

발간등록번호

11-1543000-002206-01

UAV와 DIP기법을 이용한 간척지 토양 특성 평가 및 재염화 예측시스템 개발 최종보고서

2018. 1. 30.

주관연구기관 / 서울대학교 산학협력단

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “UAV와 DIP기법을 이용한 간척지 토양특성 평가 및 재염화 예측시스템 개발”(개발기간 : 2014.12.19 ~ 2017.12.18)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 1. 30.

주관연구기관명 : 서울대학교 산학협력단 김 성 철



주관연구책임자 : 손 영 환

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	114147-3	해당 단계 연구 기간	2016.12.19. ~ 2017.12.18	단계 구분	3단계/ 총 3단계
연구사업명	단위사업	농생명산업기술개발사업			
	사업명	농생명산업기술개발사업			
연구과제명	대과제명	UAV와 DIP기법을 이용한 간척지 토양특성 평가 및 재염화 예측시스템 개발			
	세부과제명	UAV와 DIP기법을 이용한 간척지 토양특성 평가 및 재염화 예측시스템 개발			
연구책임자	손영환	해당단계 참여 연구원 수	총: 5명 내부: 3명 외부: 2명	해당단계 연구개발비	정부:100,000천원 계:100,000천원
		총연구기간 참여 연구원 수	총: 11명 내부: 7명 외부: 4명	총연구개발비	정부:300,000천원 계:300,000천원
연구기관명 및 소속부서명	서울대학교			참여기업명	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
본 연구 결과 특허출원1건, SCI국제 학술지 논문 2편, 국내 전문 학술지 논문 2편, 국제 학술대회 발표 2건, 국내 학술대회 발표 12건, 전문인력 양성 6명, 정책활용 1건, 홍보/전시 4건의 연구개발성과를 달성함				보고서 면수	

〈 요약 문 〉

		코드번호	D-01			
연구의 목적 및 내용	<p>디지털 이미지 프로세싱(DIP) 분석 기법을 이용한 간척지 토성 별 물리적 특성 분석 및 데이터베이스를 구축하고 무인비행장치(UAV)를 이용한 현장 모니터링 시스템 개발 및 간척지 토양의 평가 및 예측 시스템을 개발하고자 함</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 간척지의 토지이용 현황조사 및 물리 화학적 특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 재염화 간척지 토양의 물리·화학적 특성 및 불포화도 함수 특성 분석 ○ UAV를 이용한 원격 항공촬영 기준 정립 및 현장 모니터링 시스템의 구축 <ul style="list-style-type: none"> ▪ UAV의 촬영 기준 정립을 위한 기초 연구 ○ 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 토양 물리적 특성 및 염분농도 추정 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 간척지 토양 특성 평가를 위한 디지털 이미지 프로세싱 기법 개발 ▪ 간척지 토양의 토성에 따른 디지털 이미지 특성값 상관성 분석 ○ 간척지 토양의 재염화 가능성 평가 및 데이터베이스 구축 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 표층 습윤도 및 지표식물에 따른 간척지 토양의 재염화 가능성 평가 ▪ 재염화 지역의 염분집적상태에 대한 토성 별 데이터베이스 구축 ○ 디지털 이미지 프로세싱 기법을 통한 간척지 재염화 예측 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 디지털 이미지 프로세싱 기법을 통한 간척지 토양 함수비 및 염분 농도 추정방법 정립 및 현장 측정 데이터와 비교를 통한 평가 및 예측 시스템 현장 적용 					
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 특허/산업재산권 : 특허출원 1건 (출원등록번호 10-2017-0108497) ○ SCI 국제 학술지 논문 : 2편 ○ 국내 전문 학술지 논문 : 2편 ○ 국제 학술대회 발표 : 2 건 ○ 국내 학술대회 발표 : 12 건 ○ 전문인력 양성 : 6건 ○ 정책활용 : 1건 ○ 홍보/전시 : 4건 					
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 토양 특성 및 현장 조건을 고려한 간척지 토양 분석 시스템 활용 ○ UAV를 이용한 현장 토양 상태 특성 평가 및 파악 가능 ○ 간척지 토양의 재염화 가능성 평가 및 데이터베이스 구축 활용 ○ 토성 별 토양상태의 신속한 분석 기술 개발에 따른 간척지 토양 평가 및 예측 					
중심어 (5개 이내)	간척지 토양	재염화	토양함수비	디지털 이미지 프로세싱	무인비행장치	

< SUMMARY >

	코드번호	D-02
Purpose& Contents	<p>To develop a on-site monitoring system using unmanned aerial vehicle (UAV) and digital image processing (DIP) technique and development of evaluation and prediction system of reclaimed soil</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Investigation of land use status and physico-chemical characterization of domestic reclaimed land <ul style="list-style-type: none"> ▪ Analysis of physico-chemical properties and SWCC of reclaimed soil ○ Establishment of remote aerial photographing standard and on-site monitoring system using UAV <ul style="list-style-type: none"> ▪ Basic research for establishing the remote aerial photographing standard of UAV ○ Estimation of soil physical properties and salinity using digital image processing technique <ul style="list-style-type: none"> ▪ Development of digital image processing technique for soil characterization of reclaimed land ▪ Correlation analysis of digital image value according to texture of reclaimed soil ○ Assessment of resalinization potential of reclaimed soil and database construction <ul style="list-style-type: none"> ▪ Assessment of resalinization potential of reclaimed soil by soil moisture and vegetation ▪ Establishment of a database for salinity in resalinization areas ○ Evaluation and prediction system of reclaimed soil using digital image processing technique <ul style="list-style-type: none"> ▪ Establishment of estimation system of soil water content and salinity in reclaimed land through digital image processing technique 	
Results	<ul style="list-style-type: none"> ○ Patent / industrial property rights : 1 patent application (Application No. 10-2017-0108497) ○ SCI international journal article : 2 ○ Domestic journal article : 2 ○ International conference announcement : 2 ○ Domestic conference announcement : 12 ○ Training of professional manpower : 6 ○ Policy use : 1 ○ Publicity / Exhibition : 4 	
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> ○ Application of reclaimed soil analysis system considering soil characteristics and site conditions ○ Evaluation of characteristics of on-site soil condition using UAV ○ Evaluation of resalinization potential of reclaimed soil and application of database ○ Evaluation and prediction of reclaimed soil due to rapid analysis of soil condition 	
Keywords	Reclaimed Soil	Resalinization
	Soil Moisture	Digital Image Processing
		Unmanned Aerial Vehicle

< Contents >

1. Summary of Research and Development Project	7
2. Domestic and foreign technology development status	8
3. Research Contents and Results	9
4. Achievement rate of goal and contribution to related field	259
5. Application plan of research results	260
6. Foreign science and technology information	261
7. Security rating of R&D achievement	261
8. Research facilities registered in the NTIS.	261
9. Implementation of safety plan in laboratories	262
10. Representative Research Results of R&D Project	263
11. Others	263
12. References	263

<Appendix> Self-Evaluation Statement

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의개요	7
2. 국내외 기술개발 현황	8
3. 연구수행 내용 및 결과	9
4. 목표달성도 및 관련분야 기여도	259
5. 연구결과의 활용계획	260
6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	261
7. 연구개발성과의 보안등급	261
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황	261
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	262
10. 연구개발과제의 대표적 연구실적	263
11. 기타사항	263
12. 참고문헌	263

<별첨> 자체평가의견서

1. 연구개발과제의 개요

코드번호	D-03
------	------

1-1. 연구개발 목적

- 디지털 이미지 프로세싱(DIP) 분석 기법을 이용한 간척지 토성 별 물리적 특성 분석 및 데이터베이스를 구축하고 무인비행장치(UAV)를 이용한 현장 모니터링 시스템 개발 및 간척지 토양의 평가 및 예측 시스템을 개발하고자 함

1-2. 연구개발의 필요성

- 간척지 토양의 특성에 따른 모니터링 및 평가시스템 구축 필요
- 간척지 토양은 염분농도가 높아 작물재배에 악영향 있으며 생산량 저하 야기
- 간척지 토양의 재염화 피해 최소화를 위한 현장 모니터링 방법 구축 필요
- 간척지 토양의 분류를 통한 토양 물리적 특성 파악 필요
- 간척지 토양 함수비 변화 모니터링 및 관리 필요
- 간척지 토양의 Crack 특성에 따른 유지 및 관리 필요

1-3. 연구개발 범위

- 국내 간척지의 토지이용 현황조사 및 물리 화학적 특성 분석
 - 재염화 간척지 토양의 물리·화학적 특성 및 불포화도 함수 특성 분석
- UAV를 이용한 원격 항공촬영 기준 정립 및 현장 모니터링 시스템의 구축
 - UAV의 촬영 기준 정립을 위한 기초 연구
- 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 토양 물리적 특성 및 염분농도 추정
 - 간척지 토양 특성 평가를 위한 디지털 이미지 프로세싱 기법 개발
 - 간척지 토양의 토성에 따른 디지털 이미지 특성값 상관성 분석
- 간척지 토양의 재염화 가능성 평가 및 데이터베이스 구축
 - 표층 습윤도 및 지표식물에 따른 간척지 토양의 재염화 가능성 평가
 - 재염화 지역의 염분집적상태에 대한 토성 별 데이터베이스 구축
- 디지털 이미지 프로세싱 기법을 통한 간척지 재염화 예측 시스템 개발
 - 디지털 이미지 프로세싱 기법을 통한 간척지 토양 함수비 및 염분 농도 추정방법 정립 및 현장 측정 데이터와 비교를 통한 평가 및 예측 시스템 현장 적용

2. 국내외 기술개발 현황

코드번호	D-04
------	------

- 국내 관련 연구 동향 및 한계점
 - 간척 농지의 토양 함수비, 염 농도 등의 물리적 특성을 파악하는 연구가 다수 진행되고 있지만 이를 간척지구, 간척연대, 토양 특성 등에 따른 분류를 통해 유지 및 관리하는 연구는 진행되지 않음
 - 국내 간척지에서 나대지, 염생식물, 비염생식물 군락지 등 식생 분포에 따른 염농도 분포를 위성 영상으로 분류하는 연구가 주를 이루지만 연차와 계절별로 변동하는 토양 염농도의 특성을 분석하기에는 촬영 주기, 분석의 정밀성, 비용 등의 문제점이 있음
- 국내·외의 연구 현황

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
농촌진흥청	▪ 간척지 작물 안정 재배를 위한 토양특성 평가	▪ 영산강 토양특성 평가, 식생 군락별 토양 염농도 조사 등
한국농어촌공사	▪ 간척지 조성 후 토양특성 변화 및 활용방안	▪ 간척지 작물 재배 토양관리 활용
East China Normal University	▪ 간척 시기 및 간척 토지 이용에 따른 염 농도에 대한 영향	▪ 간척연대 및 간척지 사용에 따른 토양물리·화학성 파악
The Volcani Center, Bet Dagan, Israel	▪ 간척지에서 염분이 토양에 미치는 영향 연구	▪ 간척지 토양 염분 특성 파악

- 드론 시장 동향
 - 드론은 2018년 현재 방송 및 영화산업, 농업 등 다양한 민간 분야에서 활용되고 있으며, 기술 발전에 따라 활용분야가 광범위하게 확대될 것으로 예상됨
- DJI社 (민간 드론 시장의 70% 점유) 의 대표 모델 제원

	팬텀 1	팬텀 3 프로	매빅 프로	팬텀 4 프로
	2013년 1월	2015년 4월	2016년 9월	2016년 11월
무게	1242g	1280g	734g	1388g
배터리	5200mAh	4480mAh	3830mAh	5870mAh
비행 시간	10분	23분	27분	30분
카메라 화소	-	1240만 화소	1235만 화소	2000만 화소
최고속력	6m/s	16m/s	18m/s	20m/s

- 팬텀 1 출시 이후 약 3년간 배터리 효율, 비행 속도, 카메라 성능 등 종합적 측면에서 비약적 발전성과를 거둠
- 국내·외 드론 관련 연구개발 현황

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
한국항공우주연구원 (KARI)	▪ 고고도 태양광 무인기 개발 프로젝트	▪ 대기가 희박한 고고도에서 태양에너지만으로 채공
미국 North Dakota 州	▪ 범죄 진압용 무기를 탑재한 드론 사용 법제화	▪ 범죄 발생을 줄이기 위한 감시 및 진압 드론 개발
Amazon 社, DHL 社 등	▪ 드론을 이용한 택배 서비스	▪ 물류분야에서의 드론 활용
Facebook 社	▪ 드론을 통한 인터넷 통신망 구축 프로젝트	▪ 인구가 적거나, 넓은 곳에 통신망 구축 한계 극복
State Farm, AIG 社	▪ 드론을 이용한 자연재해 피해 시설물 조사	▪ 작업자 안전 확보 및 시설 접근성 제고

3. 연구수행 내용 및 결과

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 국내 간척지 토양의 현황

○ 간척지 토양의 특성에 따른 모니터링 및 평가시스템 구축 필요

- 우리나라 간척지 총 면적은 약 14만 ha로 농지면적의 약 10%를 차지
- 간척지는 강하구와 해안의 경계에 방조제 및 매립을 통해 형성되기 때문에 간척지 토양에서 여러 문제들이 발생



<그림 1-1> 우리나라 간척지 분포도(ha), 농촌진흥청

- 최근에 조성된 간척지와 오래된 간척지는 작토층과 경반층의 두께, 시비로 인한 토성 변화가 크므로 비교·분석이 필요
- 기존의 위성 영상을 이용한 모니터링은 관측 주기가 다소 길고 고화질 영상은 고가의 비용
- 간척지 토양의 간편한 모니터링 기법과 정량적 분석방법 개발 필요

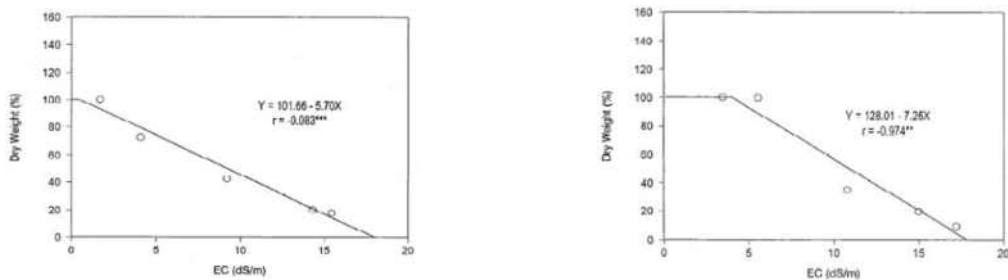


<그림 1-2> 새만금 지역의 염류농도 변화 및 벼 재배 가능지역, 전북도 농업기술원

2. 국내 간척지 토양의 문제점

○ 간척지 토양은 염분농도가 높아 작물재배에 악영향 있으며 생산량 저하 야기

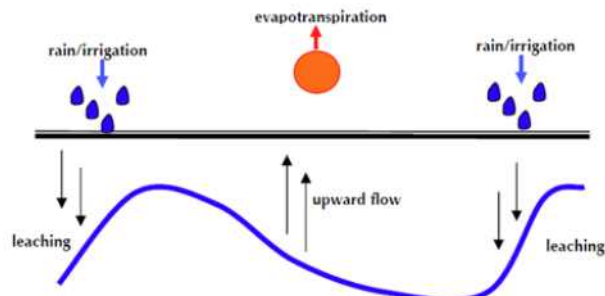
- 토양에 염류가 적정 수준 이상으로 집적되면 작물 생육이 저하되며, 수량과 품질이 낮아져 염류장해가 발생
- 채소류의 생육에 적합한 토양의 염류농도는 1.25 ~ 2.50 dS/m의 범위이며 6.25 dS/m 이상이 되면 염류장해가 발생하게 됨 (이병일 등, 2004)
- 토양의 물리적·화학적 조건에 따라 다르게 나타나므로 토양 특성에 따른 염도 집적과악 및 이를 고려한 예측기술 개발이 필요함



<그림 1-3> 토양 염도에 대한 배추와 들깨의 생육 반응, 농어촌연구원

○ 간척지 토양의 재염화 피해 최소화를 위한 현장 모니터링 방법 구축 필요

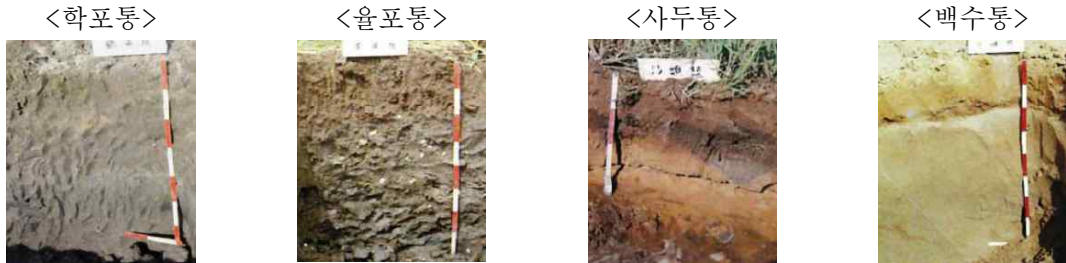
- 간척지는 대부분 저지대에 위치하기 때문에 지하수위가 높고 배수가 불량하여 제염하기 어려움
- 또한 초기 제염 (desalinization)을 했음에도 불구하고 높은 지하수위와 모세관 현상으로 재염화 (resalinization)가 발생하기 쉬움
- 토양의 염분이동은 토양의 포화도에 따라 다른 특성을 나타내므로 논토양(포화)과 밭토양(불포화)에서의 효율적인 염분 집적 상태 모니터링이 필요
- 재염화로 인한 피해 방지를 최소화하기 위해서는 토양 특성별 모니터링 구축 자료를 기반으로 통합적인 간척지 토양 모니터링 및 관리 시스템 필요



<그림 1-4> 간척지에서의 기상 조건 및 작물 생육에 따른 제염 및 재염화 현상

○ 간척지 토양의 분류를 통한 토양 물리적 특성 파악 필요

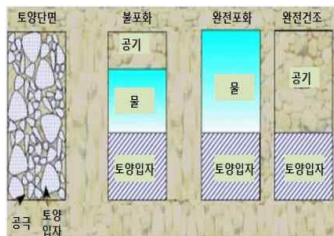
- 간척지 토양은 매립재의 특성, 염분 집적도 등에 따라 토양의 물리·화학적 특성이 다양함
- 논 토양과 밭 토양은 표층 포화 정도가 달라 염분 집적 정도, 토양 유기물 함량 등의 차이를 보임
- 간척년대가 경과할수록 토양 염농도는 낮아지지만 동일한 토양이라도 간척지구에 따라 지형 특성상 지하수위의 고저 차이, 토성 등에 따라 상이함(간척지 논토양 관리기술, 호남농업연구소)



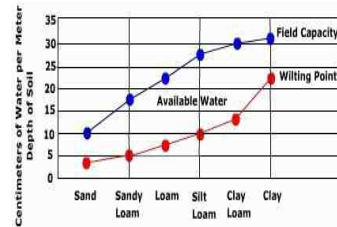
<그림 1-5> 간척지 논 토양의 토양통에 따른 토양 단면

○ 간척지 토양 함수비 변화 모니터링 및 관리

- 간척지 표층이 건조하면 모세관 현상이 발생하기 쉬워 염분이 작토 층으로 상승하는 재염화가 발생함
- 간척지 토양의 수분은 간척지 조성 시기, 토성 등에 따라 차이가 있으므로 이에 대한 분석을 통해 토양 함수비 관리가 필요함
- 토양의 표층 함수비(포화도) 변화에 따른 재염화 및 제염 효과 분석 중요
- 간척지 토양 함수비는 염 농도와 밀접한 관련이 있으므로 지속적인 관측 및 관리가 요구됨



(a) 토양수의 형태



(b) 토성별 토양수분함량특성

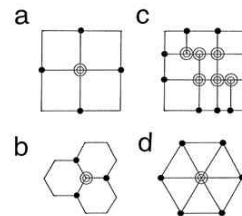
<그림 1-6> 토양수의 형태 및 토성별 토양수분함량특성

○ 간척지 토양의 Crack 특성에 따른 유지 및 관리 필요

- 토양 Crack을 따라 수분 및 염분의 이동이 일어나므로 간척지 토양에서 큰 의미를 가질 수 있음
- 토양 Crack이 발생 시 빠른 배수로 인해 작물의 수분 스트레스가 증가
- 간척지 내의 토양 Crack은 염분의 이동 경로가 되어 염분이 집적되는 부분이 될 수 있으므로 Crack 특성 및 형태 연구 필요



(a) 매립지반에서의 토양 Crack



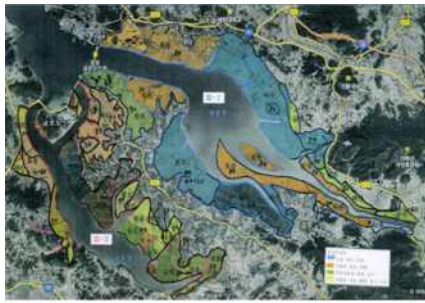
(b) 토양 Crack의 발생형태

<그림 1-7> 매립지반에서의 토양 Crack 및 발생 형태

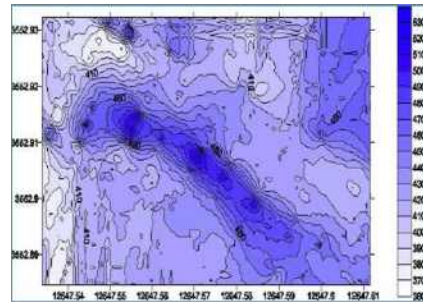
제 2 절 연구개발의 중요성

○ 사회적 측면

- 간척지의 농업 활용도 증대 기술 개발을 통한 농업기술의 세계화
- 간척지의 농경지 및 생태 공원 활용을 통한 작물 공급처 및 휴식처 제공
- 염해 피해를 예측하고 농민에게 제공하는 사회적 보호 기능
- 지속가능한 간척지 토양 이용방안 수립을 통한 간척지 농업 취약성 감소



(a) 간척지 토양특성 지도



(b) 토양 염분 농도 분포

<그림 1-8> 간척지 토양특성 지도 및 염분 분포도

○ 산업, 경제적 측면

- 고염도 간척지의 제염을 통한 토양 유지관리 및 농업 생산성 증대
 - 토양특성을 고려한 모니터링을 통하여 간척 농지 관리
 - 염농도가 높은 지역의 우선 제염을 통한 토지의 생산성 향상
- 농업의 안정적인 수익창출 및 토지 이용효율의 극대화
- 다용도의 농경지 개발을 통한 농업의 국제경쟁력 강화

○ 환경적 측면

- 간척지 토양의 지력 증가 및 불량 토양 환경개선
- 토지 개량을 통한 다양한 식물군 형성
- 간척지 활용을 통한 녹지면적 증가

제 3 절 연구개발의 목표 및 내용

1. 연구개발의 최종목표 및 주요내용

본 연구는 간척지 토양에서 농작물 생육에 영향을 미치는 토양의 물리성, 염분농도, 재염화 가능성을 판단하기 위한 방법으로 현장에서 간편하고 경제적으로 적용 가능한 UAV를 이용한 실시간 모니터링 시스템을 개발하는 데 그 목적이 있다. 또한 디지털 이미지 프로세싱 기법을 통해 간척지 토양의 농작물 생육에 중요한 인자인 함수비와 염분농도 예측 및 토성을 구분하고 데이터베이스 구축 및 실시간 모니터링 시스템의 연계로 간척지 토양의 재염화 방지 및 효율적인 유지관리를 그 목표로 한다.



- 국내 간척지의 토지이용 현황조사 및 물리 화학적 특성 분석
- UAV를 이용한 원격 항공촬영 기준 정립 및 현장 모니터링 시스템의 구축
- 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 토양 물리적 특성 및 염분농도 추정
- 간척지 토양의 재염화 가능성 평가 및 데이터베이스 구축
- 디지털 이미지 프로세싱 기법을 통한 간척지 재염화 예측 시스템 개발

2. 세부 항목별 연구개발의 목표 및 내용

○ 국내 간척지의 토지이용 현황조사 및 물리·화학적 특성 분석

■ 국내 간척지 토지 이용 현황조사

- 국내 간척지의 현황 및 농경지로 부지에 대한 문헌 및 현장조사
- 간척지 재염화로 인한 피해 현황 조사
- 선행 연구에 대한 문헌정리 및 한계점, 실용성 등 검토



<그림 1-9> 간척지 토지이용 계획도



<그림 1-10> 재염화로 집적된 염분

■ 일반 간척지 토양 및 재염화된 간척지 토양의 물리·화학적 특성 분석

- 간척지의 토양 특성을 분석하기 위한 시료채취
- 국내 간척지 매립토양의 종류 및 위치 별 시료에 대한 입도시험, 비중, 단위중량, 투수시험 등 기초물성 실험을 통한 기본적인 물리적 특성 파악
- 간척지 토양의 염분농도 및 유기물 함량 파악을 위한 시험 실시
- 간척지 토양의 금속 및 무기물질 함량 파악을 위한 XRF시험 실시
- 간척지 매립토양의 종류에 따른 흡-함수특성곡선을 산정하여 간척지 토양의 불포화 특성에 따른 재염화 특성 평가



(a) 비중 실험



(b) 입도분포 시험



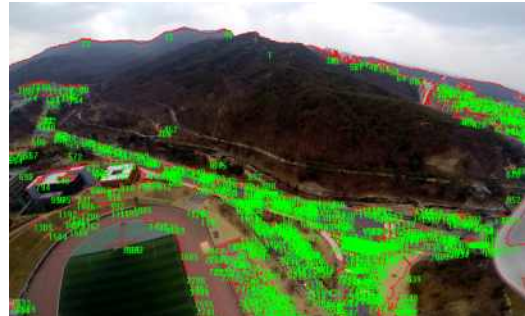
(c) 변수위 투수 시험

<그림 1-11> 기초 물성 시험

○ UAV를 이용한 원격 항공촬영 기준 정립 및 현장 모니터링 시스템 구축

■ UAV의 촬영 기준 정립을 위한 기초 연구 진행

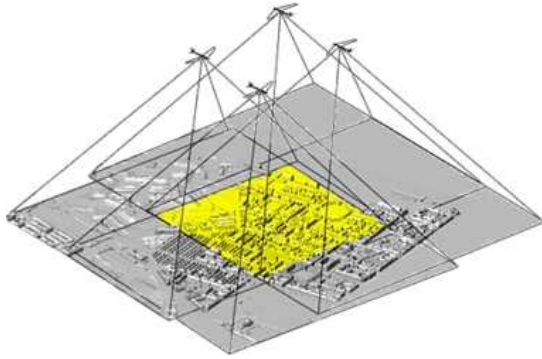
- 상용 UAV의 성능수준 분석을 통해 효율적 운용을 위한 UAV선정
- UAV에 탑재 가능한 영상장비의 성능 수준 분석
- 촬영 고도에 따른 커버리지 및 각 고도에서의 픽셀당 거리 산정 등을 통해 UAV를 이용한 촬영 가능 범위 파악
- 촬영각에 따른 지면 왜곡도 평가 및 기체 운동에 따른 촬영각 변화 분석
- UAV 장착 카메라의 적정 해상도, 화이트밸런스, ISO값 선정



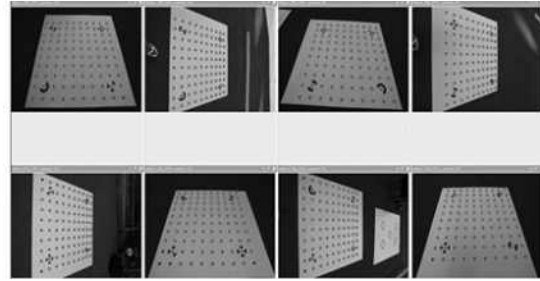
<그림 1-12> 무인항공장치(UAV)를 이용한 원격 항공 탐사

■ UAV 운용 기준 및 촬영 기준 정립

- 간척지의 면적을 고려한 최적 촬영 고도 및 왜곡을 최소화 할 수 있는 촬영각 및 기체 운용 기술 선정
- 간척지 토양 특성 분류를 위한 소요 해상도의 UAV 촬영 기준 고도 선정
- 주변 환경 영향의 최소화와 동일한 품질의 이미지를 얻을 수 있는 촬영장비 설정 기준 정립
- UAV 운용 시 안전사고, 기기 고장 등에 대한 예방 및 대책 마련

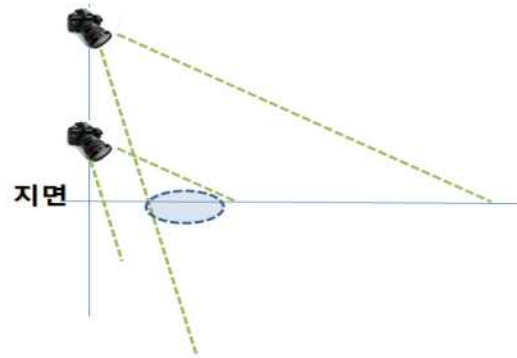
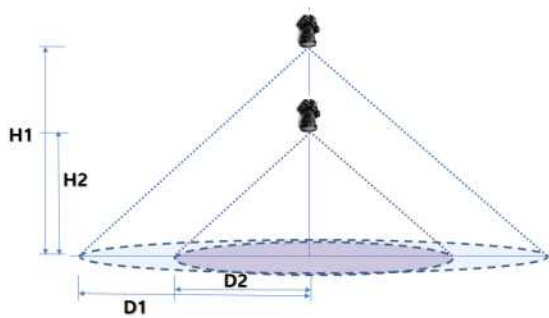


(a) UAV 촬영 개념도



(b) 왜곡된 이미지의 기하보정

<그림 1-13> UAV 촬영 개념도 및 왜곡 이미지의 기하보정

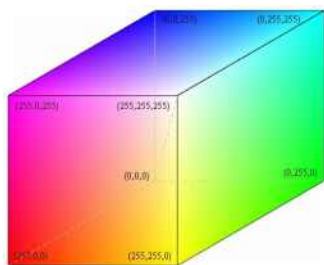


<그림 1-14> 촬영 고도 및 각도에 따른 해상도 차이와 이미지 왜곡

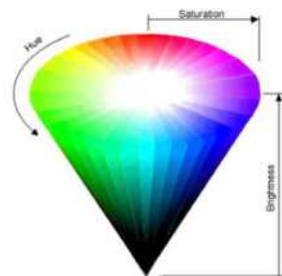
○ 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 토양 물리적 특성 및 염분농도 추정

■ 디지털 이미지 프로세싱 기법의 기초연구

- 디지털 이미지 획득 및 이미지 색 체계에 따른 데이터 변화 분석
- RGB, HSV 등 대표적 색 체계 데이터 처리 및 가공 기술 개발
- 디지털 이미지의 촬영 조건 설정에 따른 이미지 변화 분석
- 간척지 토양 특성 타 연구결과와 비교 검증



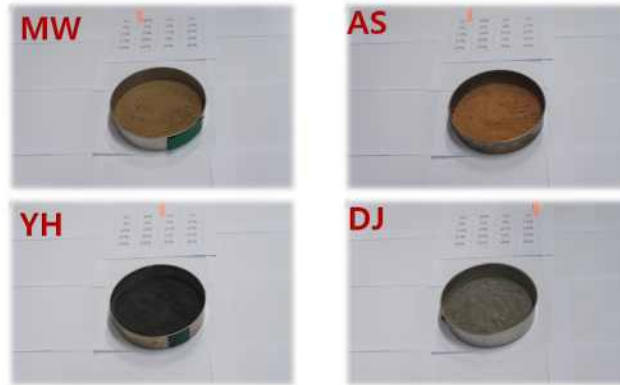
(a) RGB Color System



(b) HSV Color System

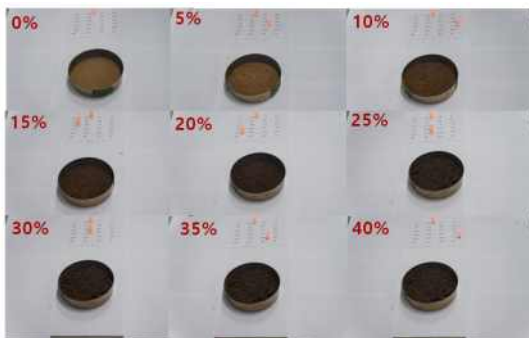
<그림 1-15> 색 분류 체계의 종류

- 간척지 토양의 특성 평가를 위한 디지털 이미지 프로세싱 기법 개발
 - 간척지 토양 및 토양 종류별 이미지 특성값 분석
 - 디지털 이미지의 촬영 조건에 따른 이미지 특성값 분석
 - 디지털 이미지의 특성값에 따른 토성 그룹화 또는 분류 기술 개발
 - 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 기존 토양 특성 DB와의 연계운영

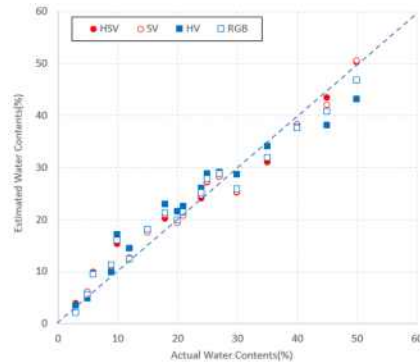


<그림 1-16> 토양 종류에 따른 색상 차이

- 디지털 이미지 특성값의 간척지 토양의 토성에 따른 상관성 분석
 - 토양의 종류 별 함수비와 디지털 이미지 특성값의 상관관계 분석
 - 토양의 종류 별 염분농도와 디지털 이미지 특성값의 상관관계 분석



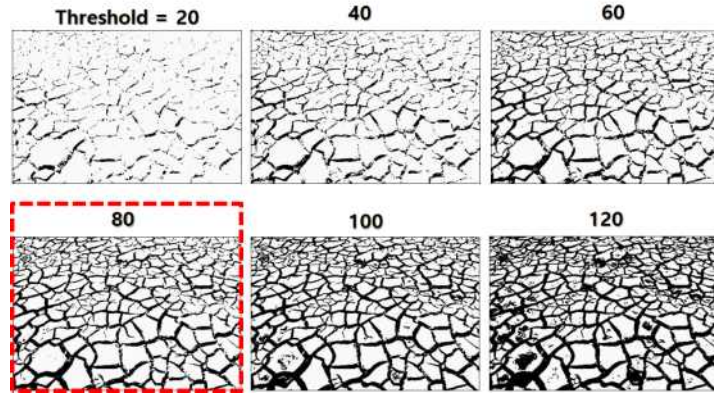
(a) 함수비 변화에 따른 토양의 색상 변화



(b) 실제 함수비와 추정 함수비 비교

<그림 1-17> 함수비 변화에 따른 토양의 색상 변화

- 간척지 토양의 Crack 특성에 따른 염분농도의 변화 양상 파악
 - 간척지 토양의 토성에 따른 Crack 발생 특성 분석 실시
 - Crack의 생성에 따른 표층 염분농도의 변화 파악



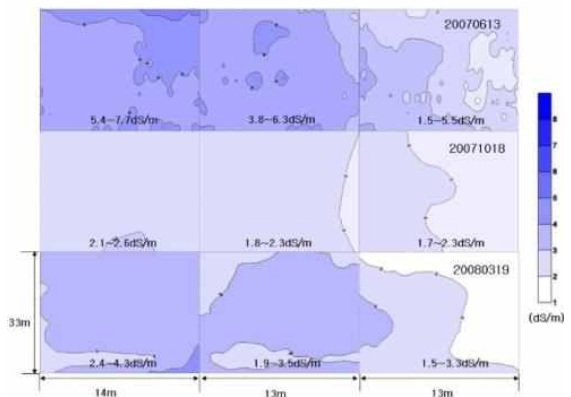
<그림 1-18> 디지털 이미지 프로세싱을 이용한 토양 Crack 분석

○ 간척지 토양의 재염화 가능성 평가 및 데이터베이스 구축

- 표층 습윤도에 따른 간척지 토양의 재염화 가능성 평가
 - 함수비에 따른 토양의 염분 농도 변화량 파악
 - 토양 염분 농도와 지표식물과의 연관성 파악
 - 간척지 토양의 표층 습윤도 및 지하수위 변화에 따른 재염화 가능성 평가
 - 간척지 토양의 수분이동상태 모델링 및 지하수위 변화에 따른 염분이동 파악
- 재염화 지역의 염분집적상태에 대한 데이터베이스 구축
 - 시험 모니터링 지역 내 장기 모니터링을 통한 재염화 여부 확인
 - 기상상태 및 표층 습윤도에 따른 염분농도 변화 분석 및 평가
 - UAV를 이용한 시계열 모니터링 자료를 바탕으로 염분집적상태 데이터베이스 구축



<그림 1-19> 최상위 토양분류 12개 목

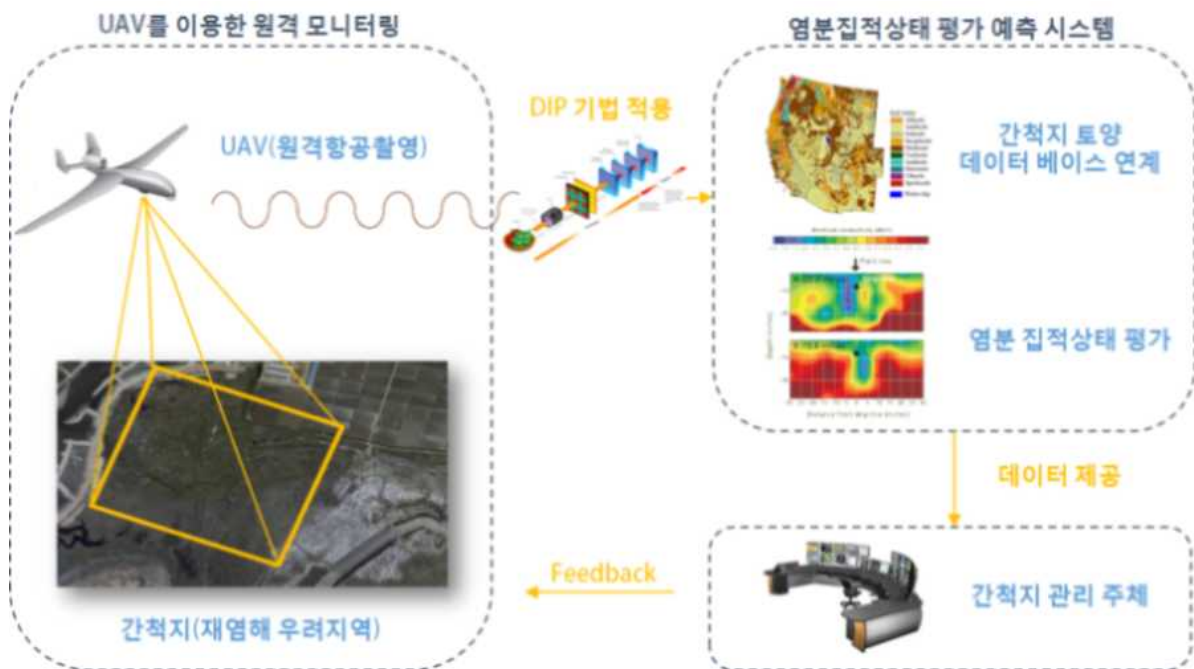


<그림 1-20> 재염화에 따른 시기별 염분농도 변화

○ 디지털 이미지 프로세싱 기법을 통한 간척지 재염화 예측 시스템 개발

- 디지털 이미지 프로세싱 기법을 통한 간척지 토양의 함수비 및 염분농도 추정방법의 현장 적용성 확인
 - 간척지 조성 기간에 따른 염분 및 수분 예측 기술 개발
 - 시험지구의 토양 함수비 및 염분농도 실측값 획득
 - 토양, 지형, 지질, 기후, 지하수위, 주변환경 등의 조건을 고려한 시험지구의 장기간 모니터링 결과 분석을 통한 토양 함수비 및 염분농도의 이동 파악
 - 현장조사 결과와의 비교분석을 실시하여 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 추정방법의 현장 적용성 확인

- 간척지 토양의 실시간 염분 집적상태 평가 및 예측 시스템 개발
 - UAV와 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 실시간 염분농도 측정 기술 개발
 - 측정된 염분농도 자료를 바탕으로 한 간척지 토양의 염분 집적상태 예측 모델 개발
 - 간척지 토양 별 현장 측정자료를 통한 평가 및 예측 시스템 검증



<그림 1-21> 간척지 토양 모니터링 시스템 개념도

제 2 장 간척지 재염화 토양의 물리적 특성 파악

제 1 절 시험지구 현황

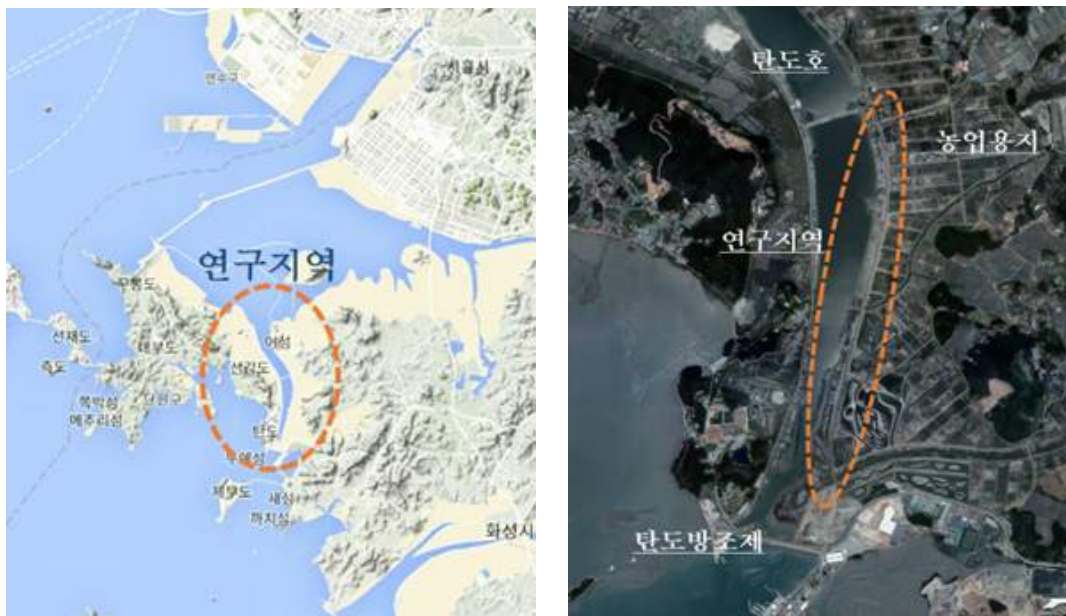
1. 시화지구

○ 시화지구 현황

- 행정구역 : 경기도 안산시 단원구 대부동, 화성시 송산면, 서산면 일원
- 공사기간 : 1998년 ~ 2012년
- 매립면적 : 4,396ha (육지부 3,636ha, 담수호 760 ha)
- 평균기온 / 평균강수량 : 11.5℃ / 1,309.5mm

○ 연구 지역

- 행정구역 : 경기도 화성시 송산면 일원
- 시화호 남쪽에 위치한 탄도호 우측 지역
- 탄도호 방수제 우측으로 농업용지 분포
- 탄도호 방수제 좌측으로 염상층 지역 및 갈대 군락 등 간척지 특성 나타남



<그림 2-1> 시화지구 연구지역 위치도

2. 새만금지구

○ 새만금지구 현황

- 행정구역 : 전북 군산시 옥서면, 김제시 광활면, 부안군 계화면 일원
- 공사기간 : 1991년 ~ 2020년
- 매립면적 : 40,100 ha (육지부 28,300 ha, 담수호 11,800 ha)
- 평균기온 / 평균강수량 : 12.3℃ / 1,219mm

○ 연구 지역

- 행정구역 : 전북 부안군 계화면 일원
- 새만금 내부 방수제 공사 진행 중이며 인근에 농촌진흥청 시험포장 위치
- 대단위 간척지로 다양한 식생 분포와 나대지 갯골 등 간척지 특성 높음
- 본 연구지역에서 다양한 연구가 진행되어 타 연구 결과와 비교 분석 용이
- 방수제 내부 부지를 연구 지역으로 선정



<그림 2-2> 새만금지구 연구지역 위치도

제 2 절 현장 조사

1. 개요

○ 대표 시료 채취

- 시험지구로 선정된 새만금 및 시화 지구를 대상으로 현장조사 및 시료 채취 실시
- 시험지구 별 대표 시료 5개 선정
- 시화지구 시료는 SH로, 새만금지구 시료는 SM으로 명명하여 표기

○ 시화지구(SH) 시료 채취

- 총 9개 시료 채취
- 이 중 방수제 좌측에서 채취한 5개 시료를 대표 시료로 선정
- 시료는 표토 흙을 채취 (깊이 30cm 이내)



<그림 2-3> 시화지구 시료 채취 위치도

○ 새만금지구(SM) 시료 채취

- 총 13개 시료 채취
- 이 중 방수제 내부에서 채취한 5개 시료를 대표 시료로 선정
- 시료는 표토 흙을 채취 (깊이 30cm 이내)



<그림 2-4> 새만금지구 시료 채취 위치도

2. 시험지구 현장조사

○ 시화지구 (2015년 1월 29일)

- 염 상승 지역이 일부 발견되었으며, 염 결정이 곳곳에 나타남
- 간척지는 습윤한 상태였으며 물 웅덩이가 산재(동결 x), 반면 농경지 담수는 동결
- 나대지 노출 구간이 간헐적으로 넓게 존재하고 갈대 군락 및 칠면초 군락이 나타남



(a) 염 결정



(b) 갈대 군락 및 칠면초



(c) 표층 습윤 및 물 웅덩이(동결 x)



(d) 방수제 우측 농경지 담수 동결



(e) 나대지



(f) 염 상승 지역

<그림 2-5> 시화지구 현황 (2015년 1월 29일)

○ 새만금지구 (2015년 1월 28일)

- 강설로 인해 표층 상태 확인이 어려웠으나 일부 구간 노출되어 조사 실시
- 갈대 군락이 넓게 분포하고 있었으며 나대지 표층은 매우 습윤한 상태였음
- 토양 균열이 일부 확인됨



(a) 갈대 군락



(b) 시료 채취



(c) 표토 매우 습윤



(d) 강설로 인해 표층 상태 확인 곤란



(e) 나대지



(f) 토양 균열

<그림 2-6> 새만금지구 현황 (2015년 1월 28일)

제 3 절 간척지 토양의 물리·화학적 기본 특성

1. 개요

○ 시험 대상

- 시험 대상 간척지 토양 10종에 대하여 실내 시험을 실시함
 - 시화지구 : 5종 (SH1, SH2, SH3, SH4, SH5)
 - 새만금지구 : 5종 (SM1, SM2, SM3, SM4, SM5)

○ 시험 항목

- 토성 분류를 위한 기초 물성 시험
 - 입도분석 : 체분석 및 비중계시험
 - 비중시험
 - 액성한계시험
 - 소성한계시험

- 토양 내 염분농도 측정
 - pH 측정
 - 전기전도도 측정

- 토양 내 무기물 및 유기물 함량 파악
 - X선 형광분석 (XRF, X-Ray Fluorescence Spectrometry)
 - X선 회절분석 (XRD, X-ray diffraction)
 - 강열감량 (LOI, Loss on ignition)

- 시험방법
 - 기초 물성 시험, pH, 전기전도도 측정은 한국산업규격에 준하여 시험을 실시함
 - X선 형광분석, X선 회절분석 및 강열감량 측정은 서울대학교 농생명과학공동기기원 (NICEM)에 시험·분석 요청함

2. 기초 물성 시험

○ 입도분석

- 입도분석시험은 흙의 입도분포를 구하기 위해 실시하며 입경 0.075mm이상의 조립질 입자의 경우 체분석으로, 그 이하의 세립질 입자의 경우에는 비중계분석으로 시행
- KS F에서 입도는 ‘흙입자 지름의 분포상태를 질량 백분율로 나타낸 것’ 이라 정의되어 있으며 이는 흙의 공학적 성질을 판단하는데 이용
- 입도분석 시험은 KS F 2302:2002 『흙의 입도 시험 방법』에 준하여 실시

○ 시화지구 입도분석

- 시화지구 5개 시료의 입도 분석 결과 0.075mm 체 통과량은 평균 75.80%로 나타났으며 이는 대부분이 세립질임을 의미
- 입도분포 곡선의 50%통과 입경인 평균입경(D_{50})은 0.055mm ~ 0.068mm이며 또한 균등계수(C_u)와 곡률계수(C_g)를 이용한 입도분포의 양·부 판정 결과 모두 빈입도로 판정
- 입도분석 결과는 <표 2-1>와 <그림 2-8>과 같음



(a) 시료의 준비



(b) 무게 측정

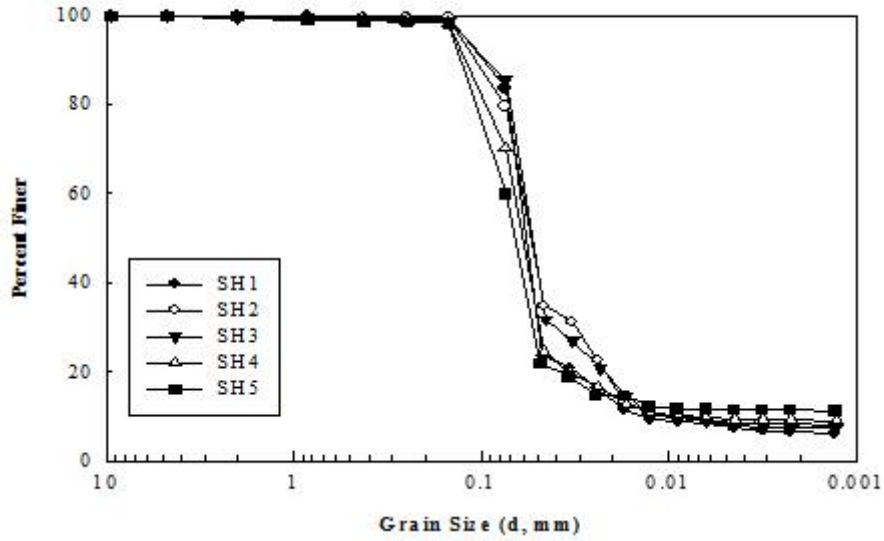


(c) 체 가름

<그림 2-7> 입도분석시험

<표 2-1> 입도분석 결과(시화)

	Passing % finer than		D_{10} (mm)	D_{30} (mm)	D_{50} (mm)	D_{60} (mm)	C_u	C_g
	4.75mm	0.075mm						
SH1	100.00	83.61	0.014	0.050	0.059	0.064	4.56	2.80
SH2	99.92	79.62	0.008	0.032	0.056	0.062	7.59	1.98
SH3	99.79	85.48	0.012	0.041	0.055	0.061	5.00	2.23
SH4	99.94	70.16	0.007	0.050	0.063	0.069	9.36	5.01
SH5	100.00	60.12	-	0.054	0.068	0.075	-	-



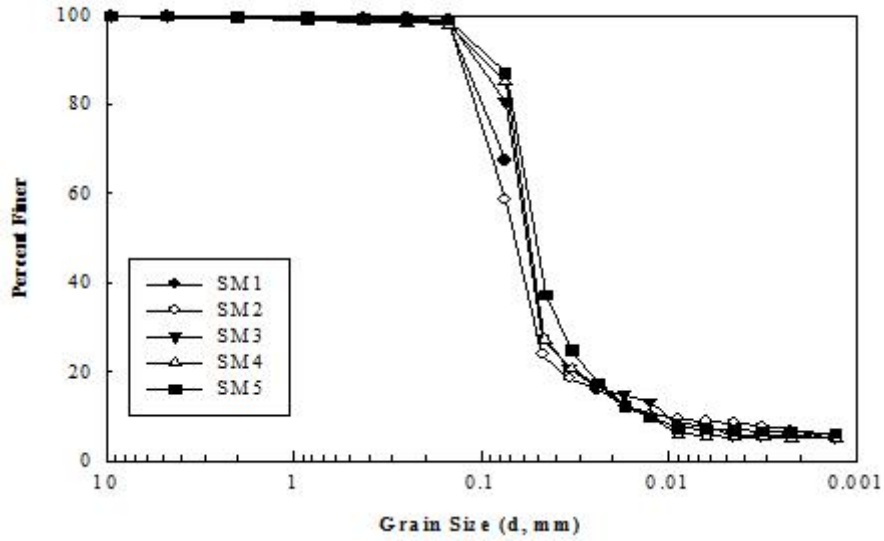
<그림 2-8> 입도분포곡선(시화 시험지구)

○ 새만금지구 입도분석

- 새만금지구 5개 시료의 입도 분석 결과 0.075mm 체 통과량은 평균 75.77%로 나타났으며 이는 대부분이 세립질임을 의미
- 입도분포 곡선의 50%통과 입경인 평균입경(D_{50})은 0.053mm ~ 0.068mm이며 또한 균등계수 (C_u)와 곡률계수(C_g)를 이용한 입도분포의 양·부 판정 결과 모두 빈입도로 판정
- 입도분석 결과는 <표 2-2>와 <그림 2-9>과 같음

<표 2-2> 입도분석 결과(새만금)

	Passing % finer than		D_{10} (mm)	D_{30} (mm)	D_{50} (mm)	D_{60} (mm)	C_u	C_g
	4.75mm	0.075mm						
SM1	99.63	67.40	0.018	0.038	0.056	0.067	3.65	1.18
SM2	99.99	58.50	0.011	0.052	0.068	0.078	7.09	3.20
SM3	99.93	80.55	0.010	0.049	0.059	0.064	6.29	3.60
SM4	99.71	85.21	0.013	0.048	0.058	0.063	4.84	2.81
SM5	99.86	87.18	0.013	0.038	0.053	0.059	4.53	1.91



<그림 2-9> 입도분포곡선(새만금 시험지구)

○ 비중

- 흙의 비중은 증류수의 단위중량에 대한 흙입자의 단위중량과의 비를 의미
- 이는 흙의 기본적인 성질인 간극비와 포화도를 결정하는데 필요할 뿐만 아니라, 흙의 견고한 정도나 유기질토의 유기물 함유량을 구하는데 이용
- 비중 시험은 KS F 2308:2006 『흙의 밀도 시험 방법』에 준하여 실시
- 비중 시험 결과 새만금지구 5개 시료는 평균 2.66로 나타났으며 시화지구 5개 시료는 평균 2.66으로 측정되었고 결과는 <표 2-3>과 같음



(a) 시료의 준비



(b) 가열



(c) 온도측정

<그림 2-10> 비중시험

<표 2-3> 비중 측정 결과(새만금, 시화)

	새만금					시화				
	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5	SH1	SH2	SH3	SH4	SH5
비중	2.65	2.66	2.66	2.66	2.65	2.65	2.66	2.66	2.68	2.67

○ 액소성한계

- 액성한계는 흙의 액상을 나타내는 최소의 함수비를 말하며, KS F에서는 ‘시료를 담은 접시를 1cm의 높이에서 1초에 2회의 비율로 25회 떨어뜨렸을 때, 양분된 부분의 흙이 흙 양측으로부터 흘러내려 약 1.5cm의 길이로 합쳐졌을 때의 함수비’ 라고 정의
- 액성한계는 세립토의 분류 및 흙의 공학적 성질을 판단하는데 이용
- 소성한계는 흙의 소성상태와 반고체 상태의 경계를 나타낸 함수비로서 흙 덩어리를 손으로 밀어 지름 3mm 곡수모양으로 되었을 때 부서지는 흙의 함수비
- 소성한계는 소성도를 이용한 세립토의 분류와 공학적 성질을 나타내는 지수 산출에 이용
- 시험은 KS F 2303:2000 『흙의 액성 한계·소성 한계 시험 방법』에 준하여 실시
- 액·소성한계 시험 결과 새만금지구 및 시화지구의 흙은 비소성(non-plastic, N.P.)로 나타남
- 액·소성 한계 시험 결과는 <표 2-4>와 같음



(a) 소성한계시험



(b) 액성한계시험

<그림 2-11> 액·소성한계시험

<표 2-4> 액·소성한계 시험 결과(새만금, 시화)

	새만금					시화				
	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5	SH1	SH2	SH3	SH4	SH5
PL	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.
LL	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.

*N.P. : 비소성(Non-plastic)

○ 흙의 공학적 분류

- 흙을 분류하는 목적은, 성질이 다른 여러 가지 흙을 간단한 시험을 근거로 하여 몇 가지의 무리로 나누어 미리 그 흙의 공학적 성질을 추정하는데 있음
- 공학적 목적으로 가장 많이 사용되는 통일분류법(Unified Soil Classification System, USCS)은 기초공학 분야에서 널리 사용되고 있으며, 1969년 ASTM에 의하여 흙을 공학적으로 분류하는 표준방법으로 채택
- 통일분류법에 의하면 처음에 흙을 조립토와 세립토로 나누는데, No. 200체(0.075mm) 통과율이 50% 이하이면 조립토, 그 이상이면 세립토임. 조립토는 No. 4체(4.75mm) 통과율이 50% 이하이면 자갈, 또는 자갈질 흙으로 분류하고, G라는 기호를 붙이며, 통과율이 50% 이상이면 모래 또는 모래질 흙으로 분류하고 S라는 기호를 붙임. G 또는 S의 기호 다음에는 입도분포나 세립자의 함유 비율에 따라 W(Well, 양입도), P(Poor, 빈입도), M(Mo, 실트질의 혼합토), C(Clay, 점토질의 혼합토)의 기호를 붙임
- 세립토는 실트, 점토, 유기질토로 나뉘어지며 각각 M, C, O라는 기호를 써서 표기함. 이들의 기호 다음에는 액성한계의 값에 따라 액성한계가 50% 이하일 때 L(Low, 저소성), 50% 이상일 때 H(High, 고소성)의 기호를 붙임.
- 통일분류법에 따른 대상 시험지구 간척지 토양의 분류 결과 0.075mm체 통과율 50% 이하로 세립토에 속하며, 비소성이기 때문에 ML(저소성 실트)로 분류됨. ML은 일반적으로 무기질 점토, 극세사, 암분, 실트 및 점토질 세사를 나타냄

<표 2-5> 통일분류(새만금, 시화)

	Passing % finer than		LL	USCS	Description
	4.75mm	0.075mm			
SM1	99.63	67.40	N.P.	ML	무기질 점토, 극세사, 암분, 실트 및 점토질 세사
SM2	99.99	58.50	N.P.	ML	
SM3	99.93	80.55	N.P.	ML	
SM4	99.71	85.21	N.P.	ML	
SM5	99.86	87.18	N.P.	ML	
SH1	100.00	83.61	N.P.	ML	
SH2	99.92	79.62	N.P.	ML	
SH3	99.79	85.48	N.P.	ML	
SH4	99.94	70.16	N.P.	ML	
SH5	100.00	60.12	N.P.	ML	

3. 토양 염분 농도 및 유기물질 함량

○ pH 및 염분 농도

- 흙의 pH는 흙과 평형상태에 있는 간극수의 수소 이온에 대한 몰 농도(mol/L)의 역수를 상용대수로 나타낸 것

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = -\log[H^+]$$

<표 2-6> 일반 흙의 pH

시료	pH	시료	pH
풍화토	5.6	시멘트 처리토	10.4
이탄	5.5	물, 유리계 약액주입토	10.8
온천지표토	4.2	광재 매립토	10.0

- 흙 중의 산성에 의한 강재의 부식, 알칼리에 의한 도장피막의 파괴정도, 약액 주입·안정처리 및 식물 시비의 효과 등의 판정에 pH를 이용할 수 있음
- pH의 판정은 흙과 평형상태로 되어있는 흙 속의 수용액 중에 함유되어 있는 수소이온 농도를 측정하여 pH(H_2O)로 나타내는 방법을 이용하며 이는 KS F 2103 『흙의 pH값 측정 방법』에 규정되어 있음
- 흙의 비전도도(electrical conductivity)는 토양 속의 수용성 전해질 함유량을 측정하기 위해 실시함. 비전도도의 측정은 증류수와 1:5비율로 혼합한 용액을 이용하여 측정하며 이는 KS I ISO 11265 『토양의 질 - 비전도도의 측정방법』에 규정되어 있음. 흙의 비전도도를 통해 토양 염 농도를 결정하는데, 이는 측정된 전기전도도(dS/m)값에 0.064를 곱하여 산정 가능
- pH 및 전기전도도는 EUTECH社의 CyberScan PC300을 이용하여 측정함

<표 2-7> CyberScan PC300의 제원

		제원
pH	측정범위	-2.00 ~ 16.00 pH
	정확도	0.01pH & ±0.01pH
전기전도도	측정범위	0 to 19.99, 199.9, 1999 $\mu S/cm$
	정확도	0.1, 1mV & ±0.1, 1mV
보정		5점 보정



(a) pH, 전기전도도 측정장비



(b) pH, 전기전도도 측정

<그림 2-12> pH, 전기전도도 측정 시험

- 간척지 흙의 pH 는 중성~약알칼리성으로 평가됨
- 간척지 지역의 EC 값은 큰 편차를 나타내었으며 0.5~27.6 dS/m로 나타남
- 염의 공간적 분포가 크게 다름을 확인할 수 있음

<표 2-8> pH, EC, 염분농도 측정결과 (시화)

	pH	EC(dS/m)	Salinity(%)
SH1	7.13	0.5	0.033
SH2	7.17	3.9	0.248
SH3	8.43	27.6	1.768
SH4	8.22	23.5	1.502
SH5	8.80	20.5	1.310

<표 2-9> pH, EC, 염분농도 측정결과 (새만금)

	pH	EC(dS/m)	Salinity(%)
SM1	7.11	9.3	0.597
SM2	7.71	0.7	0.042
SM3	7.28	9.3	0.597
SM4	8.02	15.3	0.978
SM5	7.13	0.5	0.033

○ 유기물질 함량

- 흙의 강열감량은 110±5℃의 노건조토를 700 ~ 800℃의 강한 열을 가하여 얻은 감소무게를 건조토의 무게에 대한 백분율로 나타낸 것
- 강열감량은 흙의 물리적·역학적 성질과 밀접한 관계가 있음. 또, 화합수·결정수가 많은 점토 광물 등은 10 ~ 20% 정도의 강열감량을 나타내는 것이 보통임
- 국제공인시험기관인 서울대학교 농생명과학공동기기원(NICEM)에 시험 분석 의뢰함
- 강열감량 값은 1.6% ~ 3.6% 로 유기 물질의 함유량이 매우 낮은 것으로 나타남
- 시화지구에 비해 새만금 지구의 강열감량 값이 다소 높음

<표 2-10> 강열감량 측정 결과 (시화, 새만금지구)

구분	무게(g)		강열감량
	샘플	강열후 샘플	
SH1	15.1174	14.7921	2.2%
SH2	13.0013	12.7896	1.6%
SH3	19.6883	19.2367	2.3%
SH4	12.5918	12.229	2.9%
SH5	16.1648	15.832	2.1%
SM1	18.4567	18.1264	1.8%
SM2	15.7178	15.1505	3.6%
SM3	16.6839	16.1022	3.5%
SM4	17.43	16.9453	2.8%
SM5	10.536	10.1963	3.2%

4. 토양 내 금속 및 무기물질 함량

○ X선 형광분석 (XRF, X-Ray Fluorescence Spectrometry)

- 국제공인시험기관인 서울대학교 농생명과학공동기기원(NICEM)에 시험 분석 의뢰함
- 시화, 새만금지구 토양은 대부분 SiO_2 와 Al_2O_3 로 이루어져 있음
- 일반적인 흙에서는 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 가 가장 높은 비율로 나타나지만 간척지 흙은 다음 표에서와 같이 Na, K 등의 성분이 매우 높게 나타남
- 이온 성분인 Na, K, Ca, Cl 등이 높은 비율로 나타남을 확인

<표 2-11> X선 형광분석 결과(시화지구)

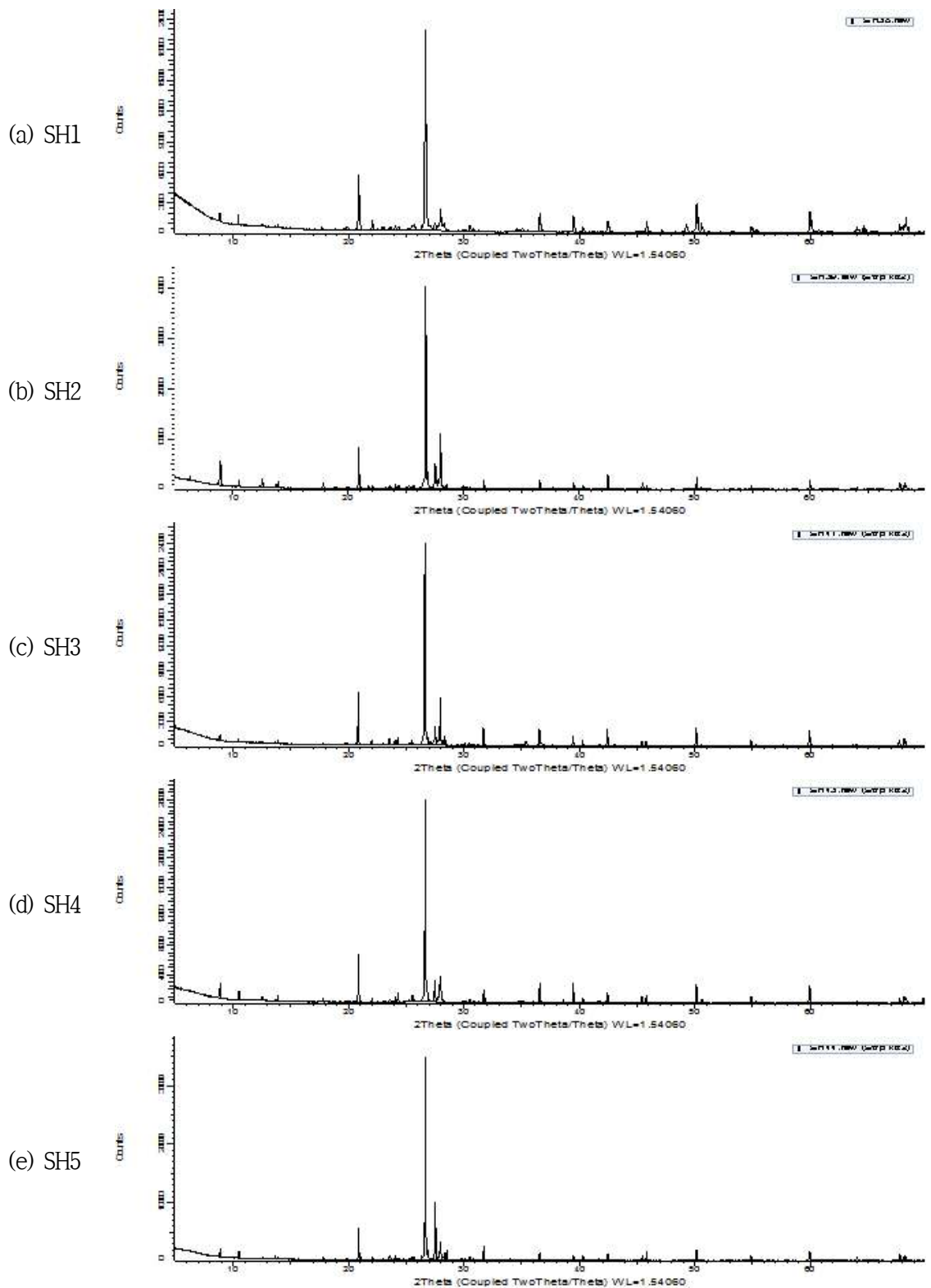
SH1		SH2		SH3		SH4		SH5	
구분	함량(%)	구분	함량(%)	구분	함량(%)	구분	함량(%)	구분	함량(%)
SiO ₂	70.58	SiO ₂	65.43	SiO ₂	65.3	SiO ₂	67.17	SiO ₂	63.96
Al ₂ O ₃	14.22	Al ₂ O ₃	13.77	Al ₂ O ₃	14.13	Al ₂ O ₃	12.16	Al ₂ O ₃	11.9
Fe ₂ O ₃	3.965	Na ₂ O	4.25	Na ₂ O	4.63	Na ₂ O	4.79	Na ₂ O	6.319
K ₂ O	3.795	Fe ₂ O ₃	4.038	Fe ₂ O ₃	4.016	K ₂ O	3.654	Cl	4.36
Na ₂ O	2.64	K ₂ O	3.617	K ₂ O	3.563	Fe ₂ O ₃	3.533	Fe ₂ O ₃	3.547
CaO	1.5	Cl	3.19	Cl	3.04	CaO	2.62	K ₂ O	3.42
MgO	1.48	MgO	2.35	MgO	2.19	Cl	2.57	MgO	2.35
TiO ₂	0.81	CaO	1.62	CaO	1.36	MgO	1.6	CaO	1.66
Cl	0.456	TiO ₂	0.876	TiO ₂	0.816	SO ₃	0.768	SO ₃	1.17
P ₂ O ₅	0.14	SO ₃	0.375	SO ₃	0.5	TiO ₂	0.716	TiO ₂	0.869
SO ₃	0.119	P ₂ O ₅	0.146	P ₂ O ₅	0.154	P ₂ O ₅	0.13	P ₂ O ₅	0.163
ZrO ₂	0.1087	ZrO ₂	0.1241	ZrO ₂	0.09715	ZrO ₂	0.0833	ZrO ₂	0.09204
BaO	0.077	BaO	0.08	BaO	0.074	BaO	0.078	BaO	0.068
MnO	0.0428	MnO	0.0593	MnO	0.0637	MnO	0.0575	MnO	0.0555
SrO	0.034	SrO	0.0329	SrO	0.0297	SrO	0.0479	SrO	0.0269
Rb ₂ O	0.0167	Rb ₂ O	0.0156	Rb ₂ O	0.015	Rb ₂ O	0.0144	Br	0.0136
ZnO	0.0106	Br	0.0154	Br	0.0122	Br	0.0092	Rb ₂ O	0.0115
Br	0.0058	ZnO	0.0102	ZnO	0.0098	ZnO	0.008	ZnO	0.008

<표 2-12> X선 형광분석 결과(새만금지구)

SM1		SM2		SM3		SM4		SM5	
구분	함량(%)	구분	함량(%)	구분	함량(%)	구분	함량(%)	구분	함량(%)
SiO ₂	68.62	SiO ₂	71.82	SiO ₂	69.06	SiO ₂	68.6	SiO ₂	70.96
Al ₂ O ₃	13.93	Al ₂ O ₃	14.35	Al ₂ O ₃	14.43	Al ₂ O ₃	13.74	Al ₂ O ₃	15.39
Fe ₂ O ₃	3.852	K ₂ O	3.862	Fe ₂ O ₃	3.786	Na ₂ O	3.72	Fe ₂ O ₃	4.044
K ₂ O	3.83	Fe ₂ O ₃	3.812	K ₂ O	3.746	K ₂ O	3.622	K ₂ O	3.816
Na ₂ O	3.48	Na ₂ O	2.14	Na ₂ O	3.3	Fe ₂ O ₃	3.593	Na ₂ O	1.98
MgO	1.69	CaO	1.4	MgO	1.64	Cl	1.85	MgO	1.51
Cl	1.42	MgO	1.36	Cl	1.31	MgO	1.76	CaO	1.16
CaO	1.33	TiO ₂	0.754	CaO	1.22	CaO	1.3	TiO ₂	0.706
TiO ₂	0.732	P ₂ O ₅	0.13	TiO ₂	0.714	TiO ₂	0.774	P ₂ O ₅	0.13
SO ₃	0.676	ZrO ₂	0.08837	SO ₃	0.423	SO ₃	0.628	BaO	0.08
P ₂ O ₅	0.159	BaO	0.082	P ₂ O ₅	0.12	P ₂ O ₅	0.12	MnO	0.0557
ZrO ₂	0.08561	SO ₃	0.053	BaO	0.072	ZrO ₂	0.09527	ZrO ₂	0.0505
BaO	0.074	MnO	0.0431	ZrO ₂	0.0703	BaO	0.076	SO ₃	0.04
MnO	0.0465	Cl	0.042	MnO	0.049	MnO	0.0513	SrO	0.031
SrO	0.0318	SrO	0.0325	SrO	0.0301	SrO	0.0294	Cl	0.031
Rb ₂ O	0.016	Rb ₂ O	0.0169	Rb ₂ O	0.0163	Rb ₂ O	0.0155	Rb ₂ O	0.017
ZnO	0.0088	ZnO	0.008	ZnO	0.0085	ZnO	0.008	ZnO	0.0094
Br	0.0058			Br	0.004	Br	0.0072		

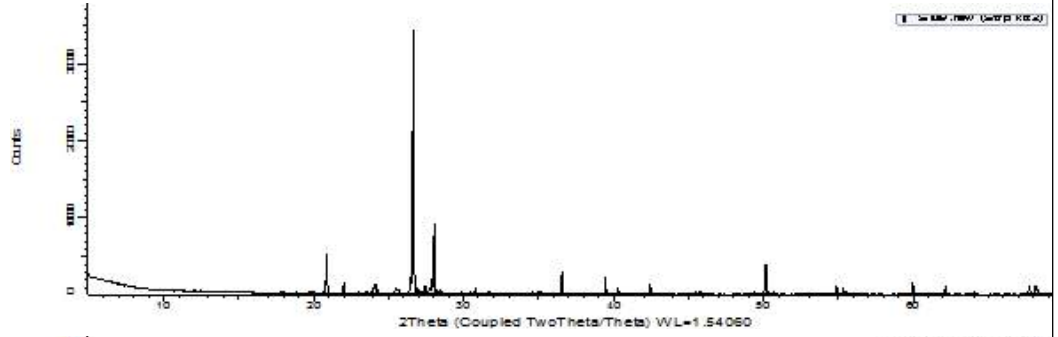
○ X선 회절분석 (XRD, X-ray diffraction)

■ 국제공인시험기관인 서울대학교 농생명과학공동기기원(NICEM)에 시험 분석 의뢰함

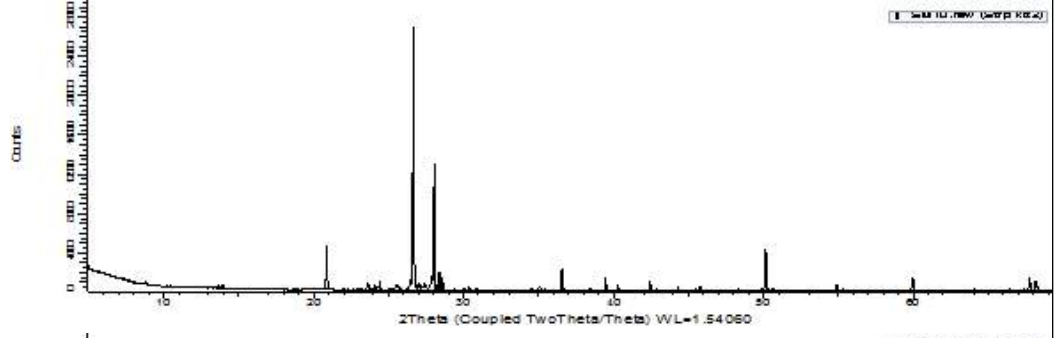


<그림 2-13> X선 회절분석 결과(시화지구)

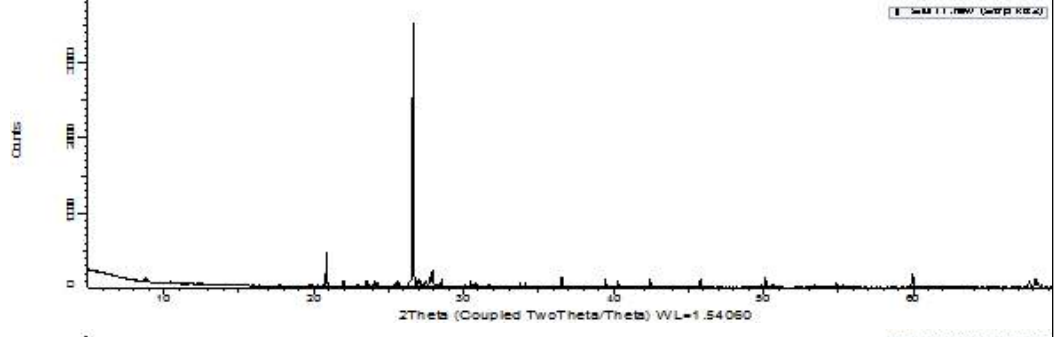
(a) SM1



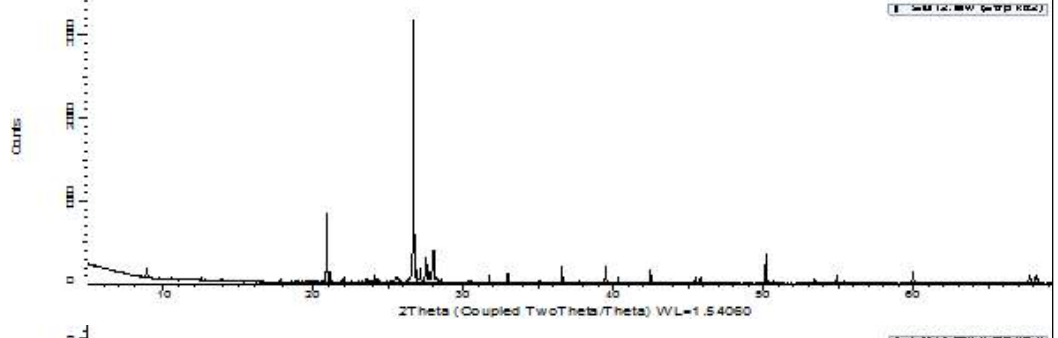
(b) SM2



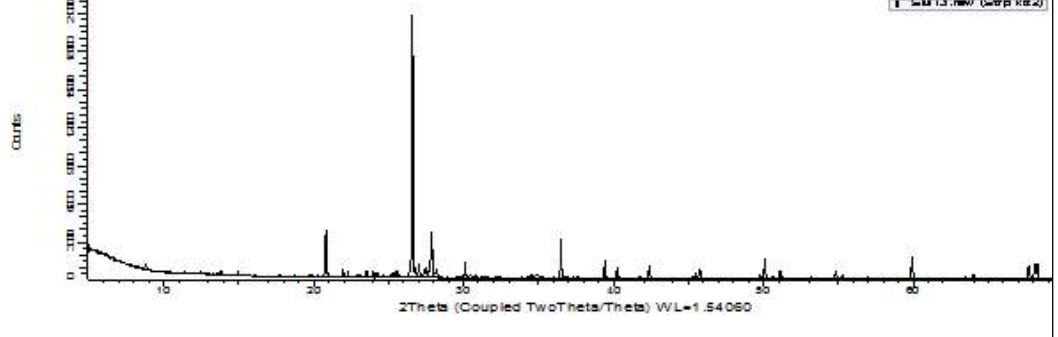
(c) SM3



(d) SM4



(e) SM5



<그림 2-14> X선 회절분석 결과(새만금지구)

제 4 절 간척지 토양의 불포화 특성

1. 기본 이론

○ 불포화 지반설계 정수

■ 함수특성곡선

- 모관흡수력과 함수비(또는 포화도)의 관계를 나타냄
- 높은 모관흡수력에서 낮은 함수비를 가짐

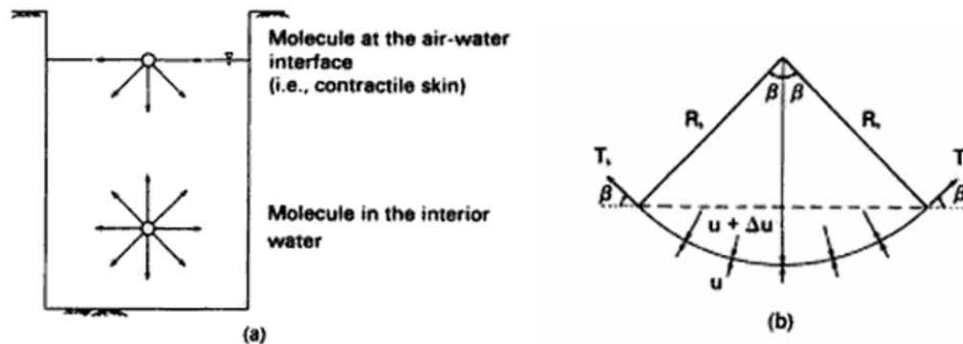
■ 불포화 투수계수

- 함수비가 높은 상태에서는 지반의 투수성이 높아지고 포화도가 낮을 때에는 투수성이 낮음

■ 불포화 전단강도

- 함수비가 높은 상태에서는 모관흡수력이 낮게 작용하여 전단강도는 감소함

○ 모관흡수력



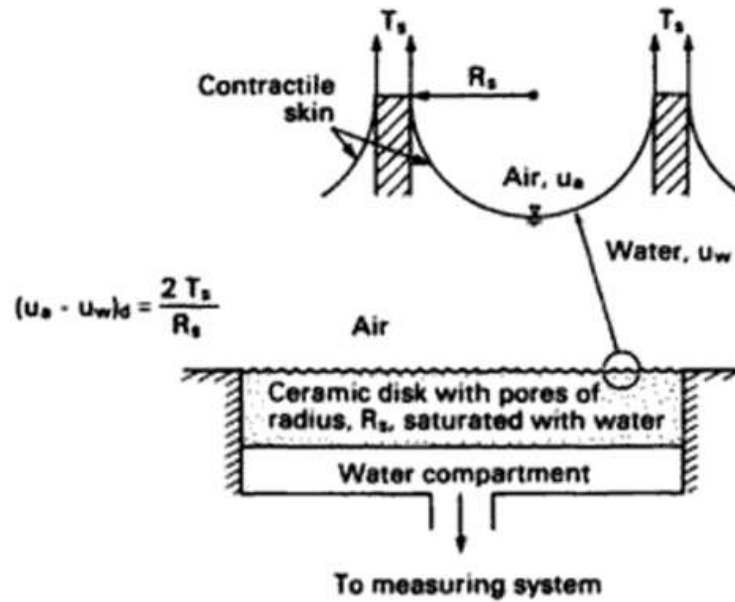
<그림 2-15> 표면장력 (Fredlund and Rahardjo, 1993)

- 불포화토의 물-공기 접촉면(contractile skin)에는 표면장력(T_s)이 유발됨
- 곡률반경(R_s)인 막에 작용하는 압력은 u 와 $(u + \Delta u)$ 이며 표면장력(T_s)을 가짐
- 압력차($u_a - u_w$)를 모관흡수력이라 함

$$(u_a - u_w) = \frac{2T_s}{R_s}$$

- 모관흡수력은 물-공기 접촉면을 통해 흙 조직에 구속효과를 가함
- 즉 모관흡수력이 증가하면 전단강도가 증가함

○ 고압 공기합입 디스크(High air entry disk, 이하 고압디스크)



<그림 2-16> 고압 공기 합입 디스크(세라믹 디스크)의 원리

- 부의 간극수압을 직접 측정하는데 이용
- 균질한 크기의 작은 간극을 가지고 있음
- 세라믹으로 제작
- 디스크가 포화되면 물-공기 접촉면이 생겨 디스크를 통해서 공기가 지나갈 수 없음
- 물-공기 접촉면은 세라믹 디스크 표면에서 작은 간극반경(R_s)을 연결해주는 얇은 고무막처럼 행동함
- 물-공기 접촉면 상부 공기압과 그 하부 수압과의 차이가 모관 흡수력이 됨
- 디스크의 표면을 통해서 유지될 수 있는 최대 모관 흡수력은 디스크의 공기합입치(air entry value)를 정의함

$$(u_a - u_w)_d = \frac{2T_s}{R_s}$$

- 간극크기가 작을수록 공기합입치가 커짐

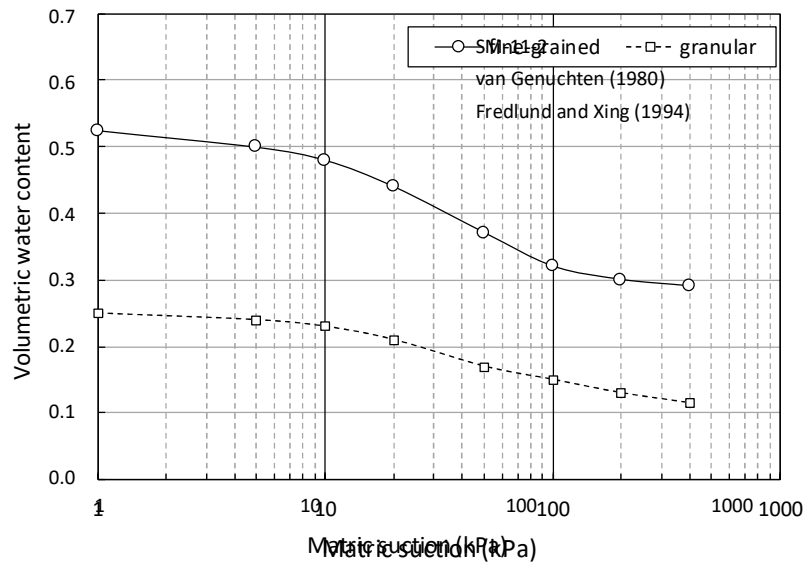
2. 불포화토의 함수특성곡선(SWCC)

- 지반의 수리 및 역학적 거동과의 상관성을 평가하는 불포화 지반의 고유 특성
- 흙이 가지고 있는 물의 양과 모관흡수력과의 관계
- 모관흡수력이 변화하여도 간극비와 입자의 배열이 그대로 유지된다면 임의의 지층에서 유일한 곡선으로 나타난다고 가정할 수 있음
- 함수특성곡선은 제원이 동일한 시료일 경우 흡수력에 대한 물의 보유능력을 표현하므로 수분 보유 곡선으로 표현하기도 함
- 체적함수비

$$\theta = V_w / V = S V_v / V = S n = \frac{S e}{1 + e}$$

여기서, V_w : 물의 용적 V_v : 간극의 용적
 S : 포화도 e : 간극비 n : 간극률

- 조립토와 세립토의 함수특성곡선



<그림 2-17> 조립토와 세립토의 함수특성곡선

- 점토 함량이 많을수록 특정 흡수력에서 수분 보유량은 더 커지고 곡선의 경사는 더욱 완만해짐

○ 불포화 투수계수

- 간극의 공기와 간극수가 각각의 유로를 따라서 퍼텐셜이 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐름
- 간극수의 흐름은 Bernoulli 정리와 Darcy 법칙에 따름
- 포화도나 체적함수비가 감소할수록 투수계수는 감소함
- 모관흡수력이 증가하면 건조가 진행됨에 따라 공기가 차지하는 공간이 넓어져 투수계수는 감소하며 조립토의 경우에 세립토보다 급격하게 감소함
- 투수계수는 함수특성곡선과 관련되어 함수특성곡선으로부터 불포화 투수곡선을 추정할 수 있음

○ 불포화 투수곡선의 추정

- Van Genuchten 모델(1980)
 - 함수특성곡선의 계수로부터 직접적으로 투수곡선을 얻을 수 있음
 - 유효포화도 θ 와 모관흡수력 p 의 관계를 나타냄

$$\theta = \left[\frac{1}{1 + (\alpha h)^n} \right]^m$$

여기서, h : 간극공기압과 간극수압의 차 θ : 유효포화도
 α : 공기함입치의 역수 n : 간극크기 스펙트럼 계수 m : $1 - 1/n$

- Fredlund and Xing 모델(1994)
 - 0부터 1,000,000kPa까지 이르는 넓은 범위의 흡수력의 함수특성을 모사할 수 있는 식을 제안함
 - 보정함수는 함수비의 감소에 따라 흡수력 값이 커졌을 때의 함수특성곡선을 보정하기 위함
 - 체적함수비 θ 는 모관흡수력이 0일 때에는 포화함수비와 동일하나, 이것이 무한대가 되면 함수비가 0이 된다고 가정하였고, 이때의 모관흡수력이 1,000,000kPa라고 가정하여 식을 유도함
 - 흡입력이 낮을수록 보정계수는 1에 가까워짐

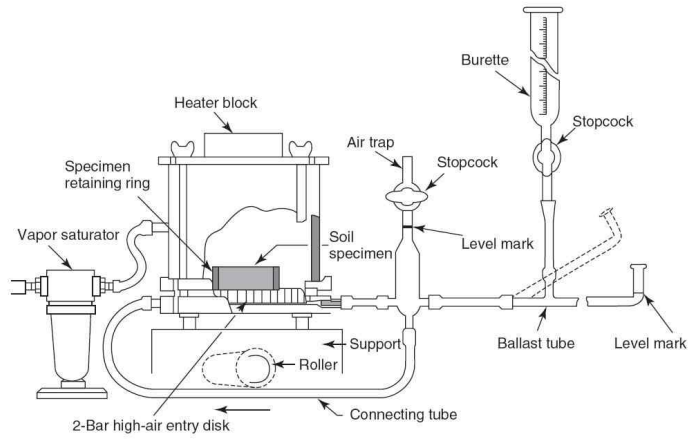
$$\theta = C(h) \left[\frac{1}{\ln[e + (h/a)^n]} \right]^m$$

여기서, a : 공기유입값과 관련된 계수 h : 흡수력
 n : 변곡점의 경사에 관련된 계수 C : 보정함수
 m : 잔류함수비와 관련된 계수
 e : 자연대수

○ 압력판 추출 시험

■ 압력판추출시험기(volumetric pressure plate extractor, VPPE)

- 고압의 공기함입저항치를 갖는 세라믹판으로 모관흡수력을 조절
- Extractor, Air trap, ballast tube, burette으로 구성



<그림 2-18> 압력판 추출 시험기 개요도



(a) 레귤레이터



(b) 시료용 캔



(c) 압력판



(d) 함수비의 측정

<그림 2-19> 압력판 추출 시험기

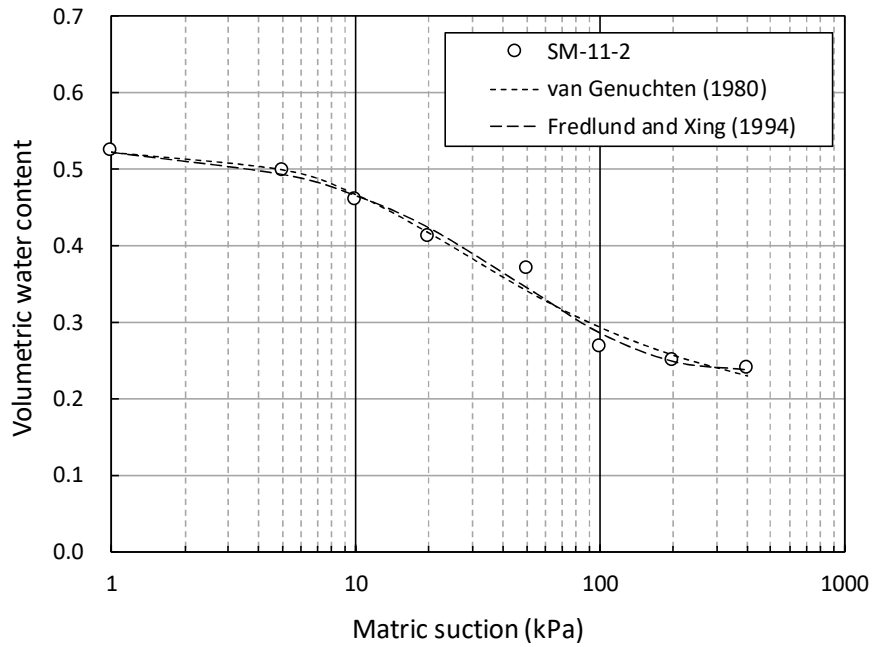
■ 시험 방법

- 1) 시험장치를 구성하는 요소들을 서로 연결한다. 이 때 ballast tube를 VPPE 밀판의 아래쪽 바닥과 같은 높이에 두거나 시료의 중간높이와 같은 높이에 위치하도록 한다. 또한 vapor saturator의 방향이 바뀌지 않게 주의해서 연결한다.
- 2) burette에 물을 담고 stopcock을 열어 시험장치의 여러 요소에 위치한 관에 물을 채운다. Air trap과 ballast tube의 level mark를 항상 동일한 위치에 둘 수 있도록 장치한다.
- 3) 구속용 링에 조성한 시료를 포화장치를 이용하여 3 ~ 6시간 포화시킨다.
- 4) 시료를 압력관 추출시험기로 0kPa에서 평형상태에 도달할 때까지 1 ~ 2시간 정도 방치한다.
- 5) ballast tube의 level mark 위치를 기준으로 burette의 물의 양을 측정한다.
- 6) 계획된 모관흡수력을 가하여 건조과정시험을 시작한다.
- 7) 시료에서 물이 빠져나와 평형상태에 도달할 때까지 충분히 기다린다. 이때 ballast tube 끝으로 물이 흘러넘치지 않게 자주 관찰해야 한다.
- 8) 시료에서 더 이상의 물이 빠져나오지 않는 평형상태에 도달했다고 판단되면 roller를 누르면서 화살표방향으로 굴려서 VPPE 밀판 아래에 모인 공기를 Air trap에 모은다. ballast tube의 끝을 들어올리고 Air trap의 stop cock을 열어서 공기를 빼내고 level을 맞추고 stopcock을 닫는다.
- 9) level mark 위치를 기준으로 burette의 물의 양을 측정한다.
- 10) 물의 양을 측정한 후 계획된 모관흡수력단계에 따라 다음 단계의 모관흡수력을 가한다.
- 11) 모관흡수력을 높여 가면서 건조과정을 7) - 10)의 과정을 반복한다.
- 12) 건조과정이 끝나면 모관흡수력의 감소시키는 습윤과정의 시험할 때는 시료 내부로 물이 들어가게 된다.
- 13) 시료로 물이 들어가면서 평형에 도달할 때까지 기다린 후 7) - 10)의 과정을 반복한다.
- 14) 계획된 모관흡수력단계를 모두 거쳐 시험한 후 압력을 제거하고 셀을 열어서 시료의 함수비를 측정한다.
- 15) 측정된 함수비와 각 압력단계에서의 burette에서 측정한 물의 양으로부터 각 압력단계에서의 함수비를 계산하여 함수특성곡선을 완성한다.

○ 실험 및 분석

■ SH 및 SM 시료에 대한 함수특성시험의 결과

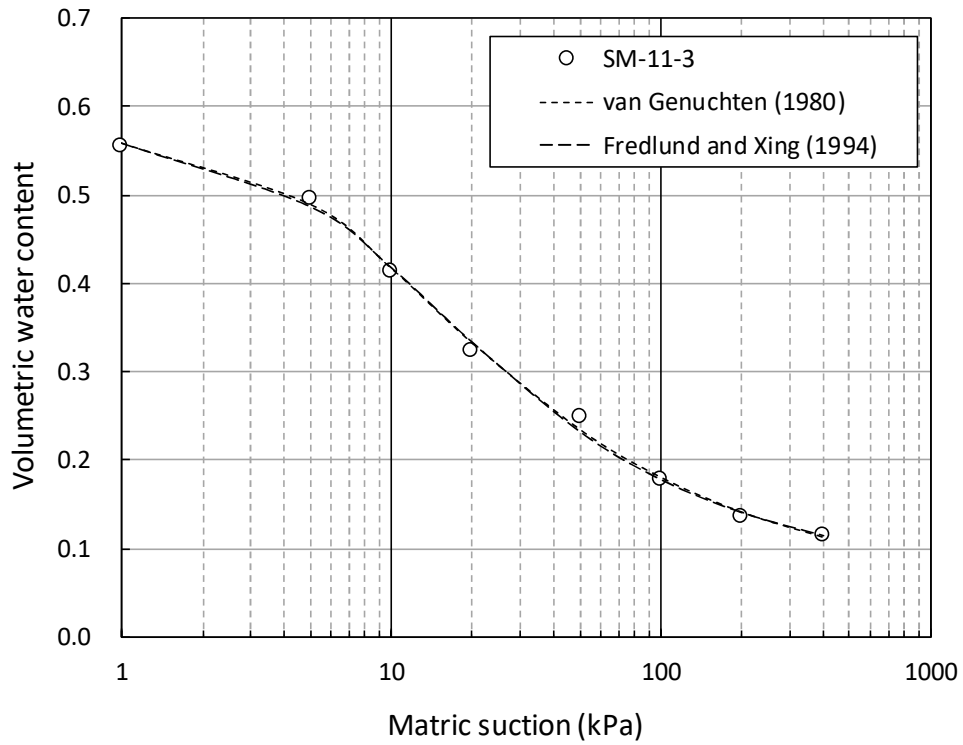
- 압력관추출시험(VPPE) 수행
- 건조과정에 대하여 모관흡수력에 따른 체적함수비를 나타냄
- 포화체적함수비는 0.52 ~ 0.6
- 실험결과를 토대로 대상지층의 함수특성곡선을 van Genuchten(VG) 모델과 Fredlund & Xing(FX) 모델로 피팅(fitting)함



<그림 2-20> 함수특성곡선 (SM11-2)

<표 2-13> 함수특성곡선 계수 (SM11-2)

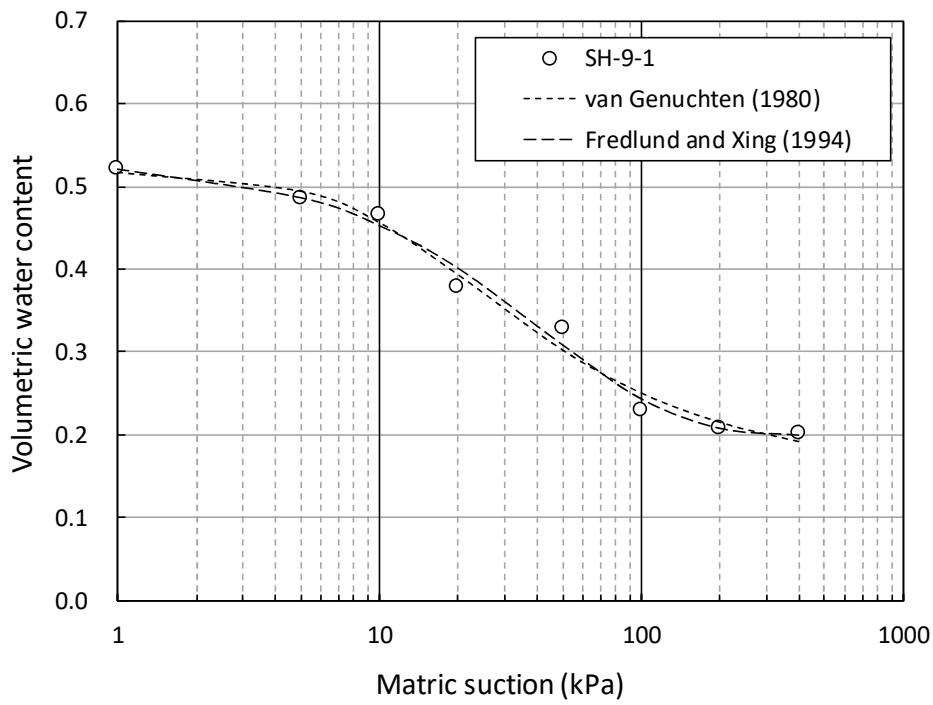
Model	SWCC Parameter				
	θ_s	θ_r	α	n	m
Van Genuchten	0.5245	0.1613	0.0788	1.4842	0.3262
Fredlund and Xing	θ_s	θ_r	a	n	m
	0.5339	0.2364	302321.3491	0.8436	4229.7488



<그림 2-21> 함수특성곡선 (SM11-3)

<표 2-14> 함수특성곡선 계수 (SM11-3)

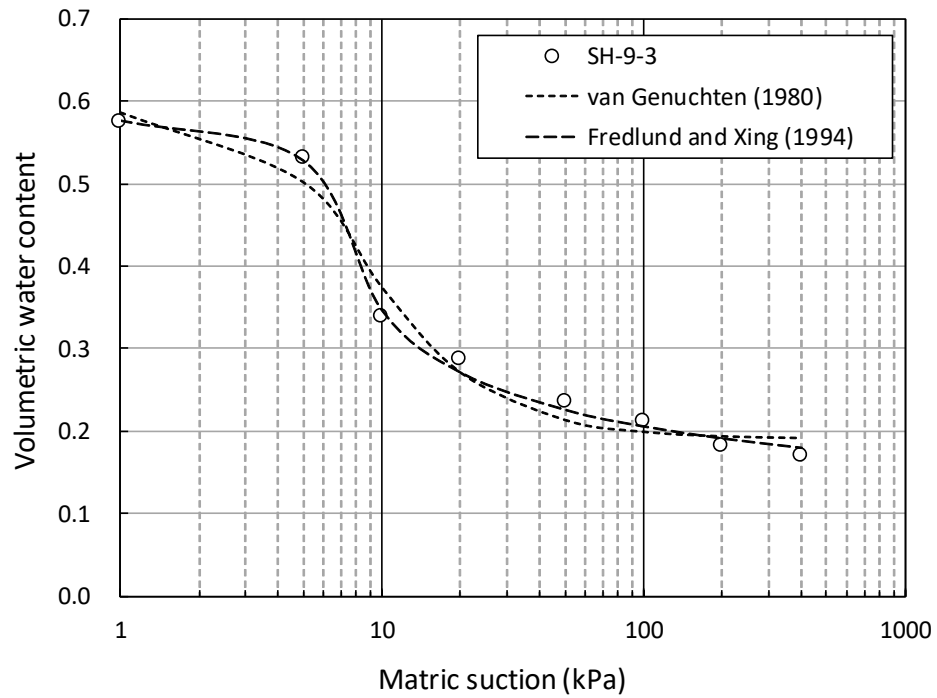
Model	SWCC Parameter				
	θ_s	θ_r	α	n	m
Van Genuchten	0.5676	0.0441	0.1468	1.4989	0.3329
Fredlund and Xing	θ_s	θ_r	a	n	m
	0.5746	0.0000	8.9742	1.1878	1.0617



<그림 2-22> 함수특성곡선 (SH9-1)

<표 2-15> 함수특성곡선 계수 (SH9-1)

Model	SWCC Parameter				
	θ_s	θ_r	α	n	m
Van Genuchten	0.5183	0.1499	0.0740	1.6437	0.3916
Fredlund and Xing	θ_s	θ_r	a	n	m
	0.5330	0.1984	4282.8398	0.8713	147.5617



<그림 2-23> 함수특성곡선 (SH9-3)

<표 2-16> 함수특성곡선 계수 (SH9-3)

Model	SWCC Parameter				
	θ_s	θ_r	α	n	m
Van Genuchten	0.5889	0.1900	0.1530	2.3971	0.5828
Fredlund and Xing	0.5772	0.0000	5.1006	6.2222	0.3523

제 3 장 재염화 지역에 대한 염분집적상태 데이터베이스 구축

제 1 절 시험지구 염분포 특성 평가

1. 개요

○ 시료 채취 일자

- 시험지구 선정 이후 지속적인 방문을 통해 시험지구의 시료 채취를 수행함
- 각 지구별 시료 채취 일자와 시료 채취 개소는 다음 표와 같음

<표 3-1> 시화지구 시료 채취 일자 및 개소

지구명	시료채취일	개소	비고
시화	2015년 1월 28일	8	
	2015년 7월 9일	10	
	2015년 9월 23일	7	
	2015년 11월 11일	6	
	2016년 3월 9일	6	
	2016년 3월 25일	9	
	2016년 4월 4일	15	
	2016년 5월 11일	8	
	2016년 5월 28일	27	
	2016년 6월 17일	30	
	2017년 2월 8일	17	
	2017년 3월 14일	15	
	2017년 4월 20일	20	
	2017년 5월 29일	20	
	2017년 6월 9일	20	

<표 3-2> 새만금지구 시료 채취 일자 및 개소

지구명	시료채취일	개소	비고
새만금	2015년 1월 28일	22	
	2015년 7월 9일	4	
	2015년 9월 22일	5	
	2015년 11월 11일	10	
	2016년 3월 9일	10	
	2016년 3월 23일	3	
	2016년 4월 4일	4	
	2016년 4월 20일	9	
	2016년 5월 11일	4	
	2016년 5월 27일	30	
	2016년 6월 17일	30	
	2017년 2월 8일	15	
	2017년 4월 10일	22	
	2017년 6월 1일	20	

○ 시료 채취 방법

- 각 대상 지구에서 표토(심도 10cm 내외) 흙을 채취
- 모종삽을 이용해 동일 깊이에 있는 시료를 평면적으로 채취
- 각 시료는 채취 직후 밀봉 보관하여 실험실로 옮겨 왔으며 함수비를 측정
- 각 시료는 노건조 후 EC 미터를 이용해 염농도를 측정



(a) 대상지점선정



(b) 표층 시료 채취



(c) 밀봉 보관 후 실험실로 운반

<그림 3-1> 현장 시료 채취 방법

○ 시료 채취 장소

- 시간-공간적 변화에 따른 염농도 분포를 분석하기 위해 대상 지구에서 연구 영역을 설정하고 동일 지역에서 채취
- 설정된 연구 영역 내에서는 갈대 지역, 염생 식물 영역과 같이 식생이 있는 영역과 염이 상승하여 결정화 된 구간의 시료를 채취하여 염농도 차이를 분석하도록 함
- 식생 지역과 염 상승 지역을 제외하고 나대지에서 추가 시료를 채취함
- 시료 채취 지점은 GPS 위치 정보를 기입



(a) 나대지



(b) 염 상승 지역



(c) 갈대군락 인근



(d) 염생식물 인근

<그림 3-2> 주요 샘플링 지역

2. 시험지구 현황

○ 시화지구 - 2015년 7월 9일

- 식생 피복이 없는 나대지 전 지역에서 염 상승 지역이 발견됨
- 염 결정은 표층에 집중되어 있었으며 건조한 날씨로 인해 염 상승한 것으로 보임
- 갈대 군락과 칠면초 군락지가 넓어지고 식생에 활력이 높은 것으로 나타남
- 일부 구간에서 건조한 날씨로 인해 토양 균열(크랙)이 발견됨
- UAV를 이용하여 시험지구 항공 촬영 실시



(a) 염 상승



(b) 건조 지대 염 상승



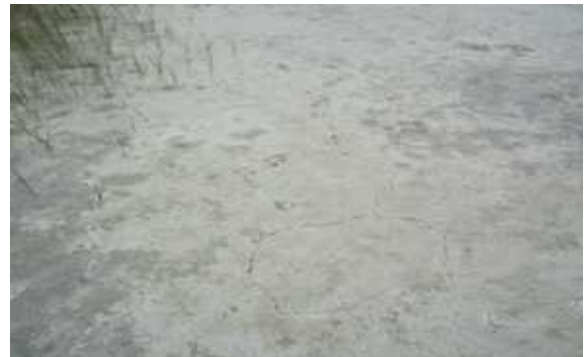
(c) 표층에 염 집중



(d) 칠면초 군락



(e) UAV 항공 촬영



(f) 토양 균열

<그림 3-3> 시화지구 현황 (2015년 7월 9일)

○ 시화지구 - 2015년 9월 23일

- 나대지에 염 상승 지역 넓게 분포
- 표층 식생이 있는 곳은 염 상승 적게 나타남
- UAV를 이용해 촬영한 항공사진에서도 염 상승 확인 가능



(a) 염 상승



(b) 건조 지대 염 상승



(c) 식생 주변에 염 분포



(d) 식생을 둘러싸고 염 상승



(e) 항공 촬영 사진 1



(f) 항공 촬영 사진 2

<그림 3-4> 시화지구 현황 (2015년 9월 23일)

○ 시화지구 - 2016년 3월 9일

- 염 상승 지역이 일부 발견되었으며, 염 결정이 곳곳에 나타남
- 갈대 군락 및 칠면초 군락이 나타남
- 간척지는 강우 이후 습윤한 상태였으며 일부 구간에 유로 형성



(a) 시험지구 전경



(b) 갈대 군락 및 칠면초



(c) 염 결정



(d) 염 상승 지역



(e) 시료 채취



(f) 유로 형성

<그림 3-5> 시화지구 현황 (2016년 3월 9일)

○ 시화지구 - 2016년 4월 4일

- 식생 피복이 없는 나대지 전 지역에서 염 상승 지역이 발견됨
- 식생 주변에 염 상승 지역이 발견됨
- 일부 구간에서 건조한 날씨로 인해 토양 균열(크랙)이 발견됨



(a) 시험지구 전경



(b) 염 상승 지역



(c) 토양 균열



(d) 식생 주변 염 상승

<그림 3-6> 시화지구 현황 (2016년 4월 4일)

○ 시화지구 - 2016년 5월 11일

- 나대지에 염 상승 지역 넓게 분포
- 일부 구간에 유로가 형성됨
- UAV를 이용해 촬영한 항공사진에서도 염 상승 확인 가능



(a) 시료 채취



(b) 표층 상태



(c) 일부 구간 유로 형성



(d) 염 상승 지역



(e) 갈대 군락



(f) UAV 항공 촬영

<그림 3-7> 시화지구 현황 (2016년 5월 11일)

○ 시화지구 - 2016년 5월 27일

- 나대지에 염 상승 지역이 넓게 분포하며 일부 지역에서 염 결정이 관찰됨
- 식생 주변에 염 상승으로 인한 토양 균열이 나타남



(a) 시험지구 전경



(b) 염 결정



(c) 식생 주변 염 상승



(d) 식생 주변 토양 균열



(e) 내부 시료 상태



(f) 나대지 염 상승

<그림 3-8> 시화지구 현황 (2016년 5월 27일)

○ 시화지구 - 2016년 6월 17일

- 나대지에 염 상승 지역 넓게 분포
- 식생 주변에 염 상승으로 인한 토양 균열이 나타남



(a) 시험지구 전경 및 시료 채취



(b) 갈대 군락 및 칠면초



(c) 염 상승 지역



(d) 식생 주변 토양 균열

<그림 3-9> 시화지구 현황 (2016년 6월 17일)

○ 시화지구 - 2017년 3월 14일

- 식생 주변에 염 상승, 집적 지역 발생
- 겨울철 강우가 적어 표면에 두꺼운 염분 집적 층 발생



(a) 시험지구 전경 및 시료 채취



(b) 갈대 군락 및 칠면초



(c) 염 상승 지역



(d) 토층 별 시료 상태

<그림 3-10> 시화지구 현황 (2017년 3월 14일)

○ 시화지구 - 2017년 4월 20일

- 염 상승 지역이 간헐적으로 분포함
- (c)와 같이 지표면에 대공 표지물을 설치하여 시료 채취 위치를 확인함



(a) 시험지구 전경



(b) 갈대 군락 및 칠면초



(c) 시료 채취 위치 표시



(d) 나대지 염 상승

<그림 3-11> 시화지구 현황 (2017년 4월 20일)

○ 시화지구 - 2017년 5월 26일

- 가뭄으로 인한 전체적인 염분 상승
- (c)와 같이 GNSS를 이용하여 GPS정보를 기록함



(a) 시험지구 전경



(b) 갈대 군락 및 칠면초



(c) GPS 기록



(d) 칠면초 및 염 상승 지역

<그림 3-12> 시화지구 현황 (2017년 5월 26일)

○ 시화지구 - 2017년 6월 9일

- 지표면 매우 건조한 상태
- 염 상승 지역이 간헐적으로 분포함



(a) 시험지구 전경



(b) 갈대 군락 및 칠면초



(c) 나대지



(d) 염 상승 지역

<그림 3-13> 시화지구 현황 (2017년 6월 9일)

○ 시화지구 - 2017년 7월 25일

- 강우로 인한 침수
- 지표수의 흐름으로 인한 유로 형성



(a) 시험지구 전경



(b) 갈대 군락 및 칠면초



(c) 유로 형성



(d) 일부 지역에서 완전 침수

<그림 3-14> 시화지구 현황 (2017년 7월 25일)

○ 새만금지구 - 2015년 7월 14일

- 표층이 약간 습윤 상태였으며 일부 구간은 건조화 되어 있었음
- 갈대 군락이 넓게 나타나고 염생 식물들이 표층에 산재해 있음
- UAV를 이용해 항공 사진을 촬영을 실시



(a) 갈대 군락



(b) 시험지구 전경



(c) 나대지 넓게 분포



(d) 표토 상태



(e) 갈대 군락 내 시료 채취



(f) 항공 촬영 영상

<그림 3-15> 새만금지구 현황 (2015년 7월 14일)

○ 새만금지구 - 2015년 9월 22일

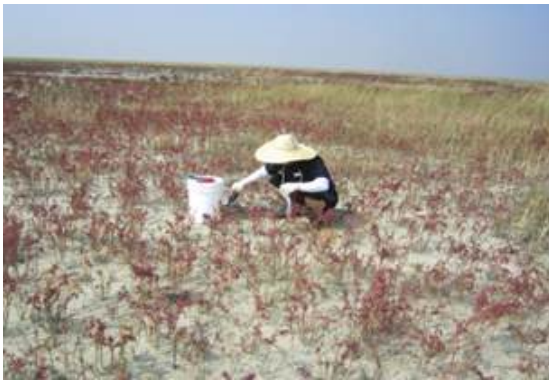
- 염 상승 지역이 나타났고 표층은 매우 건조한 상태
- 다양한 염생 식물이 나타나 있었으며 곳곳에 산재
- UAV를 이용하여 시험지구 항공 촬영 실시



(a) 시험지구 전경



(b) 염 상승 나타남



(c) 다양한 염생 식물



(d) UAV 항공 촬영



(e) 항공 촬영 사진 1



(f) 항공 촬영 사진 2

<그림 3-16> 새만금지구 현황 (2015년 9월 22일)

○ 새만금지구 - 2016년 3월 9일

- 나대지 표층은 매우 습윤한 상태였으며 염 상승 지역이 산재함
- 강우 이후 갯골에 흐름이 나타남



(a) 시험지구 전경



(b) 나대지



(c) 갯골 내 유수 흐름



(d) 염 결정



(e) 시료 채취



(f) 표토 매우 습윤

<그림 3-17> 새만금지구 현황 (2016년 3월 9일)

○ 새만금지구 - 2016년 3월 23일

- 나대지가 넓게 분포하며 곳곳에 염 상승 지역이 나타남
- 갈대 군락이 넓게 나타나고 식생 주변에 염 상승이 나타남
- 일부 구간에서 토양 균열이 나타남



(a) 갈대 군락



(b) 식생 주변 염 상승



(c) 나대지 넓게 분포



(d) 토양 균열 및 패각류

<그림 3-18> 새만금지구 현황 (2016년 3월 23일)

○ 새만금지구 - 2016년 4월 4일

- 염 상승 지역이 나타났고 표층은 건조한 상태
- 일부 구간에서 토양 균열 및 유로 형성이 나타남
- UAV를 이용하여 시험지구 항공 촬영 실시



(a) 시험지구 전경



(b) 표층 토양 상태



(c) 토양 균열 및 유로 형성 1



(d) 토양 균열 및 유로 형성 2

<그림 3-19> 새만금지구 현황 (2016년 4월 4일)

○ 새만금지구 - 2016년 4월 20일

- 나대지와 갈대군락 및 칠면초가 넓게 분포
- 염 상승 지역과 염 결정이 곳곳에 나타남
- 일부 구간에서 토양 균열 및 유로가 형성된 것을 확인



(a) 토양 상태



(b) 갈대 군락



(c) 나대지



(d) 염 결정



(e) 유로 형성



(f) 토양 균열

<그림 3-20> 새만금지구 현황 (2016년 4월 20일)

○ 2016년 5월 11일

- 표토는 매우 습윤한 상태였으며 곳곳에 유로가 형성됨을 확인함
- 식생 주변, 나대지, 유로 주변에서 각각 시료를 채취함



(a) 시험지구 전경



(b) 식생 주변 토양 변색



(c) 시료 채취



(d) 표토 매우 습윤



(e) 유로 형성



(f) 토양 상태

<그림 3-21> 새만금지구 현황 (2016년 5월 11일)

○ 새만금지구 - 2016년 5월 27일

- 나대지와 식생이 넓게 분포하고 있으며 곳곳에 염 상승 지역이 나타남
- 식생 주변 일부 토양에서 토양 균열이 나타남



(a) 나대지



(b) 염 상승 지역



(c) 갈대 군락 및 칠면초



(d) 식생 주변 토양 상태

<그림 3-22> 새만금지구 현황 (2016년 5월 27일)

○ 새만금지구 - 2016년 6월 17일

- 나대지와 식생이 넓게 분포
- 식생 주변에서 염 결정이 나타남



(a) 시험지구 전경



(b) 갈대 군락 및 칠면초



(c) 식생 주변 염 결정



(d) 나대지

<그림 3-23> 새만금지구 현황 (2016년 6월 17일)

○ 새만금지구 - 2017년 4월 10일

- 나대지와 식생이 넓게 분포
- 식생 주변에서 염 결정이 나타남



(a) 시험지구 전경



(b) 갈대 군락 및 칠면초



(c) 나대지 염 결정

<그림 3-24> 새만금지구 현황 (2017년 4월 10일)

○ 새만금지구 - 2017년 6월 1일

- 강우로 인하여 국소적인 물고임 현상 발생
- GNSS 이용하여 GPS 정보 획득



(a) 시험지구 전경



(b) 갈대 군락 및 칠면초



(c) 일부 고함수비 지역 발생



(d) GPS 기록

<그림 3-25> 새만금지구 현황 (2017년 6월 1일)

○ 새만금지구 - 2017년 8월 4일

- 배수로 공사 진행 중
- 건설기계 진입에 의한 표토 교반



(a) 배수로 공사



(b) 건설기계 진입 후 표토



(c) 시험지구 전경



(d) 갈대 군락 및 칠면초

<그림 3-26> 새만금지구 현황 (2017년 8월 4일)

3. 시험지구의 함수비, 염농도 측정 결과

○ 시화지구

- 시화지구 표토의 함수비, 염농도 측정 결과는 아래와 같음

<표 3-3> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2015년 1월 28일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-1-1	-	37.23851864	126.6516159	25.0	19.4	1.2
SH-1-2	-	37.2310429	126.6586596	21.7	138.1	8.8
SH-1-3	-	37.23134272	126.6594301	28.5	8.7	0.6
SH-1-4	-	37.22473384	126.6610877	23.4	117.4	7.5
SH-1-5	-	37.22470983	126.6626244	-	5.8	0.4
SH-1-6	-	37.21233102	126.6596294	23.4	102.4	6.6
SH-1-7	-	37.2007463	126.6564874	23.1	159.5	10.2
SH-1-8	-	37.20067795	126.6569387	-	91.7	5.9

<표 3-4> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2015년 7월 9일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-2-1	-	37.26017425	126.6476962	29.05	8.7	0.6
SH-2-2	-	37.26017425	126.6476962	46.02	6.6	0.4
SH-2-3	-	37.23845376	126.6513147	24.59	43.2	2.8
SH-2-4	-	37.2311657	126.6587289	19.68	36.6	2.3
SH-2-5	-	37.2243966	126.6612211	20.75	48.5	3.1
SH-2-6	염해	37.2243966	126.6612211	17.59	81.2	5.2
SH-2-7	-	37.21228659	126.6595458	21.41	63.3	4.0
SH-2-8	염해	37.21228659	126.6595458	21.05	183.0	11.7
SH-2-9	-	37.20013849	126.6562819	22.03	59.8	3.8
SH-2-10	염해	37.20013849	126.6562819	17.80	77.4	5.0

<표 3-5> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2015년 9월 23일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-3-1	-	37.21215	126.65922	21.39	59.0	3.8
SH-3-2	나대지	37.21216	126.65925	19.03	195.4	12.5
SH-3-3	갈대	37.21246	126.65933	28.97	36.0	2.3
SH-3-4	칠면초	37.21226	126.65914	32.00	37.4	2.4
SH-3-5	칠면초	37.21213	126.65929	23.37	30.6	2.0
SH-3-6	나대지	37.21219	126.65957	24.38	67.6	4.3
SH-3-7	염해	37.21193	126.65935	20.40	63.0	4.0

<표 3-6> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2015년 11월 11일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-4-1	-	37.21194	126.65946	25.53	47.5	3.0
SH-4-2	-	37.21233	126.65953	23.50	82.5	5.3
SH-4-3	칠면초	37.21228	126.65925	32.53	62.1	4.0
SH-4-4	갈대	37.21229	126.65898	48.06	51.9	3.3
SH-4-5	-	37.2121	126.65905	25.17	58.9	3.8
SH-4-6	-	37.21166	126.65951	24.52	70.2	4.5

<표 3-7> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2016년 3월 9일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-5-1	-	37.211917	126.659534	24.01	153.0	9.8
SH-5-2	-	37.21203	126.659182	19.08	207.0	13.2
SH-5-3	-	37.221284	126.65928	23.01	131.0	8.4
SH-5-4	염해	37.211973	126.659525	20.71	65.8	4.2
SH-5-5	갈대	37.211927	126.659157	23.22	48.3	3.1
SH-5-6	칠면초	37.212052	126.659145	25.20	47.7	3.1

<표 3-8> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2016년 3월 25일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-6-1	-	37.211968	126.659385	25.25	36.2	2.3
SH-6-2	염해	37.211945	126.659262	20.96	52.0	3.3
SH-6-3	염해	37.211989	126.659434	20.57	77.5	5.0
SH-6-4	염해	37.212043	126.659548	18.34	72.4	4.6
SH-6-5	염해	37.212019	126.659524	20.56	61.8	4.0
SH-6-6	염해	37.212128	126.659396	19.32	74.9	4.8
SH-6-7	염해	37.212219	126.659023	19.05	74.5	4.8
SH-6-8	갈대	37.212195	126.658956	25.47	11.9	0.8
SH-6-9	칠면초	37.212174	126.659201	28.62	15.3	1.0

<표 3-9> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2016년 4월 4일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-7-1	-	37.212005	126.659284	22.91	51.6	3.3
SH-7-2	갈대	37.211997	126.659201	25.26	16.3	1.0
SH-7-3	칠면초	37.212219	126.659156	31.67	27.0	1.7
SH-7-4	칠면초, 염해	37.212042	126.659243	26.44	18.0	1.1
SH-7-5	칠면초	37.212042	126.659243	23.33	25.4	1.6
SH-7-6	-	37.211982	126.659351	24.36	28.2	1.8
SH-7-7	-	37.211986	126.659401	23.77	58.8	3.8
SH-7-8	-	37.212042	126.659396	27.48	54.4	3.5
SH-7-9	-	37.212101	126.659398	24.84	61.9	4.0
SH-7-10	-	37.212119	126.659424	26.53	60.9	3.9
SH-7-11	-	37.212154	126.659352	23.24	45.0	2.9
SH-7-12	-	37.212096	126.659391	22.07	49.9	3.2
SH-7-13	-	37.21207	126.659397	27.39	56.0	3.6
SH-7-14	-	37.212004	126.659371	23.38	57.1	3.7
SH-7-15	-	37.212002	126.659306	22.47	51.2	3.3

<표 3-10> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2016년 5월 11일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-8-1	-	37.211077	126.659522	22.40	25.1	1.6
SH-8-2	염해	37.212139	126.659274	9.28	55.4	3.5
SH-8-3	칠면초	37.212351	126.659149	17.09	25.5	1.6
SH-8-4	갈대	37.212422	126.659053	26.41	36.3	2.3
SH-8-5	-	37.227267	126.660335	10.21	43.3	2.8
SH-8-6	-	37.22203	126.661545	10.72	46.3	3.0
SH-8-7	-	37.205597	126.657607	12.04	56.2	3.6
SH-8-8	-	37.205009	126.657367	25.35	31.6	2.0

<표 3-11> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2016년 5월 28일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH9-1	나대지	37.211931	126.659443	23.42	59.5	3.8
SH9-2	염	37.211961	126.659254	23.72	21.0	1.3
SH9-3	갈대	37.211931	126.659101	26.98	19.6	1.3
SH9-4	칠면초	37.212371	126.659121	29.39	29.1	1.9
SH9-5	-	37.212311	126.65958	20.61	105.5	6.8
SH9-6	-	37.212098	126.659611	22.07	128.0	8.2
SH9-7	-	37.211983	126.659544	21.96	115.5	7.4
SH9-8	-	37.21148	126.659478	21.20	127.0	8.1
SH9-9	-	37.210314	126.658981	25.91	102.0	6.5
SH9-10	-	37.210314	126.658981	19.24	114.5	7.3
SH9-11	-	37.210087	126.658825	25.23	138.0	8.8
SH9-12	-	37.209955	126.658875	24.60	70.7	4.5
SH9-13	-	37.209709	126.658833	22.21	131.0	8.4
SH9-14	-	37.209549	126.658846	19.85	130.0	8.3
SH9-15	-	37.209507	126.658693	25.12	95.2	6.1
SH9-16	-	37.209378	126.658659	23.33	113.5	7.3
SH9-17	-	37.209158	126.658683	20.19	142.5	9.1
SH9-18	-	37.212605	126.659673	24.65	118.0	7.6
SH9-19	-	37.212829	126.659706	25.36	135.5	8.7
SH9-20	-	37.212916	126.659712	27.05	41.4	2.6
SH9-21	-	37.213054	126.659632	27.63	122.0	7.8
SH9-22	-	37.213122	126.659467	33.34	77.1	4.9
SH9-23	-	37.213263	126.659345	22.53	120.5	7.7
SH9-24	-	37.213428	126.659473	22.22	104.0	6.7
SH9-25	-	37.213771	126.659718	21.85	128.5	8.2
SH9-26	-	37.21377	126.659964	21.97	112.0	7.2
SH9-27	-	37.212336	126.659206	33.55	80.5	5.2

<표 3-12> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2016년 6월 17일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH10-1	나대지	-	-	20.05	69.7	4.5
SH10-2	염	-	-	24.99	38.3	2.5
SH10-3	갈대	-	-	21.99	48.1	3.1
SH10-4	칠면초	-	-	29.26	62.2	4.0
SH10-5	-	37.211953	126.659184	21.18	75.3	4.8
SH10-6	-	37.211944	126.65905	22.21	31.2	2.0
SH10-7	-	37.212063	126.658891	20.37	73.5	4.7
SH10-8	-	37.212157	126.65902	22.70	78.0	5.0
SH10-9	-	37.212166	126.659243	23.43	72.7	4.6
SH10-10	-	37.212112	126.659552	23.59	61.0	3.9
SH10-11	-	37.212568	126.659577	26.52	75.6	4.8
SH10-12	-	37.21271	126.659584	25.12	80.2	5.1
SH10-13	-	37.212823	126.659645	24.97	70.2	4.5
SH10-14	-	37.212995	126.659653	27.64	59.3	3.8
SH10-15	-	37.213083	126.659494	47.58	78.5	5.0
SH10-16	-	37.2132	126.659388	25.14	72.2	4.6
SH10-17	-	37.213316	126.65938	24.93	81.7	5.2
SH10-18	-	37.213391	126.659495	26.71	64.2	4.1
SH10-19	-	37.213414	126.659622	22.12	70.9	4.5
SH10-20	-	37.213373	126.659822	26.26	38.9	2.5
SH10-21	-	37.210884	126.659056	21.60	70.6	4.5
SH10-22	-	37.210937	126.658937	19.15	70.9	4.5
SH10-23	-	37.210985	126.658697	19.61	75.3	4.8
SH10-24	-	37.211026	126.658493	21.54	63.6	4.1
SH10-25	-	37.211074	126.658454	31.73	44.9	2.9
SH10-26	-	37.211074	126.658369	29.87	54.5	3.5
SH10-27	-	37.211045	126.65826	21.51	62.6	4.0
SH10-28	-	37.211018	126.658185	21.22	66.8	4.3
SH10-29	-	37.210908	126.658157	24.16	71.7	4.6
SH10-30	-	37.210851	126.658121	22.24	50.1	3.2

<표 3-13> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2016년 5월 28일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-9-1	나대지	37.211931	126.659443	23.42	59.5	3.8
SH-9-2	염	37.211961	126.659254	23.72	21.0	1.3
SH-9-3	갈대	37.211931	126.659101	26.98	19.6	1.3
SH-9-4	칠면초	37.212371	126.659121	29.39	29.1	1.9
SH-9-5	-	37.212311	126.65958	20.61	105.5	6.8
SH-9-6	-	37.212098	126.659611	22.07	128.0	8.2
SH-9-7	-	37.211983	126.659544	21.96	115.5	7.4
SH-9-8	-	37.21148	126.659478	21.20	127.0	8.1
SH-9-9	-	37.210314	126.658981	25.91	102.0	6.5
SH-9-10	-	37.210314	126.658981	19.24	114.5	7.3
SH-9-11	-	37.210087	126.658825	25.23	138.0	8.8
SH-9-12	-	37.209955	126.658875	24.60	70.7	4.5
SH-9-13	-	37.209709	126.658833	22.21	131.0	8.4
SH-9-14	-	37.209549	126.658846	19.85	130.0	8.3
SH-9-15	-	37.209507	126.658693	25.12	95.2	6.1
SH-9-16	-	37.209378	126.658659	23.33	113.5	7.3
SH-9-17	-	37.209158	126.658683	20.19	142.5	9.1
SH-9-18	-	37.212605	126.659673	24.65	118.0	7.6
SH-9-19	-	37.212829	126.659706	25.36	135.5	8.7
SH-9-20	-	37.212916	126.659712	27.05	41.4	2.6
SH-9-21	-	37.213054	126.659632	27.63	122.0	7.8
SH-9-22	-	37.213122	126.659467	33.34	77.1	4.9
SH-9-23	-	37.213263	126.659345	22.53	120.5	7.7
SH-9-24	-	37.213428	126.659473	22.22	104.0	6.7
SH-9-25	-	37.213771	126.659718	21.85	128.5	8.2
SH-9-26	-	37.21377	126.659964	21.97	112.0	7.2
SH-9-crack	-	37.212336	126.659206	33.55	80.5	5.2

<표 3-14> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2016년 6월 17일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-10-1	나대지	-	-	20.05	69.7	4.5
SH-10-2	염	-	-	24.99	38.3	2.5
SH-10-3	갈대	-	-	21.99	48.1	3.1
SH-10-4	칠면초	-	-	29.26	62.2	4.0
SH-10-5	-	37.211953	126.659184	21.18	75.3	4.8
SH-10-6	-	37.211944	126.65905	22.21	31.2	2.0
SH-10-7	-	37.212063	126.658891	20.37	73.5	4.7
SH-10-8	-	37.212157	126.65902	22.70	78.0	5.0
SH-10-9	-	37.212166	126.659243	23.43	72.7	4.6
SH-10-10	-	37.212112	126.659552	23.59	61.0	3.9
SH-10-11	-	37.212568	126.659577	26.52	75.6	4.8
SH-10-12	-	37.21271	126.659584	25.12	80.2	5.1
SH-10-13	-	37.212823	126.659645	24.97	70.2	4.5
SH-10-14	-	37.212995	126.659653	27.64	59.3	3.8
SH-10-15	크랙	37.213083	126.659494	47.58	78.5	5.0
SH-10-16	-	37.2132	126.659388	25.14	72.2	4.6
SH-10-17	-	37.213316	126.65938	24.93	81.7	5.2
SH-10-18	-	37.213391	126.659495	26.71	64.2	4.1
SH-10-19	-	37.213414	126.659622	22.12	70.9	4.5
SH-10-20	-	37.213373	126.659822	26.26	38.9	2.5
SH-10-21	-	37.210884	126.659056	21.60	70.6	4.5
SH-10-22	-	37.210937	126.658937	19.15	70.9	4.5
SH-10-23	-	37.210985	126.658697	19.61	75.3	4.8
SH-10-24	-	37.211026	126.658493	21.54	63.6	4.1
SH-10-25	-	37.211074	126.658454	31.73	44.9	2.9
SH-10-26	-	37.211074	126.658369	29.87	54.5	3.5
SH-10-27	-	37.211045	126.65826	21.51	62.6	4.0
SH-10-28	-	37.211018	126.658185	21.22	66.8	4.3
SH-10-29	-	37.210908	126.658157	24.16	71.7	4.6
SH-10-30	-	37.210851	126.658121	22.24	50.1	3.2

<표 3-15> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2017년 2월 8일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-11-1	-	-	-	31.10	41.7	2.7
SH-11-2	-	-	-	25.53	70.8	4.5
SH-11-3	-	-	-	33.63	73.9	4.7
SH-11-4	-	-	-	31.98	57.1	3.7
SH-11-5	-	-	-	23.73	54.0	3.5
SH-11-6	-	-	-	25.03	51.6	3.3
SH-11-7	-	-	-	21.36	71.5	4.6
SH-11-8	-	-	-	24.03	60.5	3.9
SH-11-9	-	-	-	19.79	63.0	4.0
SH-11-10	-	-	-	31.04	62.9	4.0
SH-11-11	-	-	-	18.94	67.5	4.3
SH-11-12	-	-	-	23.93	56.0	3.6
SH-11-13	-	-	-	22.61	69.0	4.4
SH-11-14	-	-	-	25.84	64.0	4.1
SH-11-15	-	-	-	25.05	69.6	4.5
SH-11-16	-	-	-	21.51	68.0	4.4
SH-11-17	-	-	-	27.32	89.6	5.7

<표 3-16> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2017년 3월 14일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-12-1	-	-	-	22.78	47.1	3.0
SH-12-2	-	-	-	24.09	90.8	5.8
SH-12-3	-	-	-	21.63	76.5	4.9
SH-12-4	-	-	-	22.78	61.5	3.9
SH-12-5	-	-	-	20.91	55.9	3.6
SH-12-6	-	-	-	22.67	45.4	2.9
SH-12-7	-	-	-	19.26	11.6	0.7
SH-12-8	-	-	-	20.16	11.5	0.7
SH-12-9	-	-	-	19.61	58.5	3.7
SH-12-10	-	-	-	23.72	66.0	4.2
SH-12-11	-	-	-	22.01	68.0	4.4
SH-12-12	-	-	-	23.78	61.0	3.9
SH-12-13	-	-	-	23.55	35.9	2.3
SH-12-14	-	-	-	27.76	36.0	2.3
SH-12-15	-	-	-	24.86	75.0	4.8

<표 3-17> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2017년 4월 20일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-13-1	-	-	-	19.68	64.5	4.1
SH-13-2	-	-	-	23.64	54.5	3.5
SH-13-3	-	-	-	21.81	98.5	6.3
SH-13-4	-	-	-	30.48	57.5	3.7
SH-13-5	-	-	-	25.13	71.5	4.6
SH-13-6	-	-	-	19.66	66.5	4.3
SH-13-7	-	-	-	18.81	65.5	4.2
SH-13-8	-	-	-	19.92	74.0	4.7
SH-13-9	-	-	-	20.09	62.5	4.0
SH-13-10	-	-	-	19.22	95.4	6.1
SH-13-11	-	-	-	22.79	95.2	6.1
SH-13-12	-	-	-	26.67	94.2	6.0
SH-13-13	-	-	-	24.21	53.5	3.4
SH-13-14	-	-	-	20.27	62.5	4.0
SH-13-15	-	-	-	23.58	62.0	4.0
SH-13-16	-	-	-	21.51	59.0	3.8
SH-13-17	-	-	-	24.46	63.6	4.1
SH-13-18	-	-	-	25.57	62.0	4.0
SH-13-19	-	-	-	22.99	53.0	3.4
SH-13-20	-	-	-	27.31	88.2	5.6

<표 3-18> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2017년 5월 29일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-14-1	-	-	-	20.52	67.5	4.3
SH-14-2	-	-	-	19.37	69.0	4.4
SH-14-3	-	-	-	20.45	71.5	4.6
SH-14-4	-	-	-	22.93	67.5	4.3
SH-14-5	-	-	-	22.19	71.0	4.5
SH-14-6	-	-	-	21.06	60.5	3.9
SH-14-7	-	-	-	20.38	60.0	3.8
SH-14-8	-	-	-	20.48	54.5	3.5
SH-14-9	-	-	-	19.74	64.0	4.1
SH-14-10	-	-	-	19.56	58.0	3.7
SH-14-11	-	-	-	22.21	65.5	4.2
SH-14-12	-	-	-	24.17	63.0	4.0
SH-14-13	-	-	-	21.21	74.5	4.8
SH-14-14	-	-	-	19.32	66.5	4.3
SH-14-15	-	-	-	18.72	66.0	4.2
SH-14-16	-	-	-	19.10	61.5	3.9
SH-14-17	-	-	-	19.09	57.0	3.6
SH-14-18	-	-	-	18.84	58.0	3.7
SH-14-19	-	-	-	20.02	52.5	3.4
SH-14-20	-	-	-	21.65	68.5	4.4

<표 3-19> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2017년 6월 9일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-15-1	-	-	-	24.39	67.5	4.3
SH-15-2	-	-	-	21.50	69.0	4.4
SH-15-3	-	-	-	22.95	71.5	4.6
SH-15-4	-	-	-	21.34	67.5	4.3
SH-15-5	-	-	-	24.01	71.0	4.5
SH-15-6	-	-	-	20.27	60.5	3.9
SH-15-7	-	-	-	21.14	60.0	3.8
SH-15-8	-	-	-	21.24	54.5	3.5
SH-15-9	-	-	-	21.66	64.0	4.1
SH-15-10	-	-	-	18.98	58.0	3.7
SH-15-11	-	-	-	21.83	65.5	4.2
SH-15-12	-	-	-	22.65	63.0	4.0
SH-15-13	-	-	-	24.71	74.5	4.8
SH-15-14	-	-	-	22.86	66.5	4.3
SH-15-15	-	-	-	21.68	66.0	4.2
SH-15-16	-	-	-	21.57	61.5	3.9
SH-15-17	-	-	-	19.84	57.0	3.6
SH-15-18	-	-	-	17.92	58.0	3.7
SH-15-19	-	-	-	21.26	52.5	3.4
SH-15-20	-	-	-	25.31	68.5	4.4

<표 3-20> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (시화지구, 2017년 7월 25일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SH-16-1	-	-	-	24.39	67.5	4.3
SH-16-2	-	-	-	21.50	69.0	4.4
SH-16-3	-	-	-	22.95	71.5	4.6
SH-16-4	-	-	-	21.34	67.5	4.3
SH-16-5	-	-	-	24.01	71.0	4.5
SH-16-6	-	-	-	20.27	60.5	3.9
SH-16-7	-	-	-	21.14	60.0	3.8
SH-16-8	-	-	-	21.24	54.5	3.5
SH-16-9	-	-	-	21.66	64.0	4.1
SH-16-10	-	-	-	18.98	58.0	3.7
SH-16-11	-	-	-	21.83	65.5	4.2
SH-16-12	-	-	-	22.65	63.0	4.0
SH-16-13	-	-	-	24.71	74.5	4.8
SH-16-14	-	-	-	22.86	66.5	4.3
SH-16-15	-	-	-	21.68	66.0	4.2
SH-16-16	-	-	-	21.57	61.5	3.9

○ 새만금지구

- 새만금지구 표토의 함수비, 염농도 측정 결과는 아래와 같음

<표 3-21> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (새만금지구, 2015년 1월 28일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SM-1-1	-	35.80529463	126.6210349	7.3	2.6	0.2
SM-1-2	-	35.79741166	126.6270525	37.2	37.2	2.4
SM-1-3	-	35.79145799	126.6224772	30.0	67.1	4.3
SM-1-4	-	35.78647352	126.6207281	30.5	20.6	1.3
SM-1-5	-	35.77105187	126.6241924	26.1	2.5	0.2
SM-1-6	-	35.77055725	126.6186145	33.1	2.0	0.1
SM-1-7	-	35.77065423	126.6203768	28.7	23.9	1.5
SM-1-8	-	35.77081332	126.622633	30.1	2.6	0.2
SM-1-9	-	35.78128135	126.6239325	24.9	46.7	3.0
SM-1-10	-	35.75279969	126.6056226	24.4	3.3	0.2
SM-1-11	-	35.753529	126.6103266	28.0	46.7	3.0
SM-1-12	-	35.7546251	126.616933	26.6	76.4	4.9
SM-1-13	-	35.75607467	126.626166	30.1	2.5	0.2
SM-1-14	-	35.79967255	126.7371627	20.0	2.4	0.2
SM-1-15	-	35.80440321	126.7382199	29.8	2.5	0.2
SM-1-16	-	35.80905106	126.7393255	31.4	2.3	0.1
SM-1-17	-	35.81348374	126.7407335	27.7	18.3	1.2
SM-1-18	-	35.94462055	126.5873586	15.1	9.2	0.6
SM-1-19	-	35.94095774	126.5881537	23.9	47.1	3.0
SM-1-20	-	35.93633579	126.5880468	28.1	9.4	0.6
SM-1-21	-	35.93244181	126.5880373	30.4	39.2	2.5
SM-1-22	-	35.9323779	126.5879263	23.8	27.9	1.8

<표 3-22> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (새만금지구, 2015년 7월 9일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SM-2-1	-	35.75618455	126.627193	30.04	2.2	0.1
SM-2-2	-	35.75477396	126.6179667	25.91	10.9	0.7
SM-2-3	-	35.75260506	126.6057268	23.80	36.0	2.3
SM-2-4	-	35.75377781	126.6118563	22.61	3.3	0.2

<표 3-23> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (새만금지구, 2015년 9월 22일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SM-3-1	칠면초	35.75403	126.61072	10.47	60.6	3.9
SM-3-2	갈대	35.75417	126.61619	24.10	8.0	0.5
SM-3-3	나대지	35.75393	126.61014	21.15	146.0	9.3
SM-3-4	-	35.75396	126.61154	17.62	62.1	4.0
SM-3-5	-	35.7542	126.61182	14.12	78.0	5.0

<표 3-24> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (새만금지구, 2015년 11월 11일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SM-4-1	-	35.75393	126.61164	25.03	13.5	0.9
SM-4-2	칠면초	35.75395	126.61204	29.73	9.8	0.6
SM-4-3	-	35.75436	126.61198	25.75	9.1	0.6
SM-4-4	칠면초	35.75462	126.61207	36.75	33.5	2.1
SM-4-5	-	35.75496	126.61155	26.67	23.3	1.5
SM-4-6	칠면초	35.75541	126.61143	42.31	47.3	3.0
SM-4-7	갈대+칠면초	35.75437	126.6122	25.97	29.7	1.9
SM-4-8	-	35.75418	126.61249	25.70	12.3	0.8
SM-4-9	식생인근	35.75418	126.61286	30.40	3.2	0.2
SM-4-10	갈대	35.75489	126.61334	25.17	1.7	0.1

<표 3-25> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (새만금지구, 2016년 3월 9일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SM-5-1	-	35.753025	126.606209	21.32	67.7	4.3
SM-5-2	-	35.754952	126.619013	25.73	19.5	1.2
SM-5-3	갈대	35.756021	126.629852	28.24	0.6	0.0
SM-5-4	갈대	35.757948	126.628986	29.25	0.6	0.0
SM-5-5	나대지	35.753768	126.611608	27.05	28.3	1.8
SM-5-6	나대지	35.754523	126.611626	24.60	23.5	1.5
SM-5-7	나대지	35.754345	126.612034	32.96	7.3	0.5
SM-5-8	나대지	35.755594	126.612204	29.26	8.2	0.5
SM-5-9	나대지	35.753941	126.612068	27.05	1.7	0.1
SM-5-10	-	35.752972	126.605942	22.99	0.6	0.0

<표 3-26> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (새만금지구, 2016년 3월 23일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SM-6-1	-	35.753791	126.611723	25.94	33.5	2.1
SM-6-2	-	35.753791	126.611723	25.86	70.8	4.5
SM-6-3	-	-	-	26.31	38.0	2.4

<표 3-27> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (새만금지구, 2016년 4월 4일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SM-7-1	나대지	35.753832	126.61192	24.16	52.1	3.3
SM-7-2	염상승	35.753828	126.611755	25.90	46.7	3.0
SM-7-3	갈대	35.754849	126.612683	14.80	4.3	0.3
SM-7-4	칠면초	35.754278	126.61371	33.87	45.2	2.9

<표 3-28> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (새만금지구, 2016년 4월 20일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SM-8-1	나대지	35.753782	126.611695	25.46	51.7	3.3
SM-8-2	갯골	35.754256	126.612297	24.34	52.9	3.4
SM-8-3	갈대	35.754345	126.612189	34.68	9.3	0.6
SM-8-4	칠면초	35.753993	126.611865	29.66	13.6	0.9
SM-8-5	-	35.753917	126.611861	23.36	60.0	3.8
SM-8-6	-	35.754145	126.612172	23.37	31.9	2.0
SM-8-7	-	35.754042	126.612146	28.87	53.4	3.4
SM-8-8	-	35.753971	126.612075	27.14	66.5	4.3
SM-8-9	-	35.754921	126.612213	29.50	57.4	3.7

<표 3-29> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (새만금지구, 2016년 5월 11일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SM-9-1	나대지	35.753948	126.611673	23.14	29.4	1.9
SM-9-2	갯골	35.754129	126.612098	21.00	34.0	2.2
SM-9-3	갈대	35.754593	126.61247	27.47	43.5	2.8
SM-9-4	칠면초, 다습	35.753984	126.611861	23.37	26.7	1.7

<표 3-30> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (새만금지구, 2016년 5월 27일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Natural Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SM10-1	나대지	35.754029	126.611775	25.76	54.6	3.5
SM10-2	염	35.754143	126.611753	23.06	54.4	3.5
SM10-3	갈대	35.754219	126.610873	23.19	7.8	0.5
SM10-4	칠면초	35.754246	126.611279	20.77	16.2	1.0
SM10-5	-	35.754441	126.611374	24.75	69.9	4.5
SM10-6	-	35.754528	126.611513	23.86	65.0	4.2
SM10-7	-	35.754624	126.611457	30.44	97.3	6.2
SM10-8	-	35.754829	126.61132	23.74	65.5	4.2
SM10-9	-	35.754908	126.611265	23.94	89.6	5.7
SM10-10	-	35.755049	126.611374	23.33	82.5	5.3
SM10-11	-	35.755074	126.61153	24.31	86.4	5.5
SM10-12	-	35.754968	126.611558	27.32	99.9	6.4
SM10-13	-	35.754835	126.611656	23.99	92.8	5.9
SM10-14	-	35.754733	126.61151	25.98	62.7	4.0
SM10-15	-	35.75461	126.61158	24.85	77.3	4.9
SM10-16	-	35.754469	126.611604	23.23	56.9	3.6
SM10-17	-	35.754421	126.611716	23.11	94.9	6.1
SM10-18	-	35.754473	126.61193	25.57	73.2	4.7
SM10-19	-	35.754551	126.611991	23.66	121.0	7.7
SM10-20	-	35.754751	126.612178	24.58	77.6	5.0
SM10-21	-	35.754647	126.612358	24.53	84.7	5.4
SM10-22	-	35.75457	126.612614	23.89	114.0	7.3
SM10-23	-	35.754391	126.612698	23.68	115.0	7.4
SM10-24	-	35.754112	126.612398	22.19	73.4	4.7
SM10-25	-	35.754077	126.612177	21.54	62.8	4.0
SM10-26	-	35.753986	126.611975	23.50	64.2	4.1
SM10-27	-	35.753899	126.611918	22.46	61.8	4.0
SM10-28	-	35.753918	126.611681	22.20	81.5	5.2
SM10-29	-	35.753942	126.611525	22.90	61.2	3.9
SM10-30	-	35.753786	126.61159	22.16	83.0	5.3

<표 3-31> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (새만금지구, 2016년 6월 17일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SM11-1	나대지	35.754128	126.611626	22.18	64.3	4.1
SM11-2	염	35.754555	126.611483	22.08	67.4	4.3
SM11-3	갈대	35.754485	126.61075	34.73	35.1	2.2
SM11-4	칠면초	35.754587	126.610916	18.29	35.6	2.3
SM11-5	-	35.754675	126.611207	21.67	66.6	4.3
SM11-6	-	35.754795	126.611386	21.34	63.7	4.1
SM11-7	-	35.754926	126.611314	20.98	58.3	3.7
SM11-8	-	35.754989	126.611263	21.64	74.8	4.8
SM11-9	-	35.755002	126.611145	21.83	69.3	4.4
SM11-10	-	35.755176	126.61114	21.00	64.1	4.1
SM11-11	-	35.755224	126.611334	27.97	63.1	4.0
SM11-12	-	35.755179	126.611486	24.06	78.9	5.0
SM11-13	-	35.755198	126.611754	24.07	63.4	4.1
SM11-14	-	35.755444	126.611725	20.52	80.5	5.1
SM11-15	-	35.755605	126.611706	22.27	71.7	4.6
SM11-16	-	35.755748	126.611687	22.35	66.5	4.3
SM11-17	-	35.755889	126.61171	24.03	66.2	4.2
SM11-18	-	35.755845	126.61191	26.48	76.6	4.9
SM11-19	-	35.75569	126.612039	25.26	82.9	5.3
SM11-20	-	35.75547	126.612019	24.11	63.5	4.1
SM11-21	-	35.755208	126.611922	20.40	77.2	4.9
SM11-22	-	35.755214	126.61183	21.30	82.5	5.3
SM11-23	-	35.740176	126.623394	24.80	63.3	4.1
SM11-24	-	35.754923	126.611931	23.23	70.0	4.5
SM11-25	-	35.75477	126.612065	23.93	81.0	5.2
SM11-26	-	35.754487	126.612124	21.53	70.5	4.5
SM11-27	-	35.75437	126.61219	22.04	69.3	4.4
SM11-28	-	35.754212	126.612333	21.41	67.5	4.3
SM11-29	-	35.754052	126.612148	20.55	81.8	5.2
SM11-30	-	35.753989	126.611912	21.05	76.9	4.9

<표 3-32> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (새만금지구, 2017년 2월 8일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SM-12-1	-	-	-	22.45	90.6	5.8
SM-12-2	-	-	-	23.31	87.7	5.6
SM-12-3	-	-	-	22.08	54.0	3.5
SM-12-4	-	-	-	22.35	92.4	5.9
SM-12-5	-	-	-	21.56	55.5	3.6
SM-12-6	-	-	-	21.38	97.8	6.3
SM-12-7	-	-	-	25.92	89.8	5.7
SM-12-8	-	-	-	21.21	53.0	3.4
SM-12-9	-	-	-	22.02	93.7	6.0
SM-12-10	-	-	-	21.61	55.0	3.5
SM-12-11	-	-	-	24.92	73.8	4.7
SM-12-12	-	-	-	22.62	78.4	5.0
SM-12-13	-	-	-	23.08	91.5	5.9
SM-12-14	-	-	-	22.40	90.0	5.8
SM-12-15	-	-	-	22.15	96.1	6.2

<표 3-33> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (새만금지구, 2017년 4월 10일)

Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SM-13-1	-	-	-	19.32	57.5	3.7
SM-13-2	-	-	-	19.56	59.5	3.8
SM-13-3	-	-	-	19.90	56.0	3.6
SM-13-4	-	-	-	20.18	59.5	3.8
SM-13-5	-	-	-	20.58	54.5	3.5
SM-13-6	-	-	-	19.59	61.0	3.9
SM-13-7	-	-	-	19.39	52.2	3.3
SM-13-8	-	-	-	21.46	53.0	3.4
SM-13-9	-	-	-	20.30	54.5	3.5
SM-13-10	-	-	-	21.49	69.0	4.4
SM-13-11	-	-	-	20.35	55.5	3.6
SM-13-12	-	-	-	19.72	59.5	3.8
SM-13-13	-	-	-	19.61	54.0	3.5
SM-13-14	-	-	-	20.86	96.2	6.2
SM-13-15	-	-	-	19.60	57.5	3.7
SM-13-16	-	-	-	19.60	62.0	4.0
SM-13-17	-	-	-	20.17	55.5	3.6
SM-13-18	-	-	-	22.49	54.0	3.5
SM-13-19	-	-	-	20.08	76.8	4.9
SM-13-20	-	-	-	20.66	53.5	3.4
SM-13-21	-	-	-	22.25	56.0	3.6
SM-13-22	-	-	-	22.81	83.3	5.3

<표 3-34> 간척지 표토의 자연함수비, EC1:5, 염농도 측정 결과 (새만금지구, 2017년 6월 1일)

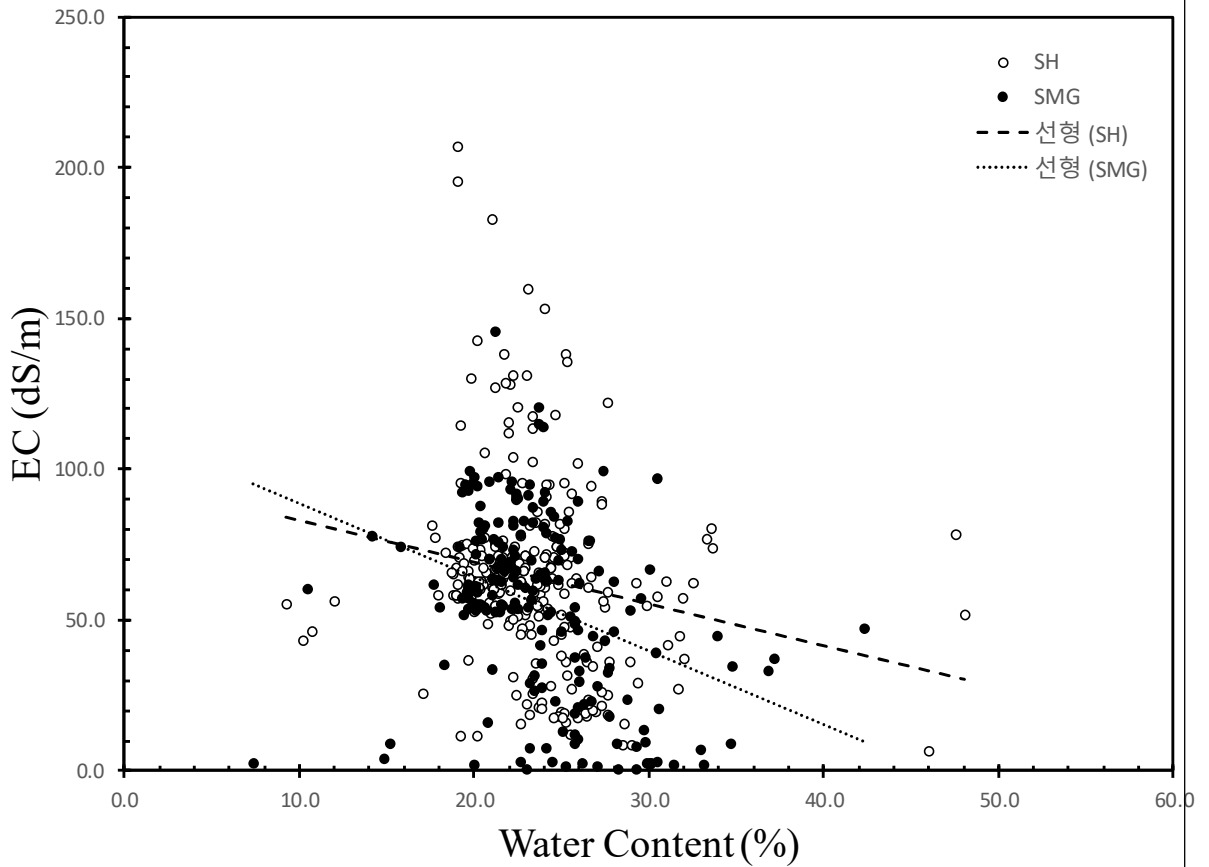
Sample No.	Description	Latitude	Longitude	Water Content (%)	EC 1:5 (dS/m)	Salinity (%)
SM-14-1	-	-	-	20.05	71.9	4.6
SM-14-2	-	-	-	20.34	88.2	5.6
SM-14-3	-	-	-	19.61	93.0	6.0
SM-14-4	-	-	-	19.75	99.6	6.4
SM-14-5	-	-	-	18.00	54.5	3.5
SM-14-6	-	-	-	20.84	70.8	4.5
SM-14-7	-	-	-	21.37	76.0	4.9
SM-14-8	-	-	-	19.91	95.4	6.1
SM-14-9	-	-	-	15.73	74.8	4.8
SM-14-10	-	-	-	20.07	61.7	3.9
SM-14-11	-	-	-	20.28	79.7	5.1
SM-14-12	-	-	-	23.74	41.9	2.7
SM-14-13	-	-	-	20.79	70.4	4.5
SM-14-14	-	-	-	20.08	53.5	3.4
SM-14-15	-	-	-	19.26	92.5	5.9
SM-14-16	-	-	-	19.15	74.5	4.8
SM-14-17	-	-	-	19.94	97.5	6.2
SM-14-18	-	-	-	20.13	94.5	6.0
SM-14-19	-	-	-	19.44	95.2	6.1
SM-14-20	-	-	-	20.25	82.4	5.3

제 2 절 기상상태, 표층 습윤도에 따른 염분농도 변화 분석 및 평가

1. 표층 함수비(표층 습윤도)와 염도

○ 함수비와 염도

- 표층 함수비는 모관 상승과 관계가 있어 표층의 염분 집적과 큰 상관성이 있는 것으로 알려져 있음
- 전체 시험 시료에 대하여 시료 함수비와 염도와의 상관관계는 다음 그림과 같음



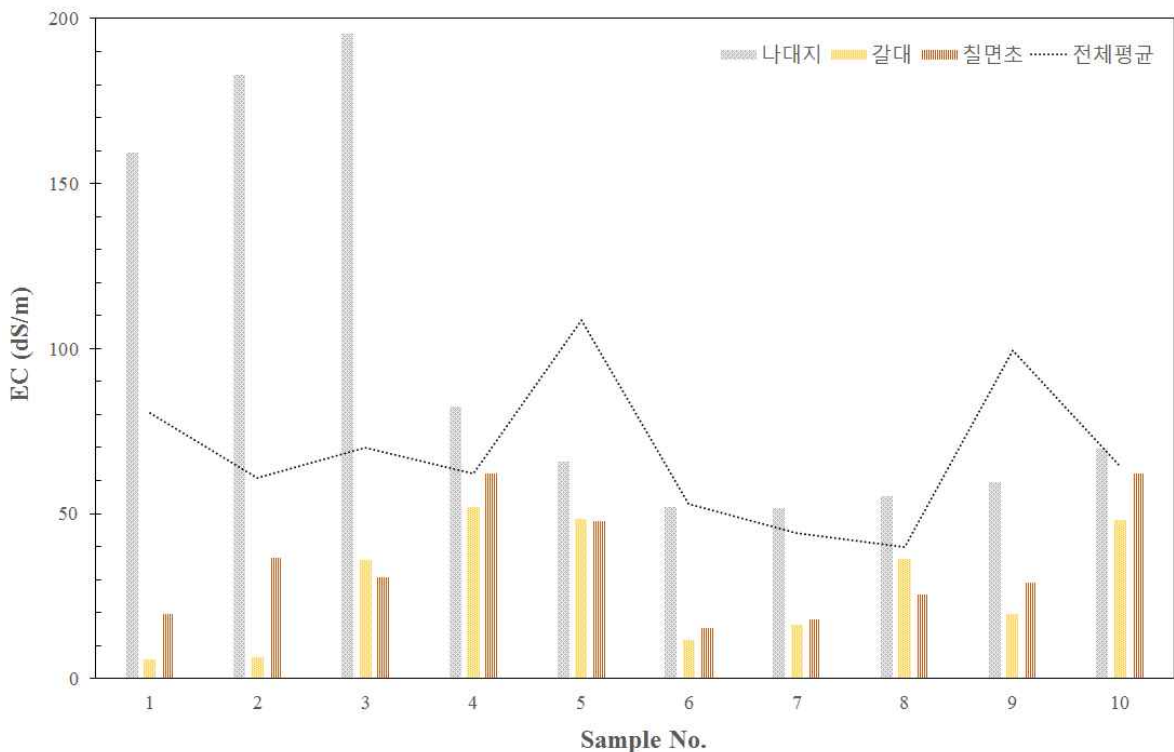
<그림 3-27> 표층 함수비와 염도 관계

- 시료의 함수비와 염도는 큰 상관성을 나타내지는 않으나 두 시험지구 시료 모두 함수비가 높은 시료의 EC 값이 낮은 경향을 보임
- 모든 시료가 동일 지점, 동일 시점에서 채취되지 않았기 때문에 큰 상관성을 보이지는 않음
- 따라서 시료의 채취 위치(식생부, 나대지)와 채취 시점(기상 상태) 등을 고려하여 분석하는 것이 필요

2. 공간적 염도 분포

○ 시화지구

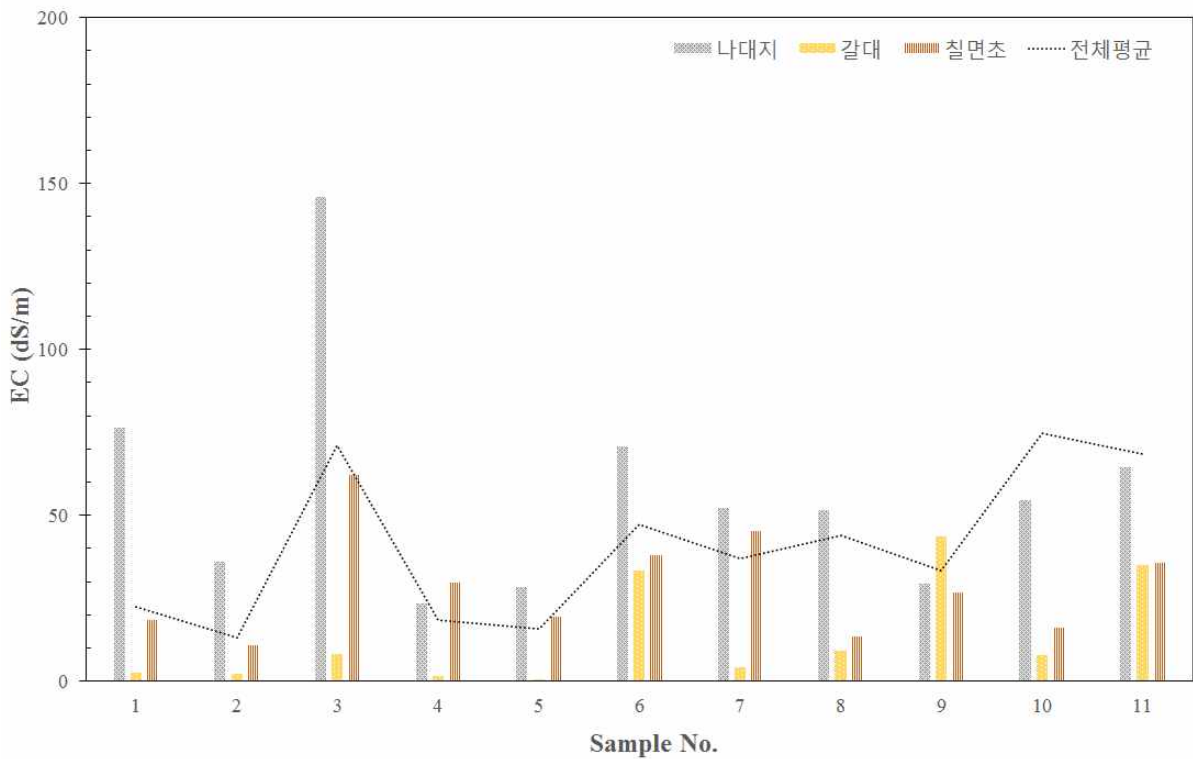
- 시험지구 공간을 나대지(염 노출 구간), 갈대 인근, 칠면초 주변으로 구분하여 EC 값을 도시하면 다음과 같음
- 식생이 없는 나대지는 식생 주변 영역보다 높은 EC 값을 나타냄
- 염이 집적된 나대지(염 결정 육안으로 확인 가능)는 최대 약 200dS/m로 매우 높은 염농도를 나타내고 있음
- 대체로 갈대 인근 영역의 EC 값이 칠면초 주변 시료의 EC 값 보다 낮게 나타남
- 갈대는 주로 균락을 이루고 있으며 제염이 상당히 진행된 토양 상태를 보이고 있으며, 칠면초는 균락을 이루기보다 개체별로 존재하여 나대지 내에 산재해 있는 특징이 있음
- 식생으로 피복된 지역 토양의 EC 값은 각 시기별 전체 시료의 평균값보다 모두 낮게 나타나 식생이 없는 나대지에 비해 상대적으로 염농도가 낮음



<그림 3-28> 공간적 염도 분포 (시화지구)

○ 새만금지구

- 시험지구 공간을 시화지구와 동일하게 나대지(염 노출 구간), 갈대 인근, 칠면초 주변으로 구분하여 EC 값을 도시하면 다음과 같음
- 식생이 없는 나대지는 식생 주변 영역보다 높은 EC 값을 나타냄
- 염이 집적된 나대지(염 결정 육안으로 확인 가능)는 최대 약 150dS/m로 매우 높은 염농도를 나타내고 있음
- 9회차 시료를 제외하고 갈대 인근 영역의 EC 값이 칠면초 주변 시료의 EC 값 보다 낮음
- 새만금 지구에서도 식생으로 피복된 지역 토양의 EC값은 각 시기별 전체 시료의 평균값보다 모두 낮게 나타나 식생이 없는 나대지에 비해 상대적으로 염농도가 낮음

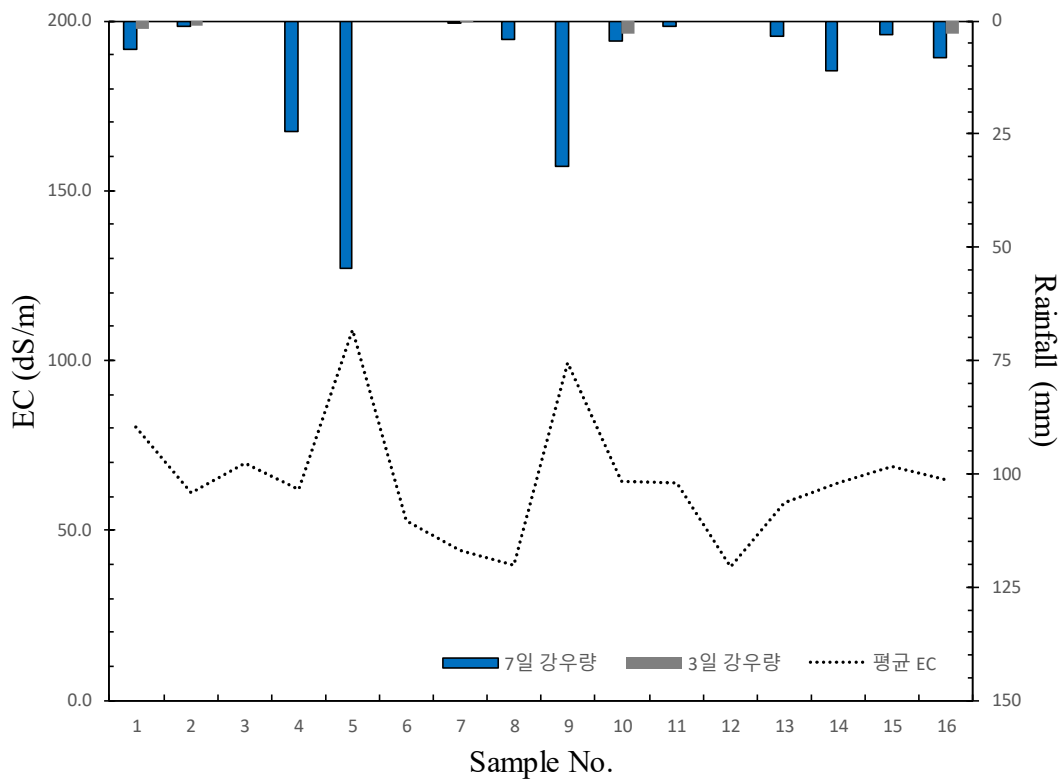


<그림 3-29> 공간적 염도 분포 (새만금지구)

3. 시간적 염도 분포

○ 시화지구

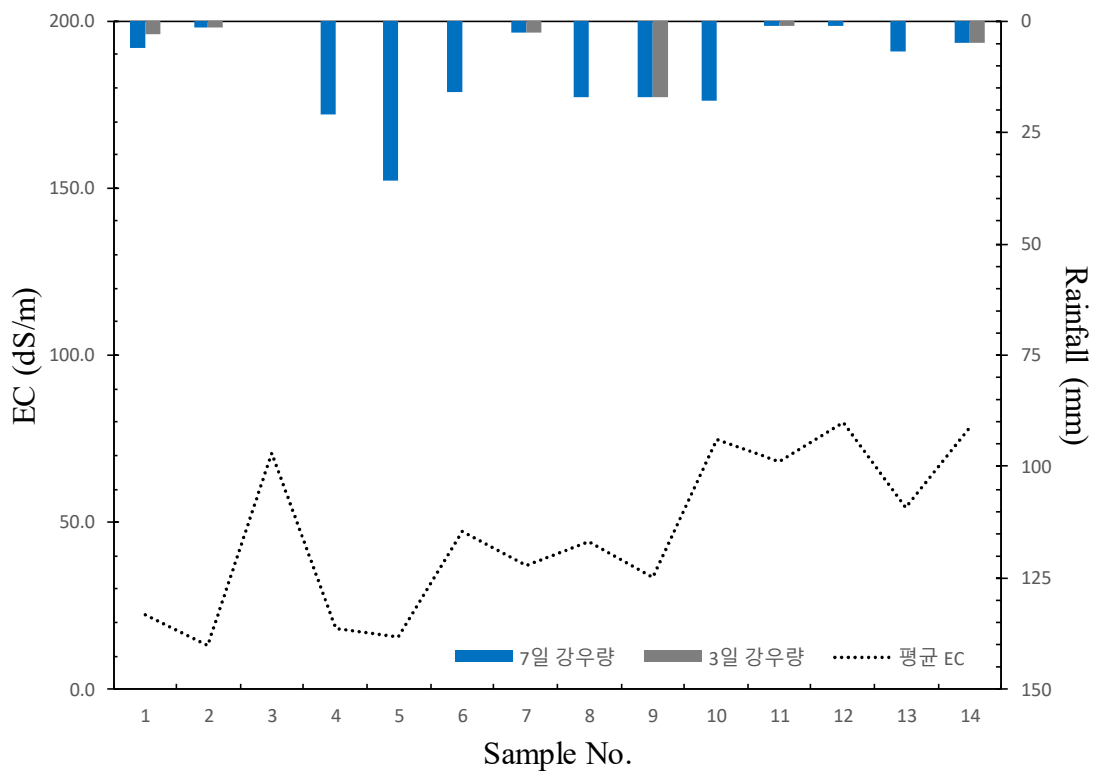
- 회차 별 동일 지역에 대한 평균 EC 값의 변화 폭이 크게 나타남
- 강우 조건과 일조 조건 등에 영향을 받을 것으로 예상됨
- 시료 채취 시기 전 7일 강우량과 3일 강우량을 그림에 함께 도시함
- 10회 결과를 분석하였을 때 강우량과 EC와의 상관성은 크게 나타나지 않음



<그림 3-30> 시간적 염도 분포 (시화지구)

○ 새만금지구

- 새만금 지구에서도 회차별 동일 지역에 대한 평균 EC 값의 변화 폭이 크게 나타남
- 시료 채취 시기 전 7일 강우량과 3일 강우량을 그림에 함께 도시함
- 7일 강우량이 상대적으로 높았던 4회차와 8회차에 평균 EC 값이 다소 낮게 나타남
- 시료 채취 기간 전에 강우량이 없었던 3회차에 가장 높은 평균 EC 값이 나타남



<그림 3-31> 시간적 염도 분포 (새만금지구)

제 4 장 표층 습윤도에 따른 토양 재염화 가능성 평가

제 1 절 토양 재염화 예측을 위한 모델 선정

1. Chemflo 모델

○ Chemflo 모델

- Chemflo모델은 불포화대 토양 내에서 물과 화학물질의 이동에 대한 토양수리특성의 영향을 모의할 수 있는 1차원 모형임
- 물과 화학물질의 이동은 Richards의 convection-dispersion 방정식을 이용하여 각각 모의됨
- 방정식의 풀이는 유한차분법을 통해 이루어짐

○ 지배방정식

- 불포화 영역에서의 염분 이동의 매개체가 되는 수분의 이동은 Richards(1931)가 제안한 1차원 편미분 방정식을 사용하면 아래와 같음

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(h) \left(\frac{\partial h}{\partial x} - \sin(A) \right) \right] \quad \text{또는} \quad C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(h) \left(\frac{\partial h}{\partial x} - \sin(A) \right) \right]$$

여기서, $h = h(z, t)$: 깊이 z 에서 시간 t 일 때의 매트릭포텐셜
 $\sin(A)$: 수직방향과 물의 흐름 방향의 각의 사인값
 $k(h)$: 매트릭포텐셜의 함수로 정의되는 투수계수
 θ : 체적함수비
 $C(h)$: 비수분용수량($=d\theta/dh$)

- 각 A 가 만약 0도라면 수평(좌→우)으로 흐르는 것이며, 90도일 경우 수직 아래 방향으로 흐르는 것을 의미함

○ 초기조건

- 이 모델은 흙을 1차원 기둥으로 가정한 유한요소법을 사용하며 토층깊이를 L 이라 한다면 초기조건은 다음과 같이 정의할 수 있음

$$h(x, 0) = h_{initial}(x) \quad \text{for} \quad 0 < x < L$$

○ 경계조건

- 흙을 1차원 기둥으로 가정할 경우, 상부 경계면의 조건은 흙 표면에서 물의 공급을 모의하기 위해 일정한 값의 형태로 정의하며 아래 식과 같음

$$-k(h) \left[\frac{\partial h}{\partial x} - \sin(A) \right]_{x=0} = q_0$$

여기서, q_0 : 지표면으로부터 깊이 0인 지점의 유량

○ 물의 유동률(Flux density)

- 물의 유동률은 단위 시간당 단면의 한 점을 지나가는 물의 양을 의미함
- 깊이 x 가 증가하는 방향의 흐름을 양, 반대 방향의 흐름은 음으로 정의하며, 흙의 상부 경계면에서 물의 유동률이 양의 값을 가지는 것은 물이 표면에서 흙 속으로 들어가는 방향의 흐름을 의미함
- 이 모델에서는 물의 유동률은 $q(x, t)$ 로 표현되며 Darcy - Buckingham식을 이용하여 정의함

$$q(x, t) = -k(h) \frac{\partial H}{\partial x} \quad \text{또는,} \quad q(x, t) = -k(h) \left[\frac{\partial h}{\partial x} - \sin(A) \right]$$

여기서, H : 흙의 총 수두
 $H(x, t) = h(x, t) - x \sin(A)$

○ 물의 누적유동량

- 물의 누적 유동량은 초기($t=0$)부터 임의의 시간까지 임의의 단면을 통과한 물의 양을 적분한 값으로, 상·하부 경계에서 유입되거나 유출된 총량을 계산하는데 사용될 수 있음
- 물의 누적 유동량은 다음과 같은 식으로 정의됨

$$Q(x, t) = \int_0^t q(x, t) dt$$

2. SALTMED 모델

○ SALTMED 모델

- SALTMED 모델은 증발산량, 작물의 수분 흡수, 관개 시스템에 따른 수분과 영양 물질의 이동, 작물 생산량과 수분 이용과의 관계를 기반으로 구성된 모형임
- 주로 염의 농도가 높은 지역에서 작물 생육과 염과 토양 내 영양물질 집적, 천층 지하수로의 거동 등을 모의하기 위해 개발된 모형임
- 입력자료의 구축이 용이하며 작물 및 관개방법에 따른 모의가 가능 (Silva et al., 2013)

○ 모델의 구성

■ 증발산량

- 증발산량 (evapotranspiration)은 FAO Penman-Monteith 공식으로 아래와 같이 산정함 (Allen et al., 1998).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + (\gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a))}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

- 여기서, ET_0 는 기준증발산량 (mm/day), Δ 는 평균기온에 대한 포화수증기압의 구배 (kPa/°C), R_n 은 순일사량 (MJ/m²/day), G 는 토양 열 유속 밀도 (MJ/m²/day), γ 는 온도와 고도에 따른 습도계수 (kPa/°C), T 는 2m 높이에서의 일평균기온 (°C), u_2 는 2m 높이에서의 풍속 (m/s), e_s 는 포화증기압 (kPa), e_a 는 실제증기압 (kPa)임

■ 작물증발산량

- 작물증발산량 (crop evapotranspiration)은 기준증발산량과 작물계수를 이용하여 아래와 같이 산정함

$$ET_c = ET_0(K_{cb} + K_c)$$

- 여기서, K_{cb} 는 작물 증산 계수 (basal crop or crop transpiration coefficient), K_c 는 토양 증발 계수이며, 이 값은 작물의 종류나 생육단계에 따라 다름

○ 토양수분의 흐름

■ 토양에서의 영양물질의 흐름

- 토양에서의 수분 흐름은 Darcy의 법칙과 질량보존의 법칙 (mass continuity)에 기반한 Richard's equation에 의해 산정되며, 아래와 같음

$$q = -K(h) \frac{\delta H}{\delta Z}, \quad H = \psi + Z$$

- 여기서, q 는 유량, $K(h)$ 는 수리전도도, Z 는 수직좌표, H 는 수두, Z 는 중력수두, ψ 는 압력수두

- 2차원 염 흐름 방정식 (salt flow equation)은 다음 식 XX와 같음

$$\frac{\partial(C\theta)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} + D_{xz} \frac{\partial C}{\partial z} - q_x C \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[D_{zz} \frac{\partial C}{\partial z} + D_{zx} \frac{\partial C}{\partial x} - q_z C \right]$$

- 토양 수분 함량 (θ), 염 농도 (C), 총 염분 ($C \times \theta$)를 통하여 산정된 상대농도는 아래와 같이 산정함

$$C(z,t) - C_{irrigation\ water} / C_{initial}(z,t)$$

■ 토양 수리 특성

- 수분과 용질 이동 방정식을 계산하기 위하여 토양수분-수분 퍼텐셜과 토양수분퍼텐셜-수리전도도 관계를 알아야 하며, 이는 아래 식과 같음 (Van Genuchten, 1980)

$$\theta(h) = \theta_r + [(\theta_s - \theta_r) / (1 + |\alpha h|^n)^m]$$

$$K(h) = K_s K_r(h) = K_s S_e^{1/2} [1 - (1 - S_e^{1/m})^m]^2$$

- 여기서, θ_r 과 θ_s 는 잔여와 포화 수분 함량, K_s 와 K_r 은 포화와 상대 수리전도도, α 와 n 은 형상계수, $m = 1 - 1/n$ 임

3. Upflow 모델

○ Upflow 모델

- UPFLOW는 얇은 지하수위로부터 물의 상향 이동에 대해 해석하기 위해 2003년 독일의 카셀(Kassel) 대학에서 개발한 모델이며 이는 모세관을 통한 지하수 상승고(Capillary rise)와 염분 집적량을 구하기 위해 사용됨
- 일정기간동안 지하수위로부터 지표면으로 이동하는 수분의 양을 계산하기 위하여 수분 이동은 정상상태로 가정하므로 시간에 따른 유량의 변화는 없음
- 지표면으로 이동하는 상향의 정상류는 지하수위로부터 일정한 양의 수분 이동이 발생한다는 가정을 통해 De Laat(1980)이 Darcy의 방정식을 적분하여 아래의 식을 제시

$$z = - \int_0^h \frac{k(h)}{q + k(h)} dh$$

여기서, z : 모관수 상승고 (m)
 q : 모관수 상승량 ($m^3/m^2 \cdot day$)
 h : 흙의 흡입수두 (m)
 $k(h)$: 흙의 투수계수 (m/day)

- 지표면으로의 수분 상승을 정상상태로 가정하면 일정 기간 동안 지하수위에서 지표면으로 이동하는 염분의 양을 계산할 수 있음
- 정상상태가 유지된다고 가정했을 때, 평균증발산량과 체적함수비는 일정기간동안 평균적인 값을 적용하고, 모세관 상승량은 지표면의 평균 증발산량을 넘지 않으므로, 일정 기간의 모세관 상승량은 평균 증발산량을 따름

4. 토양 재염화 예측을 위한 모델 선정

○ CHEMFLO 모델 선정

- 본 장은 간척지의 나지 표층을 주요 대상으로 하여 표층 함수비 및 염농도 등 간척지 토양 특성에 따른 재염화 예측 시스템의 기초 관계식을 도출하는 데 그 목적이 있음
- 따라서, 본 장에서는 작물의 생육과 증발산량을 고려하는 것이 불필요한 것으로 판단됨
- 상기 목적에 따라, 표층의 함수비에 따른 재염화 양상을 예측하기 위하여 함수비에 따른 염분 상승을 모의하고, 이를 비교할 필요성이 있으므로 토양의 불포화특성을 고려한 모델을 선정하여야 함
- 따라서, 불포화 영역에서의 염분 이동의 매개체가 되는 수분의 이동을 고려한 Richard 방정식과 van Genuchten 함수특성 관계식을 고려한 CHEMFLO 모델을 선정함

제 2 절 토양 재염화 예측을 위한 CHEMFLO 모델링

1. 토양 재염화 예측을 위한 모델링 인자 선정

○ 토양의 포화, 불포화 투수특성

- 토양의 투수계수는 토양의 공극과 밀접한 연관이 있으며 토양 재염화에 영향을 미침
 - 일반적으로 토양의 투수계수가 클수록 토양 공극이 크며, 이에 따라 하향배수성이 증가함
 - 토양의 재염화는 수분에 용해된 염분이 모관상승으로 인하여 수분과 함께 상향침투하여 발생하며 토양 공극이 클수록 모관현상이 억제됨

- 토양의 불포화 특성에 따라 함수비에 따른 Matric Potential이 변화하게 되므로 토양 재염화에 직접적 영향을 미침
 - 일반적으로 토양의 불포화 특성은 토양의 함수비에 따른 Matric Potential로 표현하게 되며, 이는 모관수를 상향으로 끌어당기는 압력을 의미함
 - 따라서, 토양의 불포화 특성에 따라 모관상승 양상이 변화하게 됨

○ 지하수위

- 지하수위가 높게 위치할수록 토양 표층 재염화는 단시간, 높은 함수비 조건에서 발생함
 - 토층의 특성과 함수비 조건이 동일할 때 지하수위가 높게 위치할수록 모관이 표층까지 도달하는 데 소요되는 시간이 단축됨
 - 지하수위가 높게 위치할수록 모관수가 표층까지 상승하기 위한 압력 소요가 감소하므로 더욱 높은 함수비 조건에서도 재염화가 발생할 우려가 있음

○ 토양 및 지하수의 초기 염농도

- 재염화가 발생하기 이전의 토양 염농도, 지하수 염농도에 따라 토양 재염화 양상이 변화함
 - 모관상승 시 토양이 함유하고 있던 염분, 지하수에 용해되어 있는 염분이 상승한 물에 용해되어 표층에 도달하게 되므로, 토양 및 지하수의 초기 염농도가 높을수록 모관상승 시 표층에 집적되는 염분이 증가함

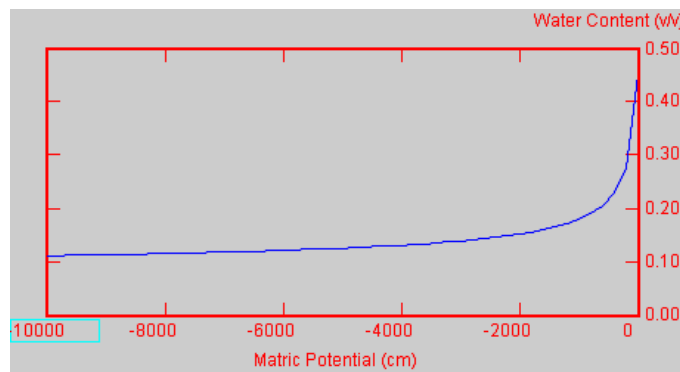
2. 모델링 인자 구축

○ 모델링에 이용된 토양의 물리적 성질

- CHEMFLO 모델은 자체적으로 토성 별 물리적 특성을 제공하고 있으며, 여기에는 토양 종류에 따른 포화 투수계수, 불포화특성 (Van Genuchten 모델)이 포함되어 있음
 - Sand, Loamy Sand, Sandy Loam, Loam, Silt, Silt Loam, Sandy Clay Loam, Clay Loam, Eufaula Sand, Cobb Loamy Sand 등 10종
 - 현장조사 및 문헌조사, 실내시험 결과를 반영하여 상기 토양 중에서 Silt Loam을 이용함
 - 토양의 투수계수 및 불포화 특성인자, 유기물 함량 및 단위중량은 다음 그림과 같이 적용함

Conductivity Function	Water Characteristic Function	Organic Carbon (g/g)	Bulk Density (Mg/m ³)
van Genuchten	van Genuchten	0.014	1.55
K_s (cm/hr) = 0.45	Θ_s (v/v) = 0.45		
α (1/cm) = 0.02	Θ_r (v/v) = 0.067		
n = 1.41	α (1/cm) = 0.02		
	n = 1.41		

<그림 4-1> 모델링 토양의 물리적 특성



<그림 4-2> 모델링 토양의 불포화 특성곡선

- 모델링 시 이용한 함수비 조건과 각각에 따른 Matric Potential은 다음 표와 같음

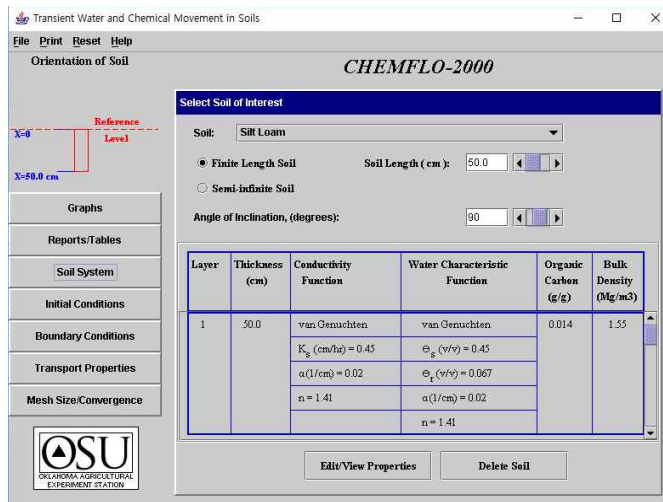
<표 4-1> 모델링 토양의 함수비에 따른 Matric Potential

함수비 (v/v, %)	0.104	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
Matric Potential (cm)	-15000	-2075.7	-647.3	-285.7	-145.9	-76.8	-35.5

○ 토층 및 지하수위 조건

■ 표층에서 지하수위까지 유한한 토층을 지정함

- 표층으로부터 지하수위까지의 거리가 토심(토층 두께)과 일치하며 지하수위 조건은 한국농어촌공사(2008)의 간척지 조사 결과를 참조하여 0.5~1.5m, 10cm 간격으로 설정함
- 토층을 연직방향으로 배치하기 위하여 기울기 각도를 90도로 설정하였으며, 그 예로 토층 깊이가 50cm인 경우 설정화면은 다음 그림과 같음

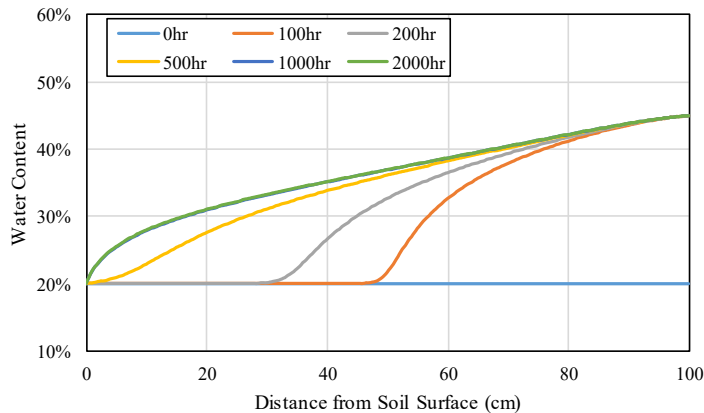


<그림 4-3> 모델링 토층 및 지하수위 조건 설정 (지하수위 50cm)

○ 초기조건 및 경계조건 설정

■ 함수비, 지하수위에 따른 모관상승시간

- 토층의 초기함수비는 상기 함수비 조건에 따라 토층 전체에 동일한 함수비를 적용함
- 상기 조건에 따라 시간에 따른 함수비의 분포는 다음 예시(초기 함수비 20%, 지하수위 1m)와 같이 나타남



<그림 4-4> 시간에 따른 토층 함수비 분포

- 현장의 함수비는 강우 직후 등을 제외한 일반적인 상황에서 <그림 4-4>의 2000시간 이후와 같이 지하수위와 표층 함수비 사이로 균일하게 분포하게 됨
- 현장의 토층 함수비를 모사하기 위하여 모관이 상승함에 따라 지하수위, 초기함수비에 따라 함수비 분포가 평형에 도달하는 시간을 산정할 수 있으며, 이 시간을 ‘모관상승시간’ 이라 명명할 수 있음
- 상기 함수비, 지하수위 조건을 적용하여 각각의 모관상승시간을 산정하였으며, 그 결과는 다음과 같음

<표 4-2> 지하수위, 함수비에 따른 모관상승시간(hr)

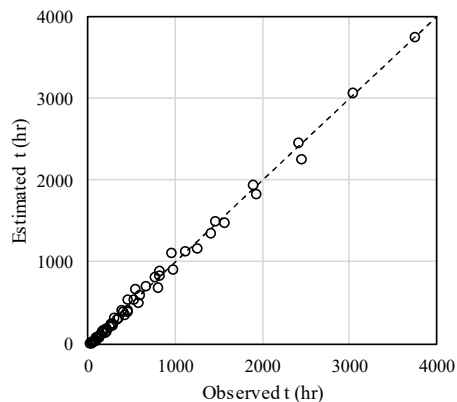
	지하수위 (m)										
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
10%	159	259	397	579	811	1,103	1,461	1,895	2,414	3,026	3,743
15%	125	200	280	406	561	786	976	1,243	1,556	1,918	2,439
20%	84	114	179	236	319	450	513	654	815	958	1,393
함수비 25%	50	68	100	135	178	257	295	373	449	532	754
30%	30	42	61	84	117	168	205	266	347	443	-
35%	18	30	47	79	-	-	-	-	-	-	-
40%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- 앞의 결과를 이용하여 지하수위, 함수비를 고려한 모관상승시간 산정식을 도출하였으며, 다음과 같음

$$t = 3153.345h^{2.936} \times e^{-10.162w}$$

t = 모관상승시간(hr), h =지하수위(m). w =함수비(v/v)

- 상기 산정식을 검정하면 다음과 같이 나타나며, R^2 값은 0.9955로 나타남

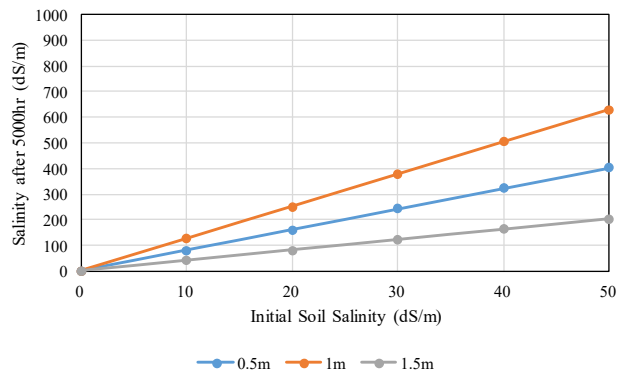


<그림 4-5> 모관상승시간 산정식 검정

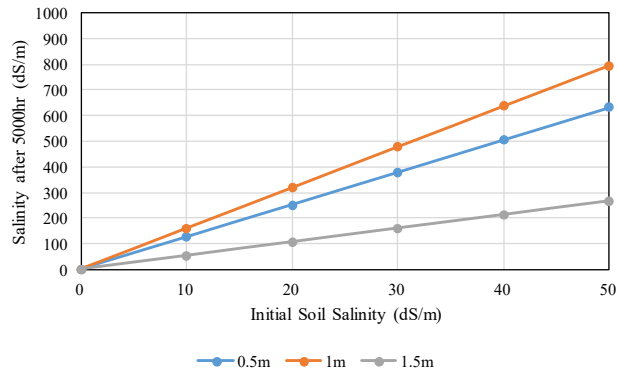
■ 토층 초기 염농도 입력

- 이후 3절의 모델링 결과는 해당 시간 이후의 결과이며, 이를 통하여 표층 염농도 예측식을 도출하고, 현장 표층 염농도를 예측함
- 토성 및 함수비, 지하수위 조건이 동일할 때 표층 염농도 상승량은 토층의 초기 염농도 값에 선형으로 비례함
- 이를 검증하기 위하여, 표층에서 지하수 염농도가 0인 지하수위까지의 깊이가 각각 0.5m, 1m, 1.5m, 토층의 초기 함수비가 각각 10%, 20%, 30%일 때 토층의 초기 염농도를 0~50dS/m 범위에서 10dS/m 간격으로 달리하여 5000시간 이후의 표층 염농도를 모의하였으며, 그 결과 토층 초기 염농도와 표층 염농도는 선형 관계인 것을 확인함

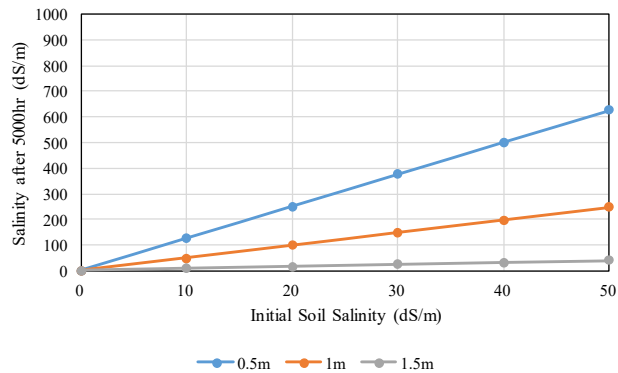
(a) 함수비 10%



(b) 함수비 20%

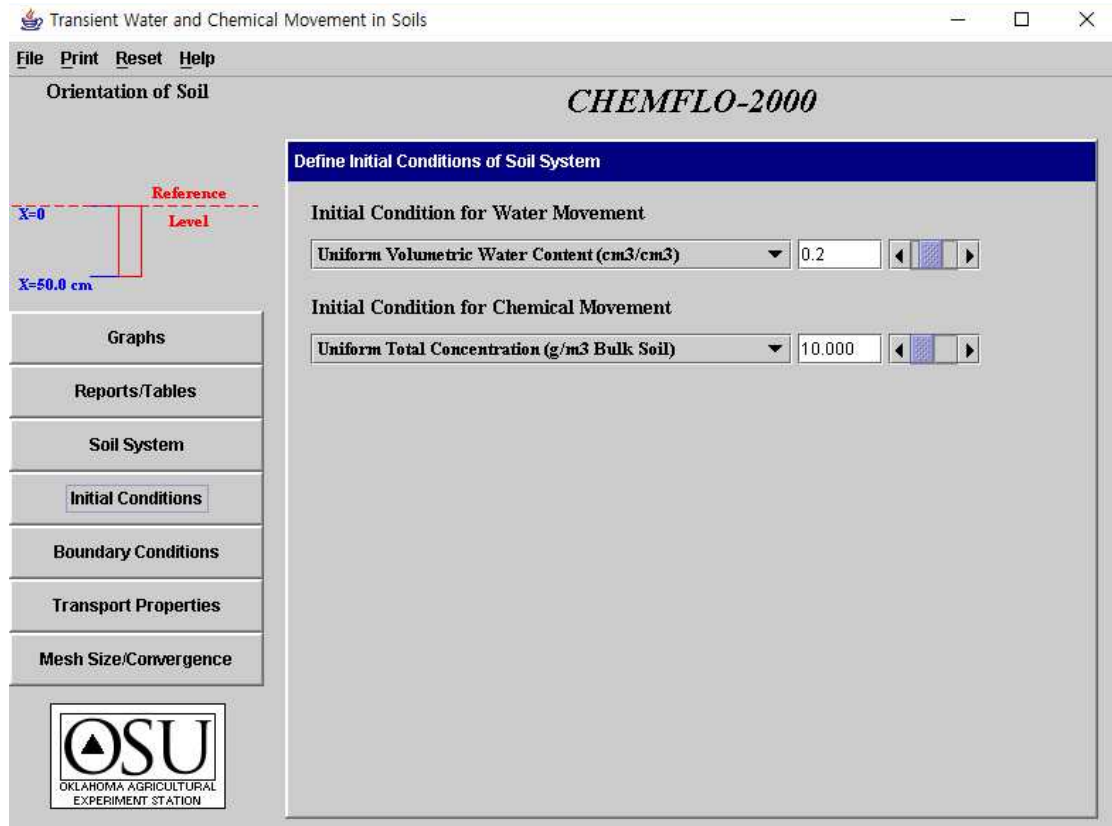


(c) 함수비 30%



<그림 4-6> 토층 초기 염농도에 따른 표층 염농도 변화

- 상기 결과로부터, 모델링 시 초기 토층 염농도 10dS/m (Bulk Soil)를 대표치로 설정하고, 이후 산정식에서 상수계수로 도입하여 초기 토층 염농도를 반영함
- 토층 함수비가 20%, 토층 깊이가 50cm일 때, 입력 화면은 다음 그림과 같음



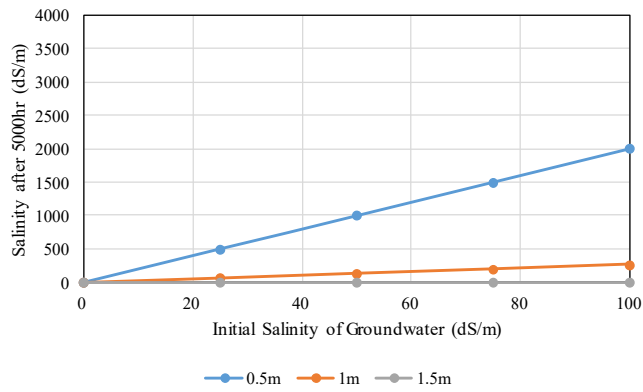
<그림 4-7> 모델링 초기조건 설정 (함수비 20%)

■ 지하수 염농도 입력

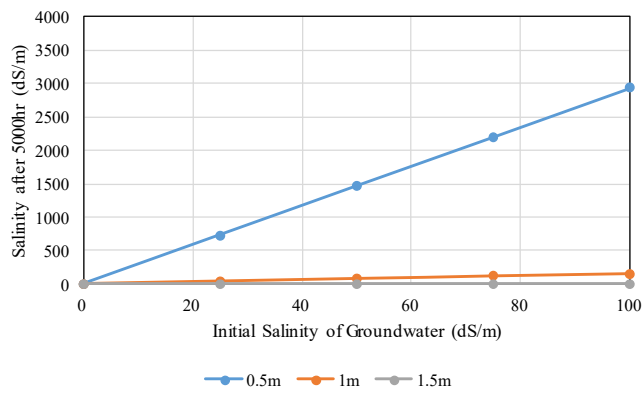
- CHEMFLO 모델의 경계조건은 토층 양 끝의 함수비 또는 Matric Potential, 토층 양 끝에서의 화학물질 농도에 해당함
- 토양의 불포화 특성곡선으로부터, 토층 함수비 조건에 따라 각각에 해당하는 Matric Potential 값을 $x=0$ (표층)에 적용하고, $x=h$ (지하수위까지의 깊이)에서는 토양이 완전 포화된 것으로 판단하여 Matric Potential을 0으로 설정함
- 토성 및 함수비, 지하수위 조건이 동일할 때 표층 염농도 상승량은 토양의 초기 염농도와 마찬가지로 지하수의 염농도 값에 선형으로 비례함

- 이를 검증하기 위하여, 염분이 존재하지 않는 토층에서 지하수위까지의 깊이가 각각 0.5m, 1m, 1.5m, 토층의 초기 함수비가 각각 10%, 20%, 30%일 때 지하수의 염농도를 0~100dS/m 범위에서 25dS/m 간격으로 달리하여 5000시간 이후의 표층 염농도를 모의하였으며, 그 결과 지하수 염농도와 표층 염농도는 선형 관계인 것을 확인함

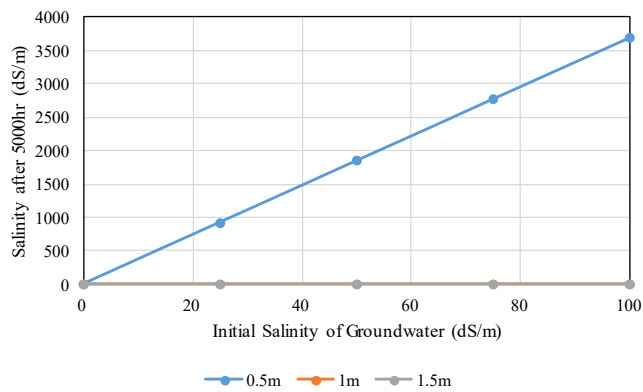
(a) 함수비 10%



(b) 함수비 20%

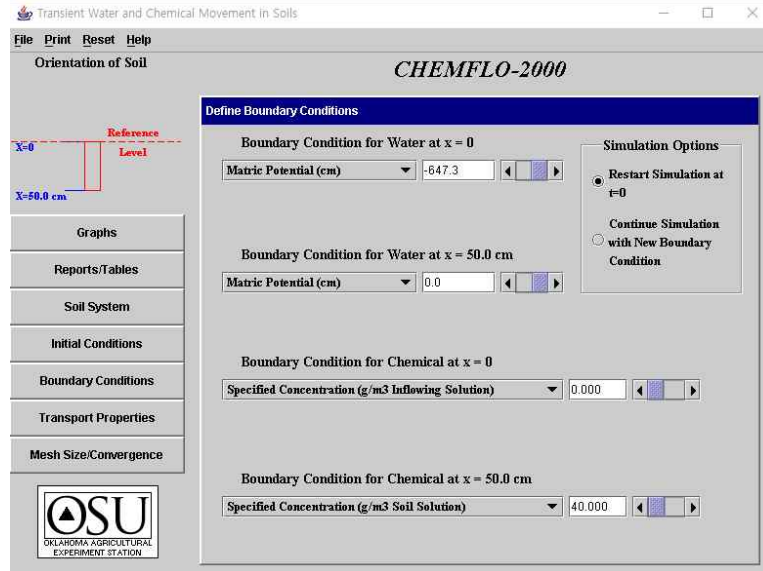


(c) 함수비 30%



<그림 4-8> 지하수 염농도에 따른 표층 염농도 변화

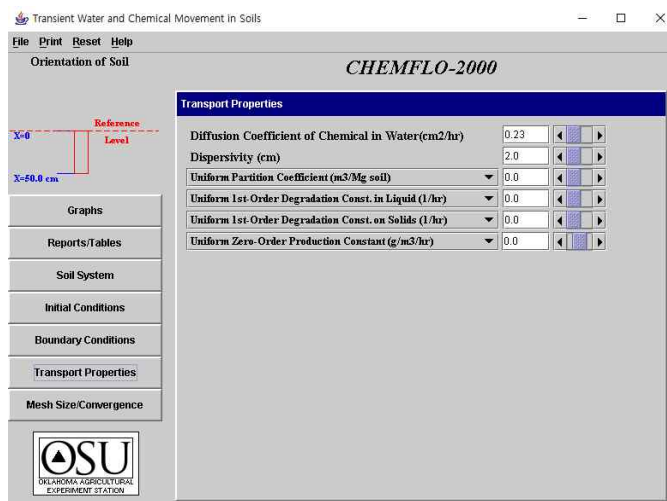
- 상기 결과로부터, 모델링 시 지하수 염농도 40dS/m (Soil Solution)를 대표치로 설정하고, 이후 산정식에서 상수계수로 도입하여 초기 지하수 염농도를 반영함
- 토층 함수비가 20%, 토층 깊이가 50cm일 때, 입력 화면은 다음 그림과 같음



<그림 4-9> 모델링 경계조건 설정 (함수비 20%, 토층 깊이 50cm)

○ 화학물질(염분) 물성

- CHEMFLO 모델의 화학물질 물성은 해당 물질이 용해되었을 때의 확산계수, 분산 특성을 고려함
 - 해당 물성은 서동욱(2011)을 참고하여 확산계수 $0.23\text{cm}^2/\text{hr}$, 여타 값은 0으로 설정함
 - 염분의 물성 입력을 완료한 입력화면은 다음과 같음

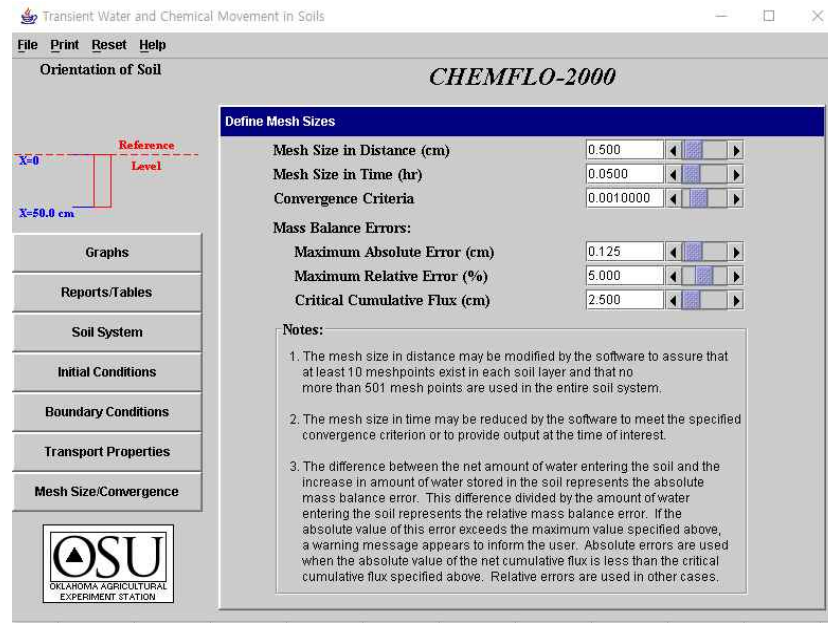


<그림 4-10> 모델링 염분 물성 입력

○ Mesh 구성 및 수렴조건 입력

- Mesh 구성 및 수렴조건은 CHEMFLO 모델의 Default를 이용하되, 긴 시간을 모의하는 본 연구의 특성상 시간 간격을 0.05hr, 수렴 기준을 0.001로 설정함

- 상기 입력조건은 다음 화면과 같음



<그림 4-11> 모델링 Mesh 구성 및 수렴조건 설정

○ 염분 상승 원인에 따른 모델링 Case 구분

- 재염화 발생 시 표층으로 상승하는 염분은 토층에 존재하던 염분, 지하수 자체 염농도로 인하여 용해되어 있던 염분으로 구분할 수 있음

- 모델링 시 초기 토양 염농도, 지하수 염농도를 모두 고려한 표층 염농도 산정식을 도출하기 위하여 초기 토양 내의 염분 상승, 지하수 내의 염분 상승을 각각 모의함

- 초기 토양 내의 염분 상승으로 인한 표층 염농도 산정식 도출을 위하여 지하수 염농도를 0으로 설정하고, 초기 토양 염농도를 10dS/m로 설정하여 모의함

- 지하수 내의 염분 상승으로 인한 표층 염농도 산정식 도출을 위하여 지하수 염농도를 40dS/m, 초기 토양 염농도를 0dS/m로 설정하여 모의함

제 3 절 표층 습윤도, 지하수위에 따른 토양 재염화 가능성 평가

1. 표층 습윤도에 따른 표층 염농도 변화

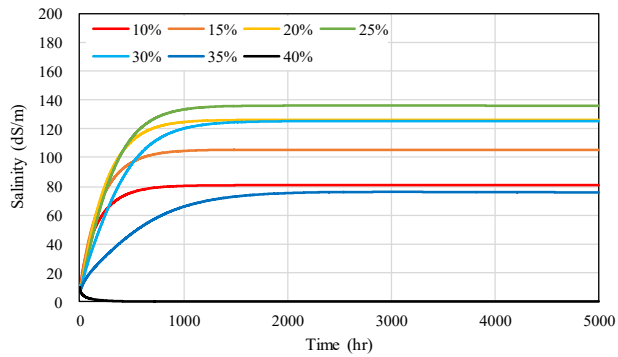
○ 모델링 결과 - 토층 함수비에 따른 표층 염농도 변화

■ 토층 함수비에 따른 표층 염농도 모의 결과를 지하수위 별로 나타냄

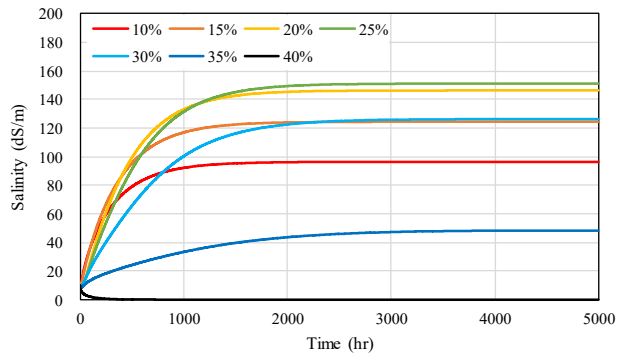
- 지하수위, 토층 초기 함수비를 고려한 모관상승시간만큼 추가로 모의하고, 모관상승시간 이전의 자료를 제거하여 5000시간 도시함

- 토층 초기 염농도(10dS/m)로 인한 표층 염농도 변화는 다음과 같음

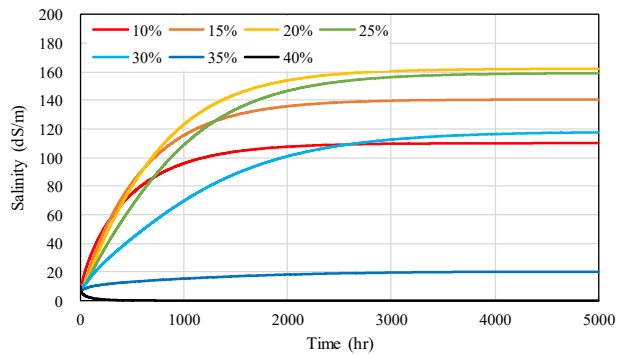
(a) 지하수위 0.5m



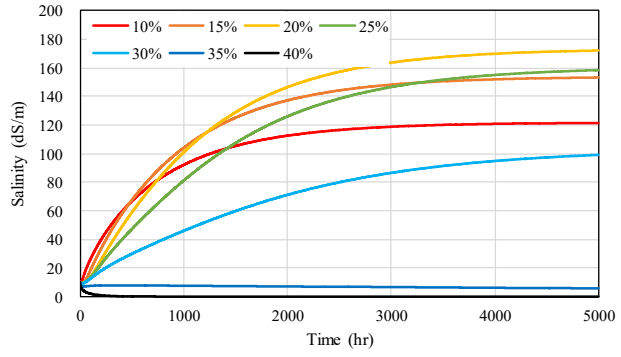
(b) 지하수위 0.6m



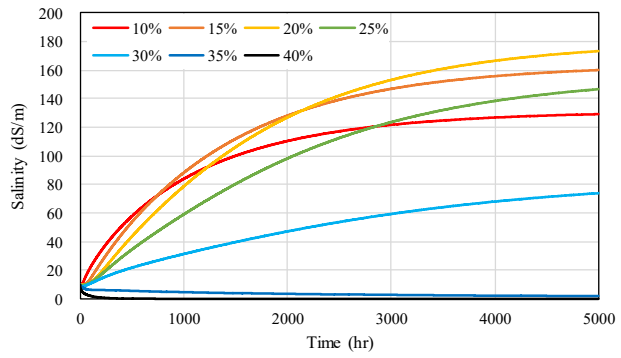
(c) 지하수위 0.7m



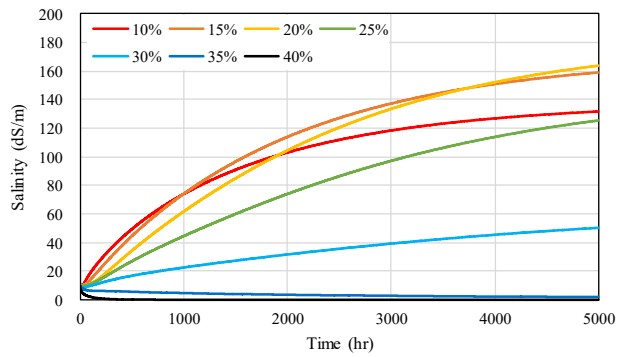
(d) 지하수위 0.8m



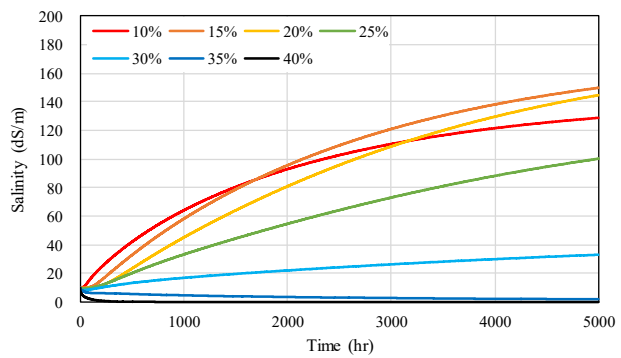
(e) 지하수위 0.9m



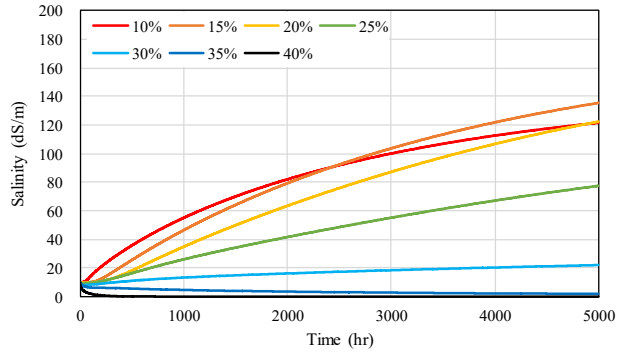
(f) 지하수위 1m



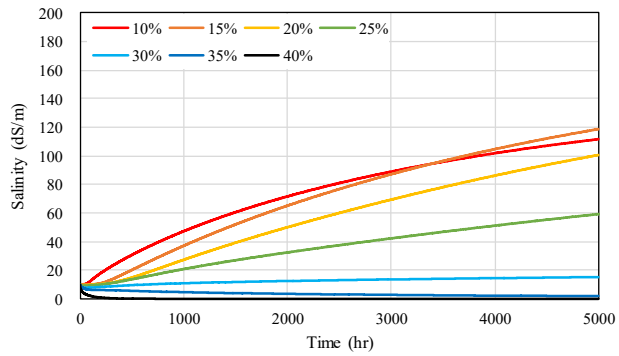
(g) 지하수위 1.1m



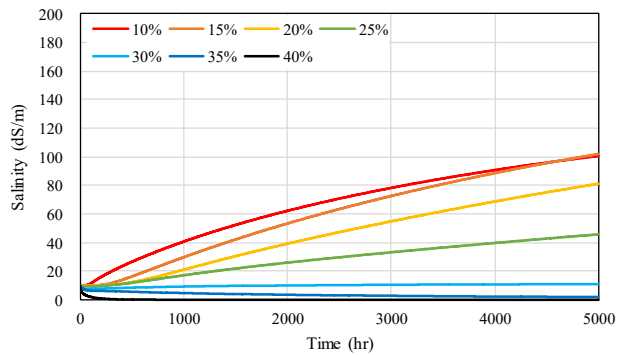
(h) 지하수위 1.2m



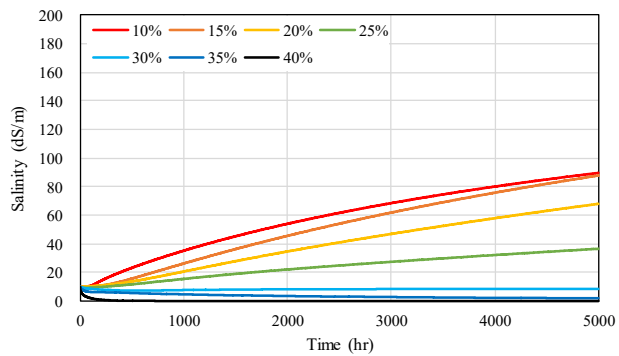
(i) 지하수위 1.3m



(j) 지하수위 1.4m



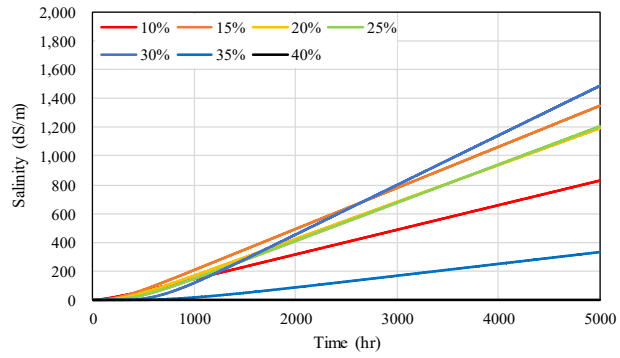
(k) 지하수위 1.5m



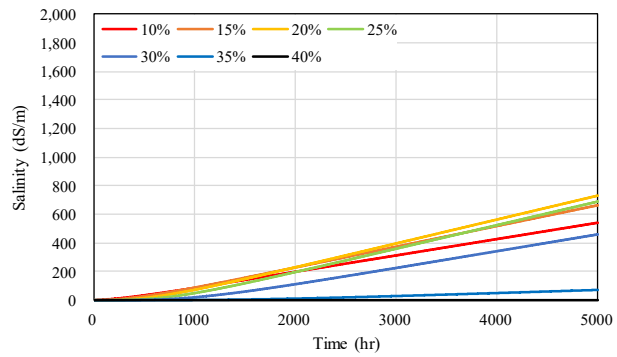
<그림 4-12> 표층 습윤도에 따른 표층 염농도 변화 - 토양 내 염분의 상승

- 지하수 염농도(40dS/m)로 인한 표층 염농도 변화는 다음과 같음

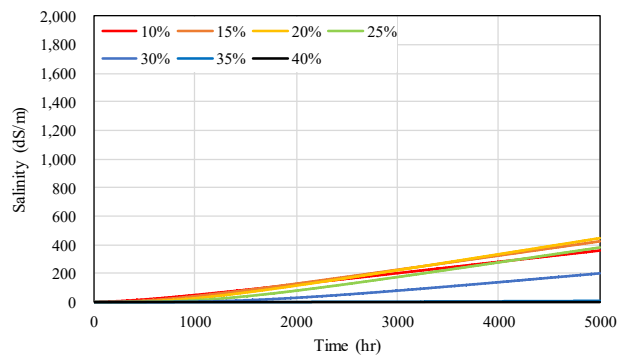
(a) 지하수위 0.5m



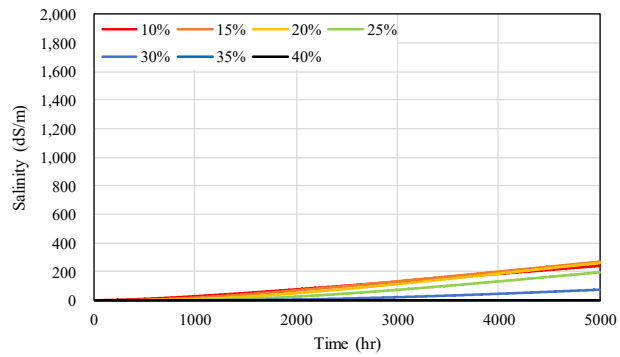
(b) 지하수위 0.6m



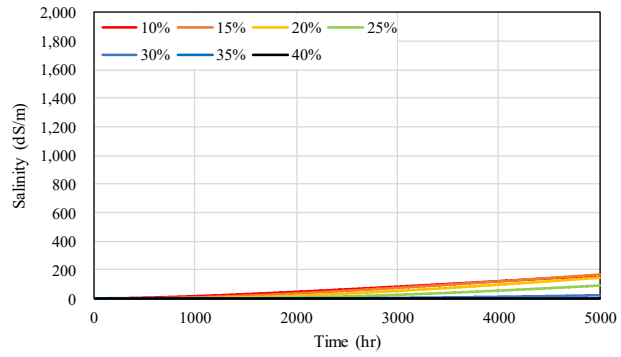
(c) 지하수위 0.7m



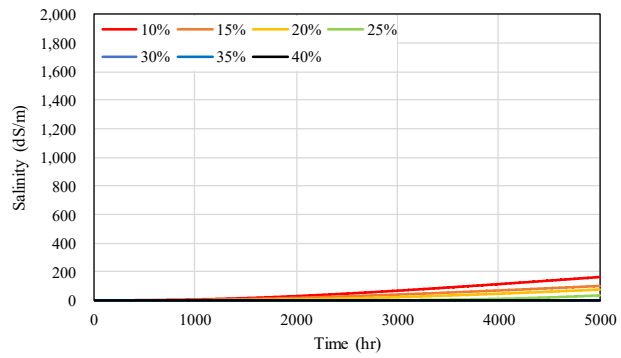
(d) 지하수위 0.8m



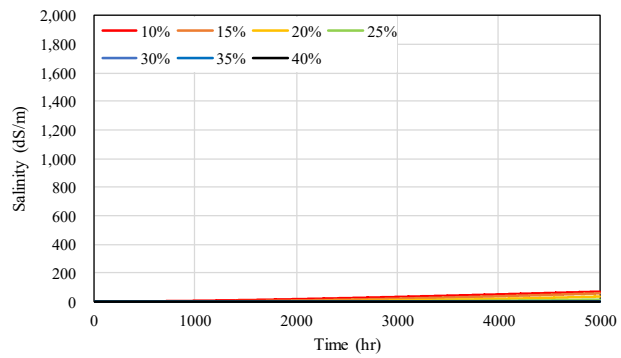
(e) 지하수위 0.9m



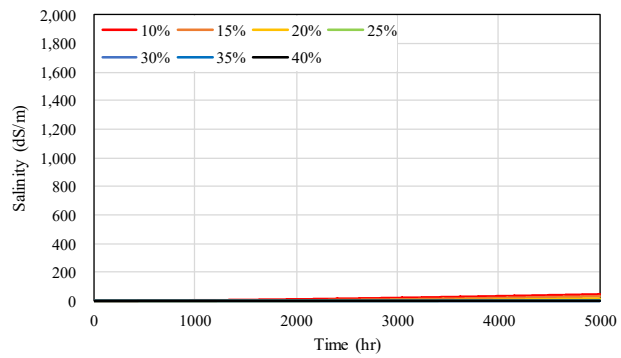
(f) 지하수위 1m



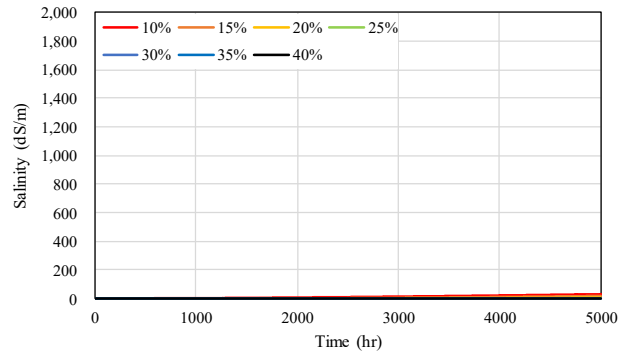
(g) 지하수위 1.1m



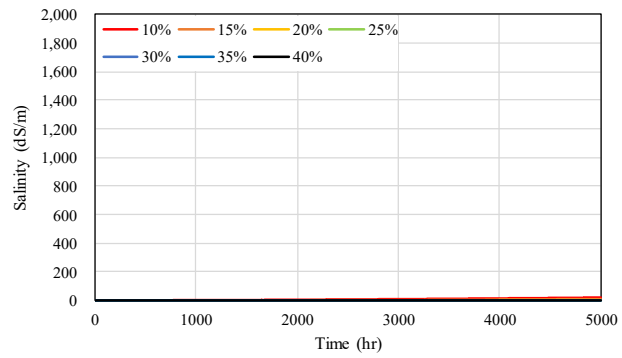
(h) 지하수위 1.2m



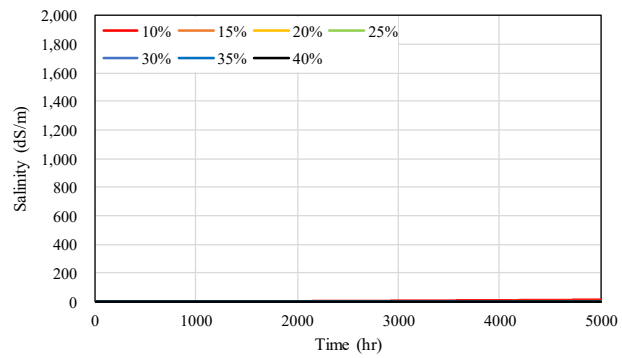
(i) 지하수위 1.3m



(j) 지하수위 1.4m



(k) 지하수위 1.5m



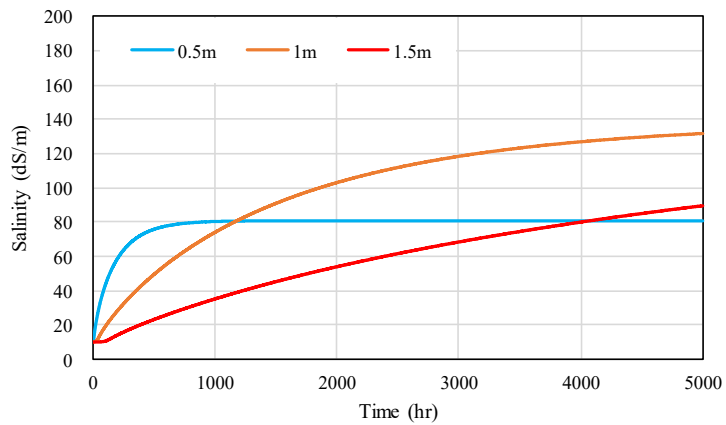
<그림 4-13> 표층 습윤도에 따른 표층 염농도 변화 - 지하수 염분의 상승

2. 지하수위에 따른 표층 염농도 변화

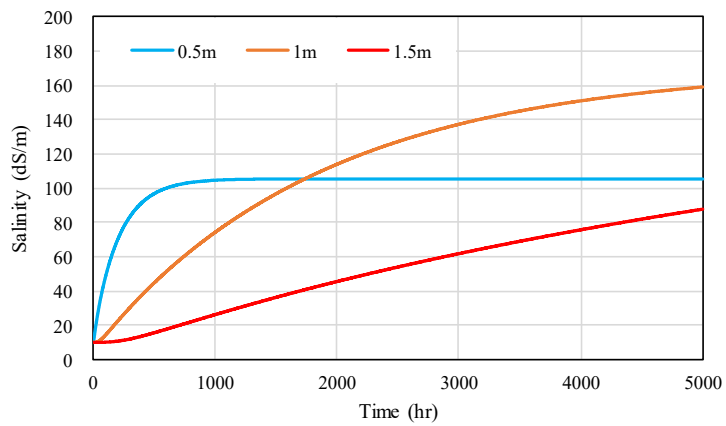
○ 모델링 결과 - 지하수위에 따른 표층 염농도 변화

- 지하수위에 따른 표층 염농도 모의 결과를 토층 함수비별로 나타냄
- 지하수위, 토층 초기 함수비를 고려한 모관상승시간만큼을 추가로 모의하고, 모관상승시간 이전의 자료를 제거하여 5000시간 도시험
- 토층 초기 염농도(10dS/m)로 인한 표층 염농도 변화는 다음과 같음

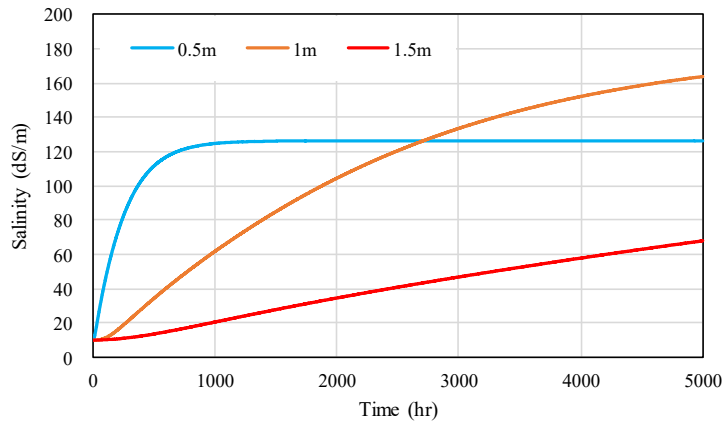
(a) 함수비 10.4%



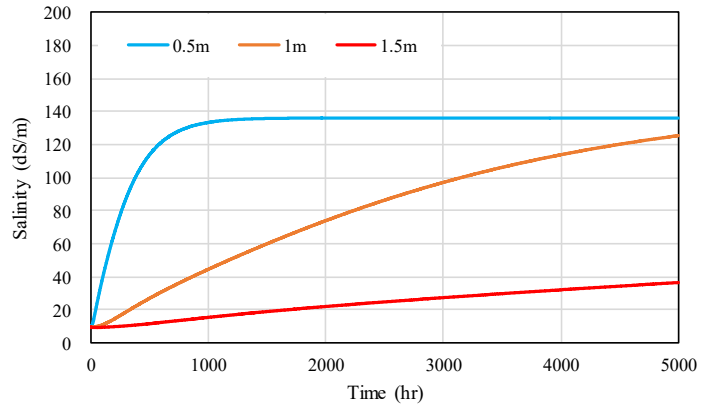
(b) 함수비 15%



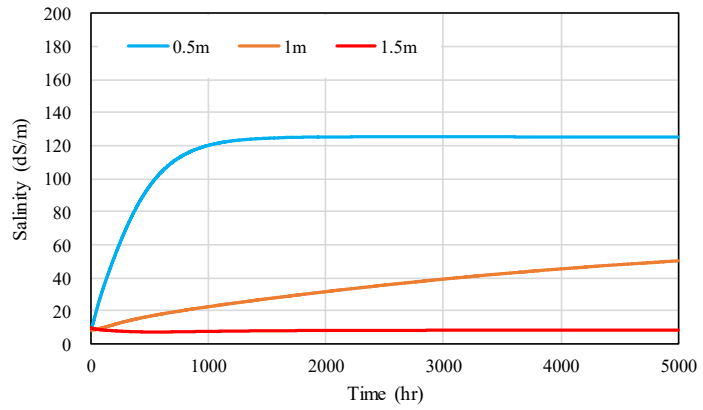
(c) 함수비 20%



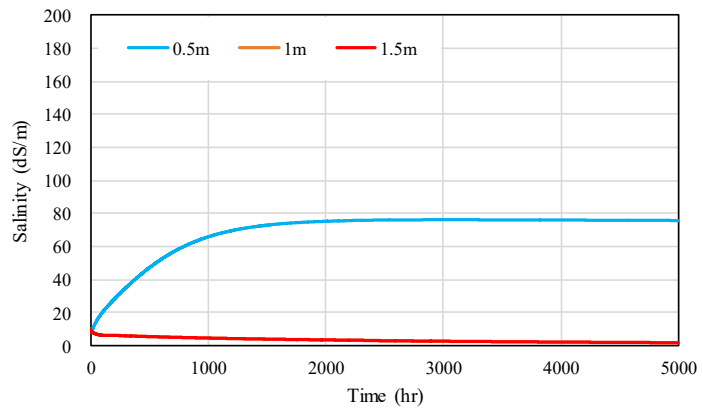
(d) 함수비 25%



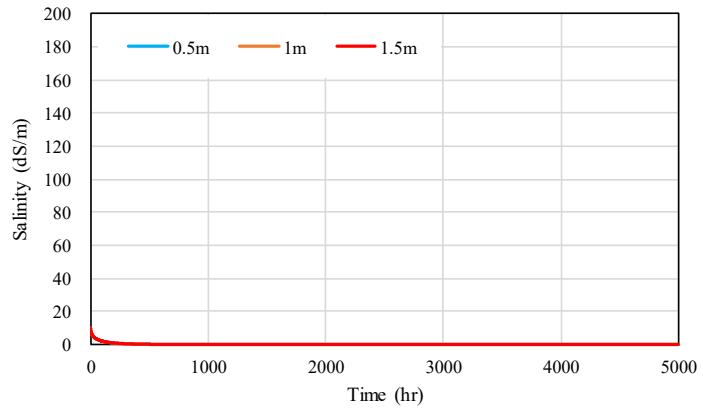
(e) 함수비 30%



(f) 함수비 35%



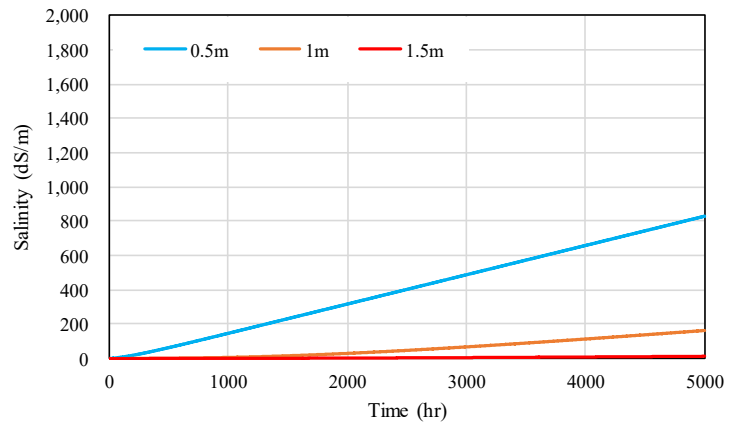
(g) 함수비 40%



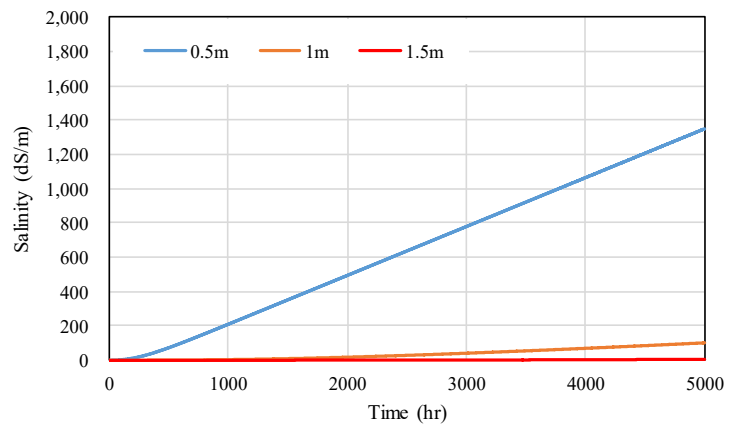
<그림 4-14> 지하수위에 따른 표층 염농도 변화 - 초기 토층 염농도로 인한 염분 상승

- 지하수 염농도(40dS/m)로 인한 표층 염농도 변화는 다음과 같음

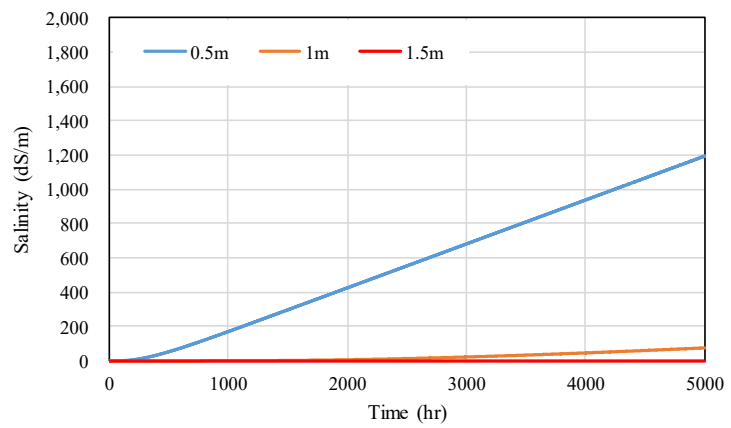
(a) 함수비 10.4%



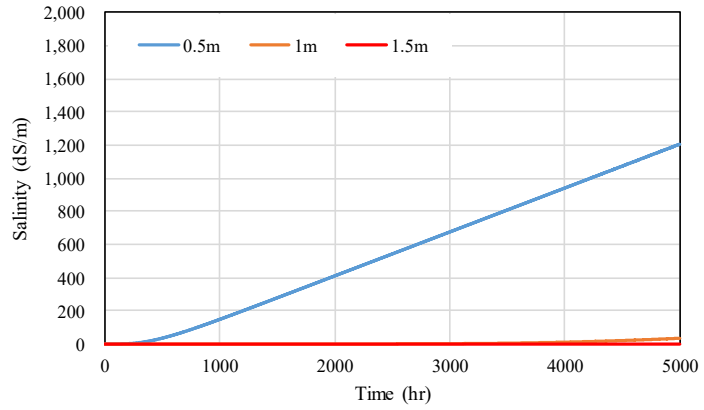
(b) 함수비 15%



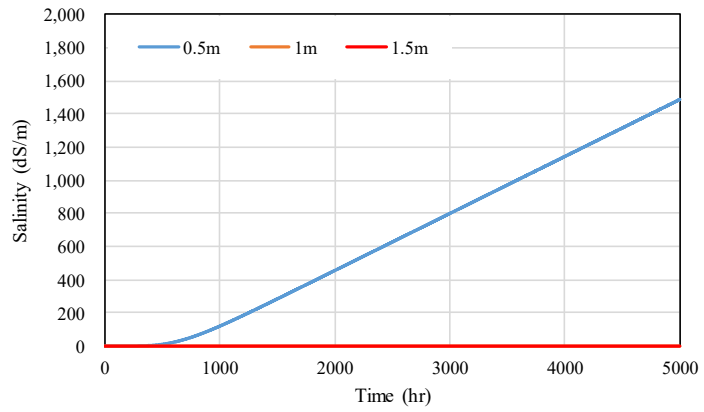
(c) 함수비 20%



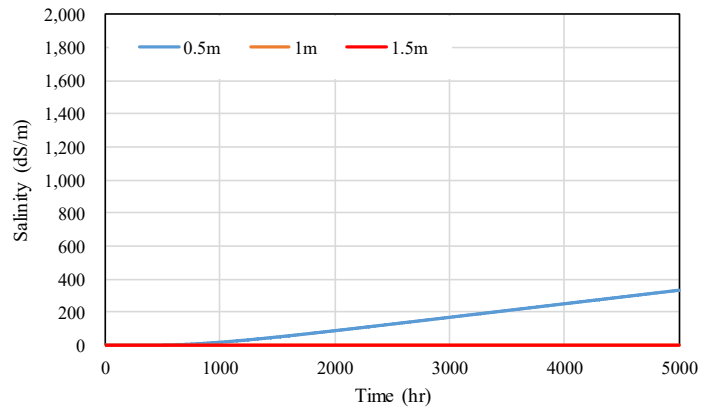
(d) 함수비 25%



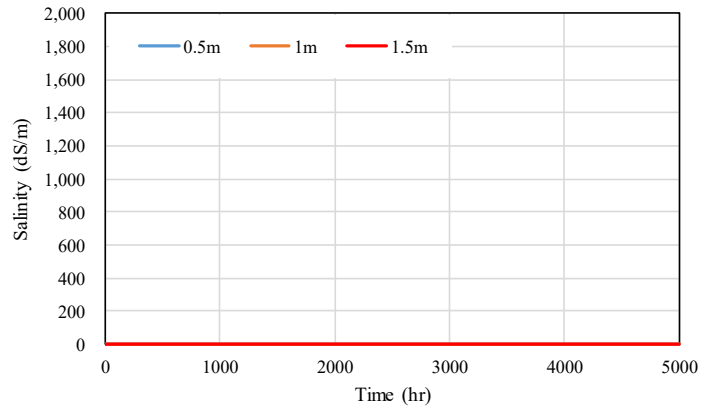
(e) 함수비 30%



(f) 함수비 35%



(g) 함수비 40%



<그림 4-15> 지하수위에 따른 표층 염농도 변화 - 지하수위 염농도로 인한 염분 상승

3. 표층 습윤도, 지하수위에 따른 토양 재염화 가능성 평가

○ CHEMFLO모형을 통한 표층 염농도 예측식 개발

- 표층 염농도 예측식은 초기 토양 염분 상승으로 인한 염농도 변화 예측식, 지하수 염분으로 인한 염농도 변화 예측식을 더한 형태로 표현됨
- 실제 간척지에서 초기 토양 염농도, 지하수 염농도가 현장 상황에 따라 상이하므로 이를 고려하기 위하여 초기 토양 염농도, 지하수 염농도 각각을 상수 계수로 설정함

○ 초기 토양 염분의 상승으로 인한 표층 염농도 예측식 도출

- 초기 토양 염분 상승으로 인한 표층 염농도 예측식은 다음과 같은 형태로 도출됨

$$EC_{1,t} = EC_{soil,0} \left(1 + \frac{At}{1+Bt^C} \right)$$

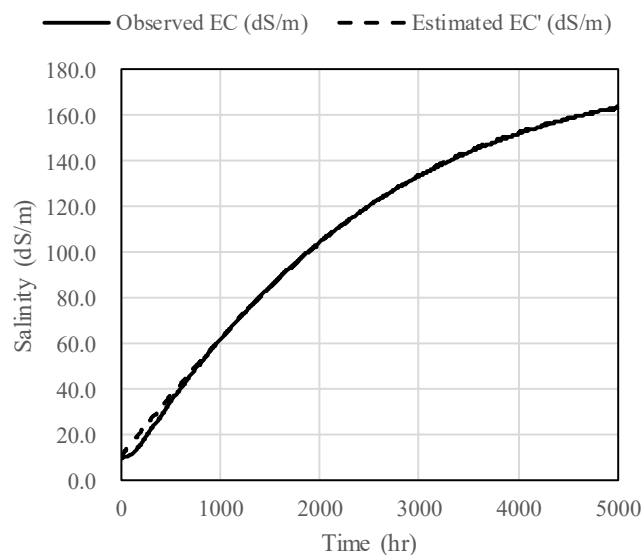
$EC_{1,t}$ = t시간 이후의 초기 토양 염분 상승으로 인한 표층 염농도 (dS/m)

$EC_{soil,0}$ = 초기 표층 염농도 (dS/m)

t = 관측 시로부터 시간 (hr)

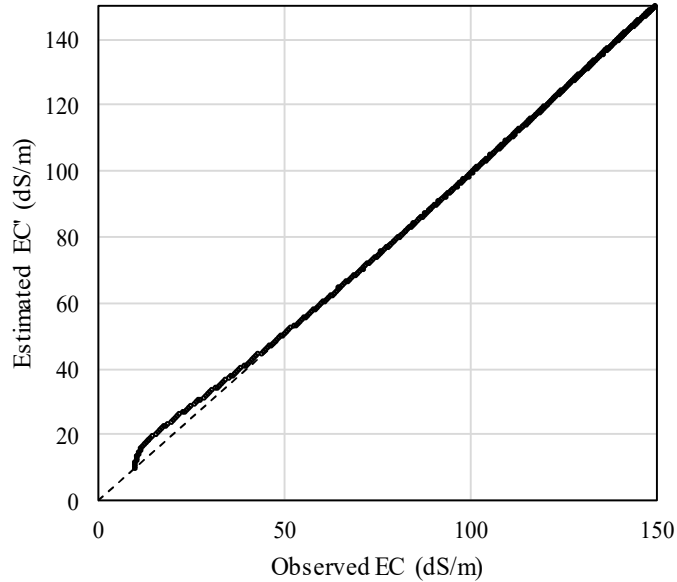
A, B, C = 계수

- 지하수위 1m, 표층 함수비 20%에서의 시간에 따른 모델링 결과와 예측식 값은 다음과 같음



<그림 4-16> 모델링 결과와 예측식 적용 결과의 비교 - 초기 토양 염분 상승

- 상기 조건에서의 예측식을 검증하기 위하여 모델링 결과 표층 염농도와 예측식값을 1:1로 비교하면 다음과 같으며, R2는 0.9994로 나타남



<그림 4-17> 모델링 결과와 예측식 적용 결과의 비교 - 초기 토양 염분 상승 (P-P plot)

- 표층 함수비에 따른 지하수위별 예측식의 R²는 다음 표와 같이 산정됨

<표 4-3> 지하수위, 표층 함수비에 따른 예측식의 R2값

R ²		표층 함수비						
		10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
지하수위	0.5m	0.9942	0.9924	0.9895	0.9887	0.9914	0.9980	0.9883
	0.6m	0.9984	0.9975	0.9944	0.9954	0.9980	0.9993	0.9883
	0.7m	0.9997	0.9986	0.9983	0.9987	0.9998	0.9922	0.9883
	0.8m	0.9999	0.9994	0.9989	0.9995	0.9998	0.7265	0.9883
	0.9m	0.9999	0.9995	0.9991	0.9997	0.9982	0.9931	0.9883
	1m	0.9999	0.9998	0.9994	0.9997	0.9991	0.9931	0.9883
	1.1m	0.9999	0.9992	0.9932	0.9995	0.9961	0.9931	0.9883
	1.2m	0.9999	0.9991	0.9983	0.9966	0.9803	0.9931	0.9883
	1.3m	0.9999	0.9985	0.9964	0.9959	0.9305	0.9931	0.9883
	1.4m	0.9998	0.9975	0.9954	0.9941	0.8801	0.9931	0.9883
	1.5m	0.9996	0.9983	0.9966	0.9944	0.4504	0.9931	0.9883

○ 지하수 염분의 상승으로 인한 표층 염농도 예측식 도출

■ 지하수 염분의 상승으로 인한 표층 염농도 예측식은 다음과 같은 형태로 도출됨

$$EC_{2,t} = EC_{gw,0}(Dt^2 + Et)$$

$EC_{2,t}$ = t시간 이후의 표층 염농도 (dS/m)

$EC_{gw,0}$ = 지하수 염농도 (dS/m)

t = 관측 시로부터 시간 (hr)

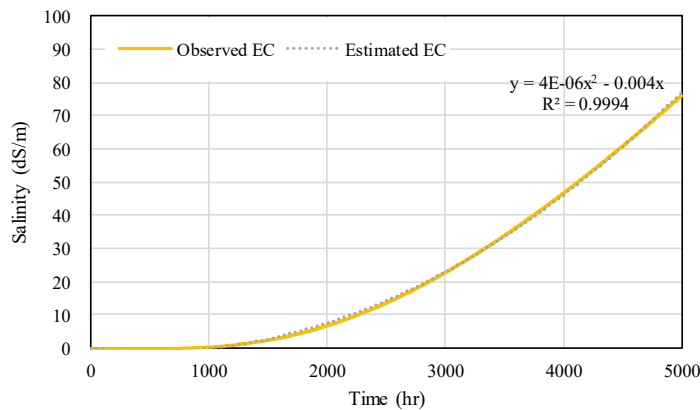
D, E = 계수

- 표층 함수비에 따른 지하수위별 예측식의 R²는 다음 표와 같이 산정됨

<표 4-4> 지하수위, 표층 함수비에 따른 예측식의 R²값

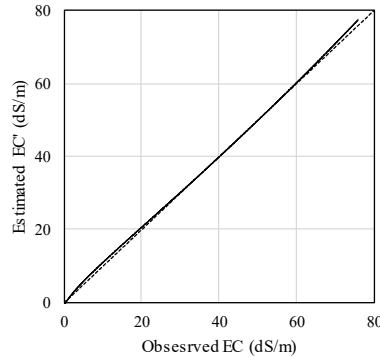
R ²		표층 함수비						
		10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
지하수위	0.5m	0.9994	0.9978	0.9969	0.9952	0.9914	0.9911	-
	0.6m	0.9985	0.9966	0.9940	0.9921	0.9913	0.9953	-
	0.7m	0.9976	0.9949	0.9930	0.9929	0.9955	0.9988	-
	0.8m	0.9972	0.9949	0.9950	0.9971	0.9989	0.9831	-
	0.9m	0.9973	0.9963	0.9982	0.9990	0.9935	-	-
	1m	0.9977	0.9981	0.9994	0.9253	0.6957	-	-
	1.1m	0.9983	0.9994	0.9966	0.9816	0.9522	-	-
	1.2m	0.9988	0.9998	0.9895	0.9623	-	-	-
	1.3m	0.9991	0.9992	0.9787	0.9341	-	-	-
	1.4m	0.9994	0.9978	0.9618	0.8612	-	-	-
	1.5m	0.9995	0.9965	-	-	-	-	-

- 지하수위 1m, 표층 함수비 20%에서 시간에 따른 모델링 결과와 예측식값은 다음과 같음



<그림 4-18> 모델링 결과와 예측식 적용 결과의 비교 - 지하수 상승

- 상기 조건에서의 예측식을 검증하기 위하여 모델링 결과 표층 염농도와 예측식값을 1:1로 비교하면 다음과 같으며, R^2 는 0.9994으로 나타남



<그림 4-19> 모델링 결과와 예측식 적용 결과의 비교 - 지하수 상승 (P-P plot)

○ 초기 토양 염분 및 지하수 염분의 상승을 고려한 표층 염농도 예측식 도출

- 초기 토양 염분 및 지하수 염분의 상승을 고려한 표층 염농도 예측식은 다음과 같이 도출됨

$$EC_t = EC_{1,t} + EC_{2,t} = EC_{soil,0} \times \left(1 + \frac{At}{1 + Bt^C}\right) + EC_{gw,0}(Dt^2 + Et)$$

EC_t = t시간 이후의 표층 염농도 (dS/m)

$EC_{1,t}$ = t시간 이후의 초기 토양 염분 상승으로 인한 표층 염농도 (dS/m)

$EC_{2,t}$ = t시간 이후의 지하수 염분 상승으로 인한 표층 염농도 (dS/m)

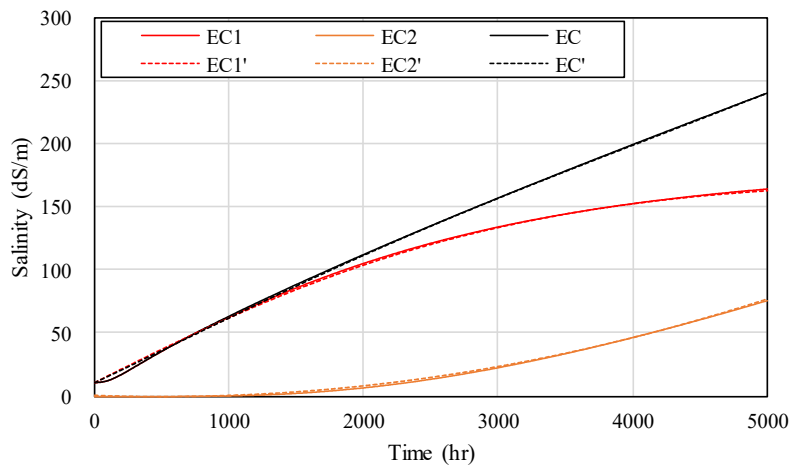
$EC_{soil,0}$ = 초기 표층 염농도 (dS/m)

$EC_{gw,0}$ = 지하수 염농도 (dS/m)

t = 관측 시로부터 시간 (hr)

A, B, C, D, E = 계수

- 지하수위 1m, 표층 함수비 20%에서 시간에 따른 모델링 결과와 예측식 값은 다음과 같음



<그림 4-20> 모델링 결과와 예측식 적용 결과의 비교 - 전체

- 표층 함수비, 지하수위 별 예측식의 계수는 다음 표와 같음

<표 4-5> 표층 함수비, 지하수위 별 예측식 계수

지하수위	표층 함수비	A	B	C	D	E
0.5m	10%	0.05382	0.00406	1.07199	3E-06	0.1516
	15%	0.05681	0.00267	1.09220	1E-05	0.2250
	20%	0.05142	0.00150	1.12390	1E-05	0.1883
	25%	0.04301	0.00086	1.15806	2E-05	0.1728
	30%	0.03015	0.00047	1.19492	3E-05	0.1670
	35%	0.01051	0.00013	1.27788	9E-06	0.0271
	40%	-0.03679	0.03307	1.01200	-	-
0.6m	10%	0.03407	0.00151	1.10828	4E-06	0.0911
	15%	0.03400	0.00080	1.14712	8E-06	0.0980
	20%	0.02740	0.00026	1.22936	1E-05	0.0888
	25%	0.02255	0.00013	1.28443	2E-05	0.0670
	30%	0.01422	0.00006	1.34439	1E-05	0.0297
	35%	0.00321	0.00003	1.36591	3E-06	-0.0001
	40%	-0.03679	0.03307	1.01200	-	-
0.7m	10%	0.02308	0.00065	1.13870	4E-06	0.0535
	15%	0.02011	0.00018	1.23748	8E-06	0.0481
	20%	0.01730	0.00005	1.33867	1E-05	0.0345
	25%	0.01308	0.00002	1.44384	1E-05	0.0152
	30%	0.00731	0.00001	1.49209	9E-06	-0.0009
	35%	0.00063	0.00000	1.52642	4E-07	-0.0005
	40%	-0.03679	0.03307	1.01200	-	-
0.8m	10%	0.01654	0.00035	1.15258	4E-06	0.0304
	15%	0.01374	0.00006	1.30272	7E-06	0.0207
	20%	0.01091	0.00001	1.50480	1E-05	0.0068
	25%	0.00801	0.00000	1.62199	9E-06	-0.0035
	30%	0.00404	0.00000	1.49925	4E-06	-0.0046
	35%	-0.07308	0.12000	1.09000	4E-08	-0.0001
	40%	-0.03679	0.03307	1.01200	-	-
0.9m	10%	0.01238	0.00025	1.14168	3E-06	0.0167
	15%	0.00968	0.00002	1.36644	6E-06	0.0069
	20%	0.00739	0.00000	1.68641	7E-06	-0.0028
	25%	0.00517	0.00000	1.76129	5E-06	-0.0058
	30%	0.00297	0.00164	0.78019	1E-06	-0.0022
	35%	-1.67090	17.87740	0.74540	-	-
	40%	-0.03679	0.03307	1.01200	-	-

1m	10%	0.00956	0.00023	1.11023	6E-06	0.0034
	15%	0.00745	0.00001	1.35348	4E-06	0.0014
	20%	0.00538	0.00000	1.78063	4E-06	-0.004
	25%	0.00369	0.00000	1.45239	2E-06	-0.0049
	30%	0.00164	0.00177	0.74442	2E-08	-5E-05
	35%	-1.67090	17.87739	0.74540	-	-
	40%	-0.03679	0.03307	1.01200	-	-
1.1m	10%	0.00747	0.00023	1.07299	2E-06	0.0049
	15%	0.00508	0.00000	1.57778	3E-06	-0.0010
	20%	0.00363	0.00000	1.30879	2E-06	-0.0030
	25%	0.00239	0.00000	1.63833	8E-07	-0.0016
	30%	0.00101	0.01001	0.55661	8E-08	-0.0002
	35%	-1.67090	17.87739	0.74540	-	-
	40%	-0.03679	0.03307	1.01200	-	-
1.2m	10%	0.00594	0.00027	1.02366	1E-06	0.0027
	15%	0.00379	0.00000	1.74180	2E-06	-0.0012
	20%	0.00274	0.00000	1.94701	9E-07	-0.0016
	25%	0.12176	32.19028	0.11627	3E-07	-0.0006
	30%	0.05948	52.88904	0.17593	-	-
	35%	-1.67090	17.87739	0.74540	-	-
	40%	-0.03679	0.03307	1.01200	-	-
1.3m	10%	0.00465	0.00023	1.01470	9E-07	0.0015
	15%	0.00289	0.00000	1.75986	9E-07	-0.0010
	20%	0.00201	0.00000	1.39626	4E-07	-0.0008
	25%	0.27221	138.11751	0.07782	8E-08	-0.0002
	30%	0.01052	116.77829	-0.02805	-	-
	35%	-1.67090	17.87739	0.74540	-	-
	40%	-0.03679	0.03307	1.01200	-	-
1.4m	10%	0.00363	0.00015	1.03146	6E-07	0.0009
	15%	0.00221	0.00000	1.68323	5E-07	-0.0007
	20%	0.00160	0.37247	-0.15991	2E-07	-0.0003
	25%	0.17434	167.82131	0.03981	2E-08	-5E-05
	30%	0.00001	4.00000	-8.42062	-	-
	35%	-1.67090	17.87739	0.74540	-	-
	40%	-0.03679	0.03307	1.01200	-	-
1.5m	10%	0.00320	0.00082	0.83406	4E-07	0.0005
	15%	0.00181	0.00000	1.80845	3E-07	-0.0004
	20%	0.04534	36.03572	0.00299	-	-
	25%	0.35151	384.54492	0.06003	-	-
	30%	-0.00005	-72.31733	-1.10000	-	-
	35%	-1.67090	17.87739	0.74540	-	-
	40%	-0.03679	0.03307	1.01200	-	-

제 4 절 표층 염농도 예측식의 현장 적용성 검증

1. 표층 염농도 예측식의 현장 적용성 검증 방법

○ 현장 적용성 검증 방법

■ 현장 조건

- 시화지구 17/03/14, 17/04/20, 17/05/29, 17/06/09의 함수비, 염농도 실내시험 자료를 이용
- 샘플링 시 공간적 편차를 최소화하기 위하여 각 시점별 함수비 및 염농도 평균값 이용
- 해당 기간동안의 일 강수량을 이용 (수원기상대)

<표 4-6> 표층 염농도 예측식 적용성 평가 - 현장 조건

	17.03.14	17.04.20	17.05.29	17.06.09
위치	시화지구 일대 (37° 11' 49"N 126° 38' 52"E)			
평균 함수비 (dS/m)	22.64	22.89	20.55	21.86
평균 염농도 (dS/m)	53.37	70.17	63.83	82.89
염농도 증감 (dS/m)	+16.80	-6.35	+19.07	



<그림 4-21> 표층 염농도 예측식 적용성 평가 - 현장 전경

■ 가정 조건

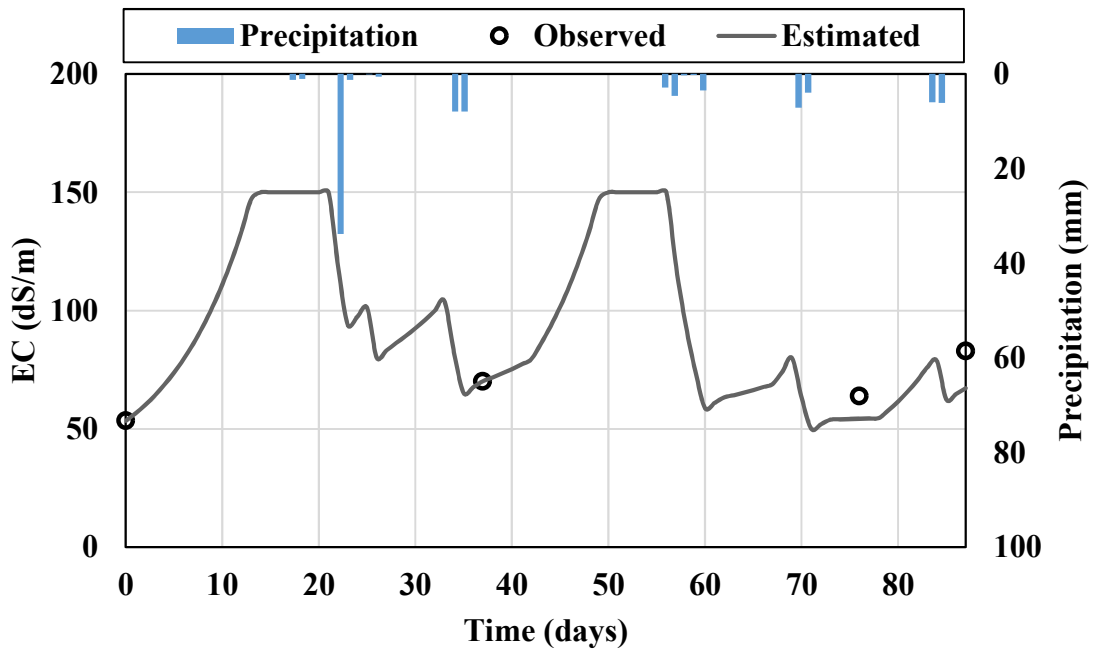
- 지하수위는 한국농어촌공사(2008)을 참조하여 표층 하부 1m에 위치하는 것으로 가정
- 표층 함수비는 현장 관측자료의 함수비 범위를 고려하여 상, 하한값을 각각 35%, 15%로 설정함
- 표층 염농도는 현장 관측자료의 염농도 범위를 고려하여 상한값을 150dS/m로 설정함
- 일 강수량 1mm 당 표층 함수비가 2% 증가하고, 강수가 없는 경우 증발로 인한 함수비의 감소량을 함수비 30~40%에서 3.5%, 20~30%에서 1.1%, 15~20%에서 0.1%로 적용

2. 현장 적용성 검증 결과

○ 표층 염농도 예측식의 현장 적용성 검증 결과

■ 표층 염농도 예측식의 현장 적용 결과는 다음과 같음

- 기간 내 강수량과 실측 표층 염농도, 예측식을 통하여 산정된 표층 염농도는 다음과 같음



<그림 4-22> 표층 염농도 예측식의 현장 적용성 검증 결과

- 실측값과 예측값을 비교하면 다음 표와 같음

- 87일간의 실측 및 예측값을 비교한 결과 시간이 경과함에 따라 오차가 커지는 것으로 나타났으며, 이는 직전일의 표층 염분값을 토대로 계산되므로 오차가 누적되어 발생한 결과로 판단됨

<표 4-7> 표층 염농도 예측식 적용성 검증 결과

	17.03.14	17.04.20	17.05.29	17.06.09
평균 함수비 (dS/m)	22.64	22.89	20.55	21.86
평균 염농도 (dS/m)	53.37	70.17	63.83	82.89
예측값 (dS/m)	-	70.17	54.26	67.15
오차 (%)	-	0.0009	-14.99	-18.99

제 5 장 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 간척지 토양 특성 평가 (실내)

제 1 절 디지털 이미지 프로세싱 기법

1. 개요

○ 디지털 이미지 프로세싱(Digital Image Processing, DIP) 기법

- 디지털 카메라와 같은 디지털 이미지 획득 장치를 통하여 획득되었거나 컴퓨터를 이용하여 생성된 영상을 목적에 맞게 처리하는 일련의 과정으로 정의
- 넓은 의미에서 컴퓨터를 이용한 영상의 생성 및 처리, 해석, 인식, 전송 기술까지 포함
- 생물학, 군사학, 문서 처리, 공장 자동화, 의학, 원격 탐사 분야 등에서 폭 넓게 사용
- 디지털 영상은 잡음에 강하고, 고화질화가 가능하며 소형화할 수 있고 저렴한 비용으로 획득할 수 있으며 아날로그 이미지에 비해 데이터 처리가 용이하여 다양한 변형, 분석 및 기능을 활용할 수 있는 장점이 있음

2. 컬러 모델

○ 컬러 모델

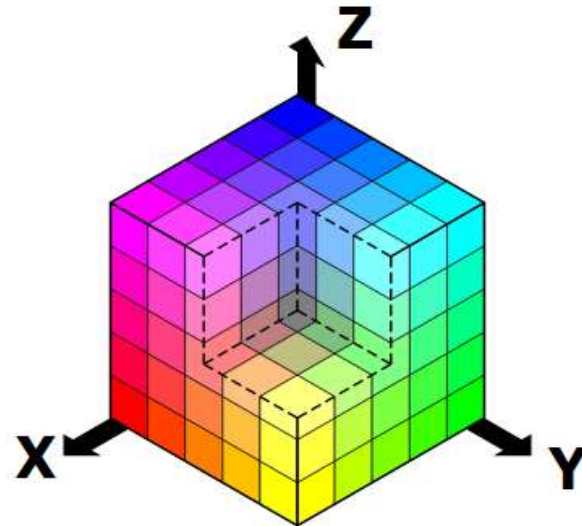
- 컬러 공간(color space) 또는 컬러 다이어그램이라고 하며 컴퓨터로 인지할 수 있는 모형을 의미
- 빛의 기본 성분인 적색(Red), 초록(Green), 그리고 청색(Blue)을 서로 다른 비율로 결합하여 생성되는 다양한 범위의 컬러를 사용

○ RGB 컬러모델

- 적색, 초록, 청색의 가산혼합에 의해서 컬러가 생성되도록 하는 모델
- 컬러 모니터와 컬러 비디오 카메라 등을 위한 디지털 이미지 분석 기술에서 가장 보편적으로 사용됨
- 빛의 삼원색을 이용하여 색을 표현하는 방식으로 R, G, B 세 종류의 광원을 이용하여 색을 혼합할수록 밝아지기 때문에 가산혼합이라고 함
- 검정색은 정육면체의 원점, 흰색은 입방체의 반대 끝에 위치하며 명암도는 검정에서

흰색으로 연결되는 대각선을 따라 표현할 수 있으며 다양한 색상과 명암의 표현이 가능

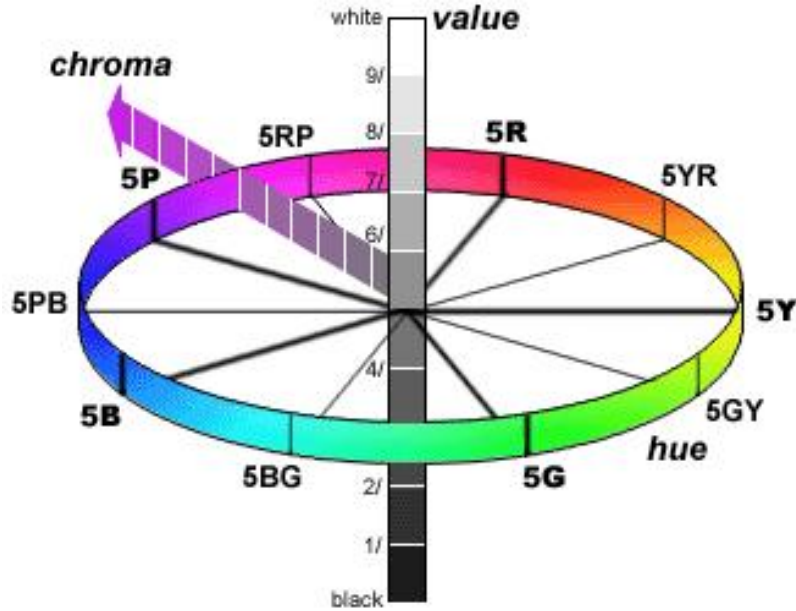
- 컴퓨터 그래픽스 시스템을 설계 하는데 사용이 용이한 반면, RGB 각 요소들의 상호 관계가 크게 작용하는 특성 때문에 영상처리 응용분야의 알고리즘의 개발 등에는 부적합한 측면이 있어 영상처리 응용 알고리즘의 개발에 있어서는 RGB 컬러 모델과 함께 HSI 등의 다른 컬러 모델을 함께 사용



<그림 5-1> RGB 컬러 모델의 개념도

○ 먼셀차트

- 미국의 화가 먼셀이 1905년에 고안
- 5가지 기본 색상 R(Red, 빨강), Y(Yellow, 노랑), G(Green, 초록), B(Blue, 파랑), P(Purple, 보라)와 각각의 사이에 중간 색상 YR(Yellow Red, 주황), GY(Green Yellow, 연두), BG(Blue Green, 청록), PB(Purple Blue, 남색), RP(Red Purple, 자주)를 정해 10가지 색상을 기본으로 함
- 10개의 주 색상들은 다시 각각 10개의 색상 단계로 등분되어 100색상을 전체 색상의 범위로 함
- 명도는 무채색을 기준으로 해서 이상적인 검은색을 0, 이상적인 흰색을 10으로 하고, 그 사이를 밝기의 감각차가 시각적으로 등간격이 되도록 9단계의 무채색으로 분할해서 총 11단계로 나타냄
- 채도는 색상과 명도가 일정한 배열에 있어서 색깔이 없는 무채색을 0으로 기준하여 색의 순도에 따라 채도 값을 1-14단계로 표기하며, 그 색상에서 가장 순수한 색의 채도값을 최대로 함

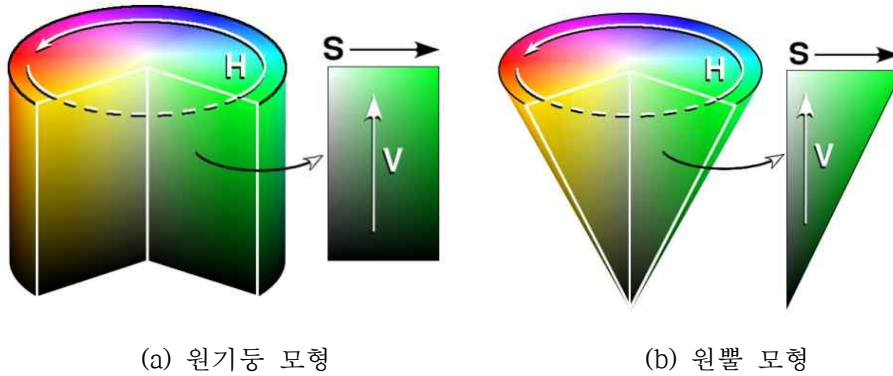


<그림 5-2> Munsell 컬러 모델의 개념도

○ HSI 컬러모델

- 인간의 시각 시스템과 유사한 모델로 색상(H), 채도(S) 명도(I)의 기본 성분으로 구성
- 색상은 해당 색의 원색을 의미하며 채도와 명도의 조절을 통해 다양한 색의 생성이 가능
- 채도가 0이라면 최종 컬러는 흰색 빛(white light)만으로 된 색을 의미하며, 채도가 255라면 이는 최종 컬러에 흰색 빛이 전혀 가산되지 않았다는 것을 의미
- 다양한 영상처리 응용프로그램에 사용되고 있으며, 히스토그램 연산, 명도의 변환, 회선과 같은 분야에 적절하게 사용
- HSV색 공간은 색상(Hue), 채도(Saturation), 진하기(Value)의 좌표를 써서 특정한 색을 지정
- 파장이 긴 빨강을 0°로 하였을 때 상대적인 배치 각도를 통해 색상 차이를 표현하며 0° ~ 360°의 범위를 갖고 360°와 0°는 모두 빨강 색상을 가리킴
- 채도(Saturation)은 특정한 색상의 가장 진한 상태를 100%로 하였을 때 진하기의 정도를 나타내어 채도값 0은 같은 명도의 무채색을 의미
- 진하기(Value)는 흰색, 빨간색 등을 100%, 검은색을 0%로 하였을 때 진하기의 정도를 나타냄
- 원기둥 모형에서는 색상값이 각도로 표현되어 수평 단면의 어느 방향에 위치하는지를 지정하며, 채도는 반지름, 진하기는 높이에 해당

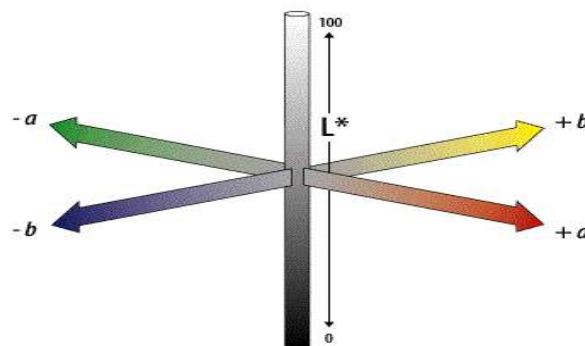
- 원뿔모형은 원기둥 모형을 보다 현실적으로 수정한 것으로 진하기 0%는 오직 검정을 의미하기 때문에 단 하나의 점으로 표현되며 원뿔의 꼭짓점에 해당



<그림 5-3> HSV 컬러 모델의 개념도

■ CIELab 컬러모델

- CIE가 1976년에 제안한 색채모형
- 색의 전자적 또는광전자적 측정을 요구하며, 높은 색 제어(자동차나 도료와 같은)를 필요로 하는 인쇄나 이미지 산업 및 제조업에서 광범위하게 사용
- 색의 위치는 R, G, B 원추체(cones)에 주어진 비례 자극으로부터 계산되어, 하나의 명도차원(L*)과 두개의 수직적인 색상차원으로 수직적으로 변환
- CIELAB는 시각적 보색(visual complementary colors)을 나타내는데, 보색은 색회전판(color top) 위에서 회전시킴으로써 시각적으로 섞인 빛이나 표면색의 혼합으로 정의
- 색차와 색허용도(color tolerances) 를 정의하는 데 매우 유용하며, 자동화 또는 전자 색채 관리 체계를 집중적으로 구현한 덕분에 현재 전 세계적으로 사실상의 색채 측정 표준으로 여겨짐



<그림 5-4> CIELab 컬러 모델의 개념도

3. 디지털 이미지의 데이터 및 처리

○ 디지털 이미지가 포함하는 데이터

- 컴퓨터가 관독할 수 있도록 디지털화된 이미지를 일컬으며, 2차원 함수 $f(x,y)$ 로 정의
- 아주 작은 사각형인 픽셀 단위로 이루어져 있으며, 각 픽셀의 위치는 공간 좌표값 (x, y) 로, 그 위치에 해당하는 영상의 색상은 f 로 정의
- RGB색 공간에서 영상의 색상 f 는 RGB(Red, Green, Blue)의 세 가지 색상의 조합으로 표현
- 8비트(bit) 컬러 깊이(color depth)에서는 Red, Green, Blue가 각각 $2^8 = 256$ 개의 진하고 연한 색상으로 나뉘게 되며 한 픽셀은 24비트(bit)로써 $2^8 \times 2^8 \times 2^8 \approx 1670$ 만 종류의 색 정보를 가질 수 있음
- 교환 이미지 파일 형식은 이미지 자체에 대한 정보뿐만 아니라 촬영 당시의 관련 정보를 저장하며 특히 위성항법장치(GPS) 수신기에서 오는 위치 정보 등을 카메라 연결하거나 카메라 자체에 위성항법장치가 포함된 경우 촬영 당시의 위치 정보 또한 포함이 가능

○ 디지털 이미지 프로세싱을 이용한 영상의 처리

- 대수적 처리 방법은 영상의 기본 요소인 화소의 값 또는 화소들의 집합 형태인 행렬을 기반으로 영상을 수행하는 방법을 의미하며 포인트 처리와 영역 처리, 프레임 처리 등으로 구분
- 포인트 처리 (point process) : 개별적인 화소에 기반을 둔 처리방법
- 영역 처리 (area process) : 화소들의 집합 형태인 영역 혹은 행렬에 기반을 둔 처리방법
- 프레임 처리 (frame process) : 두 개 이상의 서로 다른 영상을 이용하여 영상을 처리하는 방법
- 대수적 연산은 다양한 형태의 영상 데이터에 대하여 적용 가능한 기본적인 연산으로 산술연산(arithmetic operation) 및 불리언 연산(boolean operation) 등이 이에 해당
- 산술연산은 덧셈, 뺄셈, 나눗셈 그리고 곱셈 연산 등을 포함하는 연산이며 영상의 특정 화소 값에 임의의 값을 더하거나 빼는 경우 기존 영상의 밝기 값을 더 밝게 하거나 어둡게 조절하는 결과를 얻을 수 있음
- 상용 프로그램을 이용한 디지털 영상 처리는 상용 프로그램에서 제공하는 단편적인 기능 뿐만을 이용 가능하기 때문에 특정 연구 목적으로 사용하기에는 어려움이 있음

- 본 연구에서는 컴퓨터 프로그래밍 언어(Java)를 이용하여 디지털 이미지 처리 및 분석을 시행하였으며 대표적인 디지털 영상 처리 소스코드는 다음 그림과 같음

```

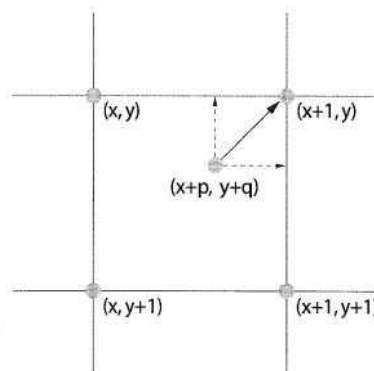
1 package dip;
2 import java.awt.image.BufferedImage;
3
4 public class UAVDIP {
5
6     public static void main(String[] args) throws IOException {
7         PrintWriter pw = null;
8         try {
9             File file = new File(
10                 "C:\\Users\\rizeal\\Desktop\\151007#P#S#DIP\\w#3\\output\\DIP.txt");
11             pw = new PrintWriter(file);
12
13             for (int i = 1; i < 9; ++i) { // 8*8*8*8 for 8
14
15                 File f = new File(
16                     "C:\\Users\\rizeal\\Desktop\\151007#P#S#DIP\\w#3\\output\\00"
17                         + i + ".jpg");
18                 if (!f.exists()) {
19                     System.out.printf("File is not found.\n", f.getName());
20                     continue;
21                 }
22                 BufferedImage ori_img = ImageIO.read(f); // 8*8*8*8
23                 // 8*8*8*8
24                 // 8*8*8*8
25                 // 8*8*8*8
26                 BufferedImage sub_img = ori_img.getSubimage(101, 401, 300, 300);
27
28             }
29         } catch (IOException e) {
30             e.printStackTrace();
31         }
32     }
33 }

```

<그림 5-5> 프로그래밍 언어(JAVA)를 이용한 디지털 이미지 해석 코드

○ 영상의 기하학적 변환

- 픽셀 값의 보간은 대표적인 세 가지 방법으로 최단 입점 보간, 쌍선형 보간, 쌍입방 보간을 사용함
- 최단 입점 보간(Nearest neighbor interpolation) : 가장 가까운 원본 픽셀을 선택하는 방법
 - <그림 5-6>에서 (x, y) 좌표는 정수 값으로 주어지는 입력 영상의 픽셀 위치이고, p 와 q는 0에서 1 사이의 실수값을 가지며 픽셀 값을 가지지 않은 (x+p, y+q)의 위치에 해당하는 입력 영상에서의 픽셀 값을 구할 때 사용되는 방법



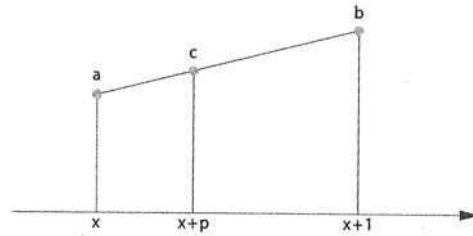
<그림 5-6> 최단 입점 보간법 (Lee, 2013)

- 쌍선형 보간(Bilinear interpolation) : 정확한 변환이 이루어지지 않는 문제를 가진 최단 입점 보간의 문제를 해결하기 위하여 값을 구하려는 위치 주변의 여러 픽셀 값을 사용하여 이들을

소수점 단위 위치에 따라 조합한 값을 구하는 방법

- 선형 보간은 다음과 같은 식으로 나타남

$$c = (b - a) \times p + a = (1 - p) \times a + p \times b$$



<그림 5-7> 쌍선형 보간법 (Lee, 2013)

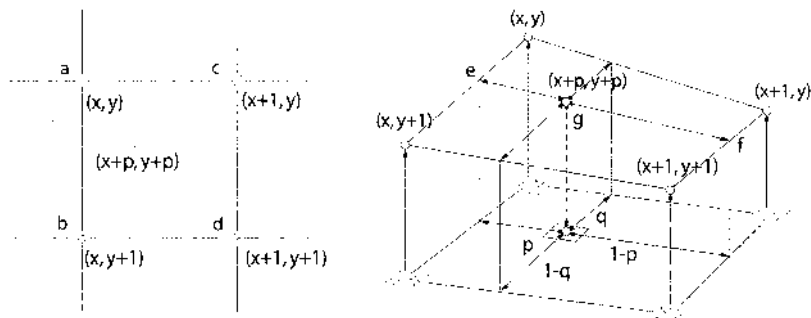
- <그림 5-7>에서 x는 정수 값을 가지는 픽셀 좌표에 해당하고 a와 b 값은 각각 x와 x+1 위치의 픽셀 값에 해당함
- 쌍선형 보간은 선형보간을 2차원으로 확대한 것으로 다음과 같은 식으로 나타남

$$e = (1 - q) \times a + q \times b$$

$$f = (1 - q) \times c + q \times d$$

$$g = (1 - p) \times e + p \times f$$

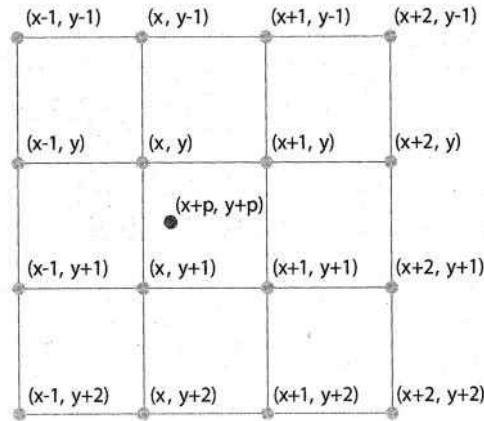
$$= (1 - p)(1 - q) \times a + (1 - p)q \times b + p(1 - q) \times c + pq \times d$$



<그림 5-8> 선형보간법의 2차원 확장 (Lee, 2013)

- 정수 값 좌표 (x, y)와 인접한 정수 좌표들에 해당하는 픽셀 값을 그림과 같이 각각 a, b, c, d라고 하면 보간을 수행할 좌표 (x+p, y+q)에서 각각 p와 q는 0과 1 사이의 실수
- 목표 위치 (x+p, y+q)의 값이 이를 둘러싼 네 점에 위치에 따른 가중치가 붙은 조합으로 구해 짐
- 최단 입점 보간과 비교하여 격자 효과(블록 현상)가 사라짐

- 쌍입방 보간(Bicubic interpolation) : 기본적인 영상 보간 기법 중 가장 성능이 좋다고 알려진 방법
 - 입방 회선 보간과 같이 16개의 정수 좌표 픽셀을 이용하는 방법
 - 소수점 위치 좌표 (x+p, y+q)를 둘러싼 네 정수 좌표 (x, y), (x+1, y), (x, y+1), (x+1, y+1) 내부의 영역을 곡면으로 보간



<그림 5-9> 쌍입방 보간법 (Lee, 2013)

- 쌍입방 보간은 다음 수식과 같이 p, q에 대한 3차 다항식으로 나타남

$$I(x+p, y+q) = f(p, q) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} p^i q^j$$

- 위 식은 p와 q의 세제곱까지 조합한 총 16항의 합을 구하는 것으로, 쌍입방 보간의 주된 문제는 16개의 계수인 a_{ij} 값을 찾아내는 것
- 16개 변수에 대한 연립 방정식을 푸는 것은 16×16 크기 행렬의 역행렬을 구하는 것에 해당하는데, 픽셀 하나에 대한 보간을 할 때마다 이러한 역행렬을 계산하는 것은 연산이 많으므로 미분을 이용하여 보다 효율적으로 계수를 구하는 방법을 사용
- 앞에 나타낸 다항식에 <그림 5-9>의 네 픽셀 $I(x, y)$, $I(x+1, y)$, $I(x, y+1)$, $I(x+1, y+1)$ 을 대입하면 다음과 같이 네 개의 식을 얻을 수 있으며 네 점에서의 x축 방향, y축 방향 미분값을 대입하면 다음 여덟 개의 식을 얻을 수 있고 네 점의 대각선 방향 미분값을 대입하면 총 16개의 식을 얻을 수 있음
- 본 연구에서는 가장 높은 품질을 얻을 수 있는 쌍입방 보간을 이용해 디지털이미지를 확대 또는 축소하여 이용

4. 이미지 획득 및 분석 방법

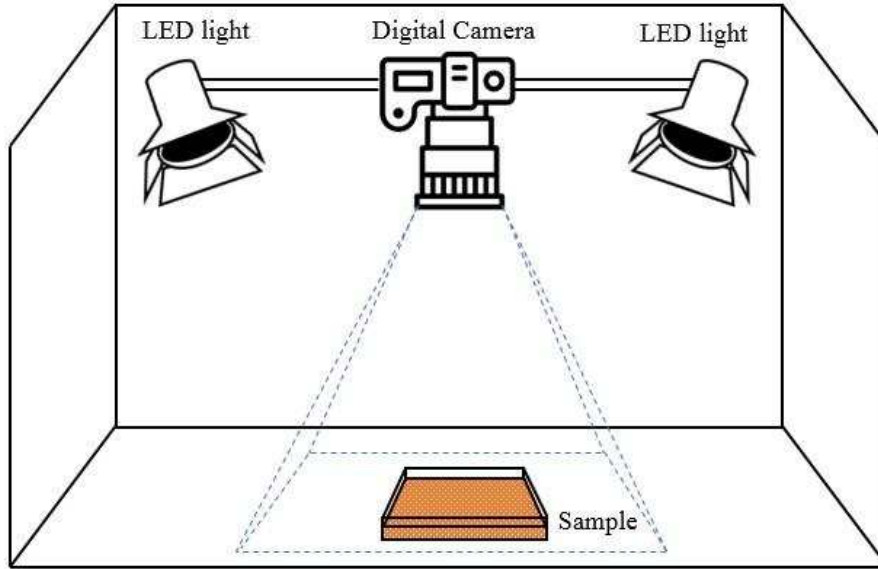
○ 이미지 획득 방법

- 디지털 이미지 획득장치는 캐논사에서 제작한 DSLR 카메라 EOS 100D를 사용

<표 5-1> 캐논 EOS 100D의 스펙

종류	종류	플래시가 장착된 디지털 일안 반사식 AF/AE 카메라
	기록 매체	SD 메모리 카드, SDHC 메모리 카드, SDXC 메모리 카드 등
	이미지 센서 크기	약 22.3 x 14.9 mm
	렌즈 마운트	캐논 EF 마운트
이미지 센서	종류	CMOS 센서
	유효 화소수	약 1800만 화소
	화면 비율	3:2
기록 시스템	기록 종류	카메라 파일 시스템(DCF) 2.0용 설계 규약
	이미지 종류	JPEG, RAW (RAW+JPEG Large 동시 가능)
	기록된 화소수	L (Large) : 약 1790만 화소(5184 x 3456) RAW : 약 1790만 화소(5184 x 3456)
촬영 중 이미지 프로세싱	화이트 밸런스	자동, 사전 설정(태양광, 그늘, 흐림, 텅스텐 광, 백색 형광 등, 플래시), 사용자 정의
	노이즈 감소	장시간 노출 및 고감도 ISO 촬영에 적합
	이미지 밝기 자동 보정	자동 밝기 최적화 기능
	렌즈 수차 보정	주변 조도 보정, 색수차 보정
자동 초점	종류	TTL 보조 이미지 등록, 위상차 검출 방식
	AF 포인트	9-point AF (중앙 포인트: 크로스 타입 및 f/2.8에 민감한 수직 라인)
	포커싱 밝기 범위	EV -0.5 - 18 (실내 온도에서 중앙 AF 포인트, ISO 100)
	AF 작동	One-Shot AF, AI Servo AF, AI Focus AF
	AF 보조광	내장 플래시에 의한 연속적인 점멸
노출 제어	측광 모드	63분할 TTL 풀 조리개 측광 · 평가 측광 (모든 AF 포인트에 연동) · 부분 측광 (중앙에서 뷰파인더의 약 9%) · 스팟 측광 (중앙에서 뷰파인더의 약 4%) · 중앙 중점 평균 측광
	측광 밝기 범위	EV 1 - 20 (실내 온도에서 EF50mm f/1.8 II 렌즈, ISO 100)
	ISO 감도	ISO에 설정 가능한 최대 ISO 감도, 자동 또는 "H"(ISO 25600에 해당)로 ISO 감도 확장
	셔터	전자 제어식 포컬 플레인 셔터
셔터	셔터 속도	1/4000초에서 30초 (전체 셔터 스피드 범위. 가능한 범위는 촬영 모드에 따라 다릅니다.), 벌브, X 싱크(1/200 초)

- <그림 5-10>과 같은 소규모 스튜디오를 구성



<그림 5-10> 디지털 이미지 획득을 위한 실내 스튜디오 개념도



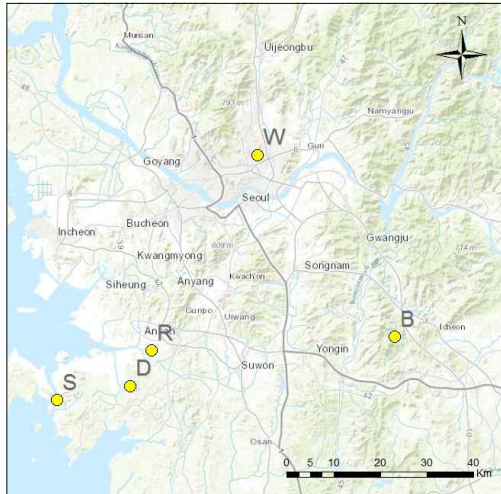
<그림 5-11> 디지털 이미지 획득을 위한 실내 스튜디오

- 카메라의 움직임과 위치 변화를 최소화하기 위해 스튜디오 상단에 철제 빔을 이용해 고정
- 동일한 광 환경을 조성하기 위해 LED 조명 2개를 이용

- 조명의 위치와 각도는 시료 부위에 그림자가 최소화되고 시료 위치에 광원이 일정하게 도달할 수 있는 조건을 조도계를 이용해 결정
 - 주변 빛의 영향을 차단하고 조명에 의한 빛의 산란, 반사 등을 균일하게 하기 위해 뒷면과 옆면에 각각 반사도가 낮은 무광 흰색 판을 배치
 - 대상 시료는 중심부에 위치
- 간척지 토양의 구분 가능성을 확인하기 위해 총 7 종류의 시료 사용
- 간척지 토양은 시화 지구 토양을 대표 시료(S)로 이용
 - 간척지 토양과 기타 토양과의 분류 가능성을 검증하기 위해 다양한 색상을 지닌 산림 토양 시료를 함께 사용함
 - 갈색(B), 암적색(D), 적색(R), 회갈색(G), 화산회(V) 산림토양을 채취하여 활용
 - 각 색상의 산림 토양은 1:25,000 산림 토양도를 이용하여 현장 방문하여 채취
 - 각 시료의 채취 지점의 위경도 좌표는 표에 나타내었으며 지도상 위치를 그림에 표시함
 - 또한 비교 대상 흙으로 화강풍화토(W)를 사용

<표 5-2> 간척지 토양 및 기타 토양 시료의 채취 지점 (위경도)

Sample	Latitude	Longitude	City
S	37.212331	126.659629	Hwasung
B	37.309404	127.30986	Gwangju
D	37.28844	126.84164	Ansan
R	37.23417	126.80021	Hwasung
G	35.98825	127.63727	Muju
V	33.414417	126.48421	Jeju
W	37.587655	127.045324	Seoul



<그림 5-12> 간척지 토양 및 기타 토양 시료의 채취 지점

- 총 7 종류의 시료는 밀폐 용기에 채취하여 실험실로 옮겨지고 자연(현장) 함수비를 측정
- 색상 값을 분석하기 위해 노건조 시료가 사용되었으며, 유기물과 자갈 등 큰 입자를 제거하기 위해 2.0mm(#10체) 체를 통과
- 준비된 시료를 10cm x 10cm x 2cm 아크릴 몰드에 채우고 상부면을 고르게 하여 촬영



<그림 5-13> 시료의 사진 촬영에 사용된 아크릴 몰드

제 2 절 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 토성 분류

1. 토성에 따른 이미지 특성값 분석

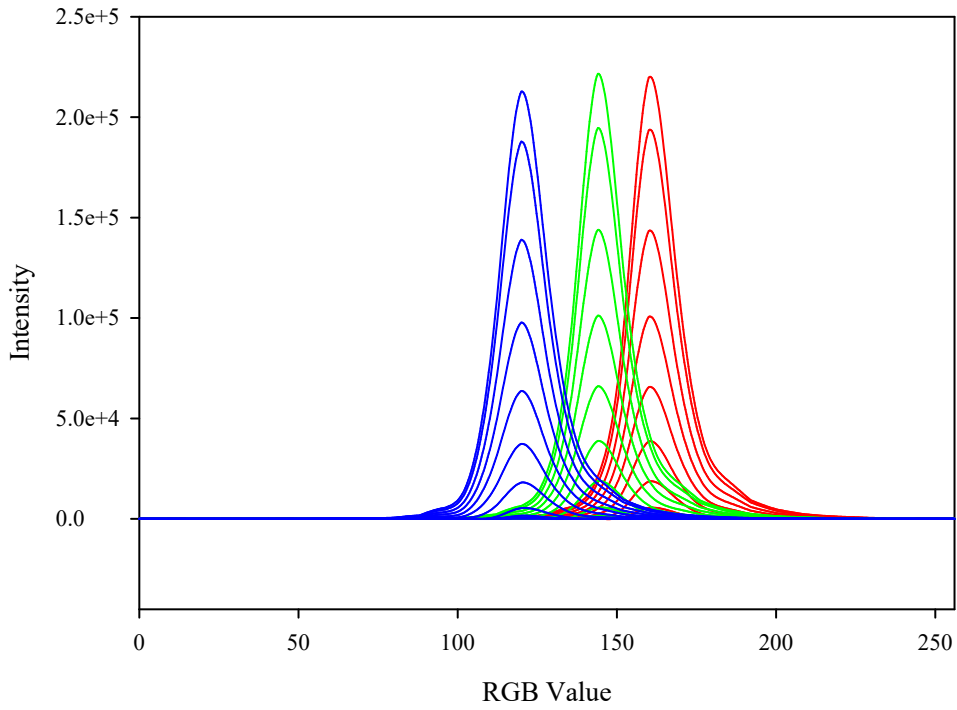
○ 토양 색상값 분석

■ 픽셀별 RGB 데이터 획득

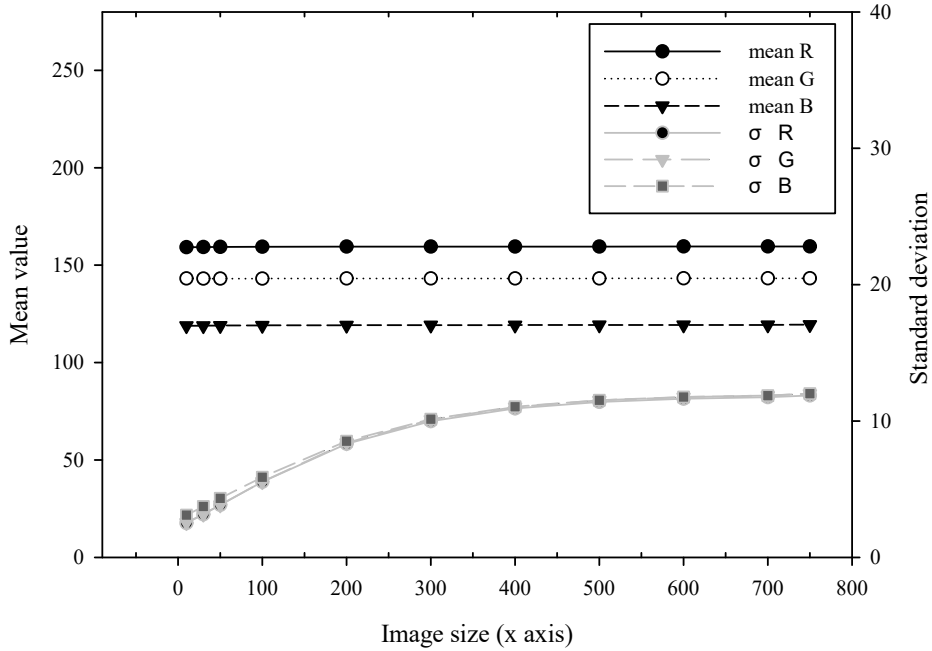
- 관심 영역인 시료 부분만을 남긴 후 나머지 영역은 모두 제거
- 이미지는 750x750 픽셀 크기의 이미지가 되고 이 이미지의 픽셀별 데이터를 획득한 후 분석에 사용
- 픽셀별 RGB 데이터는 JAVA 프로그래밍을 통해 txt 파일로 출력
- 파일에는 픽셀 위치정보(x,y)와 함께 그 위치의 RGB 데이터가 0-255 사이의 값으로 저장

■ 이미지 사이즈에 따른 색상값 분포 변화

- 원시 이미지는 562,500개의 픽셀로 나타나며 시료의 크기가 10cmx10cm이므로 한 픽셀당 실제 크기는 0.133mm
- 이는 데이터의 수가 너무 많아 분석에 비효율적일 수 있으며 입자가 2.0mm 이하인 점을 고려할 때 고해상도 이미지에서는 노이즈 발생이 가능할 수 있음
- 따라서 700×700, 600×600, 500×500, 400×400, 300×300, 200×200, 100×100, 50×50, 30×30, 10×10 등의 크기로 변환한 데이터와 비교하여 최적의 해석 해상도를 선정
- 이미지 크기 변환시에는 고해상도 이미지에서의 잡음을 부드럽게 처리하는데 적합한 쌍입방 보간법을 사용
- 분포의 중심(중심값 또는 평균값)은 이미지 크기에 상관없이 유사하게 나타났으며, 분포의 범위는 이미지 크기가 작아짐에 따라 좁아지는 것으로 나타남
- 표준편차 값은 이미지 크기에 따라 2.5-12.0까지 나타났으며 평균 값은 이미지 크기에 영향이 없는 것으로 나타남
- 각 이미지를 30 x 30 pixel 로 리사이징하여 총 900개의 픽셀을 대상으로 연구



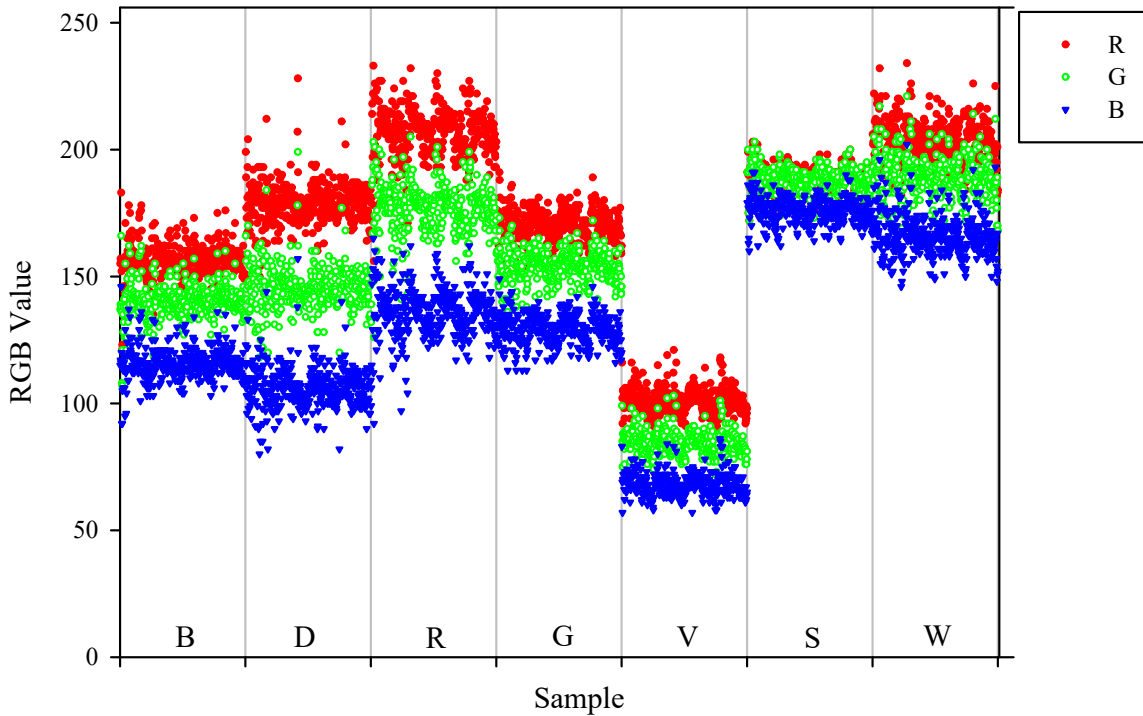
<그림 5-14> 이미지의 해상도에 따른 RGB값 분포



<그림 5-15> 이미지 사이즈에 따른 R, G, B의 평균, 표준편차의 변화

■ 토양에 따른 색상값

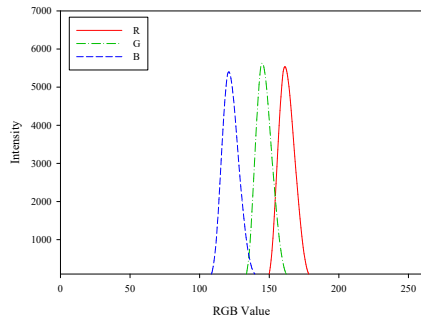
- 각 이미지 픽셀 단위의 RGB 데이터를 획득하고 분석함으로써 각 토양을 분류
- 임의의 지점 400개 픽셀에 대한 RGB 데이터를 각각 도시
- 각 토양별로 RGB 값의 분포 범위가 서로 상이함



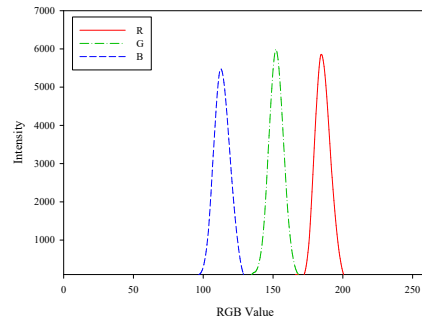
<그림 5-16> 토양 종류 별 이미지의 RGB값 분포

■ 히스토그램 분포

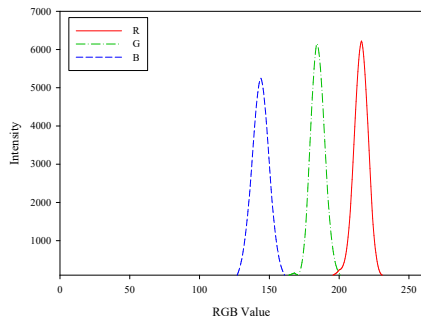
- 간척지 토양(S)은 Red 값과 Green 값의 중앙값이 매우 유사하게 나타나며, Blue 값 또한 다른 흙에 비해 Red, Green 값과 차이가 적게 나타남
- 나머지 토양은 모두 Red 값이 우세하게 나타났으며 Green, Blue 순서로 나타남
- 적색 산림토양(R)과 간척지 토양(S), 풍화토(W)가 다른 토양에 R,G,B의 비해 평균값이 모두 높게(밝게) 나타남



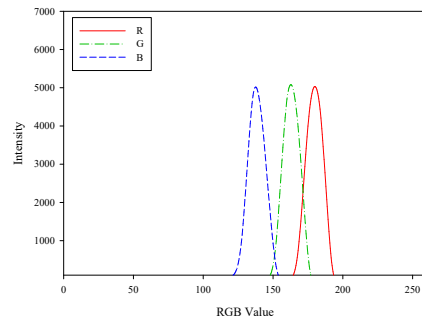
(a) B



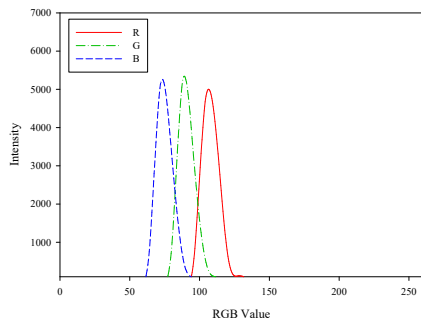
(b) D



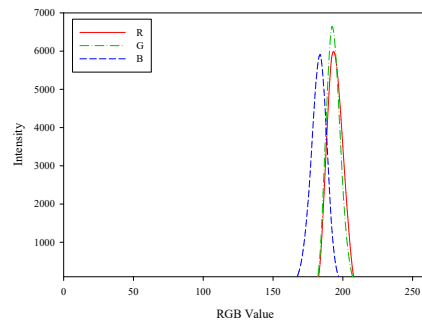
(c) R



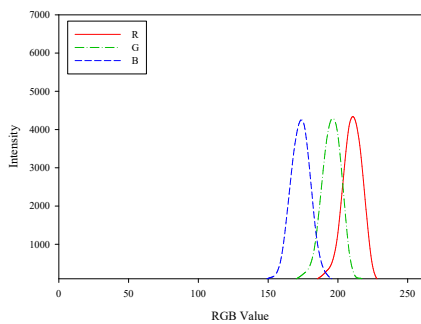
(d) G



(e) V



(f) S



(g) W

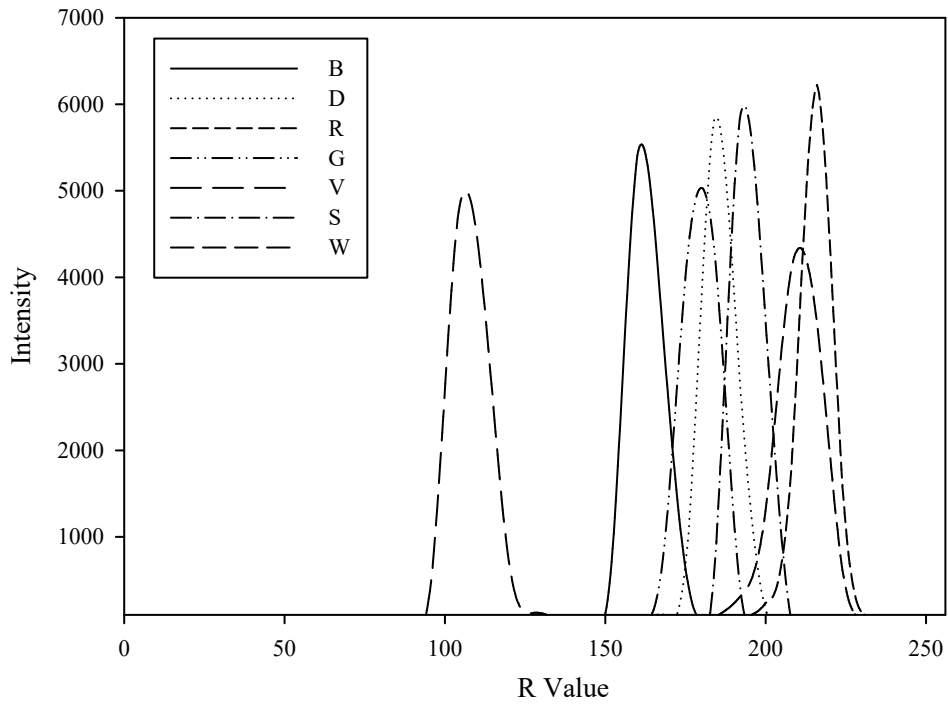
<그림 5-17> 토양 종류 별 이미지의 RGB 히스토그램

<표 5-3> 간척지 토양 및 기타 토양 시료 RGB값의 통계적 특성

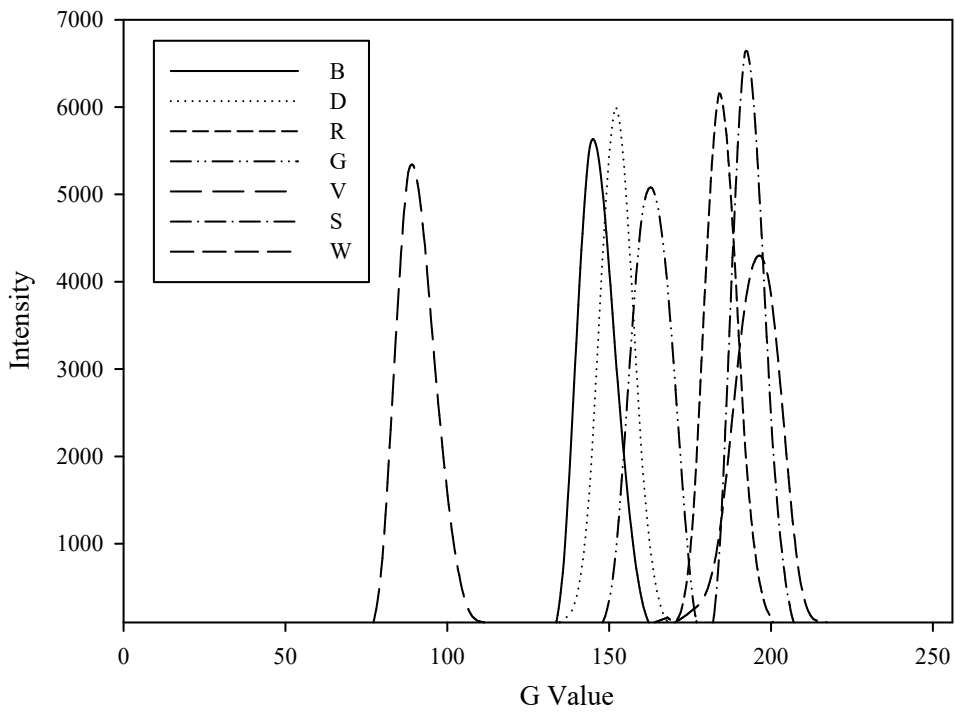
Sample		average	max	min	sta.dev
G	R	159.5	200	121	5.6
	G	143.2	184	107	5.6
	B	119.1	159	92	5.9
D	R	182.0	228	133	5.3
	G	148.8	199	103	5.4
	B	109.9	157	67	5.6
R	R	211.9	238	156	5.6
	G	181.1	208	126	5.5
	B	140.2	168	92	6.0
G	R	176.1	216	133	5.6
	G	159.5	200	115	5.5
	B	134.9	184	95	5.9
V	R	104.6	178	73	6.3
	G	87.6	161	55	6.2
	B	71.9	143	42	6.2
S	R	190.9	206	159	4.1
	G	189.9	203	156	4.0
	B	179.4	196	147	4.9
W	R	206.7	255	155	7.6
	G	191.8	241	143	7.7
	B	169.9	225	119	7.8

○ DIP 분석을 통한 토양의 분류 및 검증

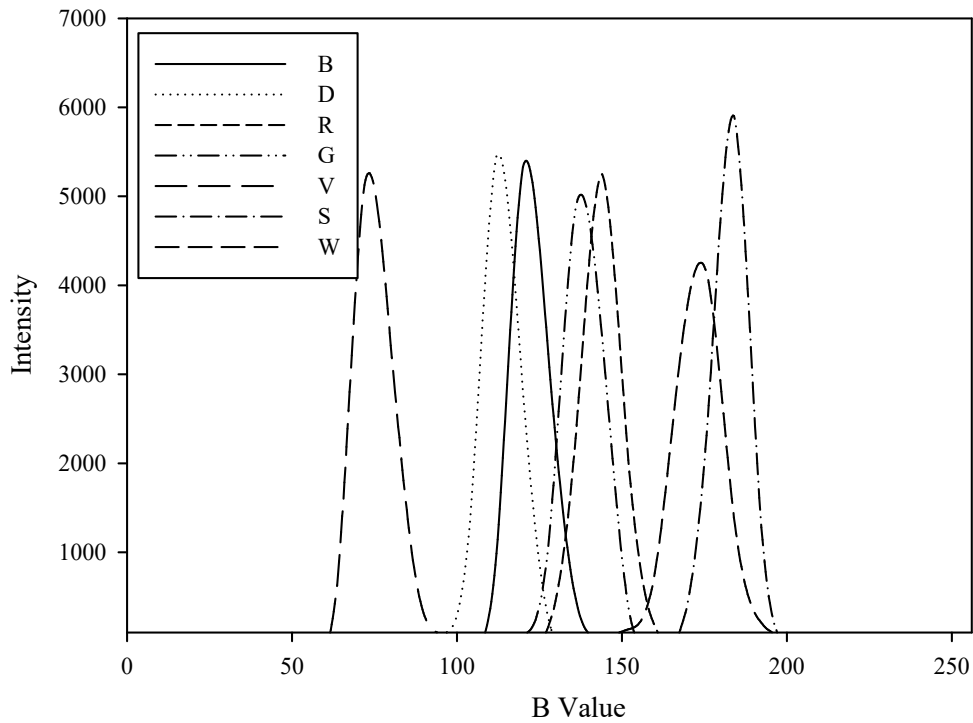
- R,G,B 성분별 분류 결과 화산회 산림토양을 제외한 토양들은 값의 중복이 발생하여 RGB 개별 값을 이용한 분류는 어려움



<그림 5-18> 토양 종류 별 R 히스토그램



<그림 5-19> 토양 종류 별 G 히스토그램



<그림 5-20> 토양 종류 별 B 히스토그램

2. 이미지 특성값에 따른 토성 분류.

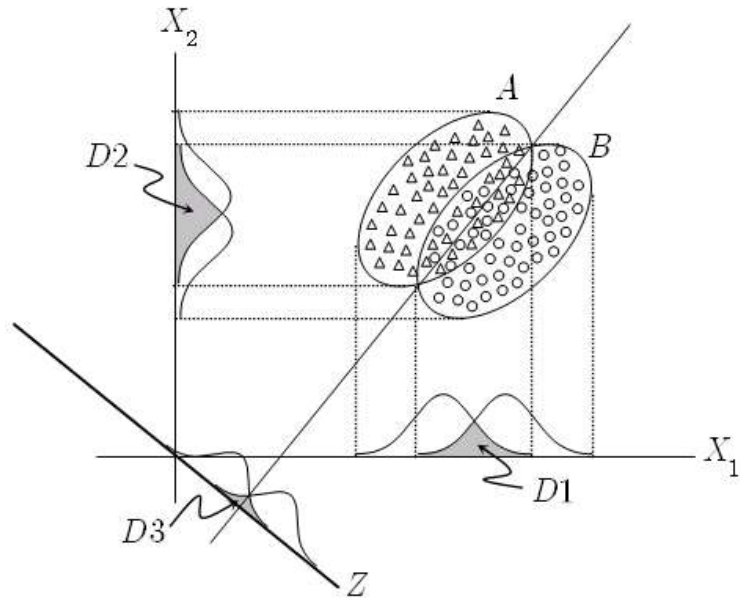
■ 판별 분석 이론 (Lee and Lim, 2013)

- 간격척도를 가진 모집단의 독립변수 선형결합과 케이스가 속한 집단을 나타내는 명목 척도인 종속변수와의 관계를 규명하여 각각의 사례(case)에 대하여 그것이 어느 모집단에 속해 있는지를 분류하는 기법
- 판별함수(Z) 는 다음과 같이 독립변수의 선형 결합 형태로 나타남

$$Z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p$$

여기서, β_n 는 판별계수, X_n 은 독립변수

- <그림 5-21>에서, A집단과 B집단은 X1과 X2의 변수로 이루어져 있으며 이를 X1 축으로 정사영하여 분포를 구하면 D1 영역만큼의 중복 영역이 발생하고 마찬가지로 X2 축으로 정사영하면 D2 영역만큼의 중복 영역이 발생함
- 판별함수는 각 변수에 판별계수를 포함해 새로운 Z축으로의 정사영 선형 함수를 만들어 그림의 D3와 같이 중복 영역이 최소가 되게하여 두 그룹을 분류함



<그림 5-21> 판별분석의 개념도

■ 토양 분류 결과

- 토양 분류 판별함수를 산출하기 위해서 각 토양 이미지에서 임의의 200개 픽셀에 대한 R,G,B 데이터를 추출
- 각 토양의 R,G,B 값은 독립변수로 입력이 되며 종속변수로써 토양의 종류가 입력
- 범용 통계 해석 프로그램이 SPSS 23.0을 이용하여 판별 분석을 수행
- 산출한 판별점수(Z) 식과 각 집단을 분류하기 위한 집단 중심값은 다음과 같음

$$Z = 0.074 R + 0.389 G - 0.183B - 49.426$$

<표 5-4> 판별분석을 통해 산정한 토양종류 별 집단 중심값

TYPE	Group centroids
B	-4.253
D	9.995
R	1.080
G	.036
V	-21.319
S	5.329
W	9.131

- 토양 분류의 적합성을 검증하기 위하여 각 토양의 이미지에서 함수 생성에 사용되지 않은 임의의 700개 픽셀을 추출하여 토양의 분류를 진행하였으며 분류의 정확도는 다음과 같음

<표 5-5> DIP를 이용한 간척지 및 기타 토양의 분류 결과

		Predicted group							Total	
		B	D	R	G	V	S	W		
O r i g i n a l	C o u n t	B	673	0	0	27	0	0	0	700
		D	0	700	0	0	0	0	0	700
		R	0	0	700	0	0	0	0	700
		G	4	0	0	696	0	0	0	700
		V	0	0	0	0	700	0	0	700
		S	0	0	0	0	0	700	0	700
		W	0	0	0	0	0	0	700	700
		%	B	96.1	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0
	D	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	R	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	G	.6	0.0	0.0	99.4	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	V	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
	W	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	100.0

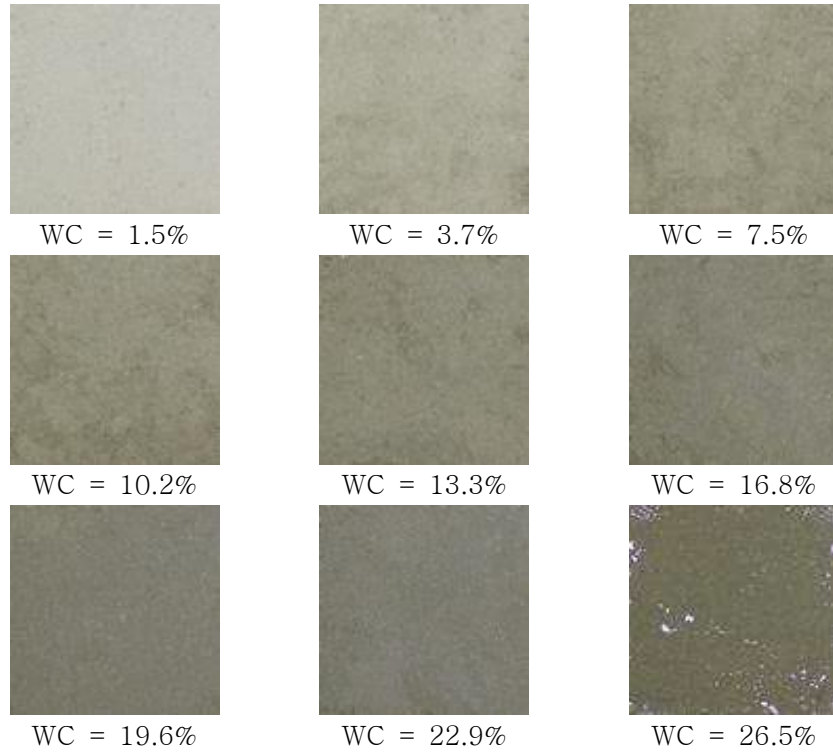
- 간척지 토양(S)은 100%의 정확도로 분류에 성공함

제 3 절 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 토양 함수비 추정

1. 함수비에 따른 간척지 시료 이미지 특성값 변화

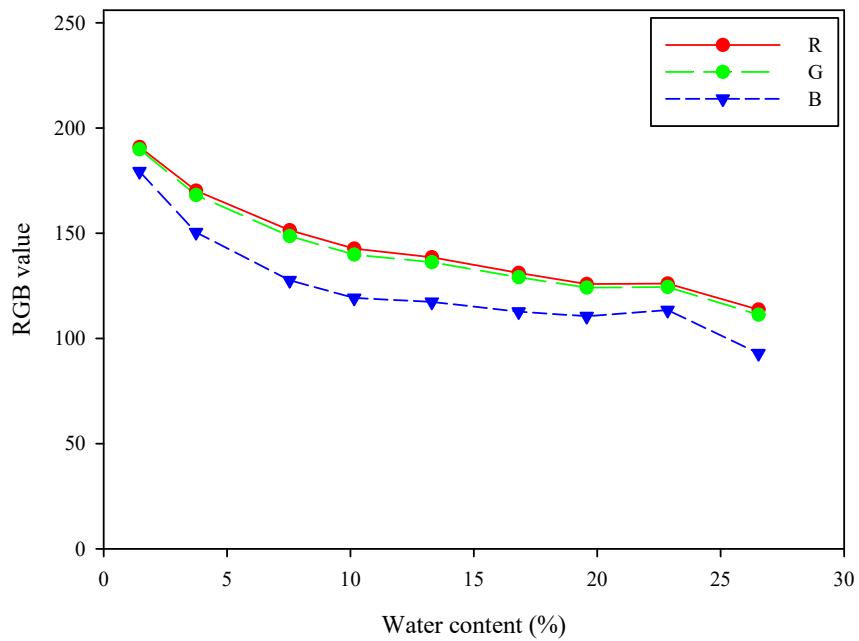
○ 함수비에 따른 이미지

- 몰드 내 성형이 불가능한(액상화) 단계까지 촬영
- 함수비 증가에 따라 명도가 낮아지고 채도가 높아짐
- 일정 정도 이상의 함수비 조건이 되면 수분이 표면으로 올라오게 되고 이미지에서는 반사 되어 밝게 나타남



<그림 5-22> 함수비에 따른 토양 표층의 색상 변화

○ 함수비 변화에 따른 색상값



<그림 5-23> 함수비에 따른 토양 표층의 R,G,B 값 변화

- 함수비 증가에 따라 RGB 값이 감소하는 경향
- RGB 값의 차이는 거의 비슷하게 유지됨

2. 함수비에 따른 이미지 특성값을 이용한 간척지 토양의 함수비 추정

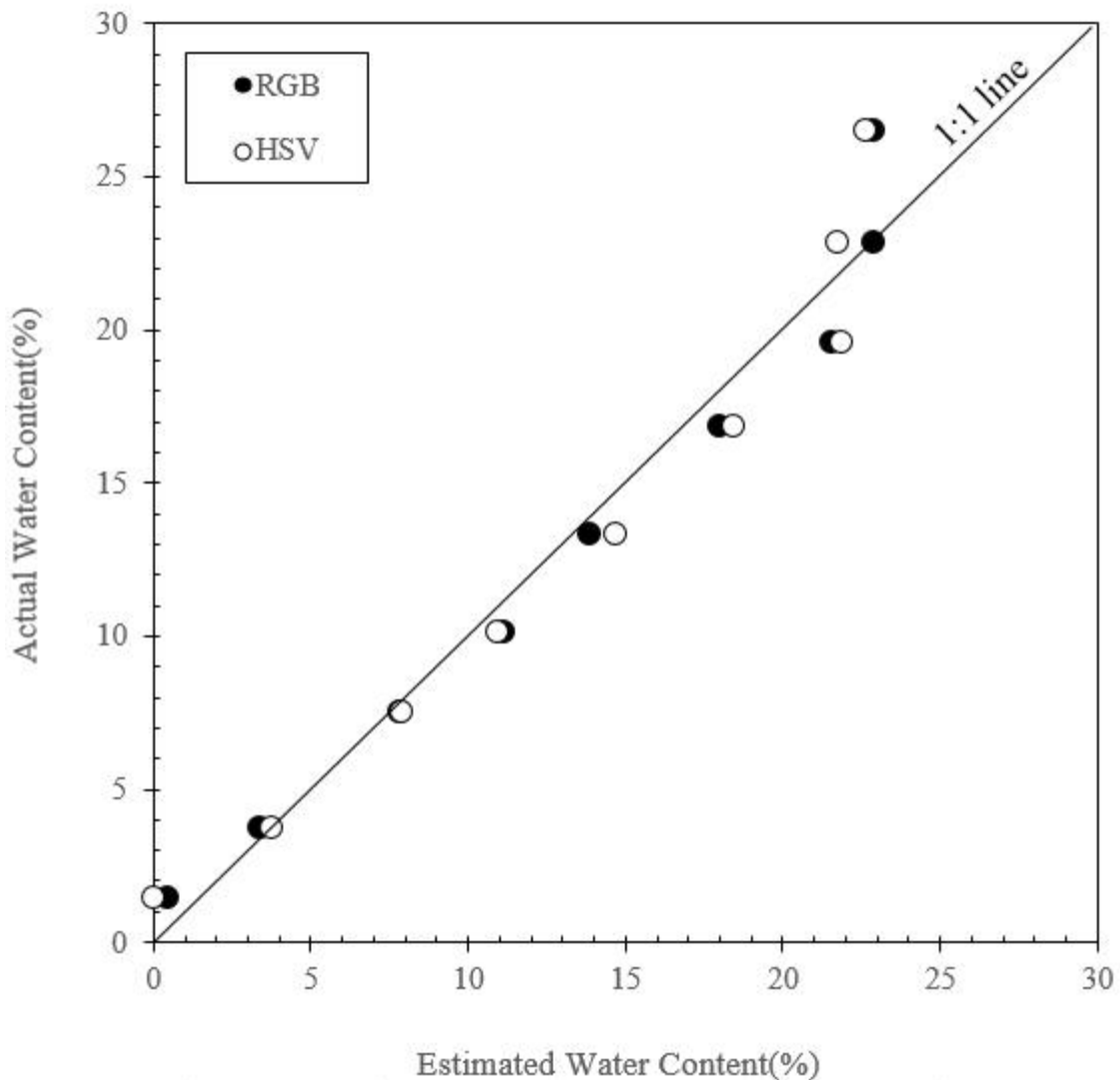
○ DIP 분석을 통한 함수비 추정

- 함수비와 RGB 데이터, HSV 데이터를 이용하여 전체 함수비 범위의 추정 회귀식을 개발

$$W_S = -0.895 R + 0.540 B + 74.470 \quad (R^2 = 0.965)$$

$$W_S = 1.460 H - 0.80 S - 1.104 V + 7.078 \quad (R^2 = 0.975)$$

- 추정 함수비와 실제 함수비와의 상관성은 높음



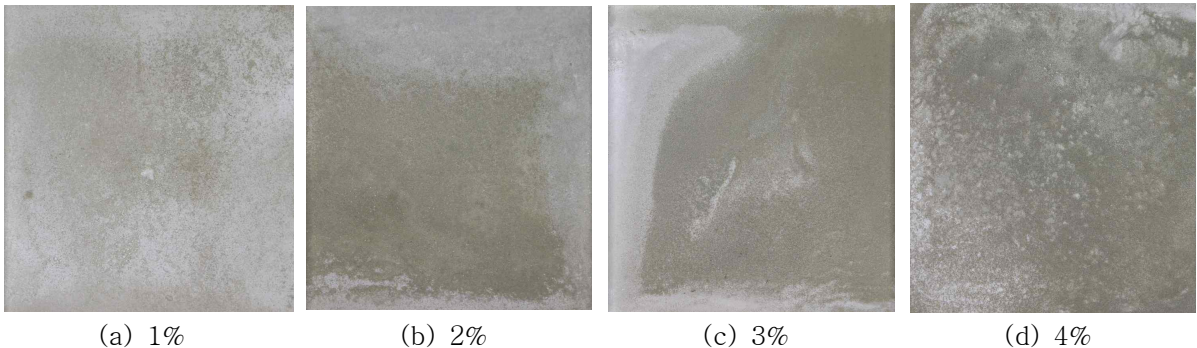
<그림 5-24> DIP를 이용한 함수비 추정치와 실제 함수비의 비교

제 4 절 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 표층 염농도 추정

1. 간척지 토양의 염분농도에 따른 이미지 특성값 변화

○ 실험 과정

- 대상 지구에서 채취한 간척지 토양을 실험실로 옮긴 후 건조시키고 초기 염도를 전기전도도법으로 측정
- 시료의 전기전도도(Electronic conductivity, EC)는 43.89 dS/m
- 탈염 과정을 통하여 EC 값이 3 dS/m 이하로 떨어질 때까지 반복하였으며 7회 반복시 담수에 가까운 3 dS/m 으로 값이 낮아짐
- 탈염된 시료를 20cm x 20cm의 정사각형 철제 팬에 2cm 높이로 채운후 시료 중량의 50%에 해당하는 물을 가한 후 NaCl을 시료 중량 대비 1, 2, 3, 4%까지 증가시켜 가며 첨가
- 탈염된 흙, 물과 염분이 혼합된 실험 시료는 충분히 혼합한 후 건조를 진행


































<그림 5-25> 염농도에 따른 간척지 표토 상태

- 모든 단계에서 염이 상승하여 표면에 집적되어 하얀색으로 나타남
- 각 염도 단계별 차이는 크게 나타나지 않았으며, 건조 과정에서 온도 차로 인해 철제 팬 외곽부로 염이 집중되어 상승한 것으로 보임
- 4% 투입 시료에서는 염 결정이 상부에 맺혔으며 국부적으로 염이 상당히 높을 것으로 예상
- 팬 크기에 의해 외곽부에서부터 내부쪽으로 건조 시간의 차이가 발생하기 때문에 균질한 상태의 영상을 획득하는데 어려움이 있음
- 따라서 가능한 작은 몰드를 사용할 필요가 있으며 열전도율이 낮은 재료를 쓰는 것이 경계부 염 집중 현상을 줄이고 균질하게 염이 분포하는 결과를 줄 것

○ 염도에 따른 이미지 획득

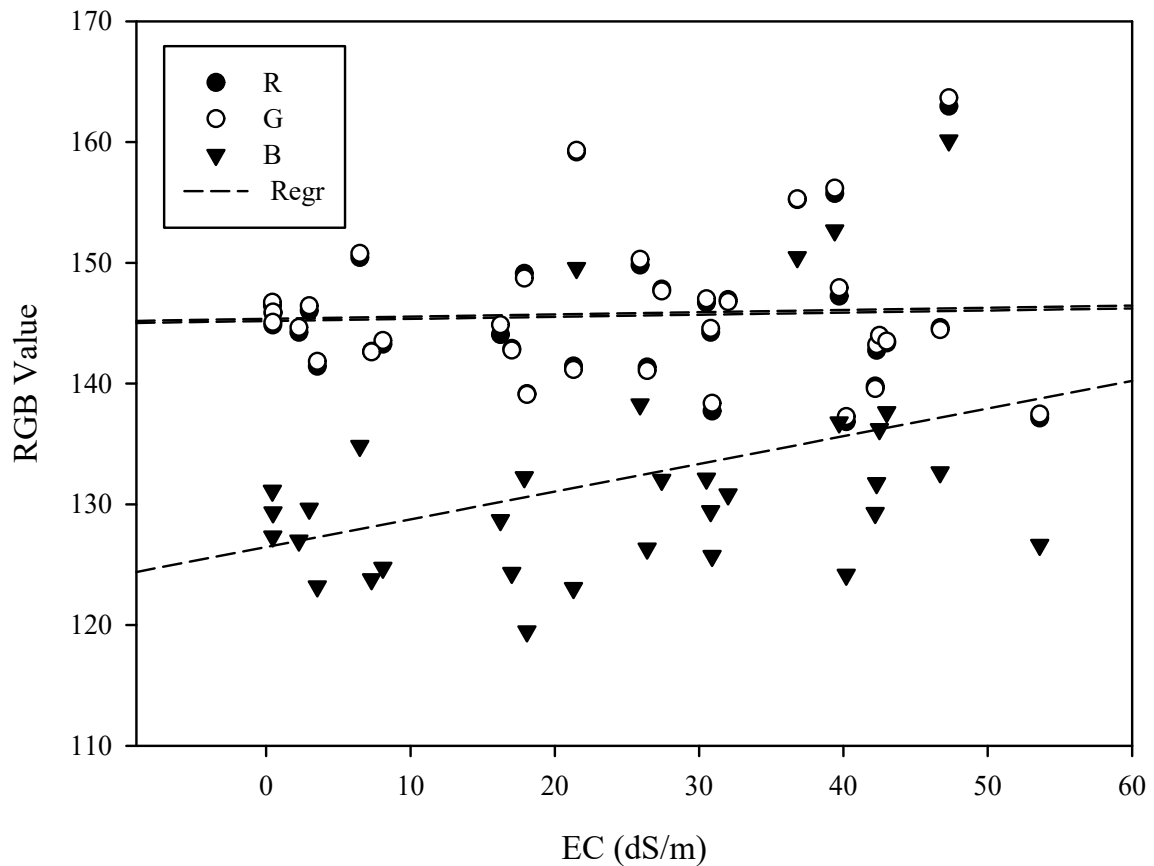
- 발수 코팅된 원형 종이 용기를 사용
- 탈염된 시료 50g을 투입하고 건조된 시료의 중량 대비 1.5% 단위로 0-15%까지 11단계의 시료를 이용함

Salinity step	Sample		
	1st	2nd	3rd
0			
1			
2			
3			
4			

Salinity step	Sample		
	1st	2nd	3rd
5			
6			
7			
8			
9			
10			

<그림 5-26> 염농도에 따른 간척지 표토의 색상변화 (염농도 0 ~ 15%, 1.5% 간격)

- 염이 응집하여 용기에 부착되거나 염이 하부에 침적될 수 있어 시료의 이미지를 촬영한 후 표층 시료에 대해 EC를 각각 측정
- 총 33개 시료에 대해 이미지 분석을 실시해 얻은 평균RGB와 재측정한 EC 값을 <그림 5-27>에 도시



<그림 5-27> 염농도에 따른 간척지 표토의 R, G, B값 변화

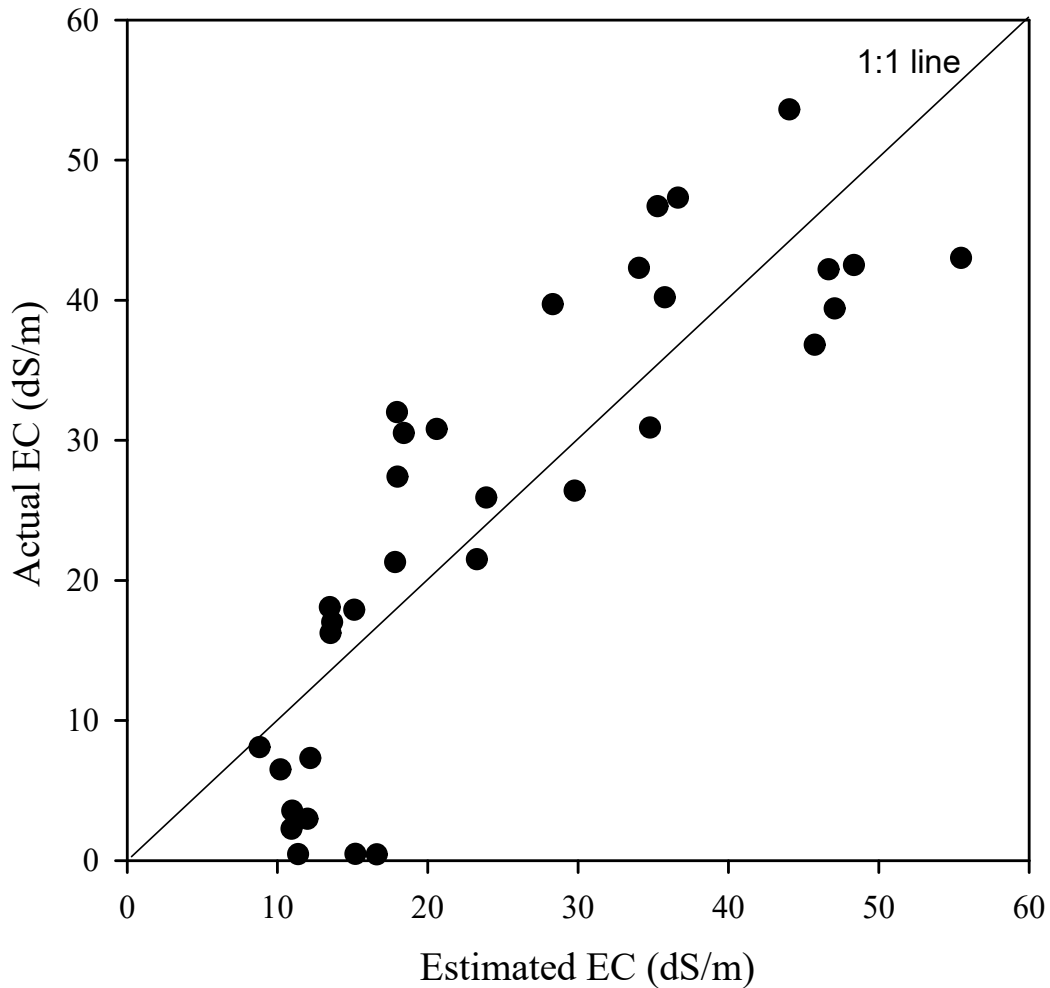
- Red, Green 값은 염도 증가에 따른 변화가 미미하였으며 Blue 성분은 염도 증가에 따라 다소 증가

2. 이미지 특성값을 이용한 간척지 토양의 염도 추정

- RGB 값을 이용해 회귀 분석한 결과로 다음 식을 산출

$$\text{Salinity}(dS/m) = 6.082R - 10.794G + 3.529B + 246.885 \quad (R^2 = 0.689)$$

- 예측값과 실측값을 도시하면 다음 그림 <5-28>과 같음



<그림 5-28> DIP를 이용한 염도 추정치와 실제 염도의 비교

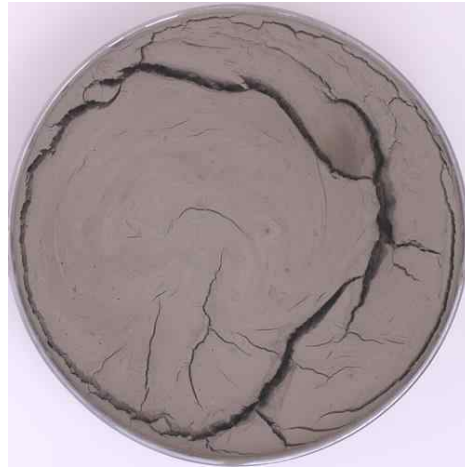
- 낮은 염도 구간에서는 과대평가되는 경향이 있음
- 실측값 10 dS/m 이상에서는 예측 결과와 상관성이 높게 나타남

제 5 절 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 표층 균열 평가

1. 간척지 토양의 크랙(Crack) 발생 특성 및 이미지 분석

○ 실험 과정

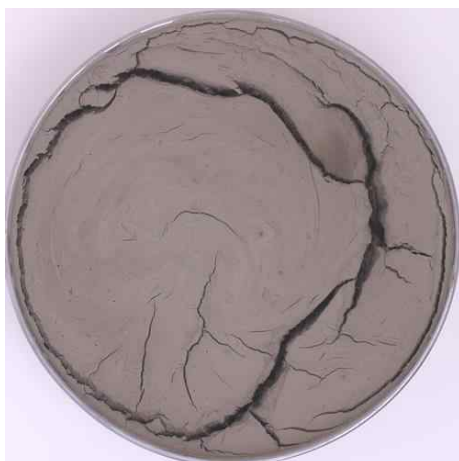
- 실험실에서 조건을 설정하여 크랙을 발생토록 하여 분석
- 대상 지구에서 채취한 간척지 토양을 실험실로 옮긴 후 건조시킨 시료를 준비
- 시료를 원형팬에 넣고 물을 충분히 가하여 포화 상태 이상이 되도록 함
- 건조로에 24시간 이상 충분히 건조시킨 후 크랙 발생 여부를 확인
- 크랙이 확인되면 원형팬을 실내 스튜디오로 옮겨 이미지를 획득



<그림 5-29> 간척지 시료의 크랙 발생 후 획득 이미지

○ 크랙 발생 특성

- 간척지 크랙의 특성을 다른 토양과 비교하기 위해 저수지 준설토의 크랙과 비교



(a) 간척지 시료 크랙



(b) 준설토 시료 크랙

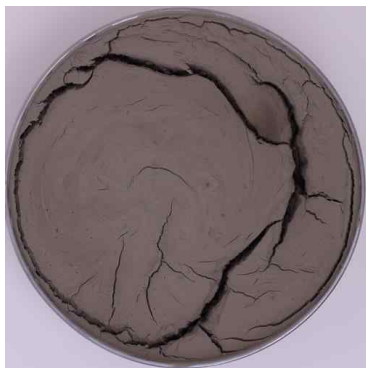
<그림 5-30> 간척지 시료와 준설토 시료의 크랙 비교

- 간척지 시료의 크랙이 준설토 시료의 크랙보다 크기면에서 크게 나타남
- 크랙의 폭 또한 간척지 시료가 크게 나타남을 확인
- 크랙의 형태는 준설토 시료보다 매우 단순하게 나타나는 특징이 있음
- 준설토 시료는 일정한 패턴의 크랙이 발생하였으나 간척지 시료는 비정형으로 발생

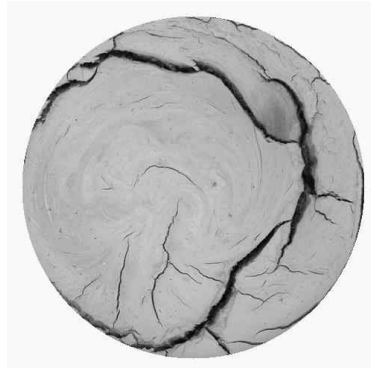
2. 크랙 이미지 분석

○ 분석 과정

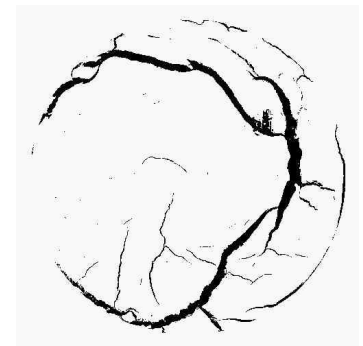
- 원본 이미지에서 대상영역(원형 팬인 경우 원형 영역)을 추출
- 대상 영역의 이미지를 Gray image로 변환 (8bit)
- 문턱값을 설정하여 이진화 실시
- 가장 적합한 문턱값을 결정하고 크랙 분석



(a) 원본 이미지



(b) Gray image

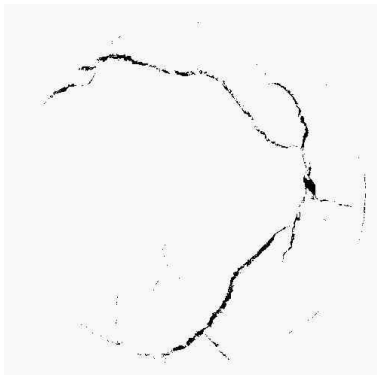


(c) 이진화 이미지

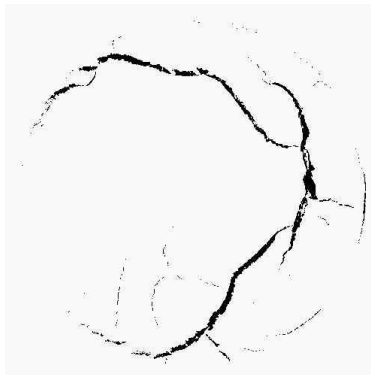
<그림 5-31> 크랙 이미지 분석 과정

○ 문턱값 설정

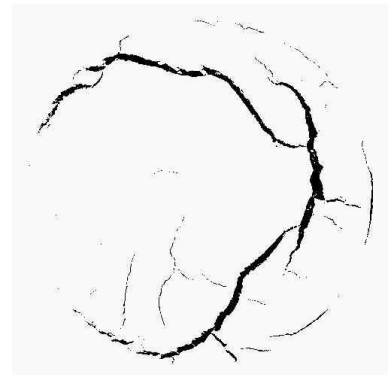
- 가장 적합한 이진화 데이터를 얻기 위해 최적의 문턱값 선정 필요
- 8bit 이미지에서 문턱값을 20~230까지 10씩 조절하며 이진화 실시



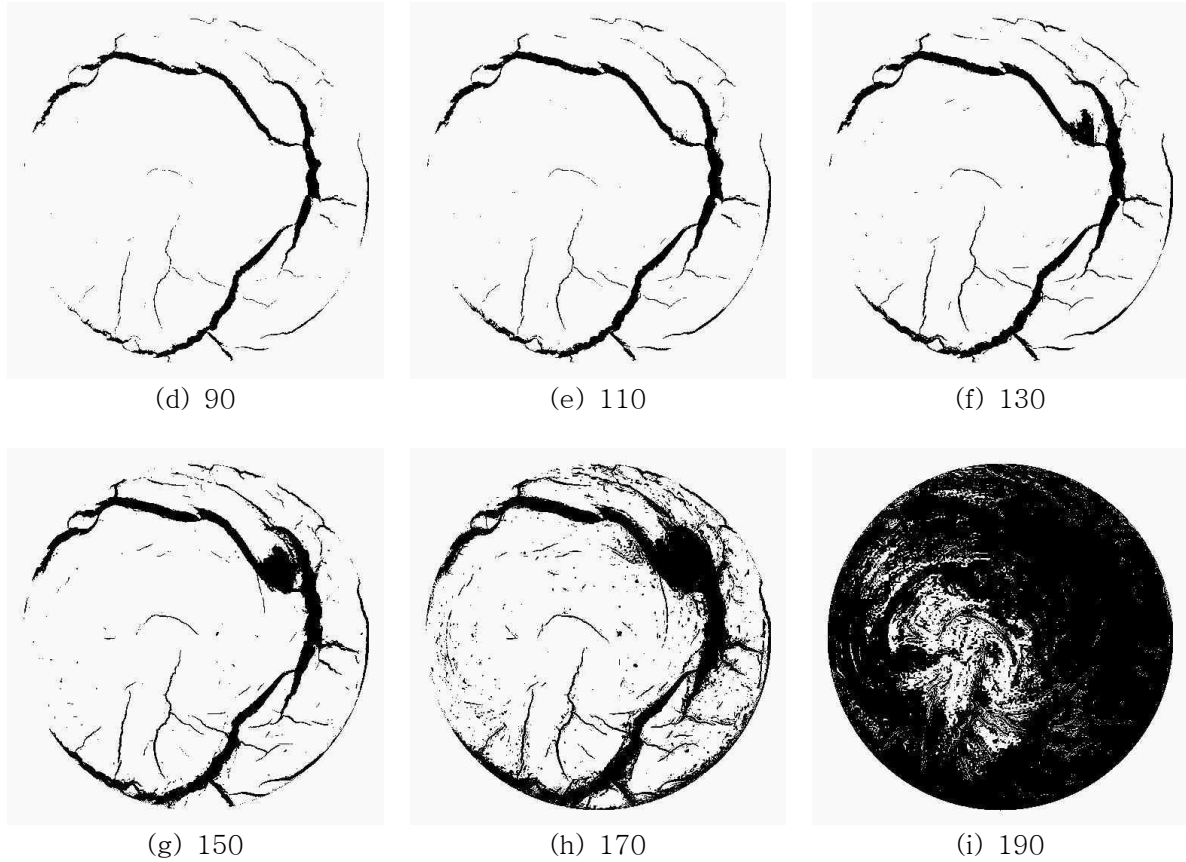
(a) 30



(b) 50



(c) 70



<그림 5-32> 이진화를 통한 적정 문턱값 설정

- 해당 이미지에 대한 이진화 분석 결과 문턱값은 110이 가장 적합한 것으로 확인

3. 토층 깊이에 따른 크랙 발생 특성

○ 시험 과정

- 토층 깊이에 따른 크랙의 발생 특성을 분석하기 위해 팬에 시료 높이를 달리한 4개의 샘플을 준비
- 모든 샘플은 동일한 과정을 거쳐 크랙이 발생토록 함
- 각 이미지는 이진화한 후 비교 평가

○ 토층 깊이에 따른 크랙 발생 특성

- 토층의 깊이가 깊어짐에 따라 크랙의 폭이 커짐
- 크랙의 깊이 또한 깊어지며 크랙이 패턴이 단순해 짐
- 크랙끼리 만나는 노드의 개수가 토층이 깊어짐에 따라 줄어들고 한 크랙의 길이는 길어짐



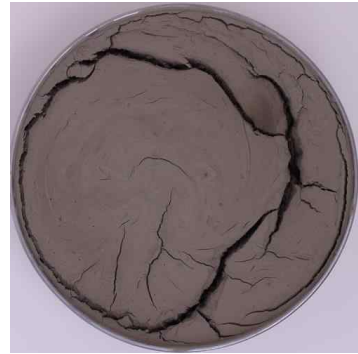
(a) 토심 = 0.48cm



(b) 토심 = 1.6cm

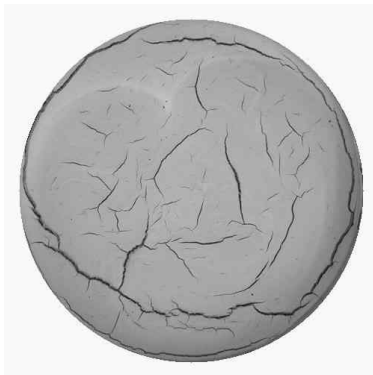


(c) 토심 = 1.94cm

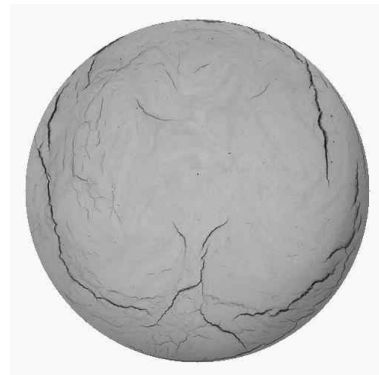


(d) 토심 = 3.16cm

<그림 5-33> 토층 깊이에 따른 크랙 발생 특성 (원본 이미지)



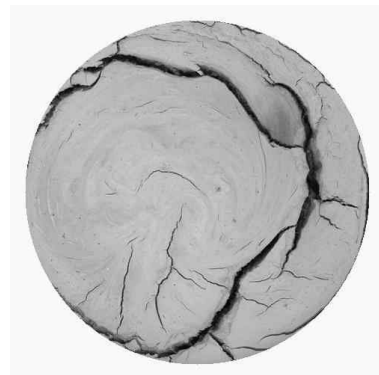
(a) 토심 = 0.48cm



(b) 토심 = 1.6cm

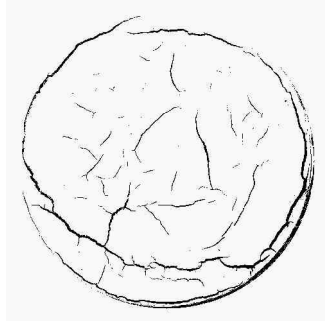


(c) 토심 = 1.94cm

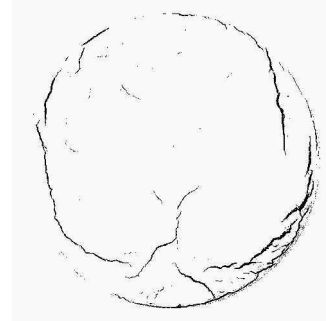


(d) 토심 = 3.16cm

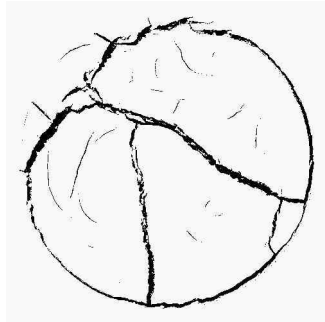
<그림 5-34> 토층 깊이에 따른 크랙 발생 특성 (8bit 이미지)



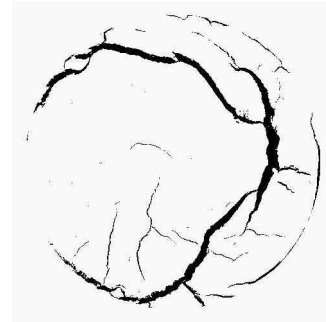
(a) 토심 = 0.48cm



(b) 토심 = 1.6cm



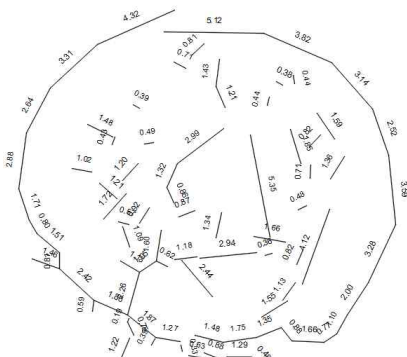
(c) 토심 = 1.94cm



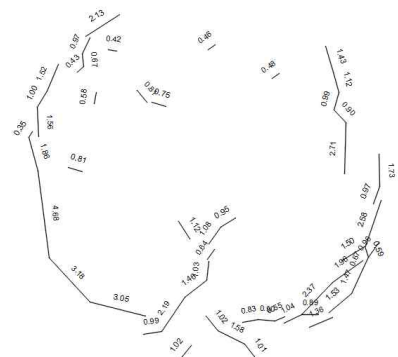
(d) 토심 = 3.16cm

<그림 5-35> 토층 깊이에 따른 크랙 발생 특성 (이진화 이미지)

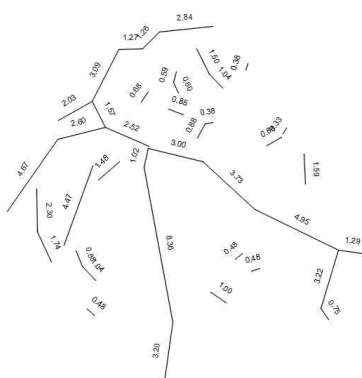
■ 이진화 이미지에서 크랙의 개체별 길이를 추출



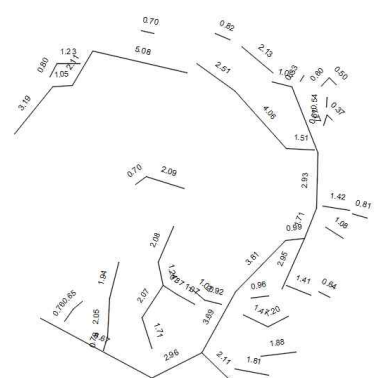
(a) 토심 = 0.48cm



(b) 토심 = 1.6cm



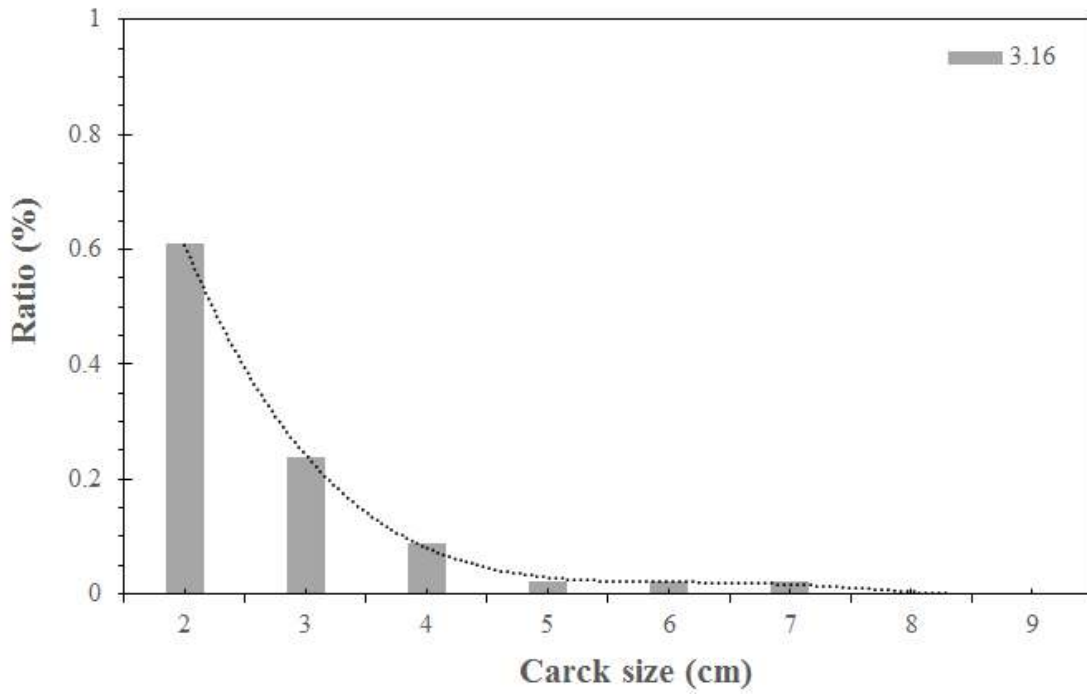
(c) 토심 = 1.94cm



(d) 토심 = 3.16cm

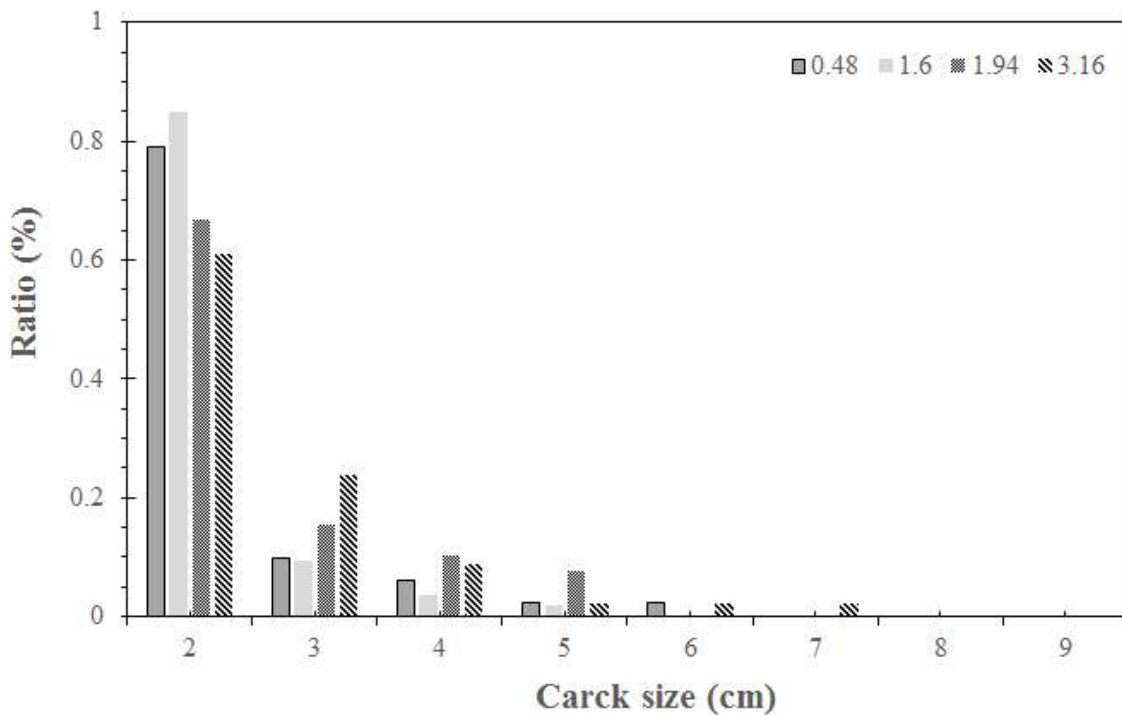
<그림 5-36> 크랙의 길이 추출

- 크랙 사이즈와 빈도수에 대한 그래프는 지수적으로 감소하는 경향을 나타냄



<그림 5-37> 크랙의 크기별 빈도 분포

- 2cm 이하의 작은 크랙의 비중은 낮은 심도에서 높게 나타나고 있으며, 5cm 이상의 비교적 큰 크랙은 토층이 깊은 시료에서만 나타나고 있음



<그림 5-38> 토층 깊이에 따른 크랙 크기별 빈도

4. 크랙과 표층 염도와의 관계

○ 시험 과정

- 크랙이 발생한 지역과 발생하지 않은 지역간의 표층 염도 차이를 분석하기 위해 사각팬 (38cm x 32cm)을 이용하여 실험을 수행함
- 포화상태의 토양을 사각팬에 평평하게 채워넣음 (토심 1.76cm)
- 건조로에 24시간 이상 충분히 건조
- 실내 스튜디오에서 이미지 획득
- 크랙 발생지역과 발생하지 않은 지역에서 샘플링 후 염도측정



(a) Sample 1



(b) Sample 2

<그림 5-39> 건조 전 샘플 표층 상태

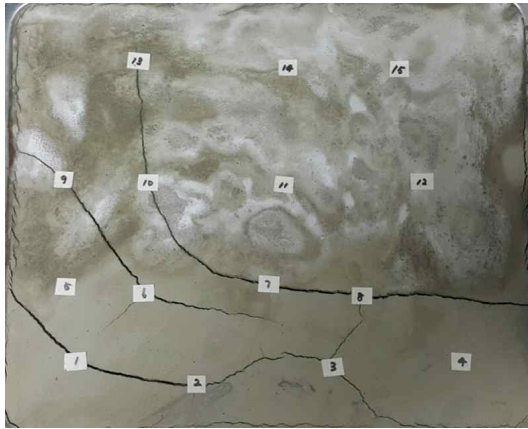


(a) Sample 1



(b) Sample 2

<그림 5-40> 건조 후 샘플 표층 상태



(a) Sample 1

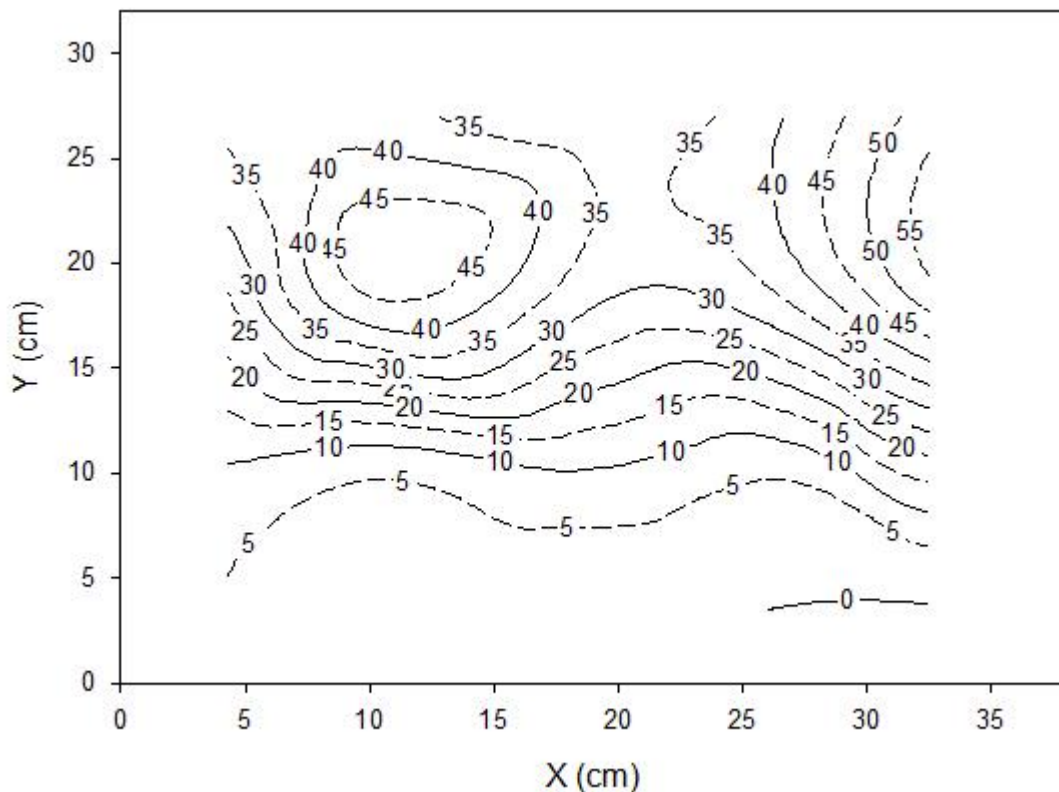


(b) Sample 2

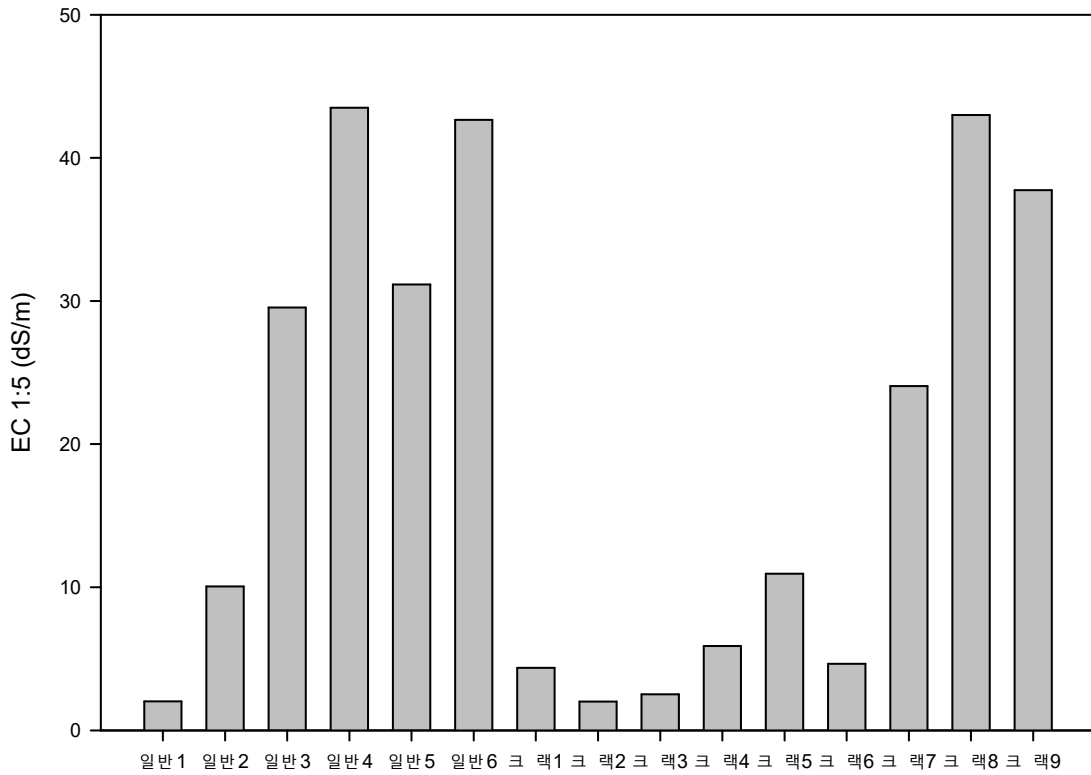
<그림 5-41> 염도 측정을 위한 샘플링 지점 선정

○ 크랙 발생 여부에 따른 염도 분석

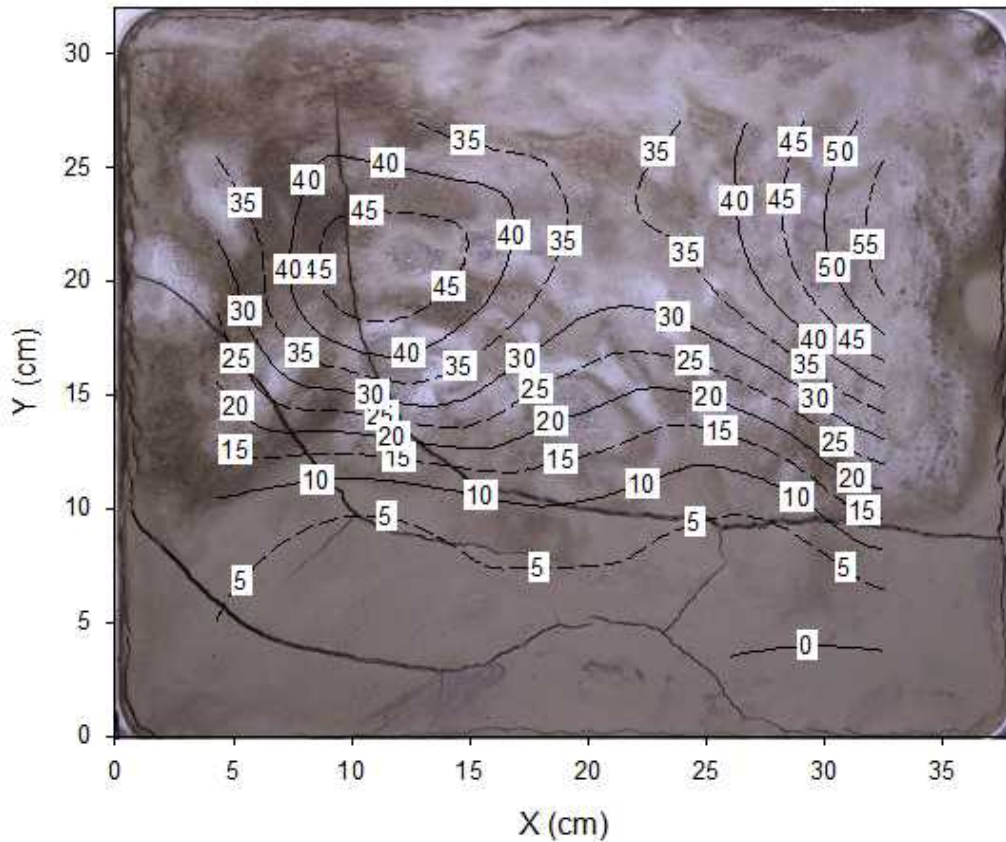
- 샘플1 : 염도의 평균값은 크랙 발생 지역(9개 샘플) 15.0dS/m, 크랙 미 발생 지역(6개 샘플) 26.5dS/m로 크랙 미 발생 지역의 염도가 상대적으로 높게 나타났으나, 최대값과 최소값은 각각 크랙 발생 지역 43, 2.0dS/m, 크랙 미 발생 지역 43.5, 2.0dS/m으로 범위가 유사하게 나타남



<그림 5-42> 염농도 분포도 (sample1)

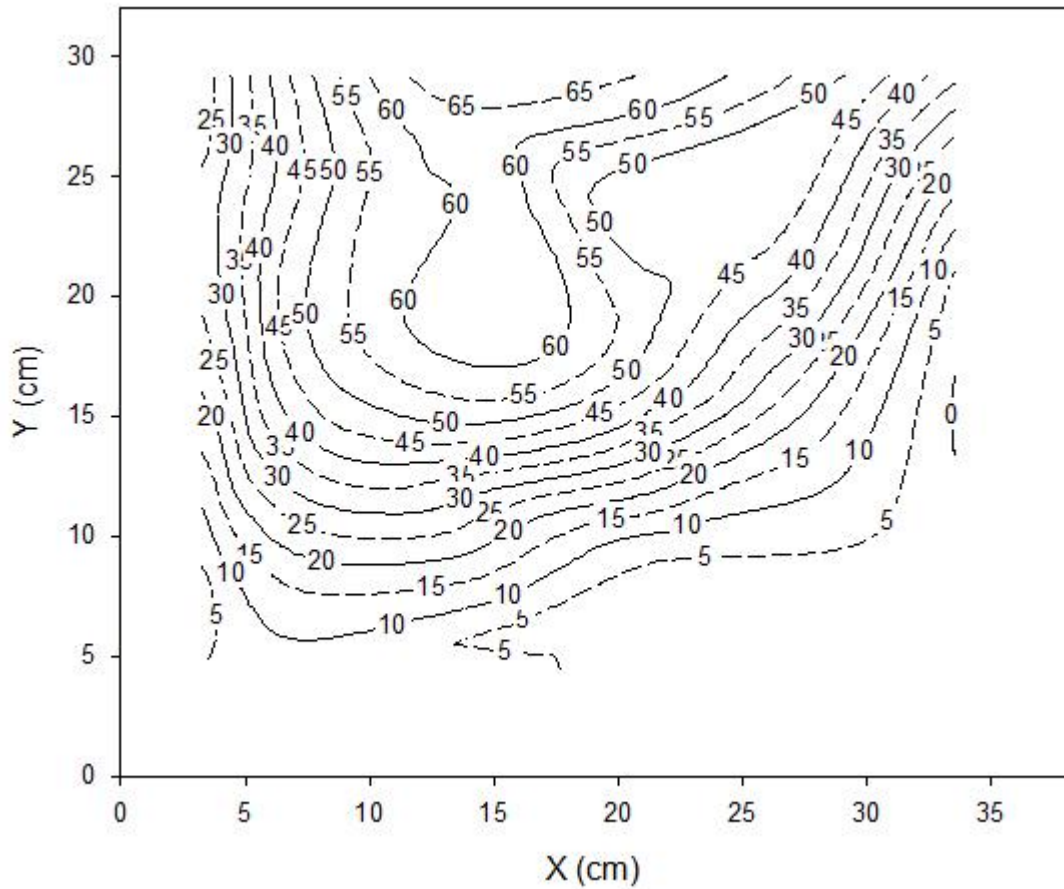


<그림 5-43> 지점 별 염농도 (sample1)

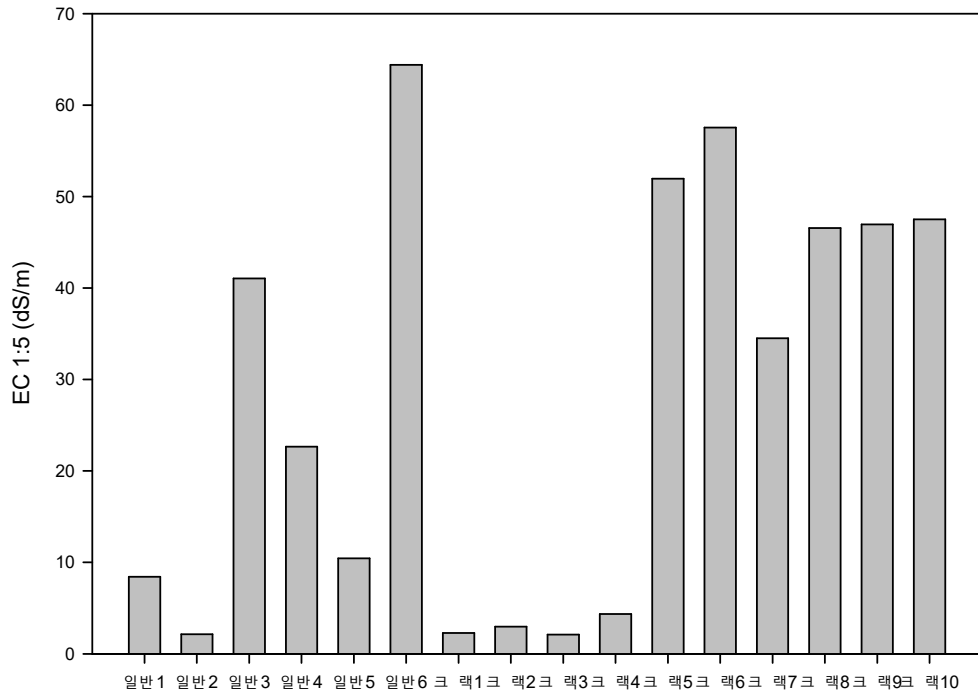


<그림 5-44> 크랙에 따른 염농도의 분포 (sample1)

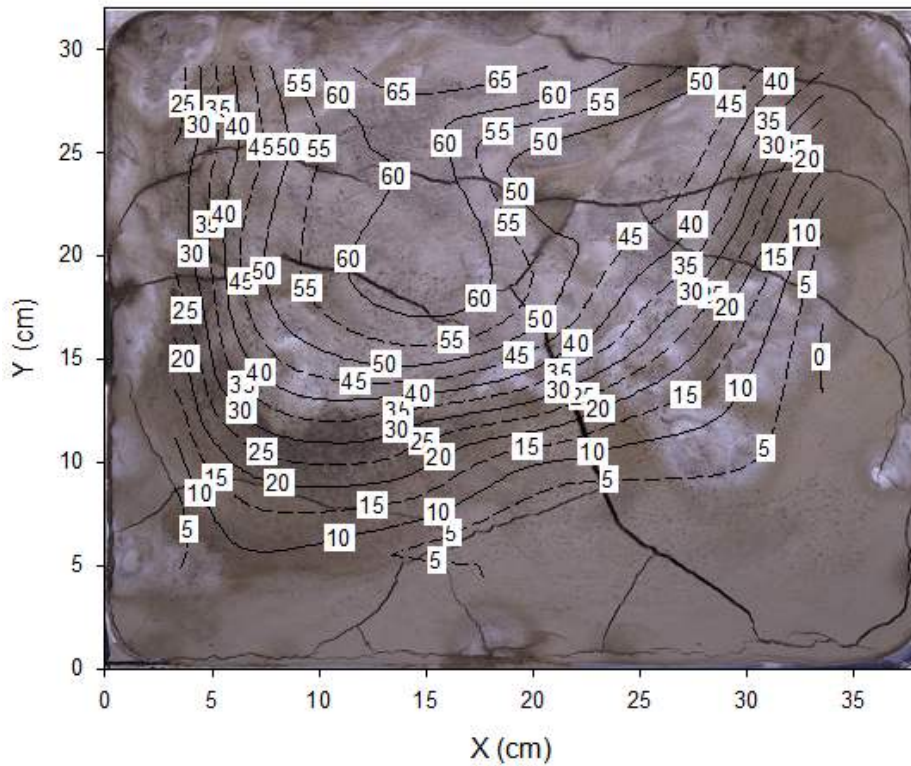
- 샘플2 : 염도의 평균값은 크랙 발생 지역(10개 샘플) 29.7dS/m, 크랙 미 발생 지역(6개 샘플) 24.9dS/m로 크랙 발생 지역의 염도가 상대적으로 높게 나타났으나, 최대값과 최소값은 각각 크랙 발생 지역 57.6, 2.1dS/m, 크랙 미 발생 지역 64.4, 2.1dS/m으로 범위가 유사하게 나타남



<그림 5-45> 염농도 분포도 (sample2)



<그림 5-46> 지점 별 염농도 (sample2)



<그림 5-47> 크랙에 따른 염농도의 분포 (sample2)

- 토양의 염도는 크랙의 발생 여부와 무관하게 분포하고 있으며 크랙이 집중된 노드 지역의 염농도 또한 기타 지역들과 큰 차이가 없는 것으로 나타남

제 6 장 UAV 촬영기준 정립 및 항공 영상의 처리 과정

제 1 절 UAV의 운용 및 촬영 기준 정립

1. 사용 장비 및 특성

○ UAV

- 본 연구에 사용된 UAV는 DJI사 Phantom3 Professional이며 상대적으로 저렴한 비용으로 시스템 구성이 가능
 - 촬영에 따른 비용이 절감
 - 중, 소규모 지역에 대한 이미지 데이터 획득에 적합



<그림 6-1> DJI Phantom3 Professional

- 4K 비디오를 촬영할 수 있고 HD 비디오 신호(최대 2km)를 라이트브리지 기술을 이용해 다른 장치에 전송할 수 있음
- 통합형 내장 짐벌과 카메라로 공간을 최소화하고 중량 효율을 극대화
- GPS 신호가 잡히지 않더라도, 비전 포지셔닝 기술로 인해 정밀한 호버링(hovering)이 가능
- 조종기
 - 비행 컨트롤러는 DJI의 새로운 안전 모드 같은 향상된 비행컨트롤러를 기반으로 하고 있음

- 비디오 다운로드 시스템과 기체 조종 시스템이 통합된 다기능 무선통신장비
- 비디오 다운로드 기체 조종 시스템은 2.4 GHz 주파수에서 최대 2 km까지 작동
- 사진 및 동영상 촬영, 미리보기, 짐벌 움직임을 제어하는 등의 다양한 카메라 기능들을 포함
- 세 가지 안전모드인 페일세이프, 리턴 홈, 다이내믹 홈 포인트를 사용
 - 비행 중 신호를 분실하였을 때 안전하게 되돌아오는 기능을 포함
 - 저전압 배터리 페일세이프는 비행체가 있는 위치에서 홈 위치까지 안전하게 돌아오는데 필요한 최소한의 배터리인 경우에 작동
 - 현재 배터리 잔량이 현재 기체의 고도에서 오직 착륙을 위한 정도 밖에 남아있지 않을 경우, 기체는 자동으로 착륙
 - 사용자가 위급한 상황으로 판단될 경우에는 기체를 즉시 홈포인트로 되돌리거나 착륙가능
 - 10초의 카운트다운 동안 아무런 반응이 없을 경우 기체는 자동으로 홈포인트로 복귀함
- 비행 기록 장치를 이용하여 각 비행에 대한 비행 기록 가능
- 비행표시등은 전면 LED , 후면 LED 는 비행 상태 표시등으로 전면 및 후면 LED의 색깔을 통해 기체의 방향을 확인할 수 있음
- 사용자는 RTH 버튼을 한 번 눌러 RTH를 중단할 수 있으며 이 경고를 위한 임계값은 현재 기체 고도 및 홈포인트로 부터의 거리에 기초하여 자동으로 결정됨
- 착륙하는 과정에서 사용자는 조종기를 통해 오로지 기체의 방향만 조종할 수 있음
- 영상위치결정시스템(vision positioning system)
 - 초음파와 화상 데이터를 이용하여 기체의 현재 위치를 식별할 수 있도록 하는 포지셔닝 시스템
 - 영상위치결정시스템의 도움으로 기체가 더욱 정확하게 호버링(hovering)할 수 있음
 - 실내 혹은 GPS 를 사용할 수 없는 환경에서도 비행이 가능
 - 비전 포지셔닝 시스템의 주요 구성요소인 두 개의 초음파 센서가 기체하단에 위치
 - 전원이 켜지면 비전 포지셔닝이 자동으로 활성화
- PHANTOM3 Professional의 기본 사양은 아래 표와 같음

<표 6-1> DJI Phantom3 Professional의 사양

기체명		PHANTOM3 Professional
제조사		DJI
기체	무게	1280g
	기체크기	350mm
	최대 상승 속도	5m/s
	최대 하강 속도	3m/s
	호버링 정확성	수직 +/- 0.1m 수평 +/- 1.5m
	최대 속도	16m/s
	기체 운영 온도	0 - 40 °C
	GPS 모드	GPS / GLONASS
	최대 비행 시간	약 23분
컨트롤러	동작 주파수	2.400 GHz-2.483 GHz
	최대 전송거리	5,000m (장애물 없는 야외시)
	배터리	6000 mAh LiPo 2S
	송신기 전력	FCC: 20 dBm CE: 16 dBm
	전압	1.2 A @7.4 V
배터리	용량	4480 mAh
	전압	15.2 V
	배터리 유형	LiPo 4S
	에너지	68 Wh
	순 무게	365 g
	최대 충전 전압	100 W

○ 카메라

■ 센서

- 소니 EXMOR 1/2.3 인치 CMOS 센서
- 최대 4096×2160 p24의 4K 비디오녹화 및 1200만 화소의 사진 촬영 가능
- ISO : 100 ~ 3200, 작동온도 : 0 - 40℃
- 비디오 지원형식 : MOV, MP4, 사진 지원형식 : JPEG, PNG
- 저장장치 : 마이크로 SD 카드 (최대 64GB)
- 촬영모드 : 버스트모드, 연속촬영모드, 타이머 모드 포함

■ 렌즈

- 최대화각 : 94°
- 조리개 : f/2.8
- 렌즈는 9 개 그룹의 9 개 요소로 안티 왜곡 필터가 있어 사진왜곡이 없음

■ 조종 어플리케이션을 통해 카메라에 현재 보여 지고 있는 화면을 실시간으로 확인 가능

■ 3축 짐벌(gimbal)

- 기체의 비행이나 호버링 중 기울임이 발생할 때에도 안정된 이미지 및 비디오를 촬영할 수 있도록 카메라 접축 부분에 안정된 플랫폼을 제공
- 짐벌은 -90도에서 +30도까지 기울 수 있으며 컨트롤러로 각도 조정 등이 가능

■ 다음 <표 6-2>은 PHANTOM3 Professional에 탑재된 디지털카메라의 제원임

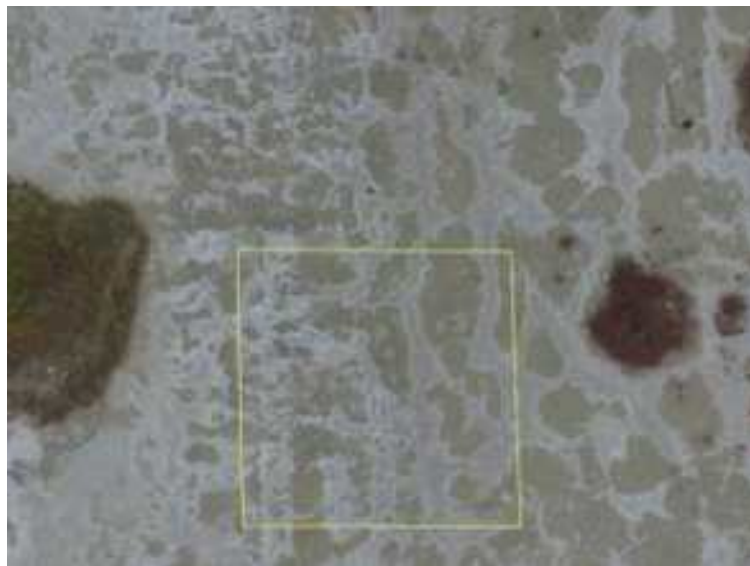
<표 6-2> DJI Phantom3 Professional의 카메라 사양

카메라	사양
센서	소니 EXMOR1/2.3" 유효 픽셀 수: 12.4 M (총 픽셀 수: 12.76 M)
렌즈	FOV 94° 20 mm (35 mm 포맷 상응) f/2.8, 초점 ∞
ISO범위	100-3200 (비디오) 100-1600 (사진)
셔터 스피드	8초 -1/8000초
이미지 최대 사이즈	4000 x 3000
이미지 모드	싱글 샷, 연속 촬영 : 3/5/7 장 자동 노출 브래케팅 (AEB) : 3/5 브래케팅 프레임 0.7EV 스텝, 타임 랩스
비디오 녹화 모드	UHD: 4096x2160p 24/25 FHD: 1920x1080p 24/25/30/48/50/60 HD: 1280x720p 24/25/30/48/50/60 2.7K: 2704 x1520p 24/25/30 (29.97)
SD 카드 타입	마이크로 SD카드 최대 용량: 64GB
최대 영상 비트레이트	60 Mbps
지원 파일 시스템	마이크로 SD 카드FAT32
작동 온도	32° 에서 104° F (0° 에서 40° C)

2. 촬영 고도에 따른 촬영 면적 및 해상도 평가

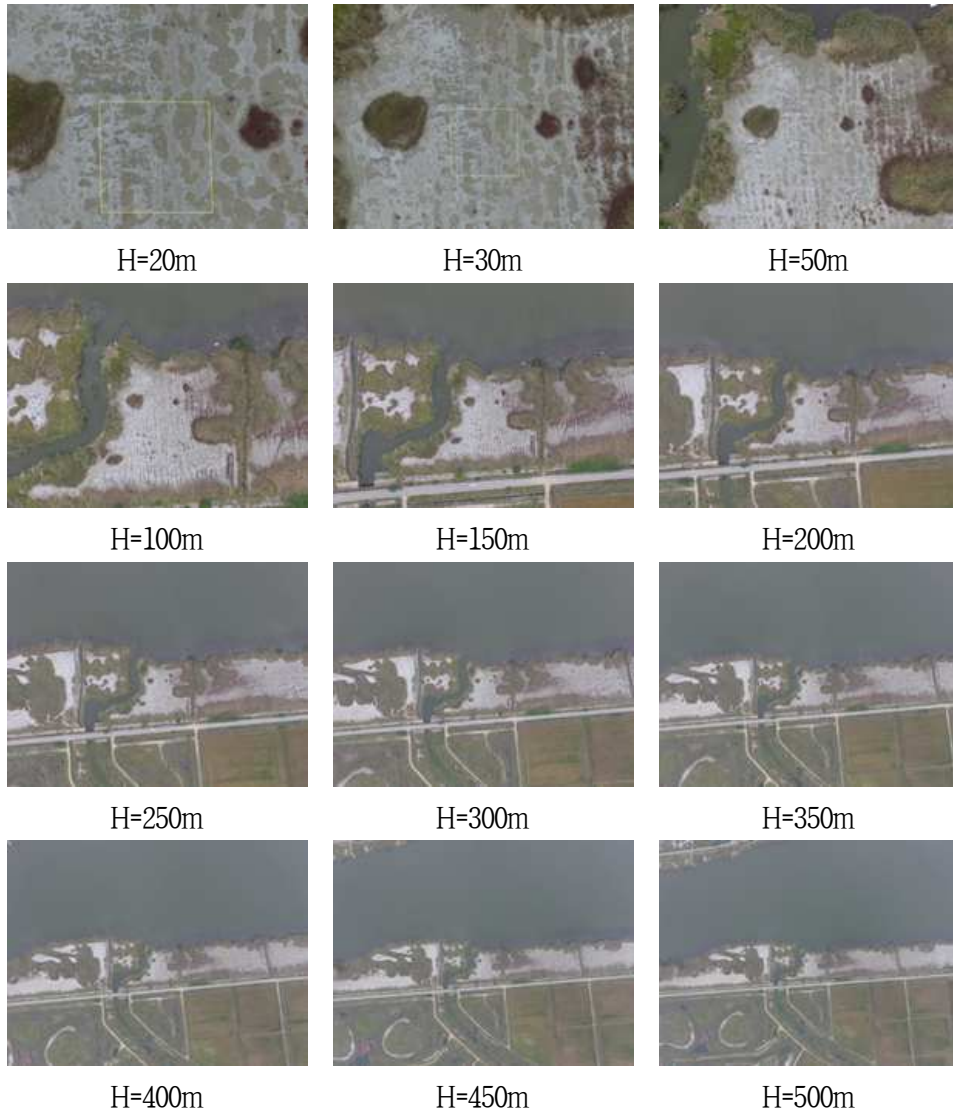
○ 촬영 고도에 따른 촬영 면적 평가

- 시화 간척지구에서 이륙 지점을 선정하고 지상에 10m x 10m 크기의 기준점을 표시(<그림 6-2>)함
- 고도 10m에서부터 500m까지 고도 10m 간격으로 각각 촬영
- 카메라 해상도는 4000×3000 pixel로 설정
- 기타 촬영 조건은 초기 셋팅값인 Auto 모드를 이용



<그림 6-2> 촬영 면적 평가를 위한 지상 기준점

- UAV 비행 중에는 지상과 실시간 통신하여 현재 기체의 고도가 원하는 위치인지 확인한 후 자세 제어 기능을 통해 고도를 유지한 후 이미지를 촬영
- 이 과정을 통해 획득한 항공사진은 <그림 6-3>과 같음

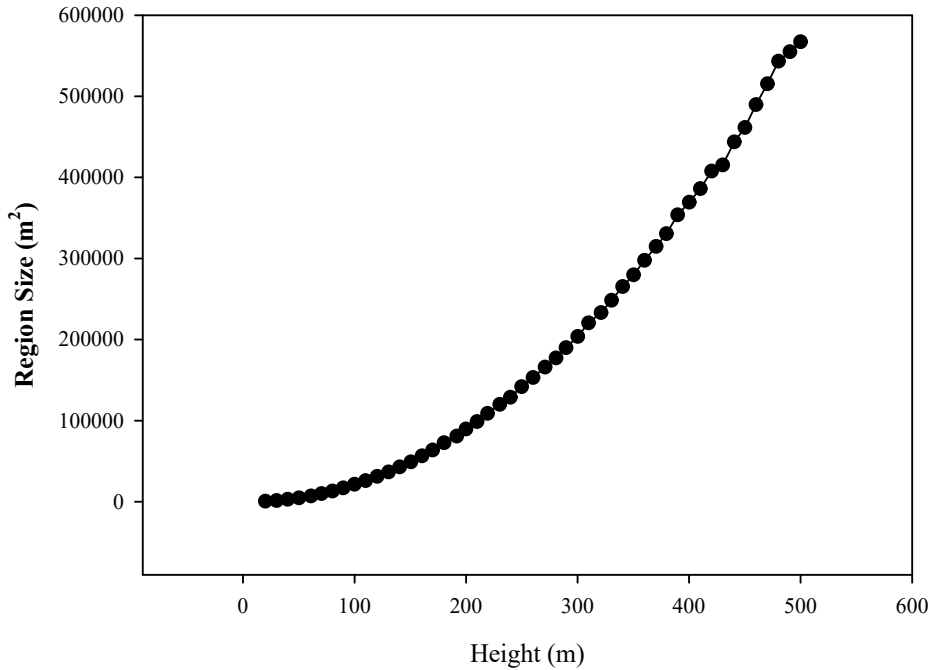


<그림 6-3> 고도에 따른 항공사진 (시화지구)

- 기체 고도가 증가함에 따라 촬영 영역이 넓어짐
- 고도의 변화와 무관하게 항공사진의 색상 분포는 유사
- 기체 고도 500m 지점에서는 한 장의 항공사진이 수평거리 약 890m, 수직거리 약 670m 범위를 촬영
- UAV 촬영 고도에 따른 촬영 가능 면적 산출
 - 대상 지역 지상에 설치한 10m x 10m 촬영 기준점의 네 모서리 픽셀 좌표를 기준으로 각 고도에서의 픽셀 수를 카운팅 후 고도에 따른 촬영 면적을 분석함
 - 고도에 따른 촬영 면적은 다음 식과 같이 산정함

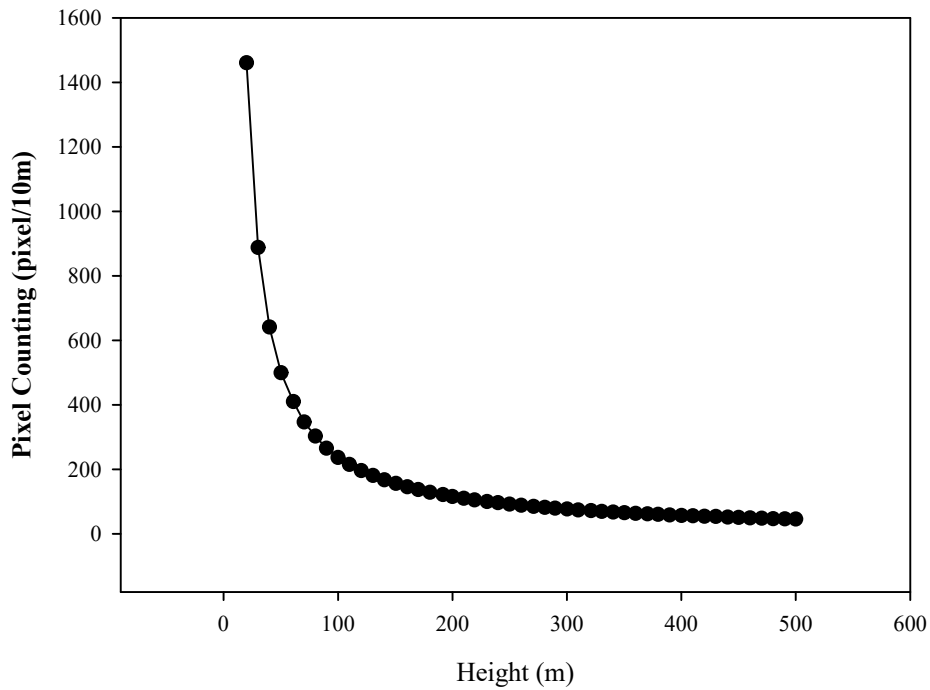
$$A = \left(X_{count} \times \frac{10m}{x_{count}} \right) \times \left(Y_{count} \times \frac{10m}{y_{count}} \right)$$

- 여기서 A는 촬영 가능 면적, Xcount, Ycount는 영상의 전체 X,Y 축 픽셀 수, xcount, ycount는 10m 구간에 대한 x, y 축 픽셀 수



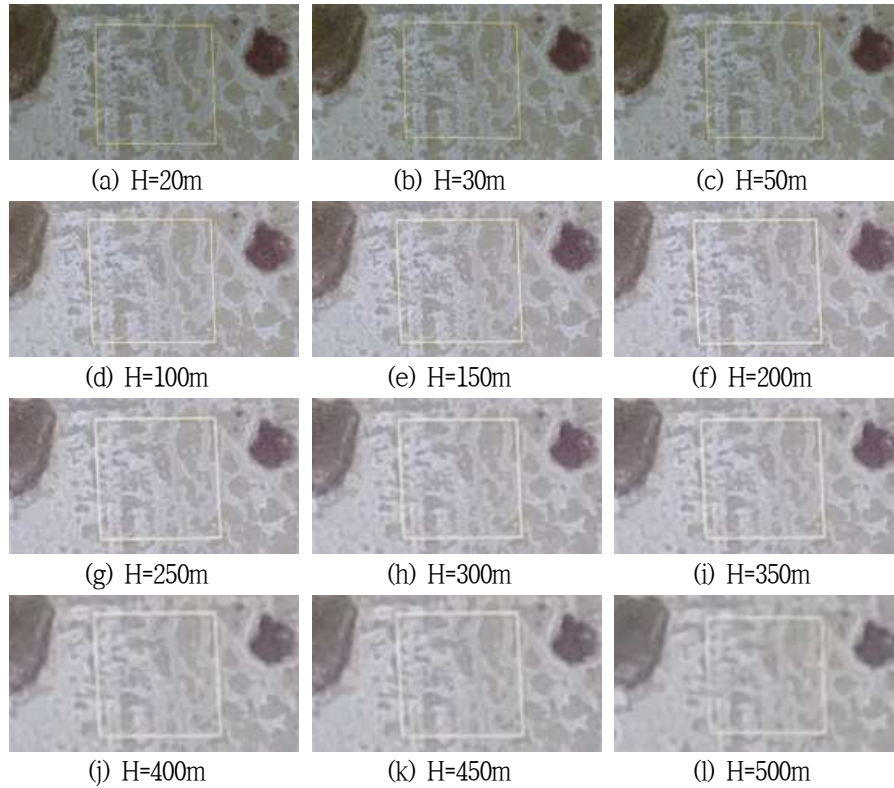
<그림 6-4> 고도에 따른 UAV 카메라의 촬영 가능 면적

- 고도 증가에 따라 촬영 가능 면적은 지수적으로 증가
 - 고도 500m 지점에서는 한 장의 영상에 약 60ha 면적 촬영 가능
 - 고도 150m 지점에서는 한 장의 영상에 약 5ha 면적 촬영 가능
 - 고도 100m 지점에서는 한 장의 영상에 약 2ha 면적 촬영 가능
- 촬영 해상도에 따른 촬영 면적 평가
- UAV 촬영 고도에 따른 촬영 가능 면적 평가 시 획득한 이미지를 이용하여 분석
 - 지상 촬영 기준점의 네 모서리 픽셀 좌표를 기준으로 해상도 평가를 수행함
 - 고도에 따른 해상도는 동일 기준 거리(10m)에 대한 픽셀 수(pixel/10m)를 카운트하여 비교
 - 고도 상승에 따라 동일 기준 거리(10m)에 대한 픽셀 수는 지수적으로 감소
 - 고도 100m, 150m, 250m, 500m에서 기준점의 픽셀 수는 각각 235, 157, 92, 45으로 나타남



<그림 6-5> 고도에 따른 UAV 카메라 촬영 사진의 기준 거리 (10m)당 픽셀 수

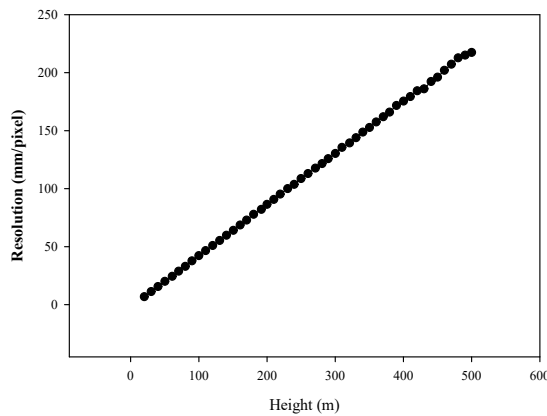
- 각 고도별 이미지에서 동일 영역을 추출하여 비교 수행 (그림 6-6)
 - 고도가 상승함에 따라 해상도 저하 및 노이즈 발생, 경계 구분이 모호해짐
 - 특히 고도 상승에 따라 촬영 시 색상 값 평준화가 발생하는 것으로 나타남
 - 고도가 다른 영상을 사용해 토양의 특성을 평가할 때에는 고도에 의한 영상 변화를 고려할 필요가 있음



<그림 6-6> 고도에 따른 동일 지역의 항공사진 (시화지구)

▪ 고도에 따른 영상의 해상도 산정

- 1 픽셀 당 실제 거리 (mm/pixel)를 구하는 방식을 이용
- 이 값이 작을수록 한 픽셀이 표현하는 실제 거리가 작게되므로 해상도가 높음
- <그림 6-7>과 같이 고도에 따른 해상도 변화는 선형적으로 나타남
- 고도 500m에서는 약 222mm/pixel, 고도 100m에서는 약 43mm/pixel의 해상도
- 250m 고도 이하에서는 100mm/pixel 이상의 고해상도 영상 획득이 가능해 30m급 위성에 비해 약 300 배 이상 해상도가 높은 것으로 평가



<그림 6-7> 고도에 따른 항공사진의 픽셀 당 실제 거리

3. UAV의 운용기준 및 촬영기준 정립

○ 촬영 고도

- 본 연구에 사용된 기체의 카메라의 해상도는 4000×3000픽셀로 고도 500m에서 약 222mm/pixel의 해상도를 나타내고 고도 250m이하에서 100mm/pixel이상의 고해상도 영상이 획득 가능하므로 촬영 대상의 실제 크기를 고려하여 적정 높이를 사전에 결정하는 것이 바람직하며 국내 항공사진 촬영 기준에 따라 150m이하로 비행하여야 함

○ 촬영 각도

- 지표면을 바라보는 각도를 90도, 기체에서 정면을 봤을 때를 0도라고 한다면 카메라 촬영 각도가 낮아질수록 점차 지평선 부분으로 영상이 이동하며, 영상의 외각 부분에서 원근에 의한 왜곡이 발생할 수 있으며 항공사진측량 작업규정 제24조(사진 및 영상촬영)에서 규정하는 연직방향 (90°)로 촬영하는 것으로 규정되어 있어 촬영 각도는 지표면을 바라보게 하여야 하며 짐벌을 이용해 기체의 운동에 의해 영향을 받지 않도록 하여야 함

○ 기체 운동 속도

- UAV의 카메라에 장착된 3축 짐벌로 인해 15m/s 이내의 운동 속도에서는 매우 안정적인 항공사진을 획득 할 수 있으나 정사영상을 생성하기 위해서는 중복도가 60%(진행 방향) 이상 필요하므로 5초 간격으로 자동 촬영되는 이미지를 고려할 때 10m/s 이내로 비행하여야 함

○ 화이트밸런스

- 카메라 설정에서 화이트밸런스를 조절할 수 있으며 여기서 조절하는 색온도 설정에 따라 사진의 색상이 변화하게 되며 형광등, 백열등과 같이 조명 조건이 상이하거나 새벽과 해질녘 등에는 화이트 밸런스 조절이 필요하나 태양광 조건에서 주간에 촬영할 시에는 그 변화가 크지 않으므로 화이트 밸런스 자동 또는 태양광 조건으로 촬영하는 것이 바람직함

○ ISO

- ISO 400 이상에서는 노이즈가 발생할 소지가 높아 UAV 카메라가 제공하는 가장 낮은 ISO 값인 ISO 100을 사용하는 것이 바람직함

제 2 절 UAV를 이용한 대상지구의 항공사진 촬영

1. 대상지구 현황

○ 시화지구

■ 특징

- 대상 지구의 위치는 탄도호 인근의 간척지이며 <그림 6-8>에서 붉은 점선으로 표시한 구역임
- 다른 간척지보다 도심에 가까이 위치 (<그림 6-9 (a)>) 하고 있어 인근에 산업시설 및 주거시설이 다수 분포
- 탄도호 하부 방조제는 전곡항과 인접
- 현재 농어촌공사 화안사업단에서 농지 개발을 진행 중
- 탄도호 양안으로 방수제(<그림 6-9 (b)>)가 조성되어 있으며 차량 통행 가능한 상태



<그림 6-8> 대상지구 위치도 (시화지구)



(a) 대상지역 인근 현황



(b) 방수제 인근 현황

<그림 6-9> 대상 간척지구 인근 현황 (시화지구)

- 방수제를 중심으로 탄도호 측으로는 나대지가 넓게 분포
- 우측은 간척 농지가 조성되어 식생 피복이 많이 되어 있는 상태임
- 탄도호 측으로는 갈대와 칠면초 군락이 곳곳에 나타나 있음
- 간헐적으로 염분이 상승하여 집적된 지역이 확인됨



(a) 간척지 (나대지 및 갈대, 칠면초 군락)



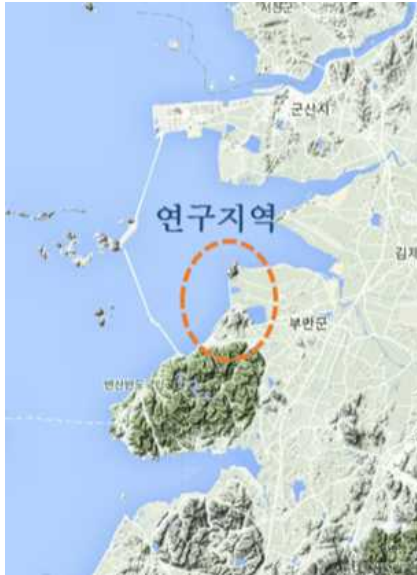
(b) 간척농지 (논)

<그림 6-10> 대상 간척지구 표층 현황 (시화지구)

○ 새만금지구

■ 특징

- 대상 지구의 위치는 계화도 인근의 간척지이며 <그림 6-11>에서 붉은 점선으로 표시한 구역임
- 국내 최대 규모 간척지
- 현재 내부 개발을 위한 방수제 공사 진행 중



<그림 6-11> 대상지구 위치도 (새만금지구)



(a) 대상지역 인근 현황



(b) 방수제 인근 현황

<그림 6-12> 대상 간척지구 인근 현황 (새만금지구)

- 시화지구에 비해 간척지가 넓게 분포하고 있으며, 공간적 편차가 상대적으로 크게 나타남
- 간척지 내에는 갈대 숲과 갯골이 형성되어 있으며 농기계의 통행이 빈번함



(a) 간척지 (나대지 및 갈대, 칠면초 군락)



(b) 갈대 군락

<그림 6-13> 대상 간척지구 표층 현황 (새만금지구)

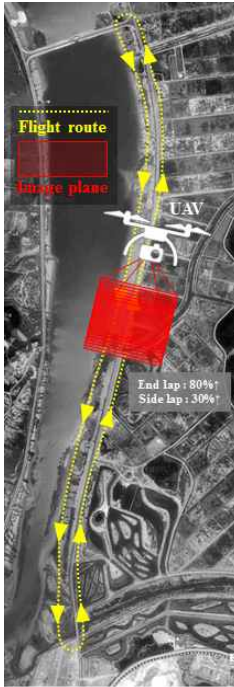
2. UAV를 이용한 영상 획득 과정

○ UAV를 이용한 영상 획득 절차

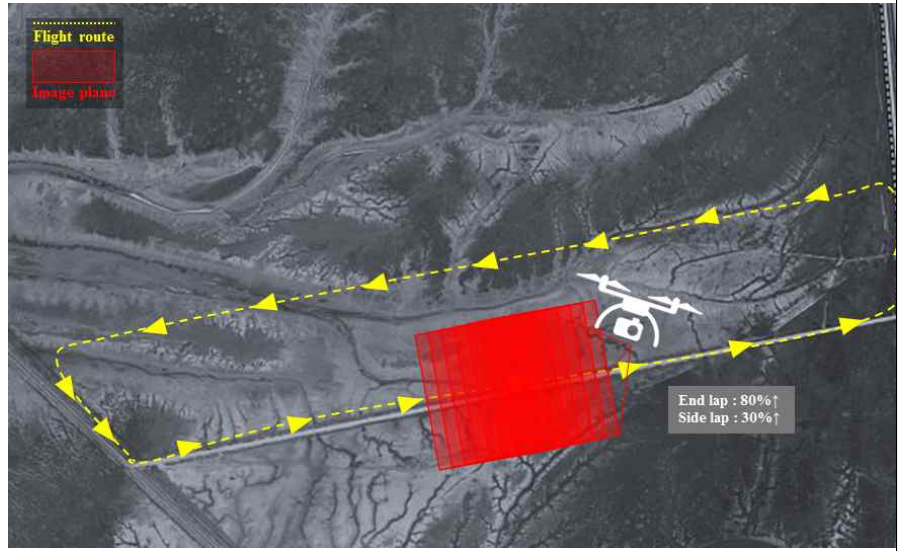
- UAV를 이용하여 항공사진을 획득하기 위해서는 사전에 비행계획 수립이 필요함
- 자율 비행이 가능한 UAV의 경우 효과적인 데이터 획득을 위해 사전에 비행경로를 생성하기도 하나 본 연구에서 사용한 비행체와 같이 컨트롤러 조작으로 이뤄지는 기체는 사전에 비행경로를 조사하고 분석하여야 함
- 대상지에 대해 촬영 영역을 최소 경계 사각형(Minimum Bounding Rectangle)으로 지정하고 지도상 위치를 확인하여 각 위치의 위도, 경도, 표고 값을 산출하여야 함
- 카메라의 성능과 공간 해상도픽셀크기, 렌즈의 초점거리를 이용하여 원하는 해상도가 되는 비행 고도를 계산하고 사진의 중복도, 축척을 이용해 필요한 사진 매수를 계산하여야 함

○ 비행경로 선정

- UAV 촬영을 시행하기 전 안전하고 정확한 비행 및 촬영을 위해 대상 지역에 대한 조사, 답사 등을 실시하여 이·착륙에 적합한 후보지를 선정하고 비행 구간에 지장물이 없는지 철탍과 같은 고공 구조물의 영향이 없는지 미리 파악하고 전체 구간에 대한 개략적인 비행 경로를 설정해야 하며 이를 기준으로 계획노선, 촬영 고도 및 촬영 간격, 기체의 비행 예정 속도 등을 설정함
- 고품질의 정합 영상을 획득하기 위해서는 사진 중복도와 매수를 선정해야 하며 비행코스의 방향과 간격이 적절해야 함
- 또한 비행 전 카메라와 기체의 지자기 센서 등을 Calibration 해야 하고 주행 구간과 예상 시간에 의한 배터리 소모량을 예측하여 비행 중 배터리 저하로 인한 추락 등에 미리 대비해야 함
- 위와 같은 과정을 통해 선정한 예상 비행경로는 <그림 6-14>와 같음



(a) 시화지구

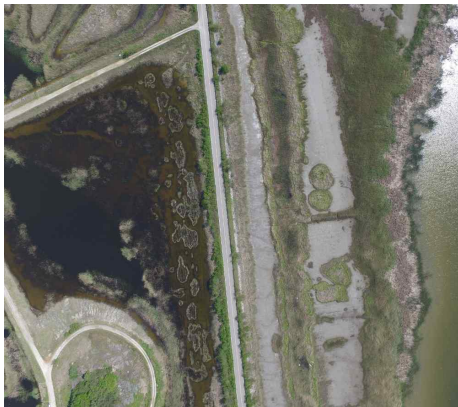


(b) 새만금지구

<그림 6-14> 촬영 대상 면적 및 중복도를 고려한 예상 비행경로의 선정

○ 원본 이미지 획득

- 사전에 계획한 비행경로, 비행 고도, 기체 및 카메라 설정, 비행 속도 등을 적용하여 각 지역에서 얻은 원본 이미지는 다음 <그림 6-15>와 같음



(a) 시화지구



(b) 새만금지구

<그림 6-15> UAV를 이용하여 촬영한 연구 대상 지구의 항공사진 예시

- 각 사진의 해상도는 4000x3000 픽셀이며 150m 고도에서 비행 시 10cm/pixel 이상의 고해상도 영상을 획득할 수 있음
- 1회 비행으로 계획된 비행경로를 모두 비행할 수 있었으며 약 140장 이상의 원본 이미지를 취득함

제 3 절 항공사진 정합을 통한 정사영상 생성

1. 영상의 전처리 및 정합과정

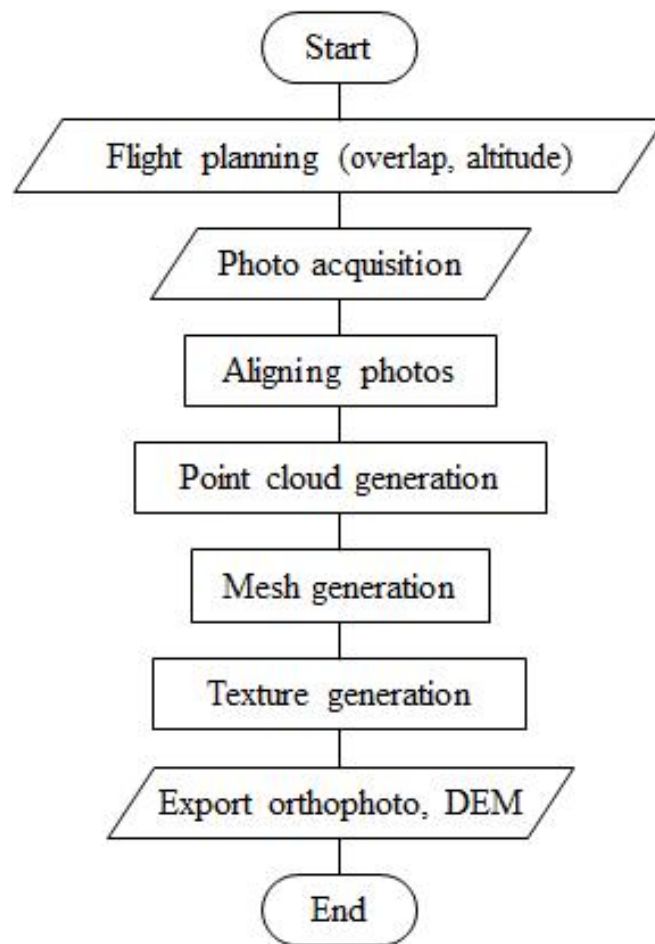
○ 정사영상

- UAV를 이용하여 획득한 영상은 항공사진 정합을 통해 정사영상으로 변환할 수 있음
 - 이 과정에서 PhotoScan과 같은 3차원 공간 정보 생성 소프트웨어를 사용하게 되는데, 이는 영상 지오레퍼런싱을 통해 정밀하게 결정된 영상의 외부 표정요소를 전달받아 영상으로부터 지도와 동일한 좌표체계를 갖는 수치 표고 모형, 정사영상과 같은 공간 정보를 출력하는 기능을 가지고 있음
- 일반적으로 수치 표고 모형은 처리 시간이 많이 소요되는 정밀 매칭(Dense matching)에 의해 지상의 밀도 높은 3차원 점집합의 계산결과로 생성됨
- 정사 영상이란 중심 투영으로 생성된 영상 상에 포함된 기복편위를 제거하여 지도와 동일한 좌표체계로 변환된 영상을 의미하며 이를 위해서는 기복 편위를 제거하는 미분 편위 수정을 수행해야 함
 - 미분 편위 수정은 영상점과 투영 중심, 지상점이 한 직선 위에 존재한다는 공선조건식을 기반으로 하여 정사 영상의 밝기 값을 원 영상에서 가져오는 방법을 이용
 - 미분 편위 수정을 통해 생성된 정사영상의 밝기 값을 결정할 때 정사영상의 격자에 상응하는 원영상의 위치로 가서 주변 밝기 값을 내삽하여 영상 재배열을 수행하고 이 때 고속 처리를 위하여 가장 가까운 거리에 있는 원 영상의 밝기 값을 그대로 이용하는 최근린 내삽법(Nearest neighbor)을 이용
- 좌표계는 WGS84/UTM zone 52S를 선택하였으며 원본 이미지를 import 하면 원본 사진에 기록되어 있는 위치 정보와 고도 정보 등이 함께 입력됨
 - 이 정보를 바탕으로 원본 사진 간의 위치를 정렬하여 모델에 표시되게 되며 위의 과정을 통해 최종 정사 영상을 생성

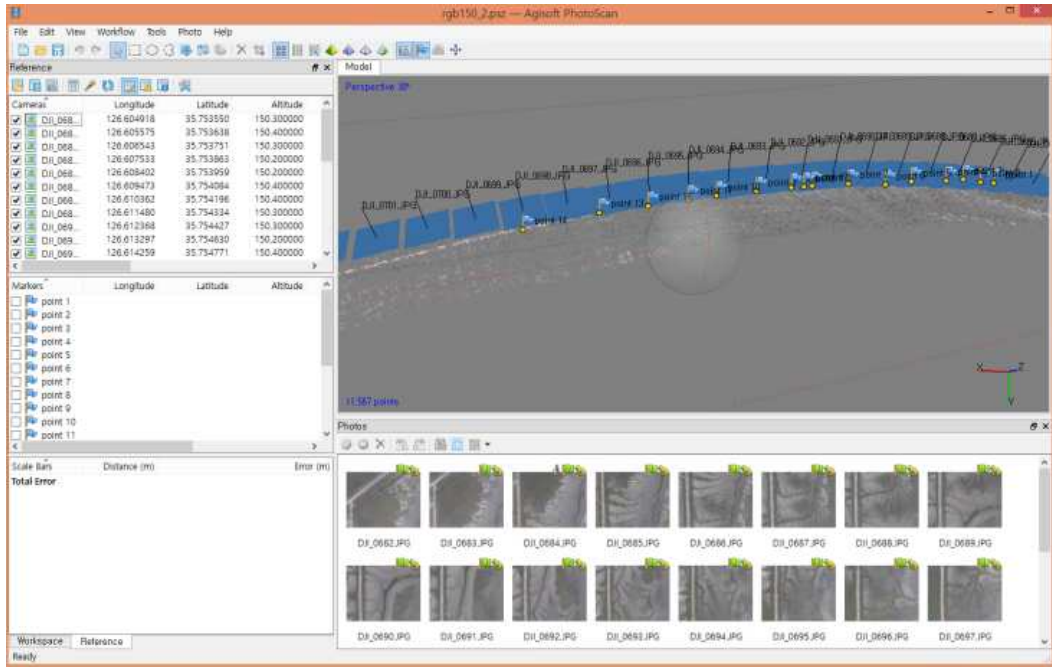
○ 3차원 공간 정보 생성 소프트웨어를 이용한 영상의 전처리 및 정사영상 생성 절차

- 전처리과정을 포함한 정사영상 생성 절차
 - 촬영한 사진 중 이, 착륙 시 촬영된 사진과 오류가 발생한 사진들에 대한 선별
 - 사진접합(Align Photo)
 - 지상기준점(GCP)입력
 - 지형 구축(Build Dense Cloud)

- 질감 구축(Build Mesh)
- 재질 생성(Build Texture)
- 정사영상 생성
- 본 연구에서 사용한 항공사진의 획득, 정합, 추출 과정은 <그림 6-16>과 같으며 Agisoft社의 Photoscan을 이용<그림 6-17>하여 데이터 처리를 수행하였고 위치정보를 포함한 이미지 <그림 6-18>을 이용해 영상 정합(그림 6-19(d)) 과정을 거쳐 정사영상을 생성하였음

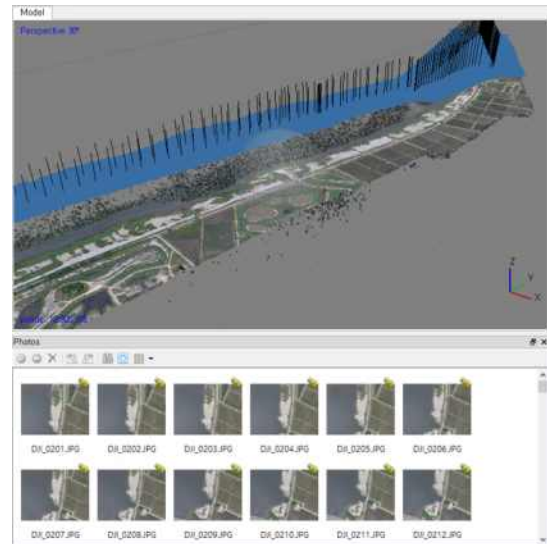


<그림 6-16> UAV를 이용한 항공사진의 획득 및 정사영상 획득을 위한 정합, 추출 과정



<그림 6-17> Agisoft Photoscan Pro의 구동화면

Cameras	Longitude	Latitude	Altitude
DJI_020...	126.658585	37.230605	250.500000
DJI_020...	126.658591	37.230593	250.000000
DJI_020...	126.658651	37.230510	250.200000
DJI_020...	126.658727	37.230398	250.200000
DJI_020...	126.658794	37.230288	250.100000
DJI_020...	126.658886	37.230131	249.900000
DJI_020...	126.659006	37.229918	250.000000
DJI_020...	126.659117	37.229719	249.900000
DJI_020...	126.659218	37.229544	250.100000
DJI_021...	126.659274	37.229442	250.100000
DJI_021...	126.659297	37.229386	250.200000
DJI_021...	126.659302	37.229368	250.200000
DJI_021...	126.659342	37.229300	250.100000
DJI_021...	126.659427	37.229135	250.100000
DJI_021...	126.659522	37.228916	249.900000
DJI_021...	126.659620	37.228731	250.000000
DJI_021...	126.659759	37.228475	250.100000
DJI_021...	126.659893	37.228191	250.200000
DJI_021...	126.660007	37.227972	250.100000

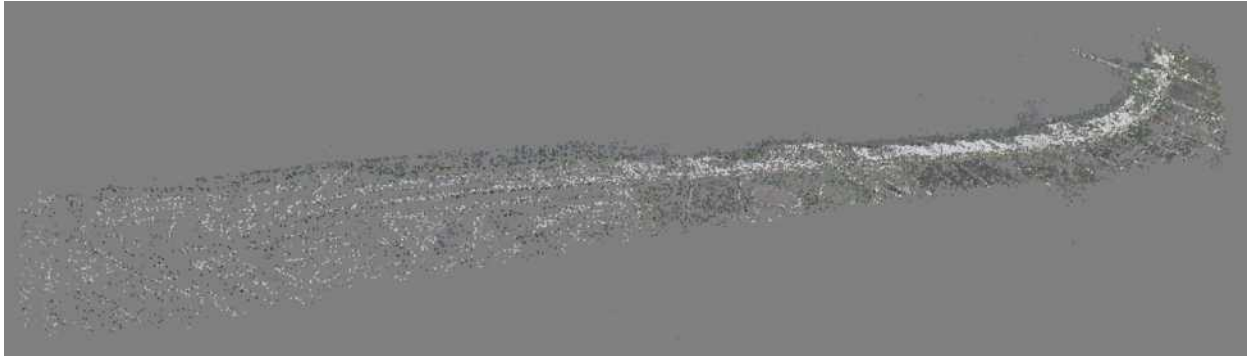


(a) 항공사진 별 위치정보

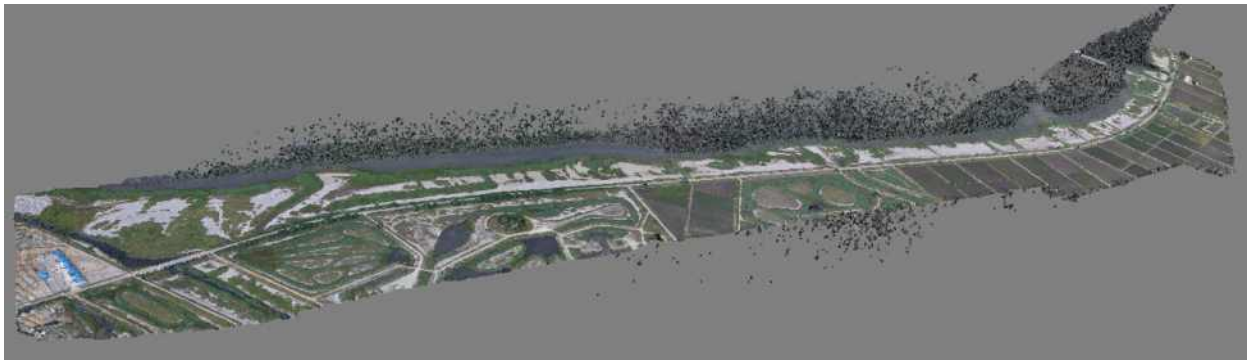
(b) 영상정합과정

<그림 6-18> Agisoft Photoscan Pro를 이용한 항공사진의 위치정보 확인 및 영상정합

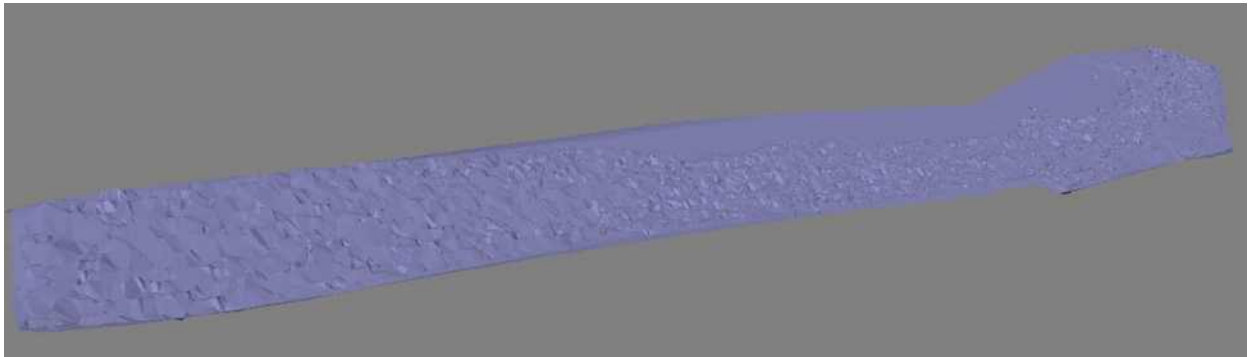
- 간척지의 정합과정에서 나타나는 point cloud, dense cloud, 3차원 mesh와 texture 생성 과정은 다음 <그림 6-19,20>과 같음



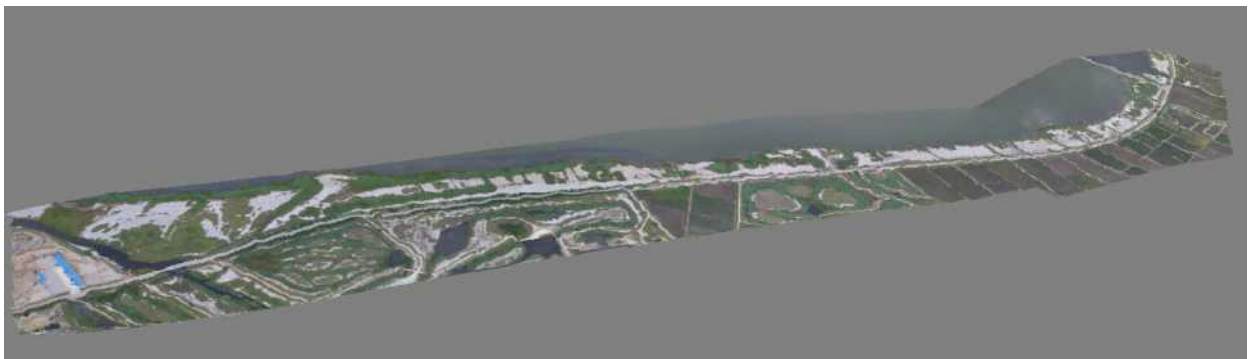
(a) aligning photo를 통한 point cloud생성



(b) dense cloud생성

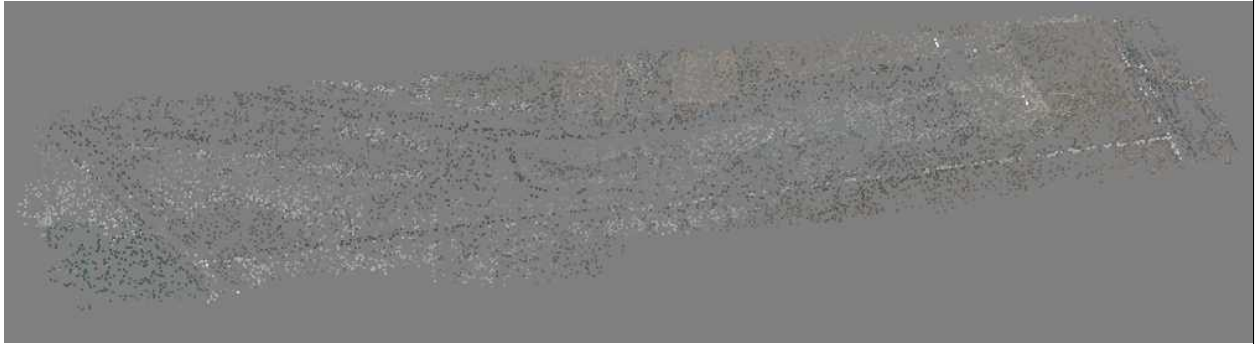


(c) 3차원 mesh생성

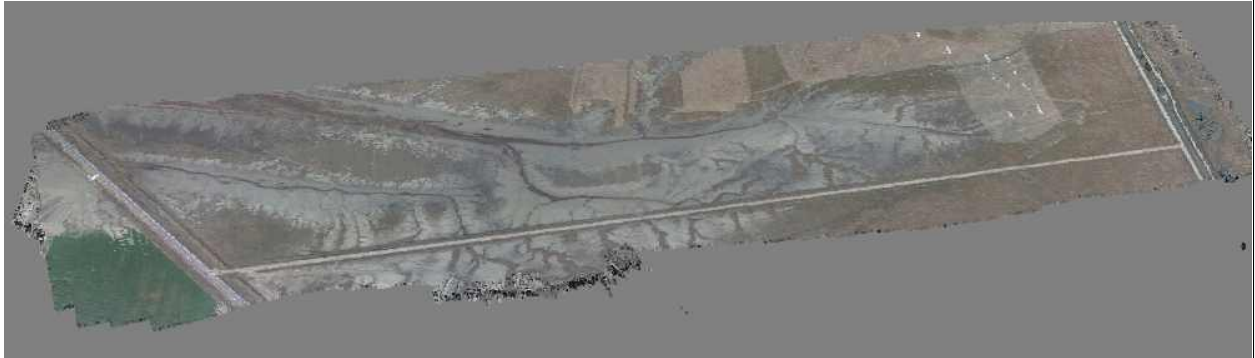


(d) texture생성

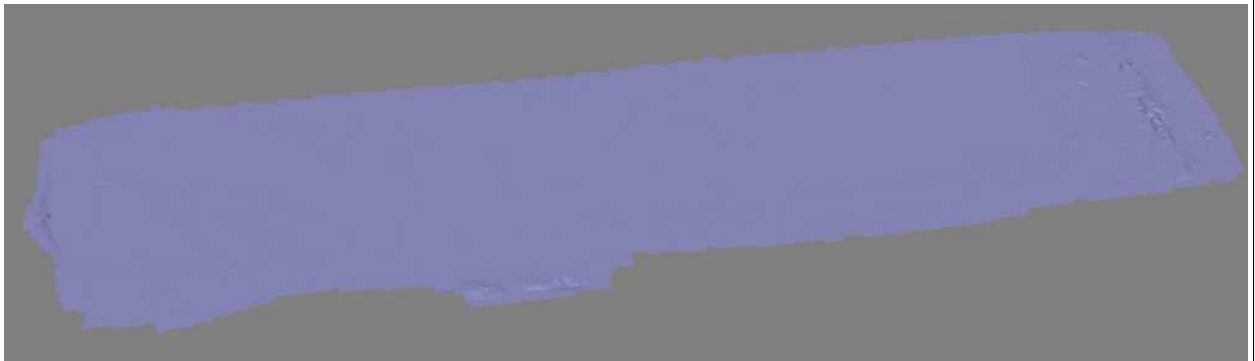
<그림 6-19> Agisoft Photoscan Pro를 이용한 항공사진의 정합과정 (시화지구)



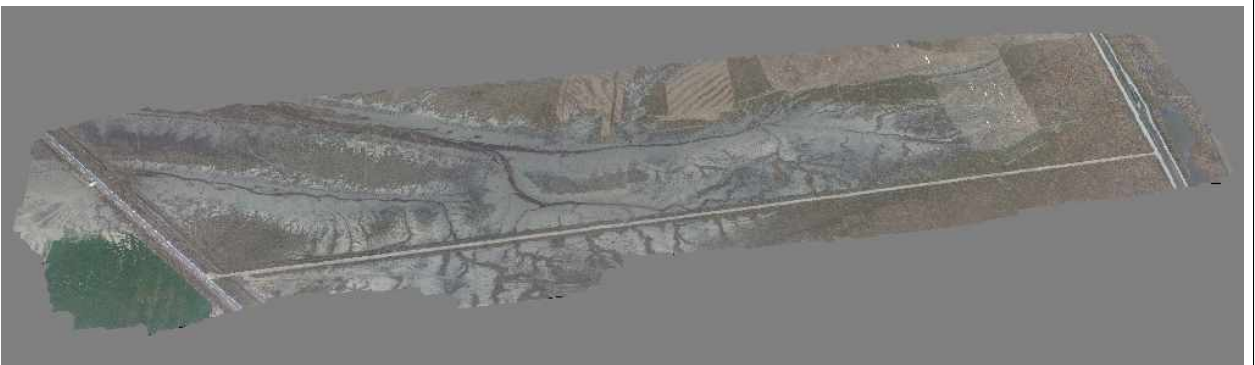
(a) aligning photo를 통한 point cloud생성



(b) dense cloud생성



(c) 3차원 mesh생성



(d) texture생성

<그림 6-20> Agisoft Photoscan Pro를 이용한 항공사진의 정합과정 (새만금지구)

2. 정사영상의 품질평가

○ 정사 영상과 일반 위성 영상과의 비교 분석

- 전처리 과정을 거쳐 직교영상으로 추출한 결과물은 다음 <그림 6-21,22>와 같음
 - 사전에 계획한 목표지점에 대한 영상을 충분히 확보하였고 정합 품질 또한 우수함



<그림 6-21> 대상지구의 정사영상 (시화지구)



<그림 6-22> 대상지구의 정사영상 (새만금지구)

- 본 연구에서 획득한 영상의 품질 평가를 위해 Google earth의 위성 영상, Daum의 항공 영상과 함께 <그림 6-23, 24>에 비교하였음



(a) UAV



(b) google earth



(c) daum

<그림 6-23> UAV를 이용하여 획득한 정사영상과 일반 위성영상과의 동일지역 촬영 결과 비교 (시화지구)



(a) This study



(b) google earth

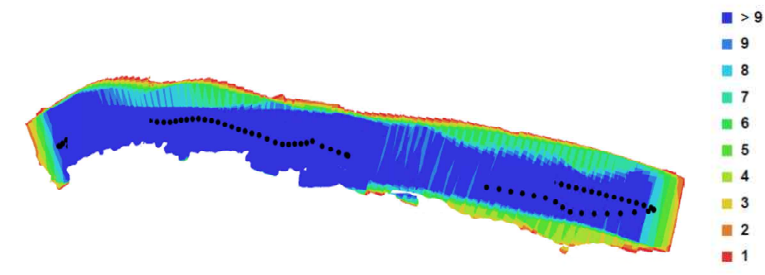


(c) daum

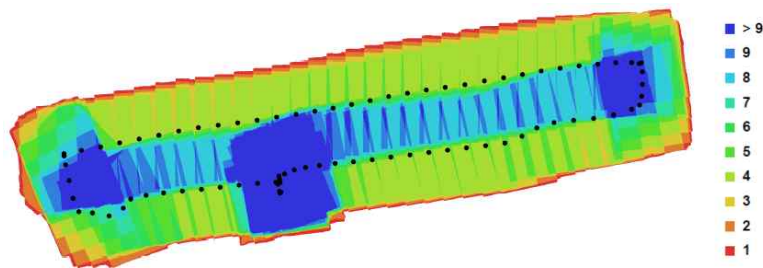
<그림 6-24> UAV를 이용하여 획득한 정사영상과 일반 위성영상과의 동일지역 촬영 결과 비교 (새만금지구)

- 그림에서 보는 바와 같이 본 연구에서 획득한 영상이 동일한 위치의 구글 어스 위성 영상과 Daum의 항공 영상에 비해 품질이 높다는 것을 확인할 수 있으며 최대 10배 이상 해상도가 높음

- 모든 영상 정합 과정이 끝난 후 영상 정합의 결과물 품질을 다음 <그림 6-25>와 같이 평가할 수 있음
 - 그림에서 파란색 영역은 9장 이상의 이미지를 이용해 정합된 지역임
 - 따라서 파란색 영역은 오차가 적고 위치정보와 영상의 정합 정확성이 높아 영상 분석시 좋은 결과를 얻을 수 있으나 영역의 경계부에 위치해 낮은 중첩도를 가진 곳은 정합 과정에서 오류가 발생하고 위치 정보가 정확하지 않으므로 영상 분석시 제외하는 것이 타당함



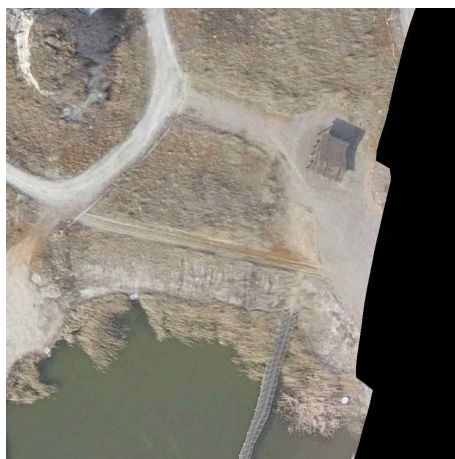
(a) 시화지구



(b) 새만금지구

<그림 6-25> 항공사진 촬영 위치 및 정사영상에서의 이미지 중첩매수

- <그림 6-26>은 영역 외곽부에서 낮은 중첩도로 인해 발생하는 왜곡 현상을 보여주고 있음



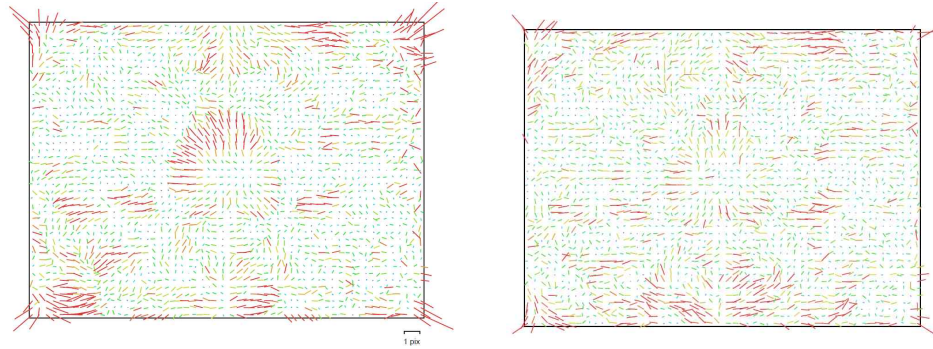
(a) 시화지구



(b) 새만금지구

<그림 6-26> 정사영상의 외각부에서 발생하는 왜곡현상

- 카메라 특성에 따라 발생하는 잔차를 <그림 6-27>와 같이 확인할 수 있음



(a) 시화지구

(b) 새만금지구

<그림 6-27> 항공촬영 시 카메라 특성에 따라 발생하는 잔차

- <그림6-28>은 정사영상을 위성 영상 위에 새로운 층으로 설정한 것이며 위성 영상과의 연결 구간의 단차가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있음
 - 이는 정사 영상이 위치정보를 정확하게 담고 있기 때문에 가능한 것으로 향후 정사 영상 분석시 위치 정보를 활용할 수 있음을 의미함



(a) 시화지구



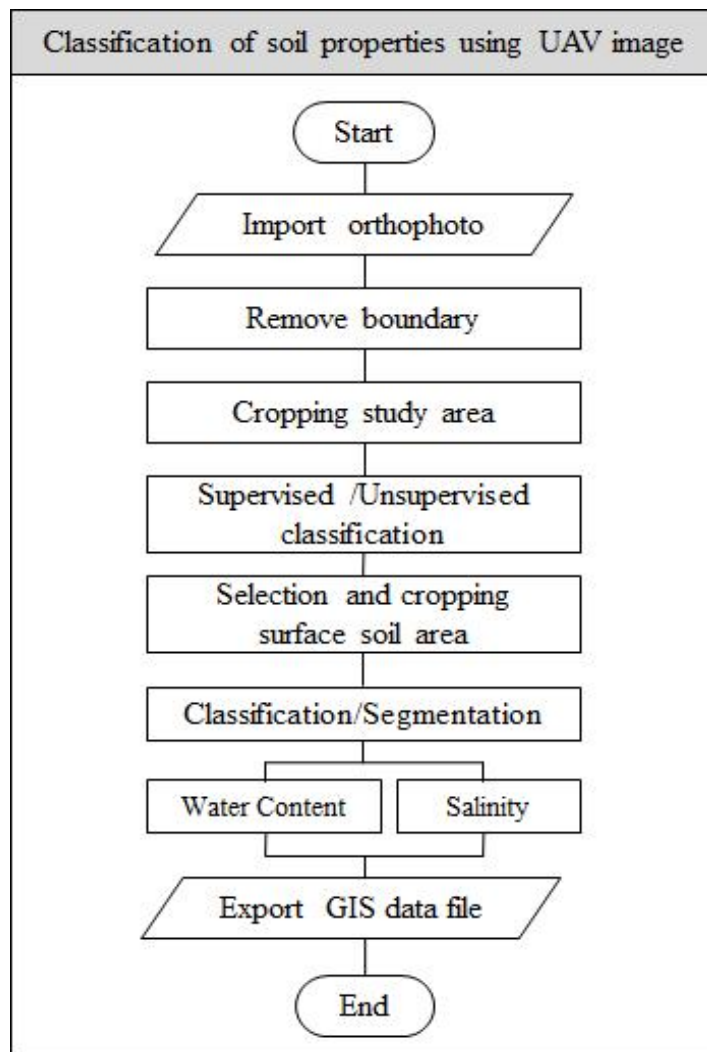
(b) 새만금지구

<그림 6-28> 위성 영상과 정사 영상의 overlapping map

제 4 절 정합영상의 처리 및 연구영역 설정

1. 개요

- 위성 영상 분석에 가장 널리 쓰이고 있는 Arcmap 10.1을 통해 UAV 영상을 분석
- UAV를 이용해 촬영한 영상의 정사 영상을 TIFF 포맷으로 추출
 - TIFF 파일은 Arcgis에서 사용되는 래스터 이미지의 기본 포맷으로 본 연구에서 추출된 TIFF 파일은 위치 정보와 함께 Band 1-3 (R,G,B)이 각각 중첩된 형태

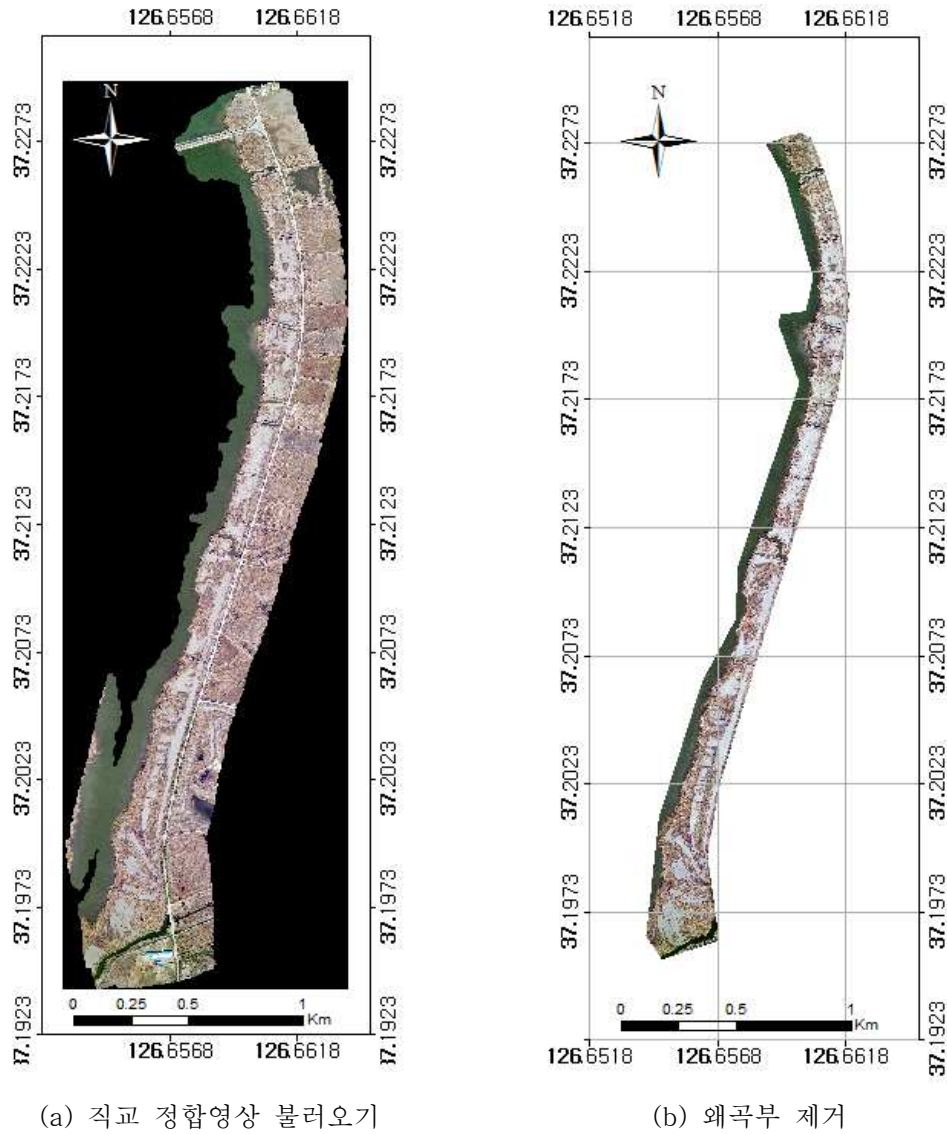


<그림 6-29> UAV 영상을 이용한 토양 특성 분류 방법의 흐름도

- 필요에 따라 RGB Band를 분리해서 R,G,B 데이터를 이용한 연산으로 영상을 분석할 수 있음
- TIFF로 추출된 전체 영상을 Arcgis에서 불러들이면 다음 그림6-30(a), 그림6-31(a) 와 같이 대상 지구에서 획득한 정합 영상을 전체로 확인 가능

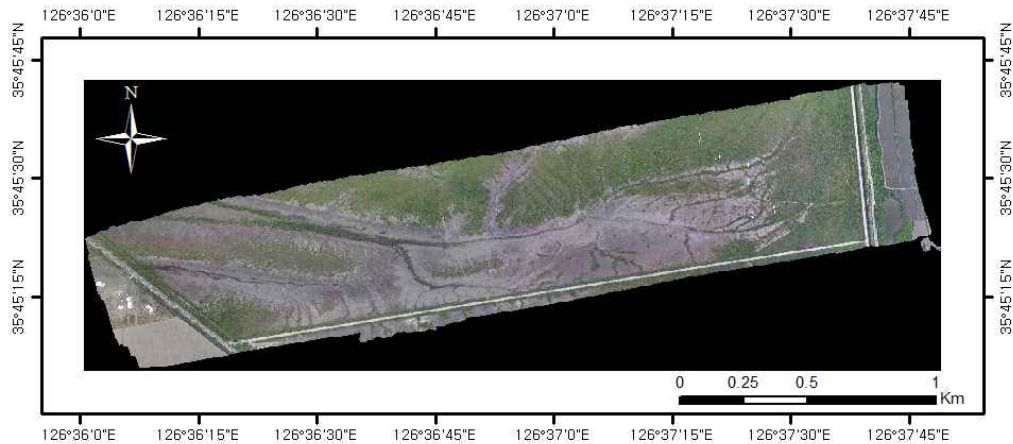
2. 왜곡부 처리

- 정사영상 외곽부에는 중첩도가 낮아 왜곡이 발생하여 제외할 필요 있음
- 그림 6-30(b), 그림6-31(b)와 같이 외곽부를 제외하고 중첩도 높은 지역의 래스터 이미지를 재추출

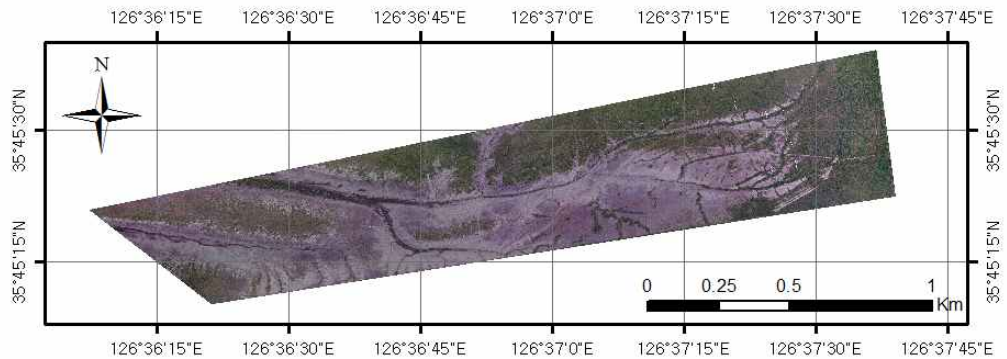


<그림 6-30> 직교 정합영상과 왜곡부 제거 (시화지구)

- 시화지구 영상에서 재추출한 이미지는 폭이 약 160m, 길이가 약 3km 구간



(a) 직교 정합영상 불러오기



(b) 왜곡부 제거

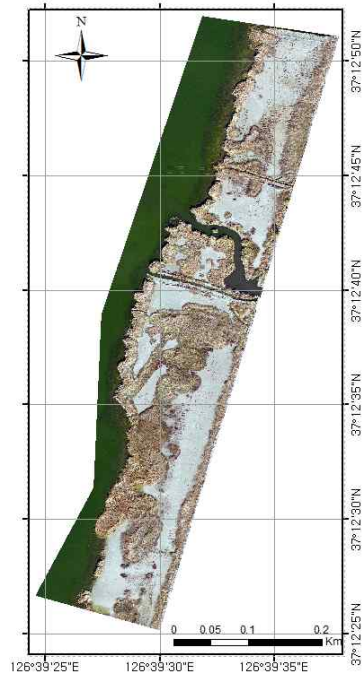
<그림 6-31> 직교 정합영상과 왜곡부 제거 (새만금지구)

○ 새만금지구 영상에서 재추출한 이미지는 폭이 약 400m, 길이가 약 2.5km 구간

3. 연구영역 설정

○ 해상도가 높은 UAV 영상의 장점을 확인하기 위해 소규모 집중 연구 영역을 재설정하고 분석

- 그림 6-32는 시화지구 영상에서 폭은 동일하게 하고 길이 방향 800m 구간으로 집중 연구 영역을 재추출한 이미지
- 그림 6-33는 새만금지구 영상에서 폭 약 500m 길이 방향 약 200m 구간으로 집중 연구 영역을 재추출한 이미지

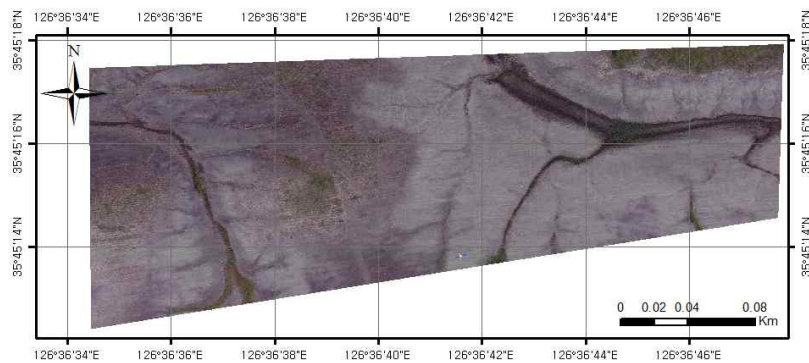


(a) 연구영역 설정 및 추출

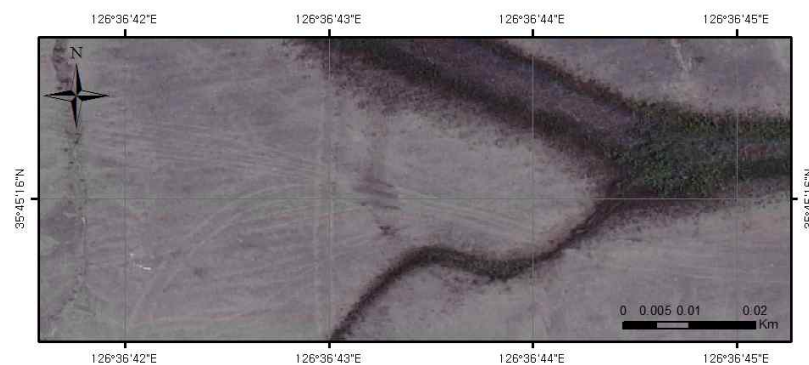


(b) 확대 영상

<그림 6-32> 연구영역 설정 및 추출 (시화지구)



(a) 연구영역 설정 및 추출



(b) 확대 영상

<그림 6-33> 연구영역 설정 및 추출 (새만금지구)

- 간척지 지역은 그림 6-32(b)와 그림 6-33(b)와 같이 식생으로 피복된 곳과 나대지로 표토가 노출된 구간으로 구분할 수 있는데, 나대지 곳곳에는 칠면초 등의 염생식물이 산재함

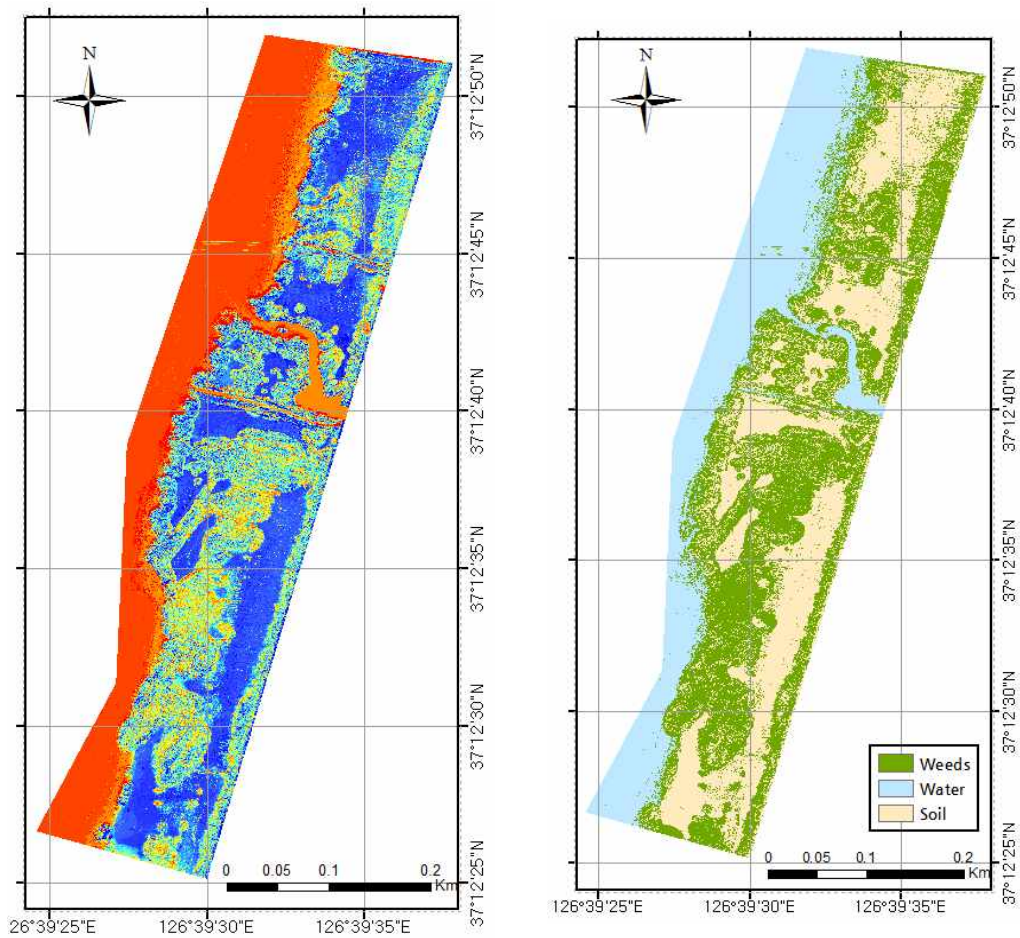
제 5 절 토지 피복 분류

1. 개요

- 간척지 지역은 갈대 군락과 칠면초, 표토가 혼재함
- 각각의 영역을 분류하여 표토 영역만을 추출하여야 추후 간척지 토양의 표층 함수비 및 염도를 추정 평가할 수 있기 때문에 표토 노출 구간을 추출하는 작업을 수행

2. 토지 피복 분류

- 무감독 분류(unsupervised classification)기법을 이용해 표토 노출 구간을 추출

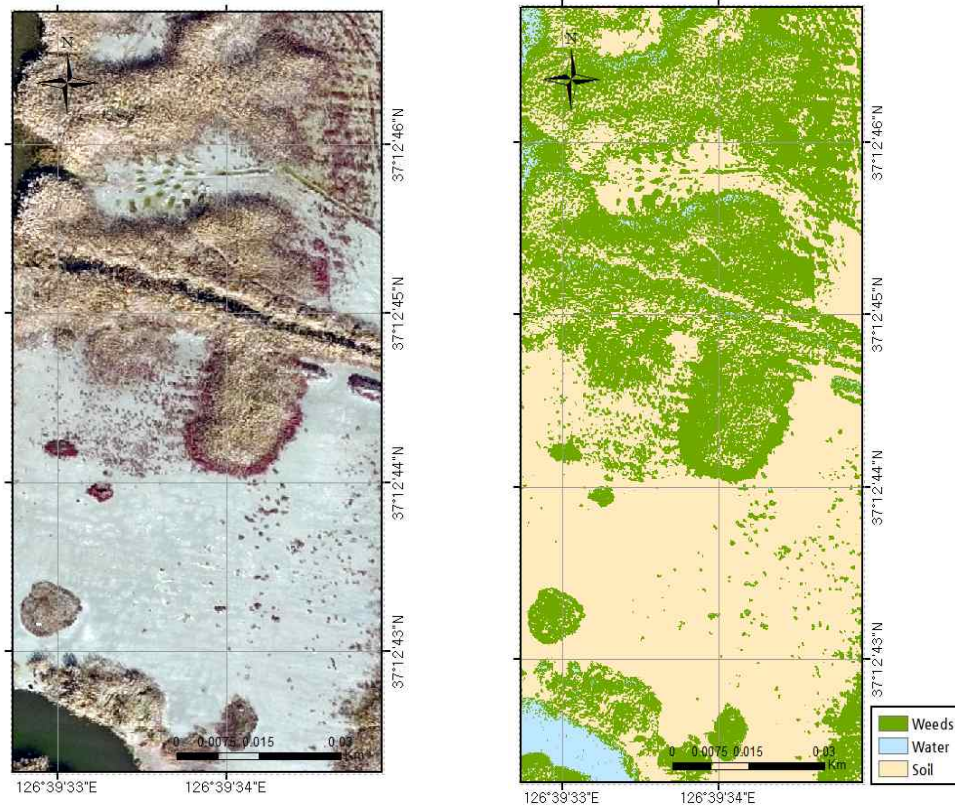


(a) 무감독 분류 결과

(b) 재분류 결과

<그림 6-34> 토지 피복 분류 (시화지구1)

- 영상 자료의 파장별, 공간별 특성에 의해서 각 클래스(Class)의 평균과 공분산을 자율적으로 선택해 공통 특징을 가진 화소들을 집단화(Clustering)하고 분류(Classification)하는 방법
- 무감독 분류를 통해 연구 영역을 20개의 클래스로 분류한 결과는 그림6-34(a), 그림 6-36(a)와 같음
- 분류 결과물을 확인하여 동일 지역으로 분류할 수 있는 클래스들을 묶어주는 리클래스(Reclass) 과정을 거쳐 시화지구는 Weeds, Water, Soil 의 3개 영역으로 새만금 지구는 Weeds 와 Soil 의 2개 영역으로 분류
- 표토 노출 구간 추출 시 그림 6-35(a)와 같이 나대지 곳곳에 간헐적으로 분포하고 있는 칠면초를 표토와 구분하는 것이 중요

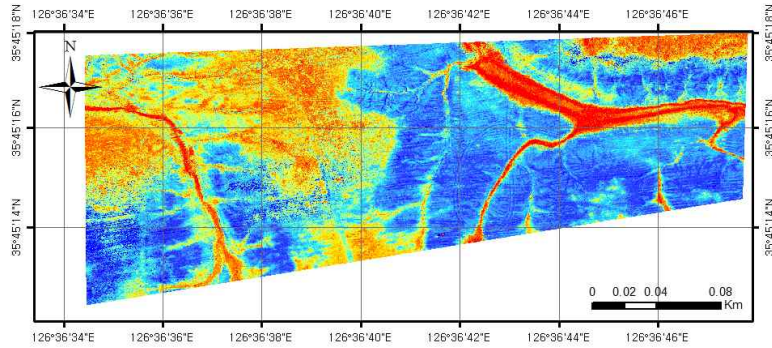


(a) 칠면초 피복

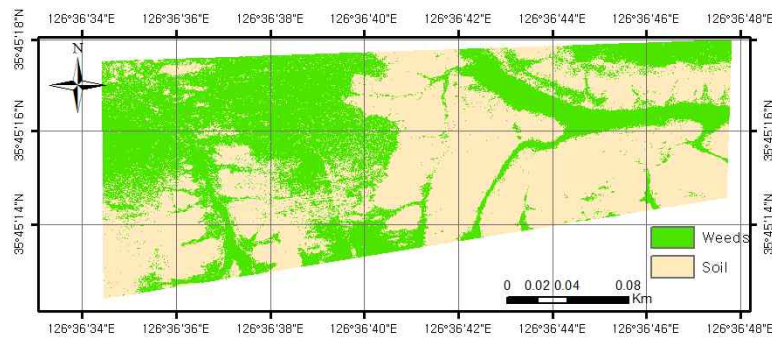
(b) 토지피복 분류

<그림 6-35> 토지 피복 분류 (시화지구2)

- 칠면초 한 개체의 크기는 10-50cm로 고해상도 영상이 아니라면 개체를 구분하는 것이 불가능하나, 본 연구에서 사용한 영상은 고해상도 영상이기 때문에 그림 6-35(b)에서와 같이 칠면초 개체들도 분류가 잘되어 있는 것을 확인할 수 있음



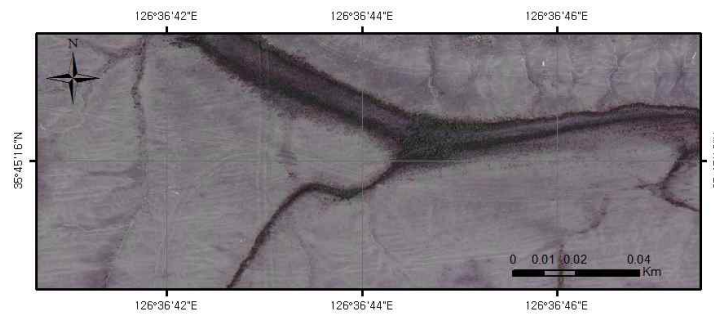
(a) 무감독 분류 결과



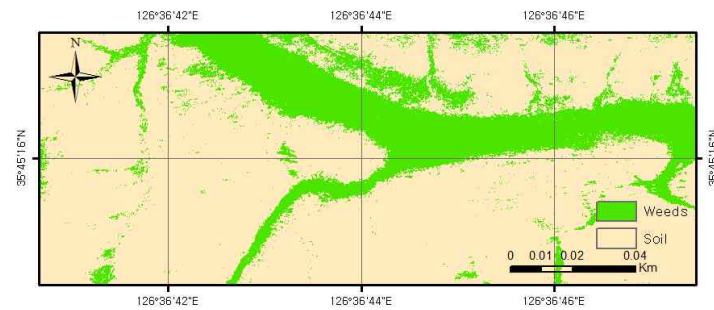
(b) 재분류 결과

<그림 6-36> 토지 피복 분류 (새만금지구1)

- 새만금지구는 갯골이 크게 분포하고 있으며 그림 6-36(a)에서 적색으로 나타남
- 갯골은 기상상황에 따라 물이 흐르기도 하고 건조한 상태가 되기도 함
- 특히 갯골을 따라 식생이 왕성하게 분포하고 있는 것을 그림 6-37(a)를 통해 확인할 수 있음



(a) 정합영상 확대



(b) 토지피복분류 결과 확대

<그림 6-37> 토지 피복 분류 (새만금지구2)

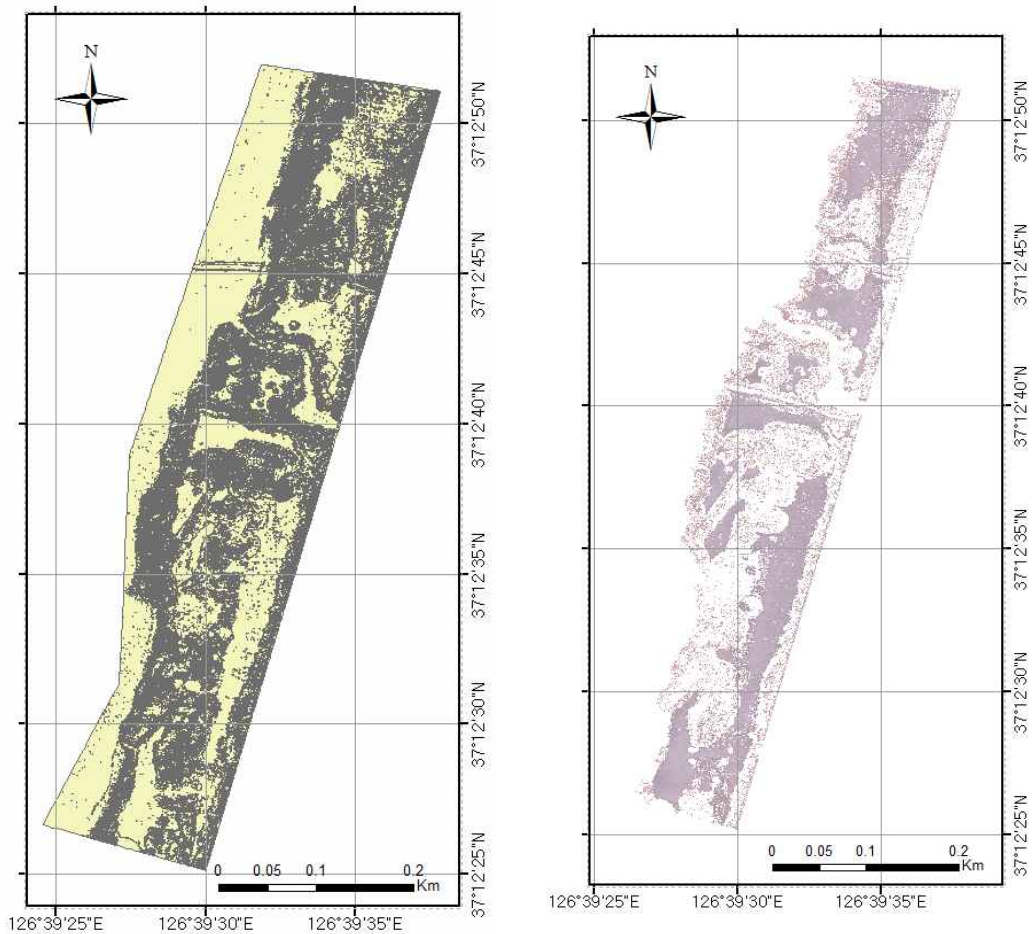
제 6 절 표토 노출 구간 추출

1. 개요

- 본 연구는 간척지 중 표토가 노출된 구간을 대상으로 표층의 함수비 및 염도를 추정하는 연구로 식생 피복 구간 등과 분리하여 추출하여야 함
- 앞선 토지피복 분류 결과에서 표토 노출 구간만을 추출하여 함수비 및 염도 추정 관련 연구를 진행

2. 표토 구간 추출

- 토지 피복 분류 후 시화지구(3개)와 새만금지구(2개)의 각 클래스들을 폴리곤으로 분리(그림 6-38(a), 그림 6-39(a)) 한 후 표토 노출 구간의 래스터 이미지만을 추출

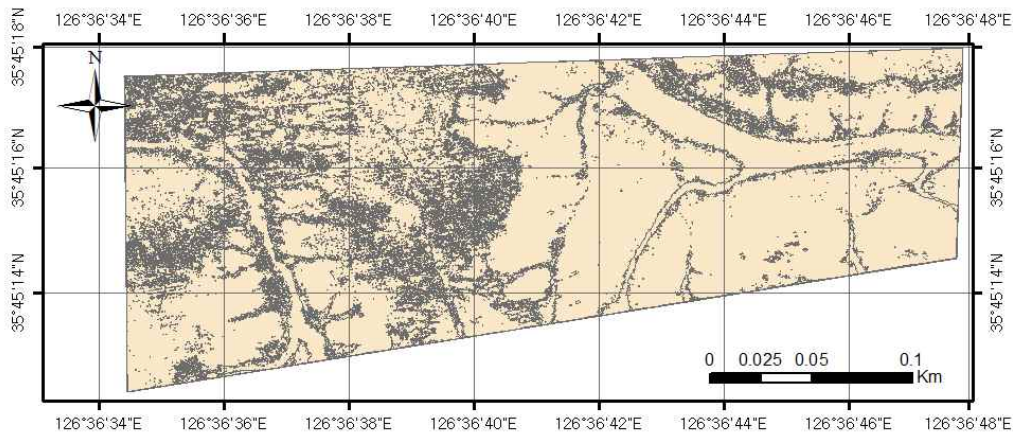


(a) 폴리곤 추출

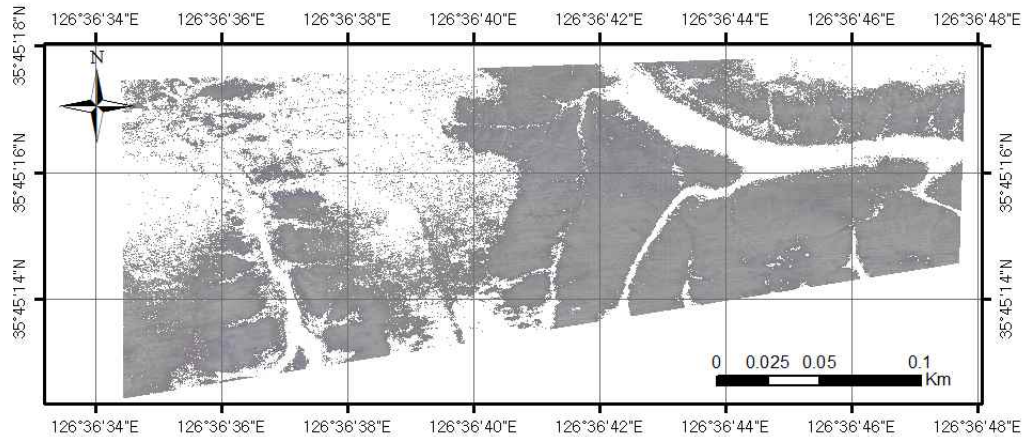
(b) 표토 구간 추출 결과

<그림 6-38> 원본 이미지에서 표토 노출 구간 추출 (시화지구)

- 포토 노출 구간만을 선택한 폴리곤을 이용해 원본 이미지에서 포토 노출 구간 이미지 만을 추출하면 결과는 그림6-38(b), 그림 6-39(b)와 같음
- 그림에서 빈 영역은 식생이나 물이 분포하는 지역으로 볼 수 있으며 포토 노출 구간만을 대상으로 포토 함수비 추정과 염도 추정을 실시



(a) 폴리곤 추출



(b) 포토 구간 추출 결과

<그림 6-39> 원본 이미지에서 포토 노출 구간 추출 (새만금지구)

제 7 장 UAV 촬영 영상을 이용한 표층의 함수비, 염도 추정 및 현장 적용성 평가

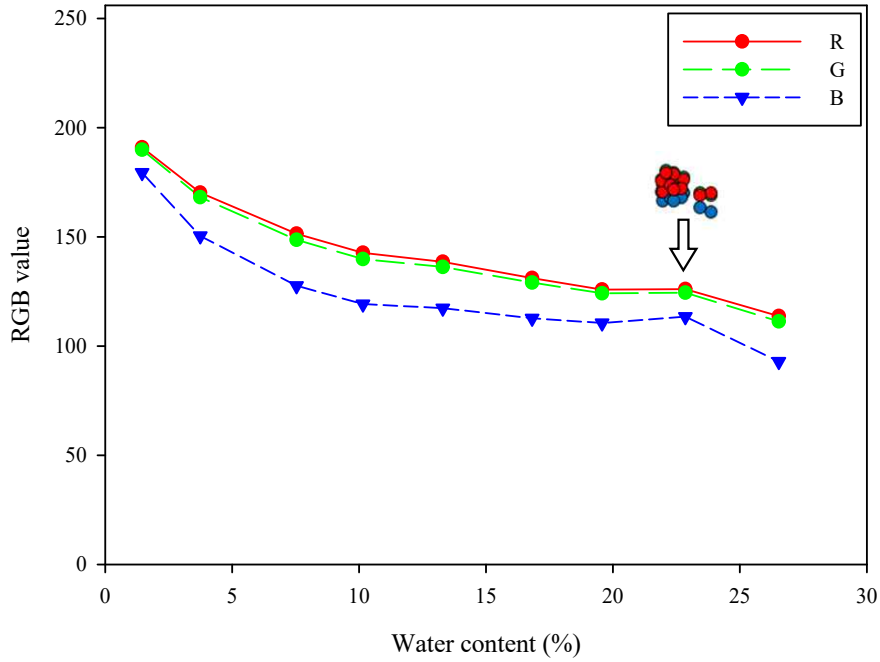
제 1 절 실내 함수비, 염도 추정식의 현장 적용성 평가

1. 개요

- 현장에서 획득한 함수비/염도 및 측정 지점의 RGB 데이터를 실내 시험 결과 개발된 함수비 추정식에 적용
- 실내시험 시 토양 이미지 획득을 위해 사용한 실내 스튜디오는 광조건이 균일하게 유지되나 실제 태양광과 다르기 때문에 태양광 조건에서의 검증이 필요함
- 또한 실내시험 시 획득한 이미지는 1m 이내의 근거리에서 촬영을 수행하였기 때문에 해상도가 높으나 UAV를 이용해 획득한 이미지는 고도가 높아질수록 해상도가 감소하기 때문에 고도에 따른 적용성을 평가할 필요가 있음

2. 추정식 적용을 위한 RGB 보정

- 현장 및 실내 시험 시 획득한 RGB 데이터 비교
 - 현장에서 획득한 RGB 데이터와 실내 시험 시 획득한 RGB 데이터는 기상상태와 같은 외부적 요인에 의하여 큰 차이가 나타날 수 있음
 - 실내 시험 시 도출한 함수비 추정식을 이용하기 위하여 현장에서 획득한 RGB 데이터의 보정이 필요함
 - RGB 값의 절대값은 변하나, 표토 함수비 또는 염도의 변화에 따른 RGB 값의 경향성은 유사하게 나타남
 - 현장에서 UAV 영상 획득과 샘플링을 통하여 한 지점 또는 몇 개 지점의 RGB와 함수비 및 염농도를 획득한 후, 실내 시험 시 획득한 함수비/염도-RGB 관계와 일치하도록 평행 이동하여 데이터 보정 실시



<그림 7-1> RGB 데이터 보정 과정

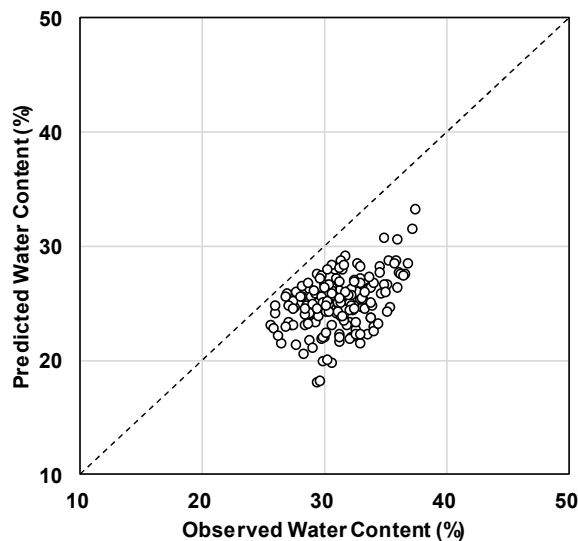
3. 함수비 추정식의 현장 적용성 평가

○ 180108 시화지구 출장 시 획득한 데이터를 이용하여 적용성 평가 수행

- 적용한 함수비 추정식은 다음과 같음

$$W_s = -0.895R + 0.540B + 74.470 \quad (R^2 = 0.965)$$

- 추정식 적용 시 획득한 함수비와 현장 시료 채취를 통해 측정한 함수비를 비교하여 검증함
- 적용성 평가 결과 실제 함수비에 비하여 낮게 나타나며 RMSE는 8.325%로 다소 높게 나타남

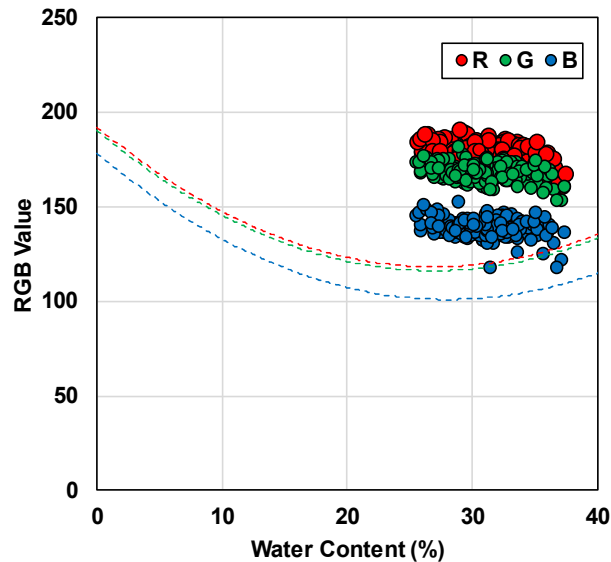


<그림 7-2> 함수비 추정식의 현장적용성 확인

- 함수비 추정식의 적용 시 오류가 발생함을 확인함

○ 함수비 추정 결과 오류 분석

- 실내 광조건에서 촬영한 결과와 실외 광조건에서 촬영한 결과를 비교할 때, 고함수비 영역에서 다른 경향성이 나타남
- 2018/01/08 시화지구의 광조건은 매우 흐린 편이며, 따라서 사진 촬영 시 고함수비 영역에서 반사로 인한 RGB 값의 증가 현상이 나타나지 않음



<그림 7-3> 실내 시험 시 함수비-RGB 관계와 측정 데이터의 비교

- 실내 시험 시 고함수비 영역의 반사로 인한 RGB 값의 증가 현상 발생
- 따라서 27% 이상의 함수비 영역에서 RGB 데이터를 획득하지 못하였으며, 함수비-RGB 관계 그래프는 고함수비 영역에서 증가함
- 하지만 현장 함수비는 25~38%에 분포하여 함수비 추정식 적용 시 과소평가 현상 발생

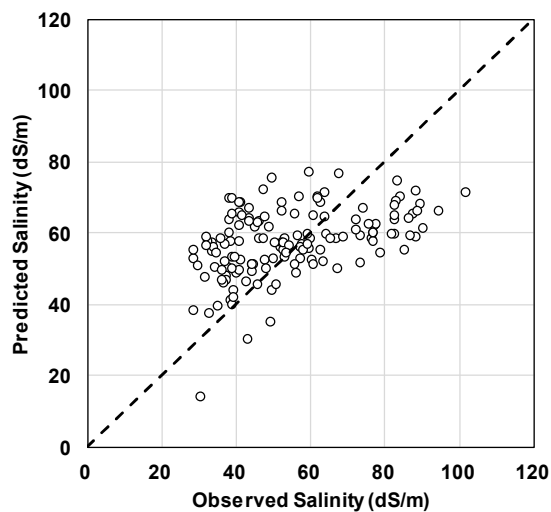
4. 염도 추정식의 현장 적용성 평가

○ 180108 시화지구 출장 시 획득한 데이터를 이용하여 적용성 평가 수행

- 적용한 염도 추정식은 다음과 같음

$$Salinity(dS/m) = 6.082R - 10.794G + 3.529B + 246.885 \quad (R^2 = 0.689)$$

- 총 168개 데이터를 이용하여 평가
- 추정식 적용 시 획득한 염도와 현장 시료 채취를 통해 측정한 염도를 비교하여 검증함
- 적용성 평가 결과 RMSE는 14.921dS/m로 나타남
- 염도의 전체 범위가 100dS/m까지 존재하고 추정식의 R^2 을 고려할 때 추정식의 현장 적용 가능성을 확인함



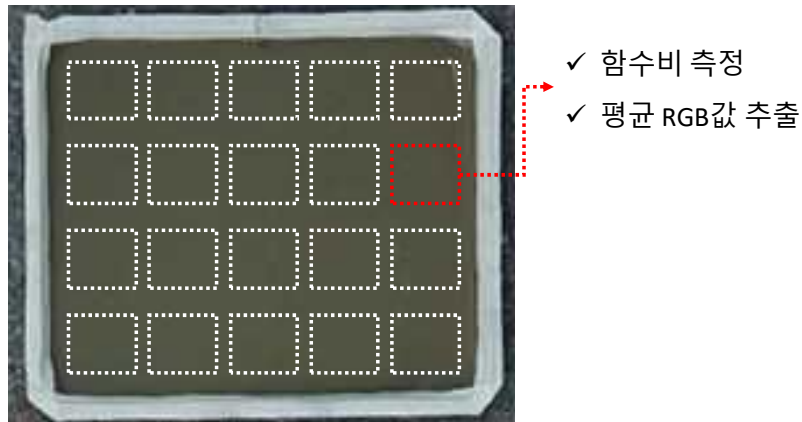
<그림 7-4> 염도 추정식의 현장적용성 확인

제 2 절 현장 조건을 고려한 함수비 추정식의 수정

1. 함수비 추정식의 수정을 위한 실험

○ 실험과정

- 40cm × 30cm 크기의 팬 5개에 완전 포화상태의 토양을 포설하여 포화상태의 지반을 모사
- 각 팬을 일정시간 노건조하여 함수비가 다르게 조정
- RGB 추출 시 고함수비 영역의 반사에 의한 영향을 최소화하기 위하여 실외에서 UAV를 이용한 촬영을 실시함
- 고도에 의한 색상 변화의 영향을 추가로 확인하기 위하여 고도 별로 영상을 획득함
- 각 팬에서 20개 지점의 평균 RGB값을 추출하고, 해당 지점의 시료를 샘플링하여 함수비를 측정하여 분석에 활용함



<그림 7-5> 함수비 측정 및 RGB값 추출을 위한 토양 시료 샘플링 위치

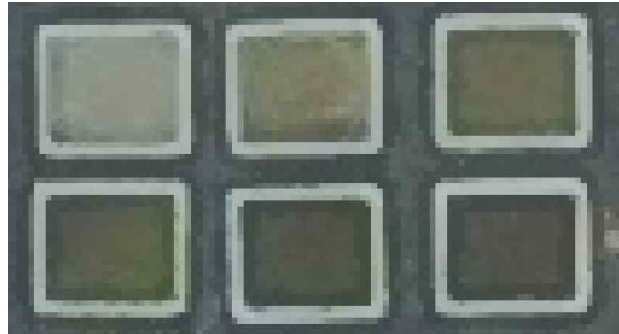
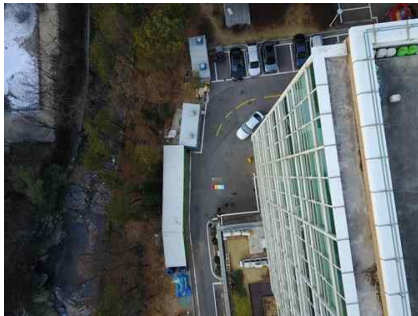
2. 표층 함수비 및 RGB측정 결과

○ 고도 별 디지털 이미지 획득 및 표층 RGB 측정

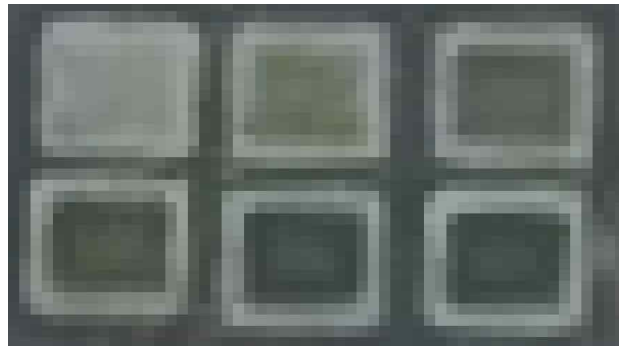
- 촬영 고도 별 원본 이미지 및 시료위치의 확대 이미지는 아래 그림과 같음
- 각 팬에서 20개 지점의 평균 RGB를 추출하고 분석에 활용함



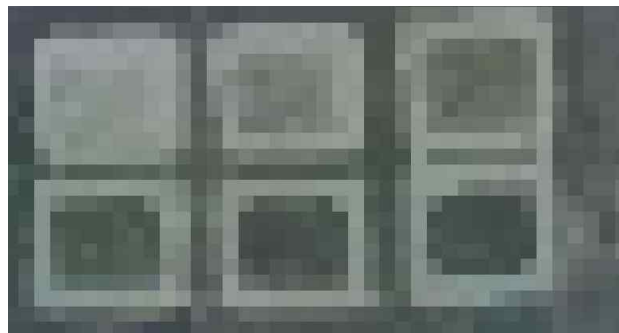
1) 촬영고도 : 20m



2) 촬영고도 : 50m



3) 촬영고도 : 100m



4) 촬영고도 : 150m

<그림 7-6> 함수비 추정식의 수정을 위한 고도 별 디지털 이미지 획득

○ 표층 함수비 측정 결과

- 초기 완전 포화 상태의 함수비는 약 40~45%
- 각 팬의 평균 함수비 측정 결과 1.1%, 7.4%, 18.4%, 24.2%, 30.8%로 측정됨



완전 포화 상태



WC = 1.1%



WC = 7.4%



WC = 18.4%



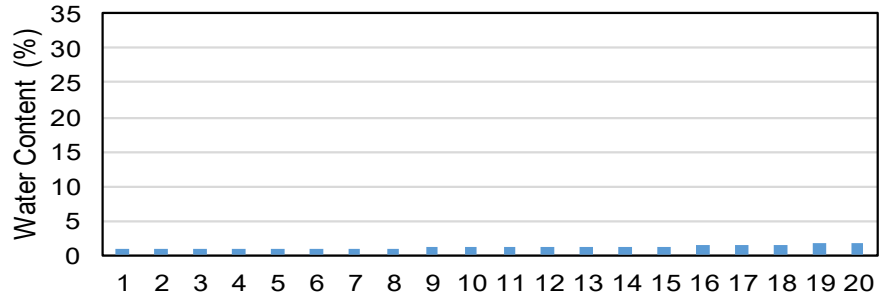
WC = 24.2%



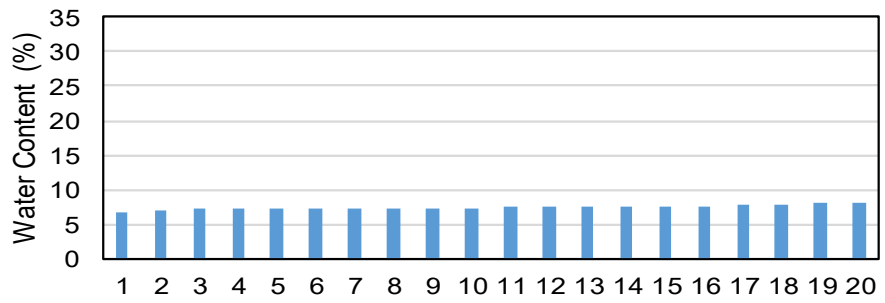
WC = 30.8%

<그림 7-7> 함수비 추정식의 수정을 위한 토양 시료 표층 이미지

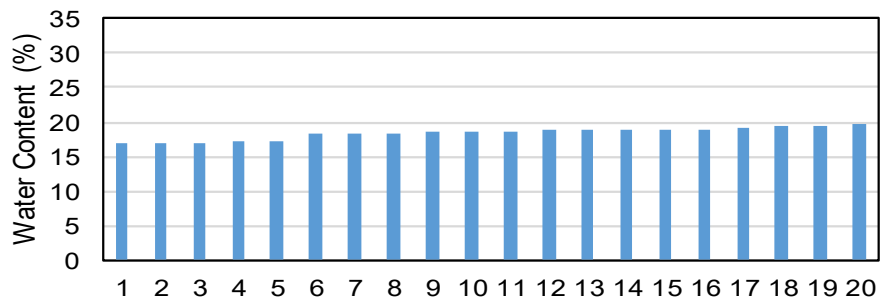
평균
함수비
1.1%



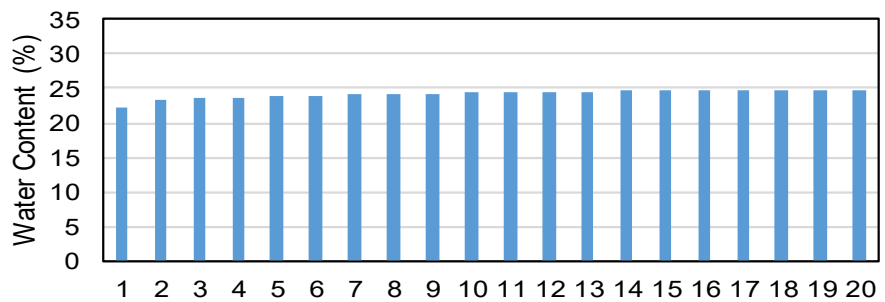
평균
함수비
7.4%



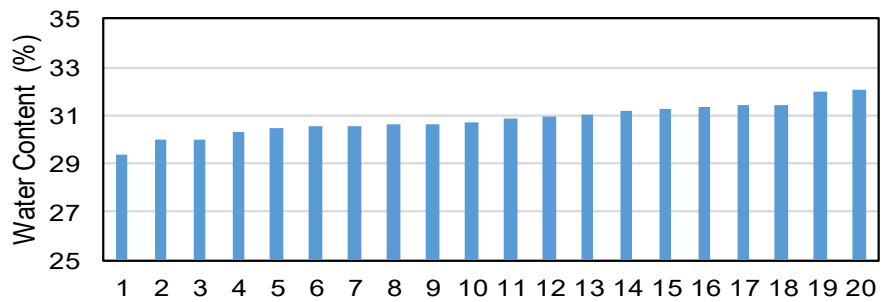
평균
함수비
18.4%



평균
함수비
24.2%



평균
함수비
30.8%

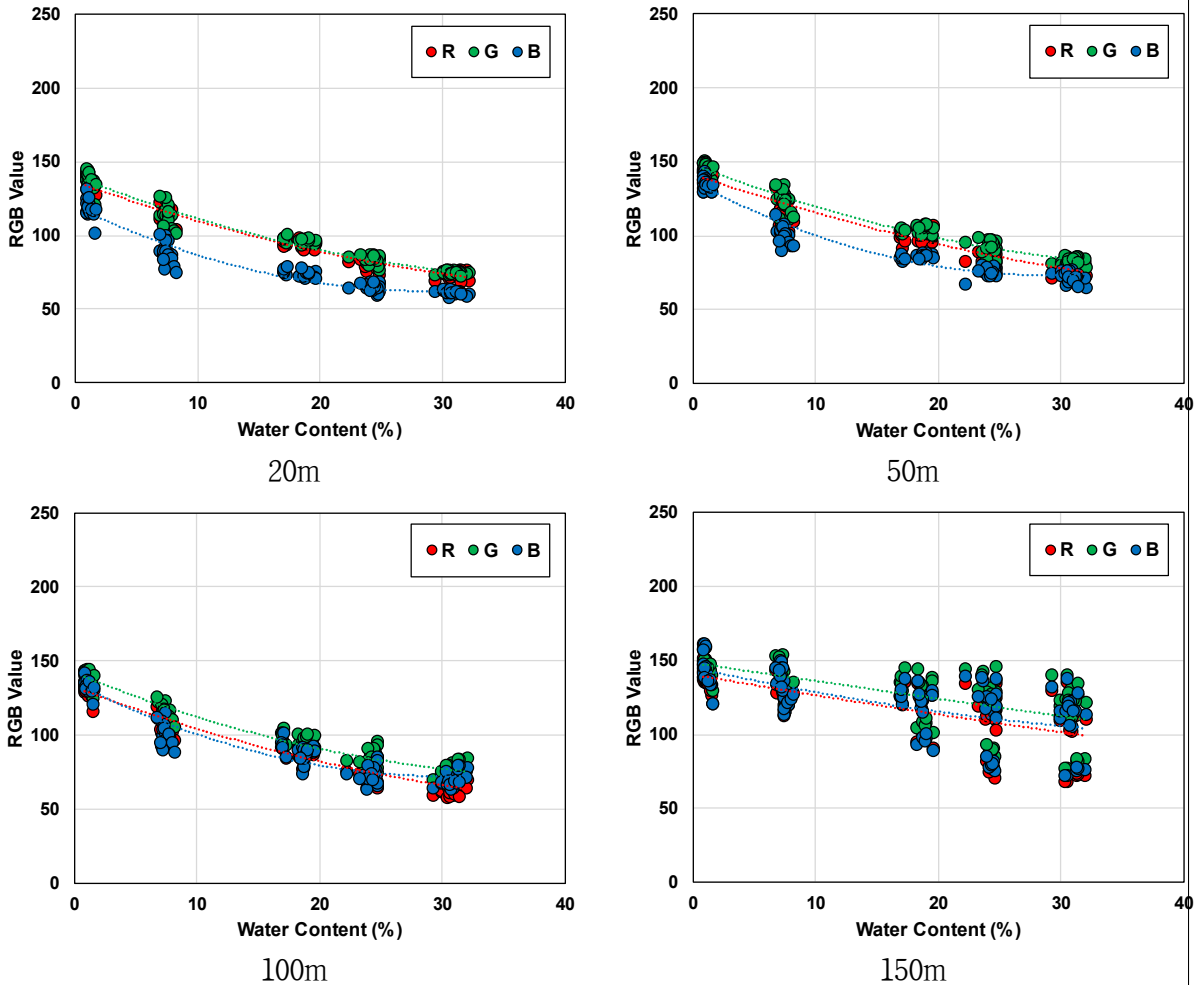


<그림 7-8> 함수비 추정식의 수정을 위한 시료 별 표층 함수비 측정 결과

3. 이미지 특성값을 이용한 토양 표층 함수비 추정

○ 고도별 함수비에 따른 RGB의 변화

- 토양 표층 함수비 증가에 따라 RGB는 감소하며 이는 실내시험의 결과와 일치하는 경향임
- 함수비-RGB관계를 5장에서 수행한 실내시험 결과와 비교하였을 시 회귀식의 기울기와 절편이 상이하며 이는 실내와 실외의 광원 차이에 의한 결과로 판단됨
- 고도 20, 50, 100m에서 획득한 RGB는 큰 차이가 나타나지 않았으나 고도 150m에서 획득한 RGB의 경우 같은 함수비일 때 RGB값의 편차가 크게 증가함
- 이는 고도 증가에 따라 토양 표층 부분 이미지의 해상도가 감소하기 때문에 토양 표층과 경계 부분의 RGB값이 평균적으로 측정되어 나타난 결과임



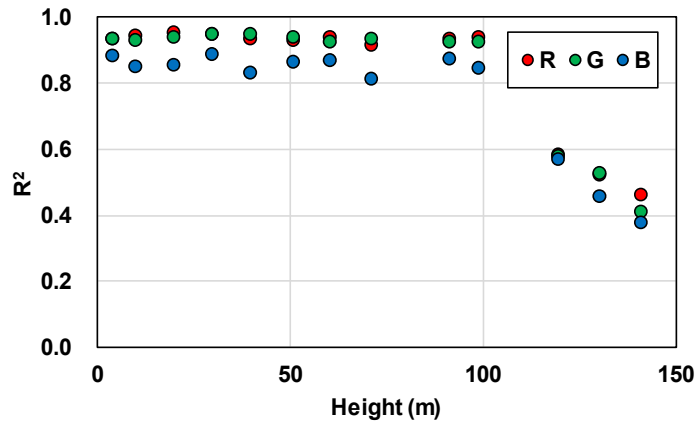
<그림 7-9> 고도별 함수비에 따른 RGB의 변화

○ 고도에 따른 함수비-RGB간 상관관계

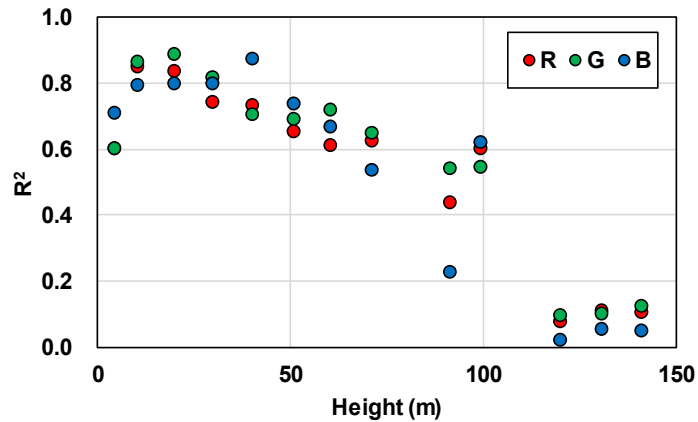
- 고도 별 이미지에서 획득한 함수비-RGB간 선형회귀식의 결정계수(R^2)는 다음 그림과 같음

- R, G값에 비해 B는 상대적으로 결정계수가 낮게 나타났으며, 그 편차도 크게 나타남
- 전체 함수비 구간 (1.1 ~ 30.8%)에서 고도 100m 까지는 결정계수가 높게 나타나나 그 이상의 고도에서는 결정계수가 크게 감소하였으며 이는 토양 이미지의 해상도 감소에 따른 RGB값의 편차 증가에 기인함
- 중간 함수비 구간 (18.4% ~ 24.2%)과 고 함수비 구간 (24.2 ~ 30.8%)에서는 고도 증가에 따라 전체적인 결정계수가 감소하며 고도 100m 이상에서는 결정계수가 크게 감소하여 0.2이하로 나타남

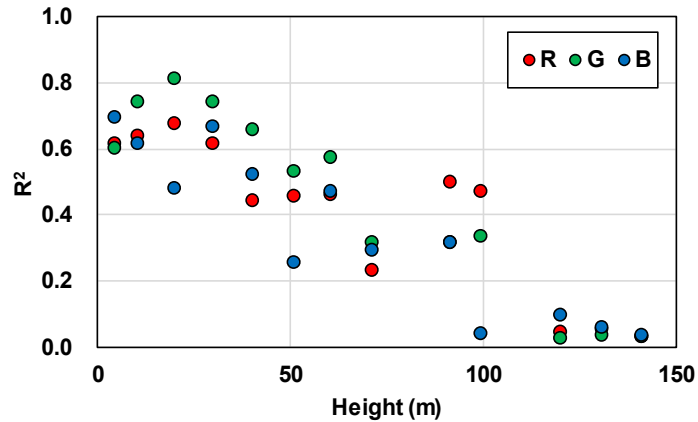
전체 함수비
구간
1.1 ~ 30.8%



중간 함수비
구간
18.4 ~ 24.2%



고 함수비 구간
24.2 ~ 30.8%



<그림 7-10> 고도에 따른 함수비-RGB간 선형회귀식의 결정계수 변화

○ UAV와 DIP를 이용한 표층 함수비 추정 방법의 적용성 평가 (실외)

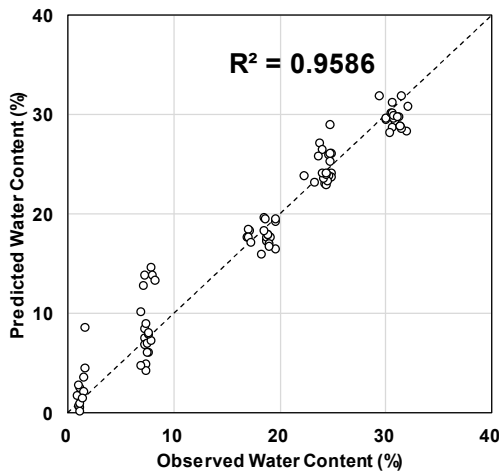
- 고도 별 토양 표층 RGB값을 이용한 함수비의 추정 회귀식은 다음과 같음

$$W_s = aR + bG + cB + d$$

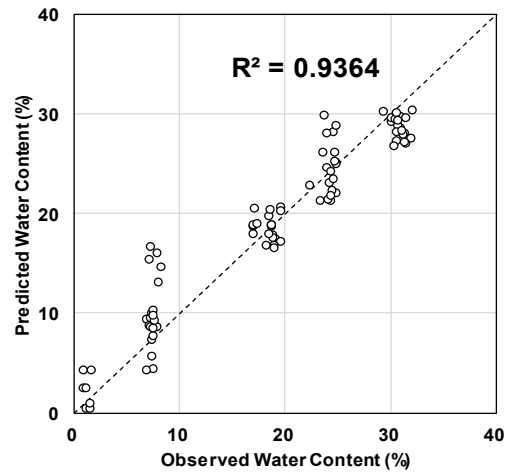
- 계수 a, b, c, d는 고도에 따라 다르게 나타나며 아래 표와 같음

<표 7-1> 고도 별 함수비 추정 회귀식 계수

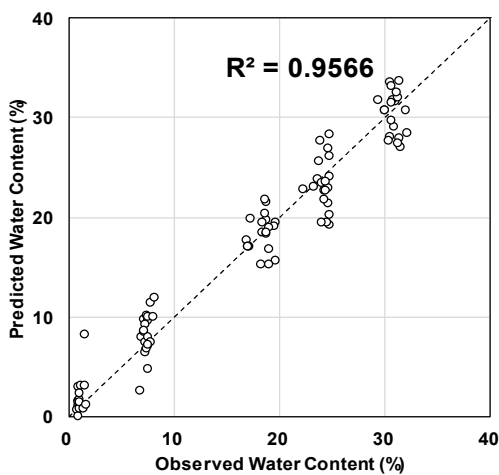
고도		20m	50m	100m	150m
계수	a	-0.339	-0.105	-0.709	-1.187
	b	-0.361	-0.409	-0.027	0.909
	c	0.264	0.061	0.319	-0.026
	d	65.2	66.4	55.3	43.5
R^2		0.96	0.94	0.96	0.47
RMSE (%)		2.21	2.74	2.26	7.87



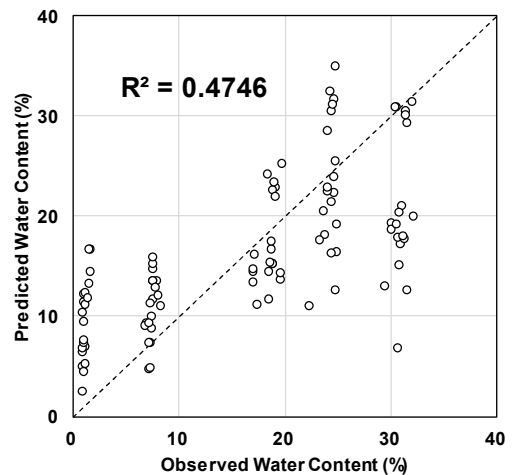
20m



50m



100m



150m

<그림 7-11> 고도 별 실측 함수비와 예측 함수비의 상관관계

- 고도 20, 50, 100m의 경우 결정계수 (R^2)가 0.9 이상으로 높게 나타나며 평균 제곱근 오차 ($RMSE$)가 3% 이하임
- 고도 150m의 경우 결정계수 (R^2)가 0.47로 낮으며 평균 제곱근 오차 ($RMSE$)는 7.87%로 100m 이하의 고도에서 추정된 결과에 비해 오차가 두 배 이상으로 증가함

○ 촬영 고도에 따른 함수비 추정식의 정확도 평가

- 촬영 고도에 따라 달라지는 RGB 분포의 차이에 의하여 촬영 고도 별 추정식이 다르게 산정됨
- 각각의 고도에서 획득한 데이터 set을 이용하여 각각의 고도에서 산정한 추정식에 대입 후 $RMSE$ 산정 및 정확도 평가
 - 20m 추정식에 20m 데이터를 적용한 경우 2.686%로 가장 낮은 $RMSE$ 값을 나타냄
 - 20, 50, 100m 추정식과 데이터를 이용한 경우 대체로 3% 가량의 $RMSE$ 를 보이며 높은 정확도로 함수비를 추정할 수 있는 것으로 판단됨
 - 150m 데이터의 경우 해상도 문제로 인하여 시료 채취 영역 당 3~5픽셀만이 포함되어 큰 오차를 나타내는 것으로 판단됨
 - 따라서 150m 데이터를 제외하고 가장 높은 정확도를 보이는 고도 20m의 경우에 가장 정확도가 높으며 추후 현장 적용성 확인 및 현장 적용 시 고도 20m 추정식을 이용함

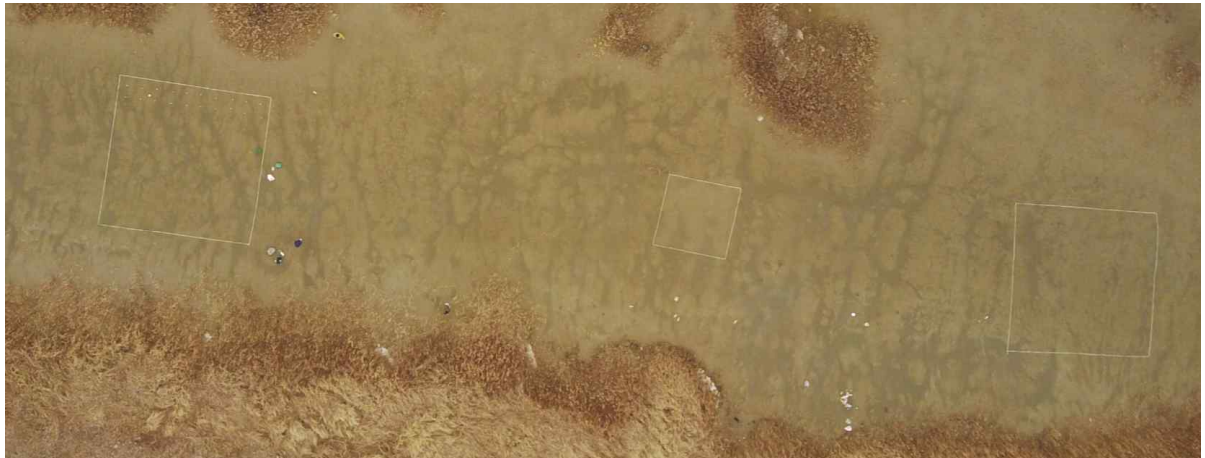
<표 7-2> 촬영 고도 별 추정식 및 데이터의 정확도 평가

RMSE (%)		데이터			
		20m	50m	100m	150m
추정식	20m	2.686	2.868	2.976	7.169
	50m	3.182	2.950	3.755	8.823
	100m	2.707	3.171	2.933	6.030
	150m	7.731	7.645	8.888	9.846

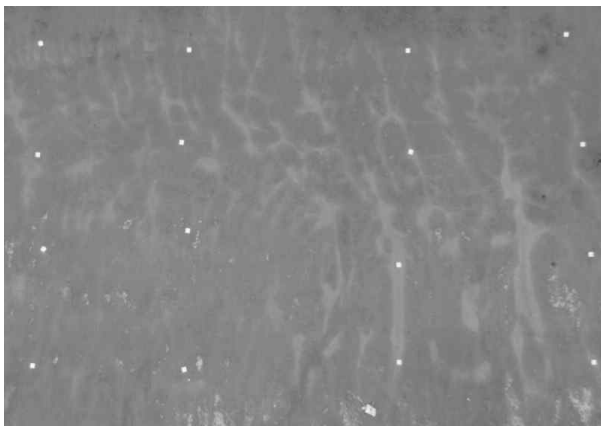
제 3 절 UAV와 DIP를 이용한 표층 함수비, 염분 추정 방법의 정확도 평가

1. 개요

- 함수비, 염분 추정식을 이용하여 실제 간척지에 적용 시 현장 적용성과 정확도를 평가하고자 함
- 현장의 시료를 채취하고 획득한 정사영상에서 위치를 확인함
- 정사영상에서 추출한 RGB를 이용하여 함수비 추정식에 대입
- 시화지구에서 2017/02/08, 2017/03/14, 2017/04/20, 2017/05/26, 2018/01/08 출장 시 획득한 데이터 이용
- 새만금지구에서 2017/02/08, 2017/04/10, 2017/06/01 출장 시 획득한 데이터 이용
- 현장 항공 영상 획득 및 시료 샘플링 예시 (시화지구)



시료 채취 구역 선정 및 UAV 영상 촬영



시료 채취 위치 표시



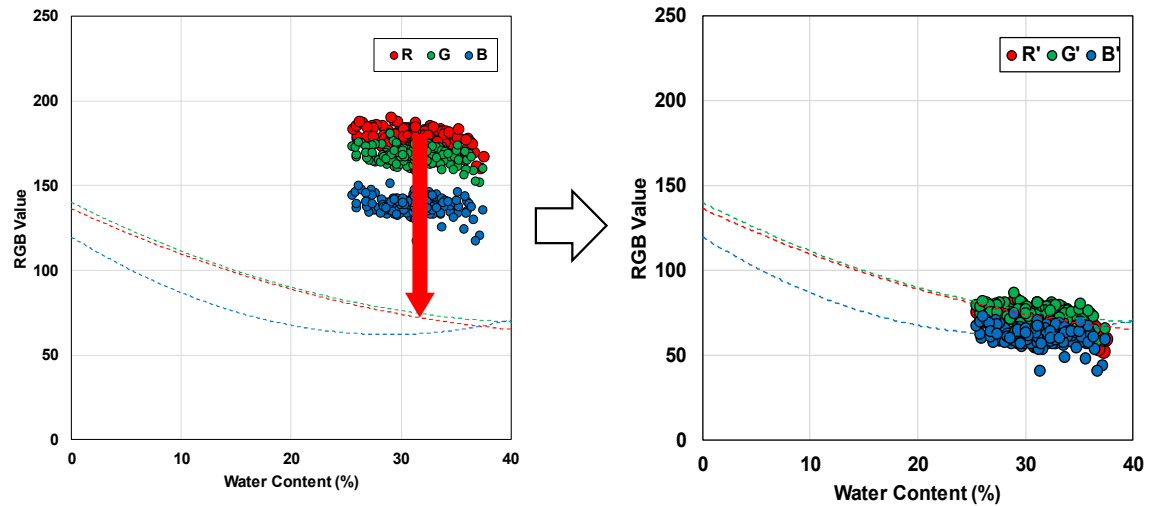
표토 샘플 채취

<그림 7-12> UAV 항공 사진 및 시료 샘플링

2. 현장 상황을 고려한 표층 함수비 및 염도 추정식 적용 기준 정립 및 정확도 평가

○ 추정식 적용을 위한 RGB 보정

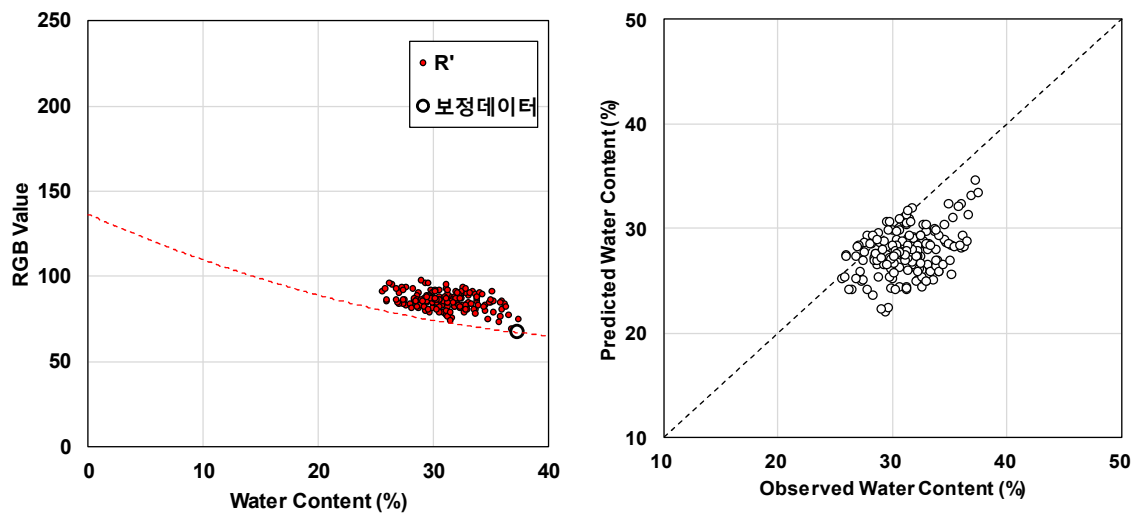
- 현장 적용성 확인을 위한 RGB 보정 방법과 마찬가지로, 현장에서 획득한 RGB를 평행이동하여 보정 실시함

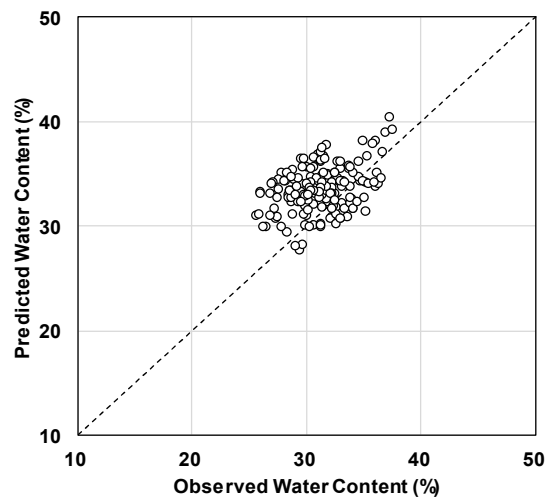
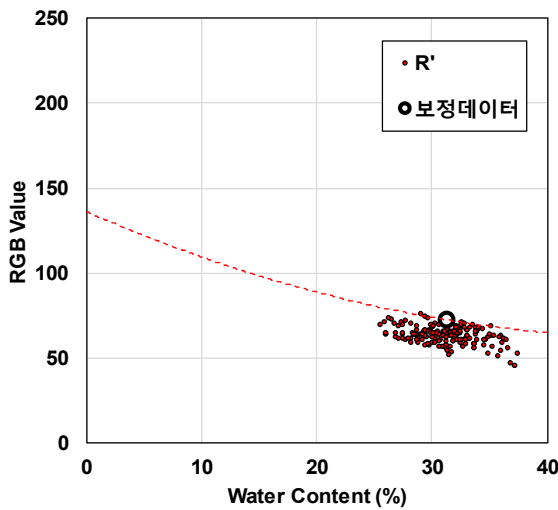
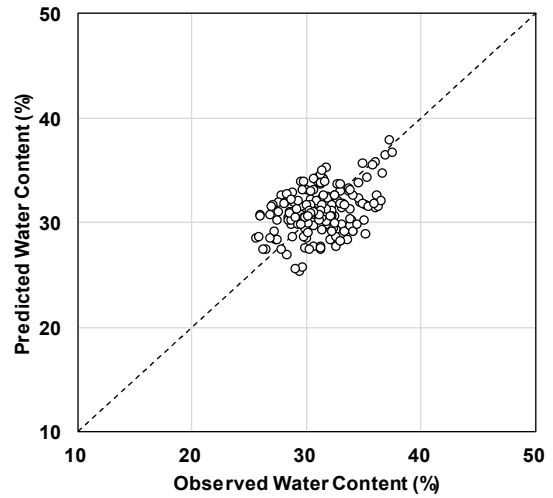
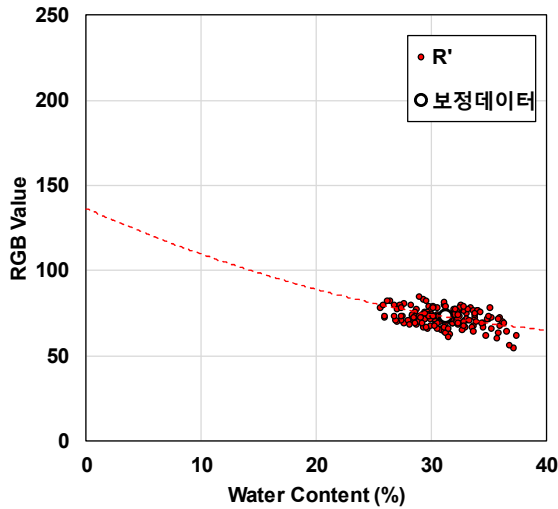


<그림 7-13> 추정식 적용을 위한 RGB 보정 과정

○ RGB 데이터 보정 기준 정립

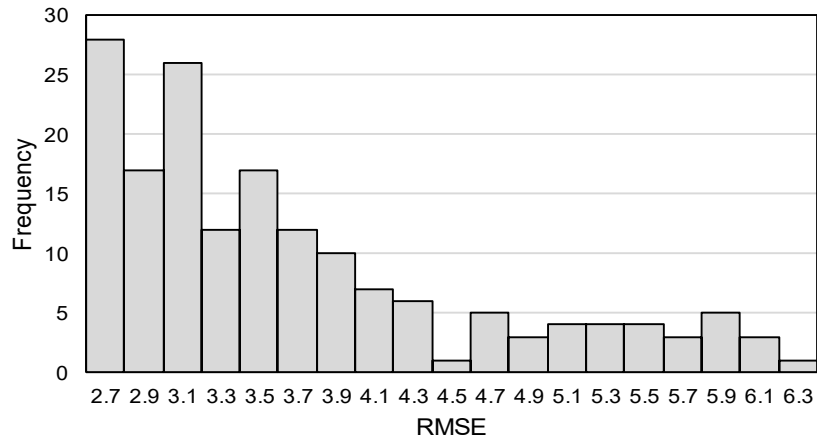
- 현장에서 획득한 데이터에 따라 정사영상의 RGB 보정 시 다소 차이가 발생할 수 있음
- 데이터 set의 RGB 값의 보정 시 보정에 이용된 데이터에 따라 다음과 같은 차이가 나타남





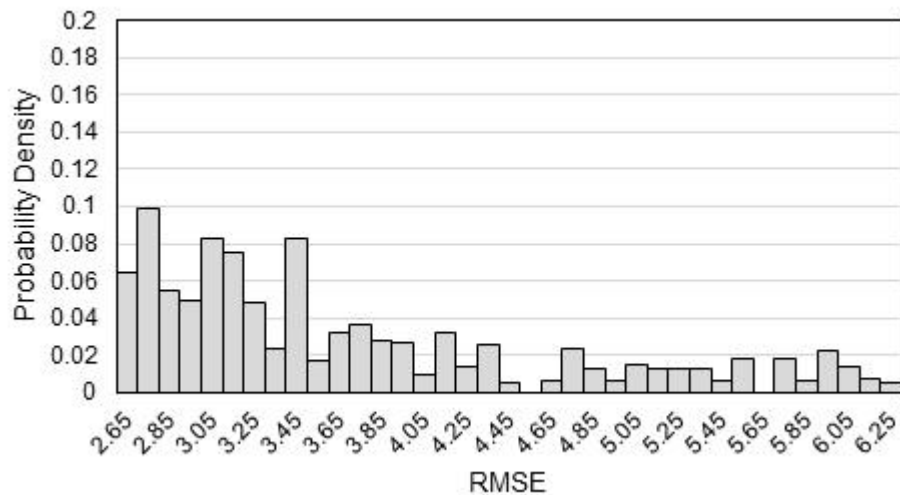
<그림 7-14> 보정 데이터 선택에 따른 추정 결과의 정확도 변화

- 데이터 보정을 위한 시료 채취 시 극단적인 경우 함수비 및 염도 추정 정확도에 큰 차이가 생길 수 있기 때문에 시료 채취 및 보정에 관한 기준이 필요함
- 168개의 2018/01/08 시화지구 데이터를 이용하여 보정 실시
- 보정된 데이터를 이용하여 추정식에 대입한 후 실제 함수비 값과 RMSE를 산정하였으며 그 결과는 다음과 같음
 - RMSE 값은 2.68~6.27%의 범위로 나타나며 대체로 4% 미만의 RMSE를 가지는 것으로 나타남
 - 약 50%의 샘플에서 3.3% 미만의 RMSE 값을 나타냄
 - 약 15%의 샘플에서 5.0% 이상의 RMSE 값을 나타냄

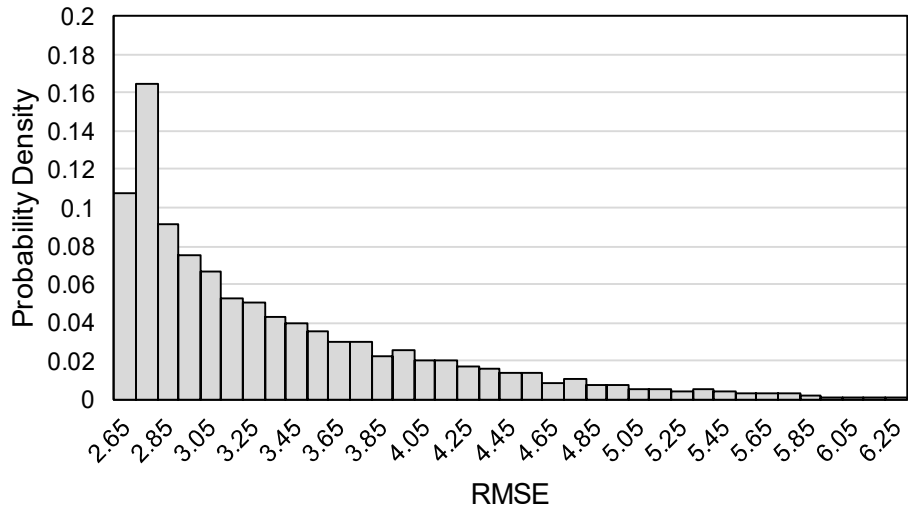


<그림 7-15> 샘플 전체에 대한 데이터 보정 및 추정식 적용 시 RMSE

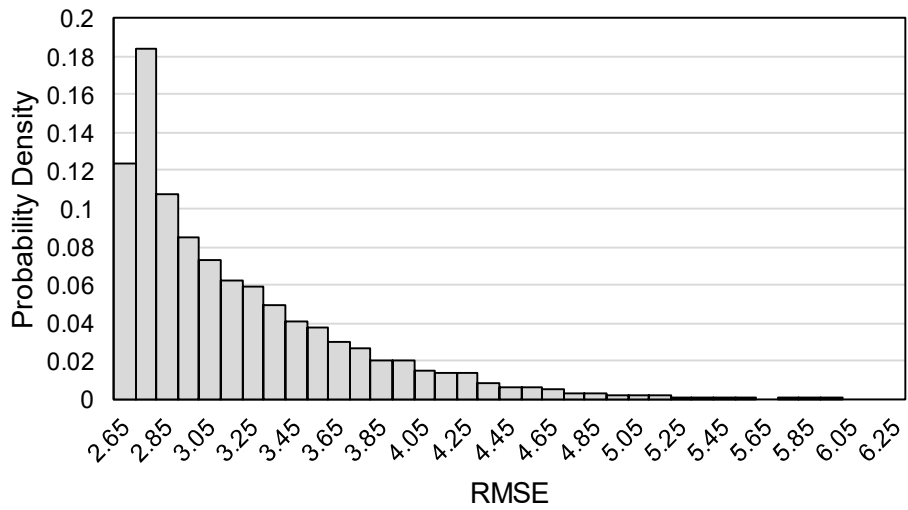
- 보정 정확도를 높이기 위하여 시료 채취 시 여러 지점을 선정하여 데이터 획득 후 평균값을 이용하여 데이터 보정을 실시하고 정확도를 비교함
- 1, 2, 4, 10개의 지점을 임의로 선택하여 함수비와 RGB의 평균을 산정하고, 실외 시험 시 획득한 함수비/염농도-RGB 관계와 일치하도록 전체 데이터를 평행이동함
- 각각에 대하여 임의로 10000번의 반복시행을 통해 데이터 보정을 실시하였으며, 모두 추정식을 적용하고 RMSE를 산정하여 확률밀도함수를 도출하고 RMSE의 기댓값과 신뢰도를 추정함



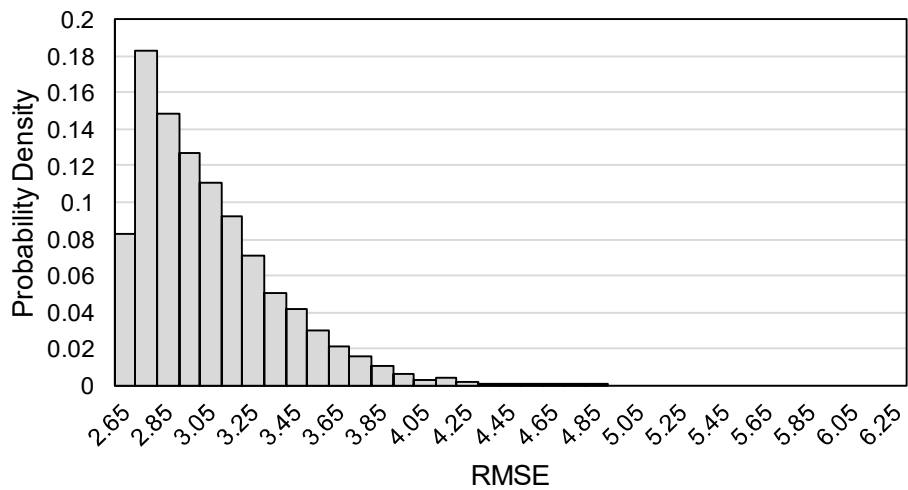
<그림 7-16> 1지점 보정 시 RMSE



<그림 7-17> 2지점 보정 시 RMSE



<그림 7-18> 4지점 보정 시 RMSE



<그림 7-19> 10지점 보정 시 RMSE

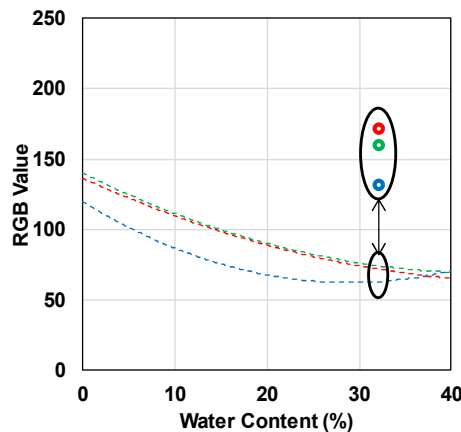
<표 7-3> 보정 데이터 개수에 따른 RMSE 값의 변화

	1지점 보정	2지점 보정	4지점 보정	10지점 보정
평균	3.692	3.336	3.163	3.042
표준편차	0.971	0.692	0.503	0.316

- 보정을 위한 데이터의 수가 증가할수록 RMSE의 평균과 표준편차가 감소함
 - 1지점 보정의 경우 각각의 시행에서 RMSE의 값이 크며 편차가 크게 나타남
 - 보정을 위한 데이터의 수가 증가할수록 높은 범위의 RMSE가 나타나는 빈도가 크게 감소함
 - 10지점 보정의 경우 3% 이하의 RMSE가 나타날 확률이 약 55%이며, 4% 이상의 RMSE가 나타날 확률이 약 1%로 매우 높은 정확도를 가짐

○ 현장 상황을 고려한 데이터 보정 방법 요약

- 현장 함수비 및 염도 추정식 적용을 위하여 함수비/염도-RGB 관계를 이용한 데이터 보정 필요
 - 데이터 보정 시 현장에서 획득한 함수비/염도 및 RGB를 이용하여 보정 실시
 - 함수비/염도-RGB 관계 그래프에서 현장 함수비, 염도에 해당하는 RGB 및 차이 확인



<그림 7-20> 현장에서 획득한 데이터와 함수비-RGB 관계 그래프의 차이 확인

- RGB 차를 이용하여 정사영상에서 획득한 RGB 값 평행이동 후 보정된 데이터를 이용하여 추정식 적용
- 현장에서 RGB 보정을 위한 함수비 및 염도 획득 시 적절한 개수의 데이터가 필요함
 - 추정 정확도를 고려하면 데이터의 수가 많을수록 유리함
 - 10개 이상의 데이터 획득 시 매우 높은 정확도를 얻을 수 있으며, 정확도와 경제성을 모두 고려할 때 4~10개의 데이터 획득 시 함수비 추정에 충분한 정확도와 신뢰도를 가짐

3. 함수비 및 염도 추정식의 적용 및 정확도 평가

○ 간척지 조성 기간에 따른 수분 및 염분 예측 기술 개발

- 시화지구의 경우 5번의 현장 출장 시 획득한 자료를 이용하여 추정식의 정확도 평가를 실시함
 - 총 47개소에서 시료를 채취하고 데이터를 획득함
 - 2018/01/08에 168개소에서 데이터를 추가적으로 획득하여 추정식의 정확도 평가 실시
- 새만금지구의 경우 3번의 현장 출장 시 획득한 자료를 이용하여 추정식의 정확도 평가를 실시
 - 총 41개소에서 시료를 채취하고 데이터를 획득함
- 시료 채취 당일을 포함하여 이전 3일간, 7일간의 강수량을 표기하였음
 - 연구 대상지 지배관측소인 수원기상대(시화지구), 부안기상관측소(새만금지구)의 자료를 이용

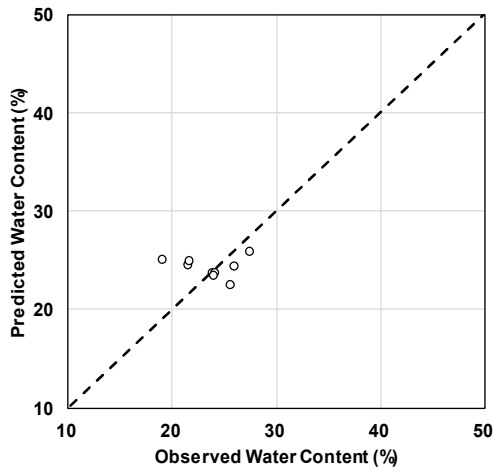
<표 7-4> 함수비 및 염도 추정식의 적용성 평가를 위한 시료 채취 현황

	날짜	시료 채취 (개소)	3일 강수량 (mm)	7일 강수량 (mm)	비고
시화	170208	9	-	1.3	표층 염 집적 (재염화) 현장 데이터 다량 수집
	170314	8	-	-	
	170420	16	7.9	15.8	
	170526	14	10.5	10.5	
	180108	168	2.0	-	
새만금	170208	11	0.1	1.1	
	170410	16	-	26.0	
	170601	14	5.1	5.1	

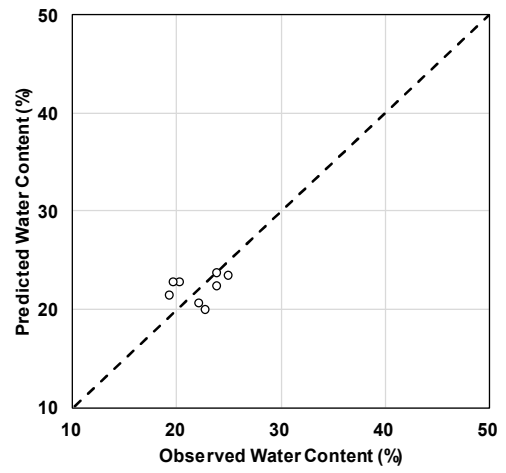
○ 시화지구

- 함수비
 - 함수비 분포는 약 17~37%로 나타남
 - 전체 RMSE 값은 2.587%로 작은 값을 나타내어 함수비 추정식의 높은 정확도를 확인함
- 염도
 - 염도 분포는 약 23~102 dS/m로 나타남
 - 2017/05/26 현장은 재염화 현상으로 인하여 표면에 염분이 집적되어 표토 RGB 값 획득불가
 - 재염화 현상으로 인하여 염도 추정식의 정확도가 낮은 2017/05/26 데이터를 이용하지 않음
 - 전체 RMSE 값은 11.114 dS/m로, 염도의 경향성을 대체로 잘 표현하는 것으로 판단됨
- 시화지구에 대한 함수비 및 염도 추정식의 적용성은 높은 것으로 판단됨

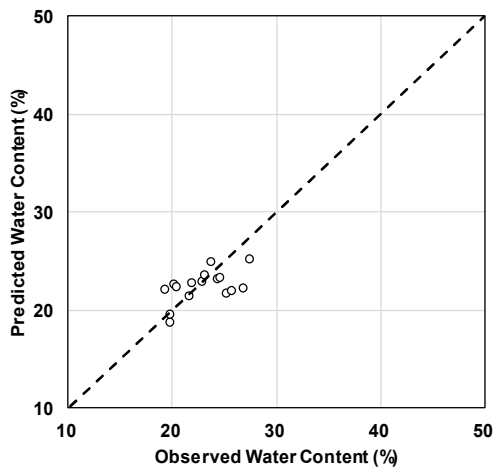
■ 함수비 추정 결과



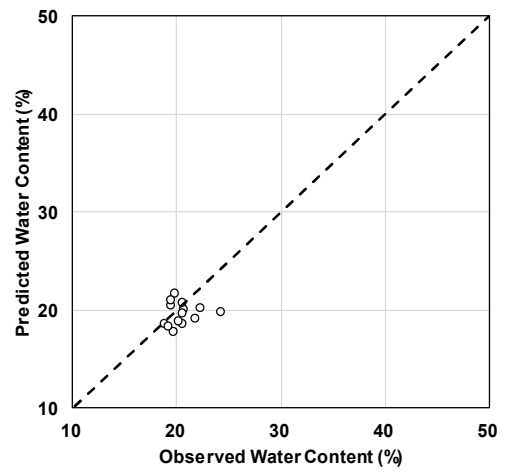
2017/02/08, RMSE=2.861%



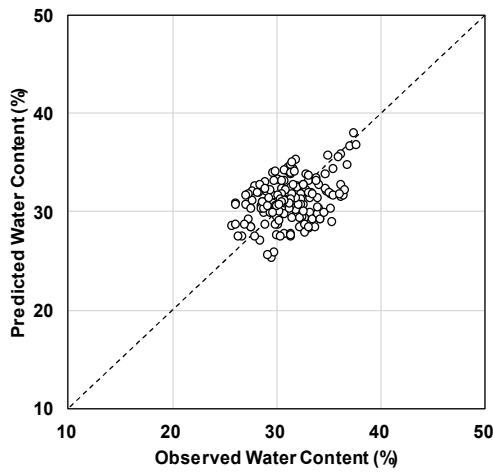
2017/03/14, RMSE=2.065%



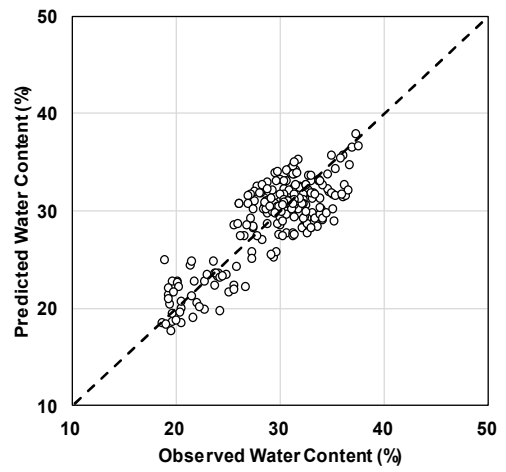
2017/04/20, RMSE=2.141%



2017/05/26, RMSE=1.817%



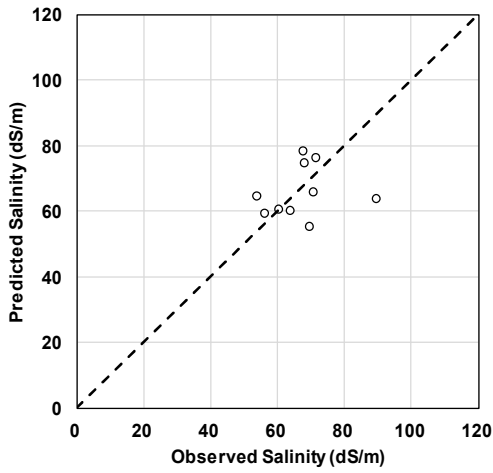
2018/01/08, RMSE=2.686%



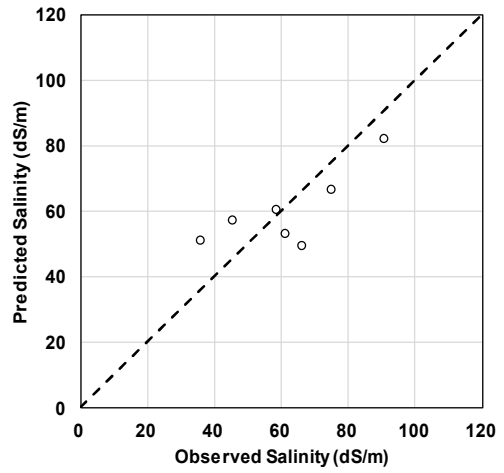
전체, RMSE=2.587%

<그림 7-21> 시화지구 함수비 추정 결과

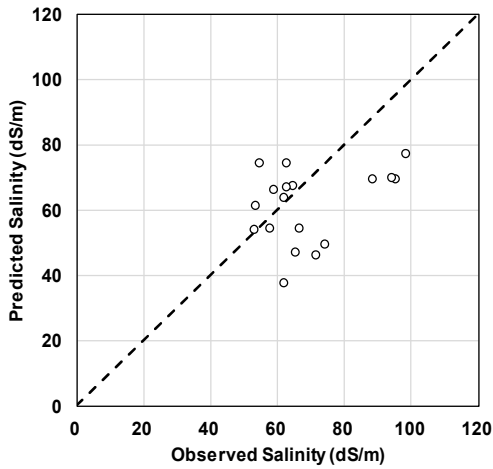
■ 염도 추정 결과



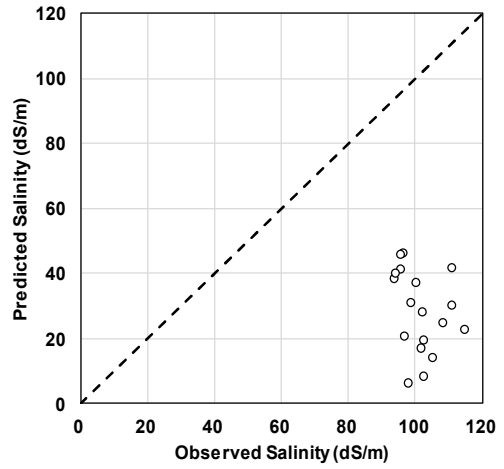
2017/02/08, RMSE=8.426 dS/m



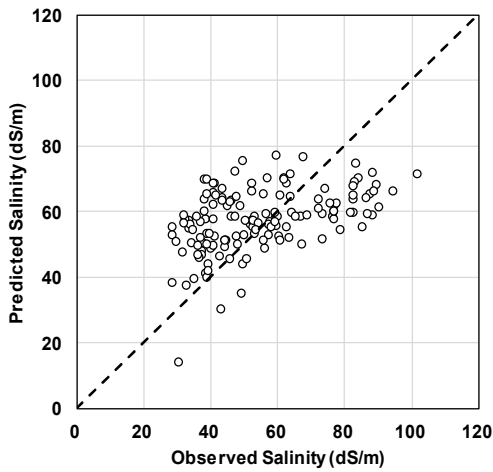
2017/03/14, RMSE=7.526 dS/m



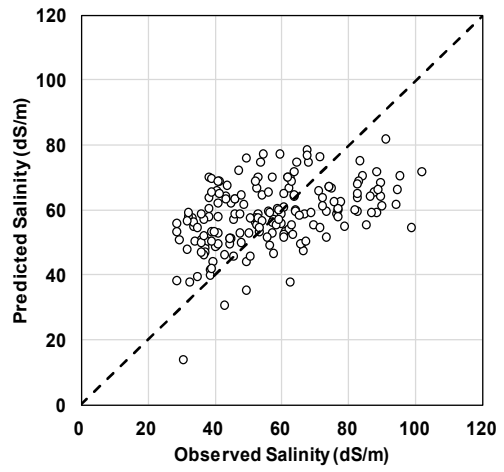
2017/04/20, RMSE=15.893 dS/m



2017/05/26, RMSE=78.848 dS/m



2018/01/08, RMSE=14.921 dS/m



전체, RMSE=13.889 dS/m

<그림 7-22> 시화지구 염도 추정 결과

○ 새만금지구

■ 함수비

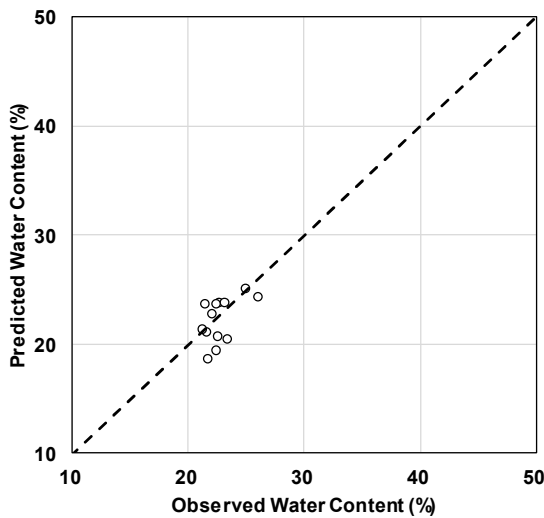
- 함수비 분포는 약 15~26%로 나타남
- 전체 RMSE 값은 2.376%으로 작은 값을 나타내어 함수비 추정식의 높은 정확도를 확인함

■ 염도

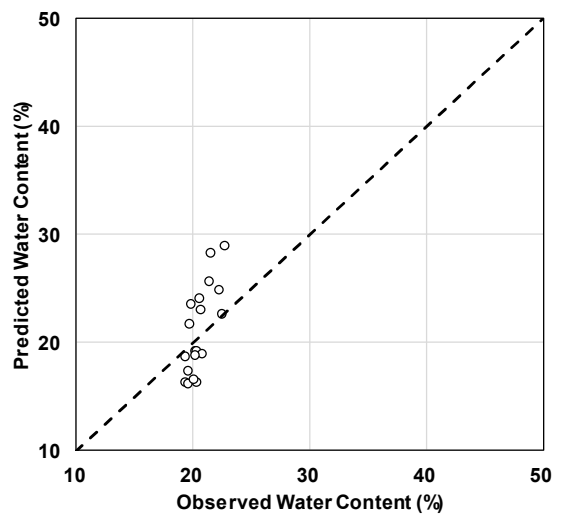
- 염도 분포는 약 40~98 dS/m로 나타남
- 전체 RMSE 값은 15.712 dS/m로, 염농도의 경향성을 대체로 잘 표현하는 것으로 판단됨

■ 새만금지구에 대한 함수비 및 염도 추정식의 적용성은 높은 것으로 판단됨

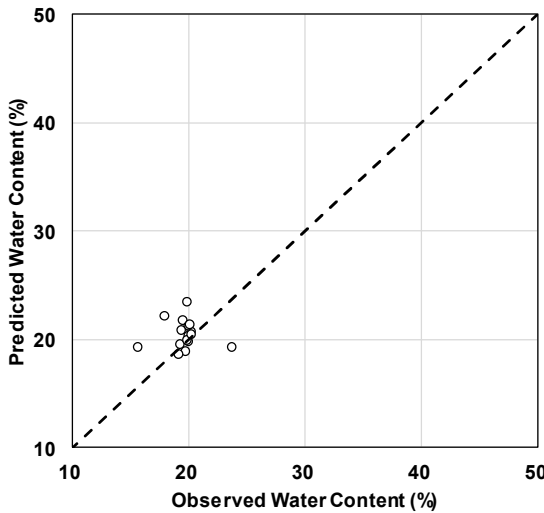
■ 함수비 추정 결과



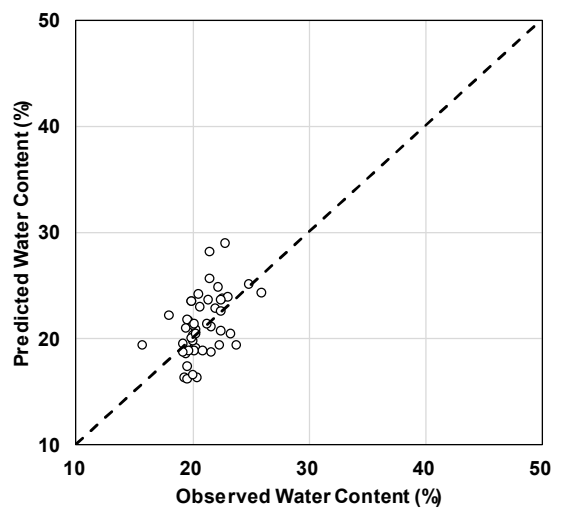
2017/02/08, RMSE=1.549%



2017/04/10, RMSE=2.973%



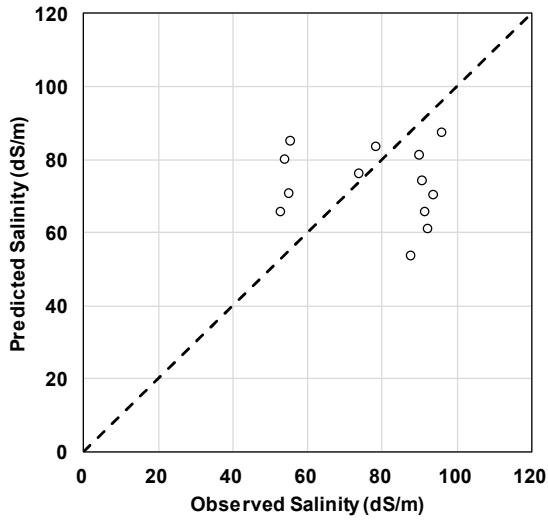
2017/06/01, RMSE=2.120%



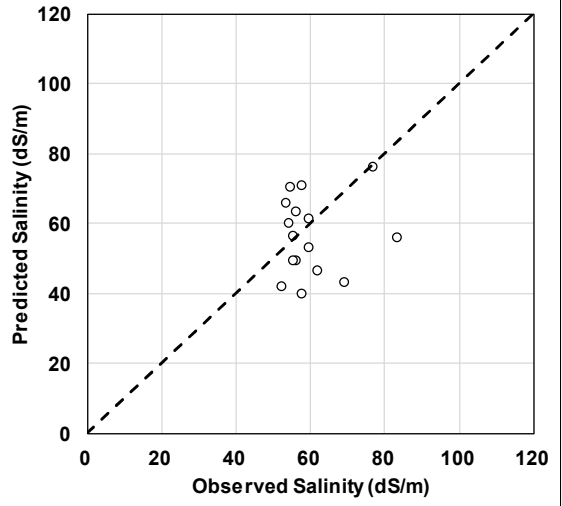
전체, RMSE=2.376%

<그림 7-23> 새만금지구 함수비 추정 결과

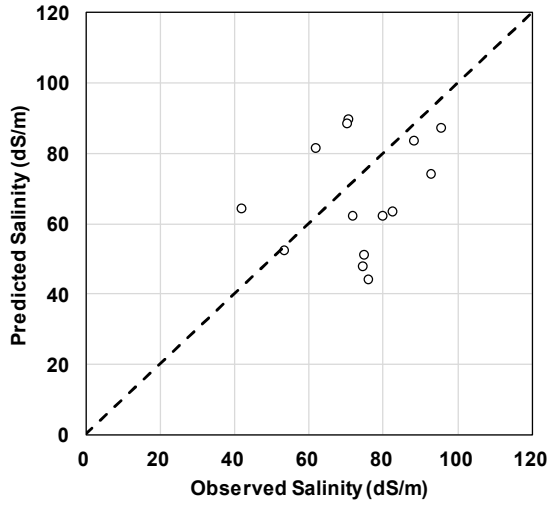
■ 염도 추정 결과



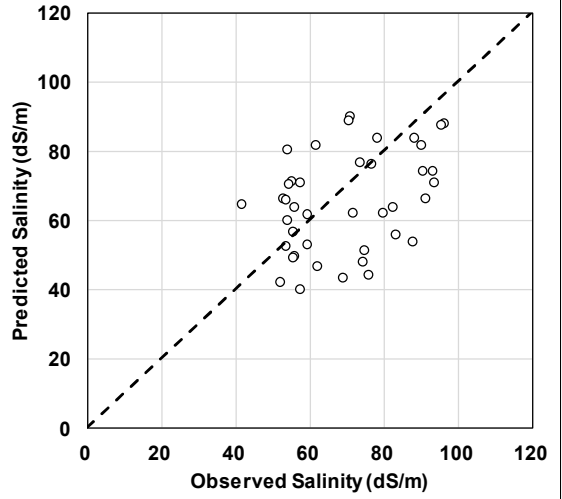
2017/02/08, RMSE=17.326 dS/m



2017/04/10, RMSE=12.286 dS/m



2017/06/01, RMSE=17.818 dS/m



전체, RMSE=15.712 dS/m

<그림 7-24> 새만금지구 염도 추정 결과

제 4 절 간척지 지역 표토 함수비 맵핑

1. 개요

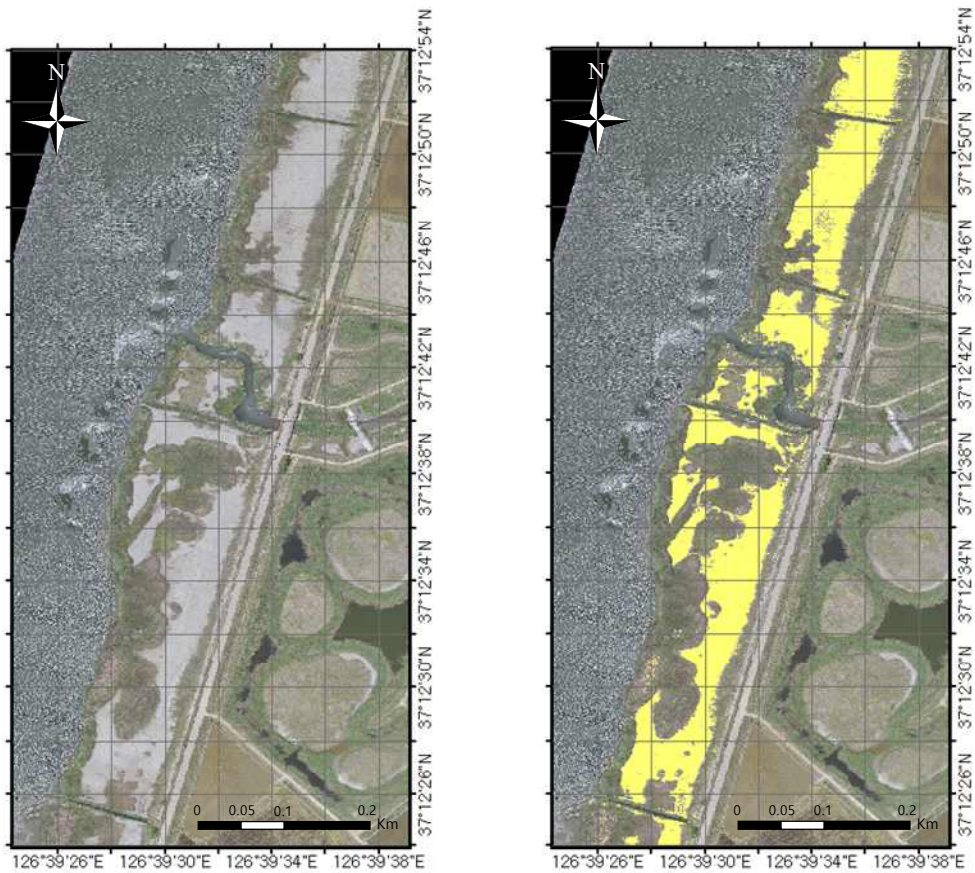
- 추출된 표토 노출 구간을 대상으로 DIP 기법을 통해 얻은 함수비 추정 식을 적용하여 함수비 분포를 맵핑
- 앞서 산정한 추정식 및 보정 방법을 적용하여 연구 대상 지역에 대한 함수비 맵핑을 실시함

2. 시화지구

- 실내·외 시험 시 산정한 간척지 토양의 함수비 추정 회귀식은 다음과 같음

$$W_s = -0.339R - 0.361G + 0.264B + 65.2$$

- 추출된 표토 노출 구간에 대하여 RGB 보정 실시 후 함수비 맵핑 수행
 - 2017/05/26 UAV 항공 영상 이용
 - 표토구간 추출

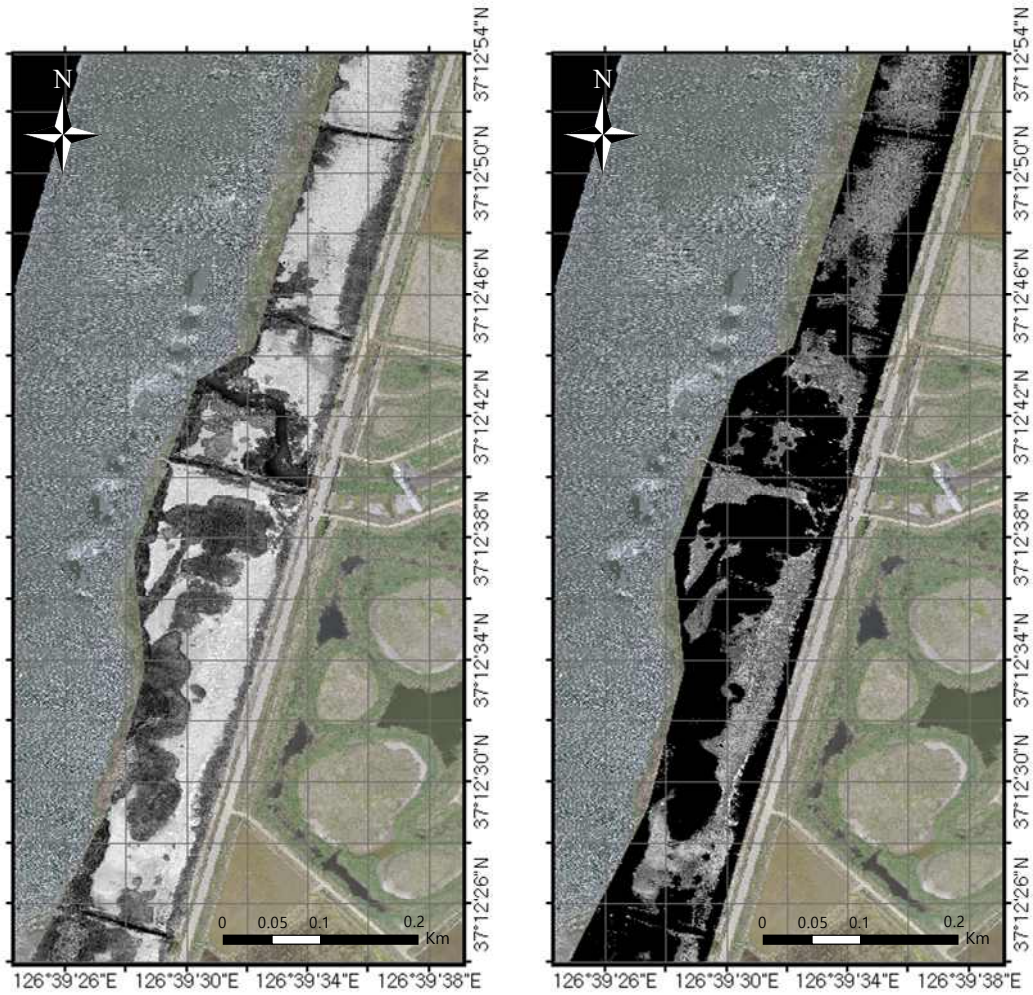


(a) 원본 영상

(b) 표토 추출

<그림 7-25> 표토 구간 추출 결과 (시화지구)

■ 표토구간에 대한 RGB 보정 (Band 1 도시)

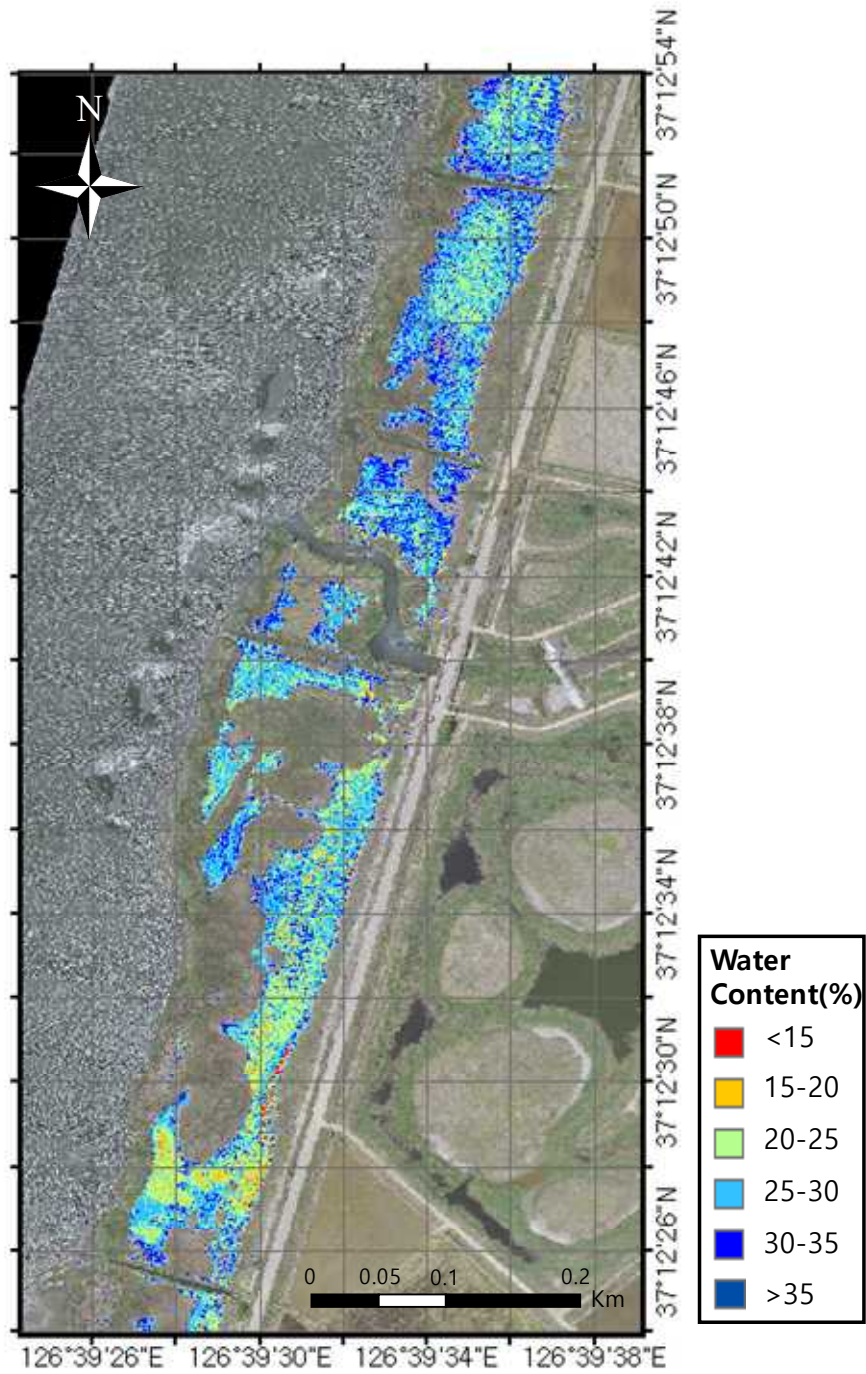


(a) Band-1 영상(RED)

(b) Band-1 영상(RED) 보정 결과

<그림 7-26> 표토 구간에 대한 RGB 보정 (시화지구)

■ 함수비 계산 및 맵핑



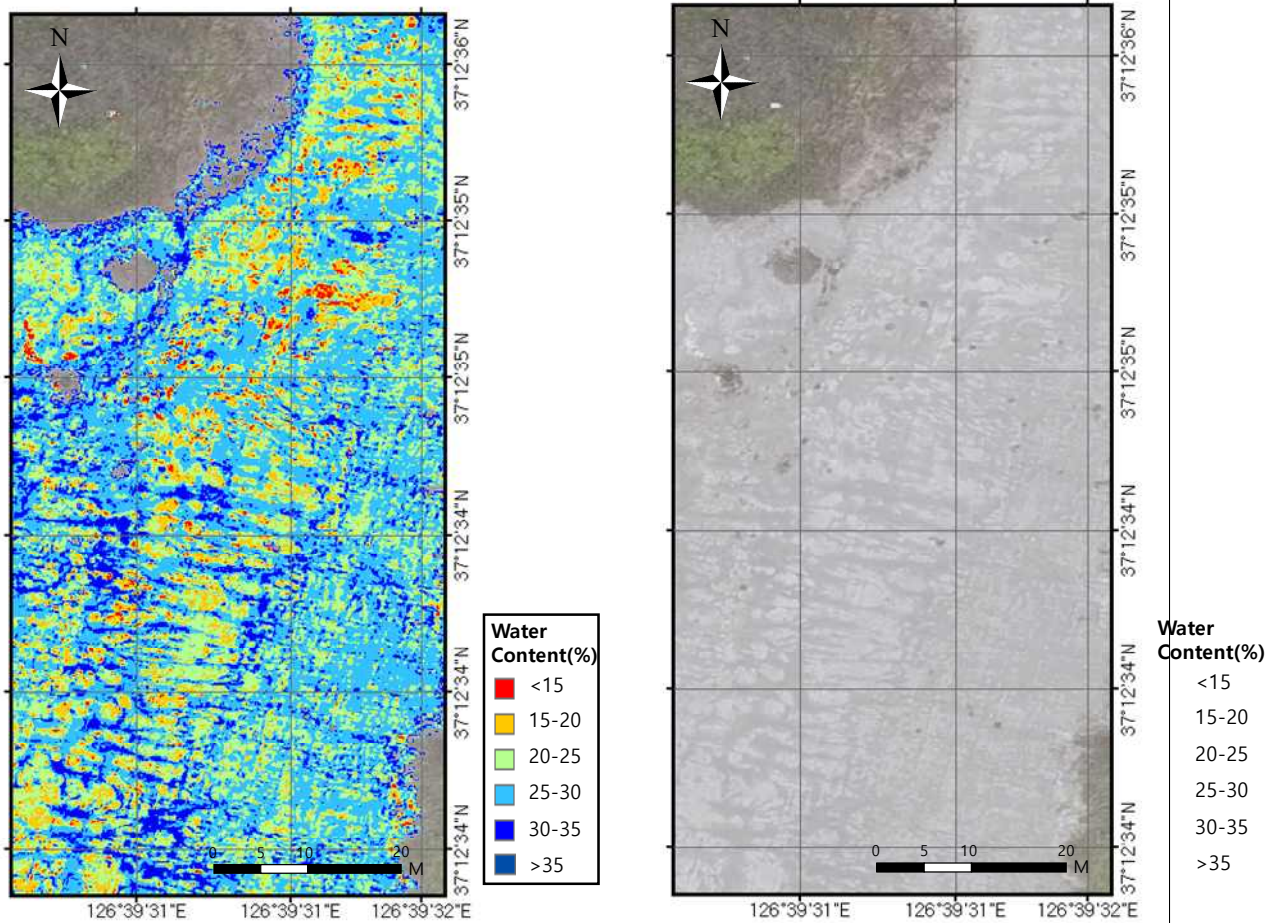
<그림 7-27> 함수비 맵핑 결과 (시화지구)

- 현장에서 채취한 14개의 지점에 대하여 RGB 값을 추출하고 함수비 측정
 - 평균 함수비는 20.41%, RGB의 평균은 각각 173.86, 178.23, 185.39
- 이 값을 이용하여 RGB 보정 수행
 - 정사영상의 RGB에서 각각 83.57, 87.4, 117.59 차감

- 함수비 추정식은 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$W_s' = -0.339(R - 83.57) - 0.361(G - 87.40) + 0.264(B - 117.59) + 65.2$$

- 포토 노출 구간의 래스터 이미지에서 R, G, B 성분을 각각 band1, 2, 3로 분리하여 0-255 값을 나타내는 8비트 이미지로 전환(그림 7-28(a))한 후 Raster Calculator 툴을 이용해 위 식을 적용하여 추정 함수비를 맵핑
- 본 함수비 맵핑 결과와 원본 영상을 확대하여 비교하면 아래 그림과 같음



(a) 함수비 분포 맵핑

(b) 원본 영상

<그림 7-28> 포토 함수비 추정 맵핑 결과 (시화지구2)

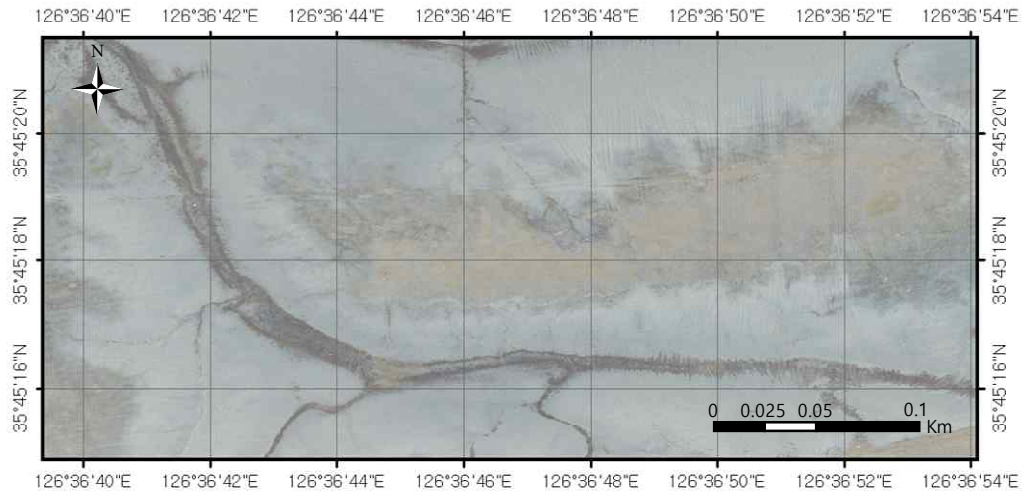
3. 새만금지구

- 실내·외 시험 시 얻은 간척지 토양의 함수비 추정은 다음의 회귀식을 동일하게 적용

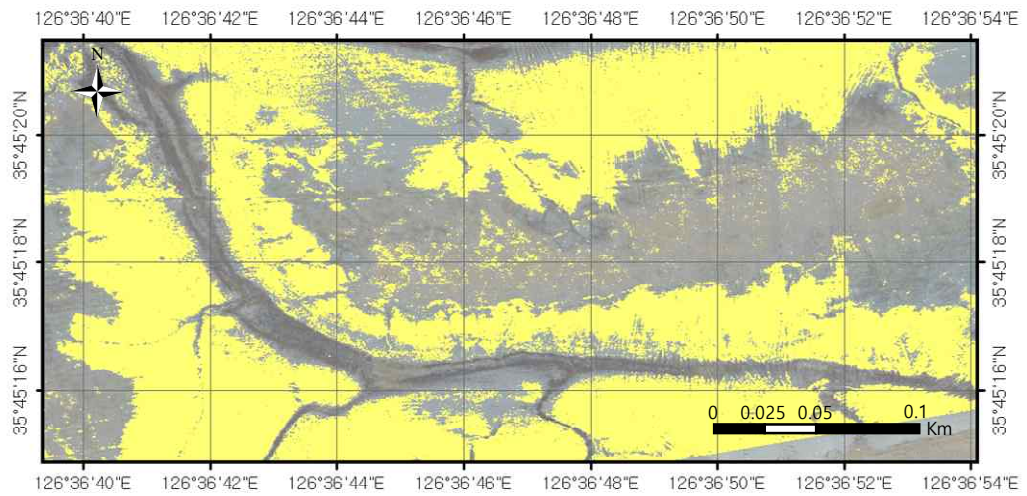
$$W_s = -0.339R - 0.361G + 0.264B + 65.2$$

○ 추출된 표토 노출 구간에 대하여 RGB 보정 실시 후 함수비 맵핑 수행

- 2017/02/08 UAV 항공 영상 이용
- 표토구간 추출



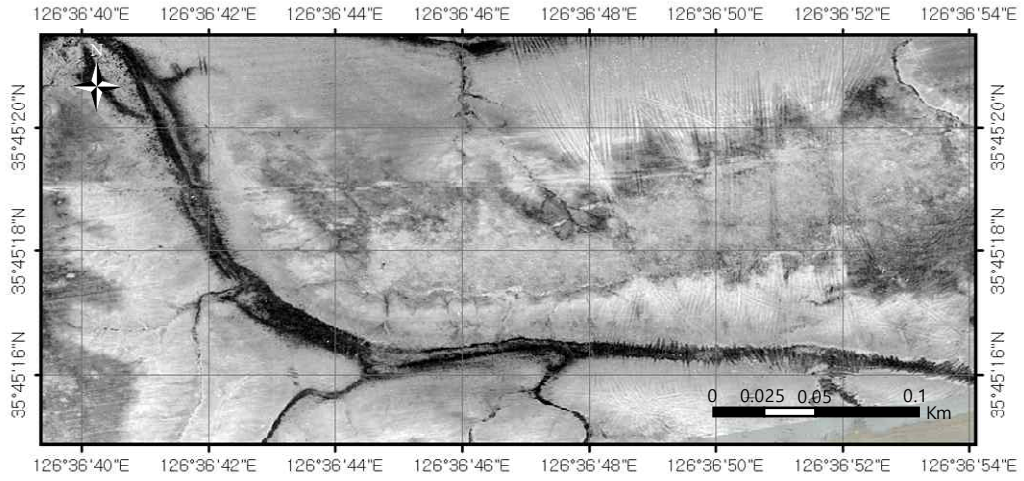
(a) 원본 영상



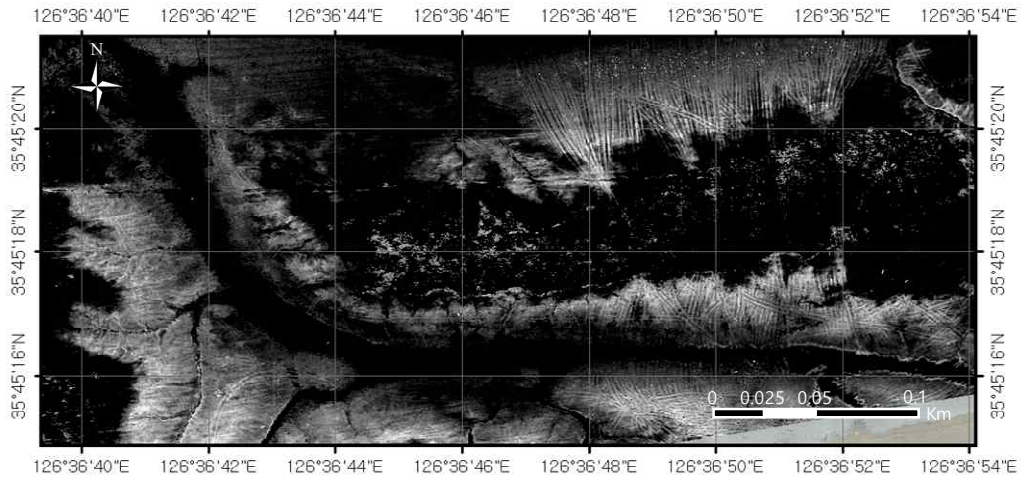
(b) 표토 노출 구간 추출

<그림 7-29> 표토 구간 추출 결과 (새만금지구)

■ 표토구간에 대한 RGB 보정 (Band 1 도시)

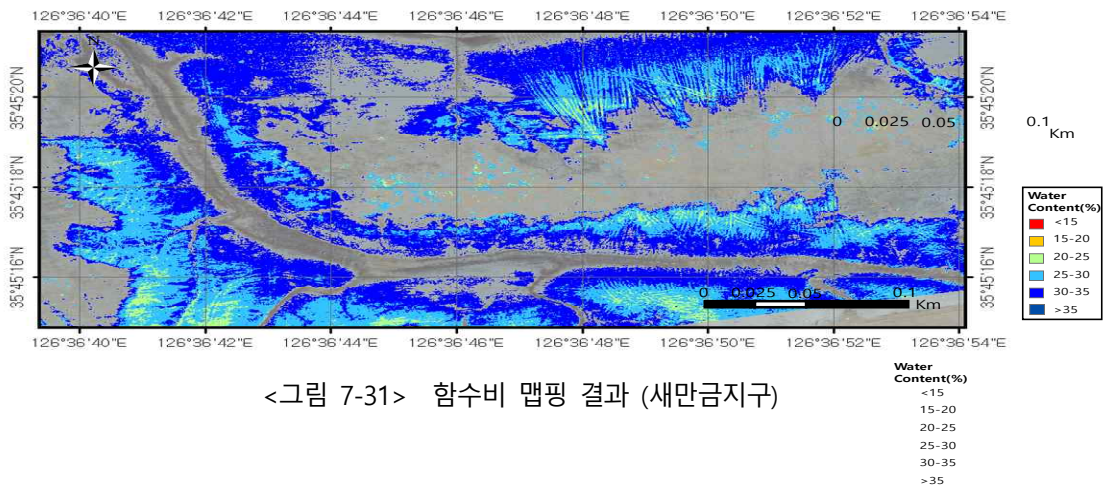


(a) Band-1 영상(RED)



(b) Band-1 영상(RED) 보정 결과
 <그림 7-30> 표토 구간에 대한 RGB 보정 (새만금지구2)

■ 함수비 계산 및 맵핑



<그림 7-31> 함수비 맵핑 결과 (새만금지구)

○ 현장에서 채취한 12개의 지점에 대하여 RGB 값을 추출하고 함수비 측정

- 평균 함수비는 22.84%, RGB의 평균은 각각 162.91, 164.00, 155.00

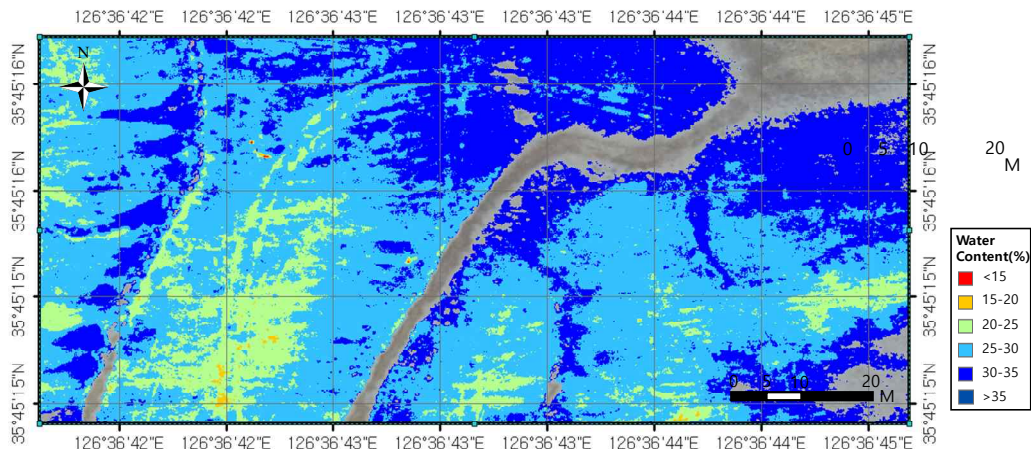
○ 이 값을 이용하여 RGB 보정 수행

- 정사영상의 RGB에서 각각 79.13, 78.94, 92.68 차감
- 함수비 추정식은 다음과 같이 나타낼 수 있음

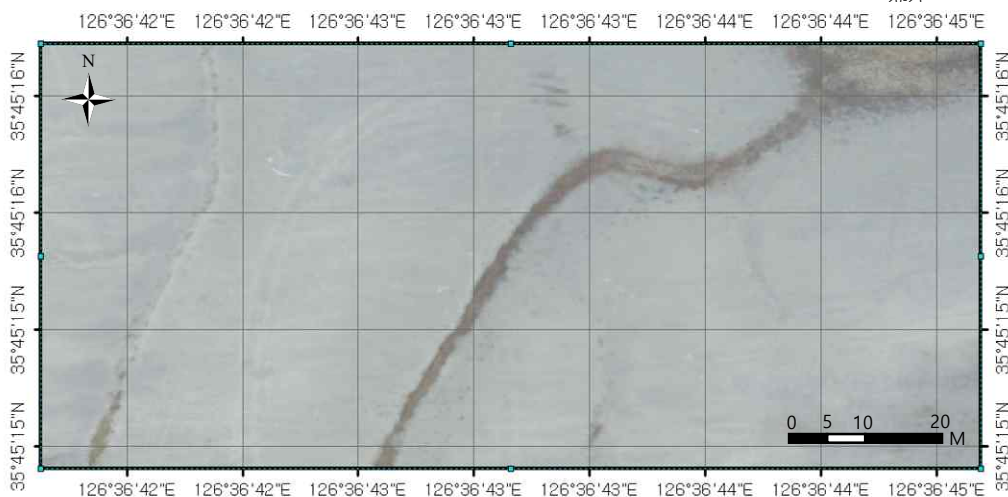
$$W_s' = -0.339(R - 79.13) - 0.361(G - 78.94) + 0.264(B - 92.68) + 65.2$$

○ 시화지구 방법과 마찬가지로 표토 노출 구간의 래스터 이미지에서 R, G, B 성분을 각각 band1, 2, 3로 분리하여 0-255 값을 나타내는 8비트 이미지로 전환(그림 7-32(a))한 후 Raster Calculator 툴을 이용해 위 식을 적용하여 추정 함수비를 맵핑

○ 본 함수비 맵핑 결과와 원본 영상을 확대하여 비교하면 아래 그림과 같음



(a) 함수비 분포 맵핑



(b) 원본 영상

<그림 7-32> 표토 함수비 추정 맵핑 결과 (새만금지구2)

제 5 절 간척지 지역 표토 염도 맵핑

1. 개요

- 추출된 표토 노출 구간을 대상으로 DIP 기법을 통해 얻은 염도 추정 식을 적용하여 염도 분포를 맵핑
- 앞서 산정한 추정식 및 보정 방법을 적용하여 연구 대상 지역에 대한 염도 맵핑을 실시함
 - 실내에서 실험을 통해 얻은 염도 추정 회귀식은 다음과 같음

$$\text{Salinity}(dS/m) = 6.082 R - 10.794 G + 3.529 B + 246.885 (R^2 = 0.689)$$

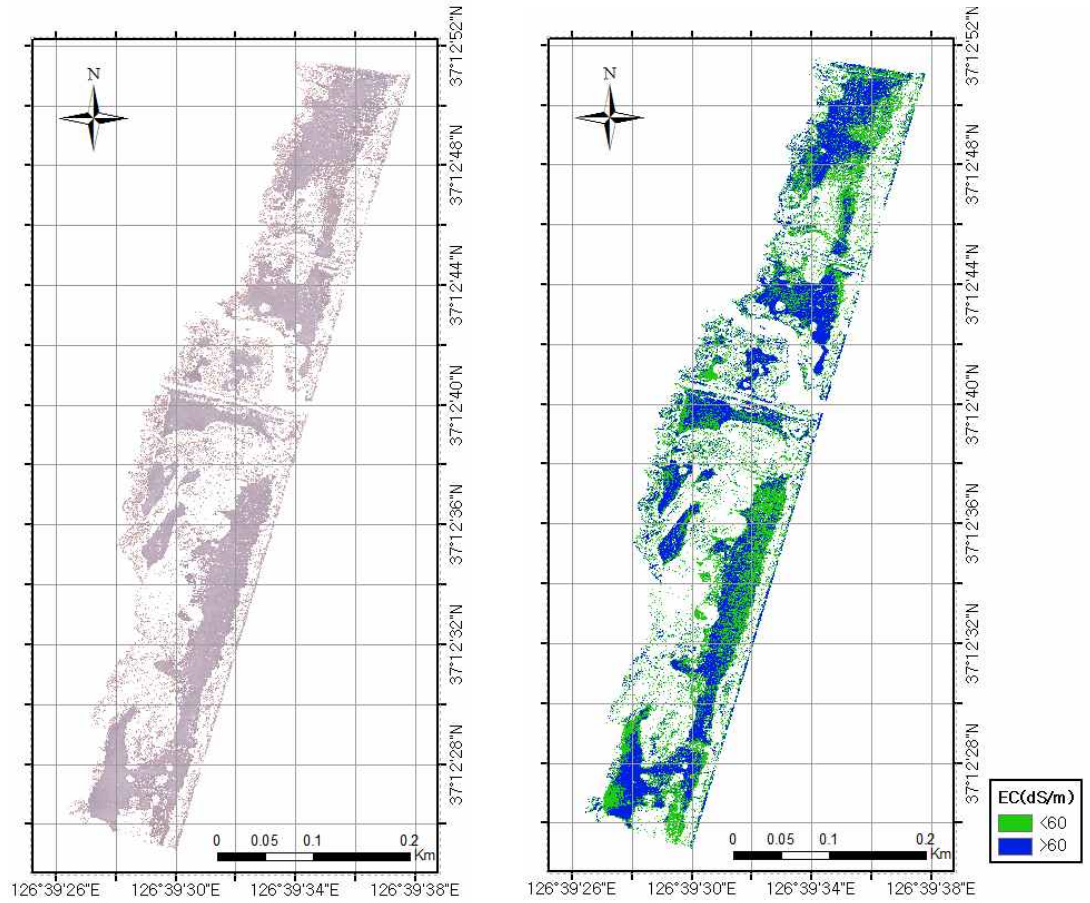
- 각 시험지구에서 채취한 시료의 위치 정보와 실내 염도 측정값을 이용해 맵핑하는 방법을 적용

2. 시화지구

- 현장에서 채취한 7개의 지점에 대하여 RGB 값을 추출하고 염도 측정
 - 평균 염도는 61.79dS/m, RGB의 평균은 각각 149.78, 148.64, 143.48
- 이 값을 이용하여 RGB 보정 수행
 - 정사영상의 RGB에서 각각 25.35, 21.35, 10.48 차감
 - 염도 추정식은 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$\text{Salinity}(dS/m) = 6.082 (R - 25.35) - 10.794 (G - 21.35) + 3.529 (B - 10.48) + 246.885$$

- 함수비 추정 방법과 마찬가지로 표토 노출 구간의 래스터 이미지에서 R, G, B 성분을 각각 band1, 2, 3로 분리하여 0-255 값을 나타내는 8비트 이미지로 전환(그림 7-33(a))한 후 Raster Calculator 툴을 이용해 위 식을 적용하여 추정 염도를 맵핑
- 추정식 적용 결과 추출된 염도 분포를 2개의 염농도 구간으로 연구 대상지역에 맵핑함
 - 실내 시험 염도 측정 값과 대입하여 60dS/m를 기준으로 2개의 클래스로 재분류함
 - 이를 맵핑하면 그림 7-33(b)와 같음
 - 갈대숲과 인접한 구간은 상대적으로 낮은 EC 값을 나타내고 염 상승으로 인해 염 결정이 확인되는 구간은 맵핑상에서도 높은 EC 값을 가진 것으로 분류됨
- 식생 지역을 제외하고 표토 노출 구간은 20dS/m를 크게 초과하여 분포하는 것으로 나타남
- 표토 상부에 재염화가 상당히 진행된 것으로 판단됨

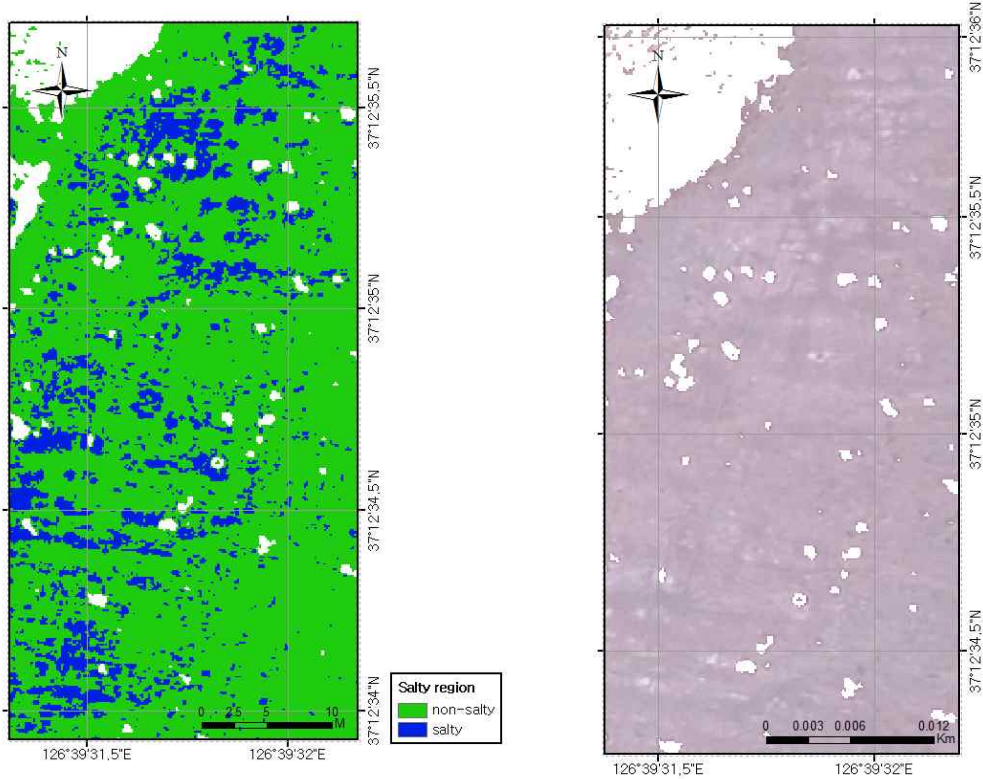


(a) 포토 노출 구간

(b) 염도 분포 추정

<그림 7-33> 염도 분포 추정 결과 (시화지구1)

○ 본 염도 맵핑 결과와 원본 영상을 확대하여 비교하면 아래 그림과 같음



(a) 염도 분포 추정

(b) 원본 영상

<그림 7-34> 염도 분포 추정 결과 (시화지구2)

3. 새만금지구

○ 현장에서 채취한 12개의 지점에 대하여 RGB 값을 추출하고 염도 측정

- 평균 염도는 78.51dS/m, RGB의 평균은 각각 162.91, 164.00, 155.00

○ 이 값을 이용하여 RGB 보정 수행

- 정사영상의 RGB에서 각각 19.00, 20.00, 11.64 차감
- 염도 추정식은 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$Salinity(dS/m) = 6.082 (R - 19.00) - 10.794 (G - 20.00) + 3.529 (B - 11.64) + 246.885$$

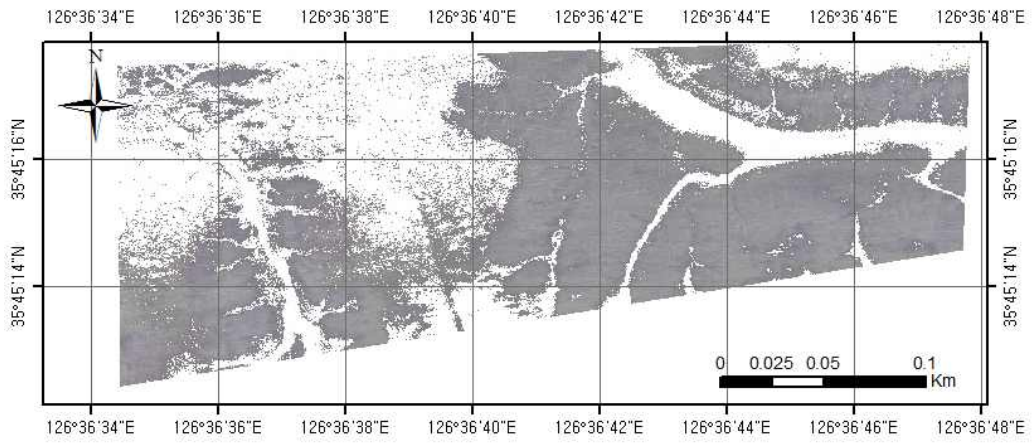
○ 함수비 추정 방법과 마찬가지로 표토 노출 구간의 래스터 이미지에서 R, G, B 성분을 각각 band1, 2, 3로 분리하여 0-255 값을 나타내는 8비트 이미지로 전환(그림 7-35(a))한 후 Raster Calculator 툴을 이용해 위 식을 적용하여 추정 염도를 맵핑

○ 추정식 적용 결과 추출된 염도 분포를 3개의 염농도 구간으로 연구 대상지역에 맵핑함

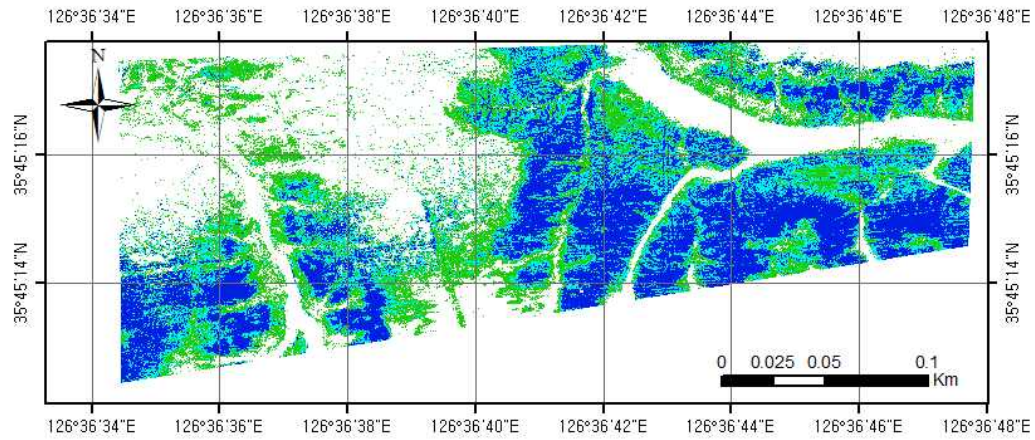
- 실내 시험 염도 측정 값과 대입하여 30dS/m와 60dS/m를 기준으로 3개의 클래스로 재분류함

○ 빈 공간은 식생이 있는 곳이며 60dS/m의 고염도로 평가되는 구간이 넓게 분포한 것을 확인

○ 새만금지구 표토는 현재 작물 생육이 어려울 것으로 판단되며 상부에는 재염화가 상당히 진행된 것으로 판단됨

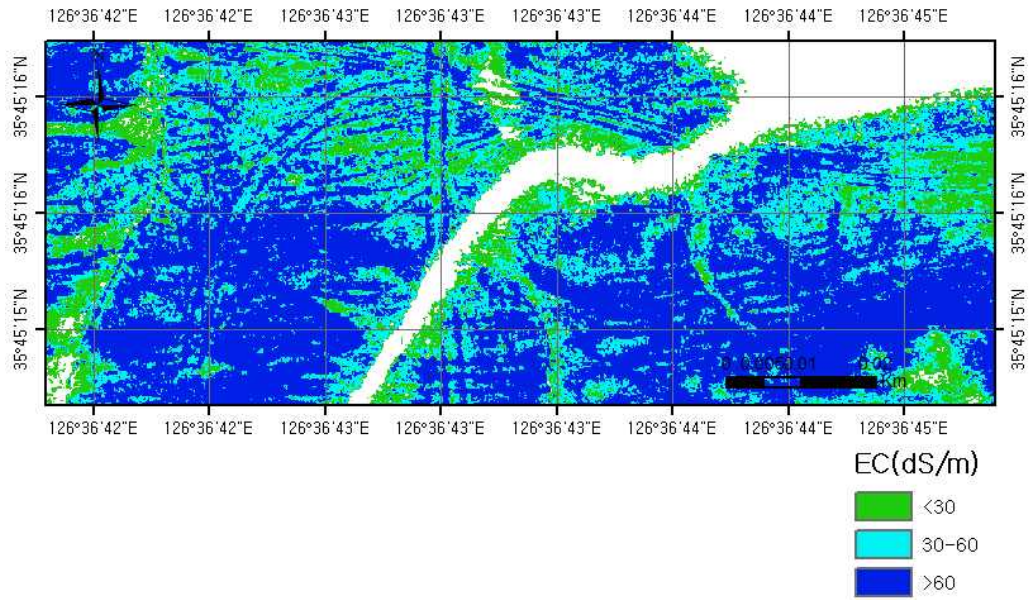


(a) 표토 노출 구간

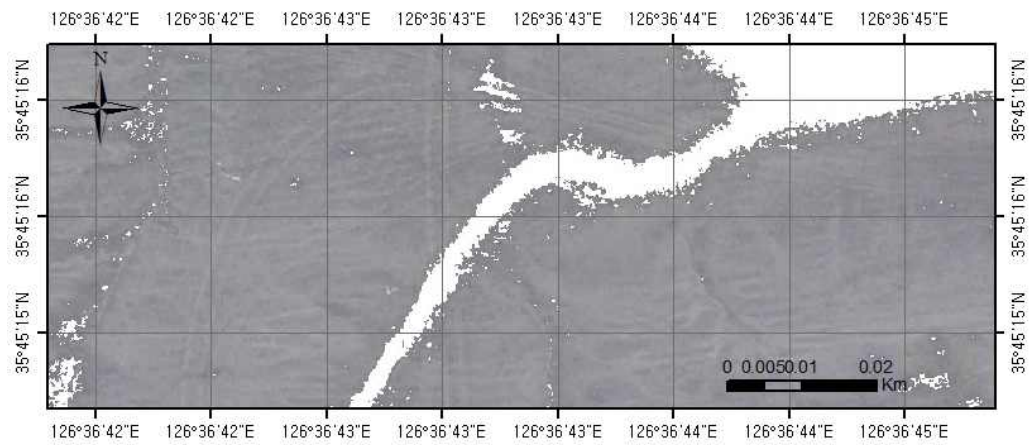


(b) 염도 분포 추정

<그림 7-35> 염도 분포 추정 결과 (새만금지구1)



(a) 염도 분포 추정



(b) 원본 영상

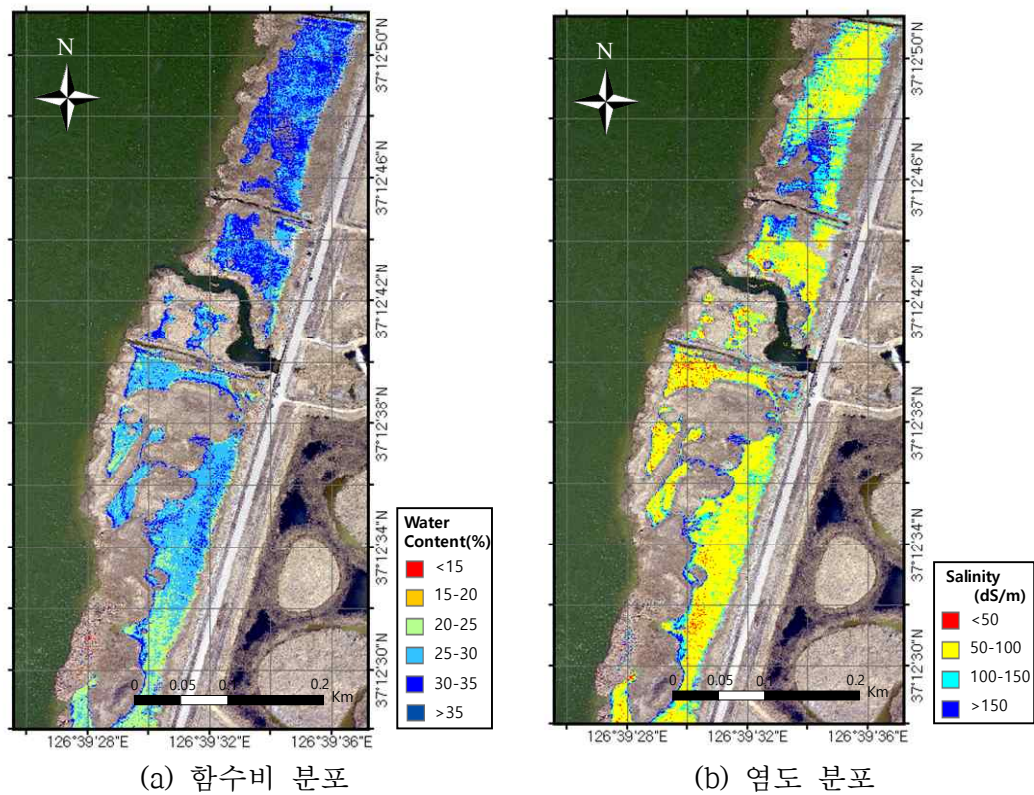
<그림 7-36> 염도 분포 추정 결과 (새만금지구2)

제 6 절 시험 간척지의 시계열 모니터링 결과

1. 시험 간척지의 장기간 모니터링 자료를 통한 염분 및 수분 이동 파악

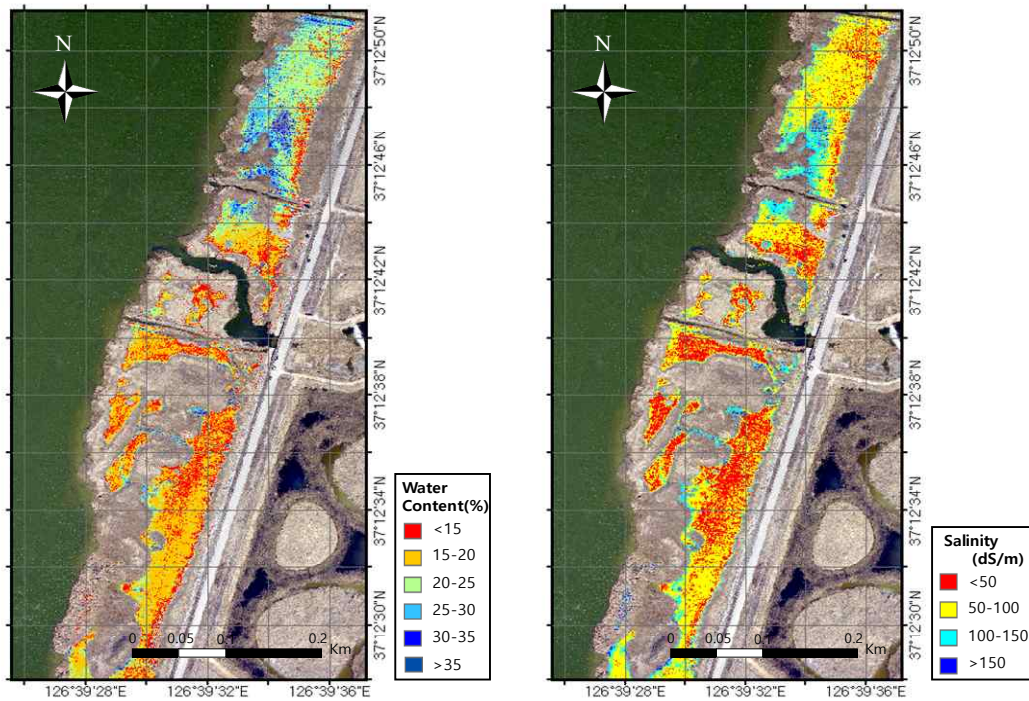
○ 시화지구 시계열 맵핑 결과

- 2017/02/08, 2017/03/14, 2017/04/20 출장 시 획득한 데이터와 UAV 영상을 이용하여 맵핑 실시
- 각각의 시점에 대하여 함수비와 염농도에 대한 분석을 수행함
- 2017/02/08
 - 함수비는 20~35% 구간에 분포하며 구역 간 함수비 차이가 뚜렷하게 나타남
 - 염도는 대부분 50~100dS/m 구간에 분포하며 구역에 따른 차이를 거의 보이지 않음



<그림 7-37> 2017/02/08 시화지구 맵핑 결과

- 2017/03/14
 - 함수비는 10~25% 구간에 분포하며 구역 간 함수비 차이가 뚜렷하게 나타나지 않음
 - 2017/02/08에 비하여 함수비가 전체적으로 감소하는 경향을 보임
 - 염도는 대부분 0~100dS/m 구간에 분포함
 - 2017/02/08에 비하여 일부 구간에서 염도가 감소함



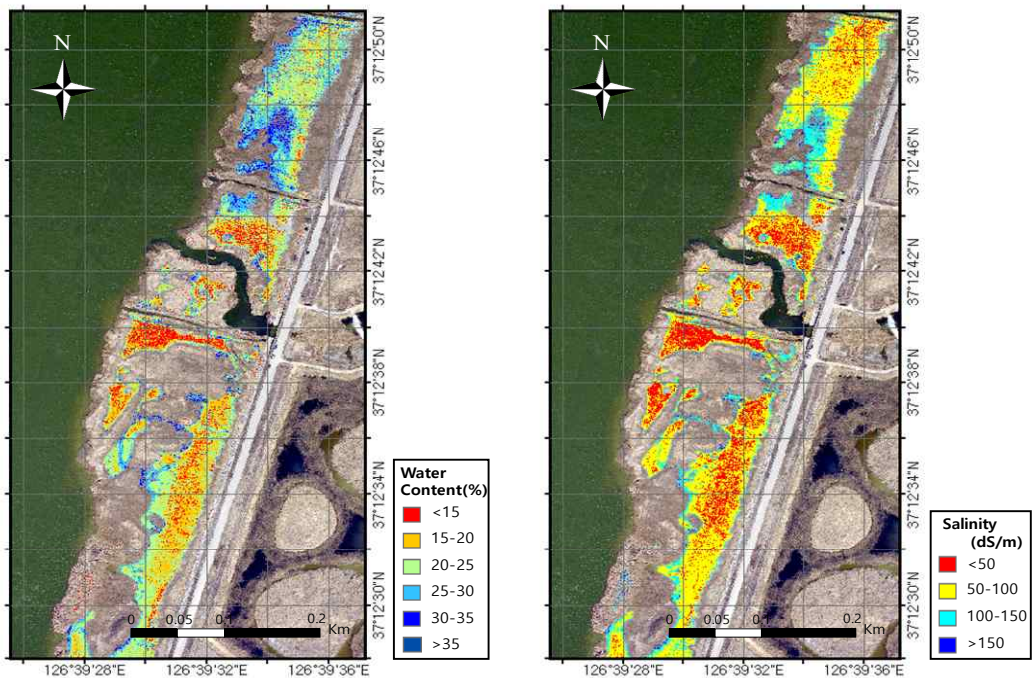
(a) 함수비 분포

(b) 염도 분포

<그림 7-38> 2017/03/14 시화지구 맵핑 결과

■ 2017/04/20

- 함수비는 10~25% 구간에 분포하며, 2017/03/14와 큰 차이를 보이지 않음
- 염도는 대부분 0~100dS/m 구간에 분포하며, 2017/03/14와 큰 차이를 보이지 않음



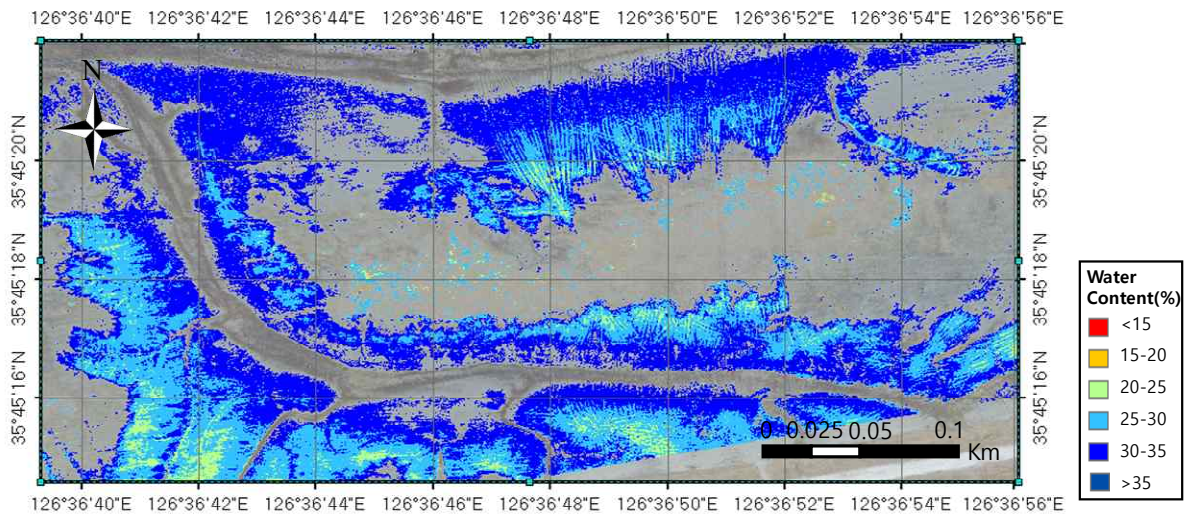
(a) 함수비 분포

(b) 염도 분포

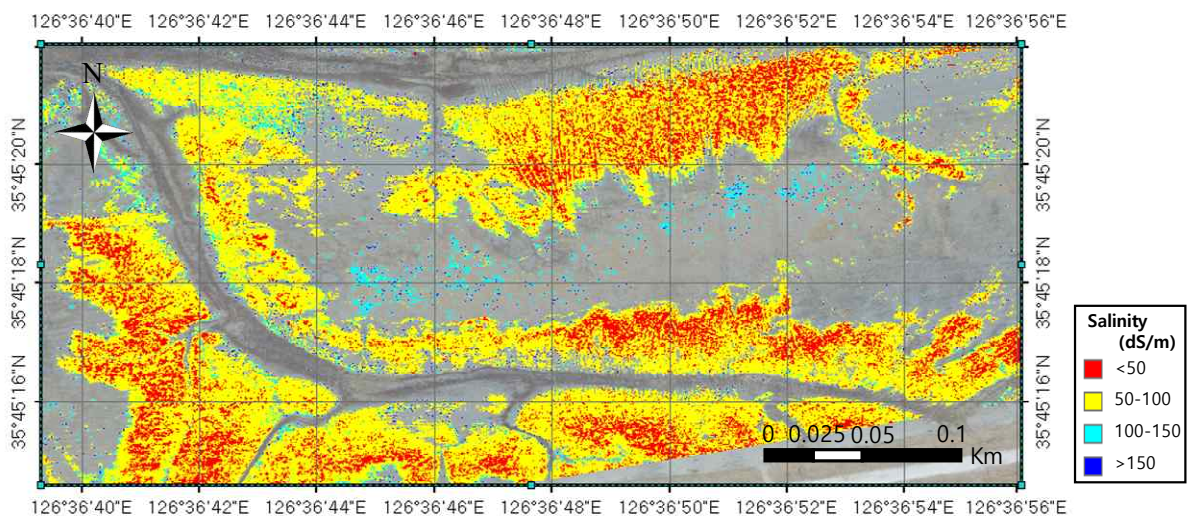
<그림 7-39> 2017/04/20 시화지구 맵핑 결과

○ 새만금지구 시계열 맵핑 결과

- 2017/02/08, 2017/04/10, 2017/06/01 출장 시 획득한 데이터와 UAV 영상을 이용하여 맵핑 실시
- 각각의 시점에 대하여 함수비와 염농도에 대한 분석을 수행함
- 2017/02/08
 - 함수비는 20~35% 구간에 분포함
 - 갯골 주변의 함수비가 더 높게 나타남
 - 염도는 대부분 0~100dS/m 구간에 분포하며 구역에 따른 차이를 거의 보이지 않음



(a) 함수비 분포

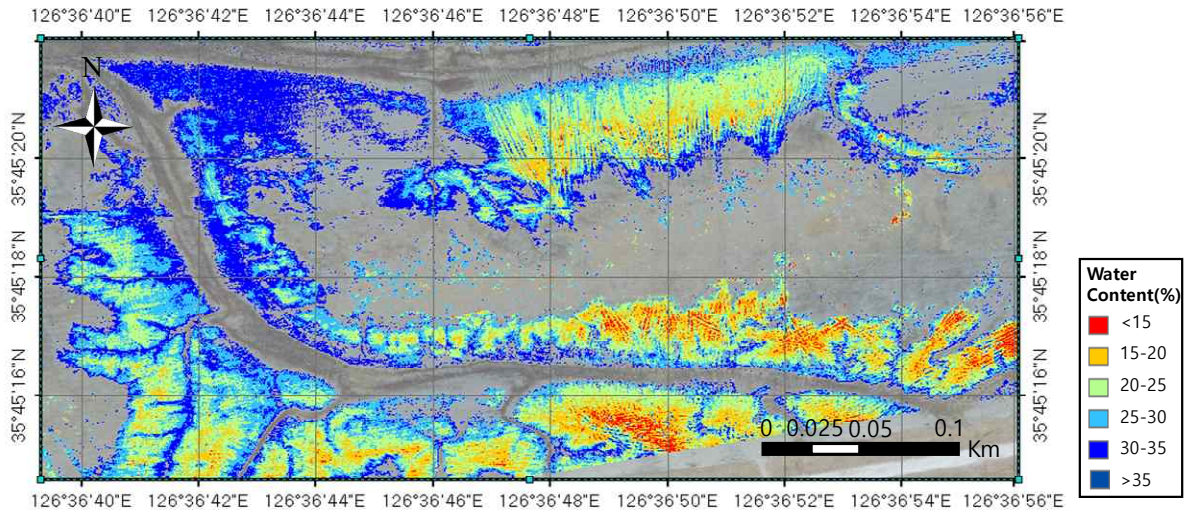


(b) 염도 분포

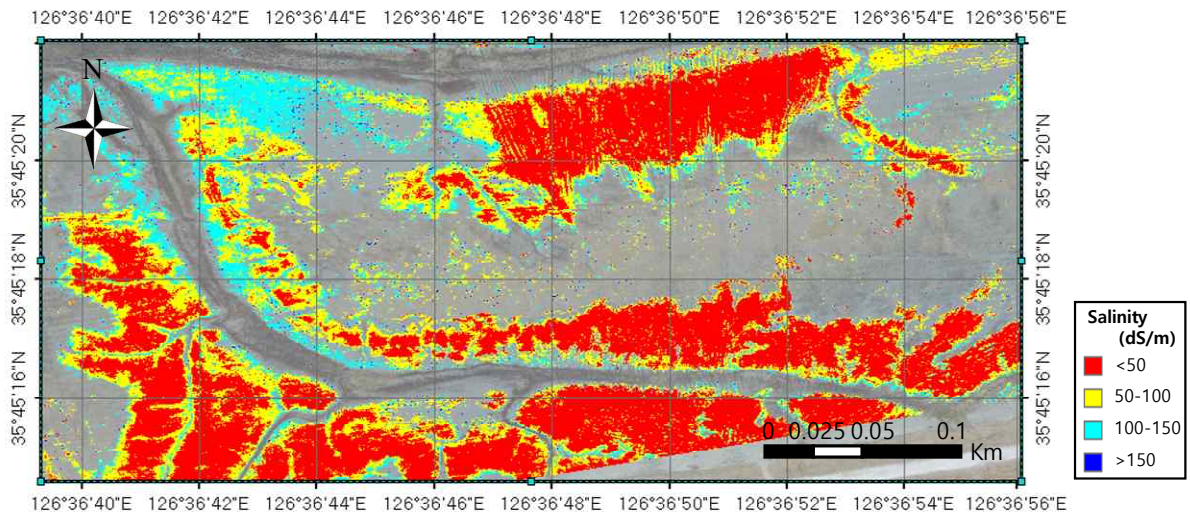
<그림 7-40> 2017/02/08 새만금지구 맵핑 결과

■ 2017/04/10

- 함수비는 15~35% 구간에 분포함
- 2017/02/08과 유사하게 갯골 주변의 함수비가 더 높게 나타남
- 사진 상에서 북동쪽의 함수비가 높은 경향을 보임
- 염도는 대부분 0~50dS/m 구간에 분포함
- 2017/02/08에 비하여 염도는 전체적으로 감소하였음을 알 수 있음



(a) 함수비 분포

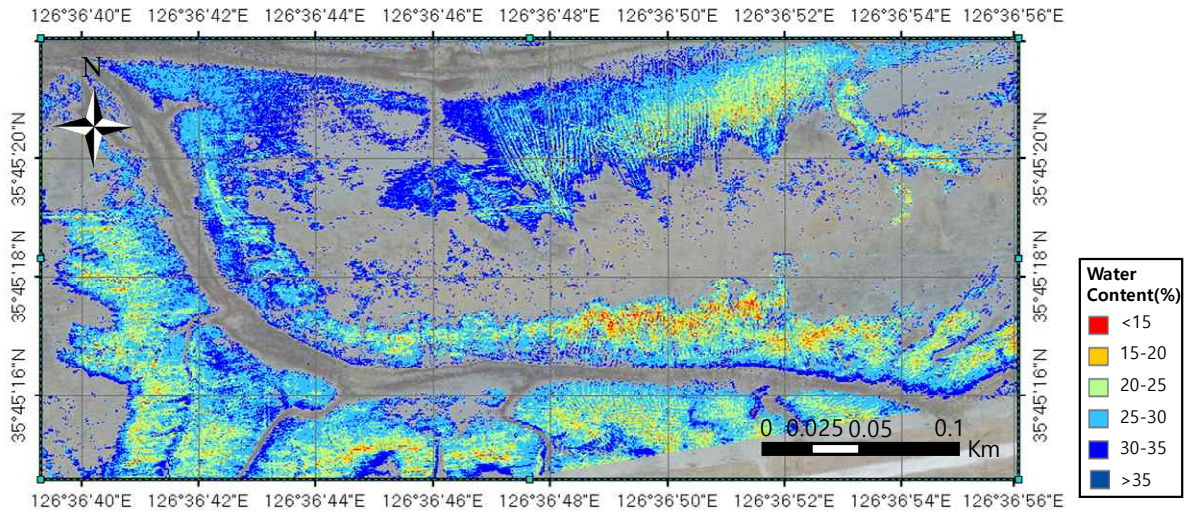


(b) 염도 분포

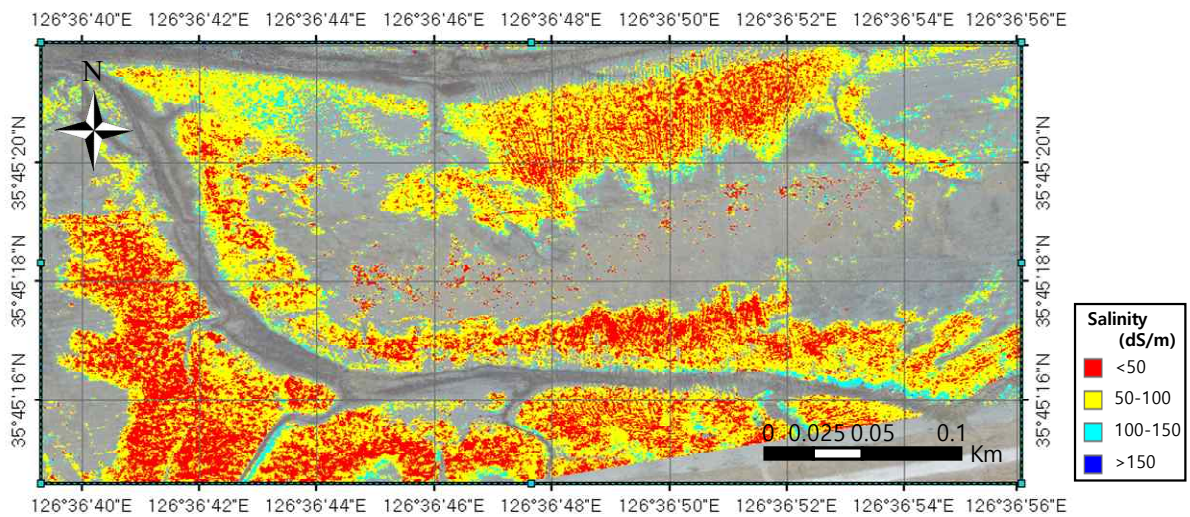
<그림 7-41> 2017/04/10 새만금지구 맵핑 결과

■ 2017/06/01

- 함수비는 20~35% 구간에 분포함
- 전체 구역에서 함수비의 공간적 편차가 감소함
- 염도는 대부분 0~100dS/m 구간에 분포함
- 전체 구간에서는 2017/04/10에 비하여 염도가 증가하는 경향을 보임
- 사진 상에서 북동쪽 지역의 염도는 2017/04/10에 비하여 염도가 감소함



(a) 함수비 분포



(b) 염도 분포

<그림 7-40> 2017/06/01 새만금지구 맵핑 결과

제 8 장 실시간 염분 집적상태 평가 및 예측 시스템 개발

제 1 절 UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템 개발

1. 개요

○ 특징

- 간척지 토양의 실시간 수분 및 염분농도의 평가를 위해 “UAV(드론) 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템” 을 개발함
- UAV 항공 영상의 실시간 영상 처리를 통해 간척지 토양의 실시간 수분 및 염분농도의 산정 및 시각화를 수행하며 이를 위한 다양한 보정, 시각화, 그래프 출력 기능을 제공함

○ 구성

- Web을 기반으로 한 소프트웨어로 항공 영상 설정, 위성 영상 설정, 토양 분류 및 수분/염분 추정의 3단계로 구성되어 있음
- 항공 영상 설정
 - 원본 영상 출력
 - 토양 분류, 수분, 염분 영상 출력
 - 원본 영상 변경
- 위성 영상 설정
 - 기본 지도, 위성 지도 출력 및 끄기
- 토양 분류 및 수분/염분 추정
 - 표토 추출 및 범례 변경
 - 표토 마스크 켜기/끄기
 - 원본 보정 계수 입력
 - 토양 분류 계수 입력
 - 수분 계산 계수 입력
 - 염분 계산 계수 입력

2. UAV(드론) 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템

○ 기본 화면

- UAV항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템의 기본 화면 구성은 아래 그림과 같음
 - UAV에서 촬영된 정사영상 (TIFF)과 함께 영상의 실시간 처리를 위한 설정창이 좌측에 존재함
 - 설정창은 항공 영상 설정, 위성 영상 설정, 토양 분류 및 수분/염분 추정 의 세 부분으로 나뉨



정사영상 (UAV)

위성영상 (Google Earth)

설정창

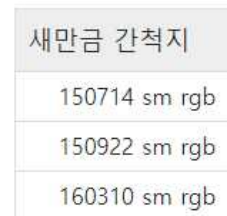
<그림 8-1> "UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템"의 기본 구성 화면

○ 항공 영상 설정

- 항공 영상 설정에서는 “원본” (원본 항공 사진), “종류” (토양 분류 매핑 결과), “수분” (토양 수분 매핑 결과), “염분” (토양 염분 매핑 결과)의 4개 중 1개를 선택하여 현재 화면상에 표시할 수 있음
 - “영상 변경” 클릭 시 시스템 상에 업로드 된 사진 목록이 나오며 원하는 사진을 선택 시 해당 사진이 출력됨



항공 영상 설정



영상 변경

<그림 8-2> "UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템"의 항공 영상 설정 기능

○ 위성 영상 설정

- 사용자가 필요에 따라 정사영상과 함께 일반 지도 (기본), 위성 영상 (Google Earth)을 중첩하여 볼 수 있음



위성영상 설정 : 기본



위성영상 설정 : 위성



위성영상 설정 : 끄기

<그림 8-3> "UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템"의 위성 영상 설정 기능

○ 토양 분류 및 수분/염분 추정

- 항공영상의 분석 시 영상에서 표토 부분만을 추출하기 위해 “표토 추출” 기능이 포함되어 있음
 - “표토 추출” 선택 시 R, G, B값의 상한, 하한 경계값을 각각 지정하여 줄 수 있으며 지정된 범위의 안에 속하는 부분만을 표토로 추출할 수 있음
 - 사용자의 편의를 위해 화면 중앙의 십자선 (Cross hair)의 교차점에 표토로 확인되는 영역을

위치한 뒤 표토 추출을 실시하면 교차점으로부터 추출된 RGB와 유사한 값들을 표토로 선택할 수 있음

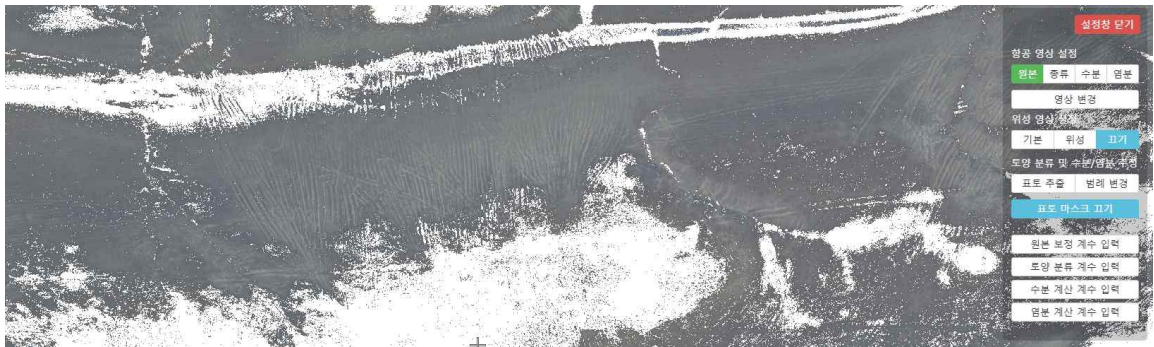
- 추출된 표토 영역은 표토 마스크에 저장되며 켜기/끄기를 수행 할 수 있음



경계값 지정 및 십자선을 이용한 표토 추출 과정



표토 추출 전 (표토 마스크 끄기 상태)



표토 추출 후 (표토 마스크 켜기 상태)

<그림 8-4> "UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템"의 표토 추출 기능

- 토양 분류 및 수분/염분의 추정을 위해 원 “원본 보정 계수 입력”, “토양 분류 계수 입력”, “수분 계산 계수 입력”, “염분 계산 계수 입력” 기능이 포함되어 있음
- “원본 보정 계수 입력” 선택 시 원본 사진의 RGB값을 변경할 수 있으며 이에 따라 기상, 촬영 조건 등에 의한 원본 사진의 색상 차이를 보정할 수 있음

- “토양 분류 계수 입력” 선택 시 판별분석을 이용한 토양의 분류 시 사용되는 판별점수(Z) 산정식의 계수와 각 토양별 집단 중심값을 입력 가능
- “수분 계산 계수 입력” 선택 시 RGB값을 이용한 표층 함수비 추정 시 사용되는 계수를 입력 가능
- “염분 계산 계수 입력” 선택 시 RGB값을 이용한 표층 염도 추정 시 사용되는 계수를 입력 가능

원본 보정 창 닫기

R	100	%
G	100	%
B	100	%

원본 보정 계수 입력

기본값 불러오기 **변경값 저장하기**

수분 계산 수식 입력 창 닫기

간척지토양 ▼

A	-0.895
B	0
C	0.540
D	74.470

격자별 토양 판별 **선택된 토양 사용**

함수비(%) = $-0.895 \times R + 0 \times G + 0.540 \times B + 74.470$
 - R, G, B: 픽셀별 R, G, B 값

수분 계산 계수 입력

기본값 불러오기 **변경값 저장하기**

토양 분류 계산 수식 입력 창 닫기

A	-2.665
B	3.083
C	-0.772
D	-78.069

판별점수(Z) = $-2.665 \times R + 3.083 \times G + -0.772 \times B + -78.069$
 - R, G, B: 픽셀별 R, G, B 값
 판별점수 Z의 값이 아래의 집단 중심값과 가장 가까운 토양으로 분류됩니다.

토양 분류 계수 입력

기본값 불러오기 **변경값 저장하기**

염분 계산 수식 입력 창 닫기

A	6.082
B	-10.794
C	3.529
D	246.885

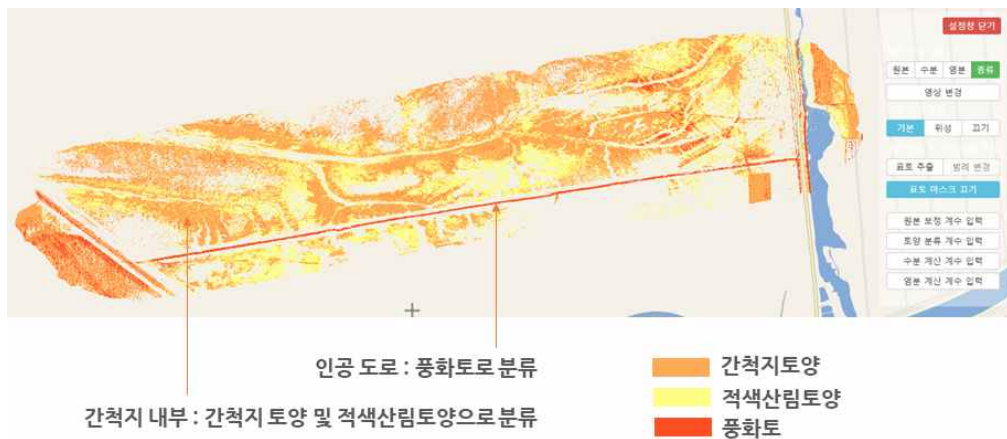
염분(dS/m) = $6.082 \times R + -10.794 \times G + 3.529 \times B + 246.885$
 - R, G, B: 픽셀별 R, G, B 값

염분 계산 계수 입력

<그림 8-5> “UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템”의 토양 수분/염분 추정을 위한 계수 입력 기능

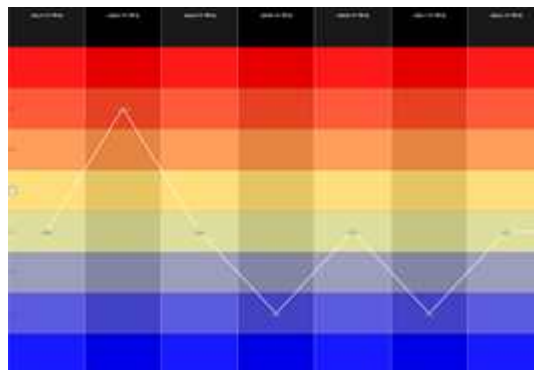
○ “UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템” 을 이용한 토양 분류, 표층 함수비 추출, 표층 염농도 시각화

- 표토 부분의 토양 분류 수행 결과 해당 지역은 간척지 토양을 포함한 적색 산림 토양, 풍화토의 3종으로 분류가 이루어짐
 - 간척지 내부는 간척지 토양 및 적색 산림 토양으로 분류되어 나타나며 진입용 비포장 도로의 경우 풍화토로 분류됨
 - 판별 분석을 이용한 토양 분류 방법의 정확도는 약 70%이기 때문에 토양 분류 결과는 참고용으로 활용

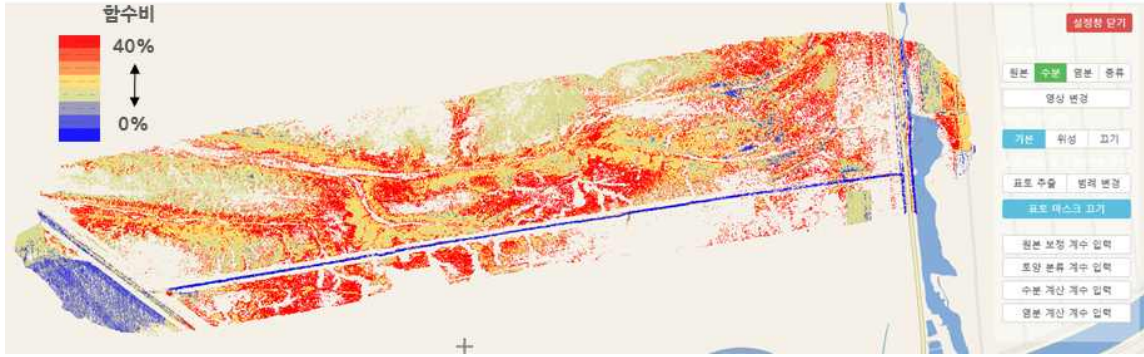


<그림 8-6> “UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템”을 이용한 간척지 토양의 분류 결과 예시

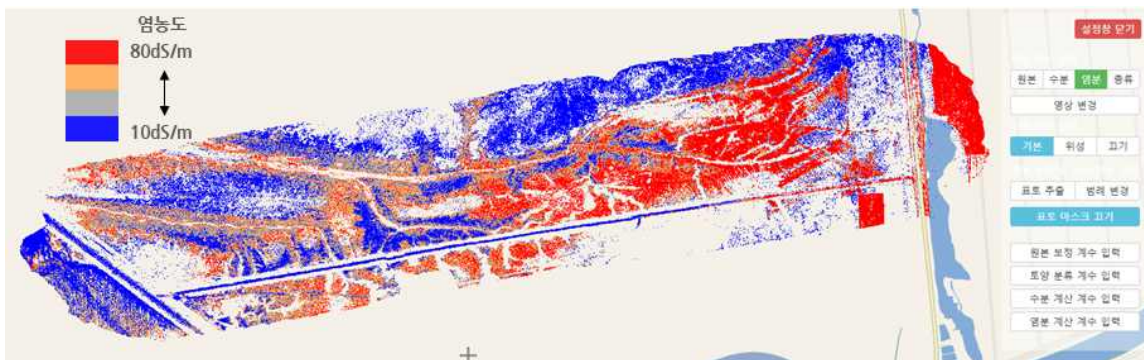
- 표층 함수비, 염도 맵핑 결과 간척지 내부의 함수비, 염도 분포를 시각적으로 확인할 수 있으며, 시계열 영상 확보 시 중앙의 십자선 부분의 함수비, 염도 변화를 그래프로 확인 가능
 - 해당 기능은 간척지 관리 주체의 현장 관리에 유용하게 활용될 수 있음



<그림 8-7> “UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템”을 이용한 시계열 함수비 도식화

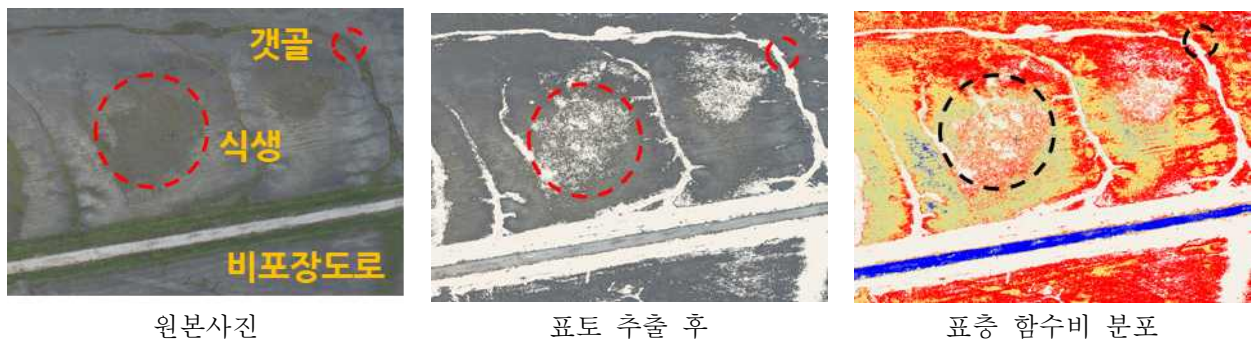


<그림 8-8> "UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템"을 이용한 표층 함수비 맵핑 결과 예시



<그림 8-9> "UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템"을 이용한 표층 염도 맵핑 결과 예시

- 확대하여 관찰 시 갯골이나 식생 인근에서 함수비가 높게 분포하고, 인공 비포장도로의 경우 함수비가 낮게 분포하는 것을 확인할 수 있으며 이는 실제 간척지 내부의 수분 분포 상태와 일치함

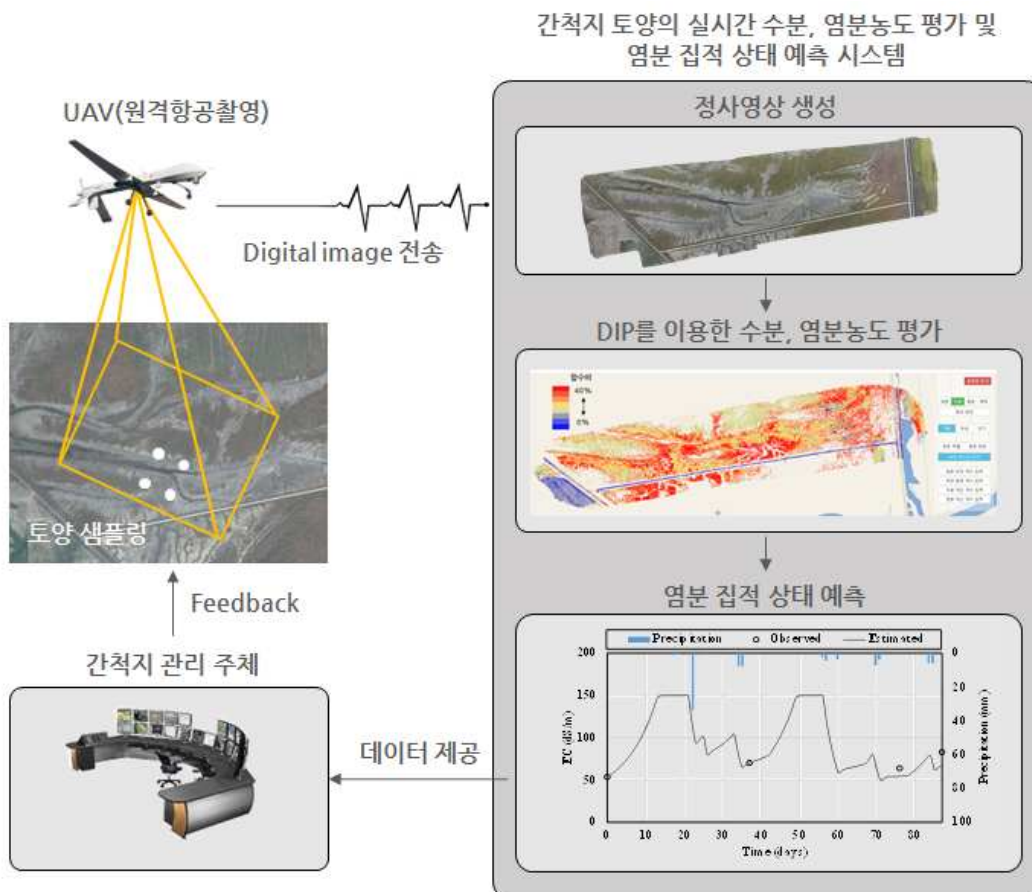


<그림 8-10> "UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템"을 이용한 간척지 모니터링 결과 예시

제 2 절 UAV와 DIP를 이용한 간척지 토양의 실시간 수분, 염분농도 평가 및 염분 집적 상태 예측 시스템 개발

1. UAV와 DIP를 이용한 간척지 토양의 수분, 염분농도 평가 및 염분 집적 상태 예측 시스템 개요

- UAV와 DIP를 이용한 간척지 토양의 수분, 염분농도 평가 및 염분 집적 상태 예측 시스템
 - 본 연구결과를 종합하여 개발한 간척지 토양의 수분, 염분농도 평가 및 염분 집적 상태 예측 시스템은 다음과 같은 순서에 따라 적용함
 - UAV를 이용하여 현장의 항공사진을 원격 촬영하고, 토양의 샘플링을 실시함
 - 획득한 항공사진의 정사영상을 생성하고, 이를 이용하여 수분 및 염분의 농도를 산정함
 - 현장의 지하수위, 지하수 염농도를 측정하고, 산정된 수분, 염분 농도를 이용하여 특정 시간 이후의 염분 집적 상태를 예측함
 - 간척지 관리 주체는 해당 자료를 참고하여 간척지 관리 수행에 이용하게 됨



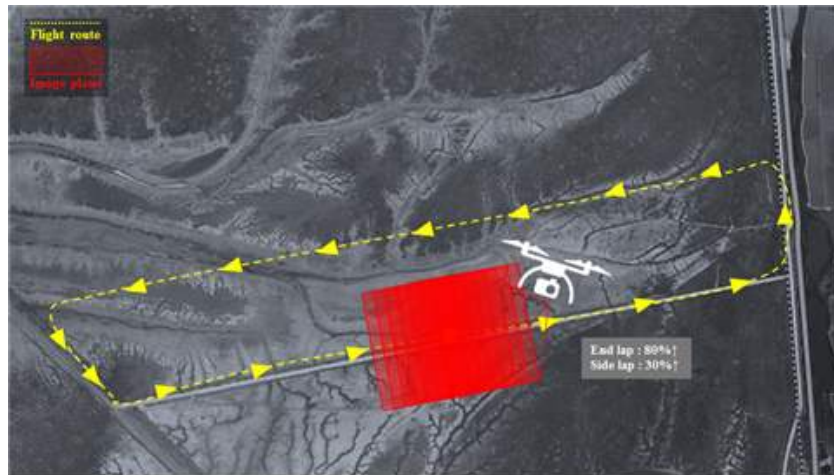
<그림 8-11> UAV와 DIP를 이용한 간척지 토양의 수분, 염분농도 평가 및 염분 집적 상태 예측 시스템

2. UAV와 DIP를 이용한 간척지 토양의 수분, 염분 평가 및 염분 집적 상태 시스템의 적용 절차

○ UAV와 DIP를 이용한 간척지 토양의 수분, 염분 평가 시스템의 적용 절차

■ 현장조사 및 항공사진 촬영

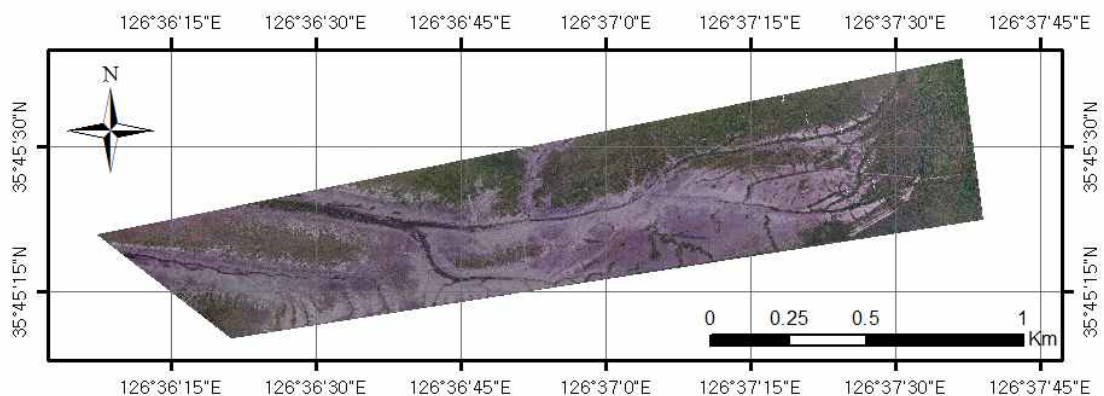
- 현장조사 시 모니터링 대상 지역의 개략적인 상황을 점검하고 4 ~ 10개 지점의 위치정보 및 시료를 획득하여 정사영상의 RGB값 보정에 활용
- 항공사진의 촬영 절차는 6장의 항공사진 촬영 기준에 준함



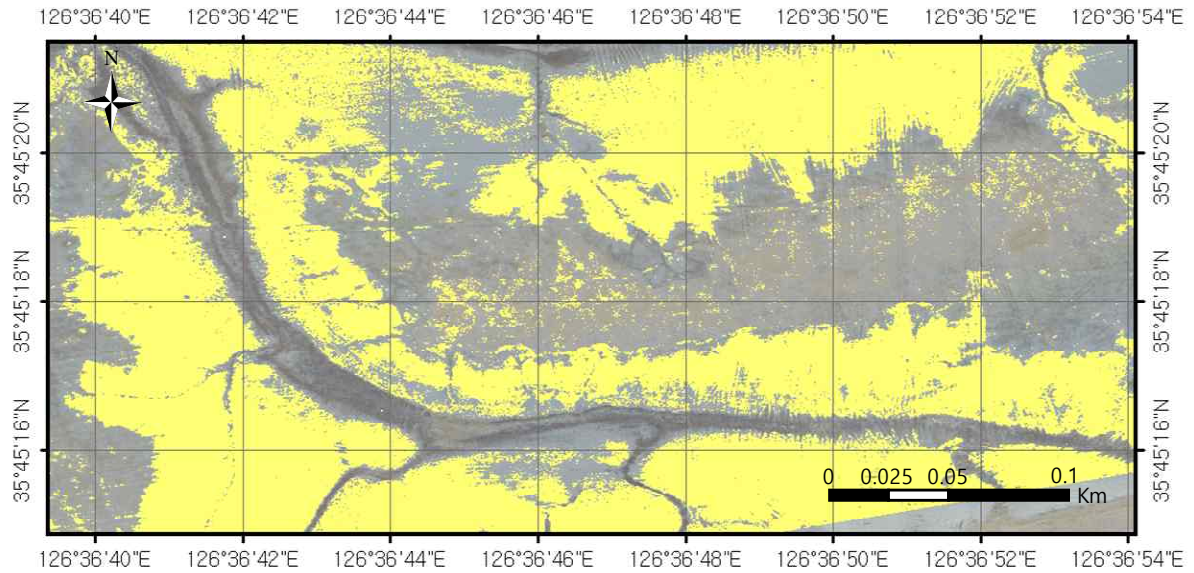
<그림 8-12> 현장조사 및 항공사진 촬영

■ 정사영상 생성 및 포토 노출 구간 추출

- UAV를 이용하여 획득한 항공사진을 영상정합프로그램 (photoscan 등)을 이용하여 정합 실시
- 정사영상을 감독/무감독 분류하여 포토 노출 구간 추출



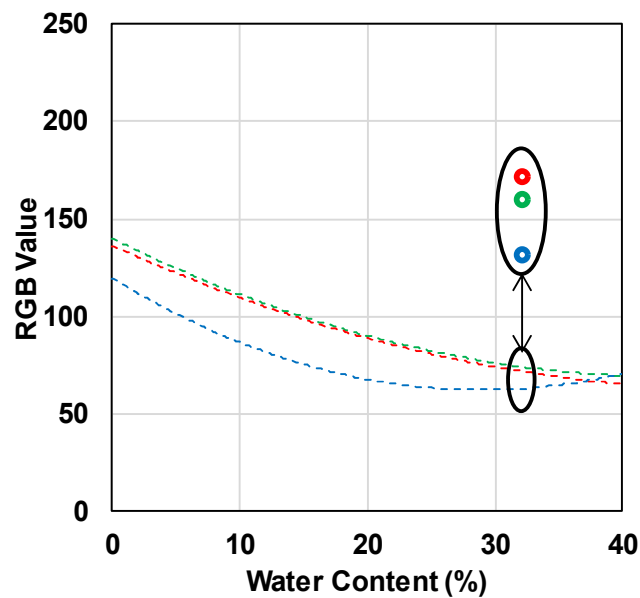
<그림 8-13> 정사영상 생성



<그림 8-14> 표토 노출구간 추출

■ DIP를 이용한 수분, 염분 평가

- 추출된 표토 구간의 평균 RGB값을 보정하여 추정식에 이용
- 보정 시 현장에서 확인한 4~10 지점의 함수비/염도값과 추정식 생성 시 확인한 함수비/염도-RGB 관계를 이용하여 RGB 보정 수행
- 보정 시 현장 10 지점 이상의 데이터를 이용할 경우 예측식의 정확도가 매우 높음
- 보정 시 현장 4 지점 이상의 데이터를 이용할 경우 예측식의 정확도가 높음

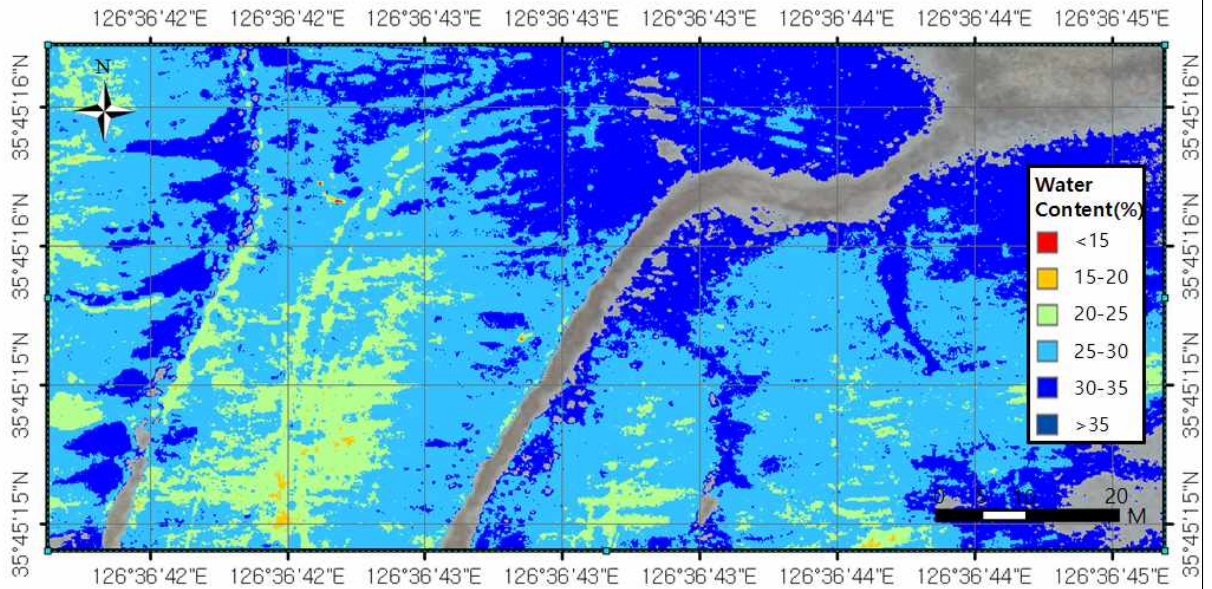


<그림 8-15> 표토 구간의 RGB 보정

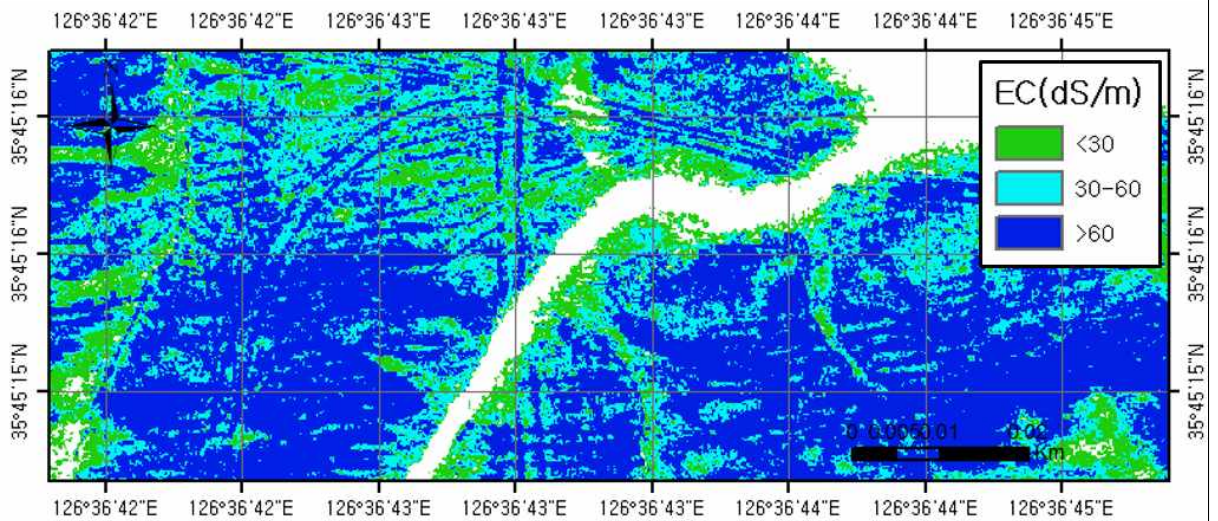
- 보정된 포토의 RGB값을 수분/염분 예측식에 대입하여 포토의 수분/염분을 산정함

$$W_s = -0.339 R - 0.361 G + 0.264 B + 65.2$$

$$Salinity(dS/m) = 6.082 R - 10.794 G + 3.529 B + 246.885$$



<그림 8-16> DIP를 이용한 함수비 추정 결과



<그림 8-17> DIP를 이용한 염추정 결과

○ 간척지 토양 염분 집적 상태 예측 시스템의 적용 절차

- 상기한 수분, 염분 평가 시스템을 통하여 대상 지점의 수분, 염농도를 산정하고, 이를 토대로 특정 시간 이후의 표층 염농도를 예측함
- 토양 염분 집적 상태 예측은 4장에서 도출한 표층 염농도 예측식을 이용함

$$EC_t = EC_{1,t} + EC_{2,t} = EC_{soil,0} \times \left(1 + \frac{At}{1 + Bt^C}\right) + EC_{gw,0}(Dt^2 + Et)$$

EC_t = t시간 이후의 표층 염농도 (dS/m)

$EC_{1,t}$ = t시간 이후의 초기 토양 염분 상승으로 인한 표층 염농도 (dS/m)

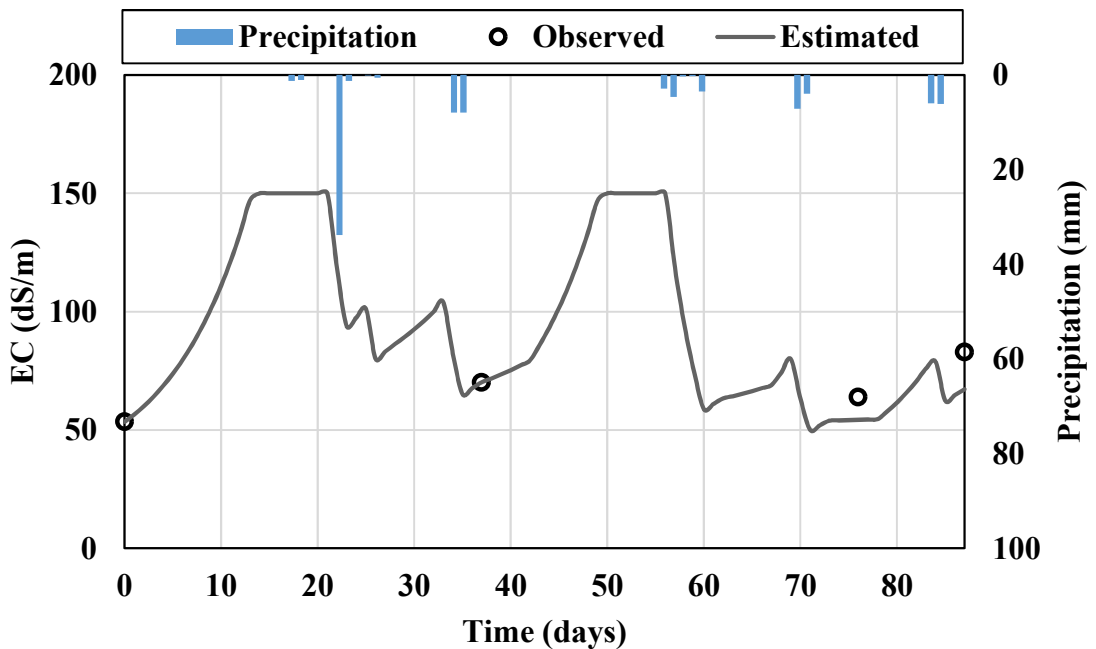
$EC_{2,t}$ = t시간 이후의 표층 염농도 (dS/m)

$EC_{soil,0}$ = 초기 표층 염농도 (dS/m)

$EC_{gw,0}$ = 지하수 염농도 (dS/m)

t = 관측 시로부터 시간 (hr)

A, B, C, D, E = 계수



<그림 8-18> 표층 염분 집적량 예측식의 적용

제 9 장 결 론

제9장 결론에서는 “UAV와 DIP기법을 이용한 간척지 토양특성 평가 및 재염화 예측시스템 개발” (2014. 12. 19 ~ 2017. 12. 18)의 연구 성과를 정리하고 연구 내용을 요약한다.

각 장의 주요 내용을 요약 정리하면 다음과 같다.

1. 서론

- 간척지 토양은 염분농도가 높아 작물재배에 악영향이 있으며 생산량 저하 야기
 - 간척지 토양의 재염화 피해 최소화를 위한 현장 모니터링 방법 구축 필요
 - 간척지 농지의 토양 특성 별 물리 화학적 특성 분석 및 재염화 특성 평가 필요
- 간척지 토양의 특성에 따른 모니터링 및 평가시스템 구축 필요
 - 간척지 농지의 토양 특성 별 물리 화학적 특성 분석 및 재염화 특성 평가 필요
- UAV를 이용한 현장 모니터링 시스템 개발 및 간척지 토양의 데이터베이스 구축 기대
- 디지털 이미지 프로세싱 분석기법을 이용한 토양 특성 파악 및 토양 염분 집적 상태 분석 기술 개발로 간척지 토양의 평가 및 재염화 예측 시스템 개발 기대

2. 간척지 재염화 토양의 물리적 특성 파악

- 시험대상지구(시화, 새만금)의 현장조사 실시 후 대표시료를 대상으로 재염화 토양의 물리적 특성을 파악하기 위해 기초물성시험, 염분농도측정, 무기물 및 유기물 함량파악, 불포화특성시험 등의 실내시험 실시
 - 통일분류법에 의한 간척지 토양의 공학적 분류 결과 ML(저소성 실트)로 분류되었으며 이는 일반적으로 무기질 점토, 극세사, 암분, 실트 및 점토질 세사에 해당함
 - 염분농도 측정 결과 시화지구 평균 0.97%, 새만금지구 평균 0.45%로 나타남
 - 유기물 함량 파악을 위해 강열감량을 측정하였으며 1.6% ~ 3.6%로 매우 낮게 나타남
 - 무기물 함량 파악을 위해 X선 형광분석, X선 회절분석시험을 수행하였으며 일반적인 흙에 비해 Na, K등의 이온성분 함량이 높게 나타남
 - 불포화 특성 파악을 위해 압력판 추출 시험을 수행하여 각 시료의 함수특성곡선을 산정하였으며 이를 van Genuchten(VG) 모델과 Fredlund & Xing(FX) 모델로 피팅(fitting)하여 각 모델의 파라미터를 산출함

3. 재염화 지역에 대한 염분집적상태 데이터베이스 구축

- 시험지구의 염분포 특성 평가를 위해 시험지구 선정이후 지속적인 모니터링을 통해 정성적인 평가를 수행하였으며 또한 모니터링 시 샘플링한 시료에 대한 함수비, 염도 측정 결과를 바탕으로 표층함수비와 염도와 의 관계, 염도의 시간적·공간적 분포를 분석함
 - 시화지구 15회, 새만금지구 14회 모니터링 및 샘플링을 수행하여 간척지 표층의 식생분포, 염상승지역, 크랙 발생여부 등을 확인하였으며 UAV를 이용한 항공사진촬영을 수행함
 - 시화지구 218개, 새만금지구 188개 시료에 대한 함수비, 염도 측정을 수행함
 - 표층함수비와 염도의 상관분석 결과 높은 상관성을 보이지는 않았으나 함수비가 높은 지역에서 염도가 낮게 나타나는 경향을 보임
 - 간척지의 염도는 식생지역보다 나대지가 더 높게 나타났으며 표층에 염이 집적된 구간의 경우 최대 약 200dS/m의 매우 높은 염도를 보임
 - 간척지 내 식생 중 갈대는 주로 군락지를 형성하고 제염이 상당히 진행된 토양 상태를 보이고 있으며, 칠면초는 산재하여 나타남
 - 동일지역 간척지의 염도는 시간에 따라 변화폭이 크게 나타났으나 기상조건(강우량) 등과의 상관성은 크게 나타나지 않음

4. 표층 습윤도에 따른 토양 재염화 가능성 평가

- 표층 습윤도에 따른 토양 재염화 예측을 위한 CHEMFLO 모델 선정
 - 간척지의 나대지 표층을 주요 대상으로 하여 표층 함수비 및 염농도 등 간척지 토양 특성에 따른 재염화 예측 시스템의 기초 관계식을 도출하는 데 그 목적이 있음
 - 상기 목적에 따라, 표층의 함수비에 따른 재염화 양상을 예측하기 위하여 함수비에 따른 염분 상승을 모의하고, 이를 비교할 필요성이 있으므로 토양의 불포화특성을 고려한 모델을 선정
 - 따라서, 불포화 영역에서의 염분 이동의 매개체가 되는 수분의 이동을 고려한 Richard 방정식과 van Genuchten 함수특성 관계식을 고려한 CHEMFLO 모델을 선정함

○ 토양 재염화 예측을 위한 모델링 인자 선정

- 토양의 투수계수는 토양의 공극과 밀접한 연관이 있으며, 이에 따라 재염화에 영향을 미침
- 토양의 불포화 특성에 따라 함수비에 따른 Matric Potential이 변하므로 토양 재염화에 직접적 영향을 미침
- 지하수위가 높을 경우 토양 표층 재염화는 단시간에 발생하고, 고함수비 조건에서도 발생하게 됨
- 재염화가 발생하기 이전의 토양 염농도, 지하수 염농도에 따라 토양 재염화 양상이 변화하며, 토양 및 지하수의 초기 염농도가 높을수록 모관상승 시 표층에 집적되는 염분이 증가함

○ 모델링 인자 구축

- 지하수위 0.5~1.5m, 표층 함수비 10.4~40% 범위에서 모델링을 실시함
- 모델링 시 초기 토양 염농도 10dS/m, 지하수 염농도 40dS/m를 대표치로 설정하고, 이후 산정식에서 상수계수로 도입하여 초기 토층 및 지하수 염농도를 반영함
- 현장의 토층 함수비를 모사하기 위하여 모관 상승 시 지하수위와 초기함수비에 따라 함수비 분포가 평형에 도달하는 시간을 산정할 수 있으며, 이 시간을 ‘모관상승시간’이라 명명
- 지하수위, 함수비를 고려한 모관상승시간의 산정식은 다음과 같음

$$t = 3153.345h^{2.936} \times e^{-10.162w}$$

○ 표층 염농도 예측식 개발

- 초기 토양 염분 및 지하수 염분의 상승을 고려한 표층 염농도 예측식은 다음과 같음

$$EC_t = EC_{1,t} + EC_{2,t} = EC_{soil,0} \times \left(1 + \frac{At}{1+BtC}\right) + EC_{gw,0}(Dt^2 + Et)$$

- 현장 적용성 검증 결과 20% 이하의 오차로 표층 염농도를 예측 가능한 것으로 나타났으며 간척지 현장 관리 시 참고자료로 활용 가능할 것으로 사료됨

5. 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 간척지 토양 특성 평가 (실내)

○ 디지털 이미지의 컬러 모델, 데이터, 영상 처리 기법에 대한 조사를 수행함

- 컬러 모델은 특정 컬러와 다른 컬러들과의 관계를 표현하는 방법으로 컬러 공간(color space) 또는 컬러 다이어그램이라고 하며 컴퓨터로 인지할 수 있는 모형을 의미하며 RGB, HSI, CMY/CMYK, YIQ, YCbCr 등의 모델이 있음
- 디지털 이미지는 색상정보 이외에도 교환이미지 파일 형식을 통해 촬영 당시의 다양한 정보를 기록하고 있으며 특히 위성항법장치(GPS) 수신기에서 오는 위치 정보 등을 카메라와 연결하거나 카메라 자체에 위성항법장치가 포함된 경우 촬영당시의 위치정보 또한 포함 가능함
- 디지털 이미지 프로세싱을 이용한 영상의 처리는 일반적으로 대수적 처리 방법을 사용하며 산술연산을 통해 이미지 색상의 조절이 가능하고 최단입점보간, 쌍선형보간, 쌍입방보간 등을 이용하여 이미지의 기하학적 변환이 가능함
- 상용프로그램을 이용한 디지털 영상 처리는 특정 연구 목적으로 사용하기에는 한계가 있어 컴퓨터 프로그래밍 언어를 이용하여 이미지 처리 및 분석을 수행함

○ 간척지 토양 특성 평가를 위해 실내 스튜디오를 구성하여 이미지를 획득하였으며 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 토양의 분류, 표층함수비 및 염도의 추정방법을 제안함

- 이미지 분석 시 조명에 의한 영향 등을 최소화 하기 위해 실내 스튜디오를 구성하여 이미지를 획득함
- 간척지 시료와 기타 토양과의 분류 가능성을 검증하기 위해 산림토양, 화강풍화토 등을 포함한 총 7개 시료를 이용하였으며 이를 이용하여 토성 분류 등을 수행함
- 디지털 이미지 프로세싱은 JAVA 프로그래밍을 이용하여 수행하였음
- 토양의 종류에 따른 RGB값은 각 성분별로 중복이 발생하기 때문에 개별적인 R, G, B값만을 이용할 경우 분류에 어려움이 있음
- 토양 분류를 위해 판별분석을 수행하였으며 전체 7종의 토양에 대해 96.1% 이상의 분류 정확도를 확인하였으며 특히, 간척지 토양의 경우 판별분석을 이용하면 100%의 정확도로 분류 가능
- DIP를 이용한 표층 함수비 추정 결과 함수비 추정 회귀식의 결정계수는 RGB 모델 이용 시 0.965, HSV모델 이용 시 0.975로 나타났으며 이를 이용하여 표층 함수비를 효과적으로 예측할 수 있음
- DIP를 이용한 표층 염농도 추정 결과 회귀식의 결정계수는 0.689로 나타났으며, 회귀식은 낮은 염도 구간에서는 과대평가되는 경향이 있으나 10dS/m 이상의 염도 구간에서는 예측결과와 상관성이 높게 나타나 실제 간척지의 염해 파악에 이용 시 적용성이 높다고 판단됨
- DIP를 이용한 표층 균열(크랙)평가 결과, 간척지 토양의 크랙은 저수지 준설토에 비해 크기와 폭이 크며 매우 단순하고 비정형인 형태로 발생하였음. 또한 DIP를 통해 크랙을 정확하게 추출하였으며 토심에 따른 발생 특성 분석 결과, 토심이 깊어질수록 크랙의 폭이 커지고 길이가 길어지며, 패턴이 단순해짐을 확인하였으나 크랙과 표층 염도는 큰 상관성이 없는 것으로 나타남

6. UAV 촬영기준 정립 및 항공 영상의 처리 과정

○ DJI 社의 PHANTOM3 Professional를 대상 UAV로 선정한 후 UAV의 운용 및 촬영기준 정립

- 본 연구에 사용된 기체는 연구 목적에 적합한 고해상도의 사진을 안정적으로 확보 가능한 모델임을 확인하였으며 촬영고도는 국내 항공사진 촬영 기준에 따라 150m이하로 설정하는 것이 바람직함
- UAV카메라의 촬영 시 연직방향이 아닌 경우 영상의 외각부분에서 원근에 의한 왜곡이 크게 발생하기 때문에 항공사진측량 작업규정 제 24조(사진 및 영상촬영)에서 규정하는 연직방향으로 촬영하여야 하며 짐벌을 이용하여 기체 운동에 따른 카메라의 운동이 최소화 되도록 하여야 함
- 3축 짐벌이 부착된 UAV를 이용 시 15m/s 이내의 운동속도 내에서는 매우 안정적인 사진을 확보할 수 있으나 고속 비행 시 중복도가 낮아질 수 있는 문제가 발생하기 때문에 타이머를 이용한 자동 촬영 시 중복도를 60% 이상으로 할 수 있도록 속도를 조정해야함
- 카메라의 화이트밸런스는 태양광조건에서 주간촬영 시 자동 또는 태양광 조건으로 설정하는 것이 바람직하며 카메라의 ISO는 이미지의 노이즈를 최소화 할 수 있도록 100을 사용할 것을 권장

○ UAV를 이용한 항공사진 촬영 시 고려사항 및 영상 획득 과정

- UAV를 이용하여 항공사진을 획득하기 위하여 사전에 대상지에 대한 사전조사, 현장답사를 통하여 착륙 지점의 선정, 비행구간 내의 지장물 파악을 통해 적절한 비행계획 수립이 필요함
- 목적에 맞는 해상도의 영상을 확보하기 위해 사진의 중복도와 매수를 선정하는 것이 중요하며 사진정합을 수행하기 위한 적절한 중복도를 확보할 수 있도록 비행경로와 속도 등을 조절해야함
- 촬영기간이 길어지면 비행 중 배터리 저하 등으로 추락의 우려가 있으므로 배터리 소모량을 예측하여 촬영 구간을 선정해야함

○ 항공사진을 이용한 정사영상 생성 및 품질평가

- 획득한 항공사진의 데이터 처리는 Agisoft社의 Photoscan을 이용하여 수행함
- UAV로 획득한 항공사진을 이용하여 대상지구의 정사영상을 획득하였음
- 정사영상은 일반 위성영상과 비교 시 월등히 높은 해상도를 나타냄
- 정사영상의 경계부분은 중첩도가 낮아 왜곡이 발생하므로 영상 분석시 제외하여야 함
- 정사영상은 위치정보를 정확하게 포함하고 있어 위성영상과의 중첩시에도 단차가 발생하지 않았으며 이에 따라 향후 정사영상 분석 시 위치정보를 활용할 수 있을 것으로 판단됨

○ 정합영상의 처리 및 연구영역 설정

- 위성 영상 분석에 가장 널리 쓰이고 있는 Arcmap 10.1을 통해 UAV 영상을 분석
- 해상도가 높은 UAV 영상의 장점을 확인하기 위해 소규모 집중 연구 영역을 재설정하고 분석
- 무감독분류 이후 리클래스 과정을 수행하면 간척지의 표토와 식생 피복 구간의 효과적 구분 가능
- 표토 노출 구간만을 추출하여 표토 함수비 추정과 염도 추정을 실시함

7. UAV 촬영 영상을 이용한 표층의 함수비, 염도 추정 및 현장 적용성 평가

○ 실내 함수비, 염도 추정식의 현장 적용성 평가

- 현장에서 획득한 함수비/염도 및 측정 지점의 RGB 데이터를 함수비 추정식에 적용

$$W_s(\%) = -0.895 R + 0.540 B + 74.470 \quad (R^2 = 0.965)$$

- 적용성 평가 결과 RGB가 실제 함수비에 비하여 낮게 나타나며 RMSE는 8.32%로 나타남
- 적용한 염도 추정식은 다음과 같으며, 적용성 평가 결과 RMSE는 14.921dS/m로 나타남

$$Salinity(dS/m) = 6.082 R - 10.794 G + 3.529 B + 246.885 \quad (R^2 = 0.689)$$

○ 현장 조건을 고려한 함수비 추정식의 수정

- 6개의 토양 시료를 함수비가 다르게 조정하고, 실외에서 UAV를 이용한 고도별 촬영을 실시함
- 표층 함수비 증가에 따라 RGB는 감소하며 R, G값에 비해 B는 상대적으로 정확도가 낮음
- 전체 함수비 구간에서 고도 100m까지는 높은 정확도를 보이나 그 이상의 고도에서는 정확도 감소
- 중간 함수비 구간과 고 함수비 구간에서는 고도 증가에 따라 정확도가 감소하며 고도 100m 이상에서 정확도가 급격히 감소하는 경향을 보임

○ UAV와 DIP를 이용한 표층 함수비 추정 방법의 적용성 평가 (실외)

- 고도 20, 50, 100m의 경우 결정계수 (R^2)가 0.9 이상으로 높게 나타나며 평균 제공근 오차 (RMSE)가 3% 이하로, 높은 정확도로 함수비를 추정할 수 있는 것으로 판단됨
- 20m 추정식의 경우 2.686%로 가장 낮은 RMSE 값을 나타내어 이후 현장 적용성 확인 및 현장 적용 시 고도 20m 추정식을 이용함

○ UAV와 DIP를 이용한 표층 함수비, 염분 추정 방법의 정확도 평가

- 함수비, 염분 추정식을 이용하여 실제 간척지에 적용 시 현장 적용성과 정확도를 평가
- 현장 함수비 및 염도 추정식 적용을 위하여 함수비/염도-RGB 관계를 이용한 데이터 보정이 필요하며 정사영상에서 획득한 RGB 값 평행이동 후 보정된 데이터를 이용하여 추정식 적용

○ 간척지 지역 표토 염도 맵핑

- 실내 실험을 통해 얻은 염도 추정 회귀식을 이용하였으며, 상기 보정 방법을 적용함

$$Salinity(dS/m) = 6.082 R - 10.794 G + 3.529 B + 246.885 \quad (R^2 = 0.689)$$

- 각 시험지구에서 채취한 시료의 위치 정보와 실내 염도 측정값을 이용해 맵핑
- 시화지구에 적용한 염도 추정식을 이용하여 맵핑을 실시하고, 표토의 염도 분포를 확인함

$$Salinity(dS/m) = 6.082 (R - 25.35) - 10.794 (G - 21.35) + 3.529 (B - 10.48) + 246.885$$

- 새만금지구에 적용한 염도 추정식을 이용하여 맵핑을 실시하고, 표토의 염도 분포를 확인함

$$Salinity(dS/m) = 6.082 (R - 19.00) - 10.794 (G - 20.00) + 3.529 (B - 11.64) + 246.885$$

○ 시험 간척지의 시계열 모니터링

- 시화지구와 새만금지구 각각에 대하여 시계열 모니터링을 실시함
- 시화지구는 2017/02/08, 2017/03/14, 2017/04/20, 새만금지구는 2017/02/08, 2017/04/10, 2017/06/01에 획득한 UAV 영상을 이용하여 함수비 및 염도의 공간적 분포를 시각화함

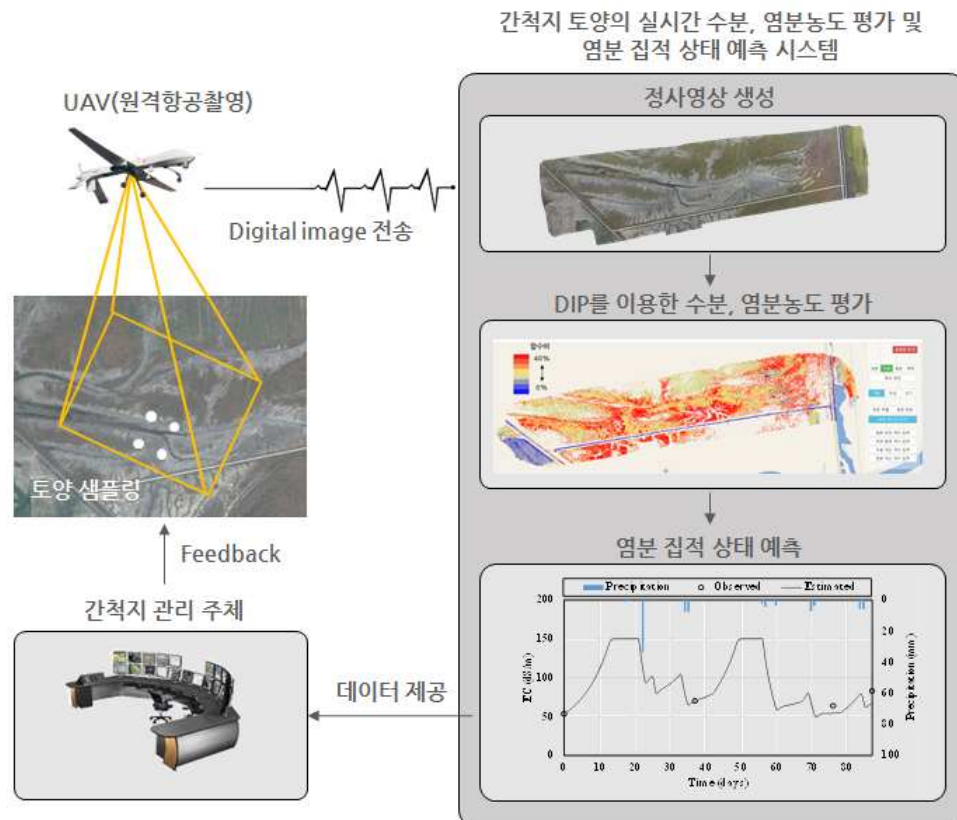
8. UAV 촬영 영상을 이용한 표층의 함수비 및 염도 추정

○ UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템 개발

- UAV 항공 영상의 실시간 영상 처리를 통해 간척지 토양의 실시간 수분, 염분 농도의 산정 및 시각화를 수행하며 이를 위한 다양한 보정, 시각화, 그래프 출력 기능을 제공함
- Web 기반 소프트웨어로 항공 영상 및 위성 영상 설정, 토양 분류 및 수분/염분 추정의 3단계로 구성
- 표층 함수비, 염도 맵핑 결과, 간척지 내부의 함수비, 염도 분포를 시각적으로 확인할 수 있으며, 시계열 영상 확보 시 특정 영역의 함수비, 염도 변화를 그래프로 확인할 수 있음

○ UAV와 DIP를 이용한 간척지 토양의 실시간 수분, 염분 농도 평가 및 염분 집적 상태 예측 시스템 개발

- 본 연구결과를 종합하여 개발한 간척지 토양의 수분, 염분농도 평가 및 염분 집적 상태 예측 시스템은 다음과 같은 절차에 따라 적용함



4. 목표달성도 및 관련분야 기여도

코드번호	D-06
<p>4-1. 목표달성도</p> <p>○ 본 연구의 목표 및 세부 계획은 다음 (1)~(5)에 해당하며, 각각의 가중치는 20%, 총 100%임</p> <p>(1) 국내 간척지의 토지이용 현황조사 및 물리 화학적 특성 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국내 간척지의 토지 이용 현황 조사를 위하여 문헌조사 수행 - 시화, 새만금지구 토양 시료의 물리, 화학적 특성 분석 - 상기 계획을 모두 달성함 (달성도 100%) <p>(2) UAV를 이용한 원격 항공촬영 기준 정립 및 현장 모니터링 시스템의 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> - UAV 항공사진 촬영 결과 분석 및 항공사진측량 작업기준 검토를 통한 원격항공촬영 기준정립 - UAV를 이용한 항공사진 촬영 결과에 DIP기법을 적용하여 현장 모니터링 시스템을 구축 - 상기 계획을 모두 달성함 (달성도 100%) <p>(3) 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 토양 물리적 특성 및 염분농도 추정</p> <ul style="list-style-type: none"> - DIP 기법을 이용한 토성 분류, 함수비 및 염도 추정 기법 개발 - 개발된 기술을 바탕으로 특허출원 수행(출원등록번호 10-2017-0108497) - 상기 계획을 모두 달성함 (달성도 100%) <p>(4) 간척지 토양의 재염화 가능성 평가 및 데이터베이스 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> - 시화지구 15회, 새만금지구 14회 모니터링 및 샘플링을 수행하여 총 406개 시료에 대한 함수비, 염도 측정 - 모니터링 결과를 바탕으로 토양의 재염화 가능성 평가를 위한 모델링 수행 - 상기 계획을 모두 달성함 (달성도 100%) <p>(5) 디지털 이미지 프로세싱 기법을 통한 간척지 토양의 평가 및 예측 시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - UAV를 이용한 항공사진 촬영 기법과 DIP를 이용한 간척지 토양의 평가 기법을 종합 - 간척지 토양의 평가 및 예측 시스템 개발 - 상기 계획을 모두 달성함 (달성도 100%) <p>4-2. 관련분야 기여도</p> <p>○ 본 연구는 디지털 이미지 프로세싱 기법을 이용한 표층 수분/염분 예측 기법을 개발하고 UAV를 이용한 현장 모니터링 시스템에 적용하여 간척지 토양의 평가 및 예측하고자 하는 연구로 간척지 관리의 효율성을 제고하고 간척지 토양의 재염화 가능성 평가 및 데이터베이스 구축에 기여할 수 있음</p> <p>○ 본 연구의 결과는 국내 간척지의 토양 관리에 적용될 수 있으며 간척지의 모니터링 비용 절감, 염분 집적 지역 예측을 통한 토양 관리의 효율성 제고 등의 기여 효과를 나타낼 것으로 기대</p> <p>○ 본 연구는 드론을 이용하여 수분/염분 등의 간척지 토양특성을 평가하며, 재염화 예측시스템을 개발하는 것이 주요 목표로서, 본 연구 결과는 드론을 이용하여 간척지 등의 국토 관리 분야에서의 활용성을 증대시킬 것으로 판단되는 바, 드론 산업의 저변을 확대하는 데 기여함</p>	

5. 연구결과의 활용계획

코드번호

D-07

○ 본 연구개발결과의 활용대상인 간척지는 국내 농경지 면적의 약 10%를 차지하고 있으며 이중 담수조건이 아닌 밭 기반 조성을 목표로 하는 간척지에 활용할 수 있을 것으로 판단됨. 해당 간척지는 대부분 제염이 완료되지 않아 지속적인 관리를 필요로 하고 있으며, 이에 따라 활용 가능성이 높을 것으로 판단됨

○ 본 연구의 결과로 개발된 핵심기술은 UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템, UAV와 DIP를 이용한 간척지 토양의 실시간 수분, 염분 농도 평가 (출원등록번호 10-2017-0108497 토양 이미지를 이용한 토양 분류 방법 및 함수비 추정 방법) 및 염분 집적 상태 예측 시스템임

(1) UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템

○ 본 기술은 간척지 내부의 함수비, 염도 분포를 시각적으로 확인할 수 있으며, 시계열 영상을 확보하였을 시 해당 지점의 함수비, 염도 변화를 그래프로 확인할 수 있는 기술임

○ 향후 사업화 및 제품화를 통하여 간척지 관리 주체의 현장 관리에 유용하게 이용될 것으로 판단됨

○ 본 기술의 적용 절차는 간척지 이외의 피복 유형에서도 동일한 과정을 거쳐 적용될 수 있으며, UAV 항공영상을 이용한 토양의 물리적 특성 추정 연구의 기초자료로 활용될 것으로 기대됨

(2) UAV와 DIP를 이용한 간척지 토양의 실시간 수분, 염분 농도 평가 및 염분 집적 상태 예측 시스템

○ 본 기술은 UAV 항공 영상의 실시간 처리 및 시각화 시스템을 통하여 평가된 간척지 토양의 수분, 염분 농도를 바탕으로 특정 시간 이후의 간척지 토양 표층 염분 집적상태를 예측하는 기술임

○ 현장 적용성 평가 결과 20% 이내의 오차를 보이므로 간척지 관리 시 참고자료로 이용할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 추가 연구를 통하여 예측 정확도를 더욱 제고시킬 수 있을 것으로 기대됨

6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

	코드번호	D-08
<p>○ 해외의 드론 연구개발 및 활용 사례</p> <p>1) 방송 및 촬영용 드론</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 내셔널지오그래픽, 디스커버리 등의 자연 다큐멘터리 제작기관은 공중, 수중드론을 활용하여 오지를 촬영하는데 이용하고 있음 ▪ 미국 CNN, 영국 BBC 등의 방송사들은 시위현장 등 접근이 어려운 지역의 촬영을 위한 기존 촬영용 헬리콥터를 대체하여 드론을 이용함 <p>2) 물류 및 유통 분야</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 독일 DHL社は 드론(Paketkopter)을 활용하여 도서지역에 의료품 등을 배송하는 시험서비스를 수행하였음 ▪ 아마존社は 드론(Prime Air)를 통한 배달서비스를 시작하였으며, 적재하중은 약 5파운드임 ▪ UPS(United Parcel Service)는 드론이 탑재된 배송 트럭을 이용하여 택배화물을 효과적으로 배송하는 시스템을 개발함 <p>3) 해양 수산 분야</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 영국 BP社 등 석유업체는 드론을 이용하여 Alaska 지역의 유전관리를 수행하고 있음 ▪ USV의 경우 EU의 지원 하에 무선선박기술을 연구개발 중에 있음 ▪ 영국 톨스로이스社 등도 완전무인 드론 화물선에 대한 연구를 수행 중 <p>4) 기타 분야 (통신, 농업 등)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 미국 Facebook社は 영역이 넓거나 인구가 적은 곳에 통신망 구축이 어려운 한계를 극복하기 위하여 드론을 통한 인터넷 통신망 구축 프로젝트를 진행함 ▪ 일본의 경우 1991년부터 무인헬리콥터를 이용하여 농약을 살포하고 있으며, 2014년에는 후쿠시마 주변 방사선지도 제작을 위하여 드론을 이용하였음. 또한 화산입구로 진입하여 화산 폭발장면을 세계 최초로 촬영하기도 함 		

7. 연구개발결과의 보안등급

	코드번호	D-09
○ 해당사항없음		

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

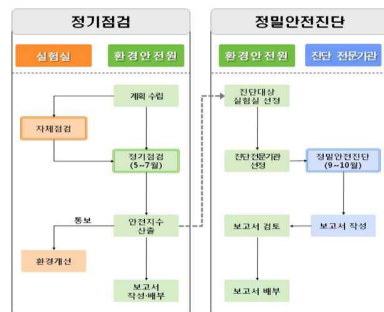
구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	코드번호		D-10	
					구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

코드번호	D-11
------	------

- 연구실 기본 안전점검
 - 1) 개인안전 부분
 - 화학약품 사용 시 보안경 착용, 먼지 발생 시 마스크 착용
 - 개인 실험복 착용, 해당 실험에 적절한 장갑 착용, 실험실 내 Fan 상시 가동
 - 2) 소방안전 부분
 - 소화기 비치 및 소화기 정기점검
 - 3) 전기안전 부분
 - 한 콘센트에 규격 이상의 전기장치 사용 금지
 - 전열발생장치와 인화물질 격리보관
 - 실험실 별로 배전함 설치 및 관리
 - 4) 기계 · 설비 안전 부분
 - 장비 이용 시 개인 보호구 착용, 작업장 통풍장치 설치
 - 안전 스위치 및 비상 스위치 가동 여부 상시 확인

○ 연구실 안전진단 흐름
 연구실의 안전진단은 연구실에 출입하는 연구자가 1차적으로 위험부분을 자체 점검하였음. 또한 교내기관인 환경안전원의 안전진단 계획에 따라 정기점검을 받아 연구실의 개선할 부분을 진단받았음. 위의 점검에서 정밀진단이 필요할 경우 전문기관에 의뢰하여 결과를 얻도록 하였음.



< 실험실 안전점검 흐름도 >

○ 연구자 교육훈련
 연구자는 교내기관인 환경안전원에서 연구실 안전에 관한 전반적인 사항에 대한 교육을 수행함. 교육 이후에는 안전관련 평가시험 통과 후 수수료증을 받은 연구자에 한해 실험실 및 연구실에 출입할 수 있게 하였음



< 연구자 안전교육 흐름도 >

10. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/특허등록국가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일/특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인용횟수등)
1	특허	토양 이미지를 이용한 토양 분류 방법 및 함수비 추정 방법	서울 대학교	-	대한민국	-	2017. 08.28	-	-
2	논문	The suitability evaluation of dredged soil from reservoirs as embankment material	서울 대학교	교신 저자	Journal of environmental management	3.131	2016. 09.06	중복사사	SCI
3	논문	An Evaluation of the Environmental Safety and Geochemical Characteristics of Coal Combustion Products	서울 대학교	교신 저자	KSCE Journal of Civil Engineering	0.812	2017. 08.31	중복사사	SCI
4	논문	고흡수성 수지 처리에 따른 토양 수분 함량과 배수 특성 변화	서울 대학교	교신 저자	한국농공학회 논문집	0	2016. 05.01	중복사사	-
5	논문	UAV 항공사진을 이용한 산림지 횡단면도 추출 및 사면안정성 평가	서울 대학교	교신 저자	한국농공학회 논문집	0	2018. 01.31	중복사사	-

11. 기타사항

		코드번호	D-13
○ 해당사항없음			

12. 참고문헌

		코드번호	D-14
<ol style="list-style-type: none"> 1. Fredlund, D.G. and Rahardjo, H. 1993. Soil Mechanics for Unsaturated Soils. John Wiley & Sons. New York 2. Fredlund, D.G. and Xing, A. 1994. Equations for the soil-water characteristic curve. Can. Geotech. J., 31: 521-532. 3. van Genuchten, M. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898. 4. 농촌진흥청. 2014. 간척지 농업연구 편람. 농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업과 5. 서동욱. 2011. 간척지 흙의 불포화 조건에 따른 염분이동 모델. 서울대학교 박사학위논문 6. 이학식, 임지훈. 2013. SPSS 20.0 매뉴얼. 집현재. 서울. 7. 이희석, 2013. 영상 처리 프로그래밍. 프리렉, 파주. 8. 전준철. 2009. Digital Image Processing. 정익사 9. 정성환, 이문호. 2007. 오픈소스 CxImage를 이용한 Visual C++ 디지털 영상처리. 홍릉과학 출판사 10. 한국농어촌공사 농어촌연구원. 2008. 간척농지 다각적 활용 방안 연구 			

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.