영상 간 중첩영역이 비교적 넓은 위성영상 pair로 선정하였다.

(1) 서로 다른 Strip 실험영상

실험에서 사용한 실험 자료는 아래 그림과 같다. 실험 Set#1은 산림지를 중심으로 농경지와 유역이 혼재되어 있는 것을 확인할 수 있으며 실험 Set#2는 산림 특성을 보이고 있으며, 소규모의 농경지와 유역이 영상에 포함되어 있다. 촬영조건 및 시기가 상이하기 때문에 분광 특성과 상대 기하의 차이가 존재하는 것을 확인할 수 있다.

<표 2-17> 접합선 추출 실험에 사용한 다른 Strip#1 K-3A NIR 영상

서로 다른 Strip Set#1	
좌	우
K3A_20160512043853_06245_00439931_L2G_NIR	K3A_20190306043007_21780_00509435_L2G_NIR
	

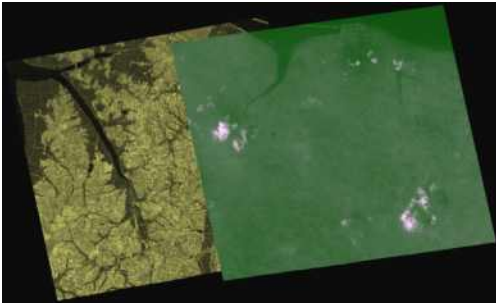
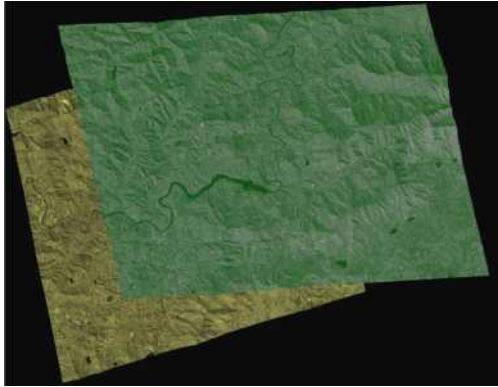
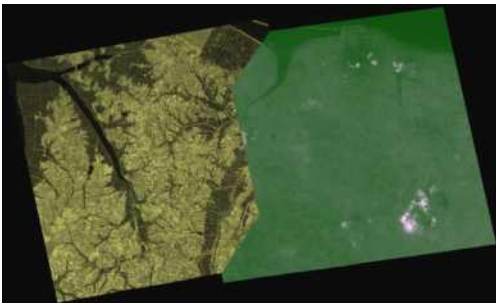
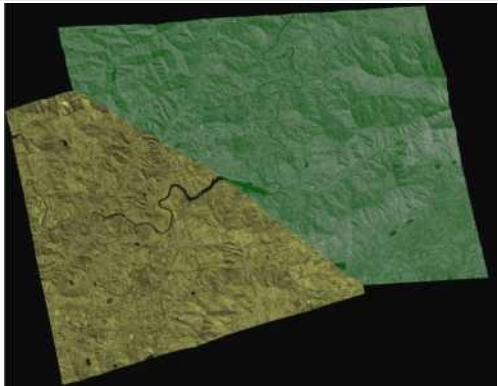
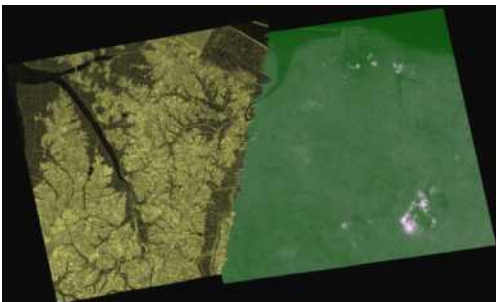
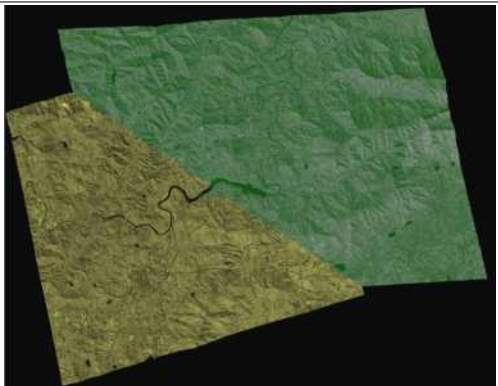
<표 2-18> 접합선 추출 실험에 사용한 다른 Strip#2 K-3A NIR 영상

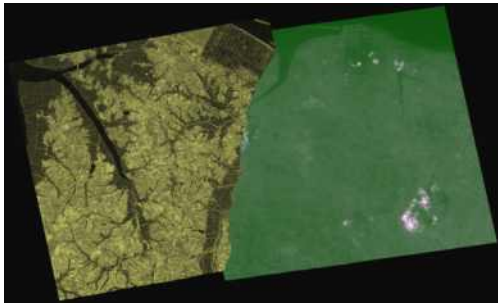
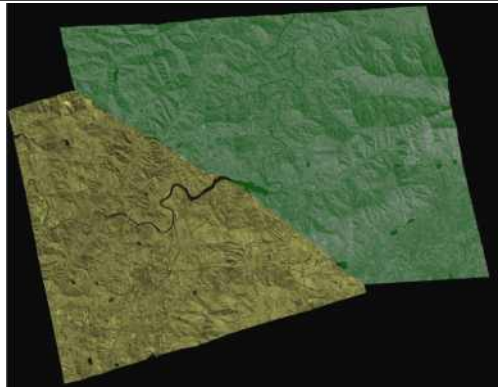
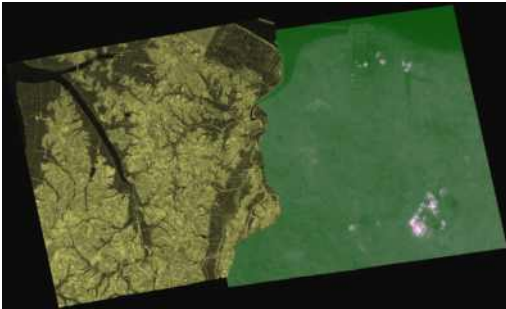
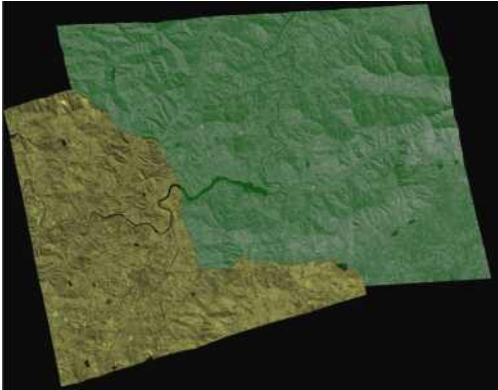
서로 다른 Strip 실험 Set#2	
좌	우
K3A_20171021044156_14209_00123971_L2G_NIR	K3A_20171109042614_14496_00077057_L2G_NIR
	

(2) 서로 다른 Strip 실험 결과

서로 다른 Strip pair를 이용한 접합선 추출 성능 비교 실험 결과, MAGDS, Voronoi 결과는 서로 다른 Strip pair에서도 실제 지표물의 경계선과 관계없이 불규칙적인 접합선이 형성된 것을 확인할 수 있다. Dijkstra는 영상의 그래디언트(gradient)값 까지 고려하여 접합선을 추출함으로 영상의 도로, 농경지, 하천의 경계와 같은 선형성분을 많은 고려하여 접합선이 추출되어 앞서 기술한 두 알고리즘 보다 높은 성능의 접합선이 추출되는 것을 확인할 수 있었다. Graph-Cut의 경우에도 과대추정 문제가 발생하지 않아 영상 내의 화소값 성분을 고려하여 높은 성능의 접합선이 추출되는 것을 확인할 수 있었다. Graph-Cut의 경우 Dijkstra 보다 복잡한 그래프로 영상을 변환하여 접합선을 추출함으로 산출된 접합선이 보다 정교하게 산출된 것을 확인할 수 있었다.

<표 2-19> 동일 Strip에 대한 접합선 추출 실험 결과

	동일 Strip Set #1	동일 Strip Set #2
Overlap		
Voronoi		
MAGDS		

Dijkstra		
Graph-Cut		

다) Scene 단위 접합선 추출 성능 실험 결과 분석

Scene 단위 접합선 추출 성능을 분석하기 위해 동일 Strip, 서로 다른 Strip에서 중복영역 크기 별 영상Pair를 선정하여 총 4 Set의 실험자료에서 접합선을 추출하였다.

Voronoi, MAGDS 기반 접합선 추출 알고리즘의 경우 앞서 수행한 대상 지역별 접합선 추출 실험과 동일하게 나머지 두 알고리즘에 비해 떨어지는 성능을 보여주었다. Voronoi 기반 모자이크 알고리즘의 경우 화소값 정보를 사용하지 않다 보니, Scene 단위 접합선 추출에서도 영상정보가 반영되지 않는 접합선이 산출되었다. 특히 중첩영역이 좁은 영상 Pair일 경우, 단순 Overlap 결과와 큰 차이가 나지 않는 접합선이 산출되었다. MAGDS 기반 접합선 추출 알고리즘의 경우 화소값을 고려하긴 하지만 Line별 화소값 차이만을 고려함으로 접합선이 Line 간 불일치가 많이 발생하였다.

Dijkstra, Graph-Cut 기반 알고리즘의 경우 중복영역에서 영상을 그래프로 변환하여 접합선을 추출함으로 높은 성능의 접합선이 추출되었다. Dijkstra의 경우 화소값 뿐만 아니라 그래디언트(gradient) 값을 사용하여 그래프를 분석함으로서, 영상에 존재하는 도로, 농경지, 하천의 경계와 같은 다양한 선형성분을 이용하여 접합선이 추출되는 것을 확인할 수 있었다. 다만 그래프의 구성이 비교적 단순하여 접합선 추출에 고려되는 화소가 적어 비교적 단순한 접합선이 추출되었다. 이에 반해 Graph-Cut은 그래디언트(gradient) 값은 사용하지 않고 화소값만을 이용하여 그래프

를 분석하지만 그래프의 구성이 훨씬 복잡하고 모든 화소 간 상관성을 분석하여 접합선을 산출함으로써 종종 더 정교한 접합선 추출이 가능하였다. 다만, 대상 지역별 접합선 추출 실험결과와 같이 과대추정이 발생할 가능성이 존재하고, 복잡한 그래프 구성으로 인해 많은 처리시간이 요구된다.


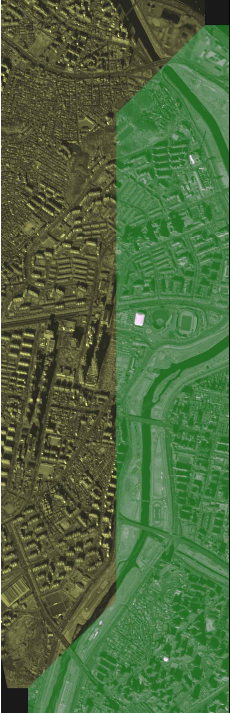
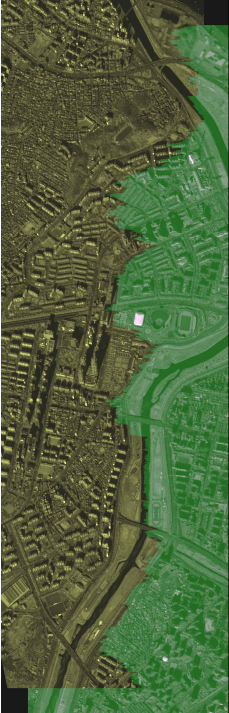


라. 최적 알고리즘 선정 및 개선

1) 최적 알고리즘 선정

모자이크 기술조사를 통해 대표 접합선 추출 알고리즘을 조사하고, 대표 알고리즘 선정 과정을 통해 국토위성정보 산출물에 적합한 4가지 대표 접합선 추출 알고리즘(Voronoi Polygon 기반 모자이크 알고리즘, MAGDS 기반 모자이크 알고리즘, Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘, GraphCut 기반 모자이크 알고리즘)을 선정하였다. 이후 대표 알고리즘 분석 및 구현을 통해 각 알고리즘의 핵심기술과 순서도(Flowchart)를 분석하고 알고리즘을 구현하였다. 대표 알고리즘 중 국토위성정보 산출물에 가장 적합한 최적 알고리즘을 선정하기 위해 대상 지역별 접합선 추출 실험, 상대 기하 강인성 실험, Scene 단위 접합선 추출 성능 실험을 수행하여 국토위성정보 산출물에서의 각 알고리즘 성능을 분석하였다.

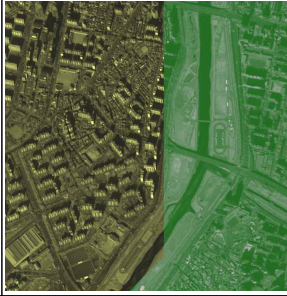
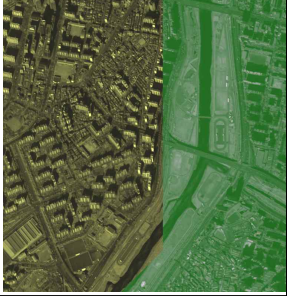
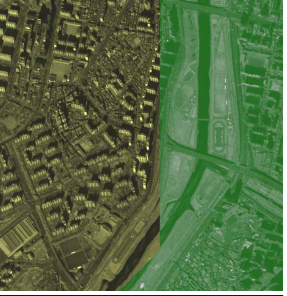
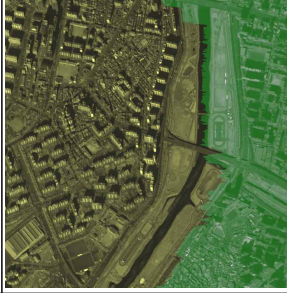
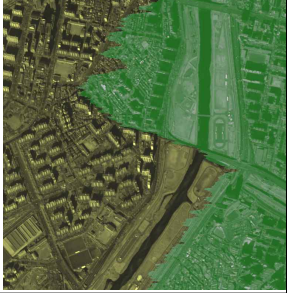
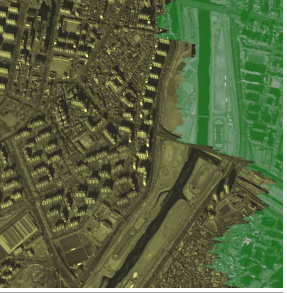




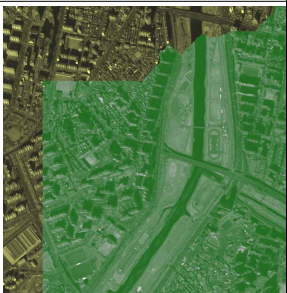
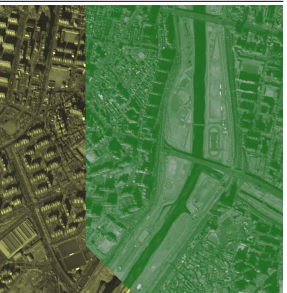
대상 지역별 접합선 추출 실험결과, 대부분의 지역에서 Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘이 가장 좋은 성능을 보여주었다. Dijkstra 기법은 선형 지형·지물을 따라 접합선이 규칙적으로 추출되는 것을 확인할 수 있다. 이는 해당 알고리즘이 화소값과 그래디언트를 기반으로 영상 특성과 영상 내 선형정보를 보다 많이 고려하고 있음을 의미한다. 특히 선형성이 강하게 나타나는 도심지와 농경지에서는 보다 자연스럽게 접합선이 추출되었다. 이에 반해 중첩영역의 Polygon을 기반으로 접합선을 산출하는 Voronoi 기반 알고리즘의 경우 영상의 화소값 정보를 전혀 활용하지 않아 접합선의 성능이 떨어졌으며, MAGDS의 경우, 각 Line의 화소값만을 이용하여 접합선을 추출하기 때문에 접합선의 형태가 모든 지역에서 불규칙적으로 나타났고 경계영역에서 두 영상 간 일치도가 매우 떨어지는 것을 확인할 수 있다. Graph-Cut 기반 알고리즘의 경우, 일부 지역에서는 효과적으로 접합선이 추출되는 결과를 보였으나, MaxFlow- MinimumCut 기반 접합선 추출 단계에서 과대추정 Cut이 발생하여 접합선 성능이 떨어지는 결과가 종종 발생하였다.

<표 2-20> 대상 지역별 접합선 추출 실험결과 (도심지#2)

도심지#2				
Overlap	Voronoi	MAGDS	Dijkstra	Graph-Cut
				

상대 기하 강인성 실험결과에서도 Dijkstra 기반 알고리즘이 가장 좋은 성능을 보여주었다. Dijkstra 기반 알고리즘은 shift값이 변경됨에 따라 접합선의 전체 경향은 유지하면서 상대 기하 오차가 많이 발생하는 지역에 한하여 조정되는 것을 확인할 수 있었다. 이에 반해 Voronoi diagram 기반 알고리즘의 경우 영상 Shift에 영향 없이 거의 동일한 접합선이 추출된 것을 확인할 수 있었다. MAGDS의 경우 Line 별 화소값 차이를 기반으로 접합선을 추출함으로 Shift값이 변경될 때마다 접합선이 다르게 산출되는 것을 확인할 수 있었다. Graph-Cut의 경우 Dijkstra 기반 알고리즘과 유사하게 전체적인 접합선의 경향은 동일하게 유지되지만 Shift값이 커짐에 따라 화소값 차이가 많이 발생하는 지역의 접합선이 조정되는 경향이 있었다. 다만 과대추정이 여전히 발생하였다.

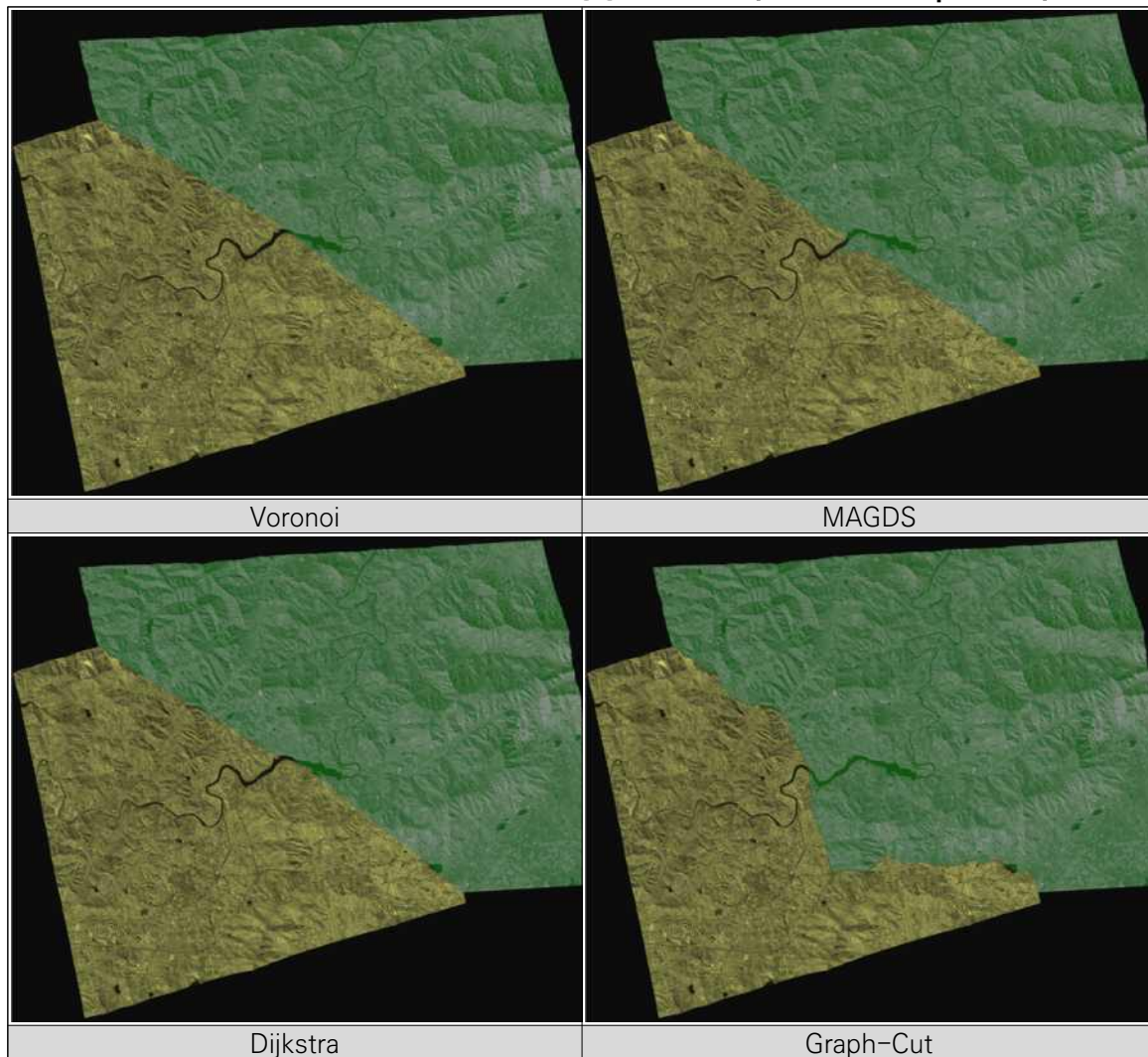
<표 2-21> 상대 기하 강인성 실험결과 (도심지#2)

CASE	Shift (pixel)		
	0	10	20
Voronoi			
MAGDS			
Dijkstra			
Graph-Cut			

Scene 단위 접합선 추출 성능 실험결과, Voronoi, MAGDS 기반 접합선 추출 알고리즘의 경우 나머지 두 알고리즘에 비해 떨어지는 성능을 보여주었다. Voronoi 기반 모자이크 알고리즘의 경우 화소값 정보를 사용하지 않다 보니, Scene 단위 접합선 추출에서도 영상정보가 반영되지 않는 접합선이 산출되었다. MAGDS 기반 접합선 추출 알고리즘의 경우 화소값을 고려하긴 하지만 Line별 화소값 차이만을 고려함으로 접합선이 Line 간 불일치가 많이 발생하였다. Dijkstra, Graph-Cut 기반 알고리즘의 경우 중복영역에서 영상을 그래프로 변환하여 접합선을 추출함으로 높은 성능의 접합선이 추출되었다. Dijkstra의 경우 화소값 뿐만 아니라 그래디언트(gradient) 값

을 사용하여 그래프를 분석함으로써, 영상에 존재하는 도로, 농경지, 하천의 경계와 같은 다양한 선형성분을 이용하여 접합선이 추출되는 것을 확인할 수 있었다. 다만 그래프의 구성이 비교적 단순하여 접합선 추출에 고려되는 화소가 적어 비교적 단순한 접합선이 추출되었다. 이에 반해 Graph-Cut은 그래디언트(gradient) 값을 사용하지 않고 화소값만을 이용하여 그래프를 분석하지만 그래프의 구성이 훨씬 복잡하고 모든 화소 간 상관성을 분석하여 접합선을 산출함으로써 종종 더 정교한 접합선 추출이 가능하였다. 다만, 대상 지역별 접합선 추출 실험결과와 같이 과대추정이 발생할 가능성이 존재하고, 복잡한 그래프 구성으로 인해 많은 처리시간이 요구된다.

<표 2-22> Scene 단위 접합선 추출 성능 실험결과 (서로 다른 Strip Set#2)



앞서 수행한 3가지 실험에서 Voronoi, MAGDS 기반 알고리즘의 경우, 화소값을 사용하지 않거나, 단순히 Line별 화소값 비교를 통해 산출됨으로 접합선의 성능이 떨어졌다. 이에 반해, Dijkstra, Graph-cut 기반 알고리즘은 영상을 그래프로 변환하여 분석하여 우수한 성능의 접합선이 추출되는 것을 확인할 수 있었다. Scene 단위 접합선 추출 실험결과에서 Graph-cut 기반

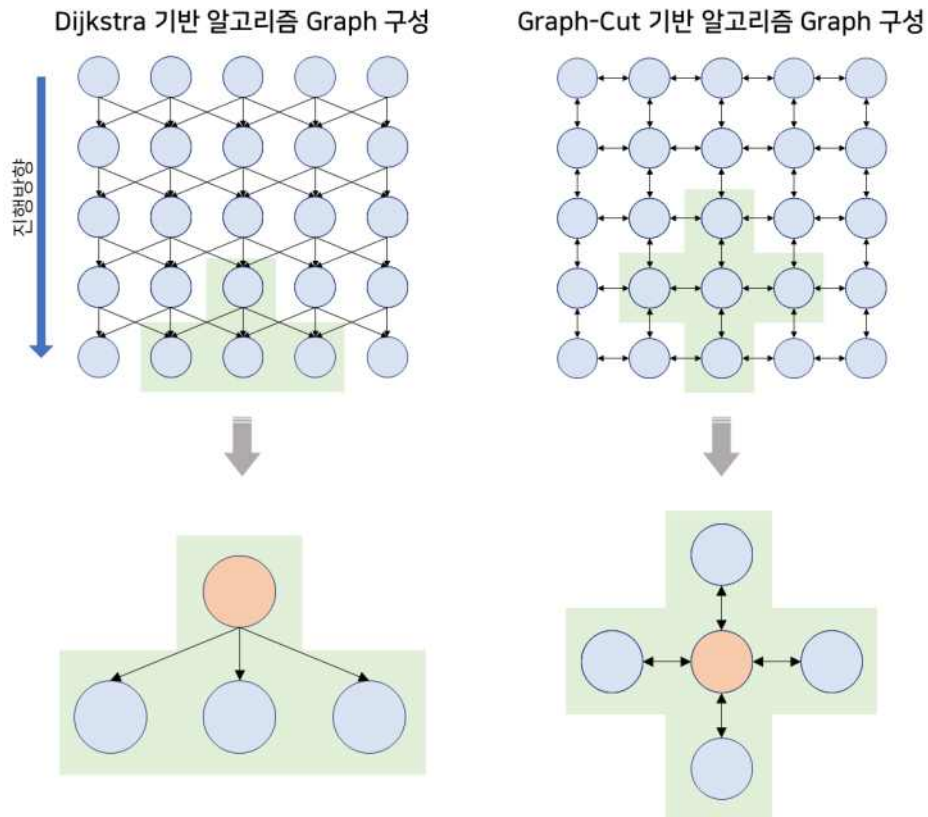
알고리즘이 Dijkstra 기반 알고리즘에 비해 정교한 접합선이 추출되는 경우가 종종 발생하였지만, Graph-cut 기반 알고리즘의 경우, 지나치게 많이 소요되는 처리시간과 과대추정 문제가 있어 국토위성정보 산출물에 적합하지 않다. Dijkstra 기반 알고리즘의 경우 비교적 처리시간이 적게 소요되며 모든 실험에서 일관되게 우수한 성능을 보여주었다. 모든 대상지역에서 우수한 성능을 보여주었으며, 상대 기하에 대한 강인성 실험에서도 우수한 성능을 보여주었다. 따라서 Dijkstra 기반 접합선 추출 알고리즘을 국토위성정보 산출물 모자이크를 위한 알고리즘으로 선정하였다.

2) 선정 알고리즘 개선

앞서 수행한 실험과 분석을 통해, Dijkstra 기반 알고리즘을 국토위성정보 산출물에 가장 적합한 알고리즘으로 선정하였다. 다만 Scene 단위 접합선 추출에서 Graph-Cut 기반 알고리즘이 과대추정이 발생하지 않는 경우 종종 Dijkstra 기반 알고리즘에 비해 정교한 접합선이 추출되었다. 따라서, 선정된 Dijkstra 기반 접합선 추출 알고리즘을 Graph-Cut 기반 알고리즘과 비교하여 분석하고 이를 통해 선정 알고리즘을 개선하고자 하였다. 최종적으로 개선된 알고리즘을 이용하여 실험을 수행하고 그 결과를 분석하였다.

가) Dijkstra, Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘 성능 비교 분석

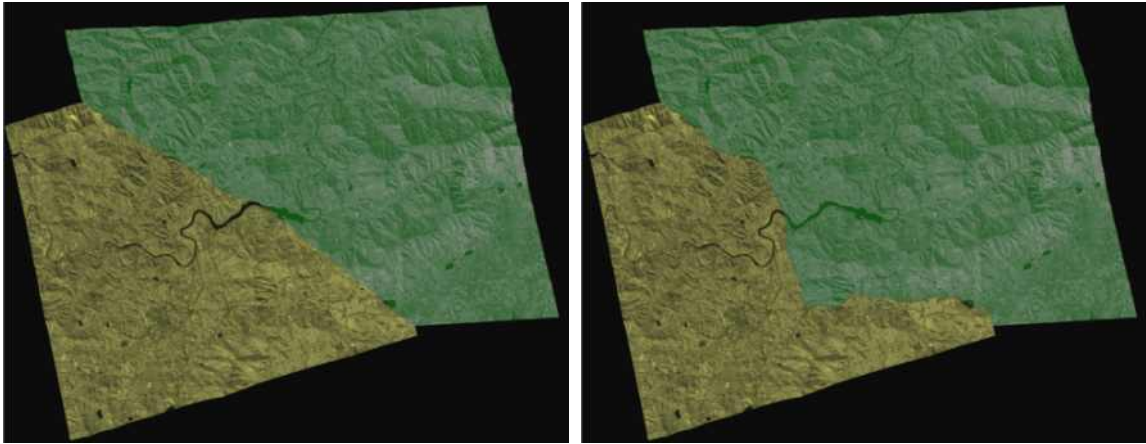
Dijkstra, Graph-Cut 기반 알고리즘 모두 중복영역에서 영상을 그래프로 변환하여 접합선을 추출함으로 높은 성능의 접합선을 추출한다. 다만 Dijkstra 기반 알고리즘의 그래프는 Graph-Cut 기반 알고리즘의 그래프와 비교하여 비교적 단순하게 구성되어 있다. 이는 접합선 추출의 처리시간 및 과대추정 방지 측면에서는 효율적이지만 접합선 추출에 고려되는 화소가 적어 접합선의 성능이 떨어지는 문제를 발생시킬 수 있다. 아래 그림을 보면 Dijkstra 기반 알고리즘의 그래프의 경우 진행 방향이 정해져 있으며, 이에 따라 한 vertex의 edge가 최대 3개로 구성된 것을 알 수 있다. 이에 반해 Graph-cut의 경우 한 vertex의 edge가 상하좌우 양방향으로 최대 8개 까지 구성할 수 있다.



<그림 2-45> Dijkstra, Graph-Cut 기반 알고리즘의 그래프 구성

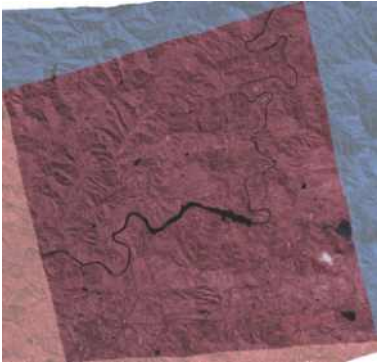
Dijkstra와 Graph-Cut 기반 알고리즘의 차이를 분석하기 위해 「다. Scene 단위 접합선 추출 성능 실험」에서 사용한 서로 다른 Strip Set#2의 VertexMap을 산출하였다(아래 그림). VertexMap이란 실제 접합선 추출에 고려된 Vertex의 분포를 보여주는 자료이다. White 값이 접합선 추출에 고려된 vertex, black 값이 제외된 vertex이다. 좌측의 영상 중첩영역을 고려하면 Graph-Cut의 경우 중첩영역 내의 모든 Vertex가 고려된 것을 확인할 수 있다. 이에 반해 Dijkstra의 경우 그래프의 단순한 edge의 구성으로 인해 마스크 좌하단 영역이 접합선 추출에 고려되지 않았다는 것을 확인할 수 있다. 실제 접합선 추출 결과를 보면 Dijkstra의 경우 좌하단 영역을 제외한 부분에서만 접합선이 추출된 것을 확인할 수 있다. 따라서 Dijkstra 기반 알고리즘의 개선을 위해서는 Graph의 구성을 개선할 필요가 있다.

<표 2-23> Dijkstra, Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘 Vertex Map 비교 분석

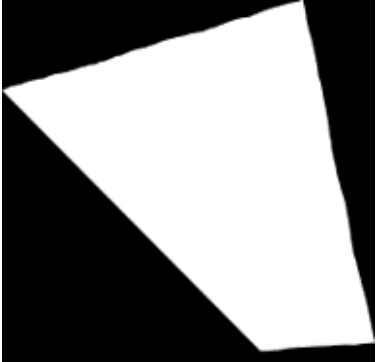


Dijkstra 기반 접합선 추출 결과

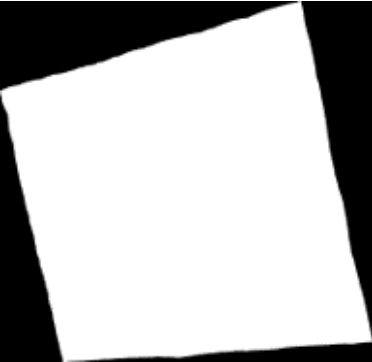
Graph-Cut 기반 접합선 추출 결과



중첩영역



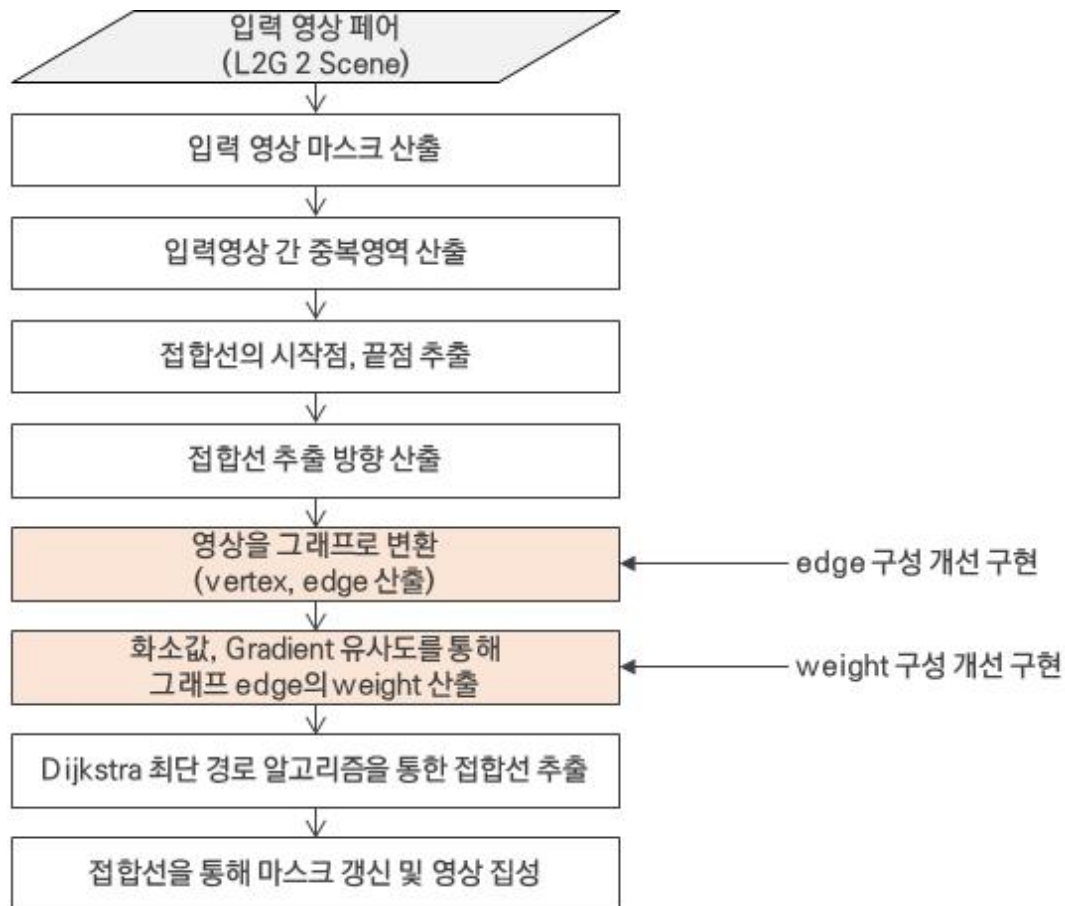
Dijkstra Vertex Map



Graph-Cut Vertex Map

나) Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘 개선

앞서 수행한 Dijkstra, Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘 성능 비교 분석 결과 Dijkstra 알고리즘의 그래프 구성 개선이 필요함을 확인하였다. 이에 따라 기존 Dijkstra 기반 모자이크에서 그래프 변환 방안을 개선을 통해 전체적인 접합선 추출 성능을 향상시키고자 하였다.

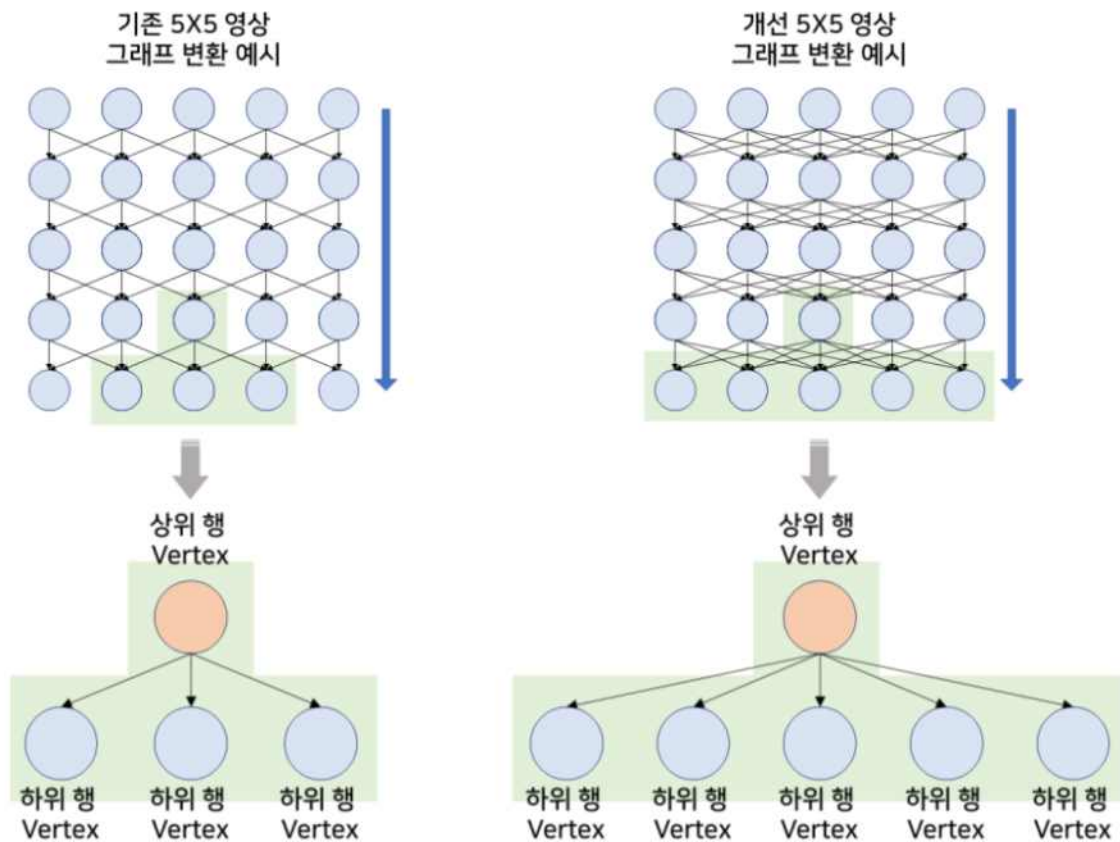


<그림 2-46> Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘 개선

위의 그림은 Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘 순서도(Flowchart)에서 성능개선 방안을 보여 준다. 먼저 영상을 그래프로 변환할 때, 보다 많은 vertex들이 접합선 추출에 고려될 수 있도록 vertex 간 edge 구성을 개선하였다. Dijkstra 기반 알고리즘의 빠르 처리속도 및 안정성은 유지하면서 성능을 향상시킬 수 있도록 edge의 구성을 개선하고자 하였다. 이후 각 edge의 weight 산출 방안을 개선하여 edge의 구성을 증가함에 따라 발생하는 부작용을 방지하고 접합선 추출 성능을 향상시키고자 하였다.

(1) Graph의 edge 구성 개선

기존 알고리즘에서는 상위 행 vertex에서 하위 행 vertex로 연결되는 Edge는 3개만 존재하였다. 이에 따라 접합선 추출 시 선택할 수 있는 경로가 한정적이라는 단점이 발생하였다. Graph-cut의 경우, 상하 좌우 양방향으로 edge를 구성하지만, 이 경우 연산량이 지나치게 많아지는 단점이 존재하며, 동적프로그래밍 방식의 알고리즘 구현이 불가능해진다. 따라서 동적프로그래밍 기반 Dijkstra 알고리즘의 빠른 처리속도를 유지하면서 edge 구성을 증가시킬 수 있도록 단방향은 유지하면서 edge를 증가시켰다. 상위 vertex에서 하위 vertex로 이동 가능한 edge를 추가하여 다양한 경로를 고려하여 접합선이 추출되도록 알고리즘을 개선하고자 하였다. 아래 그림은 그래프 구성 개선 예시이다.

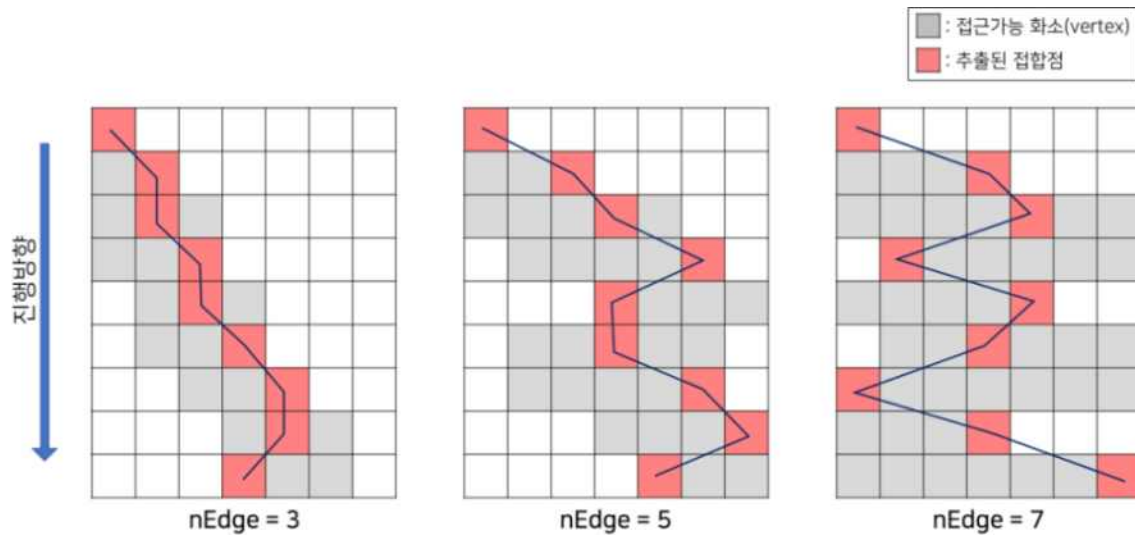


<그림 2-47> edge 구성 개선 예시

상위 vertex와 하위 vertex를 연결하는 edge의 수를 $nEdge$ 라고 명명한다. 기존 알고리즘의 경우 $nEdge$ 가 3이며, 해당 알고리즘에서 추출되는 접합선은 상위 vertex에서 하위 vertex로 내려올 때 교차 진행방향으로 -1, 0, 1만 이동할 수 있다. 하지만 $nEdge$ 가 위의 그림과 같이 5가 되면 상위 vertex에서 하위 vertex로 내려올 때 교차 진행방향으로 -2, -1, 0, 1, 2 이동할 수 있으므로 더 많은 vertex가 접합선 추출에 고려된다.

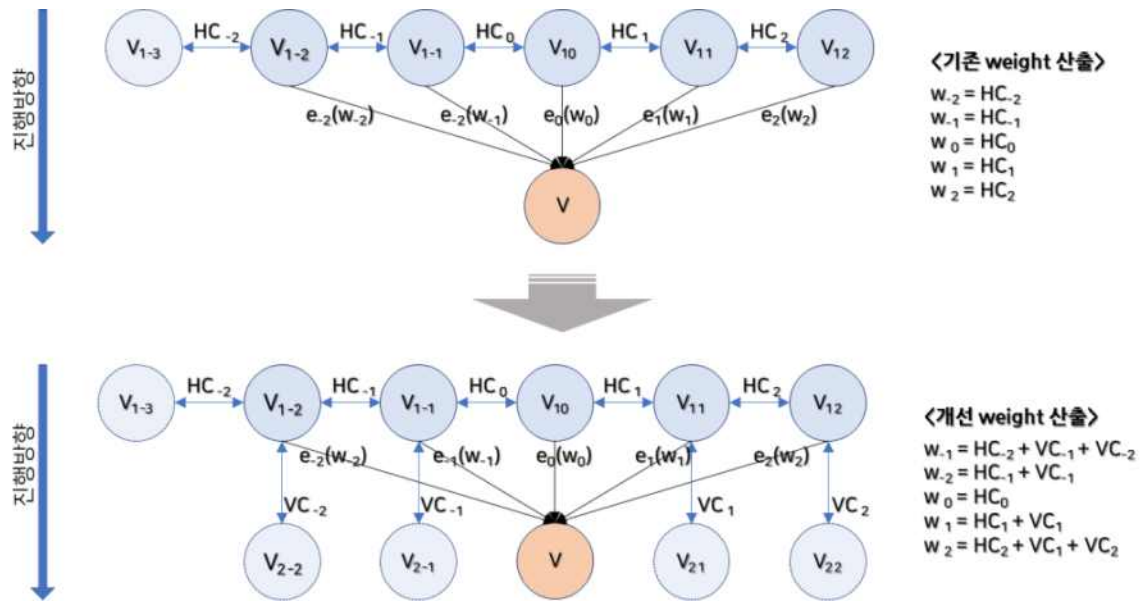
(2) Graph의 weight 산출 방안 개선

그래프 구성을 개선함에 따라 새롭게 추가된 edge의 weight를 추가적으로 산출하여야 한다. 또한, nEdge가 증가함에 따라 각 접합점들의 진행방향 간 불일치가 발생할 확률이 높으므로 이를 보정할 수 있는 weight 산출 방안이 필요하다.



<그림 2-48> nEdge에 따른 접합선 추출 예시

위의 그림과 같이 nEdge가 증가하면 상위 vertex에서 접근 가능한 하위 vertex가 증가하게 된다. 예를 들어, 진행방향이 열방향이고 i 행 j 열의 vertex를 v_{ij} 라고 할 때, 기존 Graph의 v_{ij} 에서는 v_{i+1j-1} , v_{i+1j} , v_{i+1j+1} 으로만 접근이 가능하다. 따라서 산출되는 접합선은 1행 진행할 때 열 방향으로 최소 -1, 최대 +1 만 이동 가능하다. 하지만 개선된 Graph의 v_{ij} 에서는 훨씬 더 많은 vertex에 접근 가능하므로, 산출되는 접합선이 1행이 진행할 때 열 방향으로 훨씬 더 많은 이동이 가능하다. 이로 인해 접합점의 진행방향 간 불일치가 발생할 확률이 높아진다. 따라서 이를 고려한 weight 산출 방안 개선이 필요하다.



<그림 2-49> weight 산출 개선 방안

기존 Dijkstra 기반 접합선 추출 알고리즘에서는 각 edge의 weight를 상위 vertex(v_{ij})와 해당 vertex의 앞 열 vertex(v_{i-1j})간 화소값 차이와 그래디언트(gradient) 값을 통해 화소값 차이의 변화율로 산출한다. 두 입력영상의 화소값을 f, g 라 하고, 두 입력영상의 그래디언트(gradient) 값을 $\Delta f, \Delta g$ 라고 하였을 때, edge(e)의 weight(w)는 아래 식과 같다.

$$w(e_{ij}) = HC(e_{ij}) = \frac{(f(v_{ij}) - g(v_{i-1j}))^2 + (f(v_{i-1j}) - g(v_{ij}))^2}{2(\Delta f(v_{ij}) + \Delta f(v_{i-1j}) + \Delta g(v_{ij}) + \Delta g(v_{i-1j}) + 1)}$$

이때 산출되는 weight는 교차 진행방향의 화소값 차이만을 고려하므로 진행방향 간 불일치를 방지하기 어렵다는 단점이 존재한다. 따라서 기존 weight를 교차 진행방향 비용(HC)로 정의하고 추가적으로 진행방향 비용(VC)을 산출하고 아래와 같이 산출하였다.

$$VC(e_{ij}) = \frac{(f(v_{ij}) - g(v_{ij+1}))^2 + (f(v_{ij+1}) - g(v_{ij}))^2}{2(\Delta f(v_{ij}) + \Delta f(v_{ij+1}) + \Delta g(v_{ij}) + \Delta g(v_{ij+1}) + 1)}$$

이를 이용하여 최종 weight를 산출하였다. 최종 weight 산출 방법은 아래와 같다.

$$w(e_{ij}) = HC(e_{ij}) + \sum_{k=0}^j VC(e_{ik})$$

vertex의 교차 진행방향 위치가 상위 vertex의 위치에서 멀어질수록 VC weight 값을 가중시켜 진행방향 간 불일치가 보정될 수 있도록 개선하였다.

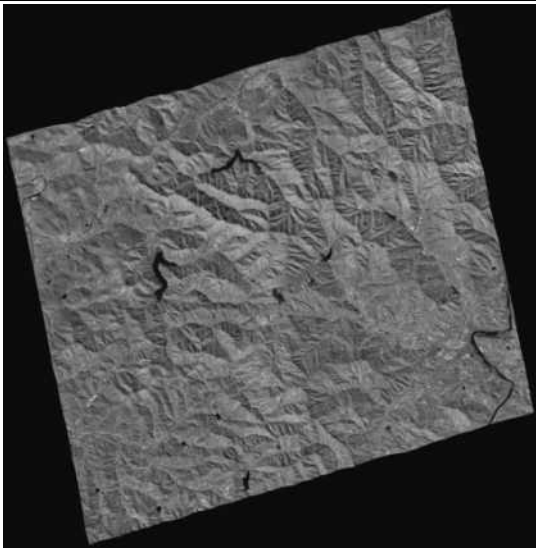
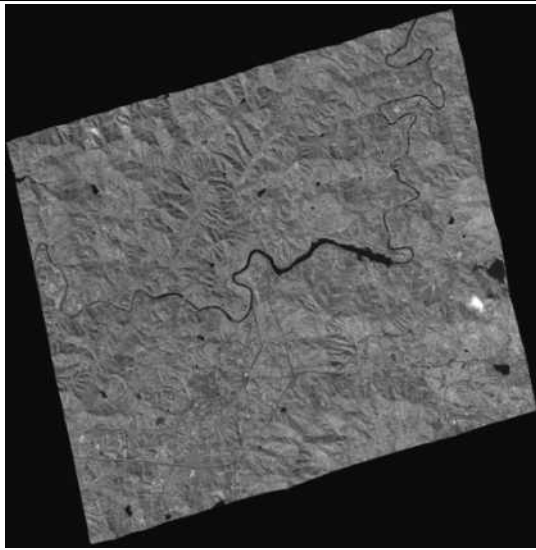
다) 개선된 Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘 실험

개선된 Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 실험을 진행하였다. 먼저 edge 구성에 따른 성능을 분석하기 위해 nEdge를 기존 알고리즘과 동일한 3에서부터 5, 10, 20, 30, 40으로 증가시켜 접합선을 추출하였다. 개선된 weight 산출 방안의 성능을 분석하기 위해 각 nEdge에서 weight 산출 방안을 개선 전/후로 나누어 접합선을 추출하였다. 이후 각 모자이크 결과의 전체영상 및 확대영상을 통해 추출된 접합선의 성능을 분석하여 최적의 nEdge를 산출하였다. 이후 최종적으로 산출된 결과와 Graph-cut 기반 알고리즘으로 산출된 접합선 결과를 비교 분석하였다. 마지막으로 처리시간을 분석하여 nEdge와 Weight 산출 방식에 따른 처리시간을 분석하였다.

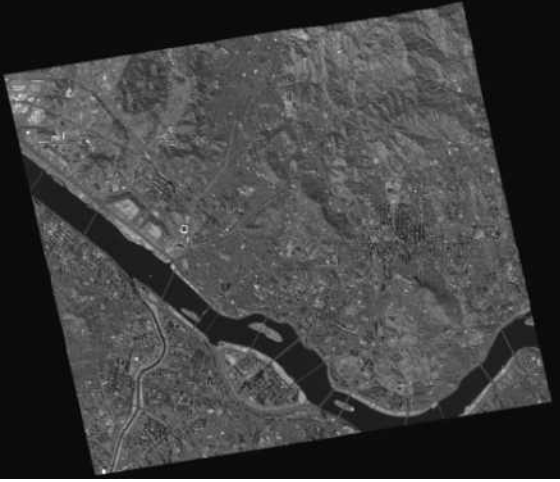
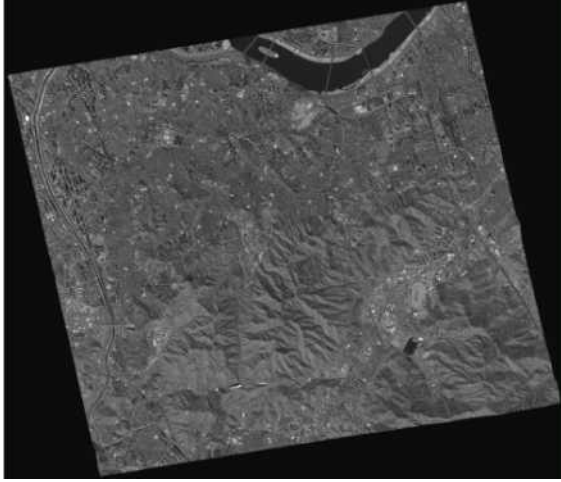
(1) 실험영상

실험을 수행하기 위해 앞서 「다. Scene 단위 접합선 추출 성능 실험」에서 사용한 동일 Strip Set#1, 2와 서로 다른 Strip Set#1, 2의 자료를 사용하여 실험을 진행하였다. 앞서 설명한 바와 같이 동일 Strip의 경우 두 입력영상이 동일 Strip이므로, 촬영일시 및 촬영기사가 동일하다. 이에 반해 서로다른 Strip의 경우 두 입력영상이 서로 다른 Strip에서 촬영되었으므로 촬영시기 및 촬영기가 모두 다르다. 동일/서로 다른 Strip Set#1의 경우 중복영역이 비교적 좁은 영상 pair로 구성되어 있으며, 동일/서로 다른 Strip Set#2의 경우 중복영역이 비교적 넓은 영상 pair로 구성되어 있다.

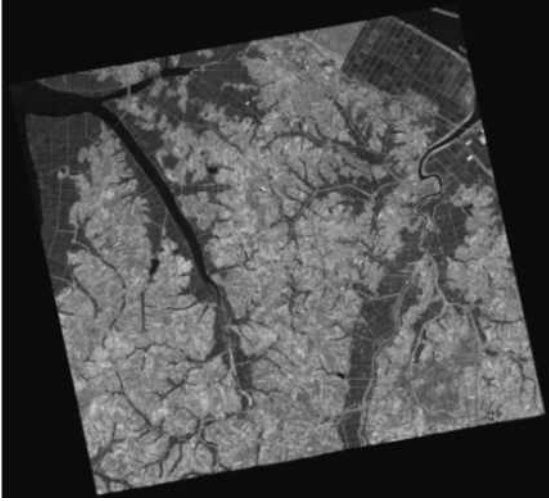
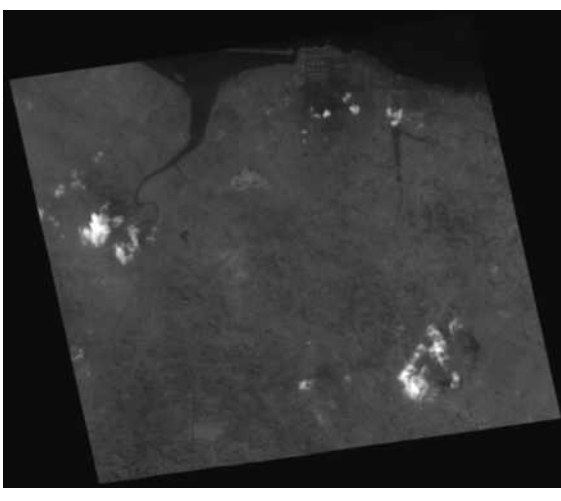
<표 2-24> 접합선 추출 실험에 사용한 동일 Strip#1 K-3A NIR 영상

동일 Strip Set#1	
상	하
K3A_20171021044156_14209_00143898_L2G_NIR	K3A_20171021044156_14209_00123971_L2G_NIR
	

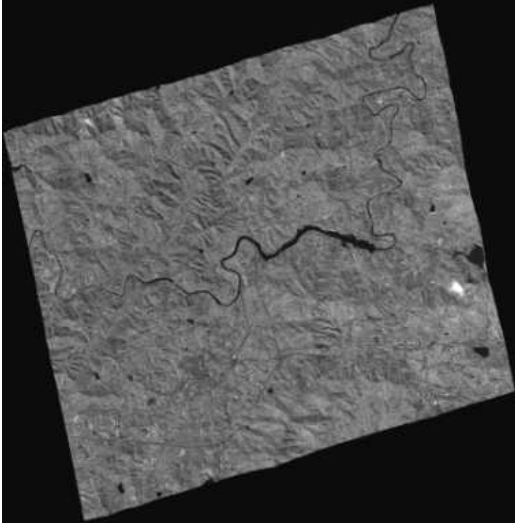
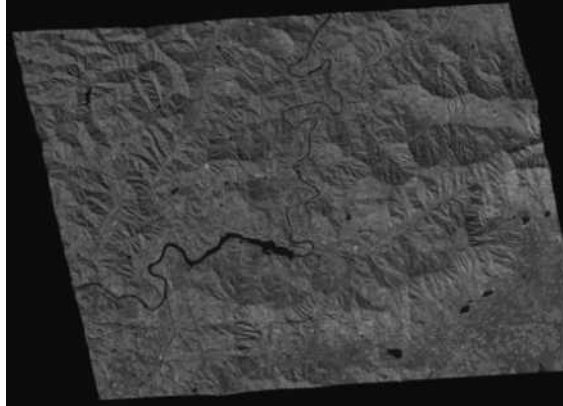
<표 2-25> 접합선 추출 실험에 사용한 동일 Strip#2 K-3A NIR 영상

동일 Strip Set#2	
상	하
K3A_20170224043127_10597_00059162_L2 G_NIR	K3A_20170224043127_10597_00040025_L2 G_NIR
	

<표 2-26> 접합선 추출 실험에 사용한 다른 Strip#1 K-3A NIR 영상

서로 다른 Strip Set#1	
좌	우
K3A_20160512043853_06245_00439931_L2 G_NIR	K3A_20190306043007_21780_00509435_L2 G_NIR
	

<표 2-27> 접합선 추출 실험에 사용한 다른 Strip#2 K-3A NIR 영상

서로 다른 Strip 실험 Set#2	
좌	우
K3A_20171021044156_14209_00123971_L2 G_NIR	K3A_20171109042614_14496_00077057_L2 G_NIR
	

(2) 접합선 성능 분석

기존 Weight 산출방안을 유지하면서 nEdge를 증가시킨 경우, 일정 수준까지는 nEdge가 증가함에 따라 접합선이 보다 정밀하게 추출되었다. 대부분의 결과에서 nEdge가 작을 때는 접합선 추출에 활용하지 않았던 선형정보를 nEdge 수가 일정 수준까지 증가함에 따라 더 많이 고려하여 접합선이 추출되는 것을 확인하였다. 특히 중첩영역이 가장 넓고 영상 내 선형정보가 많은 ‘서로 다른 Strip#2’의 경우, nEdge가 증가할수록 가장 많은 성능향상을 보여주었다. 이와 반대로 중첩영역이 가장 작은 ‘동일 Strip#1’의 경우, 비교적 성능향상이 비교적 미비하였다.

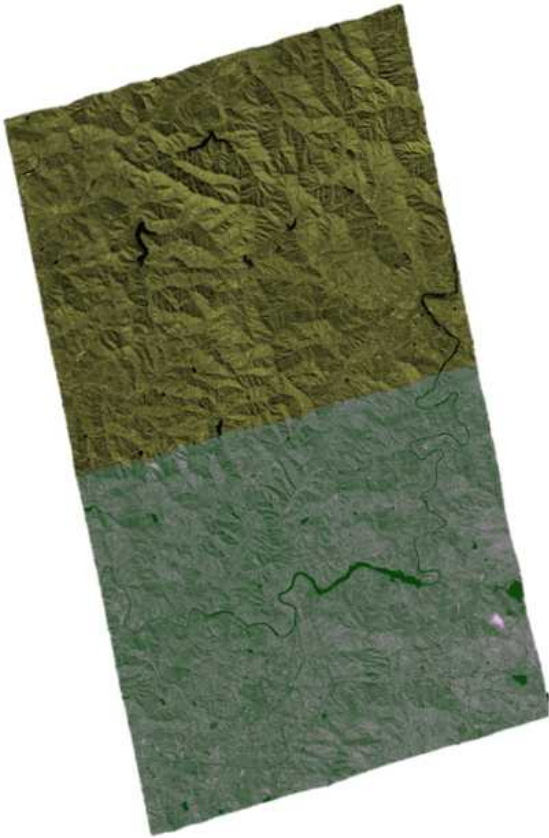
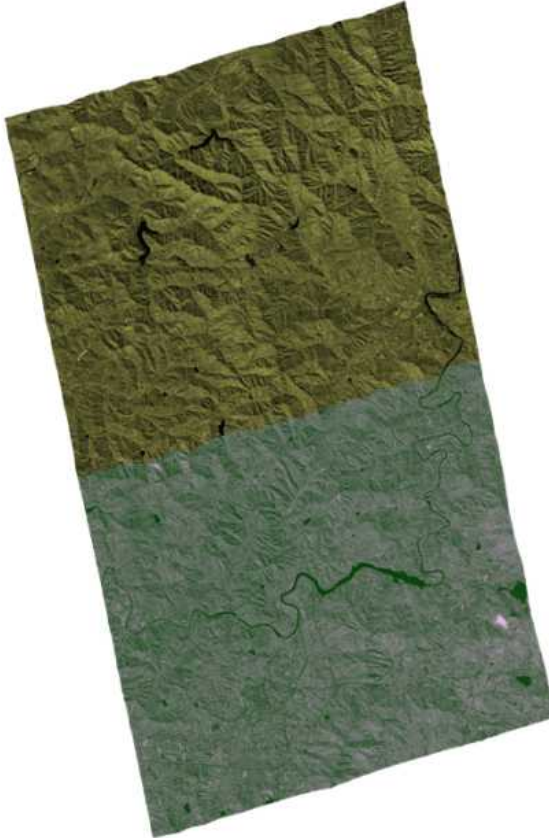
다만 기존 weight 산출방안을 사용할 경우, nEdge가 증가함에 따라 진행방향 간 불일치가 점점 더 심해지므로 nEdge가 일정수준을 넘어서는 경우 오히려 성능이 저하되는 경우가 발생하였다. 실험결과 확대영상을 분석한 결과, 모든 결과에서 기존 weight를 사용할 경우 nEdge가 증가함에 따라 진행방향 간 불일치가 점점 더 심해지는 것을 확인 할수 있었다. 특히 ‘동일 Strip#2’의 경우, 도십지 및 수계영역을 포함하고 있어 진행방향 간 불일치가 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. ‘서로 다른 Strip#1’의 경우, 기존 weight 산출 방안에서 교차 진행방향 비용(HC)만을 고려하다 보니 nEdge가 증가할수록 낮은 성능의 접합선이 추출되기도 하였다.

개선된 weight 산출방안을 사용할 경우 진행방향 간 불일치를 방지하도록 설계하였으므로 nEdge가 증가하여도 진행방향 간 불일치가 증가하지 않았다. 모든 실험결과와 확대 영상을 보면 nEdge 수가 증가하여도 개선된 weight를 사용하면 진행방향 간 불일치가 거의 발생하지 않는 것

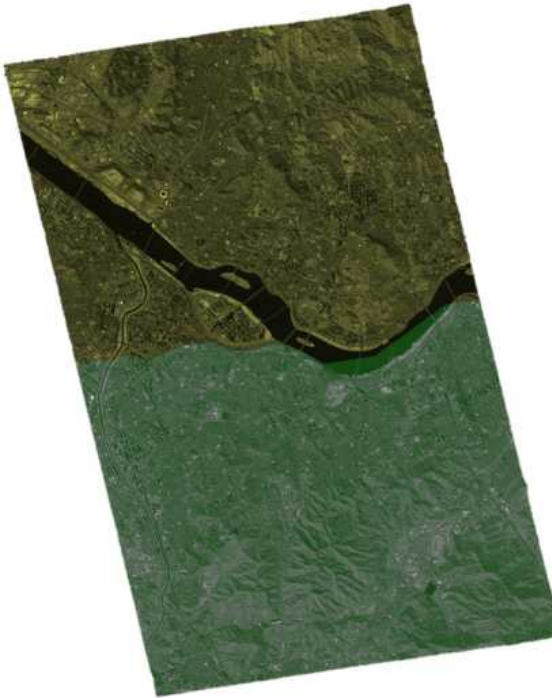
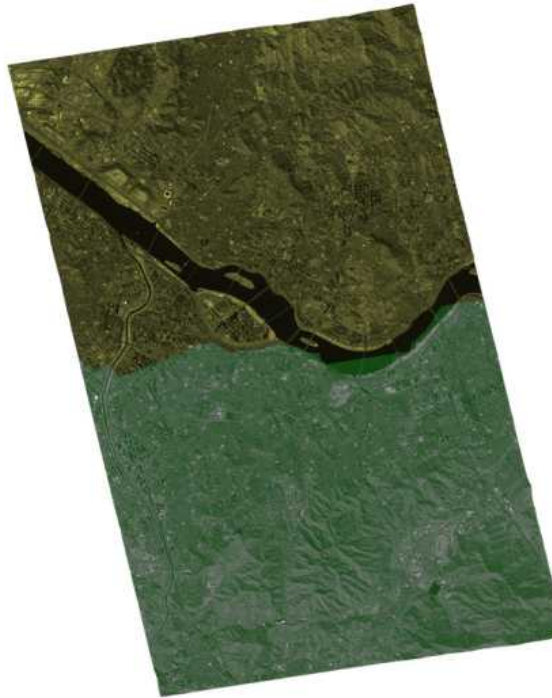
을 확인할 수 있었다. 따라서 충분히 큰 nEdge를 설정하고 개선된 weight를 산출방안을 사용하면 고려하는 vertex의 수는 증가시키면서 진행방향 간 불일치는 방지하여 높은 성능의 접합선 추출이 가능한 것을 확인할 수 있었다. 대부분의 실험결과에서 nEdge가 30이 넘어가면 성능개선이 더 이루어지지 않는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 개선된 weight 산출방식을 사용하고 nEdge를 30으로 설정하여 Dijkstra 알고리즘 개선을 수행하였다.

nEdge와 weight 산출 방안에 따른 접합선 추출 실험 결과는 「부록 5. Dijkstra 기법 개선에 따른 접합선 추출 결과」에서 확인 할 수 있다.

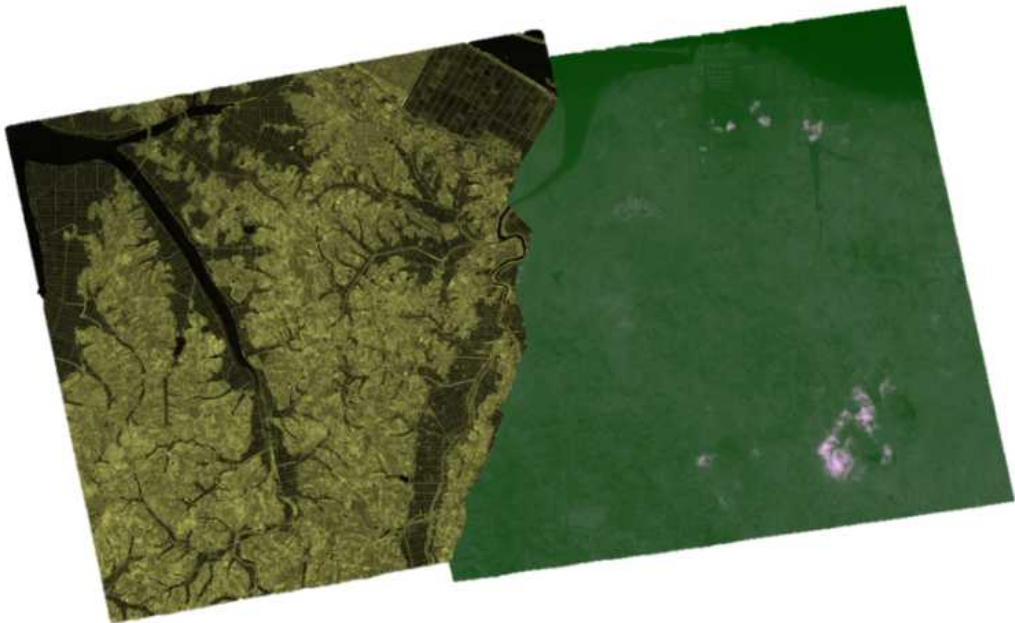
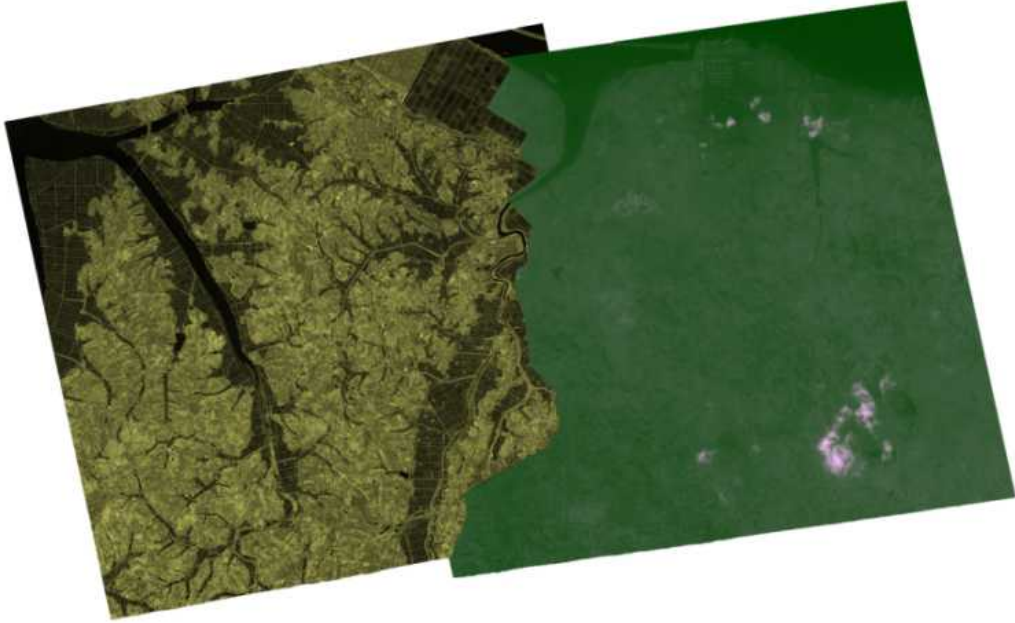
<표 2-28> Dijkstra 기법 개선에 따른 접합선 추출 결과(동일 Strip Set#1)

동일 Strip Set#1 전체 영상	
개선 전	개선 후
	

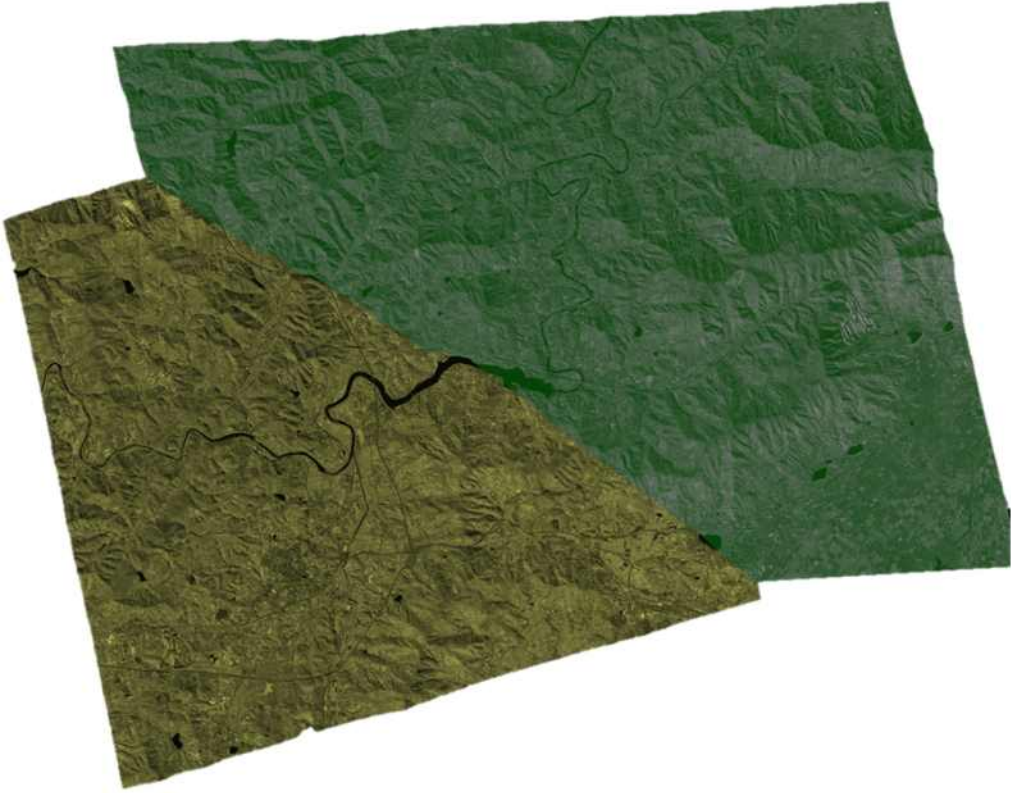
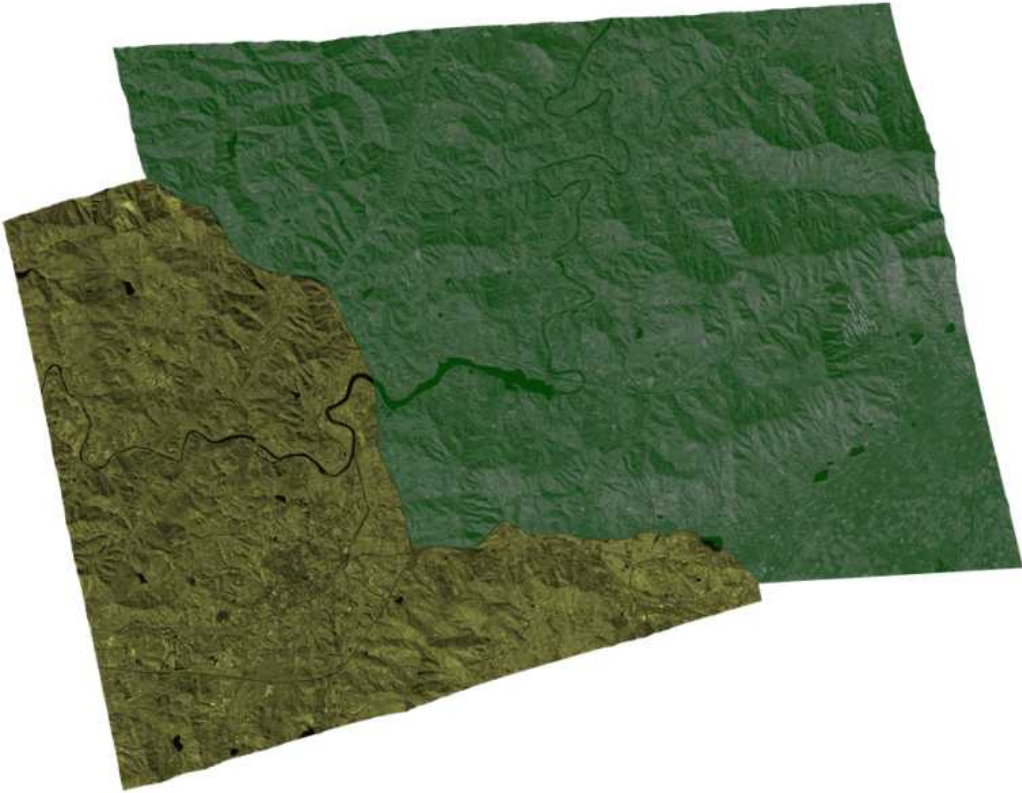
<표 2-29> Dijkstra 기법 개선에 따른 접합선 추출 결과(동일 Strip Set#2)

동일 Strip Set#1 전체 영상	
개선 전	개선 후
	

<표 2-30> Dijkstra 기법 개선에 따른 접합선 추출 결과 (서로 다른 Strip Set#1)

서로 다른 Strip Set#1 전체 영상	
개선 전	
개선 후	

<표 2-31> Dijkstra 기법 개선에 따른 접합선 추출 결과 (서로 다른 Strip Set#2)


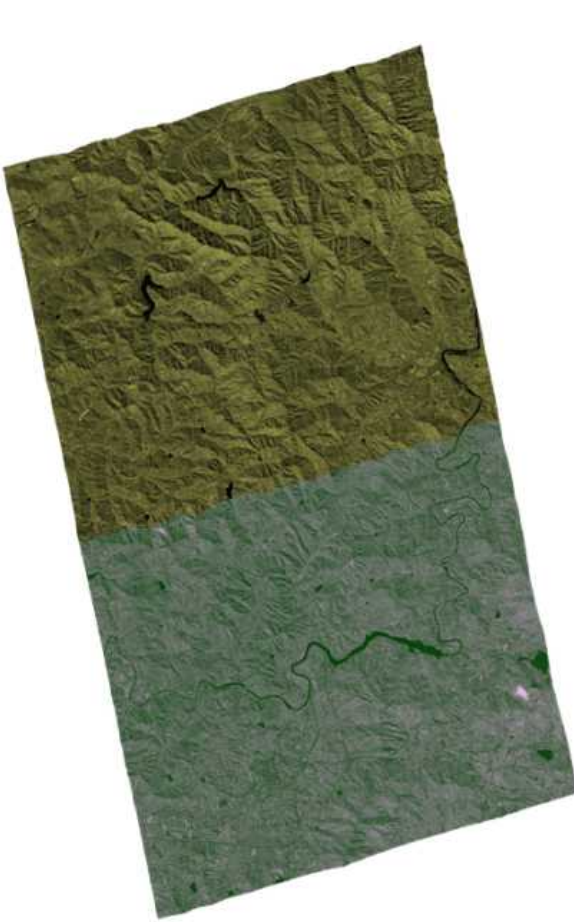
서로 다른 Strip Set#2 전체 영상	
개선 전	
개선 후	

(3) Graph-cut 기반 알고리즘으로 산출한 접합선과 비교 분석

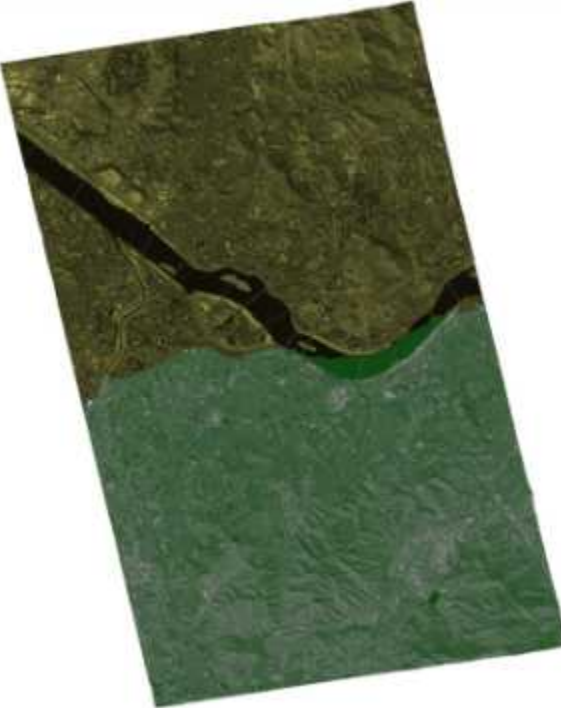
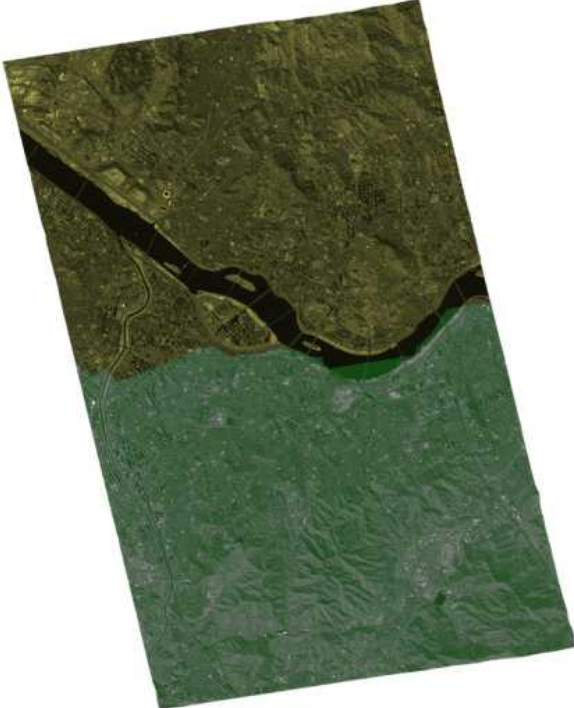
앞서 수행한 접합선 성능 분석을 통해 개선된 weight 산출방식과 nEdge를 30으로 설정하였을 때 가장 좋은 성능을 보여주는 것을 확인하였다. 따라서 기존 Graph-cut 기반 알고리즘 결과와 개선된 Dijkstra 기반 알고리즘 결과를 비교 분석하여 성능개선 정도를 파악하고자 하였다.

전체 영상을 통해 접합선을 분석하였을 때 대부분의 결과에서 Dijkstra 기반 알고리즘을 통해 산출한 결과가 Graph-cut 기반의 결과와 매우 유사해진 것을 확인할 수 있었다. 이는 nEdge 증가를 통해 Graph 구성이 충분히 개선되었음을 나타낸다. 뿐만 아니라 Dijkstra 기반 알고리즘의 경우 영상의 화소값 뿐만 아니라 그래디언트(gradient) 값도 사용하여 접합선을 추출하므로, 서로 다른 Strip Set#1의 상단 접합선과 같이 Graph-cut 기반 알고리즘 보다 우수한 접합선이 산출되기도 하였다.

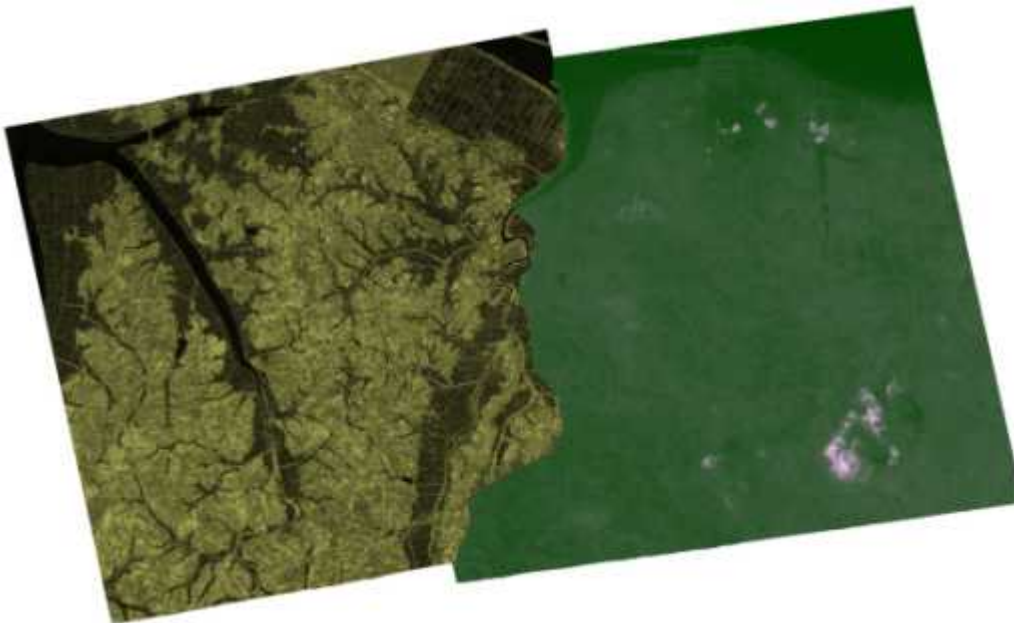
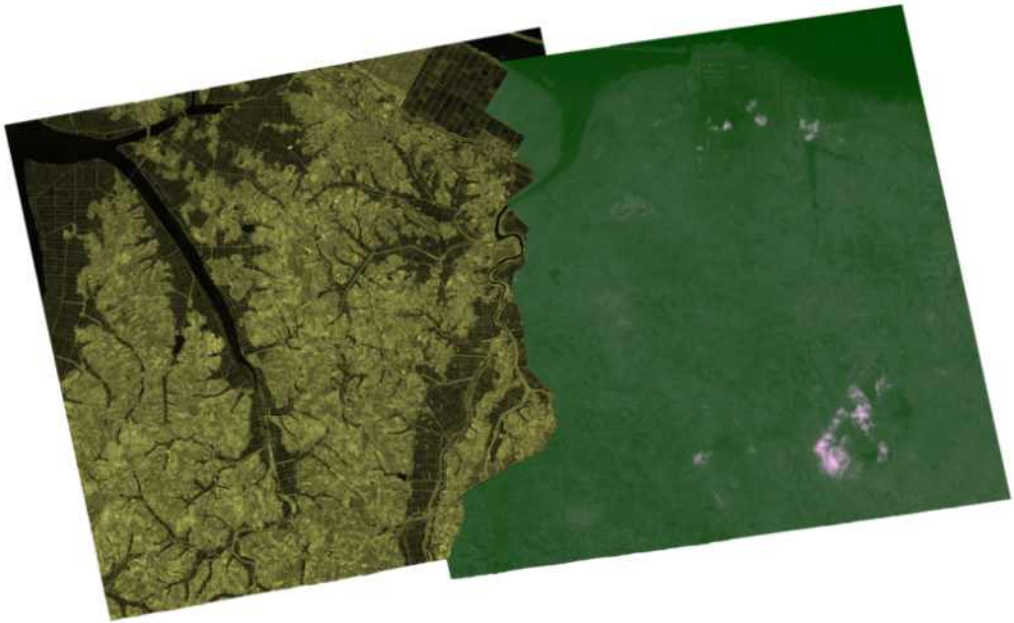
<표 2-32> 동일 Strip Set#1 전체 영상

동일 Strip Set#1 전체 영상	
Graph-Cut	개선된 Dijkstra
	

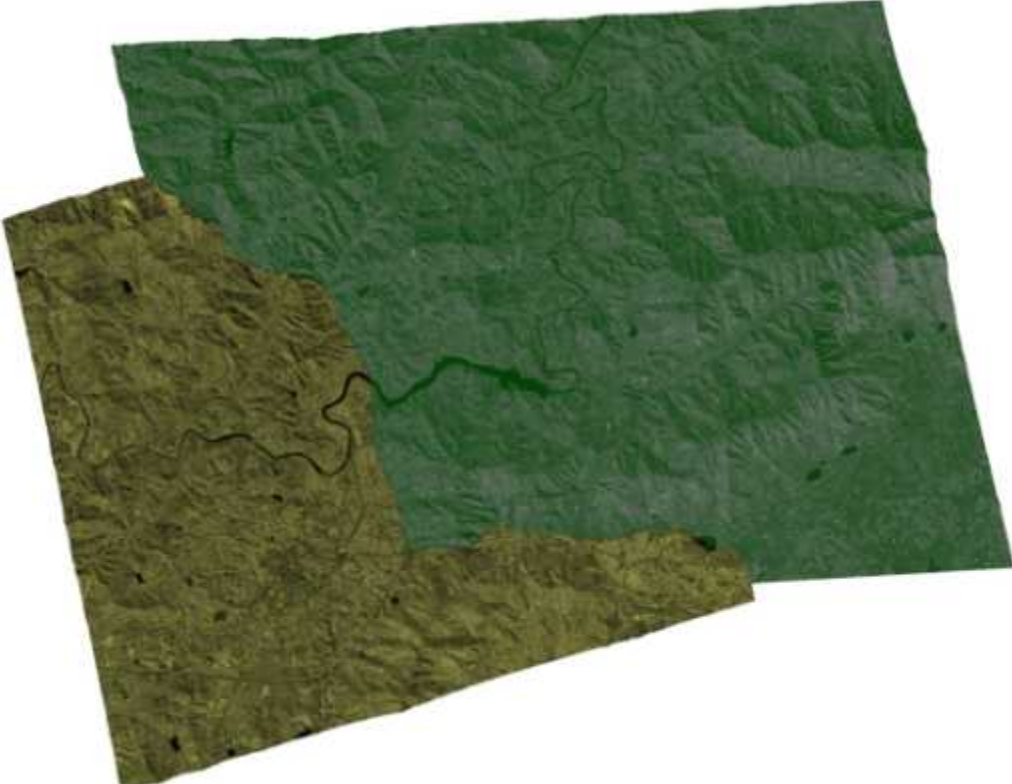
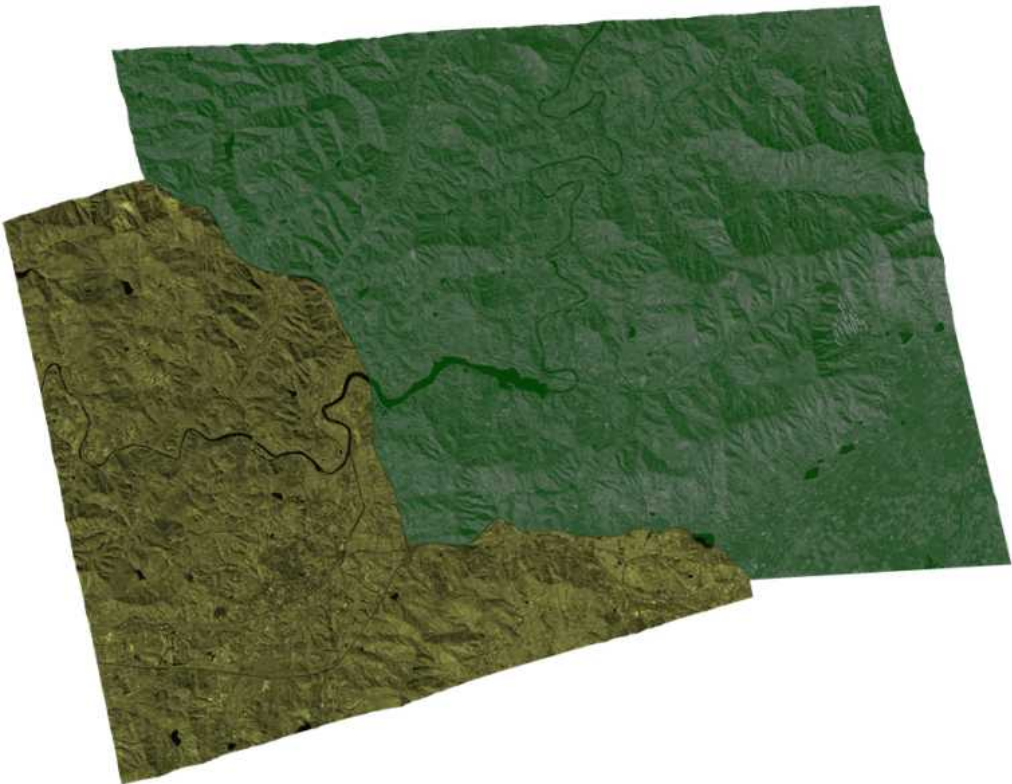
<표 2-33> 동일 Strip Set#2 전체 영상

동일 Strip Set#2 전체 영상	
Graph-Cut	개선된 Dijkstra
	

<표 2-34> 서로 다른 Strip Set#1

서로 다른 Strip Set#1	
Graph -Cut	
개선된 Dijkstra	

<표 2-35> 서로 다른 Strip Set#2

서로 다른 Strip Set#2	
Graph -Cut	
개선된 Dijkstra	

(4) 처리시간 분석

nEdge 수와 weight 산출 방안을 개선함에 따라 연산량은 필연적으로 증가한다. 따라서 이에 따른 처리시간을 분석하였다. 추가적으로 동일 영상에서 Graph-Cut의 처리시간을 분석하여 추가 소요된 처리시간의 비교 분석하고자 하였다. 처리시간 분석에 사용한 HW 장비는 아래와 같다.

<표 2-36> 처리시간 분석 HW 환경

실험 환경	
CPU	AMD Ryzen 5 5600X 6-Core Processor (4.20 GHz)
GPU	GeForce RTX 2060
RAM	32.00 GB RAM
저장소	500 GB SSD

아래는 처리시간 분석 결과이다. nEdge가 증가함에 따라, 개선된 weight 산출방안을 적용함에 따라 처리시간이 점점 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 nEdge가 가장 작은 3일 때와 가장 큰 40일 때 처리시간의 차이는 최소 약 0.5초 최대 약 15초 차이로 큰 차이가 발생하였다. 가장 시간이 많이 걸린 실험은 중복영역이 가장 넓은 서로 다른 Strip Set#2의 개선된 Weight 산출 방안을 적용한 nEdge 40의 결과이며 약 29.260초 였다. 이는 Graph-Cut의 처리시간과 비교하면 여전히 상당히 빠른 처리시간을 보여주는 것을 확인할 수 있었다.

<표 2-37> 동일 Strip Set#1 처리시간 분석 결과

처리 알고리즘	nEdge	처리시간	
		기존 Weight 산출방안	개선된 Weight 산출방안
Dijkstra	3	10.566 sec	10.636 sec
	5	10.638 sec	10.678 sec
	10	10.644 sec	10.77 sec
	20	10.792 sec	11.126 sec
	30	10.930 sec	12.06 sec
	40	11.096 sec	12.776 sec
Graph-Cut	-	1399.176 sec	

<표 2-38> 동일 Strip Set#2 처리시간 분석 결과

처리 알고리즘	nEdge	처리시간	
		기존 Weight 산출방안	개선된 Weight 산출방안
Dijkstra	3	18.378 sec	18.712 sec
	5	18.928 sec	18.798 sec
	10	19.126 sec	19.844 sec
	20	20.184 sec	21.018 sec
	30	20.234 sec	22.930 sec
	40	21.316 sec	24.294 sec
Graph-Cut	-	2645.880 sec	

<표 2-39> 서로 다른 Strip Set#1 처리시간 분석 결과

처리 알고리즘	nEdge	처리시간	
		기존 Weight 산출방안	개선된 Weight 산출방안
Dijkstra	3	9.966 sec	10.088 sec
	5	9.906 sec	10.902 sec
	10	10.670 sec	11.076 sec
	20	11.754 sec	13.016 sec
	30	12.748 sec	15.272 sec
	40	13.750 sec	17.174 sec
Graph-Cut	-	2750.390 sec	

<표 2-40> 서로 다른 Strip Set#2 처리시간 분석 결과

처리 알고리즘	nEdge	처리시간	
		기존 Weight 산출방안	개선된 Weight 산출방안
Dijkstra	3	12.544 sec	14.872 sec
	5	13.002 sec	16.576 sec
	10	14.482 sec	17.714 sec
	20	17.200 sec	21.674 sec
	30	18.782 sec	27.266 sec
	40	20.082 sec	29.260 sec
Graph-Cut	-	4104.045 sec	

라) 선정 알고리즘 개선 결과

기존 Weight 산출방안을 유지하면서 nEdge를 증가시킨 경우, 일정 수준까지는 nEdge가 증가함에 따라 접합선이 보다 정밀하게 추출되지만 nEdge가 계속하여 일정 수준 이상 증가하면 진행방향 간 불일치가 점점 더 심해지므로 오히려 성능이 저하되는 경우가 발생하였다. 따라서 개선된 weight 산출방안을 사용하여 진행방향 간 불일치를 방지하고 진행방향 비용도 고려하여 접합선 추출 성능을 향상 시킬 수 있었다. 충분히 큰 nEdge를 설정하고 개선된 weight를 산출방안을 사용하면 고려하는 vertex의 수는 증가시키면서 진행방향 간 불일치는 방지하여 높은 성능의 접합선 추출이 가능한 것을 확인할 수 있었다.

대부분의 실험결과에서 nEdge가 30이 넘어가면 성능개선이 더 이루어지지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라 개선된 weight 산출방식을 사용하고 nEdge를 30으로 설정하여 Dijkstra 알고리즘 개선을 수행하도록 하였다.

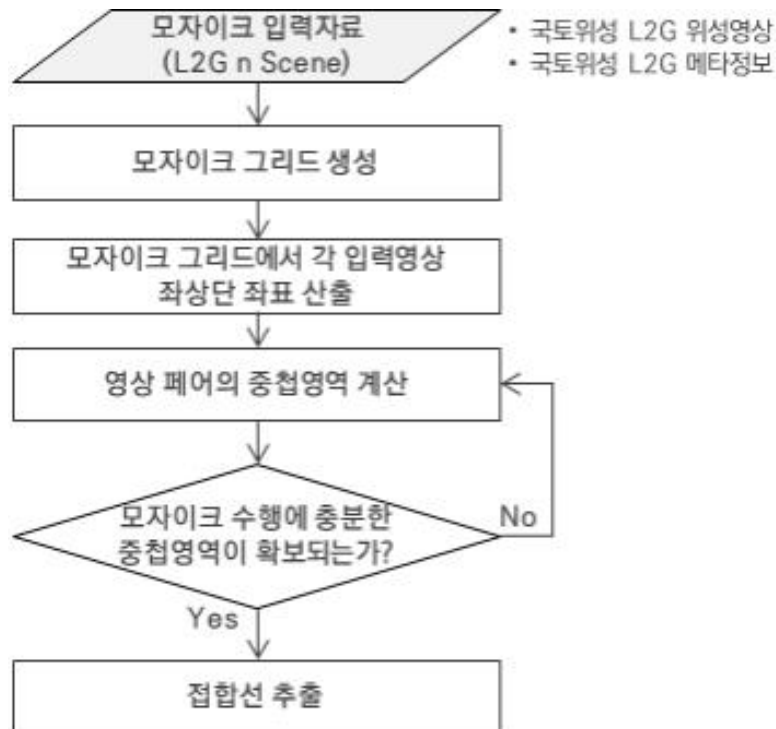
개선된 Dijkstra 기반 알고리즘을 Graph-cut 기반 알고리즘과 비교하였을 때, 추출된 접합선 성능은 Graph-Cut 기반 알고리즘과 유사하거나 보다 뛰어났으며, 처리 속도 및 안정성 면에서 보다 우수한 것으로 판단된다.

3) 다중영상 접합선 추출 기술개발

알고리즘 별 다중영상 접합선 추출 성능을 확인하기 위해, 다중영상을 입력자료로 하여 접합선을 추출하고 결과를 분석했다. 먼저 영상의 스트립정보가 없다고 가정하고 영상 페어별 중복영역을 분석하여 다중영상 접합선을 추출하는 Pairwise 다중영상 접합선 추출 방안을 구현하고 실험을 진행하였다. 이후, 영상의 스트립 정보가 있을 때 영상을 스트립 별로 분석하여 스트립별 모자이크를 먼저 제작하고 최종적으로 스트립 영상 간 모자이크를 수행하는 Stripwise 다중영상 접합선 추출 방안을 구현하고 실험을 수행하였다.

가) Pair-wise 다중영상 접합선 추출 방안

영상의 스트립 정보가 없을 때 또는 동일 스트립의 영상만을 사용할 경우 영상을 페어별로 분석하여 다중영상 접합선을 추출하는 방안을 구현하고자 하였다.



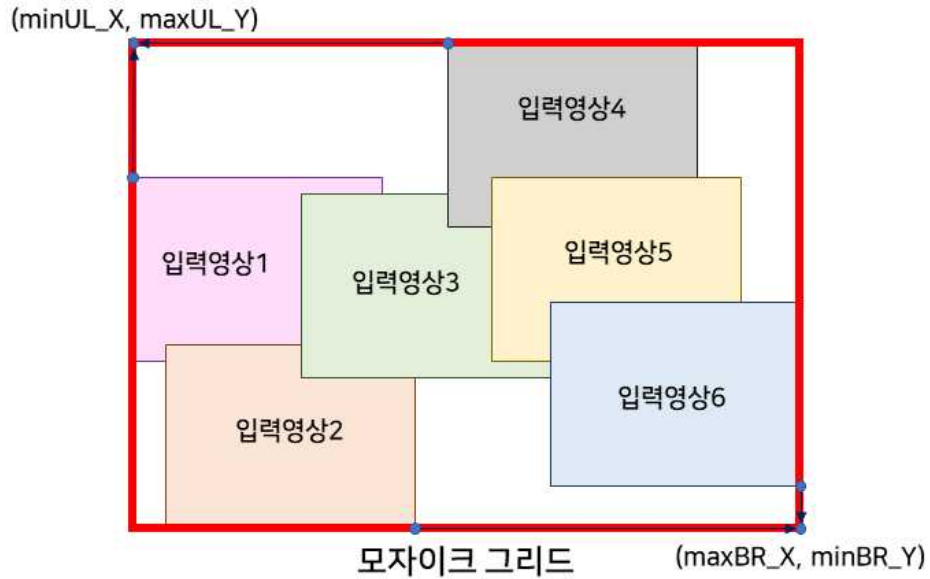
<그림 2-50> Pair-wise 다중영상 접합선 추출 방안 순서(Flowchart)

입력자료(L2G) 자료 입력 시 영상자료와 함께 메타정보 자료를 입력받는다. 영상크기, GSD(Ground Sample Data), 좌상단(UL_X, UL_Y), 우하단(BR_X, BR_Y) 픽셀의 좌표정보(UTM-K)을 메타정보 자료를 통해 입력 받는다.

각 입력영상의 좌상단, 우하단 지상좌표를 기준으로 모자이크 그리드 생성한다. 입력영상의 좌상단 좌표 중 최소X값, 최대Y값을 산출하여 모자이크 그리드 좌상단의 좌표값(minUL_X, maxUL_Y) 산출한다. 입력영상의 우하단 좌표 중 최대X값, 최소Y값을 산출하여 모자이크 그리드 우하단의 좌표값(maxBR_X, maxBR_Y) 산출한다. 모자이크 그리드의 좌상단을 영상좌표의 원점(0,0)로 설정하고 GSD를 이용하여 모자이크 그리드의 크기 설정한다.

$$\text{모자이크 Column 방향 크기} = (\text{maxBR_X} - \text{minUL_X}) / \text{GSD_X}$$

$$\text{모자이크 Row 방향 크기} = (\text{minBR_Y} - \text{maxUL_Y}) / \text{GSD_Y}$$



<그림 2-51> 모자이크 그리드 생성

모자이크 그리드의 좌상단 좌표값(minUL_X, maxUL_Y)과 각 영상 좌상단 좌표값(UL_X, UL_Y), 우하단 좌표값(BR_X, BR_Y)을 이용하여 모자이크 그리드 상에서의 각 영상 좌상단 좌표(mosaic_UL_X, mosaic_UL_Y), 우하단 좌표(mosaic_BR_X, mosaic_BR_Y) 산출한다.

$$\begin{aligned} \text{mosaic_UL_X} &= (\text{UL_X} - \text{minUL_X}) / \text{GSD_X} \\ \text{mosaic_UL_Y} &= (\text{UL_Y} - \text{maxUL_Y}) / \text{GSD_Y} \\ \text{mosaic_BR_X} &= (\text{BR_X} - \text{minUL_X}) / \text{GSD_X} \\ \text{mosaic_BR_Y} &= (\text{BR_Y} - \text{maxUL_Y}) / \text{GSD_Y} \end{aligned}$$

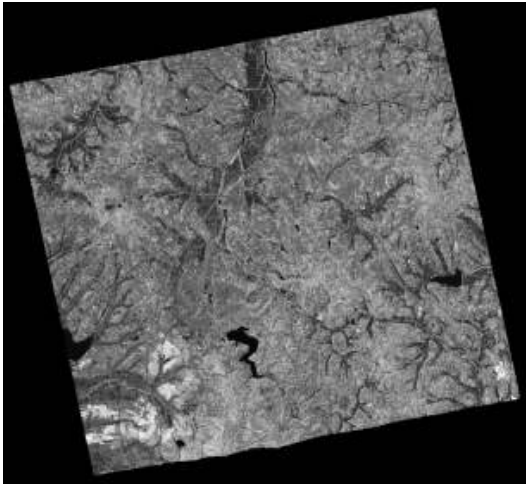
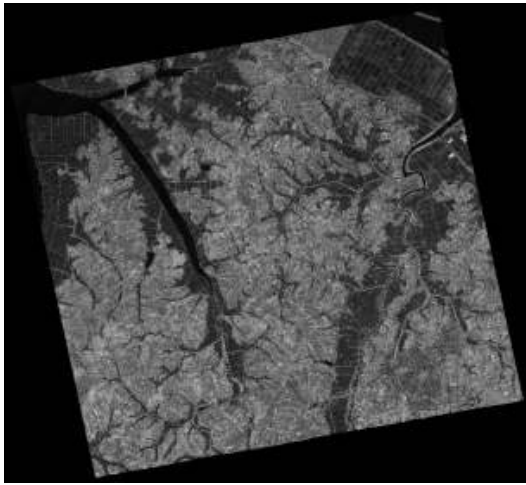
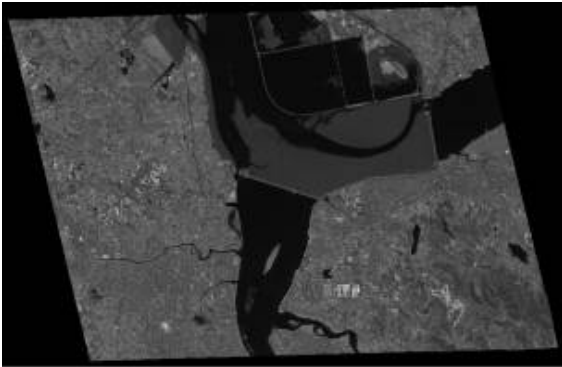


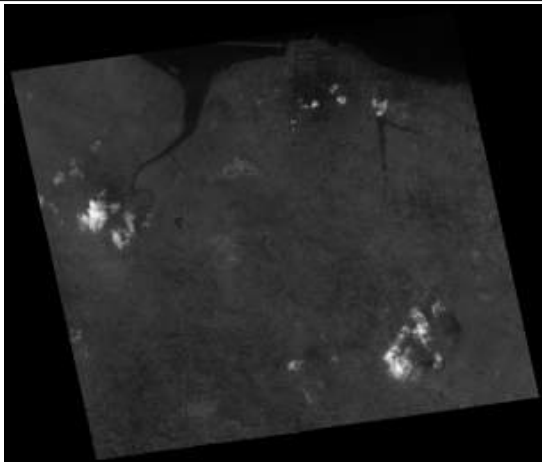
입력영상 간 중첩영역 검사 수행한다. 선택된 두 입력영상의 모자이크 그리드 상 좌상단 좌표(mosaic_UL_X, mosaic_UL_Y), 우하단 좌표(mosaic_BR_X, mosaic_BR_Y)을 이용하여 입력 영상 간 중첩영역 산출. 좌상단 좌표 중 최대 X값(max_mosaic_UL_X), 최대 Y값(max_mosaic_UL_Y) 산출. 우하단 좌표 중 최소 X값(min_mosaic_BR_X), 최소 Y값(min_mosaic_BR_Y) 산출. 최소 우하단 좌표 X, Y값이 모두 최대 좌상단 좌표 X, Y값보다 큰 경우 중첩영역이 존재한다고 가정하고 중첩영역을 산출한다.

최종적으로 산출한 중첩영역에서만 접합선 추출 수행하여 다중 영상에서 접합선 추출 수행한다.

나) Pair-wise 다중영상 데이터셋#1 접합선 추출 실험

(1) 입력자료

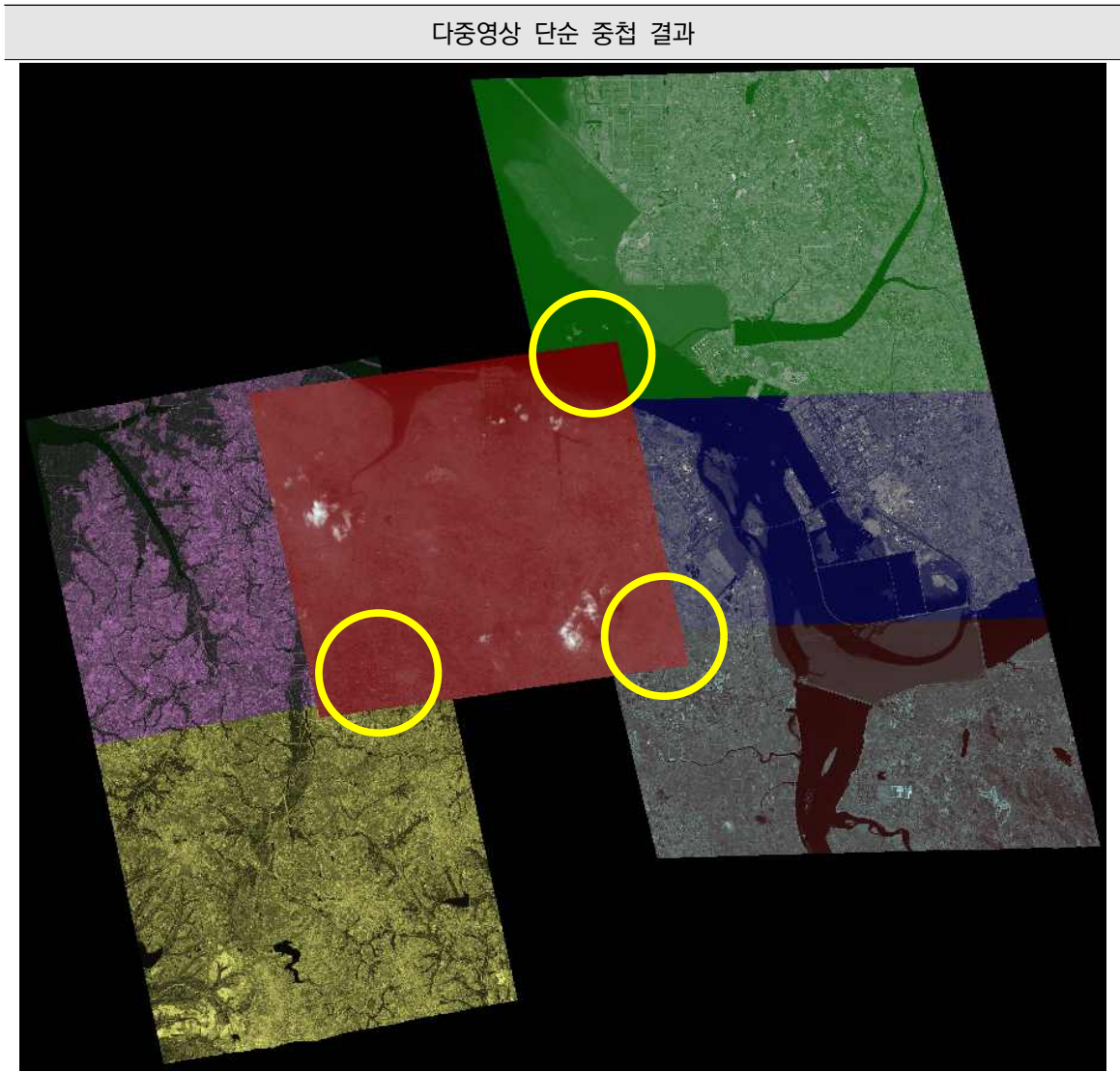
<표 2-41> 다중영상 데이터셋#1 입력 영상

다중영상 데이터셋#1 (총 6장)	
K3A_20160512043853_06245_00420102_L2 G_NIR	K3A_20160512043853_06245_00439931_L2 G_N_
	
K3A_20170401043114_11141_00036251_L2 G_NIR	K3A_20170401043114_11141_00048522_L2 G_NIR
	
K3A_20170401043114_11141_00060790_L2 G_NIR	K3A_20190306043007_21780_00509435_L2 G_NIR
	

(2) 다중영상 중첩 결과

입력영상을 단순 중첩한 결과는 아래와 같다. 가운데 빨강색으로 표시된 영상의 우상단, 우하단, 좌하단 부근에 3장의 영상이 중복되는 영역이 존재한다. (4)절에서 각각의 중복영역에 대한 접합선 추출 결과를 비교분석한다. 우상단, 우하단, 좌하단의 순서로 중복영역1, 중복영역2, 중복영역3 이라고 표현한다.

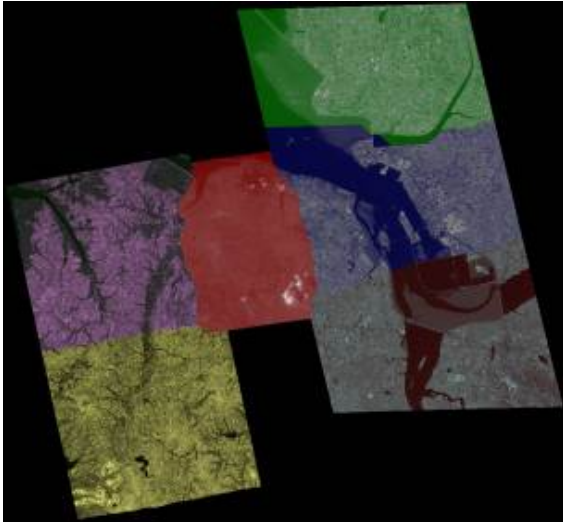
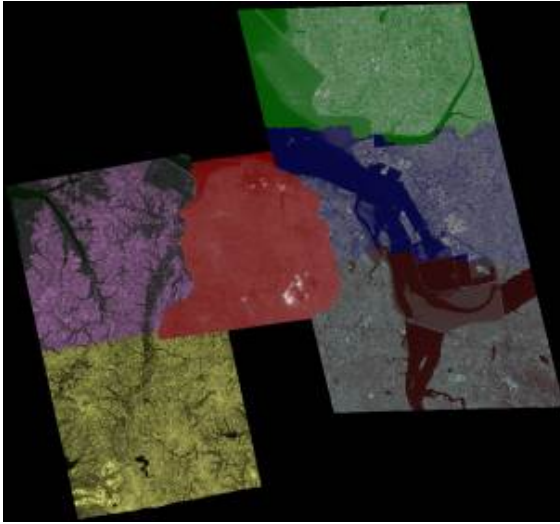
<표 2-42> 다중영상 단순 중첩 결과



(3) 접합선 추출 결과(Overview)

Dijkstra 기법과 Graph-Cut 기법을 이용한 접합선 추출 결과는 아래의 표와 같다. 스테레오 페어가 구성되어 2장의 영상이 중복되는 영역의 접합선은 기존의 실험결과와 동일하고, 3장의 중복영역이 발생하는 부근에서는 차이가 발생했다. 해당 영역에 대한 자세한 비교분석은 다음의 ④절에서 수행한다.

<표 2-43> Dijkstra 기법과 Graph-Cut 기법을 이용한 접합선 추출 결과

Dijkstra 기반 모자이크 결과	Graph-Cut 기반 모자이크 결과
	

(4) 다중영상 내 접합선 추출 결과 분석




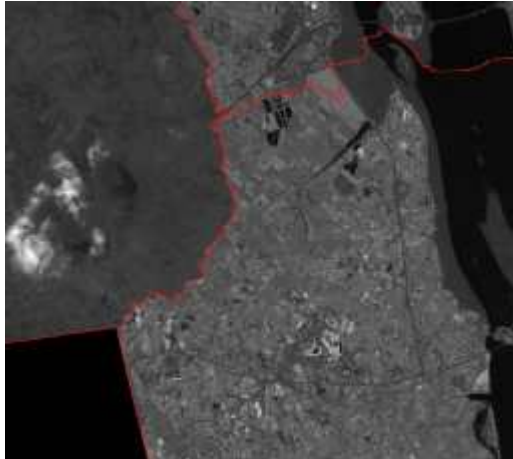


두 알고리즘 모두 다중영상의 각 중복영역에 대하여 접합선 추출이 문제없이 수행된 것을 확인할 수 있었다.

중복영역 1, 2에서 화소 정보만을 이용하는 Graph-Cut 기법보다 선형정보를 활용하는 Dijkstra 기법으로 추출된 접합선이, 모자이크 영상에 더 적합한 형태로 추출된 것을 확인했다. 중복영역 2처럼 선형적 특성이 거의 없는 영역에서 대해서 Dijkstra 기반 접합선은 부드러운 형상을 보이는데, Graph-Cut 기반 접합선은 거친 형상을 보였다. 중복영역 3의 경우 선형정보가 강한 화소들이 연결되어 존재하기 때문에, Graph-Cut 기반 접합선도 부드러운 형태로 추출된 것을 확인할 수 있다.

Graph-Cut 기법의 경우 화소값의 차이만을 활용하여 접합선을 추출하기 때문에, 접합선이 비교적 거친 형태를 나타낸다. 반면에 Dijkstra 기법은 그래디언트(gradient) 값을 추가적으로 활용하여 영상 내 선형정보의 세기를 강조시키고, 해당정보를 활용함으로써, 선형정보가 약한 영상에서도 선형정보를 최대한 활용하기 때문에, 더 부드러운 형태의 접합선을 추출할 수 있는 것으로 판단된다.

다중영상 내 중복영역에 존재하는 선형정보의 강도는 다양하기 때문에, 이를 고려하기 위해서는 Dijkstra 기법을 적용하는 것이 더 유리할 것으로 판단된다.

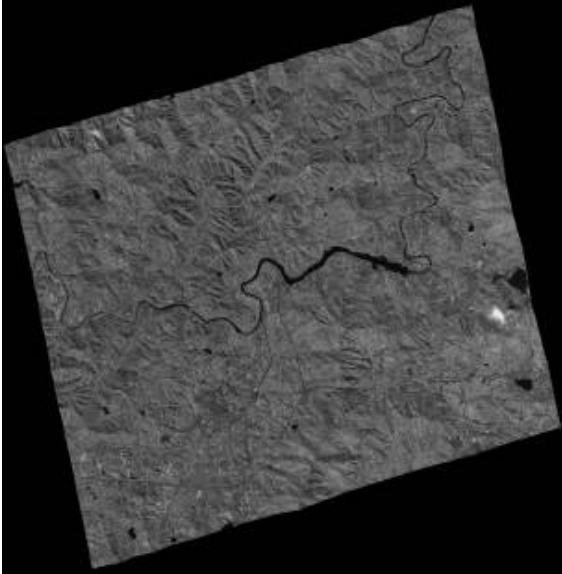
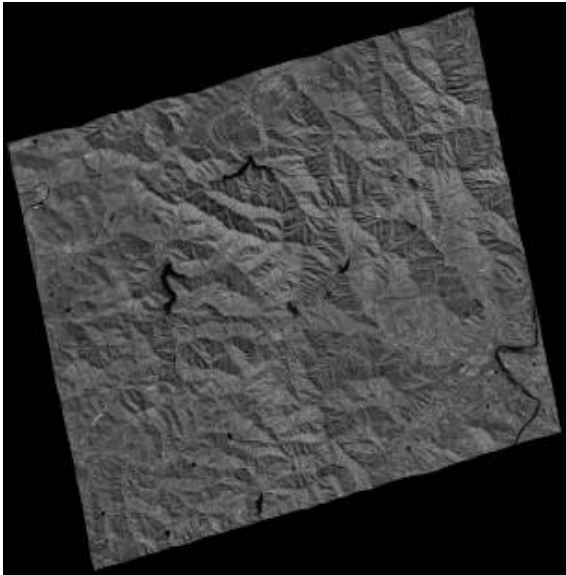
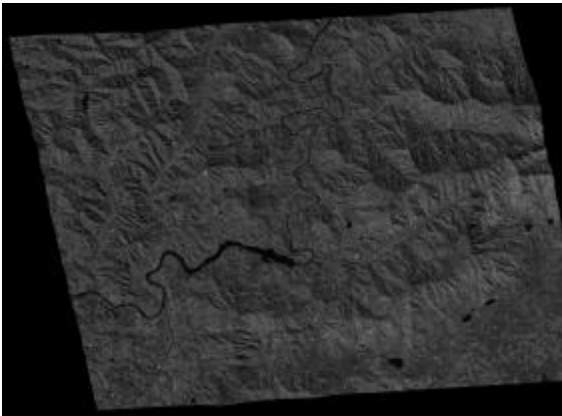
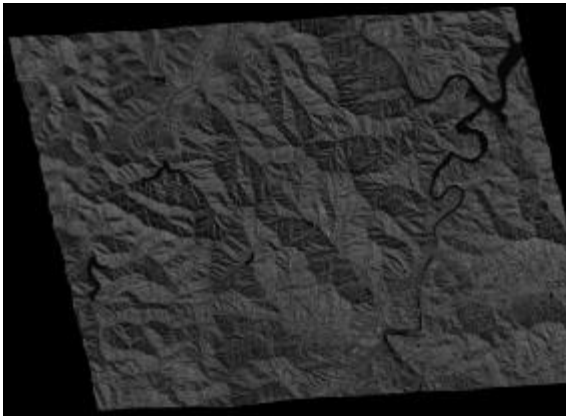
<표 2-44> 다중영상 접합선 추출 결과 확대 분석

영역	Dijkstra 기반 접합선 추출 결과	GraphCut 기반 접합선 추출 결과
중복 영역1 (우상 단)		
중복 영역2 (우하 단)		
중복 영역2 (좌하 단)		

다) Pair-wise 다중영상 데이터셋#2 접합선 추출 실험

(1) 입력자료

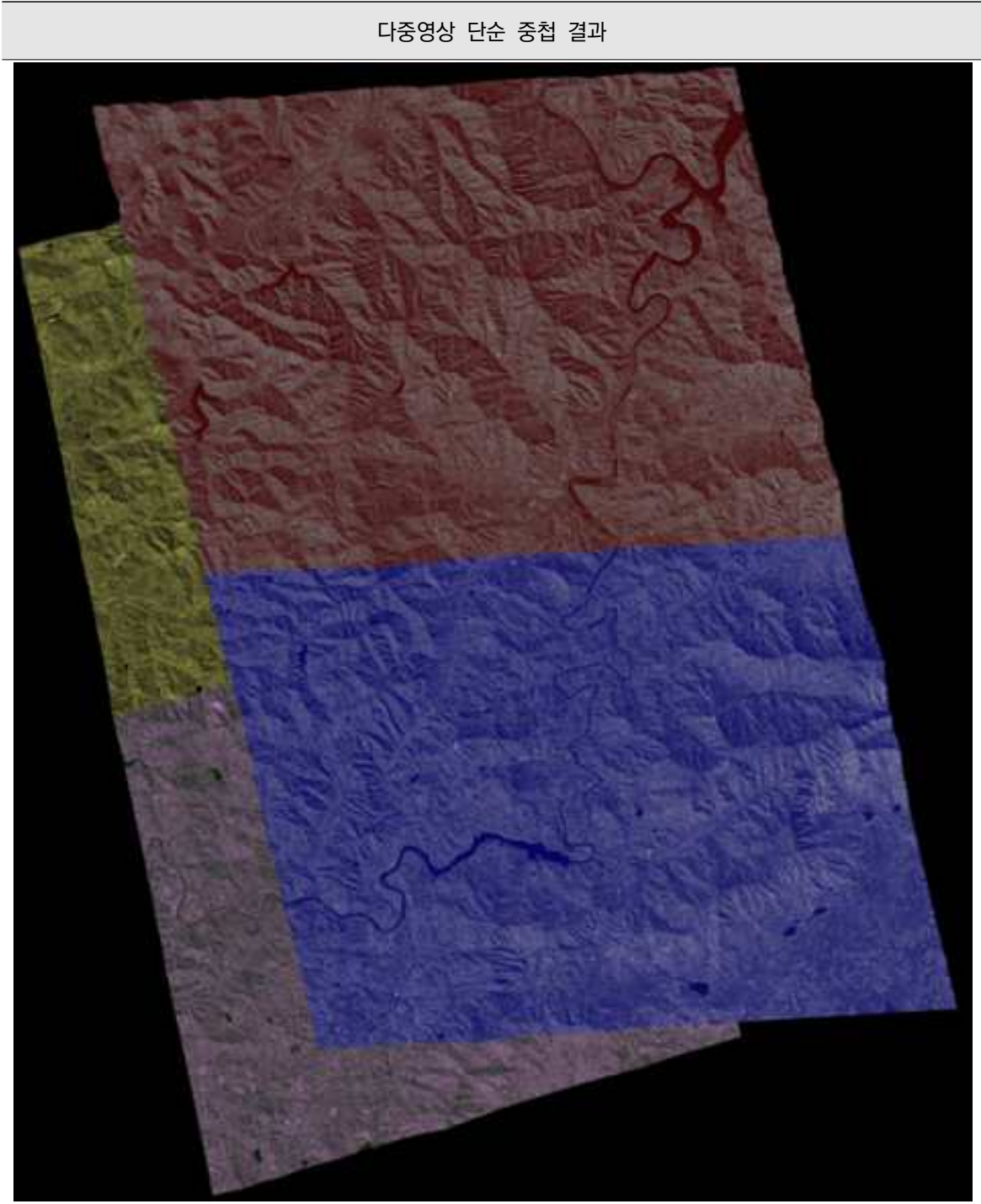
<표 2-45> 다중영상 데이터셋#2 입력 영상

다중영상 데이터셋#2 (총 4장)	
K3A_20171021044156_14209_00123971_L2 G_NIR	K3A_20171021044156_14209_00143898_L2 G_NIR
	
K3A_20171109042614_14496_00077057_L2 G_NIR	K3A_20171109042614_14496_00095466_L2 G_NIR
	

(2) 다중영상 중첩 결과

입력영상을 단순 중첩한 결과는 아래와 같다. 스트립의 중복영역은 약 60% 정도이며, ④절에서 해당 중복영역에서 추출되는 접합선의 형태를 비교분석한다.

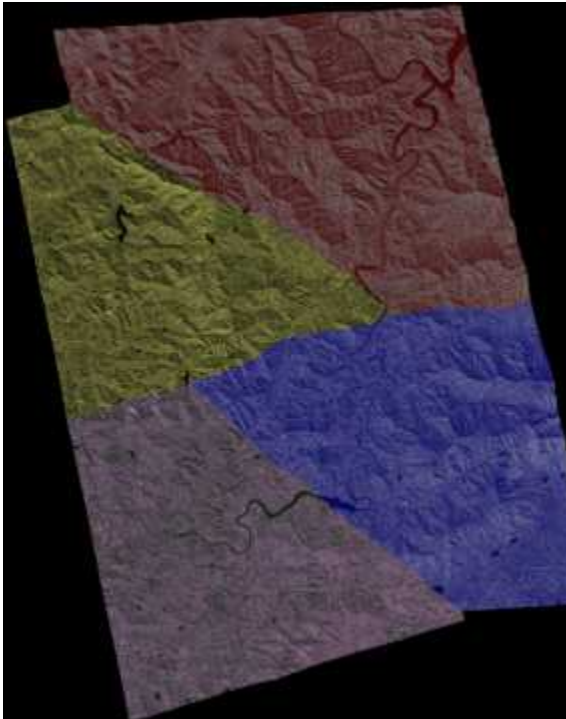
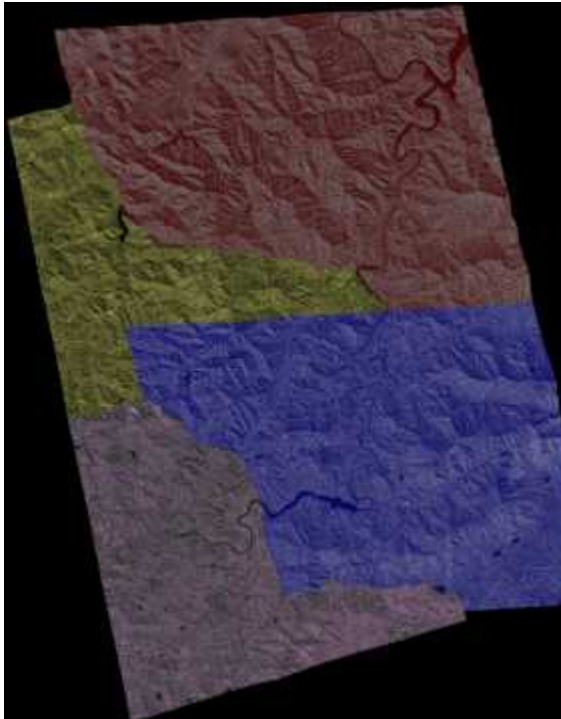
<표 2-46> 다중영상 단순 중첩 결과



(3) 접합선 추출 결과(Overview)

Dijkstra 기법과 GraphCut 기법을 이용한 접합선 추출 결과는 아래의 표와 같다. 스테레오 페어가 구성되어 2장의 영상이 중복되는 영역의 접합선은 기존 실험결과와 동일하게 나왔고, 3장 이상의 중복영역이 발생하는 지역에서는 차이가 발생했다. 해당 영역에 대한 자세한 분석은 다음의 ④절에서 수행한다.

<표 2-47> Dijkstra 기법과 GraphCut 기법을 이용한 접합선 추출 결과

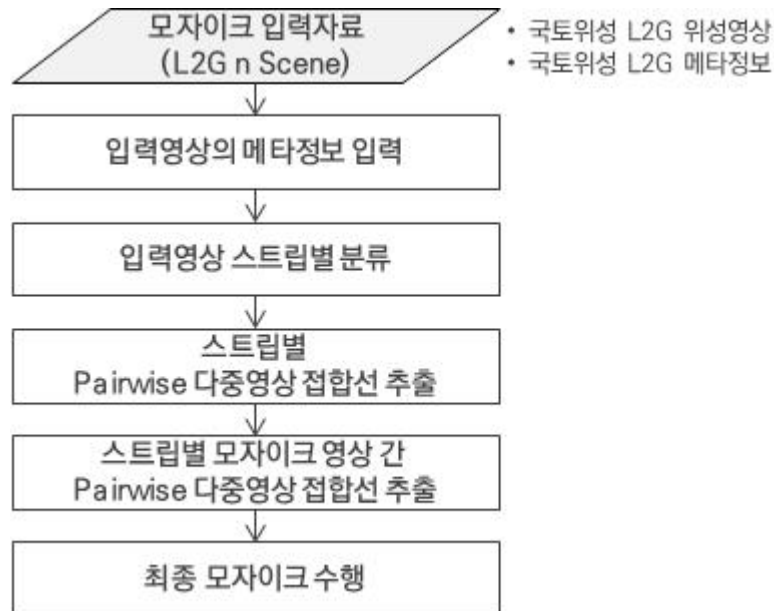
Dijkstra 기반 접합선 추출 결과	Graph-Cut 기반 접합선 추출 결과
	

(4) 다중영상 내 접합선 추출 결과 분석

다중영상 모자이크를 수행하기 위해 입력영상 간 페어 및 중첩영역을 분석하고 중첩영역이 존재하는 모든 영상 페어 간 접합선 추출을 수행하였다. 따라서 위의 접합선 추출 결과와 같이 두 Strip의 영상이 입력되었을 때 접합선이 지그재그 형태로 출력된 것을 확인할 수 있었다. 각각의 영상 페어에서는 적절한 길이와 방향의 접합선이 산출된 것으로 판단되지만, 전체 모자이크 영상에서는 접합선의 길이와 방향이 비효율적으로 판단된다. 따라서 추후 연구에서는 입력영상의 Strip정보를 활용하여 동일 Strip간 모자이크를 먼저 수행하고 이후 서로 다른 Strip간 모자이크 수행이 이루어지도록 알고리즘을 개선할 필요가 있다.

라) Strip-wise 다중영상 접합선 추출 방안

입력영상의 Strip 정보를 알고 있고 2개 이상의 Strip 영상을 효율적으로 다중영상 접합선 추출을 수행하기 위해 Strip-wise 다중영상 접합선 추출 방안을 구현하였다. 전체적인 접합선 추출 방안은 아래 순서도(Flowchart)와 같다.



<그림 2-52> Strip-wise 다중영상 접합선 추출 방안 순서도(Flowchart)

먼저 각 입력영상의 메타정보를 입력하여 영상의 Strip 정보, 촬영시기 및 좌표정보를 입력한다. 이를 기준으로 Strip별 영상을 구분한다.

```

<General>
  <Satellite>KOMPSAT-3A</Satellite>
  <Sensor>AEISS-A</Sensor>
  <OrbitNumber>6245</OrbitNumber>
  <OrbitDirection>ASCENDING</OrbitDirection>
  <PassID>LOF_20160512043853_06245_106</PassID>
  <ProductLevel>Level2G</ProductLevel>
  <ImageFormat>GEOTIFF</ImageFormat>
  <ImageBitsPerPixel>16</ImageBitsPerPixel>
  <ImageBitsPerPixel>16</ImageBitsPerPixel>
  
```

<그림 2-53> 영상 메타정보의 Strip 정보(OrbitNumber, PassID) 예시

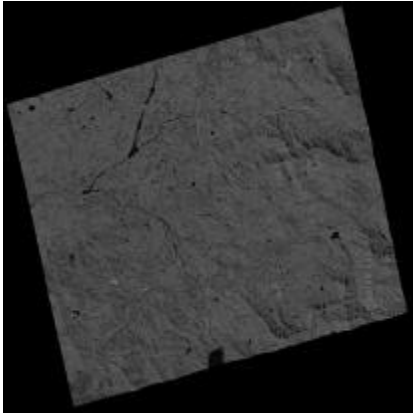
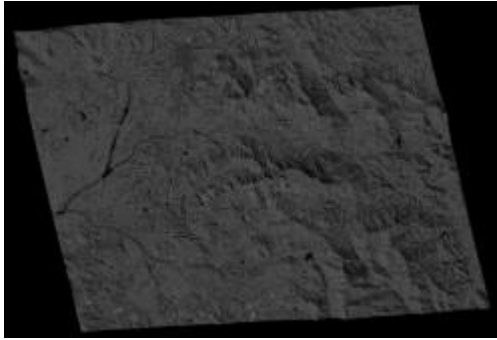
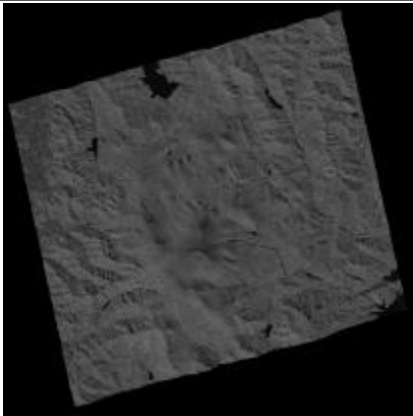
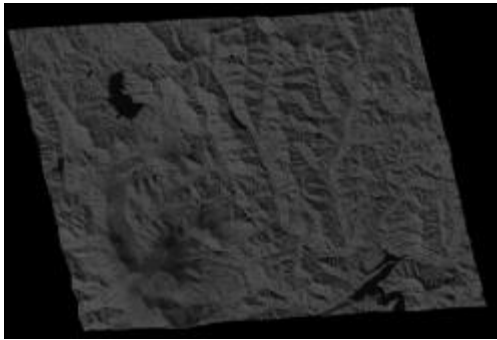
구분된 Strip 별 앞서 구현한 Pair-wise 다중영상 모자이크를 수행한다. 그 결과 Strip 별 모자이크 영상을 획득하게 되고 Strip 별 모자이크 영상들을 다시 한번 Pair-wise 다중영상 모자이크를 수행하여 최종 모자이크 영상을 획득한다.

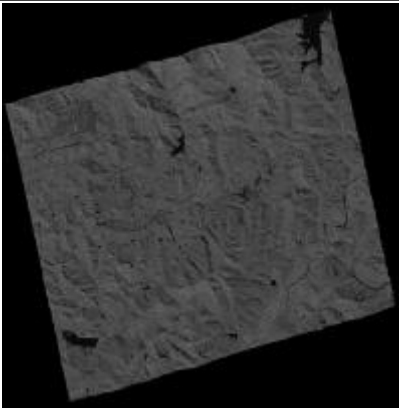
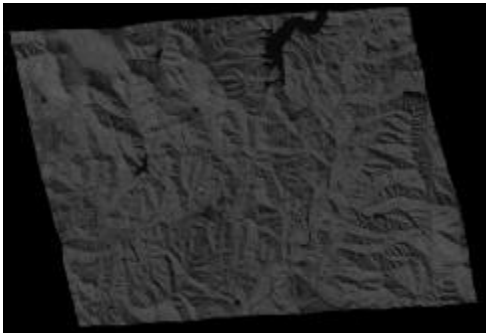
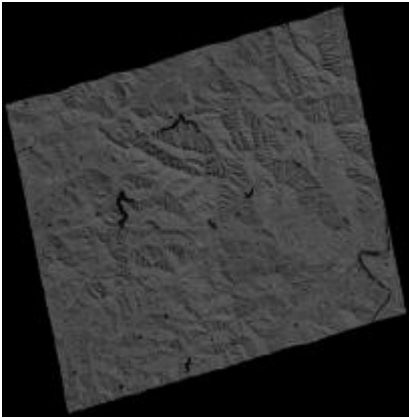
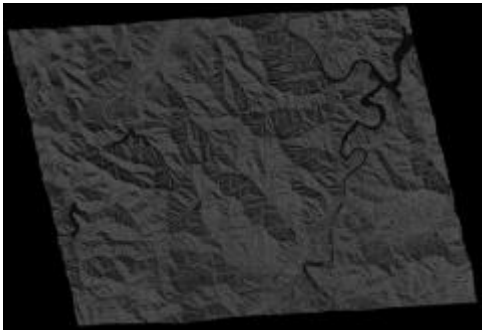
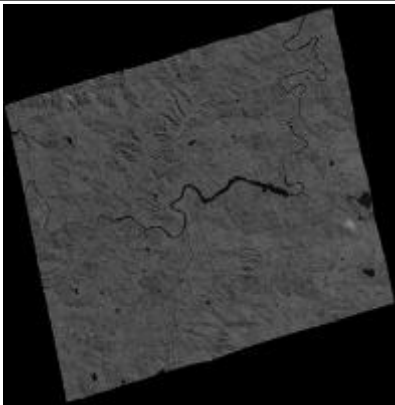
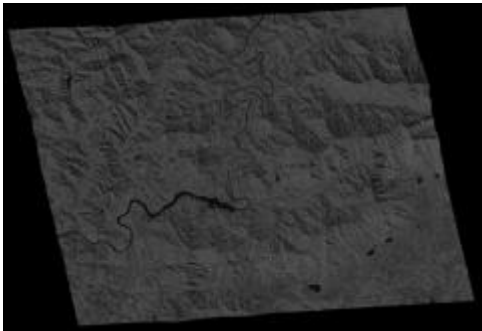
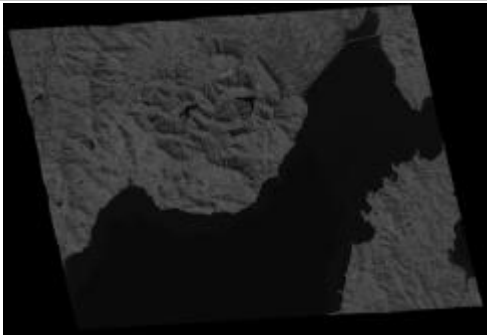
마) Strip-wise 다중영상 접합선 추출 실험

Strip-wise 다중영상 접합선 추출 성능을 분석하기 위해 실험을 진행하였다. 2개의 Strip으로 구성된 KOMPSAT-3A 데이터셋을 사용하였으며 접합선 추출은 개선된 Dijkstra 기반 알고리즘을 이용하여 수행하였다. 이후 동일한 데이터셋을 이용하여 Pair-wise 다중영상 접합선 추출을 수행하고 그 성능을 비교 분석하였다.

(1) 입력자료

<표 2-48> Strip-wise 다중영상 접합선 추출 실험 영상

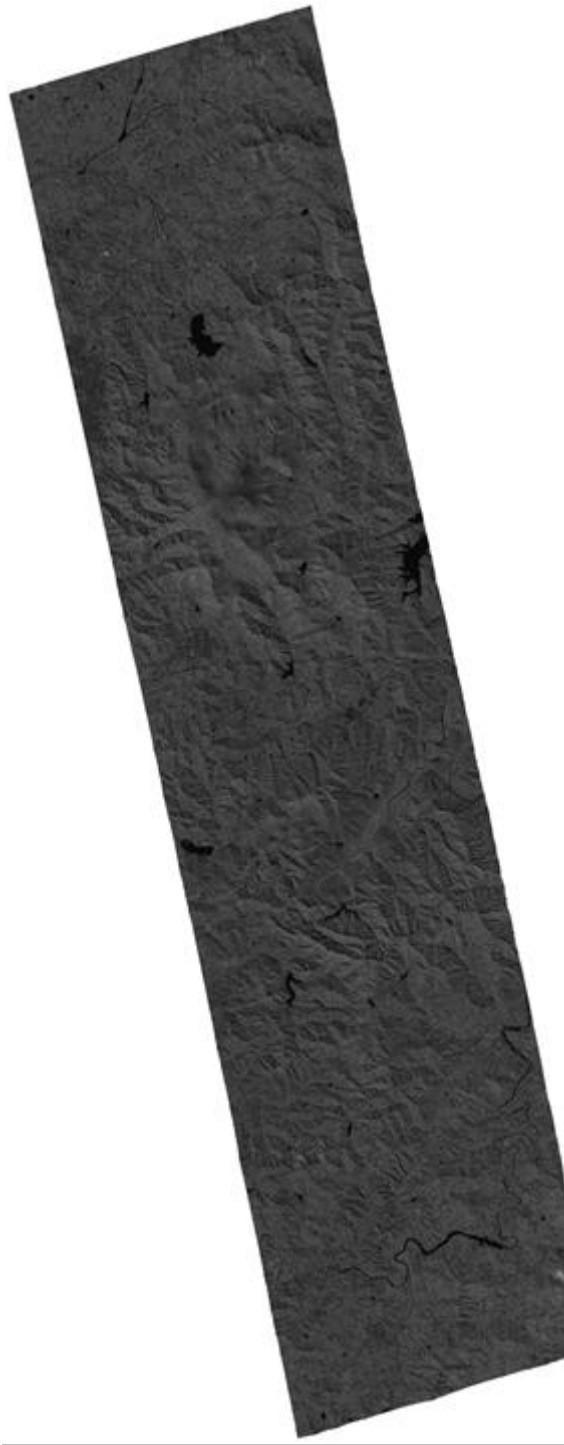
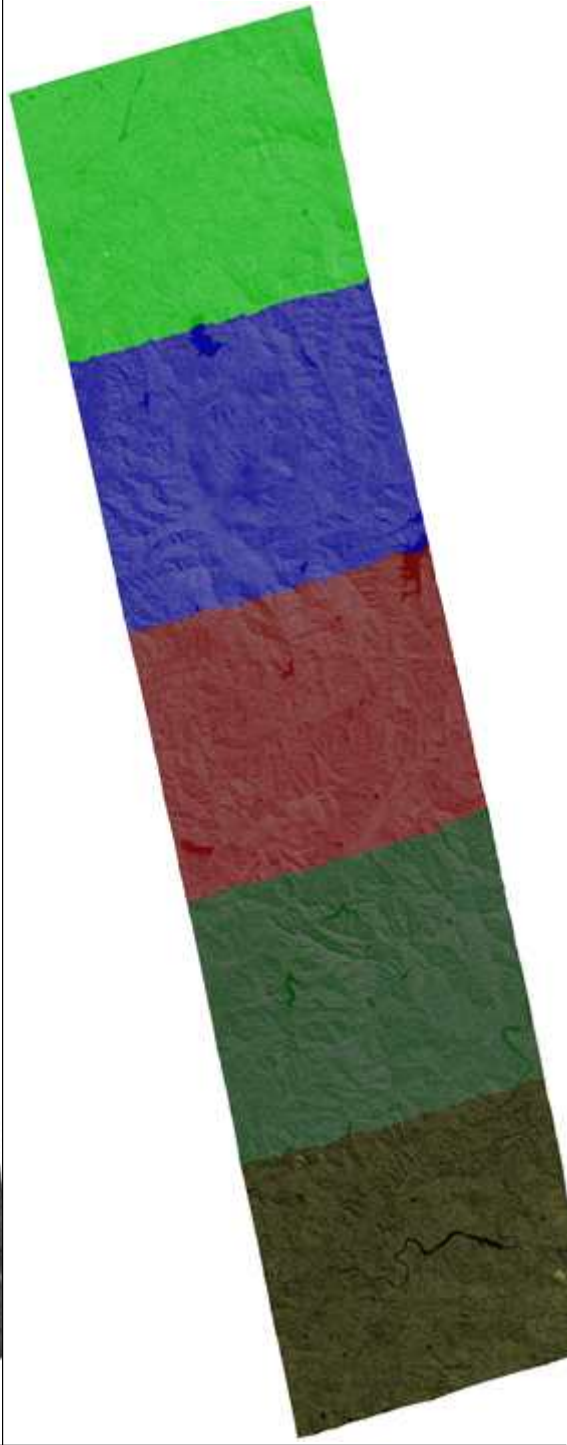
Strip#1 (5장)	Strip#2 (6장)
K3A_20171021044156_14209_00204431_L2 G_NIR	K3A_20171109042614_14496_00150682_L2 G_NIR
	
K3A_20171021044156_14209_00184334_L2G_ NIR	K3A_20171109042614_14496_00132275_L2G_ NIR
	
K3A_20171021044156_14209_00164070_L2G_ NIR	K3A_20171109042614_14496_00113872_L2G_ NIR

	
K3A_20171021044156_14209_00143898_L2G_ NIR	K3A_20171109042614_14496_00095466_L2G_ NIR
	
K3A_20171021044156_14209_00123971_L2G_ NIR	K3A_20171109042614_14496_00077057_L2G_ NIR
	
	K3A_20171109042614_14496_00058650_L2G_ NIR
	



(2) Strip-wise 다중영상 접합선 추출 결과

아래 그림과 같이 각 Strip 별 모자이크를 먼저 수행하고 두 Strip 모자이크 영상을 활용하여 최종 모자이크 영상을 산출하였다.


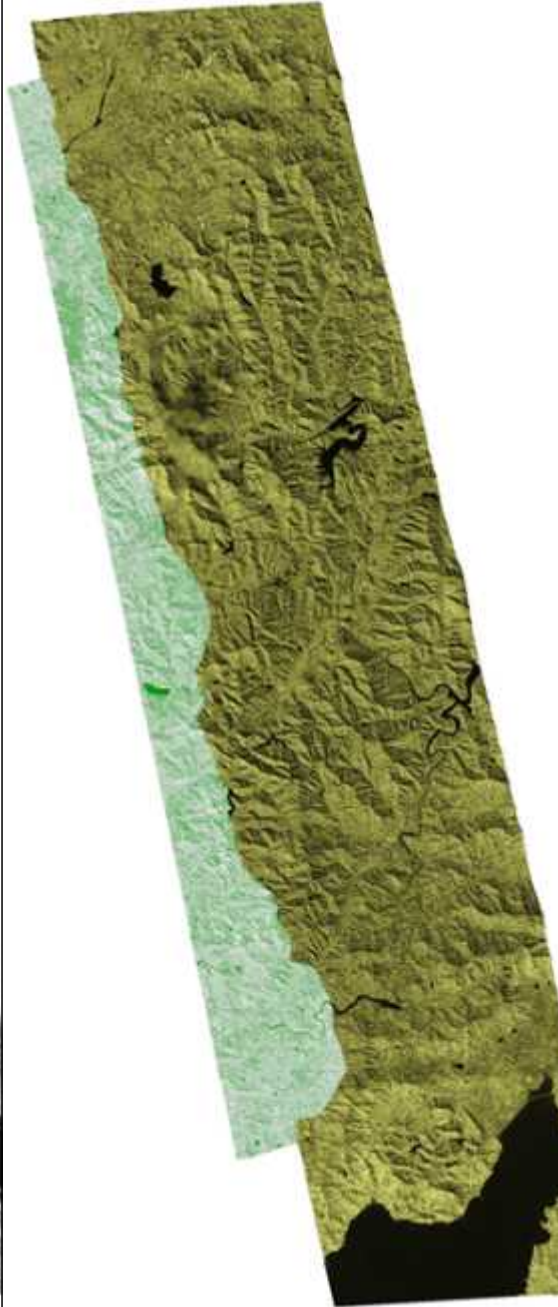
<표 2-49> Strip#1 모자이크 결과

Strip#1 (5장)	
모자이크 영상	모자이크 영상에서의 입력 영상 구분
	

<표 2-50> Strip#2 모자이크 결과

Strip#2 (6장)	
모자이크 영상	모자이크 영상에서의 입력 영상 구분
	

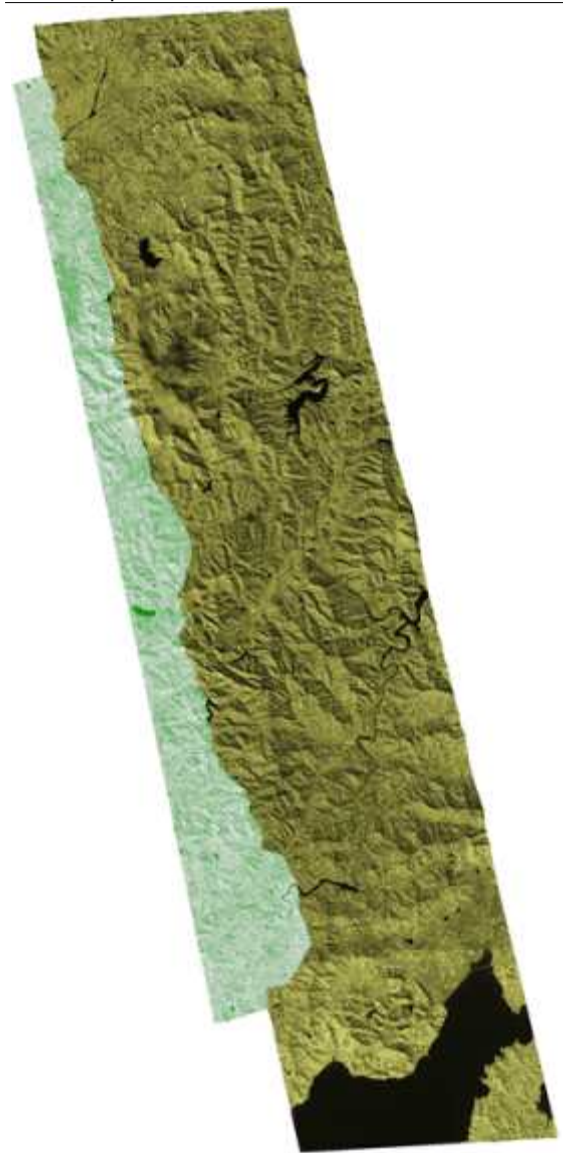
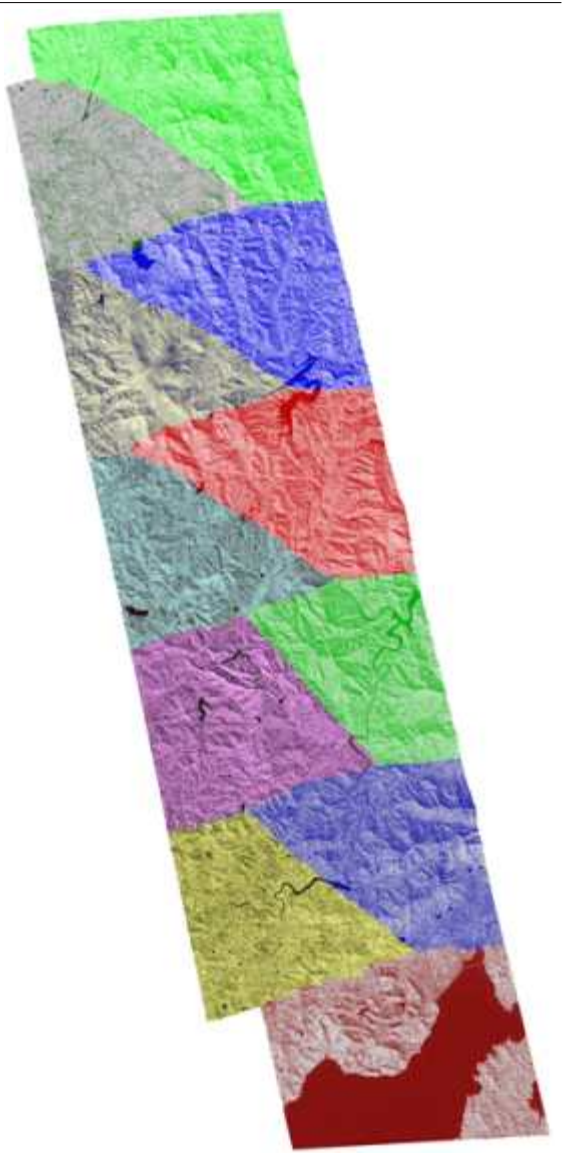
<표 2-51> 최종 모자이크 결과

최종 모자이크 영상 (11장)	
모자이크 영상	모자이크 영상에서의 입력 영상 구분
	

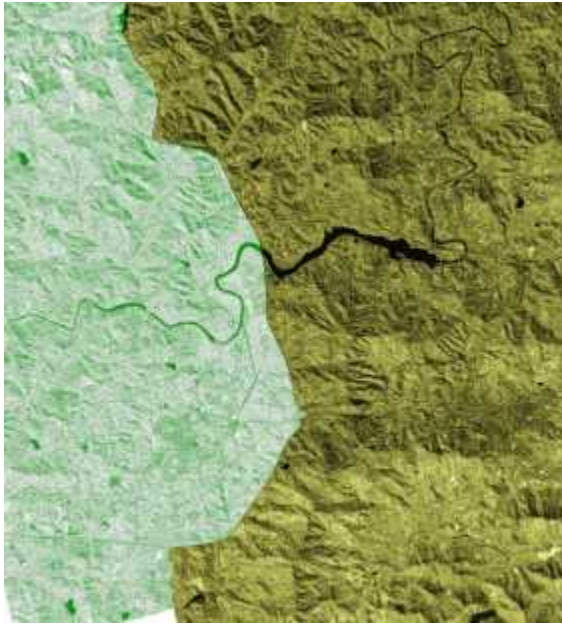
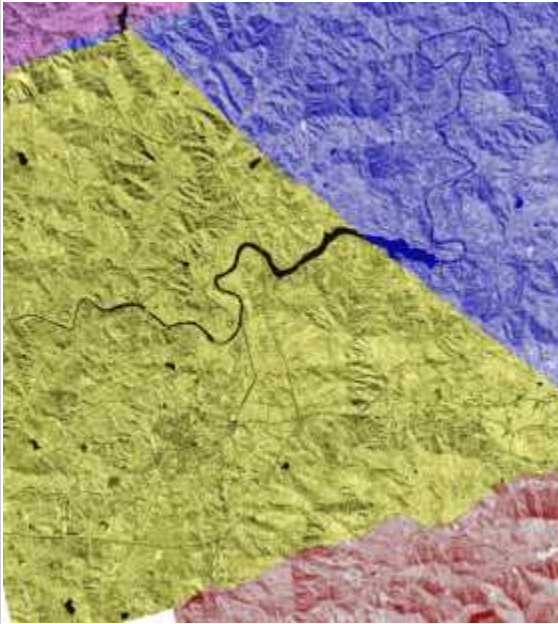
(3) Pair-wise 다중영상 접합선 추출 결과와 비교분석

앞서 산출한 Strip-wise 다중영상 접합선 추출 결과의 성능을 분석하기 위해 Pair-wise 다중영상 접합선을 산출하고 그 결과를 Strip-wise 접합선 추출 결과와 비교 분석하였다. Pair-wise에서는 각 영상을 별도의 영상으로 인식하여 접합선이 지그재그로 산출된 것을 확인할 수 있었다. 또한, 영상이 3, 4중으로 중첩된 지역에서는 영상이 접합선이 지나치게 복잡하게 산출되어 모자이크 영상이 성능이 떨어졌다. 이에 반해 Strip-wise 다중영상 접합선 추출에서는 먼저 입력영상 크게 2가지의 Strip 영상으로 만들고 접합선을 추출함에 따라 접합선이 효율적으로 산출된 것을 확인할 수 있었다.

<표 2-52> 다중영상 모자이크 결과 비교

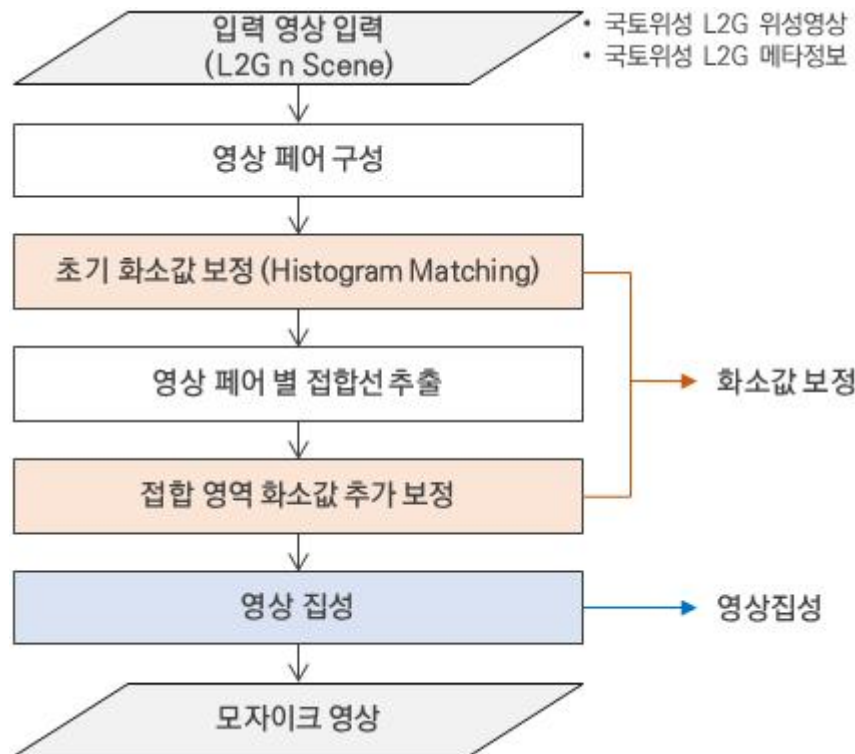
모자이크 전체 영상	
Strip-wise 다중영상 접합선 추출 결과	Pair-wise 다중영상 접합선 추출 결과
	

<표 2-53> 다중영상 모자이크 결과 비교 (확대 영상)

모자이크 확대 영상	
Strip-wise 다중영상 접합선 추출 결과	Pair-wise 다중영상 접합선 추출 결과
	

마. 화소값 보정 및 영상집성 기술개발

화소값 보정 및 영상집성 기술개발에서는 영상 모자이크를 위해 수행되는 입력영상 간 화소값 보정 기술과 접합선 추출 이후 최종 모자이크 영상 생성을 위한 영상 집성 기술을 개발하고 개발한 기술의 성능을 분석하기 위해 수행한 실험 내용을 정리하였다. 아래 그림은 국토위성정보 산출물 모자이크 기술의 순서도(Flowchart) 중 화소값 보정 및 영상 집성 단계를 나타낸다.



<그림 2-54> 국토위성영상 모자이크 기술 Flowchart 中 화소값 보정 및 영상 집성 단계

영상 화소값 보정을 크게 2단계로 나누어 수행한다. 먼저 입력영상을 모두 입력받고 각 영상의 Histogram을 분석하여 입력영상 간 전체적인 화소값을 보정하는 초기 화소값 보정을 수행한다. 이후 초기 화소값 보정이 완료된 영상을 이용하여 접합선 추출이 완료되면 접합선 인근의 접합영역에 대하여 추가적인 화소값 보정을 수행하여 접합선이 영상에서 최대한 식별되지 않도록 처리한다. 이를 통해 모자이크 영상을 품질을 향상시키고자 하였다.

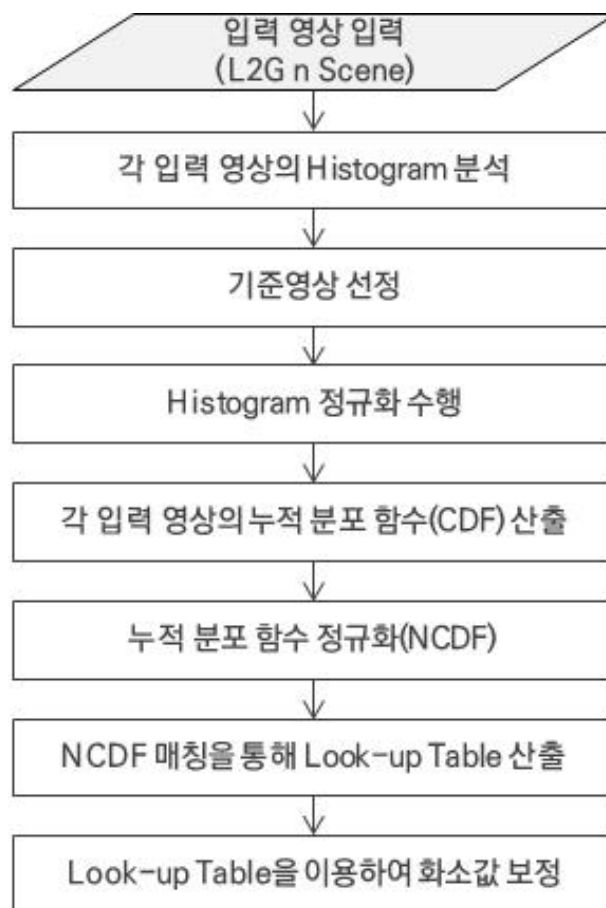
영상 집성의 경우 영상 화소값 보정이 모두 완료된 이후 앞서 산출한 접합선에 따라 입력영상의 영역을 집성하여 단일 모자이크 영상으로 산출하고자 하였다.

1) 초기 화소값 보정 기술개발

초기 화소값 보정에서는 모든 입력 영상의 Histogram을 분석하여 입력영상 간 전체적인 화소값을 보정하는 과정이다. 이를 위해 matching을 기반으로 자동으로 입력영상 간 밝기값 보정이 수행되도록 구현하였다.

가) Matching 기반 초기 화소값 보정 기술개발

입력 영상들의 전체적인 화소값 보정을 위해 Matching 기반 방사보정을 구현하였다. Matching 기반 방사보정은 아래와 같이 수행된다.



<그림 2-55> Matching 기반 화소값 보정 순서도(Flowchart)

먼저 각 입력영상의 Histogram을 분석한다. Histogram 분석 결과 화소값의 범위가 가장 넓은 영상을 기준영상으로 선정한다. 이후 각 Histogram을 처리하여 정규화된 누적 확률분포(NCDF)를 산출한다. 기준영상의 NCDF를 기준으로 각 타겟영상의 NCDF를 보정하는 Look-up Table을 산출하고 이를 기준으로 각 타겟영상의 화소값을 보정한다.

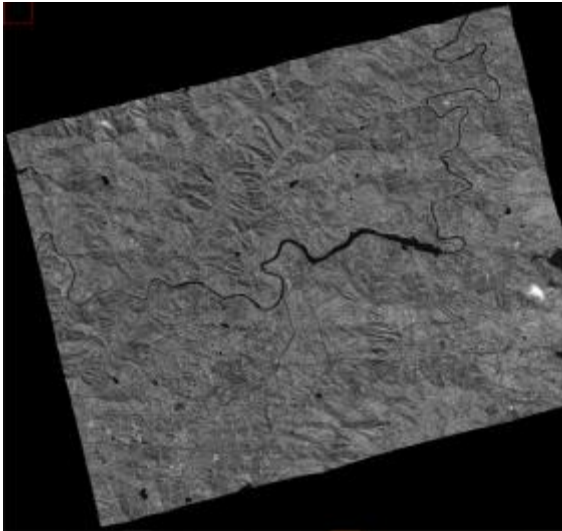
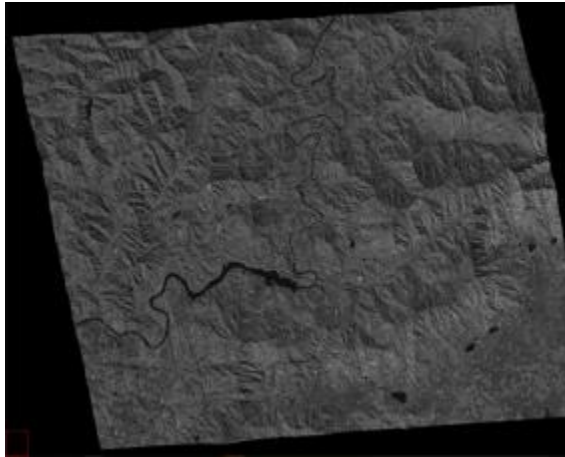

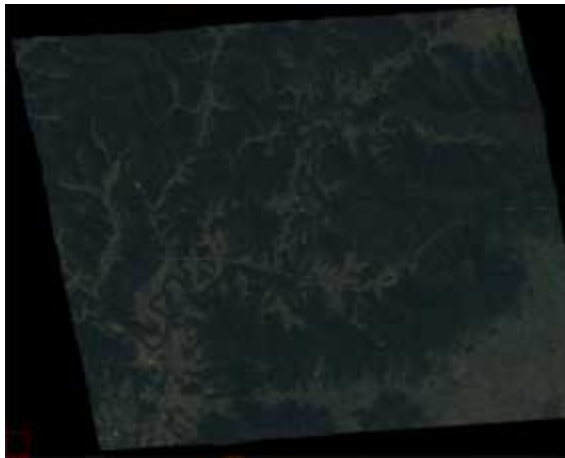
나) Histogram Matching 기반 초기 화소값 보정 실험

앞서 구현한 Histogram Matching 기반 초기 화소값 보정 성능을 파악하기 위해 2가지 영상 페어를 실험자료로 활용하여 실험을 진행하였다.

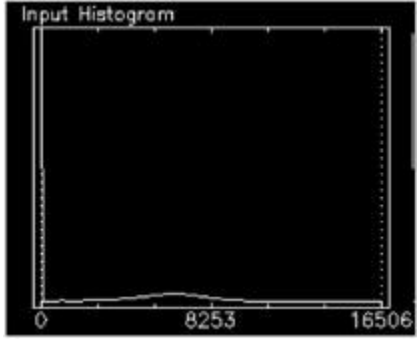
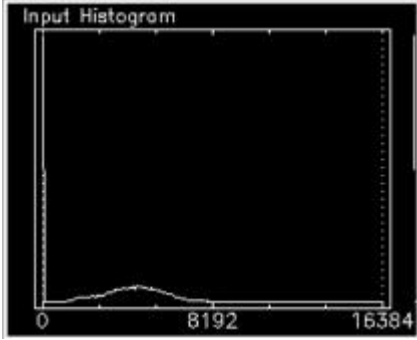
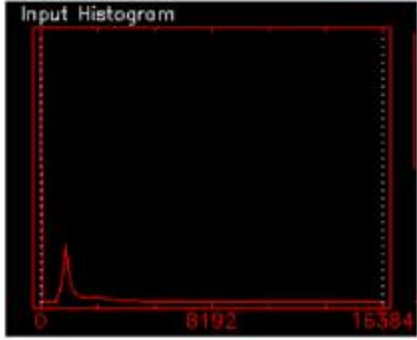
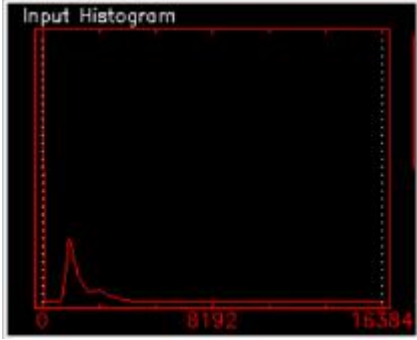
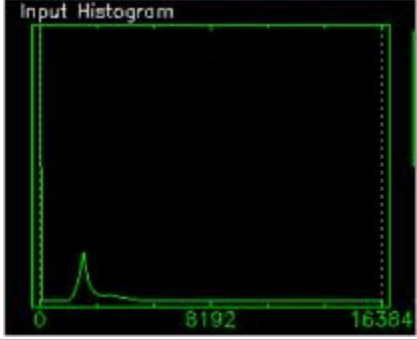
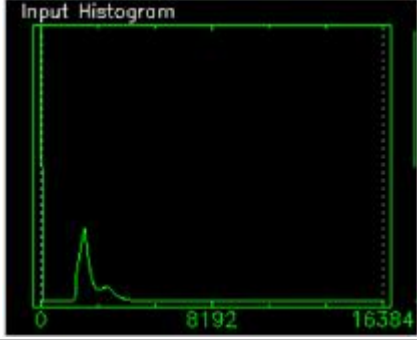
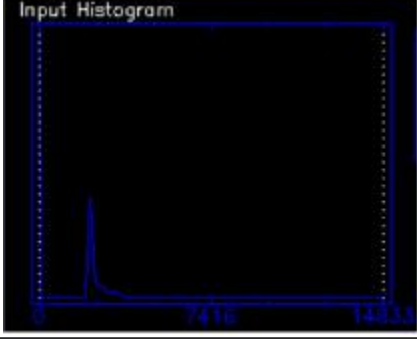
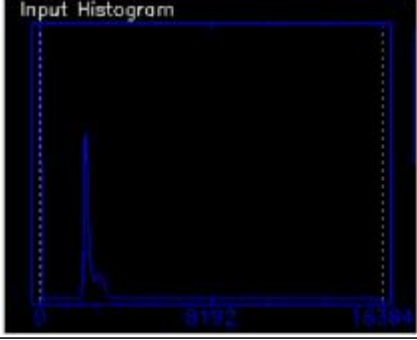
(1) 영상 Pair Set#1

실험에 사용한 첫 번째 영상 페어는 아래와 같다. NIR, Red, Blue, Green 밴드를 사용하였다. 화소값 보정을 하기 전 원영상과 그 히스토그램 분포는 아래와 같다.

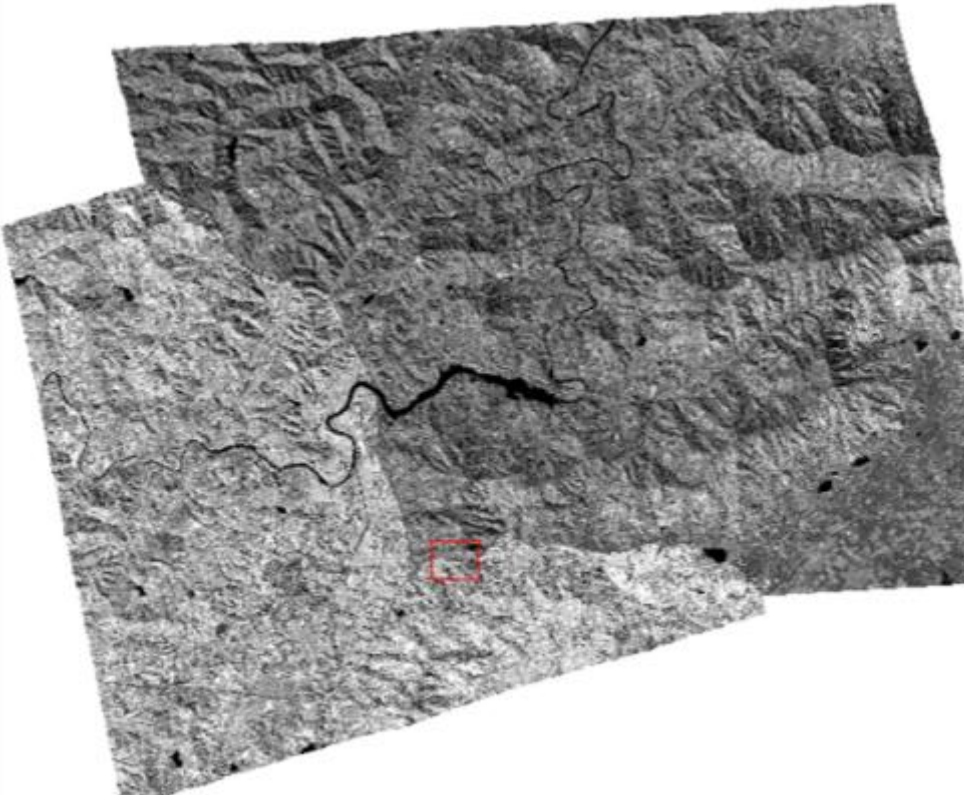
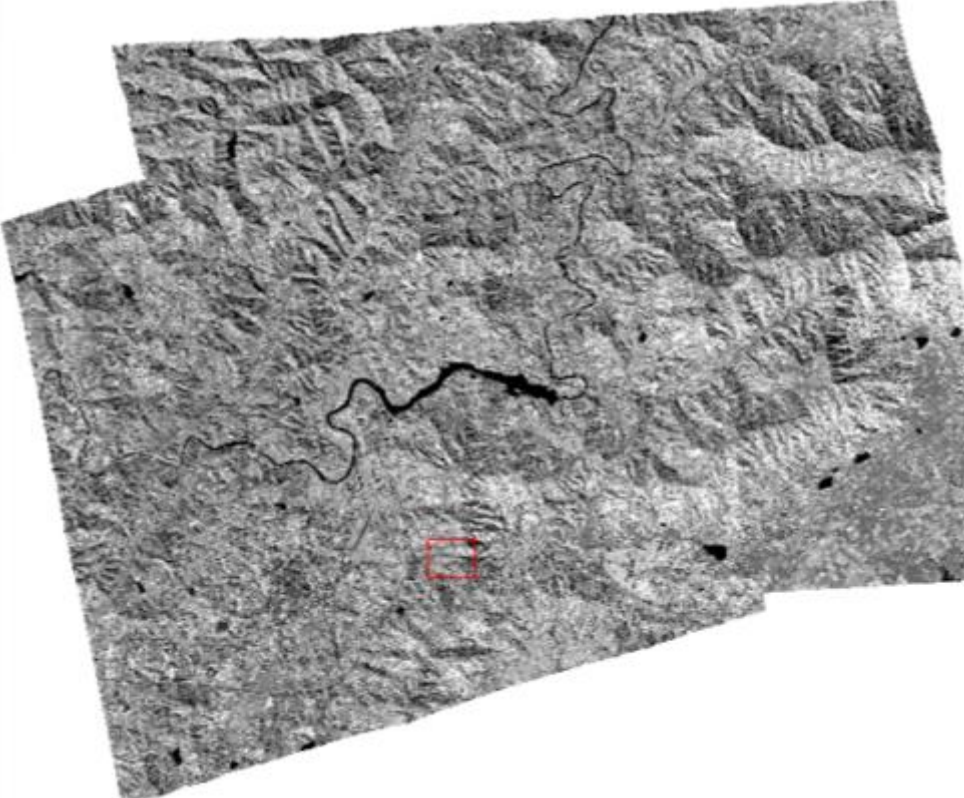
<표 2-54> HistogramMatching 실험에 사용한 영상 Pair Set#1

영상 Pair Set#1	
좌	우
K3A_20171021044156_14209_00123971_NIR	K3A_20171109042614_14496_00077057_NIR
	
K3A_20171021044156_14209_00123971_RGB	K3A_20171109042614_14496_00077057_RGB
	



<표 2-55> HistogramMatching 실험에 사용한 영상 Pair Set#1 Histogram

영상 Pair Set#1 Histogram	
좌	우
K3A_20171021044156_14209_00123971_NI R	K3A_20171109042614_14496_00077057_NI R
	
K3A_20171021044156_14209_00123971_RG B	K3A_20171109042614_14496_00077057_RG B
	
	
	

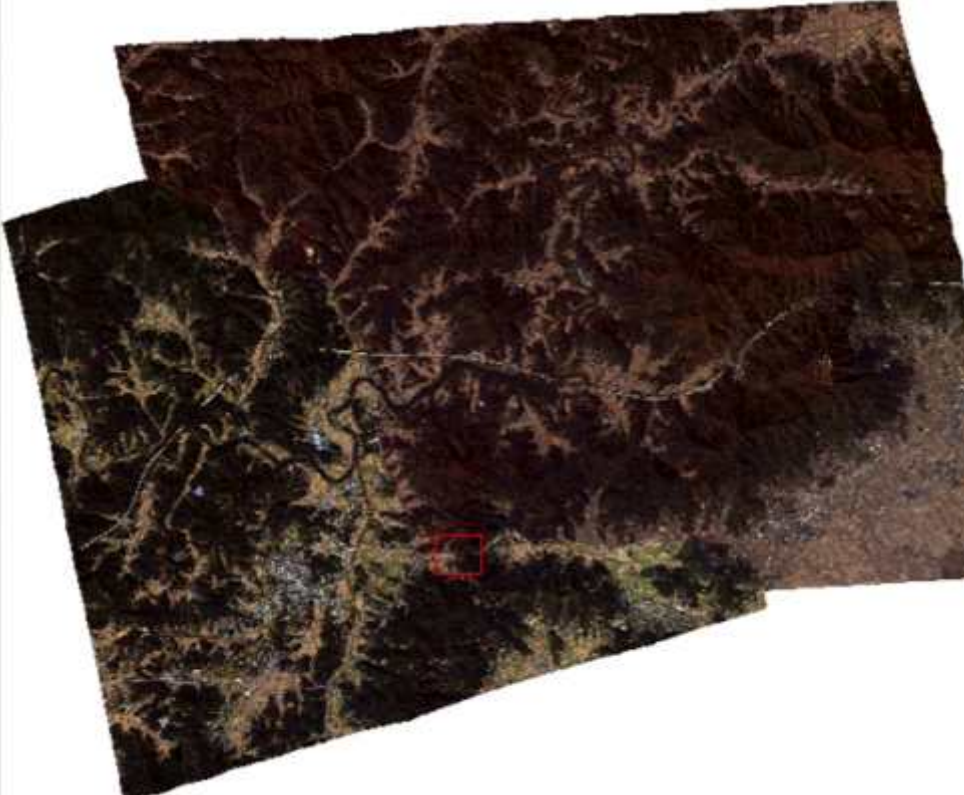
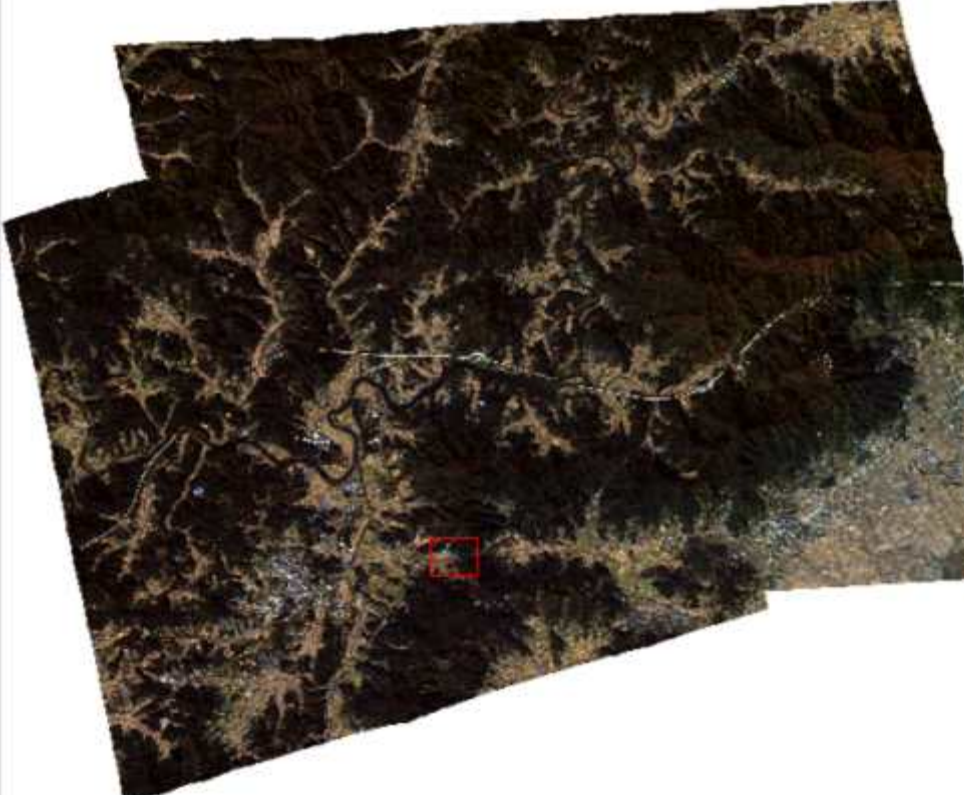
<표 2-56> NIR 전체 영상 Set#1

영역	NIR 전체 영상(Set#1)
보정 전	 A grayscale NIR image showing a textured surface, likely a rock or mineral sample. A prominent, dark, winding line, possibly a crack or a mineral vein, runs diagonally across the center. A small, rectangular red box is located in the lower-middle portion of the image, highlighting a specific area of interest.
보정 후	 A grayscale NIR image of the same textured surface as the one above. The dark, winding line is still present. The same small, rectangular red box is located in the lower-middle portion of the image, highlighting the same area of interest as in the 'before' image.


<표 2-57> NIR 확대 영상 Set#1

영역	NIR 확대 영상(Set#1)
보정 전	 A grayscale NIR image showing a landscape with a road and a building. A red square highlights a specific area in the upper left quadrant of the image.
보정 후	 A grayscale NIR image of the same scene as above, but after correction. The red square highlights the same area, showing improved contrast and detail.

<표 2-58> RGB 전체 영상 Set#1

영역	RGB 전체 영상(Set#1)
보정 전	
보정 후	

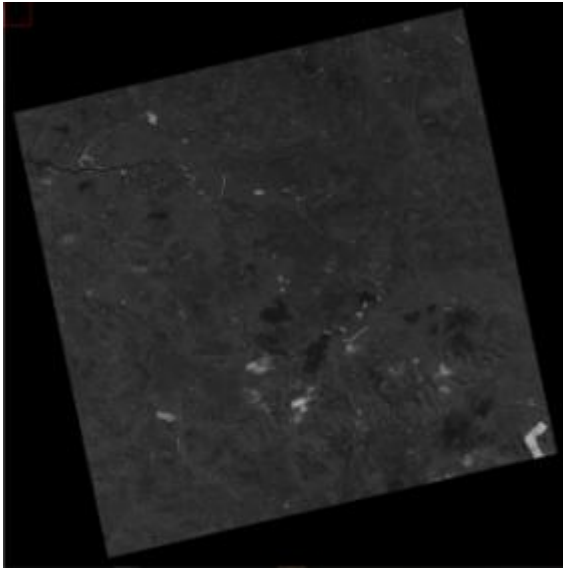
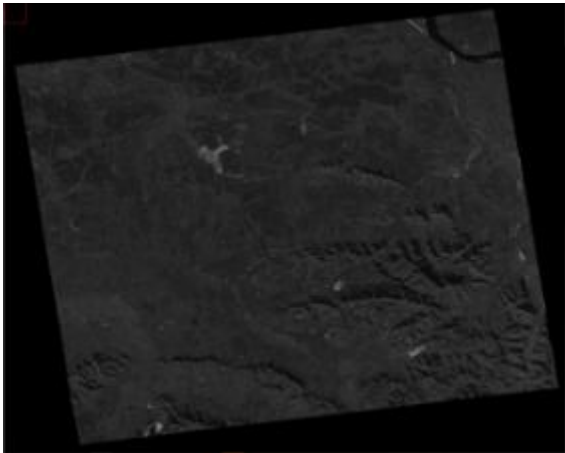
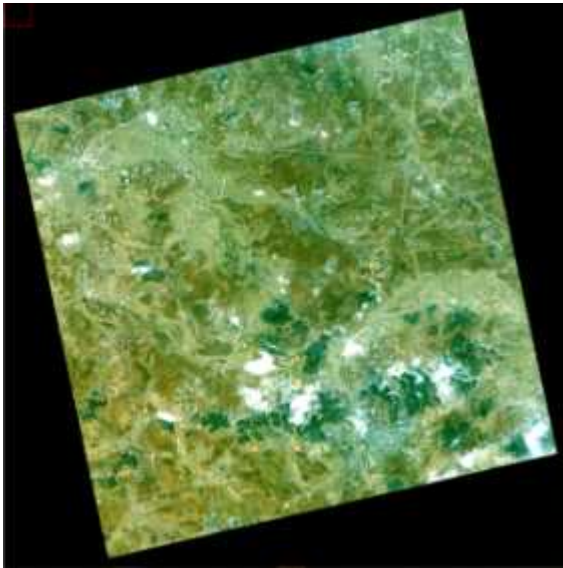

<표 2-59> RGB 확대 영상 Set#1

영역	RGB 확대 영상(Set#1)
보정 전	
보정 후	

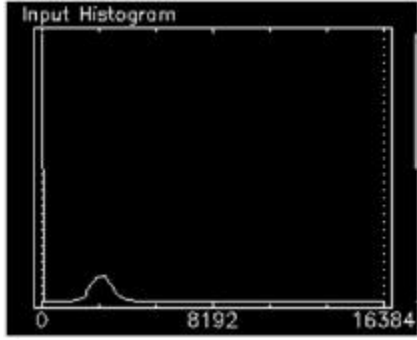
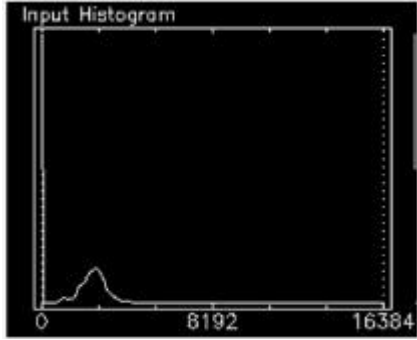
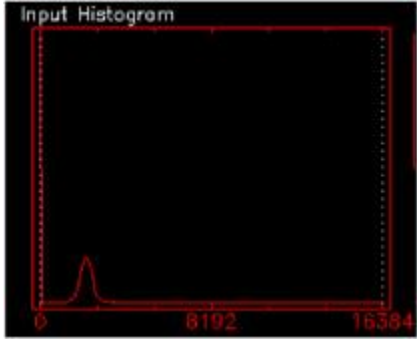
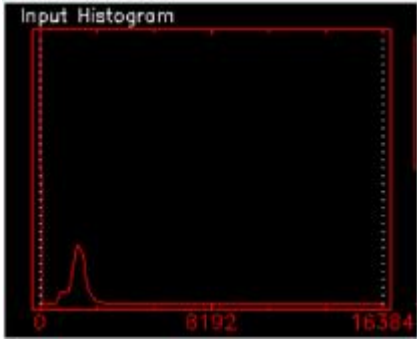
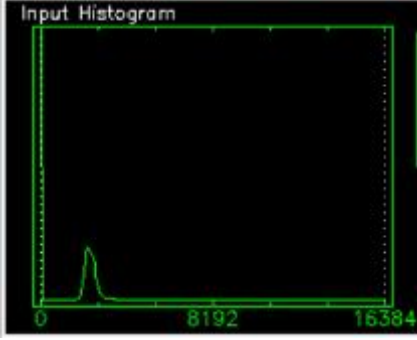
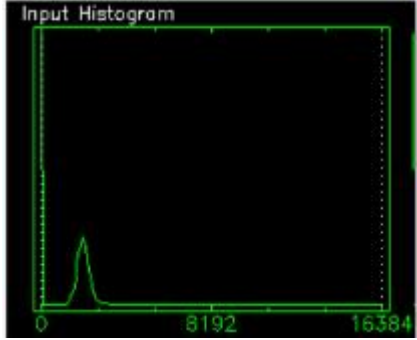
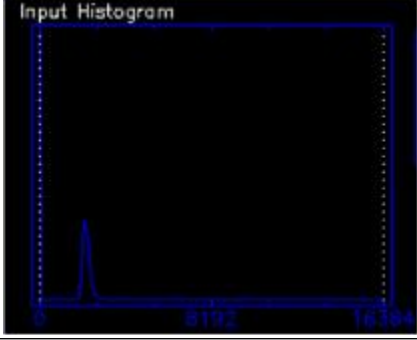
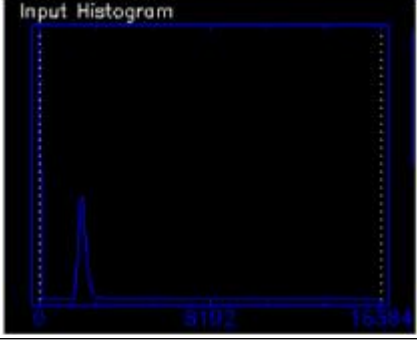
(2) 영상 Pair Set#2

실험에 사용한 두 번째 영상 페어는 아래와 같다. NIR, Red, Blue, Green 밴드를 사용하였다. 화소값 보정을 하기 전 원영상과 그 히스토그램 분포는 아래와 같다.

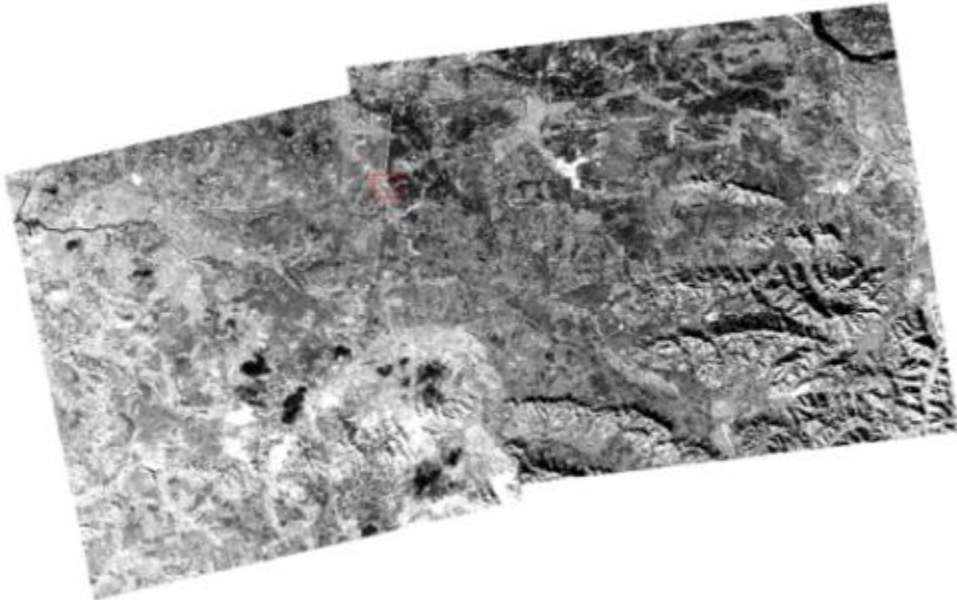
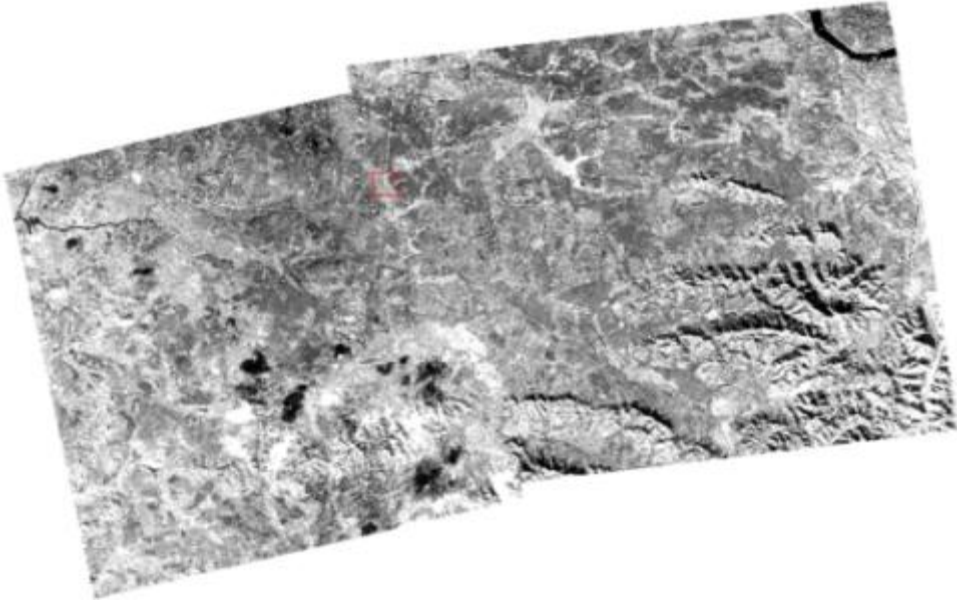
<표 2-60> HistogramMatching 실험에 사용한 영상 Pair Set#2

영상 Pair Set#2	
좌	우
K3A_20190216043344_21508_00003619_NIR R	K3A_20181214044724_20541_00003613_NIR R
	
K3A_20190216043344_21508_00003619_RG B	K3A_20181214044724_20541_00003613_RG B
	



<표 2-61> HistogramMatching 실험에 사용한 영상 Pair Set#2

영상 Pair Set#2	
좌	우
K3A_20190216043344_21508_00003619_NI R	K3A_20181214044724_20541_00003613_NI R
	
K3A_20190216043344_21508_00003619_RG B	K3A_20181214044724_20541_00003613_RG B
	
	
	


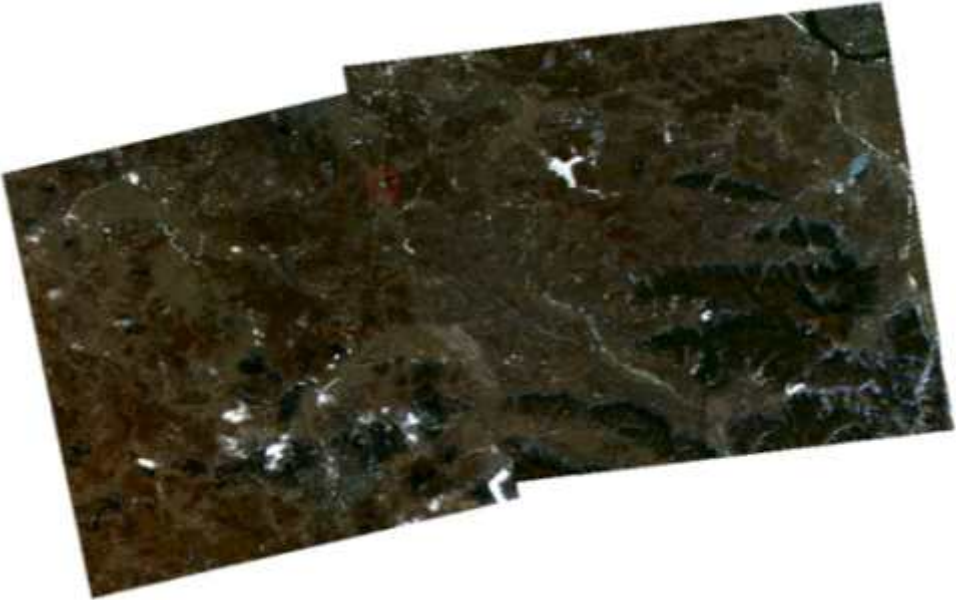
<표 2-62> NIR 전체 영상 Set#2

영역	NIR 전체 영상(Set#2)
보정 전	
보정 후	



<표 2-63> NIR 확대 영상 Set#2

영역	NIR 확대 영상(Set#2)
보정 전	 A grayscale aerial NIR image showing a landscape with a river, fields, and a building. A red square highlights a specific area in the lower center of the image.
보정 후	 A grayscale aerial NIR image, identical to the one above, showing the same landscape and red square highlight.

<표 2-64> RGB 전체 영상 Set#2

영역	RGB 전체 영상(Set#2)
보정 전	
보정 후	

<표 2-65> RGB 확대 영상 Set#2

영역	RGB 확대 영상(Set#2)
보정 전	 A satellite image showing a landscape with a river and fields. A red square highlights a specific area in the lower center of the image.
보정 후	 The same satellite image as above, but after correction. The red square highlights the same area, showing improved clarity and color balance.

2) 접합 영역 화소값 추가보정 기술개발

초기 화소값 보정의 경우 입력영상 간 전체적인 화소값을 보정하는 과정이므로 이후 접합선을 추출하고 그에 따라 영상집성을 통해 모자이크를 수행하면 접합선 인근에서는 영상의 화소값 차이가 두드러질 수 있다. 따라서 추가적으로 접합선 인근의 접합영역에 대하여 추가적인 화소값 보정을 수행하여 모자이크 영상의 성능을 향상시키고자 하였다.

가) Alpha Blending 기반 접합영역 화소값 보정 기술개발

접합영역의 추가 화소값 보정을 수행하기 위해 Alpha Blending 기반 추가 화소값 보정 기술개발을 수행하였다. 블렌딩이란 두 개 이상의 이미지를 서로 합칠 때 가중치를 두어 합치는 방법을 말한다. 이 때 가중치(α)의 값은 0~1 사이에서 변하며 가중치를 높게 줄수록 해당 이미지(f_2)는 진해지며 반대로 다른 이미지(f_1)의 가중치는 줄어들어 흐려지게 된다. 가장 많이 사용되는 Alpha blending은 가우시안 필터를 통해 각 입력 영상의 α (alpha) 값을 산출한다.

$$g(x) = (1 - \alpha)f_1(x) + \alpha f_2(x) (\alpha : \text{가중치})$$



Alpha blending 전

Alpha blending 후

<그림 2-56> Alpha blending 전/후 예시

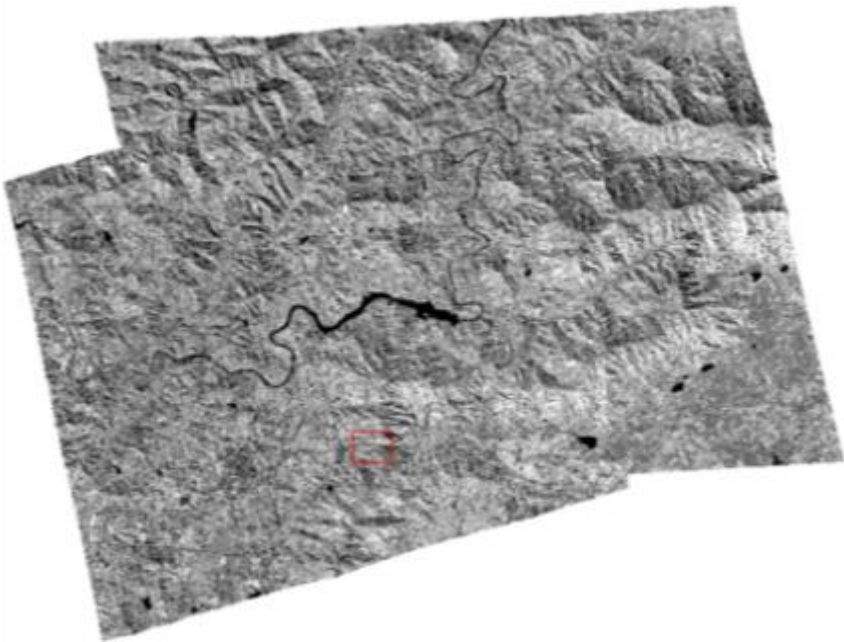
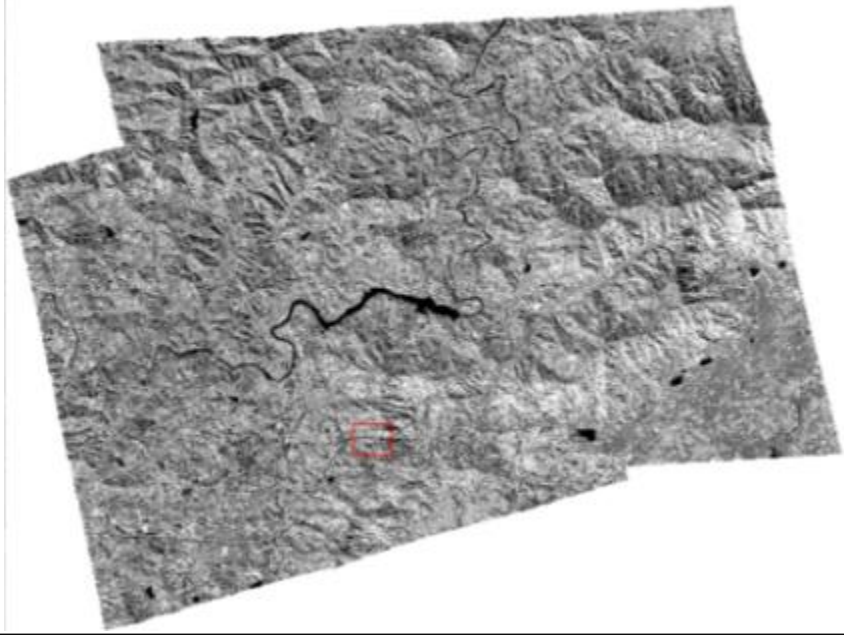
영상의 접합 영역은 접합선 추출 알고리즘을 통해 입력영상 간 화소값 차이가 적은 지역이므로 가우시안 필터를 사용하여 접합선 인근으로 중첩영역을 산출하고 α (alpha) 값을 산출하여 두 입력영상을 중첩시켜 접합선이 식별되지 않도록 추가 화소값 보정을 한다.

나) Alpha Blending 기반 접합영역 화소값 보정 실험

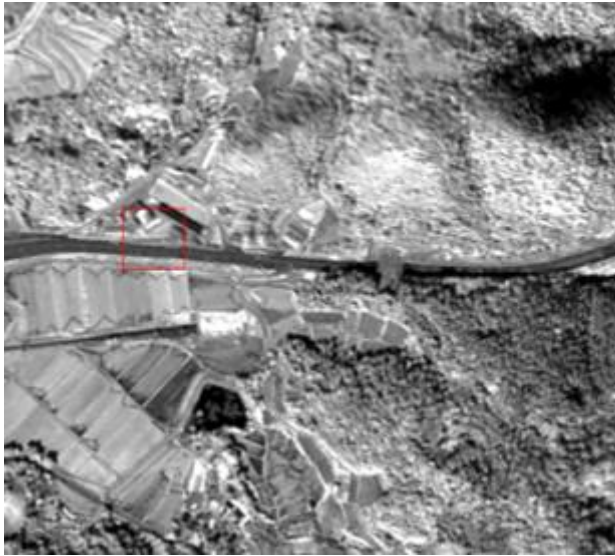
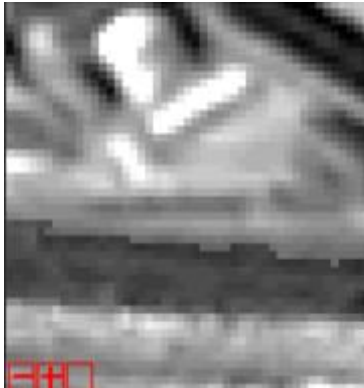
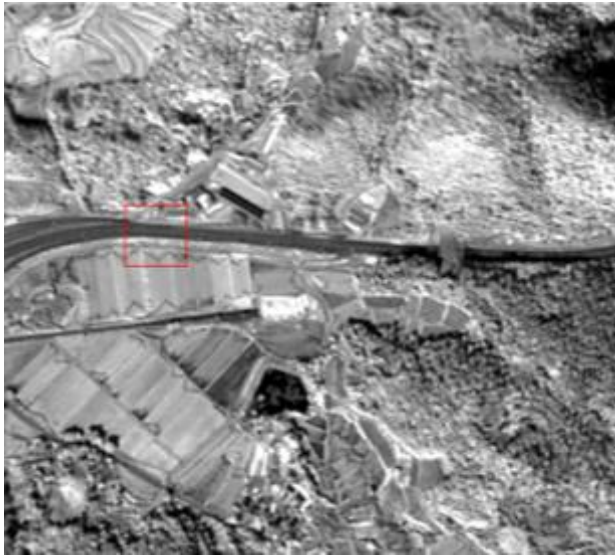
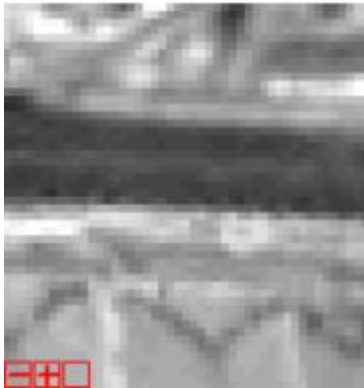
Alpha Blending 기반 접합영역 화소값 보정 성능을 파악하기 위해 실험을 수행하였다. 먼저 실험영상은 앞서 수행한 「가. 초기 화소값 보정 기술개발」에서 사용한 실험영상과 동일한 영상을 사용하였다. 해당 기술은 초기 화소값 보정이 수행된 영상에 사용되는 기술이므로 입력영상은 모두 앞서 개발한 Histogram Matching 기반 화소값 보정이 수행된 영상을 사용하였다.

(1) 영상 Pair Set#1



<표 2-66> Set#1 NIR 영상 Alpha Blending 적용 결과 (전체 영상)

영역	NIR 전체 영상(Set#1)
블렌딩 전	 A grayscale satellite image of a mountainous terrain. A red rectangular box highlights a specific area in the lower-middle part of the image. The image shows some stitching artifacts or misalignment between different sections.
블렌딩 후	 The same grayscale satellite image as above, but after the Alpha Blending process. The red rectangular box is still present in the same location. The stitching artifacts appear to be corrected, resulting in a more seamless and uniform appearance across the entire image.





<표 2-67> Set#1 NIR 영상 Alpha Blending 적용 결과 (확대 영상)

영역	NIR 확대 영상(Set#1)	
블렌딩 전		
블렌딩 후		

<표 2-68> Set#1 RGB 영상 Alpha Blending 적용 결과 (전체 영상)

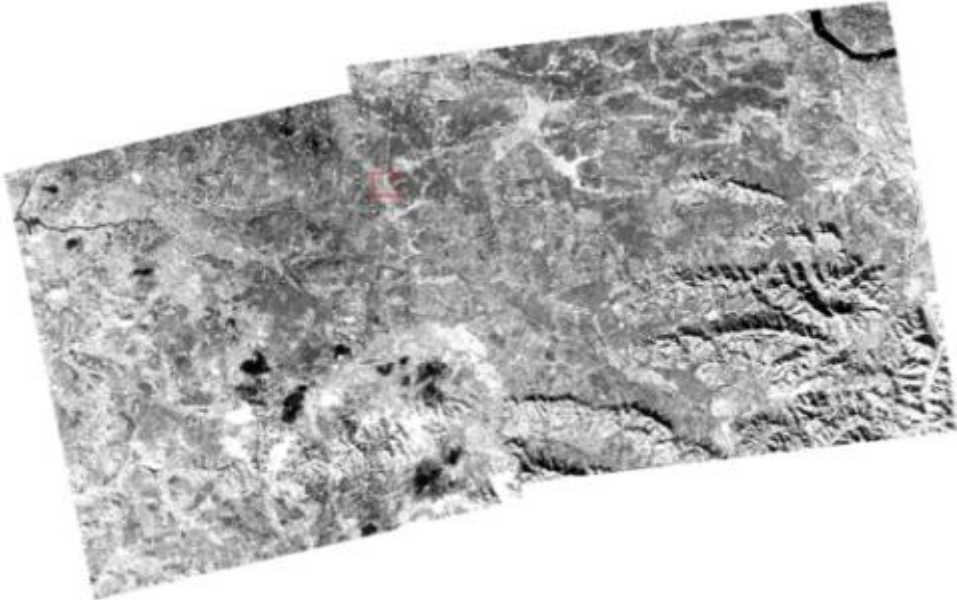
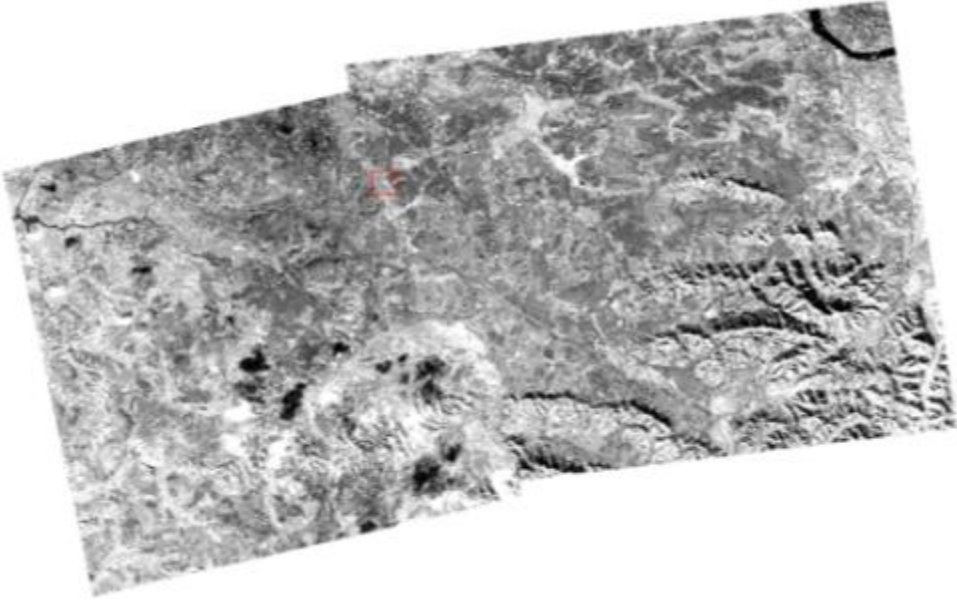
영역	RGB 전체 영상(Set#1)
블렌딩 전	
블렌딩 후	

<표 2-69> Set#1 RGB 영상 Alpha Blending 적용 결과 (확대 영상)





영역	RGB 확대 영상(Set#1)	
블렌딩 전		
블렌딩 후		

(2) 영상 Pair Set#2

<표 2-70> Set#2 NIR 영상 Alpha Blending 적용 결과 (전체 영상)

영역	NIR 전체 영상(Set#2)
블렌딩 전	
블렌딩 후	





<표 2-71> Set#2 NIR 영상 Alpha Blending 적용 결과 (확대 영상)

영역	NIR 확대 영상(Set#2)	
블렌딩 전		
블렌딩 후		

<표 2-72> Set#2 RGB 영상 Alpha Blending 적용 결과 (전체 영상)

영역	RGB 전체 영상(Set#2)
블렌딩 전	
블렌딩 후	

<표 2-73> Set#2 RGB 영상 Alpha Blending 적용 결과 (확대 영상)

영역	RGB 확대 영상(Set#2)	
블렌딩 전		
블렌딩 후		

다) Alpha Blending 기반 접합영역 화소값 보정 결과 분석

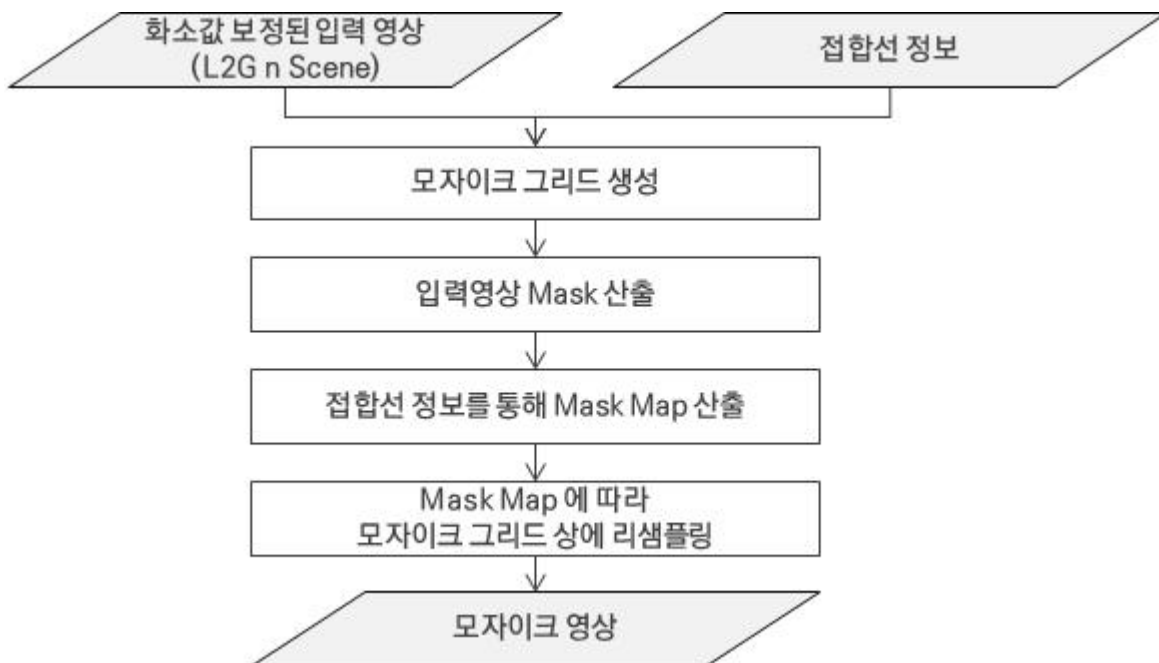
Alpha Blending 기반 접합영역 화소값 보정은 접합영역에 대해서만 화소값 보정을 수행하므로 실험결과 전체 영상을 보면 초기 화소값 보정으로 수행된 화소값 보정이 유지되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 추가 화소값 보정 결과의 확대 영상을 보면 접합선이 실험 Set#1의 NIR band와 실험 Set#2의 RGB Band 영상과 같이 두드러지는 지역에서 Alpha Blending 기반 추가 화소값 보정 수행 후 접합선이 거의 식별되지 않는 것을 확인할 수 있었다.

3) 영상 집성 기술개발

영상 집성 기술은 영상 화소값 보정 및 접합선 추출이 모두 완료된 이후 접합선에 따라 영상의 보정된 화소값을 이용하여 모든 입력영상을 하나의 모자이크 영상으로 집성하는 과정이다. 이를 위해 영상의 접합선 Map, 입력영상 MaskMap을 먼저 산출하고 이에 따라 영상 집성을 수행한다.

가) 영상 집성 기술개발

국토위성정보 산출물 모자이크를 위해 개발된 영상 집성 기술개발은 아래 순서도(Flowchart)에 따라 수행된다. 영상 집성 기술은 영상의 화소값 보정 및 접합선 추출이 모두 완료된 후 최종적으로 수행되므로, 화소값 보정된 입력 영상 및 접합선 정보를 입력받는다.



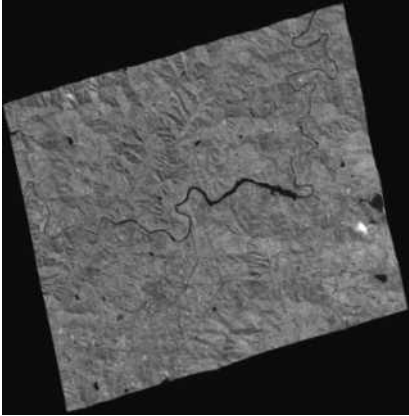
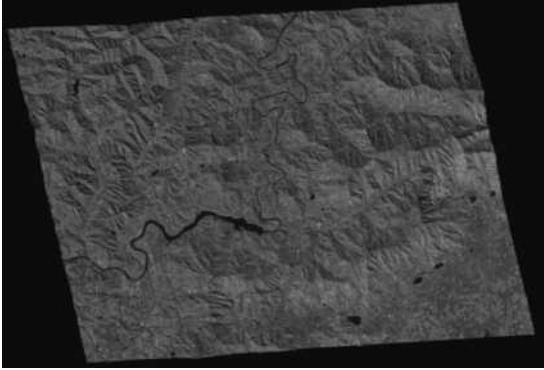
<그림 2-57> 영상 집성 기술 순서도(Flowchart)

입력 영상의 메타정보를 이용하여 입력영상을 모두 집성할 수 있는 모자이크 그리드를 먼저 생성한다. 본 기술개발에서 입력받는 입력영상의 경우 국토위성 L2G 영상이므로 기하 - 정사보정으로 인해 Nodata 영역이 존재한다. 따라서 먼저 Nodata 영역을 제외한 입력영상 mask를 산출한다. 이후 접합선 정보와 입력영상 mask를 이용하여 Mask Map을 산출한다. 이후 Mask Map에 따라 모자이크 그리드에 각 입력영상의 보정된 화소값을 리샘플링 하여 모자이크 영상을 산출하였다.

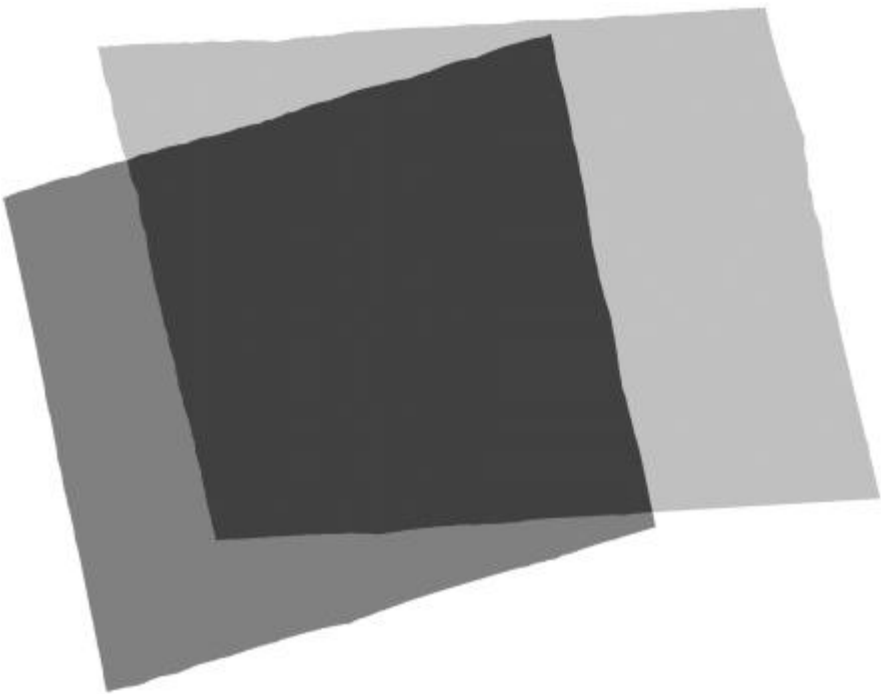
나) 영상 집성 기술개발 결과

앞서 개발한 영상 집성 기술개발의 성능을 테스트하기 위해 앞서 「4. 다. Scene 단위 접합선 추출 성능 실험」에서 서로 다른 Strip Set#2의 자료를 사용하여 테스트를 진행하였다.

<표 2-74> 접합선 추출 실험에 사용한 다른 Strip#2 K-3A NIR 영상

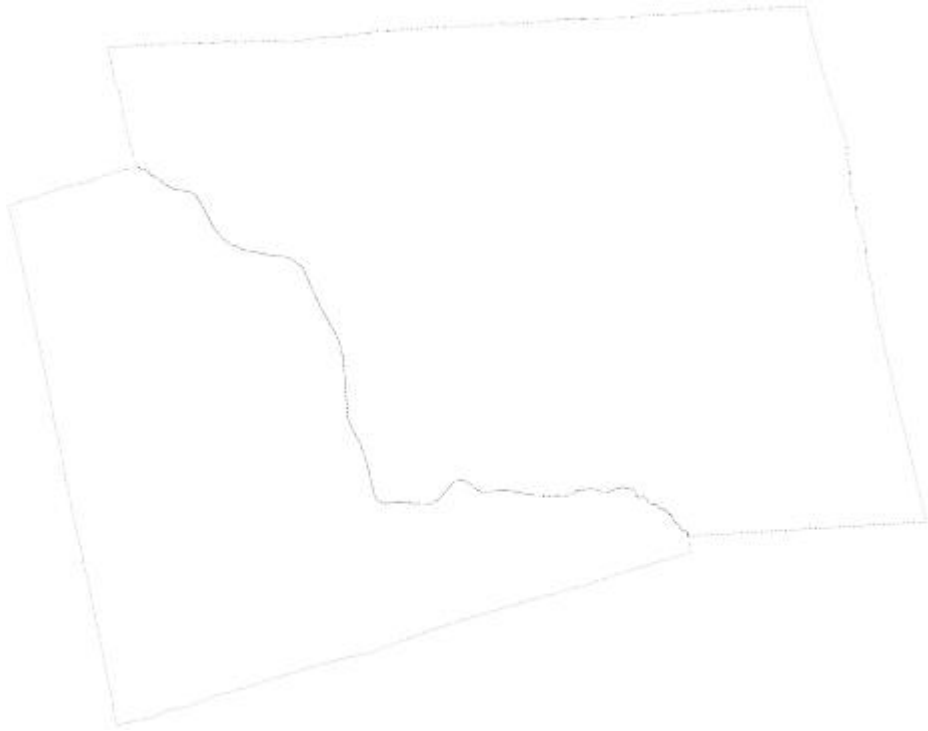
서로 다른 Strip 실험 Set#2	
좌	우
K3A_20171021044156_14209_00123971_L2G_NIR	K3A_20171109042614_14496_00077057_L2G_NIR
	

입력된 위성영상의 메타정보의 좌표정보와 Nodata영역 제거를 통해 아래와 같이 입력영상 Mask를 산출하였다.

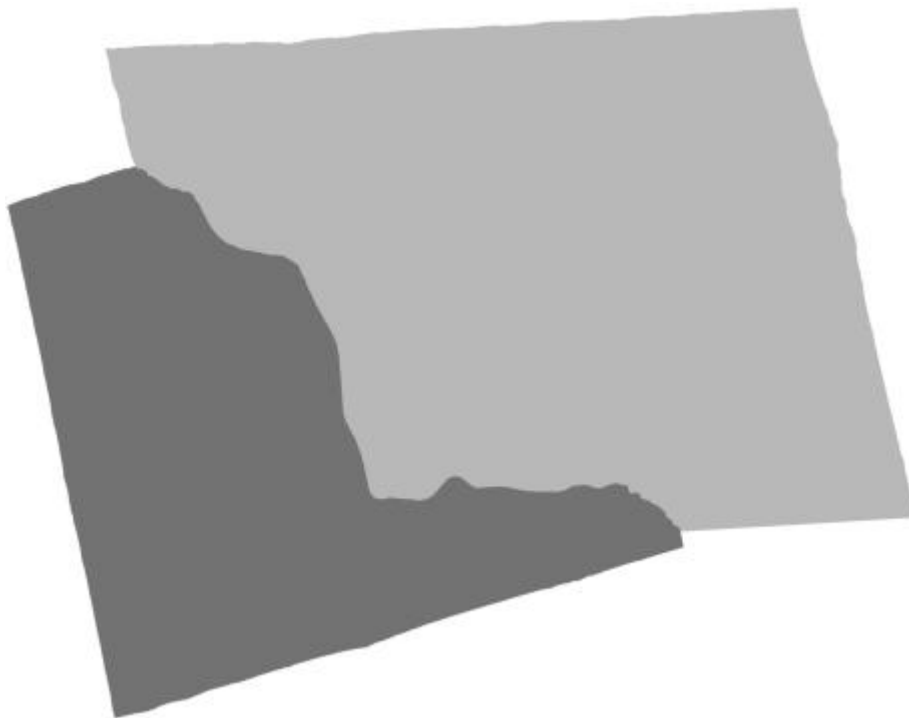


<그림 2-58> 산출된 입력영상 Mask

앞서 산출한 접합선 정보를 이용하여 입력영상 Mask를 아래와 같이 MaskMap으로 산출한다.

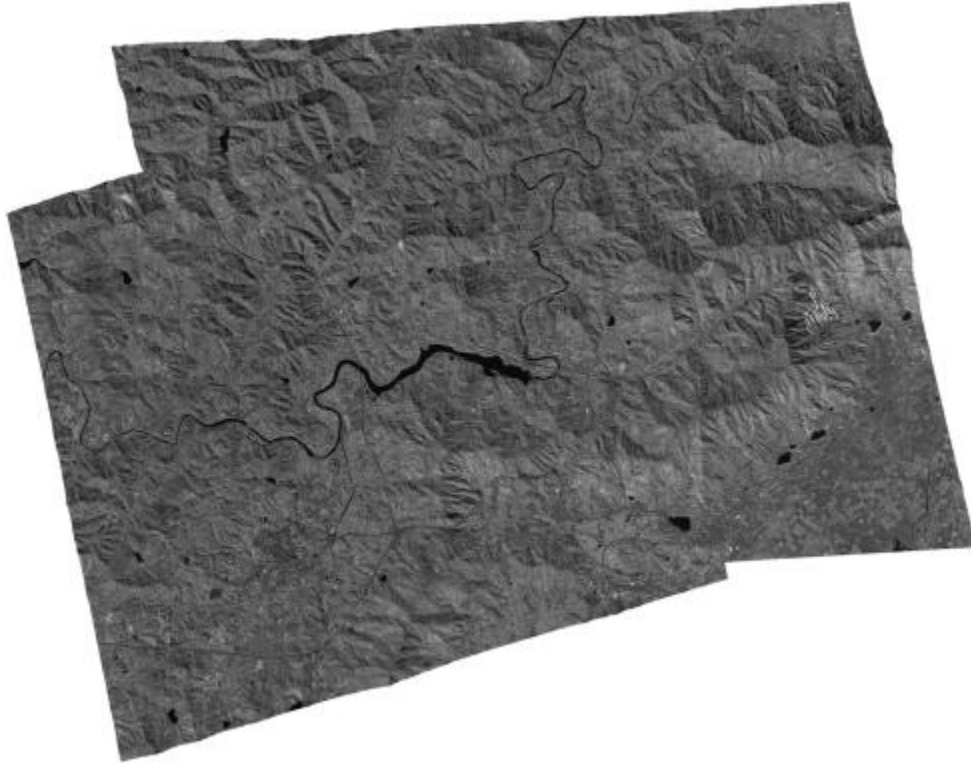


<그림 2-59> 입력된 접합선 정보



<그림 2-60> 산출된 MaskMap

MaskMap의 정보에 따라 모자이크 그리드에 각 입력영상의 보정된 화소값을 리샘플링하여 아래와 같이 모자이크 영상을 산출한다.



<그림 2-61> 영상 집성 결과

바. 결론

국토위성정보 산출물 가공기술 SW의 모자이크 기술 개발을 위해 기술조사 및 대표 알고리즘을 선정하고 다양한 실험을 통해 해당 모자이크 알고리즘의 성능을 분석하였다.

대상 지역별 접합선 추출 실험 및 상대 기하 강인성 실험 결과 Dijkstra 기반 모자이크 방안이 가장 우수한 성능을 보여주었다. 다만 전체 Scene 단위 접합선 추출 성능에서는 Dijkstra 기반 모자이크 방안 못지 않게 Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘으로 산출한 접합선의 성능이 우수한 것으로 판단된다. Dijkstra의 경우 화소값 뿐만 아니라 그래디언트(gradient) 값을 활용하여 영상의 선형 정보를 활용하여 접합선 추출이 가능하였고 Graph-Cut 기반 모자이크 알고리즘에서는 영상의 그리드 그래프 변환을 통해 화소 간 많은 상관성을 고려하여 높은 성능의 접합선을 추출하였다. 다만 그에 따라 연산량이 많아 처리시간이 많이 소요되고 과대추정이 발생하는 경우가 발생하였다.

따라서 Dijkstra 기반 접합선 추출 알고리즘을 최적 알고리즘으로 선정하였으며, Dijkstra 기반 알고리즘의 Edge, weight 산출법을 개선하여 우수한 성능의 접합선 추출 알고리즘을 개발하였다. 상위 vertex와 하위 vertex를 연결하는 edge의 수를 nEdge로 정의하고 nEdge 수를 기존 3에서 30으로 증가시켜 그래프의 구성을 증가시켰다. 이후 nEdge수의 증가로 인해 발생하는 접합점 간 불일치 문제를 해소하기 위해 weight 산출방안을 개선하였다. 최종적으로 개선된 Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘은 처리속도는 Graph-cut에 비해 훨씬 적게 소요되면서 우수한 성능의 접합선을 산출할 수 있었다.

다중영상 기반 접합선 추출 실험에서는 입력영상이 다중으로 입력되어도 각 중복영역에서 접합선 추출이 잘 수행됨을 확인하였다. 다만 현재 구현된 알고리즘에서는 중첩영역이 존재하는 모든 영상 페어 간 접합선 추출을 수행함으로 접합선이 비효율적으로 출력되는 것을 확인하였다. 따라서 Strip-wise 다중영상 기반 접합선 추출 방안을 통해 보다 효율적인 접합선 추출 방안을 개발하였다.

영상 화소값 보정은 크게 2단계로 나누어 수행한다. 먼저 입력영상을 모두 입력받고 각 영상의 Histogram을 분석하여 입력영상 간 전체적인 화소값을 보정하는 초기 화소값 보정을 수행하였다. 이후 초기 화소값 보정이 완료된 영상을 이용하여 접합선 인근의 접합영역에 대하여 추가적인 Alpha Bleding 기반 화소값 보정을 수행하였다. Alpha Blending을 통해 접합선 인근에 각 입력영상의 밝기값이 자연스럽게 변화하므로 접합선이 영상에서 최대한 식별되지 않도록 처리하였다.

영상 집성의 경우 영상 화소값 보정이 모두 완료된 이후 앞서 산출한 접합선에 따라 입력영상의 영역을 집성하여 단일 모자이크 영상으로 산출하고자 하였다. 이 때 MaskMap을 통해 입력영상의 기하정확도를 유지할 수 있도록 개발하였다.

2. 국토위성정보 산출물 무용영역 추출 및 영역복원 기술 개발

본 장에서는 국토위성정보 산출물 가공기술 SW의 무용 영역 추출 및 영역 복원 기술개발 내용을 기술한다. 가. 기술조사에서는 무용 영역 추출 기술과 무용 영역 복원 기술과 관련한 기존 기술 현황에 대한 조사 내용을 소개한다. 나. 무용 영역 추출 및 복원 기술 개발 방안에서는 가. 기술조사의 기술 현황 조사를 토대로 국토위성정보 산출물에 적합한 무용 영역 추출 및 복원 기술 대표 알고리즘 선정 및 구현 방안에 대해 각각 기술한다. 다. 무용 영역 추출 및 복원 실험에서는 무용 영역 추출을 위한 관심 영역(AOI) 영상 분할 및 관심 대상(TOI) 영역 검출 실험에 대해 기술하고 참조 영상 및 동일 영상 기반 관심 대상(TOI) 영역 보간 실험 결과를 소개한다.

가. 기술조사

무용 영역 추출 및 복원 알고리즘 구현에 앞서 무용 영역 추출을 위한 영상 분할, 무용 영역 검출 및 복원 관련 알고리즘을 조사하고 국토위성정보 산출물 생성에 적합한 알고리즘을 선별하고자 한다.

1) 무용 영역 추출 기술(영상 분할)

가) SLIC (Simple Linear Iterative Clustering)

SLIC 방법은 영상을 유사한 크기를 가지는 구간으로 구분한 후에 초기 화소를 정한 후에 각 화소에 대해 초기 화소와의 거리를 계산하여 성질이 비슷한 작은 영역(슈퍼픽셀)을 구하는 방법이다. SLIC 방법에서 초기 화소와 각 화소와의 거리는 영상의 컬러 정보와 공간 정보를 결합한 벡터 거리를 계산한다. 컬러 정보는 CIELAB 컬러 공간을 이용하여 3가지 컬러 속성 (l, a, b)값을 이용하고 거리 정보는 (x, y) 좌표값을 이용한다. 컬러 정보와 거리 정보를 하나의 벡터 C_i 로 다음과 같이 구성된다.


$$C_i = [l_i \ a_i \ b_i \ x_i \ y_i]^T$$

컬러 공간 거리 d_c , 공간 좌표 거리 d_s 그리고 이 두가지 정보를 결합한 거리 정보 D' 는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} d_c &= \sqrt{(l_j - l_i)^2 + (a_j - a_i)^2 + (b_j - b_i)^2} \\ d_s &= \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \\ D' &= \sqrt{\left(\frac{d_c}{N_c}\right)^2 + \left(\frac{d_s}{N_s}\right)^2} \end{aligned}$$

일정한 간격의 샘플링을 통해 초기 클러스터의 중심을 정한 후에 클러스터 중심을 그래디언트가 가장 낮은 위치로 이동시킨다. 각 클러스터 중심에 대해서 탐색 영역 내부에서 각 화소와 클러스터와의 거리를 계산하고 최소 거리가 되는 위치를 반복적으로 찾은 후에 새로운 클러스터의 중심 위치를 결정한다.

다음 그림은 SLIC (Simple Linear Iterative Clustering) 분할 결과 및 알고리즘을 보여준다. 분할 결과 영상에서 좌측 상단의 이미지에서 슈퍼픽셀의 크기는 100픽셀, 우측 하단의 이미지에서 슈퍼픽셀의 크기는 300픽셀로 설정했을 때의 분할 결과이다. 결과에서 볼 수 있듯이 슈퍼 픽셀의 크기는 영상 전체적으로 비슷한 크기를 유지하고 슈퍼 픽셀의 경계가 영상의 실제 그래디언트 크기 위치에 일대일로 대응하지는 않는다. 즉, 실제 영역 경계 정보가 없는 경우에도 일정한 간격으로 슈퍼 픽셀간 경계가 검출된다. 슈퍼 픽셀의 크기가 고정되기 때문에 슈퍼 픽셀 내부에 서로 다른 밝기값을 가지는 서브 영역이 존재해도 하나의 슈퍼 픽셀로 표현이 된다. SLIC 방식의 특징인 이러한 현상은 논문에서 제시한 단순한 영상과 달리 매우 다양한 크기와 형태, 색상을 가지는 위성 영상에서는 단점으로 작용할 수 있는 부분이다. 특히 무용 영역이 넓은 영역에 분포하는 경우, 무용 영역 내부가 유사한 밝기값을 가져도 강제적으로 거의 동일한 크기의 슈퍼픽셀을 다수 생성하는 문제가 발생할 가능성이 있다. 이러한 문제를 완화하기 위해 슈퍼픽셀을 일정한 크기 이상으로 설정하면 하나의 슈퍼픽셀 내부에 여러 서브 영역이 존재하여 무용 영역의 경계 부분 등에서 무용 영역 내부 및 외부 영역들이 하나의 슈퍼픽셀로 분할되는 문제가 발생할 가능성이 있다.



Algorithm 1 SLIC superpixel segmentation

```

/* Initialization */
Initialize cluster centers  $C_k = [l_k, a_k, b_k, x_k, y_k]^T$  by
sampling pixels at regular grid steps  $S$ .
Move cluster centers to the lowest gradient position in a
 $3 \times 3$  neighborhood.
Set label  $l(i) = -1$  for each pixel  $i$ .
Set distance  $d(i) = \infty$  for each pixel  $i$ .

repeat
  /* Assignment */
  for each cluster center  $C_k$  do
    for each pixel  $i$  in a  $2S \times 2S$  region around  $C_k$  do
      Compute the distance  $D$  between  $C_k$  and  $i$ .
      if  $D < d(i)$  then
        set  $d(i) = D$ 
        set  $l(i) = k$ 
      end if
    end for
  end for
  /* Update */
  Compute new cluster centers.
  Compute residual error  $E$ .
until  $E \leq \text{threshold}$ 

```

<그림 2-62> SLIC (Simple Linear Iterative Clustering) 분할 결과 및 알고리즘

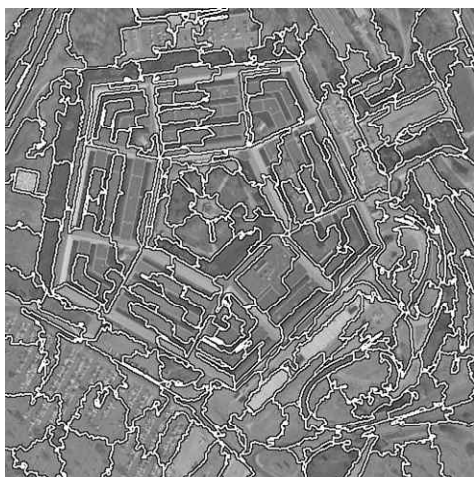
나) SLICO (zero parameter version of SLIC)

SLIC는 영상의 모든 슈퍼픽셀에 대해 사용자가 지정한 동일 compactness 매개변수를 사용한다. 영상 내부에서 특정 영역에서는 밝기값 변화가 별로 없지만 다른 영역에서는 질감이 높은 경우 SLIC는 밝기값 변화가 별로 없는 영역에서는 부드러운 일반 크기의 슈퍼픽셀을 생성하고 질감이 있는 영역에서 불규칙한 슈퍼픽셀을 생성한다. 이런 경우 각 영상에 적합한 매개변수를 선택하는 것은 어려운 문제이다. SLICO는 이 문제를 해결할 수 있는 방법으로 사용자는 compactness 매개변수를 설정하거나 다른 값을 시도할 필요가 없이 SLICO는 각 슈퍼픽셀에 대한 매개변수를 다르게 적응적으로 선택한다. 즉, 질감이 있는 영역과 질감이 없는 영역 모두에서 규칙적인 모양의 슈퍼픽셀을 생성한다.

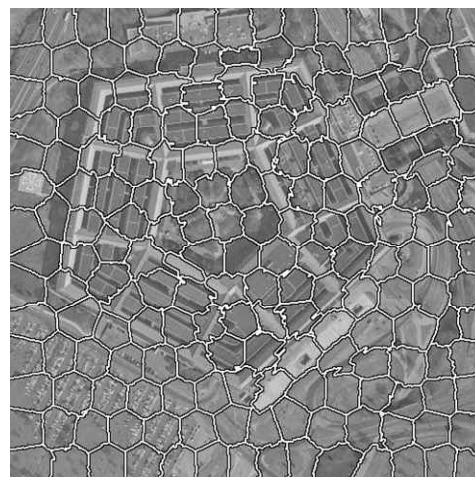
거리 정보 계산시 다음 식과 같이 첫 번째 단계에서만 정규화 상수가 사용되고 이후 과정에서는 이전 단계에서 얻어진 최대 공간 및 컬러 거리 (m_s, m_c)를 사용하여 SLIC에서 사용된 정규화 상수 (N_c, N_s)를 더 이상 사용하지 않는다.

$$D = \sqrt{\left(\frac{d_c}{m_c}\right)^2 + \left(\frac{d_s}{m_s}\right)^2}$$

다음 그림은 SLIC 방법과 SLICO 방법으로 항공 영상을 분할한 예를 보여준다. SLIC의 경우 영상의 에지 정보를 중심으로 슈퍼픽셀의 경계가 구성이 되나 여러 슈퍼픽셀 내부 영역에서 에지 정보가 관찰된다. 반면에 SLICO의 방법의 경우 슈퍼픽셀의 크기와 형태가 거의 유사하며 일부 슈퍼픽셀의 경우만 에지 정보와 슈퍼픽셀의 경계 정보가 일치하고 많은 슈퍼픽셀의 경계가 에지 정보와 일치하지는 않은 결과를 보인다.



SLIC



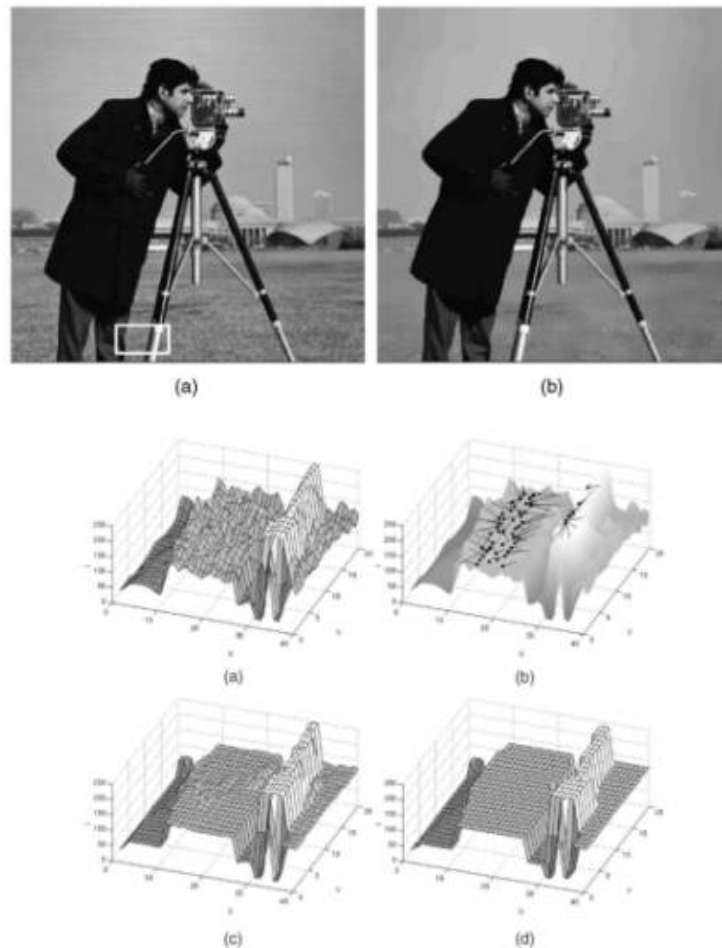
SLICO

<그림 2-63> SLIC와 SLICO 분할 결과

다) 평균 이동(Mean Shift) 영상 분할

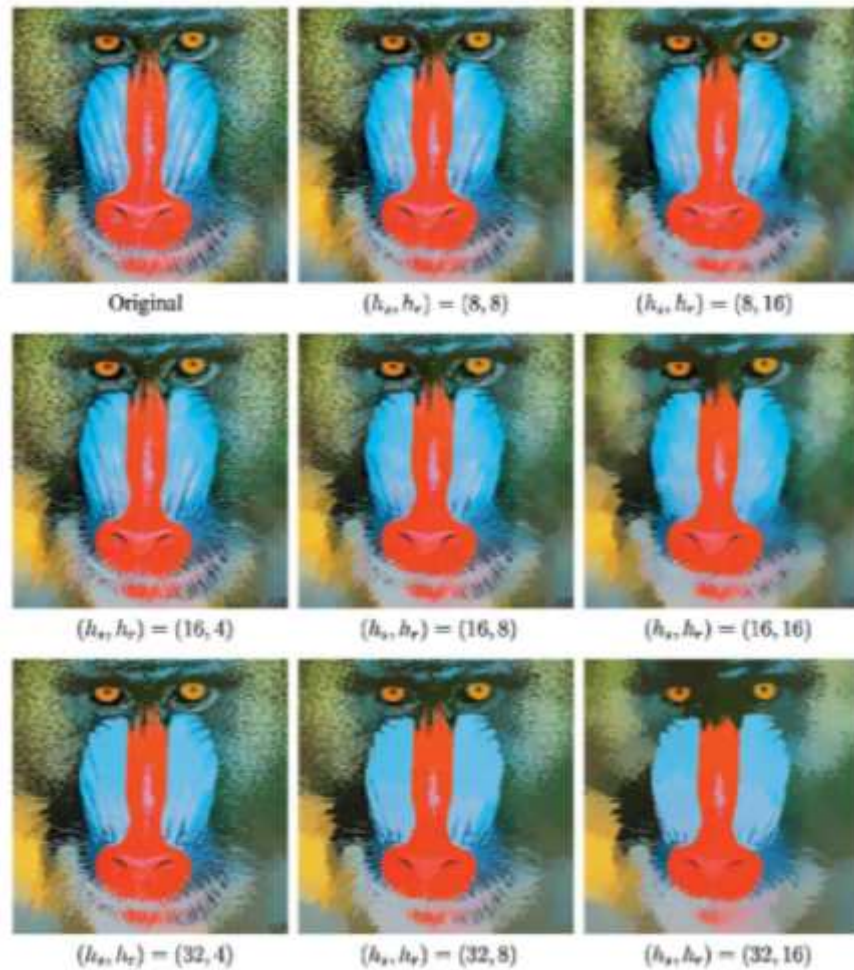
Mean Shift는 데이터 분포의 무게 중심을 찾는 방법으로서, 현재 위치에서 일정 거리 이내에 서 데이터가 밀집된 위치로 중심을 이동을 한다. 이 과정을 반복적으로 수행하여 데이터 분포의 최종 중심 위치를 찾는 방법이다. Mean Shift 알고리즘을 이용한 영상 분할은 다음과 같다. 영상 화소 x , 수렴점 z , 라벨 집합 L 이라 할 때 각 영상 화소 x 에 대해 mean shift 과정을 먼저 수행하고 수렴점을 저장한다. 공간적 거리 h_s 와 특징 벡터 거리 h_r 보다 작은 수렴점들을 그룹핑하여 클러스터를 확인하고 각 화소에 대해 라벨 L 을 할당한다. 추가적으로 공간 영역 내의 존재하는 화소가 임계값 M 보다 작으면 해당 영역은 삭제한다.

Mean Shift 영상 분할은 공간적 거리 h_s , 특징 벡터 거리 h_r , 영역 크기 M 의 세 가지 파라미터를 이용하여 영상 분할을 수행한다. 이들 파라미터는 영상의 종류에 따라 사용자가 적절한 값을 선택해야 한다. 다음 그림은 Mean Shift 영상 분할 실험 결과와 그 과정을 영상 일부 영역(흰색 사각형 영역)을 3차원적으로 시각화하여 보여준다. 공간적 거리와 특징 벡터 거리에 대한 값으로 $h_s = 8$, $h_r = 4$ 로 각각 선택되었다.

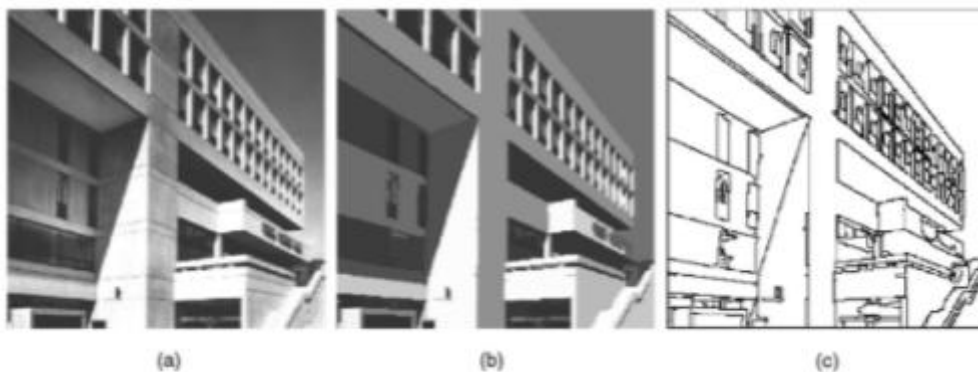


<그림 2-64> Mean Shift 영상 분할 과정 예시(Cameraman image의 흰색 사각형 영역에 대한 영상 분할 과정의 3차원 시각화)

다음의 그림은 Baloon 영상과 MIT 영상에 대한 Mean Shift 영상 분할 결과를 보여준다. 공간적 거리 h_s , 특징 벡터 거리 h_r 의 값이 커질수록 영상 분할 영역이 보다 넓어짐을 볼 수 있다. 사용자 원하는 영상 분할 결과를 얻기 위해서는 영상에 따라 사용자가 적절한 h_s , h_r 를 설정해주어야 한다.



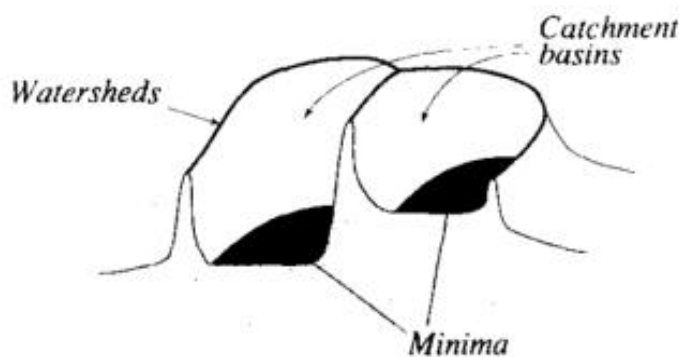
<그림 2-65> 평균 이동(Mean Shift) 영상 분할 예시 (Baloon 영상)



<그림 2-66> 평균 이동(Mean Shift) 영상 분할 예시 (MIT 영상)
(a)원본, (b)분할결과, (c)분할결과경계

라) 워터셰드(Watershed) 영상 분할

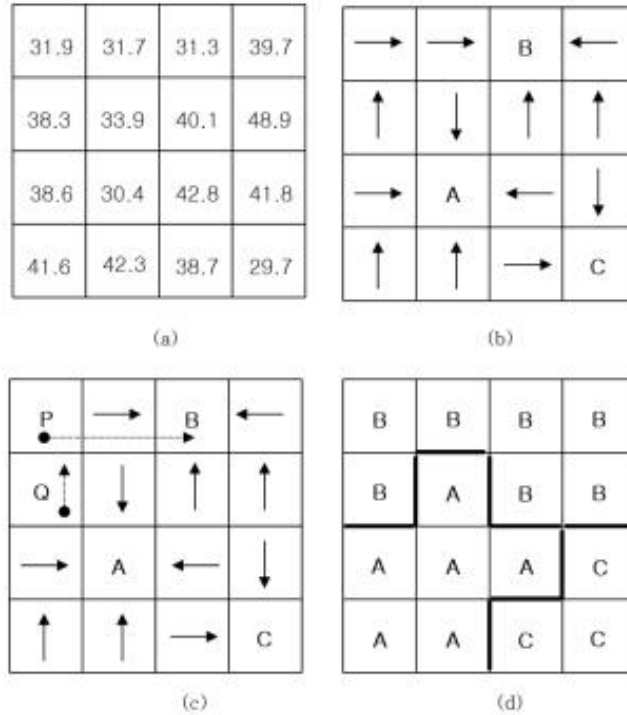
워터셰드 영상 분할 알고리즘은 영상을 능선(ridges)과 계곡(valleys)이 있는 지형적 풍경으로 간주하고 영상을 유역(catchment basins)으로 분할한다. 각 국부 최소값에 대해 유역은 가장 가까운 내리막 경로가 이 최소값에서 끝나는 모든 지점으로 구성된다. 워터셰드 변환을 통해 영상의 각 화소를 국부 최소값을 중심으로 라벨링된 영역으로 완전히 분해한다.



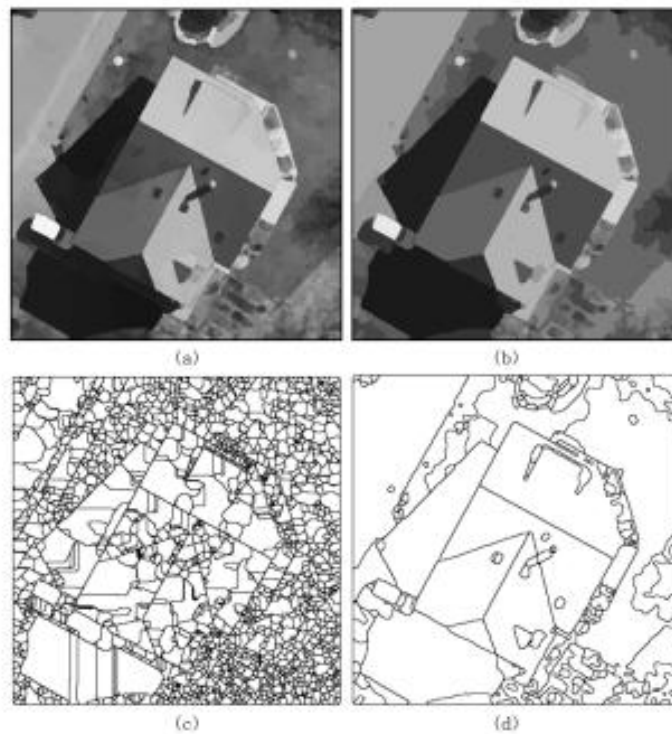
<그림 2-67> 워터셰드 영상 분할 기법 원리

워터셰드 영상 분할 알고리즘의 구현 방법은 다음과 같다. 먼저 영상에 포함된 잡음을 제거한 후에 영상의 그래디언트를 계산한다. 그래디언트 크기에 따라 국부 최소값과 유역으로 구분하게 되며 국부 최소값은 주변 화소들의 그래디언트 크기보다 작은 크기를 가지는 화소를 국부 최소값의 선정하여 라벨링을 한다. 이후 나머지 화소들은 주변 화소들의 그래디언트 크기를 비교하여 가장 작은 그래디언트 크기를 가지는 화소가 있는 방향을 따라 탐색을 진행하고 최종적으로 만나는 국부 최소값의 라벨을 할당한다.

워터셰드 영상 분할 알고리즘은 국부 영역 내에서의 그래디언트 크기를 기준으로 국부 최소값을 선정하므로 주변 화소의 그래디언트보다 미세하게 작은 경우에도 국부 최소값이 되어 분할 영역의 씨앗(seed) 점이 될 수 있으므로 미세하게 영역 간 밝기값 차이가 존재하는 경우에도 서로 구분되는 영역으로 분할이 가능한 특징이 있다. 이러한 특징은 과도하게 많은 분할 영역을 생성하는 문제를 야기하나 영상의 전처리 단계에서 영상을 부드럽게 만들어주는 평균값 필터링이나 미디언 필터링 등의 필터링 처리 과정을 통해 과도 분할을 적절하게 조절할 수 있다. (Ye and Lee, 2002)



<그림 2-68> 워터셰드 기반 영상 분할 기법의 영역 라벨링 과정
 (a)그레디언트 계산 (b)국부 최소값 선정 및 라벨링
 (c)방향탐색 (d)국부 최소값 라벨 할당



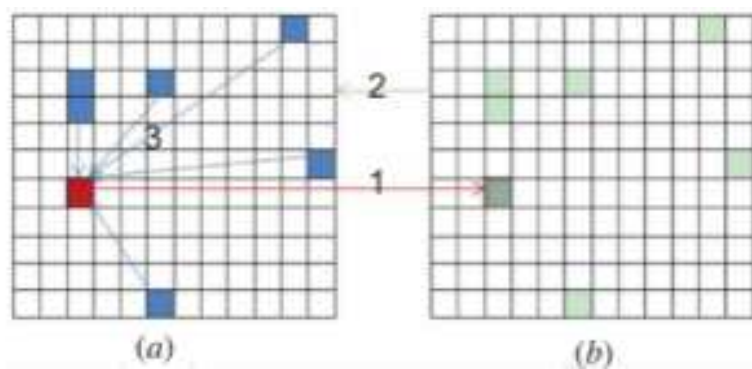
<그림 2-69> 워터셰드 기반 영상 분할 기법 예시
 (a)원본영상 (b)미디언 필터링 적용
 (c)원본영상 영상 분할 결과 (d)미디언 필터링 후 영상 분할 결과

2) 무용 영역 복원 기술

가) 분광 유사도 그룹(Spectral Similarity Group, SSG) 기반의 복원 (Suming Jin et al., 2013)

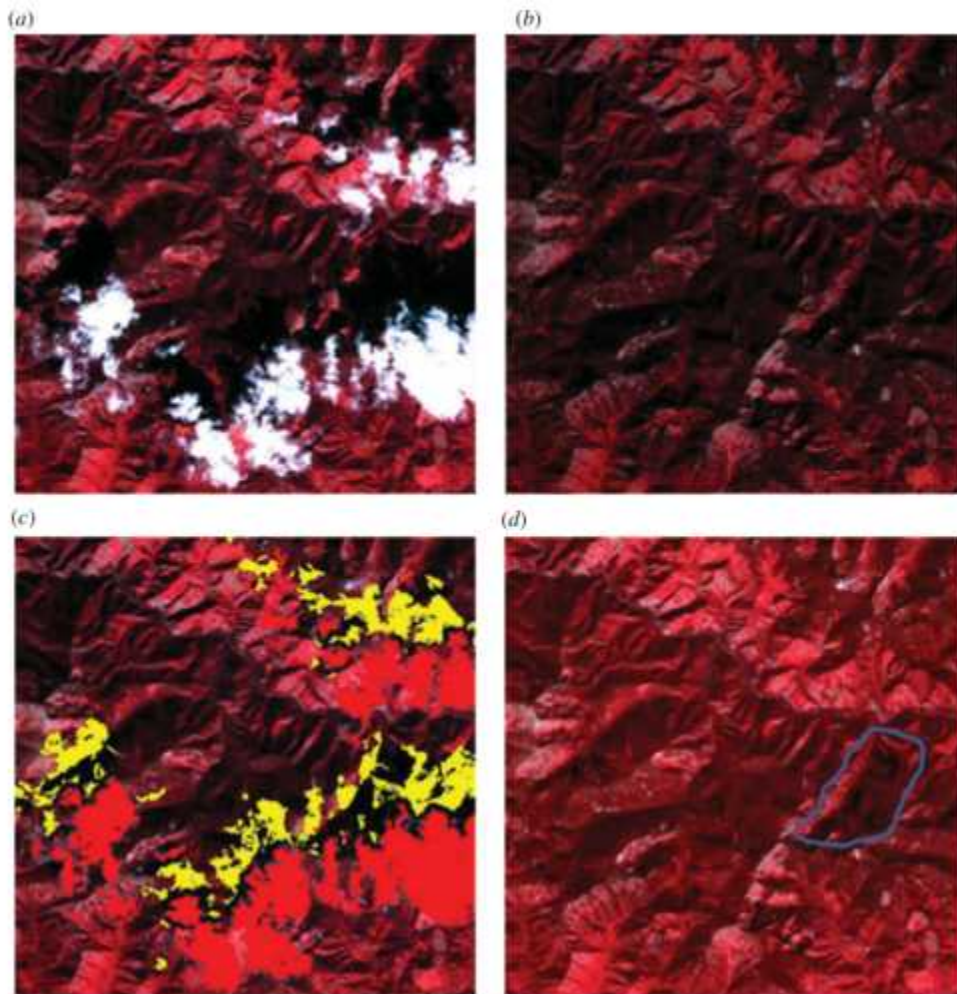
무용 영역의 대표적인 사례에 해당하는 구름과 구름에 의해 지면 위에 발생하는 그림자의 검출과 복원과 관련된 연구로 분광 유사도 그룹(Spectral Similarity Group, SSG)을 이용한 구름 및 그림자 복원에 대한 연구가 발표되었다(Jin et al., 2013). 이 방법은 다른 두 시기에 촬영된 Landsat ETM+ 영상의 blue 밴드, shortwave infrared 밴드, thermal infrared 밴드의 분광 정보를 이용하여 구름 및 그림자 영역을 검출하였다. 분광 유사도 그룹(Spectral Similarity Group, SSG)을 이용한 복원 기술은 참조 영상을 사용하여 타겟 영상 내에서 구름이 존재하지 않는 영역의 대체 화소들을 찾아서 구름 영역 내부의 화소 값을 대체하는 개념을 도입하였다.

다음 그림에서 왼쪽 타겟 영상에서 복원할 화소(적색)와 동일한 위치에 있는 참조 영상의 화소 밝기값과 유사한 화소들(녹색)을 찾은 후에 이들 화소들의 위치와 동일한 위치의 타겟 영상 화소들(청색)의 밝기값의 평균을 구하여 타겟 영상의 복원할 화소(적색)의 밝기값을 대체한다. 이 방법에서 타겟 영상의 청색 화소들과 참조 영상의 녹색 화소들(타겟 영상의 적색 화소와 동일 좌표에 위치하는 참조 영상 화소 제외)은 모두 무용 영역의 외부에 있는 화소들이다. 결국 이 방법은 타겟 영상의 무용 영역 내부의 복원할 화소의 밝기값과 유사한 무용 영역 외부의 화소 밝기값을 찾기 위하여 참조 영상에서 유사한 밝기값을 가지는 화소들을 이용하는 방법이다.



<그림 2-70> 분광 유사도 그룹(SSG) 기법 원리 (a)타겟영상, (b)참조영상

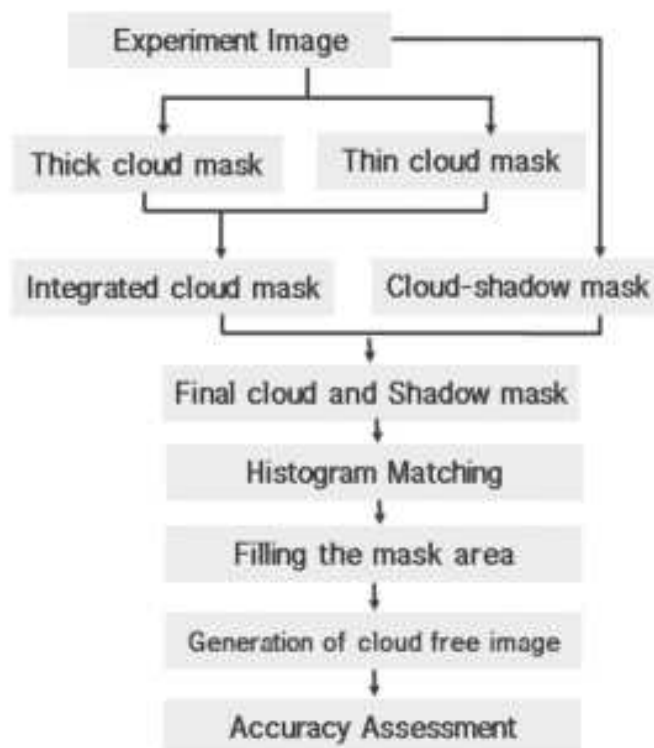
다음 그림은 Landsat-7 타겟 영상과 참조 영상을 이용하여 구름과 그림자를 복원한 결과를 보여준다. 그림 (c)의 적색과 노란색 화소는 복원에 사용된 구름 및 그림자 마스크를 나타내며 그림 (d)는 참조 영상을 이용하여 구름과 그림자를 복원한 결과를 보여준다.



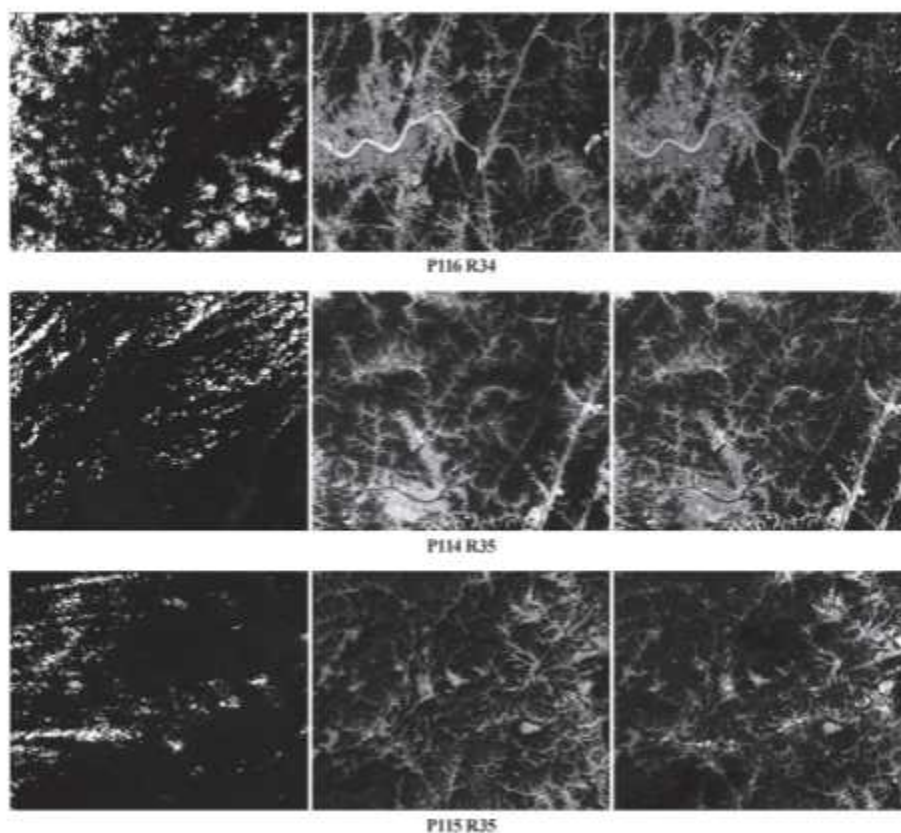
<그림 2-71> 분광 유사도 그룹(SSG) 기반의 복원 예시 (a)타겟영상, (b)참조영상, (c)타겟영상의 구름 및 그림자 마스크, (d)복원결과

나) 분광 유사도 그룹(Spectral Similarity Group, SSG) 기반의 복원 (Kim et al., 2013)

국내에서는 Kim et al. (2014)가 Landsat-8을 이용한 자동화된 구름 제거 영상 생성의 연구에 서 앞서 소개한 Jin et al.(2013)의 분광 유사도 그룹(SSG) 개념을 일부 변형 적용하여 마스킹된 좌 표를 제외한 모든 좌표를 대상으로 평균값을 이용하는 대신에 평균값의 양쪽으로 표준편차 내에 있는 좌표들의 평균값을 계산하여 마스킹된 영상을 복원하는 방법을 제시하였다. 이 방법에서는 다음 그림과 같이 구름과 구름 그림자를 Otsu 임계값 결정 방식을 통해 구름과 구름 그림자를 검출 한 후에 구름과 구름 그림자로 마스킹된 영역을 제외한 나머지 영역에 대해 히스토그램 정합을 수 행한 후에 SSG 복원 방식을 변형 적용하여 구름 지역을 복원하였다.



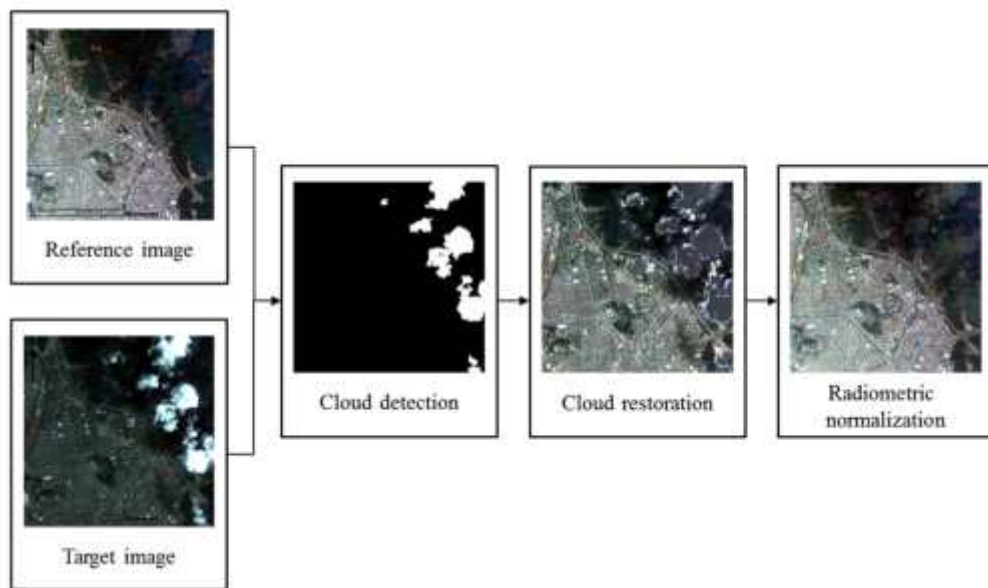
<그림 2-72> 분광 유사도 그룹(SSG) 기반의 복원 Flow Chart



<그림 2-73> 분광 유사도 그룹(SSG) 기반의 복원 결과
(좌: 타겟영상, 중: 참조영상, 우: 복원결과)

다) 분광 유사도 그룹(Spectral Similarity Group, SSG) 기반의 복원 (Han et al., 2017)

Han et al.(2017)은 앞서 소개한 Jin et al.(2013)의 방법을 고해상도 Kompsat-2 영상에 적용한 결과를 발표하였다. 이 연구에서는 구름 영역을 복원하기 위해서는 기본적으로 SSG 방법을 사용하였다. 복원된 구름 영역 이외의 작은 크기의 구름 영역이나 얇은 구름 영역 등을 자연스럽게 보이도록 만들기 위해서 방사 정규화(radiometric normaization)를 수행하는 방법으로 서수 순위(ordinal ranking) 개념을 이용하여 영상의 화소 밝기값을 서수 순위로 변환한 후에 타겟 영상과 참조 영상의 순위차를 계산하고 선형 상관 방법(linear correlation method)을 이용하여 해당 영역에 대한 복원을 수행하였다.

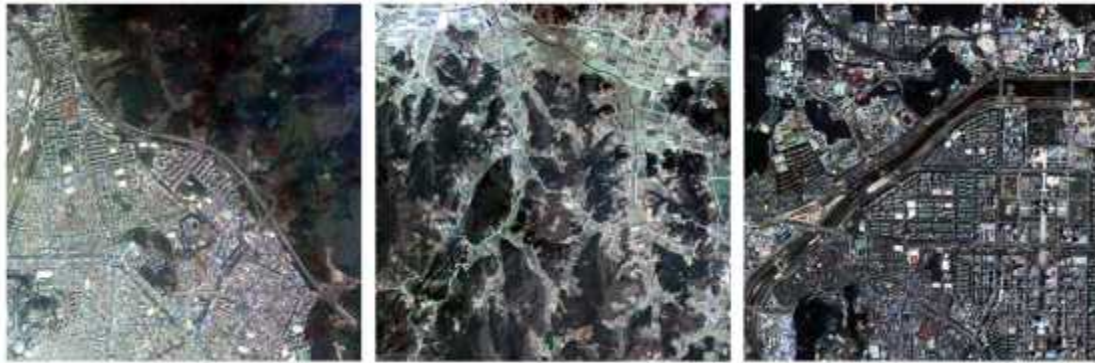


<그림 2-74> 해당 알고리즘의 순서도

다음 그림은 KOMPSAT-2 영상에서 검출한 구름 영역과 제안한 방법으로 구름 영역을 복원한 결과를 보여준다.



<그림 2-75> 제안된 방법의 의해 얻은 구름 감지 결과



<그림 2-76> 제안된 방법의 의해 얻은 영상 복원 결과

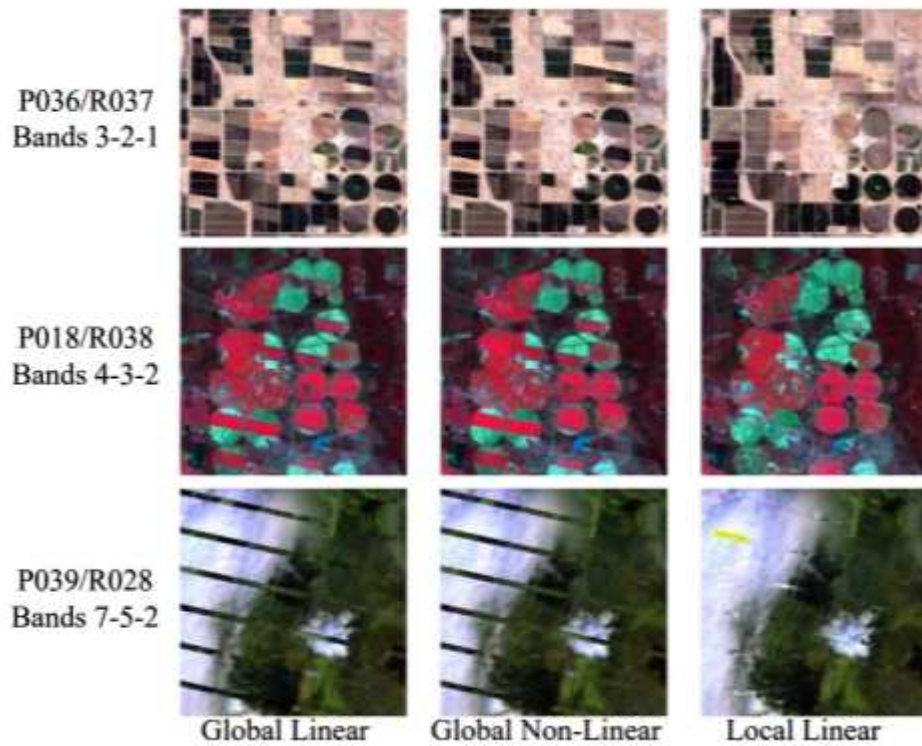
라) Localized Linear Histogram Match (LLHM)

무용 영역을 참조 영상의 정보를 이용하여 복원하는 대표적인 연구는 Landsat 7 ETM+ 영상의 scan line corrector(SLC) 메커니즘의 오류로 인해 다음 그림과 같이 발생한 줄무늬 형태의 갭 영역을 복원하는 주제로 많은 연구들이 수행되었다.



<그림 2-77> Landsat 7 ETM+ 영상 오류 예시

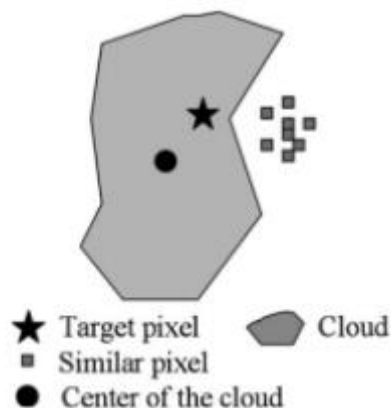
위 참고 논문에서는 갭이 존재하는 SLC-off (primary) 영상에 SLC-in(fill) 영상을 매칭시키는 radiometric adjustment 방법으로 히스토그램 매칭을 이용하고 세부적으로 3가지 적용 방법을 테스트 하였다. 첫 번째 방식은 Global Linear 방식으로 영상의 모든 화소들의 통계값을 이용하여 gain과 bias를 계산하였다. 두 번째 방식은 Global Nonlinear 방식으로 영상의 모든 화소들에 대한 히스토그램 정보를 이용하여 구분적 조정(piecewise adjustment)을 이용하는 방법, 마지막 방식은 Local Linear 방식으로 채우고자 하는 스캔 갭 화소 주변의 국부적인 이웃 영역에 속하는 영상 화소들 통계값을 이용하여 gain과 bias를 조정하는 방법이다. 실험 결과에 의하면 다음 그림에서도 볼 수 있듯이 Local Linear 방식의 조정 방법이 상대적으로 우수한 성능을 보였다.



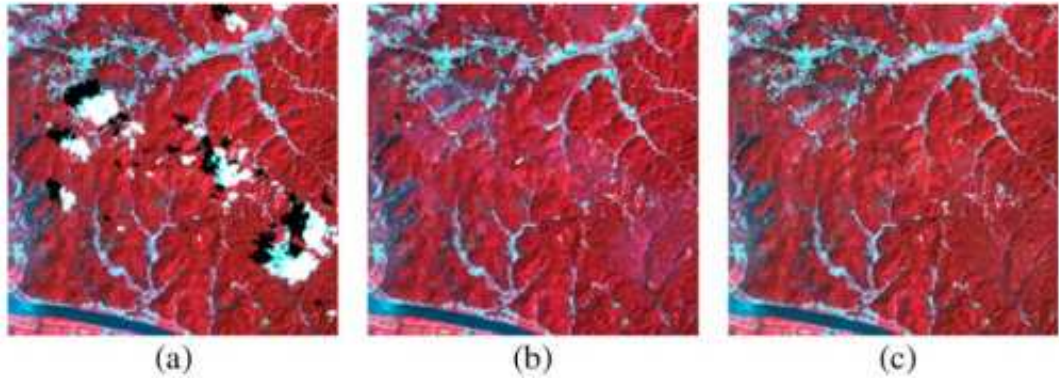
<그림 2-78> Localized Linear Histogram Match (LLHM) 기반 복원 결과

마) Modified Neighborhood Similar Pixel Interpolator (MNSPI)

MNSPI 방법은 Landsat 7 ETM+ 영상 스캔 갭 화소를 갭 주위의 화소들로 보간하는 방식(NSPI)을 수정하여 스캔 갭보다는 넓은 영역에 존재하는 구름을 복원하였다. 이 방법은 다음 그림과 같이 구름 내부 영역에서 구름의 경계에 가까운 화소들은 구름 경계 외부의 화소들과 분광적으로 유사한 특성을 가질 확률이 높고 반면에 구름 경계선에서 멀리 떨어진 구름 영역 중심에 가까운 화소들은 구름 경계선 외부의 화소들 보다는 구름이 없는 다른 시기에 촬영된 참조 영상의 분광 정보를 참조하는 것이 타당한 가정에 기초한다.



<그림 2-79> 유사 화소 선택 방안



<그림 2-80> MNSPI 기반 영역 복원 결과 예시 (a)타겟영상 (b)참조영상 (c)복원결과

바) Weighted Linear Regression (WLR)

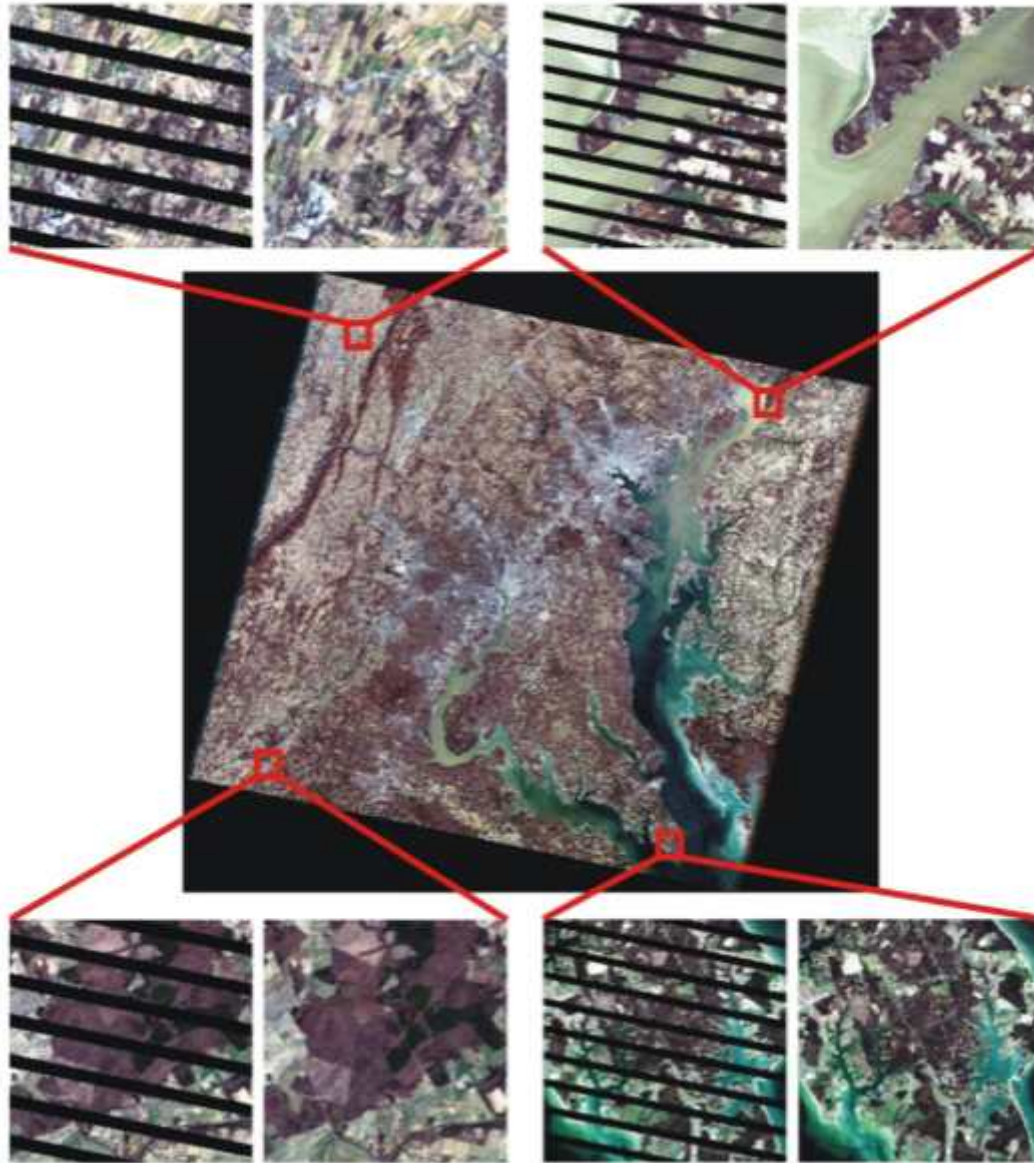
WLR 방법은 복원 화소가 국부적으로 유사한 화소(similar pixels)들을 이용하여 계산되는 선형 관계식으로부터 복원될 수 있다고 가정한다. 참조 영상의 타겟 화소를 중심으로 일정한 영역 내부에 존재하는 화소들 가운데 표준편차보다 작은 이웃 화소들을 유사한 화소들로 선택하고 이 선택된 화소들을 이용하여 선형 관계식의 계수를 계산한다.

$$p_t = a \cdot f_t + b$$

유사한 화소들이 기여하는 정도를 타겟 화소와의 분광적인 유사도와 공간적인 거리 두 가지 요소를 동시에 고려하여 하나의 식으로 통합한 합성 거리 지수(synthetic difference index)를 다음과 같이 계산한다. 유사한 화소들의 가중치 w_i 는 최종적으로 다음 식과 같이 주어진다. 다음 그림은 복원 전후의 영상을 확대한 서브 영상과 함께 보여준다.

$$D_i = |f_i - f_t + \alpha \cdot ((x_i - x_t)^2 + (y_i - y_t)^2)|,$$

$$w_i = (1/D_i) / \sum_{i=1}^N (1/D_i)$$

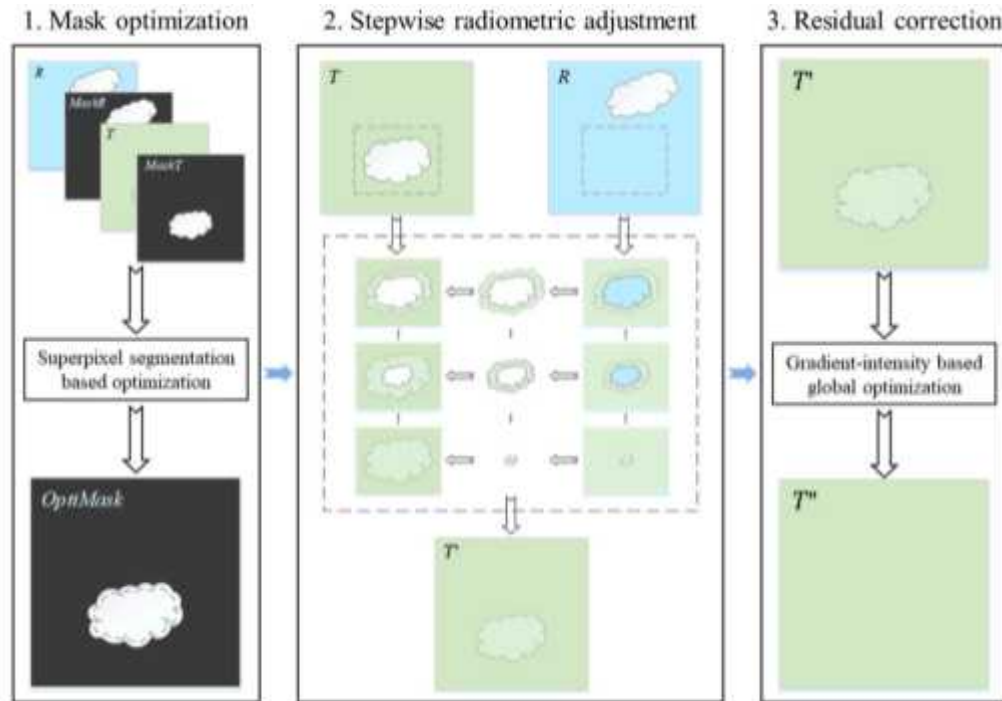


<그림 2-81> WLR 기반 영상 복원 전/후 비교

사) 순차적 국부 방사 조정 방식 (SRARC, Stepwise Radiometric Adjustment and Residual Correction)

고해상도 위성영상의 구름 제거 기술 관련 논문은 아직 많이 발표되고 있지 않으나, 최근 발표된 Shen et al.(2019)의 연구에서는 고해상도 위성영상의 구름 제거를 위해 단계적 방사 조정 및 잔차 보정의 방법이 제안되었다. 이 방법의 기본 아이디어는 참조 영상의 정보를 이용하여 방사 조정 후에 타겟 영상의 구름 영역을 복원하는 방법으로 1) 마스크 최적화(Mask optimization) 2) 단계적 방사 보정(Stepwise radiometric adjustment) 3) 잔차 보정(Residual correction)의 단계로 구성된다. 단계별 세부적인 내용은 다음과 같다.

- 단계 1: (마스크 최적화) 참조 영상과 타겟 영상이 분할 영상을 공통으로 사용하고 구름 영역의 경계선 정보를 추출하여 다음 단계인 단계적 방사 보정에 활용
- 단계 2: (단계적 방사 보정) 구름 영역을 포함한 윈도우를 생성한 후에 윈도우 내에서 구름 영역에 속하지 않는 화소들의 밝기값을 이용하여 구름 영역 경계선에서 구름 영역 내부로 단계적으로 형태학적 침식 연산을 적용하여 복원
- 단계 3: (차 보정) 단계적 방사 보정 후 남아 있는 보정 오류를 경계선 조건을 가지는 라플라스 방정식을 풀어서 제거



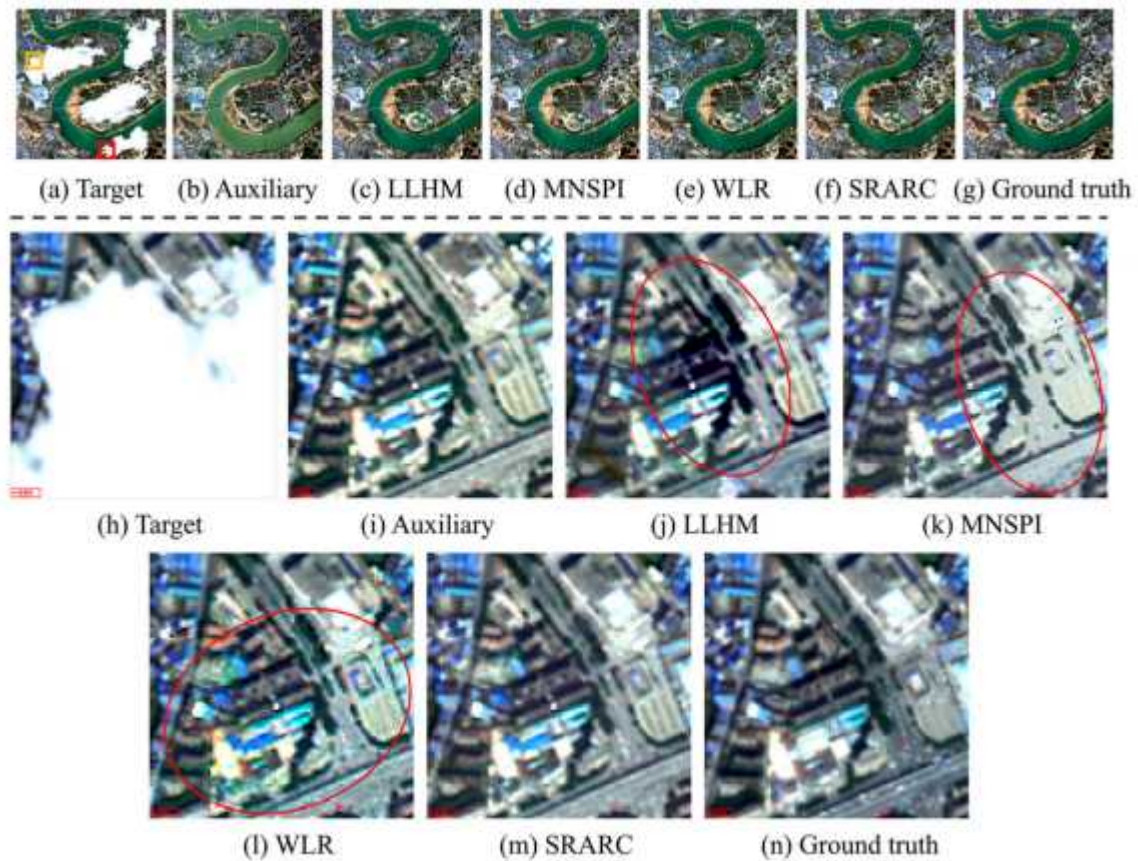
<그림 2-82> 제안된 구름 제거 방법의 순서도

이 방법의 핵심 아이디어는 참조 영상 정보를 이용하여 타겟 영상 구름 영역의 경계선부터 단계적으로 내부로 진행하면서 영역을 복원하는 방법을 사용한다는 점이다. 타겟 영상에서 구름 영역의 크기가 작으면 이 방법이 효과적이나 넓은 영역에 걸친 구름 영역의 경우에는 해당 논문에서도 지적한 바와 같이 구름 영역 경계선에서 내부로 복원을 단계적으로 진행하면서 오류가 전파될 가능성이 높아지는 문제가 존재한다.



<그림 2-83> 순차적 국부 방사 조정 방식(SRARC) 기반 대상 이미지의 구름 영역 복원 과정

이 논문에서는 앞서 소개한 Localized Linear Histogram Match (LLHM), Modified Neighborhood Similar Pixel Interpolator (MNSPI), Weighted Linear Regression (WLR) 방법과 순차적 국부 방사 조정 방식 (SRARC) 방법에 대한 정량적인 성능 비교를 수행했으며 순차적 국부 방사 조정 방식 이 나머지 방법들보다 우수한 성능을 보여주었다.



<그림 2-84> 복원 방법별 분석 결과

아) 기타 무용 영역 복원 관련 기술

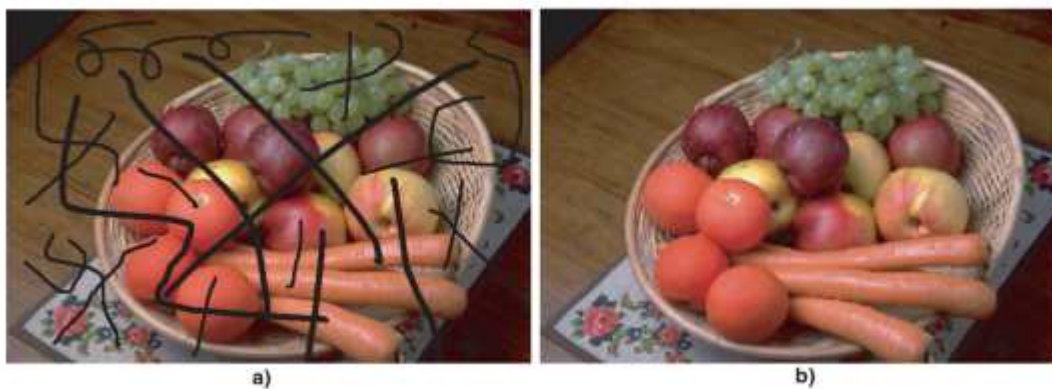
Lee et al.(2019)는 Landsat 8호 영상 취득 시 제공되는 QA밴드를 이용하여 구름 및 구름 그림자를 탐지 및 제거하고, STARFM(Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model) 알고리즘을 통해 제거된 영역의 영상 복원을 방법을 제안했다. STARFM 알고리즘은 공간 해상도가 높은 Landsat 영상과 시간해상도가 높은 MODIS 영상을 융합하여 원하는 날의 Landsat 영상을 제작하는 방법이다(Gao et al. 2006). 구름 검출 기법과 관련된 최근 연구 방법에 대해 Mahajan and Fataniya(2020)이 기존의 전통적인 연구 방법과 머신 러닝의 접근 방법으로 구분하여 정리하였으나 대부분 MODIS, Landsat 등 중저해상도 위성 영상 자료에 대한 내용을 담고 있다.

자) Inpainting 기반의 영상 복원 기술(동일 영상 기반 복원 기술)

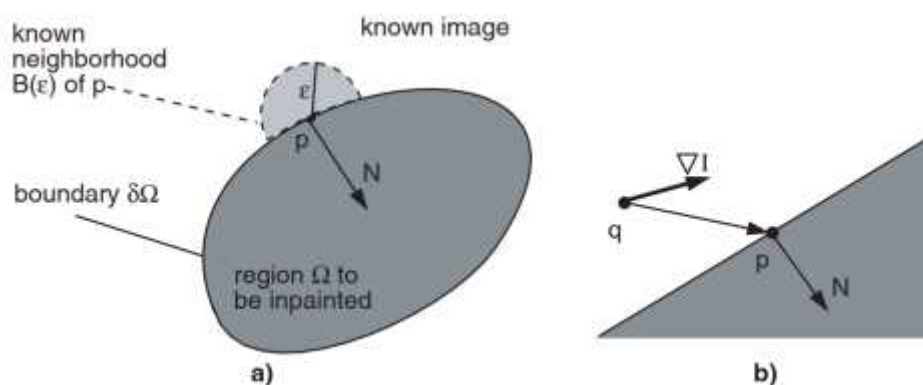
동일 영상 기반의 무용 영역 보간 기술은 영상의 특정 영역을 특정 영역 이외의 영상 정보를 이용하여 채우는 Inpainting 기반의 영상 복원과 관련이 있으며 Inpainting 기반의 대표적인 복원 기술은 다음과 같다.

(1) Alexandru Telea 복원 기술

이 방법은 먼저 인페인팅할 영역 경계 픽셀에서 시작하여 다음 경계 내부의 픽셀로 이동하면서 인페인팅할 각 픽셀을 배경 픽셀의 가중치 합으로 대체하고 더 가까운 픽셀과 경계 픽셀에 더 많은 가중치를 부여하는 방법으로 다음 그림은 인페인팅 결과와 원리를 보여준다.



<그림 2-85> Inpainting 결과



<그림 2-86> Inpainting 원리

(2) Navier-Stokes 복원 기술

이 방법은 보간 영역의 가장자리(알려진 영역)에서 시작하여 같은 밝기값을 가지는 화소들로 연결된 라인(isophoto line)을 따라 알려진 영역의 정보를 전파하는 방법으로 앞서 소개한 Alexandru Telea의 방법과 유사한 방법이다.



<그림 2-87> Inpainting 기법 적용 결과 예시

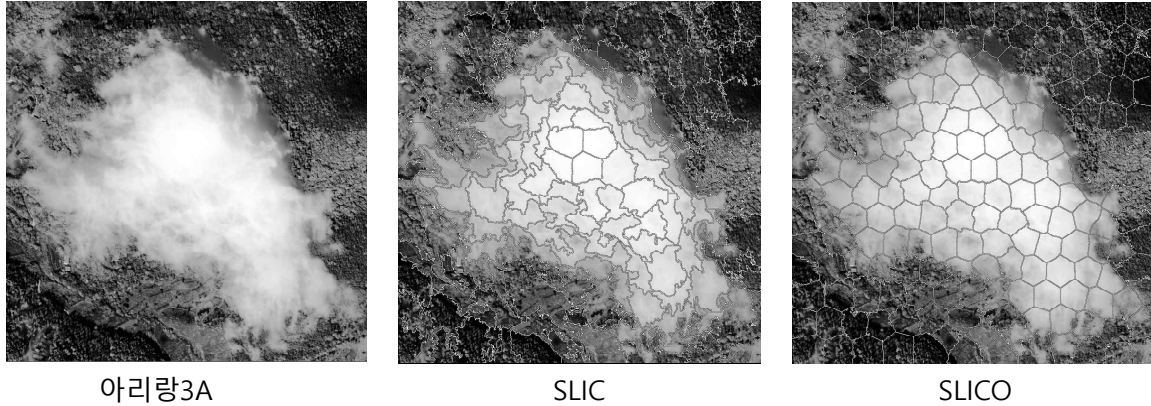
나. 무용 영역 추출 및 복원 기술 개발 방안

1) 무용 영역 추출 대표 알고리즘 선정 및 구현 방안

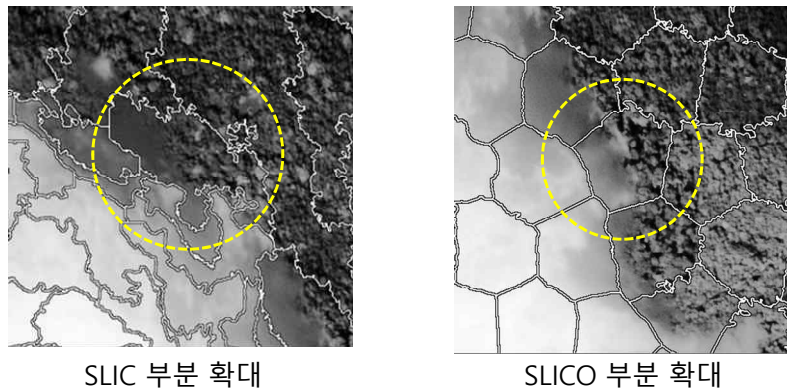
가) 무용 영역 추출 영상 분할 기존 알고리즘 평가 및 대표 알고리즘 선정

SLIC (Simple Linear Iterative Clustering) 기법과 SLICO (zero parameter version of SLIC)은 영상을 유사한 크기를 가지는 구간으로 구분한 후에 초기 화소를 정한 후에 각 화소에 대해 초기 화소와의 거리를 계산하여 성질이 비슷한 작은 영역(슈퍼픽셀)을 구하는 방식이다. 이 두 방법의 고해상도 위성 영상에의 적용 가능성을 보기 위해서 아리랑3A 영상에 대한 분할 결과는 다음 그림과 같다. 구름의 경계 근처에서 슈퍼픽셀 내부에는 옅은 구름뿐 아니라 지표의 산림 성분도 함께 혼재되어 있음을 볼 수 있다. 슈퍼픽셀의 개수 파라미터를 증가시켜서 슈퍼픽셀의 크기를 작게 조정할 수 있으나 옅은 구름 주위와 같이 그레디언트 크기가 작은 경우에는 슈퍼픽셀 내부에서 서로 다른 지표 성분이 여전히 혼재하게 될 가능성이 있고 영상이 너무 작은 슈퍼픽셀로 과분할(oversegmentation)되는 문제가 발생된다. 유사한 밝기값을 가지는 화소들은 가능한 하나의 분

할 영역으로 분할되는 것이 분할 이후 무용 영역의 관심 대상(ROI) 영역 검출에 유리하나 SLIC 및 SLICO 방법은 이러한 성질을 적용하는데 일부 한계가 있다.

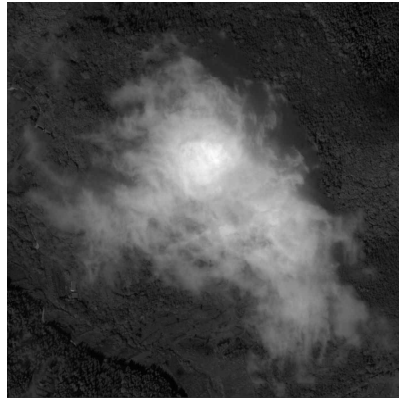


<그림 2-88> SLIC 및 SLICO 영상 분할 결과 비교

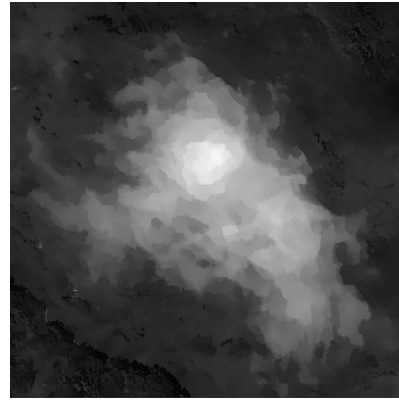


<그림 2-89> SLIC 및 SLICO 영상 분할 결과 비교(부분 확대)

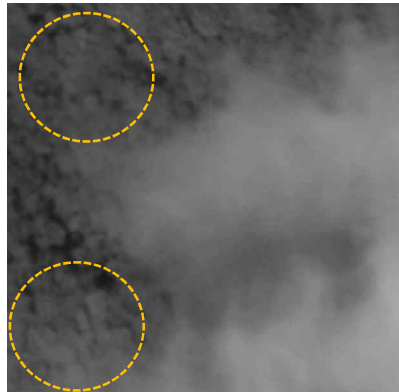
평균 이동(Mean Shift) 영상 분할은 공간적 거리 및 특징 벡터 거리 파라미터(h_s, h_r)를 영상에 따라 사용자가 설정해야 하며 적절한 영상 분할 결과를 얻을 수 있는 파라미터를 찾기가 쉽지 않다. 앞서 기술조사에서 기존 논문의 실험 결과에서도 볼 수 있듯이 파라미터 값을 적절한 값보다 크게 설정하면 분할 결과 영상에서 블러링 현상이 관찰된다. 이러한 현상은 다음 그림과 같이 아리랑3A 영상을 평균 이동 영상 분할 방법으로 분할한 결과 영상에서도 관찰된다. 분할 영상을 전체적으로 볼 때 적절하게 영상이 분할된 것으로 보이나 분할 결과 영상에서 객체 경계선 정보가 블러링된 현상이 관찰된다.



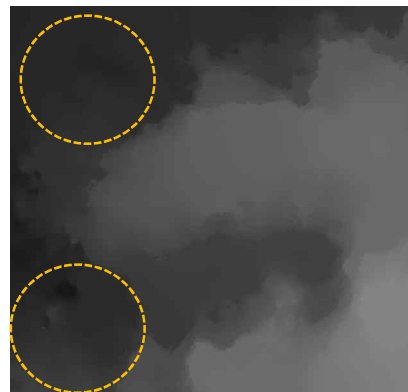
원영상



평균 이동 영상 분할



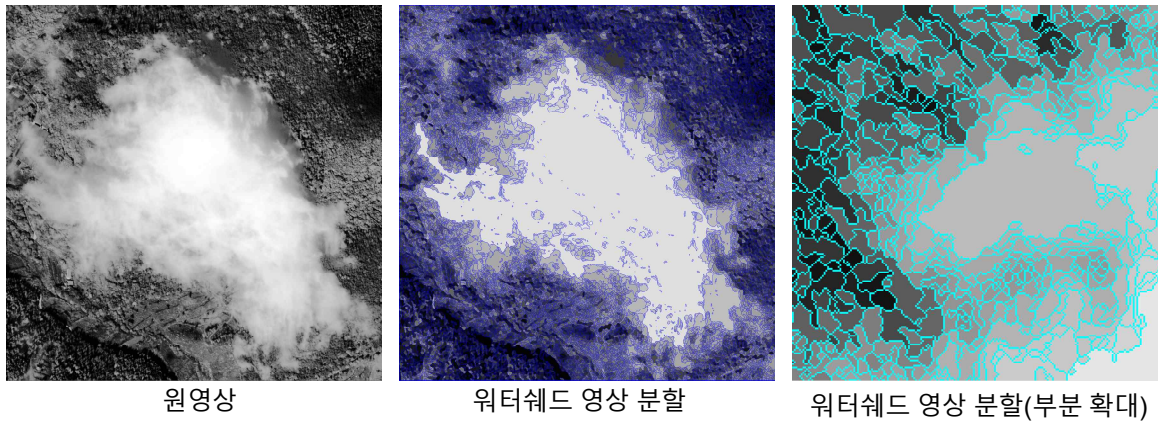
원영상(부분 확대)



평균 이동 영상 분할(부분 확대)

<그림 2-90> 평균 이동(Mean Shift) 영상 분할 결과 및 부분 확대

워터셰드(Watershed) 영상 분할은 그래디언트가 인접한 이웃 화소들보다 작은 화소를 영역의 씨앗(seed)으로 삼아 주변 화소들로 확산시키는 방식을 이용하기 때문에 그래디언트가 이웃 화소들보다 미세하게 작은 화소도 씨앗 화소로 선택될 수 있기 때문에 영역 경계선에서의 미세한 밝기 변화 차이도 감지할 수 있는 위성영상의 분할에 매우 적합한 특성을 가진다. 다음 그림은 워터셰드 영상 분할 결과 평균 이동 분할 결과를 비교한 그림으로 워터셰드 영상 분할 결과에서는 무용 영역(구름)에 속하는 유사한 밝기값을 가지는 화소들은 넓은 영역에 걸쳐서 하나의 영역으로 분할이 되며 무용 영역 주변의 경계선에서의 객체 경계선의 그래디언트가 작은 객체들도 적절한 크기로 분할되었음을 볼 수 있다.



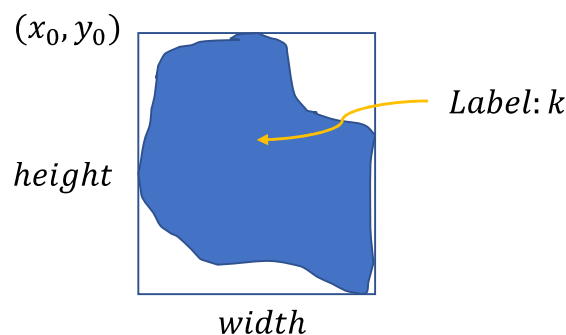
<그림 2-91> 워터셰드 영상 분할 결과 및 부분 확대

앞에서 살펴본 영상 분할 알고리즘들의 분석 결과를 토대로 고해상도 위성영상의 미세한 영역 간 밝기값 차이를 식별할 수 있고 유사한 밝기값의 넓은 분포도 하나의 영역으로 분할할 수 있는 워터셰드 영상 분할 알고리즘이 국토위성정보 산출물 생성을 위한 무용 영역 검출에 적합한 영상 분할 알고리즘이라 판단된다. 한편, 워터셰드 기법은 영역 기반의 영상 분할 방법들 가운데 대표적인 방법으로 객체 기반의 영상 분류 분야를 포함하여 여러 분야의 영상 분할 기법으로 널리 활용되고 있다. 원격탐사 영상 객체 분석의 대표적인 소프트웨어 ENVI Feature Extraction에서 영상 객체 분류를 위한 영상 분할 기법으로 워터셰드(watershed) 알고리즘을 채택하고 있고 대표적인 범용 자료 분석 및 처리 소프트웨어인 MATLAB의 영상 처리 모듈에서 워터셰드(watershed) 알고리즘 기능을 제공하고 있다.

나) 무용 영역 추출 알고리즘 구현 방안

(1) 분할 영역 라벨링 및 영역 정보 구축

사용자가 관심 대상(ROI) 영역을 선정할 수 있도록 다음 그림과 같이 분할된 영상의 각 영역 라벨 정보와 분할 영역을 포함하는 박스 정보(Top-Left 좌표, height, width)에 대한 자료를 구축한다.



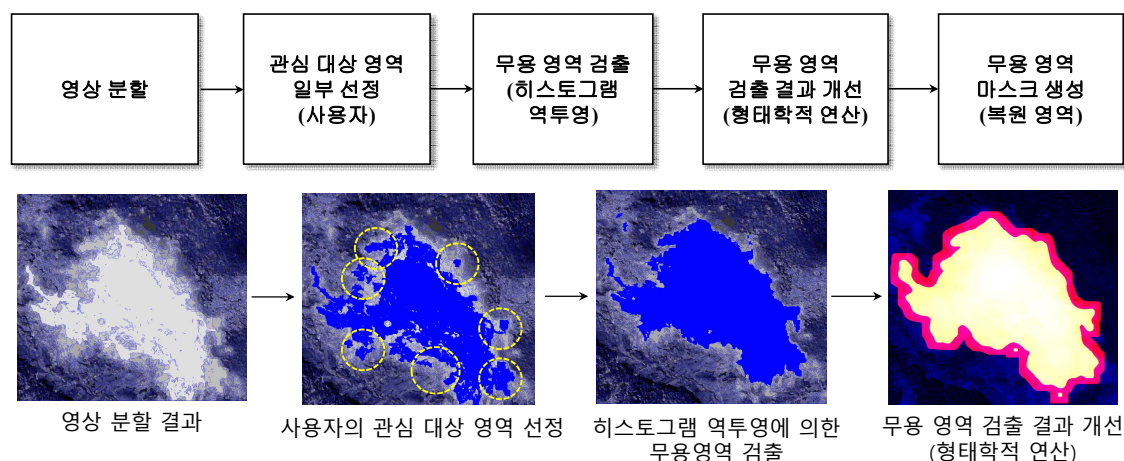
<그림 2-92> 분할 영역의 라벨 및 박스 정보

(2) 사용자의 관심 대상(TOI) 영역 선정

사용자가 관심 대상 영역을 선정하는 과정은 마우스에 의한 영역 선택, 선택된 영역의 화면 도 시, 선택된 영역 정보 저장의 과정으로 이루어진다. 사용자가 마우스로 분할 영역을 선택하면 클릭 된 마우스 커서의 위치에 해당하는 화소의 라벨을 읽고, 분할 영역 박스 내부 영역에서 선택된 라벨 과 같은 화소들을 탐색하여 특정 컬러의 색상으로 표현된다.

(3) 무용 영역의 반자동 검출

사용자가 선택한 일부 영역의 화소 정보를 이용하여 전체 무용 영역을 자동으로 결정하고 이후 무용영역의 검출 결과를 개선하기 위하여 형태학적 연산의 후처리 과정을 적용한다. 개선된 무용 영역 검출 결과는 이후 무용 영역 복원을 위한 마스크 영역으로 사용된다.

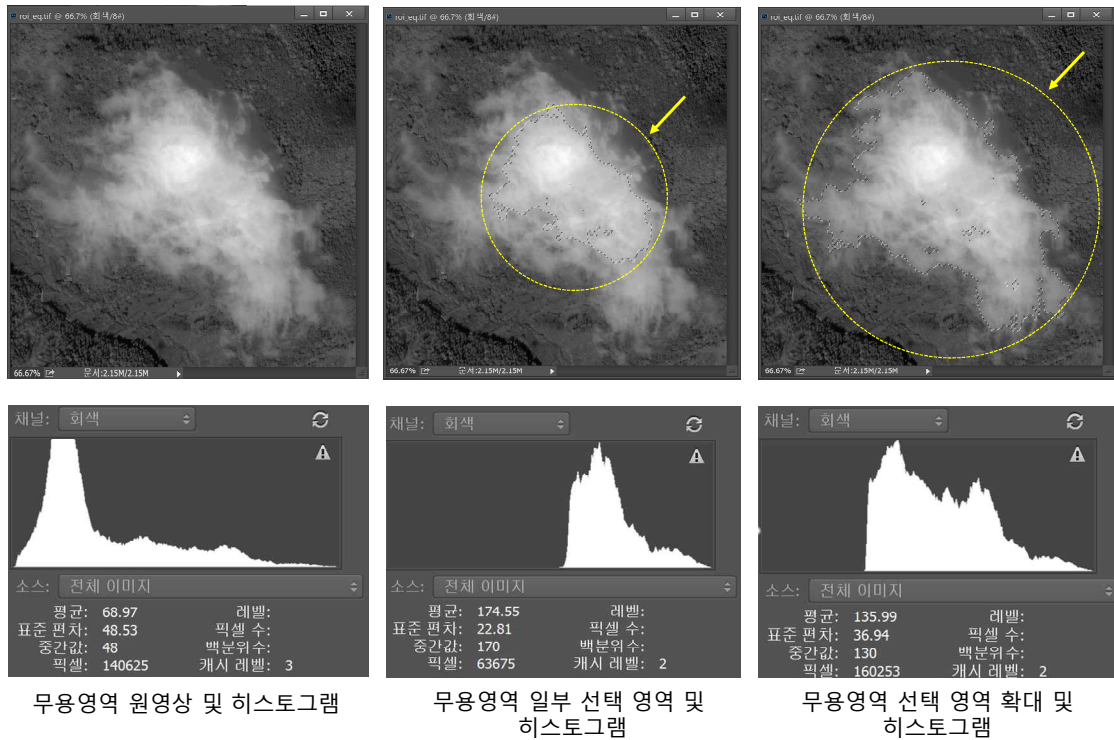


<그림 2-93> 무용 영역 반자동 선택 과정

(4) 관심 대상 영역 선택에 따른 히스토그램 변화

일반적인 감독 분류 방식의 경우에는 특정 클래스를 나타내는 대표적인 샘플 영역을 선택하여 훈련 집합(training set)을 구성한 후에 훈련 집합의 통계적인 특성에 기초하여 영상 화소들을 분류한다. 대표적인 분류 방식 중 하나인 최대우도분류(Maximum Likelihood Classification) 방식과 같이 훈련 집합의 통계적인 값을 이용하는 경우, 확률 함수가 정규확률밀도함수에 가까운 분포를 가정한다. 그러나 무용 영역과 같이 특정한 분광값이 우세한 경우에는 무용 영역에서 추출한 샘플들이 정규확률밀도함수의 형태보다는 특정 분광값 중심으로 화소들의 분포가 치우칠 가능성이 높기 때문에 관심 대상 영역 분광값의 평균, 표준편차를 이용하여 무용 영역의 전체 화소들을 검출하는 방식은 적절하지 않다.

다음 그림은 무용 영역 선택에 따른 히스토그램의 변화를 보여준다. 무용 영역의 일부 선택 영역에 대한 히스토그램과 무용 영역의 선택 영역을 확대한 경우의 히스토그램 형태를 보여주며 정규분포 형태와는 상이하다. 히스토그램의 시작 밝기값은 히스토그램 그래프에서 식별이 용이하고 시작 밝기값 이후 최대 밝기값에 이르기까지 다양한 범위 내에서 화소 밝기값이 존재한다. 무용 영역의 경계 부분에 위치하는 영역들을 추가적으로 선택하여도 히스토그램의 형태는 시작 밝기값 부근의 화소수가 증가하고 히스토그램의 전체 형태는 크게 달라지지 않는다.



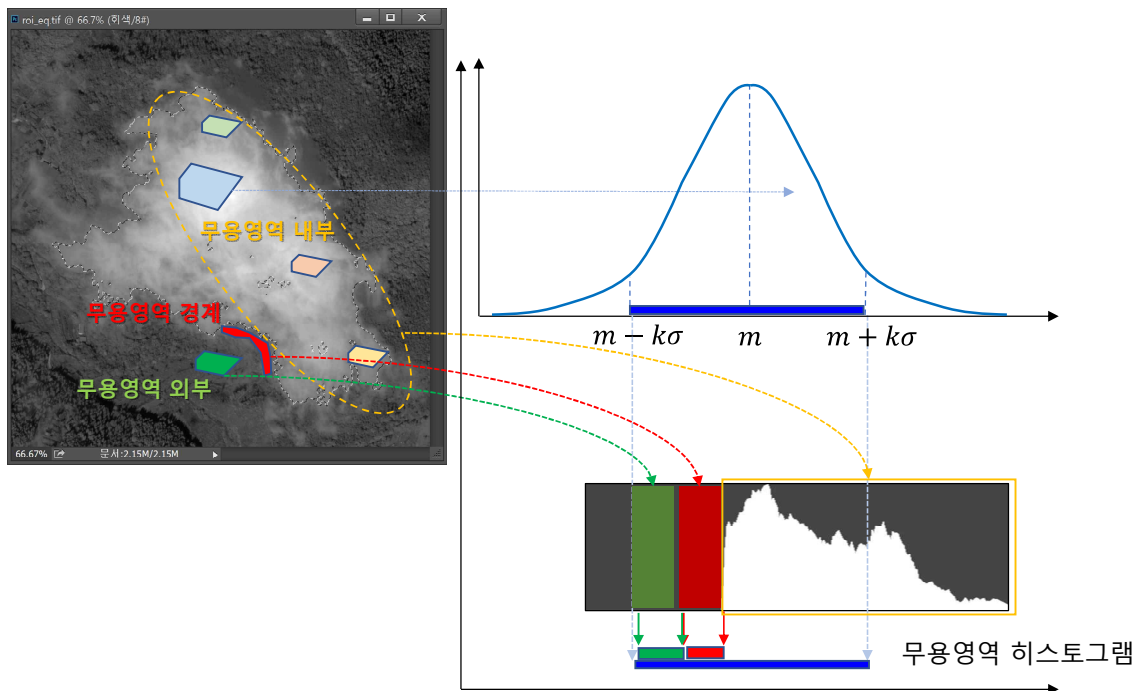
<그림 2-94> 관심 대상 영역 선택에 따른 히스토그램 변화 예시

(5) 평균 및 표준편차를 이용한 무용 영역 선택의 문제점

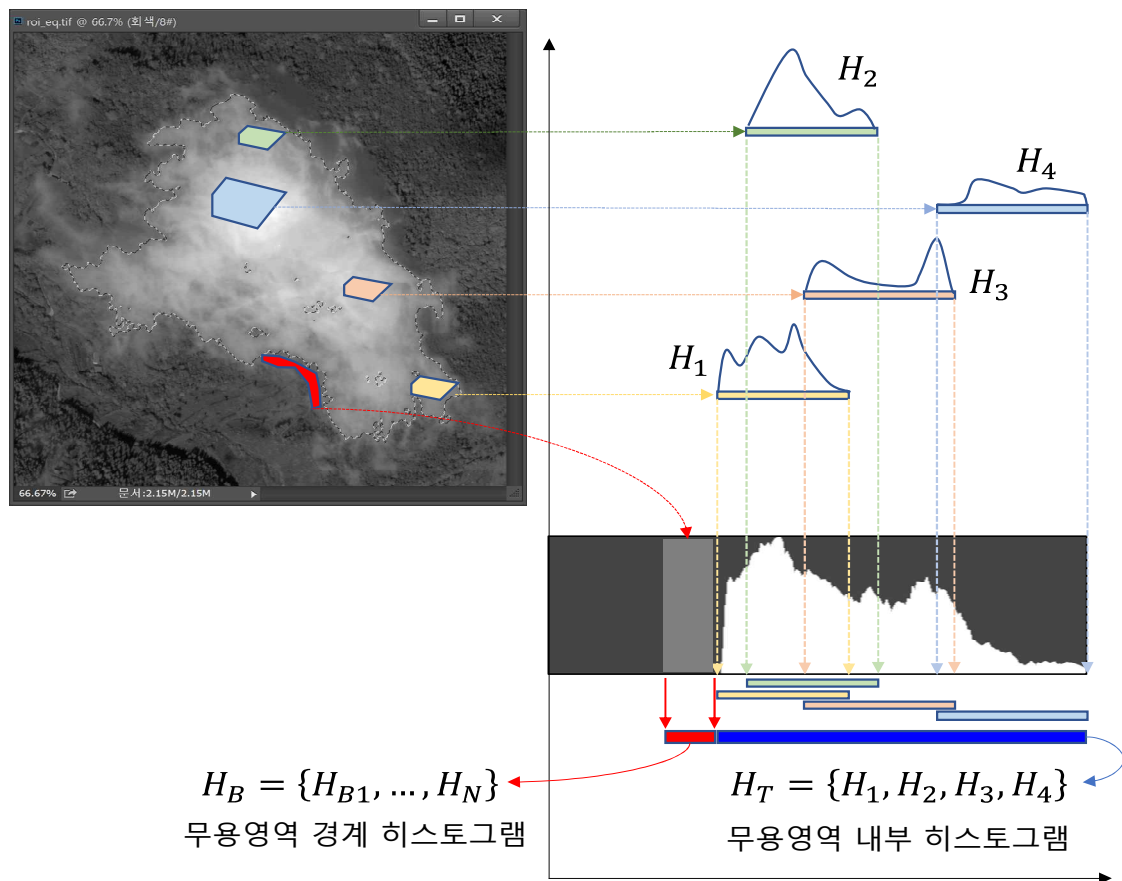
선택된 일부 관심 영역 화소들을 밝기값 평균(m) 및 표준편차(σ)를 이용하여 일정한 밝기값 범위($m - k\sigma$ 와 $m + k\sigma$ 사이)에 속하는 화소들을 무용 영역으로 결정하게 되면 무용 영역 내부의 화소 뿐 아니라 무용 영역 외부에 속하는 화소들(다음 그림의 녹색 영역 화소들)까지 무용 영역으로 결정하게 될 가능성이 높다. 한편, 무용 영역에 속하지만 화소 밝기값이 $m + k\sigma$ 보다 큰 경우에는 무용 영역 화소가 아닌 것으로 결정할 가능성이 높다. 따라서 사용자가 선택한 일부 무용 영역 통계적 인 정보(평균 및 표준편차)에 기초하여 전체 무용 영역의 밝기값 범위를 결정하면 무용 영역이 일부 배제되거나 일부 무용 영역이 아닌 화소가 무용 영역으로 검출되는 문제가 발생된다.

(6) 히스토그램 역투영에 의한 무용 영역 선택

히스토그램 역투영은 사용자에게 의해 선택된 일부 무용 영역의 히스토그램을 확률값으로 변환한 후에 전체 영상의 각 화소가 무용 영역의 히스토그램 기반 확률값에 비추어 얼마나 무용 영역과 유사한지를 확률적으로 분석한다. 반면 평균 및 표준편차를 이용한 방식의 경우 사용자가 선택하지 않은 밝기값 범위의 화소도 무용 영역 화소로 검출되는 문제가 발생할 수 있으나, 히스토그램 역투영의 경우 사용자가 선택한 무용 영역에 속하는 화소의 밝기값은 히스토그램 정규화를 통해 모두 확률로 변환되고 전체 밝기값 범위 중 확률이 상대적으로 높거나 낮을 수 있으나 일정한 확률을 가진다. 비록 낮은 확률을 가지는 밝기값이라 하더라도 사용자가 무용 영역으로 선택한 샘플에 속하기 때문에 해당 밝기값에 해당하는 화소는 무용 영역으로 판단할 상당한 근거를 가지게 된다.



<그림 2-95> 평균 및 표준편차를 이용한 무용 영역 선택의 문제점



<그림 2-96> 히스토그램 역투영에 의한 무용 영역 선택

위 그림은 히스토그램 역투영에 의한 무용 영역 선택 과정을 보여준다. 선택된 각 무용 영역의 히스토그램 $\{H_1, H_2, H_3, H_4\}$ 은 모두 무용 영역 내부의 히스토그램 $H_T = \{H_1, H_2, H_3, H_4\}$ 의 일부를 구성한다. 특히, 히스토그램 H_1 의 최저 밝기값은 동시에 전체 히스토그램 H_T 의 최저 밝기값에 해당된다. 사용자에게 의해 선택된 일부 무용 영역들의 히스토그램 $\{H_1, H_2, H_3, H_4\}$ 의 밝기값 범위가 최저 밝기값 이상의 밝기값 범위를 모두 포함하면 히스토그램 H_T 의 최저 밝기값 이상의 밝기값은 0보다 큰 확률값을 가지게 된다.

히스토그램 H_T 의 최저 밝기값보다 작은 경우(무용 영역 경계 히스토그램)는 무용 영역의 가장 자리에 속하는 화소 밝기값에 대응되며 사용자가 주의 깊게 경계 부근의 영역을 선택하여 히스토그램에 포함시킬 수 있으나 보다 손쉬운 방법으로 무용 영역 내부 히스토그램을 역투영하여 무용 영역을 검출하고 형태학적 연산을 통해 무용 영역의 경계를 확장하여 해당 화소들을 포함하는 방법을 적용한다.

2) 무용 영역 복원 대표 알고리즘 선정 및 구현 방안

가) 무용 영역 복원 기존 알고리즘 평가 및 대표 알고리즘 선정

앞서 기술한 기술조사에서 소개한 분광 유사도 그룹 기반의 복원 기술은 참조 영상을 사용하여 타겟 영상 내에서 구름이 존재하지 않는 영역의 대체 화소들을 찾아서 구름 영역 내부의 화소 값을 대체하는 방식으로 Kim et al.(2013) 방식과 Han et al.(2017) 방식 모두 기본 방식은 Suming Jin et al.(2013) 알고리즘을 따르고 있다. 이 방식은 타겟 영상의 복원 대상 화소의 밝기값을 추정할 때, 참조 영상의 화소 밝기값을 그대로 이용하지 않고 타겟 영상에 대응되는 참조 영상의 위치에 있는 화소와 유사한 화소들을 찾고 이 화소들의 위치에 대응되는 타겟 영상 화소들의 평균 밝기값을 이용한다. 이 방식은 타겟 영상의 복원 대상 화소와 유사한 화소들은 참조 영상에서도 동일한 위치에서 비교할 때 유사한 성질을 유지한다는 것을 가정한다.

한편 앞서 소개한 Localized Linear Histogram Match (LLHM), Modified Neighborhood Similar Pixel Interpolator (MNSPI), Weighted Linear Regression (WLR), 순차적 국부 방사 조정 방식(SRARC)에 대한 성능 비교는 Shen et al.(2019)의 연구 결과에 따르면 다음 표와 같다. 4가지 기법 가운데 Correlation Coefficient(CC), Root-Mean-Square Error(RMSE) 등의 정량적인 성능 평가에서 순차적 국부 방사 조정 방식(SRARC)이 모든 성능 지표에서 나머지 기법보다 우수한 결과를 보였다. 순차적 국부 방사 조정 방식이 나머지 다른 복원 방법보다 우수한 성능을 보이는 중요한 이유는 참조 영상 정보를 이용하여 타겟 영상 구름 영역의 경계선부터 단계적으로 내부로 진행하면서 복원 대상 화소 위치에서 순차적 국부 방사 조정(stepwise Local Radiometric Adjustment)의 방식으로 화소를 복원하는 방식에 기인한다.

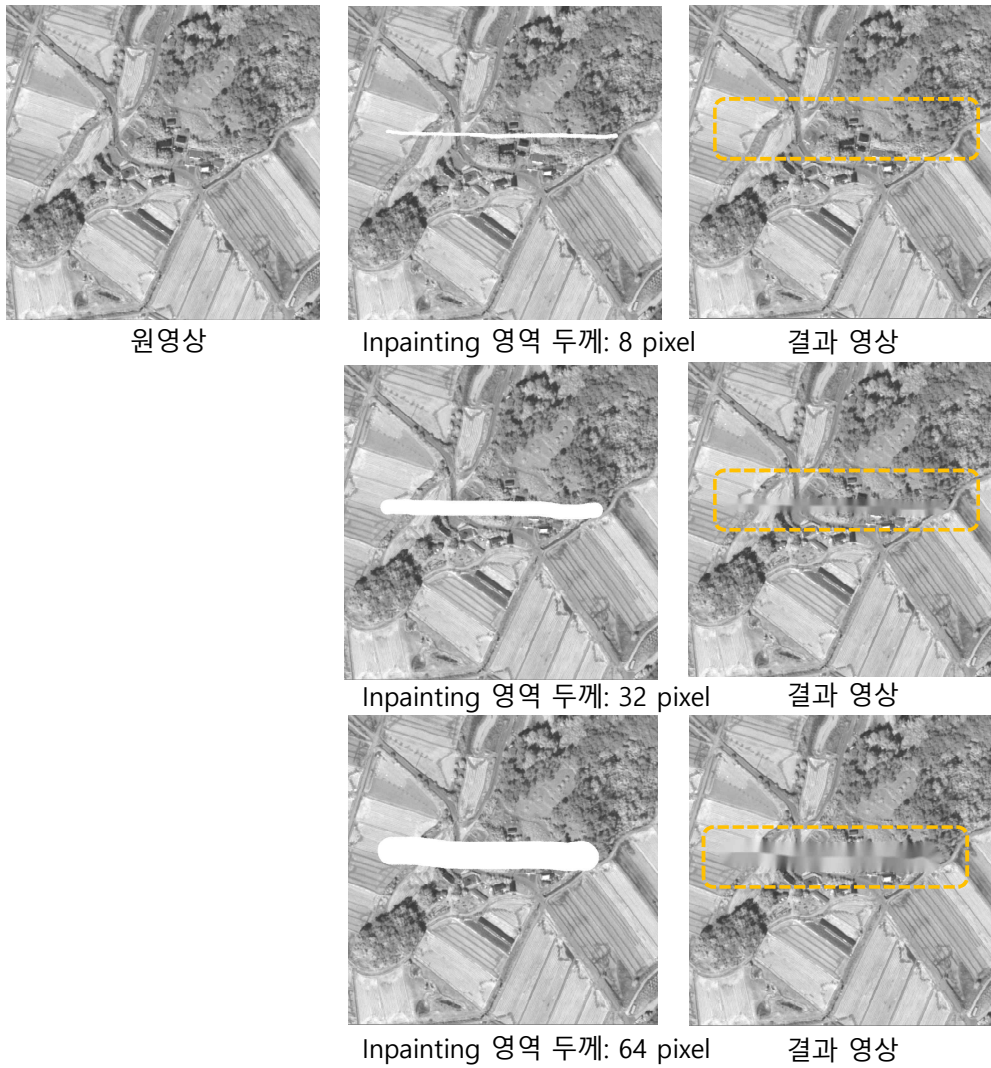
<표 2-75> 기존 영역 복원 알고리즘 성능 평가

	Method	CC (↑)	RMSE (↓)	UIQI (↑)	SSIM (↑)	NL (↓)
Figure 6	LLHM	0.7195	0.0625	0.7054	0.7660	3.60E-03
	MNSPI	0.4551	0.2386	0.4159	0.7624	4.93E-03
	WLR	0.4912	0.3494	0.4651	0.7462	5.96E-03
	SRARC	0.8240	0.0442	0.8228	0.7967	2.04E-03
Figure 7	LLHM	0.7512	0.0537	0.7417	0.7309	5.56E-03
	MNSPI	0.7741	0.0435	0.7604	0.7281	6.21E-03
	WLR	0.8016	0.0410	0.7915	0.7495	5.26E-03
	SRARC	0.8248	0.0408	0.8244	0.7714	4.38E-03
Figure 8	LLHM	0.8789	0.0113	0.8778	0.9599	2.33E-03
	MNSPI	0.9083	0.0093	0.9053	0.9616	2.26E-03
	WLR	0.9077	0.0095	0.9074	0.9618	2.53E-03
	SRARC	0.9195	0.0090	0.9192	0.9642	1.83E-03

이상의 알고리즘 분석 결과를 살펴보면 무용 영역을 복원하는 방식을 크게 두 가지 유형으로 구

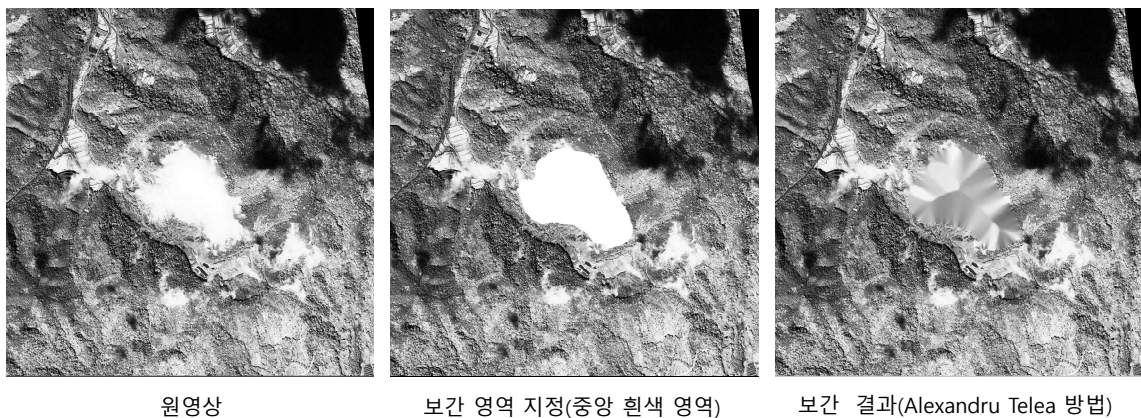
분할 수 있다. 분광 유사도 그룹(Spectral Similarity Group, SSG) 분석 방식과 같이 참조 영상의 밝기값을 간접적으로 참조하여 복원하는 방식과 순차적 국부 방사 조정 방식과 같이 각 복원 대상 화소 위치에서 타겟 영상과 참조 영상의 밝기값을 동시에 사용하여 선형 회귀 분석을 순차적으로 적용하는 방식으로 구분할 수 있다. 특히 순차적 국부 방사 조정 방식과 같이 국부적인 위치에서 선형 회귀 분석을 순차적으로 적용하는 방식이 타겟 영상과 참조 영상의 밝기값을 직접 이용하는 기법 가운데 우수한 방식으로 확인이 된다. 순차적 국부 방사 조정 방식과 분광 유사도 그룹(Spectral Similarity Group, SSG) 기법 그리고 영상 간 밝기값 조정에 널리 사용되는 히스토그램 매칭 기법의 성능 비교를 통해 보다 우수한 성능을 보이는 기법을 무용 영역 복원의 대표 알고리즘으로 선정하고자 한다.

한편 단일 영상 기반 무용 영역 복원과 관련된 inpainting 기술은 보간 대상 영역 외부 경계의 정보를 영역 내부로 전파하는 기술로 전파되는 보간 거리가 가까운 경우에 적합한 방법이다. 위 두 논문의 결과 예시와 같이 보간 영역이 직선 또는 곡선과 같이 가늘고 긴 영역에 적용하기 적합한 방법으로 위성 영상의 무용 영역과 같이 넓은 영역에 걸쳐 나타나는 무용 영역의 보간 방법에 적용하기에는 적합하지 않다. 다음 그림은 위성 영상에서 인위적으로 발생시킨 무용 영역에 Alexandru Telea 방법을 적용했을 때의 결과를 보여준다. 무용 영역의 두께가 비교적 가는 8픽셀의 경우 복원된 결과 영상에서 복원된 화소들이 주위 화소들과 유사한 값으로 보간이 잘되어 시각적으로 구분하기 어렵다. 그러나, 무용 영역의 두께가 비교적 굵은 32픽셀, 64픽셀인 경우에는 보간 영역 내부의 밝기값이 주변 영역과 상이하여 부자연스러운 결과를 보인다.



<그림 2-97> Alexandru Telea 방법을 이용한 실험 결과(1)

다음 그림은 보간 대상 영역 형태를 실제 구름 영상의 형태를 참고하여 지정한 후의 보간 결과 영상으로 그림 6과 같이 부자연스러운 보간 결과를 보인다.



<그림 2-98> Alexandru Telea 방법을 이용한 실험 결과(2)

다음 그림은 Navier-Stokes 방법을 이용한 보간 결과로 Alexandru Telea 방법과 유사한 보간 결과를 보인다.



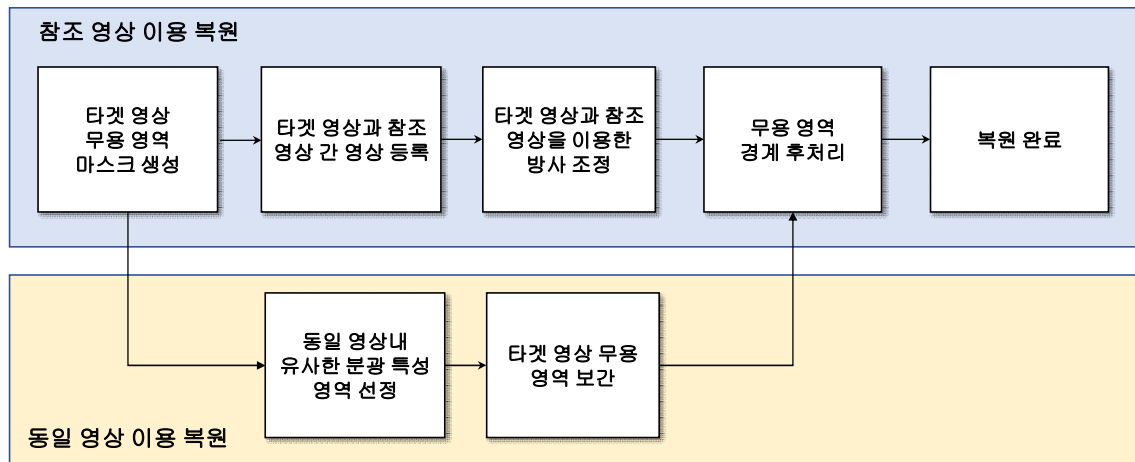
<그림 2-99> Navier-Stokes 방법을 이용한 실험 결과

결론적으로 경계선 정보를 보간 영역 내부로 전파하는 Alexandru Telea 방법 및 Navier-Stokes 방법은 제한된 경계선 정보에 기초하여 보간 영역을 추정하는 알고리즘 자체의 제약 조건이 있으며 보간 대상 영역이 가늘고 긴 형태의 경우에는 적용 가능하나 보간 대상 영역이 넓은 경우에는 부자연스러운 보간 결과를 얻게 됨을 실험적으로 확인하였다.

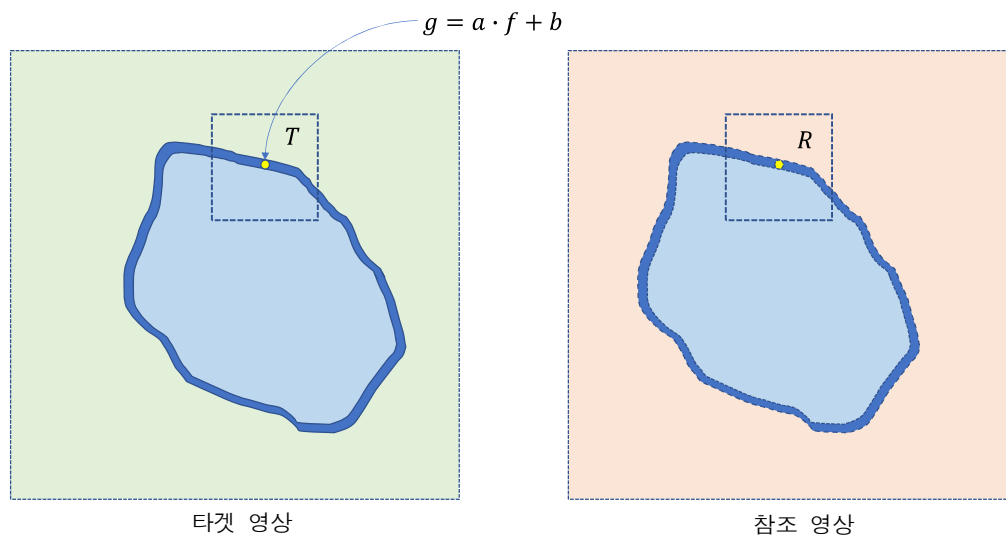
동일 영상 기반의 무용 영역 복원을 위해서는 보간 영역 주변 화소들의 통계적인 분포 특성과 유사한 특성을 가지는 영역 정보를 무용 영역 이외의 영역에서 찾은 후에 무용 영역 내부를 보간하는 방식을 적용할 필요가 있다.

나) 무용 영역 복원 알고리즘 구현 방안

무용 영역 추출 결과를 통해 생성된 무용 영역 마스크를 이용하여 참조 영상과 동일 영상을 이용한 복원을 다음 그림의 절차에 따라 구현한다. 참조 영상을 이용한 무용 영역 복원을 위해 타겟 영상과 참조 영상간 영상 등록을 수행한 후에 타겟 영상과 참조 영상을 이용한 방사 조정을 수행한다. 무용 영역 내부를 보간 후에 무용 영역 경계에 대한 후처리를 통해 무용 영역 경계 부근의 밝기 값이 자연스럽게 연결되도록 한다. 동일 영상을 이용한 복원 과정에서는 타겟 영상의 마스크 주변 영역과 유사한 분광 특성을 가지는 영역을 선정한 후에 마스크 내부의 영역을 보간하고 무용 영역 경계 부근에 대한 후처리를 수행한다.



<그림 2-100> 무용 영역 복원 과정



<그림 2-101> 타겟 영상과 참조 영상을 이용한 방사 조정

타겟 영상과 참조 영상을 이용한 방사 조정은 순차적 국부 방사 조정 방식과 같이 무용 영역 경계부터 중심 방향으로 단계적 선형 회귀 분석을 통해 경계 화소들을 복원해 나간다. 타겟 영상의 무용 영역 마스크 영역에 대한 형태학적 침식 연산을 적용하여 한 화소 두께의 무용 영역 경계를 검출하고 각 경계 화소를 중심으로 윈도우를 생성하고 윈도우 내부 화소 중에 무용 영역 마스크 외부에 위치하는 타겟 영상과 참조 영상의 화소들을 이용하여 선형 회귀 계수를 구한 후에 경계 화소의 밝기값을 복원한다. 복원된 화소 밝기값은 다음 단계의 축소된 경계선 위의 화소를 복원할 때에 무용 영역 마스크 외부 화소 값으로 이용한다. 이 과정을 무용 영역 내부의 모든 화소에 대한 복원을 완료할 때까지 반복 수행한다.

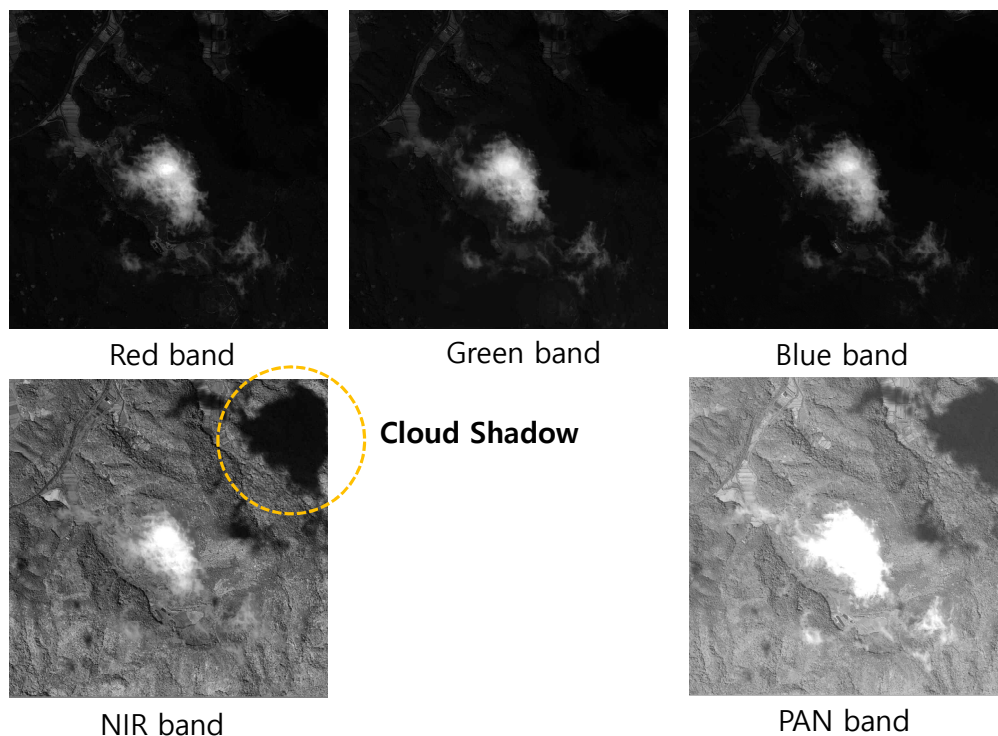
다. 무용 영역 추출 및 복원 실험

1) 관심 영역(AOI) 영상 분할 실험

가) 무용 영역 분광 특성 분석(구름, 구름 그림자 중심)

무용 영역의 객체 분할 기법 개발에 앞서 무용 영역의 밴드별 분광 특성을 분석하여 무용 영역의 객체 분할을 위한 전처리 기법의 개발 방향을 설정하기 위하여 무용 영역의 종류(구름 또는 구름 그림자 등)에 따라 각 밴드별 검출의 용이함을 분석하고자 한다.

R/G/B 밴드의 경우 무용 영역(구름)의 분광 특성이 유사하고 구름의 경우 구름 이외의 배경 화소와의 밝기값 대비(contrast)가 커서 구름과 구름이 아닌 화소의 단순 임계값에 의한 이진화에 유리하다. 반면 NIR 밴드의 경우 구름과 구름 이외의 배경 화소와의 밝기값 대비가 R/G/B 밴드보다 낮다. 전정색 밴드(PAN)의 경우 NIR 밴드와 같이 구름 이외의 배경 화소와의 밝기값 대비가 R/G/B 밴드보다 낮으며 구름 영역의 넓이가 R/G/B 밴드에서보다 다소 확장되어 표시된다. 구름 그림자의 경우 R/G/B 밴드에서 검출이 어려우며, NIR 밴드와 Pan 밴드에서의 검출이 용이한 것으로 판단된다. 이상의 내용을 정리하면 구름의 경우 시각적 대비가 우수한 R/G/B 밴드에서의 검출을 우선 고려할 필요가 있고 구름 그림자의 경우 시각적 대비가 우수한 NIR 밴드에서의 검출을 우선 고려할 필요가 있다.

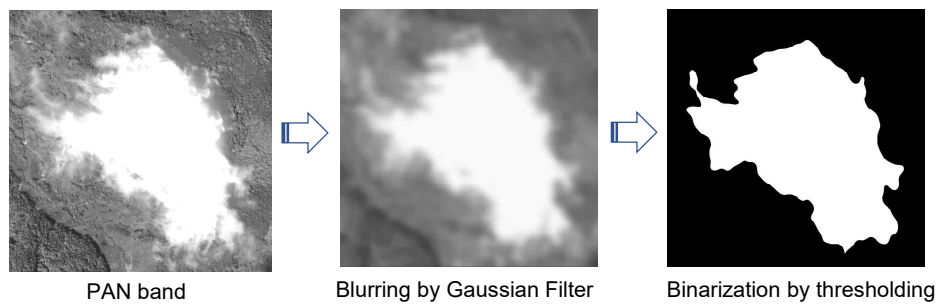


<그림 2-102> R/G/B 밴드의 무용 영역(구름)의 분광 특성 비교

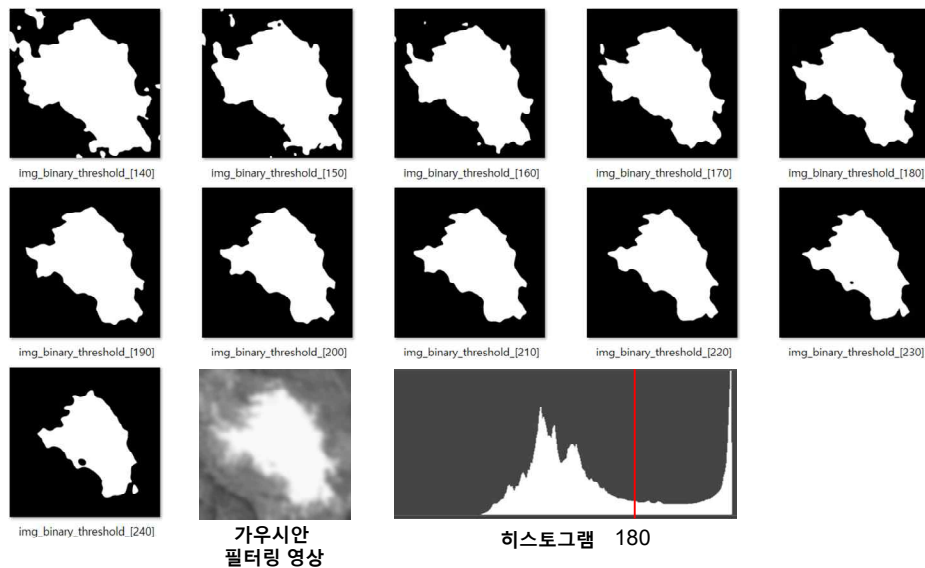
나) 무용 영역 검출을 위한 임계값 적용 효과 분석

무용 영역의 객체 분할 기법 개발에 앞서 무용 영역의 밴드별 분광 특성을 분석하여 무용 영역의 객체 분할을 위한 전처리 기법의 개발 방향을 설정하고자 한다. 먼저 가우시안 필터링 적용 후, 임계값 변화에 따른 무용 영역 이진화 결과를 분석한다.

다음 그림의 히스토그램을 보면 가우시안 필터링 영상에서 무용 영역(구름, 밝은값)과 무용 영역 이외의 영역을 구분할 수 있는 임계값 범위가 넓음을 알 수 있다. 임계값 $T=140, 150$ 에서는 두꺼운 구름 주변까지 무용 영역으로 검출되고, $T=160$ 이상에서는 임계값이 증가함에 따라 무용 영역의 크기가 점점 작아진다. 사용자의 임계값 입력을 통해 무용 영역의 초기 영역 검출이 가능함을 알 수 있고, 축소된 무용 영역의 초기 영역은 형태학적 연산 적용을 통해 영역 크기를 확장하여 이후 단계에 활용할 수 있다.



- Test Image(PAN): K3A_20171021044156_14209_00123971_L1R_P
- Top Left: (21472, 13716)
- Width x Height: 1,200 x 1,200
- Gaussian Filter Size: 101
- Threshold value of Binarization: 168

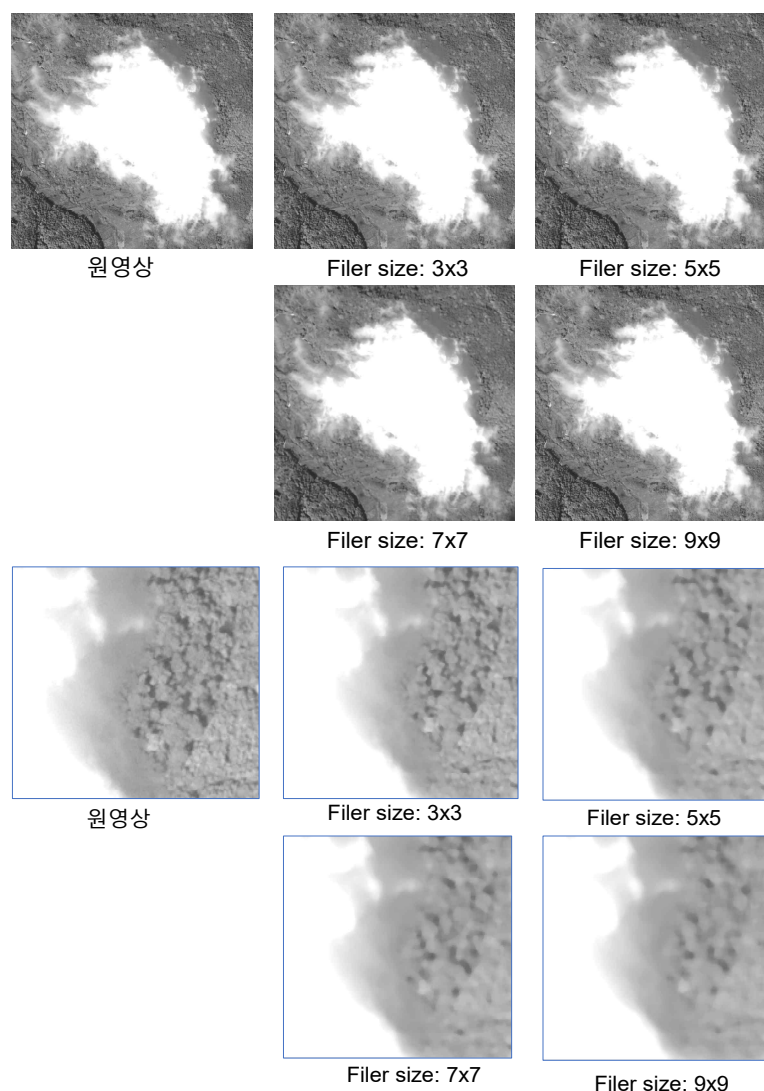


<그림 2-103> 무용 영역 검출을 위한 임계값 적용 효과

다) 무용 영역 영상 객체 분할을 위한 전처리 기법 개발

객체 기반의 영상 분할을 위해서는 일반적으로 영역 기반의 영상 분할을 수행하며 대표적인 영상 분할 기법인 워터셰드(watershed) 영상 분할 기법의 경우 영상의 밝기값 변화를 나타내는 그레디언트(gradient) 정보에 기초하여 그레디언트가 주변 화소보다 작은 점을 중심으로 유사한 밝기값 화소를 하나의 영역으로 구분한다. 그레디언트는 영상의 잡음 성분이 포함될 경우 그 값이 증폭되는 특징이 있으므로 잡음 성분을 제거하기 위하여 잡음 제거 전처리 필터링 과정이 필요하다.

Median 필터링은 일반적인 평균값 필터 등에 비해 객체 경계선의 블러링에 강한 성능을 보인다. 다양한 필터의 크기에 따른 Median 필터링 적용 결과 7x7 이상의 크기에서는 경계선 주변에서의 블러링 효과가 시각적으로 눈에 띄게 관찰됨을 알 수 있다. 과도한 블러링 발생을 방지하기 위하여 Median 필터 크기는 3x3 또는 5x5가 적절하다고 판단된다.



<그림 2-104> 필터 크기에 따른 Median 필터링 결과

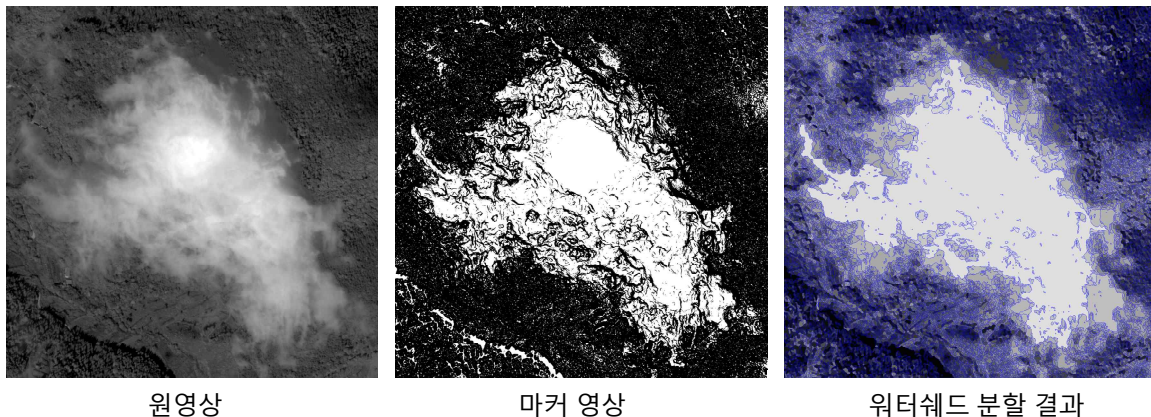
라) 무용 영역 검출을 위한 워터셰드 영상 분할 기법 개발

워터셰드(watershed) 영상 분할 기법은 영상의 잡음을 제거하는 영상 전처리 필터링, 영상의 밝기값 변화를 나타내는 그래디언트(gradient) 계산, 그래디언트가 주변 화소보다 작은 점(마커) 검출, 마커를 중심으로 이웃 화소들을 유사한 밝기값 영역으로 그룹핑하는 라벨링 과정의 단계를 거친다. 워터셰드 알고리즘에 사용되는 파라미터는 영상 전처리 과정인 median filtering의 필터 크기(파라미터 1)와 그래디언트 값이 임계값보다 작은 화소를 마커로 결정하는 마커 임계값(파라미터 2)의 두 종류가 있다.



<그림 2-105> 워터셰드 영상 분할 알고리즘

워터셰드 영상 분할 알고리즘의 구현 시 원영상에 median filtering(7x7)을 적용한 후에 그래디언트 크기가 50보다 작은 화소들을 마커로 결정한 후에 영역 라벨링을 수행하였으며 영상 분할 과정에서 분할된 각 영역의 정보(영역의 라벨링 정보, 위치 등)를 획득하였다.



파라미터 1: Median filter size = 7x7
파라미터 2: 마커 생성 임계값= 50

<그림 2-106> 워터셰드 영상 분할 결과

마) 무용 영역의 워터셰드 영상 분할 효과 분석

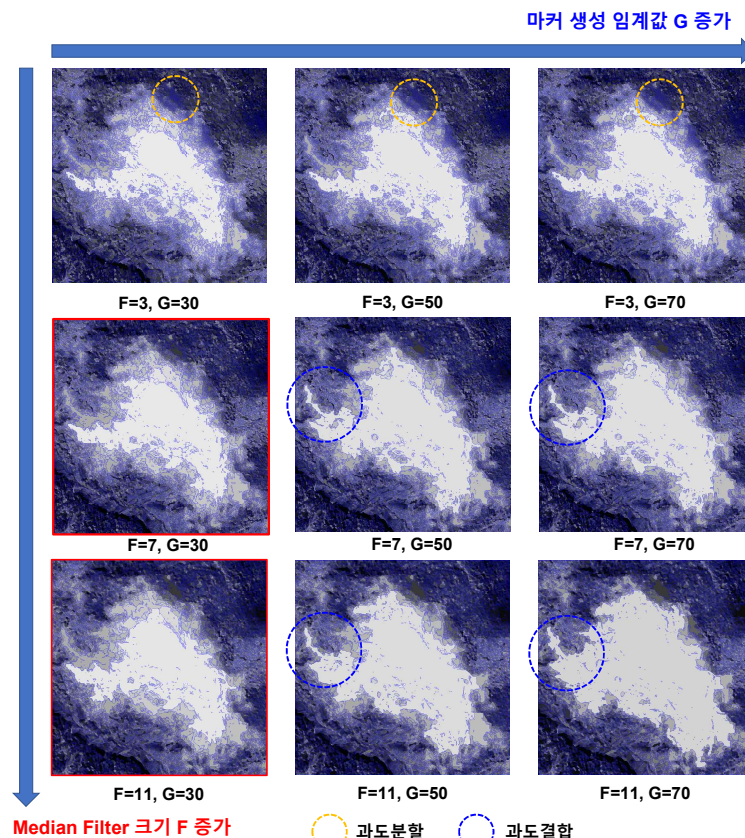
(1) 워터셰드 영상 분할 파라미터의 종류 및 효과

워터셰드 영상 분할 영역의 크기에 영향을 주는 파라미터는 Median filter 크기(파라미터 1)와 분할 영역의 마커 생성시 적용되는 마커 임계값(파라미터 2)의 두 종류이다. Median filter의 크기가 커지면 잡음 성분이 보다 잘 제거됨에 따라 주변 화소보다 그레디언트가 작은 마커의 생성 가능성이 감소하면서 마커의 개수가 감소하고 분할 영역의 개수가 함께 감소하게 된다. 마커 생성 임계값이 증가하면 마커의 기준이 되는 임계값이 커지게 됨에 따라 마커의 개수가 감소하고 분할 영역의 개수가 함께 감소하게 된다. Median filter의 크기와 마커 생성 임계값이 너무 작은 경우 과도 분할의 가능성이 높아지고 반대의 경우에는 유사한 밝기값 영역들이 과도하게 결합되어 적절한 파라미터 값을 설정할 필요가 있다.

(2) 워터셰드 영상 분할 파라미터 변화에 따른 영상 분할 결과 분석

영상 분할에 사용된 파라미터 조건은 다음과 같이 Median filter 크기별로 마커 생성 임계값 5가지에 대해 각각 영상 분할 실험을 수행하고 영상 분할 결과를 분석하였다.

- Median filter의 크기(F): 3x3, 7x7, 11x11
- 마커 생성 임계값(G): 30, 50, 70



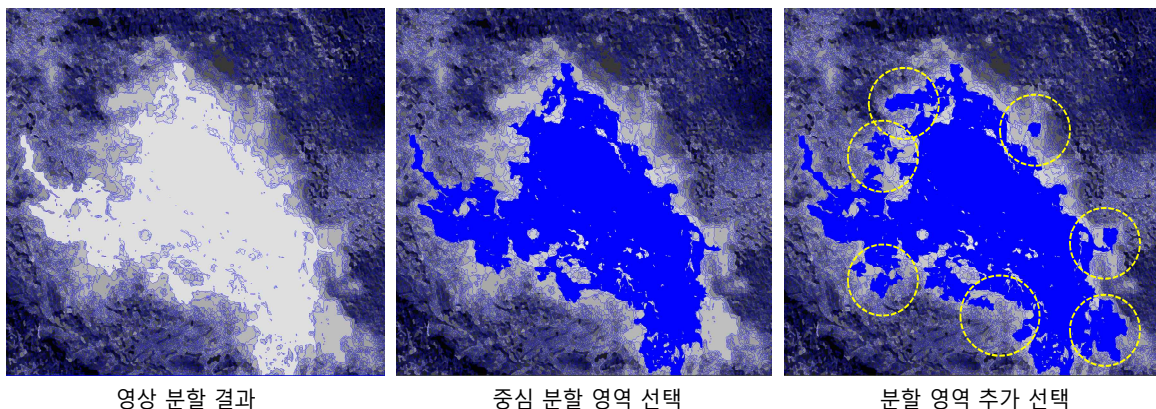
<그림 2-107> 워터셰드 영상 분할 파라미터 변화에 따른 영상 분할 결과 분석

Median filter의 크기 변화와 마커 생성 임계값의 변화에 따른 영상 분할 결과가 다음 단계에서의 무용 영역 검출을 위한 입력 정보로 활용되기 위한 적절한 분할 결과를 보임을 알 수 있다. 다만, 일부 파라미터 값에 대해 일부 영역의 과도 분할 또는 과도 결합(두 개 이상으로 구분할 수 있는 영역들이 하나의 영역으로 결합)이 확인되었다. Median filter의 크기가 3x3인 경우, 마커 생성 임계값에 상관없이 일부 영역에서 과도 분할 관찰되었고 마커 생성 임계값 50, 70 인 경우, Median filter의 크기 7x7 이상에서 과도 결합이 일부 관찰되었다. 마커 생성 임계값 $G=30$, Median filter의 크기가 7x7이거나 11x11인 경우, 과도 분할 및 과도 결합의 발생이 적은 분할 결과를 보였다.

2) 관심 대상(ROI) 영역 검출 실험

가) 분할 영상에서 관심 대상(ROI) 영역 선정 구현 결과

사용자 선택에 의한 관심 대상(ROI) 영역 선정 결과는 다음 그림과 같다. 가운데 그림은 무용 영역의 대부분을 차지하는 중앙의 분할 영역을 마우스로 한번 클릭한 후에 선택한 결과를 보여준다. 우측 분할 영역 추가 선택 그림은 무용 영역의 가장 자리에 위치하는 영역들을 사용자가 마우스 클릭으로 추가적으로 선택한 결과를 보여준다.



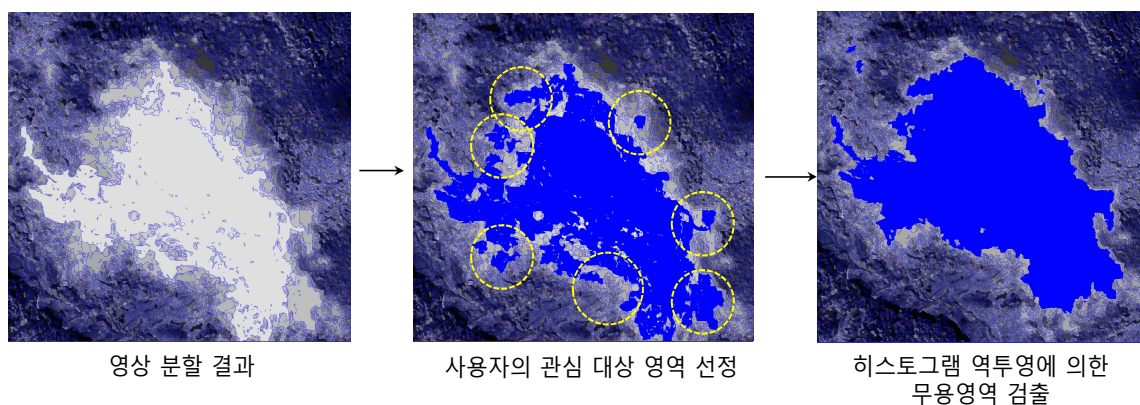
<그림 2-108> 사용자 선택에 의한 관심 대상(ROI) 영역 선정 결과

(1) 사용자에게 의한 관심 대상(ROI) 영역 선정

사용자가 무용 영역의 일부 영역을 마우스로 선택하면 선택된 영역의 화면 도시와 함께 선택된 영역 정보를 저장한다. 사용자가 마우스로 선택한 분할 영역의 라벨 정보를 읽고, 분할 영역 박스 내부 영역에서 선택된 라벨과 같은 화소들을 탐색하여 특정 컬러의 색상으로 표현된다.

(2) 무용 영역의 자동 검출 및 검출 결과 개선 예시

다음 그림은 사용자의 관심 대상 영역 선정과 선정된 영역의 화소 정보에 기초한 히스토그램 역투영을 이용한 무용 영역 검출 결과의 예시를 보여준다. 사용자가 관심 대상 영역을 마우스 클릭으로 선택(노란색 점선 내부)한 후에 선택한 영역의 히스토그램을 역투영하여 무용 영역을 검출한다.

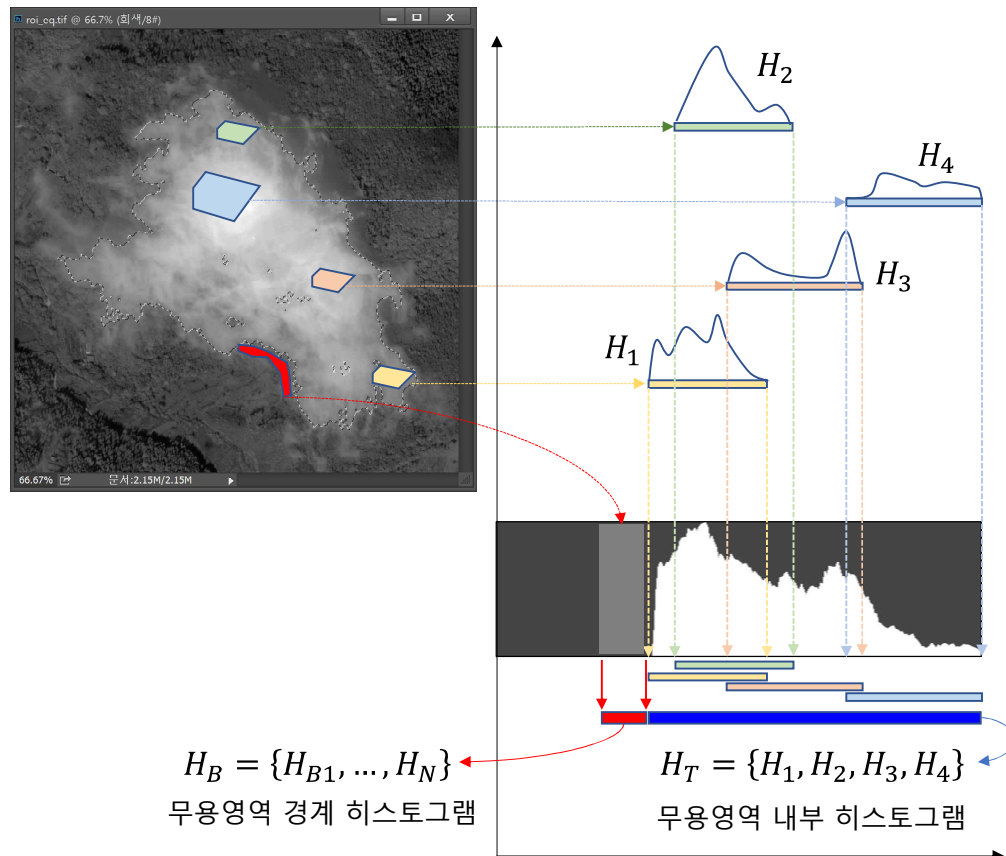


<그림 2-109> 무용 영역 반자동 선택 결과 예시

나) 관심대상(ROI) 영역의 히스토그램 역투영 기법 실험

(1) 히스토그램 역투영에 의한 무용 영역 선택

히스토그램 역투영은 사용자에게 의해 선택된 일부 무용 영역의 히스토그램을 확률값으로 변환한 후에 전체 영상의 각 화소가 무용 영역의 히스토그램 기반 확률값에 비추어 얼마나 무용 영역과 유사한지를 확률적으로 분석하는 기법이다.

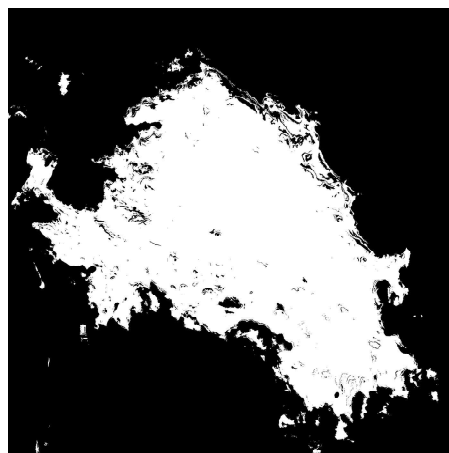
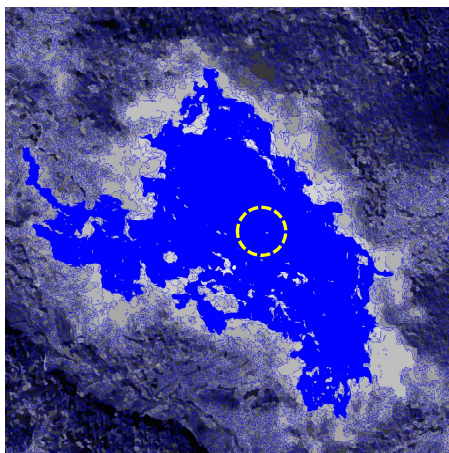


<그림 2-110> 히스토그램 역투영에 의한 무용 영역 선택

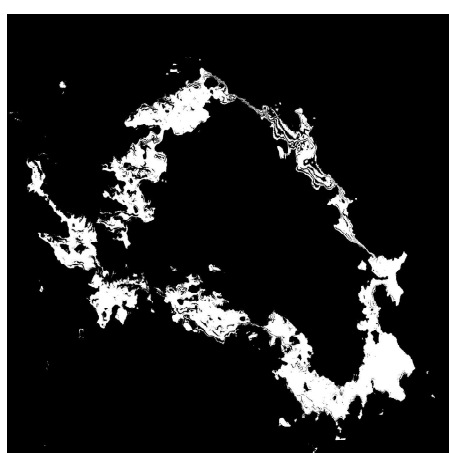
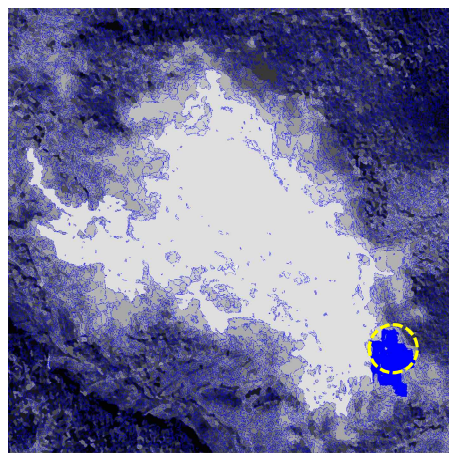
사용자가 무용 영역의 일부 영역을 마우스로 선택하면 선택된 영역의 화면 도시와 함께 선택된 영역 정보를 저장한다. 사용자가 마우스로 선택한 분할 영역의 라벨 정보를 읽고, 분할 영역 박스 내부 영역에서 선택된 라벨과 같은 화소들을 탐색하여 특정 컬러의 색상으로 표현한다. 다음 그림은 히스토그램 역투영에 의한 무용 영역 선택 과정으로 선택된 각 무용 영역의 히스토그램 $\{H_1, H_2, H_3, H_4\}$ 은 모두 무용 영역 내부의 히스토그램 $H_T = \{H_1, H_2, H_3, H_4\}$ 의 일부를 구성한다.

(2) 히스토그램 역투영 실험 결과

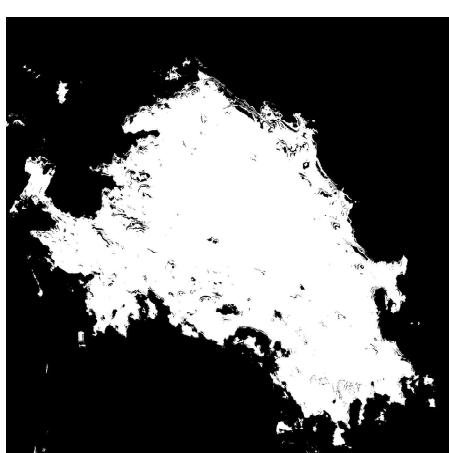
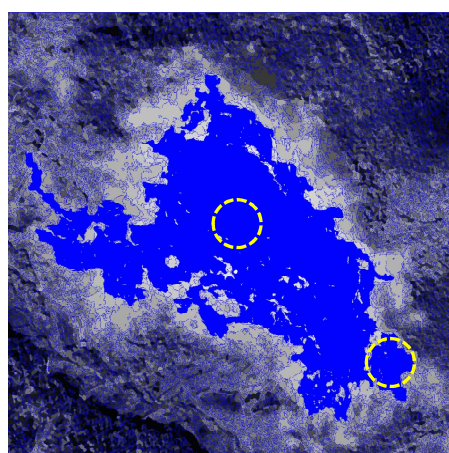
본 실험에서는 사용자가 무용 영역의 일부 영역을 선택하는 방식에 따라 히스토그램 역투영 결과가 어떻게 변화되는지를 실험적으로 살펴본다. 다음 그림은 사용자가 1) 무용 영역의 대표되는 중심 영역을 1회 선택한 경우, 2) 무용 영역의 가장자리의 영역을 1회 선택한 경우, 3) 무용 영역의 대표 중심 영역을 1회, 가장자리 영역을 순차적으로 선택할 경우의 히스토그램 역투영 결과를 보여준다.



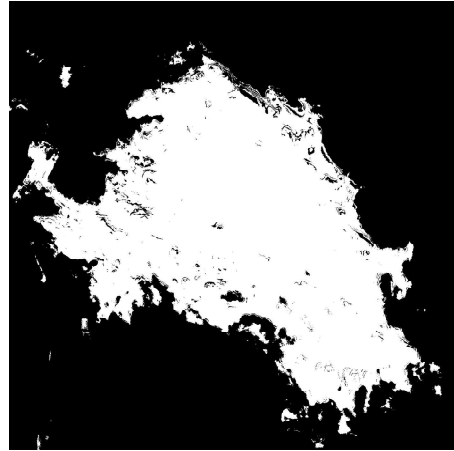
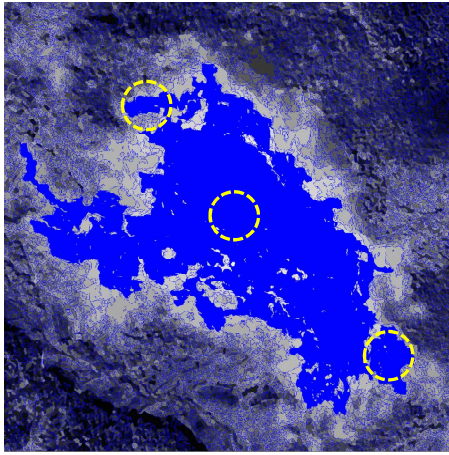
<그림 2-111> (좌) 무용 영역 중심 영역(노란색 원 내부 마우스 1회 클릭) 선택 결과 (우) 역투영 결과 영상



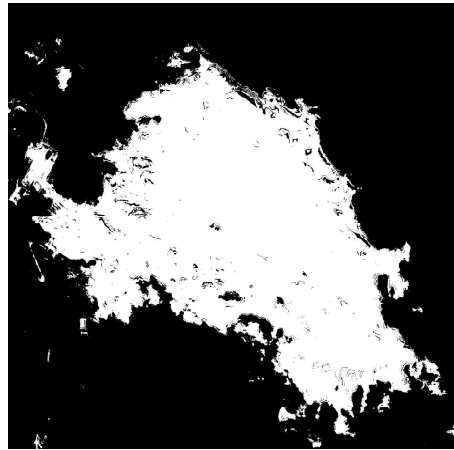
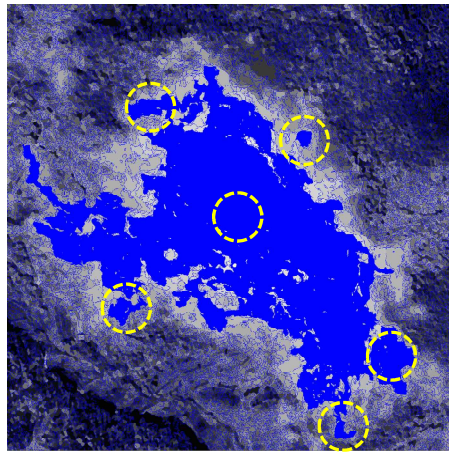
<그림 2-112> (좌) 무용 영역 경계 주변 영역(노란색 원 내부 마우스 1회 클릭) 선택 결과 (우) 역투영 결과 영상



<그림 2-113> (좌) 무용 영역 중심 및 무용 영역 경계 주변 영역(노란색 원 내부 마우스 총 2회 클릭) 선택 결과 (우) 역투영 결과 영상



<그림 2-114> (좌) 무용 영역 중심 및 무용 영역 경계 주변 영역(노란색 원 내부
마우스 총 3회 클릭) 선택 결과 (우) 역투영 결과 영상



<그림 2-115> (좌) 무용 영역 중심 및 무용 영역 경계 주변 영역(노란색 원 내부
마우스 총 6회 클릭) 선택 결과 (우) 역투영 결과 영상

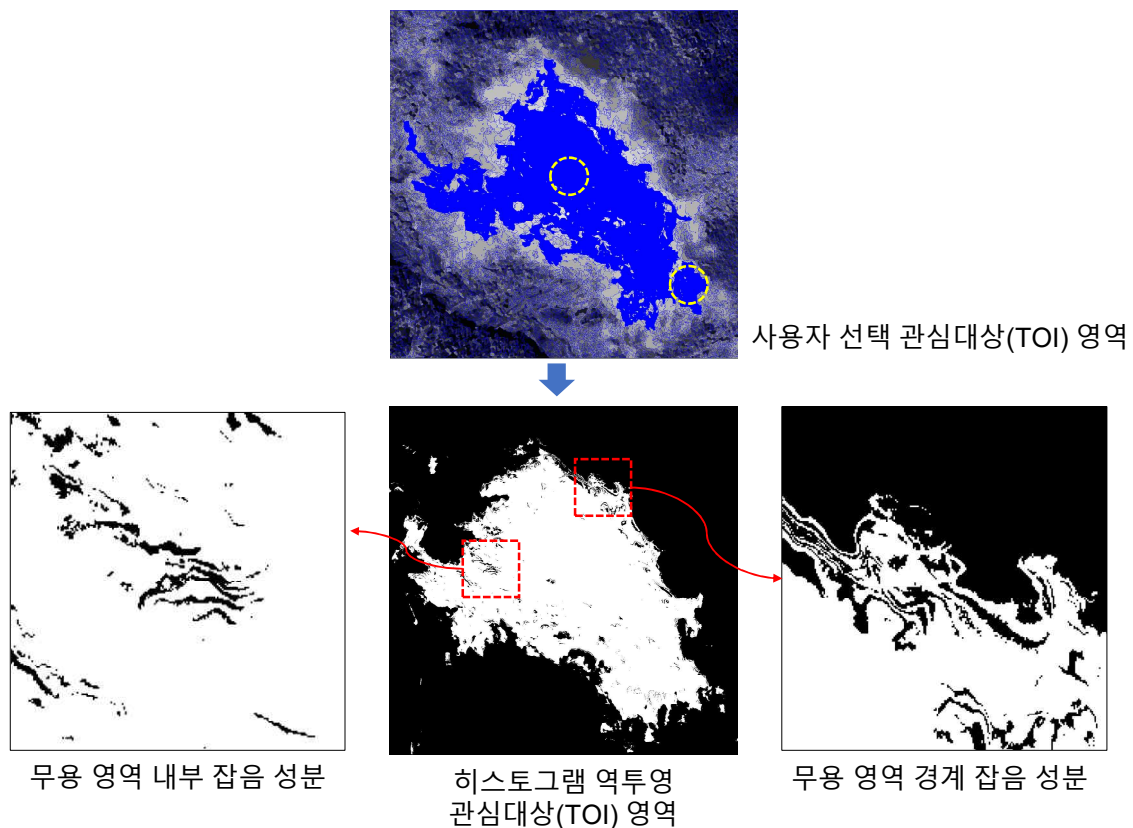
그림 29와 같이 무용 영역 중심 영역을 마우스로 1회 선택하여도 히스토그램 역투영 결과 대부분의 무용 영역이 선택되는 결과를 얻었다. 그림 30과 같이 무용 영역 경계 주변을 1회 선택한 경우, 무용 영역 경계 부근의 영역들이 다수 선택되는 결과를 얻었다. 그림 31과 같이 무용 영역 중심 영역과 경계 부근의 영역을 각각 1회 선택한 경우의 히스토그램 역투영 결과를 보면 그림 29의 무용 영역 중심 영역을 마우스로 1회 선택한 결과와 거의 동일한 결과를 얻었다. 그림 32와 그림 33은 무용 영역 경계 부근의 영역을 2회, 5회 각각 추가 선택할 경우의 히스토그램 역투영 결과를 보여준다. 그림 2와 그림 4의 히스토그램 역투영 결과와 거의 동일한 결과를 보여준다.

이상의 결과를 볼 때, 무용 영역의 중심 영역이 넓은 영역에 걸쳐서 하나의 영역으로 분할된 경우는 중심 영역을 마우스로 선택하거나 또는 무용 영역 주변 영역을 추가로 1-2회 선택하는 것만으로도 무용 영역을 효과적으로 검출할 수 있다고 판단된다.

다) 관심대상(ROI) 영역의 잡음 성분 형태학적 분석

(1) 히스토그램 역투영 결과 영상의 잡음 성분 분석

사용자가 무용 영역의 일부 관심대상(ROI) 영역을 선택한 후에 히스토그램 역투영에 의해 획득한 관심대상(ROI) 영역의 내부와 경계 주변의 일부 영역은 무용 영역이나 히스토그램 역투영 과정을 통해 선택되지 않은 영역들이 존재할 수 있다. 형태학적 관점에서 이들 영역은 잡음 성분으로 간주할 수 있으며 적절한 필터링을 통해 제거할 필요가 있다.



<그림 2-116> 관심대상(ROI) 영역의 내부와 경계 주변의 형태학적 잡음 성분

(2) 무용 영역 내부의 잡음 성분

히스토그램 역투영 결과 영상은 무용 영역 화소와 비무용 영역 화소로 구성되는 이진 영상(binary image)이다. 위 그림에서 무용 영역 내부의 잡음 성분(검은색 화소)은 점잡음(salt and pepper) 성분의 화소들과 두께가 좁고 길이가 긴 형태로 분포한다. 이러한 형태의 잡음 성분은 median 필터링을 통해 일정 크기의 템플릿 내부 화소들의 중간값을 취하는 방식으로 제거할 수 있다.

(3) 무용 영역 경계 주변의 잡음 성분

무용 영역 경계 주변에서는 점잡음(salt and pepper) 형태의 잡음 성분과 두께가 좁고 길이가 긴 형태의 잡음 성분들이 함께 관찰되며 무용 영역 경계의 특성으로 인해서 매우 불규칙한 형태의 무용 영역 경계선이 관찰된다. 무용 영역 경계 주변에서는 사용자가 선택한 일부 관심대상(ROI) 영역을 이용한 히스토그램 역투영과정에서 선택되지 않는 무용 영역도 일부 존재할 가능성이 있다. 이는 사용자가 선택한 일부 관심대상(ROI) 영역이 무용 영역 주변을 충분히 대표하지 못하는 경우에 발생할 수 있다. 이를 고려하여 히스토그램 역투영 결과로 선택된 관심 대상(ROI) 영역 경계와 무용 영역의 실제 경계 사이의 간격을 가정하고 이 간격을 관심 대상 영역으로 추가 검출하는 단계가 필요하다. 두 경계 사이의 간격에 해당하는 영역의 추가 검출은 히스토그램 역투영 결과로 얻어진 이진 영상에 대해 형태학적 팽창(dilation) 연산을 적용하여 관심 대상 영역을 확장하는 방식으로 검출할 수 있다.

(4) 잡음 성분의 형태학적 분석 결과

무용 영역 내부와 경계 주변의 잡음 성분의 제거와 함께 관심 대상 영역의 추가 확장을 위해서는 두 가지 방식의 필터링을 순차적으로 적용하는 과정이 필요하다.

- 1단계: 무용 영역 내부 및 경계 주변의 점잡음(salt and pepper) 형태의 잡음 성분 등을 제거하기 위해서는 median 필터링을 통해 잡음 성분을 제거할 수 있다. 이진 영상에 대한 median 필터링을 통해 무용 영역 경계에서의 불규칙한 검출 결과를 부드러운 형태로 변환할 수 있는 추가적인 효과를 얻을 수 있다.
- 2단계: median 필터링을 통해 무용 영역 내부 및 경계 주변의 잡음 성분을 제거한 후에 형태학적 팽창(dilation) 연산을 추가 적용하여 관심 대상 영역을 확장한다.

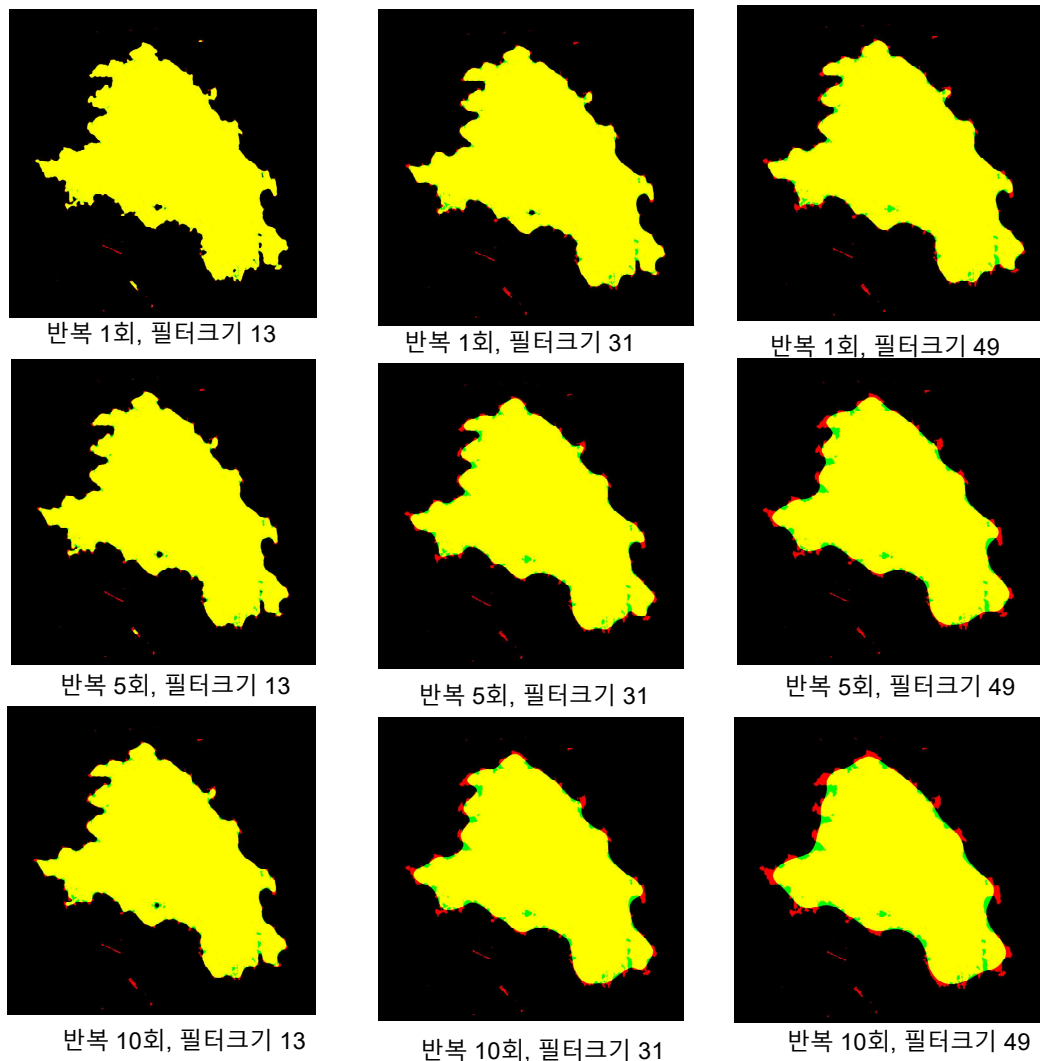
라) 관심대상(ROI) 영역의 잡음 성분 제거 기법 구현

(1) 관심대상(ROI) 영역의 잡음 성분 제거를 위한 필터링

히스토그램 역투영에 의해 획득한 관심대상(ROI) 영역의 내부와 경계 주변의 일부 영역은 히스토그램 역투영 과정을 통해 선택되지 않은 영역들이 존재할 수 있다. 형태학적 관점에서 이들 영역은 잡음 성분으로 간주할 수 있으며 다음의 두 가지 방식의 필터링을 순차적으로 적용한다.

(가) 1단계 필터링(median 필터링)

무용 영역 내부 및 경계 주변의 점잡음(salt and pepper) 형태의 잡음 성분을 제거하기 위해서 median 필터링을 수행한다. 필터의 크기와 필터링 적용 횟수에 따른 필터링 효과는 다음 그림과 같다.

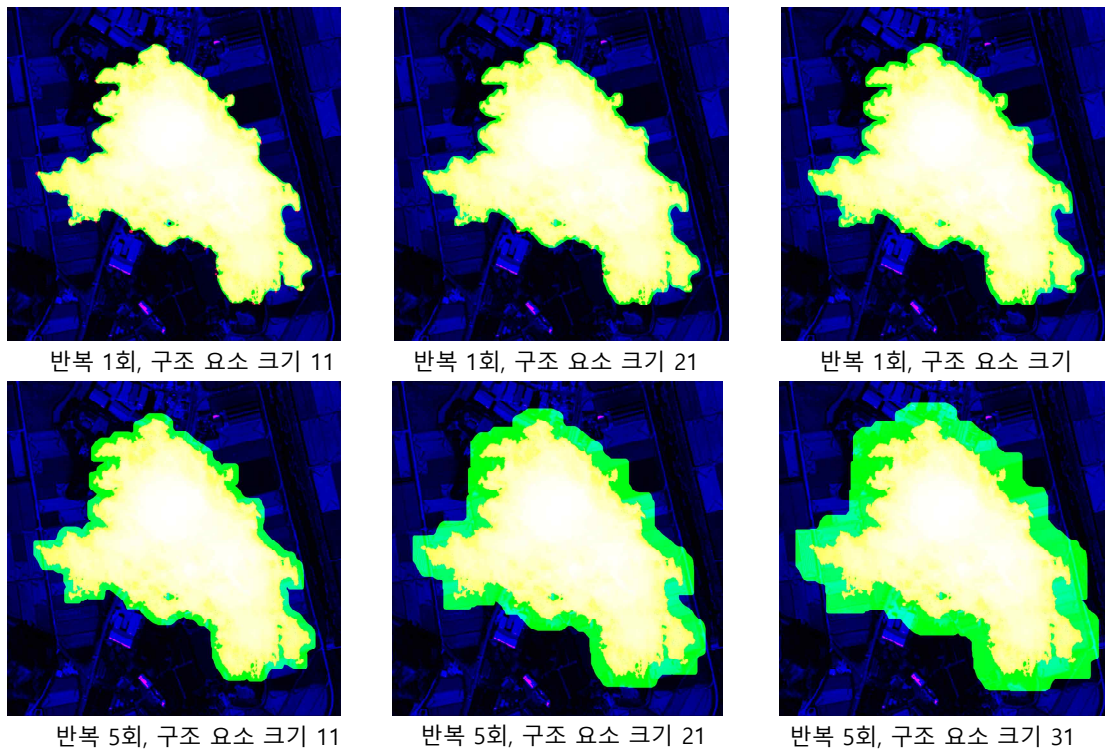


<그림 2-117> Median 필터의 크기 및 필터링 횟수에 따른 필터링 결과

필터링 횟수를 증가시킬수록 필터링 효과가 증가하여 무용 영역의 경계선이 부드러운 형태로 변화하고 수행 시간도 증가한다. 필터의 크기는 반복 횟수가 5회, 10회인 경우 필터링 효과에서도 차이가 많이 발생하나 반복 횟수가 1회인 경우 필터의 크기 변화에 따른 필터링 효과가 큰 차이가 발생하지 않는다. 따라서 median 필터링 이후 형태학적 팽창(dilation) 연산을 적용하는 점을 고려해서 반복 횟수는 1회, 적절한 필터의 크기를 31x31 크기로 설정하고 2단계 필터링을 수행한다.

(나) 2단계 필터링(팽창 연산)

median 필터링을 통해 무용 영역 내부 및 경계 주변의 잡음 성분을 제거한 후에 형태학적 팽창(dilation) 연산을 추가 적용하여 관심 대상 영역을 확장한다. 팽창(dilation)의 크기는 팽창의 정도를 결정하는 구조 요소(structuring element) 크기를 조정하거나 팽창 연산의 적용 횟수를 통하여 조절할 수 있다.



<그림 2-118> 형태학적 팽창(dilation) 연산의 필터링 횟수 및 구조 요소 크기에 따른 필터링 결과

형태학적 팽창(dilation) 연산을 1회만 적용한 경우에는 구조 요소의 크기를 증가시켜도 무용 영역 확장의 효과가 작아 무용 영역 경계 주위의 일부 영역이 무용 영역에 포함되지 않을 가능성이 있다. 팽창(dilation) 연산을 5회 반복 적용하는 경우에는 구조 요소의 크기에 따라 무용 영역의 뚜렷한 확장 효과를 확인할 수 있다. 히스토그램 역투영 후에 무용 영역 경계의 외부에 존재할 수 있는 일부 무용 영역을 충분히 포함하기 위해서는 팽창(dilation) 연산을 5회 반복 적용시, 구조 요소 크기는 21x21(또는 31x31)이 적절한 크기라 판단된다.

마) 관심대상(ROI) 영역 경계선 검출 및 개선 기법 구현

(1) 관심대상(ROI) 주변 영역 유형에 따른 관심 대상 마스크 생성 결과 비교

앞서 개발한 관심대상(ROI) 영역 및 경계선 검출 알고리즘이 다양한 환경에서도 일정한 검출 성능을 보이는지를 확인하기 위하여 세 가지 대표적인 주변 영역 유형(건물 지역, 농경지, 산림)에 대해 관심 대상 마스크 생성 결과를 비교하였다. 주변 영역 유형 및 사이트: 건물 지역, 농경지, 산림 지역 유형별로 각각 3개의 사이트를 선정하고 무용 영역(구름)을 추가하여 실험하였다.

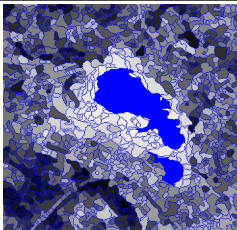
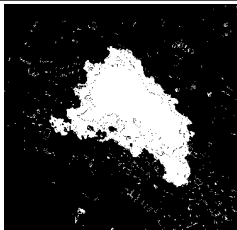
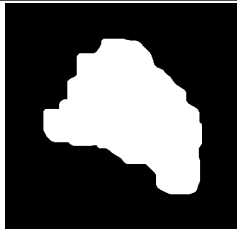
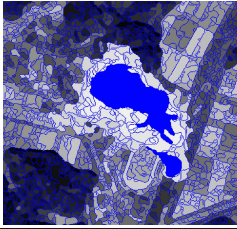
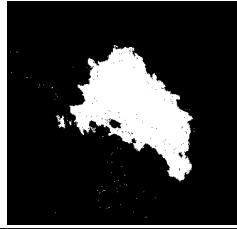
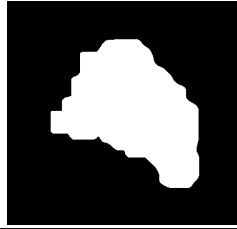
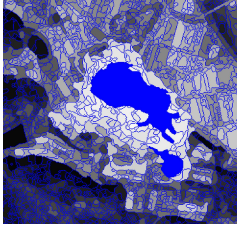

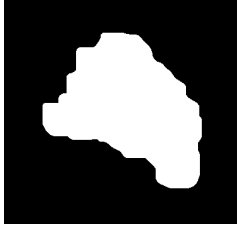
(가) 실험 조건

관심대상 영역 검출에 사용된 영상 분할 파라미터는 모두 동일하게 설정하였다. 사용자에게 의한 초기 무용 영역 선택은 무용 영역 중심 부근과 경계 부근에서 각각 한 번씩 총 2회의 마우스 클릭으로 선택하였다.

(나) 건물 지역 실험 결과

다음 그림에서 첫 번째 열은 마우스로 선택한 초기 무용 영역, 두 번째 열은 히스토그램 역투영에 의해 선택된 무용 영역, 세 번째 열은 median 필터링과 팽창 연산 필터링 후에 생성된 최종 관심 대상 마스크를 보여준다. 무용 영역(구름)이 다양한 건물 지역 위에 놓여도 히스토그램 역투영에 의해 선택된 무용 영역 화소는 일부 잡음 성분이 포함되나 이후 필터링 과정을 통해 최종 관심 대상 마스크의 형태는 크게 달라지지 않음을 볼 수 있다.

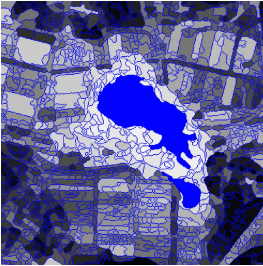
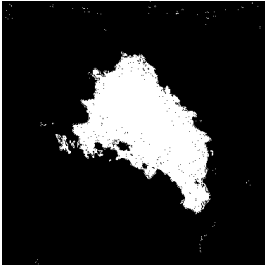
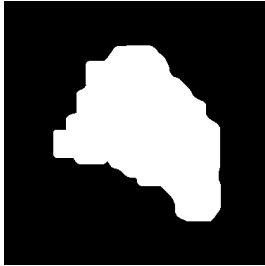
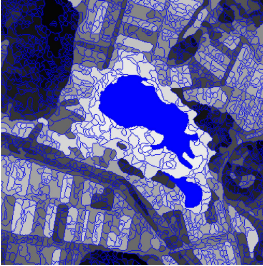
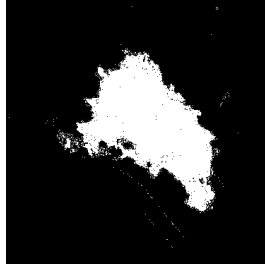
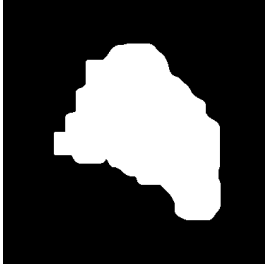
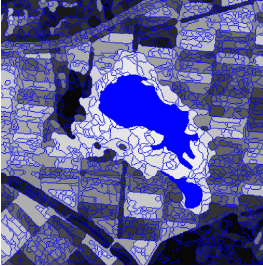
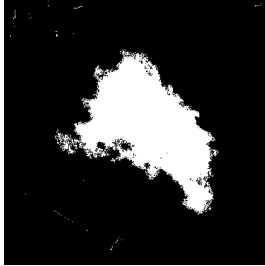
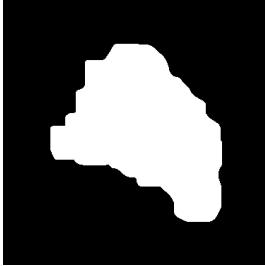
<표 2-76> 관심대상(ROI) 주변 영역 유형에 따른 관심 대상 마스크 생성 결과 비교

건물 지역 (Site 1)			
건물 지역 (Site 2)			
건물 지역 (Site 3)			

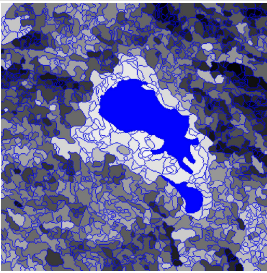
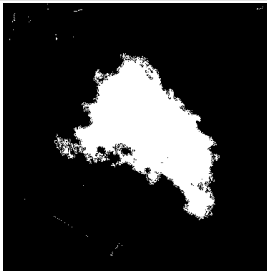
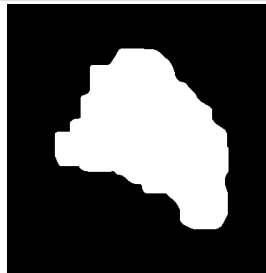
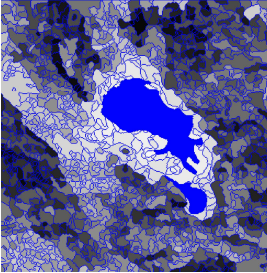

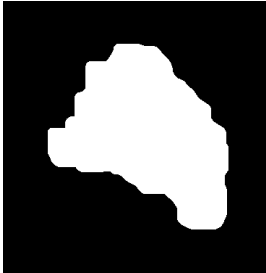
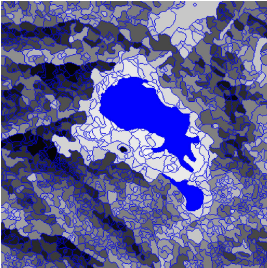
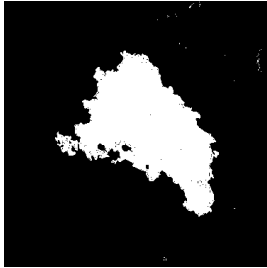
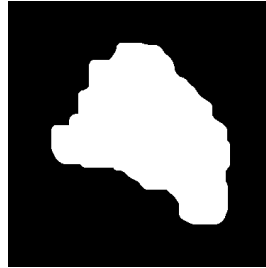
(다) 농경지 및 산림 지역 실험 결과

다음 그림과 같이 무용 영역이 다양한 형태의 주변 영역에 위치하여도 최종 관심 대상 마스크의 형태는 크게 달라지지 않음을 볼 수 있다. 이상의 결과를 통해 무용 영역이 일정한 분광값을 가지고 주변 영역과 분광적 차이가 있는 경우에는 무용 영역 주변 유형과 상관없이 일정하게 관심 대상 마스크가 생성됨을 알 수 있다.

<표 2-77> 농경지 실험 결과

농경지 (Site 4)			
농경지 (Site 5)			
농경지 (Site 6)			

<표 2-78> 산림 지역 실험 결과

산림 (Site 7)			
산림 (Site 8)			
산림 (Site 9)			

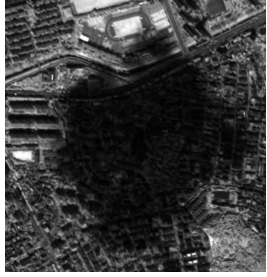



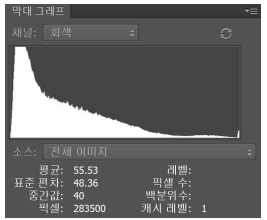
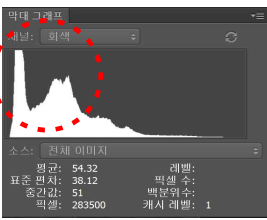
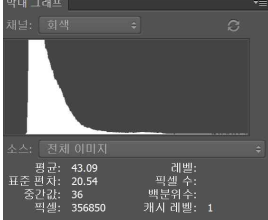
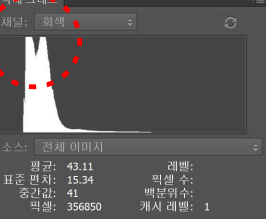
(2) 무용 영역 종류(예: 구름 그림자 등)에 따른 관심 대상 마스크 생성 기법 개선

구름 등과 같은 무용 영역의 분광값은 무용 영역 내부에서 일정한 값을 가지나, 구름의 그림자와 같이 무용 영역 내부의 분광값이 지표 속성이 반영된 혼합된 분광값을 가지는 경우에는 무용 영역 내부의 분광값이 비균일한 분포일 가능성이 높다. 따라서 혼합된 분광값을 가지는 무용 영역의 검출을 위해서는 검출을 위한 적절한 분광 밴드의 선택, 블러링 필터링에 의한 무용 영역 내부 및 외부 영역 간의 분광값 대비 증가, 영상 분할 파라미터의 조정이 필요하다.

(가) 분광 밴드의 선택

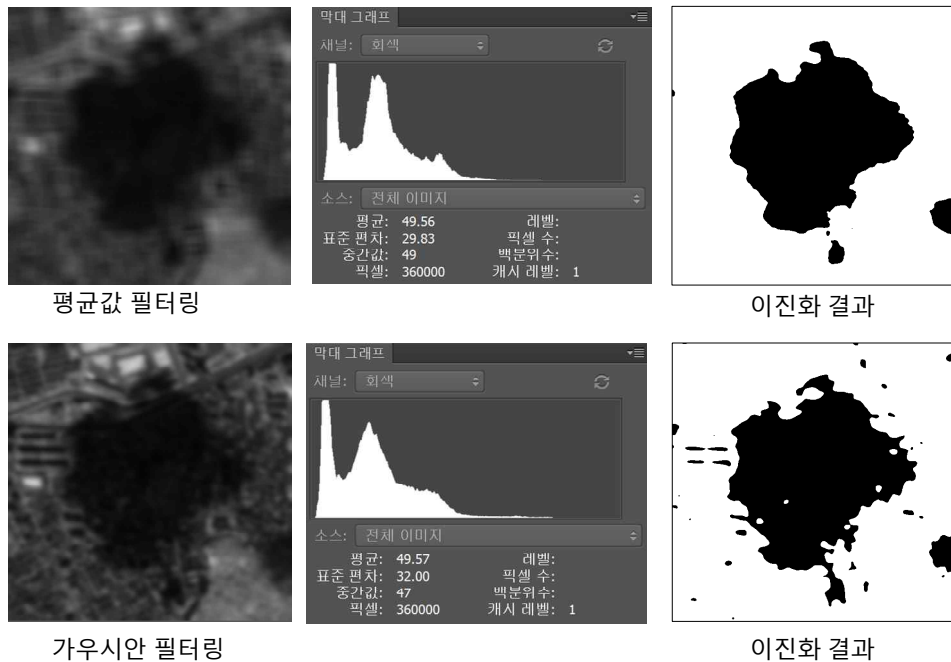
구름 그림자의 경우 RED 밴드 등 다른 밴드보다 NIR 밴드가 무용 영역 내부와 외부의 분광값 대비가 크고 블러링 필터링 후에 무용 영역 내부 및 외부의 이진화가 더욱 용이하다. (아래 히스토그램 원 내부 참조)

<표 2-79> 구름 그림자 히스토그램 분석

NIR 밴드		RED 밴드	
원영상	블러링(가우시안) 결과	원영상	블러링(가우시안) 결과
			
			

(나) 블러링 필터링(평균값 필터링)의 선택

블러링 필터링으로 평균값 필터링과 가우시안 필터링이 널리 사용된다. 평균값 필터링이 가우시안 필터링보다 인접한 화소들 간의 블러링 효과가 커서 블러링 후에 무용 영역 내부 영역과 외부 영역의 분광값이 각각 보다 균일화되어 관심 대상 마스크 생성에 보다 유리하다. 다음 그림에서와 같이 평균값 필터링 후에 무용 영역 내부 및 외부가 보다 균일한 값으로 블러링이 되고 이진화를 수행할 경우, 가우시안 필터링보다 균일한 이진화 결과를 보인다.



<그림 2-119> 블러링 필터링 및 이진화 결과

(다) 영상 분할 파라미터의 조정

구름 무용 영역과 달리 구름 그림자와 같이 어두운 영역의 분할을 위해서는 영상 분할시 마커 생성을 위한 그래디언트 임계값을 보다 낮은 값으로 조정할 필요가 있다. 구름 무용 영역의 경우 마커 생성 그래디언트 임계값은 50이 적정하나 구름 그림자의 경우에는 이보다 작은 임계값 20이 적정하다. 영상 분할 마커 임계값은 무용 영역의 종류에 따라 기본값 이외에 사용자가 필요에 따라 입력할 수 있는 기능을 인터페이스에 추후 반영할 예정이다.

바) 최종 관심대상(ROI) 영역 결정 및 마스킹 영역 정보 생산

(1) 최종 관심대상(ROI) 마스킹 영역 정보 계산

최종 획득된 관심대상(ROI)의 영역 정보 생산 과정은 다음 그림과 같다. 먼저 관심대상에 포함되는 화소(Mask_In)와 포함되지 않는 화소(Mask_Out)로 구성된 최종 관심대상 이진 영상에서 관심대상 화소(Mask_In)에 속하는 화소의 열(x) 방향 좌표의 최소값(min_x), 최대값(max_x)과 행(y) 방향 좌표의 최소값(min_y), 최대값(max_y)를 각각 구한다.

- 최종 관심대상 ROI의 Top-Left(TL) 좌표 계산(ROI 영상 좌표):

$$TL_x(ROI)=min_x, TL_y=min_y$$

- 최종 관심대상 ROI의 폭(TOI_width) 계산:

$$TOI_width= max_x - min_x$$

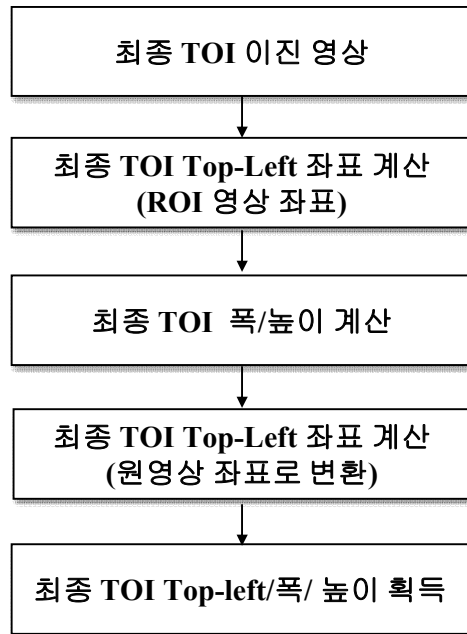
- 최종 관심대상 ROI의 높이(TOI_height) 계산:

$$TOI_height= max_y - min_y$$

- 원영상 좌표계에서의 최종 관심대상 ROI의 Top-Left(TL) 좌표 계산:

ROI의 Top_Left의 좌표(ROI_x, ROI_y)에서 ROI의 TL_x, TL_y 값을 각각 더한다.

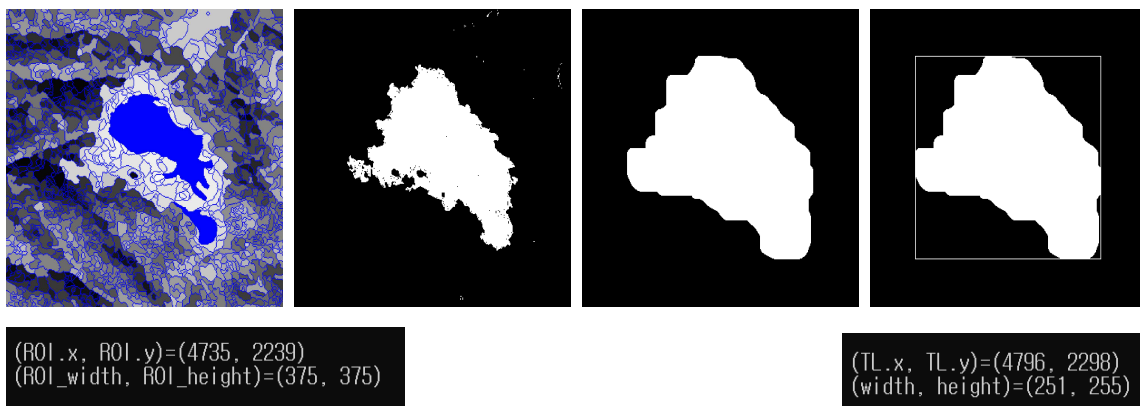
$$TL_x(원영상)=ROI_x+TL_x, TL_y(원영상)=ROI_y +TL_y.$$



<그림 2-120> 최종 관심대상(TOI) 마스크 영역 정보 계산 과정

(2) 최종 관심대상(TOI) 마스크 영역 정보 계산 실험

다음 그림은 최종 관심대상(TOI) 마스크 영역 정보 계산 실험 결과를 보여준다. 첫 번째 영상은 ROI 영상 내에서 관심대상의 일부를 사용자가 선택한 결과, 두 번째 영상은 히스토그램 역투영에 의해 선택된 관심대상 영역, 세 번째 영상은 median 필터링과 팽창 연산 필터링 후의 마스크 영역이다. 마지막 영상은 마스크 영역을 포함하는 사각형 영역을 도시한 결과이다. 마스크 영역의 TL의 (x, y) 좌표, 폭, 높이가 각각 계산되었다. 여기서 TL의 (x, y) 좌표는 원영상 좌표계에서의 좌표 정보를 나타낸다.



<그림 2-121> 최종 관심대상(TOI) 마스크 영역 정보 계산 실험 결과

사) 최종 관심대상(TOI) 영역 검출 결과 분석 및 개선(구름 그림자)

(1) 히스토그램 역투영 임계 확률 T_s 의 조정

앞서 설명한 내용과 같이 히스토그램 역투영에 의한 관심대상 영역 검출시 사용자가 선택한 영역 화소들의 히스토그램 정보에 기초하여 히스토그램 각 밝기값의 화소 개수를 정규화 과정을 통해 확률로 변환한 후에 역투영 임계 확률 T_s 보다 높은 화소들을 관심대상 영역으로 선택한다. 구름과 같이 밝은 무용 영역에 대해서는 역투영 임계 확률은 $T_s = 0.003$ 로 낮은 값을 설정하여 무용 영역 경계에 속하는 화소들도 무용 영역에 쉽게 포함될 수 있었다. 그러나 주변 화소들과 확연히 구분되는 구름과 달리 구름 그림자와 같이 어두운 무용 영역은 무용 영역 주변에 무용 영역 내부와 유사한 밝기값을 가지는 화소들이 분포할 가능성이 높기 때문에 역투영 임계 확률 T_s 를 적절한 값으로 설정할 필요가 있다.

역투영 임계 확률 T_s 를 높게 설정하면 사용자가 선택한 무용 영역의 밝기값에 보다 가까운 화소들이 관심대상 영역으로 선택되며, 기준 임계 확률 T_s 를 낮게 설정하면 유사도가 더 낮은 화소들도 관심 대상 영역으로 선택된다. 따라서 역투영 임계 확률 T_s 는 히스토그램 역투영 및 필터링 후에 생성되는 무용 영역 마스크가 관심대상 영역을 충분히 포함될 수 있도록 적절한 값으로 설정되어야 한다.

(2) 히스토그램 역투영 임계 확률 T_s 에 따른 구름 그림자 관심대상 영역의 변화 분석

역투영 임계 확률 T_s 변화에 따른 구름 그림자 관심대상 영역의 변화에 대한 사전 분석을 통해 기준 임계 확률 T_s 값으로 0.3, 0.1, 0.03의 세 가지 값에 대한 분석을 수행하였다. 다음 그림은 총 6개 구름 그림자 영상에 대해 영상 분할, 역투영에 의한 초기 관심대상 영역 추출 결과와 median 필터와 팽창 연산 필터링을 적용한 최종 관심대상 영역 검출 결과를 각각 보여준다.

역투영 임계 확률 $T_s=0.3$ 인 경우, 사용자가 선택한 초기 무용 영역과 상대적으로 매우 유사한 화소들이 초기 관심대상 영역으로 추출되었으며 Site 3, Site 5, Site 6의 경우 무용 영역의 일부 영역이 최종 관심대상 영역에 포함되지 않았다.

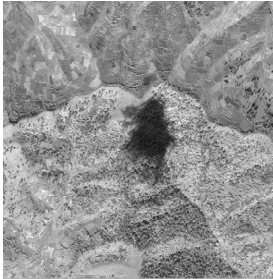
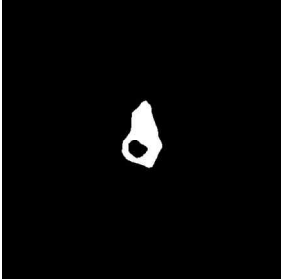
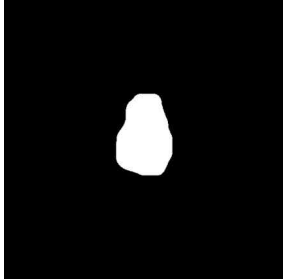
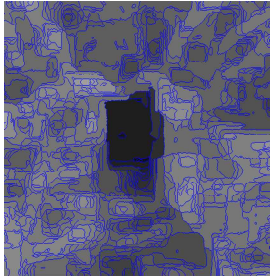
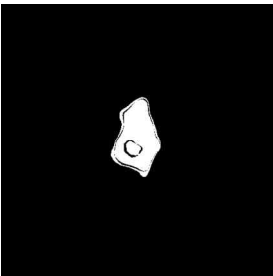
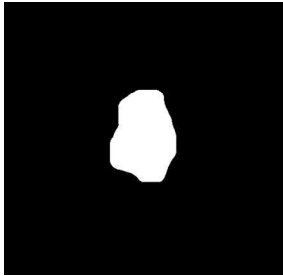

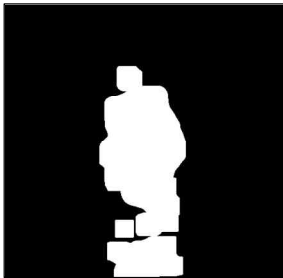
역투영 임계 확률 $T_s=0.1$ 인 경우, Site 3, Site 5의 무용 영역의 작은 일부 영역이 최종 관심대상 영역에 포함되지 않았으나 대부분의 경우 무용 영역이 최종 관심대상 영역에 포함됨을 확인할 수 있다.

역투영 임계 확률 $T_s=0.03$ 인 경우, 모든 사이트에서 무용 영역이 최종 관심대상 영역에 포함됨을 확인할 수 있었다. Site 1의 경우 $T_s=0.03$ 적용시 구름 그림자 영역의 아래 영역 중 일부 화소 밝기값이 구름 그림자와 같은 어두운 화소들도 최종 관심대상 영역에 포함되었다. Site 1의 경우와


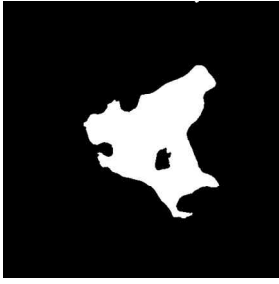
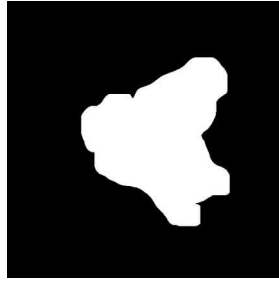
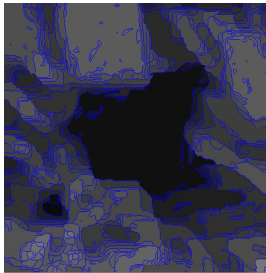

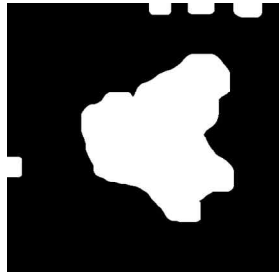

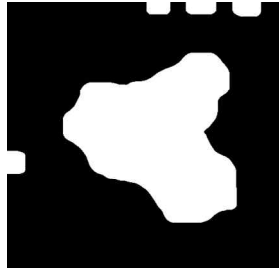
같이 무용 영역과 유사한 밝기값을 가지고 매우 가까이 근접한 화소들이 무용 영역에 포함되어 복원되어도 사용자 입장에서는 무용 영역 및 근접한 영역들의 시각적 판독 향상에 기여하는 것으로 이해할 수 있다.

따라서 구름 그림자 검출을 위한 역투영 임계 확률 T_s 는 무용 영역이 최종 관심대상 영역에 충분히 포함될 수 있도록 $T_s=0.03$ 을 기본값으로 설정하고 무용 영역 영상에 따라 필요시 사용자가 변경할 수 있도록 인터페이스에 관련 기능을 추가할 필요가 있다.

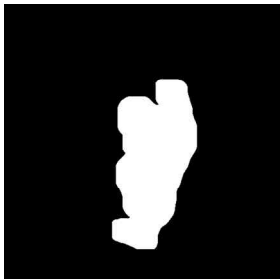
<표 2-80> 역투영 임계값에 따른 구름 그림자 무용영역 추출 과정 (Site1)

구 분	영상분할 결과	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
Site 1	 <p>원영상</p>	 <p>역투영 임계 확률 $T_s = 0.3$</p>	
	 <p>영상분할(확대)</p>	 <p>역투영 임계 확률 $T_s = 0.1$</p>	
		 <p>역투영 임계 확률 $T_s = 0.03$</p>	


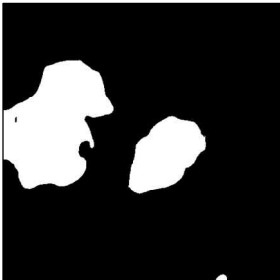
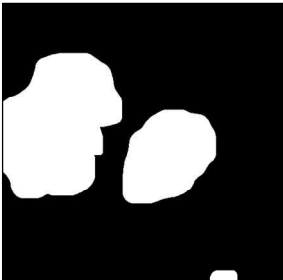
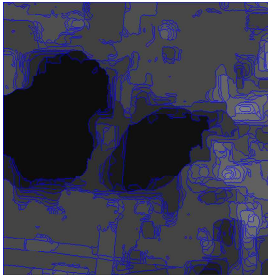
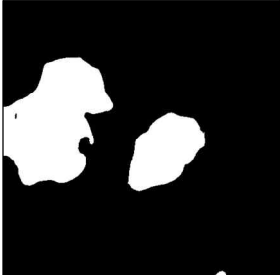
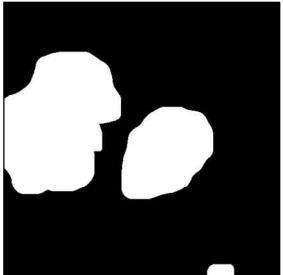

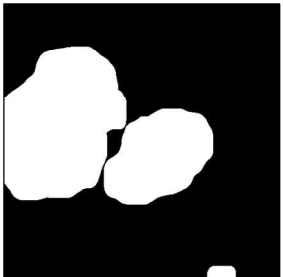
<표 2-81> 역투영 임계값에 따른 구름 그림자 무용영역 추출 과정 (Site2)

구 분	영상분할 결과	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
Site 2	 <p>원영상</p>	 <p>역투영 임계 확률 $T_s = 0.3$</p>	
	 <p>영상분할(확대)</p>	 <p>역투영 임계 확률 $T_s = 0.1$</p>	
		 <p>역투영 임계 확률 $T_s = 0.03$</p>	

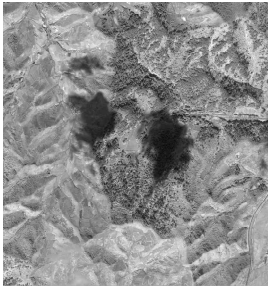

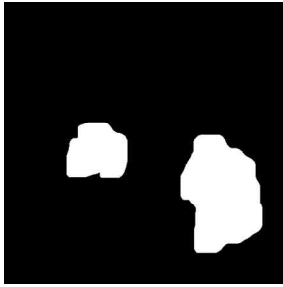
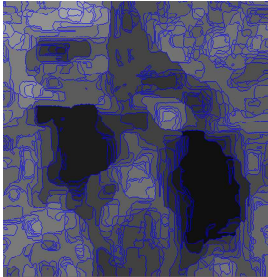
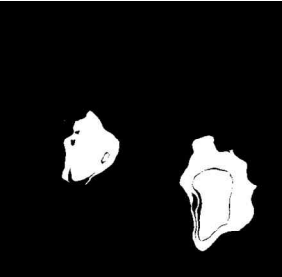
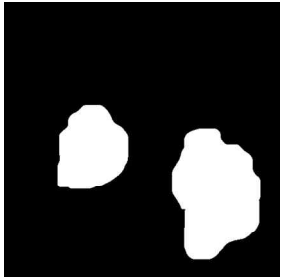
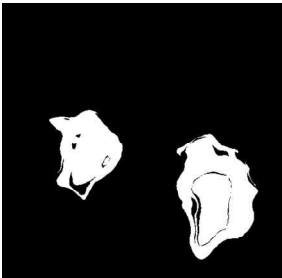
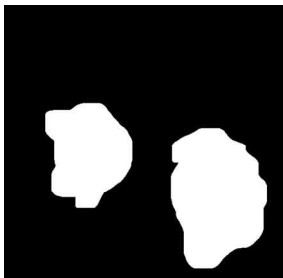
<표 2-82> 역투영 임계값에 따른 구름 그림자 무용영역 추출 과정 (Site3)

구 분	영상분할 결과	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
Site 3			
	원영상	역투영 임계 확률 $T_s = 0.3$	
			
	영상분할(확대)	역투영 임계 확률 $T_s = 0.1$	
			
		역투영 임계 확률 $T_s = 0.03$	



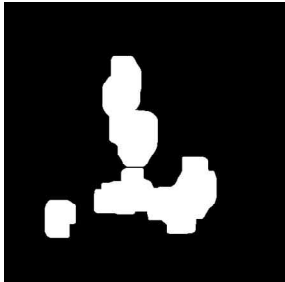
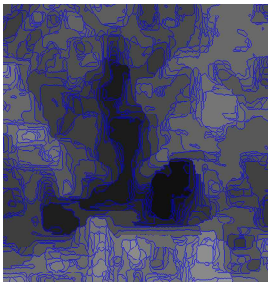
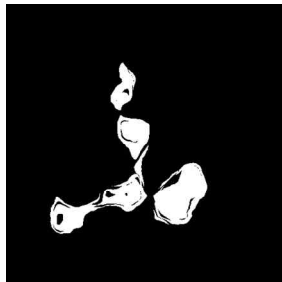
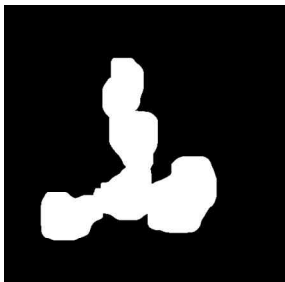
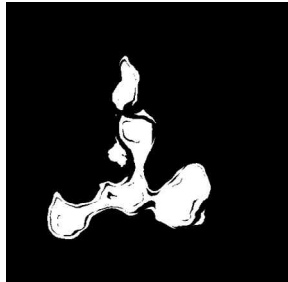
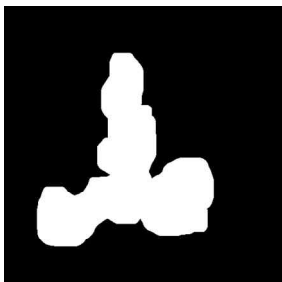
<표 2-83> 역투영 임계값에 따른 구름 그림자 무용영역 추출 과정 (Site4)

구 분	영상분할 결과	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
Site 4			
	원영상	역투영 임계 확률 $T_s = 0.3$	
			
	영상분할(확대)	역투영 임계 확률 $T_s = 0.1$	
			
		역투영 임계 확률 $T_s = 0.03$	

<표 2-84> 역투영 임계값에 따른 구름 그림자 무용영역 추출 과정 (Site5)

구 분	영상분할 결과	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
Site 5	 원영상	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.3$	
	 영상분할(확대)	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.1$	
		 역투영 임계 확률 $T_s = 0.03$	

<표 2-85> 역투영 임계값에 따른 구름 그림자 무용영역 추출 과정 (Site6)

구 분	영상분할 결과	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
Site 6	 원영상	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.3$	
	 영상분할(확대)	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.1$	
		 역투영 임계 확률 $T_s = 0.03$	

아) 무용영역 검출을 위한 최적의 파라미터 도출(영상 분할 및 관심 대상 영역 결정)

(1) 무용 영역 검출 단계별 파라미터 종류, 기능, 최적값

무용 영역 검출을 위한 영상 분할, 무용 영역 선택, 무용 영역 후처리의 각 단계별 파라미터 종류, 파라미터 기능, 최적값은 다음 표와 같다.

<표 2-86> 무용 영역 검출 단계별 파라미터 종류, 기능, 최적값

구분	파라미터 종류	기능	최적값 /적정 범위
영상 분할	Median 필터 크기	영상 분할 영역의 개수를 결정하는 마커 생성 개수를 조정. Median filter의 크기가 커지면 잡음 성분이 보다 잘 제거됨에 따라 주변 화소 보다 그레디언트가 작은 마커의 생성 가능성이 감소하면서 분할 영역의 개수가 함께 감소. Median filter의 크기가 너무 큰 경우에는 유사한 밝기값 영역들이 과도하게 결합됨	필터 크기: 7
	마커 생성 임계값	마커 생성 임계값이 증가하면 마커의 기준이 되는 임계값이 커지게 됨에 따라 마커의 개수가 감소하고 분할 영역의 개수가 함께 감소하게 됨	마커임계값(구름): 50 마커임계값(구름그림자): 20(기본값), (사용자 입력:10~30)
무용 영역 선택	히스토그램 역투영 임계값(T_s)	사용자가 선택한 영역 화소들의 히스토그램 정보에 기초하여 역투영 임계 확률 T_s 보다 높은 화소들을 관심대상 영역으로 선택 함	구름: $T_s = 0.003$ 구름그림자: $T_s=0.03(\text{기본값})\sim 0.1$ (사용자 입력)
무용 영역 후처리	Median 필터(필터 크기, 반복 횟수)	무용 영역 내부 및 경계 주변의 점잡음(salt and pepper) 형태의 잡음 성분 등을 제거하기 위한 필터링. 다양한 무용 영역(구름 및 구름 그림자)에 대한 추가 테스트 결과를 반영하여 필터 크기 및 반복 횟수 결정	필터 크기: 7 반복 횟수: 5
	팽창 필터(필터 크기, 반복 횟수)	무용 영역 경계의 외부에 존재할 수 있는 일부 무용 영역을 충분히 포함하기 위한 필터링. 다양한 무용 영역(구름 및 구름 그림자)에 대한 추가 테스트 결과를 반영하여 필터 크기 및 반복 횟수 결정	필터 크기: 5 반복 횟수: 7

영상 분할 파라미터: Median 필터와 마커 생성 임계값은 분할된 영역의 개수를 결정하는 파라미터로 구름의 경우 마커 임계값은 50, 구름 그림자의 경우 마커 임계값은 20이 최적값으로 판단된다. 다만 구름 그림자의 경우 구름 그림자와 주변 밝기값의 차이에 따라 영상 분할 결과가 영향을 받는 점을 고려하여 사용자가 영상에 따라 필요시 마커 임계값을 입력하는 기능 추가가 필요하다.

무용 영역 선택을 위한 히스토그램 역투영 임계값(T_s)은 구름의 경우 $T_s = 0.003$, 구름 그림자

의 경우 $T_s = 0.03$ 이 최적값으로 판단된다. 다만 구름 그림자의 경우 구름 그림자와 주변 영역의 밝기값 차이가 크지 않는 경우도 고려하여 사용자가 영상에 따라 필요시 히스토그램 역투영 임계값을 입력하는 기능 추가가 필요하다.

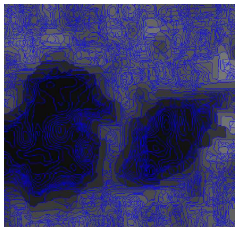
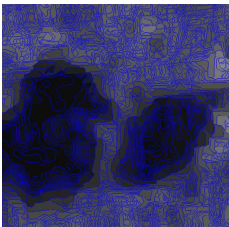
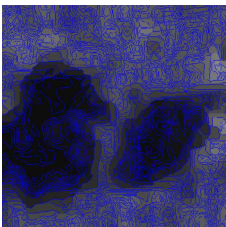
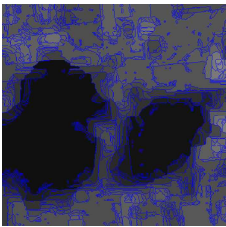
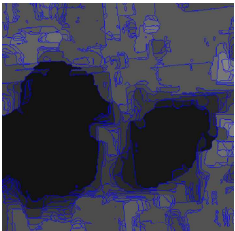
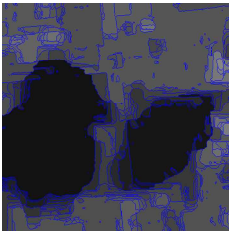
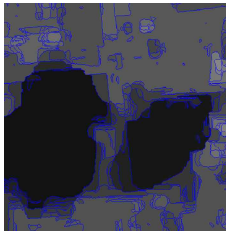
무용 영역 후처리 단계의 median 필터링과 팽창 필터링은 히스토그램 역투영 결과에 기초하여 무용 영역이 충분히 포함되도록 파라미터 값이 결정되었으며 다양한 무용 영역(구름 및 구름 그림자)에 대한 테스트 결과를 반영하여 최적의 필터 크기 및 반복 횟수를 결정하였다.

(2) 구름 그림자 영상 분할을 위한 마커 생성 임계값

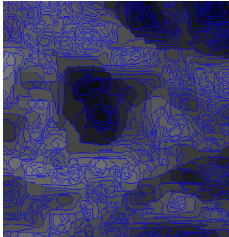
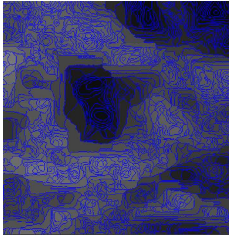
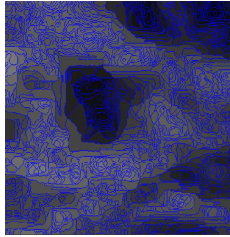
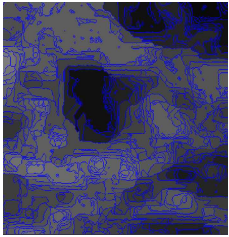
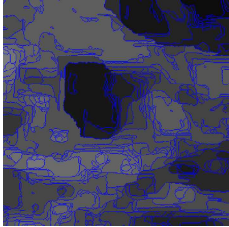
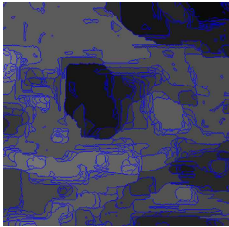
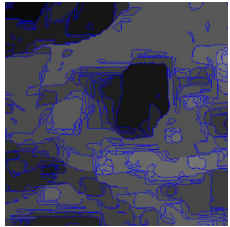
구름 그림자 영상의 마커 생성 임계값 변화에 따른 영상 분할 결과는 다음 그림과 같다. 마커 생성 임계값이 너무 크면 무용 영역 내부와 외부를 구분하는 경계선 부분이 정확하게 구분되지 않을 수 있고 반면에 마커 생성 임계값이 너무 작은 경우에는 무용 영역 내부가 과도 분할되어 사용자가 선택해야 할 영역이 과도하게 증가할 수 있다.

마커 생성 임계값 변화에 따른 영상 분할 결과(1), (2)와 다양한 구름 그림자 영상에 대한 원영상 및 영상 분할 결과(1), (2) (마커 임계값=20)를 종합적으로 고려할 때 구름 그림자 영상의 마커 생성 임계값은 20이 적절하다고 판단되며, 사용자가 영상에 따라 필요시 마커 임계값을 입력하는 기능 추가가 필요하다. 원영상 및 영상 분할 결과(1), (2)(마커 임계값=20)는 동일 영상 기반 무용 영역 복원 결과에 그대로 사용되어 구름 그림자 영상의 마커 생성 임계값의 기본값으로서의 적절성을 확인하였다.




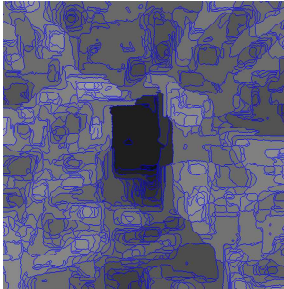
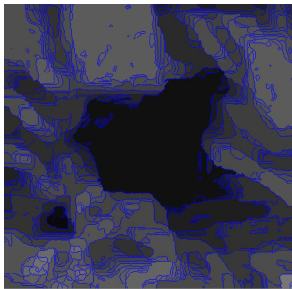
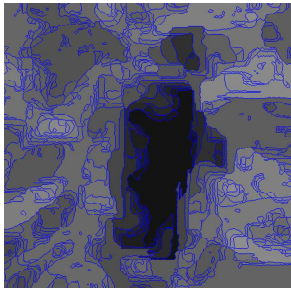
<표 2-87> 마커 생성 임계값 변화에 따른 영상 분할 결과(1)

마커 생성 임계값 변화에 따른 영상 분할 결과(1)			
			
임계값: 7	임계값: 13	임계값: 15	임계값: 17
			
임계값: 20	임계값: 25	임계값: 30	




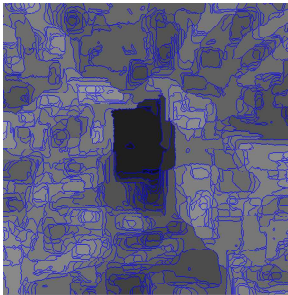
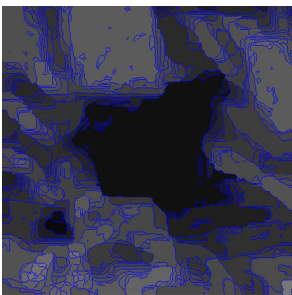
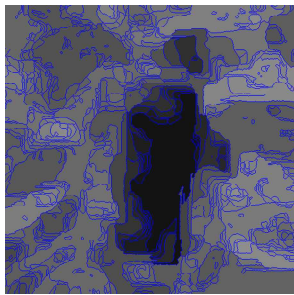
<표 2-88> 마커 생성 임계값 변화에 따른 영상 분할 결과(2)

마커 생성 임계값 변화에 따른 영상 분할 결과(2)			
			
임계값: 7	임계값: 13	임계값: 15	임계값: 17
			
임계값: 20	임계값: 25	임계값: 30	

<표 2-89> 원영상 및 영상 분할 결과(1)

원영상 및 영상 분할 결과(1) (마커 임계값=20)		
		
		

<표 2-90> 원영상 및 영상 분할 결과(2)

원영상 및 영상 분할 결과(2) (마커 임계값=20)		
		
		

자) 다양한 배경의 무용 영역(구름 그림자)에 대한 관심 대상 마스크 생성

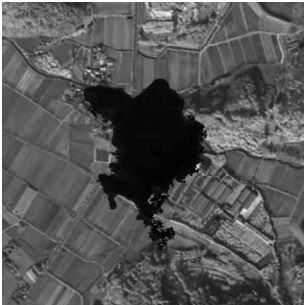

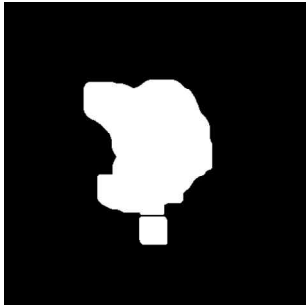
(1) 무용 영역 검출 단계별 파라미터 종류, 기능, 최적값

구름 그림자 영역을 다양한 지역(농경지, 농경지+산림, 산림)을 배경으로 생성하여 관심 대상 마스크를 생성하였다. 배경 지역에 따라 히스토그램 역투영에 의한 초기 무용 영역 선택 결과는 조금씩 차이가 있으나 히스토그램 역투영 이후 후처리 필터링 적용 후에는 무용 영역(구름 그림자)을 충분히 포함하는 관심 대상 마스크를 생성하였다.




<표 2-91> 무용영역 마스크 생성 결과 (Site 1)

구 분	무용 영역	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
Site 1 (농경지)	 <p>타겟 영상</p>	 <p>역투영 결과</p>	 <p>역투영 및 필터링 결과</p>

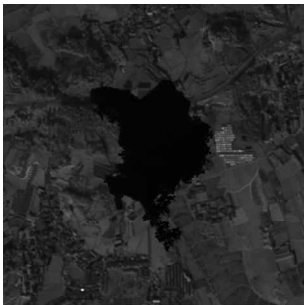

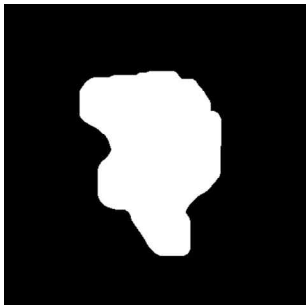
<표 2-92> 무용영역 마스크 생성 결과 (Site 2)

구 분	무용 영역	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
Site 2 (농경지)	 <p>타겟 영상</p>	 <p>역투영 결과</p>	 <p>역투영 및 필터링 결과</p>

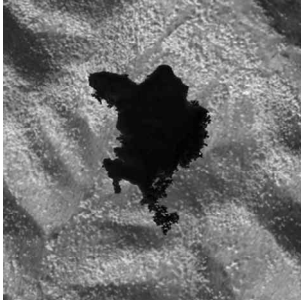

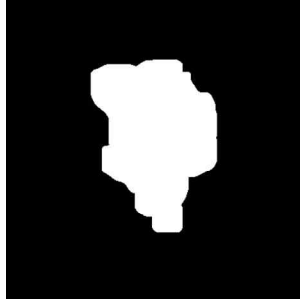
<표 2-93> 무용영역 마스크 생성 결과 (Site 3)

구 분	무용 영역	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
Site 3 (농경지 및 산림)	 <p>타겟 영상</p>	 <p>역투영 결과</p>	 <p>역투영 및 필터링 결과</p>

<표 2-94> 무용영역 마스크 생성 결과 (Site 4)

구 분	무용 영역	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
Site 4 (농경지 및 산림)	 <p>타겟 영상</p>	 <p>역투영 결과</p>	 <p>역투영 및 필터링 결과</p>

<표 2-95> 무용영역 마스크 생성 결과 (Site 5)

구 분	무용 영역	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
Site 5 (산림)			
	타겟 영상	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과

3) 참조 영상 기반 관심 대상(TOI) 영역 보간 실험

가) 초기 테스트를 위한 관심대상(TOI) 마스크 제작

(1) 관심대상(TOI) 마스크 제작 배경

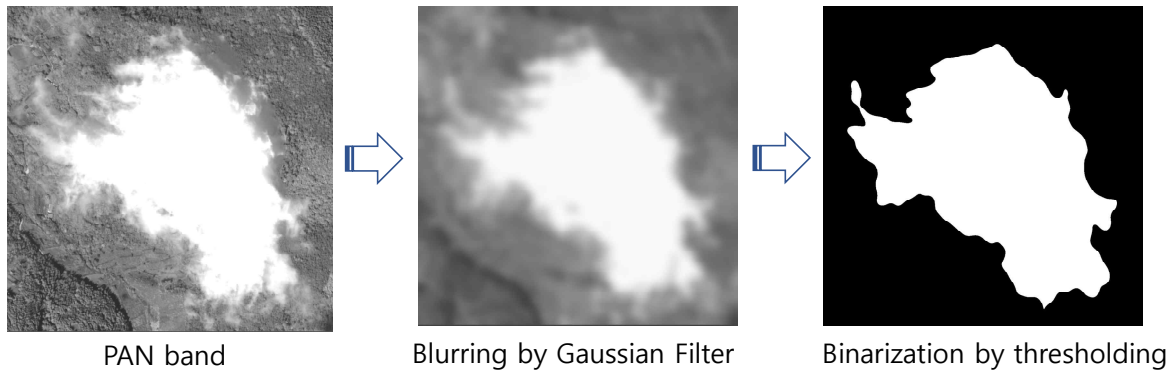
참조 영상 및 동일 영상 기반의 관심대상(TOI) 영역 보간 수행에 필요한 관심대상(TOI) 영역을 영상 처리 기법을 이용하여 반자동으로 추출하고자 한다. 두꺼운 구름 등과 같이 분광 특성이 비교적 단순한 형태의 무용 영역 반자동 검출의 가능성을 확인하고자 한다.

(2) 관심대상(TOI) 마스크 검출 기법

무용 영역과 무용 영역 외부의 전체적인 분광 특성의 대비(contrast) 비교에 의한 분할을 고려하여 영상에 블러링 필터를 적용하고, 이후 무용 영역과 무용 영역 외부의 구분을 위해 임계값 적용에 의한 이진화를 수행한다.

(3) 관심대상(TOI) 마스크 검출 결과

PAN 영상을 이용하여 가우시안 필터에 의한 블러링을 수행한 후에 임계값 적용에 의한 무용 영역(구름)을 검출하였다.



- Test Image(PAN): K3A_20171021044156_14209_00123971_L1R_P
- Top Left: (21472, 13716)
- Width x Height: 1,200 x 1,200
- Gaussian Filter Size: 101
- Threshold value of Binarization: 168

<그림 2-122> 임계값 적용에 의한 무용영역(구름) 검출 결과

(4) 관심대상(ROI) 마스크 검출 결과 활용

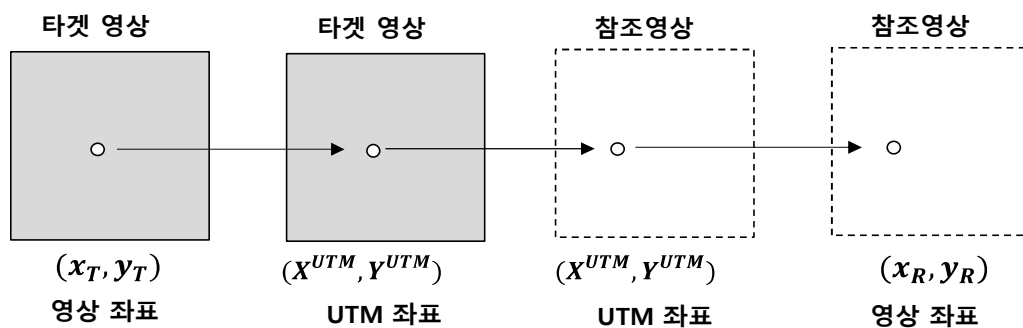
참조 영상/동일 영상 기반 관심 대상(ROI) 영역 보간에 필요한 관심대상(ROI) 영역을 관심대상(ROI) 마스크를 이용하여 추출하고 보간에 활용한다.

나) 참조 영상 기반 보간 기법 구현(관심대상 마스크 영역 좌표 변환)

(1) 관심대상 마스크 영역 좌표 변환

타겟 영상에 존재하는 관심 대상(ROI) 마스크 영역을 참조 영상을 이용하여 보간하기 위해서는 타겟 영상 화소 좌표와 참조 영상의 화소 좌표 간의 대응 관계를 구해야 한다. 대응 관계는 다음 두 가지 변환 과정으로 이루어진다.

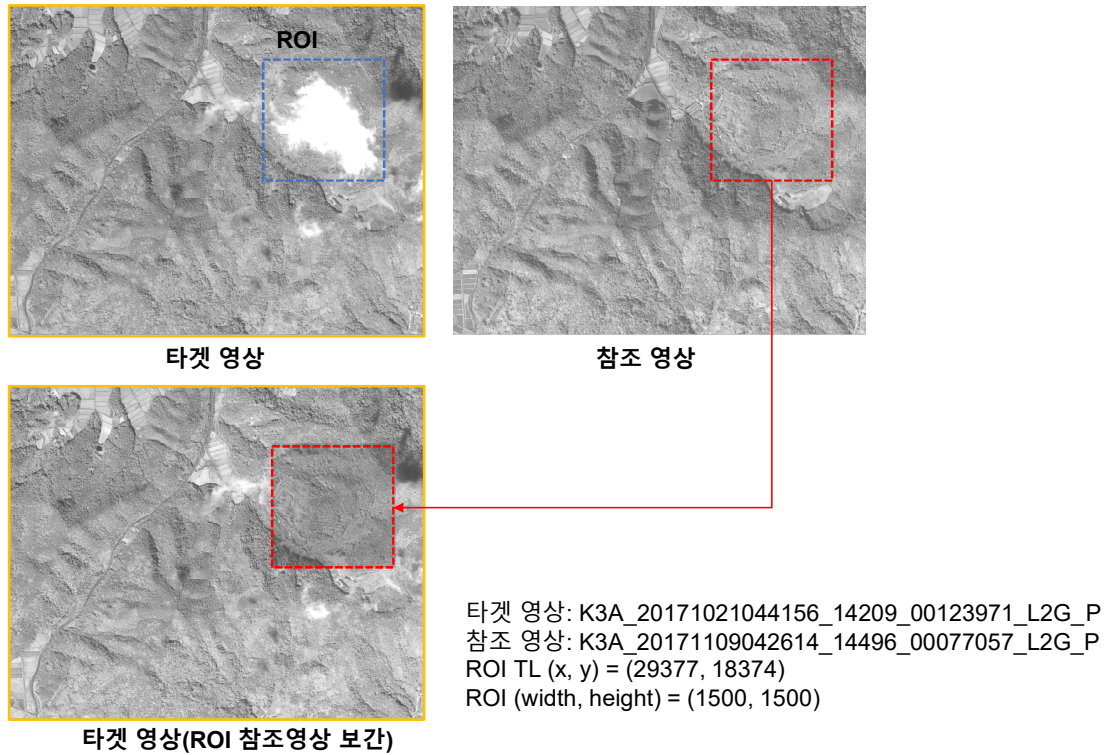
- 단계 1: 타겟 영상의 영상 좌표를 UTM 좌표로 변환
- 단계 2: UTM 좌표를 참조 영상의 영상 좌표로 변환



<그림 2-123> 관심대상 마스크 영역 좌표 변환 과정

(2) 관심대상 마스크 영역 좌표 변환 결과

타겟 영상의 구름 영역을 ROI 영역으로 지정한 후에 좌표 변환을 통해 참조 영상에서 ROI 영역을 구하고 타겟 영상의 ROI 영역을 보간한다.



<그림 2-124> 관심대상 마스크 영역 좌표 변환 결과

다) 관심대상(TOI) 마스크를 이용한 참조 영상 기반 보간 기법 실험

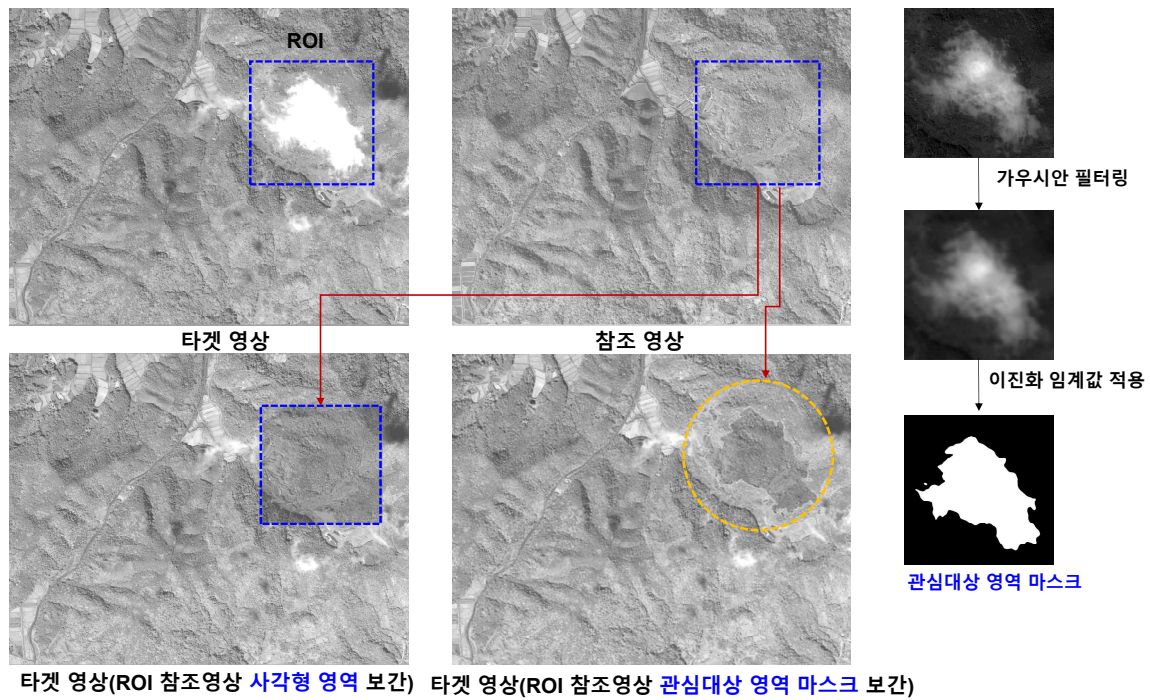
(1) 관심대상 마스크를 이용한 참조 영상 기반 보간

참조 영상 기반의 보간 과정은 다음과 같이 4단계로 이루어진다.

- 단계 1: 타겟 영상 ROI 좌표를 UTM 좌표로 변환
- 단계 2: UTM 좌표를 참조 영상에 적용하여 ROI 영상 좌표 획득
- 단계 3: 타겟 영상 ROI 내부에서 가우시안 필터링과 임계값을 적용하여 관심대상 영역 마스크 획득
- 단계 4: 타겟 영상 ROI 내부에서 관심대상 영역 마스크 내부 화소는 참조 영상에서, 그 외 화소는 타겟 영상을 참조하여 보간 영상 생성

(2) 보간 결과

타겟 영상의 ROI 내부에서 관심대상 영역 마스크를 생성하여 참조 영상을 이용하여 보간을 수행하였다. 관심 대상 영역 마스크 생성, 타겟 영상과 참조 영상 간 좌표 변환, 참조 영상을 이용한 관심 대상 마스크 영역에 대해 보간을 수행하였다.

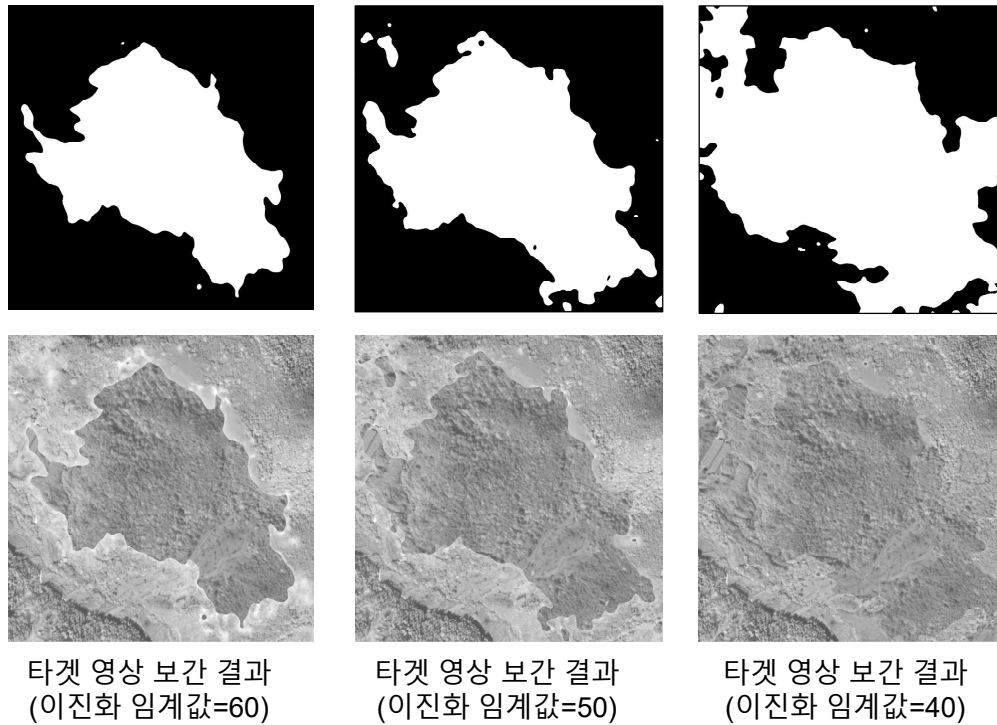


<그림 2-125> 타겟 영상과 참조 영상 간 마스크 보간 수행 결과

라) 참조 영상 기반 보간 기법 결과 분석

(1) 이진화 임계값에 따른 보간 결과

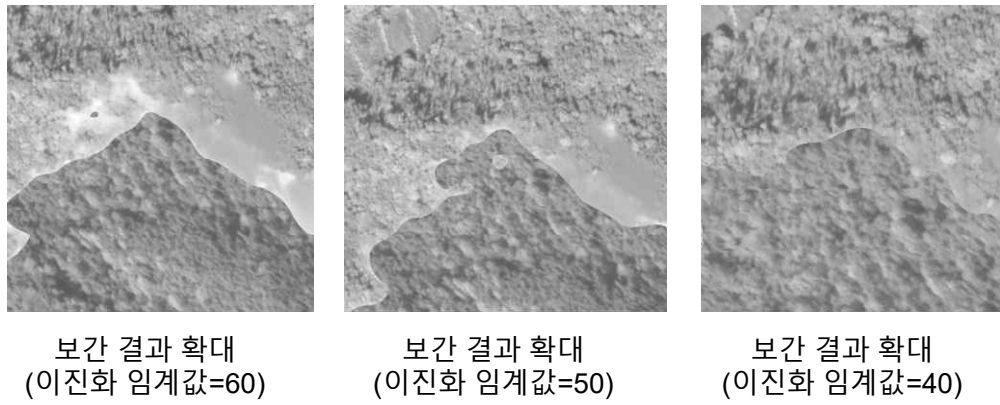
타겟 영상의 ROI 내부에서 관심 대상 영역 마스크를 생성하여 참조 영상을 이용하여 보간을 수행하였다. 관심대상 영역 마스크 생성 임계값(40, 50, 60)에 따른 타겟 영상 보간 결과는 다음 그림과 같다.



<그림 2-126> 이진화 임계값에 따른 보간 결과 비교

(2) 분석 결과

이진화 임계값이 커질수록 무용 영역이 작아지며 무용 영역 경계를 중심으로 무용 영역 내부와 외부의 밝기값 차이가 증가한다. 이진화 임계값을 무용 영역이 관심 대상 영역 마스크 내부에 충분히 포함되도록 설정하면 무용 영역 경계 주변에서의 밝기값 차이를 감소시킬 수 있다. 타겟 영상과 참조 영상 간의 상대 기하 오차로 인해, 보간된 무용 영역 경계를 중심으로 지표 정보 불연속 현상이 관찰되었다. 자연 지형에서는 상대 기하 오차로 인한 지표 정보의 불연속 현상이 시각적으로 잘 관찰되지 않으나 화소 단위 레벨에서는 지표 정보 불연속 현상이 식별되므로 상대 기하 오차를 보정하여 참조 영상 기반 보간 기법을 보완하는 단계가 필요하다.

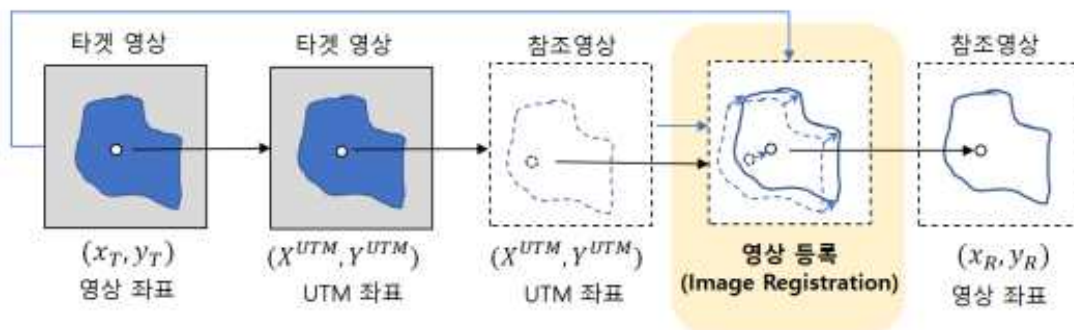


<그림 2-127> 이진화 임계값에 따른 보간 결과 확대 비교

마) 참조 영상 기반 보간 기법 보완 검토

(1) 영상 등록(Image Registration)을 이용한 참조 영상 좌표 갱신

상대 기하 오차로 인한 보간 영역 경계 주위의 지표 정보 불연속 연결 현상을 개선하기 위하여 타겟 영상과 참조 영상 간의 영상 등록을 수행한다. 타겟 영상 화소의 UTM 좌표에 해당하는 참조 영상의 좌표를 초기 위치로 삼고, 타겟 영상과 참조 영상 간 영상 등록을 수행하여 타겟 영상의 관심 대상(TOI)에 대응하는 참조 영상의 영상 좌표를 갱신한다.



<그림 2-128> 영상 등록(Image Registration)을 이용한 참조 영상 좌표 갱신

(2) 영상 등록 기법 적용시 고려 사항

촬영 조건(촬영 기하, 촬영 시간, 대기 조건, 계절적 상이함 등)의 차이로 인해 발생하는 영상 분광 정보의 차이가 존재하는 조건을 고려해야 하며 영상 간 밝기값을 직접 비교하는 유사도 비교 방식보다는 유사도 비교 영역의 밝기값에 대한 확률기반의 비교 방법 적용이 필요하다. 대표적인 확률기반의 유사도 계산 기법으로 상호정보량(Mutual Information) 기반의 유사도 계산 방법을 이용하여 영상 등록을 수행한다.

바) 상호정보량(Mutual Information) 기반의 영상 등록

(1) 상호정보량 기반의 영상 등록 연구

고해상도 위성영상(아리랑위성 2/3/3A)를 이용한 상호 정보량 기반의 영상 등록과 관련된 대표적인 연구 결과는 다음 표와 같다. 문헌 1에서는 영상 간 분광 특성이 상이한 홍수 재해 전후 영상에 대해 상호정보량 기반의 영상 등록 기법 적용을 통해 0.6~0.7 화소의 영상 등록 오차 성능이 확인되었다. 문헌 2에서는 유사도 계산에 일반적으로 사용하는 사각형 형태의 템플릿이 아닌 회전 불변(rotation-invariant)의 우수한 특성을 가지는 원형 템플릿(circular template)과 상호 정보량을 이용한 유사도 계산 기법을 이용하여 회전 성분이 있는 영상간 0.704 화소의 영상 등록 오차 성능이 확인되었다. 문헌 3에서는 이상치제거와 삼각망 기반의 영상 등록을 통해 0.35 화소의 영상 등록 오차 성능이 확인되었다. 문헌 4에서는 서로 다른 해상도를 가지는 아리랑위성 영상 간의 상대적인 공간 해상도 차이를 가변 원형 템플릿(variable circular template)과 상호정보량을 이용한 유사도 계산 기법을 이용하여 스케일팩터(상대적인 공간해상도 비율)를 0.004 이하의 매우 작은 오차로 자동 검출한 결과를 보였다.

특히 문헌 4의 방법은 기존의 영상 등록 방법이 스케일 및 회전에 불변한 특징점 검출 및 정합 관점에서 다양한 영상 기술자와 정합 방식을 제시하는데 반해서 특징점 주변의 넓은 영역에 대한 영상 변환이라는 새로운 관점에서 영상 등록 문제를 해결하였다. 영상 변환 관점의 새로운 접근 방법을 통해 서로 다른 해상도를 가지는 영상 간의 상대적인 스케일, 회전량, 특징점 위치를 정밀하게 획득하였다.

<표 2-96> 고해상도 위성영상(아리랑위성 2/3/3A)를 이용한 영상 등록 연구 주요 결과

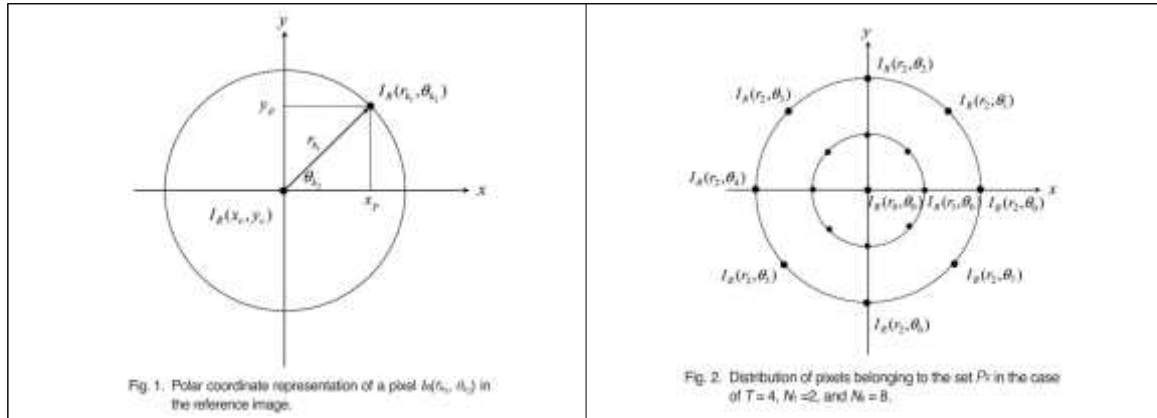
필터형태	실험 영상	유사도 측정 방식	오차 [pixel]	참고 문헌
정사각형	아리랑2호 PAN	Intensity + Mutual Information	0.753	Ye, 2011
		Gabor Energy + Mutual Information	0.628	
원형	아리랑2호 PAN	Intensity + Mutual Information	0.704	Ye, 2015
정사각형	아리랑2호 PAN	Intensity + Pearson Correlation Coefficient + Outlier Removal + TIN	0.35	Ye, 2014
가변 원형	아리랑2/3/3A호	Intensity + Mutual Information	<ul style="list-style-type: none"> •스케일팩터: 0.004 이하 •회전 각도: 0.3도 이하 •위차: 1pixel 이하 	Ye, 2018

사) 원형템플릿과 상호정보량 기반의 유사도 계산을 이용한 참조 영상 좌표 갱신

(1) 원형 템플릿의 원리

영상 등록을 위한 유사도 계산에 일반적으로 사용되는 사각형 형태의 템플릿을 사용하는 대신에 무용 영역을 중심으로 일정 거리에 위치하는 화소들을 이용하여 유사도를 비교하기 위하여 원형 템플릿을 유사도 계산의 템플릿으로 사용한다.

<표 2-97> 원형 템플릿 설정 방안



템플릿의 중심 위치(무용 영역의 대략적인 중심 위치)를 원점으로 정하면 원점에서 일정한 거리에 위치한 화소의 위치는 극좌표계(polar coordinate)로 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} x_p &= x_c + r_{k_1} \cos(\theta_{k_2}) \\ y_p &= y_c + r_{k_1} \sin(\theta_{k_2}) \end{aligned}$$

타겟 영상과 참조 영상의 극좌표계(polar coordinate)로 표현된 원형 템플릿에 속하는 화소 집합은 다음과 같이 각각 표현된다.

$$\begin{aligned} P_T &= \{I_T(r_{k_1}, \theta_{k_2}) | k_1 = 0, 1, 2, \dots, N_1, k_2 = 0, 1, 2, \dots, N_2\} \\ P_R &= \{I_R(r_{k_1}, \theta_{k_2}) | k_1 = 0, 1, 2, \dots, N_1, k_2 = 0, 1, 2, \dots, N_2\} \end{aligned}$$

타겟 영상의 원형 템플릿 화소 집합 P_T 와 참조 영상의 원형 템플릿 화소 집합 P_R 은 중심에서의 거리 r_{k_1} 와 회전각 θ_{k_2} 에 대한 2차원 이산극좌표행렬(Discrete Polar Coordinate Matrix) M_T , M_R 로 다음과 같이 각각 정의된다.

$$M_T = \begin{bmatrix} I_T(r_0, \theta_0) & \cdots & I_T(r_0, \theta_{N_2}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ I_T(r_{N_1}, \theta_0) & \cdots & I_T(r_{N_1}, \theta_{N_2}) \end{bmatrix}$$

$$M_R = \begin{bmatrix} I_R(r_0, \theta_0) & \cdots & I_R(r_0, \theta_{N_2}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ I_R(r_{N_1}, \theta_0) & \cdots & I_R(r_{N_1}, \theta_{N_2}) \end{bmatrix}$$

타겟 영상과 참조 영상의 원형 템플릿 간의 유사도 계산은 2차원 이산극좌표행렬(Discrete Polar Coordinate Matrix) M_T , M_R 간의 유사도 계산으로 변환된다.

(2) 원형 템플릿의 유사도 계산

2차원 이산극좌표행렬 M_T , M_R 간의 상호정보량(Mutual Information)은 다음과 같이 정의된다.

$$MI(M_T, M_R) = H(M_T) + H(M_R) - H(M_T, M_R)$$

여기서

$$H(M_T) = \sum_a (-p_{M_T}(a) \cdot \log p_{M_T}(a))$$

$$H(M_R) = \sum_b (-p_{M_R}(b) \cdot \log p_{M_R}(b))$$

$$H(M_T, M_R) = \sum_{a,b} (-p_{M_T, M_R}(a,b) \cdot \log p_{M_T, M_R}(a,b))$$

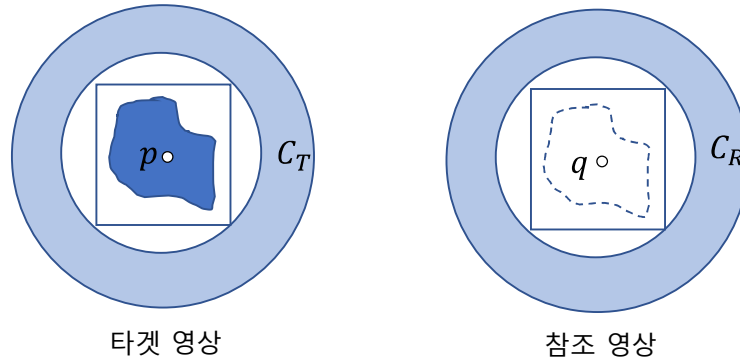
위 식에서 a, b 는 타겟 영상과 참조 영상의 이산극좌표행렬 M_T , M_R 의 각 항의 밝기값을 의미하고 p 는 확률 질량 함수(probability mass function)을 의미한다. 타겟 영상과 참조 영상간 영상 등록 문제는 다음 식과 같이 상호정보량이 최대가 될 때의 (x, y) 를 구하는 문제로 치환된다.

$$t^* = \operatorname{argmax} MI(M_T, M_R(t)), t = (x, y)^T$$

(3) 새로운 원형 템플릿 설계 및 구현 방법

타겟 영상의 무용 영역 내부는 참조 영상과는 상이한 영상 정보(구름, 그림자 등)로 구성되어 있으므로 타겟 영상과 참조 영상의 유사도 비교시 무용 영역 내부는 제외하고 다음과 같이 무용 영역 외부의 화소들을 이용하여 유사도를 비교한다. 타겟 영상의 관심 대상(ROI) 영역을 포함하는 원형 템플릿을 위 그림과 같이 원형 띠 형태로 설정하고, 동일한 형태의 템플릿을 참조 영상 위의

일정 탐색 범위 내에서 이동시키며 두 템플릿 C_T 와 C_R 의 상호 정보량(MI)이 최대가 되는 위치를 검출한다.

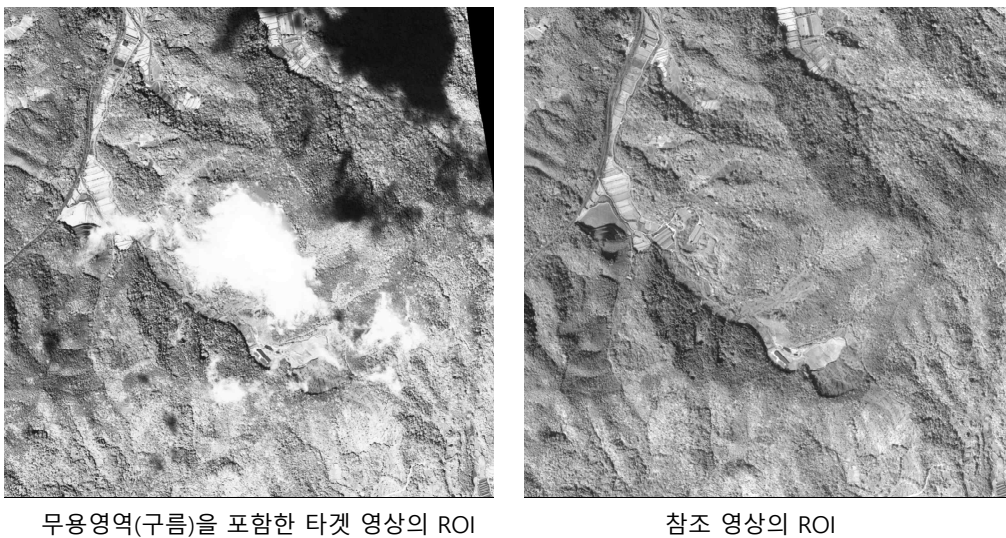


<그림 2-129> 무용 영역 주변의 원형 템플릿 영역

아) 참조 영상 좌표 갱신 실험 결과

(1) 타겟 영상의 무용 영역(구름) ROI와 참조 영상의 ROI

실험에 사용한 타겟 영상의 무용 영역(구름)은 ROI 영상의 중심에 위치하며 영상 좌측 및 아래 부분에도 얇은 형태로 분포한다. 본 실험에서 상호정보량 기반의 영상 등록을 이용한 참조 영상의 좌표 갱신 결과를 확인하기 위하여 먼저 임계값 설정을 통해 무용 영역을 검출하고 이후 영상 등록 결과를 이용하여 타겟 영상의 무용 영역에 해당하는 참조 영상 좌표를 갱신한 후에 보간을 수행하였다.



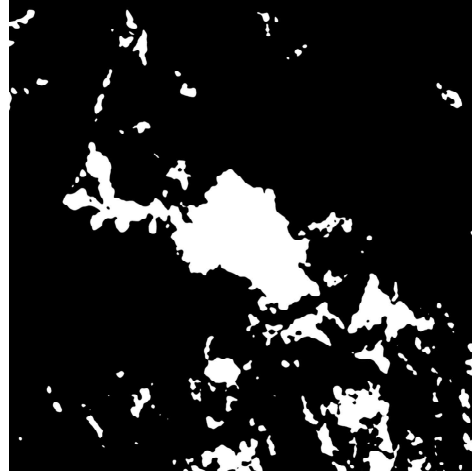
<그림 2-130> 타겟 영상의 무용 영역(구름) ROI와 참조 영상의 ROI

(2) 무용 영역 테스트를 위한 타겟 영상의 관심대상(TOI) 검출

타겟 영상의 무용 영역(구름) ROI 영상에 대한 가우시안 블러링 후에 임계값을 적용하여 무용 영역 테스트를 위한 타겟 영상의 관심대상(TOI) 영역을 검출한다. 검출된 타겟 영상의 관심 대상(TOI) 영역은 영상 등록 결과를 확인하기 위하여 임시적으로 검출한 테스트 목적의 무용 영역이다.



가우시안 블러링 영상

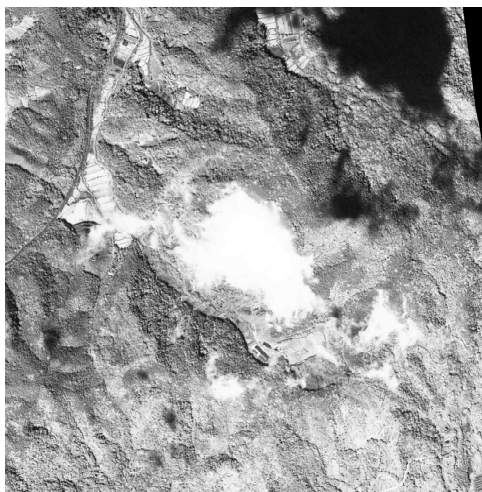


무용영역 테스트 마스크 영상

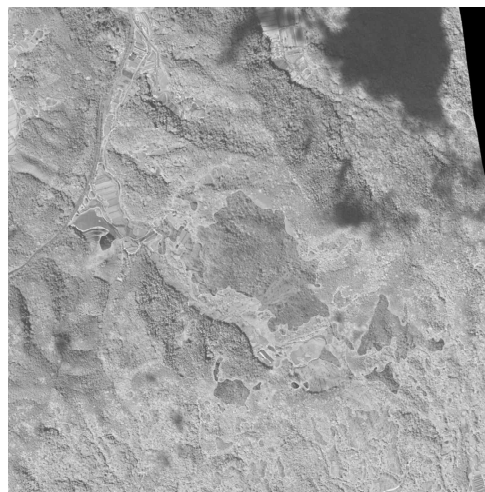
<그림 2-131> 무용 영역 테스트를 위한 타겟 영상의 관심대상(TOI) 검출

(3) 상호정보량 기반의 영상 등록 적용 전의 보간 결과

원형템플릿과 상호정보량 기반의 유사도 계산을 이용한 영상 등록을 적용하지 않고 무용 영역을 보간한 결과는 다음 그림과 같다.



무용영역(구름)을 포함한 타겟 영상의 ROI

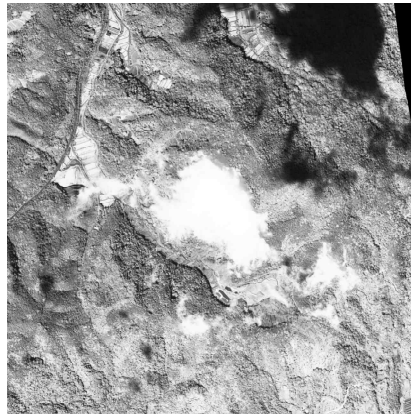


참조 영상을 이용한 무용영역 복원
(상대기하보정 적용 이전)

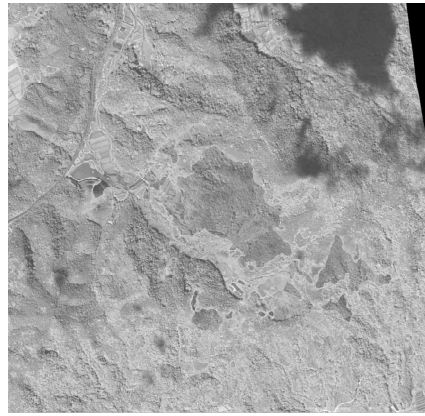
<그림 2-132> 상호정보량 기반의 영상 등록 적용 전의 보간 결과

(4) 상호정보량 기반의 영상 등록 적용 후의 보간 결과

타겟 영상의 중심 부근의 무용 영역을 충분히 포함하는 원형 템플릿의 반지름으로 $R_0 = \sqrt{2} \times 750$ (750은 중심 부근의 무용 영역을 완전히 포함하는 정사각형 템플릿의 반지름에 해당됨), 원형 템플릿 외부 원의 반지름 $R_2 = 1.5 \times R_0$ 로 설정하였다. 실제 상호정보량 계산에 사용되는 원형 템플릿 영역은 원형 템플릿의 최대 반지름의 0.6배에 해당하는 $R_1 = 0.6 \times R_2$ 부터 원형 템플릿의 최대값인 $R_1 = 1.0 \times R_2$ 사이의 영역에 존재하는 화소들을 포함한다. 상호정보량이 최대가 될 때의 영상 좌표를 이용하여 참조 영상의 좌표 정보를 갱신하였다.



무용영역(구름)을 포함한 타겟 영상의 ROI



참조 영상을 이용한 무용영역 복원
(상대기하보정 적용 이후)

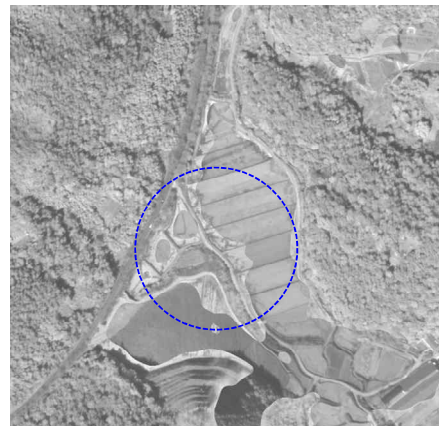
<그림 2-133> 상호정보량 기반의 영상 등록 적용 후의 보간 결과

(5) 상호정보량 기반의 영상 등록 적용 전후의 보간 결과

타겟 영상과 참조 영상 간의 상대 기하 오차로 인해, 영상 등록 적용 전의 보간 영상에서는 무용 영역의 경계를 중심으로 지표 정보의 불연속 연결 현상이 관찰된다. 상호정보량 기반의 영상 등록을 적용한 이후 상대 기하오차로 인한 지표 정보의 불연속 연결 현상 문제를 해결하였다.



상호 정보량 기반의 영상 등록 이전 보간 결과

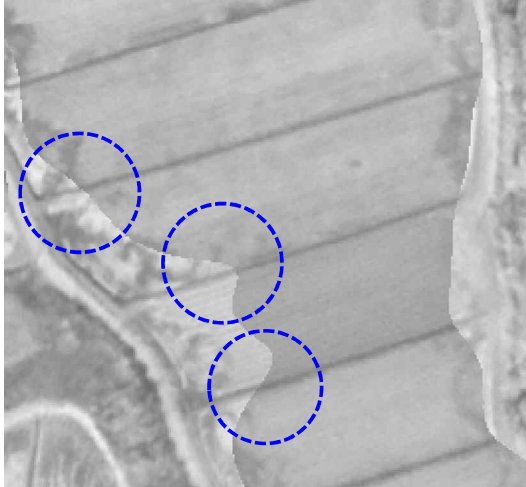


상호 정보량 기반의 영상 등록 이후 보간 결과

<그림 2-134> 상호정보량 기반의 영상 등록 적용 전후의 보간 결과(부분 확대)

(6) 상호정보량 기반의 영상 등록 적용 후의 보간 결과(부분 확대)

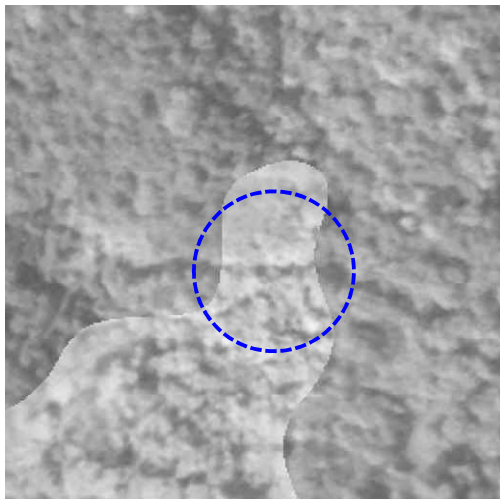
참조 영상의 좌표 정보를 갱신한 후의 보간된 무용 영역 경계 부분(파란색 원 참조)을 살펴보면 지표의 직선 성분들이 경계 부분에서 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다(그림의 A, B). 자연 지형의 보간된 무용 영역 경계 부분에서도 연속성이 잘 유지되는 것을 확인할 수 있다(그림의 C, D)



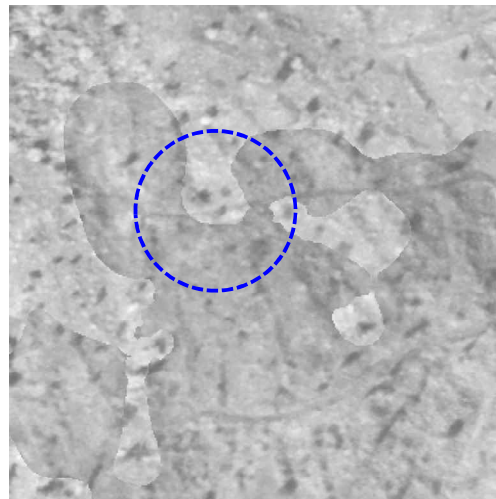
상대기하보정 적용 이후 확대 영상(A)



상대기하보정 적용 이후 확대 영상(B)



상대기하보정 적용 이후 확대 영상(C)

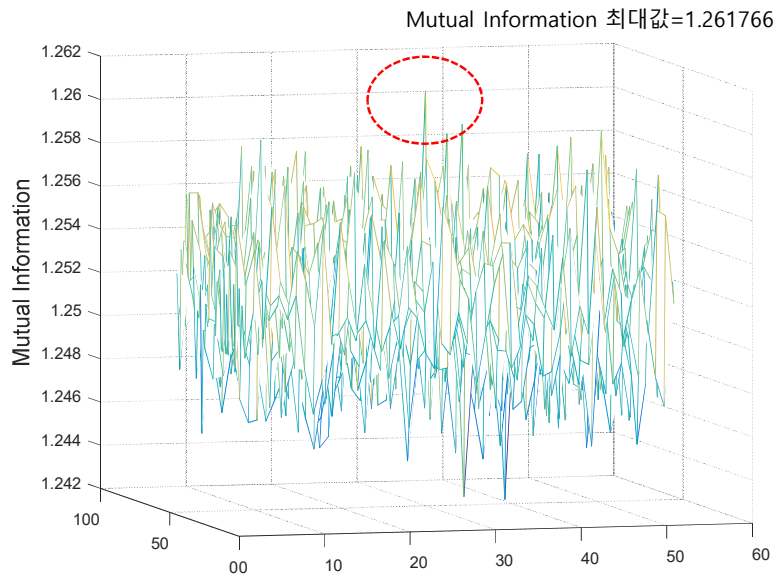


상대기하보정 적용 이후 확대 영상(D)

<그림 2-135> 상호정보량 기반의 영상 등록 적용 후의 보간 결과(부분 확대)

(7) 영상 등록 정합점 주변의 상호정보량 변화

상호정보량의 최대인 영상 등록 정합점을 중심으로 주변 화소 위치에서의 상호정보량의 값을 3차원으로 표현한 결과는 다음 그림과 같다. 정합점을 중심 위치로 삼고 51×51 윈도우 내에서 계산된 상호정보량을 z축에 표현한 값으로 중심 위치(정합점)에서의 상호정보량은 최대값 $MI=1.261766$ 의 결과를 보였다.



영상 등록 정합점 주변의 상호정보량(MI) 유사도

<그림 2-136> 영상 등록 정합점 주변의 상호정보량 변화

위 그림에서 정합점에서의 최대 상호정보량이 주변 위치에서의 상호정보량과 뚜렷하게 구분이 된다. 테스트에 사용한 무용 영역 주변은 대부분 유사한 밝기값 패턴의 화소들로 구성된 산림 지역으로, 정합 템플릿의 중심 위치를 한두 픽셀 이동시켜도 템플릿 내에 포함되는 전체적인 화소 밝기 값이 크게 변화하지 않는 점을 감안할 때, 새롭게 개발한 원형 템플릿 형태와 상호정보량 기반의 유사도 측정 방식이 타겟 영상과 참조 영상 간의 정확한 영상 등록 결과를 제공함을 확인하였다. 다만, 촬영 기하의 상이함 등으로 인해 타겟 영상과 참조 영상 간에 상대적인 기하학적 왜곡이 다소 포함된 경우에는 상대적인 기하학적 왜곡이 발생하는 영역에서 영상 등록의 성능 저하가 발생할 수 있다.

자) 무용 영역의 복원 방법별 복원 실험

무용 영역 복원의 실험 영상으로 서로 다른 시기에 취득된 두 장의 KOMPSAT-3A 영상을 타겟 원영상과 참조 영상으로 정하고 타겟 원영상의 다른 위치에 존재하는 구름 영역을 복사하여 무용 영역(구름)이 추가된 타겟 영상을 생성한다. 구름이 추가된 타겟 영상과 참조 영상을 이용하여 분광 유사도 그룹 기법, 히스토그램 매칭 기법, 순차적 로컬 방사 조정 기법을 적용하여 구름 영역을 복원하였다. 다음 영상과 같이 각 방법별로 무용 영역(구름)이 잘 복원되었음을 볼 수 있다.



타겟 원영상



타겟 영상 (구름 추가)



참조 영상



분광 유사도 그룹(SSG) 기법



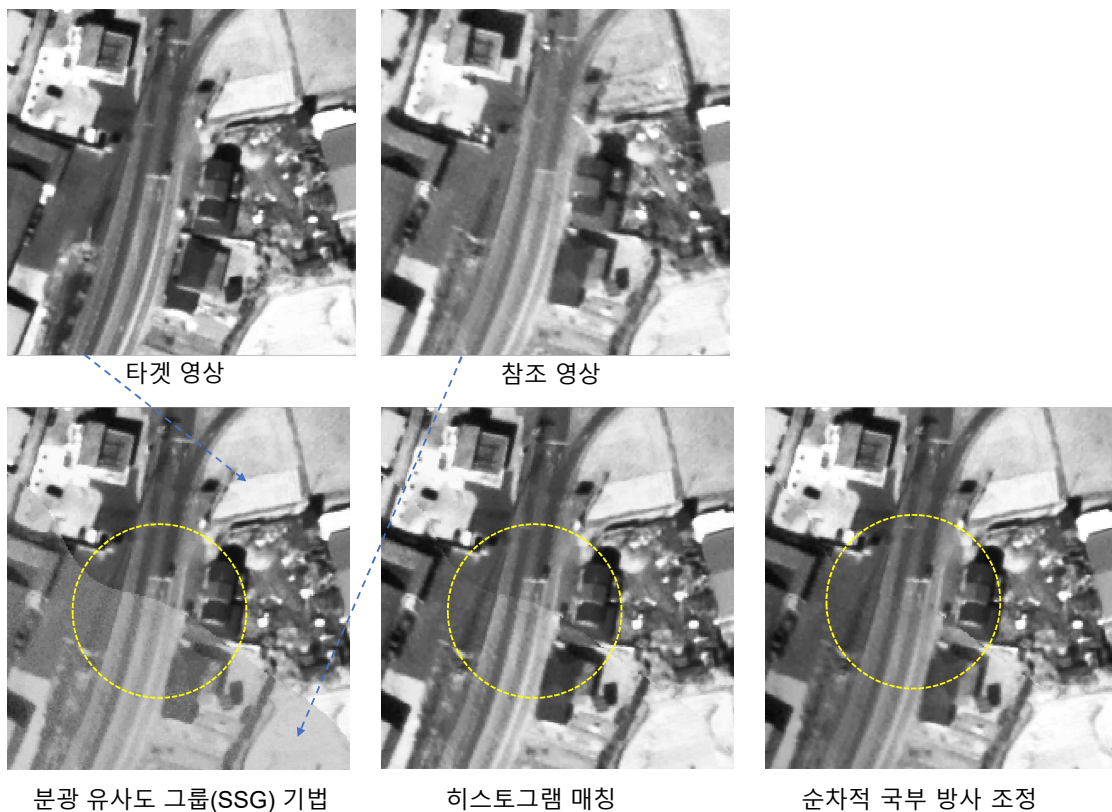
히스토그램 매칭



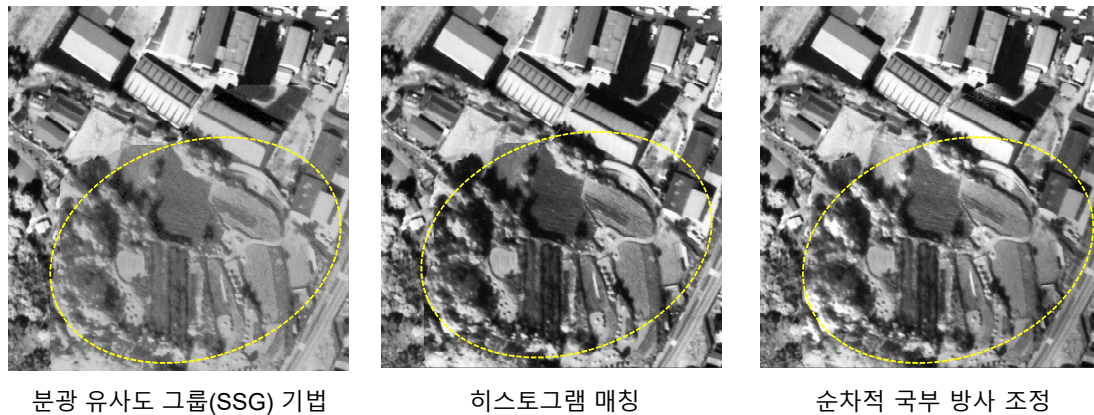
순차적 국부 방사 조정

<그림 2-137> 무용 영역의 복원 방법별 복원 결과

각 복원 결과를 상세하게 비교하기 위하여 다음 그림과 같이 복원 영상의 세 부분을 확대하였다. 첫 번째 비교 영상(A지역)은 무용 영역의 경계에 해당되는 부분에서 타겟 영상과 참조 영상의 밝기 값 정보가 얼마나 연속적으로 복원되었는지를 잘 보여준다. 순차적 국부 방사 조정 방법이 타겟 영상과 참조 영상이 무용 영역 경계에서 거의 구분이 되지 않을 정도로 무용 영역 내부가 보간되었다. 그 다음으로 히스토그램 매칭 기법, 분광 유사도 그룹 기법 순으로 경계에서의 분광값 연속성 정도가 우수함을 알 수 있다.



<그림 2-138> 무용 영역의 복원 방법별 복원 결과 비교(A지역)



<그림 2-139> 무용 영역의 복원 방법별 복원 결과 비교(B지역)

B지역에 대한 복원 결과 영상은 A지역보다 좀 더 넓은 영역에 대한 보간 결과를 비교하는 영상으로 노란색 점선 안의 복원된 영역(참조 영상을 이용하여 복원된 화소들)과 점선 위쪽의 타겟 영상의 영역과의 전반적인 밝기값의 비교를 통해 복원 결과의 자연스러운 정보를 잘 보여준다. 히스토그램 매칭 복원 영상에서 영상 대비(contrast)가 다른 방법에 비해 좀 더 뚜렷하고 순차적 국부 방사 조정 방법, 분광 유사도 그룹 기법 순으로 대비 강도가 낮아짐을 볼 수 있다. 분광 유사도 그룹 기법의 경우 복원된 영역의 대비 정도가 타겟 영상의 대비 정도와 시각적으로 차이가 발생하여 다

른 두 방법에 비해 자연스러운 정도가 약함을 알 수 있다.

C지역에 대한 복원 결과는 동일한 위치에 존재하는 타겟 영상과 참조 영상의 화소 밝기값 차이가 큰 경우에 대한 복원 결과를 보여준다. 그림에서 노란색 점선 안의 무용 영역 경계 부분에서 타겟 영상은 밝고 참조 영상은 어두운 경우를 보여준다. 분광 유사도 그룹 기법이나 히스토그램 매칭 기법과는 다르게 순차적 국부 방사 조정 방법은 무용 영역 경계 근처에 위치하는 타겟 영상의 밝기값을 무용 영역 내부로 효과적으로 전파시켜서 무용 영역의 경계 부분의 밝기값이 자연스럽게 연결되는 것을 확인할 수 있다.



<그림 2-140> 무용 영역의 복원 방법별 복원 결과 비교(C지역)

지금까지 살펴본 무용 영역 복원의 실험 결과를 볼 때, 순차적 국부 방사 조정 기법이 복원 영역과 타겟 영상과의 대조(contrast) 측면의 자연스러움과 무용 영역 경계에서의 자연스러운 연결성 관점에서 다른 방법들에 비해 우수한 복원 성능을 보인다고 판단이 되며 무용 영역 복원에 적합한 알고리즘이라 판단된다.

차) 참조 영상 보간 결과 성능 지표 분석

(1) 화소값 보정 성능지표

무용영역 복원 품질을 정량적으로 분석하기 위해 다양한 화소값 보정 성능지표를 적용하였다. 앞서 육안분석에 사용한 KOPSAT-3A 영상 및 복원 결과를 활용하여 성능지표를 산출하였다. 산출한 성능지표는 SSIM(Structural Similarity Index Map), 히스토그램 유사도(Histogram Similarity), MRMSE(Mean Root Mean Square Error)이다. 해당 성능지표들을 산출하여 영역 보간 결과를 분석하고, 무용영역 복원 성능지표로 가장 유용한 성능지표를 판별하였다.

(가) SSIM(Structural Similarity Index Map)

SSIM은 영상 품질 평가(image quality assessment) 분야에서 가장 영향력이 있는 평가 방법으로 인간 시각 시스템이 영상의 구조 정보를 도출하는데 특화되어 있어 구조 정보의 왜곡이 심할수록 시각 품질이 저하되는 특성을 반영한 영상 품질 측정 방법이다 (Z. Wang et al., 2004).

SSIM은 원본 영상(x)과 왜곡 영상(y)의 평균 밝기값, 콘트라스트, 구조를 비교하는 각각의 항을 하나로 통합한 다음 식과 같이 주어진다. 다음 식을 영상의 각 화소를 중심으로 일정한 크기의 윈도우를 정의한 후에 윈도우 내부에 있는 화소 밝기값을 이용하여 계산한다.

$$SSIM(x,y) = [l(x,y)]^\alpha \cdot [c(x,y)]^\beta \cdot [s(x,y)]^\gamma$$

$l(x,y)$ 는 두 영상의 평균 밝기를 비교하는 항으로 다음과 같이 주어진다.

$$l(x,y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}$$

$c(x,y)$ 는 두 영상의 콘트라스트를 비교하는 항으로 다음과 같이 주어진다.

$$c(x,y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}$$

$s(x,y)$ 는 두 영상의 구조를 비교하는 항으로 다음과 같이 주어진다.

$$s(x,y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3}$$

(나) 히스토그램 유사도(Histogram Similarity)측정 방식

교집합(Intersection)측정 방식과 카이 스퀘어(Chi-Square) 측정 방식: 무용 영역의 원본 영상(구름 등이 없는 원본 영상)과 참조 영상을 통해 보간된 영상과의 유사도 비교를 위해 두 영상의 히스토그램 유사도를 측정한다. 영상 품질 평가는 일반적으로 원본 영상과 잡음 등에 의해 왜곡된 원본 영상의 화소 정보를 로컬 영역 단위에서 비교하는 방식을 취한다. 그러나 타겟 영상의 무용 영역을 참조 영상의 해당 영역을 이용하여 보간하는 경우에는 무용 영역 내부에서 타겟 영상 화소와 참조 영상 화소의 밝기값을 직접 비교하는 방식보다는 무용 영역 내부에서의 두 영상 간의 전체적인 밝기값 분포의 유사도를 측정하는 방식이 다음과 같은 측면에서 유용하다고 판단된다. 타겟 영상과 참조 영상 간의 촬영 시기, 촬영 기하 등 영상 촬영 조건의 상이함으로 인해 영상 전체적인 밝기값 분포는 상호 유사하더라도 로컬 영역 내의 밝기값의 직접적인 비교시 화소 간 유사도가 낮을 가능성이 높다. 따라서 무용 영역 내부의 각 위치에서 화소 밝기값의 직접적인 비교가 아닌 무용 영역 내부의 밝기값의 전체적인 분포 유사도(히스토그램 유사도)를 측정하는 방식을 참조 영상 보간 결과 성능 평가 지표로 사용하는 것이 적절하다.

□ 히스토그램 교집합(Intersection)측정 방식

이 방식은 비교 대상 히스토그램을 각각 H_1, H_2 라 할 때, 각각의 밝기값(i)에 속하는 분포 확률을 비교하여 둘 중 작은 확률값을 선택하는 방식이다. 이 방식은 각 밝기값에 속하는 분포 확률이 같을수록 높은 값을 가지고 서로 다를수록 낮은 값을 가지게 된다. 두 히스토그램의 분포 확률이 모두 일치하는 경우 최대값 1을 가지고 일치하지 않을수록 0에 가까운 값을 가지게 된다.

$$d(H_1, H_2) = \sum_i \min(H_1(i), H_2(i))$$

□ 카이 스퀘어(Chi-Square) 측정 방식

이 방식은 비교 대상 히스토그램을 각각 H_1, H_2 라 할 때, 각 밝기값(i)에 해당하는 두 히스토그램의 분포 확률의 차이($H_1(i) - H_2(i)$)의 제곱 항을 기준 영상의 히스토그램 분포 확률 $H_1(i)$ 로 나누고 전체 밝기값에 대해 계산한 값을 모두 합산한다. 값이 작을수록 두 히스토그램은 유사한 히스토그램이다.

$$d(H_1, H_2) = \sum_i \frac{(H_1(i) - H_2(i))^2}{H_1(i)}$$

(다) MRMSE(Mean Root Mean Square Error)

MRMSE는 무용 영역 내부의 타겟 원영상과 참조 영상으로 복원된 영상 간의 RMSE 값을 참조 영상으로 복원된 무용 영역 내부의 평균 밝기값으로 나눈 값이다.

$$\frac{RMSE}{mean\ of\ ref.\ image}, RMSE = \sqrt{(I_{tar} - I_{ref})^2 / n}$$

(2) 무용 영역의 복원 방법별 성능 지표 비교

앞서 복원 방법별 복원 실험에서 사용한 복원 결과를 사용하여 성능지표를 산출하였다. 산출 결과, 순차적 국부 방사 조정 방법이 SSIM, 히스토그램 교집합 유사도, 카이 스퀘어 유사도 성능 지표에서 나머지 두 방식보다 우수한 성능을 보였다.

<표 2-98> 복원 기법별 성능지표 산출 결과

복원 기법	SSIM (↑)	Histogram Similarity (Intersection) (↑)	Histogram Similarity (Chi-Square) (↓)	MRMSE(↓)
분광 유사도 그룹	0.967622	0.527349	1.575507	0.448783
히스토그램 매칭	0.967567	0.778574	0.346508	0.514587
순차적 국부 방사 조정	0.969409	0.837228	0.211765	0.489099

□ SSIM 성능 지표 분석 결과

순차적 국부 방사 조정 방식(0.969409)이 분광 유사도 그룹 방식(0.967622)이나 히스토그램 매칭 방식(0.967567)보다 성능이 우수하게 분석되었다. 다만 그 차이가 미미하였다.

□ 히스토그램 교집합 유사도 성능 지표 분석 결과

순차적 국부 방사 조정 방식(0.837228)이 분광 유사도 그룹 방식(0.527349)이나 히스토그램 매칭 방식(0.778574)보다 성능이 우수하게 분석하였다. 또한 그 차이가 뚜렷함을 알 수 있다.

□ 히스토그램 카이 스퀘어 유사도 성능 지표 분석 결과

순차적 국부 방사 조정 방식(0.211765)과 히스토그램 매칭 방식(0.346508) 모두 분광 유사도 그룹 방식(1.575507)보다 우수한 성능을 보였다.

□ MRMSE 성능지표 분석 결과

유일하게 분광 유사도 그룹 방식(0.448783)이 순차적 국부 방사 조정 방식(0.489099)에 비해 수치적으로 다소 우수하다고 분석되었다.

히스토그램 매칭 방식이나 순차적 국부 방사 조정 방식의 경우 무용 영역 복원 과정에서 참조 영상의 밝기값을 타겟 영상의 밝기값 분포에 가깝게 조정(히스토그램 매칭 방식)하거나 로컬 영역에서 참조 영상의 밝기값을 선형 회귀 방식으로 타겟 영상의 밝기값 정보에 따라 조정하는 과정(순차적 국부 방사 보정 방식)을 통해 영상 전체적으로 밝기값이 조정되는 과정이 수반되어 MRMSE 측면에서는 분광 유사도 그룹 방식에 비해 근소하게 낮은 수치를 보인다. 그러나 복원 결과 영상의 정성적인 평가와 SSIM, 히스토그램 유사도를 종합적으로 고려할 때 순차적 국부 방사 조정 방식이 가장 우수한 복원 성능을 보인다고 판단된다.

복원 결과 영상과 성능지표 분석 결과를 비교한 결과, SSIM, 히스토그램 교집합 유사도, 히스토그램 카이 스퀘어 유사도 성능지표 모두 육안 분석 결과와 동일하게 판별되었다. MRMSE의 경우 육안분석 결과와 달리 오히려 분광 유사도 그룹 방식이 좋은 결과로 분석하였다. 이는 원영상과 복원 결과 영상 간 단순 화소값 차이를 기반으로 지표가 산출되기 때문으로 파악된다. 따라서 MRMSE는 무용영역 경계의 자연스러운 보정 여부를 판단하는것에 적합하지 않다. 또한 SSIM의 경우 육안분석과 동일한 성능지표 분석 결과를 보여주었지만, 그 차이가 미미하여 사용자 및 분석자에게 유용하지 않을 수 있다. 히스토그램 유사도가 가장 유용한 성능지표를 보여주었으며, 그중 히스토그램 교집합의 경우 0~1 사이로 값이 정규화 되어있으며, 성능분석 결과가 뚜렷함으로 가공기술 성능지표로 가장 유용할 것으로 판단된다.

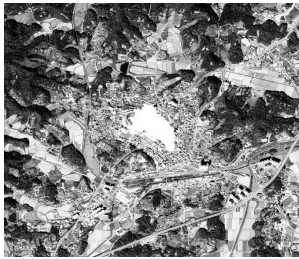

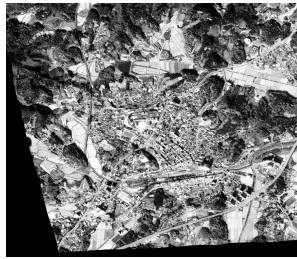






카) 순차적 국부 방사 보정을 이용한 참조 영상 기반 무용 영역 복원

(1) 무용 영역 종류: 구름










주변 영역 유형 및 사이트: 건물 지역, 농경지, 산림 지역 유형별로 각각 3개의 사이트를 선정하고 무용 영역(구름)을 추가하여 순차적 국부 방사 보정을 이용한 참조 영상 기반의 무용 영역 복원을 실험하였다. 각 밴드 별로 보간 후에 보간 결과를 RGB 컬러로 표시하였다.

각 사이트 별로 무용 영역에 대해 참조 영상 정보에 기초하여 무용 영역 내부가 무용 영역 외부와 밝기값이 자연스럽게 연결되는 보간 결과를 얻었다. 보간 결과 영상에서 보간 영역 위치(결과 영상의 중앙 부근)를 사전에 인지하지 않으면 보간 영역의 위치를 식별하지 못할 정도로 자연스럽게 보간된 결과를 얻었다.





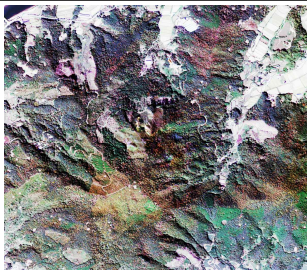
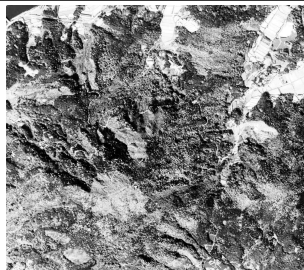
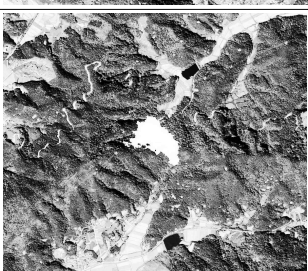
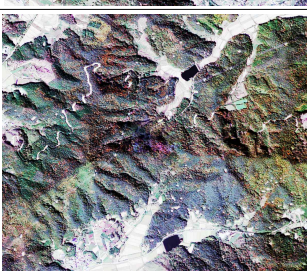

<표 2-99> 구름 무용영역 보간 결과 (건물지역)

구 분	타겟 영상	보간 결과	참조 영상
건물 지역 (Site 1)			
건물 지역 (Site 2)			
건물 지역 (Site 3)			

<표 2-100> 구름 무용영역 보간 결과 (농경지역)

구 분	타겟 영상	보간 결과	참조 영상
농경 지역 (Site 4)			
농경 지역 (Site 5)			
농경 지역 (Site 6)			

<표 2-101> 구름 무용영역 보간 결과 (산림지역)

구 분	타겟 영상	보간 결과	참조 영상
산림 지역 (Site 7)			
산림 지역 (Site 8)			
산림 지역 (Site 9)			

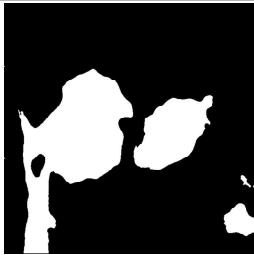
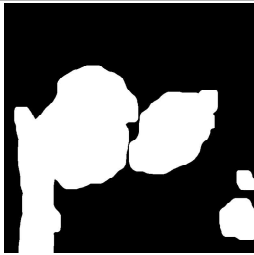



(2) 무용 영역 종류: 구름 그림자

참조 영상 기반 구름 그림자 복원을 위한 첫 번째 단계인 무용 영역 검출을 위해 구름 그림자 검출에 용이한 NIR 밴드 영상을 이용하여 블러링 필터링을 적용하여 히스토그램 역투영 및 median 필터링과 팽창 연산 필터링을 통해 무용 영역 마스크를 생성한다. 이 과정은 동일 영상 기반 무용 영역(구름 그림자) 검출 과정과 동일하다.

무용 영역(구름 그림자)을 검출한 이후 참조 영상 기반 구름 그림자 복원 과정에서는 구름 복원 과정과 동일한 방식으로 무용 영역의 지상 좌표에 대응하는 참조 영상의 화소 정보에 기초하여 순차적 국부 방사 조정 방법으로 타겟 영상의 무용 영역을 복원한다.


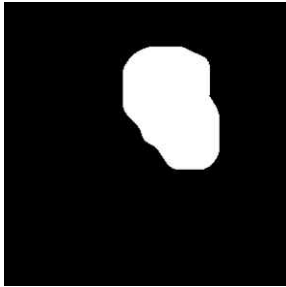



다음 그림(Site 1)은 타겟 영상 중심 부근의 농경지를 배경으로 두 개의 구름 그림자 영역이 인접하고 중심 부근 우측 바로 아래에 작은 구름 그림자 영역이 존재하는 타겟 영상에 대한 복원 결과와 참조 영상을 보여준다. 구름 무용 영역의 복원 결과와 유사하게 참조 영상을 이용하여 복원된 무용 영역 내부와 무용 영역 외부가 자연스럽게 연결되는 복원 결과를 보여준다.

<표 2-102> 구름 그림자 무용영역 복원 결과 (Site 1)

구분	실험 결과		
Site 1			
	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과	
			
	타겟 영상	복원 영상	참조 영상

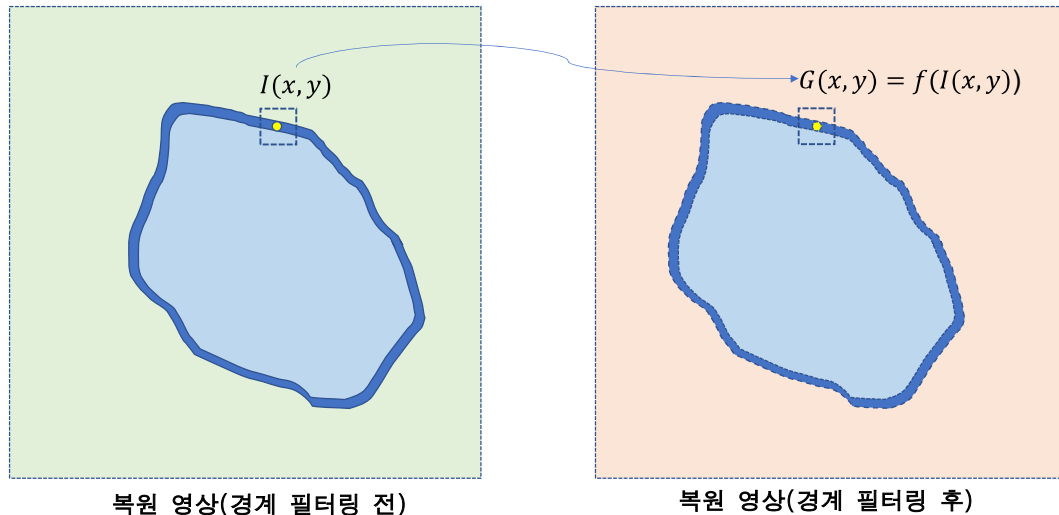
다음 그림(Site 2)은 타겟 영상의 중심 부근에 산림 지역을 배경으로 구름 그림자 영역이 존재하는 타겟 영상에 대한 복원 결과와 참조 영상을 보여준다. 참조 영상을 이용하여 복원된 무용 영역 내부와 무용 영역 외부가 자연스럽게 연결되는 복원 결과를 보여준다.

<표 2-103> 구름 그림자 무용영역 복원 결과 (Site 2)

구분	실험 결과		
Site 2			
	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과	
			
	타겟 영상	복원 영상	참조 영상

(3) 보간 영역 경계선 분석 및 방사 보정 보완

보간 영역 경계선 필터링: 무용 영역 보간 후에 무용 영역 경계를 중심으로 무용 영역 내부 및 외부의 밝기값의 불연속적 변화가 일부 보이는 화소들에 대해 다음 그림과 같이 무용 영역 내부와 외부의 밝기값을 함께 이용하여 불연속적인 밝기값 변화 정도를 완화하는 필터링 기법의 적용이 필요하다.



<그림 2-141> 무용 영역 경계 화소의 필터링 과정

경계 화소의 필터링은 무용 영역 내부 및 외부 화소의 밝기값을 부드럽게 연결하는 목적으로 smoothing 효과를 얻을 수 있는 평균값 필터링을 적용한다. 먼저 무용 영역의 경계선 검출을 위해 관심대상 영역 마스크 영상에서 관심대상 영역의 제일 바깥쪽의 경계선을 검출한다. 검출된 경계선의 각 화소에 대해 $N \times N$ 크기의 평균값 필터링을 수행한다. 이 과정을 통해 $N \times N$ 크기의 필터에 포함되는 무용 영역 내부 화소, 무용 영역 경계선 화소, 무용 영역 외부 화소들의 평균값을 구하고 기존의 무용 영역 경계선 화소의 밝기값을 대체한다.

경계 화소 필터의 크기가 3×3 보다 크면 경계 화소와 직접 인접한 화소 이외의 화소들도 평균값 필터링 과정에 영향을 미치게 되어 오히려 직접 인접한 이웃 화소들을 밝기값을 충분히 반영하지 못하는 필터링 결과를 얻게 된다. 따라서 경계 화소 필터는 직접 인접한 화소들만 고려하는 3×3 크기의 필터를 적용하고, 필터 내에 속하는 화소들의 평균값을 계산하여 경계 화소의 밝기값을 대체한다.

(가) 보간 영역 경계선 필터링 실험 결과

참조 영상 기반 무용 영역 복원 테스트 실험 중 대부분의 복원 실험 결과들에서는 보간 영역 경계선 필터링을 적용하지 않아도 될 정도로 무용 영역 내부 및 외부가 자연스럽게 밝기값이 연결되는 결과를 확인할 수 있다. 보간 영역 경계선 주변에서 참조 영상과 타겟 영상의 밝기값이 많이 상이한

일부 경계선 화소들의 경우에는 보간 영역 경계선 필터링의 효과를 확인할 수 있다.

다음 그림은 Site 4의 무용 영역 복원 결과에서 일부 경계선 주변에서의 필터링 효과(필터 크기: 3x3)를 비교한 결과이다. 복원 영상을 100% 확대한 기본 크기로 영상을 볼 경우, 사용자가 보간 경계선의 대략적인 위치를 알고 있어도 보간 경계선의 정확한 위치를 찾기가 매우 어려울 정도로 자연스럽게 보간된 결과를 보인다. 복원 결과 영상을 300% 확대하고 정확한 경계선 위치를 살펴보면 경계 필터링 전의 복원 영상에서는 그림의 점선 안에서 수직 방향에 놓인 일부 화소 밝기값이 크게 변화하는 것을 확인할 수 있다. 경계 필터링 적용 후에는 이러한 변화를 완화시켜서 보다 자연스럽게 밝기값이 변화되는 것을 확인할 수 있다. 600% 확대한 경계 필터링 전후의 영상을 비교하면 이러한 특성을 좀 더 자세히 확인할 수 있다. 600% 확대한 경계 필터링 후의 영상에서 필터링 전보다 점선 안의 경계 화소 밝기값이 보다 자연스럽게 연결되는 것을 볼 수 있다.



100% 확대(기본): 경계 필터링 전



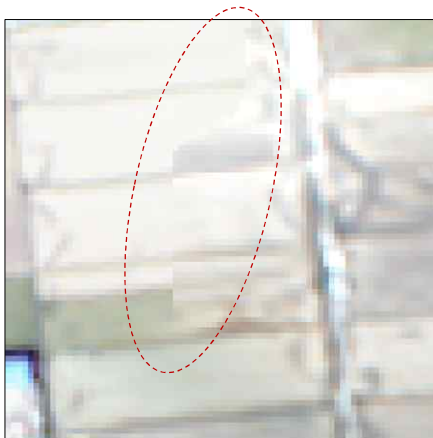
100% 확대(기본): 경계 필터링 후



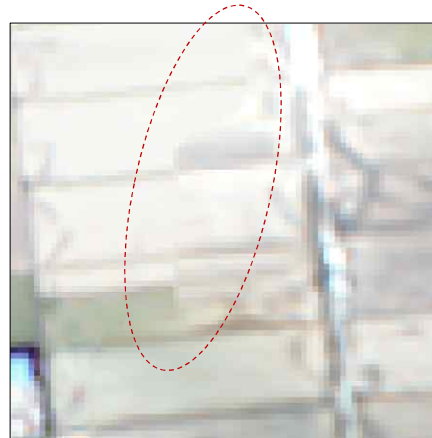
300% 확대: 경계 필터링 전



300% 확대: 경계 필터링 후



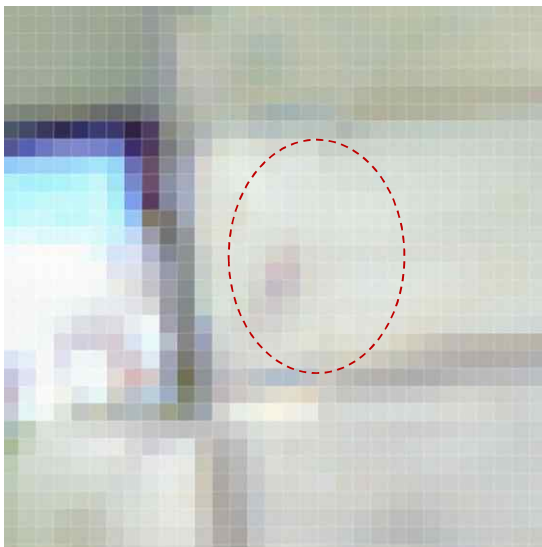
600% 확대: 경계 필터링 전



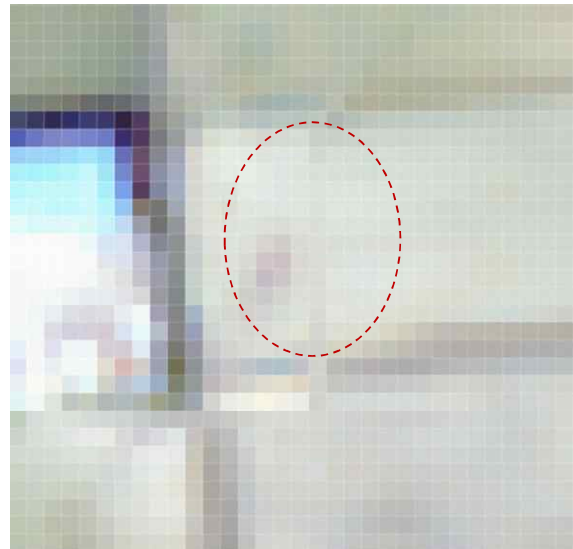
600% 확대: 경계 필터링 후

<그림 2-142> 무용 영역 경계 필터링의 효과 비교

다음 그림은 경계 필터링에 사용되는 필터의 크기가 3x3인 경우와 5x5인 경우의 복원 결과를 1600% 확대해서 비교한 결과이다. 필터의 크기가 5x5인 경우에는 경계 화소들이 직접 인접한 경계선 내부 및 외부 화소 이외에 좀 더 어두운 주변 화소들의 밝기값까지 평균값 계산에 포함되면서 미세하게나마 밝기값이 어두워진 결과를 보인다. 경계 화소와 직접 인접한 화소들만을 고려한 3x3 크기의 필터 적용이 경계선 화소의 밝기값을 좀 더 자연스럽게 연결하는 것을 확인할 수 있다.



경계 필터 크기: 3x3 (확대:1600%)



경계 필터 크기: 5x5 (확대:1600%)

<그림 2-143> 경계 필터링에 사용되는 필터 크기에 따른 필터링 효과 비교

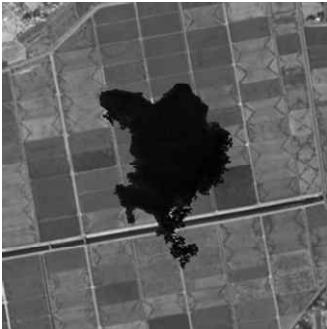

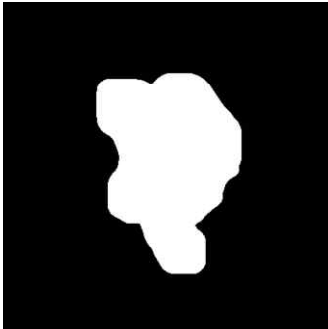



타) 참조 영상 기반 무용 영역(구름 그림자) 복원 추가 실험

(1) 다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원

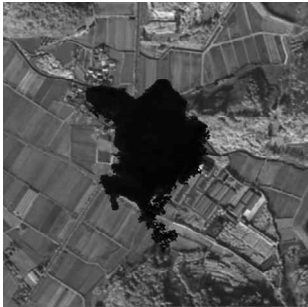

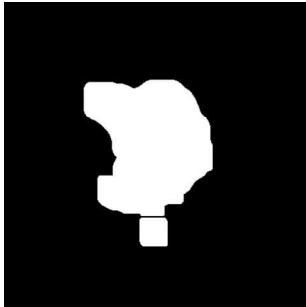
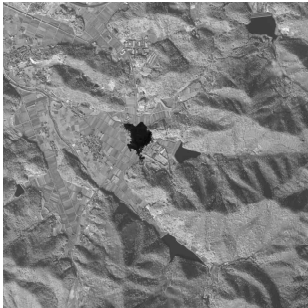
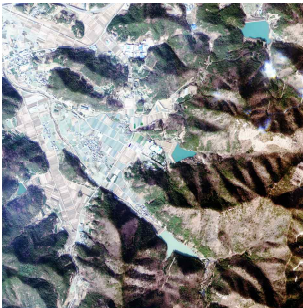
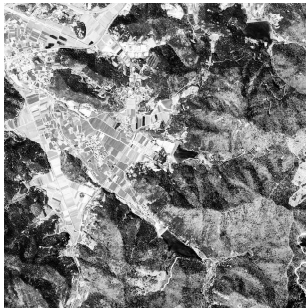
구름 그림자가 존재하는 지역에 대한 타겟 영상과 참조 영상을 다양하게 확보하기가 쉽지 않은 점을 고려해서 구름 그림자 영역을 다양한 지역을 배경으로 생성하여 참조 영상 기반으로 복원하는 실험을 추가 진행하였다.

아래 그림과 같이 농경지(Site 1, Site 2), 농경지 및 산림(Site 3, Site 4), 산림(Site 5)을 배경으로 구름 그림자 영역을 추가한 후에 무용 영역 복원을 수행하였다. 타겟 영상의 다양한 배경(농경지, 산림)에 대해 히스토그램 역투영 및 필터링을 통해 구름 그림자를 충분히 포함하는 검출 결과를 얻었다. 참조 영상을 이용한 무용 영역 복원 결과 영상에서 복원된 무용 영역 내부와 무용 영역 외부가 자연스럽게 연결되는 복원 결과를 보여준다(복원 영역을 확대한 아래 실험 결과 영상 참조).



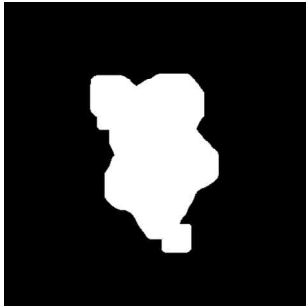


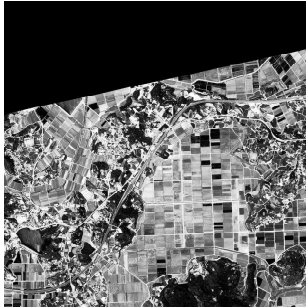
<표 2-104> 다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과 (Site1)

구분	다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과		
Site 1			
	타겟 영상	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
			
	타겟 영상	복원 영상	참조 영상







<표 2-105> 다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과 (Site2)

구분	다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과		
Site 2			
	타겟 영상	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
			
	타겟 영상	복원 영상	참조 영상

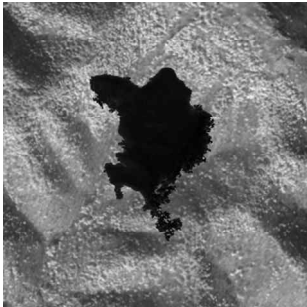

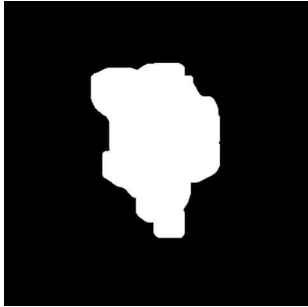
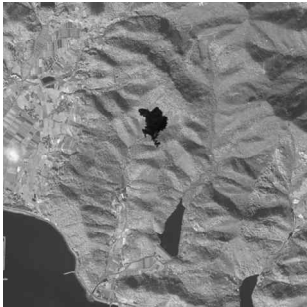

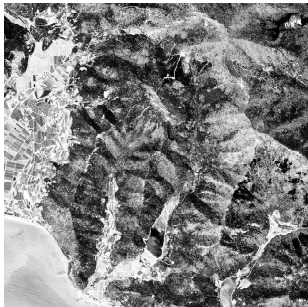
<표 2-106> 다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과 (Site3)

구분	다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과		
Site 3			
	타겟 영상	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
			
	타겟 영상	복원 영상	참조 영상

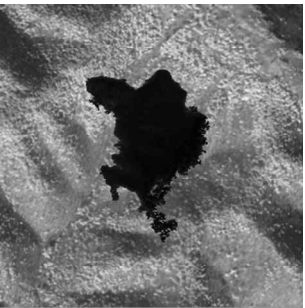
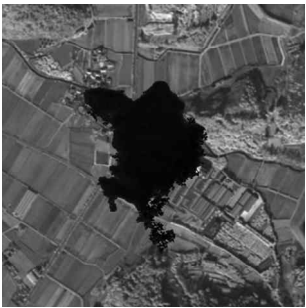





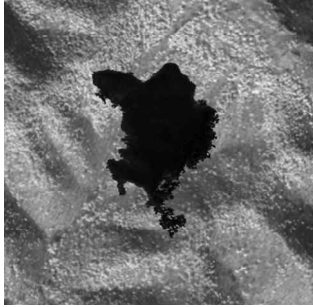


<표 2-107> 다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과 (Site4)

구분	다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과		
Site 4			
	타겟 영상	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
			
	타겟 영상	복원 영상	참조 영상

<표 2-108> 다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과 (Site5)

구분	실험 결과		
Site 5			
			
	타겟 영상	역투영 결과	역투영 및 필터링 결과
	타겟 영상	복원 영상	참조 영상

<표 2-109> 다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과 (Site1 ~ Site5)

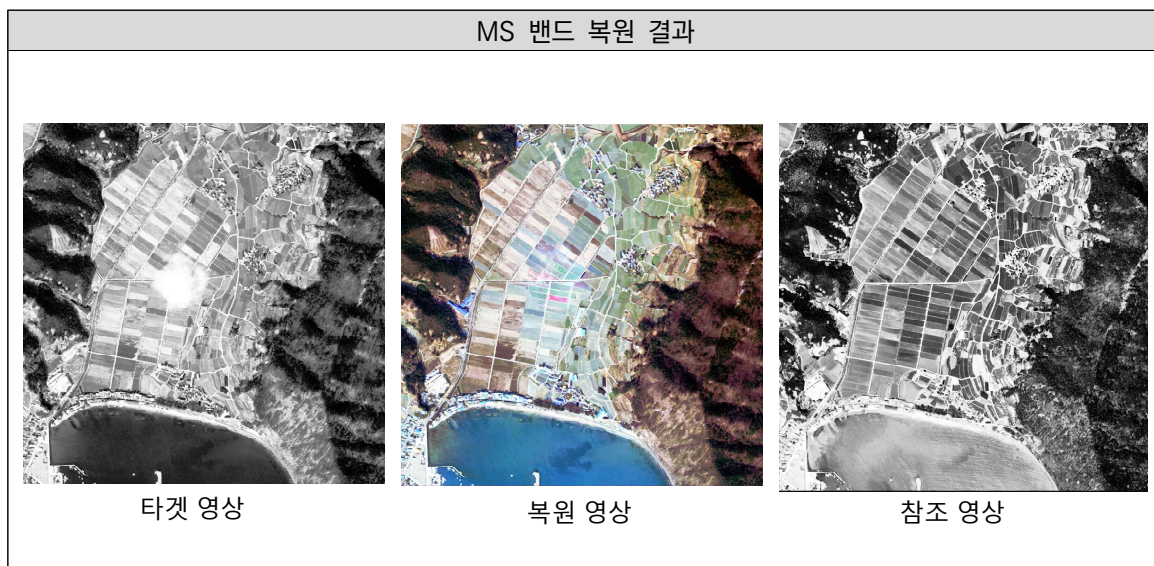
구분	다양한 지역 배경의 구름 그림자 복원 실험 결과(복원 영역 확대)					
Site 1 ~ Site 5	Site 1		Site 2		Site 3	
						
	타겟 영상		타겟 영상		타겟 영상	
						
	복원 영상		복원 영상		복원 영상	
	Site 4		Site 5			
						
	타겟 영상		타겟 영상			
						
	복원 영상		복원 영상			

파) 참조 영상 기반 무용 영역 복원 추가 실험(Pan-sharpening 영상 복원)

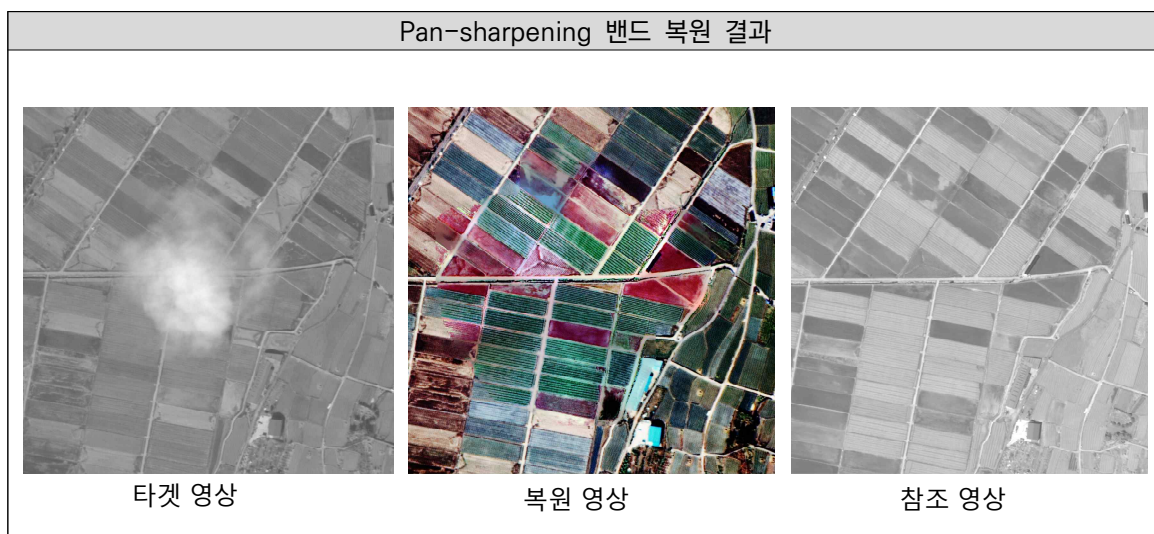
(1) Pan-sharpening 영상의 무용 영역 복원

다중분광밴드(R/G/B/NIR)의 검출된 관심 대상(ROI) 영역 마스크 정보를 이용하여 Pan-sharpening 영상 좌표에 대응하는 Pan-sharpening 영상의 관심 대상(ROI) 영역 마스크 정보를 획득한다. 전정색 밴드 및 Pan-sharpening R/G/B/NIR 밴드별로 참조 영상 기반의 무용 영역 복원 알고리즘을 적용하여 밴드별 복원 영상을 생성한다.

<표 2-110> MS 밴드 복원 결과



<표 2-111> Pan-sharpening 밴드 복원 결과

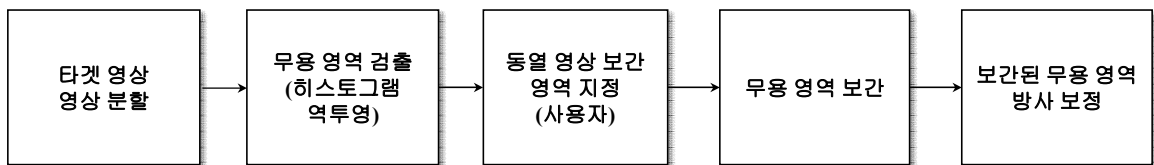


4) 동일 영상 기반 관심 대상(TOI) 영역 보간 실험

가) 사용자 지정에 의한 동일 영상 기반 무용 영역 복원

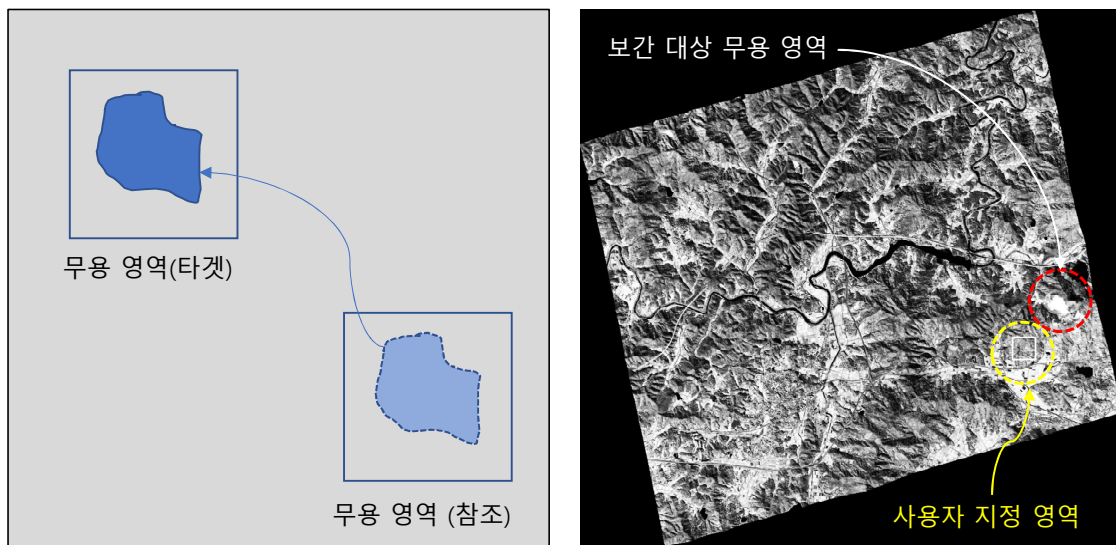
(1) 동일 영상 기반 무용 영역 복원 과정

동일 영상 내에서 무용 영역을 복원하기 위해서는 복원 대상 영역의 주변 밝기값 정보를 참고하여 유한 밝기값 분포를 보이는 영역을 선정할 필요가 있다. 이를 위해 다음 그림과 같이 분할된 타겟 영상에서 무용 영역을 검출하고 검출된 무용 영역과 동일한 형태의 영역(무용 영역 마스크)을 유사한 밝기값 분포를 가지는 동일 영상의 다른 부분에서 추출하여 보간을 수행한다. 이후 보간된 무용 영역 내부와 외부 사이의 방사 보정을 수행한다.



<그림 2-144> 사용자 지정에 의한 동일 영상 기반 무용 영역 복원 과정

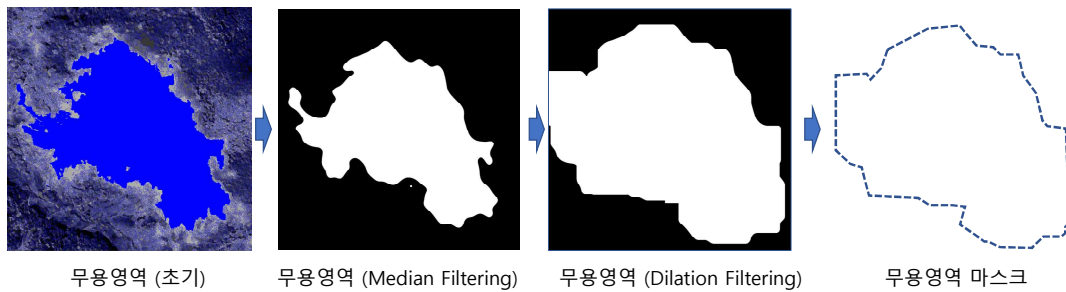
다음 그림은 전체 영상에서 보간 대상 무용 영역(적색 원형 내부)과 사용자가 지정한 영역(노란색 원형 내부)을 보여준다. 영상 분할과 무용 영역 검출 후에 무용 영역을 포함하는 직사각형 영역과 보간에 사용되는 같은 크기의 영역을 전체 영상에서 사용자가 마우스를 이용하여 선택한 결과를 보여준다.



<그림 2-145> 동일 영상 참조 영역 정보를 이용한 무용 영역 보간 과정

(2) 무용 영역 보간을 위한 마스크 생성 과정

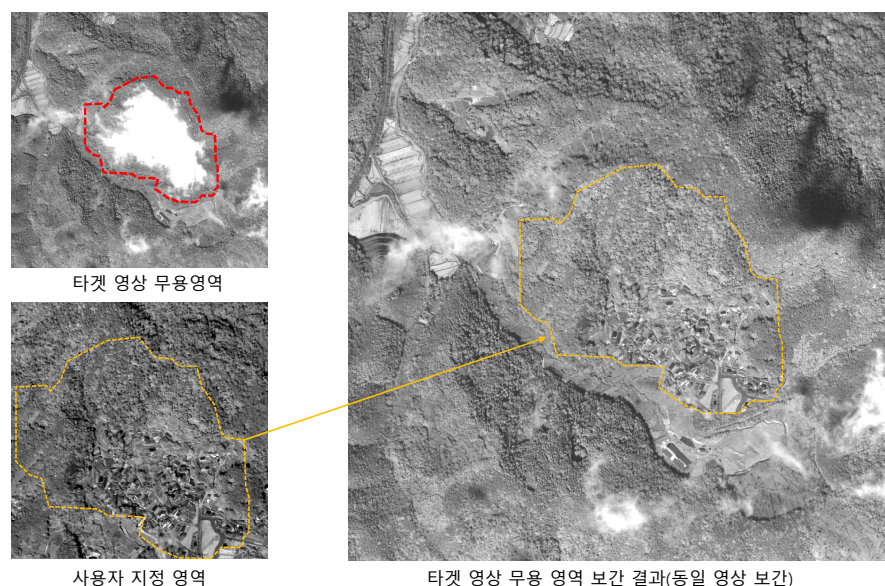
분할된 영상에서 선택된 무용 영역은 영역 경계를 중심으로 일부 무용 영역이 포함되지 않는 부분이 있을 수 있으므로 초기 추출된 무용 영역에 대해 Median 필터링을 통해 무용 영역 경계 부분을 부드럽게 처리하고 형태학적 연산으로 팽창(dilation) 연산을 적용하여 무용 영역을 완전히 포함하는 무용 영역 마스크를 생성한다. 팽창(dilation) 연산의 효과는 사용자가 지정 영역을 선택하는 과정에서 마우스로 선택하는 마스크 영역의 위치를 정확하게 선택하지 않아도 무용 영역을 충분히 포함할 수 있게 한다. 생성된 무용 영역 마스크는 사용자가 보간을 위한 지정 영역을 선택할 때, 지정 영역 내부에서 동일한 형태로 자동으로 생성된다.



<그림 2-146> 무용 영역 보간을 위한 마스크 생성 과정

(3) 동일 영상을 이용한 타겟 영상의 무용 영역 보간 결과

다음 그림은 타겟 영상의 무용 영역과 사용자가 선택한 영역 그리고 무용 영역 보간 결과를 보여준다. 사용자가 타겟 영상의 무용 영역 주변의 산악 지역과 유사한 영역을 선택한 후에 보간을 수행하여 결과 영상에서도 보간 영역 내부와 외부의 경계 부분을 찾기 어려울 정도로 자연스럽게 보간된 결과를 얻었다.



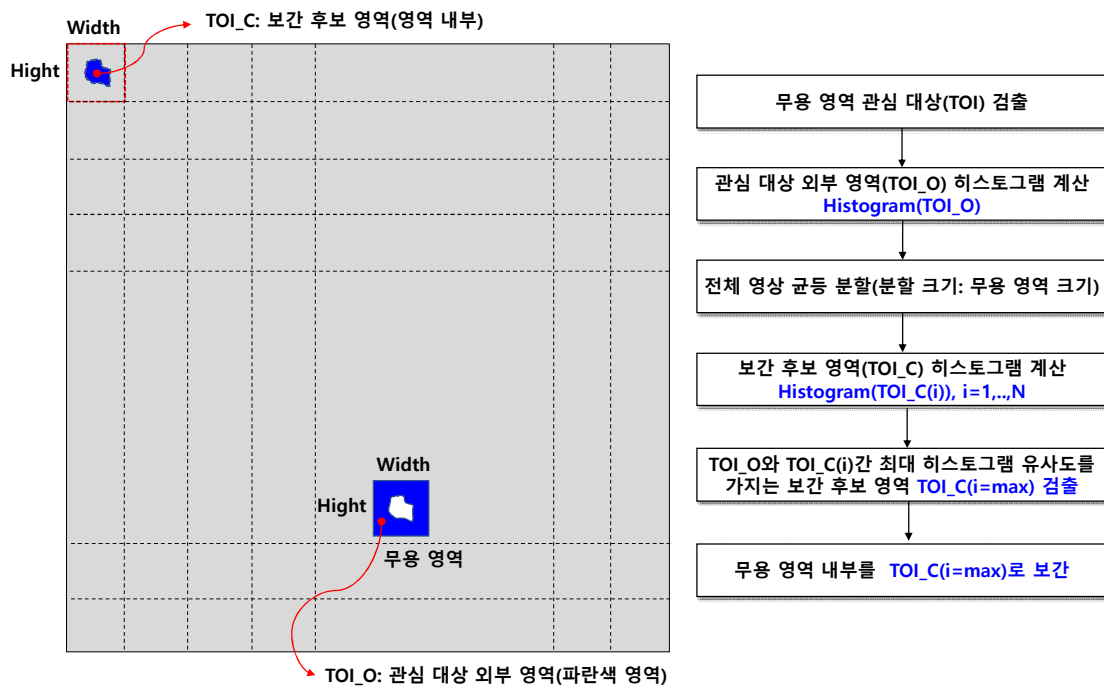
<그림 2-147> 동일 영상을 이용한 타겟 영상의 무용 영역 보간 결과

나) 동일 영상 기반의 보간 기법 개선

(1) 동일 영상 기반 무용 영역 자동 보간 알고리즘

동일 영상을 이용하여 무용 영역을 보간하기 위해서는 무용 영역의 이웃 화소들과 유사한 화소들을 동일 영상 내에서 찾아서 보간해야 한다. 이를 위해 그림 56과 같이 무용 영역 ROI 크기와 동일한 크기의 영역을 전체 영상에서 설정한 후에 관심 대상의 외부 영역 (TOI_O, 파란색 영역)과 전체 영상의 각 분할 영역 내부의 보간 후보 영역(TOI_C)을 먼저 정의한다.

- **유사도 비교 영역:** 보간 후보 영역 가운데 무용 영역 보간에 직접 사용되는 화소들(TOI_C)만을 유사도 비교에 사용하여 보간 후의 무용 영역 내부와 외부 화소들의 유사도를 높이기 위해서 관심 대상의 외부 영역 (TOI_O, 파란색 영역)과 보간 후보 영역(TOI_C, 파란색 영역) 간의 유사도를 비교한다.
- **유사도 비교 방식:** 관심 대상의 외부 영역 TOI_O와 보간 후보 영역 TOI_C 간의 히스토그램 유사도가 가장 높은 보간 후보 영역 TOI_C($i=\max$)를 찾아서 무용 영역 내부를 보간한다.



<그림 2-148> 동일 영상 기반 무용 영역 보간 과정

(2) 알고리즘 테스트 방법

무용 영역의 위치가 산림 지역, 농경지, 인공지물 지역에 존재하는 각 경우를 가정하여 동일 영상 기반 무용 영역 보간을 수행하여 보간 성능을 평가한다. 각 보간 결과에 대해 무용 영역 내부 및

외부의 히스토그램 유사도의 정량적인 비교를 위해서 TOI_O 히스토그램과 유사도가 가장 높은 보간 후보 영역 TOI_C($i=\max$) 히스토그램 간의 유사도를 계산하여 각 테스트 조건 별로 정성적인 평가 결과와 함께 비교한다.

다) 동일 영상 기반의 보간 기법 개선 실험 결과

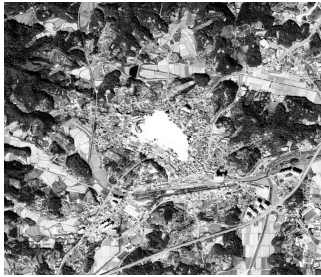





(1) 무용 영역 종류: 구름

주변 영역 유형 및 사이트: 건물 지역, 농경지, 산림 지역 유형별로 각각 3개의 사이트를 선정하고 무용 영역(구름)을 추가하여 실험하였다. 각 밴드별로 보간 후에 보간 결과를 RGB 컬러로 표시하였다.

(가) 건물 지역 보간 결과

보간된 무용 영역 내부와 무용 영역 외부의 히스토그램 최대유사도가 0.895-0.919 사이의 결과가 얻어졌으며 보간 결과 영상에서 보간 영역 위치(결과 영상의 중앙 부근)를 사전에 인지하지 않으면 보간 영역의 위치를 식별하지 못할 정도로 자연스럽게 보간된 결과를 얻었다.







<표 2-112> 건물지역 동일영상 기반 보간 결과

구 분	타겟 영상	무용 영역 보간 결과	Maximum Similarity
건물 지역 (Site 1)			0.919339
건물 지역 (Site 2)			0.895467
건물 지역 (Site 3)			0.918740

(나) 농경지역 보간 결과

보간된 무용 영역 내부와 무용 영역 외부의 히스토그램 최대유사도가 0.811-0.901 사이의 결과가 얻어졌으며 건물 지역 보간 결과와 같이 무용 영역 주변과 유사한 영역 정보로 자연스럽게 보간된 결과를 얻었다.



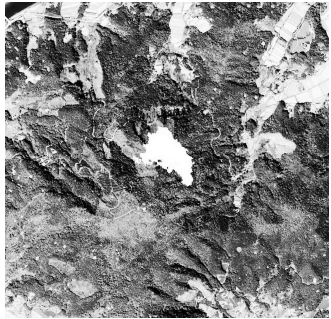
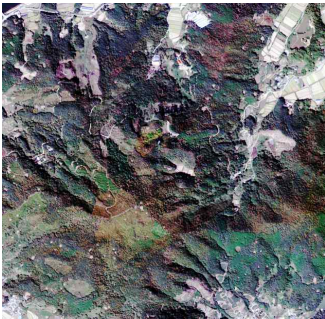

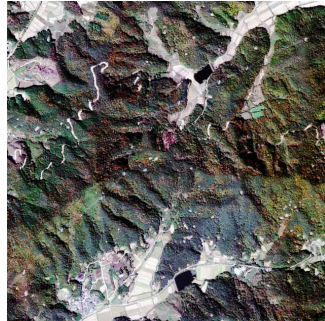
<표 2-113> 농경지역 동일영상 기반 보간 결과

구 분	타겟 영상	무용 영역 보간 결과	Maximum Similarity
농경지역 (Site 4)			0.901170
농경지역 (Site 5)			0.899848
농경지역 (Site 6)			0.810698

(다) 산림 지역 보간 결과

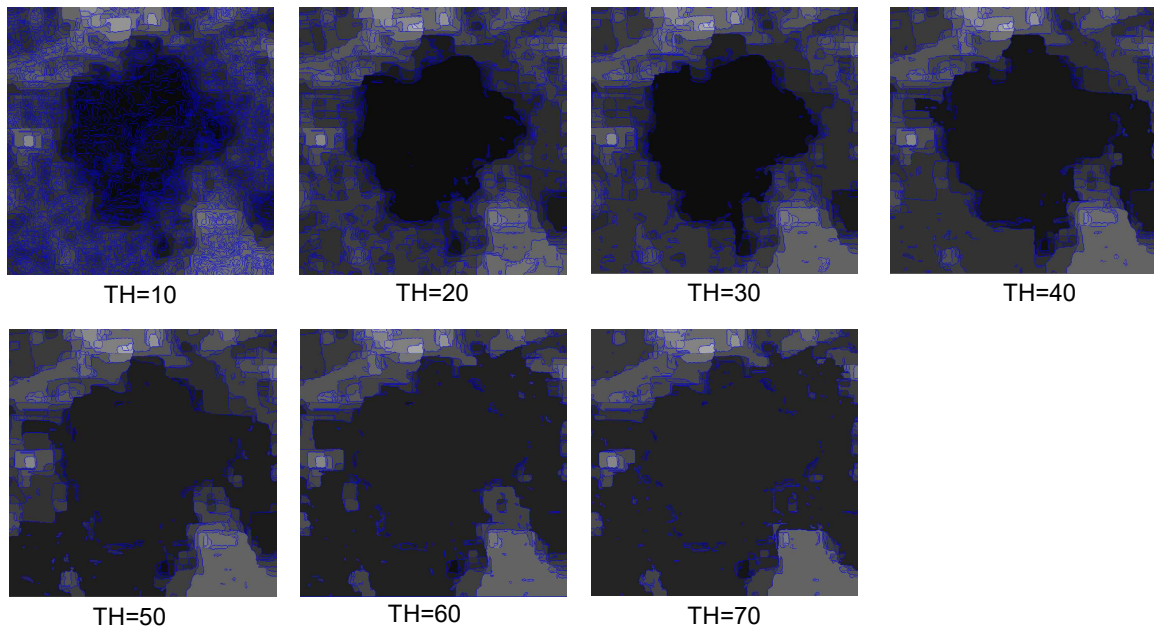
보간된 무용 영역 내부와 무용 영역 외부의 히스토그램 최대유사도가 0.782-0.869 사이의 결과가 얻어졌으며 무용 영역 주변과 유사한 산림 영역 정보로 자연스럽게 보간되어 보간 영역의 위치를 식별하기 매우 어려울 정도의 보간 결과를 얻었다.

<표 2-114> 산림지역 동일영상 기반 보간 결과

구 분	타겟 영상	무용 영역 보간 결과	Maximum Similarity
산림 (Site 7)			0.841178
산림 (Site 8)			0.781559
산림 (Site 9)			0.868575

(2) 무용 영역 종류: 구름 그림자

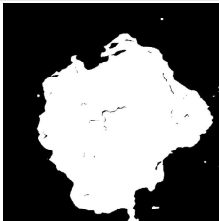
다음 그림은 구름 그림자 무용 영역에 대한 마커 그레디언트 임계값에 따른 영상 분할 결과를 보여준다. 적정한 마커 그레디언트 임계값으로 TH=20으로 설정하고 이후 단계의 실험을 진행하였다.



<그림 2-149> 마커 그레디언트 임계값에 따른 영상 분할 결과 (구름 그림자)

다음 그림은 히스토그램 역투영에 의해 검출된 초기 관심 대상 마스크와 median 필터링과 팽창 영상 필터링을 통해 얻어진 최종 관심 대상 마스크를 보여준다. 동일 영상 보간 결과에서 히스토그램 최대유사도는 0.920620로 앞서 실험한 9개 유형의 보간 결과보다 높은 유사도를 보였다. 무용 영역 내부는 무용 영역 외부에 존재하는 다양한 건물들과 우측 하단의 산림 영역과 유사한 정보들로 자연스럽게 보간되었음을 알 수 있다.

<표 2-115> 구름 그림자 동일영상 기반 보간 결과

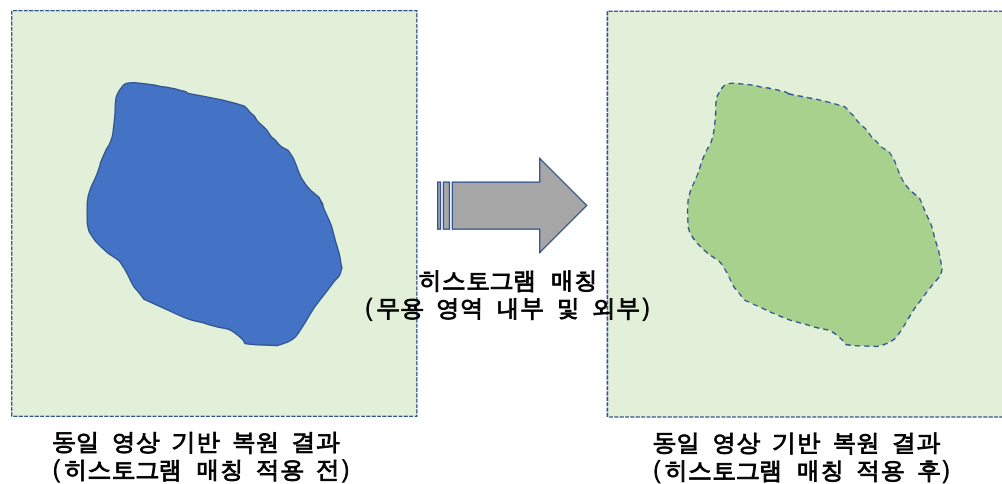
구 분	보간 결과			Maximum Similarity
구름 그림자				0.920620
	구름 그림자 	관심 대상 마스크 (히스토그램 역투영)	관심 대상 마스크 (최종)	
	동일 영상 보간			

라) 동일 영상 기반 무용 영역 복원 분석 및 보완

(1) 무용 영역 내부 및 외부 화소들간 히스토그램 매칭

동일 영상 기반 무용 영역 복원시 무용 영역 내부는 동일 영상의 다른 위치에 존재하는 영역 중 무용 영역의 외부 영역과의 히스토그램 유사도가 가장 높은 영역의 화소들로 보간이 된다. 히스토그램 유사도가 매우 높은 경우에는 보간 후의 무용 영역 내부와 외부의 밝기값 분포가 유사하기 때문에 자연스러운 복원 결과를 기대할 수 있으나 히스토그램 유사도가 낮은 경우에는 부자연스러운 결과를 얻을 수 있다.

따라서 히스토그램 유사도가 낮은 경우에도 자연스러운 복원 결과를 얻을 수 있도록 다음 그림과 같이 복원 후에 무용 영역 내부 화소 밝기값과 무용 영역 외부 화소 밝기값 사이에 히스토그램 매칭을 수행한다. 이 과정을 통해 복원된 무용 영역 내부 밝기값 분포를 무용 영역 외부 밝기값 분포와 더욱 유사하게 만들 수 있다.



<그림 2-150> 동일 영상 기반 복원 결과 후 히스토그램 매칭 적용

(2) 무용 영역 내부 및 외부 화소들간 히스토그램 매칭 실험

총 6개 구름 그림자 영상에 대해 히스토그램 역투영 임계 확률 T_s 가 각각 0.3, 0.1, 0.03인 경우에 동일 영상 기반 복원 결과와 추가로 복원 결과 영상에서 무용 영역 내부와 외부 밝기값 사이에 히스토그램 매칭을 수행하였다.

Site 1, Site 5, Site 6에 대해서 보간 후 히스토그램 매칭을 적용하지 않은 경우에는 보간된 무용 영역 내부의 밝기값이 무용 영역 외부의 밝기값보다 상대적으로 밝은 값으로 보간되었으나 추가로 히스토그램 매칭을 적용하여 무용 영역 외부와 유사한 밝기값으로 조정된 결과를 얻었다.


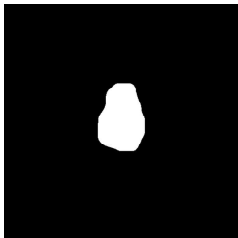
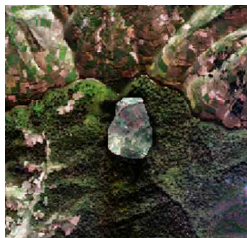

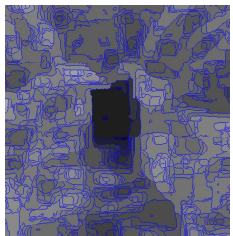
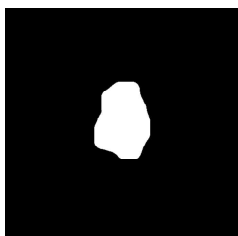

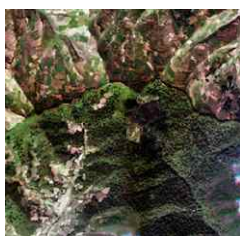
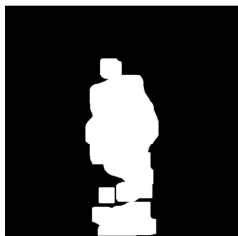


히스토그램 매칭을 추가로 적용하면 히스토그램 역투영 임계 확률 T_s 에 상관없이 자연스러운

복원 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 히스토그램 역투영 임계 확률 T_s 이 작을수록 관심대상 영역에 무용 영역을 충분히 포함시킬 수 있고 maximum similarity 값이 더 높은 영역으로 보간될 가능성이 높아지므로 $T_s=0.03$ 을 기본값으로 설정하고 무용 영역 영상에 따라 필요시 사용자가 변경할 수 있도록 인터페이스에 관련 기능을 추가할 필요가 있다. 참고로 Site 1, Site 3, Site 4, Site 6의 경우 히스토그램 역투영 임계 확률 T_s 가 작을수록 maximum similarity가 증가하는 경향을 보였다. 각 사이트별 실험 결과는 다음과 같다.

(가) Site 1 실험 결과

동일 영상 기반 보간 결과(세번째 열) 영상에서 무용 영역 내부가 무용 영역 외부보다 상대적으로 밝은 화소들로 보간이 되었다. 보간 결과 영상의 무용 영역 내부 및 외부 화소들간 히스토그램 매칭을 추가로 수행한 결과(네번째 열)에서는 적용된 히스토그램 역투영 임계값에 상관없이 무용 영역 내부의 밝기값이 무용 외부의 밝기값이 유사한 밝기값으로 조정되어 매우 자연스러운 복원 결과를 얻었다.


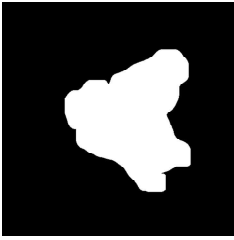


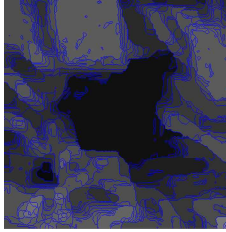
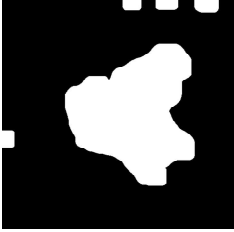
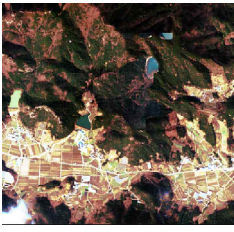
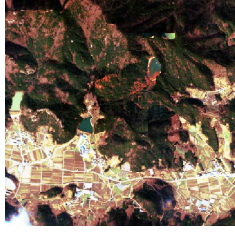
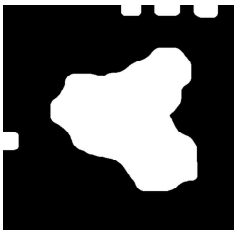

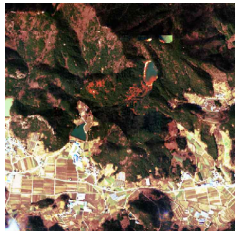
<표 2-116> 동일영상 기반 보간 결과 (Site 1)

구분	영상분할 결과	무용영역 마스크	보간 결과	보간+히스토그램매칭
Site 1	 원영상	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.3$	 maximum similarity = 0.796733	
	 영상분할(확대)	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.1$	 maximum similarity = 0.817383	
		 역투영 임계 확률 $T_s = 0.03$	 maximum similarity = 0.901112	

(나) Site 2 실험 결과

가 상대적으로 낮은 값이 얻어졌으나 동일 영상 기반 보간 결과(세번째 열) 영상에서 무용 영역 내부가 무용 영역 외부보다 유사한 밝기값으로 보간되었다. 보간 결과 영상의 무용 영역 내부 및 외부 화소들간 히스토그램 매칭을 추가로 수행한 결과(네번째 열)에서는 무용 영역 내부의 밝기값이 일부 조정이 되었으나 이미 무용 영역 내부 및 외부의 밝기값이 유사하여 조정 효과가 크지는 않으나 역시 자연스러운 복원 결과를 얻었다.


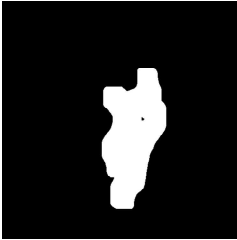
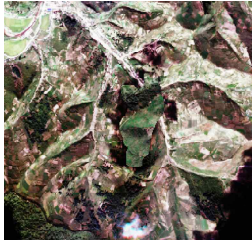

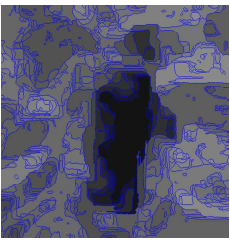
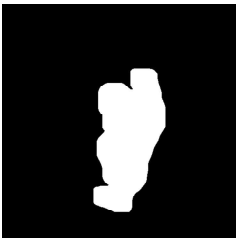


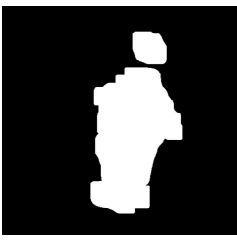


<표 2-117> 동일영상 기반 보간 결과 (Site 2)

구분	영상분할 결과	무용영역 마스크	보간 결과	보간+히스토그램매칭
Site 2	 원영상	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.3$	 maximum similarity = 0.5447913	
	 영상분할(확대)	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.1$	 maximum similarity = 0.544517	
		 역투영 임계 확률 $T_s = 0.03$	 maximum similarity = 0.526797	

(다) Site 3 실험 결과

동일 영상 기반 보간 결과(세번째 열) 영상에서 무용 영역 내부가 초록색 계열의 화소들이 많이 분포하나 히스토그램 매칭을 추가로 수행한 결과(네번째 열)에서는 무용 영역 내부의 일부 화소들이 무용 영역 외부의 밝기값으로 일부 조정되어 보다 자연스러운 복원 결과를 얻었다.


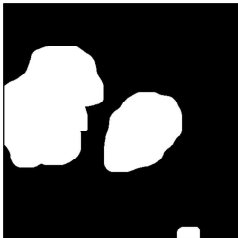


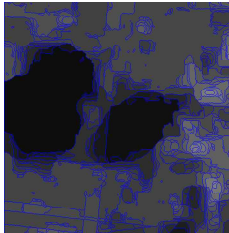
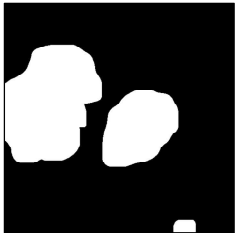


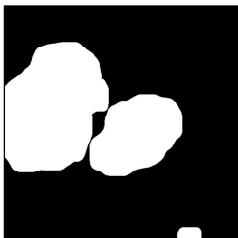


<표 2-118> 동일영상 기반 보간 결과 (Site 3)

구분	영상분할 결과	무용영역 마스크	보간 결과	보간+히스토그램매칭
Site 3	 원영상	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.3$	 maximum similarity = 0.830113	
	 영상분할(확대)	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.1$	 maximum similarity = 0.857588	
		 역투영 임계 확률 $T_s = 0.03$	 maximum similarity = 0.885839	

(라) Site 4 실험 결과:

Maximum similairty가 0.922812인 매우 높은 영역으로 무용 영역 내부가 보간되어 히스토그램 매칭을 추가적으로 적용하지 않아도 매우 자연스러운 복원 결과를 보였다. 히스토그램 매칭을 추가 적용한 경우 무용 영역 내부의 밝기값 중 일부가 무용 영역 외부의 밝기값으로 조정되어 매우 자연스러운 복원 결과를 얻었다.

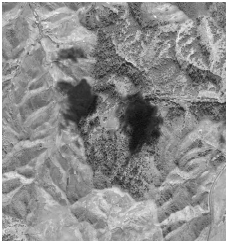
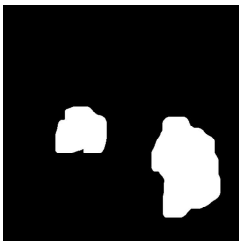

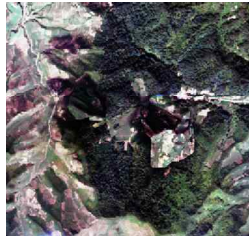
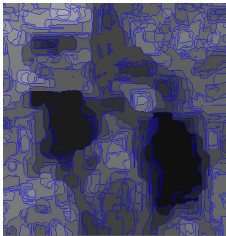


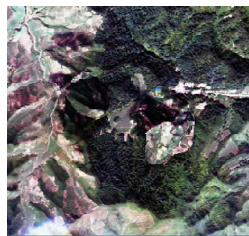


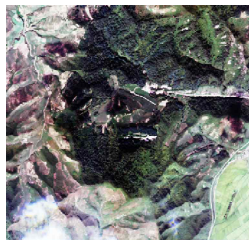
<표 2-119> 동일영상 기반 보간 결과 (Site 4)

구분	영상분할 결과	무용영역 마스크	보간 결과	보간+히스토그램매칭
Site 4	 원영상	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.3$	 maximum similarity = 0.922812	 maximum similarity = 0.922812
	 영상분할(확대)	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.1$	 maximum similarity = 0.922812	 maximum similarity = 0.922812
		 역투영 임계 확률 $T_s = 0.03$	 maximum similarity = 0.928938	 maximum similarity = 0.928938

(마) Site 5 실험 결과

동일 영상 기반 보간 결과(세번째 열) 영상에서 역투영 임계 확률 T_s 가 0.3, 0.1인 경우 무용 영역 내부 일부분이 무용 영역 외부보다 상대적으로 밝은 화소들로 보간이 되었다. 보간 결과 영상의 무용 영역 내부 및 외부 화소들간 히스토그램 매칭을 추가로 수행한 결과(네번째 열)에서는 무용 영역 내부의 밝기값이 무용 외부의 밝기값이 유사한 밝기값으로 조정되어 자연스러운 복원 결과를 얻었다.


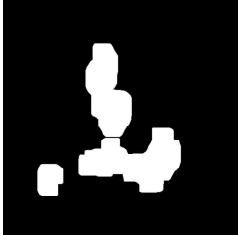

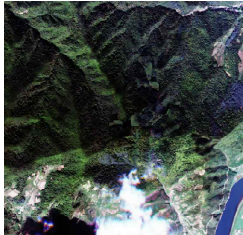
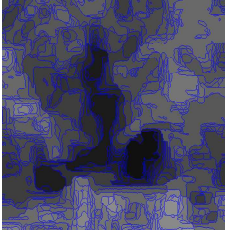
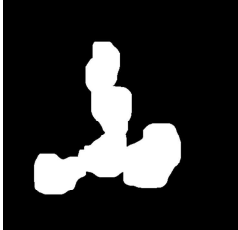

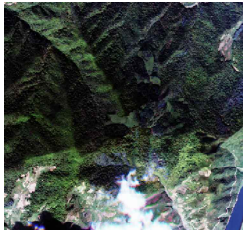
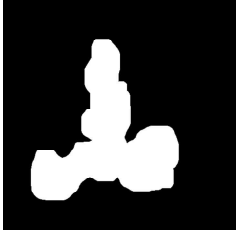


<표 2-120> 동일영상 기반 보간 결과 (Site 5)

구분	영상분할 결과	무용영역 마스크	보간 결과	보간+히스토그램매칭
Site 5	 원영상	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.3$	 maximum similarity = 0.799435	
	 영상분할(확대)	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.1$	 maximum similarity = 0.778608	
		 역투영 임계 확률 $T_s = 0.03$	 maximum similarity = 0.767886	

(바) Site 6 실험 결과

동일 영상 기반 보간 결과(세번째 열) 영상에서 영역 내부에서 부분적으로 무용 영역 외부보다 상대적으로 밝은 화소들로 보간이 되었다. 보간 결과 영상의 무용 영역 내부 및 외부 화소들간 히스토그램 매칭을 추가로 수행한 결과(네번째 열)에서는 무용 영역 내부의 밝기값이 무용 외부의 밝기값이 유사한 밝기값으로 조정되어 매우 자연스러운 복원 결과를 얻었다.

<표 2-121> 동일영상 기반 보간 결과 (Site 6)

구분	영상분할 결과	무용영역 마스크	보간 결과	보간+히스토그램매칭
Site 6	 원영상	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.3$		 maximum similarity = 0.732517
	 영상분할(확대)	 역투영 임계 확률 $T_s = 0.1$		 maximum similarity = 0.750574
		 역투영 임계 확률 $T_s = 0.03$		 maximum similarity = 0.760052

라. 결론

국토위성정보 산출물 가공기술 SW의 무용 영역 추출 기술 개발을 위해 워터셰드 기반의 무용 영역 객체 분할을 수행하고 사용자가 일부 선택한 객체 영역에 기초하여 히스토그램 역투영을 통해 전체 무용 영역을 검출하였다. 무용 영역의 경계 부분을 충분히 포함할 수 있도록 형태학적 연산을 적용하여 무용 영역 마스크를 생성하였다. 무용영역 추출의 성능을 높이기 위해 다양한 지역에서 무용영역 추출 실험을 수행하였고, 이에 따라 영상분할의 Median 필터 크기 및 워터셰드(watershed) 마커 임계값, 무용영역 처리의 히스토그램 역투영 임계값, 팽창 필터 크기 등을 최적화 하였다.

참조 영상을 이용한 무용 영역 복원을 위해 타겟 영상과 참조 영상 간 상호정보량 기반의 영상 등록을 수행하여 두 영상의 좌표를 일치시킨 후에 무용 영역 복원을 위해 분광 유사도 그룹 기법, 히스토그램 매칭 기법, 순차적 로컬 방사 조정 기법의 성능을 비교하였다. 무용 영역 복원의 정량적 성능 지표(SSIM, Histogram Similarity, MRMSE) 측면에서 순차적 국부 방사 조정 기법이 다른 기법보다 우수한 성능을 보였다. 무용 영역 복원의 정성적인 평가에서도 순차적 국부 방사 조정 기법이 복원 영역과 타겟 영상과의 대조(contrast) 측면의 자연스러움과 무용 영역 경계에서의 자연스러운 연결성 관점에서 다른 방법들에 비해 우수한 복원 성능을 보인다고 판단이 되며 무용 영역 복원에 적합한 알고리즘이라 판단된다.

건물 지역, 농경지, 산림 지역 유형별로 각각 3개의 사이트를 선정하고 무용 영역(구름)을 추가하여 순차적 국부 방사 보정을 이용한 참조 영상 기반의 무용 영역 복원을 실험한 결과, 각 사이트의 무용 영역에 대해 참조 영상 정보에 기초하여 무용 영역 내부가 무용 영역 외부와 밝기값이 자연스럽게 연결되는 보간 결과를 얻었다. 보간 결과 영상에서 보간 영역 위치를 사전에 인지하지 않으면 보간 영역의 위치를 식별하지 못할 정도로 자연스럽게 보간된 결과를 얻었다. 참조 영상 기반 구름 그림자 복원에서 구름 무용 영역의 복원 결과와 유사하게 참조 영상을 이용하여 복원된 무용 영역 내부와 무용 영역 외부가 자연스럽게 연결되는 복원 결과를 확인하였다.

단일 영상을 이용한 무용 영역 복원은 기존의 inpainting 알고리즘의 적용 가능성을 살펴보았으며, 좁은 영역의 복원에는 가능하나 다양한 크기와 형태를 가지는 일반적인 무용 영역 복원 적용에는 한계가 있음을 확인하였다. 따라서 무용 영역 주변의 분광 특성과 유사한 영역 정보를 자동 탐색하여 복원하는 개선된 방법을 개발하여 건물 지역, 농경지, 산림 지역 유형별로 각각 3개의 사이트를 선정하여 적용한 결과, 무용 영역의 경계를 식별하지 못할 정도로 자연스러운 보간된 결과를 얻었다. 구름 그림자 무용 영역에 대한 복원 결과, 무용 영역 외부와 유사한 분광 정보로 무용 영역 내부가 자연스럽게 보간되는 결과를 확인하였다.

제3장

국토위성정보 수집 및 활용시스템 연계

1. 기 구축 시스템과 연계기능 개발
2. 품질 및 오류점검 기능 개발

1. 기 구축 시스템과의 연계기능 개발

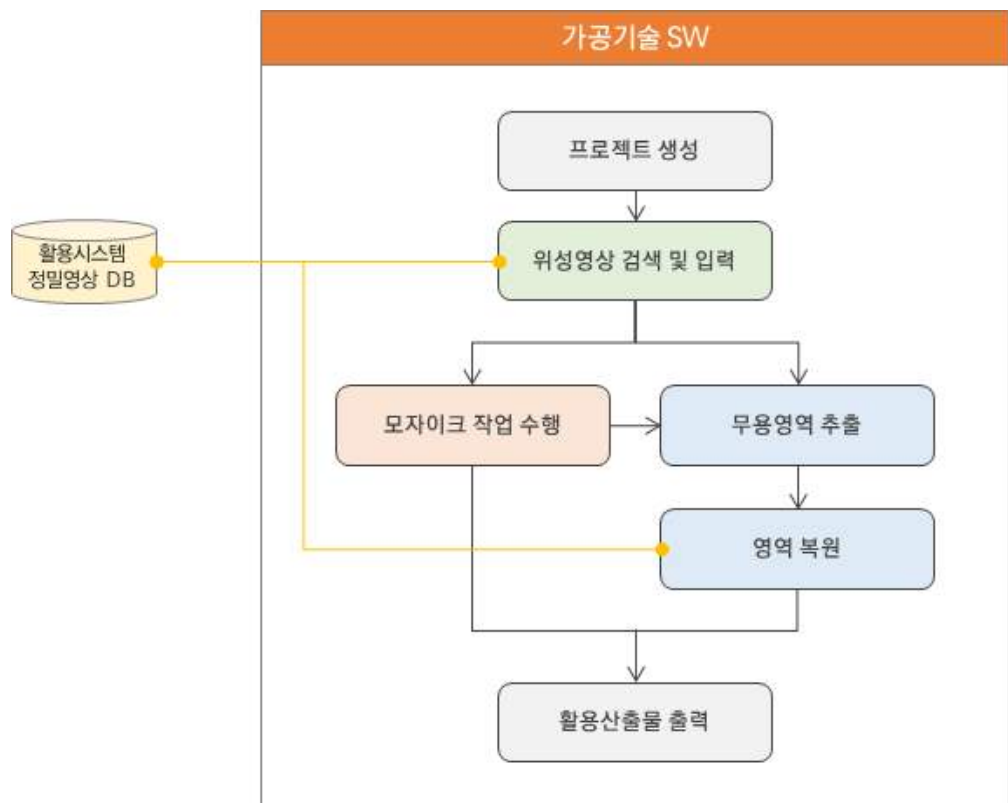
본 문서는 국토위성정보 산출물 가공기술 SW가 기 구축된 국토위성정보 수집 및 활용시스템과 연계 운영하기 위해서 개발된 기능을 기술한다. 기 구축 시스템과의 연계를 위해서 먼저 업무흐름도를 정의하고 필요한 요구사항을 도출하였다. 그리고 요구사항에 따라서 연계기능을 개발하였다. 기 구축 시스템과의 연계를 위한 업무흐름도와 요구사항 정의는 “국토위성정보 산출물 가공기술 개발” 제안요청서(RFP)를 기반으로 작성되었다. 본 보고서에서는 기 구축 시스템과의 연동을 위한 개념 및 핵심요소에 대해서만 다룬다. 기 구축 시스템과의 연동을 위한 상세 설계 및 기술구현 세부 사항은 「시스템 분석 및 설계서」를 참고할 수 있다.

가. 단독실행(Stand-alone) 업무흐름도

국토위성정보 산출물 가공기술 SW의 업무 기능을 분석하기 위해 전체 업무흐름도를 정의하였다. 연동기능에 대해서 정의하기에 앞서서 본 SW를 단독실행(Stand-alone)할 경우의 업무흐름도를 정의하여 국토위성정보 산출물 가공기술의 업무를 먼저 분석하였다.

1) 전체 업무흐름도

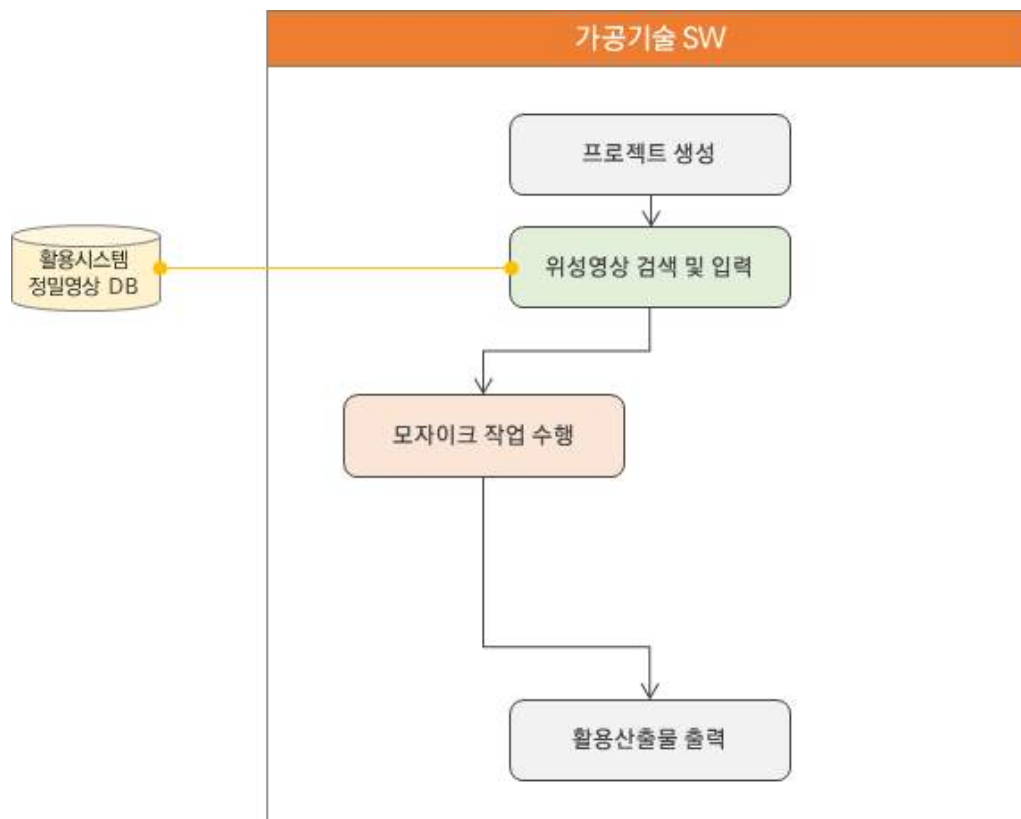
단독실행(Stand-alone)에서는 사용자가 Local의 자료를 확인하여 직접 원하는 활용 산출물을 제작하기 위한 업무를 진행한다. 먼저 업무를 진행하기 위한 프로젝트 생성을 진행하고 해당 프로젝트에 작업을 수행할 위성영상을 검색하여 입력받는다. 이후 원하는 작업에 따라, 모자이크 및 영역 복원을 수행한다. 각 기능은 독립적으로 구성되어 개별적 또는 순차적으로 작업 수행이 가능하다. 최종적으로 사용자가 원하는 옵션에 따라 활용산출물을 출력한다.



<그림 3-1> 단독실행 전체 업무흐름도

2) 모자이크 업무흐름도

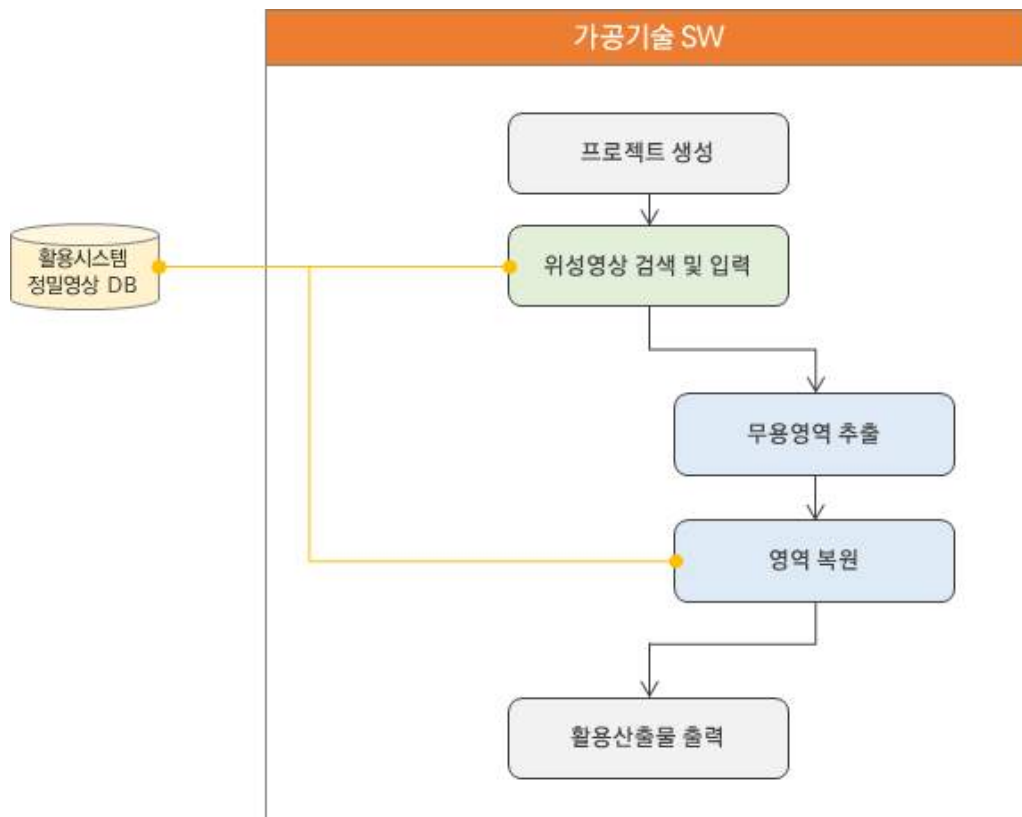
국토위성정보 산출물 가공기술 SW에서 모자이크 작업을 수행하였을 때 업무흐름도이다. 사용자가 프로젝트 생성 후 작업을 수행할 위성영상을 입력한다. 입력 받은 위성영상의 모자이크 업무를 수행하고, 최종적으로 사용자가 원하는 옵션에 따라 활용산출물이 출력된다. 이때 위성영상 검색 및 입력의 과정에서 입력 위성영상은 중첩영역이 있는 2장 이상의 정밀정사영상(L2G)이어야 한다.



<그림 3-2> 단독실행 모자이크 업무흐름도

3) 영역 복원 업무흐름도

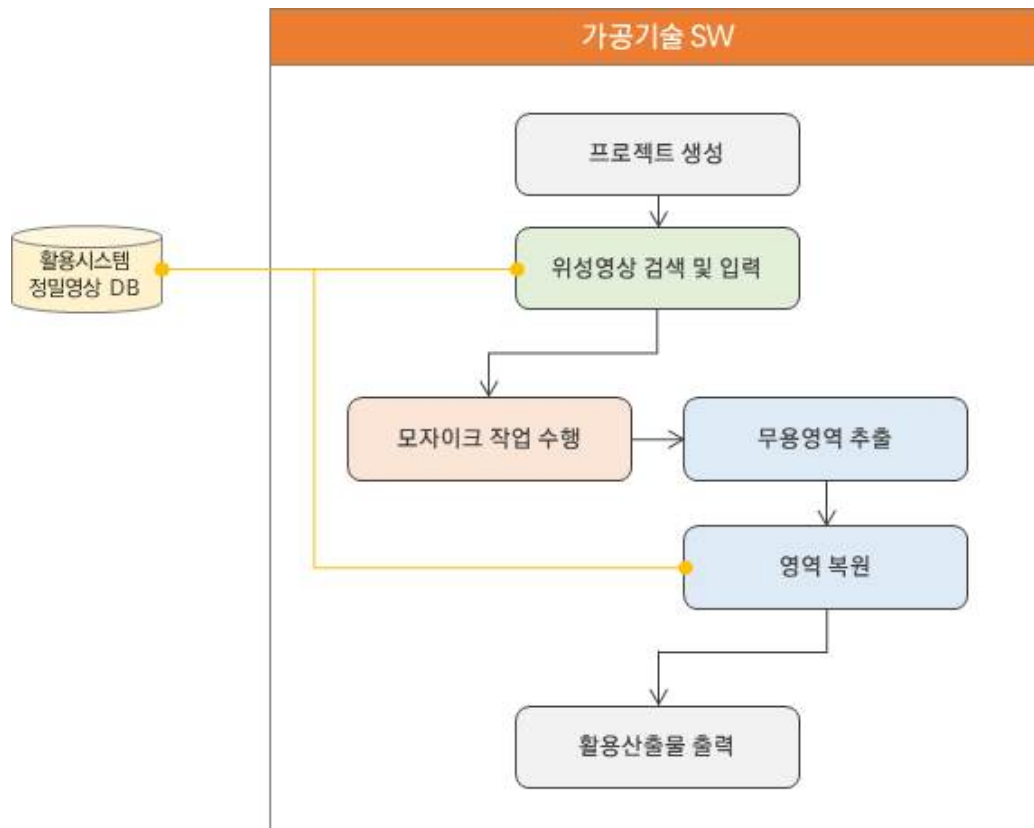
국토위성정보 산출물 가공기술 SW에서 영역 복원 작업만을 수행하였을 때 업무흐름도이다. 사용자가 프로젝트 생성 후 작업을 수행할 위성영상 입력한다. 입력 받은 위성영상에서 무용영역 추출 및 영역 복원 업무를 수행하고, 최종적으로 사용자가 원하는 옵션에 따라 활용산출물이 출력된다. 위성영상 검색 및 입력의 과정에서 입력 위성영상은 1장 이상의 정밀정사영상(L2G)이어야 한다. 영역 복원 업무 수행 시에는 사용자가 선택한 옵션에 따라 참조영상 또는 동일영상을 기반으로 영역 복원을 수행한다.



<그림 3-3> 단독실행 영역 복원 업무흐름도

4) 모자이크 및 영역 복원 업무흐름도

국토위성정보 산출물 가공기술 SW에서 모자이크 및 영역 복원 작업을 모두 수행하였을 때 업무 흐름도이다. 사용자가 프로젝트 생성 후 작업을 수행할 위성영상 입력한다. 이후 입력한 위성영상에서 모자이크 업무를 우선 수행하고, 모자이크 영상에서 무용영역 추출 및 영역 복원 업무를 수행한다, 최종적으로 사용자가 원하는 옵션에 따라 활용산출물이 출력된다. 위성영상 검색 및 입력의 과정에서 입력 위성영상은 중첩영역이 있는 2장 이상의 정밀정사영상(L2G)이어야 한다. 영역 복원 업무 수행 시에는 사용자가 선택한 옵션에 따라 참조영상 또는 동일영상을 기반으로 영역 복원을 수행한다.



<그림 3-4> 단독실행 모자이크 및 영역 복원 업무흐름도

나. 시스템 연동 업무흐름도

국토위성정보 산출물 가공기술 SW는 활용분석처리 서브시스템과 연동되어 가공기술 처리 업무를 수행한다. 활용분석 처리 서브시스템은 국토위성정보 운영시스템의 활용시스템의 서브시스템 중 하나로 작업지시서 기반 활용 주문 관리, 활용임무 관리를 수행한다. 가공기술 SW는 활용 분석 처리 서브시스템과 연동하여 해당 서브시스템에서 전달하는 작업지시서의 정보를 활용하여 자동으로 모자이크 영상을 제작하고, 사용자가 무용영역 처리를 수행할 수 있도록 환경을 구성하도록 기 구축 시스템과의 연계 기능을 개발하였다.

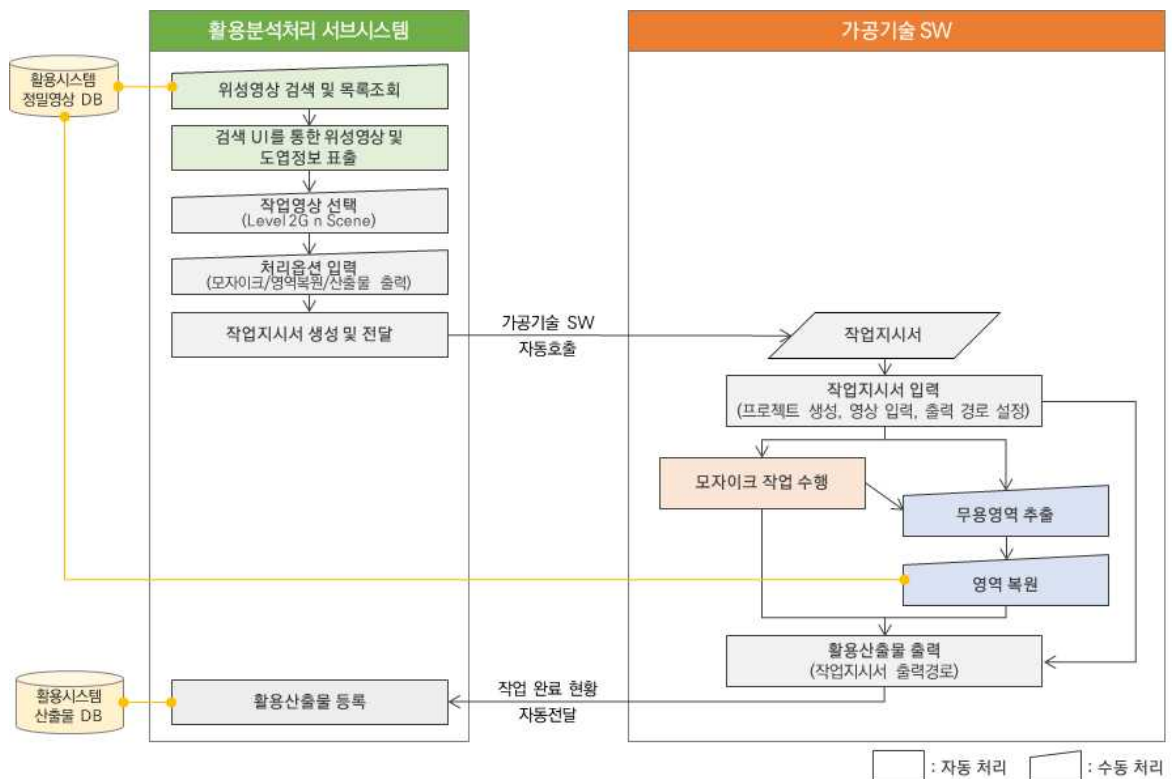


<그림 3-5> 국토위성정보 운영시스템

따라서 본 챕터에서는 국토위성정보 산출물 가공기술 SW가 활용분석처리 서브시스템과 연동되어 업무를 처리할 때의 업무흐름을 제시한다. 우선 전체 업무흐름도를 제시한 이후, 모자이킹 및 영역 복원의 시나리오별 업무흐름도를 제시한다.

1) 전체 업무흐름도

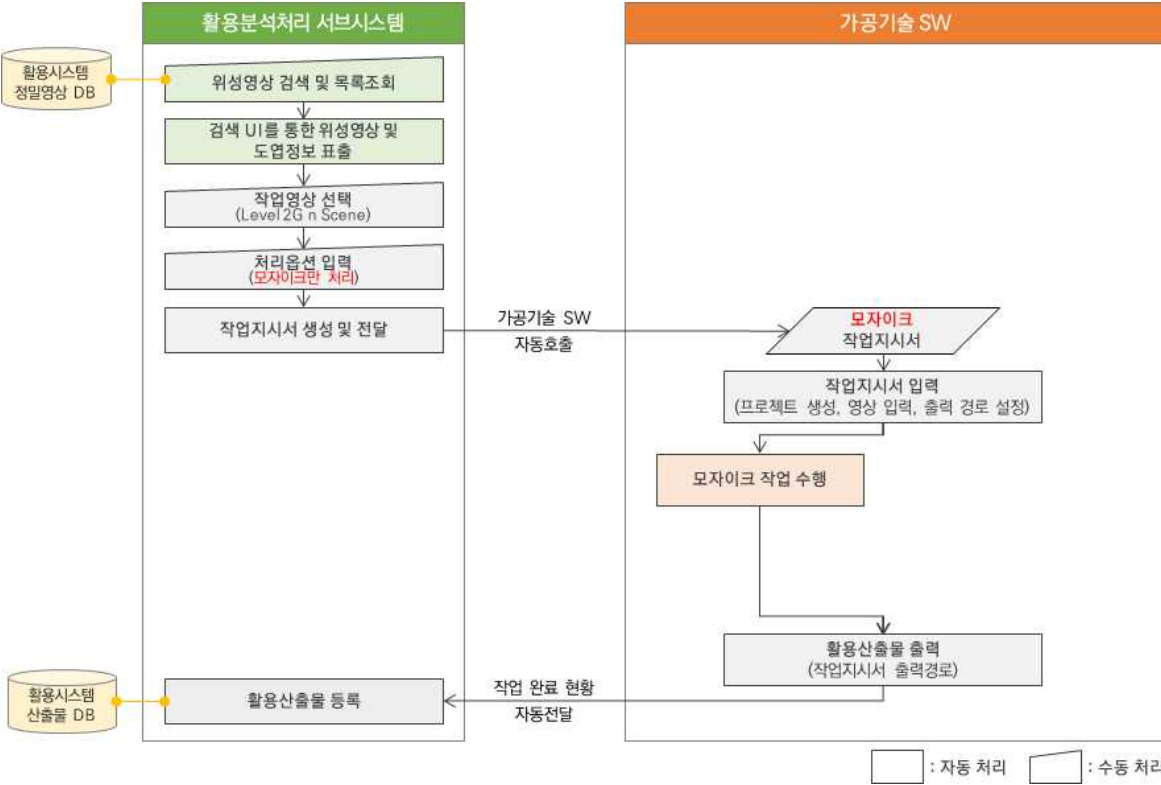
시스템 연동을 통한 업무흐름에서는 활용분석처리 서브시스템에서 산출물 가공을 위한 작업지시서를 생성하고 작업지시서 전달과 함께 국토위성정보 산출물 가공기술 SW를 자동으로 호출한다. 호출된 SW는 전달 받은 작업지시서를 입력받아 작업지시서에 따라 프로젝트 생성, 영상입력, 출력 경로 설정을 수행한다. 이후 작업지시서의 처리 옵션에 따라 모자이크 및 영역 복원을 수행한다. 최종적으로 작업지시서의 산출 옵션에 따라 활용산출물을 출력한다.



<그림 3-6> 시스템 연동 전체 업무흐름도

2) 모자이크 업무흐름도

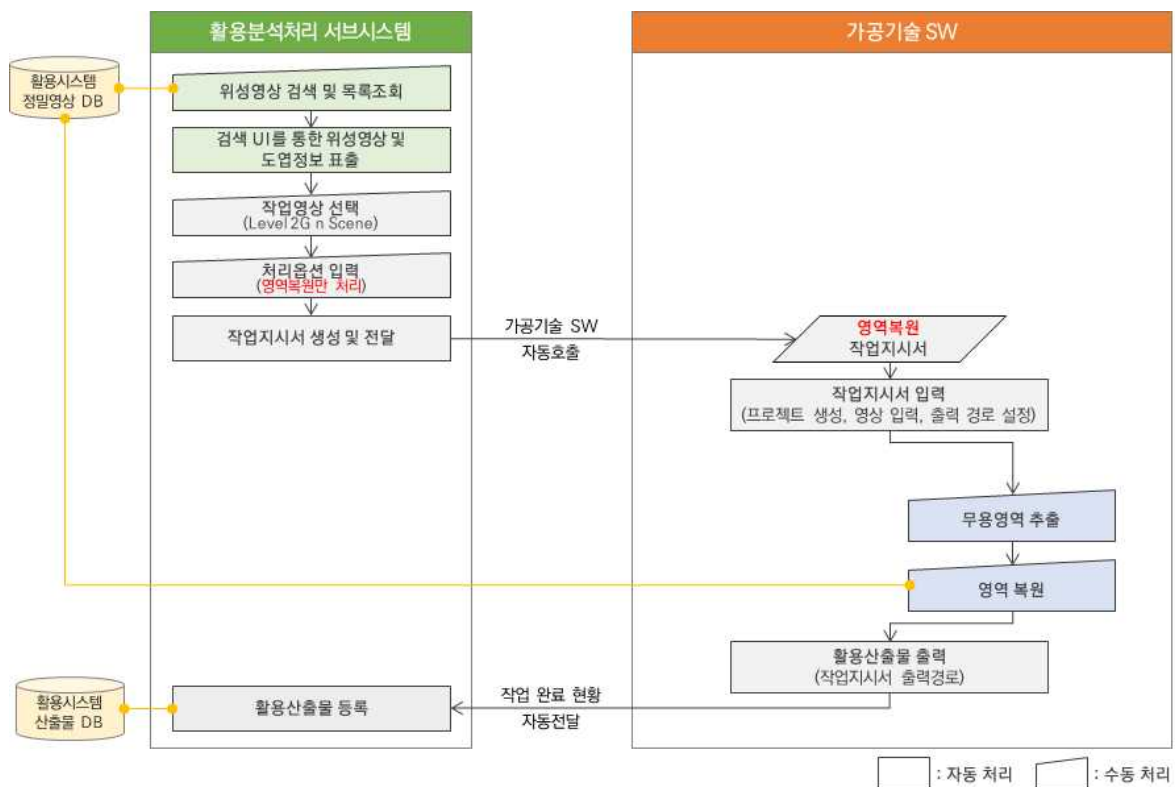
국토위성정보 산출물 가공기술 SW에서 활용분석처리 서브시스템과 연동하여 모자이크 작업을 수행하였을 때 업무흐름도이다. 먼저 활용분석 처리 서브시스템에서 영상검색을 통해 원하는 작업 위성영상을 선택하고, 모자이크 처리옵션을 입력한다. 이를 기반으로 모자이크 작업지시서가 생성된다. 활용분석 처리 서브시스템이 가공기술 SW를 작업지시서와 함께 호출한다. 호출받은 가공기술 SW에서는 모자이크 작업지시서를 입력받아 프로젝트를 생성하고 작업지시서에 따라 영상 입력, 출력 경로를 자동으로 설정한다. 이후 입력받은 위성영상을 자동으로 모자이크 업무를 수행하고 작업지시서의 출력 옵션에 따라 출력 산출물을 출력한다. 활용산출물 출력이 완료되면 활용분석처리 서브시스템은 모자이크 산출물 출력이 완료되었음을 확인하고 해당 산출물 검사 후 등록한다.



<그림 3-7> 시스템 연동 모자이크 업무흐름도

3) 영역 복원 업무흐름도

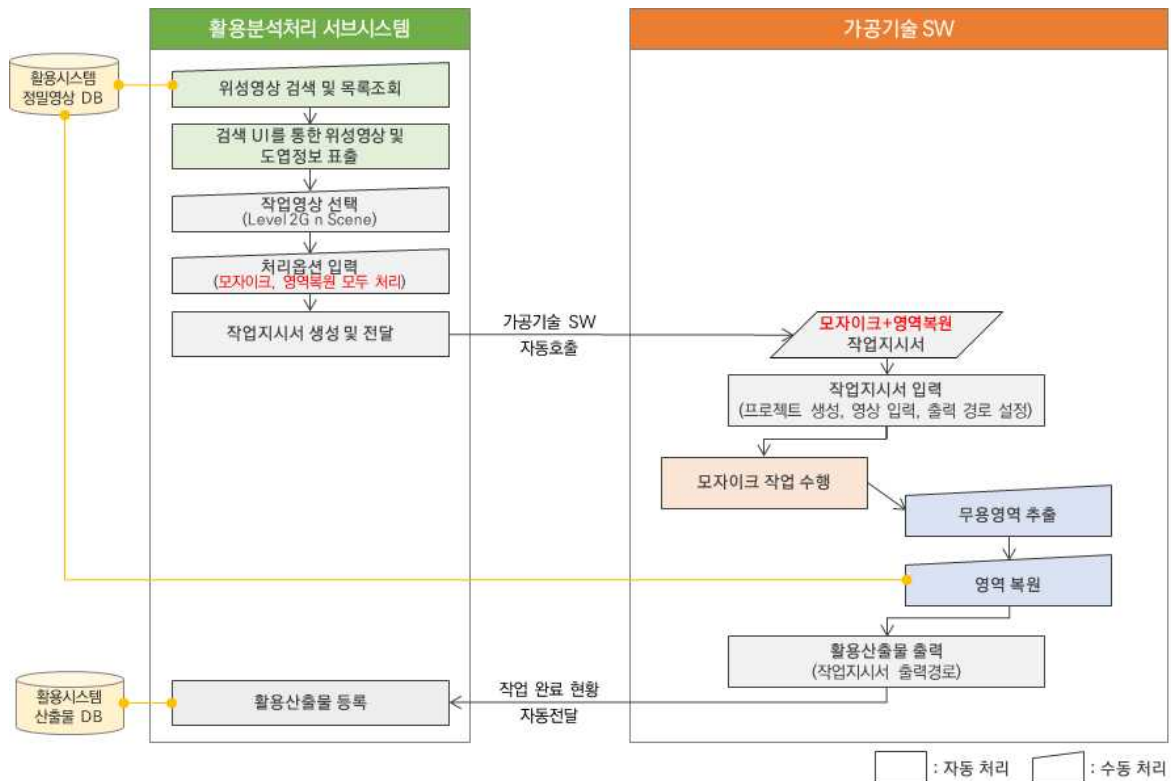
국토위성정보 산출물 가공기술 SW에서 활용분석처리 서브시스템과 연동하여 영역 복원 작업만을 수행하였을 때 업무흐름도이다. 먼저 활용분석 처리 서브시스템에서 영상검색을 통해 원하는 작업 위성영상을 선택하고, 영역 복원 처리옵션을 입력한다. 이를 기반으로 영역 복원 작업지시서가 생성된다. 활용분석 처리 서브시스템이 가공기술 SW를 작업지시서와 함께 호출한다. 호출받은 가공기술 SW에서는 영역 복원 작업지시서를 입력받아 프로젝트를 생성하고 작업지시서에 따라 영상입력, 출력 경로를 자동으로 설정한다. 이후 입력받은 위성영상에서 사용자가 무용영역 추출 및 영역 복원 업무를 수행하면 작업지시서의 출력 옵션에 따라 활용산출물을 출력한다. 활용산출물 출력이 완료되면 활용분석처리 서브시스템은 모자이크 산출물 출력이 완료되었음을 확인하고 해당 산출물 검사 후 등록한다.



<그림 3-8> 시스템 연동 영역 복원 업무흐름도

4) 모자이크 및 영역 복원 업무흐름도

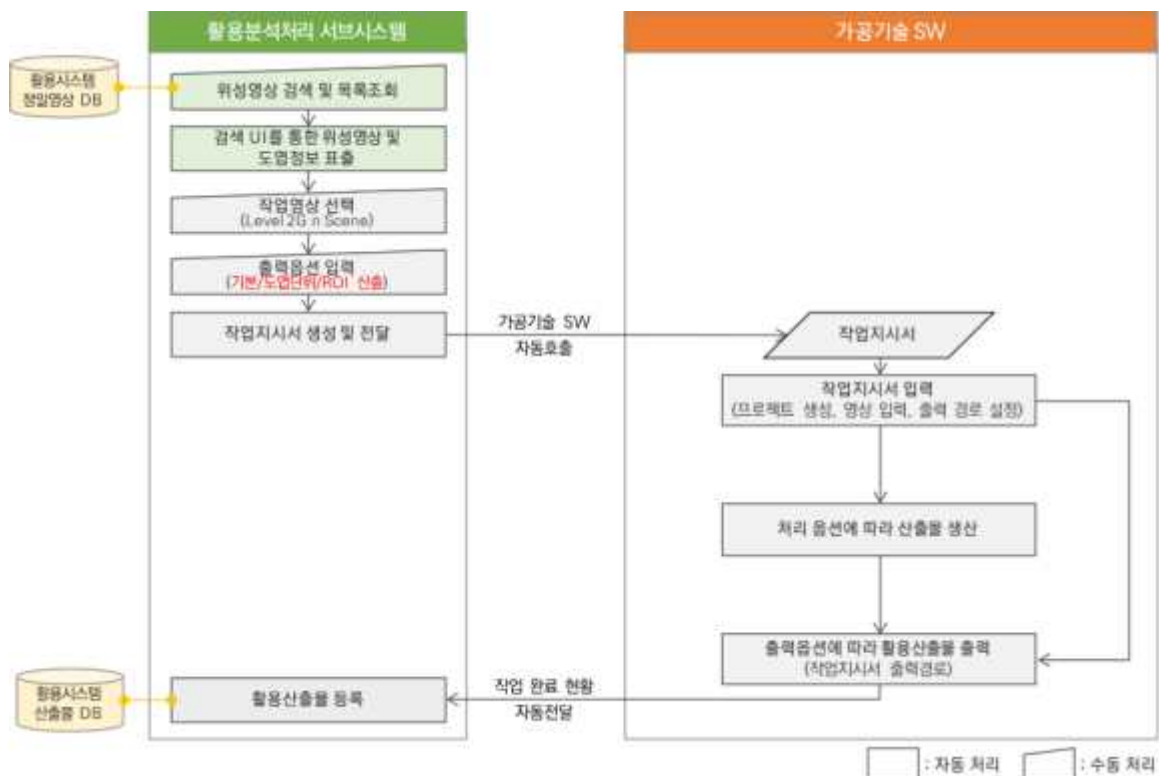
국토위성정보 산출물 가공기술 SW에서 활용분석처리 서브시스템과 연동하여 모자이크 및 영역 복원 작업을 수행하였을 때 업무흐름도이다. 먼저 활용분석 처리 서브시스템에서 영상검색을 통해 원하는 작업 위성영상을 선택하고, 모자이크 및 영역 복원 처리옵션을 입력한다. 이를 기반으로 모자이크 작업지시서가 생성된다. 활용분석 처리 서브시스템이 가공기술 SW를 작업지시서와 함께 호출한다. 호출받은 가공기술 SW에서는 모자이크 작업지시서를 입력받아 프로젝트를 생성하고 작업지시서에 따라 영상입력, 출력 경로를 자동으로 설정한다. 이후 입력받은 위성영상을 자동으로 모자이크 업무를 수행한다. 모자이크 영상에서 사용자가 무용 영역 추출 및 영역 복원 업무를 수행한다. 영역 복원 업무까지 모두 마치면 작업지시서의 출력 옵션에 따라 활용산출물을 출력한다. 활용산출물 출력이 완료되면 활용분석처리 서브시스템은 모자이크 산출물 출력이 완료되었음을 확인하고 해당 산출물 검사 후 등록한다.



<그림 3-9> 시스템 연동 모자이크 및 영역복원 업무흐름도

5) 기본/도엽단위/ROI 출력 업무흐름도

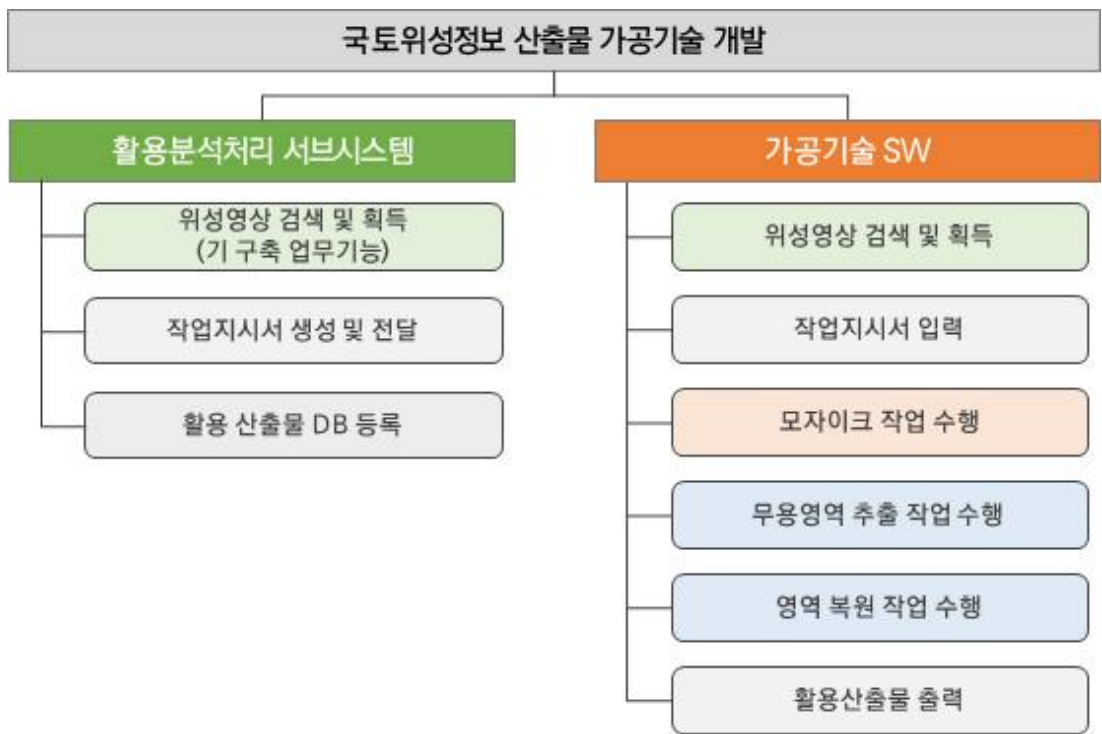
국토위성정보 산출물 가공기술 SW에서 활용분석처리 서브시스템과 연동하여 출력 옵션 별 활용산출물 출력 작업을 수행하였을 때 업무흐름도이다. 먼저 활용분석 처리 서브시스템에서 영상검색을 통해 원하는 작업 위성영상을 선택하고, 사용자가 원하는 모자이크 및 영역복원 처리 옵션과 함께 출력 옵션을 입력한다. 이를 기반으로 작업지시서가 생성된다. 활용분석 처리 서브시스템이 가공기술 SW를 작업지시서와 함께 호출한다. 호출받은 가공기술 SW에서는 작업지시서를 입력받아 프로젝트를 생성하고 작업지시서에 따라 영상입력, 출력 경로를 자동으로 설정하고 모자이크 및 무용영역 처리를 수행하여 활용 산출물을 생산한다. 이후 입력받은 위성영상을 작업지시서의 출력 옵션에 따라 활용 산출물을 출력한다. 기본 출력 옵션의 경우, 처리한 산출물을 추가 가공없이 그대로 출력한다. 도엽단위 출력 옵션은 자동으로 1/5,000 도엽단위로 분할하여 활용산출물을 출력한다. 마지막 ROI 출력 옵션은 추가로 입력된 Polygon Shape 파일을 기반으로 처리한 산출물을 해당 Polygon으로 Clipping 하여 출력한다. 활용산출물 출력이 완료되면 활용분석처리 서브시스템은 모자이크 산출물 출력이 완료되었음을 확인하고 해당 산출물 검사 후 등록한다.



<그림 3-10> 시스템 연동 산출 업무흐름도

다. 업무기능 분해도

국토위성정보 산출물 가공기술 개발 전체 업무흐름도를 기반으로 업무기능을 분석하여 업무기능 분해도를 그림 10과 같이 작성하였다. 먼저 국토위성정보 산출물 가공기술 개발은 활용분석처리 서브시스템과 가공기술 SW라는 서브시스템으로 구성된다. 활용분석처리 서브시스템은 위성영상 검색 및 획득, 작업지시서 생성 및 전달, 활용산출물 DB 등록의 업무로 분해된다. 이때 위성영상 검색 및 획득은 선행 사업을 통해 기구축된 기능을 활용한다. 가공기술 SW는 위성영상 검색 및 획득, 작업지시서 입력, 모자이크 작업 수행, 무용영역 추출 작업 수행, 영역 복원 작업 수행, 활용산출물 출력의 업무로 분해된다.



<그림 3-11> 업무 기능 분해도

라. 시스템 연동 요구사항

국토위성정보 산출물 가공기술 SW와 활용분석처리 서브시스템 간의 연동에 대한 요구사항을 정의하고 각 요구사항의 설명 및 출처, 평가방법을 아래 표와 같이 제시한다.

<표 3-1> 활용분석처리 서브시스템 연동 요구사항 목록

식별자	요구사항 명	요구사항 설명	요구사항 출처	평가 방식
R-AGSL-010	작업지시서 입력	활용분석 처리 서브시스템에서 송신한 작업지시서의 경로를 Argument로 입력받아 SW가 실행되어야 하며, 이때 SW는 작업지시서의 정보에 따라 자동적으로 프로젝트를 생성하고, 입력영상을 로드하고 산출물 출력경로를 설정한다. 이후 작업지시서에 따라 사용자가 모자이킹 및 무용영역 추출, 복원을 작업을 수행할 수 있어야 한다.	RFP 요구사항 SFR-003	데모
R-AGSL-020	처리완료 연동	SW가 작업지시서의 모든 작업을 완료한 경우 활용분석 처리 서브시스템에 작업이 완료되었음을 알려야 한다.	RFP 요구사항 SFR-003	데모
R-AGSL-030	산출물 전달	작업지시서의 모든 작업이 완료된 후, 활용분석 처리 서브시스템이 산출물을 전달받을 수 있도록 작업지시서의 출력경로에 산출물을 저장하여야 한다.	RFP 요구사항 SFR-001, SFR-002	데모

국토위성정보 산출물 가공기술 SW와 정밀영상 DB간 연동에 대한 요구사항을 정의하고 각 요구사항의 설명 및 출처, 평가방법을 아래 표와 같이 제시한다.

<표 3-2> 정밀영상 DB 연동 요구사항 목록

식별자	요구사항 명	요구사항 설명	요구사항 출처	평가 방식
R-PIDL-010	정밀영상 검색	정밀영상 DB에 접근하여 query문을 통해 사용자가 원하는 속성/공간조건의 영상을 검색할 수 있어야 한다.	RFP 요구사항 SFR-003	데모
R-PIDL-020	위성영상 목록 조회	DB query 검색 결과 획득된 위성영상의 목록을 출력하여 사용자가 조회할 수 있어야 한다.	RFP 요구사항 SFR-003	데모
R-PIDL-030	위성영상 선택, 추가	위성영상 목록에서 사용자가 원하는 위성영상을 선택, 프로젝트에 추가할 수 있어야 한다. 위성영상을 프로젝트에 추가하기 위하여 영상을 입력할 때, DB의 기밀성을 위해 읽기전용으로 획득하여야 한다.	RFP 요구사항 SFR-003	데모

마. 시스템 연동기능 시험 결과

이 절에서는 개발된 시스템 연동기능을 확인하기 위해서 실시한 통합시험결과를 기술한다. 본 보고서의 특성 상, 실제 시스템 연동기능의 상세설계 및 구현에 관한 사항은 시스템 분석 및 설계서 (별도 문서)를 참고한다. 또한 연동 시험에 대한 자세한 사항은 「부록 7. 국토위성정보 산출물 가공 기술 SW 통합 시험 보고서」, 「부록 8. 국토위성정보 산출물 가공기술 SW 인수 시험 보고서」를 통해 확인 가능하다.

시스템 연동시험에 사용한 장비는 아래와 같다.

<표 3-3> 시스템 연동시험에 사용한 장비

종류	사 양	비 고
Desktop PC	<ul style="list-style-type: none"> - CPU: AMD 4.20 GHz 6-Core Processor - GPU: GeForce RTX 2060 - Memory: 128GB - Storage: SSD 512GB - OS: Windows 10 Professional 	국토위성정보 산출물 가공기술 SW와 국토 위성 활용분석처리 서브시스템의 설치 및 단위 시험을 위한 PC

국토위성정보 산출물 가공기술 SW의 기능을 시험하기 위해 아래와 같이 테스트 자료를 구축하였다. 위성영상은 국토위성과 유사한 사양의 KOMPSAT-3A 및 국토위성(CAS500-1)의 Level 2G 영상을 사용한다.

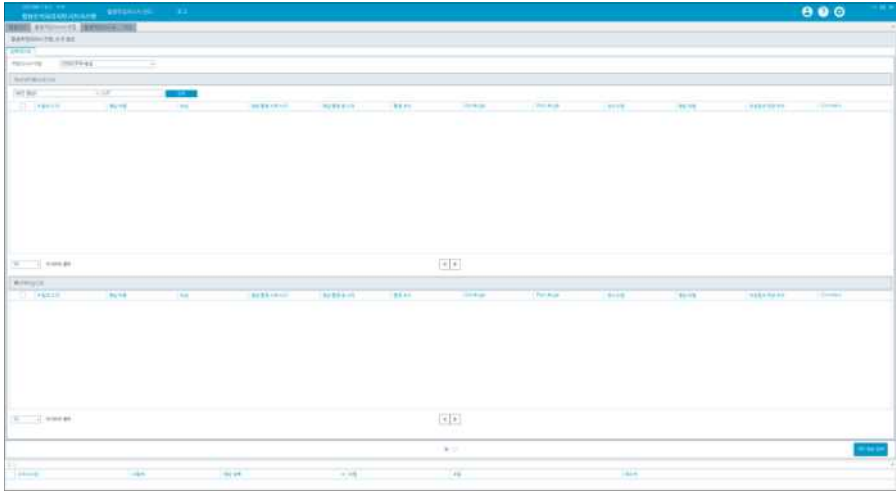

<표 3-4> 연동기능 시험 자료

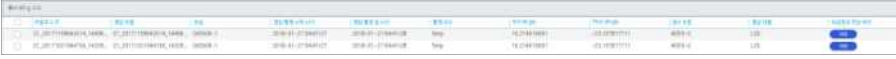
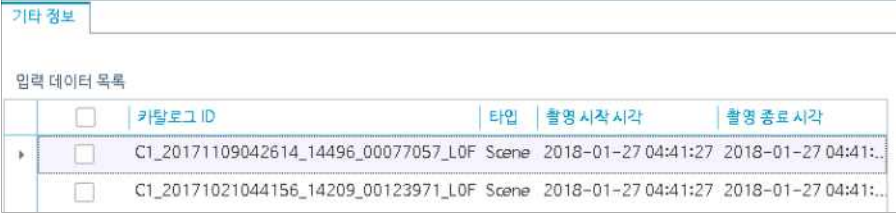
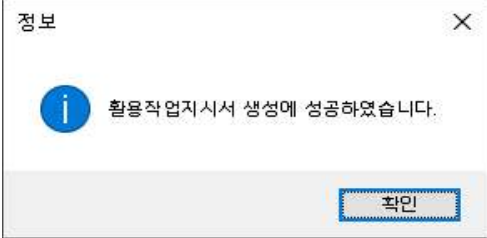
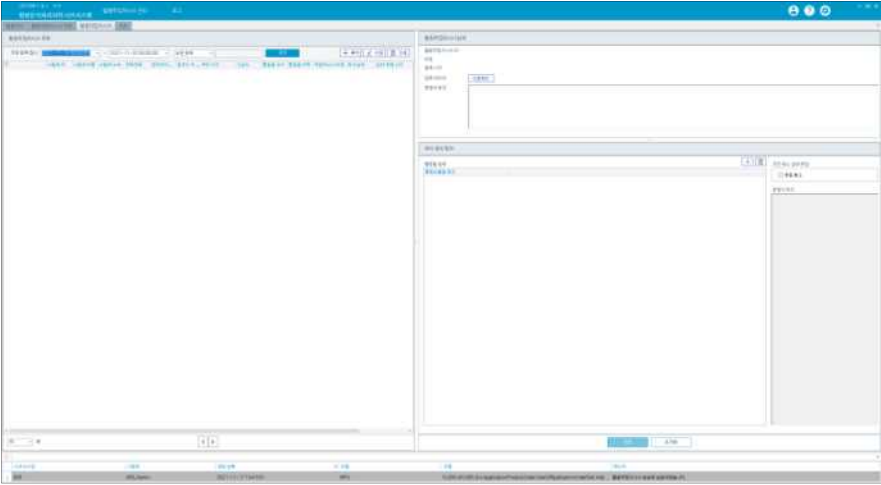
종류	설명	용도	취득 자료 제원	획득 방법	취득 기관
위성영상	국토위성영상과 국토위성과 유사한 사양의 KOMPSAT 3A호 영상을 사용	입력자료	위성명: KOMPSAT-3A/CAS500-1 자료레벨: Level 2G 사용밴드: Pan, R, G, B, NIR, R_PS, G_PS, B_PS	기관 제공	국토지리 정보원
출력 ROI Shape file	사용자가 원하는 출력 ROI 지정을 위해 사용	입출력 보조자료	Polygon Shapefile 좌표계: UTM-K	자체 제작	쓰리디 랩스

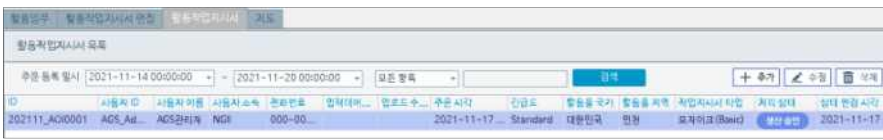
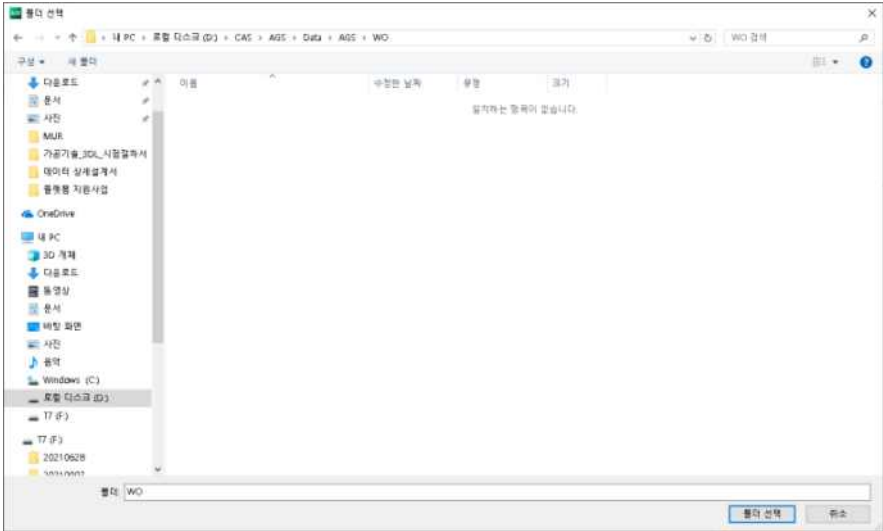

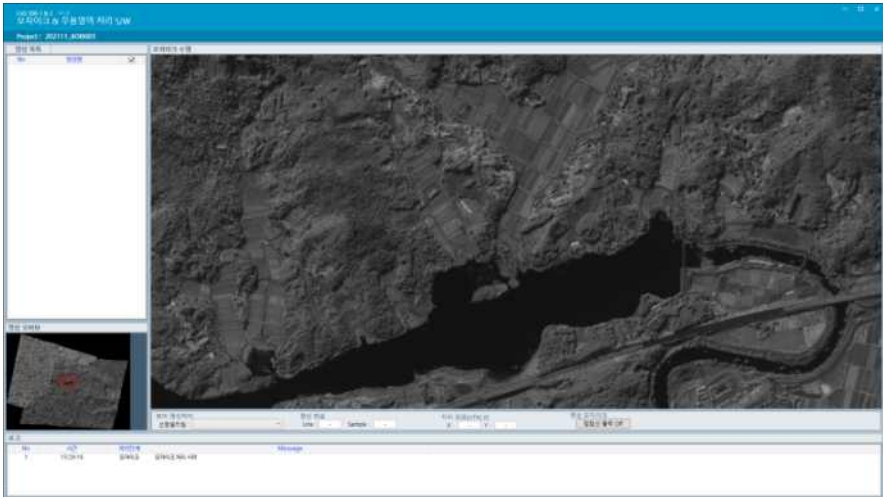
국토위성정보 산출물 가공기술 SW의 시험을 위해 기본설계서의 세부 업무흐름도를 바탕으로 통합시험 절차를 정의하고 절차에 따라서 시험을 진행하였다.

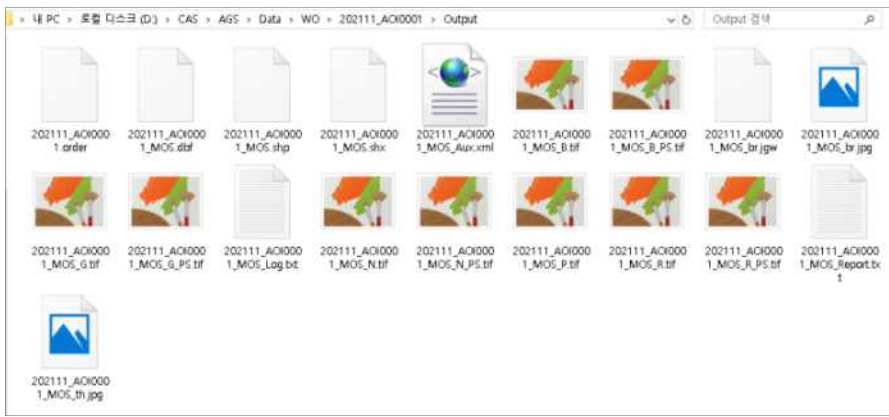


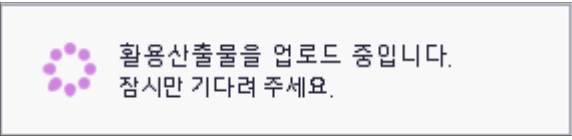
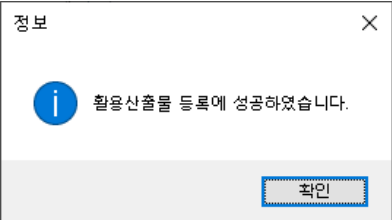
작업지시서 생성 시험결과는 다음의 표와 같다.

<표 3-5> 작업지시서 생성 시험결과

항목	설명 (관련 요구사항 ID)
목적	○ 작업지시서 생성 및 전달 기능 점검 ✓ 작업지시서 ID 할당 ✓ 위성영상 검색 및 획득 ✓ 출력경로 설정 ✓ 처리옵션 선택
사전 조건	활용분석처리 서브시스템 실행 완료 - 로그인 ID: AGS_Admin - 로그인 PW: Ad123!@#
관련 세부업무흐름	WF-AGS-010
관련 요구사항	R-AGSL-010 R-PIDL-010,020,030 R-SEC-020,030
입력 데이터	-
시험 절차	
1	<p>활용분석처리 서브시스템에서 [활용작업지시서 편집] 탭 클릭 → [활용작업지시서 편집] 화면 출력됨을 확인</p> 
2	<p>[작업지시서 타입]-[10 모자이크(Basic)] 선택 후 [검색] 버튼 클릭 → 4건의 영상 레벨 'L2G' 검색됨을 확인</p> 
3	<p>아래 카탈로그 ID의 체크 박스 체크 및 하단의 [Working List]에 Drag&Drop - C1_20171109042614_14496_00077057_L0F</p>

	<p>- C1_20171021044156_14209_00123971_L0F → [Working List]에 2개의 카탈로그가 추가됨을 확인</p> 
4	<p>우측 하단의 [기타 정보 입력] 버튼 클릭 → [기타 정보] 화면이 출력되고, [입력 데이터 목록]에 선택한 카탈로그가 추가됨을 확인</p> 
5	<p>아래와 같이 항목에 입력 후 [저장] 버튼 클릭</p> <ul style="list-style-type: none"> - 운영자 전화번호: 000-0000-0000 - 긴급도: Standard - 활용물 국가: 대한민국 - 활용물 지역: 인천 - 운영자 의견: 추가 의견 없음 <p>→ 아래와 같은 메시지 창 출력 확인 후 [확인] 버튼 클릭</p> 
6	 <p>상단의 [활용작업지시서] 탭 클릭 → [활용작업지시서] 화면 출력 확인</p>
7	<p>[검색] 버튼 클릭 → 1건의 작업지시서 타임 '모자이크(Basic)' 검색됨을 확인</p>

	
8	<p>검색된 활동작업지시서를 선택하고 우측의 [다운로드] 버튼 클릭 → [폴더 선택] 창이 출력됨을 확인</p> 
9	<p>아래 경로를 선택하고 하단의 [폴더 선택] 버튼 클릭 - D:\CAS\AGS\Data\WO → 아래와 같은 화면이 출력됨을 확인</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;">  <p>입력데이터를 다운로드 중입니다. 잠시만 기다려 주세요.</p> </div>
10	 <p>가공기술 SW가 실행 → 출력된 창이 사라지고 가공기술 SW가 실행 됨을 확인</p>
11	<p>가공기술 SW에서 처리가 완료되면 SW 종료 → SW가 종료되고 처리 결과물이 존재하는 폴더가 출력됨을 확인</p>

	
12	<p>[활용작업지시서] 화면 우측 [처리 결과 입력]-[+] 버튼 클릭 → [폴더 선택] 창이 출력됨을 확인</p> 
13	<p>이전 절차에서 출력된 처리 결과물 폴더를 선택하고 [폴더 선택] 버튼 클릭 → [활용물 등록]에 추가한 활용산출물 경로가 추가됨을 확인</p> 
14	<p>하단의 [저장] 버튼 클릭 → 아래와 같은 화면이 출력 됨을 확인</p> 
15	<p>활용물 등록 완료 → 아래와 같은 메시지 창이 출력 됨을 확인</p> 

모자이크 작업지시서 처리 시험결과는 다음의 표와 같다.

<표 3-6> 모자이크 작업지시서 시험결과

항목	설명 (관련 요구사항 ID)
목적	○ 모자이크 작업지시서 처리 기능 검증 ✓ 모자이크 작업지시서 입력 ✓ 접합선 자동 추출 ✓ 화소값 보정 ✓ 모자이크 영상 뷰어
사전 조건	활용분석처리 서브시스템에서 모자이크 작업지시서 생성 완료
관련 세부업무흐름	WF-MUR-030
관련 요구사항	R-MOS-010,020,030,040,050,060,070,080,090,100,110,120,130 R-INT-010,020,030,040,050,060,070,080,090,100,180 R-VW-010,020,030,040,050
입력 데이터	모자이크 작업지시서
시험 절차	
1	모자이크 작업지시서 입력 → 로그 리스트에 작업지시서 입력 결과를 출력을 확인 → 영상 목록 리스트에 입력한 위성영상이 입력된 것을 확인
2	영상 목록에서 작업지시서 위성영상 입력 → 모자이크 영상 뷰어에서 입력 위성영상이 출력되는 것을 확인
3	모자이크 작업 자동 시작 → 로그 창에 모자이크 처리 시작 출력을 확인 → 모자이크 처리 로그 파일 출력 확인
4	입력 자료 테스트 시작
4-1	입력자료 테스트 결과 오류 발생 → 해당 오류 내용 출력 확인 → 모자이크 처리 종료 확인
5	모자이크 영역 산출 → 모자이크 영역 산출 결과 로그 리스트에 출력
6	화소값 보정(히스토그램 매칭) 수행 → 화소값 보정(히스토그램 매칭) 결과 로그 리스트에 출력
7	접합선 추출 수행 → 접합선 추출 결과 로그 리스트에 출력 → 접합선 정보 파일 출력
8	영상 집성 수행 → 영상 집성 수행 결과 로그 리스트에 출력
9	모자이크 결과 출력 → 모자이크 처리 완료 로그 리스트에 출력 → 최종 모자이크 영상을 영상 리스트에 추가 → 최종 모자이크 영상을 영상 뷰어에 출력
9-1	작업지시서에 접합선 저장 옵션이 있는 경우 접합선 정보 출력 → 최종 모자이크 접합선을 영상 뷰어에 출력

무용영역 작업지시서 처리 시험결과는 다음의 표와 같다.

<표 3-7> 무용영역 작업지시서 처리 시험결과

항목	설명 (관련 요구사항 ID)
목적	○ 무용영역 작업지시서 처리 기능 검증 ✓ 무용영역 작업지시서 입력 ✓ 무용영역 처리 화면 연동
사전 조건	활용분석처리 서브시스템에서 무용영역 작업지시서 생성 완료
관련 세부업무흐름	WF-MUR-040, 50
관련 요구사항	R-UDR-010,020,030,040,050,060,070 R-INT-010,020,030,040,050,060,070,080,090,100,180 R-VW-010,020,030,040,050
입력 데이터	무용영역 작업지시서
시험 절차	
1	모자이크 작업지시서 입력 → 로그 리스트에 작업지시서 입력 결과를 출력을 확인 → 영상 목록 리스트에 입력한 위성영상이 입력된 것을 확인
2	무용영역 추출 View 자동 실행 → 무용영역 추출 View 실행 확인 → 무용영역 리스트 활성화 확인 → 무용영역 처리 로그 파일 출력 확인
3	입력 자료 테스트 시작
3-1	입력자료 테스트 결과 오류 발생 → 해당 오류 내용 출력 확인 → 무용영역 추출 종료
4	영상 뷰어에 입력 위성영상 출력 시작 → 무용영역 추출 영상 뷰어에 입력 위성영상 출력 결과 확인
5	무용영역 추출 기능 확인 → AOI 선택 기능 확인 → 영역 분할 기능 확인 → TOI 선택 기능 확인
6	[무용영역 처리] - [무용영역 복원] 버튼 클릭을 통해 무용영역 복원 View 실행 → 무용영역 복원 View 실행 확인 → 무용영역 리스트 활성화 확인
6-1	참조영상 기반 무용영역 복원 기능 확인 → 참조영상 검색 기능 확인 → 참조영상 기반 복원 결과 확인
6-2	동일영상 기반 무용영역 복원 기능 확인 → 동일영상 기반 작업 Viewer 확인 → 동일영상 기반 복원 영역 자동 추출 결과 확인 → 동일영상 기반 복원 결과 확인

산출물 산출 시험결과는 다음의 표와 같다.

<표 3-8> 산출물 산출 시험결과

항목	설명 (관련 요구사항 ID)
목적	○ 활용산출물 출력 기능 점검 ✓ 작업지시서의 산출옵션에 따른 활용산출물 출력 ✓ 도엽단위 산출물 출력 ✓ ROI 산출물 출력 ✓ 처리완료 산출
사전 조건	활용분석처리 서브시스템에서 작업지시서 생성 완료
관련 세부업무흐름	WF-MUR-060
관련 요구사항	R-MOS-130 R-UDR-180 R-INT-110,120,130140,150 R-SEC-020,030
입력 데이터	-
시험 절차	
1	작업지시서 입력 → 로그 리스트에 작업지시서 입력 결과를 출력을 확인
2	작업지시서의 산출 옵션 확인
2-1	기본 출력 옵션 확인 → 작업 완료된 산출물 기본 출력
2-2	도엽단위 출력 옵션 확인 → 1:5000 도엽 단위 산출물 출력
2-3	ROI 출력 옵션 확인 → Shape file Polygon에 맞춰 출력
2-3-1	ROI Shape file 유무 점검 → ROI Shape file 이 없는 경우 추가 입력 요청
3	최종 산출물 출력 확인 → 밴드별 출력 영상 (.tiff) → 메타 파일 (.xml) → 리포트 파일 (.csv) → 브라우저 이미지, 썸네일 이미지 (.jpg) → World 파일 (.jgw) → 영상영역 파일 (.shp)
4	활용분석처리 서브시스템의 [활용작업지시서] 화면에서 → [활용작업지시서 편집] 화면 출력 확인

2. 품질 및 오류점검 기능 개발

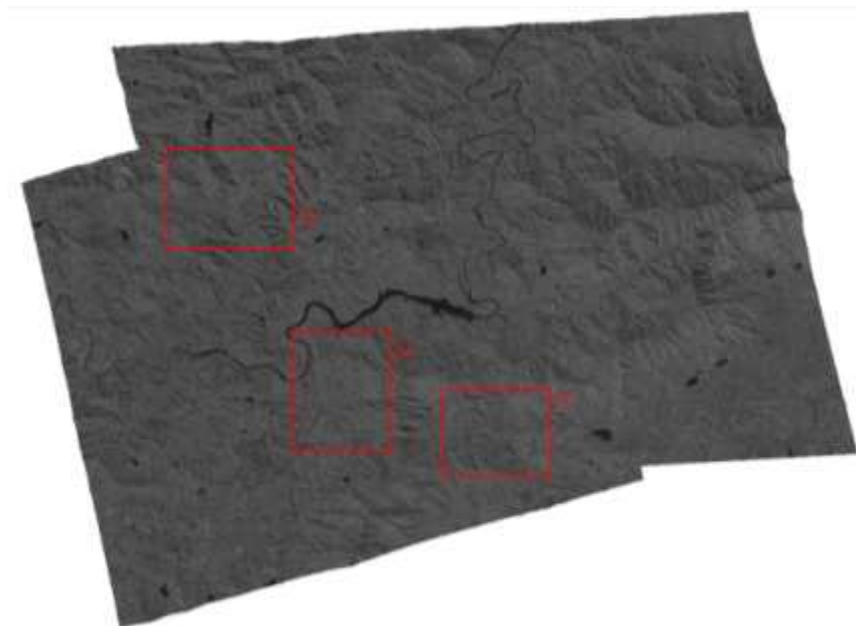
본 사업에서는 국토위성정보 산출물 가공기술 및 SW 개발을 통해 모자이크 및 무용영역 처리 기술을 개발하였다. 따라서 본 사업단은 해당 기술을 통해 제작된 각 산출물의 품질을 분석하기 위한 품질 분석 방안을 제시하였다. 이후 가공기술 SW에서 가공기술 처리 및 시스템 연동, 산출물 제작 시 품질 및 산출물의 오류를 점검하기 위한 기능을 개발하였다.

가. 품질 및 오류점검 방안

무용영역 복원 및 모자이크 가공기술을 적용하여 제작한 활용 산출물의 품질 및 오류를 점검하기 위해 3가지 점검 방안을 제시하였다. 제시한 점검 방안은 접합선 육안 분석, 기하정확도 분석, 화소값 보정 성능지표 분석 방안이다.

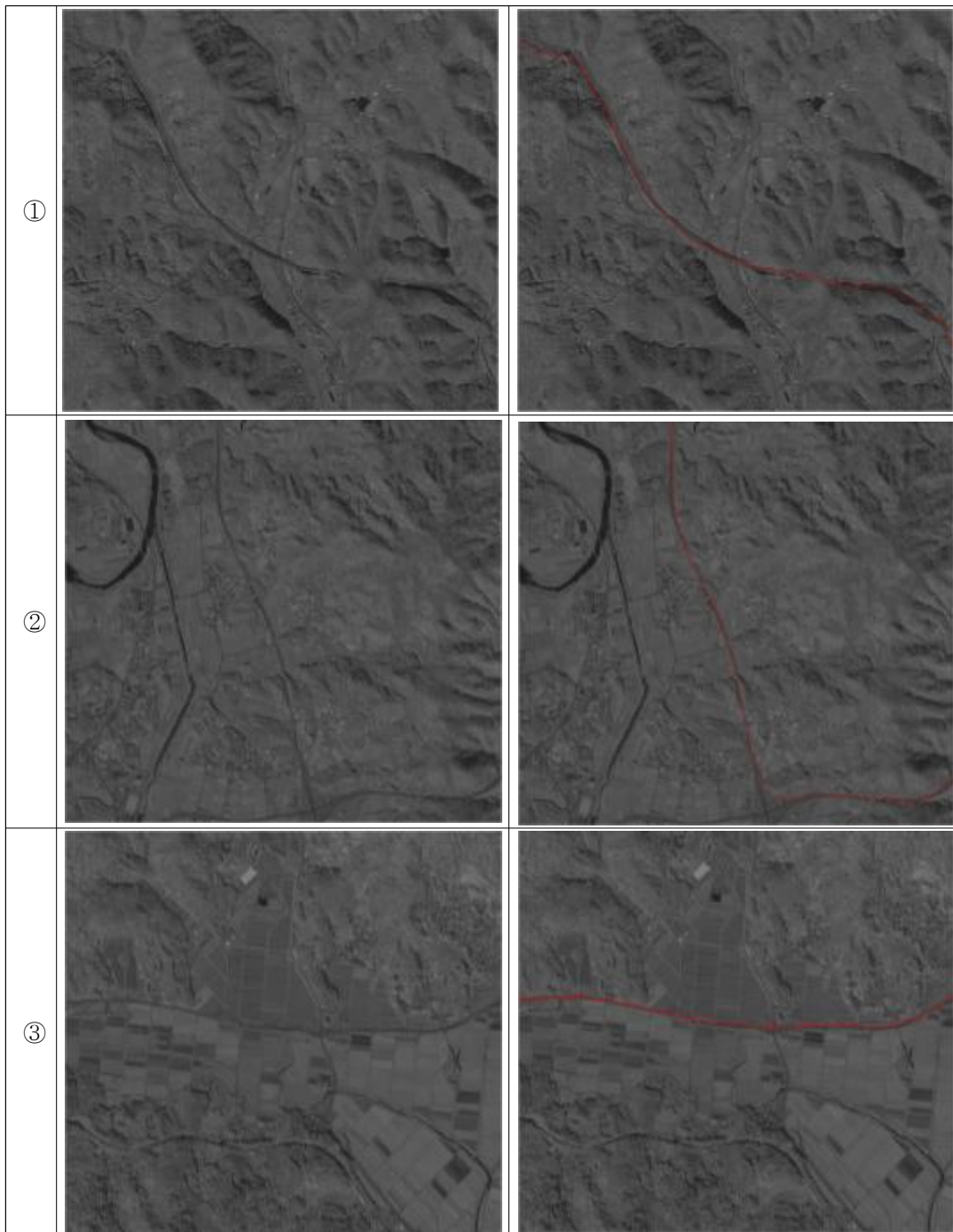
1) 접합선 육안분석 방안

본 사업단이 개발한 모자이크 기술로 추출된 접합선의 품질 및 오류점검을 위해 접합선 육안분석 방안을 제시하였다. 모자이크 산출물의 접합선 자료 및 Mask Map 정보를 활용하여 모자이크 영상에서 접합선의 위치를 파악할 수 있다. 모자이크 영상에서 접합선의 위치를 파악하고 해당 접합선이 영상의 선형정보를 충분히 반영하고 있는지 정성적으로 분석한다.



<그림 3-12> 접합선 육안분석 영역

<표 3-9> 접합선 육안분석 예시



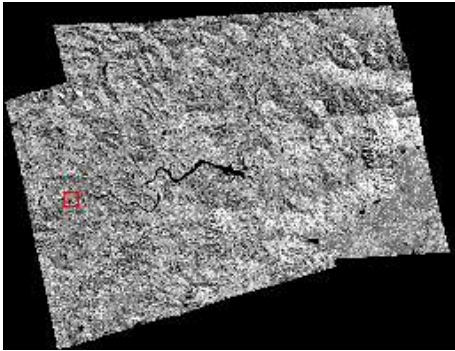
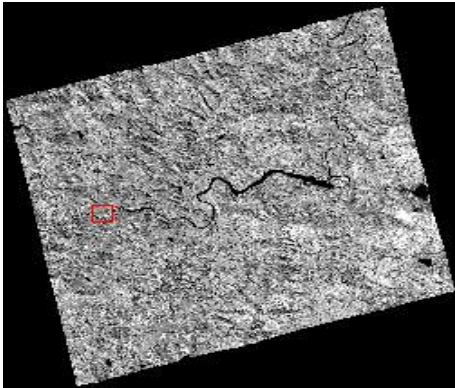
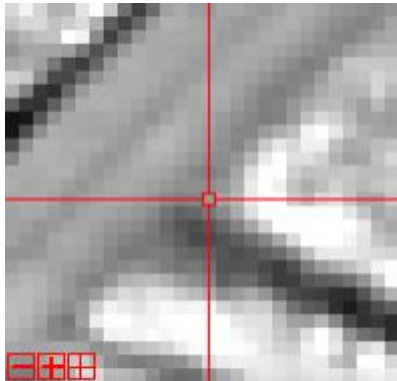
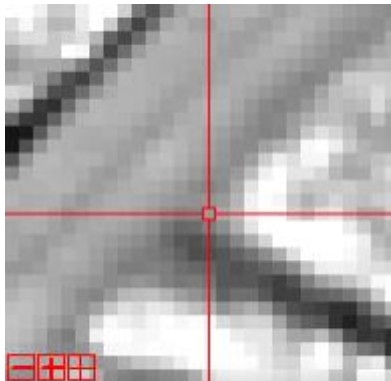
KOMPSAT-3A 영상 Pair를 활용하여 산출한 모자이크 영상을 제시한 육안 분석방안에 따라 분석해 보았다. 먼저 모자이크 영상에서 접합선 자료를 활용하여 추출된 접합선의 위치를 확인하고 해당 접합선이 영상의 선형정보를 충분히 반영하고 있는지 분석하였다. 해당 모자이크 결과에서는 산악지역에 존재하는 도로 선형 정보를 활용하여 접합선이 추출된 것을 확인할 수 있다. 자세한 육안분석을 위해 ①, ②, ③ 지역의 접합선을 분석한 결과 접합선이 모두 도로로 식별된 픽셀 범위 안에 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

2) 기하정확도 분석 방안

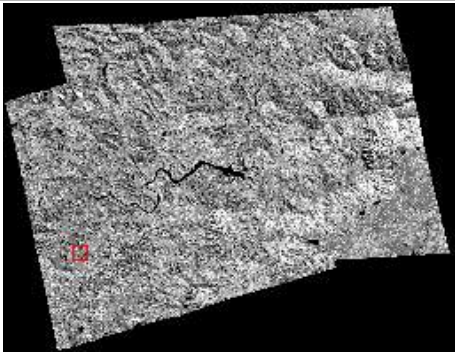
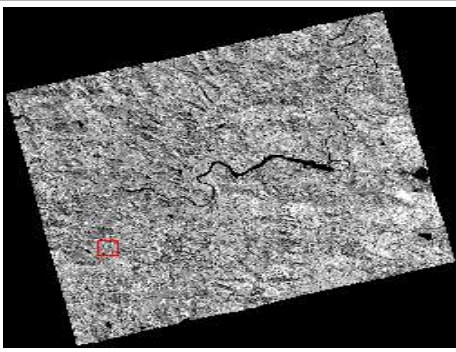
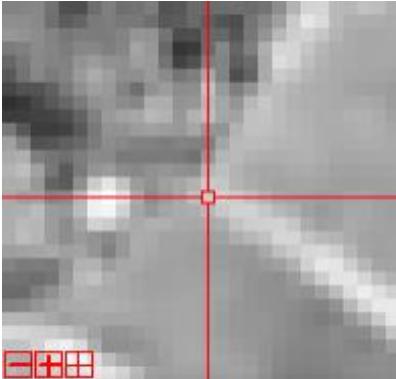
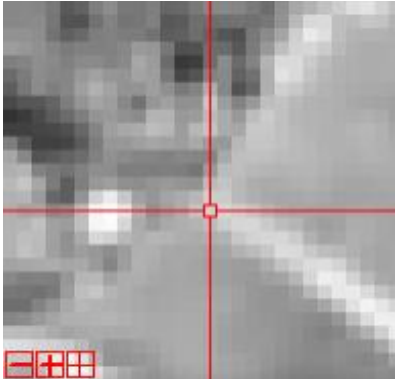
모자이크 과정의 마지막 단계의 영상 집성 과정을 통해 여러 장의 입력영상을 단일 영상으로 통합한다. 이 과정에서 기존 입력영상의 기하정확도가 손상 오류가 발생하지 않았는지 점검하기 위해 기존 입력영상과 모자이크 영상에서 동일 영상점을 검사점으로 추출하고 각 검사점의 지상좌표를 비교하여 입력영상 대비 기하정확도의 품질을 분석한다.

아래는 KOMPSAT-3A 영상 Pair를 활용하여 산출한 모자이크 영상에서 검사점을 추출하여 기하정확도를 분석한 예시이다. 각 입력영상 및 모자이크 영상에서 동일지점 6점을 검사점으로 추출하였다. 이후 각 검사점의 지상좌표를 추출하여 지상좌표가 일치하는지 점검하였다. 점검결과 모든 검사점에서 지상좌표가 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

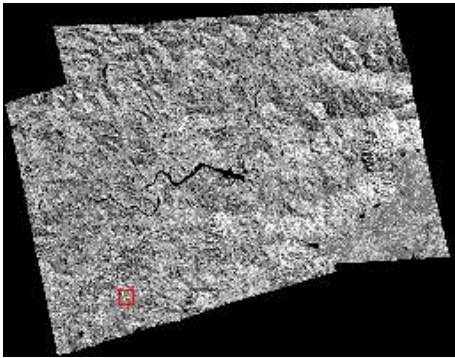
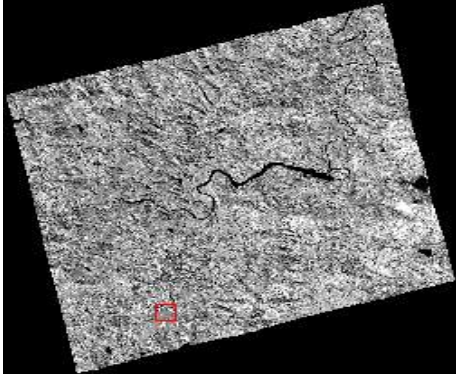
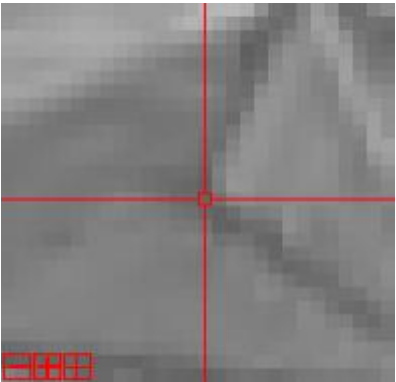
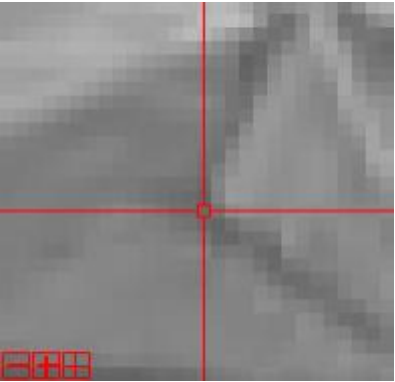
<표 3-10> 모자이크 결과 #2 - 검사점#1

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

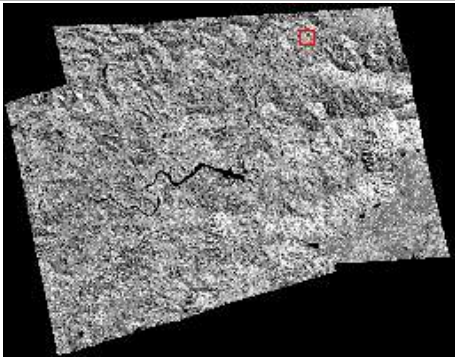
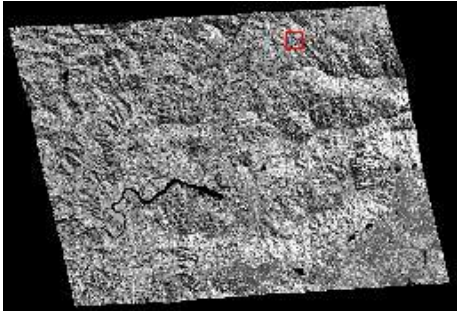
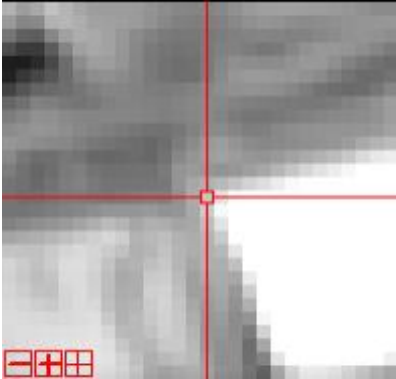
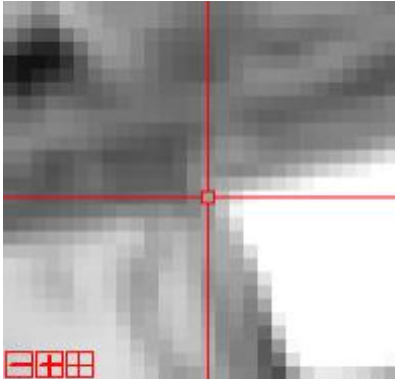
<표 3-11> 모자이크 결과 #2 - 검사점#2

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

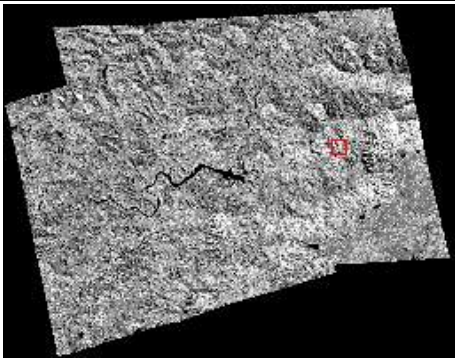
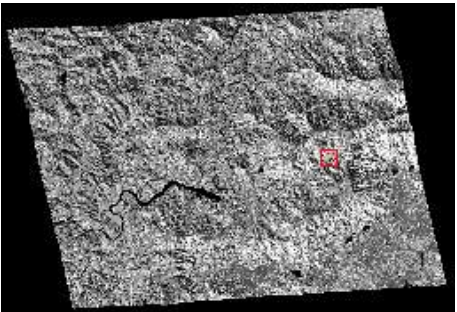
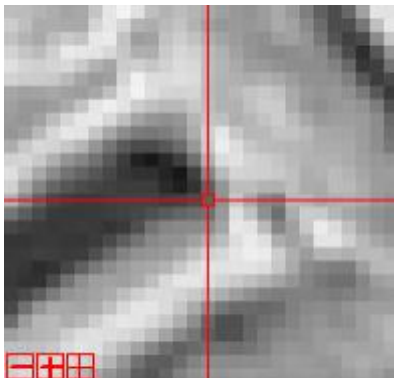
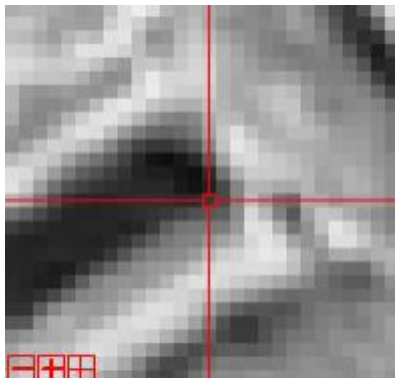
<표 3-12> 모자이크 결과 #2 - 검사점#3

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

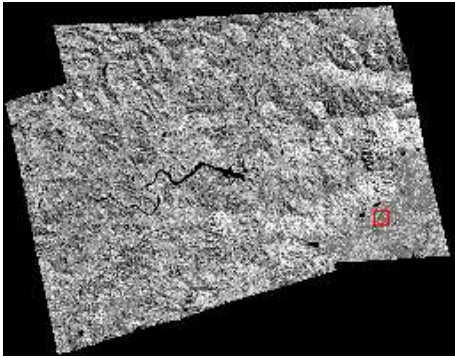
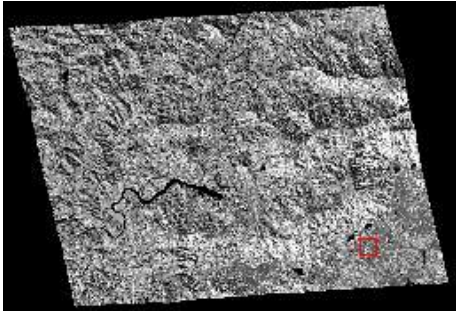
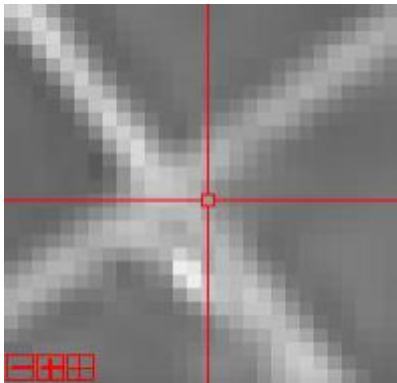
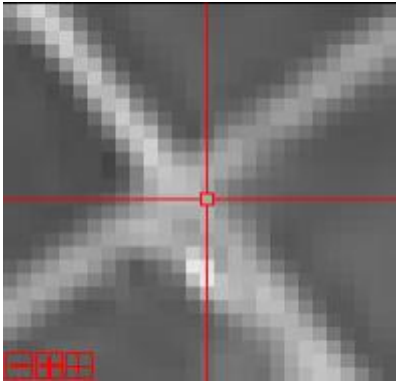
<표 3-13> 모자이크 결과 #2 - 검사점#4

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 3-14> 모자이크 결과 #2 - 검사점#5

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 3-15> 모자이크 결과 #2 - 검사점#6

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 3-16> 모자이크 #2 기하정확도 분석 결과

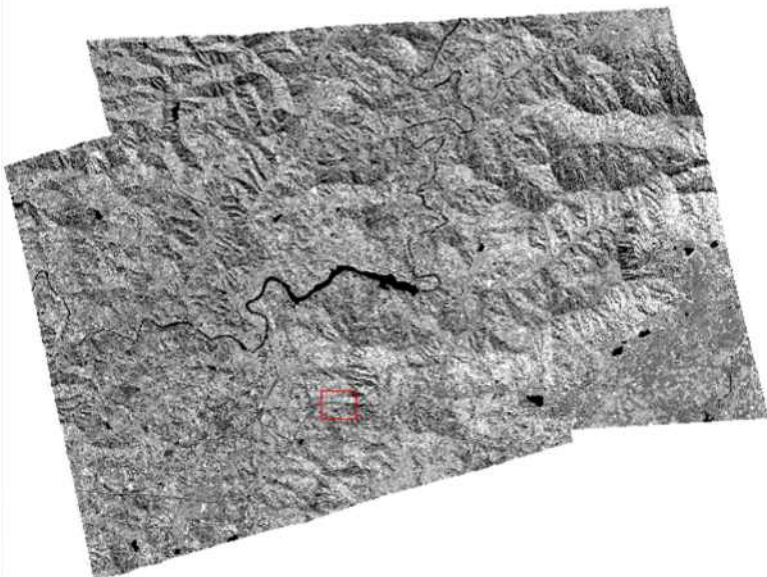
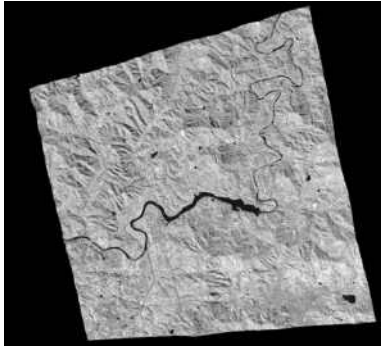
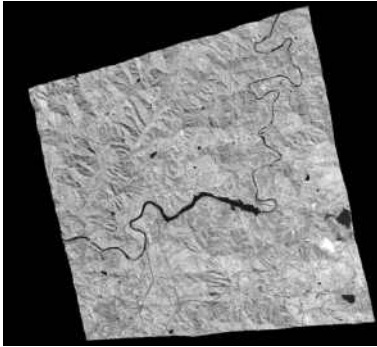
검사점	원본 영상				모자이크 영상				결과 지상좌표 차이
	영상좌표		지상좌표		영상좌표		지상좌표		
	Col	Row	X	Y	Col	Row	X	Y	
#1	1747	4800	958697.0	1644455.0	1747	5131	958697.0	1644455.0	0.0
#2	1870	6212	958943.0	1641631.0	1870	6543	958943.0	1641631.0	0.0
#3	3097	7267	961397.0	1639521.0	3097	7598	961397.0	1639521.0	0.0
#4	6746	1014	970999.0	1652689.0	7898	1014	970999.0	1652689.0	0.0
#5	7550	3553	972607.0	1647611.0	8702	3553	972607.0	1647611.0	0.0
#6	8594	5597	974695.0	1643523.0	9746	5597	974695.0	1643523.0	0.0

3) 화소값 보정 성능지표 분석

모자이크에서 수행된 화소값 보정 성능 평가를 위해 무용영역 복원 성능지표 중 사용자에게 가장 유용하다고 파악된 히스토그램 교집합 유사도 성능 지표를 활용하여 모자이크 성능 분석을 수행하였다. 모자이크 결과에 해당 성능지표를 적용하기 위해 먼저 입력영상 간 중첩영역을 산출하고 해당 중첩영역의 히스토그램을 분석하여 성능지표를 산출하였다. 히스토그램 교집합 유사도는 비교 대상 히스토그램을 각각 H_1, H_2 라 할 때, 각각의 밝기값(i)에 속하는 분포 확률을 비교하여 둘 중 작은 확률값을 선택하는 방식이다. 이 방식은 각 밝기값에 속하는 분포 확률이 같을수록 높은 값을 가지고 서로 다를수록 낮은 값을 가지게 된다. 해당 성능지표 산출식은 아래와 같다.

$$d(H_1, H_2) = \sum_i \min(H_1(i), H_2(i))$$

<표 3-17> 성능지표 분석을 위한 NIR 전체 영상 Set#1

구분	NIR 전체 영상(Set#1)	
모자이크 결과		
중첩영역		
히스토그램 교집합 유사도	0.997817	

나. 품질 및 오류점검 기능 구현

앞서 제작한 활용 산출물의 품질 및 오류를 점검하기 위해 접합선 육안 분석, 기하정확도 분석, 화소값 보정 성능지표 분석 점검 방안을 제시하였다. 제시한 각 점검 방안을 가공기술 SW에서 수행할 수 있도록 그 기능을 구현하였다.

1) 접합선 육안분석 기능 구현

접합선 육안분석 방안을 수행하기 위해 모자이크 결과영상과 접합선을 영상 뷰어에 출력하여 사용자가 육안으로 분석할 수 있도록 기능을 구현하였다. 해당 기능을 통해 사용자는 모자이크 영상에서 접합선의 위치를 파악할 수 있고 이를 기반으로 추출된 접합선이 입력영상의 선형정보를 잘 반영하고 있는지 육안분석을 수행할 수 있다.



<그림 3-13> 가공기술 SW 접합선 출력을 통한 육안분석 예시

위의 그림은 가공기술 SW에서 접합선 출력 기능을 통해 모자이크 결과영상에서 접합선(빨간색)의 위치를 확인한 결과이다. 접합선이 모두 영상의 도로 선형정보를 활용하여 추출된 것을 확인할 수 있다.

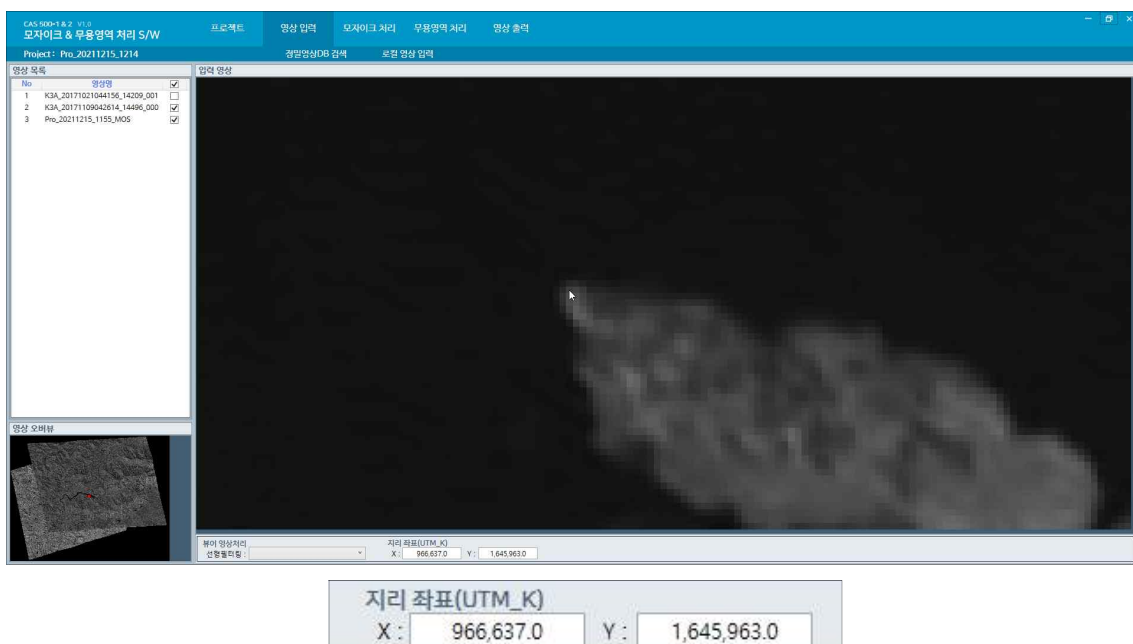
2) 기하정확도 분석 기능 구현

모자이크 수행 결과 입력영상의 기하정확도가 손상되는 오류가 발생하지 않았는지 점검하기 위해 검사점을 추출하고 각 검사점의 지상좌표를 확인하는 분석 방안을 제시하였다. 해당 분석을 가공기술 SW에서 수행하기 위해 모자이크 영상뷰어를 개발하였다. 모자이크 영상 뷰어에서 기하정확도 분석과 관련된 주요기능은 아래 표와 같다.

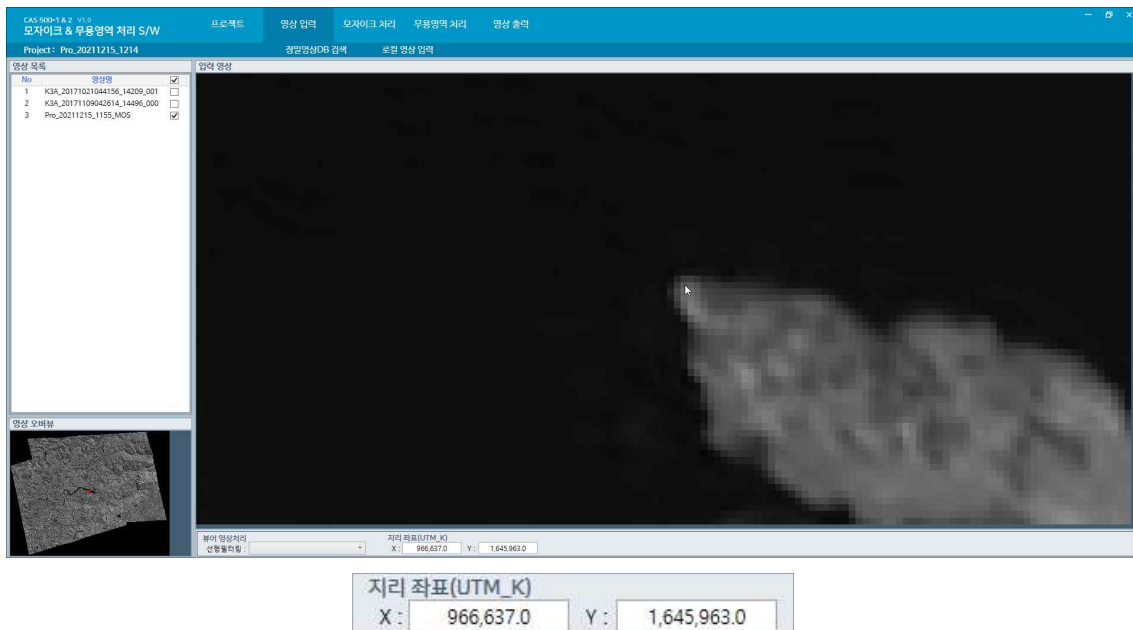
<표 3-18> 모자이크 영상뷰어의 기하정확도 분석 관련 기능

기능 명	기능 설명
위성영상 출력	영상뷰어를 통해 프로젝트의 입력 위성영상 및 출력 위성영상을 지상좌표에 맞게 하나의 뷰어에 출력할 수 있어야 한다.
뷰어 화면 조절 (확대, 축소, 이동)	영상뷰어에 출력된 위성영상을 확대, 축소, 이동할 수 있어야 한다.
지상좌표 확인	영상 뷰어 내 마우스 커서 위치에 해당하는 위성영상의 지상 좌표가 출력되어야 한다.

모자이크 영상 뷰어의 위성영상 출력 기능은 지상좌표에 맞게 하나의 뷰어에서 입력영상 및 모자이크 결과 영상을 출력한다. 따라서 입력영상 및 모자이크 결과영상을 중첩하여 분석가능하다. 이후 뷰어 화면 조절 기능을 이용하여 사용자가 원하는 검사점을 확보하고 해당 검사점에서 지상좌표 확인 기능을 활용하여 검사점의 지상좌표 확인이 가능하다. 검사점에서 입력영상과 모자이크 결과 영상의 지상좌표가 일치하는지를 통해 기하정확도 분석이 가능하다.



<그림 3-14> 입력영상에서 검사점 지상좌표 확인



<그림 3-15> 모자이크 결과 영상에서 검사점 지상좌표 확인

위는 가공기술 SW에서 모자이크 영상뷰어를 활용하여 기하정확도 분석을 수행한 결과이다. 입력영상과 모자이크 결과영상에서 마우스 커서를 이용하여 검사점을 확보하고 해당 검사점의 지리좌표 값을 비교하여 출력 모자이크 영상의 기하정확도에 오류가 없음을 검증하였다.

3) 화소값 보정 성능지표 산출 기능 구현

모자이크에서 수행된 화소값 보정 성능 평가를 위해 사용되는 히스토그램 교집합 유사도 성능지표는 모자이크 Report 파일을 통해 사용자에게 제공된다. 영상의 화소값 보정은 밴드별, 영상페어별 여러번 수행됨으로 Report 파일에서 화소값 보정에 사용한 기준영상과 타겟영상 명을 출력하고 두 영상간 히스토그램 교집합 유사도 성능지표를 출력한다. 아래는 가공기술 SW에서 출력된 report 파일의 화소값 보정 성능지표 내용 예시이다.

화소값 보정		
기준영상	타겟영상	히스토그램 교집합 유사도
K3A_20171021044156_14209_00123971_L2G_R	K3A_20171109042614_14496_00077057_L2G_R	0.999041
K3A_20171021044156_14209_00123971_L2G_G	K3A_20171109042614_14496_00077057_L2G_G	0.998709
K3A_20171021044156_14209_00123971_L2G_B	K3A_20171109042614_14496_00077057_L2G_B	0.997239
K3A_20171021044156_14209_00123971_L2G_N	K3A_20171109042614_14496_00077057_L2G_N	0.999152
K3A_20171021044156_14209_00123971_L2G_P	K3A_20171109042614_14496_00077057_L2G_P	0.998869

<그림 3-16> 모자이크 Report의 화소값 보정 성능지표

제4장

교육 및 시범 제작

1. 국토위성정보 산출물 가공기술 교육
2. 시범제작

1. 국토위성정보 산출물 가공기술 교육

본 사업단은 국토위성정보 산출물 가공기술 SW 사업을 통해 개발된 기술 및 SW에 대한 교육을 수행하였다. 교육 수행을 위해 교육 개요 및 세부 일정을 정하였으며, 본 사업의 성과물인 사용자 지침서와 관리자 운영지침서를 활용하여 이론 및 실습 교육을 실시하였다.

가. 교육 개요

장소	국토지리정보원 국토위성센터
교육항목	모자이크 처리 이론
	무용용역 추출 및 처리 이론
	산출물 가공기술 SW 실습

나. 교육 세부 일정

과목	소요 시간	발표기관 /발표자
1. 개요 및 이론		
1.1 산출물 가공기술개발 개요	0.5	쓰리디랩스
1.2 모자이크 기술 이론	1	
1.3 무용영역추출 및 복원기술 이론	1	쓰리디랩스
2. 실습		
2.1 모자이크 처리 실습	2	쓰리디랩스
2.2 무용영역 처리 실습	1	쓰리디랩스
2.3 시스템 연동 및 유지관리	0.5	썬트렉아이 / 쓰리디랩스

다. 관련 교육자료

교육자료 1	국토위성정보 산출물 가공기술 사용자 지침서
교육자료 2	국토위성정보 산출물 가공기술 관리자 운영지침서
전자파일	국토위성정보 산출물 가공기술 교육자료

2. 시범 제작

가. 시범 제작 자료

시범 제작을 위해 국토위성 Level 2G 영상 1 Set 와 KOMPSAT-3A Level2G 자료 3 Set를 사용하였다. 먼저 본 가공기술 개발을 적용하게 될 국토위성영상을 활용하여 시범제작을 수행하여 개발된 기술이 국토위성영상에 잘 적용됨을 확인하고자 하였다. 이후 국토위성영상과 동일한 사양을 가지는 KOMPSAT-3A 영상을 선정하여 다양한 지역에서 시범제작을 수행하였다.

1) 국토위성영상 자료

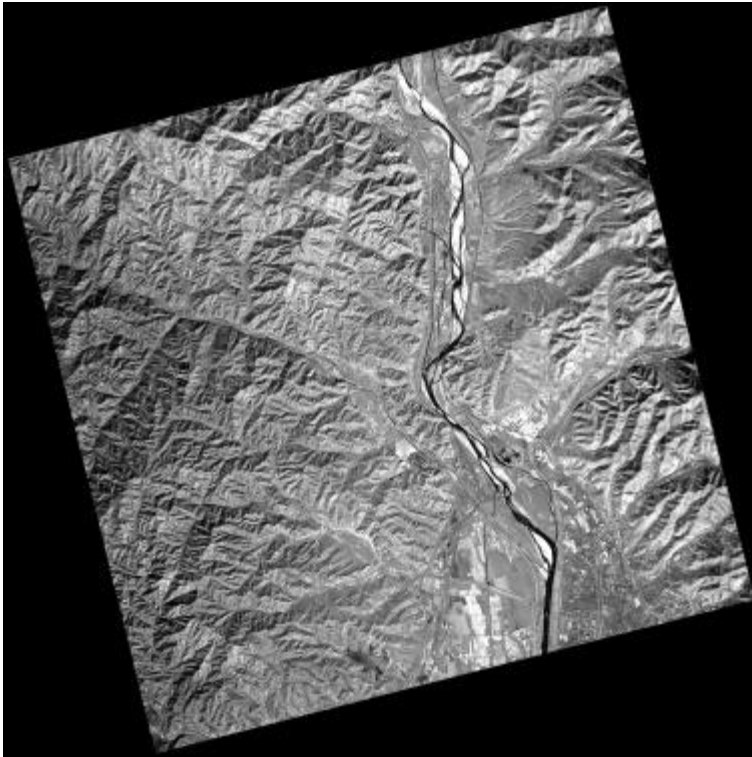
먼저 본 사업에서 개발한 기술이 국토위성영상에 잘 적용되는지를 확인하기 위해 국토위성영상을 활용하여 시범제작을 수행하였다. 시범제작에 사용한 국토위성영상은 2Strip(Strip#1, Strip#2)으로 구성되며 Strip#1은 3장, Strip#2는 4장으로 구성되어 있다. 자세한 영상 정보는 아래 표와 같다.

<표 4-1> Strip #01

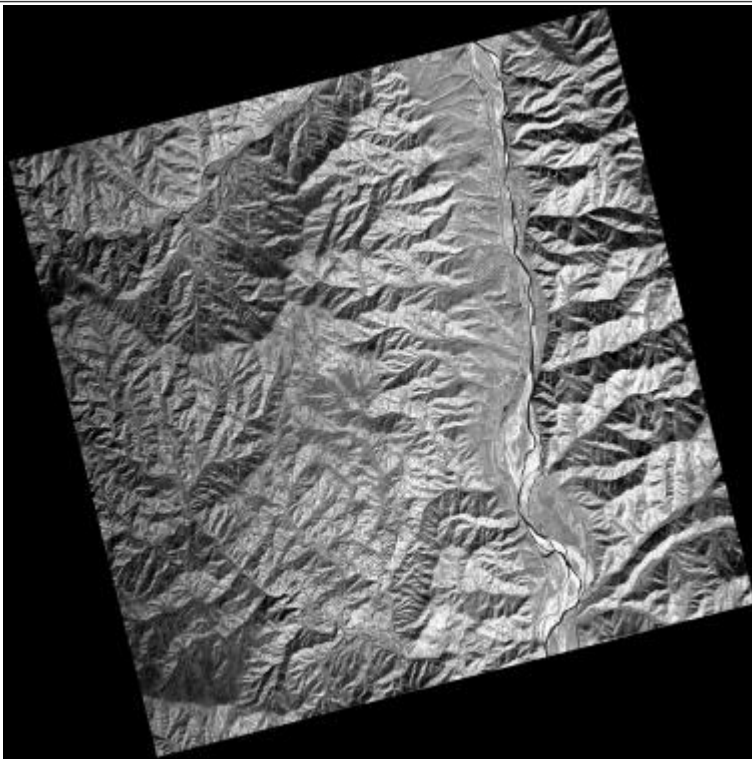
Strip #01 - C1_20211011015121_00000_00006119_L2G



Strip #01 - C1_20211011015121_00000_00029208_L2G



Strip #01 - C1_20211011015121_00000_00052277_L2G

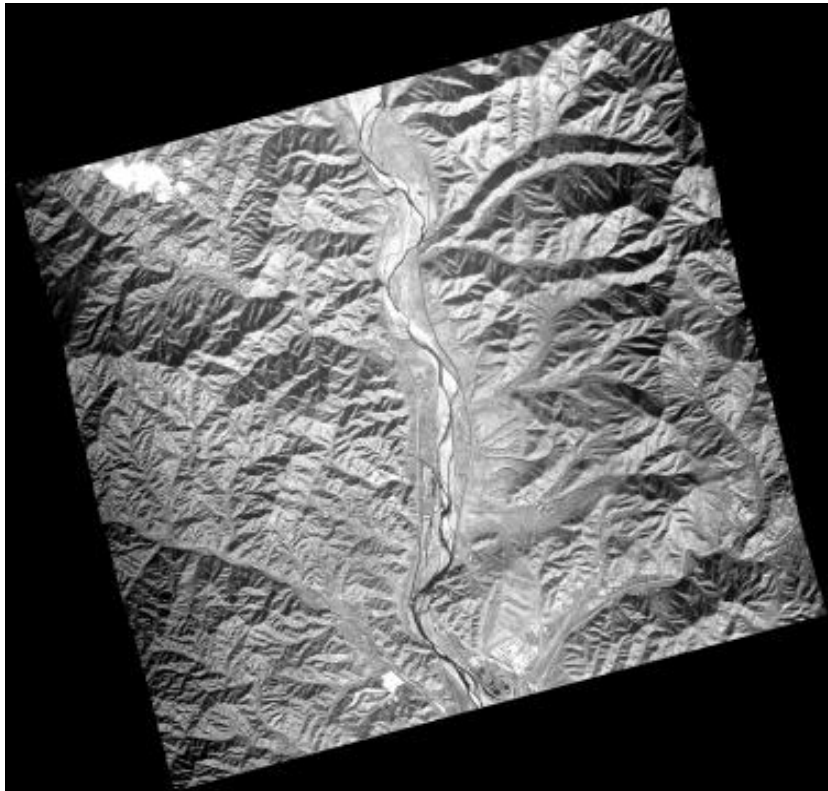


<표 4-2> Strip #02

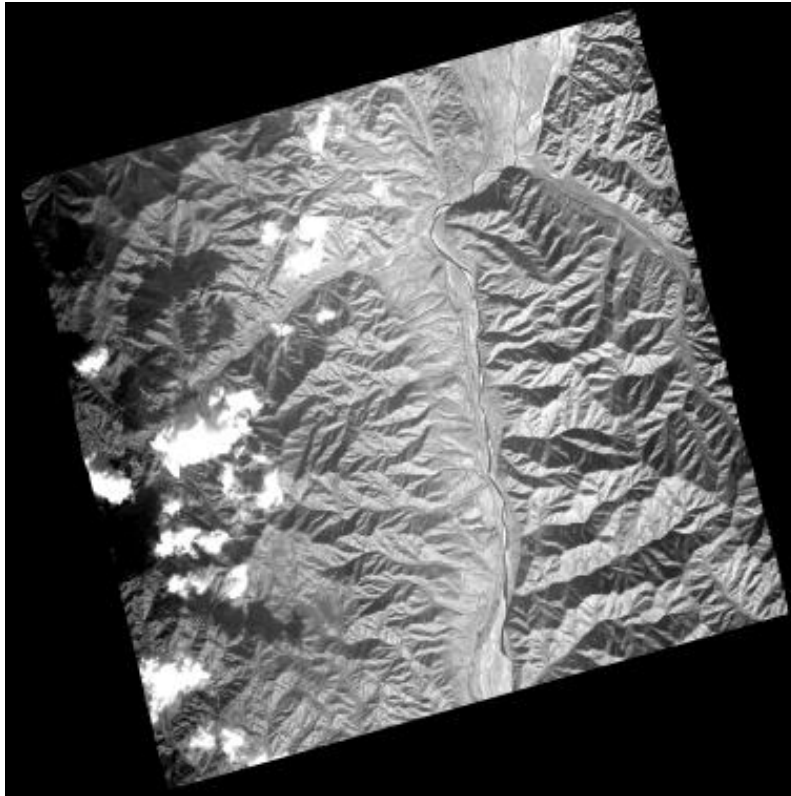
Strip #02 - C1_20211104014533_03449_00006119_L2G



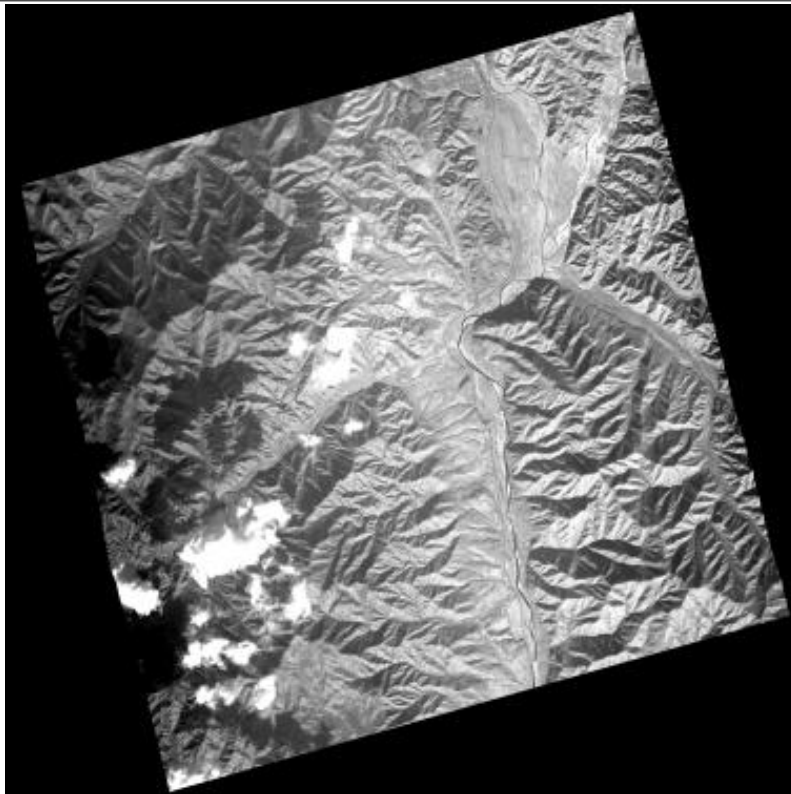
Strip #02 - C1_20211104014533_03449_00028428_L2G



Strip #02 - C1_20211104014533_03449_00050757_L2G



Strip #02 - C1_20211104014533_03449_00054874_L2G

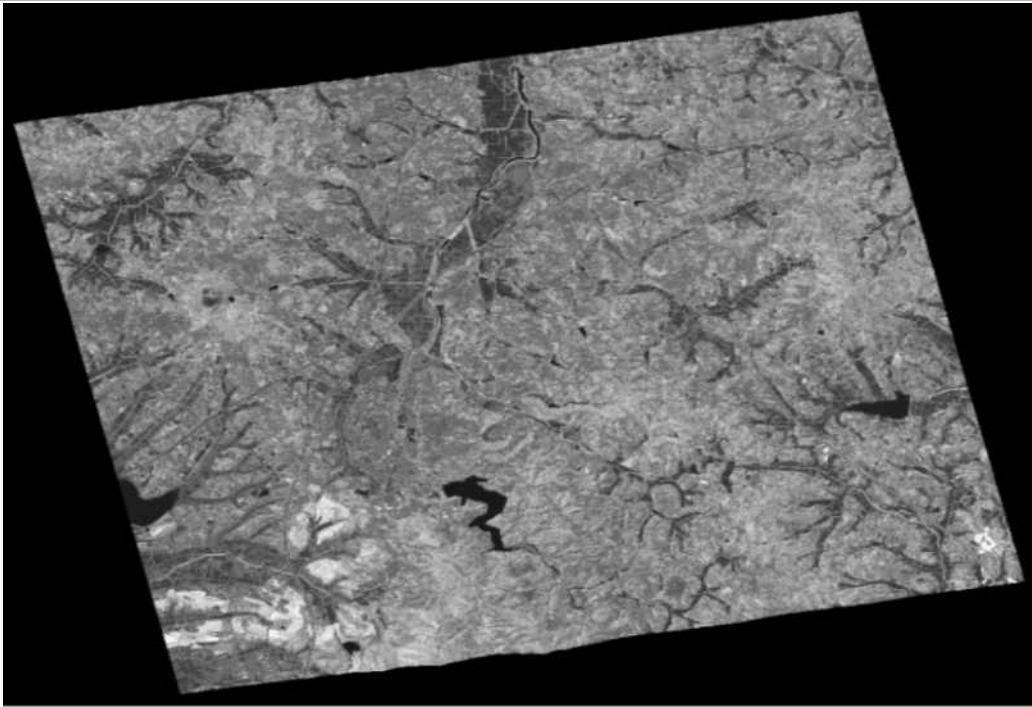


2) KOMPSAT-3A 영상 자료 (하천지역)

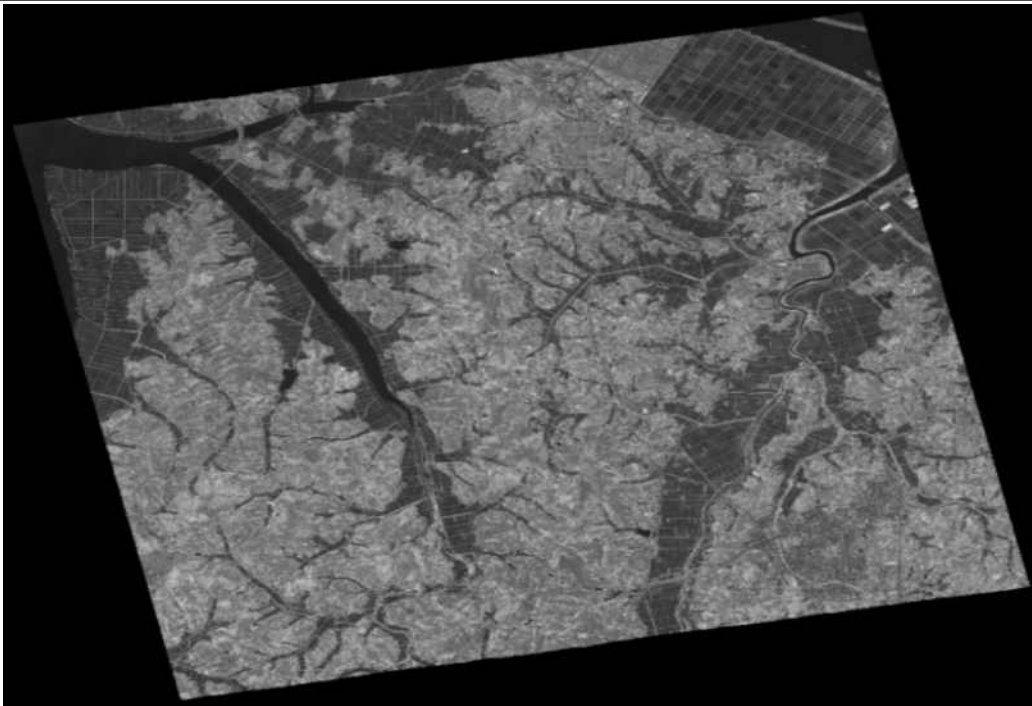
하천지역에 대한 시범제작을 위해 KOMPSAT-3A영상을 활용하였다. 총 3개의 Strip으로 구성되며, Strip1은 2장, Strip2는 3장, Strip3은 1장으로 구성되어 있다. 자세한 정보는 아래의 표와 같다.

<표 4-3> Strip #01

Strip #01 - K3A_20160512043853_06245_00420102_L2G



Strip #01 - K3A_20160512043853_06245_00439931_L2G



<표 4-4> Strip #02

Strip #02 - K3A_20170401043114_11141_00060790_L2G



Strip #02 - K3A_20170401043114_11141_00048522_L2G

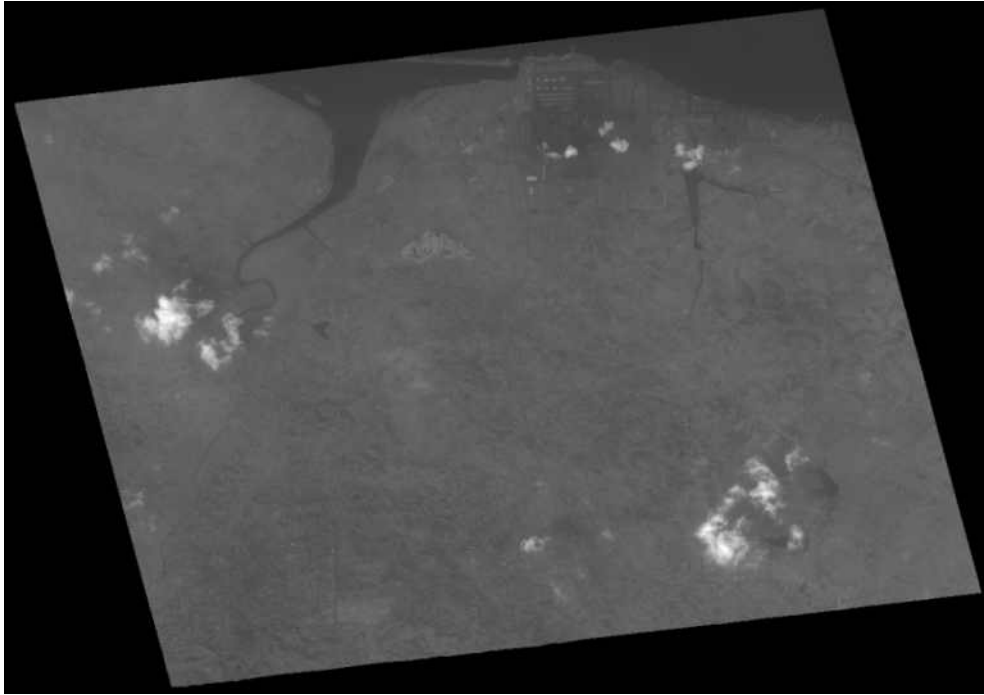


Strip #02 - K3A_20170401043114_11141_00036251_L2G



<표 4-5> Strip #03

Strip #03 - K3A_20190306043007_21780_00509435_L2G_N_PS

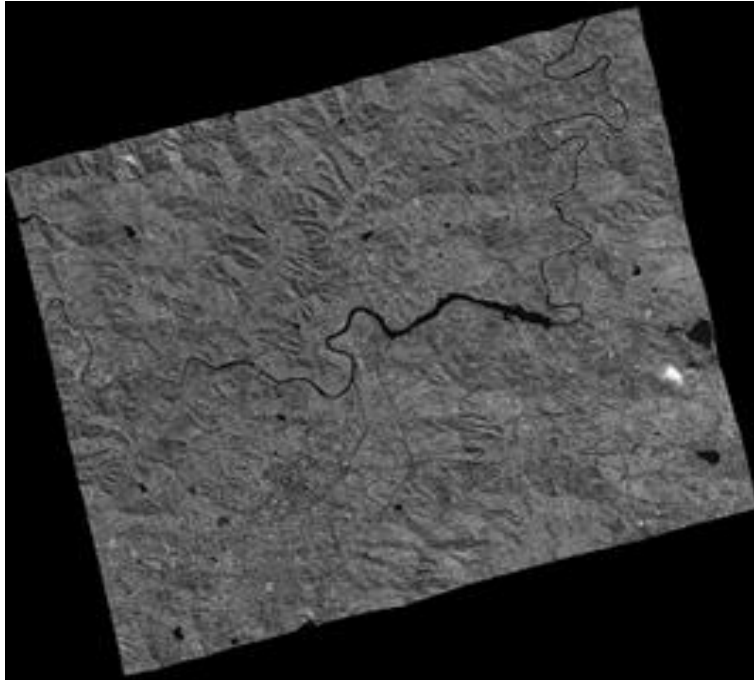


3) KOMPSAT-3A 영상 자료 (산악지역)

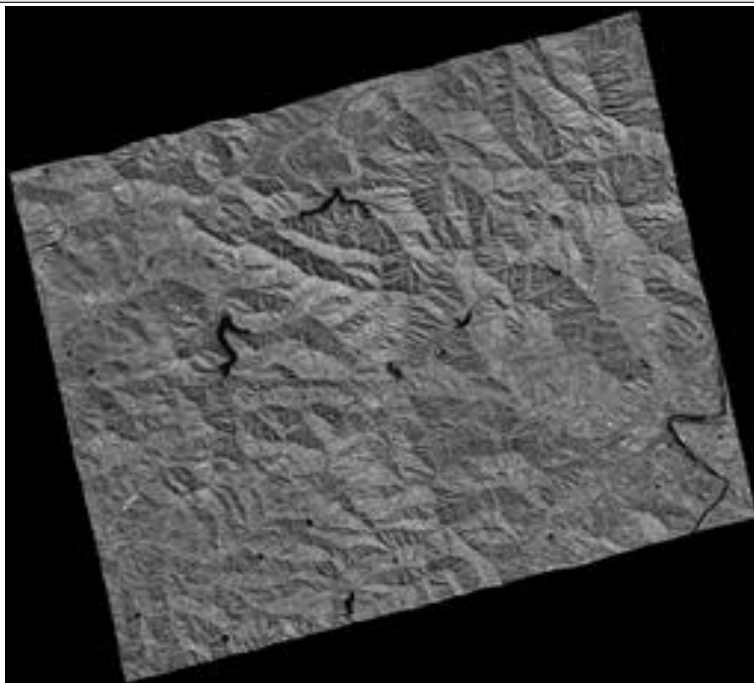
시범 제작을 위한 실험 자료로 총 11장의 KOMPSAT-3A자료를 활용한다. 5장의 Strip1과 6장의 Strip2로 구성되어 있다. 대상지역은 산악지역이며, 각각의 실험 자료는 아래 표에서 확인할 수 있다.

<표 4-6> Strip #01

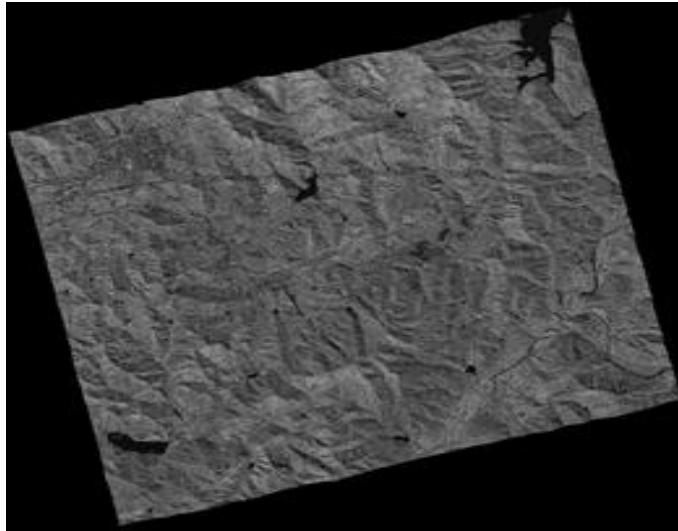
Strip #01 - K3A_20171021044156_14209_00123971_L2G



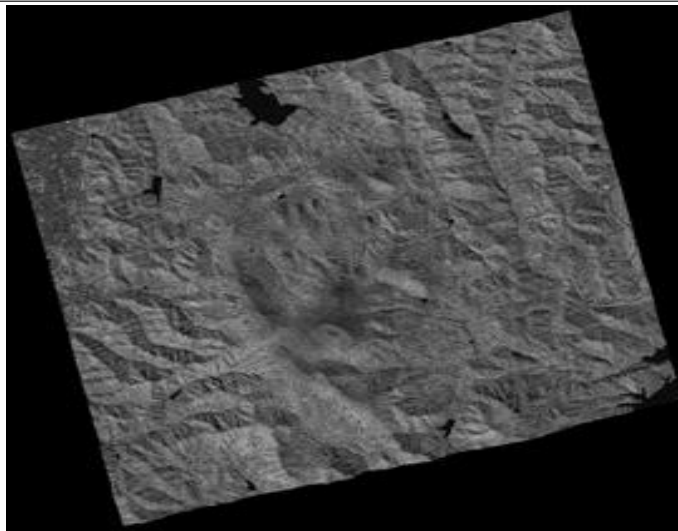
Strip #01 - K3A_20171021044156_14209_00143898_L2G



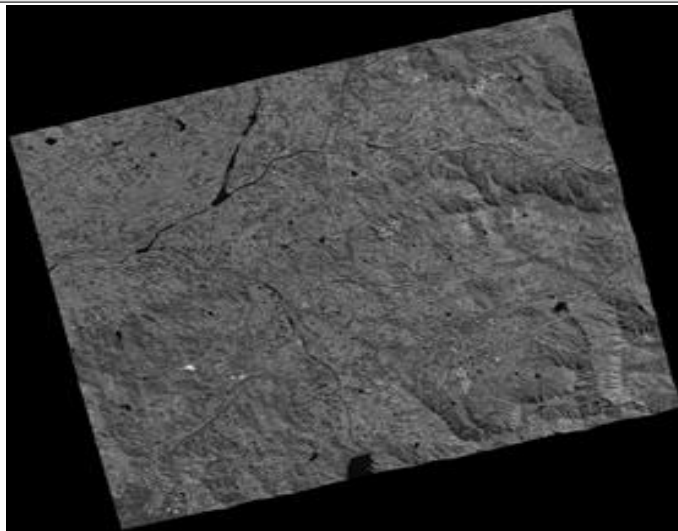
Strip #01 - K3A_20171021044156_14209_00164070_L2G



Strip #01 - K3A_20171021044156_14209_00184334_L2G

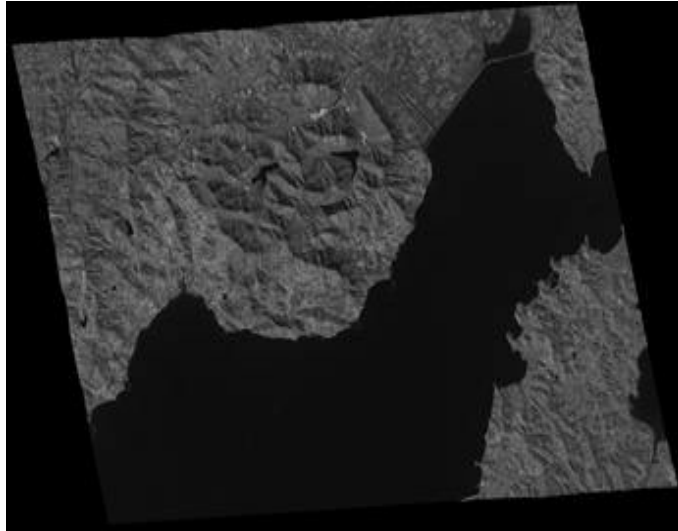


Strip #01 - K3A_20171021044156_14209_00204431_L2G

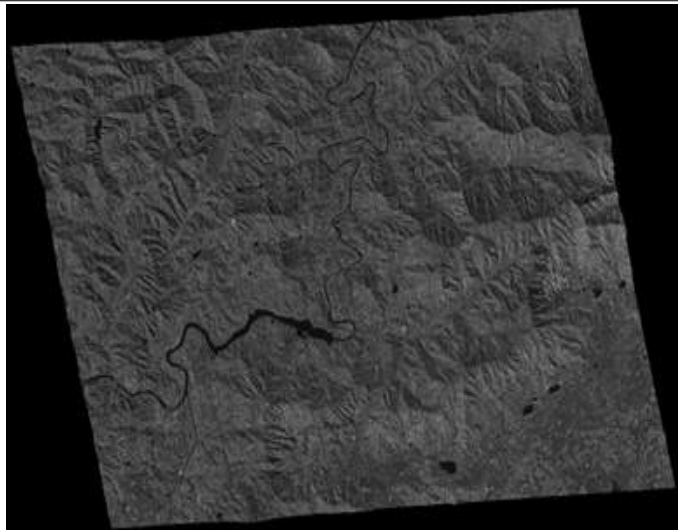


<표 4-7> Strip #02

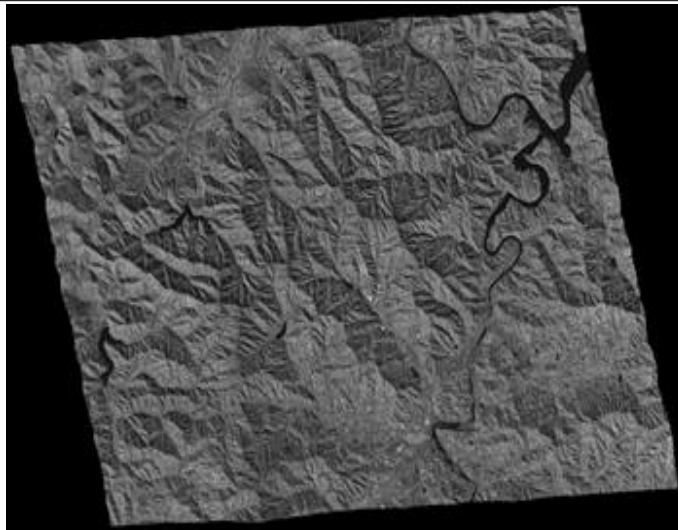
Strip #02 - K3A_20171109042614_14496_00058650_L2G



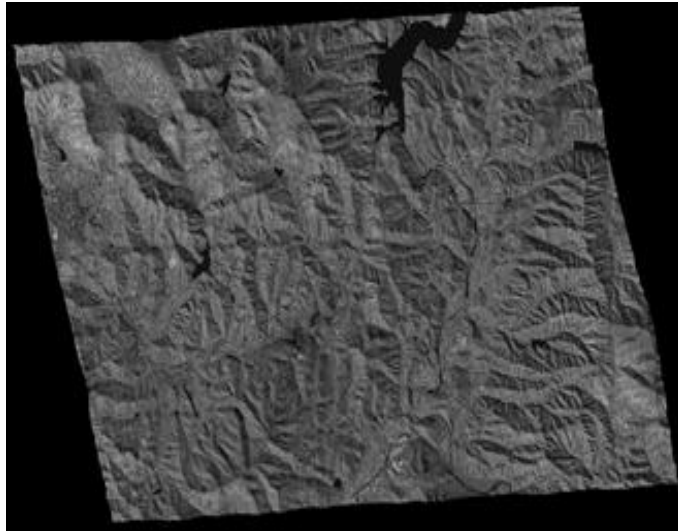
Strip #02 - K3A_20171109042614_14496_00077057_L2G



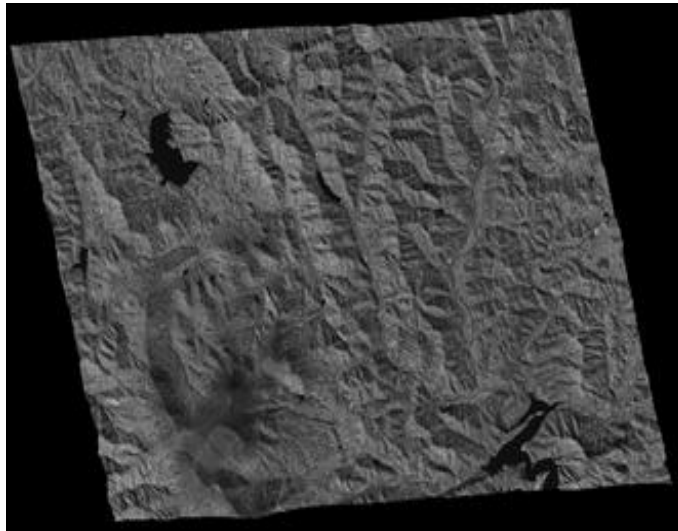
Strip #02 - K3A_20171109042614_14496_00095466_L2G



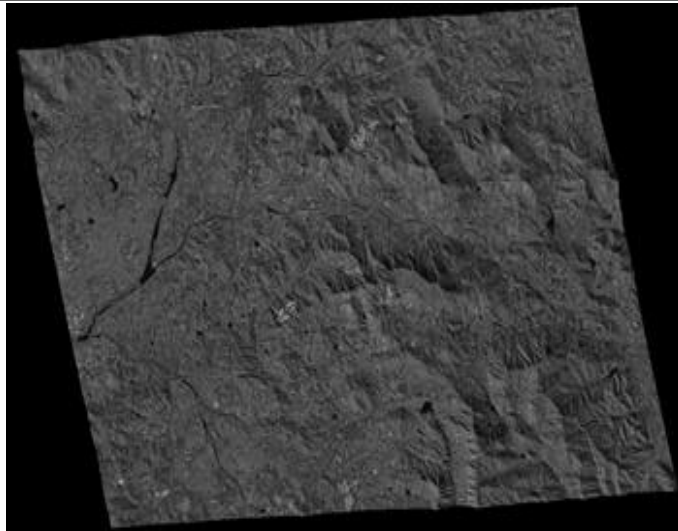
Strip #02 - K3A_20171109042614_14496_00113872_L2G



Strip #02 - K3A_20171109042614_14496_00132275_L2G



Strip #02 - K3A_20171109042614_14496_00150682_L2G

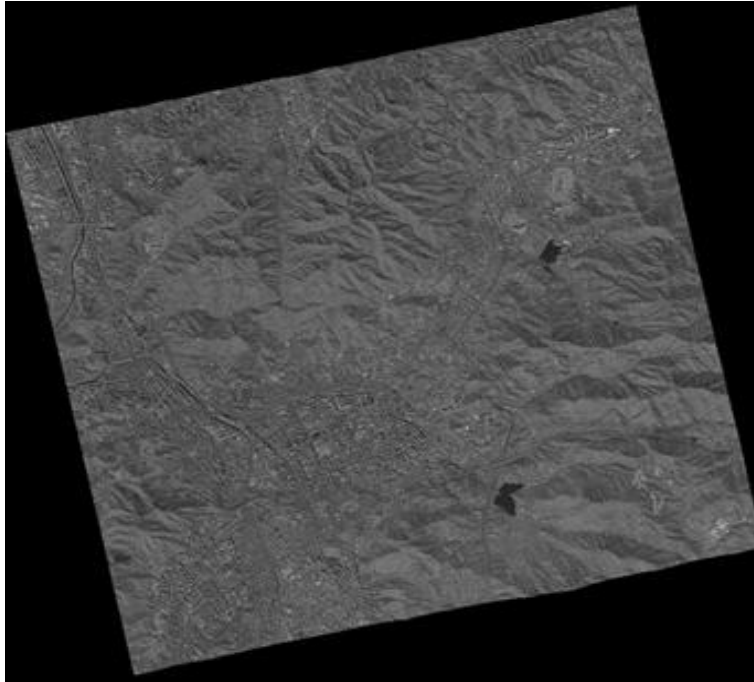


4) KOMPSAT-3A 영상 자료 (도심지역)

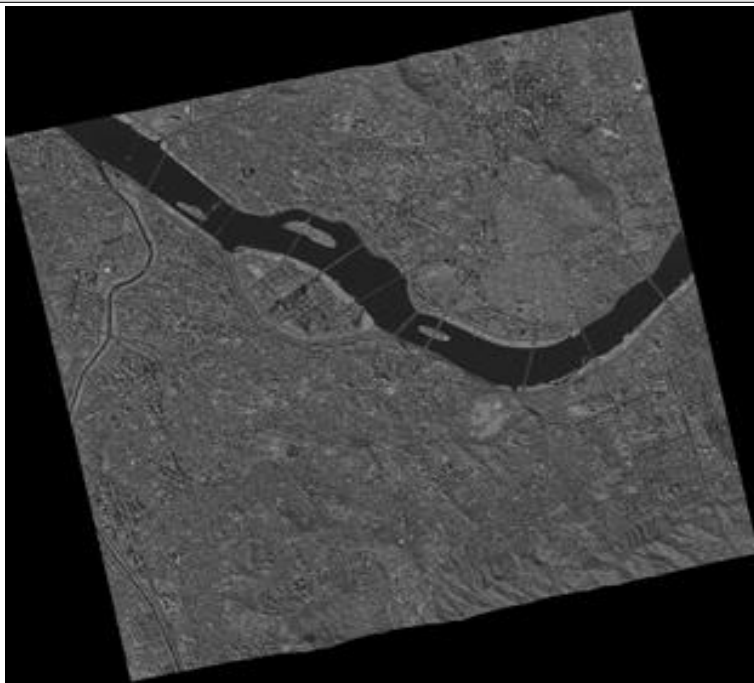
시범 제작을 위한 실험 자료는 KOMPSAT-3A영상이며, 2개의 Strip으로 구성되어 있다. Strip1은 3장, Strip2는 2장이며 대상지역은 도심지역이다. 해당 자료는 아래의 표에서 확인할 수 있다.

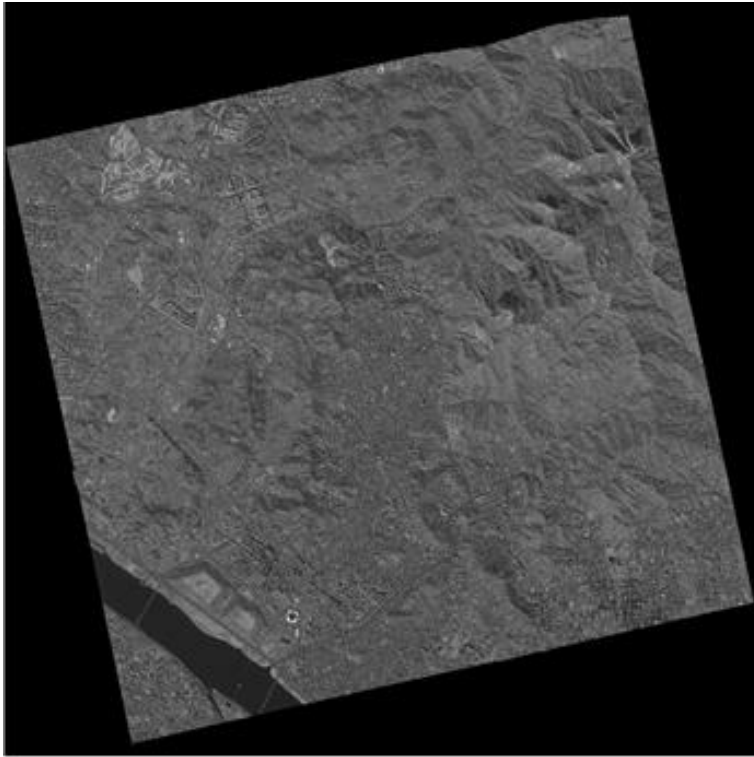
<표 4-8> Strip #01

K3A_20170223044142_10582_00019908_L2G



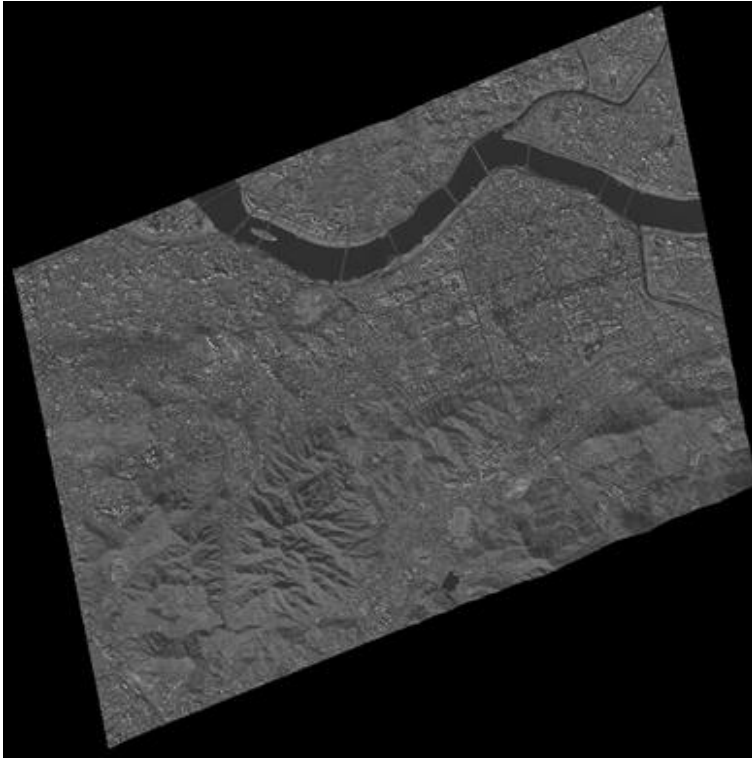
K3A_20170223044142_10582_00038309_L2G



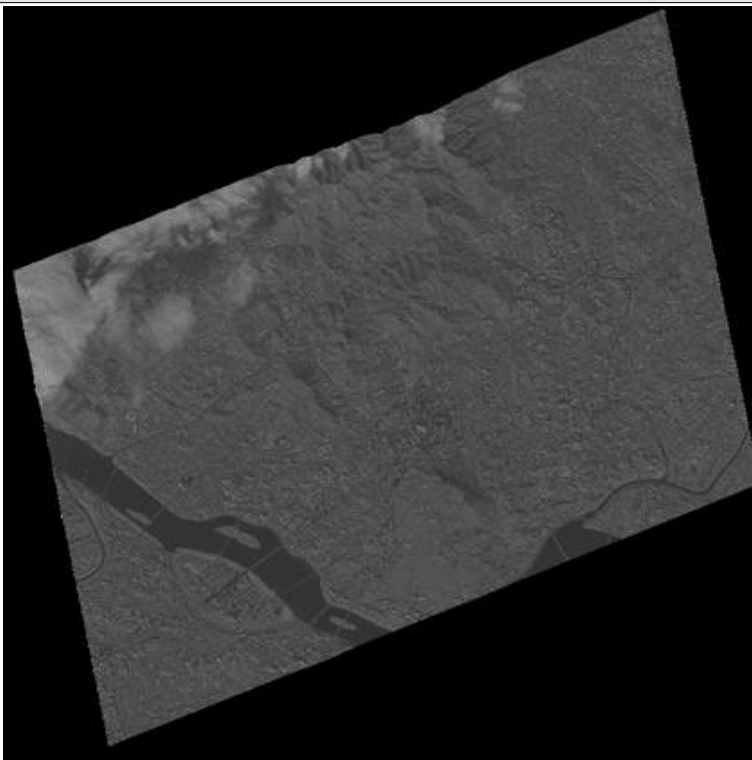


<표 4-9> Strip #02

K3A_20151211044753_03933_00020757_L2G



K3A_20151211044753_03933_00035030_L2G



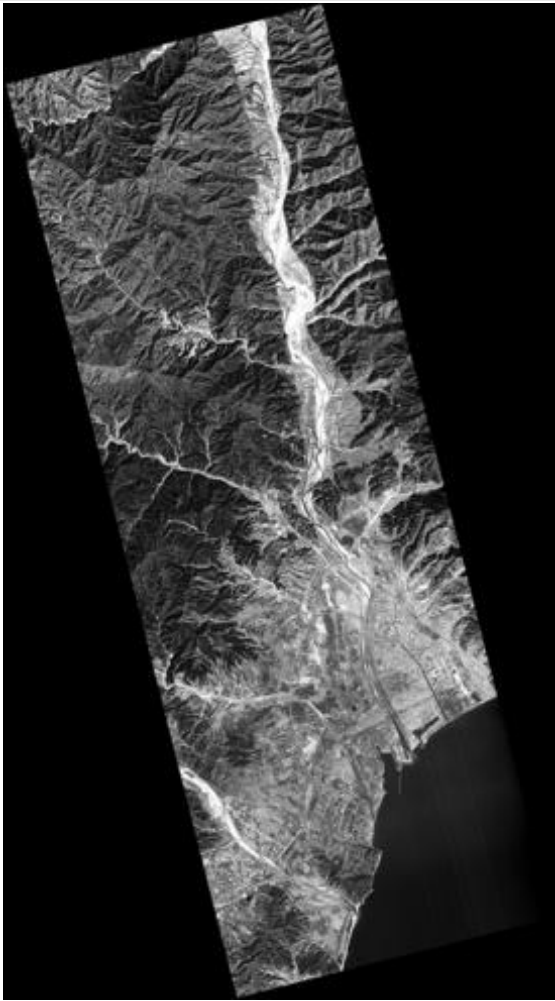

나. 시범 제작 결과

1) 국토위성영상 시범제작 결과


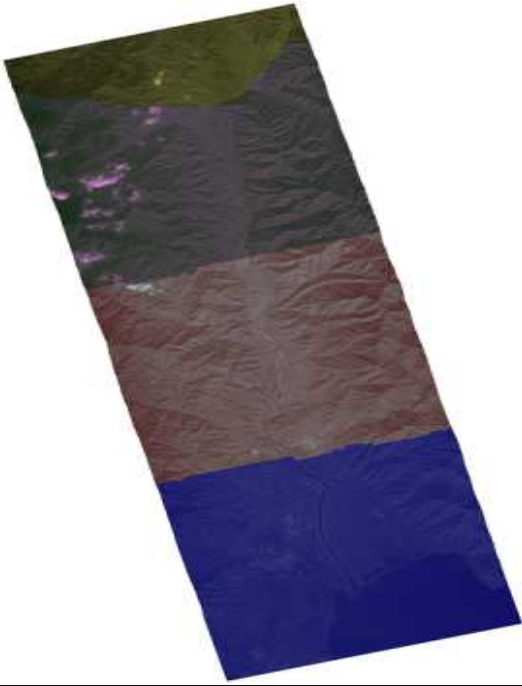
가) 국토위성영상 시범제작 결과 영상

본 사업에서 개발된 모자이크 기법을 통해 시범제작을 수행하였다. 먼저 Strip-wise 다중영상 기법을 수행하여 동일 Strip의 영상간 모자이크를 먼저 수행하고, 이후 서로 Strip간 모자이크가 수행되었다. 각 모자이크에서는 개선된 Dijkstra 기반 기법을 적용하여 접합선을 추출하였으며, Histogram Matching 및 Alpha Bledning을 통해 화소값 보정을 수행하였다. 아래 결과는 각 Strip 별 모자이크 결과와 두 Strip간 모자이크를 통해 최종 산출된 모자이크 영상을 제시하였다. 시범제작 영상의 자세한 결과는 다음 표에서 확인할 수 있다.

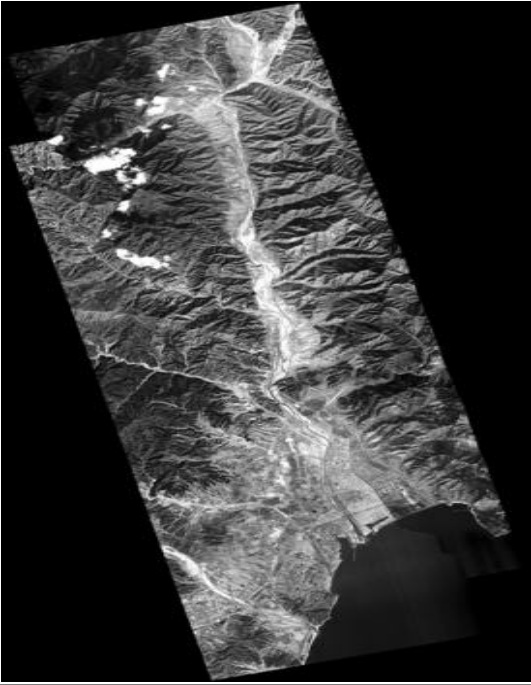
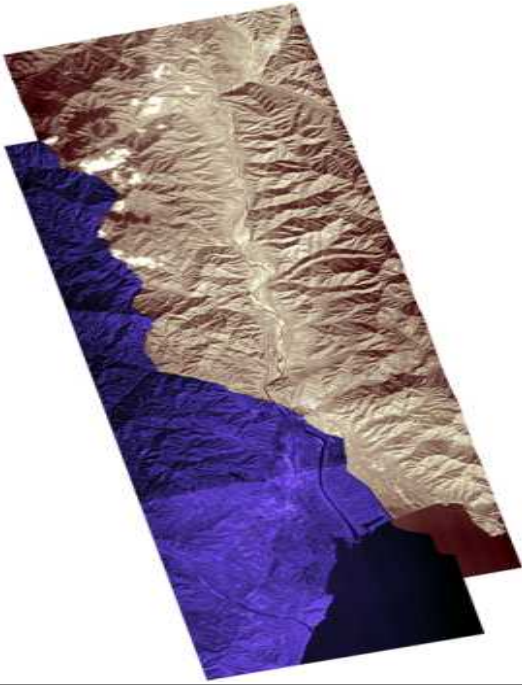
<표 4-10> 국토위성영상 모자이킹 결과 Strip #01

Strip #01 국토위성영상 모자이킹 결과	
모자이크 영상	모자이크 영상(Masking)
	

<표 4-11> 국토위성영상 모자이킹 결과 Strip #02

Strip #01 국토위성영상 모자이킹 결과	
모자이크 영상	모자이크 영상(Masking)
	

<표 4-12> 국토위성영상 시범제작 결과

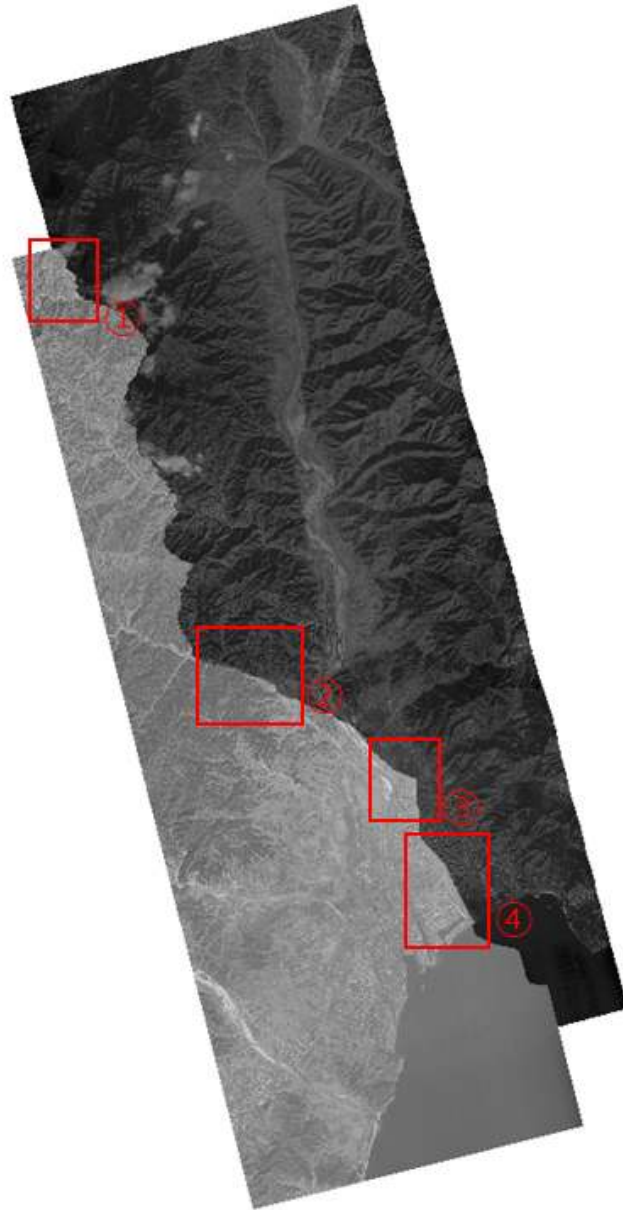
국토위성영상 시범제작 결과	
모자이크 영상	모자이크 영상(Masking)
	

나) 국토위성영상 시범제작 결과 품질 분석

국토위성영상 시범제작 결과 영상의 품질을 분석하기 위해 품질 분석 방안으로 제시된 접합선 육안분석, 기하정확도 분석, 화소값 보정 성능지표 분석을 수행하였다.

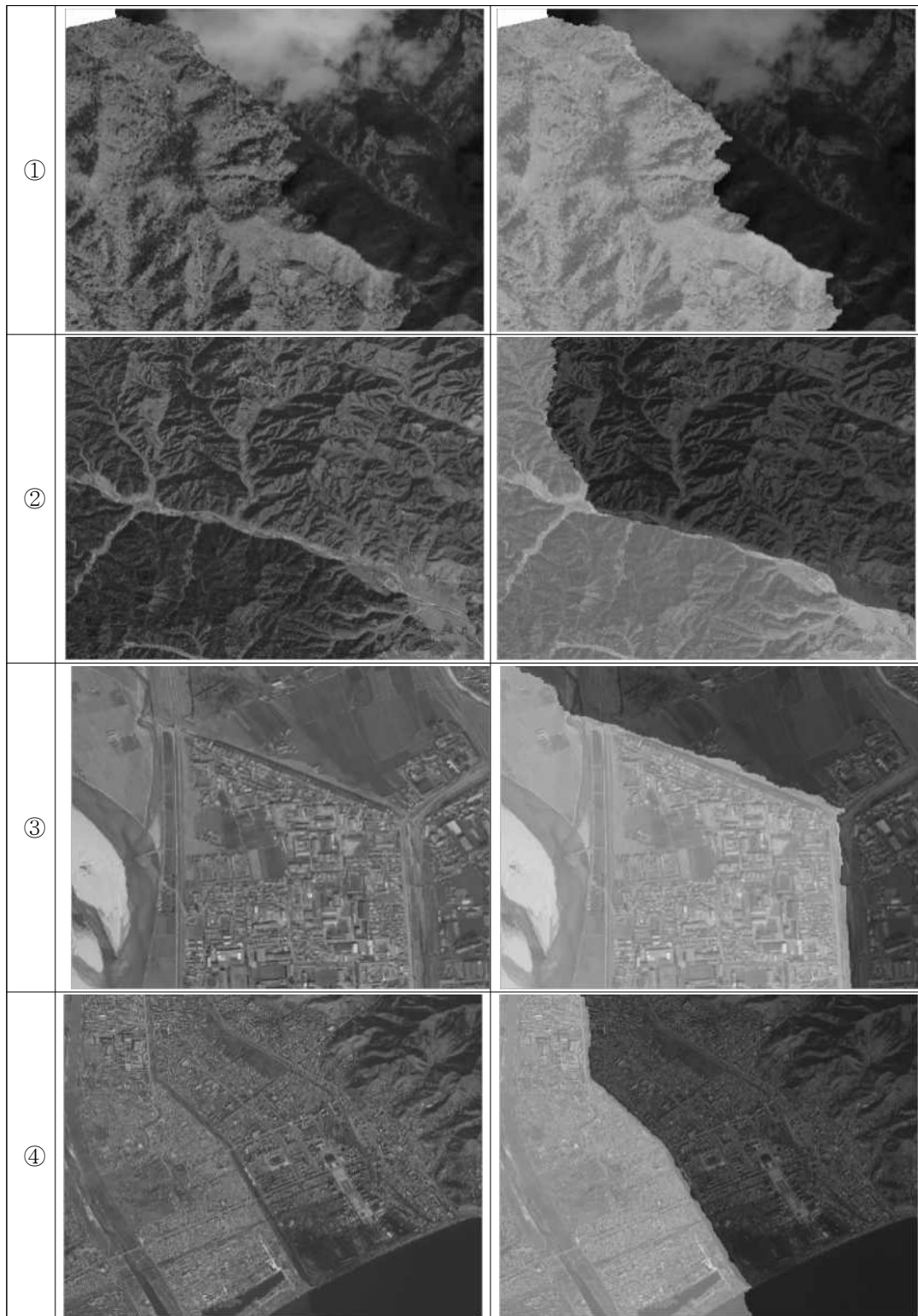
(1) 접합선 육안분석

접합선 추출부분에 대하여 세부적인 육안 분석을 진행한다.



<그림 4-1> 국토위성 시범제작 전체영상 및 육안분석 영역

<표 4-13> 국토위성영상 시범제작 영상 육안분석 영역

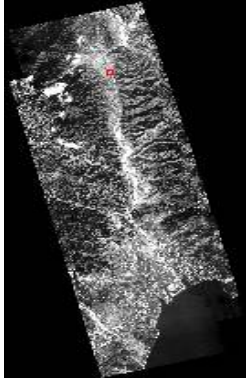
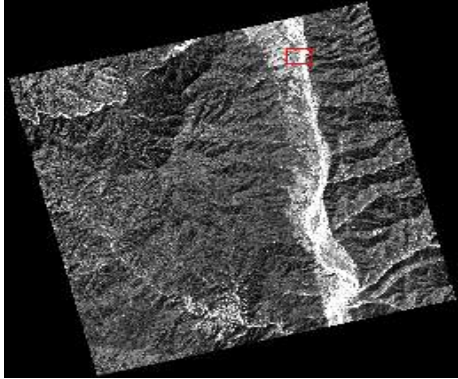
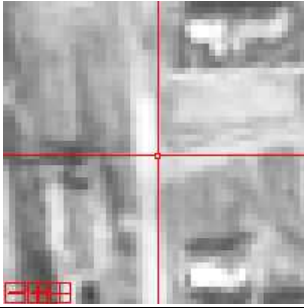
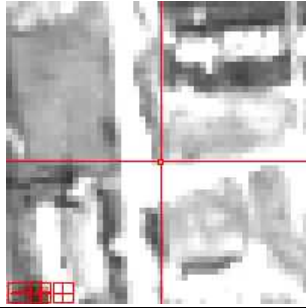


①의 경우 산의 능선을 따라 접합선이 추출 된 것으로 확인할 수 있다. 도로와 같은 선형정보는 아니지만 영상 상으로 선형정보로 판단되어 추출 된 것으로 이해할 수 있다. ②의 경우 수계를 따라 접합선이 추출 된 것을 확인할 수 있다. ③,④의 경우 도심지의 도로정보를 따라 접합선이 추출 된 것이 확인되며, 영상 전체에서 접합선이 제대로 추출 된 것을 확인할 수 있다.

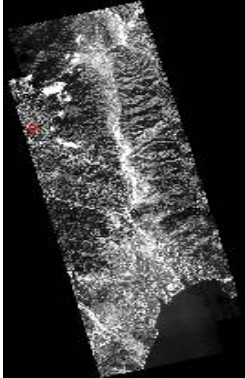
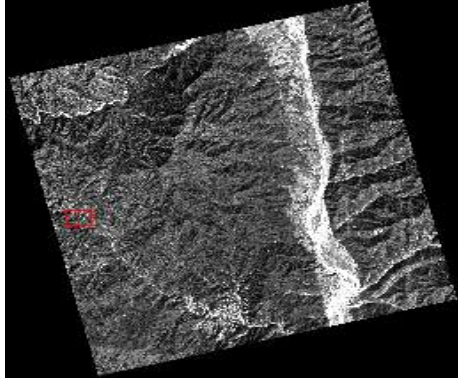
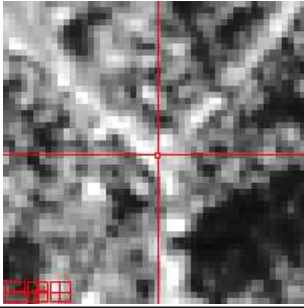
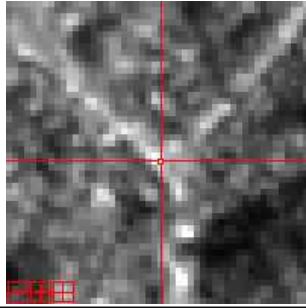
(2) 기하정확도 분석

모자이크 작업으로 인해 영상 내에 기하정보 오차가 발생한 경우에 대하여 분석한다.

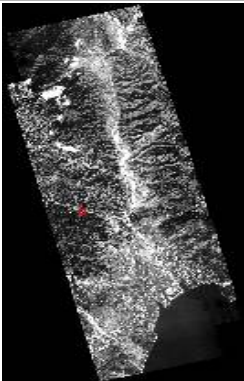
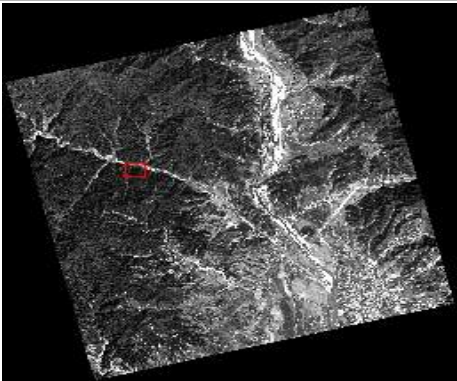
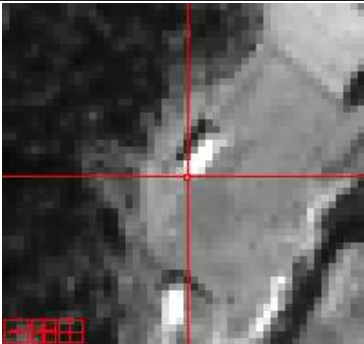
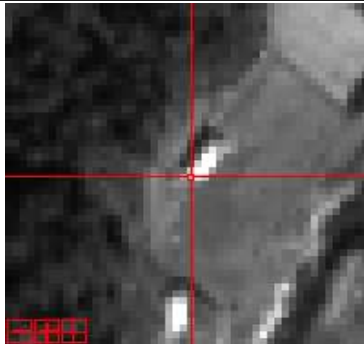
<표 4-14> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#1

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

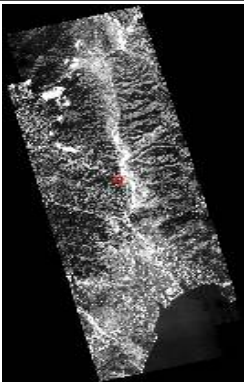
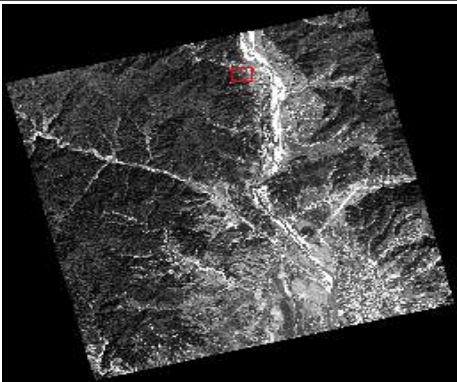
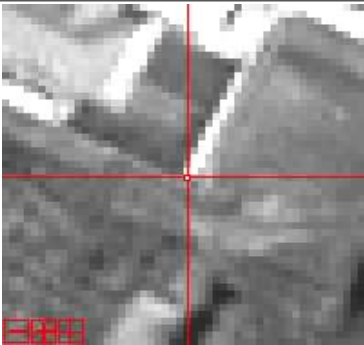
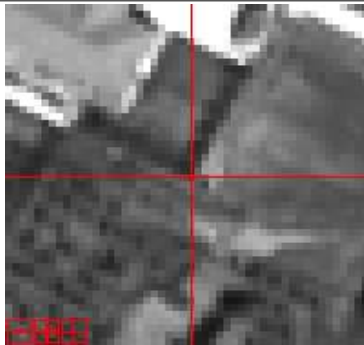
<표 4-15> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#2

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

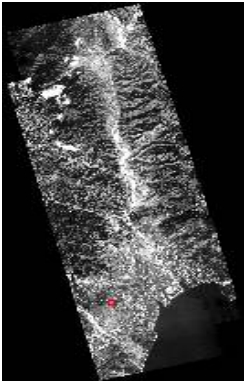

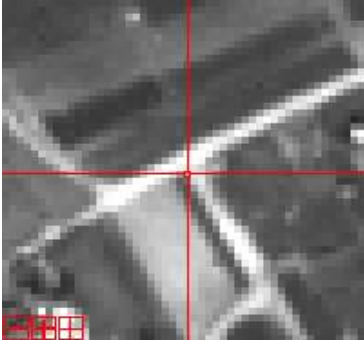
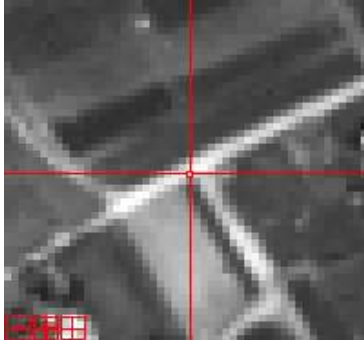
<표 4-16> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#3

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

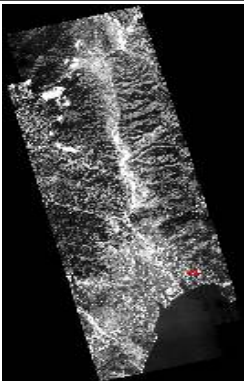

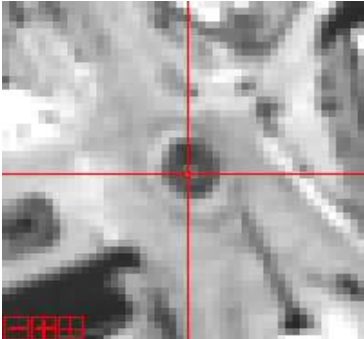
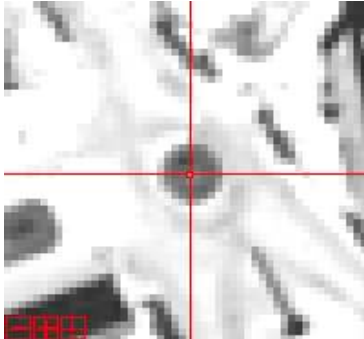
<표 4-17> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#4

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

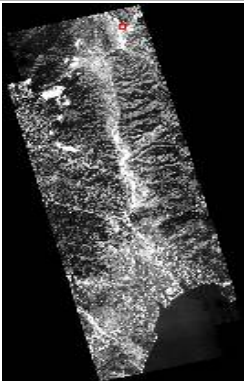
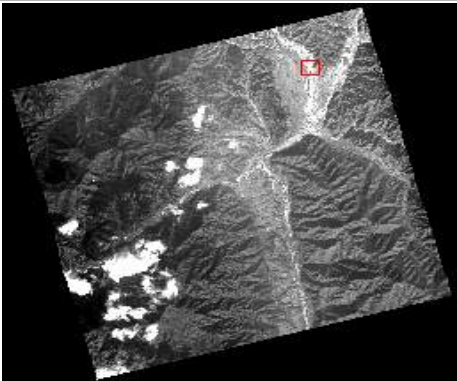
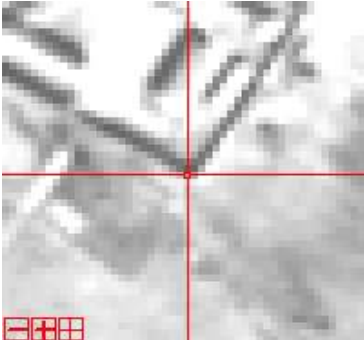
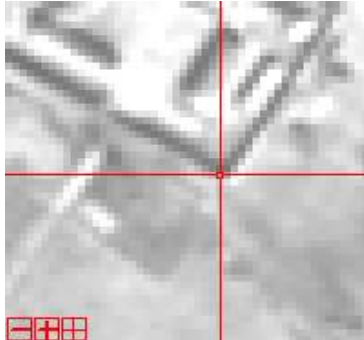
<표 4-18> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#5

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

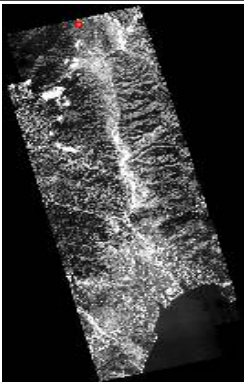
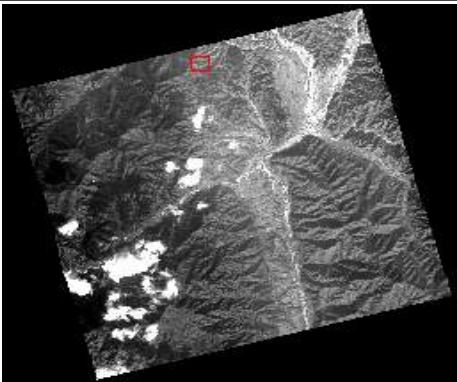
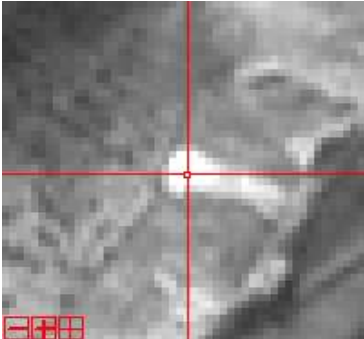
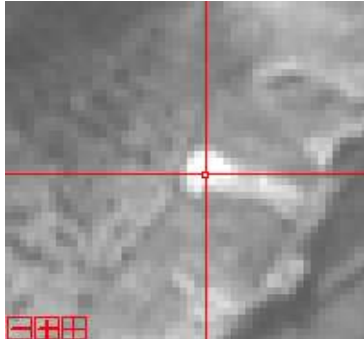
<표 4-19> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#6

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

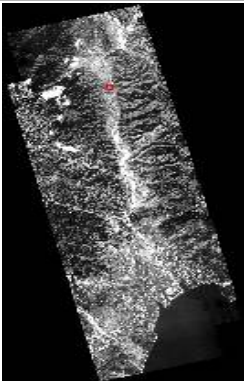
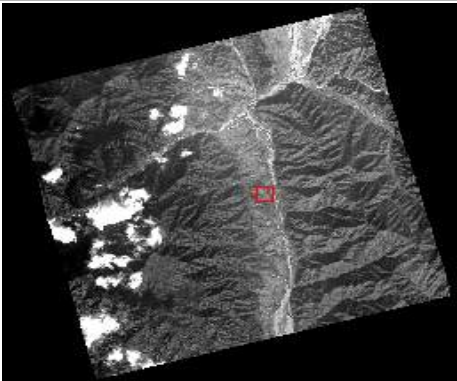
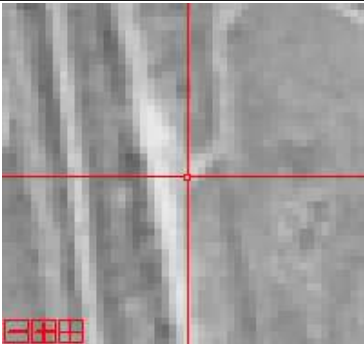
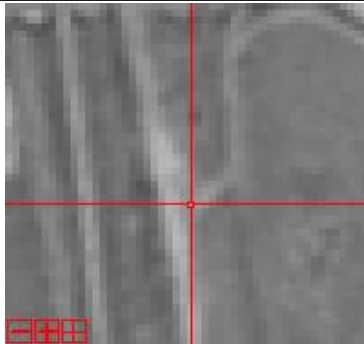
<표 4-20> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#7

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

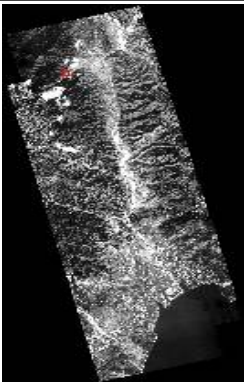
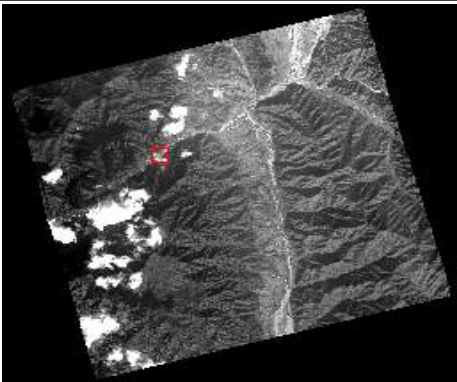
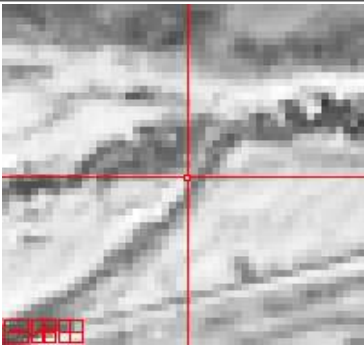
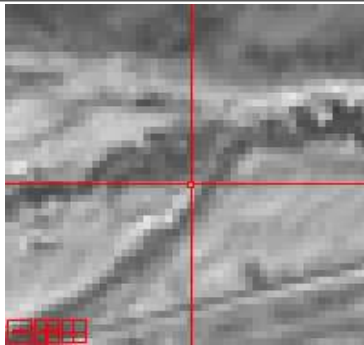
<표 4-21> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#8

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

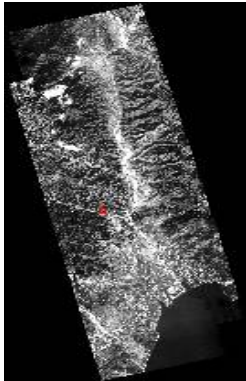
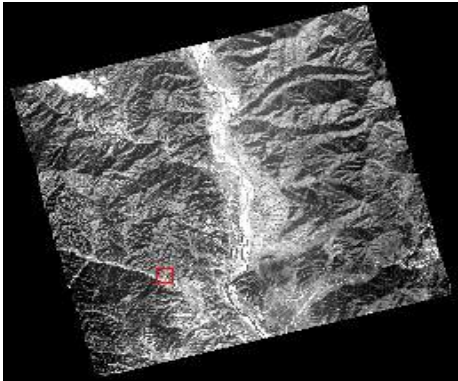
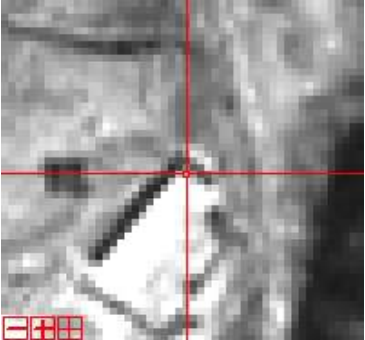
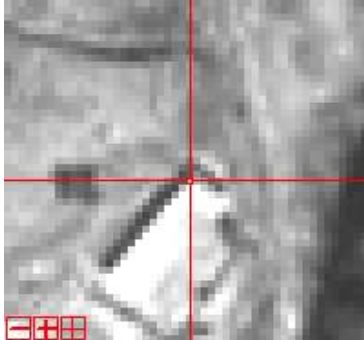
<표 4-22> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#9

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

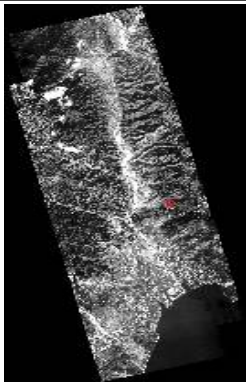
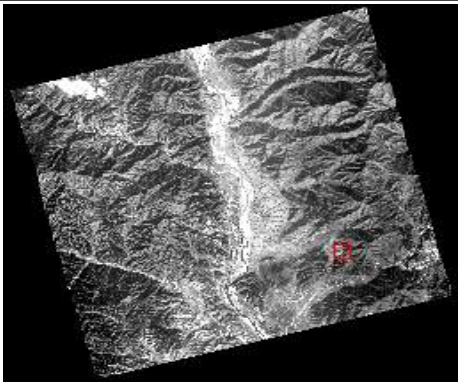
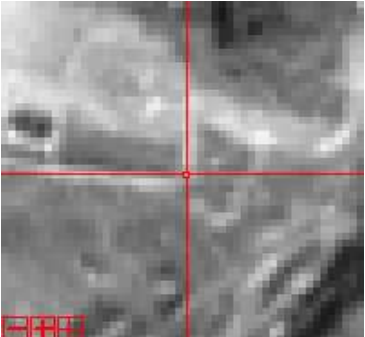
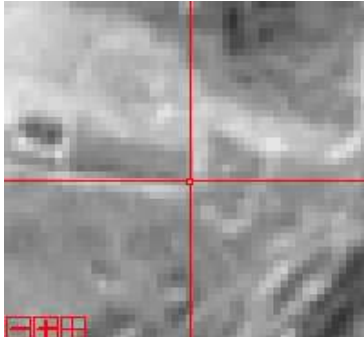
<표 4-23> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#10

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

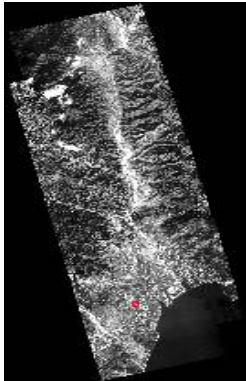

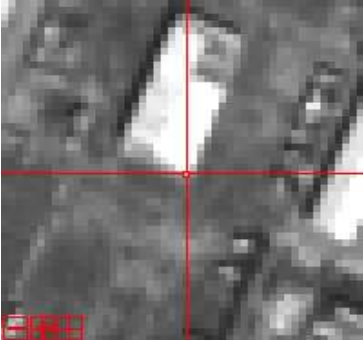
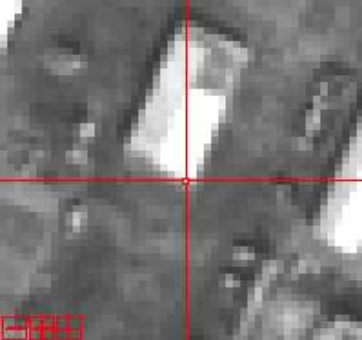
<표 4-24> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#11

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

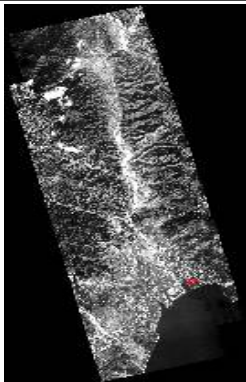

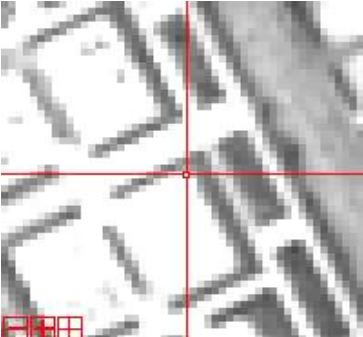
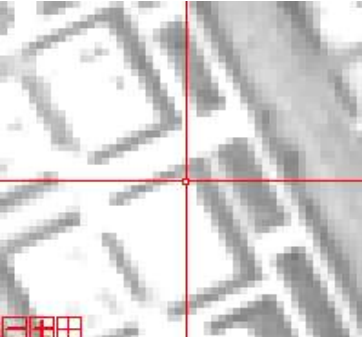
<표 4-25> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#12

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 4-26> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#13

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 4-27> 국토위성영상 모자이크 결과 - 검사점#14

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 4-28> 국토위성영상 모자이크 결과 분석

검사점	원본 영상				모자이크 영상				결과
	영상좌표		지상좌표		영상좌표		지상좌표		지상좌표 차이
	Col	Row	X	Y	Col	Row	X	Y	
#1	4858	1093	1183426.0	2446061.0	4981	4235	1183426.0	2446061.0	0.0
#2	1225	4285	1176159.0	2439678.0	1347	7426	1176159.0	2439678.0	0.0
#3	2106	3204	1180813.0	2430497.0	3674	12017	1180813.0	2430497.0	0.0
#4	3973	1315	1184548.0	2434275.0	5542	10128	1184548.0	2434275.0	0.0
#5	2151	2938	1183782.0	2419683.0	5159	17424	1183782.0	2419683.0	0.0
#6	5844	988	1191168.0	2423583.0	8852	15474	1191168.0	2423583.0	0.0
#7	5620	1395	1184704.0	2451741.0	5620	1395	1184704.0	2451741.0	0.0
#8	3678	1152	1180820.0	2452227.0	3678	1152	1180820.0	2452227.0	0.0
#9	4817	3975	1183658.0	2444507.0	5097	5012	1183658.0	2444507.0	0.0
#10	2808	3026	1179640.0	2446405.0	3088	4063	1179640.0	2446405.0	0.0
#11	2871	5481	1182812.0	2430155.0	4674	12188	1182812.0	2430155.0	0.0
#12	5979	4864	1189028.0	2431389.0	7782	11571	1189028.0	2431389.0	0.0
#13	2815	5124	1185754.0	2419543.0	6145	17494	1185754.0	2419543.0	0.0
#14	5453	3660	1191030.0	2422471.0	8783	16030	1191030.0	2422471.0	0.0

기하오차 분석은 모자이크영상과 원본영상의 영상좌표 간의 차이에 따라 실제 지상좌표의 차이가 발생했는지를 확인한다. 각 영상 당 2개의 점을 임의 추출하여 총 7장의 기하오차 분석을 진행하였다. 상단의 표에서 보는 것처럼 모자이크 영상과 원본 영상의 영상좌표에는 차이가 존재하지만 실제 지상좌표의 차이는 존재하지 않는 것으로 보아 원본 영상의 기하정보가 모자이크로 인해 손실되지 않았다는 것을 확인할 수 있다.

(3) 화소값 보정 성능지표 분석

Strip별 기준영상(Strip#01) 대비 타겟 영상(Strip#02)의 화소값을 보정한다. 처리를 마친 두 영상 간의 화소값 히스토그램 유사도를 분석하여 화소값 보정이 제대로 적용 됐는지 확인한다.

<표 4-29> 화소값 보정 성능 지표 분석

밴드	기준 영상	타겟 영상	히스토그램 교집합 유사도
Red	Strip#01	Strip#02	0.998938
Green	Strip#01	Strip#02	0.997381
Blue	Strip#01	Strip#02	0.999571
NIR	Strip#01	Strip#02	0.999095
평균			0.9987

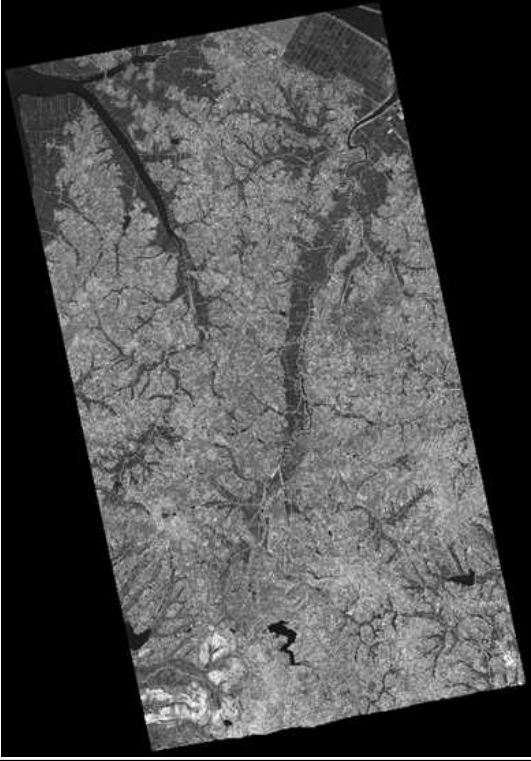
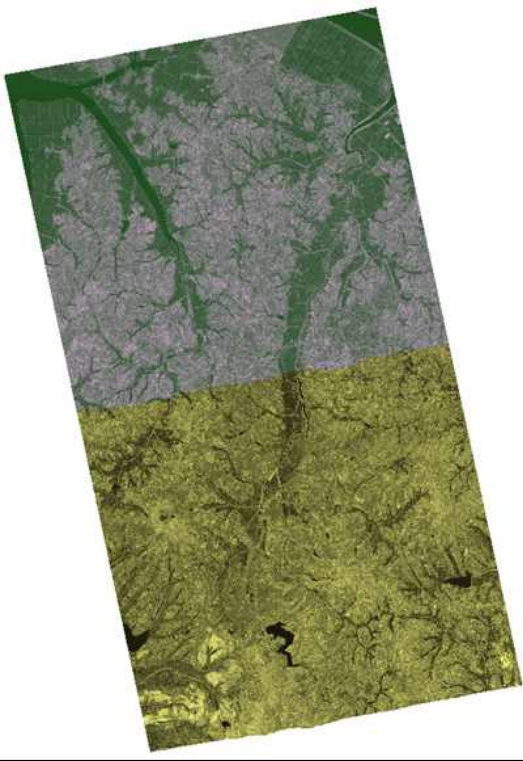
총 2개의 Strip에서 각 밴드별 히스토그램 유사도를 분석해본 결과 평균 0.9987의 히스토그램 교집합 유사도를 보였다. 해당 인덱스의 경우 1에 가까울수록 서로 유사하다고 판단할 수 있기 때문에 화소값 보정이 제대로 이뤄졌다는 것을 알 수 있다.

2) KOMSAT-3A 영상자료 결과(하천)

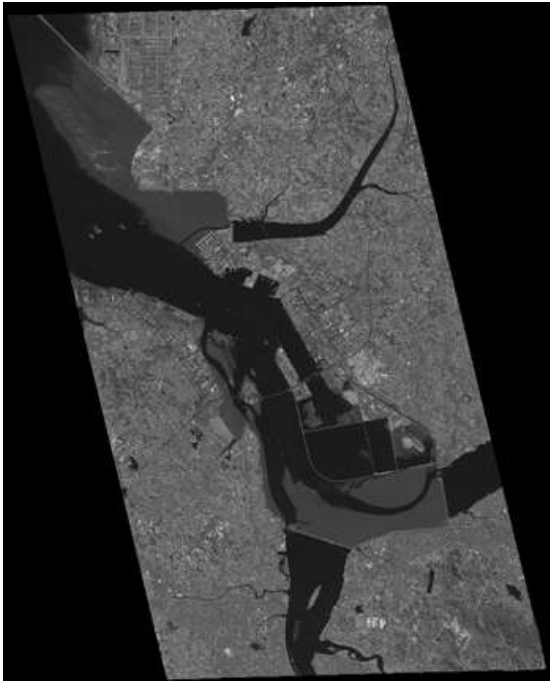

가) KOMSAT-3A 영상자료(하천) 시범제작 결과 영상

본 사업에서 개발된 모자이크 기법을 통해 시범제작을 수행하였다. 먼저 Strip-wise 다중영상 기법을 수행하여 동일 Strip의 영상간 모자이크를 먼저 수행하고, 이후 서로 Strip간 모자이크가 수행되었다. 각 모자이크에서는 개선된 Dijkstra 기반 기법을 적용하여 접합선을 추출하였으며, Histogram Matching 및 Alpha Bledning을 통해 화소값 보정을 수행하였다. 아래 결과는 각 Strip 별 모자이크 결과와 두 Strip간 모자이크를 통해 최종 산출된 모자이크 영상을 제시하였다. 시범제작 영상의 자세한 결과는 다음 표에서 확인할 수 있다.

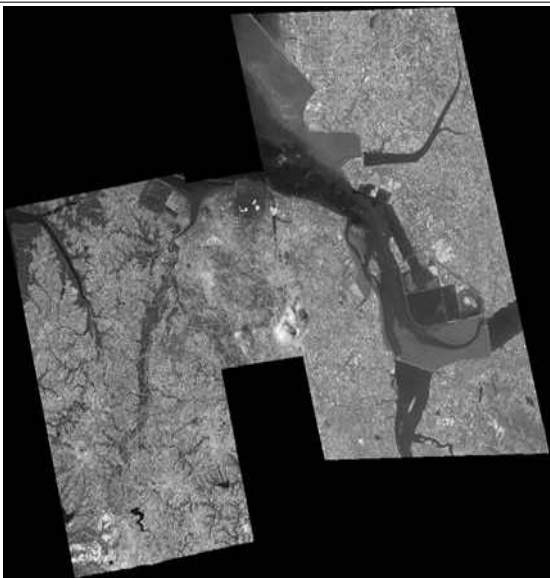
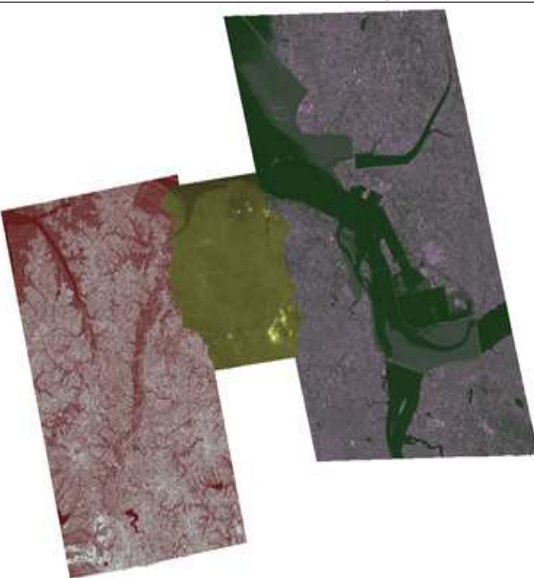
<표 4-30> KOMSAT-3A 영상(하천) 모자이킹 결과 Strip #01

Strip #01 KOMSAT-3A 영상(하천) 모자이킹 결과	
모자이크 영상	모자이크 영상(Masking)
	

<표 4-31> KOMSAT-3A 영상(하천) 모자이킹 결과 Strip #02

Strip #02 KOMSAT-3A 영상(하천) 모자이킹 결과	
모자이크 영상	모자이크 영상(Masking)
	

<표 4-32> KOMSAT-3A 영상자료(하천) 결과

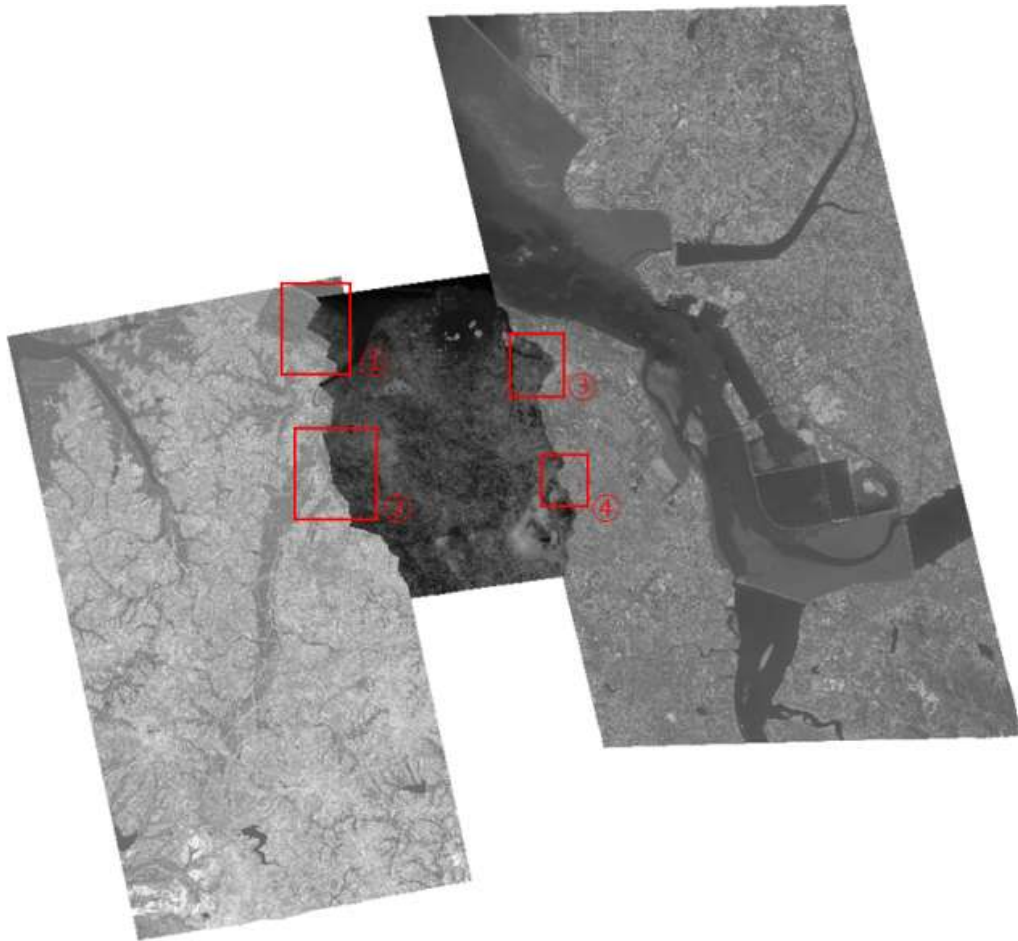
KOMSAT-3A 영상자료(하천) 결과	
모자이크 영상	모자이크 영상(Masking)
	

나) KOMSAT-3A 영상자료(하천) 시범제작 결과 품질 분석

국토위성영상 시범제작 결과 영상의 품질을 분석하기 위해 품질 분석 방안으로 제시된 접합선 육안분석, 기하정확도 분석, 화소값 보정 성능지표 분석을 수행하였다.

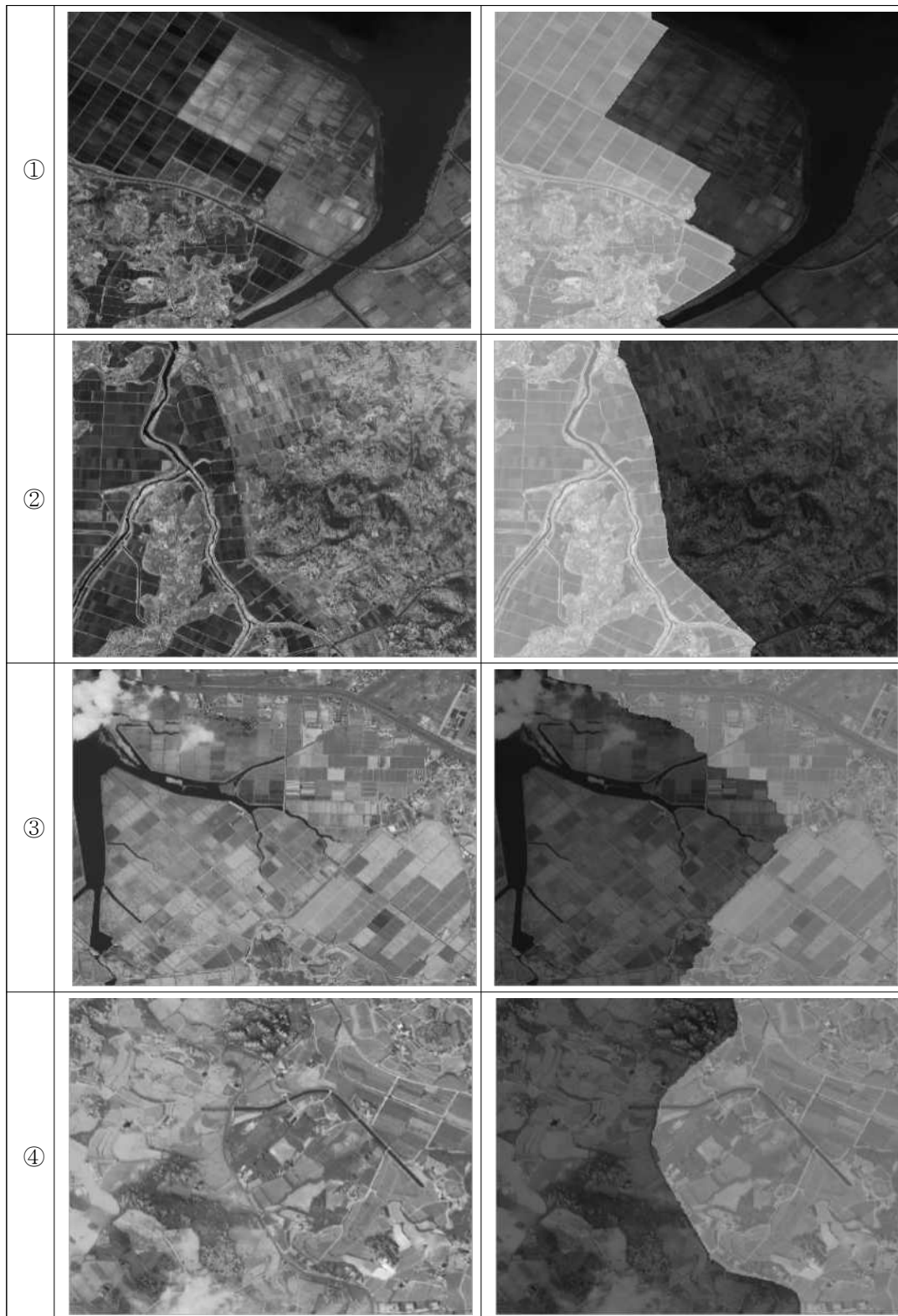
(1) 접합선 육안분석

접합선 추출부분에 대하여 세부적인 육안 분석을 진행한다.



<그림 4-2> KOMSAT-3A 영상(하천) 전체영상 및 육안분석 영역

<표 4-33> KOMSAT-3A 영상자료(하천) 육안분석 영역

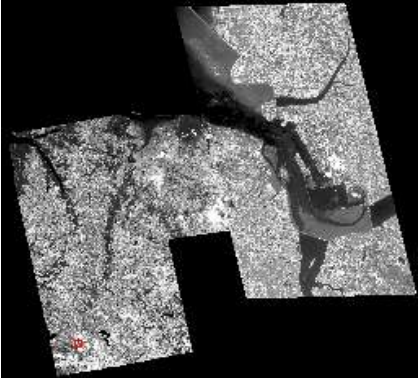
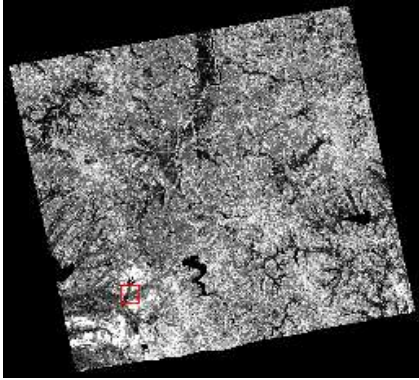
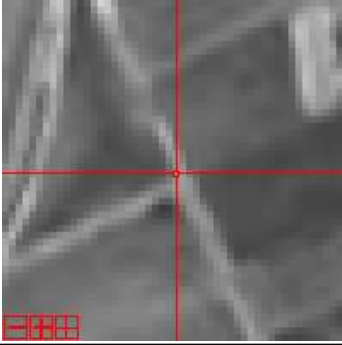
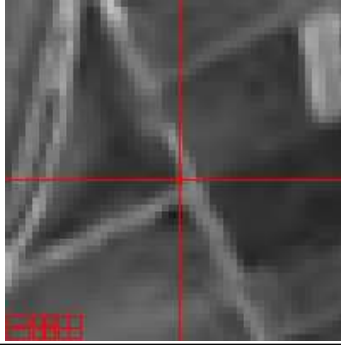


①,②,③의 경우 일정한 패턴을 가지는 논들이 모여서 선형정보로 판단되어 접합선이 추출된 것으로 이해할 수 있다. 비록 수계나, 도로정보는 아니지만 일정한 패턴으로 인해 선형정보가 생기는 경우 접합선으로 추출 되는 것을 확인할 수 있다. ④의 경우에는 도심지의 도로정보를 따라 접합선이 추출 된 것을 확인할 수 있으며, 영상 전체에서 접합선이 제대로 추출된 것을 확인할 수 있다.

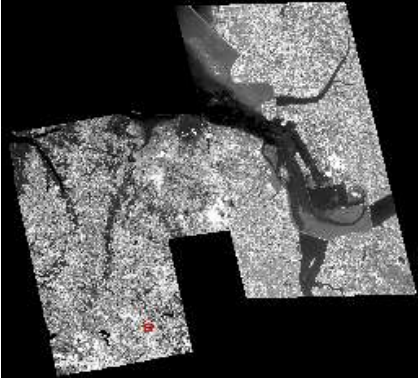
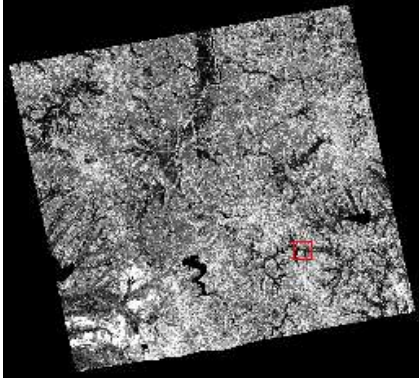
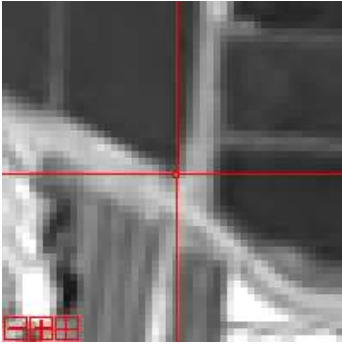
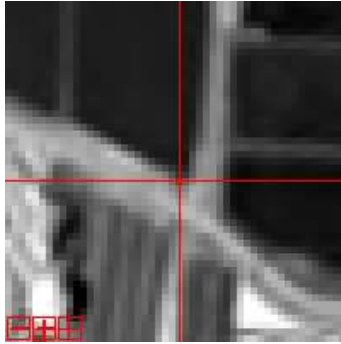
(2) 기하정확도 분석

모자이크 작업으로 인해 영상 내에 기하정보 오차가 발생한 경우에 대하여 분석한다.

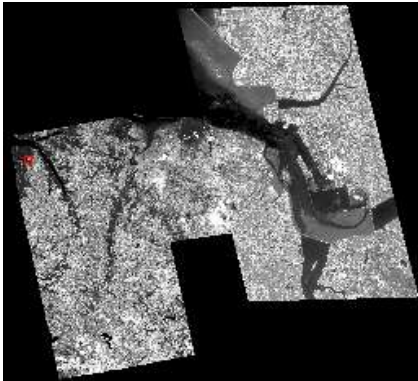
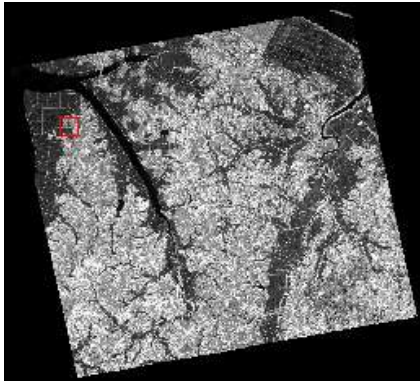
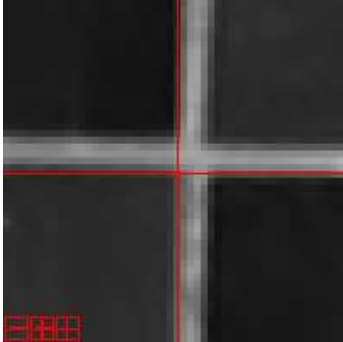
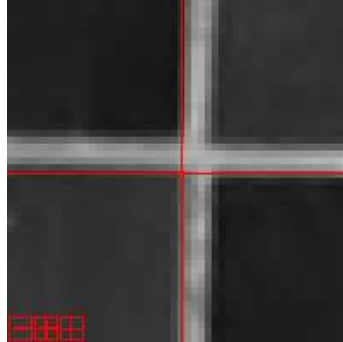
<표 4-34> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#1

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

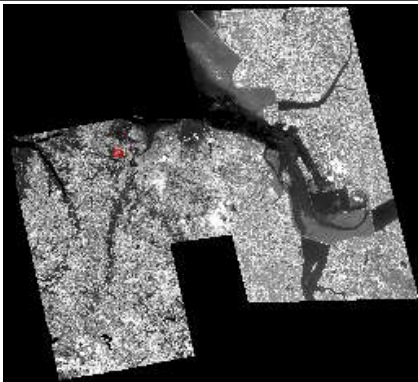
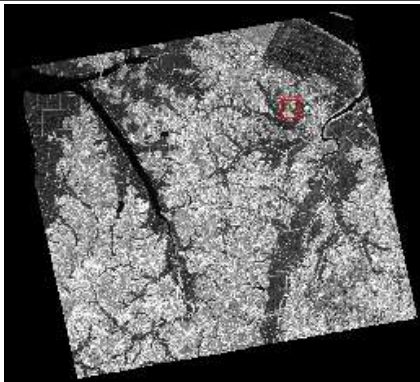
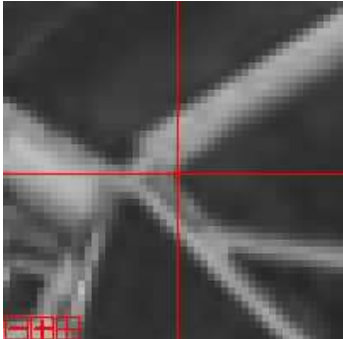
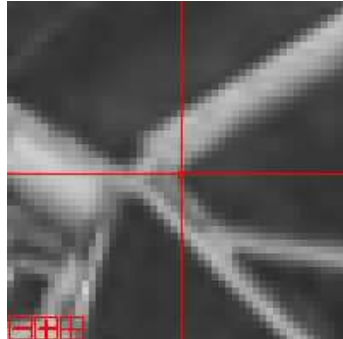
<표 4-35> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#2

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

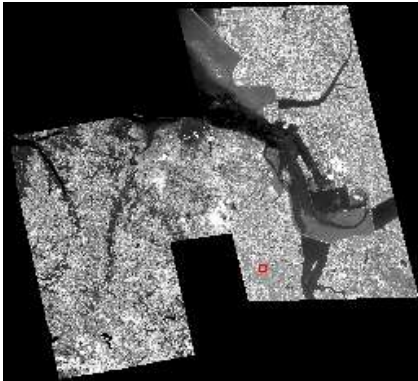
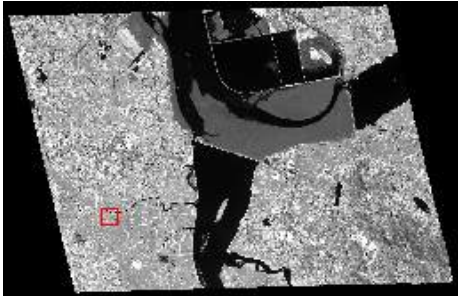
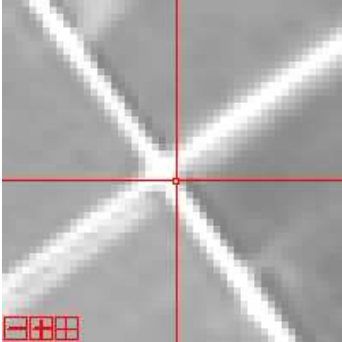
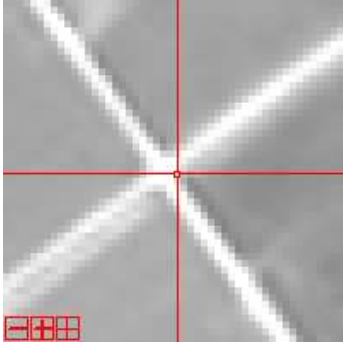
<표 4-36> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#3

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

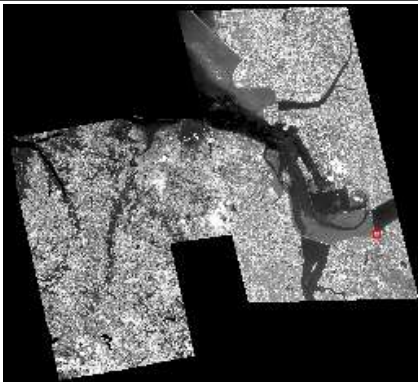
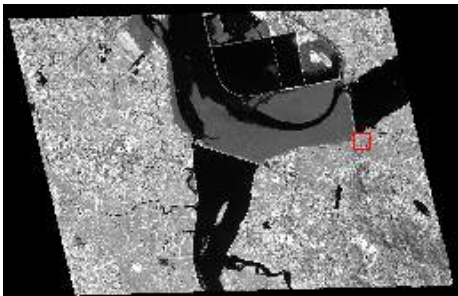
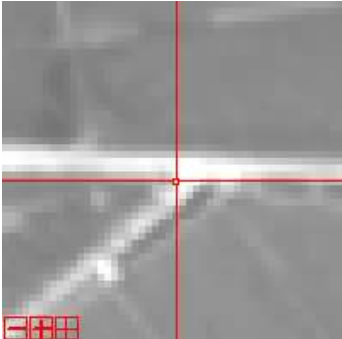
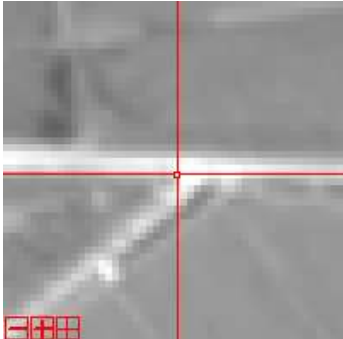
<표 4-37> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#4

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

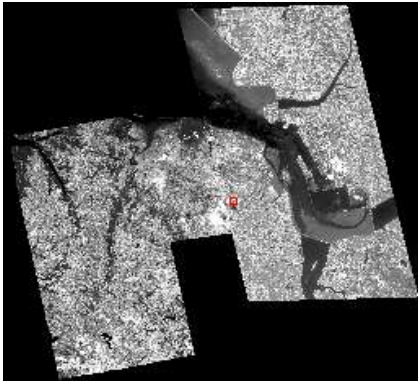
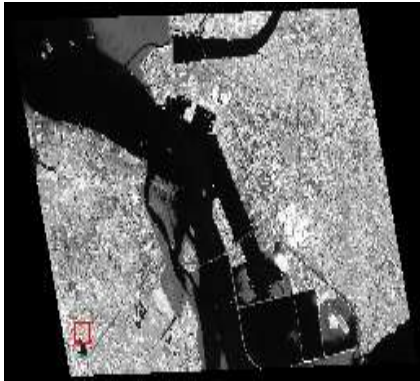
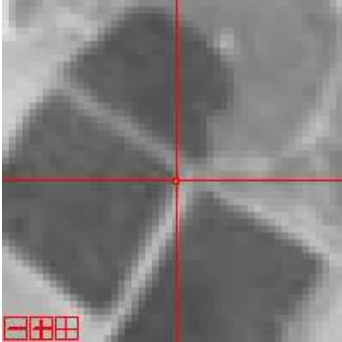
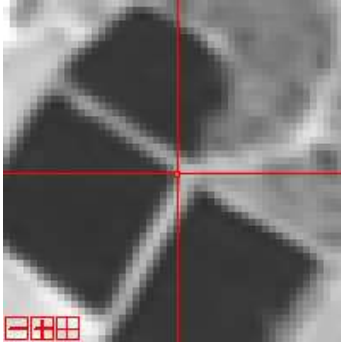
<표 4-38> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#5

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

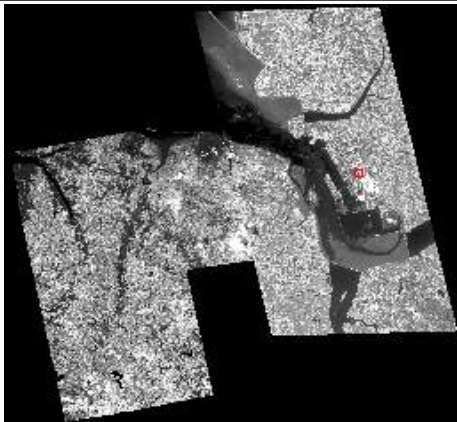

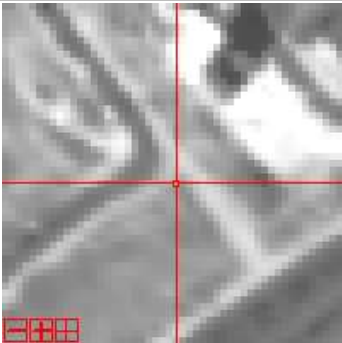
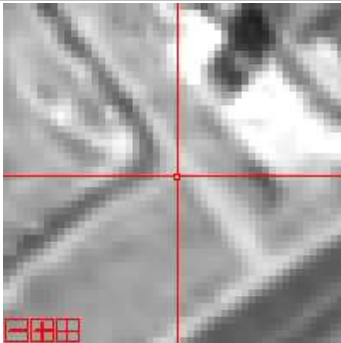
<표 4-39> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#6

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

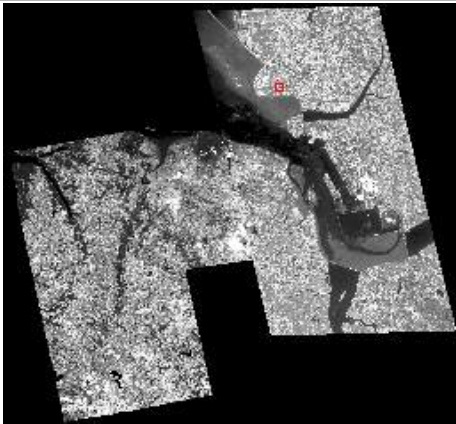

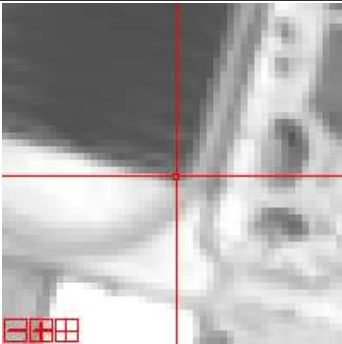
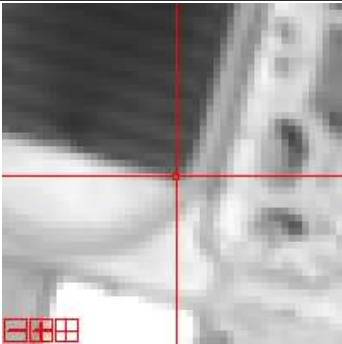
<표 4-40> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#7

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

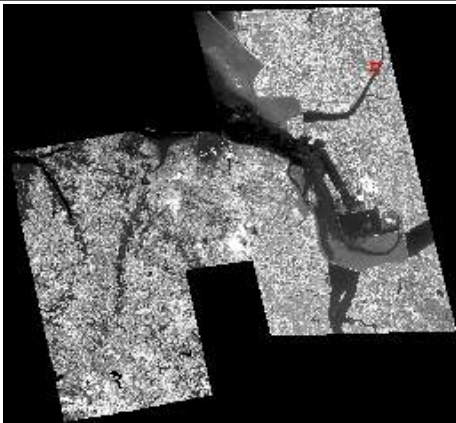

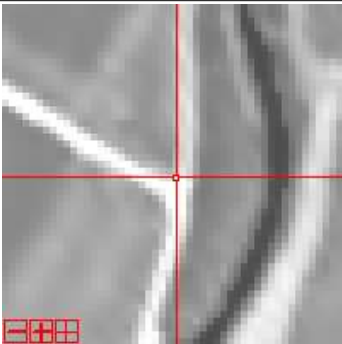
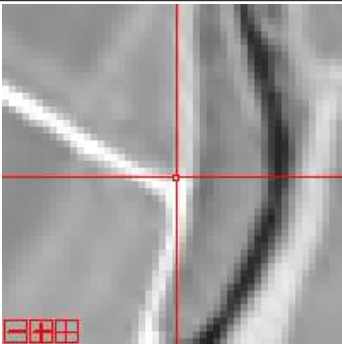
<표 4-41> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#8

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

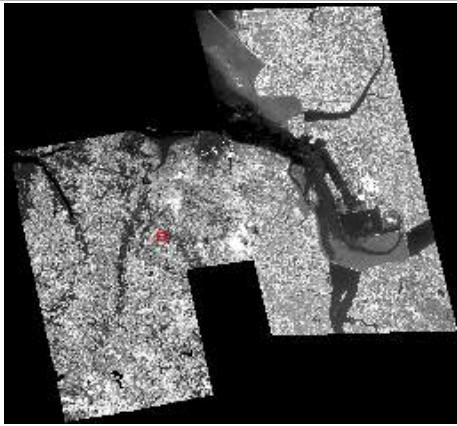
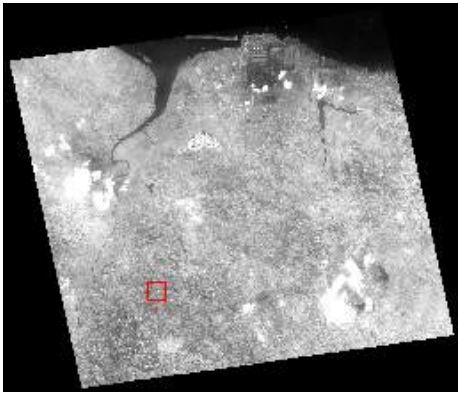
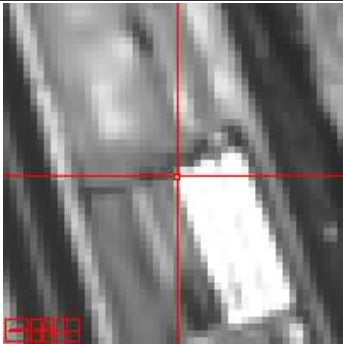
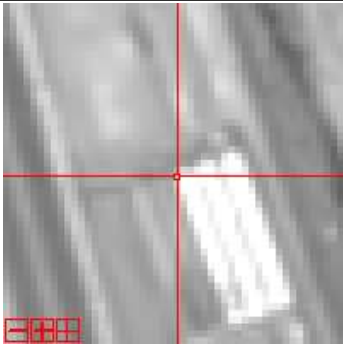
<표 4-42> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#9

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

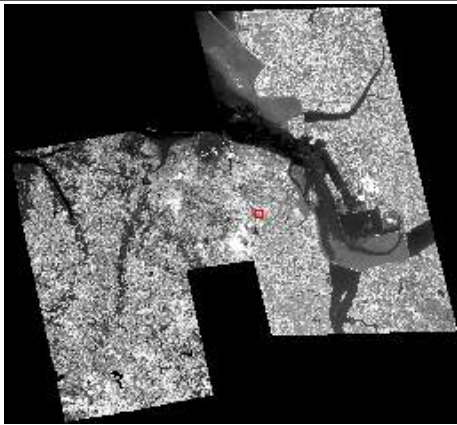
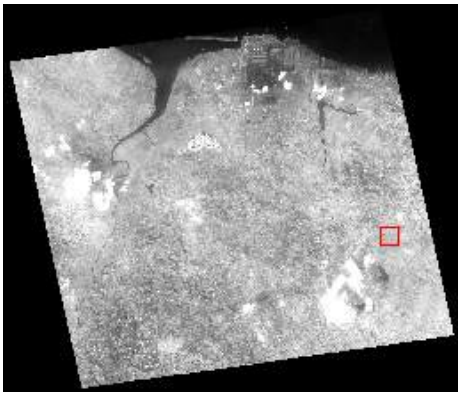
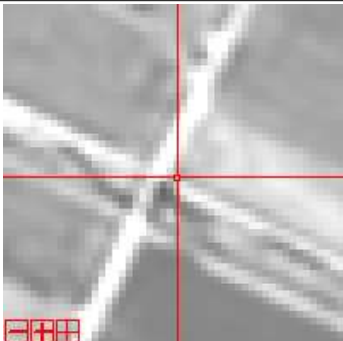
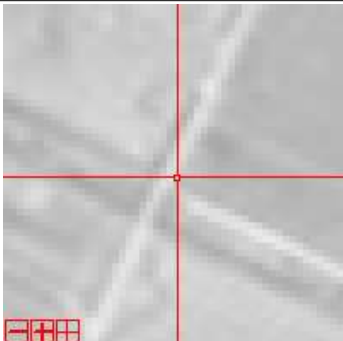
<표 4-43> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#10

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 4-44> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#11

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 4-45> KOMSAT-3A 영상(하천) - 검사점#12

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 4-46> KOMSAT-3A 영상(하천) 기하정확도 분석 결과

검사점	원본 영상				모자이크 영상				결과
	영상좌표		지상좌표		영상좌표		지상좌표		지상좌표
	Col	Row	X	Y	Col	Row	X	Y	차이
#1	2648	6186	917141.0	1864881.0	4024	18281	917141.0	1864881.0	0.0
#2	6239	5277	924323.0	1866699.0	7615	17372	924323.0	1866699.0	0.0
#3	1342	2606	911776.0	1884740.0	1342	8352	911776.0	1884740.0	0.0
#4	5946	2206	920984.0	1885540.0	5946	7952	920984.0	1885540.0	0.0
#5	2474	5006	936148.0	1873305.0	13528	14069	936148.0	1873305.0	0.0
#6	8366	3179	947932.0	1876959.0	19420	12242	947932.0	1876959.0	0.0
#7	1959	6007	932945.0	1880369.0	11926	10537	932945.0	1880369.0	0.0
#8	6875	3565	942779.0	1885251.0	16843	8096	942779.0	1885251.0	0.0
#9	4254	4033	935364.0	1893378.0	13136	4033	935364.0	1893378.0	0.0
#10	8812	2976	944480.0	1895492.0	17694	2976	944480.0	1895492.0	0.0
#11	3052	5652	924084.0	1879234.0	7496	11105	924084.0	1879234.0	0.0
#12	7671	4572	933322.0	1881394.0	12115	10025	933322.0	1881394.0	0.0

총 6장의 영상에서 임의의 2개점을 추출하여 영상좌표 대비 실제 지상좌표의 차이를 분석한다. 총 12개의 지점에서 실제 지상좌표의 차이를 비교해봤을 때의 결과는 상단의 표와 같고, 지상좌표 간의 차이가 없는 것으로 보아 원본영상의 기하정보가 손실되지 않았다는 것을 확인할 수 있다.

(3) 화소값 보정 성능지표 분석

기준영상 대비 타겟영상의 화소값을 보정해준다. 두 영상 간의 히스토그램 유사도를 분석하여 화소값이 제대로 보정 됐는지 확인한다. Strip#02와 Strip#03 모두 기준영상인 Strip#01과의 히스토그램 유사도가 평균 0.9988, 0.9976으로 측정되는 것으로 보아 화소값 보정이 제대로 된 것을 확인할 수 있다.

<표 4-47> 화소값 보정 성능 지표 분석

밴드	기준 영상	타겟 영상	히스토그램 교집합 유사도
Red	Strip#01	Strip#02	0.999001
Green	Strip#01	Strip#02	0.999104
Blue	Strip#01	Strip#02	0.999123
NIR	Strip#01	Strip#02	0.998014
평균			0.9988

<표 4-48> 화소값 보정 성능 지표 분석

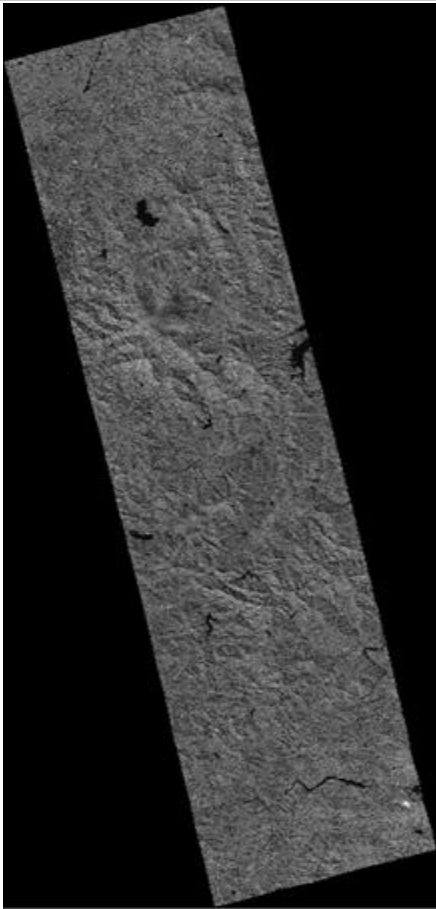
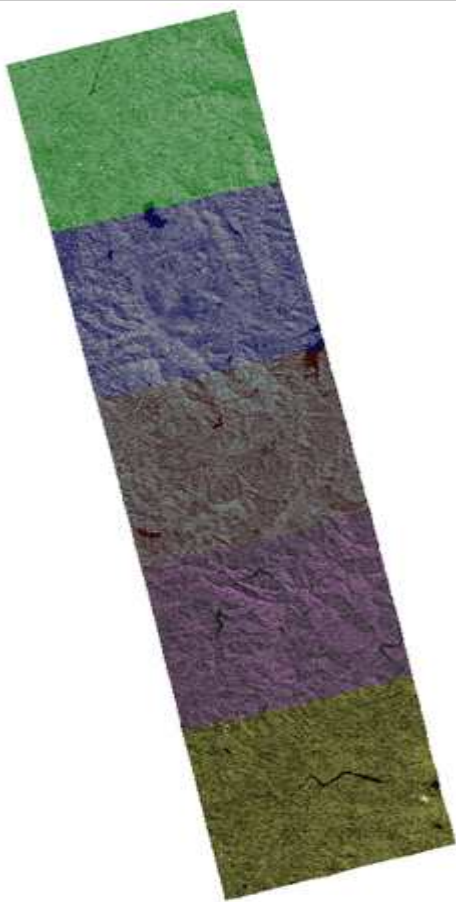
밴드	기준 영상	타겟 영상	히스토그램 교집합 유사도
Red	Strip#01	Strip#03	0.997758
Green	Strip#01	Strip#03	0.997932
Blue	Strip#01	Strip#03	0.99794
NIR	Strip#01	Strip#03	0.996766
평균			0.9976

3) KOMSAT-3A 영상자료 결과(산악)

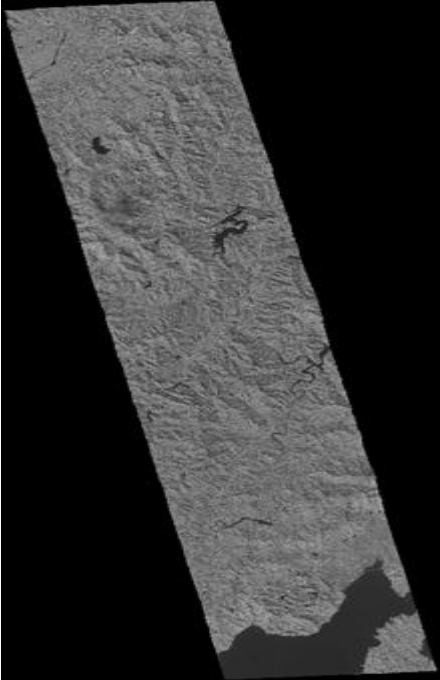

가) KOMSAT-3A 영상자료(산악) 시범제작 결과 영상

본 사업에서 개발된 모자이크 기법을 통해 시범제작을 수행하였다. 먼저 Strip-wise 다중영상 기법을 수행하여 동일 Strip의 영상간 모자이크를 먼저 수행하고, 이후 서로 Strip간 모자이크가 수행되었다. 각 모자이크에서는 개선된 Dijkstra 기반 기법을 적용하여 접합선을 추출하였으며, Histogram Matching 및 Alpha Bledning을 통해 화소값 보정을 수행하였다. 아래 결과는 각 Strip 별 모자이크 결과와 두 Strip간 모자이크를 통해 최종 산출된 모자이크 영상을 제시하였다. 시범제작 영상의 자세한 결과는 다음 표에서 확인할 수 있다.

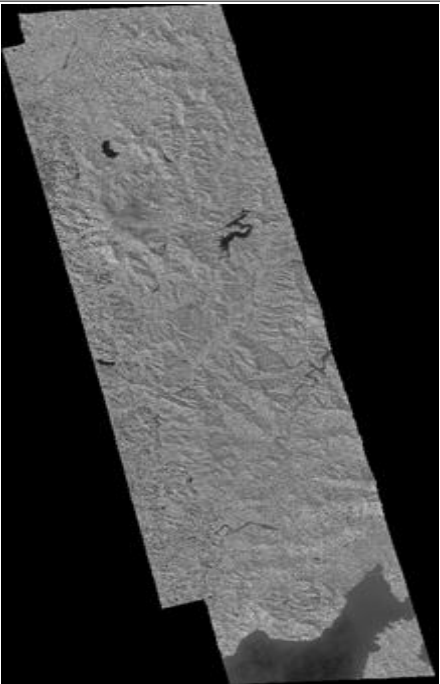
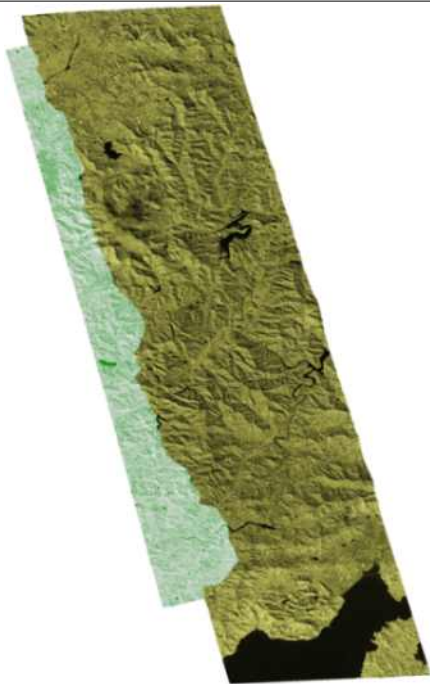
<표 4-49> KOMSAT-3A 영상자료(산악) Strip #01

Strip #01 모자이크 결과	
모자이크 영상	모자이크 영상(Masking)
	

<표 4-50> KOMSAT-3A 영상자료(산악) Strip #02

Strip #02 모자이크 결과	
모자이크 영상	모자이크 영상(Masking)
	

<표 4-51> KOMSAT-3A 영상자료(산악) 결과

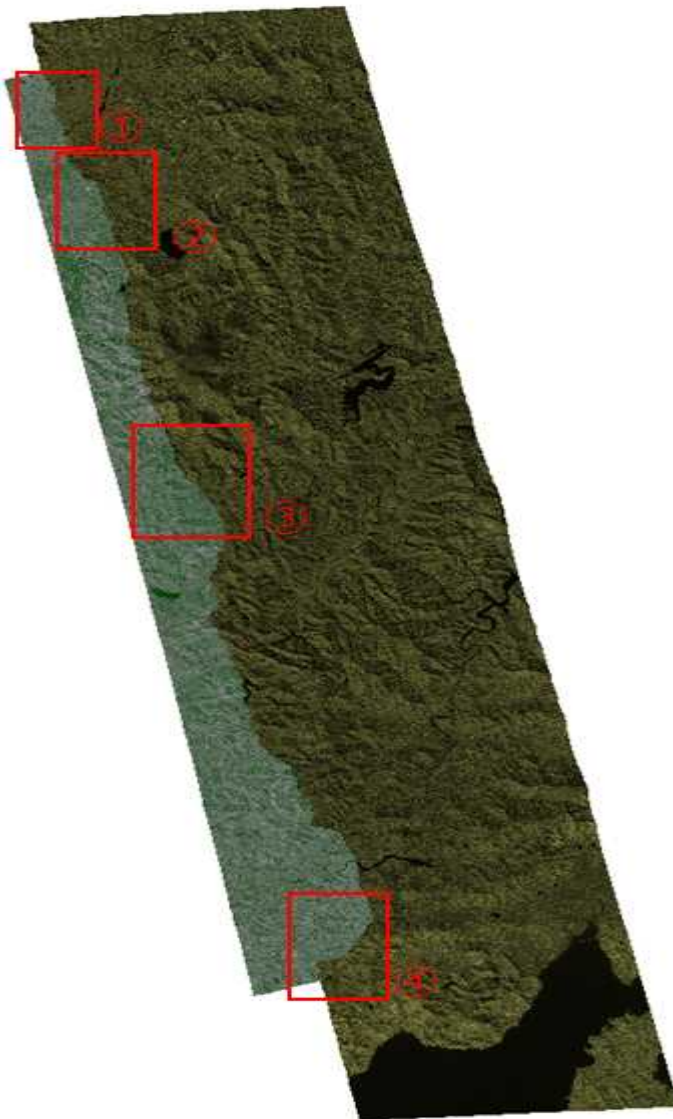
KOMSAT-3A 영상자료(하천) 결과	
모자이크 영상	모자이크 영상(Masking)
	

나) KOMSAT-3A 영상자료(산악) 시범제작 결과 품질 분석

국토위성영상 시범제작 결과 영상의 품질을 분석하기 위해 품질 분석 방안으로 제시된 접합선 육안분석, 기하정확도 분석, 화소값 보정 성능지표 분석을 수행하였다.

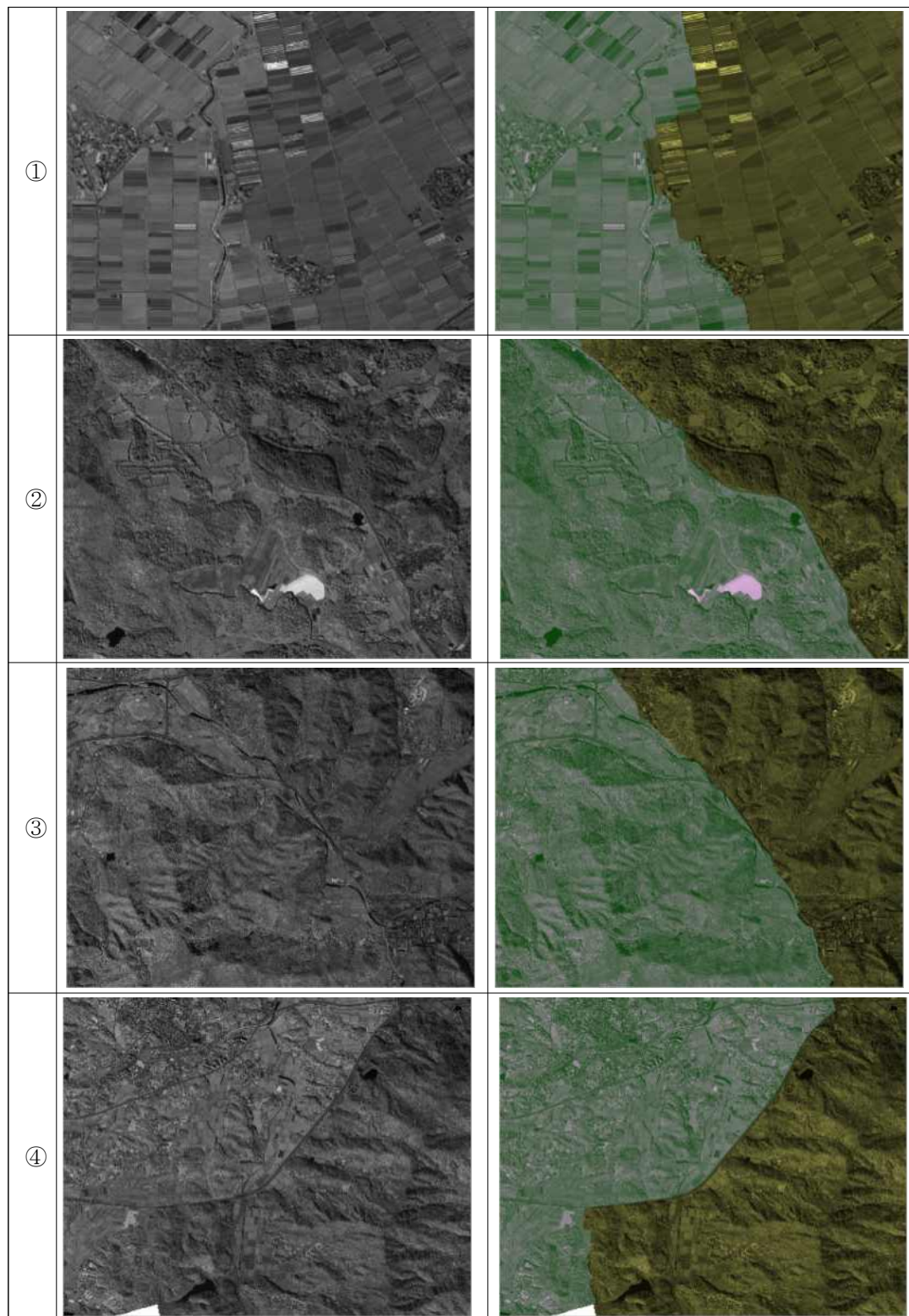
(1) 접합선 육안분석

시범제작 지역에서의 접합선이 제대로 추출 됐는지 육안분석을 통해 확인한다.



<그림 4-3> KOMSAT-3A 영상자료(산악) 전체영상 및 육안분석 영역

<표 4-52> KOMSAT-3A 영상자료(산악) 육안분석 영역

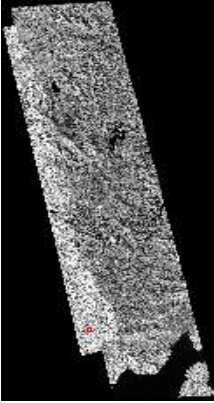
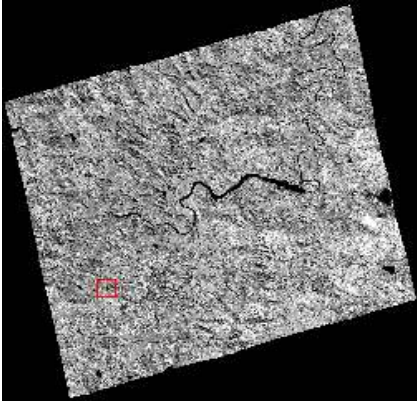
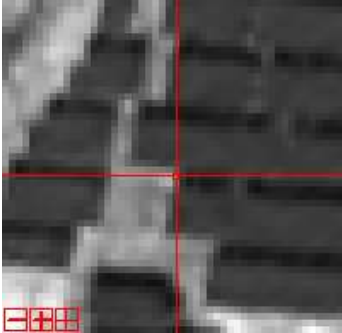
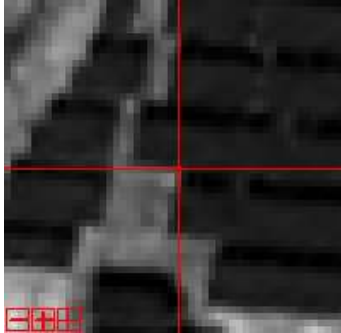


②,③,④는 산지와 가까운 지형에서 산지 내에 있는 도로의 선형정보를 추출하여 접합선으로 추출한 영상이다. 산지와 같이 불규칙한 패턴을 가진 지형일지라도, 산지내의 다른 정보들이 선형정보로 활용되어 접합선을 추출할 수 있다는 것을 확인하였다.

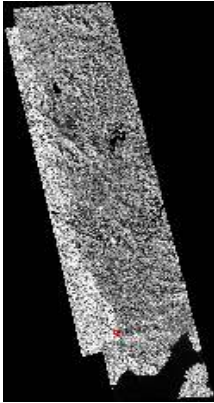
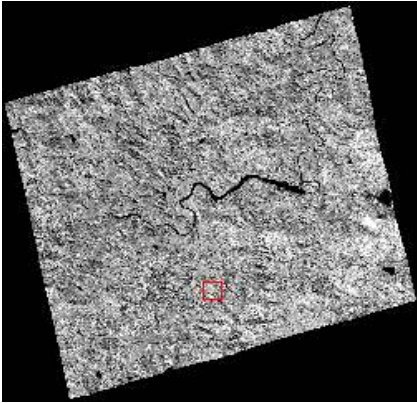
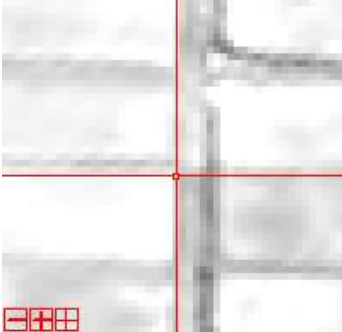
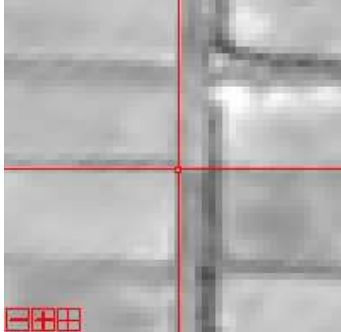
(2) 기하정확도 분석

모자이크 영상 내에서 원본영상과의 동일점을 추출하여 지상좌표의 변화가 있는지 확인한다.

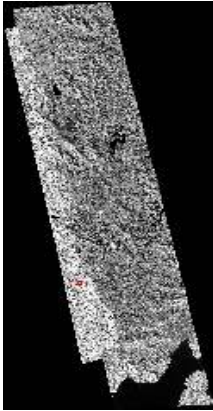
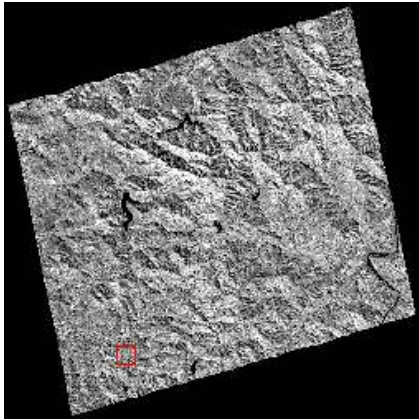
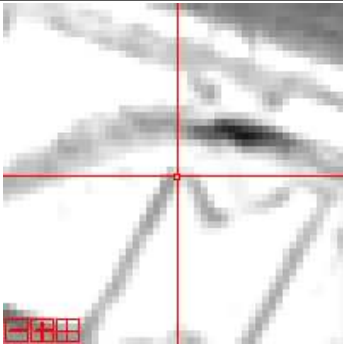
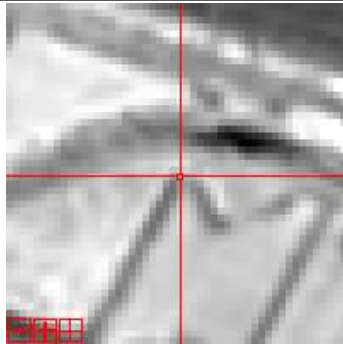
<표 4-53> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#1

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

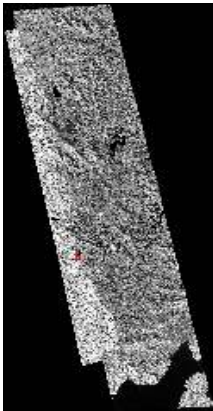
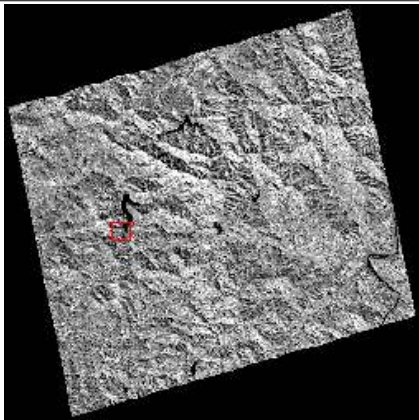
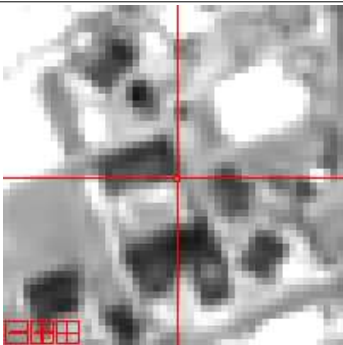
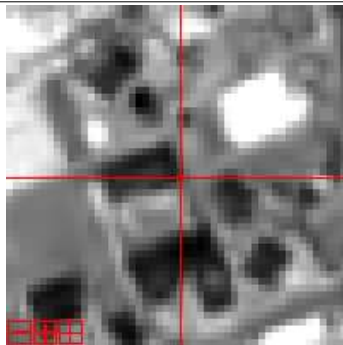
<표 4-54> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#2

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

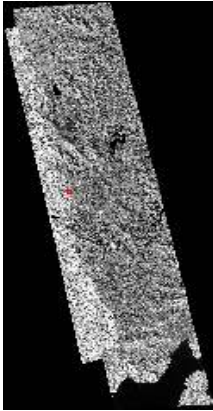
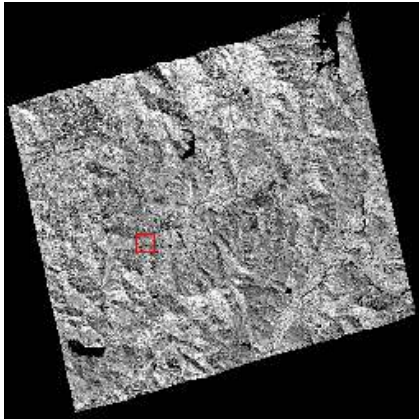
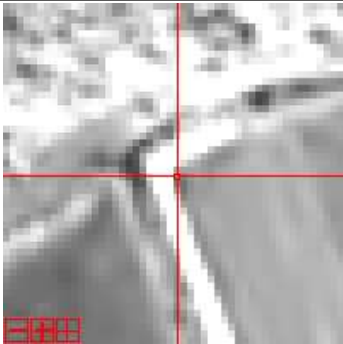
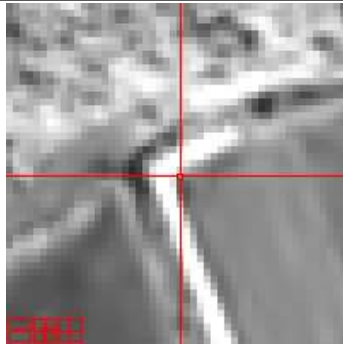
<표 4-55> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#3

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

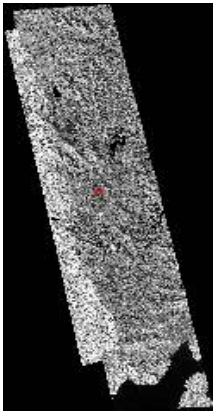
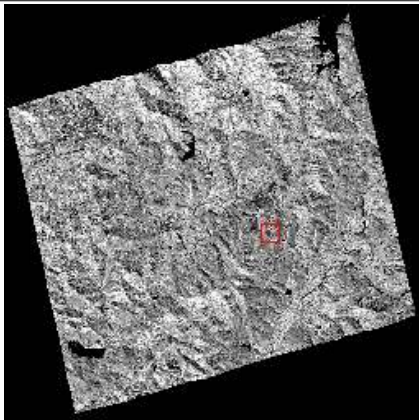
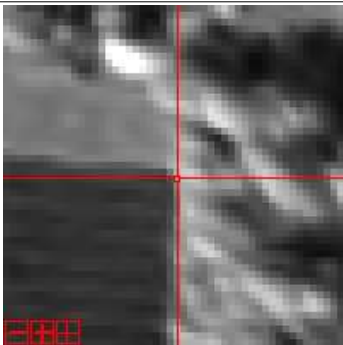
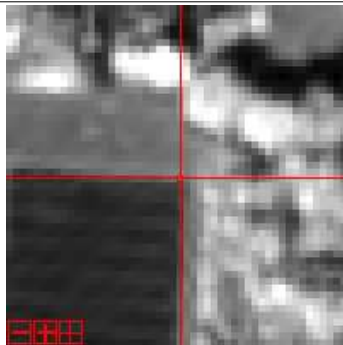
<표 4-56> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#4

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

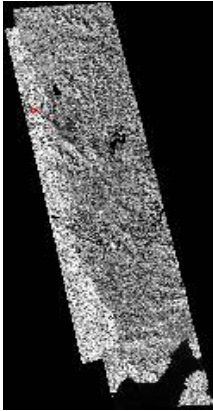
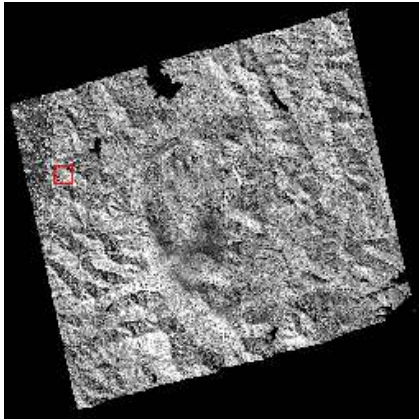
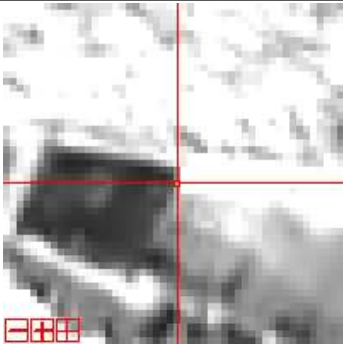
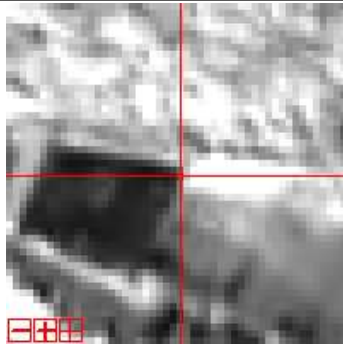
<표 4-57> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#5

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

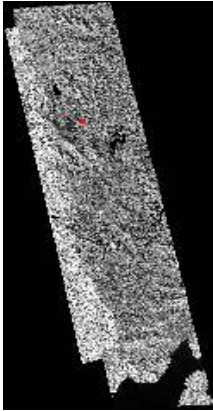
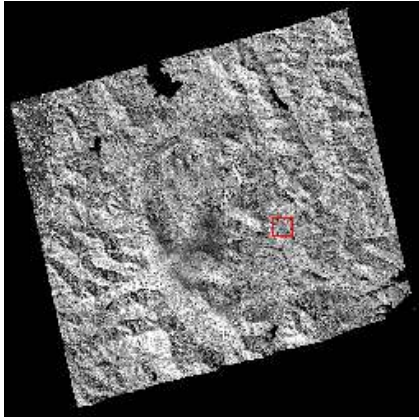
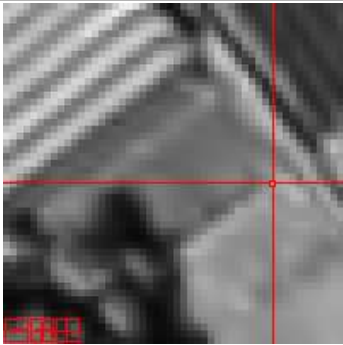
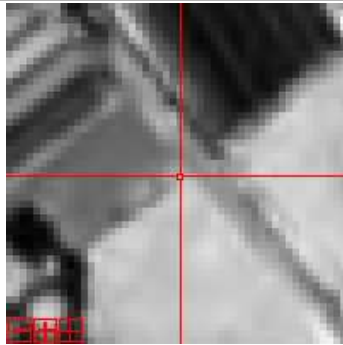
<표 4-58> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#6

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

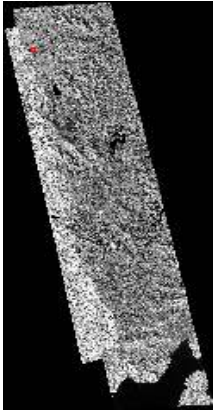
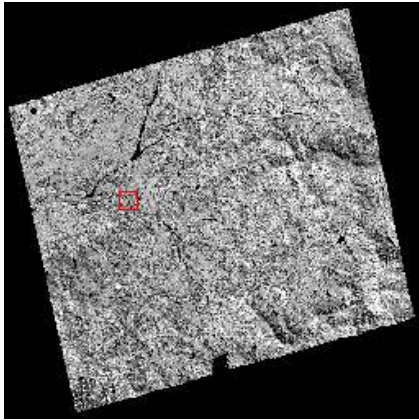
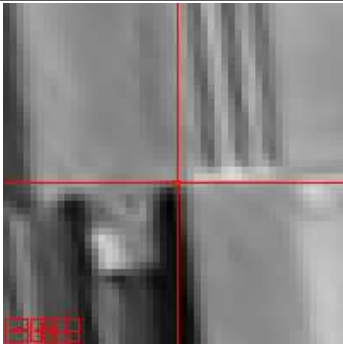
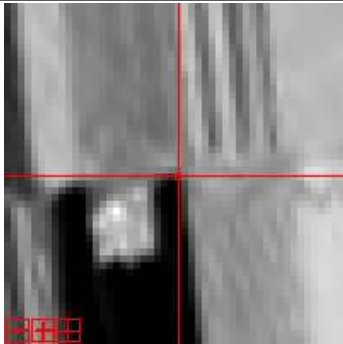
<표 4-59> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#7

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

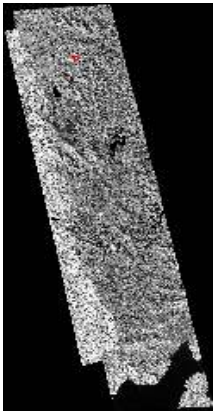
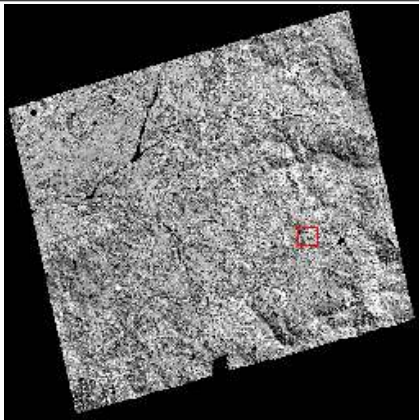
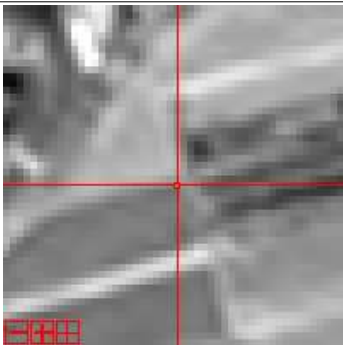
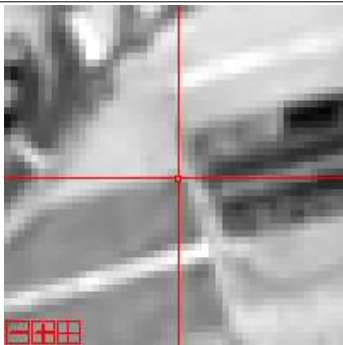
<표 4-60> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#8

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

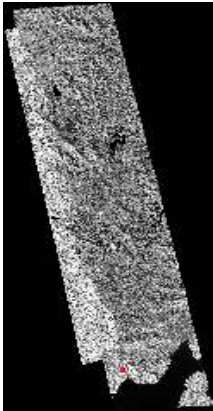

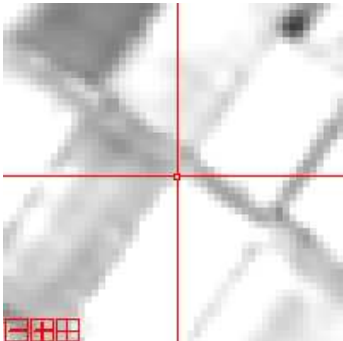
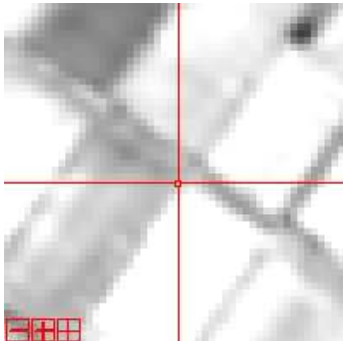
<표 4-61> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#9

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

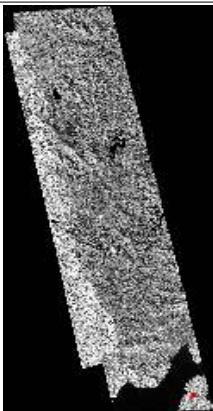
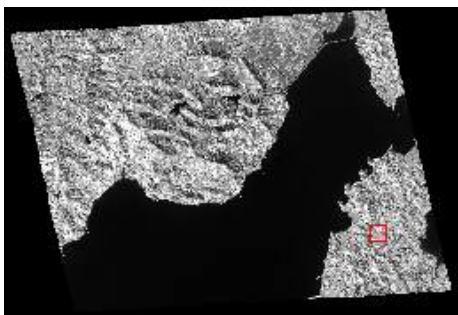
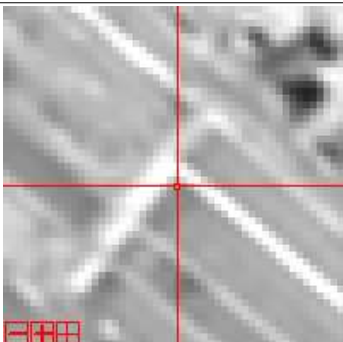
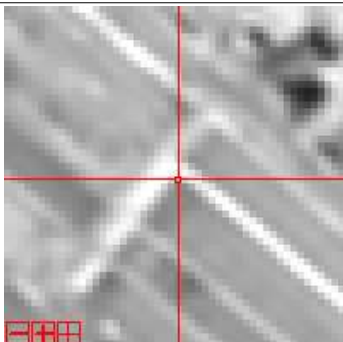
<표 4-62> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#10

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

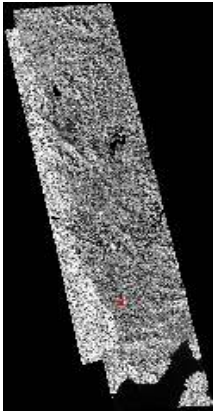
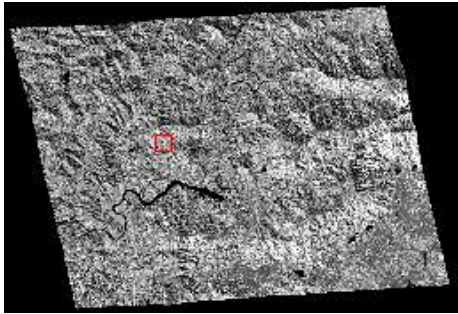
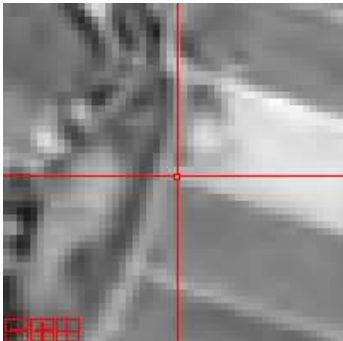
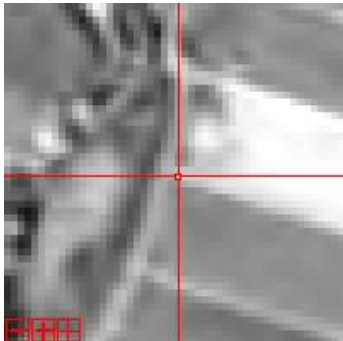
<표 4-63> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#11

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

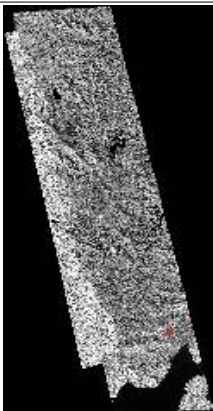
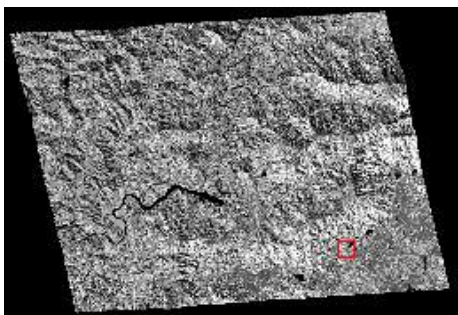
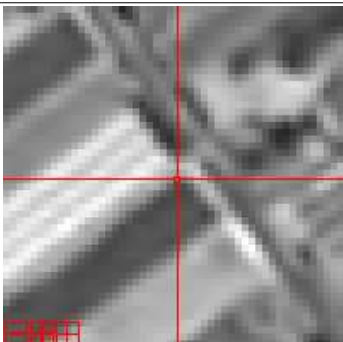
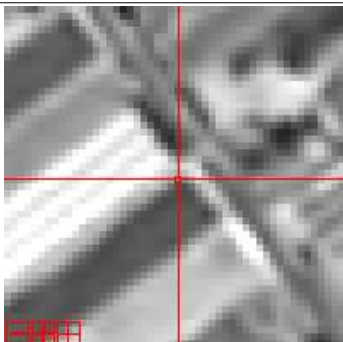
<표 4-64> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#12

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

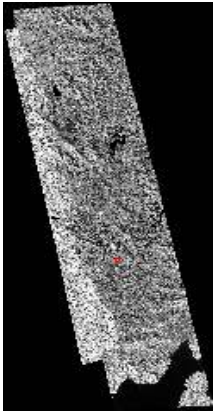
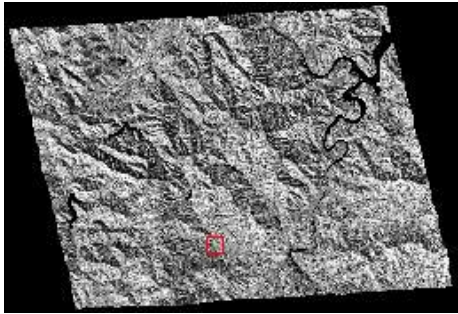
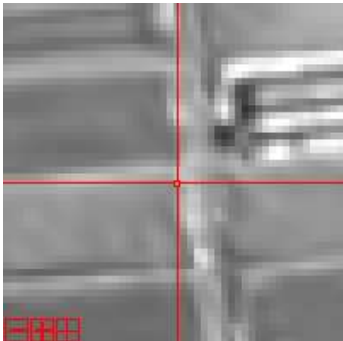
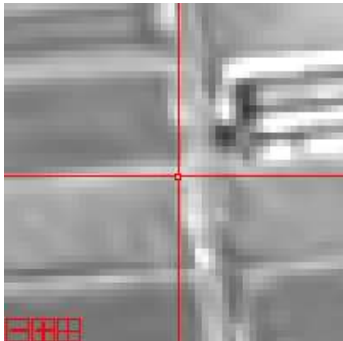
<표 4-65> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#13

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

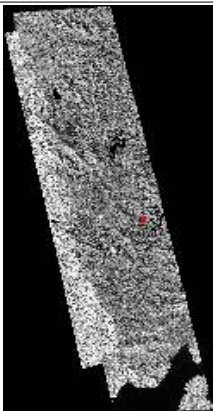
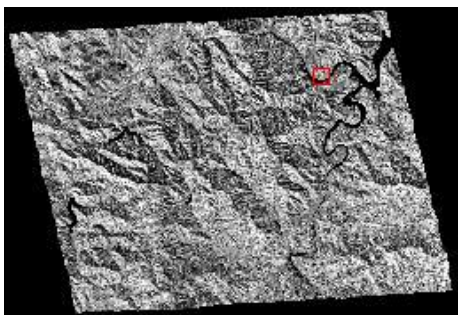
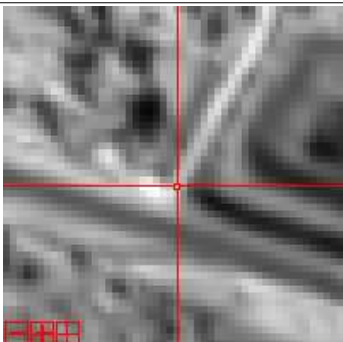
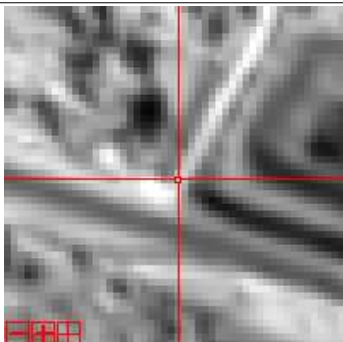
<표 4-66> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#14

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

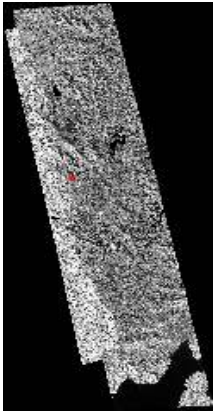
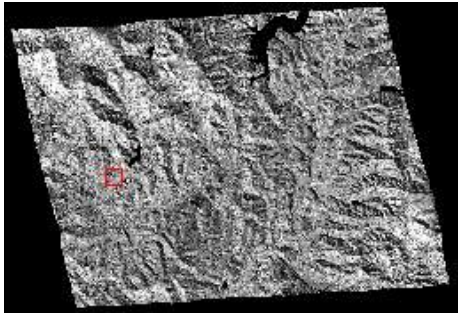
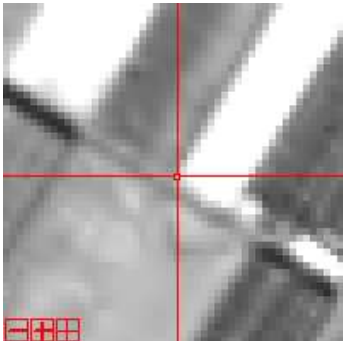
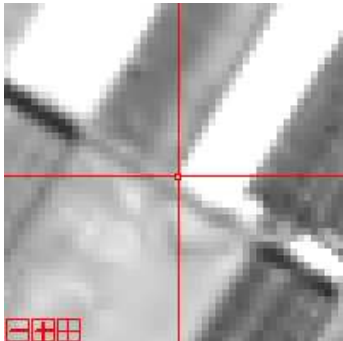
<표 4-67> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#15

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

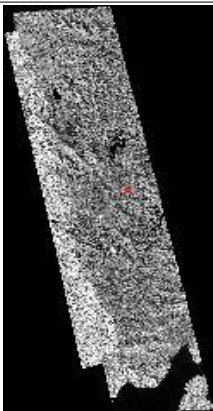
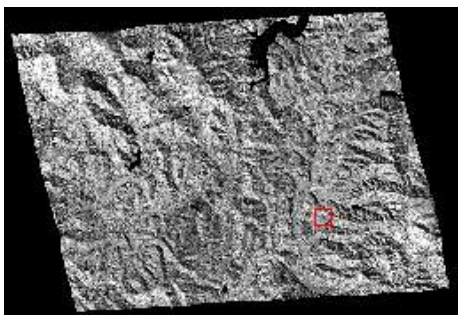
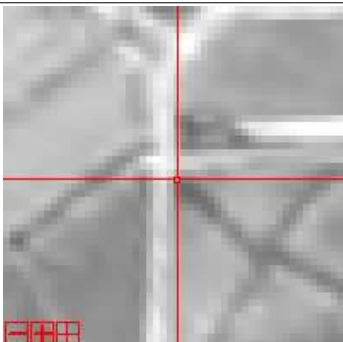
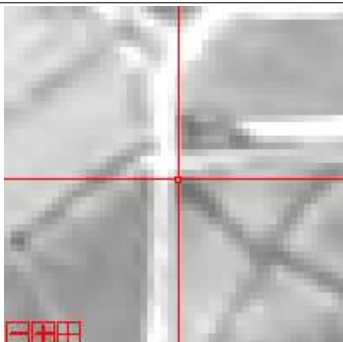
<표 4-68> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#16

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

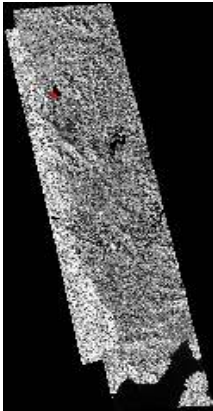
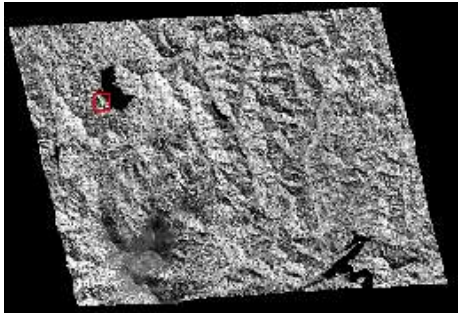
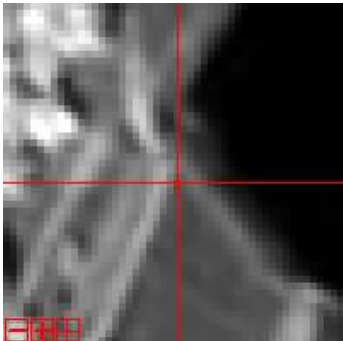
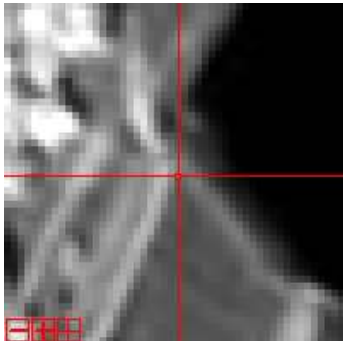
<표 4-69> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#17

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

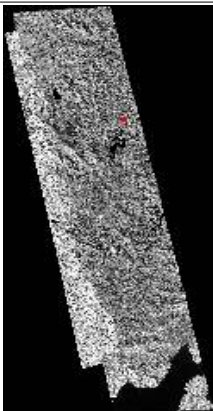
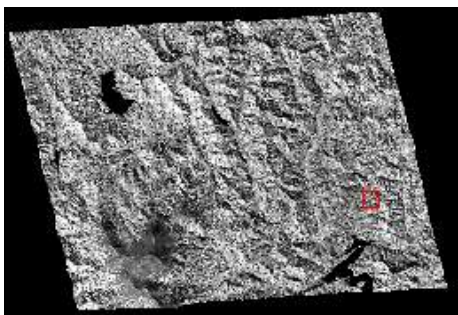
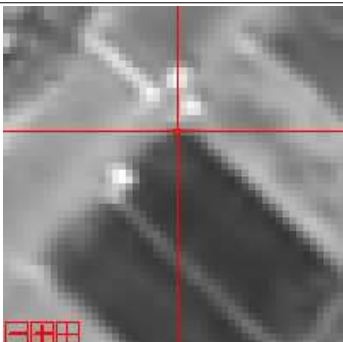
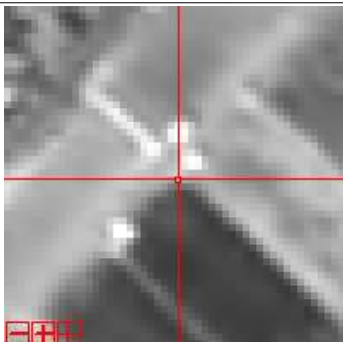
<표 4-70> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#18

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

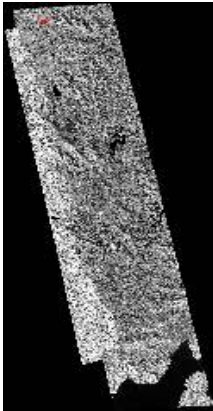
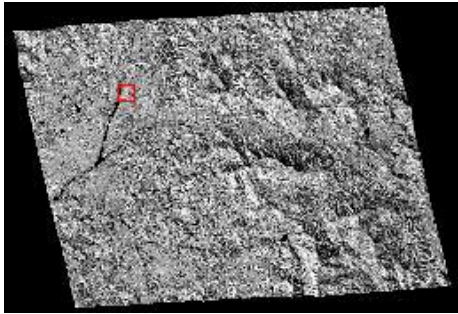
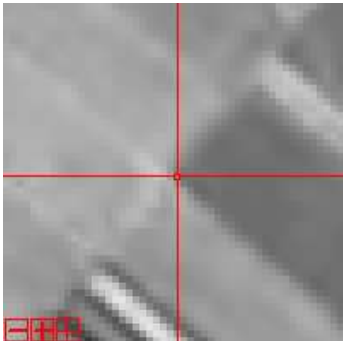
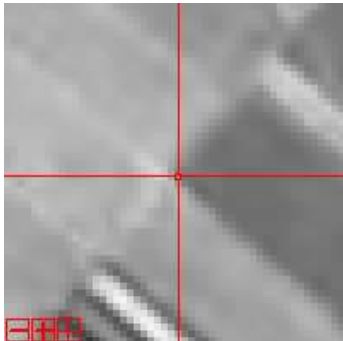
<표 4-71> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#19

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

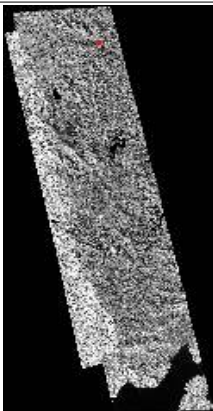
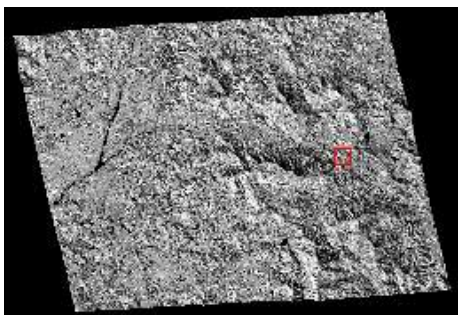
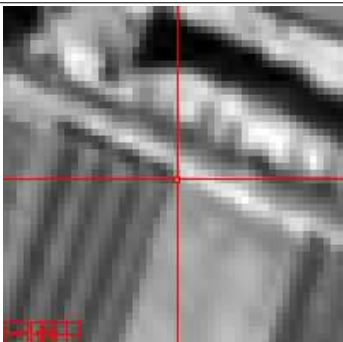
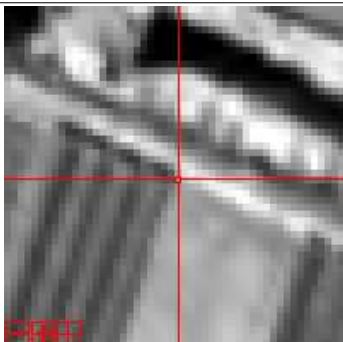
<표 4-72> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#20

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 4-73> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#21

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 4-74> KOMSAT-3A 영상(산악) - 검사점#22

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 4-75> KOMSAT-3A 영상(산악) 기하정확도 분석 결과

검사점	원본 영상				모자이크 영상				결과
	영상좌표		지상좌표		영상좌표		지상좌표		지상좌표 차이
	Col	Row	X	Y	Col	Row	X	Y	
#1	2133	6286	959469.0	1641484.0	7608	31890	959469.0	1641484.0	0.0
#2	4332	6299	963867.0	1641458.0	9807	31903	963867.0	1641458.0	0.0
#3	2527	7432	957619.0	1651761.0	6683	26752	957619.0	1651761.0	0.0
#4	2417	4772	957399.0	1657081.0	6573	24092	957399.0	1657081.0	0.0
#5	2927	5069	955688.0	1668957.0	5717	18154	955688.0	1668957.0	0.0
#6	5529	4821	960892.0	1669453.0	8319	17906	960892.0	1669453.0	0.0
#7	1237	3668	949441.0	1684368.0	2594	10448	949441.0	1684368.0	0.0
#8	5893	4767	958753.0	1682170.0	7250	11547	958753.0	1682170.0	0.0
#9	2597	4610	949449.0	1696072.0	2598	4160	949449.0	1696072.0	0.0
#10	6341	4798	956935.0	1694796.0	6341	5234	956935.0	1694796.0	0.0
#11	2304	3295	965154.0	1635488.0	10450	34888	965154.0	1635488.0	0.0
#12	8577	5153	977700.0	1631772.0	16723	36746	977700.0	1631772.0	0.0
#13	3671	3238	964848.0	1648241.0	10297	28512	964848.0	1648241.0	0.0
#14	7903	5577	973312.0	1643563.0	14529	30851	973312.0	1643563.0	0.0
#15	4875	5542	964249.0	1656254.0	9998	24505	964249.0	1656254.0	0.0
#16	7210	1546	968919.0	1664246.0	12333	20509	968919.0	1664246.0	0.0
#17	2600	4010	956635.0	1671973.0	6191	16646	956635.0	1671973.0	0.0
#18	7260	4772	965955.0	1670449.0	10851	17408	965955.0	1670449.0	0.0
#19	2407	2462	953215.0	1687700.0	4481	8782	953215.0	1687700.0	0.0
#20	8428	4328	965257.0	1683968.0	10502	10648	965257.0	1683968.0	0.0
#21	2914	1953	951191.0	1701359.0	3469	1953	951191.0	1701359.0	0.0
#22	7778	3484	960919.0	1698297.0	8333	3484	960919.0	1698297.0	0.0

총 11장의 영상에서 Strip별 2개의 임의점을 추출하여 총 22점에 대한 기하오차정보를 분석하였다. 모자이크작업을 진행했을 때 원본 영상의 기하정보가 손실되는지 확인하기 위해 모자이크영상과 원본 영상의 동일 좌표를 선택하여 실제 지상좌표의 차이를 확인하였다. 분석결과는 상단의 표와 같으며, 총 22개의 점에서 지상좌표 차이가 존재하지 않는 것을 확인할 수 있었고, 원본영상의 기하정보가 손실되지 않았다는 것을 확인할 수 있다.

(3) 화소값 보정 성능지표 분석

두 영상 간의 화소값을 기준 영상을 기준으로 보정해준다.

<표 4-76> 화소값 보정 성능 지표 분석

밴드	기준 영상	타겟 영상	히스토그램 교집합 유사도
Red	Strip#01	Strip#02	0.998727
Green	Strip#01	Strip#02	0.998988
Blue	Strip#01	Strip#02	0.997854
NIR	Strip#01	Strip#02	0.998476
평균			0.9985

Strip#01의 화소값을 기준으로 Strip#02의 화소값을 보정한 결과는 상단의 표와 같다. 총 4개의 밴드에서 히스토그램 유사도가 평균 0.9985로 측정됐다. 유사도가 1에 가까울수록 두 영상간의 화소값 차이가 없다는 것을 의미하기 때문에 화소값 보정이 제대로 이뤄졌다는 것을 확인할 수 있다.

4) KOMSAT-3A 영상자료 결과(도심)

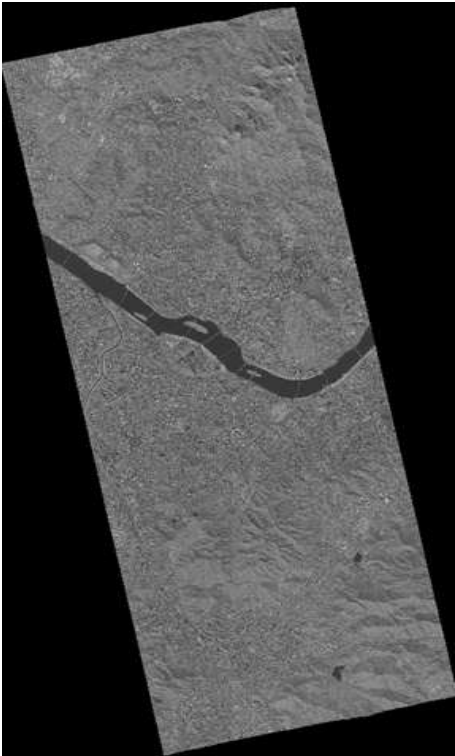

가) KOMSAT-3A 영상자료(도심) 시범제작 결과 영상

본 사업에서 개발된 모자이크 기법을 통해 시범제작을 수행하였다. 먼저 Strip-wise 다중영상 기법을 수행하여 동일 Strip의 영상간 모자이크를 먼저 수행하고, 이후 서로 Strip간 모자이크가 수행되었다. 각 모자이크에서는 개선된 Dijkstra 기반 기법을 적용하여 접합선을 추출하였으며, Histogram Matching 및 Alpha Bledning을 통해 화소값 보정을 수행하였다. 아래 결과는 각 Strip 별 모자이크 결과와 두 Strip간 모자이크를 통해 최종 산출된 모자이크 영상을 제시하였다. 시범제작 영상의 자세한 결과는 다음 표에서 확인할 수 있다.

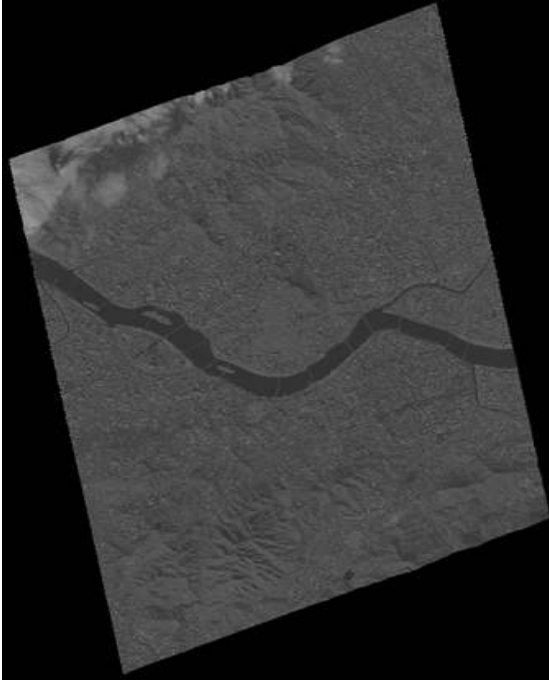
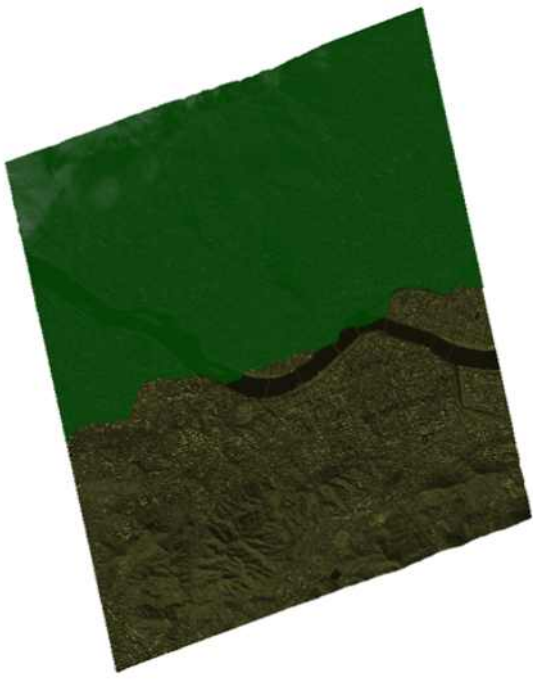
나) 시범제작 결과 품질 분석

국토위성영상 시범제작 결과 영상의 품질을 분석하기 위해 품질 분석 방안으로 제시된 접합선 육안분석, 기하정확도 분석, 화소값 보정 성능지표 분석을 수행하였다.

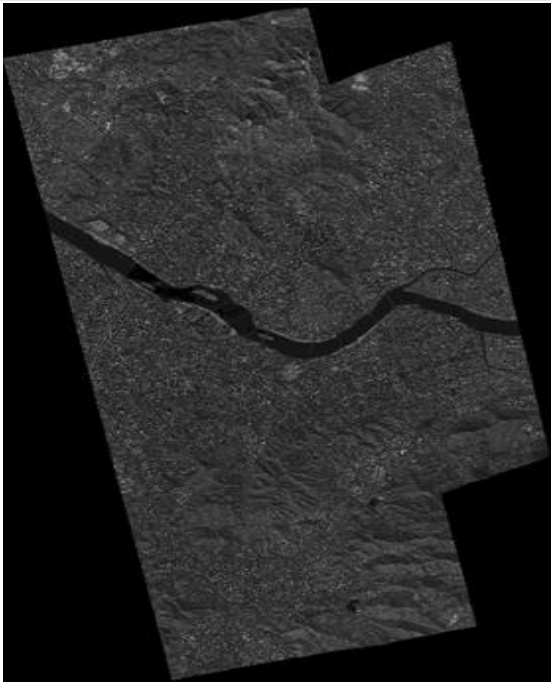
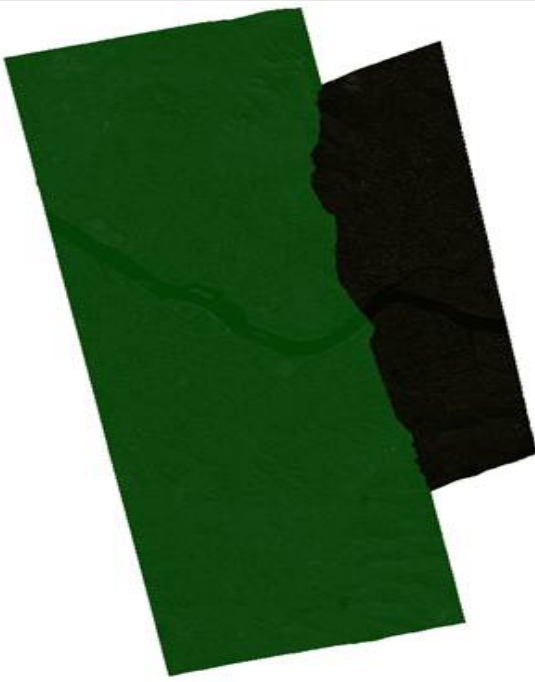
<표 4-77> KOMSAT-3A 영상자료(도심) 모자이킹 결과 Strip #01

Strip #01 KOMSAT-3A 영상자료(도심) 모자이킹 결과	
모자이크 영상	모자이크 영상(Masking)
	

<표 4-78> KOMSAT-3A 영상자료(도심) 모자이크 결과 Strip #02

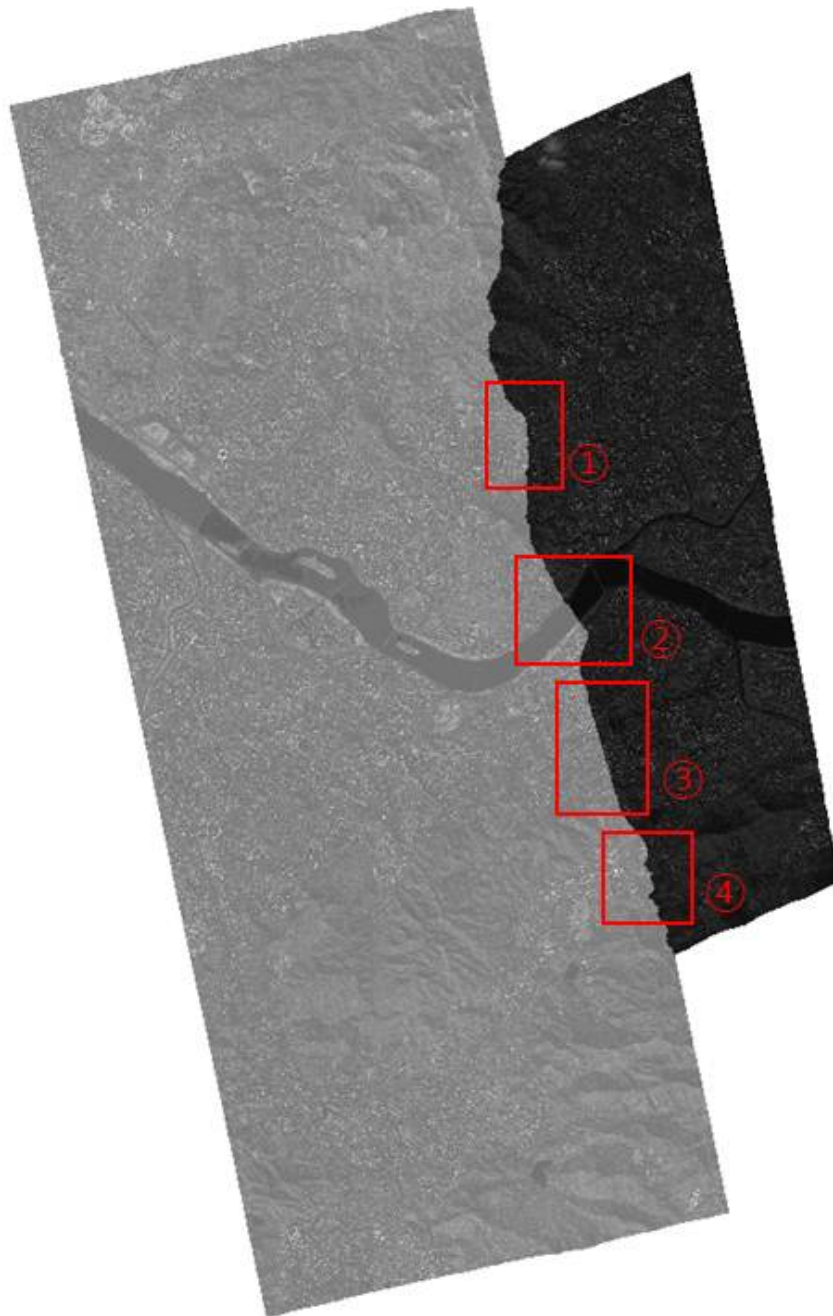
Strip #02 KOMSAT-3A 영상자료(도심) 모자이크 결과	
모자이크 영상	모자이크 영상(Masking)
	

<표 4-79> KOMSAT-3A 영상자료(도심) 결과

KOMSAT-3A 영상자료(도심) 결과	
모자이크 영상	모자이크 영상(Masking)
	

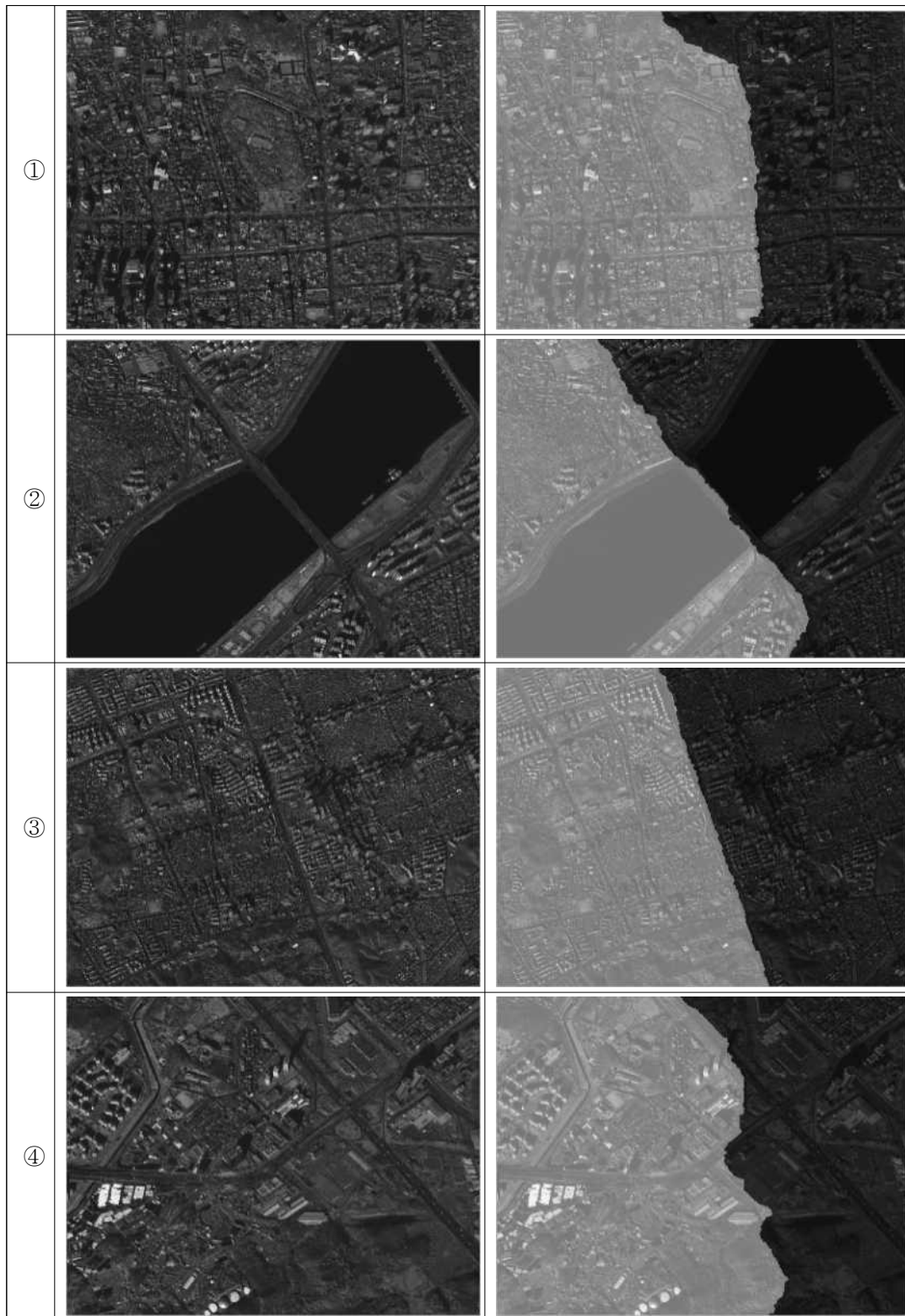
(1) 접합선 육안분석

추출된 접합선을 육안분석을 통해 분석한다.



<그림 4-4> KOMSAT-3A 영상자료(도심) 전체영상 및 육안분석 영역

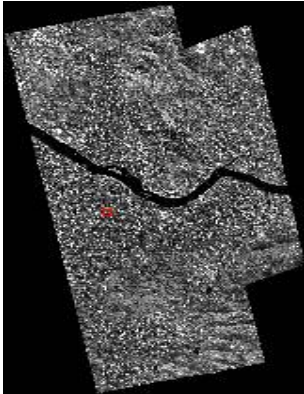
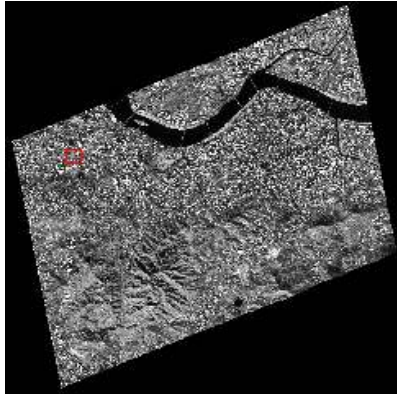
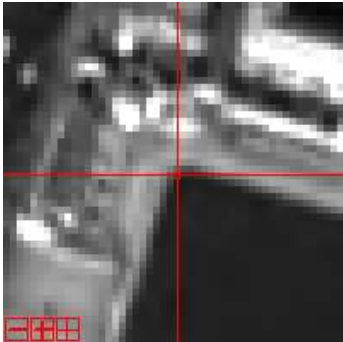
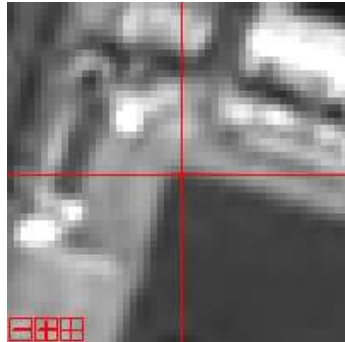
<표 4-80> KOMSAT-3A 영상자료(도심) 육안분석 영역



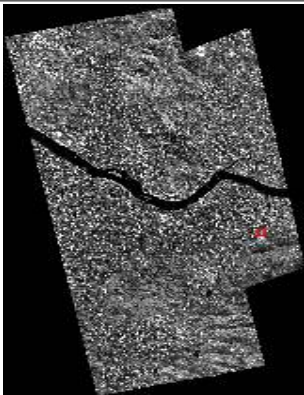
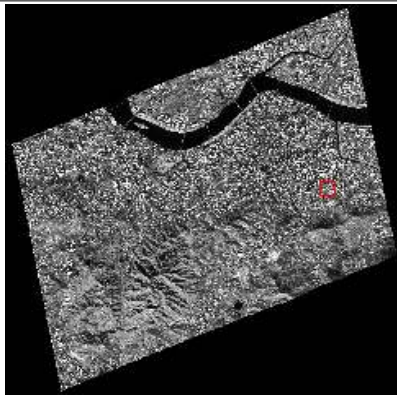
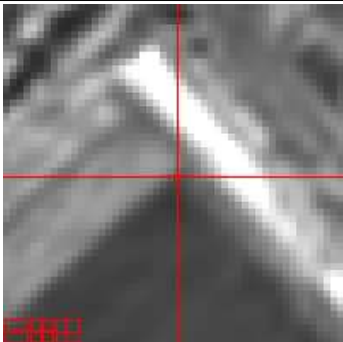
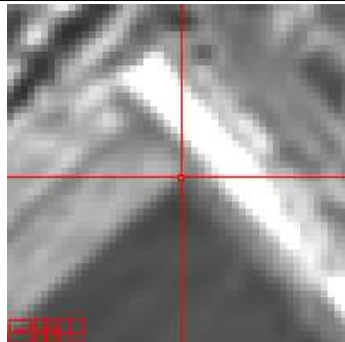
①,③,④는 도로의 선형정보를 파악하여 접합선이 추출 된 것을 확인할 수 있다. ②의 경우 교량, 다리의 선형정보를 파악하여 접합선이 추출됐다. 도심지의 경우 선형정보로 인식 될 수 있는 여러 요소가 존재하기 때문에 접합선 추출이 용이하다는 점을 알 수 있다.

(2) 기하정확도 분석

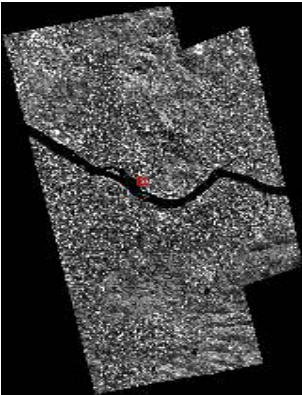
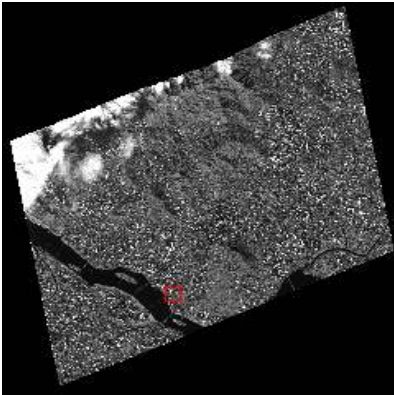
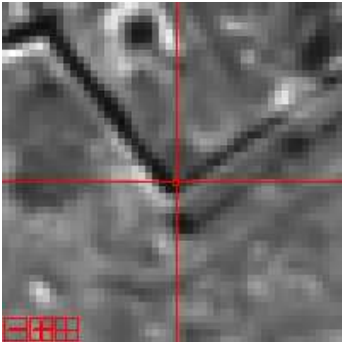
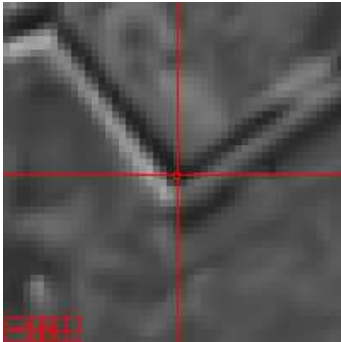
<표 4-81> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#1

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

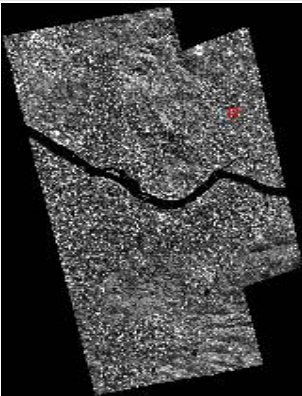
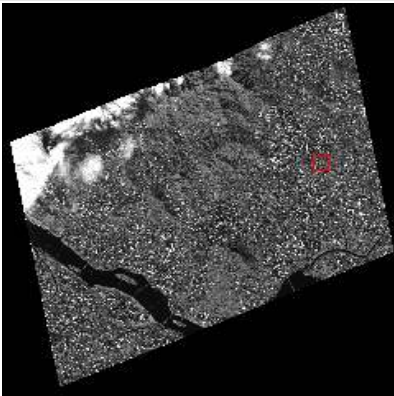
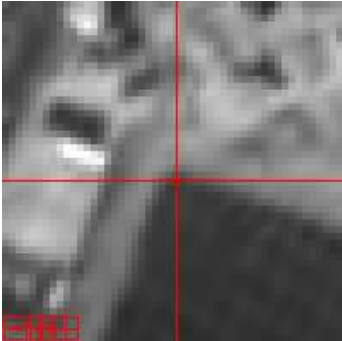
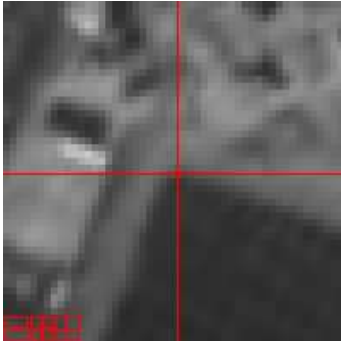
<표 4-82> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#2

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		


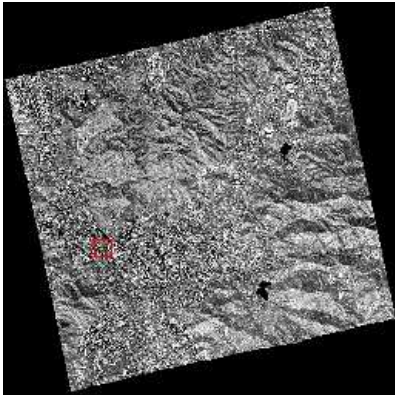
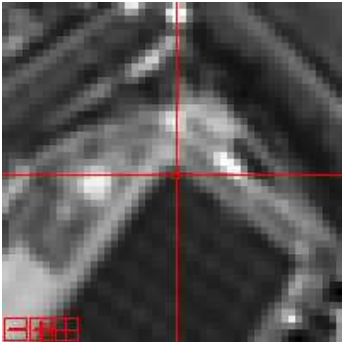
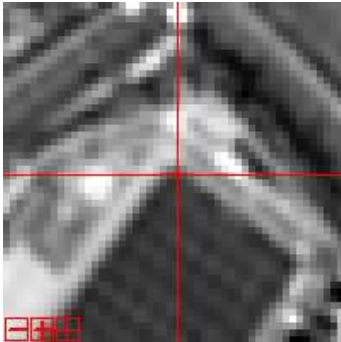
<표 4-83> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#3

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		


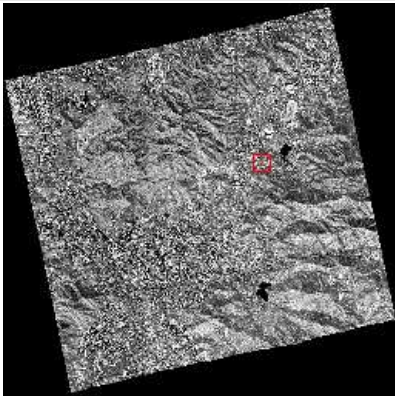
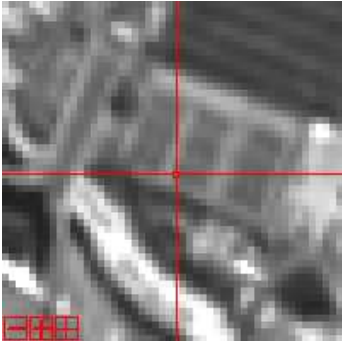
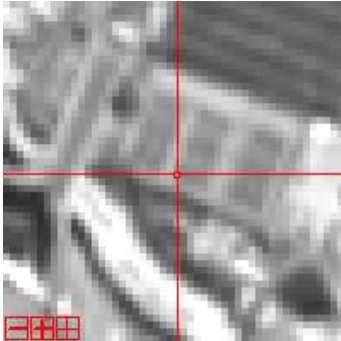
<표 4-84> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#4

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

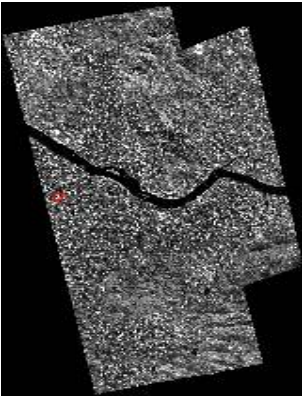
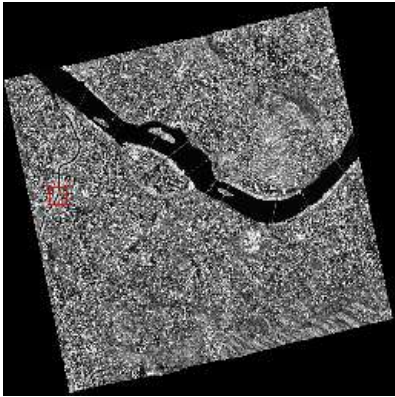
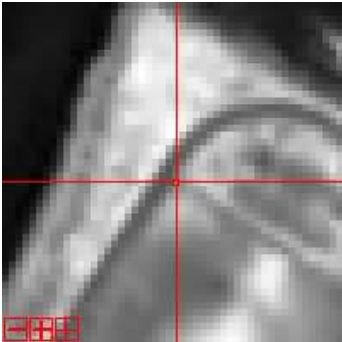
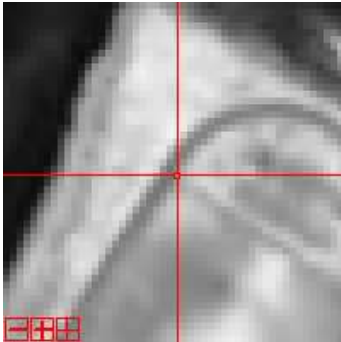
<표 4-85> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#5

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

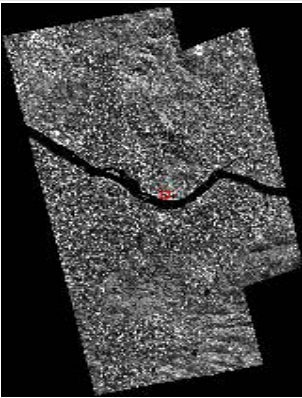
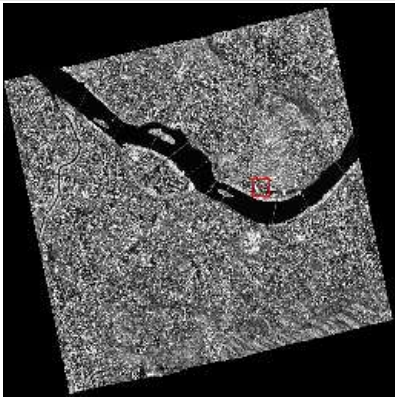
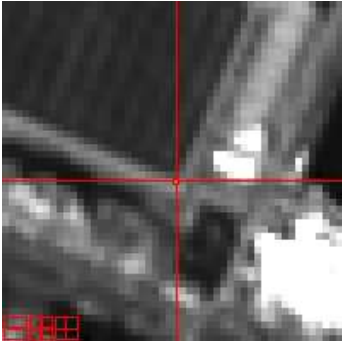
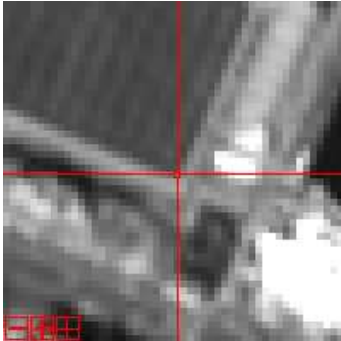
<표 4-86> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#6

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		


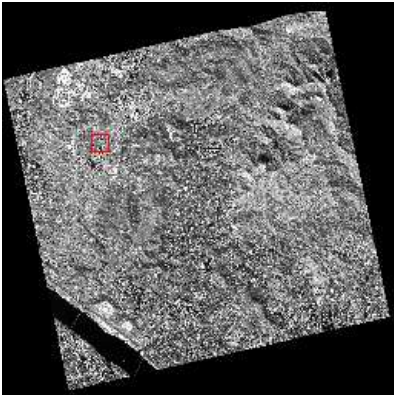
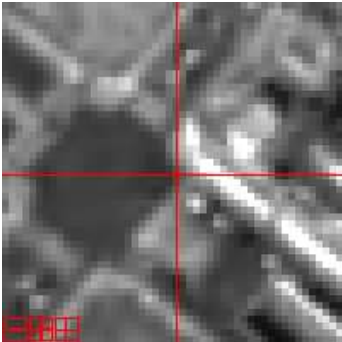
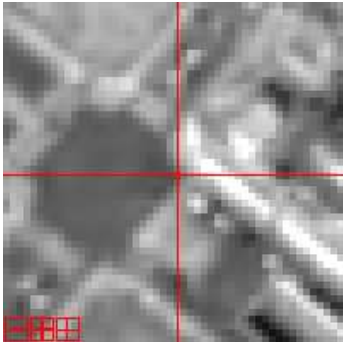
<표 4-87> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#7

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

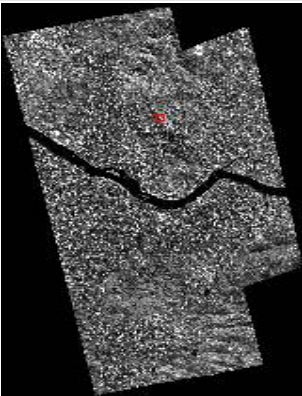
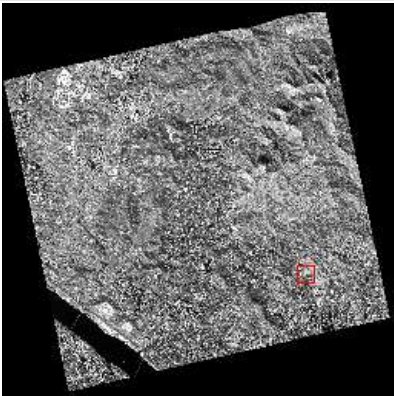
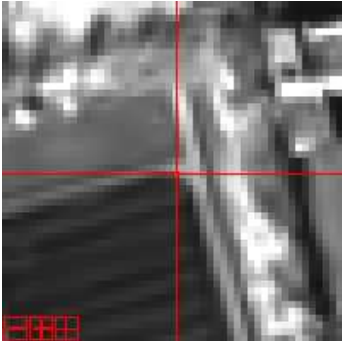
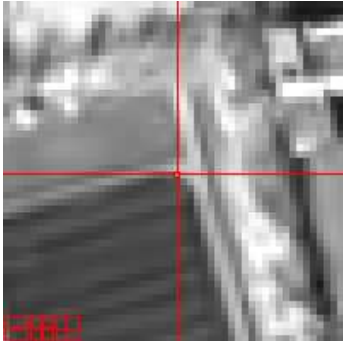
<표 4-88> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#8

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 4-89> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#9

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 4-90> KOMSAT-3A 영상(도심) - 검사점#10

	모자이크영상	원본영상
전체영상		
확대영상		

<표 4-91> KOMSAT-3A 영상(도심) 기하정확도 분석 결과

검사점	원본 영상				모자이크 영상				결과
	영상좌표		지상좌표		영상좌표		지상좌표		
	Col	Row	X	Y	Col	Row	X	Y	
#1	1707	4070	948868.0	1944833.0	4177	10399	948868.0	1944833.0	0.0
#2	7975	4872	961404.0	1943229.0	10445	11201	961404.0	1943229.0	0.0
#3	4245	7770	951876.0	1948022.0	5681	8804	951876.0	1948022.0	0.0
#4	7916	4260	959218.0	1955042.0	9352	5294	959218.0	1955042.0	0.0
#5	2071	5103	949374.0	1933053.0	4430	16289	949374.0	1933053.0	0.0
#6	5369	3326	955970.0	1936607.0	7728	14512	955970.0	1936607.0	0.0
#7	1156	3999	945217.0	1946450.0	2351	9590	945217.0	1946450.0	0.0
#8	5407	3808	953719.0	1946832.0	6602	9399	953719.0	1946832.0	0.0
#9	2068	2939	944650.0	1959753.0	2068	2939	944650.0	1959753.0	0.0
#10	6386	5639	953286.0	1954353.0	6386	5639	953286.0	1954353.0	0.0

원본영상과 모자이크 영상 사이의 실제 지상좌표를 비교하여 원본 영상의 기하정보가 손실 됐는지를 확인한다. 총 5장의 영상에서 임의의 10개 점을 추출하여 기하정확도를 확인하였다. 기하정확도 분석결과는 상단의 표와 같으며 지상좌표의 차이가 없는 것을 확인할 수 있었으며, 그에 따라 원본 영상의 기하정보가 손실 되지 않았음을 할 수 있었다.

(3) 화소값 보정 성능지표 분석

기준영상 대비 타겟 영상의 화소값 보정을 통해 두 영상간의 화소값을 비슷하게 맞추는 보정작업을 진행한다.

<표 4-92> 화소값 보정 성능 지표 분석

밴드	기준 영상	타겟 영상	히스토그램 교집합 유사도
Red	Strip#02	Strip#01	0.998901
Green	Strip#02	Strip#01	0.998959
Blue	Strip#02	Strip#01	0.999327
NIR	Strip#02	Strip#01	0.999056
평균			0.9991

두 영상 간의 히스토그램 유사도를 파악하여 화소값 보정이 제대로 적용 됐는지 확인한다. 보정결과는 상단의 표와 같으며, 4개 밴드에서의 히스토그램 교집합 유사도를 분석한 결과 평균 0.9991 값으로 두 영상 간의 화소값이 유사하다는 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라 화소값 보정이 제대로 적용 됐다는 것을 확인할 수 있다.

제5장

촬영 기하별 영상 모자이킹 결과 분석 (추가 제안사항)

1. 촬영기하 별 영상 모자이킹 실험
2. 모자이크 영상제작을 위한 국토위성 촬영 방식 제안

본 장에서는 국토위성정보 산출물 가공기술 SW 사업의 추가 제안사항인 촬영기하별로 영상 모자이킹 결과를 분석하여 촬영기하가 모자이크 영상 생성에 어떤 영향이 있는지를 분석하고, 만약 영향이 존재한다면 모자이크 영상 제작을 위해서 요구되는 국토위성의 촬영 방식을 제안하고자 작성되었다.

추가 제안사항에 대한 실험을 위해 본 문서에서는 위성영상 촬영 기하정보 중 촬영각에 따른 모자이킹 결과물 분석을 수행한다. 이때, 촬영각 roll, pitch, yaw 중 yaw는 위성 영상 기하에 영향을 끼치지 않기 때문에 결과물 분석 대상에서 제외하고, roll, pitch에 한하여 roll은 최대 33도, pitch는 20도의 차이가 있는 영상에 대한 분석을 수행하고 문서를 작성하였다.

1. 촬영기하 별 영상 모자이크 실험

가. 실험 자료

촬영 기하별 모자이크 영상 생성 가능성 분석을 위한 실험에는 국토위성 5개 Strip 촬영자료를 사용하였다. 동일한 Strip은 roll, pitch, yaw에 대하여 유사한 조건으로 촬영되었기 때문에 제외하고 서로 다른 Strip에서 동일 지역에 대해 중첩되어있는 영상을 한 장씩 선별하였다. 이때 모자이크 실험은 모자이크 영상의 품질을 가장 확실하게 확인할 수 있는 도심지역과 산림지역에 대해서 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 영상은 모자이크 성능을 분석할 만큼 넓은 농업지역이 포함되어 있지 않았고 실험에 사용한 도심지역이 대부분 평지이고 고층건물이 없는 지역이라 농업지역과 유사한 특징을 보여서 별도의 농업지역 분석은 수행하지 않았다.

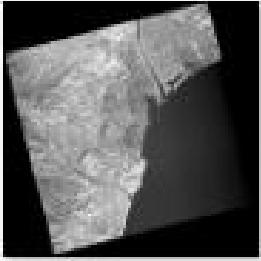
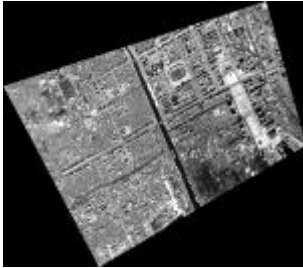
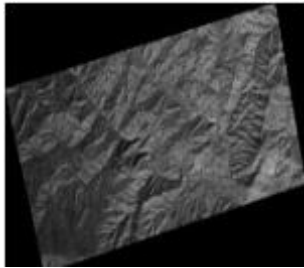
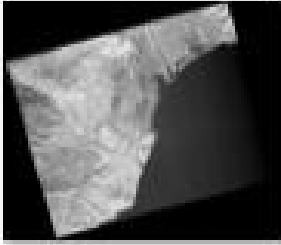
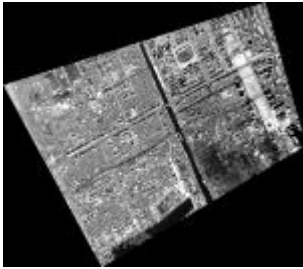
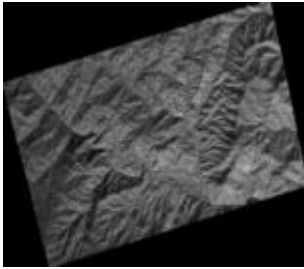
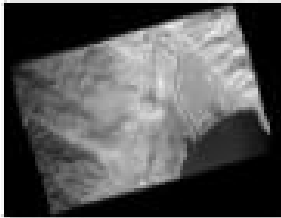
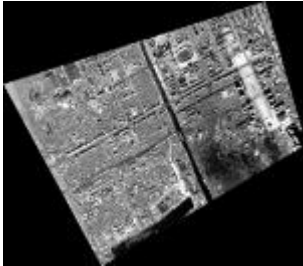
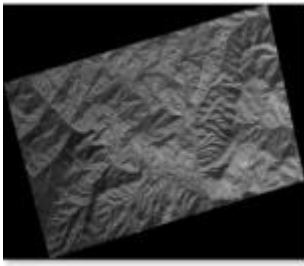
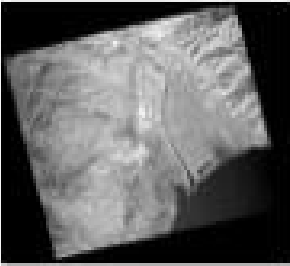
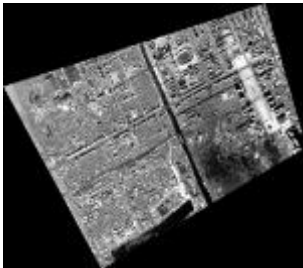
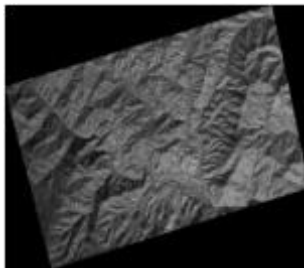
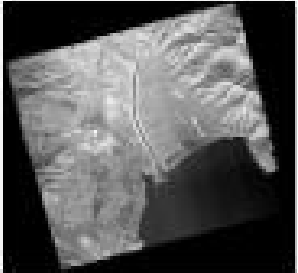
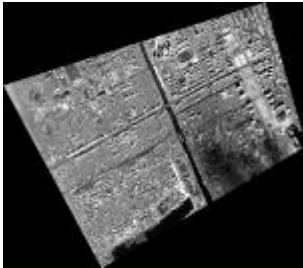
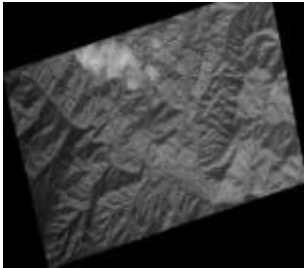
추가 제안사항 확인을 위한 실험 자료는 아래 표에서 확인할 수 있다. Strip #01의 경우 기준 영상으로 정사에 가까운 형태로 촬영되어 촬영각 roll, pitch, yaw가 0에 가까운 것을 확인할 수 있다. Strip #02, #03, #04의 경우 roll을 각각 13, 23, 32도씩 회전하여 촬영되었으며, Strip #04의 경우 pitch를 20도 정도 회전하여 촬영하여 기준 영상 대비 촬영 영상들의 촬영 기하조건에 따른 모자이크 품질을 분석하였다.

<표 5-1> Strip별 촬영일 및 촬영각도

Strip 번호	촬영일	Roll각도 (°)	Pitch 각도 (°)	비고
Strip #01	2021. 10. 11	-1.0	0.0	연직촬영
Strip #02	2021. 10. 21	-13.1	-0.5	
Strip #03	2021. 10. 26	-23.2	-0.8	
Strip #04	2021. 10. 30	-32.4	-1.1	
Strip #05	2021. 11. 4	-4.1	-20.0	

다음 그림은 실험에 사용한 영상을 보여준다. 각 영상들은 동일 지역은 포함하고 있지만 촬영영역이 서로 일치하지는 않는다. 따라서 촬영기하별로 동일한 영역에 미치는 효과를 분석하기 위해서 각 영상에 대해서 관심영역(ROI)을 추출하여 모자이크 실험을 수행하였다.

<표 5-2> 영상별 관심영역(ROI)

Strip 번호	원본영상	도심지역 ROI	산림지역 ROI
01			
02			
03			
04			
05			

나. 촬영 기하별 모자이크 실험

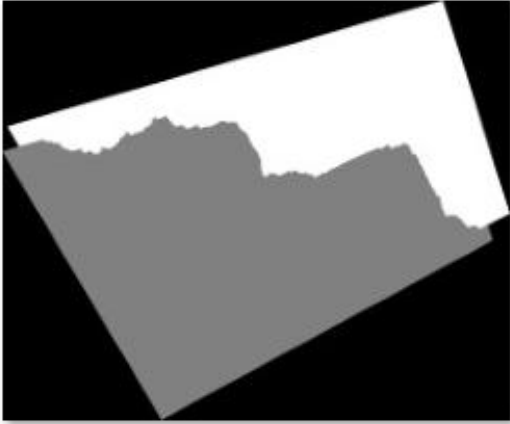
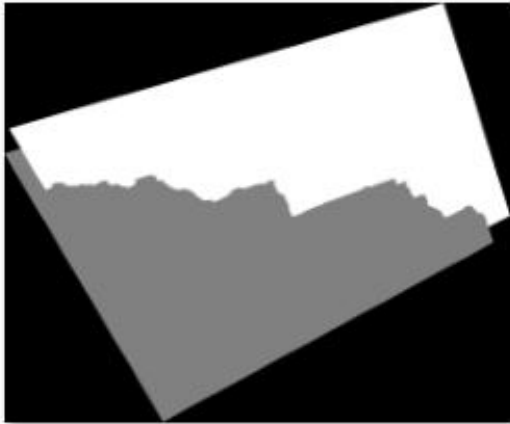
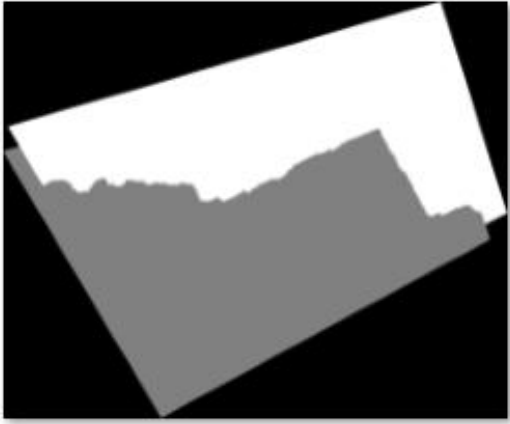
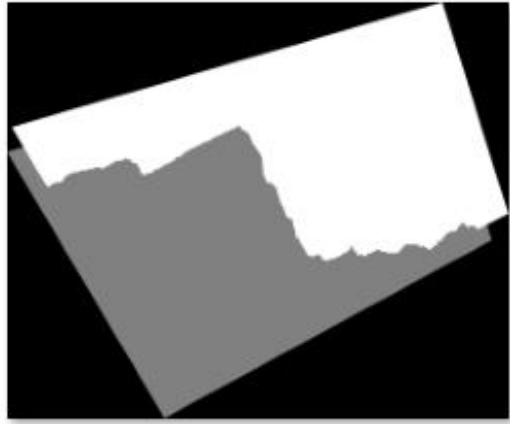
연작촬영된 Strip #01 영상을 기준으로 다른 각도로 촬영된 영상들과 모자이크를 실시하여 영상의 촬영기하가 모자이크 추출의 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 먼저 모자이크를 위한 영상 페어 구성을 아래의 표로 정리한다. 연직촬영으로 취득한 Strip #01을 기준으로 다른 영상을 이용하여 모자이크를 수행하였다. 각도의 차이는 Roll 방향 (동서방향)으로 $12^{\circ} \sim 31^{\circ}$ 의 범위를 가지며 Pitch방향 (남북방향)으로 20° 를 가지는 Pair를 사용하였다.

<표 5-3> 영상 Pair별 각도차이

Pair 명	기준 영상	참조 영상	각도차이 ($^{\circ}$)	각도방향
#01-02	Strip #01	Strip #02	12.1	Roll (동서방향)
#01-03	Strip #01	Strip #03	22.2	Roll (동서방향)
#01-04	Strip #01	Strip #04	31.4	Roll (동서방향)
#01-05	Strip #01	Strip #05	20.0	Pitch (남북방향)

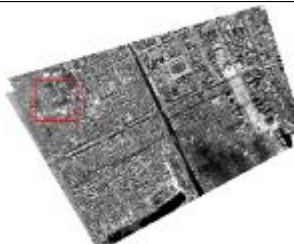








먼저 도심지역 ROI영상에 대해서 Pair별로 기준영상 (Strip #1)과 참조영상에 대해서 추출된 접합선 및 모자이크 적용영역을 아래의 그림에 나타내었다. 아래의 그림에서 하얀색 영역이 기준영상이 적용된 영역이고 회색영역이 참조영상이 적용된 영역에 해당한다. 그림에서 알 수 있듯이 실제 추출된 접합선의 위치는 영상에 따라서 상당한 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 이는 본 사업에서 개발한 자동 접합선 추출 기술을 적용하여 얻어진 결과에 기인한다. 그러나 접합선이 서로 다른 Pair에서 서로 다른 위치에서 추출되기 때문에 모든 Pair에서 동일한 영역에 대한 모자이크 성능 분석을 진행할 수는 없었던 한계가 있었음을 밝혀둔다.

<표 5-4> 도심지역 모자이크 적용영역

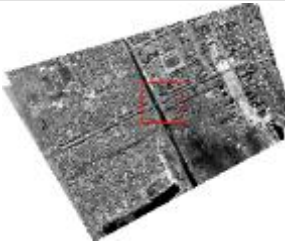
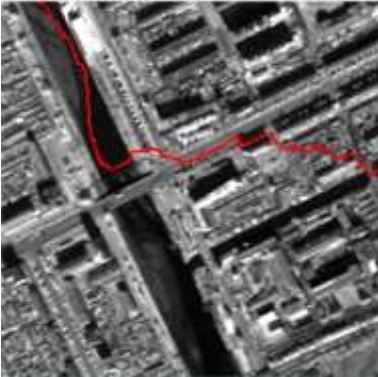







Pair #01-02 모자이크 적용영역	Pair #01-03 모자이크 적용영역
	
Pair #01-04 모자이크 적용영역	Pair #01-05 모자이크 적용영역
	

다음의 그림은 도심지역 ROI에 대해서 각 Pair별로 접합선이 추출된 부근의 모자이크 영상 결과로 접합선을 표시한 영상 (좌측)과 접합선이 표시되지 않은 영상 (우측)을 보여준다. 육안분석 결과는 모든 Pair에서 모자이크 접합선이 잘 드러나지 않도록 영상이 모자이크 되었음을 확인할 수 있다. 촬영각도의 차이에 따라서 접합선 근처에서 왜곡이 커지는 현상은 관찰되지 않았다. 그러나, 촬영각도가 커질 경우 모자이크 영상에 사용한 영상 자체에서 건물의 전면이 관측되는 등 연직촬영에 비해서 왜곡요소가 발생하였다. 그리고 정밀정사영상을 제작하는 과정에서 촬영기하가 커질수록 DEM 정확도에 더 영향을 많이 받게 되어 위치오차를 더 많이 가지게 된다. 이러한 요소들이 모자이크 영상 생성에 영향을 주게 된다. 그러나 상기한 왜곡요소는 모자이크 생성과정에서 발생하는 오차라기보다 원본 영상을 정밀정사영상으로 제작하는 과정에서 발생하는 오차로 볼 수 있다. 따라서 평지로 구성된 도심지역 ROI영상에서는 모자이크 생성에 있어서 촬영기하에 따른 접합선 추출 왜곡현상은 발생하지 않았다고 결론 지을 수 있다.

<표 5-5> 도심지역 (좌)접합선 표시 영상 (우)접합선 미표시 영상 비교1

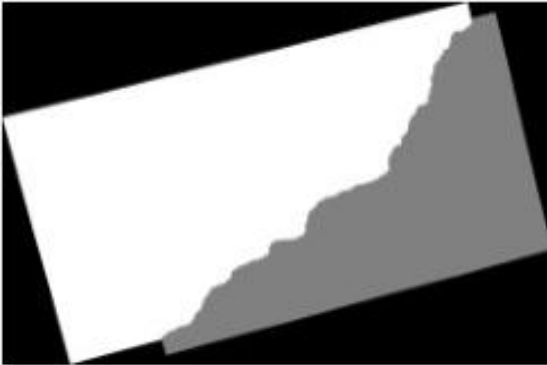



추출 영역 (도심 지역)		
Pair #01-02		
Pair #01-03		
Pair #01-04		
Pair #01-05		

<표 5-6> 도심지역 (좌)접합선 표시 영상 (우)접합선 미표시 영상 비교2

추출 영역 (도심 지역)		
Pair #01-02		
Pair #01-03		
Pair #01-04		
Pair #01-05		

다음은 산림지역 ROI에 대한 Pair별 영상모자이크 결과를 보여준다. 각 그림에서 흰색영역이 모자이크 영상제작에 Strip #01번이 사용된 영역이며 회색영역이 참조영상이 적용된 영역이다. 도심지역의 경우와 마찬가지로 산악지역 ROI에서도 유사하게 Pair별로 추출된 접합선의 위치는 상당히 다르게 나타났다. 특히 산악지역은 촬영각도에 따른 영상의 밝기값의 차이가 도심지역에 비해서 더 다르게 나타나서 추출된 접합선의 상이성도 도심지역보다 크게 나타난 것으로 생각된다.

<표 5-7> 산림지역 모자이크 적용 영역

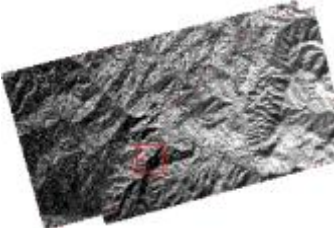
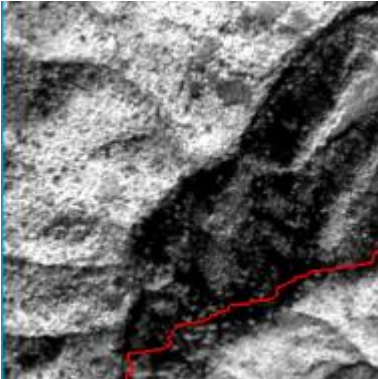
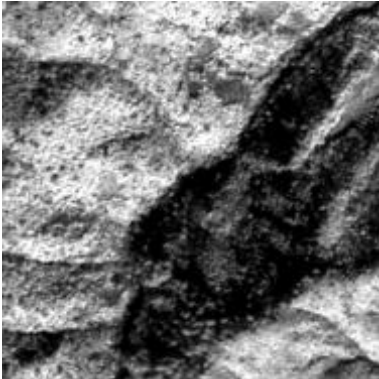
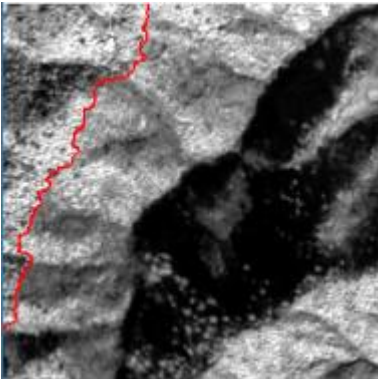

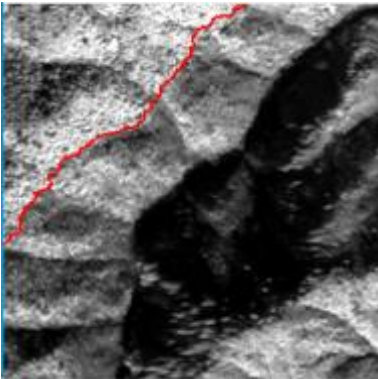
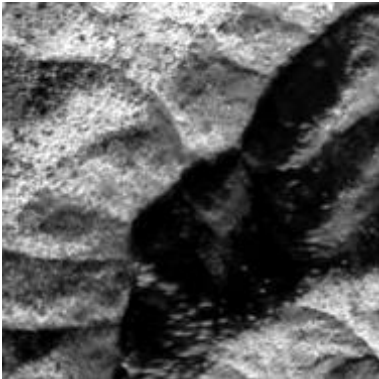
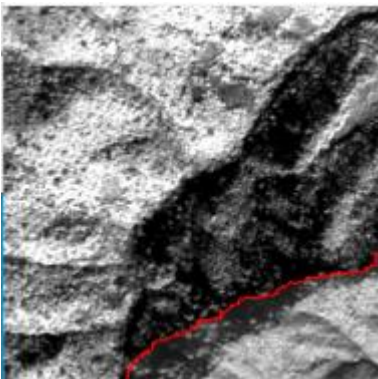
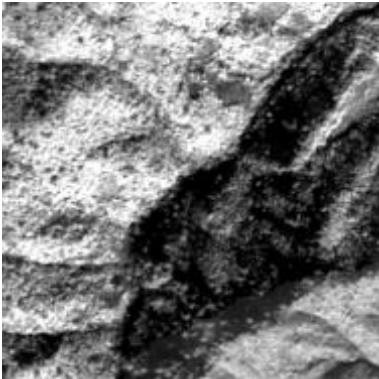
Pair #01-02 모자이크 적용영역	Pair #01-03 모자이크 적용영역
	
Pair #01-04 모자이크 적용영역	Pair #01-05 모자이크 적용영역
	

다음의 두 그림은 산림지역 ROI에 대해서 각 Pair별로 접합선이 추출된 부근의 모자이크 영상 결과로 접합선을 표시한 영상 (좌측)과 접합선이 표시되지 않은 영상 (우측)을 보여준다. 두 번째 그림에서는 모든 네 개 Pair에서 모두 접합선이 검출된 영역을 찾기 어려워서 Pair#01-04 모자이크 결과는 접합선 추출한 영역이 없으나 다른 영상들과의 비교를 위해서 수록하였다.

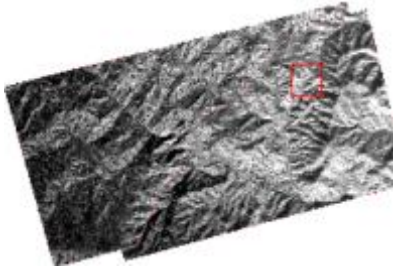
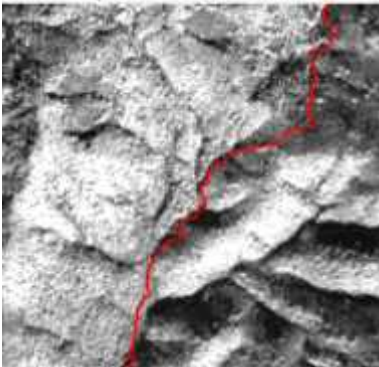


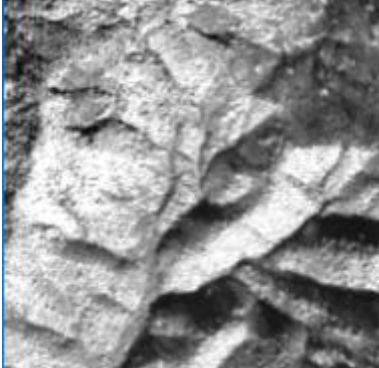
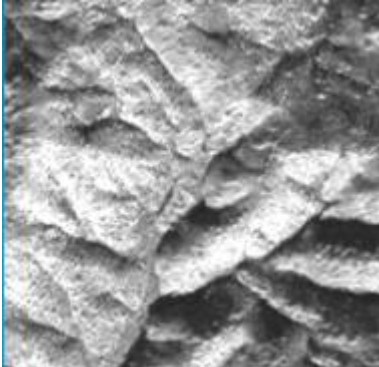
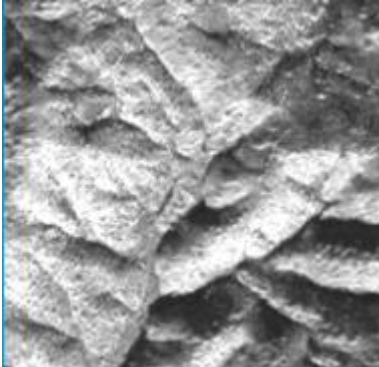
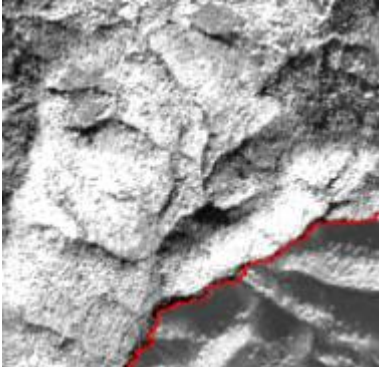
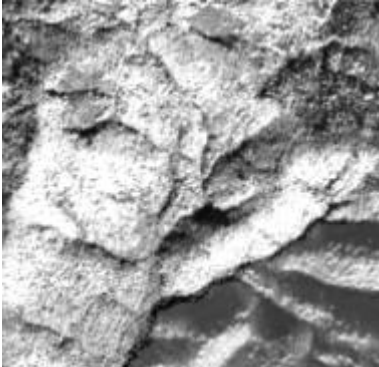
도심지역과 마찬가지로 육안분석 결과는 모든 Pair에서 모자이크 접합선이 잘 드러나지 않도록 영상이 모자이크되었음을 확인할 수 있다. 도심지역의 경우와 같이 촬영각도의 차이에 따라서 접합선 근처에서 왜곡이 커지는 현상은 관찰되지 않았다. 따라서 기복이 심한 산림지역 ROI영상에서도 모자이크 생성에 있어서 촬영기하에 따른 접합선 추출 왜곡현상은 발생하지 않았다고 결론 지을 수 있다.

앞선 도심지역의 분석에서는 촬영각도가 증가함에 따라서 건물의 옆면이 관측되는 등 원본 정밀정사영상의 왜곡이 심해져서 이 왜곡이 모자이크 영상에도 전파되는 현상을 관측할 수 있었다. 그러나 산악지역의 경우는 관측영역 전역에서는 지표면 높낮이의 변이가 도심지역보다 크지만 도심지역의 고층건물과는 달리 인접 픽셀에서의 높이 불연속면이 존재하지 않으므로 촬영각도가 커짐에 따라서 원본 정밀정사영상의 왜곡이 커지는 현상이 관측되지는 않았다. 다만, 이는 영상의 가시성 측면에서의 왜곡이 늘어나지 않았다는 것을 의미할 뿐, 촬영각도 증가에 따른 정밀정사영상의 위치정확도 감소는 여전히 존재한다. 결론으로, 산악지역에서는 높이 불연속면에 따른 가시성 왜곡이 도심지역과는 달리 거의 발생하지 않으므로 도심지역보다 더 높은 촬영각도를 가진 영상을 이용해도 시각적으로 큰 왜곡이 없는 정사영상 제작 및 모자이크 영상제작이 가능하다고 판단된다.

<표 5-8> 산림지역 (좌)접합선 표시 영상 (우)접합선 미표시 영상 비교1

추출 영역 (산림 지역)				
Pair #01-02				
Pair #01-03				
Pair #01-04				
Pair #01-05				

<표 5-9> 산림지역 (좌)접합선 표시 영상 (우)접합선 미표시 영상 비교2

추출 영역 (산림 지역)		
Pair #01-02		
Pair #01-03		
Pair #01-04		
Pair #01-05		

2. 모자이크 영상 제작을 위한 국토위성 촬영 방식 제안

본 문서에서는 국토위성정보 산출물 가공기술 SW 사업의 추가 제안사항인 촬영기하 차이로 인해 모자이크 영상제작 과정에서 형상학적 왜곡이 발생하는 지를 분석하였다. 연직촬영 영상, Roll방향 13°, 22°, 31° 경사촬영영상 및 Pitch방향 20도 촬영한 영상을 조합하여 촬영기하에 따른 접합선 부근의 추가적인 왜곡이 발생하는 지를 살펴보았다. 촬영기하가 모자이크 영상에 미치는 영향에 대한 분석결과는 다음과 같다.

첫째, 촬영기하가 다른 영상을 조합하여 모자이크 영상을 생성하는 경우, 접합선은 Pair별로 상당히 다르게 나타났고 특히 산악지역의 접합선 상이성은 도심지역에 비해서 더 크게 나타났다. 그러나 이 현상은 같은 기준영상을 사용하여도 참조영상의 밝기값이 다르면 자동 추출된 접합선이 달라지는 접합선 추출 알고리즘 고유의 특성이므로, 촬영기하에 따른 특성으로 보기는 어려운 측면이 있다.

둘째, 모자이크에 사용되는 영상의 촬영기하가 달라져도 접합선 부근의 왜곡은 특별히 관측되지 않았다. 이는 본 사업에서 개발된 자동 모자이크 기술의 강인성을 보여주는 좋은 사례로도 볼 수 있다. 그러나 35° 이상의 고경사 촬영영상과 연직촬영 영상을 조합하는 경우에도 강인성이 유지되는 지는 추가 실험을 통한 분석이 필요하다.

셋째, 모자이크에 사용되는 정밀정사영상의 정확도는 촬영기하에 크게 영향을 받게 되며 정밀정사영상의 정확도는 모자이크 영상의 성능에 영향을 주게 된다. 고층 건물 등 높이불연속면을 많이 가지고 있는 도심지역의 경우 촬영각도 13° 영상에서는 연직촬영영상과 큰 차이를 보이지 않았으나, 22° 영상에서는 모자이크에 사용된 원본 정밀정사영상에 건물 옆면이 관측되었고 이는 모자이크 영상의 가시성 저하로 이어지게 되었다. 따라서 도심지역 모자이크 영상생성을 위해서는 가급적 15° 이내의 촬영각도를 가지고 촬영하는 것을 권장하는 바이다. 반면 산림지역의 경우는 도심지역에 비해서 높이불연속면이 발생하지 않으므로 촬영각도가 높아짐에 따른 가시성 저하현상은 관측되지 않았다. 따라서 산림지역 모자이크에는 촬영각도 30°까지도 허용될 수 있을 것으로 판단된다.

제6장

결론

2021년 3월 22일에 발사된 국토위성 1호로부터 국토지리정보원 국토위성센터에서는 정밀기하보정과 정밀정사보정을 적용한 정밀정사보정영상을 국토위성정보 산출물로 생산하고 있다. 본 보고서에서는 이 산출물을 추가 가공하여 영상지도 서비스를 제공하기 위해서 필요한 핵심기술을 개발하였다. 일반 사용자들의 경우 관심영역에 대해 scene 단위의 여러 장의 영상을 사용하는데 불편함을 느끼고 있고, 전문적인 영상기반 분석 분야에서는 영상 내에 존재하는 무용(無用)영역으로 인해 산출물 활용에 한계가 있다. 따라서 본 사업에서는 국토위성정보 산출물의 자동모자이크 기능 고도화와 무용영역 추출 및 복원기술을 개발하였고 해당 기술을 SW로 구현하여 기 구축된 시스템에 연계하였다.

본 사업에서는 먼저 고용량 고해상도 국토위성정보 산출물의 모자이크 기술을 개발하였다. 기술조사를 통해 국토위성정보 산출물에 적합한 4가지의 대표 알고리즘(Voronoi Diagram, MAGDS(Minimum Absolute Gray Difference Sum), Dijkstra, Graph-Cut 기반 모자이크 기술)을 선정하였다. 이후 대표 알고리즘 분석 및 구현을 통해 Dijkstra 기반 접합선 추출 알고리즘을 국토위성정보 산출물 모자이크를 위한 알고리즘으로 선정하였다. 선정된 Dijkstra 기반 모자이크 알고리즘의 성능을 개선하기 위하여 Graph-cut 기반 모자이크 알고리즘과 비교분석을 수행하였고, 그 결과 Dijkstra 기반 알고리즘의 약점인 단순한 그래프 구성을 개선하였다.

다중 영상 모자이크 처리를 위해서는 먼저 Pair-wise 접합선 추출 알고리즘과 Strip-wise 접합선 추출 알고리즘을 구현하였다. Strip-wise 접합선 추출에서는 접합선 추출의 효율성을 높이기 위해 먼저 동일 Strip 영상간 모자이크를 먼저 수행하고 이후 Strip 간 접합선 추출을 수행하였다. 이를 통해 접합선이 훨씬 효율적으로 산출되는 것을 확인할 수 있었다.

마지막으로 입력영상 간 화소값 보정 및 영상 집성 기술 개발을 개발하여 모자이크 기술을 완성하였다. 화소값 보정의 경우 Histogram Matcing 기반 초기 화소값 보정을 먼저 수행하고, 접합선 추출 후, 접합선 인근 영역에 대해 Alpha Blending 기반 추가 보정을 수행하였다. 영상 집성의 경우 접합선 추출을 통해 영상 마스크를 산출하고 영상 마스크를 기반으로 각 입력영상을 모자이크 그리드에 재배열하여 최종적으로 여러장의 영상을 한 장의 모자이크 영상으로 산출하였다.

국토위성정보 산출물 가공기술 SW의 무용 영역 추출 기술 개발을 위해 워터셰드 기반의 무용 영역 객체 분할을 수행하고 사용자가 일부 선택한 객체 영역에 기초하여 히스토그램 역 투영을 통해 전체 무용 영역을 검출하였다. 무용 영역의 경계 부분을 충분히 포함할 수 있도록 형태학적 연산을 적용하여 무용 영역 마스크를 생성하였다.

참조 영상을 이용한 무용 영역 복원을 위해 순차적 국부 방사 보정을 이용한 참조 영상 기반의 무용 영역 복원을 구현하여 보간 결과 영상에서 무용영역이 자연스럽게 보간된 결과를 얻을 수 있었다. 동일 영상을 이용한 무용 영역 복원은 기존의 inpainting 알고리즘의 무용 영역 복원 적용에 한계가 있음을 확인하고 무용 영역 주변의 분광 특성과 유사한 영역 정보를 자동 탐색하여 복원하는 방법을 개발하였다.

개발된 기술은 국토위성정보 산출물 가공기술 SW로 구현되었고 SW 설계 및 시험결과를 요구 사항정의서, 기본설계서, 상세설계서 및 SW 시험문서로 정리하였다. 개발된 SW는 모자이크 및 무용영역 처리 작업을 중심으로, 기 개발된 국토위성정보 수집 및 활용시스템과 연계되어 위성영상 검색 작업, 프로젝트 관리 작업, 영상 뷰어 작업이 개별적으로 구성되고 연동되도록 개발되었다. 또한 대용량 위성영상을 처리를 위한 고성능 가공기술 엔진과 사용자 친화적인 사용자 인터페이스가 개발하였다.

또한, 실제 국토위성영상을 활용하여 촬영각도에 따른 모자이크 성능 분석을 수행하였다. 실험 결과, 도심지역에서는 촬영각도 20도 부근부터 원본 정밀정사영상에서 높이 불연속면에 따른 가시성 왜곡이 발생하여 모자이크 영상에도 가시성 왜곡이 전달되었으나 산림지역에서는 촬영각도 30도 부근의 영상에서도 이러한 높이불연속면에 따른 가시성 왜곡이 발생하지 않았다. 따라서 고품질 모자이크 영상 생성을 위해서는 도심지역은 촬영각도를 15도 이내의 영상을 사용하고 산림지역에 대해서는 촬영각도 30도 이내의 영상을 사용할 것을 제안하였다.

상기한 바와 같이 본 사업을 통해서 개발된 기술과 SW를 이용하여 국토위성정보 산출물을 자동으로 모자이크하고 무용영역을 제거하고 고품질의 영상지도 서비스를 수행할 수 있는 핵심요소들을 확보하게 되었다. 이를 통해서 국토위성정보 산출물들의 활용성이 더 넓어지고 사용자의 만족도가 증대될 것으로 기대한다.

참고문헌

- 김동한, 오채영, 이대건, 이동천, 2018, 모자이크 영상 생성을 위한 영상과 수치지도로부터 접합선 결정, 한국측량학회지, 36(6), 483-497.
- 김지영, 채태병, 변영기, 2015, 고해상도 위성영상 모자이크를 위한 NDVI 특성을 이용한 접합선 추출 기법, 대한원격탐사학회, 31(5), 395-408.
- 남다운, 한종기, 2018, 360 VR을 구성하는 영상들 간 밝기 차이를 이용한 seam finding 알고리즘, 방송공학학회지, 23(6), 896-913.
- 송낙현, 이성훈, 오금희, 조우석, 2007, 자동 모자이크 영상제작을 위한 접합선 추출기법에 관한 연구, 한국측량학회지, 25(1), 47-53.
- 이미희, 천은지, 어양담, 2019, 재난 모니터링을 위한 Landsat 8호 영상의 구름 탐지 및 복원 연구, Korean Journal of Remote Sensing, 35(5/1), 861-871.
- Alexandru Telea, 2004, An Image Inpainting Technique Based on the Fast Marching Method, Journal of Graphics Tools, 9(1), 23-34.
- Bertalmio, Marcelo, Andrea L. Bertozzi, and Guillermo Sapiro, 2001, Navier-Stokes, Fluid Dynamics, and Image and Video Inpainting, IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, 1, 335.
- Chul-Soo Ye and Kwae-Hi Lee, 2002, Remote sensing image segmentation by a hybrid algorithm, Korean Journal of Remote Sensing, 18(2), 107-116.
- D. Comaniciu and P. Meer, 2002, "Mean shift: a robust approach toward feature space analysis," PAttern Analysis and Machine Intelligence, Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 24, 603-619.
- D.L.Milgram, 1975, Computer Methods for Creating Photomosaics, IEEE Transactions on Computers, 24(11), 1113-1119.
- Gao, F., J. Masek, M. Schwaller, and F. Hall, 2006, On the blending of the Landsat and MODIS surface reflectance: predicting daily Landsat surface reflectance, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 44, 2207-2218.
- J.He, M.Sun, Q.Chen, Z.Zhang, 2018, An improved approach for generating globally consistent seamline networks for aerial image mosaicking, International Journal of Remote Sensing, 40(3), 859-882.

- J.Pan, M.Wang, D.Li, J.Li, 2009, Automatic Generation of Seamline Network Using Area Voronoi Diagrams With Overlap, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(6), 1737-1744.
- J.Pan, M.Wang, D.Ma, Q.Zhou, J.Li, 2014, Seamline Network Refinement Based on Area Voronoi Diagrams With Overlap, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(3), 1658-1666.
- J.Pan, S.Yuan, J.Li, B.Wu, 2017, Seamline optimization based on ground objects classes for orthoimage mosaicking, *Remote Sensing Letters*, 8(3), 280-289.
- L.Li, J.Yao, R.Xie, J.Li, 2018, Edge-Enhanced Optimal Seamline Detection for Orthoimage Mosaicking, *IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS*, 15(5), 764-768.
- L.Li, J.Yao, X.Lu, J.Tu, J.Shan, 2016, Optimal seamline detection for multiple image mosaicking via graph cuts, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 113, 1-16.
- L.Li, J.Yao, Y.Liu, W.Yuan, S.Shi, S.Yuan, 2017, Optimal Seamline Detection for Orthoimage Mosaicking by Combining Deep Convolutional Neural Network and Graph Cuts, *Remote Sensing*, 9(7), 701.
- Li Z, Shen H, Cheng Q, Li W, Zhang L., 2019, Thick Cloud Removal in High-Resolution Satellite Images Using Stepwise Radiometric Adjustment and Residual Correction. *Remote Sensing*, 11(16), 1925.
- M. Kerschner, 2001, Seamline detection in colour orthoimage mosaicking by use of twin snakes, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 56(1), 53-64.
- Radhakrishna Achanta, Appu Shaji, Kevin Smith, Aurelien Lucchi, Pascal Fua, and Sabine Süsstrunk, 2012, SLIC Superpixels Compared to State-of-the-art Superpixel Methods, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 34, 2274 – 2282.
- Seema Mahajan and Bhavin Fataniya, 2020, Cloud detection methodologies: variants and development-a review, *Complex & Intelligent Systems*, 6, 251-261.
- S.Hsu, H.S.Sawhney, R.Kumar, 2002, Automated Mosaics via Topology Inference, 22(2), 44-54.
- S.Yuan, K.Yang, X.Li, H.Cai, 2020, Automatic Seamline Determination for Urban Image Mosaicking Based on Road Probability Map from the D-LinkNet Neural Network, *Sensors*, 20(7), 1832.

- Storey, J.; Scaramuzza, P.; Schmidt, G.; Barsi, J., 2005, Landsat 7 scan line corrector-off gap-filled product development. In Proceedings of the Pecora 16 Conference on Global Priorities in Land Remote Sensing, Sioux Falls, SD, USA, 23-27.
- Suming Jin, Collin Homer, Limin Yang, George Xian, Joyce Fry, Patrick Danielson & Philip A. Townsend, 2013, Automated cloud and shadow detection and filling using two-date Landsat imagery in the USA, *International Journal of Remote Sensing*, 34(5), 1540-1560.
- V.J.Tsai, Y.Huang, 2005, Automated image mosaicking, *Journal of the Chinese Institute of Engineering*, 28(2), 329-340.
- Vincent, L. and Soille, P., 1991, Watersheds in Digital Spaces: An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13, 583-598.
- Youkyung Han, Francesca Bovolo, Won Hee Lee, 2017, Automatic cloud-free image generation from high-resolution multitemporal imagery, *J. Appl. Remote Sens.* 11(2).
- Y.Afek, A.Brand, 1998, Mosaicking of Orthorectified Aerial Images, *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 64, 115-125.
- Y.Shiren, L.Li, G.Pen, 1989, Two-Dimensional Seam-Point Searching in Digital Image Mosaicking, *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 55, 49-53.
- Y.Zhang, M.Zhang, S.Du, Z.Zou, C.Fan, 2018, Seamline Optimisation For Urban Aerial Ortho-Image Mosaicking Using Graph Cuts, *The Photogrammetric Record*, 33(161), 131-147.
- Zeng, C.; Shen, H.; Zhang, L., 2013, Recovering missing pixels for Landsat ETM+ SLC-off imagery using multi-temporal regression analysis and a regularization method. *Remote Sens. Environ.* 131, 182-194.
- Zhu, X.; Gao, F.; Liu, D.; Chen, J., 2012, A modified neighborhood similar pixel interpolator approach for removing thick clouds in Landsat images. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 9, 521-525.

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토교통부 국토지리정보원의 수탁을 받아 쓰리디랩스 컨소시엄에서 수행한 보고서입니다.
2. 본 내용을 대외적으로 게재, 인용할 때에는 반드시 국토교통부 국토지리정보원의 사전 허락을 받기 바라며, 무단 복제는 절대 금합니다.

국토위성정보 산출물 가공기술 개발

인쇄·2021년 12월

발행·2021년 12월

발행자·쓰리디랩스 컨소시엄

발행처·국토교통부 국토지리정보원

주소·경기도 수원시 영통구 월드컵로 92(원천동)

전화·031-210-2700

FAX·031-210-2644