

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)

농생명산업기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003573-01

간척농지 고부가 작물 재배를 위한 토양환경 개선 및 현장실증연구

2021. 06. 21

주관연구기관 / 한국농어촌공사 농어촌연구원
협동연구기관 / 전북대학교 산학협력단
협동연구기관 / 충남대학교 산학협력단
협동연구기관 / 씨앤에치아이앤씨(주)

농 립 축 산 식 품 부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “간척농지 고부가 작물재배를 위한 토양환경 개선 및 현장실증연구”(개발기간 : 2017. 04. 27 ~ 2020. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021. 06. 21

주관연구기관명 : 한국농어촌공사 농어촌연구원 (대표자) 최 강 원



협동연구기관명 : 전북대학교 산학협력단 (대표자) 조 기 환 (인)

협동연구기관명 : 충남대학교 산학협력단 (대표자) 정 중 율 (인)



협동연구기관명 : 씨엔에치아이엔씨(주) (대표자) 원 용 천



주관연구책임자 : 농어촌연구원 엄한용
협동연구책임자 : 전북대학교 손재권
협동연구책임자 : 충남대학교 천중필
협동연구책임자 : 씨엔에치아이엔씨(주) 박정근

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	317005-4	해당단계 연구기간	4	단계구분	4/4
연구사업명	단위사업	농식품기술개발사업			
	사업명	농생명산업기술개발사업			
연구과제명	대과제명	(해당 없음)			
	세부과제명	간척농지 고부가 작물 재배를 위한 토양환경 개선 및 현장실증연구			
연구책임자	업한용	해당단계 참여연구원 수	총: 35명 내부: 35명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 500,000천원 민간: 166,700천원 계: 666,700천원
		총연구기간 참여연구원 수	총: 62명 내부: 62명 외부: 명	총연구개발비	정부: 1,880,000천원 민간: 626,800천원 계: 2,506,800천원
연구기관명 및 소속부서명	한국농어촌공사 농어촌연구원 전북대학교 산학협력단 충남대학교 산학협력단 씨엔에치아이앤씨(주)			참여기업명	씨엔에치아이앤씨(주)
국제공동연구	상대국명: 해당사항없음			상대국 연구기관명: 해당사항없음	
위탁연구	연구기관명: 미래농촌기술연구소 연구기관명: 충북대학교 산학협력단			연구책임자: 김현태 연구책임자: 박종화	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반
----------------------	----

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시 설·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

- 연구개발목표: 간척농지에서 밭작물 재배를 위한 최적환경 조건 규명 및 실증 연구를 통한 간척지 기반의 고부가 농업 활용기술 개발을 목표로 하고 있음
- 연구개발성과
 - ① 간척농지 밭작물 재배를 위한 최적 물관리 시스템 개발
 - ② 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술 개발
 - ③ 간척지 고부가 최적 작물선정 및 작부체계 제시
 - ④ 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템 개발

보고서 면수

512

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 간척농지에서 밭작물 재배를 위한 최적환경 조건 규명 및 실증 연구를 통한 간척지 기반의 고부가 농업 활용기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 간척농지 밭작물 재배를 위한 최적 물관리 시스템 개발 - 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술 개발 - 간척지 고부가 최적 작물선정 및 작부체계 제시 - 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템 개발 					
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 간척농지 고부가가치 작물 재배를 위한 최적 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 간척지 관개시스템 설계 및 현장 검증 - 물관리를 통한 적정제염 및 정상 생육 확보 토양 기준 설정 - 간척지 밭기반 용수절약 모델 개발 - 간척지 작물관리 및 재염축진·재염화 방지 기법 개발 ○ 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 저비용/고효율의 간척지 암거배수 방법 개발 및 표준화 - 간척농지 조기숙전화를 위한 제염/토양관리방법 개발 및 표준화 - 간척지 이용 종합계획과 연계한 간척지별 최적 토지 이용방안 수립 ○ 간척지 고부가 작물 최적재배 관리모델 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 내염성을 고려한 원예 및 약용작물 선발 - 간척지 최적 관리 모델 제시 - 간척지 밭작물 재배 작부체계 및 매뉴얼 개발 - 간척지 원예 및 약용작물 재배 시 작물별 경제성 분석 ○ 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 간척지에 최적화된 토양수분상태 측정시스템 및 알고리즘 개발 - 간척지에 최적화된 스마트 물관리 제어시스템 개발 					
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미처분 간척지에 대하여 저비용·고효율 암거배수 공법 우선 적용 ○ 미처분 간척지의 작부체계별 토양염류 및 유기물 관리기술 현장 적용 ○ 간척지 최적 제염기술 확립하고, 토양 이화학적 종합개량하여 간척지 조기 숙전화를 통한 간척지 소득작물 개발 기대 ○ 간척지 토양개선을 통하여 장기적으로 작물 수확량 증대를 통한 간척지 임대 농가의 수익창출에 기여 					
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	간척지	내염성 작물	물관리	작부체계	토양관리	
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	Reclaimed tidelands	Salt-tolerant plants	Water management	cropping system	Soil management	

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

<목 차>

1. 연구개발과제의 개요	1
1.1. 연구개발 목적 및 기술내용	1
1.2. 연구개발 대상의 국내·외 현황	3
1.3. 연구개발의	8
1.4. 연구개발의 범위	13
2. 연구수행 내용 및 결과	14
2.1. 간척농지 고부가가치 작물 재배를 위한 최적 물관리 시스템 개발 ·	14
2.2. 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리 기술 개발	115
2.3. 간척지 고부가 작물 최적재배 관리모델 제시	308
2.4. 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템 개발	461
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	503
3.1. 연구개발 달성도 평가	503
3.2. 최종성과목표	506
4. 연구결과 활용계획	507
4.1. 간척농지 밭작물 재배를 위한 최적 물관리 시스템	507
4.2. 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술	507
4.3. 간척지 고부가 최적 작물선정 및 작부체계	507
4.4. 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템	507
참고문헌	508

<별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서

< 표 차례 >

(표 1-1) 국내외 농지조성 비교.....	7
(표 1-2) 논·밭기반 공사비 및 농가소득에 따른 조성효과.....	10
(표 1-3) 연도별 논면적(좌) 및 밭면적(우) 증감 현황.....	10
(표 2-1) 배치간격에 미치는 바람의 영향	19
(표 2-2) 토양별 허용관개강도.....	20
(표 2-3) 암거배수 구역.....	25
(표 2-4) 펌프 및 관수시설 자재 제원	26
(표 2-5) 토성에 따른 집적호스 설치간격	28
(표 2-6) 관개 처리구 세부내용.....	30
(표 2-7) 화용 간척지 토양의 용수공급에 따른 토양수분특성 변화.....	32
(표 2-8) 새만금 간척지 토양의 용수공급에 따른 토양수분특성 변화.....	33
(표 2-9) 간척지 토양의 토성별 토양수분장력에 따른 용수공급량 회귀 모형.....	37
(표 2-10) 화용 간척지 토양의 목표 토양수분장력에 따른 필요 필요수량.....	38
(표 2-11) 새만금 간척지 토양의 목표 수분장력에 따른 필요 필요수량.....	39
(표 2-12) 간척지별 EC, pH, 토성 분석 결과.....	45
(표 2-13) 간척지별 시험 전 토양의 이화학적 특성.....	46
(표 2-14) 관개처리구별 1회 관개량.....	49
(표 2-15) 화용 간척지 토양의 수분특성곡선 회귀 모형식.....	50
(표 2-16) 화용 간척지 토양의 수분장력에 따른 용적수분함량.....	50
(표 2-17) 새만금 간척지 토양의 토양수분특성곡선 회귀 모형식.....	51
(표 2-18) 새만금 간척지 토양의 토양수분장력에 따른 용적수분함량.....	51
(표 2-19) 관개처리구 월별 평균 전기전도도.....	53
(표 2-20) 화용 간척지 토양의 용수공급에 따른 전기전도도.....	59
(표 2-21) 새만금 간척지 토양의 용수공급에 따른 전기전도도.....	61
(표 2-22) 대상작물의 생육기간 일수.....	62
(표 2-23) 대상작물의 생육시기별 근역 및 수분감소 기여율.....	63
(표 2-24) 대상작물의 생육기간별 작물계수와 최대 작물고.....	63
(표 2-25) 해당 토양별 포장용수량, 위조점 (Allen 등, 1998).....	67
(표 2-26) 화용 간척지 대상 작물별 주요 토양별 필요용수량 (mm) - WP 30.....	70
(표 2-27) 새만금 간척지 대상 작물별 주요 토양별 필요용수량 (mm).....	71
(표 2-28) 김해 발지대 용수공급체계 조사 지구.....	72
(표 2-29) 김해시 맑은물 공급사업지구 현황.....	73
(표 2-30) 발관개 관수방법	81
(표 2-31) 시나리오별 용수절약 모델 유형.....	82
(표 2-32) 암거종류(모양)별 지하배수 성능비교(침투류해석).....	98
(표 2-33) 배수방식별 특성비교.....	116
(표 2-34) 기능, 재료에 따른 암거 종류.....	118

(표 2-35) 토양조건에 따른 암거배수조직계획	119
(표 2-36) 시험시공 공법별 세부사항	123
(표 2-37) 지하암거 공법별 공사전경(개착식, 드레인보드)	124
(표 2-38) 지하 암거 공법별 공사 전경(드레인벨트, 무굴착)	125
(표 2-39) 지하암거공법별 침출수량 및 감수심량 비교	126
(표 2-40) 간척지 제염방법의 상세 분류	127
(표 2-41) 네덜란드 간척지의 단계별 간척농지 조성 및 제염	128
(표 2-42) 국내외 간척지 기반조성 및 제염방식	130
(표 2-43) 간척지 시나리오별 제염방식 및 토양숙성화	130
(표 2-44) 간척지 단계별 토성에 따른 농지관리	131
(표 2-45) 토양숙성화를 위한 초기 녹비·사료작물의 작부체계	132
(표 2-46) 간척지에 적용이 가능한 단계별 작부체계	132
(표 2-47) 시험구 및 코드명	140
(표 2-48) 시험구 토양의 물리화학적 특성	145
(표 2-49) 토성별 토양 제염 pH 분석 결과	152
(표 2-50) 토성별 토양 제염 전기 전도도(EC) 분석 결과	156
(표 2-51) 토성별 제염처리에 따른 치환성 칼슘이온 농도의 평균	157
(표 2-52) 토성별 제염처리에 따른 치환성 칼륨이온 농도의 평균	157
(표 2-53) 토성별 제염처리에 따른 치환성 마그네슘이온 농도의 평균	160
(표 2-54) 토성별 제염처리에 따른 치환성 나트륨이온 농도의 평균	160
(표 2-55) 토성별 제염처리에 따른 염화물의 평균	164
(표 2-56) 토성별 제염처리에 따른 황산염의 평균	164
(표 2-57) 처리구와 시료코드	169
(표 2-58) 미사질 양토의 개량 pH 분석 결과	200
(표 2-59) 사양토의 개량 pH 분석 결과	201
(표 2-60) 양질사토의 개량 pH 분석 결과	202
(표 2-61) 미사질양토의 개량 전기 전도도 분석 결과	203
(표 2-62) 사양토의 개량 전기 전도도 분석	204
(표 2-63) 양질사토의 개량 전기 전도도 분석 결과	205
(표 2-64) 간척지구별 시험포 년도별 강수량 자료 분석	211
(표 2-65) 토양종류에 따른 암거배수량	215
(표 2-66) 간척지구별 침출수량 및 침출수 염분농도('18)	216
(표 2-67) 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 관측 침출수량('19)	217
(표 2-68) 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 관측 침출수량('20)	219
(표 2-69) 간척지구별 관측 침출수량('18)	220
(표 2-70) 간척지구별 암거처리에 따른 단위배수량 및 일 침출수량('19)	220
(표 2-71) 간척지구별 암거처리에 따른 단위배수량 및 일 침출수량('20)	221
(표 2-72) 간척지구별 연차별 암거 처리에 따른 염분량 분석	224
(표 2-73) 간척지구별 연차별 암거처리에 따른 토양수분함량(표토층)	230
(표 2-74) 간척지구별 연차별 암거처리에 따른 토양전기전도도(표토층)	234

(표 2-75) 배수로 기준 거리별 토양수분함량 변화(표층부).....	237
(표 2-76) 배수로 기준 거리별 토양전기전도도 변화(표층부).....	238
(표 2-77) 수직배수암거 실내모형실험 분석.....	243
(표 2-78) 새만금 간척지 월별 층위별 수직투수계수('18).....	245
(표 2-79) 간척지구별 수직 투수계수 분석.....	247
(표 2-80) 새만금 간척지 월별 층위별 수직투수계수.....	248
(표 2-81) 경지 내 배수를 위한 집수용 외곽배수로 설치.....	254
(표 2-82) 경지 내 배수를 위한 배수로 사양.....	254
(표 2-83) 주름유공관 품질시험항목 및 기준.....	258
(표 2-84) 수평필터매트 품질시험항목 및 기준.....	258
(표 2-85) 무굴착 배수암거의 공사비 설계 내역서.....	260
(표 2-86) 무굴착 배수암거의 순공사비	261
(표 2-87) 간척지 용도별 구분(2010년).....	262
(표 2-88) 간척지 현황.....	262
(표 2-89) 간척지구별 여건 및 특성화 방향.....	263
(표 2-90) 농식품 무역 현황 및 전망.....	264
(표 2-91) 경지면적과 경지이용률 전망.....	265
(표 2-92) 작물별 재배면적1) 전망.....	266
(표 2-93) 자급률1) 현황 및 전망.....	266
(표 2-94) 농가부채 및 자산 동향.....	267
(표 2-95) 영농형태별 농가부채 상황(2014, 2015년).....	267
(표 2-96) 간척지구별 수질현황.....	268
(표 2-97) 수도권 수질기준 비교.....	269
(표 2-98) FAO 비의 내염성.....	270
(표 2-99) FAO 농업용수 수질가이드라인.....	270
(표 2-100) 국가별 시설원예 수질기준 비교.....	270
(표 2-101) 음용수 수질기준 비교.....	271
(표 2-102) 토지이용별 일 설계용수량.....	271
(표 2-103) 간척지구별 담수호 염분농도 적합성 판단.....	272
(표 2-104) 설문조사 대상지구	274
(표 2-105) 간척지 지구별, 용도별 토지이용계획 총괄표.....	275
(표 2-106) 양곡의 연도별 자급률.....	289
(표 2-107) 식량자급률 변동 추이 (2013~2017).....	295
(표 2-108) 곡물자급률 변동 추이 (2013~2017).....	295
(표 2-109) 주요 작물 재배 품목 분석	296
(표 2-110) 정부의 쌀 산업 정책 변화.....	298
(표 2-111) 간척지 농업적 토지이용 작목 선정.....	299
(표 2-112) 2018년 국내 곡물 수입량 및 수입액.....	300
(표 2-113) 밀 자급률 재고를 위한 필요재배면적 산정.....	300
(표 2-114) 옥수수 자급률 재고를 위한 필요재배면적 산정.....	300

(표 2-115) 이탈리아 라이그라스 수입대체를 위한 필요재배면적 산정	301
(표 2-116) 복합곡물단지 간척지구별·작목별 필요재배면적 산정	301
(표 2-117) 2018년 국가별 강황 수입량 및 수입액	302
(표 2-118) 2018년 국가별 비트 수입량 및 수입액	303
(표 2-119) 2018년 국가별 홍화 수입량 및 수입액	303
(표 2-120) 작목별 필요면적 산정	304
(표 2-121) 수출원예단지 간척지구별·작목별 필요면적 산정	304
(표 2-122) 복합곡물단지 작목별 수입대체 기대효과	305
(표 2-123) 수출원예단지 작목별 수출 기대효과	305
(표 2-124) 간척지에서 재배된 원예작물의 작물 재배결과 예시	308
(표 2-125) 비간척지 대비 간척지에서 생산된 원예작물의 수량비교	309
(표 2-126) 간척지에서 재배된 원예작물의 작물 재배결과 예시	309
(표 2-127) 비간척지 대비 간척지에서 생산된 원예작물의 수량비교	310
(표 2-128) 이용용도에 따른 작물종류	310
(표 2-129) 정식 4후 대상 작물의 생육 결과	313
(표 2-130) 작물 재배 실험을 통한 간척지 대상 원예작물 선정	330
(표 2-131) 약용작물 선정 리스트	331
(표 2-132) 파종 4주후 약용작물 15종 발아율	333
(표 2-133) 결명자 내염성 조사	337
(표 2-134) 도라지 내염성 조사	338
(표 2-135) 만삼 내염성 조사	339
(표 2-136) 백하수오 내염성 조사	340
(표 2-137) 삼주 내염성 조사	341
(표 2-138) 식방풍 내염성 조사	342
(표 2-139) 익모초 내염성 조사	343
(표 2-140) 홍화 내염성 조사	344
(표 2-141) 황금 내염성 조사	345
(표 2-142) 황기 내염성 조사	346
(표 2-143) 각 차년도 재배 작물 목록	347
(표 2-144) 작목별 육묘 진행 상황	348
(표 2-145) 작물의 품질지수(Quality Index)의 평가항목	356
(표 2-146) 새만금 간척지 작물 최종 수확량(관수 90%)	384
(표 2-147) 새만금 간척지 작물 최종 수확량(관수 100%)	385
(표 2-148) 새만금 간척지 작물 최종 수확량(관수 110%)	386
(표 2-149) 새만금 간척지 작물 최종 수확량(관수 0%)	387
(표 2-150) 새만금 간척지 작물 생육사진(관수 90%)	388
(표 2-151) 새만금 간척지 작물 생육사진(관수 100%)	389
(표 2-152) 새만금 간척지 작물 생육사진(관수 110%)	390
(표 2-153) 새만금 간척지 작물 생육사진(관수 0%)	391
.....	397

(표 2-154) 홍화의 수확량 조사 종자 무게 값.....	397
(표 2-155) 화옹 간척지 감초 생육 사진.....	400
(표 2-156) 화옹 간척지 강황 생육 사진.....	401
(표 2-157) 화옹 간척지 비트 생육 사진.....	402
(표 2-158) 화옹 간척지 도라지 생육 사진.....	403
(표 2-159) 화옹 간척지 배초향 생육 사진.....	404
(표 2-160) 화옹 간척지 향부자 생육 사진.....	405
(표 2-161) 화옹 간척지 울무 생육 사진.....	406
(표 2-162) 화옹 간척지 홍화 생육 사진.....	407
(표 2-163) 새만금 간척지 적겨자 생육 사진 (6월).....	408
(표 2-164) 새만금 간척지 홍화 생육 사진 (7월).....	409
(표 2-165) 새만금 간척지 식방풍 생육 사진 (8월).....	410
(표 2-166) 새만금 간척지 레몬밤 생육 사진 (8월).....	411
(표 2-167) 새만금 간척지 배초향 생육 사진 (8월).....	412
(표 2-168) 새만금 간척지 참깨 생육 사진 (7월).....	413
(표 2-169) 석문 간척지 적겨자 생육 사진 (6월).....	414
(표 2-170) 석문 간척지 홍화 생육 사진 (7월).....	415
(표 2-171) 석문 간척지 식방풍 생육 사진 (9월).....	416
(표 2-172) 석문 간척지 레몬밤 생육 사진 (9월).....	417
(표 2-173) 석문 간척지 배초향 생육 사진 (7월).....	418
(표 2-174) 석문 간척지 참깨 생육 사진 (7월).....	419
(표 2-175) 석문 간척지 도라지 생육 사진 (9월).....	420
(표 2-176) 화옹 간척지 적겨자 생육 사진 (6월).....	421
(표 2-177) 화옹 간척지 홍화 생육 사진 (7월).....	422
(표 2-178) 화옹 간척지 식방풍 생육 사진 (9월).....	423
(표 2-179) 화옹 간척지 레몬밤 생육 사진 (9월).....	424
(표 2-180) 마늘, 양파의 가을 정식 생육 사진(10월~11월).....	427
(표 2-181) 마늘, 양파의 가을 정식 생육 사진(12월).....	427
(표 2-182) 마늘, 양파의 가을 정식 생육 사진(1월).....	428
(표 2-183) 새만금 간척지 재배 작물 총 폴리페놀 함량.....	436
(표 2-184) 석문 간척지 재배 비트의 베타시아닌 함량.....	438
(표 2-185) 도라지 기능성물질 함량 결과.....	441
(표 2-186) 레몬밤 기능성물질 함량 결과.....	441
(표 2-187) 배초향 기능성물질 함량 결과.....	442
(표 2-188) 식방풍 기능성물질 함량 결과.....	442
(표 2-189) 홍화 기능성물질 함량 결과.....	443
(표 2-190) 2차, 3차, 4차년도 실증 연구 작물별 간척농지 재배 적합성 평가	444
(표 2-191) 간척농지 작물 재배 연중 작업 스케줄표	446
(표 2-192) 작물별 간척농지 작부체계	448
(표 2-193) 『농축산물 소득자료집』에서 다루고 있는 경영비 항목과 비용 산정 기준.....	451

(표 2-194) 『농축산물 소득자료집』에서 다루고 있는 경영비 항목과 비용 산정 기준.....	452
자료: 농촌진흥청(2014), 『식량작목 경제성 분석방법과 사례』.....	452
(표 2-195) 토지 관련 지표와 산출방식.....	452
자료: 농촌진흥청(2014), 『식량작목 경제성 분석방법과 사례』.....	452
(표 2-196) 노동 관련 지표와 산출방식.....	453
자료: 농촌진흥청(2014), 『식량작목 경제성 분석방법과 사례』.....	453
(표 2-197) 자본관련 지표와 산출방식.....	453
자료: 농촌진흥청(2014), 『식량작목 경제성 분석방법과 사례』.....	453
(표 2-198) 염분농도와 재배시기에 따른 선택 가능한 작목.....	454
(표 2-199) 석문간척지 쌀 생산비(2014년 기준).....	455
(표 2-200) 석문간척지 수도작 생산량(2010~2014년).....	455
(표 2-201) 당진시와 석문간척지의 수도작 평균생산량 비교(2010~2013년).....	456
(표 2-202) 수도작(전국 평균, 석문지구) 생산비 및 경영성과.....	456
(표 2-203) 간척지 작물 재배 생산비 산출 목록.....	457
(표 2-204) 간척지 고부가가치 선발작물별 경제성 분석 결과.....	458
(표 2-205) 작물별 간척농지 예상소득 총괄표.....	460
(표 2-206) 토양수분센서의 종류.....	463
(표 2-207) 포트시험 결과.....	470
(표 2-208) 수분포텐셜 센서 종류.....	476
(표 2-209) 작물별 적정관수점 및 관수시점.....	477
(표 2-210) 오픈소스 하드웨어 현장 점검표 (예시).....	486
(표 3-1) 정성적 평가.....	503
(표 3-2) 정량적 평가.....	504
(표 3-3) 최종성과목표.....	506

<그림 차례>

<그림 1-1> 연구 비전.....	1
<그림 1-2> 일본의 FOEAS시스템.....	6
<그림 1-3> 관계용수 공급 시스템.....	6
<그림 1-4> 농산물소득자료.....	10
<그림 2-1> 조직구성의 예.....	14
<그림 2-2> 점적관개 말단급수조직의 예.....	20
<그림 2-3> 시험포 관개시스템 설치 평면도.....	21
<그림 2-4> 시험포 관개시스템 설치 개념도.....	22
<그림 2-5> 시험포 점적호스 및 멀칭 설치단면도.....	22
<그림 2-6> 시험포 스프링클러 설치 상세도.....	23
<그림 2-7> 시험포 점적호스 연결 상세도.....	23
<그림 2-8> 화옹(북부), 석문(중부), 새만금(남부) 간척지를 대상으로 적정 지역 선정.....	24
<그림 2-9> 권역별 간척지 내 시험포 위치도.....	25
<그림 2-10> 펌프 및 관수시설.....	26
<그림 2-11> 관정과 급수를 위한 설치.....	27
<그림 2-12> 유량계 및 전자밸브 설치.....	28
<그림 2-13> 설치완료 후 항공사진.....	29
<그림 2-14> 시험포 관개시스템 설치 평면도.....	31
<그림 2-15> 화옹 간척지 토양의 용수공급에 따른 토양수분장력(0~10cm).....	34
<그림 2-16> 화옹 간척지 토양의 용수공급에 따른 토양수분장력(10~20cm).....	35
<그림 2-17> 새만금 간척지 토양의 용수공급에 따른 용적수분함량(0~10cm).....	35
<그림 2-18> 새만금 간척지 토양의 용수공급에 따른 용적수분함량(10~20cm).....	36
<그림 2-19> 화옹 간척지 토양의 수분장력과 누적 용수공급량 회귀모형.....	37
<그림 2-20> 새만금 간척지 토양의 수분장력과 누적 용수공급량 회귀모형.....	38
<그림 2-21> 펌프의 성능곡선.....	39
<그림 2-22> 간척지 토양조사를 위한 시료채취 및 침출조사.....	45
<그림 2-23> 토양수분장력 측정 장치(Tensiometer) 설치 전경.....	47
<그림 2-24> 토양수분장력계를 활용한 실내시험 모식도.....	47
<그림 2-25> 새만금 간척지 토양의 함수량-공급량 선형관계.....	48
<그림 2-26> 화옹 간척지 토양의 함수량-공급량 선형관계.....	48
<그림 2-27> 화옹 간척지 토양의 수분특성곡선(0~10cm).....	50
<그림 2-28> 화옹 간척지 토양의 수분특성곡선(10~20cm).....	51
<그림 2-29> 새만금 간척지 토양의 수분특성곡선(0~10cm).....	52
<그림 2-30> 새만금 간척지 토양의 수분특성곡선(10~20cm).....	52
<그림 2-31> 화옹간척지 관개처리구 염도변화.....	54
<그림 2-32> 석문간척지 관개처리구 염도변화.....	55
<그림 2-33> 새만금간척지 관개처리구 월별 평균 염도변화.....	56

<그림 2-34> 두둑 상·하층 위치별 염도측정	56
<그림 2-35> 무멀칭구간에서의 토양유실	57
<그림 2-36> 화옹 간척지 토양의 용수공급에 따른 전기전도도(0~10cm).....	58
<그림 2-37> 화옹 간척지 토양의 용수공급에 따른 전기전도도(10~20cm).....	58
<그림 2-38> 새만금 간척지 토양의 용수공급에 따른 전기전도도(0~10cm).....	60
<그림 2-39> 새만금 간척지 토양의 용수공급에 따른 전기전도도(10~20cm).....	60
<그림 2-40> 생육시기별 작물계수와 근역(Steduto 등, 2012)	62
<그림 2-41> 토양물수지 모형 모식도(Steduto 등, 2012)	64
<그림 2-42> ONE 모형의 개념도.....	66
<그림 2-43> 화옹 간척지 작물별 일 필요용수량 모의 결과(2011~2020).....	68
<그림 2-44> 새만금 간척지 작물별 일 필요용수량 모의 결과(2011~2020).....	69
<그림 2-45> 화옹 간척지 작물별 년 필요용수량(mm).....	70
<그림 2-46> 새만금 간척지 작물별 년 필요용수량(mm).....	71
<그림 2-47> 밭(노지) 생산기반 용수공급체계.....	72
<그림 2-48> 밭 용수공급 시스템의 차이점.....	79
<그림 2-49> 간척지 밭 용수공급시스템	82
<그림 2-50> 저수지 이용 용수공급체계.....	83
<그림 2-51> 하천수 이용 용수공급체계.....	83
<그림 2-52> 하수처리수 이용 정수형 용수공급체계.....	84
<그림 2-53> 용수공급체계 관리구역 설정.....	84
<그림 2-54> 관망운영관리 시스템 구축 목표.....	85
<그림 2-55> 관망운영관리시스템 개념도.....	86
<그림 2-56> 관망운영관리 고도화 기능 예시.....	86
<그림 2-57> 토질에 따른 수분 침투 속도의 상이함	87
<그림 2-58> 토양심도에 따른 침투 및 소실의 상이함.....	87
<그림 2-59> 표토/유효근권심/말단의 함수율에 따른 수분유지.....	88
<그림 2-60> 다지점 센서 예시.....	88
<그림 2-61> 미시기상대 및 소형 환경센서의 활용.....	88
<그림 2-62> 개념도.....	89
<그림 2-63> 관수시나리오 산출 프로세스.....	90
<그림 2-64> 시스템도.....	90
<그림 2-65> 관제소프트웨어 예시.....	91
<그림 2-66> 감자포장 시행 사례.....	91
<그림 2-67> 감자포장 시행 결과.....	91
<그림 2-68> 지하암거설치 및 심토파쇄.....	92
<그림 2-69> 무암거 및 지하암거조건의 침투유로	93
<그림 2-70> 지하암거배수 침투류해석 조건.....	94
<그림 2-71> 무암거조건 지하수 침투류 특성.....	95
<그림 2-72> 유공관 지하암거 설치조건 지하수 침투류특성.....	95
<그림 2-73> 유공관+수평필터 지하암거 설치조건 지하수 침투류특성.....	95

<그림 2-74> 무암거조건의 담수침투수량.....	96
<그림 2-75> 지하암거 및 무암거조건 별 침투수량(흙의 $k=1.5 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 조건).....	97
<그림 2-76> 흙의 투수계수 별 단위침투수량.....	97
<그림 2-77> 상대물깊이에 따른 상대염농도(Hoffman, 1980).....	99
<그림 2-78> 지하암거설치 시 암거 종류별 간격별 제염소요시간.....	100
<그림 2-79> 흙의 투수계수별 지하암거종류별 제염소요시간.....	100
<그림 2-80> 건기 모관상승에 의한 간척지 토양 재염화 특성.....	101
<그림 2-81> 심토파쇄에 의한 염수 모관상승 차단 가능성 비교분석.....	102
<그림 2-82> 지하 염수 모관상승 차단 모식도.....	103
<그림 2-83> 새만금시험포 토양함수비 변화.....	104
<그림 2-84> 새만금시험포 흙의 포화도 변화.....	104
<그림 2-85> 새만금시험포 토양염도 변화.....	105
<그림 2-86> 화옹시험포 토양함수비 변화.....	106
<그림 2-87> 화옹시험포 흙의 포화도 변화.....	106
<그림 2-88> 화옹시험포 암거간격별 심도별 토양염도 변화.....	108
<그림 2-89> 화옹시험포 토양염도 변화(멀칭 하부토양).....	108
<그림 2-90> 화옹시험포 제염 및 재염화 특성분석.....	109
<그림 2-91> 파쇄여부 모관상승 수치해석결과.....	110
<그림 2-92> 지하관수 시 파쇄여부 모관상승 수치해석결과.....	111
<그림 2-93> 화옹 추가시험포(제염촉진 및 재염화 방지공법).....	112
<그림 2-94> 화옹 추가시험포 조성공사 및 옥수수 재배상황.....	113
<그림 2-95> 화옹 추가시험포 제염촉진 및 재염화 방지효과.....	114
<그림 2-96> 암거배수 조직도.....	119
<그림 2-97> 간척지 지하배수 조직 공정도.....	120
<그림 2-98> 네덜란드 배수시스템.....	120
<그림 2-99> 트랜치를 파는 형식의 흡수거 매설 장치.....	121
<그림 2-100> V형 쟁기날 방식의 흡수거 매설장치.....	121
<그림 2-101> 두더지 암거 설치 장치 및 정확한 구매 시공을 위한 레이저 측량.....	121
<그림 2-102> 몰 드레인 기술, "Cut-drain"(일본사례).....	122
<그림 2-103> 지하암거공법별 회차별 침출수량 변화.....	126
<그림 2-104> 회차별 평균 침출수의 전기전도도 변화.....	126
<그림 2-105> 회차별 토양 심도별 전기전도도 변화.....	127
<그림 2-106> 일본 간척지의 단계별 간척농지 조성 및 제염.....	129
<그림 2-107> 간척지 토양에서의 배수처리별 배수효과 비율.....	133
<그림 2-108> 석탄 바닥재를 활용한 염분제거 방법.....	134
<그림 2-109> 시험포장 전경 및 시험처리 방법.....	138
<그림 2-110> 제염효과 및 간척지 토양관리 시험처리 현장.....	140
<그림 2-111> 토양관리 시험처리.....	141
<그림 2-112> 간척지 토양의 토양관리방식 시험구.....	145
<그림 2-113> 수세법(관행 vs 양이온치환세정제 처리)에 의한 토양 pH 변화.....	146

<그림 2-114> 수세법(관행 vs 양이온치환세정제 처리)에 의한 토양 EC 변화	147
<그림 2-115> 수세법(관행 vs 양이온치환세정제 처리)에 의한 토양 ESP 변화	147
<그림 2-116> 수세법(관행 vs 양이온치환세정제 처리)에 의한 토양 중 양이온 변화	148
<그림 2-117> 토성별 제염처리에 따른 토양 pH 변화(2년경과)	149
<그림 2-118> 토성별 제염처리에 따른 토양 pH 변화(2.5년경과)	150
<그림 2-119> 토성별 제염 pH 분석	151
<그림 2-120> 토성별 제염처리에 따른 토양 pH 변화(2년경과)	153
<그림 2-121> 토성별 제염처리에 따른 토양 EC 변화(2.5년경과)	154
<그림 2-122> 토성별 제염 전기 전도도(EC) 분석	155
<그림 2-123> 토성별 제염처리에 따른 토양 Ca ²⁺ 변화	158
<그림 2-124> 토성별 제염처리에 따른 토양 Mg ²⁺ 변화	159
<그림 2-125> 토성별 제염처리에 따른 토양 K ⁺ 변화	161
<그림 2-126> 토성별 제염처리에 따른 토양 Na ⁺ 변화	162
<그림 2-127> 토성별 제염처리에 따른 토양 Cl ⁻ 변화	165
<그림 2-128> 토성별 제염처리에 따른 토양 SO ₄ ²⁻ 변화	166
<그림 2-129> 토성별 제염처리에 따른 토양 ESP 변화	167
<그림 2-130> 토성별 제염처리에 따른 토양 SAR 변화	168
<그림 2-131> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 pH 변화	170
<그림 2-132> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 pH 변화	171
<그림 2-133> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 pH 변화	172
<그림 2-134> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 EC 변화	173
<그림 2-135> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 EC 변화	174
<그림 2-136> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 EC 변화	175
<그림 2-137> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Ca ²⁺ 변화	176
<그림 2-138> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Ca ²⁺ 변화	177
<그림 2-139> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Ca ²⁺ 변화	178
<그림 2-140> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Mg ²⁺ 변화	179
<그림 2-141> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Mg ²⁺ 변화	180
<그림 2-142> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Mg ²⁺ 변화	181
<그림 2-143> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 K ⁺ 변화	182
<그림 2-144> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 K ⁺ 변화	183
<그림 2-145> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 K ⁺ 변화	184
<그림 2-146> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Na ⁺ 변화	185
<그림 2-147> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Na ⁺ 변화	186
<그림 2-148> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Na ⁺ 변화	187
<그림 2-149> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Cl ⁻ 변화	188
<그림 2-150> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Cl ⁻ 변화	189
<그림 2-151> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Cl ⁻ 변화	190
<그림 2-152> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 SO ₄ ²⁻ 변화	191
<그림 2-153> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 SO ₄ ²⁻ 변화	192

<그림 2-154> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 SO ₄ ²⁻ 변화	193
<그림 2-155> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 ESP 변화	194
<그림 2-156> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 ESP 변화	195
<그림 2-157> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 ESP 변화	196
<그림 2-158> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 SAR 변화	197
<그림 2-159> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 SAR 변화	198
<그림 2-160> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 SAR 변화	199
<그림 2-161> 미사질 양토 개량 pH 분석	200
<그림 2-162> 사양토의 개량 pH 분석	201
<그림 2-163> 양질사토 토양 개량 pH 분석	202
<그림 2-164> 미사질 양토의 개량 전기 전도도 분석	203
<그림 2-165> 사양토의 토양 개량 전기 전도도 분석	204
<그림 2-166> 양질사토 토양 개량 전기 전도도 분석	205
<그림 2-167> 간척지 지하배수암거 배관도	206
<그림 2-168> 새만금 간척지 지하배수암거 설치 전경	207
<그림 2-169> 석문 간척지 지하배수암거 설치 전경	208
<그림 2-170> 화옹 간척지 지하배수암거 설치 전경	209
<그림 2-171> 새만금 간척지 시험포 지하수위-강수량 년도별 비교	212
<그림 2-172> 화옹 간척지 및 석문 간척지 시험포 지하수위-강수량 분석	214
<그림 2-173> 간척지구별 연차별 암거처리구에 따른 일 침출수량 분석	222
<그림 2-174> 간척지구별 연차별 암거처리구에 따른 총 염분량 분석	225
<그림 2-175> 간척지구별 시험포 토양 모니터링 분석 지점	227
<그림 2-176> 간척지구별 시험포 토양개량제 살포 및 외곽배수로 공사	228
<그림 2-177> 새만금 간척지 토양 이화학적 특성(1)	228
<그림 2-178> 새만금 간척지 토양 이화학적 특성(2)	229
<그림 2-179> 간척지구별 암거처리에 따른 연차별 토양수분함량 비교	231
<그림 2-180> 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 토양수분함량 변화('18)	231
<그림 2-181> 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 토양수분함량 변화('19)	232
<그림 2-182> 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 토양수분함량 변화('20)	232
<그림 2-183> 간척지구별 암거처리에 따른 연차별 토양전기전도도 비교	235
<그림 2-184> 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 토양전기전도도 변화('18)	235
<그림 2-185> 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 토양전기전도도 변화('19)	236
<그림 2-186> 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 토양전기전도도 변화('20)	236
<그림 2-187> 간척지 배수로 기준 거리별 토양 전기전도도 변화	239
<그림 2-188> 간척지 배수불량 현상으로 인한 토사유출 및 침수피해	240
<그림 2-189> 암거시설 흡수거 내부 점검 모식도	241
<그림 2-190> 간척지 시험포 무굴착 암거 내부 검토	241
<그림 2-191> 간척지 시험포 무굴착 암거 내부 조사	242
<그림 2-192> 수직배수암거 실내모형실험 모식도 및 전경	243
<그림 2-193> 수직배수암거 실내모형실험 분석	243

<그림 2-194> 간척지 토양 투수계수 분석 장치 및 측정 전경	244
<그림 2-195> 토양 불교란시료 채취 전경	244
<그림 2-196> 새만금 간척지 시험포 월별 수직투수계수 변화	246
<그림 2-197> 수도작 기반 간척지의 강우기 배수불량	249
<그림 2-198> 수도작 기반 배수로의 배수개선 방법	249
<그림 2-199> 배수로 확장을 위한 농경지 배수로개선(수도작 기반 간척지)	250
<그림 2-200> 네덜란드 간척지의 농지활용	250
<그림 2-201> 네덜란드 간척지의 배수로	251
<그림 2-202> 배수관리를 통한 염분제어관리 (밭기반 간척지)	251
<그림 2-203> 경지 내 외곽배수로의 설치	252
<그림 2-204> 강우로 인한 외곽배수로	253
<그림 2-205> 간척지 경지내 두둑조성	254
<그림 2-206> 간척지 무굴착 지하배수암거의 매설	255
<그림 2-207> 지하배수암거 종합 공정	256
<그림 2-208> 흡수거 시공순서	256
<그림 2-209> 무굴착 암거의 시공 굴착 평면도	257
<그림 2-210> 심토파쇄 시공장면	259
<그림 2-211> 담수호 수질현황	269
<그림 2-212> 간척지 처분방식에 대한 의견	276
<그림 2-213> 간척지 타용도 활용에 대한 의견	276
<그림 2-214> 간척지 재배작물에 대한 선호도	277
<그림 2-215> 간척지 밭작물에 대한 문제점	277
<그림 2-216> 간척지 농업적 활용 선호도	278
<그림 2-217> 간척지 농업적 활용을 위한 개선방향	278
<그림 2-218> 미래농업을 위한 도입 기술	279
<그림 2-219> 간척지 6차산업화를 위한 토지이용분야	279
<그림 2-220> 간척지 재배가능 고부가가치작물 선호도	280
<그림 2-221> 간척지 고부가가치 수익창출을 위한 개선점	280
<그림 2-222> 밭작물 전환을 위한 개선점	281
<그림 2-223> 설문조사 대상지구	282
<그림 2-224> 간척지 처분방식	283
<그림 2-225> 간척지 타용도 이용에 대한 의견	283
<그림 2-226> 간척지 고효율 작물에 대한 의견	284
<그림 2-227> 간척지 밭작물 재배시 문제점에 대한 의견	284
<그림 2-228> 간척지 농업적 활용의향	285
<그림 2-229> 간척지 농업적 활용을 위한 개선방향에 대한 의견	285
<그림 2-230> 미래농업을 위한 기술 수요	286
<그림 2-231> 간척지 6차산업화를 위한 활용의향	286
<그림 2-232> 간척지 재배가능 고부가가치작물 의견	287
<그림 2-233> 간척지 고부가가치 수익창출을 위한 개선점	287

<그림 2-234> 밭작물 전환을 위한 개선점	288
<그림 2-235> 연도별 양곡, 사료 곡물 도입량, 자급도 및 해외의존도 추이(1990~2014)	289
<그림 2-236> 식량안보, 식량자급률 향상의 필요성	290
<그림 2-237> 국가간 품목별 식량자급률 현황	290
<그림 2-238> 간척지의 다각적인 활용 실적 저조 원인	291
<그림 2-239> 지속적인 간척지 활용을 위한 요구와 필요성	292
<그림 2-240> 간척지 농업에 작용하는 내적 요인과 외적 요인의 상호 작용	293
<그림 2-241> 간척지의 지역성을 구성하는 여러 가지 요인들	293
<그림 2-242> 수요분석결과 분석	294
<그림 2-243> 간척지 수출 원예, 일반 원예, 종자단지 조성에 따른 문제점 및 개선 방안	297
<그림 2-244> 간척지구 위치	306
<그림 2-245> 이원지구 토지이용 계획도	306
<그림 2-246> 남포지구 토지이용 계획도	307
<그림 2-247> 고흥지구 토지이용 계획도	307
<그림 2-248> 충남 당진시 송산면 가곡리 석문 송산 간척지 조사료 전문 재배단지 인근 토양	311
<그림 2-249> 토양 EC와 pH의 현장 측정	311
<그림 2-250> 작물 파종하여 육묘하는 모습(좌)과 EC농도별 처리 3주차 작물의 모습(우)	312
<그림 2-251> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 갯기름나물의 엽장, 엽폭, 엽수, SPAD	314
<그림 2-252> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 갯기름나물의 근장, 뿌리 생체중, 지상부 생체중	314
<그림 2-253> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 갯기름나물의 지상부 및 지하부 건물중	315
<그림 2-254> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 감초의 초장, 근장, 엽장, 엽폭	316
<그림 2-255> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 감초의 엽수, SPAD, 지상부 생체중, 지하부 생체중	316
<그림 2-256> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 감초의 지상부 및 지하부 건물중	317
<그림 2-257> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 적자소의 초장, 근장, 엽장, 엽폭	318
<그림 2-258> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 적자소의 엽수, SPAD, 지상부 생체중, 지하부 생체중	318
<그림 2-259> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 적자소의 지상부 및 지하부 건물중	319
<그림 2-260> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 레몬밤의 초장, 근장, 엽장, 엽폭	320
<그림 2-261> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 레몬밤의 엽수, SPAD, 지상부 생체중, 지하부 생체중	320
<그림 2-262> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 레몬밤의 지상부 및 지하부 건물중	321
<그림 2-263> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 청갯의 초장, 근장, 엽장, 엽폭	322
<그림 2-264> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 청갯의 엽수, SPAD, 지상부 생체중, 지하부 생체중	322
<그림 2-265> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 청갯의 지상부 및 지하부 건물중	323
<그림 2-266> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 홍화의 초장, 근장, 엽장, 엽폭	324
<그림 2-267> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 홍화의 엽수, SPAD, 지상부 생체중, 지하부 생체중	324
<그림 2-268> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 홍화의 지상부 및 지하부 건물중	325
<그림 2-269> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 배초향의 초장, 근장, 엽장, 엽폭	326
<그림 2-270> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 배초향의 엽수, SPAD, 지상부 생체중, 지하부 생체중	326
<그림 2-271> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 배초향의 지상부 및 지하부의 건물중	327
<그림 2-272> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 고들빼기의 엽장, 엽폭과 엽수 및 SPAD	328
<그림 2-273> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 고들빼기의 지상부 및 지하부 생체중	328

<그림 2-274> 육묘 트레이 파종	333
<그림 2-275> 발아율 50% 이하 작물 재발아	334
<그림 2-276> 간척지 및 일반 토양 채취 및 건조	334
<그림 2-277> 약용작물 9종 이식 완료 상태	335
<그림 2-278> 내염성 실험을 위한 간척지, 일반 토양 포트 이식	335
<그림 2-279> 생육 단계 중 온도, 습도 측정	336
<그림 2-280> 내염성 실험 전 홍화 생육 단계	336
<그림 2-281> 향부자 구근(좌)과 식방풍 묘(우)의 사진	351
<그림 2-282> 강황(좌)과 감초(우)의 사진	351
<그림 2-283> 간척지 재배 필드 모델	352
<그림 2-284> 새만금 지구 시험포 구성 작업(로터리 작업 및 두둑 조성)	353
<그림 2-285> 석문 지구 시험포 구성 작업(로터리 작업 및 두둑 조성)	353
<그림 2-286> 토양개량처리 및 두둑공사 모습(3년차 ~ 4년차)	353
<그림 2-287> 비료살포 및 토양개량제 처리 현장	353
<그림 2-288> 석문 간척지 명거배수로 공사	354
<그림 2-289> 6월 4일 점적관 설치 및 멀칭	354
<그림 2-290> 석문지구의 예초 전과 예초 후 모습	354
<그림 2-291> 정식과정	355
<그림 2-292> 작물이 보식된 모습. 석문지구(좌, 중간)과 새만금지구(우)	355
<그림 2-293> 상추의 생체중, SPAD값, 엽장, 엽폭, 품질지수	357
<그림 2-294> 감초의 엽수, 생체중, 근장, 근중, 품질지수	358
<그림 2-295> 강황의 엽수, 생체중, 구근 개수, 근중, 품질지수	359
<그림 2-296> 비트의 엽수, 생체중, 근장, 근중, 품질지수	360
<그림 2-297> 당근의 엽수, 생체중, 근장, 근중, 품질지수	361
<그림 2-298> 적겨자의 생체중, 품질지수	362
<그림 2-299> 치커리의 생체중, SPAD값, 엽장, 엽폭, 그리고 품질지수	363
<그림 2-300> 케일의 생체중, 품질지수	364
<그림 2-301> 배초향의 생체중, SPAD값, 엽장, 엽폭, 품질지수	365
<그림 2-302> 적근대의 생체중, SPAD값, 엽장, 엽폭, 품질지수	366
<그림 2-303> 새만금지구의 상초, 배초향 사진	367
<그림 2-304> 감초의 생체중, 근장, 근중, 품질지수	368
<그림 2-305> 비트의 엽수, 생체중, 근장, 근중, 품질지수	369
<그림 2-306> 당근의 엽수, 생체중, 근장, 근중, 품질지수	370
<그림 2-307> 케일의 생체중, SPAD값, 엽장, 엽폭, 품질지수	371
<그림 2-308> 적근대의 생체중, SPAD값, 엽장, 엽폭, 품질지수	372
<그림 2-309> 상추의 SPAD값, 생체중, 품질지수	374
<그림 2-310> 적겨자의 SPAD값, 생체중, 품질지수	375
<그림 2-311> 치커리의 SPAD값, 생체중, 품질지수	376
<그림 2-312> 케일의 SPAD값, 생체중, 품질지수	377
<그림 2-313> 적근대의 SPAD값, 생체중, 품질지수	378

<그림 2-314> 상추의 생육차이 사진 (좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리).....	379
<그림 2-315> 홍화의 생육차이 사진 (좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리).....	380
<그림 2-316> 비트의 생육차이 사진 (좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리).....	380
<그림 2-317> 당근의 생육차이 사진 (좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리).....	381
<그림 2-318> 적겨자의 생육차이 사진(좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리)	381
<그림 2-319> 치커리의 생육차이 사진(좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리).....	382
<그림 2-320> 케일의 생육차이 사진(좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리).....	382
<그림 2-321> 적근대의 생육차이 사진(좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리).....	383
<그림 2-322> 처리 구간별 감초의 엽수, 근장, 근중, 생체중 및 품질지수 결과(9월 24일)...	393
<그림 2-323> 처리 구간별 강황의 근중, 엽수 및 생체중 결과(9월 24일).....	394
<그림 2-324> 처리 구간별 향부자의 엽장, 엽수, 지상부 생체중, 지하부 생체중, 자 식물체 개수, 자 식물체 지상부 생체중, 자 식물체 지하부 생체중, 그리고 품질지수(9월 25일)	395
<그림 2-325> 처리 구간별 홍화의 엽폭, 엽장, SPAD, 그리고 생체중(7월 9일)	396
<그림 2-326> 처리 구간별 레몬밤의 엽장, 엽폭, 생체중, 그리고 SPAD(7월 9일).....	398
<그림 2-327> 처리 구간별 비트의 엽장, 엽폭, SPAD, 품질평가, 생체중, 그리고 지하부 생체중(7월 2일)...	399
<그림 2-328> 새만금 간척지 적겨자의 엽장, 엽폭, 엽수, 생체중, SPAD (6월).....	408
<그림 2-329> 새만금 간척지 홍화의 초장, 생체중, SPAD (7월).....	409
<그림 2-330> 새만금 간척지 식방풍의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (8월).....	410
<그림 2-331> 새만금 간척지 레몬밤의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (8월).....	411
<그림 2-332> 새만금 간척지 배초향의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (8월).....	412
<그림 2-333> 새만금 간척지 참깨의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (7월).....	413
<그림 2-334> 석문 간척지 적겨자의 엽장, 엽폭, 엽수, 생체중, SPAD (6월).....	414
<그림 2-335> 석문 간척지 홍화의 엽장, 엽폭, 생체중, SPAD (7월).....	415
<그림 2-336> 석문 간척지 식방풍의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (9월).....	416
<그림 2-337> 석문 간척지 레몬밤의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (9월).....	417
<그림 2-338> 석문 간척지 배초향의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (7월).....	418
<그림 2-339> 석문 간척지 참깨의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (7월).....	419
<그림 2-340> 석문 간척지 도라지의 초장, 초폭, 생체중, SPAD, 근장, 근생체중 (9월).....	420
<그림 2-341> 화옹 간척지 적겨자의 엽장, 엽폭, 엽수, 생체중, SPAD (6월).....	421
<그림 2-342> 화옹 간척지 홍화의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (7월).....	422
<그림 2-343> 화옹 간척지 식방풍의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (9월).....	423
<그림 2-344> 화옹 간척지 레몬밤의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (9월).....	424
<그림 2-345> 가을정식을 위해 구매한 한지형 씨마늘(좌)과 양파 묘(우).....	425
<그림 2-346> 가을정식 마늘과 양파 정식하는 모습.....	425
<그림 2-347> 화옹지구 가을정식 마늘과 양파 정식이 완료된 모습.....	426
<그림 2-348> 새만금 간척지 재배 상추 폴리페놀 함량.....	429
<그림 2-349> 새만금 간척지 재배 강황 폴리페놀 함량.....	430
<그림 2-350> 새만금 간척지 재배 강황 2차 폴리페놀 함량.....	430
<그림 2-351> 새만금 간척지 재배 감초 폴리페놀 함량.....	431
<그림 2-352> 새만금 간척지 재배 감초 2차 폴리페놀 함량.....	431

<그림 2-353> 새만금 간척지 재배 비트 폴리페놀 함량.....	432
<그림 2-354> 새만금 간척지 재배 당근 폴리페놀 함량.....	433
<그림 2-355> 새만금 간척지 재배 적겨자 폴리페놀 함량.....	433
<그림 2-356> 새만금 간척지 재배 치커리 폴리페놀 함량.....	434
<그림 2-357> 새만금 간척지 재배 케일 폴리페놀 함량.....	434
<그림 2-358> 새만금 간척지 재배 배초향 폴리페놀 함량.....	435
<그림 2-359> 새만금 간척지 재배 적근대 폴리페놀 함량.....	435
<그림 2-360> 석문 간척지 재배 비트의 베타시아닌 함량.....	439
<그림 2-361> 토양 구성 성분의 유전상수.....	461
<그림 2-362> 토양수분함량 변화(5TE, GS3).....	466
<그림 2-363> 전기전도도 변화(5TE).....	467
<그림 2-364> 전기전도도 변화(5TE).....	468
<그림 2-365> 포트시험.....	469
<그림 2-366> 센서 보정식(5TE, GS3).....	471
<그림 2-367> 텐시오미터 설치모식도.....	472
<그림 2-368> 수분포텐셜 범위별 측정방법.....	473
<그림 2-369> 수분포텐셜 변화(MPS-6).....	474
<그림 2-370> 국립식량과학원 토양특성 평가 결과.....	478
<그림 2-371> 계측모듈.....	478
<그림 2-372> 계측모듈비교 사진 (외부전원 공급 시스템 예(좌), 계측모듈 설치 예(우)).....	479
<그림 2-373> 오픈소스 하드웨어 기반 구성도 - 하드웨어 모듈, 카메라 모듈 및 토양센서.....	479
<그림 2-374> 클라우드 서버 개요도 - 웹 어플리케이션, DB서버, 통신서버.....	480
<그림 2-375> 데이터수집 모듈 (CR1000((좌), DT80(우)).....	480
<그림 2-376> 새만금시험포장 기상장비 및 지하수위 모니터링 시스템 운용.....	481
<그림 2-377> 토양수분/온도/EC 센서 설치 지점.....	481
<그림 2-378> 당근 100%, 멀칭 수분/EC 측정결과.....	482
<그림 2-379> 당근 100%, 비멀칭 수분/EC 측정결과.....	482
<그림 2-380> 화옹시험과장 지하수위 및 토양 모니터링 시스템 운용.....	483
<그림 2-381> 오픈소스하드웨어 시스템 현장운영 및 자료획득.....	484
<그림 2-382> 계측모듈 보호박스의 기밀 향상.....	485
<그림 2-383> 계측모듈.....	486
<그림 2-384> 새만금시험포장 기상장비 및 지하수위 원격계측 시스템 운용.....	487
<그림 2-385> 석문시험포장 기상 모니터링 시스템 운용.....	487
<그림 2-386> 석문시험포장 기상장비 원격계측 시스템 운용.....	487
<그림 2-387> 화옹시험포장 기상 및 지하수 모니터링 시스템 운용.....	488
<그림 2-388> 화옹시험포장 원격계측 시스템 운용.....	488
<그림 2-389> 데이터로거.....	490
<그림 2-390> 시험포장 구성(1).....	491
<그림 2-391> 시험포장 구성(2).....	492
<그림 2-392> 토양수분함량 및 토양수분포텐셜 모니터링.....	493

<그림 2-393> 배추의 생육변화. 매 1시간 간격.....	496
<그림 2-394> 토양수분함량을 이용한 자동관수의 개시 및 종료 프로그래밍 (예시).....	497
<그림 2-395> 물관리 제어시스템 모듈.....	498
<그림 2-396> 자동관수 시스템 모식도.....	499
<그림 2-397> WEB에서 접속한 CCTV 현장화면 스크린샷.....	499
<그림 2-398> 데이터로거 물관리 프로그래밍.....	500
<그림 2-399> 자동관수 흐름도.....	501
<그림 2-400> 관수제어 기간 중 토양수분변화 모니터링 (붉은선 : 관수개시점)	502

1. 연구개발과제의 개요

1.1. 연구개발 목적 및 기술내용

1.1.1. 연구개발 목적

농업환경(쌀 생산·소비구조)의 변화에 따른 간척농지의 벼 이외 고부가가치 작물 등 타작물 재배와 같은 다각적인 활용을 위해서는 토양환경을 개선시키고 원예 및 약용작물 등의 내염특성을 고려한 현장 재배 실증을 통하여 작물을 선발 할 필요가 있다. 이를 통해 대상작물의 재배관리 매뉴얼의 구축 및 간척지 관리모델을 제시함으로써 농가소득 향상 및 간척농지의 다각적인 영농 활용 범위 확대를 모색 할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 간척농지에서 발작물 재배를 위한 최적환경 조건(작부체계, 토양관리, 관개방법 및 필요수량 등) 규명 및 실증연구를 통해 간척지 기반의 고부가 농업 활용기술을 개발하고, 종합적인 작부체계 매뉴얼을 개발·보급 하는 것을 본 연구의 최종 목적으로 한다.



<그림 1-1> 연구 비전

1.1.2. 핵심 연구개발 기술내용

가. 간척농지 고부가가치 작물 재배를 위한 물관리 방법 개발

간척농지의 밭도 일반 노지의 밭관개와 같은 방식의 관개시스템을 적용할 수 있다. 밭관개 시설계획은 관개방식, 용수계획, 수원계획에 따라서 수리시스템을 구성 하는 말단관개시설, 조정시설, 급수시설, 송수시설, 관리제어시설에 대하여 설치위치, 형식, 주요제원 및 개략사업비 등을 검토해야 한다. 또한, 밭관개 시설은 각각의 시설이 안전성, 기능성, 경제성에 주변 자연환경, 생활환경을 고려하고 수리시스템으로서 전체적으로 균형을 이루도록 계획하여야 한다. 따라서, 시험포장에 관개장치와 방식에 따른 관개효과를 분석하고, 이에 따른 설계지침을 작성, 보급하고자 한다. 또한, 토양 중 염분 함량은 근권 토양에의 관수를 통해 근권중의 염분 함량을 낮출 수 있도록 염분 함량 및 적정 토양중 수분함량을 고려한 관수량을 결정할 수 있는 기술개발을 시행하고자 한다.

나. 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술 개발

국내 지하암거배수와 관련한 사업은 1980~1990년대에 습답지역을 대상으로 건답화 과정에서 추진되었으나, 관막힘, 경제성, 유지관리 등의 문제점으로 인해 국내여건에 부합한 암거배수기술로 발전하지 못했다. 금회 실시하는 저비용-고효율의 암거배수공법은 국내 여건에 부합한 간척지암거배수공법을 발전을 위해 배수여건 개선을 위한 토층과쇄를 선행하여 불포화상태에서 암거배수를 실시하는 공법을 개발하고자 한다. 또한, 불포화토양조건인 밭기반에 적용이 가능한 효과적인 제염 및 재염화관리, 토층관리 등 제염관리기법 개발 및 간척지 토양의 입단화, 유기물 개량 등 현장실증시험을 통해 국내 간척지여건에 부합한 최적 토양관리기술을 개발하고자 한다.

다. 간척지 고부가 최적 작물선정 및 작부체계 제시

원예작물 및 약용작물 선정은 내염성, 간척지 토양 적응성, 상품성, 시장확대 가능성, 기존 농가와의 마찰 가능성, 경제성(부가가치) 등을 고려하여 10여종 이상을 대상으로 재배 테스트를 실시하고 최종적으로 7종의 작물을 제시하고자 한다. 또한, 원예작물과 약용작물을 분리하여 재배 테스트 실시하며 수확물을 대상으로 기능성 및 약용성 성분을 분석하여 산업적 이용 가치를 비교 평가를 실시한다. 기능성 증대와 염분농도와의 관계 분석을 통한 고부가가치 작물 생산기술을 개발하고 대상 작물의 2기작 또는 1기작의 작부체계를 개발하고 대상지 염농도별 작물별 재배관리 매뉴얼을 개발하며, 생산된 작물에 기반 한 간척지 경제성 분석을 실시한다. 마지막으로, 연차별 개선된 간척지 토양환경조건에서 실증 시험 결과를 통하여 연차별 생산량을 비교 분석하고, 과제 종료 직전에는 일반 밭에서 재배한 것과 비교 분석하여 생산량을 비교하고자 한다.

라. 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템 개발

높은 염분농도에 의한 오차를 최소화할 수 있는 방식의 토양수분센서 혹은, 기존 상용화된 센서를 활용한 알고리즘을 통해 간척농지의 토양수분을 일반 농경지 수준의 오차로 측정하는 방법을 확립한다. 또한, 간척지에 최적화하여 확립한 토양수분 계측방법, 노지의 기상환경인자, 지하수위 변동 등을 통합하여 스마트한 간척지 물관리 계측기술 확립하고자 한다.

1.2. 연구개발 대상의 국내·외 현황

1.2.1. 국내 기술 수준 및 시장 현황

가. 간척농지 고부가가치 작물 재배를 위한 물관리 방법 개발

1) 간척지 관개시스템

간척지 관수기술은 주로 농어촌연구원에서 수행한 간척지를 대상으로 한 담수제염 기술이 현장시험을 통하여 검증되었으나, 간척지에서 밭작물재배를 대상으로 스프링클러 등의 관수장치를 효율적으로 운용하며, 적정 용수량을 공급하는 시험검증은 수행된바 없다. 특히 관수에 의한 제염방안으로 관수 간격, 관수량 등에 대한 연구는 수행된바 없다. 현재 까지 간척지를 대상으로 실시한 관수 기술은 시험재배 수준에 그치고 있으며, 시험단지 내 소규모 팜폰드를 조성하여 우수 집수 또는 저류지 설치를 통해 이들로부터 양수하여 공급하는 방식(농어촌연구원, 2008)을 취하고 있다.

따라서, 간척농지에서 작물 필요수량과 제염용수량을 공급하기 위해 수원으로부터 공급받는 물을 효과적으로 공급하는 기술이 아직 현장 검증되지 않은 단계이며, 그에 관한 기준 또한 간척지에 맞게 마련되어 있지 않은 실정이다.

2) 물관리를 통한 제염 및 정상 생육 확보 토양 기준 설정

간척지에서 작물재배는 수도중심으로 오랜 연구와 경험이 축적되어 있으나 밭작물 재배에 대해서는 아직 국내에서는 실용화할 만한 기술개발 보고사례가 적다. 일반적으로 밭작물 재배시 물을 공급하는 방법으로 고랑관개, 스프링클러, 점적관개 등 여러가지 방법이 사용되고 있는데 이중 점적관수는 근권내 집중적인 물 공급으로 토양내 염류집적을 방지하는 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 관개효율이 높아 관개용수가 부족한 대규모 간척지에서 용수절약 효과와 염해경감효과가 있어 간척지 밭작물 재배에 적용하기 적합한 것으로 알려져 있다.

3) 간척지 발기반 용수절약 모델 개발

1994년 고온 및 가뭄 피해가 과수 및 밭작물에서 크게 발생한 후 가뭄 피해 경감 및 한발평가 기준 설정 연구가 이루어졌으며, 오 등(1997)은 토심 60cm에서 토양저수통모형을 설정하고 저수통이 다 비워질 때를 한발 시작점으로 설정한 후 연도별 지역별로 한발 발생 정도를 분석하였다. 전자기파를 이용한 센서로 토양수분을 원격으로 실시간 측정하여 농경지 물관리 및 한발 평가에 활용하고자 하는 연구를 1990년대 말에서 2000년대에 실시하였으며 가뭄 평가에 토양수분을 활용하는 연구가 함께 이루어졌다. 그러나 2000년대까지 밭가뭄 연구는 가뭄이 발생한 해를 중심으로 단절적으로 이루어져 온 한계가 있다.

수리시설물 모의조작 시스템(HOMWRS : 한국농어촌공사, 1998년)은 국내의 농업용수를 관리하는 기관인 한국농어촌공사에서 개발한 HOMWRS는 농업용수를 관리시스템 중에서 가장 대표적인 관개설계 시스템으로 저수지 유입량, 기상요소, 증발산, 관개량 등 물수지 분석을 통하여 저수지 조작과 농업용 수리시설물의 계획, 설계에 가장 많이 사용되고 있다.

나. 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술 개발

1) 암거배수

간척지 염류집적 토양은 토양입자의 분산에 의해 토양의 물리화학적 특성의 불량, 높은 염농도에 의한 삼투현상으로 인한 작물의 수분흡수 저해 등으로 작물의 정상적인 재배가 어려운 상태이다. 일반적으로 간척지토양에서는 토양중 과잉의 염류를 제거하기 위해 표층으로의 염분상승을 막고 염분을 하층 배수구로의 제거 방안으로 지하배수 시설을 설치하여 운영하고 있다. 지하배수 기술은 토양의 지리적, 물리적 특성에 의해 배수가 불량하거나 지하수위가 높은 지역에서 지표배수로 제거할 수 없는 지표 잔류수와 토양 속의 과잉수를 암거배수관을 설치하여 배수시키는 기술이다. 지하배수 시설은 표층의 물관리를 용이하게 하여 농작물 기계의 효율성을 향상시키고, 지하수위를 낮추어 토양의 통기성을 좋게 하고 토양온도를 높이며, 작물의 뿌리발육을 촉진하고 수량을 높이는 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 국내 간척지에서 암거배수에 대한 연구 및 실용화는 대부분 논 조건에서 진행되었으며, 암거설치 비용이 고가(3,000만원 이상/ha)이며, 공법 투자 대비 효과가 지속적이지 못하며, 공사기간이 장기간 소요되는 단점이 있어 고효율/저비용의 밭작물 재배지 적용형 암거배수 공법의 표준화가 필요한 시점이다.

2) 염류제거

간척지와 같은 염류집적 토양에서 밭작물 도입시 제염을 위한 사전 염류제거와 관련된 연구는 1) 담수제염, 2) 심토반전, 3) 심토파쇄, 4) 객토, 5) 표토제거, 6) 화학적 제염(석고 등), 7) 식물학적 제염 및 8) 미생물 활용 등이 있다. 이들 제염기법을 대상으로 신간척지와 수도작 재배지대를 대상으로 염류제거에 대한 연구가 일부 진행되었으나, 밭작물 작부체계에 적합한 제염기법은 아직 개발되지 않은 상태이다. 담수제염법은 노동력이 적게 들고, 제염효과가 우수한 반면, 물의 소모량이 많고 수직배수가 양호한 토양에만 적용이 가능하다는 단점이 있으며, 심토반전법은 표토의 재염화 현상이 일어나기 쉬어 장기적인 지속효과는 낮은 것으로 보고되어 있다. 심토파쇄는 경반층의 물리성이 파쇄됨으로 인해 용적밀도가 개선되고 대공극을 형성해 줌으로써 염류의 수직 이동이 쉬워 표층의 염농도를 낮게 유지하는데 효과적이지만, 수분이동이 양호한 경우만 가능한 제한점이 있다.

국내 간척지에서 염류제거와 관련된 연구 및 실용화는 상기에서 제시한 여러 가지 제염기법을 복합적으로 검토하지 않고 주로 담수제염법의 단일 기법만을 제한적으로 검토한 것이 주를 이루고 있으며, 재염화(resalinization)에 대한 연구는 거의 이루어지지 않은 상태이다.

3) 토양관리

간척지 토양관리는 물리성 개선 차원에서 토양의 입단화 그리고 화학성 개선 차원에서 유기물 공급량을 적정수준으로 유지하는 것이다. 토양의 입단화에 끼치는 인자도 결론적으로 토양의 유기물 공급량이 증가하면 해결될 수 있는 문제이다. 토양유기물은 토양의 배수와 통기성을 좋게 함으로써 토양의 물리, 화학성을 개선하는 것으로 알려져 있다. 현재 신간척지 토양중 유기물 함량은 1% 미만으로 낮은 수준인데, 정상적인 토양의 기능을 유지하기 위해서는 최소 2.5-3.0% 수준까지 유기물 함량을 높일 필요가 있다.

국내 간척지에서 토양의 물리성 및 화학성 개선과 관련된 연구 및 실용화는 매우 제

한적으로 진행되어 왔음. 주로 벧짚과 석고 처리에 따른 물리화학적 특성개량에 대한 연구가 주로 이루어졌고 재이용이 가능한 농림수산부산물을 간척지 유기물 자원으로 다양하게 검토한 연구가 매우 부족한 실태이다.

4) 토지이용

2009년 한국농촌경제연구원(KREI)과 한국농어촌공사(KRC)는 공동으로 간척지의 효율적인 활용방안에 대한 연구를 수행한 바 있다. 2010년 5월에는 대규모 간척지의 이용 상황과 장래수요를 고려하여 간척지의 농업적 이용 용도를 8개군으로 분류하여 면적 배분하였음. 간척지를 첨단수출원예(3,000ha), 일반원예(2,185ha), 채종단지(1,533ha), 친환경축산(3,000ha), 농식품가공·물류(1,536ha), 관광농업(394ha), 생태환경(653ha), 복합곡물(18,093ha)의 8개군으로 구상하여 면적 배분했다. 이후 2012년 1월 “간척지의 농업적 이용 및 관리에 관한 법률”을 제정하여 간척지의 효율적, 체계적 이용으로 농업의 경쟁력 강화를 도모하고 있다. 그러나, 아직까지 발작물재배기술의 미흡, 기존 논 조건으로 개발한 간척지를 밭 조건으로 변환하는 데 추가적인 비용소요 등 효율적인 간척지 밭 기반조성 기법 미정립으로 대책강구가 시급한 상황이다.

다. 간척지 고부가 최적 작물선정 및 작부체계 제시

간척지 토양은 염도가 높고, 지하수 상승에 따른 재염화에 의한 피해가 발생하고, 유기물 공급이 원활하지 못하고, 물 유입에 따른 침수 피해 또는 배수 불량 등에 의하여 밭작물 재배가 어려운 실정이다. 국내에는 작물별 염농도 분류가 설정되지 않은 실정이나 농촌진흥청에서 보리 및 양파, 마늘, 감자 등에 대한 염농도 확인 및 재배비율 등에 대한 연구가 진행 되었으나, 간척지 토양 중 염분은 식물생장에 제한요인으로 정상적인 소출을 내기 위해서는 토양의 염농도에 적응 할 수 있는 내염성 작물의 선정이 필요하다. 따라서, 재배실험을 통한 작물 선정 및 그에 따른 실증 재배를 통하여 토양 염농도별 생산성 및 경제성 등을 평가하여 최종적인 고부가가치 작물에 대한 검증이 이루어져야 한다.

라. 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템 개발

토양수분 센서는 국산화되어 현장에 보급되고 있으나, 정전용량방식 한 종류로 염농도가 높은 간척지 환경에는 활용이 제한적이며, 토양수분장력센서 등 간척지 환경에 적합한 센서 및 알고리즘 개발이 필요한 실정이다. 관개제어 시스템은 ‘스마트팜’ 개념으로 주로 시설하우스 등에 ‘1세대 한국형 스마트 온실’ 솔루션으로 적용되고 있으며, 원격 모니터링 및 원격제어에 의한 관수 및 위험경보 기능을 탑재하고 있다.

이렇듯, ICT를 활용한 ‘스마트팜’ 기술이 개발, 실제 농가에 보급되고 있으나, 대부분 시설하우스에 집중되고 있어 가혹한 조건의 간척지에 최적화된 모니터링 방법에 기반한 시스템은 없는 실정이며, 관개배수 등의 시설과 통합된 로직이 현재 개발되어 있지 않은 실정이다.

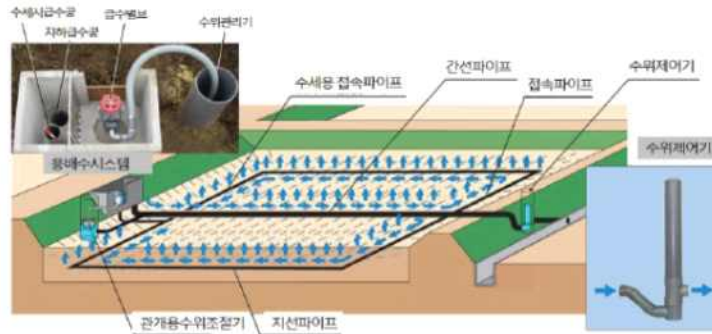
1.2.2. 국외 기술 수준 및 시장 현황

가. 일본의 시트파이프 배수·관개시스템(Sheet Pipe Drainage and Irrigation System)

2001년에 신기술로 인정되어 사용되는 암거배수장치로서 시트파이프 배수관이 시공된 기설 포장에 관개기능을 추가할 수 있으며, 신규 부설의 경우 시트파이프 배수관만을 부설하고 필요에 따라 나중에 관개기능을 추가하는 등 단계적인 정비도 가능하다. 수도작의 경우 지하와 지표 양방향 급수가 가능하기 때문에 간단관개 시 단시간 급수 가능, 갈수 시 토양 전체를 전부 포화시킬 필요가 없기 때문에 지표관개만 설정하여 절수 가능, 수위의 상한과 하한을 설정하여 수도작의 간단관개가 가능하다.

나. 일본의 FOEAS시스템

배수성을 개선하기 위하여 지하수위 조절과 관개량을 조절하여 재배작물에 적정 지하수위조절과 관개용수의 공급을 실시하는 지하배수 및 지하관개기술을 적용했다<그림 1-2>.



<그림 1-2> 일본의 FOEAS시스템

다. 일본(이사하야) 밭작물 재배를 위한 기반설치 및 제염

농지는 중앙간척지에 587ha, 고에간척지에 94ha를 계획하였으며 배수는 경작지에 10미터 간격, 깊이 80센티 정도에 암거를 설치 운영중에 있다. 용수공급은 조정지를 수원으로 각 경작지에 37.5m 간격으로 급수전(말단부 수압 2.5kg/cm²) 설치하였고 스프링쿨러 관개도 가능하다.



<그림 1-3> 관개용수 공급 시스템

제염사업은 제염목표를 야채재배가능 농도인 500ppm으로 설정 하였고, 제염방법으로는 깊이 뿌리를 내리는 제염용 목초를 식재 후 이를 잘게 분쇄하여 토양에 섞여 스며들게 하는 방법을 사용(3년, 6회)하였다.

라. 네덜란드의 관개·배수 겸용시스템

작물의 과습을 방지하기 위해 집중적인 배수시스템 실시, 작물생육을 위해 배수로에 관개수를 저류하고 필요 시 고압분사호스를 이용하여 대규모 농지에 용수 공급 방식이다.

마. 네덜란드의 밭작물 재배 사례

간척의 역사나 농업의 역사로 보아 네덜란드가 가장 많은 경험과 기술을 축적하고 있다. 특히 간척지를 시설재배나 노지재배에 대하여 독보적인 기술을 보유하고 있다. 최근에는 수목·화훼단지(Proeftuin Van Holland)를 조성하여 수목화훼에 대한 연구와 방문 프로그램을 운영하고 있음. 전체 단지면적은 약 15ha이며, 수목·화훼가 전체적으로 25,000여 종류가 있으며, 이중 변종·변형을 통해 우량화한 것이 약 6,500여 개체임. 한때 홍수로 인하여 전 지역이 물에 잠겼던 지역을 재건하여 학생, 도시민 등 방문객들이 다양한 종류의 수목과 화훼를 견학 수 있는 프로그램 운영하고 있다.

다양한 수목과 화훼재배 경험을 바탕으로 영국과 독일에까지 재배기술과 화훼를 판매하는 것을 볼 때, 우리의 대규모 간척지를 농지뿐만 아니라 다양하게 활용할 수 있는 또 하나의 사례가 충분히 될 수 있다고 판단된다.

바. 간척지 농지 활용

간척농지 조성방식에 있어서 우리나라는 객토를 병행한 개수로 중심의 무암거 방식으로 조성한 반면 일본과 네덜란드는 관수로 중심의 암거배수를 이용한 기반조성을 실시하고 있다. 일본은 간척지 조성목적 또한 우리나라와 같은 수도작 중심의 논 조성이었으나 일본은 70년대 이후부터 밭으로만 개발하고 있으며, 네덜란드는 간척초기부터 원예중심의 밭 조성과 낙농위주의 개발을 진행하였다. 중국은 논과 밭으로 조성되었으며, 개수로 중심의 무암거 방식으로 개발되었으며, 일부 간척지는 소택지를 조성하여 토양제염과 지하수위를 낮추도록 하였다.

(표 1-1) 국내외 농지조성 비교

구 분	한 국	일 본	네덜란드	중 국
조성목적	수도작	70년 이후 밭으로만 개발	밭, 낙농, 축산, 거주지	논, 밭
영농유형	수도작, 밭작물 초기	밭작물, 낙농, 축산	밭(원예), 낙농	수도작, 밭
기 반 조 성 방 식	객토	일부객토	객토안함	객토 안함
	용수로	개수로 중심	관수로	개수로
	지하배수	-	암거배수	-
토양제염방법	무암거	암거배수 녹비작물재배	암거배수	무암거 일부 소택지 조성

1.3. 연구개발의 필요성

1.3.1. 기술적 측면

가. 간척농지 고부가가치 작물 재배를 위한 물관리 방법 개발

- 최근 쌀의 소비저하로 인한 재고량 증가로 인한 재정적 부담으로 간척지를 대상으로 한 쌀의 생산 기반 구축은 중단하고 간척지를 밭으로 이용하기 위한 기반 조성의 필요성이 제기 됨
- 간척지에서는 일반 밭과는 달리 염분 스트레스를 고려한 관개배수 방법이 필요하며, 국내 연구사례가 적어 이에 대한 해결방안의 모색이 필요함
- 간척지의 다각적·복합적 활용을 위하여 대규모 밭관개 및 범용관개 등 관개목적에 적합한 새로운 스타일의 관수로 조직 모델 및 경제적 설계기술 개발 필요
- 간척지 토양은 조성당시 높은 토양 염농도로 인하여 염해우려가 더욱 크므로 염해를 경감하기 위해서는 적절한 물 관리가 반드시 필요함
- 그 동안의 관개사업은 쌀 자급 기반 확충 차원에서 주로 논 위주로 추진되어 왔으나 소득증대에 따른 농산물 소비 구조의 변화로 쌀 이외의 작물 재배로의 전환에 따라 과학적인 방법으로 간척지 밭작물 생육에 적합한 재배여건 조성을 위한 관개방법의 제시가 필요함

나. 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술 개발

- 간척지에서 밭작물 재배를 위한 재배환경 표준화 및 실증연구를 통한 간척지 기반의 고부가가치 농업활용기술 개발 필요
- 간척지에서 밭작물 재배를 위한 재배환경 즉, 염류제거 기준 개발과 토양의 적정 유기물과 물리성 개량 기술 개발 필요. 또한, 간척지에서 밭작물이 정상생육을 위해서는 우선적으로 염류제거 기준, 적정의 염분제거 방법 개발이 우선적으로 필요하며, 다음으로 토양 유기물 증진 등 토양관리기술 개발이 필요함
- 간척지 이용 종합계획과 연계한 간척지별 최적 토지 이용방안 수립을 통한 간척농지의 효율적인 활용방안 개발 필요

다. 간척지 고부가 작물 최적재배 관리모델 제시

- 국내 간척농지의 타 작물 재배에 대한 연구는 기반 조성을 위한 기술적이고 정책적인 방안 수립에 국한되어 있었으며, 저비용·고효율의 최적 인프라 구축을 위한 실용화 측면에서 나타나는 문제점들에 대한 해결방안은 제시되지 못하고 있는 실정임
- 간척농지는 일반 농지와 다른 토양 특성을 가지고 있기 때문에 비 이외의 작물 재배를 할 경우에는 내염성 및 기능성 등을 고려한 작물선정이 매우 중요하며, 재배 작물의 생육 정보 분석을 통해서 안정적인 작물 성장을 위한 용수 공급 및 재배 관리 대처가 중요함
- 몇가지 생육 인자를 고려하고 재배 테스트를 통한 필드 대상 작물의 경우 2작기 시스템에 대한 검토가 필요하며, 그에 맞는 작부체계가 제시되어야 함

라. 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템 개발

- 시설하우스 등의 자동화를 위한 ‘스마트팜’과 같이, 간척농지의 효율적 활용을 위해서는 최적의 물관리를 위한 토양수분, 지하수위 등을 실시간으로 모니터링할 수 있는 센서, 정밀제어가 가능한 관개제어 장비, 원격에서 실시간 모니터링 및 제어가 가능한 ICT 기술이 반드시 필요함
- 간척지를 활용한 지속적인 밭작물 안정생산체계 확립을 위해서는 간척지에 최적화된 근권부 모니터링 방법이 확립되어야 함
- 근권부 모니터링은 토양수분 계측 뿐 아니라, 관개방법에 따른 지하수위 변화 등, 배수시설과의 통합적인 이해가 필요함. 이를 고려한 알고리즘의 확립을 통해서 간척지 농업의 규모화, 기계화, 현장 실용화가 가능함

1.3.2. 경제적 측면

가. 간척농지 고부가가치 작물 재배를 위한 물관리 방법 개발

- 기존 간척지의 관개배수 기반으로는 밭작물 재배가 곤란하므로 밭작물 재배가 가능한 기반으로 재구축하기 위한 기존 형태와 다른 새로운 형태의 관배수 기술이 필요하며, 간척지에서 채소, 과수, 특용작물 등 밭작물 재배에 성공할 경우 수도작에 비해 농가소득이 5~10 배 정도가 늘어나고 농가경영 개선에 크게 기여할 것임
- 농가소득을 비교해보면 쌀 소득 대비 낙농 3.5배, 과수 6.1배, 시설원예는 9.3~17 배 높은 것으로 나타남. 간척지를 농지로 활용 시 노지채소, 과수, 시설원예 등이 가능하도록 다각적 활용 농지의 조성이 필요
- 작물 생육과 염해 방지를 위한 적정 물공급량 산정으로 용수원으로부터 포장에 공급되는 수량을 예측함으로써 과다 설계를 방지하고 시설투자비를 최적화 할 필요가 있음
- 현재의 간척지에 설치예정인 수원공과 이송방법 그리고 밭, 시설재배지역에서의 이용방법 등 시설측면의 관개기술과 기상상태, 토양수분상태 및 작물의 위조점 등 생육측면의 관개기술을 융·복합한 새로운 방식의 지능형 밭 물관리 기술의 개발이 필요함
- 그 동안의 관개사업은 쌀 자급 기반 확충 차원에서 주로 논 위주로 추진되어 왔으나 소득증대에 따른 농산물 소비 구조의 변화로 쌀 이외의 작물 재배로의 전환에 따라 과학적인 방법으로 간척지 밭작물 생육에 적합한 재배여건 조성을 위한 관개방법의 제시가 필요함

나. 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술 개발

- 2015년 농축산물 소득자료에서 살펴보면, 쌀의 소득은 1ha 당 5.6백만원인데 반해 밭작물인 봄감자는 13.3백만원, 고구마 16.7백만원, 양과는 21.7백만원, 마늘은 35.5백만원으로 밭작물재배시 소득이 향상되는 것으로 추정됨



자료 : 농진청, 농축산물소득자료집(2015년), 년 1기작/ha

<그림 1-4> 농산물소득자료

- 간척지 논으로 조성하였을 경우의 공사비를 100%로 하여 ha당 127백만원 수준으로 투입되고, 암거설치 등 밭 조성시 논 조성공사비의 137%가 소요되어 ha당 174백만원의 비용 투입이 추가되지만, 농가소득상 논기반 대신 밭기반이 168%수준으로 상승하여 조성효과가 논 대비 123%가 상승

(표 1-2) 논·밭기반 공사비 및 농가소득에 따른 조성효과

구 분	공 사 비		농 가 소 득		조성효과 (%)
	공사비 (백만원/ha)	논대비 (%)	소득 (천원)	논대비 (%)	
논기반	127	100	33,000	100%	100
밭기반	174	137	55,477	168%	123

- 상기 분석내용과 같이 쌀 재배대신 고소득 작물이 재배될 수 있는 암거배수, 제염 및 토양관리 등의 기반여건을 조성할 경우에는 ha당 기반조성비가 추가비용이 발생할 지라도 농업경쟁력 향상, 농가 소득측면에서 훨씬 경쟁력이 있는 상황으로 분석됨

다. 간척지 고부가 작물 최적재배 관리모델 제시

- 쌀 시장의 구조적 공급 과잉 등 쌀 소비량 변화에 따른 논 면적 감소 및 밭 전환으로의 농정변화가 이루어지고 있으며, 논 면적의 지속적인 감소와 밭 면적의 지속적인 증가를 목표로 하는 정책에 따라 밭작물에 대한 기술적 대응 필요성이 증대됨

(표 1-3) 연도별 논면적(좌) 및 밭면적(우) 증감 현황

연도별	논면적(천ha)	증감(%)	연도별	밭면적(천ha)	증감(%)
1990	1,345.3	-	1990	763.5	-
1995	1,205.9	-10.4	1995	779.4	2.1
2005	1,104.8	-8.4	2005	719.2	-7.7
2009	1,010.3	-8.6	2009	726.5	1.0
2010	984.1	-2.6	2010	731.2	0.6
2011	959.9	-2.5	2011	738.1	0.9
2012	966.1	0.6	2012	763.9	3.5
2013	963.9	-0.2	2013	747.6	-2.1
2014	933.6	-3.1	2014	757.5	1.3
2015	908.2	-2.7	2015	770.8	1.8

- 간척농지에서도 논 재배 면적 축소 정책이 적용되는 현 시점에서, 간척농지 외부환경 및 다양한 스트레스에 대해 적응하면서 성장할 수 있는 작물 중에서 고부가가치를 이끌어 낼 수 있는 작물에 대한 선정, 작물 재배 방법 개발 필요성이 증대됨
- 간척지 용수공급 기술과 제염기술을 통하여 간척농지와 같은 척박한 환경에서 안정적인 작물생산 및 고부가가치가 기대되는 원예작물 및 약용작물 등을 중심으로 다양한 작물의 작부체계 개발이 절실함 - 농림축산식품부 자료에 의하면 2012년 전 세계 식물자원 활용시장은 981억불로 크게 성장함 (천연물 의약품 243억불, 식물유래 화합물 34억불, 식의약품 704억불)

라. 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템 개발

- 간척농지에 바로 적용할 수 있는 선진국의 알고리즘이 없기 때문에, 우리나라가 주도적으로 간척농업 현실에 맞는 기술을 개발하여 우리 기술과 시스템을 해외로 수출할 수 있음
- 농가 생산성 소득 향상뿐 아니라 농업기술과 시스템을 수출하여 농업기술의 국제 경쟁력 향상
- ICT 기술을 활용한 기술보급 활성으로 기존의 간척농업 기술과 정보화 기술, 자동제어 기술 등의 융복합을 통하여 농업 생산, 유통, 소비 전 과정에서의 생산성과 효율성 및 품질 향상에 의한 부가가치 창출

1.3.3. 사회적 측면

가. 간척농지 고부가가치 작물 재배를 위한 물관리 방법 개발

- 간척지에서 밭 밭작물 재배를 성공할 경우 쌀 생산과잉으로 인한 사회적인 국가 재정부담을 줄일 수 있으므로 간척지에서 밭작물 재배가 가능한 관배수 기술 개발이 필요함
- 간척지는 농업생산기지로서의 역할 뿐 만 아니라 다양한 산업 및 경제·문화활동을 영위할 수 있는 공간 등 농업의 다양성을 견비할 수 있는 대단위 복합농업공간으로 이용 모색
- 적정 수량을 산정하고 토양관리 방법을 제시함으로써 간척농지에 투자되어야 할 생산기반 시설비의 타당하고 적절한 기준을 제시하여 투자에 대한 의사결정에 기초적인 자료를 제공하여 사회적인 수용성을 높일 필요가 있음
- 기존에 개발되어진 농경지 실시간 물관리 프로그램(농진청, 2014)은 농경지내에서 작물종류와 토양특성을 고려해 관개시기를 알려주는 방식인데, 간척지의 경우는 수원공에서부터 농경지까지 용수를 이송하는 기술과 농경지 내에서의 물 공급 의사결정까지 동시에 구현이 되어야 최적의 물 공급과 함께 작물생산성을 높일 수 있음
- 그 동안의 관개사업은 쌀 자급 기반 확충 차원에서 주로 논 위주로 추진되어 왔으나 소득증대에 따른 농산물 소비 구조의 변화로 쌀 이외의 작물 재배로의 전환에 따라 과학적인 방법으로 간척지 밭작물 생육에 적합한 재배여건 조성을 위한 관개방법의 제시가 필요함

나. 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술 개발

- 간척지 개발에 따른 생태계 파괴와 관련한 국민적 갈등, 간척지 농업적 활용과 관련한 농민과의 갈등, 간척지의 타용지 활용과 관련한 지역민의 갈등 등 간척사업에 대한 농업적 활용기술 개발로 간척지 개발에 대한 신뢰도 향상, 국민의 화합이 반드시 필요한 실정
- 간척지의 효율적인 토지이용계획을 수립하여 노동집약적 농업에서 탈피하여 규모화, 전문화, 기술집약 농업으로 발전시킬 수 있도록 대비해야 하며, 나아가 국가의 경쟁력 향상을 도모할 수 있는 공간으로 조성할 필요가 있음

다. 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템 개발

- 간척농지의 스마트 물관리 계측/제어시스템은 네트워크와 자동화 기술을 융합하여 시·공간의 제약없이 간척농지 환경을 관측하고 정보를 계량화하며, 이를 기본으로 하여 시스템화하고 농업에 적용하여 생산성 향상, 비용절감 뿐만 아니라 농업인의 삶의 질을 향상시키는 고효율 지향의 방법임

1.4. 연구개발의 범위

1.4.1. 간척농지 고부가가치 작물 재배를 위한 최적 물관리 시스템 개발

가. 간척지 관개시스템 설계 및 현장 검증

나. 물관리를 통한 적정제염 및 정상 생육 확보 토양 기준 설정

다. 간척지 발기반 용수절약 모델 개발

라. 간척지 작물관리 및 재염촉진·재염화 방지 기법 개발

1.4.2. 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술 개발

가. 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술 개발

나. 저비용/고효율의 간척지 암거배수 방법 개발 및 표준화

다. 간척농지 조기숙진화를 위한 제염/토양관리방법 개발 및 표준화

라. 간척지 이용 종합계획과 연계한 간척지별 최적 토지 이용방안 수립

1.4.3. 간척지 고부가 작물 최적재배 관리모델 제시

가. 내염성을 고려한 원예 및 약용작물 선발

나. 간척지 최적 관리 모델 제시

다. 간척지 발작물 재배 작부체계 및 매뉴얼 개발

라. 간척지 원예 및 약용작물 재배 시 작물별 경제성 분석

1.4.4. 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템 개발

가. 간척지에 최적화된 토양수분상태 측정시스템 및 알고리즘 개발

나. 간척지에 최적화된 스마트 물관리 제어시스템 개발

2. 연구수행 내용 및 결과

2.1. 간척농지 고부가가치 작물 재배를 위한 최적 물관리 시스템 개발

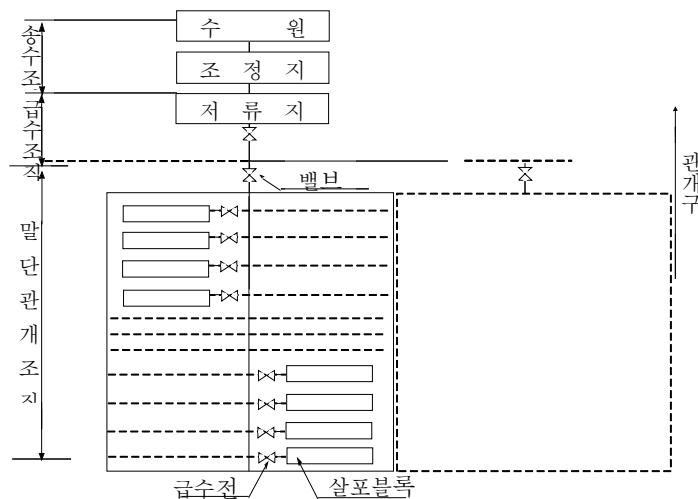
2.1.1. 간척지 관개시스템 설계 및 현장 검증

가. 간척지 관개시스템 설계

간척지 발관개에 있어서 포장에서 수원까지의 용수조직은 말단관개조직, 급수조직, 송수조직으로 구성된다. 이들 세가지 조직은 서로 관련이 깊기 때문에 계획수립에 있어서는 경제성, 기능성, 안전성 등을 고려하여 조직전체의 조화를 갖추도록 해야 한다.

말단관개조직이란 여러개의 살포블록을 지배하는 분수밸브(分水 valve) 등의 밸브류와 이로부터 2차적으로 설치된 시설의 총체를 말한다. 급수조직이란 저류지(farm pond) 또는 저수조에서 말단관개조직에 이르는 일련의 시설총체를 말한다. 송수조직이란 수원에서 급수조직에 이르는 일련의 시설총체를 말한다. 저류지 또는 저수조 하류측 물관리조직은 면적규모에 따라 다음의 세가지로 구분된다.

- ① 살포블록 : 주로 스프링클러관개에 있어서 최말단에 있는 1개의 관수제어밸브 또는 급수전에 지배되는 포장면적을 살포블록이라 한다. 살포블록은 관개작업의 최소단위이며, 영농형태, 작부체계 및 물관리작업에 편리한 면적으로 한다.
- ② 윤변구 : 계획하고 있는 밭의 전지역을 몇 개의 일정한 구역으로 나누어, 그 구역내에서 관개순서를 정해놓고 관수할 때에는 일정구역마다 차례대로 윤변관개한다. 이와 같은 일정구역을 윤변구라 한다.
- ③ 관개구 : 하나의 급수조직의 대상이 되는 포장면적규모로서 1개 또는 여러개의 윤변구로 구성된다. 윤변구를 몇 개 묶어 하나의 급수조직계로 하면 그 구역내에서 물수용변동을 조정하기가 편리하다. 관개구의 조직용량은 원칙적으로 최대 사용시 소비수량의 평균치로 하는 것이 좋다. 이와 같은 물관리 제2단계의 면적은 클수록 기간시설경비면에서 약간 유리하지만, 물관리상으로는 여러 부락에 걸치지 않게 하는 편이 편리하다. 이들에 대한 조직구성의 일례는 다음과 같다.



<그림 2-1> 조직구성의 예

발관개에 있어서 조직전체를 구성하는 각 요소는 서로 관련성이 있고, 하나의 요소를 변경하면 전체적인 구성에 영향을 미친다. 예를 들면 수원의 위치와 표고에 따라, 자연낙차의 이용여부 또는 압송펌프의 필요여부가 정해진다. 또한 말단시설에 사용하는 스프링클러의 작동압력특성에 따라서 가압펌프의 여부 및 관의 종류와 관재료의 선택조건이 달라진다. 관직경의 배열에 따라서 펌프가 필요로 하는 동력의 용량이 변동한다. 이와 같이 각 요소는 서로 관련성이 있다. 또한 말단에 있어서 물수요의 시간변동에 대응하여 수원에서 바로 필요한 수량을 송수할 수 있는 지구는 제외하고, 그렇지 않은 지구에 있어서는 저류지 및 저수조 또는 조정지 등의 시설을 조직에 설치하는 것이 필요하다.

전술한 바와 같이 각 요소가 구비해야 할 기능은 지구의 실정, 계획, 설계조건에 따라서 달라진다. 또한 각 요소는 다시 몇 개의 요소로 구성되어 있다. 따라서 조직전체 중에 있는 이들의 다양한 요소는 서로 관련성과 조화를 가지고 구성되어야 한다.

1) 스프링클러 관개

스프링클러 관개는 영농조건에 충분히 대응할 수 있는 형태로 계획되어야 한다. 밭에 있어서 다양하고 복잡한 물수요는 농가의 영농과 직결되어 있고, 현실의 영농조건과 대응시키지 않고 획일적인 형태로 계획을 세우면 완성후의 시설이용에 심한 제약을 받는 경우가 있다. 특히 다목적이용에 의해 다양하게 물이 이용되고 시설의 이용 빈도가 높아지면, 이에 따라 사용수량이 대폭적으로 변동하는 예가 많아지기 때문에 이와 같은 경우에도 적절하게 대응할 수 있도록 해야 한다. 이 경우 수분보급에 있어서 조직용량과의 관련성을 충분히 고려해야 한다.

살포블록의 크기를 결정하기 위해서는 지형, 작물의 종류 및 단지화의 규모, 받기반 정비의 정도, 토지소유의 내용 등 현실적인 영농조건에 적응시키는 것이 우선 중요하다. 이것이 만족되지 않으면 시설의 이용 그 자체가 큰 제약을 받게 된다. 예를 들면 스프링클러에 의한 방제의 경우 공동방제에 가입하지 않은 농가의 포장에 살포블록 내에 산재하고 있으면 충분한 방제효과를 기대할 수 없고, 또한 여러가지 다른 수종, 품종, 작목 등이 혼재하여 있으면 그에 대한 방제방법은 극히 복잡해지지 않을 수 없다. 우리나라와 같은 영세 소규모경영에 있어서 살포블록의 면적을 크게 잡으면 위와 같은 일이 나타나는 확률이 높아지기 때문에, 계획지구의 공동작업, 협업조직의 정도, 경지와 작물의 분산상황을 잘 조사하여 구획의 크기를 정해야 한다. 살포블록의 면적이 커지면 1개 밸브의 지배면적이 크게 되기 때문에 살포블록의 크기에 대해서는 시설비면에서 뿐만 아니라 조작관리의 용이성이나 연간 유지관리비면에서도 유리하게 선정해야 한다. 살포할 포장을 임의로 선택하고자 할 때에는 전자밸브에 의한 원격조작방법이 효율적이다.

물이용에는 여러가지 종류가 있으므로 우선 물이용의 주목적을 잘 파악하여 말단기자재를 선정해야 한다. 말단기자재는 다양화되는 경향에 있을 뿐만 아니라 그 내용도 점차 발전되어 나가고 있다. 따라서 이용목적과 사용조건에 따라 적절한 형과 구조를 선정해야 하며, 이 선정을 잘못하면 시스템으로서의 기능이 발휘되지 못하는 경우가 생긴다. 이 밖에 기자재의 정밀도에 대해서도 고려하여 현실적인 영농상의 요구에 알맞는 정밀도를 갖는 기자재를 선정해야 하며, 불충분한 정밀도나 지나치게 높은 정밀도를 갖는 기자재의 선정을 피해야 한다. 기자재에 따라서는 과도한 사용조건하에 놓이는 경우가 있으므로 유지관리가 편리하고 또한 내구성이 좋은 것을 택하는 것이 매우 중요하다.

스프링클러는 대별하여 회전식과 비회전식이 있다. 회전식 스프링클러는 일반적으로 살포거리가 길고 살포의 균등성이 우수하며, 회전기구에 따라서 다음 네가지로 분류할 수 있다.

- ① 임팩트(Impact)방식 : 노즐에서 나온 사출수가 반동간(反動桿)을 움직여 스프링클러 또는 카운터웨이트에 의한 반동충격력에 의하여 회전시키는 것으로 이 방식이 가장 많이 사용되고 있다.
- ② 수차방식 : 스프링클러 내부의 유수속에서 수차를 회전시켜 그 회전을 기어로 스프링클러의 축에 전달하여 회전시키는 것이다.
- ③ 임펠러(Impeller)방식 : 노즐에서 나온 사출수에 의하여 인페라를 회전시켜 임펠러의 축에 붙어있는 톱니바퀴와 헤드붙임대의 톱니바퀴를 맞물려서 회전시키는 것이다.
- ④ 젯트반사방식 : 노즐에서 나온 사출수의 반동에 의하여 스프링클러를 직접 회전시키는 것이다. 고속회전이기 때문에 상기 세가지 종류에 비하여 살포거리가 짧으며, 나무밑의 살포나 소규모살포 등에 드물게 이용되고 있다.

비회전식 스프링클러는 일반적으로 소형이며, 낮은 수압에서 사용되기 때문에 살포거리가 짧다. 노즐의 구조에 따라 살포형상은 원형, 사각형, 나비형 등이 있다. 수압에 의하여 물방울의 지름을 바꿀 수도 있고, 미스트에 의하여 공기습도의 조절에 쓰이는 수도 있다. 주로 시설원예용 하우스, 유목 과수원 등에 채택되고 있으며 회전식에 비하여 일반적으로 관개강도가 크고 살포의 균등성은 떨어진다.

회전식 스프링클러는 회전각도의 범위에 따라 전원식(全圓式)과 분원식(分圓式)으로 구분된다. 전원식은 일정한 방향과 일정한 속도로 회전하여 원형으로 살포하는데 반하여, 분원식은 회전각도를 자유롭게 조절할 수 있고 부채꼴로 살포한다. 분원식은 포장밖으로 물이 비산하는 것을 방지하기 쉽기 때문에, 도로에 연한 포장이나 인접포장이 물관리나 비배관리를 달리하는 경우와 계단식 밭에서 유효하게 쓰여진다.

일반적으로 분원식 스프링클러는 관개강도가 크기 때문에 포장형상이 협소하고 복잡한 경우에는 토양침식면에서 주의해야 한다. 보통의 밭관개에서는 살포거리가 길고 또한 살포의 균등성이 좋아야 한다. 이러한 점에서는 회전식 스프링클러가 주체가 되는 경우가 많으며 그 중에서도 임팩트방식이 많다. 또한 비교적 평탄한 지형이고 조방적인 조건에서 재배되는 밭작물에 대해 보다 살포거리를 길게 하고자 할 때에는 대형의 수차방식 및 인페라방식 등이 쓰인다. 한편 온실, 하우스 등에서는 비교적 좁은 장소에서 저압으로 살포되기 때문에 비회전식 스프링클러 방식이 쓰이는 경우가 많다.

강풍이 부는 상태에서 살포해야 하기 때문에 회전식 스프링클러일지라도 대형은 바람의 영향을 받는 결점이 있다. 따라서 중형을 사용하고 더우기 노즐양각은 보통 각도의 것보다도 낮추어 중간 각도 또는 낮은 각도의 것을 선정하는 것이 바람직하다. 그러나 각도를 극단적으로 낮추면 단위면적당 설치개소가 늘어나기 때문에 풍식에 대한 사용빈도를 고려하여 적절한 기종을 선정해야 한다. 동상해를 방지하기 위해서는 물방울을 될 수 있는 한 가늘게 하여 연속적으로 균일하게 살포해야 한다. 이 때 관개강도는 보급관개의 경우보다 상당히 낮게 해도 무방하며, 거의 바람이 없는 조건아래에 있으므로 바람에 대해서는 고려할 필요가 없다.

따라서 보급관개시설을 활용할 입장이라면 우선 관개강도를 저하시킬 수 있도록 살포기구의 기능을 조정해야 한다. 복식 노즐로 이루어진 회전식 스프링클러의 경우는 한쪽

의 노즐을 막는 것이 효과적인 방법이다. 또한 물방울을 가늘게 하기 위하여 살포의 균일성을 떨어뜨리지 않는 범위내에서 수압을 높이는 것도 하나의 방법이다.

동상해방지가 주목적인 경우에는 소형의 회전식 스프링클러(대개의 경우 구멍이 1개 임)를 사용하여 미세한 물방울을 살포하는 방법을 취한다. 또한 비회전식 스프링클러에 의해 미스트를 발생시켜 동상해방지를 꾀하는 방법도 있다. 간척지와 같은 강한 해풍 아래에서 작물이 위험량에 달하는 염분을 받은 경우는 한정된 시간내에 살포하지 않으면 안된다. 이러한 점에서 풍식방지를 위한 살포와 조건이 비슷하므로 살포기구의 선정도 이에 준한다.

관개계획의 설정조건에 따라 유량을 규제하고 적절한 급수조작을 하기 위해서는 사용조건에 적합한 조절장치의 설치가 필요하다. 말단관개조직에 있어서의 조절장치로는 밸브, 급수전, 흡입구, 양수장치 등이 있다. 밸브는 여러 가지 목적에 대응하는 각종의 밸브가 있으며, 이를 이용목적별로 대별하면 송수계통의 유량제어를 자동적으로 조작하는 자동화용조작밸브, 관로를 보전하기 위한 장치로서의 관로보전용밸브, 비료나 농약 등을 살포할 때에 사용하는 약액균등살포용밸브 등으로 구분된다. 자동화용 조작밸브로 전자(電磁)밸브는 말단살포밸브로서 사용되며 전자식으로 밸브를 개폐한다. 적은 전력으로 작동하고 농업용은 유체중의 이물질 및 수격작용을 고려한 것이 많다. 작동은 On-Off 작동으로 한다. 순차(順次)밸브는 1개의 입구와 다수(4~10개)의 출구를 가진 밸브이다. 작동은 전기신호의 점등에 의해 각 출구를 순차적으로 개폐한다. 작동은 On-Off 작동으로 한다.

급수전은 관로의 물을 경지면으로 끌어내는 장치로서, 그 형식은 급수하는 장소, 관개방식, 관내수압, 사용수량 등에 따라 다르다. 관내수압이 비교적 큰 관로에서는 주로 앵글(angle)밸브 또는 정지밸브가 많이 이용되고 있다. 혼입기는 관로내에 약제, 액비 등을 주입하여 살포시설을 다목적으로 이용하고 재배관리작업의 생력화를 도모하는 장치로, 유량비례방식, 차압이용방식, 정유량밸브방식 등이 있고, 대상면적이나 유량에 따라 적용방식을 선정할 필요가 있다. 말단관개조직에서는 벤추리관의 원리를 응용한 소형의 이동식 혼입기가 많이 사용되고 있다. 살포기구를 사용하여 농약이나 액비를 살포하기 위해서는 작물에 약해를 입히지 않고 살포의 목적을 달성할 수 있는 준비와 대책이 필요하다. 약액은 희석배율이 정확하지 않고 밭 전체에 균일하게 살포되지 않으면 효과가 낮아질 뿐만 아니라, 경우에 따라서는 약해로 작물이 낙엽 또는 고사하거나 수량 또는 품질에 나쁜 영향을 준다. 혼입기의 선정에 있어서는 성능 및 부품의 재질도 검토해야 한다. 양수계에는 차압식, 면적식, 전자식, 초음파식, 회전날개식 등이 있으나, 말단시설에 사용되는 것은 정밀도, 가격, 보전 등의 면에서 보아 회전날개식이 많이 이용된다. 회전날개식은 유수의 힘에 의하여 날개가 회전하여 유량을 표시기록하는 것으로 관의 지름은 13~900mm, 정밀도는 $\pm 4\%$ 정도이다.

살포기구가 적절하게 선정되었다 하더라도 그 배치가 불량하면 효과를 충분히 발휘할 수 없다. 장치화된 밭관개시설에서 배치의 결함은 항상 어느 고정된 위치에서 일어나며, 그것이 시간이 흐름에 따라 누적되어 가는 성격을 가지기 때문에 위험하다. 배치계획은 안전을 고려하여 신중하게 결정해야 한다.

밸브의 배치밀도는 살포블록의 규모, 조작성 및 유지관리면을 고려하여 정한다. 더우기 작업기계에 장애가 되거나 파손을 일으키지 않게 하기 위해서, 포장내에 배치하는 것은 될 수 있는 한 피해야 하며 급수전 등은 피트(pit)로 보호하는 것이 좋다.

스프링클러관개의 손실은 살포되는 물방울의 비산, 증발, 엽면부착에 의한 것과 살수

분포의 불균일성에 의한 것으로 구분된다. 살수분포의 불균일성에 의한 손실은 살포효율로 표시되며, 포장내의 전체손실을 감안한 것을 적용효율이라 한다. 스프링클러와 살포기의 배치가 이상적인 것이라 할지라도 완전히 균등한 살수분포가 되게 하는 것은 거의 불가능한 일이다. 살포량이 적은 곳에 소요관개(所要灌溉)를 할 경우, 많은 곳에서는 과잉관개가 되고 유효토층 밖으로 무효침투손실이 된다. 즉 살수분포의 불균일성에 의하여 손실수량이 생기며 이들의 관계는 다음과 같은 살포효율(E_p)로 표시된다.

$$E_p = \frac{h_m}{h_a} \times 100 (\%)$$

여기서 h_a : 평균살포수심 (지표면에 도달한 수량의 평균치)

h_m : 최소살포수심 (전체측정개수의 25%에 상당한 개수를 측정치가 작은 값부터 집계하여 구한 평균치)

살포효율은 적용효율을 결정하는 기초가 될 뿐만 아니라, 사용기종의 선정이나 배치 등을 결정하는 근거로도 이용된다. 살포효율은 실제로 풍속, 풍향, 살포기의 배치, 경사지에서 라이저관을 세우는 방법, 지형 등에 따라서 달라지지만, 사용기종이나 배치 등의 계획에 있어서는 효율이 60% 이상으로 되게 해야 한다.

그러나 일반적으로 하층토는 비교적 습윤되어 있기 때문에 살포된 물은 지중으로 침투한 후에 토양수분의 평형화작용에 의하여 평균화된다. 또한 살포량의 불균일성이 어느 정도 남아있어도 작물생육에는 큰 영향이 없으며, 이러한 불균일성은 대개 총신속유효수분량 이상의 경우에 의하여 없어진다는 사실이 밝혀져 있다. 따라서 적용효율을 결정할 때는 살포효율을 85% 정도로 해도 무방하다.

대체적으로 살펴볼 때는 살포직경으로부터 추정할 수도 있다. 즉 보급관개의 경우는 스프링클러 및 지간(支間)의 간격을 살포직경의 0.55~0.60배로 하며, 방제의 경우는 이 값을 0.50배 정도로 한다. 단 관개기간중 일정방향의 계절풍 및 경사 등에 대하여 충분히 고려해야 하며, 방제의 경우에는 약액의 작물체에 대한 직접 부착상황을 조사하여 참고로 하는 것이 좋다.

이 밖에도 살포분포의 균등성을 평가하는 방법으로서 균등계수(C_u)가 널리 사용되고 있으며 살포효율과의 환산식도 도출되어 있다.

$$C_u = \left(1 - \frac{\sum |h_a - h_d|}{h_a \cdot n} \right) \times 100$$

여기서 h_a : 평균살포수심

h_d : 살포수심의 각 측정치

n : 측정수

$$E_p = 1.59 C_u - 59$$

여기서 E_p : 살포효율

(표 2-1) 배치간격에 미치는 바람의 영향

평균풍속(m/sec)	배치간격(살포직경비)(%)
0	65
~2.5	60
2.5~5.0	50
5.0~	30

노즐에서 분사된 물방울은 지표면에 도달할 때까지 증발, 비산, 엽면차단 등에 의하여 약간의 수량이 손실되기 때문에, 이들을 손실수량으로 하여 계산해야 한다. 살포효율에 이와 같은 손실수량을 고려하여 계산한 것을 적용효율이라 하고 다음과 같이 표시한다.

$$E_a = E_p - E_r$$

$$E_r = \frac{h_r}{h_n} \times 100$$

여기서 E_a : 적용효율

E_p : 살포효율

E_r : 엽면차단, 증발, 비산 등에 의한 손실을

h_r : 엽면차단, 증발, 비산 등에 의한 손실수량

h_n : 스프링클러 노즐에서 분사되는 배출수량

E_r 의 값은 보통 5%로 하기 때문에 살포효율을 85%로 계획하면 적용효율은 80%가 된다. 평탄지에서 비교적 바람이 없는 날이 많은 곳에서는 10% 정도 높은 적용효율을 채택하는 것이 바람직하다. 사용할 스프링클러의 노즐구경, 압력 및 배치간격이 결정되면 다음 식에 의하여 관개강도를 계산한다.

$$h = \frac{60 \cdot Q}{D_n \cdot D_t}$$

여기서 h : 관개강도 (mm/hr)

Q : 스프링클러 배출량 (ℓ /min)

D_n : 살포기의 간격 (m)

D_t : 살포지간의 간격 (m)

보급관개에 있어서 살포기의 배치간격은 관개강도가 허용한계치를 넘지 않도록 정해야 한다. 허용관개강도는 경사지에서는 측정된 기본침투율의 1/5, 평탄지에서는 1/3 정도를 기준으로 한다. 보통의 토양에서는 일반적으로 [표 2-1]에 표시한 값을 기준으로 한다. 또한 관개강도를 결정할 때, 경사지의 경우 토양침식이나 유출에 의한 살수분포의 불균일화 등을 방지하기 위해 토양형, 경사도, 식생상태 등의 토지조건을 고려할 필요가 있다. 이 밖에 영농계획상 가장 효율적인 관개작업계획을 감안하여 소정의 살포가 원하는 시간에 끝날 수 있도록 관개강도를 계획한다.

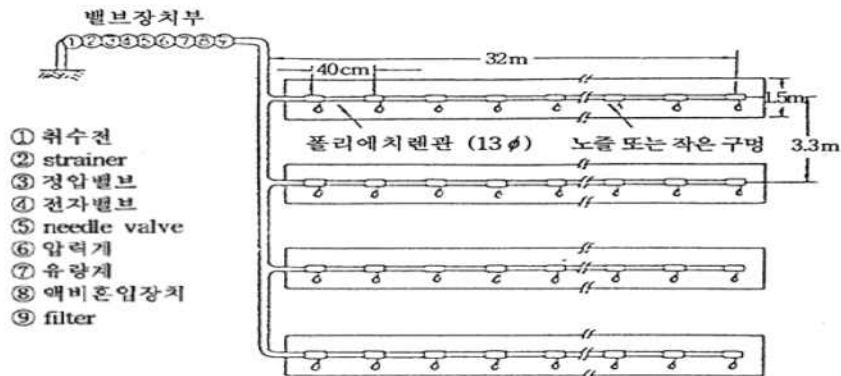
(표 2-2) 토양별 허용관개강도

토 양	허용관개강도 (mm/hr)	
	평 탄 지	경 사 지
사 질 토	30	20
양 토	15	10
점 질 토	10	7

2) 점적관개

점적관개법은 압력수를 특수한 기구로 감압하여 소량의 물방울을 가지고 장시간 연속해서 작물의 뿌리근처에 집중적으로 관개하는 방식이다. 그 특징으로서는 작물의 뿌리근처에만 부분관개하기 때문에 절수효과가 크고 또한 관개의 적용효율이 높으며, 바람에 의한 물의 비산손실이 없고 멀칭아래 관개가 가능하며, 관개시간이 길기 때문에 염류집적을 가져오는 경우가 적고, 시비가 균등하게 되는 동시에 생력적으로 할 수 있다는 점 등이 있다.

이 방식에서는 노즐로 부터의 유량이 적기 때문에 말단급수관내의 유속이 작고 또한 마찰손실수두가 작으므로, 시설원에 뿐만 아니라 대구획포장에 대해서도 균등한 급수가 가능하다. 수압과 노즐유량과의 관계가 명확해지면 압력계에 의하여 미조압(微調壓)밸브의 개폐만으로 조작이 가능하고 자동화하기 쉽다. 감압방식에는 나사모양의 소단면유로를 통과시키는 것, 내측에 작은 구멍을 가진 송수부분이 있는 이중튜브방식 등 여러 가지가 있다. 관개조직에는 소구경의 플라스틱 튜브를 사용하여 일정한 간격으로 노즐을 붙인다. 점적관개조직의 한 예를 도시하면 아래와 같다. 밸브장치부의 각 기구는 필요에 따라서 적당하게 조합하여 설치한다.



<그림 2-2> 점적관개 말단급수조직의 예

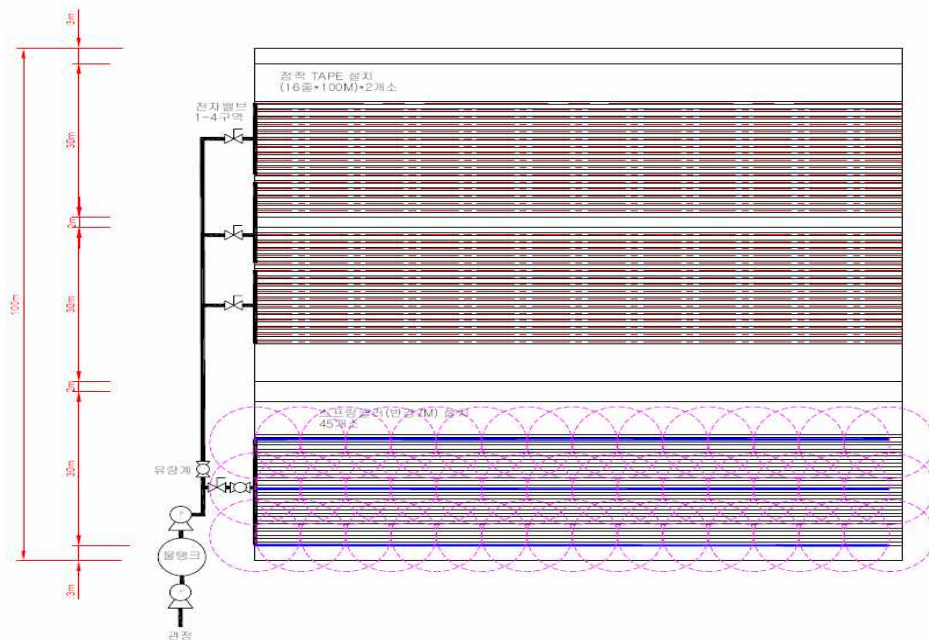
나. 포장 내 관개 조직 구상

1) 관개 조직

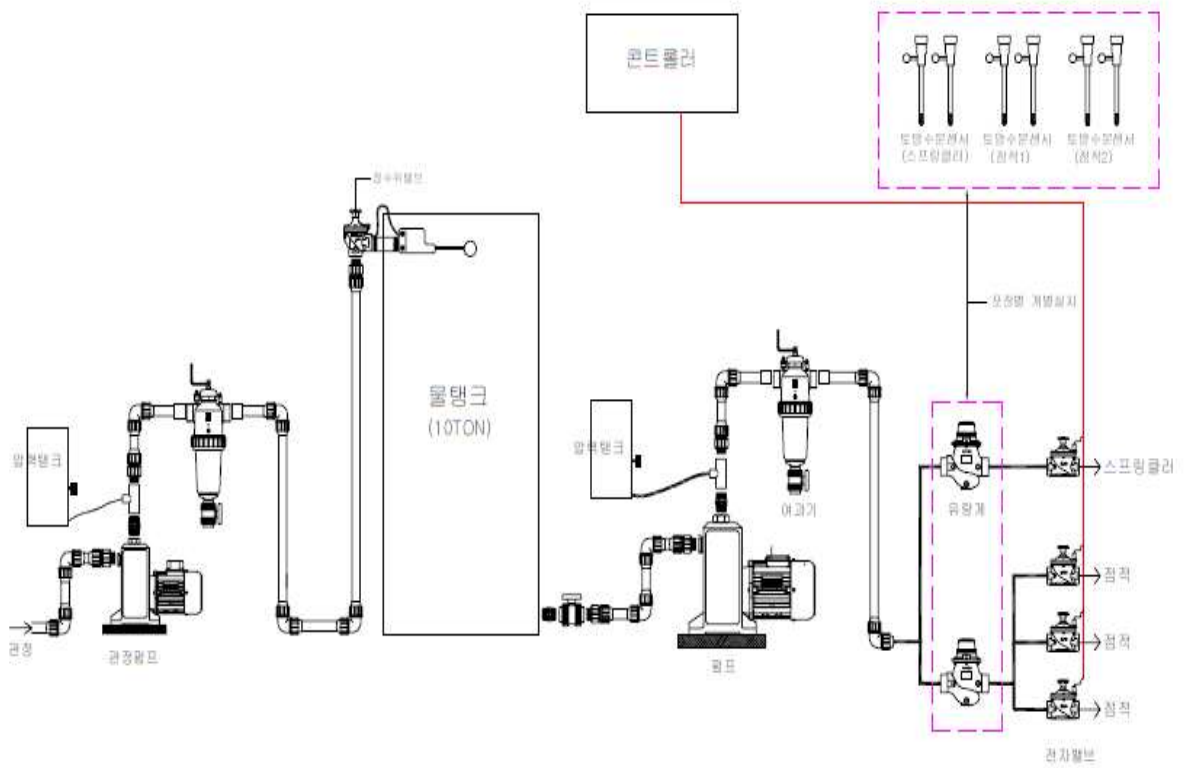
앞서 검토한 바와 같이 간척지 시험포장 발작물 관개 방식은 스프링클러관개, 점적관개, 지표관개, 지하관개 중 말단의 시설비, 유지관리, 입지조건, 영농조건, 수리상황 등을 고려하여 스프링클러관개와 점적관개를 선정하였다. 용수, 전기, 접근성 등을 고려하여 선정된 시험부지에 현장에서의 용수공급, 전기공급 방안을 검토하여 화옹시험포는 인근 하천에서 용수를 공급하고 석문시험포는 수로에서 직접 취수하며, 새만금시험포는 인근 저류지에서 수로관을 연결하여 용수를 공급하는 것으로 계획이 되었다. 이에 따라 점적관개, 스프링클러관개방식에 대한 적정포장유입량의 결정, 관개효율, 급수조직, 급수시설, 시설 설치비 등을 고려하여 시험포를 구상하였다.

2) 관개방식에 따른 설계

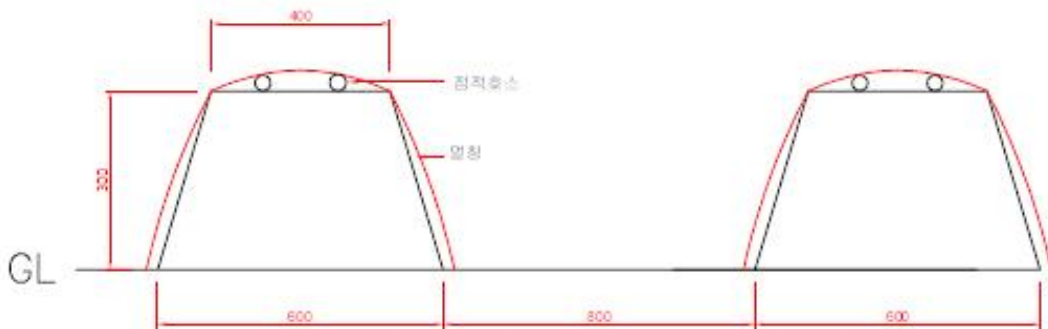
점적관개는 포장 멀칭을 실시하는 구간과 실시하지 않는 비멀칭 구간으로 나누어 설치를 하며, 스프링클러 관개는 멀칭을 실시하면 살포수의 지표면 흡수가 이루어지지 않기 때문에 비멀칭 구간에만 설치한다. 점적 호스는 30m 폭의 멀칭 또는 비멀칭 구간에 100m길이로 각 16줄을 설치한다. 스프링클러는 관개효율을 70% 이상 확보하기 위하여 30m구간에 3줄을 배치하여 100m 길이의 1줄 당 15개소를 설치한다. 말단살포밸브로서 전자밸브를 설치하여 시험 포장구역별로 순차적으로 관개할 수 있도록 하였으며, 스프링클러는 시험포 포장 규격내 충분한 살포를 위해 전원식을 배치하였다. 시험포장에 공급할 용수는 인근 저류지 또는 배수로에서 1차로 펌프로 양수하여 저류탱크에 저장하는 것으로 계획했다. 2차적으로 저류탱크의 용수를 펌프 및 여과기를 거쳐 스프링클러와 점적호스로 공급하되, 한꺼번에 전체 포장을 공급하기보다는 유량계를 설치하여 포장별로 공급이 가능하도록 계획하였다.



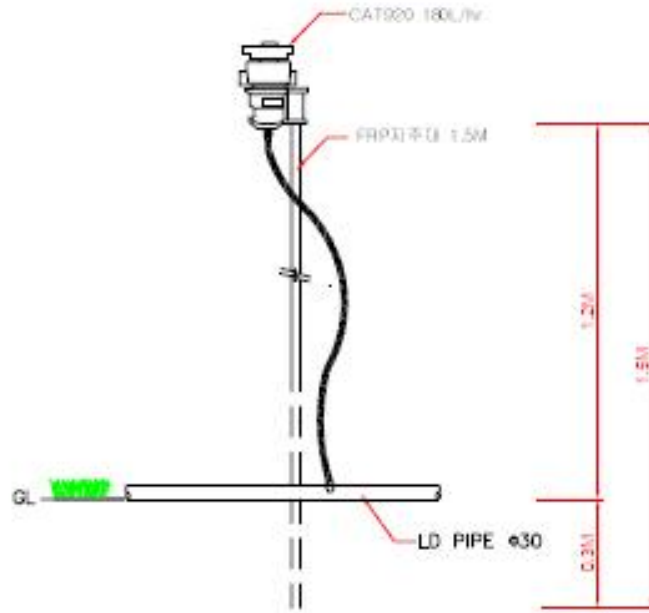
<그림 2-3> 시험포 관개시스템 설치 평면도



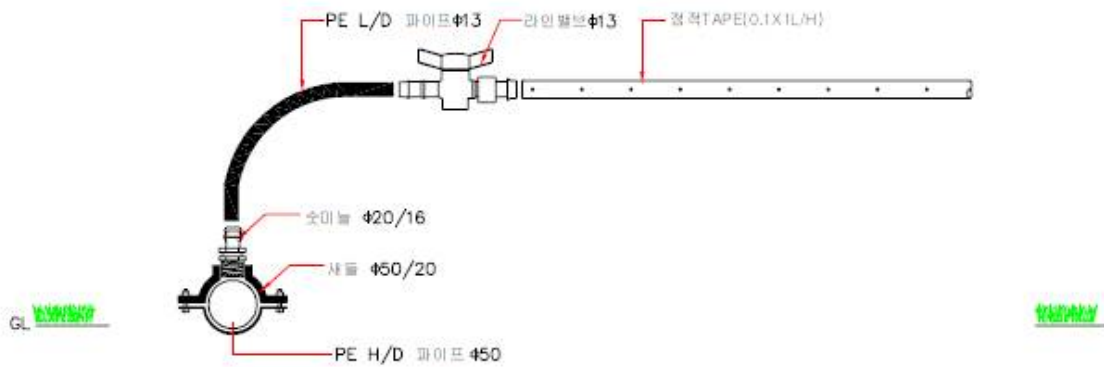
<그림 2-4> 시험포 관개시스템 설치 개념도



<그림 2-5> 시험포 점적호스 및 멀칭 설치단면도



<그림 2-6> 시험포 스프링클러 설치 상세도



<그림 2-7> 시험포 점적호스 연결 상세도

다. 간척지 관개시스템 시험포 설치

1) 시험포 개요

간척지 밭농업 실증 시험포 조성은 북부, 중부, 남부의 3개 권역을 대표할 수 있는 지역으로 화옹(북부), 석문(중부), 새만금(남부) 간척지를 선정하였다. 간척지 내 시험포 위치는 우선 화옹 시험포는 고염도를 나타내는 8공구 지역, 석문은 중염도 지역으로써 석문1 단지에 위치하고 있다. 새만금은 저염도 지역으로 제1협동기관인 전북대 첨단시험포 내 부지에 선정하였다.



<화옹지구>



<석문지구>



<새만금지구>

<그림 2-8> 화옹(북부), 석문(중부), 새만금(남부) 간척지를 대상으로 적정 지역 선정

2) 시험포 조성 및 관수 처리구 세부계획

시험포장은 2018년 4월부터 5월에 걸쳐서 조성하였다. 시험포장 규모는 총3ha(1a/지구, 3지구)로 조성 하였다. 시험포는 접근성이 용이하고 모니터링에 적합한 구역에 위치하고 있다. 용수, 전기, 접근성 등을 고려하여 선정한 시험부지에 현장에서의 용수공급, 전기공급 방안을 검토하여 화옹시험포는 인근 하천에서 용수를 공급하고 석문시험포는 수로에서 직접 취수하며, 새만금시험포는 인근 저류지에서 수로관을 연결하여 용수를 공급하는 것으로 계획이 되었다. 또한 점적관개, 스프링관개방식에 대한 적정포장유입량의 결정, 관개효율, 급수시설, 시설 설치비 등을 고려하여 시험포를 구상하였다.



<그림 2-9> 권역별 간척지 내 시험포 위치도

라. 기반시설 세부내용

주요기반시설로는 암거배수 시설, 토양계측시설(염분, 수분계 등), 관수시설로 구성되어 시험포 조성 시 3개 지구에 동일하게 설치하여 시험포 운영 및 성과 분석을 실시할 수 있도록 하였다.

1) 암거배수시설

암거배수시설은 간척지 토양의 염류제거를 위해 현지여건과의 부합성, 효율성, 경제성 등을 분석하여 무굴착암거(50mm유공관 + 필터매트 B50cm)로 시공되어 있으며, 암거배수 깊이 따른 작물 재배 특성을 비교하기 위해 각 시험포마다 동일하게 세 구역(무처리 구간, 5m 간격, 10m 간격)으로 나누어 암거가 매설되어 있다.

(표 2-3) 암거배수 구역

구분	시공 방법
암거배수 A구역	5m 간격
암거배수 B구역	10m 간격
암거배수 C구역	무처리 구간

2) 관수시설 설치

화용, 석문, 새만금 3지구 시험포에 설치된 관수시설 자재들의 제원은 크게 관정과 급수를 위한 펌프시설, 점적관개를 위한 관수시설로 설치되었다.

(표 2-4) 펌프 및 관수시설 자재 제원

구분		제원
펌프시설		관정 PU-951M 급수 PU-1700M PE 물탱크 (10톤)
관수시설	점적관수	주관 : PE H/D 50mm 파이프 지관 : 16mm(점적TAPE(1.0L/hr*0.1m) 전자밸브(50mm)
	스프링클러관수	주관 : PE H/D 50mm 파이프 부관 : PE H/D 30mm 파이프 스프링클러 반경 7.0m 노지용 스프링클러 180L/H PE전자밸브(50mm)



<10ton 탱크>



<점적관수>



<스프링클러 관수>

<그림 2-10> 펌프 및 관수시설

현재 각 지구의 시험포의 경우 원활한 전기시설이 갖추어지지 않고 있어 각 지구별로 PE 물탱크(10ton)와 인접한 곳에 현지 여건에 적합한 보호함과 기계실(펌프, 여과기, 압력탱크)과 발전기를 설치하였다. 또한 간척지의 효율적 관개를 위해 관수 컨트롤러 및 펌프 패널을 설치하여 자동관수시스템을 구현할 수 있도록 하였다.



<기계실 설치>



<발전기 설치>



<관수 컨트롤러 및 펌프 패널 설치>



<그림 2-11> 관정과 급수를 위한 설치

2차년 시험 영농 시 토양유실의 문제가 발생하여 3차년부터는 시험포장 처리구의 현장 여건을 고려하여 점적관개 및 포장 멀칭을 실시하였고, 각 시험포의 토성에 적합한 점적호스 설치간격을 설정하였다.

(표 2-5) 토성에 따른 점적호스 설치간격

구분	점적호스 설치간격
인공토 및 사질토	20 ~ 30cm
사양토	30 ~ 50cm
점질토	40 ~ 70cm

관개는 전자밸브를 설치하여 시험 포장구역별로 순차적으로 관개할 수 있도록 하였으며, 정확한 유량을 측정을 할 수 있도록 각 시험구별 유량계를 설치하였다.



유량계



전자밸브

<그림 2-12> 유량계 및 전자밸브 설치

3구역(화흥, 석문, 새만금 간척지)의 현장 여건에 따라 물탱크 및 기계실의 위치는 상이하나 암거배수 구역 및 관개구역은 동일하게 설정하였다. <그림 2-13>은 관개시스템 설치와 멀칭 작업 완료 후 항공사진이다.



화용간척지 시험포



석문간척지 시험포



새만금간척지 시험포

<그림 2-13> 설치완료 후 항공사진

마. 관개처리구별 검증

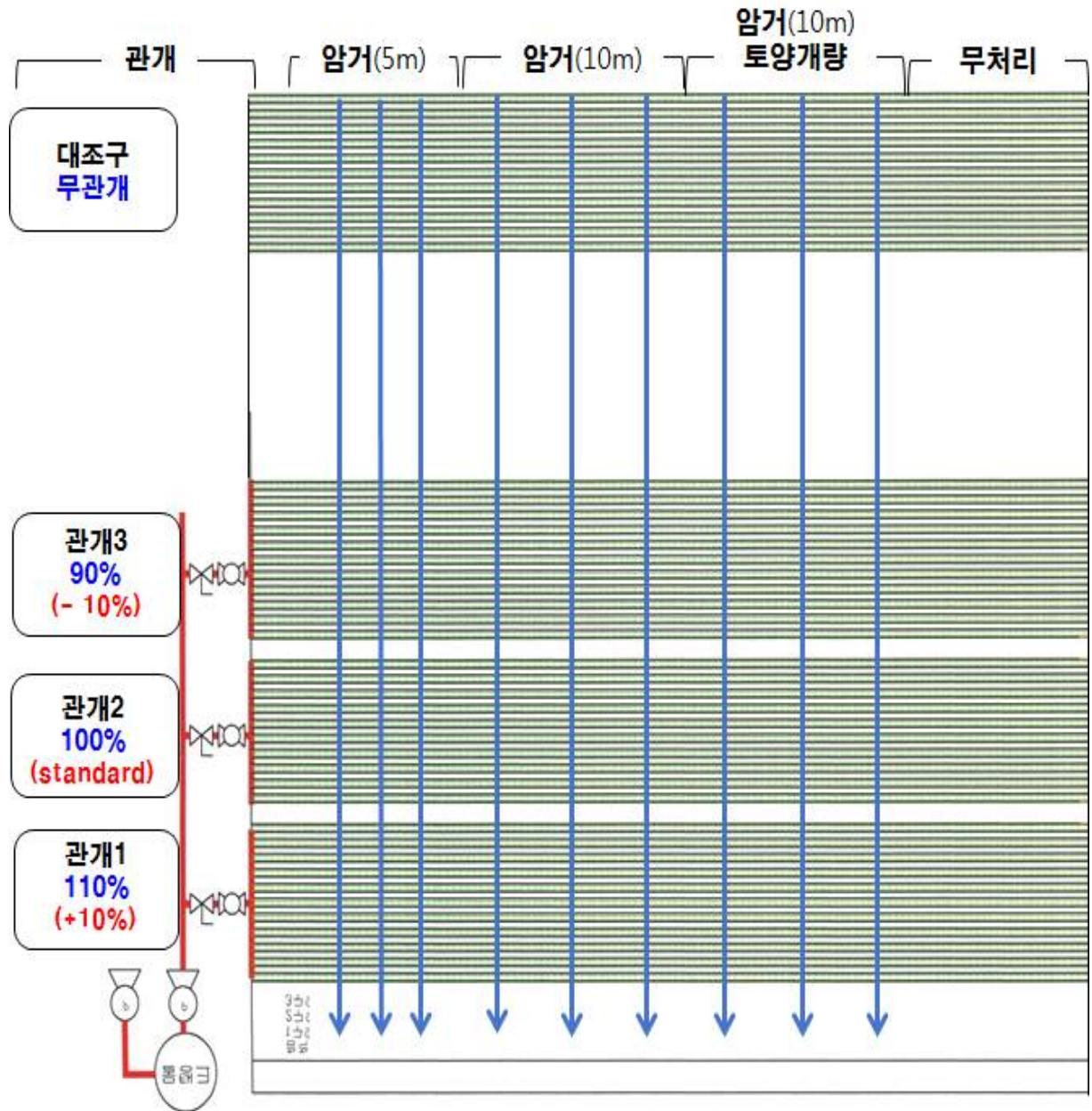
관개방법에 따른 효과검증은 2차년도 결과를 통해 간척지에서는 살수관개 보다는 점적관개가 제염효율이 더 높고 작물 생육 또한 좋은 것으로 확인 되었다. 살수관개는 강우와 같이 넓은 면적을 균등하게 물을 살포하여 표토제염효과에는 양호하나 지표유출로 인해 제염효율이 낮은 단점을 갖고 있다. 그에 반해 점적관개는 근권부위에 균일한 수분공급이 이루어져 토양수분을 높게 유지시키므로 염해를 경감할 수 있을 것으로 판단되어 진다.

또한 관개처리구별 제염정도가 1-2dS/m 정도의 미비한 차이를 보여 제염정도에 있어서는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 이는 멀칭에 의한 수분유지를 통해 작토층에 염분집적을 억제하는 효과가 더해진 결과로 판단되었다. 멀칭을 설치하면 두둑내 수분 증발율이 크게 낮아져 수분유지가 지속되면 수분이 지표면과 멀칭 사이에서 순환하면서 지표면의 염분용탈 두드러지게 나타나 염분의 토양 집적을 방지해 준다. 1년간 플라스틱 멀칭법을 실시한 토양의 작토층은 염분농도가 약 53~89% 감소되었고, 0.2~0.4% 토양에서 작토층 염분이 27.2% 제거되었다고 보고되고 있다.

따라서, 관개방식은 존 연구결과를 바탕으로 설정된 설계 기준에 의거 전 시험포에 멀칭을 실시하였고 관개방식은 점적관개 단일방법으로 시험하였다. 시험구는 말단살포밸브로서 전자밸브를 설치하여 관개 개시점에 따라 시험 포장구역별로 순차적으로 관개할 수 있도록 구성하였다. 점적관개 시험구 조성은 관개 개시점에 따라 세 가지 처리구(50, 40, 30kPa)로 세분화 하였고, 대조구인 무관수로 구성 하였다.

(표 2-6) 관개 처리구 세부내용

구분	내용	압력
관개 1구역	점적+멀칭 점적+비멀칭	30kPa
관개 2구역	점적+멀칭 점적+비멀칭	40kPa
관개 3구역	점적+멀칭 점적+비멀칭	50kPa
관개 4구역	스프링클러+멀칭(17년) 무관수(18~20년)	30kPa -



<그림 2-14> 시험포 관개시스템 설치 평면도

1) 간척농지 필요수량 산정을 위한 토양수분특성 변화

간척지 토성별 필요수량 산정을 위해 토양수분장력계를 활용한 토양의 수분 공급량에 따른 함수율의 변화 실험을 실시하였다. 각 간척지 토양별로 토양심도 0~10cm, 10~20cm에 따라 지속적으로 용수공급을 실시하였다. 용수공급에 따라 토양 용적수분함량, 매트릭포텐셜 및 토양수분장력 등 토양수분특성 변화를 분석하였다. 분석결과는 아래 표에서 보는 바와 같다.

(표 2-7) 화옹 간척지 토양의 용수공급에 따른 토양수분특성 변화

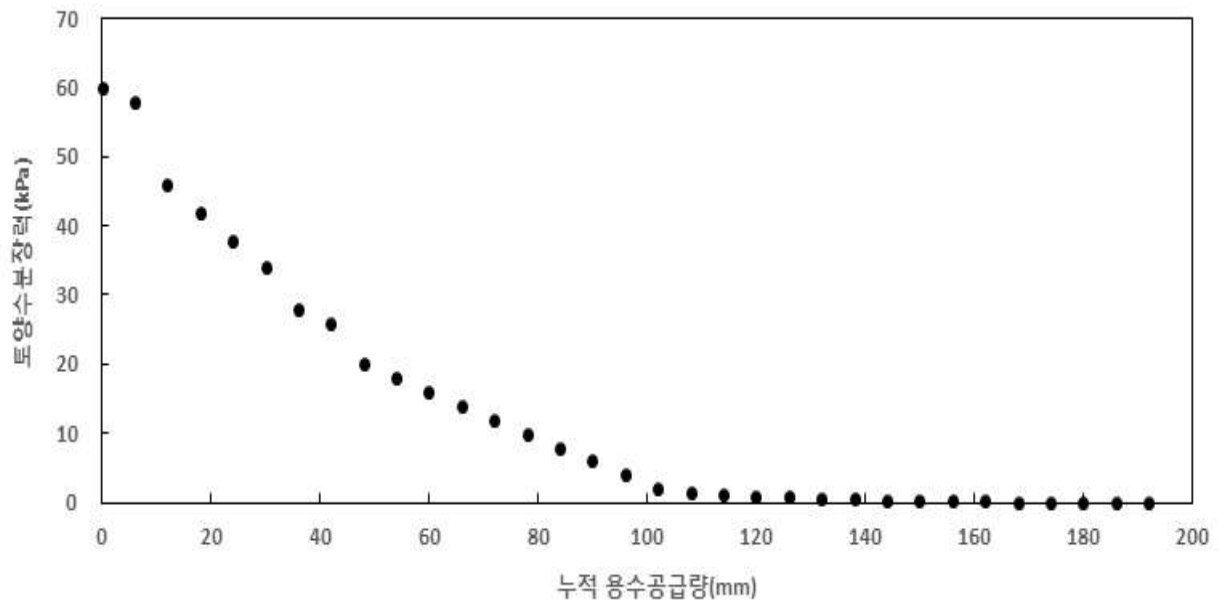
구 분	누적 용수 공급량 (mm)	토양심도 0~10cm			토양심도 10~20cm		
		용적 수분 함량 (%)	매트릭 포텐셜 (cm)	토양 수분 장력 (kPa)	용적 수분 함량 (%)	매트릭 포텐셜 (cm)	토양 수분 장력 (kPa)
화옹 간척지 토양 (SiCL)	0	5.1	-600.0	60	4.7	-600.0	60
	6	5.3	-580.0	58	5.0	-600.0	60
	12	5.8	-460.0	46	5.5	-580.0	58
	18	5.9	-420.0	42	5.8	-570.0	57
	24	6.3	-380.0	38	6.0	-550.0	55
	30	7.5	-340.0	34	6.5	-530.0	53
	36	8.2	-280.0	28	7.2	-510.0	51
	42	9.4	-260.0	26	8.1	-500.0	50
	48	12.1	-200.0	20	9.3	-480.0	48
	54	15.6	-180.0	18	11.7	-460.0	46
	60	21.4	-160.0	16	14.4	-440.0	44
	66	24.4	-140.0	14	18.9	-400.0	40
	72	24.4	-120.0	12	23.1	-360.0	36
	78	24.3	-100.0	10	26.2	-300.0	30
	84	25.9	-80.0	8	30.8	-260.0	26
	90	29.4	-60.0	6	32.6	-220.0	22
	96	31.9	-40.0	4	35.1	-200.0	20
	102	32.1	-20.0	2	34.8	-180.0	18
	108	32.4	-16.0	2	34.5	-160.0	16
	114	34.2	-12.0	1	37.7	-140.0	14
	120	34.3	-9.0	1	37.5	-120.0	12
	126	36.3	-8.0	1	40.1	-100.0	10
	132	38.0	-7.0	1	42.5	-80.0	8
	138	39.8	-5.0	1	44.4	-60.0	6
144	41.8	-4.0	0	44.4	-40.0	4	
150	43.1	-3.0	0	44.5	-20.0	2	
156	44.0	-2.8	0	45.7	-16.0	2	
162	44.9	-1.5	0	46.3	-12.0	1	
168	46.0	-1.0	0	47.4	-9.0	1	
174	46.3	-1.0	0	48.2	-5.0	1	
180	46.4	-1.0	0	48.5	-3.0	0	
186	46.6	-1.0	0	48.6	-1.5	0	
192	47.0	-1.0	0	49.0	-1.0	0	

(표 2-8) 새만금 간척지 토양의 용수공급에 따른 토양수분특성 변화

구 분	누적 용수 공급량 (mm)	토양심도 0~10cm			토양심도 10~20cm		
		용적 수분 함량 (%)	매트릭 포텐셜 (cm)	토양수 분 장력 (kPa)	용적 수분 함량 (%)	매트릭 포텐셜 (cm)	토양 수분 장력 (kPa)
새만금 간척지 토양 (SL)	0	14.1	-600.0	60	14.0	-600.0	60
	6	14.4	-500.0	60	14.2	-540.0	60
	12	15.1	-420.0	50	14.8	-500.0	54
	18	15.6	-340.0	42	15.2	-460.0	50
	24	16.5	-300.0	34	15.8	-420.0	46
	30	17.8	-200.0	30	16.8	-370.0	42
	36	19.0	-160.0	20	17.8	-340.0	37
	42	21.5	-100.0	16	18.8	-300.0	34
	48	24.3	-60.0	10	22.6	-260.0	30
	54	29.5	-40.0	6	29.1	-200.0	26
	60	36.2	-30.0	4	33.4	-180.0	20
	66	38.8	-25.0	3	36.5	-100.0	18
	72	40.5	-20.0	3	38.5	-60.0	10
	78	42.5	-15.0	2	40.1	-40.0	6
	84	44.5	-12.5	2	42.5	-20.0	4
	90	45.8	-9.0	1	44.4	-15.0	2
	96	46.5	-8.0	1	45.3	-13.0	2
	102	48.2	-7.0	1	46.3	-9.0	1
	108	49.2	-5.5	1	47.2	-8.0	1
	114	50.3	-3.0	1	47.5	-7.0	1
	120	51.5	-3.0	0	48.9	-6.0	1
126	52.2	-2.0	0	49.6	-3.0	1	
132	53.2	-1.5	0	51.3	-2.8	0	
138	53.4	-1.0	0	53.4	-2.0	0	
144	54.2	-1.0	0	56.2	-2.0	0	
150	54.2	-1.0	0	58.6	-1.0	0	
156	54.1	-1.0	0	58.5	-1.0	0	
162	53.8	-1.0	0	58.4	-1.0	0	

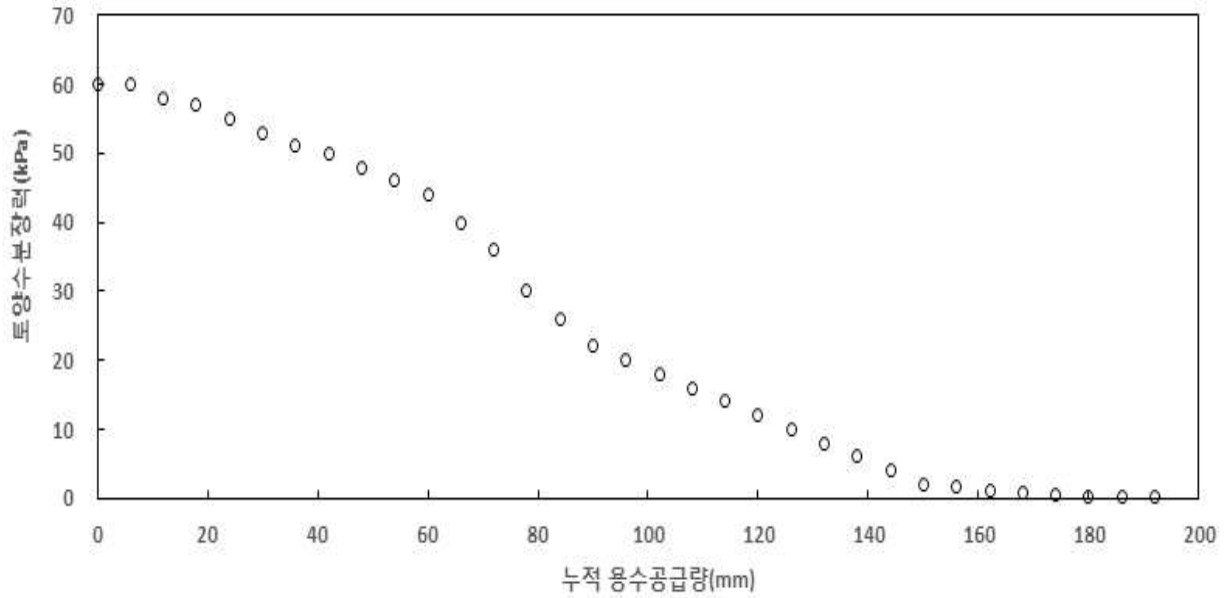
2) 간척지 토양의 용수공급에 따른 토양수분장력

화옹 간척지 토양의 심도 0~10cm에서 누적 용수공급에 따른 토양수분장력 변화는 <그림 2-15>와 같이 분석되었다. 화옹 간척지 토양에서는 누적 용수공급량이 30mm가 되었을 때, 포장용수량 상태의 토양 수분장력 34kPa에 도달하였다. 누적 용수공급량 144mm가 되었을 때, 최대용수량 상태로 변화하였고, 용수공급량 144mm 이상 공급 시 0kPa을 유지하였다.



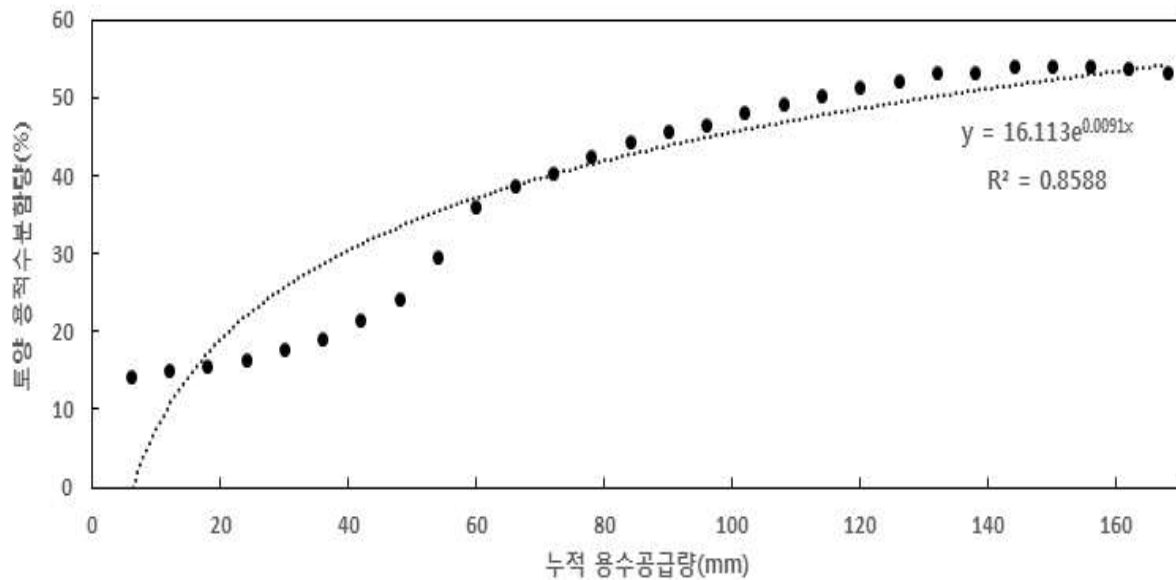
<그림 2-15> 화옹 간척지 토양의 용수공급에 따른 토양수분장력(0~10cm)

<그림 2-16>은 화옹 간척지 토양의 심도 10~20cm에서 누적 용수공급에 따른 토양 수분장력 변화를 나타낸 그래프 이다. 누적 용수공급량 72mm가 되었을 때, 토양 수분장력이 36kPa로 분석되었으며, 78mm가 되었을 때 30kPa로 포장 용수량 상태에 도달하였다. 누적 용수공급량 180mm가 되었을 때, 최대용수량으로 변화하였고, 용수공급량 180mm 이상 공급시 0kPa을 유지하였다.



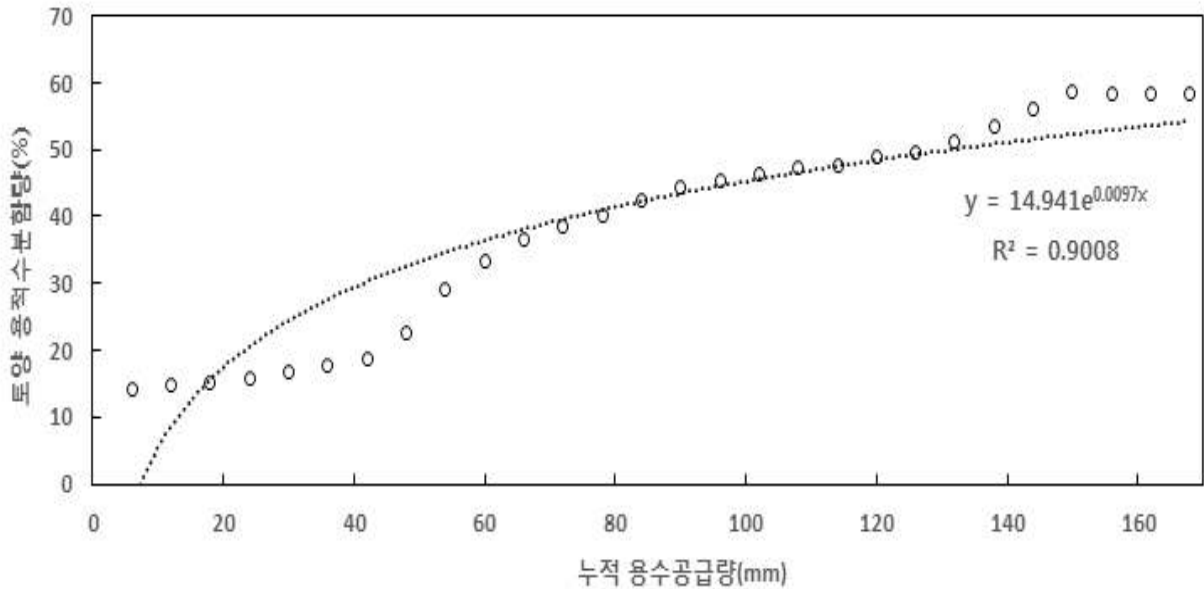
<그림 2-16> 화용 간척지 토양의 용수공급에 따른 토양수분장력(10~20cm)

새만금 간척지 토양의 심도 0~10cm의 누적 용수공급에 따른 용적수분함량 변화는 초기 용적수분함량은 14.1%를 나타내었고, 누적 용수공급량이 24mm에서는 16.5%, 54mm에서는 29.5%, 60mm에서는 36.2%, 마지막으로 120mm공급 시 용적수분함량은 51.5%를 나타냈다. 누적 용수공급량 132mm 이상부터는 용적수분함량이 변화하지 않고 54.2% 수준을 유지하였다.



<그림 2-17> 새만금 간척지 토양의 용수공급에 따른 용적수분함량(0~10cm)

토양의 심도 10~20cm의 누적 용수공급에 따른 용적수분함량 변화는 <그림 2-18>과 같이 나타났다. 토양심도 10~20cm의 초기 용적수분함량은 14.0%로 분석되었다. 누적 용수공급량이 42mm에서는 18.8%, 48mm에서는 22.6%로 분석되었으며, 60mm 공급 시 29.1%로 급격히 상승하였다. 누적 용수공급량 132mm에서는 51.3%, 누적 용수공급량 150mm부터는 용적수분함량 58.6%수준을 유지하였다.



<그림 2-18> 새만금 간척지 토양의 용수공급에 따른 용적수분함량(10~20cm)

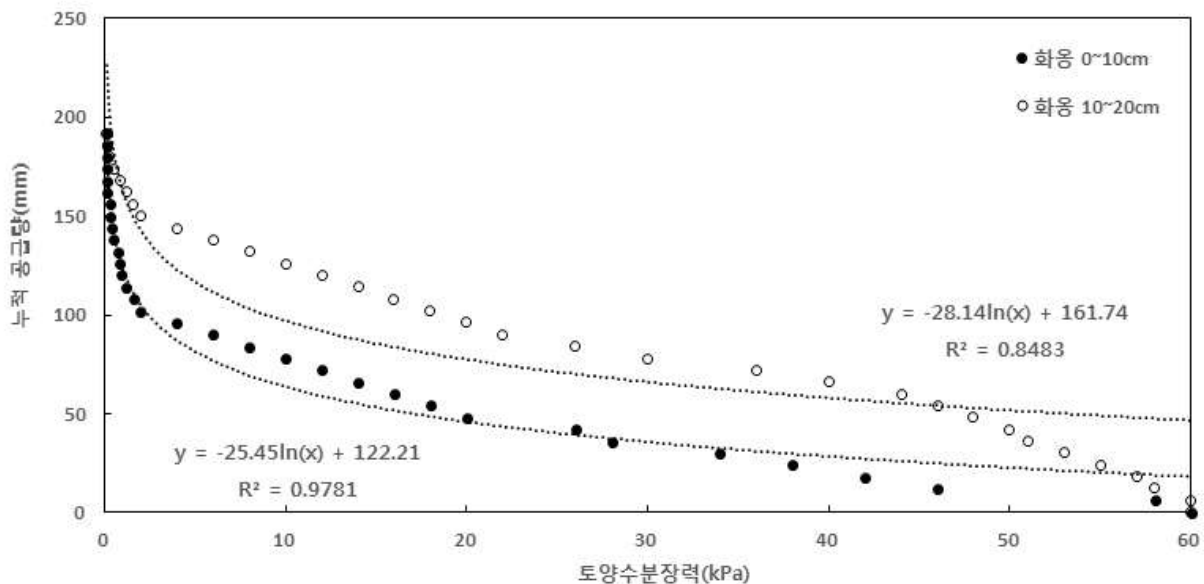
따라서, 토양수분장력과 토양 용적수분함량에 대해 분석한 결과, 새만금 간척지 토양은 토양심도 0~10cm에서 포장용수량(33kPa)은 토양 용적수분함량 19.7%, 최대용수량(0kPa)은 46.4%였고, 10~20cm에서 포장용수량은 토양 용적수분함량 21.6%, 최대용수량은 49.4%로 나타났다. 화옹 간척지 토양은 토양심도 0~10cm에서 포장용수량은 토양 용적수분함량 9.8%, 최대용수량은 38.5%였으며, 10~20cm에서 포장용수량은 토양 용적수분함량 16.8%, 최대용수량은 56.9%로 분석되었다.

나. 간척지 토양의 토양수분장력에 따른 용수공급량

간척지 토양의 용수공급에 따른 토양수분장력 변화의 결과에 대해 회귀 모형식을 산정하였다. 회귀모형은 (표 2-9)에서 보는 바와 같으며, 화옹 간척지 토양은 <그림 2-19>, 새만금 간척지 토양은 <그림 2-20>와 같이 나타났다. 회귀 모형식을 통해 목표 토양수분장력에 대한 필요 용수공급량에 대해 토양의 심도별로 구분하여 산정하였다.

(표 2-9) 간척지 토양의 토성별 토양수분장력에 따른 용수공급량 회귀 모형

구 분	심도 (cm)	회귀 모형식	R^2
새만금 간척지 토양 (SL)	0~10	$y = -22.62\ln(x) + 98.54$	0.986
	10~20	$y = -21.84\ln(x) + 111.39$	0.969
화옹 간척지 토양 (SiCL)	0~10	$y = -25.45\ln(x) + 122.21$	0.978
	10~20	$y = -28.14\ln(x) + 161.74$	0.848



<그림 2-19> 화옹 간척지 토양의 수분장력과 누적 용수공급량 회귀모형

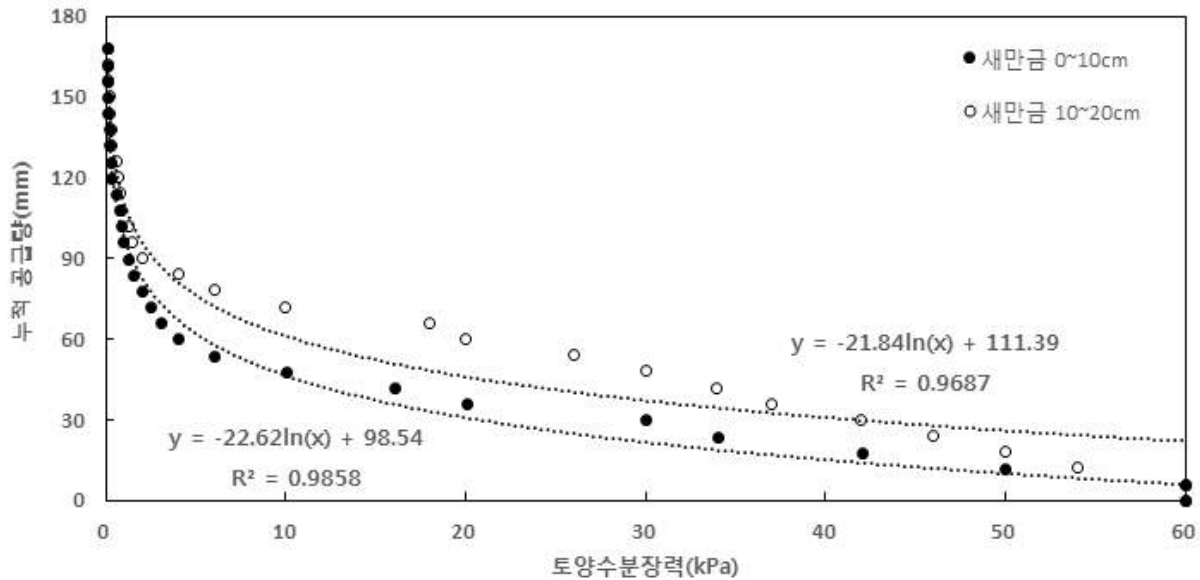
1) 화옹간척지 토양의 토양수분장력에 따른 필요수량

화옹 간척지 토양에 대하여 회귀 모형식을 통해 목표 토양수분장력에 따른 필요 용수공급량을 산정하면 (표 2-10)에 나타난 바와 같다. 토양의 심도 0~10cm에서 토양수분장력 10kPa에 도달하는데 필요한 용수공급량은 64mm, 포장용수량 33kPa까지는 33mm로 각각 분석되었다. 10~20cm에서는 토양수분장력 10kPa에 도달하는데 용수공급량 97mm, 포장용수량 33kPa까지는 63mm가 필요한 것으로 나타났다.

따라서, 포장용수량에 도달하는데 필요한 용수공급량은 점토를 많이 함유한 화옹 간척지 토양이 새만금 간척지 토양보다 심도 0~10cm, 10~20cm층에서 각각 1.71배, 1.81배 더 필요한 것으로 분석되었다.

(표 2-10) 화용 간척지 토양의 목표 토양수분장력에 따른 필요 필요수량

구 분	심도 (cm)	목표 토양수분장력(kPa)							
		10	20	30	33	35	40	50	60
화용 간척지 토양 (SiCL)	0~10	64	46	36	33	32	28	23	18
	10~20	97	77	66	63	62	58	52	47



<그림 2-20> 새만금 간척지 토양의 수분장력과 누적 용수공급량 회귀모형

2) 새만금간척지 토양의 토양수분장력에 따른 필요수량

새만금간척지 토양에 대하여 회귀 모형식을 통해 목표 토양수분장력에 따른 필요 용수공급량을 추정하여 산정하였다. (표 2-11)에서 보는 바와 같이 토양의 심도 0~10cm에서 토양수분장력 10kPa에 도달하는데 필요 용수공급량은 46mm, 포장용수량 33kPa까지 상승시키는데 필요한 용수공급량은 19mm로 각각 분석되었다. 10~20cm에서는 토양수분장력 10kPa에 도달하는데 필요 용수공급량이 61mm로 0~10cm보다 추가적으로 15mm가 더 필요한 것으로 나타났고, 포장용수량 33kPa까지 필요한 용수공급량은 35mm로 분석되었다. 따라서, 토양심도 10~20cm는 0~10cm 보다 목표 토양수분장력에 따른 추가적인 용수공급이 필요한 것으로 분석되었다.

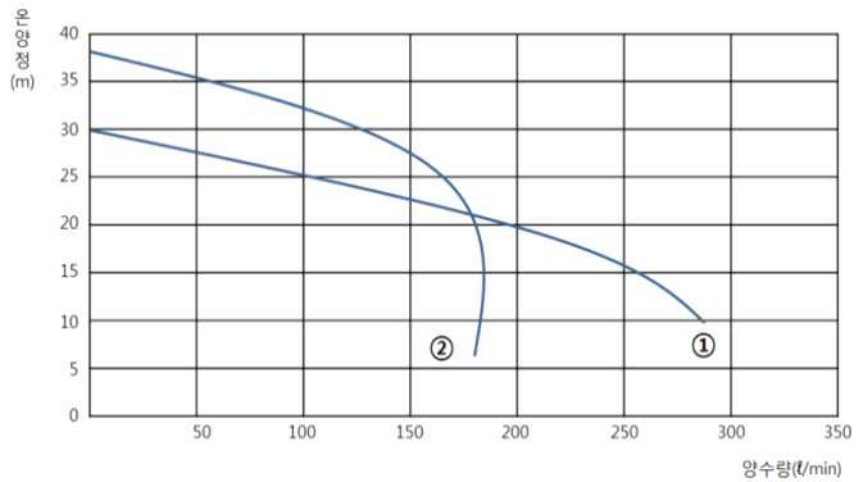
(표 2-11) 새만금 간척지 토양의 목표 수분장력에 따른 필요 필요수량

구 분	심도 (cm)	목표 토양수분장력(kPa)							
		10	20	30	33	35	40	50	60
새만금 간척지 토양 (SL)	0~10	46	31	22	19	18	15	10	6
	10~20	61	46	37	35	34	31	26	22

따라서, 간척지 토양의 목표 토양수분장력에 따른 필요 용수량은 화옹 간척지 토양은 포장용수량 33kPa까지 도달하는데 토양심도 0~10cm에서는 33mm, 10~20cm는 63mm로 산정되었다. 새만금 간척지 토양의 경우 포장용수량 33kPa까지 도달하는데 토양심도 0~10cm에서는 19mm, 10~20cm는 35mm로 분석되었다. 포장용수량에 도달하는데 필요한 용수공급량은 점토함량이 많은 화옹 간척지 토양이 새만금 간척지 토양보다 토양심도 0~10cm, 10~20cm에서 각각 1.71배, 1.81배로 나타났다.

3) 관수방법

탱크에서 관수시설로 물을 공급할 때는 압상이 큰 펌프를 사용하여야 하며, 관수시에는 물의 소요량만 계산하여 펌프를 결정하지 말고 압력보상에 적합한 관개시스템을 구성하도록 한다. 또한 펌프의 성능곡선을 보아 펌프능력을 결정해야 한다.



<그림 2-21> 펌프의 성능곡선

<그림2-21>의 성능곡선 ② 압력보상형 점적관수시 펌프에서 25m 압상으로 공급해야만 정상적으로 관수가 되므로 25m를 찾아 X축에 양수량을 보면 1분당 160ℓ가 되므로 시간당 9,600ℓ를 공급할 수 있다. 만약 ①펌프를 사용하면 압상 25m일 때에 양수량은 1분당 100ℓ로 시간당 6,000ℓ로 시간당 7,400ℓ를 공급해야 하는 관개시스템에는 적당하지 않다.

바. 간척지 자동 관수시설 매뉴얼

[관수자재]

1) 관수 콘트롤러

- (1) 관수시간에 의하여 조절 되어야한다.
- (2) 구역별 자동관수가 가능하여야한다.
- (3) 전자밸브(PE 전자밸브 50mm)는 AC 24V로 제어된다.

2) 펌프

- (1) 설치시 수평을 맞추어야 한다.
- (2) 펌프받침대를 설치한다.
- (3) 비가림장치를 설치한다.

3) PE 전자밸브

- (1) 안전을 위하여 AC24V를 사용하는 전자밸브를 사용한다.
- (2) 수압식 전자밸브를 설치한다.
- (3) 전선 연결 시 방수가 되어 누전이 되는 일이 없도록 한다.

4) 여과기

- (1) 스크린타입 반자동여과기 이어야한다.
- (2) 120mesh 정도를 사용한다.
- (3) 나사식으로 연결 한다
- (4) 여과기 지점에 볼밸브를 설치한다.

5) 정수위밸브

- (1) 물탱크 정수위 밸브를 부착하여 항상 일정한 수위를 유지한다.
- (2) 정수위밸브 앞에 여과기를 설치한다.

[물탱크]

- (1) PE 물탱크 10톤으로 한다.
- (2) 수위를 레벨 및 수압식 정수위 밸브를 설치한다.
- (3) 퇴수밸브를 설치한다.
- (4) 배관은 고착하여 움직이지 않도록 한다.

[주관 및 부관(PEL H/D 파이프 50, 30mm)]

PE H/D 파이프 KS규격 수도관 및 조임식 연결구는 KS규격품을 반드시 사용한다.

1) 배관작업

- (1) 시공전 자재의 균열, 기포, 도복면이 이상 유무를 확인한다.
- (2) 관의 운반시 파손되지 않도록 주의한다.
- (3) 관 및 밸브의 내부에 이물질이 없는 가 확인하고 밸브는 유체의 흐름 방향에 맞게 설치한다.
- (4) 후랜지식, 나사식은 연결시 무리한 힘을 가하지 않고 조립하고 용착식은 적절한 온도를 주어 배관이 변형, 뒤틀림, 기포 발생이 되지 않도록 한다.
- (5) 공사 중단 시에 관 끝에서 이물질이 들어가지 않도록 한다.
- (6) 퇴수밸브는 주관에서 가장 낮은 위치에 설치한다.
- (7) 주관 및 부관은 경사가 높은 곳에서 낮은 곳으로 설치한다.

2) 통수시험(시운전 전에 실시)

- (1) 펌프의 능력을 시험한 후 관말단의 공기밸브나 밸브를 열어 놓고 통수를 개시한다. 이때 펌프의 능력은 최대로 하면 위험하므로 물을 밀어 낼 정도로만 높인다.
- (2) 관로의 물이 채워지면 공기밸브 및 밸브를 막고 통수를 충분히 하여 관내부에 있는 오물을 세척한다.
- (3) 통수가 끝난 후에 압력을 높이면서 전체 관로를 순회하면서 누수나 기타 사고의 유무를 확인한다.
- (4) 시험 중에는 감시인을 두어 비상상황에 대처해야한다.

3) 퇴수밸브

- (1) 주배관 : 수위가 낮은 곳에 적당한 위치에 퇴수밸브를 두어 겨울에 관수하지 않을 경우 퇴수한다.

[지관(L/D 16mm)]

PE L/D 파이프는 건설화성 제품이나 LLD 파이프를 반듯이 사용한다.

- (1) 균일한 관수를 위하여 점적호스(1.0L/hr*0.1m)를 설치한다.
- (2) PE 새들(50*20)에서 L/D파이프 16mm 연결시 슛미늘 (20*16, 1P)은 누수 방지제품을 사용한다. 기타 16 mm 연결구를 사용한다.
- (3) 스프링클러를 사용할 경우는 CAT920(반경 7.0M, 180L/hr)을 사용한다.

[운용지침]

1) 관 수

- (1) 저수조(물탱크)의 수위를 채운다.
- (2) 퇴수밸브를 모두 닫는다.
- (3) 여과기를 닫는다.
- (5) 관수컨트롤러 설정한다
- (4) 관수한다.

2) 동절기 대책

(1) 일반대책

- (가) 보온이 되지 않는 장소는 퇴수시킨다. 주, 부관, 전자밸브, 여과기, 펌프, 물탱크
- (나) 퇴수를 11월 초순에 시킨다. 가능한 미리 퇴수를 시켜 배관이나 펌프, 여과기, 전자밸브 주위에 물이 건조되는 것이 좋다.
- (다) 액정으로 되어있는 회로나, 컨트롤러는 전원을 끄거나 건전지를 제거한다.

(2) 특별 대책

- (가) 펌프, 여과기, 전자밸브에 퇴수가 여부를 확인한다.
- (나) 컨트롤러의 전원을 OFF 한다.
- (다) 여과기 청소를 자주할 것 이며 특히 장마기에는 용수가 수질이 나빠서 유의 하
여야한다.

3) 재운용

- (1) 모든 배관이나 장치에 밸브를 닫고 물을 공급하고 정상적인 작동이 되도록 동절기 대책시 역순으로 작동시킨다.

- (2) 사용설명서에 준하여 장치 및 컨트롤러를 작동시킨다.
- (3) 일주일 정도 관수시설이 정상적으로 작동되는지 주의 깊게 관찰한다.

4) 일반관리

- (1) 압력게이지, 펌프작동여부, 컨트롤러, PE전자밸브, 정수위밸브 작동여부를 7-15일마다 확인 할 것.
- (2) 전자밸브, 여과기 주기적으로 청소한다.
- (3) 여과기, 전자밸브, 수위조절 정상작동 여부 및 주기적 점검

5) 비상조치

- (1) 내부시설의 밸브의 고장이나 작업중 파손으로 인하여 관로에서 물이 계속 흘러나올 때는 펌프 제어함을 열고 브레이크 SW를 내려 급수 펌프를 차단한다.
- (2) 외부시설의 밸브의 고장이나 작업중 파손으로 인하여 관로에서 물이 계속 흘러나올 때는 여과기 앞에 있는 밸브를 차단한다.

[요구사항]

- (1) 전원 : 220V 단상 5KW를 확보할 것
- (2) 주배관 연결지점(전자밸브 지점) 수압이 3.5kg/cm 이0상이고 10톤의 물이 공급되어야함

2.1.2. 물관리를 통한 적정제염 및 정상 생육 확보 토양 기준 설정

작물에 있어 수분은 에너지원 및 물질의 이동 매개체이며 생체의 70~90%를 차지하고 있다. 작물에 대한 수분의 역할은 크게 3가지로 나눌 수 있다. 1) 작물체의 체구성분 및 광합성의 원료 역할, 2) 토양 영양을 식물체에 공급하는 역할, 3) 토양, 뿌리-물관부, 잎, 대기의 수분 포텐셜 구배 역할 등이 있겠다. 일반토양을 비롯해 간척지 토양에서 토양수분 관리 시 가장 유의 할 점은 물을 많이 주지 말아야 하는 것이다. 물론 간척지 토양에서는 제염을 위한 용수량이 추가적으로 필요할 수 있겠지만 물이 과다하게 공급되면 통기가 저하되어 환원상태로 변하게 되며 조기 노화 진행 및 뿌리생육 비약을 초래하게 된다.

간척지에서 좋은 수분관리란 첫째, 작물이 선호하는 토양환경 조건(토양특성 및 통기 조건)을 만들어 주는 것이며, 둘째, 작물 생육에 필요한 물 소비량만 공급해 주는 것, 셋째, 뿌리 분포에 맞게 물을 주는 것이라 하겠다. 마지막으로, 간척지에서는 염분을 고려하여 제염(또는 재염화 방지)에 필요한 수분관리를 고려하는 것이 중요하겠다.

본 연구에서는 식물체 생육에 적합한 토양수분 조건을 고려하여 간척농지에서 재배 가능한 고부가 작물 원예 및 약용 작물 위주로 대상 작물을 선정하고 간척지 토성별, 염도별 수분관리 실증시험을 통해 최적 수분관리 기준 설정을 목표로 수행하였다.

가. 공시토양

간척농지에서 타작물 재배를 위해 관개방법 및 관수개시점에 의한 수분관리 시험을 화옹간척지(경기 화성, 고염도), 석문간척지(충남 당진, 중염도), 새만금 간척지(전북 김제, 저염도) 시험포장에서 2018년부터 2020년까지 실시하였다. 공시토양시료는 시험처리구별 토양채취 위치를 1부터 12까지 12군데를 설정하여 4월부터 9월까지 매월 1회 작토층 0~20cm에서 채취하였다. 조사항목은 토양전기전도도(EC)와 토양함수량을 조사 하였으며 재배전·후인 4월과 9월은 추가로 토양pH, 입도, 유기물, 유효인산, 총질소, 강열감량, 치환성 양이온 등을 조사 하였다. 시험토양의 화학성 분석은 농촌진흥청 표준분석법에 준하여 pH, EC는 토양과 증류수를 1:5로 하여 pH meter로 측정하였다. 시험토양의 토양염농도는 토양시료를 채취하여 EC-meter로 토양과 증류수를 1:5로 하여 EC를 측정하고, 이 측정값을 5 배수하여 토양의 EC를 환산하여 나타냈다.



<그림 2-22> 간척지 토양조사를 위한 시료채취 및 침출조사

간척지별 토양특성은 화웅간척지와 새만금간척지가 pH7.1로서 중성을 나타내었고 화웅간척지가 미사질식양토, 새만금간척지가 사양토 토성을 보였다. 석문간척지의 pH는 8.1로 약알카리성을 나타내었으며 토성은 사양토를 보였다(표2-12). 간척지별 시험 전 토양의 이화학적 특성은 (표2-13)에서와 같이 나타났다. 간척지별 유기물 함량은 작물재배기간 경과에 따라 화웅 0.85%에서 1.46%, 석문 1.20%에서 1.26%, 새만금 0.59%에서 1.29%로 미량 증가한 것으로 나타났으나, 시험전과 비교해서는 유기물, 유효인산, 총질소 등이 전반적으로 증가경향을 보여 지속적인 경작에 의한 토양개량효과가 나타나기 시작한 것으로 판단되었다.

(표 2-12) 간척지별 EC, pH, 토성 분석 결과

간척지	EC(1:5) dS/m	pH (1:5)	입도(%)			토성
			모래	미사	점토	
화웅	10.21(*18) 7.63(*19) 7.32(*20)	7.1	13.1	58.9	28.0	미사질 식양토
석문	7.24(*18) 7.93(*19) 7.25(*20)	7.9	60.0	31.3	8.7	사양토
새만금	0.29(*18) 0.23(*19) 0.49(*20)	7.1	61.4	35.1	3.5	사양토

(표 2-13) 간척지별 시험 전 토양의 이화학적 특성

간척지	년도	유기물 (%)	유효인산 (mg/kg)	총질소 (mg/kg)	함수량 (%)	강열감량 (%)	치환성양이온(cmol/kg)			
							Ca (칼슘)	K (칼륨)	Mg (마그네슘)	Na (나트륨)
화옹	'18	0.85	14.01	393.42	23.61	4.72	3.22	1.70	7.71	6.79
	'19	1.07	38.42	624.79	21.84	4.49	3.88	1.56	8.43	9.78
	'20	1.46	37.38	913.69	19.52	4.85	3.81	1.82	7.29	7.19
석문	'18	1.20	95.73	0.05%	24.06	2.52	-			
	'19	1.29	52.53	0.07%	20.32	2.09	5.94	2.82	5.45	17.79
	'20	1.26	94.40	256.25	21.74	1.52	3.61	0.63	2.75	6.89
새만금	'18	0.59	87.00	888	28.00	-				
	'19	1.14	71.17	1,330	25.73	3.01	0.65	0.59	2.38	1.58
	'20	1.29	128.8 2	332	22.39	2.56	0.59	1.61	2.75	2.13

나. 간척지 토양수분상태 조절

토양수분장력 측정 장치(Tensiometer)를 근근역 내에 매설하면 작물이 물스트레스를 받고 있는지 여부를 판단할 수 있다. 수분장력계는 흡입압력을 측정하는 것인데 pF (토양으로부터 물을 취할 때 필요한 압력을 수주 높이 cm로 나타내고, 대수를 취한 것)로 표시한다. 본 연구에서는 토양수분장력계를 처리구의 대표지점에 지표면으로부터 20cm 깊이에 매설하고 관수개시점에 도달하면 관수하였다.

다음으로 관수시기는 결과를 바탕으로 작물 정식 시점부터 시작하여 생육초기(~10일)는 30 kPa, 생육기는 시험구별로 30~50 kPa로 설정하였다. 일반적으로 포장용수량은 30 kPa 수준이고 위조점은 150 kPa 수준이므로 과잉의 용수가 공급될 수 있는 30 kPa 이하에서는 습해가 있을 수 있고 수자원의 낭비도 있을 수 있다. 하지만 간척지에서는 작물 생육에 필요한 수분 그리고 제염 및 재염화 방지를 위한 수분이 필요하기 때문에 일반적인 토양에서의 용수공급과는 차이가 있다.

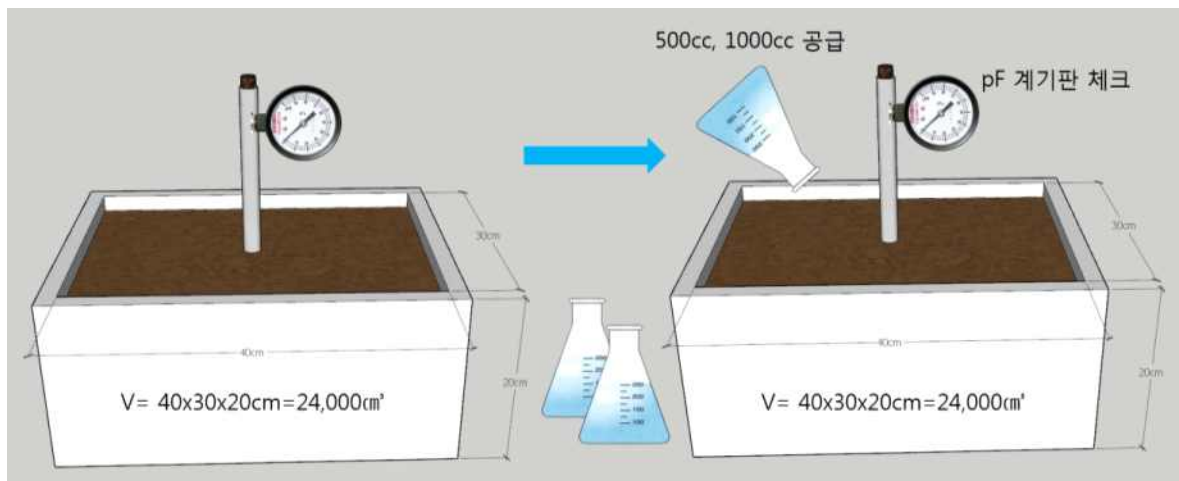
따라서, 수자원이 풍부하지 않은 간척지 특성에 맞게 최소 용수 공급을 통한 물절약, 정상생육을 위한 제염 및 재염화 방지 용수 공급을 위해 연구결과를 바탕으로 초기 관수 시작점을 30~50 kPa로 선정하여 다양한 조건하에서 관개별, 작물별 적정수분관리를 실시하였다.



<그림 2-23> 토양수분장력 측정 장치(Tensiometer) 설치 전경

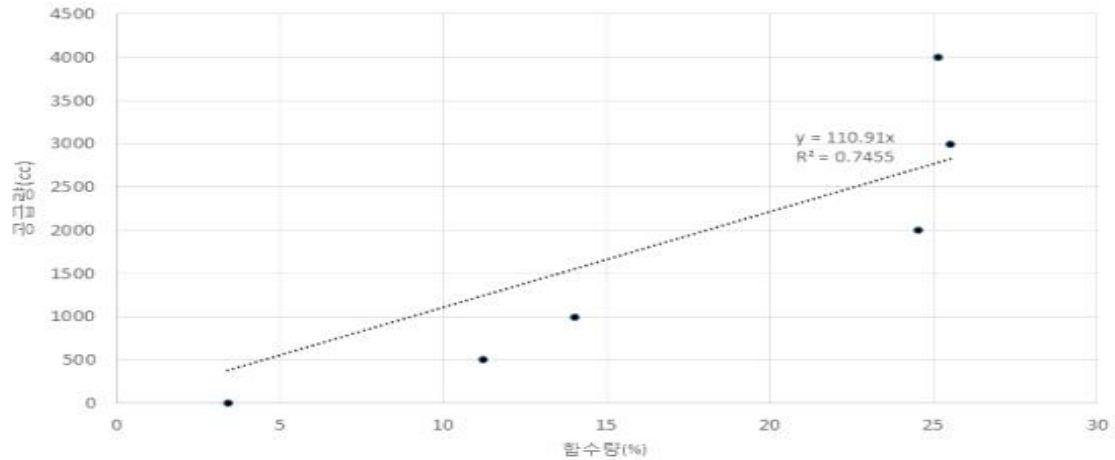
1) 토양수분장력계를 활용한 토양변화

간척지 토양의 수분 공급량에 따라 함수율의 변화를 알아보기 위해 새만금 간척지의 토양과 화옹 간척지의 토양을 채취하여 실내에서 실험을 실시하였다. 실험포트의 총 부피는 24,000cm³으로 물을 주는 시간은 24시간 간격으로 500cc, 1000cc 차례로 공급하였다. 새만금 간척지의 초기 토양 평균 함수율은 2.0~3.3%, 화옹 간척지의 초기 토양 평균 함수율은 14%~17%의 수치로 분석되었다. 초기 토양에 토양 수분장력계를 설치한 이후, pF의 수치가 2.7(50kPa)으로 변화할 때까지 물을 공급하지 않았다. 시간이 경과한 이후, pF 2.7이 되었을 때, 물을 공급하였으며, 24시간 이후 함수량을 동시에 체크하여 실험을 실시하였다.



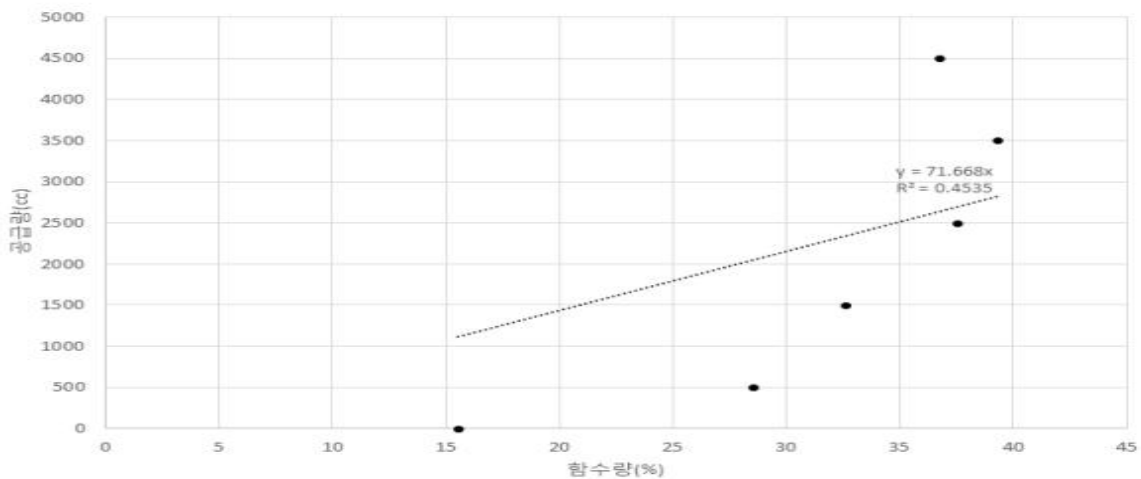
<그림 2-24> 토양수분장력계를 활용한 실내시험 모식도

실험 결과, 새만금 간척지의 토양 함수량-공급량 관계는 $y = 110.91x$ 선형의 관계가 분석되었다. $R^2 = 0.7455$ 로 유의하였으며, 토양 함수율이 25% 이상이 될 경우, 물을 지속적으로 공급을 하여도 변화가 없이 유지되는 현상을 보였다.



<그림 2-25> 새만금 간척지 토양의 함수량-공급량 선형관계

화옹 간척지의 토양 함수량-공급량 관계는 $y = 71.668x$ 로 선형의 관계로 분석되었다. $R^2 = 0.454$ 로 분석되었으며, 화옹 간척지의 토양 함수율이 35%이상 변화할 시 물을 지속적으로 공급을 하여도 토양 함수량이 변하지 않고 유지되었다. 토성별로 수분의 변화정도는 사양토가 식양토에 비해 수분 공급에 따른 높은 변화정도를 보였다. 본 자료를 이용하여 기준 수분함량 값과 측정 수분함량을 환산하여 그 차이값을 관개면적과 유효토심에서 필요 관개량을 산정할 수 있다.



<그림 2-26> 화옹 간척지 토양의 함수량-공급량 선형관계

본 자료를 활용하여 토양 함수량-공급량 관계는 $y = 71.668x$ 로 선형의 관계로 분석되었다. $R^2 = 0.454$ 로 분석되었으며, 화옹 간척지의 토양 함수율이 35%이상 변화할 시 물을 지속적으로 공급을 하여도 토양 함수량이 변하지 않고 유지되었다.

2) 1회 관개수량

일반적으로 토양수분이 소비된 양(소량 비번 관개)을 매일 또는 며칠 간격으로 관개(간단관개)를 할 수 있다. 토양 염분농도를 관리하기 위해서는 소량을 자주 관개하는 소량 빈번 관개가 적합할 수 있다. 간단관개에서는 무강우일이 계속될 경우 하층으로부터 염분 상승해 작물생육에 지장을 줄 수 있기 때문에 주위를 요하게 된다. 1회 관개수량은 토양수

분함량을 이용하여 산출하였다. 현재 토양수분 함량(%)을 목표하는 수분함량(%)에서 빼 그 수치를 관수해야 할 토양의 유효 토심과 용적밀도를 곱하면 가능하다.

$$- \text{관개량(mm)} = \text{공급필요 수분함량(중량, \%)} \times \text{유효토심(cm)} \times \text{용적밀도} \times 10$$

예를 들면 용적밀도 1.23을 나타내는 새만금간척지에 작물을 재배하면서 토심 20cm 까지 관수하고자 할 때 현재수분함량이 15%이고 목표로 하는 수분함량이 25% 이면 1회 관개에 필요한 양은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$- \text{관개량(m}^3\text{)} = \{(25-15)/100\} \times 1.23 \times 20\text{cm} = 2.46\text{mm}$$

재배기간 동안 1회 관개량은 아래 표와 같다. 이렇게 계산된 1회 관수량을 조절하면서 작물 생육에 필요한 간척지별 최적값을 도출하였다.

(표 2-14) 관개처리구별 1회 관개량

간척지	처리	관개량(mm)
화옹	점적1	9.62
	점적2	5.72
	점적3	2.60
	무관수	-
석문	점적1	10.96
	점적2	4.14
	점적3	1.88
	무관수	-
새만금	점적1	10.36
	점적2	6.16
	점적3	2.80
	무관수	-

다. 토양 수분특성 변화 및 염도변화

1) 토양 수분특성 변화

화옹 간척지 토양의 수분특성곡선에서 도출한 회귀 모형식은 토양심도 10~20cm의 결정계수(R^2)가 토양심도 0~10cm보다 높은 것으로 분석되었다. 또한, 화옹 간척지 토양의 수분장력에 따른 용적수분함량 변화에 대한 회귀 모형식을 통해 아래 표에서 보는 바와 같이 토양심도별 토양 용적수분함량을 산정하였다.

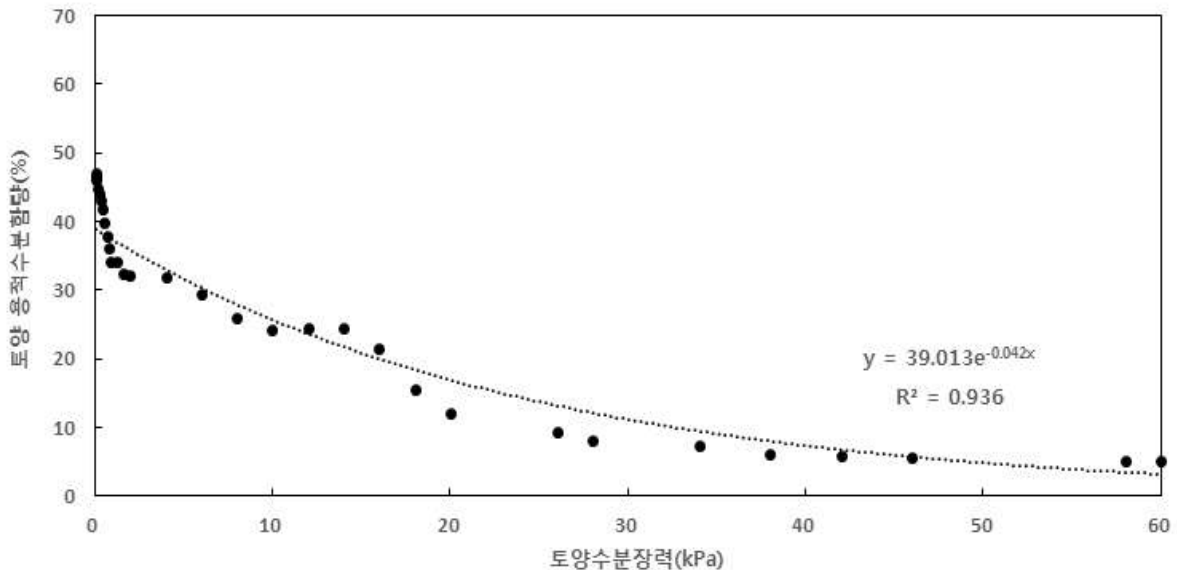
(표 2-15) 화용 간척지 토양의 수분특성곡선 회귀 모형식

구 분	심도(cm)	회귀 모형식	R ²
화용 간척지 토양 (SiCL)	0~10	$y = 39.013e^{-0.042x}$	0.936
	10~20	$y = 56.901e^{-0.037x}$	0.942

(표 2-16) 화용 간척지 토양의 수분장력에 따른 용적수분함량

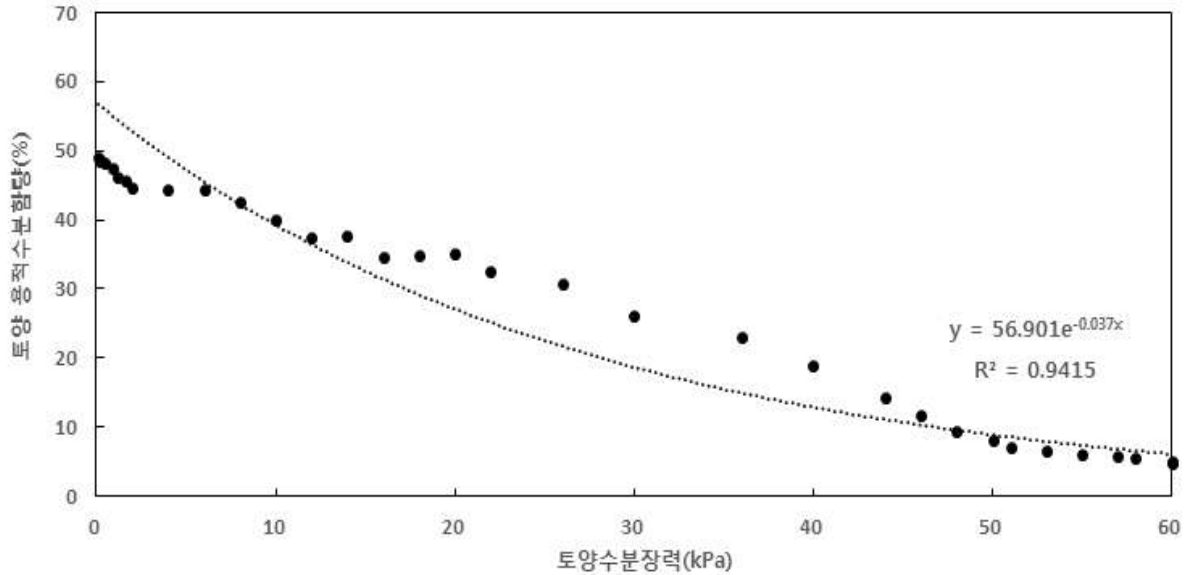
구 분	심도 (cm)	토양수분장력(kPa)								
		0	10	20	30	33	40	50	60	100
화용 간척지 토양 (SiCL)	0~10	39.0	25.6	16.8	11.1	9.8	7.3	4.8	3.1	0.6
	10~20	56.9	39.3	27.1	18.8	16.8	13.0	8.9	6.2	1.4

화용 간척지 토양의 심도별 토양수분장력과 용적수분함량에 대한 회귀모형 도출 결과는 <그림 2-27>과 <그림 2-28>에서 보는 바와 같다. 화용 간척지 토양의 심도 0~10cm에서 생장저해수분점(100kPa)의 토양용적수분함량은 0.6%, 포장용수량(33kPa)은 9.8%, 최대용수량(0kPa)은 39.0%로 각각 분석되었다. 화용 간척지 토양의 심도 10~20cm에 비해 0~10cm층에서 용적수분함량이 낮게 나타났다.



<그림 2-27> 화용 간척지 토양의 수분특성곡선(0~10cm)

화용 간척지 토양의 심도 10~20cm에서 생장저해수분점(100kPa)의 토양 용적수분함량은 0.6%, 포장용수량(33kPa)은 16.8%, 최대용수량(0kPa)은 56.9%로 각각 분석되었다. 새만금 간척지 토양과 같이 토양심도 0~10cm보다 10~20cm에서 토양 용적수분함량이 높게 분석되었다.



<그림 2-28> 화용 간척지 토양의 수분특성곡선(10~20cm)

새만금 간척지 토양의 토양수분특성곡선에서 도출한 회귀 모형식은 (표 2-17)에서 보는 바와 같다. 토양심도 10~20cm의 결정계수(R^2)가 토양심도 0~10cm보다 높은 것으로 분석되었다. 또한, 새만금 간척지 토양의 심도별 토양수분장력에 따른 토양 용적수분함량 변화에 대한 회귀 모형식을 통해 (표 2-18)에서 보는 바와 같이 용적수분함량을 산정하였다.

(표 2-17) 새만금 간척지 토양의 토양수분특성곡선 회귀 모형식

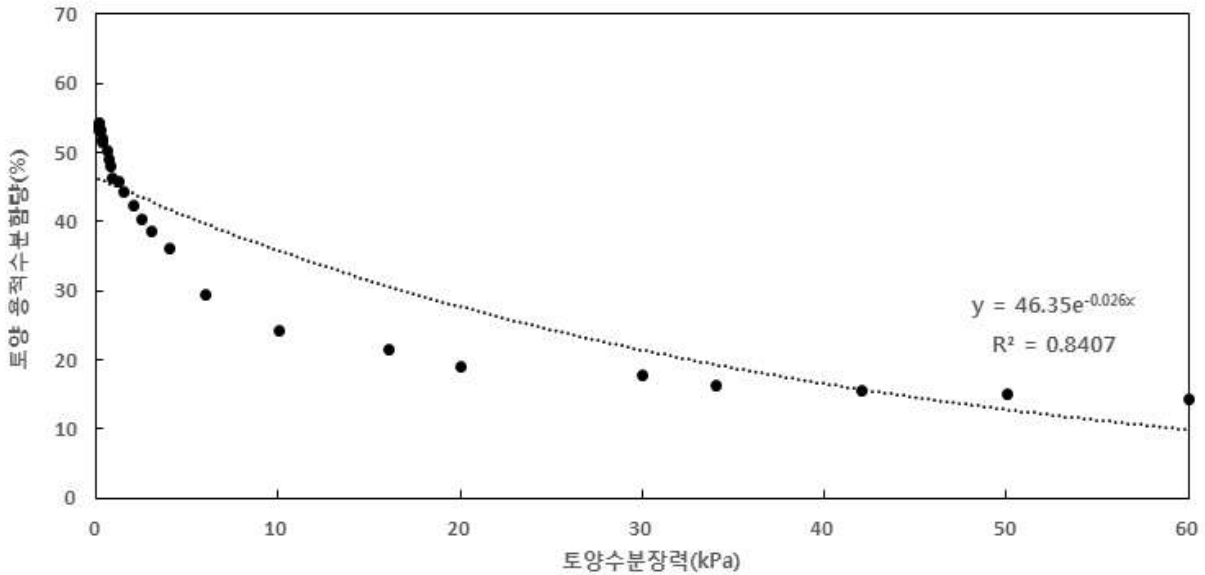
구 분	심도 (cm)	회귀 모형식	R^2
새만금 간척지 토양 (SL)	0~10	$y = 46.35e^{-0.026x}$	0.841
	10~20	$y = 49.365e^{-0.025x}$	0.951

(표 2-18) 새만금 간척지 토양의 토양수분장력에 따른 용적수분함량

구 분	심도 (cm)	토양수분장력(kPa)								
		0	10	20	30	33	40	50	60	100
새만금 간척지 토양 (SL)	0~10	46.4	35.7	27.6	21.2	19.7	16.4	12.6	9.7	3.4
	10~20	49.4	38.4	29.9	23.3	21.6	18.2	14.1	11.0	4.1

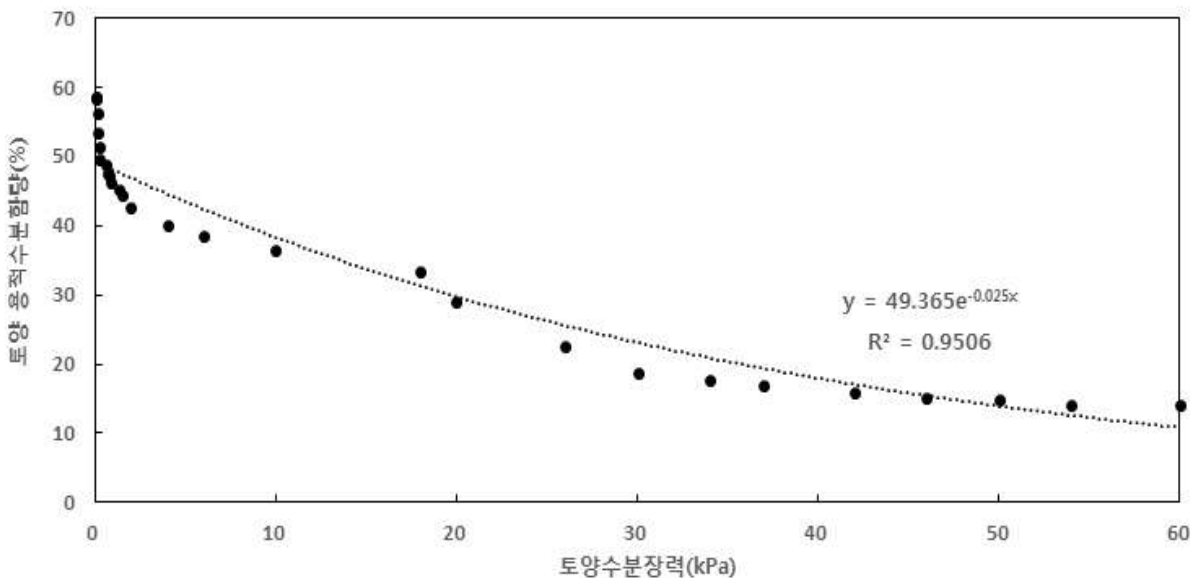
새만금 간척지 토양의 심도별 토양수분장력과 용적수분함량에 대한 회귀모형 도출 결과는 <그림 2-29>과 <그림 2-30>에서 보는 바와 같다.

새만금 간척지 토양의 심도 0~10cm에서 생장저해수분점(100kPa)의 용적수분함량은 3.4%로 분석되었다. 또한, 포장용수량(33kPa)의 용적수분함량은 19.7%로 나타났고, 최대용수량(0kPa)의 용적수분함량은 46.4%로 분석되었다. 새만금 간척지 토양의 심도 0~10cm는 10~20cm보다 동일한 토양수분장력에 따른 용적수분함량이 상대적으로 낮게 나타났다.



<그림 2-29> 새만금 간척지 토양의 수분특성곡선(0~10cm)

새만금 간척지 토양의 심도 10~20cm에서 생장저해수분점(100kPa)일 때 용적수분함량은 4.1%로 분석되었다. 또한, 포장용수량(33kPa)에서 용적수분함량은 21.6%로 분석되었으며, 최대용수량(0kPa)의 용적수분함량은 49.4%로 분석되었다. 토양심도 0~10cm보다 10~20cm에서 토양 수분함량이 높게 나타났다.



<그림 2-30> 새만금 간척지 토양의 수분특성곡선(10~20cm)

(표 2-19) 관개처리구 월별 평균 전기전도도

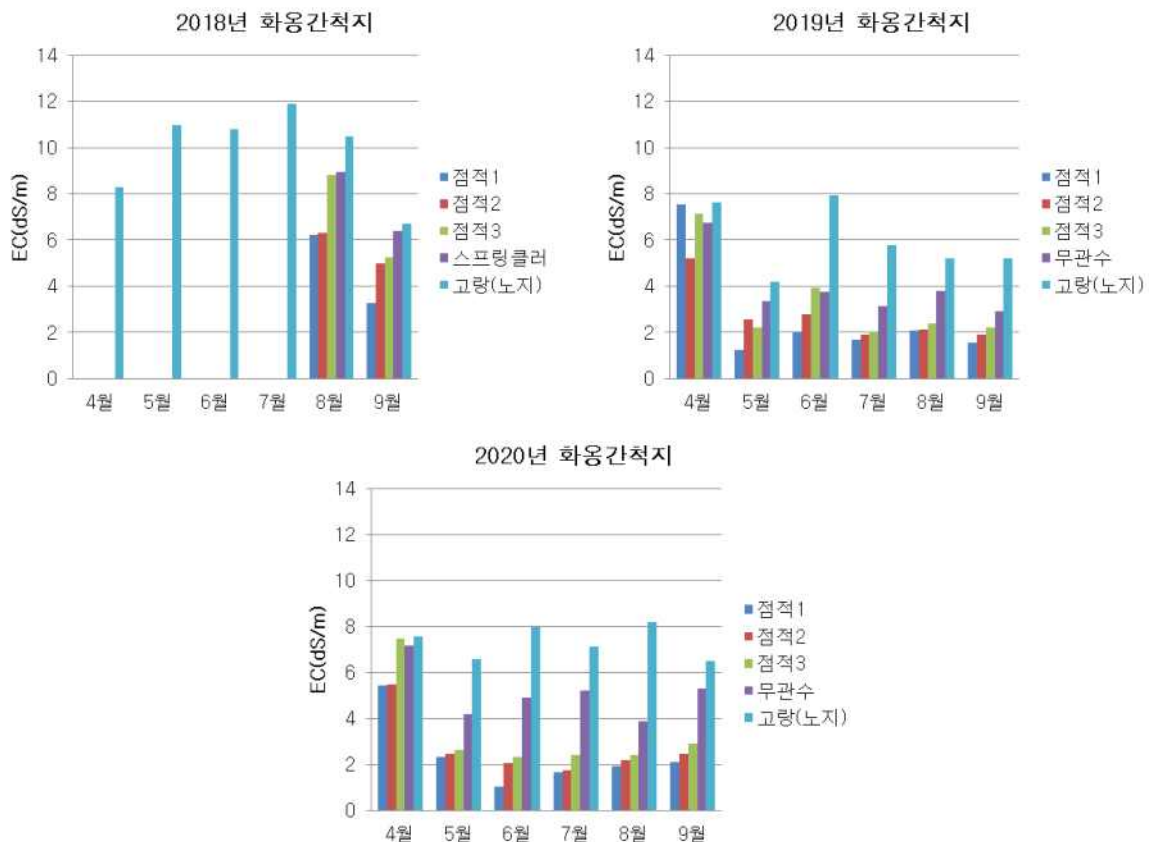
(단위 : dS/m)

간 척 지	기간 (년)	18	19	20	18	19	20	18	19	20	18	19	20	18	19	20	18	19	20	평 균 값
		4월			5월			6월			7월			8월			9월			
	처리																			
화 애	점적1	-	7.55	5.45	-	1.23	2.32	-	2.01	1.02	-	1.68	1.66	6.21	2.1	1.91	3.27	1.55	2.11	2.16
	점적2	-	5.22	5.48	-	2.55	2.44	-	2.81	2.04	-	1.89	1.73	6.32	2.11	2.19	3.58	1.92	2.44	2.35
	점적3	-	7.14	7.48	-	2.21	2.64	-	3.91	2.31	-	2.03	2.43	8.81	2.4	2.43	4.23	2.21	2.91	2.95
	무관수 (살수)	-	6.73	7.18	-	3.35	4.21	-	4.75	4.92	-	3.16	5.21	6.89	3.8	3.87	4.44	2.92	5.3	3.82
	고랑	10.3	7.63	7.53	10.9	4.21	6.57	10.8	7.93	7.93	11.8	5.8	7.13	10.5	5.2	8.19	6.70	5.21	6.5	7.83
서 부	점적1	-	4.98	6.77	-	3.22	5.21	7.85	2.86	4.14	3.42	3.94	3.21	2.18	2.62	3.49	2.23	3.55	3.33	3.37
	점적2	-	5.51	7.31	-	4.52	4.44	7.21	3.19	3.21	4.30	3.47	4.22	3.05	2.46	4.19	3.05	3.81	5.52	3.76
	점적3	-	8.21	6.91	-	6.35	6.77	8.95	3.78	7.98	5.30	2.83	6.23	4.41	3.49	6.34	4.16	4.19	6.22	5.01
	무관수 (살수)	-	6.62	7.01	-	5.21	7.98	6.85	4.78	8.67	5.8	5.51	7.01	4.3	4.43	6.44	4.49	5.82	6.38	5.52
	고랑	10.0	7.93	6.49	10.2	6.59	9.51	9.15	8.54	10.2	12.3	7.7	9.4	12.2	8.96	10.0	12.7	8.81	10.8	9.53
미 간 수	점적1	-	0.28	0.24	-	0.27	0.23	0.25	0.21	0.21	0.18	0.2	0.19	0.20	0.18	0.26	0.11	0.13	0.21	0.23
	점적2	-	0.24	0.19	-	0.22	0.21	0.30	0.3	0.24	0.22	0.2	0.22	0.19	0.21	0.31	0.15	0.14	0.28	0.30
	점적3	-	0.21	0.22	-	0.24	0.22	0.23	0.23	0.27	0.28	0.27	0.21	0.23	0.23	0.33	0.21	0.18	0.27	0.36
	무관수 (살수)	-	0.28	0.22	-	0.30	0.26	0.28	0.28	0.26	0.23	0.21	0.21	0.23	0.23	0.35	0.22	0.22	0.28	0.23
	고랑	0.18	0.30	0.18	0.41	0.47		0.30	0.3		0.34	0.35		0.38	0.37		0.25	0.30		0.32

2) 토양염도변화

(표 2-19)는 간척지별 전기전도도 결과를 연도별/월별로 나타낸다. 간척지별 평균 전기전도도는 노지에서 화용이 4.21~10.9dS/m의 범위로 평균 7.83dS/m, 석문이 6.49~12.7dS/m의 범위로 평균 9.53dS/m, 새만금이 0.25~0.38dS/m의 범위로 평균 0.33dS/m를 나타냈다. 연중의 월별 변화를 보면 화용 간척지에서 6월까지 염도가 상승 추세를 보였으며, 그 후 점차적으로 염도가 낮아져 5~6dS/m를 유지하는 경향을 나타냈다. 석문간척지는 대부분 6dS/m 이상의 높은 염도를 유지하였다. 이 결과는 석문간척지가 논 기반으로 조성되어 배수로 깊이가 낮기 때문에 장마철 강우 시 높은 지하수위(60cm)를 갖는 특성을 나타냈다. 이런 높은 지하수위 형성은 여름철 급격한 모관상승의 원인이 되어 재염화 발생으로 이어져 고염도의 주된 원인이 된 것으로 판단되었다.

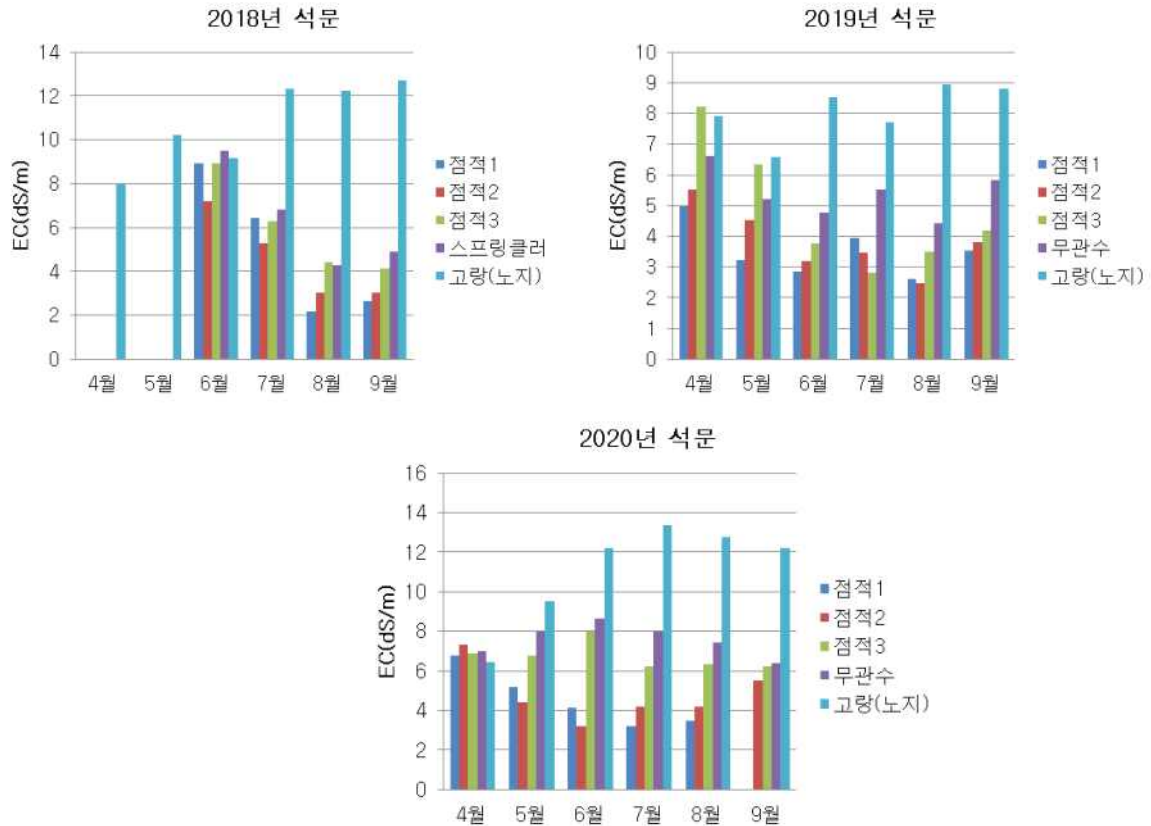
관개처리구별 평균 전기전도도는 화용이 2.16dS/m에서 3.82dS/m 수준으로 노지에 비해 감소하였으며 노지의 4월에서 9월까지의 평균값(약7.83dS/m)과 비교해 보면 제염효율은 약30.14~67.06%를 나타냈다. 관개처리구별 효율은 점적1>점적2>점적3>스프링클러(2018년결과)>무관수 순으로 나타났다.



<그림 2-31> 화용간척지 관개처리구 염도변화

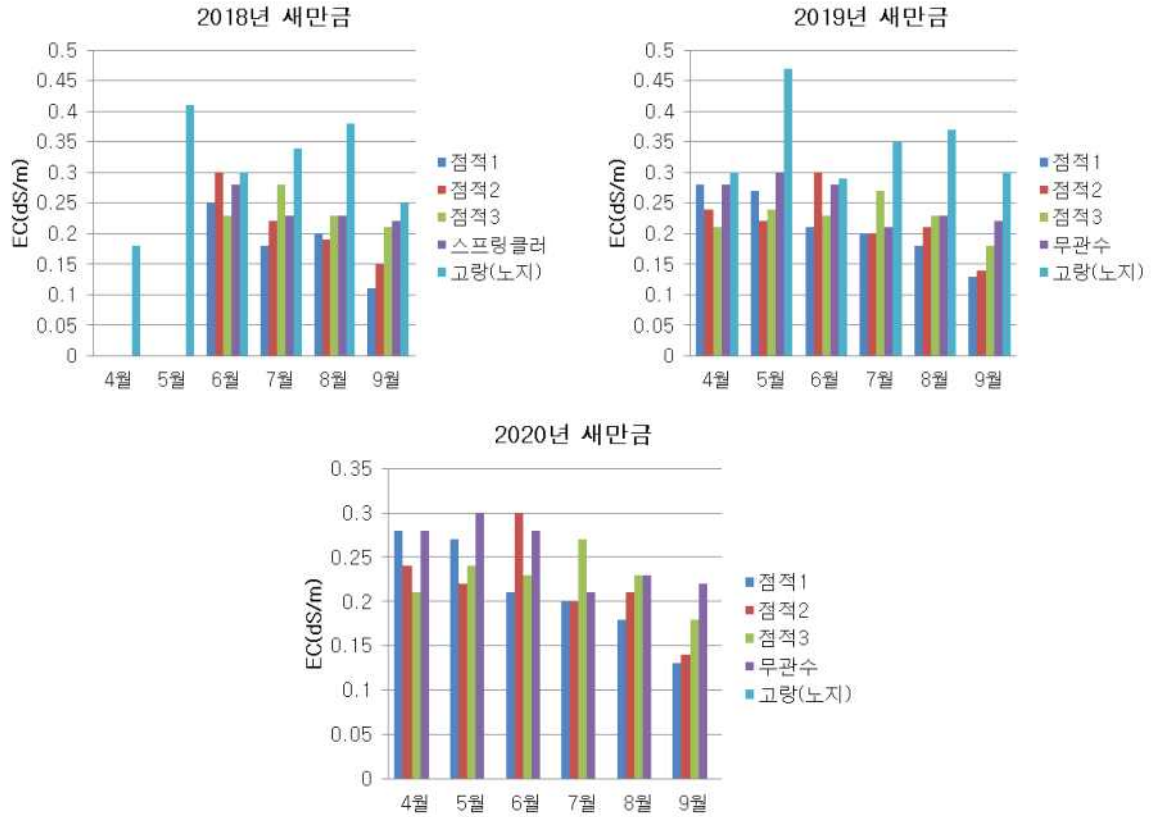
2018~2020년 연도별 화용 간척지 토양의 염도변화를 살펴보면 전체적으로 2018년 초기에 비해 염도 수치가 2배 이상 낮은 것으로 나타났다. 특히 작물생육에 있어 가장 중요한 부분을 차지하는 생육 초기인 4-5월에 작물 생육이 가능한 염도 약2dS/m 까지 낮아지는 시험구인 점적1구간을 도출해낼 수 있었다. 이는 2018년도부터 계속적으로 제염이 이루어진 점과 멀칭효과+관개효과가 바로 나타난 결과로 판단되었다.

석문 간척지의 관개처리구별 평균 전기전도도는 3.66dS/m에서 5.21dS/m 수준으로 노지에 비해 감소하였으며 노지에서의 전기전도도의 평균값(약7.96dS/m)과 비교해 보면 제염효율은 31.62~65.70%로 나타나 연도별 결과와 비교시 별다른 차이가 없었다. 관개처리구별 효율은 점적1>점적2>점적3>스프링클러(2018년결과)>무관수 순으로 점적1과 점적2에서의 제염효율은 큰 차이를 나타내지 않았다.



<그림 2-32> 석문간척지 관개처리구 염도변화

새만금 간척지는 초기 염도결과와 동일하게 대부분 낮은 염도를 나타내었기 때문에 시험전과 비교해 미비한 차이를 보였다. 토양염도 변화는 0.23~0.33dS/m로 관개 및 암거처리구별과 상관없이 제염이 다 되었다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 토성이 사양토이고 지하수위가 2m이하로 떨어져 있어 제염이 빠르게 진행된 것으로 판단된다.



<그림 2-33> 새만금간척지 관개처리구 월별 평균 염도변화

본 연구결과를 통해 간척지에서는 살수관개 보다는 점적관개가 제염효율이 더 높은 것을 확인 할 수 있었다. 살수관개는 강우와 같이 넓은 면적을 균등하게 물을 살포하여 표토제염효과에는 양호하나 지표유출로 인해 제염효율이 낮은 단점을 갖고 있다. 그에 반해 점적관개는 근권부위에 균일한 수분공급이 이루어져 토양수분을 높게 유지시키므로 염해를 경감할 수 있을 것으로 판단되어 진다. 더하여 두둑 상·하층 위치별 염도측정을 실시한 결과 상층부는 약1~4dS/m를 나타낸 반면 하층부는 3~8dS/m를 나타냈다. 점적관개에 경우 상층부에서 지속적인 관개로 두둑 상층부의 염분이 아래로 용탈되어 시간이 갈 수록 하층부에서 염이 높고 상층부에 염도가 낮게 분포됨을 알 수 있었다.



<그림 2-34> 두둑 상·하층 위치별 염도측정

마지막으로, 2018년도 연구수행 시 대조구였던 무멀칭구간은 새만금 및 석문간척지에서 강우에 의한 두둑붕괴로 인해 토양유실 및 작물유실이 발생하였다<그림 2-35>. 이는 두 간척지 모두 사질계열의 토성의 특성을 갖고 있는 점, 그리고 낮은 유기물 함량으로 인한 토양 응집성이 현저히 낮은 문제점으로 인해 발생한 것으로 판단되었다. 따라서 초기 간척농지에서 발작물 재배 시에는 토양유실 방지를 위해 멀칭 사용이 바람직하며 보다 현실적인 대처방안으로는 녹비작물 재배, 토양개량제, 유기물(친환경 퇴비 등) 투입 등 숙전화를 통한 해결책이 필요할 것으로 사료된다.



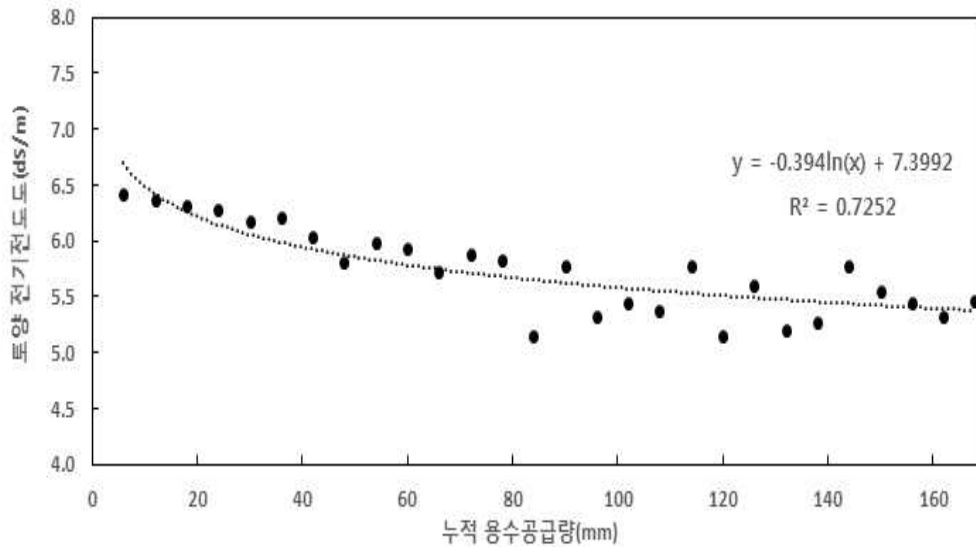
<그림 2-35> 무멀칭구간에서의 토양유실

라. 용수공급에 따른 염도 변화

간척지 토양에서 작물의 생육과 선정 및 관리, 염류 장애 판단에 있어서 중요한 인자 중 하나는 토양 전기전도도이다. 이에 본 연구에서는 실내 모형 시험에서 간척지 토양의 용수공급에 따라 변화하는 토양 전기전도도를 분석하였다.

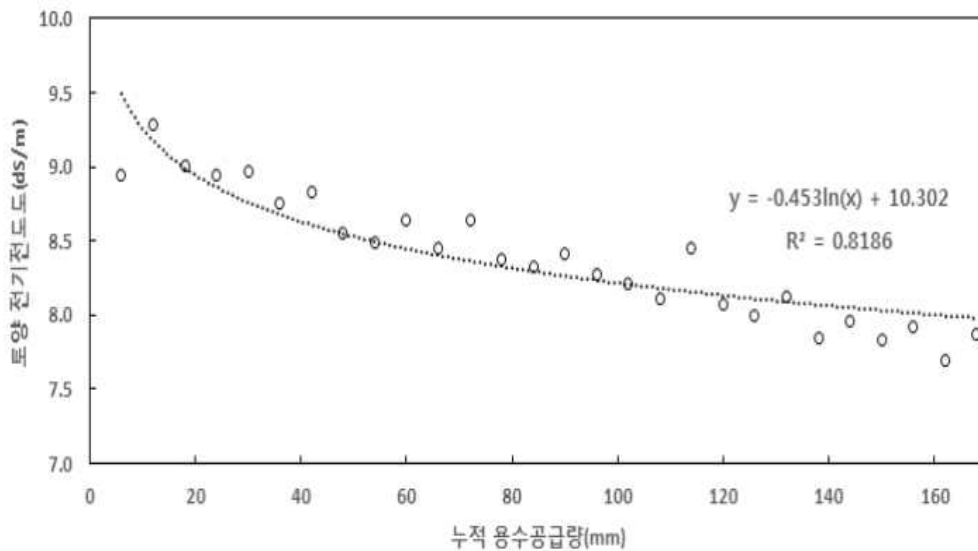
1) 화용간척지 토양의 염도 변화

화용 간척지 토양의 심도 0~10cm에서 누적 용수공급에 따른 전기전도도 변화는 토양 0~10cm층의 초기 토양 전기전도도는 6.2dS/m로 새만금 간척지 토양에 비해 높게 나타났다. 누적 용수공급량이 168mm일 때 초기보다 5.1~5.5dS/m로 0.7~1.1dS/m가 낮아진 것으로 나타났다.



<그림 2-36> 화용 간척지 토양의 용수공급에 따른 전기전도도(0~10cm)

화용 간척지 토양의 심도 10~20cm에서 누적 용수공급에 따른 전기전도도 변화는 토양심도 10~20cm에서 초기 전기전도도는 8.7dS/m로 0~10cm층보다 2.5dS/m 높게 분석되었다. 누적 용수공급량 168mm일 때, 전기전도도는 7.7~7.9dS/m로 분석되었으며, 초기 전기전도도 보다 0.8~1.0dS/m가 낮아졌다.



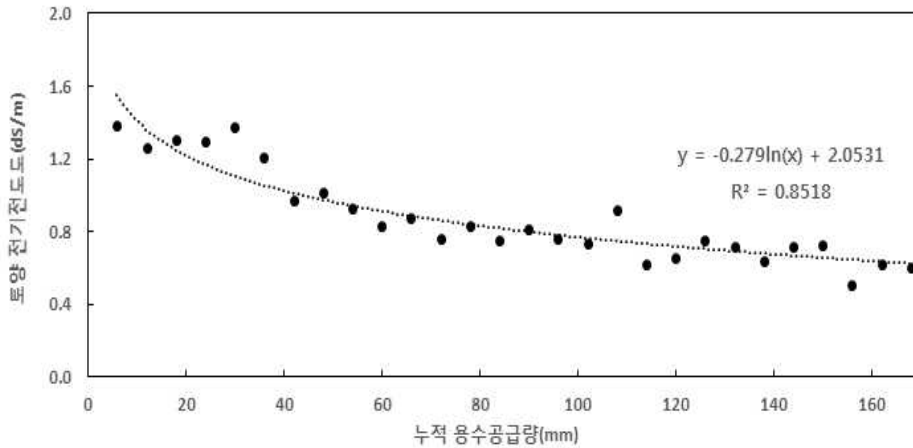
<그림 2-37> 화용 간척지 토양의 용수공급에 따른 전기전도도(10~20cm)

(표 2-20) 화용 간척지 토양의 용수공급에 따른 전기전도도

구 분	누적 용수공급량 (mm)	전기전도도(dS/m)		비고
		토양심도 0~10cm	토양심도 10~20cm	
화용 간척지 토양 (SiCL)	0	6.2	8.7	
	6	6.4	8.9	
	12	6.4	9.3	
	18	6.3	9.0	
	24	6.3	8.9	
	30	6.2	9.0	
	36	6.2	8.8	
	42	6.0	8.8	
	48	5.8	8.6	
	54	6.0	8.5	
	60	5.9	8.6	
	66	5.7	8.4	
	72	5.9	8.6	
	78	5.8	8.4	
	84	5.1	8.3	
	90	5.8	8.4	
	96	5.3	8.3	
	102	5.4	8.2	
	108	5.4	8.1	
	114	5.8	8.4	
	120	5.2	8.1	
	126	5.6	8.0	
	132	5.2	8.1	
	138	5.3	7.8	
144	5.8	8.0		
150	5.6	7.8		
156	5.4	7.9		
162	5.3	7.7		
168	5.5	7.9		

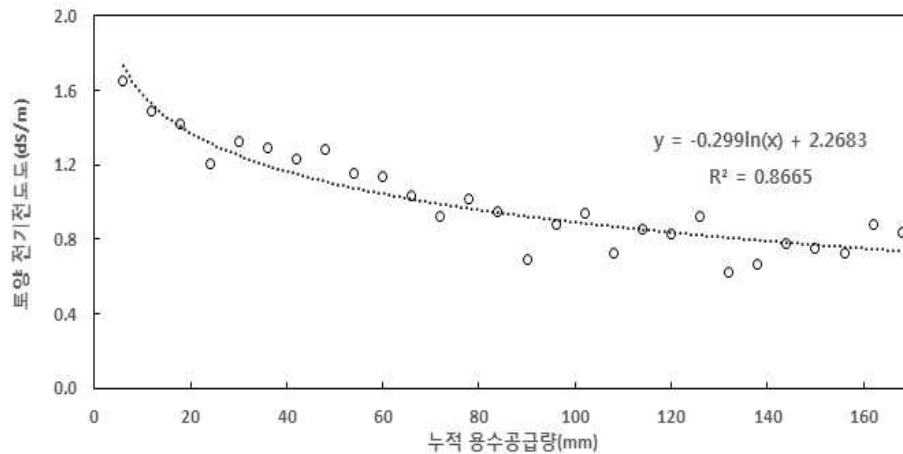
1) 새만금 간척지 토양의 염도 변화

새만금 간척지 토양의 심도 0~10cm의 누적 용수공급에 따른 토양 전기전도도 변화에 대해 <그림 2-38>에서 보는 바와 같다. 토양심도 0~10cm에서 초기 전기전도도는 1.4dS/m였고, 누적 용수공급량이 168mm까지 공급하였을 때 전기전도도는 0.6dS/m로 낮아졌다.



<그림 2-38> 새만금 간척지 토양의 용수공급에 따른 전기전도도(0~10cm)

새만금 간척지 토양의 심도 10~20cm의 누적 용수공급에 따른 전기전도도 변화는 <그림 2-39>와 같으며, 초기 토양 전기전도도는 1.5dS/m로 분석되었다. 지속적인 용수공급이 이루어지면서 점차적으로 전기전도도는 낮아졌으며, 누적 용수공급량이 168mm에서 0.7dS/m까지 저하되었다.



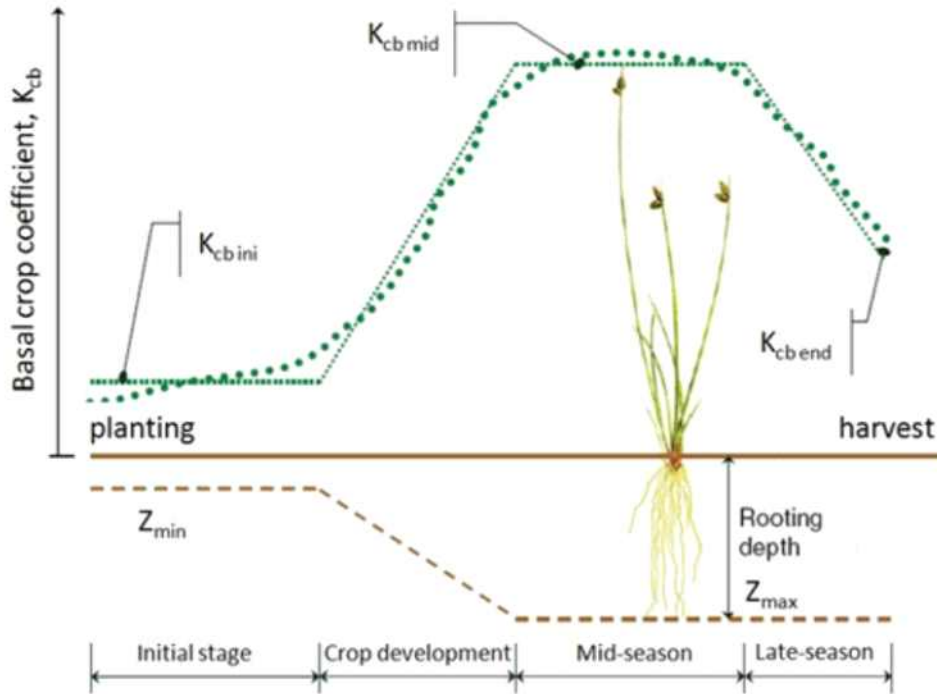
<그림 2-39> 새만금 간척지 토양의 용수공급에 따른 전기전도도(10~20cm)

(표 2-21) 새만금 간척지 토양의 용수공급에 따른 전기전도도

구 분	누적 용수공급량 (mm)	전기전도도(dS/m)		비고
		토양심도 0~10cm	토양심도 10~20cm	
새만금 간척지 토양 (SL)	0	1.4	1.5	
	6	1.4	1.7	
	12	1.3	1.5	
	18	1.3	1.4	
	24	1.3	1.2	
	30	1.4	1.3	
	36	1.2	1.3	
	42	1.0	1.2	
	48	1.0	1.3	
	54	0.9	1.2	
	60	0.8	1.1	
	66	0.9	1.0	
	72	0.8	0.9	
	78	0.8	1.0	
	84	0.8	0.9	
	90	0.8	0.7	
	96	0.8	0.9	
	102	0.7	0.9	
	108	0.9	0.7	
	114	0.6	0.9	
	120	0.7	0.8	
	126	0.8	0.9	
	132	0.7	0.6	
	138	0.6	0.7	
144	0.7	0.8		
150	0.7	0.8		
156	0.5	0.7		
162	0.6	0.9		
168	0.6	0.8		

마. 대상작물의 생육 시기별 근역, 작물계수

생육시기별로 근역, 작물고, 작물계수 등은 변화한다. 현장실증 및 문헌자료를 참고하여, 작물별로 생육시기별 재배기간, 파종시기, 근역, 작물계수, 최대 작물고 등을 조사하여 정리했다.



<그림 2-40> 생육시기별 작물계수와 근역(Steduto 등, 2012)

(표 2-22) 대상작물의 생육기간 일수

작물	활착기	발육기	성숙기	완숙기	총 일수	파종시기	비고
비트	10	30	30	-	70	3.25.	3회
	7	33	22	-	62	6.11.	
	5	28	31	-	64	8.21.	
강황	20	40	60	50	210	4.11.	1~3년생
향부자	35	65	65	35	200	3.21.	1년생
적겨자	14	20	11	10	55	4.1.	2회
	10	16	25	9	60	8.21.	
레몬밤	20	20	20	10	70	4.1.	2회
	17	17	18	14	66	8.21.	
감초	45	65	60	45	210	3.15.	4~5년생
식방풍	39	68	66	50	223	3.21.	1~3년생

(표 2-23) 대상작물의 생육시기별 근역 및 수분감소 기여율

작물	활착기	발육기	성숙기	완숙기	총 일수	파종시기
비트	30, 0.60 30, 0.62 30, 0.62	60, 0.61 60, 0.65 60, 0.64	90, 0.61 90, 0.66 90, 0.64	- - -	90, 70 90, 62 90, 64	3.25. 6.11. 8.21.
강황	30, 0.62	100, 0.62	130, 0.64	130, 0.64	130, 210	4.11.
향부자	30, 0.54	60, 0.57	120, 0.59	120, 0.59	120, 200	3.21.
적겨자	20, 0.40 20, 0.50	40, 0.42 40, 0.45	70, 0.44 70, 0.42	70, 0.44 70, 0.40	70, 55 70, 60	4.1. 8.21.
레몬밤	20, 0.43 20, 0.52	40, 0.49 40, 0.52	90, 0.54 90, 0.54	90, 0.54 90, 0.54	90, 70 90, 66	4.1. 8.21.
감초	30, 0.43	50, 0.47	110, 0.51	110, 0.52	110, 210	3.15.
식방풍	30, 0.44	50, 0.49	100, 0.55	100, 0.55	100, 223	3.21.

(표 2-24) 대상작물의 생육기간별 작물계수와 최대 작물고

작물	Kc ini.	Kc mid.	Kc end	최대 작물고(m)
비트	0.10 0.13 0.14	0.90 0.99 0.93	- - -	0.30
강황	0.34	1.37	0.66	1.00
향부자	0.25	1.23	0.32	0.80
적겨자	0.24 0.34	0.97 0.89	0.65 0.73	0.26
레몬밤	0.23 0.33	1.18 1.17	0.47 0.64	0.30~0.70
감초	0.25	1.40	0.40	1.40
식방풍	0.23	1.35	0.40	0.60~1.00

1) 필요용수량 산정 방법

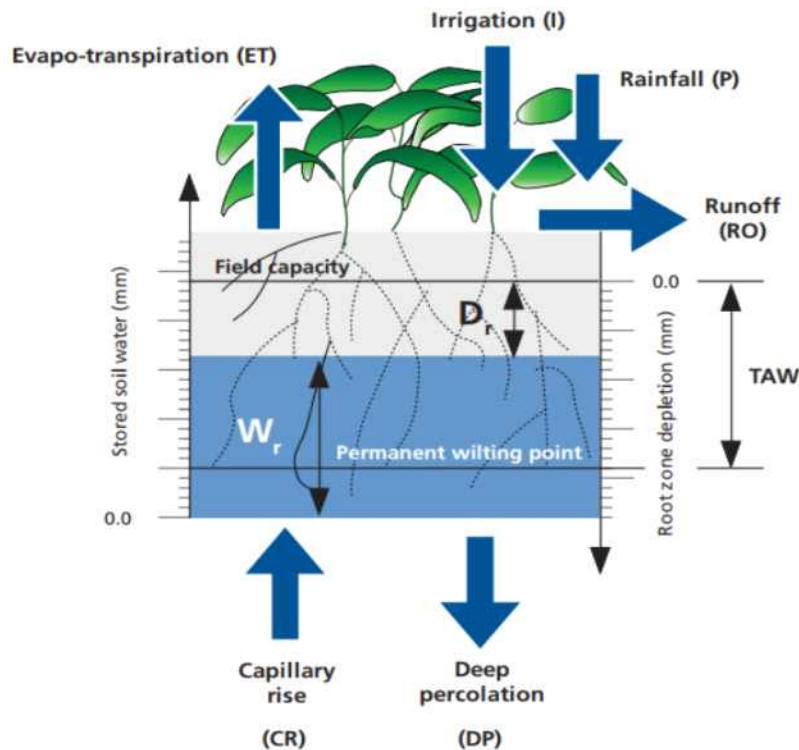
지역별로 해당 토양, 작물별로 근역, FC, p를 설정하고, 토양수분이 threshold에 이르면 부족수량(field capacity - threshold)을 공급받는 것으로 한다.

$$TAW = 1000 (q FC - q WP) Z_r \quad (2-1)$$

$$RAW = p TAW \quad (2-2)$$

$$S(i) = S(i-1) + (P(i) - Q(i)) - ET_a(i) \quad (2-3)$$

식(2-1)에서 TAW는 근역의 총 이용가능 토양수분량 (mm), q FC 는 포장용수량의 토양함수비 (m³ m⁻³), q WP 는 위조점의 토양함수비 (m³ m⁻³), Z_r은 근역 토심(m), 식(2-2)에서 RAW는 근역의 용이 이용 토양수분량 (mm), p 는 RAW/TAW 비율, 식(2-3)에서 S는 토양수분량, P는 강수량, Q는 지표유출량이고, ET_a는 실제 증발산량이다.



<그림 2-41> 토양물수지 모형 모식도(Steduto 등, 2012)

W_r을 토양수분 저류량으로 하거나, D_r을 토양수분 고갈량으로 하여 토양 물수지를 구성할 수 있다. 토양수분 저류량으로 구성하면 식(2-3)과 같다. 토양수분 물수지는 침투량, 증발량으로 구성, 침투량은 강수량에서 지표유출을 감한 것으로 하며, 강수량 5 mm 이상일 때 발생하는 것으로 한다.

적정 토양수분 부족수량을 관개 공급하는 필요용수량을 고려하면 토양수분 물수지는 식(2-4)와 같이 구성된다(Allen 등, 1998). 여기서는 이를 기본식으로 한다. 식에서 지표면

유출은 일정강우(예 5mm) 이상일 때 발생하고, 모관상승고는 지하수면이 높을 때 발생하고, 심층침투는 충분한 강우, 관개가 있을 때 발생한다. 실제 증발산량은 기본 작물계수와 토양면 증발 작물계수를 고려하여 산정한다.

$$Dr,i = Dr, i-1 - Pi + ROi - Ii - CRi + ETa,i + DPi \quad (2-4)$$

여기서,

Dr, i = i 일 근역 토양수분 고갈 [mm]

$Dr, i-1$ = $i-1$ 일 근역 토양수분 고갈 [mm]

Pi = i 일 유효강우 [mm], 일 최대 침투율 이하 [mm]

ROi = i 일 지표면 유출 [mm]

Ii = i 일 토양침투의 순 관개심 [mm]

CRi = i 일 지하수면 모관상승고 [mm]

ETa,i = i 일 실제증발산량 [mm]

DPi = i 일 근역 초과 침투량 [mm]

발토양의 물수지 해석에서 지표면 유출은 필수 성분이다. 적합한 유출 모형을 선정하는 것은 중요하다. 강우-유출 모형은 수도 없고, 새로운 모형이 계속 개발되고 있지만, 여기서는 매개변수 하나인 ONE 모형 (One parametric New Exponential hydrologic Model)을 사용하는 것으로 하였다. 처음에 ONE 모형은 식(2-5)의 기본식, 식(2-6)의 일반식으로 일별 적용 목적으로 개발됐다.

ONE 모형은 일 단위의 집중형 연속 유출모형이며, 유역토양수분을 기반으로 한 매개변수가 하나인 지수함수의 유출모형이다.

식 (2-5)에서 Q 는 일 유출량, S 는 유역의 토양수분 저류량, α 는 하나뿐인 매개변수이며, 무계측 유역에서 매개변수 α 는 단순하게 식(2-6)과 같이 연 유출률(Q_r)을 연 강수량(P_a)으로 나타낸 일반화 공식(16개 댐 유입량 자료 이용)에 의해 결정할 수 있다. 식(2-5)의 상수를 매개변수로 하면 식(2-8)과 같이 5개 매개변수 모형이 된다. 그런데 매개변수를 상수화해도 모의결과가 매우 양호하다는 것을 관찰했다. 증발산량도 식(2-7)과 같이 토양수분함수로 나타냈고, 식(2-9)의 토양수분 물수지는 유출모의 기반이다.

$$Q(i) = (1 - e^{-0.003 \times S(i)})^{(0.2 + e^{-0.001 \times S(i) \times \alpha})} \times S(i) \quad (2-5)$$

$$Q_r = 25.22 + 0.0245 \times P_a \quad (2-6)$$

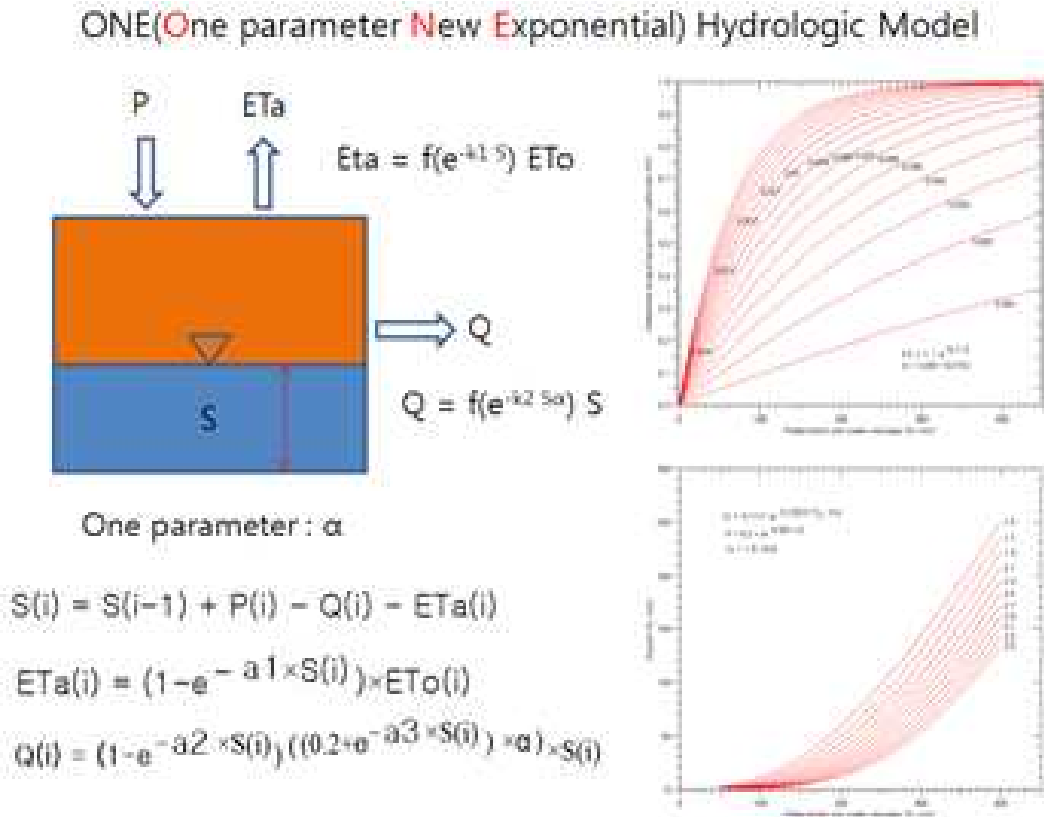
$$ETa(i) = (1 - e^{-c1 \times S(i)}) \times ETo(i) \quad (2-7)$$

$$Q(i) = S(i) \times (1 - e^{-c2 \times S(i)})^{[(c3 + e^{-c4 \times S(i)}) \times \alpha]} \quad (2-8)$$

$$S(i) = S(i-1) + P(i) - ETa(i) - Q(i) \quad (2-9)$$

여기서, $ETa(mm)$ 는 실제증발산량, $ETo(mm)$ 는 잠재증발산량, $Q(mm)$ 는 유출량, $S(mm)$ 는 토양수분저류량, $P(mm)$ 는 강수량이다. $c1$, $c2$, $c3$, $c4$, α 는 매개변수인데,

c1=0.015, c2=0.002, c3=0.2, c4=0.003으로 상수화시켜 α 하나만의 매개변수로도 유출모의 결과가 매우 우수하게 나타나고 있다.



<그림 2-42> ONE 모형의 개념도

FAO에서 권고하고 있는 기준작물 증발산량 산정 방법은 식(2-10)의 Penman-Monteith 방법이다.

$$ET_0 = \frac{0.484 (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2-10)$$

식(2-10)에서 ET_0 는 기준 증발산량(mm/d), R_n 은 작물표면 순복사량(MJ/m²/d), G 는 지중열 전달량 (MJ/m²/d), T 는 2m 높이 평균 일 대기 온도(°C), u_2 는 2m 높이 풍속(m/s), e_s 는 포화증기압(kPa), e_a 는 실제 증기압 (kPa), $e_s - e_a$ 는 포화 증기압 차 (kPa), Δ 은 증기압 기울기 (kPa/°C), γ 는 건습구 상수 (kPa/°C)이다.

2) 필요용수량 산정 결과

화옹 간척지는 수원 기상관측소, 새만금 간척지는 군산 기상관측소 자료를 이용하여 2011부터 2020년까지 10년 동안 일별로 증발산량, 유출량을 모의하고, 화옹 간척지는 미사 질식양토, 새만금 간척지는 사질양토에 대한 포장용수량, 위조점을 적용하여 관개 필요용수량을 모의했다.

(표 2-25) 해당 토양별 포장용수량, 위조점 (Allen 등, 1998)

Soil type (USA Soil Texture Classification)	Soil water characteristics		
	Q_{FC} m^3/m^3	Q_{WP} m^3/m^3	$(Q_{FC}-Q_{WP})$ m^3/m^3
Sandy loam	0.18 - 0.28	0.06 - 0.16	0.11 - 0.15
Silt clay loam	0.30 - 0.37	0.17 - 0.24	0.13 - 0.18

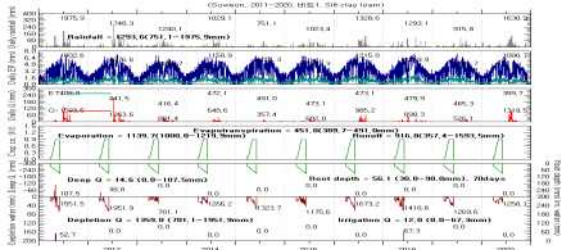
염도 실험에서 용수공급량을 증가시키면 염도가 낮아졌다. 여기서 용수공급량을 증가시키는 방법으로 생장저해수분점 수준(threshold)을 높이는 방법을 선택하였다. 설정 수준은 WP 0, WP 10, WP 20, WP 30으로 정했다. 여기서 0, 10, 20, 30은 수준 증분율(%)이다. 용수공급 수준별로 일별 토양수분 부족량을 관개하는 필요용수량을, 화옹 간척지와 새만금 간척지에 대해 모의하여 연별로 정리하였다. 화옹 지구(SiCL)와 새만금 지구(SL)에 대해 생장저해수분점 수준 30%, 현장 적용율 30%를 적용하여 작물별로 산정한 연 필요용수량은 다음과 같다.

화옹 간척지에서 연 필요수량은 각각 비트 392mm, 강황 433mm, 향부자 456mm, 적겨자 252mm, 레몬밤 287mm, 감초 585mm, 식방풍 593mm로 분석됐다.

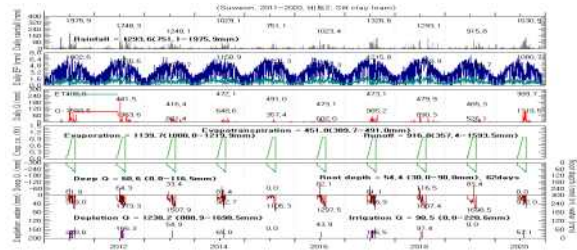
새만금 간척지에서 연 필요수량은 각각 비트 332mm, 강황 279mm, 향부자 386mm, 적겨자 250mm, 레몬밤 273mm, 감초 482mm, 식방풍 493mm로 분석됐다.

다른 지구에서도 여기서 제시한 결과를 바탕으로 해당 토양에 대해 작물별로 필요용수량을 산정하여, 계획 및 운영에 적용할 수 있다. 여기서 제시한 결과는 참고 자료가 되며, 다양한 현장 여건에 적합하게 변형시켜 적용하는 것이 바람직하다.

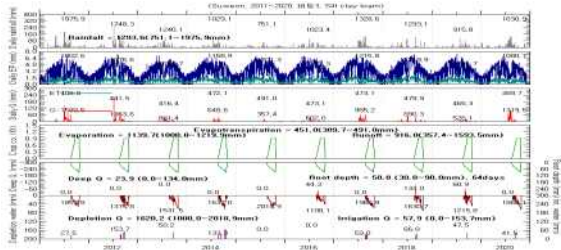
위의 결과를 종합하면 간척지 발관개에 필요한 수량은 화옹 간척지는 연 252~593mm, 새만금 간척지는 250~493mm인 것으로 분석됐다. 이 수량은 벼 재배에 필요수량과 비교 시 1/4~1/3 수준에 이르는 것으로 평가된다.



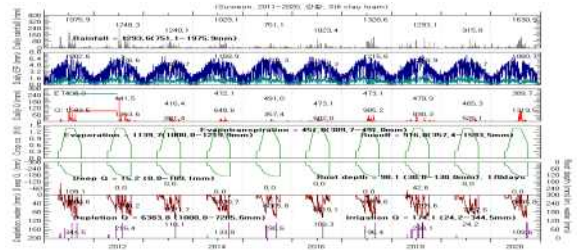
비트1



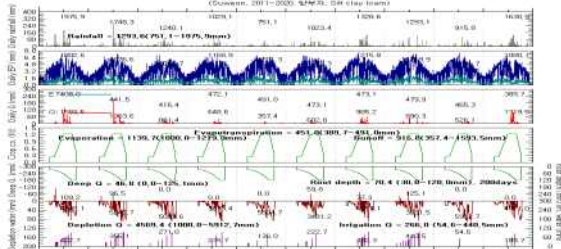
비트2



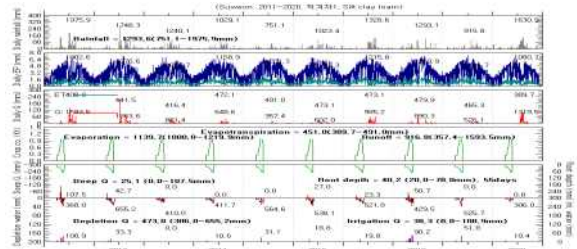
비트3



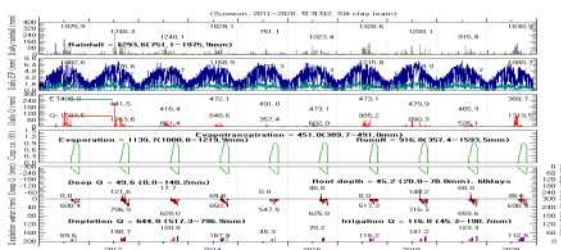
강황



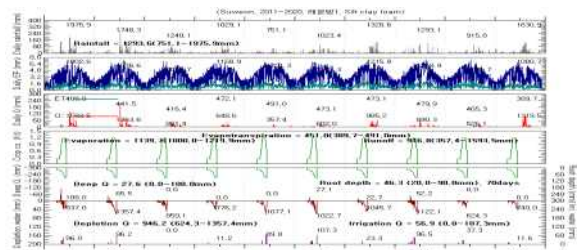
향부자



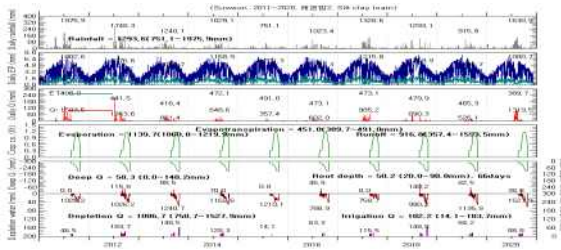
적겨자1



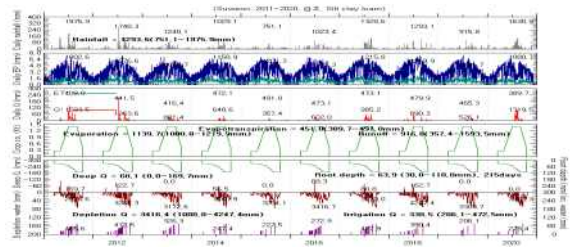
적겨자2



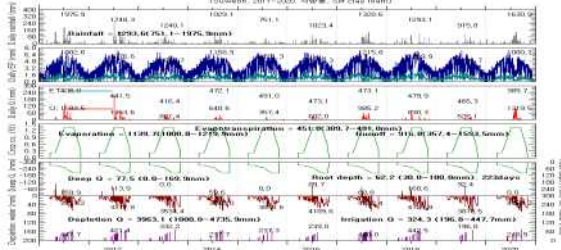
레몬밤1



레몬밤2

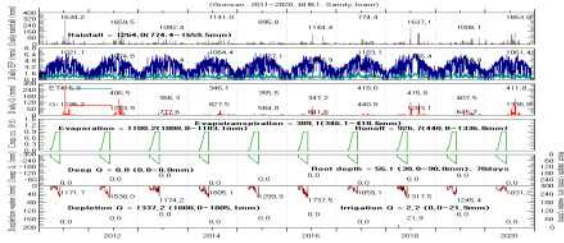


감초

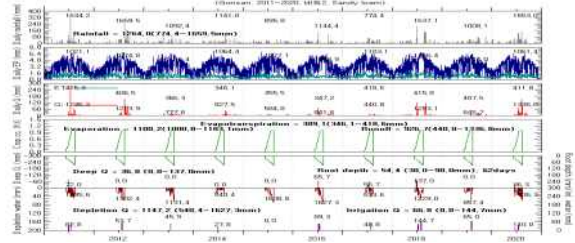


식방풍

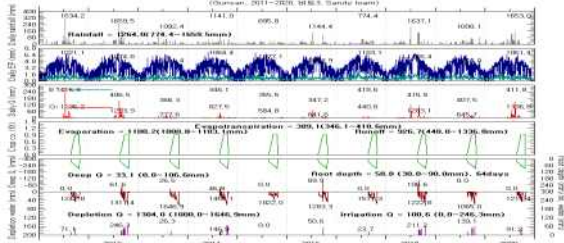
<그림 2-43> 화옹 간척지 작물별 일 필요용수량 모의 결과(2011~2020)



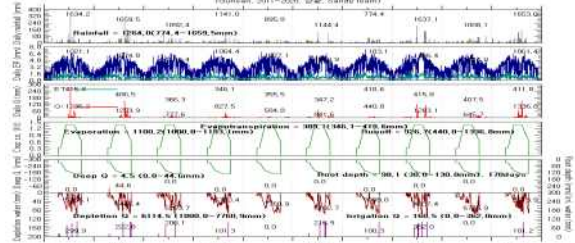
비트1



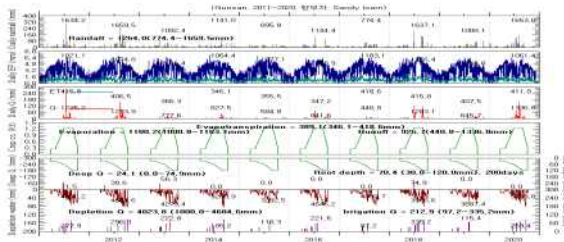
비트2



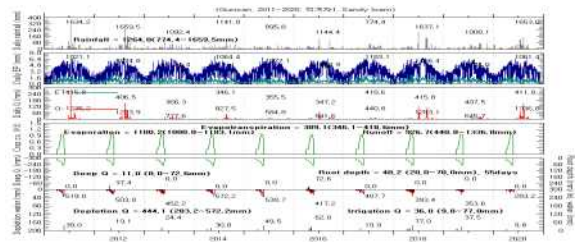
비트3



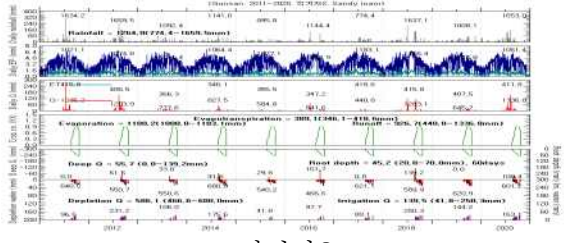
강황



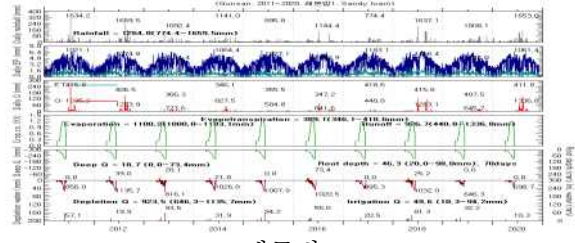
향부자



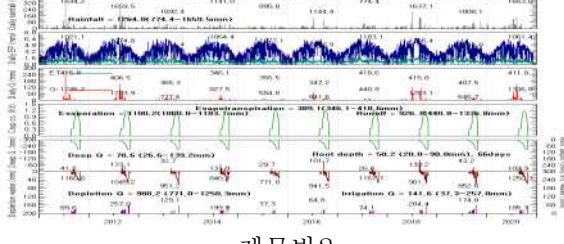
적겨자1



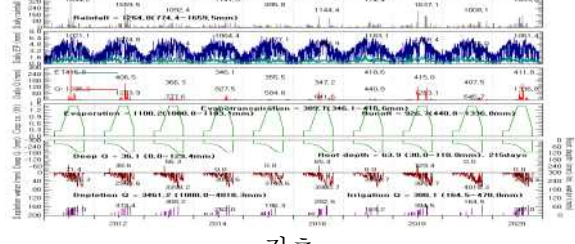
적겨자2



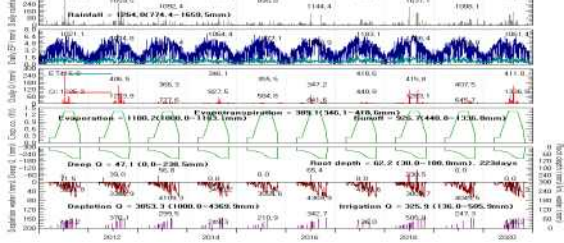
레몬밤1



레몬밤2



감초



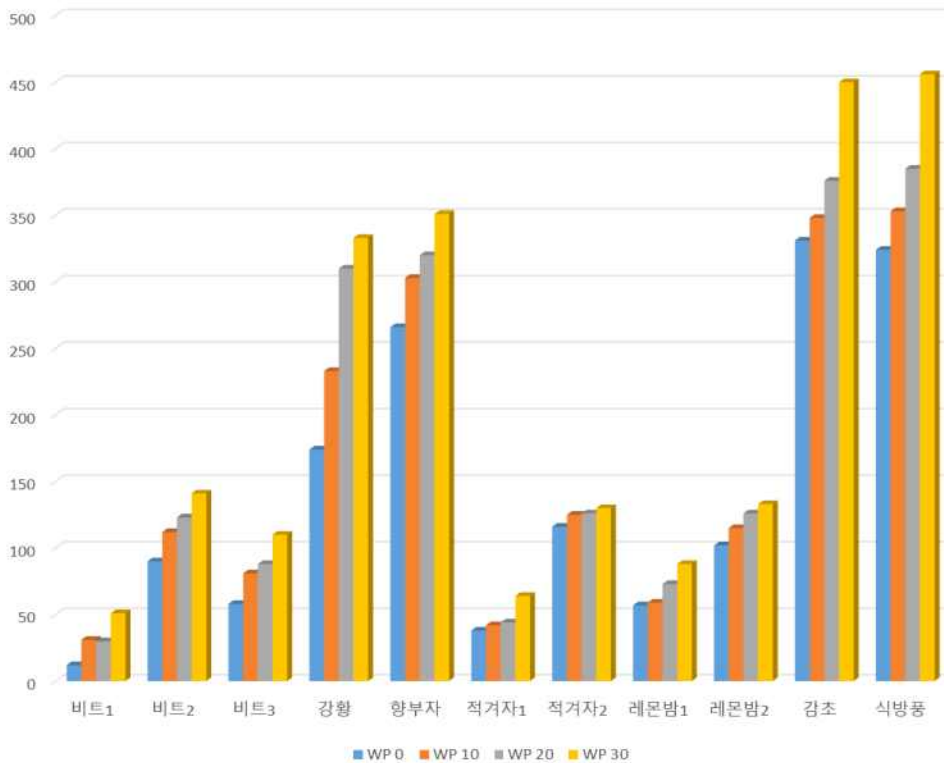
식방풍

<그림 2-44> 새만금 간척지 작물별 일 필요용수량 모의 결과(2011~2020)

(표 2-26) 화용 간척지 대상 작물별 주요 토양별 필요용수량 (mm) - WP 30

작물	토양	강우	증발산	지표유출	필요 용수량			
					WP 0	WP 10	WP 20	WP 30
비트1	SiCL	1,294	451	917	12	31	30	51
비트2	SiCL	1,294	451	917	90	112	123	141
비트3	SiCL	1,294	451	917	58	81	88	110
강황	SiCL	1,294	451	917	174	233	310	333
향부자	SiCL	1,294	451	917	266	303	320	351
적겨자1	SiCL	1,294	451	917	38	42	44	64
적겨자2	SiCL	1,294	451	917	116	125	126	130
레몬밤1	SiCL	1,294	451	917	57	59	73	88
레몬밤2	SiCL	1,294	451	917	102	115	126	133
감초	SiCL	1,294	451	917	331	348	376	450
식방풍	SiCL	1,294	451	917	324	353	385	456

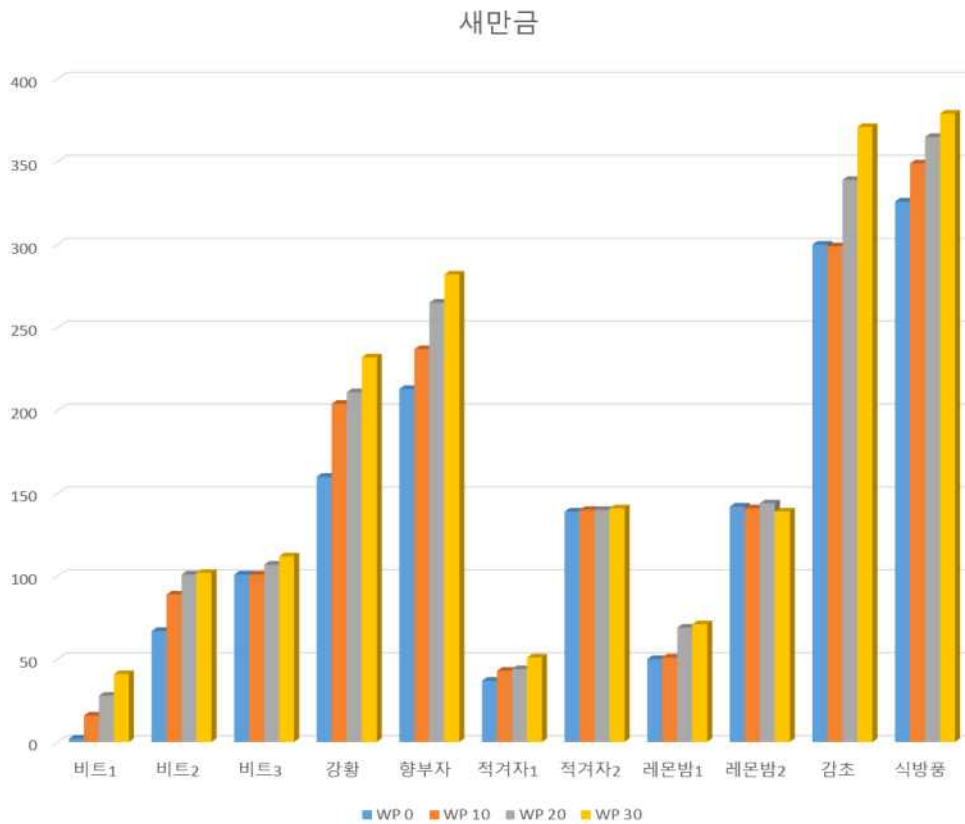
화용



<그림 2-45> 화용 간척지 작물별 년 필요용수량(mm)

(표 2-27) 새만금 간척지 대상 작물별 주요 토양별 필요용수량 (mm)

작물	토양	강우	증발산	지표유출	필요 용수량			
					WP 0	WP 10	WP 20	WP 30
비트1	SL	1,264	389	927	2	16	28	41
비트2	SL	1,264	389	927	67	89	101	102
비트3	SL	1,264	389	927	101	101	107	112
강황	SL	1,264	389	927	160	204	211	232
향부자	SL	1,264	389	927	213	237	265	282
적겨자1	SL	1,264	389	927	37	43	44	51
적겨자2	SL	1,264	389	927	139	140	140	141
레몬밤1	SL	1,264	389	927	50	51	69	71
레몬밤2	SL	1,264	389	927	142	141	144	139
감초	SL	1,264	389	927	300	299	339	371
식방풍	SL	1,264	389	927	326	349	365	379



<그림 2-46> 새만금 간척지 작물별 년 필요용수량(mm)

2.1.3 간척지 받기반 용수절약 모델 개발

일반적으로 수원공을 포함해서 물공급 시설 설치계획 분석을 위해 구간별 용수로의 특성, 조작방법 등의 용수 공급체계를 분석하였다.

가. 국내 간척지별 농업용수 공급시설 분석

우리나라는 간척지가 수도작으로만 이용되어 왔으나 쌀이 남기 시작하여 최근 사업 중인 새만금, 영산강 지구 등 일부 지구는 밭으로 이용하기 시작했다. 그러나, 간척사업이 종료된 지구 중 필요에 의하여 밭으로 이용하는 간척지가 있으나, 기존의 수도작용 용수공급 체계를 그대로 사용하고 있어, 참고할 만한 용수공급 체계가 없기 때문에 논을 밭으로 이용하고 있는 김해시 월촌, 시례, 칠산, 이작 지구 등 맑은물 공급사업 추진 지구의 용수공급 체계를 분석하였다.

(표 2-28) 김해 받기대 용수공급체계 조사 지구

지구명	사업명	면적(ha)	사업기간
월촌	월촌지구지표수보강개발사업	240	2008.12 ~ 2013.12
시례	대동지구 지표수보강개발사업	176	2000.10 ~ 2004.12
칠산	장유화목하수처리수 농업용수재이용사업	120	2012.02 ~ 2015.12
이작	생림이작지구 지표수보강개발사업	152	-

나. 조사 결과 분석

1) 기존 용수공급체계 구조

기존 용수공급체계는 용수원 > 용수로 > 관개 구역으로 분류되어 단순한 공급체계를 가지고 있다.



<그림 2-47> 밭(노지) 생산기반 용수공급체계

용수원으로서의 저수지, 하천수, 간척 담수호, 지하수 등을 사용한다. 여기에 조절지나 저류지 등 보조수원 시설로 자체적으로 용수원으로서 역할을 하지 못하나 주수원공이 있어야 기능을 발휘하는 용수원이 있으며, 용수로는 개수로와 관수로가 있으며, 최근에는 침전, 여과, 제염 등이 가능한 정수시설 사용이 증가 하고 있다.

2) 첨단(시설원예) 용수공급체계

① 맑은물 공급

김해시는 낙동강 물을 정수한 후 맑은물을 낙동강 연변의 4개 지구(월촌, 시례, 칠산, 이작) 688ha 1,880농가 원예시설에 공급하여 농가소득 증진에 기여하고 있다.

김해에서 최초로 맑은물을 공급한 지구는 시례지구로서 저수지를 유효저수량을 208천^m에서 575천^m으로 증설하여 2000년에 착공하여 4년 후 준공하였다.

-물 사용료 중 기본료는 ^m당 2,000원으로서 다른 지구의 10,000원에서 15,000원에 비하여 저렴하고 사용료도 ^m당 100원으로 다른 지역 수리계 150원에 비하여 저렴하게 부과하고 있다.

(표 2-29) 김해시 맑은물 공급사업지구 현황

지구명 (사업명)	수혜구역		사 업 내 용					시설관리현황	
	면적 (ha)	농가	사 업 량	공급량 (^m /일)	용수원	사업 기간	총사업비 (백만원)	수리 계명	사용료
월 촌 (월촌지구지표수 보강개발사업)	240	795	<ul style="list-style-type: none"> 배수지 V=900^m³ 급수관로 L=34.5km 보호통 795개소 	17,000	덕산 정수장 1차 침전수	2008.12 ~ 2013.12	11,593	대동 맑은물 수리계	기본료: 7,000원 사용료: 150원/톤
시 례 (대동지구지표수 보강개발사업)	176	460	<ul style="list-style-type: none"> 저수지증설 (208천톤⇒ 575천톤) 급수간선 L=22km 	12,000	시례 저수지	2000.10 ~ 2004.12	11,094	대동 수리계	기본료: 2,000원 사용료: 100원/톤
칠 산 (장유화목 하수처리수농업용 수 재이용사업)	120	225	<ul style="list-style-type: none"> 가압장 Q=15,000^m³/일 배수지 V=900^m³ 급수관로 L=23.9km 	10,000	화목 하수 처리장 재이용 수,조만 강수	2012.02 ~ 2015.12	10,991	칠산 맑은물 수리계	기본료: 12,000원 (50톤 기본공급) 사용료: 150원/톤
이 작 (생림이작지구지 표수보강개발사 업)	152	400	<ul style="list-style-type: none"> 가압장 Q=8,000^m³/일 급수관로 L=23km 여과기 1식 	8,000	낙동강 원수	2016.01 ~ 2021.12	7,500	-	-
합 계	688	1,880		47,000			41,178		

3) 첨단(시설원예) 용수공급체계 구축 사례 분석

① 용수공급체계 분석기준

- 수원공 : 저수지, 하천, 강변여과수, 하수처리수
- 정수장치 : 침전여과 방식, 여과장치 방식
- 송배수 방식 : 배수지 방식, 가압펌프방식, 부스터펌프 방식

② 시설원예 용수공급체계 분석 결과

- 월촌지구 지표수보강개발사업
 - 강서화훼단지에는 국내 최초 정수처리 시스템 도입

지구명	위치	면적 (ha)	농가	공급량 (m3/일)	용수원	사업기간	총사업비 (백만원)
월촌	대동면 대감리	240	795	17,000	덕산정수장 침전수	08.12~03.12	11,593

- 용수공급체계: 낙동강 - 덕산정수장 - 월촌지구

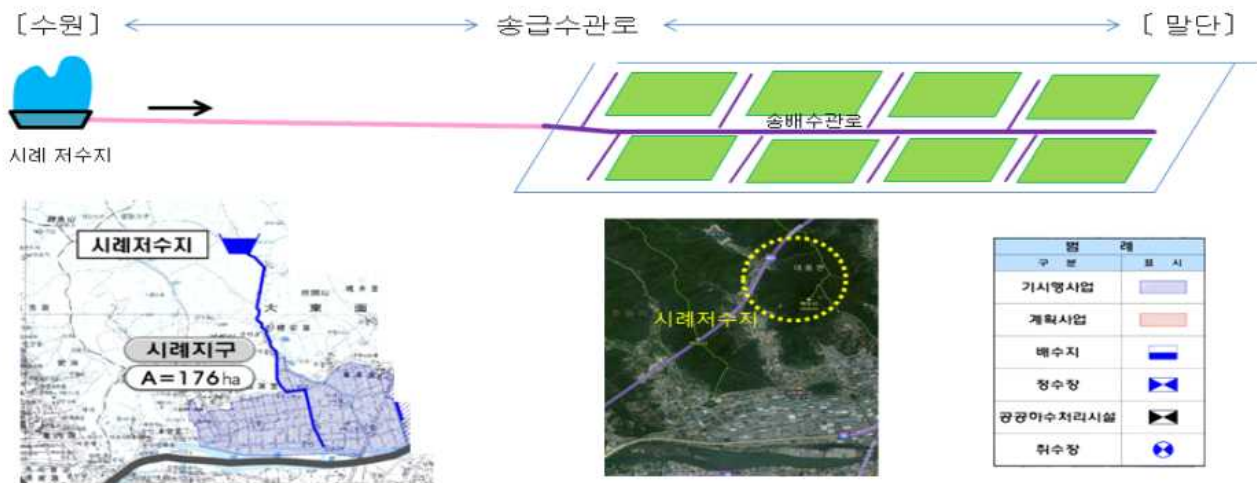


○ 시례지구 지표수보강개발사업

- 시례 화훼농가의 요청에 의하여 인근저수지의 맑은물을 공급하여 생산성 및 품질 향상으로 소득 증대

지구명	위치	면적 (ha)	농가	공급량 (m3/일)	용수원	사업기간	총사업비 (백만원)
시례	대동면 예안리	176	460	12,000	시례 저수지	00. 1~ 04.12	11,094

- 용수공급체계: 저수지 - 송수관로 - 시례 지구



○ 장유화목지구

- “김해시 농업용수 재이용사업” 하수처리수와 인접하천수를 희석하여 시설·원예 단지 용수공급
- 하천수 부유물질 농도 (SS : 20mg/ℓ), 관로 스프링클러 막힘 방지

지구명	위치	면적 (ha)	농가	공급량 (m3/일)	용수원	사업기간	총사업비 (백만원)
장유	철산 서부동	120	225	10,000	화목하수처리장 재이용수	12. 2~ 15.9	10,991

- 주요내용

- 부스터 펌프 앞단에 농업용수 여과기 설치 (5,000m³/일)
- 가압장내 용수공급 관로에 직렬로 배치함
- 반영구적 재질 여재(필터) 및 자동세척장치 탑재
- 유입수(SS : 15~20mg/ℓ) → 처리수(SS : 6~8mg/ℓ)

- 용수공급체계



○ 이작 용수공급체계

지구명	위치	면적(ha)	농가	공급량 (m ³ /일)	용수원	사업 기간	총사업비 (백만원)
이작 (계획)	생림면 안양리	214	412	8,000	낙동강 표류수 (창암취수장)	16.~ 20.12	7,500

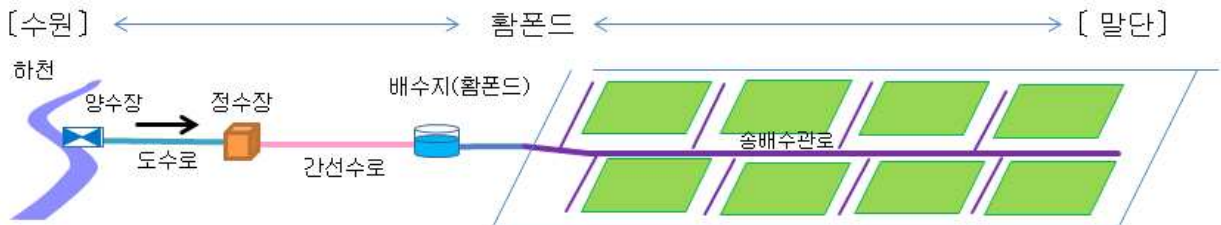
- 용수공급체계: 하천 - 갈산정수장 - 창원1지구, 2지구



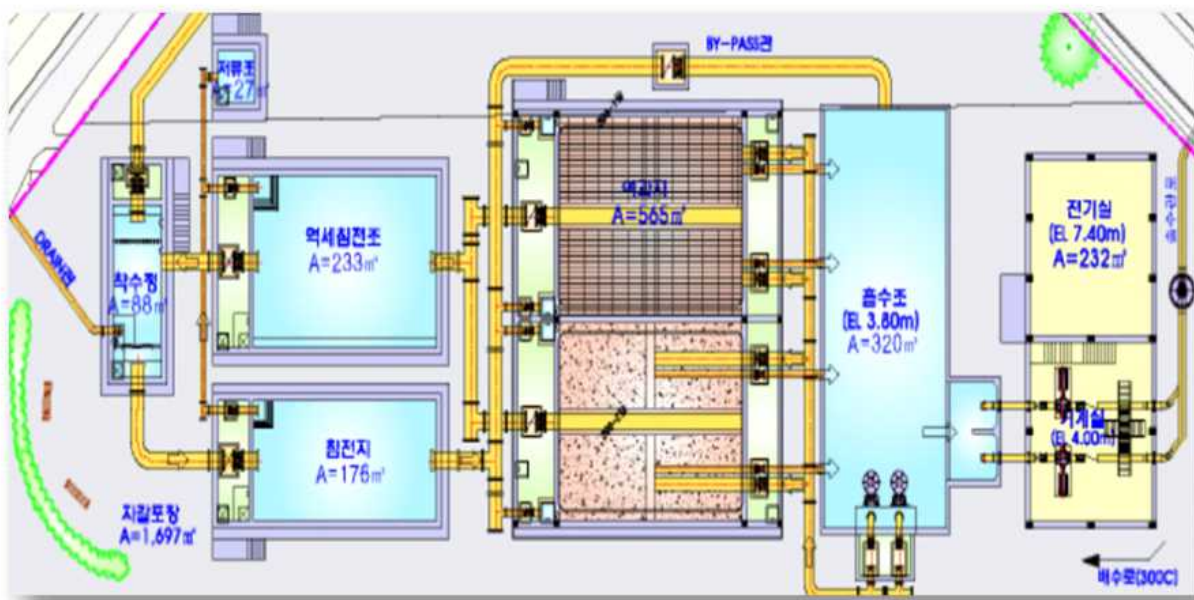
○ 창원지구 용수공급체계

지구명	위치	면적 (ha)	농가	공급량 (m3/일)	용수원	사업 기간	총사업비 (백만원)
창원	대산면갈전리 외5개리	291.3	460	3200 (0.5m ³ /sec)	낙동강	12. 07~ 15.12	10,000

- 용수공급체계: 하천 - 갈산정수장 - 창원1지구, 2지구



- 정수처리공정: 착수정 -> 침전지 (역세침전지) -> 여과지(급속여과지) -> 흡수조 -> 가압펌프



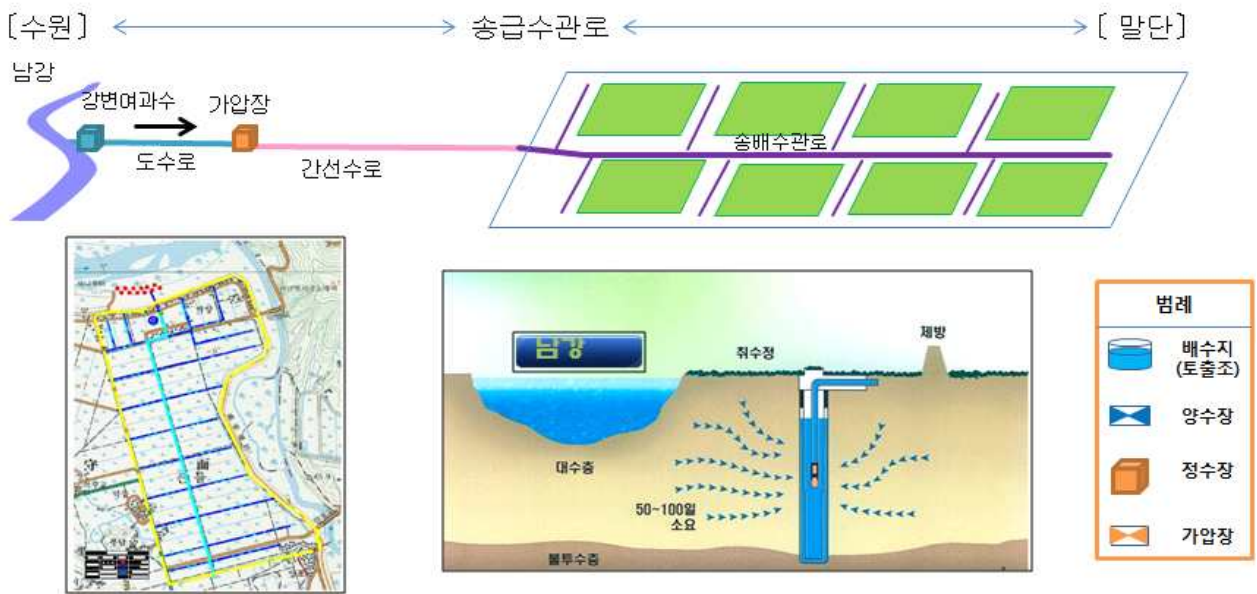
정수처리공정 설계도

○ 함안 범수지구

- 시설특작 및 채소단지에 맑은 물을 공급하여 농가소득 증대 및 지역균형발전 도모

지구명	위치	면적 (ha)	농가	공급량 (m3/일)	용수원	사업기간	총사업비 (백만원)
범수	범수면 윤내리 외 1개리	105	-	8,280	남강강변여과수	-	6,602

- 용수공급체계: 하천 - 강변여과수 - 범수지구



4) 조사결과 요약

- 김해시 시설원예단지에는 농어촌공사 김해지사의 491ha의 강서지구와 김해시 자체에서 개발한 월촌, 시례, 칠산 및 이작지구 등 688ha에 이르고 있다. 용수원이 저수지인 시례지구를 제외하고 모두 하천을 용수원으로 사용하고 있으며 특히 칠산지구의 경우 하수재이용수를 섞어 사용하고 있다.
- 강서지구는 낙동강 강서1양수장에서 원수를 양수하여 도수한 후 강서2양수장에서 침전, 모래여과를 거쳐 부스터 펌프로 가압한 후 급수되고 있다.
- 김해시의 경우 정수장치는 모래여과를 채택하고 있으나 칠산지구의 경우 메쉬여과장치를 이용하고 있으며 하수재이용수의 소독을 위해 UV장치도 마련되어 있다.

2.3.2. 간척지 물공급 시나리오 도출

가. 용수공급 체계 구성

1) 인근지역 저수지를 이용하여 용수를 공급하는 경우

- 저수지(취수탑) → 도수로 → 저류지(폰드) → 양수장(가압펌프) → 용수로(관수로) → 급수전(계량기) → 간척지 밭

2) 담수호 이용 용수공급 체계

- 하천(양수장) → 인수로 → 정수장 (수처리시설 + 가압펌프) → 용수로 (관수로) → 급수전(계량기) → 간척지 밭

3) 강변여과수 용수공급 체계

- 하천(강변여과수) → 집수정 → 양수장(가압펌프) → 용수로(관수로) → 급수전(계량기) → 간척지 밭

4) 간척지 밭지대 용수공급체계를 구축하기 위해서는 양수장, 정수장, 가압장, 송수관망, 수도계량기 등을 포함하여 구성

나. 간척지 밭 용수공급 체계 용수절감 시나리오

1) 간척지 밭용수공급체계 공종 구성 측면

- 기존 논의 생산기반의 용수공급체계를 밭 용수공급체계로 리모델링하기 위해서는 조정지, 정수장, 가압장, 송배수관망, 급수전 등 추가시설을 고려하여 설계하도록 한다.
- 밭 용수공급 시스템을 수원에서부터 농경지내 유말공 까지 표시하면 수원, 취수장, 정수장, 토출조, 유말공으로 구분하여 설계 할 수 있다.

2) 기존 용수공급 체계와의 차이점

- 밭 용수공급 시스템은 기존 수도작 용수공급과는 재배작물, 관개기간, 용수로, 공급량, 목표 수질, 물관리 등이 차이가 있다.



<그림 2-48> 밭 용수공급 시스템의 차이점

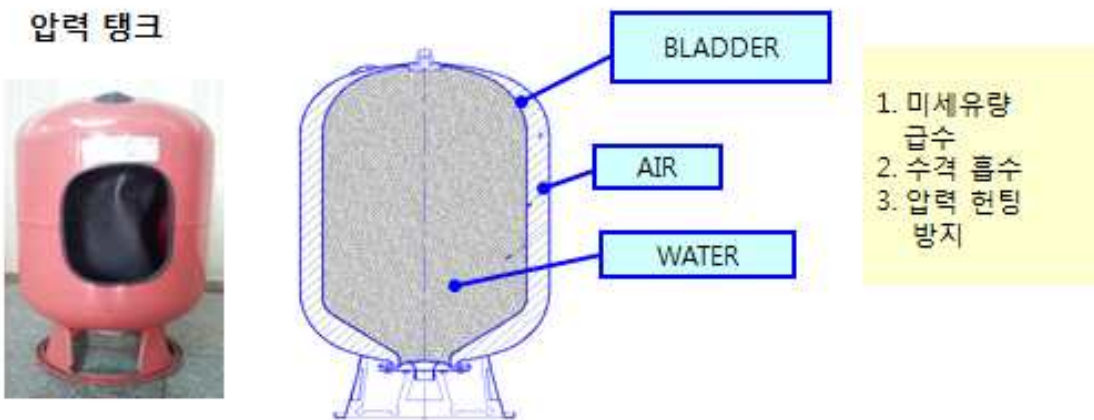
○ 간척지 받 용수 공급 체계 설계 기술 측면

<가압펌프(부스터 펌프) 이용 용수공급>

(가압시설의 종류와 선정)

- 자연압력식과 펌프압력식
- 펌프압력식 : 직송식, 배수조식, 압력수조식
 - 직송식 : 펌프에 의해 말단 소요 압력을 얻을 수 있도록 하는 방식
 - 배수조식 : 펌프에 의해 필요한 위치 수두를 얻을 수 있는 높은 곳에 배수조를 설치하고 여기서 다시 관로에 의해 급수하는 방식
 - 압력수조식 : 압력탱크 전에 가압펌프에 의해 가압된 압력을 조절하여 배수관로로 전달하는 방식
- 압력수조식은 사용수량의 시간별 변화나 급수중단 등에 대해서도 적절히 대응 가능하여 압력수조식을 채택하고 있는 추세
- 압력수조의 구성과 가압원리 : 사용유량에 따라 변하는 배관압력을 압력센서가 감지하여 압력탱크에서 계획된 소요압력과 비교하여 제어장치(인버터)의 지시에 따라 펌프 회전수를 변환시키면서 동시에 병렬 제어되는 펌프를 기동 또는 정지시키는 펌프시스템

(부스터 펌프시스템의 구성과 설계)



- 탱크용량 V_t (ℓ)은 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$V_t (\ell) = 16.5 \times Q/n \times \{ (P_{off} + 1.0332) \times (P_{on} + 1.0332) \} / \{ \Delta P \times (P_p + 1.0332) \}$$

Q = 펌프 1대당 유량 (ℓ/min), ΔP = 정지압력-기동압력 (kgf/m³), P_{off} = 정지압력 (kgf/m³), P_{on} = 기동압력 (kgf/m³), 일반적으로 『 $P_{on} = 0.5$ 』, P_p = 탱크 충전압력 (kgf/m³),

n = 시간당 기동회수 (회 /Hr)로서 동력(kW)에 따라 정한 숫자

3) 포장내 절수관개 기술 측면

○ 간척지 밭관개 관수방법은 스프링클러, 점적관개, 고랑 관개법 등이 있으며 간척농지의 토양제염축진을 위한 지속관개 및 작물생육 편리성을 위해서는 스프링클러

러를 기준으로 계획하고 있다.

(표 2-30) 발판개 관수방법

구 분	스프링클러	점적관개	분수호수
사 진			
적용작물	상추, 파	딸기, 토마토	콩, 밀
특 징	회전노즐로 분출	튜브 미세 구멍	고랑을 이용한 공급
필요수압	1.5~5.0 Kg/cm ²	1.5~2.0 Kg/cm ²	고랑경사(1/100이하)

○ 포장내 발판개를 위한 관수장치의 통합적 설계

- 스프링클러 : 작물포장에 강우와 같이 균등하게 물을 살포하는 방법이며 시비나 농약을 겸할 수 있고 노지와 시설원예에 같이 사용할 수 있는 방법이다. 고정식과 이동식이 가능하다.
- 점적 관개 : 작물의 이랑을 따라 지표면에 정해진 급수관에 일정간격마다 부착된 점적(drip)노즐로부터 물방울을 약한 강도로 근근역 토양지표면에 장시간 공급하는 방법으로서 절수와 함께 수확량을 높일 수 있다. 터널 내 또는 멀칭 아래에 노즐을 설치할 있으므로 시설재배에 적합한 방법이다.
- 분수호스 : 비닐관, 플라스틱 관 및 내압호스에 있는 다수의 작은 구멍으로부터 물을 살포하는 방법으로서 일반적으로 지표면에 배치하므로 바람의 영향을 적게 받아 비교적 균일하게 물을 살포할 수 있어 멀칭 재배시 비닐 아래에 설치하는 경우가 많다. 살수 범위가 장방형이고 비교적 저압이므로 하우스나 터널형 시설재배에 편리하게 사용할 수 있다.

다. 시나리오별 발기반 물 절약 모델 개발

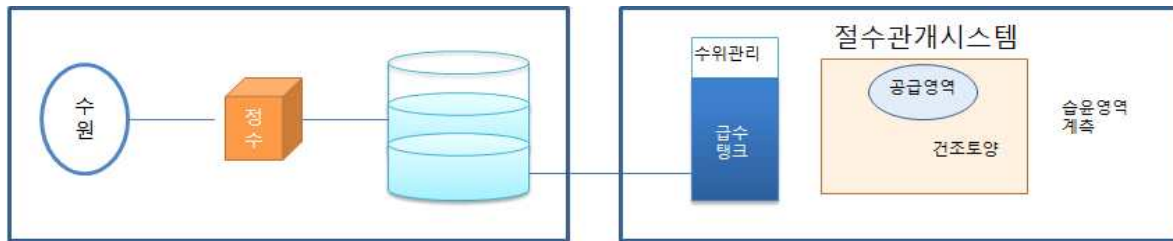
[간척지 발 용수 공급 체계 설계 기술 측면]

간척지 발 용수공급체계는 수원공에서 포장까지의 용수공급체계와 포장내 관수장치로 구분되며, 수원공 종류, 수처리 공정 도입 여부에 따라 간척지 발용수 용수공급체계는 다음과 같이 구축 할 필요가 있다.

1) 송수관로

송수관로(Macro Irrigation System)는 안정적인 수량을 확보할 수 있는 용수원, 용수를 적기에 필요한 곳에 공급할 수 있는 송수관로와 수두 구축, 작물의 품질을 향상시키기 위해 수질관리에 필요한 가압정치, 정수장치 등이 핵심 요소이다.

관개시스템(Micro Irrigation System)은 기상센서, 온실센서, 토양센서 등 다양한 센서로부터 얻어진 정보를 분석하여 작물에 따라 알맞은 생육환경을 구현하기 위한 복합환경 제어시스템의 하나로 습윤영역 계측을 통한 적절한 수분 공급 및 물 순환 등이 핵심 요소이다.



<그림 2-49> 간척지 발 용수공급시스템

2) 용수공급체계 구축 방안

간척지 용수공급시스템은 수원공 종류, 수처리 공정 도입 여부에 따라 다음과 같이 용수공급체계를 구축 할 필요가 있다.

(표 2-31) 시나리오별 용수절약 모델 유형

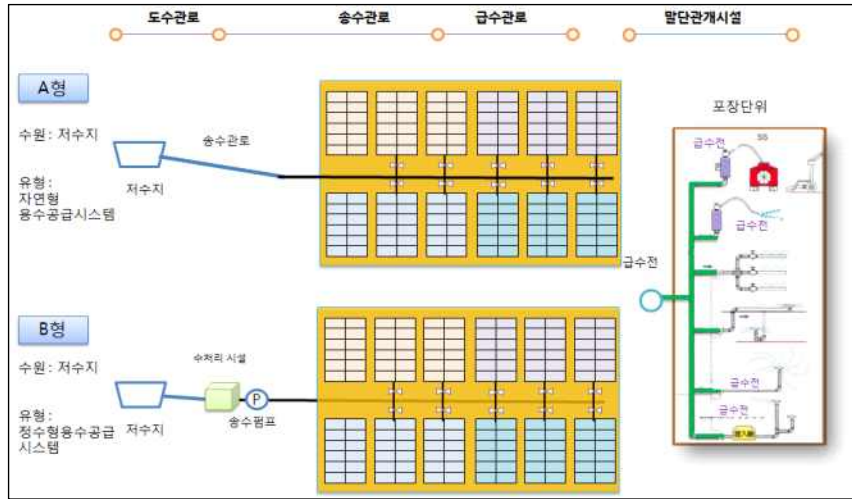
유형	수원공	용수절약 모델 유형
A형	저수지	저수지-송급수관로 - 계량기
B형	저수지	저수지-도수로-정수장-송급수관로 - 계량기
C형	하천 (강변여과수)	하천 - 정수장 - 송급수관로 - 계량기
D형	하천 (강변여과수)	하천 - (양수장) - (도수로) - 정수장-송급수관로-계량기
E형	하천수	하천-정수지-송수관로-배수지 - 송급수관로-계량기

- 저수지 이용 자연형 용수공급체계

- 수처리 여부에 따라 자연형과 수처리형 용수공급체계로 구분

A형 : 저수지의 수질이 양호하여 수처리시설을 설치하지 않고 원수를 공급하는 형태

B형 : 저수지의 수질이 수질기준을 만족하지 못하여 원수를 수처리하여 공급하는 형태



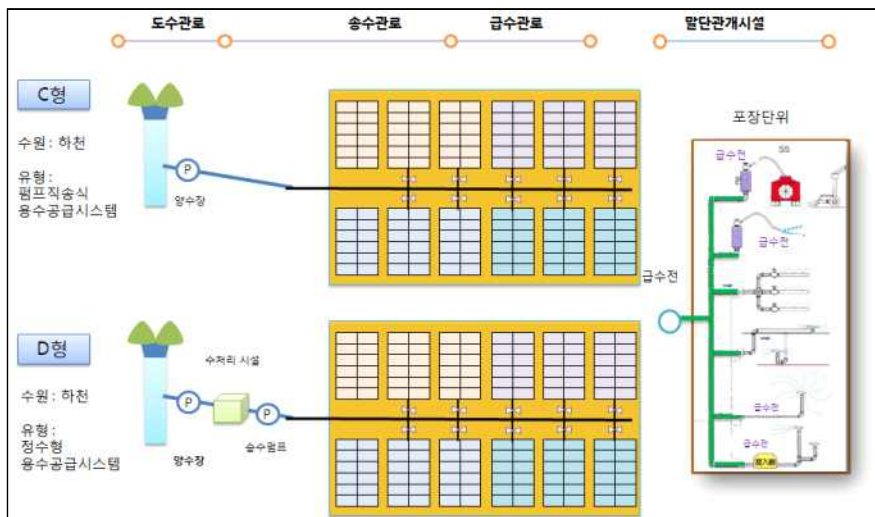
<그림 2-50> 저수지 이용 용수공급체계

- 하천수 이용 정수형 용수공급체계

- 수처리, 가압여부에 따라 원수공급형과 수처리형 용수공급체계로 구분

C형 : 하천수의 수질이 양호하여 수처리를 하지 않고 원수를 가압펌프로 공급하는 형태

D형 : 하천수의 수질이 수질기준을 만족하지 못하여 원수를 수처리하여 가압펌프로 공급하는 형태



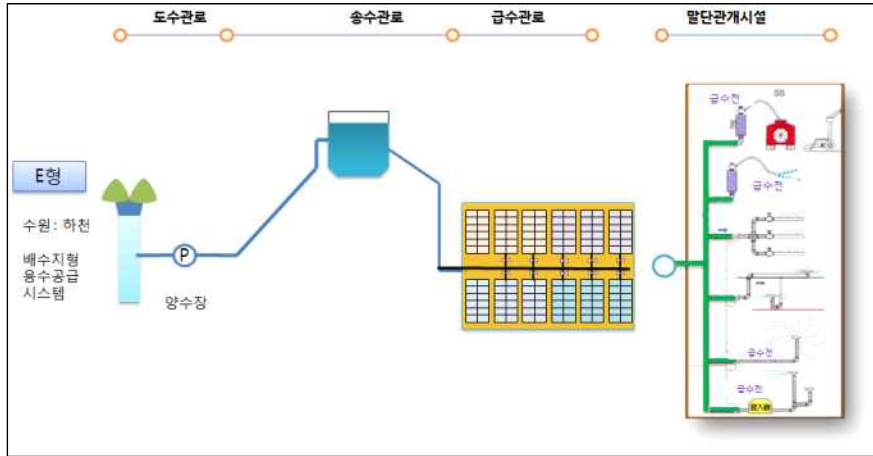
<그림 2-51> 하천수 이용 용수공급체계

- 하수처리수 이용 정수형 용수공급체계

- 하수처리수를 재처리하여 공급하는 용수공급체계

E형 : 하수처리수를 재처리 하여 가압펌프로 공급하는 형태

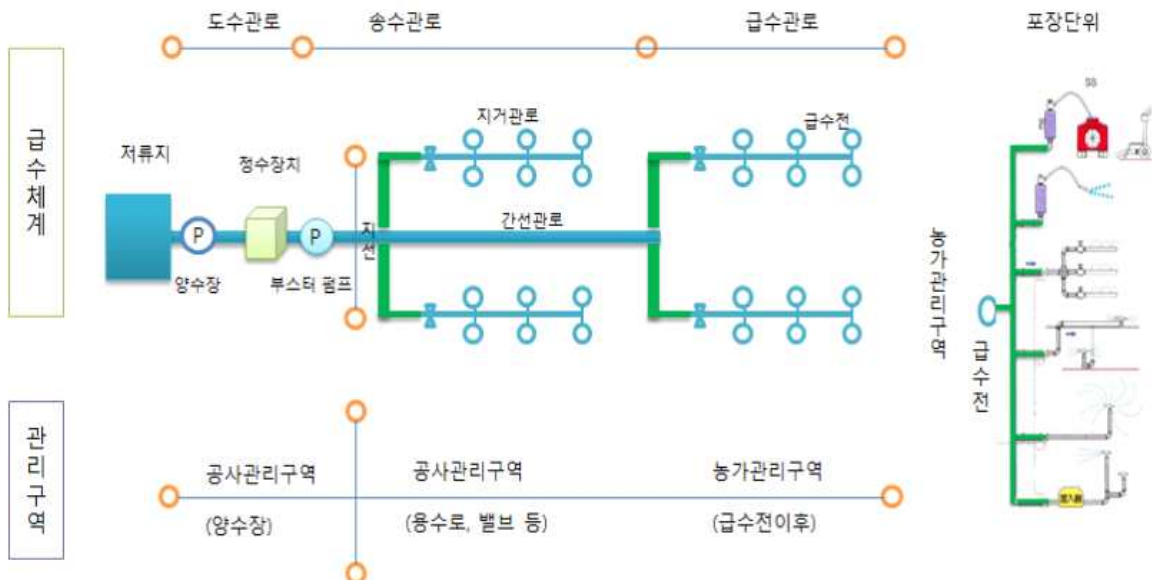
※ 배수지(가압펌프)를 이용하여 공급하는 경우와 배수지(가압펌프)가 필요 없는 경우가 있음



<그림 2-52> 하수처리수 이용 정수형 용수공급체계

3) 용수관리 구역 설정

간척지 밭 용수공급체계는 물관리 및 시설관리를 위하여 관리구역을 설정할 필요가 있으며, 취수원에서 지거까지는 공사, 자자체 등에서 관리하고 급수전부터는 농가가 관리하는 것이 바람직하다.



<그림 2-53> 용수공급체계 관리구역 설정

4) 포장내 급수전 설치

급수전은 도로와 포장 경계면에 설치하며 농가가 급수밸브를 관리하여 물을 자유롭게 사용하도록 설치하고, 관수장치와 연결이 용이한 구조로 설치하는 것이 영농편의상 유리할 것이다.

급수전에 개량기를 설치하여 농가는 개보수, 검침 등을 실시하여 전기세 등 운영비 거출에 활용할 수 있도록 한다.

5) 수리계 구성 급수전 이후 시설관리 주체로 활용

김해, 창원시에서는 사업지구별로 급수전을 설치하여 수혜민 물관리 조직을 구축하여 수혜민 조직인 수리계가 급수전 등 시설물을 자체관리토록 하여 물 사용량과 관리비용을 절감하고 있어 수리계가 급수전 검침, 말단 급수전 추가 설치 등 시설관리 업무를 자체적으로 수행하며 시설관리를 할수 있도록 할 필요가 있으며 이를 수혜민인 농가도 반기고 있어, 수리계가 말단시설을 효과적으로 관리하고 있도록 시설관리 주체로 활용 해야한다.

[운영관리시스템 측면]

1) 필요성

발용수공급체계 운영관리시스템은 기존의 TM/TC를 넘어선 AMI 기반의 센서네트워크 기술을 적용한 스마트 운영관리시스템 구축이 필요하다.



<그림 2-54> 관망운영관리 시스템 구축 목표

2) 발용수공급체계 운영관리시스템 구성

취수에서 사용처 급수전 까지 관수로망을 대상으로 운영관리시스템 구성한다.



<그림 2-55> 관망운영관리시스템 개념도

- 계측기 설치지점은 양수장으로 부터 공급되는 용수간선 유출부와 용수지선으로 분기되는 지점, 용수지선 분기 이후의 용수로, 급수전에 계측기 설치
- 스마트 관망 운영관리 시스템은 AMI 계측시스템, 실시간 관망운영시스템, 관망누수관리, 스마트폰 등 서비스 앱 등을 포함 설계



<그림 2-56> 관망운영관리 고도화 기능 예시

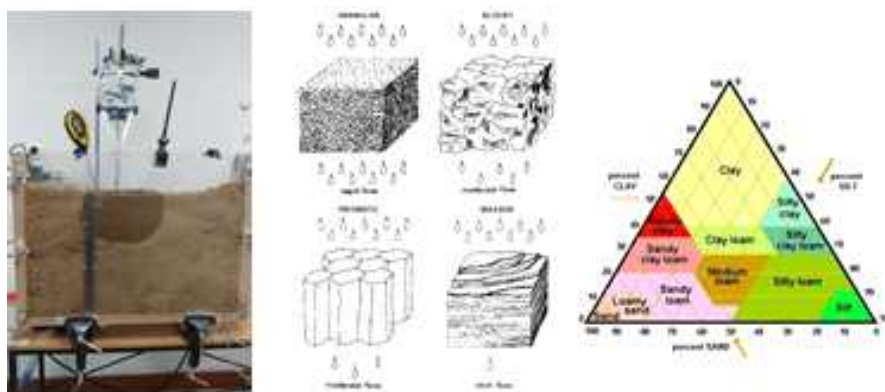
3) 예상되는 기대효과

- 센서 네트워크 기술을 활용한 스마트 관망운영관리 시스템 구축으로 용수 공급 안정성, 효율성, 경제성 확보함
- 공급시설의 안정적 운영 : 수요예측 및 공급관리를 통한 안정적 시설운영
- 운영관리의 효율성 : 광범위한 지역에 산재된 시설의 가동상태 모니터링 관리, 공급량 및 사용량 분석을 통한 관리 효율성 개선
- AMI 기반 운영관리로 수요공급 관리로 운영관리 비용 절감함

[포장내 절수 관개 기술 측면]

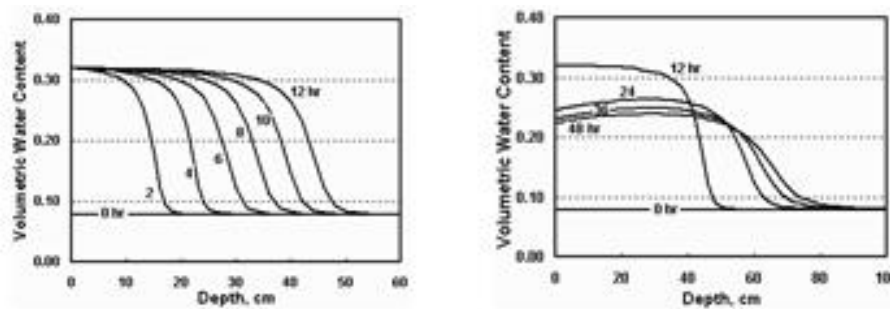
1) IoT장비(센서, 액추에이터)를 활용한 생산성 극대화 및 절수효과

토양은 공극율에 따라 그 함수량이 다를 뿐 아니라 토성에 따라 수분의 침투 속도와 분포 모양이 상이하다. 일반적으로 사질토에 가까울수록 침투 속도는 빨라지고 수직 운동을 하며 점질토에 가까울수록 침투 속도는 더디고 수평운동을 하여 퍼지는 분포 모양을 보인다. 일반적으로 토성은 다층구조로 이루어지며 각 층 사이를 통과 시 관성과 동시에 3차원적인 저항이 작용한다. 또한 객토 및 경작 중 물성 변화에 따라 수분의 운동 패턴은 바뀌므로 표토에서 목표 심도까지의 도달 시간을 실시간으로 파악하여야 적정 수분 공급에 대한 기준을 추정 가능하다.



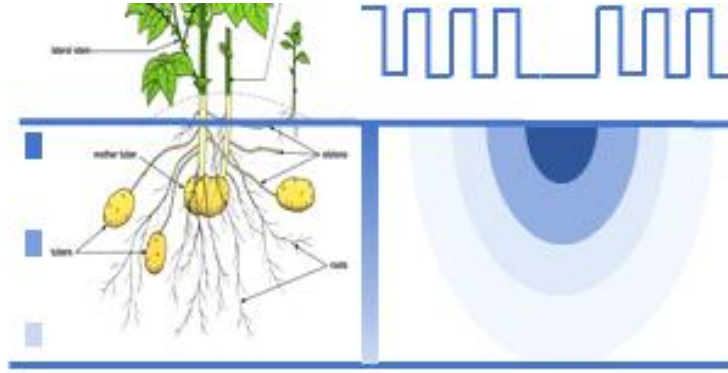
<그림 2-57> 토질에 따른 수분 침투 속도의 상이함

심도가 깊어질수록 특정 함수율까지 도달하는 시간은 현격히 증가하며 이는 특정 함수율까지 소실 시에도 마찬가지이다.



<그림 2-58> 토양심도에 따른 침투 및 소실의 상이함

작물의 뿌리는 전체 흡수량을 100으로 가정할 때 70~80의 양을 흡수하는 유효근권심을 가지고 있으며 이는 작물 별로 상이하며 최소수분요구량을 유지하기 위한 관개패턴을 산출하기 위한 주요한 관측 지점이다.



<그림 2-59> 표토/유효근권심/말단의 함수율에 따른 수분유지

토양 내부의 함수율을 경작자가 파악하는 것은 불가능하며 토양센서를 사용하여 샘플링할 시 단일지점의 상대습도를 파악하는 것으로 충분하지 않으며 다지점 센서를 통하여 표토, 유효근권심 그리고 뿌리 말단의 함수율 변화를 추적함으로써 심도에 따른 수분 침투 운동을 유추할 수 있다.

식물의 성장에 따라서 최소 수분 요구량도 증가와 감소 추세를 보이므로 이에 따른 토양 함수율 분포도 달라지며 적정 수분 투입량 또한 변화하게 된다.



<그림 2-60> 다지점 센서 예시

표토 근처의 대기 온습도와 풍향, 풍속은 토양 상단의 수분 분포에 영향을 주며 이는 단계적으로 토양 수분 분포와 적정 수분 투입량 산출에 2차적인 영향을 주므로 보조지표로 경작지 인근의 미시기상을 추적하여야 할 필요가 있다.

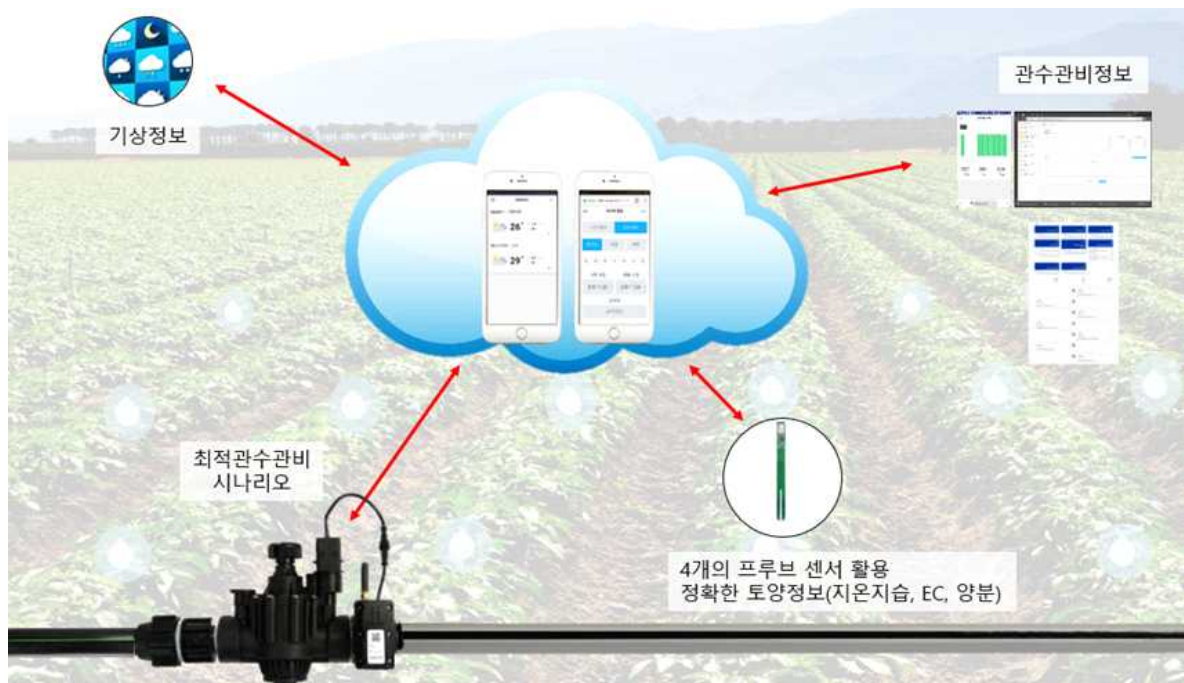


<그림 2-61> 미시기상대 및 소형 환경센서의 활용

다지점센서와 미시기상대를 통한 토양의 수분 모양 및 패턴을 유추하여 최적 수분양을 유지하기 위해서는 센서를 통한 상태 파악 후 정밀 관수를 통한 피드백이 필요하다. 이를 위해서는 최소 단위의 분절적 관수를 시행하며 그에 따른 함수율 변화를 추적하여 수분 투입을 증감하여야 한다.

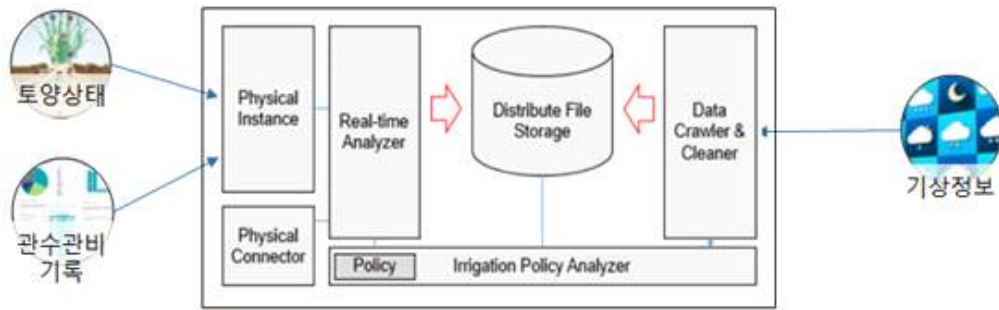
유량계와 밸브제어를 통해서 분절적인 관수인 펄스관수를 시행할 수 있으며 이는 다양한 관수방법에 적용할 수 있으나 점적관수 및 압력보상형 관수를 시행할 때 가장 정밀하게 제어할 수 있다.

시행 회차 별로 수분 투입과 그에 따른 함수율의 변화를 패턴화하여 기계학습을 시행하면 유사조건에서의 관수시나리오를 예측할 수 있다.



<그림 2-62> 개념도

반복에 의한 조건 별 패턴을 학습함으로써 역으로 식물의 성장주기, 토양센서데이터, 그리고 미시기상정보로부터 현재의 식물 성장상태, 최소수분요구량을 유추할 수 있으며 이상곡선에 따르는 관수시나리오를 선행하여 산출할 수 있다. 이는 시간 흐름에 따른 환경변화에 따라 보정하여 사용함으로써 적정 수분 레벨 최소오차로 유지할 수 있다.



경작지에 가장 적합한 관수관비 시나리오

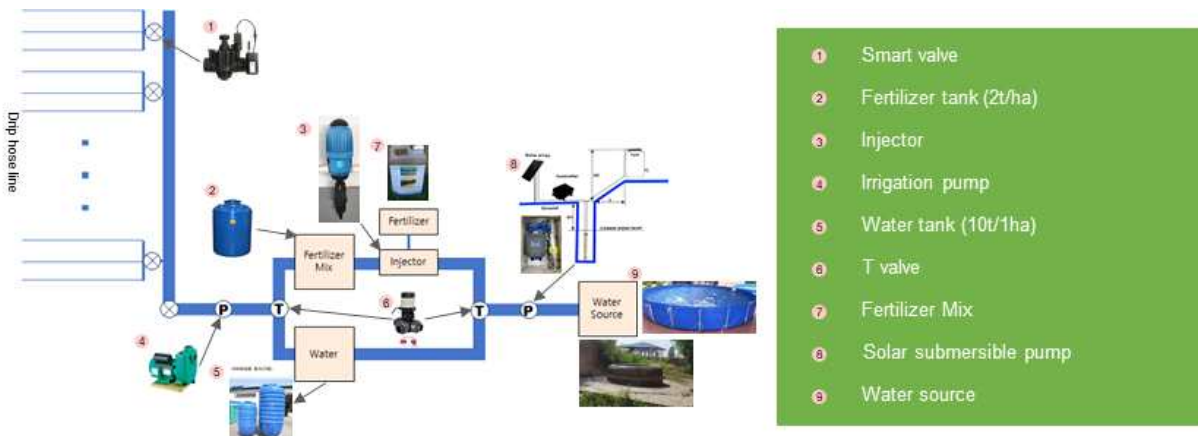


	기상정보	외부에서 유입될 수분 예측
	관수관비 기록	필요한 유량을 정확히 전달
	토양상태	관수관비 후 토양상태 피드백 후 대응

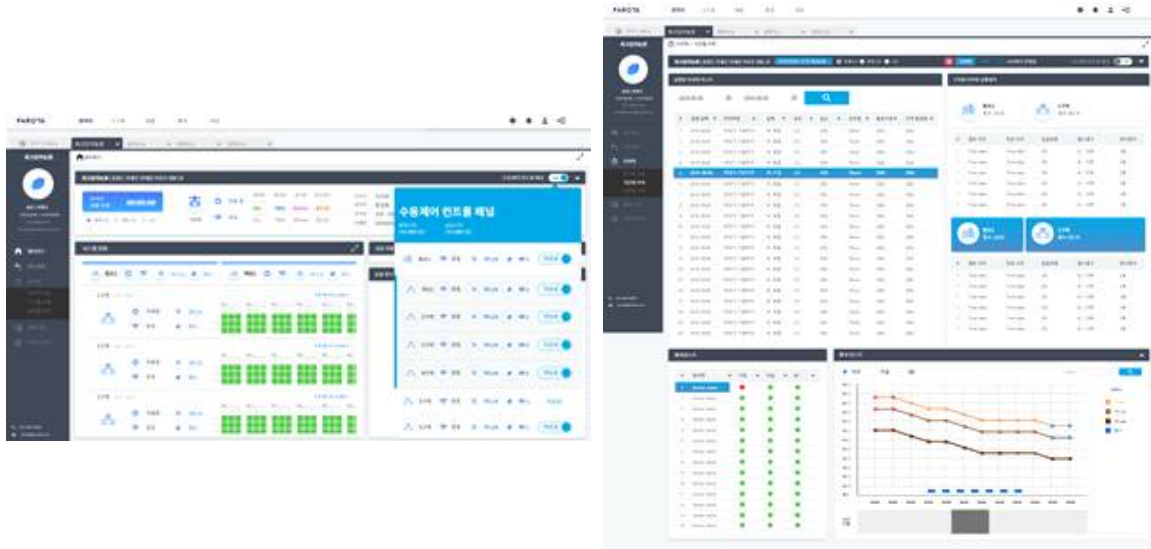
<그림 2-63> 관수시나리오 산출 프로세스

토양은 고유의 함수량을 가지므로 강우 등 기상 예보를 참고하여 선행하여 함수율을 최소수준으로 유지함으로써 수분 포화로 인한 범람, 과습 피해 등을 최소화할 수 있다.

상기와 같은 IoT장비와 환경데이터를 활용한 정밀 관수로 일차적으로 생장을 효율화하여 요구사항에 맞는 생산물을 균일하게 생산할 수 있으며 이차적으로 최적의 수량을 관수에 사용하여 절수효과를 기대할 수 있다.



<그림 2-64> 시스템도

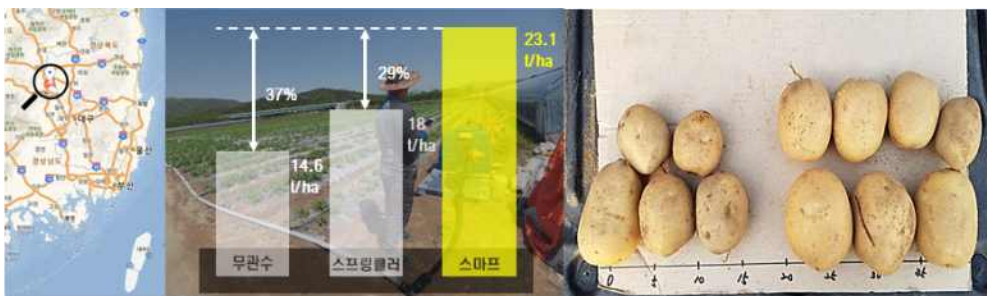


<그림 2-65> 관제소프트웨어 예시

정밀관수를 실시 할 경우 가공용 감자 포장(경북 선산읍) PoC테스트 결과 최종 입고량이 29%, 품질의 척도인 전분밀도가 7%포인트 상승하였으며 이랑 관수에 비하여 64%의 절수효과를 거둘 수 있었다.



<그림 2-66> 감자포장 시행 사례



<그림 2-67> 감자포장 시행 결과

간척지 발용수공급 시스템은 급수전에 계량기를 설치하여 농민이 원하는 지역은 수리계를 조직하여 자체적으로 관리도록 하여 용수사용료로 유지관리 하도록 한다.

2.1.4 간척지 작물관리 및 재염촉진·재염화 방지 기법개발

가. 재염촉진 및 재염화 방지기법 조사 분석

1) 재염암거 및 심토파쇄와 물관리를 통한 재염촉진

고염도의 간척지 토양의 재염은 담수제염, 심토반전, 심토파쇄, 객토, 표토제거, 화학적 제염(석고 등), 식물학적 제염 및 미생물 활용 등이 있으나 용수공급시설이 있는 농지조성사업 현장에 심토파쇄와 담수제염이 적용 가능하다.

본 연구에서는 <그림 2-68>와 같이 지하배수암거 설치와 심토파쇄를 실시한 후에 자연강우와 관개용수를 지하 침투시켜 지하침투수에 의한 제염을 실시하였다. 지하암거조건의 제염특성을 이론적으로 규명하기 위하여 지하암거조건에 대한 침투류해석을 실시하여 침투수량을 예측하고, 이 침투수량에 의한 제염효과를 예측하였다.

관개용수는 스프링클러와 점적호스관개를 실시하면서 정기적으로 토양염도를 측정하여 제염을 위한 물관리기법을 제시하고자 하였다.

2) 재염화 방지기법 조사분석

지하배수암거 설치 전과 심토파쇄 후 그리고 작물재배 기간 동안 토양염도변화를 측정하여 재염화 특성을 조사분석하고 작물재배조건과 물관리 기법에 따른 재염화 방지기법을 제시하고자 하였다.



a) 흡수암거설치



b) 심토파쇄(심도 60cm)

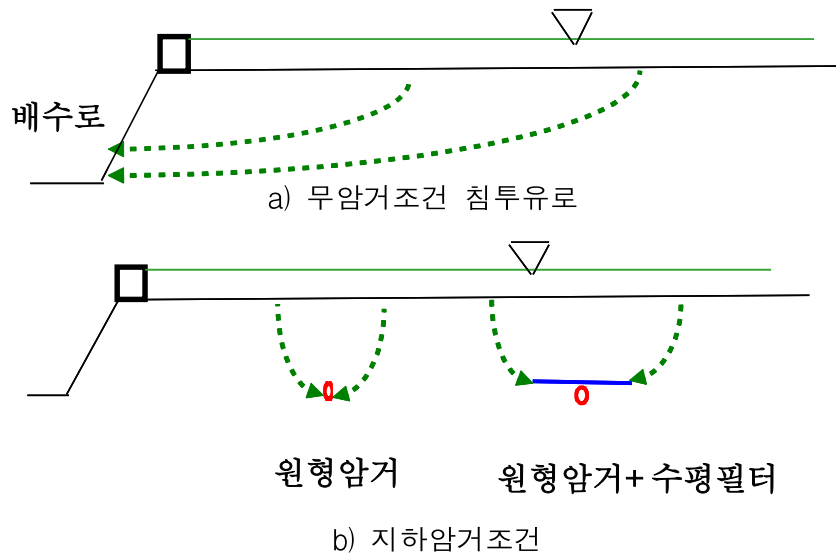
<그림 2-68> 지하암거설치 및 심토파쇄

나. 침투류해석과 제염특성예측

1) 지하배수암거 모식도

농경지에서 강우 침투에 의한 지하수의 흐름을 보면 암거가 없는 경우 <그림 2-61a>와 같이 배수로 방향으로 지하수의 흐름이 발생되고 이 흐름에 의해 지하수위가 저하하게 된다.

그러나 지하암거를 설치하게 되면 <그림 2-61b>와 같이 지하암거 방향으로 흐름이 발생되어 배수거리가 1/10~1/100 정도 감소하여 지하배수가 훨씬 빠르게 촉진된다.

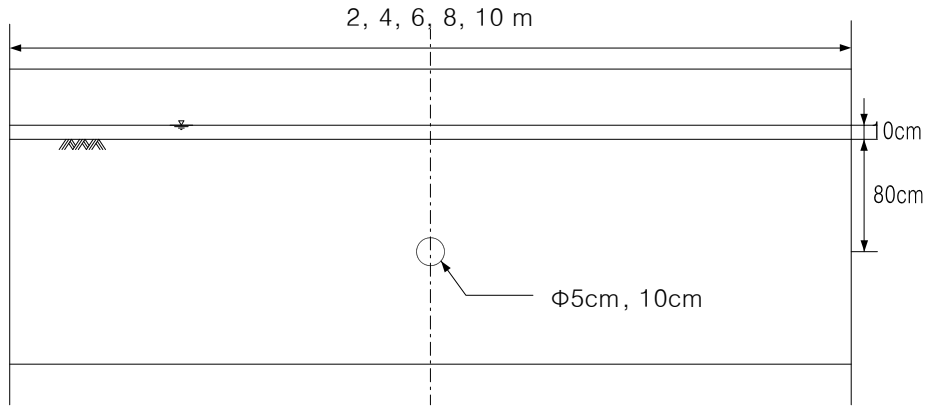


<그림 2-69> 무암거 및 지하암거조건에서의 침투유로

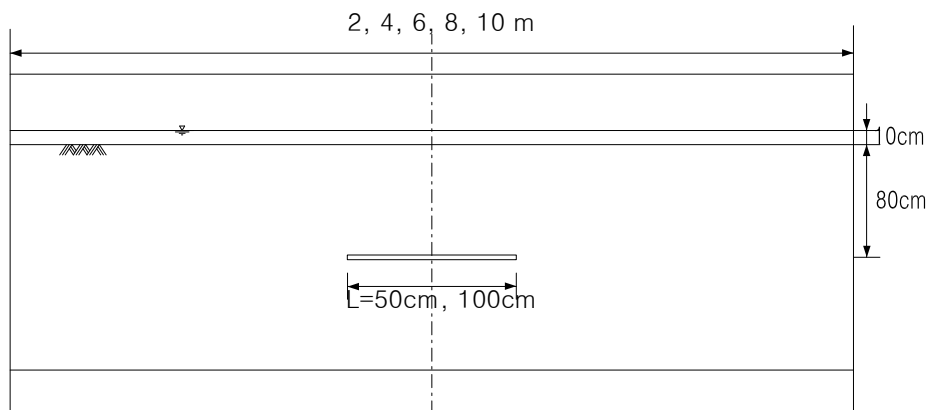
2) 지하배수암거조건 침투류해석

무암거 조건, 50mm원형암거만 설치한 조건과 50mm원형암거+수평필터를 함께 설치한 3개 조건에 대하여 <그림 2-62>와 같이 지하배수효과를 이론적으로 규명하기 위하여 침투류해석을 실시하였다.

원지반 흙의 투수계수 $k=1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 조건(심토파쇄 시 추정)으로 하였으며 암거의 설치간격은 2, 4, 6, 8, 10m조건에 대하여 해석을 하였다. 지하수위는 장마철 강우지속시간이 2~3일 이상 지속되는 조건을 고려하여 지하수위가 지표면에 있는 조건으로 검토하였다.



a) Case1-1 : 유공관 직경 D50~100mm, 폭2.0~10.0m



b) Case1-2 : 필터 L50~100cm, 폭2.0~10.0m

<그림 2-70> 지하암거배수 침투류해석 조건

3) 침투류해석결과

(가) 지하수 침투류특성

(1) 무암거 조건

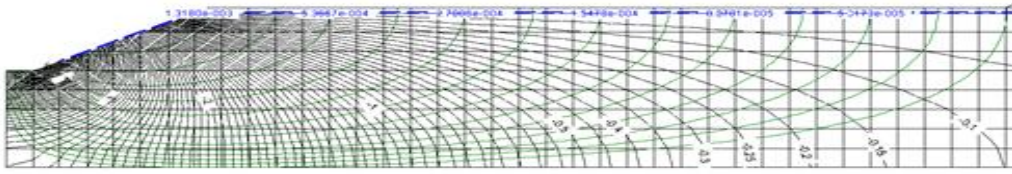
암거를 설치하지 않고 배수지거로만 지하배수되는 조건에 대하여 침투류해석결과 <그림 2-71>과 같이 배수로로부터 거리가 가까운 곳은 침투류가 집중되고 유속이 있으나 멀어질수록 유속이 거의 없는 상황을 보이고 있다.

(2) 유공관 배수암거 조건

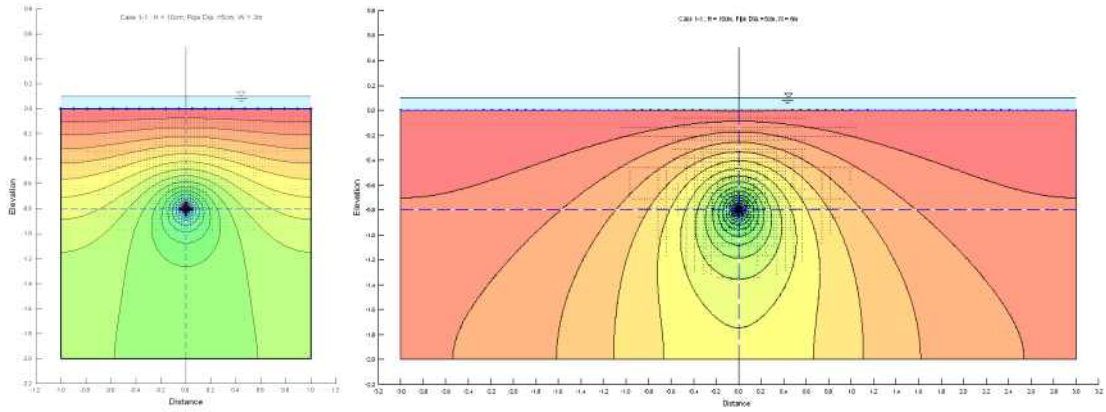
직경 50mm 유공암거를 지중 80cm위치에 설치하면 <그림 2-72>와 같이 지표로부터 암거를 향해 침투류가 형성되어 무암거조건보다 지반 모든 위치에서 지하수의 배수가 크게 발생됨을 알 수 있다.

(3) 유공관+수평매트 배수암거 조건

직경 50mm 유공관과 폭 50cm 토목섬유 필터매트를 함께 지중 80cm위치에 설치하면 <그림 2-73>과 같이 지표로부터 암거를 향해 침투류가 형성되어 유공관만 설치한 것보다 영향범위가 훨씬 크고, 지하배수량이 1.9배 이상으로 지하배수효과가 훨씬 더 크다.

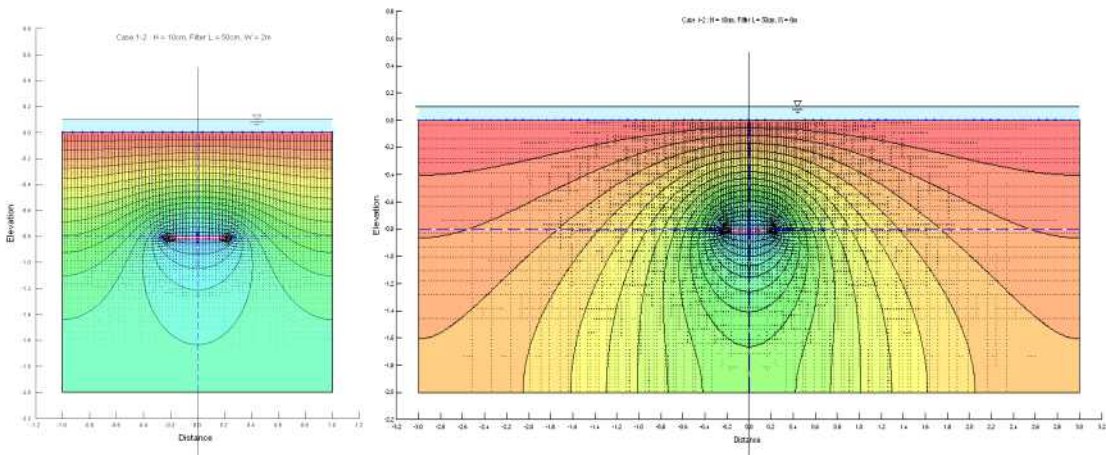


<그림 2-71> 무암거조건 지하수 침투류 특성



a) 암거 2m간격 b) 암거 6m 간격

<그림 2-72> 유공관 지하암거 설치조건 지하수 침투류특성



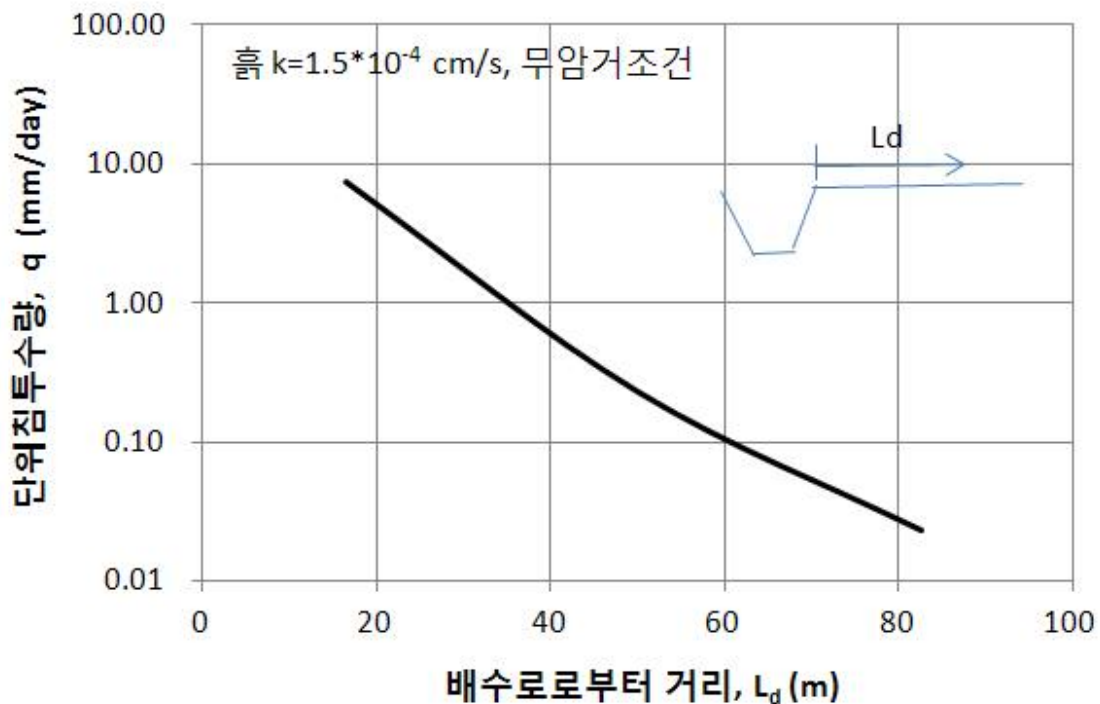
a) 암거 2m간격 b) 암거 6m 간격

<그림 2-73> 유공관+수평필터 지하암거 설치조건 지하수 침투류특성

(나) 암거종류별 단위침투수량(삼투량)

(1) 지하암거 없는 조건 침투수량

간척지에 <그림 2-73a>와 같이 지하암거가 없이 지표배수로만 조성하여 배수로로 배수되는 조건에 대하여 강우 시 지하침투류해석을 실시한 결과 흙의 투수계수 $k=1.5 \times 10^{-4}$ cm/s 조건에서 단위면적당 일 침투수량은 <그림 2-74>과 같이 배수로에서 16m위치에서 7.5 mm/day, 중앙(50m위치)에서 0.2, 내측(82m위치)에서 0.02으로 배수로측만 침투류가 있고 내측은 흐름이 거의 없는 특성을 보이고 있다.



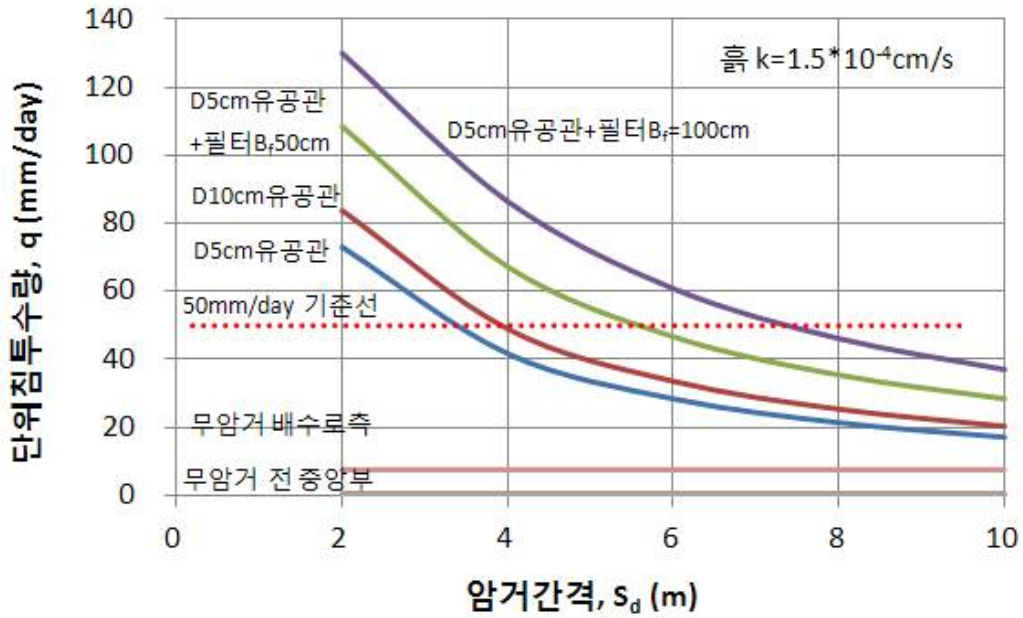
<그림 2-74> 무암거조건의 담수침투수량

(2) 유공관 만의 지하암거 설치 시 침투수량

50mm유공관 지하암거설치조건 지하침투류해석 결과 <그림 2-75>과 같이 흙의 투수계수 $k=1.5 \times 10^{-4}$ cm/s인 조건에서 설치간격 5m인 지하암거가 있을 때 단위면적당 32~40mm/day의 침투수량(삼투량)이 발생되며, 지하암거가 없이 배수지거만 있는 경우보다 300배로 지하암거의 효과가 매우 큼을 알 수 있다.

(3) 유공관+수평매트 지하암거 설치 시 침투수량

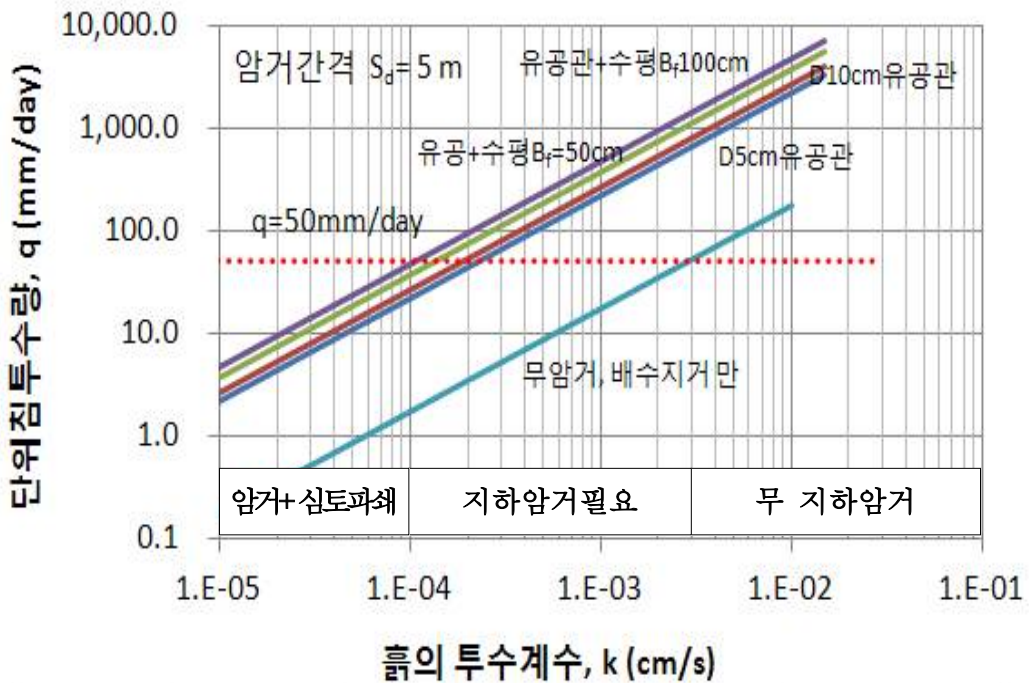
50mm인 유공관+토목섬유필터매트의 흡수암거를 설치하면 단위면적당 침투수량(삼투량)이 55~70 mm/day로 50mm유공관만의 암거보다 1.5~2배로 증가하는 것으로 분석되었다<그림 2-75>.



<그림 2-75> 지하암거 및 무암거조건 별 침투수량(흙의 $k=1.5 \cdot 10^{-4} \text{cm/s}$ 조건)

(4) 흙의 투수계수별 단위침투수량(삼투량)

<그림 2-76>과 같이 흙의 투수계수 $k=3 \cdot 10^{-3} \text{cm/s}$ 이상이면 지하암거 없이도 일 삼투량 50mm/day 이상으로 지하암거가 필요 없는 것으로 분석되었다. 또한 $k=1 \cdot 10^{-4} \sim 3 \cdot 10^{-3} \text{cm/s}$ 사이의 농경지는 지하암거를 설치하면 일삼투량 50mm/day이 발생되어 밭으로 사용이 가능하다. 하지만 $k=1 \cdot 10^{-4} \text{cm/s}$ 이하인 농경지는 지하암거를 설치하고도 심토파쇄와 같은 방법으로 흙의 투수계수를 증가시켜주는 보조공법이 꼭 필요하다.

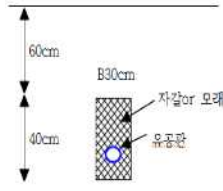
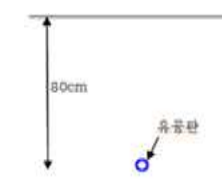
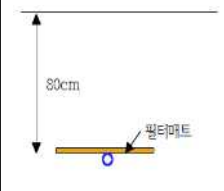
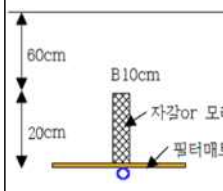
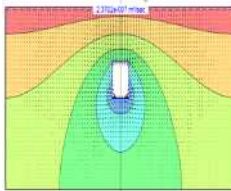
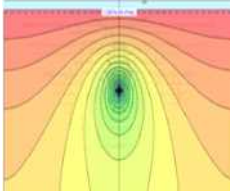
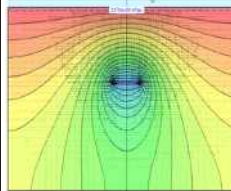
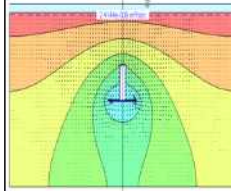


<그림 2-76> 흙의 투수계수 별 단위침투수량

(5) 암거종류별 단위지하침투수량(삼투량)

기존의 ① 굴착식 유공관+자갈소수재, ② 무굴착식 유공관+수평필터, ③ 무굴착식 유공관+수평필터+모래소수재 3가지 암거종류에 대하여 침투류해석을 실시한결과 (표 2-32)과 같은 결과를 얻었다. 흙의 투수계수 $1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 조건에 대한 침투류해석결과 암거 1m당 배수량을 보면 ③ 유공관+수평필터+모래소수재가 가장크고, ② 유공관+수평필터은 ① 유공관+자갈소수재의 90%의 지하배수성능을 발휘한다. 여기서 무굴착이 기존의 굴착식보다 m당 공사비가 1/3로 저렴하므로 ②을 5m간격으로 설치하면 ①를 10m간격으로 설치한 것보다 지하배수성능은 175%를 발휘하면서 공사비는 62%로 ② 무굴착식 유공관+수평필터 암거가 ① 굴착식 유공관+자갈소수재의 암거보다 훨씬 우수하다. ③를 5m간격으로 설치하면 ①를 10m간격으로 설치한 것보다 지하배수성능은 209%를 발휘하면서 공사비는 75%로 ③ 무굴착식 유공관+수평필터+모래소수재 암거가 ① 굴착식 유공관+자갈소수재의 암거보다 훨씬 우수하다.

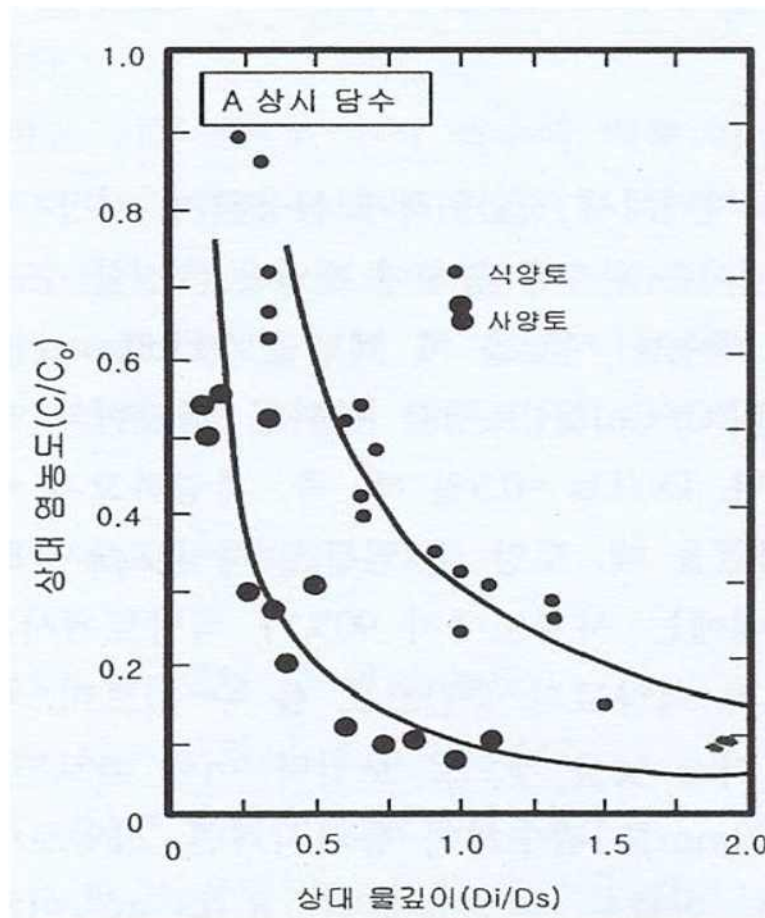
(표 2-32) 암거종류(모양)별 지하배수 성능비교(침투류해석)

	① 굴착식 암거 (자갈 B30*H40cm)	② 무굴착 암거 1 (50mm유공관)	② 무굴착 암거 2 (50mm유공관 + 필터매트 B50cm)	③ 무굴착 암거 3 (유공+필터매트 +모래 B10cm)
암거종류				
지하배수 형상				
배수량 Q (m ³ /s/m)	2.37*10 ⁻⁶	1.29*10 ⁻⁶	2.17*10 ⁻⁶	2.41*10 ⁻⁶
비교(%)	100	54	92	102
설치간격(m)	10	5	5	5
단위지하 배수량(mm /d)	20.5 (100%)	22.3	35.8 (175%)	41.6 (209%)
공사비 (백만원)	50 (100%)	22 (50%)	25 (50%)	30 (80%)

4) 강우담수 지하침투 제염예측

(가) Hoffman의 제염소요시간 산정방법

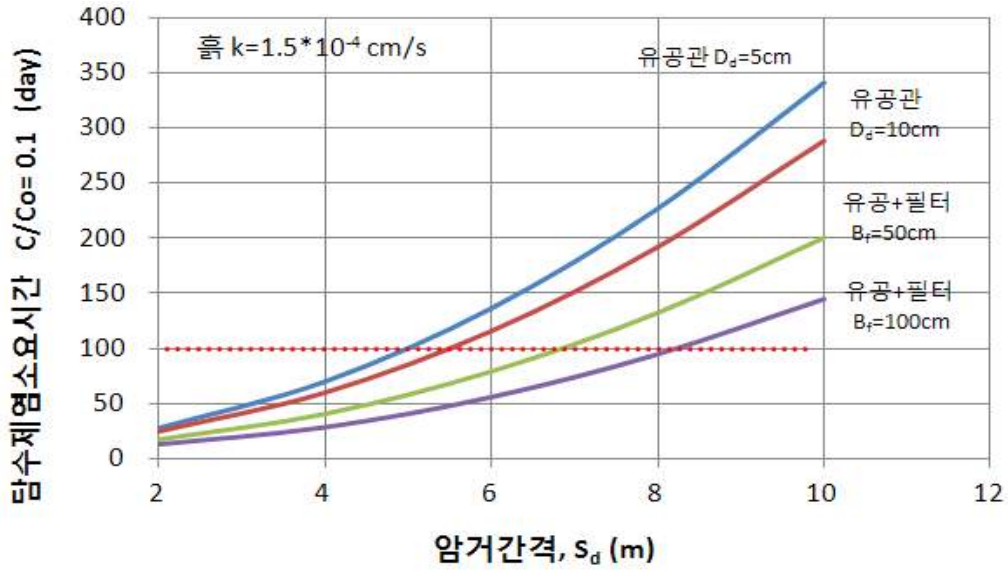
Hoffman이 제안한 <그림 2-77>로부터 평균적인 흙의 조건이면 상대염농도 $C/C_0=0.1$ 인 즉 초기염도의 1/10까지 제염을 시키는 경우 상대물깊이 $D_i/D_s=2$ 이므로 제염 대상 지반심도 D_s 의 2배의 침투수량을 침투시켜야 한다. 즉, 담수침투 제염소요시간은 D_s 의 2배의 침투수량이 발생되는 시간으로 구하면 된다.



<그림 2-77> 상대물깊이에 따른 상대염농도(Hoffman, 1980)

(나) 지하암거 시 제염속도 예측

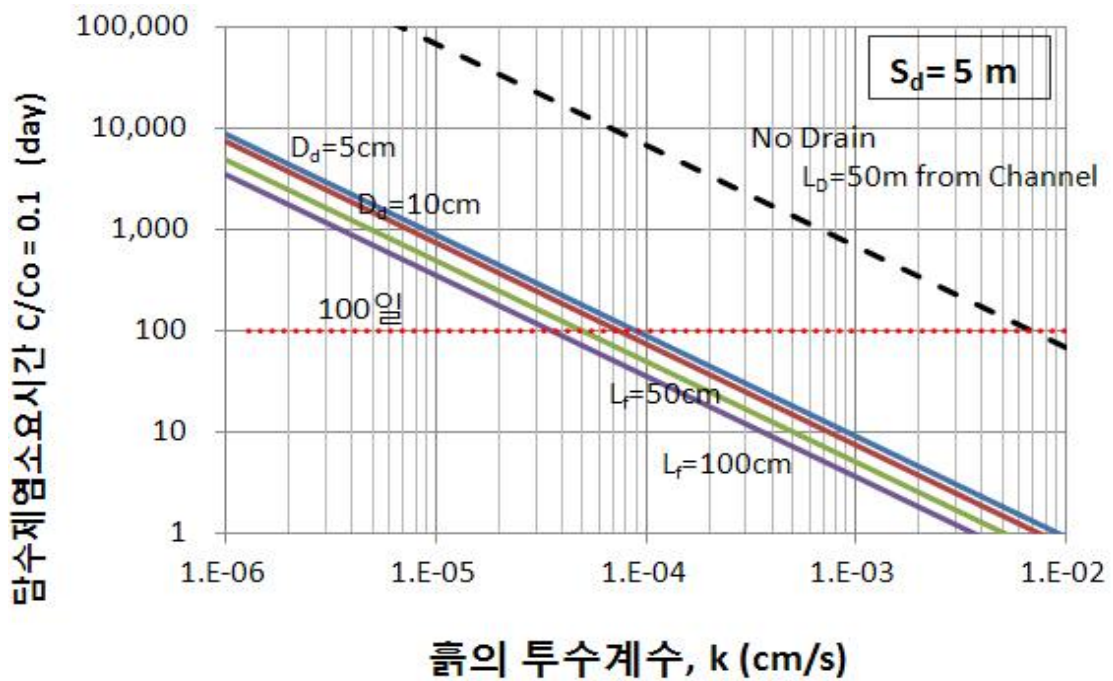
지하암거 설치조건에서 암거종류별 간격별 담수침투 제염속도(제염심도 1m기준)를 보면 <그림 2-78>과 같으며 심토수직파쇄를 하여 투수계수를 $k=1.5 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 이상 증가되는 조건에서 유공관암거만 설치시는 간격을 5m 이내, 유공관+수평필터시는 간격을 6~8m 까지 가능한 것으로 분석되었다.



<그림 2-78> 지하암거설치 시 암거 종류별 간격별 제염소요시간

(다) 흠의 투수성과 제염속도

흠의 투수계수별 담수침투제염 소요시간은 <그림 2-79>과 같이 투수성이 적을수록 지하급수적으로 시간이 많이 소요된다. 인공담수 제염기간 100일(자연강우 제염 2년)을 기준으로 할 때 무암거는 $k=6 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 이상, 유공관암거만 설치시는 $k=1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 이상, 유공관+수평필터 암거 설치시는 $k=5 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 이상인 지반에서 담수침투제염이 가능한 것으로 분석되었다.



<그림 2-79> 흠의 투수계수별 지하암거종류별 제염소요시간

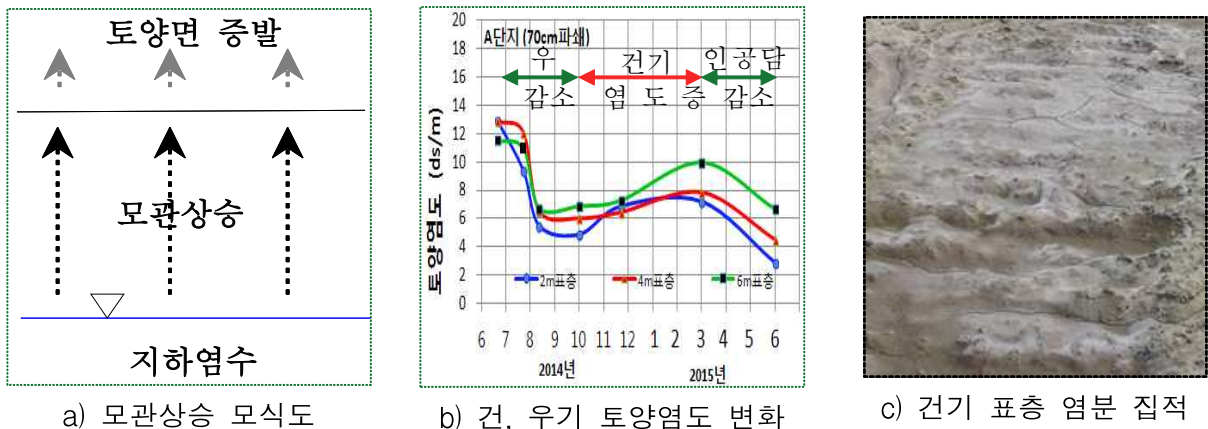
(라) 제염한계와 해결방안

흙의 투수계수 $k=6 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 이상인 지반에서는 무암거로 제염이 가능하며, $k=1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 이상인 지반에서는 지하암거를 설치하고 담수침투제염으로 제염이 가능하다. 그러나 $k=1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 이하인 지반에서는 지하암거를 설치하고도 흙의 투수계수를 증가시키는 심토파쇄 공정이 추가되어야 담수침투제염이 가능하다는 결과를 얻었다. 또한 제염이 되어도 모관수상승에 의한 재염화문제가 발생되므로 재염화방지공법을 적용하여야 한다.

다. 재염화 특성 및 방지기법 검토

1) 간척지 토양 재염화 원인

간척지의 염도변화특성을 보면 우기에 제염이 되고 건기에 <그림 2-80a>와 같이 토양표면 수분이 증발하면서 하부 지하수층의 염수가 모관상승작용에 의해 상층으로 올라오면서 <그림 2-80b>와 같이 토양의 염도가 다시 올라가는 재염화가 발생된다. 특히, <그림 2-80c>의 사진과 같이 토양표면에 소금이 집적된다.



<그림 2-80> 건기 모관상승에 의한 간척지 토양 재염화 특성

2) 재염화 대책방안 선정

재염화 방지방안은 ① 심토파쇄에 의한 모관수 차단공법 ② 건기에 지하관개(지하암거에 재염화방지용수를 공급)를 하여 염도가 높은 지하수의 모관상승을 차단하는 방법 ③ 토양염도가 기준 값 이상 높아지면 벼재배 등 담수재배를 윤회하는 적절한 작부체계의 운영방안 등이 있을 수 있다.

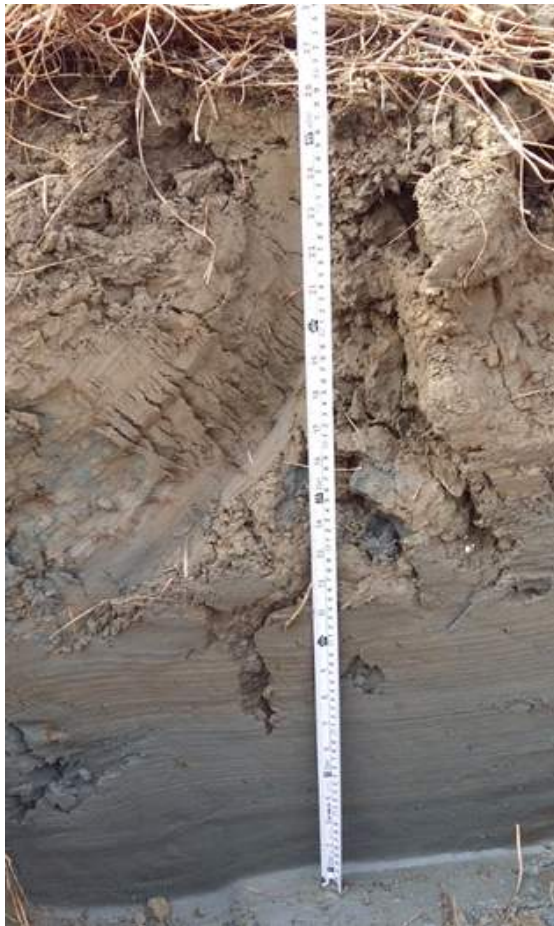
①의 방법은 점성토와 같이 심토파쇄된 균열이 유지되는 흙에서 유효하나 세사나 실트질 흙에서 균열이 쉽게 붕괴되어 적용이 어렵다. ②의 방법은 유지관리비가 소요되며, ③의 방법은 농가의 영농계획수립에 장애요소이다. 그러므로 점성토와 같은 흙에서는 ① 심토파쇄공법이 가장 유효하고, 비점성토 흙에서 유지관리비가 소요되기는 하지만 ② 건기에 지하관개 방법이 가장 경제적이고 효율적인 방법으로 판단되어 심토파쇄를 하고 건기에 지하관개를 시험포에 적용하는 것으로 계획하였다.

3) 지하 염수의 모관상승차단 원리

(가) 점성토에서 심토파쇄공법

<그림 2-81>의 무파쇄구간은 심층과 상부표층의 토양구조가 같아 모관이 연결되어 있어 건기에 심층의 염수의 모관상승이 크게 발생하는 토양구조이다. 하지만, 심토파쇄구간은 심층은 가는 모관의 토양구조이나 상부표층은 공극이 크게 형성되어 모관이 차단되어 있어 건기에 심층의 염수의 모관상승이 거의 발생되지 않는 토양구조이다.

그러므로 심토파쇄의 균열이 장기간 유지되는 점성토에서는 심토파쇄공법 만으로 간척지 토양의 재염화방지가 가능할 수 있으므로 시험포를 조성하여 확인하는 것이 필요하다



<무파쇄 구간>



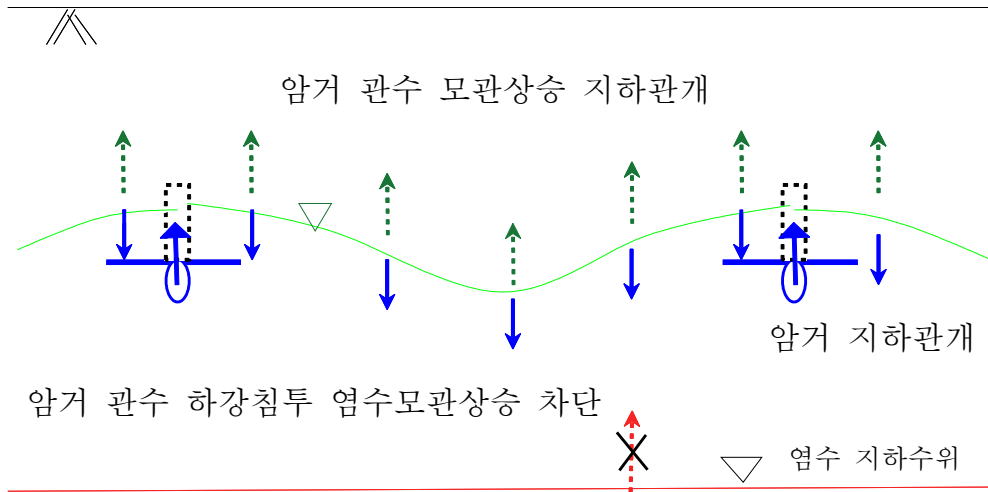
<심토파쇄 구간>

<그림 2-81> 심토파쇄에 의한 염수 모관상승 차단 가능성 비교분석

(나) 비점성토에서 건기 지하관수공법

지하관개+배수암거시스템으로 간척지 밭에서 모관상승에 의한 지하 염수의 상승(재염화)을 막는 방법은 <그림 2-82>과 같이 건기에 지하암거에 재염화방지용수를 공급하여 염도가 높은 지하수의 모관상승을 차단하는 방법이다.

즉, 간척지 농경지에 지하관개+배수암거를 설치하여 초기에 담수제염을 실시한 후에 우기에는 지하배수를 촉진하고, 건기에 지하관개를 하여 밭작물의 용수공급은 물론 지하염수 모관상승을 차단 재염화 방지를 하는 지하관개+배수암거 시스템이 필요하다.



<그림 2-82> 지하 염수 모관상승 차단 모식도

라. 제염촉진 시험포 제염 및 재염화특성 조사 분석결과

1) 새만금지구

(가) 토양함수비 및 포화도변화

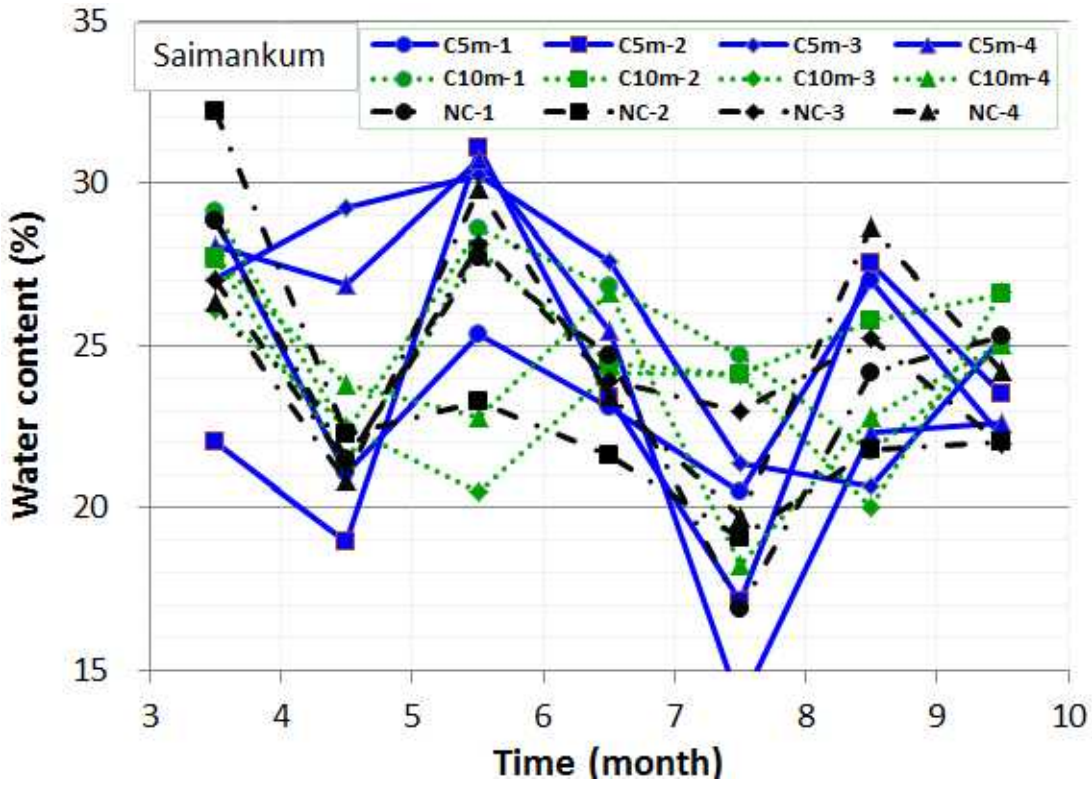
토양함수비 변화를 보면 함수비가 $w=17\sim32\%$ 로 건기에 적고 우기에 약간 증가하는 전형적인 특성을 보이고 있다. 암거 5m간격 구간이 건기에 함수비 감소 속도가 빠른 특성을 보이고 있다 <그림 2-83>.

흙의 포화도(공기함유율 역수)를 보면 <그림 2-84>과 같이 암거와 심토파쇄 구역이 포화도 $S=51\sim82\%$ 로 무처리구간 포화도 $S=63\sim90\%$ 로 보다 낮은 값을 보인다. 이는 흙이 사양토로 심토파쇄효과는 적지만, 암거와 심토파쇄 구역이 공극이 크고 투수성이 큰 영향으로 판단된다.

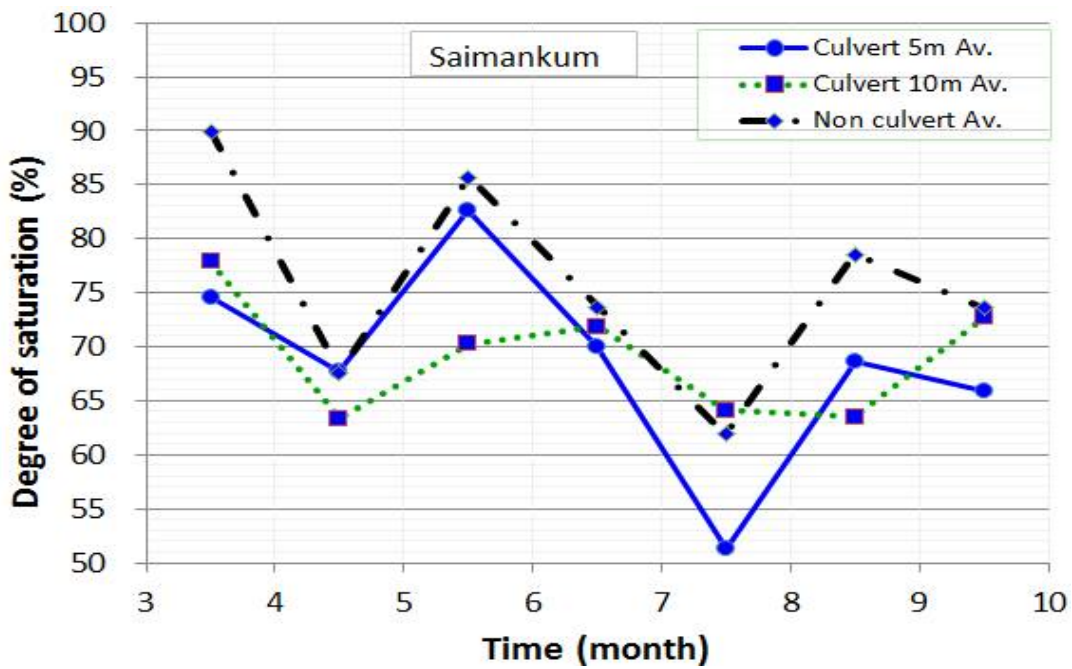
그 만큼 투수성도 커지고 공기함유량이 증가하여 작물생육환경이 개선됨을 알 수 있다.

(나) 토양염도 변화

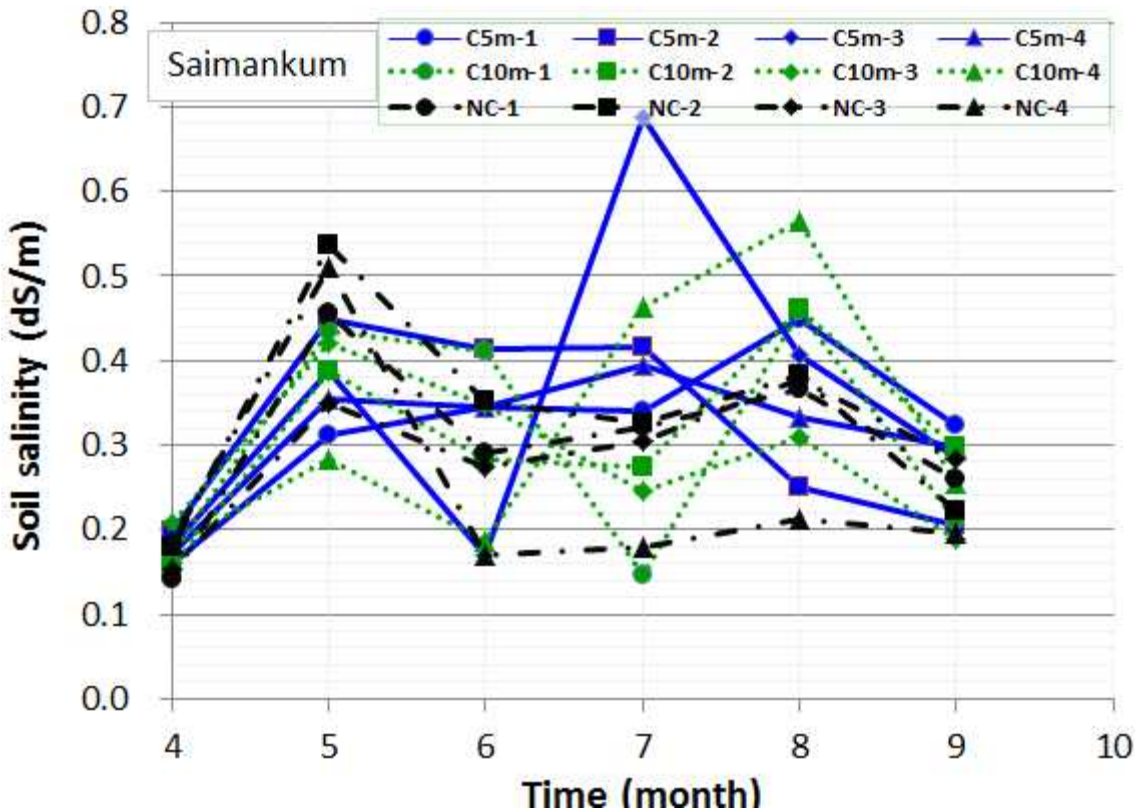
토양염도를 보면 <그림 2-85>와 같이 염도 $c=0.1\sim0.7$ dS/m로 암거와 심토파쇄와 상관없이 제염이 거의 완료되었다. 이는 흙이 사양토이고 지하수위가 2m이하로 떨어져 있어 제염이 빠르게 진행된 것으로 판단된다<그림 2-77>.



<그림 2-83> 새만금시험포 토양함수비 변화



<그림 2-84> 새만금시험포 흙의 포화도 변화



<그림 2-85> 새만금시험포 토양염도 변화

(다) 새만금 시험포의 토양이 세사 또는 미사질토양으로 암거 없는 조건에서도 자연 강우만으로 제염이 가능하므로 본 연구에서 제염촉진과 제염화 방지방안에 대한 연구는 화용시험포에 대하여만 실시하였다.

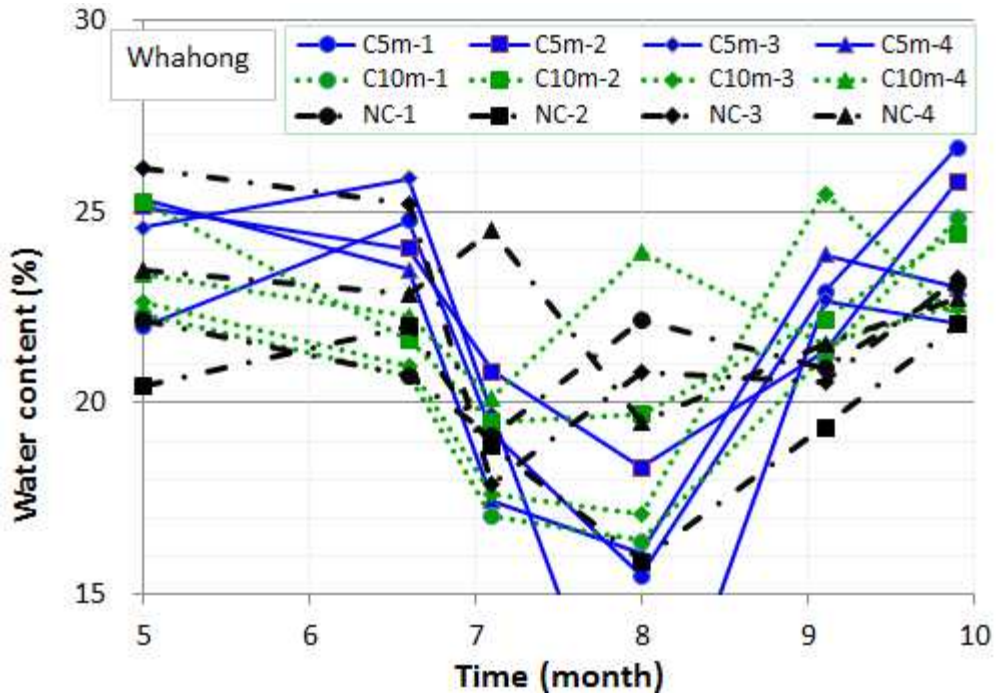
2) 화용지구

(가) 토양함수비 및 포화도변화

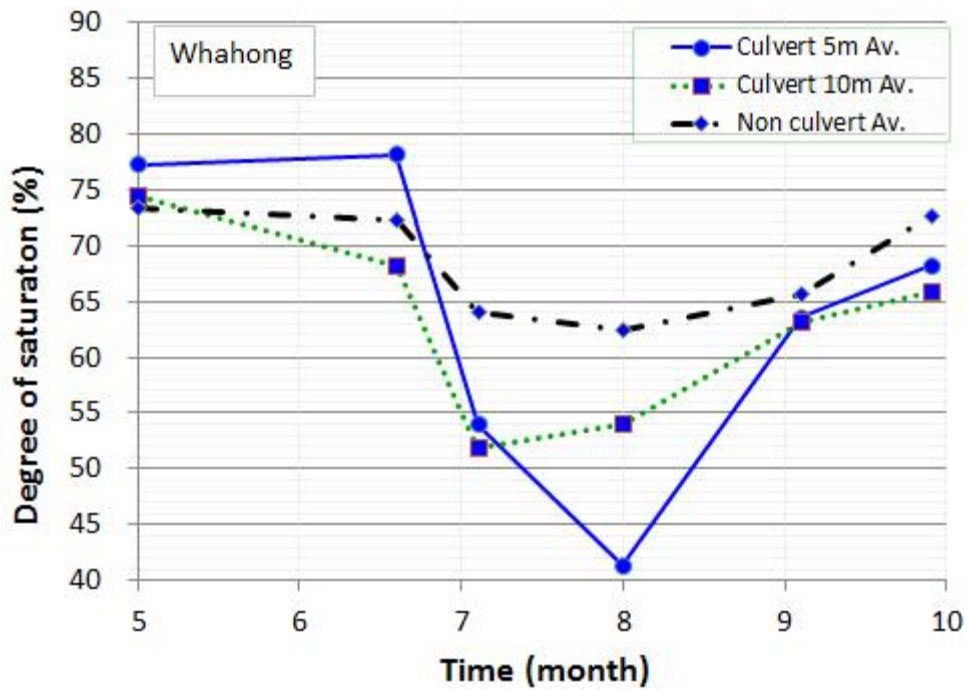
토양함수비 변화를 보면 암거설치 전에 $w=21\sim 26\%$ 인 함수비가 암거설치하고 심토파쇄를 실시한 후에 $w=17\sim 20\%$ 로 크게 감소하였다. 그러나 작물식재 후 관개를 하면서 $w=22.5\sim 27\%$ 로 크게 증가하였다<그림 2-86>.

이는 심토파쇄에 의해 토양공극이 크게 증가하면서 건기에 쉽게 건조되면서 감소하였다가 관개 시 무처리구 보다 공극이 크기 때문에 함수비가 더 크게 증가된 것으로 판단된다.

흙의 포화도(공기함유율 역수)를 보면 <그림 2-87>과 같이 심토파쇄 전에는 포화도 $S=70\sim 80\%$ 로 유사하지만 암거와 심토파쇄 후에는 처리구간의 포화도가 $S=40\sim 55\%$ 로 크게 감소하고 강우나 관개시에도 무처리구보다 훨씬 적은 즉, 공기함유율이 훨씬 큰 것으로 분석되었다. 그 만큼 투수성도 커지고 공기함유량이 증가하여 작물생육환경이 개선됨을 알 수 있다.



<그림 2-86> 화옹시험포 토양함수비 변화



<그림 2-87> 화옹시험포 흙의 포화도 변화

(나) 토양염도 변화

(1) 1차년도 (2018년)

토양염도 변화를 보면 <그림 2-88, 89>과 같이 암거설치 전에 표층 $c=3\sim 14$ dS/m인 염도가 암거설치하고 심토파쇄를 실시한 후에 표층토가 심층토와 혼합되어 $c=8\sim 19$ dS/m로 크게 증가하였다. 그러나 120mm강우 시 제염이 이루어져 암거 5m간격은 $c=5\sim 8$ dS/m, 10m간격은 $c=8\sim 13$ 으로 적게 감소하였다.

작물식재 후 관개수에 의해 작토심내 토양염도는 5m간격은 $c=2\sim 4$ dS/m로 크게 감소하고 10m간격은 $c=5\sim 10$ 으로 적게 감소하였다.

하지만 무처리구간은 암거설치기간에 염도증가는 적었으나, 작물재배 시 관개에 의한 토양염도가 $c=6\sim 10$ 으로 적게 감소하였다.

이는 암거설치와 심토파쇄구간이 무처리구간 보다 제염효과가 큰 것은 암거와 심토파쇄에 의해 흙의 투수성이 크게 개선되고 지함암거에 의해 지하배수가 잘 되기 때문으로 판단된다.

또한 암거간격 5m가 10m보다 제염효가가 더 큰 것은 암거간격 5m가 10m보다 단위 지하배수량이 더 크기 때문으로 판단된다.

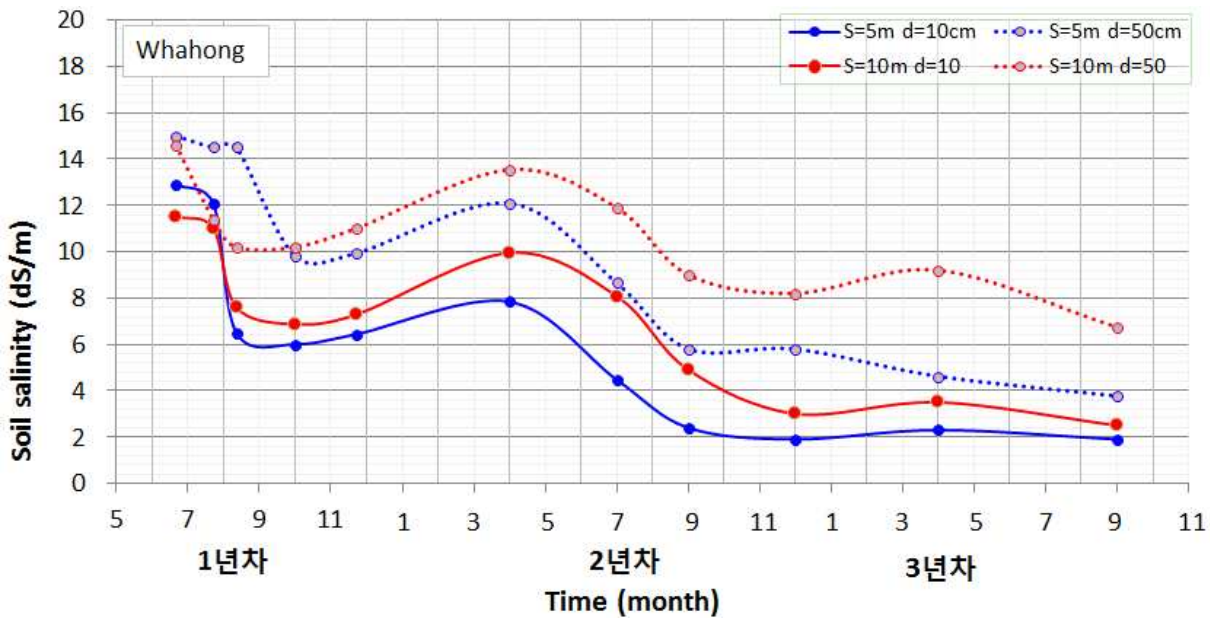
(2) 2차년도 (2019년)

2019년에 토양염도를 보면 <그림 2-89, 90>과 같이 건기에 약간의 재염화가 발생되었다가 우기에 제염이 진행되었지만, 토양의 염도가 5dS/m이상으로 자연강우만으로는 2년의 제염기간은 짧은 것으로 분석되었다.

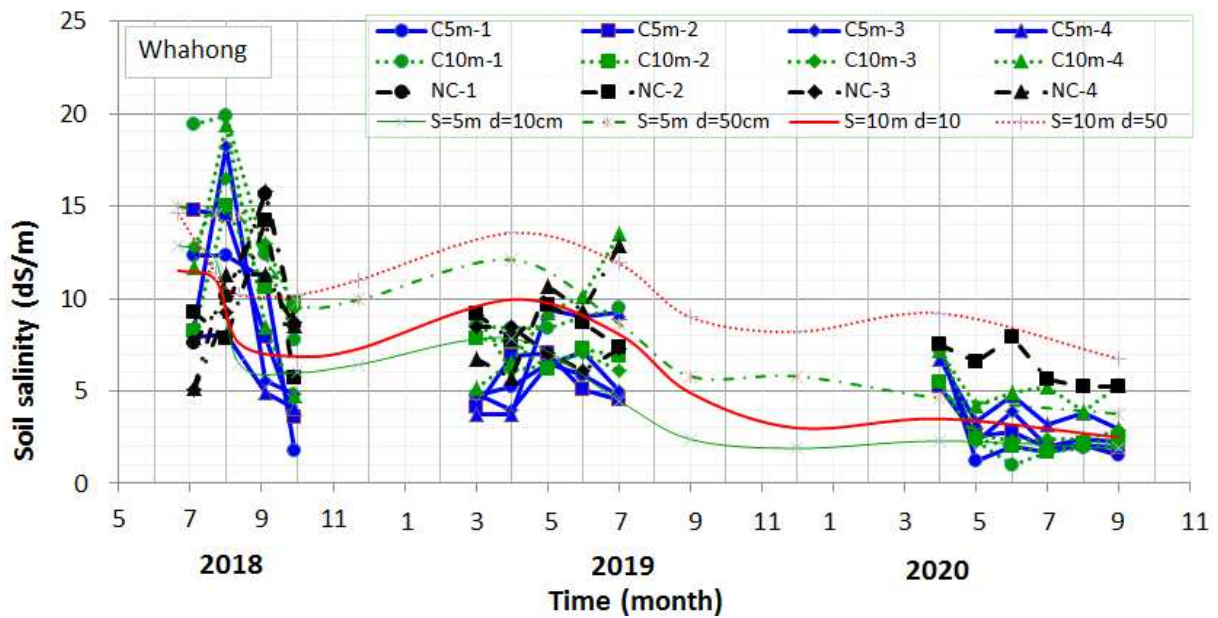
간척지토양은 암거와 심토파쇄를 할지라도 2년 안에 제염을 하기 위하여 자연강우제염 외에 제염촉진공법과 재염화방지공법의 도입이 필요하다. 이를 위하여 지하관개에 의한 제염촉진시험과 재염화방지 시험포를 조성하여 그 효과를 측정 분석하였다.

(3) 3차년도 (2020년)

2020년에는 멀칭 후 점적관개를 하는 동안 토양염도가 2.5dS/m이하로 제염이 되고 재염화가 발생되지 않아 작물재배가 가능하였다. 이는 간척지 토양에 지하암거와 심토파쇄를 실시하고 자연강우로 2~3년 제염을 하면 작물재배가 가능한 토양염도로 제염이 가능하고, 특히 심토파쇄효과로 재염화 현상을 크게 방지할 수 있다는 결과를 얻었다.



<그림 2-88> 화용시험포 암거간격별 심도별 토양염도 변화



** S=5m d=10, 50cm와 S=10m d=10, 50cm는 지하암거설치 구간별 토양염도 측정 값
C5, 10m와 NC는 작물재배를 위한 멀칭하부 토양 측정값

<그림 2-89> 화용시험포 토양염도 변화(멀칭 하부토양)

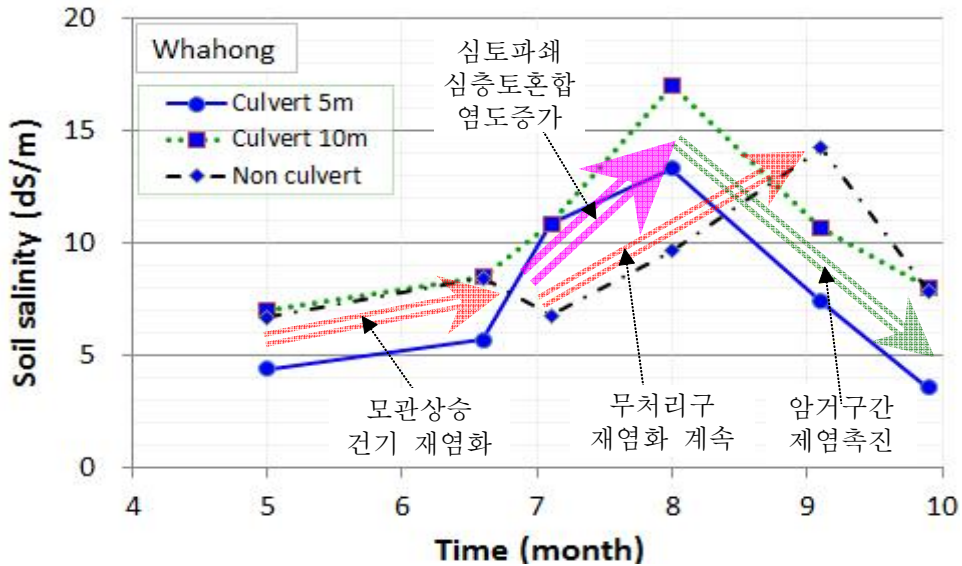
(다) 토양염도 재염화특성 분석

토양염도 변화를 보면 <그림 2-90>과 같이 암거를 설치하기 전 5~6월에 모든 구간이 모관상승에 의해 재염화가 발생되었다. 무처리구는 6월말 강우(210mm)에 의해 염도가 약간 떨어졌다가 건기가 계속되면서 9월초까지 재염화현상이 계속되었다. 그러나 심토파쇄 구간은 7월초 암거설치와 심토파쇄 직후 고염도의 심층토 혼합으로 토양염도가 크게 증가하였다. 그러나 심토파쇄 후 8월말 자연강우에 의해 크게 제염이 이루어졌고, 9월초 작물식재 후 자연강우와 관개수에 의해 제염이 계속 진행되었다.

이와 같이 8~9월의 경향을 보면 무처리 구간은 건기에 염수의 모관상승에 의해 재염화가 계속되지만, 암거설치와 심토파쇄 구간은 적은 자연강우량에서도 크게 재염이 되어 재염화보다 재염이 우세하다는 것을 알 수 있다.

하지만 비 멸칭조건에서는 건기에 재염화가 발생되므로 심토파쇄효과에 안전장치로 지하암거를 활용한 지하관개기법에 의한 재염화 방지공법의 도입이 필요하다.

이를 입증하기 위하여 재염축진과 재염화방지를 위한 추가시험포를 설치하고 재염화 방지 효과를 분석하기 위한 계측과 분석을 실시하였다.



<그림 2-90> 화용시험포 재염 및 재염화 특성분석

(라) 수치해석을 통한 토양 재염화 방지 효과 예측

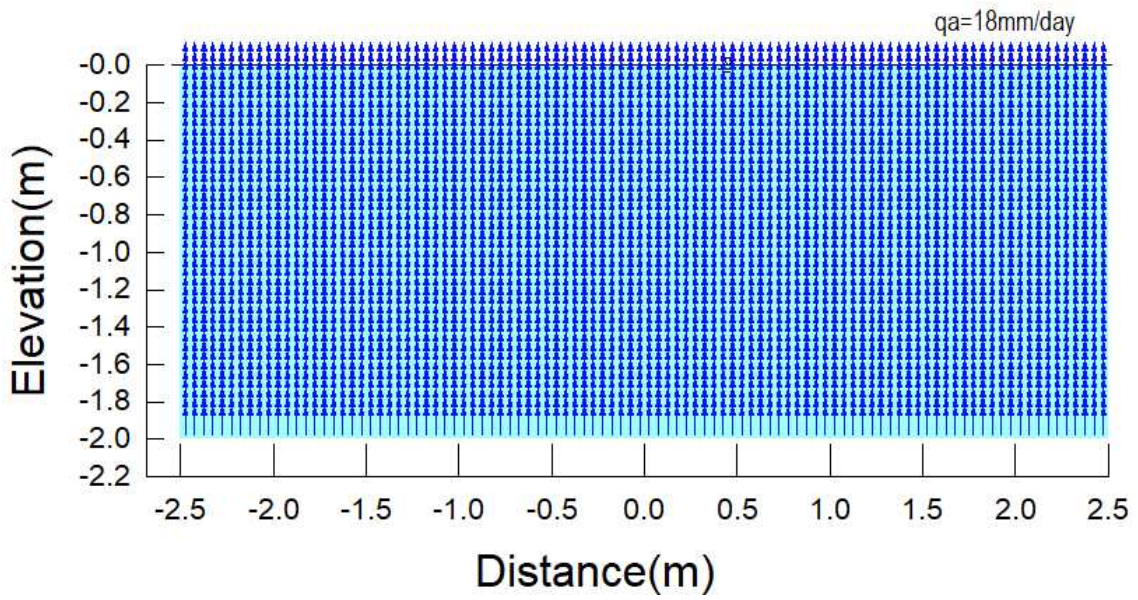
심토파쇄와 지하암거를 통한 지하관수에 의한 재염화방지 효과를 수치해석적으로 예측하기 위하여 모관상승에 의한 침투류해석을 실시하였다.

해석결과 <그림 2-91a>와 같이 심토파쇄를 하지 않은 자연토양조건에서는 지하수위면(-2m)으로부터 모관수 부압에 의해 모관상승이 크게 발생되지만, 심토파쇄를 한 조건에서는 <그림 2-91b>와 같이 파쇄면 하부 자연상태 흙의 모관이 파쇄경계면에서 절단되어 모관상승이 18분의 1로 크게 감소하여 거의 심토파쇄면 하부토양의 염수가 모관상승하지 못하는 것으로 해석되었다.

이 해석결과는 추가시험포 심토파쇄구간의 염도 실측결과와 일치하는 것으로 심토파쇄의 재염화 방지 효과가 큼을 입증해주는 분석결과이다.

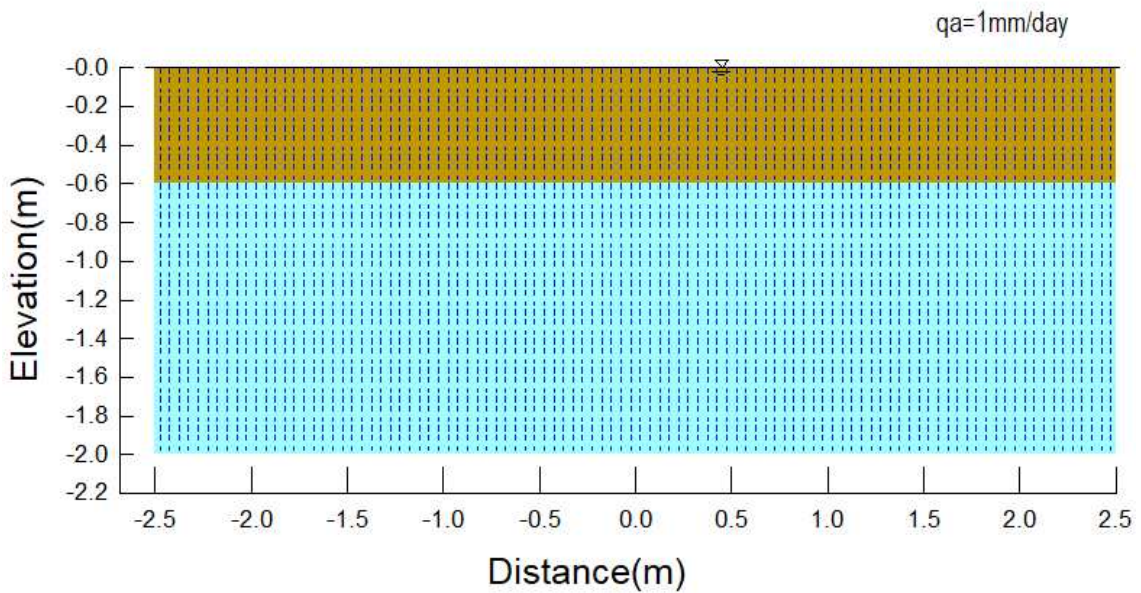
또한 건기에 지하암거를 통한 지하관수 시 <그림 2-92a>와 같이 무파쇄 조건일지라도 지하관수를 하면 모관상승량을 크게 줄일 수 있으며, 특히 심토파쇄를 하고 지하관수를 하면 <그림 2-92b>와 같이 모관상승량이 36분의 1로 거의 발생되지 않아 재염화가 발생되지 않는 것으로 시험포 염도 실측결과와 일치하는 것으로 건기 지하관수의 재염화 방지 효과가 큼을 입증해주는 분석결과를 얻었다.

모관상승모델(무심토파쇄)



a) 무암거 무심토파쇄조건 모관상승

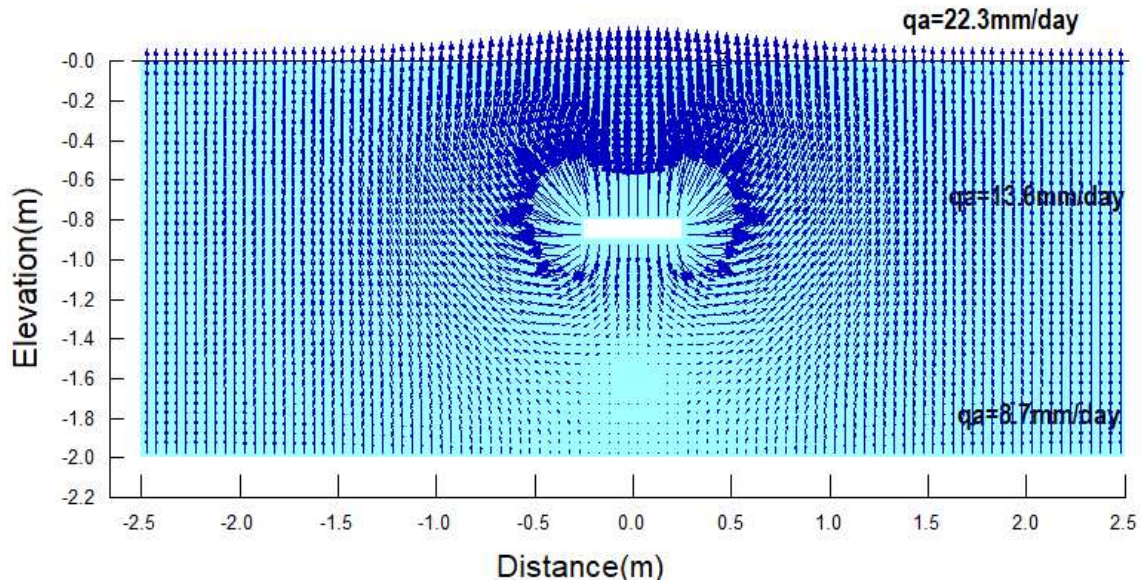
모관상승모델(심토파쇄)



b) 암거와 심토파쇄조건 모관상승

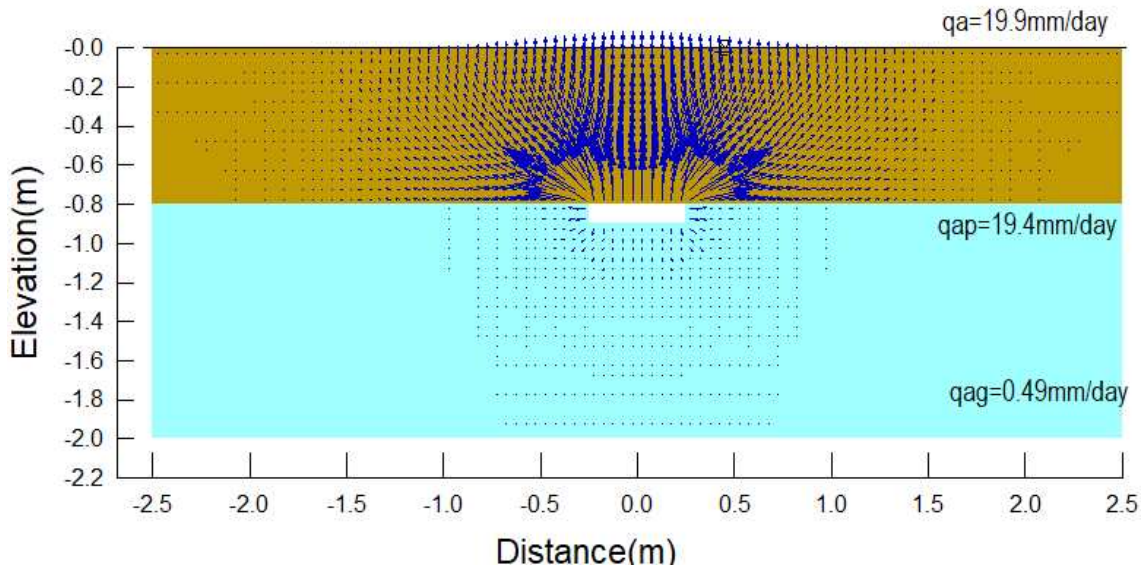
<그림 2-91> 파쇄여부 모관상승 수치해석결과

지하관수 모관상승모델(무 심토파쇄)



a) 무 심토파쇄조건 지하관수 시 모관상승

지하관수 모관상승모델(심토파쇄)



b) 심토파쇄조건 지하관수 시 모관상승

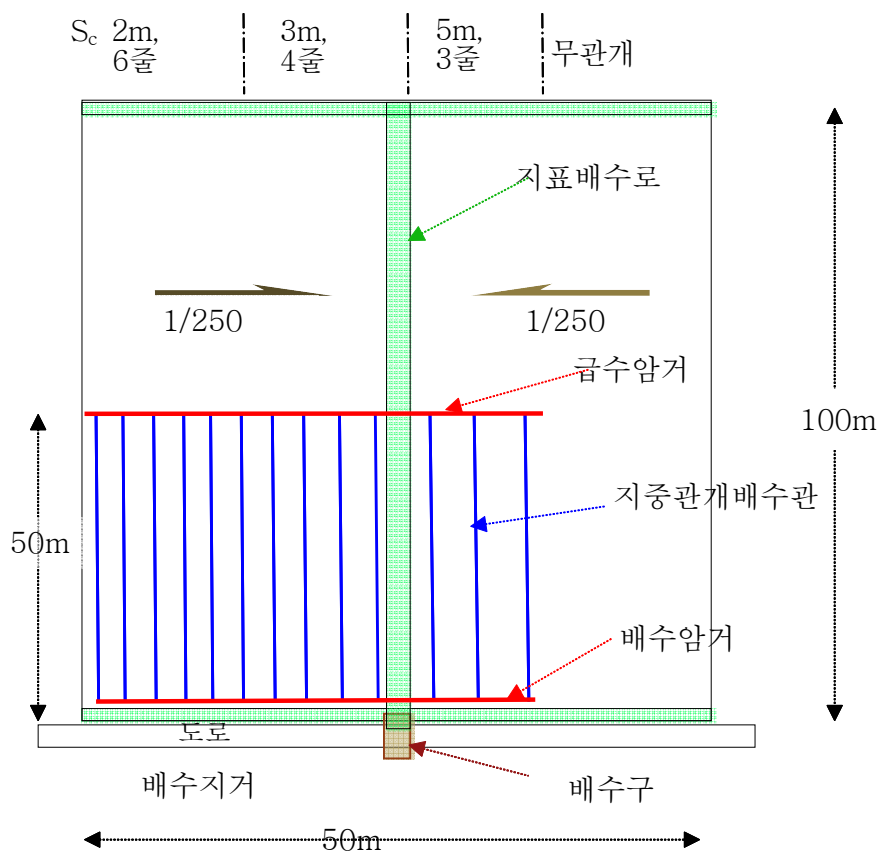
<그림 2-92> 지하관수 시 파쇄여부 모관상승 수치해석결과

(마) 토양 제염축진 및 재염화 방지효과 검증

(1) 제염축진 및 재염화방지 시험포구성

간척지 토양에 지하배수암거를 설치하고 암거사이를 심토파쇄를 한 후에 자연강우로 제염을 실시하면 <그림 2-88, 89>과 같이 3년 후에는 제염이 가능한 것으로 평가되었지만 제염을 더 빨리 촉진시킬 필요가 있는 경우 추가적인 제염촉진공법의 도입이 필요하다. 이를 위하여 지하관+배수공법에 의한 토양 제염축진 및 재염화방지 효과를 확인하기 위하여 <그림 2-93>와 같이 지하관배수겸용 추가 시험포를 지하암거 관 배수시스템으로 구성하였다. 지하암거관으로 배수는 물론 건기에 관수를 할 수 있는 시스템으로 시험포를 구성하였다.

구성 후 옥수수재배상황 및 150mm강우 후 지표면 배수상황은 <그림 2-94d>와 같이 옥수수 생육상태는 비옥도가 부족하지만 양호하며 배수상태도 매우 양호한 상태를 보이고 있다.



<그림 2-93> 화용 추가시험포(제염축진 및 재염화 방지공법)



a) 무굴착 지하암거시공



b) 심토파쇄



c) 급수암거시공



d) 옥수수재배 및 강우 1일 후 지표배수 상황

<그림 2-94> 화용 추가시험포 조성공사 및 옥수수 재배상황

(2) 토양 재염촉진

제염기간을 1~2년 이내로 단축시키기 위하여 추가시험포에 지하 관+배수암거를 설치하고 암거사이 토양을 심토파쇄시키고 자연강우에 더해 1회 200mm씩 3회 인공관수를 추가로 실시하였다. 그 결과 <그림 2-95>과 같이 1년 만에 토양염도가 표층은 2.5dS/m이하로 심층(50cm)은 4dS/m이하로 제염이 되었다.

여기서 인공강우는 심토파쇄 후 자연건조에 의해 파쇄균열이 최대한 활성화된 후에 실시하는 것이 매우 중요하다. 심토파쇄 후 토양에 건조균열이 활성화되기 전에 관수를 하면 균열면이 쉽게 붕괴되는 현상이 있으므로 반드시 건조균열이 활성화된 후에 실시하는 것이 매우 중요하다.

(3) 토양 재염화 방지공법

<그림 2-95>과 같이 1년 만에 토양염도가 표층은 2.5dS/m이하로 심층(50cm)은 4dS/m이하로 제염이 된 후에 2년차에 재염화 현상이 발생되지 않고 표층 2.5dS/m, 심층 4dS/m이하를 유지하였다. 특히 비관개기에 지하관개를 실시하지 않아도 재염화현상이 거의 발생되지 않았다.

여기서 본 시험포와 같이 점성토에서는 심토파쇄에 의한 균열이 유지되는 흙에서는 유효하지만 비 점성토에서는 인공균열이 쉽게 소멸되므로 건기에 지하관수를 실시하는 지하 관 배수시스템의 도입이 필요하다.



<그림 2-95> 화용 추가시험포 제염촉진 및 재염화 방지효과

마. 결론

- 1) 수치해석결과 인공담수 제염기간 100일(자연강우 제염 2년)을 기준으로 할 때, 흙의 투수계수 $k=6 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 이상이면 무암거로, $k=5 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 이상이면 지하암거만으로, $k=5 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 이하이면 간격5m 이하의 지하암거와 심토파쇄공법의 병행이 필요한 것으로 평가되었다.
- 2) 제염촉진 시험포 운영결과 ① 새만금($k=1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 정도)은 자연강우만으로 제염이 가능하였으며 ② 화용시험포($k=1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 이하)는 5m이하의 지하암거와 심토파쇄를 하고 자연강우제염은 2년, 인공관수(600mm)추가 시 1년 만에 2~4dS/m로 제염이 가능하다는 결과를 얻었다.
- 3) 건기에 재염화를 방지하기 위하여 참고문헌을 검토한 결과 ① 심토파쇄에 의한 모관수 차단공법 ② 건기에 지하암거를 이용한 재염화방지용수의 공급방법 ③ 벼재배 등 담수 비담수 유통재배 방안 등이 검토되었다.
- 4) 새만금과 석문지구는 세사 또는 세사질 양토로 심토파쇄 균열이 쉽게 붕괴되므로 건기에 재염화방지를 위하여 지하암거를 이용한 재염화방지용수의 공급이 필요하다.
- 5) 화용시험포는 점성토로 심토균열이 잘 유지되어 심토파쇄만으로 재염화 방지가 가능함을 확인하였으며 안전장치로 건기에 지하암거를 활용 지하관수를 하면 재염화를 방지할 수 있다는 결론을 얻었다.
- 6) 지하암거와 심토파쇄를 하면 ① 흙의 투수성이 커져 제염이 촉진되고 ② 모관상승의 차단을 통한 재염화 방지효과 ③ 유효공극이 커져 발작물 생육환경이 좋아지는 다중 효과가 있다는 결론을 얻었다.

2.2. 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리 기술 개발

2.2.1. 암거배수 공법별 관련 자료 및 사례

가. 국내의 지하배수공법 현황 및 자료분석

1) 국내 지하배수공법 자료분석

1970년 농지개량사업계획 설계기준(배수편)을 처음 제정하였고, 이후 1983년 1차개정, 2001년 2차개정, 2012년 기후변화 대응 및 우리나라 실정에 맞도록 『농업생산기반정비사업계획설계기준』으로 개정하였다. 전문용어를 통일하고, 이상 기후로 인한 국지성 호우에 대응할 수 있도록 설계 강우량 결정방법을 강화시켰으며, 논밭 혼용지대에서의 배수대책, 친환경적 배수개선 설계 및 시공사례, 농지배수, 지표배수계획, 지하배수계획, 배수시설 유지관리, 관리운영계획 등이 수록되어 있다. 또한, 『범용농지조성 기반기술개발(I)』(2013)에 지하배수개선사업의 의의, 목적 및 주요 시공, 명거에 의한 지하배수, 명거와 암거 병용에 의한 지하배수, 암거에 의한 지하배수, 지하배수의 효과와 사업사례에 대한 내용이 수록되어 있다.

농지배수계획은 농지배수시설이 갖추어야 할 기본적인 조건과 제원을 결정하는 일이다. 따라서, 계획의 목적에 따라 홍수시 배수, 평상시 배수 또는 두 가지를 연계하는 계획을 세울 것인지를 결정해야 하며, 침수 원인에 따라 침수분석 방향을 결정한 후 시행전 침수분석을 실행하여 배수불량 원인을 도출한다. 시행 전 침수분석결과 및 내·외수위 관계에 따라 자연배수, 기계배수, 기계배수+자연배수(혼합방식) 등의 배수방식에 대한 시행 후 침수분석을 실시하여 최종적으로 배수방식을 결정한다. 자연배수란, 배수문 시설 및 확장, 문비설치 및 개량(전동화), 승수로 설치, 매립복토 등에 의해 과잉수를 배제하는 방식이다. 기계배수는 자연배수에 비해 설치비와 유지관리비용이 과다하고 유역이 큰 경우에는 초기 투자비가 커져 경제성과 유효성을 비교하여 결정해야 한다. 배수방식별 특성비교에 대한 장·단점은 아래 표와 같이 정리되어 있다. (농업생산기반정비사업계획설계기준-배수편, 2012)

(표 2-33) 배수방식별 특성비교

구분	자연배수	기계배수	자연배수+기계배수
대상 지구	<ul style="list-style-type: none"> - 종소하천 주변 또는 하천 상류에 위치한 지구 - 서해 중부, 남해동부 연안에 위치한 지구 	<ul style="list-style-type: none"> - 대하천 주변 또는 하천 하류부에 위치한 지구 - 서해중부, 남해서부 연안에 위치한 지구 	<ul style="list-style-type: none"> - 기계배수 대상지역 중 산지유역이 큰 지구 - 산지유역의 홍수량을 직접 하천 또는 해안으로 배제 가능한 지구
검토 방향	<ul style="list-style-type: none"> - 배수로 단면이 협소하여 침수피해 발생 - 배수로확장개수 또는 산지유역 홍수량을 직접 배제하기 위한 승수로 설치 	<ul style="list-style-type: none"> - 배수장에 의한 강제배수 - 외수의 역류방지를 위한 배수문 설치 - 지구내 홍수량을 배수장으로 유도하기 위해 배수로 확장개수 	<ul style="list-style-type: none"> - 저위부는 배수장에 의한 강제배수 - 저위부에 외수의 역류방지를 위한 배수문 설치 - 지구 내 홍수량을 배수장으로 유도하기 위한 배수로 설치 - 산지유역 및 고위부 홍수량은 승수로를 설치 (직접 하천 또는 해안으로 배제)
주요 배수 시설	<ul style="list-style-type: none"> - 배수로 - 배수문 - 승수로 	<ul style="list-style-type: none"> - 배수장 - 배수문 - 배수로 	<ul style="list-style-type: none"> - 배수장 - 배수로 - 배수문 - 승수로
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 사업비 및 유지관리비 저렴하여 경제성 가장 양호 	<ul style="list-style-type: none"> - 배수관리에 안정성이 높음 - 소량 강우시 완전배수 	<ul style="list-style-type: none"> - 배수관리에 안정성이 높으며, 유지관리비 저렴
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 계획적 배수관리 곤란 - 이상 홍수 발생시 외수의 범람으로 피해 발생 	<ul style="list-style-type: none"> - 사업비가 자연배수에 비해 과다 - 유지관리비 과다 	<ul style="list-style-type: none"> - 승수로가 길어질 경우, 사업비 과다 - 수해지역과 승수로의 위치가 상이하여 용지매수 곤란

자료: 농업생산기반정비사업계획설계기준-배수편(농림축산식품부, 2012)

암거배수조직 계획은 지형, 기상, 토양조건 등을 검토하는 것 뿐만 아니라 용·배수 시설 및 도로와의 배치, 포장 배수방법 및 배수조직 유지관리방법 등의 여러 인자들 간의 관계를 고려하여 결정하는 것이 좋다. 또한, 관매설 또는 소수재를 이용한 암거배수 이외의 암거배수 방법에는 포장 내부와 주변에 설치하는 배수로와 토층개량의 목적으로 시행하는 심경, 심토과쇄 등이 있으며, 경지정리계획과 동시에 개략적인 암거배수계획을 계획 및 수립하는 과정은 공사비 절감과 효율적인 배수조직을 수립할 수 있다. 공사시행은 경지정리 공사를 선행하여 지반의 안정, 예상치 못한 특수한 배수불량지가 나타나는 현상 등을 지속적인 모니터링 분석을 통해 암거배수시설을 시공하는 것이 합리적이다.

1필지 포장에 접하는 소배수로나 집수거는 흡수거로부터의 배수를 지선·간선배수로에 유도하는 역할을 하고, 그 기능이 좋고 나쁨은 암거배수조직이 유효하게 기능하는가 어

면가에 달려 있으므로 중요하며, 이러한 소배수로나 집수거의 접속부분에는 수갑 등의 지하수위 조절방식이 적용된다. 따라서, 흡수거·수갑·집수거 또는 소배수로, 간·지선수로에 도달하는 수로조직의 방식(구조)은 배수기능·수위조절기능·내구성·유지관리의 용이성·경제성을 충분히 고려해야 한다. 암거배수조직은 일반적으로 흡수거, 집수거, 수갑, 배수구 등으로 구성된다. 그 외 필요에 따라 흡수거 상류단에 청소구(입상관)와 통기구, 집수거가 관로인 경우에는 유지관리나 청소 등을 위한 맨홀 등을 설치해야 한다. 또한, 암거를 통해 배제되는 물이 암거배수조직을 거쳐 포장 주변의 지선 및 간선배수로에 도수되도록 하여야 한다.

흡수거는 배수구역의 지표 잔류수나 토양 중력수를 직접 흡수하여 흘러 보내는 흡수거와 토층에서 흡수거의 과잉수를 유입시키기 위한 소수재 또는 피복재 등으로 구성된다. 그 외 목재, 대나무, 자갈 등을 사용하는 간이 암거, 재료를 안쓰는 탄환(彈丸)암거 등이 있다.

집수거는 흡수거에 의해 모아진 물을 배수구까지 도수하는 부분이다. 흡수거의 물을 배제, 조절·제어하는 기능을 한다. 집수거의 계획하는 경우 흡수거가 양측에서 합류할 때 서로 직접 만나지 않게 하고, 통수 저해의 원인이 되지 않도록 흡수거보다 구배를 상대적으로 크게 하는 등의 조치가 필요하다.

수갑은 주로 밭토양 보다는 논에서 암거 배수를 하는 시설로 밭토양에서는 보통 설치하지 않는다. 수갑의 설치 위치는 관의 배치, 기울기, 지형 외에 토양조건, 토지이용형태에 따라 판단 및 종합하여 배수조절이 가능한 면적마다 설치한다. 그러나 최근에는 논외고도이용에 다른 발작물 도입과 관련하여 포장(30~90a) 단위로 설치하는 경우가 많다.

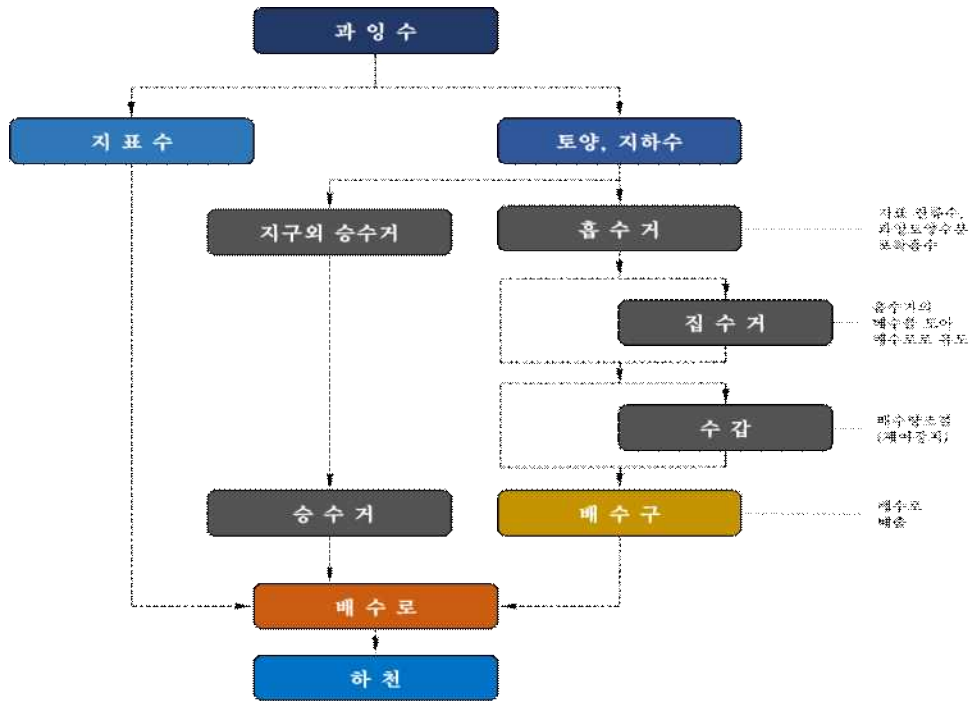
배수구는 집수거 또는 흡수거에서의 배수를 간·지선 배수로, 하천 등에 배출시키는 시설이며, 배수구의 설치위치 및 구조 등은 배수효과에 가장 큰 영향을 미친다. 따라서, 홍수시 혹은 저지대에서 외수위의 상승을 피할 수 없는 경우 역수를 방지할 수 있는 위치 및 구조로 검토해야 한다.

승수거는 지구 외에서의 침투수를 집수하기 위한 시설이며, 일반적으로 집수거보다 큰 단면의 암거가 사용된다(농업생산기반정비사업계획설계기준-배수편, 2012).

(표 2-34) 기능, 재료에 따른 암거 종류

구분	종류	특징
기능에 따른 분류	흡수거	- 일정한 깊이의 지면하에 매설하여 지표 잔류수나 토양 중의 중력수(과잉토양수분)를 직접 포착·흡수하여 집수거에 유도하는 주 암거
	집수거	- 흡수거에 의해 모인 물을 모아서 배수구까지 유도하는 암거로서 흡수거의 하류에 설치
	승수거	- 지구 밖에서 침입하는 유입수를 차단하기 위해 지구의 주변에 설치하는 암거 - 직접 배수하천에 연결시키는 것이 원칙이지만 경우에 따라서는 집수거에 연결시킴
	보조암거	- 주암거인 흡수거의 기능을 높이기 위해 필요에 따라서 주암거에 대해 보조적 역할을 하는 암거 - 두더지암거, 횡단암거, 소수재 충전암거 등이 있음
재료에 따른 분류	유재(有材) 암거 (완전암거)	- 무재암거에 비하여 배수효과가 양호하고 내구연한이 김 - 암거배수조직에서 주요부분인 흡수거로 이용됨 - 사용재료는 토관, 도관, 콘크리트관, PVC 유공주름관, 경질염화비닐관, 폴리에틸렌관 등
	무재암거	- 재료를 사용하지 않고 토층 속에 통수로를 조성함으로써 지하배수의 기능을 발휘시키는 것 - 두더지 암거(mole drain), 횡단 암거 등이 있음 - 보조암거로도 이용되면 내구연한은 짧은 편임
	두더지 암거	- 대표적인 무재 암거로서, 트랙터(Tractor)의 견인력에 의해서 지면하 40cm~60cm 깊이의 토층속에 직경 8~12cm 정도의 탄환을 인입 통과시켜서 통수공을 조성한 것
	횡단 암거	- 주로 이탄지에서 이용함 - 칼날을 땅 속에 삽입시켜 토층을 절단해 줌으로서 인공적으로 균열을 조성하여 주암거 기능을 보강시켜 주는 역할을 함
심토파쇄	<ul style="list-style-type: none"> - 토질이 견고하고 치밀한 난투수성 토양층이나 경반층(耕盤層)과 그 하부의 심토를 파쇄하여 인공적으로 균열을 조성함(투수성, 보수성 증가) - 암거의 범주에 속하지는 않지만 추 암거의 효과를 증진시켜 주는 보조수단으로 많이 이용 - 심토 파쇄기는 트랙터(Tractor)에 장착시켜 두더지 암거와 비슷한 방법으로 시공함 	

자료: 농업생산기반정비사업계획설계기준-배수편(농림축산식품부, 2012)



<그림 2-96> 암거배수 조직도

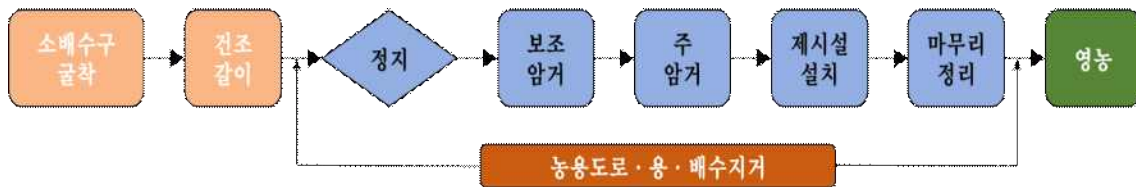
암거 배수조직계획의 기준은 암거배수의 조직계획에 관한 기본적인 사항, 농지의 경사 또는 토양특성에 관계없이 모든 지구에 적용되는 것이다. 암거배수의 조직계획은 지형조건 (평탄지, 경사지), 토양조건(사질 토양, 양토질 토양, 난투수성 토양 및 이탄 토양, 간척지 토양)으로 구분해서 배수조직계획을 수립하는데, 이 중 토양조건이 가장 큰 영향을 받는다. 토양조건에 따라 기술하는 공식 및 설계기준은 일반적인 사항이며, 토양의 특성에 맞게 설계하기 위해서는 인근개발지역의 설계자료, 유사지구의 시공사례, 설계자의 경험 등을 참고하거나, 사전에 소규모 시험포를 해당 지구 내에 설치·운영하여 분석한 시험결과를 참고하여 최적의 방법을 선택하는 것이 바람직하다.

(표 2-35) 토양조건에 따른 암거배수조직계획

구분		내용
토양조건	사질 토양	- 지표아래 1m까지의 토층으로 투수계수가 대략 $1 \times 10^{-3} \text{m/s}$ 이상이고, 배수개선에 따른 토양의 특성변화가 뚜렷하지 않은 토양
	양토질 토양	- 지표아래 1m까지의 토층으로 투수계수가 대략 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 이상, $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 미만으로 보통의 투수성을 가진 토양
	난투수성 토양	- 지표아래 1m까지의 토층으로 투수계수가 대략 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 미만으로 일반적인 암거배수조직 만으로는 충분한 배수효과를 기대할 수 없는 토양
	이탄 토양	- 이탄층이 두껍고 배수개량에 따라 경지면의 침하나 시설물이 부등침하 할 염려가 있는 토양
	경사지 논	- 평균지형경사가 $1/50$ 이상이고 지구내로부터 침투수가 많아서 특수한 암거배수처리를 필요로 하는 논
	간척지 토양	- 회색층 점토가 항상 팽윤상태에 있으며, 흡습도(吸濕度)가 높은 2가 철(Fe^{+2})이 다량으로 함유되어 투수계수가 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 미만으로 극히 낮은 토양

간척지 토양에서의 가장 효율적인 제염방법은 암거배수(수직배수)에 의한 염분용탈 방법이다. 따라서 초기 간척지에서 토양의 투수성을 얼마나 빨리 증진시켜 주느냐에 따라서 간척지의 제염효과가 좌우된다. 간척지에서 암거배수조직계획은 건토화를 위해 깊이 0.4m~0.7m, 윗나비 0.8m~1.2m 정도의 소배수구가 간척지 내의 갯고랑을 향하도록 적절하게 많이 배치하여 굴착함으로써 신속한 지표배수가 가능하도록 한다. 다음으로 토층의 건조화가 어느 정도 진행되면 하부토층의 배수를 촉진시키기위해 보조암거(두더지 암거, 소수재 매설암거, 심토파쇄 등)을 시공한다. 마지막으로 토층건조에 따른 토양 투수성 증진 및 토양구조발달이 지표면 아래 0.5m~0.6m까지 과급되었을 때 주암거(흡수거+소수재)를 보조암거와 연결되도록 배치하도록 한다.

초기 간척지내의 소배수구 굴착은 지내력이 극히 강하기 때문에 인력에 의한 시공은 상당히 어려우나 접지압이 작은 배수로 굴착기를 이용하면 공사비도 저렴하고 신속하게 시공할 수 있다.

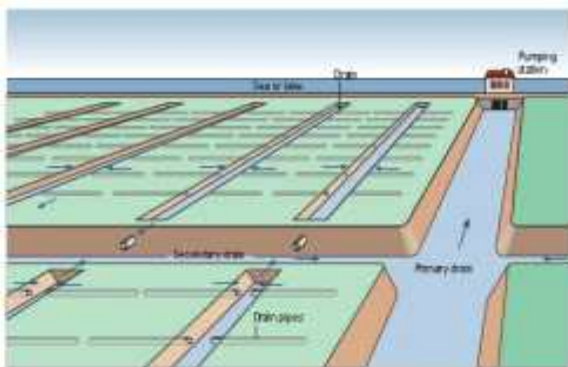


<그림 2-97> 간척지 지하배수 조직 공정도

2) 국외 지하배수공법 자료분석

(1) 네덜란드

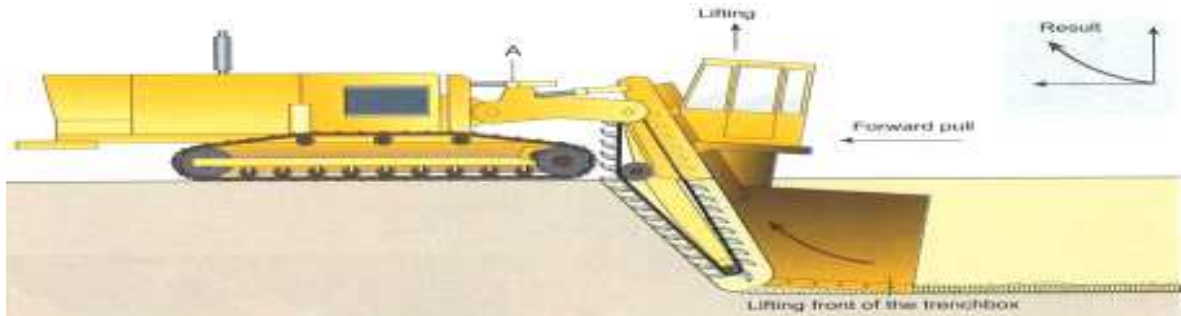
네덜란드의 경우, 관개와 배수를 겸용하는 배수시스템을 활용하고 있다. 작물의 과습을 방지하기 위해 집중적인 배수시스템을 실시하고 있으며, 배수의 경우 기계배수를 통해 적정수위관리를 하고 있고, 농지 내에는 암거를 설치하여 배수를 실시하고 있다.작물생육을 위해 토양의 적정 수분관리, 용수확보 등을 위해 배수로에 관개수를 저류하고 필요시 고압 분사호스를 이용하여 대규모 농지에 용수를 공급하고 있다.



<그림 2-98> 네덜란드 배수시스템

지하배수시설 설치용 전용 장비를 개발 및 활용하여 암거시설을 매설하고 있다. 불도저와 같은 전문 매설장비, 두더지 암거나 심토파쇄용 장비, 배관 구매를 맞추기 위한 측량 장비 등을 활용하고 있다. 불도저 형식의 장비에는 트랜치를 파는 방식과 수직형 쟁기날로

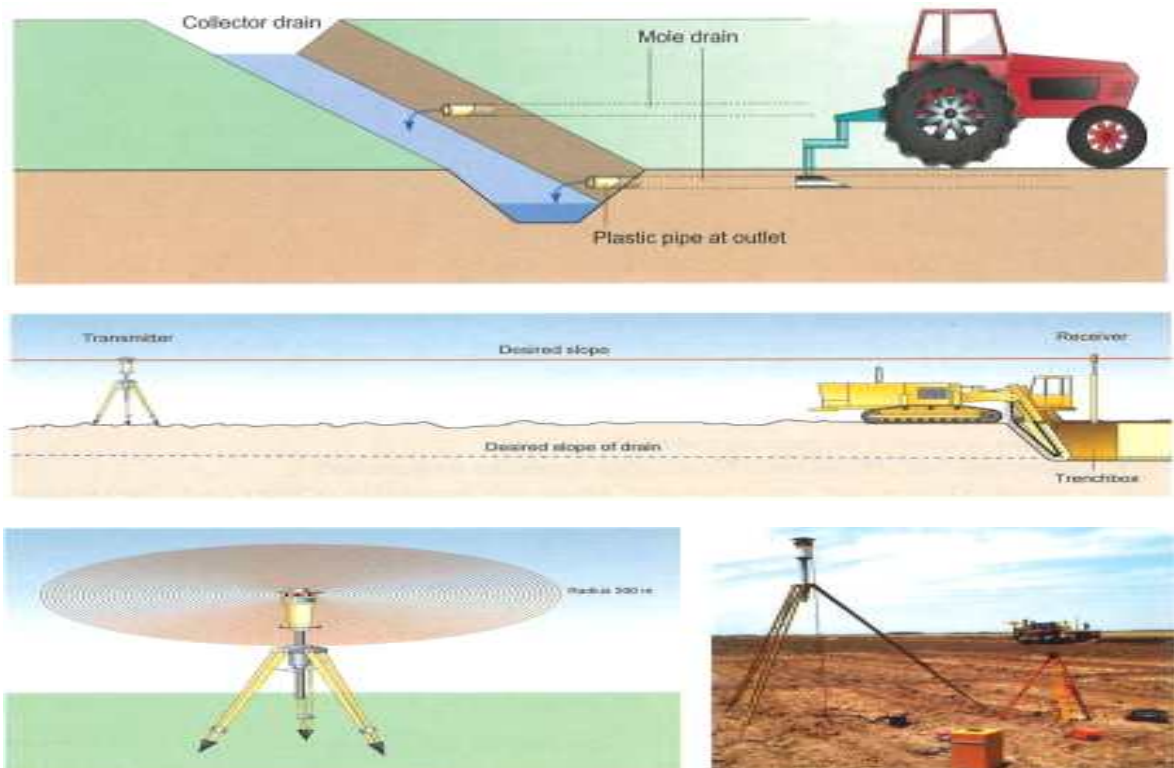
땅을 가르는 방식으로 구분된다. 쟁기날 방식에는 V자형날을 사용하는 경우도 있는데 V자형으로 파인 저면에 흡수거를 매설하는 방식이 있다. 보조암거로 사용되는 두더지 암거설치용 장치를 트랙터 등에 부착하여 사용하며, 정확한 구배로 시공하기 위해 매설기계에 타깃을 부착하여 동일 레벨 포착하는 방식으로 쓰이는 레이저 측량장비를 사용한다.



<그림 2-99> 트렌치를 파는 형식의 흡수거 매설 장치



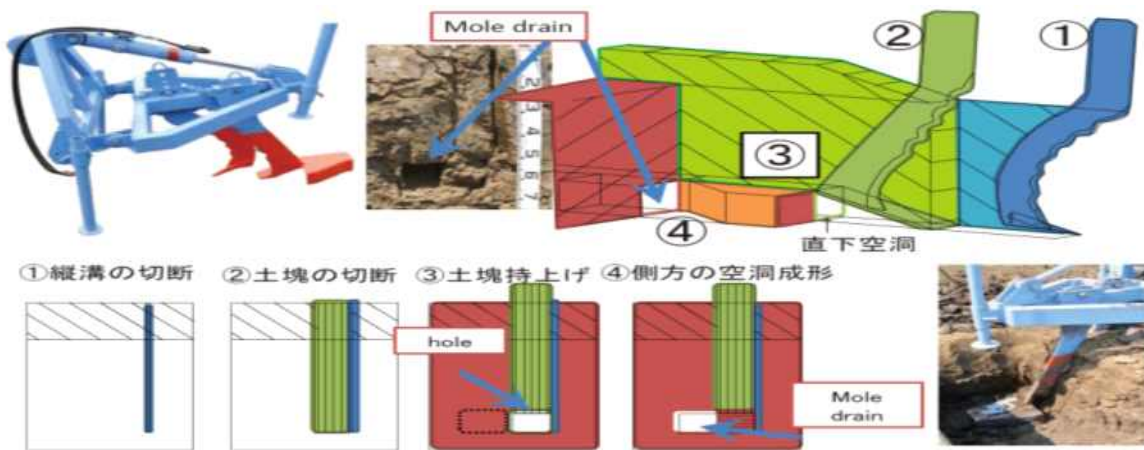
<그림 2-100> V형 쟁기날 방식의 흡수거 매설장치



<그림 2-101> 두더지 암거 설치 장치 및 정확한 구배 시공을 위한 레이저 측량

(2) 일본

일본의 경우, 일본 국립농촌공학연구소(Iwao KITAGWA)는 새로운 “Cut-darin”장치를 배움거 설치용 기계로 개발하였다. 토양의 투수성을 개선할 수 있는 저비용 배수개선 기술로서 파이프 등 재료가 쓰이지 않는 배수개선방법이다. 깊이 40~70cm에 10~15cm 폭의 사각 공동을 만들어주는 장치로 농부들의 트랙터에 부착하여 사용한다. 먼저 공동을 만들고 흙이 오래도록 유지되도록 하기 위해 흙덩이를 이동시켜 뚜껑을 만들어주는 방식으로 시간당 수밀리미터의 강우에도 침투 배수량을 소화할 수 있고, 트랙터의 속도를 2~4km/hr의 속도로 시공할 것을 권고하고 있으며, 간격은 상황에 따라 달라질 수 있지만 2.5~5m를 표준으로 하고 있다. 일본 농공학회 기준 모래질 50%이상의 토양에서는 적용할 수 없는 단점이 있다.



<그림 2-102> 몰 드레인 기술, “Cut-drain”(일본사례)

나. 사전 암거배수 방법 선정 및 시공 실시

국내 간척지의 암거공법 모니터링 사례로 새만금 현장시험포 5공구 농어업회사 부지의 시설방조제 인근 지역 내 중앙부 배수로를 중심으로 좌우 양측으로 지하암거 공법별 모니터링 시험연구 사례가 있다.(전북대학교, 2017년) 지하배수 암거공법별로 암거(개착식, 드레인 보드, 드레인 벨트, 무굴착공법)를 설치하여 6시간 간격, 12회 모니터링으로 3회 반복 시험을 실시하였으며, 모니터링 항목에는 침출수량, 침출수 전기전도도, 토양전기전도도(ECe)에 대한 분석을 실시하였다. 아래 표는 지하암거 공법별 흡수거, 집수거의 규격 및 간격, MAT, 수평필터, 시공면적, 단면도 등에 대한 설계 세부사항이다.

(표 2-36) 시험시공 공법별 세부사항

구분	개착식	드레인 보드	드레인 벨트	무굴착공법
흡수거 규격	D100mm	W=500mm (h=30mm) (부직포열용 착배수보드)	W=200mm (DrainBelt)	D50mm
흡수거 간격	8m	8m	5m	3m
집수거 규격	D150mm (PVC VG1)	W=1000mm (h=30mm) (부직포열용 착배수보드)	D75mm(PVC VG1) D150mm(PVC VG1)	D100mm
집수거 간격	×	×	17m(집수거리 6m) 50m (방류관)	×
MAT	○ (흡수거 및 쇄석둘레)	○ (흡수거 상단접합)	×	○ (흡수거 둘레)
수평 필터	×	×	×	○
시공 면적	0.4ha	0.4ha	0.4ha	0.4ha
단면도				

개착식공법의 경우 터파기를 실시하고, 다음으로 MAT를 포설한 후 소수재, 흡수거 (D100mm)를 설치하며, 말단부에서 각각의 흡수거를 집수거(D150mm)에 연결하였다. 또한, 흡수거와 집수거가 연결된 이후에는 상부에 소수재를 포설하고 MAT를 덮어 마무리하며 최종적으로 굴착한 토사로 되메우기하는 공정으로 시공이 이루어졌다. 드레인보드는 설치 지역에 백호를 이용하여 터파기를 실시하고, 다음으로 드레인보드(부직포 열용착 배수보드)를 포설한 후 말단부에서 집수거로 연결하여 시공하는 방식으로 상부에 MAT를 덮어 연결하며, 드레인보드의 설치경사가 완료되면 기존의 간척지 토양을 이용하여 되메우기를 하는 방식이다.

(표 2-37) 지하암거 공법별 공사전경(개착식, 드레인보드)

구분	전경	
개착식 암거	 <p data-bbox="608 595 715 629">(터파기)</p>	 <p data-bbox="948 580 1362 640">(부직포 ⇒ 하부쇄석 ⇒ 흡수거 포설)</p>
	 <p data-bbox="571 900 751 934">(집수거 연결)</p>	 <p data-bbox="1062 900 1243 934">(소수재 정비)</p>
드레인보드	 <p data-bbox="608 1191 715 1225">(터파기)</p>	 <p data-bbox="1034 1191 1273 1225">(드레인보드 포설)</p>
	 <p data-bbox="544 1482 783 1516">(드레인보드 연결)</p>	 <p data-bbox="970 1482 1337 1516">(드레인보드와 집수거 연결)</p>

드레인벨트는 설치지역에 백호를 이용하여 터파기를 실시하고, 집수거(D75mm, D150mm)를 설치하고, 흡수거인 드레인벨트(W=200mm)와 칼라와 접합하였다. 드레인 벨트 설치가 완료되면 별도의 MAT를 포설하지 않고 터파기한 토사를 이용하여 되메우기를 하는 방식이다. 반면, 무굴착은 별도의 터파기를 실시하지 않고, 설치지역 전역에 백호를 이용하여 심토파쇄를 실시하여 흡수거(D50mm) 수평필터를 설치한다. 흡수거 설치와 더불어 소수재인 왕겨를 동시에 공급하여 흡수거 설치가 마무리된 후 담면고르기를 한다.

(표 2-38) 지하 암거 공법별 공사 전경(드레인벨트, 무굴착)

구분	전경	
드레인벨트	 <p data-bbox="635 593 766 624"><터파기></p>	 <p data-bbox="1066 593 1265 624"><흡수거 설치></p>
	 <p data-bbox="571 891 829 922"><드레인벨트 연결></p>	 <p data-bbox="1029 891 1303 922"><퇴메우기 및 정지></p>
무굴착	 <p data-bbox="619 1196 782 1227"><심토파쇄></p>	 <p data-bbox="970 1196 1361 1227"><흡수거, MAT, 소수재 설치></p>
	 <p data-bbox="507 1494 898 1525"><흡수거, MAT, 소수재 설치></p>	 <p data-bbox="1034 1494 1297 1525"><소수재 지속공급></p>

지하암거 공법별 모니터링 분석결과, 침출수량에 있어서는 개착식 평균 124.5m³, 드레인보드 57.2m³, 드레인벨트 50.4m³, 무굴착 145m³으로 분석되었다. 감수심량에서는 개착식 140.0m³, 드레인보드 78.7m³, 드레인벨트 77.1m³, 172.0m³으로 분석되었으며, 1일 배수량으로 변환시 무굴착공법 13.2mm/day, 개착식공법 11.4mm/day, 드레인보드 5.0mm/day, 드레인벨트 4.6mm/day 순으로 결과를 보고하고 있다.

(표 2-39) 지하암거공법별 침출수량 및 감수심량 비교

구 분	침출수량(m ³) ①	감수심량(m ³) ②	비율(%) ③=①/②×100	비고
개착식 암거	124.5	140.0	89.0	(11.4mm/day)
드레인보드	57.2	78.7	72.7	(5.1mm/day)
드레인벨트	50.4	77.1	65.4	(4.6mm/day)
무굴착	145.8	172.0	84.7	(13.2mm/day)

자료 : 전북대학교. 2017. 새만금 농업용지 5공구 조성공사중 지하배수암거 시험시공 모니터링 용역



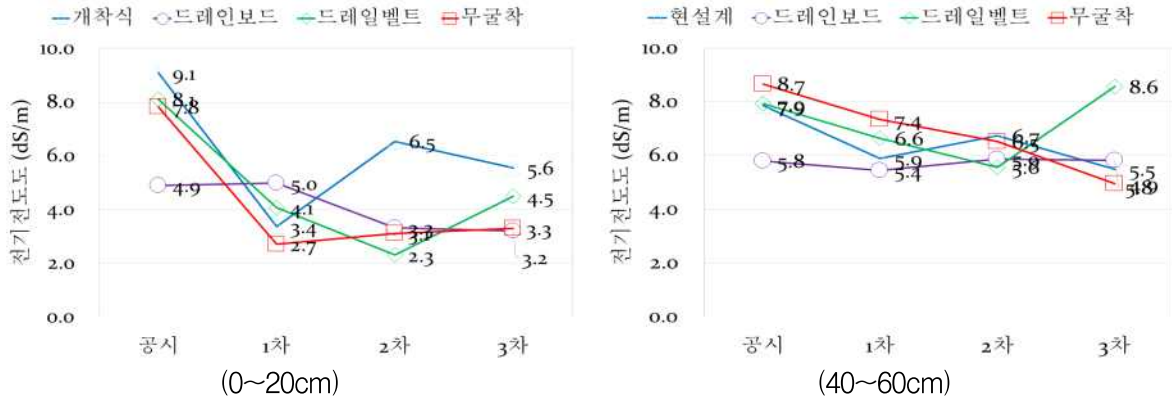
<그림 2-103> 지하암거공법별 회차별 침출수량 변화

침출 후 지하암거공법별 침출수 전기전도도 변화에서는 토양을 통과한 회차별로 침출수 전기전도도가 점차 낮아지는 것으로 나타났으며, 드레인벨트 6.6dS/m, 무굴착공법 4.3dS/m, 개착식 4.1dS/m, 드레인보드 2.0dS/m 순으로 나타났다.



<그림 2-104> 회차별 평균 침출수의 전기전도도 변화

지하배수암거 공법별 토양 전기전도도(ECe)변화에서는 토양 침출에 따른 표층부의 제염율을 분석하였으며, 무굴착 57.7%, 드레인벨트 44.5%, 개착식 38.8%, 드레인보드 34.5% 순으로 분석되었다.



<그림 2-105> 회차별 토양 심도별 전기전도도 변화

2.2.2. 간척지 염류제거 방식 현황 분석 및 현장시험

가. 국내외 염류제거방식 현황 및 자료분석

1) 국내 염류제거방식 현황

국내 간척지 제염방법에는 크게 물 관리에 의한 방법, 배수시설에 의한 방법, 생물학적인 방법, 화학적인 방법, 경운 방법 등으로 분류할 수 있다. 일반적으로 한 가지 혹은 두 가지 이상의 방법을 병행하여 활용하고 있으며, 합리적인 제염방법 설정 시 토양의 염분농도, 투수성, 제염용수량, 제염기간, 경제성, 지하수위, 기상조건 등의 지역적인 특성을 고려하여 결정하도록 한다.

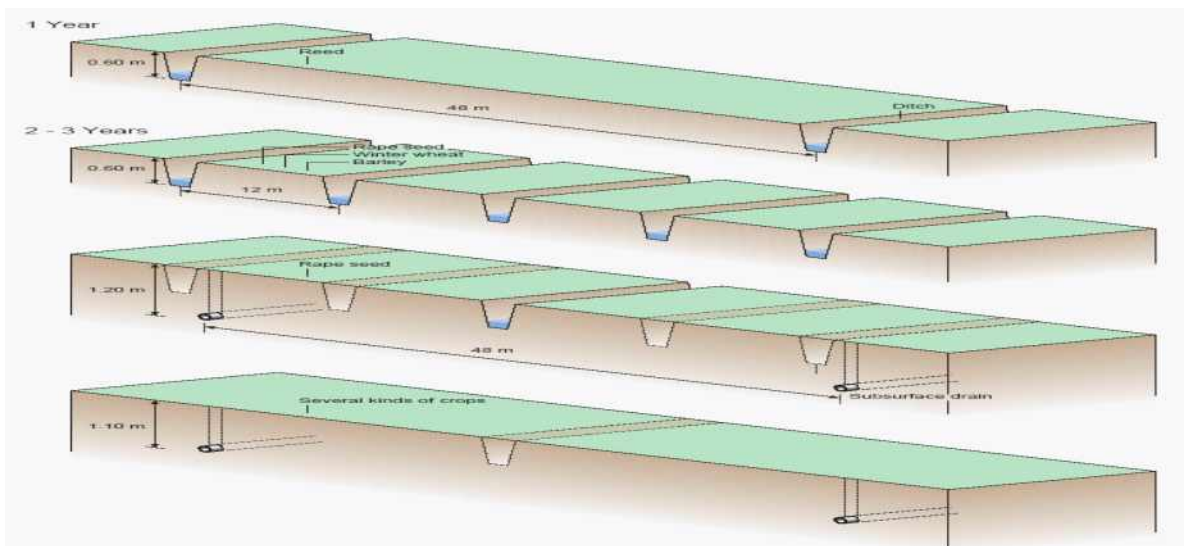
(표 2-40) 간척지 제염방법의 상세 분류

구분	특징	세부 방법	비고
물관리 방법	<ul style="list-style-type: none"> - 물을 이용하여 제염실시 - 표토층의 제염효과 높음 - 물빠짐이 좋은 토양은 효과 좋음 - 시설투자비가 적어 경제적임 - 제염용수가 다량으로 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 수세법 - 침출법 - 침출수세법 - 담수법 - 경운담수법 	<ul style="list-style-type: none"> - 국내에서 주로 이용하는 방식 (벼 재배시 활용)
배수 시설 방법	<ul style="list-style-type: none"> - 투수성이 낮은 토양에서 이용 - 지표하에 암거를 설치 - 초기 시설투자비용 소요 - 암거막힘으로 유지관리 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 암거 10~20m간격 - 보조암거 2~5m간격 설치 	<ul style="list-style-type: none"> - 일본, 화란, 중국 등 활용 (밭작물 재배시 주로 활용)
생물학적 방법	<ul style="list-style-type: none"> - 작물을 이용하여 제염실시 - 고염도 토양에서 활용불가 - 토양비옥도 증진기능 - 피복에 의한 재염화 방지 	<ul style="list-style-type: none"> - 목초재배 - 벼(하계), 목초(동계) 	
화학적 방법	<ul style="list-style-type: none"> - 간척토양 이화학적 특성 개선 - 나트륨을 칼슘으로 치환 - 별도의 포설비용 증가 	<ul style="list-style-type: none"> - 석고, 석회, 염화칼슘 등을 토양과 교반하여 활용 	<ul style="list-style-type: none"> - 일본 주로 활용
경운 방법	<ul style="list-style-type: none"> - 비영농기 일정깊이 경운실시 - 외부 토사유입 후 토층개량 	<ul style="list-style-type: none"> - 추수직후 경운 - 외부 토사 유입 	

2) 국외 염류제거방식 현황

네덜란드와 일본의 간척지 제염방식에 대해 조사하였다. 네덜란드 간척지는 삼각주 지역으로 토층의 하부에 투수성이 높은 사토층이 깊게 분포하고 있다. 월평균 강수량 70mm(연중 823mm)로 풍차, 배수시설 등을 통해 지하수위를 저하시키며, 배수로를 설치하여 토층을 건조시키고, 암거시설을 설치하여 지속적으로 토층 내 염분을 제거하는 방식을 실시하고 있다. 네덜란드는 간척농지 제염방식 및 조성하는데 있어서 1~4단계에 걸쳐 실시하고 있는데 1단계에서는 깊이 0.6m, 48m 간격으로 배수로를 설치하는 동시에 갈대를 식재한다. 다음 단계에서 추가로 12m 간격으로 배수로를 설치하고유채 등을 같이 재배한다. 3단계에서는 깊이 1.2m, $\phi=60\sim 200\text{mm}$, 48m 간격으로 지하암거(유공관)를 매설하며, 배수로를 중간부분은 유지하고 나머지 부분을 되메우기 작업을 실시하고, 밀과 보리 등을 재배한다. 마지막 단계에서는 지하암거를 추가로 매설하고 중간부분의 배수로를 되메우며, 토양 특성에 맞게 기타 밭작물을 재배한다.

(표 2-41) 네덜란드 간척지의 단계별 간척농지 조성 및 제염



자료: 농어촌연구원, 2012. 간척지 활용과 제염

네덜란드 간척지는 제염이전에 우선적으로 지하수위 저하 등 배수체계를 구축하였으며, 다음으로 초기 제염배수로, 심토파쇄, 암거시설 등을 설치하여 토양 건조화 및 투수여건을 개선하는 단계별 개발방식을 실시하였다. 작물재배에 있어서도 초기에는 배수가 불량하고 고염도 상태에서도 자랄 수 있는 갈대 등을 식재하여 토양여건을 개선하는데 실시하였

고, 점차적으로 제염상황과 토양 특성에 따라 보리, 밀 등을 재배한 다음 화훼 등 경제성 작물 등을 재배하였다. 물 관리에 의한 방법(강우침출), 생물학적인 방법(갈대, 작물 등을 재배), 배수시설(암거매설) 등의 제염방식을 택하였다.

일본의 경우, 간척지 토양특성은 간척 지역마다 차이가 있으나, 우리나라 간척지 토양과 유사하게 점토함량이 비교적 높은 특징을 보이고 있다. 일본의 간척지 제염방식은 네덜란드 간척지 개발방식과 유사하게 초기에는 간척지 토층을 건조시키고, 암거시설 등을 설치한 이후 단계적으로 제염작업을 실시하였다. 초기에는 우리나라 수도작 기반의 간척지 개발방식과 유사하게 간선, 지선, 지거, 도로시설 등의 기반시설을 설치한다. 일본 간척지는 곧바로 작물재배를 실시하지 않고 포장배수로를 설치, 포장경사는 1/125~1/300로 조정하며, 2~3회에 걸쳐 심토파쇄 등의 작업을 실시하고 집수로, 토양 건조작업을 실시한다. 다음으로 깊이 0.8m, 간격 10m, (유공관)φ=50~60mm 의 지하암거를 설치한 이후 추가적으로 심토파쇄, 석고부설, 심경, 관개시설 설치하여 제염작업을 실시하였다. 또한, 농작업, 기반조성, 작물재배 시험연구를 병행하여 간척지 특성에 맞는 기반조성방법을 도출하는 등 간척농지를 단계적으로 개발하는 방식을 실시하고 있다. 작물재배에 있어서도 제염작업 완료이전까지는 시험위주로만 실시하고 점차적으로 토양제염 및 성숙정도에 따라 소득작물 재배를 실시하였다. 물관리에 의한 제염방식(인공관개), 생물학적인 방법(녹비 및 조사료 재배), 배수시설(암거설치), 화학적인 방법(석고포설 작업) 등을 활용하여 간척지 제염작업을 하였다.

<그림 2-106> 일본 간척지의 단계별 간척농지 조성 및 제염



자료: 농어촌연구원, 2012. 간척지 활용과 제염

앞서, 국내외 간척지 제염방식을 종합적으로 비교해볼 때, 국내 간척지는 제염을 실시하기 이전에 지하암거배수, 심토파쇄 등의 선행작업을 실시하지 않고, 저비용 제염방식만을 채택하고 있으며, 단계별 개발방식이 아닌 일시적으로 조성하는 방식을 유지하고 있다. 조성 목적에도 수도작 재배로 국한되어 있어 현재 밭작물 재배에 대한 선호가 높아지고 있는 실정에 맞게 간척지에서 다양한 작물을 재배할 수 있도록 조성하는 것이 필요하다. 또한, 배수시설(암거시설)등의 매설을 초기에 실시하는 것이 아니라 기반 시설 및 토양 개량작업과 지속적인 작물 재배 모니터링 및 연구를 병행하는 동시에 암거시설의 설치를 통한 효율적으로 간척지 제염을 실시할 필요가 있다.

(표 2-42) 국내외 간척지 기반조성 및 제염방식

구 분		국내(한국)	일 본	네덜란드
조성목적		수도작	'70년이후 밭	밭, 축산, 거주지
영농유형		수도작, 밭작물	밭작물, 낙농, 축산	밭(원예), 낙농
밭기반 조성 방식	용수로	개수로중심	관수로중심	용배수겸용
	지하배수	-	암거배수	암거배수
	토층개선	-	심토파쇄	심토파쇄
제염방법		담수제염(침출법) 조사료재배	암거배수, 심토파쇄, 석고포설, 녹비작물	암거배수, 심토파쇄, 조사료재배
개발방식		일시조성	단계적개발	단계적개발

자료: 농어촌연구원, 2008. 간척지 다각적 활용방안 연구

나. 염류제거 방식별 사전 시험연구 실시 및 주요결과 도출

1) 간척지 단계별 제염방식

간척지의 토양 제염 및 토양성숙화를 위해서는 초기 제염방식 및 재배작물의 선정 등을 현지여건, 정부정책 등 종합적인 관점에서 검토하여 선정해야 할 것으로 판단된다. 초기제염에 있어서 공사가 완료된 이후 염류토양을 비염류토양으로 조성하는 대책이 필요하고, 다음으로 토양숙성화 방안을 검토하였다. 이를 통해 가능한 밭 작물 중심형, 담수+밭작물 조합형, 담수작물 재배 후 밭작물 도입형 등의 유형으로 구분하여 시나리오를 작성하고, 시나리오별로 초기제염과 토양숙성화 기간 등을 목표로 설정하여 제시하였다.

(표 2-43) 간척지 시나리오별 제염방식 및 토양숙성화

구 분		초기제염 (최소 5년이상)	토양숙성화 (최소 15년)	비고
토양염도 목표(ECe)		4dS/m 이상	4dS/m 이하	
유기물함량 목표(%)		수도작, 밭작물	2.0~3.0%	
시나리오1	밭작물 중심형	인공담수, 강우담수 (녹비, 조사료 병행)	녹비 ⇒ 조사료 ⇒ 일반 밭작물	- 제염이 이루어지지 않을 경우 조사료 재배 장기화
시나리오2	총체벼(하계)+밭작물(동계) 조합형	담수작물 (총체벼)	총체벼(하계)+녹비(동계) ⇒ 총체벼+조사료 ⇒ 일반 밭작물	- 담수재배, 범용화를 위한 관개시스템 보완 - 총체벼 재배에 대한 타당성 필요
시나리오3	담수작물 (벼 외) 재배 후 밭작물 도입형	담수작물 (벼 외)	담수작물 ⇒ 조사료 ⇒ 일반 밭작물	- 담수 기능작물 도입 (미나리, 연, 토란 등)

제염방식에 있어 초기에는 강우나 관개수를 공급한 제염(5년이상)이 필요하고, 토양 숙성을 위해 녹비작물(15년이상) 재배가 이루어지도록 해야 한다. 일반 밭 작물재배가 가능할 경우에는 수확물의 상품성 향상, 농가소득을 위해 관개시설, 토양 재염화방지, 토양유실방지를 위해 멀칭재배의 방식도 필요하고, 비점오염원에 대한 방지대책 수립을 통해 유기축산과 연계한 경축순환농업을 실시하도록 해야 한다. 아래 표는 토성별배수양호토양(사양토, 양토, 사토 등), 배수불량토양(미사질양토, 식양토 등)에 따른 토양 전기전도도(ECe)

를 단계별(1단계: ~8dS/m, 2단계: 8~4dS/m, 3단계: 4~2dS/m, 4단계: 2dS/m)로 구분하여
 제염방식, 추정기간, 도입가능시설, 토양성숙 및 재배작물에 내용을 분석 및 정리하였다.

(표 2-44) 간척지 단계별 토성에 따른 농지관리

구 분		토성별		지하수
		배수양호토양 (사양토, 양토, 사토 등)	배수불량토양 (미사질양토, 식양토 등)	
1단계 (~8dS/m)	제염방식	담수제염, 침출법, 경운	담수제염, 침출법, 경운	고염도 지하수위 배제 및 저하
	추정기간	1~2년	5년 이상	
	도입가능시설	배수로, 소배수로	제염배수로, 암거	
	토양성숙 및 재배작물	녹비작물(토양환원)	담수작물, 녹비작물(토양환원)	
2단계 (8~4dS/m)	제염방식	관개시설제염	담수제염, 침출법, 경운	고염도 지하수 상승방지
	추정기간	5년 수준	10~20년	
	도입가능시설	점적관개, 스프링쿨러	제염배수로, 암거	
	토양성숙 및 재배작물	녹비작물+내염성작물	담수작물+녹비작물 +내염성작물	
3단계 (4~2dS/m)	제염방식	관개시설 제염	담수제염, 경운, 관개시설제염 (토양투수성 개선시)	지하수내 담수층 확보
	추정기간	5~10년	20~30년	
	도입가능시설	점적관개, 스프링쿨러, 멀칭(토양유실방지)	점적관개, 스프링쿨러, 지하관개, 멀칭(재염화방지)	
	토양성숙 및 재배작물	녹비작물 (유기축산연계) +일반밭작물	녹비작물(유기축산연계) +일반밭작물	
4단계 (2dSm이하)	제염방식	관개시설 제염	관개시설 제염	지하수 담수층 확보
	추정기간	10~20년	30년 이상	
	관개방식	점적관개, 스프링쿨러, 멀칭(토양유실방지)	점적관개, 스프링쿨러, 지하관개, 멀칭(재염화방지)	
	토양성숙 및 재배작물	녹비작물(유기축산연계) +고소득작물	녹비작물(유기축산연계)+ 고소득작물	

2) 간척지 토양숙성화 측면에서 작물재배

조기제염 및 토양숙성화를 위해서는 제염 초기단계부터 녹비·사료작물 및 경관작물을 2모작 재배하여 수확물을 녹비로 토양에 환원시키도록 해야 한다. 그러나, 간척지가 단기간의 임대방식을 취할 경우 토양 숙성화 개선의 노력을 소홀히 할 수도 있으므로 제도적인 지원책 마련이 필요하다. 이 과정에서 근류균과 공생하는 세스바니아, 콩과같은 두과식물 재배로 질소비료를 살포하지 않아도 작물재배가 이루어지도록 해야 한다. 또한, 간척지 토양의 충분한 유기물 공급을 위하여 간척지 내 자연순환형 유기축산을 도입하여 가축분뇨 등을 토양 내 유기물 공급원으로 활용하고, 간척지에서 생산된 녹비 작물 일부는 가축사료용 조사료로 공급하는 종합적인 순환형 사이클 구상이 필요하다.

(표 2-45) 토양숙성화를 위한 초기 녹비·사료작물의 작부체계

1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
이탈리안라이그라스 유채, 보리, 호밀			옥수수, 사탕수수, 콩, 세스바니아, 수단그라스, 제주재래피					이탈리안라이그라스 유채, 보리, 호밀, 헤어리베치, 귀리, 밀			
다년생 사료작물(톨페스큐, 알팔파)											

3) 간척지 토양숙성화 측면에서 작물재배

간척지는 초기부터 경종과 축산이 연계하여 지력의 유지증진 및 합리적인 작부체계를 구상해야 한다. 축산의 도입이 이루어지지 않고 경종으로만 토양 숙성을 기대하기에는 한계가 있을 수 있다. 토양의 제염도와 물리·화학적 특성 이외에도, 기후조건 및 작물의 내염성과 적응성, 경제성 등에 대한 종합적인 판단을 실시하도록 해야 한다. 아래표는 월별에 따른 간척지에 적용이 가능한 단계별 작부체계에 대한 내용이다. 1단계에는 토양의 전기전도도가 8dS/m로 유지될 수 있는 기간으로 밭작물 재배시 갈수기 염해, 강우기에는 습해가 발생할 수 있다. 작물재배 이전 담수제염을 검토할 수 있고, 여름철 집중 강우시 철저한 배수가 필요하다. 2단계에서는 관개·배수시설이 완비되고, 사료작물 등으로 인해 토양의 일부 성숙이 이루어져 염분 농도가 8dS/m~4dS/m의 범위로 유지될 수 있는 기간으로 동계에는 이탈리안라이그라스, 보리, 호밀, 유채, 자운영이 있고, 하계는 세스바니아, 수단그라스, 해바라기, 일부 밭 작물 등의 재배가 가능할 수 있다. 3단계는 장기간의 토양 숙성화를 통해 일반 밭작물 도입이 가능한 단계로 염분농도가 4dS/m~2dS/m의 범위로 콩, 수수, 땅콩, 토마토, 오이, 참외 등의 소득작물 재배가 가능하다. 또한, 배수시설을 통한 재배환경 개선으로 포도, 무화과 등 과수의 도입도 가능할 수 있다. 4단계는 토양의 염분농도(ECe기준)가 2dS/m 이하 범위의 토양으로 염류농도, 토양숙성화에 대한 제한없이 작물재배가 가능한 수준이고, 다양한 고소득 작물 및 화훼, 과수 등의 도입도 구상할 수 있다.

(표 2-46) 간척지에 적용이 가능한 단계별 작부체계

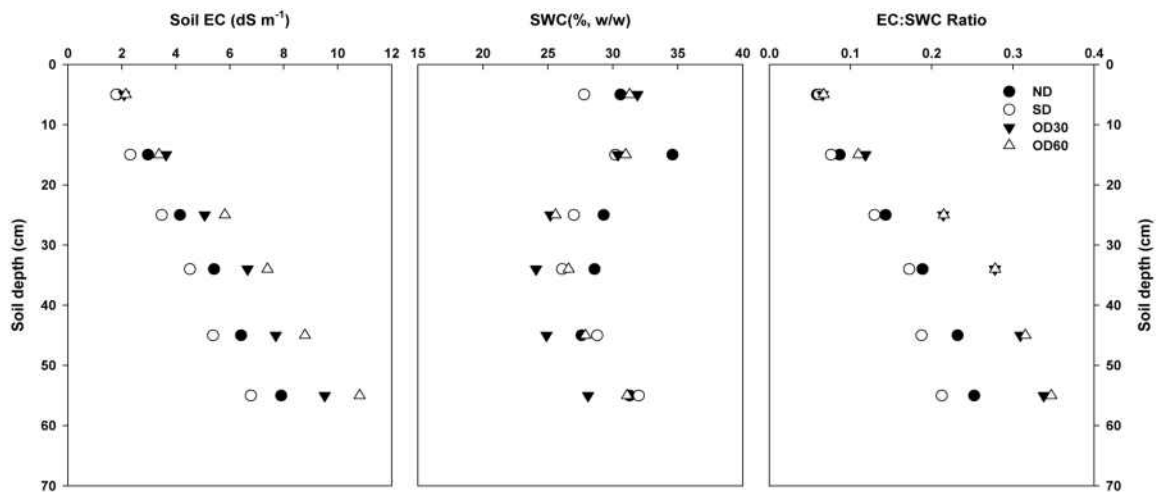
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1단계 (~8dS/m)	이탈리안라이그라스, 수단그라스, 버뮤다그라스											
2단계 (8~4dS/m)	이탈리안라이그라스, 보리, 호밀, 유채, 자운영				세스바니아, 해바라기, 수단그라스, 일부 밭작물				이탈리안라이 그라스, 보리, 호밀, 유채, 자운영			
3단계 (4~2dS/m)	보리, 호밀 시금치				옥수수, 콩, 땅콩, 기장 케일, 아스파라거스, 근대, 토마토, 오이, 참외 포도, 무화과나무				보리, 호밀 시금치			
4단계 (2dS/m이하)	보리, 밀 시금치, 마늘, 양파,				옥수수, 콩, 땅콩, 감자, 고구마, 케일, 토마토, 피망 아스파라거스, 오이, 참외, 배추, 당근, 상추, 호박, 가지, 샐러리, 완두, 무, 당근, 근대, 양배추, 녹두, 참깨, 기장, 조				보리, 밀 시금치, 마늘, 양파			
	배, 사과, 감, 복숭아 백합, 국화, 카네이션, 베고니아, 장미, 수국, 거베라, 프리지아, 포인세치아, 에리카, 안스리움, 프리물라											

4) 국내의 토양관리방식 현황 및 개선방안

토양의 물리화학적 성을 개량하기 위해 가장 폭넓게 사용된 것은 유기물질이다. 팽연 왕겨를 토양에 처리시 단기간에 걸친 제염 및 토양 입단화 효과가 미미하게 나타났으며(백 등, 2008), 녹비작물은 토양 유기물 함량의 증가와 천연적인 질소 공급효과가 있는 것으로 보고되어 있으며(양 등, 2012), 새만금 간척지 연구에서 녹비작물을 5년간 재배하였을 경우 유기물 함량이 1.3gkg^{-1} 에서 4.7gkg^{-1} 으로 증가하고, 용적밀도가 1.44Mgm^{-3} 에서 1.24Mgm^{-3} 으로 감소하였다(Kang et al, 2014).

토양 중에서 미생물에 의한 유기물의 분해산물인 다당류와 폴리우로니드와 같은 물질은 입단 표면에 피복하는 것만 아니라 입단들 내에서 입자들을 서로 접착시킴으로서 입단의 안정성을 증가시킨다. 토양이 건조해짐에 따라 Gel 상태의 접착물질들은 비가역적인 탈수작용에 의해 미사와 모래입자 뿐만 아니라 점토 덩어리를 서로 결합시키는 다소 안정한 결합체가 될 수 있다(한국 농어촌공사, 2016).

간척지 토양의 물리화학적 성을 제거하는 방식으로 물리적인 방법으로는 물관리에 의한 방법과 화학적 처리방법으로 토양개량제를 처리하는 방법 등이 있다. 깊이별 토양 EC는 모든 깊이세어 암거 처리구의 토양 염농도가 가장 낮은 값을 보여 암거배수에 의한 제염효과를 확인할 수 있다. 명거배수에 의한 배수효과는 있었으나 제염효과는 미비하였다, 또한, 명거배수로 깊이(30cm, 60cm)에 따른 배수효과와 제염효과의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.



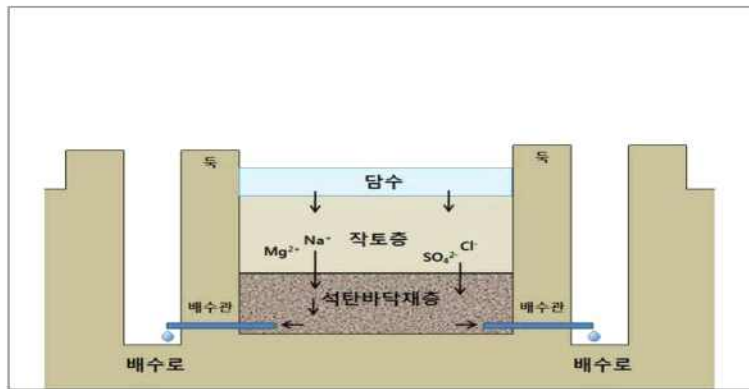
<그림 2-107> 간척지 토양에서의 배수처리별 배수효과 비율

SWC : soil water content ND : non-drainage, SD : subsurface drainage, OD30 : 30 cm open ditch drainage; OD60 : 60 cm open ditch drainage

화학적 처리방법으로 '왕겨를 이용한 간척지 제염방법(특허등록번호: 10-0821321)'은 간척지에 골을 조성해 골을 왕겨를 매립하고 복토하는 과정을 거쳐 염기를 제거하는 방법으로써, 매몰된 왕겨가 수분을 머금고 있으면서 지속적으로 염을 용해시키고 배수로 역할을 하면서 왕겨 매몰층의 인접 염분을 계속 배수시켜 표층으로 염분이 올라오는 것을 방지할 수 있게 한다. 이 제염방법의 최대 장점은 제염작업 후 단기간 내에 경작이 가능하고 간척지 활용기간을 획기적으로 단축시킬 수 있으며, 별도의 석고비료 등을 이용하여 염분을 치환시키는

것이 아니어서 화학적 처리로 인한 고비용도 절감할 수 있다. 또한 환경 친화적이어서 토양과 물을 오염시키지 않을 뿐만 아니라 별도의 배수관 등을 설치하지 않아도 배수가 이루어짐에 따라 매우 경제적이다. 게다가 일정기간이 소요되면 제염이 완료되고 왕겨가 부속돼 유기물로 영양분을 공급하는 일석이조의 효과를 얻을 수 있다. 해안지 굴 수확 후 버려지는 굴 껍데기를 모아 파쇄기를 이용해 0.5~1cm 크기로 분쇄한 후 10cm 정도 깊이에 10a당 500kg 정도의 양을 시용한다. 새만금 간척지에 파쇄목, 쇠석, 굴 껍데기 등의 제염효과를 조사한 결과, 굴 껍데기의 석회물질(CaO)에 의해 토양이 부드러워지고 물의 흐름을 좋게 해 염분을 낮추는 효과가 있는 것으로 나타났다. 무(無)처리구보다 염분이 약 30% 더 줄어드는 효과를 보였으며 토양 표면에 있는 물이 토양으로 스며드는 침투 속도가 약 5배 정도 빨라지고, 토양경도가 40% 정도 낮아지는 것으로 나타났다.

간척지에서 볏짚을 10a당 500kg 정도 넣고 봄 감자를 재배한 결과 볏짚이 토양의 공극률을 높여 땅속 염분을 없애는 것으로 나타났다. 볏짚 투입에 따른 간척지 토양 전기전도도 변화에서 볏짚을 투입한 토양의 염농도는 무처리의 1/3 수준으로 낮았다. 재염화를 방지하며, 무(無)처리 대비 수량도 약 16% 늘었다. 또한, 석탄 바닥재를 활용한 염분 제거 방법을 통하여 염분 농도가 매우 높은 간척지 등에서 토양의 제염을 촉진하고, 재염화를 억제하여 밭작물 등의 재배가 가능하게 할 수 있다.



<그림 2-108> 석탄 바닥재를 활용한 염분제거 방법

5) 간척지 토양의 염류제거 개선방안 분석

간척지의 효과적인 토양관리를 수행하기 위해 물리, 화학적, 생물학적 방법을 활용하여 개선시킬 수 있으나, 방법별 문제점이 있다. 물관리방법은 간척지 토양의 토성별 투수성(투수성/불투수성) 차이로 인하여 수세법과 침출법 적용에 어려움이 있으며, 신간척지 특성상 제염용수 확보가 어려움. 자연강우에 의존한 물관리방법에 의한 제염은 상당한 장시간이 소요될 수 있다. 그동안 국내에서 개발된 간척지 토양의 제염기술은 대부분이 물관리방법에 치우쳐 있는데 불투수성 토양에는 적용하기 어려운 한계점이 노출되어 왔으며, 투수성 개량과 재염화현상을 최소화하기 위한 방안으로 암거배수 처리공법을 적용하고 있으나 선행작업 미실시, 저비용 제염방식 채택, 일시적 조성방식, 토양 개량작업 미실시, 지속적이지 못한 작물 재배 및 암거 모니터링 연구 미병행 등 현실적인 어려움이 내포되어 있다.

국외에서는 생물학적 방법에 의한 염해지토양의 제염효과 구명에 대한 연구결과가 다수 보고되고 있으나, 국내에서는 내염성 식물을 이용한 제염효과 구명에 대한 연구가 거의 수행되지 않고 있다. 미생물을 이용한 제염방법 개발 역시 국내에서는 거의 이루어지지 않은 상태이다.

따라서, 토양의 성숙단계별, 제염수준별(ESc, ESP)를 고려한 단계적인 새로운 제염방법의 적용할 필요가 있다. 신 간척지 초기 토양은 교환성나트륨백분율(ESP)가 높은 상태로 유지되다가 토양이 성숙되고 점차 제염과정이 진행됨에 따라 교환성나트륨의 함량이 감소된다. 교환성나트륨의 제거에는 석고(칼슘 자재) + 물관리 방법에 의한 제염이 보다 효율적일 것이고, 교환성나트륨이 어느 정도 제거된 다음에는 토양 교질내에 확산 침투되어 있거나 토양점토광물에 흡착된 Na^+ 를 비롯한 양이온의 제거단계가 필요하다. 이 과정에는 벧짚을 비롯한 조대 유기물의 처리를 통해 부식산/유기산에 의한 염류제거를 기대할 수 있다. 토양염류 수준이 중-저염도 단계에서는 화학자재, 물관리방법, 유기물 처리에 의해서도 제거되지 않은 양이온을 제거하기 위해 생물학적 제염기법(미생물 처리/ 식물학적 처리)의 적용 등을 고려할 필요가 있다. 국내에서 거의 시도되지 않았던/연구가 활성화되지 않았던 생물학적 제염기법이 오히려 물관리방법/화학자재의 처리보다 더 효과적일 수도 있다는 국외 연구사례가 다수 보고되고 있으며, 생물학적 제염의 효과와 적용가능성에 대해 포괄적으로 적용할 필요가 있다.

다. 염류제거 방식별 사전 시험연구 실시 및 주요결과 도출

토양의 성숙단계별 제염효과를 극대화하기 위해 고염도 단계에서는 1) 토양검정후 석회요구량에 기준하여 약 $10\text{--}15 \text{ Mg ha}^{-1}$ 의 석고 처리 및 2) 물관리 방법에 의한 환수제염(10회 정도), 3) 지하수위를 최대한 낮게 유지하기 위해 암거배수를 설치하고, 중염도 단계에서는 4) 매년 일정량의 유기물 투입(벧짚 5톤/ha시용) 그리고 저염도 단계에서는 6) 세스바니아와 같은 내염성 녹비작물 재배 및 호염성 미생물 처리 등의 순차적인 제염기법을 적용할 계획이다. 이를 위해 연구 1~2년차에는 각각의 처리기법에 따른 염분거동 및 최적 제염기법을 개발하고 연구 3~4년차에는 토양의 제염단계별로 수준별 제염기법을 적용하여 신개념의 제염기법을 표준화할 계획이다.

상대적으로 우리나라에서 연구가 활성화되지 않았던 가장 친환경적인 식물학적 염류 제거모형을 개발하기 위해 국외연구에서 효과가 검증된 버뮤다그라스[Cynodon dactylon (L.) Pers.] - 보리 - 알팔파 - 귀리(Avena sativa L.)의 작부체계 적용가능성 평가, 간척지 토양 적응형 식물복원에 대한 추가적인 연구를 수행하여 계획이다.

새만금 간척지구의 토양을 미사질양토, 사양토, 양질사토 등 3가지 토성으로 분류하여 시료를 채취하였다. 토양채취 단계에서 토양의 성숙 단계별 제염효과를 극대화 하기 위해 단계별 제염기법을 적용하였다. 토양의 염류도를 저염도(2-4dS/m), 중염도(4-8), 고염도(8-16) 그리고 초고염도(16이상) 등 4가지로 분류하여 채취하였으며, 일부 토양의 염류도 조정이 필요한 경우 염류농도 조절액($\text{NaCl} : \text{MgCl}_2 : \text{CaCl}_2 = 6 : 2 : 2$)을 처리하였다. 예비시험은 포트실험(20kg 토양 충전)으로 수행하였으며, 토양 충전후 약 1개월 동안 수분 포화상태에서 토양의 평형상태를 유지하고 모든 시험은 3회 반복으로 수행하였다. 고염도 단계에서는 토양 검정후 석고처리 및 물관리 방법에 의한 환수 제염 및 암거배수 설치, 중염도 단계에서는 매년 일정량의 유기물을 투입하며, 저염도 단계에는 세스바니아와 같은 내염성 녹비작물 재배 및 호염성 미생물 처리등을 한다. 또한, 물리적, 화학적, 생물학적 제염 방법으로 나누었으며, 물리적 제염방법에는 9개 처리구, 화학적 제염방법에는 36개 처리구, 생물학적 제염방법에는 27개 처리구로 총 72개 처리구로 시험을 진행하였다.

물리적 제염방법에는 수세법을 적용하였는데, 초고염도 토양을 대상으로 토양 표층으로부터 10cm 담수시킨 다음 매 1주일 간격으로 환수제염처리를 실시하면서 ESc와 ESP

등 제반 화학적 변화를 조사하였다. 화학적 제염방법에는 바이오차, 석고, 펄라이트, PAM 처리 등을 수행하였는데, 고염도 토양을 대상으로 바이오차(상림비료 제조)를 100그램/20kg, 토양중량 기준 0.05% 수준으로 처리 및 토양과 혼합 처리 후, 매 1개월 단위로 토양의 물리화학적 특성 변화를 조사하였고, 고염도 토양을 대상으로 석고(남해화학 제조)를 석고요구량별로 처리 후 토양과 혼합 처리 후 매 1개월 단위로 토양의 물리화학적 특성 변화를 조사하였다. 생물학적 방법으로 식물학적, 미생물학적 제염방법을 수행하였다. 식물학적 방법으로 버뮤다그라스, 세스바니아 재배 등을 하였고, 내염성 미생물, 셀링스 처리 등을 통한 미생물학적 방법을 활용하였다. 버뮤다 그라스는 중염도 토양을 대상으로 포트당 평균 90주 버뮤다그라스 유묘를 정식한 후 매 1개월 단위로 토양의 물리화학적 특성 변화를 조사하였으며, 세스바니아는 포트당 평균 9주 세스바니아 유묘를 정식한 후 매 1개월 단위로 토양의 물리화학적 특성 변화를 조사하였다.

미생물처리방법은 저염도 토양을 대상으로 포트당 유기질 비료를 처리하여 유기물 함량을 1.5%로 맞춘 다음 평균 2ml씩 미생물 제제를 처리한 후 매 1개월 단위로 토양의 물리화학적 특성 변화를 조사하였다.



(시험포장 전경)



(PAM 처리)



(바이오차 처리)



(버뮤다그라스 재배)



(세스바니아 재배)



(석고 처리)



(펄라이트 처리)



(퇴비+미생물제재 처리)



(왕겨 처리)



(갈대 처리)



(벚짚 처리)



(IR 처리)

<그림 2-109> 시험포장 전경 및 시험처리 방법

2.2.3. 간척지 염류제거방식과 토양관리방식 분석 및 개선사항 분석

가. 간척지 염류제거 방식

1) 간척지 염류제거 방식별 문제점

간척지의 염류제거를 위한 여러 가지 방법이 있으며, 크게 물 관리방법, 토양개량제 처리, 생물학적 방법 등이 있다. 그러나, 이러한 염류제거 방식별로 문제점이 있다. 물 관리 방법에는 간척지 토양의 토성별 투수성 차이로 인해 수세법과 침출법 적용에 어려움이 있으며, 신간척지 특성상 제염용수 확보가 어렵다. 현재까지 국내에서 개발된 간척지 토양의 제염기술은 대부분 물관리 방법을 주로 사용하고 있으나, 불투수성 토양 조건에서는 적용하기 어려운 한계점이 있다. 또한, 투수성 개량과 재염화현상을 최소화하기 위한 방안으로 암거배수 처리공법이 있으나, 공사비용의 증가 등 경제적인 부분에서 현실적인 어려움이 존재하고 있다. 간척지 토양의 효과적인 제염을 위한 토양개량제 처리는 주로 석고 단일처리를 적용하고 있다. 석고 처리는 교환성나트륨 백분율을 저감시킴으로써 제염효과가 매우 우수한 것으로 알려져 있다. 하지만 석고 단일처리 보다는 석고와 유기물의 혼합처리가 보다 효율적인 방안이 될 수 있다는 보고가 있다. 최근 굴패석, 석탄바닥재, PAM 등 석고 대체 자원으로 처리하는 다양한 연구가 일부 진행되고 있으며, 효과가 입증되고 있는 추세이다. 유기물 자재원으로 볏짚, 왕겨, 유기질 비료 등이 있으며, 그 중 볏짚 처리(5t/ha)시 제염효과 및 토양의 물리화학적 개량 효과가 우수한 것으로 보고되고 있다. 생물학적 방법에는 국외에서 식물학적 방법에 의한 염해지 토양의 제염효과 구명에 대한 연구결과가 다수 보고가 되고 있다. 그러나, 국내에서는 내염성 식물을 이용한 제염효과 구명에 대한 연구, 미생물을 이용한 제염방법 개발 등 거의 수행되고 있지 않은 상황이다.

2) 염류제거 모니터링 시험연구 개요

새만금 간척지구의 토양을 미사질양토, 사양토, 양질사토 등 3가지 토성으로 분류하여 시료를 채취하였다. 토양채취 단계에서 토양의 성숙 단계별 제염효과를 극대화 하기 위해 단계별 제염기법을 적용하였다. 토양의 염류도를 저염도(2~4dS/m), 중염도(4~8), 고염도(8~16dS/m) 그리고 초고염도(16dS/m이상) 등 4가지로 분류하여 채취하였으며, 일부 토양의 염류도 조정이 필요한 경우 염류농도 조절액(NaCl: MgCl₂: CaCl₂ = 6: 2: 2)을 처리하였다. 예비시험은 포트실험(20kg 토양 충전)으로 수행하였으며, 토양 충전후 약 1개월 동안 수분 포화상태에서 토양의 평형상태를 유지하고 모든 시험은 3회 반복으로 수행하였다. 고염도 단계에서는 토양 검정후 석고처리 및 물관리 방법에 의한 환수 제염 및 암거배수 설치, 중염도 단계에서는 매년 일정량의 유기물을 투입하며, 저염도 단계에는 세스바니아와 같은 애염성 녹비작물 재배 및 호염성 미생물 처리등을 한다. 또한, 물리적, 화학적, 생물학적 제염방법으로 나누었으며, 물리적 제염방법에는 9개 처리구, 화학적 제염방법에는 36개 처리구, 생물학적 제염방법에는 27개 처리구로 총 72개 처리구로 시험을 진행하였다.



<그림 2-110> 제염효과 및 간척지 토양관리 시험처리 현장

물리적 제염방법에는 수세법을 적용하였는데, 초고염도 토양을 대상으로 토양 표층으로부터 10cm 담수시킨 다음 매 1주일 간격으로 환수제염처리를 실시하면서 ECe와 ESP 등 제반 화학적 변화를 조사하였다. 화학적 제염방법에는 바이오차, 석고, 펄라이트, PAM 처리 등을 수행하였는데, 고염도 토양을 대상으로 바이오차(상림비료 제조)를 100그램/20kg, 토양중량 기준 0.05% 수준으로 처리 및 토양과 혼합 처리 후, 매 1개월 단위로 토양의 물리화학적 특성 변화를 조사하였고, 고염도 토양을 대상으로 석고(남해화학 제조)를 석고요구량별로 처리 후 토양과 혼합 처리 후 매 1개월 단위로 토양의 물리화학적 특성 변화를 조사하였다. 생물학적 방법으로 식물학적, 미생물학적 제염방법을 수행하였다. 식물학적 방법으로 버뮤다그라스, 세스바니아 재배 등을 하였고, 내염성 미생물, 셀링스 처리 등을 통한 미생물학적 방법을 활용하였다. 버뮤다 그라스는 중염도 토양을 대상으로 꽃트당 평균 90주 버뮤다그라스 유묘를 정식한 후 매 1개월 단위로 토양의 물리화학적 특성 변화를 조사하였으며, 세스바니아는 꽃트당 평균 9주 세스바니아 유묘를 정식한 후 매 1개월 단위로 토양의 물리화학적 특성 변화를 조사하였다. 미생물처리방법은 저염도 토양을 대상으로 꽃트당 유기질 비료를 처리하여 유기물 함량을 1.5%로 맞춘 다음 평균 2ml씩 미생물 제재를 처리한 후 매 1개월 단위로 토양의 물리화학적 특성 변화를 조사하였다.

(표 2-47) 시험구 및 코드명

구분	처리방법	코드	염류수준
물리적 제염	수세법	VHSD-R	초고염도 (16dS/m 이상)
화학적 제염	화학적 제염	HS-CG	고염도 (8~16dS/m)
	펄라이트	HS-CPE	
	PAM	HS-CPA	
	바이오차	HS-CB	
식물학적 제염	버뮤다그라스	MS-PB	중염도 (4~8dS/m)
	세스바니아	MS-PS	
미생물학적 제염	미생물	SS-M	저염도 (2~4dS/m)



(물리적 제염: 수세법)



(화학적 제염: 바이오차 처리)



(화학적 제염: 석고 처리)



(화학적 제염: 펄라이트 처리)



(생물학적 제염: 버뮤다그라스 재배)



(생물학적 제염: 세스바니아 재배)

<그림 2-111> 토양관리 시험처리

나. 간척지 토양관리방식

1) 간척지 토양관리방식 분석의 문제점

간척지 개발 초기에 발생하는 비산먼지로 인해 인근 주민들의 삶의 질 저하, 대기의 질 악화, 풍식(風蝕)으로 인한 토양 유실 등 막대한 경제적, 환경적 손실이 발생하고 있다. 새만금 간척지의 경우, 방조제가 완공된 2006년 이후부터 지표면 건조, 나트륨 이온(Na^+)으로 인한 토양입자 분산, 토양 입단 생성 불량으로 인해 조성 완료된 논둑과 수로를 재보수하는 일이 빈번해 졌으며, 간척지 토양 비산먼지 발생 등으로 인해 인근 주민들의 지속적인 민원 제기 등 여러 경제적·환경적 문제점이 발생하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 한국 농어촌공사에서는 새만금 방조제 끝막이 공사 이후 노출된 간척지의 비산먼지 발생억제 등 환경문제를 최소화하기 위해 약 2,421ha의 면적에 통통마디와 같은 염생식물을 식재하기도 하였다. 염생식물의 식재는 토양보전 측면에서 매우 유용하고 실용적인 방법이 될 수 있으나, 염생식물 씨앗 채취 및 파종, 염생식물의 발아력 유지에 많은 노동력과 비용이 소요될 뿐만 아니라 비산먼지가 주로 발생하는 이른 봄과 겨울철에는 염생식물이 고사되어 식생유지가 어렵기 때문에 효과가 매우 제한적이다. 그 밖에도 멀칭, 고분자 중합체인 폴리비닐아세트산염(polyvinyl acetate, PVAC), 폴리비닐알콜(polyvinyl alcohol, PVA), 폴리아크릴산(polyacrylic acid, PAA), 폴리아크릴아미드(polyacrylamide, PAM)를 재료로 합성한 토양개량제 등이 있다. 가장 널리 사용되는 것이 PAM(polyacrylamide)이지만, PAM의 분해산물인 Acrylamide monomer가 신경독성을 일으킨다는 보고가 있어 사용이 급격하게 감소되고 있다. 간척지에서 비산먼지의 발생을 최소화하기 위해서는 토양의 입단화(粒團化)가 우선적으로 이루어져야 한다. 토양입단화는 여러 가지 토양 점토광물이 물리화학적인 결합을 통해 이루어진 토양의 덩어리로, 칼슘과 철 등의 무기물질 함량이 높아지면 안정한 입단이 형성된다. 무기물질뿐만 아니라 유기물질(organic matter)과 수많은 미생물들의 분비물 예를 들어 자연적인 고분자물질인 polysaccharide, hemicellulose 또는 uronide 등이 양이온 가교를 통해 입단형성에 기여하는 것으로 알려져 있다.

흔히 농경지에 처리되는 유기물질 자원은 볏짚, 퇴비, 동식물의 사체로서 미생물에 의해 분해과정을 거치면서 천연 고분자물질을 형성하기도 하고, 미생물에 의해 합성되어 토양에 잔존하게 된다. 볏짚이나 왕겨와 같은 농업부산물이 최근 타 용도로 사용량이 증가하면서 농경지에 처리하는 양이 부족한 실정이다 보니 새로운 유기물 자원의 확보 및 농경지 처리가 시급한 실정이다. 한편, 우리나라는 3면이 바다에 접해 있어서 미역, 다시마, 툯등과 같은 해조류의 양식과 가공이용이 활발하다. 그러나 이들의 수거, 양식 및 가공과정에서 발생하는 유기부산물의 재활용이 미미하다 보니 해양 환경오염의 원인이 되고 있다. 특히 미역의 경우 전체 생산량의 40~60%인 14~21만톤이 양식장에 그대로 버려지고 있어 이들 폐기물의 수거와 재활용 방법에 대한 대책수립이 필요한 시기이다. 특히 해조류에는 알긴산을 비롯한 식물생리조절물질이 다량 함유되어 있어 토양의 입단화 및 고결화 촉진에 가장 유용한 천연 자원이 될 수 있다. US 특허 2935853(1960)에는 해조류 추출물을 이용한 토양침식 방지제 개발과 관련된 방법이 예시되어 있다. 해조류 추출물을 이용하여 조경, 잔디, 레저타운, 원예 및 산림분야에서 토양침식방지제로 사용하고 있다. 우리나라에서 해조류 추출물을 이용한 선행발명에 대한 검토결과, 식품첨가물로서 해조류를 이용한 경우가

대부분을 차지하고 있다. 대한민국 특허 10-1977-0002595에는 해조류 추출물 25%를 첨가한 화초용 식물영양제를 제조하는 방법이 개시되어 있고, 대한민국 특허 10-1963-0000604에는 해조류를 토양세균비료의 증식매체로 이용한 사례가 예시되어 있다. 또한 대한민국 특허 10-2004-0034981에 의하면, 생황토벽돌 제조시 해조류에서 추출한 알긴산의 주성분을 결합제로 사용한 방법이 예시되어 있다.

2) 토양관리방법 개선을 위한 실험 개요

국내외 선행 발명에 대해 예의 검토한 결과, 본 발명에서 목적하는 바와 같이 해조류 부산물을 이용하여 토양 입단화 및 비산먼지 저감을 위한 응용사례가 전무한 것으로 조사되었다. 환경생태계에서 고독성, 잔류성이 높은 기존의 합성 고분자화학물질을 이용한 토양 침식방지제를 대체할 수 있는 신규 천연재료를 이용한 토양 입단화 촉진 및 비산먼지를 저감시킬 수 있는 토양개량제의 개발이 요구되어지고 있다.

이에 기존의 토양관리를 위한 토양개량제를 대체할 수 있는 천연재료를 활용하여 토양 입단화 촉진 및 비산먼지를 저감시키기 위해 7가지 실험을 통해 결과를 도출하여 개선사항에 대해 분석해보고자 한다.

(1) 실험 I -해조류(미역) 부산물의 수거 및 세정

본 연구의 실험 I은 해조류의 양식과 가공과정에서 발생하는 부산물을 수세하여 이물질을 제거한 다음 일광 또는 건조기에서 건조하여 함수율을 10 내지 30% 이하로 하는 공정, 건조된 해조류 부산물을 깨끗한 물에 6시간 이상 침지후 다시 깨끗한 물로 수회 수세하여, 표면에 잔류하는 염분을 충분히 제거한 후 염분농도가 0.5% 이하가 되도록 하는 공정, 염분제거 및 수세가 완료된 해조류 부산물을 함수율 10 내지 20% 이하가 되도록 건조하는 공정, 건조된 해조류 부산물을 1 내지 2mm 크기 입자로 분쇄하는 공정으로 구성되어 있다.

(2) 실험 II -해조류(미역) 부산물로부터 알긴산의 추출과 알긴산 나트륨염 합성

실험 I에서 얻어진 해조류 부산물과 증류수를 1:5(중량/용량%)로 계량한 다음 80℃에서 1시간 동안 가열하면서 교반시켰다. 교반 후 나이론 천으로 여과하였다. 침전물에 3% Na₂CO₃를 1:5(중량/용량%) 넣고 온도를 80℃에서 3시간 가열하면서 교반시켰다. 여기에 수돗물을 1:5(중량/용량%) 처리하고 다시 나이론 천으로 여과하였다. 침전물은 별도로 모아두고 여과액에 10% HCl을 처리하여 pH를 2로 조절하였다. 다시 침전물을 대상으로 50% 에탄올을 1:20(중량/용량%) 첨가하였다. 알긴산 나트륨을 합성하기 위해 10% NaOH를 이용하여 pH 7로 중화한 후 나이론 천을 이용하여 여과하였다. 침전물에 에탄올과 아세톤을 1:1(용량/용량%)로 섞은 후 40℃에서 24시간 건조하였다. 본 연구에서는 해조류 부산물에서 추출된 알긴산의 수율이 약 34.3%로 나타났다. 일반적으로 알긴산 그 자체는 불용성이지만 알긴산 나트륨염은 물에 녹으며 점성도가 매우 높기 때문에 토양 입단화 촉진 및 비산먼지 저감용 토양개량제로 적합하다.

(3) 실험 III - 해조류(미역) 부산물의 분말화

실험 II에서 1차적으로 알긴산을 추출하고 모아둔 해조류 부산물을 2mm 이하의 입자 크기이지만 덩어리로 응집되어 있으므로, 성형공정의 용이성을 얻기 위해 Jaw Crusher로 1mm 이하의 입자로 곱게 분쇄하였다.

(4) 실험Ⅳ - 아라비아 검(Arabia gum) 분말화

Arabia gum을 비롯한 식물성 검류는 점성이나 콜로이드성을 갖기 때문에 토양입단화 촉진 및 비산먼지 저감용 토양개량용 보조제로 이용이 가능하다. 시중에서 구입하는 식물성 검류는 나무껍질이나 과실의 분비물로 딱딱한 덩어리 형태이다. 성형공정의 용이성을 위해 Jaw Crusher로 1mm 이하의 입자로 곱게 분쇄하였다. 식물성 검류라 함은 통상적으로 아라비아 검(Arabia gum의 나무), 트라간드 검(astragalus 나무), 카라야 검(Sterculia urens 나무), 가티 검(Anogeissus latifolia 나무), 카스트빈 검(Ceratonia siliqua 나무의 종자), 구아 검(Cyamopsis tetragonolobus. 구아의 종자), 타마린드 검(tamarind, 타마린드종자) 등이 있다.

(5) 실험Ⅴ - 토양입단화 촉진 및 비산먼지 저감용 토양개량제 제조

우선적으로, 실험 Ⅲ에서 얻어진 해조류 분쇄물 80중량%, 실험 2에서 얻어진 알긴산 나트륨 15중량% 그리고 실험 4에서 얻어진 아라비아 검 5중량%를 초고속 믹서기로 균일하게 혼합하였다. 상기 혼합물에 수돗물을 적정량 넣고 함수율이 20 내지 25%인 반죽을 만들었다. 최종적으로 사료 제조용 펠렛성형기에 넣어 내용물을 넣고 6 내지 10mm 크기의 펠렛형 토양개량제를 제조하였다.

(6) 실험Ⅵ - 간척지 염해토양 토양입단화 및 비산먼지 저감 실증시험

본 연구에서 개발된 토양개량제의 효과를 검증하기 위해 1차년도 가을에 토양개량제 살포후(100kg/10a) 약 1 내지 2cm 정도 농업용수를 공급함으로써 처리된 토양개량제 용해 및 분산을 유도하였다. 약 1주일 후 표토가 반건조상태일 때 녹비작물(자운영)을 파종하고 겨울 동안 재배하였다. 이듬해 봄에 수확한 녹비작물을 다시 토양에 환원한 다음 방치하고, 2년차 가을에 다시 토양개량제 처리 및 작물재배를 동일하게 진행하였다. 이듬해 봄 녹비작물을 토양에 환원하기 전에 토양시료를 채취하여 입단 발달 및 비산먼지 저감효과를 분석하였다.

(7) 실험Ⅶ - 간척지 염해토양 토양입단화 및 비산먼지 저감 효과분석

본 연구에서 개발된 간척지 염해토양 토양입단화 및 비산먼지 저감용 토양개량제를 처리하였을 때 토양의 특성을 조사하였다. 토양입단 분석은 습식체별법(Wet-sieving method)에 의해 수행하였으며, 사용된 토양체의 직경은 2.0mm, 1.0mm, 0.5mm, 0.25mm, 0.1mm였다. 토양시료 30g을 Yoder-type의 입단분석장치에 넣고 30분간 일정한 속도로 수직강하시켰다. 체분리가 끝난 토양시료를 페트리디쉬에 옮긴후 105℃에서 12시간 건조시켜서 무게를 측정하여 각각의 입단크기별 분포량을 계산하였다. 토양의 입단발달 상태는 광학현미경(CAMSCOPE, sometech)에 부착된 304T camera probe를 이용하여 간척토양을 200배 확대하여 촬영하였다. 또한 간척지 토양의 입단크기의 분포는 평균중량지름 (mean weight diameter)을 이용하여 비교하였으며, 평균중량지름 X 는 다음과 같다. 여기에서 x_i 는 체에 의해 분리된 입단들의 어느 일정한 크기 범위의 평균지름이고, w_i 는 분석된 시료의 전체 건물중의 한 부분으로서 바로 그 크기범위의 입단들의 질량을 나타내고 있다.

$$X = \sum_{i=1}^n x_i w_i \text{ -----식(1)}$$



<그림 2-112> 간척지 토양의 토양관리방식 시험구

다. 주요 연구 결과

1) 간척지 염류제거 방식별 연구 결과

(1) 시험토양의 물리화학적 특성

새만금 간척지 내 미사질양토, 사양토, 양질사토의 시료를 채취 및 분류하여 토성별로 pH, ECe, ESP, 토성 등 토양의 물리·화학적 특성에 대해 분석하였다. 미사질양토의 pH는 7.82, ECe는 28.5dS/m, ESP는 38.9%이며, 사양토의 pH는 7.95, ECe는 26.7dS/m, ESP는 41.2%로 분석되었고, 양질사토의 pH는 7.88, ECe는 29.4dS/m, ESP는 41.6%로 분석되었다. 시험구의 초기 토양의 pH, ECe, ESP의 수치는 토성별로 비슷한 수준으로 분석되었다.

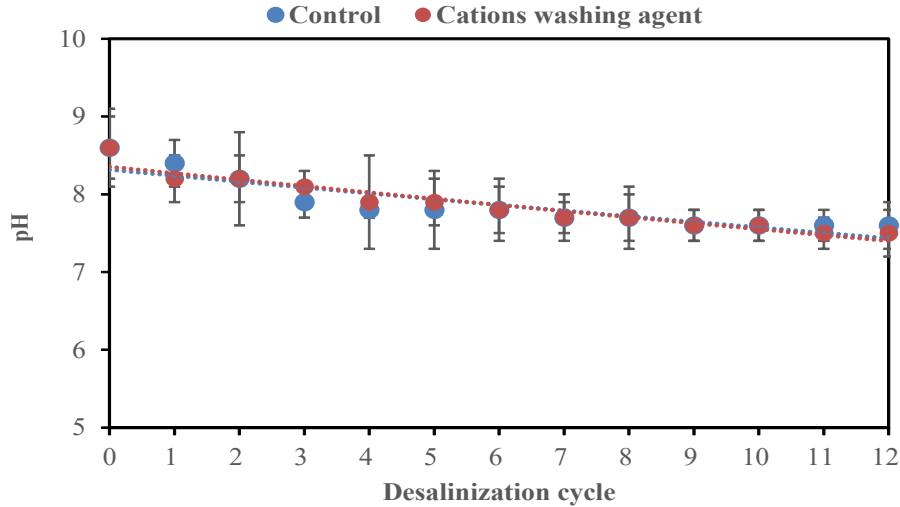
(표 2-48) 시험구 토양의 물리화학적 특성

항목	미사질양토	사질양토	양질사토
pH	7.82	7.95	7.88
ECe	28.5	26.7	29.4
ESP	38.9	41.2	41.6
Soil texture	Sandy Clay Loam	Sandy Loam	Loamy Sand

(2) 새만금 간척지 토양의 수세법에 의한 제염효과 분석결과

(가) 토양 pH 변화

양이온 치환세정제 처리구와 대조구간 토양 pH 변화는 매우 경미하게 분석되었으며, 일반적으로 간척지 토양은 7.5~8.5 범위의 알칼리성을 나타내는 것으로 알려져 있는데 본 실험에서도 거의 유사하게 나타났다.

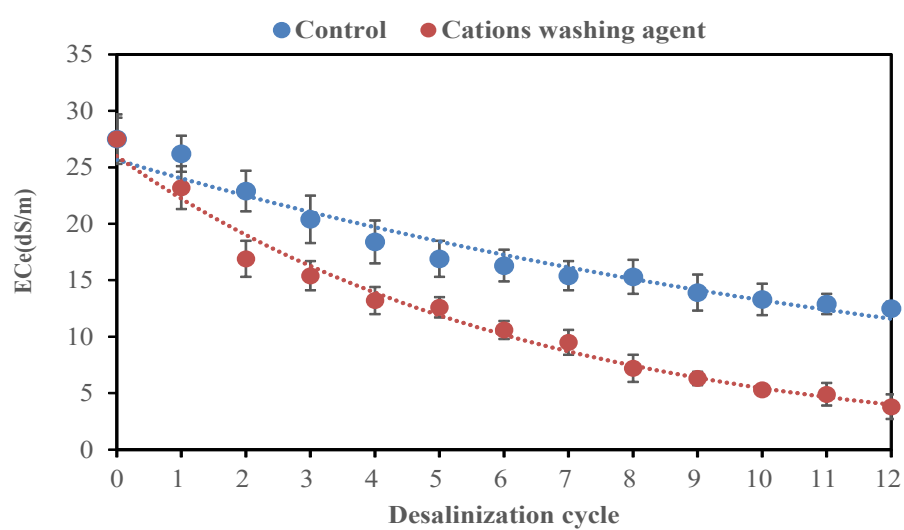


<그림 2-113> 수세법(관행 vs 양이온치환세정제 처리)에 의한 토양 pH 변화

(나) 토양 ECe 변화

초기 실험토양의 포화전기전도도는 27.5dS/m였는데 대조구에서는 12회의 담수처리에 의해 12.5dS/m로 약 55% 저감효과가 나타났으나, 양이온 치환세정제 처리구에서는 12회의 처리에 의해 3.8dS/m로 86% 저감효과가 나타났다. 양이온 치환세정제 처리구에서는 5회의 담수처리에 의해 대조구 2회 처리와 유사한 효과를 나타내었다. 일반적으로 간척지 토양의 염분제거 기준은 4dS/m인데, 본 실험에서는 양이온 치환세정제 처리에 의한 효과가 나타났다.

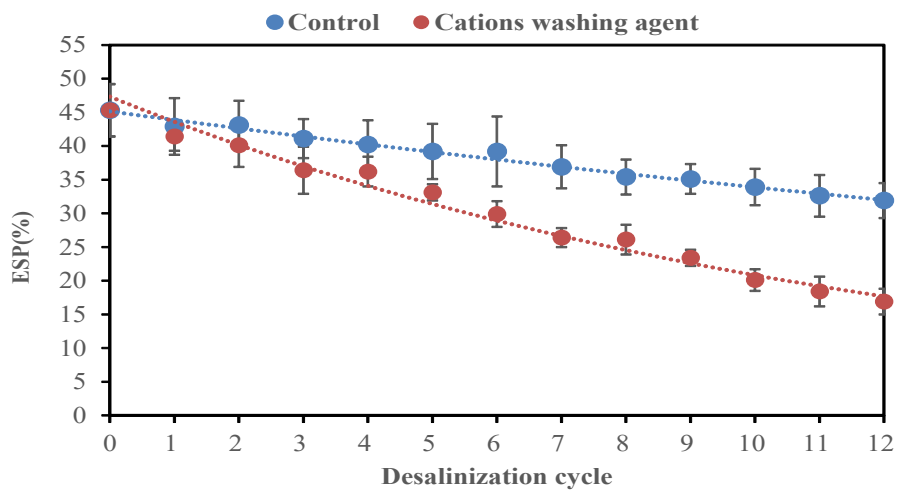
이는 양이온 치환세정제인 $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 용액 처리시 CH_3COO^- 이온과 NH_4^+ 이온으로 해리가 된 다음, NH_4^+ 이온이 토양의 확산이중층 안으로 침입하여 토양 점토광물과 유기물에 약하게 흡착되어 있던 Na^+ 이온을 비롯한 양이온이 치환되어 제거되고 그 자리를 NH_4^+ 이온이 자리를 점유하게 될 것이다. NH_4^+ 이온은 식물체의 생장에 필수적인 질소성분으로 본 양이온 치환세정제 공급은 식물필수원소의 부가적인 공급효과도 나타난다. 토양 용액 안으로 침출된 Na^+ 를 비롯한 양이온은 토양수에 의해 쉽게 이동하여 배출수와 함께 외부로 유출될 것이다. 이러한 과정을 통해 토양중 전기전도도에 영향을 끼치는 양이온의 점차 감소되면서 전기전도도의 감소를 초래하게 된 것이다. 또다른 해리 음이온인 CH_3COO^- 는 토양 용액 중에 풍부한 Ca^{2+} , Mg^{2+} 이온과 결합하여 식물에 필요한 양분들의 고정효과가 기대될 수 있다.



<그림 2-114> 수세법(관행 vs 양이온치환세정제 처리)에 의한 토양 EC 변화

(다) 토양 ESP 변화

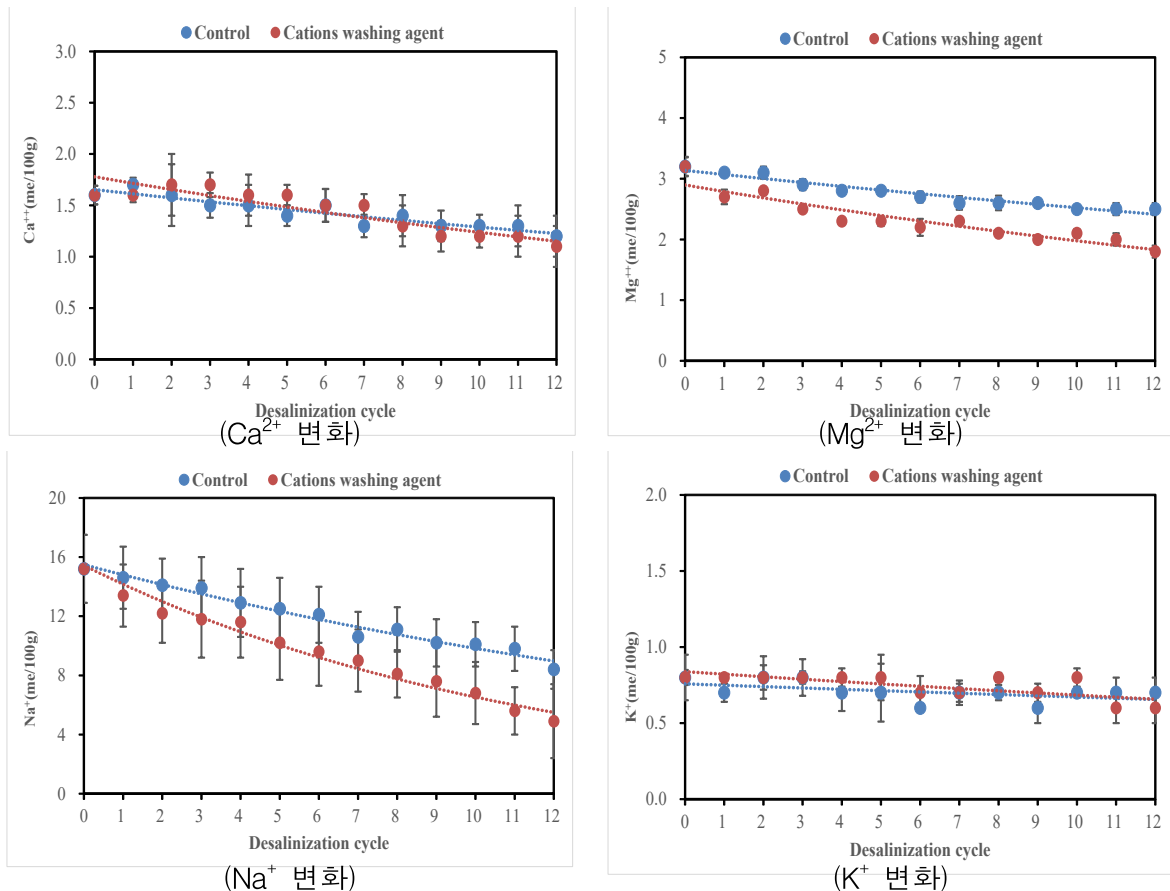
초기 실험토양의 교환성나트륨백분율(ESP)는 45.3%였는데 대조구에서는 12회의 담수처리에 의해 31.9%로 약 30% 저감효과가 나타난 반면, 양이온 치환세정제 처리구에서는 12회의 처리에 의해 16.9%로 63% 저감효과가 나타났다. 양이온 치환세정제 처리구에서는 5회의 담수처리에 의해 대조구 2회 처리와 유사하게 나타났다. 일반적으로 간척지 토양의 염분제거 기준은 교환성나트륨비율로 약 20%이며, 본 실험에서는 양이온 치환세정제 처리에 의한 효과가 충분히 나타난 것으로 분석되었다.



<그림 2-115> 수세법(관행 vs 양이온치환세정제 처리)에 의한 토양 ESP 변화

(라) 토양 양이온 변화

간척지 토양 중 Ca^{2+} 과 K^+ 이온은 양이온 치환세정제 처리여부에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다. Mg^{2+} 이온은 대조구에서는 12회의 담수처리에 의해 초기 3.2me/100g에서 2.5me/100g으로 약 22%의 저감효과가 나타난 반면, 양이온 치환세정제 처리구에서는 12회의 처리에 의해 1.8me/100g으로 45% 저감효과가 나타났다. 양이온 치환세정제 처리에 의해 주로 Na^+ 이온과 Mg^{2+} 이온의 저감이 두드러지며, 이에 따라 ESP와 ECe가 감소하는 것으로 나타났다.

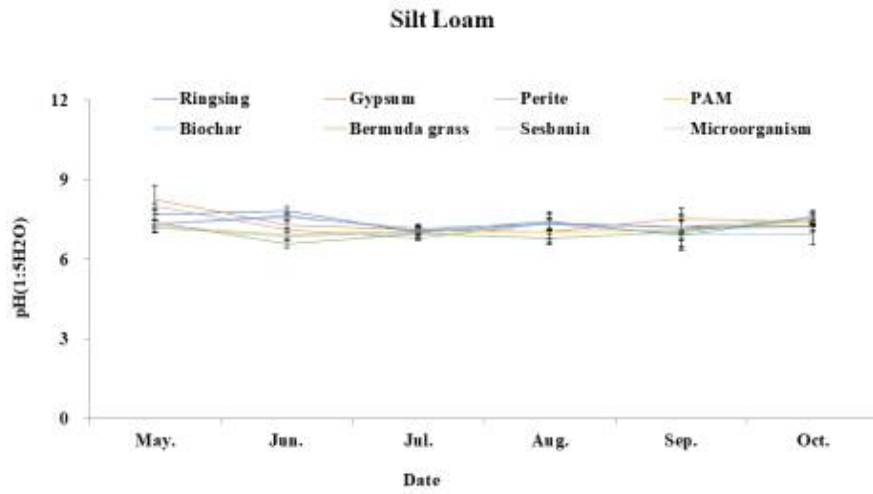


<그림 2-116> 수세법(관행 vs 양이온치환세정제 처리)에 의한 토양 중 양이온 변화

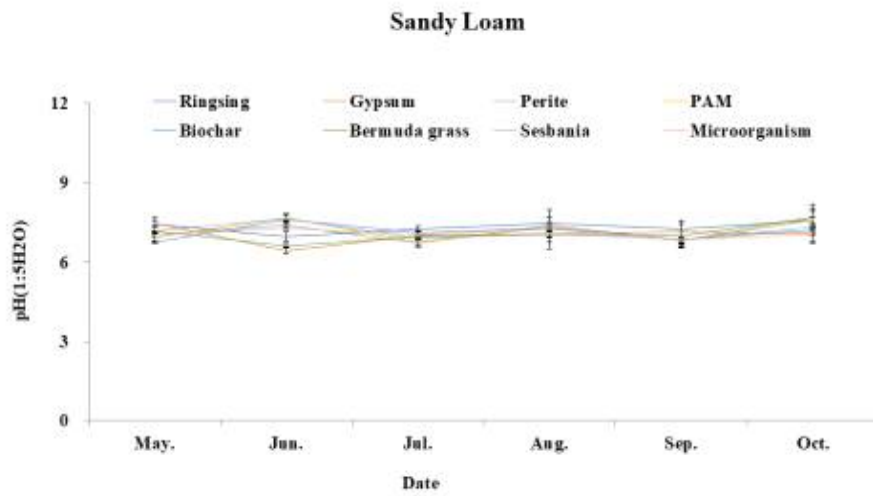
(3) 물리적(수세법), 화학적(석고, 펄라이트, PAM, 바이오차), 식물학적(버뮤다글라스, 세스바니아 식재) 그리고 미생물제제 처리에 따른 새만금 간척지 토양의 제염효과 분석

(가) 토양 pH 변화

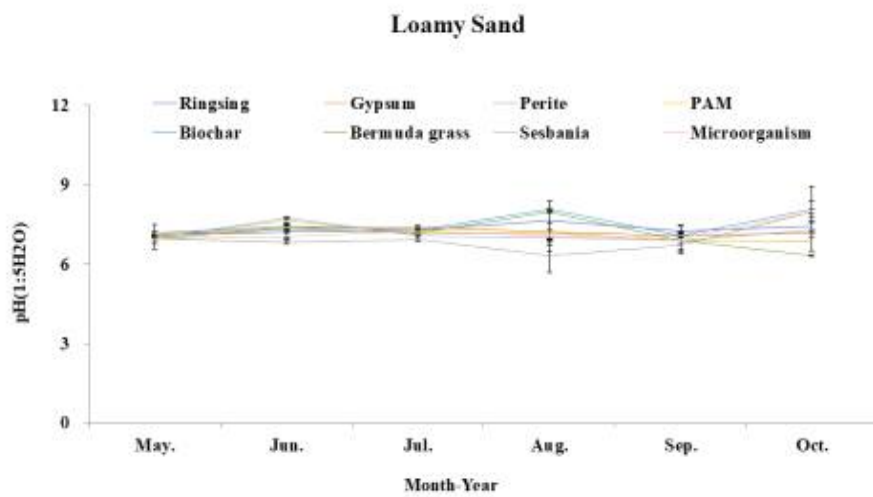
미사질양토, 사질양토, 양질사토를 대상으로, 초고염도 토양은 물리적인 제염(수세법), 고염도 토양은 화학적 제염(석고, 펄라이트, PAM, 바이오차), 중염도 토양은 식물학적 제염(버뮤다글라스, 세스바니아 식재), 저염도 토양은 생물학적 제염(미생물 처리)를 실시하였다. 토양의 pH 변화를 분석한 결과, 처리 후 2년이 경과한 지점에서 토양의 pH는 큰 차이 없이 일정하게 나타났다. 또한, 2.5년이 경과한 지점에서 토양의 pH는 일정하게 유지되었다.



(미사질양토)

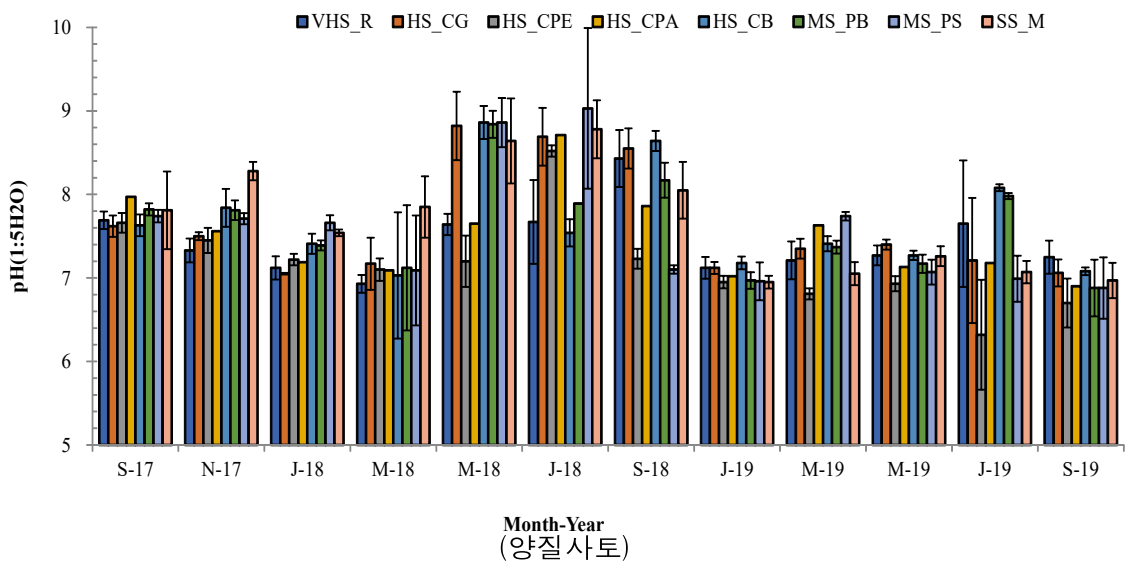
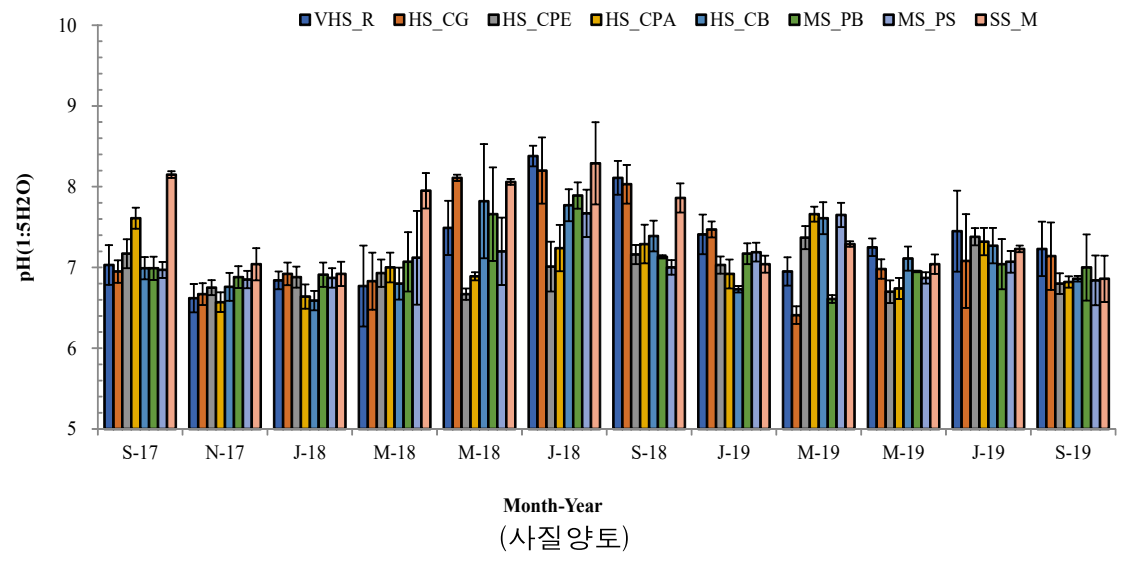
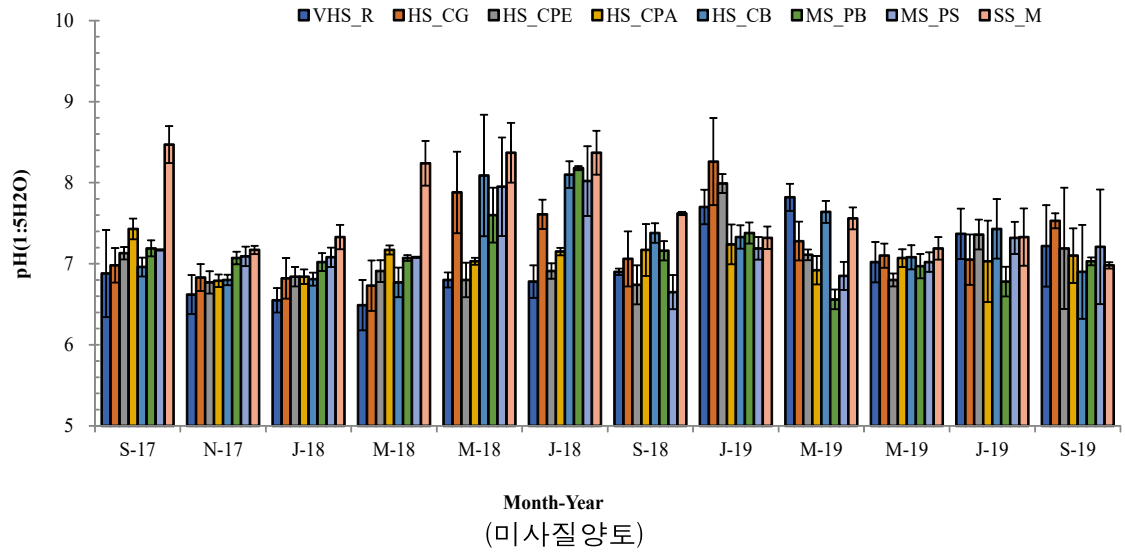


(사질양토)



(양질사토)

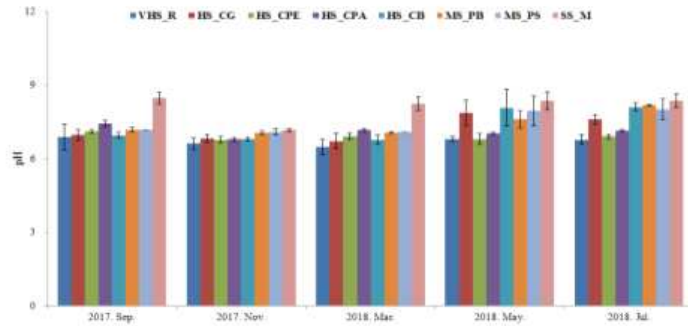
<그림 2-117> 토성별 제염처리에 따른 토양 pH 변화(2년경과)



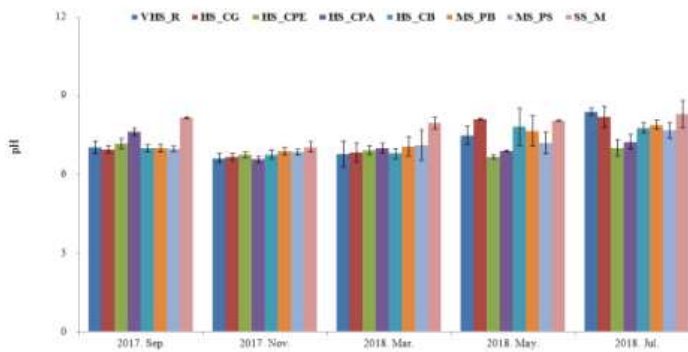
<그림 2-118> 토성별 제염처리에 따른 토양 pH 변화(2.5년경과)

또한, 물리, 화학, 식물, 미생물학적 제염처리별 토성에 따라 토양 염분농도별로 구분

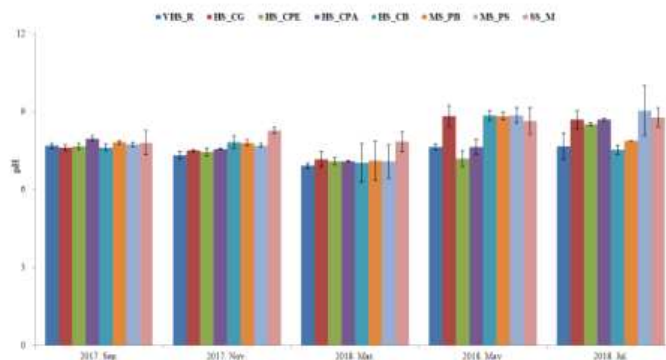
하여 5회차에 걸쳐 분석을 하였다. 물리적 처리(수세법)결과, 미사질 양토에서 제염 pH는 6.49~6.88이 측정되었으며, 평균 6.71으로 분석되었다. 사양토에서 제염 pH는 6.62~8.38이 측정되었으며, 평균 7.26으로 분석되었다. 양질사토에서 제염 pH는 6.93~7.69, 평균 7.45로 분석되었다. 물리적 처리를 할 경우, 양질사토, 사양토, 미사질양토 순으로 제염 pH가 높았다. 다음 화학적 처리(석고, 펄라이트, PAM, 바이오차 처리)결과, 미사질 양토에서는 제염 평균 pH는 7.14, 사양토에서의 제염 평균 pH는 7.14, 양질사토에서는 제염 평균 pH는 7.78로 분석되었다. 다음 식물학적 제염(버뮤다그라스, 세스바니아 재배)결과, 미사질 양토의 제염 평균 pH는 7.44, 사양토는 제염 평균 pH 7.23, 양질사토는 제염 평균 pH 7.99로 분석되었다. 마지막으로 미생물학적 제염(미생물 처리)결과, 미사질 양토의 제염 pH는 8.12, 사양토의 제염 pH는 7.90, 양질사토의 제염 pH는 8.27로 분석되었다. 제염 처리 분석결과, 제염 pH의 수치는 미생물학적 제염처리가 8.0이상으로 가장 높았고 다음으로 식물학적 제염처리, 화학적 제염처리, 물리학적 제염처리 순으로 분석되었다.



(미사질 양토)



(사양토)



(양질사토)

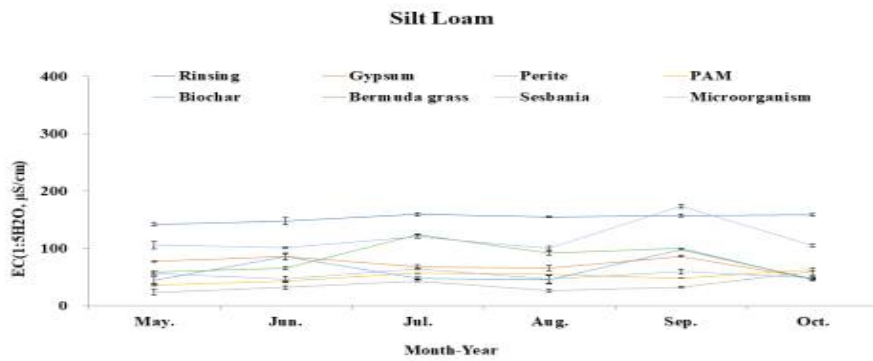
<그림 2-119> 토성별 제염 pH 분석

(표 2-49) 토성별 토양 제염 pH 분석 결과

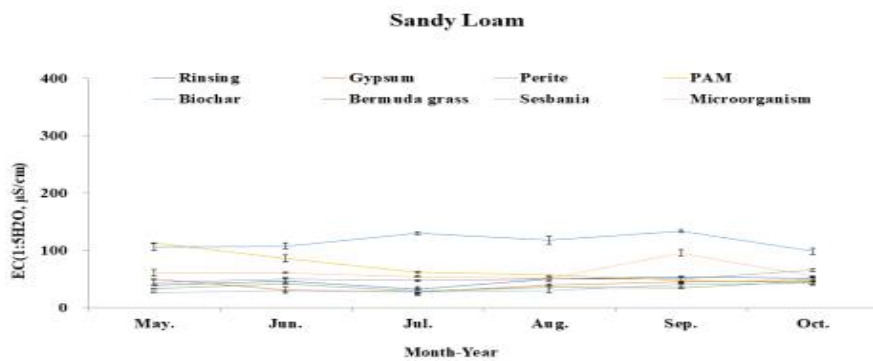
토성	염도	월 (년도) 제염 처리법		10월 (2017)	11월 (2017)	3월 (2018)	5월 (2018)	7월 (2018)
미사질 양토 (Silt Loam)	초고 염도	물리적 제염	수세법	6.88	6.62	6.49	6.80	6.78
	고염도	화학적 제염	석고	6.98	6.83	6.73	7.88	7.61
			펄라이트	7.13	6.77	6.91	6.80	6.91
			PAM	7.43	6.79	7.17	7.03	7.15
			바이오차	6.96	6.80	6.77	8.09	8.10
	중염도	식물학적 제염	버뮤다 그라스	7.19	7.07	7.07	7.60	8.18
			세스 바니아	7.17	7.09	7.08	7.95	8.02
	저염도	미생물학적 제염	미생물	8.47	7.17	8.24	8.37	8.37
사양토 (Sandy Loam)	초고 염도	물리적 제염	수세법	7.03	6.62	6.77	7.49	8.38
	고염도	화학적 제염	석고	6.95	6.67	6.83	8.11	8.20
			펄라이트	7.17	6.75	6.93	6.67	7.01
			PAM	7.61	6.57	7.00	6.89	7.24
			바이오차	6.99	6.76	6.80	7.82	7.77
	중염도	식물학적 제염	버뮤다그라 스	6.99	6.88	7.07	7.66	7.89
			세스 바니아	6.97	6.85	7.12	7.20	7.67
	저염도	미생물학적 제염	미생물	8.15	7.04	7.95	8.06	8.29
양질 사토 (Loamy Sand)	초고 염도	물리적 제염	수세법	7.69	7.33	6.93	7.64	7.67
	고염도	화학적 제염	석고	7.62	7.50	7.17	8.82	8.69
			펄라이트	7.66	7.45	7.10	7.20	8.52
			PAM	7.97	7.56	7.09	7.65	8.71
			바이오차	7.63	7.84	7.03	8.86	7.54
	중염도	식물학적 제염	버뮤다 그라스	7.82	7.81	7.12	8.84	7.89
			세스 바니아	7.74	7.71	7.09	8.86	9.03
	저염도	미생물학적 제염	미생물	7.81	8.28	7.85	8.64	8.78

(나) 토양 EC 변화

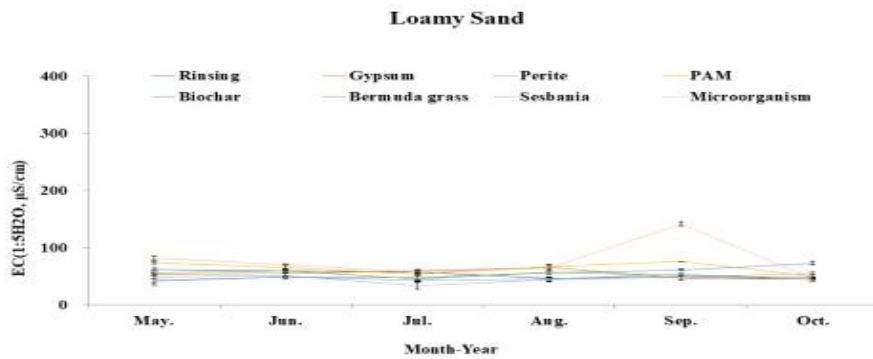
토성별 물리적, 화학적, 식물학적 및 미생물학적 제염처리 후 2년, 2.5년이 경과한 지점에서 토양 전기전도도의 변화를 분석한 결과, 전체 처리구의 전기전도도(EC)는 100 μ S/cm 내외로 나타났으며, 양이온 및 음이온의 농도도 크게 변화하지 않고 지속적으로 유지되었다. 또한, 재염(Resalinization)이 되지 않을 정도로 염이 효과적으로 감소된 것으로 나타났다. 토양의 전기전도도가 효과적으로 감소하여 작물 재배가 가능한 수준으로 나타났다. 이에 토성을 감안하여 토양 전기전도도별(초고염도, 고염도, 중염도, 저염도)로 각각 다른 제염방법을 적용하였을 때 토양의 제염효과가 우수하게 나타나 실제 포장에 적용 가능한 기술이 개발되었다.



(미사질양토)

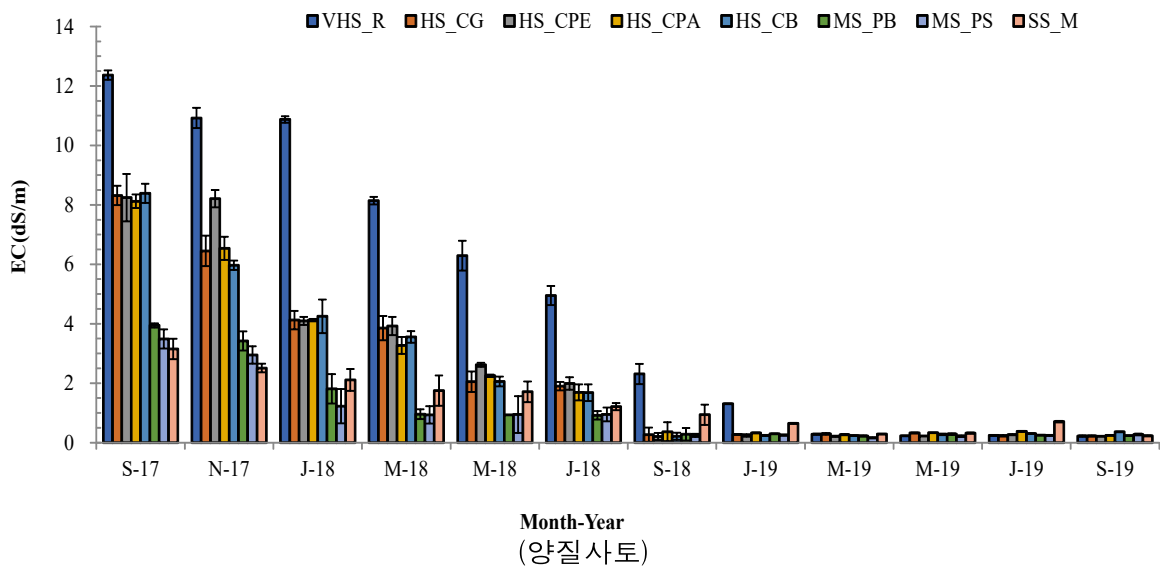
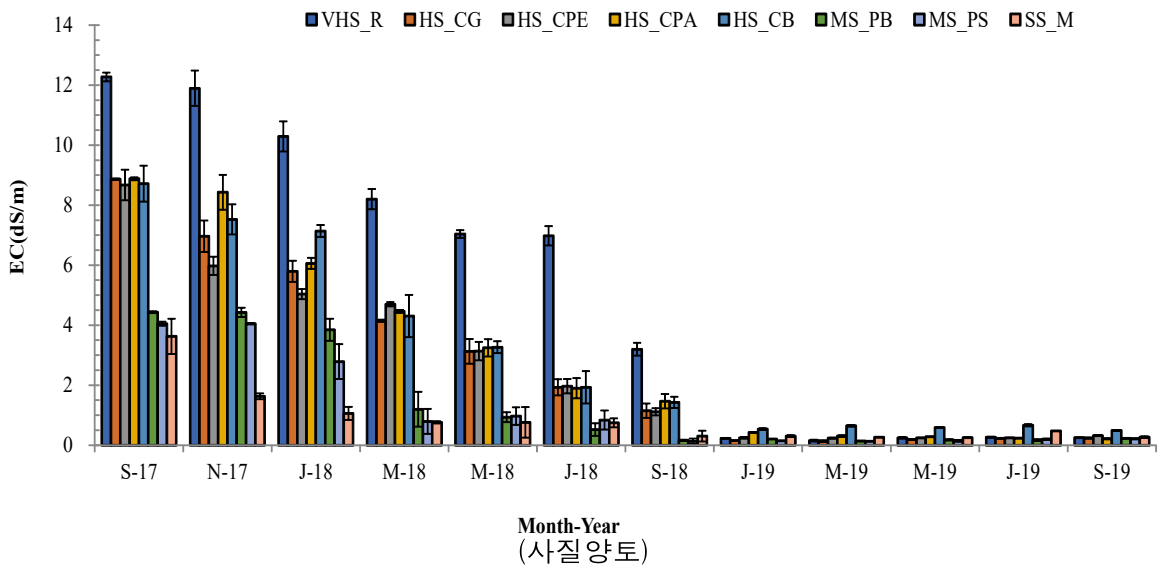
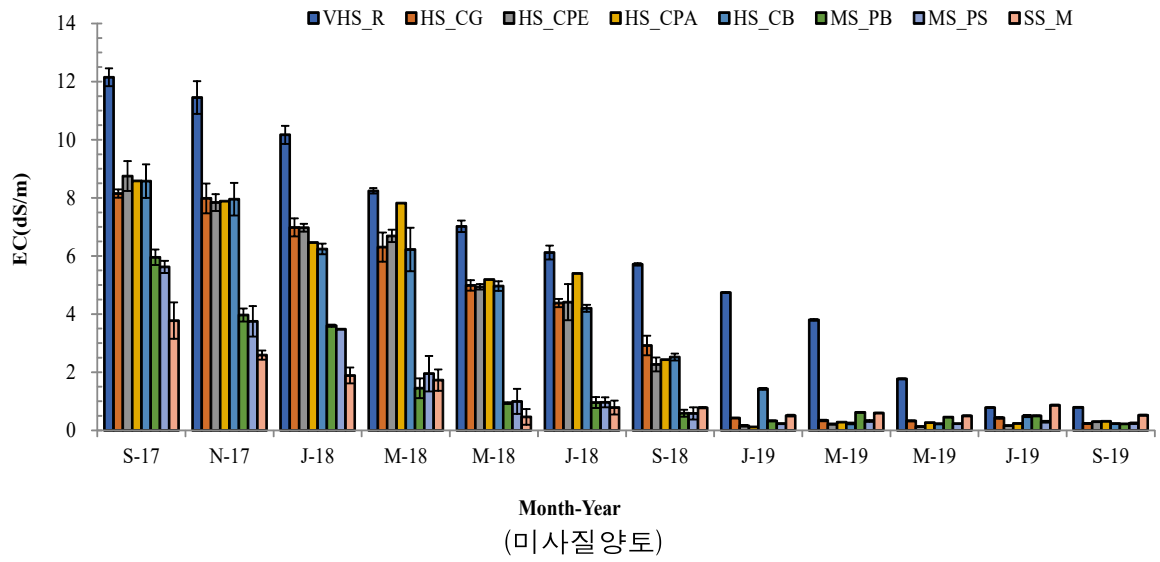


(사질양토)



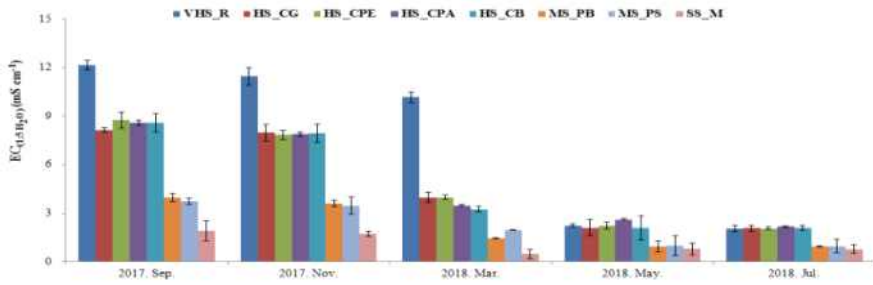
(양질사토)

<그림 2-120> 토성별 제염처리에 따른 토양 pH 변화(2년경과)

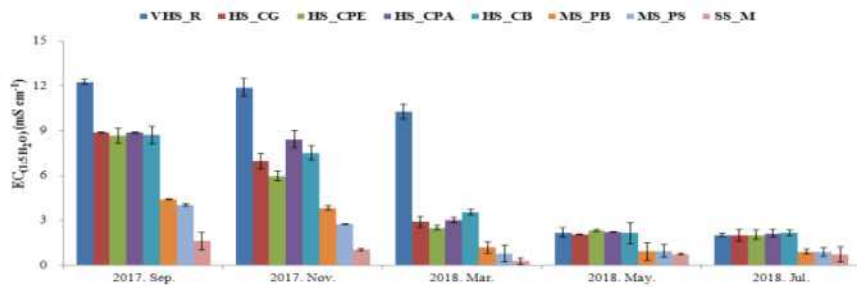


<그림 2-121> 토성별 제염처리에 따른 토양 EC 변화(2.5년경과)

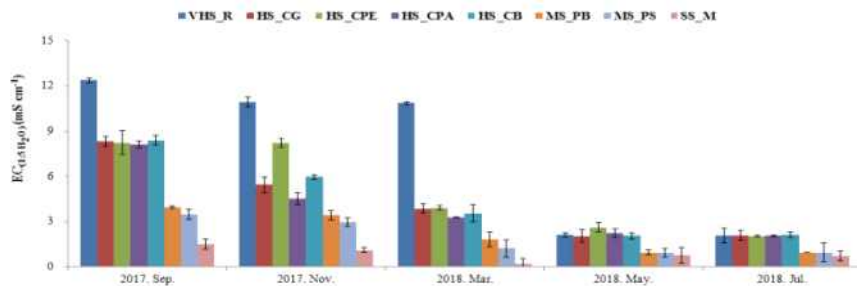
물리, 화학, 식물, 미생물학적 제염처리별 토성에 따라 토양 염분농도별로 구분하여 5 회차에 걸쳐 분석을 실시하였다. 물리적 처리(수세법)결과, 미사질 양토에서 제염 전기 전도도는 12.15~2.02 mS/m이 측정되었으며, 평균 7.61mS/m으로 분석되었다. 사양토에서 제염 전기 전도도는 2.04~12.27mS/m이 측정되었으며, 평균 7.74mS/m으로 분석되었다. 양질사토에서 제염 전기 전도도는 2.09~12.36mS/m, 평균 7.68mS/m로 분석되었다. 물리적 처리를 할 경우, 사양토가 평균 7.74mS/m로 제일 높았으며, 다음으로 양질사토, 미사질 양토 순으로 분석되었다. 다음 화학적 처리(석고, 펄라이트, PAM, 바이오차 처리)결과, 미사질 양토에서는 제염 평균 전기 전도도는 4.89mS/m, 사양토에서의 제염 평균 전기 전도도는 4.66mS/m, 양질사토에서는 제염 평균 전기 전도도는 4.46mS/m로 분석되었다. 다음 식물학적 제염(버뮤다그라스, 세스바니아 재배)결과, 미사질 양토의 제염 평균 전기 전도도는 2.20mS/m, 사양토에서 제염 평균 전기 전도도 2.09mS/m, 양질사토의 제염 평균 전기 전도도는 2.06mS/m 분석되었다. 미생물학적 제염(미생물 처리)결과, 미사질 양토의 제염 전기 전도도는 1.13mS/m, 사양토의 제염 전기전도도 0.90mS/m, 양질사토의 제염 전기 전도도는 0.86mS/m로 분석되었다. 제염 전기 전도도 분석결과, 시간이 지속적으로 흘러감에 따라 전기 전도도가 낮아졌다. 또한, 초고염도 토양을 물리적 제염처리를 할 경우, 모든 토성에서 제염 전기 전도도가 크게 낮아졌다.



(미사질 양토)



(사양토)



(양질사토)

<그림 2-122> 토성별 제염 전기 전도도(EC) 분석

(표 2-50) 토성별 토양 제염 전기 전도도(EC) 분석 결과

(단위: mS/cm)

토성	염도	제염 처리법		월 (년도)				
				10월 (2017)	11월 (2017)	3월 (2018)	5월 (2018)	7월 (2018)
미사질 양토 (Silt Loam)	초고 염도	물리적 제염	수세법	12.15	11.45	10.17	2.24	2.02
	고염도	화학적 제염	석고	8.15	7.98	3.98	2.10	2.08
			펄라이트	8.75	7.84	3.97	2.23	2.06
			PAM	8.58	7.88	3.48	2.61	2.16
			바이오차	8.58	7.95	3.24	2.08	2.07
	중염도	식물학적 제염	버뮤다 그라스	3.97	3.60	1.45	0.94	0.96
			세스 바니아	3.75	3.48	1.95	1.00	0.96
저염도	미생물학적 제염	미생물	1.89	1.73	0.46	0.78	0.78	
사양토 (Sandy Loam)	초고 염도	물리적 제염	수세법	12.27	11.90	10.29	2.20	2.04
	고염도	화학적 제염	석고	8.87	6.97	2.90	2.07	2.03
			펄라이트	8.67	5.98	2.52	2.35	2.04
			PAM	8.88	8.43	3.03	2.23	2.15
			바이오차	8.72	7.53	3.57	2.15	2.17
	중염도	식물학적 제염	버뮤다 그라스	4.43	3.85	1.20	0.93	0.92
			세스 바니아	4.05	2.79	0.79	0.97	0.92
저염도	미생물학적 제염	미생물	1.63	1.06	0.30	0.76	0.76	
양질 사토 (Loamy Sand)	초고 염도	물리적 제염	수세법	12.36	10.92	10.87	2.14	2.09
	고염도	화학적 제염	석고	8.32	5.45	3.85	2.05	2.06
			펄라이트	8.24	8.21	3.93	2.62	2.05
			PAM	8.12	4.54	3.27	2.25	2.06
			바이오차	8.39	5.97	3.56	2.06	2.13
	중염도	식물학적 제염	버뮤다 그라스	3.94	3.42	1.81	0.96	0.93
			세스 바니아	3.49	2.95	1.23	0.93	0.95
저염도	미생물학적 제염	미생물	1.51	1.11	0.20	0.75	0.71	

(다) 토양 치환성 양이온 변화

동일한 조건으로 물리적, 화학적, 식물학적 및 미생물학적 제염처리 후 2년, 2.5년이 경과한 지점에서 토양 중 치환성 칼슘이온(Ca^{2+})의 변화를 조사한 결과, 2년이 경과한 시점에서 칼슘이온의 최종농도는 2~3cmol/kg 수준으로 유지되었다. 다른 처리기법에 비해 모든 토성에서 동일하게 석고(Gypsum)와 바이오차(Biochar)에서 높은 치환성 칼슘 변화가 나타났다. 석고는 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 가 용해되고, 바이오차는 토양 개량제로서 영양분으로 공급되는 Ca이 용해된 것으로 보인다. 2.5년이 경과한 지점에서는 토성과 처리기법에 관계없이 최종 농도가 1~2cmol/kg 수준으로 감소하였다.

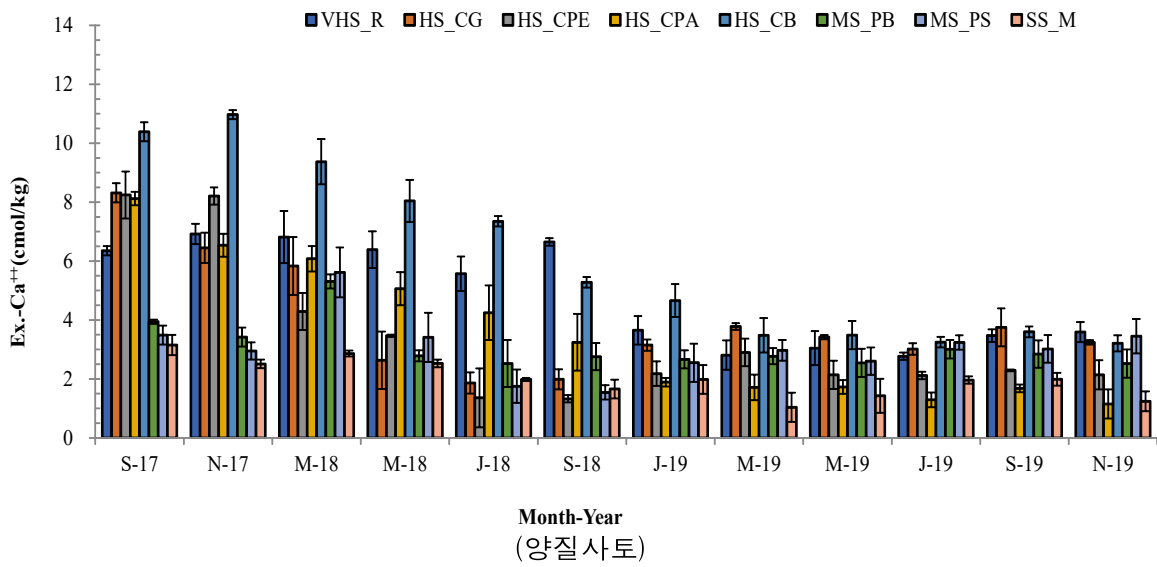
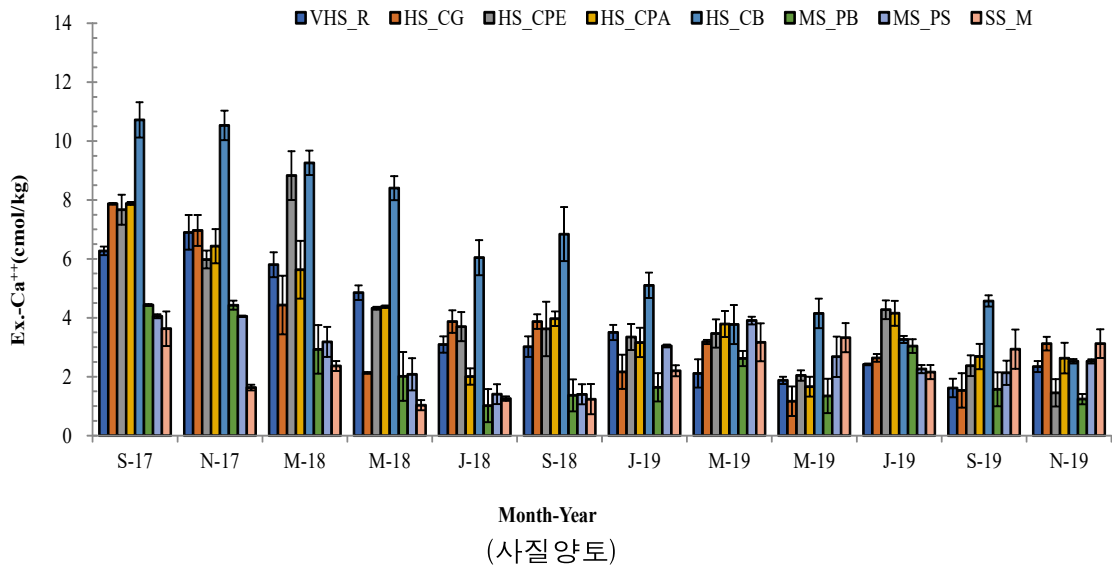
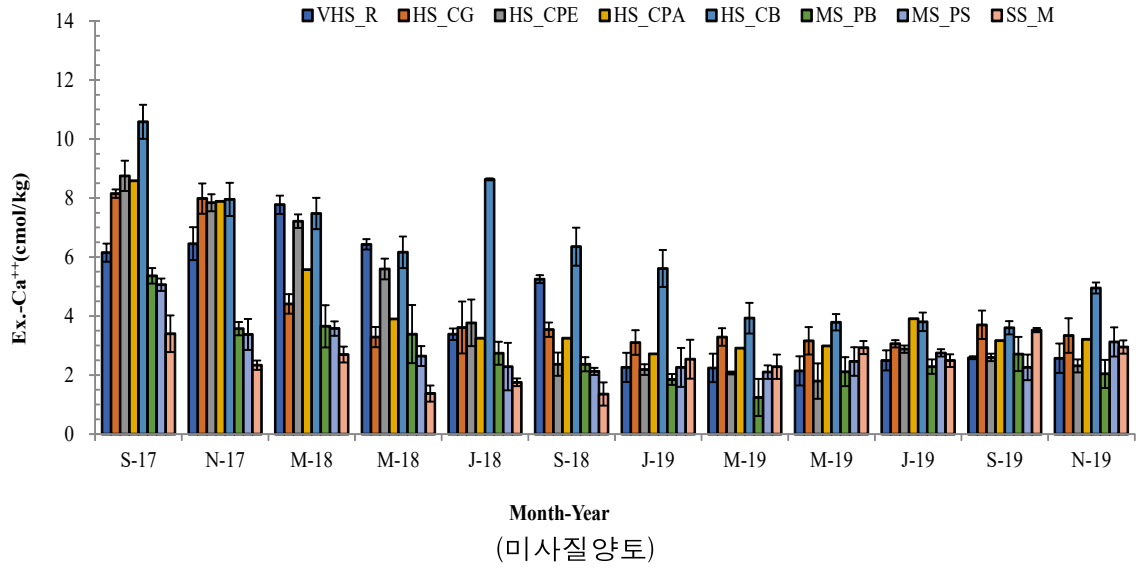
(표 2-51) 토성별 제염처리에 따른 치환성 칼슘이온 농도의 평균

Ex.- Ca^{2+} (cmol/kg)	Silt loam	Sandy loam	Loamy sand
Rinsing	2.38 ± 0.17	2.31 ± 0.47	3.04 ± 0.38
Gypsum	3.28 ± 0.21	2.30 ± 0.76	3.39 ± 0.29
Perite	2.31 ± 0.35	2.82 ± 0.96	2.29 ± 0.28
PAM	3.15 ± 0.38	3.01 ± 0.82	1.58 ± 0.26
Biochar	3.95 ± 0.46	3.39 ± 0.73	3.45 ± 0.17
Bermuda grass	2.04 ± 0.45	1.91 ± 0.68	2.73 ± 0.17
Sesbania	2.49 ± 0.35	2.76 ± 0.59	2.97 ± 0.32
Microorganism	2.79 ± 0.41	2.82 ± 0.47	1.61 ± 0.39

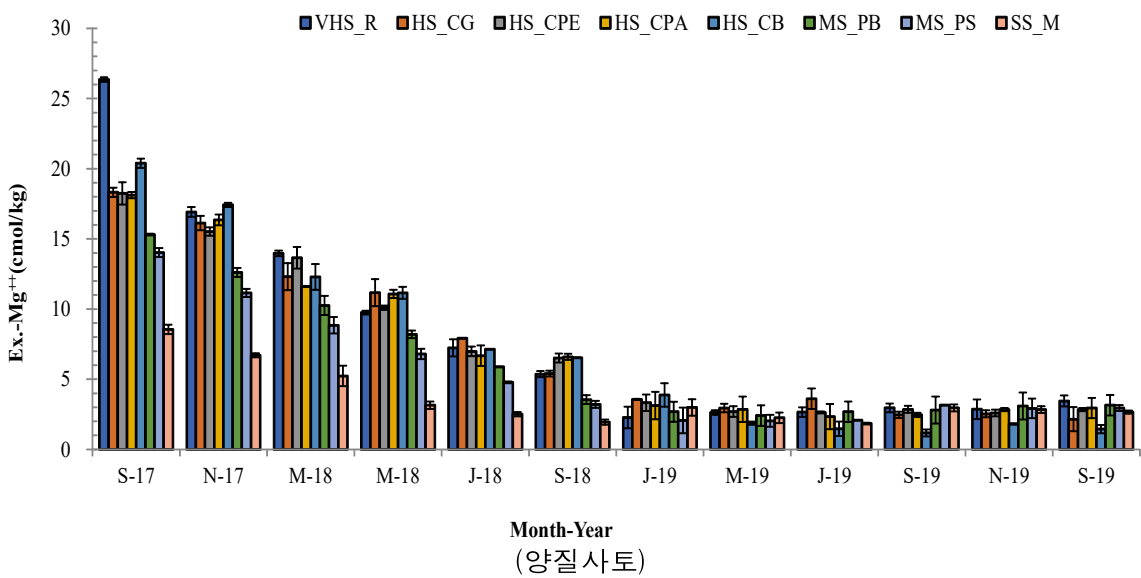
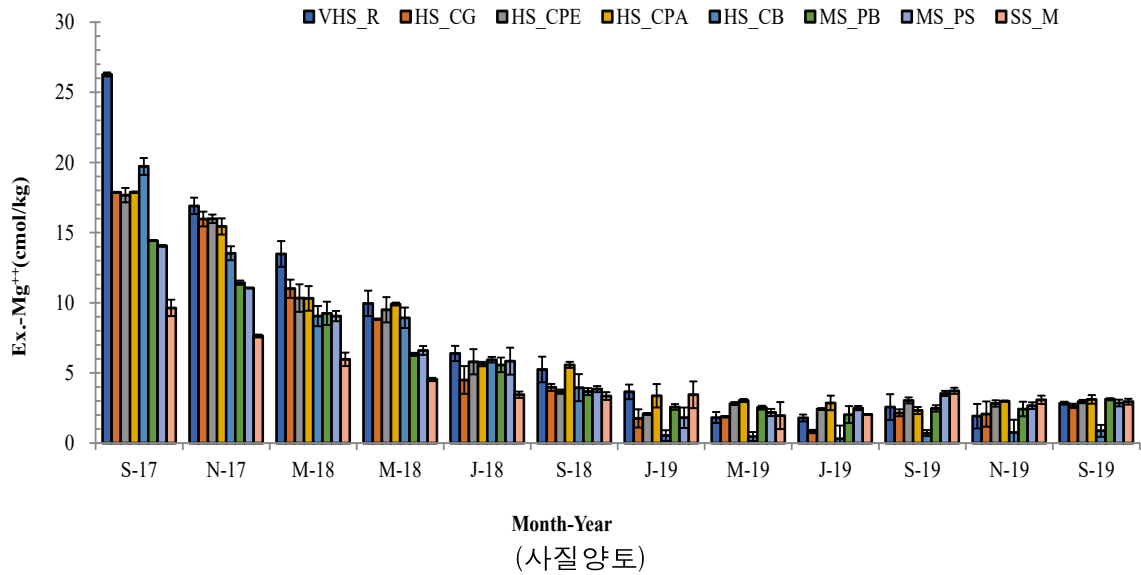
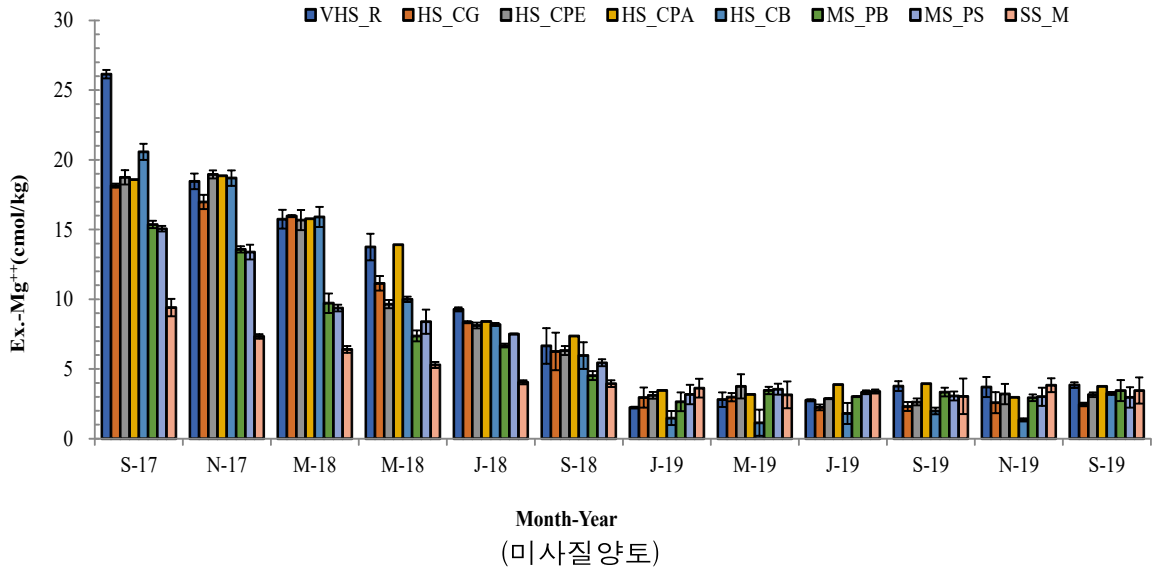
동일한 조건으로 물리적, 화학적, 식물학적 및 미생물학적 제염처리 후 2년, 2.5년이 경과한 지점에서 토양 중 치환성 마그네슘이온의 변화를 분석한 결과, 2년이 경과한 시점에서 토양 내 치환성 칼륨이온의 최종 농도는 0.5cmol/kg 수준으로 유지되었다. 다른 처리기법에 비해 바이오차(Biochar)에서 1cmol/kg 수준으로 나타났다. 바이오차가 염농도를 저감하는 동시에 영양생장기에 흡수되는 칼륨을 공급할 수 있는 것으로 보인다. 또한, 지속적인 영양분을 공급하여 작물 생산에 도움을 줄 것으로 판단된다. 2.5년 경과하는 시점에서 토성과 처리기법에 관계없이 최종 농도가 2cmol/kg 수준으로 감소하였다.

(표 2-52) 토성별 제염처리에 따른 치환성 칼륨이온 농도의 평균

Ex.-K+(cmol/kg)	Silt loam	Sandy loam	Loamy sand
Rinsing	0.45 ± 0.03	0.52 ± 0.28	0.77 ± 0.18
Gypsum	0.70 ± 0.25	0.49 ± 0.30	0.89 ± 0.12
Perite	0.51 ± 0.21	0.47 ± 0.26	0.69 ± 0.13
PAM	0.59 ± 0.18	0.72 ± 0.23	0.64 ± 0.23
Biochar	1.00 ± 0.25	1.37 ± 0.18	1.03 ± 0.12
Bermuda grass	0.47 ± 0.06	0.47 ± 0.04	0.47 ± 0.04
Sesbania	0.46 ± 0.06	0.44 ± 0.02	0.52 ± 0.11
Microorganism	0.47 ± 0.06	0.46 ± 0.04	0.54 ± 0.08



<그림 2-123> 토성별 제염처리에 따른 토양 Ca²⁺ 변화



<그림 2-124> 토성별 제염처리에 따른 토양 Mg²⁺ 변화

물리적, 화학적, 식물학적 및 미생물학적 제염처리 후 2년, 2.5년이 경과한 지점에서 토양 중 치환성 칼리이온의 변화를 조사한 결과, 2년이 경과한 시점에서 토양 내 치환성 마그네슘이온의 최종농도는 2~3cmol/kg 수준으로 유지되었다. 모든 토성에서 다른 처리기법에 비해 바이오차(Biochar)처리는 치환성 마그네슘의 농도가 적은 양으로 분석되었다. 이는 바이오차 치환기의 활성화로 인해 간척지에 존재하는 MgCl₂가 H⁺ 이온으로 치환되어 침출된것으로 판단된다. 다음 2.5년이 경과한 시점에서 토성과 처리기법에 관계없이 최종 농도가 1cmol/kg 수준으로 감소하였다.

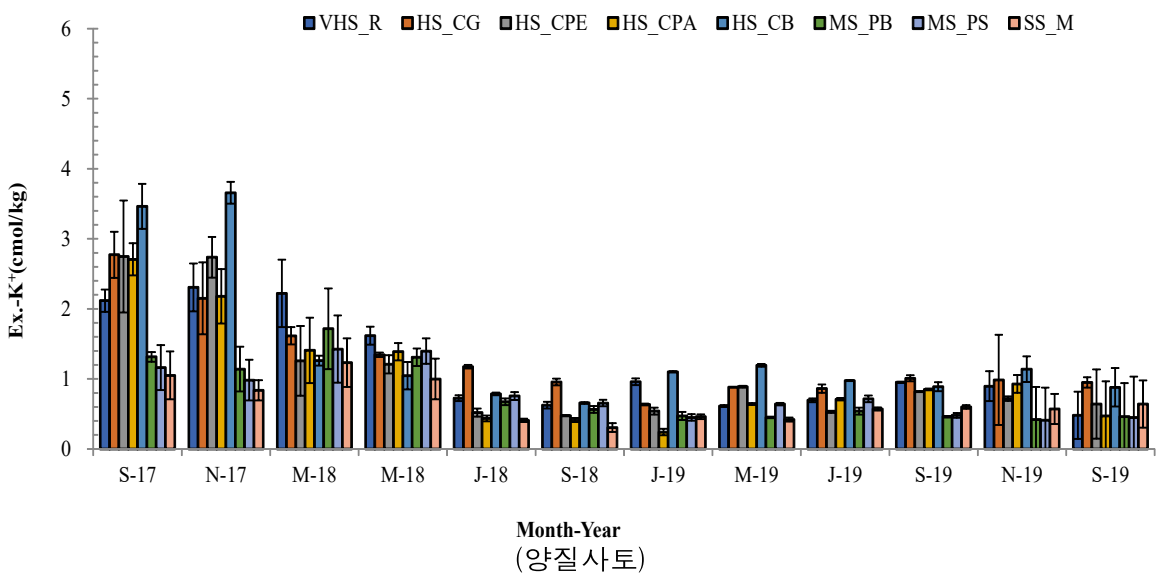
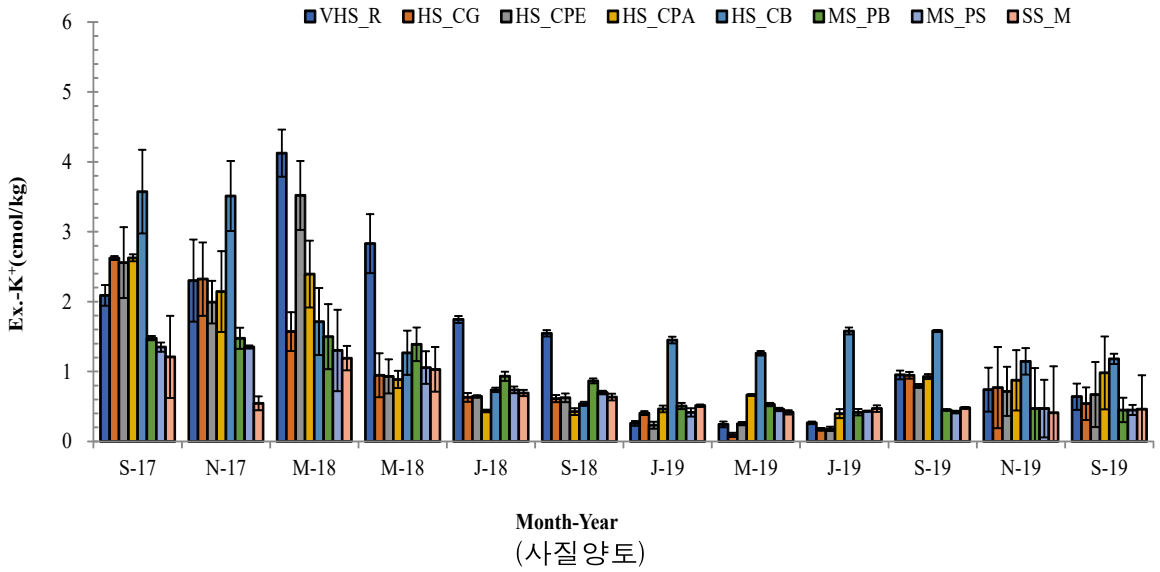
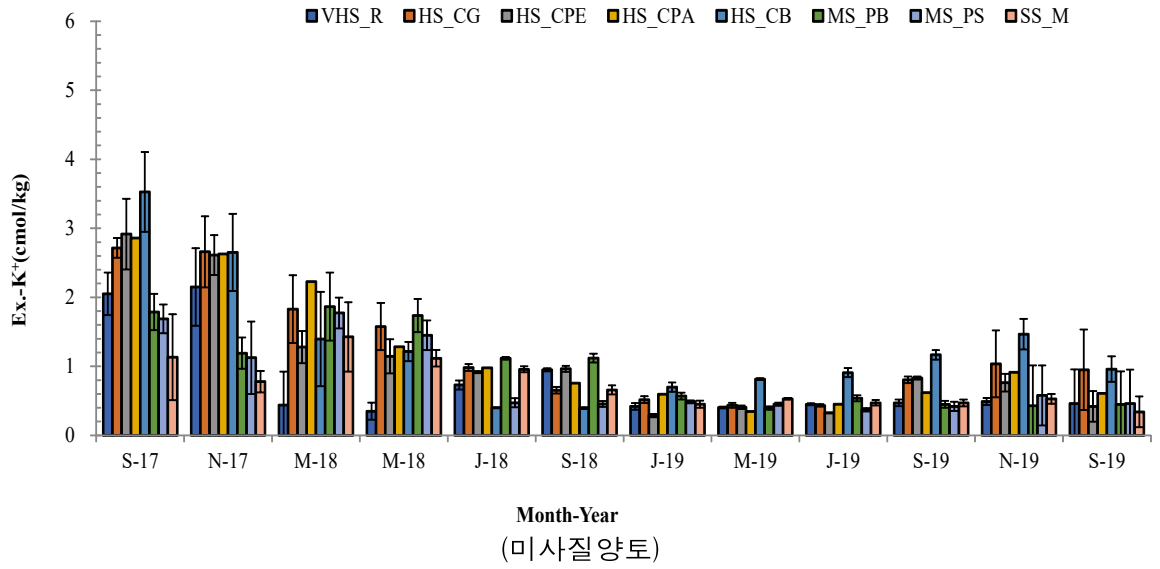
(표 2-53) 토성별 제염처리에 따른 치환성 마그네슘이온 농도의 평균

Ex.-Mg ²⁺ (cmol/kg)	Silt loam	Sandy loam	Loamy sand
Rinsing	3.18 ± 0.62	2.10 ± 0.44	2.81 ± 0.36
Gypsum	2.58 ± 0.29	1.89 ± 0.55	2.71 ± 0.47
Perite	3.12 ± 0.34	2.68 ± 0.33	2.66 ± 0.18
PAM	3.53 ± 0.37	2.94 ± 0.32	2.60 ± 0.30
Biochar	1.83 ± 0.69	0.60 ± 0.19	1.61 ± 0.26
Bermuda grass	3.14 ± 0.30	2.52 ± 0.32	2.81 ± 0.25
Sesbania	3.18 ± 0.20	2.59 ± 0.54	2.54 ± 0.48
Microorganism	3.41 ± 0.27	2.87 ± 0.66	2.59 ± 0.42

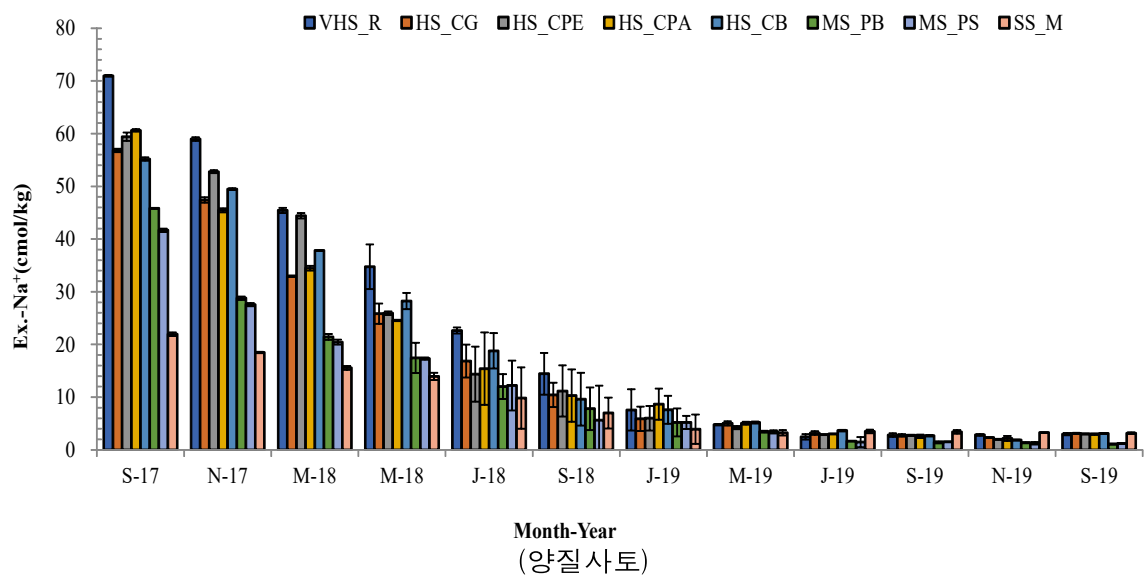
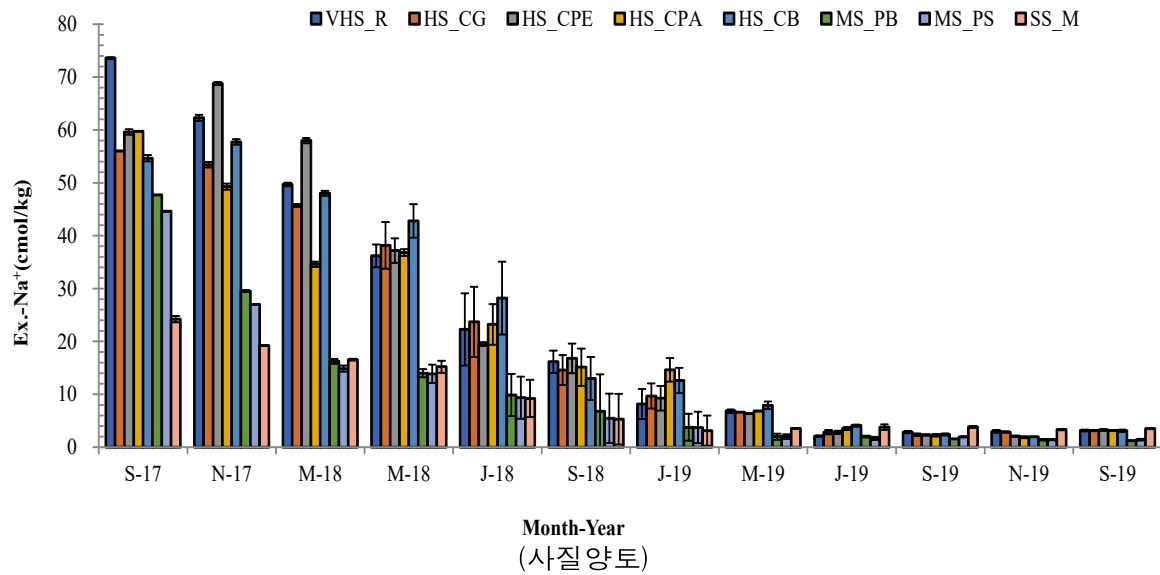
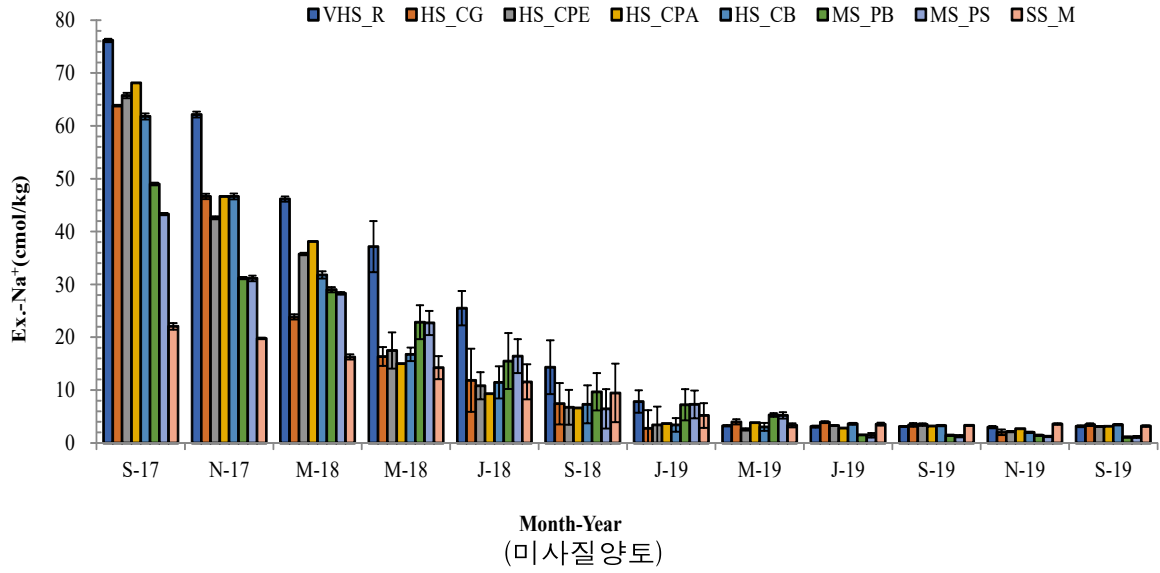
동일한 조건으로 물리적, 화학적, 식물학적 및 미생물학적 제염처리 후 2년, 2.5년이 경과한 지점에서 토양 중 치환성 나트륨이온의 변화를 조사한 결과, 2년이 경과한 시점에서 토양 내 치환성 마그네슘이온의 최종 농도는 2~3cmol/kg 수준을 유지하였다. 염생식물인 버뮤다그라스(Bermuda grass)와 세스바니아(Sesbania)의 마그네슘이온은 약 1.5cmol/kg으로 감소되었다. 이는 버뮤다그라스 및 세스바니아의 나트륨 흡수 현상으로 인해 다른 처리기법보다 낮게 나타난 것으로 판단된다.이후 2.5년 경과한 시점에서는 토성과 처리기법에 관계없이 최종 농도가 1cmol/kg 이하로 크게 감소하였다.

(표 2-54) 토성별 제염처리에 따른 치환성 나트륨이온 농도의 평균

Ex.-Na+(cmol/kg)	Silt loam	Sandy loam	Loamy sand
Rinsing	3.24 ± 0.27	2.84 ± 0.59	3.40 ± 0.48
Gypsum	3.26 ± 0.68	2.88 ± 0.43	2.25 ± 0.44
Perite	3.00 ± 0.49	2.69 ± 0.49	3.00 ± 0.61
PAM	3.23 ± 0.42	3.05 ± 0.74	3.04 ± 0.76
Biochar	3.14 ± 0.54	3.27 ± 0.99	2.78 ± 0.60
Bermuda grass	1.34 ± 0.14	1.66 ± 0.29	1.50 ± 0.34
Sesbania	1.26 ± 0.10	1.69 ± 0.23	1.42 ± 0.18
Microorganism	3.36 ± 0.16	3.52 ± 0.25	3.12 ± 0.39



<그림 2-125> 토성별 제염처리에 따른 토양 K⁺ 변화



<그림 2-126> 토성별 제염처리에 따른 토양 Na⁺ 변화

(라) 토양 치환성 음이온 변화

간척지 토양에서 문제가 되는 음이온은 대표적으로 염화물(Chloride)와 황산염(Sulfate)이다. 해수 내 Chloride(Cl^-)의 함량의 비율은 55.1%, Sulfate(SO_4^{2-})은 3.7%를 일정하게 함유하고 있어 음이온의 원인이 된다. 또한, 염화나트륨(NaCl), 염화마그네슘(MgCl_2), 황산칼슘(CaSO_4)순으로 일정한 질량비에 대해 구성하고 있다. 염화물(Chloride)의 생리작용은 식물체의 광합성률의 감소, 수분흡수 저해, 탄수화물의 이동저하를 초래하며, 황산염(Sulfate)는 환원상태에서 Zn과 결합하여 Ca 흡수저해와 Na 흡수촉진을 한다.

물리적, 화학적, 식물학적 및 미생물학적 제염처리 후 2년, 2.5년이 경과한 지점에서 토양중 염소이온의 변화를 조사한 결과, 2년이 경과한 시점에서 토양 내 Chloride(Cl^-)는 일정한 농도를 유지하였다. 특히, 염생식물인 버뮤다그라스(Bermuda grass)와 세스바니아(Sesbania)에서 25mg/kg로 분석되었는데 이는 염생식물이 Na^+ 이온을 흡수하여 Cl^- 이온이 침출된 것으로 판단된다. 미사질양토의 물리적 처리인 수세법(Rinsing)은 높은 수준의 Cl^- 이온이 나타났으며, 다양한 형태의 염화물로 존재하는 것으로 분석되었다. 또한, 미생물 처리법(Microorganism)에서 Cl^- 이온의 농도가 150mg/kg 나타났으며, 타 처리기법에 비해 염화물의 제염이 이루어지지 않은 것으로 분석되었다. 2.5년이 경과한 시점에서는 수세법과 미생물처리에 의한 방법을 적용시 silt loam 토양에서 염소이온의 저감이 다른 처리기법과 비교하였을 때 약간 낮게 나타났으나 기타 처리기법은 저감효과가 우수하게 나타났다.

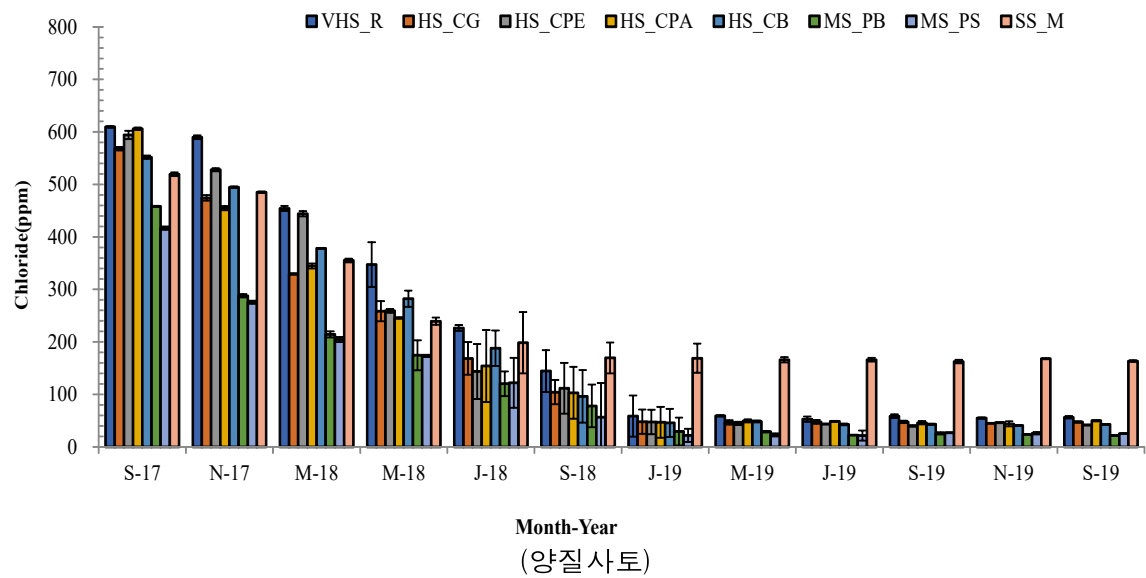
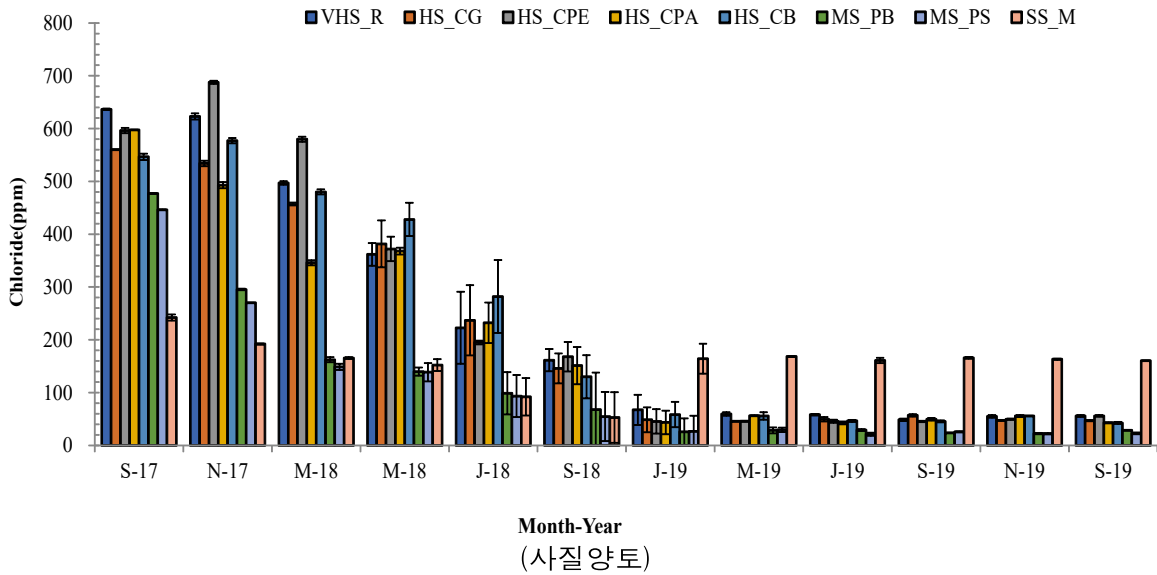
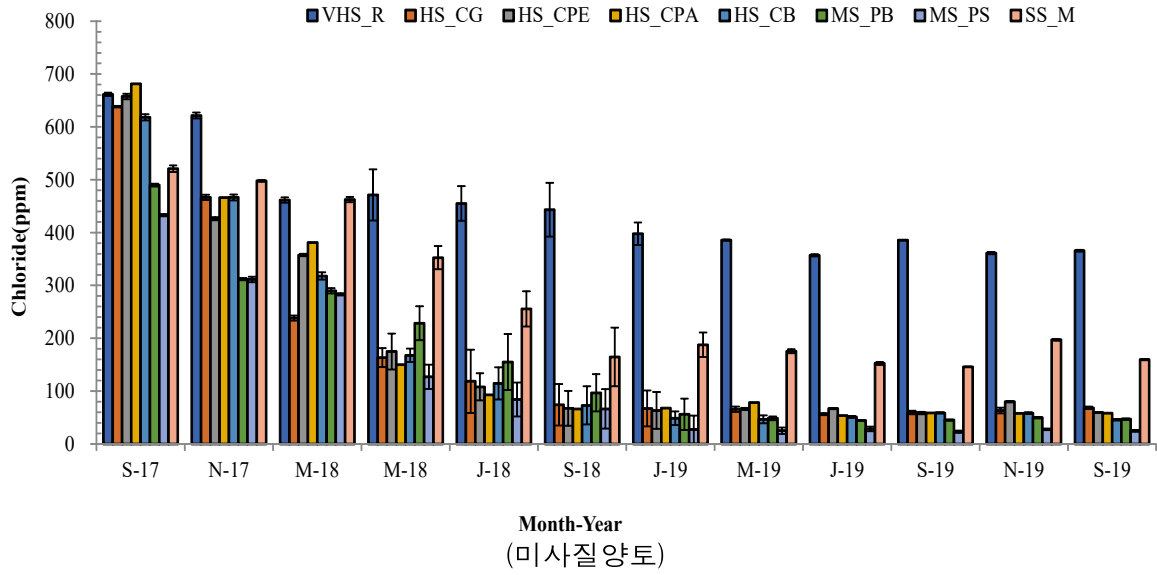
황산이온의 변화를 조사한 결과, 2년이 경과한 시점에서 토양 내 Sulfate(SO_4^{2-})의 농도는 사양토 및 양질사토에서 60mg/kg 이하로 분석되었다. 그러나 미사질양토의 물리적 제염처리인 수세법(Rinsing)으로 처리하였을 때, 113mg/kg으로 분석되었다. 이는 충분한 제염이 이루어 지지 않고 잔류하고 있는 것으로 판단된다. 석고(Gypsum)는 제염이 이루어진 후, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 가 용해되어 SO_4^{2-} 이온이 잔류하게 된 것으로 판단된다. silt loam 토양에서 황산이온의 저감효과가 나타났으나, 기타 처리법은 토성에 관계없이 큰 폭으로 황산이온의 저감효과가 나타났다. 이후 2.5년이 경과한 시점에서선 진행된 토성별로 토양 중 염류농도별로 확실적인 제염기법 대신에 토양 중 염류농도를 감안하여 최적화된 처리기법(물리적, 화학적, 식물학적, 미생물학적)을 각각 적용한 결과 매우 우수한 제염효과를 나타내는 방법을 표준화하였다.

(표 2-55) 토성별 제염처리에 따른 염화물의 평균

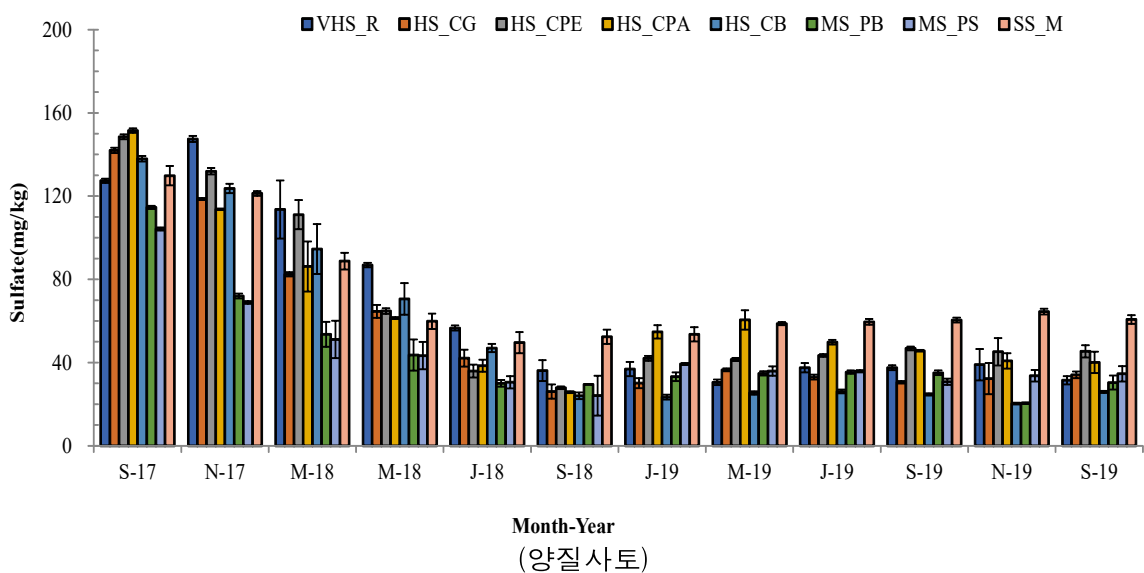
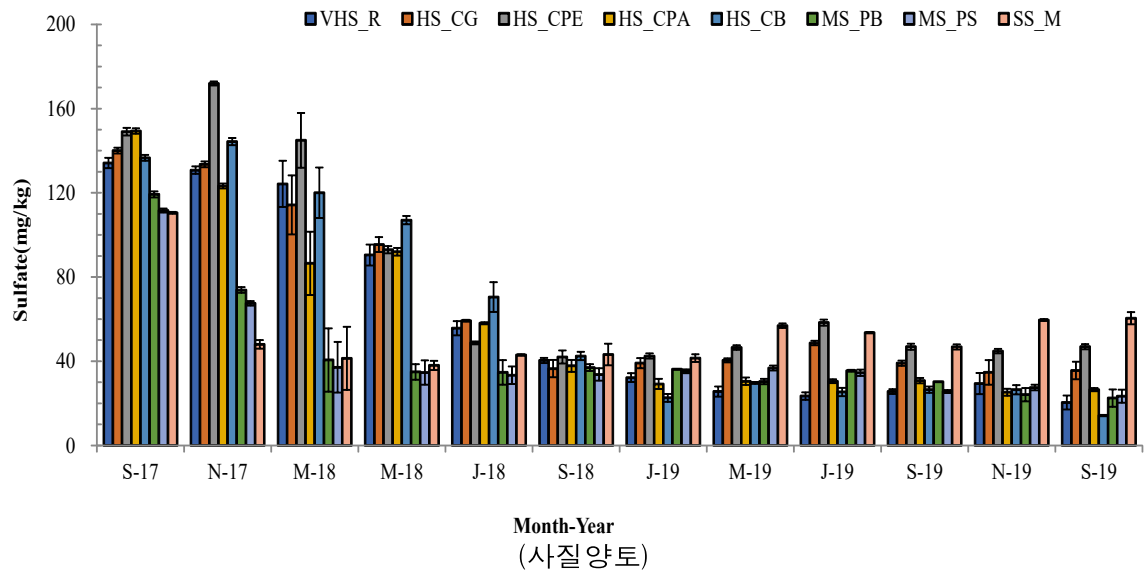
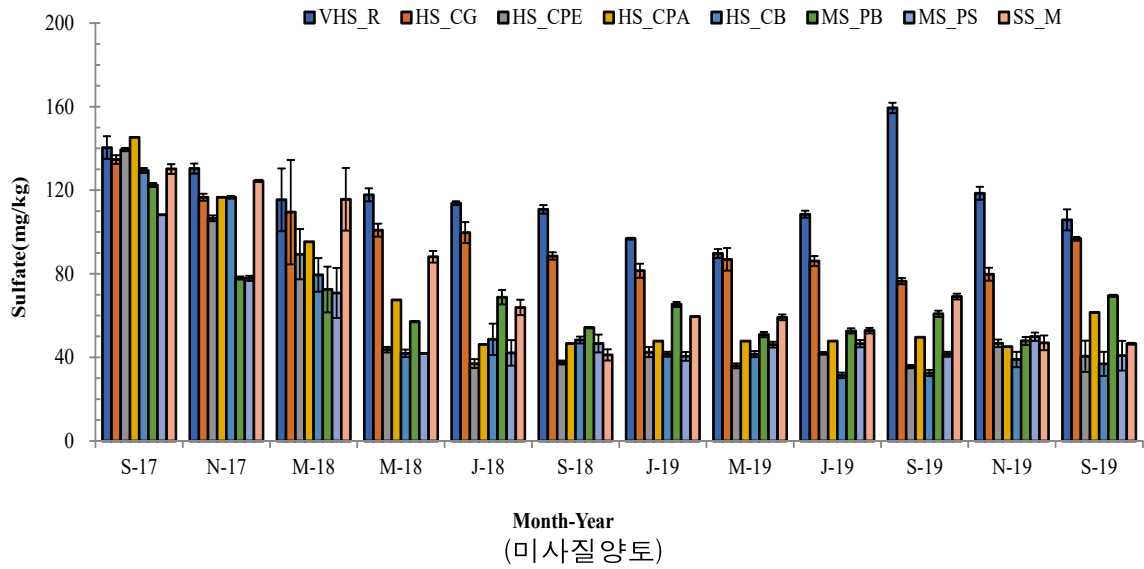
Chloride(mg/kg)	Silt loam	Sandy loam	Loamy sand
Rinsing	575.5 ± 15.0	57.4 ± 5.6	56.8 ± 2.3
Gypsum	63.5 ± 4.3	49.2 ± 3.7	47.0 ± 1.0
Perite	65.8 ± 7.0	48.0 ± 3.8	44.0 ± 2.5
PAM	62.5 ± 8.3	48.4 ± 5.9	47.4 ± 2.1
Biochar	51.7 ± 5.2	50.8 ± 6.1	44.0 ± 2.5
Bermuda grass	48.5 ± 3.8	26.4 ± 2.5	25.3 ± 3.0
Sesbania	26.1 ± 1.9	24.7 ± 2.9	24.1 ± 2.0
Microorganism	169.7 ± 18.6	163.9 ± 2.8	165.8 ± 2.3

(표 2-56) 토성별 제염처리에 따른 황산염의 평균

Sulfate(mg/kg)	Silt loam	Sandy loam	Loamy sand
Rinsing	113.1 ± 22.6	26.1 ± 3.8	35.5 ± 3.2
Gypsum	84.6 ± 6.5	39.6 ± 4.5	32.8 ± 2.2
Perite	40.5 ± 3.9	47.7 ± 5.0	44.1 ± 1.9
PAM	49.9 ± 5.3	28.8 ± 2.1	48.6 ± 7.3
Biochar	37.1 ± 4.0	24.2 ± 4.9	24.3 ± 2.0
Bermuda grass	57.9 ± 7.9	29.8 ± 5.2	31.6 ± 5.2
Sesbania	44.2 ± 3.5	30.5 ± 5.2	35.0 ± 2.6
Microorganism	55.7 ± 7.9	53.1 ± 6.9	59.6 ± 3.2



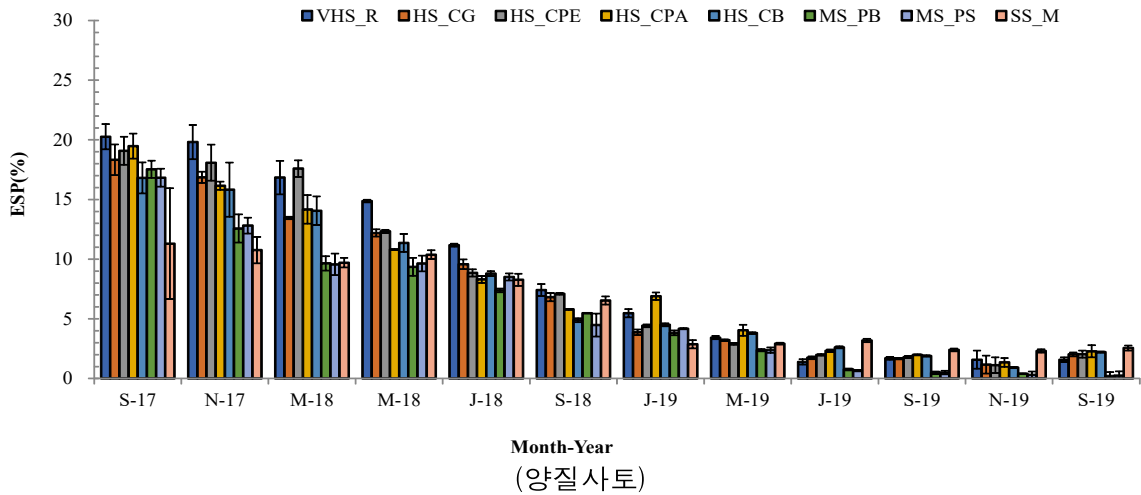
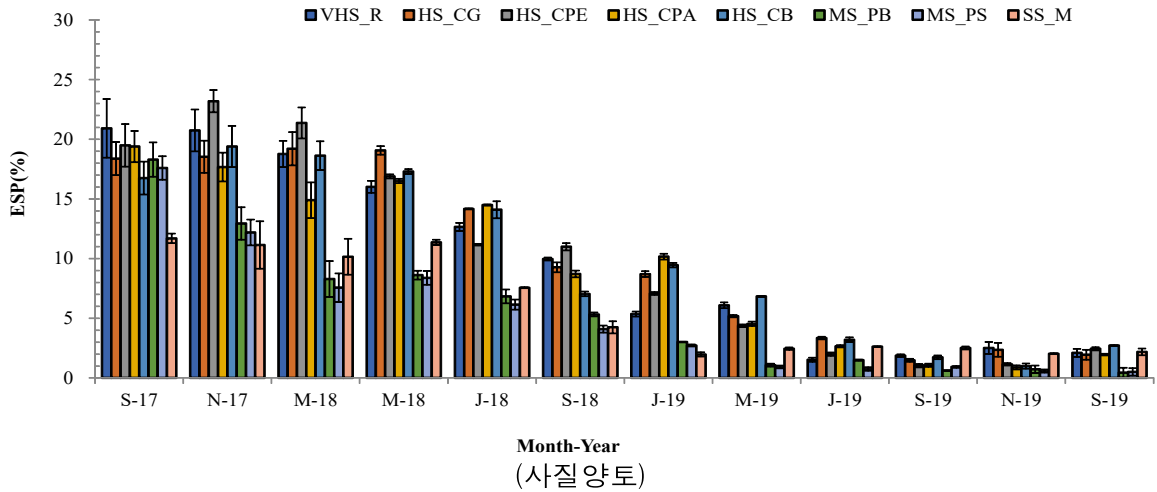
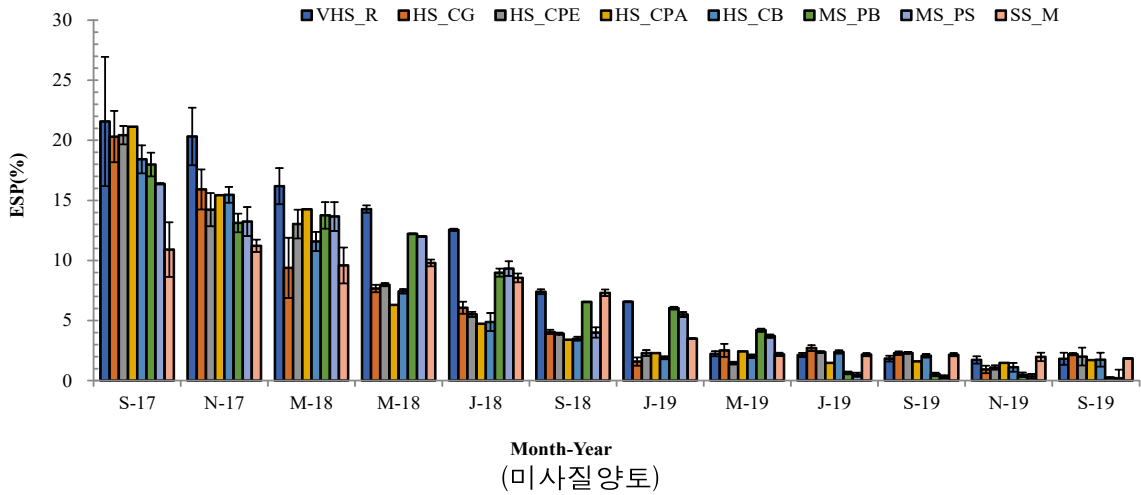
<그림 2-127> 토성별 제염처리에 따른 토양 Cl⁻ 변화



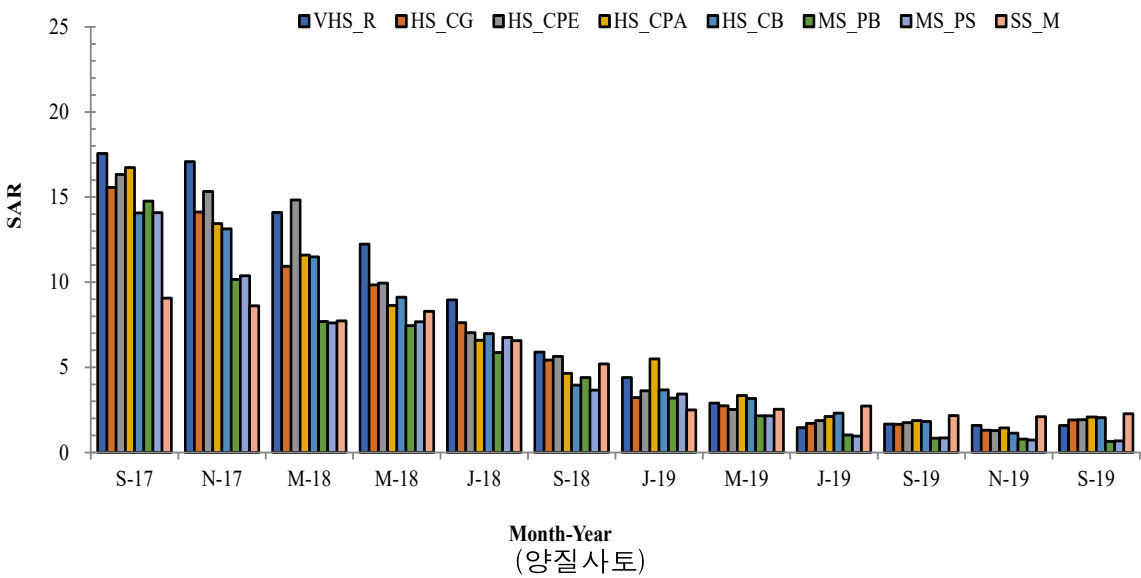
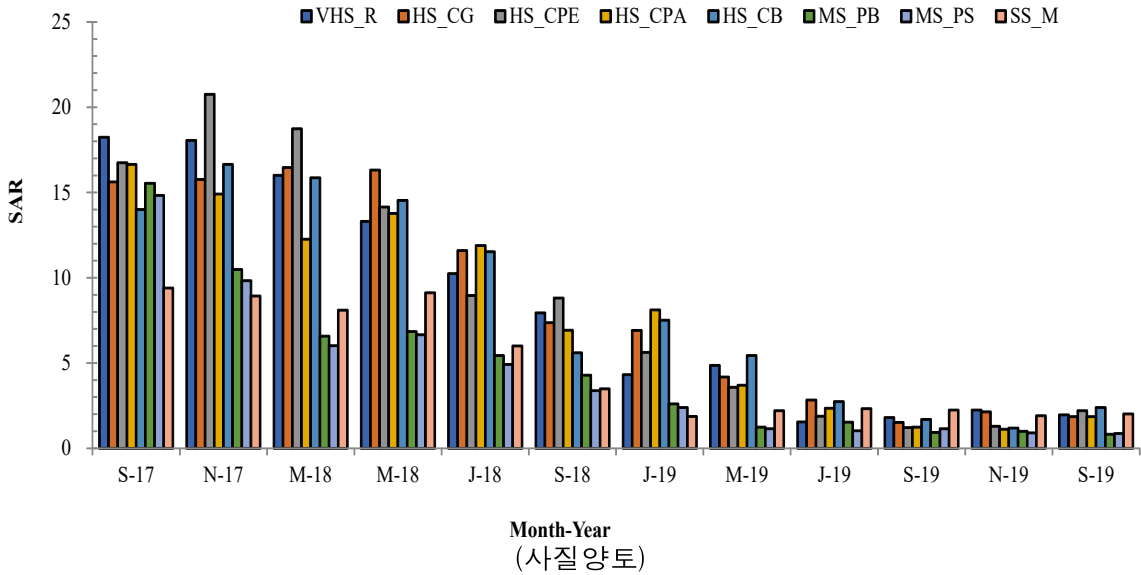
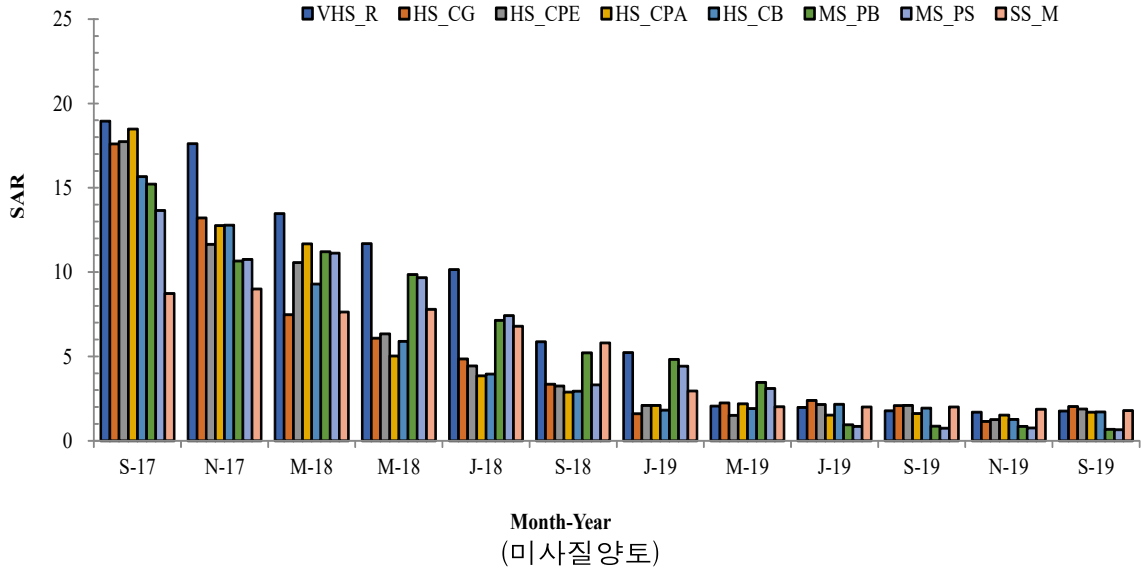
<그림 2-128> 토성별 제염처리에 따른 토양 SO₄²⁻ 변화

(마) 토양 ESP와 SAR 변화

동일한 조건으로 물리적, 화학적, 식물학적 및 미생물학적 제염처리 후 2.5년이 경과한 지점에서 토양 ESP 변화를 조사한 결과, 토성과 처리기법에 관계없이 매우 유의적으로 ESP가 감소하였다. 토양 SAR의 변화를 조사한 결과, 토성과 처리기법에 관계없이 크게 ESP가 감소하였다.



<그림 2-129> 토성별 제염처리에 따른 토양 ESP 변화



<그림 2-130> 토성별 제염처리에 따른 토양 SAR 변화

(4) 간척지 토양관리 방법(토양유기물 자원별) 토양특성 개량

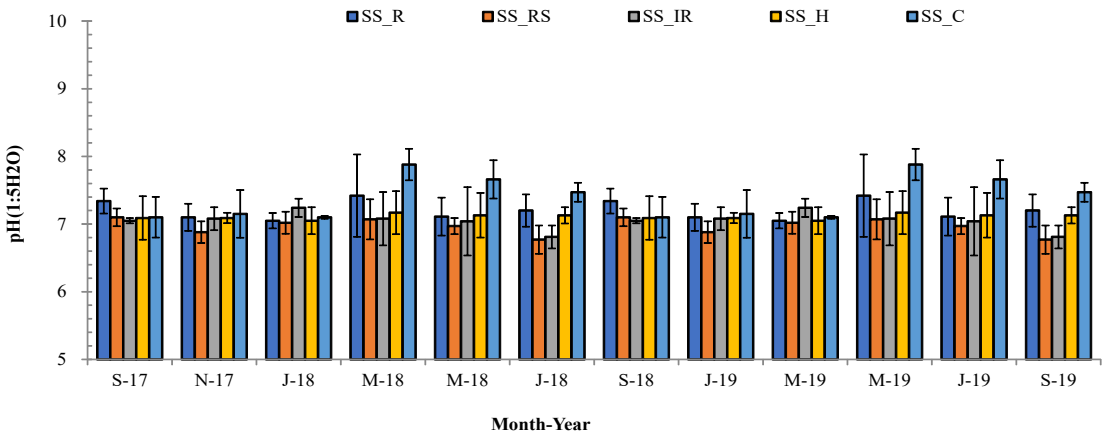
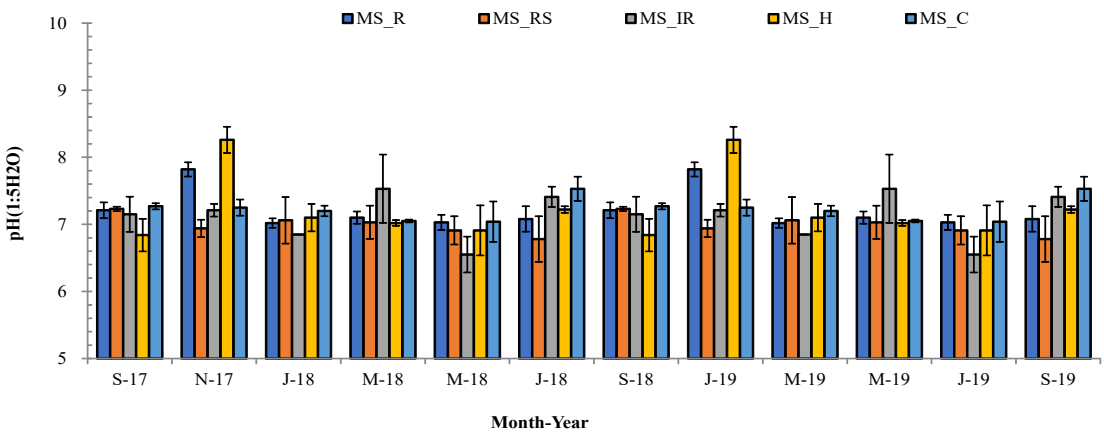
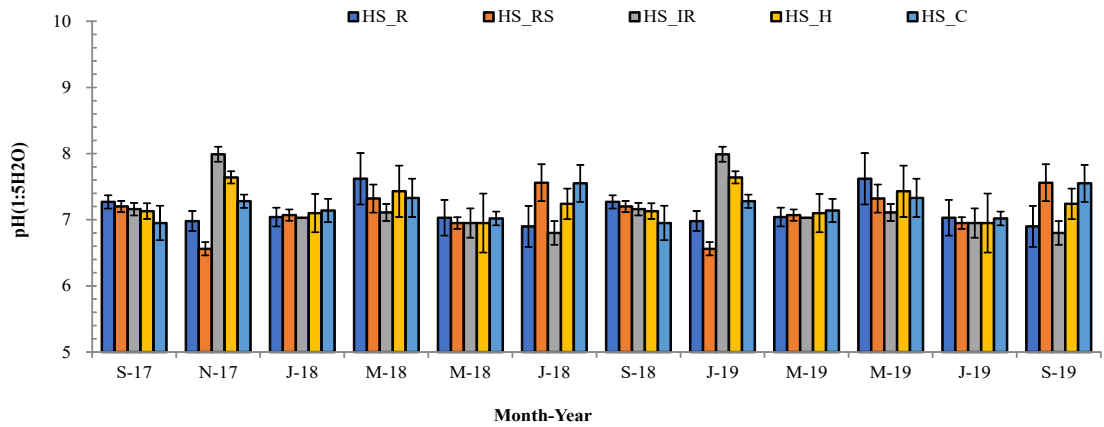
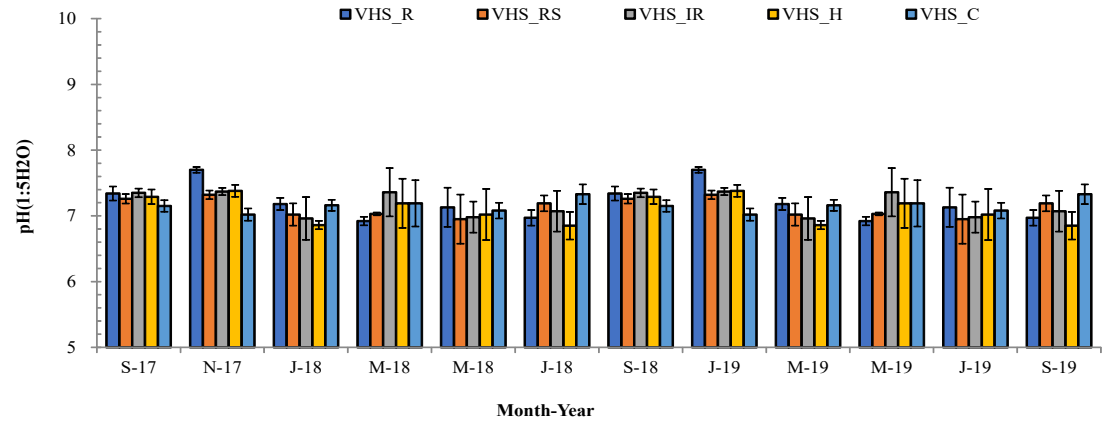
3가지의 토성(silt loam, sandy loam, loamy sand)을 대상으로, 초고염도, 고염도, 중염도, 그리고 저염도로 구분한 다음, 각각의 토양에 벚짚, 바이오차, 이탈리아안라이그라스, 왕겨, 퇴비 등을 처리한 후 토양의 pH, 토양 전기전도도(EC), 치환성 양이온, 치환성 음이온, ESP, SAR 변화 등을 분석하였다.

(표 2-57) 처리구와 시료코드

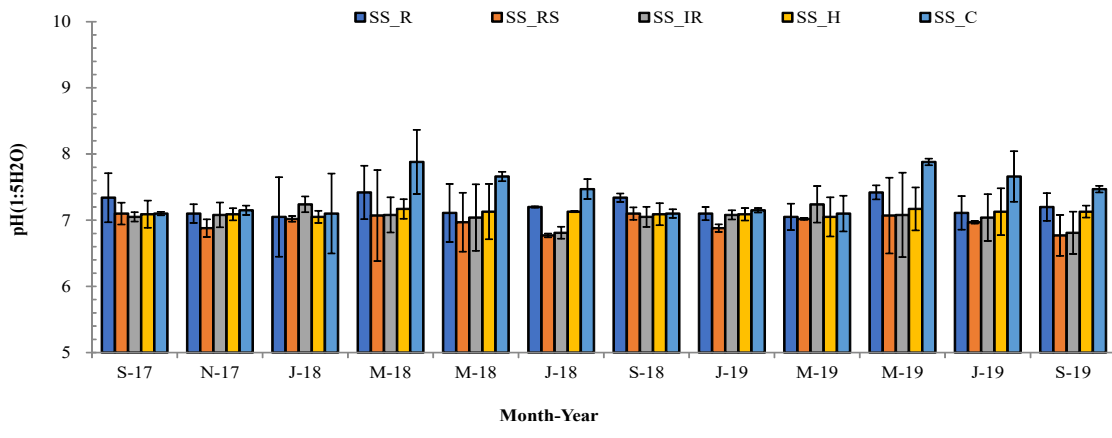
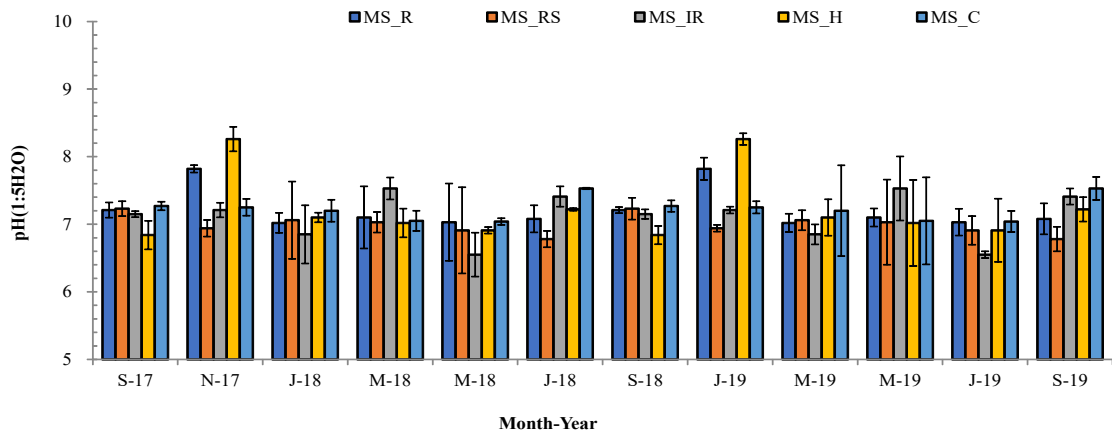
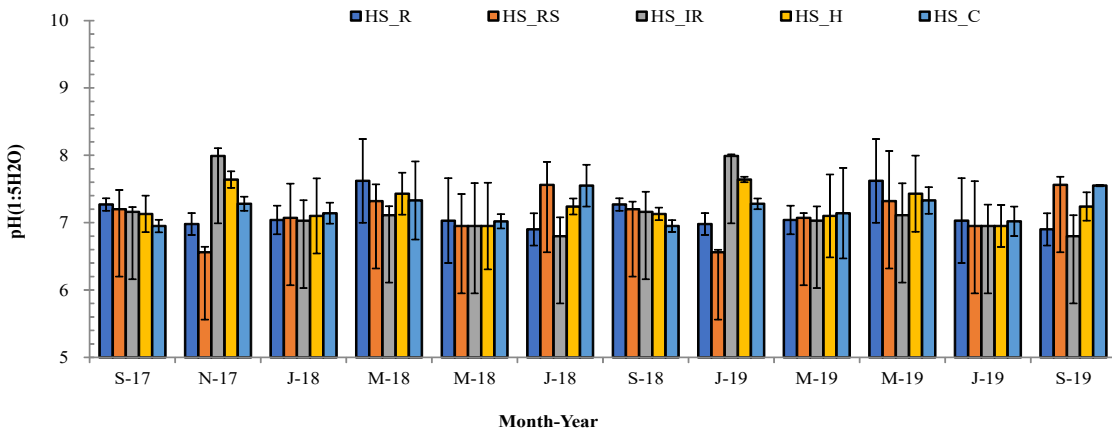
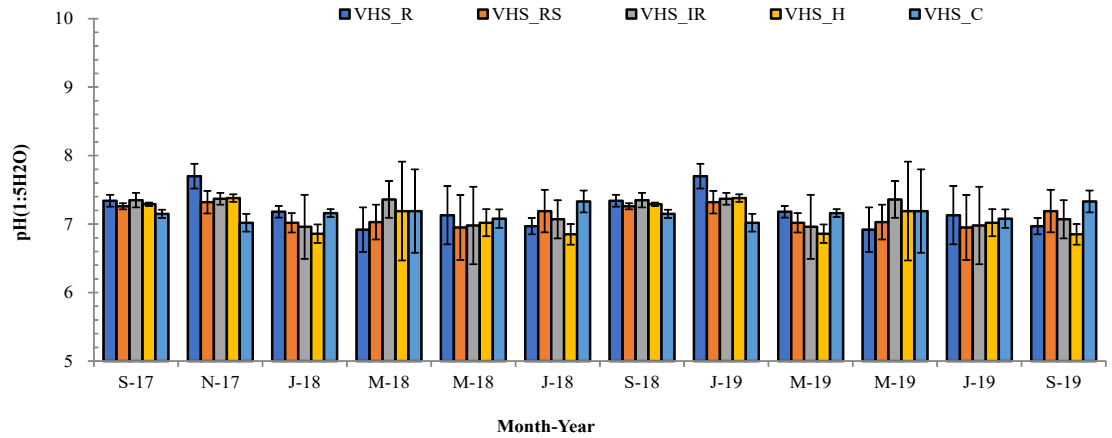
염류농도	처리방법	코드
초고염도 (16dS/m 이상)	갈대	VHS-R
	벚짚	VHS-RS
	이탈리아안라이그라스	VHS-IR
	왕겨	VHS-H
	퇴비	VHS-C
고염도 (8~16dS/m)	갈대	HS-R
	벚짚	HS-RS
	이탈리아안라이그라스	HS-IR
	왕겨	HS-H
	퇴비	HS-C
중염도 (4~8dS/m)	갈대	MS-R
	벚짚	MS-RS
	이탈리아안라이그라스	MS-IR
	왕겨	MS-H
	퇴비	MS-C
저염도 (2~4dS/m)	갈대	SS-R
	벚짚	SS-RS
	이탈리아안라이그라스	SS-IR
	왕겨	SS-H
	퇴비	SS-C

(가) 토양 pH 변화

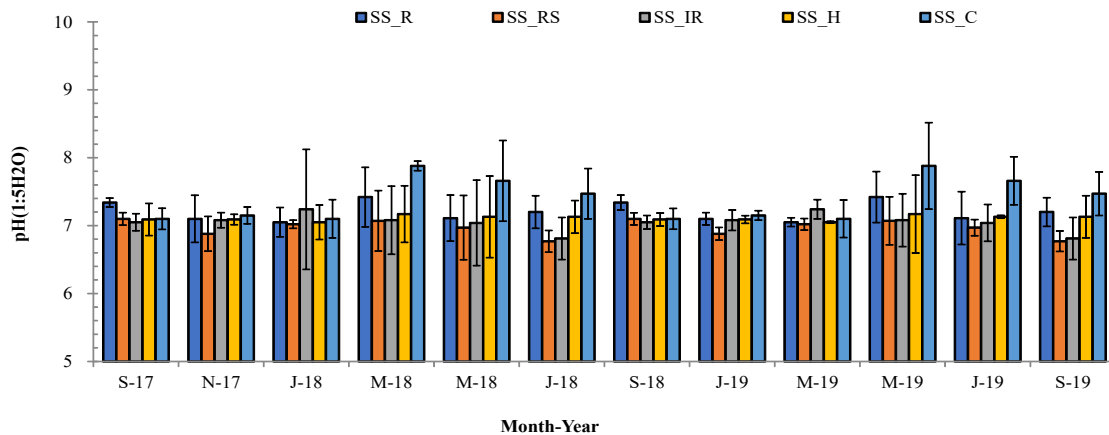
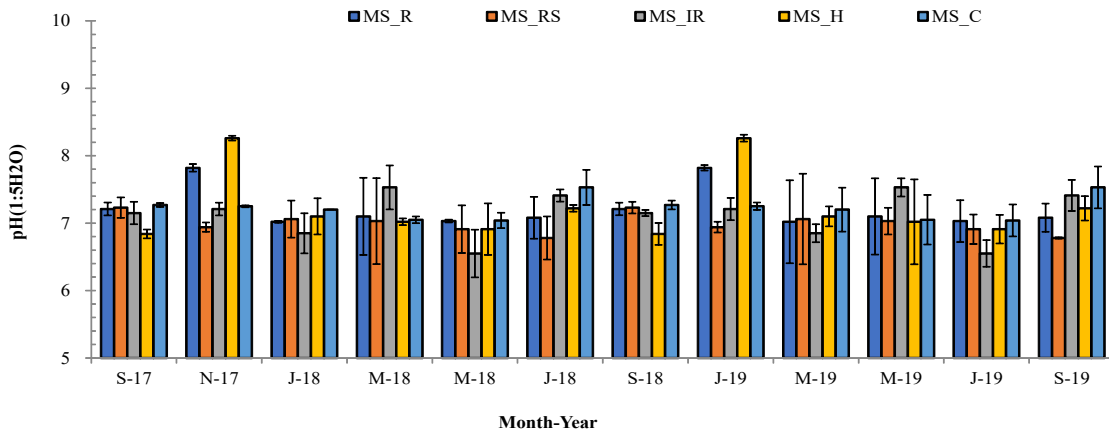
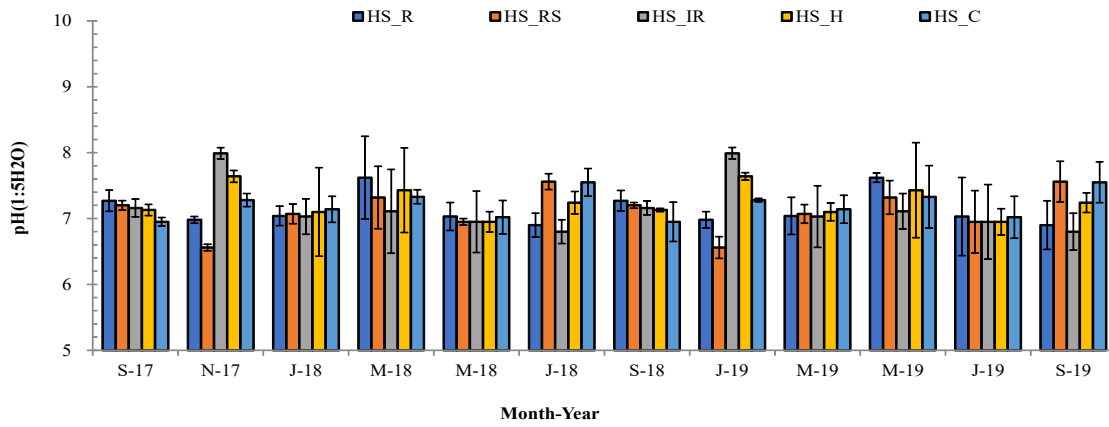
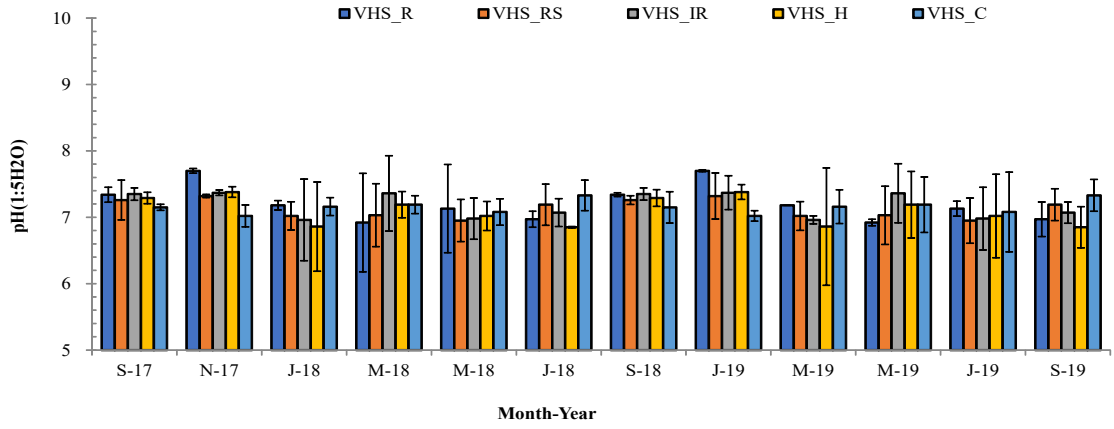
토성별 토양 pH 변화를 분석한 결과, 처리 후 2.5년이 경과한 지점에서 큰 변화 없이 일정하게 나타났다.



<그림 2-131> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 pH 변화



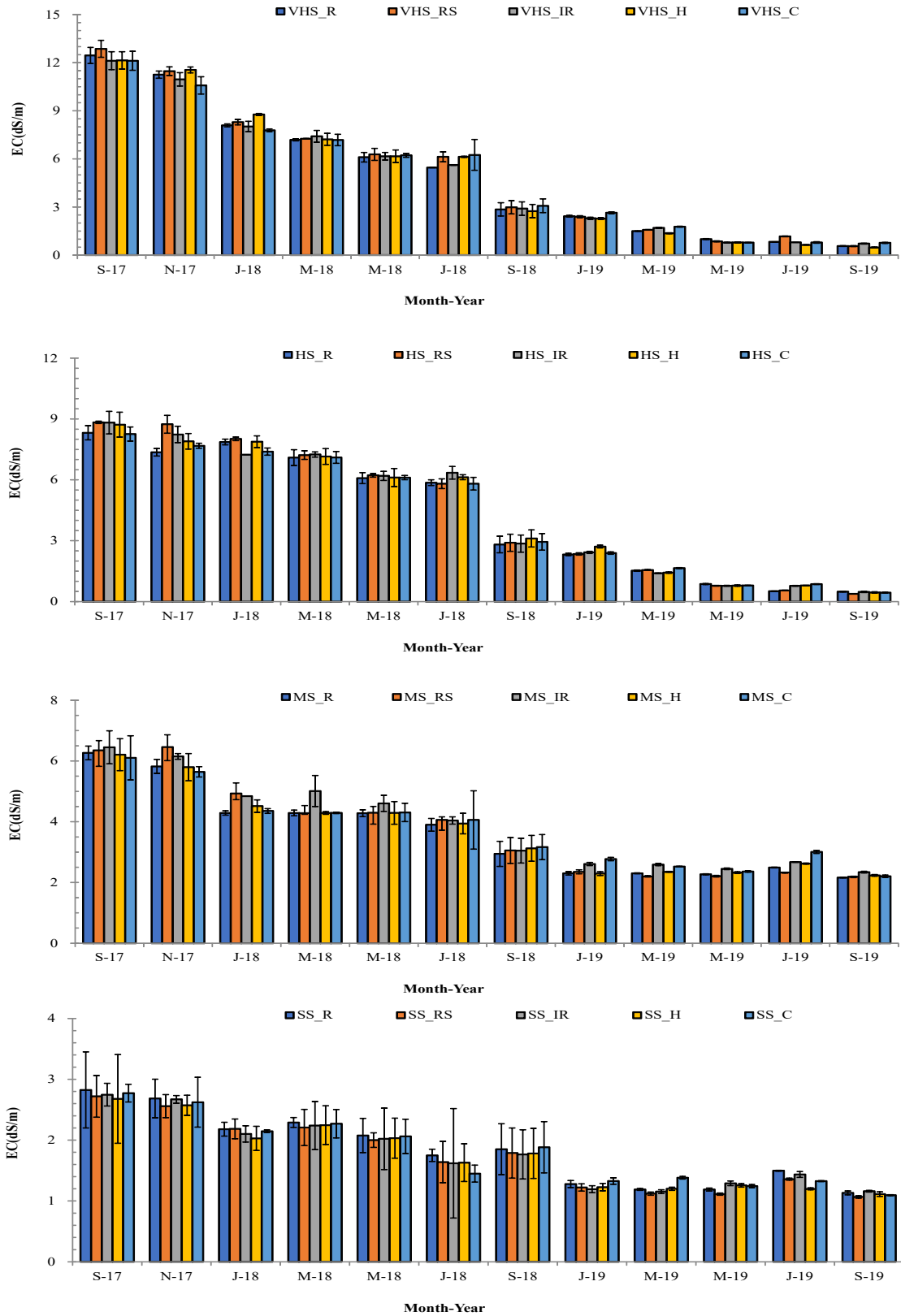
<그림 2-132> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 pH 변화



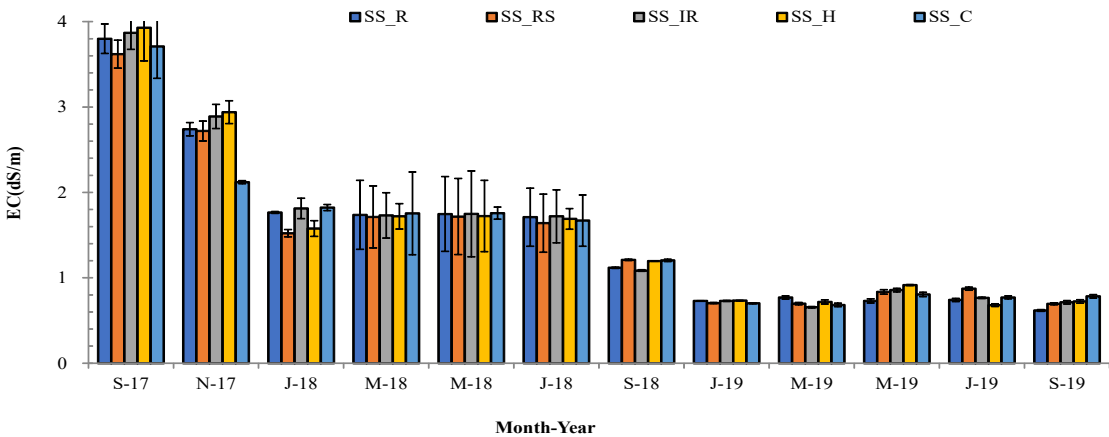
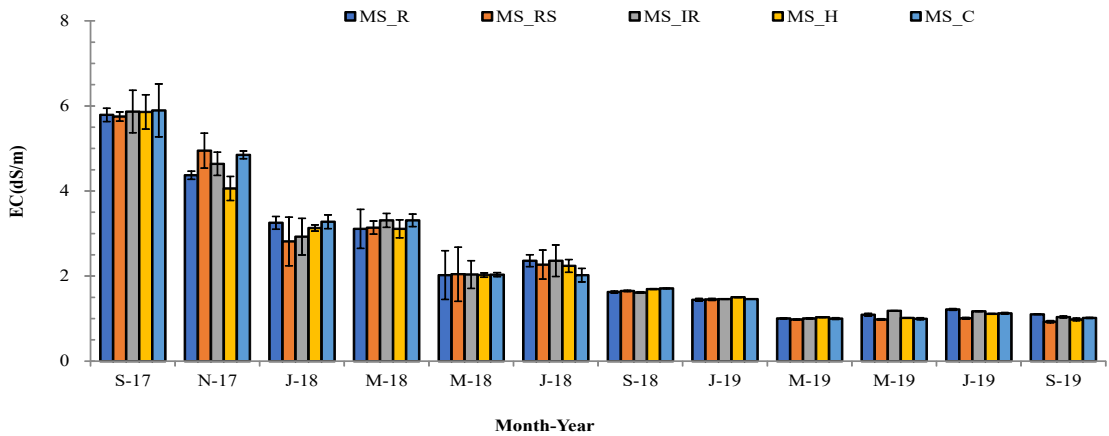
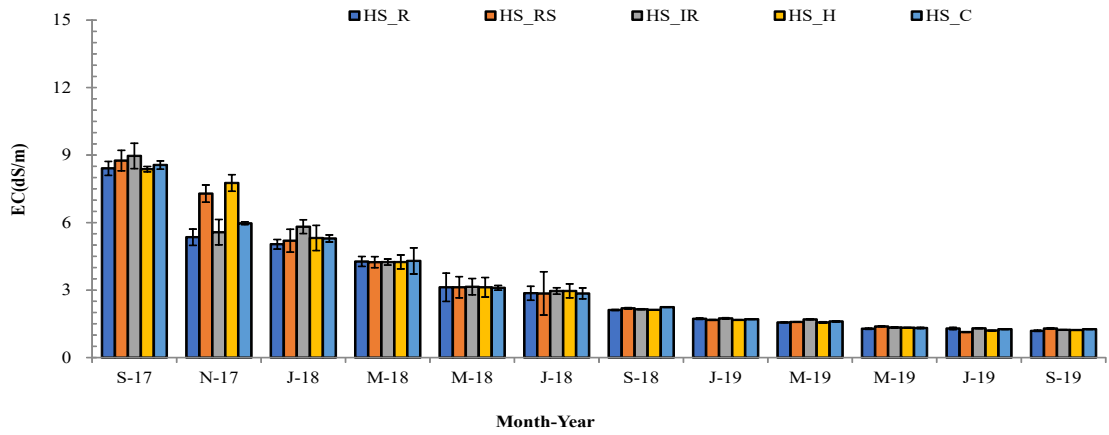
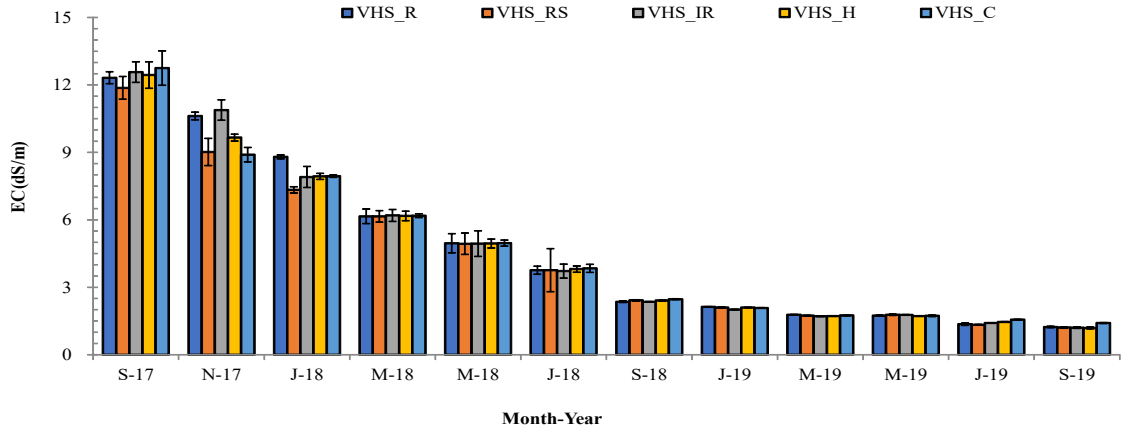
<그림 2-133> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 pH 변화

(나) 토양 EC 변화

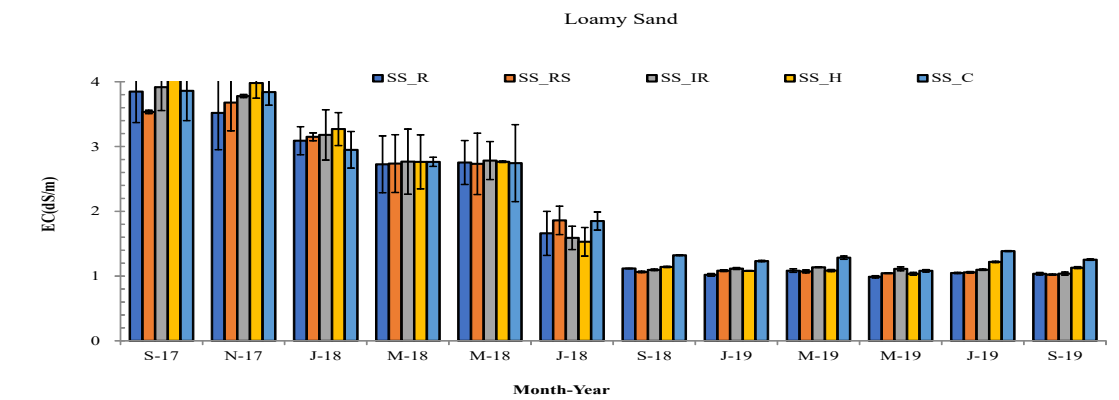
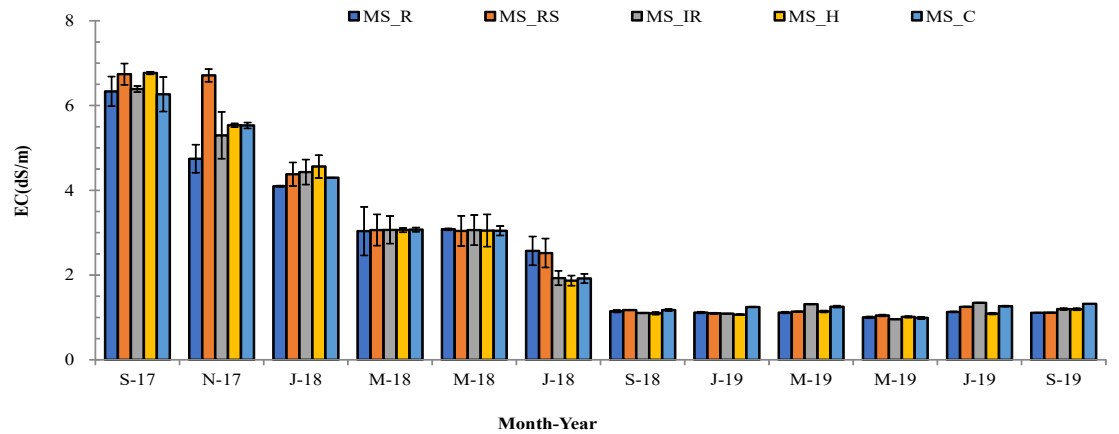
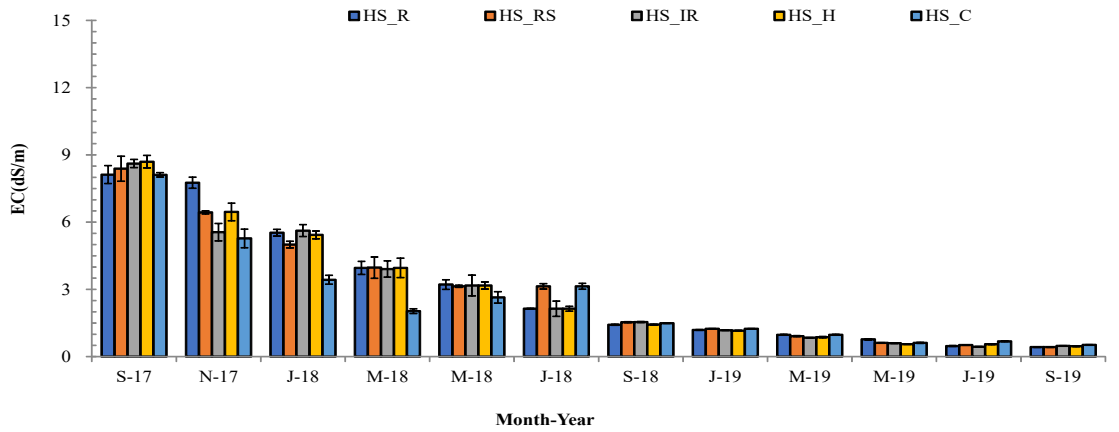
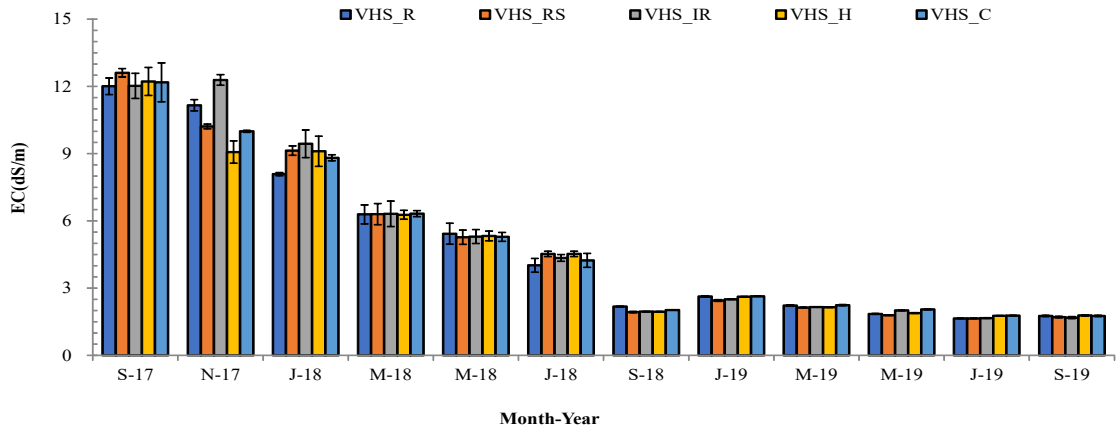
토성별 토양 EC 변화를 분석한 결과, 처리 후 2.5년이 경과한 지점에서 토양 EC는 감소하였다.



<그림 2-134> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 EC 변화



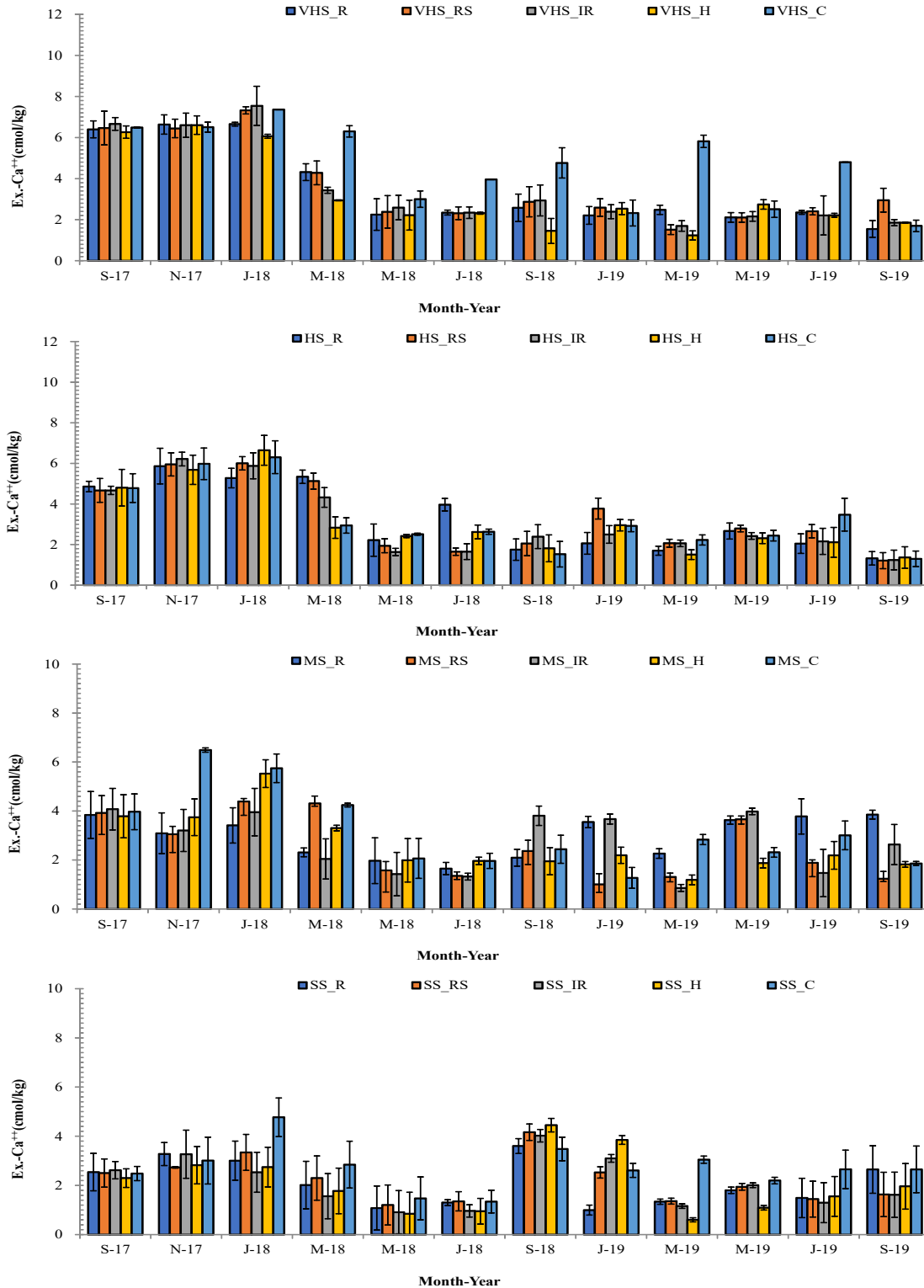
<그림 2-135> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 EC 변화



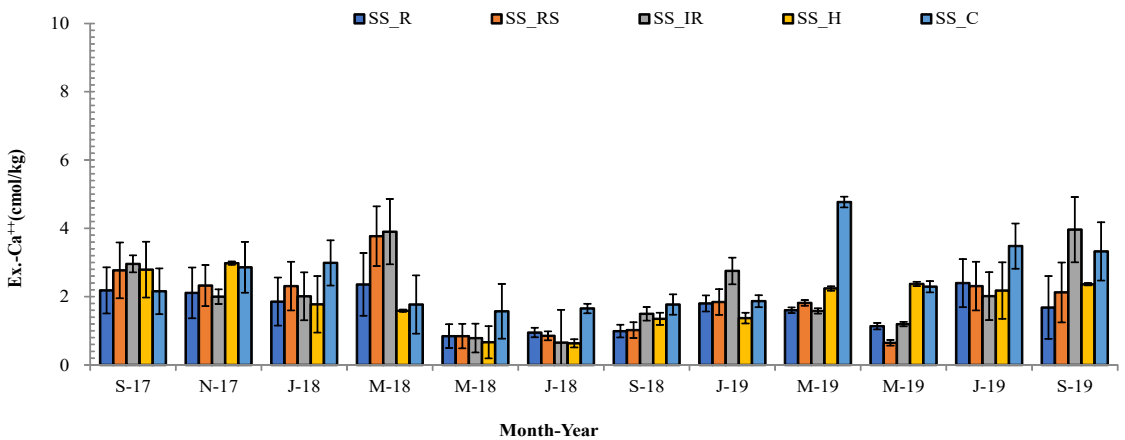
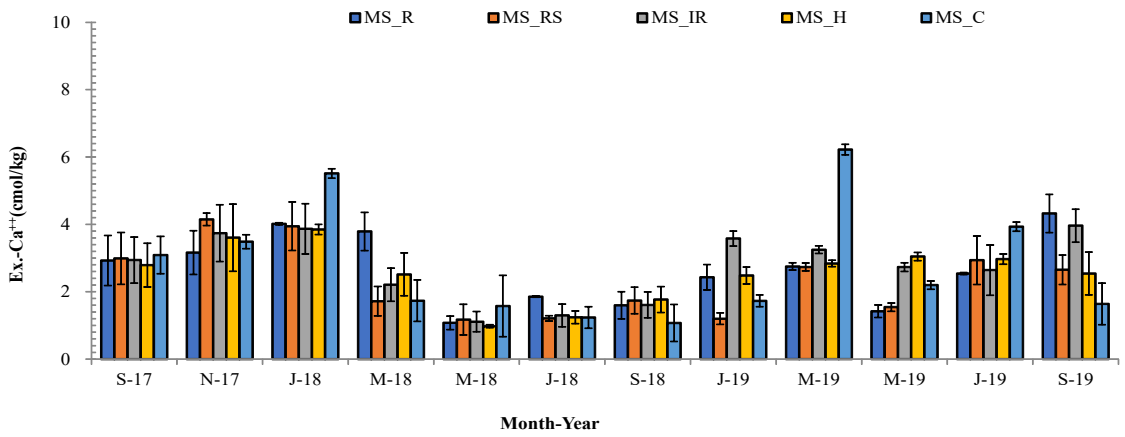
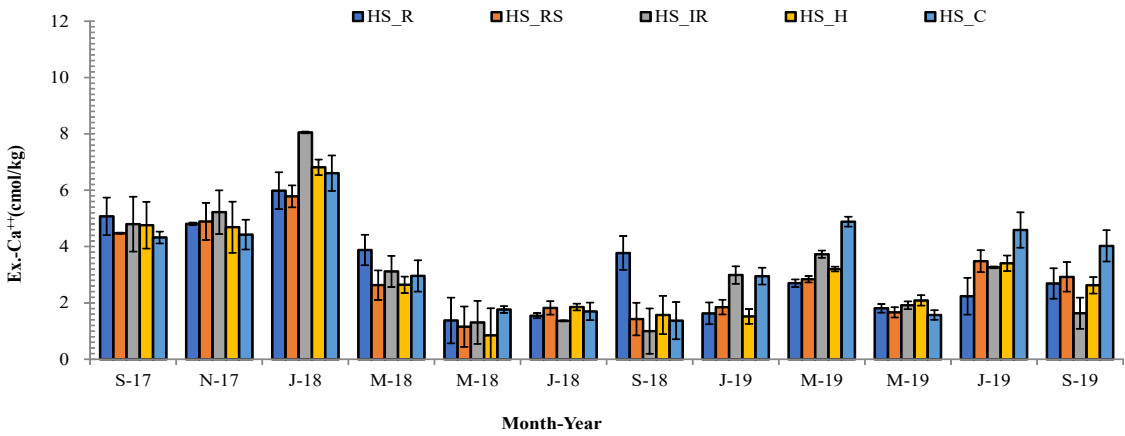
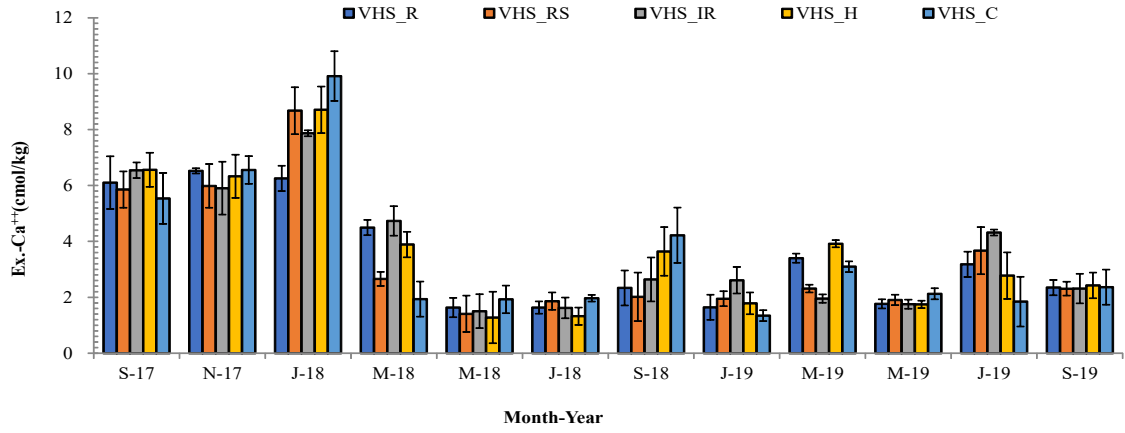
<그림 2-136> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 EC 변화

(다) 토양 치환성 양이온 변화

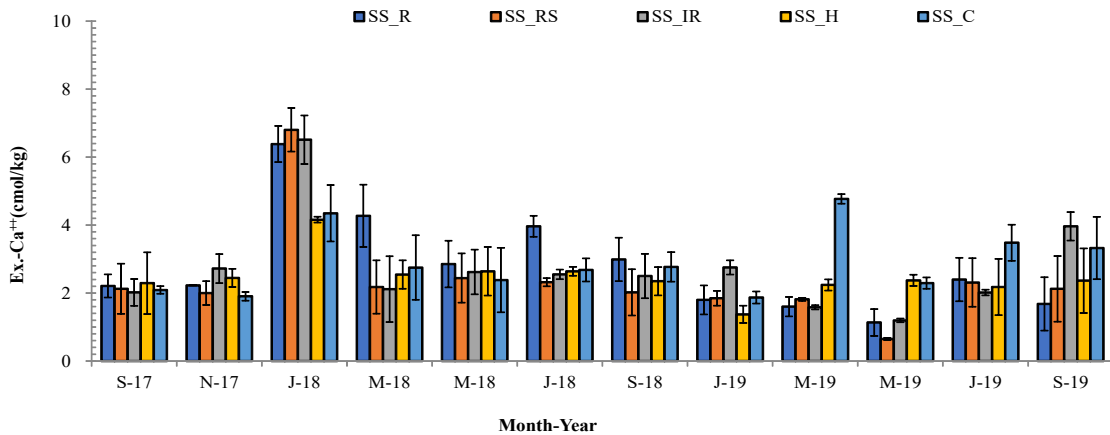
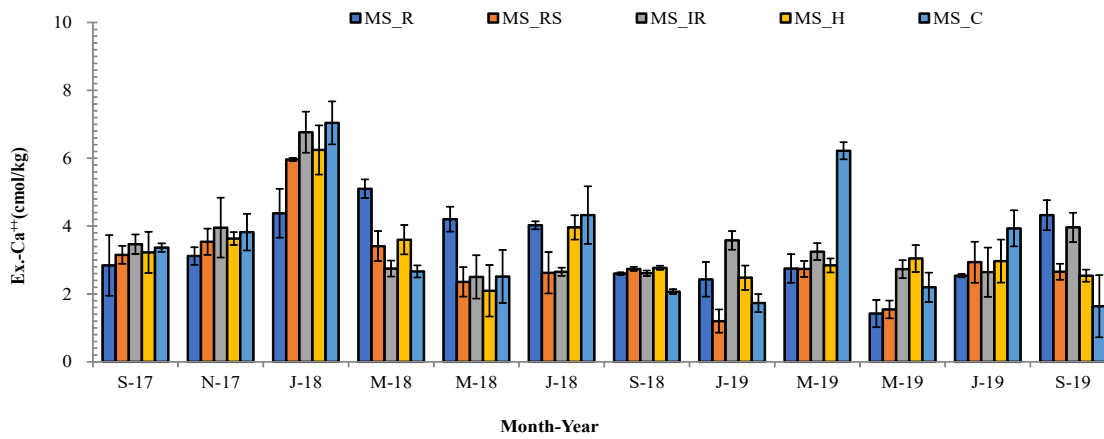
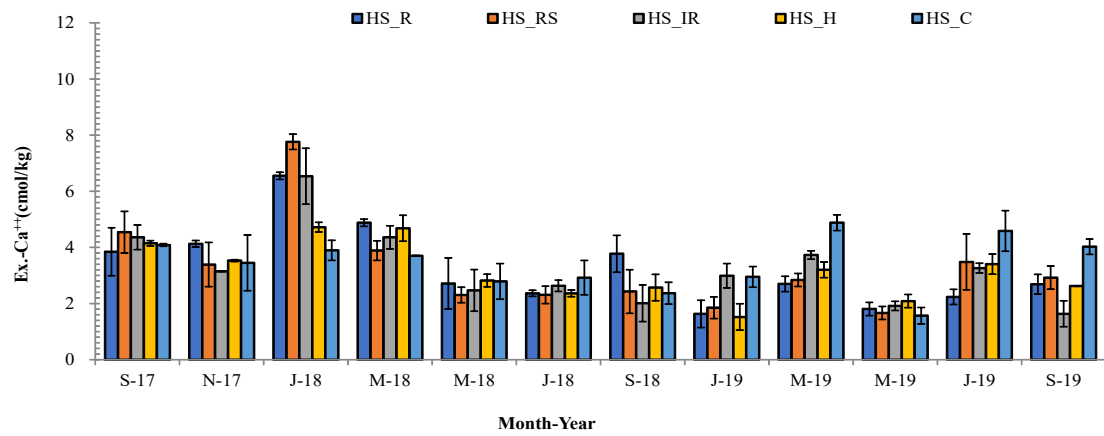
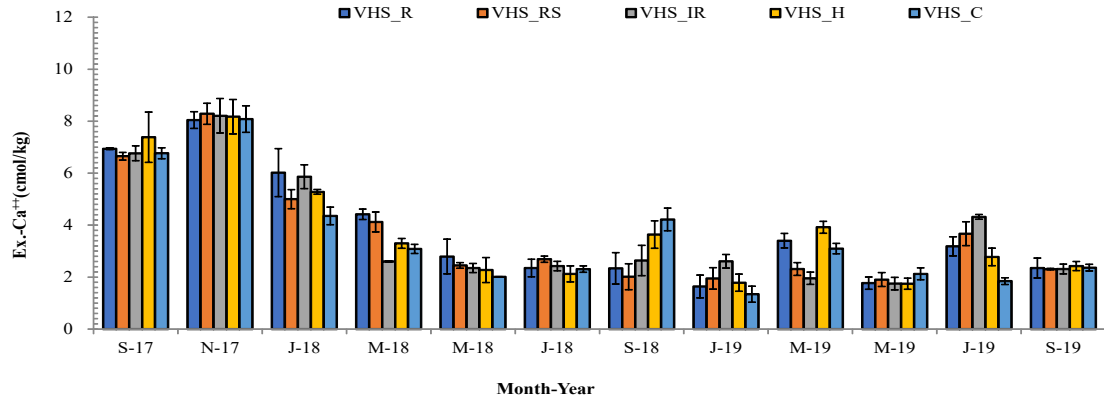
위와 동일한 조건으로 처리 및 토양 EC 변화를 분석하였다. 이후, 유기물 자원 처리 2.5년이 경과한 시점에서 자원 종류별 큰 변화가 나타나지 않았고, 시간이 지남에 따라 토양 치환성 칼슘이온(Ca^{2+})의 농도는 완만하게 감소하는 경향이 나타났다.



<그림 2-137> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Ca^{2+} 변화

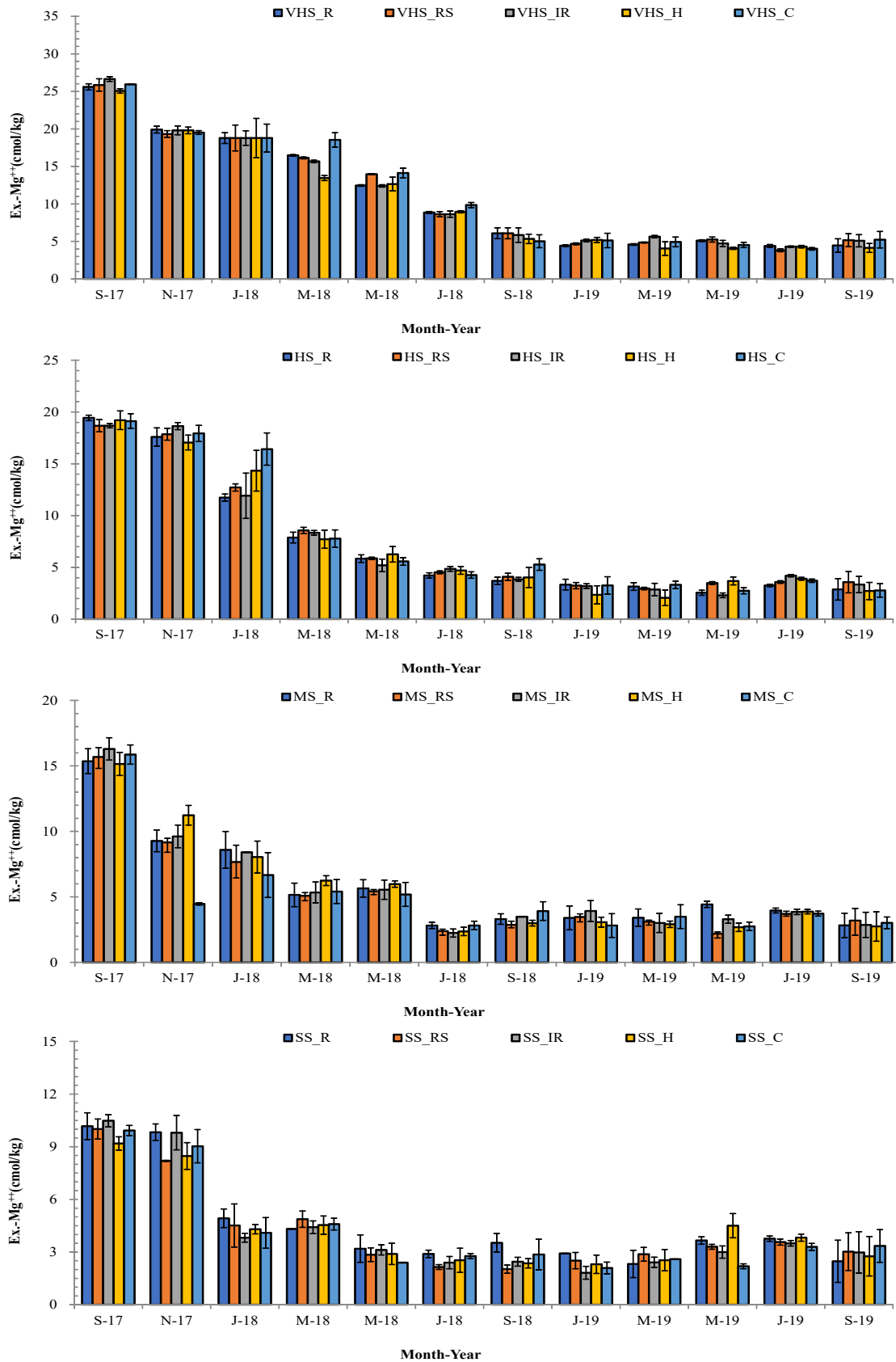


<그림 2-138> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Ca²⁺ 변화

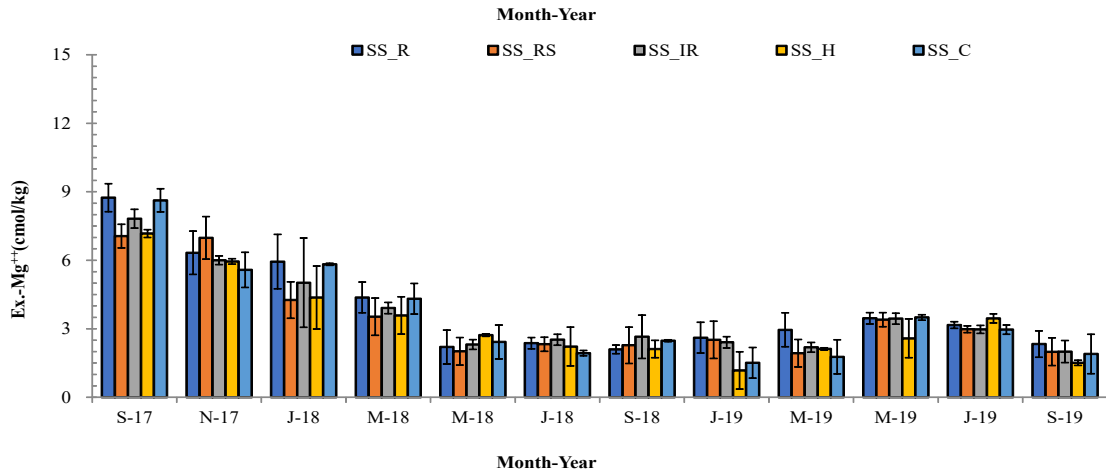
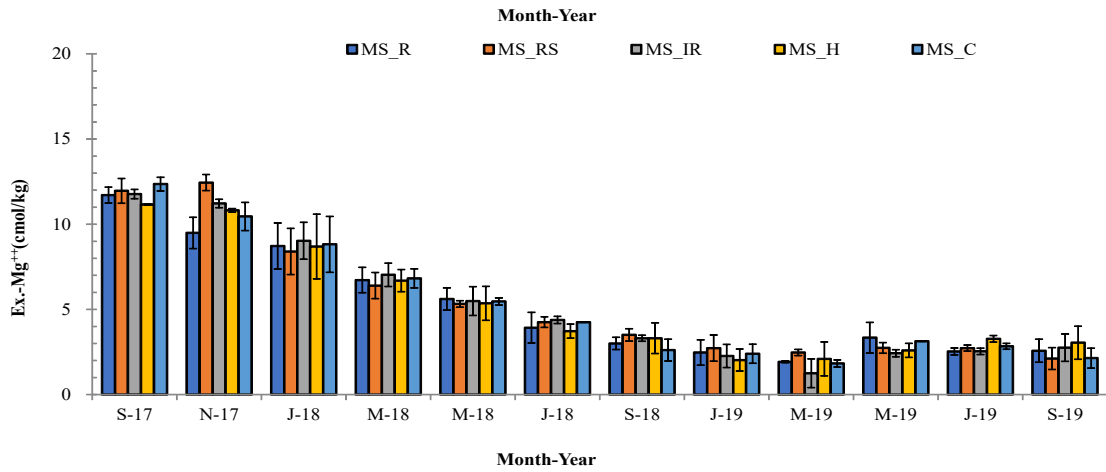
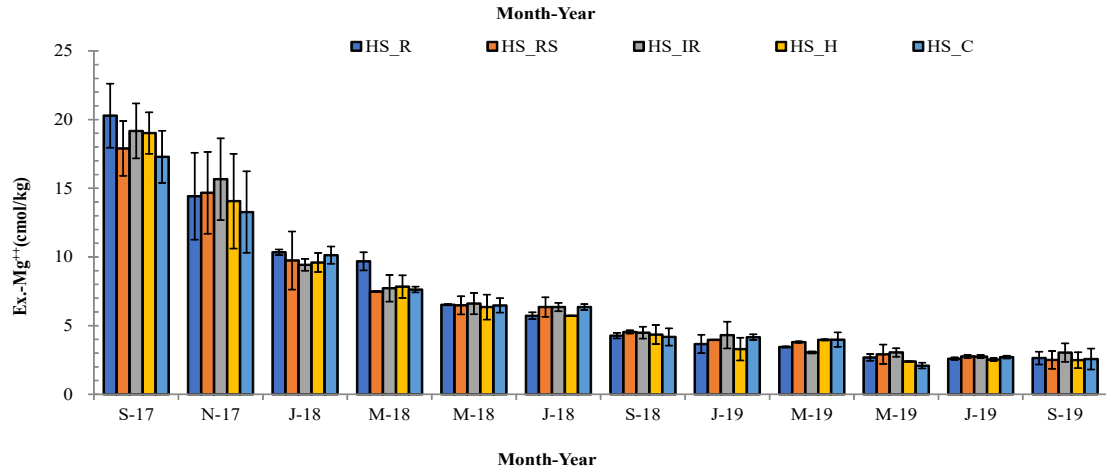
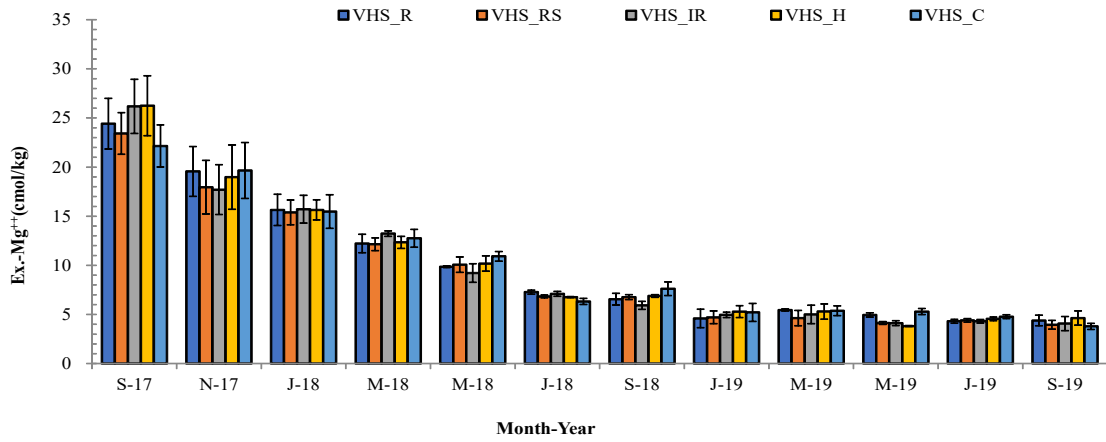


<그림 2-139> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Ca²⁺ 변화

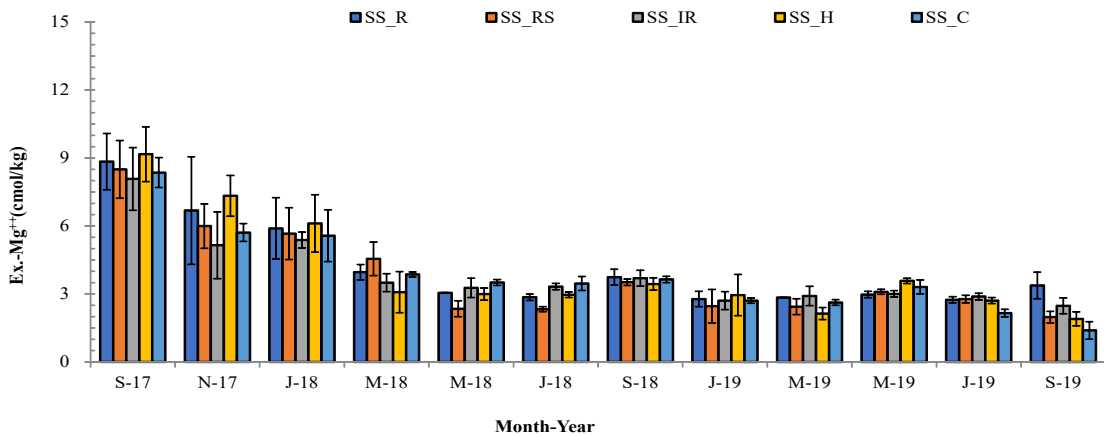
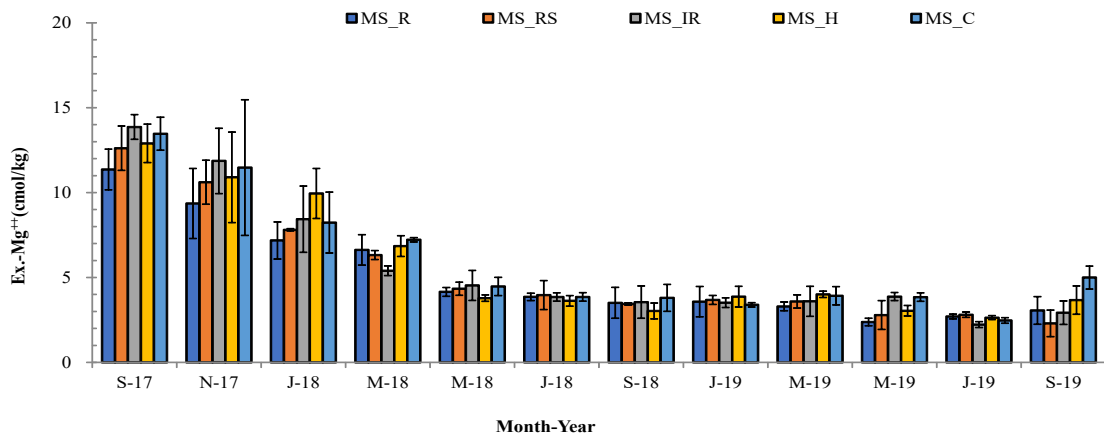
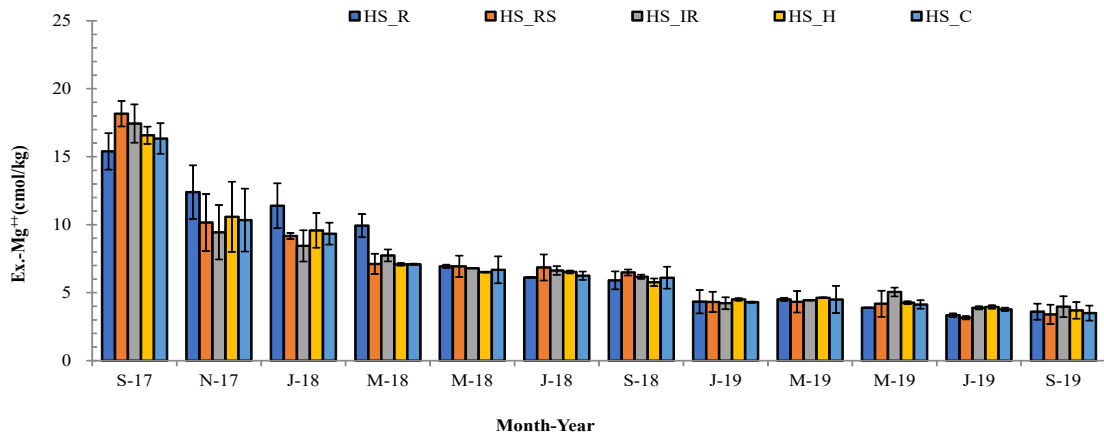
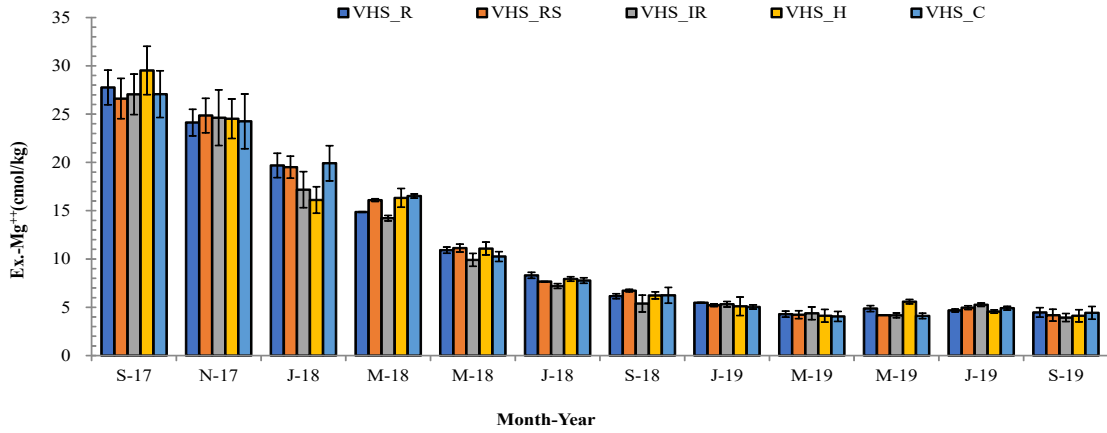
유기물 자원처리 2.5년이 경과한 시점에서 시간이 경과하면서 토양 중 치환성 마그네슘(Mg^{2+})의 농도는 초기에 급격하게 감소하는 경향이 나타났다.



<그림 2-140> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Mg^{2+} 변화

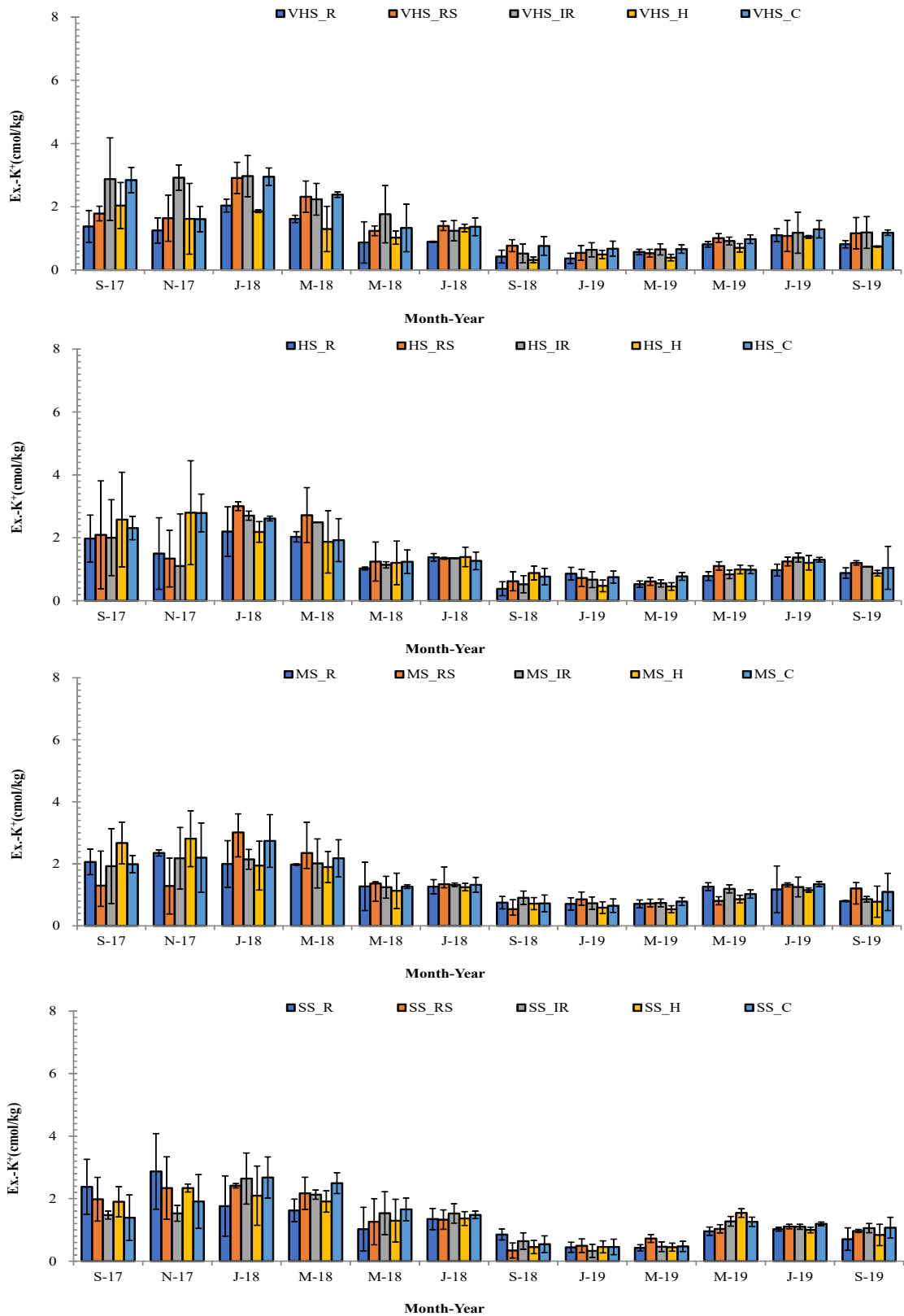


<그림 2-141> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Mg²⁺ 변화

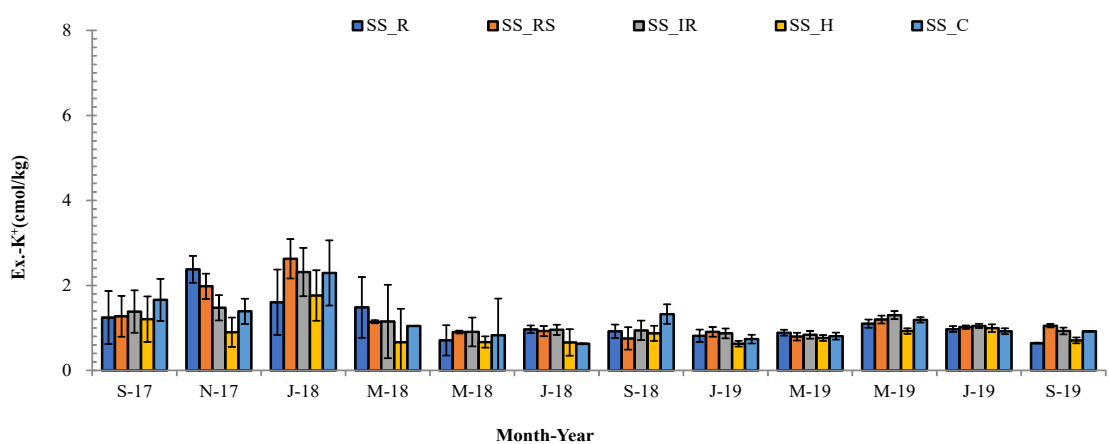
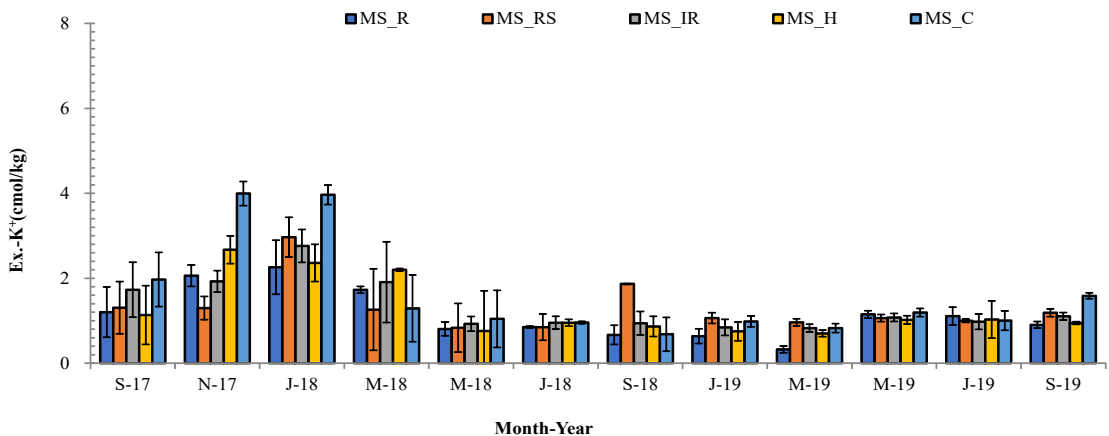
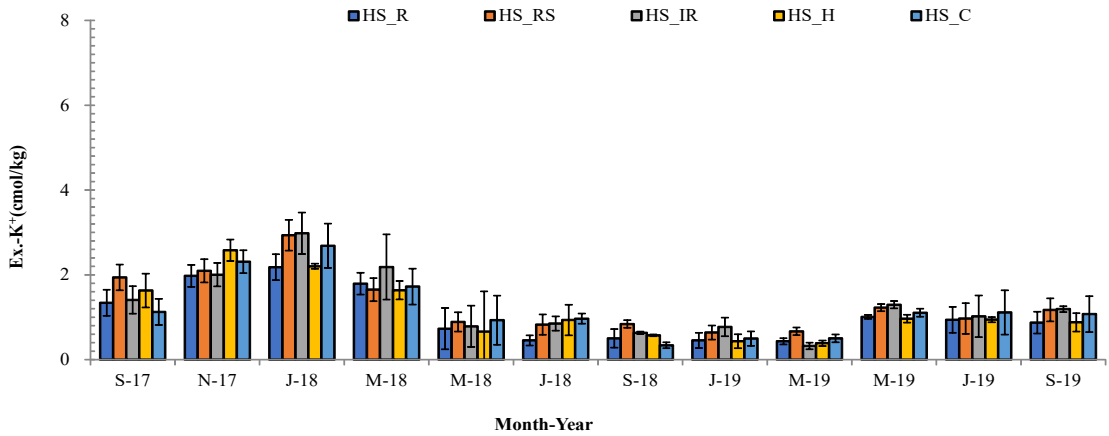
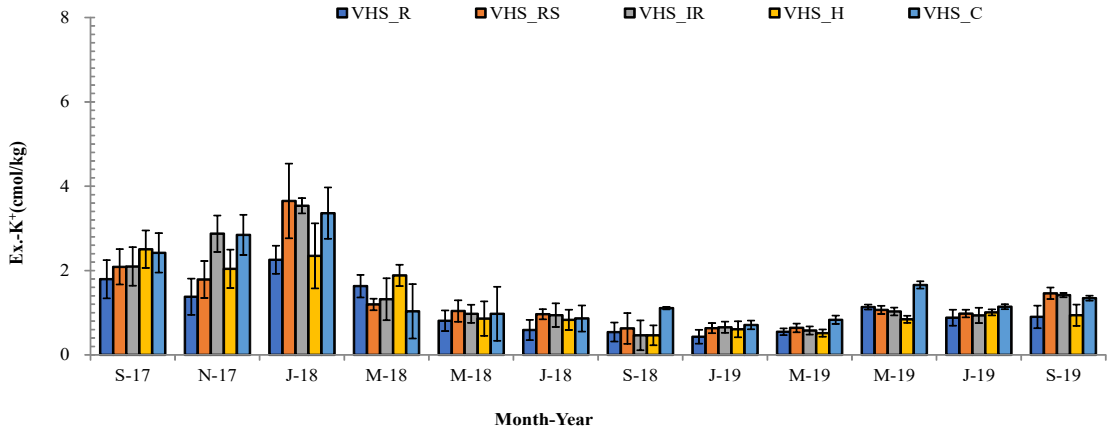


<그림 2-142> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Mg²⁺ 변화

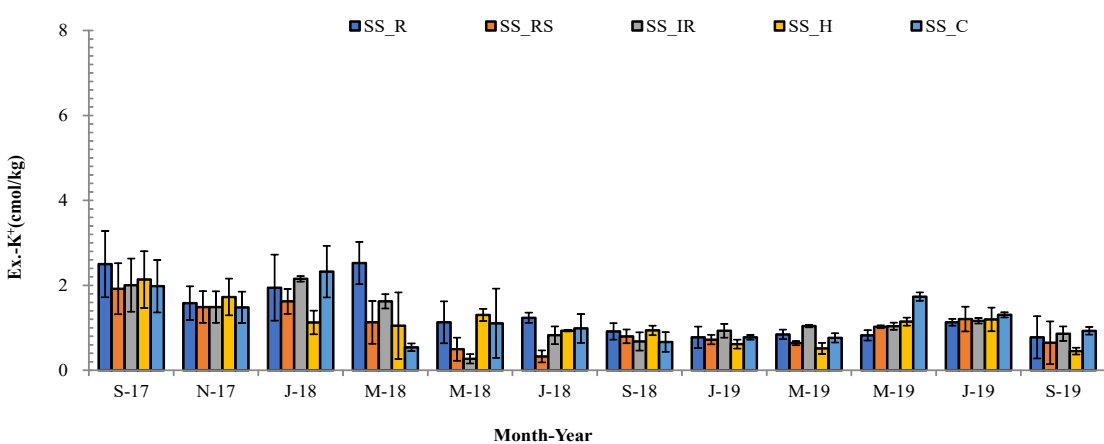
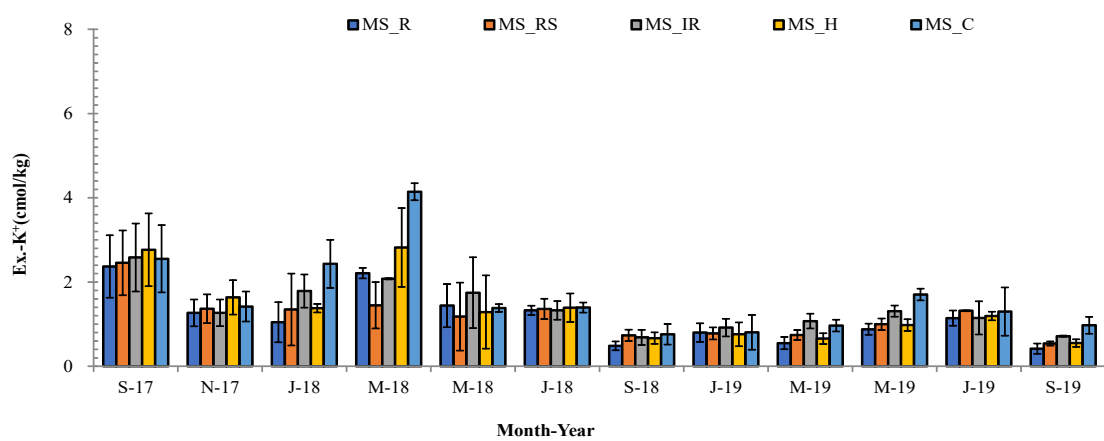
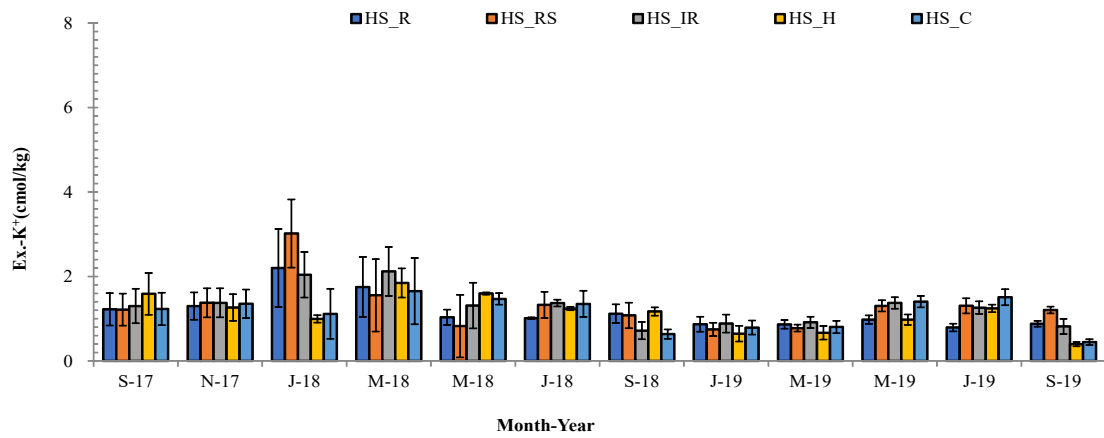
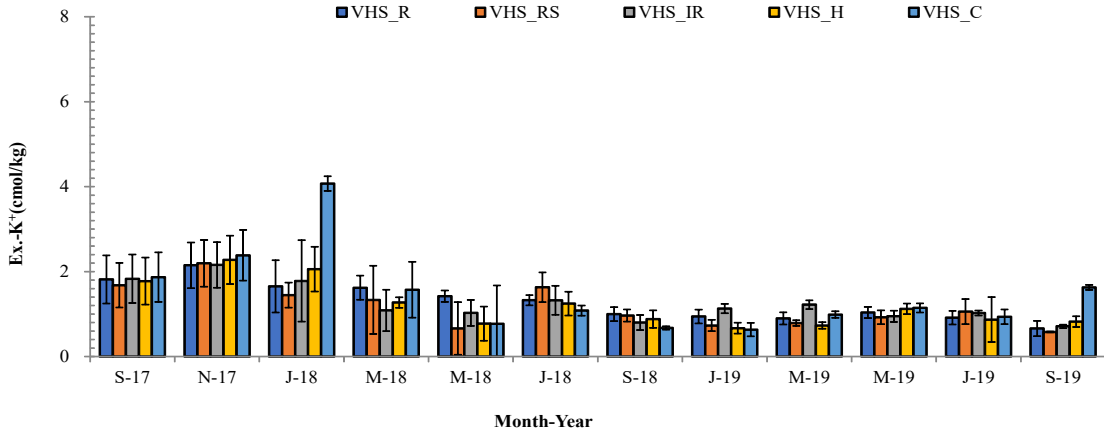
유기물 자원처리 2.5년이 경과한 시점에서 경과한 지점에서 유기물 자원의 종류별로 큰 차이를 나타내지 않고, 시간이 경과하면서 토양 중 치환성 칼리(K⁺)의 농도는 완만하게 감소하는 경향이 나타났다.



<그림 2-143> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 K⁺ 변화

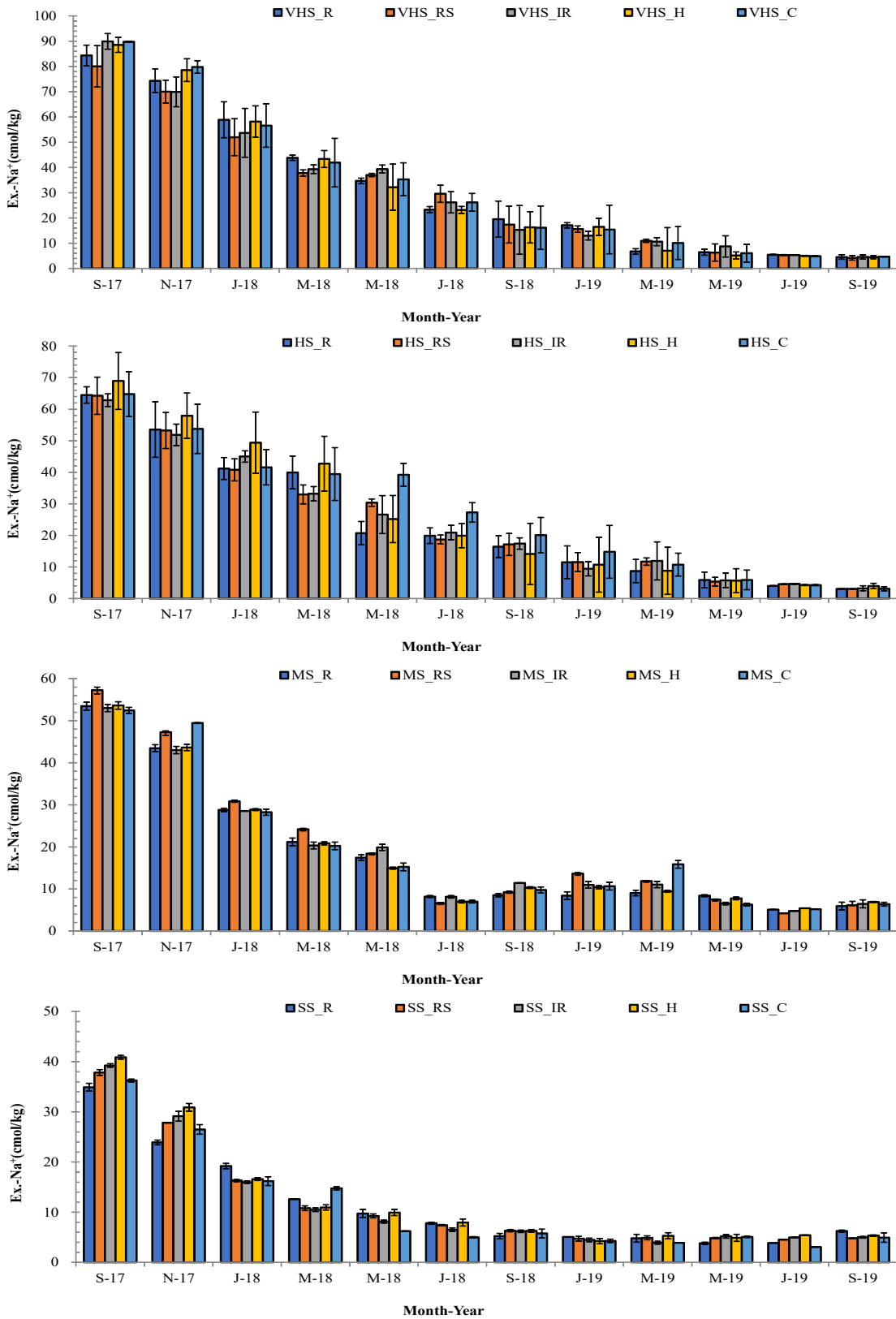


<그림 2-144> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 K⁺ 변화

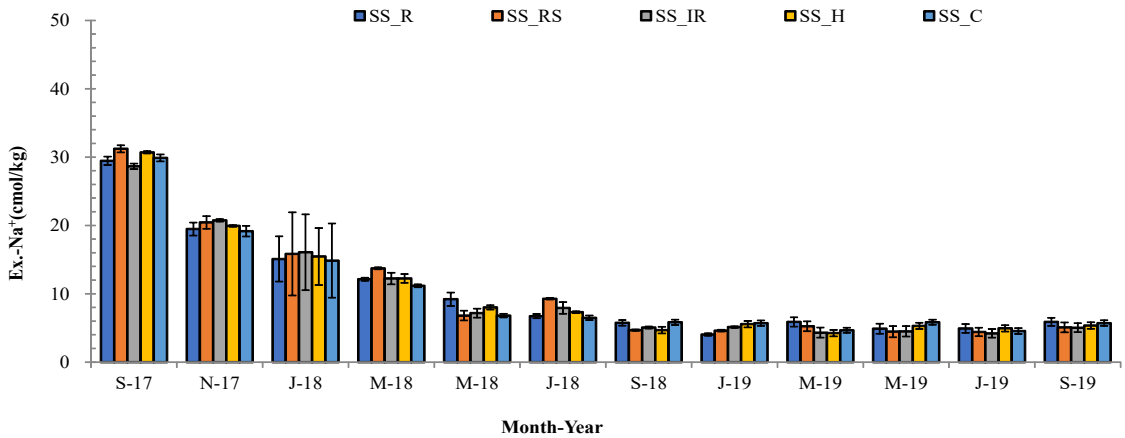
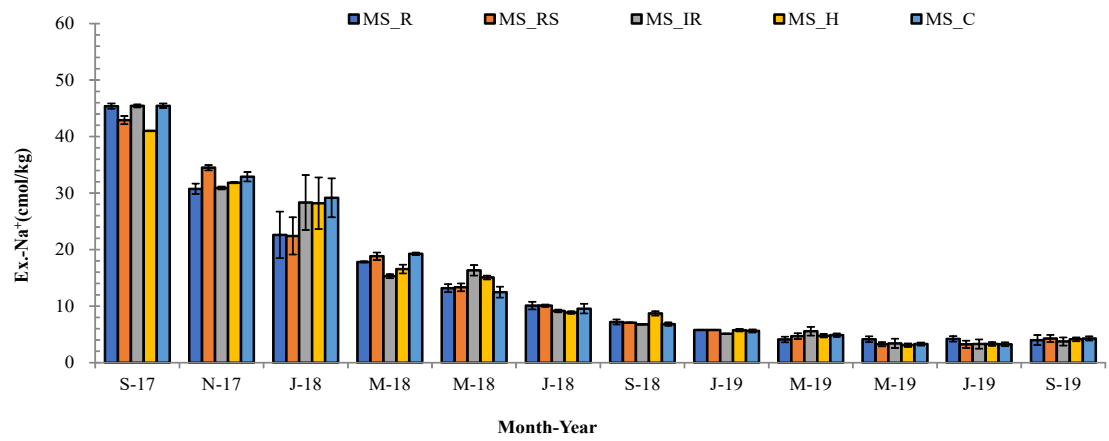
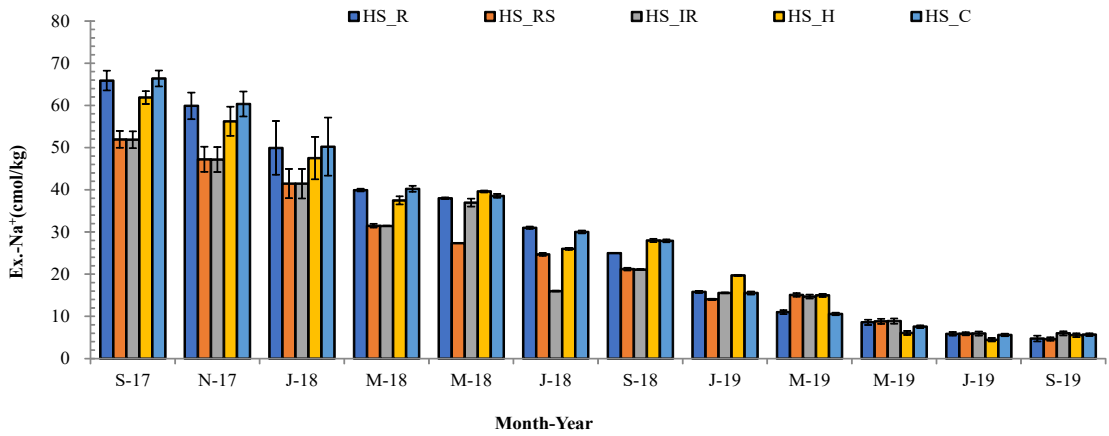
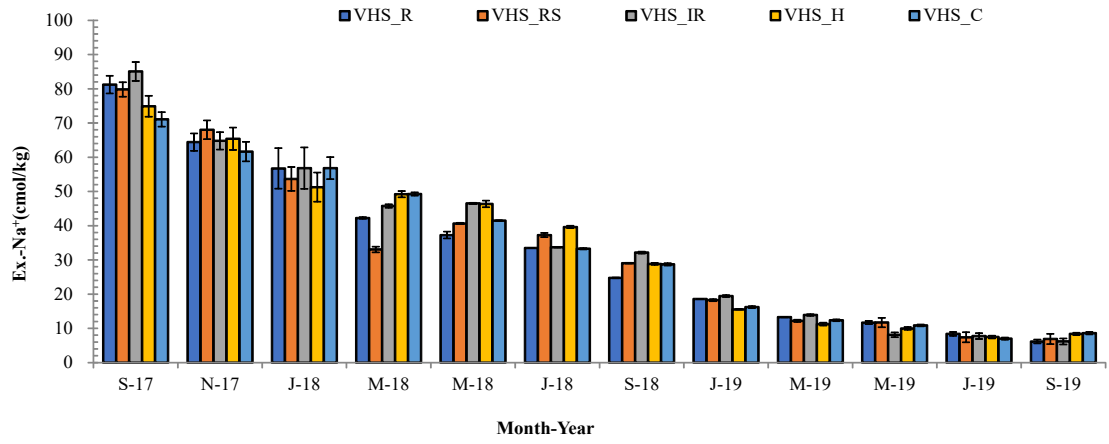


<그림 2-145> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 K⁺ 변화

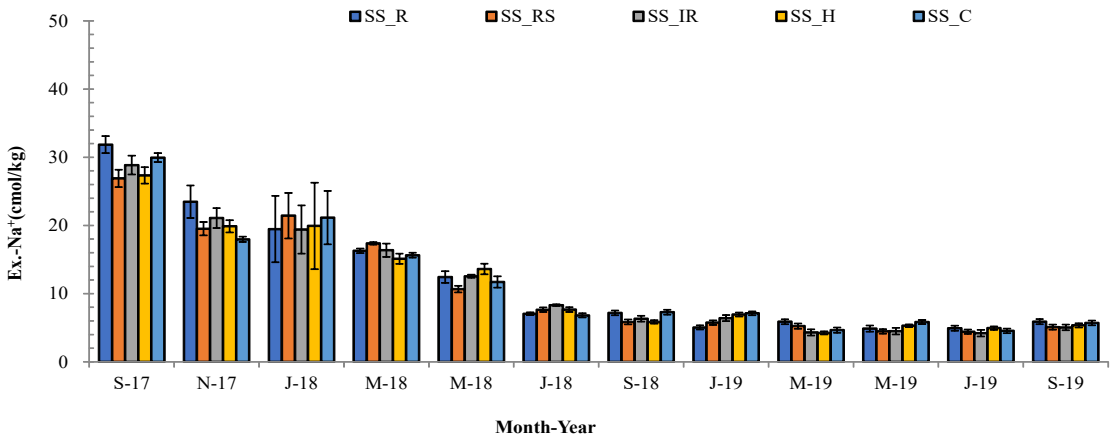
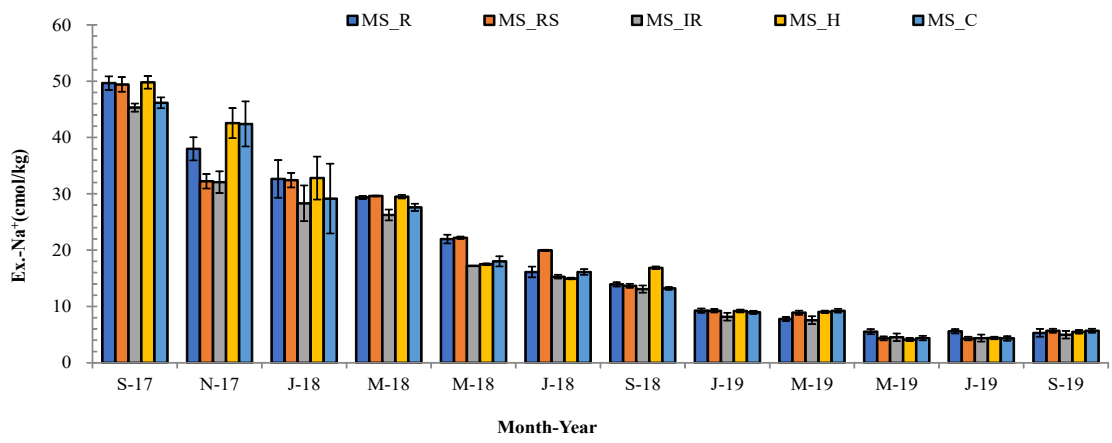
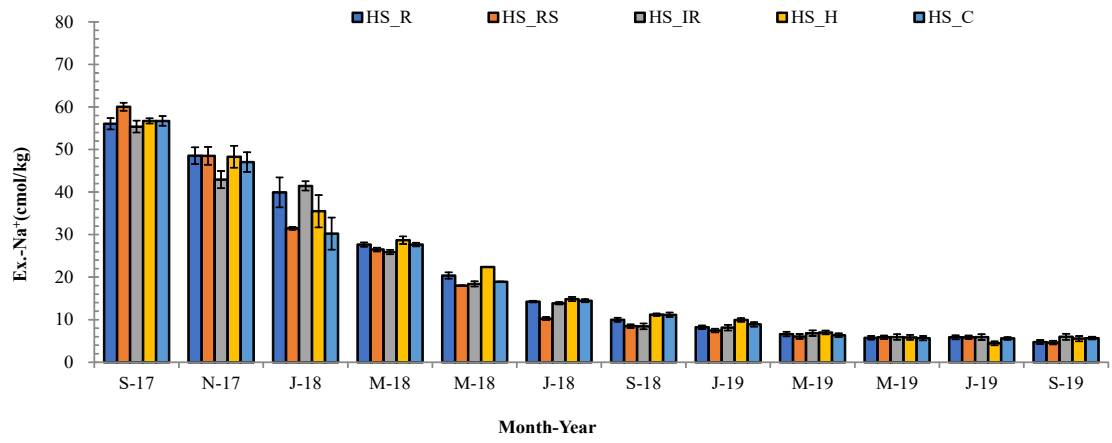
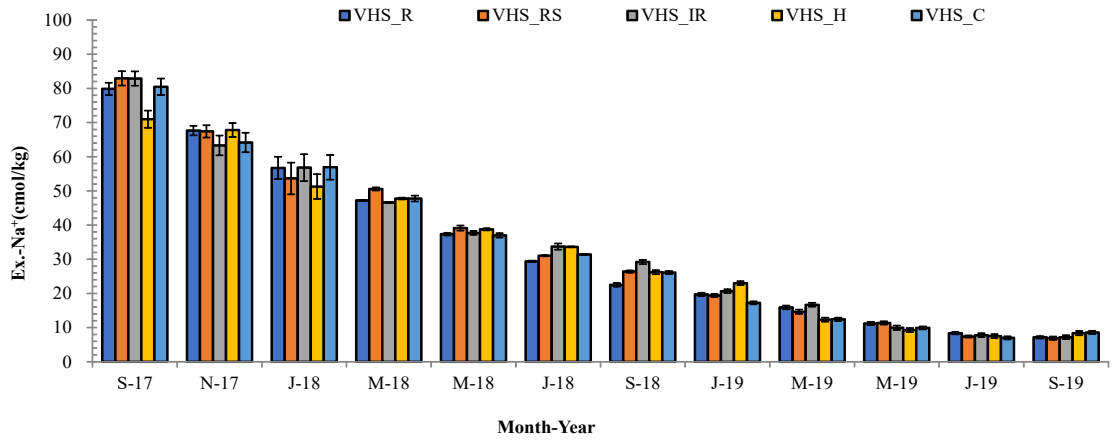
유기물 자원처리 2.5년이 경과한 시점에서 경과한 지점에서 유기물 자원의 종류별로 큰 차이를 나타나지 않았고, 토양 치환성 나트륨(Na^+)의 농도는 초기에 급격하게 감소하였다.



<그림 2-146> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Na^+ 변화



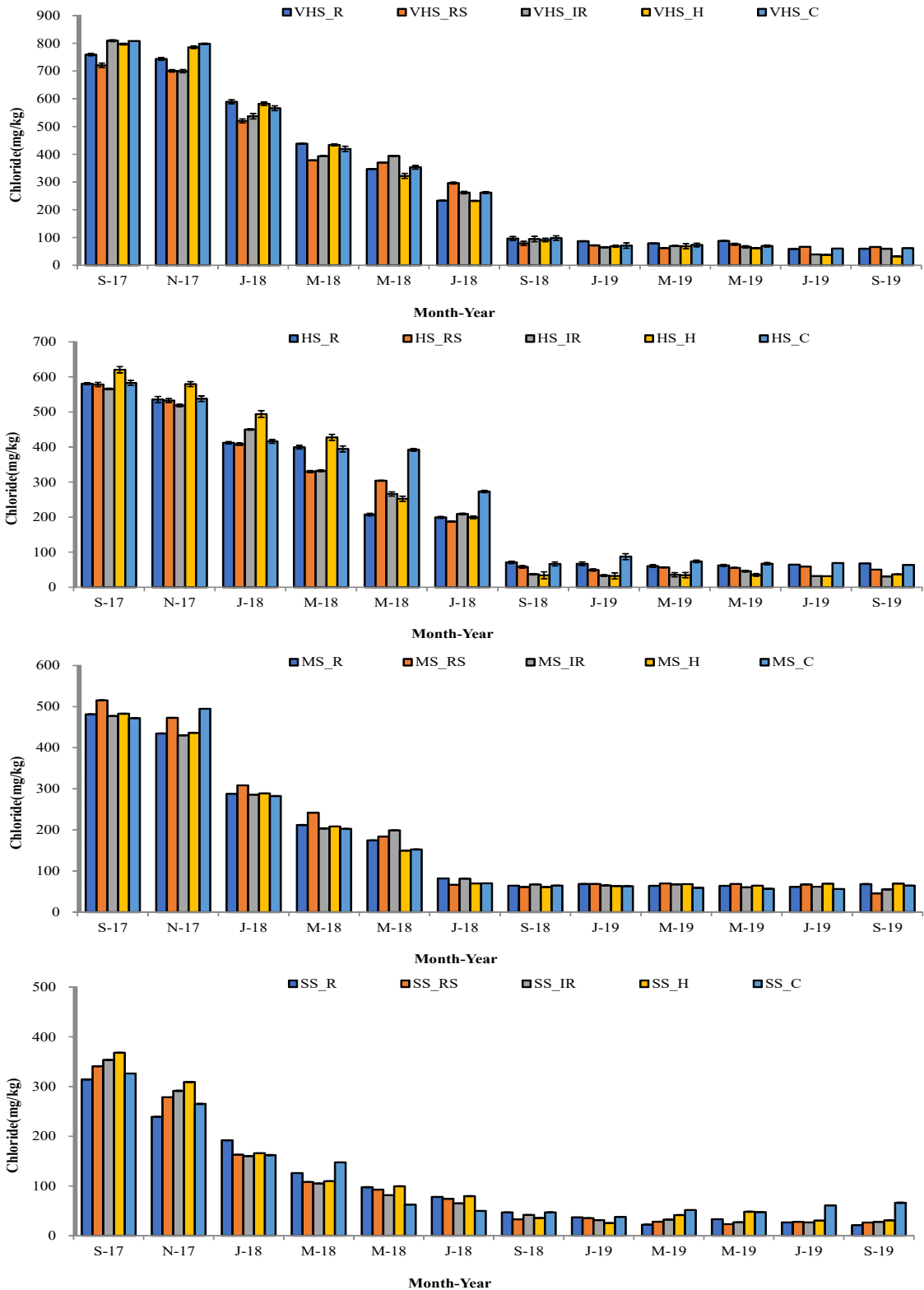
<그림 2-147> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Na⁺ 변화



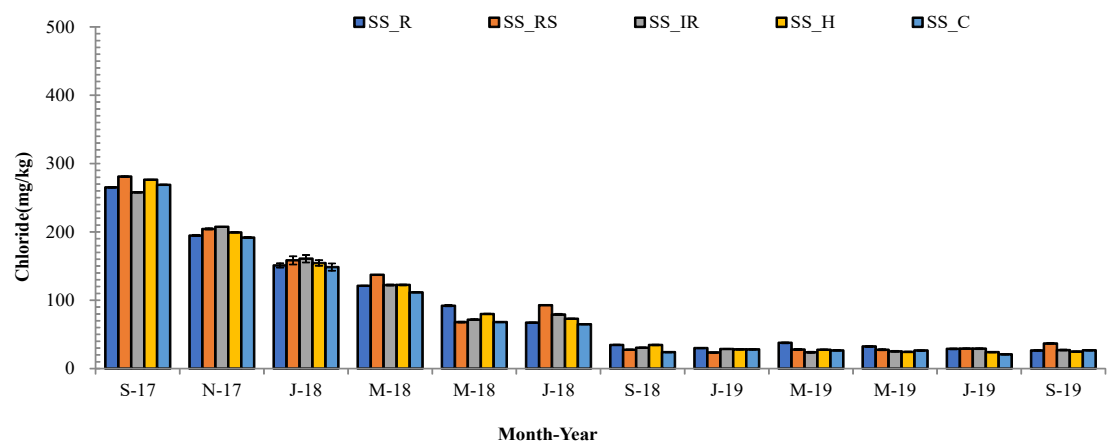
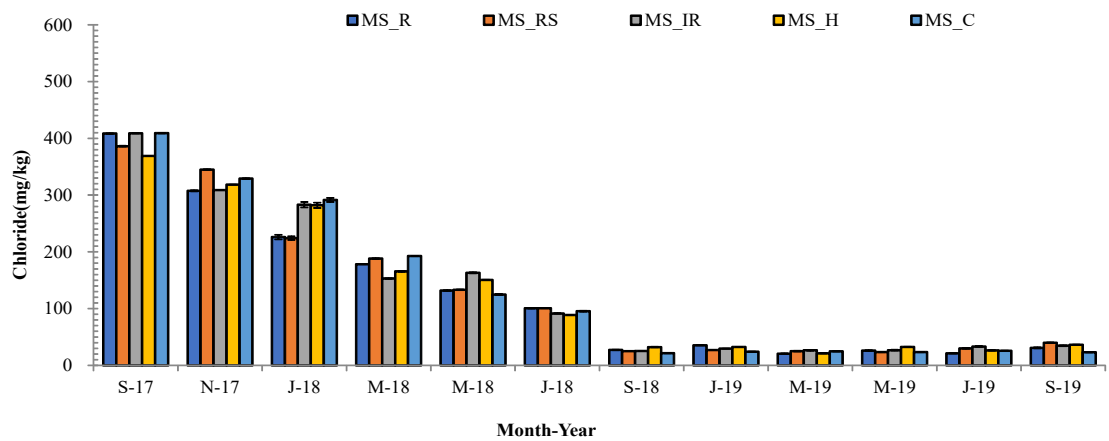
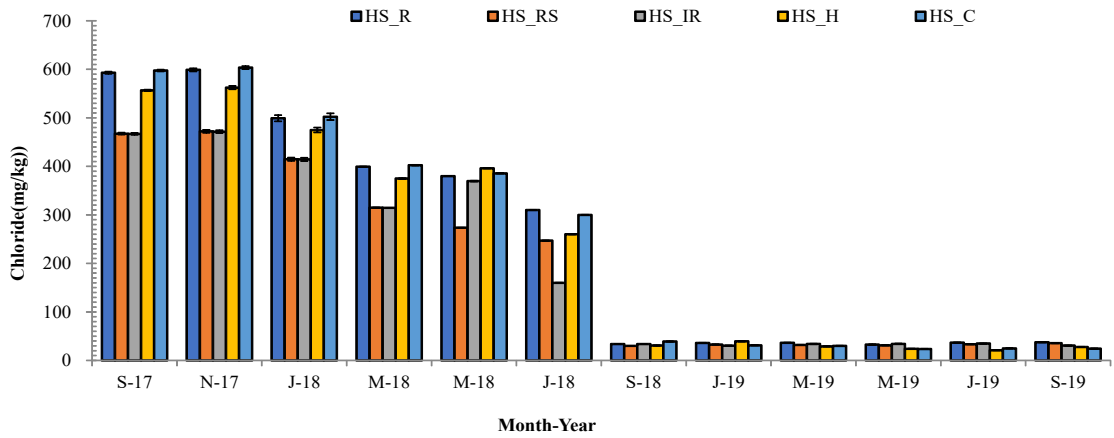
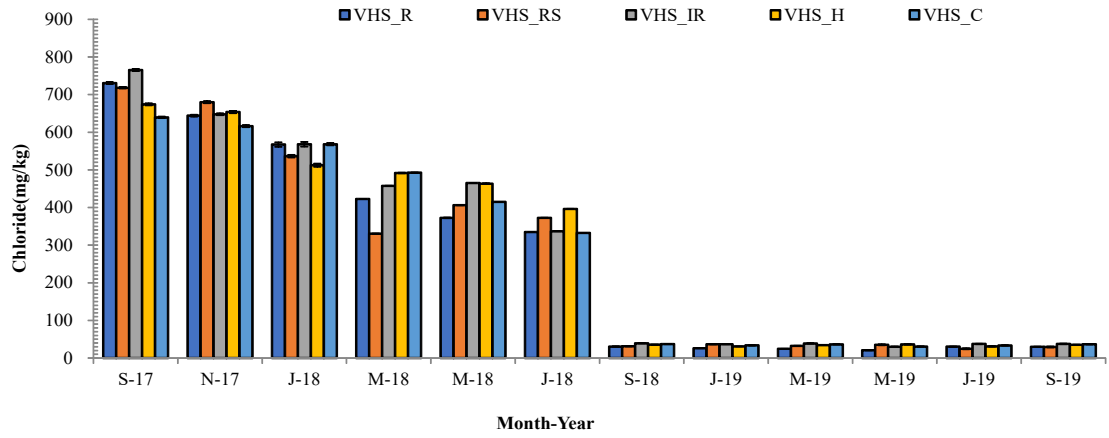
<그림 2-148> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Na⁺ 변화

(라) 토양 치환성 음이온 변화

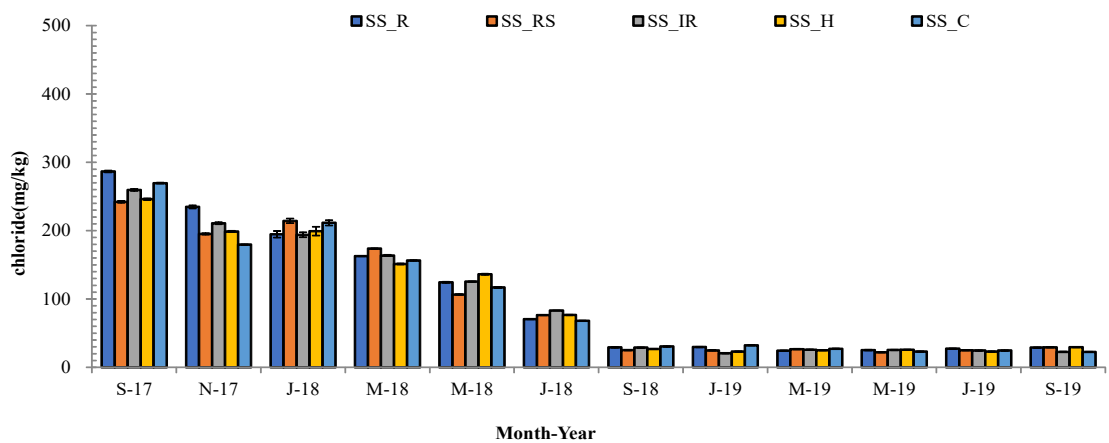
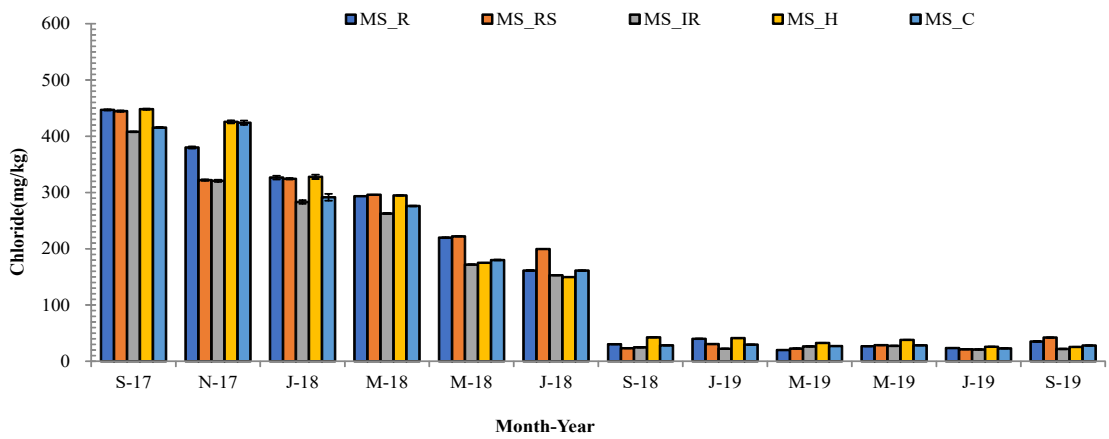
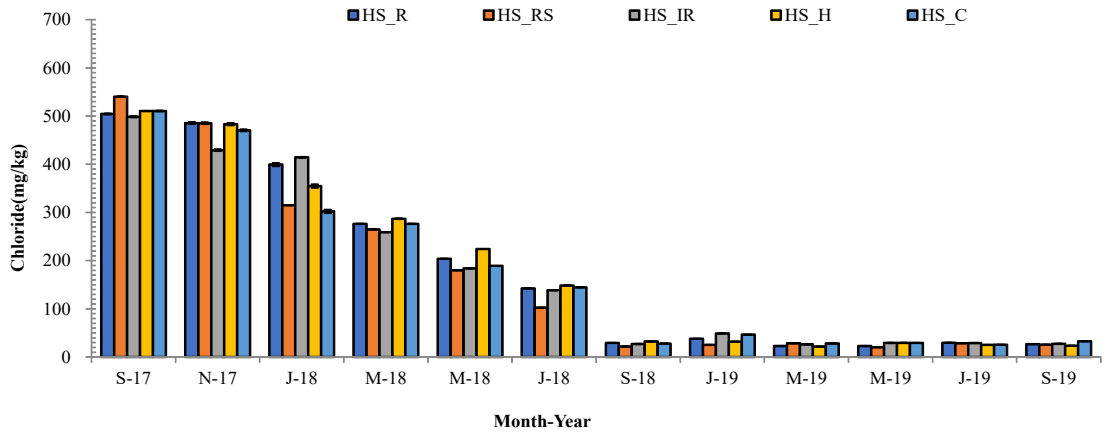
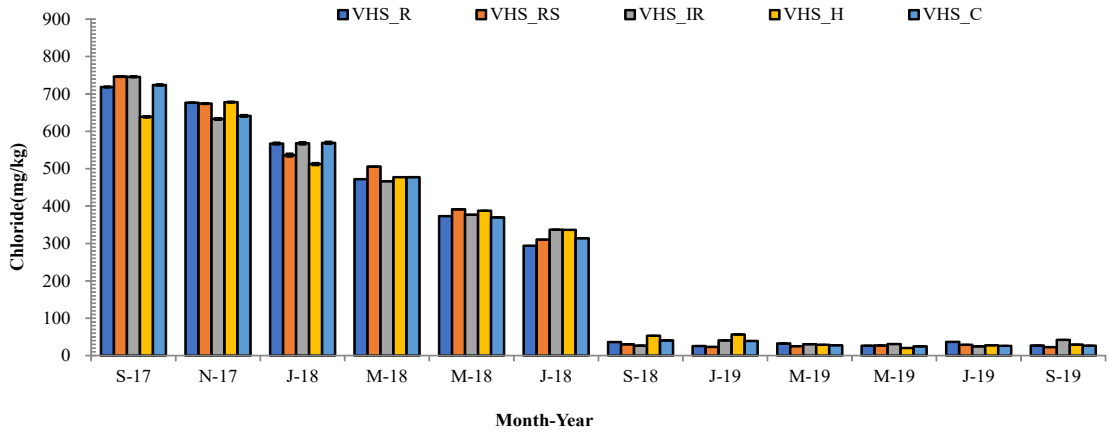
동일한 조건으로 처리한 후 토양의 EC 변화를 조사한 결과, 처리 후 2.5년이 경과한 지점에서 토양 염소이온(Cl⁻)의 농도는 초기에 큰 폭으로 감소한 후 일정하게 유지하였으나, 유기물 자원의 종류별로는 큰 차이를 나타나지 않았다.



<그림 2-149> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Cl⁻ 변화

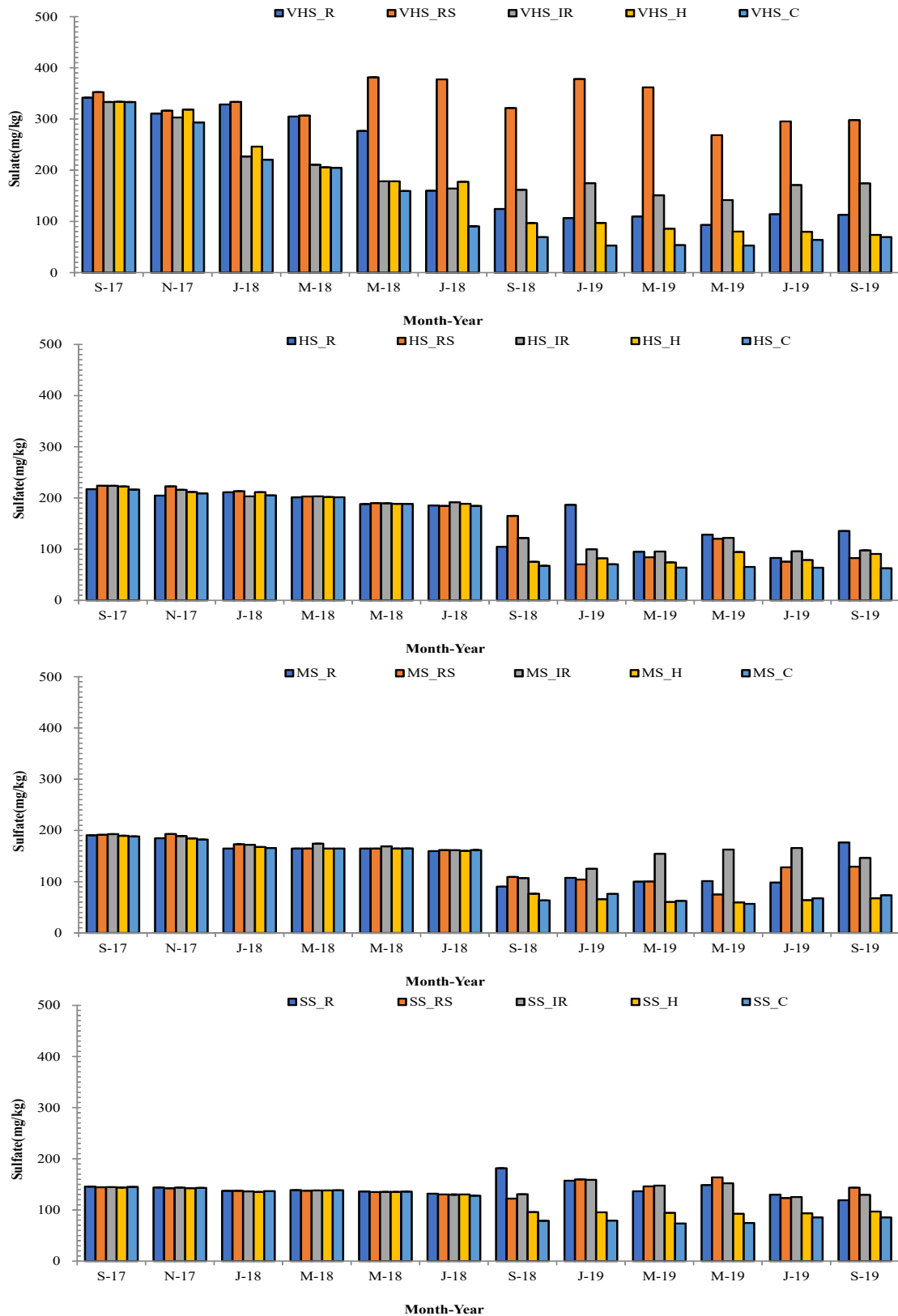


<그림 2-150> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Cl⁻ 변화

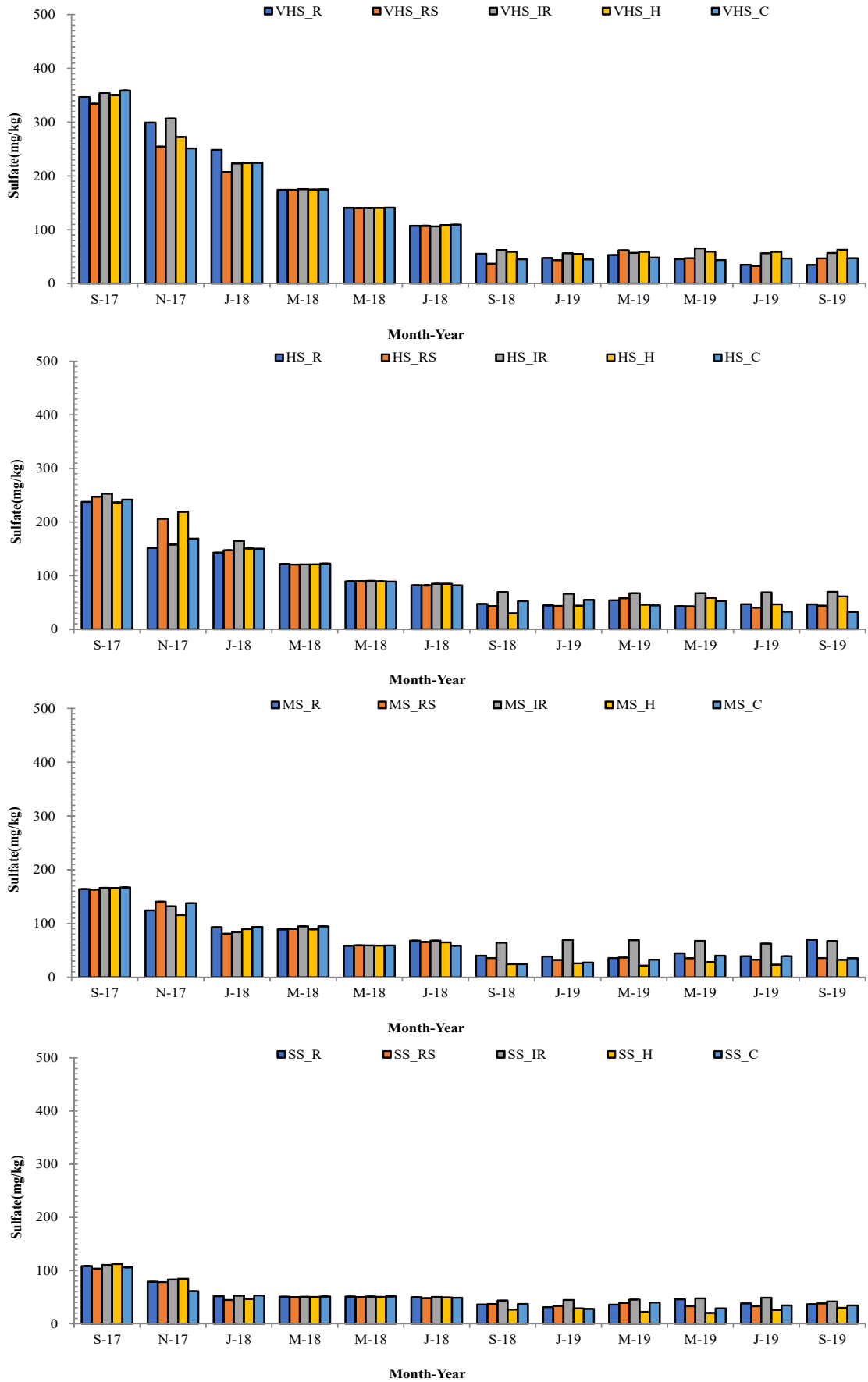


<그림 2-151> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 Cl⁻ 변화

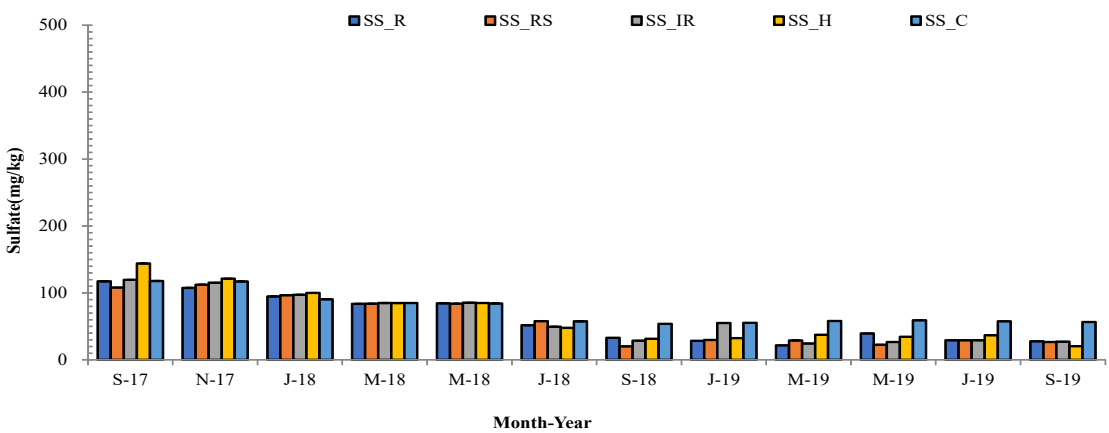
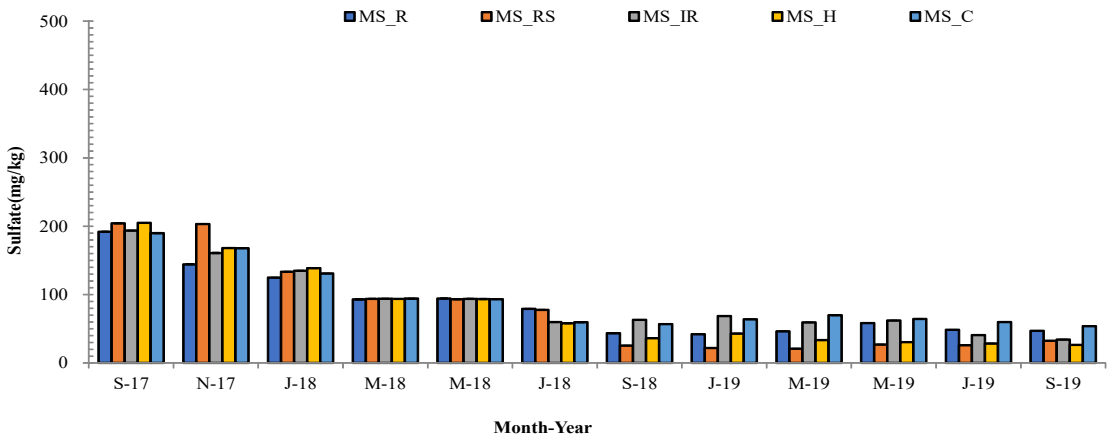
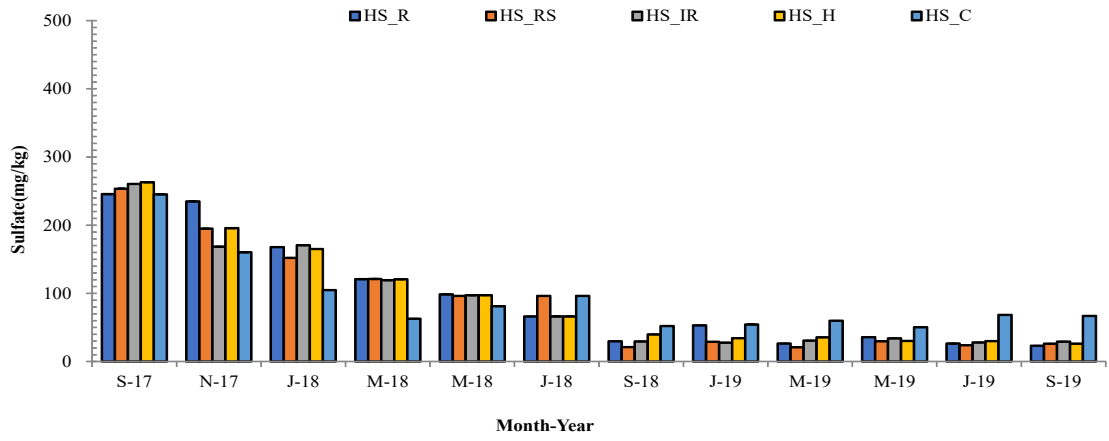
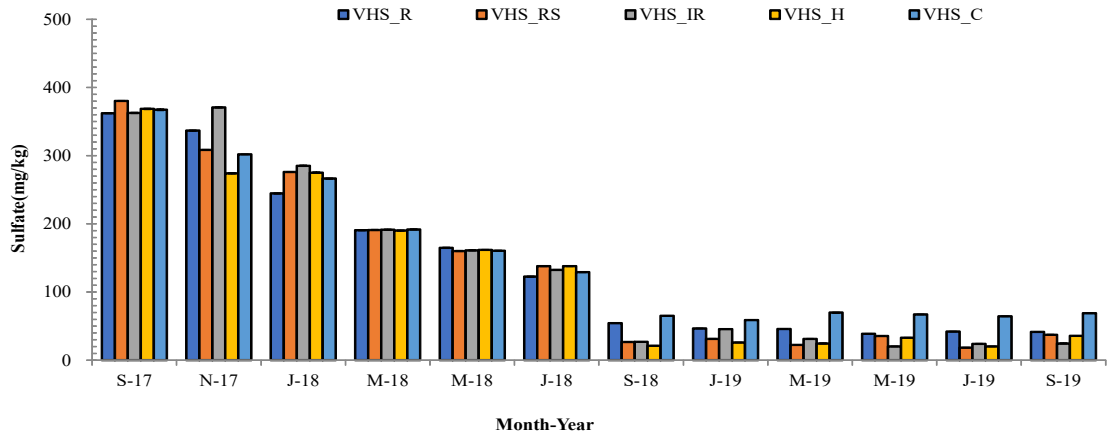
동일한 조건으로 처리 및 토양의 EC 변화를 조사한 결과, 처리 후 2.5년이 경과한 지점에서 토양 황산이온(SO_4^{2-})의 농도는 초기에 큰 폭으로 감소하였으나, 유기물 자원의 종류별로는 큰 차이를 나타나지 않았다.



<그림 2-152> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 SO_4^{2-} 변화



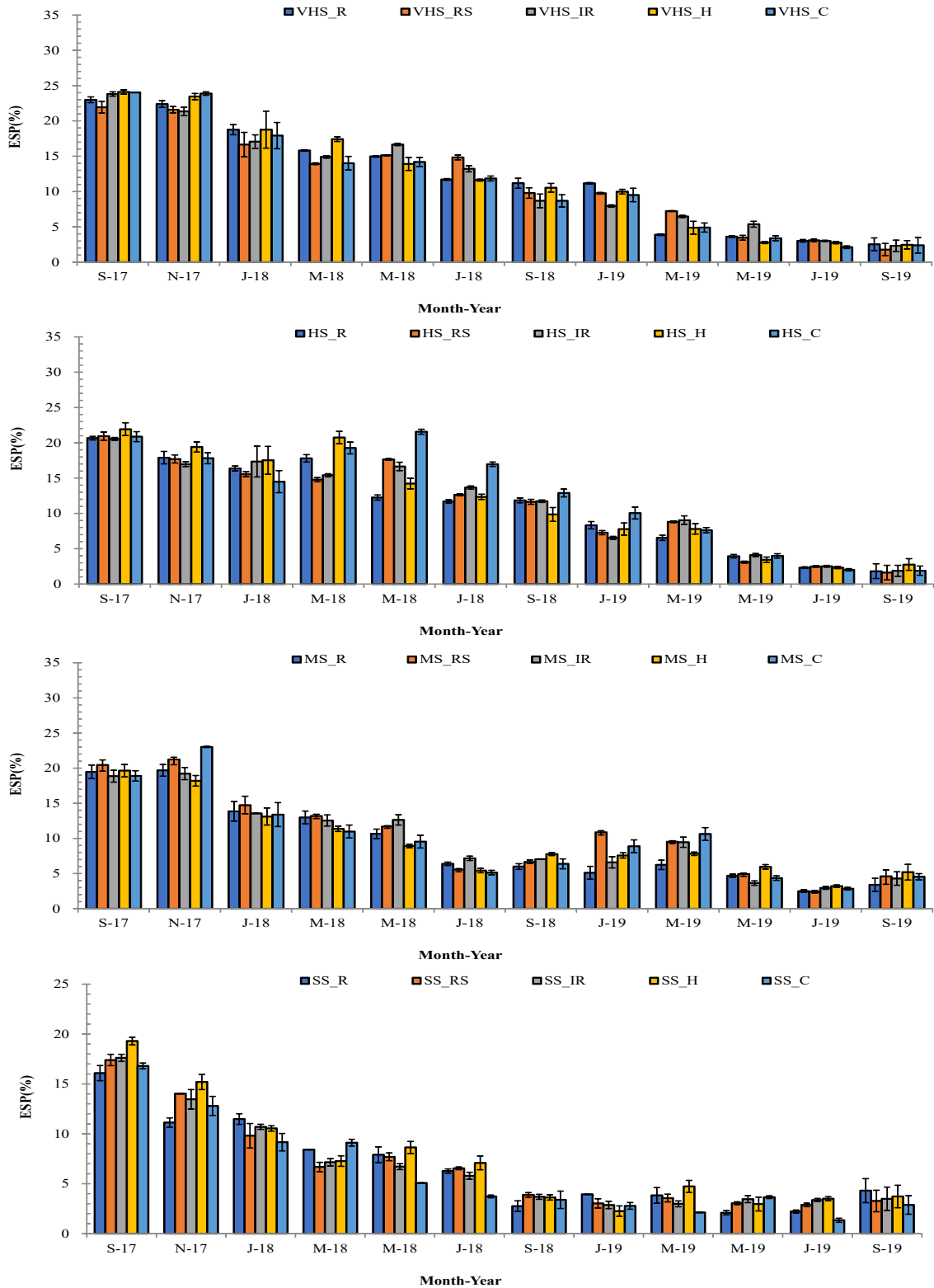
<그림 2-153> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 SO₄²⁻ 변화



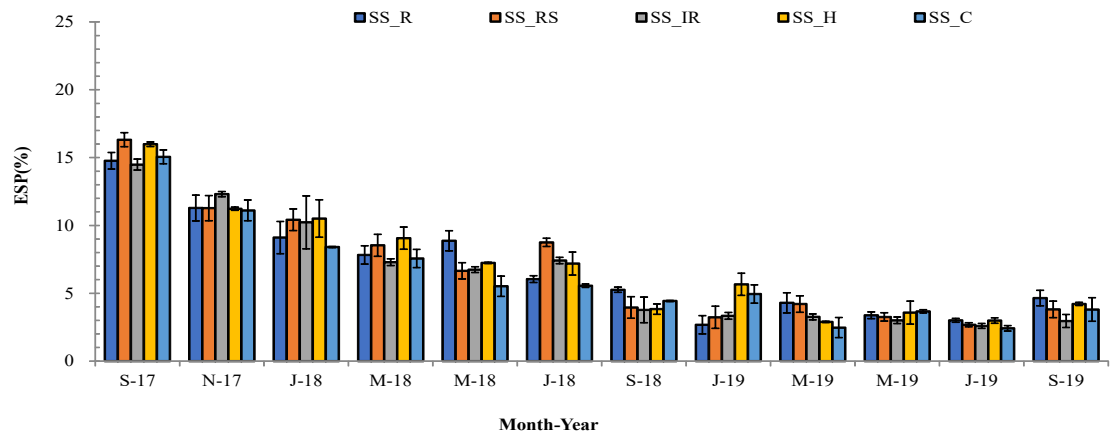
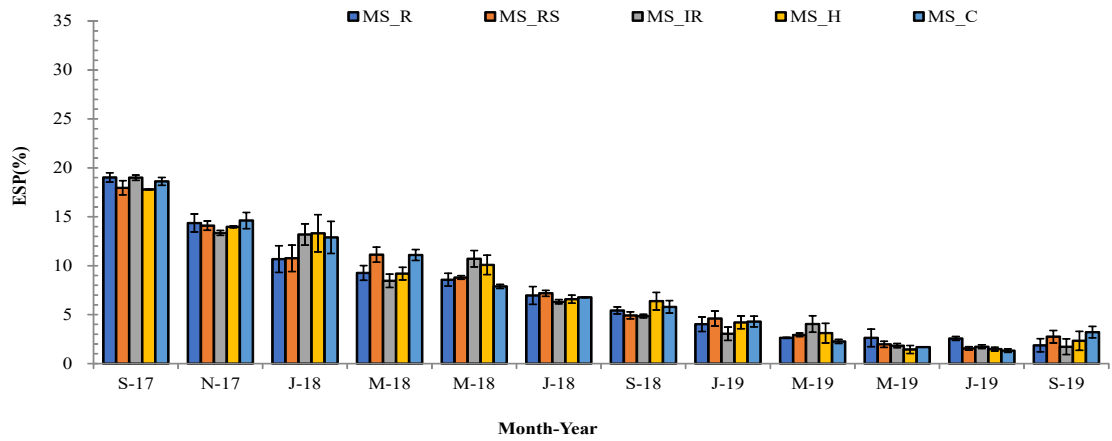
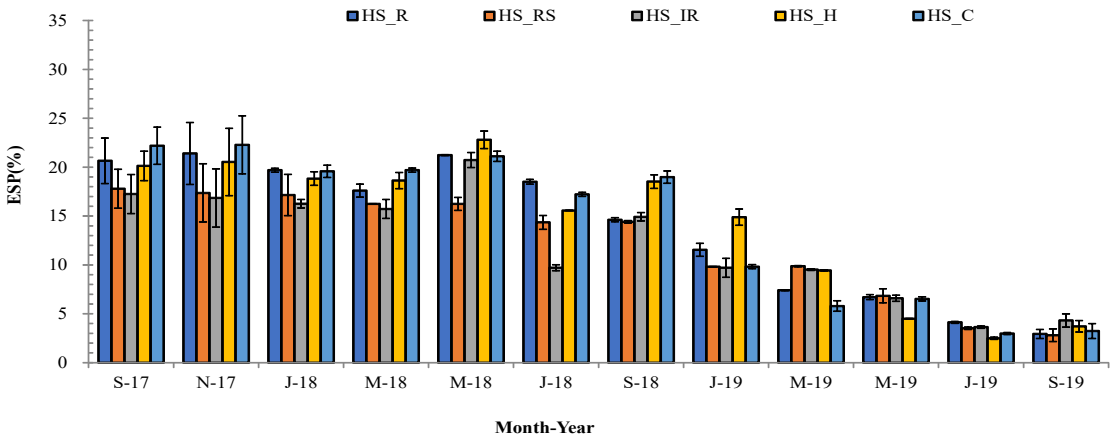
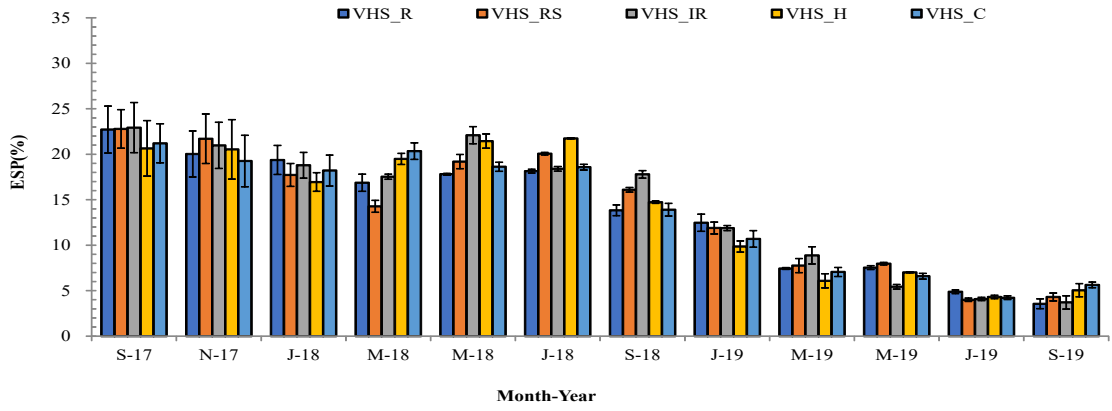
<그림 2-154> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 SO42- 변화

(마) 토양 ESP와 SAR 변화

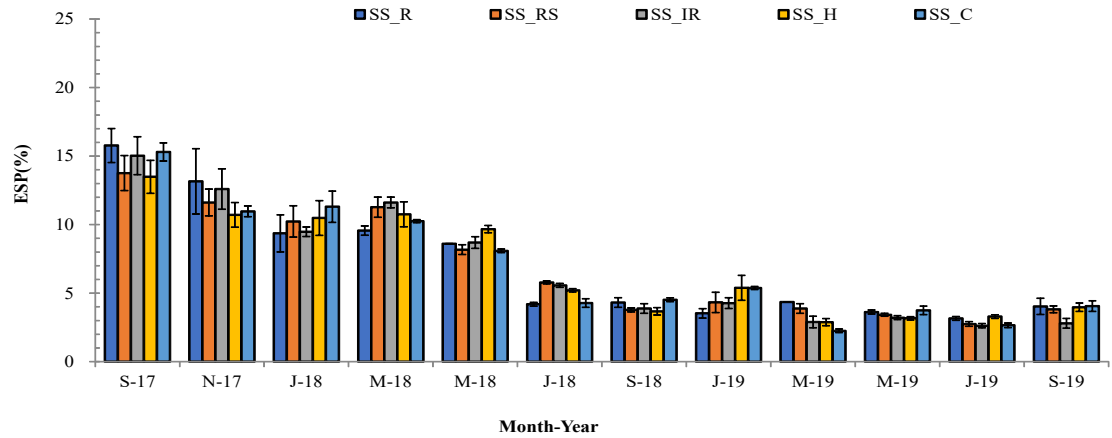
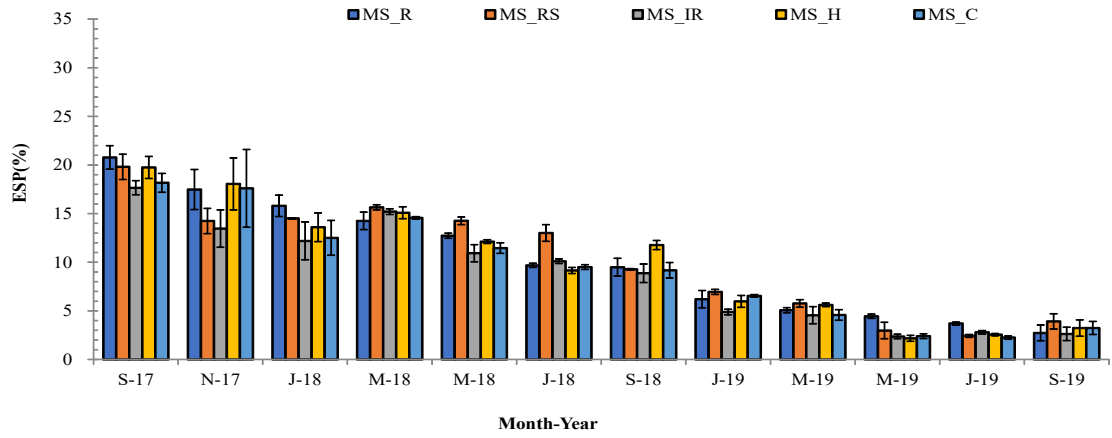
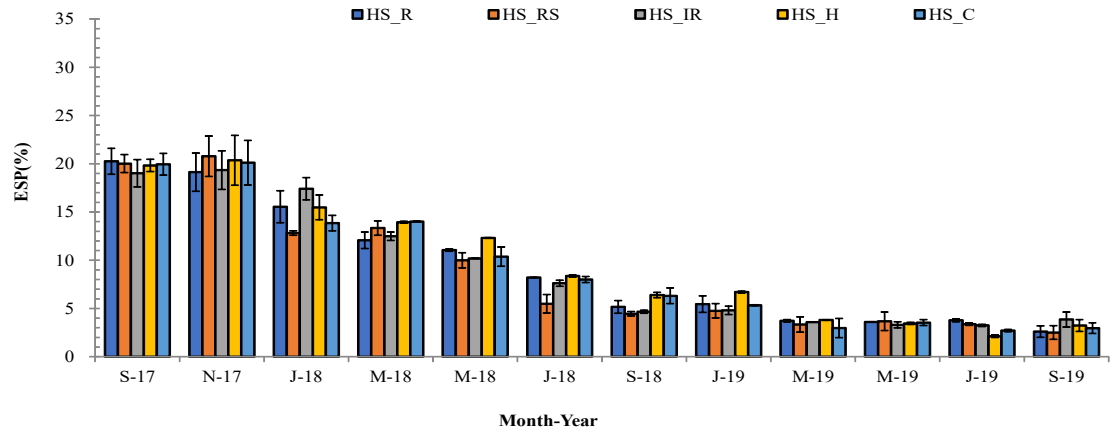
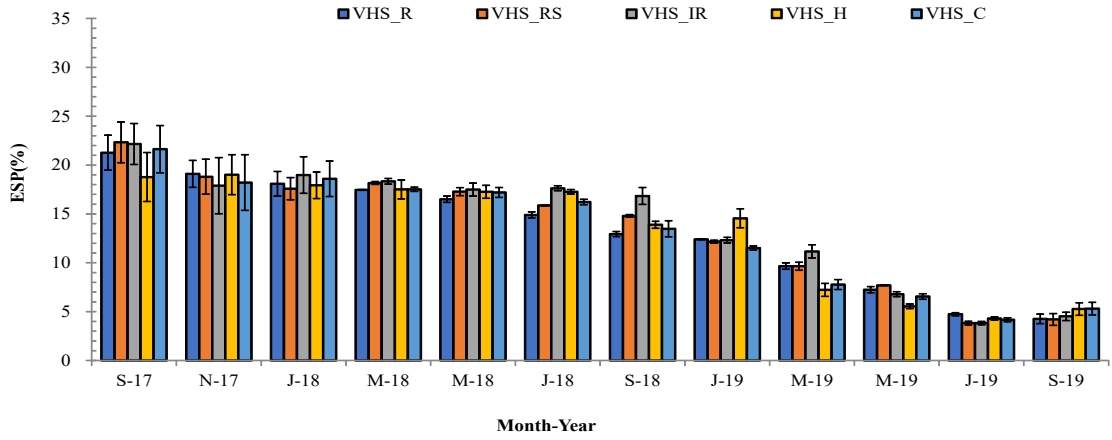
동일한 조건으로 처리한 후 토양의 ESP 변화를 조사한 결과, 처리 후 2.5년이 경과한 지점에서 ESP가 완만하게 감소하여 중염도~저염도 작물을 재배하는데 적합한 수준까지 도달한 것으로 나타났다.



<그림 2-155> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 ESP 변화

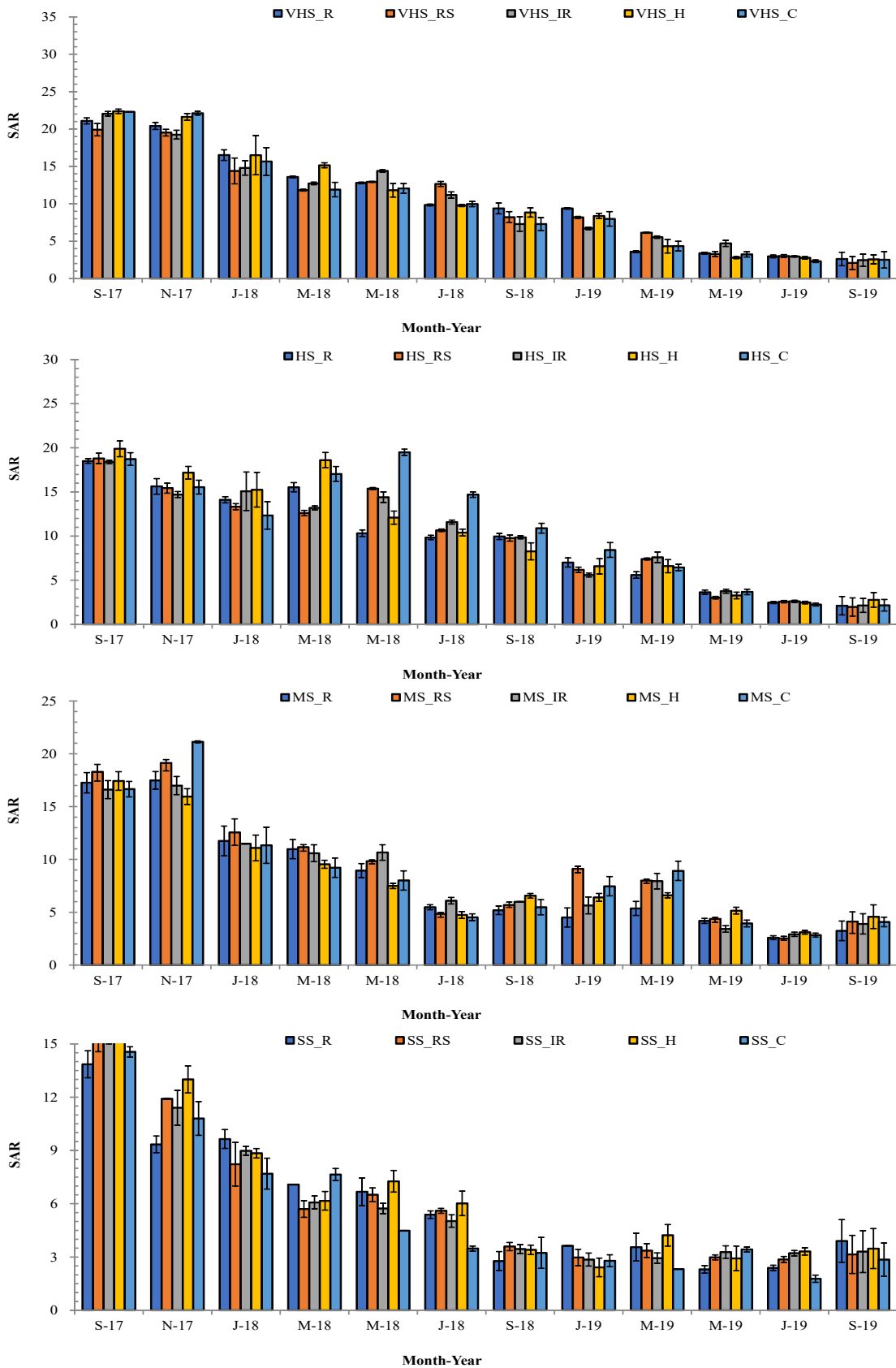


<그림 2-156> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 ESP 변화

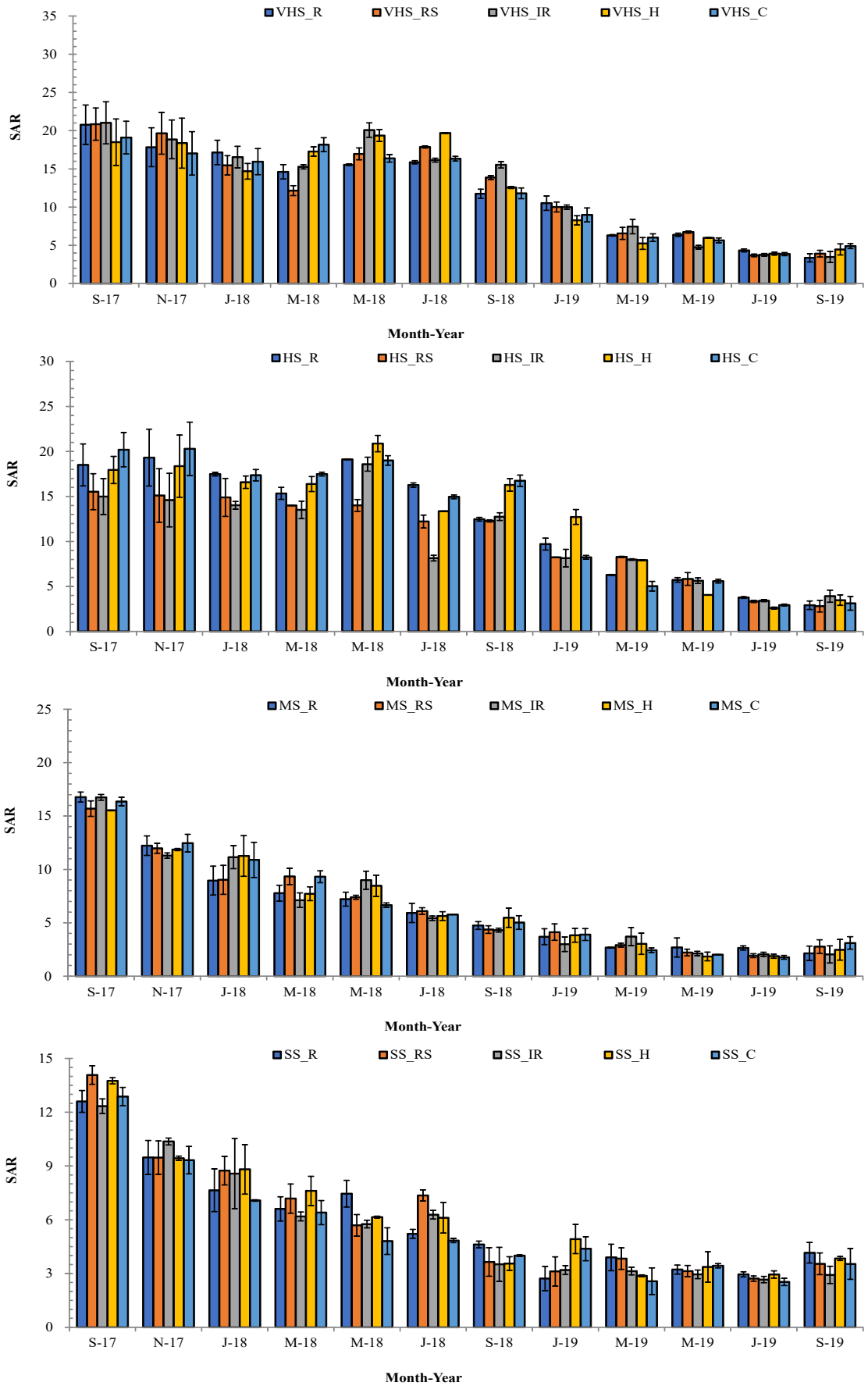


<그림 2-157> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 ESP 변화

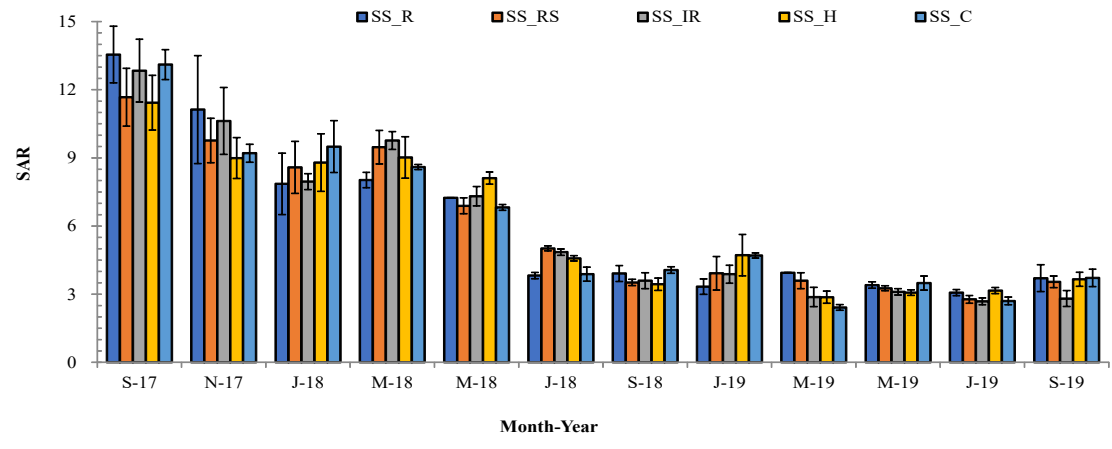
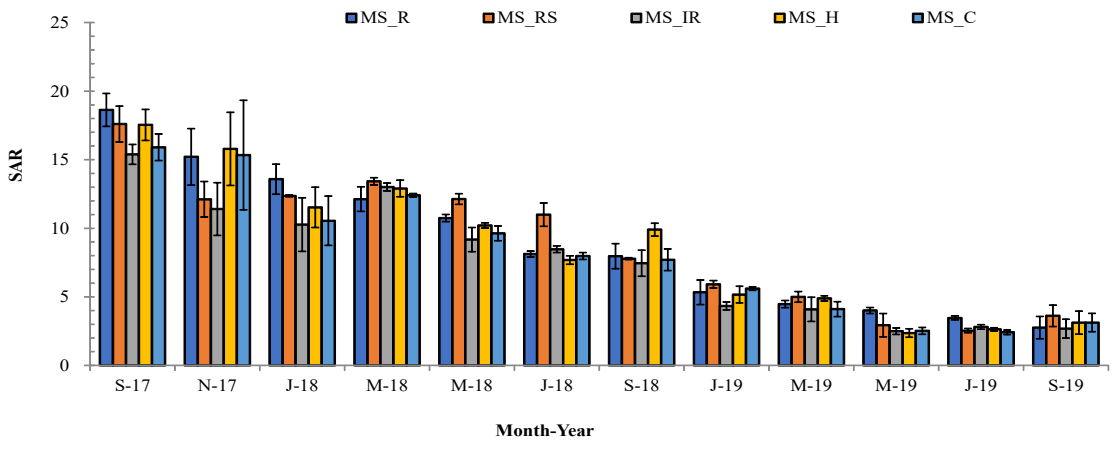
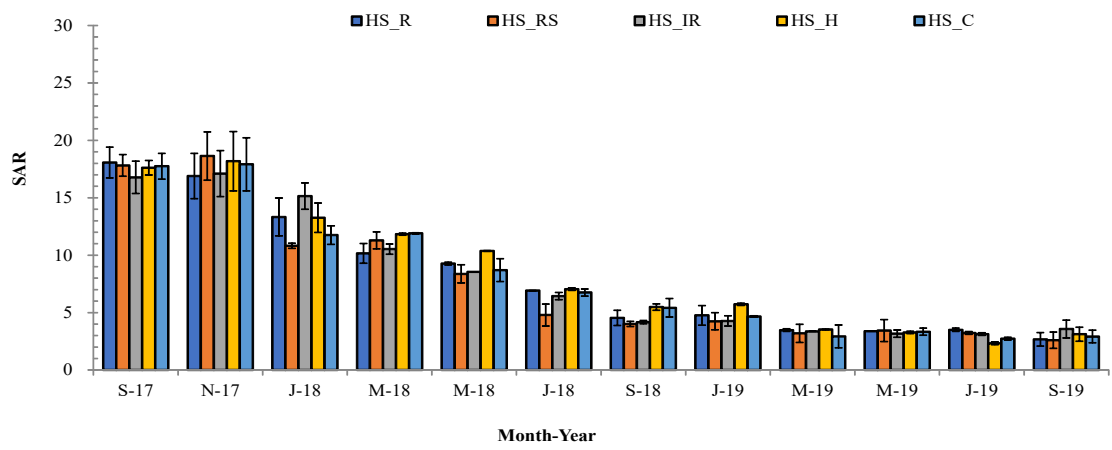
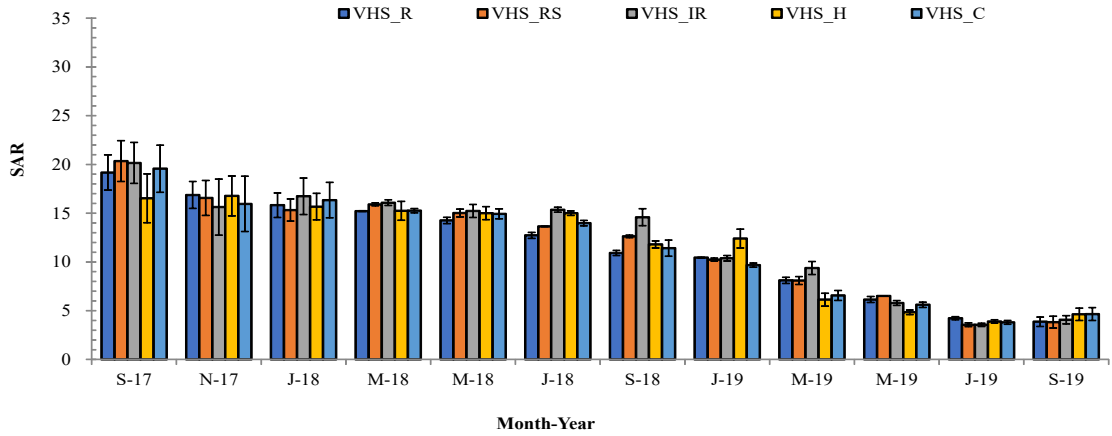
처리 후 2.5년이 경과한 지점에서 SAR이 유의적으로 감소하여 중염도~저염도 작물을 재배하는데 적합한 수준까지 도달한 것으로 나타났다.



<그림 2-158> 미사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 SAR 변화



<그림 2-159> 사질양토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 SAR 변화

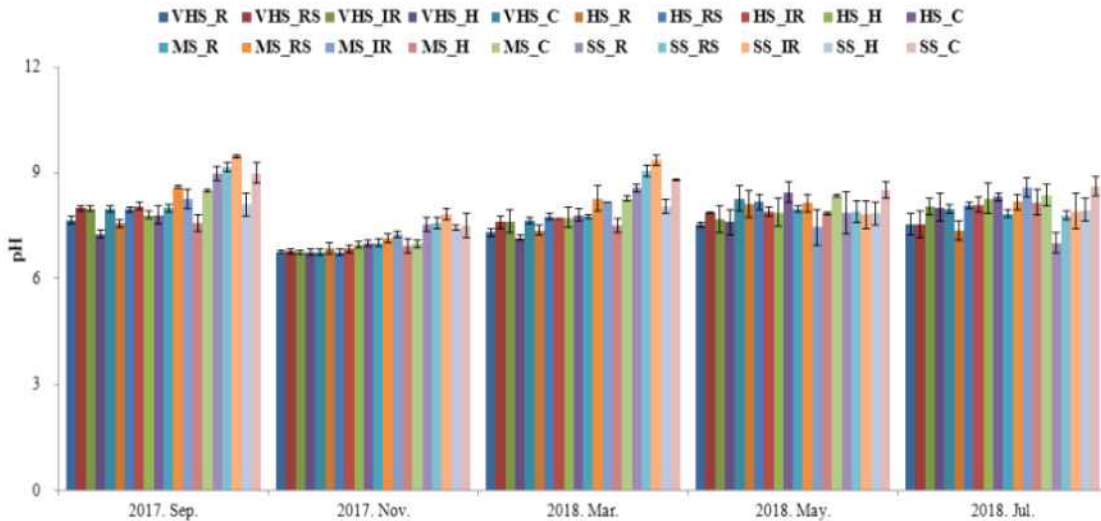


<그림 2-160> 양질사토 토양 유기물 자원처리에 따른 토양 SAR 변화

(5) 간척지 토성별 토양개량 분석 결과

(가) 미사질 양토의 개량 pH 분석

미사질 양토에서의 염도별 갈대, 벼짚, IR, 왕겨, 퇴비 처리시 pH 분석 결과, 모니터링 기간 동안 저~초고염도 토양에서의 전체 처리별 평균 pH는 저염도 평균 pH 8.23으로 가장 높았으며, 다음으로 중염도 평균 pH 7.89, 고염도 평균 pH 7.71, 초고염도 pH 7.52 순으로 분석되었다.



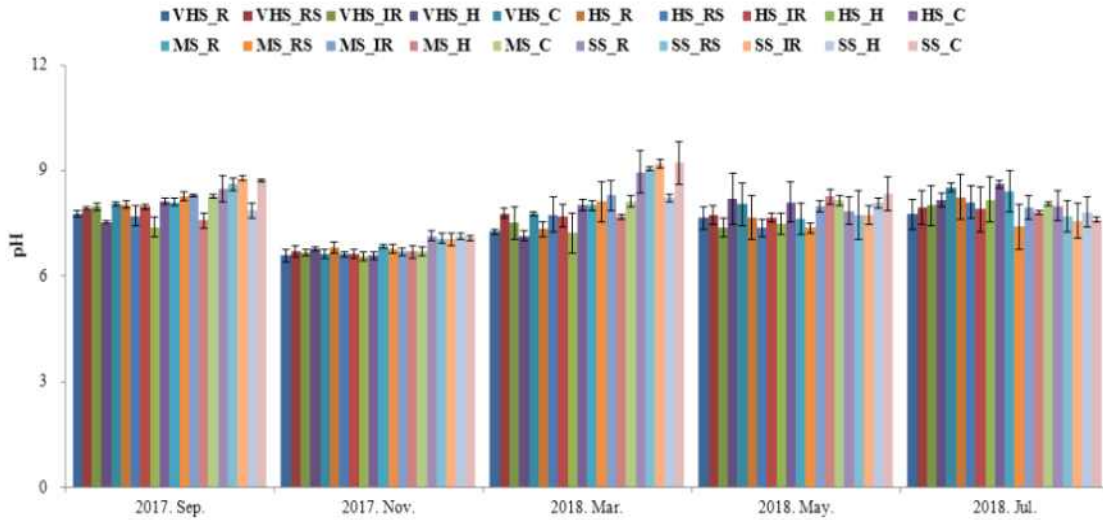
<그림 2-161> 미사질 양토 개량 pH 분석

(표 2-58) 미사질 양토의 개량 pH 분석 결과

토성	염도	날짜 처리	10월	11월	3월	5월	7월
			(2017)	(2017)	(2018)	(2018)	(2018)
미사질 양토 (Silt Loam)	초고 염도	갈대	7.66	6.76	7.31	7.53	7.54
		벼짚	8.00	6.78	7.60	7.87	7.54
		IP	7.99	6.76	7.63	7.69	8.04
		왕겨	7.27	6.74	7.16	7.60	8.02
		퇴비	7.97	6.74	7.66	8.28	7.97
	고염도	갈대	7.57	6.86	7.37	8.12	7.36
		벼짚	7.96	6.75	7.76	8.18	8.09
		IP	8.06	6.85	7.71	7.89	8.09
		왕겨	7.81	6.97	7.74	7.88	8.28
		퇴비	7.81	7.00	7.80	8.46	8.33
	중염도	갈대	8.00	7.02	7.76	7.99	7.84
		벼짚	8.60	7.14	8.28	8.14	8.18
		IP	8.27	7.25	8.18	7.46	8.60
		왕겨	7.58	6.94	7.50	7.85	8.17
		퇴비	8.49	6.99	8.27	8.35	8.38
	저염도	갈대	8.98	7.53	8.57	7.87	7.01
		벼짚	9.17	7.57	9.06	7.91	7.79
		IP	9.48	7.83	9.36	7.83	7.92
		왕겨	8.11	7.44	8.03	7.86	7.95
		퇴비	9.00	7.50	8.80	8.50	8.62

(나) 사양토의 개량 pH 분석

사양토에서의 염도별 갈대, 벚짚, IR, 왕겨, 퇴비 처리시 pH 분석 결과, 모니터링 기간 동안 저~초고염도 토양에서의 전체 처리별 평균 pH는 저염도 평균 pH 8.04으로 가장 높았으며, 다음으로 중염도 평균 pH 7.74, 고염도 평균 pH 7.60, 초고염도 pH 7.58 순으로 분석되었다.



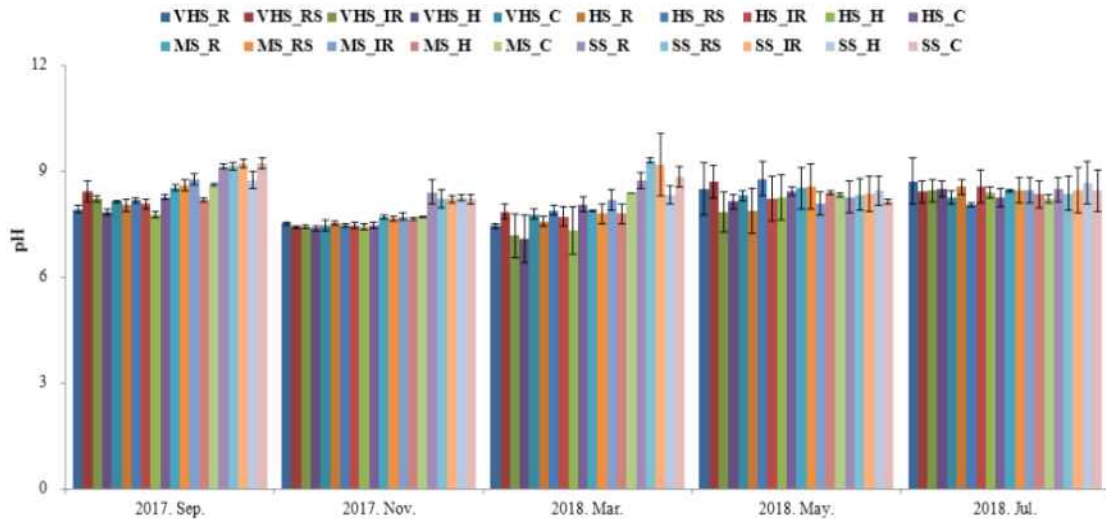
<그림 2-162> 사양토의 개량 pH 분석

(표 2-59) 사양토의 개량 pH 분석 결과

토성	염도	날짜 처리	10월	11월	3월	5월	7월
			(2017)	(2017)	(2018)	(2018)	(2018)
사양토 (Sandy Loam)	초고 염도	갈대	7.78	6.59	7.26	7.66	7.77
		벚짚	7.93	6.70	7.79	7.74	7.96
		IP	7.97	6.68	7.52	7.38	8.01
		왕겨	7.54	6.77	7.15	8.21	8.18
		퇴비	8.05	6.64	7.77	8.05	8.52
	고염도	갈대	8.04	6.80	7.34	7.66	8.25
		벚짚	7.72	6.62	7.75	7.37	8.11
		IP	7.97	6.63	7.72	7.66	7.90
		왕겨	7.40	6.57	7.23	7.49	8.18
		퇴비	8.14	6.59	8.03	8.11	8.62
	중염도	갈대	8.11	6.84	8.01	7.63	8.41
		벚짚	8.27	6.77	8.12	7.37	7.41
		IP	8.29	6.69	8.30	7.99	7.95
		왕겨	7.58	6.69	7.69	8.27	7.80
		퇴비	8.28	6.71	8.13	8.15	8.06
	저염도	갈대	8.49	7.15	8.96	7.86	8.00
		벚짚	8.61	7.08	9.05	7.73	7.69
		IP	8.78	7.05	9.20	7.75	7.57
		왕겨	7.87	7.13	8.22	8.08	7.82
		퇴비	8.72	7.09	9.23	8.34	7.60

(다) 양질사토의 개량 pH 분석

양질 사토에서의 염도별 갈대, 벼짚, IR, 왕겨, 퇴비 처리시 pH 분석 결과, 저~초고염도 토양에서의 전체 처리별 평균 pH는 저염도 평균 pH 8.60으로 가장 높았으며, 다음으로 중염도 평균 pH 8.19, 고염도 평균 pH 7.98, 초고염도 pH 7.95 순으로 분석되었다.



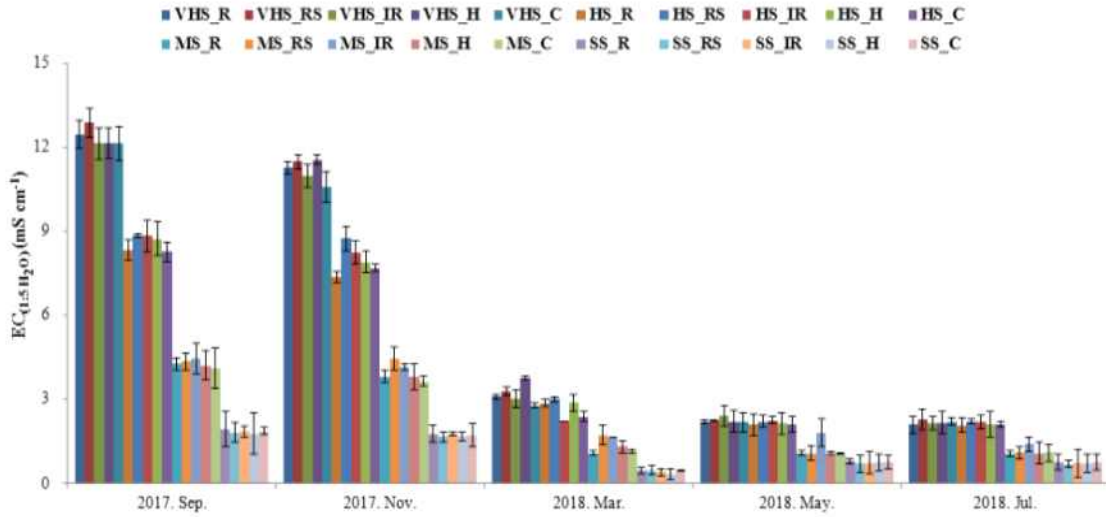
<그림 2-163> 양질사토 토양 개량 pH 분석

(표 2-60) 양질사토의 개량 pH 분석 결과

토성	염도	날짜 처리	10월	11월	3월	5월	7월
			(2017)	(2017)	(2018)	(2018)	(2018)
양질 사토 (Loamy Sand))	초고 염도	갈대	7.92	7.51	7.44	8.48	8.71
		벼짚	8.41	7.41	7.84	8.69	8.41
		IP	8.22	7.42	7.17	7.83	8.45
		왕겨	7.84	7.37	7.07	8.13	8.49
		퇴비	8.13	7.46	7.78	8.30	8.24
	고염도	갈대	8.03	7.53	7.57	7.86	8.55
		벼짚	8.17	7.45	7.88	8.78	8.04
		IP	8.06	7.46	7.71	8.21	8.56
		왕겨	7.78	7.43	7.33	8.24	8.40
		퇴비	8.26	7.46	8.05	8.42	8.26
	중염도	갈대	8.52	7.70	7.86	8.51	8.44
		벼짚	8.60	7.65	7.79	8.55	8.45
		IP	8.76	7.71	8.18	8.07	8.45
		왕겨	8.18	7.64	7.79	8.40	8.34
		퇴비	8.60	7.69	8.38	8.31	8.22
	저염도	갈대	9.12	8.39	8.73	8.26	8.48
		벼짚	9.13	8.20	9.29	8.32	8.36
		IP	9.22	8.20	9.17	8.35	8.46
		왕겨	8.74	8.24	8.31	8.45	8.67
		퇴비	9.20	8.20	8.83	8.13	8.44

(라) 미사질양토의 개량 전기 전도도(EC_{1:5}) 분석

미사질양토에서의 염도별 갈대, 벚짚, IR, 왕겨, 퇴비 처리시 전기 전도도분석 결과는 저~초고염도 토양에서의 전체 처리별 평균 전기 전도도는 초고염도 평균 전기 전도도 2.19mS/m으로 가장 높았으며, 다음으로 고염도 평균 전기 전도도 2.15mS/m, 중염도 평균 전기 전도도 1.15mS/m, 저염도 평균 전기 전도도 0.74mS/m 순으로 분석되었다.



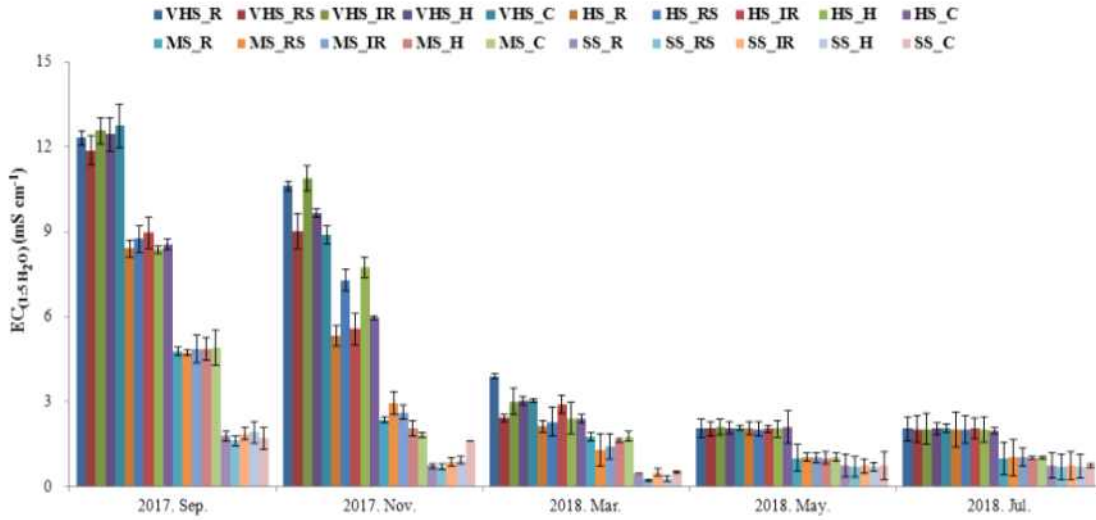
<그림 2-164> 미사질 양토의 개량 전기 전도도 분석

(표 2-61) 미사질양토의 개량 전기 전도도 분석 결과

토성	염도	날짜 처리	(단위: mS/cm)				
			10월 (2017)	11월 (2017)	3월 (2018)	5월 (2018)	7월 (2018)
양질 사토 (Loamy Sand))	초고염도	갈대	12.45	11.25	3.09	2.19	2.11
		벚짚	12.86	11.47	3.29	2.26	2.28
		IP	12.12	10.96	3.02	2.41	2.17
		왕겨	12.14	11.55	3.77	2.22	2.16
		퇴비	12.12	10.58	2.78	2.18	2.22
	고염도	갈대	8.32	7.36	2.86	2.10	2.09
		벚짚	8.84	8.74	3.02	2.22	2.22
		IP	8.82	8.24	2.24	2.25	2.20
		왕겨	8.72	7.90	2.88	2.15	2.11
		퇴비	8.26	7.68	2.39	2.10	2.11
	중염도	갈대	4.27	3.82	1.09	1.09	1.08
		벚짚	4.35	4.46	1.73	1.09	1.09
		IP	4.45	4.15	1.64	1.81	1.40
		왕겨	4.21	3.80	1.31	1.09	1.09
		퇴비	4.10	3.64	1.16	1.09	1.10
	저염도	갈대	1.93	1.79	0.48	0.79	0.78
		벚짚	1.82	1.66	0.49	0.71	0.70
		IP	1.85	1.77	0.40	0.74	0.72
		왕겨	1.78	1.67	0.33	0.75	0.73
		퇴비	1.87	1.72	0.45	0.77	0.76

(마) 사양토의 개량 전기 전도도(EC_{1:5}) 분석

사양토에서의 염도별 갈대, 벚짚, IR, 왕겨, 퇴비 처리시 전기 전도도분석 결과저~초고염도 토양에서의 전체 처리별 평균 전기 전도도는 초고염도 평균 전기 전도도 2.05mS/m으로 가장 높았으며, 다음으로 고염도 평균 전기 전도도 2.02mS/m, 중염도 평균 전기 전도도 1.03mS/m, 저염도 평균 전기 전도도 0.74mS/m 순으로 분석되었다.



<그림 2-165> 사양토의 토양 개량 전기 전도도 분석

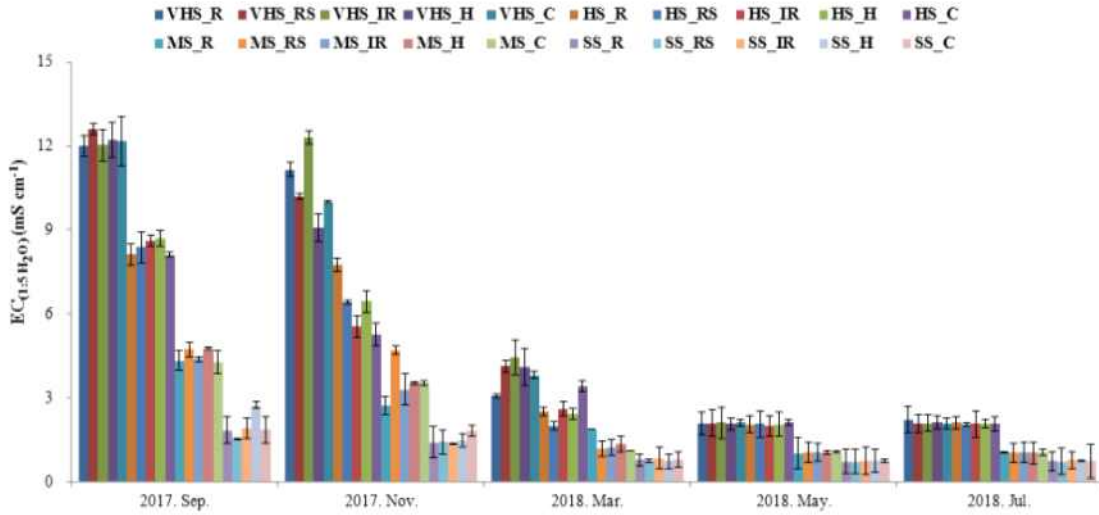
(표 2-62) 사양토의 개량 전기 전도도 분석

(단위: mS/cm)

토성	염도	날짜 처리	10월	11월	3월	5월	7월
			(2017)	(2017)	(2018)	(2018)	(2018)
양질사토 (Loamy Sand))	초고염도	갈대	12.32	10.62	3.90	2.06	2.06
		벚짚	11.87	9.02	2.43	2.06	2.04
		IP	12.57	10.89	3.01	2.09	2.04
		왕겨	12.44	9.66	3.03	2.07	2.05
		퇴비	12.75	8.90	3.04	2.08	2.07
	고염도	갈대	8.41	5.35	2.14	2.07	2.02
		벚짚	8.76	7.29	2.30	2.04	2.02
		IP	8.96	5.57	2.92	2.04	2.05
		왕겨	8.38	7.76	2.42	2.05	2.02
		퇴비	8.56	5.97	2.39	2.10	2.00
	중염도	갈대	4.79	2.37	1.75	1.02	1.02
		벚짚	4.75	2.95	1.31	1.04	1.04
		IP	4.87	2.64	1.43	1.03	1.04
		왕겨	4.86	2.06	1.63	1.02	1.02
		퇴비	4.90	1.85	1.78	1.04	1.03
	저염도	갈대	1.80	0.74	0.47	0.74	0.75
		벚짚	1.62	0.72	0.22	0.71	0.72
		IP	1.87	0.89	0.51	0.73	0.75
		왕겨	1.93	0.94	0.28	0.72	0.72
		퇴비	1.71	1.62	0.52	0.76	0.76

(바) 양질사토의 개량 전기 전도도(EC_{1:5}) 분석

사양토의 염도별 갈대, 벚짚, IR, 왕겨, 퇴비 처리시 전기 전도도분석 결과, 저~초고염도 토양에서의 전체 처리별 평균 전기 전도도는 초고염도 평균 전기 전도도 2.12mS/m으로 가장 높았으며, 다음으로 고염도 평균 전기 전도도 2.08mS/m, 중염도 평균 전기 전도도 1.06mS/m, 저염도 평균 전기 전도도 0.76mS/m 순으로 분석되었다.



<그림 2-166> 양질사토 토양 개량 전기 전도도 분석

(표 2-63) 양질사토의 개량 전기 전도도 분석 결과

(단위: mS/cm)

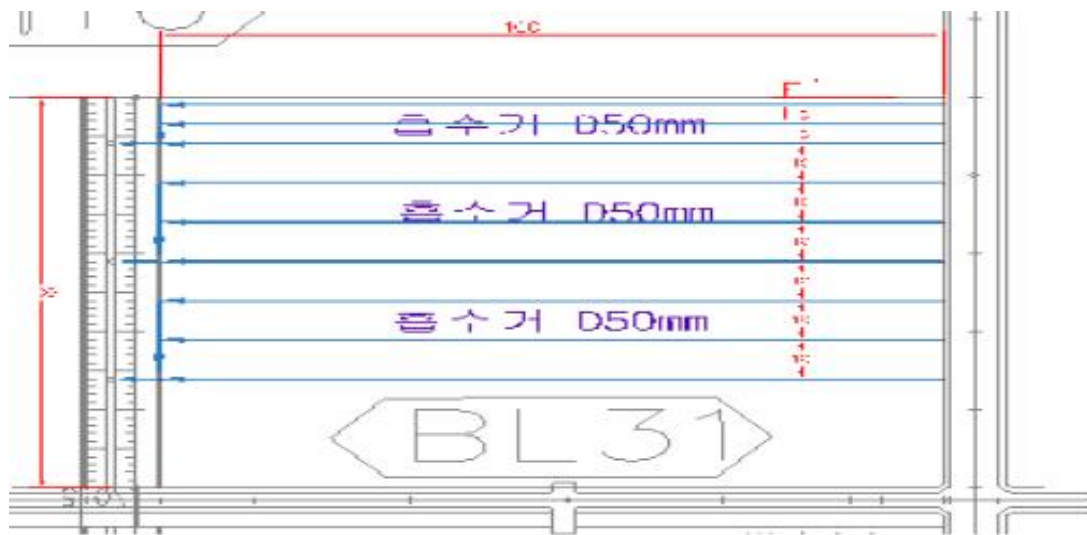
토성	염도	날짜		10월 (2017)	11월 (2017)	3월 (2018)	5월 (2018)	7월 (2018)
		처리	처리					
양질사토 (Loamy Sand))	초고염도	갈대	12.01	11.16	3.09	2.09	2.23	
		벚짚	12.61	10.22	4.14	2.10	2.07	
		IP	12.02	12.29	4.44	2.12	2.10	
		왕겨	12.22	9.07	4.11	2.07	2.13	
		퇴비	12.18	10.00	3.82	2.13	2.09	
	고염도	갈대	8.12	7.76	2.53	2.06	2.12	
		벚짚	8.39	6.44	2.00	2.07	2.04	
		IP	8.62	5.55	2.62	2.01	2.07	
		왕겨	8.70	6.46	2.43	2.06	2.08	
		퇴비	8.11	5.27	3.43	2.13	2.08	
	중염도	갈대	4.34	2.75	1.90	1.04	1.08	
		벚짚	4.74	4.71	1.18	1.06	1.04	
		IP	4.39	3.30	1.23	1.07	1.06	
		왕겨	4.77	3.54	1.36	1.06	1.05	
		퇴비	4.26	3.53	1.14	1.07	1.05	
	저염도	갈대	1.85	1.42	0.79	0.73	0.75	
		벚짚	1.54	1.43	0.75	0.74	0.73	
		IP	1.92	1.38	0.85	0.77	0.78	
		왕겨	2.74	1.48	0.75	0.76	0.76	
		퇴비	1.86	1.84	0.82	0.76	0.74	

2.2.4. 지구별 암거배수 시공 및 시기별 모니터링

가. 간척 지구별 암거배수 시공

지하암거배수시설은 표층의 물 관리를 용이하게 하여 농작물 기계의 효율성을 향상시키고, 지하수위를 낮추어 토양의 통기성을 좋게 하고 작물의 뿌리발육을 촉진하고 수량을 높이는 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 새만금 간척지, 화옹 간척지, 석문 간척지 내 지하배수 암거를 설치하고, 공사가 완료된 이후 간척지 토성 분석, 시기별 토양 전기전도도, 중량 함수율, 암거 침출수량 및 침출수 염도 등 불포화 토양의 물리화학적 특성에 대해 모니터링을 실시하였다.

간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술 개발을 위해 간척지 현장에 지하배수암거 시설을 시공하여 그 효과를 분석하고, 적합한 시공기법을 도출하여 표준화된 기반조성기술을 활용하고자 새만금 간척지, 석문 간척지, 화옹 간척지 순으로 지하배수암거 설치를 실시하였다.



<그림 2-167> 간척지 지하배수암거 배관도

새만금 간척지는 2017년 11월 16일~12월 15일 기간 동안 새만금 전북대 시험부지 내 지하암거배수시설을 설치하였다. 5m 간격으로 3조, 10m 간격으로 6조로 무굴착 암거설치 및 심토파쇄 작업을 실시하였고, 시험부지 내 배수로를 기준으로 지하배수암거 간격별 침출수량을 조사하기 위한 침출수 조절용 수갑, 침출수조, 침출수 관측용 수도미터 3조를 설치하였다.



(새만금 간척지 지하암거배수 설치전)



(무굴착 흡수암거 매설)



(유공관, 수평매트, 왕겨 매설)



(새만금 간척지 지하배수암거 설치완료)



(배수로 침출수조 수압 설치)



(배수로 침출수조 설치완료)

<그림 2-168> 새만금 간척지 지하배수암거 설치 전경



(석문 간척지 지하암거배수 설치전)



(무굴착 흡수암거 매설)



(무굴착 흡수암거 포설)



(석문 간척지 지하배수암거 설치완료)



(배수로 침출수조 수갑 설치)



(석문 간척지 암거구 말단부)

<그림 2-169> 석문 간척지 지하배수암거 설치 전경



(화용 간척지 지하암거배수 설치전)



(화용 간척지 갈대제거 작업)



(무굴착 흡수암거 포설)



(화용 간척지 심토파쇄)



(배수로 침출수조 수갑 설치)



(화용 간척지 지하배수암거 설치완료)

<그림 2-170> 화용 간척지 지하배수암거 설치 전경

나. 간척지구별 암거설치에 따른 지하수위 변화

일반적으로 지하배수 암거시설은 토양의 지리적, 물리적 특성에 의해 배수가 불량하거나 지하수위가 높은 지역에서 지표배수로 제거할 수 없는 지표 잔류수와 토양 속의 과잉수를 암거배수관 설치를 통해 과잉수분 제거 및 배수시키는 시설이다. 암거시설의 원활한 배수개선을 위해 설치 시 토양 내 지하수위면 보다 높은 지점에 설치하게 된다. 토양 내 지하수위 형성은 토성, 토양의 물리적 환경에 따라 차이가 존재하며, 지하수위가 지나치게 높아질 경우 작물 뿌리에 필요한 산소공급을 차단하여 생육을 불량하게 할 수 있어 지하수위 형성 표고에 대한 조사가 면밀히 진행되어야 한다. 이에 간척지구별 시험포 내 지하수위, 강우량 등을 실시간 계측시설을 설치하였다. 새만금 간척지 시험포는 2018년 3월 13일(2차년도)~2020년 12월 31일(4차년도), 화옹 및 석문 간척지 시험포는 2020년 1월 1일~10월 31일까지 계측·분석을 실시하였다. 2차년도 강우량에 따른 지하수위의 변화분석 결과는 다음과 같다. 새만금 간척지 시험포의 외곽 배수로 깊이는 지표면보다 1.5m이상 깊게 설치되어 있으며, 지반고는 2.37m, 지하배수 암거시설은 지표면으로부터 0.70m 깊이에 설치하였다. 계측 초기 3월 13일부터 5월 31일까지 총 319.8mm의 강우량이 계측되었고, 지하수위는 지표면 아래 0m 기준으로 초기 0.287m에서 최대 0.807m까지 상승하였다. 그러나, 6월 말 전까지 강우량이 줄어들면서 지하수위는 최저 0.197m까지 하강하였다. 여름철 장마기에 6월26일부터 7월2일까지 297.8mm의 강우가 발생하였는데 지하수위가 최대 0.847m까지 상승하였으나, 암거 설치지점까지 도달하진 못하였다. 장마기가 끝난 이후 7월 3일부터 8월 22일까지 강우량이 총 21.2mm로 매우 적게 측정되었는데 이 기간 동안 지하수위면이 -0.032m까지 크게 하강하였다. 따라서, 새만금 간척지의 경우 배수로의 굴착깊이가 깊어 장마기에도 지하수위 상승으로 토층내 과잉수분이 발생하지 않을 것으로 판단되며, 지하수의 상승이 이루어지지 않아 암거침출수량이 낮았던 것으로 판단되었다. 3차년도는 2019년 1월부터 3월까지 1사분기동안 총 강우량은 70.8mm로 지하수위는 2019년 1월 1일 0.233m에서 최대 0.239m, 최저 0.015m로 강우시기가 고르지 않아 지하수위가 상승하지 않고 낮아지는 것으로 분석되었다. 2사분기의 총 강우량은 257.9mm로 지하수위는 최대 0.276m, 최저 0.013m로 분석되었다. 3사분기의 총 강우량은 470.6mm로 9월에 가장 많은 강우가 내렸으며, 이 시기에 지하수위가 최대 1.044m로 암거 설치지점에 근접할 정도로 크게 상승하였다. 9월 21일~22일 동안 128.4mm, 10월 2일에 66mm의 많은 강우가 내려 지하수위가 지속적으로 상승하였는데 최대 1.193m까지 변화하였다. 2018년 1월과 2월을 제외한 연 강수량은 1218.0mm, 2019년 연 강수량은 969.7mm, 2020년 연 강수량은 1676.0mm로 2020년이 가장 많았고, 2018년, 2019년 순으로 분석되었다. 대체적으로 3사분기에 가장 많은 강수량을 보였는데 3사분기 2018년 강수량은 540.8mm, 2019년은 470.6mm로 분석되었고 특히, 2020년 3사분기의 강수량은 1147.6mm로 타 년도에 비해 2.12~2.44배 더 크게 분석되었다. 2018년도와 2019년도에는 여름철 장마기간에 집중적인 강수량의 증가로 인해 지하수위가 상승하였으나, 암거설치 지점까지 도달하지 않았다. 그러나, 2020년도에는 7월 416.0mm, 8월 509.6mm, 9월 222.0mm로 지속적인 강수로 인해 월별 최대 지하수위가 7월 1.556m, 8월 1.872m, 9월 1.882m 까지 상승하여 지하암거배수 설치지점보다 높이 상승하였다.

(표 2-64) 간척지구별 시험포 년도별 강수량 자료 분석

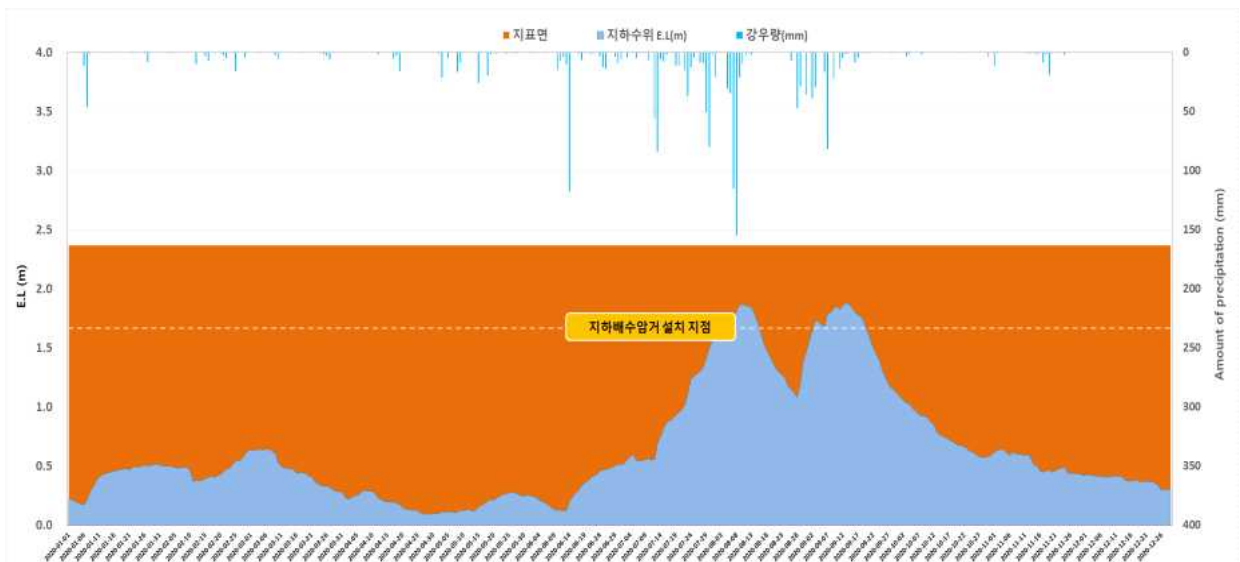
구분		강수량 (mm)		
		새만금 간척지 시험포	화옹 간척지 시험포	석문 간척지 시험포
2차년도 (‘18)	3월	45.8	82	69
	4월	124.8	119.5	126.5
	5월	149.2	133.5	123.5
	6월	126.2	95.5	130.5
	7월	192.8	180.5	150.5
	8월	330.2	172.5	147.5
	9월	17.8	66.5	82
	10월	147.0	153.5	164.5
	11월	46.8	71.5	81
	12월	37.4	21	21
합계		1218.0	1096.0	1096.0
3차년도 (‘19)	1월	7.8	0	0
	2월	34.0	28	28
	3월	29.0	39	39
	4월	102.2	38	38
	5월	47.6	21.5	21.5
	6월	108.1	61	61
	7월	174.1	173.5	173.5
	8월	91.1	116	116
	9월	205.4	176.5	176.5
	10월	96.8	74.5	74.5
	11월	44.0	53	53
	12월	29.6	23.5	23.5
합계		969.7	804.5	804.0
4차년도 (‘20)	1월	66.8	49.5	59.5
	2월	48.0	59	75.5
	3월	18.6	16.5	17.5
	4월	24.6	15	13
	5월	101.0	94	93
	6월	204.2	91.5	95.5
	7월	416.0	336.5	347
	8월	509.6	486	311
	9월	222.0	186.5	259.5
	10월	10.0	5.5	11
	11월	49.8	-	-
	12월	5.4	-	-
합계		1676.0	1340.0	1282.5



새만금 간척지 시험포 지하수위-강수량 분석(2018년)



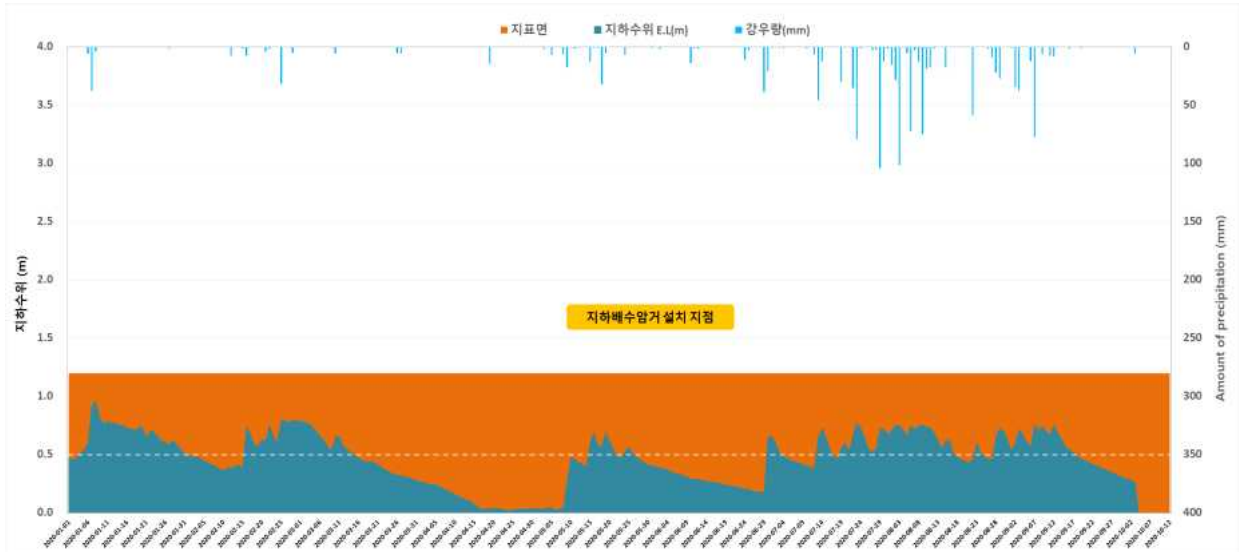
새만금 간척지 시험포 지하수위-강수량 분석(2019년)



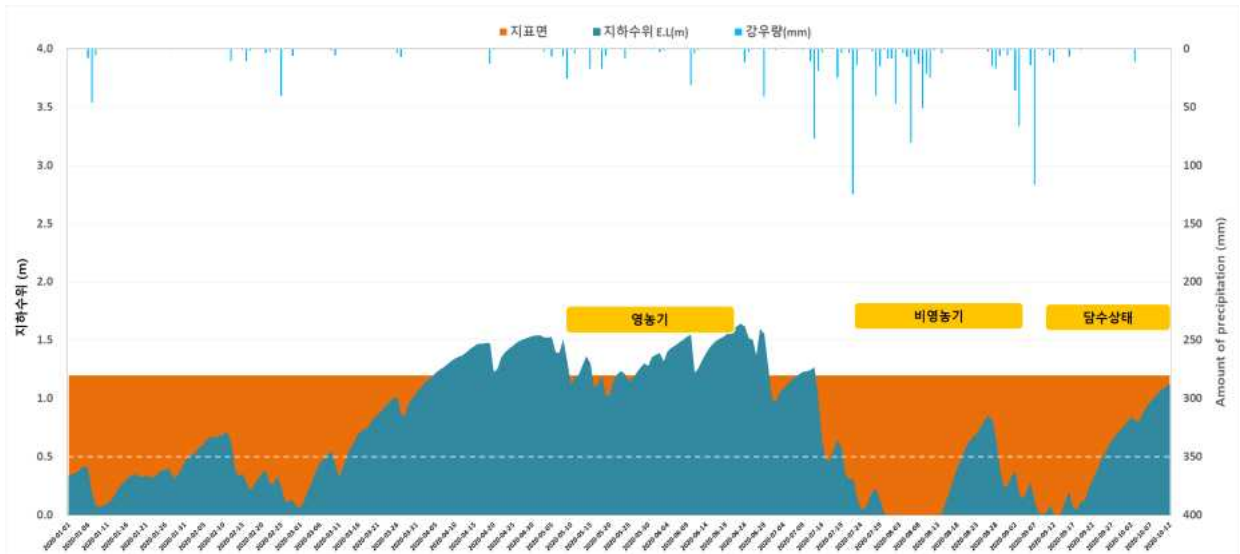
새만금 간척지 시험포 지하수위-강수량 분석(2020년)

<그림 2-171> 새만금 간척지 시험포 지하수위-강수량 년도별 비교

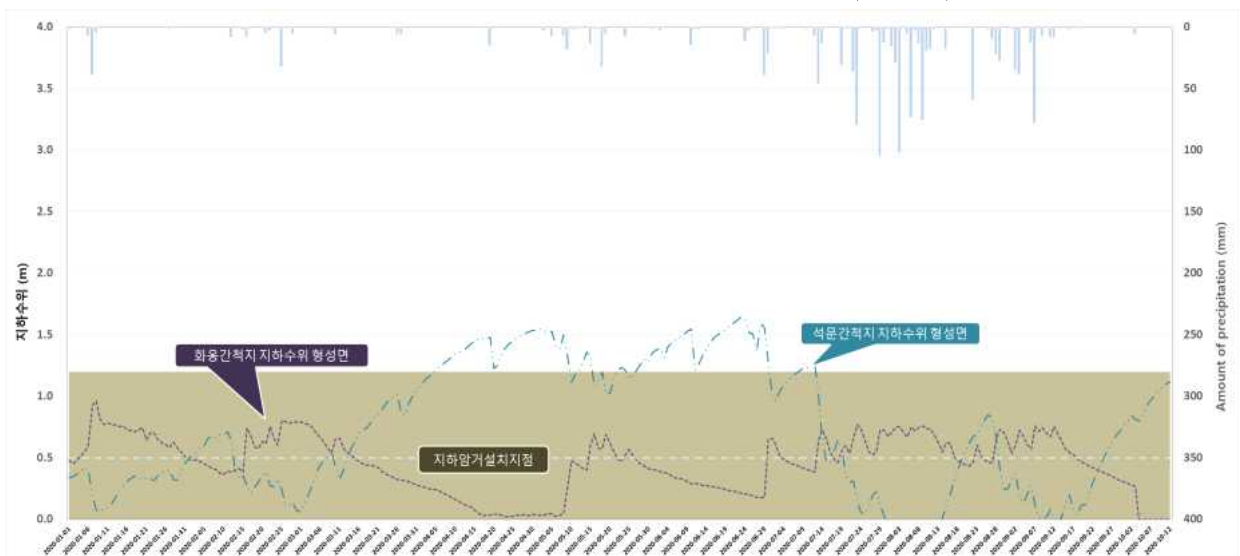
화옹 간척지 및 석문 간척지는 2020년 1월1일~10월 31일까지 지하수위 변화를 실시간 계측을 하였다. 일 강수량 자료는 계측시설 강수량 센서 및 AWS 방재기상청 자료를 참고하였는데 화옹 간척지는 운평, 석문 간척지는 당진자료를 사용하였다. 화옹 간척지의 계측 기간 동안 총 강수량은 1340mm인 반면, 7월 336.5mm, 8월 486mm로 총 강수량의 61.4%를 차지하는 많은 양의 강수량이 분석되었다. 계측 초기 1월 6일~8일 3일간 48mm의 강수량이 분석되었는데, 지하수위는 최대 0.96m로 형성되었다. 이후, 2월에는 59mm의 강수량이 분석되었는데 최대 0.80m까지 형성되는 등 암거설치지점보다 높게 형성되었다. 3월과 4월에는 31.5mm로 분석되었는데 비교적 다른 기간보다 강수량이 적게 내리면서 최저 지하수위가 0.02m로 분석되어 점차 형성수위지점이 하강하였다. 많은 양의 강수량이 분석되었던 7~8월 기간 동안 최대 지하수위는 0.80m로 분석되었으며, 지하수위가 암거설치지점보다 높게 형성 및 유지하였다. 화옹 간척지의 경우, 타 간척지와 다른 토성 및 이화학적 특성을 갖고 있어 층위 간 투수계수가 매우 낮아 물질 및 수분 이동이 원활하지 않아 지표배수 및 암거를 통해 침출이 크지 않은 것으로 판단된다. 석문 간척지의 경우, 계측기간 동안 총 강수량은 1282.5mm로 타 간척지에 비해 가장 낮은 것으로 분석되었다. 1사분기에 내린 총 강수량은 152.5mm로 최대 지하수위 높이가 1.01m로 암거 설치지점보다 높게 형성되었다.



화용 간척지 및 석문 간척지 시험포 지하수위-강수량 비교분석



석문 간척지 시험포 지하수위-강수량 분석(2020년)



화용 간척지 및 석문 간척지 시험포 지하수위-강수량 비교분석

<그림 2-172> 화용 간척지 및 석문 간척지 시험포 지하수위-강수량 분석

다. 간척지구별 암거설치에 따른 침출수량 및 침출수 화학적 특성 분석

지하배수로 배제할 수 있는 과잉수를 지표잔류수와 토양 중의 중력수로 지표잔류수는 지표의 요(凹)부에 담수되어 지표배수가 불가능한 물이고, 토양 속의 중력수는 지하수위 저하에 따라서 배제되는 지하수면상의 중력수이다. 이전의 접근방법에 따르면 지하배수의 중요한 역할은 토양수 배제에 있다고 하였으나, 최근의 연구에 의하면 지표잔류수의 배제가 지하배수의 중요한 역할로서 부각되었다.

이와 같이 암거로 배제되는 배수가 지표잔류수와 토양수라면 계획 지하배수량은 「지표잔류수가 있는 경우는 토양수와 지표잔류수를, 지표잔류수가 없는 경우는 토양수만을 허용시간 내에 배제하는 양」으로 정의한다. 계획 암거배수량은 경지구획의 평탄정도, 넓고 좁음, 토양의 투수성, 토지이용형태 등에 따라서 10~30mm/day로 정한다. 계획 암거배수량은 계획암거배수량에 대한 접근방법, 암거배수량의 필요성, 지표잔류수가 있는 경우의 계획 암거배수량, 지표잔류수가 없는 경우의 암거배수량을 구분하여 산정하여야 한다.

(표 2-65) 토양종류에 따른 암거배수량

구분	투수계수 (cm/s)	암거배수량 (mm/day)
사질 토양	1×10^{-3} 이상	50
양토질 토양	$1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-5}$	20~50
난투수성 토양	1×10^{-5} 미만	20~50
이탄 토양	-	30~50
경사지답	-	20~50

자료: 농업생산기반정비사업계획설계기준-배수편(농림축산식품부, 2012)

1) 간척지구별 침출수량 및 침출수의 염분농도

2차년도('18) 간척지구별 침출수량, 침출수의 염분농도 분석결과는 다음과 같다. 새만금 간척지의 경우, 암거 5m간격 침출수량은 3월에 1.52m³으로 관측되었고, 6월에는 2.76m³, 9월에는 4.19m³으로 관측되었다. 암거 10m간격 3월의 침출수량은 91.22m³, 6월 관측 침출수량은 103.5m³, 9월에는 134.74m³으로 관측되었다. 처리구별 침출수 염도는 5m 간격에서 모니터링 기간동안 평균 0.369dS/m로 측정되었고, 10m 간격에서는 평균 0.366dS/m로 측정되었다. 침출수의 염도변화는 암거 5m, 10m간격별로 모니터링 기간 동안 미소하게 감소하나 큰 차이를 보이지 않았다.

석문 간척지의 경우 암거 5m간격, 암거 10m간격 등 처리구별 모든 지점의 관측 침출수량이 동일한 수치가 측정되어 암거 내·외부의 점검의 필요성이 있다. 화옹 간척지의 경우 암거 5m간격의 관측 침출수량은 7월에는 8.03m³, 9월에는 82.45m³로 기록되었다. 암거 10m간격의 관측 침출수량은 7월에는 5.34m³, 9월에는 98.08m³으로 기록되었다. 침출수의 염도변화는 암거공사가 끝난 직후 5m 간격에서는 32.5dS/m, 10m 간격에서는 34.6dS/m로 측정되었다. 시간이 경과할수록 침출수의 염도가 감소하는 경향을 보이고 있으나, 암거 공사가 완료된 기간이 짧기 때문에 지속적인 모니터링이 필요하다. 새만금 간척지와 비교해보았을 때, 새만금 간척지 5m 간격의 평균 침출수량 염도는 0.369dS/m인 반면 화옹 간척지 5m 간격의 평균 22.9dS/m로 측정되어 간척지 간의 침출수량 염도 차이를 보였다.

(표 2-66) 간척지구별 침출수량 및 침출수 염분농도('18)

(단위: (침출수량) m^3 , (침출수염분농도) dS/m)

구 분		3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	
암 거 5m	새만금	침출수량	1.52	2.12	2.61	2.76	3.06	4.13	4.19
		침출수 염도	0.402	0.368	0.388	0.367	0.371	0.335	0.351
	석 문	침출수량					5.50	5.50	5.50
		침출수 염도					-	-	-
	화 용	침출수량					9.03	72.82	82.45
		침출수 염도					32.5	15	21.3
암 거 10 m	새만금	침출수량	91.22	96.41	96.42	103.5	107.6	131.3	134.7
		침출수 염도	0.392	0.356	0.374	0.361	0.345	0.355	0.377
	석 문	침출수량					33.03	33.03	33.03
		침출수 염도					-	-	-
	화 용	침출수량					5.34	59.09	98.08
		침출수 염도					34.6	20	25.76

3차년도('19) 침출수량 및 침출수 염분농도 분석결과는 다음과 같다. 새만금 간척지의 침출수량은 5m 간격 초기 3월 6.15 m^3 , 6월 7.77 m^3 , 9월 9.17 m^3 으로 관측되었다. 암거 10m 간격은 3월 140.14 m^3 , 6월 143.125 m^3 , 9월 145.31 m^3 으로 관측되었다. 암거 10m 간격 토양개량 처리의 침출수량은 3월 10.21 m^3 , 6월 13.03 m^3 , 9월 15.89 m^3 로 분석되었다. 석문 간척지의 침출수량에 대해 5m 간격은 3월 24.51 m^3 , 5월 27.01 m^3 으로 분석되었다. 10m 간격은 3월 44.23 m^3 , 5월 48.68 m^3 으로 분석되었으며, 암거 10m 간격 토양개량 처리의 침출수량은 3월 30.21 m^3 , 5월 32.64 m^3 으로 관측되었다. 석문 간척지의 침출수량에 대해 6~8월 강수로 인해 침출수조의 침수문제로 인하여 수도미터 역류현상이 발생하여 침출수량 관측에 문제가 발생하였다. 화용 간척지 침출수량에 대해 암거 5m 간격의 3월 침출수량은 105.14 m^3 , 6월 116.42 m^3 , 9월 124.63 m^3 으로 관측되었고, 암거 10m 간격은 3월 90.54 m^3 , 6월 97.05 m^3 , 9월 106.93 m^3 , 암거 10m 토양개량 처리구에서 3월 140.56 m^3 , 6월 167.45 m^3 , 9월 189.84 m^3 로 관측되었다. 침출수 염도에 대해 새만금 간척지의 경우, 암거 5m 간격은 3월 0.49 dS/m , 6월 0.44 dS/m , 9월 0.60 dS/m 로 분석되었다. 암거 10m 간격은 3월 0.53 dS/m , 6월 0.43 dS/m , 9월 0.61 dS/m 로 분석되었으며, 암거 10m 토양개량은 3월 0.40 dS/m , 6월 0.48 dS/m , 9월 0.41 dS/m 로 분석되었다. 새만금 간척지의 시기별 침출수 염도는 큰 차이를 보이지 않았다. 석문 간척지의 경우, 암거 5m 간격은 3월 10.6 dS/m , 5월 9.8 dS/m , 암거 10m 간격은 3월 11.3 dS/m , 5월 10.1 dS/m , 암거 10m 간격 토양개량은 3월 10.23 dS/m , 5월 10.1 dS/m 로 분석되었다. 화용 간척지의 경우, 암거 5m 간격은 3월 27.8 dS/m , 6월 24.7 dS/m , 9월 26.9 dS/m 로 분석되었다. 암거 10m 간격은 3월 28.4 dS/m , 6월 26.5 dS/m , 9월 31.3 dS/m 으로 분석되었으며, 암거 10m 간격 토양개량은 3월 22.8 dS/m , 6월 24.4 dS/m , 9월 27.8 dS/m 로 분석되었다.

(표 2-67) 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 관측 침출수량('19)

(단위: (침출수량) m^3 , (침출수염분농도)dS/m)

구분		3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	
암거 5m	새만금	침출수량	6.15	6.88	7.32	7.77	8.16	8.54	9.17
		침출수 염도	0.49	0.51	0.56	0.44	0.53	0.56	0.60
	석문	침출수량	24.51	25.19	27.01	-	-	-	-
		침출수 염도	10.6	11.4	9.8	-	-	-	-
	화옹	침출수량	105.14	108.74	113.24	116.42	118.29	121.45	124.63
		침출수 염도	27.8	29.5	26.5	24.7	25.5	27.8	26.9
암거 10m	새만금	침출수량	140.64	141.98	142.65	143.12	143.87	144.66	145.31
		침출수 염도	0.53	0.54	0.49	0.43	0.51	0.67	0.61
	석문	침출수량	44.23	46.35	48.68	-	-	-	-
		침출수 염도	11.3	12.5	10.1	-	-	-	-
	화옹	침출수량	90.54	91.97	93.25	97.05	101.21	104.63	106.93
		침출수 염도	28.4	30.1	32.5	26.5	28.4	24.4	31.3
암거 10m 토양개량	새만금	침출수량	10.21	11.53	12.64	13.03	13.98	14.54	15.89
		침출수 염도	0.40	0.44	0.49	0.48	0.42	0.33	0.41
	석문	침출수량	30.21	31.26	32.64	-	-	-	-
		침출수 염도	10.23	12.2	14.5	-	-	-	-
	화옹	침출수량	140.56	145.61	152.28	167.45	176.57	184.23	189.84
		침출수 염도	22.8	24.5	31.5	24.4	26.8	23.5	27.8

4차년도('20) 침출수량 및 침출수 염분농도 분석결과는 다음과 같다. 새만금 간척지의 시험포 암거 5m 처리구의 침출수량은 초기 9.2 m^3 로 여름철 장마기간(3사분기 1147.6mm)의 7월 11.6 m^3 , 8월 12.9 m^3 , 9월 13.0 m^3 으로 초기에 비해 3.8 m^3 이 차이나는 것으로 분석되었다. 암거 10m 처리구는 초기 145.3 m^3 에서 7월 148.3 m^3 , 8월 150.2 m^3 , 9월 150.5 m^3 으로 5.2 m^3 이 차이가 났으며, 암거 10m 토양개량제 처리구는 초기 16.0 m^3 에서 7월 18.3 m^3 , 8월 19.7 m^3 , 9월 20.0 m^3 으로 4.0 m^3 의 차이를 보였다. 석문간척지의 경우, 암거 5m 처리구의 침출수량은 초기 47.0 m^3 으로 3사분기 장마 기간 동안 7월 70.9 m^3 , 8월 78.7 m^3 , 9월 82.0 m^3 으로 분석되었으며, 10m 처리구는 초기 63.8 m^3 에서 7월 83.1 m^3 , 8월 87.6 m^3 , 9월 89.5 m^3 로 분석되었다. 또한, 암거 10m 토양개량제 처리구는 초기 49.0 m^3 에서 7월 80.8 m^3 , 92.0 m^3 , 103.1 m^3 로 측정되었다. 암거처리구별 초기 침출수량과 장마기간 동안의 침출수량 간의 차이는 각각 35 m^3 , 25.7 m^3 , 22 m^3 로 암거 5m 처리구가 큰 차이를 보였다. 화옹 간척지 시험포의 경우, 암거 5m 처리구의 침출수량은 초기 124.6 m^3 으로 3사분기 장마기간에 7월 155.7 m^3 , 8월 182.5 m^3 , 9월 182.9 m^3 으로 분석되었으며, 10m 처리구는 초기 106.9 m^3 에서 7월 135.0 m^3 , 8월 152.0 m^3 , 9월 169.2 m^3 로 분석되었다. 또한, 암거 10m 토양개량제 처리구는 초기 189.8 m^3 에서 7월 226.1 m^3 , 241.1 m^3 , 290.0 m^3 로 측정되었다. 암거처리구별 초기 침출수량과 장마기간 동안의 침출수량 간의 차이는 각각 58.3 m^3 , 62.3 m^3 , 100.2 m^3 로 암거 10m 토양개량제 처리구가 큰 차이를 보였으며, 암거 5m에 비해 암거 10m 처리구의 침출수량이 더 많은 것으로 분석되었다. 간척지구별 침출수 염도는 다음과 같다.

4차년도('20) 새만금 간척지의 경우, 암거 5m 처리구의 평균 침출수 염분농도는 0.17dS/m, 암거 10m 처리구는 0.17dS/m, 암거 10m 토양개량제 처리구는 0.21dS/m로 암거 10m 토양개량제 처리구의 침출수 염분농도가 가장 높았다. 2차년도 암거 5m, 10m 처리구별 평균 침출수 염분농도는 각각 0.37dS/m, 0.37dS/m, 3차년도 암거 5m, 10m, 10m 토양개량제 처리구별로는 각각 0.53dS/m, 0.54dS/m, 0.42dS/m, 4차년도는 각각 0.17dS/m, 0.17dS/m, 0.21dS/m로 해가 지날수록 염분농도가 낮아졌다. 또한, 3차년도 전처리구 평균 침출수 염분농도가 0.50dS/m로 가장 높았으며, 2차년도 0.37dS/m, 4차년도 0.18dS/m 순으로 분석되었다. 4차년도 석문 간척지의 각 처리구별 평균 염분농도는 9.13dS/m, 8.70dS/m, 9.58dS/m로 암거 10m 토양개량제 처리구가 가장 높았고 5m 처리구, 10m 처리구 순으로 분석되었다. 석문 간척지의 3,4차년도 전처리구별 평균 침출수 염분농도는 각각 11.40dS/m, 9.14dS/m로 3차년도가 가장 높았으며, 년차별 침출수 염분농도의 최대 차이를 보인 처리구는 암거 10m 토양개량제 처리구로 2.73dS/m로 분석되었다. 4차년도 화옹 간척지의 각 처리구별 평균 염분농도는 9.98dS/m, 10.00dS/m, 10.98dS/m로 암거 10m 토양개량제 처리구가 가장 컸으며, 암거 10m, 5m 처리구 순으로 분석되었다. 화옹 간척지 시험포의 2차년도 전처리구 평균 침출수 염분농도는 24.86dS/m, 3차년도와 4차년도는 각각 27.22dS/m, 10.32dS/m로 3차년도가 가장 높았고, 2차년도, 4차년도 순으로 나타났다. 또한, 4차년도의 전처리구 평균 침출수 염분농도와 3차년도 간 16.9dS/m로 년차별로 가장 큰 차이를 보였다.

(표 2-68) 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 관측 침출수량('20)

(단위: (침출수량) m^3 , (침출수염분농도)dS/m)

구분		4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	
암거 5m	새만금	침출수량	9.2	9.6	10.2	11.6	12.9	13.0	13.1
		침출수 염도	0.164	0.178	0.22	0.124	0.154	0.166	0.161
	석문	침출수량	47.0	54.2	61.2	70.9	78.7	82.0	
		침출수 염도	9.9	10.4	9.2	8.4	8.8	8.1	
	화옹	침출수량	124.6	133.4	142.4	155.7	182.5	182.9	
		침출수 염도	10.7	10.1	9.7	9.4	9.9	10.1	
암거 10m	새만금	침출수량	145.3	145.6	146.4	148.3	150.2	150.5	150.6
		침출수 염도	0.167	0.204	0.212	0.167	0.144	0.151	0.148
	석문	침출수량	63.8	70.4	76.9	83.1	87.6	89.5	
		침출수 염도	8.8	8.1	9.2	10.1	8.1	7.9	
	화옹	침출수량	106.9	115.7	124.5	135.0	152.0	169.2	
		침출수 염도	9.7	10.5	10.1	9.7	9.8	10.2	
암거 10m 토양 개량	새만금	침출수량	16.0	16.2	16.8	18.3	19.7	20.0	20.9
		침출수 염도	0.214	0.222	0.252	0.231	0.177	0.181	0.169
	석문	침출수량	49.0	60.4	69.6	80.8	92.0	103.1	
		침출수 염도	8.6	9.4	10.6	10.2	9.5	9.2	
	화옹	침출수량	189.8	207.2	218.5	226.1	241.1	290.0	
		침출수 염도	10.1	12.3	10.3	9.8	10.9	12.5	

2) 간척지구별 단위배수량 산정

2차년도('18)의 간척지구별 암거 처리구별 관측 침출수량 변화분석을 하였다. 새만금 간척지의 경우 암거 5m 간격의 침출수량은 $2.7m^3$ 으로 암거 지배면적은 $1500m^2$ 로 단위 배수량은 $8.33 \times 10^{-6}m/day$ 로 일 침출수량은 $0.008mm/day$ 로 분석되었다. 암거 10m 간격의 침출수량은 $43.5m^3$, 암거 지배면적은 $3000m^2$, 단위배수량은 $6.79 \times 10^{-5}m/day$ 로 일 침출수량은 $0.068mm/day$ 로 분석되었다. 석문 간척지의 경우 암거 5m 간격의 침출수량은 $5.5m^3$ 으로 단위 배수량은 $4.701 \times 10^{-5}m/day$, 일 침출수량은 $0.05mm/day$ 로 분석되었다. 암거 10m 간격의 단위배수량은 $0.0001m/day$, 일 침출수량은 $0.14mm/day$ 로 분석되었다. 화옹 간척지의 경우 암거 5m 간격의 단위 배수량은 $0.001m/day$, 일 침출수량은 $0.82mm/day$ 로 분석되었다. 암거 10m 간격의 단위 배수량은 $0.001m/day$ 로 일 침출수량은 $0.52mm/day$ 로 분석되었다. 간척지구별 일 침출수량 분석 결과, 새만금 간척지 시험포는 석문, 화옹간척지 시험포에 비해 일 침출수량이 낮게 분석되었다. 화옹 간척지의 일 침출수량은 암거 처리구별로 가장 많은 수치가 측정되었다. 석문과 화옹 간척지 시험포의 경우 지속적인 모니터링이 필요하며, 새만금 간척지는 상대적으로 침출수량이 낮게 나타나고 있어 이에 대한 원인을 파악하기 위해 각 암거처리구별 흡수거 내·외부의 문제점 파악이 필요할 것으로 분석되었다.

(표 2-69) 간척지구별 관측 침출수량('18)

구 분		침출수량 (m ³)	지배 면적 (m ²)	경과 일수 (day)	단위배수량 (m/day)	일 침출수량 (mm/day)
암거 5m	새만금	2.7	1,500	214	8.33×10 ⁻⁶	0.008
	석 문	5.5	1,500	78	4.701×10 ⁻⁵	0.05
	화 용	74.5	1,500	60	0.001	0.82
암거 10m	새만금	43.5	3,000	214	6.79×10 ⁻⁵	0.068
	석 문	33.0	3,000	78	0.0001	0.14
	화 용	92.7	3,000	60	0.001	0.52

3차년도('19)의 간척지구별 암거처리에 따른 관측 침출수량 분석결과를 활용하여 단위배수량 및 일 침출수량에 대해 산정하였다. 먼저, 새만금 간척지 시험포의 암거 5m 간격의 침출수량은 3.02m³, 단위배수량은 0.000009m/day로 일 침출수량은 0.0095mm/day로 분석되었다. 암거 10m 처리구의 침출수량은 4.67m³, 단위배수량은 0.000007m/day로 일 침출수량은 0.0073mm/day로 분석되었다. 암거 10m 토양개량제 처리구의 침출수량은 5.68m³, 단위배수량은 0.000009m/day로 일 침출수량은 0.0089mm/day로 분석되었다. 석문 간척지의 경우, 암거 5m 간격의 침출수량은 2.5m³으로 단위배수량은 0.000018m/day, 일 침출수량은 0.0183mm/day로 분석되었으며, 암거 10m 간격의 단위배수량은 0.000016m/day, 일 침출수량은 0.0163mm/day로 분석되었다. 그리고 암거 10m 토양개량제 처리구의 침출수량은 2.43m³, 단위배수량은 0.000009m/day로 일 침출수량은 0.0089mm/day로 분석되었다. 화용 간척지 시험포의 암거 5m 간격 단위배수량은 0.000061m/day, 일 침출수량은 0.0610mm/day로 분석되었다. 암거 10m 처리구의 단위배수량은 0.000026m/day, 일 침출수량은 0.0256mm/day로 분석되었으며, 암거 10m 토양개량제 처리구의 침출수량 49.28m³, 단위배수량은 0.000077m/day, 일 침출수량은 0.0771mm/day로 분석되었다.

(표 2-70) 간척지구별 암거처리에 따른 단위배수량 및 일 침출수량('19)

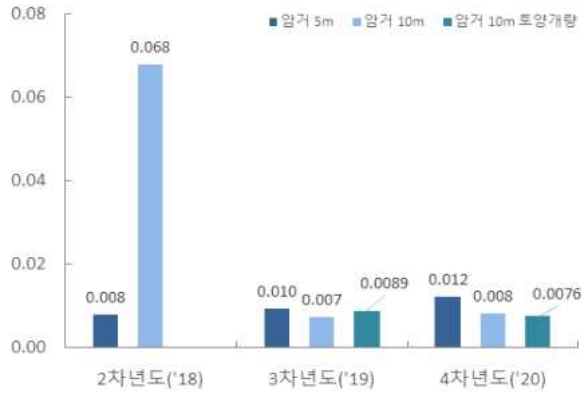
구분		침출수량 (m ³)	지배 면적 (m ²)	경과일수 (day)	단위 배수량 (m/day)	일 침출수량 (mm/day)
암거 5m	새만금	3.02	1,500	213	0.000009	0.0095
	석문	2.5	1,500	91	0.000018	0.0183
	화용	19.49	1,500	213	0.000061	0.0610
암거 10m	새만금	4.67	3,000	213	0.000007	0.0073
	석문	4.45	3,000	91	0.000016	0.0163
	화용	16.39	3,000	213	0.000026	0.0256
암거 10m 토양개량	새만금	5.68	3,000	213	0.000009	0.0089
	석문	2.43	3,000	91	0.000009	0.0089
	화용	49.28	3,000	213	0.000077	0.0771

4차년도('20)의 간척지구별 단위배수량 및 일 침출수량을 분석하였다. 새만금 간척지 시험포의 암거 5m 처리구의 침출수량은 3.9m³, 단위배수량은 0.00001m/day로 일 침출수량은 0.01215mm/day로 분석되었다. 암거 10m 처리구의 침출수량은 5.3m³, 단위배수량은 0.00001m/day, 일 침출수량은 0.00826mm/day로 분석되었다. 암거 10m 토양개량제 처리구의 침출수량은 4.9m³, 단위배수량은 0.00001mm/day, 일 침출수량은 0.00763mm/day로 분석되었다. 석문 간척지의 경우, 암거 5m 간격의 침출수량은 35.0m³으로 단위배수량은 0.00013m/day, 일 침출수량은 0.12750mm/day로 분석되었으며, 암거 10m 처리구의 단위배수량은 0.00005m/day, 일 침출수량은 0.04681mm/day로 분석되었다. 암거 10m 토양개량제 처리구의 침출수량은 54.1m³, 단위배수량은 0.00010m/day로 일 침출수량은 0.09854mm/day로 분석되었다. 화옹 간척지 시험포의 암거 5m 간격 단위배수량은 0.00021m/day, 일 침출수량은 0.21239mm/day로 분석되었다. 암거 10m 처리구의 단위배수량은 0.00005m/day, 일 침출수량은 0.04681mm/day로 분석되었으며, 암거 10m 토양개량제 처리구의 침출수량 100.2m³, 단위배수량은 0.00018m/day, 일 침출수량은 0.18251mm/day로 분석되었다.

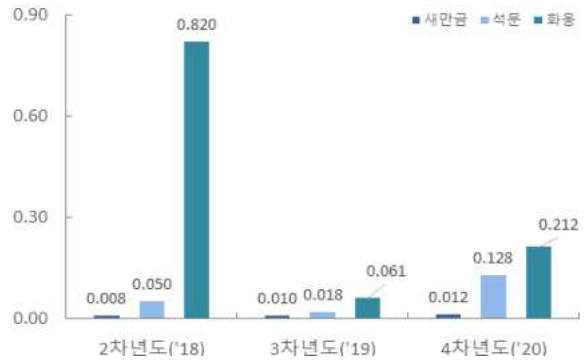
결과적으로 화옹 간척지의 일 침출수량은 암거 처리구별로 가장 많은 수치가 측정되었는데, 이는 상대적으로 새만금, 석문 간척지 토양보다 점토함량이 높은 미사질식토인 화옹간척지의 경우 암거설치시 심토파쇄한 상태가 지속적으로 유지됨에 따라 침출수량이 유지되는 것으로 파악되었다.

(표 2-71) 간척지구별 암거처리에 따른 단위배수량 및 일 침출수량('20)

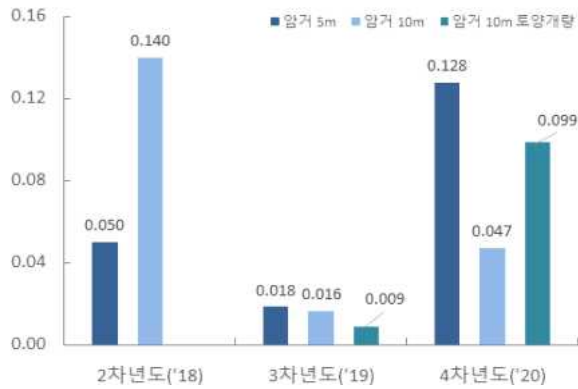
구분		침출수량 (m ³)	지배 면적 (m ²)	경과일수 (day)	단위 배수량 (m/day)	일 침출수량 (mm/day)
암거 5m	새만금	3.9	1,500	214	0.00001	0.01215
	석문	35.0	1,500	183	0.00013	0.12750
	화옹	58.3	1,500	183	0.00021	0.21239
암거 10m	새만금	5.3	3,000	214	0.00001	0.00826
	석문	25.7	3,000	183	0.00005	0.04681
	화옹	62.3	3,000	183	0.00011	0.11348
암거 10m 토양개량	새만금	4.9	3,000	214	0.00001	0.00763
	석문	54.1	3,000	183	0.00010	0.09854
	화옹	100.2	3,000	183	0.00018	0.18251



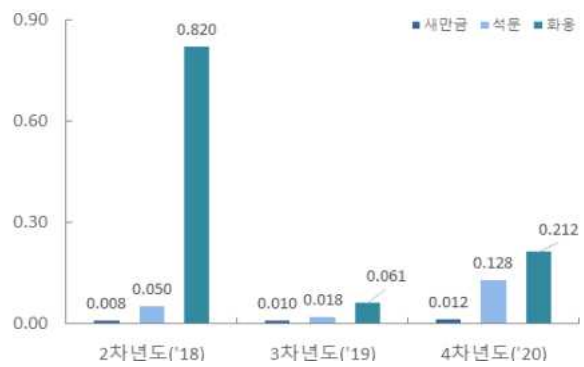
(새만금 간척지 시험포)



(간척지구별 암거 5m 처리구 일 침출수량)



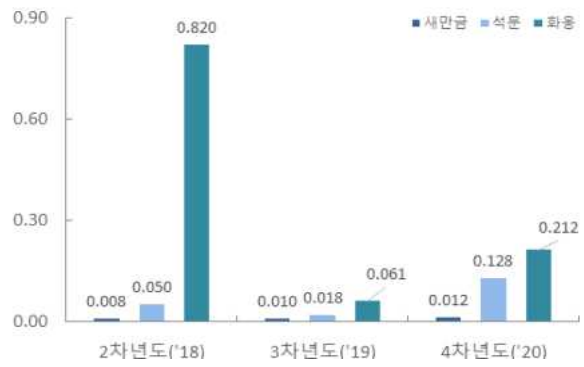
(석문 간척지 시험포)



(간척지구별 암거 10m 처리구 일 침출수량)



(화용 간척지 시험포)



(간척지구별 암거 10m 토양개량제 처리구 일 침출수량)

<그림 2-173> 간척지구별 연차별 암거처리구에 따른 일 침출수량 분석

3) 간척지구별 염분량 분석

앞서 간척지구별 암거 처리구별 침출수량 및 침출수의 염분농도를 분석하였으며, 이를 활용하여 암거 처리구별 간척지 시험포 토양 내 총 염분량을 분석하였다. 먼저, 새만금 간척지 시험포 암거 5m 처리구의 평균 침출수 염도는 0.369dS/m로 측정되었다. 이를 TDS(Total Dissolved Solids)로 변환하였다(TDS(ppm)으로 변환시, 염도가 0.1~5.0dS/m 일 경우, 640을 곱해주며, 염도가 5.0dS/m 이상일 경우, 800을 곱해준다(USDA, Electrical Conductivity of Salt Concentration, NRCS)). TDS(ppm) 변환시 236.7ppm(0.236kg/m³)으로 분석되었으며, 암거를 통해 침출된 총 염분량은 0.631kg으로 분석되었다. 암거 10m 처리구는 평균 침출수 염도는 0.366dS/m로 이를 TDS로 변환 시 234.1ppm(0.234kg/m³), 총 염분

량은 10.2kg으로 분석되었다. 화용 간척지 시험포의 경우, 암거 5m 처리구의 평균 침출수 염도는 22.9dS/m로 측정되었다. TDS 변환 시 18,346.7ppm(18.35kg/m³)이며, 침출수량 73.42m³을 곱하면 현재까지 암거상층부에서 배출된 염분총량은 1,393.8kg으로 분석되었다. 암거 10m 처리구의 평균 침출수 염도는 26.8kg, TDS 변환시 21429.3ppm(21,43kg/m³), 침출수량이 92.74m³으로 총 염분량은 2,026kg으로 분석되었다. 새만금 및 화용 간척지 시험포 모두 암거 10m간격에서 빠져나간 염분량이 암거 5m 간격에서 나타난 총 염분량 보다 높은 것으로 분석되었다. 화용 간척지 시험포는 새만금 간척지 시험포에 비해 침출된 염분총량이 높아 지하배수암거를 통해 지속적인 제염이 이루어지는 것으로 분석되었다.

3차년도('19)의 간척지구별 암거 처리에 따른 총 염분량(kg)에 대한 분석결과는 다음과 같다. 먼저, 간척지구별 평균 토양전기전도도 분석결과, 새만금 간척지 시험포의 암거 5m 처리구는 0.53dS/m, 10m 처리구는 0.54dS/m, 10m 토양개량제 처리구는 0.42dS/m로 분석되었다. 또한, 석문 간척지 시험포의 암거 5m 처리구의 토양 전기전도도는 10.60dS/m, 10m 처리구는 11.30dS/m, 10m 토양개량제 처리구는 12.31dS/m로 분석되었으며, 화용 간척지 시험포의 암거 5m, 10m, 10m 토양개량제 처리구별로 각각 26.96dS/m, 28.80dS/m, 25.90dS/m로 분석되었다. 간척지구별 염분량 산정을 위해 암거 5m, 10m, 10m 토양개량제 처리구 순으로 TDS 변환 시 새만금 간척지 시험포는 각각 336.0ppm(0.34kg/m³), 343.3ppm(0.34kg/m³), 270.2ppm(0.27kg/m³) 순으로 분석되었으며, 석문 간척지 시험포는 8,480.0ppm(8.48kg/m³), 9,040.0ppm(9.04kg/m³), 9848.0(9.85kg/m³)로 나타났다. 화용 간척지 시험포는 21,565.7ppm(21.57kg/m³), 23,040.0(23.04kg/m³), 20,720.0ppm(20.72kg/m³) 순으로 분석되었다. 마지막으로 간척지구별 총 염분량 산정결과, 새만금 간척지 시험포 암거 5m 처리구에서 1.0kg, 10m 처리구는 1.6kg, 10m 토양개량제 처리구는 1.5kg로 분석되었다. 석문 간척지 시험포의 암거 5m 처리구는 21.2kg, 10m 처리구는 40.2kg, 10m 토양개량제 처리구는 23.9kg으로 분석되었다. 또한, 화용 간척지 시험포의 암거 5m, 10m, 10m 토양개량제 처리구는 각각 420.3kg, 377.6kg, 1021.1kg로 분석되었다. 화용 간척지 시험포의 총 염분량은 새만금, 석문 간척지 시험포에 비해 가장 높게 나타났다. 화용 간척지 시험포는 타 간척지 시험포에 비해 상대적으로 제염이 원활히 이루어지고 있는 것으로 나타났다.

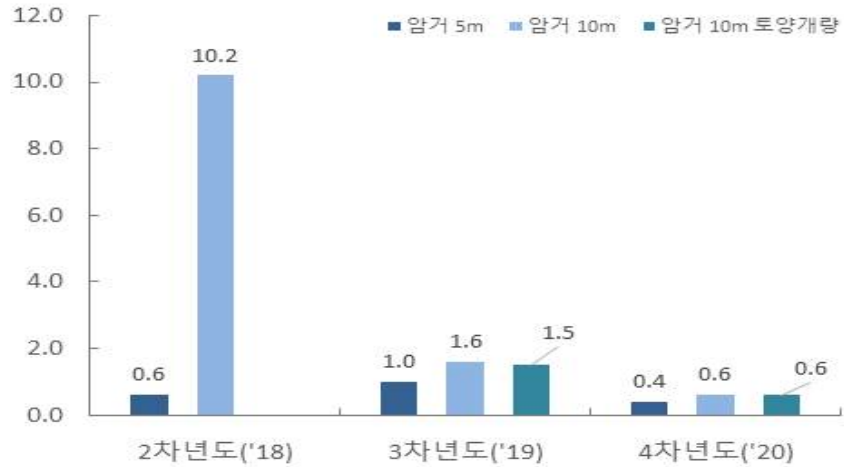
4차년도('20)의 간척지구별 암거 처리에 따른 총 염분량(kg)에 대한 분석결과는 다음과 같다. 간척지구별 염분량 산정을 위해 암거 5m, 10m, 10m 토양개량제 처리구 순으로 TDS 변환 시 새만금 간척지 시험포는 각각 106.7ppm(0.107kg/m³), 109.1ppm(0.109kg/m³), 132.2ppm(0.132kg/m³) 순으로 분석되었다. 석문 간척지 시험포는 7306.7ppm(7.307kg/m³), 6960.0ppm(6.960kg/m³), 7666.7(7.667kg/m³)로 분석되었으며, 화용 간척지 시험포는 7986.7ppm(7.987kg/m³), 8000.0(8.000kg/m³), 8786.7ppm(8.787kg/m³) 순으로 나타났다. 간척지구별 총 염분량 분석결과, 새만금 간척지 시험포 암거 5m 처리구에서 0.4kg, 10m 처리구는 0.6kg, 10m 토양개량제 처리구는 0.6kg로 분석되었다. 석문 간척지 시험포의 암거 5m 처리구는 255.7kg, 10m 처리구는 178.9kg, 10m 토양개량제 처리구는 414.8kg으로 분석되었다. 또한, 화용 간척지 시험포의 암거 5m, 10m, 10m 토양개량제 처리구는 각각 465.6kg, 498.4kg, 880.4kg로 분석되었다. 새만금 간척지 시험포는 연차별 전처리구 평균 총 염분량은 2차년도 5.4kg, 3차년도 1.4kg, 4차년도 0.5kg으로 모니터링 분석 초기년도에 가장 높았다. 석문 간척지 시험포의 경우 3차년도 전처리구 평균 총 염분량은 28.4kg, 4차년도는 283.1kg으로 약 10배 정도 증가하였고, 4차년도에는 암거 10m 토양개량제 처리구의 총 염분량 414.8kg으로 가장 많은 것으로 나타났다.

화용 간척지 시험포의 연차별 전처리구 평균 총 염분량은 2차년도 1709.9kg, 3차년도 606.3kg, 4차년도 614.8kg으로 2차년도에 가장 높게 분석되었으며, 4차년도, 3차년도 순으로 나타났다. 3차년도와 4차년도에는 암거 10m 토양개량제 처리구의 총 염분량은 각각 1021.1kg, 880.4kg으로 타 처리구에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 따라서, 간척지에서 암거시설을 통해 제염을 실시하기 위해서는 첫째, 암거설치와 더불어 심토파쇄가 반드시 필요하다. 둘째, 간척지 제염시 재염화를 방지하기 위해서는 지하수위의 배수암거의 사이즈를 확대한다 할지라도 50mm관경으로도 충분한 제염효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 셋째, 간척지 암거를 제염효과를 높이기 위해서는 1.0m이상의 적정 지하수위 확보와 원활한 지표배수가 이루어져야 지속적인 염분량을 기대할 수 있다.

(표 2-72) 간척지구별 연차별 암거 처리에 따른 염분량 분석

구 분		평균 침출수 염도 (dS/m)	TDS1) (ppm)	TDS (kg/m ³)	침출수량 (m ³)	염분 (kg)	
2차년 도 (‘18)	암거 5m	새만금	0.369	236.7	0.236	2.67	0.631
		화 용	22.9	18,346.7	18.35	73.42	1,393.8
	암거 10m	새만금	0.366	234.1	0.234	43.5	10.2
		화 용	26.8	21,429.3	21.43	92.74	2,026.0
3차년 도 (‘19)	암거 5m	새만금	0.53	336.0	0.34	3.02	1.0
		석문	10.60	8,480.0	8.48	2.5	21.2
		화용	26.96	21,565.7	21.57	19.49	420.3
	암거 10m	새만금	0.54	343.3	0.34	4.67	1.6
		석문	11.30	9,040.0	9.04	4.45	40.2
		화용	28.80	23,040.0	23.04	16.39	377.6
	암거 10m 토양 개량	새만금	0.42	270.2	0.27	5.68	1.5
		석문	12.31	9,848.0	9.85	2.43	23.9
		화용	25.90	20,720.0	20.72	49.28	1,021.1
4차년 도 (‘20)	암거 5m	새만금	0.167	106.7	0.107	3.9	0.4
		석문	9.133	7306.7	7.307	35	255.7
		화용	9.983	7986.7	7.987	58.3	465.6
	암거 10m	새만금	0.170	109.1	0.109	5.3	0.6
		석문	8.700	6960.0	6.960	25.7	178.9
		화용	10.000	8000.0	8.000	62.3	498.4
	암거 10m 토양 개량	새만금	0.207	132.2	0.132	4.9	0.6
		석문	9.583	7666.7	7.667	54.1	414.8
		화용	10.983	8786.7	8.787	100.2	880.4

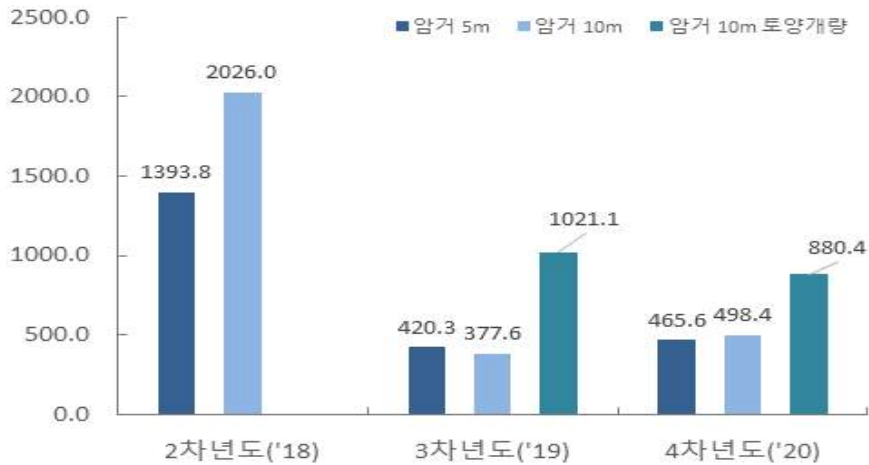
주) USDA, Electrical Conductivity of Salt Concentration(NRCS)에 의하면 관개수(irrigation water)의 경우 1mg/L=1ppm, TDS(ppm)변환시, 염도가 0.1~5.0dS/m 일 때 ×640, 염도가 5.0ds/m>일 때, ×800을 곱한다.



(새만금 간척지 시험포)



(석문 간척지 시험포)



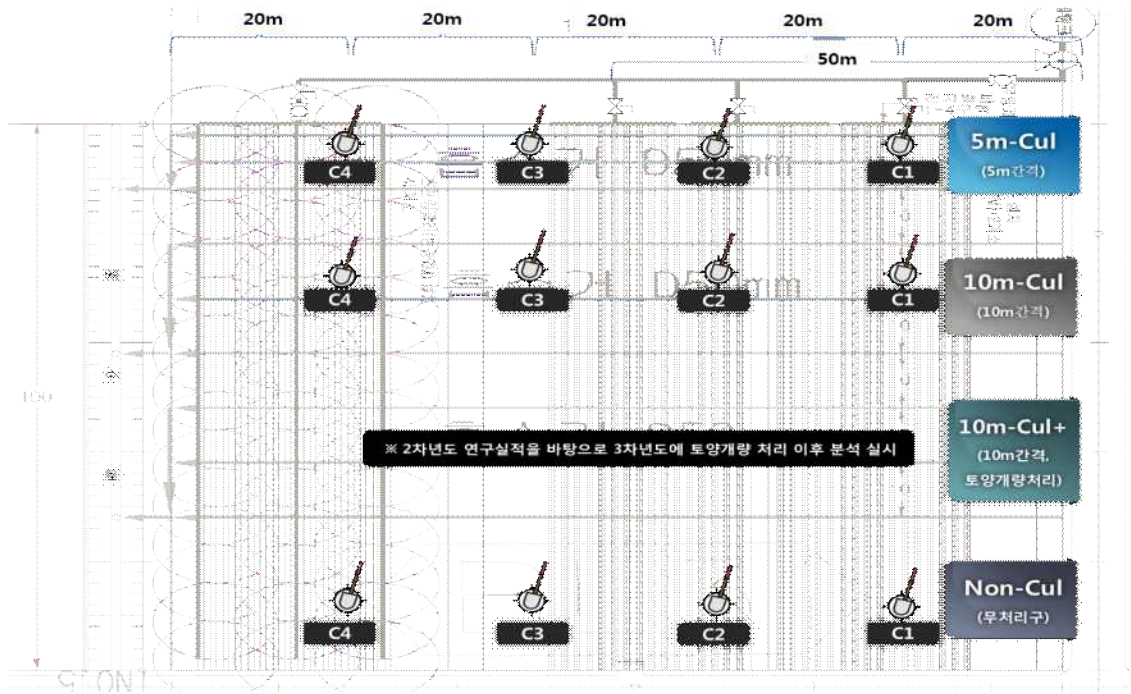
(화옹 간척지 시험포)

<그림 2-174> 간척지구별 연차별 암거처리구에 따른 총 염분량 분석

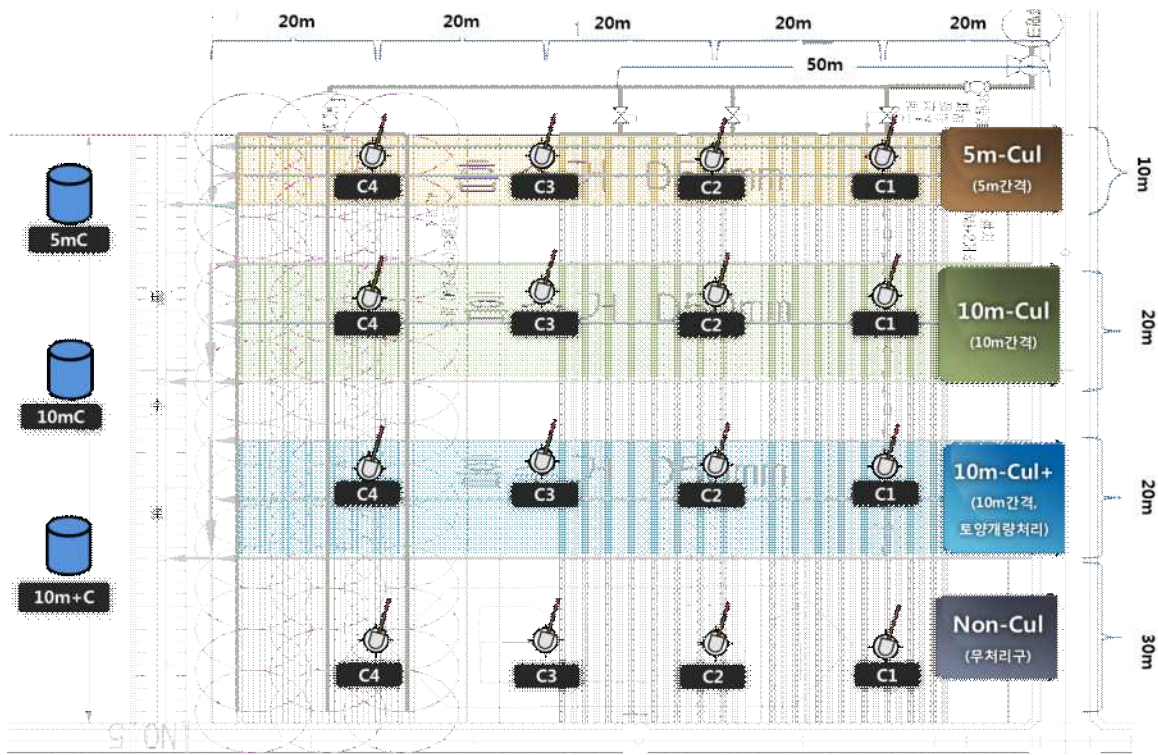
라. 간척지구별 암거처리에 따른 염류제거 현장실증시험 모니터링 분석

1) 간척지구별 현장실증시험 모니터링 분석 계획

간척지구별 암거 처리구별 토양의 물리·화학적 특성인자 및 토양 내 거동 파악 분석을 위해 월별 시험포 모니터링 분석을 실시하였다. 모니터링 분석 항목은 토양 수분함량 및 토양 전기전도도로 작물 근근역에 해당하는 표토층(0~20cm)에 대한 암거 5m 처리구, 10m 처리구, 10m 토양개량제 처리구, 암거 무설치 처리구로 각 처리구당 4개 지점으로 구분하여 토양 시료 채취 및 분석을 실시하였다. 단, 2차년도에는 암거 10m 토양개량제 처리구의 분석은 미실시하였는데, 이는 3차년도부터 시험포 토양개량제 처리를 실시하기로 계획을 하였기 때문에 토양 모니터링 분석을 실시하지 않았다. 이어 3차년도부터 암거 10m 처리구에 추가적으로 토양개량제 처리를 실시하였고, 모니터링 분석을 위해 4개 지점을 추가하여 총 16개 지점에 대한 토양 시료 채취 및 모니터링 분석을 실시하였다. 또한, 2차년도 연구 진행 과정 중, 시험포 문제점으로 지적되었던 여름철 장마기간 동안 지표배수불량 및 암거침출수 문제를 보완하기 위해 3차년도부터 간척지구별 시험포 조성하기 전 외곽 배수로 공사를 실시하였다. 4차년도('20)는 3차년도와 동일하게 모니터링 분석 실시 및 지표배수조건 개선을 위한 외곽 배수로를 공사를 하였다.



(2차년도('18) 간척지구별 시험포 토양 모니터링 분석지점)



(3차년도('19) & 4차년도('20) 간척지구별 시험포 토양 모니터링 분석지점)

<그림 2-175> 간척지구별 시험포 토양 모니터링 분석 지점



(토양개량제 살포(1))



(토양개량제 살포(2))



(시험포 외곽배수로 공사(1))



(시험포 외곽배수로 공사(2))

<그림 2-176> 간척지구별 시험포 토양개량제 살포 및 외곽배수로 공사

2) 새만금 간척지 시험포 토양 이화학적 특성 분석

새만금 간척지 시험포의 연도별 토양의 이화학적 특성을 분석하였다. 토양 전기전도도, 산도(pH), 입도 및 토성, 유기물, 유효인산, 총 질소, 토양수분함량, 감열감량, 치환성양이온 등의 항목들을 분석하였다. 염도는 연도별 큰 차이를 보이지 않았으며, '20년도에는 '19년도에 비해 0.26dS/m 상승하였다. 또한, 산도(pH)는 연도별로 7.1, 7.1, 6.5로 매우 약한 산성토양을 보이고 있다. 토성은 Clay가 적은 사양토(Sandy Loam)로 분석되었다. 유기물은 연도별로 0.59%, 1.14%, 1.29%로 초기보다 0.7% 상승하였다. 유효인산은 초기 87.00mg/kg에서 128.82mg/kg으로 증가하였으며, 토양수분함량은 28.00%, 25.73%, 22.39%로 큰 차이를 보이지 않았다. 치환성양이온 분석결과, '19년도의 칼슘은 0.65cmol/kg, 칼륨은 0.59cmol/kg, 마그네슘은 2.38cmol/kg, 나트륨은 1.58cmol/kg으로 분석되었으며, '20년도에는 칼슘 0.59cmol/kg, 칼륨 1.61cmol/kg, 마그네슘 2.75cmol/kg, 나트륨 2.13cmol/kg으로 '19년도에 비해 칼륨과 나트륨의 비율이 각각 1.02cmol/kg, 0.55cmol/kg 상승하였다.

<그림 2-177> 새만금 간척지 토양 이화학적 특성(1)

구분	EC (dS/m)	pH	입도(%)			Soil Texture
			Sand	Silt	Clay	
새만금 간척지	'18	0.29	61.4	35.1	3.5	Sandy Loam (사양토)
	'19	0.23				
	'20	0.49				

<그림 2-178> 새만금 간척지 토양 이화학적 특성(2)

구분	OM (%)	유효인산 (mg/kg)	총질소 (mg/kg)	수분함량 (%)	감열감량 (%)	치환성양이온 (cmol/kg)				
						Ca	K	Mg	Na	
새만금 간척지	'18	0.59	87.00	888	28.00	-	14.70			
	'19	1.14	71.17	1,330	25.73	3.01	0.65	0.59	2.38	1.58
	'20	1.29	128.82	332	22.39	2.56	0.59	1.61	2.75	2.13

3) 간척지구별 암거처리에 따른 토양수분함량 및 토양전기전도도 변화

(1) 간척지구별 연차별 암거처리에 따른 토양수분함량 변화

2차년도에 새만금 간척지 시험포 암거 5m 처리구의 평균 토양수분함량은 24.2%, 암거 10m 처리구는 23.7%, 암거 무처리구에서 23.4%로 각 처리구에 따라 수분함량의 차이가 나타나지 않았다. 석문 간척지 시험포의 암거 5m 처리구, 10m 처리구, 무처리구에서 각각 평균 수분함량 21.2%, 21.2%, 20.1%로 분석되었다. 화옹 간척지 시험포의 경우, 암거 5m 및 10m 처리구의 평균 수분함량은 각각 21.1% 21.1%로 나타났고, 암거 무처리구의 평균 수분함량은 21.2%로 나타났다. 화옹 간척지와 석문 간척지 시험포는 각 처리구별 평균 수분함량은 차이가 크지 않았으며, 새만금 간척지 시험포의 경우 암거 5m 처리구가 타 처리구에 비해 약간의 차이가 나타났다.

3차년도의 새만금 간척지 시험포 암거 5m 처리구의 평균 토양수분함량은 23.4%, 암거 10m 처리구는 22.6%, 암거 10m 토양개량제 처리구 및 암거 무처리구 각각 23.2%, 20.8%로 분석되었다. 석문 간척지 시험포는 암거 5m 처리구, 10m 처리구, 암거 10m 토양개량제 처리구, 무처리구에서 각각 평균 수분함량 22.7%, 21.5%, 21.2%, 21.2%로 분석되었다. 화옹 간척지 시험포의 경우, 암거 5m, 10m 처리구, 암거 10m 토양개량제 처리구, 암거 무처리구의 평균 수분함량은 각각 21.1%, 20.8%, 21.1%, 20.2%로 나타났다.

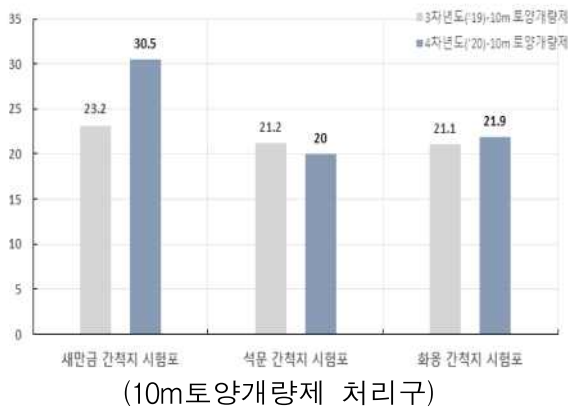
4차년도의 새만금 간척지 시험포 암거 5m 처리구의 평균 토양수분함량은 29.6%, 암거 10m 처리구는 29.0%, 암거 10m 토양개량제 처리구 및 암거 무처리구는 각각 30.5%, 28.9%로 분석되었다. 석문 간척지 시험포는 암거 5m 처리구, 10m 처리구, 암거 10m 토양개량제 처리구, 무처리구에서 각각 평균 수분함량은 20.3%, 20.2%, 20.0%, 18.9%로 분석되었으며, 화옹 간척지 시험포는 각각 21.0% 20.9%, 21.9%, 21.4%로 분석되었다.

또한, 새만금 간척지 시험포의 전체년도 암거 5m처리구, 암거 10m 처리구, 암거 10m 토양개량제 처리구, 암거 무처리구의 평균 수분함량은 각각 25.7%, 25.1%, 26.9%, 24.4%로 분석되었다. 석문 간척지 시험포는 각각 21.4%, 20.2%, 20.6%, 20.1%로 나타났으며, 화옹 간척지 시험포는 각각 21.1%, 20.9%, 21.5%, 20.9%로 분석되었다. 새만금 간척지 시험포는 타 간척지 시험포에 비해 토양 수분함량이 높게 나타났는데 암거 5m 처리구는 약 4.3~4.6%, 암거 10m 처리구는 4.2~4.9%, 토양개량제 처리구는 5.4~6.3%, 무처리구는 3.4~4.3% 차이가 나타났다. 새만금 간척지 시험포는 암거 10m 토양개량제 처리구가 26.9%로 가장 높았고 암거 5m, 10m, 무처리구 순으로 분석되었다. 석문 간척지 시험포는 암거 5m 처리구가 21.4%로 가장 높았고, 암거 10m 토양개량제 처리구, 암거 10m, 무처리구 순으로 나타났으며, 화옹 간척지 시험포는 암거 10m 토양개량제 처리구가 21.5%로 가장 높고 암거 5m 처리구, 암거 10m 및 무처리구 순으로 분석되었다.

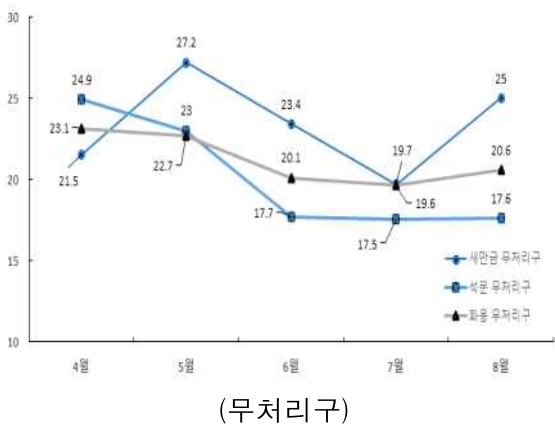
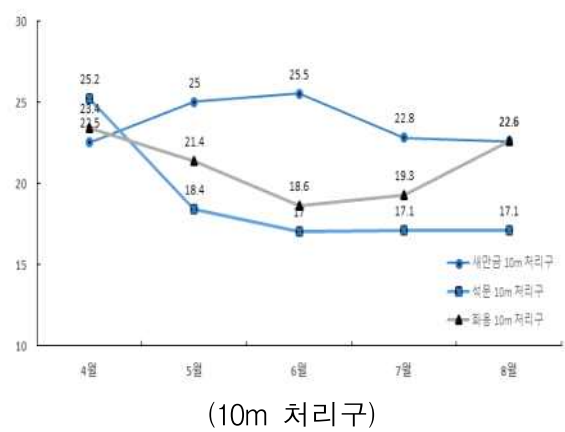
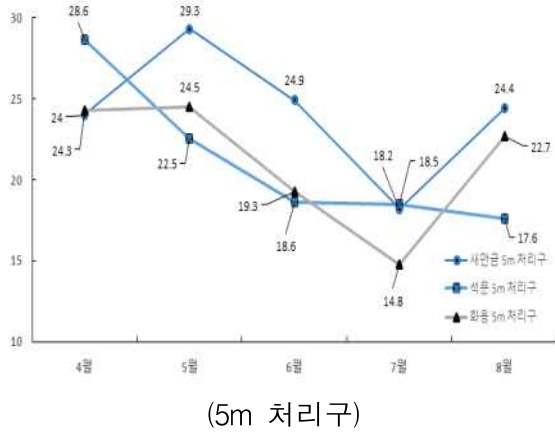
(표 2-73) 간척지구별 연차별 암거처리에 따른 토양수분함량(표토층)

(단위: %)

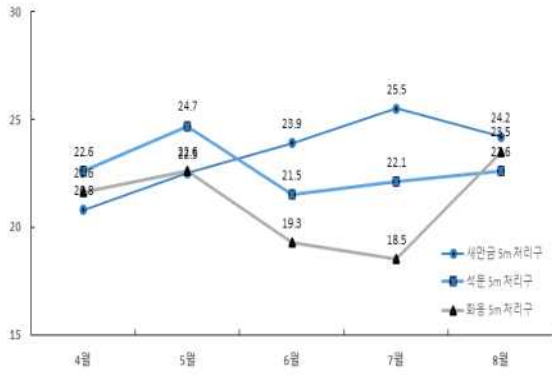
구분		월	4월	5월	6월	7월	8월	평균	
'18	5m	새만금	24.0	29.3	24.9	18.2	24.4	24.2	
		석문	28.6	22.5	18.6	18.5	17.6	21.2	
		화옹	24.3	24.5	19.3	14.8	22.7	21.1	
	10 m	새만금	22.5	25.0	25.5	22.8	22.6	23.7	
		석문	25.2	18.4	17.0	17.1	17.1	19.0	
		화옹	23.4	21.4	18.6	19.3	22.6	21.1	
	10 m 토양개량	새만금	2차년도 토양개량 미처리						
		석문							
		화옹							
	무처리구	새만금	21.5	27.2	23.4	19.7	25.0	23.4	
		석문	24.9	23.0	17.7	17.5	17.6	20.1	
		화옹	23.1	22.7	20.1	19.6	20.6	21.2	
'19	5m	새만금	20.8	22.5	23.9	25.5	24.2	23.4	
		석문	22.6	24.7	21.5	22.1	22.6	22.7	
		화옹	21.6	22.6	19.3	18.5	23.5	21.1	
	10 m	새만금	22.0	22.5	20.1	23.4	25.1	22.6	
		석문	18.6	22.4	22.0	22.8	21.8	21.5	
		화옹	20.8	22.7	17.8	18.9	23.9	20.8	
	10 m 토양개량	새만금	25.1	23.9	21.6	22.5	22.7	23.2	
		석문	18.9	22.2	21.7	22.5	20.8	21.2	
		화옹	19.2	22.1	19.5	19.2	25.3	21.1	
	무처리구	새만금	24.1	18.7	19.1	20.5	21.5	20.8	
		석문	17.0	20.6	22.4	23.2	23.0	21.2	
		화옹	17.9	22.1	18.0	17.3	25.8	20.2	
'20	5m	새만금	21.0	23.0	21.1	43.1	39.6	29.6	
		석문	24.0	18.6	12.5	22.2	24.0	20.3	
		화옹	18.2	22.9	22.2	19.5	22.4	21.0	
	10 m	새만금	21.1	22.3	21.7	41.0	39.1	29.0	
		석문	23.6	17.0	11.3	24.6	24.4	20.2	
		화옹	18.0	23.1	22.5	19.8	21.2	20.9	
	10 m 토양개량	새만금	22.9	23.6	23.2	43.1	39.5	30.5	
		석문	21.7	19.5	9.3	24.8	24.7	20.0	
		화옹	17.5	24.0	23.6	20.1	24.1	21.9	
	무처리구	새만금	21.1	20.7	22.4	41.0	39.1	28.9	
		석문	20.2	18.4	11.7	21.0	23.2	18.9	
		화옹	18.9	23.0	22.5	18.7	22.1	21.4	



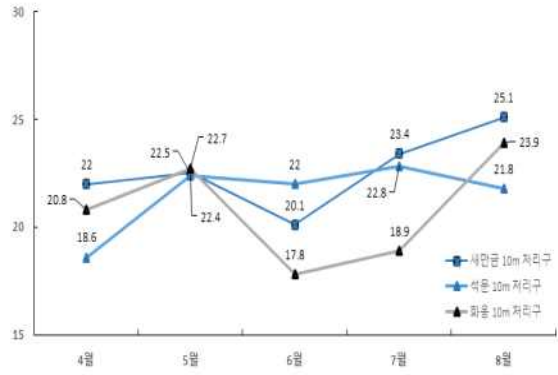
<그림 2-179> 간척지구별 암거처리에 따른 년차별 토양수분함량 비교



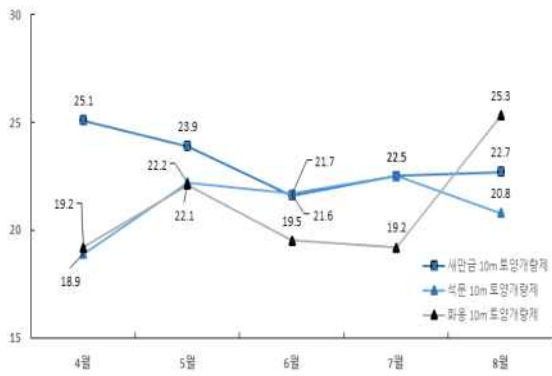
<그림 2-180> 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 토양수분함량 변화('18)



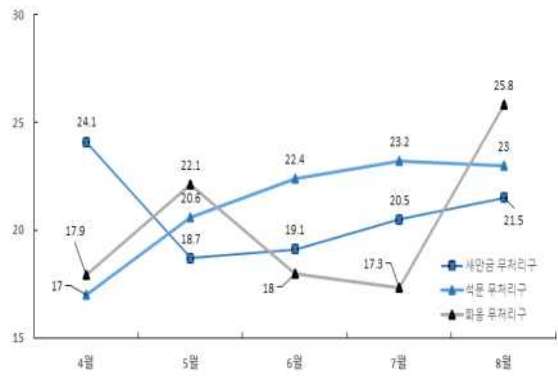
(5m 처리구)



(10m 처리구)

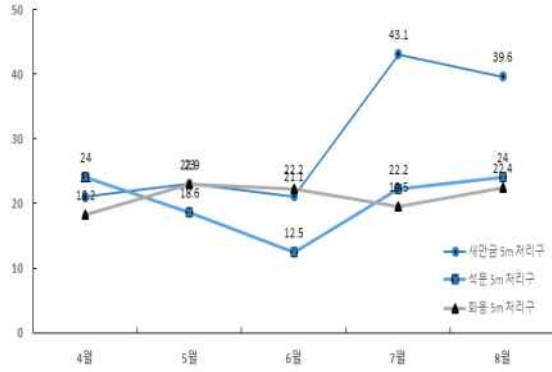


(10m 토양개량 처리구)

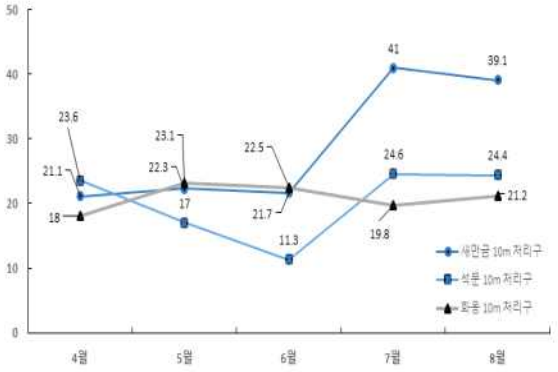


(무처리구)

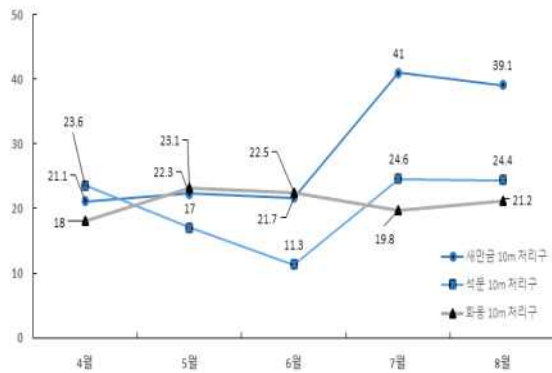
<그림 2-181> 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 토양수분함량 변화('19)



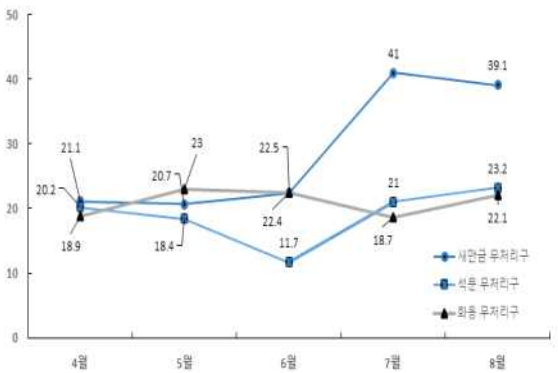
(5m 처리구)



(10m 처리구)



(10m 토양개량 처리구)



(무처리구)

<그림 2-182> 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 토양수분함량 변화('20)

(2) 간척지구별 연차별 암거처리에 따른 토양전기전도도 변화

2차년도에 새만금 간척지 시험포 암거 5m 처리구의 평균 토양전기전도도는 0.4dS/m, 암거 10m 처리구는 0.3dS/m, 암거 무처리구에서 0.3dS/m로 분석되었다. 석문 간척지 시험포의 암거 5m 처리구, 10m 처리구, 무처리구에서 각각 평균 토양전기전도도는 9.5dS/m, 11.5dS/m, 14.5dS/m로 무처리구가 가장 높은 것으로 분석되었다. 화옹 간척지 시험포의 경우, 암거 5m, 10m 처리구 및 무처리구의 평균 토양전기전도도는 각각 8.3dS/m, 12.5dS/m, 9.1dS/m로 나타났다. 새만금 간척지 시험포는 전 처리구 평균 토양전기전도도 0.3dS/m로 타 간척지에 비해 가장 낮았으며, 석문 및 화옹 간척지 시험포는 각각 11.8dS/m, 10.0dS/m로 석문 간척지가 가장 높은 것으로 분석되었다.

3차년도에 새만금 간척지 시험포 암거 5m 처리구의 평균 토양전기전도도는 0.2dS/m, 암거 10m 처리구는 0.2dS/m, 암거 10m 토양개량제 처리구는 0.1dS/m, 암거 무처리구에서 0.3dS/m로 나타났다. 석문 간척지 시험포는 암거 5m 처리구, 10m 처리구, 암거 10m 토양개량제 처리구, 무처리구에서 각각 평균 토양전기전도도는 9.1dS/m, 8.1dS/m, 7.9dS/m, 7.2dS/m로 분석되었다. 화옹 간척지 시험포의 경우, 암거 5m, 10m 처리구, 암거 10m 토양개량제 처리구, 암거 무처리구의 평균 토양전기전도도는 각각 6.8dS/m, 7.6dS/m, 6.4dS/m, 5.8dS/m로 나타났다.

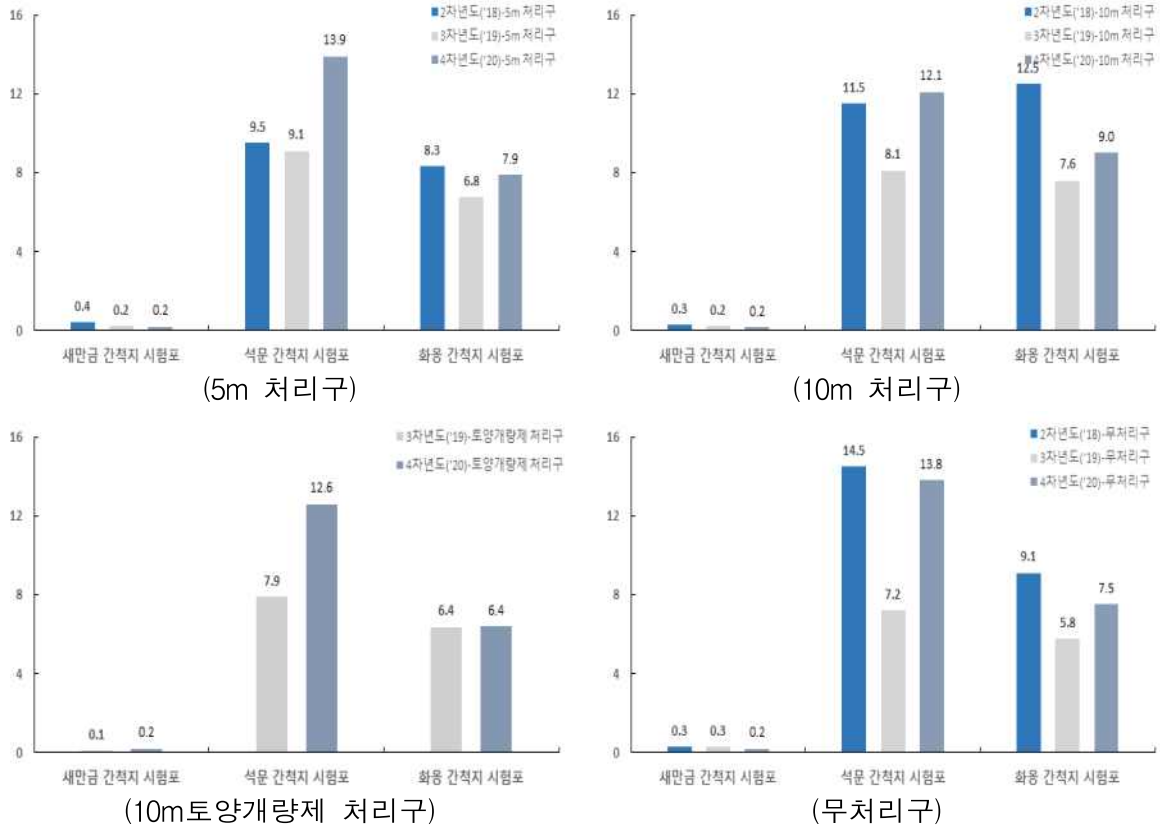
4차년도에 새만금 간척지 시험포 암거 5m 처리구의 평균 토양전기전도도는 0.2dS/m, 암거 10m 처리구는 dS/m, 암거 10m 토양개량제 처리구 및 암거 무처리구는 각각 0.2dS/m, 0.2dS/m로 전체처리구 모두 동일하게 나타났다. 석문 간척지 시험포는 암거 5m 처리구, 10m 처리구, 암거 10m 토양개량제 처리구, 무처리구에서 각각 평균 토양전기전도도는 13.9dS/m, 12.1dS/m, 12.6dS/m, 13.8dS/m로 분석되었으며, 화옹 간척지 시험포는 각각 7.9dS/m, 9.0dS/m, 6.4dS/m, 7.5dS/m로 분석되었다.

새만금 간척지 시험포는 모니터링 분석 전체 기간 동안 암거 5m, 10m, 토양개량제, 무처리구의 평균 토양전기전도도는 각각 0.3dS/m, 0.2dS/m, 0.1dS/m, 0.3dS/m로 암거 10m 토양개량제 처리구가 가장 낮았으며, 암거 10m 처리구, 암거 5m 처리구, 무처리구 순으로 나타났다. 석문 간척지 시험포의 경우, 암거 10m 토양개량제 처리구에서 10.3dS/m로 가장 낮았으며, 암거 10m 처리구 10.6dS/m, 암거 5m 10.8dS/m, 무처리구 11.8dS/m 순으로 분석되었다. 화옹 간척지의 경우, 암거 10m 토양개량제 처리구에서 6.4dS/m로 가장 낮았고, 무처리구 7.5dS/m, 암거 5m 처리구 7.7dS/m, 암거 10m 처리구 9.7dS/m 순으로 분석되었다. 새만금, 석문, 화옹 간척지 시험포 모두 암거 10m 토양개량제 처리구에서 가장 낮은 것으로 분석되었다.

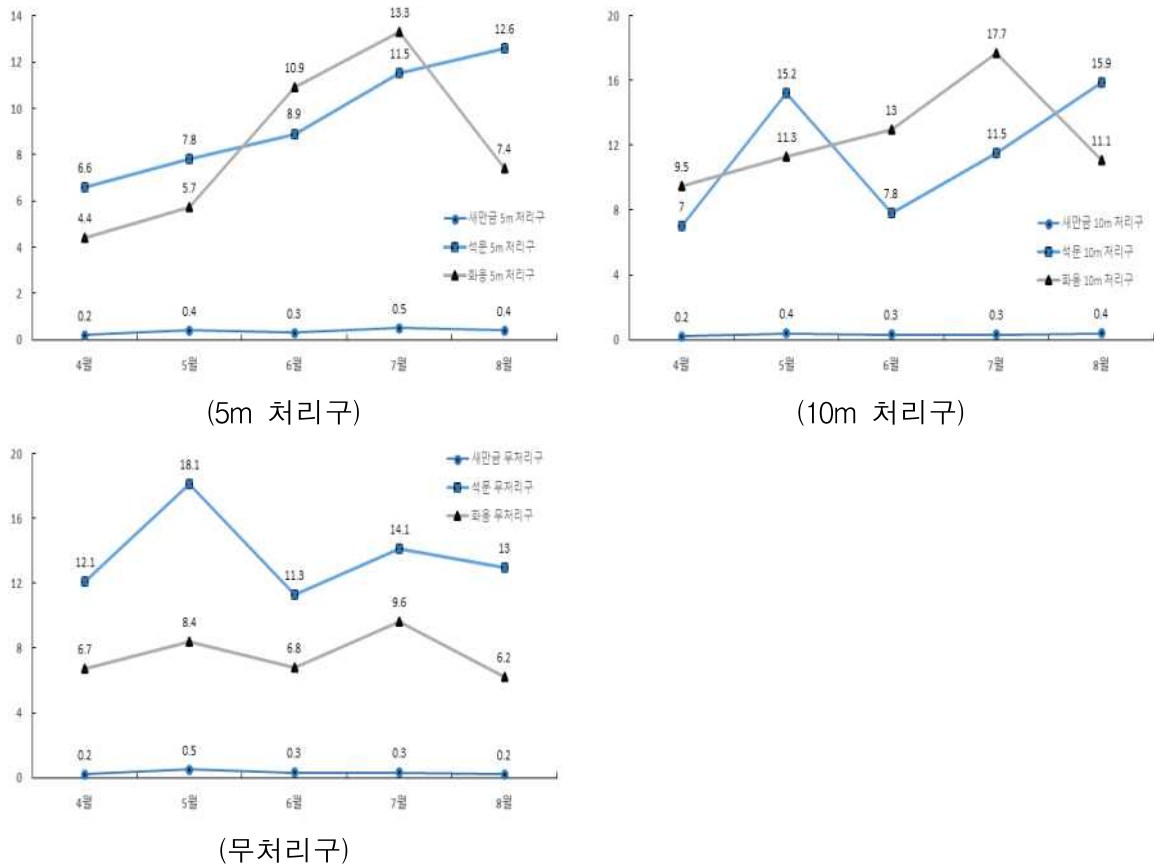
(표 2-74) 간척지구별 연차별 암거처리에 따른 토양전기전도도(표토층)

(단위: dS/m)

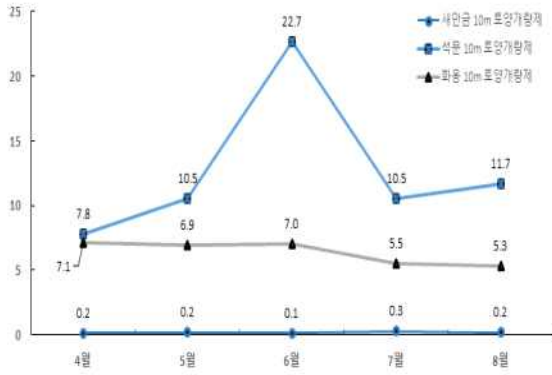
구분		월	4월	5월	6월	7월	8월	평균	
'18	5m	새만금	0.2	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4	
		석문	6.6	7.8	8.9	11.5	12.6	9.5	
		화옹	4.4	5.7	10.9	13.3	7.4	8.3	
	10 m	새만금	0.2	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	
		석문	7.0	15.2	7.8	11.5	15.9	11.5	
		화옹	9.5	11.3	13	17.7	11.1	12.5	
	10 m 토양개량	새만금	2차년도 토양개량 미처리						
		석문							
		화옹							
	무처리구	새만금	0.2	0.5	0.3	0.3	0.2	0.3	
		석문	12.1	18.1	11.3	14.1	13	14.5	
		화옹	6.7	8.4	6.8	9.6	6.2	9.1	
'19	5m	새만금	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	
		석문	7.4	10.1	8.4	10.0	9.6	9.1	
		화옹	7.5	4.4	8.7	5.6	7.6	6.8	
	10 m	새만금	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	
		석문	7.2	7.6	8.4	9.0	8.4	8.1	
		화옹	8.6	4.6	9.0	8.0	7.7	7.6	
	10 m 토양개량	새만금	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	
		석문	6.8	8.1	7.3	8.7	8.8	7.9	
		화옹	7.7	4.3	7.9	5.1	6.8	6.4	
	무처리구	새만금	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	
		석문	5.0	8.5	6.8	8.2	7.5	7.2	
		화옹	6.8	3.6	6.1	4.5	7.8	5.8	
'20	5m	새만금	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	
		석문	6.1	13.1	22.7	14.1	13.6	13.9	
		화옹	7.1	8.0	8.6	8.9	7.1	7.9	
	10 m	새만금	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	
		석문	6.6	9.0	22.4	12.4	9.9	12.1	
		화옹	7.2	7.6	10.2	11.4	8.5	9.0	
	10 m 토양개량	새만금	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	
		석문	7.8	10.5	22.7	10.5	11.7	12.6	
		화옹	7.1	6.9	7.0	5.5	5.3	6.4	
	무처리구	새만금	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
		석문	5.3	9.2	21.1	16.6	16.7	13.8	
		화옹	8.9	9.6	6.9	7.0	5.1	7.5	



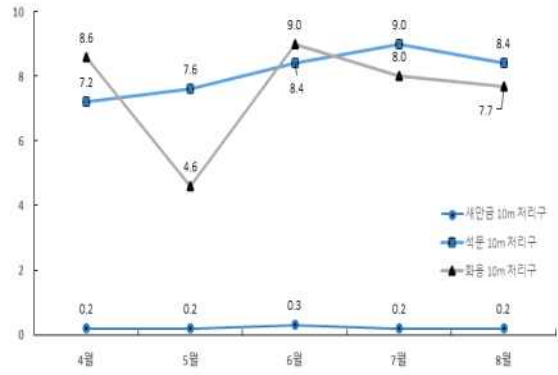
<그림 2-183> 간척지구별 암거처리에 따른 년차별 토양전기전도도 비교



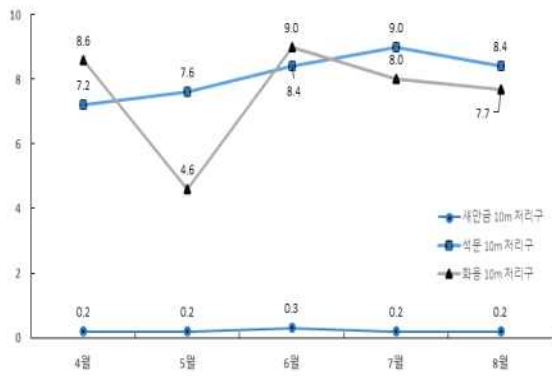
<그림 2-184> 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 토양전기전도도 변화('18)



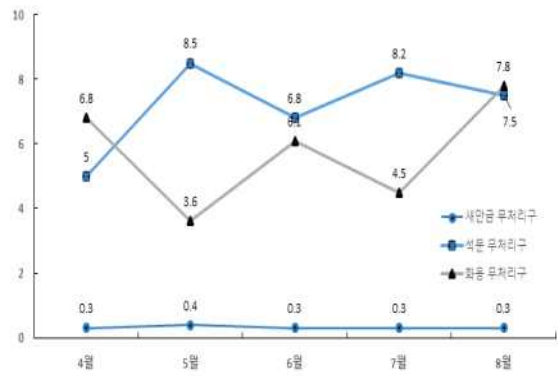
(5m 처리구)



(10m 처리구)

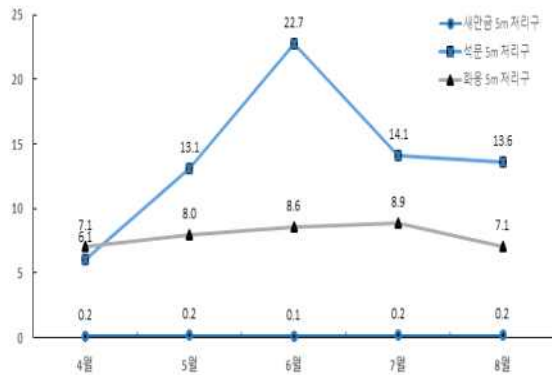


(10m토양개량 처리구)

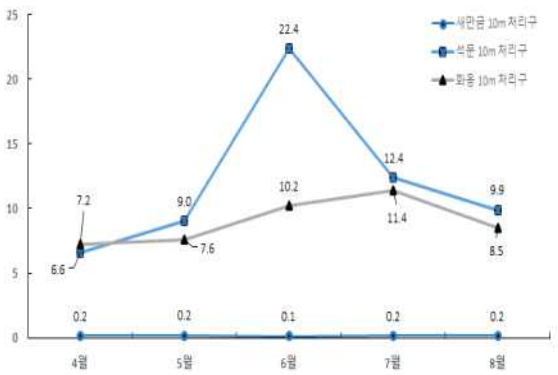


(무처리구)

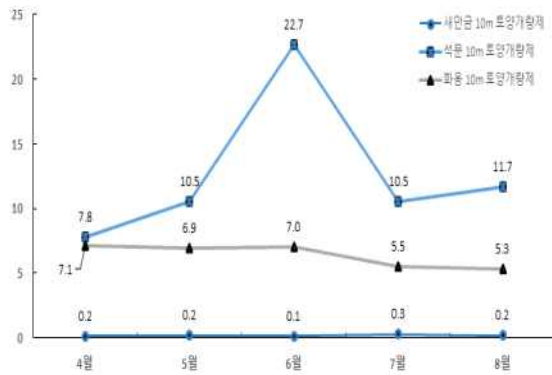
<그림 2-185> 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 토양전기전도도 변화('19)



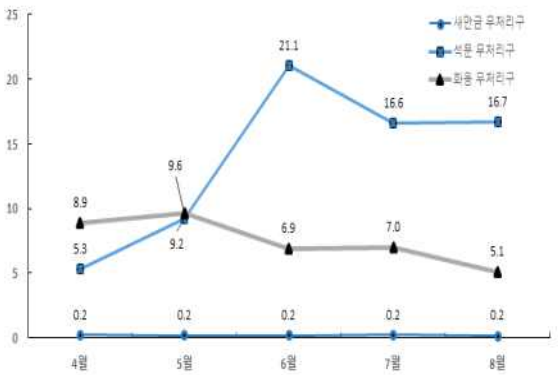
(5m 처리구)



(10m 처리구)



(10m토양개량 처리구)



(무처리구)

<그림 2-186> 간척지구별 암거처리에 따른 시기별 토양전기전도도 변화('20)

(3) 간척지구별 배수로부터 거리별 토양수분함량 및 토양전기전도도 분석

2차년도 지하배수암거시설 첫 시공 후, 간척지구별 배수 여건 분석을 위해 표토층(0~20cm)에서 배수로를 기준으로 거리별 20m, 40m, 60m, 80m로 구분하여 토양 수분함량 및 토양전기전도도를 분석하였다.

먼저, 암거 5m 처리구에서 배수로에서부터 80m거리에서는 17.8~24.8%의 범위로 평균 22.0%를 기록하였고, 60m거리에서는 22.4%, 40m거리에서는 22.0%, 20m에서는 22.2%를 나타내었다. 10m 암거처리 지역의 경우 배수로로부터 80m 떨어진 지역에서는 평균 21.2%를 기록하였고, 60m거리에서는 22.3%, 40m거리에서는 21.2%, 20m에서는 평균 21.4%로 분석되었다. 무처리구에서는 상대적으로 10m간격에서 나타난 수치와 유사하거나 다소 높은 수치를 기록하고 있으며, 배수로로부터 거리별로 80m에서는 평균 21.7%, 60m이격된 지점에서는 21.2%, 40m 떨어진 지역에서는 21.4%를 기록하였고, 20m지역에서는 타 지점보다 높은 평균 22.2%를 기록하고 있다.

모니터링 기간 동안 배수로로부터 거리별 토양수분함량 변화 결과, 암거 5m 처리구, 암거 10m 처리구, 무처리구의 토양 수분함량 수치가 크게 차이가 나지 않게 분석되었다. 배수로부터 가장 멀리 떨어진 암거 5m 처리구의 80m지점에서 수분함량은 22.0%, 가장 가까운 20m의 수분함량은 22.2%, 암거 10m 처리구의 80m지점에서 21.2%, 20m지점에서는 21.4%, 무처리구의 80m지점에서 21.7%, 가장 가까운 20m지점에서 22.2%로 분석되어 배수로를 기준으로 거리별 큰 차이가 나타나지 않았다.

(표 2-75) 배수로 기준 거리별 토양수분함량 변화(표충부)

(단위: %)

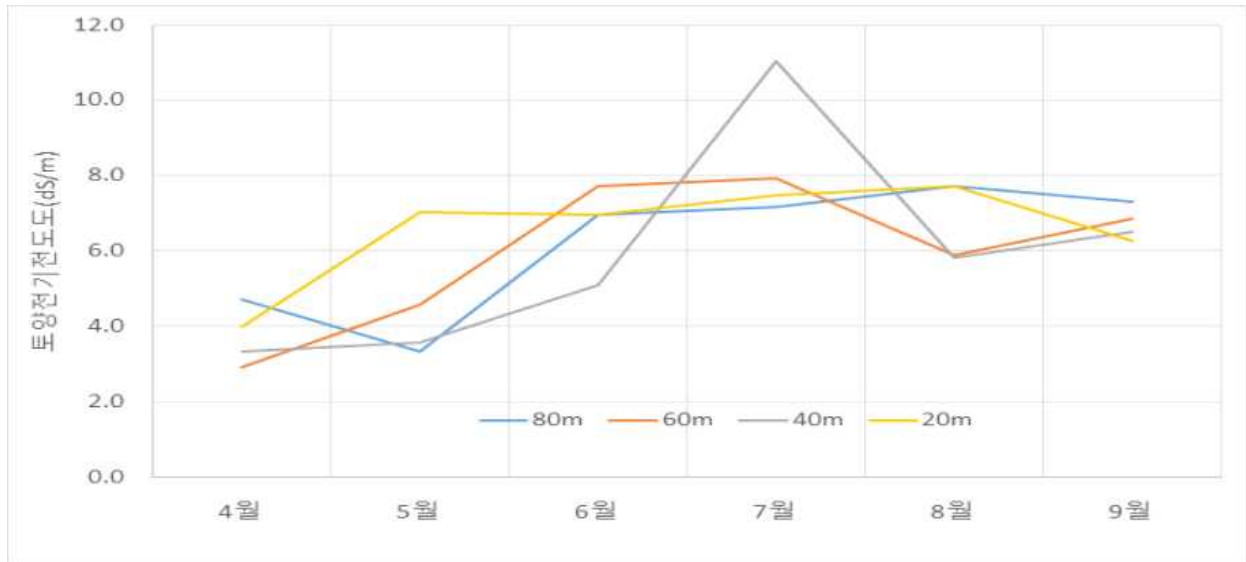
구 분		4월	5월	6월	7월	8월	9월	평균	
암 거	5m	80m	24.8	24.0	20.5	17.8	22.5	22.7	22.0
		60m	24.6	25.6	21.5	18.0	21.8	23.1	22.4
		40m	26.4	26.1	21.2	16.6	20.2	21.8	22.0
		20m	26.7	26.1	20.4	16.3	21.8	21.7	22.2
	10 m	80m	22.4	22.5	19.7	18.9	20.1	23.4	21.2
		60m	24.8	22.8	20.3	20.5	21.9	23.7	22.3
		40m	23.1	20.1	19.8	20.9	20.5	22.8	21.2
		20m	24.5	21.0	21.7	18.6	20.5	22.0	21.4
무 처 리 구	80m	23.6	23.2	20.9	18.5	21.4	22.3	21.7	
	60m	23.2	23.4	20.1	18.1	20.2	22.1	21.2	
	40m	23.4	25.3	18.7	20.2	19.4	21.4	21.4	
	20m	22.5	25.3	22.0	18.8	23.2	21.3	22.2	

다음 간척지구별 배수로로부터 거리에 따른 토양전기전도 분석을 실시하였다. 암거 5m 처리구의 배수로에서부터 80m거리 떨어진 지점의 토양전기전도도는 3.3~7.7dS/m의 범위로 평균 6.2dS/m로 나타났고, 60m거리에서는 6.0dS/m, 40m거리에서는 5.9dS/m, 20m에서는 6.6dS/m를 분석되었다. 암거 10m 처리구의 경우 배수로로부터 80m 떨어진 지점은 평균 9.4dS/m를 기록하였고, 60m거리에서는 6.8dS/m, 40m거리에서는 7.9dS/m, 20m는 평균 8.0dS/m로 나타났다. 무처리구에서는 배수로로부터 거리별로 80m는 평균 7.7dS/m, 60m는 7.7dS/m, 40m 떨어진 지역에서는 6.0dS/m를 기록하였고, 20m지점은 9.3dS/m로 높은 것으로 분석되었다. 전 지점 평균 토양 전기전도도는 암거 10m 처리구가 7.57dS/m로 가장 높았고, 무처리구, 암거5m 순으로 분석되었다. 배수로로부터 가장 가까운 20m 지점에서는 무처리구 9.3dS/m로 가장 높았으며, 암거 10m 처리구 8.0dS/m, 암거 5m 처리구 6.6dS/m 순으로 나타났으며, 타 구분된 거리에 비해 배수로 가까운 지점의 토양전기전도도가 암거 5m 및 무처리구에서 높게 분석되었다.

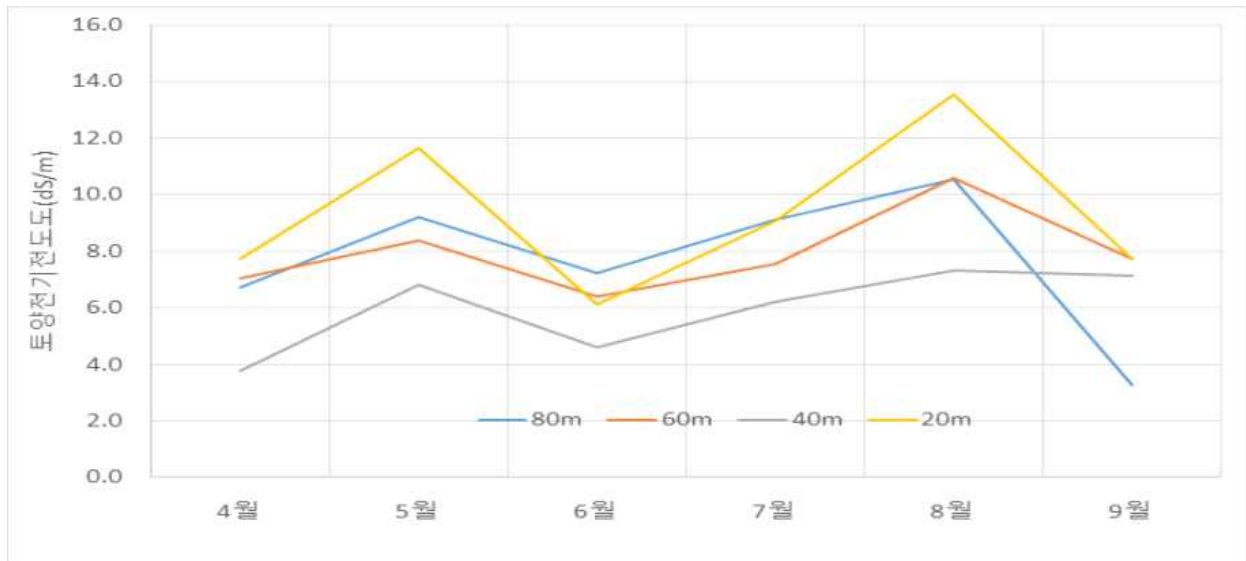
(표 2-76) 배수로 기준 거리별 토양전기전도도 변화(표충부)

(단위: dS/m)

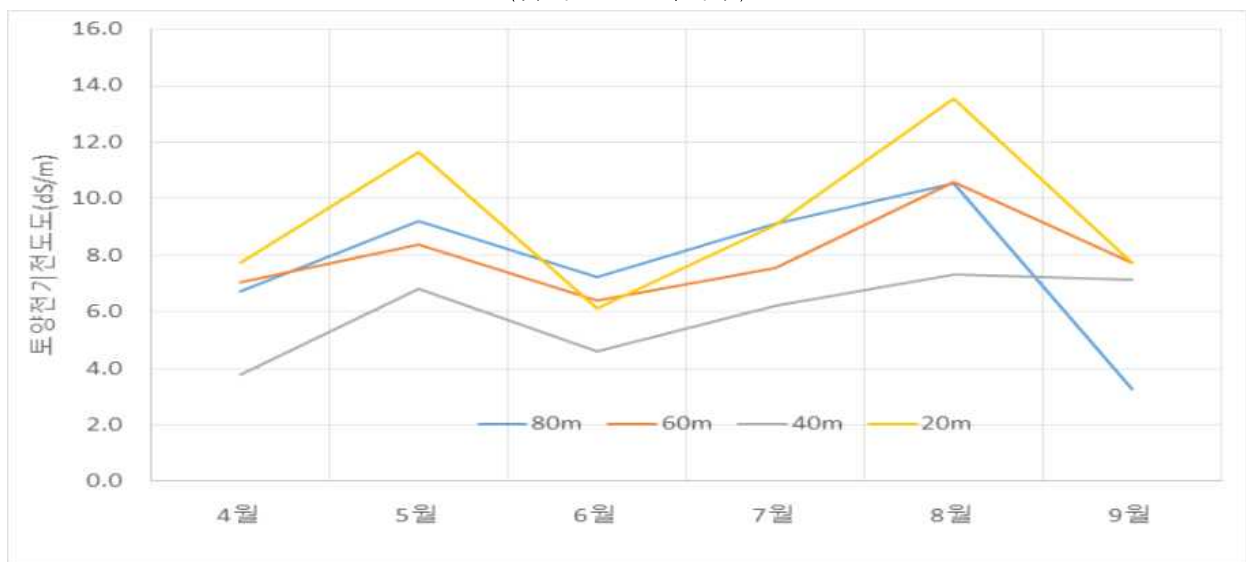
구 분		4월	5월	6월	7월	8월	9월	평균	
암 거	5m	80m	4.7	3.3	7.0	7.2	7.7	7.3	6.2
		60m	2.9	4.6	7.7	7.9	5.9	6.9	6.0
		40m	3.3	3.6	5.1	11.0	5.8	6.5	5.9
		20m	4.0	7.0	6.9	7.5	7.7	6.3	6.6
	10 m	80m	8.7	10.8	8.7	11.5	9.5	7.1	9.4
		60m	4.2	5.0	5.0	9.3	9.0	8.4	6.8
		40m	5.0	8.3	7.2	9.5	9.0	8.2	7.9
		20m	4.4	11.7	7.2	9.0	9.1	6.8	8.0
무 처 리 구	80m	6.7	9.2	7.2	9.1	10.5	3.3	7.7	
	60m	7.1	8.4	6.4	7.6	10.6	7.8	8.0	
	40m	3.8	6.8	4.6	6.2	7.3	7.2	6.0	
	20m	7.8	11.7	6.1	9.1	13.5	7.7	9.3	



(암거 5m 처리구)



(암거 10m 처리구)



(무처리구)

<그림 2-187> 간척지 배수로 기준 거리별 토양 전기전도도 변화

마. 지하배수암거시설 공법의 문제점 및 보완사항 도출

새만금 현장 시험포 5공구 농어업회사 부지의 기설방조제 인근 지역 내 중앙부 배수로를 중심으로 좌우 양측으로 지하암거 공법별 모니터링 시험연구 사례를 통해 무굴착공법 암거를 선정하여 간척지구별로 시공을 실시하였다. 모니터링 분석 기간 동안 토양 내 전기전도도는 전체적으로 낮아졌으나, 여름철 장마기 2차례 동안 토양 내 암거 표층부지점까지 수분함량이 과포화상태를 이루어 시험포 내 지표배수가 원활히 이루어지지 않는 문제점이 발생하였고, 토양 침수피해 및 토사유출 현상으로 인한 작물생육에 어려움이 관측되었다. 또한, 간척지구별 침출수량 및 침출량 분석결과, 집중적인 강우가 있었음에도 불구하고 새만금 간척지의 암거 5m 간격 일 침출수량은 0.008mm/day, 암거 10m 간격 일 침출수량은 0.068mm/day로 분석되어, 타 간척지와 비교하였을 때 침출수량이 낮게 분석되었다. 이에 새만금 간척지 시험포의 지표배수 여건 및 지하암거배수시설의 흡수거의 이물질 등 기타물질에 의한 관 막힘 점검 등을 위해 암거시설 내·외부환경을 조사하였다.

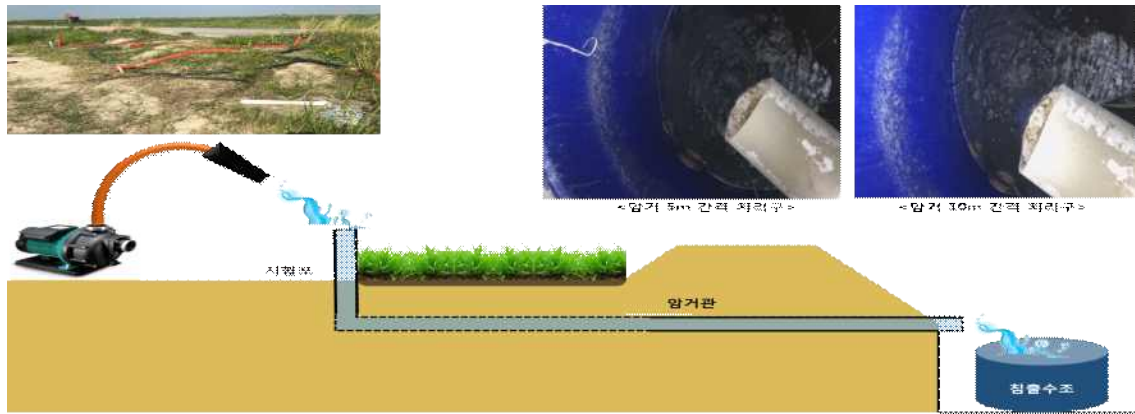


<그림 2-188> 간척지 배수불량 현상으로 인한 토사유출 및 침수피해

1) 암거시설 내부 환경 요인

(1) 암거 흡수거 관 막힘 현상 점검

2018년 7월20일~30일, 2019년 6월 20일~7월 2일의 기간 동안 총 2차례에 걸쳐 새만금 간척지 시험포 내 암거 처리구별 암거 도입부 각 지점에 설치되어 있는 공기변을 통해 일정시간 용수를 공급하여 암거 흡수거 내 관 막힘 현상 여부를 파악하기 위해 점검을 실시하였다. 약 10분 동안 각 처리구별 2t의 용수를 호스를 장착하여 공급하였다. 암거 내부 점검 결과, 암거 5m 및 암거 10m 처리구, 암거 10m 토양개량제 처리구 모두 공기변을 통해 주입한 용수가 침출수조를 통해 침출되고 있는 것을 확인하였다. 따라서, 새만금 간척지 시험포 내 암거 관 내부의 이물질 및 토사 유입으로 인한 관 막힘 현상은 발생하지 않은 것으로 파악되었다.



<그림 2-189> 암거시설 흡수거 내부 점검 모식도



<그림 2-190> 간척지 시험포 무굴착 암거 내부 검토

(2) 암거 흡수거 굴착 점검

새만금 간척지 시험포 내 침출수량이 낮은 원인파악하기 위해 암거 설치지점까지 굴착하여 점검하였다. 암거 흡수거 내·외부의 토양 미세립자의 침투로 인한 관막힘 현상이 발생하지는 않은 것으로 파악되었다. 간척지에서 토양의 투수계수가 상대적으로 높은 새만금의 굴착사례로 침출수량이 낮은 원인은 복합적인 원인이 발생하여 암거배수량을 낮춘 것으로 파악되었다. 첫째, 토층 내 과잉수가 암거부를 통해 침출되는 양보다 지하수위가 낮아 암거부 아래로 침출이라고 판단된다. 둘째, 강우기 지표에서는 배수불량이 발생하였음에도 불구하고 암거말단부에서 침출수의 발생이 낮은 것은 토층의 미세립자가 침투과정에서 토층의 공극을 메워짐으로써 공극 내 수분의 거동이 활발히 이루어지지 않은 것으로 판단된다.



<그림 2-191> 간척지 시험포 무굴착 암거 내부 조사

(3) 지표배수를 촉진을 위한 암거배수 효과 및 분석

암거의 흡수거 내부 관막힘 현상 점검, 간척지구별 시기별 침출수량 분석 및 강수량에 따른 지하수위 모니터링 분석 등을 통해 간척지구별 설치된 무굴착 암거공법시설은 시간이 경과함에 따라 토층 내 흡수거를 통한 유입수량이 상대적으로 낮아지면서 장마기에 원활한 배수가 이루어지지 않아 토사유출 및 침수현상의 빈도가 잦아지는 것을 알 수 있었다. 이에 토층 내 암거를 통한 배수 외에도 지표배수 효과를 높이기 위해 수직배수암거를 추가적으로 설치하여 암거배수의 범용적 활용을 검토하였다. 현장 시험포 내 본 시설을 도입하기 이전에 현장토양을 비가림시설로 이동시켜 수직배수 증진 실내모형실험을 진행하였다.

간척지 시험포와 동일한 조건으로 토양 전기전도도 0.28dS/m의 새만금 간척지 토양 시료를 채취하여 실내모형포트를 준비하였고, 높이 80cm 이상까지 채워 무굴착 암거와 동일한 소재의 다공성 흡수거를 수직으로 약 70cm 까지 설치하였다. 다음으로 용수를 일정 기간 동안 7회 주입을 하였고 동시에 흡수거를 통해 유입되어 침출되는 침출수량을 분석하였다.

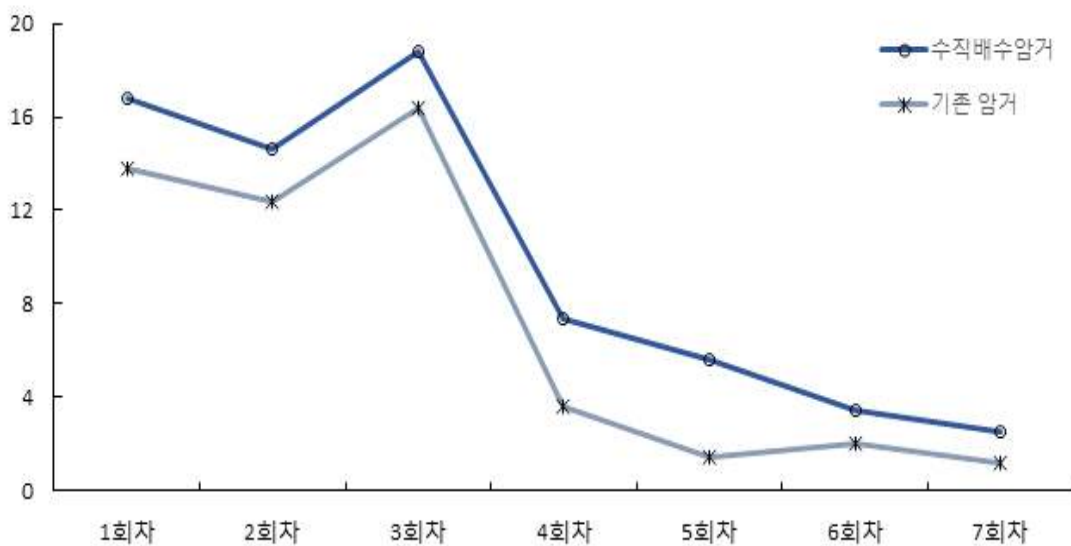
1차 시험의 수직배수암거 및 기존 암거의 침출수량은 각각 각각 16.8ℓ, 13.8ℓ로 분석되었다. 공급대비 침출율에 대해 각각 84.0%, 69.0%가 나타났다. 4차 시험에는 각각 7.4ℓ, 3.6ℓ, 7차 시험은 각각 3.4ℓ, 2.0ℓ로 분석되었다. 실험을 진행할수록 수직배수암거와 기존암거 간 침출수량의 차이가 크지 않았다. 그러나, 공급대비 침출율 분석결과 수직배수암거의 침출수량은 기존암거 침출수량에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 이에 간척지 시험포 현장 내 시범적으로 적용 및 검토가 필요할 것으로 판단된다.



<그림 2-192> 수직배수암거 실내모형실험 모식도 및 전경

(표 2-77) 수직배수암거 실내모형실험 분석

회차	공급량 (ℓ)	수직배수암거 침출수량 (ℓ)	공급대비 침출율 (%)	기존암거 침출수량 (ℓ)	공급대비 침출율 (%)
1차	20	16.8	84.0	13.8	69.0
2차	20	14.6	73.0	12.4	62.0
3차	20	18.8	94.0	16.4	82.0
4차	20	7.4	37.0	3.6	18.0
5차	15	5.6	37.3	1.4	9.3
6차	15	3.4	22.7	2.0	13.3
7차	15	2.5	16.7	1.2	8.0



<그림 2-193> 수직배수암거 실내모형실험 분석

2) 암거시설 외부 환경 요인

간척지 시험포의 암거 처리구별 지하배수암거 흡수거 내부의 관 막힘 현상 점검 결과 관의 파손 및 이상 징후는 발견되지 않았다. 이에 간척지 토양의 토성에 따른 투수계수 파악을 위해 토층을 표토층(0~20cm), 중간층(20~40cm), 심토층(40~60cm)로 구분하여 불교란 시료 채취 후 및 투수계수 분석을 2차년도 및 4차년도에 실시하였다. 먼저, 새만금 간척지 시험포의 이화학적 특성분석을 실시한 결과, 토성은 모래 함유량 61.4%, 실트 함유량 35.1%, 진흙 함유량 3.5%인 사양토(Sandy Loam)로 토양 전기전도도는 0.29dS/m로 분석되었다. 다음으로 암거 5m, 암거 10m, 무처리구별 각 층위별로 1지점당 3칸의 불교란 시료 코어를 채취하였다.



<그림 2-194> 간척지 토양 투수계수 분석 장치 및 측정 전경



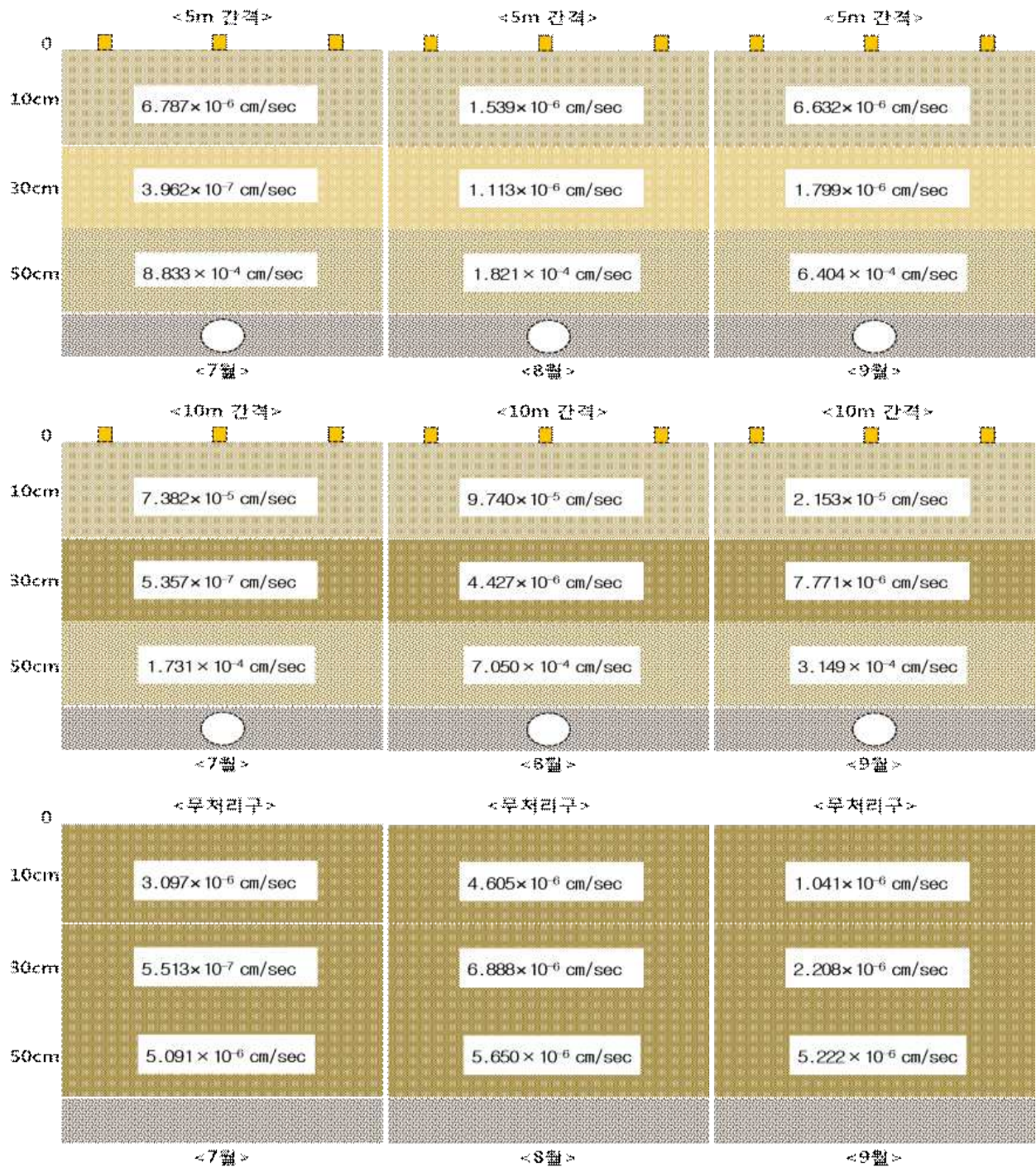
<그림 2-195> 토양 불교란시료 채취 전경

새만금 간척지 시험포의 수직 투수계수 시험 분석 결과, 암거 5m 처리구의 10cm층에서는 $6.787 \times 10^{-6} \text{cm/s}$, 30cm층에서는 $3.962 \times 10^{-7} \text{cm/s}$, 50cm층에서는 $8.833 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 로 분석되었다. 다음 암거 10m 처리구의 10cm층에서는 $7.382 \times 10^{-5} \text{cm/s}$, 30cm층에서는 $5.357 \times 10^{-7} \text{cm/s}$, 50cm층은 $1.731 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 로 분석되었다. 다음 무처리구의 10cm층 투수계수는 $3.097 \times 10^{-6} \text{cm/s}$, 30cm층 및 50cm층은 각각 $5.513 \times 10^{-7} \text{cm/s}$, $5.091 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 로 분석되었다. 7월의 투수계수 시험 분석결과, 암거 처리구별 차이가 나타났다. 암거 5m 처리구, 암거 10m 처리구의 토양 심토층에서 $8.833 \times 10^{-4} \text{cm/s}$, $1.731 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 로 높게 나타난 반면, 무처리구의 전체 층위에서 평균 $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{cm/s}$ 로 타 처리구에 비해 낮게 분석되었다. 또한, 암거 5m, 10m 처리구의 10cm, 30cm층의 투수계수는 암거시설의 흡수거와 가장 인접한 심토층에 비해 높게 분석되었다. 간척지의 층위별 수직투수계수변화를 통해 볼 때 새만금 간척지 토양과 같이 사양토 토양에서는 암거설치 후 강우와 더불어 50cm이하 하부에서는 초기 심토파쇄로 인해 투수계수를 유지할 수 있었다. 암거부 상부는 쟁기질이나 로터리작업만 이루어져 토층파쇄가 이루어진 20~30cm까지는 강우침투로 인해 미세립질 토양이 토층내로 침투되었으나, 점차적으로 미세립자의 공극을 메워 투수계수가 낮아지는 것으로 판단되었다. 이를 통해 볼 때 간척지의 원활한 암거배수를 기대하기 위해서는 암거상부에서도 주기적인 심토파쇄가 이루어져야 지속적인 암거배수효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

(표 2-78) 새만금 간척지 월별 층위별 수직투수계수('18)

(단위: cm/s)

구 분	심도 (cm)	7월	8월	9월	
새만금 (사양토)	암거 5m	10	6.787×10^{-6}	1.539×10^{-6}	6.632×10^{-6}
		30	3.962×10^{-7}	1.113×10^{-6}	1.799×10^{-6}
		50	8.833×10^{-4}	1.821×10^{-4}	6.404×10^{-4}
	암거 10m	10	7.382×10^{-5}	9.740×10^{-5}	2.153×10^{-5}
		30	5.357×10^{-7}	4.427×10^{-6}	7.771×10^{-6}
		50	1.731×10^{-4}	7.050×10^{-4}	3.149×10^{-4}
	무처리구	10	3.097×10^{-6}	4.605×10^{-6}	1.041×10^{-6}
		30	5.513×10^{-7}	6.888×10^{-6}	2.208×10^{-6}
		50	5.091×10^{-6}	5.650×10^{-6}	5.222×10^{-6}



<그림 2-196> 새만금 간척지 시험포 월별 수직투수계수 변화

또한, 간척지구별 수직투수계수 분석결과, 화용 간척지가 석문, 새만금 간척지에 비해 투수계수가 전체 층위별로 대체로 낮은 것으로 분석되었다. 석문, 새만금 간척지의 표토층 투수계수는 5m 처리구 5.213×10^{-4} cm/s, 7.326×10^{-5} cm/s인 반면, 화용 간척지는 2.898×10^{-7} cm/s로 분석되었다. 암거 10m 토양개량 처리구는 새만금 간척지가 타 간척지에 비해 투수계수가 높았는데 전체 층위에서 새만금 간척지 10^{-4} cm/s인 반면, 석문 간척지는 10^{-5} cm/s, 화용 간척지는 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ cm/s 순으로 분석되었다. 이는 새만금 간척지의 경우 실트질이 석문 간척지 보다 함량이 많은 사양토질 토양으로 분석되었으며, 화용 간척지는 식양토 토양으로 간척지구별 토성에 따른 차이를 보이고 있는 것으로 판단된다.

(표 2-79) 간척지구별 수직 투수계수 분석

(단위: cm/s)

구분	층위 (cm)	새만금 간척지	화옹 간척지	석문 간척지
암거 5m	0~20	5.213×10^{-4}	2.898×10^{-7}	7.326×10^{-5}
	20~40	4.885×10^{-5}	4.565×10^{-7}	3.444×10^{-6}
	40~60	3.124×10^{-5}	4.565×10^{-7}	1.013×10^{-5}
암거 10m	0~20	2.121×10^{-4}	2.111×10^{-6}	1.270×10^{-4}
	20~40	6.794×10^{-5}	4.771×10^{-7}	3.245×10^{-5}
	40~60	5.155×10^{-5}	3.225×10^{-6}	4.632×10^{-5}
암거 10m 토양개량	0~20	4.219×10^{-4}	1.330×10^{-6}	1.270×10^{-5}
	20~40	8.196×10^{-4}	2.894×10^{-7}	2.245×10^{-5}
	40~60	2.676×10^{-4}	1.715×10^{-7}	4.632×10^{-5}
무처리구	0~20	8.612×10^{-5}	2.556×10^{-6}	1.330×10^{-6}
	20~40	4.122×10^{-6}	6.212×10^{-7}	2.894×10^{-7}
	40~60	5.127×10^{-6}	3.231×10^{-7}	1.715×10^{-7}

새만금 간척지의 투수계수를 년차별로 분석한 결과는 다음과 같다. '18년도 초기 무처리구의 표토는 1.041×10^{-6} cm/s, 5m처리구는 6.632×10^{-6} cm/s, 10m처리구는 2.153×10^{-5} cm로 분석되었다. 암거 5m처리구와 10m처리구는 암거설치지점과 가까운 층위 40~60cm에서 6.404×10^{-4} cm/s, 3.149×10^{-4} cm/s로 분석되었으며, 무처리구는 5.222×10^{-6} cm/s로 타 층위보다 낮은 것으로 분석되었다. 또한, 암거 5m 및 10m처리구의 중간층위는 타 층위에 비해 10^{-6} cm/s로 낮은 것으로 분석되어 표토층과 암거설치지점부근의 심토층간 물질이동, 수분이동 등이 어려울 것으로 판단되었다. '19년도에는 무처리구의 모든 층위에서 전년도와 크게 변화하지 않았는데, 암거 5m 및 10m 처리구의 표토부분은 각각 7.991×10^{-4} cm/s, 8.662×10^{-4} cm/s로 높아졌다. 그러나, 전년도와 마찬가지로 중간층위의 20~40cm층에서는 암거 5m처리구, 10m처리구, 10m 토양개량 처리구 모두 10^{-5} cm/s로 분석되었는데 표토층과 심토층간 차이가 있는 것으로 나타났다. '20년도에는 암거 10m 토양개량 처리구가 '19년도에 비해 10^{-5} cm/s에서 10^{-4} cm/s로 낮아진 것으로 분석되었다. 또한, 암거 5m 및 10m 처리구의 전체층위별 투수계수가 전년도에 비해 소폭 높아진 것으로 나타났다. 그러나, 무처리구는 표토층이 2.581×10^{-6} cm/s에서 8.612×10^{-5} cm/s 높아졌으나, 타 층위에서는 큰 변화가 없었다.

(표 2-80) 새만금 간척지 월별 층위별 수직투수계수

(단위: cm/s)

구 분	심도 (cm)	'18년 (2차년도)	'19년 (3차년도)	'20년 (4차년도)	
새만금 (사양토)	암거 5m	0~20	6.632×10^{-6}	7.991×10^{-4}	5.213×10^{-4}
		20~40	1.799×10^{-6}	3.219×10^{-5}	4.885×10^{-5}
		40~60	6.404×10^{-4}	9.881×10^{-4}	3.124×10^{-5}
	암거 10m	0~20	2.153×10^{-5}	8.662×10^{-4}	2.121×10^{-4}
		20~40	7.771×10^{-6}	1.211×10^{-6}	6.794×10^{-5}
		40~60	3.149×10^{-4}	8.619×10^{-4}	5.155×10^{-5}
	암거 10m 토양 개량	0~20	2차년도 토양개량제 미처리	2.881×10^{-5}	4.219×10^{-4}
		20~40		4.253×10^{-5}	8.196×10^{-4}
		40~60		8.412×10^{-5}	2.676×10^{-4}
	무처 리구	0~20	1.041×10^{-6}	2.581×10^{-6}	8.612×10^{-5}
		20~40	2.208×10^{-6}	3.339×10^{-6}	4.122×10^{-6}
		40~60	5.222×10^{-6}	6.123×10^{-6}	5.127×10^{-6}

2.2.5. 간척지 저비용/고효율 토양관리 가이드라인

가. 작물생육과 연계한 포장조성

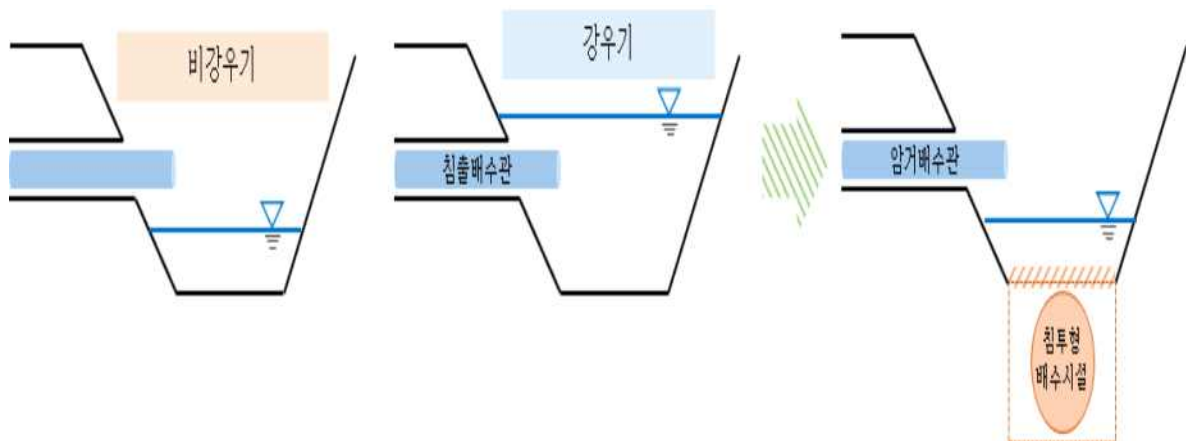
1) 배수체계 개선 및 염류제어

그동안 개발이 이루어진 간척지는 수도작위주로 설계가 이루어져 배수체계상 강우발생 이후 24시간 이내의 강우배제를 원칙으로 하고 있어 배수체계의 개선이 우선적으로 필요하다. 본 과제에서 추진한 화옹, 석문, 새만금 간척지에서도 기존 수도작기반으로 이루어진 석문간척지의 경우에는 암거시설을 설치하였음에도 불구하고 강우기 지저, 지선 등의 배수로에서 원활한 배수가 이루어지지 않아 암거 말단부의 침수현상이 발생하였다.



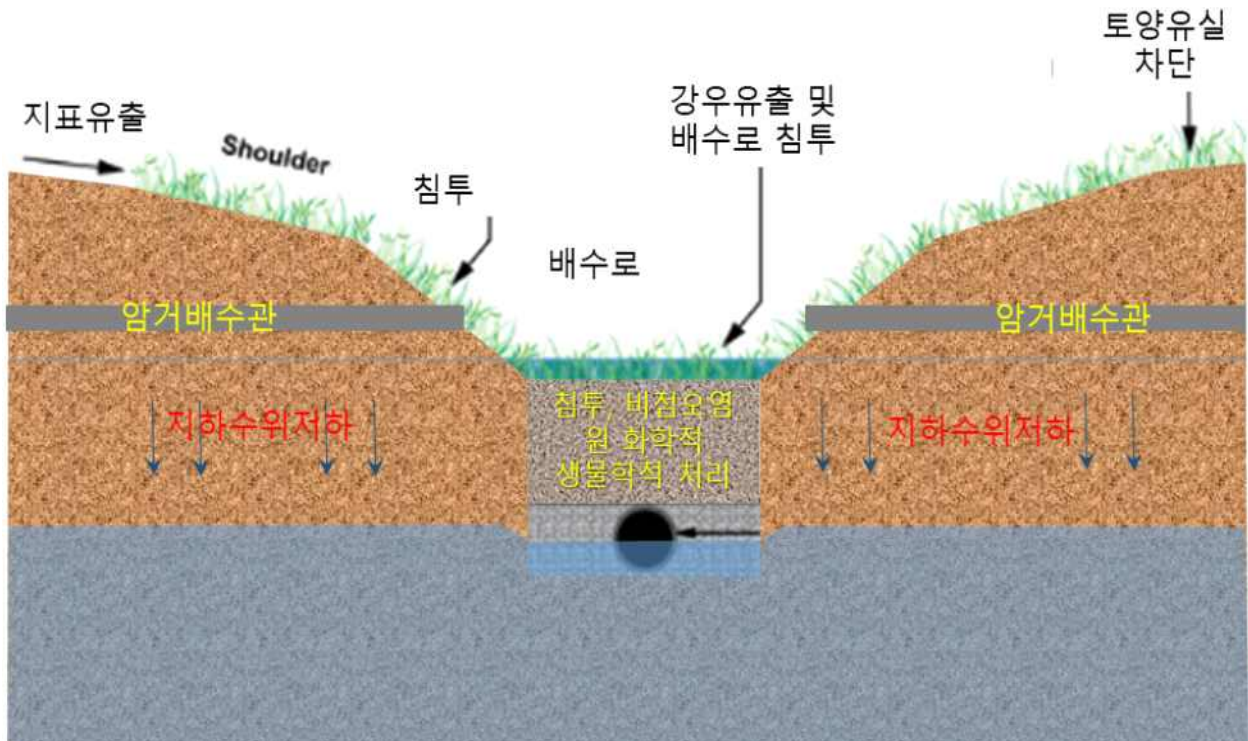
<그림 2-197> 수도작 기반 간척지의 강우기 배수불량

간척지에서 발작물재배를 원활히 하기 위해서는 강우기에도 원활한 배수를 위해서는 배수로의 확장, 기계배제와 같은 배수개선방식이 이루어져야 하는데, 이를 위해서는 배수개선 사업비의 추가투입이 불가피한 상황이다. 또한, 배수로의 확장을 위해서는 기 조성된 농지면적의 축소가 이루어져야 하는 실정으로 현실적인 대안이 어려울 수 있다. 따라서, 기존 배수로에 침투용 배수시설을 설치하여 농지면적의 확보, 원활한 배수가 이루어질 수 있도록 해야 할 것으로 판단된다.



<그림 2-198> 수도작 기반 배수로의 배수개선 방법

침투형 배수로(Infiltration drainage)는 친환경 빗물관리 기법인 저영향개발(Low Impact Development) 기법으로 비점오염저감시설, 간척지의 배수로확장에도 활용이 가능할 것으로 판단된다. 본 기법을 활용할 경우 배수로 확장에 따른 농지면적의 축소를 방지할 수 있으며, 간척농지에서 발생하는 비점오염유출수의 담수호로 직접유입을 방지할 수 있는 방식이다.



<그림 2-199> 배수로 확장을 위한 농경지 배수로개선(수도작 기반 간척지)



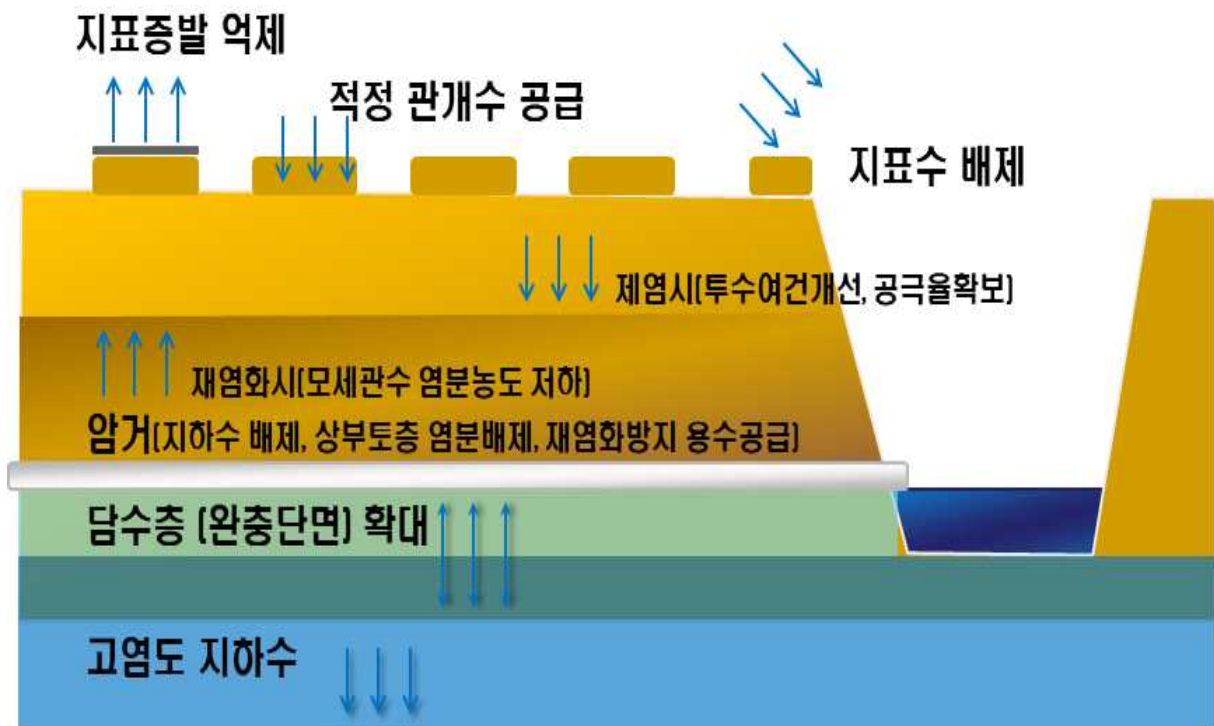
자료 : <https://staffweb.psdschools.org>

<그림 2-200> 네덜란드 간척지의 농지활용



<그림 2-201> 네덜란드 간척지의 배수로

새만금, 화옹간척지와 같이 적정지하수위가 확보가 가능하고, 지표배수가 원활히 이루어진 간척지의 경우에는 가뭄발생시 고염수지하수위 상승을 방지할 수 있도록 담수차단층 형성이 필요할 것으로 판단된다.



<그림 2-202> 배수관리를 통한 염분제어관리 (밭기반 간척지)

2) 경지 내 지표배수 배제

현재 국내에서 농업생산기반설계기준 배수편에는 계획암거배수량을 경지정리사업에서 논바닥의 평탄도를 종합하여 볼 때 지표잔류수량은 10~30mm 정도로 규정하고 있으며, 잔류수 배제의 목표일수는 1~2일로 설정하여 지표잔류수의 배제를 위한 계획 암거배수량을 평균 10~30mm/day로 규정하고 있다. 간척지에서 암거배수는 토층의 침투하는 침투량에 한계가 있으므로 우선적으로 경지 내 지표 배수로의 확보가 필요하다. 국내 간척지는 토양면의 경사가 확보되지 않아 경지 내 배수를 원활히 가능하도록 경지 배수로를 설치해야 될 것으로 판단된다.

밭작물 재배를 위한 간척지의 경우 경지의 외곽부에 1일 이내에서 지표잔류수의 배제를 위해서는 경작지 내 배수로를 별도로 설치하여 배수시설에 대한 개선이 필요하다. 그러나, 간척지는 농기계의 효율성을 고려하여 최소 1ha(100m×100m)이상의 대구획으로 조성되어 있는 상태로 외곽배수로까지 전달에 따른 지체시간이 소요되므로 경지내 배수로의 설치가 필요하다. 따라서, 간척지에서 경지내 배수로이외에도 내부 명거배수로의 설치를 통한 배수로 설치가 필요하다.



<그림 2-203> 경지 내 외곽배수로의 설치

그러나, 실트질 성분이 높은 간척지 토양은 침식성이 높아 침식방지를 위해서는 고랑의 유속을 토양침식이 발생하는 원활한 배수를 위해 토양침식발작물 재배를 위한 간척지의 경우 토성에 따라 지표 경사도를 다르게 구분하고 있으며, 고랑길어도 제한을 두고 있는 상황이다. 본 연구에서 배수로에서부터 거리에 따른 토양수분변화에서 100m이내의 배수로에서는 토양수분의 변화가 크게 나타나지 않은 것으로 나타나 고랑의 길이를 최소화 할 수 있도록 해야 하며, 입단화가 이루어진 토양에서는 고랑의 피복율을 높여야 할 것으로 판단된다. 입단화가 이루어지지 않은 간척지 토양은 경지내 배수로는 토양유실로 인한 지속적인 배수로의 형태가 유지하기 어려우므로 지속적인 관리가 필요하다.



(강우이전 경지 내 배수로)



(강우 후 경지 내 배수로)

<그림 2-204> 강우로 인한 외곽배수로

이에 기존 문헌자료를 참조하여 간척지 토양에 대한 고랑 길이를 제안하면 60~150m수준이 필요하며, 지표배수 제어를 위한 측면배수로는 최대간격을 60m이하로 해야한다. 농기계의 작업효율을 위해서 너무 깊게 하지 않도록 하며, 출구 근처에 점진적인 경사를 조성하여 풀이 깔린 수로를 설정하여 토양 유실을 방지하도록 해야 할 것으로 판단된다. 열 배수를 위해 수집 배수로, 열 배수 또는 1/4 배수가 제공되어야 한다. 평지의 타 배수 방법과 마찬가지로, 표면은 매끄럽게 처리되어야 하며, 큰 함몰부는 무작위 필드 배수로 채워지거나 배수되어야 할 것이다.

(표 2-81) 경지 내 배수를 위한 집수용 외곽배수로 설치

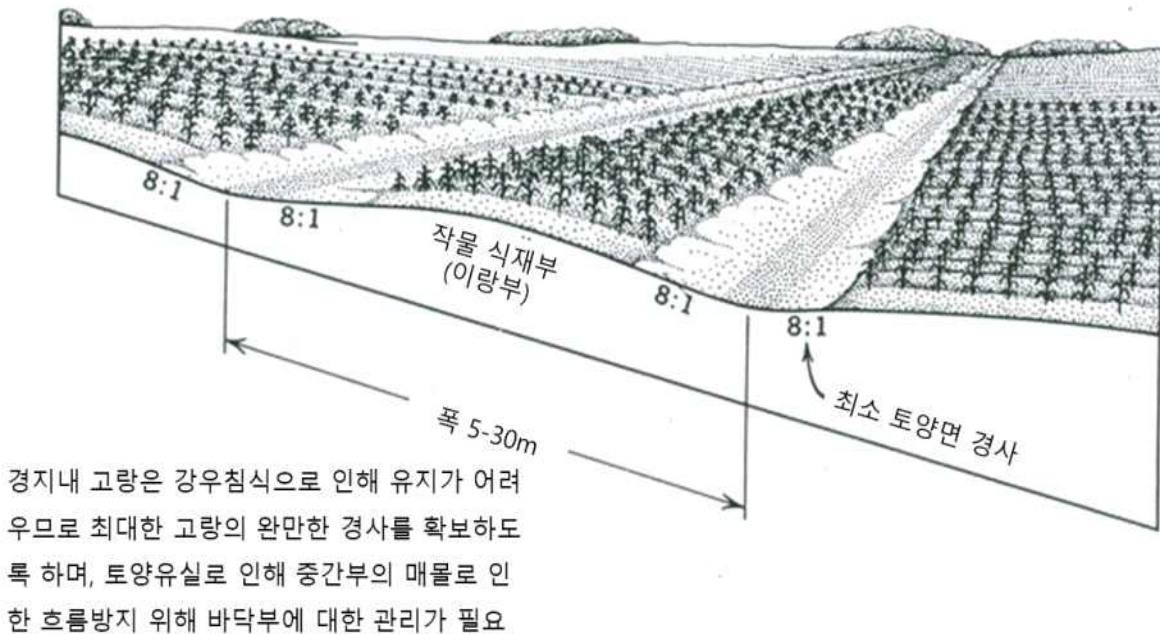
토 성	경사도 (%)	길이 (m)	비고
미사질 양토	0.5	150	
불투성 미사질양토	0.2	60	

자료: <http://ecoursesonline.iasri.res.in>

(표 2-82) 경지 내 배수를 위한 배수로 사양

토 성	최대간격 (%)	바닥너비 (m)	최소깊이 (m)	비고
미사질 양토	60	0.3	0.9	

자료: <http://ecoursesonline.iasri.res.in>



<그림 2-205> 간척지 경지내 두둑조성

나. 간척지구별 암거배수 시공방법 및 적정 소요비용 제시

1) 무굴착 지하배수암거 시공방법

주요 암거배수 시설은 흡수관, 집수정으로 구성되며 그의 기능은 다음과 같고 시공시 각 시설의 기능이 충분히 발휘 될 수 있도록 하여야 하며, 설계서에 명시된 사항 일지라도 그의 기능 향상을 위한 각 시설의 추가, 변경, 삭제는 공사감독과 협의로 변경 할 수 있다.

흡수관 : 토양 중 지하수를 PE유공주름관(Ø50mm)으로 시공하며 말단부에 밸브를 설치하고 침출수조, 침출수 관측용 수도미터 등을 설치하도록 한다. 암거배수시설은 유말공의 유말고 또는 수압(배수로에 직접 설치하는 경우)의 표고는 배수로 바닥에서 20cm이상 유지되도록 하여 배수 및 유지관리가 원활토록 하여야 하며, 만약 20cm이상을 유지하기 어려운 곳에서는 현장 여건을 고려하여 유말구에서 배수가 원활토록 유말구 주변에 토사의 퇴적이 발생되지 않도록 하여야 한다.

가) PVC 및 PE관 부설시 바닥의 요철이 발생되지 않도록 한 후 매설하여야 한다.

나) 관접합은 접착제 또는 기타 부속재를 사용하여 누수가 되지 않도록 시공하여야 한다.

다) 흡수관(PE유공주름관 Ø50mm)의 상류부 마개는 향후 관 청소를 위하여 접착제 사용을 금하여야 한다.

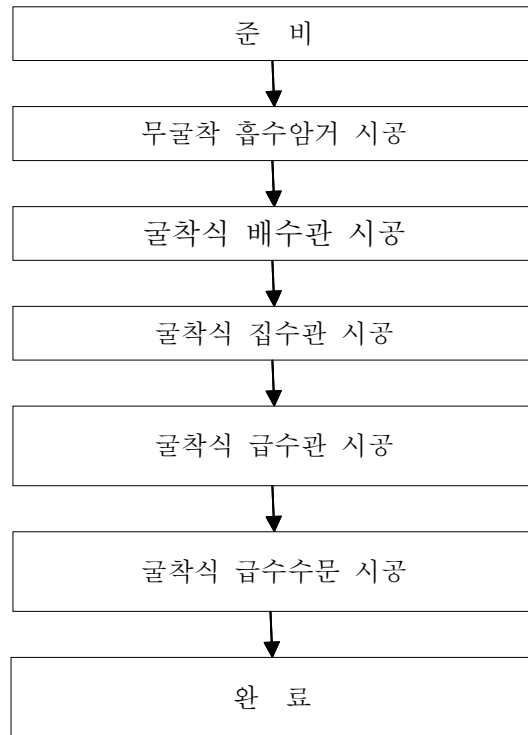
라) PE관 및 PVC관의 연결등 재질이 서로 상이한 이종관 접합의 경우는 누수 및 탈락이 발생되지 않도록 접합을 하여야 한다.

마) 흡수관(PE유공주름관 Ø50mm) 유효길이는 1ROL당 100m로 되어 있으나 축소 또는 추가 연장 필요한 구간에서 흡수관의 이음이 없이 시공되도록 하여야 한다. 단, 불가피한 이음 발생시는 겹이음으로 처리하여야 한다.

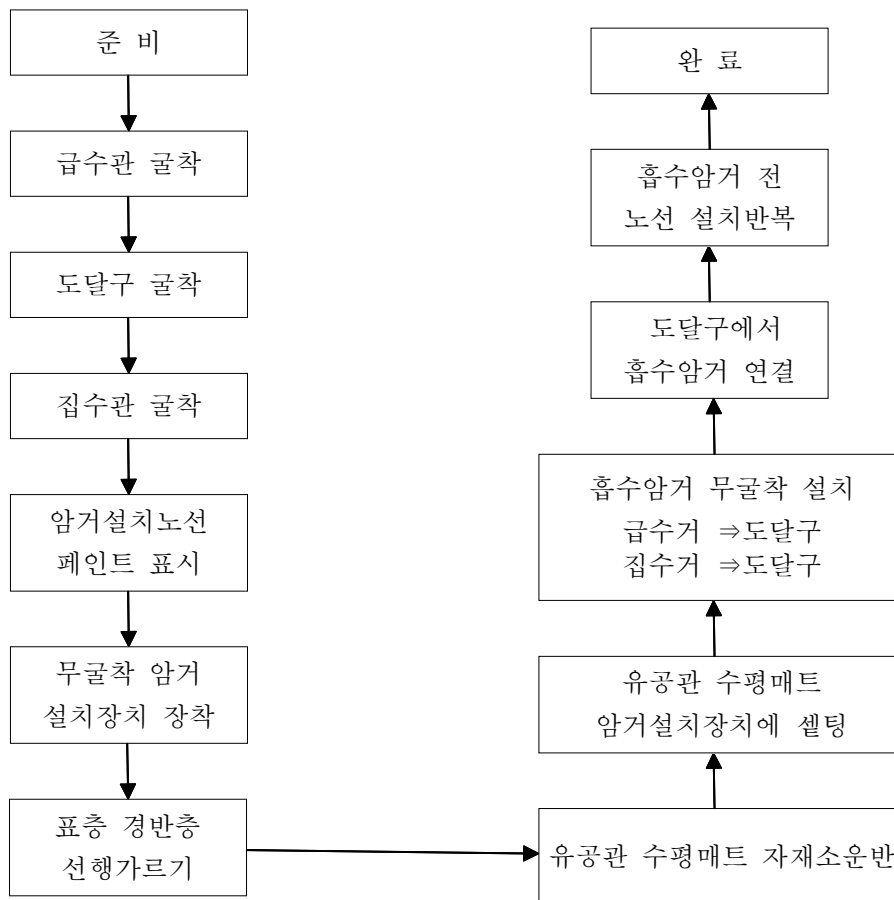
관로공사시 흡수관의 매설은 배수로부터 유말부 및 검사공 위치까지 무굴착 트랜처 장비를 이용하여 매설을 실시하도록 하며, 무굴착 트랜처 장비를 이용 소집수관부 굴착 ⇒ 흡수관 매설부 순으로 설치하되 경지부에서 발생하는 물을 집수배제토록 한다. 배관자재의 부설순서는 흡수관부 ⇒ 소집수관부 ⇒ 검사공 ⇒ 유말부 순으로 배관하도록 해야하며, 흡수관거 매설시 하단부에 토목섬유 매트거 포설되도록 하여 집수능력을 높이도록 한다.



<그림 2-206> 간척지 무굴착 지하배수암거의 매설

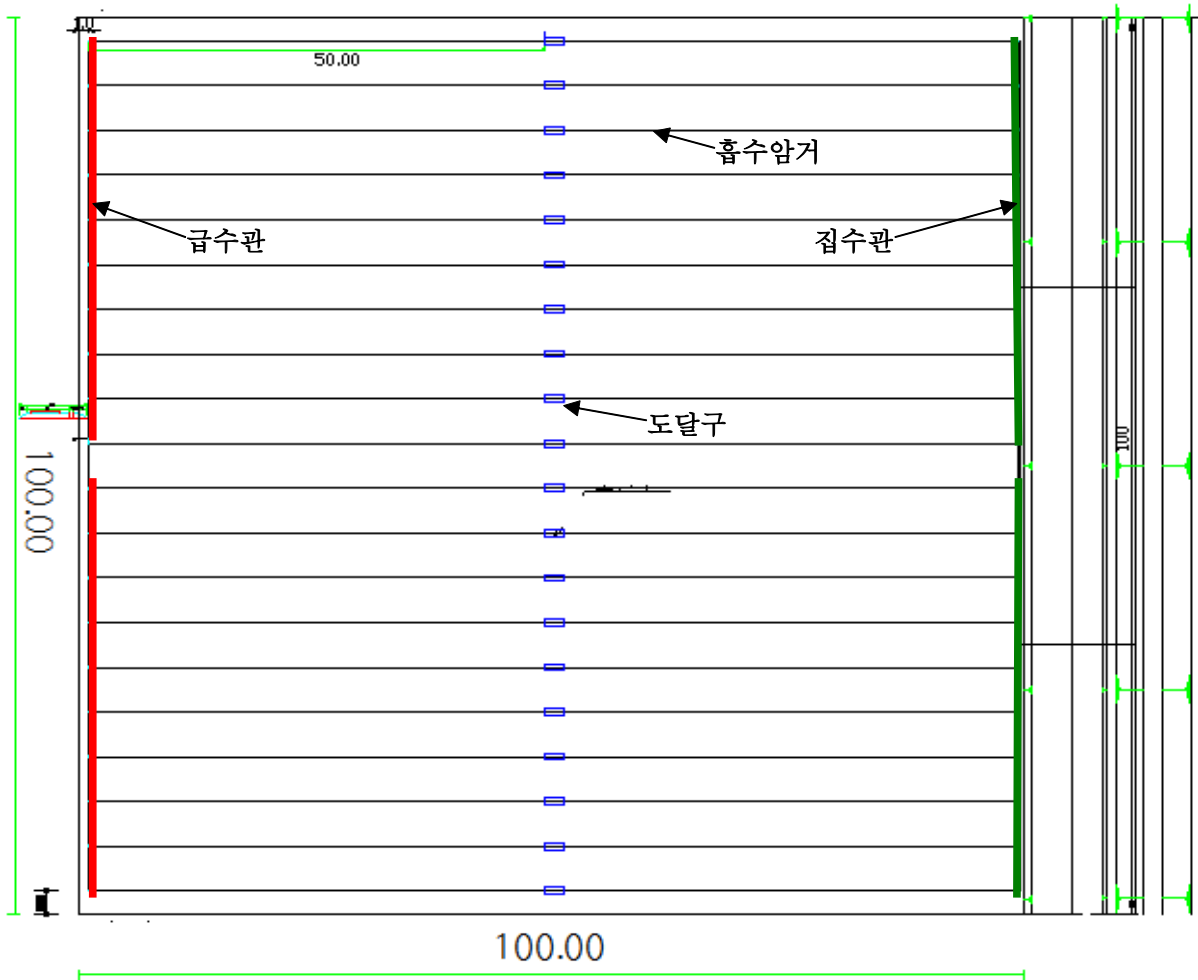


<그림 2-207> 지하배수암거 종합 공정



<그림 2-208> 흡수거 시공순서

집수관의 굴착은 무굴착 흡수암거의 추진구로 사용하고, 급수관와 집수관을 설치하고 되메움할 수 있도록 굴착하여야 한다. 도달구는 집수관 굴착홀에서 출발한 무굴착암거가 도착하여 흡수암거를 연결 마무리할 수 있도록 굴착하여야 한다. 흡수암거 설치예정노선을 따라 암거설치장비가 주행하여야 할 노선을 가능한 직선으로 페인트로 표시한다. 간척지는 표층이 건조수축에 의해 고결되어 있어 단단하여 무굴착암거장치가 진행하는데 저항력이 크기 때문에 유공관, 수평필터매트를 설치하는 주행을 원활히 하기 위하여는 선형가르기가 필요하고, 지반중에 양식용 말뚝, 사석 등이 주행노선에 있으면 흡수암거 설치 중에 중단되어 낭패의 요인이 되므로 선형가르기를 하여야 한다.



<그림 2-209> 무굴착 암거의 시공 굴착 평면도

2) 지하배수암거용 PVC유공주름관(Ø50mm)의 사양

암거배수용 PVC유공주름관(Ø50mm) 및 그 이음 부속품, PE유공주름관과 PE주름관 및 그 이음부속품, 드레인 매트 및 그 이음 부속품, 부직포 휠타, 검사공 등의 구입 제작에 적용하도록 해야한다. PE유공 주름관의 소켓(Ø50mm)은 폴리염화비닐 수지를 주재료로 제작하고 PE관(Ø50mm)의 접합이 가능해야 한다. 유공관의 품질시험 항목 및 기준은 품질시험항목 및 기준과 같은 시험항목에 대한 시험을 실시하여 그 품질이 기준 이상인지 확인하여야 한다. 기타 관연결 부속품은 PVC관, 수갑등 연결부위에 사용되며, TS접합 목적에 충족될 수 있어야 하며, 재질은 폴리염화비닐 수지를 주재료로 한다.

PE유공 주름관 및 PE주름관은 KSM-3407 규격에 따르며, 폴리에틸렌 수지를 주재료로 제작하며, 시공 후 보통의 토양 중에서 화학적 변화가 없어야 하며, 형상 및 규격 : 형상은 원형의 주름 (凹凸의 나사식)을 균일하게 가져야 한다. PE유공 주름관 및 PE주름관 부속품은 시공 후 보통의 토양 중에서 화학적 변화가 없는 재료이어야 한다. PE유공주름관, PE주름관을 이음 할 수 있는 구조이어야 하며 시공 후에 탈락의 우려가 없어야 하고 누수가 생기지 않아야 한다.

(표 2-83) 주름유공관 품질시험항목 및 기준

구 분		단 위	기 준	시험방법	
FILTER + CORE	재 질	-	PE	KS K 0210	
	형 상	-	비대칭 나선형	일반시험법	
	내 경	mm	50 이상	일반시험법	
	중 량	g/m	140 이상	KS K ISO 9864	
	색 상	-	무 색 , 흰 색	일반시험법	
	배수공수	ea/m	550 이상	일반시험법	
	배수공위치	-	유공관 내측	일반시험법	
	내 양 품 성	30%H ₂ SO ₄ 수용액	%	3 이하	일반시험법 (상온에서 5시간 침지 후 중량감소율)
		20%HCl 수용액	%	3 이하	
		40%NaOH수용액	%	3 이하	
10%NaCl 수용액		%	3 이하		
증류수		%	3 이하		
FILTER	재 질	-	PP, PET	KS K 0210	
	인장강도	kN/m	3.0 이상	KS K ISO 10319	
	인장신도	%	50~150	KS K ISO 10319	
	투수계수	cm/sec	1×10 ⁻² 이상	KS K ISO 11058	
	중 량	g/m ²	110 이상	KS K ISO 9864	
	유효구멍크기(O90)	μm	90~120	KS K ISO 12956	

(표 2-84) 수평필터매트 품질시험항목 및 기준

구 분		단 위	기 준	시험방법
FILTER	재 질	-	PP, PET	KS K 0210
	인장강도	kN/m	1.0 이상	KS K ISO 10319
	인장신도	%	50~100	KS K ISO 10319
	투수성	cm/sec	1×10 ⁻² 이상	KS K ISO 11058
	중 량	g/m ²	110 이상	KS K ISO 9864
	유효구멍크기(O90)	μm	90~120	KS K ISO 12956

3) 지하배수암거용 집수관과 배수관의 시공

집수관과 배수관의 터파기는 흡수암거에서 배출되는 물을 유도하여 배수지거로 배수하여야 하므로 설계도면에 있는 굴착심도로 배수지거방향으로 경사면을 가지는 터파기를 실시한다. 집수관과 배수관의 이음은 본드 등으로 고정하여 시공하는 것을 원칙으로 하나, 시공의 용이성, 변형에 의한 파손 방지 등을 위하여 다소 느슨하게 하여도 무방하다. 다만, 관이 이탈하지 않도록 이음재(소켓, T형관 등)의 중간 이상 되게 매입을 하여야 한다. 흡수암거 연결 시 이형 T형 연결부를 사용하여야 하며 흡수암거와 집수관의 높이가 상이할 때 흡수거를 일정부분을 휘어서 집수관에 연결한다. 돌을 이용하거나 일부 고정할 수 있는 방법을 사용하여 되메우기시 관이 이동하지 않도록 한다. 급수관과 급수개폐기의 터파기는 용수로에서 공급되는 물을 유도하여 흡수암거에 급수하여야 하므로 설계도면에 있는 굴착심도로 흡수암거 방향으로 경사면을 가지는 터파기를 실시한다. 급수관과 급수개폐기의 터파기 심도는 레벨측량을 하여 각 위치의 표고가 설계표고와 허용오차 범위 내에 일치하도록 한다. 급수관과 급수개폐기의 이음은 본드 등으로 고정하여 시공하는 것을 원칙으로 하며, 관이 이탈하지 않도록 이음재(소켓, T형관 등)의 중간 이상 되게 매입을 하여야 한다.

4) 수직심토파쇄

간척지의 토양은 함수비가 높고 점성이 높아 일반적인 심토파쇄장비로는 0.7m암거부까지 파쇄가 쉽지 않기 때문에 심토파쇄의 효과를 높이기 위하여 굴삭기 등에 장착한 수직심토파쇄기를 사용하여야 한다. 심토파쇄는 기 설치한 흡수암거가 파손되지 않도록 흡수암거를 설치한 폭 50cm 암거설치 노선은 제외하고 심도 50~70cm까지 전 구간 고르게 심토파쇄를 실시한다. 심토파쇄 시 하부토층이 상부로 올라오고 상부 고결토층이 내려가는 교반되는 조건의 심토파쇄가 토양개량효과가 훨씬 더 크므로 상하부 토층이 교반되도록 가능한 유도한다. 심토파쇄한 경지면이 요철이 심하지 않도록 표고차가 10~20cm 범위내에 있도록 먼고르기를 심토파쇄와 동시에 실시하여야 한다. 지하암거 설치 등으로 제거된 논두렁은 심토파쇄 전에 원상 복구하는 것이 효율적이므로 심토파쇄 전에 실시한다.



<그림 2-210> 심토파쇄 시공장면

5) 무굴착 배수암거의 공사비 산출(암거설치 900m, 심토파쇄 0.7ha)

(표 2-85) 무굴착 배수암거의 공사비 설계 내역서

공 종	재료비		노무비		경 비		합 계		비 고
	단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	
직접공사비		4,691,864		5,737,895		4,183,559		14,613,318	
간접노무비				510,673				510,673	
합 계		4,691,864		6,248,568		4,183,559		15,123,991	
산재보험료								243,694	
산업안전보건관리비								269,088	
기타경비								733,009	
고용보험료								73,108	
퇴직공제부금비								131,972	
국민건강보험료								97,544	
국민연금보험료								142,874	
노인장기요양보험료								6,389	
건설하도 지급보증								10,375	
건설기계대여대금지급보증서								59,915	
순공사원가계								17,402,632	
일반관리비								861,391	
공급가액								18,264,023	
부가가치세								1,826,402	
계								20,090,426	

(표 2-86) 무굴착 배수암거의 순공사비

공종명	규격	수량	단위	노무비		재료비		경비		합계		비고
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	
계					5,737,895		4,691,864		4,183,559		14,613,318	
1. 지하배수암거 공사비		1	식		3,017,109		3,365,157		1,804,815		8,187,080	
흡수암거 설치	50mm	900	m	2,412	2,170,624	1,860	1,674,291	1,808	1,627,409	6,080	5,472,324	
PVC관(4m)	75mm	25	본	17,543	429,811	20,480	501,760	1,754	42,981	39,778	974,552	
PVC관(4m)	65mm	7	본	12,733	89,128	13,450	94,150	1,273	8,913	27,456	192,191	
PVC이경티 설치	75*50mm	9	개	4,386	39,472	1,000	9,000	439	3,947	5,824	52,420	
PVC정티 설치	75mm	3	개	4,386	13,157	1,320	3,960	439	1,316	6,144	18,433	
PVC이경티 설치	65*50mm	9	개	3,183	28,648	690	6,210	318		4,191	34,858	
PVC L자 설치	65mm	18	개	3,183	57,296	770	13,860	318		4,271	71,156	
PVC일자소켓 설치비	75mm	25	개	2,193	53,726	620	15,190	219	5,373	3,032	74,289	
PVC일자소켓 설치비	65mm	7	개	1,592	11,141	550	3,850	159	1,114	2300.724	16,105	
PVC벨브설치 등	75mm	3	개	0	0	327,440	982,320	1,754	5,263	329,194	987,583	
터파기	백호	124	m ³	525	65,195	256	31,790	459	56,999	1,240	153,983	
퇴메우기	백호	124	m ³	477	58,910	233	28,776	417	51,500	1,127	139,186	
2. 수직파쇄		1	식		2,720,786		1,326,707		2,378,745		6,426,238	
- 수직심토파쇄	백호	5,182	m ³	525	2,720,786	256	1,326,707	459	2,378,745	1,240	6,426,238	

2.2.6. 국내 간척 지구별 종합계획 및 토양, 용수여건 분석

가. 국내 간척 지구별 종합계획

국내 간척지는 간척지의 토양 염도, 용수 공급 조건, 기후, 입지여건 및 수요 등을 고려하여, 원예, 축산, 복합곡물 등 8개 용도로 구분하여 수립하였다.(2010년 기준) 간척지는 조성 초기에 수도작 생산을 목적으로 개발하였으나, 최근 들어 수도작 이외의 밭작물, 시설원예, 순환형 축사시설, 관광농업을 연계하는 6차산업화 등 간척농지의 다각적 활용을 구상하고 있는 실정이다. 간척지의 총 활용면적은 30,394ha로 수출원예 3,000ha, 일반원예 2,185ha, 채종단지 1,533ha, 친환경 축산 3,000ha, 지원시설 1,536ha, 관광농업 394ha, 생태환경 653ha, 복합곡물단지 18,093ha로 구분되어 있다.

(표 2-87) 간척지 용도별 구분(2010년)

계 (ha)	수출 원예	일반 원예	채종 단지	친환경 축산	지원 시설	관광 농업	생태 환경	복합 곡물
30,394 (100.0%)	3,000 (9.9)	2,185 (7.2)	1,533 (5.0)	3,000 (9.9)	1,536 (5.1)	394 (1.3)	653 (2.1)	18,093 (59.5)

(표 2-88) 간척지 현황

지 구 명	위 치	개발면적 (ha)	유역면적 (ha)	담수호면적 (ha)	착공 년도	준공 년도	비 고
화 용	경기 화성	6,212	23,580	1,730	'91	'18	조사료재배
시 화	경기 화성, 안산	4,396	6,721	760	'98	'16	조사료, 벼재배
석 문	충남 당진	3,740	22,630	874	'87	'05	조사료, 벼재배
이 원	충남 태안	1,352	4,180	290	'90	'09	벼재배
남 포	충남 보령	1,256	28,800	431	'85	'07	벼재배
새만금	전북 군산, 부안, 김제	40,100	331,900	11,800	'91	'20	조사료
영산강 III-1	전남 영암	11,624	35,500	4,286	'97	'09	벼재배, 무화과
영산강 III-2	전남 해남	7,433	18,400	2,330	'97	'11	벼재배
삼산	전남 장흥	470	1,700	140	'97	'09	조사료, 벼재배
고흥	전남 고흥	3,083	7,320	745	'91	'08	조사료, 벼재배
군내	전남 진도	900	5,745	436	'91	'08	벼재배
보전	전남 진도	298	626	85	'87	'96	벼재배
계		80,864	487,102	23,907			

국내 간척지는 화용, 시화, 석문, 이원, 남포, 삼산, 고흥, 군내, 보전, 영산강, 새만금 지구가 있다. 화용지구는 지리적 여건에서 대도시와 인접하여 있고, 축산단지가 조성되어 있어 축산·채종, 관광 농업복합단지를 특성화시키는 방향으로 설정되어 있

다. 시화지구는 화훼, 원예 등 도시근교형 농업특성을 가지고 있어 근교농업·첨단 수출원예단지 구축을 목표로 하고 있다. 석문지구는 지리적 접근성을 이용하여 채종단지를 추진하고 있으며, 이원지구는 인근 발전소 폐열 등을 이용할 수 있는 여건에 있다. 남포 지구는 전국 최고의 수도작 생산량을 기록하고 있다. 수도권에서 먼 거리에 있는 삼산 지구는 전남 제일의 축산 사육기반을 구축하고 있다. 남해안에 위치한 고흥지구는 일조량이 풍부하여, 첨단유리온실을 활용과 태양광발전시설 활용에 유리한 환경을 가지고 있다. 군내와 보전지구는 지역 소득 작목으로 흑미가 유명하여, 기능성 특수미 생산단지를 조성하는 방향으로 설정하였다. 영산강 지구는 간척지 개발 경지면적이 넓어서 다양한 작물이 재배되고 있으며 그 중에서 무화과와 참다래 생산이 유명하며 특화작목 생산·가공단지를 구축하여 운영하고 있다. 새만금은 전국 최대의 간척지로 선진농업단지(M/P 완료) 구축을 목표로 설정하여 운영되고 있다.

(표 2-89) 간척지구별 여건 및 특성화 방향

지구명	지구별 여건	특성화 방향	내 용	비 고
화 오	축산, 관광 등이 결합된 '화성바다농장' 추진중	축산·채종, 관광 농업복합단지	축산·말 관련 사업계획에 근거, 관광농업을 연계	친환경 축산·관광농업 800ha
시 화	화훼, 원예 등 도시근교형 농업 특성	근교농업·첨단 수출원예단지	도시 근교 입지특성을 고려 지역의 주작목(화훼, 포도)과 수출농업 집중 육성	첨단수출 300ha
석 문	지리적 접근성을 이용, 채종단지 추진	채소·과수·원에 등 채종단지	도시근교 입지여건, 과수 및 채소 재배여건을 고려 수출용채종단지로 조성	수출용 채종단지 451ha
이 원	인근 발전소 폐열 등 이용에 유리	수출·관광용 화훼특화단지	에너지특구 지정, 폐열·지열, 태양열 이용 유리, 인근 다수의 화훼농가 존재	첨단수출 300ha
남 포	전국 최고의 수도작 생산량 기록	친환경·고품질 미곡생산단지	친환경농업과 조사료포 중심의 복합곡물단지로 집중 육성	복합곡물 599ha
삼 산	전남 제일의 축산사육기반	친환경축산단지	전남 최대 한우 생산지로 경쟁력을 갖춘 친환경 축산 테마단지 조성	친환경 축산 22ha
고 흥	일조량이 풍부, 첨단유리온실 유리	첨단수출원예·바이오에너지 단지	일조량이 많아 첨단시설원예에 적합, 관광과 연계한 한우단지 조성	첨단수출 200ha
군 내 보 전	지역소득작목으로 흑미 유명	기능성 특수미 생산단지	소득 작물로 흑미와 같은 기능성 특수미 단지 조성	기능성 특수미 677ha
영산강	경지면적이 넓고 무화과, 참다래가 유명	특화작목 생산·가공단지	겨울철 온난기후 활용, 지역특산품(무화과, 참다래)를 육성하기 위해 첨단수출단지(300ha)와 일반원예단지(220ha) 육성	첨단수출 300ha
새만금	전국 최대 간척지	선진농업단지 (기본계획 완료)	간척지 최대규모, 미래형 선진농업단지 조성	첨단수출 1,500ha

그러나 기본구상에서 계획된 8개 용도의 활용 실적은 저조한 실정이며, 준공지구 대부분은 수도작 재배로 활용 중(82.5%)에 있다. 복합곡물단지는 59.5%로 가장 많

은 면적을 차지하고 있으나, ('16년 기준)대부분 수도작 재배로 이용하고 있다. 또한, 높은 토양염도, 3등급 이상의 용수 미확보, 연약지반 등 열악한 영농환경으로 인해 수출원예, 채종단지, 지원시설, 관광농업단지의 실적이 거의 전무하다.

나. 국내 농산물 시장 분석 및 농업구조 분석

1) 국내 농업 동향

2016년 농식품 총 수입액은 241.8억 달러로 전년 대비 2.3% 증가하였고, 총 수출액은 61.2억 달러로 전년 대비 6.9% 증가하였다. 무역수지는 2015년보다 0.9% 악화된 180.6억달러 적자를 기록하였다. 수입곡물 중 보리, 옥수수, 밀 등 주요 곡물의 국제가격은 전반적으로 하락하였고 수입량은 전년 대비 1.4% 증가하였다. 국내 축산물의 생산량 감소 및 가격 상승으로 축산업 수출액은 2015년보다 7.9% 감소하였으나, 2015년 크게 감소했던 농산물 수출액이 증가하여 총 수출액은 전년보다 6.9% 증가하였다. 2017년 총 수입액은 약 248.9억 달러로 전년 대비 3.0% 증가할 것으로 전망되며, 총 수출액도 전년 대비 1.8% 증가할 것으로 전망된다. 무역수지는 전년보다 3.4% 감소한 186.9억 달러 적자를 기록할 전망이다 상황이다.

(표 2-90) 농식품 무역 현황 및 전망

	2015	2016 (추정)	전망			연평균 변화율(%)		
			2017	2021	2026	16/15	17/16	26/16
총 수입액(A)	236.2	241.8	248.9	277.7	312.7	2.3	3.0	2.6
수입량	34,241	36,518	36,829	38,878	41,148	6.6	0.9	1.2
7대 곡물 ¹⁾	16,257	16,479	16,590	17,202	17,556	1.4	0.7	0.6
5대 채소 ²⁾	403	226	241	252	278	-43.8	6.5	2.1
과일	753	818	835	890	955	8.7	2.0	1.6
6대 과일 ³⁾	50	57	60	73	86	14.6	3.7	4.1
오렌지·열대과일	703	761	775	817	869	8.3	1.9	1.3
5대 축산물 ⁴⁾	921	949	941	1,024	1,098	3.0	-0.9	1.5
총 수출액(B)	57.2	61.2	62.3	67.7	75.1	6.9	1.8	2.1
수출량	2,888	2,958	3,021	3,269	3,597	2.5	2.1	2.0
무역수지적자(A-B)	179.0	180.6	186.7	209.9	237.6	0.9	3.4	2.8

주: 1) 7대 곡물: 쌀, 보리, 밀, 콩, 옥수수, 감자, 고구마

2) 5대 채소: 배추, 무, 마늘, 고추, 양파

3) 6대 과일: 사과, 배, 복숭아, 포도, 감귤, 단감

4) 5대 축산물: 소, 돼지, 닭, 계란, 낙농품

자료: GTIS, 관세청, 한국농촌경제연구원 KASMO(Korea Agricultural Simulation Model)

2016년은 이상기후 및 태풍의 영향으로 전년 대비 생산량이 감소하여 농가판매 가격지수는 전년 대비 0.7% 상승하였다. 폭설과 폭염, 태풍 등 이상기후 요인은 배추, 무 등 주요 채소류의 작황을 부진하게 하였다. 채소류의 농가판매가격지수는 전년대비 15.5% 상승하였으며, 쌀의 지속적인 초과공급으로 인해 가격이 크게 하락하여 곡물류의 농가판매가격지수는 전년 대비 11.2% 하락하였다.

2) 국내 농업 구조 분석

2016년 경지면적은 전년 대비 0.7% 감소한 166.7만 ha로 추정된다. 2017년 재배업의 수익률 감소세에 따라 2017년 경지면적은 전년 대비 0.6% 감소한 165.8만 ha 수준이 될 전망이다. 장기적으로는 농촌의 고령화 및 농산물 시장개방에 따른 수입농산물의 국내 시장 잠식, 농업 교역조건 악화에 따른 농업소득 감소의 영향으로 경지면적은 지속적으로 감소하여 2021년 162.8만 ha, 2026년 159.9만 ha로 전망된다.

(표 2-91) 경지면적과 경지이용률 전망

단위	2015	2016 (추정)	전망			연평균 변화율(%)		
			2017	2021	2026	16/15	17/16	26/16
경지면적(천 ha)	1,679	1,667	1,658	1,628	1,599	-0.7	-0.6	-0.4
농가호당 경지면적(ha)	1.54	1.56	1.57	1.61	1.67	0.9	0.9	0.7
농가인구당 경지면적(a)	65.3	66.2	67.2	71.9	78.9	1.3	1.5	1.8
국민 1인당 경지면적(a)	3.3	3.3	3.2	3.1	3.0	-1.2	-1.0	-0.7
경작가능면적(천 ha)	1,576	1,565	1,556	1,528	1,501	-0.7	-0.6	-0.4
재배면적(천 ha)	1,681	1,650	1,638	1,572	1,502	-1.9	-0.7	-0.9
경지이용률 ¹⁾ (%)	106.7	105.4	105.3	102.9	100.1	-1.2 %p	-0.1 %p	-0.5 %p

주: 1) 경지이용률은 재배면적/경작가능면적 x 100으로 산출됨

자료: 통계청, 한국농촌경제연구원 KASMO(Korea Agricultural Simulation Model)

2017년 작물별 재배면적은 노지 채소류와 특용·약용작물을 제외한 대부분의 작물에서 감소하고 있다. 장기적인 전망에 있어서도 재배면적은 2021년에서 2026년으로 시간이 경과할수록 줄어들 것으로 예상되고 있다. 쌀을 포함한 곡물류 재배면적은 전년 대비 2.1% 감소한 93.5만 ha로 전망되고 있으며 쌀 소비량 감소 등의 영향은 지속되어 해가 지날수록 감소할 것으로 예상된다. 2016년은 이상기후 때문에 배추, 무 등 노지 채소 생산량이 감소한 결과, 가격이 상승하여 2017년 노지 채소 재배면적은 전년 대비 1.9% 증가할 전망이다. 노지 과수 재배면적은 전년 대비 0.4% 감소할 것으로 전망되며, 특용·약용 작물 재배면적은 전년 대비 1.8% 증가할 것으로 전망된다. 기타 작물은 화훼류와 사료작물의 재배면적 증가로 전년 대비 2.8% 증가할 것으로 전망된다.

(표 2-92) 작물별 재배면적¹⁾ 전망

(단위: 천ha, %)

단위	2015	2016 (추정)	전망			연평균 변화율(%)		
			2017	2021	2026	16/15	17/16	26/16
곡물류	982	956	935	864	798	-2.7	-2.1	-1.8
노지 채소(과채 포함)	198	198	202	189	180	0.1	1.9	-1.0
노지 과수	154	154	153	152	149	-0.2	-0.4	-0.3
시설 작물 ²⁾	90	85	85	83	82	-5.9	-0.7	-0.3
특용·약용 작물	93	99	101	103	104	7.1	1.8	0.5
기타 작물 ³⁾	164	158	162	180	189	-3.9	2.8	1.8
사료작물	66	60	63	79	83	-9.3	6.5	3.4

주: 1) 통계청 농산물 재배면적 조사 통계 기준으로 작성됨

2) 시설 작물 면적에는 시설 과수, 시설 채소, 시설 화훼 등이 포함됨

3) 기타 작물 면적에는 사료 작물, 인삼, 담배, 화훼 등이 포함됨

자료: 통계청, 한국농촌경제연구원 KASMO(Korea Agricultural Simulation Model)

자급률은 FTA 등 농축산물 시장개방 확대에 따른 수입 증가와 교역수지 악화에 따른 농업소득 감소로 인하여 하락하고 있다. FTA의 영향은 매년 누적되면서 중장기적으로도 농축산물 자급률은 지속적으로 하락할 전망이다. 곡물류 자급률(사료용 제외)은 2000년 55.6%에서 2016년 48.4%로 감소하였다. 장기적으로 2021년에는 41.6%, 2026년에는 40.0%로 감소할 전망이다. 육류 자급률은 국내 생산 증가에도 불구하고, 수입량의 증가 속도가 빨라 2000년 78.8%에서 2016년 64.9%로 하락하였다. 육류의 경우 현재까지는 FTA 이행 초기 단계여서 관세 인하 폭이 작아 국내 축산물 시장이 FTA 효과보다는 국내외 수급여건과 환율 변화에 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 국내 육류 소비 증가는 국내 생산량을 지속적으로 증가하게 할 것으로 예상되나, 기 체결FTA 연차가 길어질수록 관세는 하락하여 축산물 수입량은 더 크게 증가할 것으로 예상되어 육류 자급률은 하락할 것으로 전망된다.

(표 2-93) 자급률¹⁾ 현황 및 전망

(단위: 천ha, %)

단위	2015	2016 (추정)	전망			변화율(%p)		
			2017	2021	2026	16/15	17/16	26/16
전체 자급률(%)	76.3	74.9	74.2	71.7	70.9	-1.4	-0.7	-4.0
곡물류 자급률(%)	50.2	48.4	45.6	41.6	40.0	-1.8	-2.8	-8.4
육류 자급률(%)	67.1	64.9	66.3	64.9	64.6	-2.2	-1.4	-0.3

주: 1) 자급률은 (국내 생산량/소비량 x 100)으로 산출되며, 곡물류 및 전체 자급률은 사료용이 제외됨.

자료: 한국농촌경제연구원 KASMO(Korea Agricultural Simulation Model)

영농형태별 농업 경영비 비중은 논벼, 과수, 채소 농가 순으로 증가하여 농가 부담이 증대되어가고 있다. 논벼 농가는 다른 농가에 비해 위탁 영농으로 빠르게 전환되면서 위탁비가 증가하여 경영비 비중이 2009년 59.5%에서 2015년 66.6% 증가하였다. 2012년 축산 농가는 국제곡물 가격 상승에 따른 사료비 부담으로 경영비 비중이 크게 증가하였다. 2015년에는 국제 곡물 가격 하락으로 사료비가 하락하여 경영비 비중은 2012년(74.9%)보다 10.6%p 감소하였다. 이와 같이 국제 시세는 우리 물가에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 농업용 부채는 2012년 일시적으로 상승했으나, 다시 감소하여 2013~2015년 1,180만원 수준을 유지하고, 가계용 및 기타 부채는 증가하다가 2015년 다소 감소하였다. 농가 부채 상환 능력은 농가자산 증가에 따라 개선되는 추세이며, 농가 총부채는 2011년 이후 완만한 증가세를 보이다가 2015년 2,722만원으로 전년 대비 2.4% 감소하였다.

(표 2-94) 농가부채 및 자산 동향

(단위: 천원, %)

구 분	2011	2012	2013	2014	2015
총 부채(a)	26,035	27,262	27,363	27,878	27,215
농업용 부채	11,892	13,122	11,715	11,778	11,917
가계용 및 기타 부채	14,143	14,140	15,647	16,101	15,298
농가자산(b)	387,180	407,872	400,580	431,823	453,580
부채상환능력(a/bx100) ¹⁾	6.7	6.7	6.8	6.5	6.0

주: 1) 자산 대비 부채비율(=부채 / 자산 x 100)이 하락할수록 장기상환능력이 향상됨
 자료: 통계청, 『농가경제조사』

(표 2-95) 영농형태별 농가부채 상황(2014, 2015년)

(단위: 천원, %)

	년도	농가소득(A)	자산(B)	부채(C)	농가소득 대비 부채(C/A)	농가자산 대비 부채(C/B)
논벼	2014	22,500	397,861	15,175	67.4	3.8
	2015	25,588	396,444	14,938	58.4	3.8
과수	2014	34,662	463,883	27,038	78.0	5.8
	2015	34,039	495,915	29,073	85.4	5.9
채소	2014	25,718	364,218	23,314	90.7	6.4
	2015	27,001	395,861	21,103	78.2	5.3
특용작물	2014	19,265	259,289	12,549	65.1	4.8
	2015	15,281	332,170	13,188	86.3	4.0
화훼	2014	27,983	485,211	53,545	191.3	11.0
	2015	26,981	500,527	61,178	226.7	12.2
일반밭작물	2014	23,528	467,557	22,658	96.3	4.8
	2015	23,576	345,063	9,497	40.3	2.8
축산	2014	72,338	641,049	68,428	94.6	10.7
	2015	79,649	710,747	71,482	89.7	10.1

자료: 통계청, 『농가경제조사』

다. 간척지구별 용수현황

1) 간척지구별 수질 현황

환경부에서 조사를 진행한 새만금지구를 제외한 다른 지구들은 모두 한국농어촌공사에서 수질조사를 진행하고 있다.

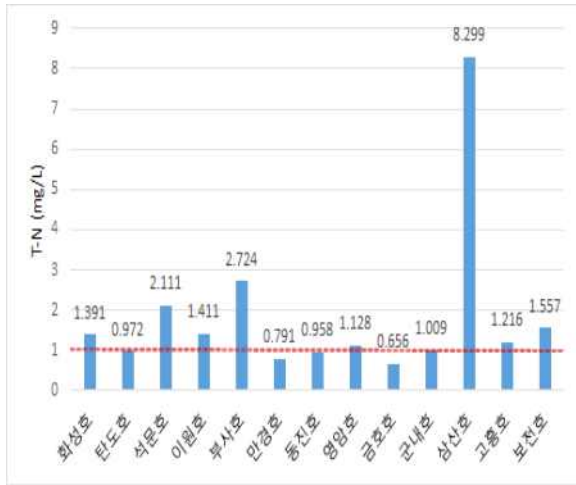
화옹, 시화지구는 '13년도 COD가 각각 6.5mg/L, 8.1mg/L로 농업용수 수질환경기준 수질등급이 IV, V등급이며, EC는 각각 33.5dS/m, 3.2dS/m로 분석되었다. '15년도 석문지구의 COD는 13.9mg/L이며, T-N은 2.111mg/L, T-P 0.182mg/L이고, EC는 0.9dS/m로 COD기준 수질등급은 VI등급이다. 이원지구 이원호의 COD는 12.3mg/L이며, EC는 9.0dS/m로 비교적 높은 편이며, 수질등급은 석문지구와 동일한 VI등급 수준을 나타내고 있다.

새만금지구의 경우 '13년도 만경호와 동진호의 평균 COD는 4.3mg/L이고, T-N은 0.875mg/L이며, T-P는 0.0501mg/L이고, EC는 24.4dS/m로 수질등급은 III등급으로 조사되었다.

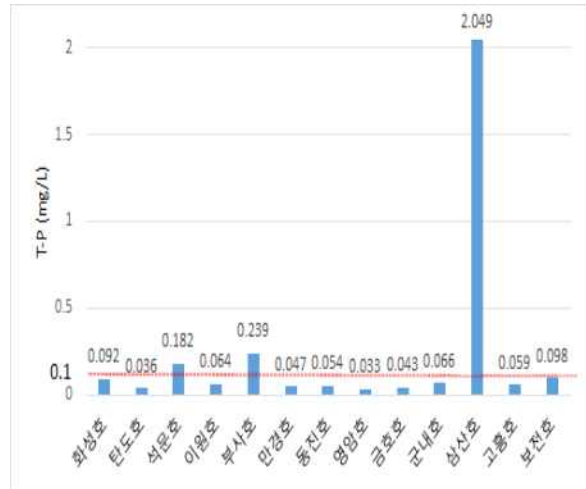
영산강 III-1지구 영암호의 COD는 5.4mg/L, T-N은 1.128mg/L, T-P는 0.033mg/L이고, 금호호의 COD는 7.4mg/L, T-N은 0.656mg/L, T-P는 0.043mg/L이며, 수질 등급은 동일한 IV등급이다.

(표 2-96) 간척지구별 수질현황

지구명	담수호명	COD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	EC (dS/m)	수질등급 (COD기준)	담당기관	비고
화옹지구	화성호	6.5	1.391	0.092	33.5	IV	한국농어촌공사	13년
시화지구	탄도호	8.1	0.972	0.036	3.2	V	한국농어촌공사	13년
석문지구	석문호	13.9	2.111	0.182	0.9	VI	한국농어촌공사	15년
이원지구	이원호	12.3	1.411	0.064	9.0	VI	한국농어촌공사	15년
부사지구	부사호	24.9	2.724	0.239	3.1	VI	한국농어촌공사	15년
새만금지구	만경호	4.1	0.791	0.047	25.1	III	환경부	13년
	동진호	4.4	0.958	0.054	23.6	III	환경부	13년
영산강지구	영암호	5.4	1.128	0.033	1.8	IV	한국농어촌공사	13년
	금호호	7.4	0.656	0.043	5.1	IV	한국농어촌공사	13년
군내지구	군내호	8.2	1.009	0.066	2.1	V	한국농어촌공사	15년
고흥지구	고흥호	10.1	1.216	0.059	1.5	VI	한국농어촌공사	15년
보전지구	보전호	19.9	1.557	0.098	2.2	VI	한국농어촌공사	15년
삼산지구	삼산호	12.5	8.299	2.049	1.1	VI	한국농어촌공사	15년



<담수호 수질현황(T-N 1.0 mg/L 이하)>



<담수호 수질현황(T-P 0.1mg/L 이하)>

<그림 2-211> 담수호 수질현황

2) 토지이용별 수질기준 비교

간척농지 담수호의 용수확보 및 이용가능성은 수도작, 일반원예, 시설원예, 축산용수 등 토지이용별로 수질기준을 파악하였다. 국내 수질기준 항목에는 포함되어 있지 않으나, 간척농지 담수호에서 검토가 필요한 항목인 전기전도도와 관련하여 검토하였다. 수도작 수질기준을 살펴보면, 일본의 수도작 수질기준에는 pH가 6.0~7.5, COD는 6mg/L이하, EC는 0.3dS/m이하를 기준으로 하고 있고, 한국은 pH가 6.0~8.5이고, COD는 8mg/L이하로 제시하고 있다. 또한, 중금속의 경우 비소(As)는 0.05mg/L이하로 일본과 대한민국의 수도작 수질기준이 동일하며, 구리(Cu)의 경우 일본은 0.02mg/L 이하이고, 대한민국은 0.01mg/L이하로 차이를 보이고 있다.

(표 2-97) 수도작 수질기준 비교

항목	일본	대한민국
수소이온농도(pH)	6.0~7.5	6.0~8.5
생물학적산소요구량(BOD),mg/ℓ	8이하	8이하
화학적산소요구량(COD),mg/ℓ	6이하	8이하
부유물질(SS),mg/ℓ	100이하	100이하
용존산소량(DO),mg/ℓ	5이상	2이상
총질소(T-N),mg/ℓ	1이하	-
전기전도도(EC), dS/m	0.30이하	-
중금속:수은(Hg)	-	0.005이하
납(Pb),mg/ℓ	-	0.05이하
6가크롬(Cr+6)	-	0.1이하
시안(CN)	-	0.1이하
비소(As)	0.05이하	0.05이하
카드뮴(Cd)	-	0.01이하
아연(Zn)	0.02이하	-
구리(Cu)	0.02이하	0.01이하

자료 : 손재권 외 11인, 2011, 관개배수공학(동명사)

FAO에서는 토양 및 관개수의 전기전도도와 비의 수확량 관계를 제시하고 있다. 구체적으로 관개용수의 전기전도도(ECw)가 2.0dS/m일 경우 수확량이 100%로 정상적인 생육이 가능한 것으로 나타내고 있다. 일반원에 수질기준은 제시되어 있지 않아 FAO에서 제시하고 있는 작물의 내염성과 농업용수 수질가이드라인을 준하여 활용해야 할 것으로 판단된다.

(표 2-98) FAO 비의 내염성

작물	수확량(%)									
	100		90		75		50		0	
	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw	ECe	ECw
벼	3.0	2.0	3.8	2.6	5.1	3.2	7.2	4.8	11.0	7.6

자료 : FAO, 1978

(표 2-99) FAO 농업용수 수질가이드라인

구분	단위	사용 제한의 정도			
		없음	약간~중간	심함	
염분	ECw	dS/m	< 0.7	0.7~3.0	> 3.0
	TDS	mg/L	< 450	450~2,000	> 2,000

자료 : FAO, 1984, 농업용수 수질가이드라인

시설원예용수 수질기준에는 네덜란드에서 pH가 5.0~7.5, ECw는 0.5dS/m미만이다. 일본은 pH가 5.0~8.0, ECw는 0.3dS/m 미만으로 규정하고 있다. 대한민국의 경우 pH는 5.0~8.0으로 일본의 수질기준과 동일하며, ECw는 0.5dS/m미만으로 규정하고 있다.

(표 2-100) 국가별 시설원예 수질기준 비교

항목	네덜란드	일본	대한민국
수소이온농도(pH)	5.0~7.5	5.0~8.0	5.0~8.0
전기전도도(ECw) dS/m	<0.5	<0.3	<0.5
질소(N, mg/L)		<60	<10
인(P)		<30	<2
칼륨(K)		<80	<10
칼슘(Ca)	<80	<80	<40
마그네슘(Mg)	<12	<40	<15
황산(SO ₄)	<16		<40
중탄산(HCO ₃)	<40		<100
나트륨(Na)	<30	<80	<30
염소(Cl)	<50	<200	<30
철(Fe)	<10	<10	<0.5
망간(Mn)	<0.5	<1	<0.6
아연(Zn)	<0.5	<1	<0.5
구리(Cu)	<0.06		<0.01
붕소(B)	<0.3	<0.7	<0.1

자료 : 네덜란드(PBG), 일본(지바농시), 대한민국(서울시립대학교)

국내 축산용수에 대한 기준은 음용수 수질기준을 따르고 있다. US EPA의 음용수 수질기준에서 수소이온농도(pH)는 6.5~8.5이며 색도는 15로 규정하고 있다. EU의 경우 pH는 6.5~9.5이고 색도는 20mg/L로 규정하고 있다.

(표 2-101) 음용수 수질기준 비교

항 목	WHO	US EPA	EU	일본	한국
pH	-	6.5~8.5	6.5~9.5	5.8~8.6	5.8~8.5
				7.5정도	
전기전도도(dS/m)			2.5		
총경도				300 (100-100)	300
염소이온(mg/L)		250	250	200	250
색도		15	20mg/L	5도	5도
구리	2				1

자료 : 환경부, 2012. 먹는물 수질기준 국내외 비교표

간척지구별 설계용수량은 지구 여건에 부합되는 정확한 산출이 필요하나, 본 연구에서는 새만금 5공구에서 산출한 설계내용을 검토하여 간척지구별 수도작, 원예용수, 축산용수에 관한 필요수량을 개략적으로 산정하였다. 토지이용 및 지구별 설계용수량(제염용수량 포함) 산정 결과는 필요수량 보다 다소 높은 수준으로 시설원예의 경우 259천톤, 노지원예 228천톤, 채종단지 160천톤, 수도작 6,722천톤, 축산용수의 경우 4천톤으로 산정되었다(간척농지 용수확보를 위한 기초연구, 2015).

(표 2-102) 토지이용별 일 설계용수량

지구별	원예용수(m ³)			수도작(m ³)	축산용수(m ³)		
	시설원예	노지원예	채종단지		한우	젖소	종돈
계	259,200.0	228,428.6	160,266.0	6,721,911.4	2,870.0	1,226.3	181.7
새만금	129,600.0	114,998.4	31,885.9	1,408,060.8	210.0	113.6	-
소계	129,600.0	113,430.2	128,380.0	5,313,850.6	2,660.0	1,112.8	181.7
화 옹	17,280.0	41,817.6	70,776.3	768,303.4	700.0	454.2	60.6
시 화	25,920.0	12,127.1	10,454.4	705,516.5	700.0	340.7	60.6
석 문	17,280.0	30,108.7	47,149.3	120,744.0	560.0	317.9	0.0
이 원	25,920.0	-	-	153,809.3	182.0	-	12.1
남 포	-	6,377.2	-	222,540.5	140.0	-	48.4
삼 산	-	-	-	91,022.4	28.0	-	-
고 흥	17,280.0	-	-	653,875.2	140.0	-	-
군 내	-	-	-	172,385.3	-	-	-
보 전	-	-	-	79,133.8	-	-	-
영산강 III-1	11,232.0	22,999.7	-	991,586.9	210.0	-	-
영산강 III-2	14,688.0	-	-	1,354,933.4	210.0	-	-

현재 환경정책기본법상 수질 및 수생태계 환경기준에서 호소의 생활환경기준 4등급 수질기준 상 COD는 8.0mg/L, T-N은 1.0mg/L, T-P는 0.1mg/L로 현행 농업용수 기준을 적용하고 있는 수준이다. 현행 수질기준은 농업이용 목적이 아닌 농업용수 관리 목적으로 설정되어 있다. 담수호에 대한 용수염분농도에 대한 수질기준은 대상 작물별로 명확히 구분되어 있지 않은 상태이다. 따라서 FAO 등의 염분농도 기준을 준용하여 수도작은 2.0 dS/m이하(FAO 권장기준), 일반원예는 0.7 dS/m이하(FAO 관개용수 가이드라인), 시설원예는 0.5 dS/m 이하(우리나라 서울시립대), 축산용수는 1.5 dS/m 이하(FAO 권장기준) 수준으로 제시하고 있다.

(표 2-103) 간척지구별 담수호 염분농도 적합성 판단

지구명	염분농도 기준(dS/m)				담수호 EC (dS/m)	적합성도판단				비고	
	수도작	일반 원예	시설 원예	축산		수도작	일반 원예	시설 원예	축산		
화옹	2.0 (FAO)	0.7이하 (FAO)	0.5 (시립대)	1.5 (FAO)	33.5	×	×	×	×		
시화					3.2	×	×	×	×		
석문					0.9	○	×	×	○		
이원					9.0	×	×	×	×		
부사					3.1	×	×	×	×		
새만금					24.4	×	×	×	×		
영산강					영암호	1.8	○	×	×	×	
					금호호	5.1	×	×	×	×	
군내					2.1	×	×	×	×		
삼산					1.1	○	×	×	○		
고흥					1.5	○	×	×	○		
보전					2.2	×	×	×	×		

2.2.7. 간척지별 토지이용 의견 수렴 및 활용방안 종합 분석

가. 설문조사 개요

1) 설문조사 배경

간척지는 공유수면을 매립하여 농지를 조성하는 간척사업이나 공유수면을 매립하여 산업단지와 주거용지, 상용용지를 조성하는 단지 조성사업, 공유수면을 매립하여 공항 등을 건설하는 사업으로 시행되고 있다. 이러한 사업은 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」에 따라서 시행되고 있다. 공유수면 매립사업 중에서 한국농어촌공사가 시행하는 간척사업은 「농어촌정비법」에 따라서 시행되고 있다.

2016~2017 간척지 종합계획은 30천ha(간척지 실태조사를 바탕으로 준공 후 처분전 국가소유 간척지 13천ha와 시행 중 간척지 17천ha)를 대상으로 11개 용도로 계획을 수립하여 제시하고 있다. 종합이용계획의 비전에서는 ‘농어업의 미래 성장산업 전진기지화’로 수도작을 탈피한 재배작물의 다양화, 농업생산의 단일 용도를 농축산 어업으로 다변화, 공급자 위주 토지공급을 수요자 중심으로 공급하는 것으로 제시하고 있다.

간척지 활용 종합계획에서는 중점 추진 과제로 재배작물 다양화, 토지활용 다변화, 토지공급·용수이용 다원화 및 제도개선 등을 통해 간척농지를 미래 복합영농 성장산업 중심지로 육성하고자 하였다. 그 주요 내용을 정리하면 다음과 같다.

재배작물 다양화는 쌀 생산 위주에서 채소, 원예, 조사료 등 다양한 작물 재배 환경을 조성하고자 하고 있다. 이를 위해서는 타작물 재배 환경을 조성하기 위하여 시범단지조성 및 실증연구를 통해 용·배수체계 개편 및 제염, 내염성 작물 선정, 임대조건 개선 등 타작물 재배 환경을 구축할 필요가 있다. 또한, 토지활용 다변화는 자연순환 축산 및 친환경 어업 확대, 체험관광 활성화 및 연구단지 유치를 통해 토지 활용을 극대화하는 것으로 제시되었다. 토지·용수공급 다각화는 임대, 매각, 임시사용 등 토지공급 방식 정립, 수요자 참여, 자율성 보장 및 용수활용 극대화를 꾀하고 있다.

간척지 활용에 관한 토지공급 방식 전환을 위해서는 유관기관과 지역민의 의견을 청취하여 간척지 임대·매각 방식 정립, 지자체, 공공기관의 원형지 개발을 활성화하는 방안 등을 검토할 필요가 있을 것이다. 수요자 중심의 맞춤형 개발을 위해서는 공급자 위주 개발에서 수요자 의견이 최대한 반영되는 수요자 중심의 맞춤형 개발로 전환할 필요가 있다. 법령 정비는 간척지 이용 활성화를 위한 법률 개선을 추진하는 것이다. 이를 위해서도 현재 간척지 활용에 관한 문제점과 개선점 등을 조사하여 검토함으로써 간척지 활용사업 활성화 및 효율적 투자를 위한 법령(간척지법, 농어촌정비법, 공유수면매립법 등)을 정비하는데 있어서도 유용한 자료가 될 것이다.

이를 위해서는 현재 간척지의 영농조건과 상황을 파악하고 지역민과 관련 지자체 및 한국농어촌공사 등의 의견을 청취하여 좀 더 효율적인 방안을 도출하여 적용할 필요성이 있다.

2) 설문조사 개요

간척농지 고부가 작물 재배를 위한 설문조사의 개요는 다음과 같다. 대상 지구에는 간척지 공사가 완료되어 현재 활용되고 있는 지역을 중심으로 대단위 간척지인 영산강 지구, 중규모 간척지인 고흥지구, 석문지구, 서산지구, 김제평야지구 등으로 설정하였다. 조사 대상으로는 정부, 지자체, 한국농어촌공사 및 간척지를 분양 받아 현재 경작하고 있는 농업인 및 지역민을 대상으로 해당 사업단 및 지사의 협조를 통해 2018년 8월 10일부터 9월 30일까지 현장 방문 및 우편 설문조사를 병행하여 실시하였다.

(1) 조사방법

조사 대상지구의 영농인은 현장 방문 조사를 실시하고 간척지 활용 현황에 대한 문제점 및 시사점 도출을 위한 주민설문을 실시하였다. 관련 지자체 및 한국농어촌공사를 대상으로는 우편 설문조사를 실시하였다.

(2) 설문조사 항목설정

설문조사 항목에는 ① 간척지 처분방식, ② 타용도 활용에 대한 의견, ③ 간척지 재배대상 작물 선호도, ④ 간척지 밭작물 재배시 문제점 ⑤ 간척지 농업적 이용 선호도 ⑥ 간척지 밭작물재배 대책 ⑦ 미래농업을 위한 도입기술 ⑧ 6차산업을 위한 토지이용분야 ⑨ 간척지 고부가가치 작물선호도 ⑩ 고부가가치 작물재배를 위한 대책 ⑪ 간척지 순환형 농업활용을 위한 대책 등 11개 항목에 관하여 설문조사를 실시하였다.

(3) 조사 대상

충남, 전북, 전남 지역에 분포하는 서남해안 간척지 담당 각 지자체와 한국농어촌공사 사업단 및 지사를 선정하여 관할 간척지에 대한 설문조사를 실시하였다. 농업인의 현장조사는 전라남도 2개 지구에 대한 현장 탐문조사를 실행하였다.

(4) 대상 지구 선정기준

시·군 선정은 각 간척지 지역별 특성, 규모 등을 종합적으로 검토하여 지역의 대표성을 확보할 수 있도록 선정하였다. 또한, 시·군 내 대상 지구는 간척지를 조성하여 지금까지 다양한 영농을 실시하면서 주민들의 수요와 요구가 있는 지구를 대상으로 하였으며 농림축산식품부에서 2016~2017 간척지 종합계획에 제시하고 있는 지구를 중심으로 선정하였다.

(표 2-104) 설문조사 대상지구

권역	대상 시·군	지사 및 사업단
충남	아산시, 서산군, 보은군	아산천안, 천수만, 서산
전북	김제, 부안	동진, 군산, 김제
전남	해남군, 고흥군	영산강, 고흥지사

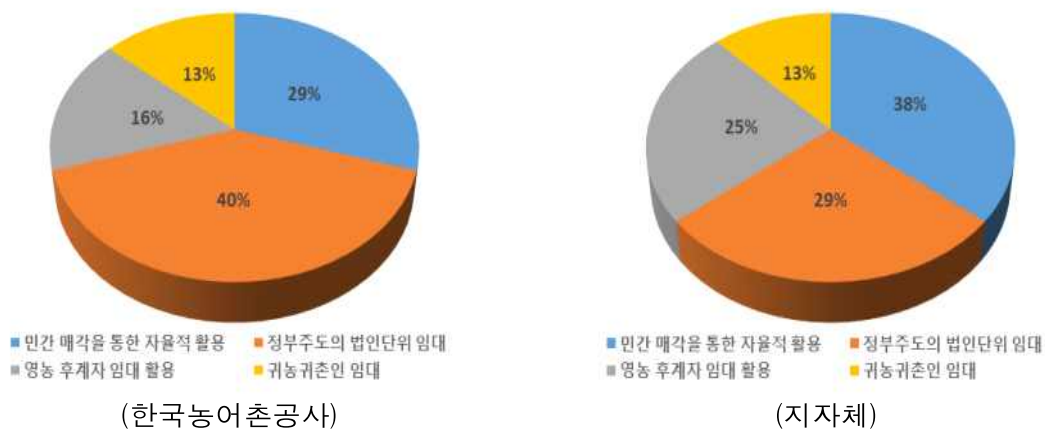
(표 2-105) 간척지 지구별, 용도별 토지이용계획 총괄표

지구명		합계 (ha)	토 지 이 용 계 획										
			수출 원예	일반 원예	증자 단지	친환경 축산	지원 시설	관광 농어업	복합 곡물	생태 환경	기술 연구	바이오 단지	수산 단지
2010 기본 구상	계(A)	30,394 (100.0)	3,000 (9.9)	2,185 (7.2)	1,533 (5.0)	3,000 (9.9)	1,536 (5.1)	394 (1.3)	18,093 (59.5)	653 (2.1)	-	-	
	준공	13,369 (100.0)	1,000 (7.5)	651 (4.9)	451 (3.4)	1,458 (10.9)	141 (1.1)	100 (0.7)	9,435 (70.5)	133 (1.0)			
	시행중	17,025 (100.0)	2,000 (11.7)	1,534 (9.0)	1,082 (6.4)	1,542 (9.1)	1,395 (8.2)	294 (1.7)	8,658 (50.8)	520 (3.1)			
2017 종합계획		30,788	3,274	2,661	1,557	5,006	2,321	677	13,174	652	452	125	889
전국 후처리 본전간척지	계	13,643	1,402	1,205	614	3,052	411	283	4,960	250	452	125	889
	석문	1,968	65	85	150	900	75	53	353	117			170
	이원	847	283			200	50	12	242				60
	남포	825		64	50	250	5	18	381		10		47
	삼산	283				100		4	125	15		20	19
	고흥	2,057	173		100	500	20	120	1,046		30		68
	군내	464							410				54
	보전	213							187				26
	시화	745	100	63					304	118	160		
	영산강III-1	3,367	361	593	164	602	126	36	978		252	55	200
	영산강III-2	2,874	420	400	150	500	135	40	934			50	245
시행중	계	17,145	1,872	1,456	943	1,954	1,910	394	8,214	402			
	화옹	4,482	200	400	677	800	174	84	2,068	79			
	시화	2,891	200	53	100	650	120	10	1,435	323			
	영산강III-2	1,202	120						1,082				
	새만금	8,570	1,352	1,003	166	504	1,616	300	3,629				

나. 간척지 공공기관 설문조사 결과

1) 간척지 처분관리

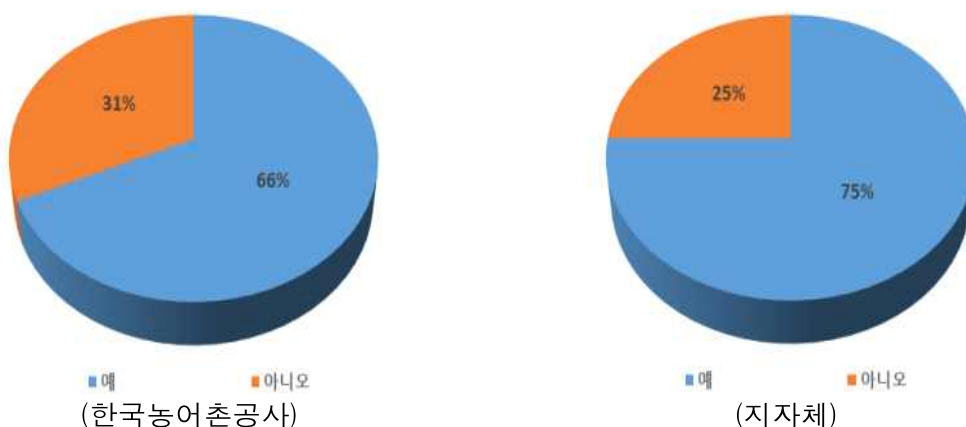
현재 간척지는 '08년도 이후 개인매각에서 법인단위의 임대만 허용하고 있는 상태로 간척지의 효율적인 활용을 위한 처분방식에 대한 선호도 분석결과 농어촌공사는 전체응답자 67명 중 정부 주도의 법인단위 임대를 27명(40%)이 가장 선호하는 것으로 조사되었다. 다음으로 민간 매각을 통한 자율적 활용이 29% 수준으로 높은 비율을 차지하였다. 지자체는 전체 응답자 25명 중 7명인 29%가 정부주도의 법인단위 임대를 선호하였다. 민간매각은 38%, 영농후계자 임대활용은 25%, 귀농귀촌인 임대는 13%순으로 조사되었다.



<그림 2-212> 간척지 처분방식에 대한 의견

2) 간척지 타용도 활용에 대한 의견

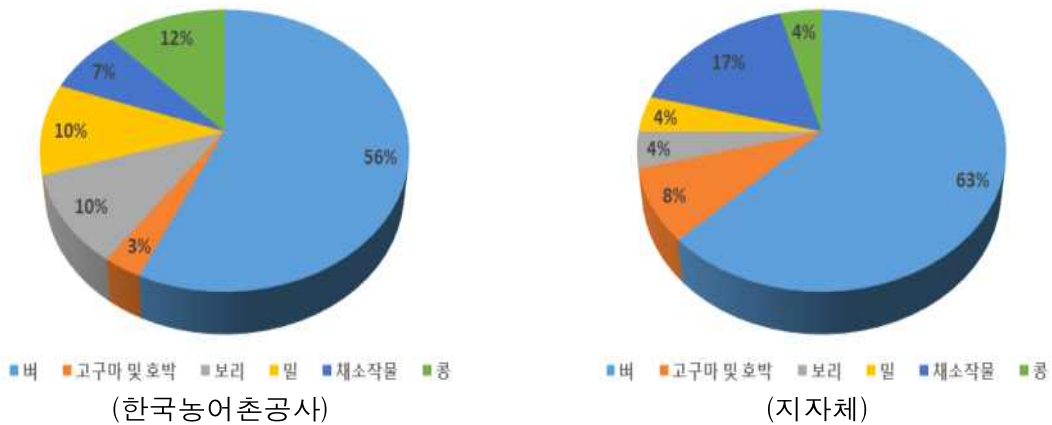
한국농어촌공사는 간척지를 농업적 이용 외 타용도로(관광단지, 산업단지 등) 다양하게 활용하는 것이 바람직하다는 결과가 농업적 이용에 비해 2배 이상 높은 비중을 차지하였다. 지자체는 간척지를 농업적 이용 외 타용도로(관광단지, 산업단지 등) 다양하게 활용하는 것이 바람직하다는 결과가 농업적 이용에 비해 3배(75%)로 매우 높게 나타났다.



<그림 2-213> 간척지 타용도 활용에 대한 의견

3) 간척지 재배작물에 대한 선호도

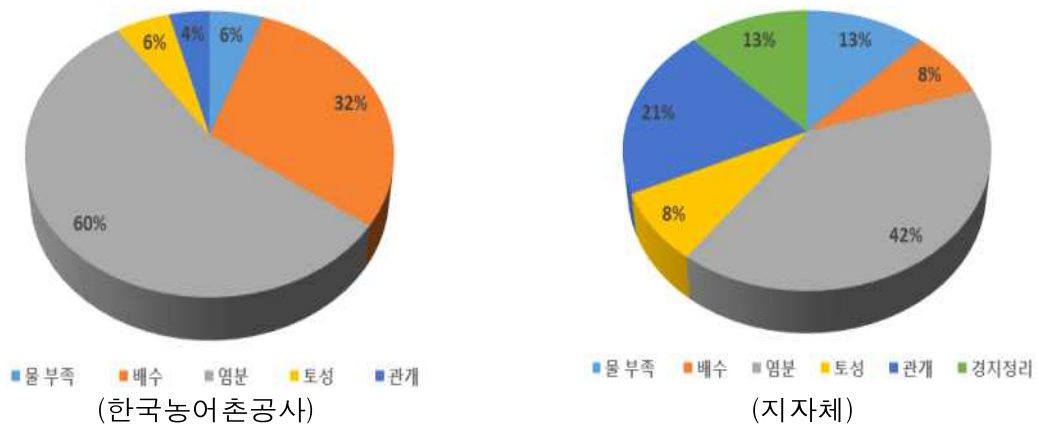
간척지 재배작물에 대한 의견수렴 결과 한국농어촌공사의 경우 조사대상 67명 중 벼에 대한 선호도가 56%로 가장 높았다. 다음은 콩(12%), 보리(10%), 밀(10%)과 같은 맥류작물, 채소작물(7%), 고구마(3%) 등으로 순으로 조사되었다. 또한, 지자체의 경우는 한국농어촌공사와 마찬가지로 25명 중 벼에 대한 선호도(63%)가 가장 높았다. 다음으로 채소작물(17%), 고구마 (17%)를 보였으며 다음으로 보리(4%), 밀(4%), 콩(4%) 등을 선호하는 것으로 조사되었다.



<그림 2-214> 간척지 재배작물에 대한 선호도

4) 간척지 밭작물 재배시 문제점

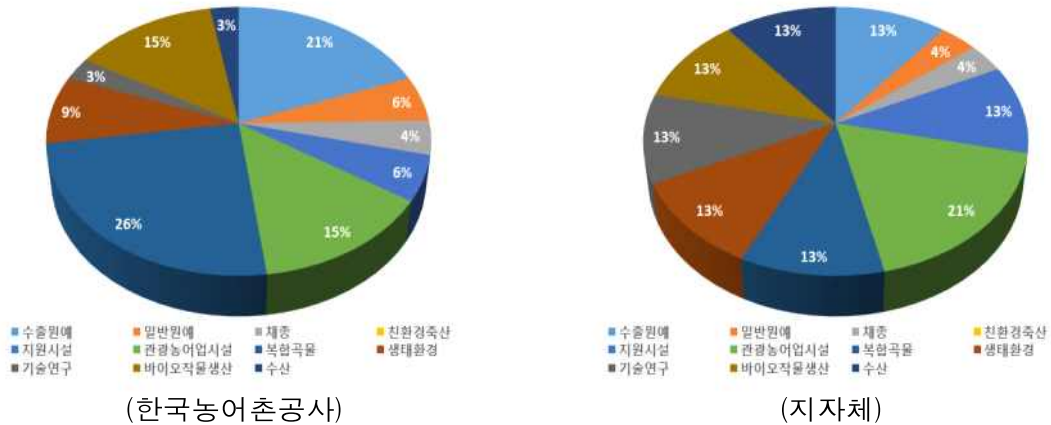
쌀 소비량은 소비자의 식생활 패턴 변화에 따라 지속적으로 감소하고 있으며, 쌀 재고량이 증가하고 있어 정부에서는 간척지에 밭작물 재배를 추진하고 있으나 현실적인 문제에 부딪쳐 제대로 실행되지 못하고 있다. 현재 간척지의 문제점은 무엇인지에 관해서 조사하였다. 조사결과 한국농어촌공사는 67명 중 염분문제(60%), 배수불량(32%)이 문제점이라고 제시하였다. 지자체는 25명 중 염분문제(42%), 다음으로 간척지에 물공급 문제(21%), 물부족(13%), 경지정리(13%) 순으로 제시하였다.



<그림 2-215> 간척지 밭작물에 대한 문제점

5) 간척지 농업적 이용의 활용 선호도

간척지에서 농업적 이용을 11개 용도로 중점적으로 확대할 필요가 있는지에 관한 선호도를 조사하였다. 분석 결과 한국농어촌공사는 67명 중 복합곡물(26%), 수출원예(21%), 관광농어업시설(15%), 바이오작물생산(15%) 순으로 선호하는 것으로 조사되었. 지자체는 관광농어업시설(21%)이 가장 높고 다른 항목은 비슷한 수준으로 분석되었다.

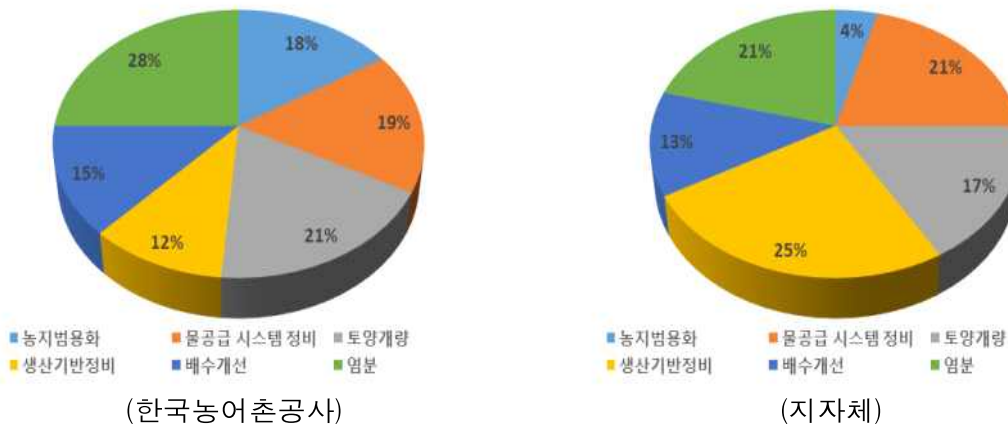


<그림 2-216> 간척지 농업적 활용 선호도

6) 간척지 밭작물 재배를 위한 개선방향

간척지의 효율적인 농업적 이용을 위해서 해결해야 될 과제로 한국농어촌공사에서는 설문자 67명중 염분문제(28%), 토양개량(21%), 물공급 시스템 정비(19%), 농지범용화 (18%)순으로 나타났다. 지자체는 25명 중 생산기반정비(25%), 물공급 시스템 정비(21%), 염분문제(21%) 순으로 조사되었다.

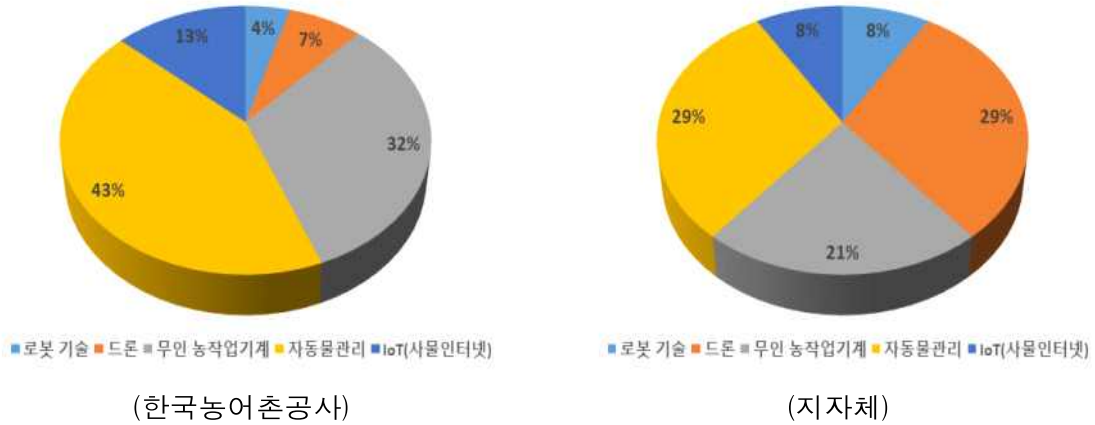
이 결과는 한국농어촌공사는 간척지의 다양한 활용을 위해서 염분과 토양개량 등을 통해 밭작물 등 다른 작물을 재배할 수 있는 여건을 조성할 필요가 있다는 점을 중요시 한 반면, 지자체는 지역의 열악한 생산기반 시설 개선을 가장 우선순위로 제시한 것으로 분석되었다.



<그림 2-217> 간척지 농업적 활용을 위한 개선방향

7) 간척지 미래농업을 위한 도입 기술

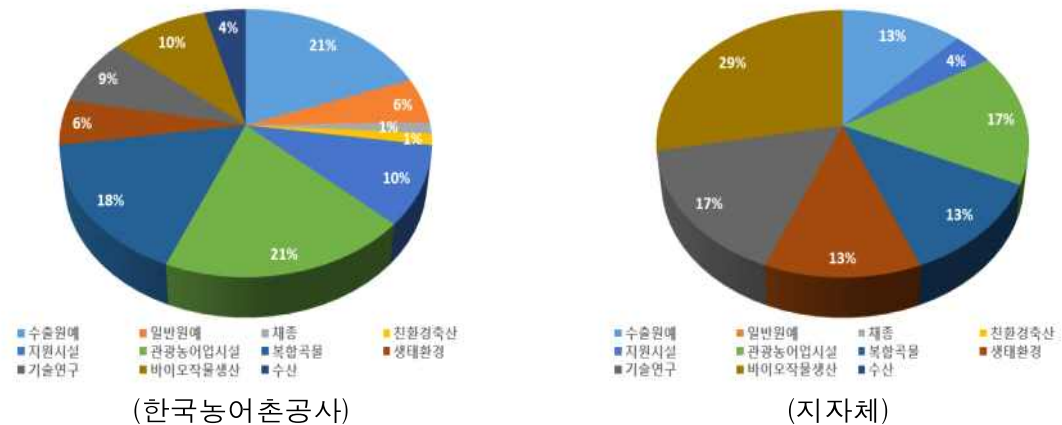
간척농지의 미래 농업을 위해 효율적 활용을 위한 4차산업혁명 관련 기술은 어떤 기술의 도입이 필요한지에 관해서 물었다. 한국농어촌공사에서는 67명 중 43%가 자동물관리 기술의 필요성을 가장 높게 제시하였으며, 다음으로 무인 농작업기계 (32%)가 필요하다고 제시하였다. 지자체의 경우에는 25명중 드론 도입(29%)과 자동물관리 기술(29%)이 가장 필요한 기술로 조사되었다.



<그림 2-218> 미래농업을 위한 도입 기술

8) 6차산업화를 위한 토지이용분야

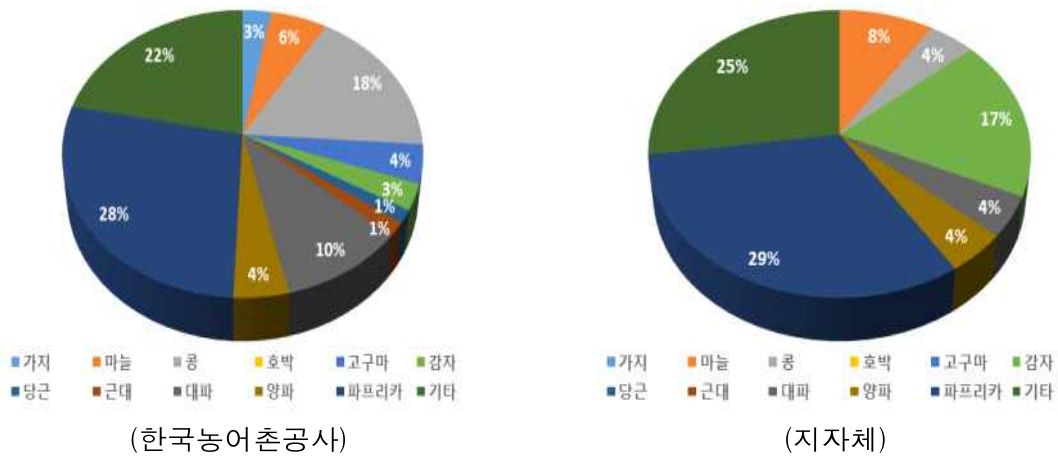
간척지를 6차산업화하기 위해 요구되는 토지이용 분야에 관해 설문을 실시하였다. 조사 결과 토지이용 분야는 간척지 활용에서 농업적 이용을 위해 중점적으로 확대 또는 선호를 희망하는 분야와 비슷한 것으로 나타났다. 한국농어촌공사는 67명 중 수출원예(21%), 관광농어업시설(21%), 복합곡물 순(18%) 순으로 제시하였다. 지자체는 바이오작물 생산에 대하여 전체 응답자 25명 29%가 선호하였으나 기관간에 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 이 결과는 한국농어촌공사의 경우 간척지의 다양한 활용을 통한 6차산업 활성화로 소득증대를 희망하는 것으로 해석되나, 지자체는 미래의 간척지 활용을 통한 지역 활성화를 염두에 두는 것으로 해석된다.



<그림 2-219> 간척지 6차산업화를 위한 토지이용분야

9) 간척지 고부가가치작물 선호도

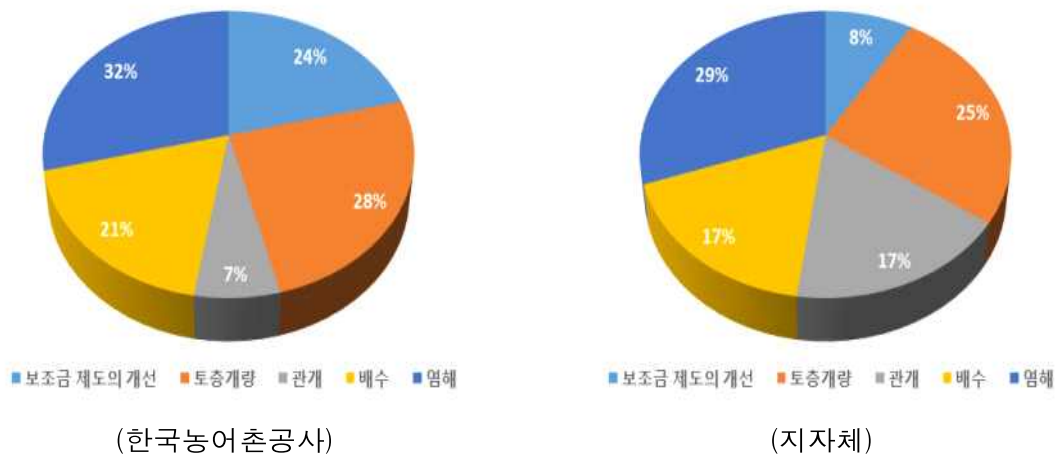
간척지의 고부가가치 작물에 대한 선호도에 대한 의견은 다음과 같다. 한국농어촌공사는 67명 중 28%가 파프리카를 선호하였고, 다음으로 기타(22%), 콩(18%) 순으로 나타났다. 지자체는 25명 중 파프리카가 29%로 가장 선호도가 높았고, 기타(25%), 감자(17%) 순으로 제시되었다. 한국농어촌공사와 지자체 모두 파프리카를 선호하는 것으로 조사되었으나, 기타가 높게 나타난 것은 현재의 간척지 조건으로는 무엇이 좋은지 명확하게 알 수 없다는 것을 표현한 것으로 해석된다.



<그림 2-220> 간척지 재배가능 고부가가치작물 선호도

10) 간척지의 고부가가치 수익창출을 위한 개선점

조사 결과 한국농어촌공사는 간척지에서 영농 수익창출을 위한 대책 설문자 67명 중 32%가 염해문제를 가장 높게 제시하였다. 다음으로 28%가 토층개량, 보조금 제도의 개선을 24%로 제시하였다. 지자체는 25명 중 염해(29%), 토층개량(25%) 순으로 분석되었다. 한국농어촌공사와 지자체 모두 간척지의 다양한 활용을 위해서는 염해와 토층개량 등을 통해 밭작물 등 다른 작물을 재배할 수 있는 여건을 조성하는 것이 선행되어야 한다는 점을 강조한 것으로 해석된다.

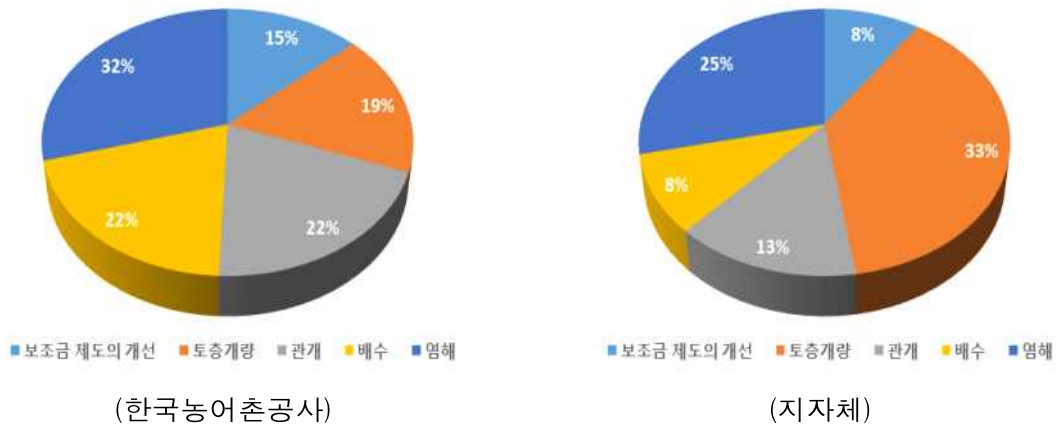


<그림 2-221> 간척지 고부가가치 수익창출을 위한 개선점

11) 밭작물 전환을 위한 개선점

간척농지를 벼 재배 중심에서 밭작물 및 순환형 농업 활용으로 전환하기 위해서 개선이 필요한 점에 관해서 물었다. 시급한 개선점 조사 결과 한국농어촌공사는 간척지에서 영농 수익창출을 위해서 요구되는 사업과 유사하게 조사되었다. 한국농어촌공사는 67명의 설문응답을 분석할 결과 응답자 중 32%가 염해문제를 지적하였고, 다음으로 배수문제(22%), 관개(22%), 토층개량(19%), 보조금의 제도개선(15%)순으로 나타났다. 또한, 지자체는 25명의 응답자 중 토층개량(33%), 염해(25%), 관개(13%)순으로 분석되었다.

이러한 결과는 공공기관인 한국농어촌공사와 지자체 모두 간척지에서 밭작물 전환을 통한 다양한 활용을 위해서는 염해와 토층개량 등의 사업이 필요하며 보조금 제도의 개선을 통해 자연스럽게 농가의 소득방향 전환을 유도하는 것이 필요하다는 점을 표현한 것으로 판단된다.



<그림 2-222> 밭작물 전환을 위한 개선점

다. 임대인 및 지역민의 간척지 활용 의견수렴

1) 대상지구 및 설문

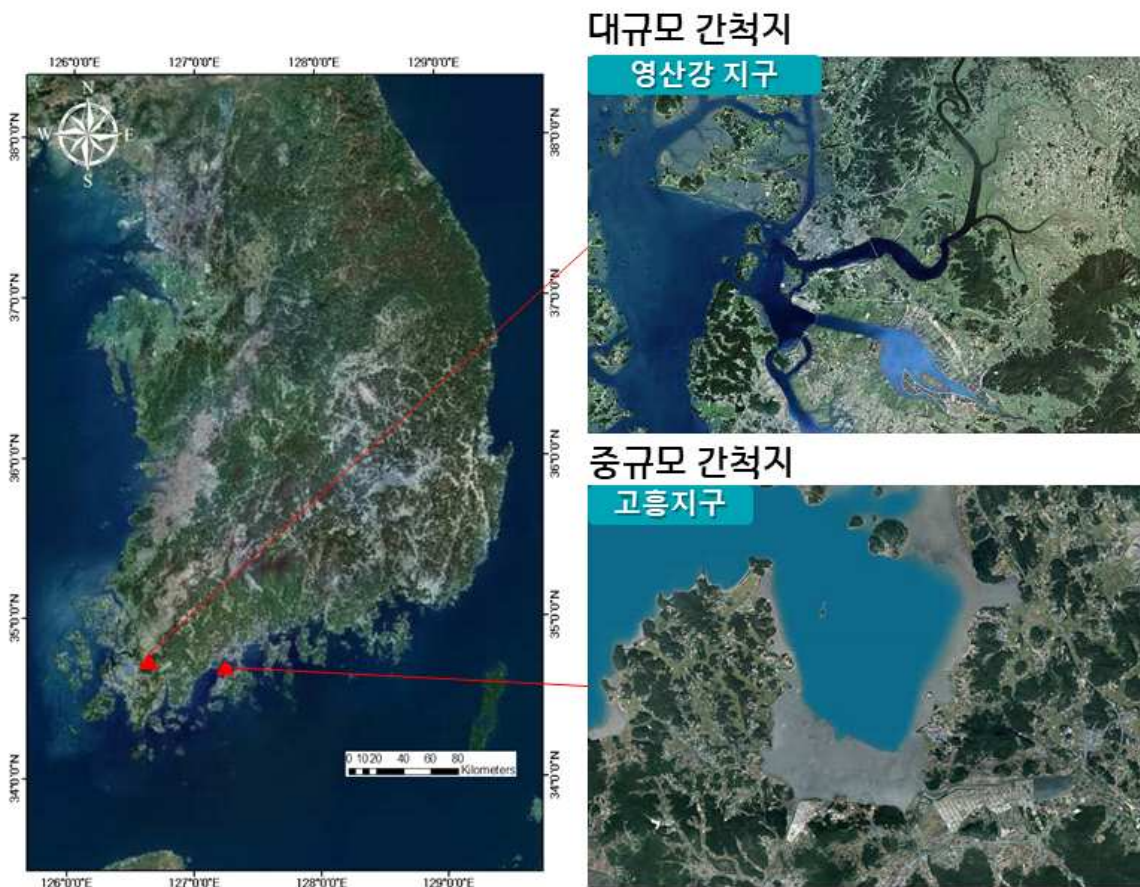
(1) 대상지구의 선정

간척지 임대인 및 지역민들의 간척지 활용 의견 수렴은 현장방문 설문조사를 통해 실시하였다. 조사 대상지구는 중규모 간척지인 고흥지구와 대규모 간척지인 영산강지구를 선정하였다. 중규모 간척지인 고흥지구의 총 면적은 2,057ha이고 2017년 간척지 활용 종합계획에 의하면 수출원예, 일반원예, 친환경축산, 지원시설, 관광농어업, 복합곡물, 기술연구, 수산단지로 활용할 계획에 있다. 간척지 활용 종합계획을 적용하기에 앞서 임대인 및 지역민들의 의견을 수렴하여 정부의 정책과 임대인 및 지역민들 간의 의견 차이를 알아보고자 하였다.

조사 항목은 간척지 임대인 및 지역민들을 대상으로 분야 및 성별 등 기초조사 4항목, 재배의향 및 확대 필요 지구 등 간척지 활용조사 관련 11항목 총 15항목의 설문조사 양식을 작성하여 설문조사를 실시하였다.

고흥지구에 대한 설문조사는 임대인 및 지역민중 남성 15명, 여성 4명으로 연령대는 40대 2명, 50대 6명, 60대 11명을 대상으로 실시하였다.

영산강지구는 남성 15명, 여성 16명으로 연령대는 40대 3명, 50대 7명, 60대 12명, 70대 이상 9명을 대상으로 설문조사를 실시하였다.

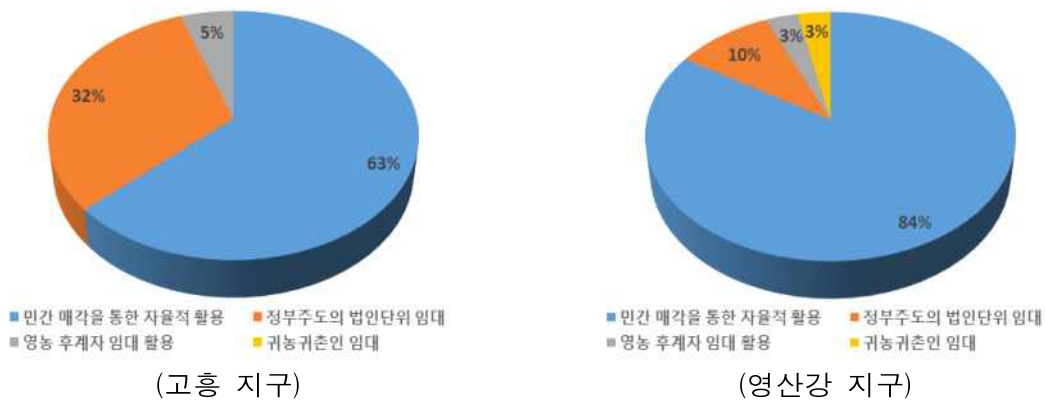


<그림 2-223> 설문조사 대상지구

(2) 설문조사 결과

(가) 간척지 처분관리

간척지 처분관리는 고흥지구와 영산강지구 모두 민간 매각을 통한 자율적 활용에 가장 많은 응답을 보였다. 그 중 고흥지구는 정부주도의 법인 임대가 효율적이라는 의견 또한 많았다. 설문조사 결과 민간매각을 통한 자율적 활용에 응답한 이유는 본인이 원하는 작물을 키울 수 없고 한국농어촌공사와 의견이 일치하지 않아 충돌이 발생하기 때문에 자율적 활용을 원하는 것으로 분석되었다. 정부 주도의 법인단위 임대 응답한 이유는 간척지의 임대료가 비싸서 개인적으로 임대하기가 어렵다는 의견이 있었다.



<그림 2-224> 간척지 처분방식

(나) 간척지 타용도 이용

간척지의 타용도에 활용에 대한 의견은 고흥지구와 영산강지구 모두 찬성과 반대 비슷한 경향을 보였다. 찬성하는 사람들의 의견은 농촌의 고령화로 인해 농업 종사자들이 감소하고 있기 때문에 산업단지, 관광단지 등을 통해 젊은이들의 일자리 창출이 필요하다는 의견이었다. 반대 입장의 의견은 관광단지, 산업단지 등이 생기면 인근 농가들의 사고 발생 가능성이 높아지고 지역발전에 크게 도움이 되지 않는다고 생각하는 의견이 많았다.



<그림 2-225> 간척지 타용도 이용에 대한 의견

(다) 간척지 고효율 작물

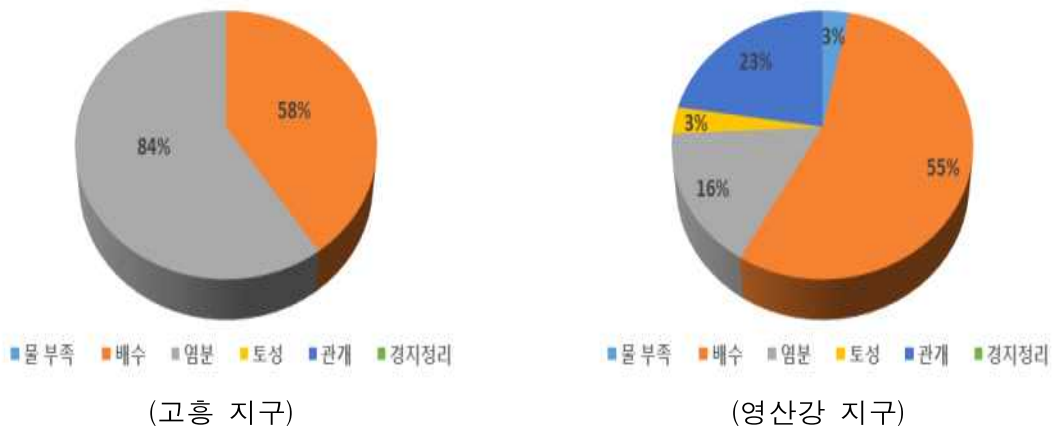
간척지를 활용할 수 있는 고효율 작물은 무엇인지에 관해서 물었다. 조사 결과 고흥지구와 영산강지구 모두 벼를 기르는 것이 가장 효율이 높다는 의견이 압도적이었다. 현재 간척지의 농업생산기반시설은 벼 중심으로 구성되어 있고 간척지 특성상 저지대에 위치해 있어서 해수 및 염분 피해를 입기 쉬워 다른 작물 재배가 어려운 점을 들었다.



<그림 2-226> 간척지 고효율 작물에 대한 의견

(라) 간척지 밭작물 재배시 문제점

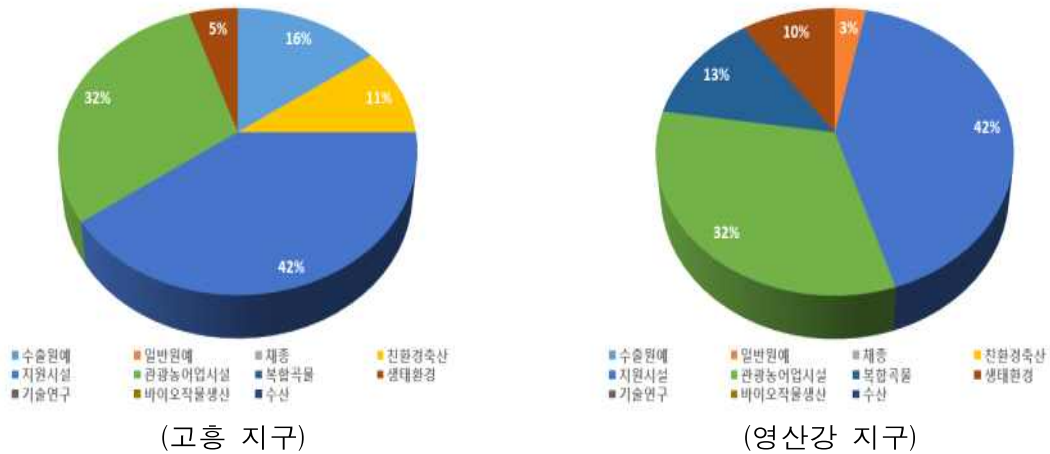
고흥지구는 배수문제도 심각하지만 준공된 지 오래되지 않은 간척지이기 때문에 염분을 제거하는 것이 우선이라는 의견이 전체 29명 중 84%로 높게 나타났다. 반면에 영산강은 개발된 지 오랜 시간이 경과하여 염분에 대해 문제를 제기하는 사람들이 많지 않았지만 저지대 침수로 인한 피해가 심각하여 배수 문제 발생으로 밭작물을 키울 수 없다는 의견이 전체 31명 중 55%로 지배적이었다. 앞서 한국농어촌공사와 지자체에서 실시한 설문 조사 결과와는 다소 다른 의견을 제시하고 있어 향후 토지이용계획시 공급자와 사용자 간의 의견 차이를 면밀하게 검토 분석할 필요가 있는 것으로 해석된다.



<그림 2-227> 간척지 밭작물 재배시 문제점에 대한 의견

(마) 간척지 농업적 활용의향

고흥지구와 영산강 지구에서 각각 29명, 31명의 응답자 중 지원시설이 필요하다는 의견이 각각 42%로 가장 많았다. 다음으로 관광농어업시설(고흥 32%, 영산강 32%)이 필요하다는 의견이 많았다. 이 지구의 농민들은 간척지에서는 벼 재배가 가장 적합하며 다른 작물을 재배하기 위해서는 농업생산기반시설의 정비 등이 선행되어야 한다는 점을 강조하였다.

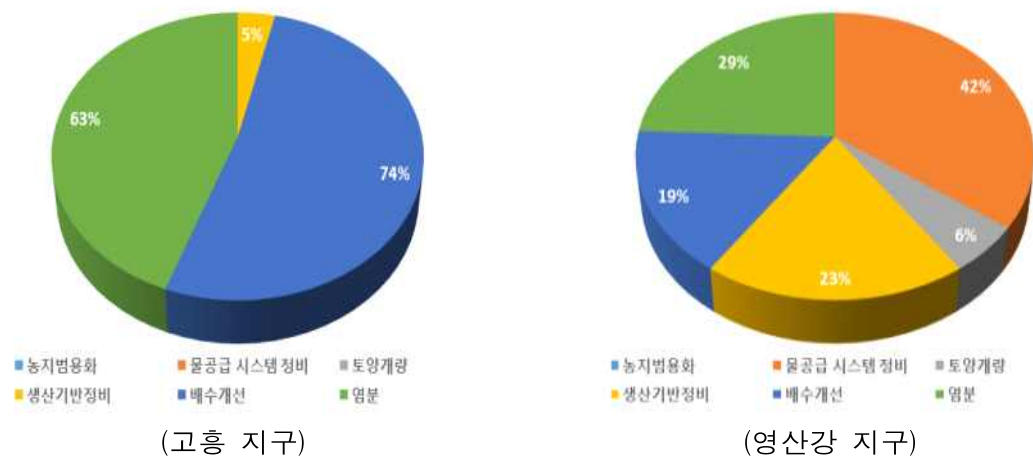


<그림 2-228> 간척지 농업적 활용의향

(바) 간척지 농업적 활용을 위한 개선방향

간척지 농업적 활용을 위한 개선방향으로 고흥지구는 설문자 29명중 배수개선(74%)과 염해(63%)를 들었으며, 영산강지구는 31명 중 물공급 시스템(42%)과 염분 제거(29%)를 들었다. 현지 농업인들은 간척지에서의 배수개선과 염분문제가 심각한 장애 요인으로 작용하고 있다고 보고 있다.

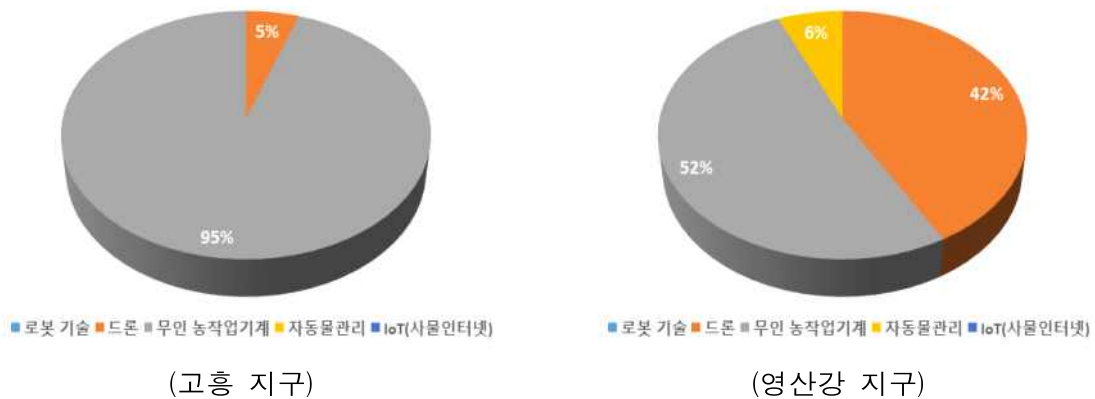
이와 같은 결과는 한국농어촌공사 및 지자체 설문조사와 일치하는 것으로 간척지의 농업적 활용을 다양화하기 위해서는 배수문제 및 염해 문제를 우선적으로 해결하는 것이 필요한 것으로 해석된다.



<그림 2-229> 간척지 농업적 활용을 위한 개선방향에 대한 의견

(사) 미래농업을 위한 관련 기술 수요

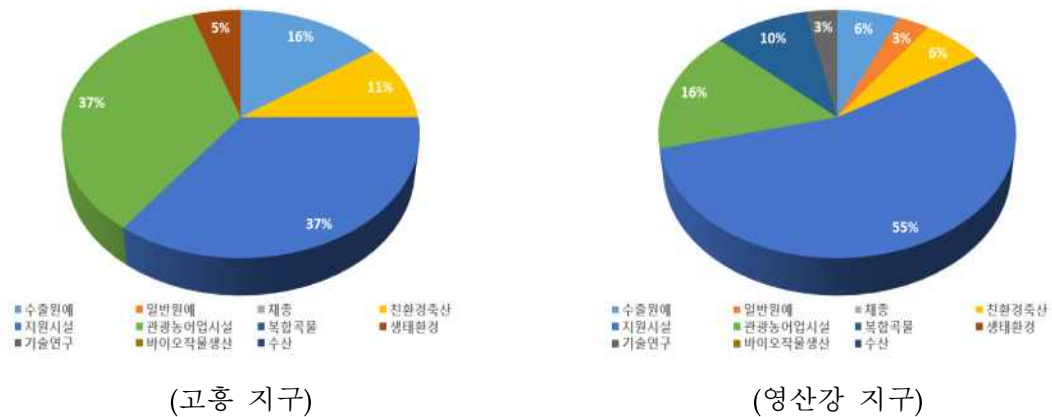
간척농지의 미래 농업을 위해 우선적으로 도입될 필요성이 있는 4차산업혁명 관련 기술에 대한 의견은 농촌의 고령화와 규모화에 따라 인력에 의한 농업의 한계를 지적하였다. 고흥간척지구에서는 응답자 29명 중 무인 농작업기계(95%), 드론(5%)의 도입이 필요하다고 하였다. 영산강 간척지는 응답자 31명중 52%가 무인 농작업기계의 도입, 드론 도입은 42%가 필요성을 제시하였다. 특히, 규모가 큰 영산강지구의 경우 드론이 무인 농작업기계와 비슷하여 자동화 영농을 원하는 것으로 나타났다. 이와 같이 대규모 간척지는 인력문제를 해결해줄 수 있는 로봇기술 도입이 절대적으로 필요하다는 것을 제시한 것으로 해석된다.



<그림 2-230> 미래농업을 위한 기술 수요

(아) 간척지 6차산업화를 위한 활용 의향

간척지에서 6차산업화를 위한 활용의 필요성에 대한 의견은 고흥지구와 영산강지구 모두 지원시설이 필요하다는 의견이 가장 많았다. 다음으로 6차산업화를 위해서는 관광농어업시설이 필요하다는 의견을 제시하였다. 이 지구 농민들은 간척지의 경우 저지대로 염분 피해문제 등이 있기 때문에 벼 재배가 가장 적합하며 다른 밭작물 재배를 위해서는 농업생산기반시설의 정비 등이 선행되어야 한다는 점을 강조하였다.



<그림 2-231> 간척지 6차산업화를 위한 활용의향

(자) 간척지 재배가능 고부가가치 작물

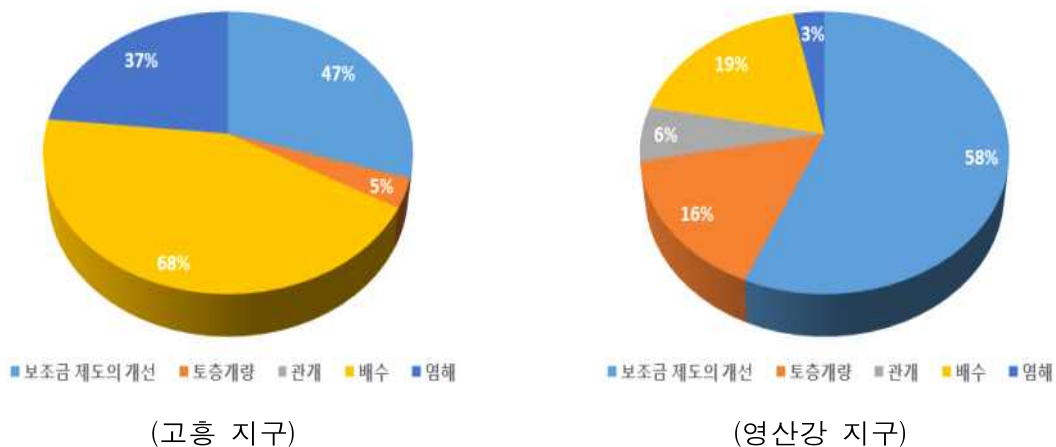
간척농지 재배가능 고부가가치 작물은 앞에서 지적한 염해와 배수개선 문제 등의 해결이 선행되어야 하고 이 문제가 해결되지 않으면 어떤 재배작물이 적합할지 정확하게 답변할 수 없다는 의견이 가장 높았다. 이 문제를 해결하기 위해서는 농림축산식품부, 한국농어촌공사, 지자체, 농촌진흥청 등에서 시범사업과 국가 R&D 연구를 통해 그 방안을 마련해 줄 것을 강조하였다. 또한 시대의 요구를 반영하여 간척농지의 범용화 및 관수로 도입을 통해 물공급 방식의 선진화를 실시하여 밭작물 재배가 가능한 환경을 조성하는 것이 선행되어야 한다는 점을 강조한 것으로 해석된다.



<그림 2-232> 간척지 재배가능 고부가가치작물 의견

(차) 간척지 고부가가치 수익창출을 위한 개선점

간척농지를 활용하여 고부가가치 영농을 통해 수익을 창출하기 위해서는 앞에서 지적한 염해와 배수개선 문제 등이 가장 먼저 해결되어야 한다고 강조하였다. 이 문제가 해결되지 않으면 간척지에서는 다른 수익 모델을 창출하기 쉽지 않다는 의견이 지배적이었다.

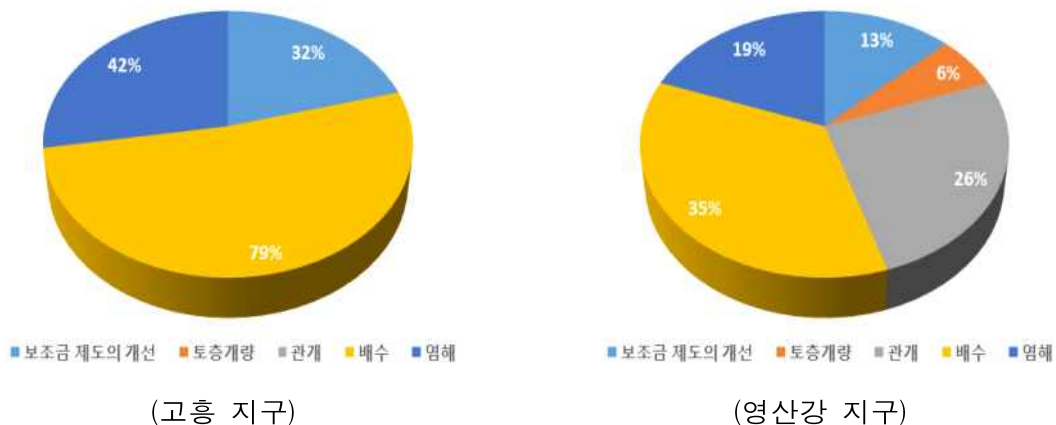


<그림 2-233> 간척지 고부가가치 수익창출을 위한 개선점

(카) 밭작물 전환을 위한 개선점

간척농지를 벼 재배 중심에서 밭작물 및 순환형 농업 활용으로 전환하기 위해서는 영산강지구는 보조금 제도의 개선을 가장 많이 지적하였다. 반면에 고흥지구는 배수문제와 염해를 높게 제시하였다. 대규모 간척지의 경우 다양한 농업 형태를 갖기 위해서는 국가에서 권장하는 밭작물에 대한 재배 보조금에 높은 관심을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 고흥지구는 중규모지구로 29명의 응답자 중 배수(79%)가 가장 높았고 다음으로 염해(42%), 보조금제도의 개선(32%)을 꼽았다. 또한, 영산강 지구에서는 31명의 응답자 중 배수문제(35%), 관개(26%), 염해문제(19%), 보조금 제도의 개선(13%)순으로 분석되었다. 이와 같이 간척지 영농인은 다른 작물 재배를 위한 생산 기반정비와 정책적인 제도 개선을 통해 농민들의 작물재배 의향을 감안할 필요가 있을 것으로 판단된다.

특히 간척지에서 밭작물 전환을 위해서는 간척지의 지형 및 기후 조건을 반영한 농업생산기반시설의 단계적인 보완이 필요하지만 예산문제 등으로 개선되지 못하고 있는 실정이다. 기후변화의 영향과 세계 인구의 증가 등은 앞으로 식량안보와 식량부족 문제를 야기할 수 있다. 이를 대비하기 위해서는 지금부터 단계적인 농업생산기반시설의 정비가 필요할 것이다.



<그림 2-234> 밭작물 전환을 위한 개선점

라. 간척 지구별 공급 및 활용측면에서의 종합분석

간척지에 대한 설문 조사 결과 현재의 간척지는 간척지의 지형과 지질 조건을 활용하여 배수와 토층개량을 통한 염해 문제를 해결하지 않으면 간척농지를 활용하여 고부가가치 영농을 통해 수익 창출이 어렵다는 것을 나타내고 있다.

또한, 밭작물 재배를 통해 간척지에서 수익 모델을 창출하고 다양화하기 위해서는 염해와 배수개선 문제 등을 해결할 필요성이 있으며 이를 위해서는 농업생산기반시설의 정비가 선행되어야 한다고 분석되었다. 한편, 지역 영농인들은 간척지에 대한 배수개선과 염분문제 해결과 토층개량에 대한 시범사업을 실시하여 토양조건에 따른 최적 작물 제시 등 농민들이 자체적으로 할 수 없는 것에 대하여 정부 등에서 적극적으로 R&D를 추진해 줄 것을 바라는 것으로 조사되었다.

2.2.8. 간척지별 토지이용 수급 및 활용방안 제시

가. 간척지 농업적 활용 여건분석

간척지는 기존 간척지 및 새만금 사업지구의 내부개발이 진행됨에 따라 처음 계획 단계에서의 활용 방안과 시대적 여건, 환경 변화에 따른 수요가 다양하게 요구되고 있는 사황을 반영하여 간척지의 농업적 활용을 위한 주요 품목의 설정 필요성이 제기되고 있다. 간척지의 농업적 활용을 위한 주요 품목의 설정을 위해서는 먼저 식량자급률 등에서의 요구 및 필요성에 대한 검토가 필요하다. 2017년 식량자급률은 50%로, 2011년 이후 지속적인 상승추세에 있으며, 자급률 현황은 다음과 같다.



〈그림 2-235〉 연도별 양곡, 사료 곡물 도입량, 자급도 및 해외의존도 추이(1990~2014)

(표 2-106) 양곡의 연도별 자급률

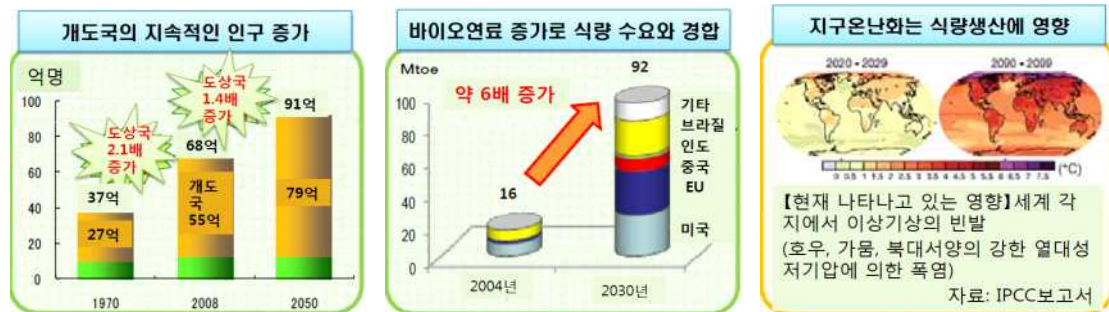
구분 \ 연도	2013	2014	2015	2016	2017
식량자급률(%)	47.5	49.7	50.2	50.8	48.9
곡물자급률(%)	23.3	24.0	23.8	23.7	23.4

간척지의 농업적 활용측면에서 주요 재배작물은 쌀, 밀, 옥수수 등으로 생산이 증가하였으나, 콩, 보리 등은 감소하였다. '15년 식량 생산량은 전년과 유사한 4,810천톤(전년대비 0.4%감소)으로 집계되었다. 총 식량 소비량은 9,581천톤으로 전년 대비 1.4% 감소하였다. 사료용 포함 곡물 소비량은 20,251천톤으로 전년 대비 0.7% 상승하였고, 사료용 소비가 포함된 곡물자급률은 23.8%로 전년대비 0.2%p 하락하였다. 곡물 자급도는 지속적으로 하락하여 사료 곡물 도입량은 증가 추세에 있다. 농림축산식품부는 향후 자급률이 높은(101%) 쌀은 수급 안정에 중점을 두고, 자급률이 낮은 밭작물의 국내 생산은 확대하여 전반적인 식량자급률을 제고하는 방향으로 계획하고 있다. 또한 정부는 2016년부터 밭 식량작물의 생산기반 조성, 품질제고 등을 위해 「밭

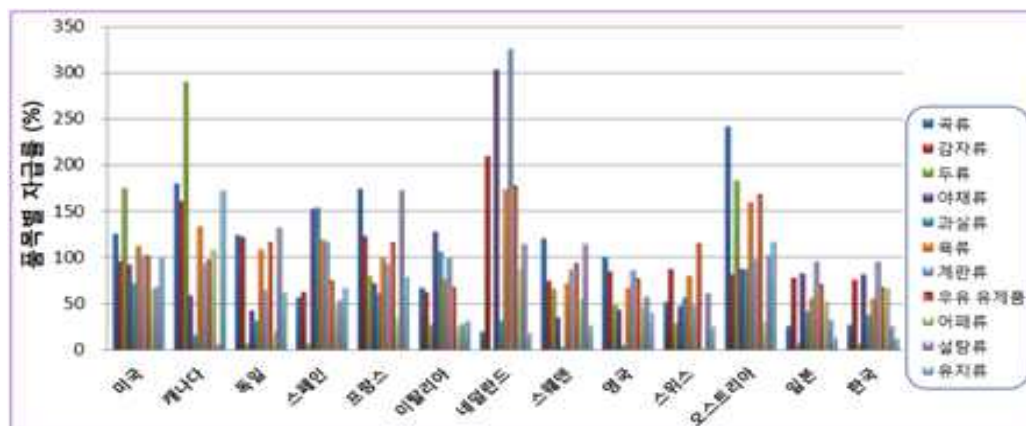
식량산업의 중장기 발전대책」을 별도로 마련하여 운영하고 있다. 그러나 간척지 토양의 특징은 염분이 많고 주요 간척지에 태풍이 도래하는 시기에는 많은 강수량을 나타내 재배작물에 미치는 영향이 매우 크다. 세계 곡물 수급은 중국, 인도 등 신흥국의 인구 증가와 식생활 개선 등으로 향후에도 지속적인 수요 증가가 예측되고 있다. 이러한 결과는 더 이상 “경제력만 있으면 자유롭게 곡물을 수입 할 수 있는” 시대가 없어지고 있다는 점을 시사하고 있다. 농작물의 수요는 인구 증가를 웃도는 속도로 꾸준히 증가하고 있어 2050년에는 70%의 증산이 필요할 전망이다.

따라서 코로나19 이후 국내외 정세로 볼 때 앞으로 농작물 공급량 증가는 여러 가지 불안요인이 존재하고 있다. 또한 기후변화와 지구온난화는 식량 생산에 영향을 미칠 것이다. 세계의 수자원은 다양한 제약 상황 등 이상기상에 따른 주요 생산국의 감산 등으로 농산물 가격의 급격한 상승을 야기할 우려가 있다. 이러한 세계 환경과 기후 변화는 국제적인 식량위기 문제를 초래할 것이다. 따라서 간척지의 다양한 작물 재배를 통한 식량 및 곡물 자급률 향상과 확보 방안 마련이 필요하다. 세계 곡물가격은 중장기적으로 높은 수준에서 유지되고 있으며, 식량자급률이 OECD국가 중 최저 수준에 있는 한국은 식량안보 관점에서 더 높은 식량자급률 수준 확보를 필요로 하고 있다.

또한 설문조사 결과 간척지는 밭작물 등 다양한 용도로 활용하고자 하여도 저지대에 위치하여 침수에 따른 배수문제와 염분문제가 해결되지 않고는 벼재배 위주로 활용될 수밖에 없는 실정이다.



<그림 2-236> 식량안보, 식량자급률 향상의 필요성

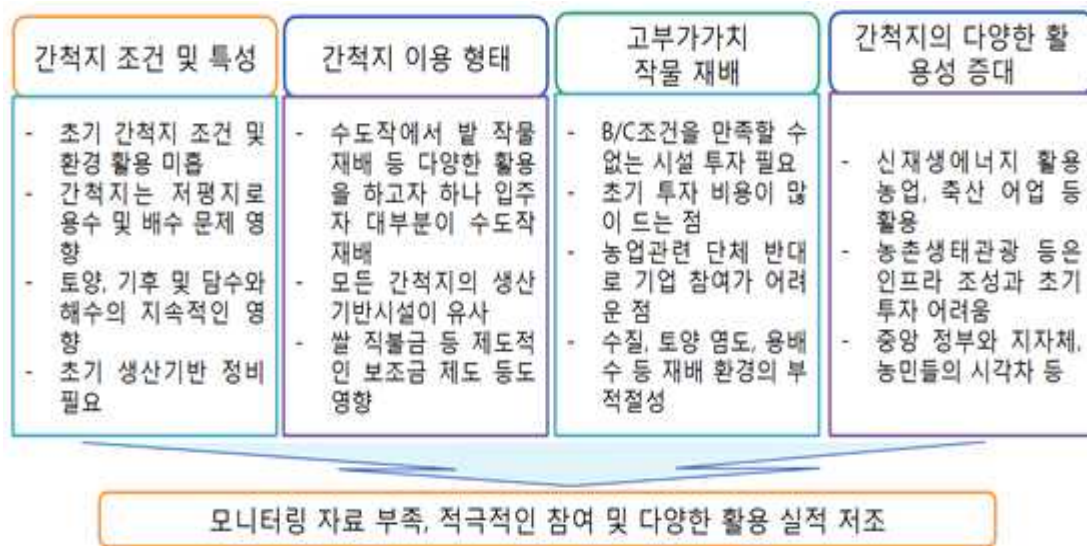


<그림 2-237> 국가간 품목별 식량자급률 현황

식량자급률을 향상시키기 위한 열쇠는 간척지이다. 농촌은 농업인의 고령화가 진행되고 있으며, 간척지에 활력을 불어넣기 위해서는 밭작물 재배가 가능한 환경으로 만들어 농업의 활력을 되찾을 필요가 있을 것이다. 간척지는 공간정보를 활용하여 면밀하게 분석하고 기후조건과 결합하여 보리, 콩, 사료용 작물, 채소 재배 확대와 단수 증가를 꾀할 필요가 있다.

간척지의 우량농지를 활용하여 생산한 농산물의 기회 요인은 아시아지역(인도, 중국 등) 개발도상국의 인구가 지속적으로 증가하고 있다(1970년 27억명→2008년 55억명: 2.1배 증가) (2008년 55억명→2050년 79억명: 1.4배 증가). 또한 K-Pop, K-Food 등 문화 분야 브랜드 가치 상승에 따른 한국 농산물 및 식품을 접할 수 있는 기회가 확대되고 있다. 2020년 세계적으로 팬데믹 상황을 이어가고 있는 코로나19의 감염병 영향은 우리에게 식량안보에 대한 대비를 예고하고 있다. 이러한 요인들은 우리에게 고부가가치 농산물 생산기반에 대한 정비의 필요성을 제시하고 있다.

우리나라 간척지 201지구, 135천ha 중 농업용으로 활용 가능한 국가소유 간척지는 30천ha(준공 후 미처분 간척지 13천ha, 시행중 농업용 간척지 17천ha)로 간척지의 여건에 따른 다양한 활용 방안 마련이 필요하다. 공간적 범위는 2019년에 30천ha(준공 후 국가관리 13천ha, 시행중 17천ha)로 변화하였다. 공사 중인 간척지 17천ha는 '10년 기본구상 또는 기존 계획에 따르되, 향후 토양조사 및 수요여건 등을 고려하여 구체화 예정에 있다. 간척농지의 다각적 활용을 위해서는 간척지 조성 여건에 따라 유리온실, 원예, 축산, 관광농업 등 다양한 인프라시설이 필수조건이다. 그러나 간척지 초기 조건이 열악하여 일정 부분은 사업자가 부담해야 하는 상황으로 농업경영체의 적극적인 참여가 저조한 실정이다. 특히 계획된 첨단수출단지, 채종단지, 친환경축산 단지 등은 토양 염도, 용수 및 배수문제, 수질문제 등으로 이용이 저조한 실정이므로 이러한 문제점들에 대한 종합적인 검토와 분석이 필요하다. 이러한 문제점을 파악하기 위하여 본 연구진은 2018년도에 간척지지구에 대한 주민 및 한국농어촌공사, 지자체에 대한 설문조사를 실시한 바 있다.



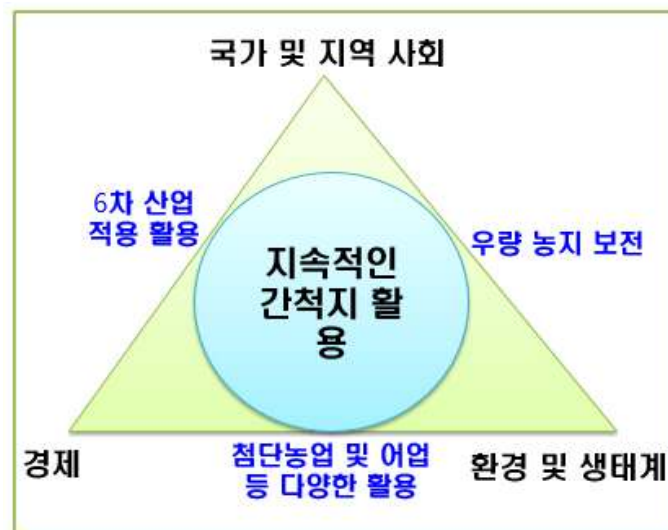
<그림 2-238> 간척지의 다각적인 활용 실적 저조 원인

간척지가 위치한 지자체를 중심으로 종래 간척지의 농업적 활용 이외에 수산 등 다른 용도 활용 요구와 간척지에서 수도작 이외의 경쟁력 있는 고부가가치 작물 재배, 경축산 순환농업, 에너지 충전단지 등의 수요가 증가하고 있다.

또한 농업 현장에서는 농산물 수출을 위한 ICT 융·복합 첨단 수출원예, 종자 재종, 친환경 축산, 바이오 작물 재배 등 간척지 활용 다각화 요구가 증가하고 있다. 현재의 작물 생산기능 이외에 가공·저장·유통·서비스, 시험연구, 생태관광체험 등이 어우러진 6차 산업에 대한 수요 또한 증가하고 있다.

농촌의 고령화와 젊은 농업인의 감소는 농경지 범용화 조성 등으로 4차산업혁명 기술의 도입을 요구하고 있다. 인력부족 문제는 4차산업혁명 기술의 농업분야 적용 가능성과 자율주행 기계화 재배와 질병관리 등의 활용 방법에 대한 수요 증가로 이어지고 있다. 한편 수질문제가 크지 않은 지구는 경종과 축산이 가능한 자연순환축산 단지 조성을 위해 조사료재배를 확대하고, 공동자원화시설의 자연순환 및 가축분뇨 에너지화를 통해 생산된 전력을 축사 등에 공급하는 정부 정책이 추진되고 있다. 간척지는 다양한 문제를 해결해줄 수 있는 환경이기도 하며 다양한 시도의 적용가능성에 대한 조건을 가지고 있어서 다양한 시도와 검토가 요구되고 있다.

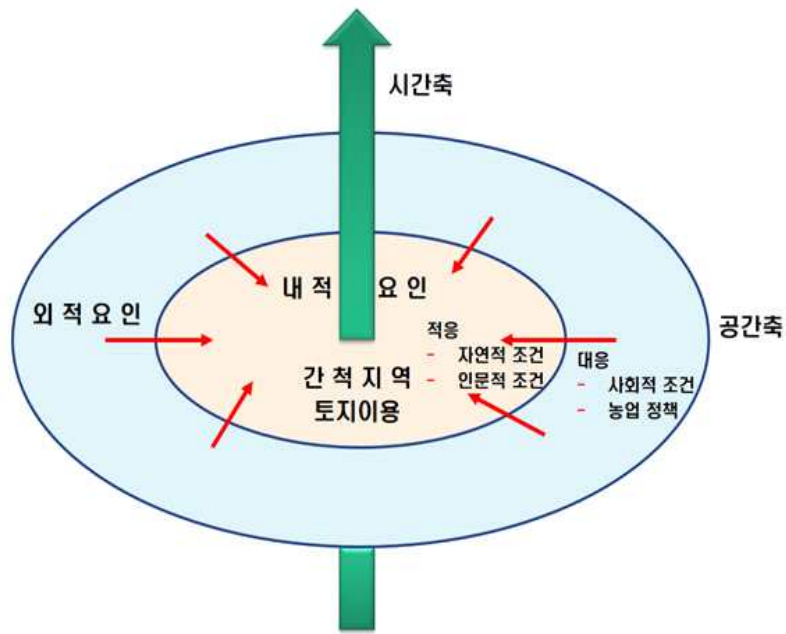
따라서 우리나라의 간척농지에 대해 최첨단 복합농업생산단지, 농식품 첨단 수출농업단지, 6차산업화 단지 등 농어업의 고부가가치 비즈니스를 실현할 수 있는 활용 모델이 필요하다.



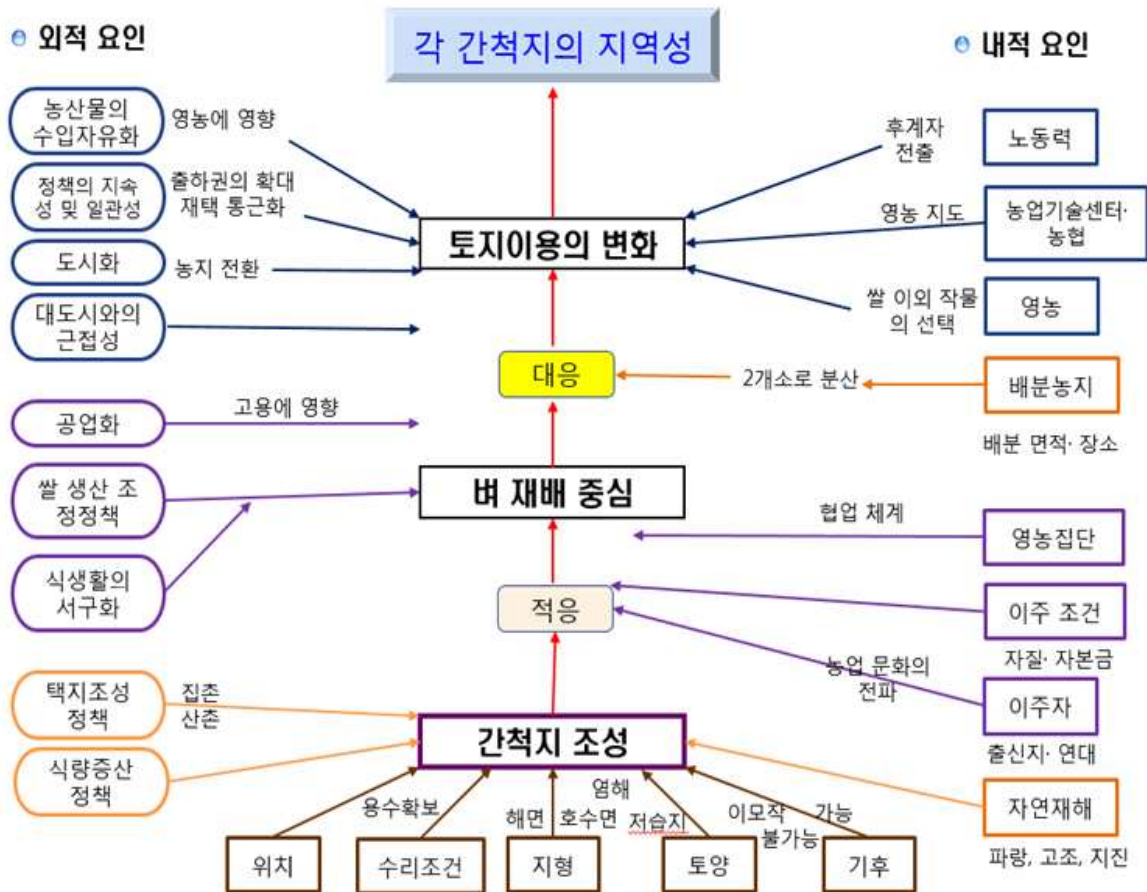
<그림 2-239> 지속적인 간척지 활용을 위한 요구와 필요성

간척지는 공간적인 범위에서 외적 요인으로 작용하는 사회적 조건과 농업 정책에 많은 영향을 받는다. 또한 간척지는 내적 요인으로 자연적 조건 및 인문적 요인에 따라 적응하면서 간척지역 토지이용이 변화하는 것으로 나타났다.

이와 같은 영향요인을 반영하여 간척지에서 앞으로 어떤 작물을 어떠한 곳에 재배하여 곡물자급률을 높여 갈 수 있는지에 대해서 검토하였다.



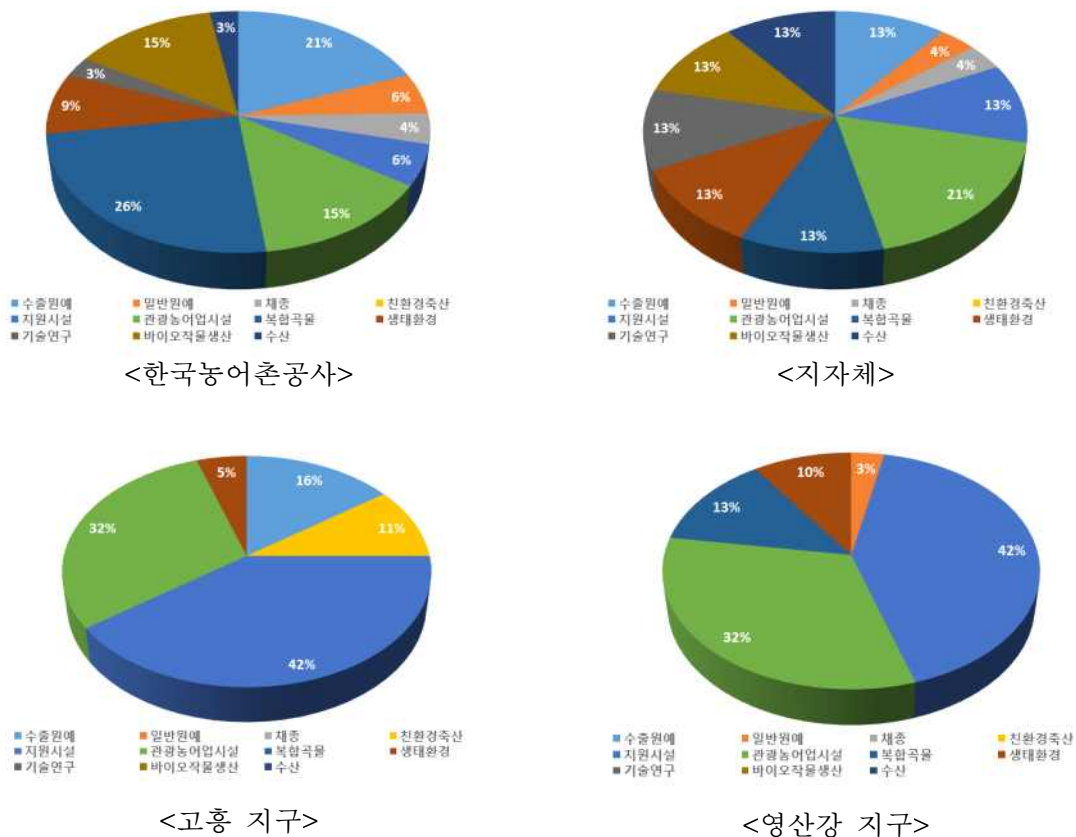
<그림 2-240> 간척지 농업에 작용하는 내적 요인과 외적 요인의 상호 작용



<그림 2-241> 간척지의 지역성을 구성하는 여러 가지 요인들

1) 간척지 농업적 활용 선호도를 고려한 주요품목 설정

2차년도에 한국농어촌공사, 지방자치단체, 간척지 농민들을 대상으로 실시한 설문조사 분석결과 간척지의 농업적 활용 선호도는 농어촌공사가 복합곡물단지로의 활용 선호도가 전체 응답자중 26%로 가장 높았다. 지방자치 단체는 관광농어업시설이 필요하다는 의견이 가장 높았다. 그리고 간척지 농민들은 지원시설이 가장 필요하다는 의견이 42%로 가장 높았으며 관광농어업시설이 필요하다는 의견 또한 32%로 높은 비중을 차지하였다. 간척지에 적용 가능한 작물의 선정은 설문조사 분석결과를 반영하여 간척지에 복합곡물단지과 관광농어업단지에 초점을 맞추어 선정하였다.



<그림 2-242> 수요분석결과 분석

(1) 복합곡물

현재 정부는 벼 대신 타작물 재배 지원사업을 통해 쌀 과잉생산 문제를 해결하고 타작물의 식량자급률을 높이기 위해서 농민들에게 지원을 하고 있다. 양곡년도 식량자급률은 2017년 기준으로 전체 48.9%를 보이고 있다. 이 중에서 쌀은 103.4%, 보리쌀은 26%, 밀은 1.7%, 옥수수는 3.3% 콩은 22%, 고구마, 감자 등 서류작물은 105.3%, 기타가 10.5% 이다. 식량자급률은 쌀과 서류작물은 100%를 초과하지만 나머지 작물은 매우 낮은 실정이다. 곡물자급률은 전체가 23.4%로 매우 낮다. 이 중에서 쌀은 94.5%로 높지만, 보리쌀은 24.9%, 밀은 0.9%, 옥수수는 0.8% 콩은 5.4% 서류는 95.2%, 기타 작물은 9.3%로 세계의 3대 곡물인 밀과 옥수수의 자급률이 가장 낮아 제고 방안이 필요하다.

(표 2-107) 식량자급률 변동 추이 (2013~2017)

연도	전 체	쌀	보리쌀	밀	옥수수	콩	서 류	기 타
'13	47.5	89.2	20.5	0.9	4.5	29.6	106.5	12.3
'14	49.7	95.4	26	1.1	4.2	35.9	106.3	13.9
'15	50.2	101	23	1.2	4.1	32.1	104.5	13.6
'16	50.8	104.7	24.6	1.8	3.7	24.6	104.7	13.4
'17	48.9	103.4	26	1.7	3.3	22	105.3	10.5

(표 2-108) 곡물자급률 변동 추이 (2013~2017)

연도	전 체	쌀	보리쌀	밀	옥수수	콩	서 류	기 타
'13	23.3	89.2	19.3	0.4	1	9.7	96.3	11.1
'14	24	95.4	24.8	0.6	0.8	11.3	96.1	11.2
'15	23.9	101	21.9	0.7	0.8	9.4	94.6	11.8
'16	23.7	102.5	23.3	0.9	0.8	7	94.8	11.9
'17	23.4	94.5	24.9	0.9	0.8	5.4	95.2	9.3

간척지에서 사료작물의 재배는 여름철에 주로 수수 및 수단그라스 교잡종을 재배하고 있다. 겨울철에는 이탈리아 라이그라스가 가장 생육이 좋고 사료로써 가치가 높아 선호하는 작물이다. 농림축산식품부에서 제시한 복합곡물단지에 재배가 적합한 작목은 밀, 옥수수, 수수 및 수단그라스, 이탈리아 라이그라스의 4가지 작목을 제시할 수 있다.

(2) 관광농업

간척지는 염해 문제로 인해 타작물을 재배하기 어려운 환경이지만 내염성 경관작물을 활용하여 단조롭고 광활한 간척지를 다양하고 아름다운 경관을 조성하여 관광객을 유치하고 6차산업화와 연계할 수 있을 것이다. 또한 관광농업 지향 간척지는 내염성 경관작물 중 식자제로 활용 가치가 높은 작물을 선정하여 관광수입과 작물재배 수입을 통해 농가 수익을 증대할 수 있을 것이다.

관광농업 단지에 적합한 작목으로는 내염성 경관작물이자 식품소재로 이용 가능한 고들빼기, 구절초, 감국을 선정하였다. 이 세 가지 작물은 폴리페놀 함량이 100mg/g 이상으로 기존의 평야지대에서 재배한 것보다 다량 함유하고 있는 것으로 보고되고 있다.

(표 2-109) 주요 작물 재배 품목 분석

작목	특징
밀	- 내염성이 비교적 강하여 토양 염농도 0.2의 환경에서 일반 농경지 수량의 70%이상으로 안정적인 재배가 가능하며 간척지를 활용하여 자급률을 제고할 필요가 있음.
옥수수	- 단위면적당 생산성이 높고 종에 따라 식량, 사료 등 활용성이 다양함. 내염성은 밀과 비교했을 때 상대적으로 약하기 때문에 준공후 시간이 많이 흘러 토양 염도가 상대적으로 낮은 간척지에 재배할 수 있음.
수수 및 수단그라스	- 내염성이 강하며 0.2%의 염농도에서 약 25%의 수량 감소가 일어남. 이탈리아 라이그라스와 이모작이 가능.
이탈리안 라이그라스	- 동계작물로서 사료가치와 기호성이 좋고 내염성이 강해 간척지에서 수량이 우수함.

나. 간척지 토지이용 활용방안 분석 및 실천전략 수립

1) 간척지 자원순환 원천기술 도입 가능 유형 도출

우리나라의 경우 조사 분석 자료가 거의 없어서 일본의 간척지 농업에서 경쟁력을 갖는 요인을 반영하여 도입 가능 유형을 도출하였다. 간척지 자원순환 원천기술을 도입하여 적용 가능한 유형을 도출하기 위해서는 정부의 간척지 활용 정책을 분석하여 반영할 필요가 있다. 일본은 카사오카만 간척지와 이사야야만 간척지와 같이 (1) 간척지의 입지 조건에 따른 토지이용계획을 수립하여 토지구획과 배분을 수행하고, (2) 지역의 간척지 자원과 인근 지역 자원을 분석하여 적절한 순환자원 기술을 도입 적용함으로써 판로와 시장 분석을 실시하여서, (3) 간척지 위치에 따라 고수익작물의 특화 및 효율적인 농업 경영을 실시하고 있다. (4) 다양한 농업 경영체 활용 및 기업 등과의 융복합 영농 실시 및 입주 농민에 대한 농업 교육, 보급을 실시하고 있다. 이러한 과정은 한국형 간척지 자원순환 농업모형을 도출하는데 유용한 것으로 분석되었다. 또한, 이 지역은 간척지 자원순환 원천기술을 도입하여 6차 산업화 연계를 실시하고 고부가가치 산업화를 하는 특징을 보이고 있다. 그러나 수출원예, 채종단지, 지원시설, 관광농업단지는 실적이 거의 없는 것으로 분석되었다. 이유는 높은 토양염도, 3등급 이상의 용수 미확보, 연약지반 등 열악한 영농환경과 기반시설이 적합하지 않은 점, 초기 투자비용이 많이 드는 점 등으로 활용실적이 없는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 법과 제도적인 면에서의 검토가 필요하며 이와 함께 기반시설에 대한 검토가 필요할 것이다.

일본의 카사오카만 간척지는 분석 결과 토지이용계획에서 축산부문의 경우 그 수요가 98.6% 증가한 것으로 조사되었다. 따라서 이 지역은 복합영농을 활성화하기 위한 방안을 마련하였다. 지자체는 지역에서 조사된 자료 분석을 통해 간척농지의 다각적 활용 부진 원인 및 관련 적용성 기술을 검토하였다. 우리나라의 간척지 여건에 적용시킬 때 첫째, 수출원예, 일반원예, 종자단지는 기존 간척지의 경우 물관리 시설, 원예시설, 전기, 가스 등 적절한 생산기반이 정비되지 않은 점이다. 둘째, 각 원예작물 재배에 대한 전문성 부족 (인력 및 기술력), 간척지 특성 상 토양 조건(재배 환경)

등의 암거배수 기반이 정비되지 않은 점과 지역 및 사회 수요가 많지 않은 점, 외국 수출 관로의 불확실성 등으로 경제성과 환경성이 낮은 점이다. 셋째, 농촌진흥청과 농업기술센터 등의 기술 지원과 인력에 대한 교육 등이 지속되고 토양개량 사업이 지속될 필요가 있다는 점을 알 수 있다. 이러한 원인과 문제점을 개선하기 위해 분석한 결과 및 개선방안은 다음 그림과 같이 정리할 수 있을 것이다.

1 간척지 수출원예, 일반 원예, 종자단지 조성방안	2 원인 및 문제점	3 분석 및 개선방안
<ul style="list-style-type: none"> • 간척지에 수출원예, 일반원예 단지 조성 • 간척지에 종자단지 조성 	<ul style="list-style-type: none"> • 초기 토지이용계획 수립에 따른 기반 정비 미흡 • 재배 작물 적용 농업생산기반시설 정비 미비 • 대상지역 인력 확보 및 기술력 부족 • 토양, 염해 등 재배 환경 열악 • 수익의 안정성 확보 불확실 • 보조금 제도 등에 의한 수익의 안정성 부족 	<ul style="list-style-type: none"> • 지형, 지질 조건 등의 여건에 따른 토지이용 계획 수립과 그에 따른 정비 • 인력 및 재배 환경에 대한 기술력 부족으로 재배 적합 적지 분석 등이 선행될 필요 • 인력 확보, 수익 안정성 확보 등의 문제 해결 필요 • 보조금 제도 개선 등 필요

<그림 2-243> 간척지 수출 원예, 일반 원예, 종자단지 조성에 따른 문제점 및 개선 방안

2) 농업생산기반 도입 기술 검토

간척지는 쌀 생산에 최적의 조건으로 정비되어 있다. 그러나 쌀은 생산측면에서 벼 재배면적 감축 노력에도 기상호조 및 생산성 증가, 정부 및 농민의 노력 등으로 생산량은 감소하지 않고 어떠한 상황에서도 증가하는 실정이다. 현재 국내 벼 재배면적은 2016년 779천ha로 2004년 1,001천ha 대비 22.2% 감소하였다. 쌀생산량은 2016년 420만톤으로 2004년 500만톤 대비 16.0% 감소하고 있는 실정이다. 반면에 쌀 소비는 밥쌀 소비가 크게 감소하고 있고, 가공용 쌀 소비는 소폭 증가 추세에 있으나 크게 증가하지는 않고 있다. 1인당 밥쌀 소비량은 2004년 82kg에서 2010년 72.8kg로 감소하였고, 2016년 61.9kg으로 2004년 대비 24.5%가 감소하였다. 이러한 경향은 앞으로도 지속될 것으로 예측되고 있다. 1인당 가공용 쌀 소비량은 2014년 10.4kg, 2015년에는 11.2kg, 2016년에는 12.7kg으로 점차 상승하고 있다.

통계청 조사 결과, 쌀농사 소득은 '16년 10a당 전년 대비 23.4% 감소한 것으로 조사되었다. 쌀직불금 311,044원을 감안할 경우 실제 소득 감소율은 2.7% 수준으로 분석되었다. 2016년산 직불금은 고정 100만원/ha, 변동 211만원/ha으로 총 311만원/ha이 지불되고 있다. 이에 따라 정부는 ('18-'19) 쌀 공급과잉 해소를 위해 2018년부터 생산조정제를 한시적으로 도입하고 있으며 2020년부터는 보조금 제도의 개편을 통해 작물재배를 다양화 하고자 하고 있다.

(표 2-110) 정부의 쌀 산업 정책 변화

과 제	~2004년	2005~2014년	2015년 이후
가치	<ul style="list-style-type: none"> • 정부 중심 • 소농 중심 	<ul style="list-style-type: none"> • 시장 중심 • 대농 중심, 법인 육성 	<ul style="list-style-type: none"> • 농업경영체의 책임성 강화 • 소농과 대농의 협력 중심
소득 안정	<ul style="list-style-type: none"> • 이종곡가제 	<ul style="list-style-type: none"> • 고정직불과 변동직불 	<ul style="list-style-type: none"> • 들녘경영체로 조직화, 규모화 • 보험제도 확대(재해보험 등) • 이모작 확대, 6차 산업화 등
공급 안정	<ul style="list-style-type: none"> • 생산량 확대 • 수매제 	<ul style="list-style-type: none"> • 품질 제고 • 공공비축제 도입 • 재량적 수급관리 	<ul style="list-style-type: none"> • 소비자 요구 중심(품질 다양화) • 공공비축의 위기대응능력 강화 • 매뉴얼에 의한 수급관리
수요 기반	<ul style="list-style-type: none"> • 대북지원 의존 	<ul style="list-style-type: none"> • 쌀 수급조절 목적의 쌀 가공산업 육성 • 소비촉진 홍보 	<ul style="list-style-type: none"> • 쌀 가공산업의 독자적인 산업화 • 쌀 수출 확대, 해외 원조 • R&D로 쌀 시장 확대
유통 개선	<ul style="list-style-type: none"> • RPC 확대 	<ul style="list-style-type: none"> • RPC 규모화 • 지역 쌀 브랜드 육성 • 양곡표시제 강화 	<ul style="list-style-type: none"> • RPC 광역 통합 및 브랜드화 • 소비자 신뢰 회복 (등급표시제)

쌀을 대체할 조사료, 콩 등 논 재배 적합 품종 개발 보급, 타작물 기반 조성 및 기계화, 발작물 신기술 지원 강화 등을 통해 쌀의 구조적 공급과잉 해소를 도모할 수 있는 대안마련이 필요한 실정이다. 한편, 산업화에 따른 경지면적 감소 등으로 식량 자급률은 지속적으로 하락 추세에 있다. 지구온난화 등 기후변화에 따른 수급불안정 문제가 발생할 경우 식량자급률 문제로 인한 물가 불안정 및 식량안보 문제가 발생할 수 있을 것이다.

따라서, 간척지를 이용하여 고도화하기 위해서는 ① 타작물 재배 확대, ② 자연순환농업 구현 ③ 수출형 기능성작물 생산단지 확대 등 신 농업모델 구축이 필요하다고 할 수 있다. 이러한 문제 해결을 위해서 간척지의 활용도 정부의 정책에 맞추어 진행될 필요가 있을 것이다.

이러한 문제해결을 위한 농업생산기반 도입 기술은 첫째, 식량자급률 및 곡물자급률 향상에 기여할 수 있는 농지의 대규모화 및 범용화를 통한 조사료 및 바이오 단지 조성 과 옥수수 및 밀 등 자급률 제고를 위한 스마트 자동물관리 시스템 적용이 필요할 것이다. 둘째, 발작물은 염해에 약한 경우가 많으므로 암거배수를 통한 배수 개선 시스템 개발이 필요하다. 셋째, 대규모 간척 농지에서 생산되는 조사료를 활용한 자원순환형 축산단지를 조성하여 동물복지, 유기농, 친환경 브랜드를 연계하는 6차산업화를 실현할 필요가 있다. 일본 카사오카만 간척지 적용 바이오매스 타운 조성 모델과 같이 간척지 조건에 적합한 토지이용도를 활용하여 축산영역, 조사료기지, 복합영농을 활용한 활성화 영역을 구성하여 자원순환 농업을 구축하고 네덜란드에서 실행되고 있는 스마트농업 기술을 접목하여 물관리 및 6차산업화를 실현할 수 있도록 할 필요가 있다.

2.2.9. 간척지 최적 토지이용 방안 제시

가. 간척 지구별 토지이용 원칙 및 방향설정

간척지에서 농업적 토지이용은 전반적으로 내염성이 강하고, 수입 대체 및 수출로써 효과를 볼 수 있는 작물 재배를 원칙으로 하고 있다. 내염성이 비교적 강한 작물은 3차년에 걸쳐 얻어진 실험데이터와 문헌 조사를 바탕으로 밀, 옥수수, 이탈리아 라이그라스, 강황, 홍화, 비트를 선정하였다. 이중 밀과 옥수수는 2018년도 기준 식량 자급률에서 각각 1.2%, 3.3%로 매우 낮은 비율을 기록하고 있다. 사료용 곡물을 포함한 밀과 옥수수의 자급률은 각각 0.9%, 0.8%로 타작물에 비해 자급률이 떨어져 수입에 의존하는 실정이다.

(표 2-111) 간척지 농업적 토지이용 작목 선정

	복합곡물단지	수출원예단지
작목	밀, 옥수수, 이탈리아 라이그라스	강황, 홍화, 비트

간척지에서 밀은 내염성이 비교적 강하고 토양 염농도가 0.2 환경에서 일반 농경지 수량의 70% 이상을 보여서 안정적인 재배가 가능하다. 또한 옥수수는 단위 면적당 생산성이 높고 종에 따라 식량 및 사료 등 활용성이 다양하다. 하지만 밀과 비교하여 내염성은 상대적으로 약하기 때문에 준공 후 시간이 많이 흘러 토양의 염도가 상대적으로 낮은 간척지에서 재배하기에 알맞다.

사료작물인 이탈리아 라이그라스는 동계작물로서 가장 생육이 좋고 사료로써 가치가 높다. 이탈리아 라이그라스는 내염성이 강해 간척지에서 수량이 우수하며 토양 염분제거에도 효과가 있어서 향후 간척지와 같은 조건에서 작물을 재배할 수 있는 환경을 마련할 수 있다.

따라서 복합곡물 단지에는 내염성이 강한 작물 중 자급률이 떨어지고 수입에 의존하는 작물을 선정하여 자급률 재고 및 수입 대체 효과를 낼 수 있는 작목으로 설정하였다.

강황은 보통 카레의 원료로 쓰이는 알뿌리가 노란색을 띠는 작물로써, 최근 약리적 효과를 인정받았다. 또한 홍화 꽃은 주로 염료로 사용되며, 씨앗은 약재와 차의 주재료로 쓰이는 작물로 내염성이 강하다. 비트는 풍부한 영양소를 함유하고 있는 작물로 베타인은 세포 손상을 억제하고 항산화 작용을 통해 암 예방과 염증 완화 효과를 보인다. 이와 같은 작물은 국민의 건강 기호식품 선호 경향과 함께 그 수요도 증가가 예상되는 작목이다.

특히 농촌지역은 지역 특산물을 활용한 가공식품 개발이 활발해지면서 가공 보전 기술이 빠르게 확대 보급되고 있다. 이와 같은 기술 발전과 함께 수출원예 단지에는 지역 특화 작물의 수요량이 증가하고 있는 점을 감안하여 고부가가치 작물로 선정하여 수출 효과를 기대하는 방향으로 설정하였다.

나. 간척농지의 용도별 최적 토지 이용방안 제시

1) 간척 지구별 도입가능 작목별 시장전망 분석 및 필요 면적 산정

(1) 복합곡물단지

2018년 기준으로 밀은 233만 1천 톤, 옥수수는 236만 4천 톤, 이탈리아 라이그라스는 110만 톤을 국외로부터 수입하고 있다. 이에 따라 곡물 및 조사료 수입 금액은 연 31억 1100만 달러에 달한다. 통계청, 한국농촌경제연구원 및 농촌진흥청에서 조사된 국내 곡물 생산량과 단위면적당 생산량, 재배면적, 수입량 자료를 기초로 1% 상승된 자급률 채고와 수입대체를 위한 필요 재배면적을 산정하였다.

(표 2-112) 2018년 국내 곡물 수입량 및 수입액

(단위 : 천톤, 백만 달러)

구분	수입량	수입액
밀	2,331	661
옥수수	2,364	523
이탈리안 라이그라스	1,100	11

주: 밀과 옥수수 수입량 및 수입액은 식용을 기준으로 작성됨
 자료: 통계청, 한국농촌경제연구원, 농촌진흥청

(가) 밀

2018년 통계청 자료에 의하면 밀의 식량자급률은 1.2%이며, 생산량은 약 2만 6천 톤, 재배면적은 6천 6백 ha, 단위면적당 생산량은 3.91t/ha이다. 자급률 1% 향상을 목표로 산출한 필요 재배면적과 생산량은 각각 5천 5백 ha, 2만 1천 톤이다.

(표 2-113) 밀 자급률 채고를 위한 필요재배면적 산정

	식량자급률(%)	생산량(t)	재배면적(ha)	단위면적당 생산량(t/ha)
현황	1.2	25,788	6,595	3.91
목표	2.2	47,278	12,092	
필요	1.0	21,490	5,496	

자료: 통계청, 한국농촌경제연구원

(나) 옥수수

옥수수의 식량자급률은 3.3%이며, 생산량은 7만 8천 톤, 재배면적은 1만 5천ha, 단위면적당 생산량은 5.04t/ha이다. 밀과 동일하게 자급률 1% 향상을 목표로 산출한 필요 재배면적과 생산량은 각각 4천 7백 ha, 2만 4천 톤이다.

(표 2-114) 옥수수 자급률 채고를 위한 필요재배면적 산정

	식량자급률(%)	생산량(t)	재배면적(ha)	단위면적당 생산량(t/ha)
현황	3.3	78,012	15,479	5.04
목표	4.3	101,652	20,169	
필요	1.0	23,640	4,690	

자료: 통계청, 한국농촌경제연구원

(다) 이탈리아 라이그라스

이탈리안 라이그라스는 우리나라에서 현재 수입하는 총량에 대해서 1%의 수입 대체를 목표로 필요면적을 산정하였다. 그 결과 2018년 기준 이탈리아 라이그라스 사료의 전체 수입량은 110만 톤이며, 단위면적당 생산량은 12.10t/ha이다. 수입대체를 목표로 산정한 필요면적은 약 9백 ha이다.

(표 2-115) 이탈리아 라이그라스 수입대체를 위한 필요재배면적 산정

수입량(t)	수입대체(t)	필요면적(ha)	단위면적당 생산량(t/ha)
1,100,000	11,000	909.09	12.10

자료: 통계청, 농촌진흥청

(라) 간척지구별 복합곡물단지 필요면적 산정

간척지구별 필요 면적산정은 2019년 농림축산식품부가 고시한 간척지 농어업적 이용 종합계획의 지구별, 용도별 면적을 활용하였다. 토지이용계획에서 제시된 전체 지구의 복합곡물단지 면적과 각 지구별 면적의 비율을 계산하고 (표4-3) ~ 표(4-5)의 작목별 필요면적에 대입하여 얻은 작목별 필요 재배면적은 다음과 같은 결과를 나타내었다.

(표 2-116) 복합곡물단지 간척지구별·작목별 필요재배면적 산정

(단위 : ha)

지구	복합곡물단지	밀	옥수수	이탈리안 라이그라스
석문	364	159	136	26
이원	242	106	90	17
남포	381	167	142	27
삼산	125	55	47	9
고흥	929	407	347	67
군내	410	179	153	30
보전	187	82	70	13
시화	304	133	114	22
영산강Ⅲ-1	957	419	358	69
영산강Ⅲ-2	1,883	824	703	136
화옹	1,710	749	639	123
시화	1,435	628	536	104
새만금	3,629	1589	1356	262
계	12,556	5,496	4,690	906

자료: 농림축산식품부

(2) 수출원예단지

선정된 세 가지 작목인 강황, 비트, 홍화에 대해서 국제 무역 시장에서는 수출입이 활발하게 이루어지고 있다. 3가지 작목당 수입량이 많은 상위 10개 국가의 수입량과 수입 총액, 생산량, 재배면적 자료 등을 조사하였다.

(가) 강황

인도는 강황의 최대 생산 국가이자 수입국이다. 인도의 강황 수입량은 2018년 기준 3만 1천 톤이며 수입액은 약 4,454만 달러이다. 다음으로 모로코와 미국은 각각 1만 톤을 수입한다. 하지만 미국의 수입액이 모로코에 비해 비싼 이유는 고품질의 강황을 수입하고 있기 때문이다. 그 뒤로 말레이시아 8천 톤, 영국 7천 톤, 아랍에미리트 7천 톤, 사우디아라비아 5천 톤 등의 순으로 수입하고 있다. 상위 10개국의 수입량이 세계에서 차지하는 비중은 약 71%로 총 수입액은 약 1억 9천만 달러 수준이다.

(표 2-117) 2018년 국가별 강황 수입량 및 수입액

(단위 : 톤, 천 달러)

Country	Import Quantity	Import Amount
India	31,000	44,540
Morocco	10,000	12,860
United States of America(USA)	10,000	37,960
Malaysia	8,000	10,891
United Kingdom(UK)	7,000	26,572
United Arab Emirates(UAE)	7,000	9,530
Saudi Arabia	5,000	6,807
Germany	5,000	18,980
Japan	4,000	15,184
Netherlands	4,000	8,692
Total	91,000	192,015

주: 수입량이 많은 10개 국가 순으로 정렬.

자료: FAO, UN Comtrade

(나) 비트

비트의 최대 수입국은 체코이다. 체코의 비트 수입량은 2018년 기준 약 19만 5천 톤이며 수입액은 1천 5백만 달러이다. 다음으로 스위스와 크로아티아는 각각 16만 톤과 15만 톤을 수입했다. 그 뒤로 오스트리아 9만 4천 톤, 독일 2만 3천 톤 등의 순으로 수입하고 있다. 상위 10개국 중 9개국이 유럽 국가로 비트는 전 세계 중 유럽에서 수요가 높은 작물이다. 상위 10개국의 총 수입액은 약 4천 8백만 달러 수준이다.

(표 2-118) 2018년 국가별 비트 수입량 및 수입액

(단위 : 톤, 천 달러)

Country	Import Quantity	Import Amount
Czechia	195,576	15,559
Switzerland	161,451	9,172
Croatia	150,592	6,983
Austria	94,726	6,935
Germany	22,903	3,222
Netherlands	22,223	1,289
Belgium	12,435	1,260
Latvia	6,036	1,165
Hungary	6,015	1,083
United States of America(USA)	3,623	1,068
Total	675,580	47,736

주: 수입량이 많은 10개 국가 순으로 정렬.

자료: FAO, UN Comtrade

(다) 홍화

홍화의 꽃은 염료로, 씨앗은 약재와 차의 주재료로 쓰인다. 홍화는 다양한 활용이 가능한 작물로 전 대륙에 걸쳐 수요가 고르게 분포하고 있다. 그 중 폴란드는 홍화 최대 수입국으로 상위 10개국 총 수입량의 54.7%를 차지하고 있다. 수입액은 5천 2백만 달러에 달한다. 미국은 1만 6천 톤을 수입하며, 그 뒤로 인도 1만 2천 톤, 멕시코 7천 7백 톤 등 순이다. 상위 10개국의 총 수입액은 약 1억 2천만 달러 수준이다.

(표 2-119) 2018년 국가별 홍화 수입량 및 수입액

(단위 : 톤, 천 달러)

Country	Import Quantity	Import Amount
Poland	63,783	52,344
United States of America(USA)	15,957	23,123
India	11,964	13,804
Mexico	7,733	10,322
Japan	5,784	8,786
Netherlands	4,960	6,417
Germany	3,644	5,253
Belgium	1,639	1,588
Greece	784	780
China	442	1,033
Total	116,690	123,450

주 : 수입량이 많은 10개 국가 순으로 정렬.

자료 : FAO, UN Comtrade

(라) 필요면적 산정

각 작목당 수입량이 많은 상위 10개 국가의 수입량과 단위면적당 생산량 자료를 활용하여 수입량 1% 상승을 목표로 국내 생산에 필요한 면적을 산정하였다.

강황 목표치의 필요수량은 약 9백 톤이며 단위면적당 생산량은 22t/ha로 이에 따른 필요면적은 41ha이다. 비트는 필요수량이 약 6천 8백 톤으로 강황의 7배 수준이지만, 필요면적은 116ha로 3배 수준으로 차이를 보인다. 이는 비트의 생산성이 타 작물에 비해 높은 것을 의미한다. 홍화는 단위면적당 생산량이 가장 낮은 작물로 필요수량이 1천 1백 톤으로 비트보다 낮지만 필요면적은 135ha로 가장 넓다.

(표 2-120) 작목별 필요면적 산정

작목	총 수입량(t)	목표치(%)	필요수량(t)	단위면적당 생산량(t/ha)	필요면적(ha)
강황	91,000	1.0	910	22	41.36
비트	675,580		6,756	58.2	116.08
홍화	116,690		1,167	8.63	135

자료: FAO, UN Comtrade

작목별 필요면적 산정표와 간척지 농어업적 이용 종합계획을 토대로 수출원에 단지의 간척지구별, 작목별 필요면적을 산정하였다. 간척지 중에서 남포, 삼산, 군내, 보전지구는 수출원예단지 조성계획이 없으므로 제외하였다. 나머지 간척지는 지구별 면적 비율에 따라 필요면적을 분배하였다. 얻어진 결과는 다음과 같다.

(표 2-121) 수출원예단지 간척지구별·작목별 필요면적 산정

(단위 : ha)

지구	수출원예단지	홍화	비트	강황
석문	65	6	5	2
이원	273	23	20	7
남포	-	-	-	-
삼산	-	-	-	-
고흥	139	12	10	4
군내	-	-	-	-
보전	-	-	-	-
시화	100	9	7	3
영산강III-1	362	31	27	9
영산강III-2	420	36	31	11
화옹	25	2	2	1
시화	200	17	15	5
계	1584	135	116	41

자료: 농림축산식품부

2) 수입대체 및 수출 기대효과

(1) 수입대체 기대효과

국내 곡물 및 조사료 수입량과 수입 총액을 활용하여 수입 단가를 계산 및 산정한 필요수량을 통해 총 수입대체 효과를 산정하였다. 밀은 6백 10만 달러 수준으로 계산되었고, 옥수수는 5백 20만 달러, 이탈리아 라이그라스는 11만 달러로 총 1천 1백 40만 달러 수준의 수입대체효과를 기대할 수 있다. 이를 한화로 환산할 경우 약 125억 4천만 원 규모이다.

(표 2-122) 복합곡물단지 작목별 수입대체 기대효과

작목	필요수량(t)	수입단가(\$/t)	수입대체 효과(\$)
밀	21,490	284	6,103,160
옥수수	23,640	221	5,224,440
이탈리안 라이그라스	11,000	10	110,000
합 계			11,437,600

자료: 통계청, 한국농촌경제연구원, 농촌진흥청

(2) 수출 기대효과

상위 10개국의 수입 총량과 총액의 1%로 계산한 결과 다음과 같은 수출 효과를 기대할 수 있다. 강황은 1백 92만 달러 수준으로 계산되었고, 비트는 47만 달러, 홍화는 1백 23만 달러로 총 3백 63만 달러 수준의 수출 효과가 예상된다. 이를 한화로 환산할 경우 약 40억 원 규모이다.

(표 2-123) 수출원예단지 작목별 수출 기대효과

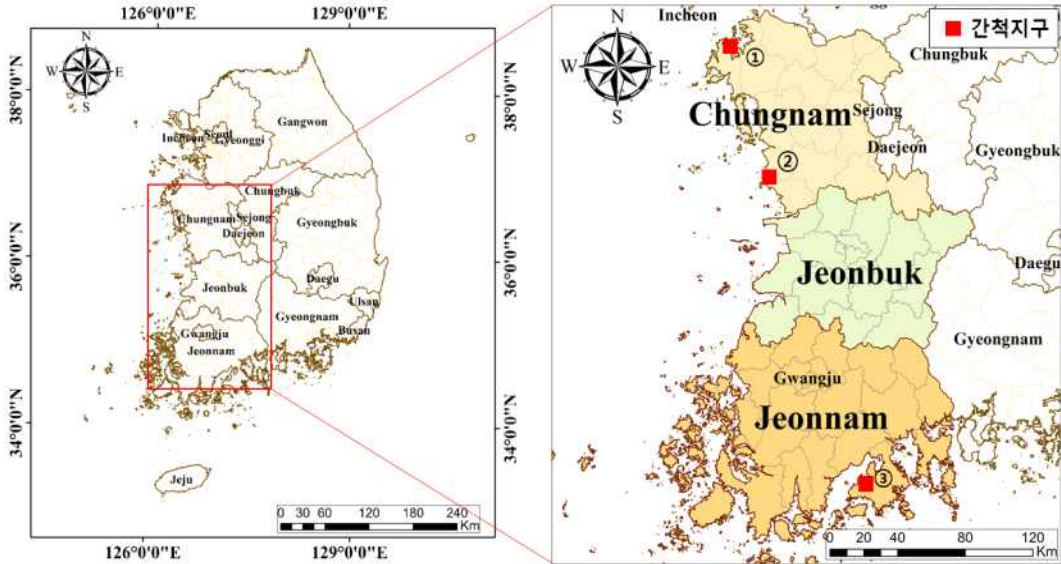
작목	필요수량(t)	수출 기대효과(\$)
강황	910	1,920,150
비트	6,756	477,360
홍화	1,167	1,234,500
합 계		3,632,010

자료: FAO, UN Comtrade

종합적으로 정리해 보면 다음과 같다. 간척지에서 복합곡물단지와 수출원예단지로 인한 경제효과는 약 165억 원으로 기대된다. 이는 농산물 생산 및 판매로 인해 발생하는 부가적인 수입을 고려하지 않고 수입대체 및 수출 효과만 계산한 결과이다. 이러한 효과의 발생은 간척지를 활용하여 국가적인 수익뿐만 아니라 농촌 및 농가에 큰 수익을 가져다 줄 수 있을 것이며 농촌의 가능성을 제시해 주는 것이다. 또한, 1% 수입 대체 및 수출 효과는 자급률을 높이는 효과는 물론 식량안보에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

3) 간척지 최적 토지이용 방안 제시

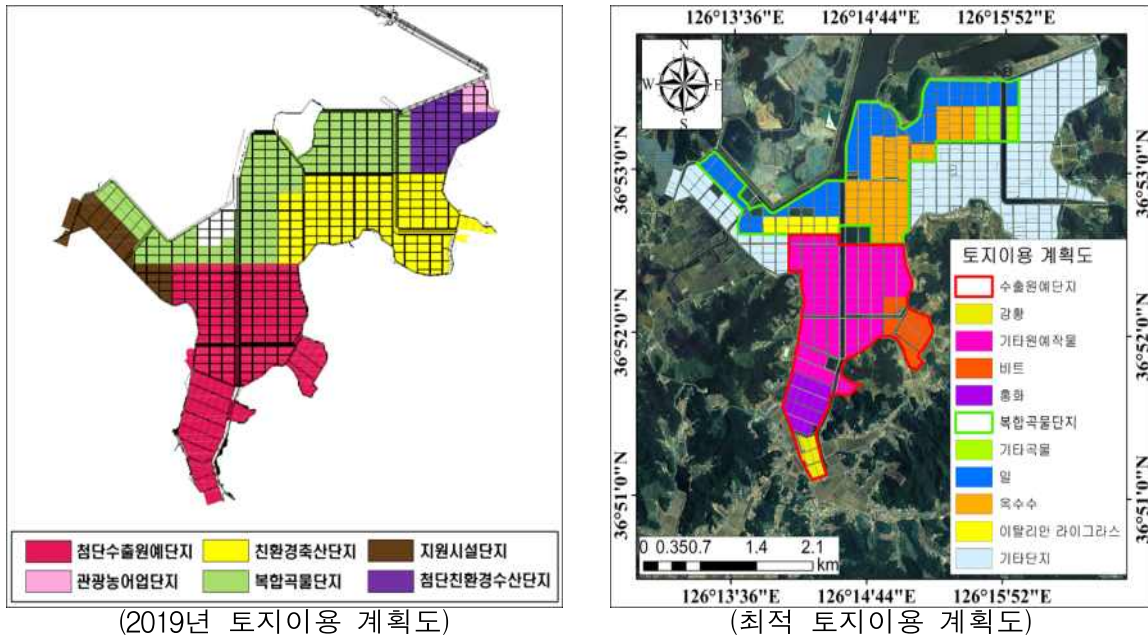
최적 토지이용 방안 마련을 위한 대상 간척지구로는 이원지구, 남포지구, 고흥지구를 선정했다. 대상 지구 선정은 각 지구별 위치와 농업적 여건, 용도별 면적배분 현황 등을 고려하였으며 이를 통해 토지이용 방안을 제시하고자 하였다. 내염성이 강한 밀과 이탈리안 라이그라스는 수변구역으로, 옥수수는 내륙으로 계획하였다.



<그림 2-244> 간척지구 위치

(1) 이원지구

이원지구는 충남 태안에 위치하고 있으며, 염도가 비교적 높고, 침수안전지역 비율이 높다. 이원지구의 수출원예단지 조성면적은 273ha, 복합곡물단지는 242ha로 계획되어 있다.



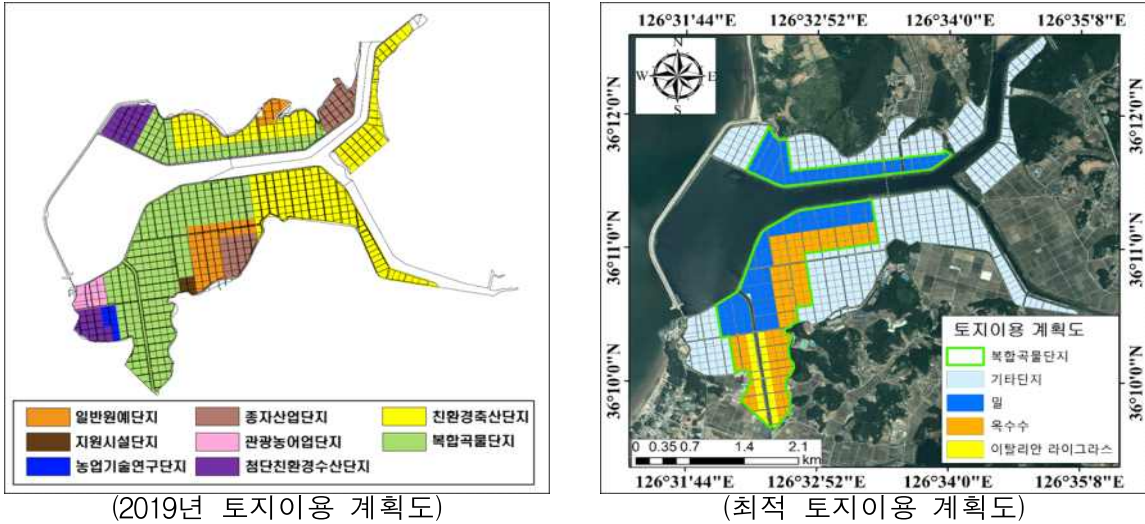
(2019년 토지이용 계획도)

(최적 토지이용 계획도)

<그림 2-245> 이원지구 토지이용 계획도

(2) 남포지구

남포지구는 충남 보령에 위치하고 있으며, 물 빠짐이 타 지구에 비해 양호하고 염도는 낮은 반면, 침수위험지역 비율이 높은 특징이 있다. 수출원예단지 조성계획은 없으므로 이를 제외한 복합곡물단지의 최적 토지이용계획도를 도식화하였다. 2019년 토지이용 계획도에서 상대적으로 내염성이 강한 밀과 이탈리아 라이그라스를 수변구역 근처로, 옥수수는 내륙으로 위치시켜 제시하였다.

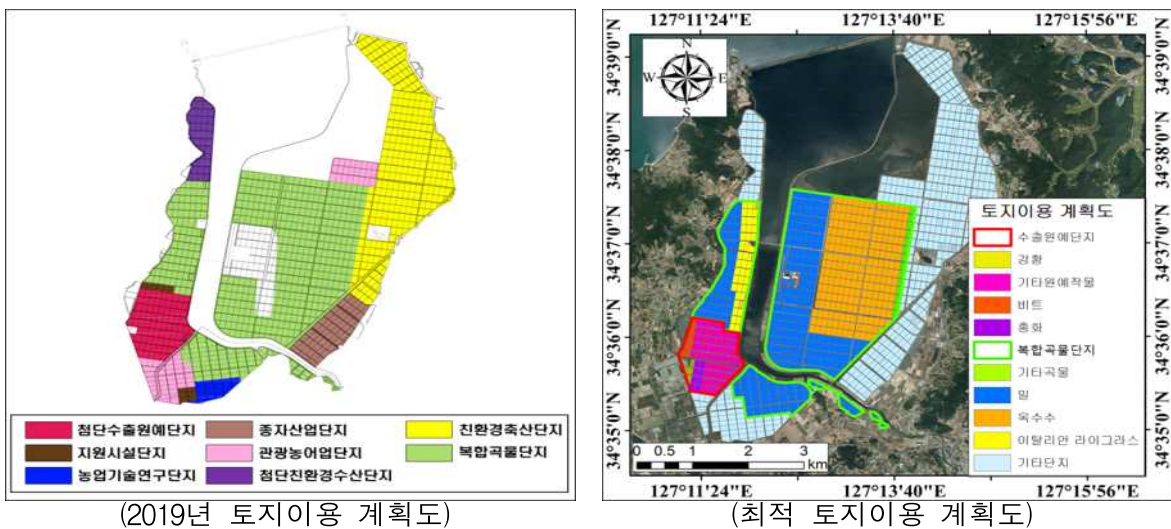


<그림 2-246> 남포지구 토지이용 계획도

(3) 고흥지구

고흥지구는 전남 최남단의 고흥에 위치하고 있으며, 물 빠짐이 불량하고 염도와 침수위험이 높다. 고흥지구의 수출원예단지 조성면적은 139ha, 복합곡물단지는 929ha로 앞선 두 지구에 비해 대규모 간척지이다.

2019년 토지이용 계획도에서 상대적으로 내염성이 강한 밀과 이탈리아 라이그라스를 하천 주변의 수변구역에 배치하였으며, 옥수수는 염분에 약한 점을 반영하여 간척지 내부에 배치하여 피해를 최소화하고 작물의 생산성을 높이고자 하였다.



<그림 2-247> 고흥지구 토지이용 계획도

2.3. 간척지 고부가 작물 최적재배 관리모델 제시

2.3.1. 내염성을 고려한 원예 및 약용작물 선발

가. 문헌 조사를 통한 원예/약용 예비 리스트 선정(자료조사 및 전문가 추천)

원예작물의 경우 농진청의 간척지 작물재배 실험을 통하여 많은 종류의 작물의 재배 결과가 보고되었으며, 이러한 데이터를 기준으로 작물을 선정할 수 있다.

(표 2-124) 간척지에서 재배된 원예작물의 작물 재배결과 예시

구분	작물	초장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개/주)	생체수량 (kg/10a)	조수입 (천원/10a)
노지	해바라기	-	-	-	67	268
	열무	31.3	9.5	11	1,147	735
	청갓	39.4	15.4	30	2,002	739
	숙갓	-	-	24	789	809
	양배추	11.1	12.8	-	3,227	1,182
	시금치	14	6.2	8	825	1,260
	부추	-	-	-	502	1,282
	고구마	-	-	-	1,416	1,450
	비트(잎, 뿌리)	13.9	5.5	16	1,031	1,640
	브로콜리	9.3	18.9	-	1,071	1,926
	사철쑥	-	-	-	1,007	2,518
	청경채	17.7	9.3	13	2,020	2,572
	적근대	15.8	6.9	16	971	2,601
	케일	14.2	10.7	13	1,030	2,736
	개똥쑥	-	-	-	1,174	2,936
	양상추	12.1	7.9	37	1,604	2,958
	적겨자	17.4	10.7	11	1,485	3,163
	양상추	11.4	12.4	-	4,133	3,252
	치커리	11.3	5.8	91	1,933	3,624

(농촌진흥청, 2014 새만금 재배결과)

간척지에서 재배된 원예작물의 수량 특성을 살펴보면 양배추, 양상추 등이 높으며, 조수의 관점에서 보면 적겨자, 양상추, 치커리 등이 높은 것으로 나타났다.

(표 2-125) 비간척지 대비 간척지에서 생산된 원예작물의 수량비교

구분	비간척지 대비 수량(%)		
	90% 이상	75-90%	75% 이하
노지	비트 (95%) 양상추 (92%) 브로콜리 (90%)	썩갓 (88%) 고구마 (87%) 청갓 (84%) 적근대 (80%) 청경채 (79%) 케일 (79%) 적겨자 (78%) 열무 (76%)	개똥썩 (71%) 치커리 (66%) 사철썩 (61%) 양배추 (59%) 앞상추 (57%) 시금치 (56%) 해바라기 (43%) 부추 (14%)

(농진청, 2014 새만금 재배결과)

비간척지 대비 새만금 간척지에서 재배된 원예작물의 수량비교를 통하여 그 가치가 높다고 판단되는 비트, 양상추 브로콜리, 썩갓 등에 대한 접근이 필요하며 실제 재배를 통하여 현장 검증이 필요하다고 판단됨. 향후, 최종 작물 종류 선정에 대해서는 다양한 관점에서 선정되어야 하며, 이는 재배작물의 추천으로 사용될 수 있는 정보의 하나라는 것에 유념해야 할 것이며, 재배자의 특성, 작물 재배경험, 지역특화 등에 따라서 실제 재배품목은 변경될 수 있다.

(표 2-126) 간척지에서 재배된 원예작물의 작물 재배결과 예시

구분	작물	초장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개/주)	생체수량 (kg/10a)	조수입 (천원/10a)
비닐 하우스	해바라기	-	-	-	97	388
	부추	-	-	-	518	1,486
	양배추	14.9	18.1	-	4,302	1,625
	청갓	51.9	19.2	43	4,708	1,824
	청경채	19.1	10.6	14	2,262	2,910
	열무	37.4	11.7	12	3,010	3,151
	양상추	13.8	18.6	-	4,265	3,203
	당근	17.1	4.1	-	3,098	3,538
	개똥썩	-	-	-	1,435	3,588
	사철썩	-	-	-	1,436	3,590
	시금치	20.7	7.6	16	1,911	3,850
	썩갓	-	-	40	2,147	4,312
	앞상추	13.9	9	47	2,140	4,317
	브로콜리	11.2	19.6	-	1,464	5,024
	케일	14.4	10.2	21	1,685	5,051
	적근대	15.9	8.4	31	1,739	5,345
	적겨자	19.5	10.9	21	2,401	5,988
	비트(앞,뿌리)	18.7	7.1	28	3,555	6,018
치커리	12.3	5.8	117	2,819	6,067	

(농촌진흥청, 2014 새만금 재배결과)

(표 2-127) 비간척지 대비 간척지에서 생산된 원예작물의 수량비교

구분	비간척지 대비 수량(%)		
	90% 이상	75-90%	75% 이하
비닐하우스	적겨자 (99%) 양상추 (95%) 청감 (95%) 비트 (94%) 당근 (94%)	청경채 (89%) 개똥쑥 (87%) 사철쑥 (87%) 적근대 (87%) 시금치 (87%) 쑥갓 (80%) 브로콜리 (80%) 치커리 (78%) 열무 (78%) 양배추 (78%) 잎상추 (76%)	케일 (58%) 해바라기 (55%) 부추 (17%)

(농진청, 2014 새만금 재배결과)

적겨자, 양상추, 청감, 비트, 당근은 간척지 필름온실에서 비간척지 대비 생산수량이 매우 우수하여 대상 일반 원예작물로 추천이 가능하고, 약용작물은 대부분 심근성 약초이므로 재배지역 환경에 따라 습, 염의 농도에 따라 작물선정이 필요하며 간척지에 재배시 호염성, 내염성, 천근성 약용식물을 재배하는 것이 유리하다. 따라서 간척지에서 재배 가능한 약용작물을 선별 후 이에 대한 재배실험을 바탕으로 용도에 맞는 소재개발이 필요하다.

(표 2-128) 이용용도에 따른 작물종류

이용용도	작물종류
엽채용	갯방풍, 갯기름나물, 사데풀
식품용	개똥쑥, 황해쑥, 쑥, 강황, 홍화
약용	사철쑥, 개똥쑥, 황해쑥, 쑥, 향부자
신소득	갯무, 갯씀바귀(씀바귀), 갯고들빼기
염생식물	방석나물, 퉁퉁마디, 나문재, 칠면초, 갯개미자리, 갯기름나물, 갯방풍, 번행초 등

(농진청, 2014 새만금 재배결과)

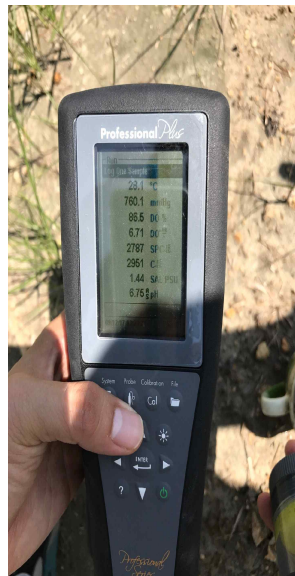
나. 간척지 토양을 이용한 원예작물 한계 EC 실험

1) 재료 및 방법

(1) 석문지구 간척지 토양 샘플링



<그림 2-248> 충남 당진시 송산면 가곡리 석문 송산 간척지 조사료 전문 재배단지 인근 토양



<그림 2-249> 토양 EC와 pH의 현장 측정

간척지토양 채취현장 토양조사결과 pH 6.75, 토양온도 28.1도를 나타냈으며, 토양표면으로부터의 깊이에 따라 토양 EC가 상이하였다. 실험을 위하여 간척지 토양을 샘플링하여 연구실로 가져와 실험에 이용하였다.






































<그림 2-250> 작물 파종하여 육묘하는 모습(좌)과 EC농도별 처리 3주차 작물의 모습(우)

(2) 실험 재료 및 처리 방법

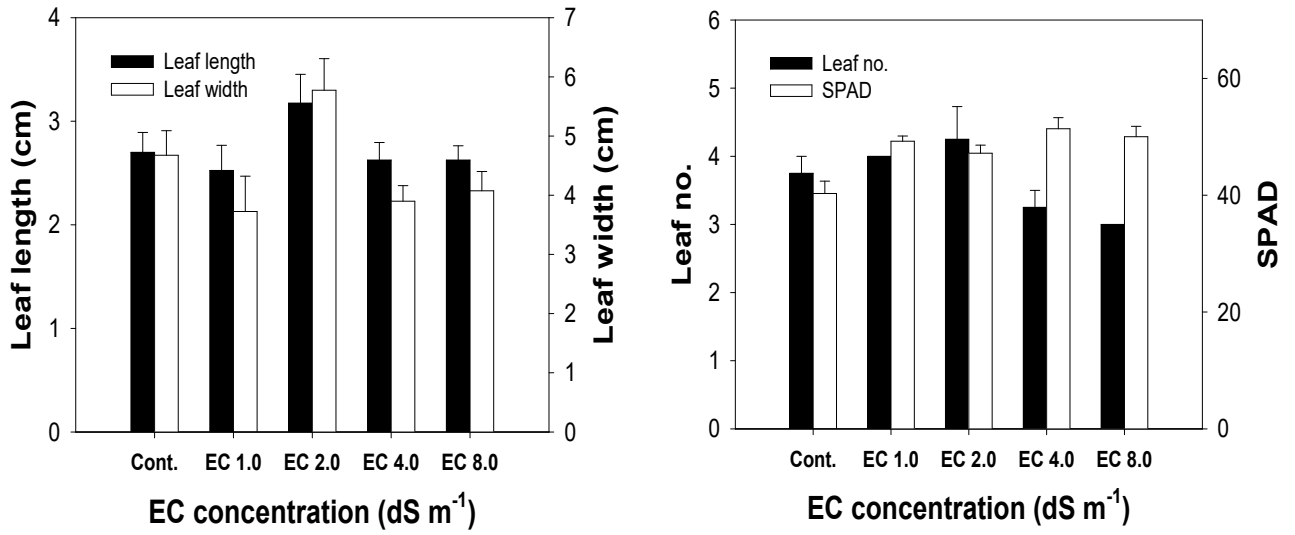
국립생물자원관에서 분양받거나, 구입한 종자를 원예용상토에 파종하여(8월 23일), 약 4주간의 육묘 후, 현장에서 채취해 온 간척지토양을 포트에 동일한 양을 담아 정식하였다. 충남대학교 농장 온실 안의 환경조절이 가능한 재배 룸에서 온도 22℃/20℃ (day/night), 광도 180-200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 습도 65%인 환경에서 재배하였으며 Hoagland 배양액의 EC는 Control(수돗물), EC 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 dS m^{-1} 로 처리하여 조절하였다. EC 4.0과 8.0 dS m^{-1} 은 영양액 EC 2.0 농도를 기준으로 NaCl을 첨가하여 염농도를 조절하였으며 EC처리 개시일(2017년 9월 19일)로부터 1주일 간격으로 생육조사를 실시하였다. 조사항목으로 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, SPAD(엽록소 함량)를 조사하였다. 마지막 4주째에는 파괴분석을 실시하여 근장과 지상부와 지하부의 생체중을 측정하였다.

2) 결과

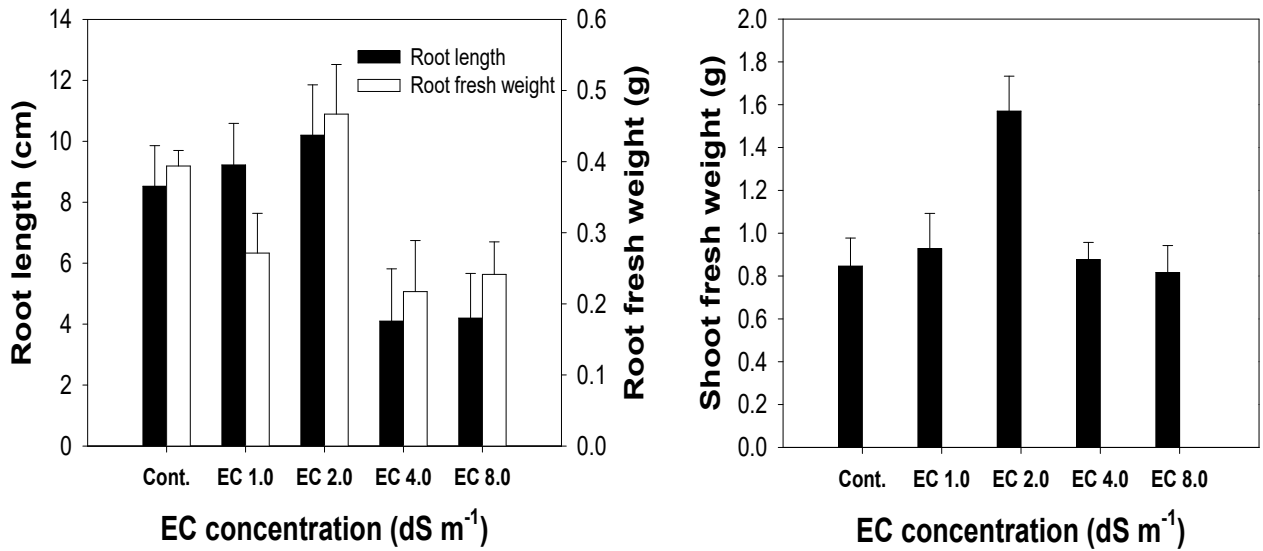
(표 2-129) 정식 4후 대상 작물의 생육 결과

원예작물	대조구 (Control)	EC			
		1.0	2.0	4.0	8.0
감초					
갯기름나름					
레몬밤					
배초향					
적자소					
청갯					
홍화					

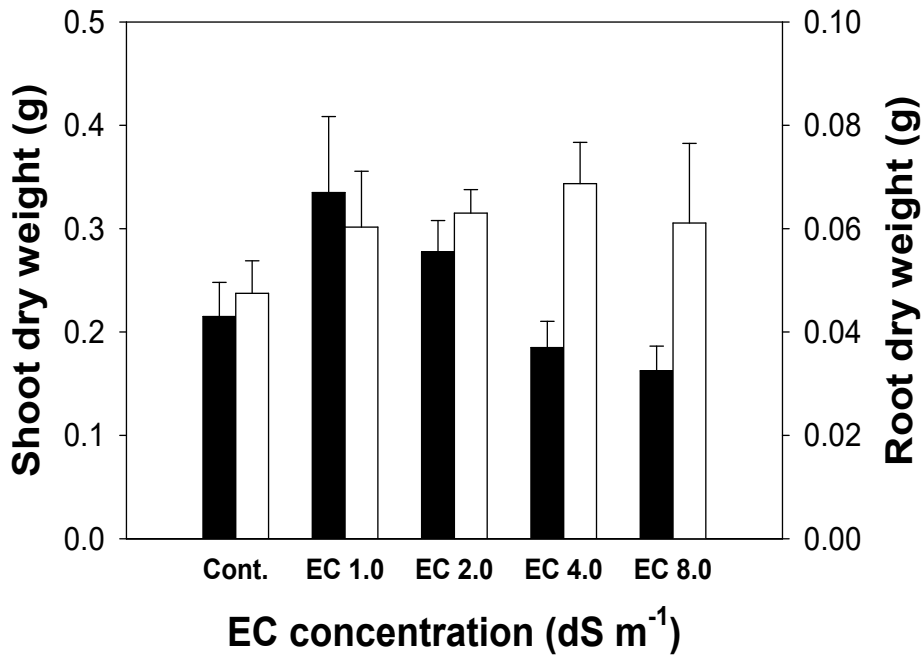
(1) 갯기름 나물의 생육 성장 분석



<그림 2-251> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 갯기름나물의 엽장, 엽폭, 엽수, SPAD



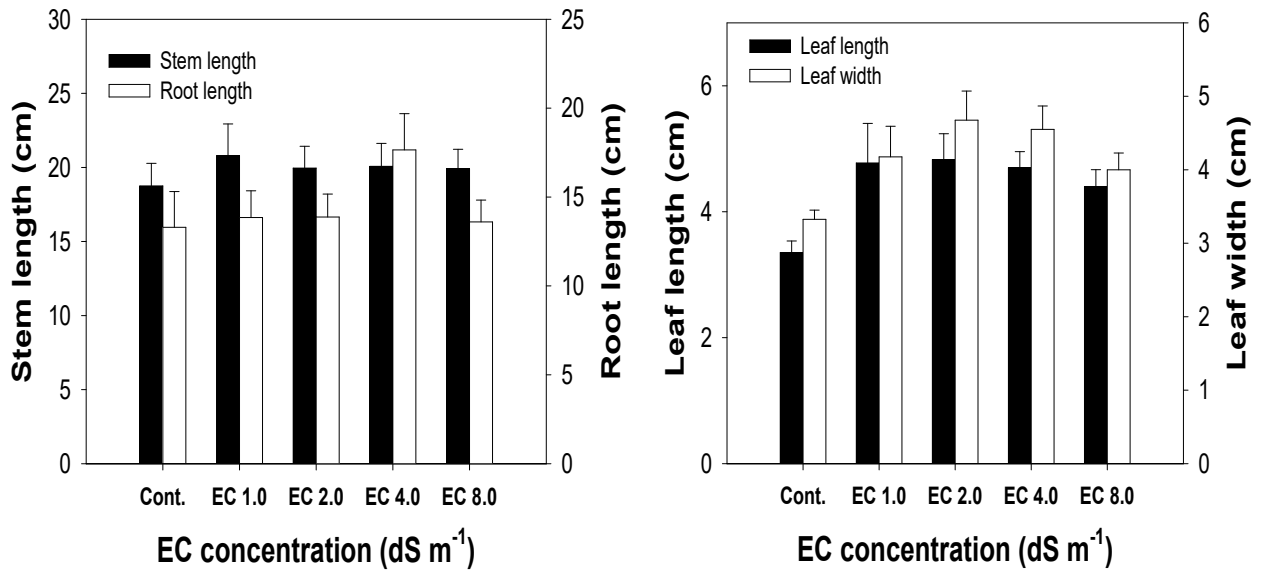
<그림 2-252> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 갯기름나물의 근장, 뿌리 생체중, 지상부 생체중



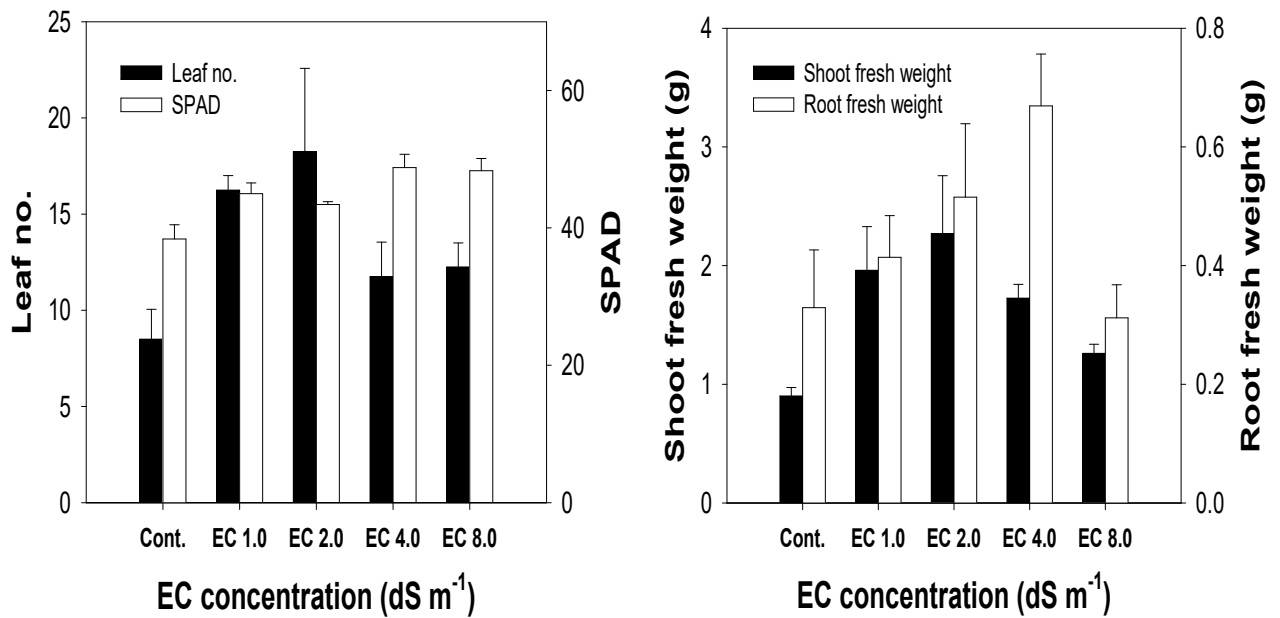
<그림 2-253> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 갯기름나물의 지상부 및 지하부 건물중

갯기름 나물은 제주, 전남(거문도), 전북, 충남(대천), 경남, 경북(울릉도)에 야생하며, 숙근성 3년초 이고 높이는 약 50-70cm, 해풍에는 별로 영향받지 않으므로 공중 습도가 높고 해가 잘 드는 곳이 좋으며 토질은 보수력이 있으면서도 배수가 잘 되는 토심이 깊은 비옥한 땅이 좋다. 번식은 주로 종자로 번식하며, 가을에 씨가 익으면 채종하여 직파하거나 노천에 가매장했다가 봄에 파종한다. 줄뿌림이나 흘뿌림하여 발아하면 1년간 비배하였다가 다음해부터 수확한다. 어린 순, 연한 잎, 열매, 뿌리 모두를 식용하는데 엽축은 살짝 데쳐서 나물로 무치거나 볶아서 먹을 수 있으며 열매는 과실주를 담는데, 피로회복, 빈혈, 두통에 효과가 있고, 根(근)은 防風(방풍), 葉은 防風葉(방풍엽), 花(화)는 防風花(방풍화)라 하며 약용으로도 가능하다. 갯기름 나물의 경우 엽장, 엽폭, 엽수, 근장, 뿌리 생체중 및 지상부 생체중은 EC 2.0 처리에서 가장 높은 값을 나타내었으며, 건물중은 EC 1.0에서 가장 높은 값을 나타내었다. SPAD값은 EC 처리 농도가 높을수록 증가하는 경향을 나타내었다. 실제 간척지 토양 재배시, 토양의 EC 농도 수준을 2.5 dS m⁻¹를 넘지 않는 수준에서 관리할 필요가 있으며, 가능한 지하수위 계측, 토양 염도, 토양 수분 모니터링을 지속적으로 수행하여 물관리의 필요성이 높은 작물로 사료되며, 특히 EC 4.0에서 생체중이 급격히 감소하는 경향으로 보아 적정 EC수준의 관리가 매우 필요한 작물이라고 사료된다.

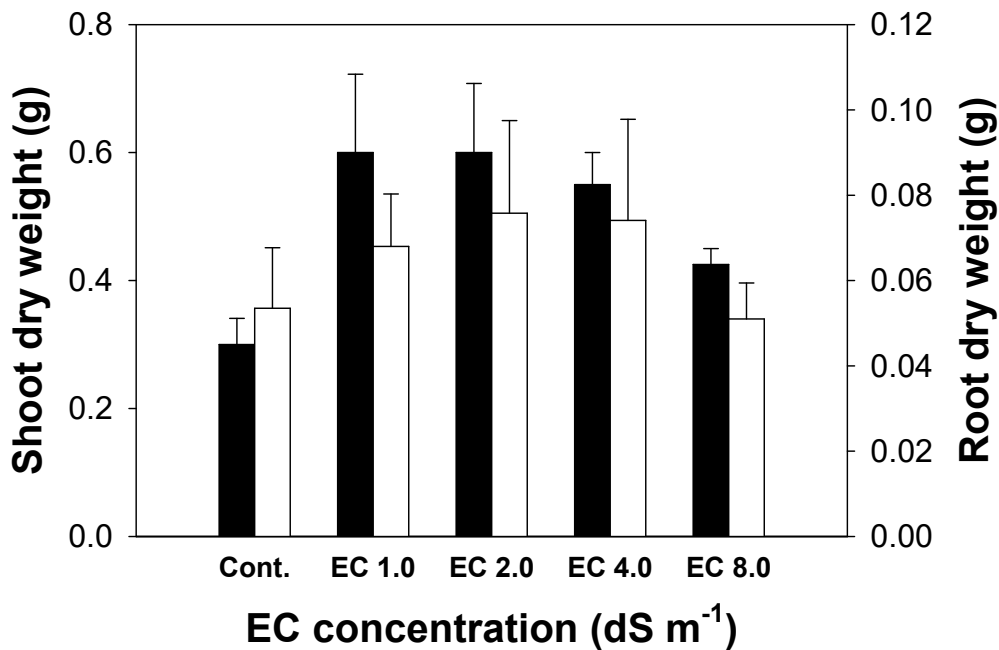
(2) 감초의 생육 성장 분석



<그림 2-254> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 감초의 초장, 근장, 엽장, 엽폭



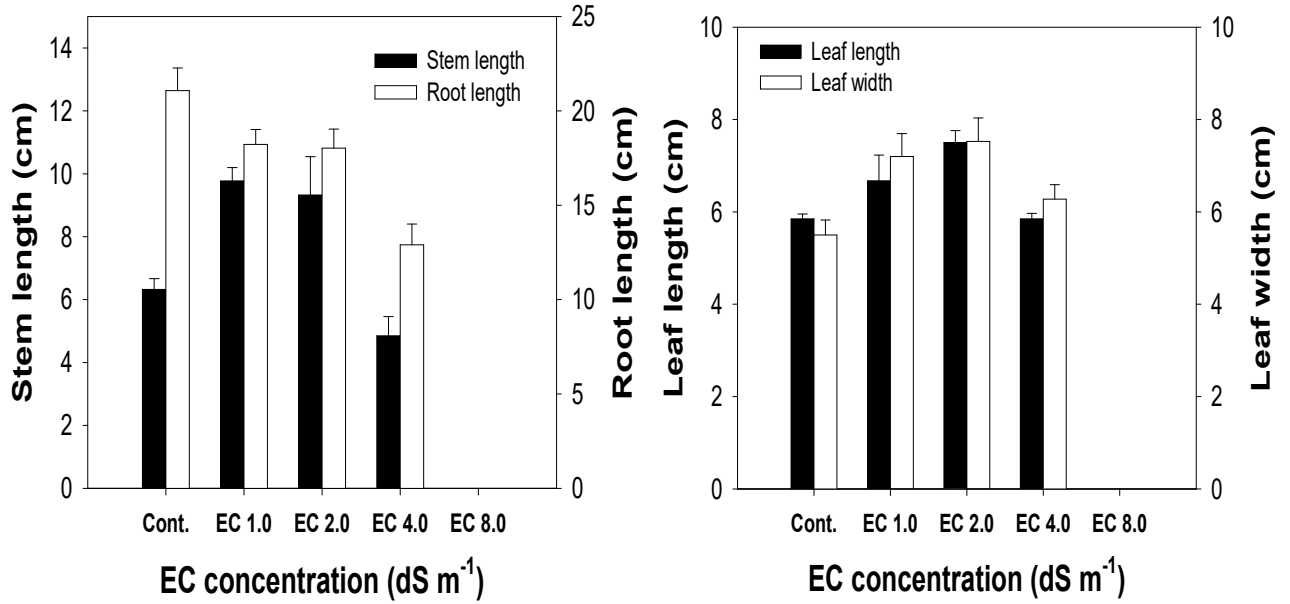
<그림 2-255> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 감초의 엽수, SPAD, 지상부 생체중, 지하부 생체중



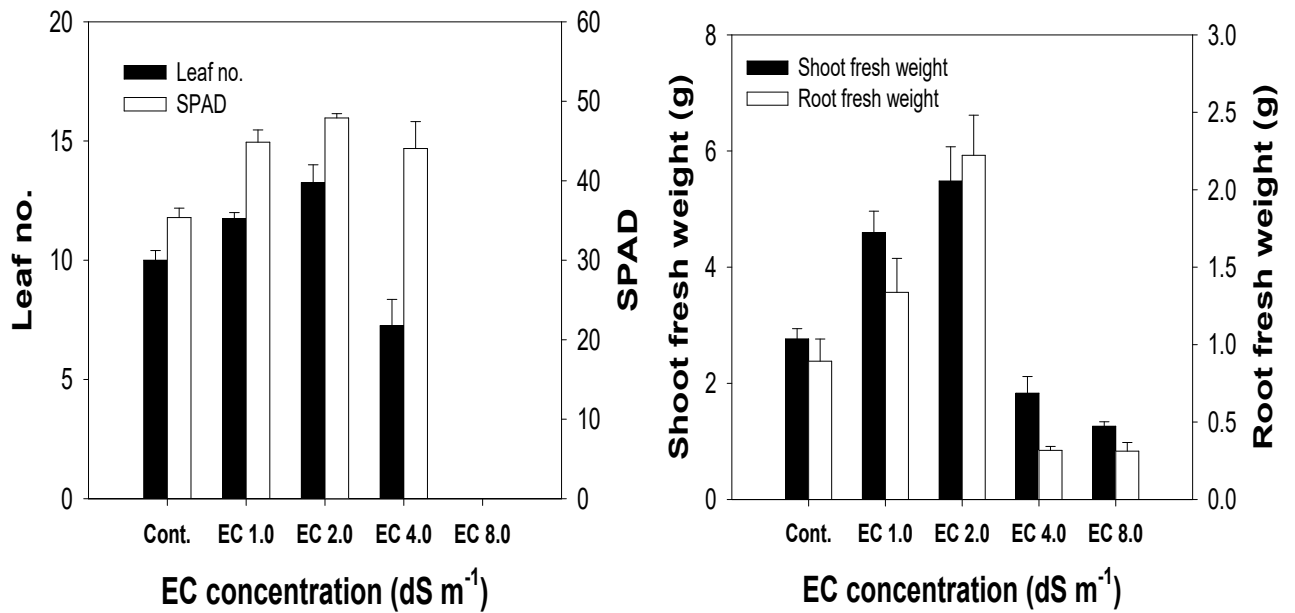
<그림 2-256> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 감초의 지상부 및 지하부 건물중

감초는 콩과로 속근초이며 가을에 수확. 주로 남주지방에 자생 또는 재배하며 100cm 까지 자랄 수 있으며, 뿌리를 주로 약용으로 사용되며, 한방에서는 모든 약물과 배합이 잘 되어 다른 약의 작용을 순하게 하므로 다른 약에 첨가하여 중화제(조화제)·해독제로 쓰이며 약으로 쓸 때는 탕으로 하거나 환제 또는 산제로 하여 사용하며, 술을 담가서도 이용할 수 있다. 감초의 초장은 모든 처리구에서 유의적으로 차이가 발생되지 않았으며 근장의 경우 EC 4.0 처리에서 가장 길게 나타났다. 엽장과 엽폭은 EC 1.0, 2.0, 4.0에서 차이를 보이지 않았으며 모든 처리구는 수돗물 처리한 대조구와 비교하여 유의적으로 높았다. 감초의 엽수는 EC 2.0까지는 증가하였으나, 4.0과 8.0에서는 유의적으로 낮아지는 경향을 나타내었으며 엽록소 함량의 경우 깃기름나물과 유사하게 처리 EC 농도가 높을수록 증가하는 경향을 보였다. 생체중 및 건물중의 경우 EC 0에서 2.0 dS m⁻¹ 까지 증가하는 경향을 나타내면서 이후, 감소하는 경향을 뚜렷하게 나타냈다. 그러나 근중의 경우 EC 0에서 4.0 dS m⁻¹ 까지 증가하였으나, EC 8.0 처리구에서 크게 감소하였다. 토양 수분 및 염농도 관찰을 수행하여 적정근권의 EC를 3.0 dS m⁻¹ 이상 넘지 않도록 관리하는 관수전략이 필요하다.

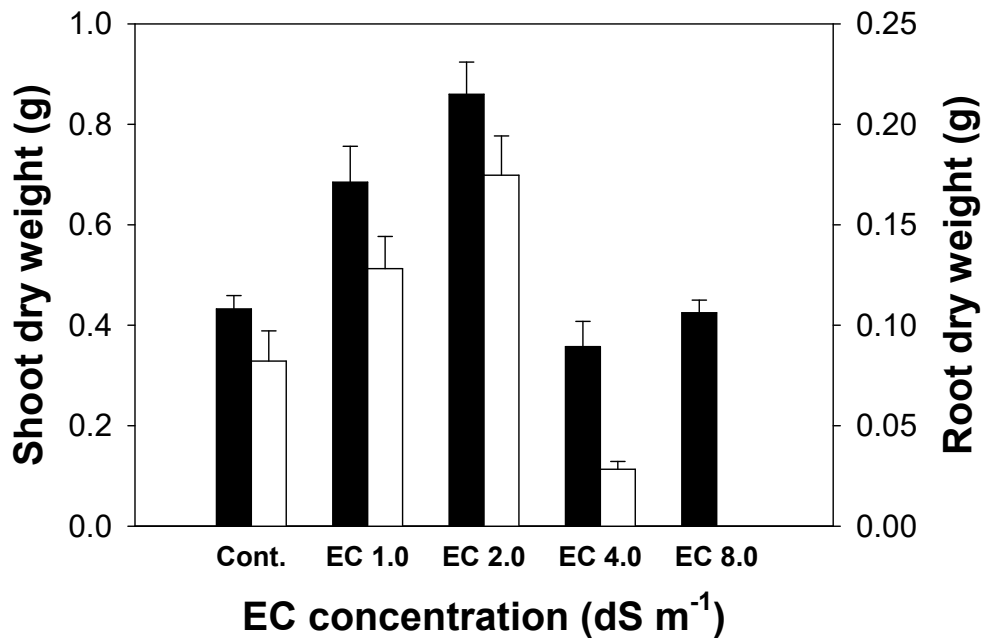
(3) 적자소의 생육 성장 분석



<그림 2-257> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 적자소의 초장, 근장, 엽장, 엽폭



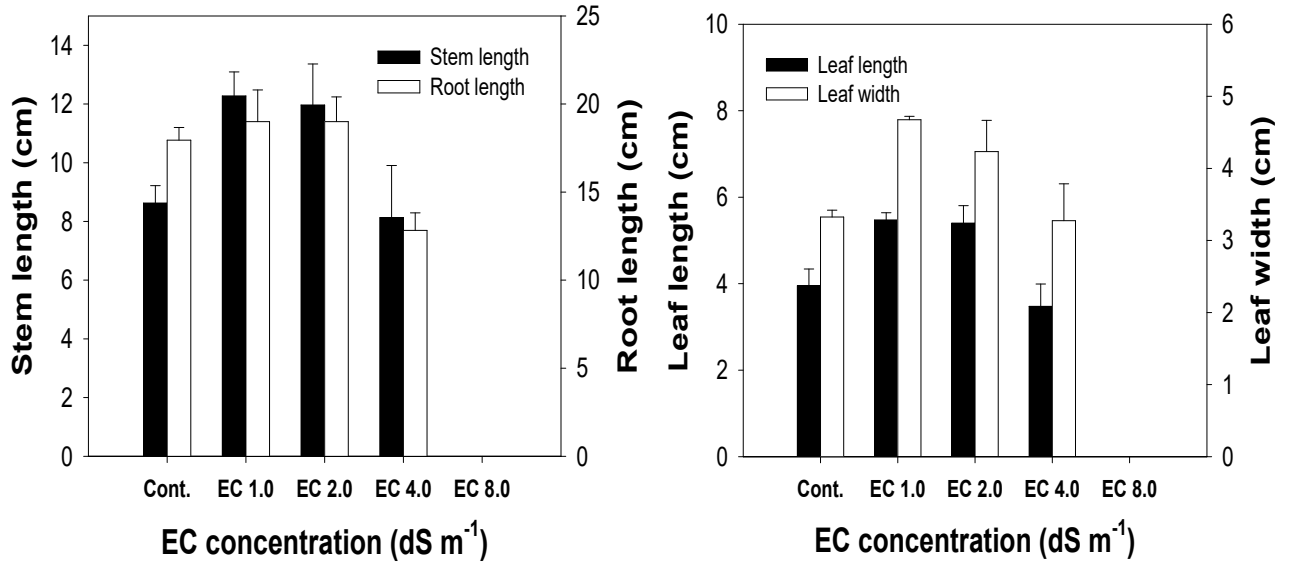
<그림 2-258> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 적자소의 엽수, SPAD, 지상부 생체중, 지하부 생체중



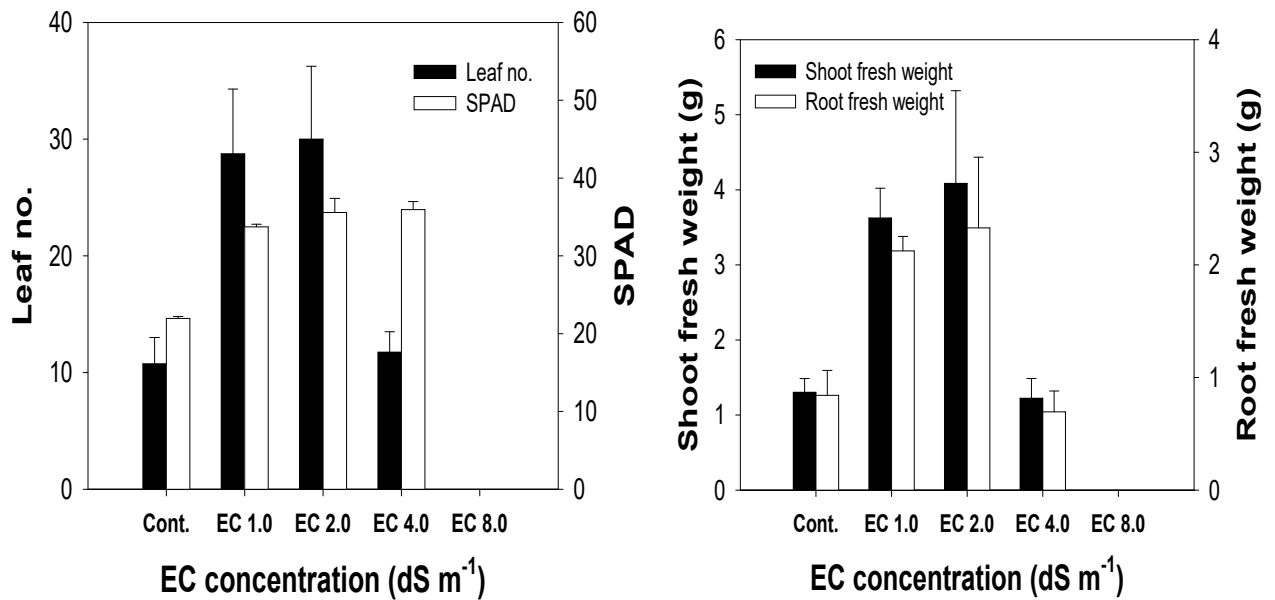
<그림 2-259> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 적자소의 지상부 및 지하부 건물중

적자소는 차조기라고도 불리우며, 꿀풀과의 일년생 초본이며 주로 8-9월에 수확할 수 있고 30-70cm까지 자라며 들깨와 비슷하여 붉은깨라고도 함. 들깨와 비슷하지만 전체가 자줏빛을 띠고 향기가 있다. 줄기는 네모로 각이 지며 곧게 서서 자라고 가지가 갈라지고 방향성이 있으며 유사종으로 잎이 자줏빛이 아니고 녹색인 것을 청소엽이라 하는데 꽃이 희고 향기가 차조기보다 강하며 약재로 많이 쓰인다. 차조기의 잎을 소엽, 씨를 자소자(紫蘇子), 뿌리줄기를 자소근(紫蘇根)이라 한다. 공업용·식용·약용으로 이용된다. 효능으로는 주로 소화기·호흡기 질환을 다스리고, 이뇨 작용을 원활히 하며, 신경계와 피부병증에도 효험이 있으며, 적자소의 생육은 EC 8.0 dS m⁻¹ 조건에서 생육이 불가능하였으며, 초장은 EC 1.0과 2.0 dS m⁻¹ 에서 대조구와 비교하여 높았으며, 근장의 경우 대조구에서 가장 높았음. 엽장과 엽폭의 경우 EC 1.0과 2.0 dS m⁻¹에서 가장 높았다. 엽수는 EC 2.0 dS m⁻¹에서 가장 높았으며, 엽록소 함량은 EC가 증가함에 따라 같이 증가하는 패턴을 보였으며 지상부 생체중 및 건물중과 지하부 생체중 및 건물중의 경우 EC 2.0 처리에서 가장 높은 값을 나타내었다.

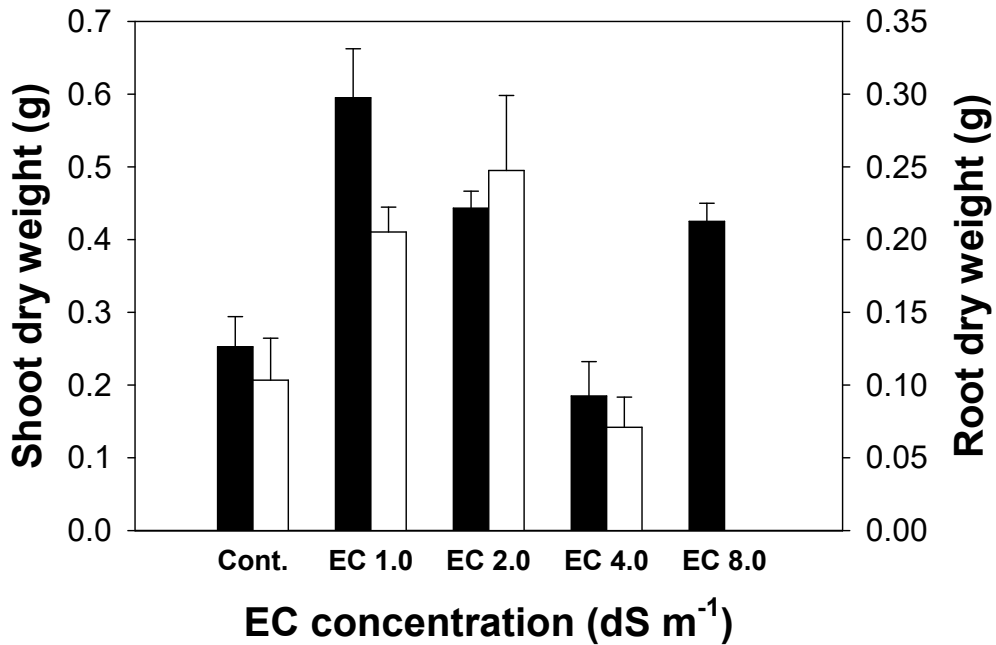
(4) 레몬밤의 생육 성장 분석



<그림 2-260> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 레몬밤의 초장, 근장, 엽장, 엽폭



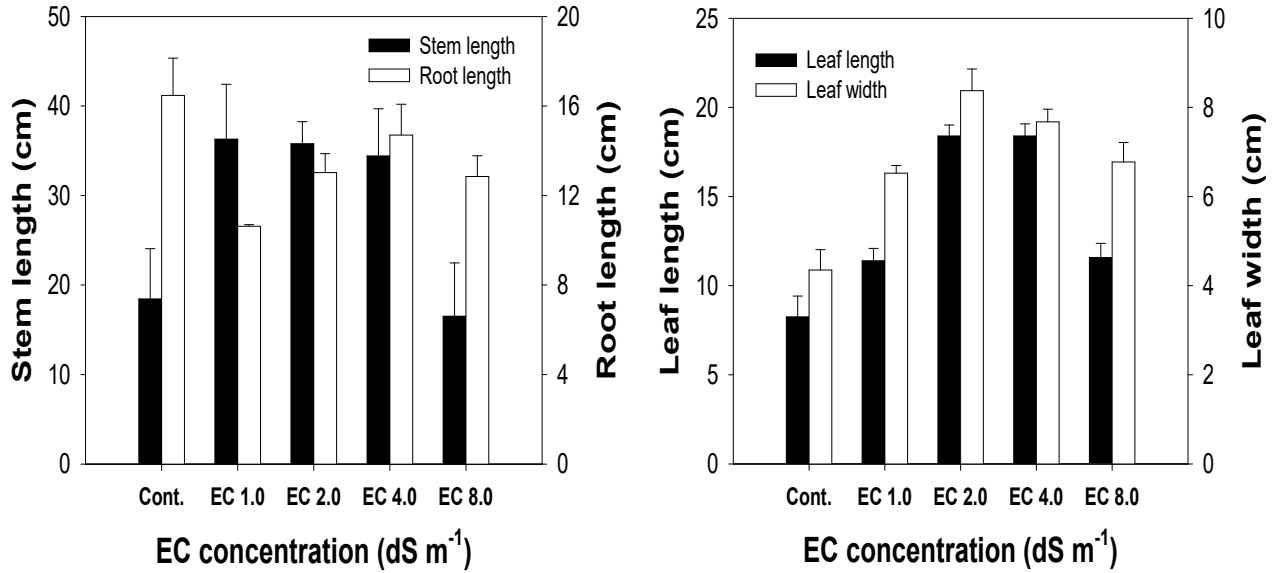
<그림 2-261> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 레몬밤의 엽수, SPAD, 지상부 생체중, 지하부 생체중



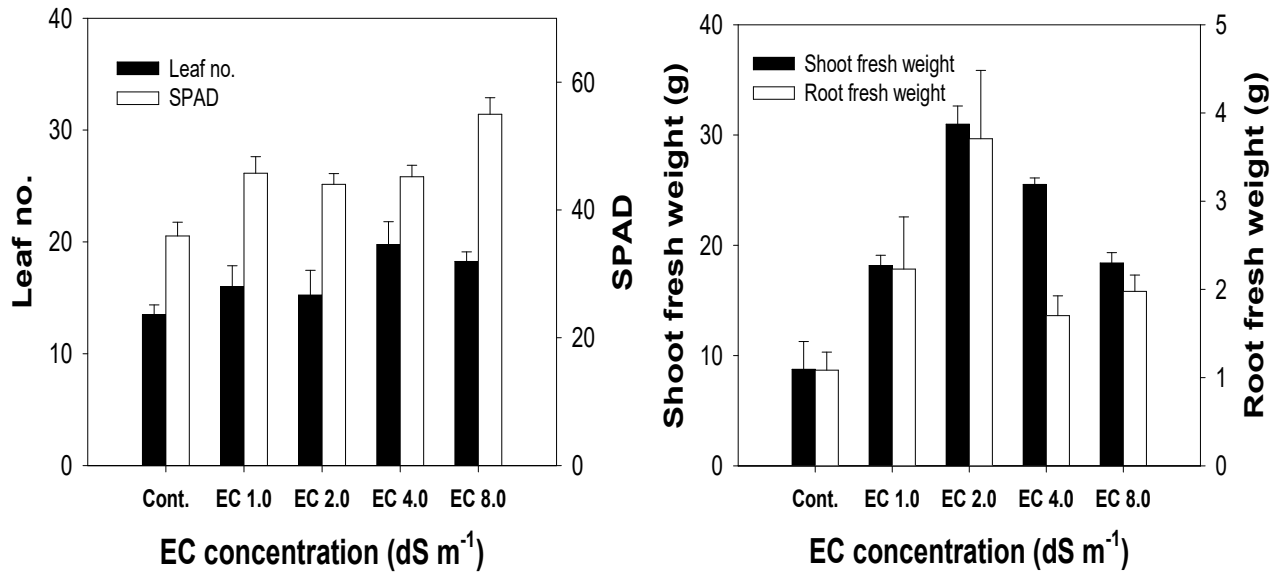
<그림 2-262> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 레몬밤의 지상부 및 지하부 건물중

레몬밤은 꿀풀과 식물로 천연 향신료로 이용이 가능하며 속근성임, 주로 중부 이남 지역에서 재배 가능하며 크기는 60-100cm이상까지 성장하며 종자파종을 주로 함 3월 중하순에 파종하여 6-7월에 수확하고 이후 10월 말에 2차 수확이 가능하다. 레몬 냄새가 나는 잎은 샐러드, 수프, 소스에 활용하며 건조 잎은 허브 차로 사용하며 정신안정 효과, 강장작용 및 구풍 효능이 있다. 휘발성 정유의 함량의 높으며, 플라보노이드 계통의 티리아닌과 아카세틴은 최근 여러 항바이러스, 항염증, 항암, 항동맥경화 등에 효과가 높다고 보고되고 있다. 레몬밤의 초장은 EC 1.0과 2.0 dS m⁻¹에서 가장 높은 값을 나타내었으며, 근장은 대조구와 EC 1.0과 2.0 dS m⁻¹의 값이 유의적 차이가 발생되지 않았으며, 엽장 및 엽폭 또한 같은 결과를 나타내었다. EC 처리에 따른 엽수 및 엽록소 함량값의 변화는 앞에서 살펴본 적자소와 유사하게 EC 1.0과 2.0 dS m⁻¹에서 높았고, SPAD값은 EC의 증가에 따라서 같이 증가하다가 EC 4.0과 8.0 dS m⁻¹에서 포화하는 경향을 나타내었고 지상부와 지하부 생체중과 건물중은 모두 EC 1.0과 2.0 dS m⁻¹에서 유의적으로 높게 나타났다.

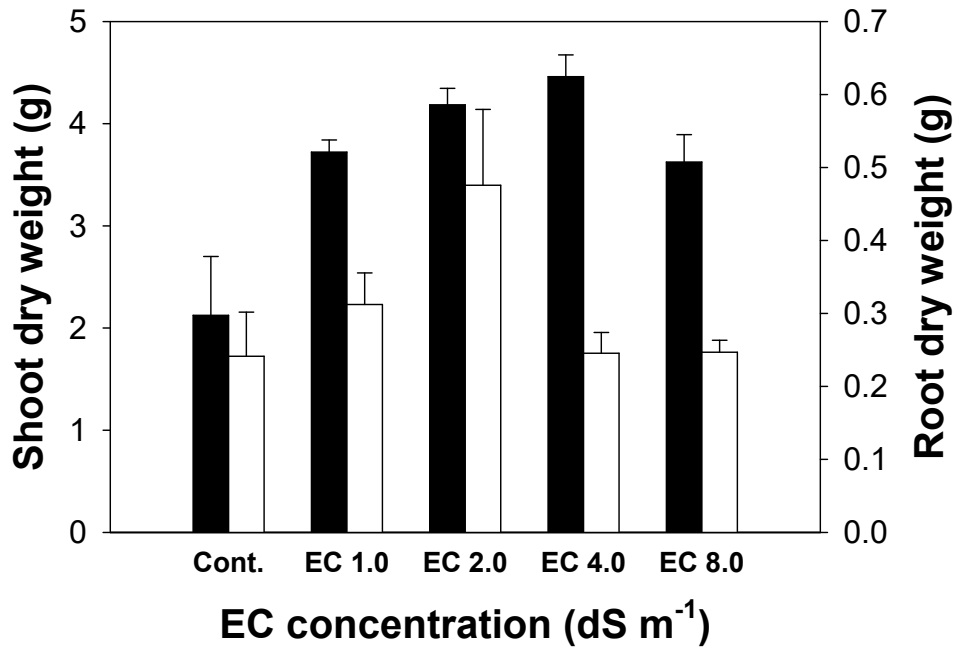
(5) 청갯의 생육 성장 분석



<그림 2-263> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 청갯의 초장, 근장, 엽장, 엽폭



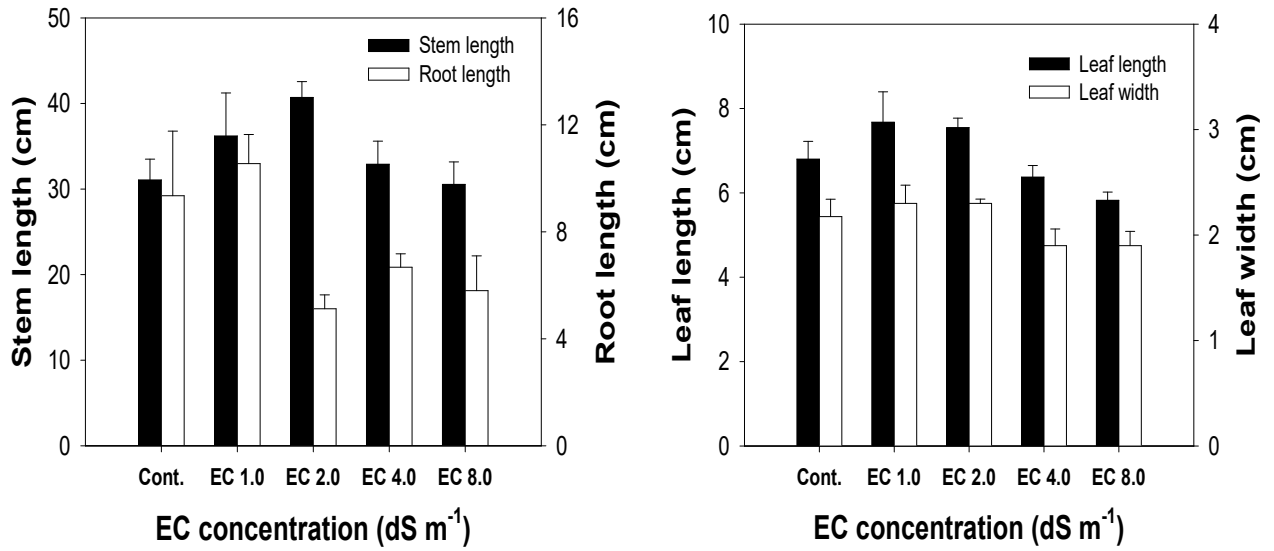
<그림 2-264> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 청갯의 엽수, SPAD, 지상부 생체중, 지하부 생체중



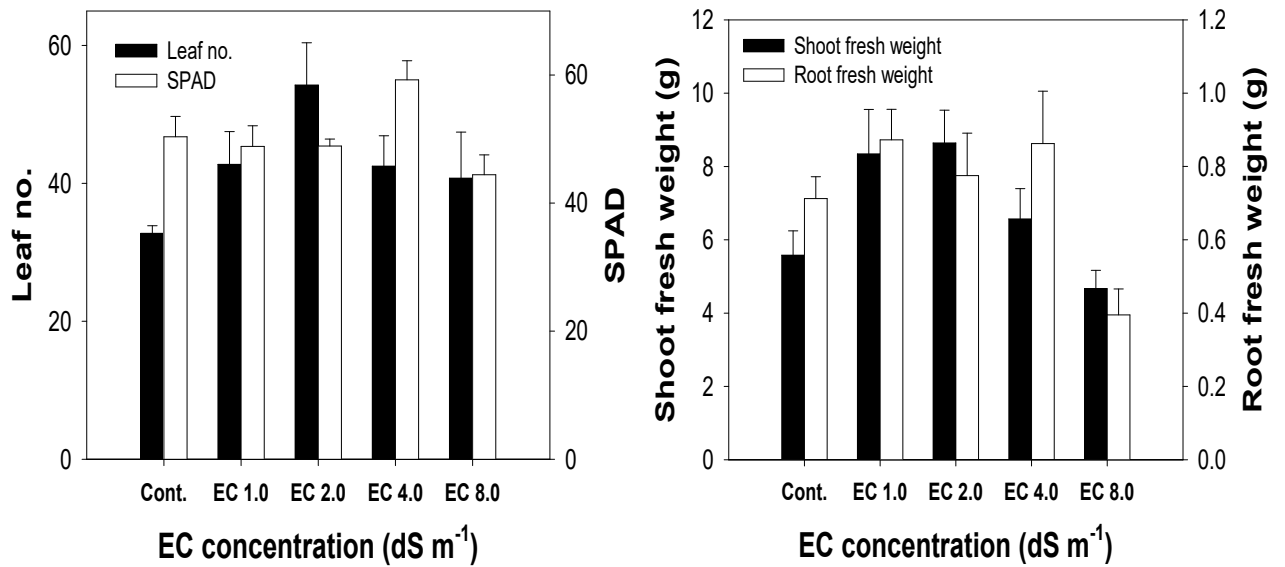
<그림 2-265> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 청갯의 지상부 및 지하부 건물중

청갯은 십자화과 식물로 2년생 초본이며 종자번식 하며 60-120cm까지 자라고 윗부분에서 가지가 많이 갈라진다. 근생엽은 넓은 타원형으로 가장자리에 불규칙한 톱니가 있고 경생엽은 잎자루가 없거나 원줄기를 감싸고, 5~6월에 총상꽃차례에 황색 꽃이 핀다. 각과는 길고 비스듬히 선다. ‘배추’와 달리 잎은 타원형이며 주맥은 정상적인 크기이고 잎자루에 엽편이 달린 것도 있으며 근생엽은 식용하고 종자로 겨자를 만들고, 어린순을 뜯어 쌈으로 먹거나 갯김치를 담가먹는다. 청갯의 초장은 EC 1.0, 2.0, 4.0 dS m⁻¹ 처리구에서 유의적 차이없이 생장이 관찰되었다. 근장의 경우 대조구가 가장 길게 나타났음. 엽장과 엽폭은 EC 2.0까지 증가하다가 4.0과 8.0 dS m⁻¹ 에서 감소하는 추세를 보였다. 엽수의 경우 EC 농도 증가에 따라서 엽수가 증가하였으며, SPAD값 역시, EC 증가에 따라서 엽록소 함량값이 증가하는 경향을 나타내었다. 지상부 생체중의 경우 EC 2.0에서 가장 높았으며 이후 감소하는 경향을 나타내었으나, 지상부 건물중의 경우 EC 4.0 dS m⁻¹ 처리에서 가장 높은 값을 나타내었으며, 뿌리 건물중은 EC 4.0 dS m⁻¹ 처리구에서 급격히 낮아지는 결과를 나타내었다.

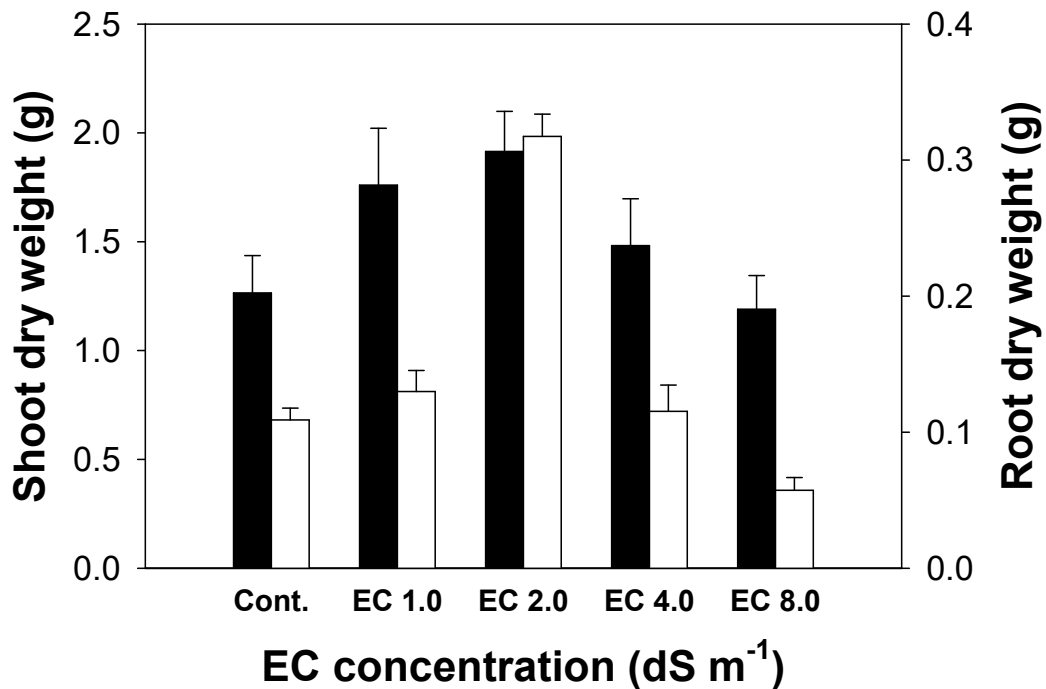
(6) 홍화의 생육 성장 분석



<그림 2-266> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 홍화의 초장, 근장, 엽장, 엽폭



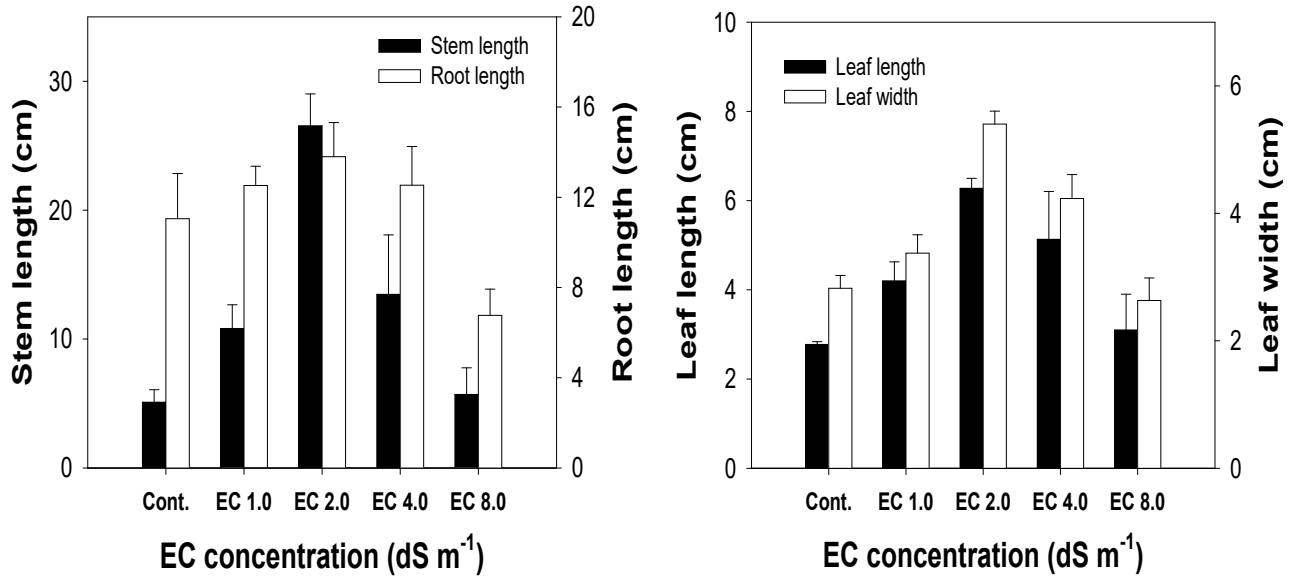
<그림 2-267> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 홍화의 엽수, SPAD, 지상부 생체중, 지하부 생체중



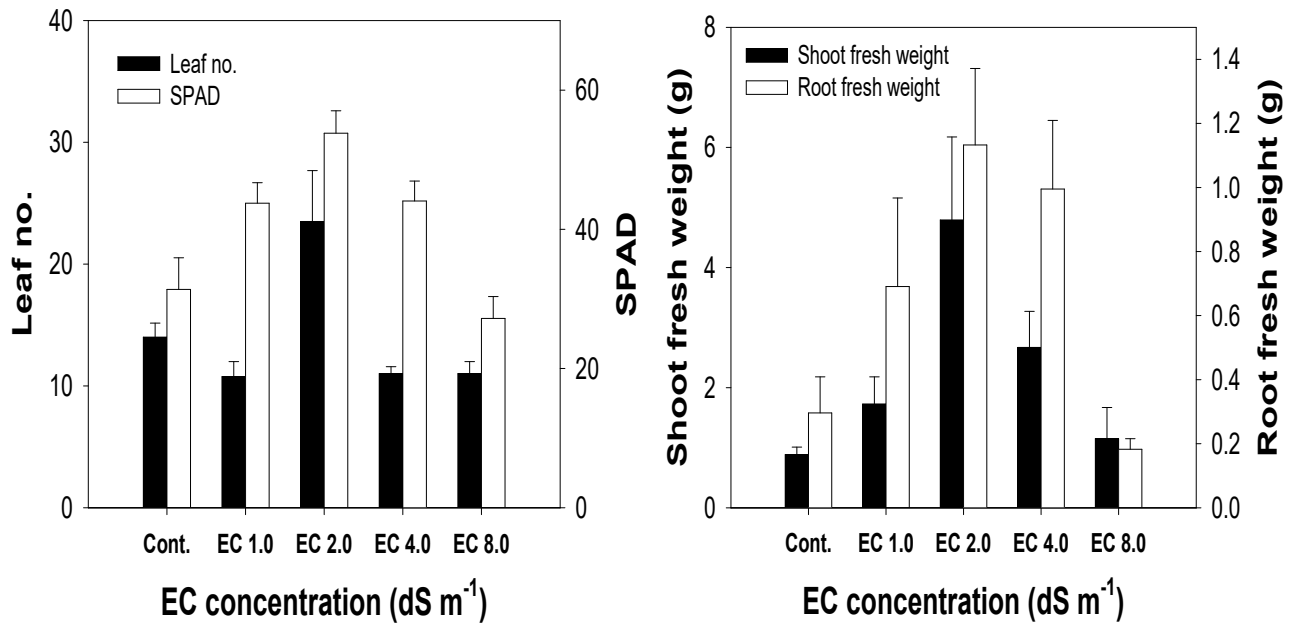
<그림 2-268> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 홍화의 지상부 및 지하부 건물중

홍화는 국화과 2년생 속근초로 꽃은 홍화(잇꽃)로 불리우고, 열매는 홍화자라고 불리우며 천연 향신료로 사용되며 높이는 1m에 달하고 전체에 털이 없으며, 잎은 어긋나고 넓은 피침형(披針形)으로서 톱니 끝이 가시처럼 된다. 꽃은 7·8월에 피며, 모양이 엉겅퀴와 같으나 붉은빛이 도는 황색이고, 원줄기 끝과 가지 끝에 1개씩 달리고, 홍화(잇꽃)은 천연염료로 이용되어 왔으며, 홍화씨 유(油) 성분의 공액리놀레산은 우리나라 <건강기능식품>에 수재되어 있고 기능성은 과체중인 성인의 체지방 감소에 도움을 줄 수 있다. 초장은 EC 2.0 dS m⁻¹를 기준으로 정규분포형태를 나타내고 있으나, 근장의 경우 EC 2.0 dS m⁻¹ 처리에서 급격히 떨어지는 것을 특징을 나타내었다. 엽장과 엽폭은 EC 1.0 dS m⁻¹ 처리에서 높은 값을 보였으며 EC 처리 농도에 따라서 큰 차이는 관찰되지 않았다. 엽수 또는 초장과 같은 변화 분포를 보였으며, SPAD값은 EC 4.0 dS m⁻¹ 처리에서 가장 높은 값을 보였다. 지상부 생체중과 건물중의 경우 EC 1.0과 2.0 dS m⁻¹ 처리에서 높은 값을 보였으며 근체중의 경우 EC 1.0, 2.0, 4.0의 처리구에서 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 뿌리의 건물중의 경우 EC 2.0 dS m⁻¹ 처리구에서 유의적으로 매우 높은 값을 나타내었다.

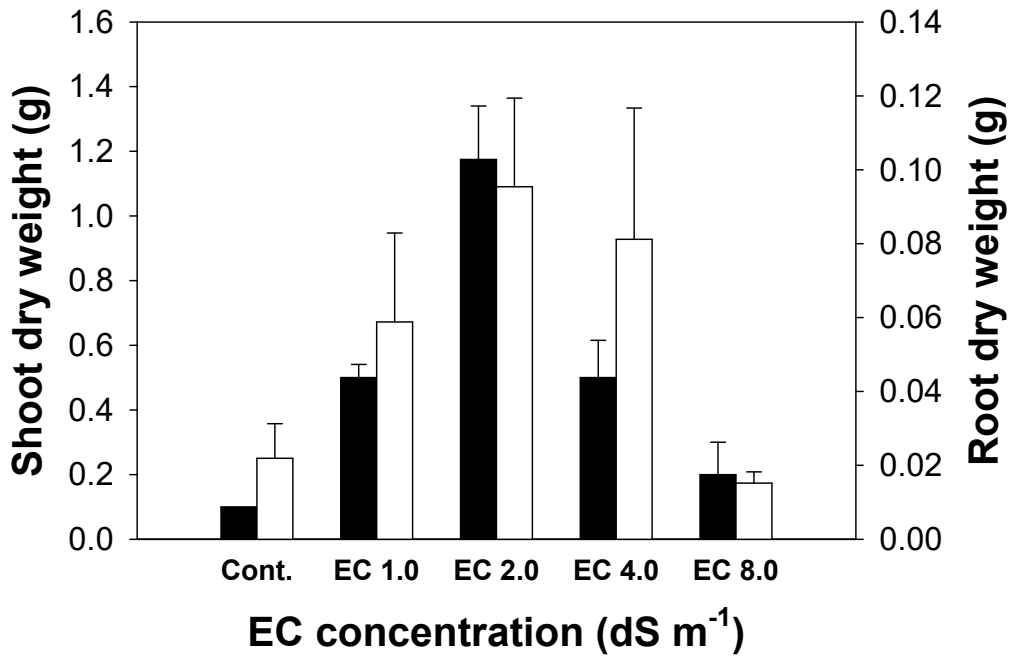
(7) 배초향의 생육 성장 분석



<그림 2-269> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 배초향의 초장, 근장, 엽장, 엽폭



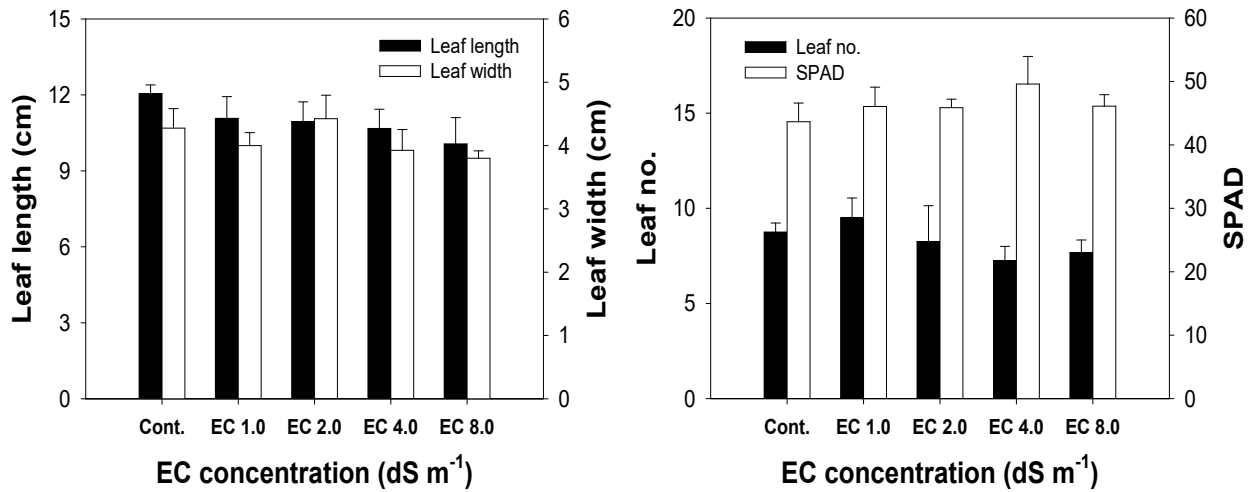
<그림 2-270> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 배초향의 엽수, SPAD, 지상부 생체중, 지하부 생체중



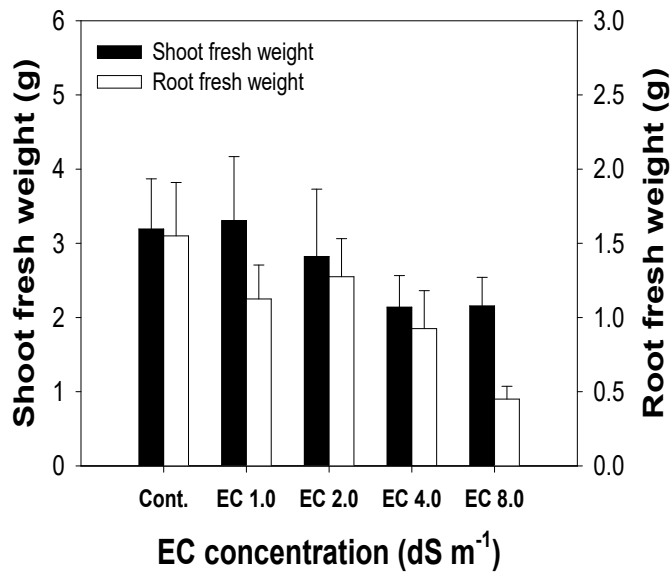
<그림 2-271> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 배초향의 지상부 및 지하부의 건물중

배초향은 꿀풀과 속근초로서 중부 이남 지역에서 대체로 자생한다. 종자번식이나 근경을 이용하여 번식하며 근경에서 나온 원줄기는 60-100cm 정도로 가지가 갈라지면서 네모지게 자람. 3월 중하순에 파종하여 7월 중하순에 1차 수확하고 10월말에 2차 수확이 가능한 자생식물이다. 생명공학연구원에서는 배초향에서 생산되는 기능성 물질인 Rosmarinic acid, tilianin, acacetin과 같은 flavonoid 계통의 물질이 항동맥경화, 항바이러스, 항염 등에 매우 효과가 있다고 보고하였으며, 정유 또는 휘발성 물질의 함량이 높은 특성에 맞게 건강 기능성 식품에 많이 첨가되고 있다. 배초향의 초장은 EC 2.0 dS m⁻¹처리에서 다른 처리구와 비교하여 월등히 높은 값을 보여으며, 근장과 엽장 엽폭 또한 EC 2.0 dS m⁻¹를 기준으로 정규분포 곡선을 그리고 있다. 엽수와 SPAD값, 지상부 생체중, 지하부 생체중 또는 건물중 모두에서 EC 2.0 dS m⁻¹를 기준으로 정규분포 형태의 생육차이를 보여주고 있고, 근권의 토양 염도에 매우 민감한 반응을 보이는 것으로 보이며, 지하수위 계측 및 토양 염도, 수분함량 등의 모니터링이 매우 중요하고 이들 변수값을 이용하여 관수시점을 결정하는 것이 매우 중요하다.

(8) 고들빼기



<그림 2-272> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 고들빼기의 엽장, 엽폭과 엽수 및 SPAD



<그림 2-273> 정식 4주 후 양액 EC에 따른 고들빼기의 지상부 및 지하부 생체중

고들빼기의 뿌리와 잎은 꽃이 필 때까지 남아 있는데 길이 2.5~5cm, 나비 14~17mm의 타원형으로서 잎자루는 없으며, 가장자리는 갈라져 빗살 모양이다. 앞면은 녹색이고 뒷면은 회청색인데 양쪽 면에 털은 없다. 줄기잎은 길이 2.3~6cm의 달걀꼴로서 밑부분이 넓어져 줄기를 감싸는데 가장자리에 이빨 모양의 불규칙한 톱니가 있으며 끝이 뾰족하고 위쪽으로 올라갈수록 작아진다. 5~9월에 두상화가 산방 꽃차례로 달려 피는데 꽃턱잎이 2~3개 있다. 양성화이며 꽃부리는 노란색이고 끝이 갈라지며 통 부분은 길이 1.5~2mm쯤 이고 잔털이 다소 있다. 6~7월에 편평한 원뿔 모양의 수과가 달려 검게 익는데 갓털은 흰색이다. 밑에서 여러 대가 나오는데 줄기는 곧게

서며 가지가 많이 갈라지고 적자색을 띠며 털이 없다. 식용·약용으로 이용되며 연한 잎과 뿌리를 나물로 먹고 김치를 담가 먹기도 한다. 약으로 쓸 때는 탕으로 하거나 생즙을 내어 사용하고 외상에는 짓이겨 붙이기도 한다. 주로 심장 질환과 열증을 다스리며, 피부 종독에도 효험이 있다고 알려져 있다. 각 EC 처리농도에 따른 고들빼기의 엽장, 엽폭, 엽수 및 SPAD값의 변화는 처리 농도에 따라서 큰 차이가 관찰되지 않았으나 지상부 생체중은 처리 EC 농도가 높아질수록 감소하는 경향이 뚜렷하였다. 대조구와 EC 1.0 dS m⁻¹ 처리구에서 가장 높았으며, 이후 감소하는 경향이였다. 뿌리의 생장 또는 지상부와 유사한 경향을 나타내었으며, EC 8.0 dS m⁻¹ 처리구에서는 매우 낮은 값을 나타내어, 고들빼기의 정상적인 생육을 위해서는 낮은 토양 염도로 꾸준히 관리해야 할 것으로 사료된다. 토양 염도, 함수량, 지하수위 관련 데이터를 모니터링하여 적절한 EC 수준을 설정하여 관수 설정 알고리즘을 설계하는 것이 중요하다.

(9) 씬바귀

씬바귀는 잎자루가 있는 뿌리잎은 뭉쳐나는데 길이 3~10cm, 나비 5~30mm의 거꾸로 된 뗏잎피침형으로서 밑 부분이 자루 모양으로 가늘고 끝이 뾰족하며 가장자리에 이빨 모양의 톱니가 있거나 깊이 패어 들어간 자리가 있다. 뿌리잎은 꽃이 필 때까지 남아 있다. 줄기잎은 2~3개인데 길이 4~9cm의 뗏잎피침형 또는 긴 타원 모양의 뗏잎피침형으로서 밑 부분이 원줄기를 감싸고 가장자리에 이빨 모양의 톱니가 있다. 5~7월에 지름 15mm 정도인 노란색의 두상화가 여러 개 산방 꽃차례로 줄기 끝과 가지 끝에 달려 핀다. 고채(苦菜), 유동(遊冬), 쓴나물, 쓴귀물, 씬배나물, 씬배나물, 싸랑부리, 씬바기 등 여러 별칭을 가지고 있다. 전체에 털이 없으며 줄기는 가늘며 위쪽에서 가지가 갈라진다. 잎이나 줄기를 자르면 쓴맛이 나는 흰 즙이 나오며 토끼에게 먹이면 병에 걸리지 않는다고 하며, 식용 또는 약용으로 이용된다. 씬바귀의 경우 재배실험을 하였으나, 생육 2주차부터 고사하는 개체가 발생하였고, 생육이 종료되는 4주 후에는 약 60% 가까운 작물이 고사하는 현상을 보여 결과 데이터로 나타낼 수 없었다.

3) 고찰

(1) 간척지 토양에 정식 4주간 다양한 근권 염농도 처리를 통한 작물 재배

각 작물의 EC 농도 처리별 생육 생장 결과를 살펴보면, EC 2.0처리 농도에서 생육이 가장 좋았고, EC 4.0과, EC 8.0으로 농도가 증가할 수록 생육의 전반적인 감소가 나타났다. 특히, EC농도가 증가함에 따라서 갯기름나물, 레몬밤, 적자소, 고들빼기는 생체중의 급격한 감소를 보인 반면, 감초, 청갯, 배초향, 홍화의 경우에는 EC 4.0과 EC 8.0농도에서도 비교적 완만한 감소를 보여 내염성을 보였다. 석문 지구의 간척지 토양을 이용한 이번 4주간의 재배 실험에서 각 작물의 내염 정도를 살펴보았으나, 한계 EC로는 지금까지 보고된 3.0~4.0 dS m⁻¹ 수준으로 예상 된다. 그러나, 실제 간척농지에서 토양 개량 및 관수시스템을 가정하고 재배하는 것을 가정하면 포트 재배 실험보다 더 좋은 조건이다. 즉 공급되는 급액의 EC가 매우 낮고, 토양의 제염

처리를 가정하면 근권의 토양조건과 작물의 재배환경은 포트 실험 조건보다는 양호해 질 것으로 사료된다. 따라서, 토양의 염도, 함수량, 지하수위 값을 모니터링 하게 되면 근권의 환경이 예측되고 이에 따른 금액관리를 설정하여 공급하면 정상에 가까운 작물재배 결과가 예상된다. 또한 수확 후 상품으로서의 가치(상품화율)를 평가해야 할 것이다. 크기, 모양, 맛을 기본으로 하는 관능 평가를 통해 종합적인 평가가 필요할 것으로 사료된다.

(2) 조사분석에 따른 원예작물 선정 기준

새만금 노지 대상의 원예작물 재배 생산량 및 비간척지 대비 수확량을 기준으로 상위 작물은 비트, 양상추 브로컬리, 썩갯으로 나타났다. 새만금 필름 하우스 대상의 원예작물 재배 생산량 및 비간척지 대비 수확량을 기준으로 상위 작물은 적겨자, 양상추, 청갯, 비트, 당근으로 나타났다.

(3) 작물 재배 실험을 통한 원예작물 선정 기준

내염성이 상대적으로 높은 작물로 감초, 청갯, 배초향, 홍화로 나타났으며, 내염성은 상대적으로 낮으나, 토양 EC가 2.0 수준에서 유지되는 조건에서는 적자소, 레몬밤, 갯기름나물도 재배가 가능할 것으로 판단된다.

(표 2-130) 작물 재배 실험을 통한 간척지 대상 원예작물 선정

번호	원예작물	
	일반원예작물	기능성원예작물
1	청갯	레몬밤
2	양상추	고들빼기
3	비트	갯기름나물
4	치커리	배초향
5	적겨자	적자소
6	순무	
7	적근대	
8	케일	
9	잎상추	
10	당근	

간척지 대상 원예작물은 다양한 관점에서 품목을 선정할 수 있지만, 재배면적의 확대, 생산량 증가에 따른 가격하락, 시장의 요구도, 수입의 대체성, 농가의 선호도 또는 재배경험과 같은 요소들이 종합적으로 고려되어야 한다. 따라서, 본 연구에서 제시된 원예작물로 제한을 두는 것 보다는 추천작물로 제시해야 할 것이다. 또한 건강기능성 식품에 최근 많이 이용되고 있는 약용작물 또는 자생식물의 도입을 적극 검토해야 하며, 인삼과 같은 기능성 약용작물의 경우 연작장해로 인하여 재배지를 변경하는 현상이 매우 일반적이기 때문에 이러한 연작장해 대체지로 간척지가 사용되어도 매우 의미있는 부분이라고 사료된다.

다. 간척지 토양을 이용한 약용작물 한계 EC 실험

1) 작물 선발 기준 설정

작물의 생육 환경 분석 및 생산성 연구 등을 통한 간척지 대상의 발작물 재배에 대한 경제성 분석, 내염성이 강하고 생육이 용이한 약용작물을 선정하였다. 수확물을 대상으로 기능성 성분을 분석하여 산업적 이용 가치를 비교 평가하고, 기능성 증대와 염분농도와의 관계 분석을 통한 고부가가치 작물 생산기술을 개발하기 위해 연구를 수행하였다.

(표 2-131) 약용작물 선정 리스트

약용작물	재배시기	내염성/재배지 특성	작물 특징과 효능
개똥쑥 (<i>Artemisia Linnè</i>)	3월 상순경 파종해 4월 중·하순경에 이식 9~10월 파종	내염성 중 (0.5~1.0 dS m ⁻¹) 생육가능, 전국재배 가능	약용으로도 쓰이지만 최근에는 관상용으로도 많이 사용됨. 일사병, 열사병, 심근염, 만성 기관지염, 폐기종 등에 사용한다.
만삼 (<i>Codonopsis pilosula</i>)	4월 말~5월 상순	내염성 중, 전국재배 가능	실생묘는 3년 후부터 채취하며 순은 2년째부터 수확할 수 있다. 5년 정도가 된 것이 수량이 높다. 폐를 튼튼하게 해주고 기력을 향상시키며 목감기, 기침, 가래 등 기관지 질환에 효과적이다.
방풍 (<i>Ledebouriella seseloides</i>)	3~4월경 종자 파종, 이식	내염성 중하, 전국재배 가능	잎은 쌈용이나 나물무침, 된장찌개 등의 반찬거리로 사용된다. 뿌리에는 해열·진통의 약리작용이 있어서 건조시켜 약재로 사용한다.
백지 (<i>Angelica dahurica</i>)	가을파종은 10월 하순~11월 상순, 봄 파종은 3월 하순경	내염성 중, 중부 이남	식용으로는 주로 카레의 원료로 사용된다. 약용으로는 소화불량·위염·간염·담낭 및 담도염·황달·경폐 등에 치료제로 쓰인다.
백하수오 (<i>Pleuropterus multiflorus</i>)	3월말~4월 초순경	내염성 중, 전국재배 가능	뿌리는 단맛이 나서 감미료, 한약재로 사용한다. 약리작용은 해독작용, 간염, 두드러기, 피부염, 습진 등에 효과가 있다.
결명자 (<i>Senna tora L. Roxb</i>)	4월 말부터 5월 상순	내염성 중, 중남부	결명자는 열매의 종자를 약간 볶아서 차를 끓여 먹고 약용에 사용한다. 변비, 간염, 고혈압, 복수, 부종, 눈충혈, 안질환, 결막염, 야맹증, 위염, 과음해독, 구내염 등을 치료한다.
황기 (<i>Astragalus membranaceus BUNGE</i>)	1년생: 4월상순~하 순	내염성 중, 충북강원 고지대	민간에서는 닭에다 이 약을 넣고 달여 먹으면 식은땀을 흘리지 않고 체력이 증강된다고 하여 쓰고 있다. 만성피로, 식욕상실, 빈혈, 상처회복, 발열, 알레르기, 자궁출혈 등을 치료한다.

약용작물	재배시기	내염성/ 재배지 특성	작물 특징과 효능
산수유 (<i>Cornus officinalis</i>)	2~3월	내염성 중, 전국재배 가능	얇은 매실담그기의 착색에 쓰이는 외에 해산물 조림, 김치(소금절이), 차조기술에 사용된다. 암과 노화를 지연시키고 면역기능 증진과 동맥경화를 방지하는 효과가 있다.
삼주 (<i>Atractylodes japonica</i> Koid)	8월중순~9 월하순	내염성 중, 전국재배 가능	정유함량이 높고, 플라보노이드 계통의 킬리안, 아카세틴 등의 물질이 높아 동맥경화에 효과가 좋다. 음식재료로 많이 이용하며, 동맥경화용 신약 소재로 이용 가능하다. 전국의 산야에 피어나는 것을 볼 수 있다.
도라지 (<i>Platycodon grandiflorus</i>)	봄재배 3~5월 파종, 가을재배 10~11월 파종 이나 싹이 트지 않도록 늦게 파종	내염성 중하, 중부이남	중부지방에서 자생하며 6-7월에 꽃이핀다. 줄기뿌리를 약재로 이용하며 만기페린(지모닌) 성분이 뿌리에 0.5%, 잎에 0.7% 존재하며, 발한, 진통, 이뇨에 쓰이고 전립선비대증에 효과가 좋다.
익모초 (<i>Leonurus japonicus</i>)	8월중순~하 순	내염성 중하, 전국재배 가능	여성의 생리통, 생리불순 뿐만 아니라 불임 개선이나 자궁 환경 개선에 도움을 준다. 혈액순환을 개선하여 혈압을 낮추는 효능이 있고, 눈의 충혈을 없애주어 눈을 밝게 해주는데도 도움이 된다.
작약 (<i>Paeonia lactiflora</i>)	9월 중하순	내염성 중하, 경상남도	작약은 한방에서 어혈을 풀어주는 약재로 많이 이용된다. 혈관건강에 뛰어난 효능이 있는 것으로 알려져 있다. 피가 멎쳐지는 혈전의 생성을 억제하고, 관상동맥의 확장을 통해 동맥경화, 심근경색 등의 심혈관질환들을 예방하는데 도움을 준다.
당귀 (<i>Angelica gigas</i>)	10월 하순~ 11월 중순 파종	내염성 중, 전국재배 가능	당귀는 참당귀의 뿌리 부분으로 한국과 중국, 일본 등에 분포하는 미나리과에 속한다. 여성 질병에 탁월한 효능을 가지고 있으며, 쿠마린 유도체인 데커신 성분이 들어 있어 뇌 안의 독성물질인 베타 아미로이드를 감소시키는 효과를 낸다.
홍화 (<i>Carthamus tinctorius</i>)	3월말~4월 초중순	내염성 중, 경남 지방	홍화씨에는 식물성 오일 중에서 가장 많은 리놀산을 함유하고 있다. 지방산 중 리놀산의 함량이 8.0%를 차지하고 있다. 리놀산은 지방을 분해하는 효능이 뛰어나서 다이어트에도 좋은 효과를 줄 수 있다. 또한, 칼슘이 풍부하게 함유되어 있어 뼈 건강을 유지시켜주고 강화시켜주는 효능이 뛰어나다
황금 (<i>Scutellaria baicalensis</i>)	가을파종: 11월 상순, 봄 파종: 4월 상중순	내염성 중, 전라남도	다량 함유된 폴리페놀 및 플라보노이드 등의 뛰어난 항산화 성분들이 혈관내 유해한 콜레스테롤 수치를 감소시키고, 혈전이 생성되는 것을 억제한다. 또한, 프로안토시아니딘 성분이 세포의 산화스트레스를 억제시켜 방광 내 염증을 완화하는 뛰어난 작용을 한다

2) 실험 재료 및 방법

(1) 작물 파종

종자는 15종 약용작물 (개똥쑥, 결명자, 만삼, 백지, 백하수오, 산수유, 삼주, 도라지, 식방풍, 익모초, 작약, 당귀, 홍화, 황금종자, 황기)을 구입(아람종묘)하였다. 원예용 상토 ‘하이’(부농)를 이용 하여 육묘 트레이(plug tray, 50홀)에 종자를 파종하였다. 유리 온실 내에서 온도 유지를 위하여 낮에는 햇빛이 잘 드는 장소에, 저녁에는 암막커튼 안에 보관하였다.



<그림 2-274> 육묘 트레이 파종

(2) 발아율 조사 실시

파종 후 30일간 일주일 간격으로 발아율 조사 실시하였다. 발아율 50% 이하인 약용작물을 대상으로 Incubator(Hanil Scientific CO.LTD.)에서 20℃로 온도 조절하여 재발아 후 트레이에 재파종 하였다.

(표 2-132) 파종 4주후 약용작물 15종 발아율

	파종 개수	발아 개수	발아율
개똥쑥	50	0	0%
결명자	50	20	40%
만삼	50	37	74%
백지	50	0	0%
백하수오	50	33	66%
산수유	50	0	0%
삼주	50	12	24%
도라지	50	29	58%
식방풍	50	22	44%
익모초	50	47	94%
작약	50	0	0%
당귀	50	1	2%
홍화	50	40	80%
황금종자	50	31	62%
황기	50	32	64%

재배 내염성 실험(NaCl처리)에는 개똥쭉, 백지, 산수유, 작약, 당귀를 제외한 10종 대상으로 수행하였다. 식방풍의 경우 타 작물에 비해 발아시기가 늦어 생육 안정화 후 내염성 실험에 추가 하였다.



<그림 2-275> 발아율 50% 이하 작물 재발아

(3) 간척지 및 일반 토양 채취

부속농장의 토양(일반토양용)과 석문(충청남도 당진시 석문면) 간척지 토양을 채취하고 풍건시켜 작물 재배 내염성(NaCl처리) 실험을 하였다.



<그림 2-276> 간척지 및 일반 토양 채취 및 건조

(4) 포트 이식

생육 안정화를 위해 파종 후 14일(days after sowing, DAS)에 트레이에서 원예용 상토가 담긴 중형포트(17×17×19 cm)로 이식하였다.



<그림 2-277> 약용작물 9종 이식 완료 상태

파종 후 30일 후 건조된 일반 토양 및 간척지 토양에 생육이 안정화된 약용작물 10종류의 (결명자, 도라지, 만삼, 백하수오, 삼주, 식방풍, 익모초, 홍화, 황금, 황기) 약용작물을 이식하였다.



<그림 2-278> 내염성 실험을 위한 간척지, 일반 토양 포트 이식

(5) 생육 단계

온습도계(Thermo Recorder TR-72Ui, T&D Japan)를 사용하여 약용작물 재배 중 생육 온도 및 습도를 측정하였다.



<그림 2-279> 생육 단계 중 온도, 습도 측정

이식 후 뿌리 활착 및 실험에 맞는 적정 생육 단계까지 생육하였다.



<그림 2-280> 내염성 실험 전 홍화 생육 단계

(6) 내염성 재배 실험

일본 원예처방액에 NaCl(20, 40g)을 첨가하여 약용작물 재배 중 EC값 (1.0, 2.0, 4.0, 8.0)에 의해 내염성을 조절하여 약용작물의 내염성 한계를 검토한다. 염처리 시 작물 생육조사(초장, 분지수, 줄기색, 엽수, 엽장, 엽폭, 엽병장 등)를 하였다.

3) 실험 결과

(표 2-133) 결명자 내염성 조사

파종 4주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	7.40	8.55±0.55	9.30±0.50	9.75±0.85	9.60±0.50	9.50±0.50
엽수 (개)	4.00	6.00±2.00	8.50±0.50	11.00±1.00	9.00±0.00	8.50±0.50
엽장 (cm)	2.80	2.05±0.05	2.20±0.20	1.85±0.05	1.60±0.00	1.75±0.35
엽폭 (cm)	0.80	0.60±0.00	0.80±0.10	0.70±0.10	1.00±0.10	1.20±0.00
파종 5주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	9.00	9.55±0.45	12.25±0.15	10.80±0.60	10.60±0.80	-
엽수 (개)	5.00	7.00±1.00	10.00±1.00	12.00±0.00	10.00±0.00	-
엽장 (cm)	3.20	3.10±0.10	2.85±0.05	2.50±0.10	1.95±0.15	-
엽폭 (cm)	1.10	1.10±0.00	1.40±0.20	1.05±0.05	1.65±0.05	-
파종 6주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	10.20±0.20	13.55±0.45	12.55±0.65	11.50±0.90	-
엽수 (개)	-	9.00±3.00	11.00±2.00	13.50±0.50	10.50±0.50	-
엽장 (cm)	-	3.90±0.10	3.45±0.15	3.35±0.35	2.90±0.20	-
엽폭 (cm)	-	2.15±0.05	2.25±0.15	2.20±0.00	2.20±0.10	-

결명자의 내염성 실험 결과 줄기색은 녹색이었고, 간척지 토양에서는 초기 생장이 좋지 않았고, 파종 6주 후 생육조사 시 전부 고사하였다. EC 8.0 처리구에서는 파종 5주 후 생육조사시 고사하였으며, 무처리, EC 1.0, 2.0, 4.0 처리구에서는 정상 생육을 보였다.

(표 2-134) 도라지 내염성 조사

파종 4주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	5.70±1.18	4.43±0.50	3.83±0.33	3.63±0.21	3.20±0.08
엽수 (개)	-	4.00±0.00	4.33±0.47	5.67±0.47	4.67±0.94	4.33±0.47
엽장 (cm)	-	3.17±0.29	2.73±0.54	1.83±0.05	1.70±0.29	1.73±0.26
엽폭 (cm)	-	1.27±0.25	1.50±0.22	0.90±0.16	0.90±0.22	0.87±0.12
파종 5주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	6.33±1.00	4.93±0.79	4.43±0.54	4.13±0.40	3.80±0.22
엽수 (개)	-	4.67±0.47	5.00±0.82	6.00±0.82	5.67±1.25	4.33±0.47
엽장 (cm)	-	3.43±0.31	3.90±1.02	2.63±0.37	2.87±0.21	2.23±0.17
엽폭 (cm)	-	1.77±0.26	1.83±0.21	1.33±0.17	1.50±0.22	1.57±0.17
파종 6주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	6.60±0.86	5.43±0.98	5.00±0.36	4.60±0.65	4.10±0.29
엽수 (개)	-	5.33±0.47	5.33±0.94	6.67±1.25	6.00±0.82	4.67±0.47
엽장 (cm)	-	3.73±0.37	4.33±0.98	2.93±0.12	3.10±0.37	2.60±0.22
엽폭 (cm)	-	2.43±0.17	2.60±0.59	1.63±0.09	2.00±0.08	2.07±0.21

도라지의 내염성 실험 결과 줄기색은 녹색이었고, 간척지 토양에서는 초기부터 고사하여 생육이 이루어지지 않았다. 무처리, EC 1.0, 2.0, 4.0 8.0 처리구에서는 정상 생육을 보였지만 EC 농도가 높은 구간에서는 초장, 엽장, 등이 비교적 작았다.

(표 2-135) 만삼 내염성 조사

파종 4주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	3.00	4.13±0.86	4.70±0.50	3.80±0.59	5.63±1.45	4.10±0.78
엽수 (개)	8.00	11.67±3.30	8.33±1.25	10.00±4.97	9.67±2.05	6.67±0.47
엽장 (cm)	1.10	1.57±0.33	1.33±0.12	1.13±0.31	1.53±0.38	1.70±0.14
엽폭 (cm)	0.50	1.57±0.17	1.60±0.08	1.23±0.33	1.60±0.43	1.60±0.16
파종 5주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	4.97±0.78	5.77±0.62	4.30±0.43	6.90±1.96	4.63±0.95
엽수 (개)	-	12.00±2.83	9.00±0.82	12.00±3.56	11.00±2.16	6.67±0.47
엽장 (cm)	-	2.43±0.63	2.27±0.09	2.43±0.24	2.47±0.42	2.73±0.05
엽폭 (cm)	-	1.97±0.12	1.97±0.12	1.97±0.17	2.00±0.20	2.20±0.28
파종 6주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	5.53±0.66	6.27±0.62	4.83±0.52	7.73±1.60	5.43±0.82
엽수 (개)	-	12.67±3.40	9.67±0.47	12.33±3.30	11.33±1.89	7.33±0.47
엽장 (cm)	-	3.20±0.75	3.43±0.12	3.47±0.09	3.83±0.12	3.63±0.21
엽폭 (cm)	-	2.37±0.05	2.53±0.09	2.40±0.16	2.80±0.00	2.50±0.37

만삼의 내염성 실험 결과 줄기색은 적색이었고, 간척지 토양에서는 초기 생장이 좋지 않았고, 파종 5주 후 생육조사 시 전부 고사하였다. 무처리, EC 1.0, 2.0, 4.0 8.0 처리구에서는 정상 생육을 보였고, 무처리, EC 2.0, 4.0 시험구에서 생육이 좋았다.

(표 2-136) 백하수오 내염성 조사

파종 4주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	5.00	10.57±0.74	6.57±0.61	6.80±1.26	13.63±1.99	10.40
엽수 (개)	5.00	6.00±0.82	4.67±0.47	6.33±0.47	6.00±1.63	7.00
엽장 (cm)	3.30	3.50±0.22	2.80±0.59	2.87±0.33	2.63±0.21	2.90
엽폭 (cm)	1.80	1.73±0.09	1.87±0.17	1.77±0.05	13.53±17.30	1.40
파종 5주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	6.40	11.80±1.61	7.33±0.25	7.40±1.34	14.20±1.64	10.90
엽수 (개)	5.00	6.67±0.47	4.67±0.47	7.00±0.82	7.33±0.94	7.00
엽장 (cm)	4.00	4.37±0.21	3.40±0.64	3.53±0.25	3.47±0.25	3.30
엽폭 (cm)	2.10	2.43±0.48	2.33±0.26	2.17±0.12	1.80±0.57	1.80
파종 6주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	7.80	14.03±2.00	8.43±0.25	9.40±1.31	16.90±1.76	-
엽수 (개)	5.00	7.33±0.47	5.00±0.82	7.67±0.47	8.00±0.00	-
엽장 (cm)	4.30	4.90±0.16	3.57±0.62	3.90±0.16	3.90±0.28	-
엽폭 (cm)	2.20	4.10±0.22	2.67±0.25	2.70±0.22	2.33±0.48	-

백하수오의 내염성 실험 결과 줄기색은 녹색이었고, 간척지 토양 및 EC 8.0 처리구에서는 초기 생장이 좋지 않았고 (3개체 중 1개체 생존), EC 8.0 처리구는 파종 6주 후 생육조사시 전부 고사하였다. 무처리, EC 1.0, 2.0, 4.0 8.0 처리구에서는 정상 생육을 보였다.

(표 2-137) 삼주 내염성 조사

파종 4주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	4.00	10.70±0.50	10.00±0.00	10.25±2.15	6.70±0.10	6.45±0.25
엽수 (개)	4.00	4.00±0.00	7.00±1.00	4.00±0.00	4.00±0.00	4.50±0.50
엽장 (cm)	3.00	6.10±0.60	8.05±1.05	5.35±0.05	4.65±0.25	3.30±0.00
엽폭 (cm)	1.00	4.20±0.20	4.30±0.40	3.30±0.30	3.25±0.15	2.25±0.15
파종 5주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	4.70	12.25±0.75	10.85±0.05	11.25±2.75	8.20±0.60	7.15±0.65
엽수 (개)	4.00	5.00±0.00	8.00±2.00	4.50±0.50	4.00±0.00	4.50±0.50
엽장 (cm)	3.40	6.90±1.10	8.40±1.00	5.85±0.15	4.95±0.05	4.05±0.15
엽폭 (cm)	1.20	4.80±0.50	4.70±0.50	3.80±0.50	3.65±0.35	2.65±0.35
파종 6주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	4.70	12.25±0.75	10.85±0.05	11.25±2.75	8.20±0.60	7.15±0.65
엽수 (개)	4.00	6.50±0.50	9.50±2.50	5.50±0.50	4.00±0.00	5.00±1.00
엽장 (cm)	3.40	7.30±1.10	8.85±1.05	6.35±0.15	5.45±0.05	5.10±0.40
엽폭 (cm)	1.80	5.20±0.90	4.90±0.50	4.15±0.55	4.05±0.25	3.10±0.20

삼주의 내염성 실험 결과 줄기색은 녹색이었고, 간척지 토양 처리구에서는 초기 생장이 좋지 않았지만 (3개체 중 1개체 생존), 다른 작물과 달리 간척지 토양에서 고사하지 않았으며. 무처리, EC 1.0, 2.0, 4.0 8.0 처리구에서는 정상 생육을 보였다.

(표 2-138) 식방풍 내염성 조사

파종 4주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	2.47±0.62	3.03±0.92	1.53±0.09	1.60±0.16	1.60±0.28
엽수 (개)	-	3.00±0.82	3.00±0.82	2.67±0.94	3.33±0.94	2.67±0.94
엽장 (cm)	-	1.47±0.25	0.83±0.12	1.07±0.05	0.60±0.14	0.67±0.17
엽폭 (cm)	-	0.43±0.12	0.33±0.05	0.33±0.05	0.27±0.05	0.40±0.08
파종 5주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	3.13±0.87	3.40±0.91	2.43±0.40	2.40±0.42	2.10±0.36
엽수 (개)	-	3.00±0.82	3.67±0.47	3.33±0.94	4.00±0.00	3.33±0.94
엽장 (cm)	-	1.67±0.31	1.07±0.12	1.37±0.12	0.87±0.21	0.90±0.22
엽폭 (cm)	-	0.73±0.17	0.57±0.12	0.57±0.05	0.40±0.00	0.60±0.08
파종 6주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	3.80±1.15	4.03±1.00	2.97±0.25	2.93±0.34	3.53±0.46
엽수 (개)	-	3.33±0.94	3.67±0.47	3.33±0.94	4.00±0.00	4.33±0.47
엽장 (cm)	-	2.10±0.24	1.63±0.12	1.60±0.33	1.40±0.16	1.50±0.24
엽폭 (cm)	-	0.93±0.17	0.60±0.08	0.67±0.05	0.50±0.14	0.70±0.14

식방풍의 내염성 실험 결과 줄기색은 적색이었고, 간척지 토양 처리구에서는 초기부터 고사하였고, 무처리, EC 1.0, 2.0, 4.0 8.0 처리구에서는 정상 생육을 보였다.

(표 2-139) 익모초 내염성 조사

파종 4주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	3.70	8.50±0.29	9.83±0.52	10.60±0.14	9.23±1.84	8.57±1.68
엽수 (개)	4.00	7.67±2.36	7.67±0.94	9.00±2.16	11.67±0.47	7.33±0.94
엽장 (cm)	4.40	6.20±0.14	5.73±0.26	5.20±0.22	5.70±0.22	5.20±0.71
엽폭 (cm)	3.90	4.03±0.05	4.77±0.63	3.63±0.21	4.40±0.67	3.20±0.50
파종 5주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	4.40	10.10±0.90	10.50±0.41	12.30±0.64	11.10±2.24	9.97±1.89
엽수 (개)	4.00	9.67±2.36	8.33±0.94	9.67±1.70	12.33±1.25	7.33±0.94
엽장 (cm)	5.00	6.63±0.05	6.30±0.29	6.00±0.14	6.43±0.42	5.67±0.62
엽폭 (cm)	4.10	4.33±0.05	5.37±0.90	4.07±0.24	5.17±0.85	3.83±0.56
파종 6주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	6.00	11.40±1.23	11.83±0.99	14.73±1.09	12.63±3.03	10.40±2.14
엽수 (개)	4.00	10.33±2.05	8.33±0.94	9.67±1.70	12.33±1.25	8.00±1.63
엽장 (cm)	5.40	7.23±0.12	7.40±0.75	6.83±0.12	7.50±0.62	6.47±0.62
엽폭 (cm)	4.60	5.30±0.14	5.93±0.88	4.70±0.28	5.57±0.91	4.53±0.33

익모초의 내염성 실험 결과 줄기색은 녹색이었고, 간척지 토양 처리구에서는 초기 생장이 좋지 않았지만 (3개체 중 1개체 생존) 이후에는 정상 생장을 하였고, 무처리, EC 1.0, 2.0, 4.0 8.0 처리구에서는 정상 생육을 보였다.

(표 2-140) 홍화 내염성 조사

파종 4주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	10.00	12.30±1.34	12.00±0.90	12.90±0.90	12.27±0.91	11.90±2.30
엽수 (개)	6.00	11.33±0.94	9.67±0.47	10.67±1.70	8.33±0.47	7.67±1.70
엽장 (cm)	6.40	7.97±0.12	6.13±1.32	9.13±0.76	6.43±1.38	6.40±2.06
엽폭 (cm)	4.40	2.77±0.21	2.03±0.48	2.37±0.45	2.00±0.75	2.33±0.77
파종 5주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	11.70	13.80±0.93	13.53±1.16	13.70±1.07	13.07±1.20	13.47±2.44
엽수 (개)	6.00	11.67±1.25	10.33±1.25	11.33±1.70	9.33±0.47	8.67±0.94
엽장 (cm)	7.40	8.83±0.21	7.13±1.28	9.87±1.15	8.10±0.83	8.57±1.52
엽폭 (cm)	5.20	4.93±0.12	4.30±0.36	4.30±0.28	4.40±0.51	3.87±0.40
파종 6주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	12.60	15.53±0.86	15.13±1.27	14.73±0.93	15.07±0.84	15.60±2.20
엽수 (개)	7.00	12.33±0.47	11.00±0.82	11.67±1.25	9.67±0.47	9.00±1.00
엽장 (cm)	8.40	9.33±0.25	7.83±1.03	11.47±1.55	9.77±0.61	10.60±0.40
엽폭 (cm)	5.60	5.47±0.24	5.27±0.34	4.77±0.12	5.27±0.41	4.90±0.10

홍화의 내염성 실험 결과 줄기색은 녹색이었고, 간척지 토양 처리구에서는 초기 생장이 좋지 않았지만 (3개체 중 1개체 생존) 이후에는 정상 성장을 하였고, 무처리, EC 1.0, 2.0, 4.0 8.0 처리구에서는 정상 생육을 보였다.

(표 2-141) 황금 내염성 조사

파종 4주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	1.53±0.74	1.63±1.07	2.93±0.82	2.60±0.37	1.90±0.29
엽수 (개)	-	6.67±2.62	7.67±0.94	7.33±0.94	6.33±1.70	11.33±2.49
엽장 (cm)	-	1.23±0.58	1.27±0.25	1.73±0.95	0.87±0.33	1.03±0.12
엽폭 (cm)	-	0.33±0.12	0.43±0.05	0.47±0.12	0.47±0.24	2.80±3.47
파종 5주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	3.37±0.21	2.60±0.99	4.17±0.69	3.93±0.25	-
엽수 (개)	-	8.67±0.47	9.33±1.70	8.67±1.89	7.67±0.47	-
엽장 (cm)	-	1.57±0.54	1.80±0.24	2.17±0.77	1.33±0.42	-
엽폭 (cm)	-	0.50±0.08	0.73±0.09	0.83±0.09	1.07±0.29	-
파종 6주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	3.63±0.25	3.40±0.91	4.80±0.57	4.83±0.49	-
엽수 (개)	-	8.67±0.47	9.67±1.25	9.67±1.25	8.33±1.25	-
엽장 (cm)	-	1.93±0.53	2.43±0.25	2.97±0.37	2.27±0.34	-
엽폭 (cm)	-	0.77±0.12	1.10±0.08	1.07±0.17	1.23±0.25	-

황금의 내염성 실험 결과 줄기색은 적녹색이었고, 간척지 토양 및 EC 8.0 처리구에서는 초기 생장이 좋지 않아 전부 고사하였고, 무처리, EC 1.0, 2.0, 4.0 처리구에서는 정상 생육을 보였다.

(표 2-142) 황기 내염성 조사

파종 4주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	5.55±2.45	6.50±1.50	3.75±1.55	6.05±2.05	6.25±0.95
엽수 (개)	-	22.00±3.00	11.50±3.50	10.00±1.00	16.50±2.50	15.00±0.00
엽장 (cm)	-	1.15±0.15	1.35±0.45	1.25±0.05	0.90±0.10	1.55±0.15
엽폭 (cm)	-	0.95±0.15	1.20±0.20	0.95±0.25	0.75±0.05	1.50±0.10
파종 5주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	7.90±3.90	9.70±2.30	4.40±1.60	6.75±1.55	6.65±0.85
엽수 (개)	-	22.00±3.00	11.50±3.50	10.00±1.00	16.50±2.50	15.00±0.00
엽장 (cm)	-	1.85±0.15	1.70±0.60	2.20±0.00	1.85±0.05	2.35±0.15
엽폭 (cm)	-	1.30±0.10	1.80±0.00	1.65±0.25	1.50±0.00	2.05±0.05
파종 6주 후						
토양 EC 생육 항목	간척지 토양	무처리	EC 1,0	EC 2.0	EC 4.0	EC 8.0
초장 (cm)	-	10.20±3.20	11.80±1.60	6.15±0.55	8.50±1.10	7.50±0.70
엽수 (개)	-	23.50±1.50	13.50±1.50	12.00±1.00	18.00±2.00	16.50±0.50
엽장 (cm)	-	2.60±0.20	2.75±0.15	2.50±0.10	2.50±0.00	3.00±0.10
엽폭 (cm)	-	1.50±0.10	2.05±0.05	1.95±0.35	1.95±0.15	1.95±0.15

황기의 내염성 실험 결과 줄기색은 적녹색이었고, 간척지 토양에서는 초기부터 생장이 좋지 않아 전부 고사하였고, 무처리, EC 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 처리구에서는 정상 생육을 보였다.

이상 상기 10종의 약용작물 토양 내염성 실험 결과를 바탕으로, 삼주, 익모초, 홍화, 황기 등이 다른 작물에 비해 내염성이 강한 것으로 사료되어, 차년도 간척지 작물 재배에 이용될 수 있을 것으로 생각되며, 향후 기능성 분석 및 시장성 등을 통한 고찰이 필요하다.

2.3.2. 간척지 재배 작물 선정을 위한 실증 재배 연구

가. 연구 기간 및 시험포 위치

1) 연구 기간

- 2차년도: 2018년 4월 ~ 2018년 10월
- 3차년도: 2019년 4월 ~ 2019년 10월
- 4차년도: 2020년 4월 ~ 2020년 12월

2) 실험 장소

- 새만금: 전라북도 김제시 광활면 창제리
- 석문: 충청남도 당진시 석문면 통정리
- 화옹: 경기도 화성시 우정읍 운평리

나. 실험 재료 및 방법

1) 작물 선정

간척지 실증 재배 연구를 위해 문헌조사 및 한계 EC 실험 바탕으로 매차년도 총 10종에서 7종의 작물을 선정하여 실험에 이용하였다. 4차년 가을에는 이모작 작물로 마늘과 양파를 정식하였으며, 2차년~4차년 간척지 재배 작물은 아래와 같다.

(표 2-143) 각 차년도 재배 작물 목록






2차년도	3차년도	4차년도
감초	감초 (2차)	도라지 (3차)
강황	강황 (2차)	레몬밤 (2차)
당근	도라지(2차)	배초향 (3차)
배초향	레몬밤	식방풍
비트	배초향 (2차)	적겨자 (2차)
상추	비트 (2차)	참깨 (2차)
적겨자	울무	홍화 (3차)
적근데	참깨	마늘(이모작)
치커리	향부자	양파(이모작)
케일	홍화(2차)	
도라지(화옹-가을)		
홍화(화옹-가을)		





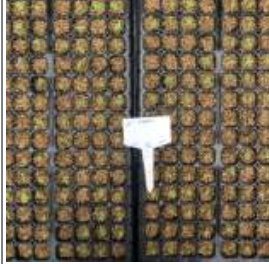









2) 육묘 및 정식 작물 준비

매차년도 실험 대상 작물들을 간척지 토양에서 재배 후 생육조사를 실시하기 위해 시판되는 종자를 구매하여 종자 파종을 실시하였으며 균일묘 상태로 3곳 간척 농지에 동일하게 정식하기 위하여 아산쌀담 육묘장에서 작물에 따라 생육 속도에 맞춰 4주~6주간 육묘하였다. 작물들 대부분의 정식시기가 4월~5월초로 예정되었기에 주로 파종은 3월말에서 4월초에 진행되었으며 참깨의 경우 정식시기가 6월 중순이기 때문에 4월말에 정식하였다. 2년차의 경우 우천으로 인하여 정식을 제때하지 못해 2차 파종을 실시하였으며, 3차년에는 세차례에 걸쳐 나누어 파종 및 정식하였다. 홍화의 경우 3월 13일, 3월 15일, 3월 18일에 파종하여 새만금지구와 화옹지구, 그리고 석문지구에 4월 5일, 4월 9일, 4월 11일에 각각 정식하였다. 그리고 배초향, 레몬밤, 도라지는 3월 13일, 3월 15일, 3월 18일에 파종하여 새만금지구와 화옹지구, 그리고 석문지구에 4월 19일, 4월 23일, 4월 30일에 정식하였다. 본래 석문지구의 정식 날짜는 4월 25일이었으나 갑작스런 우천으로 인하여 2일 앞당겨 정식하였다. 울무와 참깨는 4월 23일, 25일, 30일에 파종하여 5월 21일, 5월 28일, 5월 30일에 석문지구, 새만금지구, 화옹지구의 순으로 정식하였다. 또한 다년생 작물이기 때문에 종자로 육묘할 수 없던 약용작물인 강황과 감초, 향부자를 선정하여 재배농가로부터 알뿌리 및 1년생 묘를 공급 받아 정식하였다. 4차년도의 경우 2차년도와 3차년도에 이상 기후 및 지역에 따라 생육이 매우 상이했던 작물들을 위주로 재차 정식을 실시하였으며, 새만금, 석문, 화옹 순서대로 2일~3일 차이를 두어 파종을 실시하였다. 적겨자, 식방풍, 레몬밤, 도라지, 배초향, 홍화는 새만금 3월 30일, 석문 4월2일, 화옹 4월7일 파종하였으며, 참깨는 4월 20일에 파종을 실시하였다. 화옹지구는 2차년도 정식시기가 9월로 예정되었어, 감초와 강황을 구할 수 없어 차후년 재배 실험 예정 작물이었던 홍화와 도라지로 대체하여 정식하였다.

(표 2-144) 작물별 육묘 진행 상황

작물명	1주경과	2주경과	3주경과
상추			
비트			

작물명	1주경과	2주경과	3주경과
당근			
적겨자			
치커리			
케일			
배초향			
적근대			

작물명	1주경과	2주경과	3주경과
홍화			
도라지			
참깨			
울무			
레몬밤			



<그림 2-281> 향부자 구근(좌)과 식방풍 묘(우)의 사진

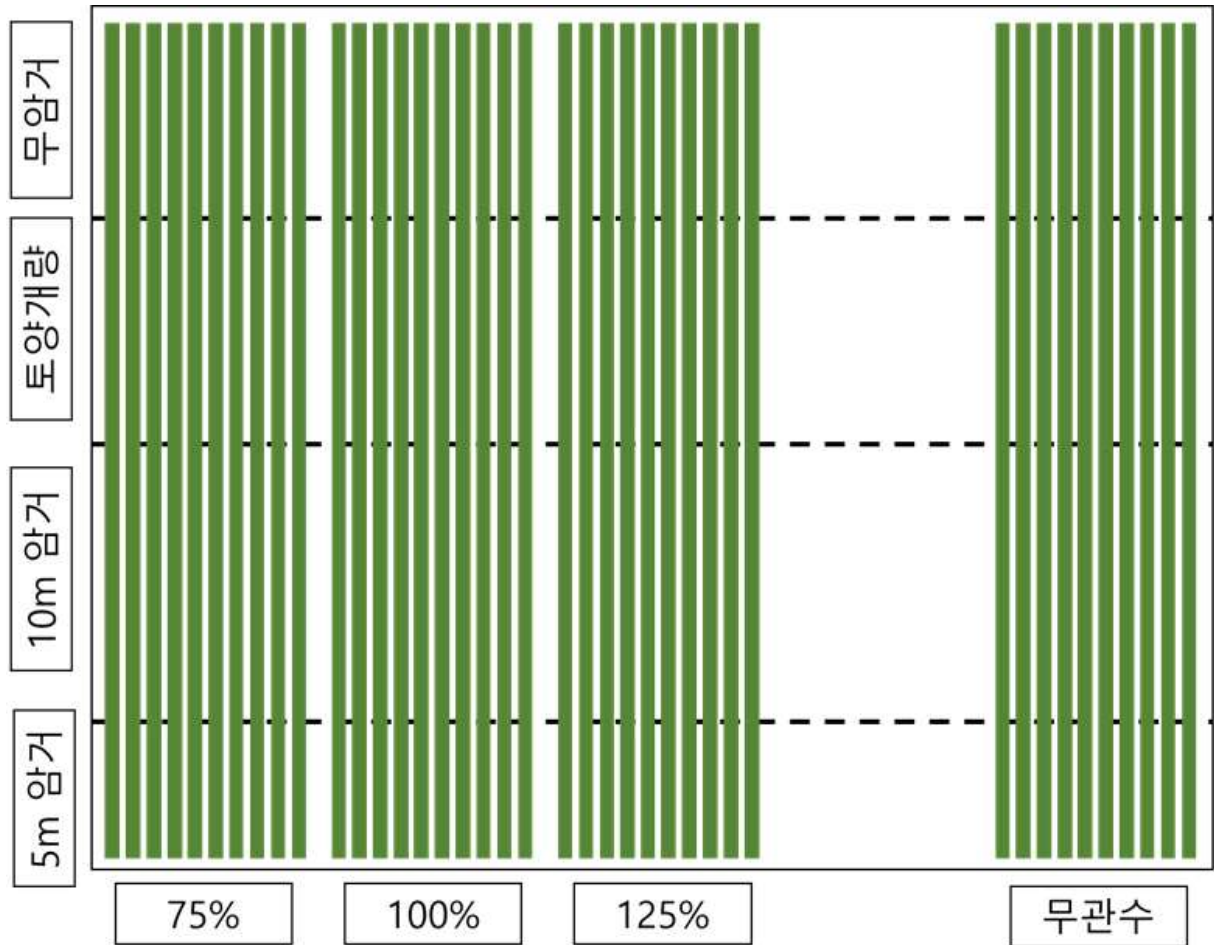


<그림 2-282> 강황(좌)과 감초(우)의 사진

강황과 감초, 향부자의 경우에는 다년생 작물이기 때문에 종자번식이 아닌 근경 번식을 보통의 재배방식으로 사용하고 있다. 고로 재배 농가로부터 알뿌리를 공급 받아 정식하였다. 식방풍의 경우 일반 작물 육묘 방식으로 균일묘를 재배하는데 어려움이 있어 식방풍 전문 육묘장을 통해 구매하여 정식하였다.

3) 시험포 구성

간척농지 암거배수 설치와 관련하여 새만금과 석문, 화옹지구에서 토양굴착식 암거배수 공법을 이용하여 5m와 10m, 10m+토양개량제 처리, 무처리 라는 3개의 조건과 관수 4개의 조건으로 나누어 총 16개의 처리구로 실험하였다. 정식간격은 30cm, 1개의 이랑에 2줄씩 정식을 원칙으로 하였으며 4차년도 홍화, 배초향, 참깨의 경우 밀식 재배를 위하여 넓은 이랑을 만들어 1개의 이랑에 4줄씩 정식하였다. 관수방식에 따른 차이를 관찰하고자 관수량에 따라서 100%를 기준으로 90%와 110%로 구역을 나누었으며, 90%(관수1구역), 100%(관수2구역), 110%(관수3구역), 각 구역당 텐시오 미터를 설치하여 토양수분장력이 50kPa, 40kPa, 30kPa을 나타낼 때 관수하는 방식으로 진행하였으며 4구역은 무관수 처리구로 자연 강우에 의한 생육을 관측하였다.



<그림 2-283> 간척지 재배 필드 모델

4) 작물 정식 전 시험포 정비

(1) 비료 살포

비료는 N-P-K의 비가 12-3-5며, 유기물 75%를 함유한 복합유기질비료인 DOF 다이아몬드 비료 총 15kg 20포대를 시비하였다. 한 작물이 아닌 최대 10가지의 작물의 조건을 충족시킬 수 없었으므로, 최소 요구도를 맞추는 방식으로 진행하였다.

(2) 시험포 구성 작업

시험포 구성은 간척지에 따라 1차년도에서 2차년도 사이 암거시공이 된 시험포에 대해 4월 초에서 4월 중순사이 지역에 따라 기상 상태에 맞춰 작업을 진행하였다. 비료 살포 후 로터리 작업, 두둑 조성 및 토양 개량체 처리 추가로 지역에 따라 명거 배수로 공사, 마지막으로 점적관 및 멀칭 작업을 하였다.



<그림 2-284> 새만금 지구 시험포 구성 작업(로터리 작업 및 두둑 조성)



<그림 2-285> 석문 지구 시험포 구성 작업(로터리 작업 및 두둑 조성)



<그림 2-286> 토양개량처리 및 두둑공사 모습(3년차 ~ 4년차)



<그림 2-287> 비료살포 및 토양개량제 처리 현장



<그림 2-288> 석문 간척지 명거배수로 공사



<그림 2-289> 6월 4일 점적관 설치 및 멀칭

두둑 조성 후, 정식예정 이랑에 점적관을 두 줄씩 설치한 후 멀칭작업을 진행하였다. 구멍이 없는 0.02mm×130cm×500m 멀칭비닐을 사용하였으며, 정식간격인 30cm 간격으로 비공을 뚫어주는 작업을 시행한 후 정식하였다.

(3) 예초 작업



<그림 2-290> 석문지구의 예초 전과 예초 후 모습

간척농지의 경우 여름 동안 많은 양의 비와, 햇빛으로 인하여 잡초들의 생육이 왕성했다. 이에 따라 그 결과 표면 지하수위 측정이 어려웠으며, 각 간척지 시험포 여건에 따라 월 1회~4회 예초작업을 진행하였다. 기계로 예초하지 못하는 멀칭 위에 난 잡초들, 혹은 두둑 사이에 성장한 잡초들을 제거하기 위해선 인력을 고용하여 작업을 진행하였다.

(4) 작물 정식 전 준비 작업



<그림 2-291> 정식과정

정식 전날 묘를 받아 묘를 위치별로 미리 분류하고 새만금, 석문, 화옹 순서로 3-4일 차이를 두고 정식을 진행하였다.



<그림 2-292> 작물이 보식된 모습. 석문지구(좌, 중간)과 새만금지구(우)

2차년도의 경우 7월~8월 이상폭염이 계속되면서 작물의 정상적인 생육이 불가하였고, 정식했던 작물 수의 절반이상이 고사하는 경향을 보였다. 고로 보식의 필요성을 느껴 9월 28일, 10월 1일 석문지구와 새만금지구는 생존하지 못한 묘의 자리에만 보식하였다. 화옹지구에서는 배초향과 도라지의 경우 묘가 지나치게 작아 이식이 불가하였으므로, 다시 육묘과정을 거친 뒤, 2주 뒤인 10월 2일 그 2가지 묘를 추가로 정식하였다.

5) 작물 조사 기준

- 작물재배 생육조사 분석 정립

정식한 후 4~6주가 지난 뒤에 생육조사를 실시하였다. 생육조사의 방법은 각 처리구당 5개체씩 엽채류의 경우 엽장, 엽폭, SPAD(엽록소), 지상부 생체중, 외관품질등을 조사하였으며, 작물에 따라 강황의 경우는 엽수, 지상부 생체중, 구근개수, 구근 무게, 외관품질평가, 감초 당근, 비트 같은 뿌리작물의 경우는 엽수, 지상부 생체중, 근장, 근중, 외관품질평가로 이루어졌다. 그 외 울무, 참깨, 배초향 등의 작물은 초장, 엽수, 생체중, SPAD, 외관품질 등을 조사하였다. 엽장은 가장 큰 엽의 길이를 말하며 엽폭은 가장 큰 엽의 폭을 말한다. SPAD는 간이 엽록소 측정값을 말하며, 지상부 생체중은 지상부 절단 후의 무게 값을 의미한다. 근장은 지하 뿌리의 길이, 근중은 지하 뿌리의 무게를 말하며 외관품질평가는 생육인자를 조사하고 종합적인 품질을 평가하고자 다음과 같은 기준을 설정하여 품질지수(Quality Index)로 설정 평가하였다. 점수와 평가항목은 아래와 같다.

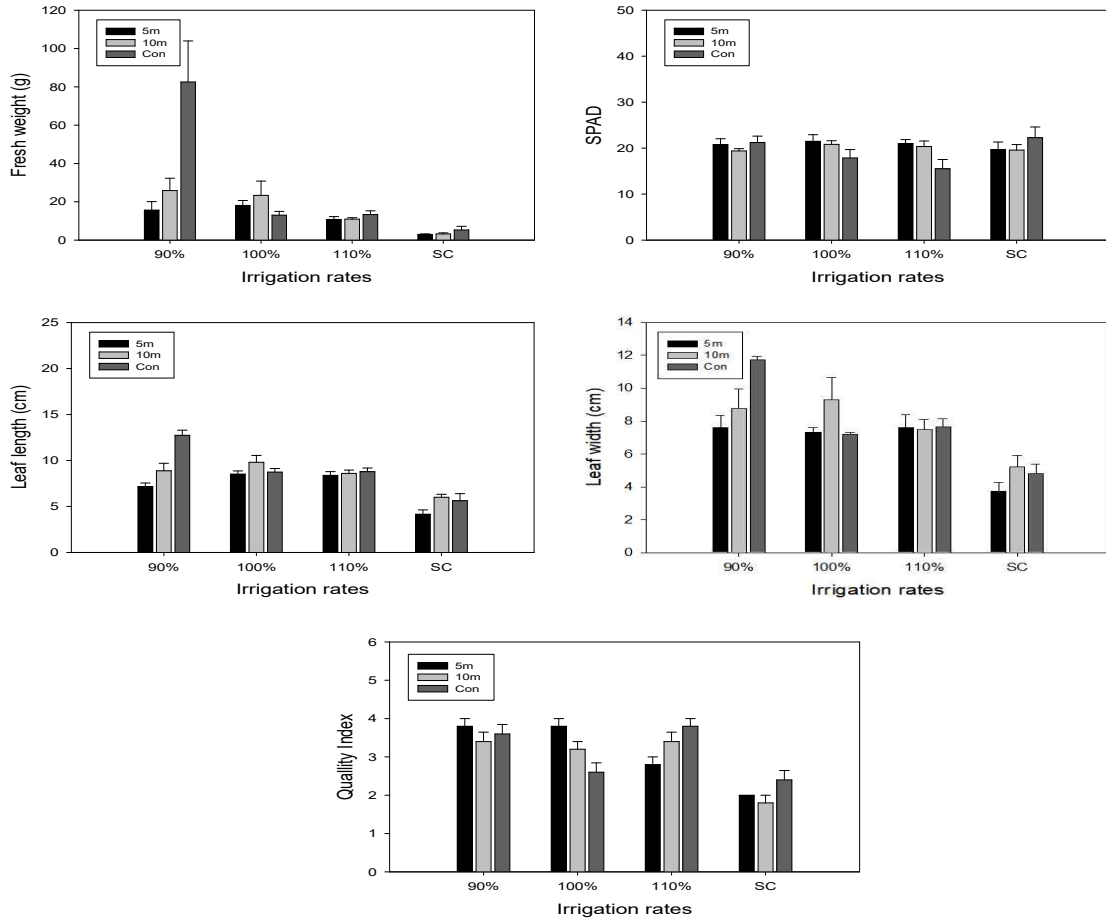
(표 2-145) 작물의 품질지수(Quality Index)의 평가항목

점수	평가항목
5점	상품으로 가장 좋은 외관 품질(색깔과 모양)
4점	상품으로써 약간의 흠집이 있으나 판매 가능함(색깔과 모양)
3점	상품으로써 상당함 흠집이 있어서 판매 불가능한 시작점(색깔과 모양)
2점	판매 불가능 하며, 엽 끝이 타들어가는 증상이 상당히 나타날 때(색깔과 모양)
1점	판매 불가능 하며, 작물의 외관이 매우 불량한 상태(색깔과 모양)

다. 2차년도 간척농지 재배 실험 결과

1) 새만금지구 생육조사 결과

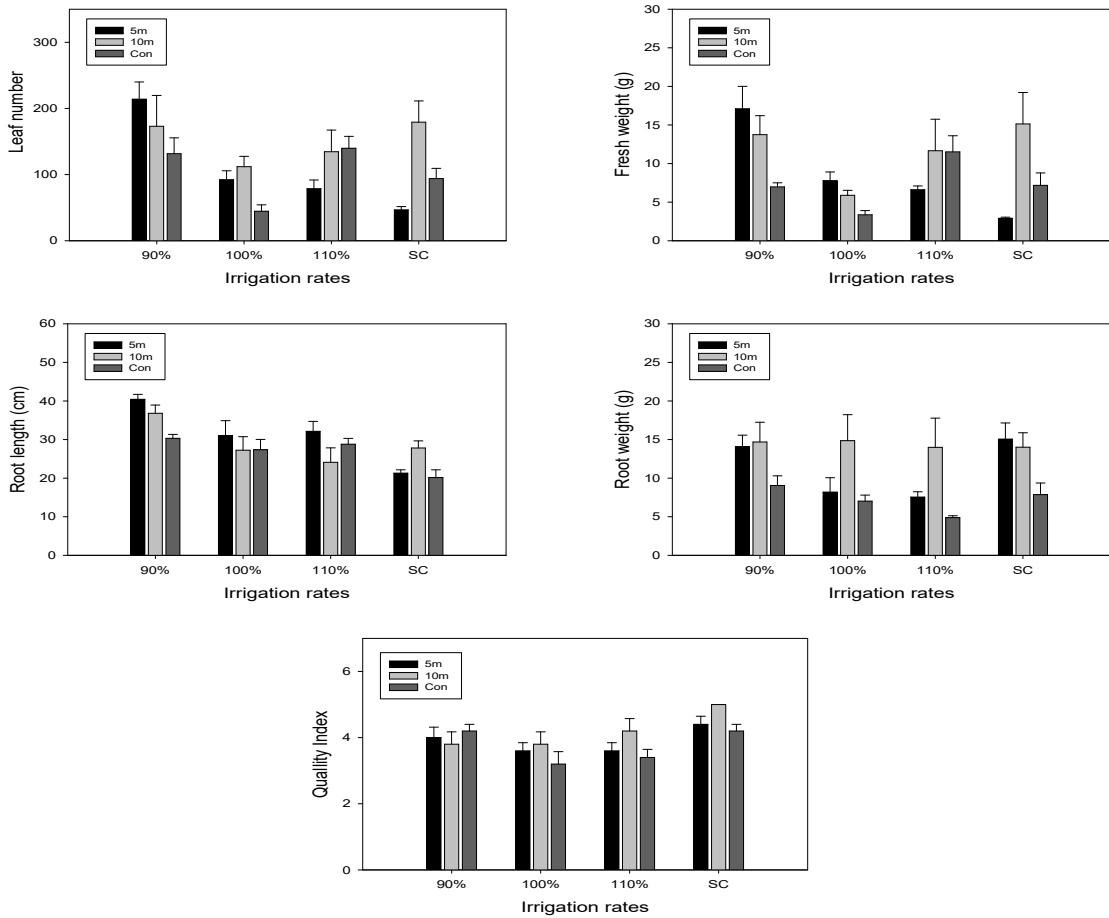
(1) 상추



<그림 2-293> 상추의 생체중, SPAD값, 엽장, 엽폭, 품질지수

상추의 생체중은 살수 구간에서 매우 저조한 값을 보였으며, 엽폭과 엽장 또한 마찬가지였다. 대체적으로 생육은 나쁘지 않았으나, 호냉성 채소이다 보니 늦어진 정식과 이상기후의 폭염 속 높은 기온에서 큰 생육을 보이지는 않았지만, 대체로 상품성이 있는 수치를 보였으며 염스트레스에서도 크게 영향을 받지 않았다. 또한 90% 관수, 암거 무처리 구간에서 다른 구간보다 눈에 띄게 차이나는 생육을 보였는데 이는 지나친 폭염 속에서 비멀칭 구간이 오히려 지하근권 온도를 저하시키기 쉬워서 그랬던 것이 아닐까 사료된다. 상추의 전체적인 품질지수는 살수 구간을 제외하고는 높았기 때문에, 온도만 적절한 상황에 놓여진다면 간척지에서도 괜찮은 생육을 보일 것이라고 판단된다.

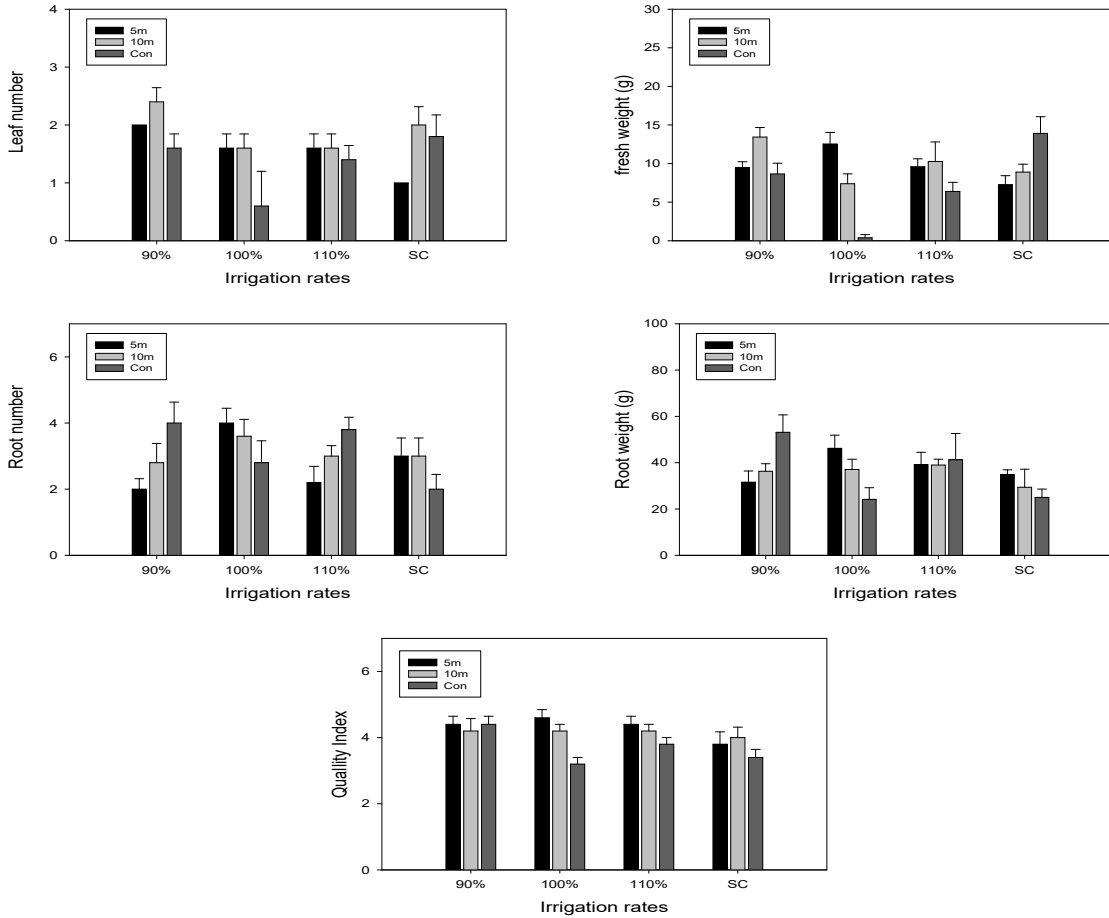
(2) 감초



<그림 2-294> 감초의 엽수, 생체중, 근장, 근중, 품질지수

감초는 국내 소비 한약 재료 중에서 가장 많이 사용되는 약용작물 중 하나이다. 내염성이 강한 작물이며, 수요가 높은 고부가가치의 작물이기 때문에 선정하였다. 감초는 관수 90%와 암거 5m 구간에서 엽수, 생체중, 근장이 가장 높은 값을 내었다. 그리고 대체적으로 암거 무처리 구간이며 비멸칭 구간에서 낮은 값을 보였다. 하지만 품질지수는 낮지 않았는데, 그 이유는 잔뿌리가 많이 생성되었기 때문이었다. 그리고 잎의 상태가 깨끗했다. 감초는 특유의 향이 있기 때문에 벌레들의 식해가 적었고, 이가 좋은 품질의 원인이라고 말할 수 있다.

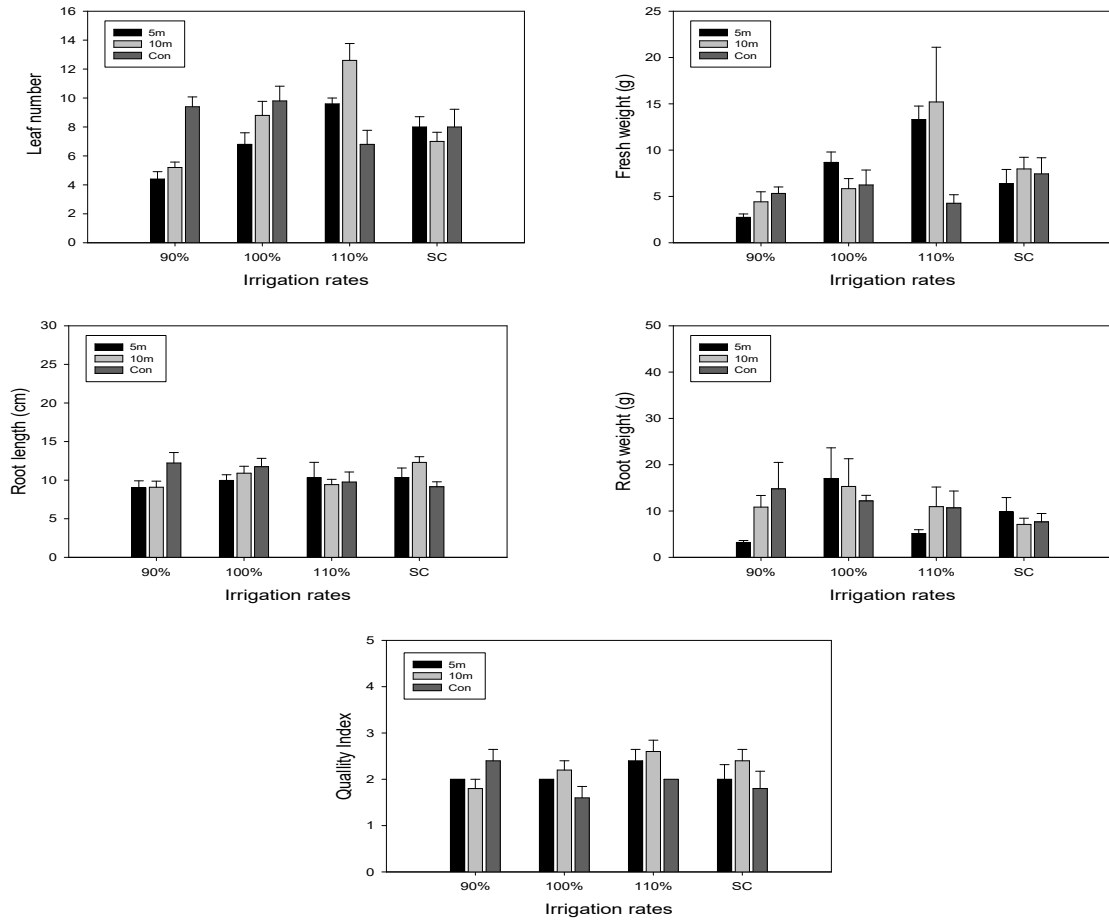
(3) 강황



<그림 2-295> 강황의 엽수, 생체중, 구근 개수, 근중, 품질지수

강황은 보통 카레의 원료로 쓰이는 알뿌리가 노란색을 띠는 작물로서, 최근 약리적 효과를 인정받아 수요량이 늘어나고 있는 추세인 작물이다. 엽수는 보통 2~3개가 정상적인 수치이기 때문에, 정상적인 값을 보였다고 할 수 있고, 지상부 생체중은 살수, 암거 무처리 구간이 가장 높았으며 근장, 근중은 90% 무처리 구간이 가장 높았다. 품질지수는 5점 만점에서 평균이 4점 이상을 보이며 높은 품질지수를 보였다. 고로 간척지에서 강황과 더불어, 고품질 가치를 가진 약용작물로 생각되며, 다년생 작물이기 때문에 내년에는 4월에 식재하여 10월까지의 생육을 조사할 계획이다.

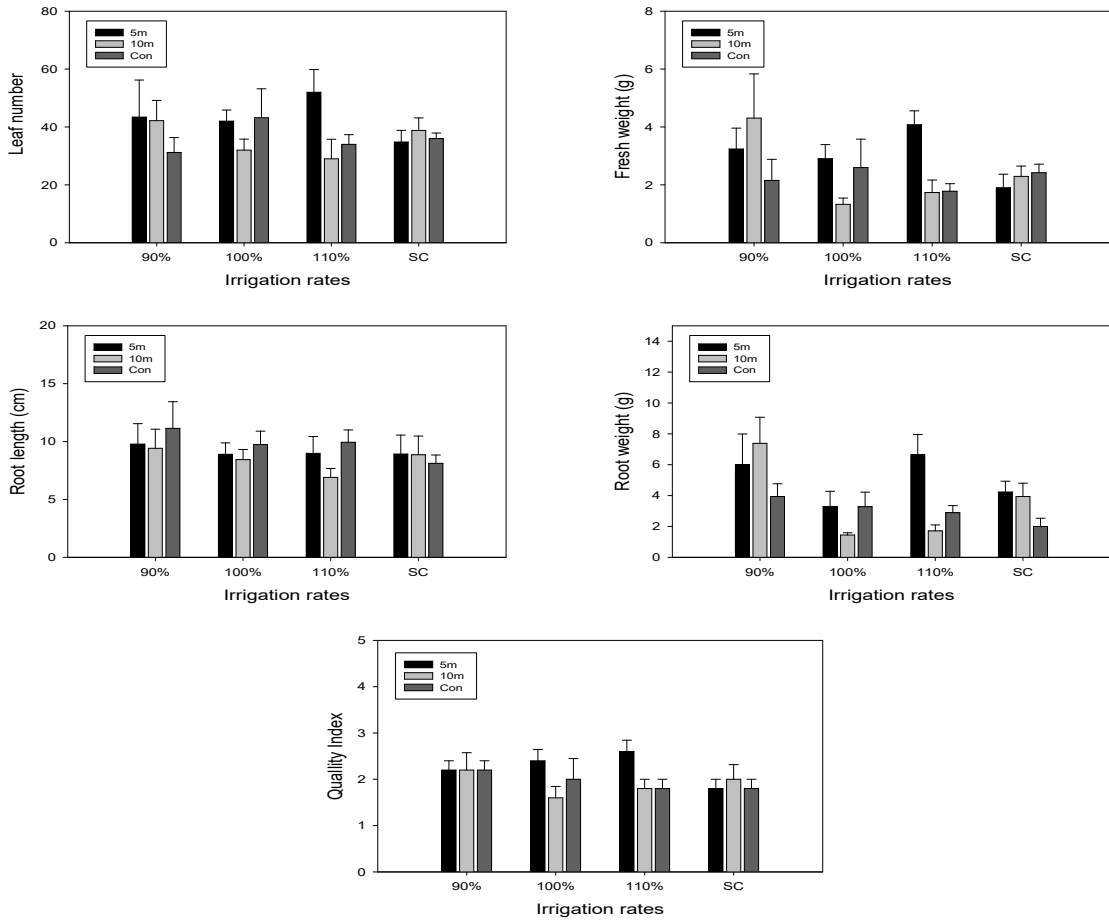
(4) 비트



<그림 2-296> 비트의 엽수, 생체중, 근장, 근중, 품질지수

비트는 잎비트와 뿌리비트 중에서 뿌리비트를 선택했으며, 착즙 주스의 재료로 각광을 받으면서 고부가가치의 작물로 떠오르고 있다. 그러나 간척지의 작물로 사용하기에는 조금 무리가 있는 품질지수를 보였다. 가장 중요한 부분인 근중은 관수 90%와 암거 5m, 관수 110%와 암거 5m 구간에서 낮은 값을 보였으며, 이는 그 구간에서 활착이 조금 어려웠던 것으로 추측된다. 왜냐하면 품질지수가 유의하게 나쁘지 않은데 불구하고, 근중이 낮은 값을 보이기 때문이다.

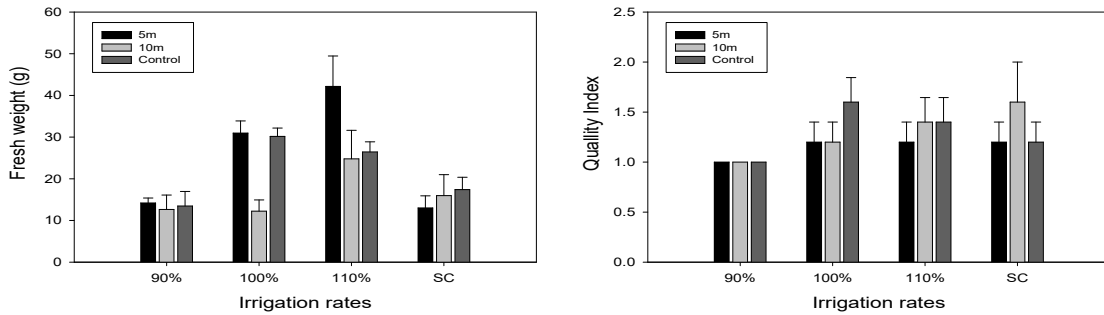
(5) 당근



<그림 2-297> 당근의 엽수, 생체중, 근장, 근중, 품질지수

당근의 엽수는 관수 110%, 암거 5m 구간에서 가장 높았으며, 개수는 대체로 비슷하였다. 그리고 살수의 전구간에서 낮은 지상부 생체중 값을 보였으며, 그중 또한 저조하였으나 관수 100% 구간에서도 마찬가지로였다. 근중은 관수 90%, 암거 10m 구간이 가장 좋았으며 근경은 관수 90%와 암거 무처리 구간에서 좋은 값을 보였다 하지만 대체적으로 정상적인 뿌리 생육의 1/10도 자라지 않았기 때문에, 지상부 상태가 좋을지라도 품질지수는 낮은 값을 보였다.

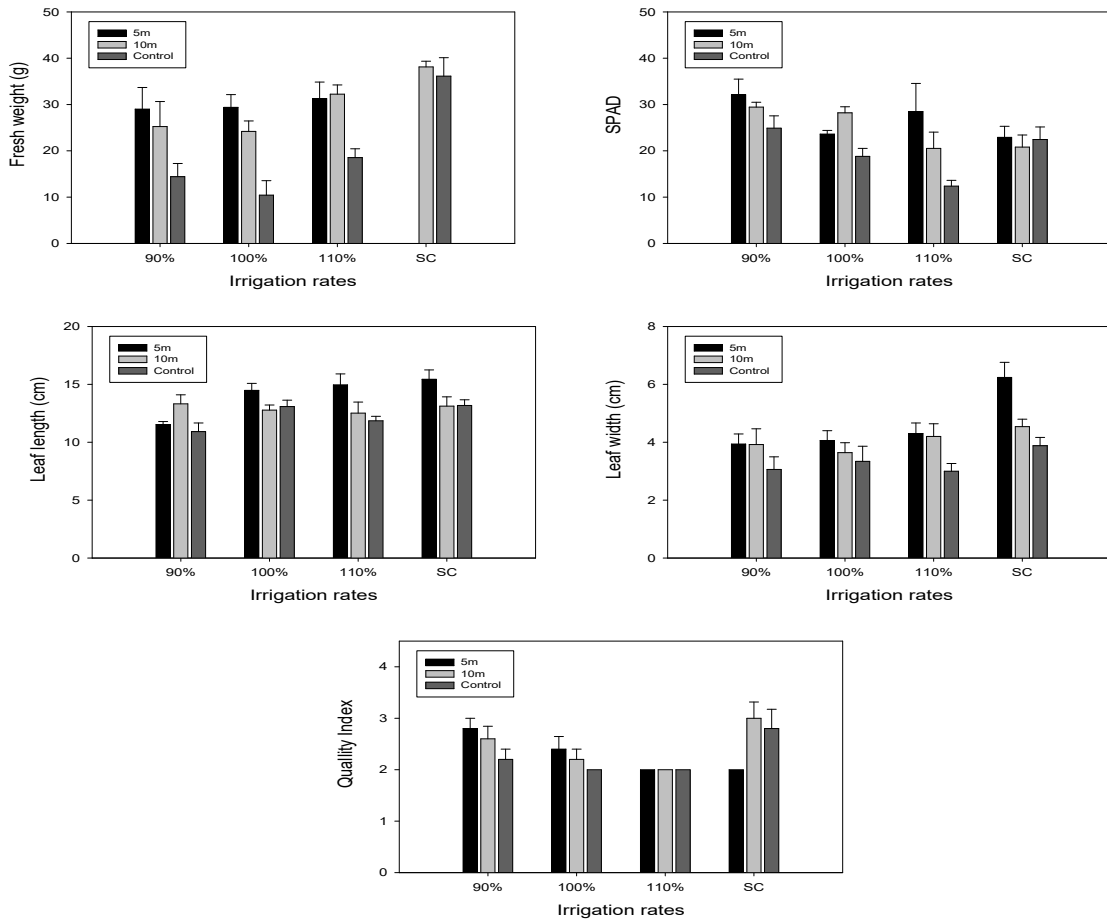
(6) 적겨자



<그림 2-298> 적겨자의 생체중, 품질지수

적겨자는 새만금 지구에서 잎이 벌레들의 식해를 강하게 받아, SPAD값이나 엽 폭, 엽장의 길이를 측정하기가 어려웠다. 그래서 그 식해당한 잎일지라도 생체중을 측정했는데 이는 관수 110%와 5m 구간에서 가장 높은 값을 나타냈으며, 관수 90%와 살수에서는 낮은 값을 보였다. 적겨자의 잎은 해충에 의해서 거의 식해당했기 때문에 품질지수는 가장 낮은 값을 보였고, 석문 지구에서는 아예 불가능할 정도로 자라지 못했기 때문에 해충관리에 대한 대책이 필요하나, 화옹지구에서의 생육이 월등히 좋은 작물 중 하나였기 때문에, 해충 문제만 해결이 된다면, 정상적인 생육이 가능할 것으로 판단된다.

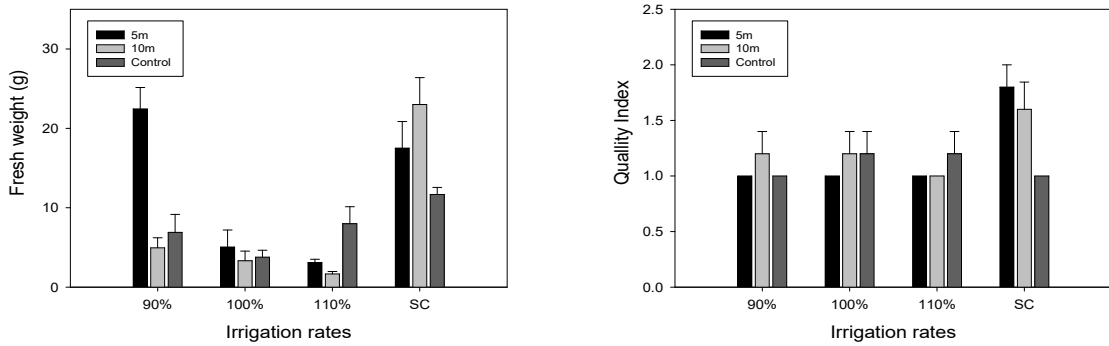
(7) 치커리



<그림 2-299> 치커리의 생체중, SPAD값, 엽장, 엽폭, 그리고 품질지수

치커리의 생육은 고온에서 더딘 반응을 보였다. 생육조사가 8월에 행해졌으므로, 품질지수가 낮게 평가되어 있지만, 9월에 날씨가 온화해지자 그 때 죽지 않았던 작물들의 생육이 눈에 띄게 성장했다. 고로 이 값으로 치커리의 간척지 재배가 적합하지 않다고 판단하기엔 오류가 있다. 정식이 6월 초순과 중순에 이뤄졌으므로 고온에 의해 성장 속도가 더뎠으며 품질 또한 높지 않았다.

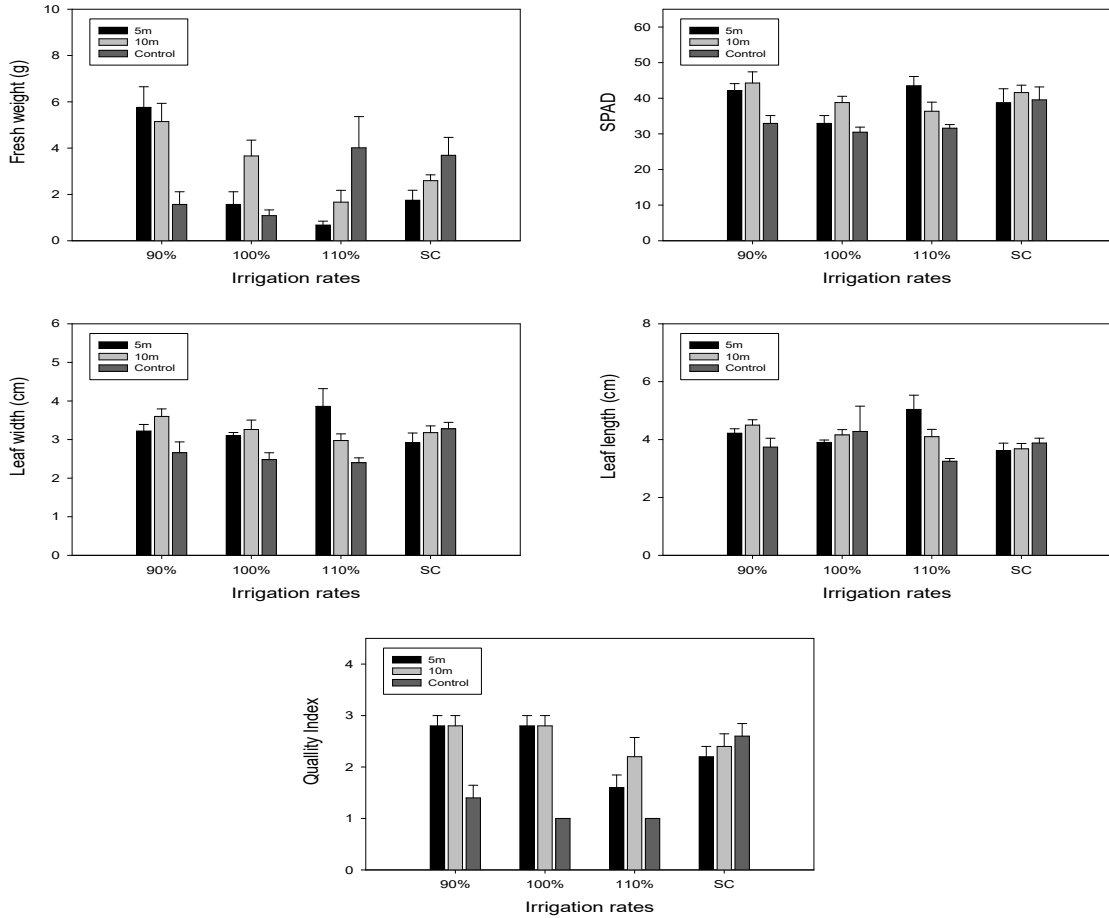
(8) 케일



<그림 2-300> 케일의 생체중, 품질지수

케일 또한 적거자와 비슷한 현상을 겪었다. 농약 방제를 하지 않았기 때문에, 해충피해가 발생하였다. 따라서, SPAD나 엽장, 엽폭을 측정하기에는 무리가 있었다. 생체중과 품질지수는 관수 90%와 암거 5m 구역에서 높은 생체중을 보였다. 대부분의 품질지수는 1~2에 웃도는 아주 낮은 값이었으나, 이 역시 9월에 정식한 화옹지구의 작물과 비교해 보았을 때 해충 방제를 할 수 있다면 재배 가능성이 높은 작물이라고 판단된다.

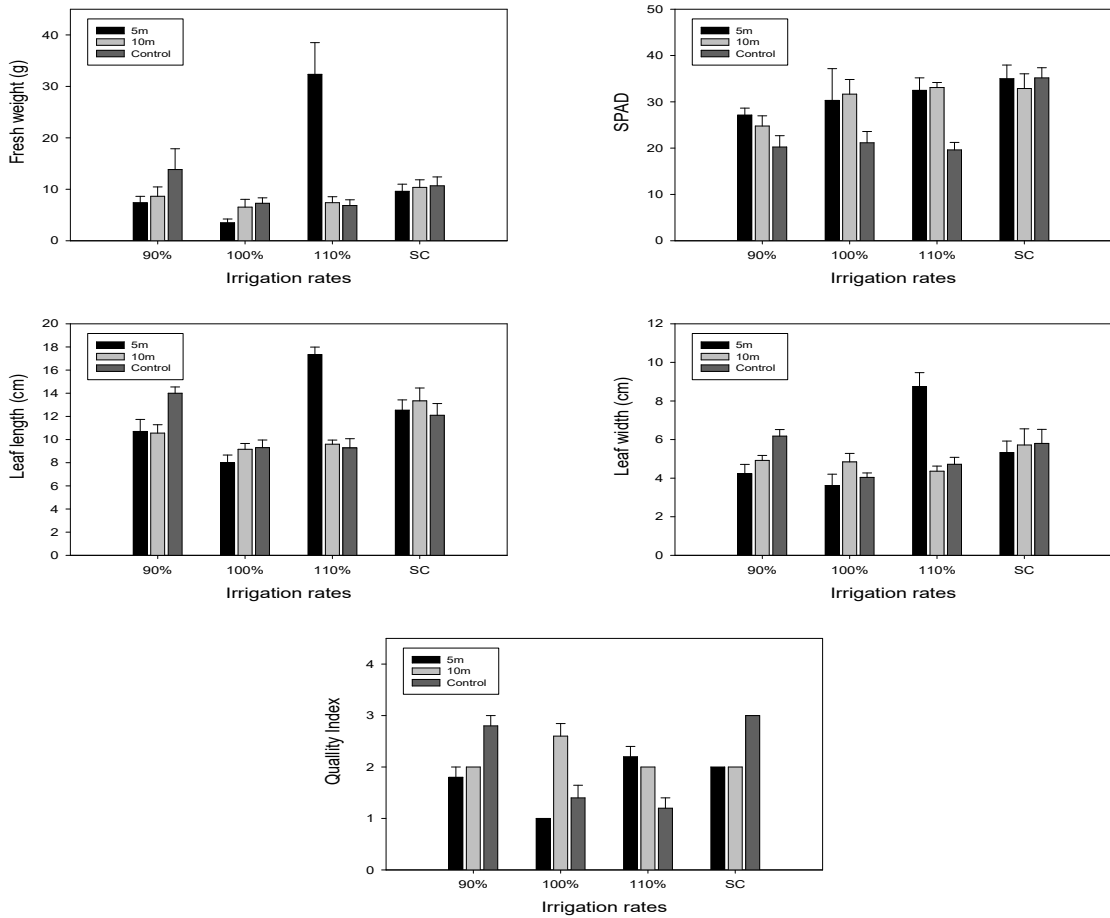
(9) 배초향



<그림 2-301> 배초향의 생체중, SPAD값, 엽장, 엽폭, 품질지수

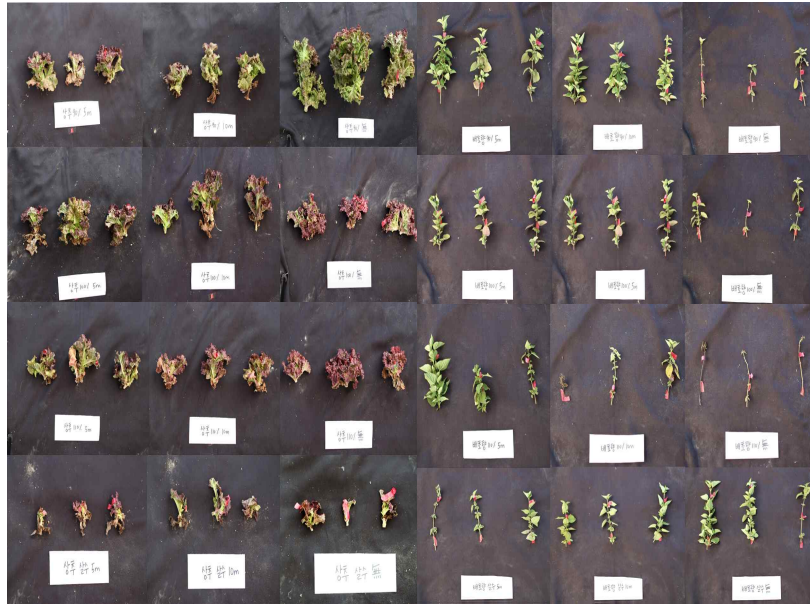
배초향은 약용작물로 효능을 인정받고 있는 작물 중 하나이다. 2기작하는 작물로서, 원래 1차 수확을 하고 다시 자라나서 2차 수확을 하는 것을 목표로 삼았으나 8월 지나친 고온에 의하여 작물의 생육이 저하하여 비교하기 어려웠다. SPAD, 엽폭, 엽장에선 크게 유의한 값을 보이지 않았지만 관수 110%와 암거 5m 구간이 조금 높았다. 엽장과 엽폭, SPAD는 모두 위에서 세 번 째의 잎으로 측정을 했으나, 이가 품질지수와 비례하게 연관되지는 않았다. 생육은 관수 90%, 암거 5m 구간이 생체중도 높고, 품질지수도 상위의 값을 보였다. 점적 90% 구간과 100% 구간은 생체중이 좋지 않았다. 살수 구간은 무처리 구간에서도 멀칭을 유지하였기 때문에, 크게 다르지 않은 값을 보였고 결과 배초향은 멀칭이 생육에 큰 영향을 준다는 값을 도출하였다.

(10) 적근대



<그림 2-302> 적근대의 생체중, SPAD값, 엽장, 엽폭, 품질지수

적근대의 생체중은 관수 110%와 암거 5m 구간에서 높은 값을 보였다. 엽장과 엽폭도 마찬가지로였으며, SPAD는 엽록소 함량을 나타낸 것이므로 높은 값이긴 했지만 다른 값들과 비교했을 때 눈에 띄는 차이는 아니었다. 적근대의 생육이 이렇게 저하했던 이유는 극심했던 폭염의 탓을 할 수 있다. 생육 상태는 사실 나쁘지 않았으나, 적근대의 품질지수가 낮은 까닭은 충해를 당한 흔적이 많아 상품성이 저하되었기 때문이다. 앞에서 소개된 작물들 중 적겨자, 케일, 적근대의 생육지수가 낮았는데 가장 큰 이유로는 모두 충해를 들 수 있다. 또한 9월이 되면서 석문 지구의 남아있던 적근대들의 생장이 폭발적으로 증가한 것을 보아, 온도의 영향이 중요하다는 것을 알 수 있다. 적근대를 차후 대상 작물로 선정하고자 한다면 충해 예방 및 방제가 필수적인 조건이 될 것으로 사료된다.

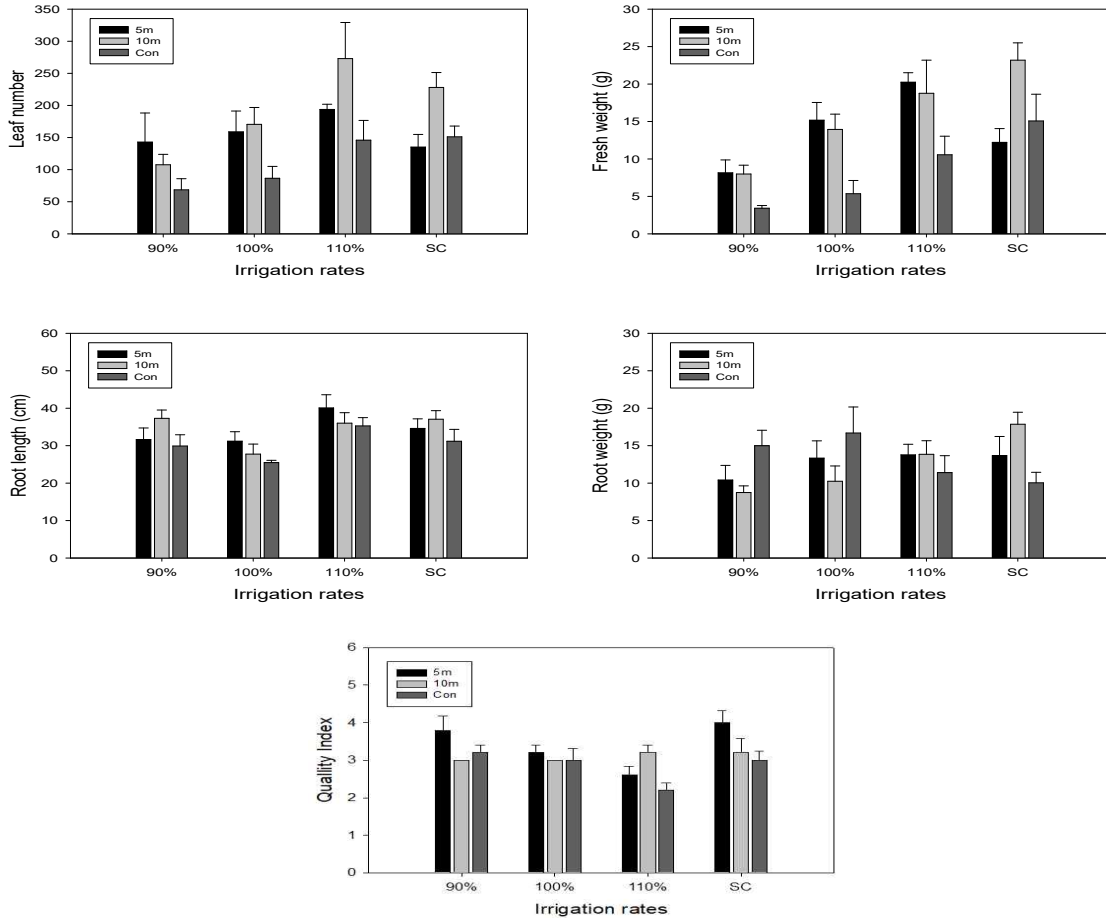


<그림 2-303> 새만금지구의 상추, 배초향 사진

위의 사진은 각 처리구당 5개 작물을 뽑아 생육조사를 실시하면서 촬영한 사진이다. 다른 처리구들도 모두 촬영하였으나, 차이가 분명히 드러나는 처리구인 상추와 배초향 2가지의 사진만 첨부하였다. 위에서 볼 수 있듯이 암거 무처리 구간은 비멀칭을 실시하였는데, 배초향의 경우 큰 생육의 차이를 볼 수 있다. 살수처리 한 상추의 생육이 눈에 띄게 불량한 것을 볼 수 있다. 비록 날씨의 영향으로 정확한 구역별 차이 실험값은 도출하지 못했지만, 멀칭의 유무와 관수차이에서의 변화를 볼 수 있었다. 석문지구는 초기 활착의 문제로 인하여 감초와 비트, 당근, 케일, 적근대 작물의 생육조사만 실시하였다. 그 외 작물의 경우, 활착된 개수가 적어 대조가 불가능해 생육조사는 실시하지 못하였다.

2) 석문지구 생육조사 결과

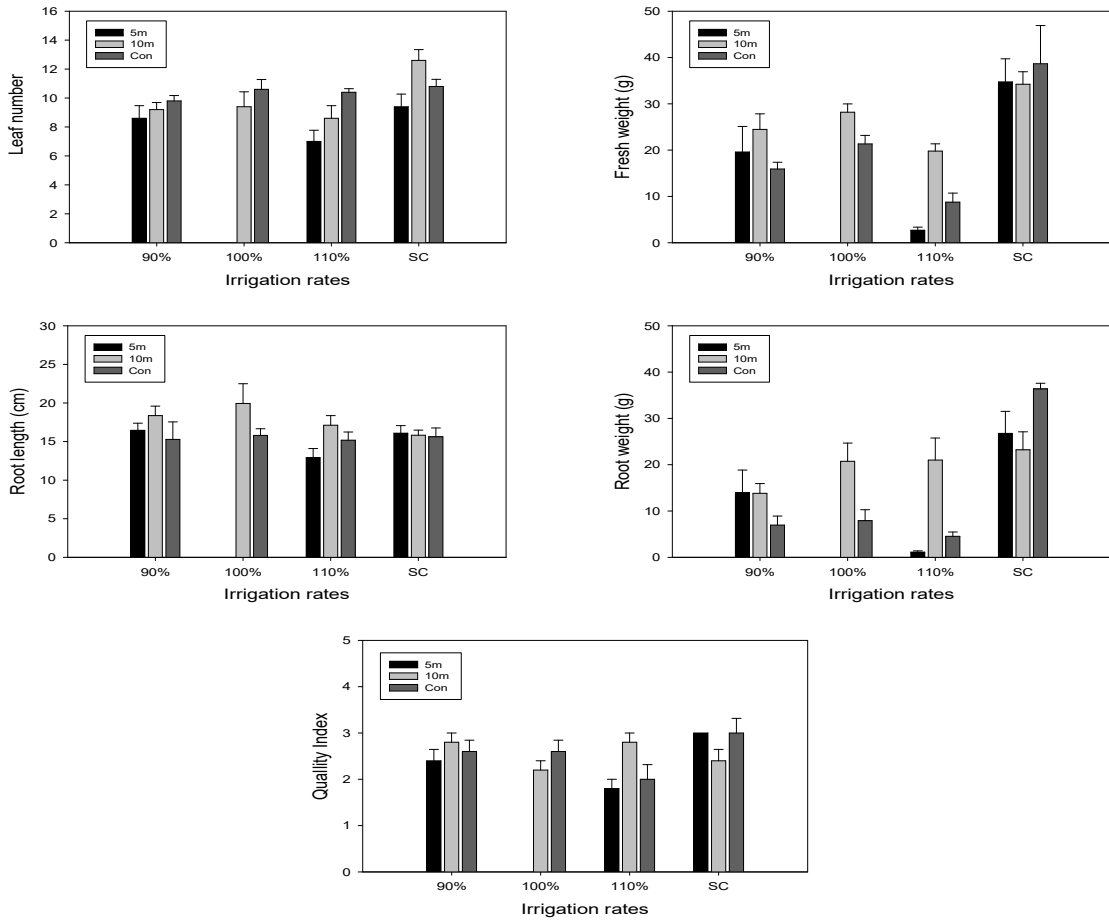
(1) 감초



<그림 2-304> 감초의 생체중, 근장, 근중, 품질지수

감초의 생육은 10가지 작물 중에서 상당히 우수한 편에 속한다. 엽수는 110%의 관수와 5m 암거에서 가장 높은 값을 보였으며, 관수 90%와 암거 무처리 구간에서 가장 낮은 값을 보였다. 생체중은 특이하게도 살수, 암거 10m에서 높은 값을 보였으며, 90%와 암거 무처리 구간에서 낮은 값을 보였다. 근경은 110%의 관수와 5m 암거에서 가장 높은 값을, 100%와 암거 무처리 구간에서 가장 낮은 값을 보였다. 근중은 100%의 관수, 암거 무처리 구간에서 가장 높은 값을 보였으며, 90%, 10m에서 낮은 값을 보였다. 감초는 다년생 작물인만큼, 정식 후 6주 후에 결과를 비교하기에는 확연히 나타나지 않았다. 품질지수는 관수 90%, 5m와 살수 5m에서 꽤 높은 값을 보였다.

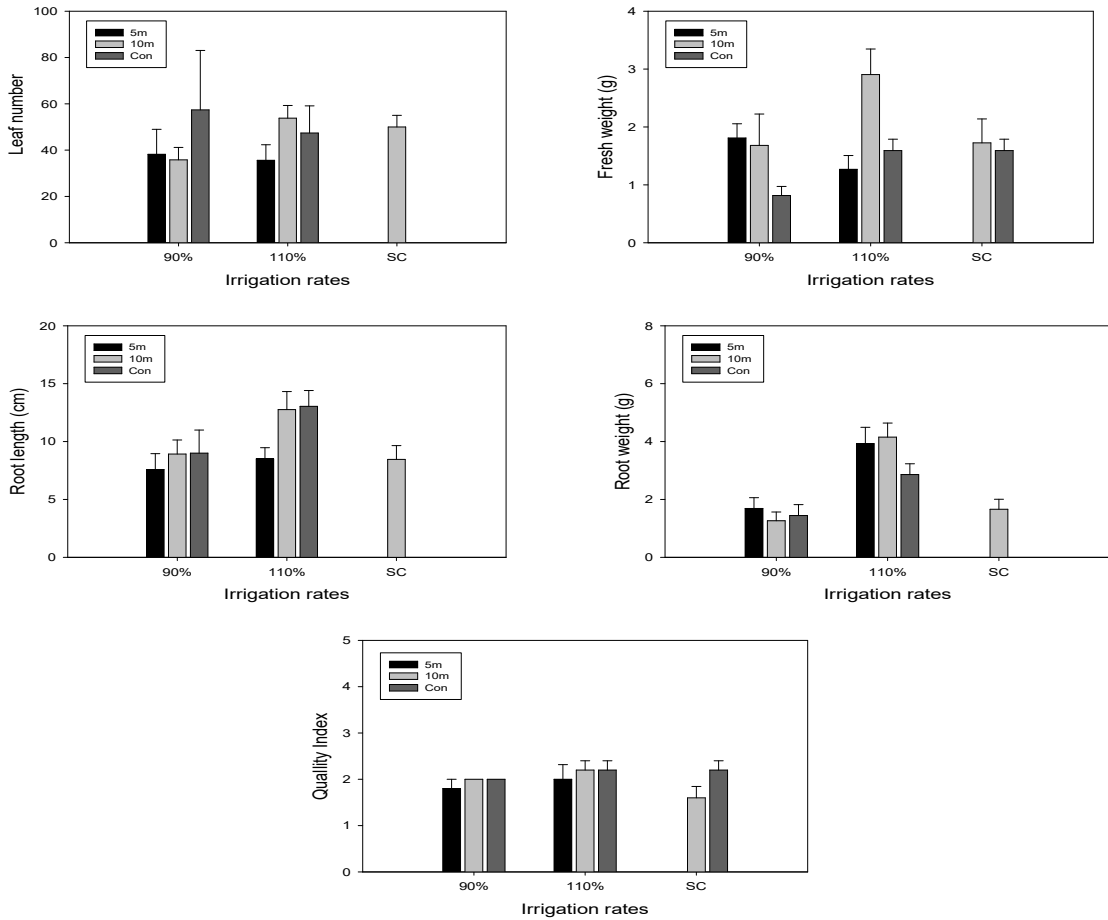
(2) 비트



<그림 2-305> 비트의 엽수, 생체중, 근장, 근중, 품질지수

비트의 엽수는 살수, 암거 10m 구간에서 가장 많았으며, 관수 110%, 암거 5m 구간에서 가장 적었다. 생체중과 근중의 경우에도 관수 110%, 암거 5m 구간에서 눈에 띄게 낮은 값을 볼 수 있었는데, 이는 5m 구간의 두둑 길이가 짧으며, 고로 작물 수가 적기 때문에 활착이 잘 되지 않은 비트의 수가 많았기 때문이다. 평균값을 구하는데 있어 잘 활착되지 않은 작물의 수가 선정되다 보니, 이러한 값을 보이게 되었다. 살수, 무처리 구간에서 뿌리 생육이 좋았던 이유는 정식 후 바로 장마기간이 지속되고 나니, 비벌칭 구간에서도 충분한 수분을 보유할 수 있었기 때문이라고 추측한다.

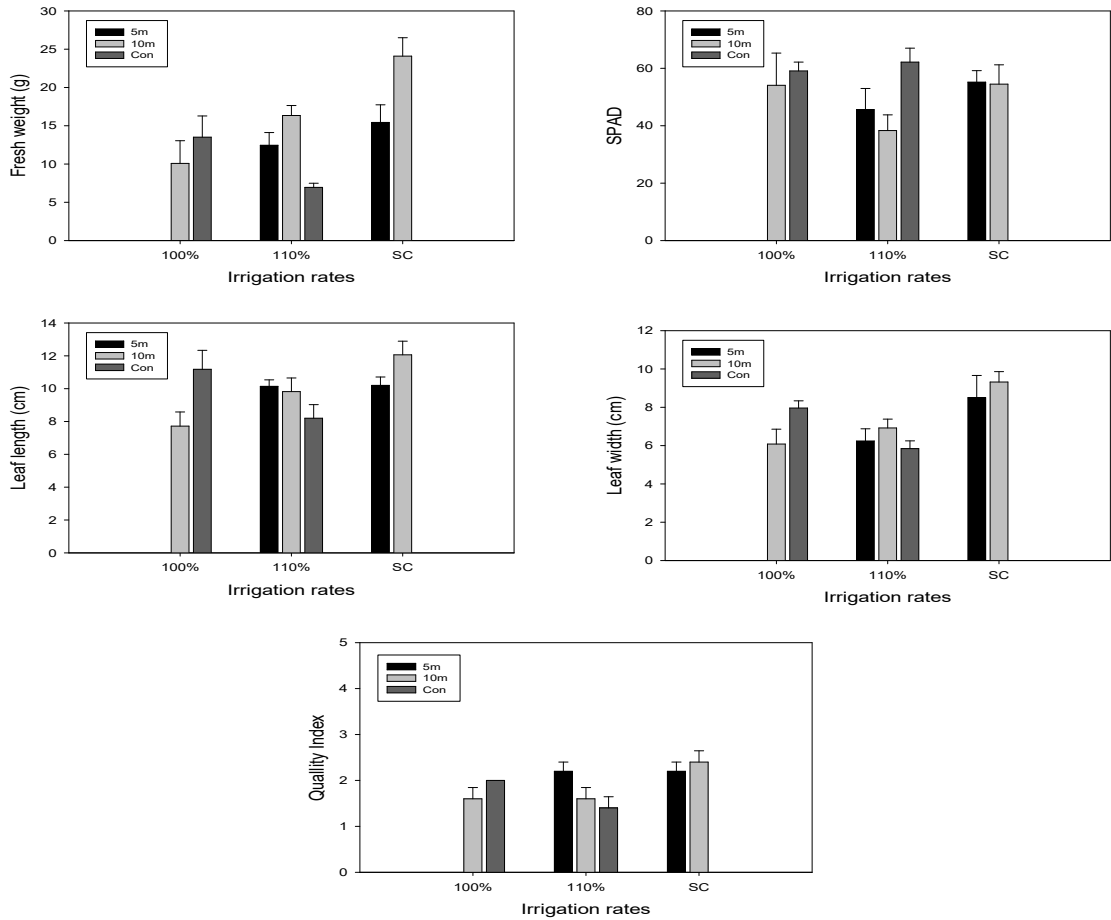
(3) 당근



<그림 2-306> 당근의 엽수, 생체중, 근장, 근중, 품질지수

당근은 100%의 관수 지역에선 활착이 되지 못했기 때문에 작물 수가 매우 적었다. 고로 100%를 제외한 90%, 110%, 살수 지역에서 측정하였다. 비교적 관수 110%, 암거 10m 지역이 엽수, 생체중, 근장, 근중에서 상위의 값을 보였다. 당근은 요수량이 많은 작물이기 때문에, 수분 보유도가 높은 토양에서 높은 생육을 보이는 것으로 추측할 수 있다. 그러나 간척지 토양 특성상 뿌리 작물인 당근이 생육하기엔 나빴으며, 휘어짐 현상이 일어나 뿌리 생육이 저하하였다.

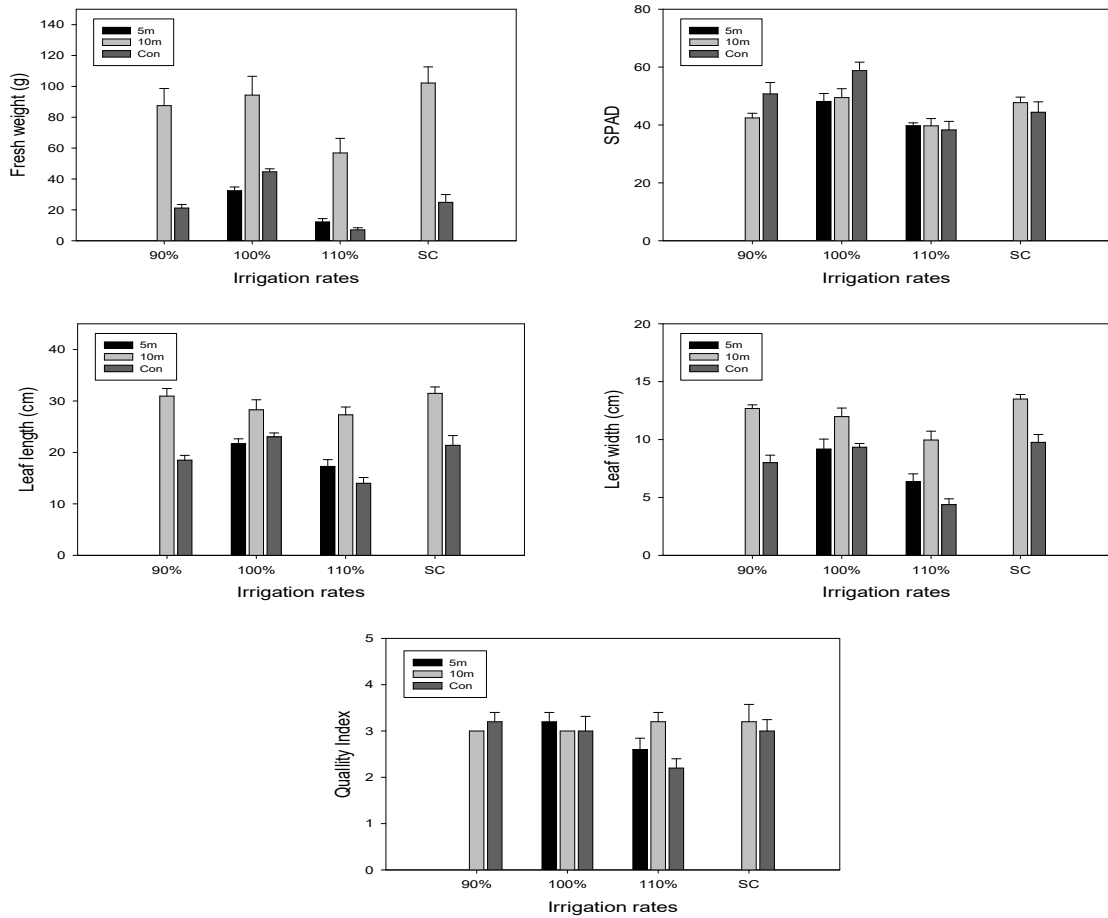
(4) 케일



<그림 2-307> 케일의 생체중, SPAD값, 엽장, 엽폭, 품질지수

케일은 90%의 관수 지역에선 활착이 되지 못했기 때문에 작물 수가 매우 적었다. 90%의 관수 지역은 물빠짐이 좋지 않았던 처리구라서 그러한 결과가 나온 것으로 예측된다. 작물을 정식한 후 바로 장마가 시작되면서, 뿌리가 활착하지 못하고 휩쓸려간 작물이 많아 죽은 것으로 유추된다. 생체중, 엽장, 엽폭 값은 살수 10m에서 높은 값을 보였지만, 품질지수는 현저히 낮았다. 그 이유는 케일은 병충해 중에서도 식해의 손상이 심각했다. 이러한 피해의 이유로는 천적이 없었기 때문이 아닐까 사료된다.

(5) 적근대



<그림 2-308> 적근대의 생체중, SPAD값, 엽장, 엽폭, 품질지수

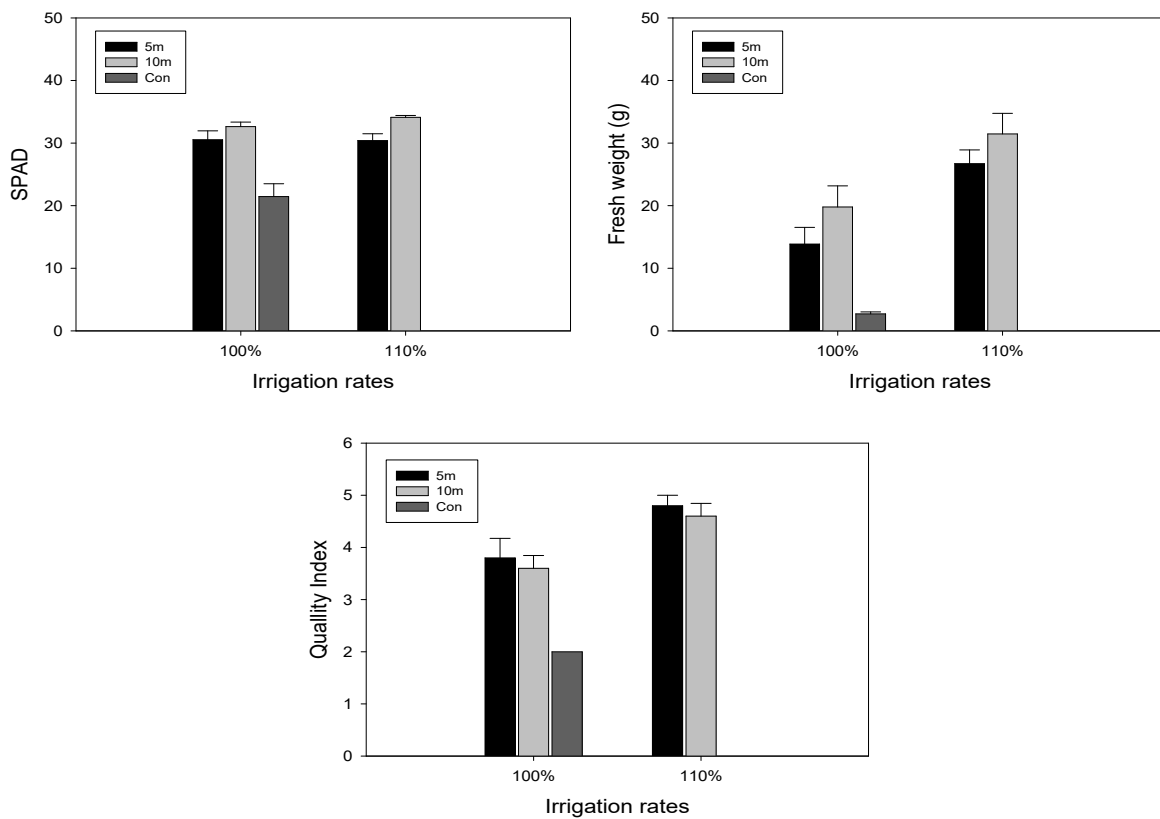
적근대는 관수 90% 암거 5m와 살수, 암거 5m의 처리구는 두둑의 길이가 짧아 수량이 적었기도 하며, 그 수가 활착이 제대로 되지 않아 수량의 충족이 되지 않아 평균값을 도출할 수 없었다. 이 2가지 처리구를 제외하고, 생체중은 모든 처리구에서 암거 10m 처리구가 가장 높은 값을 보였다. SPAD값은 100%, 비암거 처리한 값에서 가장 높았으며, 엽장과 엽폭 또한 암거 10m 처리구에서 가장 높은 값을 보였다. 품질지수 또한 대체로 암거 10m 값에서 무난한 값을 나타냈다. 6주 후의 품질지수 값은 나쁘지 않았으나, 새만금지구와 마찬가지로 충해의 흔적이 많았으며, 폭염으로 인하여 생장이 정상적으로 이뤄지지 않았다.

새만금 지구와 석문 지구에서 행해진 생육조사 결과, 금년에 실시하였던 작물 10종 상추, 감초, 강황, 비트, 당근, 적겨자, 치커리, 케일, 배초향, 적근대 중에서 간척지 생육에 적합한 것으로 사료되는 작물들은 감초, 강황, 치커리를 들 수 있다. 그 외인 비트와 당근은 뿌리생육이 원활하게 이루어지지 않았기 때문에 부적합하다고 판단될 수 있으나, 정상적인 기후 조건이 아니었으며, 정식시기에서 늦어졌던 원인도 간과할 수 없다. 엽채류인 적겨자, 케일, 적근대는 폭염과 벌레의 식해를 강하게 받아 고민되는 작물이다. 그러나 9월에 정식한 화옹 지구의 생육 실태를 보면 엽채류의 생육이 눈에 띄게 좋았으므로, 간척지에 적합하지 않다고 말할 수는 없다. 화옹지구는 정식 시기, 주변 환경, 정식이후 날씨 등의 영향으로 새만금지구와 석문지구보다는 좋은 작물생육 결과를 얻을 수 있었다. 작물을 적정 기간에 정식하였다면 다른 결과를 보였으리라 예상된다. 치커리는 벌레의 식해를 받지 않았고, 날씨가 좋아졌을 때 높은 영양생장을 보여줬으므로, 적합하리라 생각된다. 배초향의 경우, 멀칭의 영향을 많이 받은 작물 중 하나이며 2기작이 가능한 작물로써 생육을 기대하였으나 날씨의 영향을 지나치게 많이 받아 정상적인 생육을 관찰하기 힘들었다. 따라서 3차년도에 정상적인 환경에서 재실험이 필요하다.

3) 석문지구 보식 후 생육조사 결과

석문 지역에선 정식 후 바로 장마가 오면서 유묘가 휩쓸려가 활착이 원활하게 이루어지지 않았다. 그 결과 여름에 생육평가 결과를 보기가 힘들었지만 폭염이 지나간 후 가을이 되면서 기존에 심었던 작물들의 급격한 생장이 이루어짐 또한 볼 수 있었다. 이에, 화옹지구에 정식하면서 새만금지구와 석문지구에 보식을 진행했고 석문지구는 9월 28일 생육지수가 원활한 100%관수 지역과 110%관수 지역에 보식했으며, 생육조사는 약 4주 뒤인 10월 24일 진행되었다. 그 값은 아래와 같다.

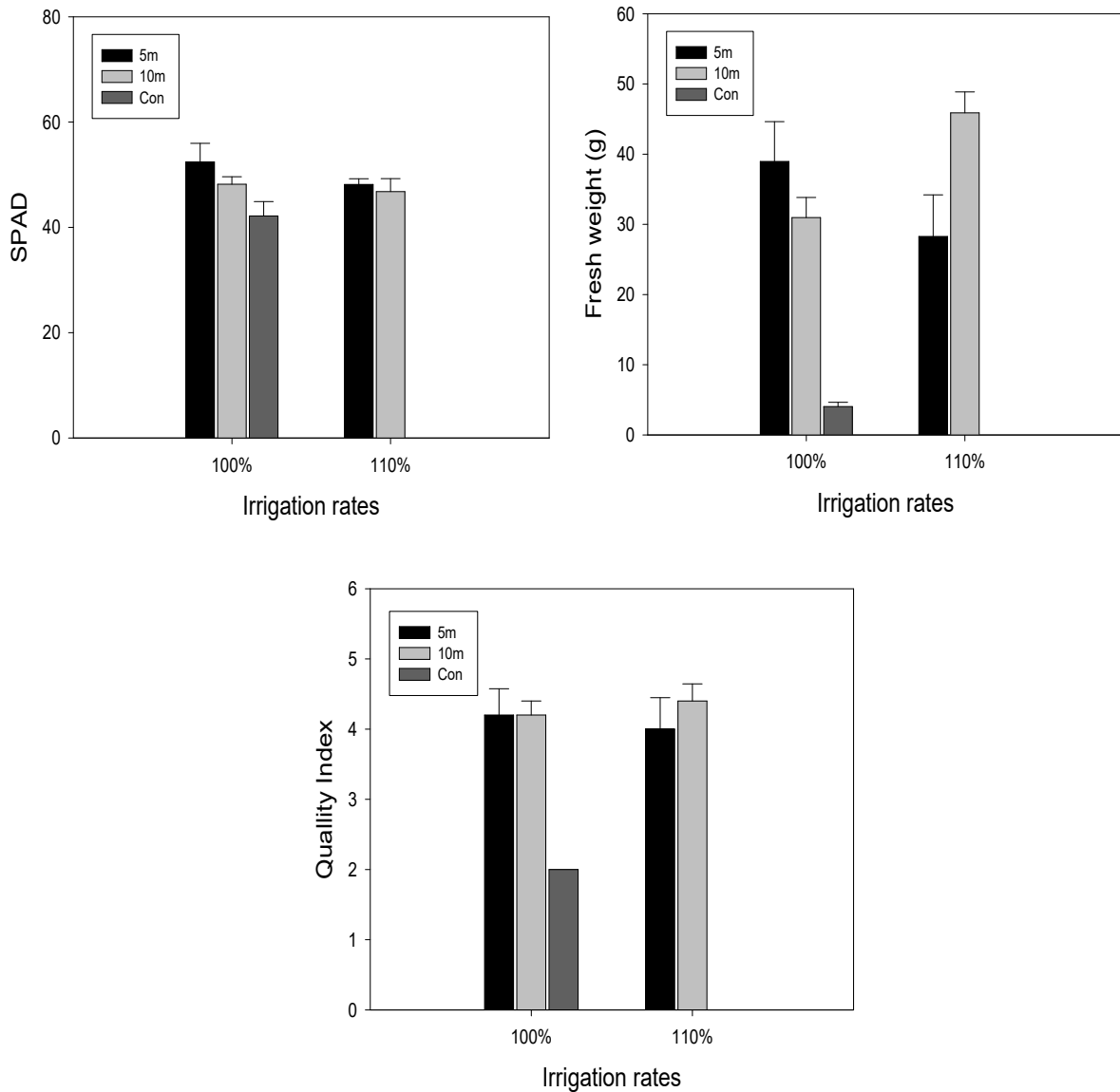
(1) 상추



<그림 2-309> 상추의 SPAD값, 생체중, 품질지수

상추의 기본적인 생육은 100% 관수보다 110% 관수에서 더 좋은 결과를 보였다. SPAD 값과 생체중, 품질지수 모두 높은 값을 보였다. 110% 관수, 비멀칭 구역에서는 잡초 생육 때문에 채취가 쉽지 않아 처리구에서 제외하였다. 이 실험에서 확연히 드러나는 것은 멀칭의 유무가 작물의 생체중과 SPAD에 주는 영향이다. 관수차이가 많이 벌어지지 않았기 때문에 큰 차이를 볼 수 없지만 더 많은 양의 관수를 하였을 때 SPAD, 생체중, 품질지수가 높은 것을 볼 수 있다.

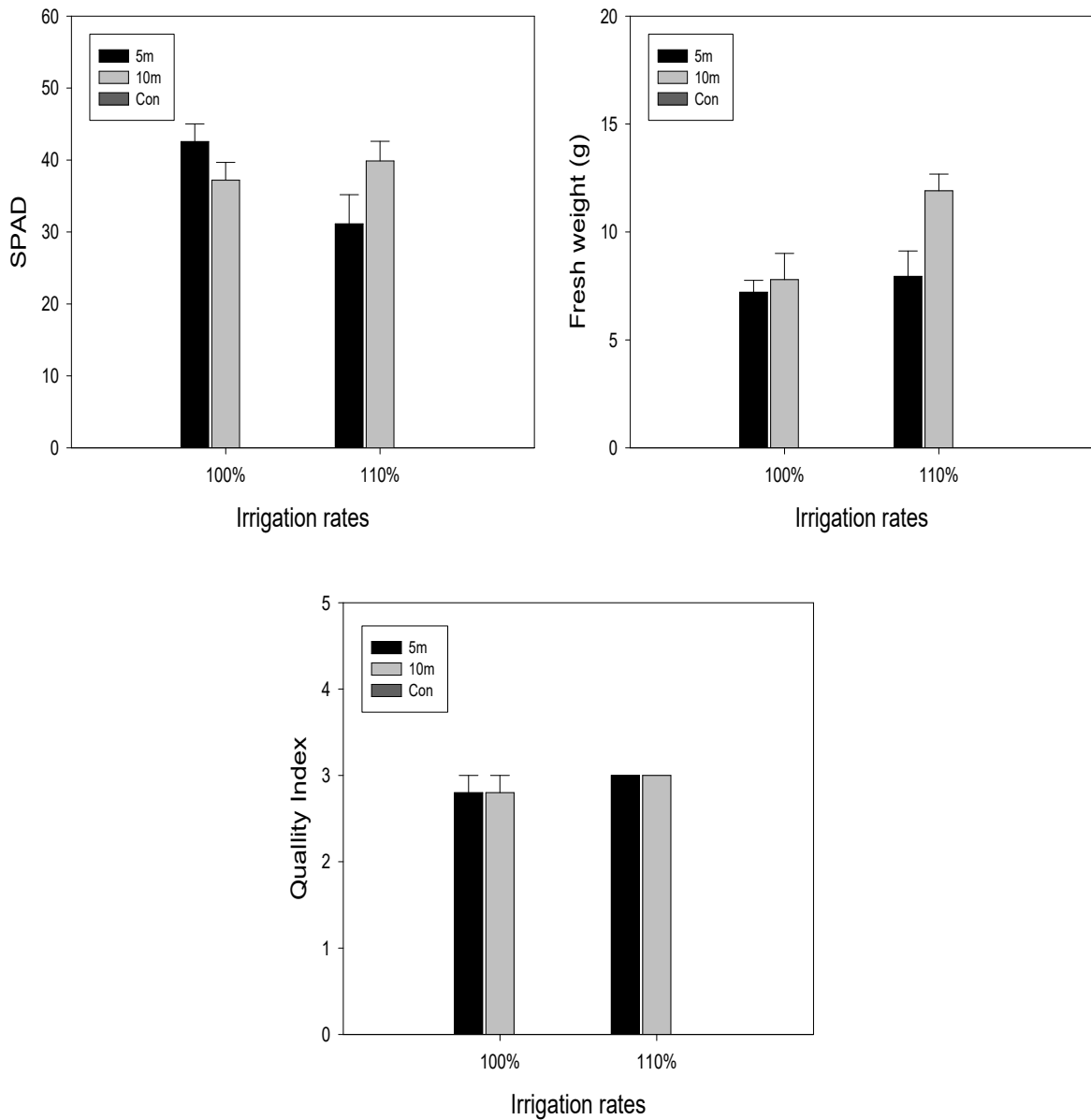
(2) 적겨자



<그림 2-310> 적겨자의 SPAD값, 생체중, 품질지수

적겨자는 새만금과 석문지구에서 생육이 양호하지 못했다. 그러나 화옹지구에서 생육이 가장 왕성하였으며, 이번 보식 후 생육조사에서도 매우 좋은 결과를 보였다. 관수 100%와 110% 차이에서 크게 유의한 값을 나타내지 않았지만 비멸칭구와는 뚜렷한 생육차이를 보였다. 적겨자는 곤충의 식해도 적게 받아 좋은 품질을 나타냈다. 이유는 현재 계절이 곤충들이 왕성한 생육을 보이던 시기가 끝났기 때문일 것으로 유추한다.

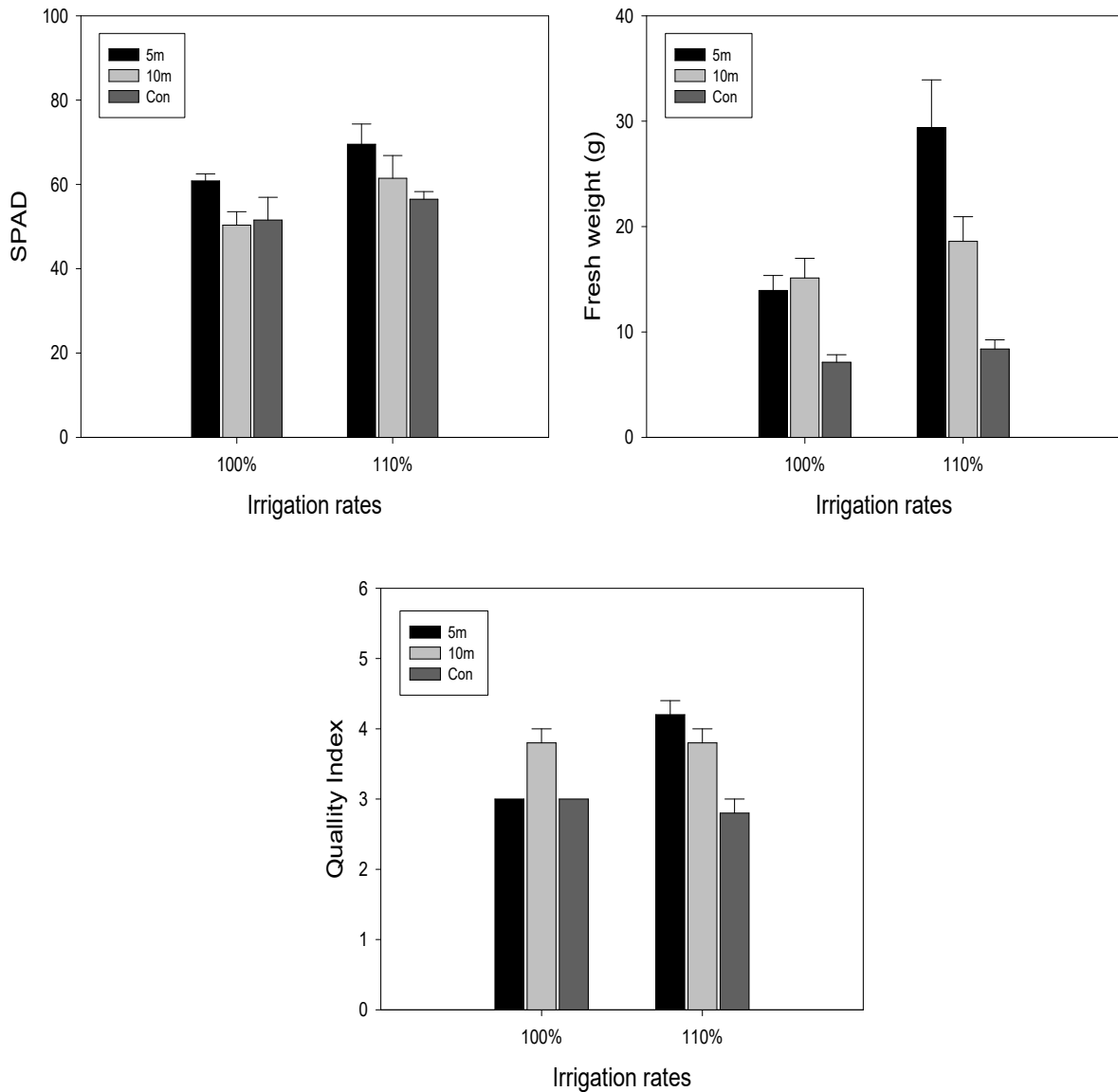
(3) 치커리



<그림 2-311> 치커리의 SPAD값, 생체중, 품질지수

치커리는 무처리 구간의 유실과, 유묘의 활착문제로 인하여 측정이 불가능하였다. 고로, 100% 관수지역과 110% 관수 지역의 5m, 10m 암거 차이로 비교하였다. 결과적으로 품질은 비슷하였다. 생체중은 110%관수와 암거 10m 간격의 처리구가 가장 좋았으며, 100% 관수와 5m 간격의 암거 구간이 제일 저조하였다. 치커리의 품질지수는 생육이 느렸기 때문에 낮은 점수를 보였는데, 이는 너무 늦은 가을에 정식되어 좋은 결과를 보이지 못하는 것으로 판단되며, 식해문제도 없으며 활착만 된다면 생장이 나쁘지 않기 때문에 정상적인 재배조건에서의 재실험이 필요할 것으로 사료된다.

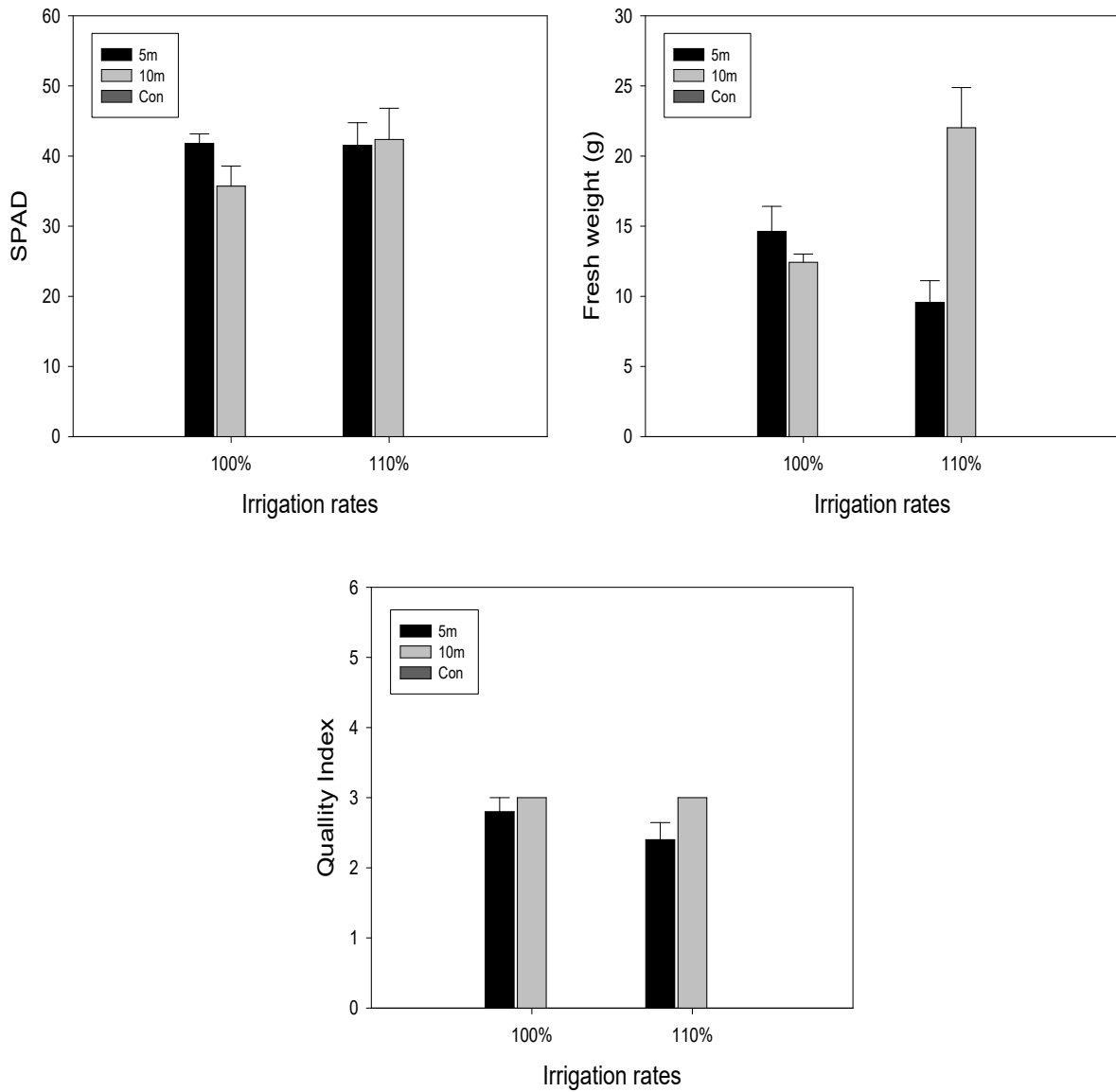
(4) 케일



<그림 2-312> 케일의 SPAD값, 생체중, 품질지수

케일은 앞선 새만금지구와 석문지구의 생육조사에서 식해의 피해를 많이 받았던 식물 중 하나이다. 그러나 보식 후엔, 해충의 생육시기와 어긋남으로써, 피해를 덜 받았고 그 결과 품질지수가 상승하였다. 케일은 110%관수지역과 100%관수지역에서 큰 차이를 보였는데, 그 중에서도 관수 110%와 암거 5m 구간이 눈에 띄게 높았다. 요수량이 많이 필요한 작물로써 이의 영향을 받은 것으로 판단되며, 비멀칭 구간이며 암거를 무처리한 구간에서 유의하게 낮은 값을 보이는 것을 볼 수 있었다.

(5) 적근대



<그림 2-313> 적근대의 SPAD값, 생체중, 품질지수

적근대 또한, 비밀칭 구간에선 유묘의 활착이 잘 이루어지지 않아서 100% 구간과 110% 구간에서만 조사하였다. 품질지수는 비슷한 값을 나타냈으며, SPAD 값도 크게 차이나지 않았다. 생체중 값은 관수 110%와 암거 10m 구간에서 높은 값을 드러냈다. 적근대 또한 일교차가 심해진 상태에서 정식되어 생체중이 증가하지 못했다.

4) 화옹지구 생육 결과

화옹지구의 경우 9월 19일 정식을 완료하였다. 배초향과 도라지의 경우 묘가 워낙 작으며 잔뿌리가 자라지 않아 2주 동안 육묘를 거친 뒤, 10월 2일 보충하여 재식하였다. 생육평가는 정식 후 4주 뒤인 10월 16일 조사하였다. 도라지와 배초향의 경우 2주의 육묘기간을 연장하여 정식하였으나, 계절이 적합하지 않아 육묘의 크기에서 더 이상 성장을 하지 못했다. 따라서 최종적으로 8작물에 관해 생육을 조사하였다. 화옹지구는 앞의 실험결과에 따라, 멀칭의 필요성을 느꼈기 때문에 암거 무처리 구간에 비멀칭 처리를 하지 아니하였다. 각 사진의 좌에서 우로 갈수록, 110% 관수, 100% 관수, 90% 관수, 살수 의 순서대로 촬영하였다.

(1) 상추



<그림 2-314> 상추의 생육차이 사진 (좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리)

위의 그림은 상추의 관개와 암거별 차이를 본 사진이다. 생육차이를 보이기 위하여 일정한 길이의 자와 함께 비교한 결과, 암거별 간격이 좁아지고, 무처리 구간에 이르자 크게 생육이 저하된 것을 볼 수 있다. 이렇듯 화옹지구의 생육은 대체로 좋았으며, 식해의 흔적도 없었다. 점적 관수별로 큰 차이는 나지 않았으나, 살수 구간에서는 잔뿌리가 잘 자라지 못한 것을 볼 수 있었다. 결과적으로 상추는 암거 처리에 의해서 생육이 차이를 보이는 것을 볼 수 있었다.

(2) 홍화



<그림 2-315> 홍화의 생육차이 사진 (좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리)

홍화의 경우 화옹지구에 처음 정식한 작물이다. 감초와 강황의 구근은 보통 저온보관을 하기 때문에 9월까지 보존되기 어렵다. 고로 내염성 테스트 하던 작물 중 하나인 홍화를 선택하였으며 정식하였다. 암거 5m 구간에서의 생육이 유의하게 좋은 값을 보였으며, 암거 10m 구간과 무처리 구간은 전체적으로 좋지 못한 생육을 보였다. 9월과 10월의 경우 온화한 날씨 때문에 관수의 횟수가 적었다. 그래서 관수별 차이를 크게 보이지 않은 것으로 추정되며, 암거 구간별로 차이를 보이는 것으로 판단된다.

(3) 비트



<그림 2-316> 비트의 생육차이 사진 (좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리)

비트는 화옹지구에서 뿌리가 잘 자라지 못했다. 뿌리작물의 경우, 광량의 영향을 많이 받기 때문에 더욱 성장 속도가 더딘 것으로 사료된다. 관수의 영향에서 큰 차이를 보이지 않았지만, 살수 구간에서 유달리 잔뿌리 형성이 안 된 것을 볼 수 있다. 동그랗게 아예 형성이 되지 않는 것을 보아, 구근이 토양을 뚫지 못 하는 점도 볼 수 있었으며, 비트는 간척지 토양에 부적합하다고 판단된다.

(4) 당근



<그림 2-317> 당근의 생육차이 사진 (좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리)

당근 또한 뿌리 작물이며, 광량이 필요한 작물이기 때문에 생육이 원활하지 못했다. 점적관수별 생육차이는 크게 나지 않았으나, 살수 관수에서는 생육의 잔뿌리의 형성이 약한 것을 볼 수 있다. 암거의 차이도 크게 나지 않았으며, 새만금과 석문 지구의 문제였던 뿌리 휨 현상은 크게 일어나지 않았으나, 생장이 미미함은 마찬가지였다.

(5) 적겨자



<그림 2-318> 적겨자의 생육차이 사진(좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리)

적겨자의 품질은 상당히 좋은 지수를 보였다. 5m 암거 구간과 10m 암거 구간은 큰 차이가 나지 않을 정도로 잘 자랐지만, 암거가 없는 무처리 구간에서는 잔뿌리 생육이 미진하였으며 잎의 생육 차이 또한 유의하게 차이가 난다. 적겨자는 새만금지구와 석문지구에서 식해의 피해를 가장 많이 받은 작물이었는데, 해충의 생육과 빗겨감으로써 식해를 전혀 받지 않아 좋은 품질을 보였다.

(6) 치커리



<그림 2-319> 치커리의 생육차이 사진(좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리)

치커리의 생육 또한 다른 지구들과 비슷하게, 잔뿌리의 차이를 볼 수 있었다. 5m 지역과 10m, 무처리 구간으로 갈수록 잔뿌리의 양이 감소하는 것을 볼 수 있다. 앞서 말한 바와 같이 점적관수의 차이는 크게 보이지 않았으나 암거 5m 구간과 살수 구간을 보면 생육 크기가 조금 작은 것을 볼 수 있다. 치커리는 살수보다는 점적관수에서 생육이 더 좋으며, 암거처리를 한 것이 좋은 생육을 나타내는 것을 볼 수 있었다.

(7) 케일



<그림 2-320> 케일의 생육차이 사진(좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리)

케일의 생육은 점적관수와 살수관수에서 뚜렷한 차이를 나타냈다. 110% 점적, 100% 점적, 90% 점적, 살수의 순으로 나타낸 것을 볼 수 있는데 점적관 구역별 차이에서는 크게 유의하진 않으나 점적관수와 살수관수의 차이를 보면 확연히 드러남을 볼 수 있다.

(8) 적근대



<그림 2-321> 적근대의 생육차이 사진(좌에서 우로 암거 간격 5m, 10m, 무처리)

적근대의 생육은 일사량의 부족으로 인하여 원활하지 못했다. 생체중은 관수별로는 큰 차이를 내지 못했고 암거별 간격으로도 큰 차이가 나진 않았다. 화용지구에서는 식해의 피해는 나타나지 않았지만, 광합성의 부족으로 생육량이 부진한 값을 보였다.

(9) 화용지구 생육조사 고찰

화용지구의 전체적 생육결과는 적겨자, 케일 등의 엽채류가 눈에 띄게 좋은 값을 드러냈다. 이는 새만금지구와 석문지구와 달리 가을에 정식한 것을 이유로 들 수 있으며, 주변 농지의 부재로 식해하는 해충들이 없었던 것도 좋은 품질의 요인으로 들 수 있다. 화용지구는 염도가 지나치게 높아 재염을 반복하는 공사를 지속하느라, 작물의 정식이 늦어졌다. 그 결과 높은 염도였던 화성지구에서도 작물이 원활한 생육을 할 수 있었으며, 3차년도에 동일한 재배환경에서 실험을 할 예정이다.

라. 3차년도 간척농지 재배 실험 결과

1) 새만금지구 작물 수확량 조사 결과

(표 2-146) 새만금 간척지 작물 최종 수확량(관수 90%)

(단위: kg)

구 분	암거 5m 처리구	암거 10m 처리구	암거 10m 토양개량 처리구	무처리구
감초	5.6	14.7	17.9	6.7
강황	14.2	35.8	46.7	30.6
향부자	5.2	11.4	11.1	8.7
홍화	0.2	0.4	0.5	0.3
레몬밤	7.3	14.9	16.8	10.5
도라지	1.9	4.9	4.9	2.8
배초향	20.1	45.4	48.5	32.4
비트(3차)	49.4	125.3	143.0	123.2
비트(4차)	40.4	108.0	133.7	102.8
울무	0.4	0.9	1.0	0.7
참깨	1.4	2.9	2.9	2.6

모든 작물의 최종 수확량이 무처리구에 비해 암거 10m 토양개량에서 높았다. 모든 처리구에서 홍화, 울무, 도라지, 참깨에서는 수확량의 큰 차이는 없었으나, 이를 제외한 작물에서는 암거 5m 처리구에 비해 암거 10m 토양 개량 처리구에서 최종 수확량이 약 2배 차이가 났고, 암거 10m 처리구와 암거 10m 토양 개량 처리구의 최종 수확량에 대해 큰 차이는 나지 않지만, 10m 토양 개량 처리구에서 비교적 수확량이 높았다. 암거 10m 토양 개량 처리구의 비트 (3차)에서 143.0kg으로 가장 수확량이 높았다.

(표 2-147) 새만금 간척지 작물 최종 수확량(관수 100%)

(단위: kg)

구 분	암거 5m 처리구	암거 10m 처리구	암거 10m 토양개량 처리구	무처리구
감초	6.2	15.7	19.4	7.1
강황	18.4	46.8	47.9	30.9
향부자	5.1	11.2	11.6	9.6
홍화	0.2	0.5	0.6	0.4
레몬밤	7.0	18.1	19.6	13.1
도라지	2.1	4.7	5.4	3.1
배초향	21.1	51.8	53.3	30.6
비트(3차)	72.9	154.0	171.9	95.5
비트(4차)	70.2	134.4	179.2	109.3
울무	0.4	1.0	1.0	0.7
참깨	1.3	3.3	3.4	2.7

모든 작물의 최종 수확량이 무처리구에 비해 암거 10m 토양개량에서 높았다. 모든 처리구에서 홍화, 도라지, 울무, 참깨에서는 수확량의 큰 차이는 없었으나, 이를 제외한 작물에서는 암거 5m 처리구에 비해 암거 10m 토양 개량 처리구에서 최종 수확량이 약 2배 차이가 났고, 암거 10m 처리구와 암거 10m 토양 개량 처리구의 최종 수확량에 대해 큰 차이는 나지 않지만, 10m 토양 개량 처리구에서 비교적 수확량이 높았다. 암거 10m 토양 개량 처리구의 비트 (4차)에서 179.2kg으로 가장 수확량이 높았다.

(표 2-148) 새만금 간척지 작물 최종 수확량(관수 110%)

(단위: kg)

구 분	암거 5m 처리구	암거 10m 처리구	암거 10m 토양개량 처리구	무처리구
감초	6.3	14.8	21.4	7.5
강황	24.4	55.2	60.5	36.8
향부자	5.0	11.0	11.6	9.6
홍화	0.2	0.6	0.7	0.3
레몬밤	9.3	21.0	22.5	13.0
도라지	2.7	6.8	7.2	3.4
배초향	21.8	55.9	53.3	34.9
비트(3차)	51.1	153.1	202.8	81.5
비트(4차)	53.3	153.4	186.7	82.4
울무	0.5	1.0	1.0	0.7
참깨	1.4	3.5	4.1	2.8

모든 작물의 최종 수확량이 무처리구에 비해 암거 10m 토양개량에서 높았다. 모든 처리구에서 홍화, 도라지, 울무, 참깨에서는 수확량의 큰 차이는 없었으나, 이를 제외한 작물에서는 암거 5m 처리구에 비해 암거 10m 토양 개량 처리구에서 최종 수확량이 약 2배 차이가 났고, 암거 10m 처리구와 암거 10m 토양 개량 처리구의 최종 수확량에 대해 큰 차이는 나지 않지만, 10m 토양 개량 처리구에서 비교적 수확량이 높았다. 암거 10m 토양 개량 처리구의 비트 (3차)에서 202.8kg으로 가장 수확량이 높았다.

(표 2-149) 새만금 간척지 작물 최종 수확량(관수 0%)

(단위: kg)













































구 분	암거 5m 처리구	암거 10m 처리구	암거 10m 토양개량 처리구	무처리구
감초	2.1	5.6	7.0	3.7
강황	6.3	14.8	28.2	12.5
향부자	4.7	9.4	10.1	8.6
홍화	0.1	0.3	0.3	0.2
레몬밤	3.4	8.2	9.1	6.1
도라지	0.9	1.9	2.6	1.5
배초향	9.8	22.2	27.4	14.8
비트(3차)	22.6	51.1	55.1	40.9
비트(4차)	20.0	48.0	53.3	40.3
울무	0.3	0.7	0.8	0.6
참깨	0.5	1.3	1.5	1.2

모든 작물의 최종 수확량이 무처리구에 비해 암거 10m 토양개량에서 높았다. 모든 처리구에서 감초, 향부자, 홍화, 레몬밤, 도라지, 울무, 참깨에서는 수확량의 큰 차이는 없었으나, 이를 제외한 작물에서는 암거 5m 처리구에 비해 암거 10m 토양개량 처리구에서 최종 수확량이 약 2배 차이가 났고, 암거 10m 처리구와 암거 10m 토양개량 처리구의 최종 수확량에 대해 큰 차이는 나지 않지만, 10m 토양개량 처리구에서 비교적 수확량이 높았다. 암거 10m 토양개량 처리구의 비트(3차)에서 55.1kg으로 가장 수확량이 높았다.

(표 2-150) 새만금 간척지 작물 생육사진(관수 90%)

구 분	암거 5m 처리구	암거 10m 처리구	암거 10m 토양개량 처리구	무처리구
감초				
강황				
향부자				
홍화				
레몬밤				
도라지				
배초향				
비트(3차)				
비트(4차)				
울무				
참깨				

(표 2-151) 새만금 간척지 작물 생육사진(관수 100%)

구 분	암거 5m 처리구	암거 10m 처리구	암거 10m 토양개량 처리구	무처리구
감초				
강황				
향부자				
홍화				
레몬밤				
도라지				
배초향				
비트(3차)				
비트(4차)				
율무				
참깨				

(표 2-152) 새만금 간척지 작물 생육사진(관수 110%)

구 분	암거 5m 처리구	암거 10m 처리구	암거 10m 토양개량 처리구	무처리구
감초				
강황				
향부자				
홍화				
레몬밤				
도라지				
배초향				
비트(3차)				
비트(4차)				
울무				
참깨				

(표 2-153) 새만금 간척지 작물 생육사진(관수 0%)

구 분	암거 5m 처리구	암거 10m 처리구	암거 10m 토양개량 처리구	무처리구
감초				
강황				
향부자				
홍화				
레몬밤				
도라지				
배초향				
비트(3차)				
비트(4차)				
울무				
참깨				

- 관수 90% 처리구의 경우 감초를 제외한 모든 작물이 무처리구에 비해 압거 10m 및 개량제 처리구에서 비교적 생육 상태가 좋았으며, 도라지는 압거 10m 처리구와 압거 10m 토양개량제 처리구에서 꽃이 맺혔다. 하지만 감초는 무처리구에 비해 5m 처리구에서 비교적 생육 상태가 좋았다.

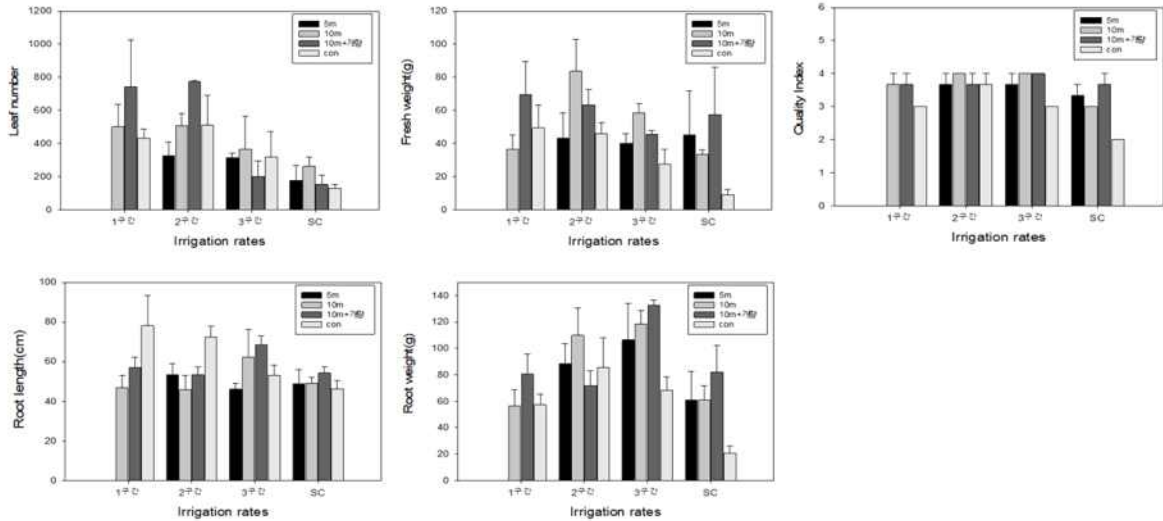
- 관수 100% 처리구의 경우 모든 작물이 무처리구에 비해 압거 10m 및 개량제 처리구에서 비교적 생육 상태가 좋았으며, 도라지는 압거 10m 처리구와 압거 10m 토양개량제 처리구에서 꽃이 맺혔다. 배초향의 경우 모든 처리구에서 비교적 생육 상태가 좋았다.

- 관수 110% 처리구의 경우 모든 작물이 무처리구에 비해 압거 10m 및 개량제 처리구에서 비교적 생육 상태가 좋았으며, 도라지는 압거 10m 처리구를 제외한 모든 처리구에서 꽃이 맺혔다. 관수 110%에서는 감초 무처리구를 제외하고 모든 작물과 처리구에서 비교적 생육이 좋았다.

- 마지막 관수 0% 처리구의 경우 감초는 모든 처리구에서 생육 상태가 좋지 않았으며, 감초를 제외한 모든 작물은 모든 처리구에서 생육 상태가 비슷하였다. 도라지는 모든 처리구에서 꽃이 맺혔다.

2) 석문지구 생육조사 결과

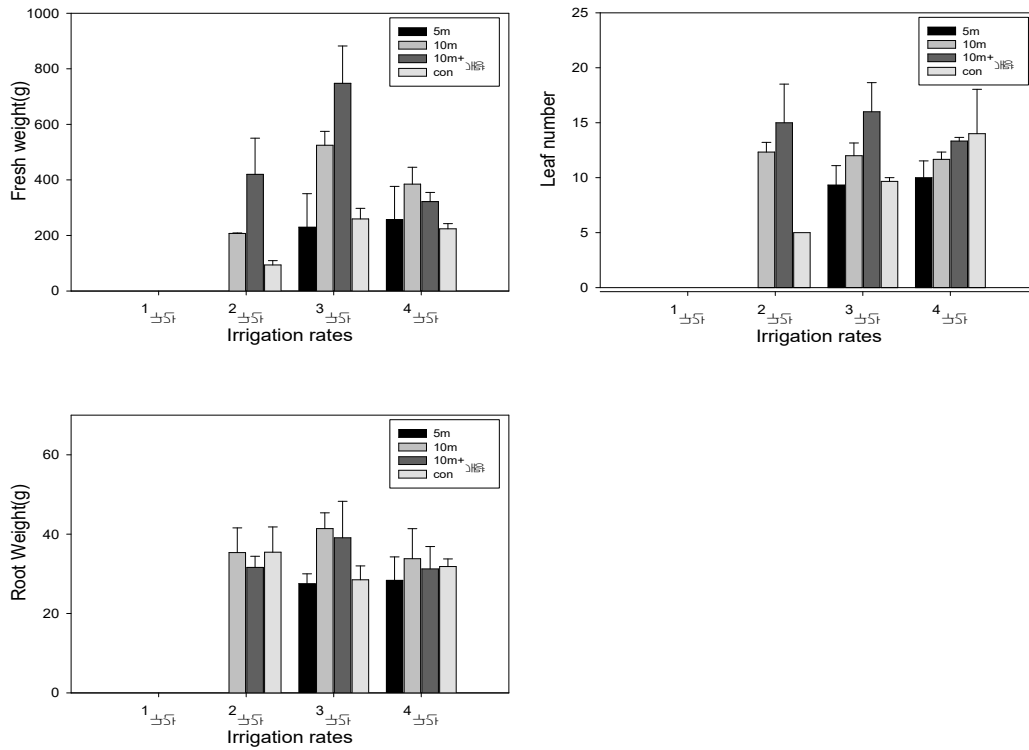
(1) 감초



<그림 2-322> 처리 구간별 감초의 엽수, 근장, 근중, 생체중 및 품질지수 결과(9월 24일)

감초는 국내 소비 한약 재료 중에서 가장 많이 사용되는 약용작물 중 하나이며, 내염성이 강한 작물에 속하고, 수요가 높은 고부가가치의 작물이기 때문에 2차년도 선정하였으며 생육 재검증을 위하여 3차년도에 재평가를 수행하였다. 최종 생육조사의 결과, 뿌리 무게가 무관수 무암거처리에서 가장 낮은 값을 보였다. 감초는 관개 무처리 구간에서 엽수가 제일 낮은 값을 보였으며, 생체중 또한 무관수 암거 무처리 구간에서 제일 낮았다. 2년간 연속된 실험결과 감초는 30cm 간격보다는 밀식재배를 하는 것이 조금 더 통상적이며, 강풍의 피해를 줄일 수 있는 방법이라고 판단된다. 감초는 3년차 실험 결과 비교적 생육이 좋은 작물에 속하지만, 토양 물빠짐이 안 좋은 곳에서는 생육이 불량한 결과를 초래하였다. 풍해로 인해 엽이 탈락하는 경향을 보였으며, 이를 해결하기 위해서 밀식재배를 하는 것이 유리할 것으로 판단되며 이에 따른 재식거리를 재조정할 필요가 있다. 감초의 4차 생육결과 품질지수는 양호한 것으로 판단되나, 양적으로 일반노지와 비교하여 유의적으로 작은 것으로 나타났다. 이러한 원인으로 석문 간척지 토양의 고염도 및 물 빠짐 문제라고 사료된다.

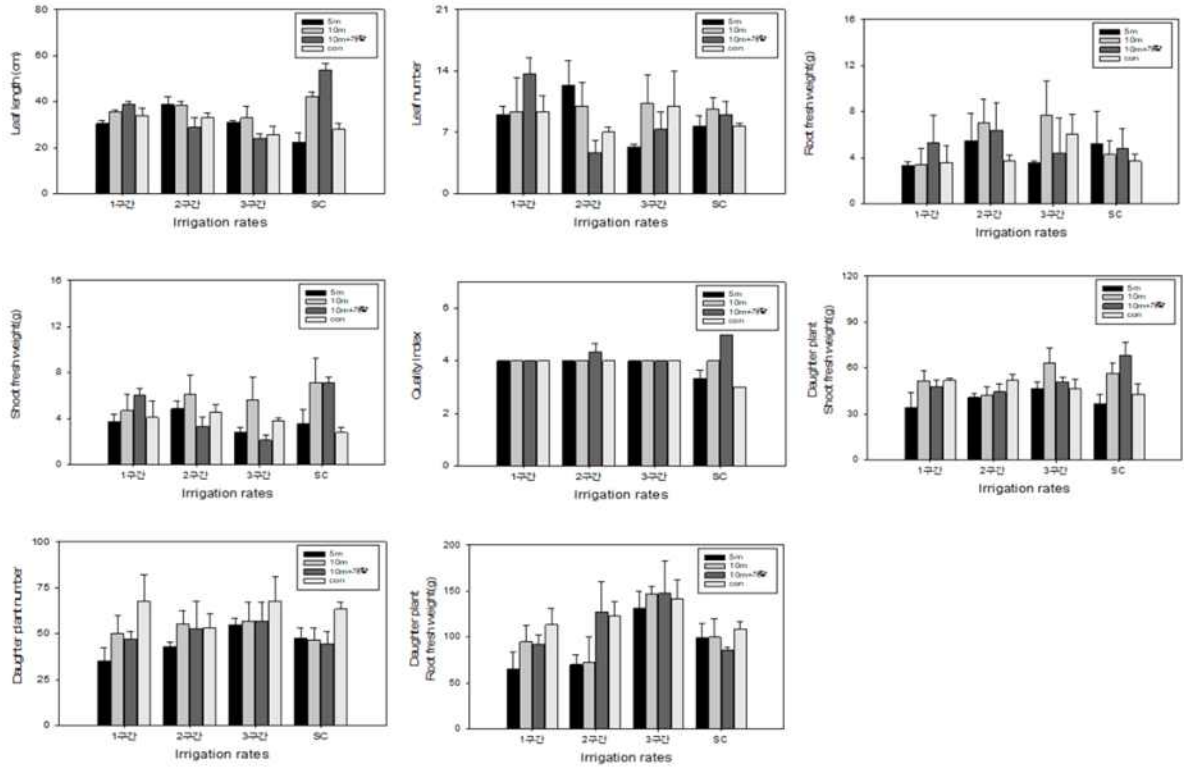
(2) 강황



<그림 2-323> 처리 구간별 강황의 근중, 엽수 및 생체중 결과(9월 24일)

강황은 보통 카레의 원료로 쓰이는 알뿌리가 노란색을 띠는 작물로서, 최근 약리적 효과를 인정받아 수요량이 늘어나고 있는 추세이다. 최종 생육조사 결과, 대체적으로 지상부 생체중은 3구간 토양개량제 처리 구간이 가장 높으며, 근중은 3구간의 10m간격처리 구간이 가장 큰 값을 보이고 있다. 1구간은 침수로 제외하고 나머지 구간에서 강황의 근중 결과는 크지 않은 것으로 나타났다. 토양의 배수문제 또는 토양 염도에 의한 생육의 부진에 의한 결과로 사료된다. 명확한 것은 관수 처리와 관계없이 토양 암거 무처리 구간의 생육이 더딘 것은 역시 물빠짐의 차이에서 오는 생육차이라고 할 수 있다. 강황은 습해의 피해를 받으면 부패하기 쉬우므로 물빠짐이 중요한 작물이기 때문에 암거처리가 필수적으로 예상되며, 석문간척지에서는 물 빠짐의 좋지않은 구간이 항상 존재하여 정확한 실험을 수행하기 어려운 부분이 있다.

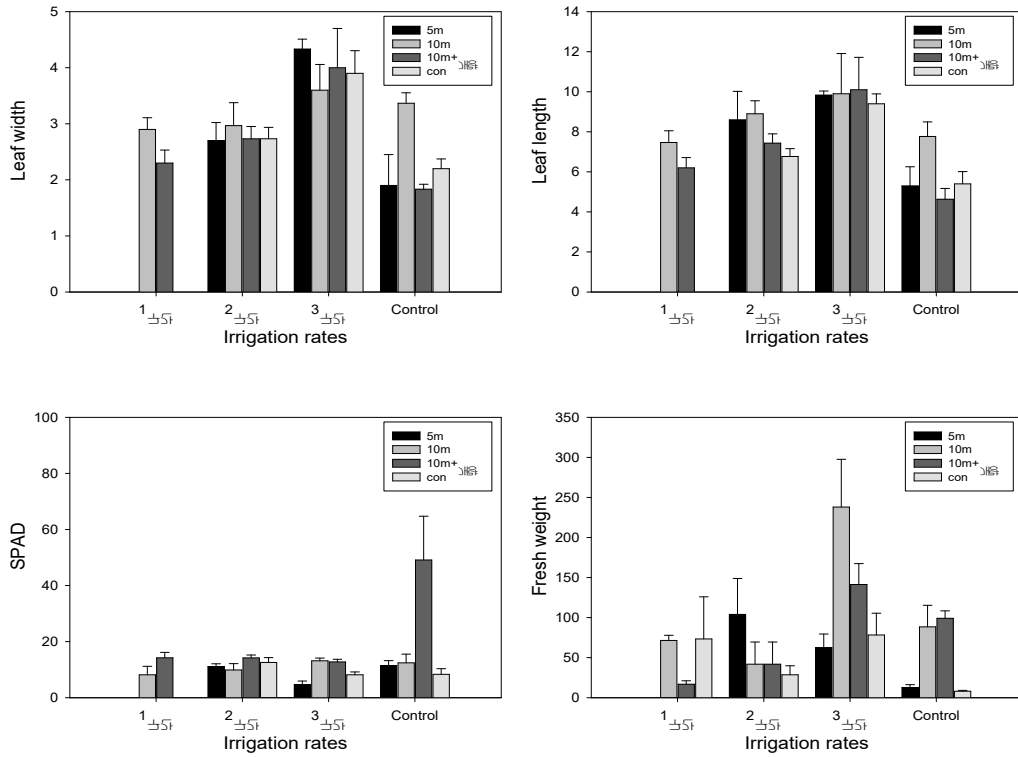
(3) 향부자



<그림 2-324> 처리 구간별 향부자의 엽장, 엽수, 지상부 생체중, 지하부 생체중, 자 식물체 개수, 자 식물체 지상부 생체중, 자 식물체 지하부 생체중, 그리고 품질지수(9월 25일)

보통 덩이줄기의 잔뿌리를 햇볕에 말린 것을 향부자라고 하며, 신경성위통, 소화불량, 부인병에 약재로 쓰인다. 최종 생육조사 결과, 자식물체의 지상부 생체중은 무관수 토양개량제 처리에서 가장 높은 값을 보이고 있으며, 지하부 생체중은 관개 3구간 토양개량제 처리에서 가장 높은 값을 보인다. 무관수 처리에서 높은 지상부 생육값을 보이는 것은 실질적으로 적당한 강수가 있었으며, 배수가 양호한 곳이기 때문이다. 특정 관수가 영향을 끼친다고 판단하기에는 유의적이지 않지만, 생체중의 결과로 보았을 때 암거 10m 간격과 토양개량제처리가 5m간격 처리구간이 무처리구간보다 대체적으로 높은 값을 보이는 것으로 나타났다.

(4) 홍화



<그림 2-325> 처리 구간별 홍화의 엽폭, 엽장, SPAD, 그리고 생체중(7월 9일)

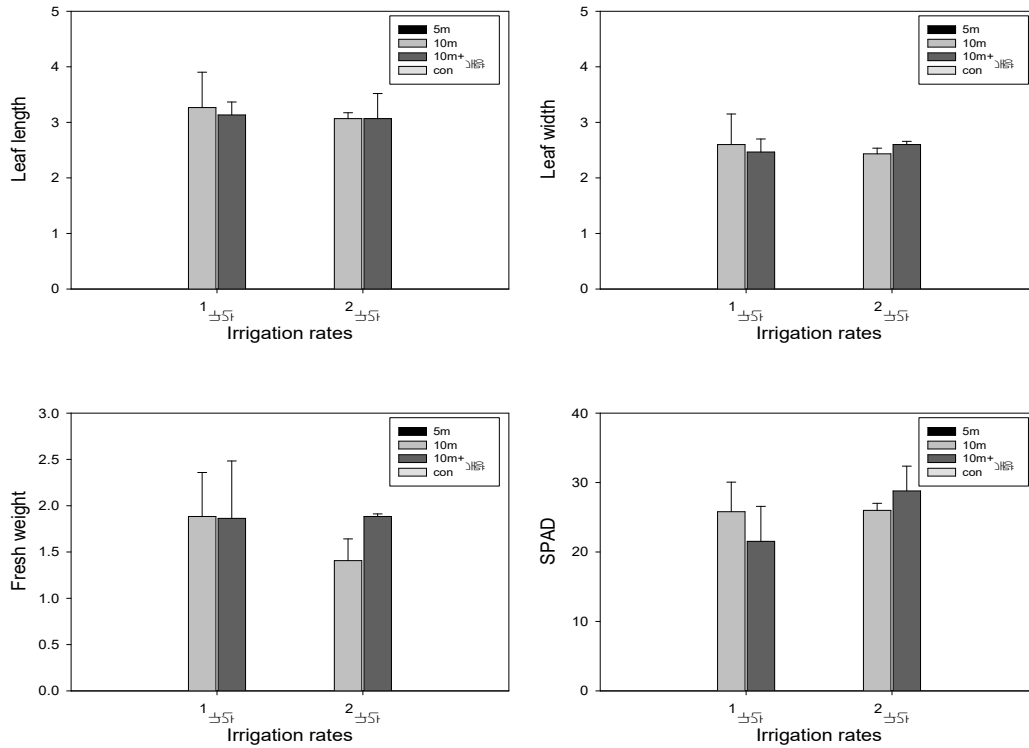
홍화 꽃은 염료로, 씨앗은 약재와 차의 주재료로 쓰이는 작물이며, 내염성이 강한 고부가가치의 작물이기 때문에 선택되었다. 최종 생육조사 결과, SPAD값이 이전 생육조사 시기에 비해 매우 낮게 관찰되었다. 엽록소 함량이 급격히 감소하였다는 것은 정상적인 생육에서 벗어나, 스트레스를 받았을 가능성을 제시하고 있다. 생체중이 매우 낮은 구간에서는 정상적인 생육이 불가능하였다는 것을 의미한다. 관수 무처리 토양 개량처리 구간에서 SPAD값은 높은 값을 나타내었으나 실제 생체중에서는 100g 수준으로 양호하다고 볼 수 없었다. 관수 3구간과 10m 처리구간에서 가장 높은 생체중 값을 나타내었으나, 이는 일반토양의 90% 수준으로 판단되며 나머지 처리에서 매우 불량한 생육을 나타낸 것으로 사료된다.

(표 2-154) 홍화의 수확량 조사 종자 무게 값

구간	종자 무게(g)
1구간 암거5m	-
1구간 암거10m	81.04
1구간 암거10m+토양개량	16.85
1구간 무처리	20.55
2구간 암거5m	2.55
2구간 암거10m	49.70
2구간 암거10m+토양개량	59.73
2구간 무처리	69.90
3구간 암거5m	23.39
3구간 암거10m	295.13
3구간 암거10m+토양개량	161.60
3구간 무처리	8.05
4구간 암거5m	12.00
4구간 암거10m	201.19
4구간 암거10m+토양개량	175.91
4구간 무처리	1.57

홍화의 경우, 8월 7일 총 수확을 진행하고 수확량을 조사하였으며 그 종자의 무게 위의 표와 같다. 홍화의 경우 3구간 암거 10m 구간이 가장 수확량이 높았다. 식물 개체 당, 약 300g의 종자 수확량은 일반 토양 수확량의 80% 정도 수준으로 나머지 처리구에서 생산된 것은 매우 불량한 수준으로 판단된다. 특히 관수 3구간에 토양 개량체 처리구의 경우 이론적으로 생육이 더 좋아야 하지만, 그러하지 못한 점은 간척 토양의 구조 자체에 문제가 있다는 의미이다.

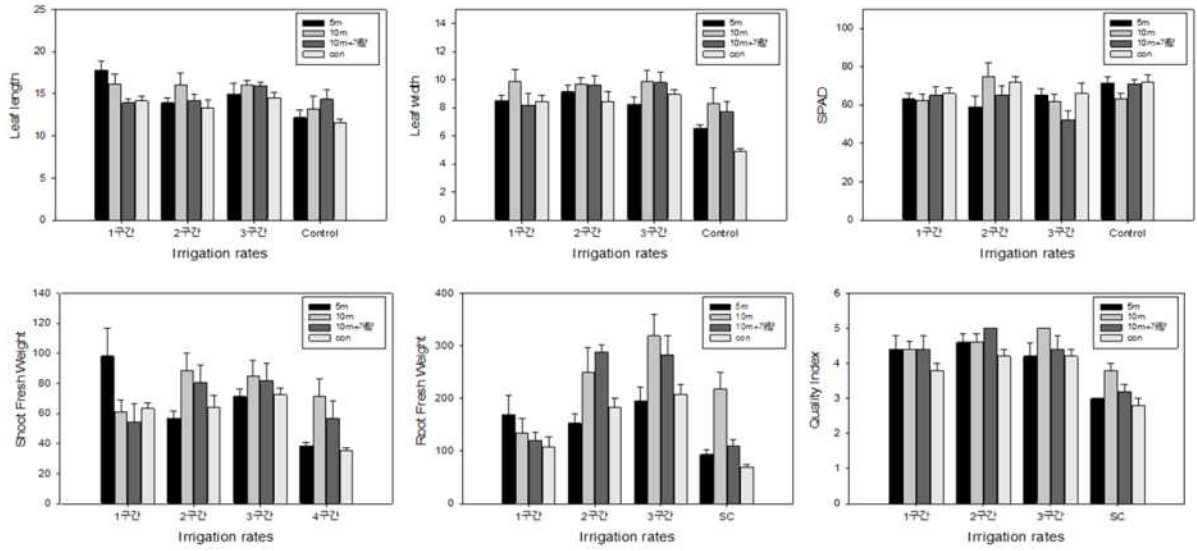
(5) 레몬밤



<그림 2-326> 처리 구간별 레몬밤의 엽장, 엽폭, 생체중, 그리고 SPAD(7월 9일)

레몬밤의 경우 충해를 많이 받았으며, 관수 3구간과 무관수 구간에서는 활착이 정상적으로 이루어지지 않았으므로 식재공간이 적었던 5m 구간과 control 구간에선 생육 불량으로 생육조사가 불가하였다. 1구간과 2구간 사이의 엽장, 엽폭, 생체중, SPAD 값은 유의한 차이가 나타나지 않았으며 본 석문 간척지토양에서 레몬밤이 정상적인 생육이 불가능하다고 판단하였기 때문에 수확시기의 성분 분할 분량을 제외하고는 더 이상의 생육조사는 진행하지 않았다.

(6) 비트



<그림 2-327> 처리 구간별 비트의 엽장, 엽폭, SPAD, 품질평가, 생체중, 그리고 지하부 생체중(7월 2일)

비트의 최종 생육조사 결과, 1차 생육조사 결과에 비하여 엽장, 엽폭, SPAD 값이 구간별 차이가 줄어들었으며, 생체중의 경우, 관수 2구간과 3구간이 1구간과 4구간에 비하여 대체적으로 높은 값을 보였다. 특히 지하부 생체중의 경우 관수 3구간과 토양 10m 간격의 값이 가장 높은 값을 보임으로써, 비트의 생육에 적절한 관수와 암거처리가 영향을 끼치는 것을 볼 수 있다. 디트로이트 비트의 경우 3월 말에 파종하여 7월 말에 수확하는 것이 통상적이다. 비트는 2기작 재배로써 널리 이용되며 수확하고 8월 말에 다시 정식하였으며 10월 말에 수확예정을 앞두고 있다.

(7) 그 외 작물들




도라지, 배초향, 울무, 참깨의 경우 초기 활착이 잘 되지 않았으며, 초기 물관리를 매우 적극적으로 하였음에도 고사한 것은 토양의 염도가 높았기 때문으로 사료되며, 이에 따라, 2차 정식을 하였으나, 역시 정상적인 생육이 불가하였다. 석문지구의 경우 감초, 강황, 홍화, 향부자, 비트가 상품성이 낮은 단계의 생육을 보였으며 레몬밤, 배초향, 도라지, 울무, 참깨의 경우 활착이 불가능하였다. 이는 비온 후에 토양의 배수성이 매우 불량하여 침수지역이 발생하고 토양 염도도 높아 정상적인 생육이 불가능 하다고 판단되었다. 특히 참깨와 울무와 같이 초장이 커지는 작물의 경우 바람이 강한 간척지 토양에서 자라기엔 부적합한 것으로 판단된다.

3) 화옹지구 생육조사 결과

화옹지구의 작물 생육은 7월 17일 이후로는 배수불량으로 인한 습해를 받아 생육조사가 불가능하였고, 레몬밤, 참깨의 경우는 초기부터 생육이 불가하였다. 간척지 생육에 적합한 것으로 사료되는 작물들은 감초, 강황, 비트, 홍화를 들 수 있다.

(1) 감초

















(표 2-155) 화옹 간척지 감초 생육 사진

	관개1	관개2	관개3	관개4
5m 암거				
10m 암거				
10m 암거 + 개량 제				
무처 리				

감초의 생육은 10가지 작물 중에서 상당히 우수한 편에 속한다. 관개조건에 따른 생육차이는 유의해 보이지 않았고, 10m 암거 및 개량제 처리구간에서 작물의 생육이 비교적 좋았으며, 무처리 구간에서는 뿌리의 생육이 좋지 않았다.

(2) 강황

(표 2-156) 화용 간척지 강황 생육 사진

	관개1	관개2	관개3	관개4
5m 암거				
10m 암거				
10m 암거 + 개량 제				
무처 리				

강황의 생육은 10가지 작물 중에서 우수한 편에 속한다. 관개조건에 따른 생육 차이는 무관개 구간에서 잎의 생장이 작았으며, 10m 암거 및 개량제 처리구간에서 작물의 생육이 다른 구간에 비해 비교적 좋았다.

(3) 비트



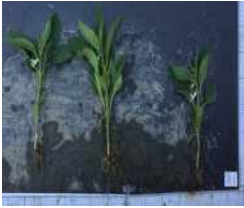













(표 2-157) 화용 간척지 비트 생육 사진

	관개1	관개2	관개3	관개4
5m 암거				
10m 암거				
10m 암거 + 개랑 제				
무처 리				

비트의 생육은 전체적으로 양호하였다. 관개조건 및 암거간격에 따른 생육차이는 유의하게 나타나지 않았고, 관개1 구간에서 뿌리의 크기가 비교적 크다.

(4) 도라지















(표 2-158) 화용 간척지 도라지 생육 사진

	관개1	관개2	관개3	관개4
5m 암거				
10m 암거				
10m 암거 + 개량 제				
무처 리				

도라지의 생육은 관개1구역에서 가장 좋았으며, 다른 구역에서도 양호하였다. 관개2구역과 관개3구역에서는 개량제 처리를 하였을 때, 줄기의 생장이 약간 미미하였다.

(5) 배초향

















(표 2-159) 화용 간척지 배초향 생육 사진

	관개1	관개2	관개3	관개4
5m 암거				
10m 암거				
10m 암거 + 개량 제				
무처 리				

배초향의 생육은 무관개 구간에서는 생육이 매우 불량 하였고, 다른 구간에서는 관개량에 의한 차이는 보이지 않았다. 개량제를 처리하였을 때 다른 암거구간에 비해 작물의 생육이 좋았다.

(6) 향부자

















(표 2-160) 화옹 간척지 향부자 생육 사진

	관개1	관개2	관개3	관개4
5m 암거				
10m 암거				
10m 암거 + 개랑 제				
무처 리				

향부자의 생육은 관개량과 암거구간에 따른 유의차가 보이지 않았으며, 전체적으로 양호한 것으로 보인다. 관개2구역의 무처리 구간에서는 길이 성장 및 잎의 수가 적었다.

(7) 울무

















(표 2-161) 화용 간척지 울무 생육 사진

	관개1	관개2	관개3	관개4
5m 암거				
10m 암거				
10m 암거 + 개량 제				
무처 리				

울무의 생육은 관개구간별 비교에서는 관개1구역에서 가장 좋았고, 무관개구역에서 좋지 않았다. 암거간격별 비교로는 10m 암거구간에서 생육이 양호하였다. 개량제 처리 효과는 미비한걸로 사료된다.

(8) 홍화

(표 2-162) 화용 간척지 홍화 생육 사진

	관개1	관개2	관개3	관개4
5m 암거				
10m 암거				
10m 암거 + 개랑 제				
무처 리				











홍화의 생육은 무관개구간을 제외한 다른 구간에서는 관개량과 암거간격에 따른 유의차는 없었고, 전체적으로 양호한 작물생육을 보였다.

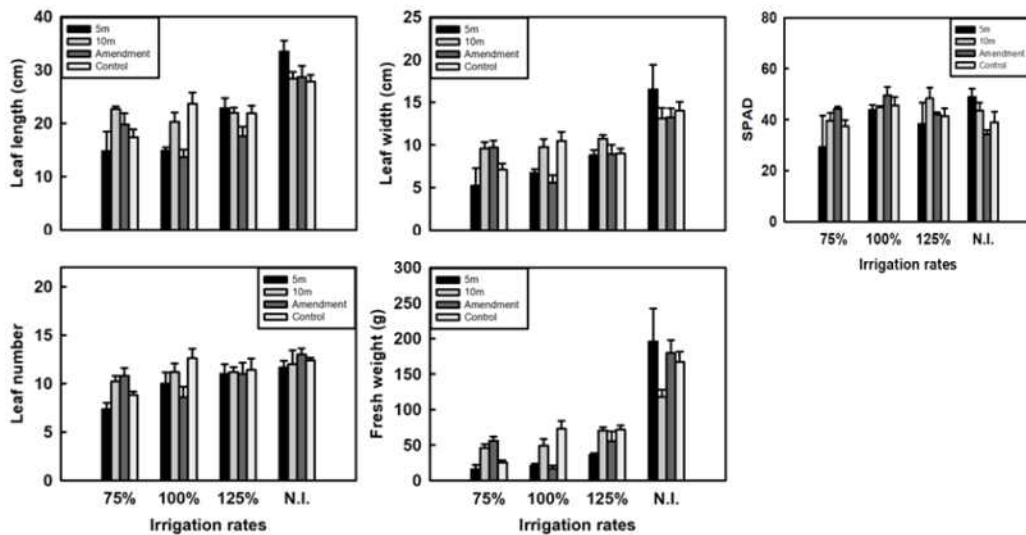
마. 4차년도 간척농지 재배 실험 결과

1) 새만금지구 생육조사 결과

(1) 적겨자

(표 2-163) 새만금 간척지 적겨자 생육 사진 (6월)

암거	관수	75%	100%	125%	무관수 (자연강우)
5m					
10m					
10m+토양 개량제					
무암거 (대조구)					

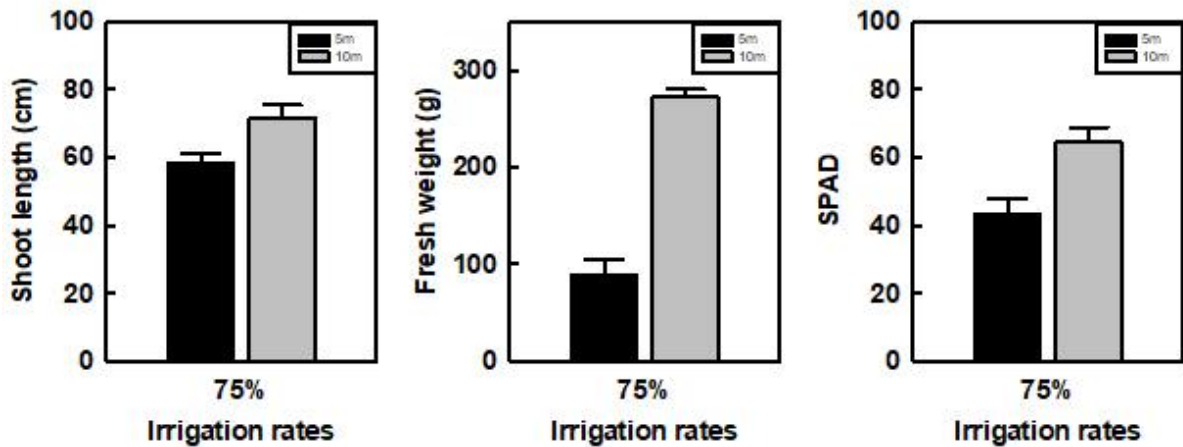
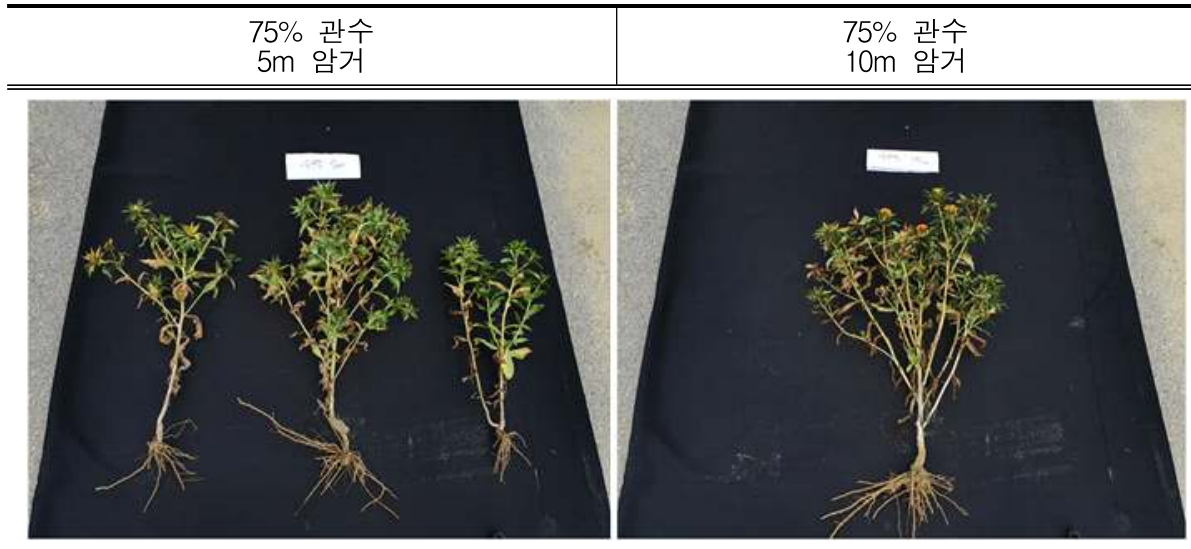


<그림 2-328> 새만금 간척지 적겨자의 엽장, 엽폭, 엽수, 생체중, SPAD (6월)

새만금 적겨자 생육조사 결과, 생육이 가장 좋았던 처리구는 무관수 처리구 였으며 관수에 의한 영향보다 필드 내 작물 정식 위치가 명거 배수와 근접하여 토양 물리성이 작물 생육에 큰 영향을 준 것으로 사료된다. 생육조사 시기 당시 생육이 불량하였던 처리구들 역시 5월 말에서 6월초까지 상품으로 판매될 수준의 좋은 생육을 나타내었지만 6월 중순부터는 꽃대가 올라와 상품으로서의 가치가 없어져 2차 생육 조사를 실시하지 않았다.

(2) 홍화

(표 2-164) 새만금 간척지 홍화 생육 사진 (7월)



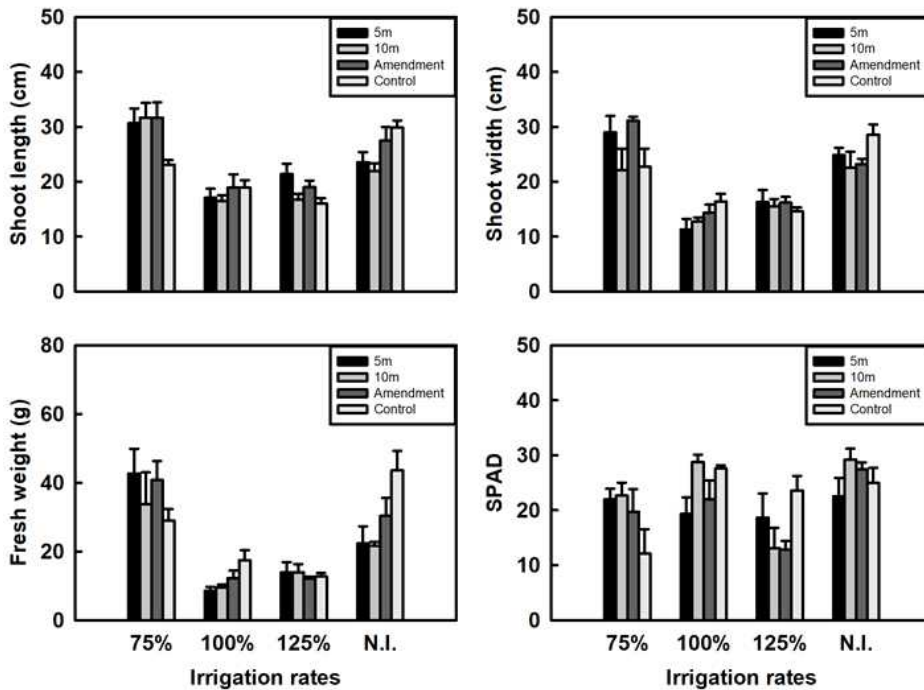
<그림 2-329> 새만금 간척지 홍화의 초장, 생체중, SPAD (7월)

새만금 홍화 1차 생육조사 결과 초기 생육의 경우 모든 처리구에서 홍화의 활착이 정상적으로 이뤄졌으며, 적겨자와 마찬가지로 초기 생육에서는 관수처리에 의한 영향은 크게 관측되지 않았다. 하지만 2차 생육조사를 실시한 7월 초 대부분의 처리구의 홍화가 생육이 불량하였으며, 75% 관수 처리구의 암거배수 5m, 10m 처리구만 생육조사가 가능한 수준이었다. 두 처리구간에 있어 10m 암거 처리가 5m 암거처리보다 초장, 생체중, SPAD 모두 높은 값을 나타내었다.

(3) 식방풍

(표 2-165) 새만금 간척지 식방풍 생육 사진 (8월)

암거 \ 관수	75%	100%	125%	무관수 (자연강우)
5m				
10m				
10m+토양 개량제				
무암거 (대조구)				



















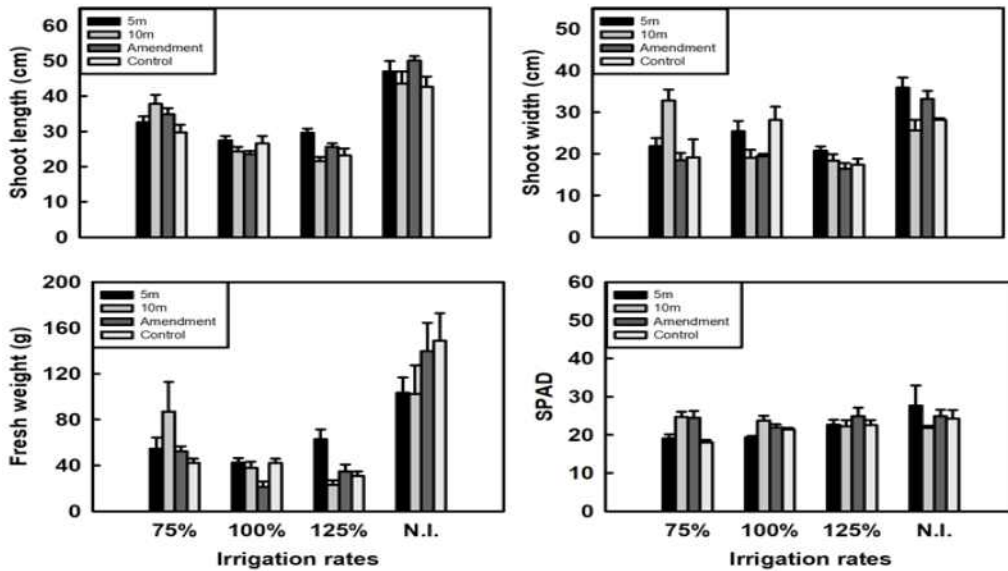
<그림 2-330> 새만금 간척지 식방풍의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (8월)

새만금 간척지 식방풍의 경우 7월, 8월, 9월 3차례 생육조사를 실시하였는데 8월달 가장 생육이 우수한 모습을 나타냈다. 금년 장기간의 장마의 영향으로 새만금 현장의 제초 및 약제 관리가 매우 어려웠기 때문에 9월달 작물의 생육이 급격히 불량해지는 모습을 나타낸 것으로 보인다. 8월달의 생육조사 결과 관수 75% 처리와 무관수 처리에서 식방풍의 초장과 초폭, 생체중이 가장 생육이 우수한 것으로 나타났다. 많은 양의 강우로 인해 관수에 의한 차이가 크게 나타나지 않았으며, 관수량이 많은 처리구의 경우 과습으로 인해 작물의 생육이 더욱 불량이었던 모습이었다.

(4) 레몬밤

(표 2-166) 새만금 간척지 레몬밤 생육 사진 (8월)

암거	관수	75%	100%	125%	무관수 (자연강우)
5m					
10m					
10m+토양 개량제					
무암거 (대조구)					

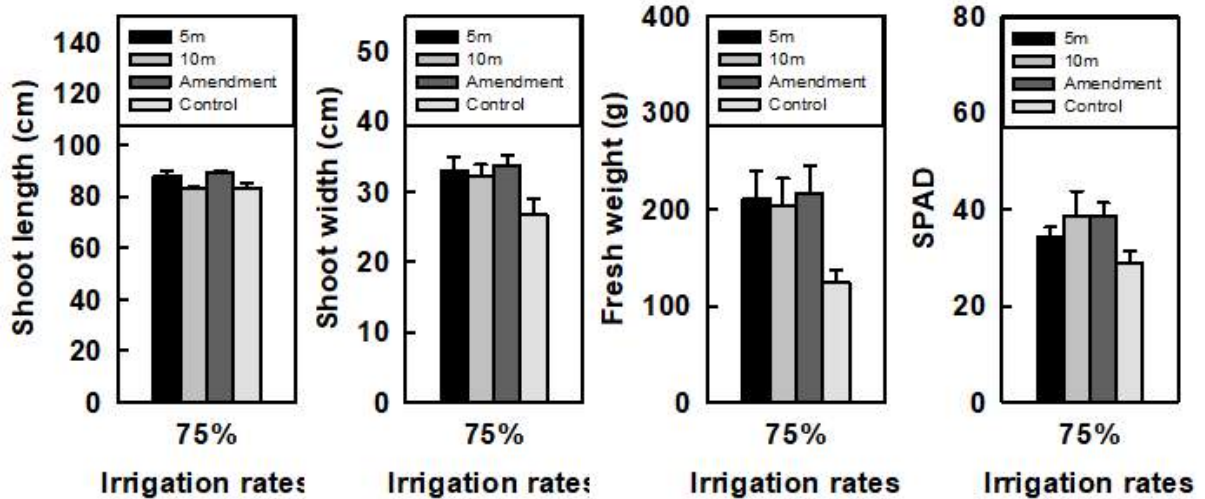


<그림 2-331> 새만금 간척지 레몬밤의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (8월)

레몬밤 역시 식방풍과 유사한 생육 양상을 나타내었다. 초기 생육은 모든처리구에서 정상적인 모습을 나타냈지만 여름철 고온 및 긴 장마기간을 거치면서 9월달 생육이 매우 불량해지는 모습이였다. 8월달 생육조사 결과 무관수 처리에서 초장, 초폭, 생체중이 가장 높은 값을 나타내었으며, 토양 암거처리에 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

(5) 배초향

(표 2-167) 새만금 간척지 배초향 생육 사진 (8월)



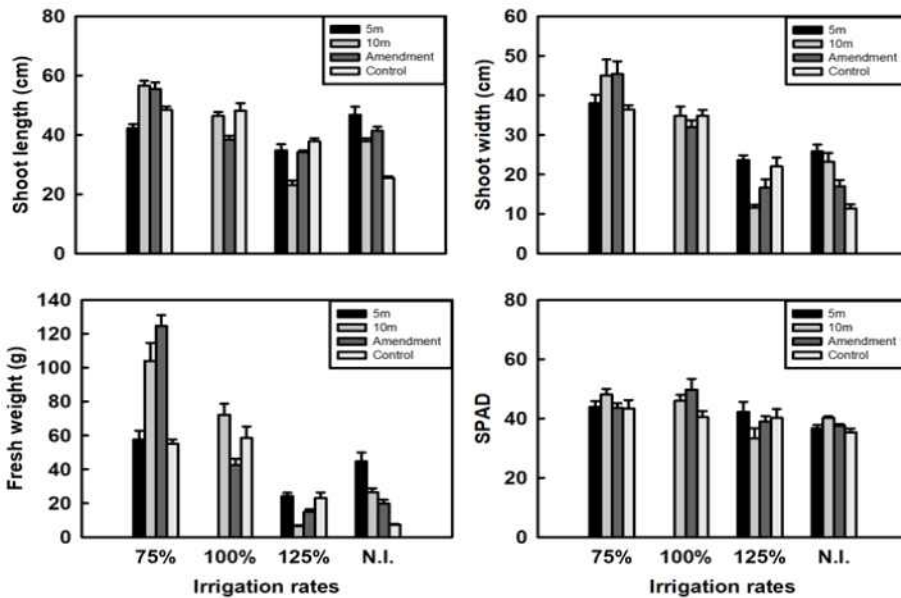
<그림 2-332> 새만금 간척지 배초향의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (8월)

4차년도 배초향의 생육은 모든 재배지에서 전체적으로 매우 불량하였으며, 새만금 75% 관수 처리구에서만 정상적인 생육을 나타낸 모습이였다. 특히 7월 생육조사 당시 10m 암거처리와 10m암거처리+토양개량처리에서 생육이 우수하였고 8월로 접어들면서 개화가 진행되었으며 8월 달 살아남은 개체들의 생육이 처리구들 간 비슷한 수준을 나타내었으며 더 이상 성장하는 모습을 나타내지 않았다.

(6) 참깨

(표 2-168) 새만금 간척지 참깨 생육 사진 (7월)

암거	관수	75%	100%	125%	무관수 (자연강우)
5m					
10m					
10m+토양 개량제					
무암거 (대조구)					



<그림 2-333> 새만금 간척지 참깨의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (7월)

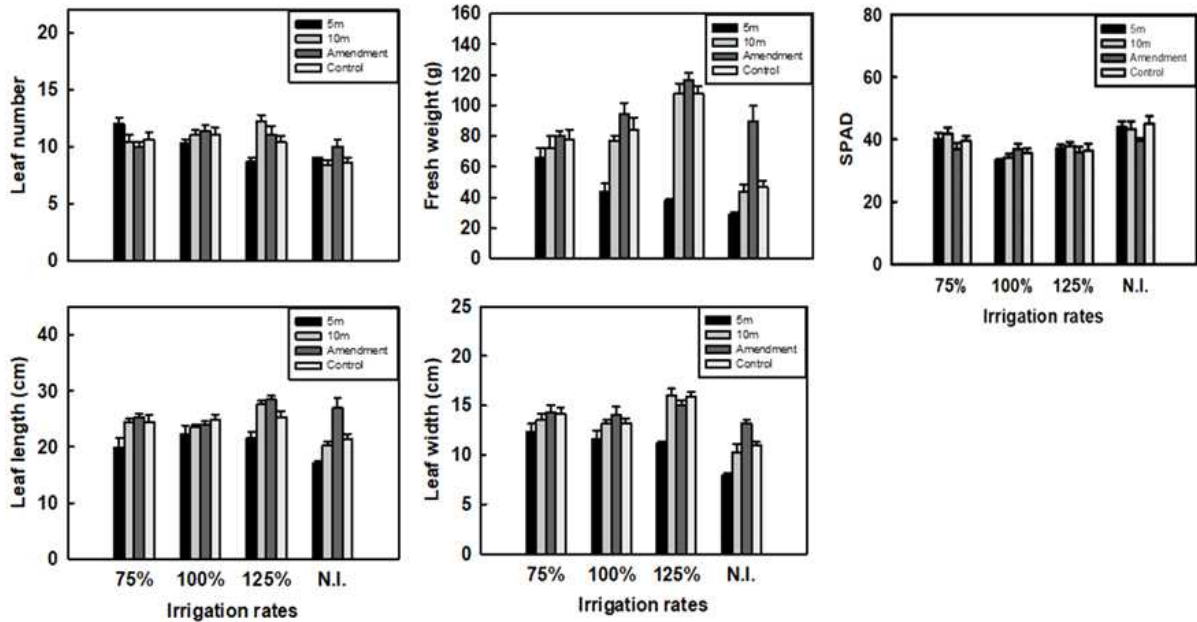
참깨는 가장 늦게 정식한 작물로써 7월 생육조사 당시 관수 처리에 따른 생육의 차이가 매우 크게 나타났다. 관수 75%, 암거 10m와 토양개량 처리에서 가장 생육이 우수하였으며 125% 관수처리에서 가장 생육이 불량하였다. 참깨는 7월초부터 꽃이 피기 시작하여 일반적으로 8월 중순 종자를 수확하는데, 금년 장마의 영향으로 인해 8월 이후 새만금 참깨의 생육이 불량해져 더 이상의 생육분석은 어려웠다.

2) 석문지구 생육조사 결과

(1) 적겨자

(표 2-169) 석문 간척지 적겨자 생육 사진 (6월)

암거 \ 관수	75%	100%	125%	무관수 (자연강우)
5m				
10m				
10m+토양 개량제				
무암거 (대조구)				



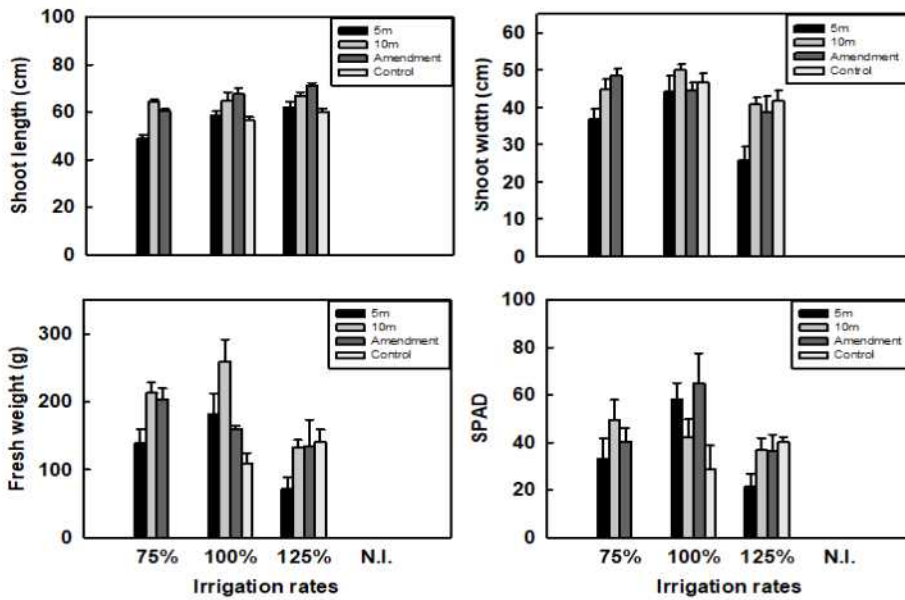
<그림 2-334> 석문 간척지 적겨자의 엽장, 엽폭, 엽수, 생체중, SPAD (6월)

석문 간척지 적겨자 생육 결과 모든 처리구에서 정상적으로 활착하여 성장하는 모습을 관찰할 수 있었다. 새만금과 동일하게 정식 후 초기 뿌리 활착을 위해 100% 관수량으로 모두 동일하게 관수하였다. 6월 생육조사 결과 5m 암거 처리에서 적겨자의 생체중이 모든 관수처리에서 낮게 나타났으며 또한 무관수 처리구에서 생육이 가장 불량한 모습을 나타내었다. 이후 7월 생육조사 시기에는 이미 꽃대가 올라와 엽채류로서의 상품성이 불량해져 생육조사를 실시하지 않았다.

(2) 홍화

(표 2-170) 석문 간척지 홍화 생육 사진 (7월)

암거 \ 관수	75%	100%	125%	무관수 (자연강우)
5m				
10m				
10m+토양 개량제				
무암거 (대조구)				



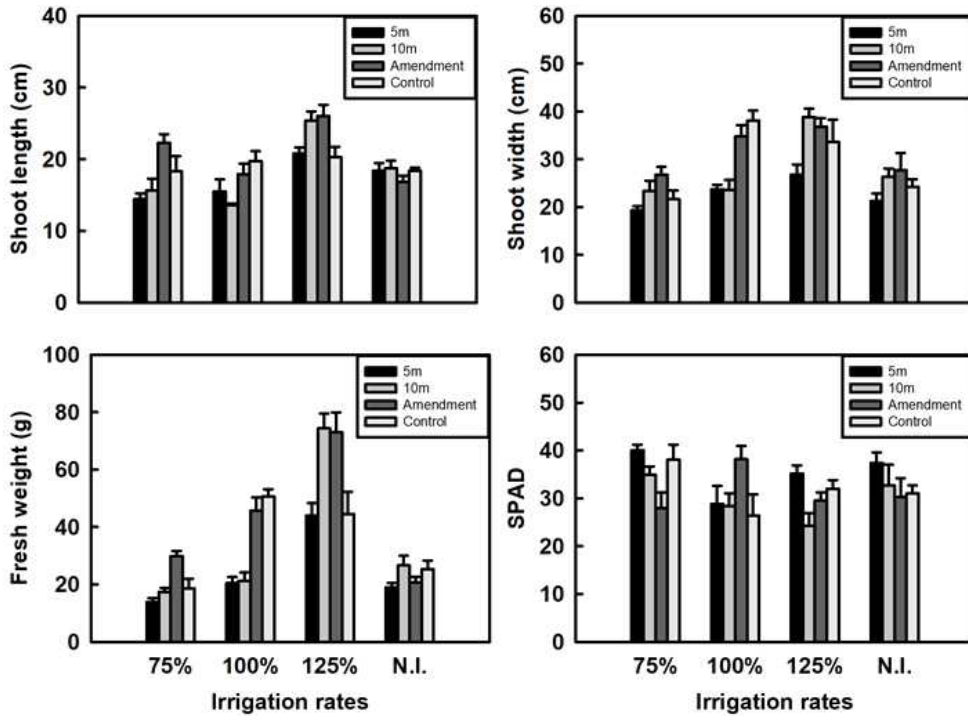
<그림 2-335> 석문 간척지 홍화의 엽장, 엽폭, 생체중, SPAD (7월)

석문 간척지 홍화는 새만금 홍화와 비교하여 생육이 더 좋은 모습이 관찰되었다. 무관수 처리구에서는 모든 홍화가 괴사하는 모습을 나타내었지만 관수처리를 진행해준 경우 75% 무암거 처리를 제외하고 모든 처리구에서 홍화가 정상적으로 성장하는 모습이였다. 100% 관수 10m 암거처리에서 생체중이 가장 높게 나타났으며 125% 관수처리구에서 생육이 저조해지는 것으로 보아 해당 수준의 관수량이 홍화의 생육이 악영향을 미친 것으로 사료된다.

(3) 식방풍

(표 2-171) 석문 간척지 식방풍 생육 사진 (9월)

암거 \ 관수	75%	100%	125%	무관수 (자연강우)
5m				
10m				
10m+토양 개량제				
무암거 (대조구)				



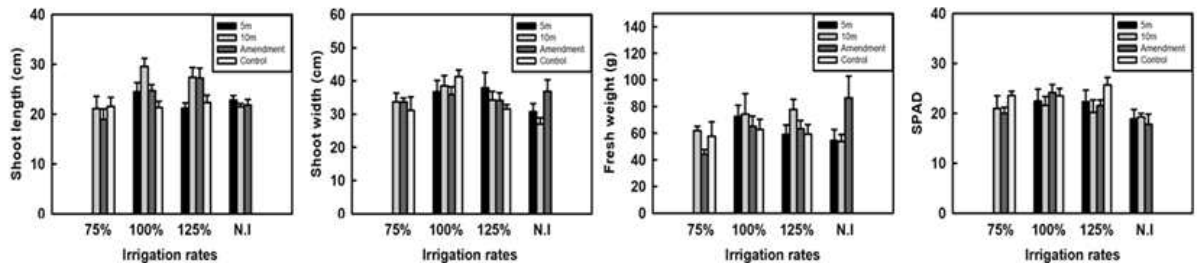
<그림 2-336> 석문 간척지 식방풍의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (9월)

석문 간척지 식방풍의 경우 7월, 8월, 9월 세차례 생육조사를 실시하였는데, 새만금과 비교하여 여름철 고온 및 장마로 인한 작물의 피해가 상대적으로 적은 모습이였다. 7월부터 9월달까지 식방풍의 생육이 계속 증가하였으며, 125% 관수 10m 암거 처리와 토양개량 처리에서 초장, 초폭, 생체중 모두 가장 높은 수준으로 나타났으며 SPAD는 처리구들간에 큰 차이가 나타나지 않았다.

(4) 레몬밤

(표 2-172) 석문 간척지 레몬밤 생육 사진 (9월)

암거 \ 관수	75%	100%	125%	무관수 (자연강우)
5m				
10m				
10m+토양 개량제				
무암거 (대조구)				

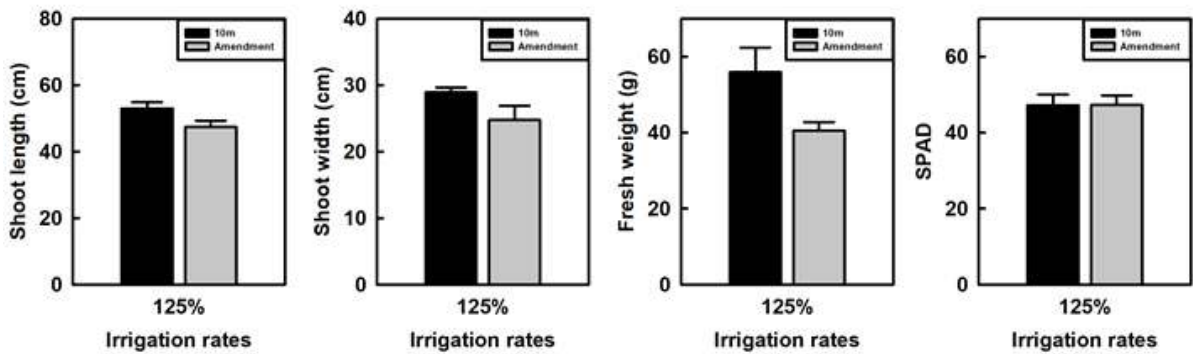
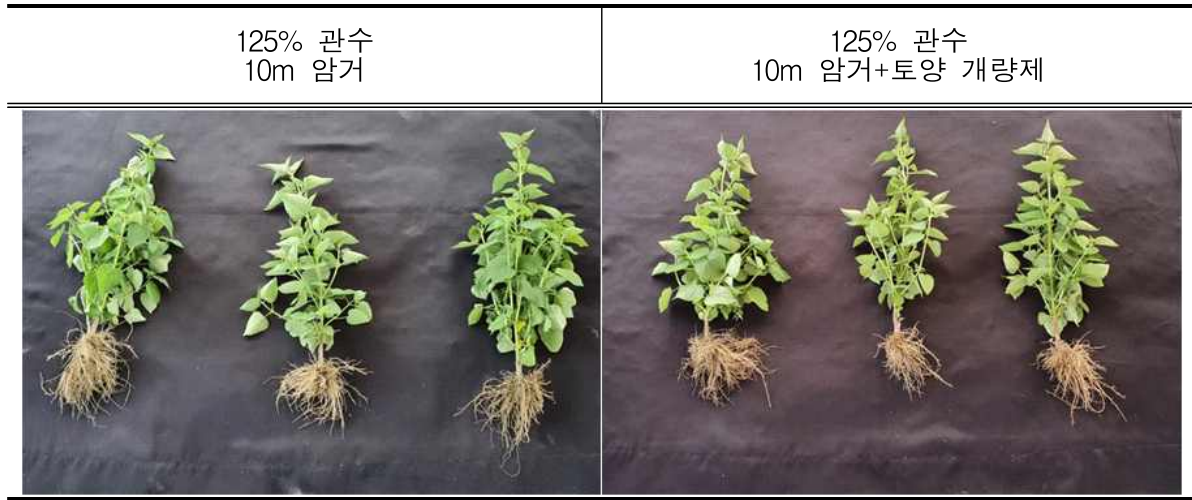


<그림 2-337> 석문 간척지 레몬밤의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (9월)

석문 간척지 레몬밤의 생육 결과 식방풍과 마찬가지로 새만금과 비교하여 9월 달까지 정상적인 생육을 나타내었다. 4년차 재배 작물 중 식방풍과 더불어 가장 생육이 좋은 모습이었다. 1차 생육조사를 실시한 7월달과 비교하여 3차 생육조사를 실시한 9월달에는 간척지 내 암거처리 및 관수처리에 의한 생육의 차이가 줄어들어 가는 모습이었다. 특히 1차 생육조사시 무관수 처리구의 레몬밤들이 활착시기에 많이 고사하여 이후 샘플링을 위해 1차 생육조사를 실시하지 않았는데, 이후 살아남은 개체들이 정상적으로 성장하여 2차, 3차 생육조사가 진행되었으며, 전체적으로 8월에서 9월로 넘어가는 시기 레몬밤의 잎이 초록색에서 갈색으로 변하며 낙엽도 많이 지는 모습을 나타냈다.

(5) 배초향

(표 2-173) 석문 간척지 배초향 생육 사진 (7월)

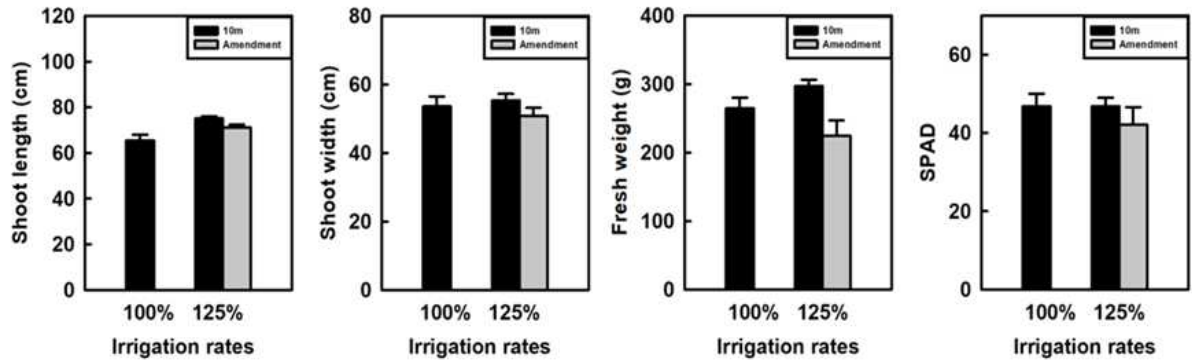
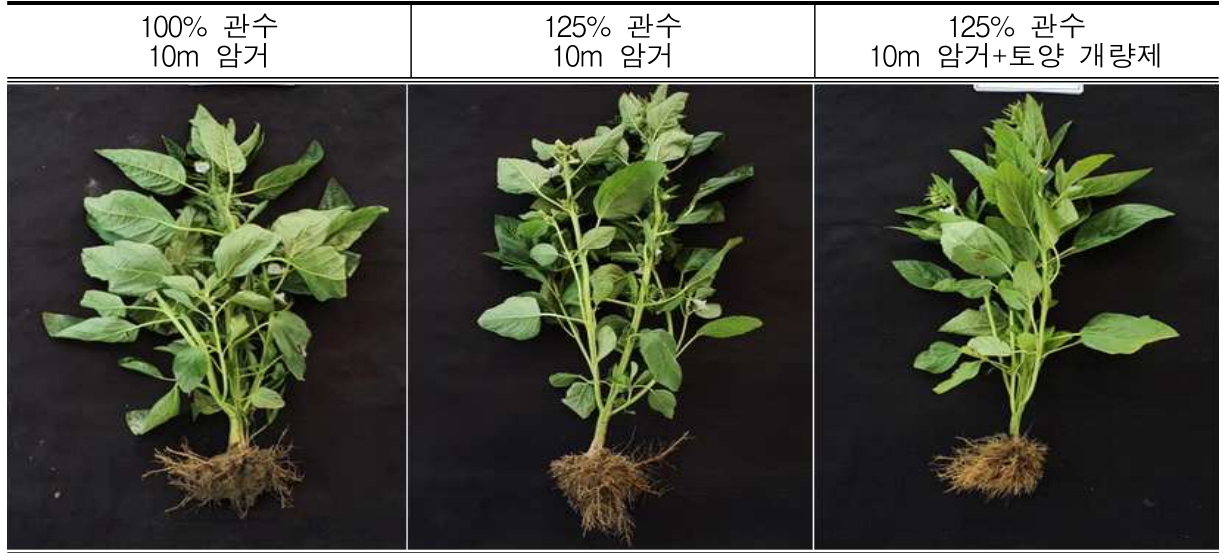


<그림 2-338> 석문 간척지 배초향의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (7월)

석문 간척지 배초향은 대부분 정식 직후 활착 단계에서 많이 고사하는 모습이었으며, 1차 생육조사를 실시한 7월 125% 관수 10m 암거 처리와 토양 개량제 처리에서 소수의 개체만 생존하여 정상적인 생육을 나타냈다. 같은 시기 새만금 배초향의 생체중은 처리구에 따라 40~200g으로 나타났는데, 석문 간척지 배초향의 생체중은 40~60g으로 새만금 배초향 생체중과 비교하였을 때 낮은 수준에 미치는 것으로 조사되었다.

(6) 참깨

(표 2-174) 석문 간척지 참깨 생육 사진 (7월)



















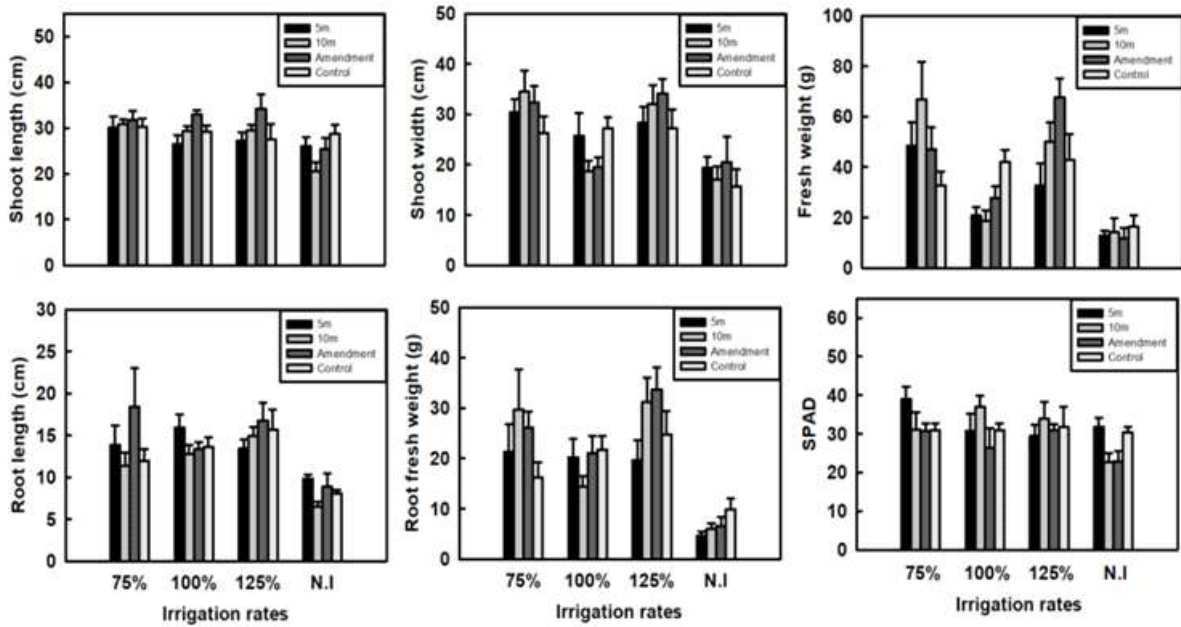
<그림 2-339> 석문 간척지 참깨의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (7월)

석문 간척지 참깨는 배초향과 마찬가지로 초기 활착시기에 대부분 고사하는 모습이었으며, 125% 관수 처리에서 가장 많이 생존하였으며, 그중에서도 10m 구간에 가장 많은 생존율을 나타냈다. 활착이 정상적으로 이뤄진 소수 개체들은 8월, 2차 생육조사 시기에 종자가 맺힐 정도로 정상적으로 자란 모습이였다. 새만금 참깨와 비교하였을 때, 살아남은 개체의 생육 자체는 1차, 2차 생육조사 결과 모두 석문 간척지 참깨의 생육이 월등히 좋은 모습이였다. 2차 생육조사는 각 10m 암거처리의 개체들에 대해 생육조사를 실시하였는데, 100%와 125% 관수처리시 참깨의 생체중이 높았으며, 종자 역시 가장 많이 수확할 수 있었다.

(7) 도라지

(표 2-175) 석문 간척지 도라지 생육 사진 (9월)

암거 \ 관수	75%	100%	125%	무관수 (자연강우)
5m				
10m				
10m+토양 개량제				
무암거 (대조구)				



<그림 2-340> 석문 간척지 도라지의 초장, 초폭, 생체중, SPAD, 근장, 근생체중 (9월)

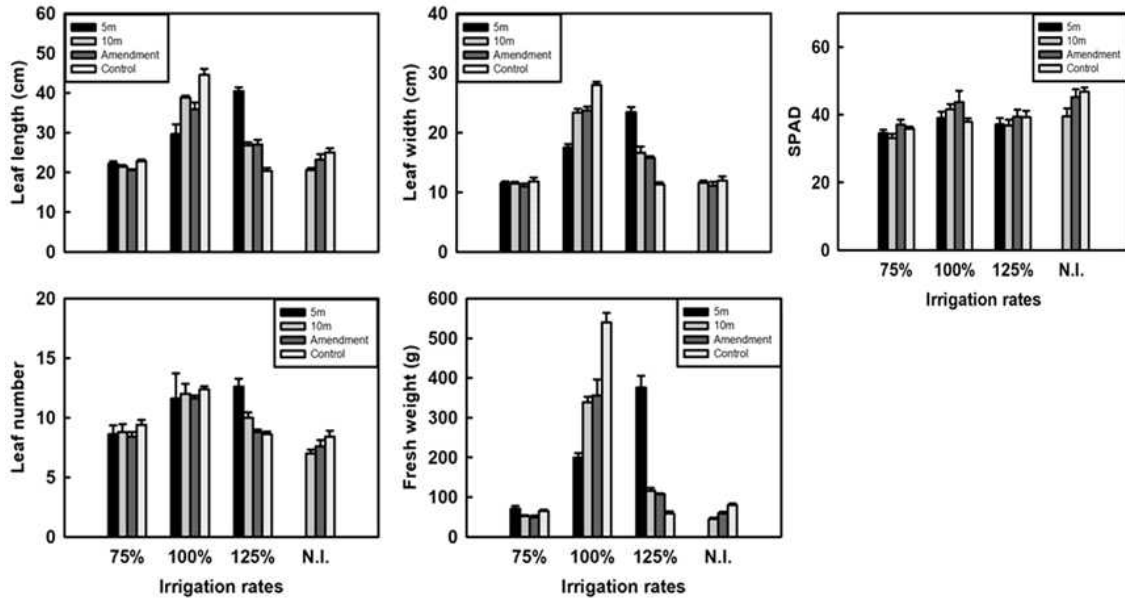
4차년도 도라지 생육조사 결과 석문 간척지에서만 정상적인 생육을 나타낸 것을 관찰할 수 있었다. 4월 정식 이후 9월 달까지 석문간척지에서 도라지가 지속하여 정상적인 생육을 나타냈으며, 관수처리에 따라 생육에서 차이를 나타내었다. 무관수 처리에서 전체적인 생육이 불량한 모습이었으며 지상부의 생체중의 경우 75%와 125% 관수처리에서 생육이 가장 우수하였고 지하부 생체중 역시 125% 관수처리에서 가장 높은 값을 나타내었다.

3) 화용지구 생육조사 결과

(1) 적겨자

(표 2-176) 화용 간척지 적겨자 생육 사진 (6월)

암거 \ 관수	75%	100%	125%	무관수 (자연강우)
5m				
10m				
10m+토양 개량제				
무암거 (대조구)				

















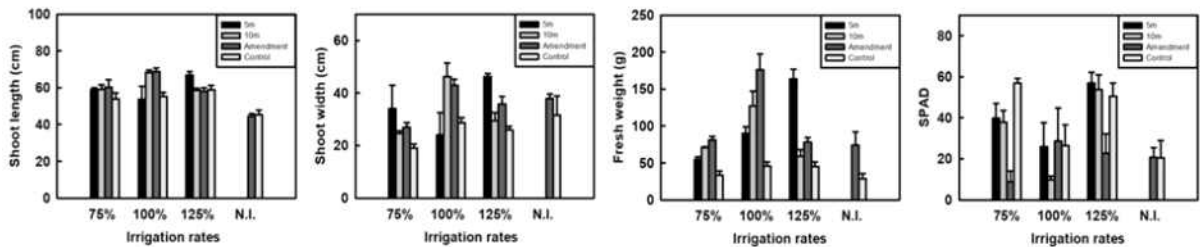
<그림 2-341> 화용 간척지 적겨자의 엽장, 엽폭, 엽수, 생체중, SPAD (6월)

화용 지구 적겨자의 경우 간척지들간의 비교하였을 때 가장 우수한 생육을 나타낸 것으로 보인다. 특히 100% 관수 무암거 처리에서 최대 500g 이상의 생체중을 나타내었으며, 상대적으로 관수량이 적은 무관수 및 75% 관수 처리에서 생육이 상대적으로 가장 불량한 것이 관찰되었다. 하지만 이 역시 새만금과 석문간척지의 적겨자의 생육과 비교하여 동일한 시기에 우수한 수준의 생육정도를 나타낸 것이며, 암거 처리에 의한 적겨자의 생육의 차이에 있어서는 뚜렷한 경향성은 발견되지 않았다.

(2) 홍화

(표 2-177) 화옹 간척지 홍화 생육 사진 (7월)

관수	75%	100%	125%	무관수 (자연강우)
암거				
5m				
10m				
10m+토양 개량제				
무암거 (대조구)				



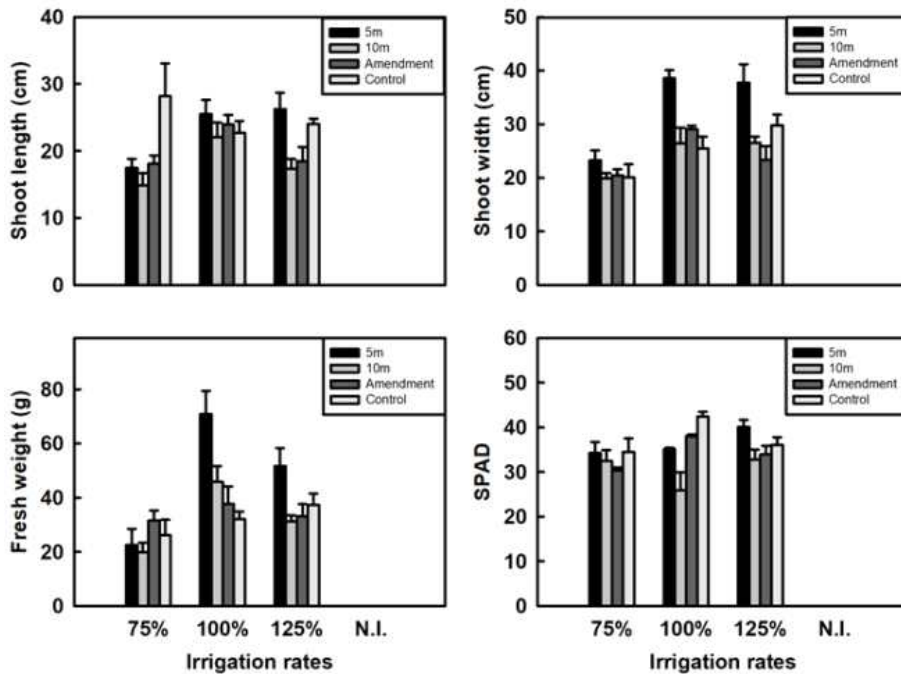
<그림 2-342> 화옹 간척지 홍화의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (7월)

화옹 간척지의 홍화 생육조사 결과 적겨자와 마찬가지로 홍화의 생육 및 생존율이 새만금, 석문과 비교하여 상대적으로 높은 수준으로 나타났다. 홍화는 재배기간이 짧은 특징으로 7월초 이미 낙엽이지기 시작하여 7월 생육조사 당시 이미 종자가 정상적으로 발달한 모습이였다. 100% 관수 처리 및 125% 관수처리에서 홍화의 생육이 가장 증가한 모습을 관찰할 수 있었으며, 무관수 처리에서 생존율 및 생육이 가장 불량한 모습을 관찰할 수 있었다.

(3) 식방풍

(표 2-178) 화용 간척지 식방풍 생육 사진 (9월)

암거 \ 관수	75%	100%	125%	무관수 (자연강우)
5m				
10m				
10m+토양 개량제				
무암거 (대조구)				















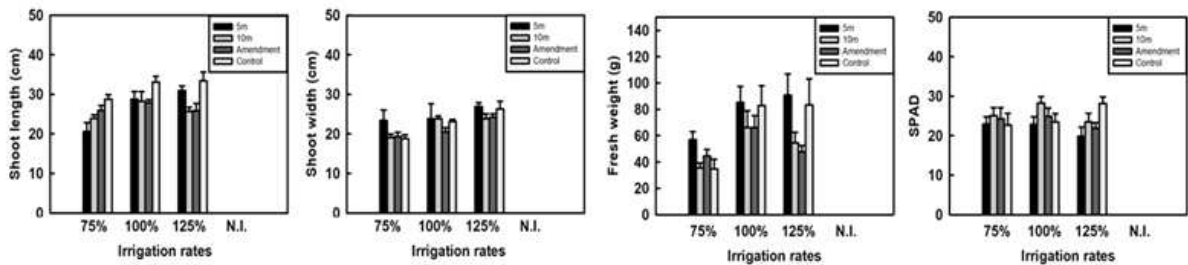
<그림 2-343> 화용 간척지 식방풍의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (9월)

화용 간척지 식방풍의 경우 뿌리 활착 시기에 무관수 구간을 제외한 관수 처리 구들에서는 정상적인 뿌리 활착이 이루어지고, 석문과 마찬가지로 정식 이후 9월까지 정상적으로 생육하는 모습이 관찰되었다. 3차 생육조사 결과 100% 관수, 5m 암거 구간에서 식방풍 생체중이 최대로 높게 나타났으며, 생존한 개체들중에서 관수량이 가장 적었던 75% 관수처리에서 생육이 가장 불량한 모습이 나타났다.

(4) 레몬밤

(표 2-179) 화용 간척지 레몬밤 생육 사진 (9월)

암거 \ 관수	75%	100%	125%	무관수 (자연강우)
5m				
10m				
10m+토양 개량제				
무암거 (대조구)				



<그림 2-344> 화용 간척지 레몬밤의 초장, 초폭, 생체중, SPAD (9월)

화용 간척지 레몬밤의 생육은 식방풍과 유사한 경향을 나타내었는데, 뿌리 활착 시기에 무관수 구간을 제외한 관수 처리구들에서는 정상적인 뿌리 활착이 나타났으며, 석문과 마찬가지로 정식 이후 9월까지 정상적으로 생육하는 모습이 관찰되었다. 9월 생육조사 결과 살아남은 개체들 중 75% 관수처리에서 생육이 가장 불량한 모습이 나타났으며, 100% 관수와 125% 관수 처리의 레몬밤은 생육이 우수한 모습이었다. 또한 새만금, 석문과 비교하여 3차 생육조사를 실시하였던 9월 경 레몬밤의 잎의 노화가 가장 더딘 모습을 나타냈다.

바. 간척지 이모작 가을 정식 작물 재배

1) 재료 및 방법



<그림 2-345> 가을정식을 위해 구매한 한지형 씨마늘(좌)과 양파 묘(우)



<그림 2-346> 가을정식 마늘과 양파 정식하는 모습

봄파종 작물 작기가 끝난 10월경 새만금, 석문, 화옹 간척지에 양파와 마늘을 정식하여 간척지 이모작 실증 재배에 대한 연구를 실시하였다. 작물은 의성군 농업기술센터를 통해 소개 받은 한지형 마늘 농가를 통해 구매하였으며, 양파는 예천에 위치한 육묘장을 통해 구매하였다. 마늘은 작년 생산된 통마늘을 분구하여 씨마늘로 사용하였으며 양파는 종자 파종하여 육묘된 묘를 이용하였다.









<그림 2-347> 화옹지구 가을정식 마늘과 양파 정식이 완료된 모습

정식은 간척지별로 화옹간척지 10월 15일, 새만금 간척지 10월 16일, 석문간척지 10월 16일에 실시하였다. 1m 두둑을 조성하여 30cm 정식간격으로 마늘과 양파 각 4줄씩 정식하였으며, 마늘은 . 정식 후 과제 종료시점까지 매달 작물의 상태를 관찰하여 정상적인 생육이 진행되는지에 대해 조사하고자 하였다.

2) 가을정식 작물 생육조사

(1) 10월, 11월 생육 관찰

(표 2-180) 마늘, 양파의 가을 정식 생육 사진(10월~11월)

새만금 간척지 10월 26일		석문 간척지 11월 02일		화옹 간척지 11월 02일	
					
마늘	양파	마늘	양파	마늘	양파

새만금 간척지 마늘, 양파 정식 후 10일차에 방문하여 작물의 생육을 관찰한 결과 마늘에서 흰색의 건강한 뿌리 발근이 정상적으로 진행되어지고 있는 모습을 나타냈으며, 양파 역시 육묘 상토 내 발근되어 있던 뿌리가 간척지 토양으로 뺏어나가는 모습을 관찰할 수 있었다. 석문 간척지와 화옹간척지는 정식 후 18일차에 처음 생육 관찰을 실시하였다. 두 곳 역시 새만금과 마찬가지로 마늘과 양파의 뿌리 발근이 정상적으로 이뤄지고 있는 모습이였다. 여러 개체들의 마늘 지상부에서는 싹이 올라오는 모습도 나타났으며, 정식 10일차 새만금과 비교하여 뿌리 발근이 더욱 많이 진행된 모습을 볼 수 있었다.

(2) 12월 생육 관찰

(표 2-181) 마늘, 양파의 가을 정식 생육 사진(12월)





새만금 간척지 12월 16일		석문 간척지 12월 16일		화옹 간척지 12월 16일	
					
마늘	양파	마늘	양파	마늘	양파

12월 16일 정식 후 60일차에 새만금, 석문, 화옹 간척지 마늘과 양파 작물 생육을 관찰하였다. 새만금 간척지, 석문간척지의 경우 뿌리 발근이 지난번과 비교하여

지속하여 증가하는 모습이 관찰되었으며, 화옹 간척지의 경우 다른 두 곳과 비교하여 발근 진행이 더딘 모습을 나타냈다. 해당 날짜의 일평균 기온을 비교해 본 결과 새만금, 석문, 화옹이 위치한 전라북도, 충청남도, 경기도의 일평균 기온이 각각 -3.9℃, -5.5℃, -8.8℃이었다. 실제 샘플링하는 과정에서 토양의 상태가 화옹>석문>새만금 순으로 매우 단단한 상태였으며, 이로 인해 화옹 간척지 마늘, 양파의 뿌리 발근과 지상부 생육이 더딘 것으로 보인다.

(3) 1월 생육 관찰

(표 2-182) 마늘, 양파의 가을 정식 생육 사진(1월)

새만금 간척지 1월 21일		화옹 간척지 1월 20일	
			
마늘	양파	마늘	양파

정식 후 96-97일차에 각 간척지의 마늘, 양파 생육관측을 진행한 결과 12월과 유사하게 새만금에서 가장 생육이 우수하였으며, 화옹에서 생육이 가장 불량한 모습을 볼 수 있었다. 결과적으로 세 곳의 간척지 모두 10월 정식 이후 초기 발근이 정상적으로 개시되어 이후 겨울철 저온에서도 뿌리의 발근이 지속적으로 진행되는 모습을 관찰할 수 있었다. 마늘의 지상부와 양파의 경우 겨울이 오기 전 정상적으로 성장하다 겨울철 저온의 영향으로 더 이상 생육이 진행되지 않거나, 노랗게 탈리되는 모습이 관찰되었는데, 이는 해당 작물들의 재배 생리적 특징으로 이듬해 봄이 되면 현재 정상적으로 발달된 뿌리를 통해 수분과 양분을 흡수하여 다시 지상부 싹을 틔우고 이후 광합성을 통해 정상적인 생육이 진행될 것으로 보인다.

2.3.3. 원예작물의 기능성 성분 분석

가. 총 폴리페놀 분석 실험

새만금 간척지에서 재배한 작물을 수확 후 동결건조 및 분말화 하여 총 폴리페놀 함량을 분석하였다. 폴리페놀은 산화촉진제인 금속 또는 지질 라디칼, 효소 단백질과 같은 거대 분자들과 결합하는 성질을 갖고 있어, 과산화지질의 생성 억제, 항균, 항암 등의 여러 생리활성을 나타낸다.

1) 재료 및 방법

(1) 시료 전처리

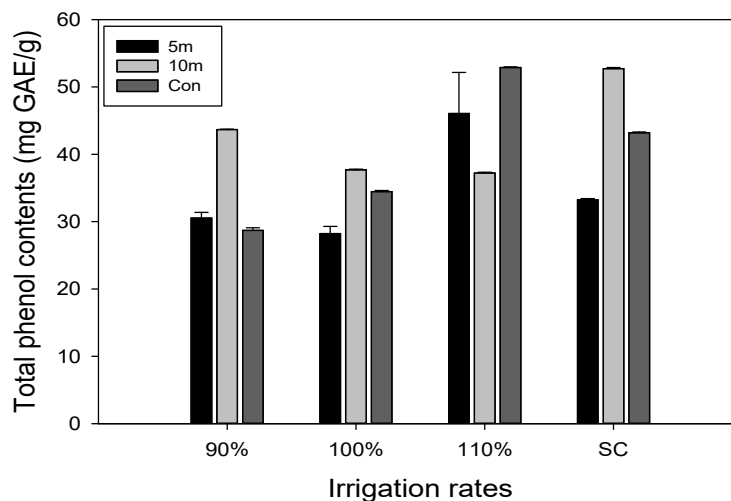
총 폴리페놀 함량 측정을 위하여 분쇄한 시료 0.1g에 80% MeOH 1mL을 가하여 30분간 초음파 추출한 후 여과한 뒤 1회 더 반복하여 상층액을 모아 추출물로 사용하였다.

(2) 총 폴리페놀 함량 분석 방법

총 폴리페놀 함량은 Folin-Denis phenol method를 응용한 방법에 준하여 측정하였다. 추출액 200 μ L에 3200 μ L의 초순수와 50% Folin-Ciocalteu reagent 200 μ L를 가한 후 3분간 반응시켰다. 반응액에 1N Sodium carbonate (Na_2CO_3) 400 μ L를 가하여 30분 동안 반응시킨 후 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 gallic acid를 사용하여 검량선을 작성한 후 총 폴리페놀 함량은 각 시료를 3회 반복하여 얻은 평균값(mg GAE/g)을 나타내었다.

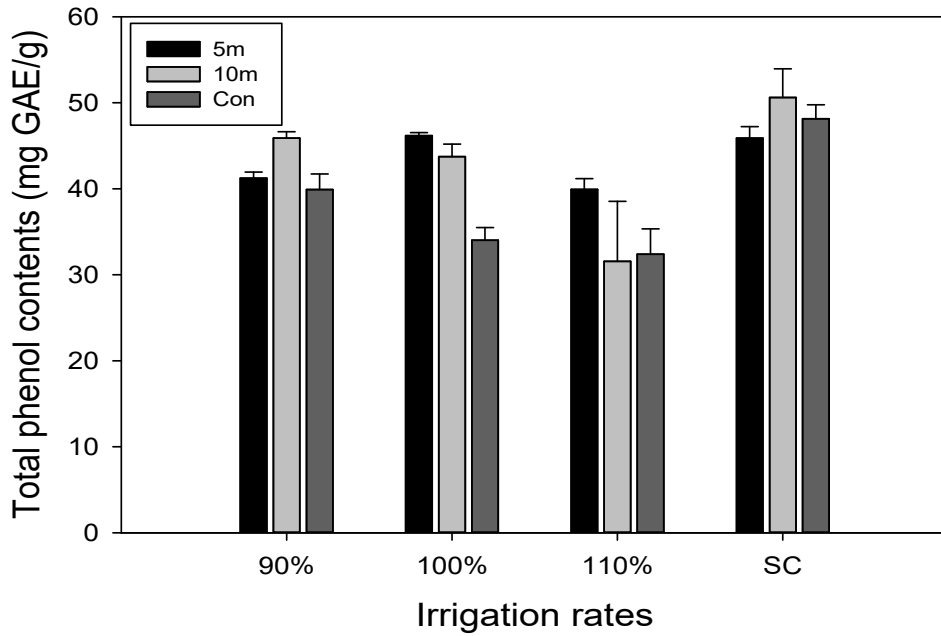
2) 결과

(1) 상추

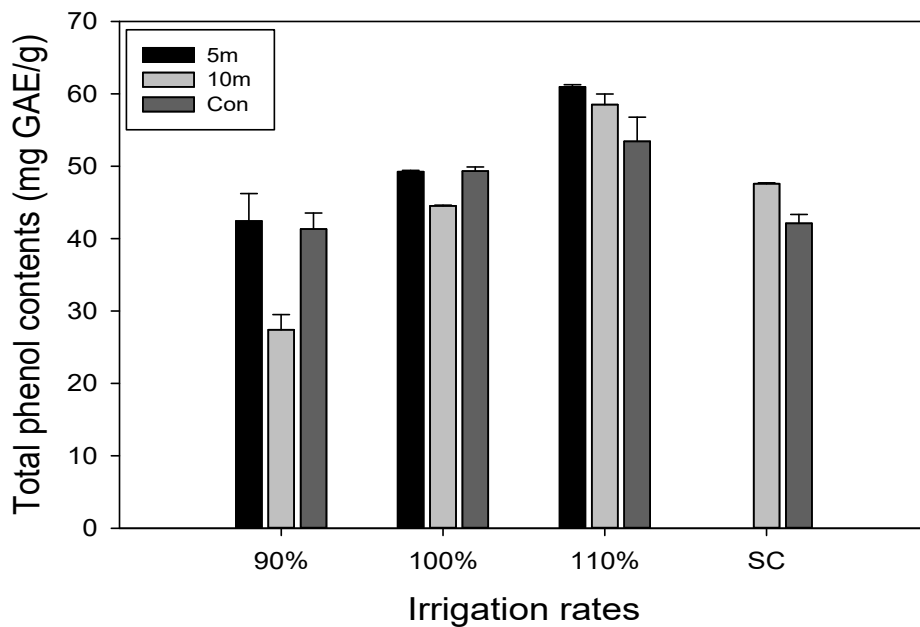


<그림 2-348> 새만금 간척지 재배 상추 폴리페놀 함량

상추 내 폴리페놀 함량 분석 결과 관개량 110% 처리구를 제외한 90%, 100%, 살수(스프링쿨러) 처리구에서 암거배수 10m 간격 시험구에서 폴리페놀 함량이 가장 높았다. 90% 처리구에서는 암거배수 5m와 무처리 간의 차이는 거의 없었으며, 110% 처리구에서는 무처리 시험구에서 폴리페놀 함량이 가장 높았다.

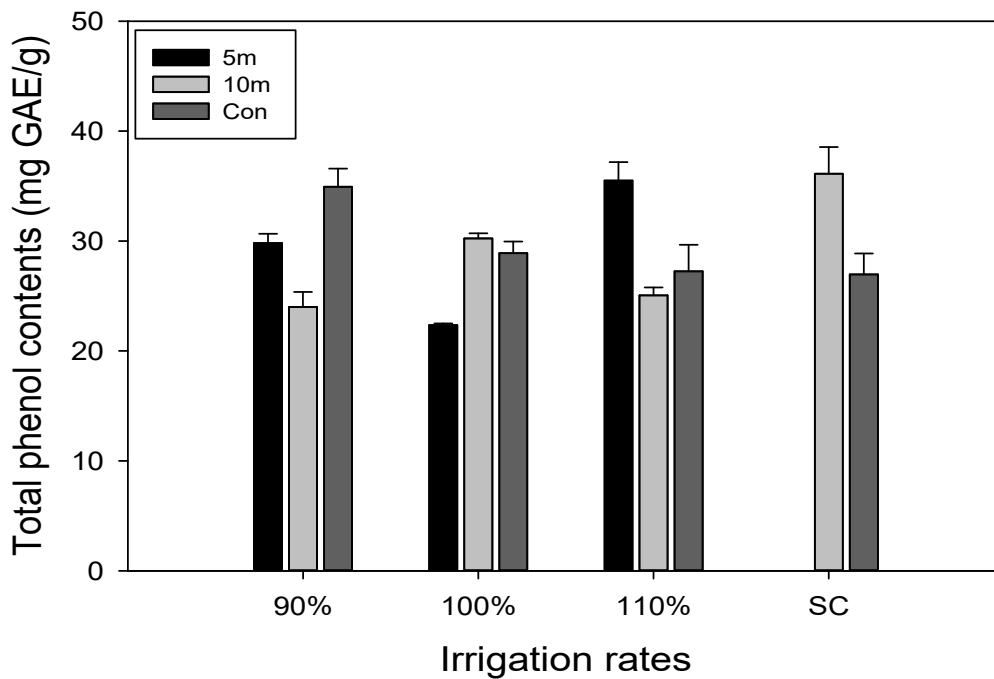
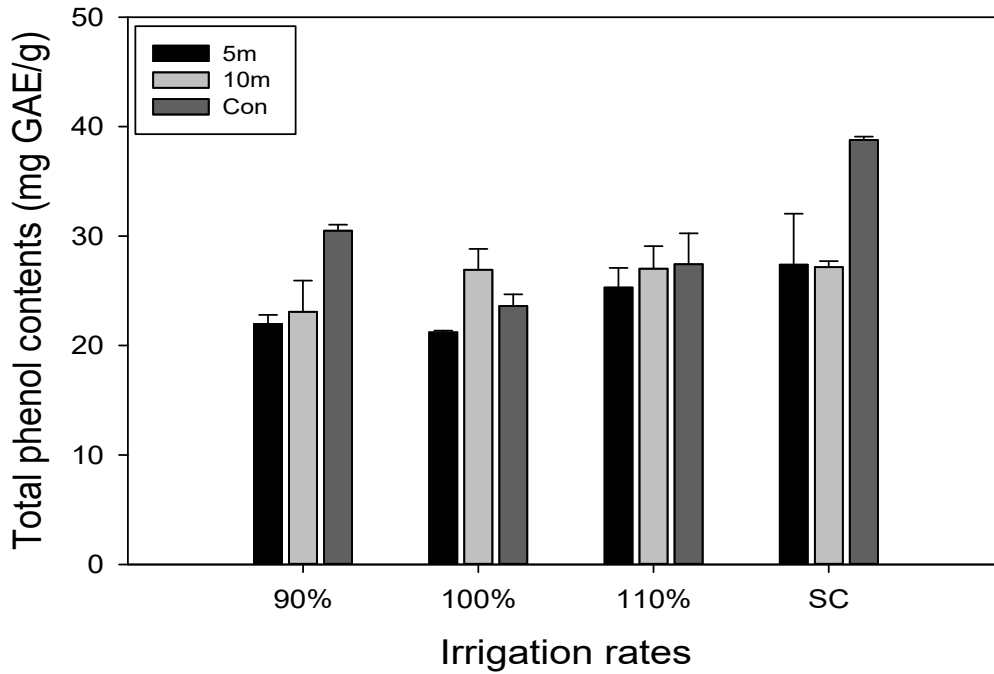


<그림 2-349> 새만금 간척지 재배 강황 폴리페놀 함량



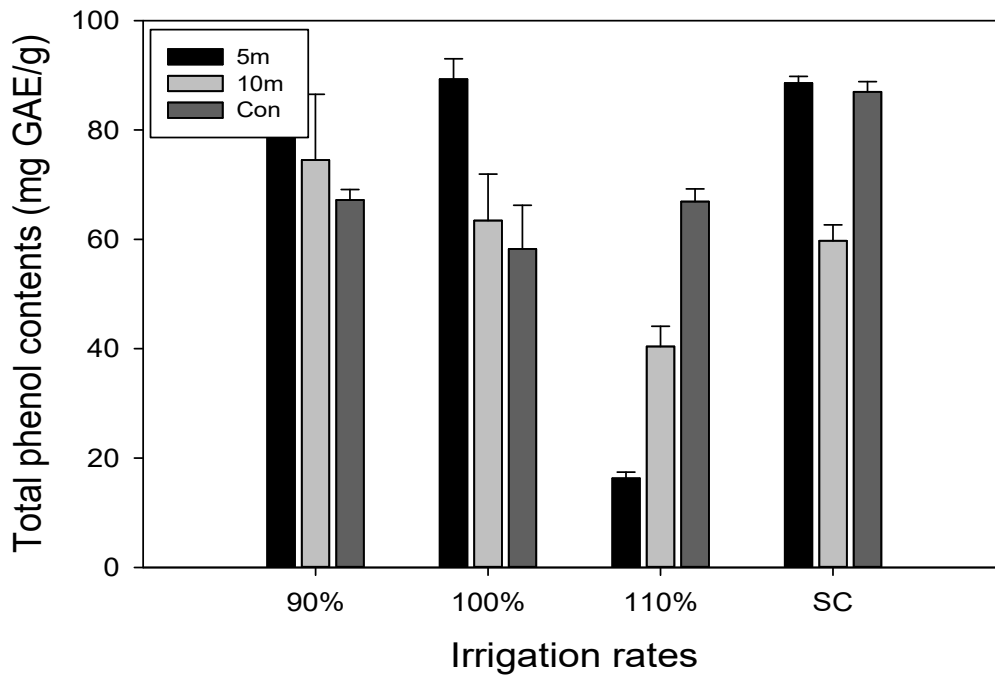
<그림 2-350> 새만금 간척지 재배 강황 2차 폴리페놀 함량

강황 내 폴리페놀 함량 분석 결과 2차 수확 시 1차에 비하여 110% 처리구에서 폴리페놀 함량이 전체적으로 증가하였다. 다른 처리구에서는 1차 및 2차 수확 비교 결과 폴리페놀 함량 증감에 따른 경향성이 나타나지 않았다. 2차 수확 시 살수 5m 시험구는 작물 생육상태가 불량하여 분석하지 못하였다.



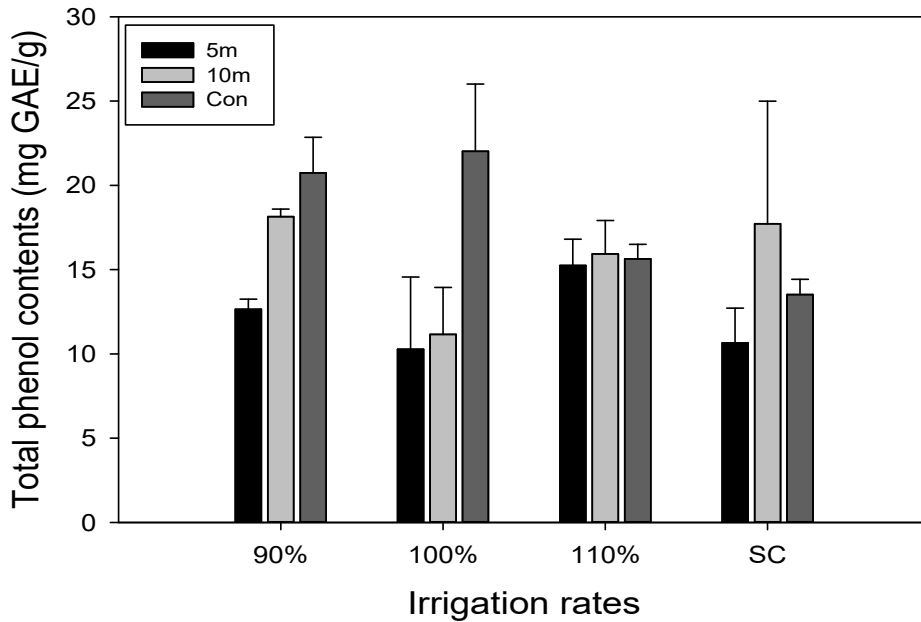
<그림 2-352> 새만금 간척지 재배 감초 2차 폴리페놀 함량

감초 내 폴리페놀 함량 분석 결과 2차 수확 시 살수 5m 시험구는 생육이 불량하여 분석하지 못하였고, 다른 처리구에 비해 살수처리구에서 폴리페놀 함량이 높았다. 2차 수확 시 1차 처리에 비해 폴리페놀 함량이 다소 증가하는 경향을 보였다.



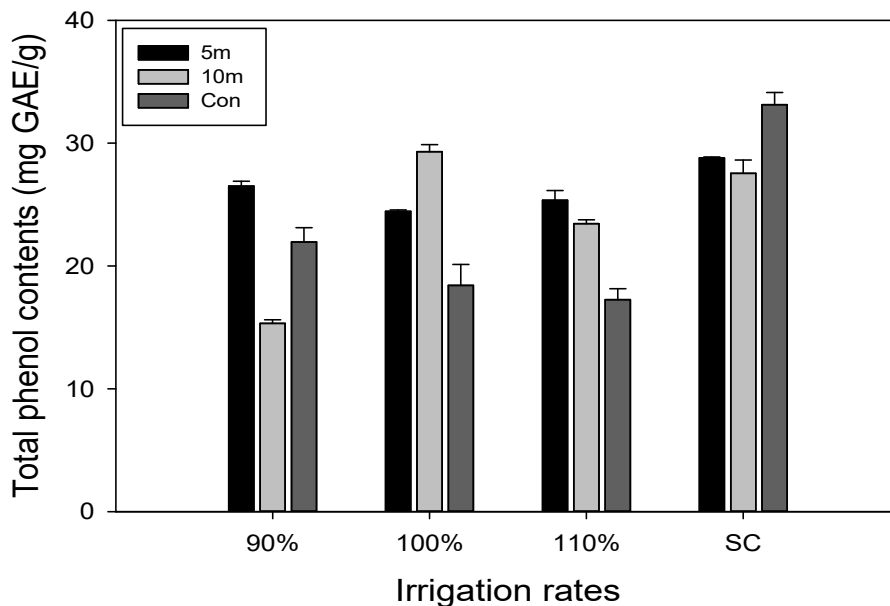
<그림 2-353> 새만금 간척지 재배 비트 폴리페놀 함량

비트 내 폴리페놀 함량 분석 결과 다른 처리구에 비해 관개량 110% 처리구에서 폴리페놀 함량이 낮았으며, 110% 처리구를 제외한 다른 시험구에서는 암거배수 5m 시험구에서 폴리페놀 함량이 높았다.



<그림 2-354> 새만금 간척지 재배 당근 폴리페놀 함량

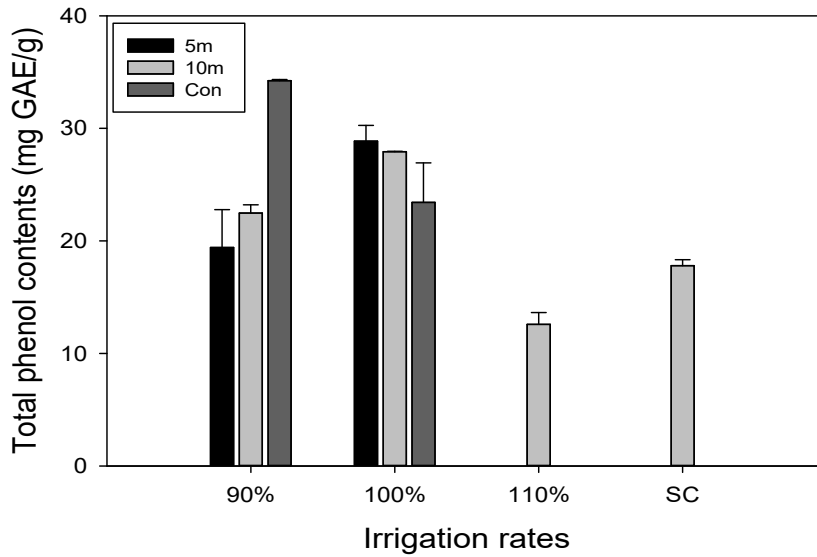
당근 내 폴리페놀 함량 분석 결과 관개량 90%, 100% 처리구에서는 비밀칭 구간에서 폴리페놀 함량이 가장 높았으며, 110% 처리구에서는 시험구간 유의차가 없고, 살수 처리 구간에서는 암거배수 10m 시험구에서 폴리페놀 함량이 높았다.



<그림 2-355> 새만금 간척지 재배 적겨자 폴리페놀 함량

적겨자 내 폴리페놀 함량 분석 결과 비밀칭 구간에 비해 암거배수 5m, 10m 구간에서 폴리페놀 함량이 높았으며, 살수 시험구에서 다른 시험구에 비해 함량이 높았다.

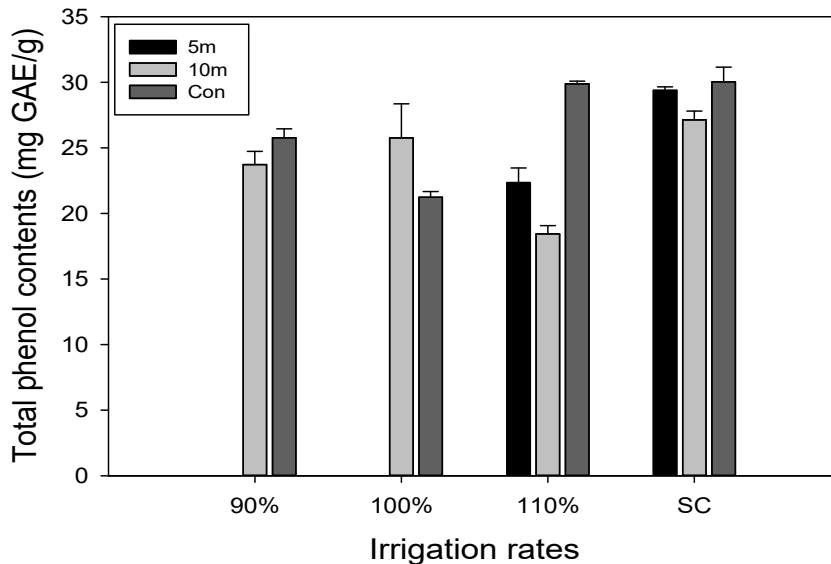
(7)



<그림 2-356> 새만금 간척지 재배 치커리 폴리페놀 함량

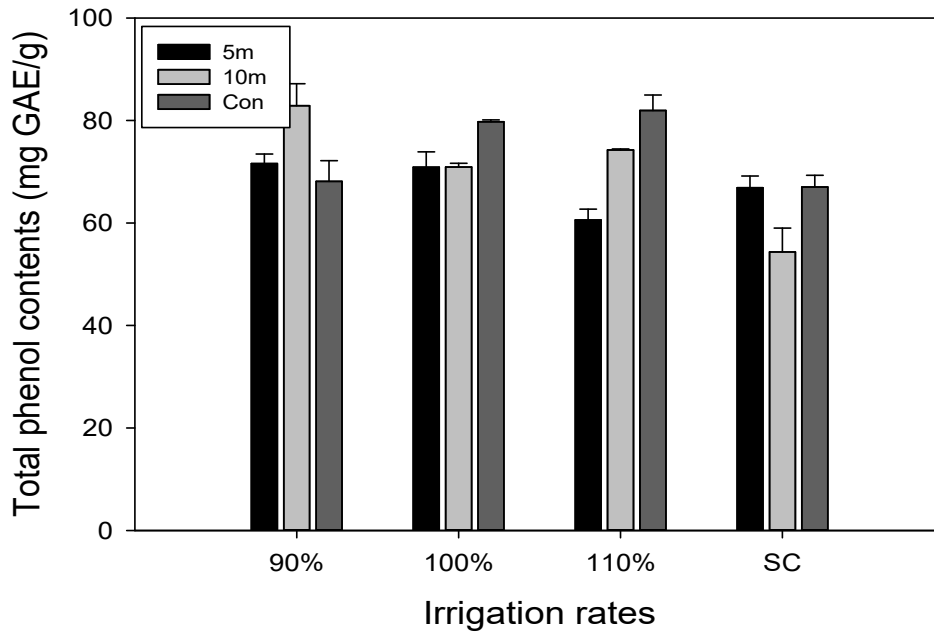
치커리 내 폴리페놀 함량 분석 결과 110%, 살수 처리구에서는 생육이 불량하여 분석이 어려웠고, 관개량 90% 처리구간에서는 비밀칭 시험구에서 폴리페놀이 높았지만, 100% 구간에서는 5m, 10m 시험구에서 비밀칭 구간에 비해 폴리페놀 함량이 높았다.

(8)



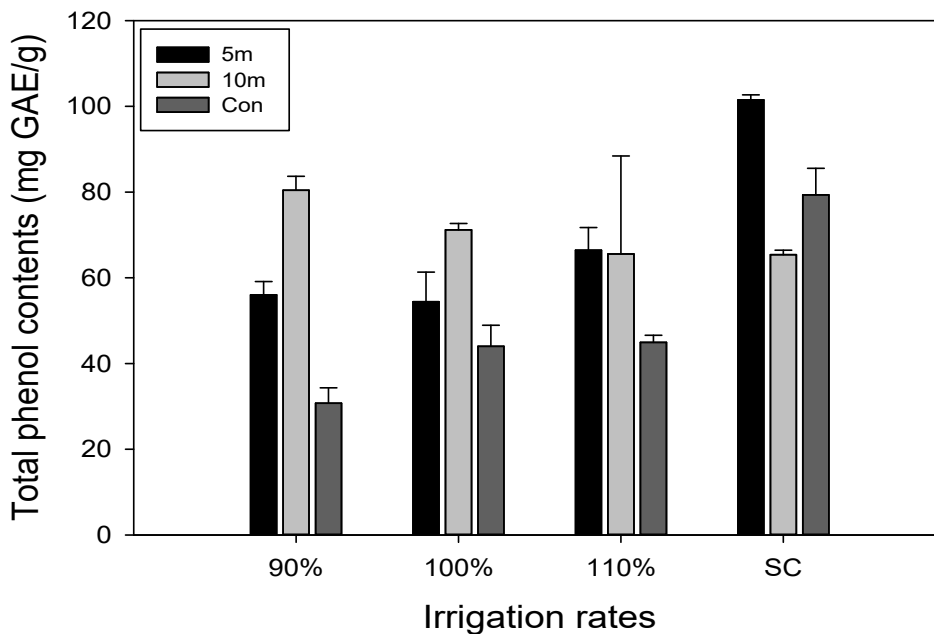
<그림 2-357> 새만금 간척지 재배 케일 폴리페놀 함량

케일 내 폴리페놀 함량 분석 결과 관수 90%, 100% 처리구의 암거 5m 시험구에서는 생육이 불량 하였고, 10m 처리구에서 다른 시험구에 비해 폴리페놀 함량이 낮았고, 살수 처리구간에서 전체적으로 함량이 높았다.



<그림 2-358> 새만금 간척지 채배 배초향 폴리페놀 함량

배초향 내 폴리페놀 함량 분석 결과 살수 처리구가 다른 처리구에 비해 폴리페놀 함량이 낮았으며, 관수 100%, 110% 처리구에서는 비멀칭 구간의 함량이 높았고, 90% 처리구의 압거배수 10m 구간에서 폴리페놀 함량이 가장 높았다.



<그림 2-359> 새만금 간척지 채배 적근대 폴리페놀 함량

적근대 내 폴리페놀 함량 분석 결과 살수 처리구를 제외한 90%, 100%, 110% 처리구에서 비멀칭 구간의 함량이 가장 낮았으며, 살수 처리구간이 다른 구간에 비해 폴리페놀 함량이 높았다.

(표 2-183) 새만금 간척지 재배 작물 총 폴리페놀 함량

	상추	강황	감초	비트	당근	적거 자	치커 리	케일	배초 향	적근 대
90% 5m	30.53 ±0.85	41.22 ±0.72	21.97 ±0.82	79.87± 2.91	12.65 ±0.60	26.50 ±0.39	19.41 ±3.37	-	71.58 ±1.88	56.01± 3.12
90% 10m	43.66 ±0.08	45.89 ±0.74	23.07 ±2.85	74.49± 12.04	18.14 ±0.45	15.33 ±0.29	22.47 ±0.73	23.73 ±1.01	82.87 ±4.29	80.43± 3.23
90% 무처 리	28.70 ±0.38	39.90 ±1.82	30.49 ±0.56	67.18± 1.92	20.74 ±2.11	21.95 ±1.17	34.23 ±0.10	25.77 ±0.68	68.11 ±4.03	30.74± 3.59
100% 5m	28.22 ±1.07	46.17 ±0.37	21.21 ±0.15	89.30± 3.72	10.27 ±4.28	24.45 ±0.12	28.86 ±1.40	-	70.89 ±2.99	54.42± 6.90
100% 10m	37.69 ±0.10	43.74 ±1.45	26.91 ±1.91	63.45± 8.48	11.15 ±2.79	29.30 ±0.57	27.93 ±0.03	25.75 ±2.60	70.93 ±0.72	71.18± 1.49
100% 무처 리	34.46 ±0.15	34.01 ±1.48	23.61 ±1.06	58.23± 7.98	22.02 ±3.99	18.42 ±1.71	23.42 ±3.51	21.23 ±0.43	79.74 ±0.38	44.02± 4.91
110% 5m	46.06 ±6.10	39.93 ±1.25	25.30 ±1.79	16.30± 1.12	15.25 ±1.55	25.35 ±0.78	0.00± 0.00	22.35 ±1.11	60.59 ±2.10	66.42± 5.30
110% 10m	37.21 ±0.12	31.55 ±6.97	27.02 ±2.06	40.41± 3.69	15.93 ±1.99	23.45 ±0.31	12.58 ±1.05	18.43 ±0.63	74.23 ±0.21	65.57± 22.86
110% 무처 리	52.87 ±0.10	32.38 ±2.96	27.42 ±2.83	66.90± 2.32	15.63 ±0.87	17.26 ±0.89	-	29.87 ±0.21	81.95 ±3.03	44.91± 1.68
살수 5m	33.25 ±0.17	45.89 ±1.33	27.38 ±4.66	88.58± 1.21	10.65 ±2.06	28.79 ±0.08	-	29.38 ±0.27	66.87 ±2.28	101.50 ±1.18
살수 10m	52.70 ±0.18	50.61 ±3.34	27.15 ±0.56	59.74± 2.89	17.71 ±7.28	27.54 ±1.09	17.79 ±0.53	27.13 ±0.67	54.34 ±4.68	65.39± 1.03
살수 무처 리	43.19 ±0.11	48.14 ±1.63	38.77 ±0.31	86.97± 1.86	13.51 ±0.91	33.13 ±1.00	-	30.03 ±1.12	67.01 ±2.29	79.33± 6.22

새만금 간척지 재배 작물 내 총 폴리페놀 함량 분석 결과는 다음과 같다. 비트, 배초향, 적근대의 함량이 타 작물에 비해 높았으며, 당근, 케일의 폴리페놀 함량이 비교적 낮았다. 작물별로 시험구간 폴리페놀 함량의 증감 유무에 대한 경향성은 뚜렷하게 나타나지 않았고, 작물별 폴리페놀 함량이 높은 처리구도 편차가 있었다.

나. 석문 간척지 비트 내 베타시아닌 성분분석

- 작물의 내염성(saline tolerant)은 식물이 생육하는 배지에서 과도한 염의 영향을 견딜 수 있는 식물의 능력이다. 내염성은 식물의 생육 조건 등 여러 가지 요인, 제한 요소, 조건 등 때문에 정확한 값으로 정의될 수 없다.

- 작물의 내염 정도는 sensitive(S), moderately sensitive(MS), moderately tolerant(MT), tolerant(T)로 구분하고 그 이상에서는 재배가 불가능한 것으로 간주한다. 비트는 MT 등급(내염성 중)이며, 수용성 천연색소인 베타레인(betalains)을 함유하고 있다.

- 베타레인은 자주색 색소인 베타시아닌(betacyanins)과 노란색 색소인 베타크산틴(betaxanthins)으로 구성되어 있다. 다시 베타시아닌은 베타닌(betain)과 이소베타닌(isobetain)으로 나누어진다.

- 베타닌은 항암효과뿐만 아니라 항산화 작용이 높다. 또한 베타닌 색소를 함유한 비트 묘목은 비색소 묘목보다 식물 병원균 *Phythium debaryum*에 저항성이 큰 항균성 작용을 하며 비독성 물질로 화장품, 제약, 식품 산업에 천연색소 첨가물로 이용된다. 베타시아닌 함량은 건조 스트레스와 염 스트레스 영향을 받을 때 증가한다.

1) 재료 및 방법

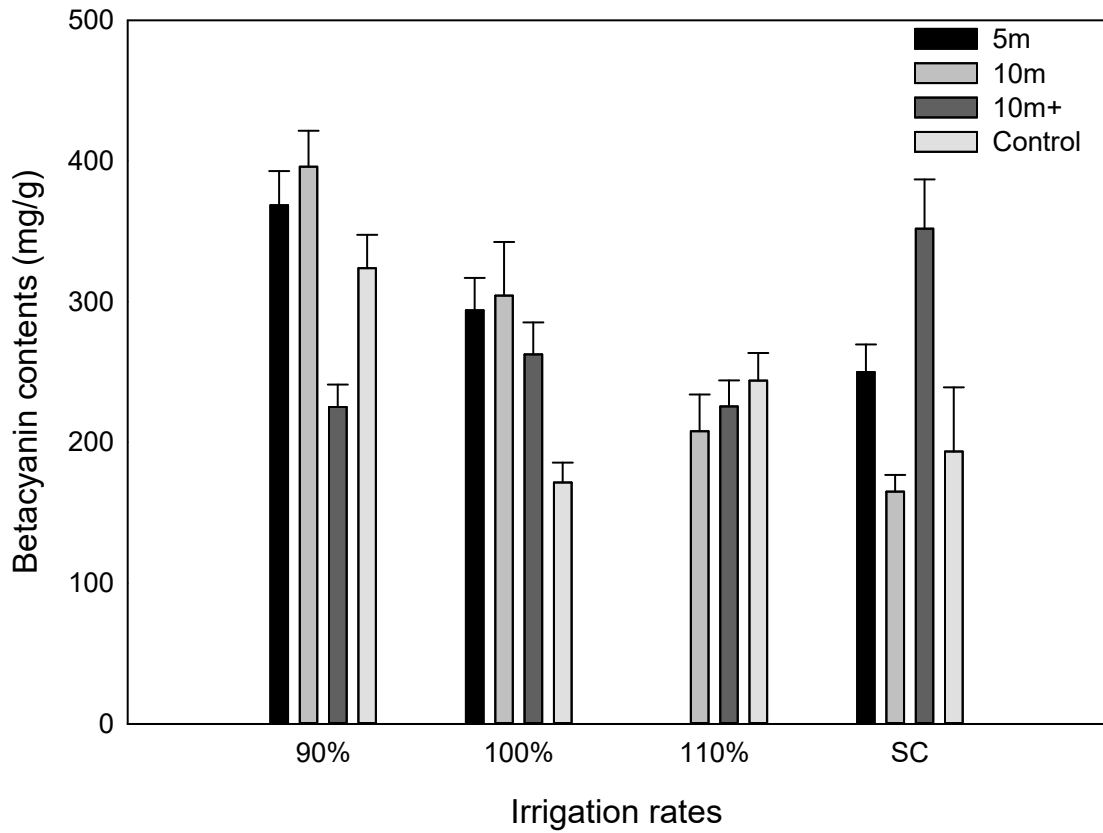
- 비트 내 베타시아닌 성분분석을 위하여 수확한 비트를 동결건조 후 분말화하였고, 분말시료(100 mg)를 칭량하여 2.0 mL-ependorf tube에 넣고 2.0 mL 초순수를 넣고 5분 동안 진동혼합(vortex) 한 후 초음파 분산기(sonicator)로 15분간 약하게 초음파 처리(sonication)를 하였다. 그 다음 원심분리(15,000 rpm, 4°C, 15 min)한 후, Sep-pak Plus C18 Cartridges를 통과 시켜 추출물을 정제시켰다. Sep-pak Plus C18 Cartridges는 미리 2.0 mL 100% 메탄올(MeOH)로 활성화 시킨 후 2.0 mL 초순수로 씻었다. 상층액을 넣은 다음 5% 에탄올(EtOH)로 붉은 색이 다 빠져나올 때까지(8~10 mL) 넣어 주어 시료를 용출시켰다. 용출된 시료는 0.45 µm hydrophilic PTFE syringe filter(직경 13 mm)로 여과한 후, 감압농축기로 EtOH이 완전히 제거될 때까지 농축시켰다. 농축 시료를 1.0 mL EtOH와 1.0 mL 증류수를 넣어 녹인 다음 HPLC용 갈색 vial병에 담아 HPLC로 분석하였다.

- 베타시아닌 분석은 Synergi 4µ POLAR-RP 80A 컬럼(250×4.6 mm, 4 µm Phenomenex)을 장착한 1200 series HPLC(Agilent Technologies, CA, USA)를 사용하였다. 분석 조건은 검출 파장(detection wavelength) 538 nm, 유량(flow rate) 1.0 mL/min, 컬럼 온도(column temperature) 35°C로 설정하여 분석하였다. 시료는 자동주입기(automatic injector)를 사용하여 10.0 µL 주입하였다. 이동상 용매는 solvent A[water: formic acid, (99: 1, v/v)]와 solvent B(acetonitrile, CH₃CN)를 사용하였다. 용매 구배는 solvent B를 기준으로 실시하였고 총 25분의 분석 시간이 소요되었다. Solvent B는 처음에 0%로 시작하여 15분까지 20%로 증가시킨 후 20분까지 40%로 증가시켰다. 20.1분에 0%로 급격히 감소시킨 후 25분까지 0%를 유지시켰다. 분석된 각 성분은 외부표준물질인 Betain의 머무름 시간(retention time, RT)이 동일하여 동정하였고, HPLC 피크 면적(area)을 기준으로 각 베타시아닌 성분의 피크 면적을 비교하여 정량하였다.

2) 결과

(표 2-184) 석문 간척지 재배 비트의 베타시아닌 함량

No	Trivial name	90% 5m	90% 10m	90% 개량제	90% 무처리
1	Betanin	277.31±19.36	283.17±21.33	180.57±13.38	280.09±21.79
2	Isobetainin	91.17±4.92	112.77±4.26	44.57±2.63	43.68±2.02
Total		368.48±24.28	395.93±25.59	225.14±16.01	323.77±23.82
No	Trivial name	100% 5m	100% 10m	100% 개량제	100% 무처리
1	Betanin	251.42±21.94	227.59±26.29	205.99±18.38	136.91±11.79
2	Isobetainin	42.52±0.95	76.68±11.81	56.55±4.35	34.64±2.29
Total		293.95±22.88	304.27±38.11	262.54±22.73	171.55±14.07
No	Trivial name	110% 5m	110% 10m	110% 개량제	110% 무처리
1	Betanin	-	184.46±15.92	192.39±16.26	197.99±16.65
2	Isobetainin	-	23.54±10.11	33.26±2.18	45.96±3.01
Total		-	208.00±26.03	225.65±18.44	243.96±19.66
No	Trivial name	살수 5m	살수 10m	살수 개량제	살수 무처리
1	Betanin	214.16±17.62	134.81±10.12	294.73±26.74	158.99±32.00
2	Isobetainin	35.86±2.05	30.18±1.85	57.20±8.15	34.60±13.48
Total		250.02±19.67	164.99±11.97	351.93±34.89	193.59±45.49



<그림 2-360> 석문 간척지 재배 비트의 베타시아닌 함량

비트 내 베타시아닌 함량은 관개량 90% 구간에서 가장 높았고, 그 중에서도 암거배수 10m 구간에서 높았다. 관개량 100% 구간에서도 암거배수 10m 구간에서 높았으며, 토양개량제 처리 효과는 없었다. 무처리 구간에서는 토양개량제 처리구간이 암거배수 5, 10m 구간보다 베타시아닌 함량이 유의적으로 높았다.

다. 간척지 재배 작물 생리활성물질 정량분석 및 시판 작물 비교

4차년도 각 간척지에서 재배한 작물을 수확 후 동결건조 및 분말화 하여 작물체 내 생리활성물질 함량 분석을 진행하였다. 식물의 생리활성물질 중 폴리페놀은 식물에서 발견되는 방향족 알코올 화합물의 일종으로 다양한 식물체내에 수천가지가 넘는 종류의 폴리페놀이 존재한다고 알려져 있으며, 간척지의 높은 염도는 작물의 내염성(saline tolerant)을 자극하여 생육 및 이차대사산물 생합성에 영향을 미칠 수 있다.

1) 재료 및 방법

(1) 식물 재료

4차년도 재배 작물 중 기능성물질 함량 분석은 봄 정식 작물들 중 기능성이 높다고 알려진 작물인 식방풍, 레몬밤, 배초향, 도라지, 홍화 등의 작물을 대상으로 간척지구 별로 샘플링을 진행하였으며, 간척지 재배 작물의 생리활성물질 함량이 실제 시판되는 작물의 생리활성물질과 비교하여 실제 어느 정도의 함량을 나타내는지 비교하기 위해 각 작물들을 인터넷 및 마켓에서 구매하였다.

(2) 생리활성물질 정량분석

생리활성물질 측정을 위해 각 샘플은 동결건조 후 분말화하여 2.0 mL tube에 분말시료 100mg과 80% MeOH 2.0 mL을 넣고 1시간 동안 초음파 처리(sonication)를 진행하였다. 이후 원심분리(13,000 rpm, 4°C, 10 min)를 통해 분리된 상등액을 0.45 µm hydrophilic PTFE syringe filter(직경 13 mm)로 여과하여 HPLC용 갈색 vial병에 담아 HPLC(1260 Infinity II, Agilent Technologies Co. Ltd., USA)를 이용해 폴리페놀 물질 정량분석 하였다. 분석 컬럼은 optimapak C18 column(250×4.6mm, 5µm)을 사용하였고 컬럼 온도는 30°C, 유량은 1.0mL/min, 검출파장은 280nm로 설정하였다. 이동상 용매로는 0.15% 아세트산을 포함한 solvent A와 80% MeOH의 solvent B를 이용하였다. 분석된 각 성분은 외부표준물질의 머무름 시간(retention time, RT)을 동일하게 동정하였고, HPLC 피크 면적(area)을 기준으로 각 폴리페놀 성분의 피크 면적을 비교하여 정량하였다.

2) 정량분석 결과

(1) 도라지 기능성물질 함량

(표 2-185) 도라지 기능성물질 함량 결과

	Chlorogenic acid (mg/g DW)	Rutin (mg/g DW)
시중판매	0.2467	0.2092
새만금	-	-
석문	0.1163	0.1031
화옹	-	-

도라지의 기능성물질 함량 분석 결과 chlorogenic acid와 rutin 2가지 물질이 검출되었으며, 인터넷에서 구매한 시판 도라지와 석문 간척지에서 수확한 도라지의 기능성물질 함량을 분석한 결과 간척지에서 재배한 도라지의 기능성물질 함량이 시판용 도라지보다 적은 함량이 나타났다. 이는 본 연구에 사용한 도라지의 경우 종자 파종하여 1년근이었지만 시판 도라지의 경우 주로 3년 이상의 재배한 도라지가 유통되기 때문에 이에 따른 차이로 사료된다.

(2) 레몬밤 기능성물질 함량

(표 2-186) 레몬밤 기능성물질 함량 결과

	Rosmarinic acid (mg/g DW)
시중판매	26.82
새만금	43.38
석문	38.98
화옹	39.69

레몬밤의 기능성물질 함량 분석결과 rosmarinic acid 물질이 검출되었으며, 시판 레몬밤과 간척지에서 재배한 레몬밤들 간의 성분 함량을 분석한 결과 간척지에서 재배한 레몬밤 모두 시판 레몬밤보다 1.4배에서 1.6배 성분이 증가한 것을 관찰할 수 있었다. 이와같은 원인은 간척지 토양의 염분이 식물체에 환경스트레스로 작용하여 식물체내 2차대사산물 축적에 기인한 것으로 보인다.

(3) 배초향 기능성물질 함량

(표 2-187) 배초향 기능성물질 함량 결과

	Rosmarinic acid (mg/g DW)	Tilianin (mg/g DW)	Acacetin (mg/g DW)
시중판매	4.01	0.4960	0.0181
새만금	29.24	1.48	0.4352
석문	-	-	-
화옹	-	-	-

배초향의 기능성물질 함량 분석결과 rosmarinic acid, tilianin, acacetin 3가지 물질이 검출되었으며, 시판 배초향과 간척지에서 재배한 배초향들 간의 성분 함량을 분석한 결과 새만금 간척지에서 재배한 배초향의 기능성물질 함량이 물질에 따라 24 배에서 3배까지 큰 차이를 나타내었는데, 이는 간척지 환경에 의한 작물의 이차대사산물 축적의 영향과 더불어 시판되는 작물의 유통과정에서 제대로 된 수확 후 저장 시스템이 갖춰져 있지 않아 현장에서 직접 수확하여 분석에 이용한 간척지 샘플과 비교하여 시판용 샘플의 성분의 변화가 컸을 것으로 사료된다.

(4) 식방풍 기능성물질 함량

(표 2-188) 식방풍 기능성물질 함량 결과

	Chlorogenic acid (mg/g DW)	4-hydroxy3-benzoic acid (mg/g DW)	Rutin (mg/g DW)
시중판매	1.32	0.1638	1.44
새만금	12.89	0.5723	2.74
석문	8.25	0.2077	3.74
화옹	9.90	0.2373	2.89

식방풍의 기능성물질 함량 분석결과 chlorogenic acid, 4-hydroxy3-benzoic acid, rutin 3가지 물질이 검출되었으며, 시판 배초향과 세곳의 간척지에서 재배한 식방풍들 간의 성분 함량을 분석한 결과 간척지에서 재배한 식방풍들 모두 시판되는 식방풍보다 기능성물질의 함량이 증가되었다는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 앞서 서술한대로 간척지의 환경조건이 작물의 이차대사산물 축적에 효과적인 환경스트레스로 작용한 것으로 사료된다.

(5) 홍화 기능성물질 함량

(표 2-189) 홍화 기능성물질 함량 결과

홍화(<i>Carthamus tinctorius</i>)			
	Chlorogenic acid (mg/g DW)	trans-Cinnamic acid (mg/g DW)	Kaempferol (mg/g DW)
시중판매	0.0761	0.0495	0.0898
새만금	-	-	-
석문	0.1145	-	-
화옹	0.1669	0.0010	0.1195

홍화 종자의 기능성물질 함량 분석결과 chlorogenic acid, trans-Cinnamic acid, Kaempferol 3가지 물질이 검출되었으며, 시판 홍화 종자와 석문 및 화옹 간척지에서 재배한 홍화 종자들 간의 성분 함량을 비교 분석한 chlorogenic acid와 kaempferol의 함량은 간척지에서 재배한 홍화에서 2배에서 1.3배 가량 더 높게 나타났으며, trans-Cinnamic acid 물질의 경우 시판되는 홍화 종자에서 간척지에서 재배한 종자보다 훨씬 높은 값을 나타내었는데, 이는 간척지 환경조건이 작물의 이차대사산물 축적에 영향을 주며 물질의 종류에 따라 축적되는 정도가 다를 수 있음을 시사한다.

본 연구 결과의 경우, 새만금, 석문, 화옹의 간척지에서 재배한 작물의 생육과 기능성물질의 함량이 각 지역마다 모두 다르게 나타나는 특징이 있었으나, 적거자, 식방풍, 레몬밤, 홍화 등과 같은 작물의 경우 기상환경에 의한 영향만 최소화한다면 일반 재배지에서 재배되는 수준의 품질과 생산량을 나타낼 수 있을 것으로 사료된다. 특히 기능성물질의 경우 대부분의 간척지 재배 작물들에서 시판되는 작물들과 비교하여 높은 수준의 물질이 축적되는 것을 확인하였다. Choi 등 (2015)은 새만금 간척지에서 감자 재배시 일반농경지에서 재배한 감자와 비교하여 항산화 활성이 증진되는 결과를 보고하였는데, 이는 간척지 재배 감자에서 활성 산소를 제거하는 역할을 하는 총 페놀 함량이 증가하였기 때문이었으며, 이는 간척지의 높은 염스트레스 조건에 대한 작물의 생존전략으로 보인다. 이처럼 높은 염스트레스에 의한 총 페놀 및 기능성물질 함량 증가는 양초(*Leymus chinensis*), 고추냉이(*Wasabia japonica*), 상추(*Lactuca sativa*), 들깨속 등의 작물들에서 보고되고 있으며(Choi 등, 2011; Galieni 등, 2015; Lu 등 2017; Sim 등, 2018), 이와 같은 작물의 특성을 이용하여 향후 간척농지를 이용하여 천연물 소재 기능성물질 대량생산을 통해 농가의 고부가가치 사업으로 활용될 수 있는 가능성을 제시하며, 향후 이와 관련하여 보다 면밀한 연구가 진행되어야 할 것이다.

2.3.4. 간척지 고부가 가치 작물 선정 및 재배 매뉴얼

가. 고부가가치 작물 선정을 위한 종합 평가

간척지는 쌀 생산 중심의 농지로 이용되어져 왔지만 점차 균형있는 농지 조성을 위하여 화훼류, 채소류의 재배도 시도되고 있다. 하지만 간척지의 토양은 양질사토나 미사질 식양토로서 투수성과 통기성이 불량하여 작물의 생육이 불량해지고 대부분 높은 염분 농도와 낮은 비옥도로 작물의 생산성까지 저하시킨다. 이외에도 강한 바람이나 잡초들은 정식 후 작물 초기 생육에 악영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 밭작물의 간척지 적용을 위하여 매년 다양한 작물에 대한 포장실험과 토양분석을 총 3년간 수행하였으며, 상기 기술한 연차별 실증재배 생육 분석 결과를 토대로 각 간척지에서 재배한 작물들의 생존율, 생육 및 생리활성물질의 함량을 종합하여 각 작물의 간척지 재배 적합성을 O: 우수, △: 보통, X: 불량 3단계로 구분 하였다.

(표 2-190) 2차, 3차, 4차년도 실증 연구 작물별 간척농지 재배 적합성 평가

	2차년도			3차년도			4차년도				
	새만금	석문	화옹	새만금	석문	화옹	새만금	석문	화옹		
감초	O	O	-	감초	O	O	O	도라지	X	O	X
강황	O	O	-	강황	O	O	O	레몬밤	O	O	O
당근	X	X	X	도라지	O	X	△	배초향	O	X	X
배초향	△	X	X	레몬밤	O	△	X	식방풍	O	O	O
비트	△	△	△	배초향	O	△	△	적거자	O	O	O
상추	X	△	O	비트	O	O	O	참깨	O	△	X
적거자	O	O	O	율무	O	X	△	홍화	O	△	O
적근대	X	△	△	참깨	O	X	X	O: 우수, △: 보통, X: 불량			
치커리	△	△	O	향부자	O	O	O				
케일	△	△	O	홍화	O	△	△				

최종적으로 간척농지 고부가 작물 재배에 적합한 작물은 감초, 강황, 비트, 레몬 밤, 식방풍, 적거자, 향부자, 홍화로 총 8작물을 제안하며 각 작물의 간척지 재배 생 리적 특성은 다음과 같다.

1) 홍화

홍화는 꽃을 염료로 사용하고 종자의 linoleic acid, lignan 및 flavonoid와 같은 기능성 성분들을 이용하는 식물로서 분지발생과 등숙율이 중요하다. 본 연구에서는 새만금, 석문 및 화옹에서 3차, 4차년도 총 2회 재배실험을 수행하였으며, 시험구에 속한 작물 중 중상 이상의 생육을 보여 간척지 재배가 적합하다고 판단하였다. 두번의 재배실험에서 영양생장기에 관수처리구들은 무관수 처리에 비하여 분지 발생과 종자 결실이 우수하였으며, 특히 3차년도 모든 간척농지에서 홍화 종자의 충실도와 수확량이 높게 나타났다. 한편 4년차의 경우 홍화가 영양생장기에서 생식생장으로 전환되는 7월경부터 장기간의 장마가 지속됨으로 인해 과습 및 광부족이 발생하여 건실 종자 수확에는 어려움이 있었다. 하지만 무처리구보다 관수처리구에서 정식 이후 모종의 생존율과 영양생장기동안 생육이 우수한 점을 보아 간척지에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

2) 감초, 강황, 비트, 향부자

이 작물들은 뿌리를 주로 이용하는 작물들로 간척지 실증 재배 연구 결과 뿌리의 생육 뿐만 아니라 지상부 역시 정상적인 생육을 나타내었다. 본 작물들 중 비트를 제외한 감초, 강황, 향부자의 경우 주로 한약재로 쓰이는 작물들이며 종자 파종을 실시하지 않고 전년도에 재배된 1년근을 구매하여 재배하였으며 근비대 및 세근 발달이 정상적으로 나타나는 모습이었다. 비트는 공정육묘를 통해 생산된 모종을 구매하여 재배하였는데, 3년차에 세 곳의 간척지 모두에서 생육 발달이 우수하였다. 하지만 본 연구에서는 다양한 작물을 동시에 재배하는 과정에서 감초의 경우 뿌리 신장을 위한 적정 토양조건을 맞춰주지 못해 곡근 현상이 많이 나타났는데, 이러한 점을 고려하여 토양 조건을 구성해준다면 보다 높은 품질의 뿌리 이용 작물 생산이 가능할 것으로 사료된다.

3) 레몬밤, 식방풍, 적겨자

이 작물들은 잎을 주로 이용하는 작물들로 4년차 실증 연구 결과 85% 이상의 생존율을 나타냈다. 레몬밤, 식방풍은 4월 정식이후 10월까지 지속하여 지상부의 생육이 증가하는 모습을 나타냈으며, 적겨자의 경우에도 정상 수준의 노지 엽채류 생산량을 나타냈다. 하지만 적겨자의 경우 영양생장기간이 짧아 7월 초 이미 꽃대가 올라오는 모습을 나타냈지만 모든 간척지구에서 생육이 매우 우수하였으며, 특히 다른 엽채류들과 비교해 병충해에 의한 피해도 적게 나타나는 모습이기에 선정하였다.

나. 간척지 재배 매뉴얼

(표 2-191) 간척농지 작물 재배 연중 작업 스케줄표

주요 작업	세부 작업 내용	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
토양관리	퇴비처리		●										
	밑거름			●									
	두둑 조성 및 멀칭				●								
작물 준비	파종 준비			●									
	육묘			●	●								
	정식				●								
작물관리	관수				●	●	●	●	●	●			
	제초					●	●	●	●	●			
작물 수확	작물 수확										●		
	수확 후 처리										●	●	

1) 토양 관리

- 간척농지의 경우 일반 밭재배 환경과 다르게 토양의 통기성과 비옥도가 낮고, 바람이 강하며, 잡초가 많고, 멧돼지, 고라니 등 야생동물 출현이 잦아 이들로부터 인한 작물의 피해를 막기 위한 사전 준비가 필요하다.
- 재배지 주변으로 울타리나 펜스를 설치하여 야생동물의 침입을 예방하고 간척농지 토양의 통기성을 증대시키고 비옥도를 증가시키기 위하여 정식 전에 퇴비와 밑거름을 살포하고 로터리 작업을 진행해주어야 한다.
- 기비량은 토양의 비옥도 및 재배 지역에 기상환경에 따라 달라지지만, 보통 10a당 퇴비 1톤, 질소 10kg, 인산 12kg, 칼륨 7kg을 포장 전면에 고루 뿌려 주고, 8월 초순 질소 10kg 칼륨 3kg를 웃거름으로 준비한다.
- 일반적으로 두둑은 작물의 종류에 따라 이랑 폭 0.4~1.0m, 고랑 폭 0.6m로 두둑을 만든 후 토양 수분 보존 및 잡초 방지를 위하여 멀칭 필름을 피복하며 만약 관수 설비를 이용하고자 할 경우에는 점적관수관은 멀칭 전 설치가 필요하다.
- 멀칭시 검정색 필름을 사용하며 경우에 따라 흰색 필름 및 비멀칭을 이용할 수 있으나, 간척지 특성상 잡초 방지를 위해 검정 필름을 권장 한다.
- 작물의 종류에 따라서 정식 간격은 달라지지만, 30cm*30cm로 작물간 간격을 일정하게 정식 하는 것을 권장한다. 하지만 기비량에 따라 간격조절이 필요하며 기비가 충분할 경우 20cm*20cm 간격도 가능하며 바람이 많이 부는 지역적 특성으로 정식간격을 줄이면 도복을 막을 수 있다.
- 특히 지상부의 신장이 높게 자라는 작물들의 경우, 밑식 재배를 하거나 지지대를 세워주어 간척지의 강한 바람으로부터 작물의 도복 피해를 대비한다.

2) 작물 준비 및 정식

- 간척지 토양의 적응성을 위해 직파 재배 보다는 공정 육묘를 통해 모종 정식을 권장한다(선정 작물 중 레몬밤, 비트, 식방풍, 적겨자, 홍화 등 해당)
- 작물에 따른 적정 육묘 일수를 계산하여 정식일에 역산하여 정식량의 120%를 과중하여 육묘하고, 본엽 4-6매가 전개되면 지상부의 생육과 포트내 근권부의 뿌리돌림이 좋은 묘들을 위주로 간척농지에 정식을 진행한다.
- 구근을 정식하는 작물들의 경우 전문 재배 농가를 통해 구근을 구매하거나, 직접 구근을 생산하여 다음해에 사용한다(선정 작물 중 감초, 강황, 향부자 해당).
- 구근은 정식 전까지 마르지 않도록 관리해야하며, 이를 위해 모래와 구근을 1:1로 혼합하여 땅속에 저장하거나 작물에 따라 5~10도씨 이하의 저온 저장 방법을 사용할수 있다. 하지만 저온저장 시 구근이 너무 마르지 않도록 관리하되 수분과다로 인해 구근이 썩는 현상을 주의해야 한다.
- 정식시기는 작물 및 지역에 따라 상이하지만 일반적으로 늦서리 피해를 피하기 위하여 남부지역은 3월말~4월초, 중부지역은 4월 중순 이후가 권장된다.
- 정식은 멀칭된 두둑 위에 정식간격으로 구멍을 내준 뒤 정식할 작물을 구멍에 넣고 구멍이 보이지 않을 정도로 복토(3-4cm)해 준다.
- 정식 직후에 작물이 간척지 환경에 잘 적응 할 수 있도록 1주~2주 동안은 충분한 양의 관수를 실시해 주며, 이후 뿌리 활착을 위해 관수량을 줄여 관리한다.

3) 작물 관리

- 정식 4주 후에는 작물의 뿌리 활착이 완료된 것으로 보며 작물의 상태에 맞춰 충분한 양의 물을 관수하며 관리해 준다.
- 재배 기간 동안 잡초로 인한 피해를 막기 위해 주 1회 고랑 사이에 나는 잡초들과 정식한 작물들 사이를 비집고 올라오는 잡초들을 제거해 주는 작업을 주기적으로 실시한다.
- 특히 여름 장마철 잡초의 발생이 가장 왕성해지고 인력 동원에 어려움이 발생하므로 현장여건에 따라 예초기 작업 혹은 농약 살포 등을 통해 잡초 관리에 더욱 주의를 기울여야 한다.

다. 작물별 작부체계 및 수확 후 처리

(표 2-192) 작물별 간척농지 작부체계

주요 작업	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
감초, 강황, 향부자			▲	○	●	●	●	●	●	□		
레몬밤, 식방풍			△	▲	○	●	□	●	●	■		
비트, 적겨자	봄재배		△▲	○	●	□						
	여름재배					△▲	○	●	□			
	가을재배							△▲	○	●	□	
홍화		△▲	○	●	●	●	□					
마늘, 양파 (이모작)	1년차							△	▲	○	●	●
	2년차	●	●	●	●	●	□					

△: 파종, ▲:육묘 및 구근 준비, ○: 정식, ●:작물재배, □: 1차 수확, ■:2차 수확
 감초, 강황, 향부자, 마늘: 구근 정식
 레몬밤, 식방풍, 비트, 적겨자, 홍화, 양파: 육묘 후 모종 정식

1) 감초, 강황, 향부자

구근을 정식하여 뿌리를 주로 이용하는 감초, 강황, 향부자의 경우 4월 정식, 10월 수확을 목표로 재배 관리를 해주며 지상부가 누렇게 변하는 시기를 수확 적기로 보며 주 이용 부위인 뿌리를 수확하여 흙을 잘 털고 햇볕에 잘 건조시켜 보관한다.

2) 레몬밤, 식방풍

레몬밤과 식방풍은 육묘를 통해 정식하는 것이 초기 뿌리 활착에 유리하며 보통 첫 수확은 7월에서 8월경 시작하게 되며 여름이 지나 2차 수확이 가능하다. 식방풍의 1차 수확은 주로 방풍나물로 이용하기 위해 신선한 지상부를 수확하지만 2차 수확은 지상부가 누렇게 변할때가 수확 적기로 뿌리가 상하지 않도록 캐내어 흙을 털고 적당히 건조시켜 약재로도 이용이 가능하다.

3) 비트, 적겨자

비트와 적겨자는 는 공정육묘를 통해 모종을 정식하여 재배하는 것이 간척지 재배에 유리하며 4월에 정식하여 6-7월에 수확하는 봄 재배와 7월에 정식하여 9월에 수확하는 여름재배, 9월에 정식하여 11월에 수확하는 가을 재배 방식이 있어 연 2회 이상 재배가 가능하다. 수확이 늦어지면 섬유질이 발달하여 품질이 저하되므로 잎이 7-8매, 뿌리 지름 5-6cm 이상일 때 바로 수확하는 것이 중요하며 수확 후 건조하지 않도록 주의해주어야 한다.

4) 홍화

홍화는 육묘를 통해 정식하는 것이 간척지 재배에 적합한 것으로 나타났으며, 생육속도가 빠르고 초여름 고온에 의한 영향으로 생육이 불량해지므로 선발된 타 작물들보다 2주에서 3주 일찍 정식하는 것이 권장된다. 홍화의 수확은 꽃 색이 노란색이나 등황색을 거쳐 붉게 변하는 개화성기 후 20~30일에 수확하는 것이 기름함량과 수량이 많으며, 줄기째 수확하여 햇볕이나 열풍 건조기에 말린 뒤 종자를 털어 보관한다.

5) 마늘, 양파

마늘과 양파는 간척지 이모작 대표 작물로 양파는 모종 정식, 마늘은 씨마늘을 정식을 하며 봄 재배 작기가 끝나고 휴경하는 기간 동안 가을 정식을 실시하여 이듬해 6월 수확한다. 수확한 마늘은 5-7일간, 양파는 1-2일간 밭에서 건조시킨 후 장기간 저장을 위해 그늘지고 건조한 곳으로 옮겨 보관하며, 장마철 높은 습도에 의한 병해충 및 부패에 주의해야 한다.

간척농지를 대상으로 작부체계를 새롭게 적용하기 보다는 기본적으로 노지재배 기준을 따르고, 대상지의 특이 조건 (강풍, 공급된 관수의 EC, 지하수위에 따른 토양의 염도조건 변화, 봄철 가뭄기 대응)에 따라 대응할 수 있는 전략이 필요하다. 특히, 용수공급을 원활히 하기 위해서 주변에 둠병, 소규모 저수지 등을 설치하거나, 우수를 이용할 수 있는 시설, 주변 양수장을 이용하여 용수를 공급받을 수 있는 등이 방안이 필요하다.

2.3.5. 간척지 선밭 작물 경제성분석

가. 경제성분석의 의의 및 범위

농산물의 경제성분석은 경제적 또는 기술적 목적이 그 실현을 위한 여러 활동에 의해 얼마만큼 달성되었는가 하는 성과성을 의미하며, 경제주체의 경제활동에 대한 합리성 여부 및 목적 달성 여부를 판단하는 근거로 활용할 수 있다. 최근에는 농업 생산 활동분야에서 새로운 농업 기술이나 작목 도입 시 의사결정에 필요한 경제성 분석이 많이 다루어지고 있으며 대표적으로 새로운 농업 기술이나 작목 도입이 생산 농가들의 수익 구조를 변화시킬 경우 이를 농가에 보급하기 이전에 사전적으로 해당 기술이나 작목의 도입에 따른 수익과 비용을 산출하여 분석·검토하는데 이용하거나 생산 농가들은 새로운 기술이나 작목 도입 시 수익적 경제성 분석 결과를 수용여부의 의사결정에서 중요한 자료로 활용하고 있다.

본 연구의 경제성 평가는 연구과제의 종료시점에서 이루어지는 최종평가 단계에 속하며, 간척지 고부가가치 작물로 선밭된 작물들의 도입에 따른 생산비용과 예상수익을 산출하고자 하였다. 본 연구에서는 이미 조성된 간척지의 작목 도입 및 생산에 따른 경제성을 분석하는 것이 주요 목적이기 때문에 간척사업에 투입된 비용과 간척사업에 의한 갯벌생태계 파괴 등과 같은 사회적 비용이나 방풍 생산에 따른 경관적 가치, 지역경제 파급효과 등과 같은 사회적 편익은 논의에서 제외하는 것이 적절하다고 판단하였으며 각 작목의 도입에 따른 경제성 분석은 작목 생산과정에서 고려되어야 하는 비용과 단수 및 판매수익 등 수익성 자료에 기초하여 분석절차를 진행하고자 하였다.

1) 조수입 및 투입비용 산출

- 간척지 내 타작물 도입에 따른 경제성 분석을 위해서는 기본적으로 수익성 측면에서의 조수입과 제반 생산과정에서 발생하는 비용이 산출되어야 하며 이를 위해 작목 도입 이전과 이후의 변화가 아닌 작목 생산과 판매에 관련된 분석에 국한한다.
- 조수입 산출은 각 작물의 주산물과 부산물에 대한 판단을 통해 이들 각각에 대한 농가수취가격을 적용해야하지만 선정 작물들의 부산물은 생산 농가의 주요 수입원에 해당되지 않는 것으로 판단하여 각 작물의 주산물 생산량에 농가수취가격을 곱한 금액으로 조수입을 산출하였다.
- 투입 비용은 타 작목들과의 경영비 비교나 간척지 이외의 농경지에서 생산되는 선밭 작물들의 경영비 비교 용이성을 고려하여 농촌진흥청에서 조사·발간하고 있는 『농축산물 소득자료집』의 경영비 항목을 토대로 분석하는 것이 바람직하다.
- 『농축산물 소득자료집』에서 다루고 있는 경영비 항목(투입 비목)들로는 종자·종묘비, 비료비, 농약비, 수도광열비, 기타재료비, 대농구·영농시설상각비, 수리·유지비(수선비), 기타비용, 임차료, 위탁영농비, 노동비, 유동자본용역비, 고정자본용역비, 토지자본용역비, 중간재비 등이 있으며 각 항목들의 비용 산정 기준은 다음과 같다.

(표 2-193) 『농축산물 소득자료집』에서 다루고 있는 경영비 항목과 비용 산정 기준

구분	비용 산정 기준
종자·종묘비	• 종자 혹은 종묘에 대한 투입 당시의 농가구입가격을 적용
비료비	• 무기질 비료는 농가구입가격을 적용 • 유기질 비료는 구입한 경우는 농가구입가격을 적용하고, 구입하지 않았을 경우에는 비용가 또는 성분가를 적용
농약비	• 작목의 병충해 예방 및 방제에 사용한 살충제, 살균제와 제초제, 기타 농업용 약제 일체를 계상하여 농가구입가격을 적용하고, 항공 및 공동방제에 투입된 비용은 부담비용을 산정
수도광열비	• 작목의 생산과 관련하여 물사용에 소요되는 비용 및 사용한 유류(경유, 등유, 휘발유, 중유 등), 가스, 전기, 석탄 등의 비용
기타재료비	• 종묘, 비료, 농약, 수도광열비를 제외한 모든 재료의 비용으로 농가구입가격을 적용하며, 자가생산물은 비용가를 적용
대농구, 영농시설상각비	• 감가상각비 계산은 정액법을 이용하고, 이들 장비들이 여러 작목에 활용된 경우 조사 작목 비용부담비율 적용
수리·유지비	• 대농기구, 영농시설의 유지를 위하여 수선한 비용
기타비용	• 투입비용 조사 시 어느 비목에도 계상되지 않는 비목으로 협회비, 전문서적 구입비, 보험료 등이 해당
임차료	• 조사 작목의 영농을 위하여 대농기구, 영농시설, 토지 등을 실제 임차하여 지불된 금액
위탁영농비	• 조사 작목 생산과정 중 일부작업을 다른 사람에게 위탁한 경우의 비용
노동비	• 투입된 노동력을 자가노동과 고용노동으로 구분하여 계상하되 고용노동비의 노임단가는 지역별 현금, 현물 및 급식비를 합산하여 적용하고, 자가노동비는 5~29인 규모 제조업 평균임금을 적용하여 산출
유동자본용역비	• 조사 작목의 생산을 위하여 생산기간 중 투입된 유동자본재 자본액에 대한 이자비용으로 유동자본액에 연간 이자율 5%를 곱한 후 산출계수 1/2를 곱하고 재포기간(월)을 12로 나눈 재포기간 비율을 곱하여 계상함 • 유동자본액은 경영비에서 감가상각비를 제외한 금액임
고정자본용역비	• 조사작목의 생산을 위하여 생산기간 중 투입된 고정자본재 자본액에 대한 이자비용
토지자본용역비	• 조사작목의 생산을 위하여 투입된 자기토지의 사용에 대한 기회비용으로 인근의 동질 유사 토지에 대한 임차료를 적용하여 평가
중간재비	• 조사작목의 생산을 위하여 투입한 일체의 재료 비용

자료: 농촌진흥청(2017), 『농축산물 소득자료집』.

2) 경영성과 및 생산성 관련 지표

- 작목 도입에 따른 경제성 유무는 경영성과 및 생산성 관련 지표들의 산출을 통해 파악할 수 있으며, 조수입 및 경영비 항목들의 자료를 토대로 ① 수입 및 비용관련 지표 ② 토지관련 지표 ③ 노동관련 지표 ④ 자본관련 지표로 구분할 수 있다.
- 수입 및 비용관련 지표에는 농업조수입, 중간재비, 부가가치, 가처분소득, 농업소득률, 농업순수익률 등이 있으며 각 지표별 산출방식은 다음과 같다.

(표 2-194) 『농축산물 소득자료집』에서 다루고 있는 경영비 항목과 비용 산정 기준

구분	산출방식
농업조수입	<ul style="list-style-type: none"> • 당해년도 농업경영 결과로서 얻은 총수입 • 농산물 판매액, 현물지출평가액(지대, 노임 등), 자가생산 농산물의 자가소비평가액, 대동식물 증식액 및 미처분 농산물 재고 증감액을 합계한 총액
중간재비	<ul style="list-style-type: none"> • 농업경영비-(노임+농지임차료 및 기타 임차료)
부가가치	<ul style="list-style-type: none"> • 농업조수입-중간재비
가처분소득	<ul style="list-style-type: none"> • 농가소득-조세공과금
농업소득률	<ul style="list-style-type: none"> • 농업소득÷농업조수입×100
농업순수익률	<ul style="list-style-type: none"> • 농업순수익÷농업조수입×100

자료: 농촌진흥청(2014), 『식량작목 경제성 분석방법과 사례』.

- 토지관련 지표에는 토지생산성이 있으며, 산출방식은 다음과 같다.

(표 2-195) 토지 관련 지표와 산출방식

구분	산출방식과 활용
토지생산성	<ul style="list-style-type: none"> • 토지면적 단위당 생산량으로 정의 • 농업부가가치/경지면적(10a) • 토지의 생산성을 타 토지와 비교하고, 다른 작목과 비교하는 지표로 사용

자료: 농촌진흥청(2014), 『식량작목 경제성 분석방법과 사례』.

- 노동관련 지표에는 노동생산성과 노동집약도가 있으며, 산출방식은 다음과 같다.

(표 2-196) 노동 관련 지표와 산출방식

구분	산출방식과 활용
노동생산성	<ul style="list-style-type: none"> • 투하된 노동량과 그 결과로서 얻은 생산량과의 비율로 정의 • 농업과 타 산업간의 경제적인 능률을 비교하는 지표 • 농업부가가치/영농시간
노동집약도	<ul style="list-style-type: none"> • 단위생산물에 대한 투하노동량의 비율로 정의 • 일정 경지면적에 대해 투하된 노동량 • 영농시간/경지면적

자료: 농촌진흥청(2014), 『식량작목 경제성 분석방법과 사례』.

- 마지막 자본관련 지표로는 농업자본액, 자본생산성, 자본집약도, 자본구성도 (자본장비율), 자본계수 등이 있으며 각 지표별 정의 및 산출방식은 다음과 같다.

(표 2-197) 자본관련 지표와 산출방식

구분	산출방식
농업자본액	<ul style="list-style-type: none"> • 농업생산에 투하된 자본재 중에서 재생산이 가능한 자본재를 평가한 금액 • 농업고정자본액: 개량·간척된 토지, 농업용 시설물, 대농구, 대동식물 • 농업유동자본액: 소동물, 재고농산물, 재고생산자재, 경상적 농업지출
자본생산성	<ul style="list-style-type: none"> • 투하된 자본에 대한 생산량으로 자본계수와 역수의 관계를 가짐 • 농업과 타 산업간의 경제적인 능률을 비교하는 지표 • 농업부가가치액/농업자본액
자본집약도	<ul style="list-style-type: none"> • 일정 경지면적에 대하여 투하된 농업자본액 • 농업자본액/경지면적
자본구성도 (자본장비율)	<ul style="list-style-type: none"> • 노동자 1인당 자본액 • 가족노동이 많고, 노동의 계절성 때문에 '농업자본액/영농시간'으로 계산
자본계수	<ul style="list-style-type: none"> • 농업자본액/농업소득

자료: 농촌진흥청(2014), 『식량작목 경제성 분석방법과 사례』.

나. 비교 대상 간척지 작목 경제성분석

선발된 작물들과 기존 간척지에서 재배된 작물들의 경제성 분석결과와의 경제성 비교를 통해 간척지에서 어떤 작목을 재배할 지를 고민하는 생산 농가가 새로운 작목 수용과 관련된 의사결정을 하는 데 중요한 자료로 활용할 수 있을 것이다. 이를 위해 선발 작물들과 수도작 작물의 경제성분석 결과를 비교분석 하고자 하였다.

석문간척지는 염분농도가 1~2단계에 해당되는 지역으로 경제성 비교·분석이 의미 있는 작목도 염분농도에 따라 재배 가능한 작목을 선택하고자 하였으며, 염분농도에 따른 재배가능 작목의 고려와 함께 재배시기도 고려하여 분석 대상 작목의 재배시기와 유사한 작목을 경제성 비교작목으로 선택하고자 하였다. 석문간척지의 염분농도와 재배시기가 유사한 작목들은 벼, 사탕수수, 해바라기 등으로 해당 작목들 중 경제성 조사가 기존에 이루어진 쌀을 최종 비교대상 작목으로 선정하였다.

(표 2-198) 염분농도와 재배시기에 따른 선택 가능한 작목

단계	염분농도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1단계	8dS/m 이상	갈대, 나문재, 해홍나물, 칠면초, 통통마디(염생식물) 이탈리안라이그라스, 톨위트그라스, 버뮤다그라스(사료작목)											
2단계	8~4dS/m	보리, 호밀, 유채, 자운영, 밀				벼, 세스바니아, 사탕수수, 해바라기, 솔트그라스				보리, 호밀, 유채, 자운영			
3단계	4~2dS/m	시금치				옥수수, 콩, 땅콩, 케일, 오이, 참외, 아스파라거스, 근대, 토마토				시금치			
4단계	2dS/m 이하	마늘, 양파				감자, 고구마, 피망, 배추, 무, 당근, 상추, 호박, 가지, 양배추, 머스크멜론, 샐러리, 완두				마늘, 양파			
		백합, 국화, 카네이션, 베고니아, 장미, 수국, 거베라, 프리지아 포인세티아, 에리카, 안스리움, 프리물라, 메밀											

자료: 농어촌연구원(2006), 『새만금 간척지의 전작·원예단지 조성 연구』.

간척지 내 벼 재배에 따른 경제성 분석이 농축산물 소득자료집에 포함된 세부 항목별로 조사된 최근 연구는 없는 상황이며 최근 간척지 벼 생산의 경제성 연구는 주로 작부체계에 따른 경제적 효과분석이나 염분농도 변화에 따른 경제성 분석에 국한되어 있다.

따라서 연구 대상 지역인 석문지구 내 쌀 생산비는 한국농어촌공사에서 2014년 실시한 『간척농지 시기별 생산량 및 생산비에 대한 현장 실증 연구』를 참고하여 수도생산비 산출은 통계청의 생산비 비목에 따라 조사하였으며, 구체적으로는 종묘비, 비료비, 농약비, 위탁영농비, 고용노동비, 자가노동비 등의 항목으로 구성하고 농지임차료는 영농법인이 2013년 한국농어촌공사와 시군에 지불한 임차료를 적용, 영농광열비, 대농구상각비, 기타 제재료비, 자본용역비는 자료의 객관성 확보를 위해 통계청의

도별 쌀 생산비 자료를 적용하였다.

(표 2-199) 석문간척지 쌀 생산비(2014년 기준)

단위: 원/10a

구분	비목	금액	비고
생산비	종묘비	18,302	
	비료비	69,998	
	농약비	45,870	
	영농광열비	7,159	
	대농구상각비	45,923	
	영농시설상각비	997	
	기타 제재료비	15,932	
	농지임차료	148,429	
	위탁영농비	183,750	
	고용노동비	18,192	1.6시간
	기타요금	11,740	소농구비, 기타
	소계	566,292	
	자가노동비	141,523	10.2시간
	자본용역비	141,502	유동, 고정, 토지자본용역비
총계	849,317		

자료: 한국농어촌공사(2014), 『간척농지 시기별 생산량 및 생산비에 대한 현장 실증 연구』

쌀 조수입 계산에 필요한 자료로는 쌀 단위당 수확량과 판매가격으로 특정 연도의 병충해나 기상여건에 따른 수확량 변화를 적절하게 고려할 수 있도록 2010년부터 2014년까지의 5개년 수확량을 평균하여 적용하였고 조사연도별 쌀 판매가격은 해당 연도별 쌀 정부수매단가를 적용하였다.

(표 2-200) 석문간척지 수도작 생산량(2010~2014년)

단위: kg/10a

구분	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	5개년 평균
최고	481.3	473.0	440.7	528.0	540.5	494.1
최저	371.5	360.7	317.8	381.0	394.3	371.1
평균	426.8	420.2	392.0	464.8	478.7	437.3

자료: 한국농어촌공사(2014), 『간척농지 시기별 생산량 및 생산비에 대한 현장 실증 연구』

2010~2013년 4개 연도의 석문간척지 단위면적 당 쌀 평균 생산량은 동 지구가 속해 있는 충청남도의 쌀 평균생산량의 81.6% 수준으로 10a당 95.8kg이 적었고, 당진시의 평균생산량의 77.6%수준으로 122.8kg 더 적었다.

(표 2-201) 당진시와 석문간척지의 수도작 평균생산량 비교(2010~2013년)

단위: kg/10a

구분	2010년	2011년	2012년	2013년	4개년 평균
당진시	531	555	530	579	548.8
석문지구	426.8	420.2	392.0	464.8	426.0
차이	104.2	134.8	138.0	114.2	122.8

자료: 한국농어촌공사(2014), 『간척농지 시기별 생산량 및 생산비에 대한 현장 실증 연구』

2013년 기준 충청남도의 10a당 생산비는 750,397원이었으며, 석문간척지 임대지역의 생산비 849,320원으로 약 일반농지 대비 간척농지의 생산비가 약 1.13배 높은 것으로 나타났다.

(표 2-202) 수도작(전국 평균, 석문지구) 생산비 및 경영성과

단위: 원/10a

주요 항목		전국 평균		석문지구	
		2014년	2018년	2014년	2019년
총수입	주산물가액	1,024,219	1,137,489	973,008	1,382,778 ¹⁾
	부산물가액 ²⁾	33,871	40,725	33,871	40,725
	계	1,058,090	1,178,214	1,006,879	1,423,503
경영비	중간재비	-	182,202	215,921	241,485
	임차료, 위탁영농비, 고용노동비	-	313,105	350,371	391,853
	계	442,873	495,307	566,292	633,338
생산비		721,478	796,823	849,317	938,012
부가가치		-	996,012	790,958	1,182,018
소득		615,217	682,907	440,587	790,165
부가가치율(%)		-	84.5	78.6	83.0
소득률(%)		58.1	58.0	43.8	55.5
순수익		336,612	381,391	157,562	485,490
순수익률(%)		31.8	32.4	15.6	34.1

주 : 1) 2019년 정부수매 예상가격(20만원/조곡80kg)을 완전립율 90%를 가정하여 산출한 단가 적용함.

2) 석문지구 수도작 부산물가액은 전국 평균값을 적용함.

3) 석문지구 2019년 경영비 및 생산비는 전국평균의 2014년과 2018년의 증감률을 적용하여 도출함.

자료: 1) 한국농어촌공사(2014), 『간척농지 시기별 생산량 및 생산비에 대한 현장 실증 연구』

2) 농촌진흥청(2018), 『2018 농축산물소득자료집』

석문간척지 재배 수도작과 관련된 생산비와 생산량은 한국농어촌공사(2014)의 연구결과를 활용하되, 생산비의 경우 시간적 차이에 따른 변화정도를 반영하기 위하여 2014년과 2018년 농축산물소득자료집에 수록된 수도작 관련 자료의 변화 정도를 반영하여 석문지구 수도작 총수입 계산을 위해 2014년에는 전국 평균 단가(1,970원/kg), 2019년은 정부수매예상가(2,780원/kg)를 적용하였다.

다. 간척지 고부가가치 선발 작물 경제성분석

감초, 강황, 향부자, 홍화, 레몬밤, 비트는 경제성분석을 위해 실증 연구 2~4년 차 연구 결과 중 가장 생육이 우수했던 3차년도 새만금 관수 110%, 10m 암거 및 토양개량 처리구의 작물 수확량을 10a당 수확량으로 환산하여 이용하였으며, 적겨자는 4차년도 화용 관수 100%, 10m 암거 처리구의 생육조사 결과를 이용하였으며, 식방풍은 4차년도 석문 관수 125%, 10m 암거 처리구의 생육조사 결과를 이용하였다.

모든 작물의 재식거리는 30*25cm를 기준으로 하였을 때 10a에 식재되는 작물수를 4000주로 가정하였고, 감초, 강황, 향부자의 경우 3차년도 실제 구근 구매 가격을 종묘비로 책정하였으며, 비트, 레몬밤, 식방풍, 적겨자, 홍화의 경우 육묘재배된 모종을 구매하여 재배하였기에 모종구매 금액을 종묘비로 책정하였다.

종자·종묘비를 제외한 중간재비 및 임차료, 노동비에 해당하는 금액들은 매차년 실증 재배 연구 시 각 간척농지에 작물을 혼재하여 식재하였기에, 한 해 동안 투입된 모든 비용을 일괄 분할하여 각 비용을 산정하였다.

(표 2-203) 간척지 작물 재배 생산비 산출 목록

		비 목	금액(원)	비 고
생 산 비	경 간 재 영 비	종자·종묘비	400,000	감초 기준 (작물별 상이)
		무기질비료비	-	
		유기질비료비	170,500	
		농약비	-	
		수도광열비	18,420	
		기타재료비	67,300	
		소농구비	5,743	
		대농구상각비	282,750	
		영농시설상각비	40,000	
		수리,유지비	5,823	
	기타요금	-		
	계	990,536		
	비	농기계·시설 임차료	-	
		토지임차료	17,450	2018 석문 임대 공고가
		위탁영농비	390,600	토목작업
고용노동비		397,342	제초 및 파종	
계	1,795,928			
	자가노동비	1,054,368	72 시간	
	유동자본용역비	12,064	-	
	고정자본용역비	11,450		
	토지자본용역비	-		
	계	2,773,810		

(표 2-204) 간척지 고부가가치 선별작물별 경제성 분석 결과

감초 경제성 분석 결과			
구 분		금 액	비 고
총수입	수량(kg)	428	새만금 3차
	단가(원)	7,520	2017년 서울경동약령시장
	금액(천원)	3,218	
비 용	중간재비(천원)	990	
	경영비(천원)	1,795	
수 익	부가가치(천원)	2,228	
	소득(천원)	1,422	소득률 44%
생산성	노동생산성(원/시간)	30,944	
	토지생산성(원/㎡)	2,228	
강황 경제성 분석 결과			
구 분		금 액	비 고
총수입	수량(kg)	1,210	새만금 3차
	단가(원)	4,698	2017년 서울경동약령시장
	금액(천원)	5,684	
비 용	중간재비(천원)	1,257	
	경영비(천원)	2,062	
수 익	부가가치(천원)	4,427	
	소득(천원)	3,621	소득률 64%
생산성	노동생산성(원/시간)	61,491	
	토지생산성(원/㎡)	4,427	
비트 경제성 분석 결과			
구 분		금 액	비 고
총수입	수량(kg)	3,062	새만금 3차
	단가(원)	1,155	2020년 농산물도매시장 단가
	금액(천원)	3,123	
비 용	중간재비(천원)	940	
	경영비(천원)	1,745	
수 익	부가가치(천원)	2,182	
	소득(천원)	1,377	소득률 44%
생산성	노동생산성(원/시간)	30,315	
	토지생산성(원/㎡)	2,182	
레몬밤 경제성 분석 결과			
구 분		금 액	비 고
총수입	수량(kg)	450	새만금 3차
	단가(원)	7,800	유사품종 '박하' 단가 적용
	금액(천원)	3,510	
비 용	중간재비(천원)	940	
	경영비(천원)	1,745	
수 익	부가가치(천원)	2,569	
	소득(천원)	794	소득률 50%
생산성	노동생산성(원/시간)	35,687	
	토지생산성(원/㎡)	2,569	

식방풍 경제성 분석 결과

구 분		금 액	비 고
총수입	수량(kg)	304	석문 4차
	단가(원)	5,500	2020년 농산물도매시장 단가
	금액(천원)	1,672	
비 용	중간재비(천원)	940	
	경영비(천원)	1,745	
수 익	부가가치(천원)	731	
	소득(천원)	-73	소득률 -4%
생산성	노동생산성(원/시간)	10,159	
	토지생산성(원/m ²)	731	

적겨자 경제성 분석 결과

구 분		금 액	비 고
총수입	수량(kg)	1,560	화옹 4차
	단가(원)	2,500	2020년 농산물도매시장 단가
	금액(천원)	3,900	
비 용	중간재비(천원)	940	
	경영비(천원)	1,745	
수 익	부가가치(천원)	2,959	
	소득(천원)	2,154	소득률 55%
생산성	노동생산성(원/시간)	41,103	
	토지생산성(원/m ²)	2,959	

향부자 경제성 분석 결과

구 분		금 액	비 고
총수입	수량(kg)	232	새만금 3차
	단가(원)	9,500	2017년 서울경동약령시장
	금액(천원)	2,204	
비 용	중간재비(천원)	723	
	경영비(천원)	1,529	
수 익	부가가치(천원)	1,480	
	소득(천원)	674	소득률 31%
생산성	노동생산성(원/시간)	20,557	
	토지생산성(원/m ²)	1,480	

홍화 경제성 분석 결과

구 분		금 액	비 고
총수입	수량(kg)	14	새만금 3차
	단가(원)	8,750	2020년 농산물도매시장 단가
	금액(천원)	122	
비 용	중간재비(천원)	930	
	경영비(천원)	1,735	
수 익	부가가치(천원)	-808	
	소득(천원)	-1,613	소득률 -1,317%
생산성	노동생산성(원/시간)	-11222	
	토지생산성(원/m ²)	-808	

(표 2-205) 작물별 간척농지 예상소득 총괄표

작목	총 수입 (천원)	경영비 (천원)	소득 (천원)	소득률 (%)
감초	3,218	1,795	1,422	44
강황	5,684	2,062	3,621	64
비트	3,123	1,745	1,377	44
레몬밤	3,510	1,745	1,764	50
식방풍	1,672	1,754	-73	-4
적겨자	3,900	1,745	2,154	55
향부자	2,204	1,529	674	31
홍화	122	1,735	-1,613	-1,317
2014년 간척지 수도작	1,006	566	440	43.8
2019년 간척지 수도작	1,423	633	790	55.5

간척지 수도작 경영성과 대비 간척농지 고부가가치 선발 작물들의 예상 경영성과를 비교하기 위해 선발 작물들의 경제성분석 결과 및 2014년, 2019년 간척지 수도작 경제성분석결과를 위와 같이 정리하였다.

선발 작물들의 종자(종묘)를 제외하면 동일한 투입요소가 사용되었기 때문에 경영비와 생산비에는 거의 차이가 없으나 작물에 따라 주산물가액 및 총 수입, 소득은 큰 차이가 나타나는 모습이었다.

비교 분석 결과 강황의 소득율은 64%로 2014년, 2019년 간척지 수도작 소득율보다 20.2%, 8.5% 높은 수치를 나타냈으며, 감초, 비트, 레몬밤, 적겨자의 소득율은 2014년 간척지 수도작 대비 0.2% 에서 11.2% 까지 높은 값으로 조사되었다.

식방풍, 향부자, 홍화 세 작물의 소득율은 수도작 대비 낮은 값으로 조사되었으며, 특히 식방풍과 홍화는 경제성분석결과 간척지 재배시 적자 수익을 낼 수 있는 것으로 나타나 해당 작물들을 도입하고자 할 경우 재배조건에 대해 보다 면밀한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

2.4. 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템 개발

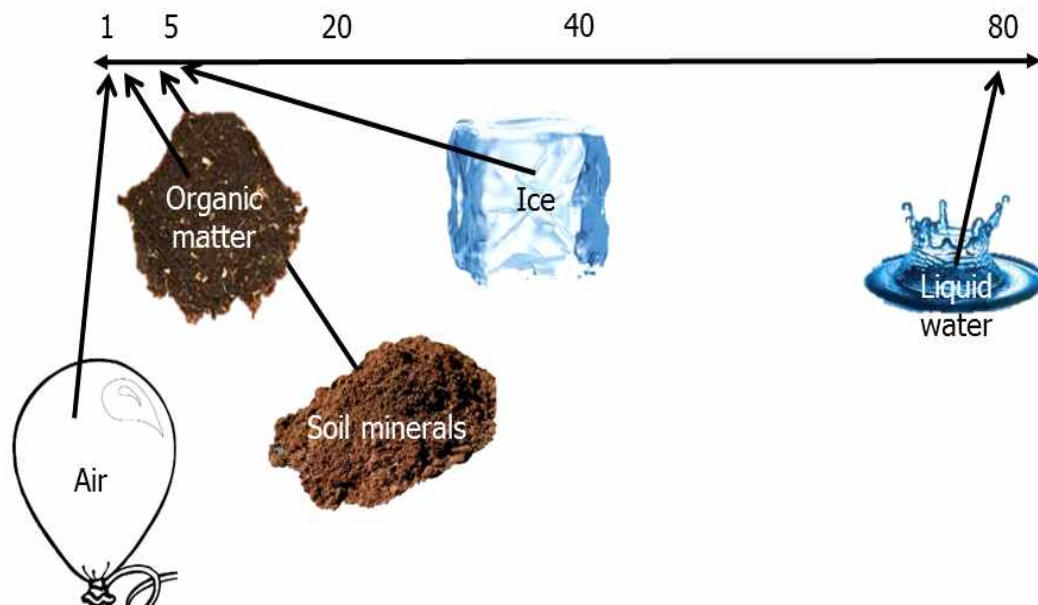
2.4.1. 간척농지에 최적화된 토양수분상태 측정시스템 및 알고리즘 개발

가. 토양수분센서의 조사분석 및 선발

1) 토양수분센서의 종류

토양수분센서는 작동원리에 따라 TDR(Time Domain Reflectometry)과 FDR(Frequency Domain Reflectometry, capacitance probe) 방식으로 구별된다. 상대적으로 고주파 대역의 전자기파를 사용하는 TDR 방식의 토양수분센서는 토양의 토성, 유기물함량, 염류 등 주변환경 조건에 상대적으로 영향을 덜 받는다고 알려져 있다.

Capacitance 및 TDR 기술은 매질의 유전상수(dielectric permittivity, ϵ)를 측정한다는 점에서 동일한 기술로 묶어진다. Capacitance 센서는 waveguide를 통해서 전달되는 고주파 대역의 펄스의 리플렉턴스를 디지털화하고 Fourier transform을 통해서 파형을 분석하여 유전상수를 측정하는 TDR과는 달리, 커패시터(capacitor)에 전하가 충전되는 시간을 측정하여 유전상수를 측정한다.



<그림 2-361> 토양 구성 성분의 유전상수

Capacitance 센서를 이용하여 매질의 유전상수는 다음과 같이 계산할 수 있다. 최초전압 V_i 가해지는 전압 V_f 직렬저항을 R , 커패시턴스를 C 라고 표현할 때, 아래와 같은 관계를 갖는다.

$$\frac{V - V_f}{V_i - V_f} = e^{-\frac{t}{RC}}$$

저항과 전압비를 고정하면 커패시터 전하의 충전시간, t 를 커패시턴스, C 에 대해서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$t = -RC \ln \left[\frac{V - V_f}{V_i - V_f} \right]$$

병렬타입의 플레이트 커패시터에 대해서, 커패시턴스는 플레이트 커패시터 사이 매질의 유전상수(k)에 대한 함수로 표현할 수 있다. 플레이트의 면적 A , 플레이트 간의 간격 S 를 고정하면, 커패시터의 충전시간 t 를 유전상수에 대한 선형함수로 나타낼 수 있다.




$$\frac{1}{k} = \frac{1}{t} \left[\frac{RA}{S} \ln \left(\frac{V - V_f}{V_i - V_f} \right) \right]$$









주변 매질의 환경 - 염도, 유기물함량, 토성 등 - 에 영향이 상대적으로 큰 capacitance 프로브의 단점은, 가능한 최대 고주파대역으로 회로를 구성하여 작은 변화의 수분함량 변화까지 측정할 수 있도록 기술이 개선되고 있다. 특히, 화성의 물리적 특성을 조사하기 위한 NASA의 프로젝트에서도 capacitance 센서가 이용된 바 있다 (Douglas R. Cobos *et al.* 2010).

측정하는 센서의 지점에 따라 포인트를 측정하는 센서와, 층위별로 측정하는 방식의 프로파일 센서로 구별된다. 층위별 프로파일 센서는 표토에서부터 심토까지 수분함량을 연속적으로 측정해야 할 필요가 있는 경우, 현장의 토양 교란을 최소화해야 할 필요가 있는 경우 간편하게 설치하여 사용할 수 있는. 포인트를 측정하는 센서는 심토 설치 시에 현장을 교란해야 하는 단점이 있지만, 장기적으로 측정할 경우에는 센서가 표면에 노출되는 방식인 프로파일 센서보다 안정적이다. 또한, 토양수분 뿐만 아니라 토양온도 및 전기전도도를 동시에 측정할 수 있는 센서가 있다.

아래 표는 TDR 및 capacitance 방식의 수분센서의 주요사양이다. 일반 경작지와 달리 간척지는 토양수분 뿐만 아니라 전기전도도 역시 생육에 중요한 정보이기 때문에, 본 연구에서는 온도 및 전기전도도를 동시에 측정할 수 있는, 5TE, GS3 (이상 미국 METER Group, Inc), EnviroPro (호주, APCOS), PICO64 (독일, IMKO) 센서를 고려하였다. 5TE 센서는 한국농어촌공사에서 수행하고 있는 ‘간척지환경 모니터링 시스템’에도 적용되어 우선 고려하였다. PICO64 TDR센서는 정확도 면에서 고려하였으나, 가격이 고가여서 (capacitance 방식에 비해 2배 이상의 가격), 농가에 부담으로 작용될 수 있는 점, 전기전도도 측정범위가 최대 6 dS/m 로 범위가 좁은 점 때문에 배제하였다. EnviroPro 층위별 센서역시 전기전도도 범위가 좁아서 우선 고려대상에서 제외하였다.

(표 2-206) 토양수분센서의 종류

모델명	EC5	GS1	10HS	5TM	5TE	GS3(TEROS12)	EnviroPro	Pico64
								
제조사	METER(미국)	METER(미국)	METER(미국)	METER(미국)	METER(미국)	METER(미국)	EnviroPro (호주)	IMKO(독일)
측정항목	토양수분	토양수분	토양수분	토양수분, 온도	토양수분, 토양온도, 전기전도도	토양수분, 토양온도, 전기전도도	토양수분, 토양온도, 전기전도도	토양수분, 토양온도, 전기전도도
정확도	$\pm 3\%VWC$ $\pm 1-2\%VWC$ (토양보정時)	$\pm 3\%VWC$ $\pm 1-2\%VWC$ (토양보정時)	$\pm 3\%VWC$ $\pm 1-2\%VWC$ (토양보정時)	$\pm 3\%$ / $\pm 1^\circ C$	$\pm 3\%$ / $\pm 1^\circ C$ / $\pm 10\%$	$\pm 3\%$ / $\pm 1^\circ C$ / $\pm 5\%$	$\pm 2\%$ / $\pm 5\%$ / $\pm 1^\circ C$	$\pm 1\%$ / $\pm 0.5^\circ C$ / $\pm 2\%$
측정범위	0-100%	0-포화수분함량 (약 57%)	0-포화수분함량 (약 57%)	0-100%VWC -40...60°C	0-100%VWC -40...60°C 0-23dS/m(bulk)	0-100%VWC -40...60°C 0-25dS/m(bulk)	0-100%VWC -15...50°C 0-6dS/m	0-100%VWC -15...50°C 0-약7dS/m
크기	8.9×1.7×0.7cm , 센서 부위 : 5cm	5.1×2.4×2.1cm	14.5×3.3×0.7cm, 센서부위 : 10cm	10×3.2×0.7cm 센서부위 : 5cm	10×3.2×0.7cm, 센서부위 : 5cm	9.3×2.4×6.5cm	Φ 40mm 길이:40,80,120,1 60cm중택1	Φ 63×155mm,ro d160mm
소모전력	2.5 - 3.6VDC @10mA	3.0 - 15VDC @15mA	3VDC @12mA, 15VDC @15mA	3.6-15VDC 0.3mAQuiescent/ 측정시10mA(150 ms동안)	3.6-15VDC 0.3mAQuiescent/ 측정시10mA(150 ms동안)	3.6-15VDC 0.3mAQuiescent/ 측정시25mA(150 ms동안)	센서당1mA (40cm일경우4개 센서4mA)	7-24VDC 100mA@12VDC(2-3초동안)

모델명	EC5	GS1	10HS	5TM	5TE	GS3(TEROS12)	EnviroPro	Pico64
								
사용환경	-40 ... 50℃	-40 ... 50℃	-40 ... 50℃	-40 ... 60℃	-40 ... 60℃	-40 ... 60℃	-20 ... 60℃	-15 ... 50℃
출력	입력전압의10-4 0% (250...1,000mV@ 2,500mVexcitati on)	1,000 ... 2,500mV	300-1,250mV (입력전압과상관 없이동일)	RS232TTL,3.6Vo It level 또는SDI-12	RS232TTL,3.6Vo It level 또는SDI-12	RS232TTL,3.6Vo It level 또는SDI-12	SDI-12	디지털RS485,또 는SDI-12 아날로그2×0... 1V,0(4)...20mA

2) 토양수분센서의 간척지 적용성 평가

선발한 센서의 간척지 적용성을 평가하기 위해, 새만금간척지 내 전북대학교 시험포장에 5TE 및 GS3 센서를 설치하였다. 토양수분 및 전기전도도 값의 재현성을 분석하고자 하였으며, 9월 15일 설치하여 30분 간격으로 자료를 수집하였다. 센서를 설치한 토양의 전기전도도는 0.04 dS/m 이었다.

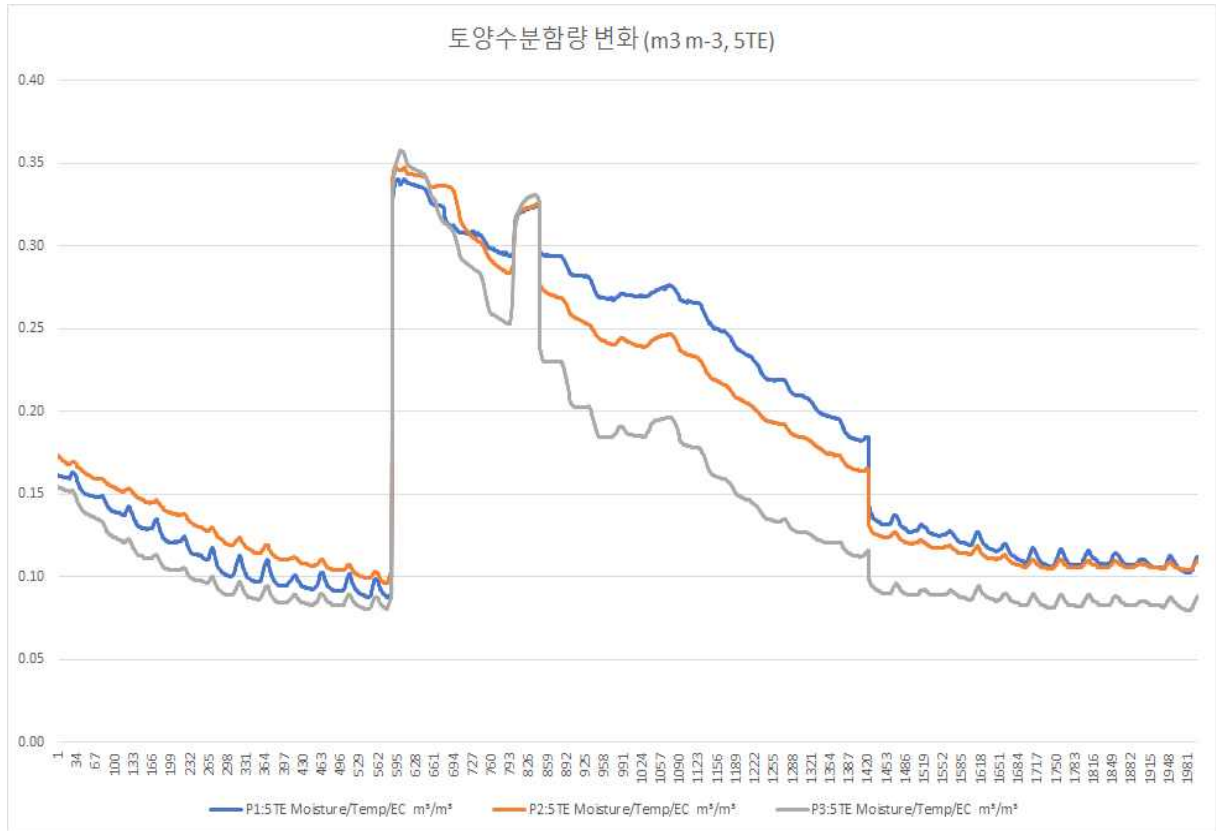


<5TE 설치>

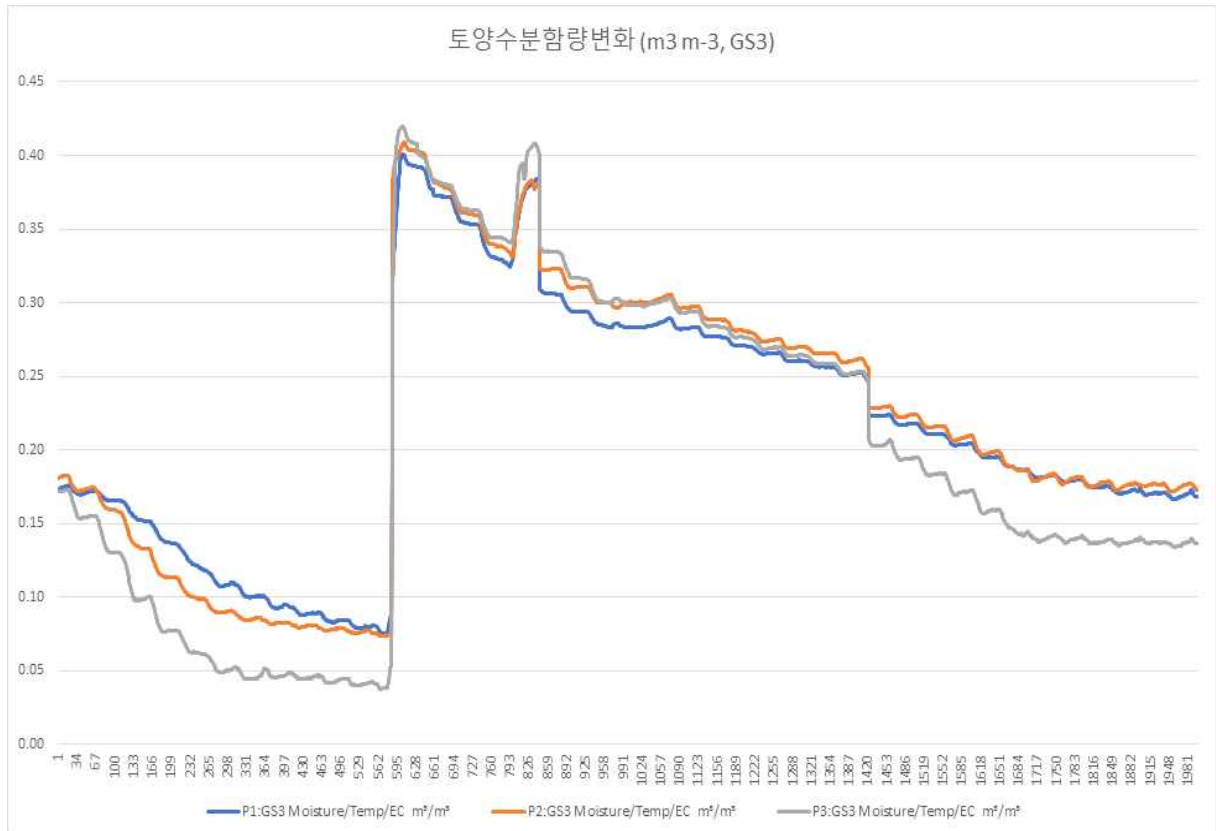


<GS3 설치>

시험결과 기간 중 두 종류센서 모두, 센서 간의 토양수분함량 측정 오차는 5% 포인트 이하로, 센서 간 오차는 없었다. 자연강우에 의한 수분함량 증가와 건조로 건조(5TE 10% 이하, GS3 5% 이하) 및 포화조건 (5TE 35%, GS3 40% 이상)의 변화를 관찰할 수 있었다. 이에 따라, 간척지 토양으로 포트시험을 수행하여, 센서의 측정값과 무게변화를 측정하여 간척지 토양에 대한 보정을 추가로 실시하였다.



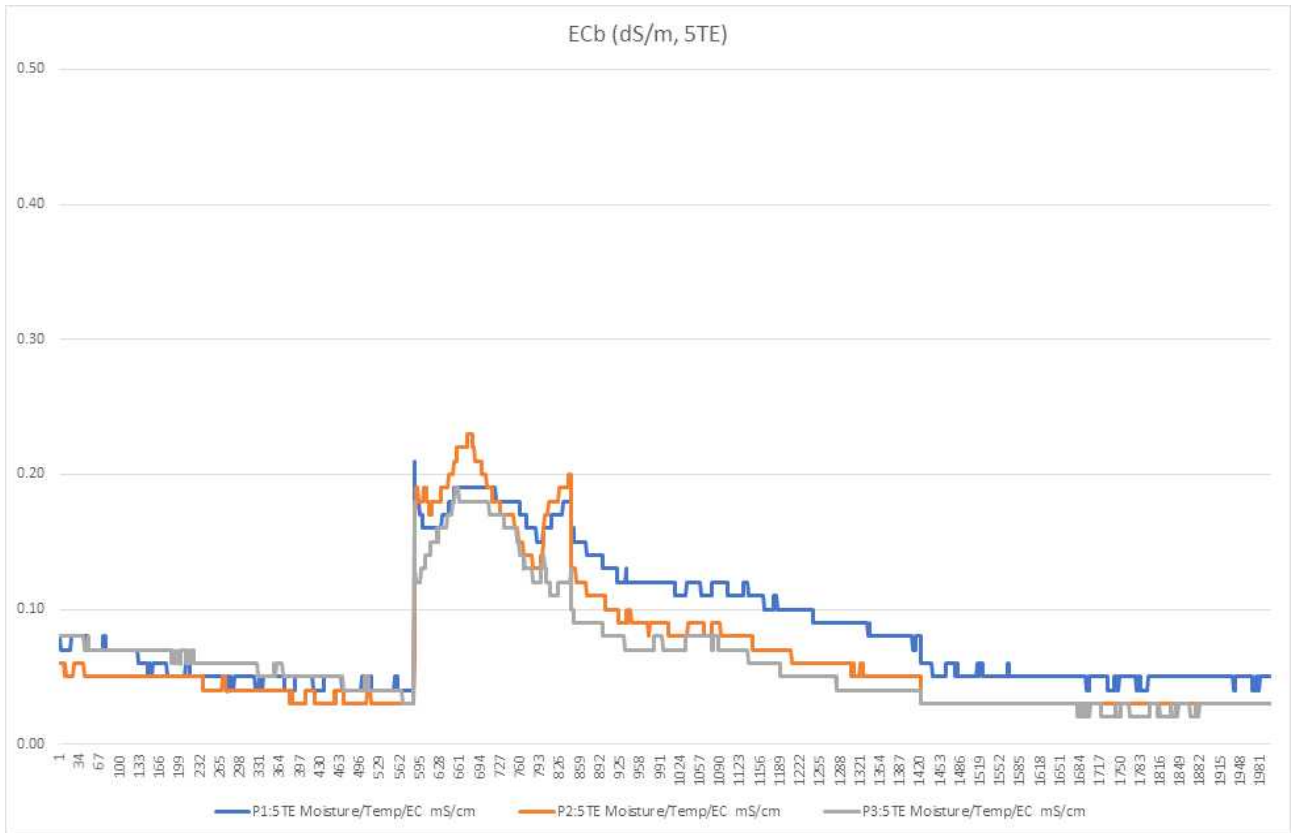
(토양수분함량 변화, 5TE)



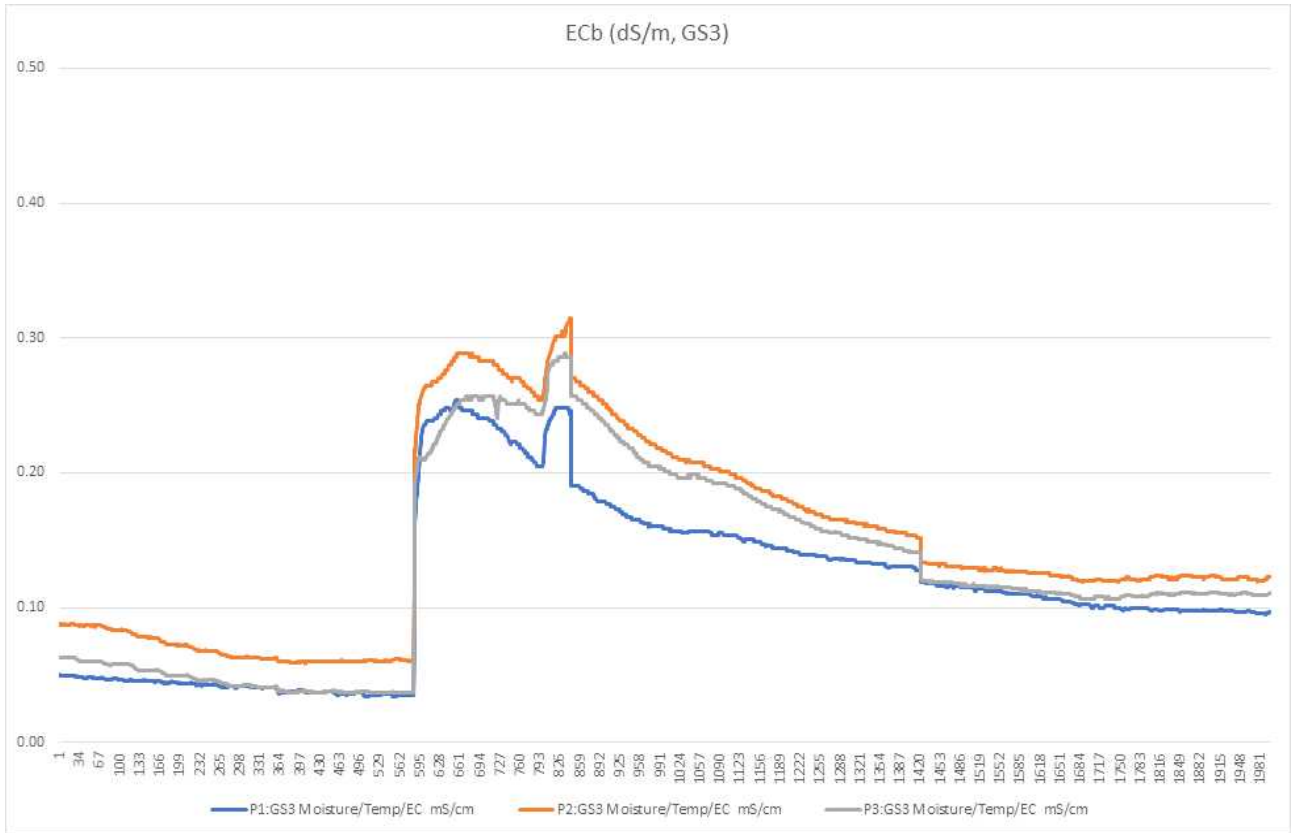
(토양수분함량 변화, GS3)

<그림 2-362> 토양수분함량 변화(5TE, GS3)

시험결과 기간 중 두 종류센서 모두, 센서 간의 전기전도도(ECb, Bulk Soil Electric conductivity, dS/m) 측정 오차는 5% P 이하로, 센서 간 오차는 없었다.



(전기전도도 변화, 5TE)
 <그림 2-363> 전기전도도 변화(5TE)



(전기전도도 변화, GS3)
 <그림 2-364> 전기전도도 변화(5TE)

3) 토양수분센서의 선발 : 토양 특이정 보정

Capacitance 센서는 토양 염류에 영향을 받아, 수분함량을 측정할 때 오차가 발생할 수 있다. 간척지의 전기전도도는 일반 경작지에 비해 높아 그 오차는 더욱 커질 수 있다. 수분조건에 기초한 물관리를 위해 간척지의 염도를 고려한 토양수분 보정식을 만들고자 하였다. 현장과 동일한 가비중을 유지하여 포트에 간척지 토양을 충전하였으며, 매일 2회 주기적으로 무게 변화를 모니터링하여 용적수분함량을 계산하였다. 5TE 및 GS3 수분센서를 설치하여 센서의 측정값을 수집하여 두 값에 대해 회귀분석을 하여, 보정식을 구했다.

사용한 토양은 새만금간척지 사양토를 사용하였으며, 가비중은 1.32 g cm^{-3} , 전기전도도(1:5법)는 0.24 dS/m 이었다. 무게변화를 측정해서 사용한 토양수분함량 값과 5TE 및 GS3의 수분함량은 값 간에 회귀분석을 하여 본 연구에 사용하였다.

$$\text{수분함량} = 0.6702 \times \text{수분함량}(5TE) + 0.0777 \quad (R^2 = 0.9801) \quad \dots \text{ 5TE 센서}$$

$$\text{수분함량} = 0.7751 \times \text{수분함량}(GS3) + 0.1249 \quad (R^2 = 0.9934) \quad \dots \text{ GS3 센서}$$



<토양시료 채취>



<가비중시료 채취>



<포트시험>

<그림 2-365> 포트시험

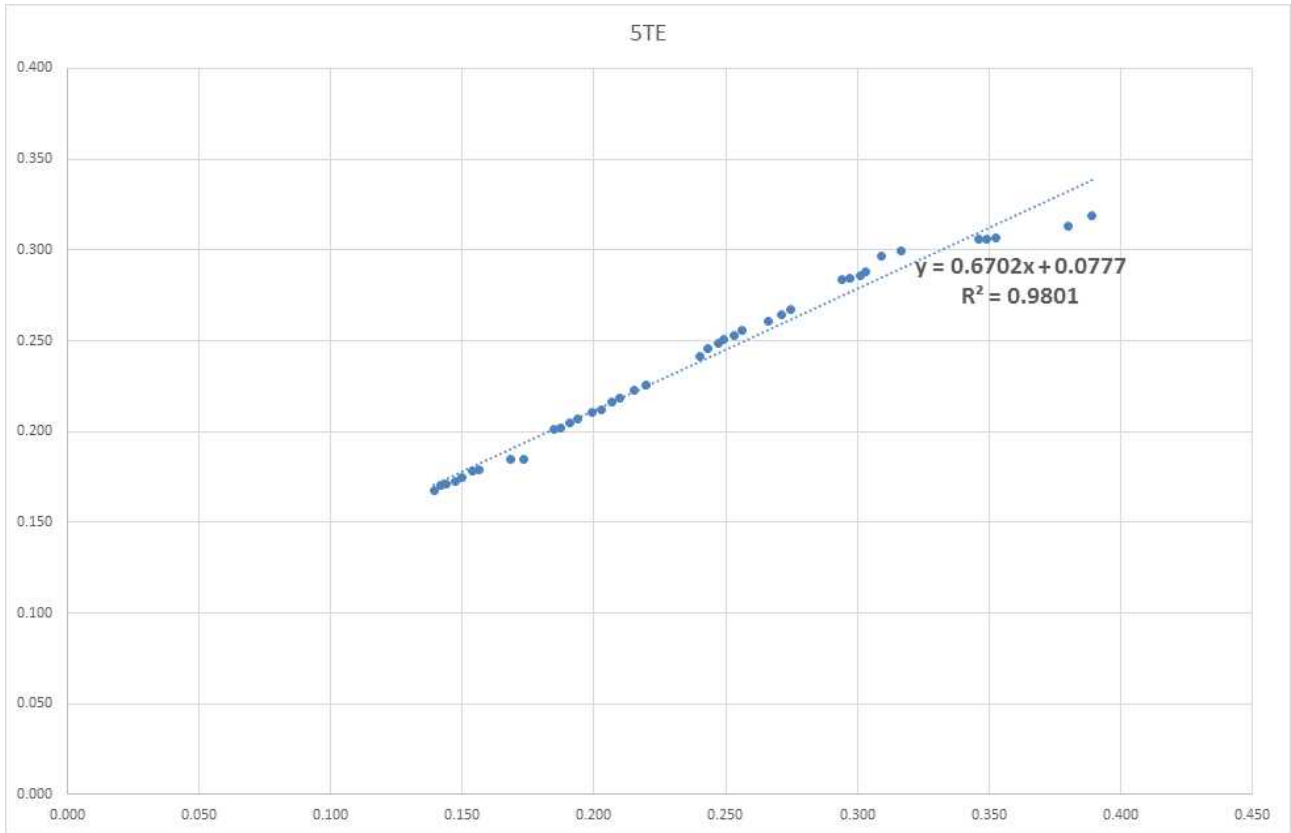
(표 2-207) 포트시험 결과

날짜	시간	전체 무게 (kg)	수분함량 ¹⁾ (m ³ /m ³)	5TE ²⁾ (m ³ /m ³)	GS3 ³⁾ (m ³ /m ³)
10/1	12:20 PM	16.616	0.389	0.319	0.415
10/2	1:30 PM	16.530	0.380	0.313	0.410
10/5	8:00 AM	16.276	0.352	0.307	0.400
10/5	5:40 PM	16.248	0.349	0.306	0.399
10/6	5:00 AM	16.216	0.346	0.306	0.398
10/10	9:00 AM	15.946	0.317	0.300	0.379
10/11	11:00 AM	15.878	0.309	0.297	0.372
10/12	9:10 AM	15.822	0.303	0.288	0.369
10/12	6:30 PM	15.802	0.301	0.286	0.366
10/13	9:00 AM	15.766	0.297	0.285	0.363
10/13	6:30 PM	15.738	0.294	0.283	0.353
10/16	9:00 AM	15.558	0.275	0.267	0.335
10/16	6:10 PM	15.528	0.271	0.264	0.331
10/17	9:00 AM	15.480	0.266	0.260	0.327
10/18	9:00 AM	15.388	0.256	0.256	0.322
10/18	7:30 PM	15.360	0.253	0.253	0.318
10/19	10:30 AM	15.322	0.249	0.251	0.316
10/19	6:00 PM	15.302	0.247	0.249	0.313
10/20	9:00 AM	15.266	0.243	0.245	0.309
10/20	7:00 PM	15.240	0.240	0.242	0.308
10/23	9:00 AM	15.052	0.220	0.225	0.294
10/23	6:30 PM	15.008	0.215	0.223	0.290
10/24	10:00 AM	14.960	0.210	0.218	0.288
10/24	7:00 PM	14.930	0.207	0.216	0.284
10/25	9:00 AM	14.892	0.203	0.212	0.282
10/25	6:30 PM	14.862	0.199	0.211	0.278
10/26	9:30 AM	14.810	0.194	0.207	0.276
10/26	5:00 PM	14.784	0.191	0.205	0.274
10/27	9:00 AM	14.752	0.188	0.202	0.271
10/27	6:00 PM	14.726	0.185	0.201	0.267
10/30	9:00 AM	14.622	0.173	0.185	0.256
10/30	7:00 PM	14.574	0.168	0.185	0.252
10/31	9:30 AM	14.462	0.156	0.179	0.250
10/31	6:30 PM	14.440	0.154	0.178	0.245
11/1	9:00 AM	14.402	0.150	0.174	0.244
11/1	6:30 PM	14.380	0.147	0.173	0.240
11/2	9:00 AM	14.350	0.144	0.171	0.238
11/2	7:00 PM	14.332	0.142	0.170	0.235
11/3	9:00 AM	14.306	0.139	0.168	0.233

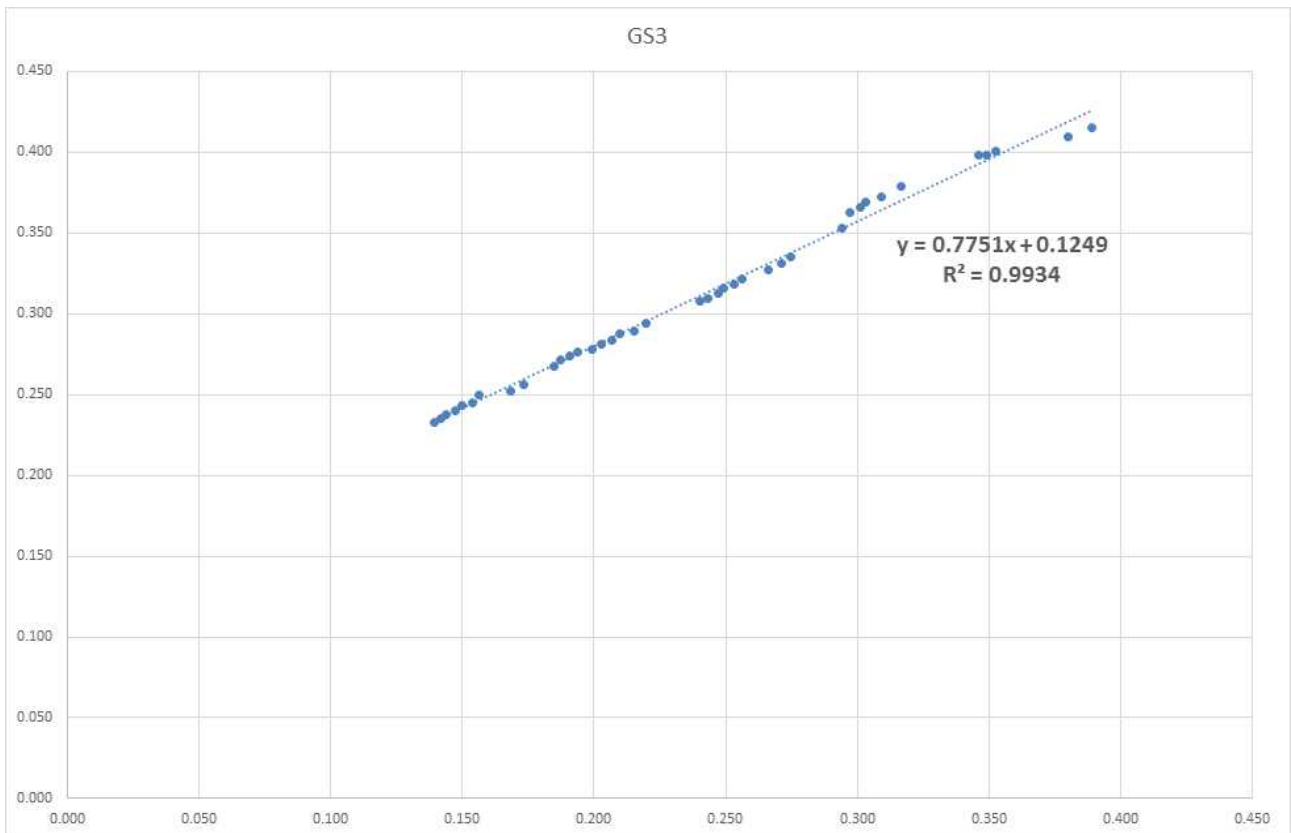
1) 포트내 건조토양의 무게: 13.018 kg, 토양부피 : 9,247.3 cm³, 수분함량 = (전체 무게-13.018) ÷ 9.2473

2) 5TE 센서로 측정된 용적수분함량 (m³/m³)

3) GS3 센서로 측정된 용적수분함량 (m³/m³)



(5TE 센서 보정식)



(GS3 센서 보정식)

<그림 2-366> 센서 보정식(5TE, GS3)

나. 수분장력센서의 조사분석 및 선발

1) 수분장력센서의 종류

수분장력은 일반적으로 텐시오미터를 이용하여 측정한다. 그러나, 텐시오미터는 수분포텐셜 중 매트릭포텐셜을 측정한다. 간척지의 수분포텐셜은 매질에 의한 매트릭포텐셜 이외에도, 염류에 의한 삼투포텐셜의 영향이 클 것으로 짐작되어, 유전상수를 측정하여 포텐셜을 측정하는 매트릭센서를 이용하고자 하였다.

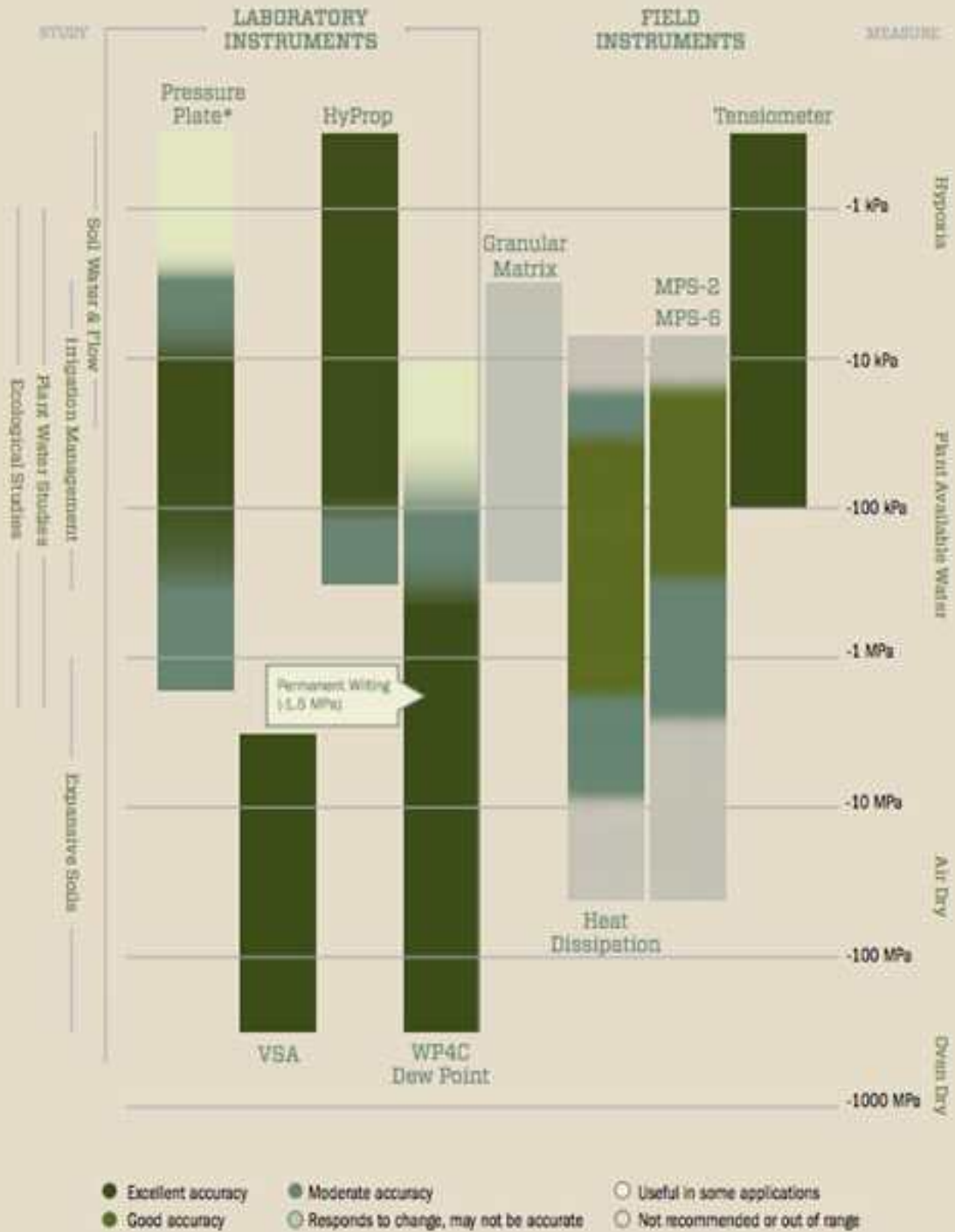


<그림 2-367> 텐시오미터 설치모식도

매트릭스 센서인 TEROS 21(MPS-6)는 삼투포텐셜을 동시에 측정할 있고, 물을 보충하며 유지관리해야 하는 텐시오미터와 달리, 별도의 물보충이 필요없어, 유지관리 측면에서 시스템의 구성이 쉬울 것이라고 판단하였다. 그러나, 측정범위가 넓어서 (-9 ... -100,000 kPa) 포장용수량 범위에서 정확도가 텐시오미터에 비해 상대적으로 낮아서, 수분센서와 같은 포장에 설치하여 측정값의 정확도를 판단하고자 하였다.

Water Potential

Instrument Ranges



<그림 2-368> 수분포텐셜 범위별 측정방법

2) 수분장력센서의 간척지 적용성 평가

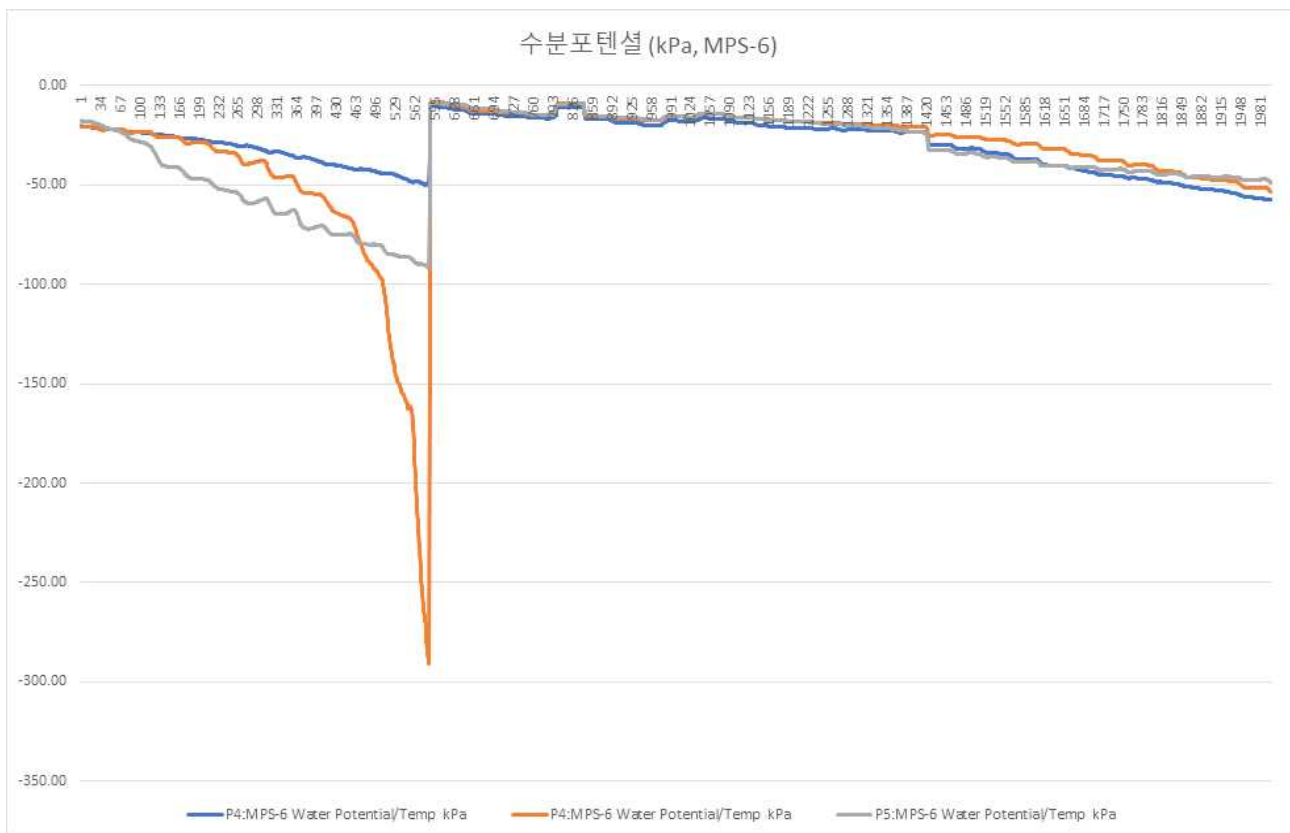
선정한 TEROS 21(MPS-6) 센서의 간척지 적용성을 평가하기 위해, 새만금간척지 전북대학교 시험포장, 전기전도도 0.04 dS/m 인 토양에 세 개 센서를 동일한 조건에 설치하여, 수분포텐셜 값의 재현성을 분석하고자 9월 15일 설치하여 30분 간격으로 자료를 수집하였다.



(MPS-6 센서 설치)



(데이터수집 시스템)



(수분포텐셜 변화, MPS-6)

<그림 2-369> 수분포텐셜 변화(MPS-6)

수분이 부족해서 건조해지는 시점에서 센서간 값이 3배 이상 차이가 났다. 그러나, 강우 이후, 센서가 다시 포화되고, 수분상태를 반영하는 반응성은 양호하였다. 특히, 포장용수량 범위에서 센서가 토양상태를 반영하고, 센서 간 오차가 5%를 넘지 않은 점은 적용가능성이 있다고 판단되었다. 그러나, 토양수분센서와 달리 건조 범위에서는 오차가 5%를 넘었기 때문에, 센서 재현성은 좀 더 지켜볼 필요가 있다.


측정하는 포텐셜 값에서 삼투포텐셜에 의한 영향이 얼마인지 분석할 방법을 모색할 필요가 있다. 일반적으로 포화상태에서 삼투포텐셜은 포화침출액 EC와 아래 관계를 갖는다. Ψ_{os} 는 포화상태의 삼투포텐셜, EC_e 는 포화침출액의 EC (dS/m) 이다.

$$\Psi_{os} = -0.036 EC_e$$

따라서, 수분함량 조건에서 삼투포텐셜의 영향을 아래 관계식을 이용하여 분석할 수 있다.

$$\Psi_o = \Psi_{os} \frac{w_s}{w}$$

(표 2-208) 수분포텐셜 센서 종류

제조사	Soilmoisture(미국)	METER AG(독일)	DAIKI(일본)	METER(미국)
모델명	Jet-Fill Tensiometer	T4e	DIK-3023	TEROS 21
제품				
AirEntry Value	1Bar	15Bar	1Bar	-
측정범위	+100...-80kPa	+100...-85kPa	0...-100kPa	-9...-100,000kPa
출력	-100...+70mV 또는 4-20mA	+100...-85mV	1...5VDC	RS232(TTL) 또는 SDI-12
정확도	±1.0% span	±0.5kPa	±1%	±2kPa
해상도	0.1kPa	0.1kPa	0.1kPa	0.1kPa
공급전압	10VDC	typ. 10.6VDC	10.8 - 30VDC	3.6 - 15VDC
소모전력	1.3mA (at 10V)	1.3mA (at 10.6VDC)	< 20mA	0.3mA quiecent, 10mA 측정시
특징	<ul style="list-style-type: none"> ·Jet-Fillpump: 물채우기가용이 ·세라믹: Φ20mm ·겨울철 사용불가 ·shaft의 수두에 의한 측정범위감소: 10cm=-1kPa 	<ul style="list-style-type: none"> ·세라믹: Φ24mm ·겨울철 사용가능 	<ul style="list-style-type: none"> ·세라믹: Φ18mm 	<ul style="list-style-type: none"> ·물을채우지 않음 ·넓은 측정범위

다. 간척농지용 근권 수분환경 모니터링 설계

1) 근권 수분환경 모니터링 항목

작물의 생육에 필요한 수분상태를 파악하기 위해서 토양수분함량 및 수분포텐셜의 측정이 필요하다. 표는 밭토양에서 주요 작물별 관수시점을 나타내었다. 수분포텐셜 센서의 선별 및 ‘간척지 토양의 토양수분특성곡선’을 활용하여 수분센서를 활용하여, 물관리에 필요한 항목을 모니터링하고자 하였다.

(표 2-209) 작물별 적정관수점 및 관수시점

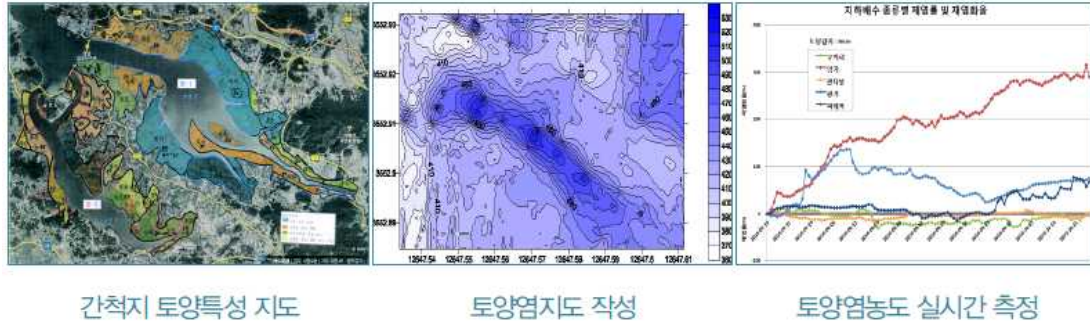
작 물	적정관수점	관수시점
수 박	5.1(초기) - 5.1(중기) - 7.7(후기): 생육우수 5.1(초기) - 12.4(중기) - 31.1(후기): 품질우수	
참 외		10 kPa에서 5~10 mm 관수
토마토	9.9~31.1(전반기) - 3.2~9.9(후반기)	9.9~31.1(전반기) 3.2~9.9(후반기)
오 이	9.9(전반기) - 3.2~6.1(후반기)	2.0~5.1
가 지	2.0~9.9	
피 망	2.0~5.1	
딸 기	2.0(전반기) - 9.39(후반기)	2.0~9.9
샐러리	2.0~9.9(전반기) - 24.7(후반기)	2.0~6.1
멜 론	9.9(초기) - 24.7~49.2(중기) - 49.2(후기)	
카네이션	9.9(전반기) - 12.4~19.6(후반기)	
백 합	6.1~12.4(초기) - 12.4(중기) - 19.6(후기)	
백광무	<50 kPa	
가을무	10~50 kPa	
단무지무	10~50 kPa	

염에 의한 영향을 모니터링하기 위해서, 토양수분함량 외에 토양의 전기전도도 측정 이 필수적이다. 실험실에서 측정하는 1:5 법 또는 포화침출액 EC 와의 비교, 검증이 필요하다.

새만금지구의 지하수위는 남부지역 10~150 cm, 중앙지역 20~150 cm, 북부지역 10~150 cm 로 해수유통의 여부에 따라 지하수위 변동이 매우 심하였다 (김 등, 2012), 지하수위 변동은 작물 근권의 수분함량 및 수분포텐셜의 변화 뿐 아니라, 토양 염도에 직접적인 영향을 끼치므로, 물관리 시스템의 운영을 위해서는 지하수위 변동에 대한 해석이 필수적이다.

또한, 지하수위 모니터링을 통해서 배수효과의 효율성의 한 지표로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 지하수의 수위 뿐 아니라 염도를 동시에 모니터링 하여 관개수 및 지하수에 의한 염의 영향도 모니터링할 수 있다.

한국농어촌공사는 토양수분 및 염도, 지하수위를 측정할 수 있는 시스템을 구축하여 간척지를 대상으로 모니터링 하고 있으며, 국립식량과학원에서도 ‘간척지 작물 안정재배를 위한 토양특성 평가’의 일환으로, 지하수위, 토양염농도 등을 모니터링 하고 있다 (2012년 국립식량과학원 주요 연구성과).



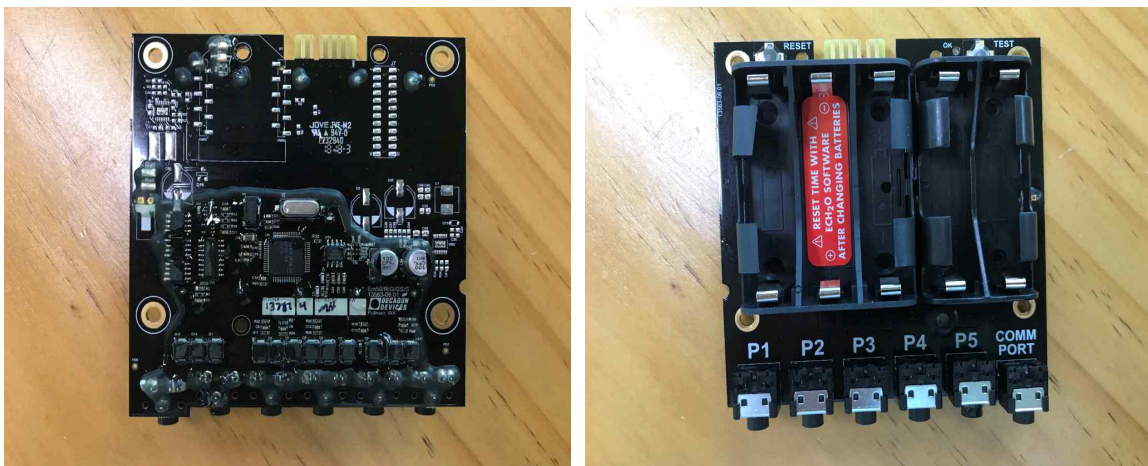
<그림 2-370> 국립식량과학원 토양특성 평가 결과

필요시, 근권 환경 외에 강우 등의 기상인자를 측정하여 통합할 수 있도록 설계하였다.

2) 근권 모니터링 시스템

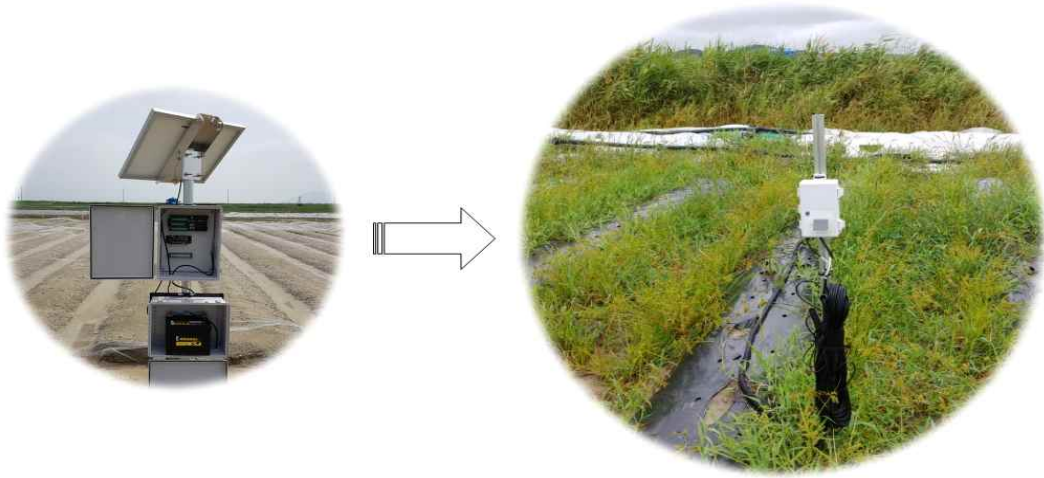
(1) 근권부 수분환경 모니터링 시스템 선별

선별한 토양수분/온도/EC 센서, 매트릭포텐셜 센서의 자료를 수집할 수 있는 계측 모듈을 선별하였다.



<그림 2-371> 계측모듈

센서 연결 운용 이외에, 전원모듈이 보드에 부착되어, 별도의 외부전원이 없이도 운영되는 모듈을 선별하였다. 전원수급이 원활하지 않은 간척지 환경에서, 설치 및 운영, 유지보수를 손쉽게 할 수 있도록 하였다. 주위에서 쉽게 구할 수 있는 알카라인 혹은 리튬배터리를 사용하는 모듈을 고려하여 5개의 알카라인 AA 배터리로 구동할 수 있도록 하였다. 모듈의 운영을 위하여 현장을 방문하는 수고를 최소화하기 위하여, 메모리 및 전원은 1시간 간격으로 수집할 경우, 최소 6개월 동안 방문하지 않아도 운영될 수 있도록 하였다.



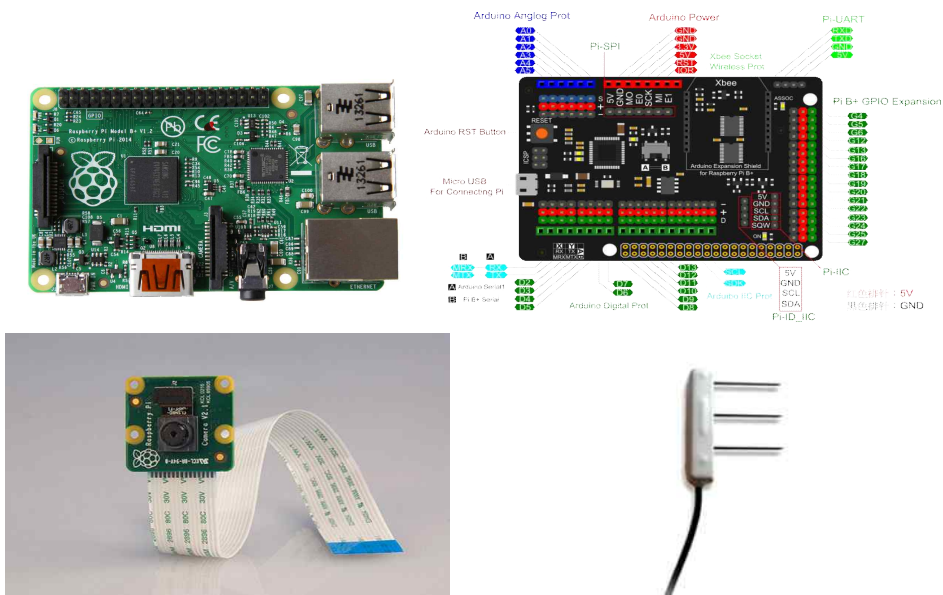
<그림 2-372> 계측모듈비교 사진 (외부전원 공급 시스템 예(좌), 계측모듈 설치 예(우))

(2) 근권부 실시간 모니터링 모듈 제작

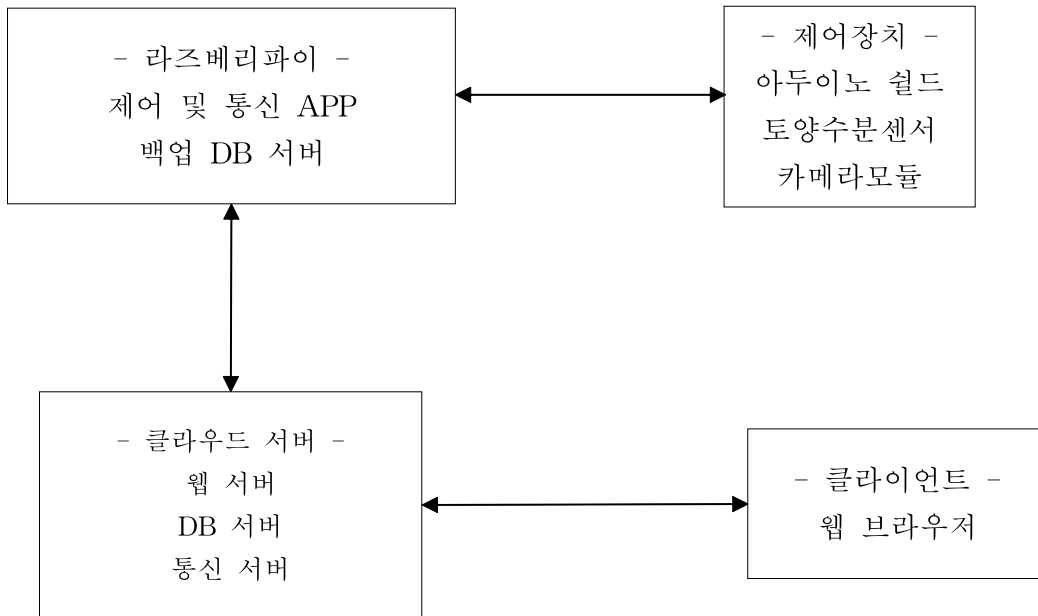
오픈소스 하드웨어인 라즈베리파이 모듈을 기반으로 제작하였으며, 센서 자료 저장 및 와이파이 모듈을 활용하여, 측정된 자료가 사용자가 소유한 원격서버 혹은 클라우드 서버로 전송되도록 하였다. 카메라 모듈을 연결하여 재배하는 작물의 성장상태를 촬영하여 전송될 수 있도록 구성하였다.

근권 환경 - 토양수분, 전기전도도, 지하수위 - 및 기상인자를 동시에 측정할 수 있는 시스템을 설계하였다. 필요시에는 카메라 모듈을 확장하여 작물의 성장상태를 시각적으로 확인할 수 있도록 하였다. 또한, 향후 측정된 정보를 실시간으로 확인할 수 있도록, 전송모듈을 장착하면, 클라우드 서버로 데이터를 전송할 수 있도록 하였다. 클라우드 서버에 자료가 저장되어져 있기 때문에 언제 어디서든 측정값을 확인할 수 있다. 자체 메모리를 확보하여 자체적으로 자료가 저장, 현장에서 확인이 가능하다.

3) 근권 모니터링 시스템

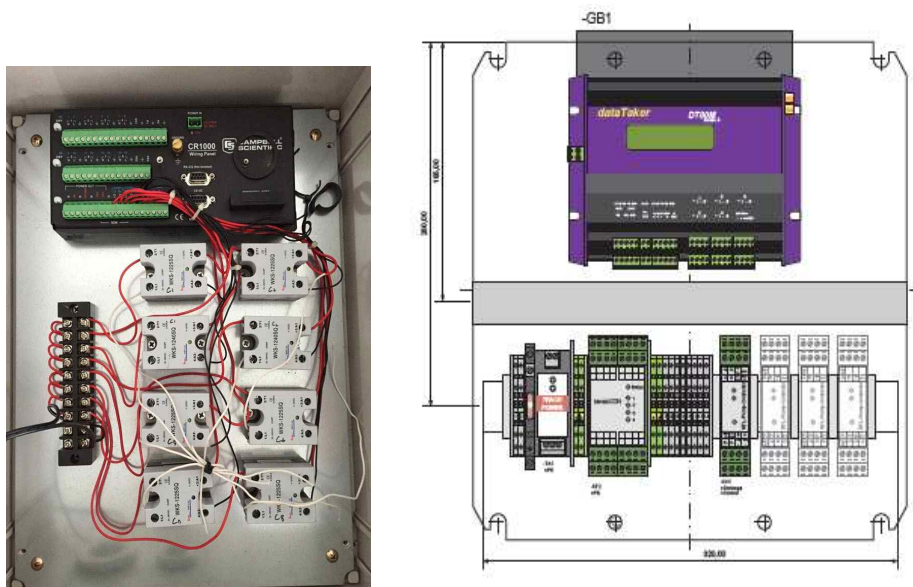


<그림 2-373> 오픈소스 하드웨어 기반 구성도 - 하드웨어 모듈, 카메라 모듈 및 토양센서



<그림 2-374> 클라우드 서버 개요도 - 웹 어플리케이션, DB서버, 통신서버

오픈소스 하드웨어 이외에, 시스템의 안정적 운영을 위해 검증된 데이터수집모듈을 활용하여 별도의 대안시스템을 설계하였다. 농업, 기상 및 수문환경 계측시스템에 폭넓게 사용되는 데이터수집모듈을 기반으로, 별도의 전송모듈과 제어모듈을 통합, 프로그래밍하여 실시간 전송 및 향후 관수제어에 활용하고자 하였다. 기반으로 활용한 데이터수집모듈은 Campbell 사의 C1000 모델과 Thermo Scientific 사의 DT80 모델을 활용하였다.



<그림 2-375> 데이터수집 모듈 (CR1000((좌), DT80(우))

데이터수집모듈의 전원은 직류전압으로 하여, 현장에 상시전원이 공급되지 않아도 운영될 수 있다. 실제 공급전압은 9.6 ... 24VDC(CR1000: 9.6 ... 16VDC, DT80: 10 ... 24VDC) 이며, 소모전류는 각 1mA(대기 시) 로, 시스템의 유지관리를 최소화할 수 있도록 설계하였다. 수집모듈의 컨트롤 포트를 활용하여, 관수시스템과 연동, 자동으로 제어가 가

능하며, 계측값, 시스템의 상태 등을 실시간으로 확인할 수 있도록 전송모듈의 연결 및 프로그래밍이 가능하도록 하였다.

라. 근권부 수분환경 모니터링 시스템 운용

1) 근권부 수분환경 모니터링 시스템 운용

계측모듈을 활용하여 새만금시험포장과 화옹시험포장에 센서와 연동하여 설치하였다. 간척지환경의 토양수분, 온도, 전기전도도 항목 및 지하수위센서를 연동하여 토양 및 지하수환경 환경인자를 수집하였다.



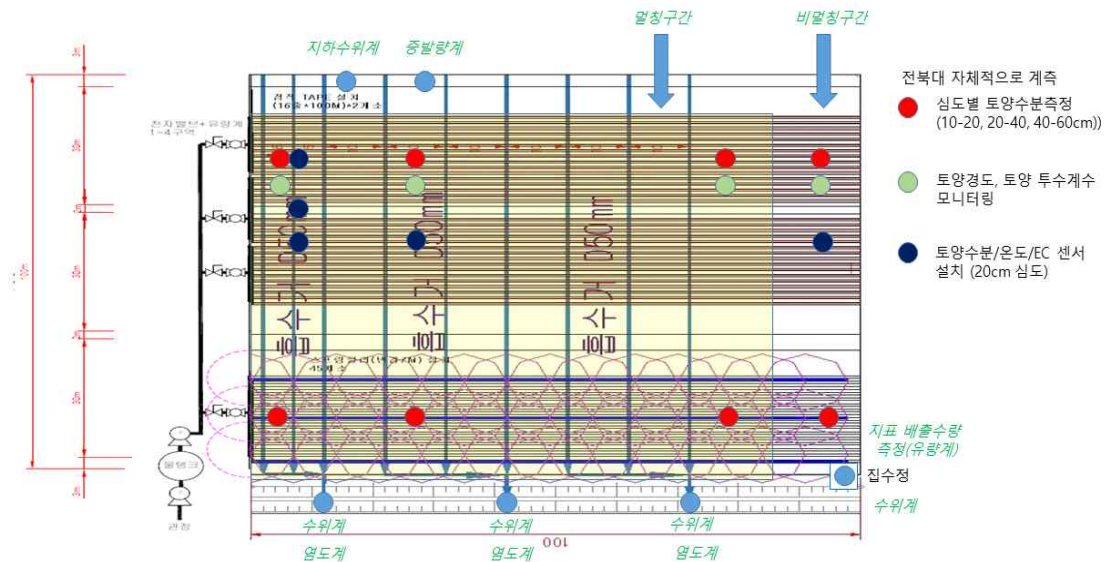
(기상장비 설치 및 지하수위측정 관정설치)



(설치 후 전경)

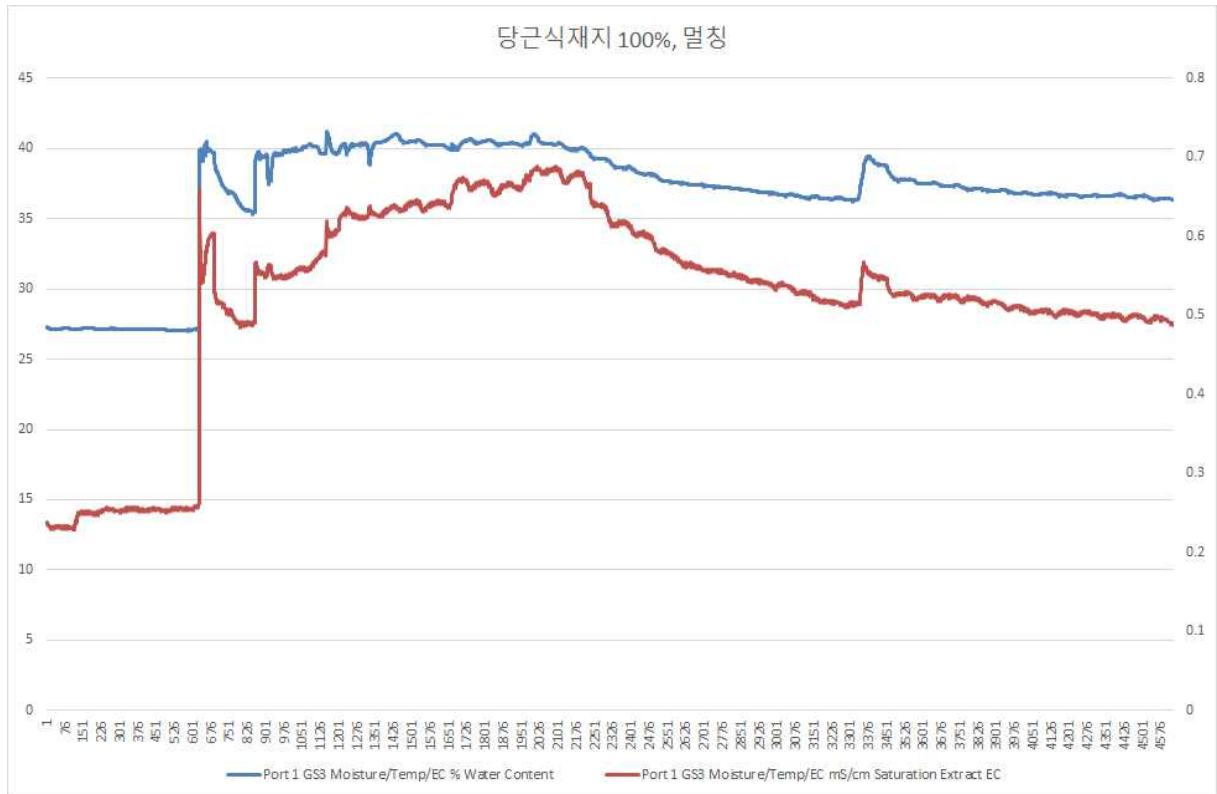
<그림 2-376> 새만금시험포장 기상장비 및 지하수위 모니터링 시스템 운용

새만금시험포장 주변부에 기상센서 및 지하수위 센서를 설치하였다. 또한, 토양시료 채취가 주기적으로 이뤄지는 1) 당근식재지 90% 20cm 깊이, 2) 당근식재지 100% 5m/10m 각 20cm 깊이, 당근식재지 100% 비말칭 20cm 깊이에 토양수분, 온도, EC 센서를 설치하였다.

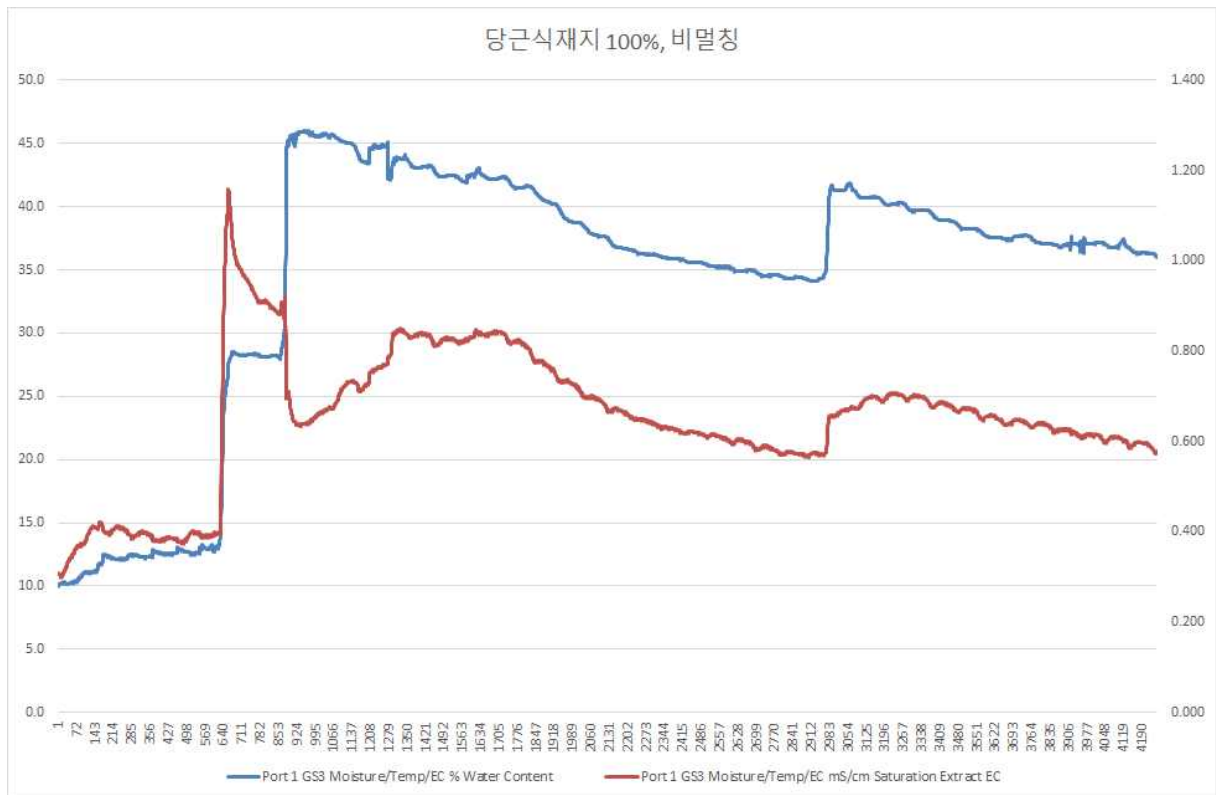


<그림 2-377> 토양수분/온도/EC 센서 설치 지점

새만금시험포장의 현장자료를 수집하였으며, 센서 및 계측모듈 모두 정상적으로 운영되었다. 향후, 현장 채취시료와 비교 분석하여 알고리즘의 기초 자료로 활용하였다.

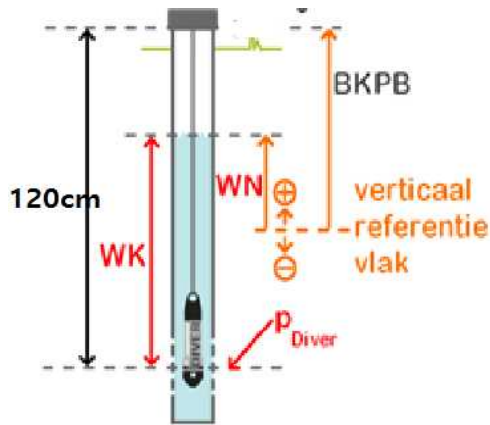


<그림 2-378> 당근 100%, 멀칭 수분/EC 측정결과



<그림 2-379> 당근 100%, 비멀칭 수분/EC 측정결과

토양수분장력을 수동으로 측정하고 있는 화옹시험부지 위치에 지하수위측정용 관정과 센서, 토양수분, 온도, 전기전도도센서를 설치하여 운영하였다.



(관정 디자인)



(설치 후 전경)

<그림 2-380> 화옹시험파장 지하수위 및 토양 모니터링 시스템 운용

2) 근권부 수분환경 실시간 모니터링 시스템 운용

기 설계한 모니터링 모듈을 활용하여, 서산간척지 양파재배지에 2017년 12월부터 2018년 8월까지 약 8개월 간 운영하였다. 양파재배기간 동안의 토양수분, 온도를 측정하여, 모니터링 시스템의 운용여부 및 내구성을 점검하기 위해 작기 이후에도 현장에 두어 작동여부를 점검하였다.

현장 주변 와이파이 무선 중계기를 활용하여, 라스베리파이에 수집된 자료를 클라우드 서버로 전송하였다. 생육상태를 시각적으로 수집하기 위하여, 계측자료 및 생육 사진을 동시에 전송하였다.



(시스템 전경 - 1)



(설치 전경)



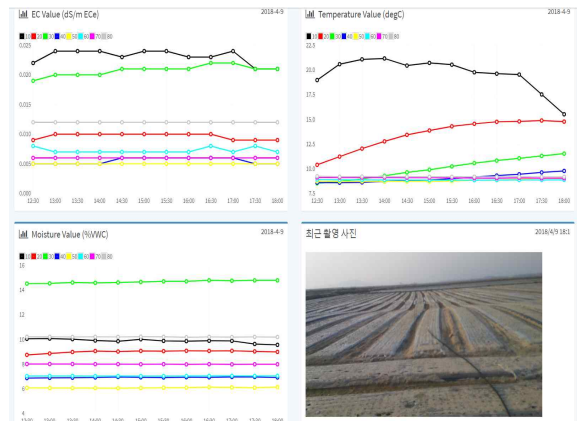
(시스템 전경 - 2)



(시스템 점검 작업)

시	일	구분	장소	장비	상태	비고
1	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
2	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
3	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
4	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
5	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
6	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
7	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
8	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
9	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
10	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
11	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
12	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
13	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
14	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
15	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
16	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
17	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
18	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
19	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
20	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
21	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
22	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
23	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
24	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
25	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
26	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
27	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
28	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
29	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
30	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
31	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
32	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
33	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
34	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
35	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
36	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
37	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
38	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
39	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018
40	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018	01/10/2018

(실측자료(PC 확인))



(클라우드서버 자료확인)

<그림 2-381> 오픈소스하드웨어 시스템 현장운영 및 자료획득

3) 근권부 수분환경 실시간 모니터링 시스템 문제점 도출 및 해결방안

(1) 근권부 수분환경 모니터링 시스템

새만금시험포장에서 운영하던 기상장비 계측모듈의 전원이 배터리 교체 후 1주일도 되지 않아, 0%로 떨어졌다. 장비를 점검한 결과, 보드내 수분에 의해 단락되어 있는 것을 확인하였다. 유사한 사례가, 동일한 시험포장 토양수분 모니터링 모듈에서도 관찰되었다.

이 경우는, 데이터수집 후 보호박스를 제대로 닫지 않아, 틈새로 강우나 이슬이 들어가 발생한 것으로 짐작되었다.

이의 해결을 위해 첫째, 보호함체를 이중화하였다. 둘째, 시스템에 내장된 태양광 모듈을 활용하기 위해 이중화하는 해결책과 별도로 계측시스템 자체 보호박스의 o-ring을 타이트하게 하여, 수분침투를 최소화 하였고, 케이블 연결 후, 보호박스 외부로 토출되는 부분도 내밀성을 확보하여 마찬가지로 수분침투를 최소화하였다.



- 1 : 보호박스 기밀 o-ring
- 2 : 센서 토출 기밀 커넥터

<그림 2-382> 계측모듈 보호박스의 기밀 향상

그 외 사례에서는 본 모듈에서 달성고자자 하는 유지관리 없이도 정상적으로 운영되는 3개월을 충족하였다. 특히, 태풍 ‘솔릭’ 이후, 즉시 방문한 현장에서 모든 시스템이 이상 없이 정상적으로 운영되었다. 그러나, 사용자의 부주의나, 외부 환경에 의한 예상치 못한 피해를 줄이기 위해서, 보드의 보호함체를 이중화하는 것이 바람직하다고 판단하여, 이 후, 보호함체를 이중화하였다.

(2) 근권부 수분환경 실시간 모니터링 시스템 문제점

농경작업으로 인해 케이블이 예상치 못하게 절단된 이외에는 시스템 자체로 정상 운영되었다. 배터리는 12V 12Amp 2개를 병렬로 연결하여 운영하였으며, 12V 24W 태양열전원 모듈을 연결하여, 하드웨어 및 WiFi 전송모듈을 운영하였다.

단, 카메라 렌즈가 습기에 약하여 일교차가 심한 시기에 양질의 화질을 얻지 못했으며, 클라우드 서버를 이용하기 때문에, 누적되어 이미지가 저장되는 경우, 서버사용량의 증가로 유지관리비가 1개월에 수십만원까지 기하학적으로 증가하였다. 이미지 센서를 제거하여 시스템을 안정성을 높이거나, 이미지 센서를 사용해야만 할 경우, 내습성으로 보다 안전한 모델을 사용하고, 적정한 유지관리 비용을 위해, 자료저장기간의 설정, 혹은 주기적으로 기관내 하드드라이버로 백업할 계획을 세워 사업화 할 예정이다.

(표 2-210) 오픈소스 하드웨어 현장 점검표 (예시)

검사항목	검사항목 내역	점검 방법	상태 확인
	외부청결상태	장비 및 주변상태 확인(흄, 이물질 유입등)	■정상 □불량
	전원상태	태양전지판 전원 확인(12VDC 이상)	■양호 □불량
		бат테리 전원 확인(12V DC 이상)	■양호 □불량
		Load 전원 확인(12VDC이상)	■양호 □불량
	네트워크	PC와 카메라(아두이노모듈) 연결 상태	■양호 □불량
	카메라 자료 확인	PC를 이용하여 모듈 저장 데이터 확인	□양호 ■불량
	카메라 작동상태	PC를 이용하여 카메라 작동상태확인	□양호 ■불량
	수분센서	PC를 이용하여 수분값 확인	□양호 ■불량
웹서버 확인	데이터 Web 서버 전송/저장 확인	■양호 □불량	
비고	수분센서 : 케이블 절단, 카메라 : 습기로 인해 고장		

마. 스마트 물관리 계측시스템 실증시험

계측시스템은 화옹, 석문, 새만금 3개 지구의 시험포장에서 실증시험을 수행하였다. 화옹, 석문, 새만금 3개 시험포장에서 각각 기상센서 - 온/습도/대기압, 풍향/풍속 및 일사 센서 - 를 기 선별한 계측모듈에 연결하여 증발산과 관련된 기본인자를 모니터링하였다. 화옹과 새만금 시험포장에는 지하수위계를 추가로 설치하여, 시험포장의 지하수위 변동 및 지하수의 전기전도도를 모니터링하였다.

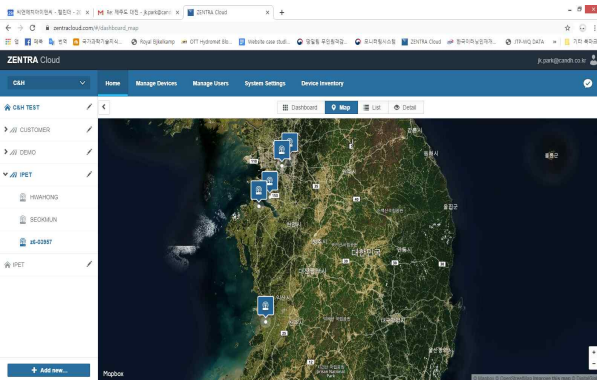


- 1 : 메인보드 - 전원부, 계측부, 메모리
- 2 : 3G 통신모듈
- 3 : 안테나
- 4 : 태양광모듈

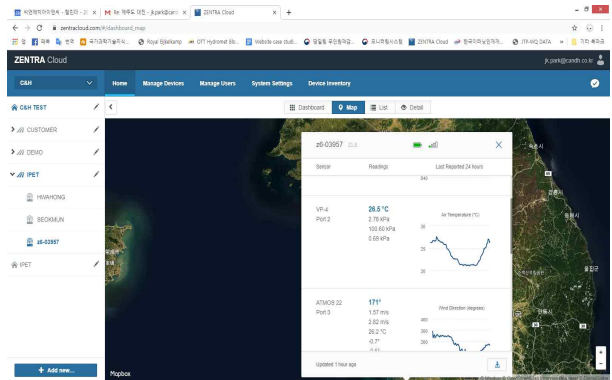
<그림 2-383> 계측모듈

계측한 자료를 원격지에서도 확인할 수 있도록 3G 모듈을 장착하여, 클라우드 서버를 활용하여 웹상에서 자료 관측이 가능하도록 구성했다. 전원수급이 원활하지 않은 간척지 환경에서, 설치 및 운영, 유지보수를 손쉽게 할 수 있도록 쉽게 구할 수 있는 알카라인 배터리를 사용하는 모듈을 고려하여 6개의 알카라인 AA 배터리로 구동할 수 있도록 하였다. 자료전송에 의해 전력소모가 증가할 것으로 고려하여, 계측모듈에 태양광모듈을 장착하여 NiMH 충전식 배터리를 사용할 경우, 태양광으로 충전이 되어 전원부분의 유지관리를 최소화할 수 있도록 하였다.

새만금시험포장의 계측모듈을 교체하여, 계측자료가 클라우드 서버에 저장될 수 있도록 하였다. 온/습도/대기압, 풍향/풍속, 일사량, 지하수위, 지하수온도, 지하수전기전도도 등 기상 및 지하수환경의 환경인자를 수집하였다.



(위치정보기반 관리)



(현재 계측값 확인)

<그림 2-384> 새만금시험포장 기상장비 및 지하수위 원격계측 시스템 운용

석문시험포장에 온/습도/대기압, 풍향/풍속, 일사량 등 기상 인자를 수집할 수 있는 계측 시스템을 구축하였다. 클라우드 서버를 이용하여 계측자료를 원격지에서 확인할 수 있도록 하였다.

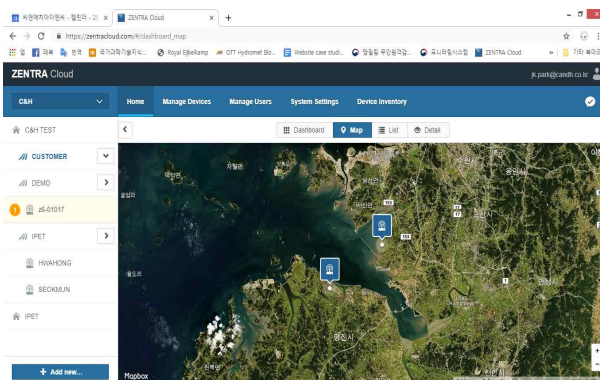


(설치 후 전경 (1))

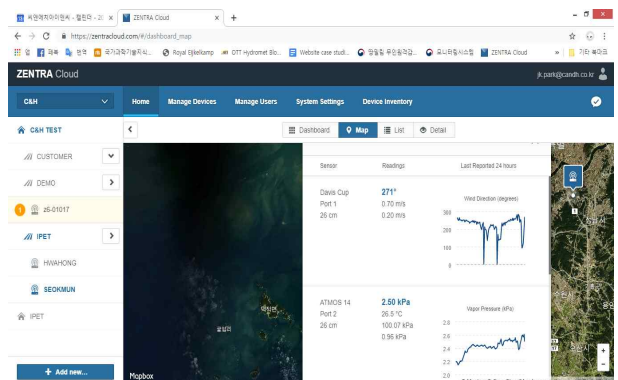


(설치 후 전경 (2))

<그림 2-385> 석문시험포장 기상 모니터링 시스템 운용



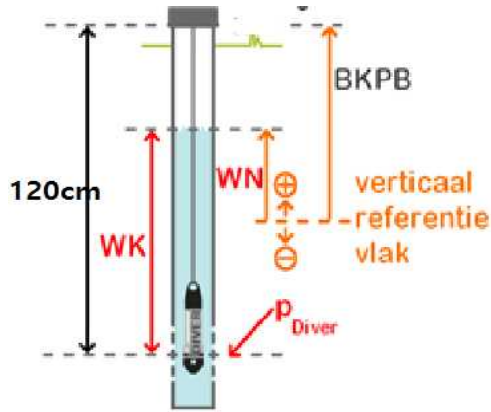
(위치정보기반 관리)



(현재 계측값 확인)

<그림 2-386> 석문시험포장 기상장비 원격계측 시스템 운용

화용시험포장에 온/습도/대기압, 풍향/풍속, 일사량, 지하수위, 지하수온도, 지하수전기전도도 등 기상 및 지하수 정보를 수집하는 계측시스템을 구축하였다. 계측자료가 클라우드 서버에 저장될 수 있도록 하였다.

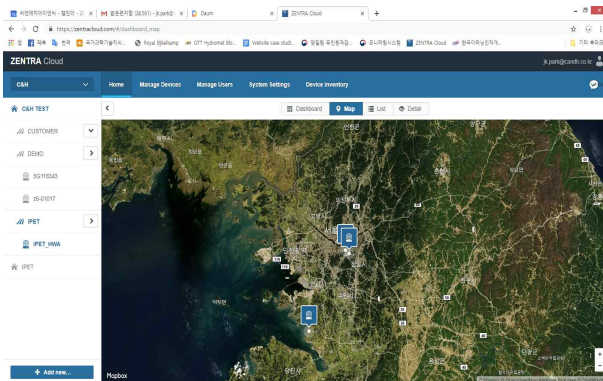


(관정 디자인)

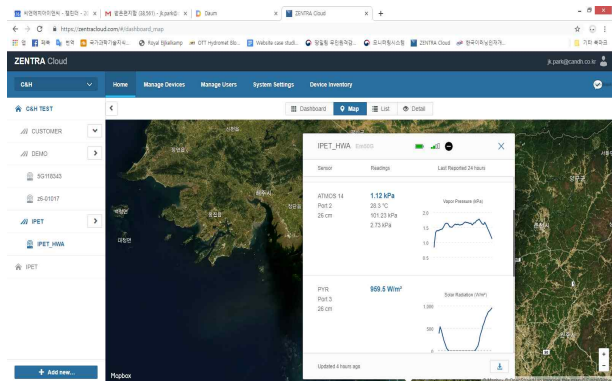


(설치 후 전경)

<그림 2-387> 화용시험포장 기상 및 지하수 모니터링 시스템 운용



(위치정보기반 관리)



(현재 계측값 확인)

<그림 2-388> 화용시험포장 원격계측 시스템 운용

2.4.2. 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 제어시스템 개발

가. 자동 관수 시스템 설계

1) 자동관수

농작물의 지하부, 즉 뿌리 부위의 수분을 적정 유효수분 범위 내로 유지시켜 농작물의 뿌리가 쉽게 수분을 흡수할 수 있게 만들어 주어 뿌리의 호흡과 생장에 필요한 액상과 기상 및 고상이 이상적으로 구성되어지는 삼상구조를 조성해 주는 것이다. 주로 시설 원예 지역과 과수원에서 인위적인 관수가 이루어지고 있으며, 특히 시설재배는 표면 피복재에 의해 강우에 의한 자연강수가 이루어지지 않기 때문에 인위적인 관수가 필수적인 요소로 작용하고 있다. 관수방법은 크게 지표관수, 점적관수 그리고 지중관수로 나눈다.

점적관수는 물을 한 방울씩 떨어지게 하는 관수방법으로 파이프나 튜브의 분출공에 톱니회로를 만들어 시간당 2~8L의 유량으로 멀칭한 토양밑을 관수하는 방법이다. 저압으

로 물의 양을 절약할 수 있으며 하우스내 습도의 영향도 줄이고 잎과 줄기 및 꽃에 살수되지 않아서 과채류 관수에 특히 좋다. 단점은 너무 길면 저압으로 관수량이 불균일하고 지면이 고르지 않을때는 관수량의 차이가 나고 토양입자, 이끼 등 이물질로 인해 점적기가 막히기 쉽다.

압력조절장치의 종류는 1) 물이 통과하는 통로가 두 개의 튕날을 일정한 간격을 두고 평행하게 배치한 것과 같으며 물이 여러단계의 급커브를 통과하는 동안에 압력이 줄어드는 튕니형, 2) 긴 호스를 통하여 나오는 물이 호스내부와의 마찰로 수압이 저하되는 원리를 응용한 미세관형, 3) 압력조절장치 대신에 일정한 수압(약 0.5~1kg/cm²)에서만 물을 급수할 수 있도록 특수고무판을 부착시킨 압력조절형 등이 있다.

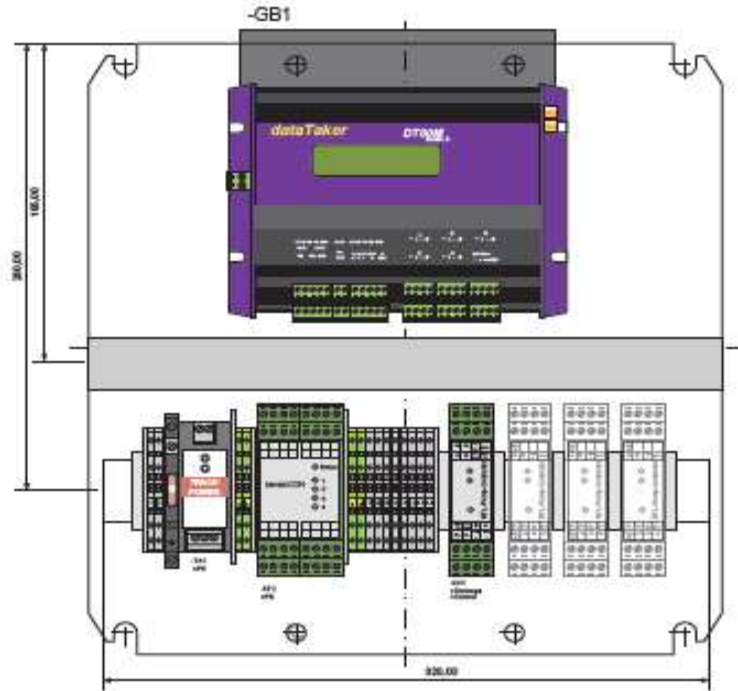
점적기의 형태는 1) 단추나 작은 막대기 모양의 버튼을 파이프 위에 꽂는 점적단추형, 2) 파이프 내부에 일정한 간격으로 점적기가 삽입 내장된 내장형, 3) 얇은 비닐(0.1~0.5mm두께)을 2중으로 특수 접착하여 접착부분의 내부구조가 수압조절이 가능하도록 제작된 것으로 2kg/cm²이하의 수압을 사용하는 테이프형, 4) 아주 가느다란 연결 PE파이프를 사용하여 한쪽은 필요한 위치의 배관 PE파이프에 꽂고 다른 한 쪽은 관수하고자 하는 곳에 고정하여 사용하는 미세관형, 5) 미세관형과 단추형을 복합하여 만든 것으로 여러 개의 꼭지를 붙여서 한꺼번에 가느다란 호스를 여러 개 연결할 수 있으며 다른 쪽은 지지체가 부착되어 화분에 고정하도록 되어 있는 다지관형 등이 있다.

점적관수의 장점은 1) 물이 가장 적게 드는 관수방법이며, 2) 토양의 염류장해로부터 식물을 보호하고, 3) 0.2~0.5kg/cm²의 낮은 압력으로도 관수가 가능하고, 4) 토양과 비료의 유실을 방지하며, 비료와 농약을 함께 줄 수 있다.

2) 자동관수시스템의 설계

센서, 데이터로거, 관수라인, 솔레노이드 밸브로 구성되며, 센서는 보고서에서 서술한 토양수분센서, 염도센서, 지하수위센서, 수분포텐셜 센서등의 값을 이용하여 알고리즘을 구성하고자 하였다. 초기에는 근권부의 정확한 값을 통한 관수보다는 시스템 구성에 주안점을 두어 설계하였다. 솔레노이드밸브는 DV 밸브를 사용하였다.

데이터로거는 다음과 같다. 10-30VDC로 가동되며, 센서값의 저장, 관수개시 및 종료점 설정, 솔레노이드밸브의 제어 등의 기능을 담당한다.



<그림 2-389> 데이터로거

3) 자동관수시스템의 예비 성능 시험

씨엔에치아이엔씨(주) 트레이닝파크 내 부지에 점적관수라인을 배치하고, 열무 및 배추를 이식하여 시스템을 운영하였다. 시스템 구성 시기와 작물정식시기 간에 차이가 발행하여, 센서에 의한 제어는 실시하지 않았으며, 시스템의 작동여부만 확인하였다. 단, 토양수분센서와 수분포텐셜 센서, 기상센서를 설치하여, 기상 및 근권환경을 동시에 모니터링 하였다.

조성한 시험포내 토양수분센서(5TE, GS3) 및 수분포텐셜센서(MPS-6)를 각각 설치하여 센서 값에 의한 관수 제어 및 그에 따른 근권환경 변화를 모니터링하고자 하였다. 그러나, 시스템 설계시기와 작물 정식시기가 일치하지 않아, 수동으로 1회 슬레노이드 밸브의 개폐여부만 확인하였으며, 측정값의 수집이 원활하게 이뤄지는지에 대한 여부만 9월부터 수행, 확인하였다. 작물 수확 후, 임의의 수분함량 값을 설정하여 시스템의 유효 여부를 확인하고자 한다.

ATMOS-41 복합기상센서를 이용하여 대기압, 온/습도, 일사량, 강우량, 풍향/풍속 등의 기본 기상항목을 근권모니터링 측정시기와 같은 시기에 수집하였다. Timelapse 카메라를 이용하여 작물의 재배상태를 주기적으로 촬영, DB를 구축하였으며, 시각적으로 작물의 상태를 파악하고자 하였다.



(씨앤에치아이앤씨 시험포장 전경)



(점적관수라인)



(데이터로거)



(솔레노이드 밸브)

<그림 2-390> 시험포장 구성(1)



(복합기상센서)



(TimeLapse 카메라)



(센서 설치)



(센서 설치)

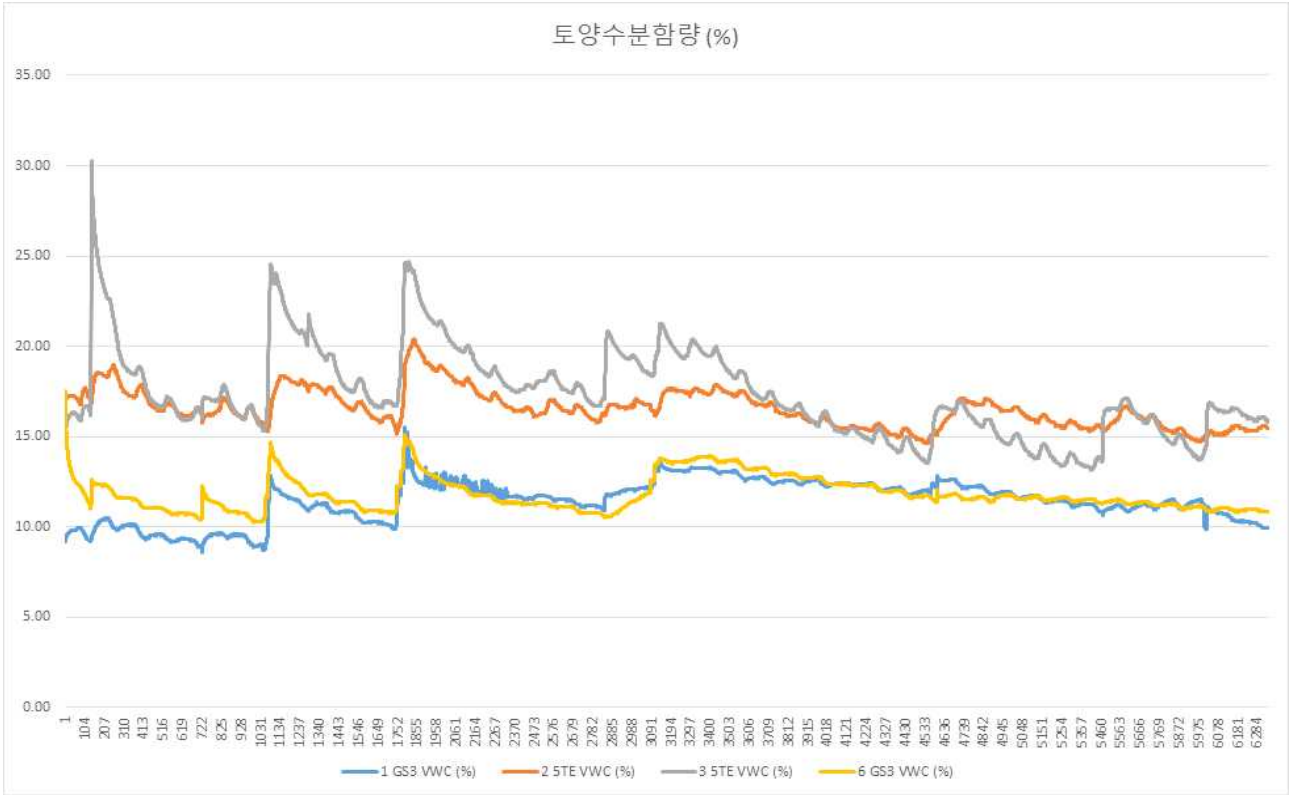


(센서 설치)

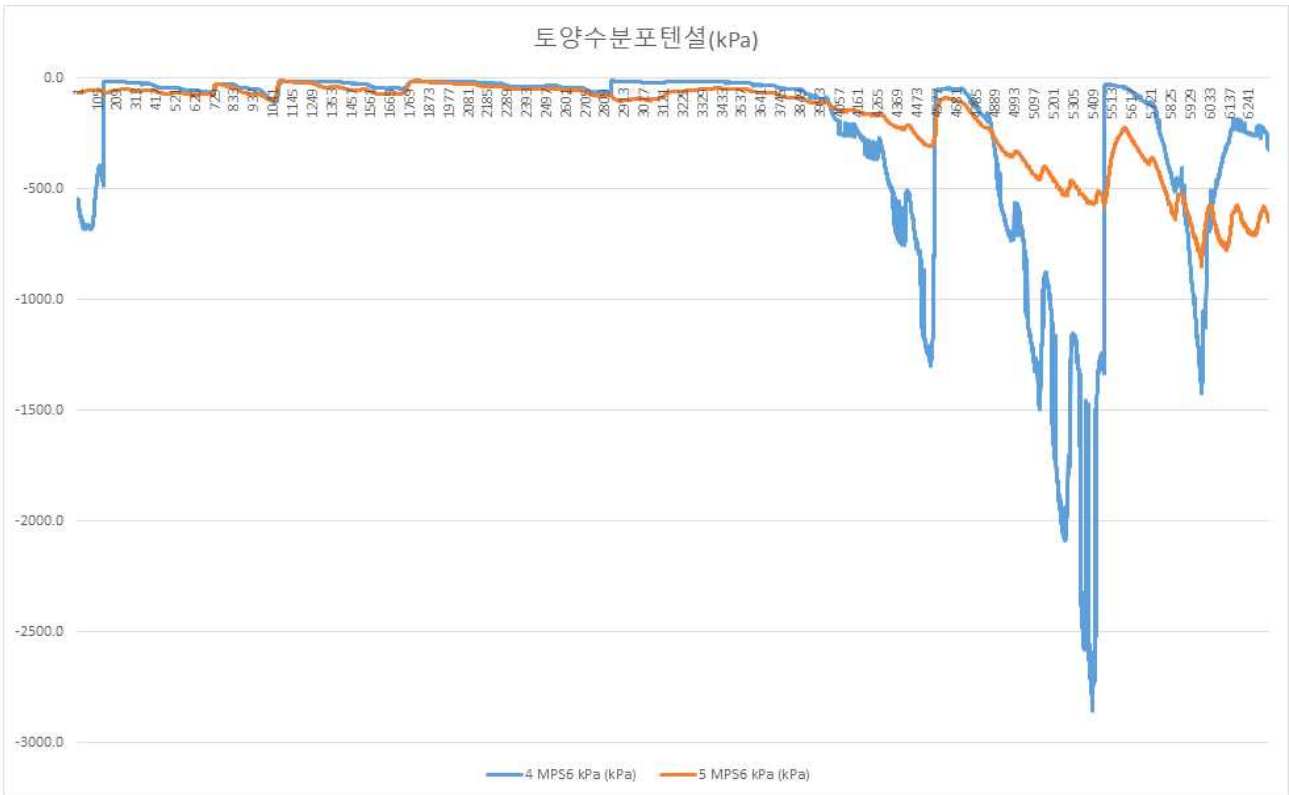


(센서 설치)

<그림 2-391> 시험포장 구성(2)



(토양수분함량 모니터링)

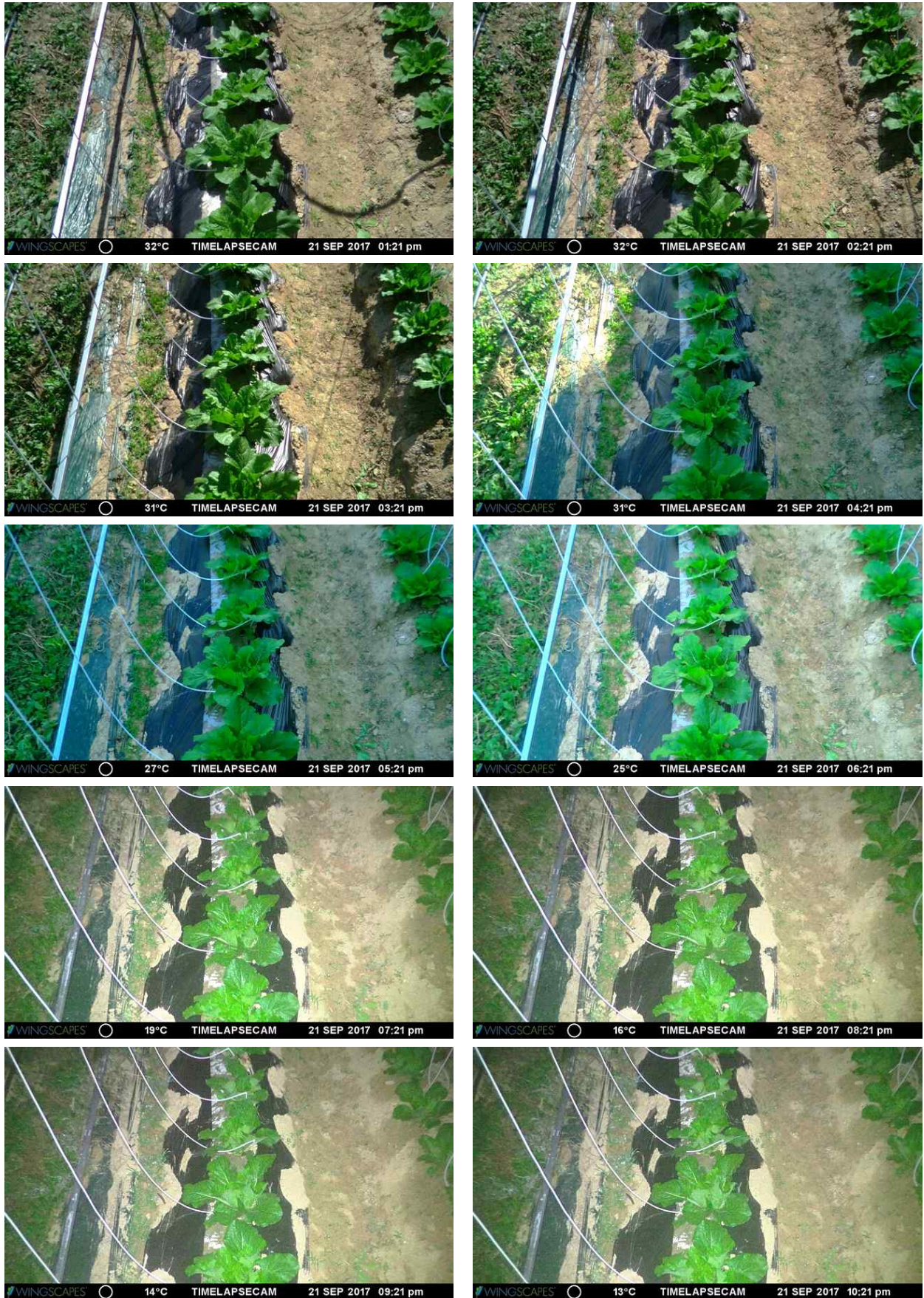


(토양수분포텐셜 모니터링)

<그림 2-392> 토양수분함량 및 토양수분포텐셜 모니터링







<그림 2-393> 배추의 생육변화. 매 1시간 간격

4) 스마트 물관리 제어시스템 안전성 확보

전원차단기를 이용하여 솔레노이드 제어밸브, 전원 등에 의한 시스템 오류시, 과도하게 관수되지 않도록 시스템을 구성하였다. 실제, 상시전원을 이용하여 시스템을 운영한 본 연구기관 동안, 누전으로 인해 전원에 문제가 발생한 경우, 전체 시스템이 차단되어, 물관리 시스템의 오류를 차단할 수 있었다.

나. 자동 관수 알고리즘 설계 (프로그래밍)

1) 스마트물관리 프로그래밍

Campbell 사의 CR1000 데이터로거를 활용하여, 토양수분함량, 또는 토양수분장력을 기준점으로 설정, 자동관수가 가능한 프로그램을 설계하였다. 당해년도에는 자동관수시스템 운영이 포장에서 이뤄지지않아, 설계한 프로그램의 논리적 오류여부를 검토하여 완료하였다.

```
'valve #4
If irrigation_flag(4) = false Then 'if irrigation mode is deactivated(normal)
  If SoilWater_GS3(2) <= 50 Then 'when soil wtr reaches low target(-1) of the target
    valves(4) = 1 'valve open
    irrigation_flag(4) = true 'activate irrigation mode
  Else
    valves(4) = 0 'valve close
  EndIf

Else 'if irrigation_flag(1) = true, i.e. if irrigation mode is activated,
  If SoilWater_GS3(2) > 50 Then 'when soil wtr reaches high target(+1) of the target
    valves(4) = 0 'valve close
    irrigation_flag(4) = false 'return to normal status(irrigation mode is deactivated)
  Else
    valves(4) = 1 'valve stays open

  EndIf
EndIf
EndIf

If IfTime(0,10,min) Then 'shut all valves in 5 minutes and wait

  valves(1) = 0
  valves(2) = 0
  valves(3) = 0
  valves(4) = 0

EndIf

SDMCD16AC (valves(),1,0)

'Enter other measurement instructions
'Call Output Tables
'Example:

NextScan
EndProg
```

<그림 2-394> 토양수분함량을 이용한 자동관수의 개시 및 종료 프로그래밍 (예시)

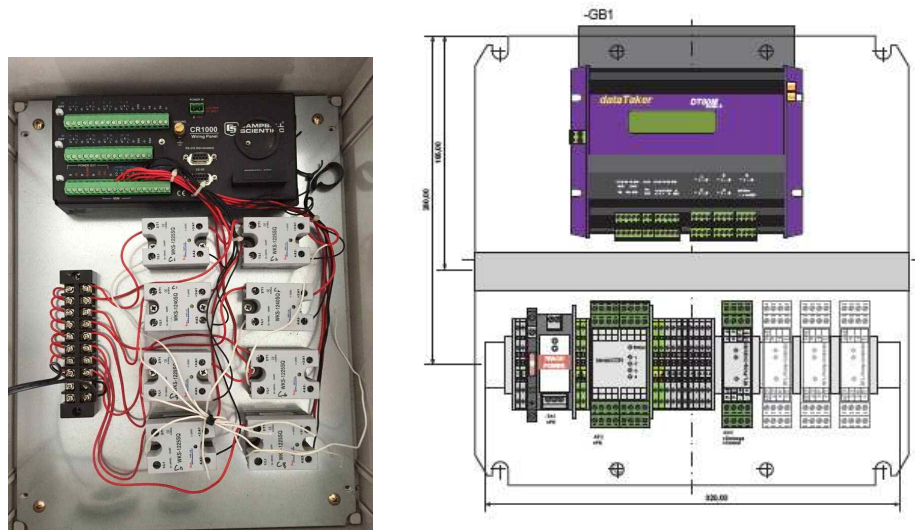
다. 스마트 물관리 제어시스템 실증시험

농작물의 높은 생산량과 품질을 확보하기 위해서는 효율적인 물관리 기술이 전제되어야 하며 이를 위해서는 작물의 생육단계와 재배 지역의 토양조건에 맞는 적정 관수기술의 사용이 중요하다(김학진 등, 2011). 자동관수시스템의 이용은 적정수준의 토양수분함량을 유지시키고 작물 생육 환경을 정확하게 제어할 수 있다는 장점이 있다. 또한 타이머로 작동되는 기존의 관수시스템이 단위시간당 몇 회 관수라는 명확하지 않은 관수 방법을 적용하는 것에 비하여 토양수분함량을 더 구체적으로 명시해 줄 수 있어, 건조장해 및 식물 환경생리를 연구하는데 좀 더 정확한 환경조건을 제시할 수 있다(김중운, 2014).

본 연구에서는 토양특성 및 관수조건 입력이 가능한 자동관수 제어 컨트롤러를 활용하여, 토양환경에 따라 자동제어가 가능하도록 설계한 시스템을 설치하여 현장에서 운영하였다. 관수 제어와 별개로, 센서로부터 입력되는 데이터 값을 확인하여, 향후 작황 상태와 모니터링 결과를 비교할 수 있도록 하였다.

1) 스마트 물관리 제어시스템 실증시험

물관리를 제어하는 컨트롤러는 농업, 기상 및 수문환경 계측시스템에 폭넓게 사용되는 Campbell사의 CR1000 데이터로거를 활용하였다. 아날로그 16개 센서, 디지털센서를 4개의 디지털포트에 연결, 사용할 수 있어서 다수의 시험포트를 동시에 계측 제어할 수 있다.

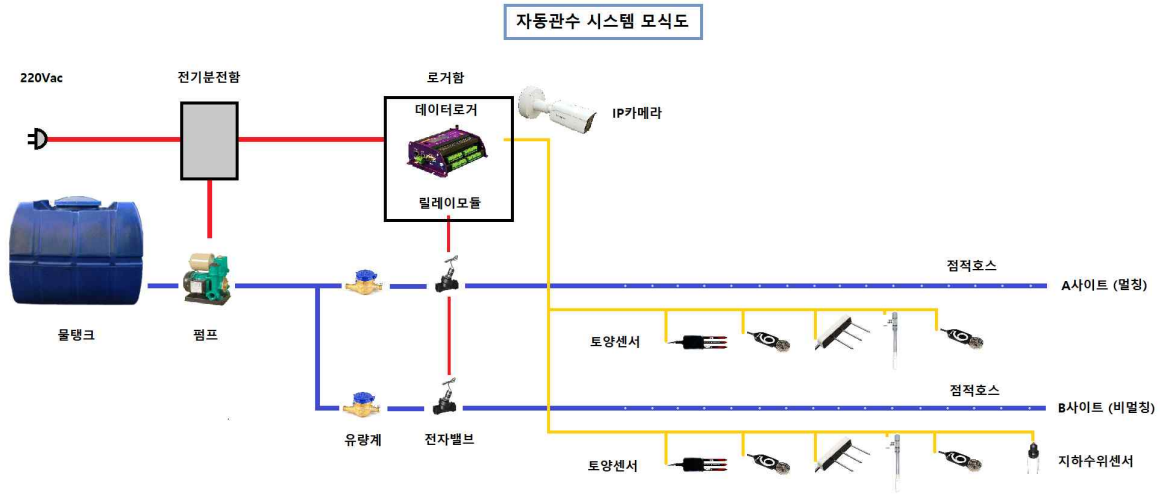


<그림 2-395> 물관리 제어시스템 모듈

데이터로거의 전원은 직류전압으로 하여, 현장에 상시전원이 공급되지 않아도 운영될 수 있다. 실제 공급전압은 9.6 ... 16VDC 이며, 소모전류는 1mA(대기 시)로, 시스템의 유지관리를 최소화할 수 있도록 설계하였다. 수집모듈의 컨트롤 포트를 활용하여, 관수시스템과 연동, 자동으로 제어가 가능하다. 또한, 3G, LTE 등의 무선모듈을 결합하여 시스템의 자료, 상태 등을 실시간으로 확인하거나, 원격지 제어, 물관리 시스템에서 이상현상이 발생할 수 있을 때, 사용자에게 경보를 주는 시스템으로 확장될 수 있도록 하였다.

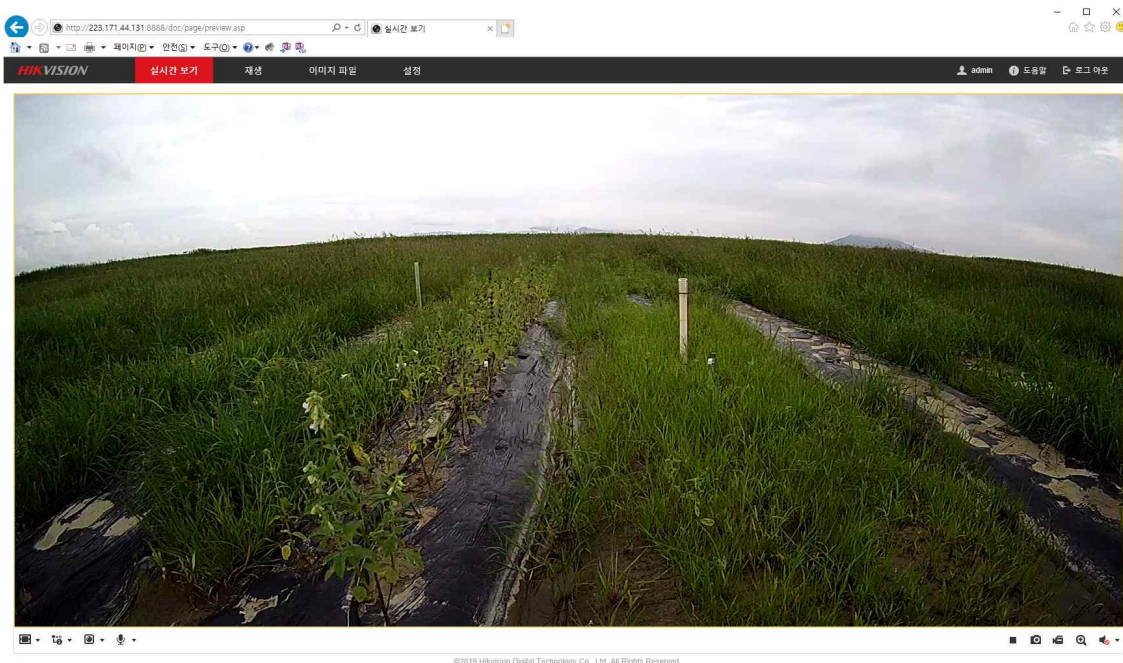
물관리시스템의 구성은 다음과 같다. 관수 개시점을 측정하기 위해서 토양수분센서를 연결하였고, 점적호스를 통해서 관수가 이뤄지도록 솔레노이드 전자 밸브를 릴레이 모듈에

연결하여 데이터로거의 콘트롤포트에 연결하였다. 관수되는 총량을 측정하기 위해서 아날로그 수도유량계를 설치하였다. 전자밸브의 전후에 압력센서 및 pressure switch를 설치하여, 관수 파이프에 가해지는 압력 측정 및 솔레노이드 밸브의 작동유무를 확인하였다. 이를 통해서, 데이터로거(제어부)에서 가해지는 명령이, 전체 관수라인에 제대로 작동하는지 확인할 수 있기 때문에, 시스템이 정상적으로 작동하는지 여부를 확인할 수 있다.



<그림 2-396> 자동관수 시스템 모식도

IP CCTV를 설치하여 현장의 영상을 원격 서버로 전송, 촬영한 현장 전경을 주기적으로 저장하였다. 씨엔에치아이앤씨(주) 서버를 활용하였으며, 카메라를 이용하여, 작물의 생육상태 및 현장의 환경상태 정보를 시각적으로 저장하거나, 원격지에서 사용자가 확인할 수 있도록 하였다.



<그림 2-397> WEB에서 접속한 CCTV 현장화면 스크린샷

실증시험은 새만금시험포장에서 수행하였으며, 각각 멀칭 및 비멀칭 구간에 설치한 토양수분센서를 이용하여 관수 시작점으로 하였다. 매 1분간 스캔하였으며, 60분마다 측정값과 관수 시작점 값을 비교하여, 측정값이 시작점보다 작을 경우 관수를 시작하였다. 10분 동안 관수하고, 50분을 강제대기한 후, 다시 측정값과 관수 시작점을 비교하여 솔레노이드 밸브의 작동여부를 결정하도록 하였다. 초기 설정은 용적수분함량 30%로 하였다. 관수 프로그래밍 및 관수 흐름도는 다음과 같다.

```

20190712_IPET_Auto_Irrigation_STE_MP56 - 메모장
파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도움말(H)
Alias TES(3)=TES_Soil_Temp
'MP56
Public MP56(2)
Alias MP56(1)=MP56_kPa
Alias MP56(2)=MP56_Temp

Public WVC_target
Const Irrigation_time = 10 'Irrigation On time (min)

Public Irrigation_flag As Boolean

Units TES_Soil_Moisture=M
Units TES_Soil_EC=MS/m
Units TES_Soil_Temp=Deg C

Units MP56_kPa=kPa
Units MP56_Temp=Deg C

'Define Data Tables
DataTable(Data_1On,True,-1)
DataInterval(0,10,Min,0)
Sample(3,TES(),FP2)
Sample(2,MP56(),FP2)
Sample(1,Irrigation_flag,FP2)
EndTable

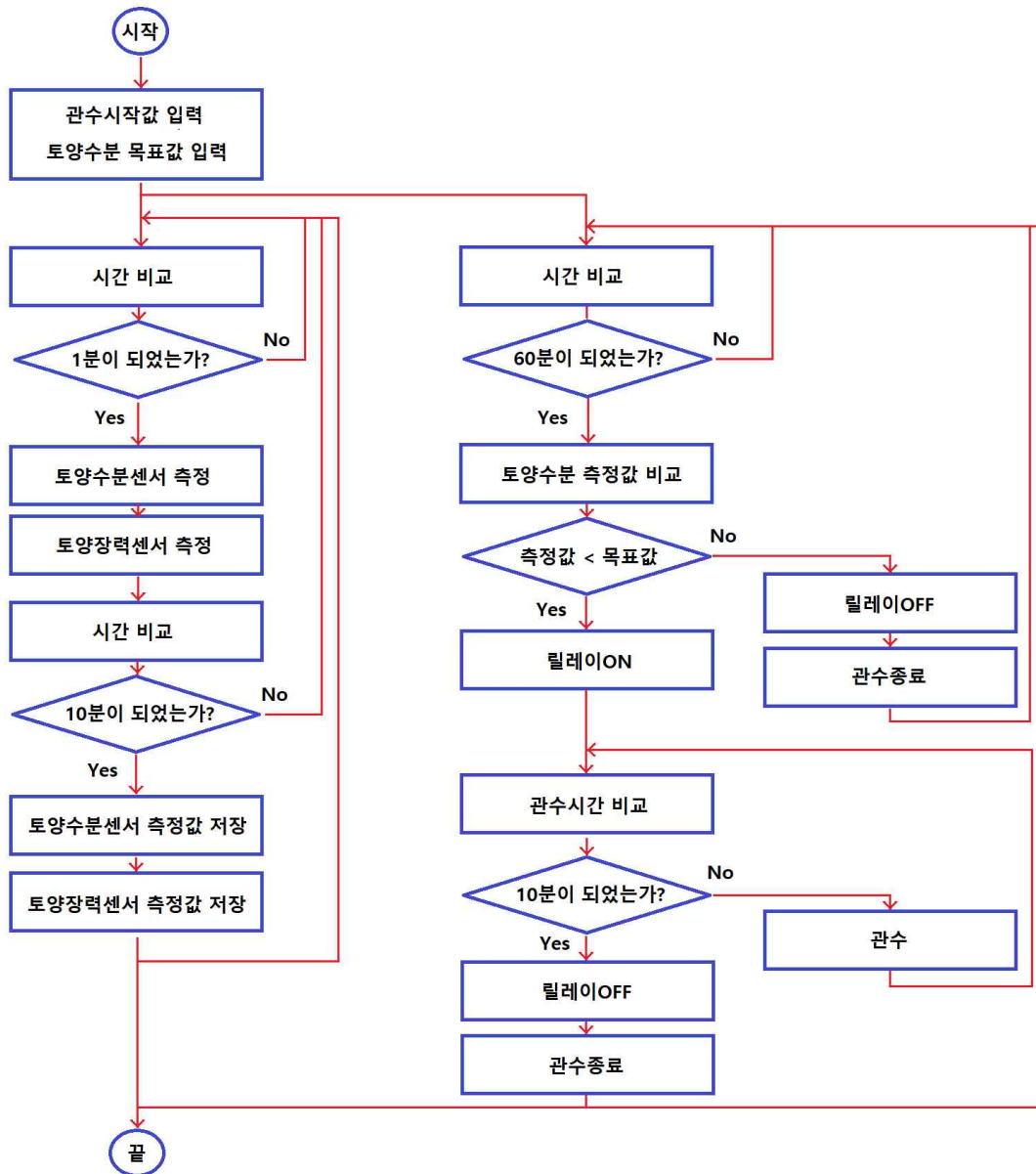
'Main Program
BeginProg
WVC_target = 15 'target soil water of valves

Scan (60,Sec,100,0)
PanelTemp (PIemp,250)
Battery (batt,volt)

'Generic Differential Voltage measurements
SDI12Recorder (TES(),1,0,"M",1,0,0) 'STE
TES_Soil_Moisture = 4.3E-4*TES_Soil_Moisture^3 - 5.5E-4*TES_Soil_Moisture^2 + 2.9E-2*TES_Soil_Moisture - 0.053
TES_Soil_Moisture = TES_Soil_Moisture*100
SDI12Recorder (MP56(),3,0,"M",1,0,0) 'MP56

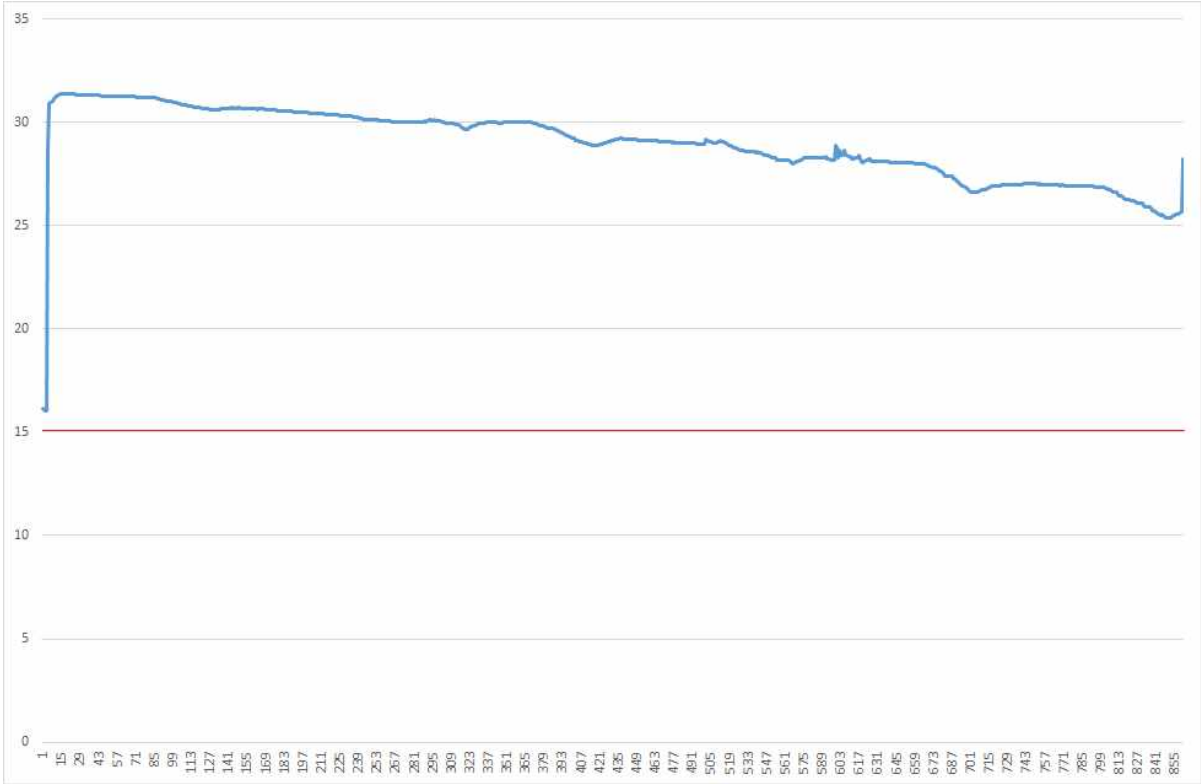
CallTable Data_1On
If !ITime(0,60,min) Then
    valve #1
    If Irrigation_flag = false Then 'if irrigation mode is deactivated(normal)
        If TES_Soil_Moisture < (WVC_target-1) Then when soil wtr reaches low target(-1) of the target
            SW2(1) 'Port3d(4,1) 'valve open
            Irrigation_flag = true 'activate irrigation mode
        Else
    
```

<그림 2-398> 데이터로거 물관리 프로그래밍



<그림 2-399> 자동관수 흐름도

위와 같은 알고리즘으로 자동관수를 적용하여 실증시험을 수행하였다. 관수시점은 정확도 1% 이내에서 제어가 이뤄졌다. 관수중점은 작물재배 목적상 목표 수치까지 지속적으로 제어하거나, 간단관수 제어 방법을 통해서 다양한 방법으로 이뤄질 수 있었다. 또한, 염류 상태에 따라 토양수분 계측 센서에 오차가 발생하므로, 염류 상태에 대한 정보도 관수 제어에 필수적이다. 아래 그래프는 물관리가 관리되는 기간 중, 데이터로거에 수집된 토양수분함량을 도시한 결과이다.



<그림 2-400> 관수제어 기간 중 토양수분변화 모니터링 (붉은선 : 관수개시점)

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3.1. 연구개발 달성도 평가

3.1.1. 정성적 평가

(표 3-1) 정성적 평가

성과목표	자체평가 결과	달성율
◦ 간척지 관개시스템 설계 및 현장 검증	- 시험포 현장실증 및 현장 검증을 통해 간척농지에 적합한 관개시스템 설계 지침서를 작성하였으므로 목표를 100% 달성함	100
◦ 물관리를 통한 적정 제염 및 정상 생육 확보 토양 기준 설정	- 시험포별 토양염도와 토양수분과의 기준에 대한 실증결과를 토대로 물관리 토양기준 기준 설정을 100% 달성함	100
◦ 간척지 받기반 용수절약 모델 개발	- 수원공 종류에 따른 간척지 관개기술 적용 방안 제시를 통해 간척지 받기반 용수절약 모델을 제시 하였으므로 목표를 100% 달성함	100
◦ 간척지 저비용·고효율 암거배수 방법 개발	- 간척지구별 2~4차년 토양수분함량, 토양전기전도도, 무굴착 암거 침출수, 침출수 염도 등 실증 연구 모니터링 결과를 바탕으로 간척지 무굴착 지하배수암거 시공방법 및 적정 소요비용 등을 제시하였음	100
◦ 간척지 염류제거 및 토양관리 기준 개발	- 간척지구별 3~4차년 토양개량처리구에 대한 실증 연구 모니터링 및 토성별 토양성숙단계별 물리, 화학, 생물학적 처리방법 등에 따른 토양 이화학적 특성 변화에 대해 제시하였음	100
◦ 간척지 재배환경 표준화를 위한 현장 실증연구	- 간척지구별 2~4차년 시험포 포장 및 실증 연구 모니터링 결과를 바탕으로 작물생육과 연계한 포장조성 및 배수체계 개선, 염류제어, 경지 내 지표배수 관리 등의 설정을 하였음	100
◦ 간척지 이용 종합계획과 연계한 간척지별 최적 토지 이용방안	- 최적 토지이용 방안 마련을 위한 대상 간척지구로는 이원지구, 남포지구, 고흥지구가 있으며, 각 지구별 위치, 농업적 여건, 용도별 면적배분 현황, 작목별 시장전망, 수입대체 및 수출기대효과 등을 고려하여 계획 및 작성하였음	100
◦ 토양염농도(고, 중, 저)를 고려한 권역별 실증단지(각 1ha 이상) 조성	- 1차년~2차년에 거쳐 토양염농도 별로 화옹(고), 석문(중), 새만금(저) 시험포를 선정하여 2차년~4차년에 거쳐 실증 재배 연구를 진행하였으므로 목표를 100% 달성함	100
◦ 간척지에서 재배 가능한 발작물(원예, 약용작물 등) 각 7종 이상을 선발	- 2차년~4차년 실증 연구 결과를 바탕으로 총 8종의 작물을 최종 선발하였으므로 목표를 100% 달성함	100
◦ 간척지 발작물 재배 작부체계 매뉴얼 개발 및 성과 분석	- 선발된 작물들에 대한 작부 체계 및 간척지 재배 매뉴얼을 제안하였으며 추가적으로 경제성 분석 결과를 제시하여 농가의 작물도입 시 의사선택에 보다 큰 도움을 줄 것으로 사료됨	100
◦ 간척지에 최적화된 토양수분상태 측정시스템 및 알고리즘 개발	- 간척농지 토양수분(용적수분함량 및 수분포텐셜) 및 기상 계측 시제품 - 간척지 수분함량을 정확히 측정하기 위해 실내시험을 통해 센서 calibration 수행 - 계측 알고리즘 수립 후 현장시험 실시	100
◦ 간척지에 최적화된 스마트 물관리 제어시스템 개발	- 토양수분측정에 기초한 물관리 제어시스템 및 프로그래밍 확립 후 현장시험 실시	100

3.1.2 정량적 평가

(표 3-2) 정량적 평가

성과목표	자 체 평 가
특허출원 2건	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2019년(1건) - 간척지 비산먼지 저감을 위한 토양 개량제 제조방법 및 비산먼지 저감방법
특허등록 2건	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2020년(1건) - 간척지 비산먼지 저감을 위한 토양 개량제 제조방법 및 비산먼지 저감방법
제품화 1건	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2020년(1건) - 간척지 전용 알고리즘을 활용한 작물환경 모니터링 시스템
SCI급 논문 2건	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2019년(1건) - Root pruning increased bioactive compounds of hydroponically-grown <i>Agastache rugosa</i> in a greenhouse ○ 2020년(1건) - Accumulation of Phenylpropanoids in Tartary Buckwheat (<i>Fagopyrum tataricum</i>) under Salt Stress
비SCI 논문 3건	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2018년(1건) - 간척지 토양에서 양액의 전기전도도가 비트 및 순무의 생장에 미치는 영향 ○ 2020년(3건) - Van Genuchten 모델을 활용한 간척지의 토양수분변화 분석 - 간척지의 토지이용 현상과 문제점 파악 및 발전방향-충남,전북,전남 지역 지자체 및 한국농어촌공사 지사 대상 설문조사 - 배초향의 생장과 기능성 물질 함량을 고려한 실내재배 적합 최적 품종 선정
학술발표 11건	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2017년(3건) - 볏짚과 석고처리에 따른 간척지토양의 EC와 SAR의 변화 - Molecular cloning, expression and characterization of a squalene synthase gene from grain amaranth (<i>Amaranthus cruentus</i> L.) - 작물 정상 생육을 위한 간척지 토양의 적정 수분 함량의 유지 방법 ○ 2018년(6건) - 새만금 농생명용지 토지용도별 선호도 조사 - 새만금 간척지 암거처리 후 시기별 토양특성 변화분석 - 새만금 간척지 암거처리에 따른 시기별 투수계수 분석 - 염스트레스에 따른 순무 및 비트의 생육과 기능성 성분 - 간척농지 고부가 작물 재배를 위한 물관리 방법 개발 I - 간척농지 발작물 재배를 위한 최적 물관리 시스템 개발 I ○ 2019년(8건) - 간척지 암거처리에 따른 배수 및 제염효과 분석 - 간척지구별 실내모형시험을 통한 용수공급에 따른 토양수분변화 연구 - 간척농지 효율적 활용을 위한 관개계획 수립 - Study on soil environment improvement for high valuable crop cultivation and field test at the reclaimed tideland - 간척농지 고부가 작물 재배를 위한 토양환경 개선 및 현장실증연구 - DEVELOPMENT OF OPTIMAL WATER MANAGEMENT SYSTEM FOR CULTIVATION OF HIGHCOST CROPS IN RECLAIMED FARMLAND - 배초향(<i>Agastache rugosa</i>)꽃의 발달단계에 따른 Acacetin, Tiliarin, Rosmarinic acid 함량의 변화 - Root pruning and high EC stress increase bioactive compounds in <i>Agastache rugosa</i> grown under a hydroponic culture system ○ 2020년(3건) - 새만금 간척지에서 강우발생에 따른 암거처리 효과분석 - 영산강 및 고흥지구 간척지의 농업적 이용 현황과 문제점 분석 - 간척농지 고부가 작물 선정을 위한 지역별 현장실증 연구

인력양성 2건	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2018년(1건) <ul style="list-style-type: none"> - 충남대 원동욱(학사) ○ 2019년(2건) <ul style="list-style-type: none"> - 전북대 고대희(석사) - 충남대 김연수(학사)
홍보전시 5건	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2018년(1건) <ul style="list-style-type: none"> - KBS 2회 새만금 표류기 ○ 2020년(1건) <ul style="list-style-type: none"> - 한국농어민신문

3.2. 최종성과목표

- 본 연구개발의 목표를 요약하면 아래표와 같으며, 특허 출원 및 등록을 제외한 모든 정량성과를 달성하였음

(표 3-3) 최종성과목표

(단위 : 백만원, 건수)

성과목표	사업화 지표										연구기반 지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출	투자유치		논문		논문 평균 IF	학술 발표			정책 활용	홍보 전시	
											SCI	비SCI								
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	건	명	건	건		
가중치	30	30												20		10		10		
최종목표	2	2									2	3	0.8	11		2		5		
최종실적	1	1			1						2	3	0.8	20		3		6		
달성율(%)	50	50			100						100	100	100	100		100		100		

4. 연구결과 활용계획

4.1. 간척농지 발작물 재배를 위한 최적 물관리 시스템

- 적정 수량을 산정하고 토양관리 방법을 제시함으로써 간척농지에 투자되어야 할 생산기반 시설비의 타당하고 적절한 기준을 제시하여 투자에 대한 의사결정에 기초적인 자료 제공
- 간척지내 관개시스템 개발에 따라 정밀한 관개계획(Irrigation Scheduling) 수립 및 체계적·과학적인 물관리로 용수과잉사용을 억제하고, 용수손실 최소화 가능함
- 용수과다사용에 따른 무효방류를 억제하고 적기에 하천유지용수를 공급하여 비점 오염저감, 하천 생태복원 등 하천환경관리에 활용
- 발관개시설물 대상 관개기술 가이드라인 제시를 등에 최적의 성능과 기능을 발휘할 수 있도록 기본계획 수립이나 설계 및 시공 그리고 유지보수에 적용하여 활용할 수 있는 성과가 기대됨

4.2. 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술

- 간척지 타작물 재배를 위한 염류제어 및 작물생육과 연계한 포장조성, 경기 내 지표배수 배제, 배수 체계 개선 등 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리 가이드라인을 제시함으로써 농업 관계자들의 의사결정을 위한 기초적인 자료 제공
- 간척지 무굴착 암거 공법 선택 시 시공방법, 재료비, 노무비 등의 적정소요비용을 제시함으로써 농업 관련 종사자들의 간척지 포장 조성 설계의 접근을 보다 용이하게 적용할 수 있도록 기초 자료로써 활용 가능
- 간척지 미사질양토, 사양토, 양질사토 등의 토성별 토양 숙성단계에 따른 물리적, 화학적, 생물학적 처리방법에 따른 실증 연구 결과를 통한 토양 염류제거 및 이화학적 특성변화 및 간척지구별 토양개량제 처리에 따른 모니터링 결과를 제시함으로써 간척지 염류제거에 필요한 적정처리공법 선정에 활용 가능
- 간척지구별 도입가능 작목별 시장전망 분석 및 필요 면적 산정, 복합곡물단지, 수출원예단지로 인한 경제효과, 간척지 최적 토지이용방안 등을 제시함으로써 간척지 활용에 따른 국가적인 정책 방향 및 간척지 농가의 적합한 작목 및 발생가능한 수익 등을 검토하는데 있어 기초자료 활용 가능

4.3. 간척지 고부가 최적 작물선정 및 작부체계

- 간척농지 타작물 재배를 위한 매뉴얼 및 작부체계 제공 및 활용
- 간척농지에서 원예 및 약용작물 재배를 통한 생육결과와 그에 따른 기능성물질 함량 결과를 제시함으로써 향후 작물선정 시 기초자료로 제공
- 실증 연구 및 경제성분석 결과를 통해 간척농지 재배 시, 종합 시뮬레이션 자료 제공

4.4. 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템

- 개발한 계측 및 ICT 기술을 활용하여 간척농지 발작물 재배, 새만금수목원 등 간척지 환경에서 물관리 시스템으로 활용
- 노지스마트팜의 근권환경, 작물재배환경, 이미지 수집 시스템으로 활용

참고문헌

1. Ahn, Y., Lee, S. H., Ji, K. J., Hong, B. D., Noh, H. M., Ryu, S. H., Lee, S. M., Yoon, S. I., Choi, Y. D., & Noh, Y. D. (2003). Studies on changes of soil characteristics and utilization after tidal land reclamation. Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation Rural Research Institute, 1-332.
2. Alberta Agriculture. 1987. Soil quality criteria relative to disturbance and reclamation. revised ed. Alberta Soils Advisory Committee. Soil Reclamation Subcommittee. Soil Quality Criteria Working Group. Edmonton. Canada.
3. Alberta Agriculture. 1995. Soil Salinity, Soil and Water Conservation Manual Series. Alberta. Canada.
4. Alberta Environment. 2001. Salt Contamination Assessment & Remediation Guidelines. Alberta. Canada.
5. Apse, M. P., G. S. Aharon, W. A. Sneddon, and E. Blumwald. 1999. Salt tolerance conferred by over-expression of a vacuolar Na⁺/H⁺ antiport in Arabidopsis. Science. 285: 1256-1258.
6. Boyer JS. 1982. Plant productivity and environment. Science. 218:443-448.
7. Chung, S. H., & Byun, Y. H. (2009). Convenient methods for the extraction and discrimination of water-soluble plant pigments. Journal of The Korea Contents Association, 9(3), 353-360.
8. Choi K.Y., Y.B. Lee, and Y.Y. Cho. 2011. Allyl-isothiocyanate content and physiological responses of *Wasabia japonica* Matusum as affected by different EC levels in hydroponics. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29:311-316.
9. Choi, W.Y., K.M. Cho, S. Kim, J.H. Jeong, S.H. Lee, K.B. Lee, G.H. Lee, and K.H. Park. 2015. Effect of PE film mulching and irrigation method on the growth, yield and antioxidant activity for potatoes grown in winter season at Saemangeum reclaimed land. Korean Journal of Crop Science. 60(1):63-69.
10. Donahue R.L., Miller R.W., Shickluna J.C. 1983. An introduction to soil and plant growth. 5th ed. Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.
11. Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper 24. FAO. Rome.
12. Florian, C. S., & Reinhold, C. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. Food Science & Technology, 15(1), 19-38.
13. Frans R. Moormann and Nico van Breemen. 1978. Rice : Soil, Water, Land. IRRI. Los Banos, Laguna, Philippines. 185pp.
14. Gabrela, S. J., Patricia, R. B., Helena, P., & Mario, R. S. (2004). Betacyanin

synthesis in red beet (*Beta vulgaris*) leaves induced by wounding and bacterial infiltration is preceded by an oxidative burst. *Physiological and molecular plant pathology*, 64(3), 125–133.

15. Galieni, A., Di Mattia, C., De Gregorio, M., Speca, S., Mastrocola, D., Pisante, M., Stagnari, F., 2015. Effects of nutrient deficiency and abiotic environmental stresses on yield, phenolic compounds and antiradical activity in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Sci Hort*, 187: 93–101.
16. H.J. Nijland, F.W. Croon and H.P. Ritzema. 2005. *Subsurface Drainage Practices*. Alterra.
17. IRRI. 1985. *Soil Physics and Rice*. 430pp.
18. Jain, G., Schwinn, K. E., & Gould, K. S. (2015). Betalain induction by l-DOPA application confers photoprotection to saline-exposed leaves of *Disphyma australe*. *New Phytologist*, 207(4), 1075 –1083.
19. Jain, G., & Gould, K. S. (2015). Functional significance of betalain biosynthesis in leaves of *Disphyma australe* under salinity stress. *Environmental and Experimental Botany*, 109, 131–140.
20. Jones HG. 2007. Monitoring plant and soil water status: established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. *J Expt Bot* 58:119–130.
21. Knott J.E. 1957. *Handbook for vegetable growers*. John Willey & Sons.
22. Korea Research Council for Industrial Science and Technology (KRCIST). 2013. *The reclamation for salt-contaminated soil with electrokinetic technology*. Sejong. Korea.
23. Lee, K. B., J. K. Kang, J. M. Li, D. B. Lee, C. W. Park, and J. D. Kim. 2007. Evaluation of Salt-Tolerance Plant for Improving Saline Soil of Reclaimed Land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40: 173–180.
24. Lu, N., Bernardo, E.L., Tippayadarapanich, C., Takagaki, M., Kagawa, N., Yamori, W., 2017. Growth and accumulation of secondary metabolites in perilla as affected by photosynthetic photon flux density and electrical conductivity of the nutrient solution. *Front Plant Sci*, 8: 708.
25. Majsztrik J, Lichtenberg E, Saavoss M (2013a) Ornamental grower perceptions of wireless irrigation sensor networks: results from a national survey. *Hort Technology* 23:775–782.
26. Ministry of Agriculture and Forestry. 2001. *Prediction technique of desalinization in reclaimed tidelands*. Seoul. Korea.
27. Munns, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: Some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ.* 16: 15–24.

28. Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.
29. Nakashima, T., Araki, T., & Ueno, O. (2011). Photoprotective function of betacyanin in leaves of *Amaranthus cruentus* L. under water stress. *Photosynthetica*, 49(4), 497-506.
30. Olesen, K. and L-E. Andreasson. 2003. The function of the chloride ion in photosynthetic oxygen evolution. *Biochem.* 42: 2025-2035.
31. Payne, M. 2007. Landscape-level assessments of subaqueous soils and water quality in shallow embayments in southern New England. Master's Thesis, University of Rhode Island.
32. Qadir, M. and S. Schubert. 2002. Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land Degrad. Develop.* 19: 275-294.
33. Rengasamy, P. and M. E. Sumner. 1998. Processes involved on sodic behavior In: *Sodic Soil: Distribution, Management and Environmental Consequences*. Oxford University Press, New York.
34. Rengasamy, P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. *J. Exp. Bot.* 57: 1017 - 1023.
35. Rhoades, J.D., F. Chanduvi, and S. Lesch. 1999. Soil salinity assessment. Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. FAO irrigation and drainage paper 57. FAO UN.
36. Roy L. Donahae, Raymond . Miller, John C. Shicklunna. 1983. *Soils, an Introduction to soils and plant growth*. Prentice Hali Inc. N.J.
37. Sim D.W, K.J. Nam, and Y.H. Kim. 2018. Analysis of antioxidant enzyme activity during seedling growth of *Leymus chinensis* Trin under salt and dehydration stresses. *Journal of Life Science.* 28:727-777.
38. USDA-NRCS, 2011. *National Soil Survey Handbook*.
39. Wang, C. Q., Xu, C., Wei, J. G., Wang, H. B., & Wang, S. H. (2008). Enhanced tonoplast H⁺-ATPase activity and superoxide dismutase activity in the halophyte *Suaeda salsa* containing high level of betacyanin. *Journal of Plant Growth Regulation*, 27(1), 58-67.
40. Yi, M. R., Hee, K. C., & Bu, H. J. (2017). Antioxidant and anti-inflammatory activity of extracts from red beet (*Beta vulgaris*) root. *Korean Journal of Food Preservation*, 24(3), 413-420.
41. 강신우 등. 2012. 시설재배지 환경 제어 시스템 제작 및 원격 제어 성능평가. 한국농업기계학회 동계 학술대회 논문집 17(1): 38-41.
42. 김종윤. 2014. 화훼작물의 효율적 생산을 위한 토양수분센서 자동관수시스템. *Flower*

Res. J. 22(2): 48-53.

43. 김원경 등. 2012. 정밀관수를 위한 관수제어 시작기 설계와 실내평가. 한국토양비료학회 춘계학술발표회 논문 초록집. 95.
44. 김학진 등. 2011. 정밀관수를 위한 제어컨트롤러 시작기 및 프로그램 개발. 한국농업기계학회 동계 학술대회 논문집 16(1): 584-588.
45. 고대희. 2019 불포화 간척지 토양에서 토성별 토양수분변화 분석연구, 전북대학교
46. 구자용, 은종호. 1988. 간척지토양의 제염과정중 전기전도도와 치환성 나트륨 백분율 및 pH 사이의 관계. 한국농공학회지 30(4): 127-133.
47. 구자용. 1989. 간척지토양의 제염을 위한 석고처리효과. 한국농공학회지 31(-): 349-356.
48. 구자용, 한강완, 서승덕. 1989. 새만금지구 간척지토양의 염분거동해석 및 제염효과분석을 위한 실험적연구. 한국농공학회지 31(2): 92-103.
49. 국립농업과학원·한국토양비료학회. 2012. 토양비료용어사전.
50. 국립농업과학원. 2010. 합리적인 토양관리를 위한 농업환경 정보시스템활용.
51. 국립농업과학원. 2011. 한국의 토양분류 및 해설.
52. 김대수. 2004. 시설재배지의 유공관 암거배수가 염류집적 경감에 미치는 영향. 강원대학교.
53. 농림부. 2001. 간척지 제염예측기법 개발.
54. 농림축산식품부, 2012. 농업생산기반정비사업계획 설계기준(관수로편).
55. 농림축산식품부, 2012. 농업생산기반정비사업계획 설계기준(배수편).
56. 농림축산식품부, 2013. 범용농지 조성 기반 기술개발(I).
57. 농림축산식품부, 2015. 범용농지 조성 기반 기술개발(최종).
58. 농림축산식품부, 2015. 범용농지 배수암거 조사·설계 실무요령.
59. 배희수, 이수환, 황재복, 박홍규, 이건희, 이경보, 이교석, 이동성, 홍병덕, 이자현, 정덕영. 2016. 배수불량 간척지에서 배수처리가 제염 및 작물생육에 미치는 영향. 한국국제농업개발학회지. 28(4): 512~519.
60. 손연규 외. 2006. 간척지 염해답토양의 토성별 제염기간 및 단면특성변화를 기준한 분류학적 고려. 한국토양비료학회지(pp. 59-64).
61. 손용만, 전건영, 송재도, 이재황, 박무언. 2009. 신 간척지토양의 공간적 염농도 변이가 녹비·사료작물의 생육에 미치는 영향. 한국토양비료학회지, 24(3): 179-186
62. 손재권 외. 2006. 새만금 간척지의 전작·원예단지 조성 연구.
63. 손재권, 송재도, 이수환, 유진희, 조재영. 2015. 새만금 간척지 토양의 초기제염 후 제염화방지를 위한 물관리 방법. 농업생명과학연구. 46(2): 74-81.
64. 손재권, 송재도, 신원태, 이수환, 류진희, 조재영. 2016. 간척지 염해토양의 특성과 제염기법. 한국유기농업학회지. 24(2): 273-287.
65. 신재순 외. 2008. 배수불량 논에서 암거배수처리가 동·하계 사료작물생산에 미치는 영향. 초지조사료지(pp. 301-306).

66. 조지영, 성호영, 천진혁, 박종석, 박상언, 박영준, 김선주. 2017. 간척지 토양에서 양액의 전기전도도가 비트 및 순무의 생장에 미치는 영향. 한국환경농학회지 37(3):197-206.
67. 여운식. 1995. 경지 범용화를 위한 암거배수조직 연구.
68. 오왕근. 1990. 석회 종류와 해성간척지 토양의 제염. 한국토양비료학회지. 24(2): 107-113.
69. 유진희, 정덕영 외. 2010. 석고 혼합량에 따른 간척지토양의 양이온 용탈 및 분포. 한국 토양비료학회지. 43(5): 474-479.
70. 이승헌 외. 2001. 왕겨충전에 따른 암거의 제염효과. 한국농공학회지(pp 63-69).
71. 이수환. 2015. 간척지 발작물 재배를 위한 최적 제염기술 개발. 농촌진흥청(국립식량과 학원).
72. 이승헌, 김정만, 안 열. 2004. 담수조건에 따른 염류-나트륨성 토양의 제염 효과. 한국 관개배수위원회. 11(2): 64-71.
73. 이승헌 등. 2017. 발작물 정상 생육을 위한 간척지 토양의 적정 수분 함량의 유지 방법. 한국토양비료학회 추계학술발표회 및 국제학술심포지엄. 45.
74. 농어촌연구원. 2006. 새만금 간척지의 전작·원예단지 조성 연구
75. 농촌진흥청. 2014. 식량작목 경제성 분석방법과 사례
76. 농촌진흥청. 2016. 간척지 노지 및 비닐하우스 적응 소득작물 재배기술 개발
77. 농촌진흥청. 2017. 농산물 소득조사 분석방법
78. 농촌진흥청. 2017. 농축산물 소득자료집
79. 농촌진흥청. 2018. 농축산물 소득자료집
80. 농촌진흥청. 2020. 농업과학기술 경제성 분석 기준자료집
81. 한국농어촌공사. 2014. 간척농지 시기별 생산량 및 생산비에 대한 현장 실증 연구

<별첨작성 양식>

[별첨 1]

연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 간척농지 고부가 작물 재배를 위한 토양환경 개선 및 현장실증연구					
	(영문) Study on soil environment improvement for high valuable crop cultivation and field test at the reclaimed tidal land					
주관연구기관	농어촌연구원		주 관 연 구 책 임 자	(소속) 한국농어촌공사 농어촌연구원		
참 여 기 업	씨엔에치아이앤씨(주)			(성명) 엄 한 용		
총연구개발비 (천원)	계	2,506,800	총 연 구 기 간	2017. 4. ~ 2020. 12.(3년 9개월)		
	정부출연 연구개발비	1,880,000		총 인 원	62	
	기업부담금	626,800	총 참 여 연 구 원 수	내부인원	62	
	연구기관부담금			외부인원		
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <ul style="list-style-type: none"> - (목표) 간척지에서 밭작물 재배를 위한 재배환경 표준화 및 실증연구를 통한 간척지 기반의 고부가 가치 농업활용기술 개발 - (성과) 기존 간척 염류지에서의 벼재배 단일적 활용에 대해 간척지 활용 다각화 방안으로 밭작물 재배의 가능성을 제시함으로써 간척지에서의 타작물 재배확대, 수입대체 및 개선방안 마련 <p>○ 연구내용 및 결과</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 간척농지 고부가가치 작물 재배를 위한 최적 물관리 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 간척지 용수원에서 포장으로까지 물공급 체계화 및 포장내에서 물관리 기준 마련 2) 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 간척지구별 배수여건에 대한 현장도출을 통해 현행 간척지의 배수개선 및 토양관리기술 개발 3) 간척지 고부가 작물 최적재배 관리모델 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 간척지구별 정상생육 가능 원예 및 약용작물 총 8종 선발 및 작부체계 마련 4) 간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 간척지 토양수분함량 기반 알고리즘 활용 근권환경 모니터링 시스템 및 제어시스템 시제품 개발 <p>○ 연구성과 활용실적 및 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> - 적정 수량을 산정하고 토양관리 방법을 제시함으로써 간척농지에 투자되어야할 생산기반 시설비의 타당성 및 적정한 기준을 제시하여 투자에 대한 의사결정 시 기초적 자료로 활용 - 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리 가이드라인을 제시함으로써 농업 관계자들의 의사결정을 위한 기초적인 자료 제공 및 활용 - 간척농지 위예 및 약용작물 8종 선발 및 작물재배를 위한 매뉴얼, 작부체계 제공 - 간척지 타작물 재배 시 간척지 물관리 알고리즘 기반 작물 모니터링 및 자동 제어시스템 도입 및 활용 						

[별첨 2]

자체평가의견서

1. 과제현황

	과제번호	317005-4			
사업구분	농생명산업기술개발사업				
연구분야		과제구분	단위		
사업명	농생명산업기술개발사업		주관		
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	간척농지 고부가 작물 재배를 위한 토양환경개선 및 현장실증연구		과제유형	개발	
연구기관	한국농어촌공사 농어촌연구원		연구책임자	엄한용	
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2017.04.27. ~ 2017.12.31	380,000	126,700	506,700
	2차연도	2018.01.01. ~ 2018.12.31	500,000	166,670	666,700
	3차연도	2019.01.01. ~ 2019.12.31	500,000	166,670	666,700
	4차연도	2020.01.01. ~ 2020.12.31	500,000	166,670	666,700
	계	2017.04.27. ~ 2020.12.31	1,880,000	626,800	2,506,800
참여기업	씨앤에치아이앤씨(주)				
상대국		상대국연구기관			

※ 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 :

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
한국농어촌공사	수석연구원	엄한용

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	엄한용
----	-----

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 연구는 간척지 현장 시험포를 운영을 통해 현장 자료의 수집, 개선대책 등을 적용한 연구로서 시험포의 현장모니터링을 통해 자료의 정확도를 높였으며, 특히, 간척지 용수공급방법 선정 지원을 통해 농업인의 효율을 높일 수 있는 최신의 정보를 제공하는 연구를 수행함

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

기술적인 측면에서는 간척지 관개용수량의 파악, 관개방식에 대한 적절한 방안을 수립할 수 있으며, 지하배수암거 설치시 고효율의 기술적인 방법을 제시하였고, 경제적 측면에서는 간척지 발작물 재배를 위한 피해를 예방하고 저감할 수 있는 효과가 기대됨.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

간척지 발작물 재배를 위한 시험포 구축은 현장 모니터링/재배작목 선발/문제점 및 개선대책 등의 현장 실용성을 강화하고 간척지에 대한 가능성 제기, 대응방안 강구, 효율적인 대책 수립으로 간척지 발작물 재배의 피해를 최소화할 수 있음. 본 연구성과를 활용하여 간척지 관개계획 수립시 실제 공급량을 검토하였고, 배수불량지구의 제염, 배수개선, 농지조성 등의 적정성 검토를 통해 간척지 발작물 재배를 위한 대비책을 강구하고, 도입재배작물 선발을 통해 간척지에 대한 활용성을 극대화 할 수 있어 경제성과 효율성을 제고하는 도구로 활용이 가능함

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 연구의 간척지 발작물 재배 관련 자료를 성실하게 수집·분석하였으며, 현장 시험포 운영을 통한 모니터링을 통해 현장 적용성을 고도화 시켜 나가며, 물관리 분석, 지하수위분석, 작물생육 등을 지속적으로 실시하여 간척지 제염, 관개, 약용 및 기능성 작물재배에 대한 적용성을 높일 수 있도록 연구개발을 수행하였음

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수, 우수, **보통**, 미흡, 불량)

연구주제의 특성상 수년이상의 자료가 축적되어야 성과를 발표할 수 있고, 자연상황의 영향으로 인해 간척지 발작물 재배를 위한 정량적 자료 확보에 문제가 발생하였고, 특허출원과 같은 시간이 오래 걸리는 연구성과 등이 부족하였으나, 축적된 자료를 바탕으로 2차년도부터 특허출원, 인력양성, 국내 및 국제학술발표회, 연구 논문 등을 지속적으로 연구성과를 도출하였음

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
간척농지 고부가가치 작물 재배를 위한 최적 물관리 시스템 개발	20	100	간척지구별 시범포를 조성하고, 현장 모니터링 자료를 실시하여 관개용수량, 물관리 시스템 기술을 개발하였음
간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술 개발	30	100	간척지 별 배수여건에 대한 현장도출을 통해 현행 간척지의 배수개선, 토양관리기술을 개발하였음
간척지 고부가 작물 최적재배 관리모델 제시	30	100	간척지구별 시험포 현장실증 연구 결과를 바탕으로 간척지 재배 가능 원에 및 약용작물 총 8종을 선발하였음
간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템 개발	20	100	간척지 토양수분함량 기반 알고리즘을 활용한 근권환경 모니터링 시스템 및 제어시스템 시제품을 개발하였음
합계	100점	100	연구계획서상의 목표 달성

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

간척농지 고부가가치 작물재배 시험포 구축은 현장 모니터링/물관리 시스템/토양관리기술/고부가작물 선발/스마트 물관리 제어시스템 등의 현장 실용성을 강화하고 간척지 발작물 재배에 대한 대응방안 강구, 효율적인 대책 수립으로 간척지 발작물의 피해를 최소화할 수 있을 것으로 기대됨

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

본 연구의 경우 초기단계에서 기초적인 현장여건, 용수공급체계, 배수체계 등이 이 이루어져야 하며, 2차년도 부터는 현장 및 실내시험 병행, 효율성 분석, 효과분석 등을 통해 다양한 개선대책을 추진하였고, 특허출원과 같은 성과는 출원 후 우선심사를 요청하였음에도 불구하고 평가가 지연되고 있어 해당년도에 실적수행이 불가능하므로 이러한 점을 평가시 고려할 필요가 있음

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

간척지 밭작물 재배 업무 추진 시 용수공급, 배수대책 등의 평가에 활용하여 밭작물 재배시 피해를 저감을 위한 기술로서의 활용과 다양한 고부가가치 기능성 작물 선발, 작부체계 구축을 통해 농업인 대한 재배관리 기술, 작물생산성, 효율적인 물관리 시스템 등 간척지 기반조성, 작물선발 등 대처 업무에 활용할 수 있을 것으로 기대됨

IV. 보안성 검토

○ 해당사항 없음

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

○ 해당사항 없음

2. 연구기관 자체의 검토결과

○ 해당사항 없음

단위	건	건	건	건	백만 원	백만 원	백만 원	백만 원	명	백만 원	건	건	건	건	명	건	건
가중치	30	30												20	10		10
최종목표	2	2			1						2	3	0.8	11	2		5
연구기간내 달성실적	1	1			1						2	3	0.8	21	3		6
달성율(%)	50	50			100						100	100	100	100	100		100

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	간척농지 발작물 재배를 위한 최적 물관리 시스템
②	간척지 저비용/고효율 최적 토양관리기술
③	간척지 고부가 최적 작물선정 및 작부체계
④	간척농지에 최적화된 스마트 물관리 계측/제어시스템

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화흡수	외국기술 개선개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장에로 결	정책 자료	기타
①의 기술					v			v		
②의 기술					v	v		v	v	
③의 기술					v					
④의 기술					v			v		

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 적정 수량을 산정하고 토양관리 방법을 제시함으로써 간척농지에 투자되어야 할 생산기반 시설비의 타당성 및 적절한 기준을 제시하여 투자에 대한 의사결정 시 기초적 자료로 활용 ○ 관개기술 가이드라인 제시를 통해 최적의 성능과 기능을 발휘할 수 있도록 기본 계획 수립이나 설계 및 시공 그리고 유지보수에 적용 ○ 간척지내 관개시스템 개발에 따라 정밀한 관개계획 수립 및 체계적·과학적인 물 관리로 용수과잉사용을 억제하고, 용수손실 최소화 가능함
②의 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 간척지 저비용/고효율 최적 토양관리 가이드라인을 제시함으로써 농업 관계자들의 의사결정을 위한 기초적인 자료 제공 ○ 간척지 무굴착 암거 공법 선택 시 시공방법, 재료비, 노무비 등의 적정소요비용을 제시함으로써 농업 관련 종사자들의 간척지 포장 조성 설계의 접근을 보다 용이하게 적용할 수 있도록 기초 자료로써 활용

③의 기술	○ 간척농지 타작물 재배를 위한 매뉴얼 및 작부체계 제공 및 활용 ○ 간척농지에서 원예 및 약용작물 재배를 통한 생육결과와 그에 따른 기능성물질 함량 결과를 제시함으로써 향후 작물선정 시 기초자료로 제공 ○ 실증 연구 및 경제성분석 결과를 통해 간척농지 재배 시, 종합 시뮬레이션 자료 제공
④의 기술	○ 간척지 토양의 스마트 물관리를 위한 토양수분함량 기반의 물관리 알고리즘 ○ 간척지 근권환경 모니터링 시스템 개발 및 제어시스템 시제품 개발

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)	
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문 SC I	비 SC I	논문 평균 IF			학술발표	정책 활용		홍보 전시
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건		명				
가중치	30	30											20		10		10			
최종목표	2	2		4	40	1	250					2	2	0.8	11		2	1	5	
연구기간내 달성실적	1	1				1						2	3	0.8	20		3		6	
연구종료 후 성과창출 계획				4	40	1	250						2	3			1			

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾			
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간		실용화예상시기 ³⁾	
기술이전시 선행조건 ⁴⁾			

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리
통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술 이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.