

제주도 천연기념물 해안지대 침식저감 방안 연구

A Study of the plan to reduce erosion of natural monuments in the coastal areas of Jeju Island

주관연구기관	경상대학교 산학협력단
연구책임자	손영관
발행년월	2015-01
주관부처	문화재청
사업관리기관	국립문화재연구소
NDSL URL	http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201500011870
IP/ID	14.49.138.138
이용시간	2017/11/02 17:05:29

저작권 안내

- ① NDSL에서 제공하는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, KISTI는 복제/배포/전송권을 확보하고 있습니다.
- ② NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 상업적 및 기타 영리목적으로 복제/배포/전송할 경우 사전에 KISTI의 허락을 받아야 합니다.
- ③ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 보도, 비평, 교육, 연구 등을 위하여 정당한 범위 안에서 공정한 관행에 합치되게 인용할 수 있습니다.
- ④ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 무단 복제, 전송, 배포 기타 저작권법에 위반되는 방법으로 이용할 경우 저작권법 제136조에 따라 5년 이하의 징역 또는 5천만 원 이하의 벌금에 처해질 수 있습니다.

최종보고서

제주도 천연기념물 해안지대 침식저감 방안 연구

A study of the plan to reduce erosion of natural
monuments in the coastal areas of Jeju Island

주관연구기관 : 경상대학교 산학협력단

2015년

국립문화재연구소

제 출 문

국립문화재연구소장 귀하

이 보고서를 2014년 문화유산융복합연구(R&D) 사업 “제주도 천연기념물 해안지대 침식저감 방안 연구(경상대학교 산학협력단/손영관)” 과제의 1차 최종결과보고서로 제출합니다.

2015. 1. 21.

주관연구기관명 : 경상대학교 산학협력단

주관책임연구원 : 손영관

국립문화재연구소 용역연구개발과제 1차 최종결과보고서

고유번호	NRICH-1 407-B20F	보안등급 분류	[]보안, [√]일반	공개가능 여부	[√]가, []부, []부분
용역연구개발 과제명		제주도 천연기념물 해안지대 침식저감 방안 연구			
과제명	국문	제주도 천연기념물 해안지대 침식저감 방안 연구			
	영문	A study of the plan to reduce erosion of natural monuments in the coastal areas of Jeju Island			
주관연구기관 책임연구원	(소속기관명) 경상대학교 산학협력단	(법인번호) 613-82-11653	(회계담당자) 최미경 (연락처) 051-329-8005		
	(이름) 손영관	(과학기술인등록번호) 1005 6001			
	(영문) Young Kwan Sohn	(e-mail) *****	(전화번호) 055-772-1476 (핸드폰) *****		
	(지역) 경상남도 진주시	(전공) *****	(학위) *****		
세부연구기관 책임연구원	(소속기관명)	(법인번호)	(회계담당자) (연락처)		
	(이름)	(과학기술인등록번호)			
	(영문)	(e-mail)	(전화번호) (핸드폰)		
	(지역)	(전공)	(학위)		
총연구기간	계약일로부터 400일	(1)차년도 협약기간 (금차분)	2014/10/13 ~ 2015/1/21		
총연구개발비	금 241,000,000원	(1)차년도 연구개발비 (금차분)	85,393,700원		
「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제6조제4항 및 「국립문화재연구소 용역연구개발사업 관리규정 및 연구개발비 관리지침」 의거하여 계약사항을 성실히 수행하고 용역연구개발과제 1차 최종결과보고서를 붙임과 같이 제출합니다. 2015년 1월 21일 주관기관 책임연구원: 손영관 인 주관기관 연구기관장: 남태현 직인 국립문화재연구소장 귀하					

용역연구개발용역 제안요구서(RFP)			
사업명	문화유산융복합연구		
연구과제명	제주도 천연기념물 해안지대 침식저감 방안 연구		
총연구기간	계약일로부터 400일 (2014년 계약일로부터 100일)	총연구비	254,000,000원 (2014년 90,000,000원)
연구과제유형	기초연구(0)	응용연구()	개발연구()
총괄용역연구개발과제			
연구필요성	○ 최근 해수면상승에 따라 해안지대 천연기념물의 자연적 침식과 훼손 예상됨 ○ 특히 제주도 해안지대의 천연기념물은 세계자연유산, 세계지질공원 지역으로 지속적인 보존과 활용을 위한 모니터링 및 침식저감 대책마련이 절실함		
연구목표	○ 제주도 해안지대에 분포하는 천연기념물을 대상으로 체계적이고 주기적인 모니터링을 통해 정량화된 침식속도와 원인, 그리고 경향성을 파악하고, ○ 침식저감 및 대책에 대한 사례조사 및 비교연구 등을 통해 ○ 중장기적 종합 침식저감대책을 마련코자 함.		
주요 연구 내용과 방법	○ 제주도 해안지대 천연기념물 대상 침식속도 및 경향 조사 - 조사대상 : 수월봉(천기513호)과 송악산 해안(천기442호), 제주 사람발자국과 동물발자국 화석산지(천기464호) - 조사방법 : 항공사진비교분석, 해안지대 3D스캔, 항공 라이다측량, 해저지형 분석 ※상세한 조사방법은 국립문화재연구소와 협의 후 진행 ○ 해안지대 침식저감 연구 및 대응 국내·외사례 조사 ○ 국내 유사 침식 위험 대상자원 현황 파악 ○ 조사와 모니터링을 통해 천연기념물에 대한 종합적 침식저감대책 제안		
최종성과물	○ ISBN 발급된 컬러 책본 50부(14년~15년 주요 연구내용 요약본) ○ ISBN 발급된 컬러 책본(요약본) DVD 10부 ○ SCI 1편, 학술발표 2건 이상(계약일로부터 계약 종료 후 2년까지)		
용역수행 시 요구사항	○ 연구결과물의 지적재산권 전부를[산업재산권 및 저작권(2차적 저작물 작성권 포함)] 국립문화재연구소가 양도받음(Raw data 포함하여 연구 산물 전부 국가소유를 원칙으로 함) ○ RFP의 내용은 반드시 수행하는 것을 원칙으로 함		
기대성과 및 활용방안	○ 유네스코 세계자연유산, 천연기념물, 지질명소의 지속적 보존과 활용 ○ 지속적 모니터링을 통한 종합적 침식저감 대책 마련으로 자연유산의 가치유지 ○ 세계자연유산 및 해안지대 천연기념물 관리계획 수립 기초자료 제공 ○ 지질조사 수행과 연구결과의 활용으로 관련 정책 홍보 확대		

(제1차 2014년) 용역연구개발과제			
1차 연구기간	계약일로부터 100일	1차 연구비	90,000,000원
연구목표	○ 침식지형에 대한 측량과 모니터링을 통한 정량화된 기초자료 확보 ○ 주변 지형 및 지질조사를 통한 해안지대 침식취약요소 분석 ○ 화산쇄설층 퇴적상 분석을 통한 고해수면 변화 조사		
주요 연구 내용과 방법	○ 대상지역 주변 일반 지질조사(3개소; 10km ²) ○ 제주도 해안지대 천연기념물 대상 침식속도 및 경향 조사 - 대상 : 수월봉(천기513호)과 송악산 해안(천기442호), 제주 사람발자국과 동물발자국 화석산지(천기464호) - 방법 : 해안지대 3D스캔, 항공 라이다측량(10km ²) ※ 상세한 조사방법은 국립문화재연구소와 협의 후 진행 ○ 화산쇄설성 퇴적층 내 퇴적상 분석(고해수면 변화 조사)		
1차 성과물	○ 1차 최종 결과보고서(칼라) 10부 (학회참가 보고서 내용 수록) ○ 결과보고서 및 구축된 데이터를 담은 DVD 10매		
(제2차 2015년) 용역연구개발과제			
2차 연구기간	계약일부터 300일	2차 연구비	164,000,000
연구목표	○ 1~2차 모니터링 결과분석을 통한 침식속도 및 경향 분석, 원인파악 ○ 해외 침식저감 우수사례 및 모니터링 연구에 대한 사례를 통한 제주도 해안지대 특징에 부합되는 우수 저감대책 검토 ○ 국내 유사 침식위험 대상자원 현황 파악 ○ 장기적이고 종합적 침식저감대책 제안		
주요 연구 내용과 방법	○ 1, 2년차에 걸친 모니터링 결과 비교분석 ○ 고해수면 변화양상, 모니터링 결과, 해외유사사례 등 종합 ○ 해외 침식저감 및 침식모니터링 지역 벤치마킹 (1개소) - 미국, 7박8일 (미 동부 캘리포니아 해안지대) 국외출장(2인) ○ 국내 유사 침식위험 대상자원 현황 파악 ○ 해외(미국) 유사 침식저감 사례와 비교연구 수행 ○ 관련 전문 도서 및 잡지 구입 후 결과보고서 내용 수록		
2차 성과물	○ 최종 성과물과 동일		

제 안 서 협 상 결 과

- ☐ 구매관리번호 : 001440676-00
☐ 수 요 기 관 : 국립문화재연구소
☐ 품명 및 수량 : 제주도 천연기념물 해안지대 침식저감 방안 연구
☐ 협 상 일 시 : 2014. 9. 30.
☐ 협 상 대상자 : 경상대학교 산학협력단
☐ 협 상 내 용

당초제안내용	조정안	협상결과	비고
○신규 추가	○ 침식원인 분석 시 화학적 풍화 고려한 해석 수행 ○ 연구대상 지층의 강도 및 내구성 등 물성분석 수행 ○ 고해수면 변동연구 시 퇴적층 내 폭풍과 같은 극한 사건 기록 조사 (야외조사 및 기존 연구자료 활용) ○ 침식저감 대책 방안 제시(가능성 있는 시나리오별 사례와 그에 따른 대책방안 제시) ○ 연구원 보장(3D실측전문가)	수용	

위와 같이 협상하였음을 확인하고 협상결과를 계약의 일부로 하는데 동의함.

협상대상자 주 소 : 경상남도 진주시 진주대로501
 상 호 : 경상대학교 산학협력단
 대표자 : 남 태 현 (인)

대전지방조달청장 귀하

제안서협상안 및 조치계획 반영 목록

연번	구분	조치내용	적용 페이지
1	제안서	① 침식원인 분석시 화학적 풍화 고려한 해석 수행 ⇒ 제안 내용 수용하여 해석자료 제시 예정 ② 연구대상 지층의 강도 및 내구성 등 물성분석 수행 ⇒ 제안 내용 수용 예정 ③ 고해수면 변동연구 시 퇴적층 내 폭풍과 같은 극한 사건 기록조사 (야외조사 및 기존 연구자료 활용) ⇒ 제안 내용 수용하여 조사자료 제시 예정 ④ 침식저감 대책 방안 제시(가능성 있는 시나리오별 사례와 그에 따른 대책방안 제시) ⇒ 제안 내용 수용 예정 ⑤ 연구원 보강(3D 실측전문가) ⇒ 실측전문가 보강	

목 차

I. 총괄연구개발과제 요약문

국문요약문	11
영문요약문	13
총괄 연구과제 요약	15

II. 총괄연구개발과제 연구결과

제1장 총괄연구개발과제의 목적 및 필요성	17
제1절 총괄연구개발과제의 목표	17
제2절 총괄연구개발과제의 목표달성도	18
제3절 총괄국내·외 기술개발 현황	19
제2장 총괄연구개발과제의 내용 및 방법	21
제1절 총괄연구개발과제의 연구 내용	21
제2절 총괄연구개발과제의 연구 방법	22
제3장 총괄연구개발과제의 최종결과 및 고찰	27
제1절 항공레이저 및 디지털 항공사진 측량 결과	27
제2절 지상 라이다 측량 결과	62
제3절 고찰: 측량 성과와 향후 연구	71
제4장 총괄연구개발과제의 연구성과	72
제1절 총괄활용성과	72
제2절 총괄활용계획	73
제5장 총괄주요연구 변경사항	73
제6장 총괄참고문헌	74

그림 목차

그림 1-1 송악산과 사람발자국 화석산지에서의 해안침식 사례	18
그림 2-1 항공레이저 측량의 설계와 수행	23
그림 2-2 원시라이다 자료의 처리와 수치표고자료 구축	23
그림 2-3 정사영상지도 제작 과정	24
그림 2-4 지상라이다 측량의 원리	25
그림 2-5 지상 라이다 자료 처리 및 영상 제작 과정	26
그림 3-1 수월봉 지역의 항공측량 범위	28
그림 3-2 송악산과 발자국화석산지의 항공측량 범위	29
그림 3-3 항공측량의 측량 수행 흐름도	30
그림 3-4 지상기준국의 배치	31
그림 3-5 마라도 지상기준국의 위치도	31
그림 3-6 시스템의 XYZ축 및 이격거리	32
그림 3-7 이격거리의 측정	32
그림 3-8 측정값을 통한 이격거리의 계산	32
그림 3-9 지상기준점의 분포	33
그림 3-10 조정 인자별 비행방향	34
그림 3-11 Pitch 보정을 위한 비행방향	35
그림 3-12 Roll 보정을 위한 비행경로와 데이터 획득범위	35
그림 3-13 Roll 보정방법	35
그림 3-14 스케일에 따른 라이다 포인트의 결과	36
그림 3-15 이격거리에 따른 offset의 보정	36
그림 3-16 검정을 위한 비행경로(2014년 4월 6일)	73
그림 3-17 항공레이저 측량 코스도	38
그림 3-18 전처리 공정	39
그림 3-19 지상 GPS 및 항공 GPS 데이터 처리	39
그림 3-20 GPS와 INS 데이터와의 통합처리	40
그림 3-21 GPS 데이터의 품질관리	40
그림 3-22 3차원 좌표 산출	41
그림 3-23 후처리 공정	41
그림 3-24 특성에 따른 데이터 분류	43
그림 3-25 데이터 분류 결과	43

그림 3-26 송악산과 발자국화석산지 일원의 수치표고모델(DEM)	44
그림 3-27 송악산과 발자국화석산지 일원의 등고선도(1m 간격)	54
그림 3-28 수월봉 일원의 수치표고모델(DEM)	64
그림 3-29 수월봉 일원의 등고선도(1m 간격)	74
그림 3-30 수월봉의 수치표고모델(DEM)	84
그림 3-31 송악산의 수치표고모델(DEM).	94
그림 3-32 사람발자국과 동물발자국 화석산지의 수치표고모델(DEM)	05
그림 3-33 디지털항공사진의 데이터 처리	51
그림 3-34 디지털 항공사진 촬영방법	52
그림 3-35 디지털 항공사진 촬영장비(DMC)	25
그림 3-36 디지털 항공사진 촬영코스도	52
그림 3-37 영상 색 조정작업 및 Tiff 변환과정	53
그림 3-38 GPS시간을 이용한 영상 구분 및 외부표정요소	53
그림 3-39 접합선 설정	54
그림 3-40 접합선 설정 후에 제작된 수월봉 주변의 정사영상	55
그림 3-41 색상 보정 결과 데이터	56
그림 3-42 기하보정	57
그림 3-43 최종 제작된 수월봉 일원의 정사영상	58
그림 3-44 최종 제작된 송악산과 발자국 화석산지 일원의 정사영상	59
그림 3-45 최종 제작된 수월봉의 정사영상	60
그림 3-46 최종 제작된 송악산의 정사영상	61
그림 3-47 수월봉 해안의 지상 라이다 측량 구간 위치도	63
그림 3-48 수월봉 해안의 지상 라이다 측량 구간의 전경	63
그림 3-49 송악산 해안의 지상 라이다 측량구간 위치도	64
그림 3-50 송악산 해안의 지상 라이다 측량구간의 전경	64
그림 3-51 발자국 화석산지의 지상 라이다 측량구간 위치도	65
그림 3-52 발자국 화석산지의 지상 라이다 측량구간 전경	65
그림 3-53 지상 라이다 측량 전경	66
그림 3-54 지상 라이다 측량의 수행 과정 흐름도	66
그림 3-55 송악산 해안의 지상 라이다 측량에 의한 점밀도 자료	68
그림 3-56 수월봉 해안의 지상 라이다 측량에 의한 점밀도 자료	69
그림 3-57 발자국 화석산지의 지상 라이다 측량에 의한 점밀도 자료	70

표 목차

표 3-1 디지털 항공사진 측량 범위의 좌표 정보	30
표 3-2 항공레이저 측량 범위의 좌표 정보	30
표 3-3 센서 간 이격거리(R.P: reference point, user: mirror).	33
표 3-4 검정을 통한 보정량 산출	36
표 3-5 데이터 분류 과정	42

총괄연구개발과제 연구결과

I. 총괄연구개발과제 요약문

국문 요약문

과제명	제주도 천연기념물 해안지대 침식저감 방안 연구		
중심단어	제주도, 천연기념물, 세계자연유산, 해안침식, 모니터링		
주관연구기관	경상대학교 산학협력단	주관책임연구원	손영관
연구기간	2014/10/13 ~ 2015/1/21		
제주도는 해안지대에 세계적인 지질명소를 다수 보유하고 있으며 해수면 상승속도가 매우 높아 향후 지속적인 지질유산의 지속적인 보존과 안정적인 활용을 위해서는 해안침식에 대한 원인 규명, 주기적인 모니터링 및 침식저감 대책 마련이 절실하다. 이 연구는 ①연구대상지(수월봉 해안, 송악산 해안, 발자국 화석산지)의 현 해안침식 현황, 침식 원인 및 발생 양상 및 향후 진행 가능성을 예측, ②육상 및 해저지형 측량 결과를 기초로 한 연차적인 모니터링을 통해 실제의 침식 진행 상황을 정량적으로 관찰하고, 침식 속도 및 경향성을 파악, ③ 고해수면 변동 및 퇴적환경 변화를 복원하고 미래 퇴적환경 변화상을 예측, ④ 해안 침식저감 대책에 대한 국내외 사례조사 및 비교연구를 수행, ⑤ 중장기적이고 종합적인 침식저감 방안을 마련하는데 있다. 이 연구 성과는 제주도 천연기념물 해안지대 침식저감 방안 마련에 대한 연구의 1차년도 결과이다. 1차년도 연구는 약 2개월의 매우 짧은 연구기간으로 인해 과제의 주요 연구 방법 및 목적인 항공 및 지상 라이더 측량의 완료에 초점이 맞추어졌다. 항공레이저 및 디지털 항공사진 측량은 연구대상지역을 비롯하여 주변의 여러 지질유산지구가 포함될 수 있도록 그 범위를 확대하여 폭넓은 지질유산 연구에 활용될 수 있도록 하였다. 항공측량의 최종 성과로서 항공레이저 측량에 의한 수치표고모델(DEM)과 디지털 항공사진 측량에 의한 정사영상도 제작이 1차 완료되었다. 2차년도에는 두 측량 성과의 범위에 대한 일부 조정과 함께 그 범위를 일치시키는 작업이 수행될 예정이며 아울러 이 영역에 포함되는 지상 라이더 측량 성과와의 병합 작업이 진행될 것이다. 지상 라이더 측량은 연구 대상지에서 침식 및 붕괴 가능성이 높은 구간을 설정하여 측량이 실시될 예정이었다. 그러나 짧은 연구 기간으로 인해 측량 가능한 모든 해안절벽 구간에 대한 자료 획득이 진행되어 향후 선별될 침식 모니터링 구간에 대한 자료 누락이 발생하지 않도록 하였다. 1차년도 측량수행을 통해 원시 자료로서 해안절벽 및 화석산출지에 대한 점밀도 자료가 구축되었다. 구축된 영역에 대한 자료 정리를 수행하고 최종 구축된 원시 자료로부터 후처리 작업을 진행하여 지형 분석, 사면 요소 추출, 그리고 침식량 파악 및 3D 모델링을 위한 최종 변환 자료를 구축할 것이다.			

주관책임연구원 의견	
연구의 범위	1차년도 연구 과제는 연구대상지 일원과 해안지대의 항공 및 지상라이다 측량, 화산지질 및 지질공학적 조사를 통한 해안지대 침식취약요소 분석, 그리고 발자국 화석산지 화산쇄설층의 퇴적상 분석을 통한 고해수면 변화 조사를 수행하는데 목적이 있다. 특히 지상라이다 측량은 해안절벽에 대한 화산지질 및 지질공학적 조사를 통해 선정된 침식 취약지구를 대상으로 일부 구간별로 수행하며, 화산쇄설층의 고해수면 변화 조사는 퇴적학적 조사와 2차년도의 고생물학적 분석을 위한 시료채취를 완료하고자 하였다.
연구의 한계점	1차년도의 연구는 매우 짧은 약 2개월의 연구 기간이 확보되어 계획된 연구내용을 수행하는데 큰 무리가 있었다. 이에 따라 연구 목적을 달성하는데 어려움이 없도록 연구에 있어서 큰 비중을 차지하는 모니터링 분야에 중점을 두었다. 즉, 항공 및 지상라이다 측량을 통한 모니터링이 본 과제의 주요 부분이므로 이 기간 동안 1차 측량 수행 및 원시자료의 획득에 초점을 맞추어 진행하였다.
인용시 주의사항	연구 결과는 1차 항공 라이다 및 지상 라이다 측량 성과이며 후처리 작업이 충분이 진행되지 않은 결과이므로 수치표고모델, 정사영상 및 점밀도 자료 등의 인용과 활용에 주의를 기울여야 한다.
주관부서 연락처	국립문화재연구소 자연문화재연구실(☎ 042-610-7632)

Summary

Title of Project	A study of the plan to reduce erosion of natural monuments in the coastal areas of Jeju Island		
Keywords	Jeju Island, natural monuments, World Natural Heritage, coastal erosion, monitoring		
Institute	Gyeongsang National University	Principal Investigator	Young Kwan Sohn
Project Period	2014/10/13 ~ 2015/1/21		
There are many geological heritages along the coastal area in Jeju Island. Most of heritages are influenced by coastal erosion which is accelerated by rapid sea-level rising. Therefore, the efforts about cause analysis, periodic monitoring and preparation of reducing method of coastal erosion are needed. The purposes of this research are: ①prediction of the present status, the cause, the aspect and possibility of progression of erosion in study area(Coastal areas of Suweolbong, Songak mountain and foot prints fossil site), ②quantitative observation of the progress of erosion and figuring out erosion tendency by annual monitoring based on result of land and submarine topography survey, ③reconstruction of change in archeological sea level and sedimentation process and prediction of sedimentation process change in the future, ④ a case study on the plan to reduce erosion in the coastal areas and conducting comparative study, ⑤find the medium to longer term and comprehensive plan of reduce erosion in the coastal areas. This is the result of 1st year's study of the plan to reduce erosion of natural monuments in the coastal areas of Jeju Island. 1st year's study focused on completion of airborne LiDAR and terrestrial LiDAR survey which are research method and purpose, because there are just two month for study in 1st year. Airborne LiDAR and digital aerial photo survey is performed in wider area that include geological heritage sites around study area so that the result could be used for study on geological heritage. DEM(Digital Elevation Model) and orthophotograph, as the results of aerial survey, is primarily produced. In 2nd year, adjusting and matching range of both of the results will be performed. Also the results will be matched with result of terrestrial LiDAR survey. Terrestrial LiDAR survey was supposed to performed on the sections that are highly likely to be eroded or collapse. However, because of short period of research, data of every cliffs that can be surveyed was obtained so that data of selected monitoring section can be include without omission. From the survey performed in 1st year, pointcloud data about coastal cliff and fossil site is constructed. After organizing the constructed data and post processing, final data for geomorphological analysis, extraction of slope factor, measuring erosion and 3D modeling will be constructed.			

Opinion of Principal Investigator	
Scope	The purposes of 1st year's research are vulnerable element analysis of coastal areas by airborne LiDAR, digital aerial photo survey, terrestrial LiDAR survey and geological survey and researching change in archeological sea level by sedimentary facies analysis of pyroclastic deposit of foot print fossil site. Especially, terrestrial LiDAR survey was performed on the selected section of coastal cliffs that are vulnerable to erosion, and tried to complete collecting samples for sedimentary study and paleontology analysis.
Limitation	There are just two month for study in 1st year, so there is a limit to perform the planned research. For this reason, research focused on monitoring part which is large part of this project to obtain the raw data.
Direction for Citation	The result of study is not a final result but the result of primarily aerial LiDAR and terrestrial LiDAR survey.
Supervisory Office	National Research institute of Cultural Heritage

총괄 연구과제 요약

과제 고유번호	NRICH-1407-B20F		공개가능여부	
단위과제명	제주도 천연기념물 해안지대 침식저감 방안 연구			
과 제 명	제주도 천연기념물 해안지대 침식저감 방안 연구			
주관연구기 관	성 명	손영관	생년월일	*****
	소속 기관명	경상대학교 산학협력단		
책임연구원	전자우편	*****	전화번호	055-772-1476

○ 연구목표

- 제주도 해안지대 천연기념물에 대한 현재의 해안침식 현황을 파악하고, 체계적인 지질 공학적 조사를 통해 침식 원인, 발생 양상 및 향후 진행 가능성을 예측하고
- 주기적인 모니터링을 통해 실제의 침식 진행 상황을 관찰하고, 침식 속도 및 경향성을 파악.
- 해안 침식저감 대책에 대한 국내외 사례조사 및 비교연구 수행을 통해
- 중장기적이고 종합적인 침식저감 방안 마련을 위한 기초연구 수행.

○ 연구내용

- 조사대상지: 수월봉 해안(천기513호), 송악산 해안(천기442호), 제주 사람발자국과 동물발자국화석산지(천기464호)
- 지형, 화산지질 및 지질공학적 조사: 침식현황 파악, 침식원인(물리적, 화학적 풍화 고려) 해석 및 향후 거동 예측.
- 지형측량(항공 라이다측량, 해안지대 3D 스캔, 해저지형측량) 및 모니터링: 지형측량 결과의 GIS 지형분석을 통한 정량적인 침식량 모니터링.
- 고해수면 변동 및 미래 퇴적환경 변화 조사: 송악산과 발자국화석산지 퇴적층의 퇴적학, 고생물학적 연구를 통한 고해수면 변동 복원 및 향후 퇴적환경 변화 예측 및 폭풍과 같은 극한 사건 기록 조사(야외조사 및 기존 연구자료 활용)
- 해안지대 침식저감 방안 연구 및 대응에 대한 국내외 사례 조사 및 우수사례지역의 벤치마킹, 국내의 유사 침식 위험 대상자원 현황 파악
- 조사 및 모니터링 결과를 종합하여 최종의 침식원인 및 향후 거동 예측, 침식저감 대책 방안 제시(가능성 있는 시나리오별 사례와 그에 따른 대책방안 제시)

○ 연구성과(응용분야 및 활용범위 포함)

- 유네스코 세계자연유산과 천연기념물의 지속적 보존과 안정적 활용.
- 해안지대 세계자연유산과 천연기념물의 지속적 모니터링을 통한 종합적 침식저감 대책 마련으로 자연유산의 가치 유지
- 해안지대 세계자연유산과 천연기념물의 종합적 관리계획수립의 기초자료 제공
- 자연유산 관련 정책의 대국민 홍보 및 교육 확대

○ 총괄 참여연구원

세부과 제번호	성명	생년월일	세부과 제번호	성명	생년월일
	손영관	*****			
	류춘길				
	김규중				
	장호식				
	김태형				
	강소라				
	홍소현				
	최미경				
	김지수				

Keywords	한글	제주도	천연기념물	세계자연유산	해안침식	모니터링
	영문	Jeju Island	natural monuments	World Natural Heritage	Coastal erosion	Monitoring

II. 총괄연구개발과제 연구결과

제1장 총괄연구개발과제의 목적 및 필요성

제1절 총괄연구개발과제의 목표

지구온난화현상은 지구시스템 전반에 걸쳐 큰 영향을 미치나, 이에 따른 해수면 상승은 인간사회뿐만 아니라 자연환경에 특히 지대한 악영향을 초래한다. UN 기후변화에 관한 정부 간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC, 2001) 3차 보고서에서는 21세기 말까지 지구온난화에 따른 해수면 상승이 최대 88cm까지 상승할 것으로 예측한 바 있다. 이에 따라 저위도 국가를 중심으로 국토의 침수에 따른 자연 및 인간환경이 큰 위기에 직면할 것으로 보인다. 우리나라도 해수면 상승에 의한 최악의 시나리오를 적용할 경우 한반도의 침수가능 면적이 국토의 약 1.3%에 달하며, 조석과 해일을 고려하면 약 149만 명이 침수 위험에 노출되어 막대한 피해가 발생할 것으로 예측되기도 하였다(조광우 외, 2002).

지속적인 파랑, 조류 및 태풍에 의한 해안침식에 노출되어 끊임없이 그 영향을 받는 해안지대는 지구온난화에 따른 해수면의 상승으로 인해 침식이 점차 가속화될 전망이다. 해안침식은 전 지구적인 문제로서 이로 인해 전 세계의 약 70%의 해빈이 후퇴하고 있다(Zhang et al., 2004). 지역적으로는 미 동부 해안 해변의 약 86%가 지난 100년 동안 침식을 겪었으며(Galgano et al., 2004), 캘리포니아와 멕시코 만 등에서 상당히 광범위한 침식이 보고된 바 있다(Moore et al., 1999, Morton and McKenna, 1999). 특히, 해수면 상승에 의한 해안지대의 침식속도는 해수면 상승속도의 100정도의 큰 규모로 진행된다는 연구결과들이 오랫동안 믿어져 왔다(Bruun, 1954, 1962). 이는 해수면 상승이 해안지대의 침식 즉, 해안지대에 위치하는 다양한 자연유산에 매우 큰 영향을 미칠 수 있음을 재차 지시하는 것이다.

우리나라 역시 지구온난화에 따른 해수면 상승이 지속적으로 일어나고 있다. 최근, 한반도 근해에서 1968-2007년까지의 40년간 연평균 해수면 상승속도는 평균 $1.84 \pm 4.85 \text{ mm/yr}$ 로서 1961-2003년의 세계 평균 상승속도 $1.8 \pm 0.5 \text{ mm/yr}$ (IPCC, 2007)와 거의 유사한 결과를 보이고 있으며 강한 상승 경향성을 나타내는 것으로 보고되었다(김경호 외, 2009). 이들의 연구에 따르면, 제주도 근해의 경우, 북쪽의 제주 해안은 1964-2008년까지 44년 동안 23cm의 해수면 상승과 5.3 mm/yr 의 평균 해수면 상승속도가 관측되었다. 남쪽의 서귀포 해안에서는 1985-2008년까지 23년간 13cm의 해수면 상승과 5.8 mm/yr 의 평균 해수면 상승속도가 관측되었다. 이는 제주도가 한반도 및 세계의 평균 해수면 상승속도를 크게 상회하고 있으며, 결국 제주도가 해수면 상승으로 인한 해안지대 침식작용이 훨씬 크고 급격하게 진행될 수 있음을 지시하는 것이다.

여러 세계자연유산을 보유하고 있으며 최근 세계지질공원으로도 인증된 제주도의 해안지대에는 천연기념물로도 지정, 보호되고 있는 많은 지질명소가 자리한다. 천연기념물이며 세계자연유산인 성산일출봉을 비롯하여 대표적인 해안지대 천연기념물로는 수월봉(천기513호), 송악산 해안(천기442호), 서귀포층 패류화석산지(천기195호), 비양도의 호니토[(hornito)(천기439호)], 그리고 제주 사람발자국과 동발발자국 화석산지(천기464호) 등이 있다. 이들 해안지대의 지질명소는 제주도의 급격한 해수면 상승과 이에 따른 해안침식의 위험에 직접 노출되어 있으며 향후 그 영향 범위는 점차 증가될 전망이다. 송악산에서는 적어도 2005년까지는 유지되었던 절벽이 2013년 4월 관찰 시에는 붕괴되어 있었으며(그림 1-1A & B), 지난 2013년 8월의 태풍으로 인해 송악산 동쪽 해안절벽의 일부가 탐방로 직전 위치까지 붕괴된 사계가 보고되었다(그림 1-1C). 해안침식은 사람발자국 화석산지에서도 지속적으로 진행되고 있으며 이에 따른 침식물의 이동과 재퇴적이 관찰되고 있어(그림 1-1D), 제주도 해안지대 지질유산의 모니터링의 시급성이 제기되기도 하였다(안웅산 외, 2013).

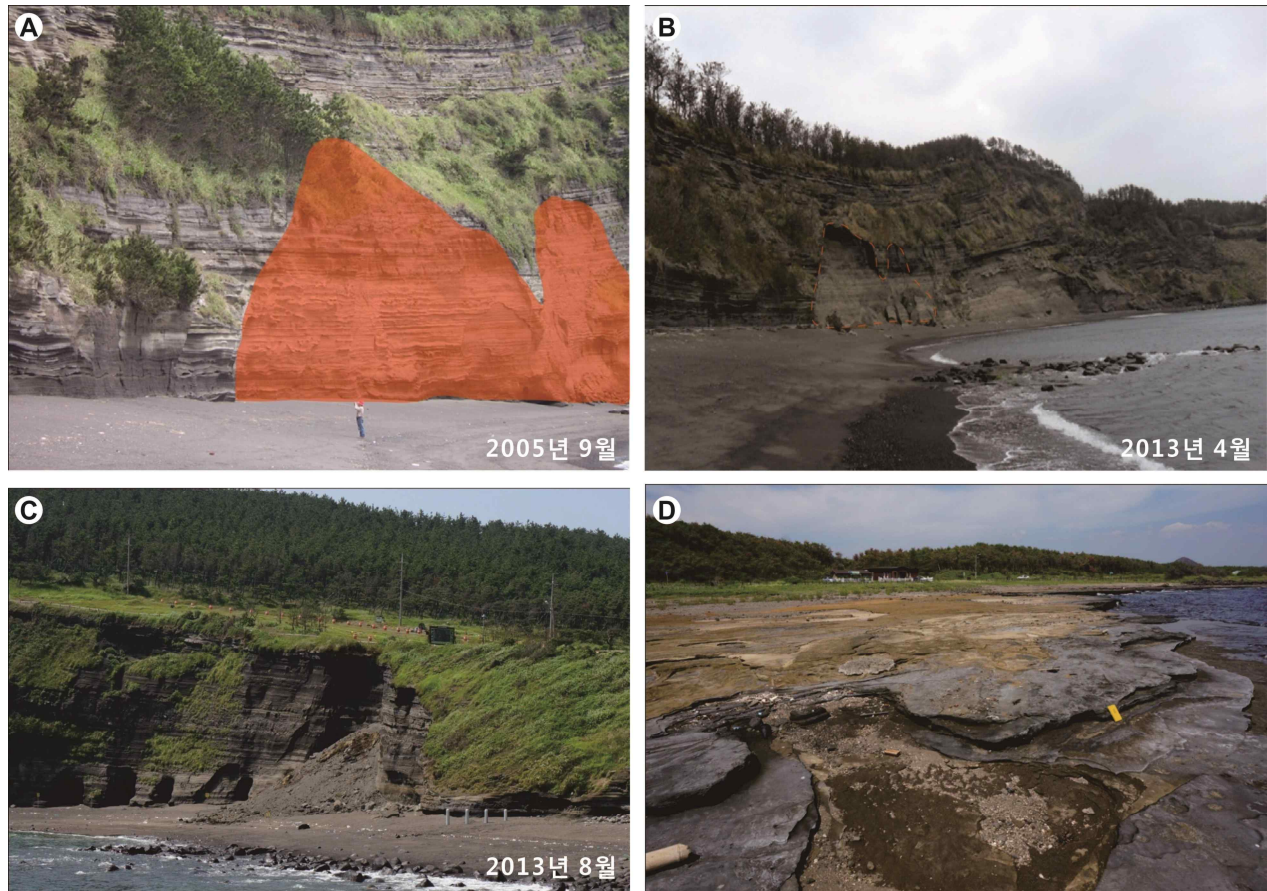


그림 1-1. 송악산과 사람발자국 화석산지에서의 해안침식 사례(안웅산 외, 2013). A-C: 송악산, D: 사람발자국 화석산지.

지금까지 지질유산의 보존에 관한 정책은 인간의 행위를 최소화하는데 초점이 맞추어져 왔으나, 전 지구적인 해수면 상승이라는 급격한 자연환경의 변화에 직면한 이 시점에서는 이러한 요인에 대해서도 적극적인 대응이 필요하다. 특히, 제주도는 해안지대에 세계적인 지질명소를 다수 보유하고 있으며 해수면 상승속도가 매우 높아 향후 지속적인 지질유산의 지속적인 보존과 안정적인 활용을 위해서는 해안침식에 대한 원인 규명, 주기적인 모니터링 및 침식저감 대책 마련이 절실하다.

총괄연구개발과제의 연구 목적을 요약, 정리하면 다음과 같다.

- ① 연구대상지(수월봉 해안, 송악산 해안, 발자국 화석산지)의 현 해안침식 현황, 침식 원인 및 발생 양상 및 향후 진행 가능성을 예측
- ② 육상 및 해저지형 측량 결과를 기초로 한 연차적인 모니터링을 통해 실제의 침식 진행 상황을 정량적으로 관찰하고, 침식 속도 및 경향성을 파악
- ③ 고해수면 변동 및 퇴적환경 변화를 복원하고 미래 퇴적환경 변화상을 예측
- ④ 해안 침식저감 대책에 대한 국내외 사례조사 및 비교연구를 수행
- ⑤ 중장기적이고 종합적인 침식저감 방안을 마련

제2절 총괄연구개발과제의 목표 달성도

이 보고서는 2차년에 걸친 총괄연구개발과제의 1차년도 연구 수행 결과이다. 1차년도는 약 2개월의 매우 짧은 연구 기간과 최종 연구 목적의 달성에 있어서 매우 중요한 부분을 차지하는 1차 항공라이다

및 지상라이다 측량의 완료에 중점을 두었다. 항공라이다 측량은 연구 대상지를 포함하여 주변 지역까지 충분한 범위를 포괄하여 최초 설정한 측량 범위에 비해 훨씬 넓은 영역의 자료가 구축되었다. 최종 성과로서 연구대상지의 수치표고모델(DEM)과 정사영상도를 구축하였다. 지상라이다 측량의 경우, 연구 계획에 따라 먼저 화산지질 및 지질공학적 조사를 통해 붕괴 위험 구간을 설정하고 모니터링 대상 사면으로서 측량을 수행할 계획이었다. 그러나 이러한 과정을 거치기에는 1차년도 연구 기간이 너무 짧아 지상라이다 측량은 접근성 및 작업 위험도 등을 고려하여 측량이 어려운 구간을 제외한 전 영역의 자료를 획득하였다.

제3절 총괄국내·외 기술개발 현황

1. 국내 연구동향

해수면 상승에 따른 국내의 해안지대의 침식에 대한 최근 연구는 주로 자연재해의 관점에서 다루어져 왔으며 하구, 만 또는 해빈을 중심으로 이루어져 왔다. 김남신과 이창석(2010)은 한강과 낙동강 하구, 순천만과 함평만을 대상으로 해수면 상승에 따른 식생 변천을 중심으로 한 생태환경의 변화를 연구하였다. 김인호와 송동섭(2012)은 동해안의 거진항 일대의 해안 침식 현황으로서 해안선 변화 및 해빈 단면에 대한 물리적 조사를 수행하고, 하천 하구 부근을 제외하고는 해빈 폭의 전진 보다는 후퇴현상이 증가하고 있음을 보고하였다. 김장수(2013)는 태안지역의 평균해수면을 고려한 해수면 상승 시나리오를 작성하고 기후변화에 의한 해수면 상승에 따른 해안지역의 침수 및 침식 취약지를 분석하였다. 드물게 위의 해안지형과 달리 기후변화에 따른 해식애의 침식률 증가 가능성을 검토한 연구가 수행되기도 하였다(김장수, 2011).

해안지대의 환경 변화 연구 사례에 비해 해수면과 관련된 해안침식모델에 대해서는 그 사례가 드물다. 전동철(1995)은 기존의 해양에서 가해지는 장기적인 해안침식 모델을 검토, 그 한계성을 지적하면서 현실적인 장기예측을 위해서는 파랑, 해류, 해안 관측과 아울러 이러한 모든 범위의 시간규모를 포함하는 현실적인 침식모델의 필요성을 역설하였다.

해안지대의 침식저감 방안에 대해서는 주로 해빈 유실이나 이동에 따른 양빈, 인공리프와 인공암이 파괴된 돌제로 구성된 하이브리드공법(김규한 외, 2008) 방파제의 재배치(이승철 외, 2007) 지오텍스타일 튜브의 실내모형실험(장용채 외, 2012; 박병수 외, 2013) 등 주로 토목공학적 접근이 거의 주를 이룬다. 또한, 방파제의 관점을 기초로 하여 토지 이용 규제와 관리 기능 강화(김경남, 2007)나 종합적인 대응정책의 개발(조광우 외, 2009) 등 정책수립을 위한 연구가 수행되어왔다.

최근에 제주도 서귀포 해안에 자리한 성산일출봉의 해안절벽을 대상으로 화산지질학 및 지질공학적 연구를 기초로 침식사면의 예비 안정성 평가 및 기본적인 모니터링을 수행하고, 향후 침식사면에 대한 정밀 안정성 평가와 안정성 대책 및 관리 방안, 중장기적인 사면모니터링 시스템 개발에 대한 제언 연구가 이루어진 바 있다(제주특별자치도 세계자연유산관리단·한국지질환경연구소, 2014).

2. 국외 연구동향

미국에서는 동부 해안 및 캘리포니아와 멕시코 만 등 여러 해안지대에서는 장기간의 해수면 상승에 따른 해빈 침식과 해안선의 변화가 연구되었으며(Moore et al., 1999, Morton and McKenna, 1999; Galgano et al., 2004; Zhang et al., 2004; Gelfenbaum and Kaminsky, 2010), 남부 캘리포니아 해안에서도 LiDAR 측량에 의한 단기간의 해안절벽의 변화(Young et al., 2009) 등 많은 연구가 수행되었다. 최근에는 국내 연구자에 의해 텍사스 북동부 해안에서의 원거리 폭풍인 허리케인에 의한 해안침식과 원인 해석이 이루어지기도 하였다(박영현 외, 2009).

일본에서는 최근, 스루가 만의 시미즈 해안을 광범위한 퇴적물 이동과 해안침식의 계절적 변화에 대한 연구가 이루어진 바 있다(Yoshikawa and Nemoto, 2010). Xeidakis et al.(2005)은 그리스 북동부의 알렉산드로폴리스 해안에서 해안침식작용의 지역 간 차이와 원인을 규명하였다. 인도 서벵갈의 사가섬 해안에서는 다양한 퇴적물로 구성된 여러 해안지형이 지역적으로 심한 침식과 재퇴적이 서로 구분되어 일어나고 있음이 연구되었다(Gopinath and Seralathan, 2005). Anfuso and Pozo(2005)는 지형학 및 GIS 공간 분석을 통해 이탈리아 시실리 해안의 해안구조물 건설에 따른 해안침식의 영향을 보고하고 그 관리방안에 대해 논의하였다.

Hapke and Plant(2010)는 해안의 암석절벽의 침식에 따른 후퇴를 예측하는 데 Bayesian 확률론적 모델의 효과적인 적용성을 증명하였다. Walkden and Dickson(2008)은 상승하는 해수면 조건 하에서 연약한 암석으로 이루어진 해안의 침식에 대한 수학적 모델을 제시하였다.

3. 기존 연구와의 차별성

해안지대의 침식에 대한 기존 연구들은 주로 광역적인 범위에서의 침수 및 침식에 따른 자연재해, 해빈을 중심으로 한 퇴적물 이동에 따른 해안선 및 생태환경의 변화에 집중되어 있다. 연구대상지와 같이 일부 해안절벽을 형성하는 암석해안에 대한 침식작용 및 침식모델에 대한 연구가 국내외에서 이루어지기도 하였으나 그 사례는 매우 드물다. 암석해안이라 하더라도 연구대상지는 느슨한 상태의 연약한 암반을 이루고 있으므로 이에 대한 침식 및 붕괴에 대한 연구는 매우 드문 사례라 할 수 있다.

그동안의 해안침식에 대한 접근은 해빈 침식 및 이에 따른 해안선, 해안지형의 변화에 초점이 맞추어져 지형 측량과 같은 지형학적 접근이나 해파를 고려한 수문학적 접근이 기초적 접근법으로 적용되어왔다.

이번 연구에서는 연구대상지의 지형 및 지질학적 특수성을 고려하여 화산지질학, 지질공학, 지형측량 및 지형학, 퇴적학 및 고생물학 그리고 토목공학 등 다양한 학문 분야를 포괄하여 해안침식의 원인 규명, 향후 거동 예측, 고해수면 변동을 기초로 한 미래 퇴적환경 변화, 최신의 측량 기법을 적용한 지형측량과 GIS 지형 분석을 수행하고 현실적인 침식저감 방안을 마련하고자 한다.

제2장 총괄연구개발과제의 내용 및 방법

제1절 총괄연구개발과제의 연구 내용

연구대상지 중 송악산과 수월봉과 같이 해안절벽을 이루고 있는 해안지대의 침식은 기본적으로 점진적인 물리적 및 화학적 풍화에 따른 침식이 진행되기도 하나 해파에 의한 침식 및 붕괴가 보다 우세하게 발생하여 해안침식의 주요 원인으로 작용한다. 특히, 이러한 양상의 침식은 급격하고 대규모로 일어나므로 재해로서 큰 피해를 일으키기도 한다. 최근의 송악산 해안절벽의 붕괴나 성산일출봉에서 파악된 붕괴 현황 등은 해안절벽의 일부가 화산체에 발달한 지질구조에 규제되어 급격하게 대소규모의 암체 형태로 붕괴되었음을 보여준다(안웅산 외, 2013; 제주특별자치도 세계자연유산관리단·한국지질환경연구소, 2014). 따라서 연구대상지역의 해안침식에 대한 원인 분석 및 향후 거동 예측에 있어서 암반사면공학, 지질공학적 접근이 필수적이다.

한편, 제주도는 지질학적 신생대 제4기의 화산지대로서 화산활동에 의해 형성된 초기 지형과 지질 특성을 상당 부분 유지하고 있다. 암석은 주로 현무암류 및 조면암류의 용암류와 화산쇄설물로 구성된 분석층, 응회암류 및 응회질 퇴적암류 등으로 구성된다. 연구대상지역인 수월봉과 송악산은 수성화산활동에 의해 형성된 화산체인 응회환으로서 응회암류로 구성된다. 이들 화산체를 구성하는 응회암류는 상당수의 구성 입자들이 연약하고 교결 정도가 불량하여 공학적으로 풍화암 또는 풍화토의 연약 암반을 형성한다. 전체적으로 다양한 층리구조가 발달하나 층리면이 서로 분리되어 있지 않고 밀착되어 있다. 또한, 화산체 형성과정에서 발달한 고각을 이루는 퇴적 동시성 단층 및 절리가 발달하며 화산체 형성 후의 지구조운동에 의한 지질구조는 나타나지 않는다. 따라서 주로 고각의 지질시대에 형성된 육지와는 매우 상이한 지형, 지질 및 지질구조가 발달하고 있어 지질공학적 조사에 있어 필수적으로 화산작용, 화산체의 형성과정 등의 화산지질학적 접근이 절대적으로 필요하다.

송악산 서쪽 해안과 사람발자국 화석산지는 과거 고해수면 시기에 송악산 화산분출물이 파도나 조류에 의해 재동되어 천해환경에서 퇴적된 응회질 퇴적층으로 구성된다. 특히, 이 지역은 대규모의 해안절벽으로서 암석해안을 이루고 있는 수월봉, 송악산과는 달리 해수면 부근의 해변 또는 파식대지를 이루고 있다. 따라서 이 지역은 해안침식과 더불어 향후 해수면 변동에 따른 퇴적환경의 변화가 일어날 것이며 침식과 재퇴적이 활발하게 진행될 것으로 예상된다. 그러므로 이 지역은 과거 해수면 변동과 퇴적환경을 복원하고 앞으로의 해수면 변동에 따른 미래 퇴적환경의 변화상을 파악하는 것이 중요하다.

해안침식에 대한 주기적인 모니터링 방법은 최신의 지형 측량 기법인 항공라이다 및 지상라이다 측량 방법을 적용하였다. 이러한 라이다 측량 기법은 다양한 규모 또는 범위의 지형 형상에 대한 고해상도의 정량적인 정보를 신속하게 구축하고 다양한 형태로 모델링할 수 있다. 따라서 정기적인 라이다 측량을 통해 연구 대상 지형의 미소한 변화량을 정량적으로 파악할 수 있어 중장기적인 지형 변화 모니터링에 매우 효과적으로 적용할 수 있다. 육상 지역의 라이다 측량과 함께 연구대상지 주변의 연안 지역에 대한 해저수심측량을 병행하여 해저지형자료를 구축하였다.

해안절벽의 침식을 일으키는 가장 큰 힘은 해파에 의해 작용하는 응력이라 할 수 있다. 그러므로 해안지형의 침식 저감 방안을 마련하는데 있어서 해안절벽에 미치는 파력의 영향에 대한 수치 시뮬레이션 및 수리모형실험은 매우 필수적이다. 이를 위해서는 여러 해양 자료 획득을 위한 장기간의 해양 모니터링이 선행되어야 한다. 그러나 본 총괄연구개발과제는 연구대상지역의 해안 침식의 현황 파악, 원인 해석 및 라이다 측량 기법을 적용한 침식 모니터링에 초점이 맞추어져 있다. 따라서 금번 총괄연구개발과제에서의 침식저감 방안은 국내외 사례 연구에 중점을 두어 연구대상지에 적용한 저감 방안을 수립, 제안하였다. 아울러 연구대상지 일원의 해저지형 자료와 기존의 해양 관측 자료를 수집하여 파력에 의한 해안절벽의 침식에 대한 기초적인 수치 시뮬레이션을 수행함으로써 향후 보다 정밀한 수치 시뮬레이션 연구의 기초자료를 마련하였다.

총괄연구개발과제의 연구내용은 화산지질학적 조사를 병행한 지질공학적 조사, 고해수면 변동 및 퇴적환경 복원과 미래 퇴적환경 변화 예측을 위한 퇴적학 및 고생물학적 분석을 통한 침식 현황, 원인 및 향후 거동 예측, 지형측량(항공 및 지상라이다 측량, 해저지형 측량)을 통한 침식 모니터링, 침식저감 방안 사례 수집 및 분석과 기초 수치시뮬레이션을 통한 침식저감 방안 마련 등으로 구성된다.

제2절 총괄연구개발과제의 연구 방법

1. 항공레이저 측량 및 디지털 항공사진 측량

가. 항공레이저 측량

1) 측량 설계와 수행

항공레이저측량을 위하여 「항공레이저측량 작업규정」을 기본으로 작업의 효율성, 항공기 운영, 지상 GPS 기준국의 위치, 기상조건, 항공기 교통량 등 제반여건을 감안하여 작업계획을 수립하였다. 항공레이저측량 시 안개, 구름, 적설 등 외부 기상조건에 따라 레이저 펄스의 흡수, 반사, 산란 등이 발생할 수 있는 경우에는 데이터 수집을 일시 중단하며, 레이저가 사람의 눈에 치명적인 영향을 미칠 수 있으므로 안전장치(자동차단장치)를 가동하였다.

항공레이저 측량 장비는 캐나다 Optech사의 ALTM30/70으로서 초당 70,000번의 레이저 펄스를 주사하여 한 개의 펄스 당 최대 4회의 레이저 포인트가 획득되는 최신의 장비이다. 넓은 지역의 지형 및 지물의 3차원 점 데이터를 신속하게 획득하고 대용량 외장하드에 자동으로 저장된다. 또한 사용된 프로그램은 촬영설계를 위하여 ALTM-NAV, 원시데이터 처리용으로 DASH-map, GPS/INS처리용으로 POSPac, 수치표고자료 제작용으로 핀란드 TerraSolid사의 TerraScan과 TerraModeler를 사용하였다.

측량 범위는 연구지역에 대해 300m의 여유를 두어 데이터 취득하였다. 측량시간대는 조간대를 전후하여 설계를 하고 데이터의 정확도를 높이기 위하여 기상, 태양고도 등을 고려하여 작업하였다. 항공기의 운항속도 130knot, 스캐닝 폭은 $\pm 20^\circ$, 비행고도 약 1,200m의 조건에서 점밀도 4점/ m^2 이상, 50% 이상 중복을 두고 취득하였다. 일반적으로 수직정확도는 1,200m에서 15cm, 3,000m일 경우에는 35cm가 확보되며, 수평정확도는 비행고도(H) $\times 1/2,000$ 로 제시되어 약 1,000m 측량 시 50cm이내가 유지된다.

항공측량 시 항공기의 정확한 위치측정을 위한 자료로 이용하기 위해 지상 GPS 기준국을 이용하게 된다. 지상 GPS 기준국은 항공기의 이륙에서부터 착륙까지 모든 시간대에 걸쳐 지속적으로 운영된다. 항공라이다 측량 시 지상에 1점 이상의 GPS 기준국을 설치하며, 30km 이내로 포함된 지상 GPS 기준국을 운영하였다.

2) 원시라이다 자료 처리 및 수치표고자료 구축

항공측량 시 원시라이다 자료인 INS자료는 1/200초 단위로 기록하며 GPS 자료와 융합하여 위치 정확도 높였다. 또한 GPS와 INS 자료를 시간을 기준으로 통합하여 항공기의 위치와 자세를 정확하게 산출하였고, PDOP는 3.5이하, GPS 위성 개수는 5개 이상을 확보하였다.

원시라이다 자료를 기준으로 일정한 점 데이터(point cloud)를 그룹으로 지정하여 그룹 안에 속해 있는 점들과 비교하여 절대 높이 값이 과대 또는 과소일 경우 그 점들을 소거하였다. 높이 각, 건물 크기 등의 임계값을 이용한 자동 분류 후 육안 검수 통해 미진한 부분에 대해서는 매뉴얼 방식의 2차 분류를 수동으로 수행함으로써 분류 정확도를 향상시켰다. 타원체고의 라이다 자료를 2013년 국토정보지리원에서 제작한 KN지오이드모델을 이용하여 정표고 변환 실시하였다. 수치표면자료에서 지면데이터에 대한 클래스를 바탕으로 아스키(ASCII)포맷의 1m 격자형 수치표고자료를 제작하였다. 수치표고자료를 높이 값에 따라 색상을 부여한 음영기복도로 제작하여 주변 지형보다 높이 차가 큰 지역에 대한 육안 검사를

수행하여 정확한 수치표고자료를 구축하였다.



그림 2-1. 항공레이저 측량의 설계와 수행.

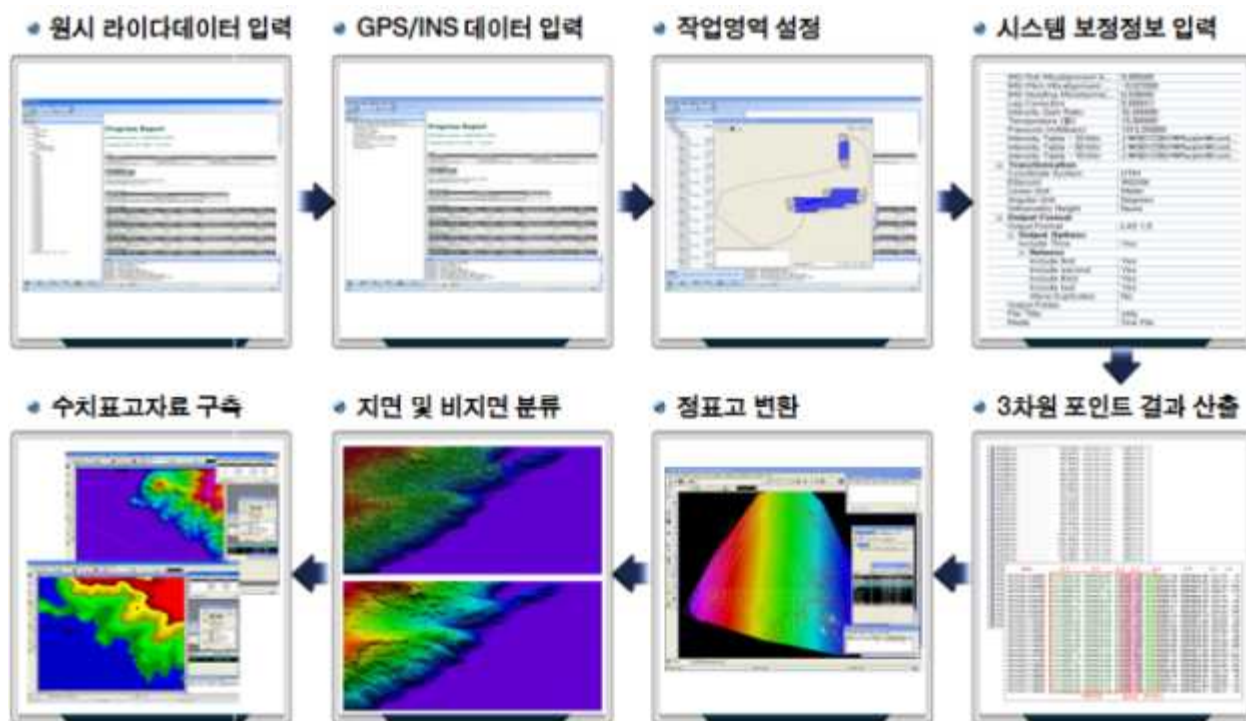


그림 2-2. 원시라이다 자료의 처리와 수치표고자료 구축.

나. 디지털 항공사진 촬영

1) 촬영 설계 및 촬영

공간해상도와 중복도를 고려한 최적의 비행코스로 설계하며 촬영 시 비행기의 고도를 최대한 일정하게 유지할 수 있도록 하였다. 다방향에서 관측이 가능하도록 동일 지역에 대해 남북, 동서 방향으로 촬영 실시하였다. 항공사진촬영은 해상도(GSD) 최소 11cm이상의 디지털 칼라 항공사진 획득하였다. 촬영비행은 태양고도가 산지에서는 30°평지에서는 25°이상일 때 행하며 험준한 지형에서는 음영부에 관계없이 영상이 잘 나타나는 태양고도의 시간에 촬영을 실시하였다.

2) 원시자료의 처리와 정사영상 제작

촬영 당시 항공기의 위치 및 자세정보와 지상베이스와의 성과를 통합 처리하여 초기 외부표정요소를 산출하였다. 촬영 당시 기상 조건 및 지역적 특성을 고려하여 각각의 밴드 별 방사조정을 통해 고품질의 컬러영상 확보하였다. 음영 및 반사가 심한 지역에 대해서는 미세조정을 통하여 최상의 결과 도출하였다.

원시자료처리를 통해 산출된 초기 외부표정요소와 취득된 영상으로부터 선점된 지역에 대해 GPS로 정밀하게 현지측량을 실시한 지상기준점 성과를 활용하여 항공삼각측량을 수행하였다. 신속하고 정확한 작업을 위해 번들조정을 실시하며, 작업 간 발생하는 오류에 대해서는 기준점 재 관측 및 반복계산을 통해 최종적으로 최적의 정확도를 가진 외부표정요소를 산출하였다.

항공라이다측량을 통해 얻은 DEM과 항공삼각측량성과 및 원본영상을 이용하여 미분 편위수정을 통해 지형의 기록변위가 제거된 정사영상 제작하였다. 자체 개발한 정사영상 제작 솔루션을 이용하여 보다 정확하고 신속하게 고품질의 정사영상을 제작하였다. 단 사진별 정사영상 제작이 끝난 전체 대상지역에 대하여 모자이크 영상 제작하였다. 모자이크 영상 제작 작업은 정사영상에서 중첩부분에 접합선(Seam Line)을 설정하여 전체적인 하나의 영상으로 제작하였다. 3단계의 영상 색상조정을 통하여 고품질의 모자이크 영상을 제작하였다.



그림 2-3. 정사영상지도 제작 과정.

2. 지상라이다 측량

가. 측량 계획

스캐너에 앞서 스캔의 목적을 분명히 하여, 현장 상황, 형태, 길이, 작업 환경 등을 사전 조사하여 목적에 부합하는 작업 장비를 구성하였다. 스캐너에서 방출되는 레이저 포인트가 해안 절벽면에 반사되는 거리 및 스캐너의 각도 등을 고려하여 스캐닝이 잘 될 수 있는 지점을 선정하였다. 지상라이다 촬영의 점밀도는 5mm/500m, 라이다 촬영 해상도는 12.2 메가픽셀로 설정하였다.

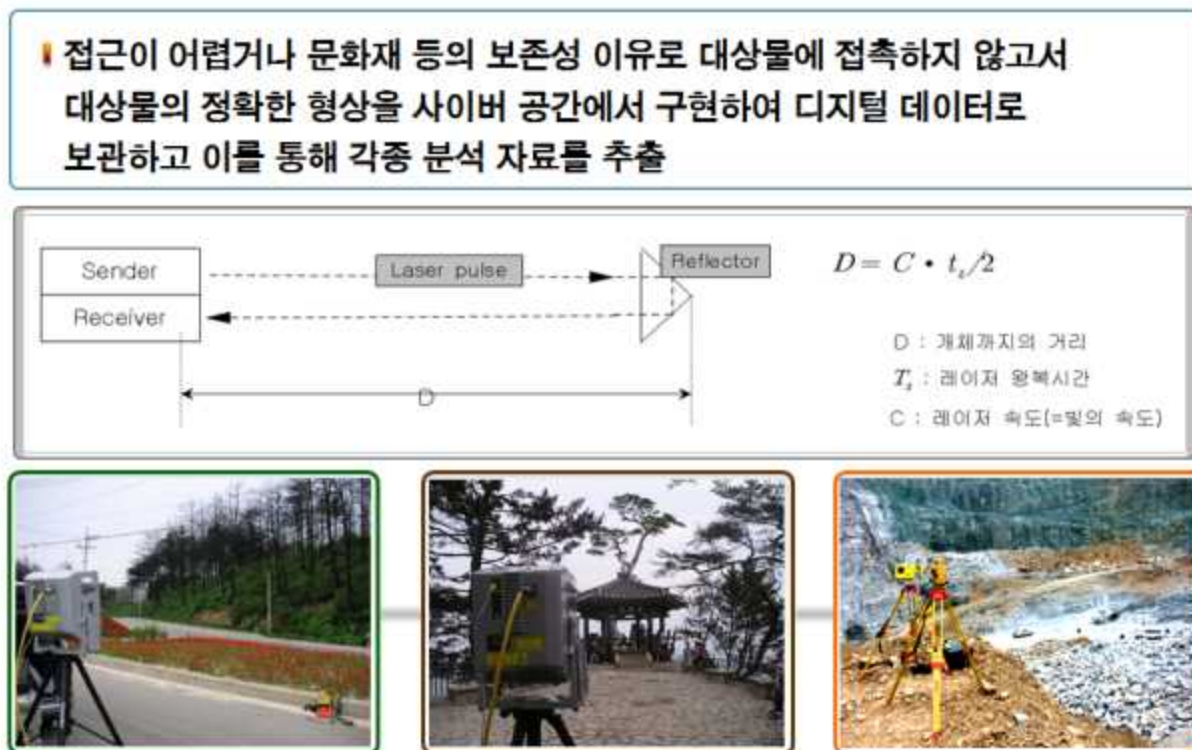


그림 2-4. 지상라이다 측량의 원리.

나. 지상기준점 측량

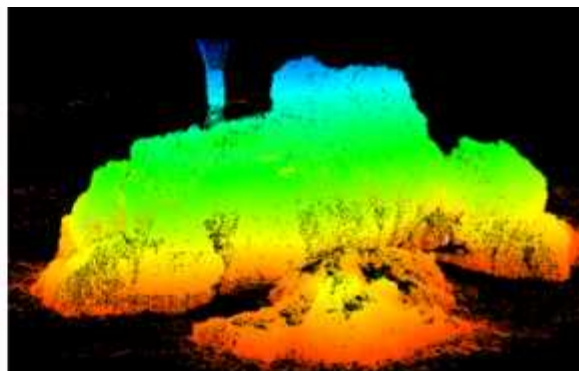
지상기준점 측량으로 얻어진 기준점 조서에 의해 기준점 위치를 파악하고 3D 측량에 필요한 기준점에 스캐닝 타겟을 설치하였다. 지상기준점 위치는 3D 스캔 지역과 동일한 지역으로 한지역당 최소 3점 이상 측량을 실시하며, 측량 시 3D 스캐너에 매칭을 위한 타겟은 3D 스캐너에서 정확한 위치를 산정할 수 있는 스캐너 전용 타겟을 이용하였다.

다. 자료 처리와 수치표고모델 및 3차원 영상 제작

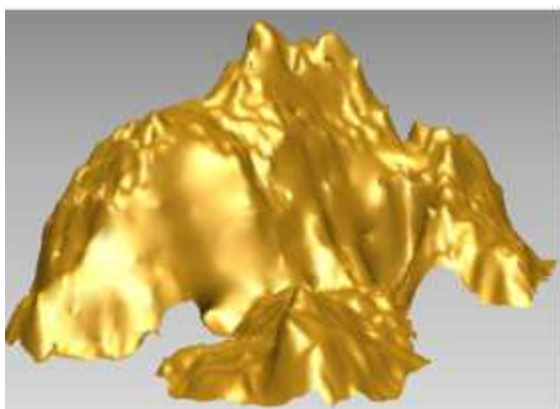
서로 다른 좌표를 갖는 스캐닝 자료를 동일한 좌표계를 갖도록 Registration 작업 실시하였다. 취득된 자료를 중첩되는 point 데이터군에서 동일한 포인트를 3포인트 이상 찍어 두 영상의 포인트 자료가 일치하는 부분을 찾아 상대좌표를 갖는 통합된 자료 취득하였다. 하나로 매칭된 3D스캔자료를 이용하여 지상기준점 측량 타겟과 매칭을 실시하여 절대좌표로의 변환을 실시하였다. 3차원 좌표로 표현된 점들을 이용하여 처리된 원시자료(DSD), 지면분류성파(DTD), 격자형 수치표고자료(DEM)을 구축하였다.



현장사진



원시 데이터



3차원 모델 데이터



3차원 텍스처 모델 데이터

그림 2-5. 지상 라이다 자료 처리 및 영상 제작 과정.

제3장 총괄연구개발과제의 최종결과 및 고찰

제1절 항공레이저 및 디지털 항공사진 측량 결과

1. 항공측량 개요

항공레이저 및 디지털 항공사진 측량 등의 항공측량은 국방부의 항공사진 촬영에 대한 최초 승인과 기상 악화로 인한 연기 및 재승인 요청을 받아 최종적으로 2015년 1월 6일과 7일, 양일간에 걸쳐 실시하였다. 항공 측량은 연구 대상지 주변에 분포하는 주요 지질유산이 포함될 수 있도록 최초 제시된 범위 보다 넓게 수행함으로써 측량 성과의 활용도를 높일 수 있도록 하였다.

수월봉 일원의 디지털 항공사진 측량은 북쪽의 당산봉과 서쪽 해상의 차귀도와 와도가 포함될 수 있도록 동서길이×남북길이, 4.4×6.4km(면적 28.3km²)에 이르는 범위를 수행하였다(그림 3-2). 송악산과 발자곡 화석산지 일원은 북쪽의 단산, 산방산 및 용머리 해안, 그리고 동쪽 해상에 위치한 형제섬을 포함하여 동서길이×남북길이, 5.7×7.3km(면적 41.6km²)을 촬영하였다(그림 3-3). 항공레이저 측량은 수월봉 일원의 경우 북동-남서 방향의 장방향으로 구획하여 장측 길이×단측 길이, 약 4.2km×3.4km(면적 약 14.2km²)의 범위에 대한 자료 처리를 완료하였다(그림 3-2). 송악산과 화석산지 일원은 동일한 형태로 구획된 약 5.2km×3.6km(면적 약 18.6km²)의 범위에 대한 자료 처리를 수행하였다(그림 3-3). 항공측량 범위에 대한 좌표 정보는 표 2-1에 제시되어 있다. 항공레이저 및 디지털 항공사진 측량의 전체적인 측량 수행, 자료 획득 및 최종 성과 작성 등의 과정은 그림 3-4와 같다.

2. 항공측량 결과

가. 항공레이저 측량 결과

1) GPS 기준국 설치와 시스템 검정

지상 GPS기준국은 이동 중인 항공기의 정확한 위치측정을 위한 자료로 이용한다. 따라서 항공기의 이륙에서부터 착륙까지 모든 시간대에 걸쳐 지속적으로 운용되었다. 사용된 GPS는 Trimble R7 GNSS System과 Trimble 5700으로 데이터 수신간격은 1Hz로 설정되었으며, 데이터의 정확도 확보를 위해 작업 지역의 범위가 지상 GPS기준국으로부터 반경 30km가 넘지 않도록 위치를 선정하였다. 각 지상 GPS기준국의 좌표는 과업지역에서 가까운 국토지리정보원의 상시관측소와 연결하여 Trimble Geomatics Office를 이용하여 GRS80 타원체상의 경위도와 타원체고로 산출하였다. 아래의 표는 처리된 지상 GPS기준국의 경위도 좌표와 타원체고를 나타내고 있으며, 이 성과는 항공레이저측량의 GPS/INS 데이터 처리에 이용하였다.

시스템 검정(calibration)은 시스템이 가지고 있는 자체 오차를 판별, 보정하며 정확한 지형의 3차원 위치 좌표값을 계산하기 위한 필수적인 공정으로, 항공기에 장비 탑재 이후 반드시 이루어져야 한다. 장비 설치 후 각 센서(항공레이저측량기, GPS수신기, INS장비)간의 이격거리를 Total Station을 이용하여 측정하고, 미리 마련된 검정장의 실제 비행 데이터를 기지좌표에 맞추어 보정하였다. 지상에서 측량기를 이용하여 구해진 측정값과 장비의 상수값과의 계산을 통해 이격거리 정보를 구하였다.

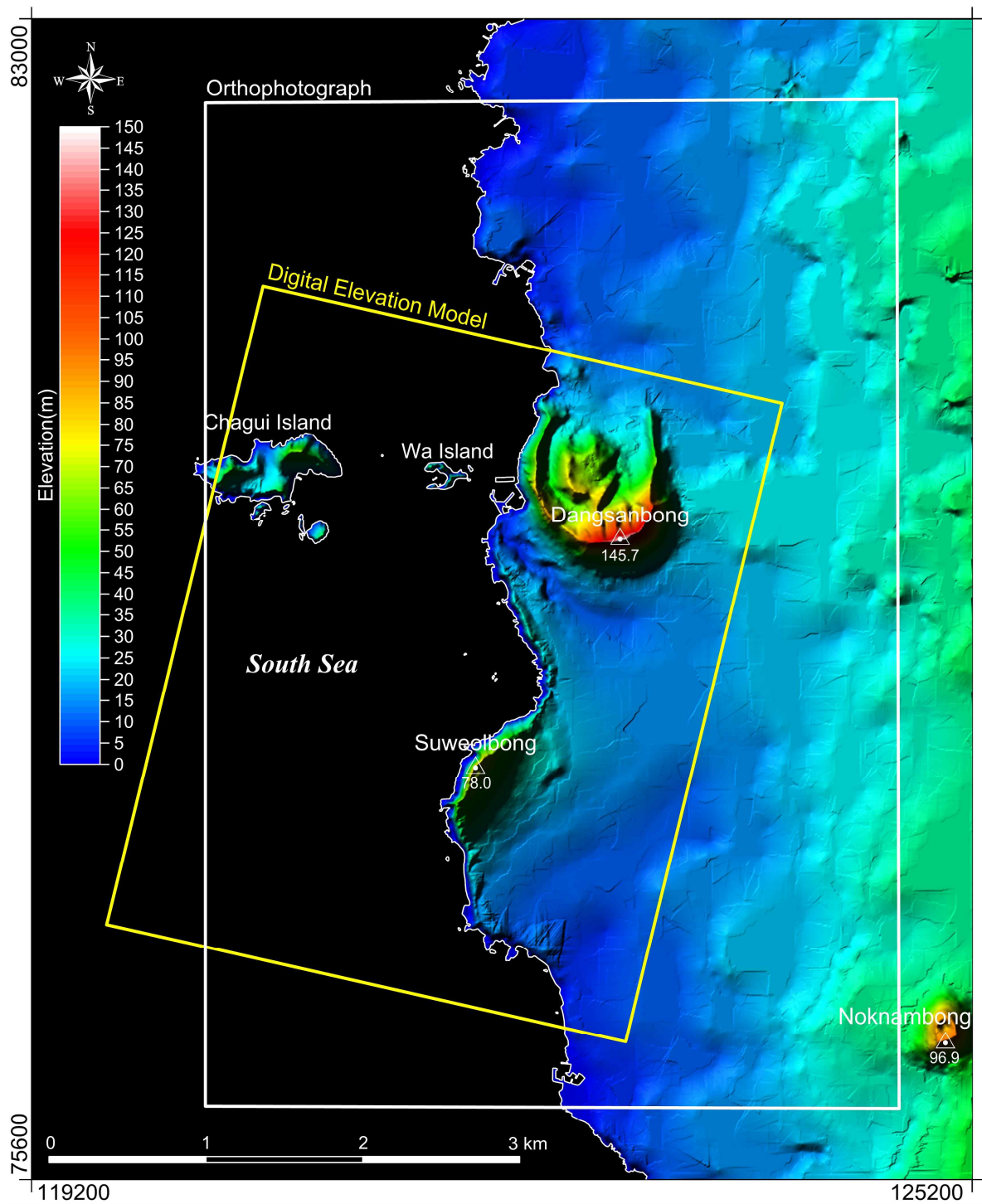


그림 3.-1. 수월봉 지역의 항공측량 범위.

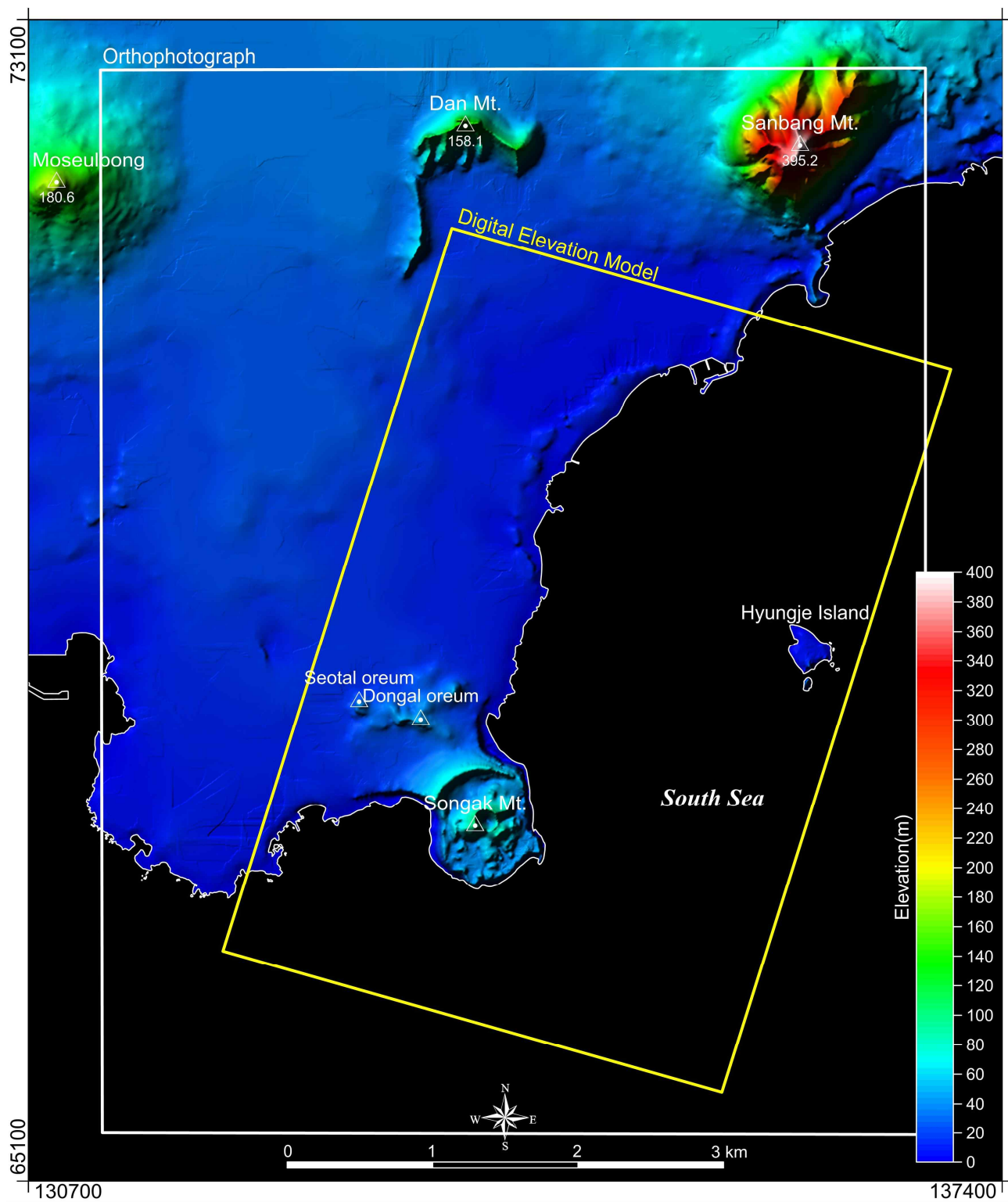


그림 3-2. 송악산과 발자국화석산지의 항공측량 범위.

표 3-1. 디지털 항공사진 측량 범위의 좌표 정보.

연구 지역	좌표				
	X(E)		Y(N)	경도(E)	위도(N)
수월봉	북서지점	120308.627	82467.781	126-08-38.56	33-19-57.45
	북동지점	124717.072	82490.197	126-11-29.00	33-19-59.32
	남서지점	120308.627	76071.800	126-08-40.59	33-16-29.87
	남동지점	124732.016	76056.856	126-11-31.51	33-16-30.53
송악산과 발자국 화석산지	북서지점	131194.258	72755.785	126-15-42.10	33-14-44.94
	북동지점	136870.572	72768.628	126-19-21.35	33-14-46.60
	남서지점	131207.100	65435.652	126-15-44.59	33-10-47.36
	남동지점	136870.572	65422.809	126-19-23.19	33-10-48.18

표 3-2. 항공레이저 측량 범위의 좌표 정보.

연구 지역	좌표				
	X(E)		Y(N)	경도(E)	위도(N)
수월봉	북서지점	120676.251	81294.891	126-08-53.15	33-19-19.48
	북동지점	123985.824	80551.791	126-11-01.32	33-18-56.22
	남서지점	122988.315	76482.272	126-10-24.00	33-16-43.89
	남동지점	119678.742	77225.372	126-08-15.88	33-17-07.14
송악산과 발자국 화석산지	북서지점	133611.925	71664.557	126-17-15.77	33-14-10.07
	북동지점	137044.735	70693.626	126-19-28.60	33-13-39.29
	남서지점	135469.385	65717.577	126-18-29.03	33-10-57.45
	남동지점	132036.574	66688.508	126-16-16.27	33-11-28.21

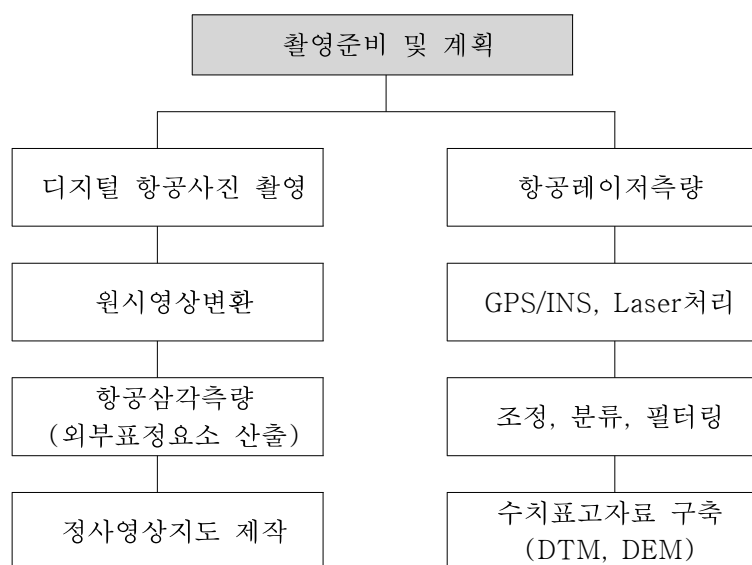


그림 3-3 항공측량의 측량 수행 흐름도.

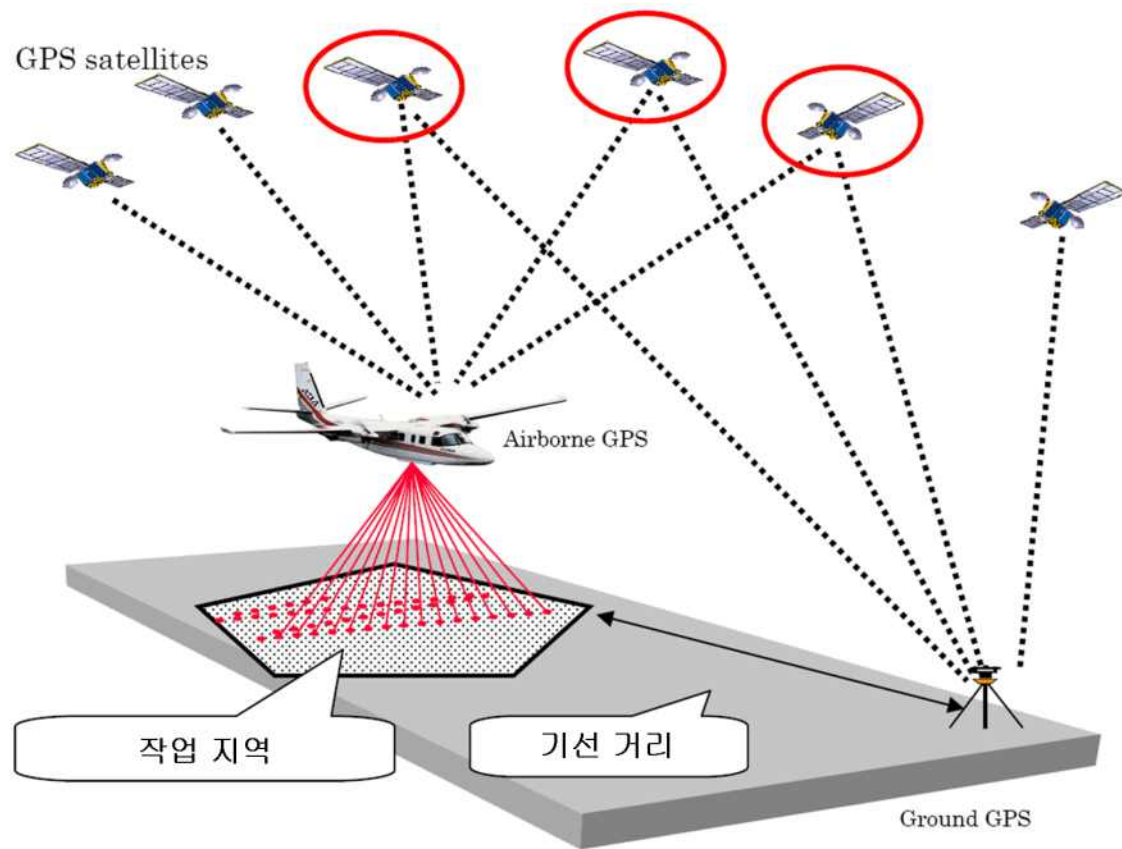


그림 3-4. 지상기준국의 배치.



그림 3-5. 마라도 지상기준국의 위치도.

Total Station 등 지상측량기를 이용하여 측정을 통해 얻어진 이격거리는 아래 표 3-3과 같다.

표 3-3. 센서 간 이격거리(R.P: reference point, user: mirror).

이격거리 (m)	X	Y	Z
R.P to GPS	-0.028	0.015	-0.997
User to R.P	-0.051	-0.030	-0.488
User to IMU	-0.090	-0.008	-0.096
User to IMU : misalignment(deg.)	0.000	0.015	-0.200

2) 시스템 오차 보정

검정장을 통한 시스템 오차를 조정하는 인자는 Pitch, Roll, Scale, Offset이다. 본 사업에서는 시스템의 보정을 위해 기 설치된 천안 독립기념관 및 공주대학교(천안공과대학) 주변지역의 항공레이저측량을 통해 보정작업을 실시하였다. 검정장에는 사전에 측정된 360개의 지상기준점이 분포하고 있으며, 이를 기준으로 항공레이저측량의 결과가 조정되었다(그림 3-10). 각 조정 인자에 따른 비행 방향은 그림 3-11과 같다.



그림 3-9. 지상기준점의 분포.



그림 3-10. 조정 인자별 비행방향.

(1) Pitch 보정

항공레이저측량 시스템의 Pitch 보정은 측량 시 발생하는 Y축 기준의 회전량 오차를 제거하는 것을 말한다. 항공레이저측량 데이터는 영상과는 달리 대상 지역의 3차원 포인트 좌표만으로 구성되어있기 때문에 각 보정량을 결정하기 위한 기준면의 정보를 획득하기 어렵다. Pitch 보정을 위한 기준 데이터는 높이 값이 지면과 확연히 차이가 나고, 일정구간 기복변위가 일어나지 않는 편평한 지붕면이 존재하는 건물을 선정하였다. Pitch보정은 비행방향과 직각방향의 축에 대한 회전량을 의미하는 것이기 때문에 레이저 스캔 당시 레이저 스캐너의 주사각을 0도로 설정하여 레이저 스캐너가 연직 방향의 데이터를 얻을 수 있도록 하여 데이터를 취득하였다. 건물에 반사된 라이다데이터와 지면에 의해 반사된 라이다데이터가 만나는 지점이 실제 측량에 의해 얻어진 건물의 외곽선과 정확히 일치하여야 하지만 pitch 각이 회전하여 있기 때문에 두 데이터간의 차이가 존재한다. 이 두 데이터 간의 차이만큼을 pitch에 의해 발생하는 오차로 간주, 그 양만큼을 고려하여 데이터를 계산하였다. 즉 라이다데이터의 진입점 및 종점과 건물의 외곽의 측정데이터와의 거리를 측정하여 회전량 오차 Pitch를 산출하였다.

(2) Roll의 보정

항공레이저측량 시스템의 Roll 보정은 측량 시 발생하는 X축을 기준으로 하는 회전량 오차를 제거하는 것을 말한다. 레이저 펄스가 일정한 주사 폭으로 비행방향에 직교하게 좌우로 주사될 때, Pitch 보정 후의 레이저 펄스의 3차원 위치는 X축의 회전량 변화에 크게 영향을 받는다. 즉 실제 건물의 위치와 라이다데이터가 비행방향의 직각 방향으로 일정한 간격으로 이동되어 있는 모습을 볼 수 있다. 이러한 현상은 X축에 오차가 포함되었다는 것을 의미한다. 따라서 Roll 보정을 위해서 건물의 옥상면이 모두 측량 가능하도록 빌딩의 횡방향을 따라 항공레이저측량을 실시하였으며 아래의 도면과 같이 실제건물을 측량

한 건물 최외곽과 항공레이저측량을 통해 얻어진 건물 최외곽의 거리 차이를 측정하여 X축 상의 회전량을 보정하였다.



그림 3-11. Pitch 보정을 위한 비행방향.

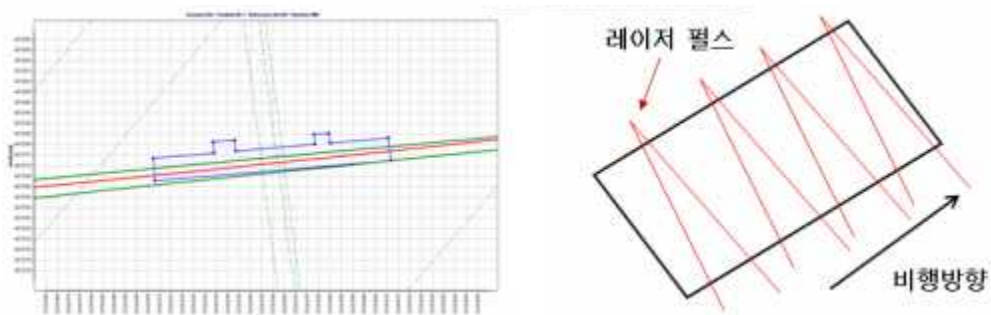


그림 3-12. Roll 보정을 위한 비행경로와 데이터 획득범위.

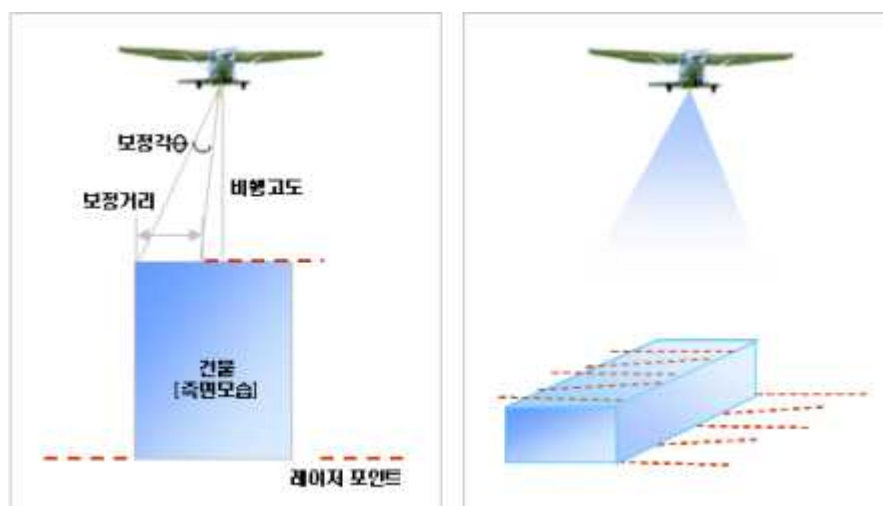


그림 3-13. Roll 보정방법.

(3) Scale의 보정

Scale 보정은 항공레이저측량 시 발생하는 거리측정의 scale을 보정하는 것이다. Scale에 따라 레이저 스캐너 주사폭의 양 가장자리로 가면서 라이다데이터의 오차가 존재한다. 즉 높이 값이 일정한 지면을 측량한다 하더라도 측정된 라이다데이터는 아래 그림과 같이 오목 혹은 볼록 형태의 결과를 얻게 된다. 이러한 scale의 오차를 보정하기 위해 넓고 평평한 노면에 대해 지상기준점의 배치와 직교하는 형태로 데이터가 중복되게 반복 비행하여 중복되는 스트립간의 라이다데이터를 비교하여 볼록 혹은 오목의 형태를 판단하고 Scale 오차를 제거하였다. 최종적으로 scale 양을 조정한 후에는 주사각에 관계없이 라이다데이터의 scale오차가 제거된다.

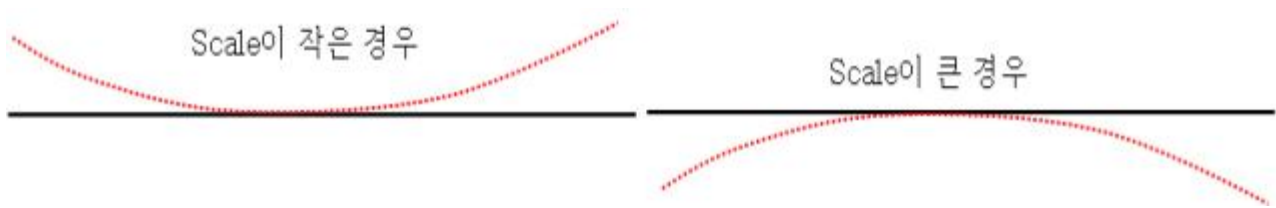


그림 3-14. 스케일에 따른 라이다 포인트의 결과.

(4) Offset의 보정

Offset은 지상기준점과 라이다데이터와의 일정한 높이값의 차이를 의미한다. scale 조정단계 이후에 라이다데이터와 지상기준점 간에 높이 방향으로 일정한 변위가 존재하며 이 양을 offset 보정을 통해 제거하였다. offset의 양을 조사하기 위해 지상기준점 배치를 따라 비행하게 되는데 이는 기준점 바로 위를 비행하는 경우에는 scale 에러의 영향을 최소화 할 수 있기 때문이며 획득된 모든 라이다데이터가 지상기준점과 동일한 높이값을 갖도록 조정하였다.

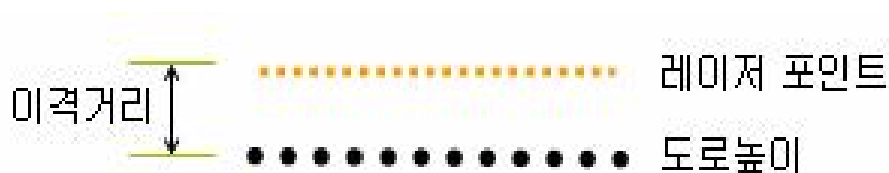


그림 3-15. 이격거리에 따른 offset의 보정.

본 측량을 위한 항공레이저측량 시스템의 보정은 2014년 4월 6일에 획득되었으며 데이터의 촬영경로는 그림 3-17과 같고 도출된 보정 값은 표 3-4에 정리하였다.

표 3-4. 검정을 통한 보정량 산출.

검정요소	보정값(deg, m)
	4월 6일
Roll	0.054
Pitch	-0.065
Scale	1.022
Offset	-0.015

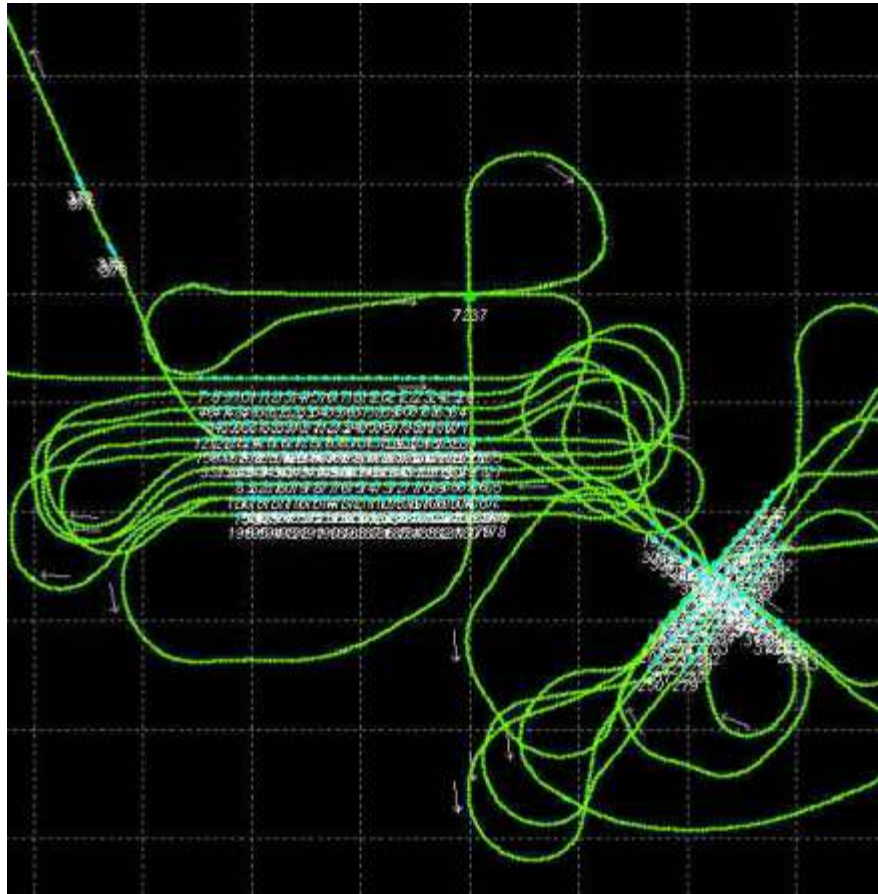


그림 3-16. 검정을 위한 비행경로(2014년 4월 6일).

3) 데이터 획득

연구지역에 대한 항공레이저측량은 2015년 1월 6일, 7일로 2일에 걸쳐 데이터를 획득하였으며 장비검정을 위하여 1회의 캘리브레이션 비행을 실시하였다. 비행은 사전에 계획된 설계구간으로 진행되었으며, 해당 날짜별로 기상과 GPS 위성의 배치환경, 지상기준점과의 거리, 바람에 따른 항공기 속도와 방향을 고려하였다. 항공레이저측량에 적합한 홀(hole)과 주변장치 거치대, 항공용 GPS수신기를 갖추고 있다. 또한 실시간 파일럿 계기비행 장치를 이용하여 현재의 비행방향과 당초 설계방향과의 비교를 통해 고품질의 데이터 획득을 유도하였다.

획득된 데이터는 「항공레이저측량 작업규정」에서 정한 재측량 요인의 판정기준에 적합한지 확인하였으며 그 결과 재측량이 필요한 구역은 없었다. 성과의 좌표는 WGS-84를 기준으로 획득되었으며 높이 및 거리의 단위는 m를 기준으로 하되 시스템에서 ft로도 표현하도록 하였다. 획득된 데이터는 3D로 표출이 가능한 수치표고모형을 구축하기 위하여 격자간격에 따른 점밀도를 m^2 당 2.5점 이상 확보하였다.

4) 데이터 처리

촬영을 마친 후 획득된 항공레이저측량 원시 데이터 처리는 크게 전처리와 후처리로 구분된다. 전처리는 지상 GPS와 항공 GPS데이터의 연계처리 및 INS 데이터 통합처리, 레이저 데이터 처리 등으로 3차원 데이터를 산출하며, 후처리는 3차원 데이터를 특성에 따라 지형, 수목, 건물 등을 분류하고 지형에 대한 수치표고모형(DEM: Digital Elevation Model)과 지형, 지물을 모두 포함하는 수치표면모형(DSM: Digital

Surface Model)을 제작하는 공정으로 다양한 성과품을 제작하게 된다. 각각의 공정들은 대부분 자동화 모듈에 의해 처리되며 정확한 데이터 처리를 위하여 매뉴얼 방식으로 점검하고 최종 성과를 제작하도록 하였다.



그림 3-17. 항공레이저 측량 코스도

(1) 전처리

전처리 단계는 획득된 GPS/INS 데이터, 레이저 데이터, 지상 GPS기준국 데이터를 이용하여 지형에 대한 3차원 점 좌표를 산출하는 과정으로 항공레이저측량 시스템의 하드웨어 특성정보, 설치센서간의 이격거리, 캘리브레이션 정보 등을 통합하여 처리하였다. ALTM30/70 장비를 이용하여 데이터를 획득하였으며, 3차원 점 데이터를 처리하기 위해 장비제조사(Optech사)에서 제공하는 Dash-map과 Applanix에서 제공하는 POSPac 소프트웨어를 이용하였다. 그림 3-19는 데이터의 전처리 공정을 보여준다.

GPS/INS데이터는 항공기의 이동 중에 수신된 데이터이므로 이의 좌표 결정을 위해서는 지상 GPS기준국에서 생성된 데이터와 함께 DGPS처리를 수행하였다. 이 과정에서 GPS위성의 개수, 신호단절, PDOP 등의 품질관리가 이루어진다. INS는 초당 200회의 정보를 산출하며 항공기의 좌표결정 이후 좌표정보와 합쳐져서 촬영당시 항공기의 위치 및 자세를 구할 수 있다. 또한 GPS, INS, 레이저 센서 데이터는 시간 정보를 기준으로 통합될 수 있다.

그림 3-20은 연구지역의 지상 GPS 기준국 및 항공 GPS 데이터 처리화면이다. 각각의 그래프는 데이터처리의 결과를 보여주며, GPS의 종합적인 정확도를 나타내는 Combined Separation, 위성의 고른 배치 정도를 나타내는 PDOP(Positional Dilution Of Precision), 관측된 위성개수를 나타내는 Number of satellites bar plot이 있다.

그림 3-21과 그림 3-22는 각각 GPS와 INS 데이터의 통합 처리 과정과 GPS 데이터의 품질관리 과정을 보여준다.

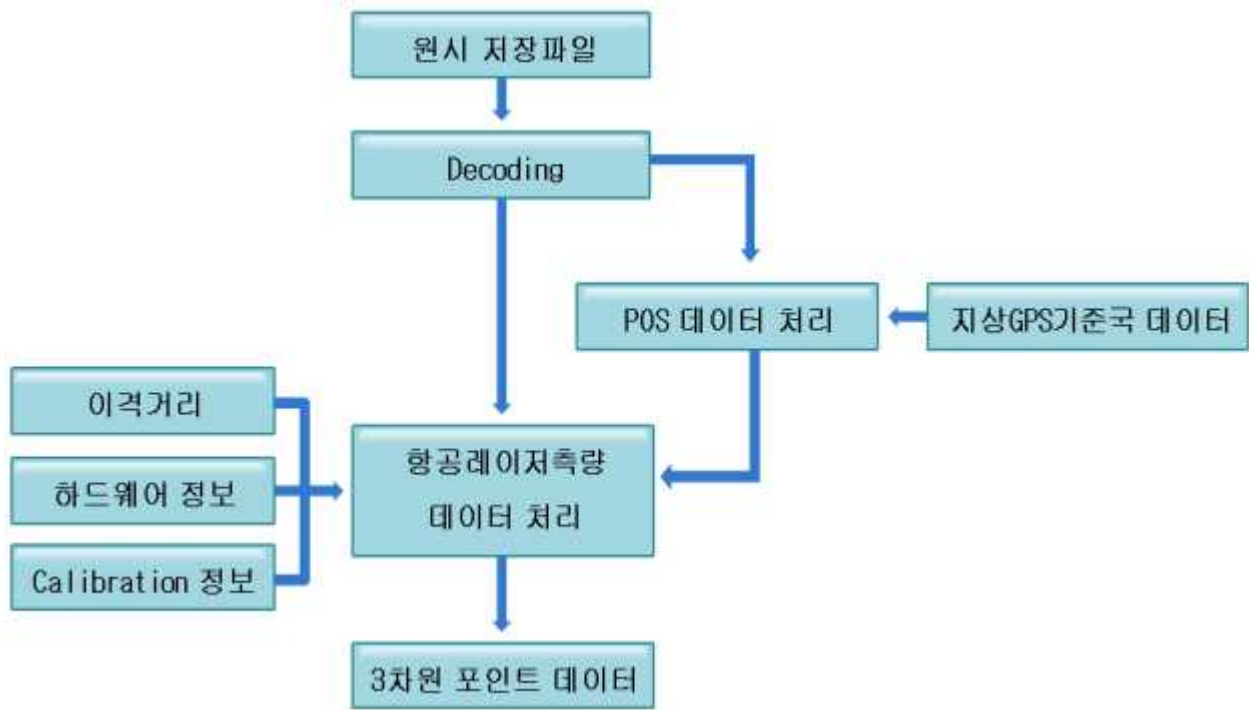


그림 3-18. 전처리 공정.

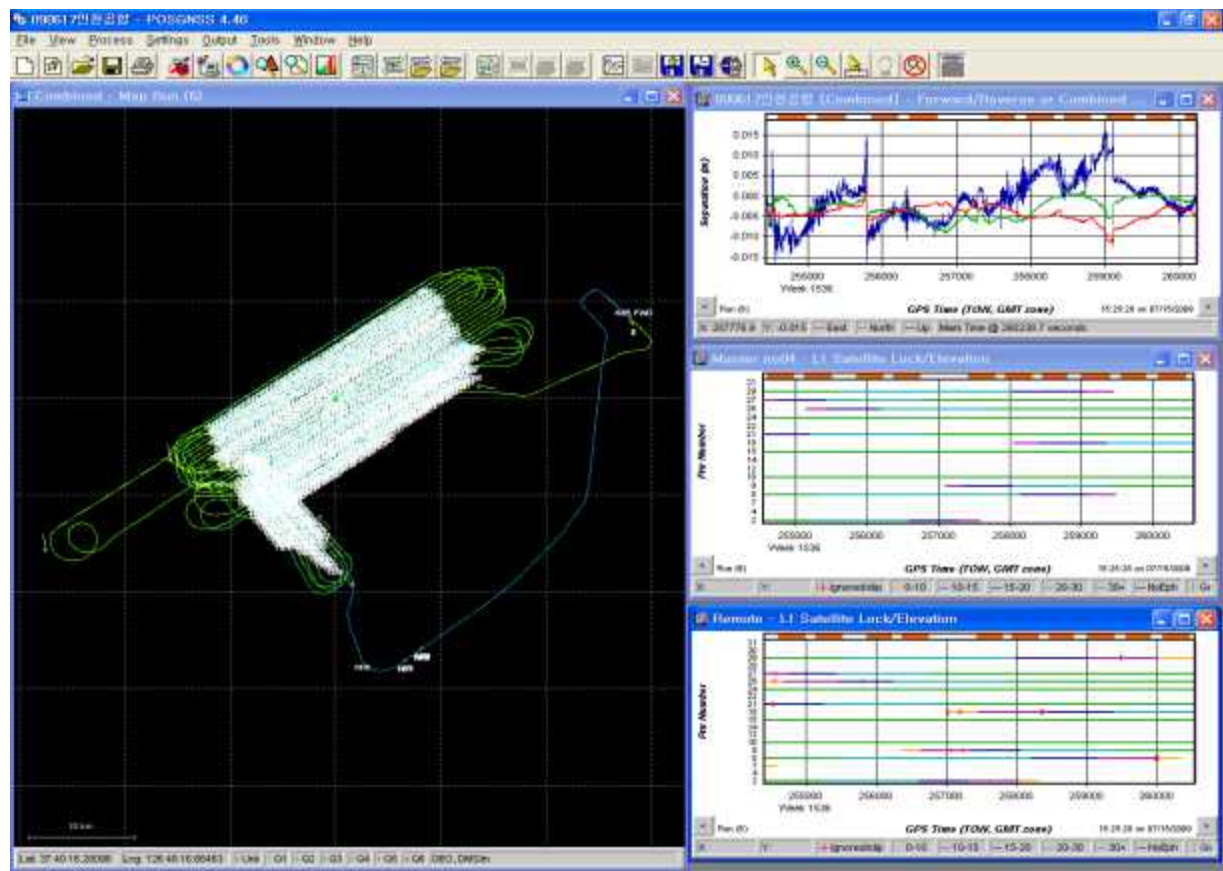


그림 3-19. 지상 GPS 및 항공 GPS 데이터 처리.



그림 3-20. GPS와 INS 데이터와의 통합처리.

항 목	내 용
<Combined Separation Plot>	종합적인 정확도를 나타내는 그래프로써 ± 0.05 이내로 결과 산출
<PDOP-Positional Dilution Of Precision Plot>	위성배치상태의 양호함을 나타내는 수치로써 3.5 이하가 되어야 함.
<Number of satellites bar plot>	관측된 위성개수를 나타내는 수치로써 6개 이상이 되어야 양호함

그림 3-21. GPS 데이터의 품질관리.

GPS/INS 데이터 처리 이후 항공기의 위치 및 자세정보를 바탕으로 라이다데이터를 획득된 항공기와 센서간의 이격거리, 시스템 검정 정보 등도 통합하여 처리한다. 본 사업에서 산출물의 기준이 된 타원체는 WGS-84이며, 중부좌표계(TM)로 결과를 산출하였다.

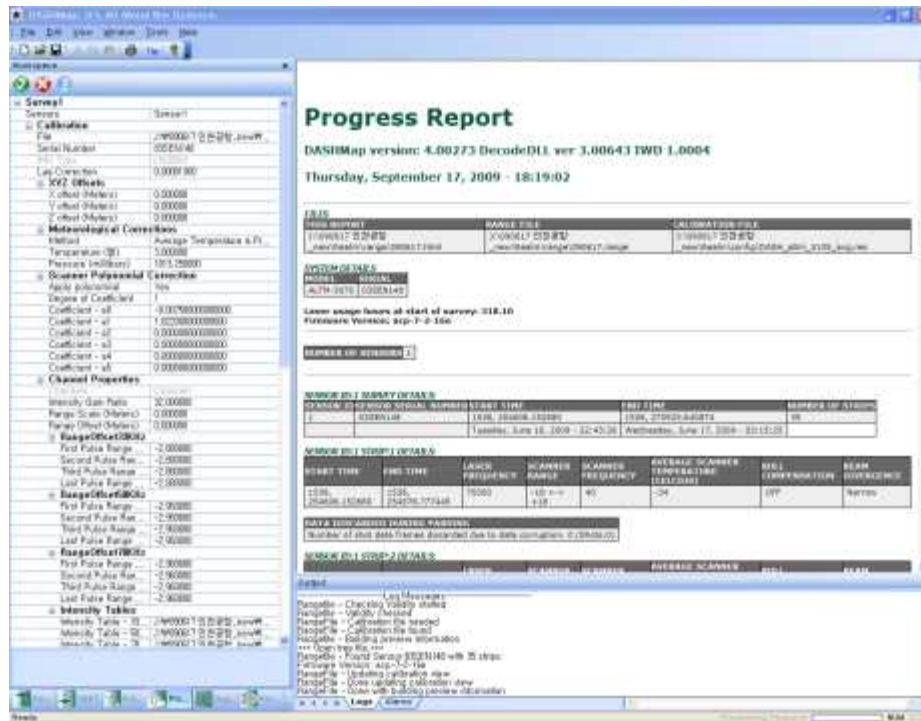


그림 3-22. 3차원 좌표 산출.

(2) 후처리

데이터의 후처리란 전처리 단계에서 생성된 불규칙한 라이다데이터를 이용하여 사용자 목적에 맞도록 가공하는 것으로 지오이드 보정을 통한 정표고 변환, 데이터의 분류, DEM, DSM 등의 결과물 제작을 포함한다. 즉, 데이터 후처리는 전처리 단계에서 제작된 라이다데이터를 사용자의 이용 목적 및 활용성에 따라 가공 처리하는 단계이다.

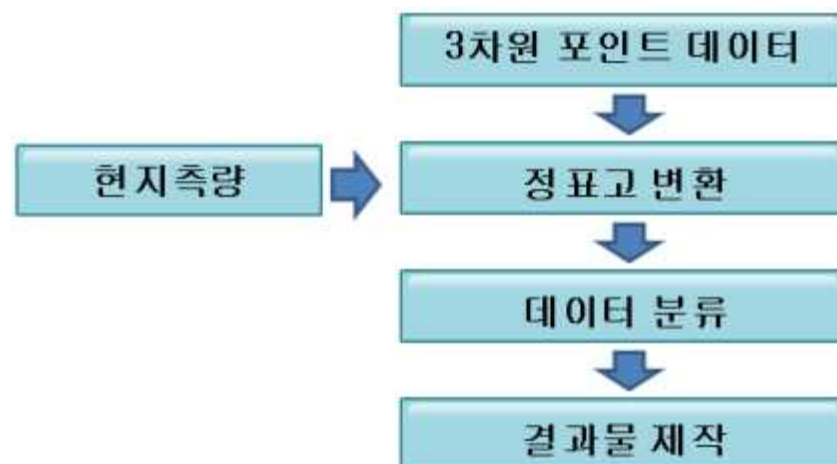


그림 3-23. 후처리 공정.

항공레이저 측량은 GPS기반의 데이터 획득으로 원시 데이터의 높이 기준이 타원체고이다. 지형 등의 해발높이를 산출하기 위하여 2013년 국토정보지리원에서 우리나라 실정에 맞게 구축한 KN_지오이드 모델을 이용하여 사업 지역에 대한 정표고 변환을 실시하였다.

항공레이저측량으로 획득된 원시 데이터는 지형과 수목, 건물을 포함한 인공구조물로 이루어져있다. 이러한 3차원 점 데이터를 특성에 따라 분류하고 지형과 장애물 자료를 구축하게 된다(표 3-5; 그림 3-25와 3-26). 분류를 위해서는 초기점으로 지형보다 낮은 점 또는 주변에서 가장 낮은 점을 추출하여 반복 변수에 의해 지형 데이터를 자동으로 분류하게 된다. 그 다음 수목과 건물을 차례로 자동 분류하게 된다. 이러한 자동분류 처리 과정으로 얻은 결과는 분류 정확도를 확보하기 위하여 매뉴얼 방식으로 일정구역 Surface를 생성하여 육안으로 확인하고 수정하여 최종 결과를 얻었다.

5) 수치표고모델과 등고선도의 제작

정확도가 확보된 라이다데이터는 격자의 수치표고자료를 제작할 수 있다. 수치표고모델의 신뢰도를 확보하기 위하여 도엽 간 인접 확인, 등고선 고도 확인, 표고점 고도 확인, 완성된 수치표고의 확인 등 각 단계별 검수 절차를 거쳐 수치표고자료의 신뢰도를 보장하였다. 또한 모든 시스템에서 호환이 가능하도록 ASCII파일과 DXF 등의 형식으로 산출하였다. 앞에서 분류된 지형 데이터는 수목 및 인공지물을 제거한 지표면의 높이를 나타내며 지형의 수치표고모델(DEM)이 격자 형태로 자동 제작된다. 좌표는 미터(m) 단위이며 1:5,000 도엽 단위로 제작하였다. 제작된 수치표고모델의 기록은 X(Easting) Y(Northing) Z(Elevation) 순이며, ASCII형식으로 소수 2자리까지 표현하였다. 수치표고모델과 함께 항공레이저 측량 결과를 통해 정밀 등고선을 제작하였다. 등고선 제작은 최종 수치표고모형자료를 불규칙한 삼각망을 제작하고 등고선을 제작한다. 등고선 제작 기준은 1/1,000 기준을 적용하였다.

최종 성과로서 연구대상지 일원의 수치표고모델과 등고선도를 그림 3-27~3-30에 나타내었다. 또한, 침식저감 연구의 주 대상지인 수월봉 및 송악산 해안과 발자국화석산지의 수치표고모델을 그림 3-31과 3-32에 각각 나타내었다.

표 3-5. 데이터 분류 과정.

데이터	분 류	
	변 수	효 과
초기 데이터	최대 개수	검색 크기내에서 분류될 최대 포인트 개수
	최소 높이차	포인트 간 최소 높이 차이 설정
	XY 검색범위	XY방향으로 검색 될 포인트 간 거리
지형 데이터	최대건물크기	대상 영역의 최대 건물 크기
	반복 각	초기포인트와 다른 포인트 간 각도를 계산
	반복 거리	초기포인트와 다른 포인트 간 수직 거리를 계산
수목 데이터	최소 높이	지형 데이터로부터 분류될 최소 높이
	최대 높이	지형 데이터로부터 분류될 최대 높이
건물 데이터	건물 최소 크기	대상 영역의 최대 건물 크기
	최대 건물 지붕 경사	대상 영역의 건물 최대 경사
	최대 건물 간격	대상 영역의 건물 간 최대 간격

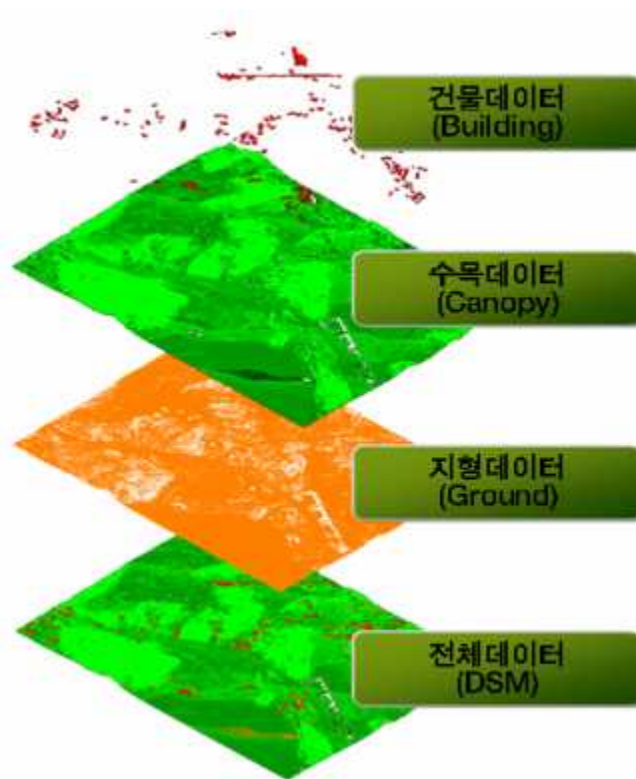


그림 3-24. 특성에 따른 데이터 분류.

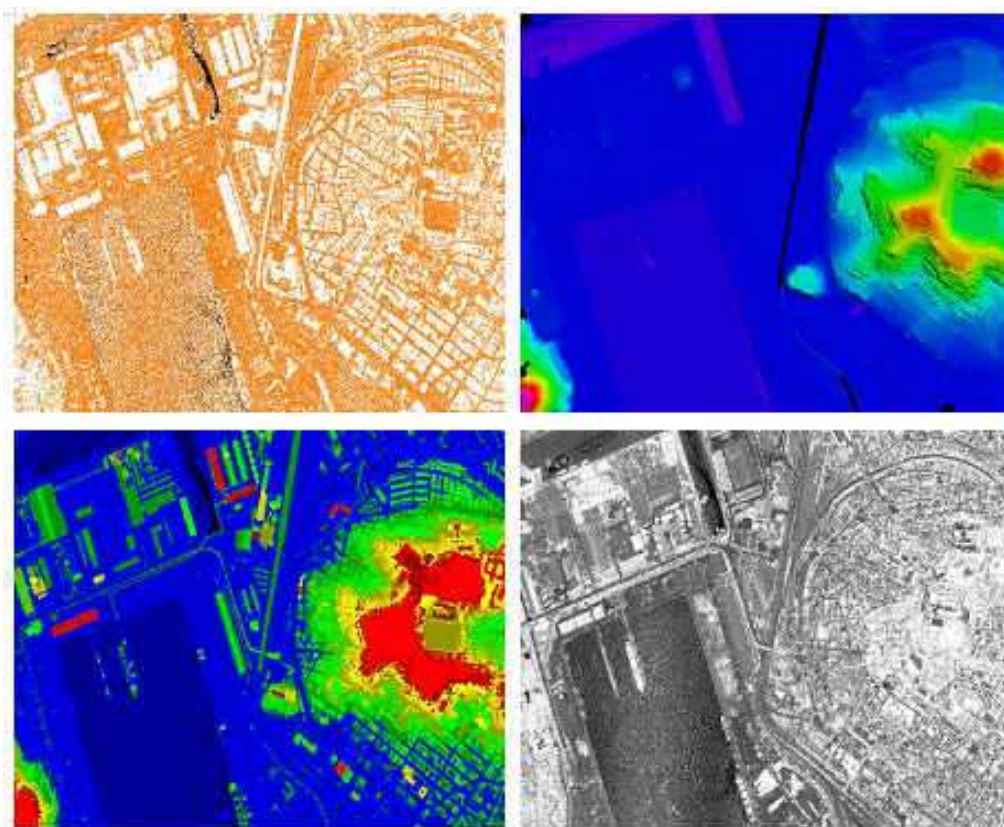


그림 3-25. 데이터 분류 결과.

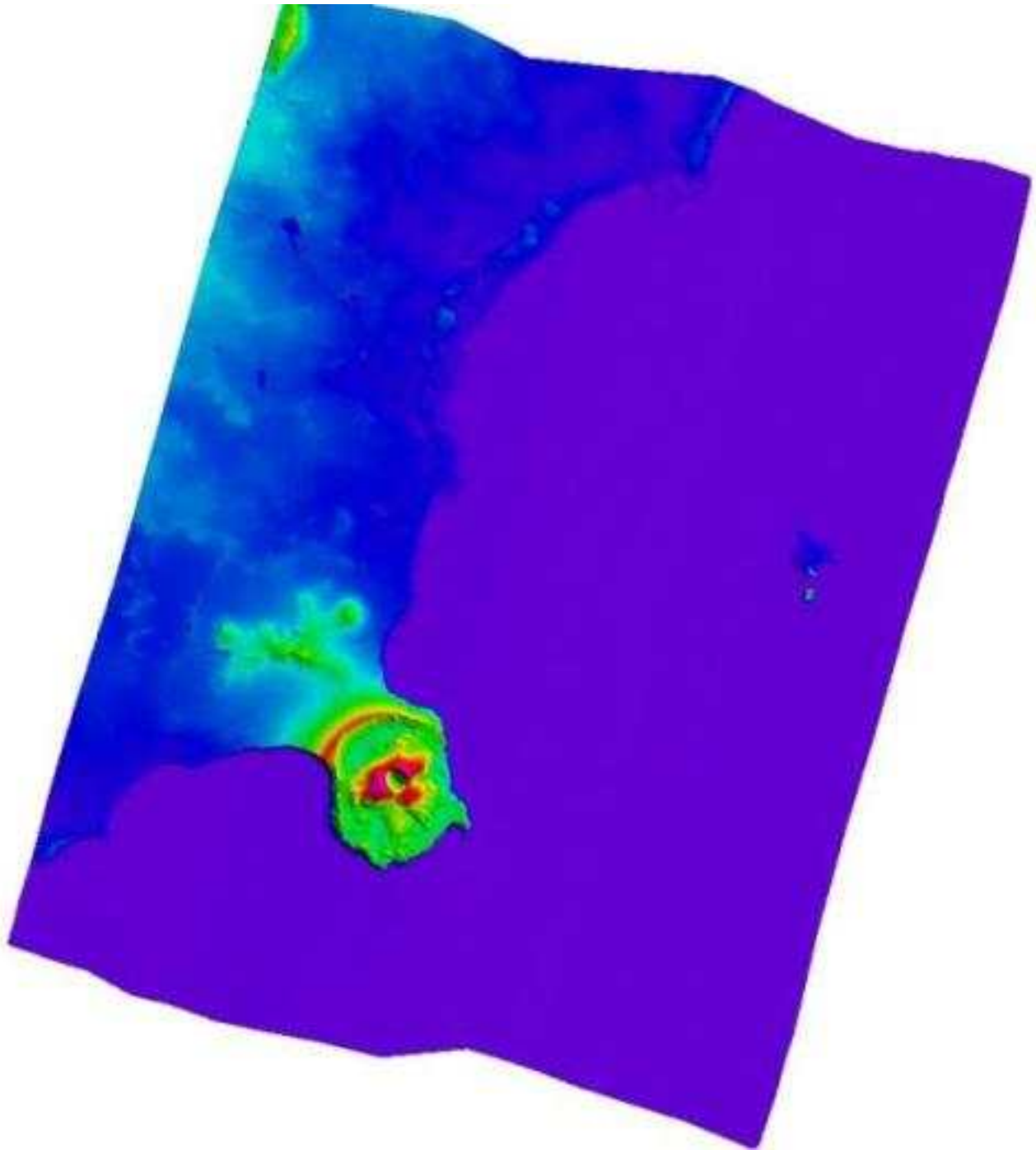


그림 3-26. 송악산과 발자국화석산지 일원의 수치표고모델(DEM).



그림 3-27. 송악산과 발자국화석산지 일원의 등고선도(1m 간격).

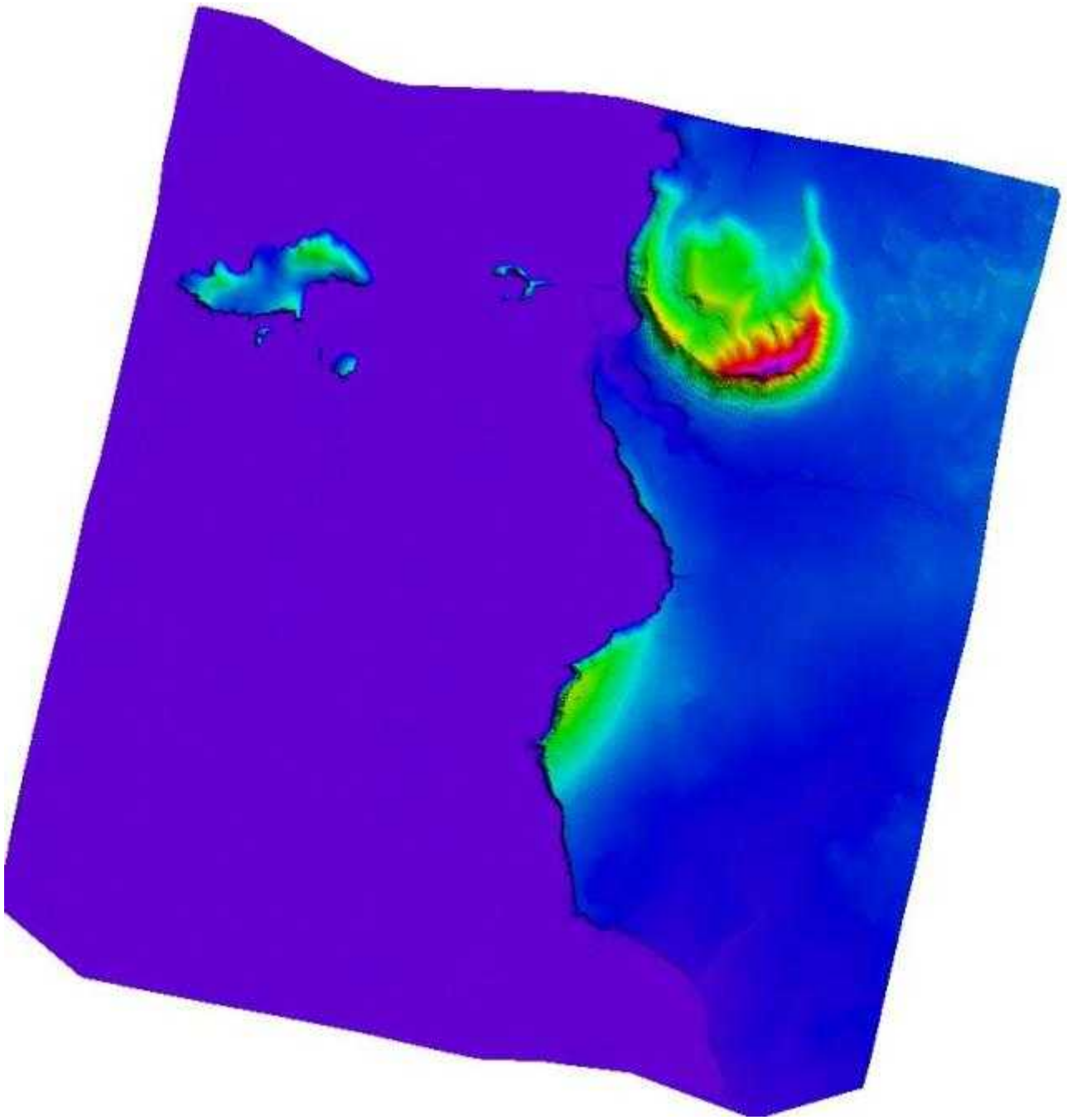


그림 3-28. 수원봉 일원의 수치표고모델(DEM).



그림 3-29. 수월봉 일원의 등고선도(1m 간격).

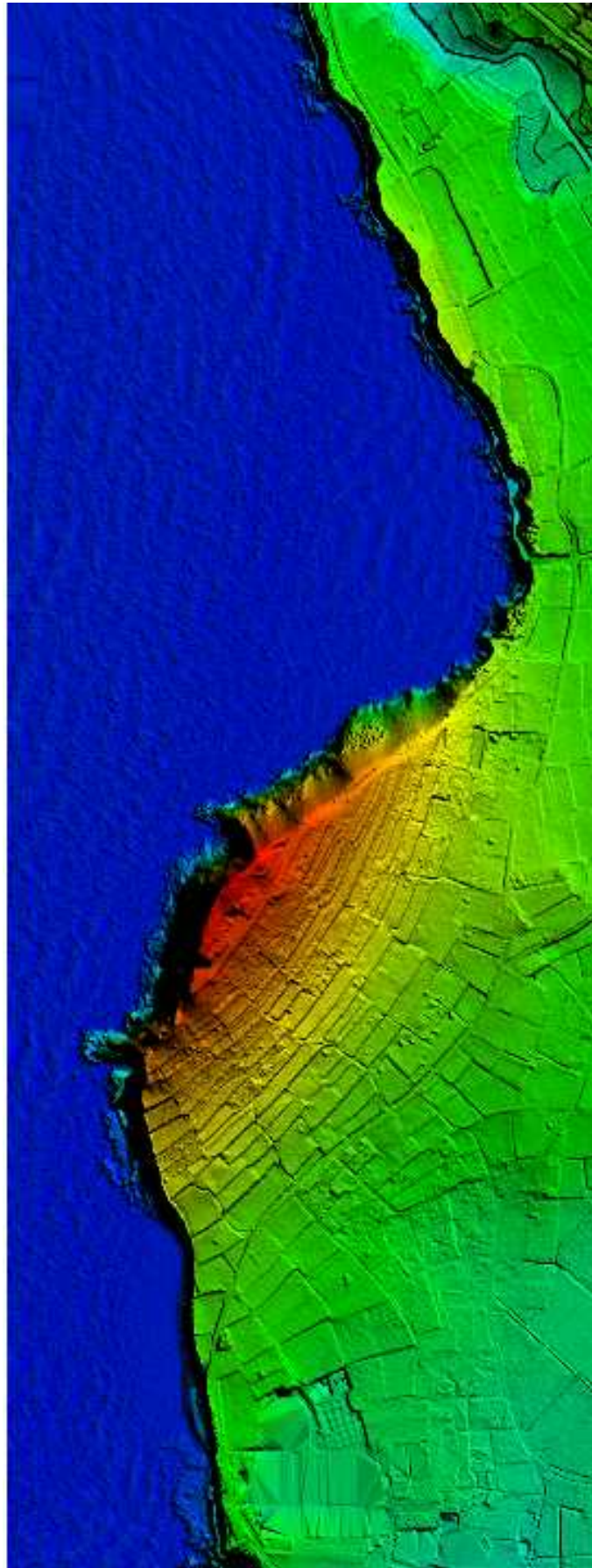


그림 3-30. 수월봉의 수치표고모델(DEM).

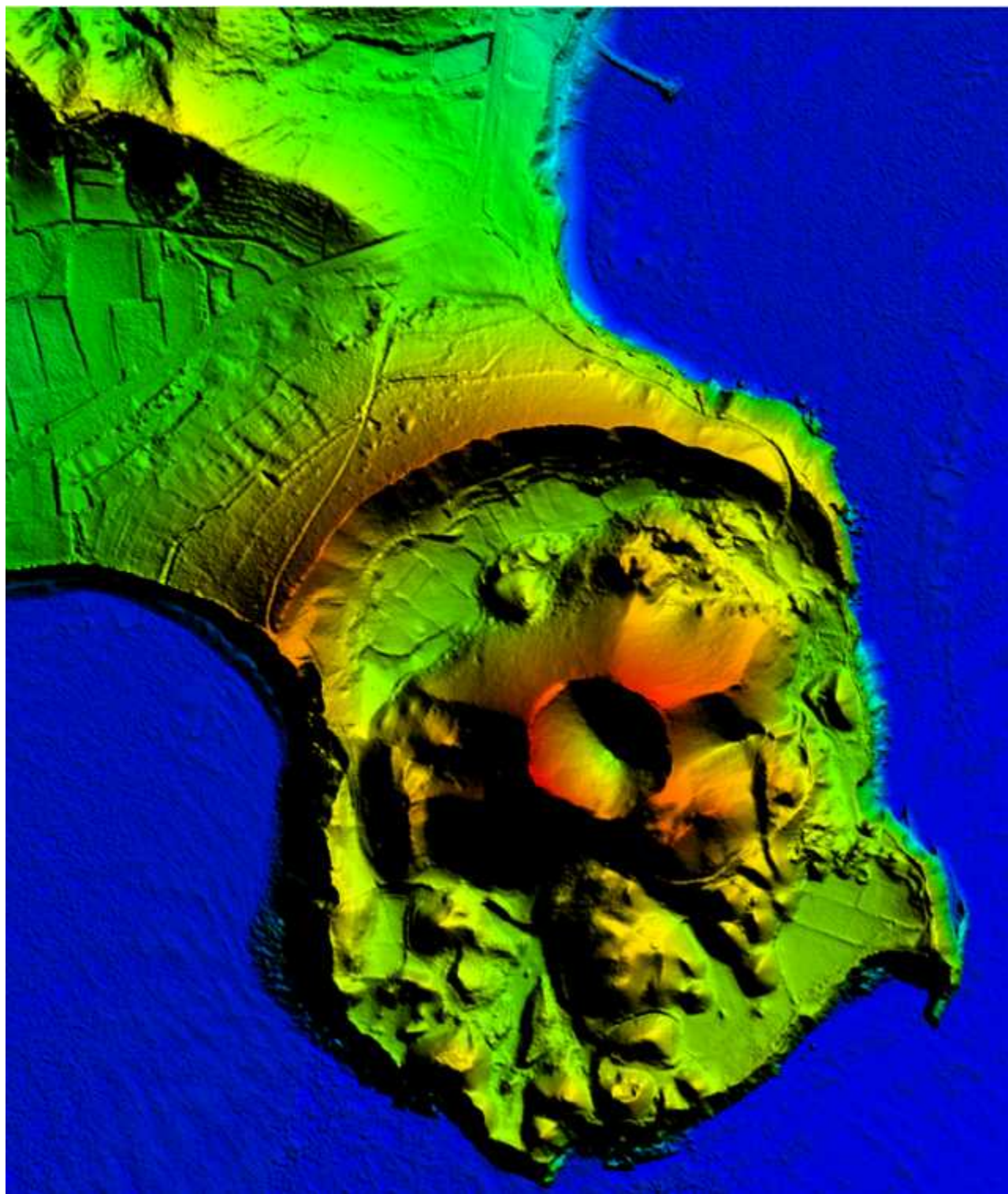


그림 3-31. 송악산의 수치표고모델(DEM).

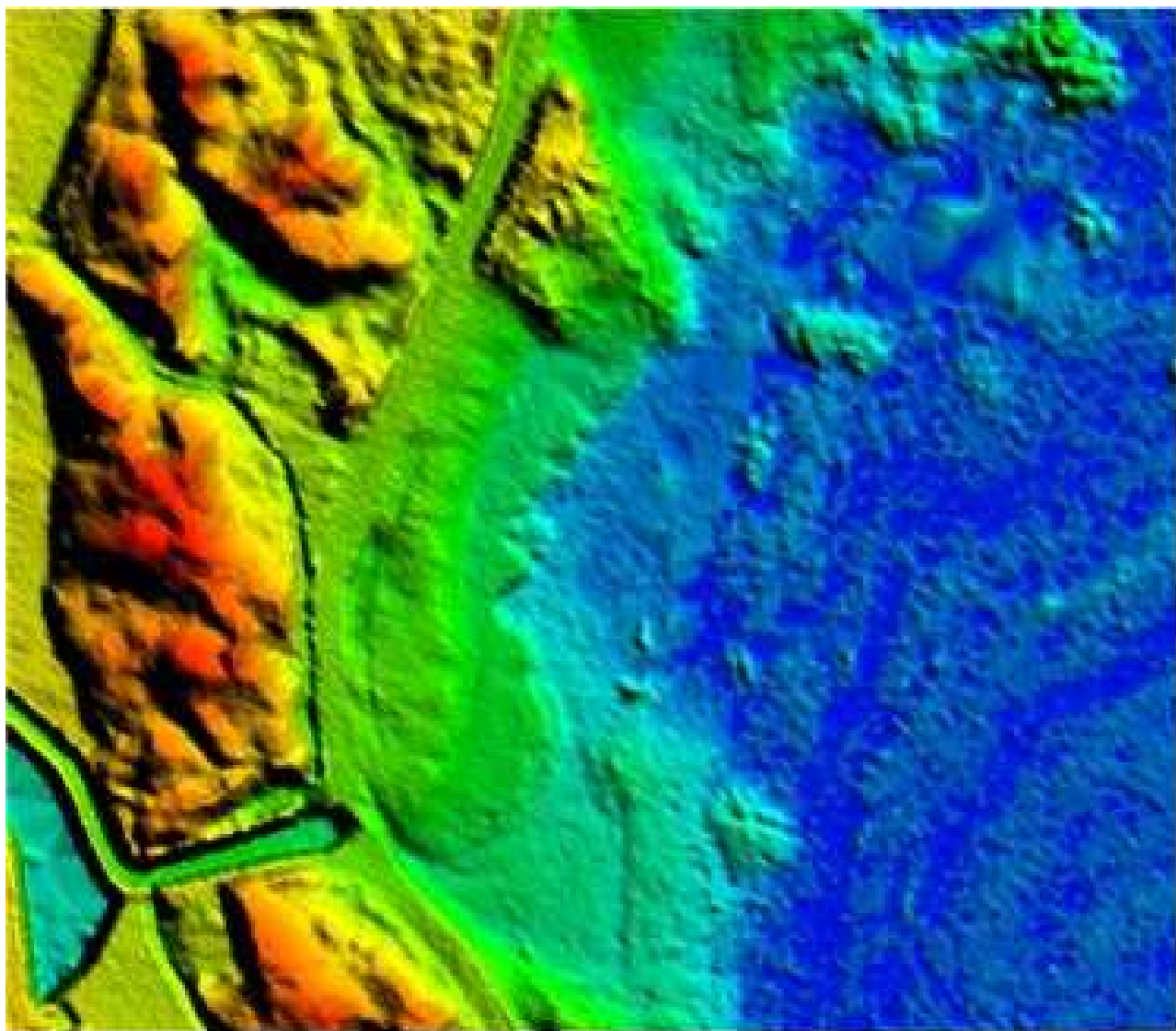


그림 3-32. 사람발자국과 동물발자국 화석산지의 수치표고모델(DEM).

나. 디지털 항공사진 측량 결과

디지털 항공사진촬영의 데이터 처리 흐름도는 다음 그림 3-33과 같다. 일체된 모자이크 칼라영상지도 제작을 위하여 사업범위 전역(바다 제외)에 대해 디지털 칼라영상자료 획득을 위한 항공사진촬영을 실시하였다. 항공사진촬영이란 측량용 항공사진의 촬영 작업을 말하여, GPS/INS를 포함한 영상처리의 공정을 포함한다(그림 3-34). 본 사업의 항공사진촬영은 해상도(GSD: Ground Sample Distance) 12cm급의 디지털 칼라 항공사진으로 정사영상을 자동으로 구축하였다. 촬영을 위하여 촬영계획의 공정별 작업방법, 측량 기기 및 기술자 현황 등을 포함하여 세부시행계획서를 국방부로부터 승인(‘14.11.06)을 받았다. 촬영 시 지형상황에 따라 입체 공백부가 생기지 않도록 하고 인접사진의 중복도는 촬영방향으로 60%, 인접코스 간 30%를 유지하도록 하였다. 또한 촬영은 태양고도가 산지에서 30°, 평지에서 25°이상 일때 실시하였으며, 험준한 지형에서는 음영부에 관계없이 영상이 잘 나타나는 시간에 실시하였다.

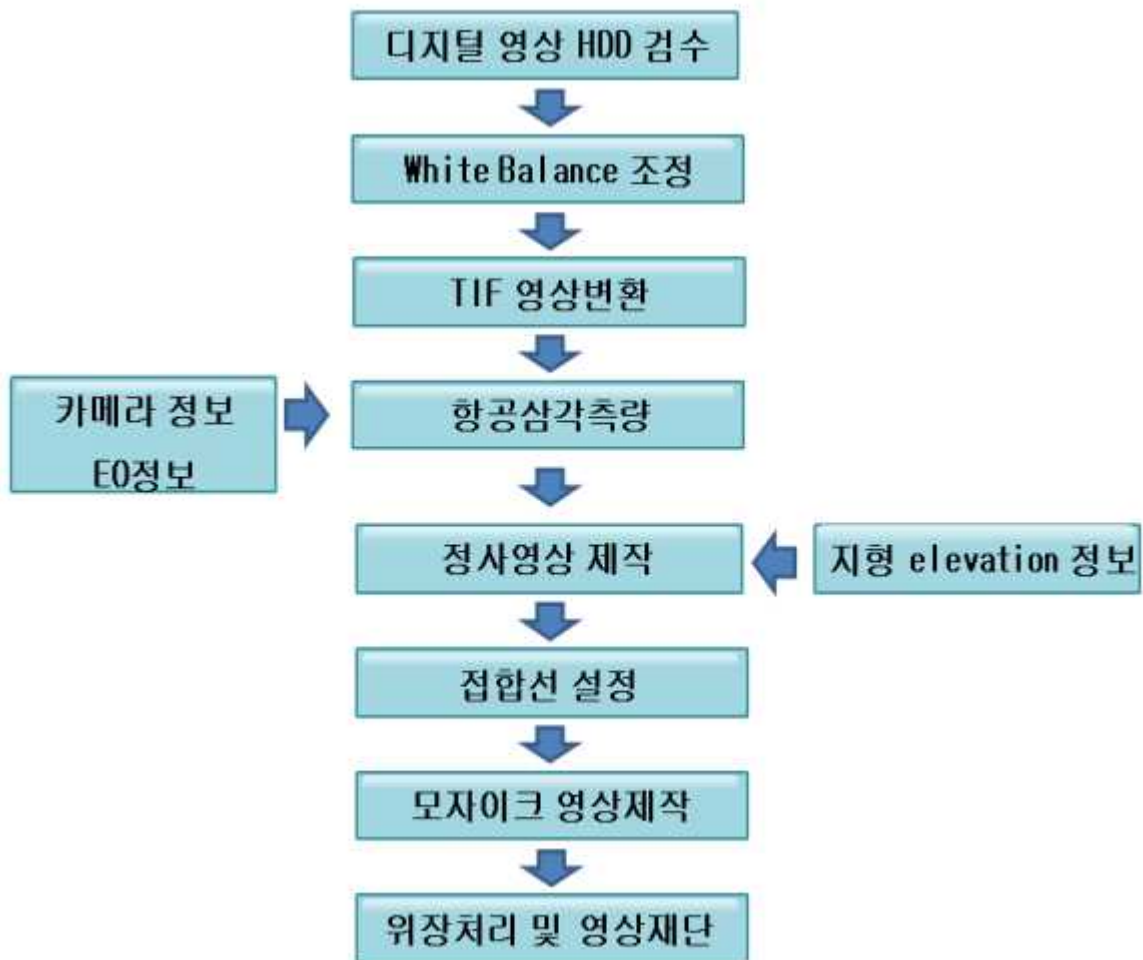


그림 3-33. 디지털 항공사진의 데이터 처리 과정.

촬영을 위하여 사용된 장비는 Z/I Imaging사의 DMC이며 한 프레임 당 2.1초의 시간이 소요된다(그림 3-35). 그림 3-36은 디지털 영상의 획득 현황을 나타낸다. 데이터 획득은 총 2일 동안 촬영을 실시하였고 촬영 고도는 1200m, 촬영 매수는 225매이다.

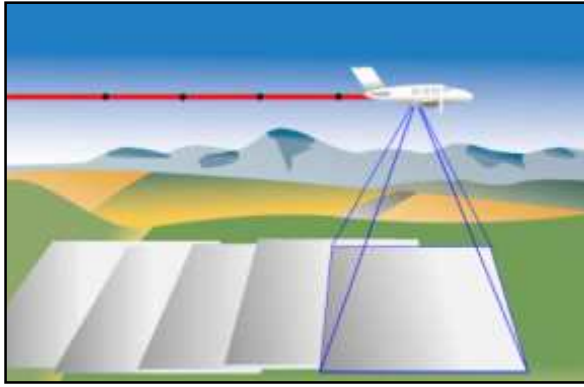


그림 3-34. 디지털 항공사진 촬영방법. 그림 3-35. 디지털 항공사진 촬영장비(DMC).



그림 3-36. 디지털 항공사진 촬영코스도.

1) 데이터 처리

디지털 항공사진 획득성과와 수치표고자료 및 정밀측량자료를 이용하여 지형·지물 등을 3D로 표출이 가능한 정사영상지를 제작하였다. 정사영상은 국토지리정보원 「항공사진측량작업내규」에 의거하고 지상기준점에 의한 사진기준점 측량 및 정사편위 수정을 통하여 영상의 기하학적인 왜곡을 보정하였다.

(1) 영상변환

촬영된 항공사진은 원시(raw)포맷으로 되어있으며 화이트 밸런스(white balance)과정을 거쳐서 영상의 색 조정을 실시하였다. 또한, 영상을 상용 포맷으로 제작하기 위해서 영상변환을 실시하여 Tiff 영상으로 제작하였다. 그림 3-37은 상용 프로그램에 사용할 수 있는 영상변환과정을 나타낸다.

(2) 외부표정요소 산출

날장영상에 대한 촬영정보는 영상에 대한 ID와 및 이벤트 번호로 나타나는데 이는 GPS시간으로 매칭이 가능하다. 외부표정요소값은 라이다데이터와 동일한 GPS /INS 데이터를 이용하며, 이격거리 및 Boresight 값 등의 보정정보, 투영정보를 입력하면 외부표정요소를 얻을 수 있다(그림 3-38).

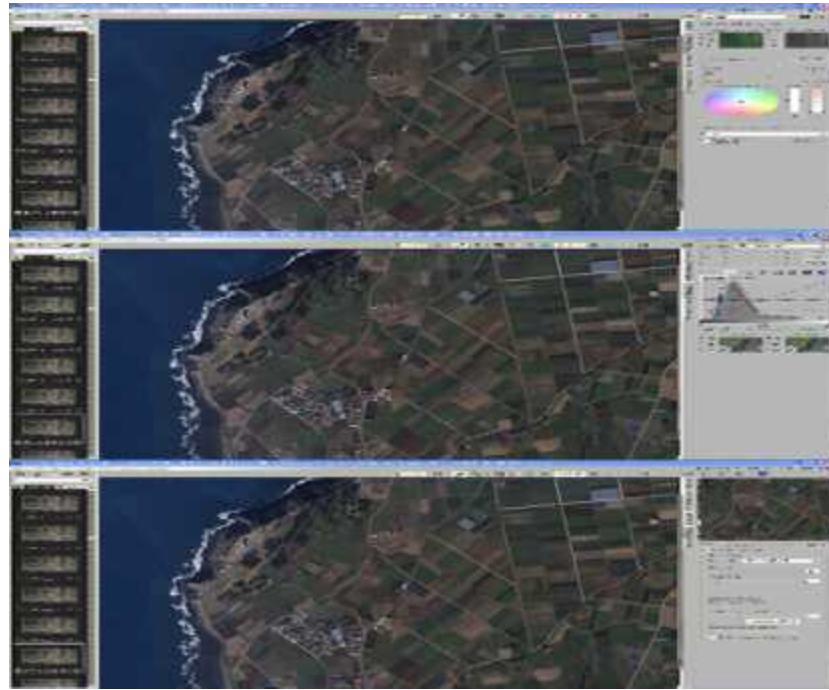


그림 3-37. 영상 색 조정작업 및 Tiff 변환과정.

21_43	21_43	159766.970	446455.056	1600.681	0.16204	0.08126	37.26460
21_44	21_44	160085.383	446697.428	1601.945	0.49632	0.28215	36.82748
21_45	21_45	160405.731	446935.542	1602.659	0.56447	0.33867	37.09988
21_46	21_46	160727.207	447170.827	1602.973	0.57146	0.45132	37.02919
21_47	21_47	161049.584	447403.677	1603.432	0.55950	0.26559	37.04930
21_48	21_48	161372.596	447635.745	1604.369	0.29143	0.05811	37.10141
21_49	21_49	161694.309	447869.830	1604.378	-0.67511	-0.52963	37.30745
21_50	21_50	162012.747	448110.690	1603.421	-1.11070	-0.75272	37.32976
21_51	21_51	162329.265	448355.464	1602.920	-0.69105	-0.35766	37.00973
21_52	21_52	162646.942	448599.075	1602.568	0.19823	0.19962	36.99659
21_53	21_53	162965.921	448839.653	1601.429	0.30815	0.22260	36.87129
21_54	21_54	163286.221	449077.643	1600.397	0.52938	0.20393	37.09954
21_55	21_55	163607.177	449313.496	1599.829	0.36913	0.20560	37.01089
21_56	21_56	163928.820	449548.919	1599.150	0.15365	0.15328	37.18349
21_57	21_57	164250.190	449784.052	1598.933	0.06486	0.05297	37.12241
21_58	21_58	164571.772	450019.325	1599.244	-0.05537	-0.02740	37.14977
21_59	21_59	164892.576	450254.808	1599.311	-0.11550	-0.07369	37.39486
21_60	21_60	165211.865	450494.379	1598.795	-0.71102	-0.39478	37.31943
21_61	21_61	165528.508	450738.951	1598.513	-0.86782	-0.51535	37.24313
21_62	21_62	165843.495	450987.192	1598.359	-0.73290	-0.32759	37.21254
21_63	21_63	166158.084	451236.297	1598.961	-0.16217	-0.06004	36.99677
21_64	21_64	166473.608	451484.365	1599.669	0.17360	0.16458	37.38347
21_65	21_65	166790.590	451729.416	1600.610	0.43742	0.37108	37.03562
21_66	21_66	167108.790	451971.548	1601.734	0.48087	0.34141	37.08168
21_67	21_67	167427.832	452211.749	1602.429	0.37032	0.35362	37.01241
21_68	21_68	167748.125	452450.068	1602.696	0.39605	0.30742	37.12618
21_69	21_69	168069.152	452686.094	1602.677	0.47743	0.39321	36.89265
22_76	22_76	168809.658	451682.918	1600.656	0.85542	2.36992	-142.69254
22_75	22_75	168491.850	451440.299	1600.635	1.93735	2.83475	-142.67555
22_74	22_74	168177.668	451191.187	1600.033	2.06396	2.48486	-142.36374
22_73	22_73	167863.827	450940.200	1600.239	1.00607	1.37205	-141.97731
22_72	22_72	167548.752	450690.654	1600.477	-0.39675	-0.07742	-142.65839
22_71	22_71	167232.440	450444.568	1600.364	-0.72680	-0.64318	-142.75585
22_70	22_70	166915.026	450200.161	1600.678	-0.64084	-0.70005	-142.98358
22_69	22_69	166597.024	449957.718	1600.685	-0.67207	-0.71159	-142.98448
22_68	22_68	166277.886	449719.268	1600.874	-0.89350	-0.87176	-143.06021
22_67	22_67	165957.180	449482.299	1601.396	-0.28375	-0.40965	-142.86394
22_66	22_66	165636.940	449244.592	1601.117	0.19477	-0.08355	-142.62643
22_65	22_65	165317.578	449005.564	1600.492	0.41358	0.10305	-142.80861
22_64	22_64	164998.159	448765.149	1599.259	0.33244	0.06249	-142.88489
22_63	22_63	164679.527	448523.539	1598.210	0.32188	0.17081	-142.86957
22_62	22_62	164361.671	448281.784	1597.926	0.27324	0.03590	-142.85836
22_61	22_61	164042.852	448040.211	1598.403	-0.10586	-0.25442	-143.08834
22_60	22_60	163724.469	447800.870	1598.465	-0.12137	-0.17265	-143.04495
22_59	22_59	163404.739	447561.490	1598.499	-0.16288	-0.07234	-142.91630
22_58	22_58	163085.230	447322.226	1598.658	-0.02394	0.00149	-142.90333
22_57	22_57	162765.847	447082.631	1597.621	0.11339	-0.02649	-142.71960
22_56	22_56	162446.756	446842.553	1597.952	0.18860	0.01972	-143.28344
22_55	22_55	162127.798	446602.389	1599.757	0.13526	-0.00801	-142.83446
22_54	22_54	161808.715	446362.696	1600.586	0.07652	-0.11266	-142.88050
22_53	22_53	161489.701	446122.544	1599.979	0.17618	-0.00883	-142.83035
22_52	22_52	161170.698	445882.168	1599.717	0.10125	-0.03994	-142.88320
22_51	22_51	160851.832	445641.683	1600.517	-0.00221	-0.03381	-142.99056
22_50	22_50	160532.350	445400.818	1601.304	0.04728	-0.08197	-142.90684
22_49	22_49	160214.561	445159.692	1601.969	0.32141	0.12665	-142.67301

그림 3-38. GPS시간을 이용한 영상 구분 및 외부표정요소.

2) 정사영상지도 제작 과정

(1) 항공삼각측량

GPS/INS에 의한 외부표정요소가 얻어지면 영상과 초기 EO값을 바탕으로 정사영상 제작을 위한 항공 삼각측량(AT)과정이 이루어진다. 항공삼각측량은 항공사진 촬영 당시 각 사진 중심점의 위치와 3차원 좌표축을 기준으로 할 때 각 축 방향의 회전량을 계산하는 작업이다. 계산된 결과는 정사영상제작에 필수적인 외부표정요소를 구하는 것으로 그 정확도 확보의 기준은 국토지리정보원의 ‘영상지도제작에 관한 규정’에 의해 정확도를 확보하였다.

(2) 정사영상 제작

최종적으로 외부표정요소와 항공레이저측량에서 얻어진 지형의 표고에 대한 자료를 입력받아 정사영상을 제작하게 된다. 우선 낱장의 정사영상을 제작하고 이후 사진간 중복부분에 대한 접합선(seam line) 설정을 통해 전체 작업지역에 대한 모자이크 영상을 제작하였다(그림 3-39).

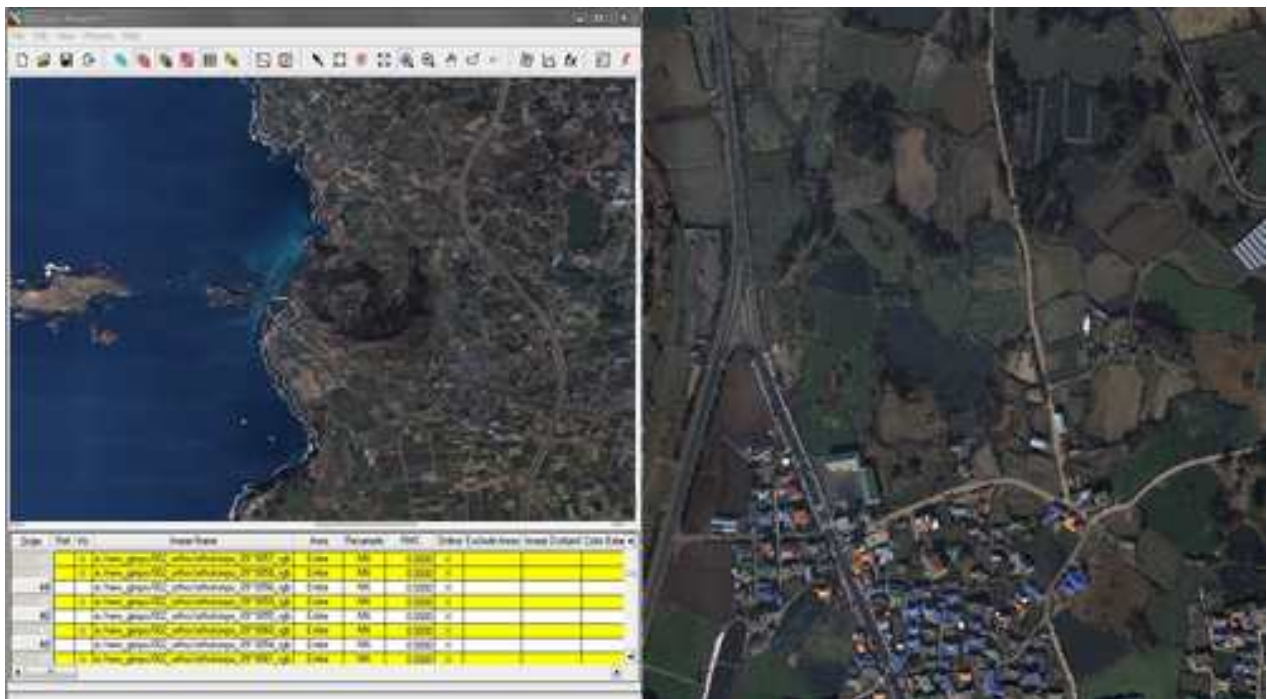


그림 3-39. 접합선 설정.

이 과정에서 전체적인 사진의 색 보정이 실시된다. 그림 3-40은 접합선 설정을 마치고 정사영상을 제작한 영상이다. 이렇게 제작된 정사영상을 합쳐서 모자이크 영상을 제작하게 된다. 그림 3-41은 최종 제작된 모자이크 영상을 나타낸다.

(3) 보안지역 처리

항공사진촬영지침(국방부 보안정책과-276호)에 근거하여 모든 촬영된 항공사진은 필히 보안검열을 받아야 한다. 또한 이렇게 검열을 받은 항공사진은 국가지리정보 보안관리규정(건교부 훈령 제653호)에 의거하여 위장처리를 하게 된다. 본 사업 지역에 대해서는 위장지역이 없어 원 영상 상태로 정사영상을

제작하였다.

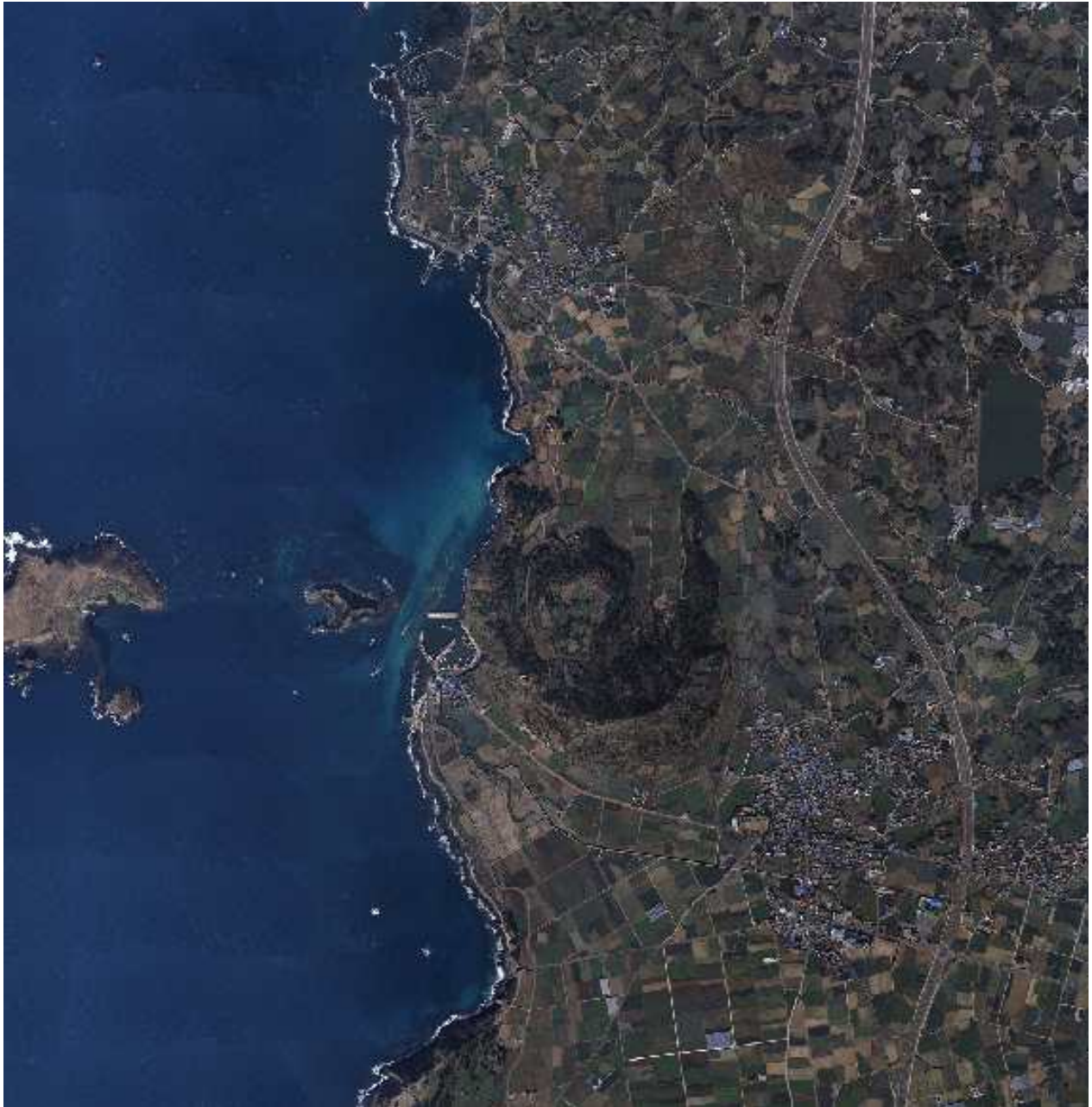


그림 3-40. 접합선 설정 후에 제작된 수원봉 주변의 정사영상.

(4) 도엽별 색상 처리

촬영시기가 서로 다른 영상은 조도의 조건이 변화하기 때문에 색조(Contrast)와 휘도(Brightness)가 서로 달라질 수 있다. 이로 인하여 인접 사진 간에 방사적인 경계가 발생한다. 이외에도 항공사진은 중심투영 촬영방식에 따른 방사적 불균형으로 인한 오류로서 중심으로부터 멀어지는 곳이 촬영중심에 비해 상대적으로 어두워지는 현상이 발생한다. 따라서 각 스트립을 블록으로 설정하여 히스토그램조정을 수행하여 방사보정을 수행한다.

인접되어 있는 지역의 지형, 지물은 영상의 색상이 연속적인 형태로 나타나야 하며 방사보정은 영상의 중복 내지는 중첩지역에 대한 방사 값을 가능한 한 유사하게 변환하여야 한다. 따라서 기준이 되는

하나의 영상을 기준으로 다른 영상의 방사값을 변환시키는 방법을 적용하였다. 단위영상의 모자이크를 실시할 때 방사보정을 실시했으며 다시 한 번 정밀한 색상을 구현하기 위하여 Adobe사의 Photoshop을 이용하여 색 보정을 실시하였다(그림 3-41).



그림 3-41. 색상 보정 결과 데이터.

(5) 영상 기하보정

지도의 기하학적 일체성을 갖도록 인접스트립, 인접도엽간 기하보정을 실시하였다. 항공기의 위치 및 자세의 불규칙한 변화, 지구 표면의 기복 등으로 인해 인접간 영상에 나타나는 오차를 제거하는 공정이다. 그림 3-42는 기하 오류의 종류와 처리 결과이다.

3) 최종 작성된 정사영상

색상 처리와 영상 기하보정을 거쳐 최종 제작된 연구대상지 일원의 정사영상을 그림 3-42와 그림 3-43에 나타내었다. 또한, 수월봉 해안과 송악산 해안의 정사영상을 그림 3-44와 그림 4-45에 각각 제시하였다.

수정 전	오류 내용	수정 후
	경사면 오류	
	구조물 오류.	
	인접영상 오류	

그림 3-42. 기하보정.



그림 3-43. 최종 제작된 수월봉 일원의 정사영상.

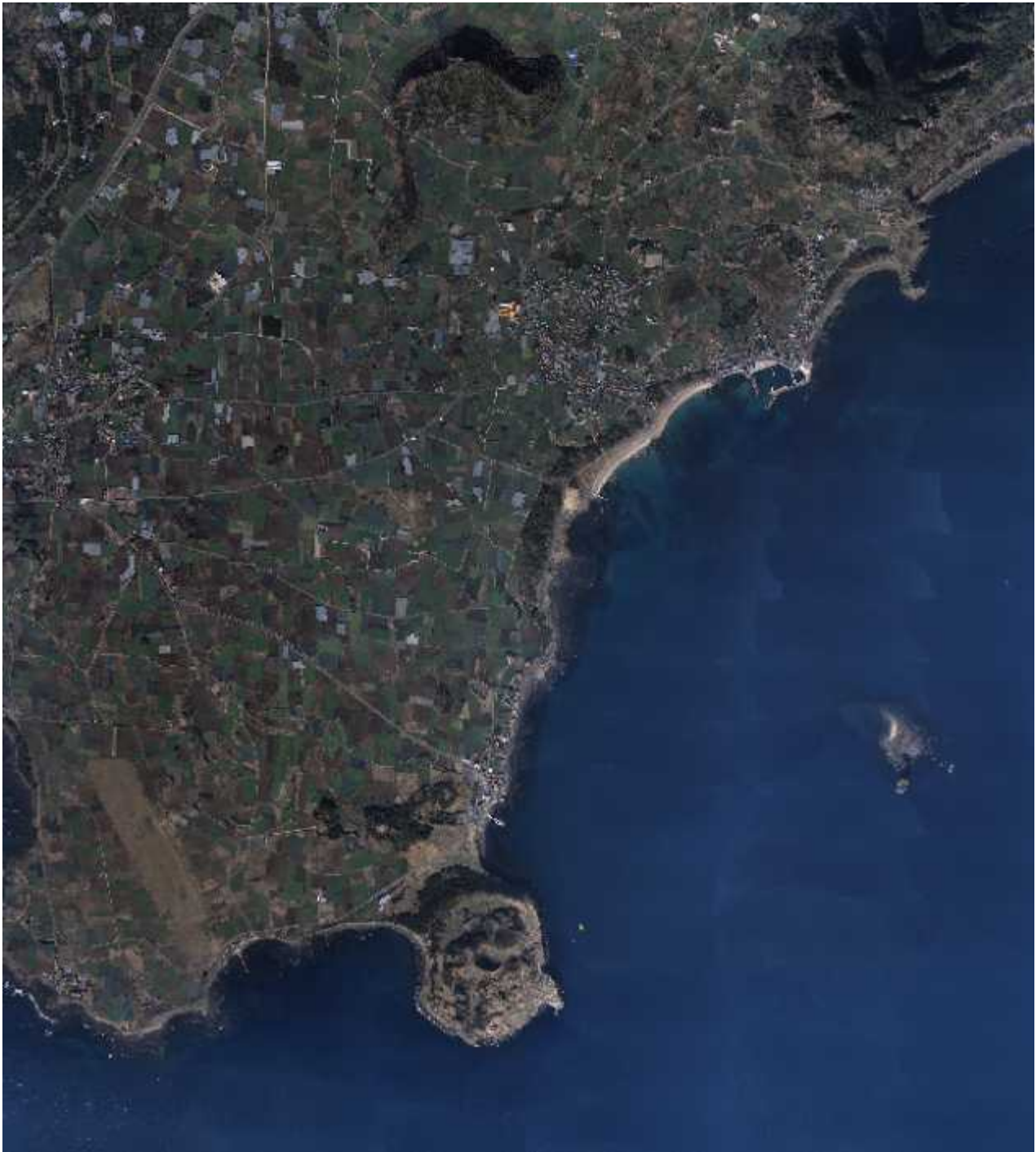


그림 3-44. 최종 제작된 송악산과 발자국 화석산지 일원의 정사영상.



그림 3-45. 최종 제작된 수월봉의 정사영상.



그림 3-46. 최종 제작된 송악산의 정사영상.

제2절 지상 라이다 측량 결과

1. 지상 라이다 측량 개요

수월봉과 송악산의 해안절벽에 대한 지상 라이다 측량은 이 지역에 대한 침식현황 파악 및 안정성 검토를 통해 선정된 몇 개소의 침식 및 붕괴 위험 구간에 대해 수행하여 연차적으로 그 침식량을 비교, 분석할 계획이었다. 그러나 1차년도 연구 기간이 짧아 전술한 연구 과정에 의거하여 수행하는데 어려움이 있어 먼저 측량이 가능한 해안절벽에 대한 모든 지형 자료를 획득하여 구축하였다. 발자국 화석산지의 경우에는 사람발자국 산출지와 동물발자국 산출지를 파악하여 지상 라이다 측량을 수행하였다.

수월봉 해안은 접근이 어려운 수월봉 정상부 부근의 해안과 식생이 피복도가 매우 높아 측량이 어려운 북쪽 말단 해안부를 제외하여 크게 북쪽 해안과 남쪽 해안으로 구분하여 측량을 수행하였다(그림 3-47과 3-48). 송악산 해안의 경우에는 바다를 향해 크게 돌출된 많은 지역의 해안절벽은 접근이 어려워 측량 대상에서 제외하고 동쪽과 서쪽의 해빈이 형성된 해안절벽 지역을 주 측량 구간으로 설정하였다(그림 3-49와 3-50). 또한 송악산 남동쪽 해안절벽의 일부는 절벽 정상부에서 일부 조망이 가능하여 측량 대상 구간으로 추가로 설정하였다. 발자국 화석산지에서는 각각 1개소의 북쪽의 사람발자국 산출지와 남쪽의 동물발자국 산출지를 선정하여 측량을 수행하였다(그림 3-51과 3-52). 이 과정에서 주요 화석이 노출된 지역 전체에 대해서는 지상 라이다 자료를 구축하였다. 지상 라이다 측량은 2014년 12월 1일~8일에 걸쳐 수행하였다. 각 연구대상지에서의 지상 라이다 측량 전경을 그림 3-53에 제시하였다.

2. 지상 라이다 측량의 수행 과정

지상 라이다 측량의 전체적인 수행과정은 그림 3-54와 같다. 지상 라이다 측량은 먼저 측량 구간의 조망이 양호한 지상 기준점을 먼저 선정함으로써 시작된다. 지상 기준점에 대해 GPS 측정을 실시하고, 이 위치 또는 이로부터 추가로 설치한 위치에서 대상 구간에 대한 Scan data를 취득하였다. 취득된 자료를 GPS와 연동하여 병합하여 원시지료를 구축하였다. 구축된 원시지료의 후처리는 Triangle mesh, DATA 정리 및 Smoothing 과정을 거쳐 Dxf, ASC, LAS 포맷의 후처리 자료를 생성하였다. 이 자료로부터 등고선도 작성, 주향/경사, 면적/길이/부피 등을 계산하거나 연구의 최종 목표인 변위량 또는 침식량 분석 및 3D 모델링을 수행하였다.

가. 지상 기준점의 설정

수월봉 해안에서의 지상 기준점은 북쪽 해안에 인접한 도로부와 남쪽 해안의 암반 파식대지 상에 각각 2지점을 설정하였다(그림 3-47). 송악산 해안에서는 서쪽 해안의 해안제방 상의 도로부에서 2지점, 동쪽 해안의 해안 도로와 방파제에 각각 1지점, 그리고 남동쪽 말단 산정부의 산책로에 2지점의 지상 기준점을 선정, 설치하였다(그림 3-49). 발자국 화석산지에서는 인접한 도로 갯길에 2지점의 기준점을 선정, 설치하였다(3-51). 각 연구대상지에서의 지상 기준점에 대한 위치 정보는 표 3-6에 정리하였다.

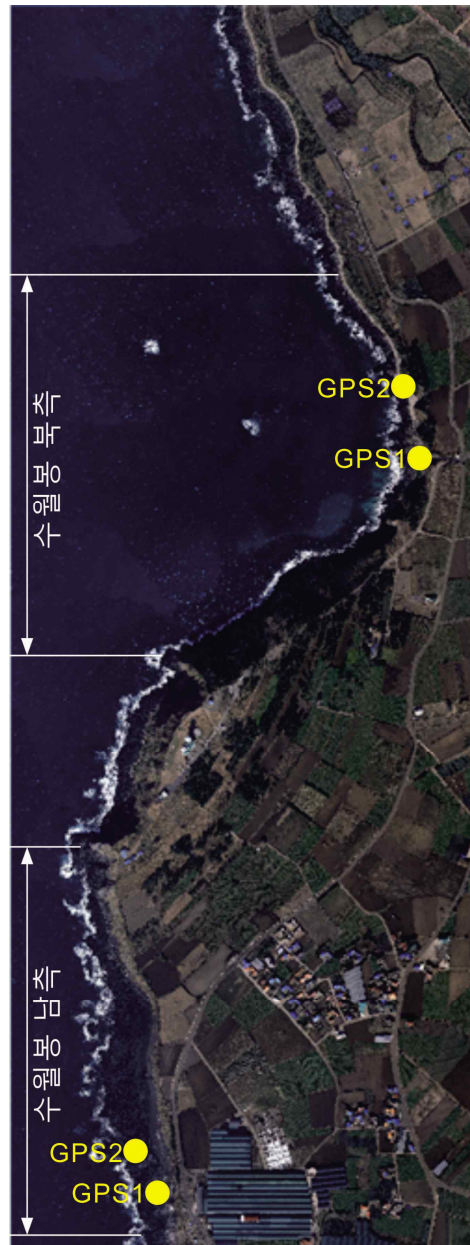


그림 3-47. 수월봉 해안의 지상 라이다 측량 구간 위치도.



그림 3-48. 수월봉 해안의 지상 라이다 측량 구간의 전경.



그림 3-49. 송악산 해안의 지상 라이다 측량구간 위치도.

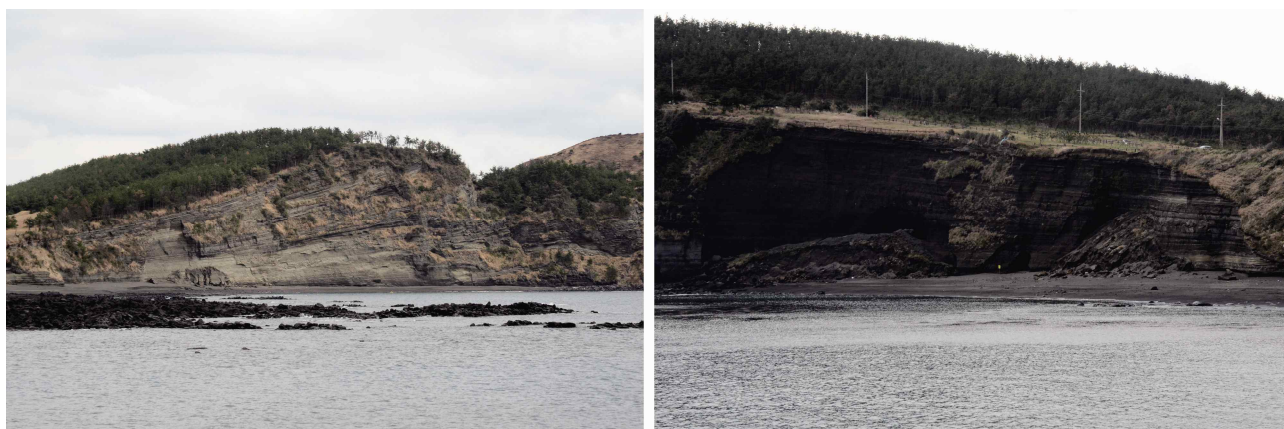


그림 3-50. 송악산 해안의 지상 라이다 측량구간의 전경.



그림 3-51. 발자국 화석산지의 지상 라이다 측량구간 위치도.



그림 3-52. 발자국 화석산지의 지상 라이다 측량구간 전경.



그림 3-53. 지상 라이다 측량 전경. A & B: 수월봉 해안, C & D: 송악산 해안, E & F: 발자국 화석산지.

GPS 기준점 선정					
GPS 측정					
GPS 측정위치에서 SCAN DATA 취득					
대상지역 SCAN DATA 취득 및 사진촬영					
Registration: GPS 연동 및 취득 DATA 병합					
후처리 : Triangle mesh / DATA 정리 / Smoothing / Dxf , ASC , LAS 생성					
등고선 추출	캐드 도면화	주향경사 추출	면적/길이/부피 계산	변위량 분석	3D 모델링

그림 3-54. 지상 라이다 측량의 수행 과정 흐름도.

표 3-5. 연구대상지의 지상 기준점 위치 정보.

지역	측점	위도	경도	타원체고	투영평면좌표(GRS80)		
					x(E)(m)	y(N)(m)	z(H)(m)
수월봉 북쪽	GPS1	33-17-57.3883	126-10-3.8250	37.8149	78750.80378	122484.1689	13.51547835
		33-17-57.3883	126-10-3.8250	37.8165	78750.80433	122484.1689	13.51700148
	GPS2	33-17-58.2105	126-10-3.3352	33.6271	78776.23737	122471.6991	9.32806296
		33-17-58.2105	126-10-3.3350	33.6533	78776.23774	122471.6936	9.354346029
수월봉 남쪽	GPS1	33-17-11.1285	126-9-45.4874	26.3335	77329.35368	121998.2975	2.060389314
		33-17-11.1285	126-9-45.4874	26.3398	77329.35475	121998.2978	2.065242502
	GPS2	33-17-12.1911	126-9-45.1732	26.068	77362.15785	121990.431	1.793443687
		33-17-12.1911	126-9-45.1735	26.0482	77362.15932	121990.4376	1.773680085
송악산 서쪽	GPS1	33-12-21.2215	126-17-28.6408	28.2439	68308.87435	133922.2695	3.609748511
		33-12-21.2214	126-17-28.6409	28.2494	68308.86961	133922.2719	3.615225143
	GPS2	33-12-19.9518	126-17-24.2484	30.5825	68270.5275	133808.2425	5.953161223
		33-12-19.9518	126-17-24.2484	30.5919	68270.52789	133808.2444	5.962596847
송악산 산정부	GPS1	33-11-49.6197	126-17-35.9400	62.3741	67333.98282	134104.7391	37.75097749
		33-11-49.6196	126-17-35.9400	62.3768	67333.9799	134104.7401	37.75366264
	GPS2	33-11-48.5942	126-17-34.7882	62.9527	67302.58952	134074.6934	38.33110842
		33-11-48.5941	126-17-34.7882	62.9557	67302.58748	134074.6924	38.33408418
송악산 동쪽	GPS1	33-12-0.6467	126-16-44.3540	32.89	67682.82639	132770.8919	8.308751637
		33-12-0.6467	126-16-44.3539	32.892	67682.82718	132770.8901	8.310736255
	GPS2	33-12-0.9800	126-16-43.5163	32.1745	67693.24406	132749.265	7.593894318
		33-12-0.9800	126-16-43.5163	32.1724	67693.24391	132749.2661	7.591784368
화석 산지	GPS1	33-13-1.8679	126-17-35.8137	28.3096	69559.88374	134116.5056	3.644554659
	GPS2	33-13-2.9059	126-17-36.2722	28.4088	69591.78303	134128.596	3.742660789

나. 원시자료의 획득과 자료처리 결과

각 연구대상지에서 획득한 scan 자료를 지상 기준점의 GPS 자료와 병합하여 구축된 점밀도 자료를 지역별로 그림 3-55~3-57에 나타내었다. 점밀도 자료는 원시 자료로서 측량 지점에서 조망된 모든 지형 자료가 포함되어 있다. 특히 송악산 산정부에서 획득한 해안절벽은 이 지역과 함께 산정부 주변의 지형 자료도 함께 획득, 구축되었다. 향후 이 자료로부터 주요 모니터링 대상인 해안절벽 구간이나 화석산지를 벗어나며 연장이 불량한 국부적인 획득 자료는 소거하는 작업이 수행되어야 할 것이다.

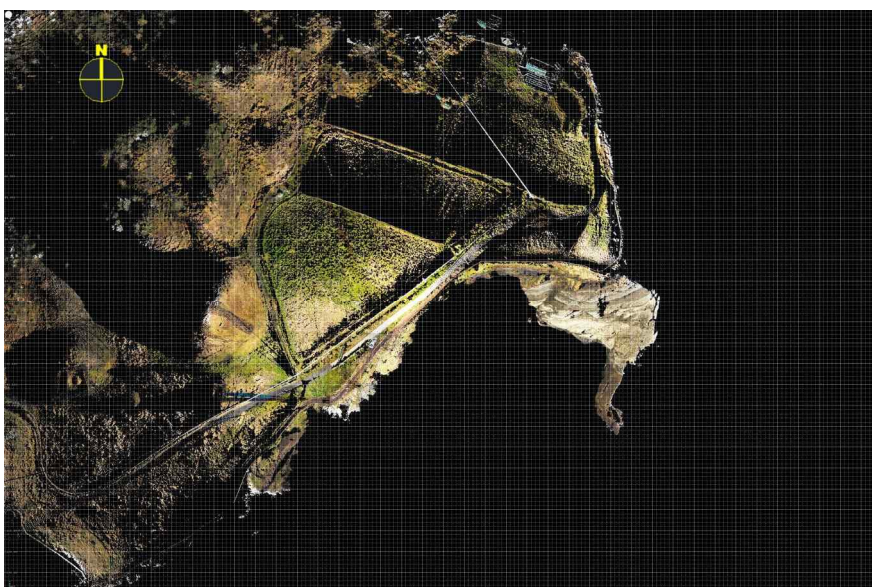
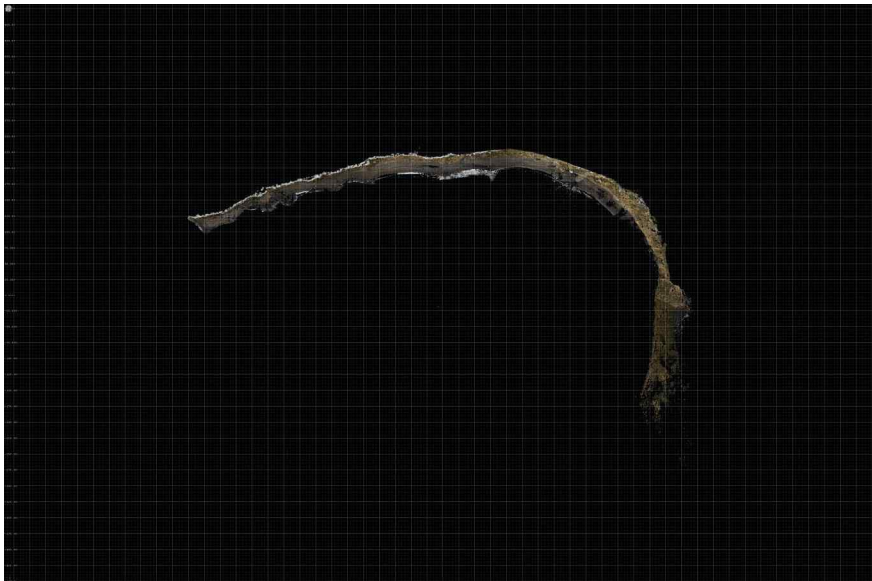
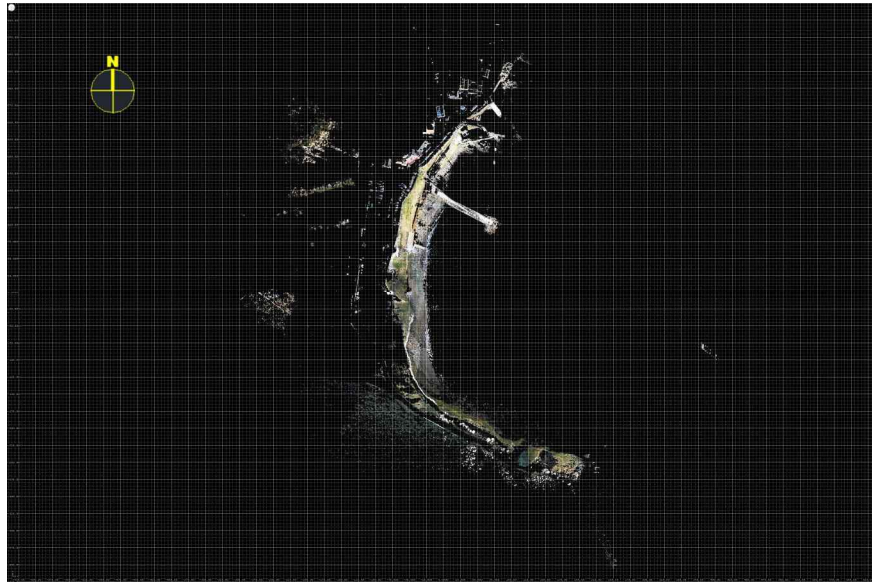


그림 3-55. 송악산 해안의 지상 라이다 측량에 의한 점밀도 자료. 상: 송악산 동쪽 해안, 중: 송악산 서쪽 해안, 하: 송악산 산정부 해안.

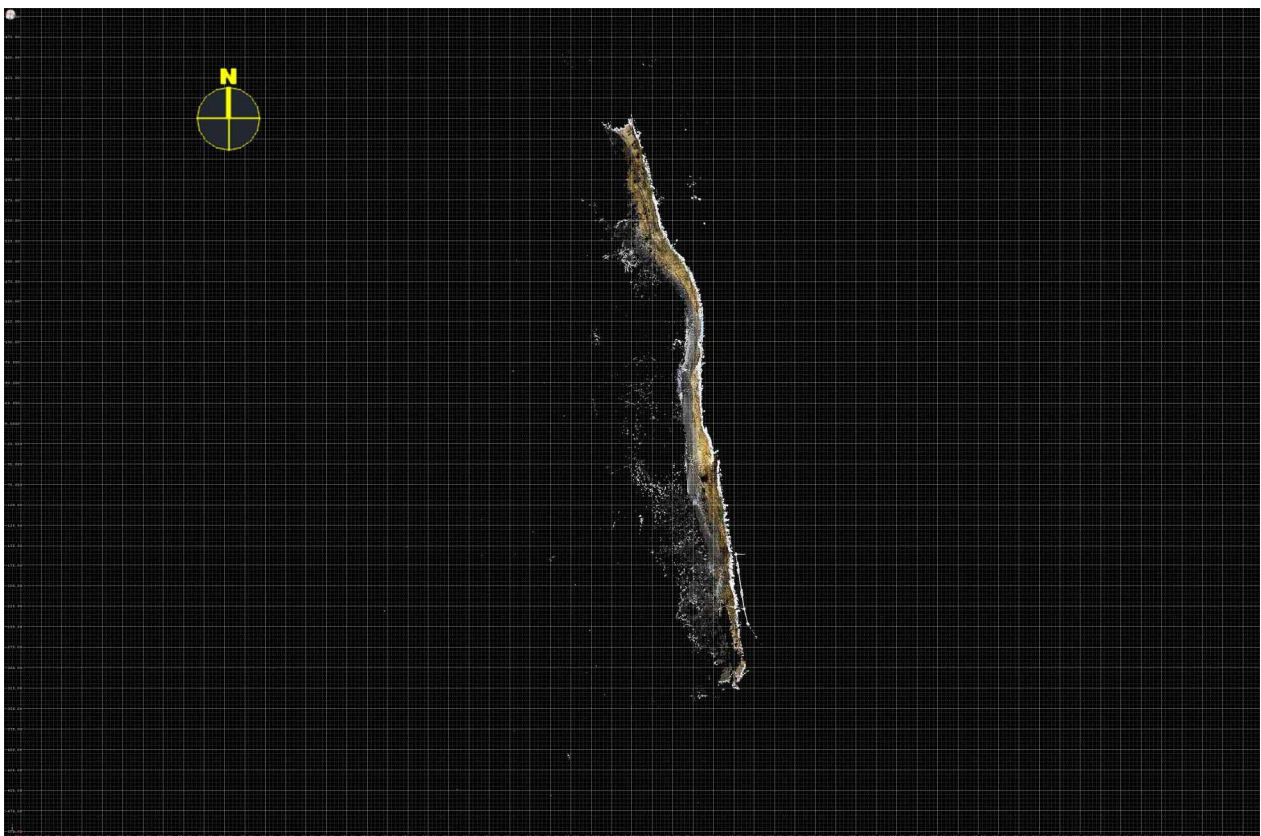
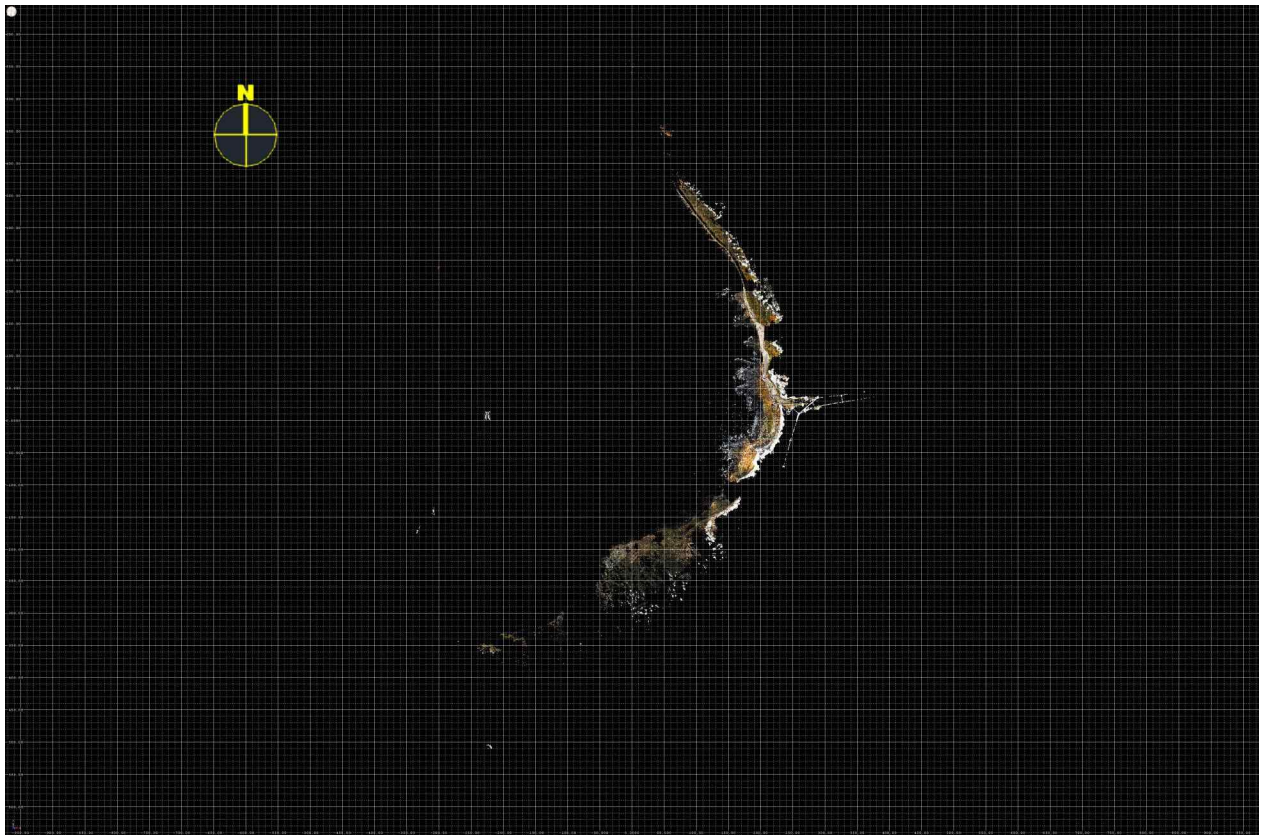


그림 3-56. 수월봉 해안의 지상 라이다 측량에 의한 점밀도 자료. 상: 수월봉 북쪽 해안, 하: 수월봉 남쪽 해안.

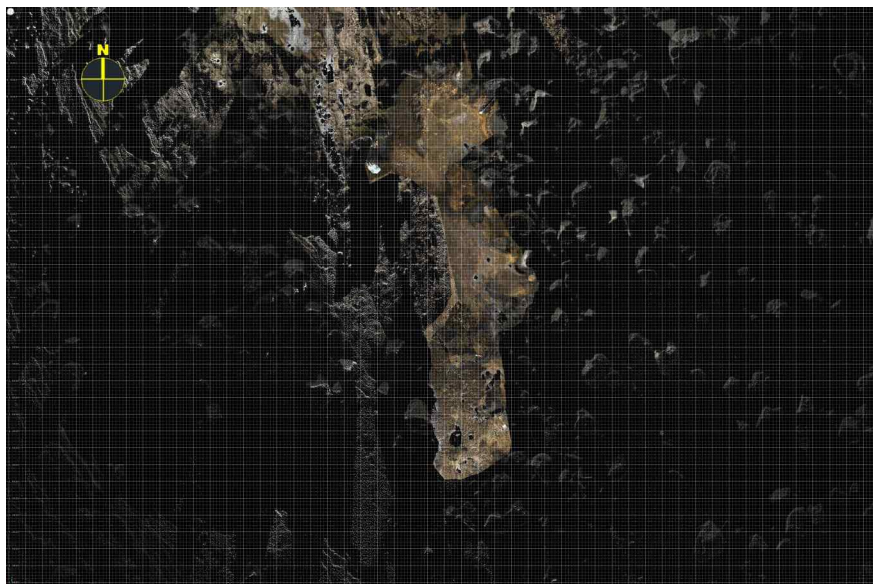
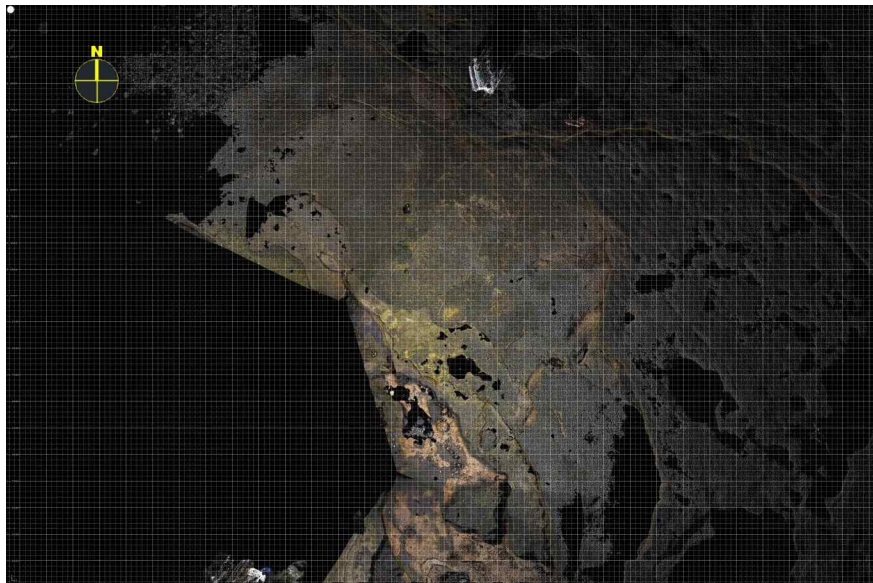
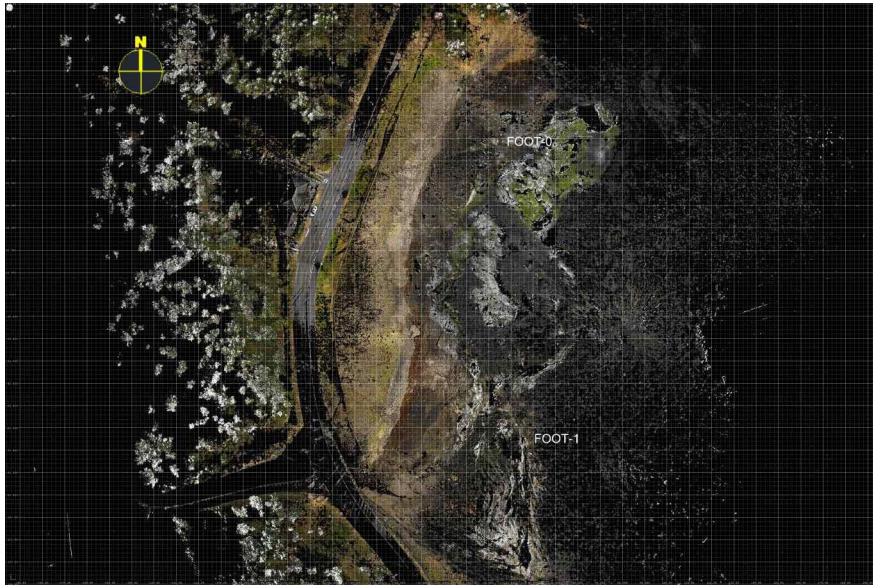


그림 3-57. 발자국 화석산지의 지상 라이다 측량에 의한 점밀도 자료. 상: 화석산지 전체, 중: 사람발자국 화석산지, 하: 동물발자국 화석산지.

제3절 고찰: 측량 성과와 향후 연구

이 연구 성과는 제주도 천연기념물 해안지대 침식저감 방안 마련에 대한 연구의 1차년도 결과이다. 1차년도 연구는 약 2개월의 매우 짧은 연구기간으로 인해 과제의 주요 연구 방법 및 목적인 항공 및 지상 라이더 측량의 완료에 초점이 맞추어졌다.

항공레이저 및 디지털 항공사진 측량은 연구대상지역을 비롯하여 주변의 여러 지질유산지구가 포함될 수 있도록 그 범위를 확대하여 폭넓은 지질유산 연구에 활용될 수 있도록 하였다. 항공측량의 최종 성과로서 항공레이저 측량에 의한 수치표고모델(DEM)과 디지털 항공사진 측량에 의한 정사영상도 제작이 1차 완료되었다. 2차년도에는 두 측량 성과의 범위에 대한 일부 조정과 함께 그 범위를 일치시키는 작업이 수행될 예정이며 아울러 이 영역에 포함되는 지상 라이더 측량 성과와의 병합 작업이 진행될 것이다.

지상 라이더 측량은 연구 대상지에서 침식 및 붕괴 가능성이 높은 구간을 설정하여 측량이 실시될 예정이었다. 그러나 짧은 연구 기간으로 인해 측량 가능한 모든 해안절벽 구간에 대한 자료 획득이 진행되어 향후 선별될 침식 모니터링 구간에 대한 자료 누락이 발생하지 않도록 하였다. 1차년도 측량 수행을 통해 원시 자료로서 해안절벽 및 화석산출지에 대한 점밀도 자료가 구축되었다. 구축된 영역에 대한 자료 정리를 수행하고 최종 구축된 원시 자료로부터 후처리 작업을 진행하여 지형 분석, 사면 요소 추출, 그리고 침식량 파악 및 3D 모델링을 위한 최종 변환 자료를 구축할 것이다.

제4장 총괄연구개발과제의 연구성과

제1절 총괄활용성과

총괄과제명	제주도 천연기념물 해안지대 침식저감 방안 연구
총괄과제책임연구원	손영관 / 경상대학교 / 퇴직학

(가) 정책활용

- 해안지대 지질유산에 대한 중장기적인 보전, 활용 및 안전관리대책 수립
- 해안지대 침수 및 침식 취약지구 안전관리대책을 위한 정책 수립에 기여
- 침식저감 대책 방안 제시(가능성 있는 사니리오별 사례와 그에 따른 대책 방안 제시)

(나) 언론홍보 및 대국민교육

- 세계적인 지질유산에 대한 보전과 활용대책 수립의 기초연구로서의 대국민 홍보 자료로 활용
- 해안지대 지질유산의 활용적 측면에서 탐방객들의 안전을 도모하기 위한 학술적 연구로서의 가치 홍보
- 장기적으로 보존, 관리해나가야 할 지질유산에 대한 대국민 교육자료로서의 가치가 매우 높음

(다) 연구논문

번호	논문제목	저자명	저널명	ISBN 또는 ISSN	집(권)	페이지	Impact factor	국내/ 국외	SCI급/ KCI급/ 비KCI급
1									

(라) 학술발표

번호	발표제목	발표자	학회명	발표지	연월일	발표형태	국내/ 국제
1							

(마) 지식재산권

번호	출원/ 등록	특허명	출원(등록)인	출원(등록)국	IPC분류
		해당 없음			

(바) 타연구/차기연구에 활용

- 기타 제주도 및 한반도 해안지대의 침수 및 해안침식에 대한 연구에 직접 적용
- 기타 제주도 해안지대 지질유산의 중장기 모니터링을 통한 침식저감 방안 연구에 활용

(사) 기타

- 지형 측량 자료를 DB화하여 향후 진행될 중장기적인 해안지대지질유산 모니터링 자료로 활용

제2절 총괄활용계획

○ 학문적 측면

- 지질유산의 보존과 활용에 대한 다학제적 연구 방법 확립
- 화산체의 지질구조 조사를 통한 화산체 형성과 구조발달사 분야에 대한 새로운 연구 사례 및 성과 도출

○ 기술 및 정책적 측면

- 해안지대 침식저감 연구 및 침식저감 방안의 연구방법 정립과 새로운 연구사례 제공
- 해안지대 지질유산의 보전관리대책을 위한 정책 수립에 기여
- 해안지대 침수 및 침식 취약지구 안전관리대책을 위한 정책 수립에 기여

제5장 총괄주요연구 변경사항

- 해당 사항 없음

제6장 총괄참고문헌

- 김경남 : 강원 동해안의 연안재해 저감방안, 한국 위기관리 논집 2007, 3(1), 45~61p
- 김규한, 유형석, 정의진 : 해안침식 관리시스템과 그 적용, 한국해안·해양공학회논문집, 2008, 20(6), 602~610p
- 김인호, 송동섭 : 거진항 일대의 해안 침식 현황 조사 연구, 한국측량학회지, 2012, 3(1), 67~73p
- 김장수 : 기후변화에 의한 해식애의 침식률 증가 가능성 검토,
- 박병수, 정길수, 심도식, 윤영호 : 해안침식 방지를 위한 지오투브의 실내모형실험, 한국위기관리논집, 2013, 9(6), 225~235p
- 안웅산, 손영관, 윤우석 : 지질유산모니터링의 필요성: 제주도 해안지대를 중심으로, 대한지질학회 2013 추계지질과학연합학술대회 초록집, 2013, 172p
- 이승철, 이중우, 김강민, 김기담 : 방파제의 재배치에 따른 해안 침식 및 퇴적 영향분석, 한국해양환경공학회 추계학술대회 논문집, 2007, 224p
- 장용채, 이승은, 김석우, 손가영, 김상진 : 침식방지를 위한 토목섬유투브의 거동분석, 한국지반공학회는 논문집, 2012, 20(5), 5~12p
- 전동철 : 해양으로부터 가해지는 힘에 대한 장기적인 해안침식 모델의 고찰, Ocean Research, 1995, 17(1), 41~57p
- 제주특별자치도·한국지질환경연구소 : 성산일출봉 해안침식사면 예비 안정성 평가 및 모니터링 학술조사 보고서, 2014, 102p
- 조광우 : 지구온난화에 따른 한반도 주변의 해수면 변화와 그 영향에 관한 연구Ⅱ, 한국환경정책평가연구원, 2002, 220p
- Gelfenbaum, G., Kaminsky, G. M. : Large-scale coastal change in the Columbia River littoral cell: An overview, *Marine Geology*, **273**, 1~10 (2010)
- Hapke, C. and Plant, N. : Predicting coastal cliff erosion using a Bayesian probabilistic model, *Marine geology*, **278**, 140~149 (2010)
- Walkden, M., Dickson, N. : Equilibrium erosion of soft rock shores with a shallow or absent beach under increased sea level rise, *Marine Geology*, **251**, 75~84 (2008)
- Yoshikawa, S., Nemoto, K. : Seasonal variations of sediment transport to a canyon and coastal erosion along the Shimizu coast, Suruga Bay, Japan, *Marine Geology*, **271**, 165~176 (2010)
- Zhang, K., Douglas, B.C., Leatherman, S.P. : Global warming and coastal erosion, *Climatic Change*, **64**, 41~58 (2004)