

320050-3

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

농업기반 및 재해대응기술개발사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004354-01

# 기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 및 적용 기술개발

2023. 05. 17

주관연구기관 / 한국농어촌공사 농어촌연구원  
협동연구기관 / 미래농촌기술연구소

농림축산식품부  
(전문기관)농림식품기술기획평가원

고효율 암거 및 적용 기술개발  
기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용

농림축산식품부  
농림식품기술기획평가원

제출문

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 및 적용 기술개발”  
(개발기간 : 2020. 4. 29. ~ 2022. 12. 31.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2023. 05.17

주관연구기관명 : 한국농어촌공사 농어촌연구원 (대표자) 서상기



협동연구기관명 : 미래농촌기술연구소 (대표자) 김현태



주관연구책임자 : 농어촌연구원 박영준

협동연구책임자 : 미래농촌기술연구소 김현태


국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서										보안등급				
										일반[√], 보안[ ]				
중앙행정기관명		농림축산식품부			사업명		사업명			농업기반 및 재해대응기술개발사업				
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원			사업명		내역사업명 (해당 시 작성)			농업용수 및 기반시설 관리 효율화기술				
공고번호		제 농축2020-99호			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)									
					연구개발과제번호		320050-3							
기술 분류	국가과학기술 표준분류		LB0903		40%		LB0902		40%		LB0999		20%	
	농림식품과학기술분류		RA0199		40%		RA0103		40%		RA0101		20%	
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문												
		영문												
연구개발과제명		국문		기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 압거 및 적용 기술개발										
		영문		Development of low-cost/high-efficiency culvert drainage system and application technology for multipurpose utilization of paddy fields with against meteorological disasters at the reclaimed tidal land										
주관연구개발기관		기관명		농어촌연구원			사업자등록번호		134-82-04362					
		주소		경기 안산 상록구 해안로870			법인등록번호							
연구책임자		성명		박영준			직위		책임연구원					
		연락처		직장전화		휴대전화								
				전자우편		국가연구자번호								
연구개발기간		전체		2020. 04. 29 - 2022. 12. 31( 2년 9개월)										
		단계		1단계		2020. 04. 29 - 2021. 12. 31( 1년 9개월)								
		(해당 시 작성)		2단계		2022. 01. 01 - 2022. 12. 31( 1년 개월)								
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비		기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계		연구개발비 외 지원금		
		현금		현금		현물		지방자치단체		기타( )				
총계		712,000		6,475		210,275				718,475		210,275	928,750	
1단계		1년차		194,000		-		65,000		194,000		65,000		259,000
		2년차		259,000		-		87,000		259,000		87,000		346,000
2단계		1년차		259,000		6,475		58,275		265,475		58,275		323,750
		n년차												
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명		책임자		직위		휴대전화		전자우편		비고		
												역할		
												기관유형		
공동연구개발기관		농촌기술연구소		김현태		소장						공동		
		공주대학교		박찬기		교수						위탁		
위탁연구개발기관		삼백영농조합		최재관		대표						위탁		
												기타		
연구개발기관 외 기관														
연구개발담당자 실무담당자		성명		박영준			직위		책임연구원					
		연락처		직장전화		휴대전화								
				전자우편		국가연구자번호								


이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023년 5월 17일

연구책임자: 박 영 준 (인) 

주관연구개발기관의 장: 한국농어촌공사 농어촌연구원 (직인) 

공동연구개발기관의 장: 미래농촌기술연구소 (직인) 

위탁연구개발기관의 장: 공주대학교 산학협력단 (직인) 

위탁연구개발기관의 장: 삼백영농조합 (직인) 

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

## < 요약 문 >

사업명	농업기반 및 재해대응기술개발사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)	농업용수 및 기반시설 관리 효율화기술			연구개발과제번호		320050-3	
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0903	40%	LB0902	40%	LB0999	20%
	농림식품 과학기술분류	RA0199	40%	RA0103	40%	RA0101	20%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명	기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 및 적용 기술개발						
전체 연구기간	2020. 04. 29 - 2022. 12. 31( 2년 9개월)						
해당 단계	2단계						
총 연구개발비	총928,750천원 (정부지원연구개발비: 712,000천원, 기관부담연구개발비: 216,750천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)						
해당 단계	총323,750천원 (정부지원연구개발비: 259,000천원, 기관부담연구개발비: 64,750천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)						
연구개발단계	기초[ ] 응용[ ] 개발[√] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]			기술성숙도 (해당 시 작성)		착수시점 기준(2단계) 종료시점 목표(6단계)	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 정부의 농지범용화 확대정책 지원을 위해, 기상재해에 대비가 가능한 저비용 고효율 지하암거 공법개발, 표준화 및 실증연구를 통한 간척지 논 기반의 범용화 기술 개발</li> </ul>				
	전체 내용		<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 본 연구는 간척지에 발작물 재배를 위하여 기상재해(습해, 가뭄, 염해, 토양고결)에 대비가 가능한 저비용 (무굴착식) 고효율 (지표잔류수배제 + 지하배수 + 지하관수 + 토양개량) 지하암거 공법 개발, 표준화 및 실증연구를 통한 간척지 논 기반의 범용화 기술 개발하기 위한 것임</li> <li>◦ 이를 통하여 기존 굴착식공법과 비교하여 지하배수효율 175 % 향상, 재염화율 20 % 이하 달성 및 저비용 고효율 지하암거 공법 설치 비용을 기존 굴착암거 공법과 비교하여 70 % (개발 저비용 고효율 지하암거 공법 비용/기존 굴착식 암거공법 비용 × 100 (%)) 이하를 달성하고자 함</li> </ul>				
	1단계[2]	목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 건기 가뭄과 재염화방지를 위한 지하수위 조절형 지하암거의 용수낭비를 방지할 수 있는 지하관수+배수암거공법 요소기술 및 적용기술 개발</li> <li>◦ 강우시 지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 요소기술 및 적용기술 개발</li> </ul>				
내용		<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 지하관수+배수암거공법 요소기술 및 적용기술 개발</li> <li>(1) 요소기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수치해석을 통한 모관공급수 저류시트형 암거를 이용한 지하관수+배수암거공법 요소기술 개발 및 실험변수 결정</li> <li>- 모관공급수 저류시트형 암거 공법 요소기술 개발을 위한 실내 모형 실험실시 및 수치해석결과 검증</li> <li>- 수치해석결과와 실내 모형시험결과를 이용한 모관수저류 시트형 암거공법 요소기술 최적화</li> </ul> </li> <li>(2) 적용기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 무굴착 공법 적용을 위한 암거 및 모관수저류시트 동시 적용 공법 개발</li> </ul> </li> </ul>					

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1차 실증단지 조성을 위한 계획 수립 및 설계</li> <li>- 암거공법 적용을 위한 매뉴얼 조사 및 분석</li> <li>(3) 간척지 1차 실증단지의 현장조사 및 모니터링</li> <li>◦ 지하관수+배수암거공법 요소기술 및 적용기술 개발</li> <li>(1) 요소기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수치해석을 통한 강우시 지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 요소기술 개발 및 실험변수 결정</li> <li>- 실내 모형 실험실시 및 수치해석결과 검증</li> <li>- 수치해석결과와 실내 모형시험결과를 이용한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 요소기술 최적화</li> </ul> </li> <li>(2) 적용기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 강우시 지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거의 무굴착 공법 적용기술 개발</li> <li>- 1차 실증단지 (모관수 저류형 시트 지하암거 공법 적용) 시공 및 현장 실증시험 실시</li> <li>- 2차 실증단지 조성을 위한 계획 수립 및 설계</li> <li>- 모관수 저류시트형 지하암거공법 매뉴얼 작성 및 지표잔류수 지하흡수공 지하암거 공법 실증단지 설계 지원</li> </ul> </li> <li>(3) 간척지 1차 실증단지의 작물 재배 및 생육성 조사 및 2차 실증단지의 현장조사, 모니터링</li> </ul>
	2단계[3]	목표	◦ 간척농지 투수성개선을 위한 고효율 심토파쇄 개발 및 고효율 암거 공법 표준화, 제품화 및 기술이전
		내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 심토파쇄 개발 및 고효율 암거 공법 표준화, 제품화</li> <li>(1) 심토파쇄 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 간척농지 투수성개선을 위한 고효율 심토파쇄 공법 개발</li> <li>- 간척지 토양 종류에 적합한 저비용 고효율 심토파쇄기법 정립</li> </ul> </li> <li>(2) 기상재해 대비 간척지 논 범용화 저비용 고효율 암거 공법 표준화, 제품화 및 기술이전</li> <li>(3) 기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 개발</li> <li>(4) 작물의 생육 상황 분석·생산성 조사 등을 통한 경제성 분석 실시</li> </ul>

연구개발성과	<p>&lt;전략성과&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 건기 가뭄, 재염화 대비 간척지 논 범용화를 위한 범용 지하관수+배수 암거공법 개발</li> <li>◦ 집중호우 시 지하흡수공 기능이 있는 지표(잔류수)+지하배수 암거시스템 개발</li> <li>◦ 간척지 토양의 투수성개선을 위한 저비용 심토파쇄 및 토양개량 공법 개발</li> <li>◦ 기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 개발</li> </ul> <p>&lt;핵심성과&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ (사업화지표) 특허등록 1건 이상, 기술이전 1건 이상</li> <li>◦ (연구기반지표) KCI급 3편 이상 게재, 국내/국외 학술대회 6건 이상</li> </ul>				
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 간척지 논을 범용화로 재배 작물의 다양화와 곡물수급조절</li> <li>◦ 집중호우 시 신속한 지표+지하배수와 건기 지하관수로 기후변화에 완벽한 대응</li> <li>◦ 곡물자급을 향상과 농가소득향상</li> </ul>				
국문핵심어 (5개 이내)	간척지	기상재해	범용화	지표잔류수 지하흡수공	모관공급수 저류시트
영문핵심어 (5개 이내)	Reclaimed land	Meteorological disasters	Farmland generalization	Surface residual water underground absorption tube	Capillary supply water storage sheet

## < 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요 .....	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용 .....	32
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 .....	33
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성) .....	226
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 .....	227
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 .....	228

별첨 자료 (참고 문헌 등)

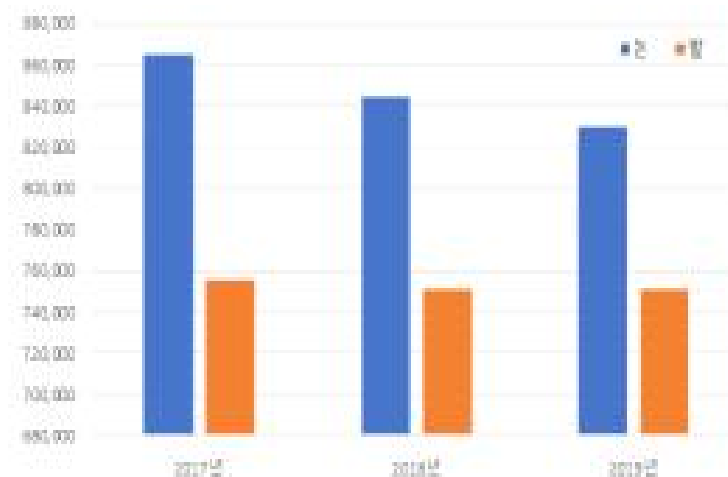
# 1. 연구개발과제의 개요

## 가. 연구개발의 필요성

- 2019년 통계청 자료에 따르면, 1인당 쌀소비량은 2010년 기준 72.8 kg이었으나 2019년 기준 59.2 kg으로 9년간 13.6 kg 감소하였으며, 국내 1인당 연간 쌀소비량이 지속적으로 감소하고 있는 추세임. 이에 따라 쌀을 재배하는 논 경지면적도 지속적으로 감소하여 2017년 기준 864,865 ha에서 2019년 기준 829,778 ha로 2년간 35,087 ha 감소함. 전체 경지면적이 2017년 기준 1,620,796 ha이며 2019년 기준 1,580,957 ha로 보면 논 경지면적이 차지하는 비율은 2017년 53.36 %에서 2019년 52.49 %로 감소함.
- 밭 경지면적은 2017년 기준 755,931 ha에서 2019년 기준 751,179 ha로 2년간 4,752 ha 감소하였으나, 전체 경지면적과 비교하면 밭 경지면적은 증가하는 추세를 보이고 있음. 전체 경지면적이 2017년 기준 1,620,796 ha이며 2019년 기준 1,580,957 ha로 보면 밭 경지면적이 차지하는 비율은 2017년 46.64 %에서 2019년 47.51 %로 증가함.



<Fig. 1-4> 1인당 연간 쌀소비량(kg)

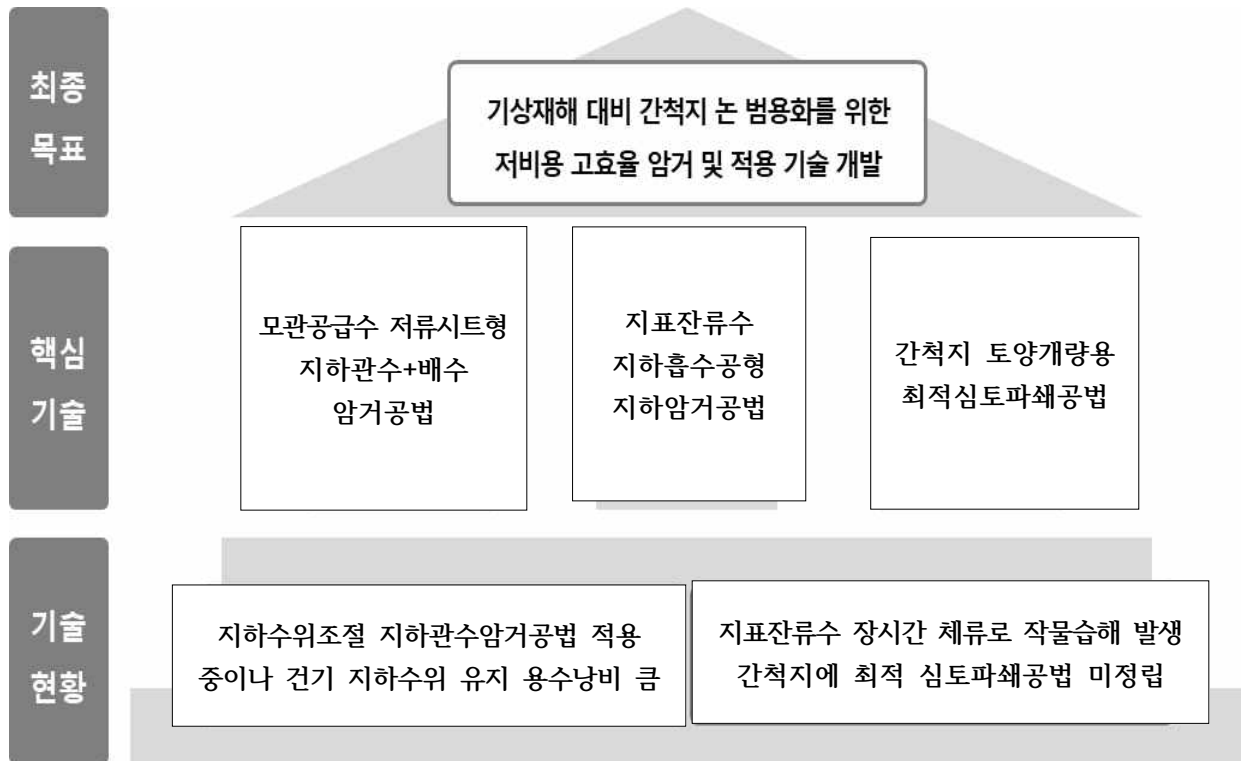


<Fig. 1-5> 전국 논밭 경지면적(ha)

- 농림축산식품부는 식량분야 정책사업으로 논 타작물 재배 지원사업을 추진하여, 논 20,000 ha에 비해 대신 다른 소득작물 재배를 유도하여 논 재배면적을 감소시키고자 함. 적정 쌀 재배면적을 확보하여 쌀 과잉문제를 선제적으로 대응하고자 함



- 쌀 생산면적은 2018년 기준 논 730.1천 ha, 밭 7.6천 ha에서 생산되어 논 면적 중에서 87.7 %에서 벼를 생산하고 있는 것으로 나타남
- 실제로 정부는 논에서 타작물 재배 확대를 위해 ‘논 타작물 재배지원사업’을 실시하고 있음. 이것은 기존에 벼 농사를 짓던 농지에서 다른 작물을 재배하면 기존에 따라 지원금을 주는 정부 사업임. 하지만 2018년 논 타작물 재배 실적은 목표 대비 66 %에 불과함 (목표 면적 5 만ha, 실제 타작물을 재배한 면적 2.6 만ha)
- 논에서 타작물 재배현황은 ( ‘00) 5.6 % (62,518 ha) → ( ‘10) 5.9 % (55,378 ha) → ( ‘15) 5.3 % (44,845 ha) → ( ‘18) 7.1 % (55,437 ha)로 정부의 타작물 재배 권장을 위한 정책적 지원에도 불구하고 매우 낮은 상황임
- 정부의 쌀 수급조정과 자급을 향상 정책 지원을 위하여 앞으로 배수개선 대상면적 중에서 사업이 이루어지지 않은 잔여면적 92.1천 ha에 중에서 50천 ha는 타작물재배를 위한 배수개선을 추진하고, 나머지 42.1천 ha 벼 재배 배수개선 사업 추진을 골자로 배수개선사업을 개선코자 하고 있음
- 또한, 식량자급률 제고대책의 일환으로 자급률 목표를 재설정하고 품목별 대책을 추진 중에 있으나, 밭작물 재배기반은 여전히 취약하여 목표달성에 어려움을 겪고 있는 실정임. 식량자급률과 곡물자급률은 2015년 기준, 각각 50.2 %, 23.8 %로 목표인 57 %, 30 % 달성에 실패했고, 2020년 목표인 60 %, 32 % 달성도 불투명한 상황임.
- 간척지 농지도 설계당시에는 쌀을 재배하기 위한 논으로 설계하였으나 상기와 같은 쌀소비량 감소 및 정책사업 등으로 인하여 밭작물재배가 요구되고 있음. 하지만, 경작지로서 간척지를 이용하고자 할 때 제염과 토양개량이 가장 중요한 요소이며, 이용성을 높이기 위하여 밭으로 이용하기 위해서는 토양의 특성을 정확히 파악하고 이에 따른 합리적인 토양관리 대책을 강구하여야 함
- 간척지 논은 특징은 대구획으로 저지대에 위치하여 있고 지하수위가 20 ~ 50 cm로 높아 배수 정도가 불량하며, 토양이 환원상태로 유지되기 쉬움. 또한, 지형적인 영향으로 장마철에 침수될 우려가 있어 지하배수도 필요하지만, 장변이 길고 평지로 경지내 지표잔류수가 오래 지속되므로 지표잔류수의 배수를 촉진하는 기술도 필요함
- 반면 건기에는 물공급이 필요한데 담수관개를 하는 논과 달리, 간척지 대규모 밭에 지표관수는 관수시설의 설치, 이동, 철거 문제와 관수 후 표층토양 고결 문제 등의 어려움이 많아 간척지에 적합한 저비용의 지하관수기술의 개발 도입이 필요함
- 또한, 건기 지하염수의 모관상승으로 토양염도가 다시 증가하는 재염화가 발생하여 작물생육불량 및 탈수에 의한 작물 고사 등의 문제가 있어, 재염화 방지를 위해 토양수분을 상시 관리할 수 있는 지하관수기술도 필요함
- 따라서, 본 연구에서는 기상재해 (습해, 가뭄, 염해)를 방지할 수 있는 5가지 기능 (지표잔류수 배제, 지하배수, 지하수위조절 지하관수, 재염화방지)이 있는 저비용 고효율의 기상재해 대비 지하암거공법의 개발을 목표로 함



<Fig. 1-6> 기술개발의 개요

## 나. 핵심기술

- 본 연구에서 지하배수 (소요암거간격 5 m 이상)는 물론 지하관수 (1 ~ 2 m 이내)기능을 효율적으로 할 수 있는 ① 고효율 무굴착 모관공급수 저류시트를 이용한 지하관수 + 배수암거시스템 (최적 암거모양, 간격, 심도 등)을 개발 · 정립하고, 지표배수도 병행할 수 있는 ② 모관공급수 저류시트를 이용한 지하관수 + 지표잔류수 지하흡수공 + 배수암거시스템 + 무굴착 지하암거공법을 개발할 것임. 또한 이들 기술을 저비용으로 실현하기 위하여 ③ 무굴착식 암거공법을 개발 도입할 계획임. 본 기술을 적용한 테스트베드를 조성하여 성능을 확인하여, 기상재해 대비가 가능한 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 및 적용기술을 개발하는 것이 목적임

## 다. 국내 · 외 연구개발 현황

### (1) 국내현황

#### (가) 기술현황

- 정부에서는 간척지를 다양한 용도로 활용할 수 있도록 하기 위하여 “대규모 간척지 활용 기본 구상 (2010, 농어촌연구원)” 을 마련하여 화옹지구 등 12지구 총 54,379 ha 중 30,394 ha를 첨단 수출농업, 축산, 일반 원예단지 조성 등 간척지 발작물 재배에 대한 정착사업을 추진하고 있음

<Table 1-2> 간척지별 활용 기본구상도

지구명	간척지 농업적 활용								
	합계 (ha)	침단수출 원예	일반원예 단지	채종단지	친환경 축산단지	농식품가공 및 물류지원	관광농업 단지	생태환경 단지	복합곡물 단지
화옹	4,482	200	400	677	800	174	84	79	2,068
시화	3,636	300	116	100	650	120	10	441	1,899
석물	1,968	200	288	451	534	20	30	120	325
이원	847	300	-	-	113	10	10	-	414
남포	825	-	61	-	140	5	20	-	599
삼산	283	-	-	-	22	3	-	13	245
고흥	2,057	200	-	-	67	20	10	-	1,760
군내	464	-	-	-	-	-	-	-	464
보전	213	-	-	-	-	-	-	-	213
영산강Ⅲ-1	3,093	130	220	-	-	44	30	-	2,669
영산강Ⅲ-2	3,956	170	-	-	100	39	-	-	3,647
새만금	8,570	1,500	1,100	305	574	1,101	200	-	3,790
계	30,394	3,000	2,185	1,533	3,000	1,536	394	653	18,093

- 2008년 한국농어촌공사 농어촌연구원에서는 간척지 다각적 활용방안 연구를 실시하여 간척지에 경쟁력 있는 받기반 조성기술 개발, 간척지 작목선정 및 최적 작부체계 평가 및 간척지 받이용 경제성 분석 및 방향제시 하였음
- 2009년 한국농어촌공사와 한국농촌경제원에서는 간척지의 효율적 활용방안 연구를 실시하여 간척지의 농업적 활용에 대한 기본구상 제시, 간척지의 재배작물 선정 및 평가 및 간척지의 용도별 토지이용 배분에 대한 연구를 실시하였음
- 2010년 한국농어촌연구원에서는 간척지 받기반 조성 계획설계요령에 대한 연구를 실시하여 간척지 다각적 활용 정책추진을 위한 기술적 근거 확보 및 간척지 받기반 조성에 필요한 설계, 시공, 유지관리 기준마련에 대한 연구를 실시하였음
- 간척농지에 대한 연구는 간척농지를 논에서 밭으로 범용화의 필요성을 제시하고 있음. 즉 다각적 활용을 위한 기존 연구들은 간척농지의 밭작물 재배 가능토록 하기 위한 조성 기술 및 기술적, 정책적 지원방안 모색 등을 제시하고 있음. 그러나 경제성과 성능이 우수한 농지범용화 방법 및 기술에 대한 내용에 대한 연구는 아님
- 간척농지를 포함한 논외의 범용화를 위하여 가장 필요한 것으로 배수관리 방법이 있으며, 현재 다양한 암거·명거배수시설 설치방법에 대한 기술개발 및 연구가 진행되어 왔음
- 하지만, 기존 간척지는 논 위주로 개발된 상태에서 쌀 수급조절을 위하여 타작물재배를 권장하고 있으나 우기에 밭작물 습해는 물론 건기에 지하염수의 모관상승에 의해 재염화로 염해가 발생되며, 가뭄 시 논과 달리 저류식 관수가 불가하므로 밭작물 지표관수에 농민들의 애로사항이 많음
- 상기와 같은 간척지에서의 밭작물의 습해를 방지하기 위한 비굴착식 지하암거시스템의 개발 및 용수로를 활용한 지하관수시스템의 개발이 필요한 실정임

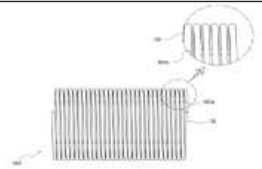
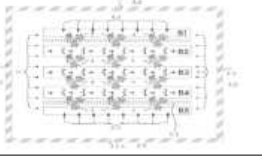
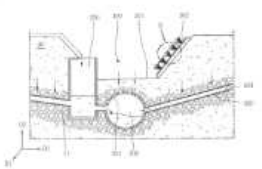
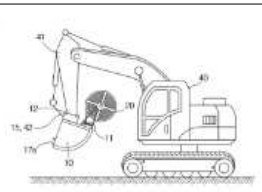
## (나) 시장현황

- 쌀 수급 안정화와 타작물 식량자급률 제고를 위한 생산조정제 시행('18, 농식품부)
  - 쌀 수급균형 달성을 위해 논에 벼 이외 밭작물 재배를 확대하여 벼 재배면적을 적정 수준으로 유지하고 품목별 자급률을 전반적으로 제고
  - \* 추진규모: ('18) 5만 ha → ('19) 10만 ha 기존 5만 + 신규 5만
  - \* '18년 계획: 두류 (콩, 녹두, 팥 등) 15천 ha, 일반·꽃거름 작물 20, 조사료 15
  
- 밭작물 생산 확대를 위한 식량산업 중장기 발전대책 수립 ('16, 농식품부)
  - 정책목표 ('20): 식량자급률 15.2 % → 소요 경지면적 175만 ha (16만 ha 부족)
  - \* 생산량 (재배면적): ('15) 570천 톤 (202천 ha) → ('20) 819천 톤 (301천 ha)
  
- 농경지 면적은 연간 0.96 %씩 감소하고 있으며, 경지이용률도 지속적으로 감소 추세
  - 밭작물은 대외 경쟁력이 낮아 식량 자급률은 10 % 수준
  - \* 식량작물 경지이용률: ('75) 124.2 % → ('85) 103.4 % → ('90) 98.9 % → ('14) 97.1 %
  
- 우리나라 연 강수량의 2/3 정도가 6 ~ 8월 사이에 집중되어 논에 밭작물 재배 시 침수와 토양 과습에 의한 습해 발생으로 밭작물 생산성 저하
  - 일 80 mm 이상 집중호우 발생일수 70년대 대비 2배 증가
  - 습해 수량 감수율: 7일 이상 과습상태 지속 시 콩 42 % 참깨 33 %
  
- 밭작물의 수요와 부가가치 향상으로 논에서 밭작물 재배면적이 매년 증가되고 있는 추세이나 밭작물의 안정생산을 위한 배수개선 생산기반이 매우 취약한 실정임
  - 배수불량 논은 144,187 ha로 전체 논의 12.5 % 차지, 범용화 가능 논 면적 104천 ha (26 %)
  - 논토양 배수개선 사업: 대상면적 302.7천 ha 중 172천 ha 시행 완료하여 56.8 %에 불과

## (다) 지식재산권현황

- 논외 범용화를 위하여 본 연구에서 고려하고자 하는 국내 암거배수암거 관련 특허는 대부분 굴착식 암거배수 시스템으로 시공성 및 효율성이 떨어짐. 시공성 및 효율성 장점을 가지는 무굴착식 암거배수 시스템의 경우는 포설장치 및 포설방법에 관한 특허로 토립자 유입으로 인한 암거 폐색에 대한 문제점을 해결하지 못하고 있음. 암거배수 시스템에 대한 국내 지적재산권 현황은 <Table 1-3>와 같음

<Table 1-3> 암거배수관 관련 특허

특허명	등록번호	세부내용	비고
식물 재배용 나선 암거배수관	10-1376239	•식물 재배 시 재활용과 관, 배수가 동시에 가능한 암거배수관을 이용하여 관, 배수 효율 증진 및 암거배수관의 재활용성 증대시킨 식물 재배용 나선 암거배수관	
식물의 습해예방을 위한 암거배수방법	10-0002395	•물빠짐이 불량하여 물의 뿌리생육을 저해하는 토양내 습해를 예방하여 뿌리의 생육을 촉진하고 유해물질의 배수를 원활하는 방법(집수정 및 양수펌프 필요)	
지하수위 저하용 배수장치 및 이를 포함하는 배수시스템	10-1492010	•토지로 유입되는 물과 토지내부의 물을 배수 할 수 있어, 지하수위가 감소될 수 있고, 복수의 암거에 의하여 유입부의 깊이를 상대적으로 줄일 수 있으므로, 시공이 간편하며 작물재배를 위한 면적을 증가시킴	
튜브형 배수 암거 포설장치 및 이를 이용한 배수 암거 포설방법	10-1148398	•간척지와 같은 저습지의 지반에 함유된 잉여수 제거용 튜브형 배수암거를 배수로의 구축과 동시에 신속하고도 효율적으로 포설할 수 있는 지반 잉여수용 튜브형 배수 암거 포설장치 및 이를 이용한 튜브형 배수 암거 포설방법	

(라) 표준화 현황

○ 암거배수에 대한 표준화 현황을 살펴보면, 농림축산식품부 (한국농어촌공사)에서는 범용농지 조성을 위한 연구결과를 토대로 지하배수를 위한 암거설계에 대한 조사, 설계, 시공 및 유지관리에 관한 실무적인 내용을 담은 「범용농지 배수암거 조사·설계 실무요령」을 2015년에 발간하여, 배수암거에 대한 표준화를 진행하였음

(1) 국외현황

○ 일본의 농지범용화는 1965년 후반부터 농산물의 국제수급 불안 해결을 위해서 농업농촌정비사업으로 전개하였으며, 1970년부터 전작과 윤작이 가능한 범용농지 본격 추진하였음. 농지범용화 추진방법은 논에서 벼 뿐만 아니라 필요에 따라 사료작물, 채소 등 밭작물 재배가 가능하도록 논의 배수기능을 확대하는 것으로 실시함. 일본의 경우는 논면적 247만 ha 중 106만 ha 범용화 (42.9 %)를 추진하였음



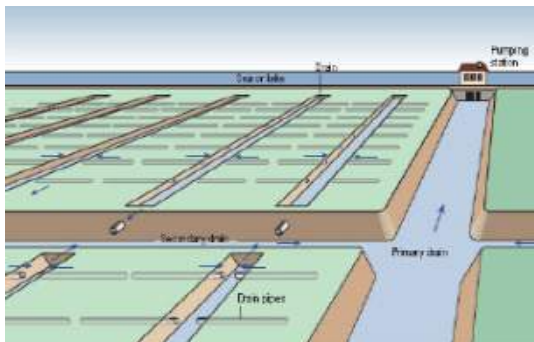
<Fig. 1-7> 2011년 일본의 논범용화 현황

- 논의 범용화 효과는 경지이용률이 향상 (94 % → 104 %), 생산비 (40%↓)절감 및 노동력 절감 (60%↓) 효과가 발생하였음. 일본의 농지범용화 방법으로는 암거배수를 이용함
- 암거배수는 수위조절계를 이용하여 설정수위 이상이면 배수하여 수위를 낮추며, 설정수위 이하로 낮아지면 관수를 실시하여 수위를 높여 과도한 수분 및 가뭄을 효율적으로 조절할 수 있음



<Fig. 1-8> 일본의 지하암거배수시스템

- 또한 우리나라와 일본의 간척지 조성목적은 수도작 중심의 논 조성이었으나 일본은 70년대 이후부터는 밭으로만 개발하여 왔음 우리나라도 90년대 후반부터는 국제농업의 환경변화에 따라 간척지를 수도작 이외에 밭작물 재배지로의 개발을 추진하고 있음
- 네덜란드는 간척초기부터 원예중심의 밭 조성과 낙농위주의 개발을 해왔으며, 간척농지 조성방식에 있어서는 우리나라는 객토를 병행한 개수로 중심의 무암거 방식으로 조성한 반면 일본과 네덜란드는 관수로 중심의 암거배수를 이용한 기반조성을 실시하였음



<Fig. 1-9> 내덜란드의 배수시스템

- 중국의 경우 1960년대 이후 대규모 맹거 배수 시스템뿐만 아니라 암거 배수 등 시스템을 구현하고자 연구와 실험을 강화하고 있으며, 그 결과 침수문제해결을 위해 암거배수를 실시하고 일반적인 암거 깊이는 0.5 ~ 1.0 m이며 암거간격은 다양하지만 주로 20 m로 설치되고 있음



<Fig. 1-10> 중국의 암거배수

## 라. 연구개발의 중요성

### (1) 기술적 필요성

- 국내의 기후변화로 인해 홍수와 가뭄이 잦아지고 있으며, 간척지의 경우 장마철에 토양수분이 높고 지표잔류수가 장시간 지속되므로 배수축진이 필요하며, 가뭄시 작물 시듦과 재염화로 인한 염해의 피해가 심각하므로 적기에 관수가 필요함

### (2) 경제산업적 필요성

- 최근 농지이용구조가 변화되면서 밭작물의 지위가 높아지고 있으며, 통계청의 2018년 경지면적 조사 결과에 따르면 2009년 전체 경지면적 중 논이 차지하는 비중은 58.1 %이었으나, 2018년 52.9 %로 5.2 % 감소하였고, 밭이 차지하는 비중은 41.9 %에서 47.1 %로 5.2 %로 증가함
- 또한 논에서 밭으로 전환된 경지면적은 2018년 18.9천 ha로 밭에서 논으로 전환된 경지 3.6 천 ha보다 약 4.4배 많은 것으로 조사 되었으며, 2018년 농림업생산지수에 따르면 밭작물의 생산금액은 약 21조 6,000억원으로 미곡 생산금액 8조 4,000억원 보다 약 2.5배 높은 것으로 조사되었음
- 간척지의 논 역시 밭작물재배를 실시할 경우 농가소득이 증가할 것으로 판단되나, 장마철의 지표잔류수, 가뭄시의 염해 등 간척지 논을 단점을 보완하기 위해 암거배수 및 지하관수시스템이 필요함

### (3) 사회문화적 필요성

- 쌀과잉 생산으로 인해 간척지 논을 범용화를 통한 재배 작물의 다변화 체계 구축에 따른 소득 증가로 인한 농업인의 삶의 질 향상이 필요함
- 산업적으로 이용 간척지 논을 범용화하여 밭작물의 재배를 통하여 안정적인 판매처의 확보 및 고부가가치화를 통하여 농업인의 안정적 수입원으로의 자리매김이 필요함

## 다. 연구개발의 목표

### (1) 최종목표

- 최종목표: 본 연구는 간척지에 발작물 재배를 위하여 기상재해(습해, 가뭄, 염해, 토양고결)에 대비가 가능한 저비용 (무굴착식) 고효율 (지표잔류수배제 + 지하배수 + 지하관수 + 토양개량) 지하암거 공법개발, 표준화 및 실증연구를 통한 간척지 논 기반의 범용화 기술 개발하기 위한 것임. 이를 통하여 기존 굴착식공법과 비교하여 지하배수효율 175 % 향상, 재염화율 20 % 이하 달성 및 저비용 고효율 지하암거 공법 설치 비용을 기존 굴착암거 공법과 비교하여 70 % (개발 저비용 고효율 지하암거 공법 비용/기존 굴착식 암거공법 비용 × 100 (%)) 이하를 달성하고자 함.
- 설정근거: 새만금 간척지를 포함해 국내에 많은 간척농지에 농가 소득원의 다양성 확보 및 향상을 위하여 논에서 발작물 재배가 가능한 논 범용화 기술개발이 절실한 실정임. 그러나 간척농지의 경우 토양환경 특성상 습해, 가뭄, 염해 등 다양한 기상재해로 인한 고소득 발작물 재배가 어려운 실정임. 따라서, 기상재해에 대비 가능하며 농가의 소득을 향상 시킬 수 있는 논외 범용화를 위한 저비용, 고효율 기술로 성공적 개발이 절실함

### (2) 기관별 세부목표

구분	세부내용
세부목표 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 (지표잔류수배제+지하배수+지하관수+토양개량) 암거공법 요소 기술 개발</li> <li>• 간척지 논에 실증단지 (0.5 ha × 2 개소)에서 작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사 등을 통한 경제성분석 실시</li> </ul>
참여기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 한국농어촌공사 농어촌연구원 (주관), 삼백영농조합법인 (위탁)</li> </ul>
핵심내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건기 가뭄과 재염화방지를 위한 지하수위 조절형 지하암거의 용수낭비를 방지할 수 있는 모관공급수 저류시트형 암거를 이용한 지하관수+배수암거공법 요소 기술개발</li> <li>• 강우시 지표 잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 요소기술 개발</li> <li>• 간척지 논에 실증단지 (0.5 ha × 2 개소)에서 콩, 옥수수 등 수입대체작물 실증 재배, 작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사</li> <li>• 간척농지 투수성개선을 위한 고효율 심토과쇄 공법 개발 및 작물의 생육 상황 분석 · 생산성 조사 등을 통한 경제성 분석 실시 (LCC 분석: 생애주기 비용 분석 포함)</li> </ul>
적용범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토양수분 이동 수치해석을 통한 모관공급수 저류시트형 지하관수+배수암거 요소기술개발</li> <li>• 실내요소실험을 통한 저류시트형 지하관수+배수암거의 최적조합 도출</li> <li>• 간척지에 적합한 고효율의 저류시트형 지하관수+배수암거공법 (암거모양 등) 요소 기술개발</li> <li>• 침투류해석을 통한 지표잔류수 지하흡수 (씽크홀) 기능형 지하배수 암거 요소기술개발</li> <li>• 실내요소실험을 통한 지표잔류수 지하흡수공+지하배수기능의 최적조합 도출</li> <li>• 지표잔류수와 지하배수를 동시에 할 수 있는 지표잔류수 지하흡수공 기능형 암거모양 등 지표배수 겸용 지하암거공법 요소기술 개발</li> <li>• 실증단지 콩, 옥수수 등 수입대체작물 실증 재배 및 작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사 (모관공급수 저류시트를 이용한 고효율 지하관수+배수암거공법 적용 실증단지)</li> <li>• 간척지 토양 종류별 심토과쇄기법 별 투수성개선효과 실내요소실험</li> <li>• 작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사 등을 통한 경제성분석 실시</li> <li>• 실증단지 콩, 옥수수 등 수입대체작물 실증 재배, 작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사 (지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 적용 실증단지)</li> </ul>



세부목표 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>•기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 (지표잔류수배제+지하배수+지하관수+토양개량) 암거공법 시공 기술개발</li> <li>•간척지 논에 실증단지(0.5 ha × 2 개소) 조성 및 실증시험</li> <li>•기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 개발</li> </ul>
참여기관	<ul style="list-style-type: none"> <li>•(주) 미래농촌기술연구소 (협동), 공주대학교 (위탁)</li> </ul>
핵심내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>•건기 가뭄과 재염화방지를 위한 지하수위 조절형 지하암거의 용수낭비를 방지할 수 있는 모관공급수 저류시트형 암거를 이용한 지하관수+배수암거공법 적용 고효율 저비용 (시공) 기술 개발</li> <li>•강우시 지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 적용 고효율 저비용 (시공) 기술 개발</li> <li>•간척지 토양 종류에 적합한 고효율 저비용 심토파쇄기법 정립 및 기상재해 대비 간척지 논 범용화 저비용 고효율 암거 공법 표준화, 제품화 및 기술이전</li> <li>•기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 고효율 저비용 암거공법 매뉴얼 개발</li> </ul>
적용범위	<ul style="list-style-type: none"> <li>•간척지에 적합한 고효율의 저류시트형 지하관수+배수암거공법 시공기술 (적정장비 선정 시공효율화 기술, 토성에 따른 공법 적용 가능성 분석, 최적화 및 표준화 등) 개발</li> <li>•실증단지 토양, 현장 조건 조사 및 분석 (토양의 물리적 특성 등)</li> <li>•기상재해 방지 고효율의 저류시트형 지하관수 + 배수암거공법의 간척지 실증 단지조성 계획수립 및 설계</li> <li>•건기 모관공급수 저류시트를 이용한 지하관수 + 배수암거공법 시험포 조성 및 성능실험</li> <li>•건기 모관공급수 저류시트를 이용한 지하관수 + 배수암거공법 시험포 조성 및 성능평가 및 개선기술 개발</li> <li>•지표잔류수와 지하배수를 동시에 할 수 있는 지표잔류수 지하흡수공 기능형 암거모양 등 지표배수 겸용 지하암거공법 시공기술 개발 및 최적화</li> <li>•지표잔류수 지하흡수 기능형 지하배수 암거공법 시험포조성 및 배수성능 실증실험</li> <li>•지표잔류수 지하흡수 기능형 지하배수 암거공법 평가 및 개선기술개발</li> <li>•간척지 토양 종류에 적합한 저비용 고효율 심토파쇄기법 정립</li> <li>•기상재해 대비 간척지 논 범용화 저비용 고효율 암거 공법 제품화 및 기술이전</li> <li>•기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 개발</li> </ul>

### (3) 연차별 연구개발 목표 및 내용

#### <1차년도>

- 주관연구기관(농어촌연구원) 및 위탁연구기관(삼백영농조합법인): 건기 가뭄과 재염화방지를 위하여 지하수위를 조절할 수 있는 모관공급수 저류시트를 이용한 지하관수+배수암거공법 요소 기술개발하는 것으로 세부 연구내용은 다음과 같음.
  - 수치해석을 통한 모관공급수 저류시트를 이용한 지하관수+배수암거공법 요소기술 개발 및 실험변수 결정: 수치해석을 통한 검증은 모관공급수 저류시트형 암거 요소기술의 다양한 변수를 수치해석을 통하여 결정.
  - 모형 실험실시를 통한 수치해석결과 검증: 수치해석을 통해 결정된 변수를 적용하여 실내모형 시험을 실시함. 이를 통한 수치해석결과 검증을 실시함. 또한 모관수저류형 시트의 물리, 역학적 특성 및 간척지 토양 내구성 평가를 실시할 것임.
  - 수치해석결과와 실내 모형시험결과를 이용한 모관수저류 시트형 암거공법 요소기술 최적화: 수치해석결과와 실내모형시험 결과를 이용하여 모관수저류 시트형 암거 요소기술의 최적화를 달성할 것임. 즉 현장 적용을 위한 최적화 기술을 개발할 것임.
  - 간척지 1차 실증단지의 현장조사 및 모니터링: 간척지 1차 실증단지의 현장 조사 및 모니터링을 실시할 것임. 현장 조사 및 모니터링은 공법 적용후 공법 효과의 검증 뿐만 아니라 작물재배환경을 평가하는 것도 포함함.
  
- 협동연구기관(미래농촌기술연구소) 및 위탁기관 공주대학교 산학협력단 : 건기 가뭄과 재염화방지를 위한 지하수위를 조절할 수 있는 모관공급수 저류시트형 암거를 이용한 지하관수+배수암거공법 적용 (시공) 기술 개발
  - 무굴착 공법 적용을 위한 암거 및 모관수 저류시트 동시 적용 공법 개발: 굴착공법이 아닌 무굴착 공법으로 적용하고자 함. 본 공법은 암거와 모관수 저류시트를 동시에 간척지 토양에 적용하여야 함. 따라서 이에 맞는 장비 선정, 추가적인 장비 개발과 공법을 개발할 것임. 또한 모관수 저류시트의 지하관수· 배수효과의 극대화 및 재염화 방지를 위한 최적 토양 깊이에 설치하기 위한 장비와 시공공법을 개발할 것임.
  - 1차 실증단지 조성을 위한 계획 수립 및 설계: 개발된 모관수 저류시트형 암거 공법의 실증 시험을 위한 간척지 Test-bed를 설계할 것임. 이때 공법의 최적화를 위한 요소기술시 적용한 시험변수 증 성능 및 사업화에 민감한 영향을 미치는 변수를 선정하여 Test bed에 적용하기 위한 설계를 실시할 것임. 민감한 변수는 수치해석 및 실내모형시험결과를 이용할 것임.
  - 암거공법 적용을 위한 매뉴얼 조사 및 분석: 국내외 적용하고 있는 암거 공법의 시공, 유지관리 매뉴얼 등을 조사 분석할 것이며, 기존 암거공법의 적용 후에 피해사례 등을 조사 분석하여 암거 적용시 문제가 되는 사항을 암거공법 매뉴얼에 적용하기 위한 내용을 평가할 것임. 또한 1차 실증단지 설계시 기존 암거공법의 문제점을 고려한 변수 반영하여 문제 해결을 위한 방향을 제시할 것임.

#### <2차년도>

- 주관연구기관(농어촌연구원) 및 위탁연구기관(삼백영농조합법인): 강우시 지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 요소기술을 개발하는 것으로 세부 연구내용

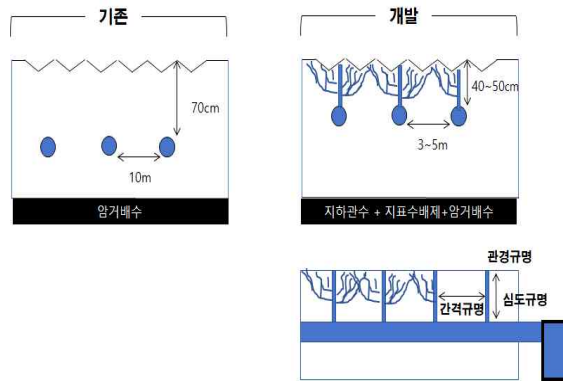
은 다음과 같음.

- 수치해석을 통한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 요소기술 개발 및 실험변수 결정: 수치해석을 통한 검증은 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 요소기술의 다양한 변수를 모든 실험을 토하여 평가하기 어려워 수치해석을 통한 실험변수 결정, 모형실험이 어려운 성능평가는 실증단지 설계 및 적용전 해석적으로 평가하기 위하여 수행함.
  - 실내 모형 실험을 실시함. 이를 통하여 수치해석결과를 검증: 수치해석을 통해 결정된 변수를 적용하여 실내모형 시험을 실시함. 이를 통한 수치해석결과 검증을 실시함. 또한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거의 물리, 역학적 특성 및 간척지 토양 노출 후 내구성 평가를 실시할 것임.
  - 수치해석결과와 실내 모형시험결과를 이용한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 요소기술 최적화: 수치해석결과와 실내모형시험 결과를 이용하여 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 요소기술의 최적화를 달성할 것임. 즉 현장 적용을 위한 최적화 기술을 개발할 것임.
  - 간척지 1차 실증단지의 작물지배 및 생육성 모니터링: 간척지 1차 실증단지의 작물재배 및 생육성 모니터링을 실시할 것임. 공법 적용후 토양의 물리적 성질을 평가하여 현장 공법 적용 전·후 공법의 효과를 검증할 것임. 특히 생육성 측면에서 검증할 것임.
  - 간척지 2차 실증단지의 현장조사 및 모니터링: 간척지 2차 실증단지의 현장 조사 및 모니터링을 실시할 것임. 현장 조사 및 모니터링은 공법 적용후 공법의 효과의 검증 뿐만 아니라 작물재배환경을 평가하는 것도 포함함.
- 협동연구기관(미래농촌기술연구소) 및 위탁기관 공주대학교 산학협력단 : 강우시 지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 적용 (시공) 기술을 개발하는 것으로 세부목표 및 내용은 다음과 같음.
- 무굴착 공법을 적용한 암거 및 지표잔류수 지하흡수공 동시 적용 공법 개발: 굴착공법이 아닌 무굴착공법으로 적용하고자 함. 본 공법은 암거와 지표잔류수 지하흡수공을 동시에 간척지 토양에 설치가 가능한 공법이어야 함. 따라서 이에 맞는 장비 선정, 추가적인 장비 개발과 공법을 개발할 것임. 지표잔류수 지하흡수공의 지표잔류수 배제 효과를 극대화하여 강우시 지표잔류수를 신속히 배제하여 습해 등으로 인한 작물의 피해를 최소화할 것임. 지표잔류수 지하흡수공을 설치하기 위한 장비와 시공공법을 최적화하여 개발할 것임.
  - 1차 실증단지 조성: 1차년도 설계한 간척지 실증단지를 시공할 것임. 즉 1차년도 개발된 모관수저류시트형 암거 공법을 이용하여 실증단지를 조성하여 현장시험을 실시할 것임. 현장시험은 지하관수 효과, 지하수위 조절효과, 배수효과 및 모관수저류시트와 지하암거의 지하관수, 배수 및 재염화 방지효과를 중점적으로 평가할 것임. 또한 설치간격, 설치위치에 따른 영향도 평가할 것임. 현장 시험을 통하여 실내시험, 수치해석의 검증 뿐만아니라 현장 적용을 위한 설치 방법 등의 최적화를 달성할 것임.
  - 2차 실증단지 조성을 위한 계획 수립 및 설계: 개발된 지표잔류수 지하흡수공 지하암거 공법의 실증 시험을 위한 간척지 Test-bed를 설계할 것임. 이때 공법의 최적화를 위한 요소기술을 적용한 시험변수 증 성능 및 사업화에 민감한 영향을 미치는 변수를 선정하여 Test bed에 적용하기 위한 설계를 실시할 것임. 민감한 변수는 수치해석 및 실내모형시험결과를 이용할 것임.
  - 모관수 저류시트형 지하암거공법 매뉴얼 작성: 1차년도 적용한 모관수 저류시트형 지하암거 공법

매뉴얼 작성. 실증시험결과와 시공공정 등을 고려한 최적의 적용 매뉴얼을 개발할 것임. 관련 전문가를 통한 검토를 통하여 매뉴얼 보완 등 실시할 것임.

- 지표잔류수 지하흡수공 지하암거 공법 실증단지 설계 지원: 지표잔류수 저류시트형 지하암거공법 변수 반영하여 실증단지 설계변수 적용방향과 시공공법 결정 분석 지원 등 설계지원

○ 본 연구에서 주관기관과 협동연구기관 및 위탁기관이 개발하고자 하는 경우시 지표잔류수 신속 배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법의 개념도는 다음과 같음.



### <3차년도>

○ 주관연구기관(농어촌연구원) 및 위탁연구기관(삼백영농조합법인): 간척농지 투수성개선을 위한 고효율 심토파쇄 공법 개발 및 작물의 생육 상황 분석·생산성 조사 등을 통한 경제성 분석 실시하는 것으로 세부 연구내용은 다음과 같음.

- 수치해석을 통한 간척농지 투수성개선을 위한 고효율 심토파쇄 공법 요소기술 개발 및 실험변수 결정: 수치해석을 통한 검증은 심토파쇄 공법 요소기술의 실험변수 결정, 모형실험이 어려운 성능 평가는 실증단지 설계 및 적용전 해석적으로 평가하기 위하여 수행함.
- 심토파쇄 공법 요소기술 개발을 위한 실내 모형 실험을 실시함. 이를 통하여 수치해석결과를 검증: 수치해석을 통해 결정된 변수를 적용하여 실내모형 시험 실시함. 이를 통한 수치해석결과 검증을 실시함.
- 수치해석결과와 실내 모형시험결과를 이용한 심토파쇄 공법의 최적화: 수치해석결과와 실내모형시험 결과를 이용하여 심토파쇄 공법 요소기술의 최적화를 달성할 것임. 즉 현장 적용을 위한 최적화 기술을 개발할 것임.
- 간척지 1차 실증단지 및 2차 실증단지 의 작물지배 및 생육성 모니터링: 간척지 1차 실증단지 및 2차 실증단지의 작물재배 및 생육성 모니터링을 실시할 것임. 공법 적용후 토양의 물리적 성질을 평가하여 현장 공법 적용 전·후 공법의 효과를 검증할 것임. 특히 생육성 측면에서 검증할 것임.
- 심토파쇄공법 적용에 따른 작물지배 및 생육성 모니터링: 간척지 1차 실증단지 내에 심토파쇄 공법 적용구역을 조성하여 작물재배 및 생육성 모니터링을 실시할 것임. 공법 적용후 토양의 배수성능 개선을 평가할 것임. 또한 심토파쇄공법 적용 전·후 공법의 효과를 검증할 것임. 특히 생육성 측면에서 검증할 것임.
- 작물의 생육 상황 분석·생산성 조사 등을 통한 경제성 분석 실시: 공법 적용에 따른 비용과 작물의 생산성 평가를 통한 경제성 분석을 실시할 것임. 이를 통화하여 공법 적용에 따른 사업성을 경제성 측면에서 평가할 것임.

- 협동연구기관(미래농촌기술연구소) 및 위탁기관 공주대학교 산학협력단 : 간척지 토양 종류에 적합한 저비용 고효율 심토파쇄기법 정립 및 기상재해 대비 간척지 논 범용화 저비용 고효율 암거 공법 표준화, 제품화 또는 기술 실시를 달성하는 것으로 세부목표 및 내용은 다음과 같음
  - 간척지 토양 종류에 적합한 저비용 고효율 심토파쇄기법 정립 : 무굴착 암거공법을 적용하는 동시에 심토파쇄를 실시할 수 있는 장비선정 및 개선 등을 수행하고자 함. 심토파쇄 깊이, 심토파쇄 크기 등을 정확히 할 수 있는 장비 개선 및 개발을 진행할 것임. 또한 심토파쇄를 위한 시공방법, 공정 등을 개선을 통한 공사 시방서를 개발할 것임.
  - 2차 실증단지 조성: 2차년도 설계한 간척지 실증단지를 시공할 것임. 2차년도 개발된 지표잔류수 배제 지하흡수공 지하 암거공법을 이용하여 실증단지를 조성하고 현장시험을 실시할 것임. 현장시험은 지표잔류수 배제효과, 지하수위 조절효과, 강우시 배수효과 등을 중점적으로 평가할 것임. 또한 설치간격, 크기, 위치에 따른 영향도 평가할 것임. 현장 시험을 통하여 실내시험, 수치해석의 검증 뿐만아니라 현장 적용을 위한 설치 방법 등의 최적화를 달성할 것임.
  - 1차 실증단지 심토파쇄공법 적용 구역 설계 및 시공: 1차 실증단지에는 지표잔류수 지하흡수공 지하암거 공법과 심토파쇄공법, 모관수 저류 시트형 지하암거공법과 심토파쇄공법을 동시에 적용한 구간을 설계 및 시공할 것임. 이를 통하여 심토파쇄공법의 현장 시험을 실시할 것임. 현장 시험을 통한 공법의 최적화를 달성할 것임.
  - 기상재해 대비 간척지 논 범용화 저비용 고효율 암거 공법 표준화, 제품화 또는 기술 실시: 1차 및 2차년도에 개발하고 Test-bed에 실증시험 결과를 이용하여 암거공법의 표준화, 그리고 제품화 (또는 기술실시)를 통하여 사업화를 달성할 것임. 3차년도에는 제품화 또는 기술실시를 통하여 1건의 상의 사업화 적용실적으로 달성할 것임.
  - 지표잔류수 배제 지하흡수공 지하암거 공법 매뉴얼 작성: 2차년도 적용한 지표잔류수 배제 지하흡수공 지하암거 공법 매뉴얼 작성. 실증시험결과와 시공공정 등을 고려한 최적의 적용 매뉴얼 개발. 관련 전문가를 통한 검토를 통하여 매뉴얼 보완 등 실시할 것임.
  - 심토파쇄공법 실증단지 설계 및 시공지원: 심토파쇄공법을 적용한 지하암거공법 변수 반영하여 실증단지 설계변수 적용 방향과 시공공법 결정 분석 지원 등 설계지원, 시공지원
  - 기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 및 적용 기술의 최종 매뉴얼 작성: 1차년도, 2차년 및 3차년도 심토파쇄공법을 포함한 전체적인 적용 매뉴얼 작성 (재료 품질기준, 시공절차 및 시방서, 유지관리 방안 등 포함)

## 바. 연구개발의 차별성

연구목표	기존 연구	개발 연구
<p>기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 공법 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•기존의 연구는 논 범용화 기술, 재배기술, 및 가공기술을 각각의 요소기술로 개발하는 연구가 이루어짐</li> <li>•간척지의 논 범용화 기술의 경우 굴착식 공법이 주로 이루어지고 있음</li> <li>•최근 무굴착 공법이 부분적으로 적용되고 있으나 기상재해(습해, 가뭄, 염해) 등의 문제를 궁극적으로 해결하지 못하고 있음</li> <li>•따라서 실용화를 위해서는 다시 각 요소기술을 통합할 수 있는 연구 또는 사업화를 위한 과정이 추가적으로 필요함</li> <li>•실제적으로 사업화를 달성하기 위해서는 연구종료 후 추가적인 시간과 연구가 필요하게 됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•본 연구는 간척지 기상재해(습해, 가뭄, 염해)를 해결할 수 있는 핵심요소기술 개발을 포함함</li> <li>•기존 굴착암거공법의 굴착으로 인한 공사비 증가, 시공기간 장기화 등의 문제점을 가지고 있으며, 무굴착공법의 경우 공시비 감소, 공시기간 감축 등의 효과를 달성 하였으나 간척지에 적용시 습해, 가뭄 및 재염화 현상에 대한 대응력이 낮은 문제점을 가지고 있음</li> <li>•본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 기상재해시 지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법을 개발하고자 함. 또한 건기가뭄과 재염화방지를 위한 지하수위 조절형 지하암거의 용수낭비를 방지할 수 있는 모관공급수 저류시트형 암거를 이용한 지하관수+배수암거공법 개발하고자 함. 따라서 기존과제, 기술과 비교하여 창의성과 도전성 및 혁신성이 있음</li> </ul>
<p>간척지 논 대상으로 실증단지 (0.5ha × 2개소 이상) 조성 및 현장 실증 연구를 통한 최적 암거공법 제시</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•지금 까지 간척지 논에 범용화 기술의 경우 대부분 논에 범용화에 적용되는 기술을 적용하여 효과검증에 대한 연구가 주로 이루고 있음</li> <li>•따라서 간척지에서 발생할 수 있는 기상재해(습해, 가뭄, 염해)등의 문제 발생시 이를 해결할 수 있는 요소기술 개발에 대한 연구는 부족한 실정임</li> <li>•또한 기존 시공성 및 효율성 장점을 가지는 무굴착식 암거배수 시스템의 경우는 포설장치 및 포설방법에 관한 특허로 토립자 유입으로 인한 암거 폐색에 대한 문제점을 해결하지 못하고 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•본 연구에서는 기존 논범용화 기술인 암거배수 공법의 문제점으로 나타나고 있는 굴착식으로 인한 시공기간 증가 등의 비용 증가에 따른 문제점과 기존 무굴착 암거의 폐색에 대한 문제, 굴착식 및 비굴착식 공법 모두가 간척지 논에 적용시 나타나는 문제인 기상재해(습해, 가뭄, 염해) 피해를 해결할 수 있는 요소기술 개발과 이를 이용한 무굴착 암거 설치 공법을 개발하여 논에 범용화의 문제점인 고비용, 저효율의 효과를 해결하고자 함. 따라서 기존과제, 기술과 비교하여 창의성과 도전성 및 혁신성이 있음</li> <li>•또한 간척지 논에 실증단지를 조성하여 간척지 기상재해(습해, 가뭄, 염해)를 해결할 수 있는 현장중심 공법을 개발함으로써 사업화 달성을 목표로 하고 있어 도전성 및 혁신성이 있음</li> </ul>

<p>기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•간척지에 적용되던 논 범용화 기술은 대부분 일반적인 굴착 및 비굴착식 공법을 간척지 논에 현장 평가를 위한 연구로 주로 이루어짐</li> <li>•따라서 간척지 논 의 기상재해를 해결할 수 있는 공법 개발과 이를 매뉴얼화 한 연구는 부족함</li> <li>•따라서 간척지 기상재해에 대비할 수 있는 공법개발 연구 및 이를 매뉴얼 하기 위한 연구가 필요한 실정임</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•본 기술은 간척지 논 의 범용화시 발생하는 문제점인 기상재해(습해, 가뭄, 염해) 피해를 방지할 수 있는 무굴착 암거 설치 공법을 개발하여 논 의 범용화의 문제점인 고비용, 저효율의 효과를 해결하고 이를 매뉴얼화하여 간척지 논 의 범용화시 효율성을 증가시키고자 함. 따라서 기존과제, 기술과 비교하여 창의성과 도전성 및 혁신성이 있음</li> </ul>
<p>간척농지 타작물 재배 관련 연구</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•권역별 간척지(새만금, 석문, 화옹)를 대상으로 한 고부가 작물 재배를 위한 토양환경개선대책에 일환으로 무굴착 암거 공법을 도입하여 재배시험을 수행하고 있으나 강우시 지표 잔류수가 오랜 기간 동안 배제되지 않아 작물 습해가 발생함</li> <li>•또한 간척지내 발작물 재배를 위한 용수 공급 특히 논 기반 간척지의 경우 논농사 관개기와 발작물 관개기가 상이하여 원활한 용수 공급이 이루어지지 못하고 있는 실정임</li> <li>•따라서, 간척지에서 발작물 재배를 위해서는 지표 잔류수 배수 문제에 대한 해결방안이 필요하며 논 범용화지에 대해 가급적 물을 절약하며 용수공급이 가능한 기술 개발이 필요한 실정임</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•기존 연구에서 나타난 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 빠른 시간에 지표수를 배제할 수 있는 지하 흡수공을 기존 무굴착 암거 시스템에 도입하여 간척지내 타작물 습해에 대한 대책방안을 마련하고자 함</li> <li>•또한 대단위 농업이 가능한 간척지내 지표관개는 수자원 손실이 많을 뿐 아니라 관개방법 도입 또한 많은 비용이 들기 때문에 토양수분관리가 어려움. 따라서 본 기술은 암거관을 이용한 지하관수 시스템을 도입함으로써 상시 적정 토양수분관리가 가능하여 가뭄 및 재염화에 대비할 수 있는 혁신 기술임</li> <li>•더하여, 참여연구진들은 간척지 토성에 관계없이 지하관개가 가능한 2가지 타입의 암거 시스템 개발도 현재 계획 중에 있음</li> </ul>

사. 정량적 성과목표

성과 목표											연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용· 홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출원	특 허 등록	품 종 등록	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SCI	비 SCI						
단위	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	20	20		15		15							15			5	10		
최종목 표	1	1		1		1						3		6		1	1		
1차년도	1													2					
2차년도												1		2			1		
3차년도		1		1		1						2		2		1			
소 계	1	1		1		1						3		6		1	1		
종료 1차년도							5							1					
종료 2차년도							5							1					
종료 3차년도							10												
종료 4차년도							10												
종료 5차년도							10												
소 계						1	40							2					
합 계	1	1		1		1	40					3		8		1	1		



○ 목표성과 추진계획

성과항목	추진 방법 / 내용
지식재산권	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율(지표잔류수배제+지하배수+지하관수+토양개량) 암거공법 및 적용기술 개발에 관한 특허 출원 / 등록 추진</li> <li>• 건기 가뭄과 재염화방지를 위한 지하수위 조절형 지하암거의 용수낭비를 방지할 수 있는 모관공급수 저류시트형 암거를 이용한 지하관수+배수암거공법 개발에 관한 특허 출원 / 등록 추진</li> <li>• 강우시 지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 개발 관한 특허 출원 / 등록 추진</li> </ul>
논문/학술발표	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 본 연구는 간척지에 발작물 재배를 위하여 기상재해(습해, 가뭄, 염해, 토양고결)에 대비가 가능한 저비용(무굴착식) 고효율(지표잔류수배제+지하배수+지하관수+토양개량) 지하암거 공법개발, 표준화 및 실증연구를 통한 간척지 논 기반의 범용화 기술 개발하기 위한 것으로 연구 수행 과정에서 도출되는 주요 결과물을 정리하여 논문 게재 및 학술발표 예정</li> </ul>
기술이전	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 참여기업인 미래농촌기술연구소가 본 연구를 통해 개발되는 기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율(지표잔류수배제+지하배수+지하관수+토양개량) 암거공법 및 적용기술 개발에 대한 지식재산권 확보 후 간척지 논 범용화 사업에 적극 활용하고 동종 관련업체와의 기술협약을 통한 기술이전으로 수익 창출 예정</li> <li>• 참여기업인 미래농촌기술연구소가 본 연구를 통해 개발되는 건기 가뭄과 재염화방지를 위한 지하수위 조절형 지하암거의 용수낭비를 방지할 수 있는 모관공급수 저류시트형 암거를 이용한 지하관수+배수암거공법 개발에 관한 지식재산권 확보 후 간척지 논 범용화 사업에 적극 활용하고 동종 관련업체와의 기술협약을 통한 기술이전으로 수익 창출 예정</li> <li>• 참여기업인 미래농촌기술연구소가 본 연구를 통해 개발되는 강우시 지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 개발에 관한 지식재산권 확보 후 간척지 논 범용화 사업에 적극 활용하고 동종 관련업체와의 기술협약을 통한 기술이전으로 수익 창출 예정</li> </ul>
정책활용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정책제안 목표를 달성하기 위해 농림축산식품부 및 주관연구기관인 농어촌공사 등과 적극적인 의견 교환, 자문 및 토론을 통해 간척지 논 범용화기술 개발 뿐만아니라 발작물 재배 및 간척지 이용 고소득 작물 재배 모델로 정책 활용</li> </ul>
제품화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 간척지에서 발작물 재배 및 기상재해(습해, 가뭄, 염해) 대비가 가능한 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 지하암거공법의 기술 및 적용제품을 제품화하고 제조사와 기술 협약을 체결하여 개발하여 OEM 생산/공급 및 판매할 예정임</li> </ul>

## 아. 정성적 연구개발 성과 및 평가방법

구분	연구개발성과 및 평가방법	기준 (%)
1차년도 (2020)	•토양수분 이동 수치해석을 통한 모관공급수 저류시트형 지하관수+배수암거 요소기술개발 여부	20
	•실내요소실험을 통한 저류시트형 지하관수+배수암거의 최적조합 도출 여부	20
	•간척지에 적합한 고효율의 저류시트형 지하관수+배수암거공법(암거모양 등) 요소기술 개발	20
	•간척지에 적합한 고효율의 저류시트형 지하관수+배수암거공법 시공기술 (적정 장비 선정 시공효율화 기술, 토성에 따른 공법 적용 가능성 분석, 최적화 및 표준화 등) 개발 여부	20
	•기상재해 방지 고효율의 저류시트형 지하관수+배수암거공법의 간척지 실증 단지조성 계획수립 및 설계 여부	10
	•기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 조사 및 실증단지 모니터링 여부	10
소 계		100
2차년도 (2021)	•건기 모관공급수 저류시트를 이용한 지하관수+배수암거공법 시험포 조성 및 성능실험 여부	10
	•실증단지 콩, 옥수수 등 수입대체작물 실증 재배 및 작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사 (모관공급수 저류시트를 이용한 고효율 지하관수+배수암거공법 적용 실증단지) 여부	10
	•침투류해석을 통한 지표잔류수 지하흡수(싱크홀) 기능형 지하배수 암거 요소기술개발개발 여부	20
	•실내요소실험을 통한 지표잔류수 지하흡수공+지하배수기능의 최적조합 도출 여부	10
	•지표잔류수와 지하배수를 동시에 할 수 있는 지표잔류수 지하흡수공 기능형 암거모양 등 지표배수 겸용 지하암거공법 요소기술 개발 여부	10
	•지표잔류수와 지하배수를 동시에 할 수 있는 지표잔류수 지하흡수공 기능형 암거모양 등 지표배수 겸용 지하암거공법 시공기술 개발 및 최적화 여부	20
	•지표잔류수와 지하배수를 동시에 할 수 있는 지표잔류수 지하흡수공 기능형 암거모양 등 지표배수 겸용 지하암거공법 적용 실증 시험 단지 조성 계획수립 및 설계 여부	10
•기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 초안 개발 및 실증단지 기초 토양물성실험·모니터링 여부	10	
소 계		100
3차년도 (2022)	•지표잔류수 지하흡수 기능형 지하배수 암거공법 시험포조성 및 배수성능 실증 실험 여부	10
	•지표잔류수 지하흡수 기능형 지하배수 암거공법 실증단지 콩, 옥수수 등 수입대체작물 실증 재배, 작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사 여부	10
	•간척지 토양 종류별 심토파쇄기법 별 투수성개선효과 평가 여부	20
	•간척지 토양 종류에 적합한 저비용 고효율 심토파쇄기법 정립 여부	20
	•기상재해 대비 간척지 논 범용화 저비용 고효율 암거 공법 제품화 및 기술이전 여부	10
	•기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 개발 여부	10
	•작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사 등을 통한 경제성분석 실시 여부	20
소 계		100

# 자. 연구개발의 추진전략·방법 및 추진체계

## (1) 연구개발 추진전략·방법

### (가) 연구개발 추진전략

- 본 연구는 연구개발 종료 후 간척지 논 범용화 기술의 실용/상용화 수준의 연구성과물을 도출하기 위하여 산-학-연 간의 연계를 구축
  - 산업체 : 미래농촌기술연구소, 삼백영농조합법인
  - 공기업 연구기관 : 한국농어촌공사 농어촌연구원
  - 인증 및 전문기관 : 농림식품기술기획평가원, 농림축산식품부
  - 대학 및 연구기관 : 공주대학교
- 실증단지 조성 및 현장 시험을 통한 개발 기술 최적화 산업화 성과물 도출을 위한 연구체계 구축



## (나) 연구개발 추진방법

### ○ 기본방향

- 산, 학, 연을 연계하여 효율적인 연구추진 체계를 마련하고, 농기평의 과제활용담당관을 포함한 정책 및 관련 전문가들이 포함된 자문위원회를 개최하여 양질의 연구성과 도출

구 분	세부추진전략
과제별 연계성 확보	•과제별 연계성 확보 및 관련 연구개발 연계 활용
타 기관과의 협력체계 구축	•산·학·연·관 분야별 전문가 협력체계 네트워크 구축 •각 분야별 전문가 집단 자문위원회 구축 및 활용
연구개발 목표달성을 위한 추진방법	•체계적 기술정보수집 •개발기술 조기 활용 및 실용화를 위한 검증방안 수립 •실증단지 조성 및 현장 검증을 통한 실용화 및 실증화

### ○ 세부과제별 연계 전략 확보방안

- 전체 연구진의 추진체계 내에서 본 연구과제의 역할을 고려 연구과제 성과 극대화
- 연구기관별 수행 연구와 관련된 선행연구 현황을 충분히 검토하고 각 세부 연구진은 연구과정에서 요소기술을 검증하여 결과를 피드백

### ○ 전문가의 확보 및 활용방안

- 국내의 자문위원을 위촉하여 자문협의회를 분기별로 개최하고 과제추진 중 개발 내용의 검증, 지도 및 전문인력 지원을 확보
- 대학 및 관련 전문가, 해외 기술자, 현장 운영 전문가 등을 초청, 세미나 및 회의 개최를 통하여 논의 결과를 개발에 반영함



○ 테스트베드 구축 방안

- 논기반 간척지 논 포함 토성별 2지역을 대상으로 각 1ha 현장실증 시험포 조성
- 대상 : 시화, 화옹 간척지를 대상으로 적정 지역 선정



<시화지구>



<화옹지구>

○ 시험포장 조성

- 시험포장 규모는 총1ha(0.5ha/지구, 2지구)로 조성
- 주요기반시설 : 저비용 고효율 암거배수 시설, 토양계측시설(염분, 수분계 등), 물관수시설 등
- 기상재해 대비가 가능한 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율(지표잔류수배제+지하배수+지하관수+토양개량) 암거공법 적용
- 토양계측시설은 간척지의 고염분 조건하에서 정확성이 높은 염분 및 수분 계측시설 및 데이터저장 장치를 설치하거나 원격 모니터링 시스템을 설치하여, 주기적인 점검이 가능 하도록 함

○ 시험포장의 구성

- 시험포장은 무처리-암거간격-암거심도별-토성별 등의 효과검토가 가능하도록 조성하며, 필요시 부가적 시험을 실시 할 수 있도록 조성

○ 시험포장 운영

- 시험포조성은 2개 지구에 동일한 제염암거 시설 등을 동일하게 설치하여 운영 및 성과분석 실시
- 초기상태 및 암거배수 및 토양개선 후의 토양상태 분석
- 전문 영농업체 삼백영농조합에서 2개 지구 시험포 전문 재배관리
- 지상부/지하부 센서 시스템을 이용한 환경 분석 등 실시

## (2) 연구개발 추진 체계

연구개발과제		총 참여 연구원
과제명	기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 및 적용 기술개발	주관연구책임자 (박영준)외 총 20명

기관별 참여 현황		
구분	연구기관수	참여연구원수
대기업		
중견기업		
중소기업	2	6
대학	1	7
국공립(연)		
출연(연)		
기타	1	8

<b>주관기관 (농어촌연구원)</b>
기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 요소기술 개발
연구책임자명 (박영준)외 7명
<b>담당기술개발내용</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>강우시 지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 요소기술개발</li> <li>건기 가뭄과 재염화방지를 위한 지하수위 조절형 지하암거의 용수낭비를 방지할 수 있는 모관공급수 저류시트형 암거를 이용한 지하관수+배수암거공법 요소기술개발</li> <li>간척지 밭 조성을 위한 저비용 토양구조 및 토양개량 공법 효과 규명</li> <li>작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사 등을 통한 경제성분석 실시</li> </ul>

<b>협동연구기관 (미래농촌기술연구소)</b>
기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 적용(시공)기술 개발
연구책임자명 (김현태)외 4명
<b>담당기술개발내용</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>강우시 지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 시공기술개발</li> <li>건기 가뭄과 재염화방지를 위한 지하수위 조절형 지하암거의 용수낭비를 방지할 수 있는 모관공급수 저류시트형 암거를 이용한 지하관수+배수암거공법 시공기술개발</li> <li>간척농지 투수성개선을 위한 고효율 심토파쇄 공법 개발 및 평가</li> <li>간척지 논에 실증단지(0.5ha × 2개소) 설계 및 시공, 표준화</li> </ul>

<b>위탁연구기관 (삼백영농조합법인)</b>
간척지 범용화 실증단지 작물재배 및 생산성 평가
연구책임자명 (최재관)외 0명
<b>담당기술개발내용</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>간척지 범용농지 실증 단지 콩, 옥수수 등 수입대체작물 실증 재배 (간척지 논에 실증단지(0.5ha × 2개소))</li> <li>작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사</li> </ul>

<b>위탁연구기관 (공주대학교)</b>
기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 개발
연구책임자명 (박찬기)외 6명
<b>담당기술개발내용</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>간척농지 논 범용화 기술 설계, 시공 매뉴얼 등 조사 분석</li> <li>간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법을 매뉴얼화</li> </ul>

### (3) 연구개발 추진일정

1차년도														연구 개발비 (단위:천원)	책임자 (소속기관)
일 련 번 호	연구내용	월별 추진 일정													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	토양수분 이동 수치해석을 통한 모관공급수 저류시트형 지하관수+배수암거 요소기술개발				■	■	■	■	■					30,000	박영준 (농어촌연구원)
2	실내요소실험을 통한 저류시트형 지하관수+배수암거의 최적조합 도출							■	■	■	■			40,000	박영준 (농어촌연구원)
3	간척지에 적합한 고효율의 저류시트형 지하관수+배수암거공법(암거모양 등)									■	■	■		20,000	박영준 (농어촌연구원)
4	간척지 실증단지의 현장조사 및 모니터링	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	4,000	최재관 (삼백영농조합법인)
5	간척지에 적합한 고효율의 저류시트형 지하관수+배수암거공법 시공기술 (적정장비 선정 시공효율화 기술, 토성에 따른 공법 적용 가능성 분석, 최적화 및 표준화 등) 개발	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	65,000	김현태 (미래농촌기술연구소)
4	기상재해 방지 고효율의 저류시트형 지하관수+배수암거공법의 간척지 실증 단지 조성 계획수립 및 조성						■	■	■	■	■	■		80,000	김현태 (미래농촌기술연구소)
6	기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 조사 및 실증단지 모니터링					■	■	■	■	■	■	■	■	20,000	박찬기 (공주대)

2차년도													
1	침투류해석을 통한 지표잔류수 지하흡수(쌍크홀) 기능형 지하배수 압거 요소 기술개발											30,000	박영준 (농어촌연구원)
2	실내요소실험을 통한 지표잔류수 지하흡수공+지하배수기능의 최적조합 도출											40,000	박영준 (농어촌연구원)
3	지표잔류수와 지하배수를 동시에 할 수 있는 지표잔류수 지하흡수공 기능형 압거모양 등 지표배수 겸용 지하압거공법 요소기술 개발											35,000	박영준 (농어촌연구원)
4	실증단지 콩, 옥수수 등 수입대체작물 실증 재배 및 작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사 (모관공급수 저류시트를 이용한 고효율 지하관수+배수압거공법 적용 실증단지)											15,000	최재관 (삼백영농조합법인)
5	건기 모관공급수 저류시트를 이용한 지하관수+배수압거공법 시험포 조성 및 성능실험											68,000	김현태 (미래농촌기술연구소)
6	건기 모관공급수 저류시트를 이용한 지하관수+배수압거공법 시험포 조성 및 성능평가 및 개선기술 개발											70,000	김현태 (미래농촌기술연구소)
7	지표잔류수와 지하배수를 동시에 할 수 있는 지표잔류수 지하흡수공 기능형 압거모양 등 지표배수 겸용 지하압거공법 시공기술 개발 및 최적화											68,000	김현태 (미래농촌기술연구소)
8	기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 압거공법 매뉴얼 초안개발											15,000	박찬기 (공주대)
9	실증단지 토양의 물리적 특성 평가 및 분석											10,000	박찬기 (공주대)



3차년도															
1	간척지 토양 종류별 심토파쇄기법 별 투수성개선효과 실내요소실험													50,000	박영준 (농어촌연구원)
2	작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사 등을 통한 경제성분석 실시													55,000	박영준 (농어촌연구원)
3	실증단지 콩, 옥수수 등 수입대체작물 실증 재배, 작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사													15,000	박영준 (농어촌연구원)
4	지표잔류수 지하흡수 기능형 지하배수 암거공법 시험포조성 및 배수성능 실증실험													58,000	김현태 (미래농촌기술연구소)
5	지표잔류수 지하흡수 기능형 지하배수 암거공법 평가 및 개선기술개발													50,000	김현태 (미래농촌기술연구소)
6	간척지 토양 종류에 적합한 저비용 고효율 심토파쇄기법 정립													68,000	김현태 (미래농촌기술연구소)
7	기상재해 대비 간척지 논 범용화 저비용 고효율 암거 공법 제품화 및 기술이전													30,000	김현태 (미래농촌기술연구소)
8	간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼화													15,000	박찬기 (공주대)
9	실증조성단지 토양 모니터링 및 분석													10,000	박찬기 (공주대)

## 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

- 본 연구는 간척지에 발작물 재배를 위하여 기상재해(습해, 가뭄, 염해, 토양고결)에 대비가 가능한 저비용 (무굴착식) 고효율 (지표잔류수배제 + 지하배수 + 지하관수 + 토양개량) 지하암거 공법개발, 표준화 및 실증연구를 통한 간척지 논 기반의 범용화 기술 개발하기 위한 것임. 이를 통하여 기존 굴착식공법과 비교하여 지하배수효율 175 % 향상, 재염화율 20 % 이하 달성 및 저비용 고효율 지하암거 공법 설치 비용을 기존 굴착암거 공법과 비교하여 70 % (개발 저비용 고효율 지하암거 공법 비용/기존 굴착식 암거공법 비용 × 100 (%)) 이하를 달성하고자 함
- 이를 달성하기 위한 연구내용 및 방법은 다음과 같음

### 가. 1차년도

연구기관	연구 내용	연구 방법
주관연구기관 (농어촌연구원)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수치해석을 통한 모관공급수 저류시트형 암거를 이용한 지하관수+배수암거공법 요소기술 개발 및 실험 변수 결정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수치해석을 통한 건기 간척지 지하수위 변화 해석을 통한 지하수위 변수 결정</li> <li>• 모관수저류시트 설치 위치에 따른 수치해석 실시를 통한 위치 변수 결정</li> <li>• 수치해석을 통한 모관수 저류시트 설치에 따른 지하관수 효율성 평가(용수낭비 효과 분석)</li> <li>• 지하배수 효과에 미치는 모관공급수 저류시트의 영향 수치해석 평가(지하수위 변동성 평가)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모관공급수 저류시트형 암거 공법 요소기술 개발을 위한 실내 모형 실험실시 및 수치해석결과 검증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수치해석결과의 변수 적용 모형시험을 통한 재염화 방지를 위한 목표 지하수위 결정</li> <li>• 모관수 저류시트 설치 위치에 따른 지하관개 및 재염화 방지 효과 평가</li> <li>• 모관수 저류시트 설치 암거 형상에 따른 건기 지하관개, 우기 지하배수 등의 효과 평가</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수치해석결과와 실내 모형시험결과를 이용한 모관수저류시트형 암거 공법 요소기술 최적화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수위 유지를 위한 방법 도출 {재료적 방법(모관수 저류시트) 및 시공적 방법(토양 개량 방법)} 검토</li> <li>• 모관수저류시트형 암거 품질기준 정립</li> <li>• 최적의 모관수 저류시트 설치 위치 결정을 통한 모관수 저류시트의 재염화 방지효과 최적화</li> <li>• 건기 지하관수 효율 및 재염화 방지효과에 미치는 모관수 저류시트 효과 최적화</li> <li>• 건기 지하관개, 우기 지하배수 등의 효과를 최적화할 수 있는 모관수저류시트 설치 암거 형상 및 흡수공 모양, 위치 최적화</li> </ul>

<p>위탁연구기관 (삼백영농조합법인)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•간척지 1차 실증단지의 현장조사 및 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1차 실증단지 토성 조사 및 분석</li> <li>•1차 토성별 배수 문제 및 효과 자료 조사, 분석</li> <li>•1차 실증단지 작물재배시 문제점 파악과 작물재배 가능성 평가 및 문제점 파악</li> </ul>
<p>협동연구기관 (미래농촌기술연구소)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•무굴착 공법 적용을 위한 암거 및 모관수저류시트 동시 적용 공법개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•모관수저류시트형 암거 설치를 위한 장비 선정</li> <li>•무굴착 공법 적용을 위한 암거 및 모관수저류시트 동시 설치 공법 개발(장비 개발 포함)</li> <li>•재염화 방지를 위한 적정 토양 깊이에 모관수저류시트 및 암거 적용 장비 개발 및 선정</li> <li>•암거 시공시 암거의 손상 및 파괴를 방지하기 위한 적정 공법 및 기술 개발</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1차 실증단지 조성을 위한 계획 수립 및 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•모관수 저류시트형 암거 설치 간격 결정 및 설계</li> <li>•모관수 저류시트형 암거 Test-bed 적용을 위한 설계(현장 검증을 위한 실험변수 포함)</li> <li>•모관수 저류시트형 공법 시공 방법(순서 및 단계 포함) 결정</li> </ul>
<p>위탁연구기관 (공주대학교)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•암거공법 적용을 위한 매뉴얼 조사 및 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 조사 및 분석</li> <li>•간척지 범용농지 기상재해 피해현황 조사 및 분석</li> <li>•간척지 범용농지 조성 공법·사례 조사 및 분석</li> <li>•Test-bed 설계를 위한 국내외 간척지 설계 및 적용 기술 사례 분석</li> </ul>

## 나. 2차년도

연구기관	연구 내용	연구 범위
주관연구기관 (농어촌연구원)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수치해석을 통한 강우시 지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 요소기술 개발 및 실험변수 결정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수치해석을 통한 강우량에 따른 간척지 표면 잔류수 및 이로 인한 지하수위 변화 해석: 습해 피해 예측</li> <li>• 지표잔류수 배제지하흡수공 크기에 따른 수치해석을 실시하여 지표잔류수 배제 지하흡수 효과 분석: 지하흡수공 크기 변수 결정</li> <li>• 수치해석을 통한 지하흡수공 설치에 따른 지표잔류수 배제효과 분석: 습해 피해 방지효과 평가</li> <li>• 지표잔류수 배제효과에 따른 지하수위 변동성 평가 수치해석 실시</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실내 모형 실험실시 및 수치해석결과 검증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수치해석결과의 변수 적용 모형시험을 통한 지하흡수공 설치 위치 및 간격에 따른 평가 실시: 최적 크기 및 위치 결정</li> <li>• 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법의 위치 크기에 따른 습해 방지효과 평가 (배수서능 평가)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수치해석결과와 실내 모형시험결과를 이용한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 요소기술 최적화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지표잔류수 배제 지하흡수공의 최적 크기 결정: 제품화 및 적용 가능한 크기 결정</li> <li>• 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거 품질기준 정립</li> <li>• 최적의 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 설치 위치 결정을 통한 습해방지효과 최적화</li> </ul>
위탁연구기관 (삼백영농조합법인)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 간척지 1차 실증단지의 작물 재배 및 생육성 조사(모니터링)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1차 실증단지 작물재배</li> <li>• 1차 실증단지 작물재배에 따른 생육성 조사 및 분석</li> <li>• 1차 실증단지 작물재배시 문제점 파악 및 분석</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 간척지 2차 실증단지의 현장조사 및 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2차 실증단지 토성 조사 및 분석</li> <li>• 2차 토성별 배수 문제 및 효과 자료 조사, 분석</li> <li>• 2차 실증단지 작물재배시 문제점 파악과 작물재배 가능성 평가 및 문제점 파악</li> </ul>
협동연구기관 (미래농촌기술연구소)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 강우시 지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거의 무굴착 공법 적용기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 강우시 지표잔류수 신속배제를 위한 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거의 무굴착 공법 적용 장비 선정</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>•무굴착 공법 적용을 위한 지표잔류수 지하흡수공와 지하배수 암거를 동시에 시공할 수 있는 장비 개선 (장비 개발 포함) 및 적용 공법 개발</li> <li>•지하흡수공 크기 및 설치위치의 정확도를 증가시킬 수 있는 현장 적용기술 개발</li> <li>•시공 효율성을 확보할 수 있는 적정 공법 및 기술 개발</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1차 실증단지 (모관수 저류형 시트 지하암거 공법 적용) 시공 및 현장 실증시험 실시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1차년도 설계한 간척지 실증단지를 시공 및 개발공법의 현장 시공성 평가</li> <li>•Test-bed의 암거설치 위치 및 모관수 저류시트의 위치에 따른 지하관수 효과, 지하수위 조절 효과, 배수효과 및 모관수 저류시트와 지하암거의 지하관수, 배수 및 재염화 방지 성능 평가</li> <li>•성능 평가를 통한 실내시험 및 수치해석결과 검증</li> <li>•현장시험, 실내시험 및 수치해석결과를 통한 모관수 저류시트형 지하암거 공법 요소기술 및 시공기술 최적화</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2차 실증단지 조성을 위한 계획 수립 및 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거의 무굴착 공법 적용 지하흡수공 크기 및 설치위치 결정 및 설계</li> <li>•지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거 크기 및 설치위치 결정 및 설계</li> <li>•지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거 공법의 Test-bed 적용을 위한 설계(현장 검증을 위한 실험변수 포함)</li> <li>•지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거 시공 방법(순서 및 단계 포함) 결정</li> </ul>
위탁연구기관 (공주대학교)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•모관수 저류시트형 지하암거공법 매뉴얼 작성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Test-bed 시공지원을 통한 현장에 적합한 매뉴얼 작성 자료 수집 및 분석</li> <li>•1차년도 개발 및 2차년도 현장 Test-bed 설계, 시공 및 현장 평가결과를 이용한 모관수 저류시트형 지하암거 공법 매뉴얼 작성</li> <li>•전문가를 통한 검토를 통하여 매뉴얼 보완 실시</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•지표잔류수 지하흡수공 지하암거 공법 실증단지 설계 지원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•지표잔류수 저류시트형 지하암거공법 변수반영하여 실증단지 설계변수 적용방향 지원</li> <li>•시공공법 결정 분석 지원 등 설계지원</li> </ul>

### 다. 3차년도

연구기관	연구 내용	연구 범위
주관연구기관 (농어촌연구원)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•수치해석을 통한 간척농지 투수성개선을 위한 고효율 심토파쇄 공법 요소기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•심토파쇄 깊이 따른 투수성 개선 효과 분석</li> <li>•심토파쇄에 따른 배수효과 분석</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•실내 모형 실험실시 및 수치해석결과 검증</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•심토파쇄 깊이에 따른 투수성 개선 효과 모형 실험실시: 파쇄깊이 결정</li> <li>•심토파쇄에 따른 배수효과 분석: 심토파쇄 유무에 따른 실험실시</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•수치해석결과와 실내 모형시험결과를 이용한 심토파쇄 요소기술 최적화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•최적의 토양의 투수성 개선을 위한 심토파쇄 공법 개발</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•작물의 생육 상황 분석· 생산성 조사 등을 통한 경제성 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1차, 2차 실증단지 공사비 조사 및 분석</li> <li>•1차, 2차 실증단지 작물 생산성 평가</li> <li>•공사비와 작물의 생산성을 비교한 경제성 평가</li> <li>•경제성 평가를 기본으로 한 개발공법의 간척농지 적용 사업성 평가(기존 암거공법과 비교 분석 실시)</li> </ul>
위탁연구기관 (삼백영농조합법인)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•간척지 1차 실증단지의 작물 재배 및 생육성 조사(모니터링)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1차 실증단지 작물재배</li> <li>•1차 실증단지 작물재배에 따른 생육성 조사 및 분석</li> <li>•1차 실증단지 작물재배시 문제점 파악 및 분석</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•간척지 2차 실증단지의 현장조사 및 모니터링</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2차 실증단지 작물재배</li> <li>•2차 실증단지 작물재배에 따른 생육성 조사 및 분석</li> <li>•2차 실증단지 작물재배시 문제점 파악 및 분석</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•심토파쇄가 적용된 간척지 1차 실증단지의 작물 재배 및 생육성 조사(모니터링)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•심토파쇄가 적용된 1차 실증단지 작물재배</li> <li>•심토파쇄가 적용된 1차 실증단지 작물재배에 따른 생육성 조사 및 분석</li> </ul>
협동연구기관 (미래농촌기술연구소)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•간척지 토양 종류에 적합한 저비용 고효율 심토파쇄기법 적용기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•간척지 토양 종류에 적합한 토양 심토파쇄기법 적용 장비 선정</li> <li>•1차년도 및 2차년도 개발 기술과 심토파쇄공법을 복합화한 무굴착 공법 적용 기술 개발 (장비 개선 및 개발 포함)</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2차 실증단지 (지표잔류수 지하흡수공 지하암거 공법 적용) 시공 및 현장 실증시험 실시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•2차년도 설계한 간척지 실증단지를 시공 및 개발공법의 현장 시공성 평가</li> <li>•Test-bed의 암거공법 적용에 따른 지하관수 효과, 지하수위 조절효과, 배수효과 및 지표잔류수 배제효과 평가</li> <li>•성능 평가를 통한 실내시험 및 수치해석결과 검증</li> <li>•현장시험, 실내시험 및 수치해석결과를 통한 지표잔류수 배제 지하흡수공 지하암거 공법 요소기술 및 시공기술 최적화</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•심토파쇄공법 적용 실증단지 조성 및 실증 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1차 실증단지에 심토파쇄공법 적용 구간 설계 및 시공</li> <li>•심토파쇄공법에 따른 토양 투수성 개선 효과 평가(투수성능, 배수성능 평가)</li> <li>•심토파쇄공법 현장조건에 맞는 최적화</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 및 적용 기술 제품화(기술실시) 달성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•기상재해 대비 간척지 논 범용화를 저비용 고효율 암거 및 적용기술 표준화 달성</li> <li>•제품화 달성과 더불어 1차 및 2차 실증단지 홍보, 관련기관 마케팅 등을 통한 간척 농지 적용 사업화(제품화 또는 기술실시) 달성</li> </ul>
위탁연구기관 (공주대학교)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•지표잔류수 배제 지하흡수공 지하암거 공법 매뉴얼 작성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Test-bed 시공지원을 통한 현장에 적합한 매뉴얼 작성 자료 수집 및 분석</li> <li>•2차년도 개발 및 3차년도 현장 Test-bed 설계, 시공 및 현장 평가결과를 이용한 지표잔류수 배제 지하흡수공 지하암거 공법 매뉴얼 작성</li> <li>•전문가를 통한 검토를 통하여 매뉴얼 보완 실시</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•심토파쇄공법 실증단지 설계 및 시공 지원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•심토파쇄공법실증단지 설계변수 적용방향 지원</li> <li>•시공공법 결정 분석 지원 등 설계지원</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 및 적용 기술의 최종 매뉴얼 작성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•1차년도, 2차년 및 3차년도 심토파쇄공법을 포함한 전체적인 적용 매뉴얼 작성 (재료 품질기준, 시공절차 및 시방서, 유지관리 방안 등 포함)</li> <li>•전문가 및 연구팀을 포함하여 전체적인 검토 보완 후 개발 완료</li> </ul>

### 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

#### 가. 연구수행 결과

##### (1) 정성적 연구개발성과

###### (가) 건기 가뭄과 재염화 방지를 위한 저류시트형 지하관수+배수 겸용암거공법 개발

###### 1) 개발의 필요성과 목표

- 간척지에 발작물 재배를 위하여 기상재해(습해, 가뭄, 염해, 토양 고결)에 대비가 가능한 저비용(무굴착식) 고효율(지하배수 + 지하관수 + 재염화방지) 지하암거 공법과 심토과쇄 공법의 적용이 필요함.
- 토양이 불투수성인 간척지에서는 고효율(지하배수 + 지하관수 + 재염화방지)을 위하여 개발된 무굴착 암거(수평매트형)를 간척농지에 설치하여 우기에는 흠속에 과잉수를 빼내고, 건기에는 암거의 배수밸브를 잠그고 용수로에서 암거관에 물을 공급하면 간척농지에 인위적인 지하수위가 형성되어 모관상승에 의해 지하관개가 가능하고 심토층(암거하부)의 염수의 모관상승이 차단되어 토양의 재염화가 방지됨.
- 하지만 시화, 부사, 새만금 등과 같이 토양이 투수성인 간척지에서는 건기에 암거로 물을 공급하면 하강침투되어 인위적 지하수위가 형성되지 않으므로, 본 연구에서는 암거관 밑에 저류차수시트를 설치하여 암거관으로 급수한 물이 시트에 저류된 상태로 모관상승 되어 작물에 필요한 물을 공급할 수 있는 저류시트형 지하관수+배수암거 기법(공법)을 정립하고.
- 이를 실현할 수 있는 하부차수 저류시트를 암거관과 동시에 설치할 수 있는 저류시트형 지하관수+배수 겸용암거를 무굴착식으로 매설하는 장비를 개발하고자 함.

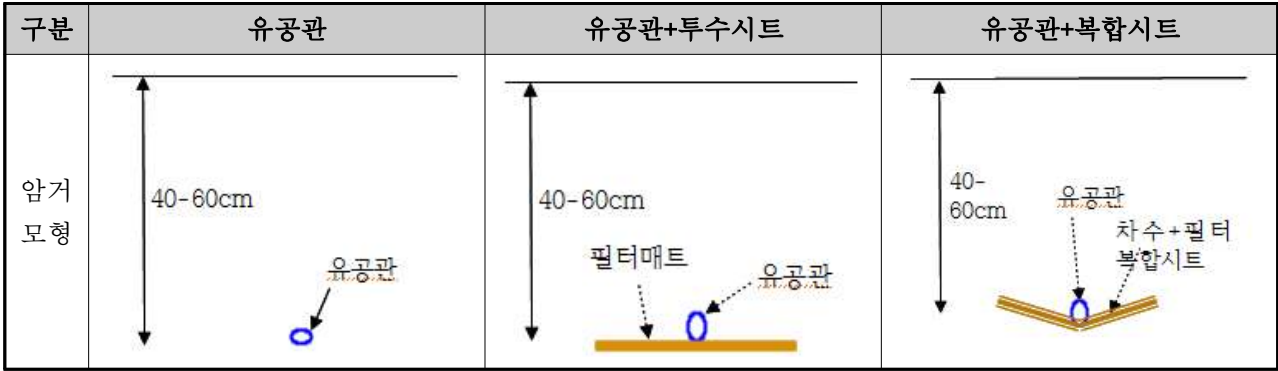
###### 2) 저류시트형 지하관수+배수암거공법 요소 기술개발

###### 가) 수치해석방법 및 실험변수 결정

- 본 연구에서 투수성지반에서 지하암거관으로 공급한 물의 하강침투를 방지하기 위하여 <Table 3-1>과 같이 차수시트를 암거관 아래에 함께 설치하는 암거모양에 대하여 침투류해석을 실시함
- 또한 간척지에 적용 가능한 모관공급수 저류시트형 암거의 최적 형상을 결정하고자 암거 간격, 심도, 시트폭 등 변수를 설정하였으며 변수 설정에 따른 수치해석을 실시함
- 암거의 모양은 세가지 변수를 설정하였으며, ① 유공관 ② 유공관+투수시트 ③ 유공관+복합시트이며, 세가지 변수를 통하여 간척지 토양특성 등을 고려한 최적의 모관공급수 저류시트형 최적 암거 요소기술을 개발하고자 함



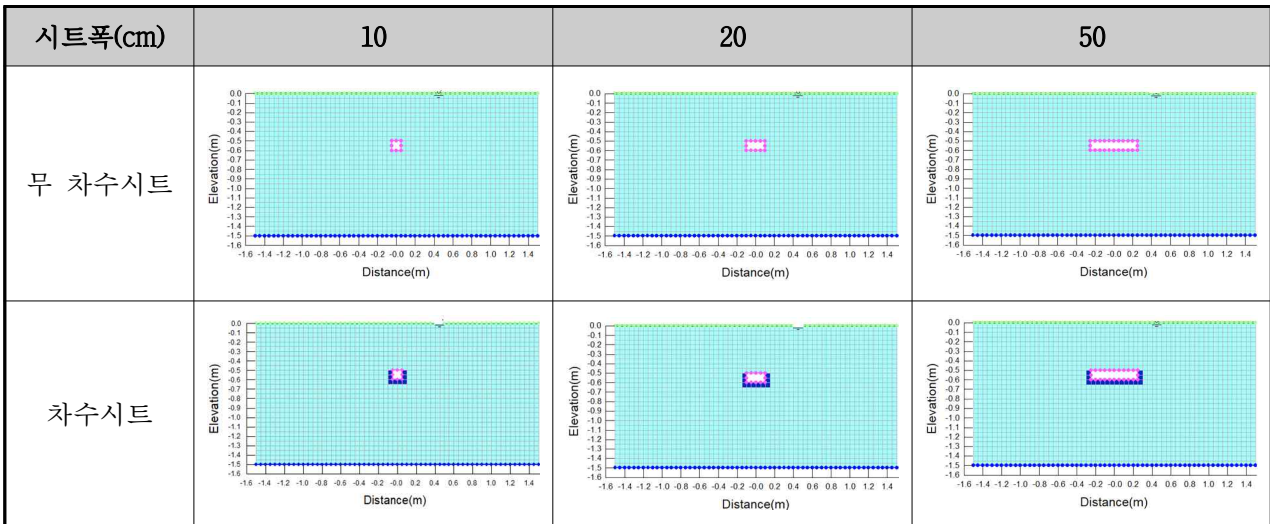
<Table 3-1> 수치해석 대상 관배수 암거 모양



나) 침투류해석 변수

- 관배수암거 침투류해석 변수를 <Table 3-2>와 같이 무차수시트와 차수시트 조건에 대하여 시트 폭(10~50cm)별, 수치해석을 실시하였음.
- 암거 상부토양은 심토파쇄에 의해  $K_{sd}=5 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{s}$ 로 개선되는 조건으로 하고, 하부토양의 투수계수는  $K_{sd}=5 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s} \sim K_{sd}=1 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{s}$ 의 범위에 대하여 해석함.

<Table 3-2> 관배수암거 침투류해석 조건

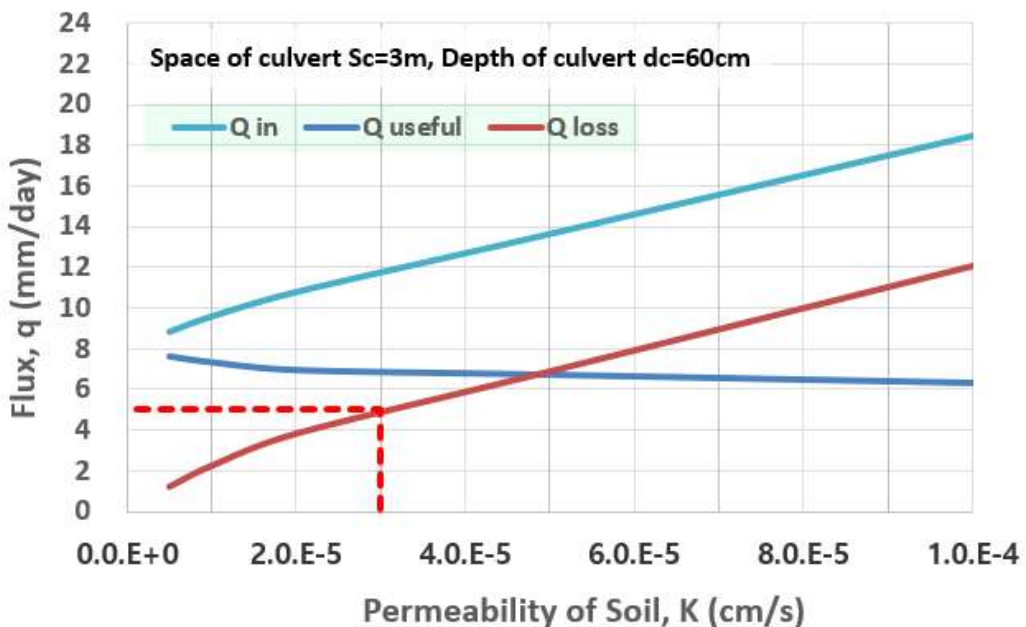
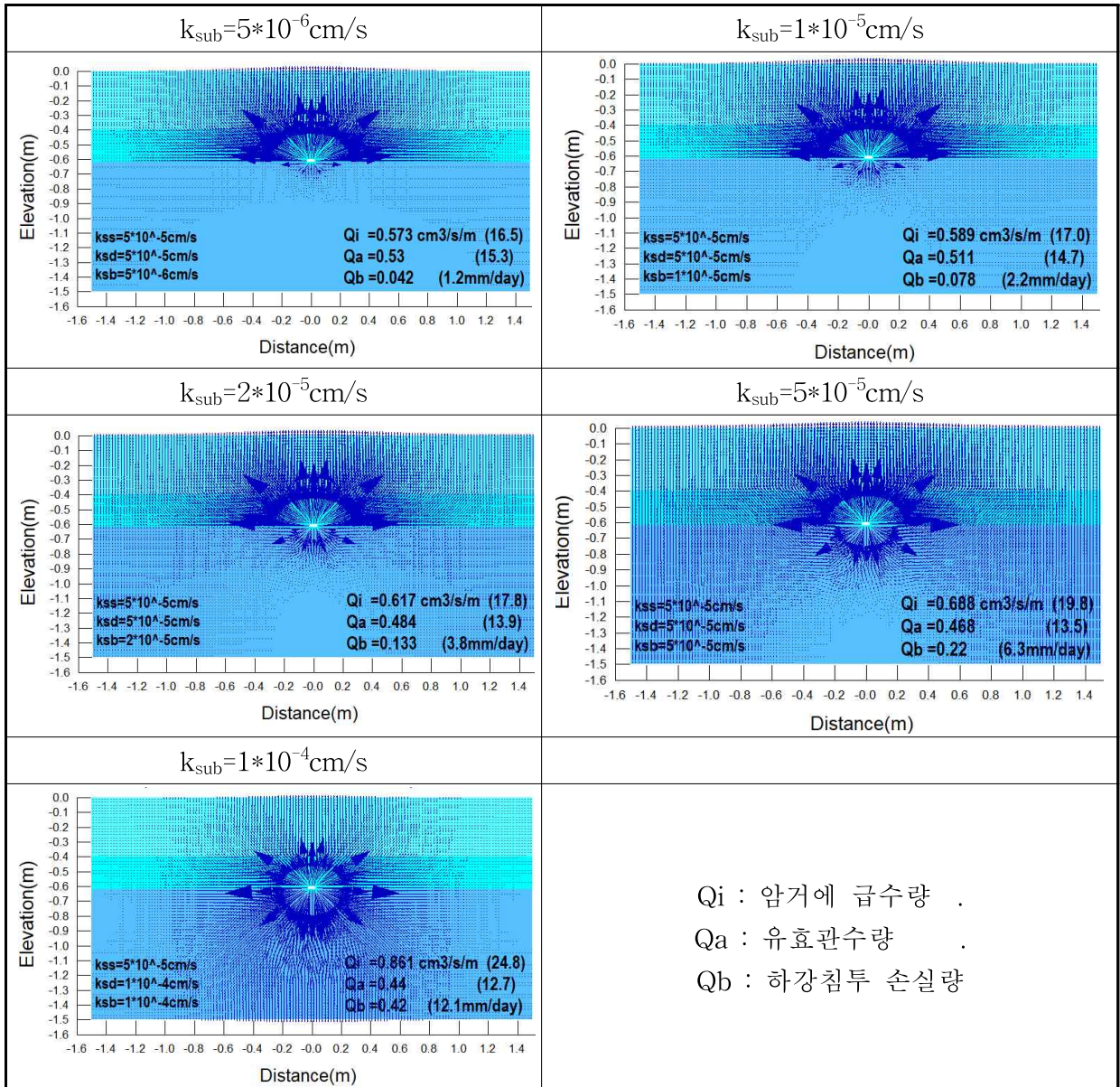


다) 모관공급수 저류시트형 암거 공법 요소기술 개발을 위한 수치해석

① 저류시트형 암거의 개발 필요성(암거 하부 흙의 투수성별 지하관수 특성분석)

- 일반 무굴착 암거(유공관+투수성매트(폭 20cm))에 대하여 암거 하부 흙의 투수성 별 지중관수 조건의 침투류해석을 실시한 결과 <Table 3-3>과 같이 암거 하부 흙의 투수성에 관계없이 모관 상승에 의한 유효관수량은 6mm/day이상으로 발작물의 지하관수가 가능한 것으로 분석됨.
- 하지만 흙의 투수성이 적은 경우 하강침투 손실수량이 적으나 투수성이 큰 흙에서는 하강침투량이 너무 커서 관수효율이 낮으므로 이 손실량을 줄일 수 있는 공법의 도입이 필요함.
- 흙의 투수성 별 침투손실량을 보면 Fig. 3-1과 같이 손실수량 5mm/day를 허용하면,  $k_{sb} > 3 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 이상의 흙에서는 저류시트형 암거의 적용이 필요하다는 결론이 도출됨.

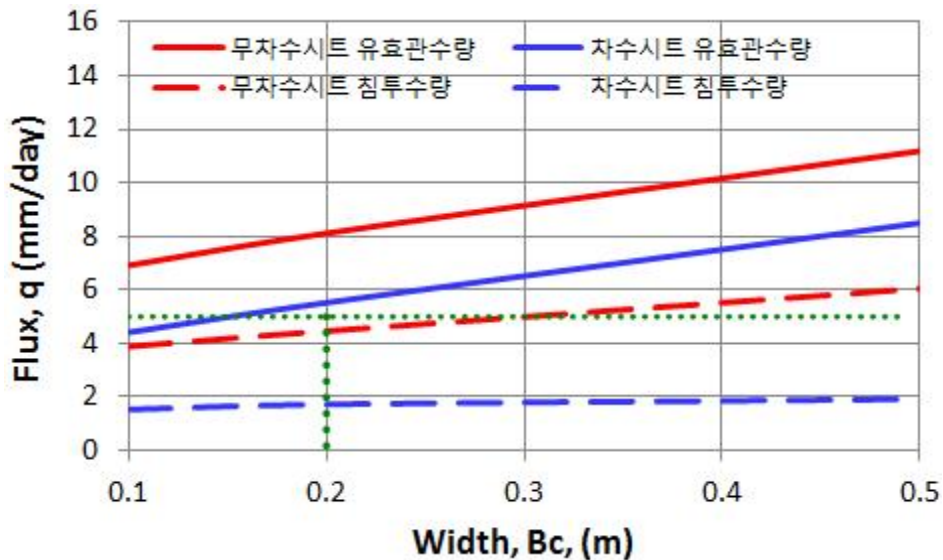
<Table 3-3> 암거하부 토양 투수성( $k_{sub}$ ) 별 지하관개 특성(유효관수량과 손실량 비교)



<Fig. 3-1> 지하 배수+관개 겸용 암거의 유효관수량과 지하침투손실량 비교

## ② 암거 수평시트 폭별 지중관수특성

- 암거의 수평시트 크기별 지중관수 침투류해석결과 <Table 3-3>와 같이 차수시트 폭이 클수록 유효관수량이 크면서 하강침투에 의한 하강침투 손실량도 큰 것으로 해석됨
- 수평시트의 폭이 클수록 관수효율이 높으므로 가능한 크게 하는 것이 좋으나 소요 관수량을 만족하면서 경제성이 있는 폭을 결정하는 것이 필요하므로 <Fig. 3-2>와 같이 일관수량  $5(4 \times 1.25)$ mm/day 이상을 기준으로 하면 복합시트의 폭 20cm 이상이면 만족하는 것으로 분석됨

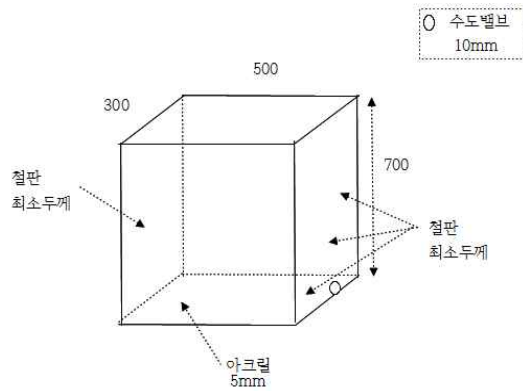


<Fig. 3-2> 수평시트 폭별 암거의 지하관수량 및 지하침투수량 비교

### 라) 저류시트형 지하관수+배수암거의 최적조합 도출을 위한 실내요소시험

#### ① 목적 및 내용

- 간척지 지구와 같은 투수성 토양에서 하강침투를 방지하고 모관공급수만 공급할 수 있도록 하강침투를 방지하는 저류시트를 암거관과 같이 설치하는 저류시트형 지하관수 + 배수암거에 대한 실내요소시험을 실시하여 침투류해석결과에 대한 신뢰성을 확인하여 최적의 모관공급수 저류시트형 지하관수 + 배수암거시스템을 정립함
- 관 배수겸용 암거의 특성을 실내모형에서 재현할 수 있는 토조를 만들고 지하암거관에 관수를 실시할 때 발생하는 모관상승과 하강침투특성을 측정하고 수치해석결과와 비교분석을 통하여 최적의 관 배수암거시스템을 제시함
- 실내모형시험은 암거모양 ① 유공관만, ② 유공관 + 수평필터매트, ③ 유공관 + 수평차수시트의 3종류에 대하여 모관상승 및 하강침투특성을 관찰하고 침투수량 및 모관상승수량을 측정하여 수치해석결과와 비교분석하여 수치해석에 필요한 경계조건과 수정 파라미터를 결정할 계획임



〈Fig 3-3〉 관 배수겸용암거 모형시험기 모식도

## ② 실험방법

### ㉞ 실험조건 및 방법

- 저류시트형 지하관수+배수암거시스템에 대한 실내모형시험은 지하배수 및 모관상승 형상과 배수량과 토양함수비를 측정할 수 있는 토조를 〈Fig. 3-3〉과 같이 제작하여 〈Table 3-4〉와 같은 암거모양 3종류 (① 유공관만, ② 유공관+수평필터매트, ③ 유공관+차수시트)로 지하관수모형시험을 실시함
- 지하관수를 하면서 관수량 하강침투와 모관수 상승 특성을 비교분석하였음. 또한 하강 침투수량과 토양내 함수비 변화를 측정분석하였음

〈Table 3-4〉 관 배수 겸용암거 실내모형시험 암거모형

구분	유공관	유공관+차수시트	유공관+복합시트
암거모형			

### ㉟ 실내모형시험기

- 실내모형시험기는 〈Fig. 3-3〉와 같은 모식도로 철판 및 아크릴판으로 〈Fig. 3-4〉과 같이 3조를 제작하여 사용함



〈Fig. 3-4〉 지하관수모형시험기

㉔ 실내시험 대상 흙

- 시험대상 흙은 새만금(미사)과 시화(사질양토) 지구 2개토양에 대하여 실시함

㉕ 실내시험 압거모형 제작

- 3개 토조에 <Table 3-5>와 같이 압거모양 3종류 (① 유공관만, ② 유공관 + 수평필터매트, ③ 유공관 + 차수시트)로 지하관수모형시험 토조를 조성하였음

<Table 3-5> 관 배수 압거 모형제작 현황사진








구분	유공관	유공관+필터매트	유공관+차수시트
압거모형			

③ 실험결과

㉖ 하강침투 및 모관수상승특성

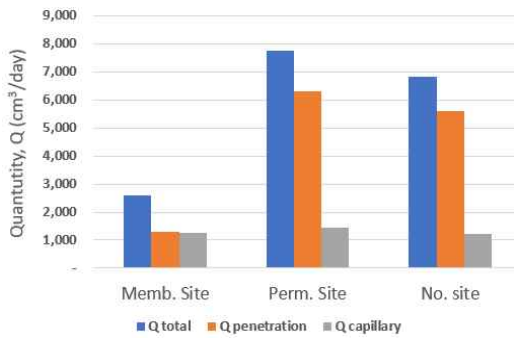
○ 토조모형시험결과 <Table 3-6>과 같이 관 배수압거관에 물을 공급한 결과 ① 유공관 토조는 하강침투가 뚜렷하고, ② 수평매트 압거관은 하강침투가 옆으로 넓게 퍼져서 하강하였으며, ③ 차수시트형 압거모형은 하강침투는 거의 없고 모관상승만 있는 특성을 보임

<Table 3-6> 관 배수검용 압거 토조모형시험결과

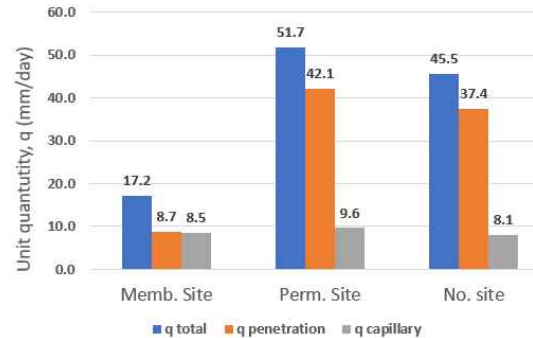
구분	유공관	유공관+필터매트	유공관+차수시트
토조 흙채움 직후			
관수 15분 후			
관수 1시간 후			

④ 관수 및 모관상승(유효관수)수량 측정분석

- 모형시험에서 전체 관수량 및 모관상승수량을 측정한 결과 <Fig. 3-5>와 같이 측정되었음. 여기서 가장 중요한 모관상승량은 8.1~9.6mm/day로 일 관수량 4mm/day보다 크므로 지하관수용으로 충분함. 그러나 시험대상 흙의 투수계수가  $k=1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$  로 투수성이 큰 흙으로 지하침투 손실수량이 무 시트 37.4, 투수성시트 42.1 mm/day로 매우 크나 차수시트는 8.7 mm/day로 크게 손실수량이 크게 감소하는 효과가 매우 큰 것으로 측정되었음



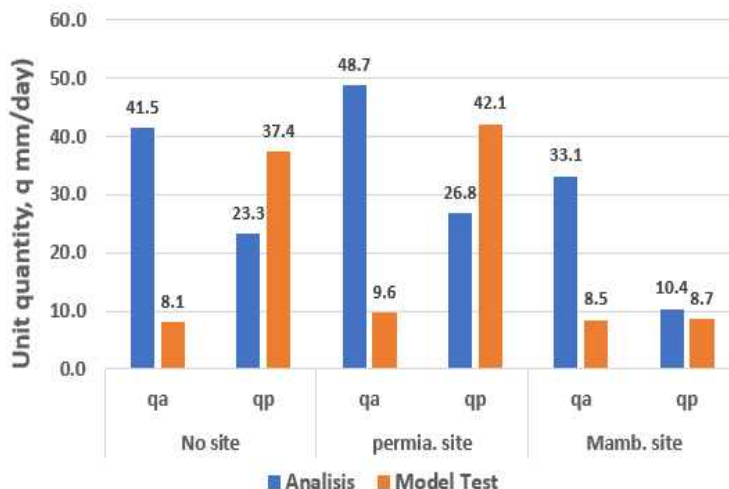
(a) 관수, 모관상승 및 침투손실 전체수량



(b) 관수, 모관상승 및 침투손실 단위수량

<Fig. 3-5> 지하 관 배수 겸용암거 모형시험결과

- 모관상승량에 대한 이론해석과 모형시험결과를 비교하면 모관상승수량은 이론해석  $q_a = 33.1 \sim 48.7 \text{ mm/day}$ 로 크지만 모형시험결과는 8.1~9.6mm/day로 차이가 큼. 그 원인은 토양표면과 뿌리 근권역의 부압이 1일 중 태양에 의한 식물과 토양면의 증발부압이 낮에는 높고 밤에는 0으로 이 영향에 의한 것으로 앞으로 연구가 필요함. 하지만 모형시험결과는 8.1~9.6mm/day로 지하암거에 의한 지중관수는 충분한 것으로 평가되었음
- 지하침투손실량에 대한 이론해석과 모형시험결과를 비교하면 무시트와 투수성시트에서는 침투손실수량은 이론해석  $q_a = 23.3 \sim 26.8 \text{ mm/day}$ 이나 모형시험결과는 37.4~42.1mm/day로 이론보다 더 큼. 이는 하강침투는 흙속에 형성된 크랙의 영향으로 투수성이 훨씬 크기 때문으로 분석됨. 하지만 차수시트 조건은 이론(10.4)과 모형시험(8.7mm/day)이 유사한 값을 보이고 있으며, 특히 무차수시트 조건보다 침투손실량이 차수시트조건이 1/2.4보다 더 큰 감소효과가 있으므로 투수성지반에서 지중관수를 위하여 차수시트 도입이 매우 유효하다는 결과를 얻었음



<Fig. 3-6> 지하 관배수 겸용암거 이론해석과 모형시험결과 비교

#### ④ 분석결과

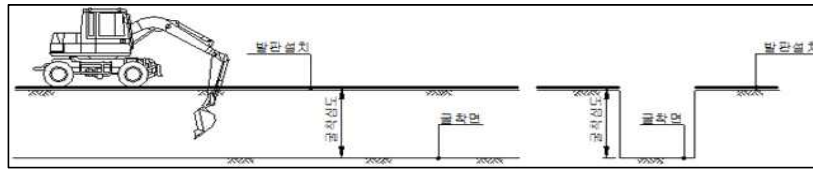
- 토조모형시험결과 <Table 3-6>과 같이 ① 유공관 토조 ② 수평매트 암거관은 하강침투가 우수하고 ③ 차수시트형 암거모형은 하강침투는 거의 없이 모관상승만 보이는 것으로 나타남
- 모형시험결과 모관상승량은 8.1~9.6mm/day로 일 관수량 5mm/day보다 크므로 지하관수용으로 충분하며, 지하침투에 의한 손실수량은 차수시트조건이 무차수시트 조건보다 1/2~1/4보다 더 큰 감소효과가 있으므로 투수성지반에서 지중관수를 위하여 차수시트 도입이 매우 유효하다는 결과를 얻었음

### 3) 지하관수 저류시트형 지하관수+배수 겸용암거 매설용 시공기술(장비) 개발

#### 가) 유공관과 지하관수 저류시트 동시 무굴착 시공장비개발

##### ① 기존의 무굴착 암거 시공장비

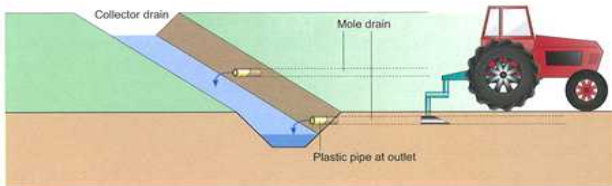
- 기존의 암거시공 장비는 굴착식 및 무굴착식 장비로 구분되어지며, 굴착장비는 주로 백호를 사용하는 굴착식 공법으로 <Fig. 3-7>과 같음



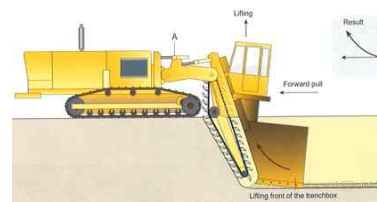
<Fig. 3-7> 백호를 활용한 굴착공법

- 무굴착식 장비는 백호 트랙터를 활용한 무굴착식 장비가 있으며, 네덜란드와 일본, 국내에서 농지범용화에 사용하는 장비이나, 트랙터의 경우 간척지와 같은 지반층이 약한 경우 적용하기 어려운 단점이 있음. 따라서 굴착장비인 백호를 무굴착식 암거시공 주행장비로 선정함

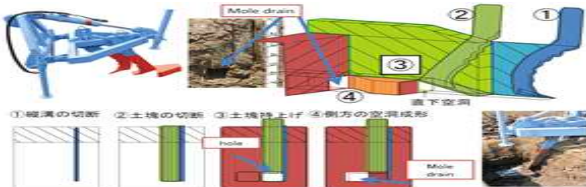
- <Fig. 3-8>은 국외 무굴착식 장비의 사례이며, <Fig. 3-9>은 농어촌연구원에서 개발한 국내 무굴착암거 장비임



(a) 두거지 암거 설치 장치(네덜란드)



(b) 트랜치를 파는 형식의 흡수거 매설 장치(네덜란드)



(c) 물 드레인 기술 "Cutdrain" (일본)



(d) 물 드레인 장치(일본)

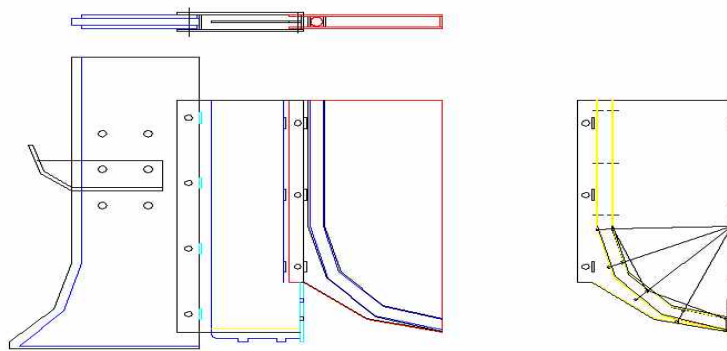
<Fig. 3-8> 무굴착장비 국외 사례



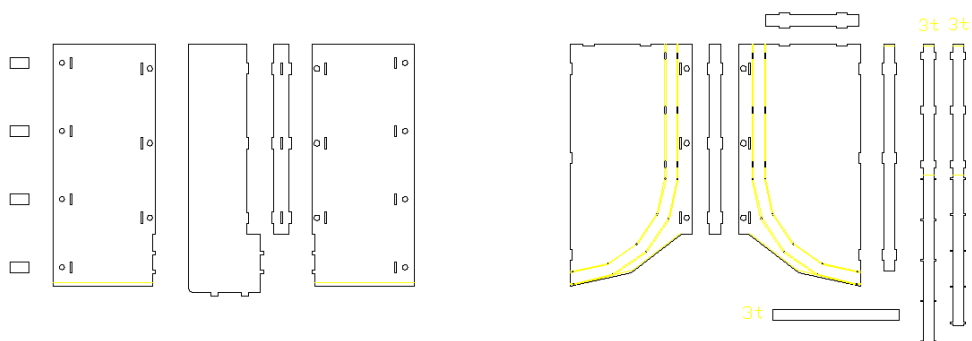
<Fig. 3-9> 농어촌연구원에서 개발한 무굴착암거설치 장비

## ② 유공관과 지하관수 저류시트 동시 무굴착식 매설공법 개발

- 백호부착형 무굴착식으로 유공관과 지하관수 저류시트를 동시에 설치가 가능한 장비를 개발함
- 새만금, 시화지구와 같은 투수성 토양에서 하강침투를 방지하고 모관공급수만 공급할 수 있도록 하강침투를 방지하는 저류시트를 암거관과 같이 설치하는 저류시트형 지하관수+배수암거공법을 실용화하기 위하여 매설장비제작과 현장 적용성 평가가 필요하여, 본 연구에서는 장비시작품을 제작하고 현장에 적용하여 보완 및 개선과정을 거쳐 실용적인 공법을 정립하고자 함
- 특히 하강침투를 방지하는 저류시트를 암거관과 같이 설치하는 저류시트형 지하관수 + 배수암거설치 장비 ① 시작품을 설계 제작하고 ② 현장에 적용하여 장비 보완 및 개선과정을 거쳐 ③ 실용적인 장비를 최종적으로 완성함
- 저류시트형 지하관수+배수암거 설치 장비를 제작하기 위하여 설계도를 작성하였으며 설계도의 작성 내용은 다음과 같음

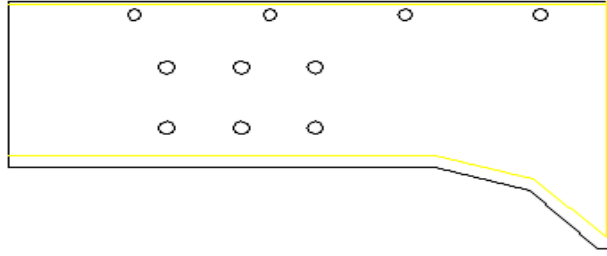


<Fig. 3-10> 조감도



<Fig. 3-11> 상세도(1)





<Fig. 3-12> 상세도(2)

### ③ 시작품제작

- 상기의 설계도에 따라 장비의 시작품을 제작하였음. 시작품은 저류시트형 지하관수+배수암거 설치를 동시에 가능하게 함



<Fig. 3-13> 유공관 설치부품



<Fig. 3-14> 저류시트와 유공관 설치부품



<Fig. 3-15> 선 굴착날 및 저류시트와 유공관 설치부품

#### ④ 지하관수용 저류시트와 유공관 매설 장비 보완

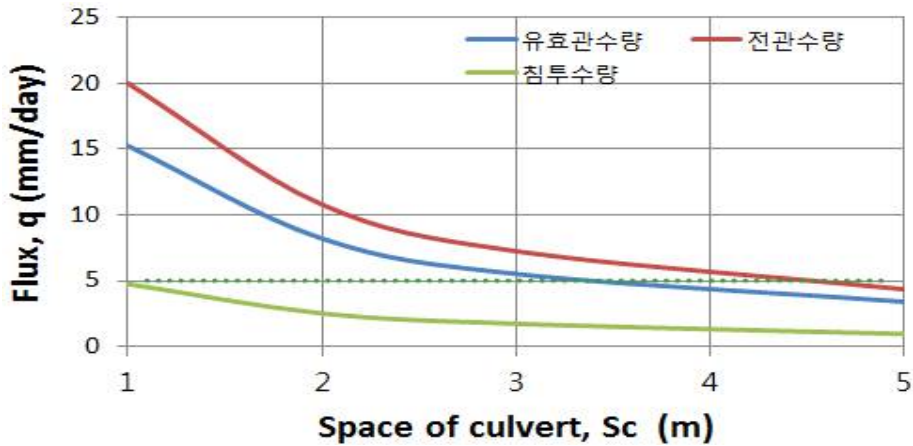
- 본 연구에서는 상기에서 제작한 저류시트형 지하관수 + 배수압거공법을 선정하여 테스트 베드 조성을 통한 성능 및 효율성을 평가함
- 저류시트형 지하관수 + 배수압거 시공공법의 효율화를 위하여 무굴착 장비를 선정하였으며, 특히 장비 선정시 저류시트와 배수압거를 동시에 설치할 수 있는 공법으로 선정하였음
- 또한 간척지 토성에 가능하도록 다양한 정비를 검토하였음. 견인장비는 백호와 트랙터로 검토 하였으며, 간척지 연약지반의 특성상 백호를 기초로 하여 저류시트와 배수압거를 동시에 적용 할 수 있는 부대장비를 선정함
- 부대장비의 경우 “② 및 ③항” 에서 설계하고 제작된 장비를 최적 장비로 선정하였음

4) 1차 실증단지 조성을 위한 계획 수립, 설계 및 시공

① 지하관수 저류시트형 암거 설치 간격 결정 및 설계

㉞ 관 배수 겸용 암거의 적정 간격결정

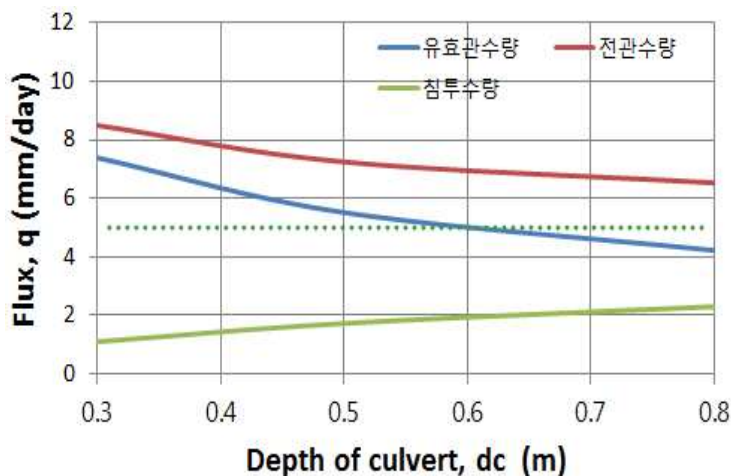
- 암거의 심도별 지중관수 침투류해석결과 <Fig. 3-16>와 같이 암거간격이 좁을수록 유효관수량이 크면서 하강침투에 의한 하강침투 손실량도 큰 것으로 해석됨
- 암거간격이 좁을수록 관수효율이 높으므로 가능한 적게 하는 것이 좋으나 소요 관수량을 만족하면서 경제성이 있는 간격을 결정하는 것이 필요하다는 해석결과임. 금회 해석조건에서는 <Fig. 3-17>과 같이 암거간격 3 m 미만이면 일관수량 5 ( $4 \times 1.25$ ) mm/day를 만족하는 가장 경제적인 것으로 분석됨



<Fig. 3-16> 관 배수 겸용암거의 지하관수량 및 지하침투수량 비교

㉟ 관 배수 겸용 암거의 적정 심도결정

- 암거의 심도별 지중관수 침투류해석결과 <Table 3-2> 및 <Fig. 3-16>과 같이 암거심도가 적을수록 유효관수량이 크면서 하강침투에 의한 하강침투 손실량이 적은 것으로 해석됨
- 암거심도가 낮을수록 관수효율이 높으므로 가능한 낮게 하는 것이 좋으나 농작업 특성상 최소 소요심도 이상으로 암거심도를 결정하는 것이 필요하다는 해석결과가 도출되었으며, 금회 해석조건에서는 <Fig. 3-17>과 같이 암거심도 0.6 m 미만이면 일관수량 5 ( $4 \times 1.25$  mm/day)를 만족하므로 암거심도 0.6 m 미만에서 농작업에 지장이 없는 심도를 결정하면 되는 것으로 분석됨



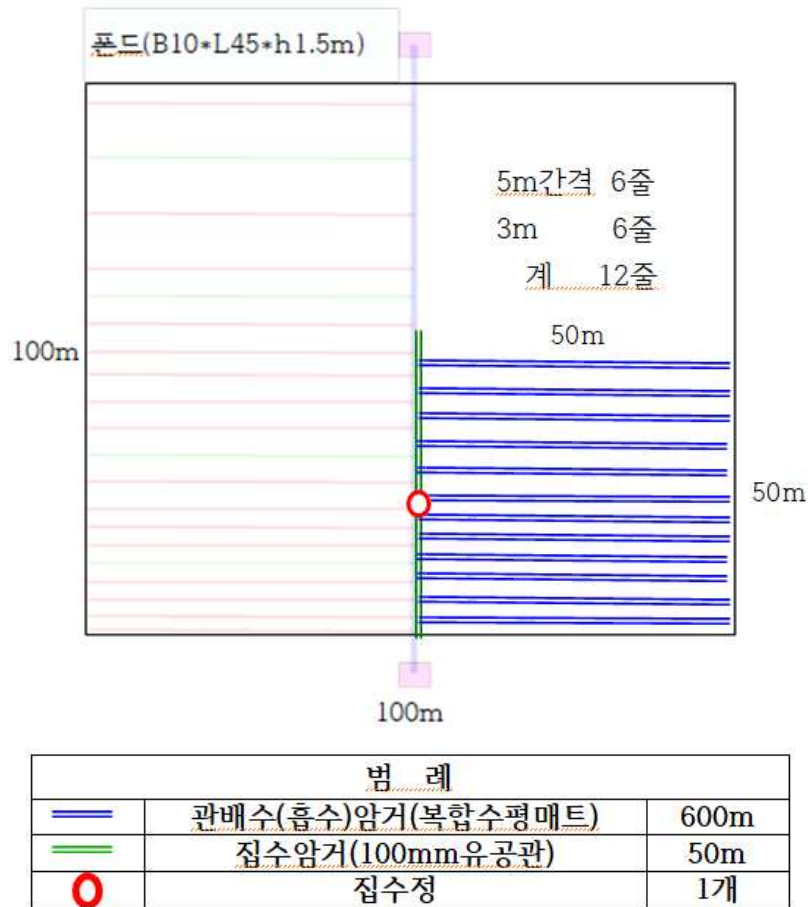
<Fig. 3-17> 관 배수겸용암거의 심도별 암거의 지하관수량 및 지하침투수량 비교

② 지하관수 저류시트형 암거 Test-bed 적용을 위한 설계

- 재염효과를 위한 현장검증에 필요한 실험변수를 고려하여 흡수암거 간격을 3 m, 5 m, 10 m 3가지의 경우를 선정하여 설계 및 시공을 실시함

㉑ Test-Bed 적용을 위한 설계

㉑ 시화간척지 시험포조성 계획평면도

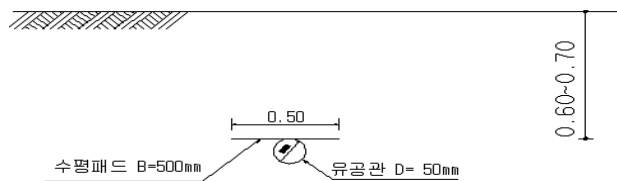


<Fig. 3-18> 지하관수 저류시트형 암거 설치 평면도

㉒ 사업계획 단면도

㉒ 흡수암거 단면도

- 흡수암거의 심도는 0.6 m의 깊이로 유공관 직경 50 mm, 복합수평매트 폭 300 mm를 적용함

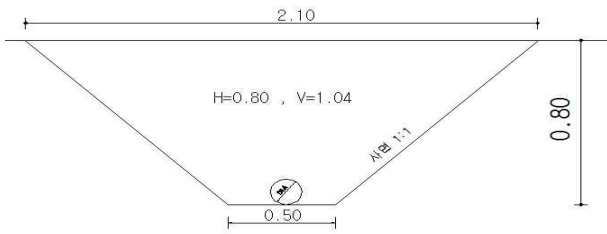


<Fig. 3-19> 흡수암거 설치 깊이 및 단면도

㉒ 집수암거 터파기 단면도

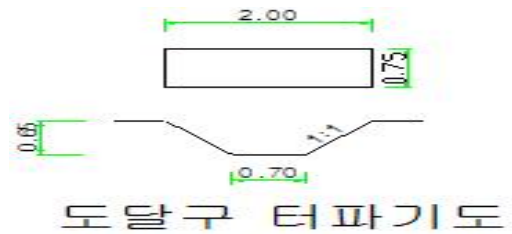
- 집수암거 터파기는 사면은 1:1로 설정하였으며, 심도는 0.8 m, 터파기량은 1.04 m<sup>3</sup>로 산정되었으

며, 유공관이 놓일 바닥 폭은 0.5 m로 유공관 50 mm 이상으로 안정적으로 설치가 가능할 것으로 판단됨.



부직포랩핑 Pe유공관

<Fig. 3-20> 집수암거 설치 깊이 및 단면도



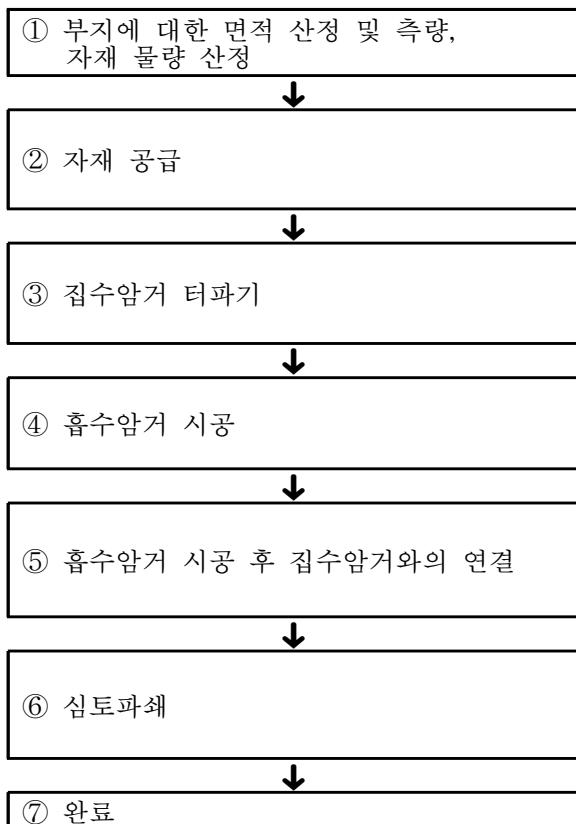
<Fig. 3-21> 도달구 평면도 및 단면도

### ㉔ 도달구 터파기 단면

- 도달구는 가로 2.0 m, 세로 0.75 m의 크기로 터파기는 깊이 0.65 m, 하부너비 0.7 m의 크기로 터파기를 실시함

### ③ 지하관수 저류시트형 암거 시공 방법(순서 및 단계 포함) 결정

- 체계적인 지하관수 저류시트형 공법 시공을 위해 시공순서를 결정함. ① 시공을 위해 준비된 부지에 대한 면적 산정 및 공법 적용을 위한 자재 물량 산정, 측량 실시 ② 공법 적용을 실시하기 전 다음 공종과의 간섭이 없이 시공 가능한 자재 공급, ③ 집수암거 터파기 실시, ④ 간격별 흡수암거 시공 실시, ⑤ 흡수암거 시공 완료 및 집수암거와의 연결 시공, ⑥ 팜폰드 조성 ⑦ 완료의 순서로 실시하며, 공종순서는 <Fig. 3-22>과 같음



<Fig. 3-22> 지하관수 저류시트형 공법 시공순서

#### ④ 테스트베드 시공

○ 1차년도에 테스트베드를 설계하는 것으로 목표를 세웠으나 본 연구에서는 설계 후 테스트베드를 조성하는 성과를 달성함



(a) 시공 전 전경



(b) 자재현장반입



(c) 집수암거 터파기



(d) 유공관+복합포 흡수암거 시공



(e) 유공관+복합포 흡수암거 시공



(f) 흡수암거 시공



(g) 심토파쇄 완공

<Fig. 3-23> 테스트베드 시공 과정 및 완공 사진

## (나) 강우시 지표잔류수 배수축진 수직소수재 지하암거공법 개발

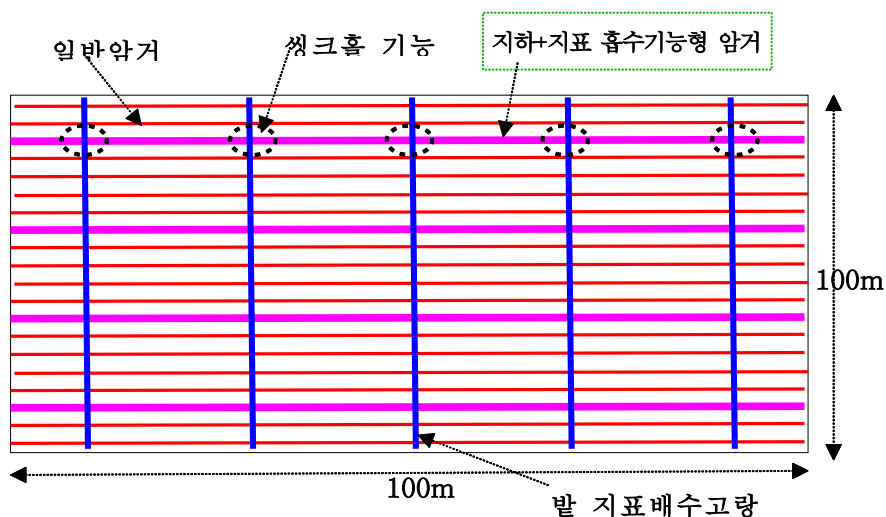
### 1) 개발의 필요성과 목표

- 간척농지는 저평지 대구획으로 지하배수는 물론 경지내 지표배수도 불량하여 작물 습해의 문제도 있지만, 강우 후 3~5일이상 농기계는 물론 사람 진입이 어려워 간척농지 발농사에 어려움이 많음.
- 본 연구에서는 강우 시 지표배수를 축진하기 위하여 지하암거를 지표배수겸용으로 사용할 수 있는 지하+지표배수 겸용암거공법을 개발하기 위하여 지하+지표배수를 축진할 수 있는 수평+수직소수재 암거에 대한 수치해석과 모형시험을 실시하여 최적의 지표잔류수 배수축진 겸용암거 최적 시스템을 정립하고자 함

### 2) 지표잔류수 배수축진 수직소수재 암거공법 요소기술 개발

#### 가) 수직소수재 암거공법 요소기술 개발 모식도

- 본 연구에서 지표배수를 축진하기 위하여 수평매트 위에 수직 왕겨 또는 토목섬유를 암거유공관 위에 함께 설치하는 암거모양을 적용하고 이 암거를 3~5개 암거사이에 1개씩 적용함

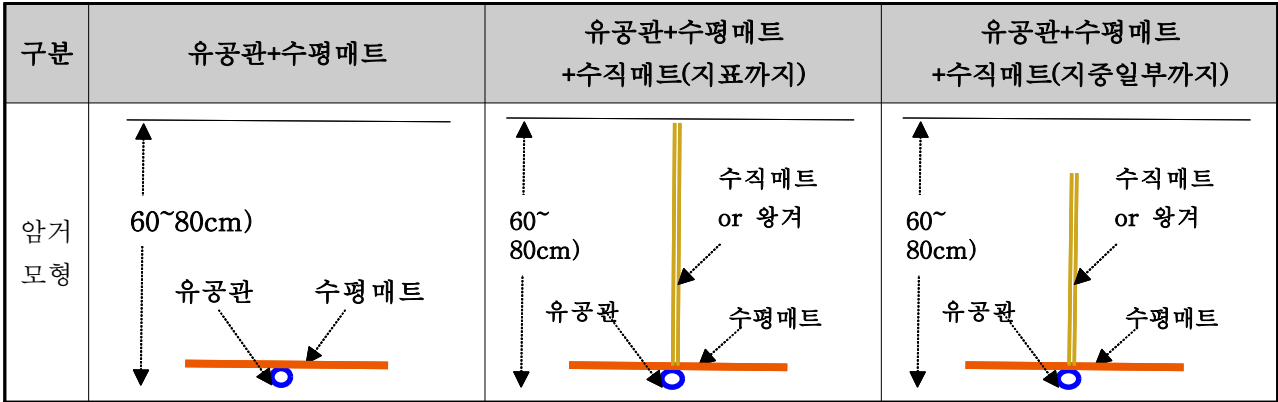


<Fig. 3-24> 지하+지표배수 겸용암거 조직 모식도

#### 나) 수치해석 방법 및 변수 결정

- 본 연구에서 지표배수를 축진하기 위하여 <Table. 3-7>과 같이 수평매트위에 수직 왕겨 또는 토목섬유를 암거유공관 위에 함께 설치하는 암거모양에 대한 해석 및 실험변수로 하여 침투류 해석을 실시함
- 또한 간척지에 적용 가능한 수평+수직 암거의 최적 형상을 결정하고자 변수를 설정하였으며 변수 설정에 따른 수치해석을 실시함
- 암거의 모양은 세가지 변수를 설정하였으며, ① 유공관+수평시트 ② 유공관+수평+수직시트, ③ 유공관+수평+부분수직시트이며, 세가지 변수를 통하여 간척지 토양특성 등을 고려한 최적의 지하+지표배수 겸용암거의 최적 암거 요소기술을 개발하고자 함

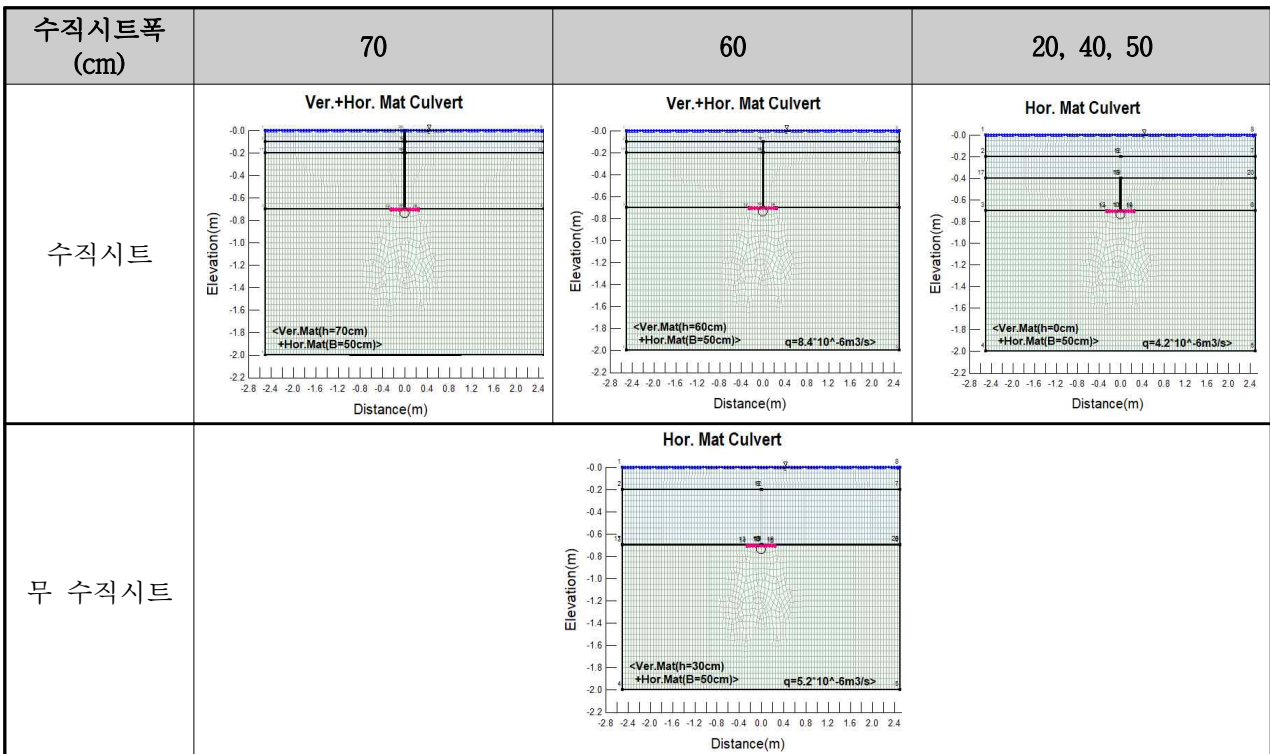
<Table 3-7> 수치해석 대상 지하+지표배수 암거 모양



다) 침투류해석 변수

- 지하+지표배수암거 침투류해석 변수를 <Table 3-8>와 같이 무차수시트와 차수시트 조건에 대하여 시트 폭별 수치해석을 실시하였음

<Table 3-8> 지하+지표배수암거 침투류해석 조건



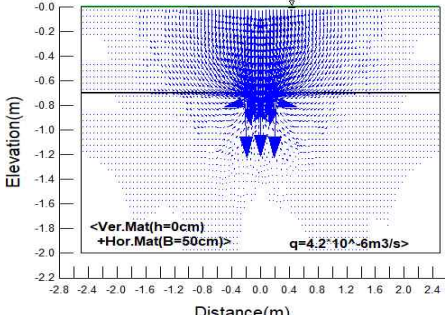
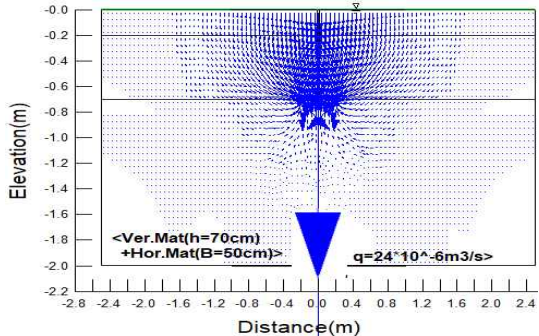
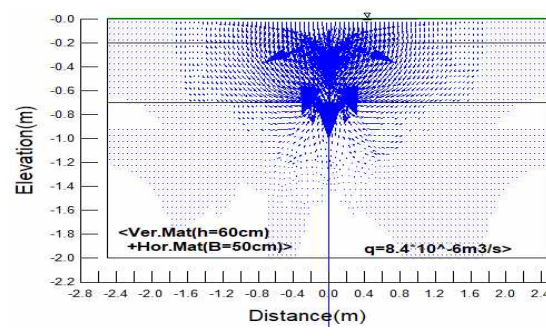
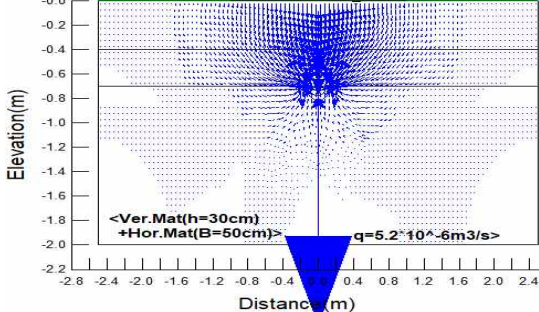
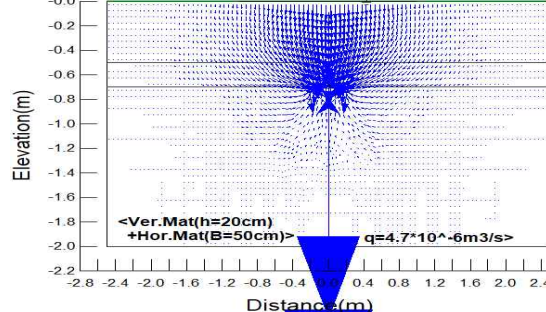


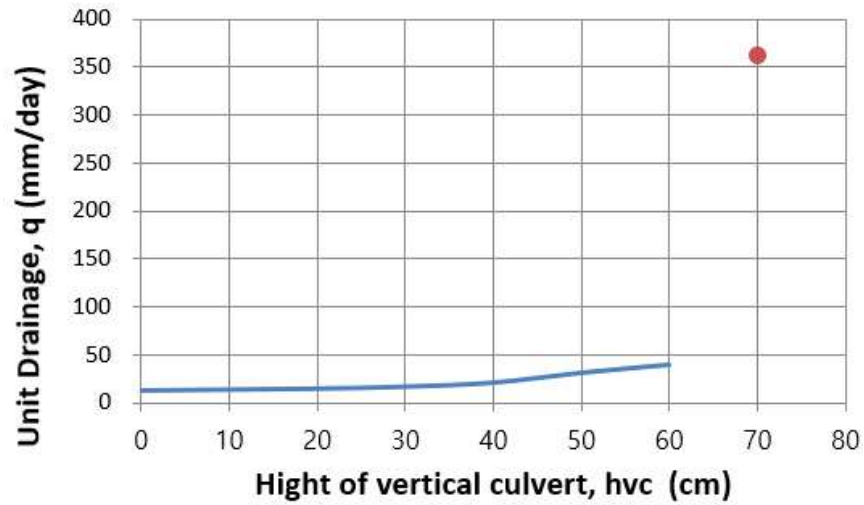
라) 수직소수재 압거공법 수치해석결과

① 압거모양(수직시트높이)별 지하배수특성

- 압거모양별 수직시트 크기별 지하배수 침투류해석결과 <Table 3-9>와 같이 무 수직시트 압거는 단위지하배수량이  $4.2 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/s/m이지만 지표까지 연결된 높이 70cm 수직시트는  $24 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/s/m로 5.7배의 배수성능을 발휘하는 것으로 강우 직후 지표잔류수의 배수축진 효과가 큰 것으로 분석되었음
- 하지만 수직시트의 높이가 지표까지 연결되지 못하는 경우 지표에서 10cm(수직시트 높이 60cm) 밑까지인 경우  $8.4 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/s/m, 20cm는 6.9, 30cm는 5.9, 40cm는 5.2, 50cm는  $4.7 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/s/m로 크게 그 효과가 감소하는 특성을 보이고 있음.
- 수직소수재를 지표까지 연결시키는 것이 지표잔류수 배제효과가 가장 좋으나 발갈이 작업 시 파손되므로 주어지는 영농작업조건에서 최적방안을 도출하는 것이 필요함.

<Table 3-9> 수직시트의 높이별 지하+지표배수특성

구분	지하+지표배수특성 및 배수특성	
수평시트만 hsh=50cm hsv=0cm		
수평+수직시트 hsh=50cm	<p>hsv=70cm(지표까지) &lt;q=24cm<sup>3</sup>/m&gt;</p> 	<p>hsv=50cm(지표하 20cm) &lt;q=8.4cm<sup>3</sup>/m&gt;</p> 
	<p>hsv=30cm(지표하 40cm) &lt;q=5.2cm<sup>3</sup>/m&gt;</p> 	<p>hsv=50cm(지표하 20cm) &lt;q=4.7cm<sup>3</sup>/m&gt;</p> 
hsv : 수직시트높이, hsh : 수평시트높이		



<Fig. 3-25> 수직매트 지하+지표배수 겸용암거 단위배수량(수치해석)

② 암거 간격별 지하배수 특성

- 지하+지표 겸용암거의 간격별 침투류해석결과 <Table 3-10>과 같이 암거의 간격에 영향은 거의 없이 암거 1개당 단위 배수량은 거의 같은 배수량을 보이고 있음

<Table 3-10> 지하+지표배수암거 간격의 지하배수 특성

암거 간격	10m	5m	3m
지표까지 설치	<p><math>q=24.4 \text{ cm}^3/\text{s}/\text{m}</math></p>	<p><math>q=24.4</math></p>	<p><math>q=24.3</math></p>
지표하 20cm 까지 설치	<p><math>q=6.9 \text{ cm}^3/\text{s}/\text{m}</math></p>	<p><math>q=6.9</math></p>	<p><math>q=6.7</math></p>

### ③ 수직시트의 투수성별 지하배수 특성

- 지하+지표 겸용암거의 수직시트의 투수성별 침투류해석 결과 <Table 3-11>과 같이 지표배수까지 설치하는 조건은 수직시트의 투수성과 직선 비례하므로 소수재의 투수성을 큰재료를 사용하고 그 단면도 크게 할수록 배수효율이 높음.
- 하지만 지표까지 설치하지 않는 경우는 수직소수재의 투수성과 단면크기의 영향은 크지 않은 것으로 분석됨.

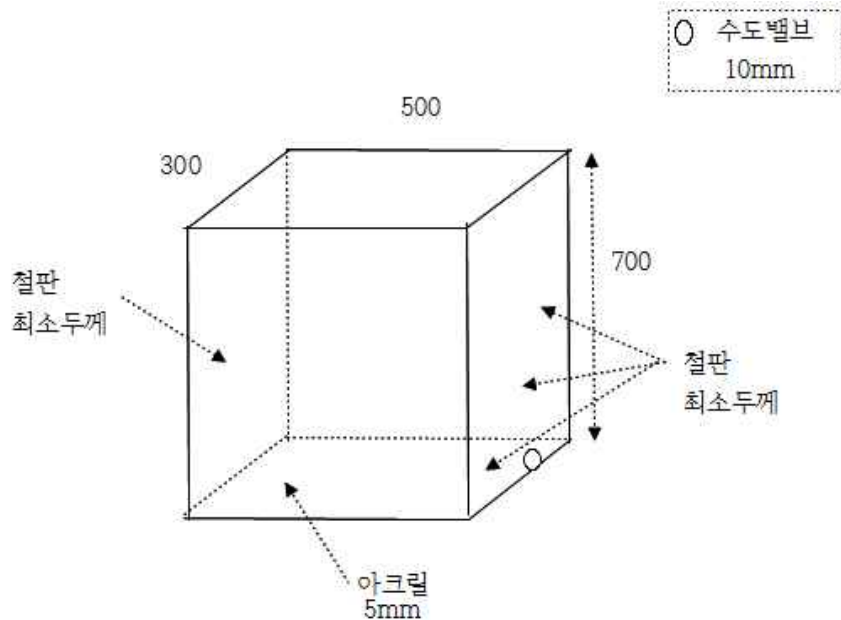
<Table 3-11> 지하+지표배수암거의 수직배수재의 투수성별 지하배수특성

투수성	$k_f=1 \times 10^{-2} \text{m/s}$	$1 \times 10^{-3} \text{m/s}$	$2 \times 10^{-4} \text{m/s}$
지표까지 지설치			
	$q=207 \text{ cm}^3/\text{s/m}$	$q=24.4$	$q=6.2$
지표하 20cm까지 지설치			
	$q=7.3 \text{ cm}^3/\text{s/m}$	$q=6.9$	$q=5.8$

마) 수직소수재 지하암거의 겸용암거의 실내요소시험

① 실험방법

- 지하+지표 배수겸용 암거의 특성을 실내모형에서 재현할 수 있는 토조를 만들고 지표에 지표잔류수를 재현할 때 지하배수특성을 측정
- 실내모형시험은 암거모양 ① 유공관+수평매트+수직매트(지표까지) ② 유공관+수평매트+수직매트(지표하 10cm까지) 2종류에 대하여 지하배수 특성을 관찰하고 지하배수량을 측정하여 수치해석결과와 비교분석하여 최적의 지표잔류수 배수축진 지하+지표배수 겸용암거 시스템을 도출.



<Fig. 3-26> 수직매트 지하+지표배수 겸용암거 모형시험기 모식도

<Table 3-12> 수치해석 대상 지하+지표배수 암거 모양

구분	유공관	유공관+차수시트	유공관+복합시트
암거 모형	<p>60~80cm)</p> <p>유공관 수평매트</p>	<p>60~80cm)</p> <p>유공관 수직매트 or 왕겨 수평매트</p>	<p>60~80cm)</p> <p>유공관 수직매트 or 왕겨 수평매트</p>

② 실내모형시험 대상 흙 및 모형제작

- 시험대상 흙은 새만금(미사)지구 토양에 대하여 실시함
- 2개 토조에 <Table 3-13>과 같이 수평매트 위에 수직매트를 ①지표하 일부(10cm)까지만, ② 지표까지 설치하는 조건의 암거모양 2종류에 대하여 지표잔류수 배수축진 암거모형시험 토조를 조성하였음

<Table 3-13> 수평+수직매트 지하배수 압거 모형제작

구분	① 수직시트 지표하 10.cm	② 수직시트 지표까지
압거모형		

<Table 3-14> 수평+수직매트 압거의 지하배수 현황

구분	수직시트 지표하 10.cm	수직시트 지표까지
지표 진류수 급수재현		
급수 후 2시간 경과		
급수 후 24시간 경과		

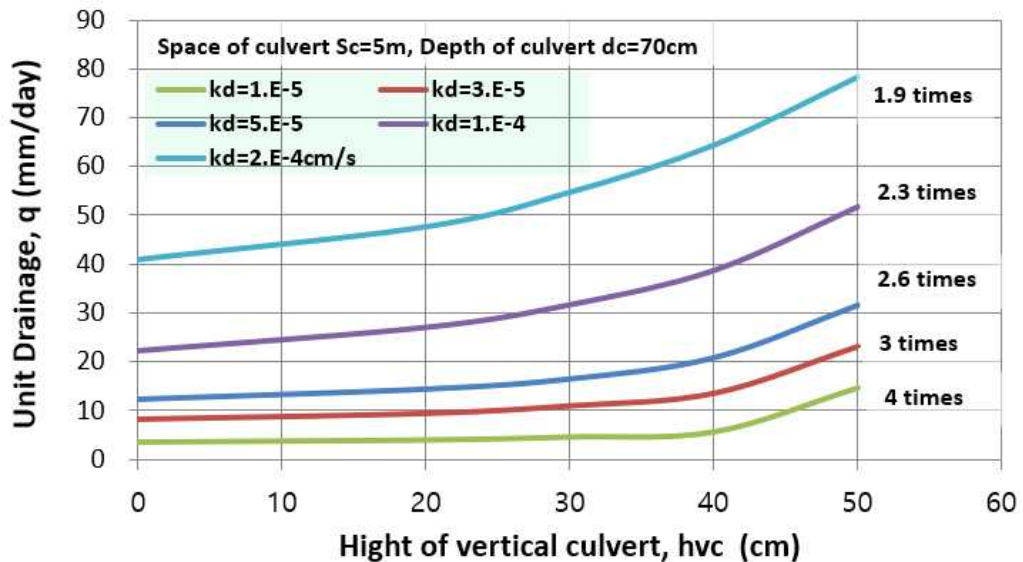
### ③ 실내요소실험결과

- 토조모형시험결과 <Table 3-14>와 같이 토조 지표에 물을 공급한 결과 ① 지표까지 수직매트를 설치한 토조는 지표잔류수가 10분 안에 하강침투가 완료되었으나, ② 지표하 10cm까지 수직매트를 설치한 토조는 지표잔류수가 3시간만에 하강침투가 완료 되었음.
- 본 토조모형시험은 폭이 50cm로 현장의 암거간격은  $Sc=3\sim 5m$ 로 활용하기가 어려워 모형시험결과는 수치해석결과를 확인하는 정도로 활용하고 수치해석결과를 활용하여 수직소수재의 적용범위와 방법을 평가분석함.

#### 바) 지표잔류수 배수축진을 위한 수직배수재 지하암거의 배수효과와 적용성 평가

##### ① 수직소수재의 지표잔류수 배수축진효과

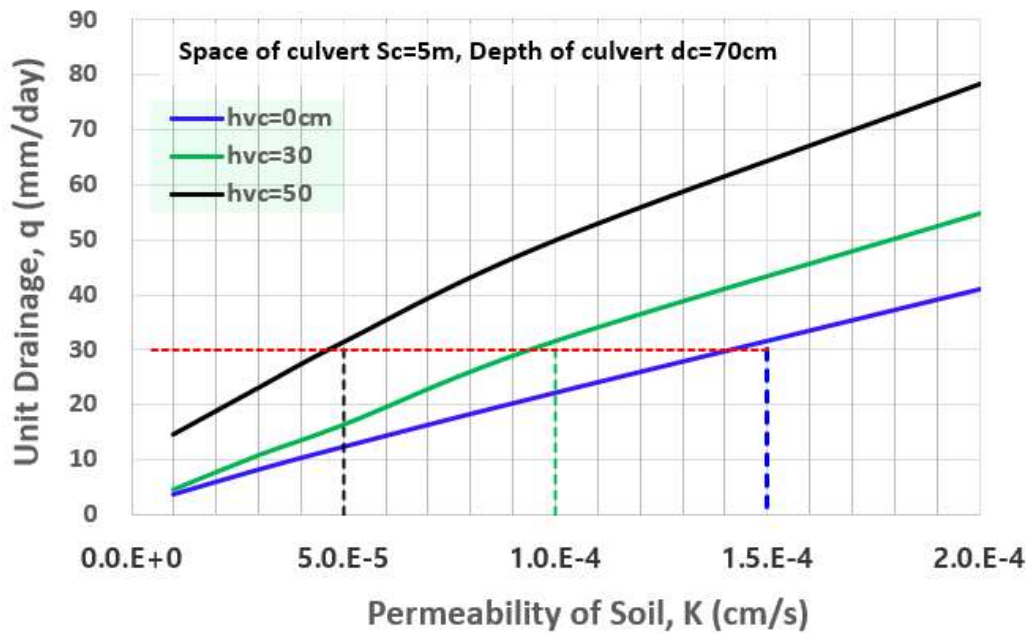
- 수직소수재의 매설높이별 지표잔류수 배수축진 효과를 흙의 투수성 별로 비교해보면 <Fig. 3-27>와 같이 흙의 투수성이 클수록 지표잔류수 단위배수량이 큼.
- 흙의 투수성이 어느 이상 크면 수직소수재 없이도 지표잔류수 배제속도( $q>30mm/day$ )가 충분하고, 흙의 투수성( $kd<1.5\cdot 10^{-4}cm/s$ )이 적은 경우 수직소수재가 필요함.
- 또한 수직소수재 높이 50 cm로 설치하면 무 수직소수재 대비 지표잔류수 배수축진 효과는 흙의 투수계수  $kd=2\cdot 10^{-4}cm/s$  일 때 1.9배,  $kd=1\cdot 10^{-4}cm/s$  는 2.3배,  $kd=1\cdot 10^{-5}cm/s$  는 4배로 흙의 투수성이 적을수록 배수축진효과가 더 큼.



<Fig. 3-27> 흙의 투수계수별 수직소수재의 높이별 지표잔류수 단위배수량

② 지표잔류수 배수축진을 위한 수직소수재(지하흡수공)의 적용 조건

- 지표잔류수 지하배수축진을 위한 수직소수재의 효과를 보면 <Fig. 3-28>과 같이 흙의 투수성이  $kd > 1.5 \times 10^{-4}$  cm/s보다 크면 수직소수재 없이도 지표잔류수 배제가 가능함.
- 흙의 투수성이  $kd < 1.5 \times 10^{-5}$  cm/s보다 적은 경우 수직소수재를 50cm까지 설치하여도 지표잔류수 배제속도( $q > 30$ mm/day)를 만족하지 못함.
- 지표잔류수 지하배수축진을 위한 수직소수재는 흙의 투수성이 약  $kd = 5 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-4}$  cm/s 범위일 때 적용 효과가 있음.
- 여기서 우리나라 간척지 토양에서  $kd < 5 \times 10^{-5}$  cm/s보다 적은 토양은 점성이 있는 토양으로 심토파쇄를 하면 시간이 경과하여도  $kd < 1.5 \times 10^{-4}$  cm/s 이상을 유지하므로 수직소수재 없이 수평매트+유공관 암거로 충분함.
- 하지만 새만금, 시화, 부사 간척지와 같이 점성이 거의 없는 실트질세사(SM), 실트질 흙(ML)은 투수성이  $kd = 5 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-4}$  cm/s 정도의 범위에 있고 이흙은 심토파쇄를 하여도 투수성이 크게 증가하지 않고 시간이 경과하면서 원상태의 투수성을 가지므로 이들 흙에 지표잔류수 배수축진을 위한 지하흡수공(수직소수재)의 적용이 유효함.



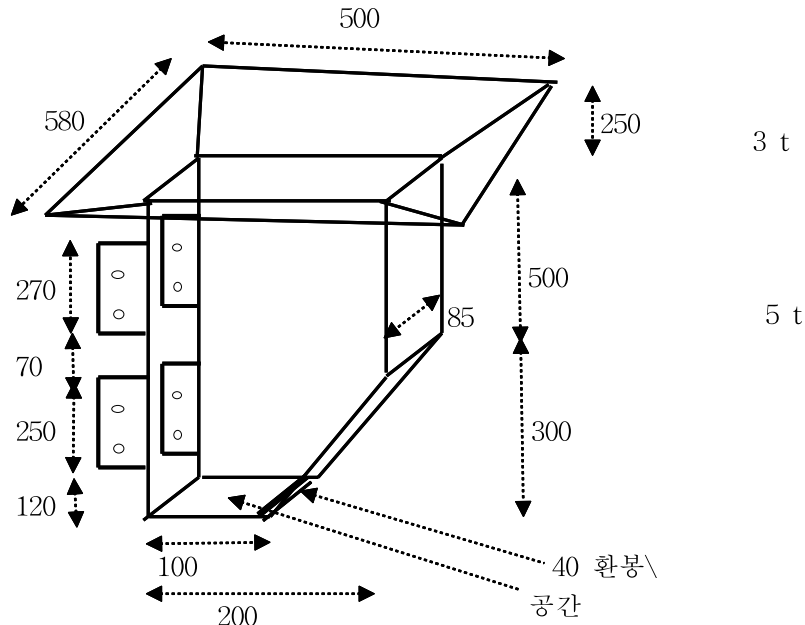
<Fig. 3-28> 흙의 투수계수별 수직소수재의 적용 가능 범위

### 3) 지표잔류수 배수축진 지하배수 암거공법 저비용 시공기술(장비) 개발

#### 가) 무굴착 공법 적용을 위한 수평매트 및 수직소수재 동시 시공 장비개발

##### ① 유공관 + 수평 + 수직소수재 동시 시공 장비 구상

- 백호를 활용한 무굴착 장비를 활용하여 암거 및 수직소수재의 동시 설치가 가능한 공법을 개발함
- 저평지 대구획 간척지에서 지표잔류수 배수축진을 위한 수직소수재(왕겨)를 수평매트+암거관과 같이 설치하는 수평매트+수직소수재 암거공법을 실용화하기 위하여 장비제작과 현장 적용성 평가가 필요하여, 본 연구에서는 장비시작품을 제작하고 현장에 적용하여 보완 및 개선과정을 거쳐 실용적인 공법을 정립하고자 함
- 특히 수직소수재(왕겨)를 수평매트+암거관과 같이 설치하는 수직소수재+수평매트+유공관을 동시에 설치하는 장비 ① 시작품을 설계 제작하고 ② 현장에 적용하여 장비 보완 및 개선과정을 거쳐 ③ 실용적인 장비를 최종적으로 완성함
- 수직소수재+수평매트+유공관 암거장비를 제작하기 위하여 설계도를 작성하였으며 설계도의 작성 내용은 다음과 같음



<Fig. 3-29> 수직소수재 +수평매트+유공관 암거장비 모식도

##### ② 시작품제작

- 상기의 설계도에 따라 장비의 시작품을 제작하였음. 시작품은 소수재 왕겨를 수평매트 위에 수직으로 포설할 수 있도록 유공관위에 수평매트 그 위에 수직왕겨소수재를 동시에 시공을 가능하게 함
- 1차 시작품제작 결과 수직 투입이 가능하지만 지표까지 투입이 어려워 지표까지 투입할 수 있도록 장비를 보완 제작하였음



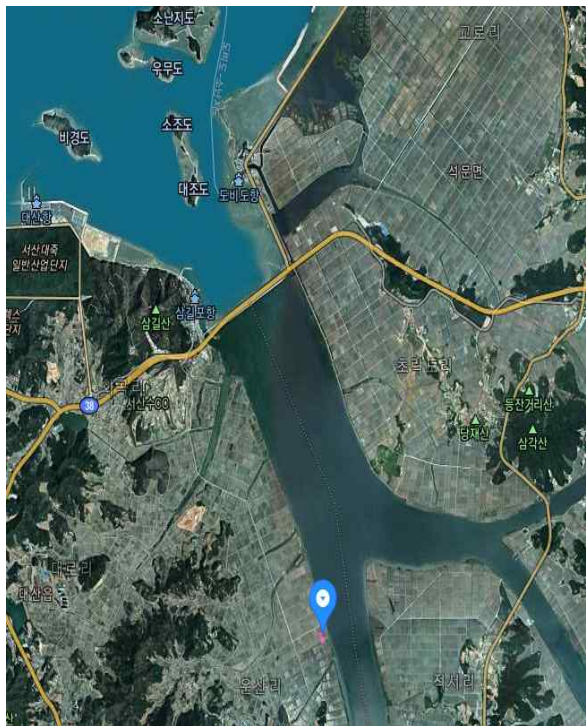


<Fig. 3-30> 유공관+수평매트+수직소수재 압거 시험시공 상황

**나) 실증단지 조성을 위한 계획 수립, 설계 및 조성**

○ 본 연구에서는 상기에서 제작한 유공관+수평매트+수직 왕겨소수재 압거공법 및 장비의 성능을 평가하기 위하여 대호간척지 시험포를 조성시 적용하여 성능을 평가하였으며, 대호간척농지 시험포 조성 위치에 대한 상세한 내용은 다음과 같음

**① 대호간척농지 시험포조성 위치도 (서산시 대산읍 운산리 1967)**



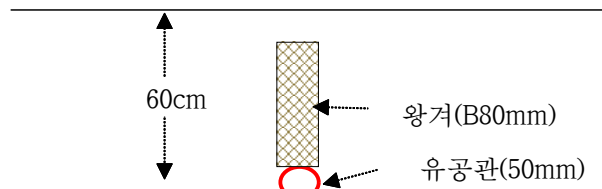
<Fig. 3-31> 대호간척지 위치도

**② 사업계획 평면도**

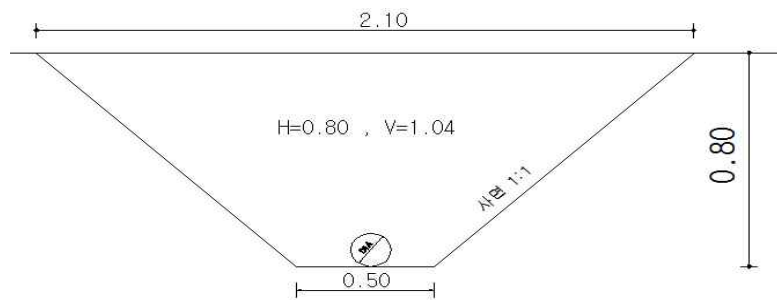
○ 대호간척농지 시험포 조성을 위한 설계도는 다음과 같음



<Fig. 3-32> 대호간척지 시험포 설계도



<Fig. 3-33> 흡수암거 단면도



부직포랩핑 Pe유공관

<Fig. 3-34> 집수암거 단면도

다) 유공관 + 수평 + 수직소수재 무굴착 암거 매설장비 시연

○ 개발한 지표잔류수 배수축진 수직배수재 지하암거공법으로 제작한 매설장비의 시연 모습은 Fig. 3-35과 같으며, 시연결과 효율적으로 시공할 수 있었음



(a) 집수암거 터파기



(b) 백호 부착 시연 (1)



(c) 백호 부착 시연 (2)



(d) 연직배수재 왕겨 포설 시연 (1)



(e) 연직배수재 왕겨 포설 시연 (2)

<Fig. 3-35> 장비시연

라) 수직소수재 무굴착 암거 실증단지 시공

○ 지표잔류수 배수축진 수직배수재 지하암거공법 실증단지를 계획 설계한 조건으로 보완 개발한 매설장비로 Fig. 3-36과 같이 효율적으로 조성하였음



(a) 시공전 전경



(b) 무굴착암거 장비 조립



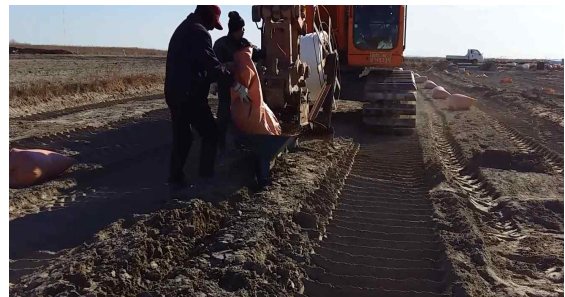
(c) 집수암거 터파기



(d) 왕겨배치



(c) 유공관+수평매트+수직왕겨 흡수암거 시공



(d) 집수암거 + 집수정 시공



(e) 심토파쇄



(f) 완공 후 전경

<Fig. 3-36> 수직배수재 지하암거공법 실증단지 조성

마) 지표잔류수 지하흡수공 지하배수 암거공법 적용 농지 작물재배

- 지표수흡수공 암거 설치구와 무처리구의 옥수수 시험재배 결과를 비교하면 <Fig. 3-37>와 같이 지표수 흡수공 설치하고 균평작업을 한 구역은 지표잔류수가 없이 지표배수가 우수하고 작물 생육도 매우 양호한 상태를 보이고 있음.
- 하지만 암거무처리와 균평작업을 하지 않은 시험구는 강우후 3일까지 지표잔류수가 존재해 있으며 작물이 습해를 입어 작물 생육상태가 매우 불량함을 보이고 있음.



a) 무 처리 구역(7월28일)



b) 지표수 지하흡수공 암거 구역(7월28일)

<Fig. 3-37> 수직배수재 수직배수재 암거와 균평작업 여부 옥수수 생육상태 비교

(다) 간척농지 투수성개선을 위한 고효율 심토파쇄 공법 개발

1) 심토파쇄의 필요성

- 일반 습답은 땅속에 물이 많고, 간척농지는 염분도 높아 발작물재배가 어려워 땅속에 유공관(암거)을 설치하여 물을 빼내야 한다. 하지만 이들 농지의 흙은 투수성( $k < 10^{-5} \text{cm/s}$ )이 낮아 암거를 설치해도 땅속에서 암거까지 물이 잘 나오지 않는다. 투수성이 낮은 논흙을 심토파쇄하면 유효공극이 생겨 흙의 투수성이 크게 커져 유공관까지 땅속의 물이 잘 빠져나오고, 이때 염분도 녹아 나와 제염도 잘 되므로 암거공사 시 심토파쇄를 병행하는 것이 꼭 필요함.
- 또한 벼농사를 계속한 논은 매년 썩래질할 때마다 부유된 미세토입자가 침강되면서 심도 20~50cm의 흙입자 사이에 퇴적되어 경반이 형성된다. 이 경반은 조밀하기 때문에 투수성과 통기성이 적어 물도 잘 안 빠지고, 공기가 적어 발작물 뿌리 생육이 어렵다. 이 경반을 심토파쇄하면 흙의 투수성과 통기성이 좋아져 발작물의 재배환경이 <Table 3-15>와 같이 크게 개선되므로 논에 발작물재배를 위하여 심토파쇄가 꼭 필요함.
- 제염이 된 간척농지를 밭으로 계속 사용하면 심층(암거 하부)의 염수가 모관상승에 의해 올라와 토양염도가 다시 올라가는 재염화가 발생된다. 암거 상부토양을 심토파쇄시키면 하부토양의 모관이 상부토양과 절단되므로 모관상승이 차단되어 재염화를 크게 방지할 수 있어 심토파쇄가 재염화 방지를 위해 꼭 필요함.

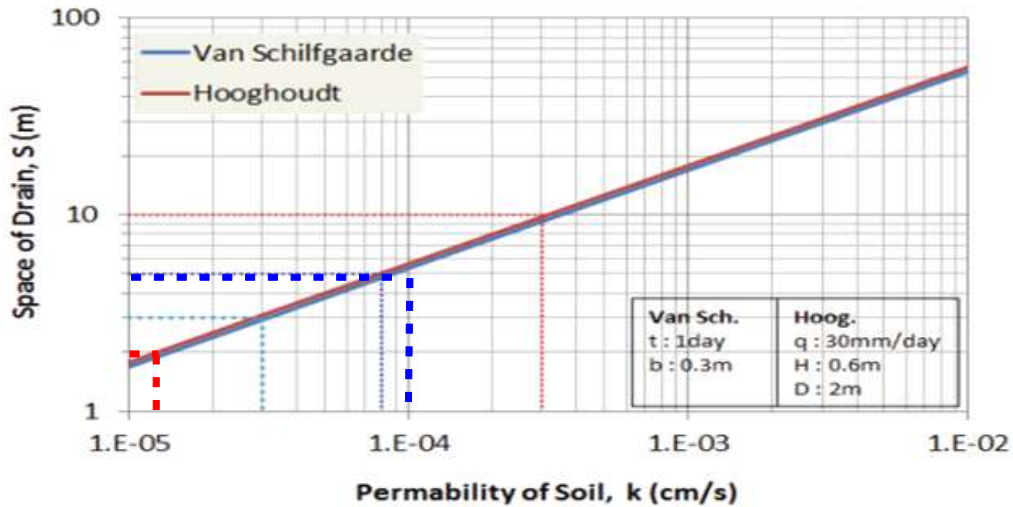
<Table 3-15> 심토파쇄 및 파쇄효과 비교

간척농지 심토파쇄	무파쇄 농지	파쇄농지(파쇄 3년차)
		

2) 심토파쇄 병행의 목적 및 효과

① 심토파쇄 병행 시 암거간격을 크게 할 수 있어 공사비 절감

- 흙의 투수계수  $k < 10^{-5} \text{cm/s}$ 인 논에서 암거만 설치 시 <Fig. 3-38>과 같이 암거간격 2.0 m이하가 요구되나 심토파쇄공법을 병행하면  $k > 1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 로 크게 개선되어 암거간격 5m로 가능하므로 경제적임. <암거간격 2.0m시 4천만원/ha ⇨ 암거간격 5m+심토파쇄 병행시 2.5천만원/ha>



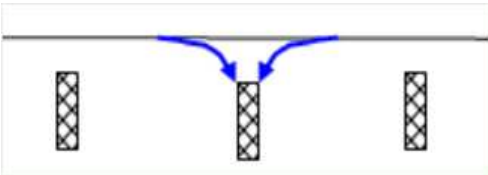
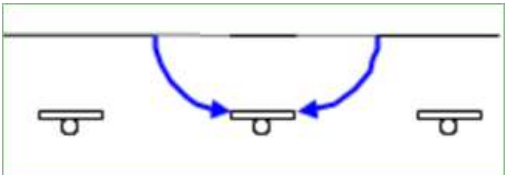


<Fig. 3-38> 흙의 투수계수와 암거의 소요간격 관계

② 심토파쇄 병행 시 간척농지 전면적에 균일한 제염

- 암거를 설치하고 암거사이를 심토파쇄를 하지 않으면 <Table 3-16>와 같이 암거를 설치한 부위 (라인)만 제염이 되지만, 암거 사이를 심토파쇄하면 강우가 땅속으로 전면적에 고르게 침투되어 전면적에 균일하게 제염이 되는 것을 보여주고 있음.
- 무굴착 암거를 5~10m간격으로 설치하고 암거 사이를 심토파쇄하면 암거사이 흙의 투수성이 커져 땅속에 배수가 균일하게 잘 이루어져 2년만에 제염이 균일하게 이루어진 것을 보여주고 있음.

<Table 3-16> 심토파쇄 및 파쇄효과 비교

<기존 굴착식 암거 + 무파쇄>	<무굴착식 암거 + 심토파쇄>
<p data-bbox="197 1294 453 1328">암거+무파쇄(2년후)</p>  <p data-bbox="438 1621 587 1655">일반 밭식물</p> <p data-bbox="603 1621 715 1655">염생식물</p>	<p data-bbox="820 1288 900 1317">A단지 2</p>  <p data-bbox="1086 1630 1401 1664">암거+심토파쇄(2년후)</p>
	<p data-bbox="735 1738 852 1816">지하침투 형상</p> 

③ 심토파쇄 시 지하염수 모관상승 차단 제염화 방지효과

- 간척지의 표층(심도 약 60cm까지) 토양을 심토파쇄하면 <Table 3-17>과 같이 유효공극이 커져 하부 무파쇄 토양의 모관크기보다 훨씬 커져 상하부의 모관이 절단되므로 심층 염수의 모관상승을 방지하여 제염화를 예방하는 큰 효과가 있음.

<Table 3-17> 심토파쇄 효과 비교



**④ 심토파쇄 시 토양구조 개선 및 발작물생육 환경 개선**

○ 심토파쇄 시 <Table 3-17>과 같이 토양에 유효공극이 많이 형성되어 투수성이 크게 개선되고 유효공기 함유량이 높아져 발작물의 뿌리 생육이 왕성해지는 매우 큰 효과가 있다. 또한 밭으로 사용 시 유효공극에 공기가 상존하면서 철분이 산화되어 흙의 색깔도 흑색에서 황갈색으로 변화되고 입단구조가 되어 일반 밭 토양과 같은 조건이 형성되는 것을 알 수 있음.

● 심토파쇄 병행 시 효과요약

- ① 심토파쇄 병행 시 암거간격(2⇒5m)확대 공사비 절감(4천만원/ha ⇨ 2.5천만원/ha)
- ② 심토파쇄 병행 시 전면적 균일한 제염(토양 염도 12dS/m ⇨ 2~5dS/m이하)
- ③ 심토파쇄 시 지하염수 모관상승 차단 재염화 방지효과가 큼
- ④ 심토파쇄 시 토양에 유효공극 확대 흙의 투수성 개선 및 발작물생육 조건 개선 (유효공극 30% 증가, 흙 투수계수  $k < 10^{-5} \text{cm/s} \Rightarrow k > 1 \cdot 10^{-4} \text{cm/s}$ 로 개선)

**3) 심토파쇄의 요소기술 개발 정립**

**가) 심토파쇄 시 투수계수 증가 예상(문헌조사분석)**

○ 흙의 투수성은 흙의 유효공극의 크기가 클수록 크다. 유효공극은 흙의 유효입경이 클수록 크기 때문에 흙의 투수성(투수계수 k)은 흙의 유효입경(통과율 10%, D<sub>10</sub>)의 자승에 비례하는 것으로 제시되어 있다.

Hazen 제안식을 보면

$$k = C D_{10}^2 \text{ (m/s)}$$



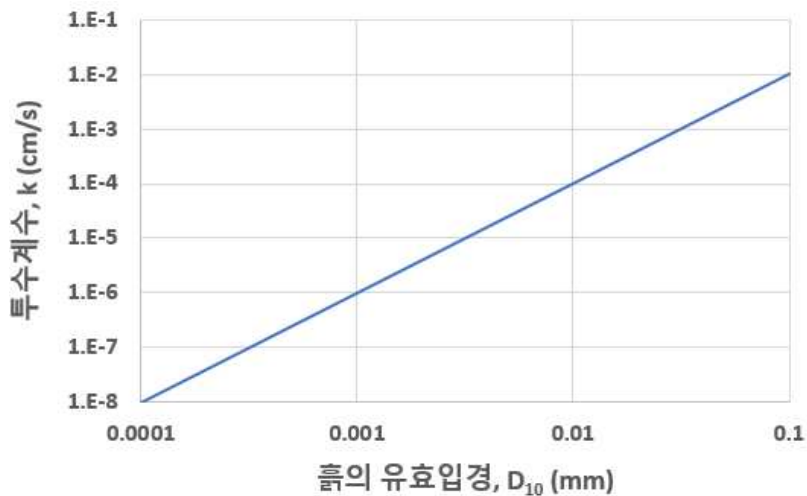
여기서 C : 상수(0.01)

$D_{10}$  : 유효지름(mm)

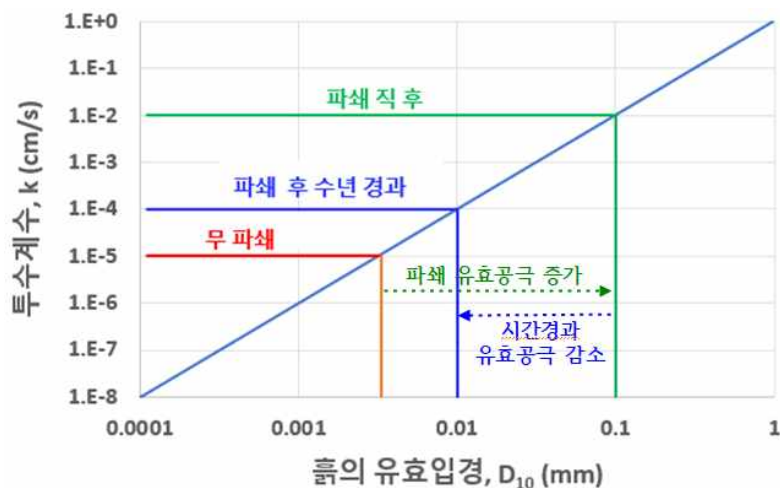
- 이 관계식을 이용하여 흙의 유효입경별 투수계수를 계산해보면 <Fig. 3-39a>와 같이 유효입경  $D_{10}$ 의 자승에 비례하는 관계를 보이고 있음.
- 여기서, <Fig. 3-39b>와 같이 심토파쇄전에  $D_{10}$ 이 0.0033 mm로 투수계수  $k=1*10^{-5}$  cm/s인 흙이 심토파쇄에 의해 유효공극이 형성되어 유효입경  $D_{10}$ 이 0.1 mm로 증가된다면  $k=1*10^{-2}$  cm/s가 될 수 있고, 시간이 수년 경과하여 유효입경  $D_{10}$ 이 0.01 mm까지만 감소한다면  $k=1*10^{-4}$  cm/s를 유지할 수 있을 것이라고 예상해볼 수 있음.

<Table 3-18> 심토파쇄 전후 유효입경 가정과 투수계수 개선 예측

구 분	가정 $D_{10}$ (mm)	투수계수 k 계산식(m/s)	계산 k 값(cm/s)
심토파쇄 전	0.0033	$k=C D_{10}^2 = 0.01*0.0033^2 = 0.0000001$	$1*10^{-5}$
심토파쇄 직후	0.1	$k=C D_{10}^2 = 0.01*0.1^2 = 0.0001$	$1*10^{-2}$
심토파쇄 후 수년경과	0.01	$k=C D_{10}^2 = 0.01*0.01^2 = 0.000001$	$1*10^{-4}$



a) 흙의 유효입경과 투수계수 경험식 관계



b) 심토파쇄 시 입단구조로 유효입경 증가와 감소에 따른 투수계수 변화 예상

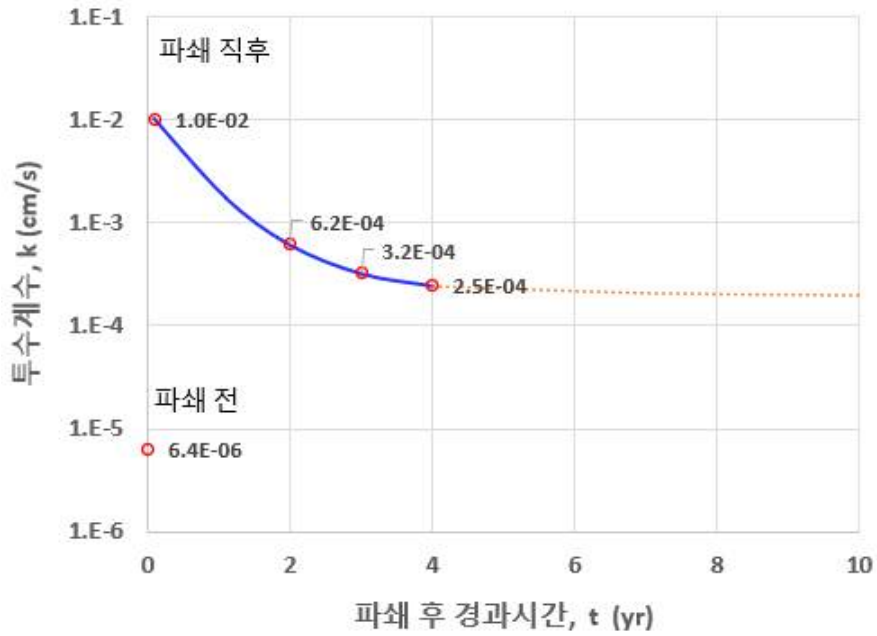
<Fig. 3-39> 심토파쇄에 의한 흙의 유효입경 증가와 투수계수 증가 가능성 예측

나) 심토파쇄에 의한 투수성 개선 현장실증 조사시험분석

- 화성시 화옹간척지에 심토파쇄 후 경과시간 별 하강침투 현장투수시험을 <Table 3-18>과 같이 실시하였다. 시험결과 심토파쇄 전  $k=5.8 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 에서 파쇄직후는  $k=1.3 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 로 270배 증가 하였으며, 시간이 경과하면서 감소하지만 2년 후 96배, 4년 후 38배를 유지하는 것으로 측정되었음.
- 10년이 경과하여도 30배 이상을 유지할 것으로 예측되었음. 이를 보증할 수 있는 것은 시험포 심토파쇄 후 밭으로 4년 사용 후 벼 윤작 담수재배를 한 후에 심토파쇄효과의 내구성을 확인하기 위하여 굴착 확인한 결과면 <Table 3-19>와 같이 작토심 하부토층은 심토파쇄의 균열이 거의 원형을 유지하고 있는 것을 확인하였음.



<Table 3-19> 심토파쇄 전후 현장투수성 조사시험

구 분	침투시험시점	완전침투	50mm침투소요시간(hr)	비고
무 파쇄			192	
파쇄 직 후			5분	
파쇄 후 2년			2	
파쇄 후 3년			3.8	
파쇄 후 4년			5	



<Fig. 3-40> 심토파쇄에 의한 흙의 투수성 증가와 시간경과 감소 현장실측시험결과

<Table 3-19> 심토파쇄 후 4년차 벼 윤환재배 후 파쇄효과 내구성 굴착 확인

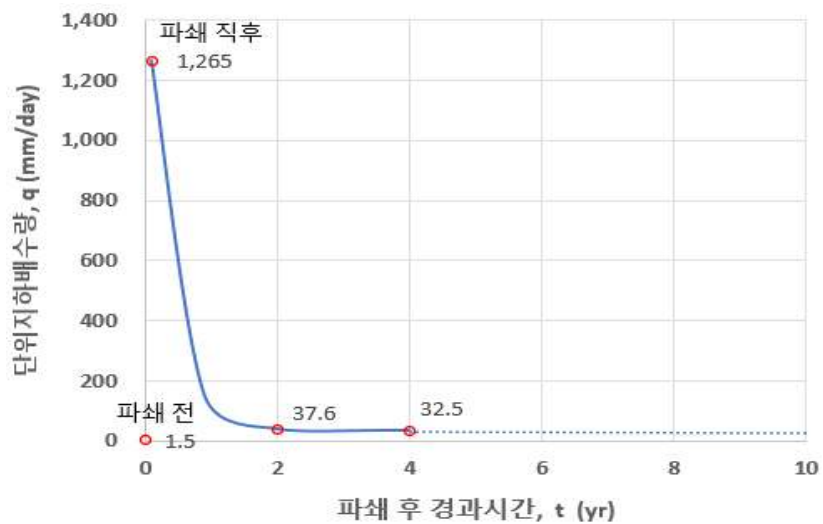
심토파쇄효과 굴착확인	심토파쇄 균열 유지 상세
	

다) 심토파쇄의 지하배수 촉진효과 수치해석 분석

- 심토파쇄에 의한 개선된 투수성을 고려하여 지하암거배수 수치해석결과 <Table 3-20>과 같이 단위 지하배수량(q, mm/day)이 심토파쇄 전 q=1.5에서 파쇄직 후 q=1,265, 파쇄 후 2년경과 q=32.5, 10년 후 q=26.3mm/day가 유지될 수 있는 것으로 해석되었음.

<Table 3-20> 심토파쇄 전 후 흙의 투수성 변화에 따른 지하배수특성 수치해석결과

구 분	지하배수 형상	지하배수량	비 고
무 심토파쇄 $k_d = 1 \times 10^{-5}$ (cm/s)		1.5 (mm/day)	
심토파쇄 직후 $k_d = 1 \times 10^{-2}$ (cm/s)		1,265	
심토파쇄 후 4년 후 $k_d = 2.5 \times 10^{-4}$ (cm/s)		32.5	
심토파쇄 후 10년 후 $k_d = 1.8 \times 10^{-4}$ (cm/s)		26.3	



<Fig. 3-41> 심토파쇄 전 후 흙의 투수성 변화에 따른 단위지하배수량 예측

## 라) 수치해석결과와 현장 조사시험결과를 이용한 심토파쇄 공법의 최적화

### ① 심토파쇄 병행이 필요한 조건

#### ㉠ 투수성 개선이 필요한 불투수성 토층

○ 상기 수치해석결과 지하배수 설계기준의 소요 단위지하배수량(10~20mm/day) 이상을 만족시키기 위하여 흙의 투수계수  $k > 1 \times 10^{-4}$  cm/s 이상이어야 함.

- 사질토, 미사질토양

이 토양은 대부분 심토파쇄 없이 자연상태에서  $k > 1 \times 10^{-4}$  cm/s 이상이므로 암거간격 5m이면 설계기준의 소요 단위지하배수량(일반적으로 10~20mm/day) 이상으로 설계기준을 만족시키고, 또한 흙입자가 모래의 낮알구조로 심토파쇄 효과가 바로 상실되므로 심토파쇄의 병행이 필요하지 않음.

- 입자가 적은 양토, 식양토 등, 특히 점성토

○ 이 흙은 일반적으로 투수계수  $k < 1 \times 10^{-5}$  cm/s 이하이므로, 심토파쇄를 병행하여  $k > 2 \times 10^{-4}$  cm/s 이상으로 투수성을 개선하고 암거간격을 5m로 하여야 소요 단위지하배수량(일반적으로 10~20 mm/day) 이상의 설계기준을 만족시킬 수 있음.

○ 암거간격을 흙의 투수계수 값에 맞는 암거간격  $S_c=3m$  이하로 하는 것보다 심토파쇄를 병행하여 흙의 투수계수  $k > 2 \times 10^{-4}$  cm/s 이상으로 개선하고 암거간격을 5m로 하는 것이 훨씬 경제 적임.

#### ㉡ 토양구조 개선이 필요한 토층

○ 간척지 퇴적토층은 층상을 이루고 있고 단립구조로 투수성과 통기성이 매우 적어 발작물 생육에 매우 불리하다. 또한 논으로 계속 사용한 토층은 심도 20~50cm에 경반(단단한 층)이 형성되어 있어 강우 시 작토층을 통과한 물이 이 경반층을 통과하지 못하고 함수량이 높아져 작물 뿌리가 썩는 습해가 발생함.

○ 또한 이 경반층은 조밀하기 때문에 유효공극이 적어 통기성이 없어 발작물 뿌리 생육에 매우 불리함.

○ 이 토층을 심토파쇄하면 <Table 3-16> 과 같이 토양구조가 단립구조에서 입단(흙덩어리)구조로 변하여 유효공극이 커져 투수성과 통기성이 개선되어 발작물생육에 양호한 토양환경이 조성되므로 간척지 퇴적토층과 경반이 형성된 논 토양에서는 심토파쇄가 꼭 필요함.

### ② 심토파쇄 성능개선 품질조건

#### ㉠ 심토파쇄 후 투수성 개선

○ 심토파쇄 대상 흙은 투수계수  $k < 1 \times 10^{-5}$  cm/s 이하의 흙으로 소요 단위지하배수량(일반적으로 10~20mm/day) 이상으로 지하(땅속)배수를 효율적으로 하기 위하여 심토파쇄 후  $k > 2 \times 10^{-4}$  cm/s 이상으로 개선되어야 바람직함.

#### ㉡ 심토파쇄 균열의 내구성

○ 심토파쇄 후 시간이 경과하면 균열 공극이 작아져 그림 3-49과 같이 투수성이 크게 감소하지만 10년 이후에도 투수계수가  $k > 1 \times 10^{-4}$  cm/s 이상으로 유지되는 것이 필요함.

○ 여기서, 표 3-19와 같이 심토파쇄 시 발생된 작토심 하부의 균열공극은 수년이 경과한 후에도 살아 있고, 작토층 내에는 발작물 재배 시 건기에 건조균열이 발생되어 투수성이 유지됨을 본 연구 시험포에서 굴착 확인할 수 있었음.

㉔ 파쇄 심도와 면적의 균일성

- 심토파쇄 시 파쇄심도는 적어도 50cm이상 균일하게 파쇄되어야 강우 시 작토층 내로 침투된 파잉수가 막힘없이 암거로 흘러 배수되므로 심토파쇄 심도의 균일성이 필요함.
- 또한 심층의 염수가 모관상승되지 않도록 하부토층과 심토파쇄층의 모관이 전단면에서 절단되도록 전 면적에 균일하게 심토파쇄가 이루어져야 함.

4) 저비용 고효율 심토파쇄 장비개발

가) 주 동력원 별 심토파쇄기 개발

① 08백호 용 심토파쇄기 개발

08백호 장비는 유압과 견인력이 상대적으로 크므로, 삼각형 날, 2런 발톱, 백호바가지 3개 타입으로 파쇄기 규격도 더 크게 심토파쇄기를 고안하여 <Table 3-21>과 같이 개발 제작하였음.

<Table 3-21> 08백호 용 심토파쇄기 개발

타입	제작사진	장비조합사진	비고
삼각형 날			<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자갈혼입된 경지반도 가능</li> <li>- 견인력 적어 작업속도가 큼</li> <li>- 암거설치 전 경지반에서 선 파쇄장비로도 사용함</li> </ul>
2런 발톱			<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자갈혼입된 경지반도 가능</li> <li>- 소요견인력 약간 큼</li> <li>- 보통 단단한 지반에 적합</li> </ul>
백호 바가지			<ul style="list-style-type: none"> <li>- 경지반에서 작업속도 느림</li> <li>- 연약지반에서 파쇄 품질도 우수하고 작업효율 양호</li> <li>- 상하부 토층 모관 절단 효율이 높아 간척지 토양에 적합</li> </ul>

② 02백호 용 심토파쇄기 개발

02백호 장비는 유압과 견인력이 상대적으로 적으므로, 갈날 타입, 삼각형 날, 백호바가지 타입의 3개 타입의 심토파쇄기를 고안하여 <Table 3-22>와 같이 개발 제작하였음.

<Table 3-22> 02백호 용 심토파쇄기 개발

타 입	제작사진	장비조합사진	비 고
칼날			<ul style="list-style-type: none"> <li>- 견인력 작아 경지반 적용 가</li> <li>- 파쇄효율이 낮음</li> </ul>
삼각형 날			<ul style="list-style-type: none"> <li>- 보통 경지반도 가능</li> <li>- 소요견인력 약간 큼</li> <li>- 보통 단단한 지반에 적합</li> <li>- 파쇄효율이 양호함</li> </ul>
백호바가지			<ul style="list-style-type: none"> <li>- 경지반에서 작업속도 느림</li> <li>- 연약지반에서 파쇄 품질도 우수하고 작업효율 양호</li> <li>- 상하부 토층 모관 절단 효율이 높아 간척지 토양에 적합</li> </ul>

나) 심토파쇄공법의 현장 시험을 실시, 공법의 최적화(영천, 화용 시험시공)

① 08백호 용 심토파쇄기 시험시공(경북 영천시험포)

<Table 3-23> 08백호 용 심토파쇄기 개발

타 입	시험시공 사진	비 고
삼각형 날		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자갈혼입된 경지반도 가능</li> <li>- 견인력 적어 작업속도가 큼</li> <li>- 암거설치 전 경지반에서 선 파쇄장비로도 사용함</li> </ul>
2련 발톱		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자갈혼입된 경지반도 가능</li> <li>- 소요견인력 약간 큼</li> <li>- 보통 단단한 지반에 적합</li> </ul>
백호 바가지		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 경지반에서 작업속도 느림</li> <li>- 연약지반에서 파쇄 품질도 우수하고 작업효율 양호</li> <li>- 상하부 토층 모관 절단 효율이 높아 간척지 토양에 적합</li> </ul>



② 02백호 용 심토파쇄기 시험시공(경기 화성 화용시험포)

<Table 3-24> 02백호 용 심토파쇄기 개발

타입	시험시공 사진		비고
삼각형 날			<ul style="list-style-type: none"> <li>- 견인력이 적어 경지반에 적용 가능</li> <li>- 파쇄효율이 낮음</li> </ul>
			
			
			
삼각형 날			<ul style="list-style-type: none"> <li>- 보통 경지반도 가능</li> <li>- 소요견인력 약간 큼</li> <li>- 보통 단단한 지반에 적합</li> <li>- 파쇄효율이 양호함</li> </ul>
			
			
			
백호 바가지			<ul style="list-style-type: none"> <li>- 경지반에서 작업 불가</li> <li>- 연약지반에 파쇄 품질도 우수하고 작업효율 양호</li> <li>- 상하부 토층 모관 절단 효율이 높아 간척지 토양에 적합</li> </ul>
			

다) 심토파쇄공법 실증단지 설계 및 시공지원(전남신안 1지구)

○ 신안군 도초면 시금치재배를 위한 지하배수암거 시범사업 저비용 고효율 암거 설계지원 도초면에 간척농지를 시금치를 재배할 수 있는 밭으로 조성하기 위하여 본 연구에서 개발한 저비용 고효율 무굴착 암거공법과 08백호 삼각형 날 타입 심토파쇄 공법을 적용하여 4.2ha 간척농지의 지하배수암거 시범사업 설계를 <Table 3-25, 3-26>과 같이 지원하였다.

<Table 3-25> 신안군 시금치재배 지하배수암거 시범사업 설계요약(4.2ha)

적용공법	암거공법	심토파쇄 타입	공사비	본 공법 장점
기존 굴착식	굴착식(자갈+유공관)	무	168백만원	- 저비용(공사비 57%)
본연구 개발공법	무굴착 (수평매트+유공관)	08백호 부착 삼각형 날 타입	95백만원	- 고효율(배수효율 170%) - 건기 땅속 물 공급가능 - 밭이용 시 재염화 방지 가능



(라) 간척지 실증단지의 현장조사 및 모니터링

1) 1차 간척지 실증단지의 현장조사 및 모니터링

- 상기 연구에서 개발한 기술과 공법을 시화지구 간척지에 적용하여 실증하는 테스트베드를 조성함
- 간척지 재염효과와 배수효과를 향상시키기 위하여 본 연구에서는 저류시설을 조성하였으며, 재염 및 배수효과를 모니터링하기 위하여 계측 시스템을 설치함



(a) 저류시설



(b) 토양염분 측정시스템

<Fig. 3-42> 저류지 및 토양염분 측정 시스템

- 저류지 설치한 후 배수수를 배출하는 작업을 통하여 토양 재염 작업을 실시함



(a) 7월3일 강우 후 양수배수작업



(b) 7월7일 강우 후 만수상태 양수배수



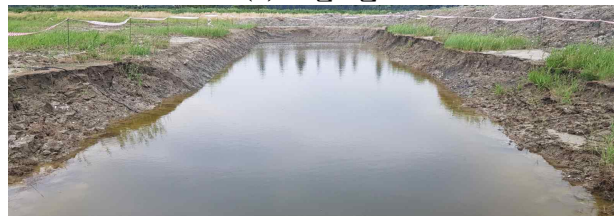
(c) 7월25일



(d) 8월5일



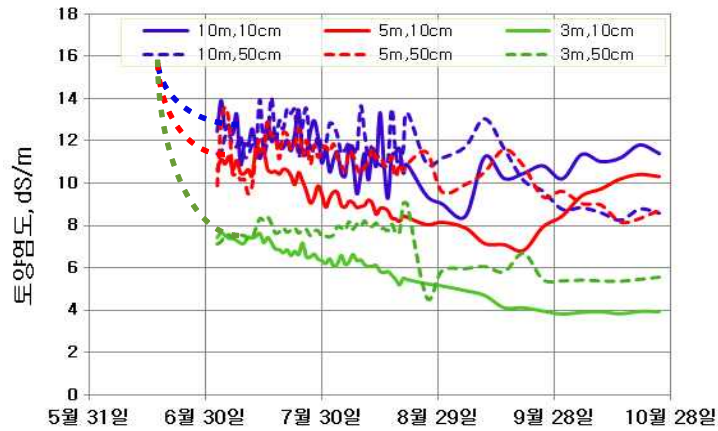
(e) 8월7일



(f) 8월13일

<Fig. 3-43> 토양 재염 작업

- 시화시험포 재염암거설치 후 장마철 자연강우 재염효과를 측정분석한 결과 토양재염이 효과가 큰 것으로 분석됨



<Fig. 3-44> 시화시험포 토양염도변화

## 2) 간척지 1차 실증단지의 작물재배 및 생육성 조사(모니터링)

### ① 목적

- 간척지 조기제염을 위한 제염암거설치 토양제염, 지표잔류수배제 겸용암거 등의 기술 미 공법이 적용된 시화지구 간척지를 대상으로 제염효과 및 배수효과 등을 평가하고자 수입대체 작목 위주의 작물 실증 재배를 실시함

### ② 연구내용

- 시화지구 간척지에 대한 토양환경변화를 파악을 위해 이화학적 토양조사 및 암거 간격별 토양 전기전도도 분석
- 시화지구 간척지를 대상으로 콩, 옥수수, 수수, 아마란스 등의 다양한 작물에 대한 실증재배를 실시하고 생육성 조사 및 분석
- 또한 시화지구 간척지에서의 작물 재배시 문제점 등을 파악 후 분석

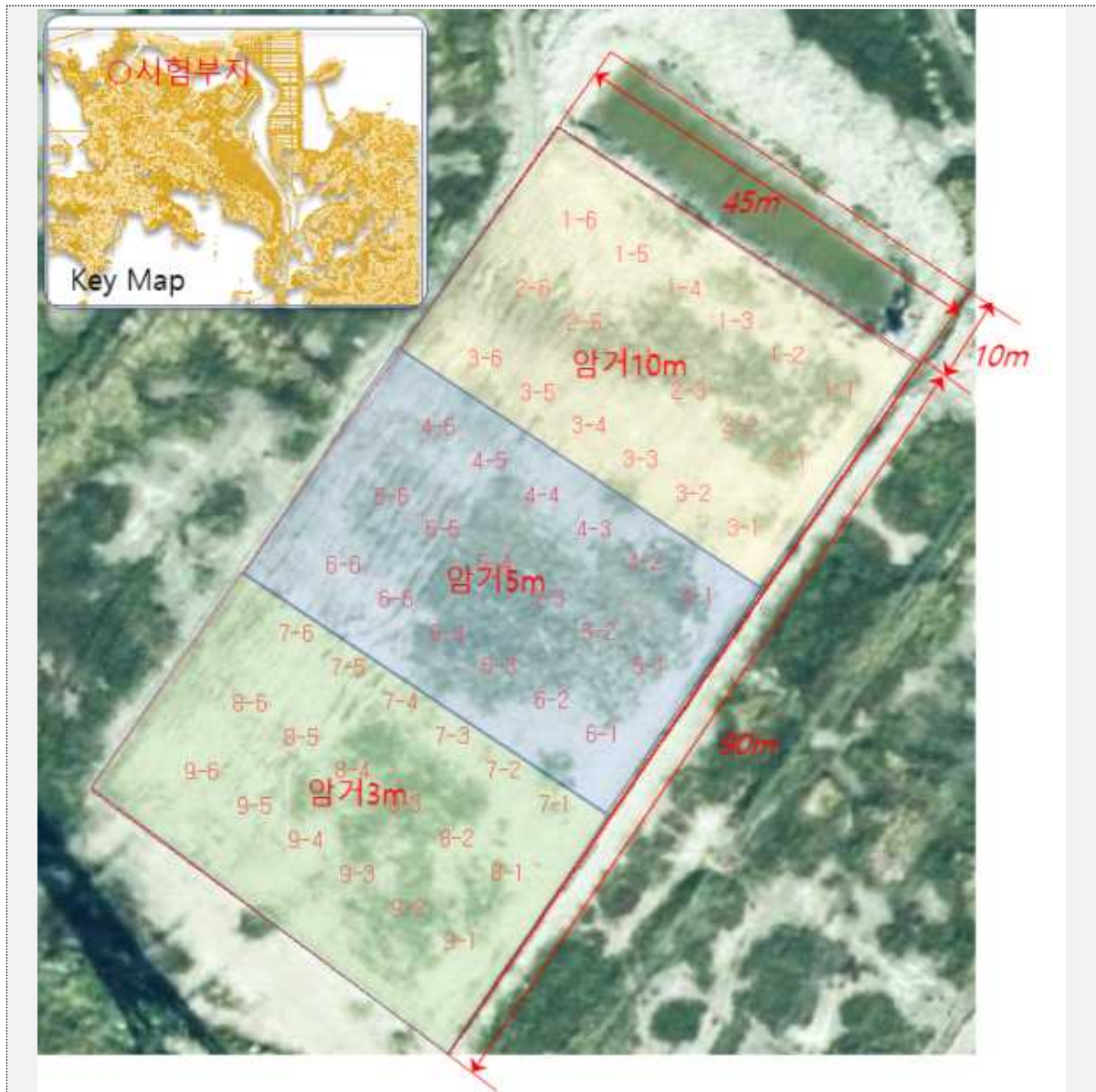
### ③ 연구방법 및 결과

- 시험포 위치 : 테스트베드는 경기도 안산시 대부동, 화성시 송산면·서신면 일원에 위치하고 있는 시화간척지에 위치하고 있음



<Fig. 3-45> 저류지 및 토양염분 측정 시스템

○ 시험포 구성 : 저류지 450㎡(45×10m), 영농 및 지하배수암거 4,050㎡ (45×90m)로 구성되어 전체면적 4,500㎡로 약 0.5ha규모이며, 지하배수암거 간격은 10m, 5m, 3m로 구성되어 있음



<Fig. 3-46> 테스트베드 암거간격별 배치 및 토양샘플링 위치

- 토양조사 : 토양입도분포, 화학적 특성(산도, 유기물, 유효인산, T-N, 교환성 양이온 등)
- 염도조사 : 암거간격별 EC (토양계측기값 및 토양분석값), ECe 등
- 공간분석 : Surfer프로그램을 이용한 공간분석 및 염분분포도 작성
- 시험포 조성 : 트랙터를 활용한 로터리 및 두둑 조성 작업
- 작물재배 : 콩, 옥수수, 수수, 아마란스, 참외 등

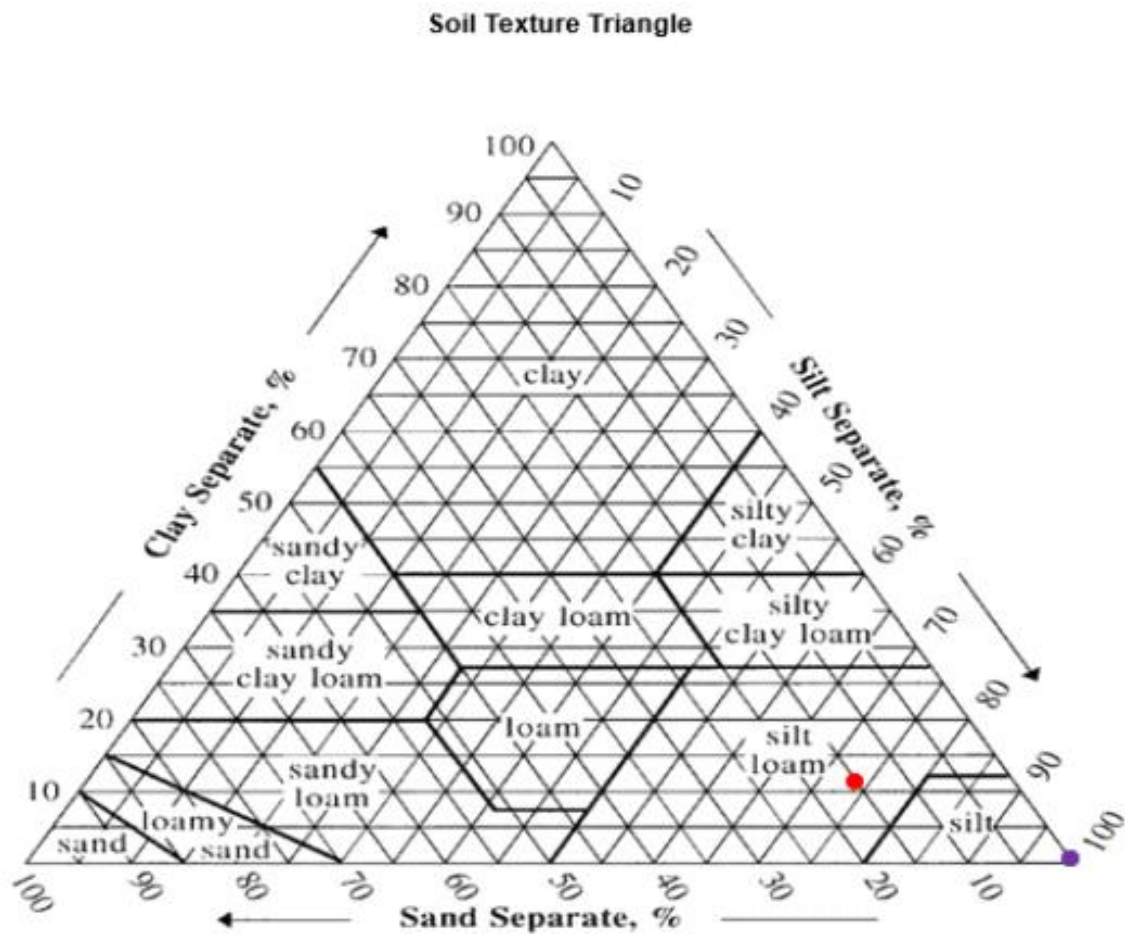
㉗ 토양특성 및 분석

㉠ 공시토양의 물리적 특성

- 현장 테스트베드가 위치한 토양특성은 장기간의 노출이 이루어졌으며, 토양특성으로 물리적특성에서 토양입도분포는 사질성분이 39%, 실트성분 57%, 점토성분이 4.0%수준으로 미사질양토로 분류되었음

<Table 3-29> 토양의 물리적 특성

구분	입도분포				비고
	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	토성	
시화	15.2	74.0	10.8	SiL	



<Fig. 3-47> 테삼각좌표 분류법에 따른 토성

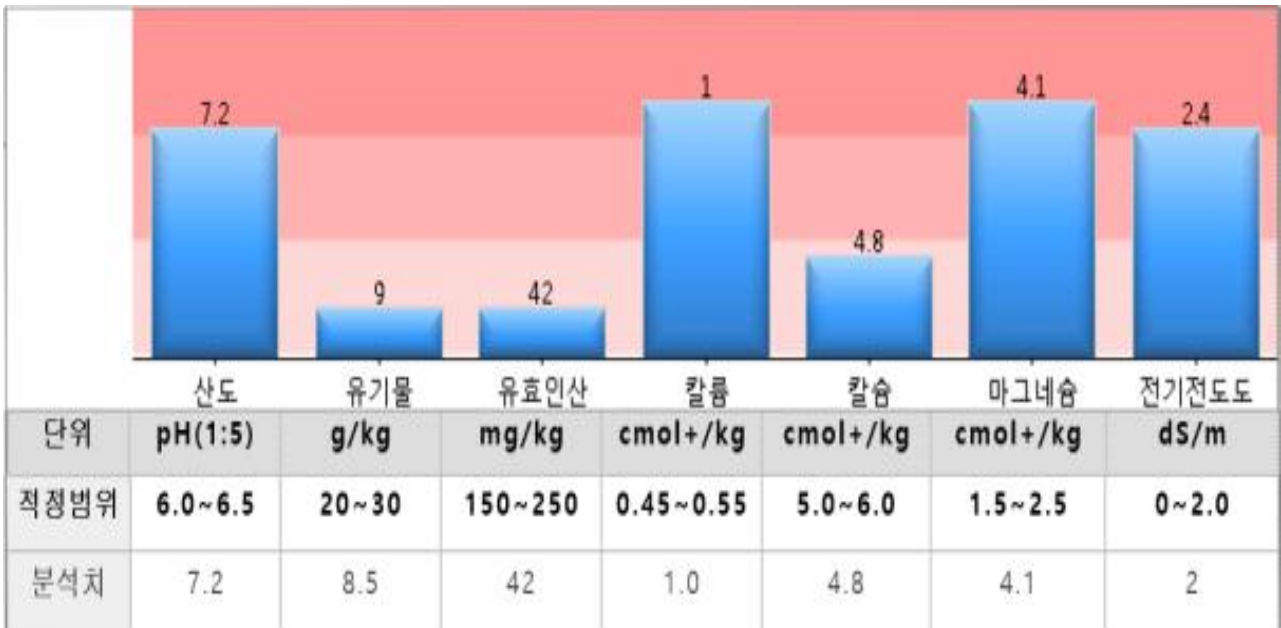
㉡ 공시토양의 화학적 특성

- 토양내 함유된 화학적 성분에서 pH는 7.4, 유기물 함량이 0.85%로 매우 낮게 나타났으며, 유효인산 42.41mg/kg, T-N 0.06%, 교환성 양이온 함량은 칼륨이 1.03cmol/kg, 나트륨은 5.46cmol/kg, 칼슘은 4.82cmol/kg, 마그네슘은 4.06mol/kg로 분석되었음.

<Table 3-30> 토양의 화학적 특성

구분	산도 pH	유기물 (%)	유효인산 (mg/kg)	T-N (%)	교환성 양이온(cmol/kg)				EC (dS/m)
					K+	Na+	Ca++	Mg++	
시화	7.2	0.85	42.41	0.06	1.03	5.46	4.82	4.06	2.1

- 테스트 지역은 산도(pH)가 7.2로 적정범위보다 높았고, 유기물(OM)은 8.5g/kg로 밭 토양의 적정범위 25~30g/kg의 30%수준으로 유기물 함량이 매우 부족한 상황임
- 유효인산의 경우 42.4mg/kg으로 일반 밭 토양의 적정범위인 200 ~250mg/kg의 18%수준을 기록하고 있으며, 칼륨함량은 1.0cmol/kg으로 적정범위보다 높았고, 칼슘은 4.8cmol/kg로 적정범위에 다소 낮은 상태에 있는 것으로 분석되었음
- 마그네슘은 적정범위 1.5~2.0cmol/kg에 비해 2배 이상인 4.1cmol/kg이었고, 전기전도도(EC)는 2.1dS/m으로 적정범위 0~2.0dS/m보다 높음



<Fig. 3-48> 토양검점 결과

㉔ 암거간격별 토양염도 분석

○ 암거 10m간격의 경우 계측기를 이용하여 분석하면 0.9~6.1dS/m범위로 평균 3.2dS/m로 조사되었고, EC 1:5법을 통한 환산한 EC는 0.8~8.9dS/m의 범위로 평균 3.7dS/m였고, 포화추출액 상태에서 분석한 E<sub>Ce</sub>는 0.7~11.2dS/m의 범위로 평균 4.4dS/m로 분석되었음

<Table 3-31> 암거간격 10m처리구 토양 전기전도도

구분	센서 EC(dS/m)	EC(dS/m)	E <sub>Ce</sub> (dS/m)
1-1	0.9	8.9	9.4
1-2	2.4	2.3	2.1
1-3	1.3	3.3	4.7
1-4	1.9	1.5	1.8
1-5	3.2	2.2	2.3
1-6	3.4	1.9	2.7
2-1	2.8	0.8	0.8
2-2	2.9	2.9	0.7
2-3	6.1	6.0	8.2
2-4	3.6	3.8	4.4
2-5	3.2	6.8	8.2
2-6	2.1	1.8	2.1
3-1	2.6	1.2	1.5
3-2	5.4	5.0	6.4
3-3	5.9	3.2	5.2
3-4	1.5	1.1	1.0
3-5	4.8	4.9	6.9
3-6	4.5	8.7	11.2
평균±표준편차	3.2±1.5	3.7±2.5	4.4±3.3



○ 암거 5m간격에서는 계측기가 1.0~4.6dS/m범위로 평균 2.5dS/m로 조사되었고, EC 1:5법을 통한 환산한 EC는 0.6~4.5dS/m의 범위로 평균 2.1dS/m였고, 포화추출액 상태에서 분석한 ECe는 0.9~6.8dS/m의 범위로 평균 2.8dS/m로 10m간격보다 낮은 수준으로 분석되었음

<Table 3-32> 암거간격 5m처리구 토양 전기전도도

구분	센서 EC(dS/m)	EC(dS/m)	ECe(dS/m)
4-1	2.3	0.9	1.2
4-2	1.2	1.2	1.5
4-3	1.8	3.2	3.9
4-4	1.4	0.6	0.9
4-5	2.1	3.9	6.2
4-6	2.8	2.3	3.1
5-1	1.9	1.3	1.6
5-2	3.2	1.0	1.4
5-3	4.6	4.5	5.2
5-4	1.0	0.9	1.2
5-5	3.4	1.1	1.3
5-6	2.6	3.9	6.8
6-1	2.7	1.4	1.5
6-2	2.8	3.5	4.2
6-3	1.8	0.8	1.0
6-4	2.8	3.4	4.2
6-5	2.9	2.4	2.9
6-6	2.9	1.0	1.6
평균±표준편차	2.5±0.9	2.1±1.3	2.8±1.9

○ 암거 3m간격은 계측기에서 0.4~6.9dS/m범위로 평균 2.5dS/m로 조사되었고, EC 1:5법을 통한 환산한 EC는 0.1~6.8dS/m의 범위로 평균 1.6dS/m였고, 포화추출액에서 ECe는 0.2~9.2dS/m의 범위로 평균 2.2dS/m로 가장 낮은 수준으로 분석되었음

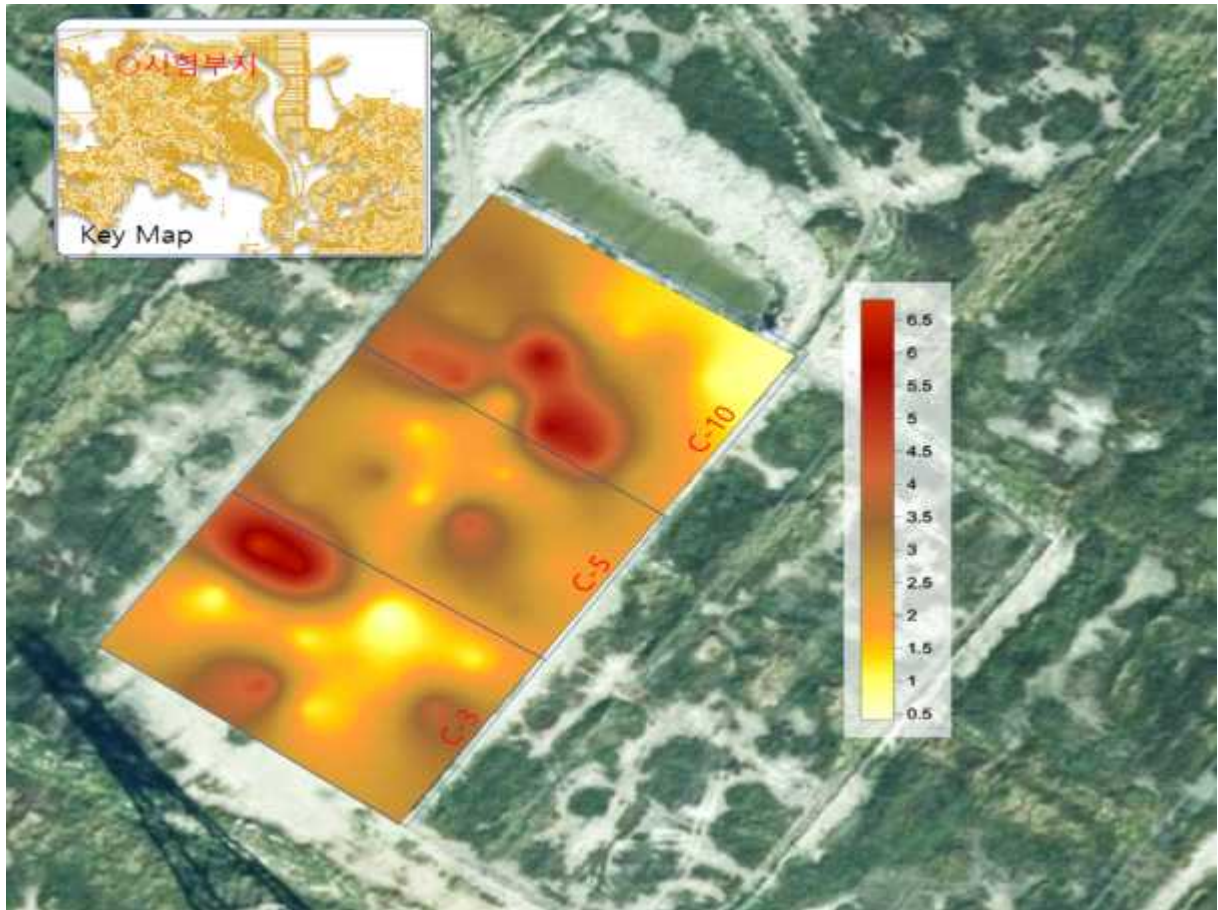
<Table 3-33> 암거간격 3m처리구 토양 전기전도도

구분	센서 EC(dS/m)	EC(dS/m)	ECe(dS/m)
4-1	1.0	0.9	0.8
4-2	1.3	0.7	0.9
4-3	0.4	0.1	0.2
4-4	3.2	1.4	2.1
4-5	6.3	1.1	1.4
4-6	6.9	4.0	6.2
5-1	0.8	0.6	0.7
5-2	1.6	2.4	3.3
5-3	1.0	0.4	0.6
5-4	1.6	1.2	1.2
5-5	1.6	0.8	1.1
5-6	4.1	6.8	9.2
6-1	2.5	0.3	0.5
6-2	1.7	1.1	2.1
6-3	1.1	0.3	0.4
6-4	4.7	1.4	1.5
6-5	3.5	4.1	6.3
6-6	2.0	1.3	1.3
평균±표준편차	2.5±1.9	1.6±1.7	2.2±2.5

㉔ 테스트베드 토양의 공간분석

㉕ 토양 계측기로 측정한 토양전기전도도 공간분석

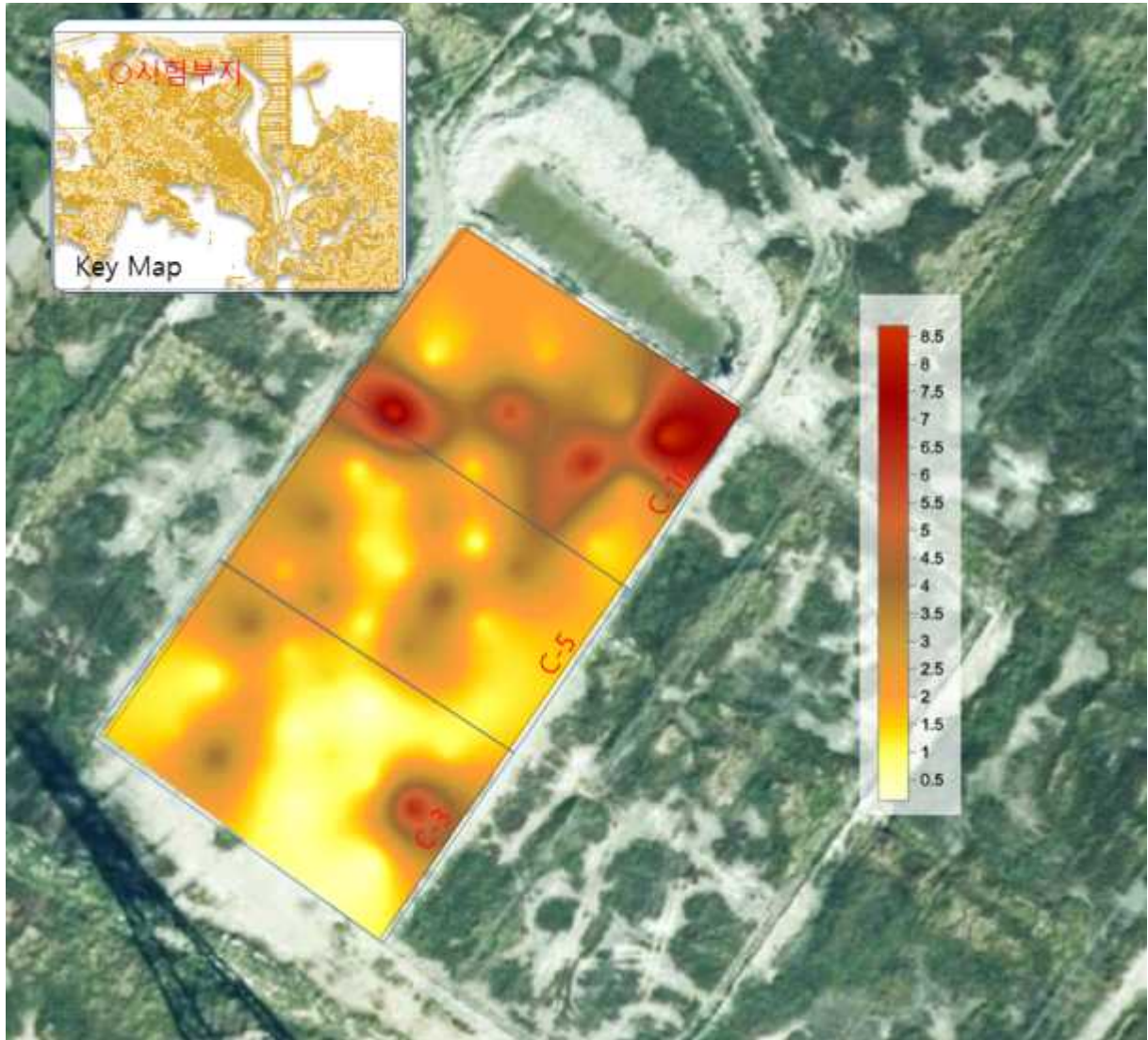
- 계측시설을 이용한 토양전기전도도의 분포상황은 10m간격의 경우 토양수분함량이 낮은 저류지 인근으로 토양전기전도도 낮게 분포하고 있음
- 또한, 암거간격별로 암거 10m 간격에서는 중앙부에 토양전기전도도가 높게 분포하고 있는 것을 분석되었으며, 암거 5m간격과 암거 3m간격간 두드러진 차이가 토양수분함량이 낮은 중앙부에서 토양전기전도도가 높게 나타났음



<Fig. 3-49> 암거처리별 토양전기전도도(계측기)의 분포

### ㉞ 토양 1:5법의 토양전기전도도 공간분석

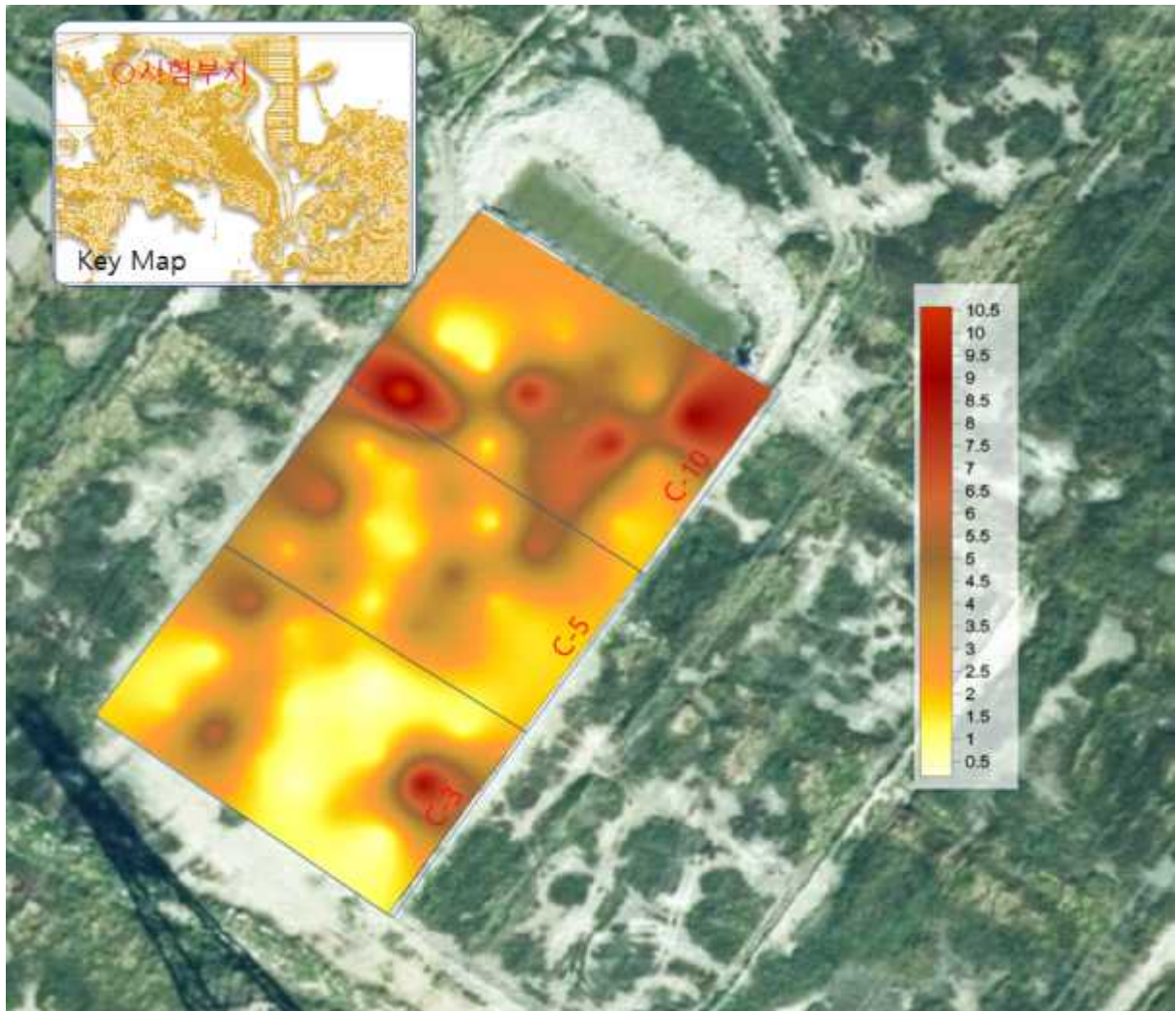
- 토양 1:5법을 이용하여 환산한 토양전기전도도의 분포상황은 10m간격의 경우 계측자료를 통해 분석결과와는 유사하게 낮은 저류지 인근으로 토양전기전도도가 낮게 분포하고 있음
- 암거간격별로 암거 10m 간격에서는 중앙부, 가장자리에서 토양전기전도도가 높게 분포하고 있는 것을 분석되었으며, 암거 5m간격과 암거 3m간격간 두드러진 차이를 보였음
- 본 공간분석 결과는 초기에 동일한 토양조건임을 가만할 때 3m암거의 제염효과가 가장 높은 것을 판단되었음



<Fig. 3-50> 암거처리별 토양전기전도도(EC 1:5법)의 분포

㉔ 포화추출액 토양전기전도도 공간분석

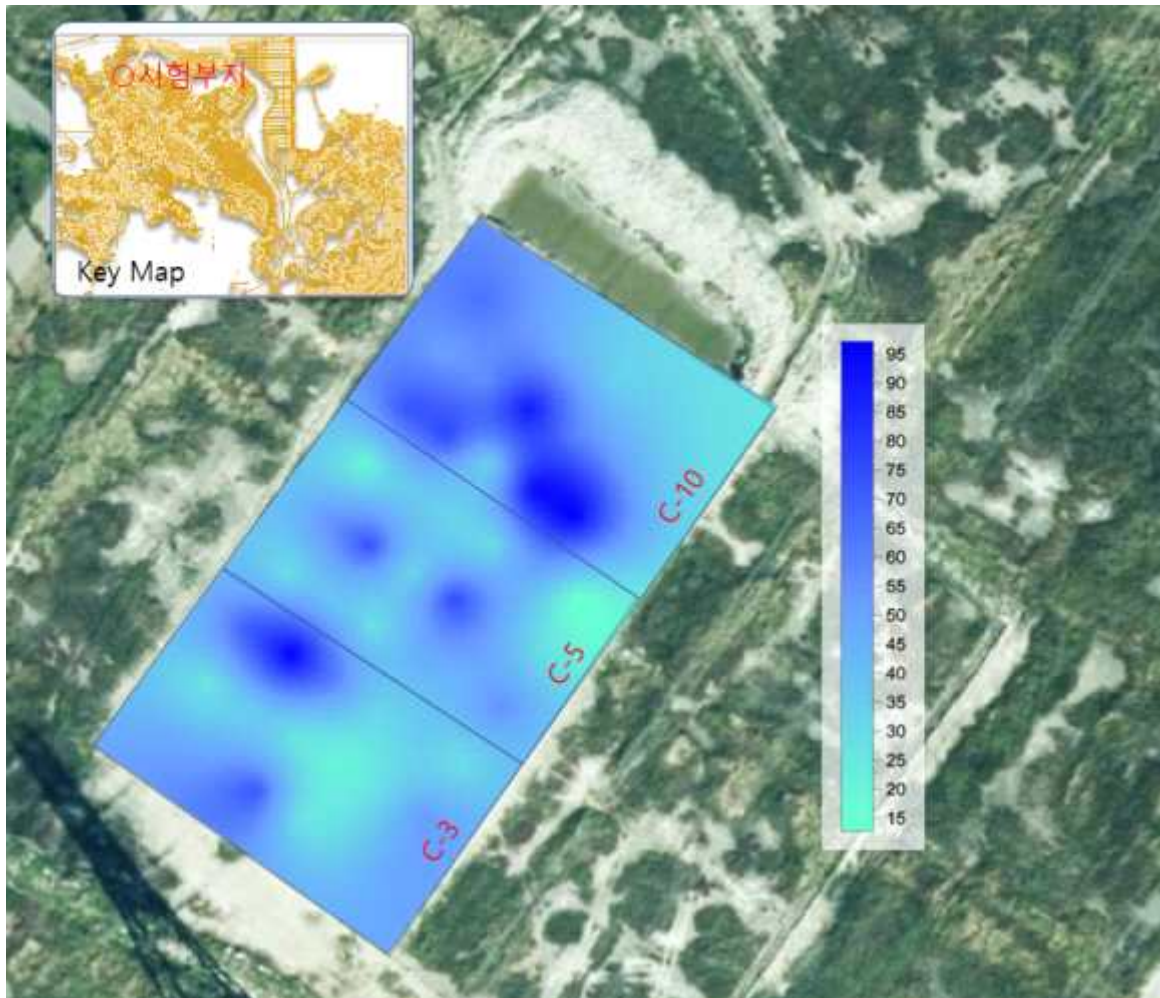
- 포화추출액법을 이용한 토양전기전도도의 분포상황은 10m간격의 앞서 검토한 계측기자료, EC 1:5법과 유사하게 저류지 인근으로 토양전기전도도 낮게 분포하고 있으나 상대적으로 내부지역에서 높게 나타남
- 암거간격별로 암거 10m 간격에서는 중앙부, 가장자리에서 토양전기전도도가 높게 분포하고 있는 것을 분석되었으나, 암거 5m간격과 암거 3m간격에서는 상대적으로 낮게 나타나고 있음
- ECe자료를 토대로 공간분석상의 토양전기전도도는 3m암거의 중앙부가 제염효과에 대한 두드러진 효과검증이 가능하였고, 처리구간 별로 토양전기전도도가 암거 3m간격에서 제염효과가 높은 것으로 분석되었음



<Fig. 3-51> 암거처리별 토양전기전도도(포화추출액법)의 분포

### ㉑ 토양수분함량 공간분석

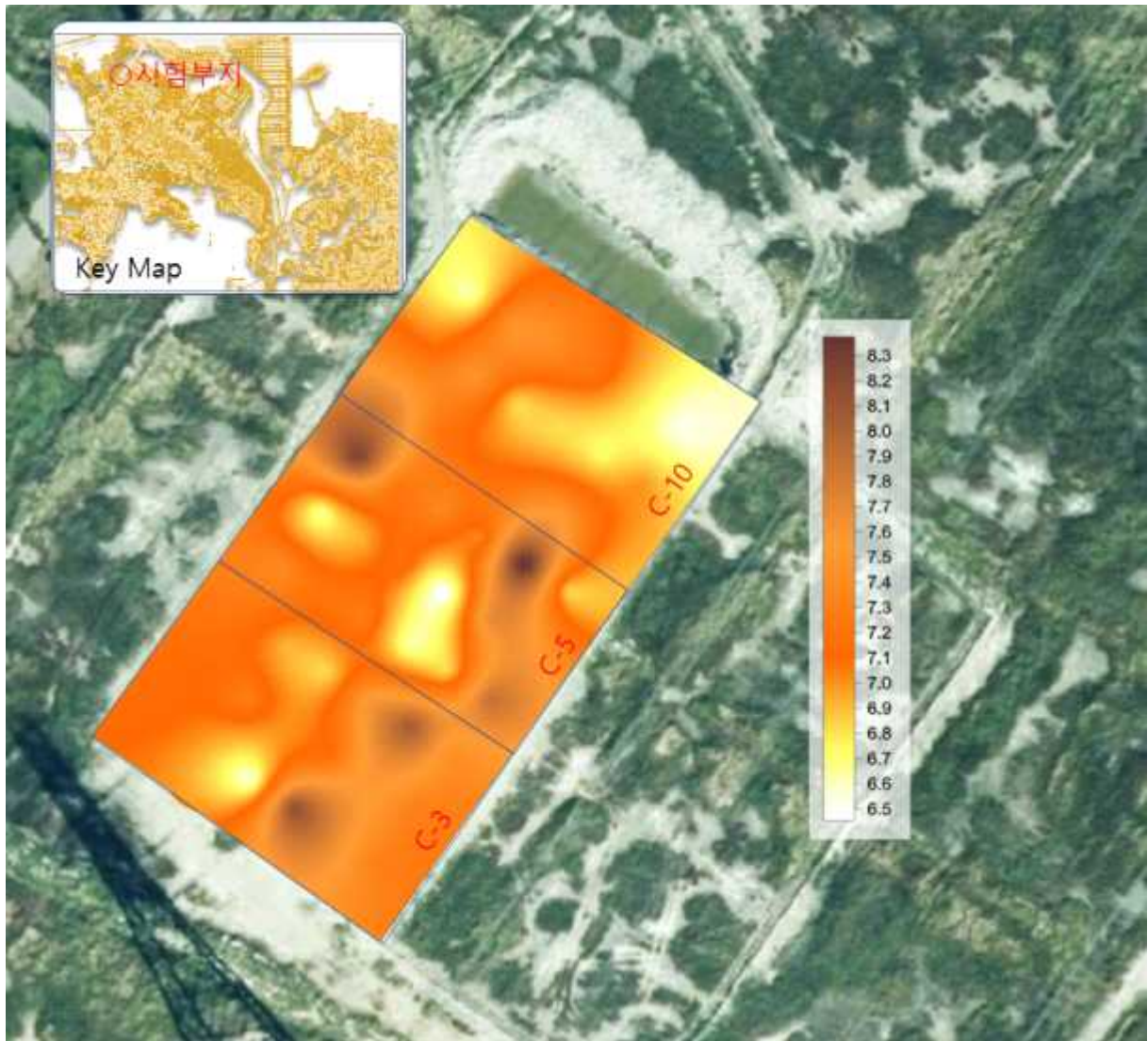
- 현장 테스트베드에 대한 공간분석결과 암거간격별로 다소 두드러진 차이를 보이고 있었는데, 10m간격은 상대적으로 토양수분함량이 높게 나타나고 있었으며, 저류지 인근으로 토양수분함량이 낮게 분포하고 있음
- 또한, 암거 5m간격과 암거 3m간격간 토양수분 분포상에서는 큰 차이를 보이지 않고 있었으나 3m간격 처리구의 중앙부에서 토양수분함량이 낮게 나타나고 있어 상대적으로 배수가 양호한 것으로 나타남



<Fig. 3-52> 암거처리별 토양용적수분함량의 분포

### ㉔ 토양산도(pH) 공간분석

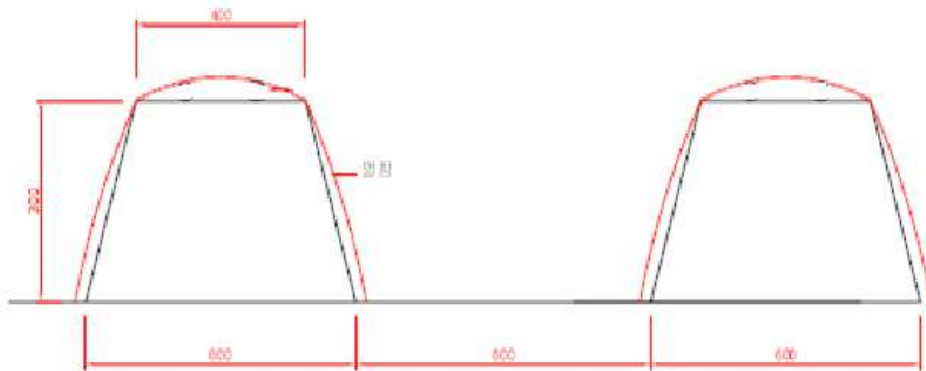
- 토양산도는 두드러진 차이를 보이지 않았으며, 10m간격은 상대적으로 토양수분함량이 높게 나타나고 있었으며, 저류지 인근으로 pH함량이 낮게 분포하고 있음
- 토양 pH의 경우 암거 10m가격에서 pH함량이 가장 낮은 것으로 분석되었고, 다음으로 3m간격, 다음으로 5m간격순으로 나타났고 3m간격 처리구의 중앙부에서 토양수분함량이 낮게 나타나고 있음



<Fig. 3-53> 암거처리별 토양 pH의 분포

㉔ 시험포 조성

- 비료는 N-P-K의 비가 12-3-5며, 유기물 75%를 함유한 복합유기질비료인 DOF 다이아몬드 비료 총 15kg 20포대를 시비함
- 비료 살포 후 로터리 작업 시행 후 두둑 조성 및 멀칭 작업을 수행함. 멀칭작업은 구멍이 없는 0.02mm×130cm×500m 멀칭비닐을 사용하였으며, 정식간격인 30cm 간격으로 비공을 뚫어주는 작업을 시행한 후 정식을 실시함



<Fig. 3-54> 멀칭설치 단면도



<Fig. 3-55> 비료살포 및 로터리 작업



<Fig. 3-56> 두둑 성형 및 멀칭설치



○ 콩, 옥수수, 수수 등 육묘 실시 후 각 시험포에 정식 실시함 (6월25~29일)



<Fig. 3-57> 콩, 옥수수, 수수 육묘 전경

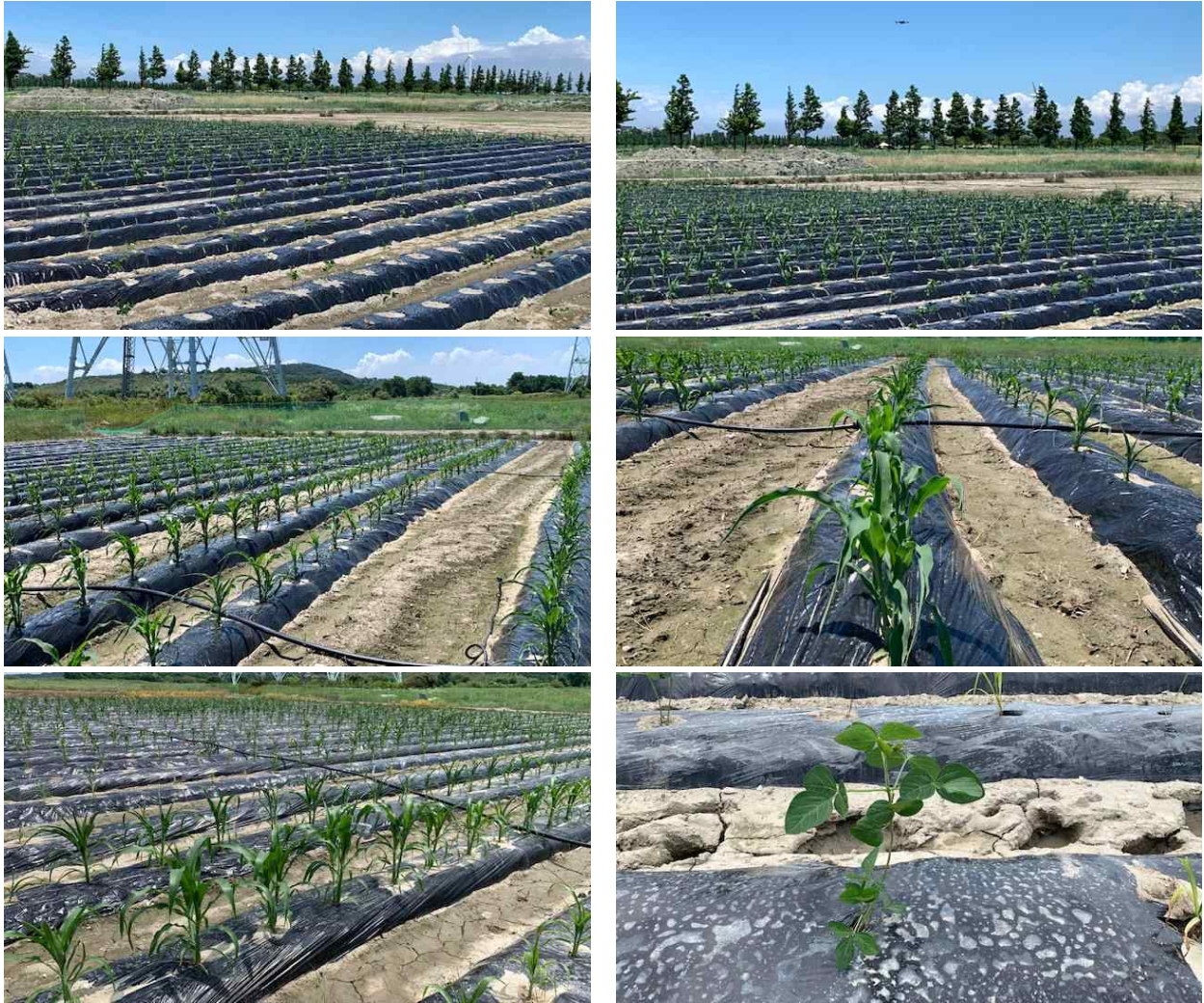


<Fig. 3-58> 콩, 옥수수, 수수 정식 작업 전경

㉞ 작물생육 모니터링

㉠ 콩, 옥수수, 수수 재배

- 비료는 N-P-K의 비가 12-3-5며, 유기물 75%를 함유한 복합유기질비료인 DOF 다이아몬드 비료 총 15kg 20포대를 시비함
- 식재 4주차 생육상황은 토양개량을 전혀 하지 않은 간척지 토양인 점 그리고 암거 설치 후 1년의 제염기간을 고려할 때 양호한 상태를 나타냈으며 특히 C4작물중 하나인 옥수수와 수수에서 매우 양호한 생육을 나타냄



<Fig. 3-59> 4주차 작물생육 상황 전경

- 식재 6주차 생육상황에서는 콩의 대부분, 옥수수 일부분이 시들어 고사하는 상황을 나타냄. 이는 적정 간단관개를 통한 수분공급이 이루어지지 않아 수분스트레스가 발생한 점 그리고 제염화에 의한 염분스트레스로 인해 고사되었다고 판단됨



<Fig. 3-60> 6주차 작물생육 상황 전경



<Fig. 3-61> 수수 뿌리발달 정도 조사

- 옥수수 등 뿌리 발달 정도를 조사한 결과 성공적으로 활착되어 있음을 나타냈으며 잔뿌리 형성도 잘 이루어진 점을 감안할 때 적절한 관개용수 공급이 이루어 질 경우 정상 생육이 가능할 것으로 판단됨
- 수수의 평균 초장은 1m 이상으로 정상생육정도를 나타냈으며 수확 후 건조 및 탈곡작업을 거쳐 산출된 수확량은 125kg/10a으로 일반 밭 수확량(150kg/10a, 2021 통계청) 대비 83%의 수확량을 달성함



<Fig. 3-62> 수수 생육 조사 전경

- (문제점) 현재 시화 간척지에서는 농업용수 부재로 인해 관개용수 확보가 매우 어려운 상황이며, 본 연구에서는 팜펀드 설치 후 저류된 물을 활용하여 농업용수로 활용하고자 했으나, 암거에서 배출되는 배출수 염도가 아직 고염도(15ds/m 이상)를 나타내고 있는 실정으로 관개용수로서 활용하지 못하고 있는 실정임
- 이에 물탱크를 활용하여 수차를 통한 용수 운반을 통해 관개를 실시할 계획이며 팜펀드 확장 조성을 통해 충분한 농업용수를 확보할 계획임

⑥ 기타 작물 재배

- 수입대체 작물 이외에 내염성 작물 중 덩굴식물 중에 하나인 참외 및 기능성 작물로 알려진 비름과 작물 아마란스에 대한 시험재배를 실시함
- 정식 후 6주차 생육상황을 살펴보면 대부분의 개체군 생육이 양호한 것으로 나타났으며 특히 3주차 아마란스의 생육이 매우 양호한 것으로 나타났음



6주차 참외 생육



3주차 아마란스 생육

<Fig. 3-63> 참외, 아마란스 작물생육 상황 전경



<Fig. 3-64> 10주차 아마란스 생육 상황 전경

- 정식 후 10주차 아마란스 생육은 초장이 대부분 1.5m 이상으로 일반 농지와 차이가 없었으며 2m 이상인 개체군도 조사되었음. 대부분의 생육이 양호한 것으로 나타났으며 정상적으로 수정이 이루어지고 있는 것을 관찰함

㉔ 수확 및 수확량 조사

- 수확 시기가 도래하기 전 수수 및 아마란스에 대해 꽃대에 망을 씌어 탈립을 방지하며 성숙단계를 거침



<Fig. 3-65> 수수 및 아마란스 꽃대 망 씌우기 작업

- 건조작업을 거쳐 탈곡작업 후 산출된 수확량은 150kg/10a으로 일반 밭 수확량(190kg/10a, 2018년 농진청) 대비 78%의 수확량을 달성함



수수 건조 전경



아마란스 건조 전경

<Fig. 3-66> 수확 후 건조작업 전경

### 3) 간척지 2차 실증단지의 현장조사 및 모니터링

#### ① 목적

- 1차년도 연구에서 개발한 저비용 고효율 암거기술과 공법을 화옹 간척지에 적용하여 실증하는 테스트베드를 조성함. 이 테스트베드에서 간척지 제염촉진, 지하배수는 물론 지하관수가 가능한 지하 관배수 시스템을 적용하여 그 성능을 확인하여 최적의 간척농지 범용화 사업을 조기에 정착하고자 함

#### ② 연구내용

- ① 간척지 조기제염을 위한 제염암거설치 토양제염 ② 지표잔류수배제 겸용암거 현장적용 시험포 조성 ③ 저류시트형 지하관수 + 배수암거공법 현장적용 실용화하여 최적의 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 지하관개 + 배수암거시스템을 최종적으로 완성함

#### ③ 연구방법 및 결과

- 화옹 간척지에서의 암거설치 후 테스트베드의 배수효과와 제염효과를 평가하기 위해 물리화학적 토양특성 분석 및 월별 현장조사를 바탕으로 토양의 수분 및 염도 변화, 지하수위 변화를 모니터링함
- 토양의 수분 및 염도 변화 결과를 바탕으로 시기별 토양특성변화 및 공간분석을 실시

#### ㉞ 화옹 간척지 토양특성 및 분석

##### ㉠ 공시토양의 물리적 특성

- 토양특성으로 물리적특성에서 토양입도분포는 사질성분이 13.8%, 실트성분 74.5%, 점토성분이 11.7%수준으로 미사질양토로 분류되었음

<Table 3-34> 토양의 물리적 특성

구분	입도분포				비고
	Sand(%)	Silt(%)	Clay%	토성	
화옹	13.8	74.5	11.7	SiL	

##### ㉡ 공시토양의 화학적 특성

- 토양 내 pH는 7.4, 유기물 함량이 1.42%로 낮았으며, 유효인산은 44.16mg/kg, T-N 0.08%, 칼륨이 1.28cmol/kg, 나트륨은 2.78cmol/kg, 칼슘은 2.54cmol/kg, 마그네슘은 4.12mol/kg로 분석되었음

<Table 3-35> 토양의 화학적 특성

구분	산도 pH	유기물 (%)	유효인산 (mg/kg)	T-N (%)	교환성 양이온(cmol/kg)				EC (dS/m)
					K+	Na+	Ca++	Mg++	
화옹	7.5	1.42	44.2	0.08	1.28	2.78	2.54	4.12	1.8



- 테스트 지역은 산도(pH)가 7.5로 적정범위보다 높았고, 유기물(OM)은 14.2g/kg로 밭 토양의 적정범위 25~30g/kg의 30%수준으로 유기물 함량이 부족한 상황임
- 유효인산의 경우 44.2mg/kg으로 일반 밭 토양의 적정범위인 200~250 mg/kg보다 매우 낮은 수준을 기록하였고, 칼륨함량은 1.28cmol/kg으로 적정범위보다 높았고, 칼슘은 2.54cmol/kg로 적정범위보다 다소 낮았음
- 마그네슘은 적정범위 1.5~2.0cmol/kg에 비해 2배 이상인 4.12cmol/kg이었고, 전기전도도(EC)는 1.8dS/m으로 적정범위 0~2.0dS/m수준을 기록함

㉓ 토양수분 및 염도변화

㉓ 시기별 토양수분 변화

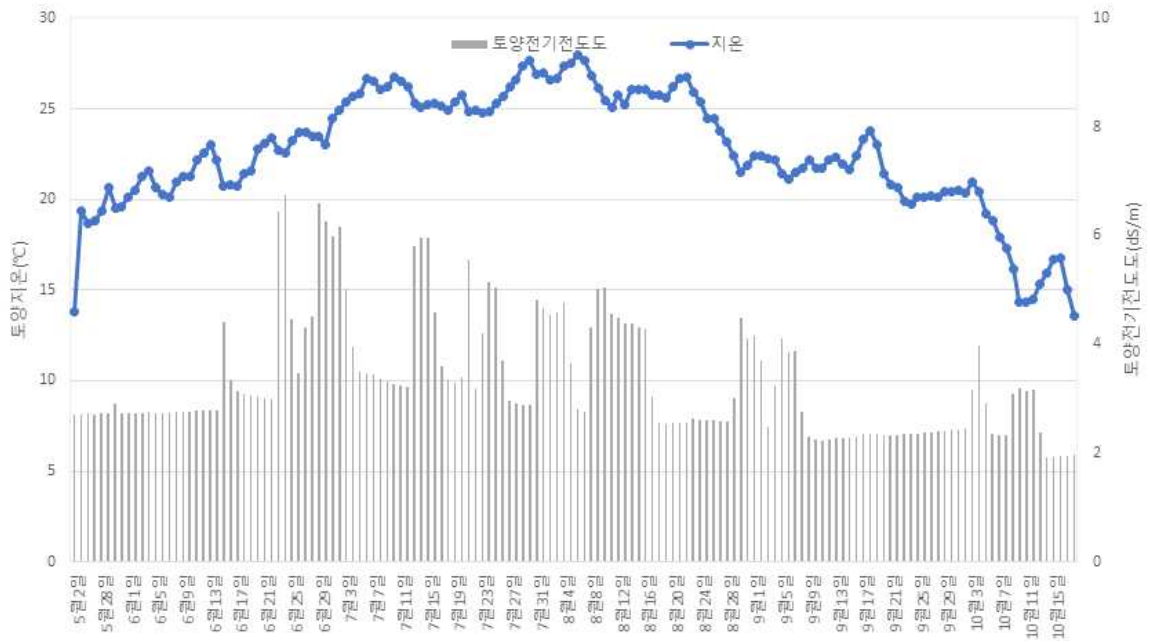
- 토양수분함량은 시기별로 5월 평균 25.5%, 6월에는 21.3%로 낮은 수준이었으나 7월 강우기에 접어들면서 33.1%로 상승하였고, 8월, 9월, 10월에는 30%이상의 토양수분함량을 기록하였음
- 상대적으로 테스트베드의 중앙부에 위치한 2지점의 토양수분이 비교적 낮은 편이었으며, 시험부지의 외곽부에 위치한 계측지점에서 상대적으로 높은 토양수분함량을 기록하였음. 이는 외곽 배수로 인근으로 배수가 이루어지면서 외부지역의 토양수분함량이 높은 것으로 판단됨

<Table 3-36> 지점별 토양 수분함량 변화

구 분	1지점	2지점	3지점	4지점	5지점	평균
5월	23.3	26.0	25.6	26.2	26.3	25.5
6월	21.4	20.9	22.0	22.0	20.1	21.3
7월	32.2	32.5	32.3	31.2	37.3	33.1
8월	32.2	30.1	28.0	29.4	36.1	31.2
9월	33.2	30.9	29.0	28.9	35.1	31.4
10월	35.0	32.0	31.1	32.1	36.3	33.3
평균	29.6	28.7	28.0	28.3	31.9	29.3



<Fig. 3-67> 화옹시험포의 토양수분함량 변화



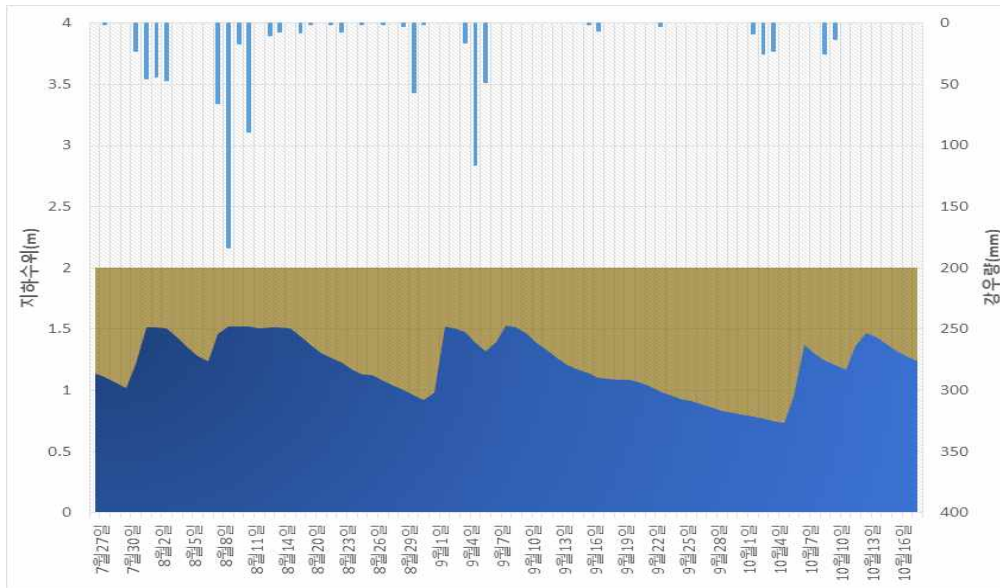
<Fig. 3-68> 화옹시험포 암거 간격별 심도별 토양염도 변화

㉔ 지하수위 변화

- 시험포 지표면에서 지하수위면까지의 거리는 시기별로 7월 0.91m, 8월 0.68m, 9월 0.82m, 10월 0.86m를 기록한 것으로 분석되었고, 집중강우가 많이 발생하였던 8월에 급격하게 상승한 것으로 분석되었음
- 비교적 강우량이 많았던 8월에 암거시설을 설치한 수준의 깊이에서 지하수위가 상승하지 않는 것으로 판단됨

<Table 3-37> 시기별 지하수위 변화

구 분	1지점	2지점	3지점	평균
7월	0.95	0.86	0.92	0.91
8월	0.68	0.59	0.77	0.68
9월	0.82	0.72	0.93	0.82
10월	0.86	0.80	0.92	0.86
평균	0.83	0.74	0.89	0.82



<Fig. 3-69> 화용 테스트베드 지하수위 변화

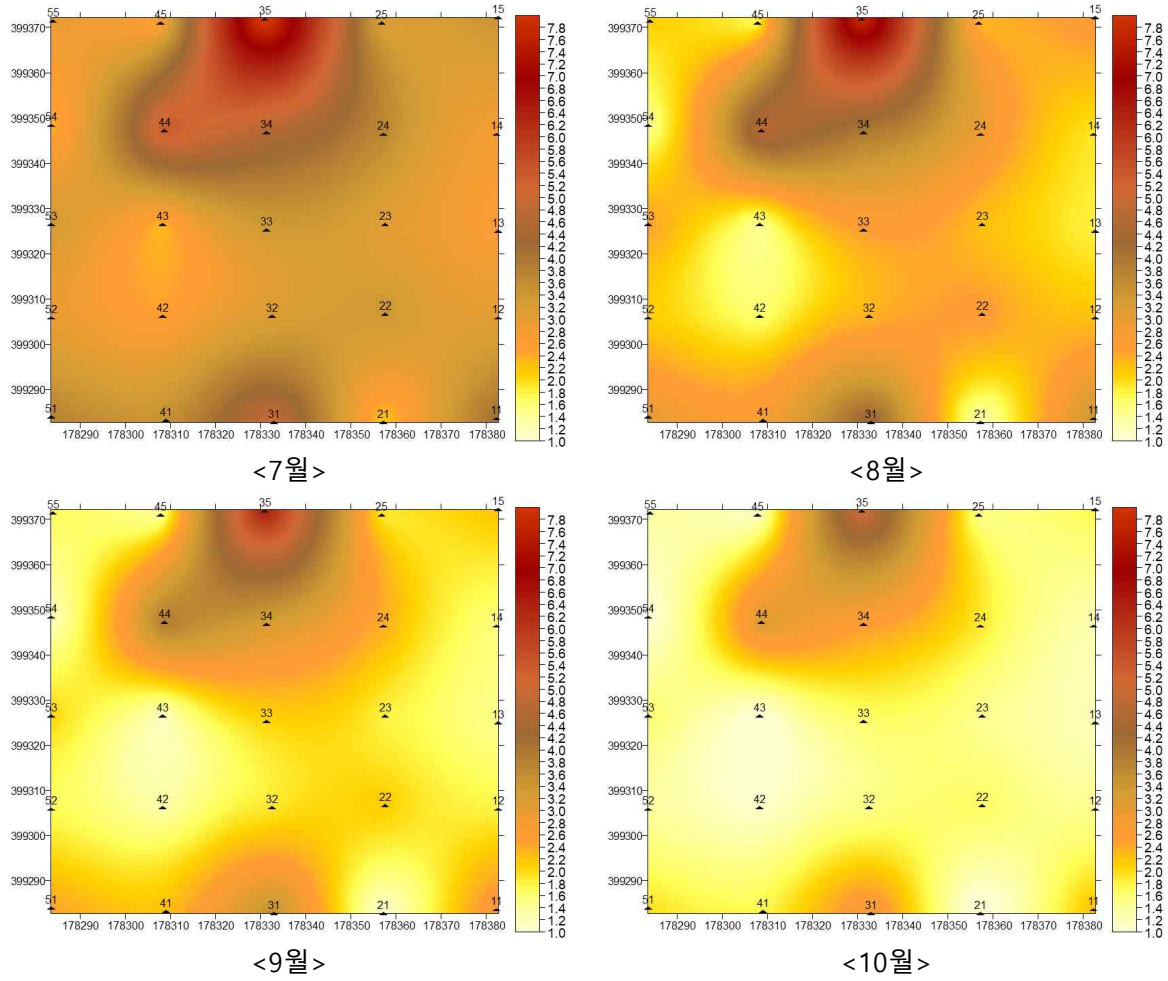
㉠ 공간분석

- 토양전기전도도는 7월에 2.9dS/m, 8월 2.7dS/m, 9월 2.2dS/m, 10월 1.8dS/m를 기록하여 8월에 다소 일시적으로 상승 후 감소하는 경향을 보임
- 4개월간 지점별로 1.1~6.9dS/m의 범위로 평균 2.4dS/m를 나타냄

<Table 3-38> 시험포 토양 조사지점별 전기전도도 분포

ID	x	y	7월	8월	9월	10월	평균
11	178382.3	399283.5	3.6	3.4	2.8	2.2	3.0
12	178382.7	399305.8	2.3	2.2	1.8	1.4	1.9
13	178382.7	399324.9	1.9	1.8	1.5	1.2	1.6
14	178382.3	399346.4	2.0	1.9	1.5	1.2	1.7
15	178382.7	399372.2	2.9	2.7	2.2	1.8	2.4
21	178357.2	399282.7	1.3	1.2	1.0	0.8	1.1
22	178357.6	399306.6	2.7	2.6	2.1	1.7	2.3
23	178357.6	399326.5	2.3	2.2	1.8	1.4	1.9
24	178357.2	399346.4	3.1	2.9	2.4	1.9	2.6
25	178356.8	399371	2.4	2.3	1.9	1.5	2.0
31	178333	399282.7	4.6	4.4	3.6	2.9	3.9
32	178332.6	399306.2	2.4	2.3	1.9	1.5	2.0
33	178331.4	399325.3	2.6	2.5	2.0	1.6	2.2
34	178331.4	399346.8	4.1	3.9	3.2	2.5	3.4
35	178331	399371.8	8.3	7.9	6.4	5.1	6.9
41	178309.1	399283.1	2.9	2.7	2.2	1.8	2.4
42	178308.3	399306.2	1.7	1.6	1.3	1.0	1.4
43	178308.3	399326.5	1.5	1.4	1.1	0.9	1.2
44	178308.7	399347.2	5.1	4.8	3.9	3.1	4.2
45	178307.9	399371	1.8	1.7	1.4	1.1	1.5
51	178283.6	399283.9	3.2	3.0	2.4	1.9	2.6
52	178283.6	399305.8	2.2	2.1	1.7	1.4	1.8
53	178283.6	399326.5	2.6	2.5	2.0	1.6	2.2
54	178283.6	399348.4	1.5	1.4	1.1	0.9	1.2
55	178284	399371.4	2.2	2.1	1.7	1.4	1.8
평균			2.9	2.7	2.2	1.8	2.4

○ 토양전기전도도 공간분석결과 시험부지 중앙부가 염분이 잘 이루어지는 상황을 보였으며, 중앙부 상단부의 경우 일부 물고임 현상으로 염분이 집적되어 토양전기전도도가 높게 나타난 것으로 판단됨



<Fig. 3-70> 화용간척지 토양염분 공간분석



<Fig. 3-71> 화용간척지 현장 전경

③ 2차 실증단지 작물재배 및 생육모니터링

㉠ 밀 실증재배

- 파종

○ 4월 5일 밀(품종: 조경) 봄파종을 다음과 같이 무고랑 산파방법으로 실시함



밀 파종 전 로터리



밀 파종

<Fig. 3-72> 밀 춘파 실시(4/5)

- 생육상황

○ 4월 5일 파종한 밀의 생육상황은 4월19일 일부 발아가 확인되었으며 4월 22일에는 전체 발아 (발아율 약 80%이상)를 확인함



<일부 발아(4/19)>



<전체 발아(4/22)>

<Fig. 3-73> 밀 발아 정도

○ 4.26일 밀 생육조사를 실시한 결과 정상활착을 확인하였으며 5월6일 초장 26cm, 뿌리길이 13cm 로 정상생육을 확인함



정상 활착(4/26)



생육상황(5/6)

<Fig. 3-74> 밀 생육조사 현황

○ 5월 28일 출수 전 지하관수를 통한 물공급을 통해 수정을 극대화함



지하관수 실시(5/21)



출수(5/28)

<Fig. 3-75> 밀 발아 정도

○ 출수기부터 제염암거를 통한 지하관수를 실시한 효과로 일반밭과 동등한 밀 생육상태를 보임



밀 생육상황(6/4)



밀 생육상황(6/25)

<Fig. 3-76> 밀 생육 상황

- 수확

○ 7월 4일 수확을 실시하였으며 수확량은 390kg/10a으로 일반 밭 수확량(400kg/10a, 2020년 밀산  
업육성계획기본계획 기준) 대비 93%의 수확량을 달성함



밀 수확(7/4)

<Fig. 3-77> 밀 수확 전경

㉞ 콩 실증재배

- 파종

- 6월 4일 콩(품종: 선풍) 파종을 다음같이 이랑형성 파종기를 활용하여 잡초발아 억제재를 살포하며 파종(6kg/10a)을 실시함



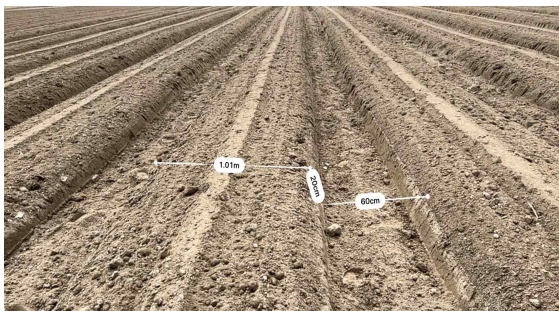
콩 파종 기(이랑형성, 파종, 제초 일체형)



콩 파종 작업

<Fig. 3-78>

- 이랑 성형은 배수를 감안하여 폭1m 및 높이 0.2m로 성형 하였으며 고랑 폭은 0.6m로 지표배수가 원활히 될 수 있도록 형성함



이랑 성형 : 이랑폭1m, 높이 0.2m, 고랑폭0.6m



콩 파종 완료 후 전경

<Fig. 3-79> 이랑 및 고랑 성형

- 파종 직후 발아촉진을 위해 수차를 활용하여 고랑관개를 실시함



<Fig. 3-80> 고랑관개 전경(6/4)

- 생육상황

- 6월 21일 200mm/3h 강우로 인한 간척지 토양 표층 고결로 인해 떡잎이 표토를 뚫고 올라오지 못한 결과 발아율(60%)이 전체적으로 불량하였음



콩 입모 형성 6월 21일(200mm/3h 폭우로 두둑 붕괴

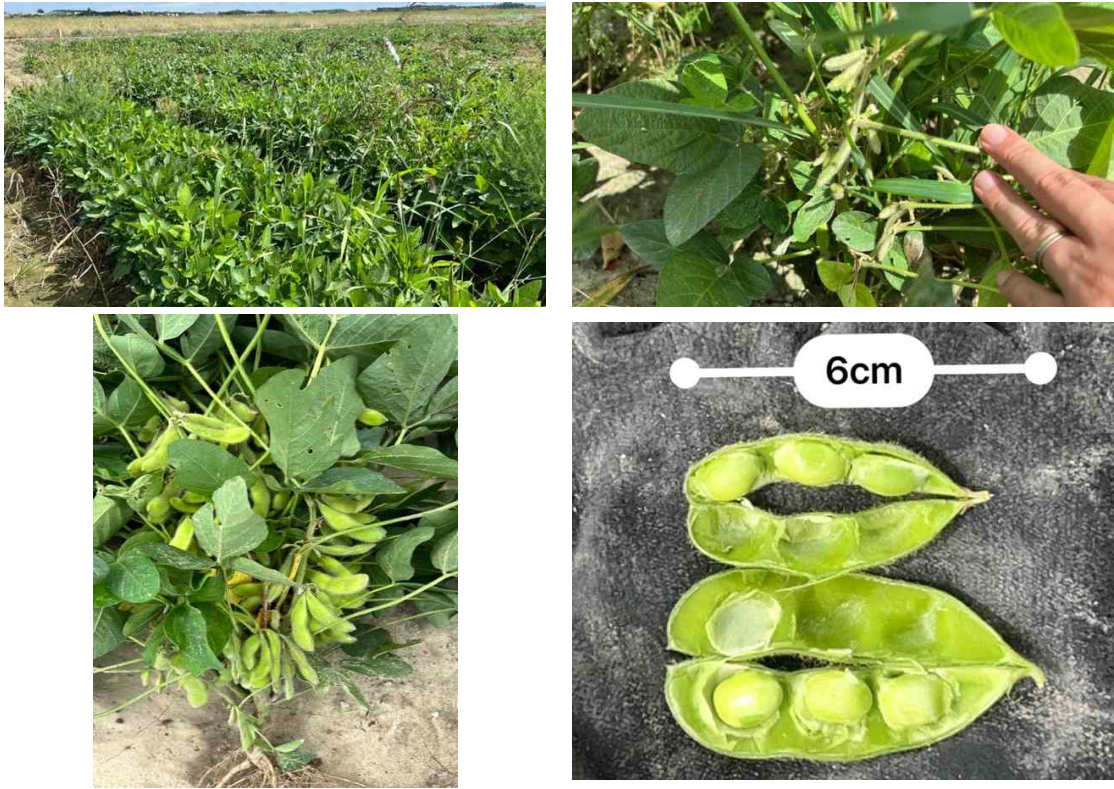
<Fig. 3-81 두둑붕괴>



<Fig. 3-82> 콩 발아상태

- 토양고결 문제로 인해 낮은 발아율을 보였지만 지표 및 지하배수가 양호한 경지 조건으로 발아 후 생육상태는 양호함





<Fig. 3-83> 콩 생육 상황(9/14)

○ 9월 14일 생육조사 결과 대부분의 개체에서 다수의 꼬투리가 정상적으로 형성되었으며 종자 성숙도 양호하게 진행되고 있는 것을 확인함

- 수확

○ 10월 24일 수확을 시행하였으며 수확량은 170kg/10a으로 일반 밭 수확량 (203kg/10a, 2021년 통계청 기준) 대비 84%의 수확량을 달성함



<Fig. 3-84> 콩 생육 상황(10/24)

## ⑥ 옥수수 실증재배

### - 정식

- 옥수수는 6월 8일 육묘를 통해 정식을 실시하였고 다비성 작물임을 감안하여 비료는 N-P-K의 비가 12-3-5며, 유기물 75%를 함유한 복합유기질비료인 DOF 다이아몬드 비료 총 15kg 10포대를 시비함



<Fig. 3-85> 옥수수 정식 후 전경(6/8)

- 멀칭은 구멍이 없는 0.02mm×130cm×500m 비닐을 사용하였으며, 정식간격인 30cm 간격으로 비공을 뚫어주는 작업을 시행한 후 정식을 실시함

### - 생육상황

- 6월 25일 생육조사 결과 활착정도 및 생육상태가 매우 양호했으며 8월에는 잦은 강우로 인해 침수에 의한 습해피해가 발생함



옥수수 생육상황(6/25)



침수로 인한 습해 발생(8/1)

<Fig. 3-86> 옥수수 생육 상황

- 뿌리 발달 정도를 조사한 결과 성공적으로 활착되어 있음을 나타냈으며 잔뿌리 형성도 잘 이루어진 점을 감안할 때 적절한 관개용수 공급이 이루어질 경우 정상 생육이 가능할 것으로 판단됨



<Fig. 3-87> 옥수수 생육 상황(7/27)

- 8월 6일 생육조사 결과 수분 수정이 정상적으로 이루어진 것을 확인했으며 옥수수알의 발달 정도가 양호한 것으로 나타남



<Fig. 3-88> 옥수수 생육 상황(8/6)

#### - 수확

- 9월 2일 수확을 실시하였으며 수확량은 490kg/10a으로 일반 밭 수확량 (589kg/10a, 2021년 통계청 기준) 대비 83%의 수확량을 달성함
- 간척지 내 작물재배 중에는 원칙 살충제 살포는 금지되어 있어 조병나방 등 병충해 피해가 발생, 옥수수 품질 저하가 야기되어 병충해에 대한 예방이 필요할 것으로 사료됨

(마) 작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사 등을 통한 경제성분석

1) 분석 데이터 구축

① 저비용 고효율 암거 설치 비용

○ 저비용 고효율 암거 설치 비용에 대한 세부산출내역은 1ha 기준 27,940,000원으로 산출되었으며, 대규모 설치 시 단위 비용은 감소할 것으로 예상함

<Table 3-39> 저비용 고효율 암거 설치 비용

(단위: 원/ha)

비 목		금 액	구 성 비	
순 공 사 원 가	재 료 비	직 접 재 료 비	8,857,990	
		간 접 재 료 비		
		작업설, 부산물(△)		
		<b>[소 계]</b>	<b>8,857,990</b>	
	노 무 비	직 접 노 무 비	8,955,011	
		간 접 노 무 비	886,546	직접노무비 × 9.9%
		<b>[소 계]</b>	<b>9,841,556</b>	
	경 비	경 비	7,501,599	
		산 재 보 험 료		노무비 × 3.75%
		고 용 보 험 료		노무비 × 0.87%
산업안전보건 관리비		260,960	(재료비+직노) × 2.93%	
환 경 보 전 비		53,439	(재료비+직노+기계경비) × 0.3%	
기 타 경 비		373,990	(재료비+노무비) × 2%	
하도급 지급보증 수수료			(재료비+직노+기계경비) × 0.081%	
건설기계대여금 지급보증서 발급 수수료			(재료비+직노+기계경비) × 0.07%	
<b>[소 계]</b>		<b>8,189,988</b>		
<b>계</b>		<b>26,889,534</b>		
일 반 관 리 비		806,686	계 × 3%	
이 운		576,449	(노무비+경비+일반관리비) × 3.06%	
소 계		28,272,669		
공 급 가 액		25,400,000	※ 90% 낙찰율	
부 가 가 치 세		2,540,000	공급가액 × 10%	
도 급 액		27,940,000		
<b>총 공 사 비</b>		<b>27,940,000</b>		

## ② 재배작물

- 간척지 재배 작물로 기존 재배가능한 쌀과 저비용 고효율 암거시공 이후 실증재배 결과를 바탕으로 재배가능 작목인 옥수수, 콩, 밀 등을 선택하여 분석하였으며, 통계청에서 제시된 2021년 경영실적은 다음과 같음

<Table 3-40> 재배가능 작물 경영성과

(단위: 원/10a)

구분		소득	경영비	생산비
논	쌀	1,178,214	495,307	795,307
밭	옥수수	1,594,683	731,258	1,840,174
	콩	809,514	297,268	657,986
	밀	291,715	233,227	365,128

## 2) 시나리오 구축

### ① 저비용 고효율 암거 도입 시나리오

- 저비용 고효율 암거 도입에 대한 시나리오를 국가부담 및 농가부담으로 구분하고 기존 굴착 암거공법 비교분석 포함

<Table 3-41> 저비용 고효율 암거 도입 시나리오

구분	1안	2안
시공비용	국가부담(자부담 0%시)	자부담(0%, 50%, 100%)
임대료	농가부담(30, 50만원/ha)	농가부담(30, 50만원/ha)
유지비용	시공비 5%	시공비 5%
시공기간	1년	1년
내구연한	30년	30년
사회적할인율	4.5%	4.5%

### ② 작부체계

- 1안: 전작으로 콩, 후작으로 밀 재배
- 2안: 전작으로 옥수수, 후작으로 밀 재배
- 대조군: 저비용 고효율 암거 시공 이전 쌀과 비교
- 간척지 생산성은 1년차 70%, 2년차 80%, 3년차 90%, 4년차부터 100%를 적용

### 3) 경제성 분석

#### ① 쌀 재배 효과

- 간척지 쌀 재배효과와 전국과 동일하다고 가정할 경우, 31년간 순현재가치는 113.0백만원임

<Table 3-42> 단위면적 당 쌀 재배 경영성과

할인율	소득(ha)	기간(년)	순현재가치(백만원)
0.045	6,829,070	31	112.983

#### ② 저비용 고효율 암거 시공비용 국가 부담에 대한 경제성 분석

- 임대료와 무관하게 무굴착 시공 이후 B/C비율이 1 이상으로 발작물 도입에 대해 경제성이 존재함
- 임대료 30만원/ha일 경우 작부가 “옥수수+밀” 이면 쌀 생산보다 더 높은 소득 달성

<Table 3-43> 시공비용 국가 부담에 대한 경제성 분석결과

(단위: 백만원)

임대료	작부	쌀(A)	발작물 (B)		도입효과 (B-A)
		순현재가치	순현재가치	B/C비율	
30만원/ha	옥수수+밀	113.0	112.3	6.145	-0.7
	콩+밀	113.0	59.4	3.723	-53.6
50만원/ha	옥수수+밀	113.0	109.2	6.002	-3.8
	콩+밀	113.0	56.3	3.580	-56.7

#### ③ 저비용 고효율 암거 시공비용 농가 부담에 대한 경제성 분석

- 저비용 고효율 암거 시공비용 농가 부담 시, B/C 비율이 모두 1보다 크기 때문에 손실이 발생하지 않고 경제성이 있음
- 다만 암거를 시공하지 않고, 쌀을 재배할 경우와 비교하면 농가 소득이 감소하는 것을 알 수 있음

<Table 3-44> 시공비용 국가부담에 대한 경제성 분석결과

(단위: 백만원)

구분	작부	쌀(A)	밭작물 (B)		도입효과 (B-A)
		순현재가치	순현재가치	B/C비율	
2,500만원/ha	옥수수+밀	113.0	111.5	6.723	-1.5
	콩+밀	113.0	58.6	4.010	-54.4
2,600만원/ha	옥수수+밀	113.0	110.7	6.464	-2.3
	콩+밀	113.0	57.9	3.855	-55.1
2,700만원/ha	옥수수+밀	113.0	109.9	6.225	-3.1
	콩+밀	113.0	57.1	3.713	-55.9
2,800만원/ha	옥수수+밀	113.0	109.2	6.002	-3.8
	콩+밀	113.0	56.3	3.580	-56.7

④ 기존 굴착 암거와 저비용 고효율 암거 시공에 대한 경제성 비교 분석

- 국가부담 시 시나리오 설정에 따른 임대료와 설치비용 수준에서 순현재가치가 모두 0 이상, B/C비율이 1이상으로 나타나 경제성이 존재하는 것으로 나타났으며, 무굴착 암거 시공의 경제성이 관행 굴착 방식보다 더 경제적인 것을 알 수 있음

<Table 3-45> 시공비용 국가 부담에 대한 경제성 분석

(단위: 백만원)

구분		작부	경제성			
			임대료 30만원/ha		임대료 50만원/ha	
			순현재가치	B/C비율	순현재가치	B/C비율
저비용 고효율	2,500만원/ha	옥수수+밀	114.6	6.883	111.5	6.723
		콩+밀	61.8	4.170	58.6	4.010
	2,600만원/ha	옥수수+밀	113.8	6.618	110.7	6.464
		콩+밀	61.0	4.009	57.9	3.855
	2,700만원/ha	옥수수+밀	113.1	6.373	109.9	6.225
		콩+밀	60.2	3.861	57.1	3.713
	2,800만원/ha	옥수수+밀	112.3	6.145	109.2	6.002
		콩+밀	59.4	3.723	56.3	3.580
굴착	4,000만원/ha	옥수수+밀	102.9	4.302	99.8	4.202
		콩+밀	50.1	2.606	46.9	2.506

- 농가부담 50%일 시 시나리오 설정에 따른 임대료와 설치비용 수준에서 순현재가치가 모두 0 이상, B/C비율이 1이상으로 나타나 경제성이 존재하는 것으로 나타났으며, 무굴착 암거 시공의 경제성이 관행 굴착 방식보다 더 경제적인 것을 알 수 있음

<Table 3-46> 시공비용 농가 부담 50%에 대한 경제성 분석

(단위: 백만원)

구분		작부	경제성			
			임대료 30만원/ha		임대료 50만원/ha	
			순현재가치	B/C비율	순현재가치	B/C비율
저비용 고효율	2,500만원/ha	옥수수+밀	102.7	4.265	99.5	4.165
		콩+밀	49.8	2.583	46.7	2.484
	2,600만원/ha	옥수수+밀	101.4	4.101	98.3	4.005
		콩+밀	48.5	2.484	45.4	2.389
	2,700만원/ha	옥수수+밀	100.1	3.949	97.0	3.857
		콩+밀	47.3	2.392	44.2	2.300
	2,800만원/ha	옥수수+밀	98.9	3.808	95.8	3.719
		콩+밀	46.0	2.307	42.9	2.218
굴착	4,000만원/ha	옥수수+밀	83.8	2.665	80.7	2.603
		콩+밀	30.9	1.615	27.8	1.553



- 농가부담 100%일 시 시나리오 설정에 따른 임대료와 설치비용 수준에 있어서 굴착 방식 “콩+밀” 작부를 제외한 순현재가치가 모두 0 이상, B/C비율이 1이상으로 나타나 경제성이 존재하는 것으로 나타났으며, 무굴착 암거 시공의 경제성이 관행 굴착 방식보다 더 경제적인 것을 알 수 있음

<Table 3-47> 시공비용 농가 부담 100%에 대한 경제성 분석

(단위: 백만원)

구분		작부	경제성			
			임대료 30만원/ha		임대료 50만원/ha	
			순현재가치	B/C비율	순현재가치	B/C비율
저비용 고효율	2,500만원/ha	옥수수+밀	90.7	3.089	87.6	3.018
		콩+밀	37.8	1.872	34.7	1.800
	2,600만원/ha	옥수수+밀	89.0	2.971	85.8	2.902
		콩+밀	36.1	1.800	33.0	1.731
	2,700만원/ha	옥수수+밀	87.2	2.861	84.1	2.794
		콩+밀	34.4	1.733	31.2	1.666
	2,800만원/ha	옥수수+밀	85.5	2.758	82.4	2.694
		콩+밀	32.6	1.671	29.5	1.607
굴착	4,000만원/ha	옥수수+밀	64.7	1.931	61.5	1.886
		콩+밀	11.8	1.170	8.7	1.125

## (바) 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 작성

### 1) 암거공법 적용을 위한 매뉴얼 조사 및 분석

#### 가) 기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 조사 및 분석

##### ① 농업생산기반시설 설계 및 시공기준 분석

- 간척지 논범용화 배수암거와 관련된 설계 및 시공, 유지관리 기준을 조사, 분석하였으며, 그 결과 배수와 관련된 설계, 시공기준은 “KCS 67 50 50 : 2018 경지정리 암거배수 공사”, “KDS 67 45 40 : 2018 농지배수 지하배수계획”, “KDS 67 65 30 : 2018 해면간척 용배수 설계”, “KDS 67 65 40 : 2018 해면간척 제염 설계 및 지구내 계획” 등이 있으며, 유지관리에 대한 지침은 “KDS 67 45 90 : 2018 농지배수유지관리” 가 있는 것으로 조사됨

##### ㉠ KCS 67 50 50 : 2018 경지정리 암거배수 공사

- 본 기준은 굴착 암거배수공사에 관한 내용으로 터파기, 관부설, 피복재, 보수 및 재시공, 되메움 등의 내용이 제시되어 있으며, 세부내용은 다음과 같음
- 터파기는 설계도면을 기본으로 현지에 말뚝, 석회 등으로 터파기 선을 명시하고 공사감독자(또는 감리원)의 검사를 받은 후에 시공해야 하며, 연약지반이나 혹은 담수되어 있는 경우는 물고름 파서 지표수를 배제하고 지반이 건조된 후에 터파기를 한다고 제시되어 있음
- 터파기는 배수로, 집수거, 흡수거의 순으로 하류에서 상류로 향하여 소정의 깊이와 기울기가 되도록 유의하여 시공해야 하며, 기계터파기는 지반의 고저 및 지내력을 고려하여 소정의 깊이 및 기울기를 유지하도록 항상 기계의 조작에 주의해야 함
- 도랑의 바닥이 연약하거나 흙탕물이 고여 있는 곳에 관을 매설할 경우는 기능을 저해하지 않도록 매설해야 하며, 트렌치 이외의 기계나 인력으로 터파기를 할 경우는 표토와 심토를 분리해 두어야 함
- 흡수거, 집수거 및 배수관의 표준 기울기는 설계도서에 따름. 또한 지형 및 토질에 따라 표준 기울기가 변할 수 있기 때문에 그때마다 공사감독자(또는 감리원)의 지시에 따라야 한다고 제시되어 있으며, 관부설에 대한 내용은 다음과 같음
- 암거바닥을 일정한 기울기로 유지하기 위하여 바닥 고르기 (인력)를 하며, 기계시공시는 연약지반 같은 이탄지대를 제외하고 바닥고르기를 할 수 없음
- 배관 매설은 터파기의 반대순서로 상류에서 하류로 향하여 시공하되 각 연결부를 원활하게 해야 하며 암거바닥이 구불구불하거나 요철(凹凸)이 없도록 해야 하며, 도랑의 바닥이 연약하거나 오탁수가 고여 있는 곳에 관을 매설할 경우는 기능을 저해하지 않도록 매설해야 함
- 관의 부설시 역 기울기나 사행이 되지 않도록 터파기는 중심선에 시공하고 작업종료 후에는 원칙적으로 공사감독자(또는 감리원)에게 보고해야 하며, 관을 접합할 때는 되메움 후에 빠져나가지 않도록 주의하여 시공해야 한다고 제시되어 있음
- 수갑부분을 시공할 경우 부등침하가 일어나지 않도록 충분히 다짐을 한 후에 부설해야 함
- 피복재에 대한 내용은 다음과 같으며, 흡수거의 피복재 및 소수재는 되메움 완료한 다음 압밀 후의 높이가 소정의 높이가 되도록 채우고 흡수거를 균등하게 피복되도록 시공해야 함

- 보수 및 재시공에 대한 내용은 다음과 같이 흡수거의 상류단에는 입관 위에 캡(cap) 등을 설치하여 토사의 유입을 방지하며, 관부설을 일시 중단할 때는 관의 상류 끝에 마개를 끼워서 이토 등이 유입하지 않도록 해야 함
- 되메움은 터파기 흙을 유용하든지 되도록 건조한 흙으로 되메우고 이토를 사용해서는 안 되며, 도랑, 논두렁 및 배수구 등의 되메움에서는 잘 다져야 함
- 되메움은 2회로 나누어서 실시해야 함. 1차 되메움은 피복재를 시공한 즉시 인력에 의해서 되메움 함. 그 관이 사행하든지, 접촉부가 빠져나가지 않도록 주의하여 잘 밟아 다져야 함. 더욱 집수거, 도수거부에서는 관에 직접 자갈의 접촉이 있어서는 안됨
- 2차 되메움은 1차 되메움 후 1 ~ 2개월 방치, 자연전압을 기다린 후 유의해서 시공해야 하며, 수압 수위에 양질점토로서 다져서 보호관이 빠지지 않도록 정성을 다하여 시공해야 함

#### ㊤ KDS 67 45 40 : 2018 농지배수 지하배수계획

- 본 기준은 지하배수 암거를 매설을 위한 설계 기준에 대한 내용으로 고려사항으로 암거의 종류, 지구내 배수, 경지조건, 용수, 지표배수조직, 농지범용화, 계획암거배수량 등을 고려한 설계 기준이며, 본 연구에 부합하는 세부내용은 다음과 같음
- 암거의 계획 기준치는 계획 암거배수량, 계획 암거배수량 산정 등으로 구성되어 있으며 세부내용은 다음과 같음
- 계획 암거배수량은 경지구획의 평탄정도, 넓고 좁음, 토양의 투수성, 토지이용 형태 등에 따라서 10 ~ 30 mm/day로 정함. 계획 암거배수량은 계획암거배수량에 대한 접근방법, 암거배수량의 필요성, 지표잔류수가 있는 경우의 계획 암거배수량, 지표잔류수가 없는 경우의 암거배수량을 구분하여 산정하여야 함
- 계획 암거배수량의 산정은 지표잔류수를 대상으로 계획암거 배수량을 산정하는 경우 범용농지에서는 발작물을 대상으로 하기 때문에 지표수가 포장 내에 정체하는 것은 습해의 큰 원인이 되므로 이것을 허용시간내에 신속히 배제하는 방법을 채택하여야 함
- 지표잔류수를 대상으로 하는 경우 논의 지표 잔류수 배제에 필요한 허용일수는 기존의 시험자료와 경험에서 종합하면 1 ~ 2일정도라고 할 수 있음. 또, 발작물의 경우에는 침수시간이 최소화되도록 신속히 배제하여야함. 따라서, 지표잔류수가 있는 경우의 계획암거배수량은 벼 재배의 경우 기계의 도입이나 적당한 물 관리를 위해서 논바닥의 물 배제는 1~2일 이내에 가능하도록 해야함. 강우량에 비하여 투수성이 충분히 큰 토양으로서 지표잔류수가 없는 경우의 암거배수량은 지표잔류 허용시간을 단축시키기 위해서 암거 조직용량을 크게 만들어도 비경제적이므로 계획배수량은 30 mm/day 정도가 알맞음

〈Table 3-48〉 논 지표잔류수의 허용일수

기별	기별의 구분	허용일수
관개기	제초기·액비사용 시	1 ~ 2일 이내
	담수 직파의 아간 시	1일 이내
	중간 시	2 ~ 3일 이내
	관개종료 시	3 ~ 5일이내
비관개기 (강우시 배제)	경기·땅고르기 작업기	1 ~ 3일 이내
	건답직파 파종 작업기	1 ~ 2일 이내
	건답직파 발아기	1 ~ 2일 이내
	수확작업기	1 ~ 2일 이내
	이작기	2 ~ 3일 이내
	추경기	3 ~ 5일 이내

- 지표잔류량은 구획정리 후에 측정한 각 포장 평면도의 시공관리 자료에서 실측 또는 계산하면 20 ~ 30mm의 범위의 것이 많음. 또 이미 시공되어 양호한 결과를 얻고 있는 암거의 피크(Peak) 배수량은 30mm 전후의 것이 많이 제시되고 있음
- 토양 중력수를 대상으로 하는 경우는 지표 잔류수가 제거된 후에 강우에 대한 토양 중력수를 관개기 1일, 비관개기 2일로 배제하는 판단법은 수식 (1)에 의해 구해짐

$$q = \frac{R \times P \times 10^4 \times 10^3}{N \times 10^3 \times 84,400} - 0.1157R \times P/N \quad \text{수식 (1)}$$

여기서, q : 단위암거배수량(l/s/ha)

R : 유효토층 두께(mm)

N : 배제일수(day)

P : 유효간극률(Drainable porosity)

- 지표잔류수가 없는 경우 또는 지표잔류수를 배제한 후에는 토양중력수를 허용시간 내에 계획 지하수위까지 저하시킬 수 있는 양이어야 함
- 암거배수 조직의 기본구성은 ① 암거배수조직 계획, ② 암거배수 기본조직의 선택, ③ 암거배수 조직의 구성, ④ 암거배수조직의 배수방식, ⑤ 흡수거의 구조 및 재료, ⑥ 흡수거의 매설깊이 및 간격, ⑦ 집수거, ⑧ 암거의 배치, ⑨ 암거의 환경 및 기울기로 구성되어 있음
- 암거배수의 조직계획은 지형조건에 따라서 평탄지와 경사지로 구분하고 또한 토양조건에 따라서 사질 토양, 양토질 토양, 난투수성 토양 및 이탄 토양, 간척지 토양으로 구분해서 배수조직 계획을 수립한다고 제시되고 있음
- 본 항에서 제시하는 기준은 모든 지구에 공통적으로 적용되나, 이 기준이 설계자의 경험에 따른 판단을 구속해서 계획을 획일적으로 제한하려는 것이 아니고, 계획의 원칙적인 고찰방법과 추진방향을 제시하는 것임.
- 따라서, 설계자는 이 원칙의 방향에 따르면서 경험에 의한 정확한 판단을 내려서 타당한 계획을 수립하여야 한다고 명시 되어 있으나 본 연구에서는 간척지에 대한 범용화이므로 간척지토양을 적용하여야 함

<Table 3-49> 토양의 구분

토양구분	세부내용
사질 토양	• 점지표아래 1m까지의 토층으로 투수계수가 대략 $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 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 (peat soil)	• 이탄층이 두껍고 배수개량에 따라 경지면의 침하나 시설물이 부등침하 할 염려가 있는 토양
경사지 논	• 평균지형경사가 1/50 이상이고 지구내로부터 침투수가 많아서 특수한 암거배수 처리를 필요로 하는 논
간척지 토양	• 회색층 점토가 항시 팽윤상태에 있으며, 흡습도(吸濕度)가 높은 2가 철( $\text{Fe}^{+2}$ )이 다량으로 함유되어 투수계수가 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 미만으로 극히 낮은 토양

- 암거배수조직의 선택은 배제되는 물이 암거배수조직을 통하여 용이하게 지선배수로, 간선배수로에 도수되도록 하여야 함
- 암거배수조직 구성은 일반적으로 흡수거, 집수거, 수갑, 배수구로 구성됨. 이 밖에 필요에 따라 흡수거 상류단에 청소구 (입상관)와 통기구, 집수거가 관로인 경우에는 유지관리나 청소 등을 위한 맨홀 등을 설치해야 함
- 암거배수조직의 배수방식은 흡수거, 집수거, 수갑 및 맨홀, 배수구, 승수거 등의 시설로 구성되는 암거배수조직의 배수방식은 지역의 지형조건, 용·배수조건 및 토지이용의 상황 등에 따라서 집수거 배수방식 또는 직접배수 방식으로 구분할 수 있음. 세부내용은 <Table 3-10>에 제시하함

<Table 3-50> 배수방식

구분	세부내용
집수거 배수방식	• 지하수위 조절시설인 수갑 및 배수구 등의 배출시설을 설치하기 용이한 평탄지 포장에서 많이 사용되고 있으나, 통수저해가 나타났을 때 조직 전체의 기능이 현저히 저하하며 그 조사 범위가 넓어 곤란함
직접 배수방식	• 수갑 및 배수구 시설의 설치는 배수로의 수위에 직접 관계되어 선택의 범위가 한정됨. 그러나, 통수저해가 생긴 경우 그 조사 범위가 좁아 조사가 용이함 • 이 방식은 급경사 지대의 포장에서 자주 사용되고 있음

- 흡수거의 구조 및 재료 중 흡수거는 흡수거와 여과재 (Filter)나 소수재로 구성되며 석력, 목재, 대나무 및 왕겨 등을 사용하는 간이 암거와 재료를 사용하지 않은 무재료 암거로 두더지 암거, 절단 암거 등도 있음. 흡수관은 필요한 통수단면적, 강도, 내구성 및 흡수성능을 가지고 있어야 함
- 여과재 및 소수재는 토양의 투수성 증진과 토사가 흡수관으로 유입하는 것을 방지하는 기능이 있고, 어느 정도의 내구성이 있어야 함. 또한, 암거재료는 작물에 유해한 물질이나 수질을 오염시키는 물질을 화학 합성하거나 용출해서는 안됨
- 흡수거의 매설깊이는 『지표면에서 계획지하수위까지의 깊이 + 여유심』으로 하며, 일반적으로 흡수거의 상류단에서 0.6 ~ 1.0 m, 하류단에서 0.8 ~ 1.2 m로 함 다만, 주흡수거의 상단부 매설 깊이를 최소한 0.6m 이상으로 해야 함

○ 국내의 자료를 분석 정리한 결과 계획지하수위 및 암거배수 기준치는 <Table 3-51> 와 같음

<Table 3-51> 논 지표잔류수의 허용일수

배수요인 \ 작기	담수기 (수도)	비담수기 (답리작)
감수심	10 ~ 15 mm/일	-
삼투속도	5 ~ 10 mm/일	-
토양투수계수	$10^{-5}$ cm/s	$10^{-4}$ cm/s
지표잔류수 허용일수	물떼기후 3 ~ 5일	강우후 1 ~ 2일
강우후 5일 째		
20cm 층위 토양수분	-	pF 2.5
계획지하수위	-	지표하 50cm

- 흡수거의 여유심 ( $\alpha$ )은 배수로의 심도, 지하수위의 하강속진과 배수개선에 따른 지반의 수축 침하, 영농기계의 주행하중 및 동결 등에 대한 암거 보호를 위한 것으로 대략 ( $\alpha$ ) = 20~50cm 로 하는 것이 타당하며, 여유심 ( $\alpha$ )을 크게 해야 할 조건으로는, ① 토양의 투수성이 커서 흡수 거의 간격이 넓은 경우, ② 간척지 주변의 육지부, 경사지 및 인접고지대 등에서 깊은 침투수의 차단이 필요한 경우, ③ 배수개선에 의해서 토층의 수축이 예상될 경우, ④ 심근성의 영년생 작 물이 도입될 경우 등이 있음
- 집수거는 흡수거의 물을 지체없이 배제시키며 또한 배출수량을 조절 (제어)하는 기능을 구비해 야 함. 이 경우에 집수거의 배치 및 기울기는 각 흡수거 하류단 (집수거와의 합류점)을 합류시 키는 것을 원칙으로 하나, 집수거의 기울기를 적정하게 확보하기 위해 흡수거의 하류단 높이를 낮추어 조절하는 경우도 있음
- 암거의 배치 중 흡수거의 배열방향, 수갑 등의 암거 배수시설의 배치는 배수를 더욱 신속하게 할 수 있도록 하고, 배수기능을 보다 장기간 유지할 수 있게 충분히 검토해서 결정하며, 논 또는 밭과 논으로 윤회되는 논외 암거배수조직은 암거배수의 조절을 쉽게 할 수 있도록 배치해야 함
- 평탄지에서 암거의 배열방향은 설치방향과 관계없이 흡수작용에 큰 영향은 없으나, 경사지에서 는 암거의 배열방향에 따라서 흡수성능은 물론 공사비에도 상당한 영향을 미침
- 암거의 관경 및 기울기 중 흡수관의 관경은 계획배수량이 만류가 되지 않고 충분히 유하 할 수 있는 크기로 하나, 특별한 경우를 제외하고 최소관경은 50 mm ( $A = 19.6 \text{ cm}^2$ )로 하며 경지정리 답의 배미구 장변 (100 m인 경우)에 맞추어 흡수관 길이를 95 m, 흡수관경을 50 mm로 하면 충 분함
- 흡수거의 기울기는 <Table 3-52>와 같이 인력매설시와 기계매설시로 구분됨

<Table 3-52> 흡수거의 기울기 및 관내최대유속

구분	세부내용
인력매설시	1/300~1/600
기계매설시	1/500~1/1,000
관내유속	최대유속시에 0.3 m/s이상 ~ 1.0 m/s

- 토양조건에 따른 암거배수조직 계획에서는 본 연구의 목적이 간척지 암거공법 개발이므로 <Table 3-49>에 제시되어 있는 토양조건 중 간척지 토양에 대해서만 제시하였음
- 암거배수에 의한 제염 중 간척지에서 가장 효율적인 제염방법은 암거배수 (수직배수)에 의한 염분용탈 방법이므로, 초기간척지에서 토양의 투수성을 얼마나 빨리 증진시켜 주느냐에 따라서 간척지의 제염효과가 좌우됨
- 또한 간척지에서 암거배수조직계획은 다음 세가지를 고려하여야 함. 첫째, 건토화를 위해서 깊이가 0.4 m ~ 0.7 m, 윗너비 0.8 m ~ 1.2 m 정도의 소배수구가 간척지 내의 갯고랑을 향하도록 적절하게 많이 배치하여 굴착하므로써 신속한 지표배수를 실시함. 둘째는 어느 정도 토층의 건조화가 진행된다면 하부토층의 배수를 촉진시키기 위해서 보조암거 (두더지 암거, 소수재 매설암거, 심토파쇄 등)을 시공함. 끝으로 토층건조에 따른 토양구조발달이 지표면하 50 cm ~ 0 cm까지 파급되었을 때 주암거 (흡수거+소수재)를 보조암거와 연결되도록 배치함

#### ㊤ KDS 67 65 30 : 2018 해면간척 용배수 설계

- “KDS 67 65 30 : 2018 해면간척 용배수 설계”에서는 용수 및 배수 설계 기준이 제시되어 있으므로 본 연구의 목적인 논 범용화를 위한 배수에 관한 내용을 조사하였으며, 본 기준에서는 암거배수량에 대한 내용이 제시되어 있으며, 조사결과는 다음과 같음
- 암거배수량은 경지구획의 평탄도, 넓고 좁음, 토양의 투수도, 토지이용형태 등에 따라 10 ~ 50 mm/일로 정하고, 계획암거배수량은 지표잔류수 및 토양층의 과잉수를 허용시간 내에 배제해야 하는 양이라고 정의할 수 있으며, 지표유출후의 지표잔류량은 지표의 평탄도에 의하여 정하여한다고 제시함
- 경지정리사업의 평탄도의 기준 ( $\pm 5$  cm)에 따라 고려하면 지표잔류량은 0 ~ 50 mm정도가 되며 지표잔류수의 최고값을 50 mm 정도하면 무난할 것임
- 지표잔류수의 목표배제일수는 기존의 시험자료와 경험 등을 종합해 보면 벼 재배의 경우는 기계의 도입이나 적정한 물관리를 위해서 논바닥의 물 배제는 대략 1 ~ 2일 이내에 가능하도록 하고, 밭작물의 경우는 1일 이내에 배제되도록 함. 여기서 지표잔류수 배제를 위한 계획암거배수량은 평균 10 ~ 50 mm/일가 됨

#### ㊤ KDS 67 65 40 : 2018 해면간척 제염 설계 및 지구내 계획

- 본 기준은 간척지에서 중요시 되는 제염방법에 대한 기준으로써 암거의 배치, 내구성, 매설 심도 등에 대한 내용이 제시되어 있으며, 세부내용은 다음과 같음
- 주암거의 매설심도는 상류단에서 0.6 ~ 1.0 m, 하류단에서 0.8 ~ 1.2 m 정도 되게 하는 것이 적당하며, 배치간격은 지하배수의 이론방정식 (Hooghoudt공식, Ernst공식, Glover-Dumn공식 등)을 적용하여 산출하되 대략 10 ~ 20 m정도 범위 내에서 결정하는 것이 좋음
- 보조암거(두더지암거)는 우수공의 직경 8 ~ 12 cm, 매설심도 0.4 ~ 0.6 m, 배치간격 2 ~ 5m정도 되도록 설치하는 것이 좋으며, 암거의 배치는 보조암거와 주암거는 직교시켜 설치하는 것을 원칙으로 하며, 보조암거에서 집수된 물을 주암거를 통해 배수시키기 위해서는 주암거의 소수재 (疏水材)를 두텁게 넣어서 보조암거와 연결되도록 해야 할 필요가 있음
- 주암거는 내구성 재료를 사용하고, 보조암거와의 결합을 고려한 형상과 단면구조로 하며, 보조암거로는 두더지암거 이외에도 내구성이 다른 여러 가지 종류가 있으므로 토양조건 및 설치공비 등을 고려하여 적당한 방법을 선정한다 라고 명시되어 있음

㉞ KDS 67 45 90 : 2018 농지배수유지관리

- 본 기준은 지표배수시설과 지하배수시설 유지관리에 대한 기준으로써 본 연구는 지하배수시설인 암거에 대한 연구로써 지하배수시설의 유지관리에 대한 내용을 제시함
- 지하배수의 유지관리는 유지관리의 중요성, 시설의 기능이 발휘되지 않는 제원인과 진단법, 시설의 유지관리 요령, 영농기의 배수관리 요령, 관리운영계획 등으로 구분되어지며, 주요내용은 <Table 3-53>과 같음

<Table 3-53> KDS 67 45 90 : 2018 농지배수유지관리 세부내용

구분	세부내용
유지관리의 중요성	-
시설의 기능이 발휘되지 않는 제원인과 진단법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배수로 및 배수구의 관리 불량</li> <li>• 암거관(흡수거, 집수거)의 관리 불량</li> <li>• 수갑의 관리 불량</li> </ul>
시설의 유지관리 요령	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배수로의 유지관리</li> <li>• 암거관의 유지관리</li> <li>• 수갑의 유지관리</li> </ul>
영농기의 배수관리 요령	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 논바닥 지표수의 관리</li> <li>• 중가낙수 등 재배법과 포장건조</li> <li>• 논외 밭 이용에 대한 고려</li> </ul>
관리운영 계획	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 관리운영계획의 기본</li> <li>• 관리운영계획의 체제</li> <li>• 시설의 운영관리</li> <li>• 포장의 관리계획</li> <li>• 암거에 의한 지하배수량의 관리</li> </ul>



## ② 기존 범용농지 암거 공법 매뉴얼 조사

- 과거 범용농지 암거공법에 대한 설계 및 시공 매뉴얼은 농업생산기반시설설계기준을 참고하여 작성되었으며, 범용농지 관련 기술개발인 농림축산식품부 연구과제인 “범용농지조성 기반기술 개발 (2015)과 “집중호우 대비 저비용 고효율 농지범용화 시스템과 이를 이용한 약용 작물재배 및 기능성 식품 제조기술 개발 (2019)” 에 제시되어 있음
- “범용농지조성 기반기술개발 (2015)” 에 제시된 설계·시공·유지관리 지침에서는 “농업생산기반시설설계기준” 을 기반으로 하여 작성됨
- 배수암거의 설계 지침은 범용농지를 설계하기 위한 지하관개 및 지하배수의 설계로 시작되어 암거의 매설깊이, 암거의 매설간격, 암거의 관경 및 기울기, 암거의 구조 및 재료, 설계인자의 분석, 배수방식 검토로 이루어짐
- 배수암거의 시공지침은 배수암거 시공의 표준공정, 토공사, 관매설, 배수조절개폐기, 소형펌프장의 순으로 구성되어 있으며, 배수암거의 유지관리 지침은 유지관리 개요, 배수기능 유지를 위한 관리, 암거 (흡수거, 집수거)의 관리로 이루어져 있고, 그 외 배수암거 조사·설계 실무요령이 제시되어 있음
- <Table 3-54>은 “범용농지조성 기반기술개발 (2015)” 에서의 설계·시공·유지관리 매뉴얼의 목차를 제시함

<Table 3-54> 설계·시공·유지관리 매뉴얼(범용농지조성 기반기술개발 (2015))

대목차	중목차	소목차	
제4장 설계·시공·유지관리지침	4.1 개요		
	4.2 범용농지 설계기법분석		
	4.3 설계인자 분석		4.3.1 단위계획 배수량 및 지하수위
			4.3.2 투수계수
			4.3.3 배수에 대한 유효간극률
			4.3.4 암거의 유효반경
	4.4 배수방식검토		4.4.1 자연배수방식
			4.4.2 기계배수방식
	4.5 설계지침 및 지원 툴의 개발		
	4.6 배수암거의 시공		4.6.1 배수암거 시공의 표준공정
			4.6.2 토공사
			4.6.3 관매설
			4.6.4 배수조절개폐기
			4.6.5 소형펌프장
	4.7 배수암거의 유지관리		4.7.1 개요
			4.7.2 배수기능 유지를 위한 관리
		4.7.3 암거 (흡수거, 집수거)의 관리	
4.8 배수암거 조사·설계 실무요령		4.8.1 개요	
		4.8.2 목적	
		4.8.3 적용범위	

- “집중호우 대비 저비용 고효율 농지범용화 시스템과 이를 이용한 약용 작물재배 및 기능성 식품 제조기술 개발 (2019)” 에 제시된 설계·시공 매뉴얼은 연구개발 중 실제 시험시공을 통한 설계 및 시공방법을 매뉴얼화하였고, 유지관리매뉴얼은 “KDS 67 45 90 : 2018의 “농지배수 유지관리” 을 기반으로 하여 작성됨
- 설계 및 시공지침에는 “농업생산기반공사 표준시방서” 와 유사한 일반사항, 적용범위, 자재, 시공 등의 순으로 제시되어 있으며, 유지관리 매뉴얼은 “KDS 67 45 90 : 2018의 “농지배수

유지관리” 중 지하배수시설의 유지관리, 관리운영계획, 포장의 관리계획의 내용과 유사한 것으로 조사됨

- <Table 3-55>, <Table 3-56>은 집중호우 대비 저비용 고효율 농지범용화 시스템과 이를 이용한 약용 작물재배 및 기능성 식품 제조기술 개발 (2019)”에서의 설계·시공·유지관리 매뉴얼의 목차를 나타냄

<Table 3-55> 설계·시공 매뉴얼(집중호우 대비 저비용 고효율 농지범용화 시스템과 이를 이용한 약용 작물재배 및 기능성 식품 제조기술 개발 (2019))

대목차	중목차	소목차	
지하배수암거 설계 및 시공지침	1. 일반사항	1.1 적용범위	
	2. 자재	2.1 암거자재 품질확인 시험	
	3. 시공		3.1 시공전 사전 확인 사항
			3.2 시공측량
			3.3 시공준비
			3.4 지하암거 시공순서
			3.5 흡수암거 시공
			3.6 급수거, 도달구, 집수거 굴착
			3.7 암거설치노선 페인트 표시
			3.8 표층 경반층 선행 가르기
			3.9 유공관 및 수평매트 암거설치장치에 세팅
			3.10 흡수암거 무굴착 설치
			3.11 집수거와 배수구 시공
			3.12 급수거와 급수구 시공
3.13 수직심토파쇄			
3.14 현장정리			

<Table 3-56> 운영 및 유지관리 매뉴얼(집중호우 대비 저비용 고효율 농지범용화 시스템과 이를 이용한 약용 작물재배 및 기능성 식품 제조기술 개발 (2019))

대목차	중목차	소목차	
지하배수암거 운영 및 유지관리 지침	1. 일반사항	1.1 적용범위	
	2. 자재		
	3. 시공		
	4. 유지관리		4.1 유지관리의 중요성
			4.2 시설의 기능이 발휘되지 않는 제원인과 진단법
			4.3 유지관리
			4.4 영농기의 배수관리 요령
	5. 관리운영계획		5.1 관리운영계획의 기본
			5.2 관리운영계획의 체제
			5.3 시설의 운영관리
			5.4 포장의 관리계획
5.5 암거에 의한 지하배수량의 관리			

나) 간척지 범용농지 기상재해 피해현황 조사 및 분석

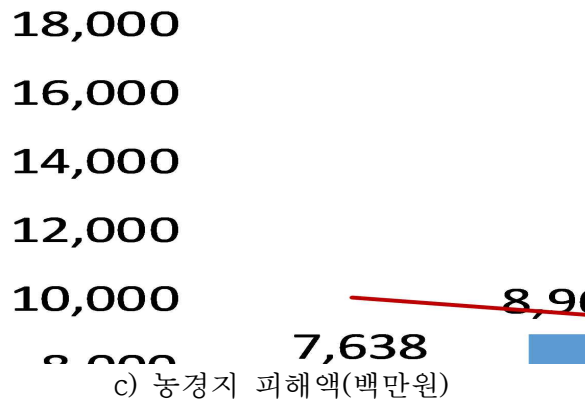
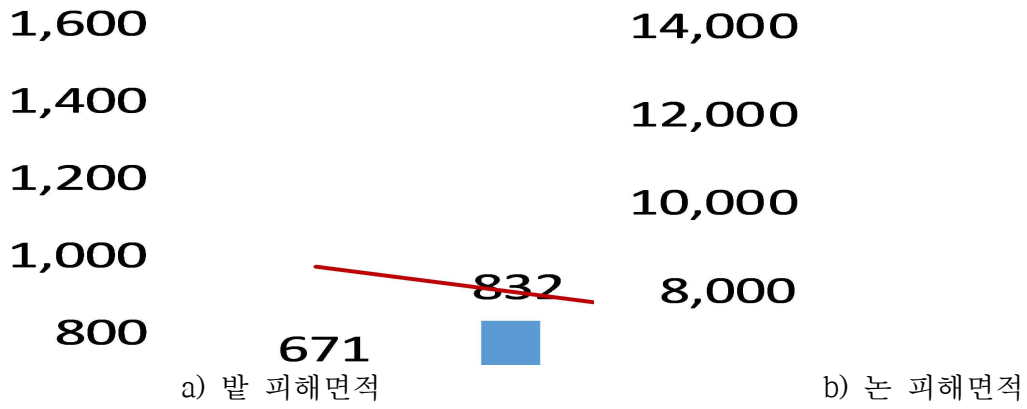
- 기상재해의 사전적 의미는 강풍, 호우, 대설, 뇌우, 이상건조 따위의 기상이 원인이 되어서 일어나는 재해를 말하지만, 기후변화로 인해 현재 전세계적으로 발생되고 기상재해는 다양한 모습으로 발생되고 있음
- 2020년 9월 환경부와 기상청에 따르면 올해 한반도에 영향을 끼친 장마는 54일에 이르러 사상 최장기간으로 기록되었고, 이 기간동안 전국 평균 강수량은 686.9 mm로 평년의 두배수준이었다고 함
- 국내 뿐만아니라 미국의 덴버에서는 70여일 폭염 후 하룻밤 사이에 폭설이 내려 기상이변으로 기상재해는 극단적인 상황이 발생할 수도 있음
- 따라서 본 절에서는 국내 간척지 범용농지에서의 기상재해가 어떠한 경향을 보이는지 피해현황 조사 및 분석을 실시함

① 농경지 기상재해 피해현황

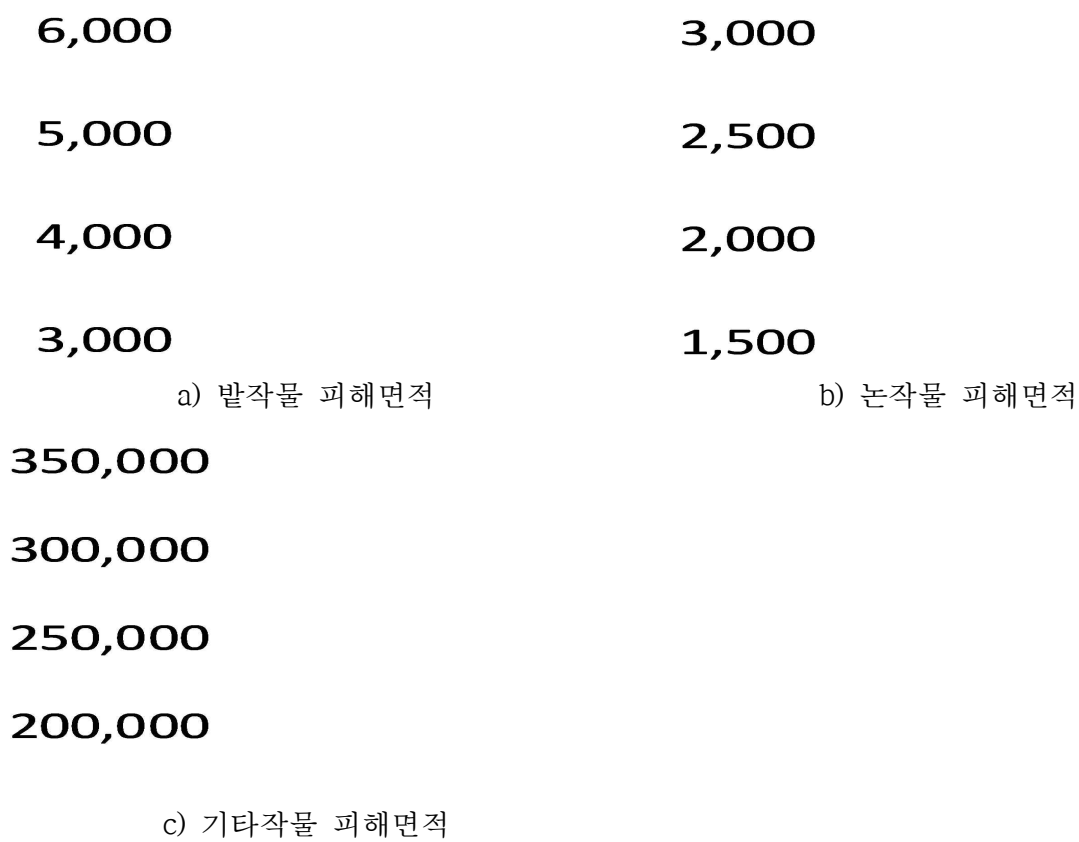
- 행정안전부에서 제공하는 국민재난안전포털에서 2009년 ~ 2018년 10년 간 농경지 및 농작물에 대한 자연재해 피해현황을 조사한 결과는 <Table 3-57>, <Fig. 3-89> ~ <Fig. 3-90>에 제시하였으며, 농경지 중 밭의 피해면적은 점차 줄어들고 있는 것으로 조사 되었으나, 논외의 경우 2018년 급격한 증가를 보였음. 피해액은 2009년 7,638 백만원에서 2018년 5,233 백만원으로 감소하는 경향을 보였음
- 농작물의 기상재해 피해 현황은 밭작물의 경우 2009년 ~ 2015년 피해가 거의 없었으나, 2016년 136 ha, 2017년 180 ha로 증가하였고, 2018년 급격한 증가를 보여 5,199 ha의 피해를 나타냈음. 논작물의 경우도 밭작물과 유사한 2009년 ~ 2015년까지 피해가 없었으나, 2016년 31 ha, 2017년 46 ha로 증가하였고, 2018년 51,515 ha로 급격한 증가가 발생한 것으로 조사 되었음
- 또한 밭작물, 논작물 외 기타 작물에서는 2009년부터 2018년까지 피해가 감소하는 경향을 보였으나, 밭작물, 논작물에 비해 농작물 피해가 상당한 것으로 조사 되었음

<Table 3-57> 기상재해 통계

구분	농경지				농작물			
	전 (ha)	답 (ha)	계 (ha)	피해액 (백만원)	전작 (ha)	답작 (ha)	기타 (ha)	계 (ha)
2009년	671	-	671	7,638	1	-	17,570	17,571
2010년	832	-	832	8,962	-	-	53,917	53,917
2011년	1,420	-	1,420	15,404	-	-	92,773	92,773
2012년	1,216	-	1,216	12,834	-	-	325,461	325,461
2013년	590	-	590	6,735	-	-	3,023	3,023
2014년	220	-	220	3,044	-	-	10,747	10,747
2015년	-	-	-	10	6	-	890	896
2016년	621	-	621	7,146	136	31	40,450	40,618
2017년	892	1	894	13,365	180	46	5,361	5,588
2018년	338	12,815	13,154	5,233	5,199	2,455	51,515	59,170
총계	6,806	12,817	19,624	80,373	5,524	2,532	601,712	609,770



<Fig. 3-89> 농경지 기상재해 현황



<Fig. 3-90> 농작물 기상재해 현황

## ② 간척지 범용농지 기상재해 피해현황

- 간척지는 바다 또는 하천을 막아 만든 땅으로 우리나라에서 가장 많이 발생하는 기상재해는 주로 가뭄으로 인한 염해이므로 간척지에서 염해가 발생하는 염해는 현황을 조사함
- 전체 간척지 논은 보통논, 사질논, 습논, 염해논, 특이산성논이 분포하고 있으며, 이중 염해논의 면적 간척지는 226,746 ha 중 49,583 ha로 21.9%를 차지하고 있으며 <Table 3-58>, 각 지역별로는 충남지역에서 42.7 %로 가장 넓은 지역이 염해논으로 조사 되었고, 전남지역이 22.6 %로 조사되어 전체 염해논의 65.3%를 차지하고 있으며, 경기도, 전북 순으로 염해논의 면적이 넓은 것으로 조사됨 <Table 3-59>

<Table 3-58> 간척논 유형별 분포 면적

구분	보통논	사질논	습논	염해논	특이산성논	합계
면적 (ha)	95,327	70,515	8,290	49,583	3,031	226,746
비율 (%)	42.0	31.1	3.7	21.9	1.3	100.0

<Table 3-59> 지역별 염해논 분포 면적

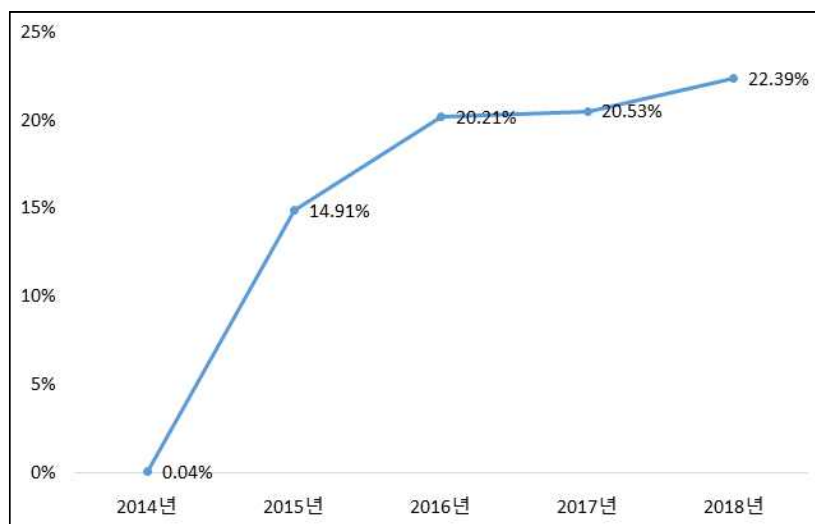
구분	부산	인천	경기	강원	충남	전북	전남	경북	경남	제주	합계
면적 (ha)	55	1,898	8,926	57	21,186	4,661	11,222	196	1,382	70	49,653
비율 (%)	0.1	3.8	18.0	0.1	42.7	9.4	22.6	0.4	2.8	0.1	100

- 상기 내용으로 보아 기후변화로 인하여 간척논 또는 간척지의 범용농지에서 발생할 수 있는 기상재해는 염해가 가장 큰 것으로 판단되어 본 절에서는 염해에 대한 피해 현황을 조사함
- 2017년 농어촌공사가 시행한 “2017년 간척농지 실태조사 보고서”에 따르면 “전 지구 모두 표토에 비하여 심토의 염도가 높기 때문에 수도작 외 타작물을 재배할 경우 염류의 상승으로 인한 염류집적으로 재배작물의 고사율 증가와 농지의 나지화라는 지속적인 악순환이 발생할 것으로 예상된다”고 하였으며, 2014년 ~ 2018년 수도작 및 타작물 등 생산량 감소 현황을 살펴보면 간척지구 7개 지구를 조사한 자료에서 배수불량, 염해, 자연재해 등으로 인한 피해면적이 증가하는 것으로 조사 되었음
- 지구별로 피해면적을 살펴보면 석문지구는 2014년 0.09 %의 피해비율을 보였으나, 2015년 0.18 %, 2016년 7.39 %, 2017년 13.02 %까지 상승하였고, 2018년에는 3.89 %로 감소하는 경향을 보임. 남포지구는 2014년 ~ 2016년 임대면적과 피해면적의 자료가 없었으며, 2017년, 2018년 임대면적이 각 653 ha, 654 ha로 조사되었으나 피해면적은 없는 것으로 조사 됨.  
고흥지구는 2014년 임대면적과 피해면적은 없었으나, 2015년부터 임대가 시행되어 피해면적이 발생되어 2015년 피해비율 1.21 %, 2016년 39.28 %로 급증하였고, 2017년 35.66 %로 감소하였으나, 2018년 69.99 % 다시 급상승한 것으로 조사됨. 이원지구는 2014년 임대면적, 피해면적이 조사자료가 없었으나, 2015년 임대면적 조사자료는 없으나 피해면적이 681 ha로 조사되었고, 2016년부터 피해비율 산정이 가능하여 살펴본 결과 86.15 %였으며, 2017년은 전체면적인 714 ha가 피해를 입은 것으로 조사됨. 이후 2018년 피해비율은 74.51 %로 감소하는 것으로 조사됨. 삼산지구는 2014년 임대면적은 199 ha이나, 피해면적은 없는 것으로 조사되었으며, 2015년 피해비율은 0.79 %로 증가하였고, 2016년 ~ 2017년에는 피해면적이 없었으나, 2018년 7.39 %로 급증한 것을 알 수 있음. 시화지구는 2014년 임대면적, 피해면적이 없었으나, 2015년 피해비율 79.79 %, 2016년 72.54 %, 2017년 92.77 %로 증가한 것으로 조사되었으며, 2018년에는 61.36 %로 감소하는 것을 알 수 있음. 영산강 지구의 2014년의 피해비율은 0.03 %로 조사되었으며, 2015년 0.05 %, 2016년 0 %, 2017년 0.02 %로 조사되었으나, 2018년 3.22 % 급증한 것으로 조사됨

- 각 지구별 조사결과를 종합하면 2014년 대비 2018년 피해비율 증감율은 영산강이 12,534 %의 증가율을 보였으며, 석문지구는 4,316 %로 조사됨. 또한 고흥지구, 삼산지구, 시화지구는 2015년 대비 2018년 피해비율증감율을 살펴본 결과 고흥지구는 5,525 % 증가한 반면, 시화지구는 23.1 % 감소한 것으로 조사됨. 이원지구는 2016년부터 조사자료가 존재하여 그 결과로 피해비율증감율을 조사한 결과 10.4 % 감소한 것으로 조사됨. 남포의 경우 자료가 부족하여 피해비율증감율 산정이 불가하였음

<Table 3-60> 최근 5년간 수도작 및 타작물 등 생산량 감소 현황 (단위 : ha)(출처 : 한국농어촌공사)

구분		계	석문	남포	고흥	이원	삼산	시화	영산강
2014년	임대면적	5,258	1,135	-	-	-	199	-	3,924
	피해면적	2	1	-	-	-	-	-	1
	피해비율	0.04%	0.09%	-	-	-	-	-	0.03%
2015년	임대면적	7,242	1,133	-	1,572	-	126	470	3,941
	피해면적	1,080	2	-	19	681	1	375	2
	피해비율	14.91%	0.18%	-	1.21%	-	0.79%	79.79%	0.05%
2016년	임대면적	8,227	1,136	-	1,660	724	203	448	4,056
	피해면적	1,663	84	-	652	602	-	325	-
	피해비율	20.21%	7.39%	-	39.28%	83.15%	0.00%	72.54%	-
2017년	임대면적	9,422	1,467	653	1,660	714	203	470	4,255
	피해면적	1,934	191	-	592	714	0	436	1
	피해비율	20.53%	13.02%	-	35.66%	100.00%	-	92.77%	0.02%
2018년	임대면적	9,358	1,465	654	1,565	714	203	471	4,286
	피해면적	2,095	57	-	1,064	532	15	289	138
	피해비율	22.39%	3.89%	-	67.99%	74.51%	7.39%	61.36%	3.22%



<Fig. 3-91> 년도별 피해면적 경향

- 그 외 국내 언론에서 간척지 피해에 대해 확인 가능한 내용을 살펴보면 다음과 같음
- 2015년 10월 2일 “대한민국 정책 브리핑”에서는 충남 간척지역 강수량이 348.9 mm로 평년 대비 36.2 % 수준으로 가뭄이 심각하여, 서산 A·B지구 농업용수의 염도가 올라가는 3,503 ha (잠정)에서 피해가 발생했다고 명시되어 있으며, 2017년 9월 27일 “농민신문” 기사에는 “간

척지, 기후변화에 취약...맞춤대책 시급”이라는 제목으로 기사가 실렸으며, 그 내용은 서산간척지 내에 있는 저수지 간월호의 염도가 농업용수의 염도 한계치인 3,000 ppm을 넘어서 7,000 ppm에 달해 염해피해가 발생했다는 내용이 명시 되어 있음

- 염해피해는 기후변화로 최근 5 ~ 10년간 강수량의 편차가 크고, 기온이 상승하여 간척농지와 작물의 염도가 높아지는 점을 원인으로 보고 있음



<Fig. 3-92> 봄 가뭄 발생 충남태안 간척지 논

#### 다) 간척지 범용농지 조성 공법·사례 조사 및 분석

- 염류집적요양은 기술 적용에 의한 제염을 억제 시키는 것이 필요함. 일반적으로 염농도가 높은 토양의 염류를 경감시키는 방법은 다양한 방법이 있으며 일반적으로 ① 관수제염, ② 심토반전, ③ 심토파쇄, ④ 객토, ⑤ 표토제거, ⑥ 미생물제제 시용 등의 방법이 시도 되고 있음
- 관수제염법은 물을 담수하는 방법으로 노력이 적게 들고 고르게 제염이 가능하다는 장점이 있는 반면, 물의 사용량이 많고 수직배수가 양호한 토양에서만 적용이 가능하다는 단점이 있음
- 심토반전법은 땅 뒤집기 하는 것으로 시공법이 쉬우나 표토의 재염화 현상이 일어나기 쉬운 이유로 지속적인 효과를 얻기 어려움
- 심토파쇄는 심토파쇄기 등을 이용해 경반층의 물리성이 파쇄됨으로 인해 용적밀도가 개선되고 대공극을 형성 해줌으로써 염류의 수직이동이 쉬워 표층의 염농도를 낮게 유지하는데 효과적임. 객토 또는 표토제거법 역시 일시적인 대책일 뿐 근본 대책으로는 미흡하며, 미생물제제 시용법은 실용효과가 확실하지 않은 편으로 재염화가 되는 단점을 가지고 있음
- 본 장에서는 이러한 일반적인 범용농지 조성을 위한 제염방법에 대한 국내외 다양한 방법을 제시함

#### ① 국내 간척지 범용농지 조성 공법

- 국내 간척지 범용농지 조성을 위한 제염방식은 기존의 간척지 제염시험 결과로 양호한 토양(새만금 간척지)와 투수성이 불량한 토양(그외 간척지)으로 구분할 수 있음
- 투수가 양호한 토양의 경우 <Fig. 3-93>과 같이 1 ~ 2년 자연강우담수를 활용하여 화훼, 채소, 수목 등의 시험재배가 가능하였음



a) 자연강우담수



b) 녹비, 조사료



c) 밀



d) 화훼



e) 과수



f) 수목

<Fig. 3-93> 투수가 양호한 토양의 담수제염 및 작물재배

- 투수가 불량한 지역은 토양 하층부로 제염용수가 전달되지 못해 제염기간이 5년 이상 장기간에 걸친 단계적 제염이 필요하며, 경제성 작물을 재배하기에는 기반여건, 토양 투수성, 유기물 확보 등 작물재배여건 개선이 필요한 상태임



a) 인공담수



b) 녹비, 조사료



c) 밀

<Fig. 3-94> 투수가 불량한 토양의 담수제염 및 작물재배

- 국내에서 간척지 범용농지 조성을 위한 제염방식은 담수제염, 조사료 재배를 통한 제염방법으로 국외의 암거배수, 심토파쇄, 석고포설 등 제염을 실시하기전 선행작업을 실시하지 않는다는 한계점을 가지고 있으며, <Table 3-61>는 국내외 간척지 제염방식을 제시한 내용임

<Table 3-61> 국내외 간척지 기반조성 및 제염방식

구분		국내(한국)	일본	네덜란드
조성목적		수도작	70년 이후 밭	밭, 축산, 거주지
영농유형		수도작, 밭작물	밭작물, 낙농, 축산	밭 (원예), 낙농
밭기반 조성 방식	용수로	개수로 중식	관수로 중심	용배수경망
	지하배수	-	암거배수	암거배수
	토층개설	-	심토파쇄	심토파쇄
제염방법		담수제염(침출법)	암거배수, 심토파쇄, 석고포설, 녹비작물	암거배수, 심토파쇄, 조사료 재배
개발방식		일시조성	단계적개발	단계적개발



## ② 국외 간척지 범용농지 조성 공법

- 네덜란드 간척지는 토층 하부에 투수성이 높은 사토층이 깊게 분포하고 있어 배수가 잘 되고, 월평균 강수량이 70 mm (연중 823 mm)로 고르게 분포하므로 재염화 우려가 적음. 따라서 풍차, 배수시설을 통한 지하수위 저하, 배수로 설치를 통한 토층 건조, 암거시설 설치로 지속적인 토층내 염분을 제거하고 있음
- <Fig. 3-95>는 단계별 간척농지조성 및 제염방식에 관한 내용으로 세부내용은 다음과 같음
- 1단계는 배수로를 깊이 0.6 m, 간격 48 m 로 설치하고 갈대 식재, 2단계는 추가 배수로를 12 m 간격으로 설치하고 유채 등을 재배, 3단계는 지하암거 (유공관,  $\varnothing = 60 \sim 200$  mm)를 깊이 1.2 m, 간격 48 m로 설치하고 배수로를 되메움 (중간은 유지, 나머지는 되메움) 하며, 밀, 보리 등을 재배, 4단계는 지하암거와 중간배수로를 되메움하며, 기타 밭작물을 재배하는 것으로 완료함

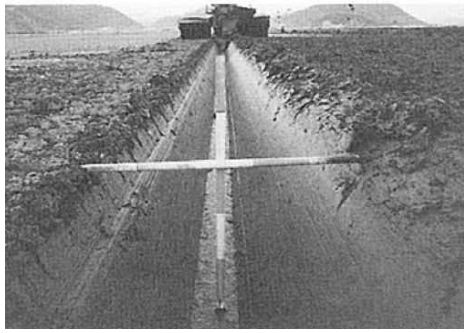


a) 1 ~ 2 단계 : 토층배수 및 건조

b) 암거설치

<Fig. 3-95> 네덜란드의 단계별 간척농지조성 및 제염방법

- 일본의 간척지 제염방식은 네덜란드와 개발방식이 유사하게 초기에는 토층을 건조시킨 후, 암거 시설을 설치하여 제염작업을 단계적으로 실시하였음
- 초기에는 우리나라의 수도작 기반의 간척지 개발방식과 유사하게 간선, 지선, 지거, 도로 등의 기반시설을 설치하였고, 다음으로 곧바로 작물재배를 실시하지 않고, 2 ~ 3회 토층파쇄작업 실시 후 깊이 0.8 m, 간격 10 m의 암거를 설치하여 제염작업을 실시하였음
- <Fig. 3-96>은 일본의 단계별 간척농지 조성 및 제염방식에 대한 내용이며 세부내용은 다음과 같음
- 농지조성 전 간선, 지선, 지거, 도로시설 등을 설치하고 경지내 농지조성은 1단계 포장배수로를 설치하고, 포장경사를 1 /125 ~ 1/ 300으로 조정함. 2단계는 심토파쇄, 집수로 설치, 토양건조작업을 실시함. 3단계는 지하암거 (유공관,  $\varnothing = 50 \sim 60$  mm)를 깊이 0.8 m, 간격 10 m로 설치한다, 4단계는 심토파쇄, 석고부설, 심경, 관개시설 설치를 통한 제염을 실시함



a) 1 ~ 2 단계 : 포장내 배수 및 토층 파쇄



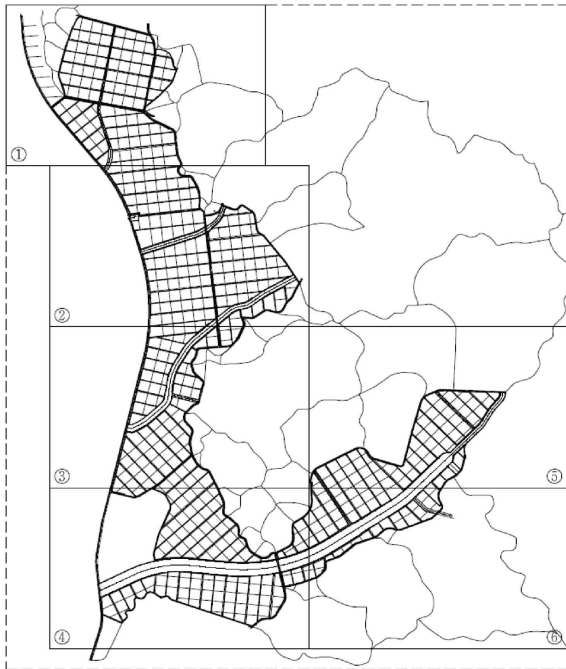
b) 암거시설 설치

<Fig. 3-96> 일본의 단계별 간척농지조성 및 제염방법

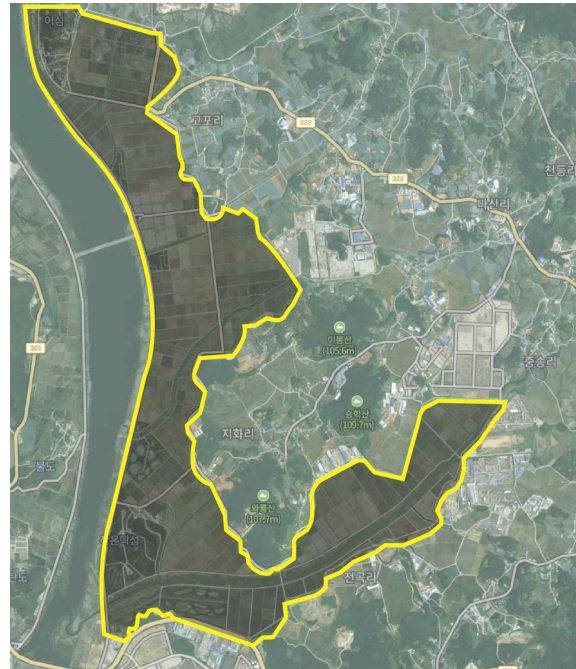
라) Test-bed 설계를 위한 국내의 간척지 설계 및 적용 기술 사례 분석

① 국내 간척지 설계 및 적용기술

- 한국농어촌공사에서 발간한 “간척 실무 총람”에 명시되어 있는 국내 간척지 중 시화 2공구의 간척지 설계적용사례를 제시함
- <Fig 3-97>은 시화 2공구 설계당시 전체 평면도이며, <Fig 3-98>는 시화 2공구 내부개발 완료 후 모습을 지도상에 표기 나타낸 것임
- <Fig. 3-99> ~ <Fig. 3-101>는 시화 2공구 설계시 세부평면도를 나타낸 것임



<Fig. 3-97> 시화 2공구 설계 당시 전체 평면도



<Fig. 3-98> 시화 2공구 내부개발 완료 후 모습

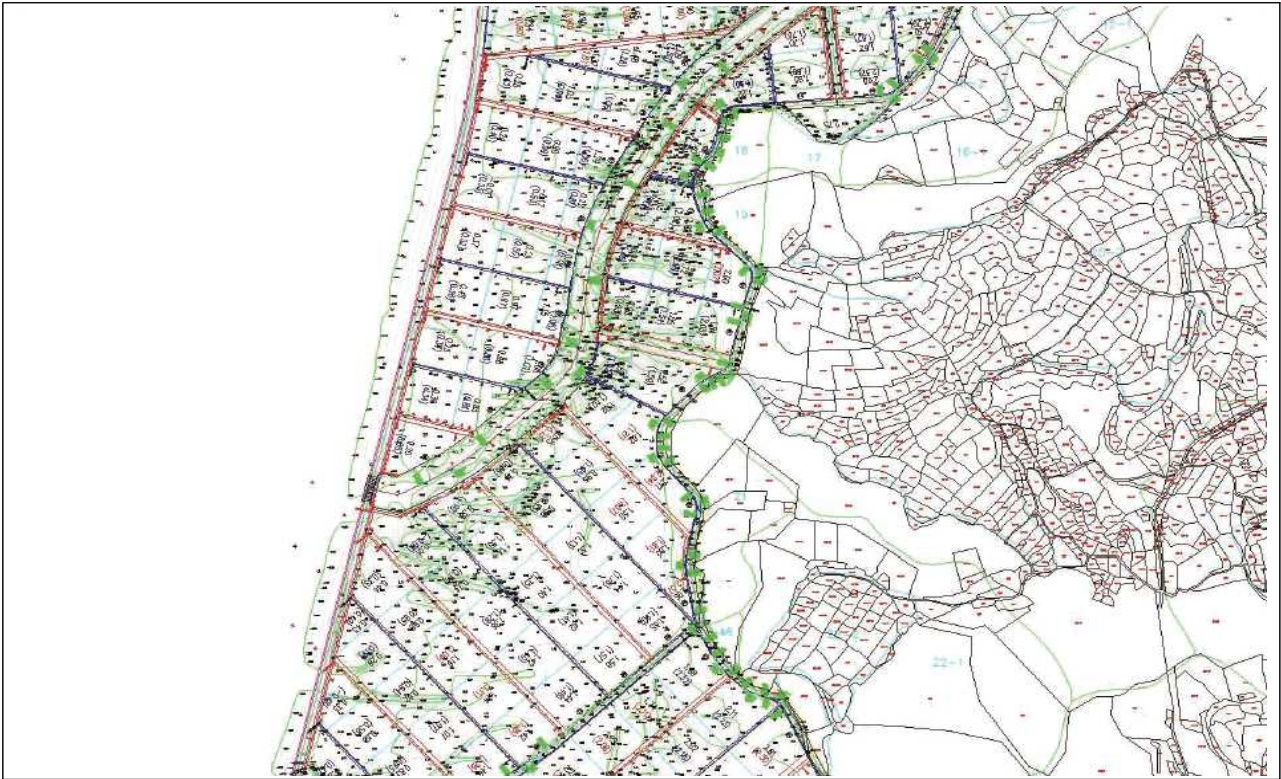


a) 세부평면도 ①



b) 세부평면도 ②

<Fig. 3-99> 시화 2공구 세부평면도



a) 세부평면도 ③

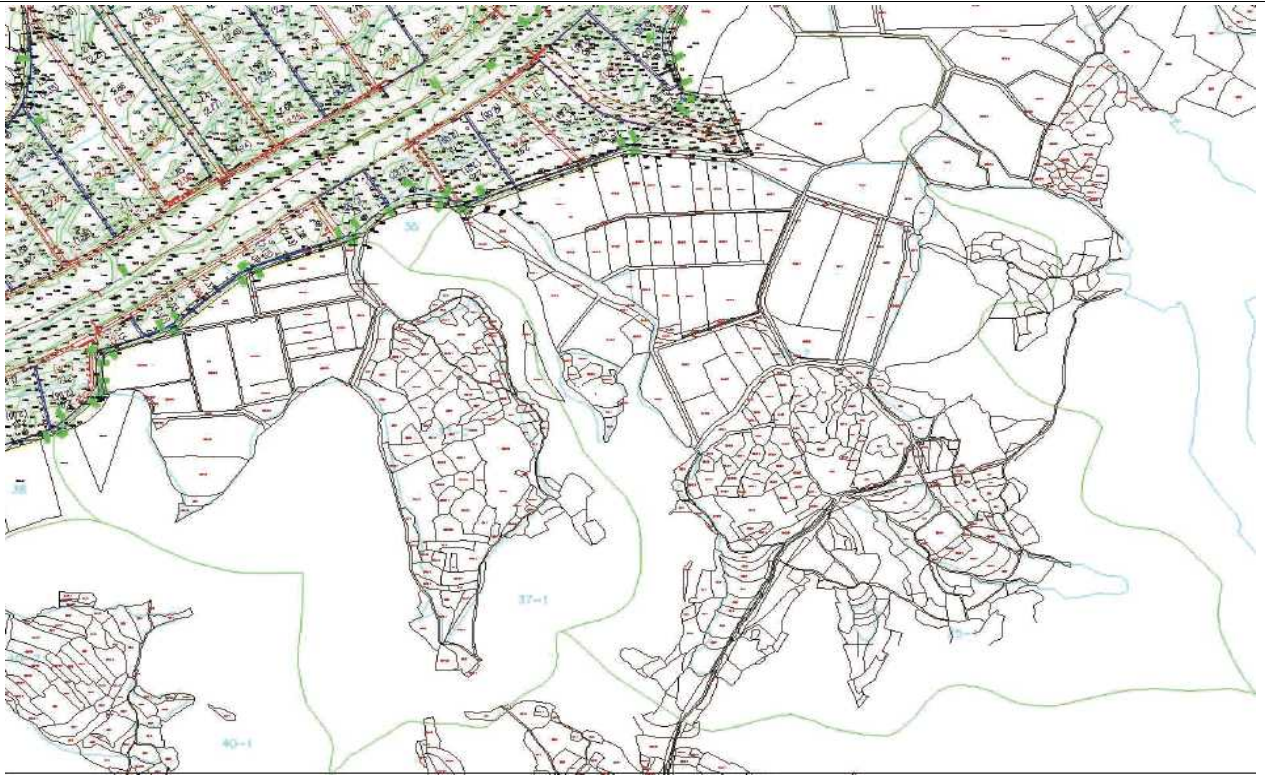


b) 세부평면도 ④

<Fig. 3-100> 시화 2공구 세부평면도(계속)



a) 세부평면도 ⑤



b) 세부평면도 ⑥

<Fig. 3-101> 시화 2공구 세부평면도(계속)

- 본 연구는 간척지의 재염화 방지를 위한 고효율 압거 기술 개발로써 간척 실무 총람에서는 간척 내부개발 설계 및 용수로 계획, 배수로 계획에 포함됨
- 그러나 내부개발 설계에서는 주로 지할계획 (내부개발지에 논과 밭 등 단지와 용·배수로와 도로 등 평면계획을 수립하는 것), 구획계획 (내부개발지 지형에 맞게 경구와 포구의 크기를 계획하는 것), 정지계획 (계획된 경구 높이로 수평으로 고르는 것), 객복토계획 (토양의 물리성과 화학성이 불량하여 농작물의 생산성이 떨어지는 농경지의 지력(地力)을 증진시키기 위하여 다른 곳으로부터 적당한 성질을 가진 흙을 가져다 넣는 작업), 용배수로 및 도로 배치계획이 포함되나, 이미 설계 및 시공이 완료되어 Test-bed 설계를 위한 계획인 용수로 및 배수로 계획에 대한 내용을 기술할 것임
- 용수로 계획은 단위용수량 계산, 용수로 노선별 용수량 및 정상류 수리계산, 용수로 형식 결정, 관수로 관 종류 선정, 관기초처리, 관 매설깊이, 관매설 위치, 관내압계산, 관체 구조계산, 관수로 부속시설과 밸브 실 등 맨홀, 부식 및 전식방지 등의 과정을 거쳐 설계되며, 배수로 계획은 배수로 단면 계획, 배수로 구조물 계획의 과정을 거쳐 설계됨

## ② 국외 간척지 설계 및 적용기술

### ㉠ 카사오카만 간척지

- 카사오카만 간척사업은 1966년 농림수산성과 오카야마현이 공동으로 제방 건설비를 50 %씩 부담하여 착수하였으며, 총 사업기간은 22년이며, 총 사업비는 300억엔이 소요되었으며, 2차례의 사업계획 변경을 거쳐 1990년 완공하였음
- 토지이용 구분은 농업용지 1,191 ha, 공업용지 460 ha, 항문수역 160 ha로 조성되었음. 간척지의 용수는 주변 시정촌의 공업용수 및 상수도용수와 함께 수원인 다카하시천 (高梁川)에서 연장 24 km의 공동 도수로를 건설하여 확보하였음
- 간척지 동쪽 제방길이는 3,816 m, 서쪽 제방 길이는 5,928 m (5,078 m :공업부문 시공, 850 m : 농업부문 및 공업부문이 공동 시공)이며, 간척지 내 생산물의 집하·출하 및 취락 간 연락 등을 고려하여 6개간선도로를 배치하고, 간선도로에 직각으로 지선도로를 설치하였음
- 대형농기계를 이용한 밭작물 경영을 실현하기 위해 도로와 배수로로 둘러싸인 구획 면적을 10 ha (500 m×200 m) 규모로 한 다음, 농로와집수구에 의해 1~2 ha 크기의 필지로 구분하였음
- 간척지 토양은 미사질 (Silt) 찰흙으로서, 작물 생육에 필요한 토양환경을 유지하기 위해 집수구 중심으로 압거를 설치하였으며, 제염축진을 위해서는 토양 개량을 실시하고 밭 관개시설을 설치하였음
- 농작물에 대한 바람의 영향을 방지하고 간척지 환경녹화를 위해제방 및 도로를 따라 꽃아카시아 (Acacia dealbata), 털가시나무 (Quercus phillyraeoides) 등을 이용하여 방풍림을 조성함



<Fig. 3-102> 카사오카만 간척지 전경

#### ㉠ 이사하야만 간척지

- 이사하야 간척지는 농업용지가 638 ha, 농업용 시설용지가 34 ha, 조정지 면적이 2,600 ha 등 전체 3,542 ha에 대해 토지이용을 계획하였으며, 이사하야 간척지는 중앙간척지와 고에간척지 두 간척지로 구분되며, 발작물 재배를 위해 용·배수로 및 도로 등 기반정비를 실시하였으며, 간척공사 진행과 함께 제염사업도 실시하였음
- 중앙간척지는 6 ha (600 m×600 m)의 구획형상을 기본으로 하였으며, 경작도로 및 배수로를 배치하였으며, 배수기장을 설치하였음
- 고에간척지는 소규모이므로 장변이 300 m인 3 ha를 한 필지로 구획하였음. 3 ha에 부수적으로 1,000 m<sup>2</sup>의 농업용 시설용지를 계획하였고, 각 경작지는 10 m 간격으로 깊이 80 cm 정도의 암거배수 파이프를 설치하였으며, 배수시설은 각 경작지에 접하는 말단배수로 및 지선 배수로를 설치하였음
- 용수는 조정지를 수원으로 하며, 각 경작지에 37.5 m 간격으로 급수전을 설치하였으며, 급수전의 말단부 수압은 2.5 kg/cm<sup>2</sup>로 스프링클러에 의한 관개가 가능하도록 하였음
- 간선 및 지선도로의 경우는 폭 7m, 경작도로는 폭 6 m로 구획 하였으며, 도로 양쪽에는 초목을 심어 수풀띠를 형성하도록 하였고, 제염농도 500 ppm이하면 야채재배가 가능하여 이를 위해 제염사업을 실시하였음
- 3년간 총 6번에 걸쳐 제염용 목초를 식재하였음. 제염은 깊이 뿌리를 내리는 목초를 식재 후 잘게 분쇄하여 토양에 섞어 스며들게 하는 방법을 사용하였음. 이 후 계속적으로 제염현황은 모니터링과 체크를 하고 있으며, 준공 후 5년이 지난 시기에는 염해가 비교적 없는 것으로 나타났다음





<Fig. 3-103> 이사하야만 간척지 전경

## 2) 고효율 저비용 지하암거공법 매뉴얼 작성

### 가) Test-bed 시공지원을 통한 현장에 적합한 매뉴얼 작성 자료 수집 및 분석

- 본 연구에서는 간척지 논 범용화에 적합한 유공관 암거의 품질기준, 시공 및 유지관리 매뉴얼을 정립 하기 위하여 기존 유공관 암거에 대한 자료를 조사 분석하였음
- 본 연구에서는 기상재해 (습해, 가뭄, 염해)를 방지할 수 있는 5가지 기능 (지표잔류수 배제, 지하배수, 지하수위조절 지하관수, 재염화방지)이 있는 저비용 고효율의 기상재해 대비 지하암거 공법을 개발하여 현장적용시 설계 및 시공에 참고하기 위한 매뉴얼 작성을 목표로함
- 한국화학시험연구원 나선형 폴리에틸렌 유공관 암거의 품질기준을 살펴보면 <Table 3-62>과 같음
- 한국화학시험연구원의 품질기준에 적용 범위는 토목공사, 농경지, 간척지 염분제거, 터널공사 암거배수 및 집수, 배수에 사용되는 나선형 폴리에틸렌 유공관에 대하여 규정하고 있음. 한국화학시험 연구원의 나선형 폴리에틸렌 유공관 암거의 경우 품질기준은 재료적 특성 시험과 내구성 시험을 함께 포함하고 있음. 내구성 시험은 침지시험으로 화학적 환경에 노출 후 중량 변화 (중량 손실)을 평가하는 것으로 제시하고 있음. 또한 물리·역학적 시험으로는 인장강도, 신장율 및 충격강도를 평가하고 있으며, 재료의 품질기준으로 밀도 등을 평가하고 있음

<Table 3-62> 한국화학시험연구원 나선형 폴리에틸렌 유공관 품질기준

시험항목		단위	품질기준	비고
밀도(23℃)		g/cm <sup>3</sup>	0.94 이상	
내경 5% 변형시 강성		kpa	343 이상	kg/cm <sup>3</sup> → 3.5 이상
아이쵸드 충격강도		KJ/m <sup>2</sup>	61.2 이하	
인장강도		N/mm <sup>2</sup>	24.5 이상	
신장율		%	600 이상	
회분		%	0.1 이하	
침지시험	10% 염화나트륨	g/m <sup>2</sup>	± 0.5 이내	무게, 변화율
	30% 황산		± 0.5 이내	
	40% 질산		± 1.0 이내	
	40% 수산화나트륨		± 0.5 이내	
	95 % 에틸알콜		± 4.0 이내	

- 한국도로공사의 맹암거용 유공관 품질기준에 대해서 살펴보면 <Table 3-63>과 같음. 부직포유공관을 사용함으로써 시공이 빠르고 경제적이며 투수와 통기성이 우수하여 유공관의 배수능력을 오랫동안 확보 할 수 있음
- 한국도로공사의 경우 유공관 암거의 사용재질에 따라 품질기준을 분리하여 제시하고 있다. 즉 고밀도 폴리에틸렌과 일반 PP 및 PET를 사용하였을 때를 구분하여 품질기준을 제시하고 있음. 또한 장기 내구성 등을 평가할 수 있는 침지시험의 경우는 제시하고 있지 않음. 다만 배수 측면에서 투수계수 품질 성능시험에 제시하고 있음

〈Table 3-63〉 한국도로공사의 맹암거용 유공관 시방기준

시험항목	단위	품질기준	비고
재질	-	고밀도폴리에틸렌(HDPE)	-
규격	mm	200 + 5 (내경)	KS M 3042
밀도	kN/m <sup>3</sup> (gf/cm <sup>3</sup> )	9.4 이상 (0.94 이상)	KS M 3416
인장강도	MPa	25 이상 (250 이상)	KS M 3006
충격강도	J/cm <sup>2</sup> (kJ/m <sup>2</sup> )	120 이상 (12 이상)	KS M 3055
Pipe Stiffness	N/cm <sup>3</sup>	35 이상	ASTM D 2412
구멍의 크기	mm	5 이하	KS M 3042
재질	-	PP, PET	-
두께	mm	1.8 이상	KS K 0506
인장강(Grab 강도)	kgf	45	KS K 0520
중량	g/m <sup>2</sup>	단섬유 300 이상 (장섬유 200 이상)	KS K 0515
신도	%	50 이상	KS K 0520
투수계수	cm/sec	$\alpha \times 10^{-1}$ ( $\alpha = 1\sim 9$ )	KS F 2322 준용

- 본 연구에서는 상기의 한국화학시험연구원과 한국도로공사 품질기준을 기본으로 하여 간척지 논 범영화에 적합한 유공관 암거의 품질기준을 수립하고자 함
- 본 연구에서는 저비용 공효율 간척지 논 범영화에 적용하고 있는 유공관 암거재료의 성능을 평가하기 위하여 기존 한국도로공사 품질기준, 한국화학시험연구원 품질기준과 간척지 피해사례 원인을 조사 및 분석하여 〈Table 3-64〉과 같은 성능 시험 항목 목표를 설정하였음
- 유공관의 암거의 물리·역학적 특성과 배수성능에 대한 평가항목인 투수성능을 평가항목을 포함하였으며, 간척지의 특성상 염해에 대한 영향을 고려하여 침지시험을 실시하여 장기 내구성을 평가하였다. 시험방법은 KS 기준에 포함되어 있는 항목으로 구성하였음

〈Table 3-64〉 유공관 암거의 품질기준

시험항목	단위	품질기준	비고	KS 표준
밀도 (23℃)	g/cm <sup>3</sup>	0.94 이상		SPS-KPSM 2020-7270:2018 구조형 플라스틱 유공관 KS M ISO 1183-1
내경 5% 변형시 강성	kpa	343 이상	kg/cm <sup>3</sup> → 3.5 이상	KS B 5203
아이조드 충격강도	KJ/m <sup>2</sup>	61.2 이하		KS M 3074
인장강도	N/mm <sup>2</sup>	24.5 이상		KS M 3407 및 3006
신장율	%	600 이상		KS M 3407 및 3006
투수계수	cm/sec	0.1 이하		KS F 2322

## 나) 품질시험 재료 및 시험방법

### ① 사용재료

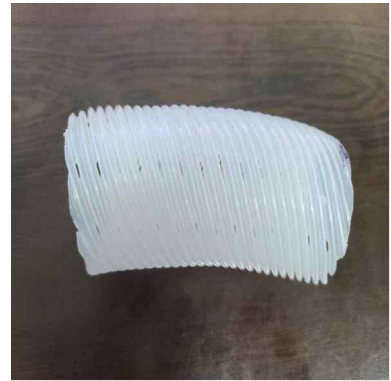
- 본 연구에서는 저비용 고효율 간척지 논 범용화에 적용하고 있는 유공관 암거재료의 성능을 평가하기 위하여 본 연구에서는 3가지 종류의 유공관을 선정하여 물리·역학적 성능 평가를 실시하였다. 3가지 종류의 유공관은 폴리에틸렌 재질로 유공관의 직경을 30mm, 50mm 및 55mm로 선정하였음
- 유공관 성능을 평가하고 품질기준에 적합한지 판단함



(a) 30mm 유공관



(b) 50mm 유공관



(c) 55mm 유공관

<Fig. 3-104> 유공관 암거의 형상

### ② 시험방법

#### ㉑ 겉모양 및 치수

- 유공관 암거의 겉모양 및 관의 색은 육안으로 검사하였으며, 내경 및 외경은 관측 직각방향으로 임의의 3지점을 측정하여 평균값으로 결정하였고, 집수공 나비는 임의의 4지점을 측정하여 그 평균값으로 제시하였음
- 시험을 위한 측정기구는 KS B 5203에 맞는 장비를 사용하였다. <Fig. 3-105>~<Fig. 3-107>는 유공관 암거의 시험 모습을 보여줌



<Fig. 3-105> 30mm 유공관 겉모양 및 치수



<Fig. 3-106> 30mm 유공관 겉모양 및 치수



<Fig. 3-107> 30mm 유공관 겉모양 및 치수

#### ④ 밀도시험

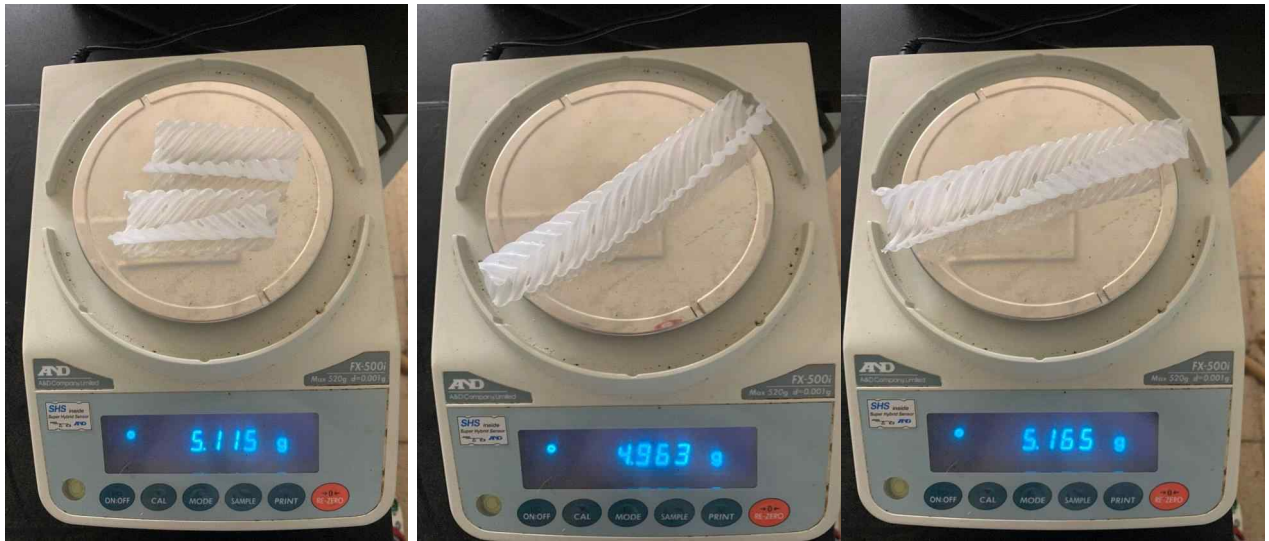
- 유공관 압거의 밀도는 SPS-KPS M 2020-7270:2018 구조형 플라스틱 유공관과 KS M ISO 1183-1를 따라 실시하였다. 유공관 압거의 밀도 시험 방법은 다음과 같음. ① 각각의 관에서 시험편의 질량이 약 5g이 되도록 적당히 절취함. ② 증류수 1리터를 비커에 준비하고 각각의 시험편을 넣어 무게를 측정함. ③ 각각의 유공관을 식에 대입한 후 밀도를 측정한다. 밀도 시험에 경우 일반 물을 사용하는 것이 아닌 정제된 증류수를 사용하였다. 증류수를 비커에 1L를 담아서 무작위로 자른 각각의 시험편에 대해서 3개씩 잘라서 실험을 실시하였음
- 유공관들의 중량을 측정한 뒤 위에 식에 중량 값을 대입하고 유공관 시험편들의 밀도 결과값을 구하게 된다. 밀도의 수식 (1)과 같으며 밀도의 측정 모습은 <Fig. 3-108> ~ <Fig. 3-110>와 같음

$$\rho_{iL} = \frac{m_{iL}}{m_w} \times \rho_w \quad \text{수식 (1)}$$

여기에서  $m_L$  : 침지 액체의 질량(g)

$m_w$  : 물의 질량(g)

$\rho_w$  : 23°C 또는 27°C 에서 물의 밀도(g/cm<sup>3</sup>)



<Fig. 3-108> 30mm 유공관 겉모양 및 치수



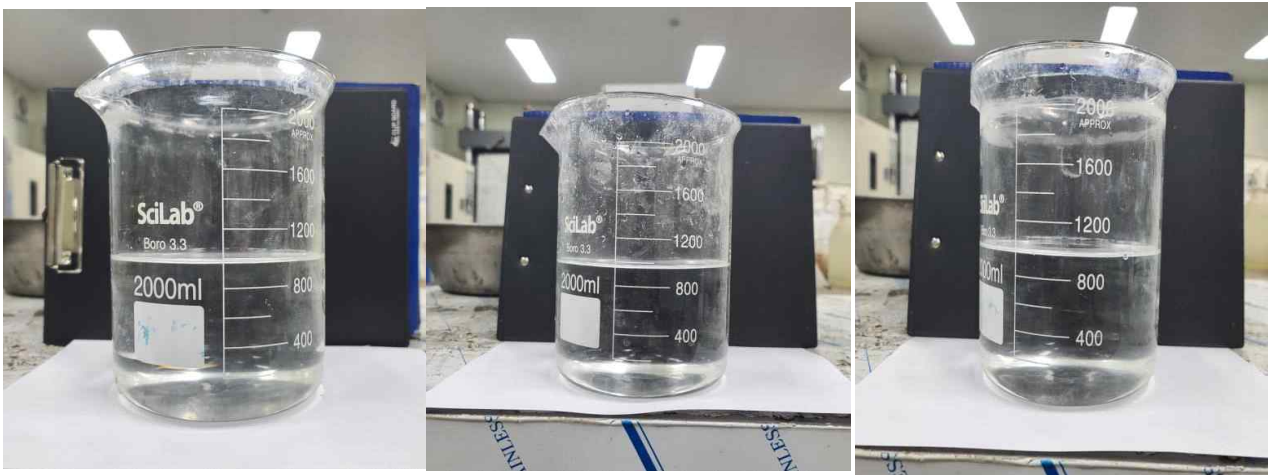
<Fig. 3-109> 50mm 유공관 겉모양 및 치수



<Fig. 3-110> 55mm 유공관 겉모양 및 치수



<Fig. 3-111> 사용한 증류수



<Fig. 3-112> 3개의 비커에 1L 증류수

### ㊤ 인장강도

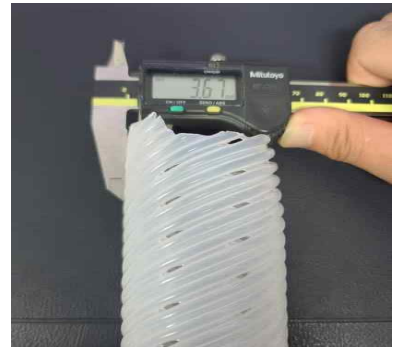
- 유공관 암거의 인장강도 KS M 3407 및 3006에 따라 실시하였으며, 목표 인장강도는 24.5 MPa (N/mm<sup>2</sup>)으로 하였음
- 유공관 암거의 인장강도 실험은 다음과 같이 실시하였음. ① 각각의 관에서 폭 30mm, 길이 150mm 크기로 시편은 6개 준비하였음. ② 인장강도 시험기에 시편을 넣고 각각의 유공관 암거의 인장강도를 측정하였음. <Fig. 3-113> ~ <Fig. 3-115>는 유공관 암거의 인장강도 성능을 평가하기 위한 시편 제작 모습임.
- 유공관 암거의 길이와 두께를 측정하고 유공관 폭도 측정하였다. <Fig. 3-116>은 인장시험 모습을 보여줌



<Fig. 3-113> 30 mm유공관 암거 측정 시편 준비 모습



<Fig. 3-114> 50 mm유공관 암거 측정 시편 준비 모습



<Fig. 3-115> 55 mm유공관 암거 측정 시편 준비 모습



(a) 유공관 30mm



(b) 유공관 50mm



(c) 유공관 55mm

<Fig. 3-116> 유공관 암거의 인장강도 시험모습



㉔ 충격강도

- 유공관 압거의 충격강도시험은 ASTM D 256과 KS M 3074 「경질 플라스틱의 낙추 충격 시험 방법」에 의하여 실시하였다. 충격시험을 위하여 아이쥬드 충격시험기를 이용하였으며, 충격강도의 판정은 시험 후 아래의 <Table 3-65>에 따라 시험 후의 상태를 육안으로 확인하여 다음과 같이 품질을 판정함 ① 5개의 시험편 모두가 파괴도 3~5인 경우는 합격으로 판정 ② 5개의 시험편 중 2개 이상이 파괴도 5~10인 경우는 불합격으로 판정 ③ 5개의 시험편 중 1개가 파괴도 5~10인 경우는 다시 5개의 시험편으로 시험하여 모든 시험편이 파괴도 1~4인 경우를 합격으로 판정 <Fig. 3-117>는 충격시험을 위한 시험편 제조 모습이며, <Fig. 3-118>는 아이쥬드 충격시험기를 이용한 충격시험 모습임.

<Table 3-65> 충격시험 평가 기준

파괴도	겉모양 상태	
	외면	내면
1	변화 없음	변화 없음
2	백화 또는 움푹 들어감	변화 없음
3	백화 또는 움푹 들어감	백화 또는 불거져 나옴
4	갈라짐	변화 없음
5	갈라짐	백화 또는 불거져 나옴
6	백화 또는 움푹 들어감	갈라짐
7	갈라짐	갈라짐
8	관통됨	
9	균열이 크게 발생됨	
10	분리 파괴됨	



<Fig. 3-117> 유공관 충격강도 시험시편 모습



〈Fig. 3-118〉 아이조드 충격강도시험기 모습

#### ㉔ 투수시험

- 유공관 암거의 투수시험은 KS F 2322에 따라 실시함. 본 실험은 유공관의 투수계수를 확인하기 위하여 흙의 정수위 투수시험을 실시하여 투수계수를 측정함. 유공관 암거의 투수시험 방법은 다음과 같음. ① 투수시험기의 몰드와 밑판의 무게를 측정하고 몰드의 안지름과 길이를 측정 ② 몰드에 사질토를 넣고 진동을 가하여 시험용 시료를 제조 ③ 시료를 통해 흘러나온 물을 1000ml 매스실린더로 받고 그 용기를 채우는 시간을 측정. 이와 같은 과정을 2,3회 반복하여 측정시간이 거의 일치하는지 확인 ④ 시료의 배수면과 저수조의 상류면 사이의 높이를 측정 마지막으로 투수계수는 수식(2)으로 계산

$$Q = qt = vAt = kiAt = k \frac{\Delta h}{L} At \quad \text{수식 (2)}$$

여기서 : Q = 시간 t동안 모은 물의 부피

q = 단위시간당 유량

t = 물을 모은 시간

$\Delta h$  = 유입부와 유출부의 수위차

L = 흙시료의 길이

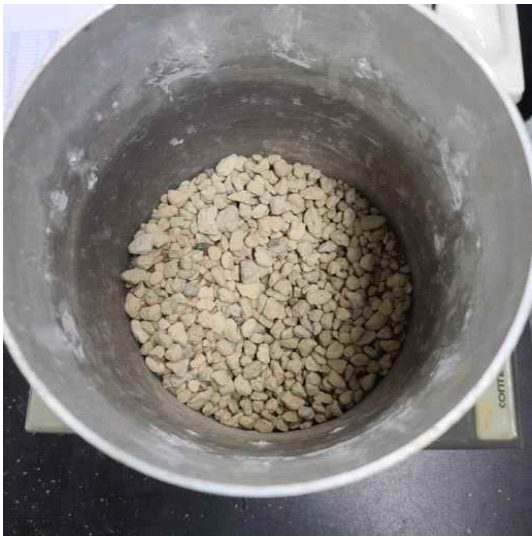
위의 식에서 투수계수 k를 구하면 다음 식과 같음

$$k = \frac{QL}{A\Delta ht} \quad \text{수식 (3)}$$

- 정수위 투수시험은 실제 유공관이 땅에 매설 될 때 투수율을 확인하기 위해서 흙의 정수위 투수 시험을 응용하여 조립토 안에 유공관을 매설하고 투수계수를 측정함. 일정량의 물을 채운 뒤에 어느 정도 물이 흐를 때 까지 물을 흘려 보내고 물 수위가 일정하게 유지됐을 때 매스실린더를 이용하여 물의 양을 측정함. 물의 양은 1L로 정하고 매스실린더에 물이 1L 담길 때 까지의 시간을 타이머로 측정하여 유공관의 투수계수를 측정함. 〈Fig. 3-119〉~〈Fig. 3-122〉는 유공관 암거의 투수시험 모습임



<Fig. 3-119> 정수위 투수시험 시험기



<Fig. 3-120> 투수시험에 사용할 조립토



<Fig. 3-121> 유공관 시편을 잘라서 넣은 모습



<Fig 3-122> 각각의 유공관들의 투수시험을 실시하는 모습

#### ㉞ 통수능시험

- 통수능은 주어진 경사에서 수로의 통수능력, 즉 얼마나 큰 유량으로 물이 흐를 수 있는지 나타내는 척도로 사용됨. 단면의 특성, 조도계수를 포함한 값으로 수로의 통수상태를 나타내고 유량을 알고 있을 때 주어진 단면에 대한 수로 경사를 결정하는데 편리함. 일반적으로 수로 단면이 클수록, 조도계수가 작을수록 통수능은 큰 값을 가지게 됨. 본 연구에서는 유공관의 통수능력을 확인하기 위하여 통수능 시험을 실시함. 통수능 시험은 ① 각각의 유공관 30mm, 50mm, 55mm를 20cm로 자름 ② 유공관 통수능 확인을 위한 아크릴 수조를 준비. ③ 일정한 양으로 물을 계속 흐를 수 있도록 준비하고 관별로 경사를 달리 해 통수능을 측정. ④ 2L의 물을 기준으로 하고 시간을 측정하여 단위시간당 유량을 구하고 결과 값을 도출. 통수능은 수식 (4)를 이용하여 계산함.

$$Q = \left( A \times \frac{1}{N} \times R^3 \right) \times I^{\frac{1}{2}} = K \times I^{\frac{1}{2}} \quad \text{수식 (4)}$$

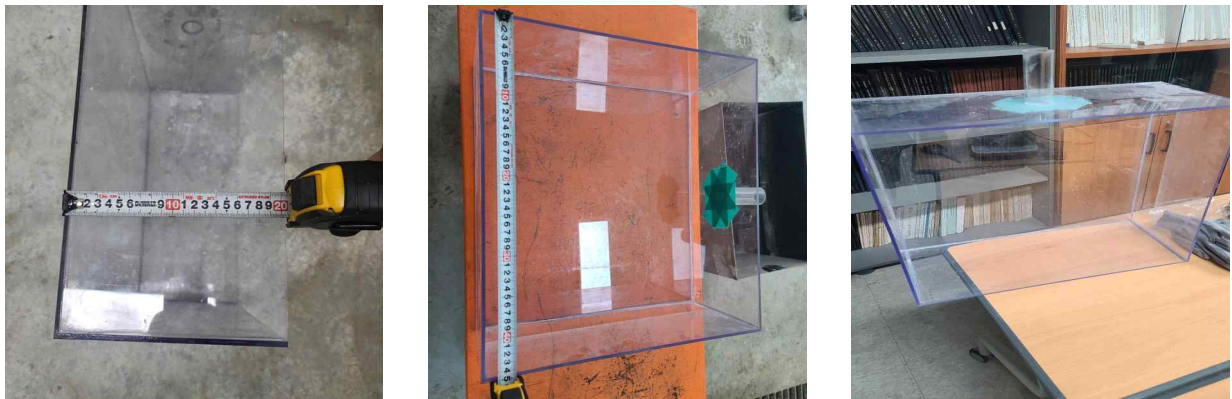
여기서, A= 유수의 단면적, N=조도계수, R= 수로의 동수반경, I= 수로의 동수경사, K= 통수능을 나타낸다.

- <Fig. 3-123>은 유공관 압거의 통수능 측정을 위해 시편의 모습이며, 각 유공관은 길이 20cm로 지정하여 시편을 제작하였고 결과값 비교 분석을 위해 모두 같은 길이로 시편을 준비함. 수로

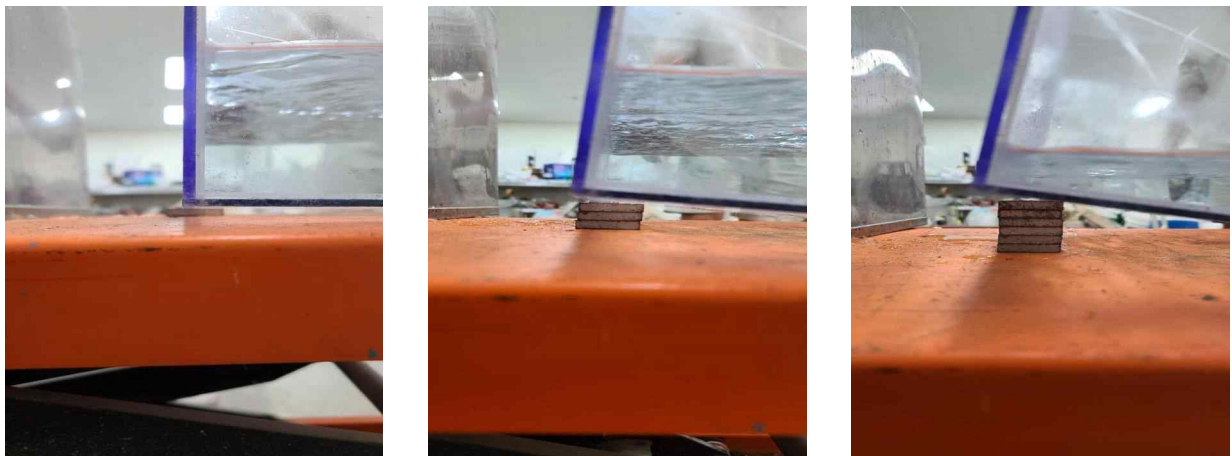
단면적이 크고 조도계수가 낮을수록 통수능 값이 커짐을 알 수 있기에 동일한 길이에 유공관을 준비하고 수조에 경사를 조절하여 유량을 확인함. 통수능 시험에서 경사를 만들어줄 1cm 높이의 시편을 제작하여 시편들을 쌓아올려서 관 자체의 경사를 만들고 그에 따른 유공관에 통수능을 확인함. 폭 45cm×높이 20cm에 아크릴 수조를 제작하여 유공관 통수능을 구하기 위해서는 일정한 유량을 흐르게 하고 경사에 따른 차이를 볼 예정이기 때문에 가운데 직경 3cm 수로가 달려있는 아크릴 수조를 제작하여 실험을 진행함. 유공관 암거의 단면적과 유수의 단면적을 구해야 하기 때문에 직육면체 아크릴 수조를 선정함. 통수능은 주어진 경사에서 수로의 통수능력, 즉 얼마나 큰 유량으로 물이 흐를 수 있는지 나타내기 때문에 30mm, 50mm, 55mm 유공관을 각각의 0cm, 1cm, 3cm, 6cm의 경사를 주어 동수 경사를 측정하고 통수능 값을 측정. <Fig. 3-124>~<Fig. 3-126>는 통수능 측정을 위한 과정을 나타냄.



<Fig. 3-123> 30mm 유공관, 50mm 유공관, 55mm 유공관 시편 모습



<Fig. 3-124> 일정한 유량을 측정하기 위한 아크릴 수조 사용



<Fig. 3-125> 경사 값을 주기 위해 1cm 시편들을 추가한 모습



<Fig. 3-126> 유공관 통수능 시험을 실행하는 모습

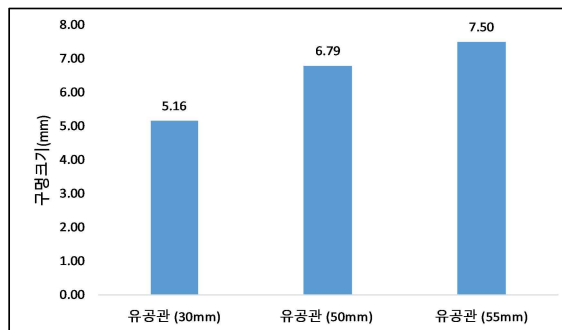
③ 품질시험 결과

㉞ 결모양 및 치수 결과

○ 간척지 논 범용화를 위한 저비용, 고효율 암거공법에 적용한 유공관 암거의 결모양 및 치수 시험결과는 <Table 3-66> 및 <Fig. 3-127>과 같음. 유공관 암거의 직경은 제품의 품질기준을 만족하는 값을 보여주어 제품의 치수의 오차는 나타나지 않음. 또한 관별 투수구멍의 크기는 유공관의 직경이 클수록 증가하는 값을 나타내었으며, 유공관 암거 직경 30mm, 50mm 및 55mm에서 각각 5.16mm, 6.79mm 및 7.5mm를 각각 나타냄.

<Table 3-66> 유공관 결모양 및 치수

종류	유공관 (30mm)	유공관 (50mm)	유공관 (55mm)
관의 직경	30mm	50mm	55mm
구멍 크기	5.16mm	6.79mm	7.5mm



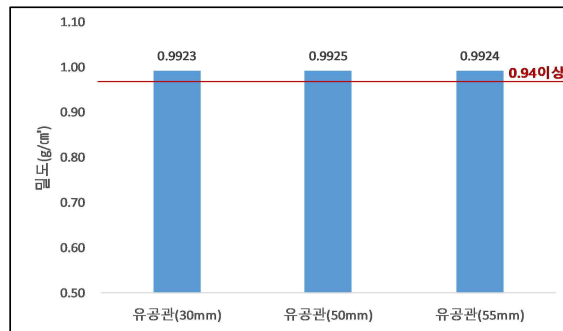
<Fig 3-127> 유공관 암거의 직경 및 구멍 크기 결과

㉞ 밀도 시험결과

- 유공관 압거의 물리적 성능으로 본 연구에서는 밀도를 평가함. 실험 결과는 <Table 3-67>와 <Fig. 3-128>와 같으며 유공관 품질기준인 0.94g/cm<sup>3</sup>이상인 결과를 보임.

<Table 3-67> 유공관 밀도 시험 결과

종류	유공관(30mm)	유공관(50mm)	유공관(55mm)
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	0.992	0.9925	0.9924
	0.9926	0.9925	0.9924
	0.9924	0.9924	0.9925
AVG.	0.9923	0.9925	0.9924



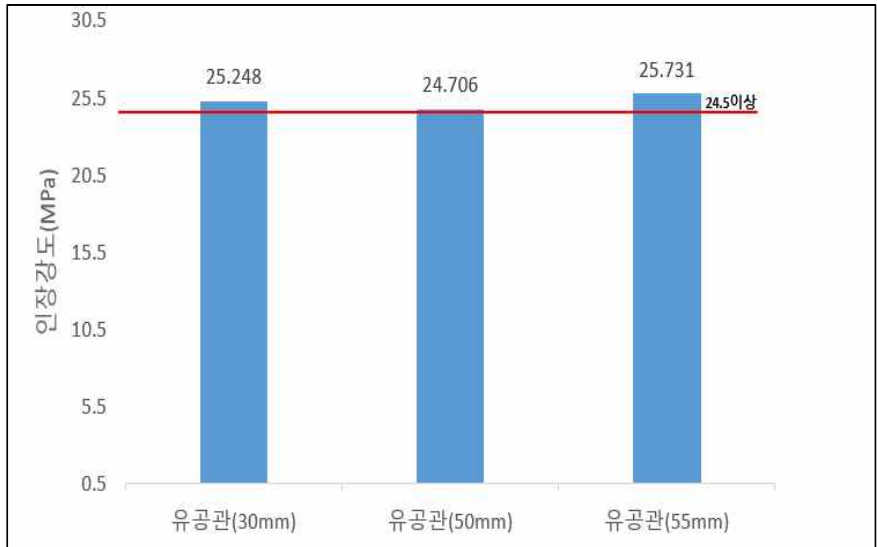
<Fig. 3-128> 유공관 압거의 밀도 시험 결과

㉞ 인장강도 시험결과

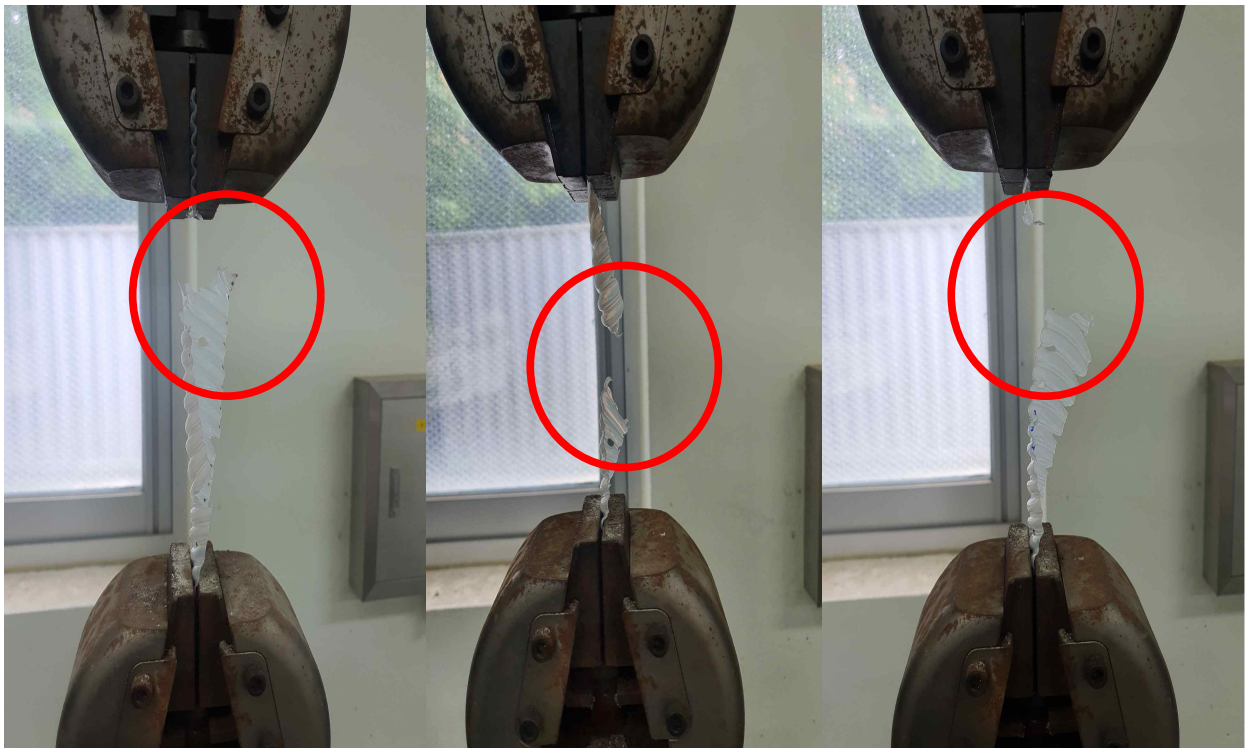
- 유공관 압거의 인장강도를 평가하였으며, 유공관의 압거의 인장강도 및 인장시험 결과 30mm, 50mm, 55mm 기준 인장강도인 24.5MPa 이상의 결과를 보임. 다만 유공관 압거의 완제품을 통한 시험결과로 원료의 시험과 비교해서는 시험오차 등이 발생할 가능성이 있음. 따라서 유공관 압거 완제품 시험시 오차범위를 설정하는 것이 필요할 것으로 판단됨. 유공관 압거의 파괴형상을 보면 인장하중이 증가함에 따라 변형률이 크게 증가하면서 파괴되는 연성 파괴의 형상을 보여줌. 따라서 유공관 압거의 급격한 파괴로 인한 배수불능 상태는 나타나지 않을 것으로 판단됨.

<Table 3-68> 유공관 인장강도 시험 결과

구분	인장강도 Unit: MPa			최대하중 Unit: N		
	30mm	50mm	55mm	30mm	50mm	55mm
1	24.17	-	24.41	256.7	-	268.7
2	24.89	26.11	26.91	264.3	286.7	296.3
3	24.56	24.08	24.65	260.8	264.4	271.4
4	25.64	23.48	23.96	272.3	257.8	263.8
5	23.75	25.16	26.78	252.2	276.3	294.8
6	28.48	24.70	27.68	302.5	271.2	304.8
AVG.	25.248	24.706	25.731	268.13	271.28	283.3



<Fig. 3-129> 유공관 압거의 인장강도 시험 결과



<Fig. 3-130> 유공관 인장강도 시험후 파괴형상



<Table 3-69> 30mm 유공관 압거의 변위 및 변형률 시험결과

시료번호	단면적(mm <sup>2</sup> )	최대하중(N)	인장강도(MPa)	표점(mm)	최대변위(mm)	변형률(%)
1-1	10.62	256.70	24.17	90	60.99	67.77
1-2	10.62	264.30	24.89	90	59.13	65.70
1-3	10.62	260.80	24.56	90	53.28	59.20
1-4	10.62	272.30	25.64	90	53.40	59.33
1-5	10.62	252.20	23.75	90	63.45	70.50
1-6	10.62	302.50	28.48	90	81.80	90.89
AVG.	10.62	268.13	25.25	90	62.01	68.90

<Table 3-70> 50mm 유공관 압거의 변위 및 변형률 시험결과

시료번호	단면적(mm <sup>2</sup> )	최대하중(N)	인장강도(MPa)	표점(mm)	최대변위(mm)	변형률(%)
1-1	10.98	251.30	22.89	90	47.05	52.28
1-2	10.98	286.70	26.11	90	54.47	60.52
1-3	10.98	264.40	24.08	90	62.05	68.94
1-4	10.98	257.80	23.48	90	59.54	66.16
1-5	10.98	276.30	25.16	90	42.94	47.71
1-6	10.98	271.20	24.70	90	64.82	72.02
AVG.	10.98	267.95	24.40	90	55.15	61.27

<Table 3-71> 55mm 유공관 압거의 변위 및 변형률 시험결과

시료번호	단면적(mm <sup>2</sup> )	최대하중(N)	인장강도(MPa)	표점(mm)	최대변위(mm)	변형률(%)
1-1	11.01	268.70	24.41	90	57.82	64.24
1-2	11.01	296.30	26.91	90	48.80	54.22
1-3	11.01	271.40	24.65	90	50.60	56.22
1-4	11.01	263.80	23.96	90	36.09	40.10
1-5	11.01	294.80	26.78	90	50.72	56.36
1-6	11.01	304.80	27.68	90	56.71	63.01
AVG.	11.01	283.30	25.731	90	50.12	55.69

㉔ 충격강도 시험결과

○ 유공관 압거의 충격강도 실험 결과 평가기준에 모두 적합한 것으로 확인됨. 유공관 압거 30mm, 50mm, 55mm 시편 모두 3~5 사이에서 파괴도가 나타났고 이 경우 품질기준에 모두 적합하여 유공관이 외부에 충격을 받아도 품질기준에 만족하는 것으로 확인됨. 유공관 압거는 대체적으로 큰 충격을 받아도 균열이 발생하는 모습은 많이 없음을 확인할 수 있었고 실제 유공관을 매입하여 기타 다른 상황들이 직면 했을때에 충분히 유공관 압거로써 역할을 수행 할 수 있고 또한 기준에 적합한 유공관 압거이기 때문에 충격 등에 큰 영향을 주지 받지 않은 것으로 확인됨.

<Table 3-72> 유공관 충격강도 시험 결과

타격횟수	유공관 30mm	유공관 50mm	유공관 55mm
1	4	5	4
2	3	4	3
3	4	4	3
4	3	5	4
5	4	4	3
AVG.	3.6	4.4	3.4



(a) 30mm 시편 파괴형상

(b) 50mm 시편 파괴형상

(c) 55mm 시편 파괴형상

<Fig. 3-131> 충격강도 시험 후 시편 모습

㉞ 유공관 투수 시험결과

- 유공관 투수시험 결과는 유공관의 투수 값은 0.004cm/sec로 나타남. K는 투수계수 (cm/s), t는 측정시간 (sec 또는 min), Q는 t시간의 침투수량( $cm^3$ ), A는 시료의 단면적 ( $cm^2$ ), L은 시료의 길이 (cm), h는 상하수조간의 수위차 (cm),  $\Delta h$ 는 유입부와 유출부의 수위차, I는 동수경사임. 투수계수는 0.1cm/sec 이하를 만족하면 품질 기준에 성립하기 때문에 0.004cm/sec의 값은 유공관 투수 품질 기준을 만족함. 30mm, 50mm, 55mm 직경의 유공관의 투수시험결과 30mm유공관과 50mm, 55mm유공관이 유입부와 유출부의 수위차가 차이가 있으나 결과에 큰 영향을 주지 않는 미미한 값으로 투수시험결과 값은 동일한 값으로 해석함. 따라서 본 연구에서 적용하고자하는 유공관 암거는 저비용 고효율 간척지 논 범용화 공법에 적용가능하다는 것을 알 수 있음

〈Table 3-73〉 유공관 충격강도 시험 결과

구분	30mm 유공관	50mm 유공관	55mm 유공관
용기 + 받침대 + 거름망의 무게 (g)	3720		
용기의 높이 (cm)	16.3		
용기의 내경 (cm)	10.1		
흙 + 용기 + 받침대 + 거름망의 무게(g)	4300		
흙 넣은 후 높이의 평균(cm)	11.525		
흙 넣은 후 높이	11.7	11.4	11.4
안쪽 수면 높이 (cm)	1.7		
바깥쪽 수면 높이 (cm)	12.4		
물 1L 흘러 나온시간(sec)	81	81	81
•투수계수 수식인 $k = \frac{QL}{A\Delta ht}$ 를 사용함 수식 (6) •30mm•Q= 12.35cm <sup>3</sup> /sec, Δh= 4.6cm, L= 11.7cm, I= 0.45, A= 80.12cm <sup>2</sup> , k= 0.004cm/sec •50mm•Q= 12.35cm <sup>3</sup> /sec, Δh= 4.9cm, L= 11.4cm, I= 0.45, A= 80.12cm <sup>2</sup> , k= 0.004cm/sec •55mm•Q= 12.35cm <sup>3</sup> /sec, Δh= 4.9cm, L= 11.4cm, I= 0.45, A= 80.12cm <sup>2</sup> , k= 0.004cm/sec			

㉔ 유공관 통수능 시험결과

- 유공관을 이용한 통수능시험을 하기 전 Manning 공식을 사용하여 유량을 산정함.. Manning 공식을 사용하기 위해서는 유공관의 단면적(A), 조도계수(N), 경심(R), 투수계수(K), 동수경사(I)를 산정하여야 함. 단면적은 유공관의 직경을 사용하였으며, 조도계수는 매끈한 직선하도로 가정하여 0.025, 경심은 유공관을 가득찬 관수로 가정하고 산정하였고, 동수경사는 수식(7)과 〈Table 3-74〉을 이용함.

$$i = \frac{\Delta h}{l} \quad \text{수식 (7)}$$

여기서,  $i$  = 동수경사,  $\Delta h$  = 변위,  $l$  = 길이

〈Table 3-74〉 동수경사 산정을 위한 높이에 따른 밑변의 길이

구분	0cm	1cm	3cm	6cm
높이에 따른 수로 밑변의 길이 (cm)	45cm	44.98cm	44.89cm	44.59cm

- 유공관 암거의 통수능은 위에 식에 각 유공관 암거 (30mm, 50mm, 55mm)에서 L = 45cm를 기준으로 Δh = 0cm, 1cm, 3cm, 6cm 일때의 통수능 값을 수식(8)을 사용하여 산정함.

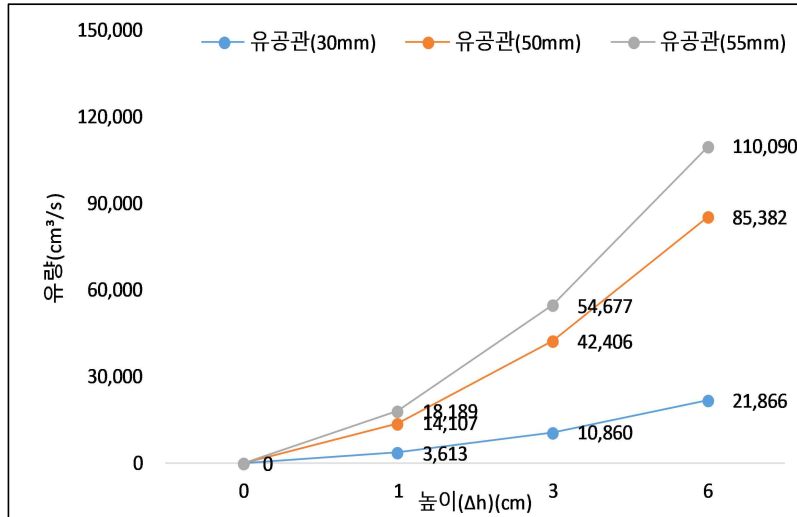
$$Q = \left( A \times \frac{1}{N} \times R^{\frac{2}{3}} \right) \times I^{\frac{1}{2}} = K \times I^{\frac{1}{2}} \quad \text{수식 (8)}$$

여기서, n값 조도계수는 매끈한 직선하도로 가정 0.025로 계산하였다.

- 산정결과 공식을 통한 유공관 암거의 통수능 산정결과는 〈Table 3-75〉과 〈Fig. 3-132〉동수경사가 높아짐에 따라 유량이 늘어나는 것을 확인하였으며, 수로 단면이 크면 클수록 통수능은 향상된다는 것을 확인함. 하지만 산정결과는 Manning 공식을 사용한 이론적인 산정결과로써 손실은 고려하지 않은 결과로써, 통수능 시험을 별도로 진행함.

<Table 3-75> 동수경사에 따른 배수성능 산정 결과

구분	0cm	1cm	3cm	6cm
유공관(30mm)	0	3,613ml	10,860ml	21,866ml
유공관(50mm)	0	14,107ml	42,406ml	85,382ml
유공관(55mm)	0	18,189ml	54,677ml	110,090ml

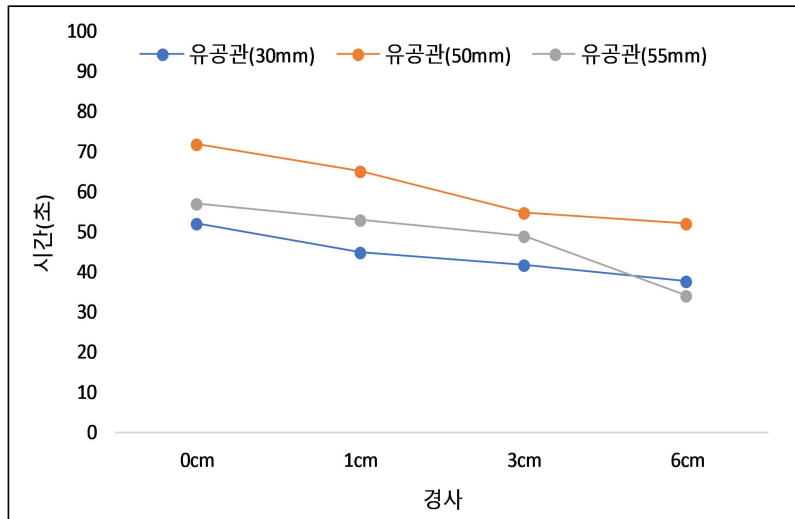


<Fig. 3-132> 배수 성능에 대한 동수경사에 영향

○ 유공관 통수능 시험 결과는 <Table 3-76> ~ <Table 3-77>, <Fig. 3-133> ~ <Fig. 3-134>과 같으며, 동수경사가 증가할수록 수량 2L를 채우는 시간은 짧아졌으며, 이는 동일 유량일 경우 동수경사에 의해 유속이 빨라진 결과라 판단됨. 또한 동수경사가 증가할수록 1분 동안 채워지는 유량은 많아진 결과를 보이며, 이러한 이유 역시 유속의 증가로 인한 것으로 판단됨. 유공관 통수능 시험결과에서 30mm 유공관과 55mm 유공관은 유사한 결과를 보였으나, 50mm 유공관은 타 유공관에 비해 유량이 채워지는 속도도 저하되며, 동일 시간동안의 채워지는 유량의 양도 적어지는 것을 확인함. 이러한 결과는 수조와 유공관과의 이음부에서의 손실이 발생한 것으로 판단되며, 공식에 의한 유량과 차이가 나는 이유는 공식 산정시 가득찬 관수로로 가정하였고, 손실은 고려하지 않은 결과라고 판단됨.

<Table 3-76> 경사에 따른 2L 물이 채워지는 시간

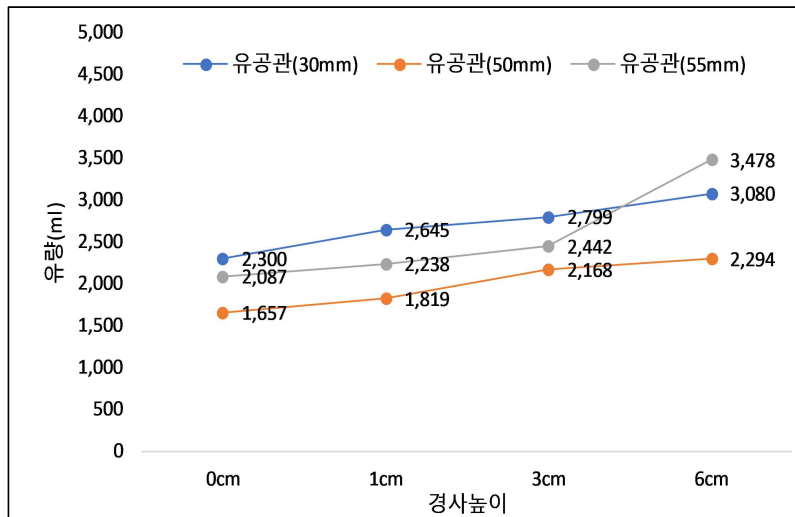
구분	0cm	1cm	3cm	6cm
유공관(30mm)	52초 10	45초 36	42초 87	38초 96
유공관(50mm)	72초 38	65초 95	55초 35	52초 30
유공관(55mm)	57초 48	53초 60	49초 14	34초 50



<Fig. 3-133> 경사에 따른 2L 물이 채워지는 시간

<Table 3-77> 경사높이에 따른 단위시간(1분) 당 채워지는 유량

구분	0cm	1cm	3cm	6cm
유공관(30mm)	2,300ml	2,645ml	2,799ml	3,080ml
유공관(50mm)	1,657ml	1,819ml	2,168ml	2,294ml
유공관(55mm)	2,087ml	2,238ml	2,442ml	3,478ml



<Fig. 3-134> 경사높이에 따른 단위시간(1분) 당 채워지는 유량

다) 저비용 고효율 지하암거 공법 매뉴얼 작성(초안)

① 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 설계 및 시공 매뉴얼

○ 설계 및 시공매뉴얼의 양식은 일반적으로 사용중인 설계 및 시공 매뉴얼의 양식을 준용함

## 1. 일반사항

### 1.1 적용범위

(1) 본 시방서는 간척지에 발작물 재배를 위하여 기상재해(습해, 가뭄, 염해, 토양고결)에 대비가 가능한 저비용(무굴착식) 고효율(지표잔류수배제+지하배수+지하관수+토양개량) 지하암거공법의 설계 및 시공에 적용한다.

## 2. 자재

- (1) 공사용 자재 및 재료는 한국산업표준(KS) 품질기준에 적합하고, 가능한 한 친환경적인 것을 선정해서 사용하여야 한다.
- (2) 한국산업표준(KS)에 명시되지 않은 각종 자재 및 재료는 구조물과 시설물의 설계에 요구되는 재료의 품질 및 성능 시험을 통과한 재료를 선정하여 사용하여야 한다.

### 2.1 고효율 암거자재 품질확인 시험

- (1) 주름 유공관에 대하여 <Table 3-78>과 같은 시험항목에 대한 시험을 실시하여 그 품질이 기준 이상인지 확인하여야 한다.

<Table 3-78> 고효율 암거 품질기준

시험항목		단위	품질기준	비고
밀도 (23℃)		g/cm <sup>3</sup>	0.94 이상	
내경 5% 변형시 강성		kpa	343 이상	kg/cm <sup>3</sup> → 3.5 이상
아이쥘드 충격강도		KJ/m <sup>2</sup>	61.2 이하	
인장강도		N/mm <sup>2</sup>	24.5 이상	
신장율		%	600 이상	
투수율		%	0.1 이하	
침지시험	10% 염화나트륨	g/m <sup>3</sup>	±0.5 이내	무게, 변화율
	30% 황산나트륨		±0.5 이내	
	40% 황산마그네슘		±0.5 이내	
	40% 수산화나트륨		±0.5 이내	
	95% 에틸알콜		±0.5 이내	

### 3. 설계

#### 3.1 암거의 종류

- (1) 일반적으로 암거의 종류는 기능에 따라서, 또는 사용하는 재료에 따라서 구분한다.
- (2) 암거의 종류는 그 기능에 따라서 흡수거, 집수거, 승수거, 보조암거로 구분하며, 재료에 따라서는 토관, 도관, 콘크리트관, PVC 유공주름관 등의 유재료암거와 지하배수의 기능을 촉진시키기 위한 두더지암거, 횡단암거 등의 무재료 암거로 구분한다.

#### 3.2 암거의 계획 기준치

##### 가. 계획 암거배수량

- (1) 계획 암거배수량은 경지구획의 평탄정도, 넓고 좁음, 토양의 투수성, 토지이용 형태 등에 따라서 10~30mm/day로 정한다.
- (2) 계획 암거배수량은 계획암거배수량에 대한 접근방법, 암거배수량의 필요성, 지표잔류수가 있는 경우의 계획 암거배수량, 지표잔류수가 없는 경우의 암거배수량을 구분하여 산정하여야 한다.

##### 나. 계획 암거배수량의 산정

- (1) 지표잔류수를 대상으로 계획암거 배수량을 산정하는 경우 범용농지에서는 밭작물을 대상으로 하기 때문에 지표수가 포장 내에 정체하는 것은 습해의 큰 원인이 되므로 이것을 허용시간 내에 신속히 배제하는 방법을 채택하여야 한다.
- ① 지표잔류수를 대상으로 하는 경우 논·지의 지표 잔류수 배제에 필요한 허용일수는 기존의 시험자료와 경험에서 종합하면 1 ~ 2일 정도라고 할 수 있다. 또, 밭작물의 경우에는 침수시간이 최소화되도록 신속히 배제하여야 한다. 따라서, 지표잔류수가 있는 경우의 계획암거배수량은 벼재배의 경우 기계의 도입이나 적당한 물 관리를 위해서 논바닥의 물 배제는 1 ~ 2일 이내에 가능하도록 해야 한다.
- ② 토양 중력수를 대상으로 하는 경우 지표 잔류수가 제거된 후에 강우에 대한 토양 중력수를 관계기 N1일, 비관계기 N2일로 배제하는 판단법은 수식 (9)에 의해 구해진다.

$$q = \frac{R \times P \times 10^4 \times 10^3}{N \times 10^3 \times 84,400} - 0.1157R \times P/N \quad \text{수식 (9)}$$

여기서, q : 단위암거배수량( l /s/ha)  
R : 유효토층 두께(mm)  
N : 배제일수(day)  
P : 유효간극률(Drainable porosity)

- (2) 지표잔류수가 없는 경우 또는 지표잔류수를 배제한 후에는 토양중력수를 허용시간 내에 계획 지하수위까지 저하시킬 수 있는 양이어야 한다.

#### 3.3 암거배수 조직

##### 가. 암거배수조직의 구성

- (1) 암거배수조직은 일반적으로 흡수거, 집수거, 수갑, 배수구로 구성된다. 이 밖에 필요에 따라 흡수거 상류단에 청소구(입상관)와 통기구, 집수거가 관로인 경우에는 유지관리나 청소 등을 위한 맨홀 등을 설치해야 한다.

## 나. 흡수거의 매설깊이 및 간격

- (1) 흡수거의 매설깊이는 『지표면에서 계획지하수위까지의 깊이 + 여유심』으로 하며, 일반적으로 흡수거의 상류단에서 0.6~1.0m, 하류단에서 0.8~1.2m로 한다. 다만, 주흡수거의 상단부 매설깊이를 최소한 0.6m 이상으로 해야 한다.
- (2) 국내의 자료를 분석 정리한 결과 계획지하수위 및 암거배수 기준치는 <Table 3-79>와 같다.

<Table 3-79> 암거배수 기준치

배수요인	작기	담수기	비담수기
감수심		10 ~ 15mm/일	-
삼투속도		5 ~ 10mm/일	-
토양투수계수		10 ~ 5cm/일	10 ~ 4cm/일
지표잔류수 허용일수		물떼기후 3 ~ 5일	강우후 1 ~ 2일
강우후 5일째			
	20cm층위 토양수분	-	pF 2.5
	계획지하수위	-	지표하 50cm

- (3) 흡수거의 여유심( $\alpha$ )은 배수로의 심도, 지하수위의 하강속진과 배수개선에 따른 지반의 수축침하, 영농기계의 주행하중 및 동결 등에 대한 암거 보호를 위한 것으로 대략 ( $\alpha$ ) = 20~50cm로 하는 것이 타당하며, 여유심( $\alpha$ )을 크게 해야 할 조건으로는,

- ① 토양의 투수성이 커서 흡수거의 간격이 넓은 경우
- ② 간척지 주변의 육지부, 경사지 및 인접고지대 등에서 깊은 침투수의 차단이 필요한 경우
- ③ 배수개선에 의해서 토층의 수축이 예상될 경우
- ④ 심근성의 영년생 작물이 도입될 경우 등이다.

- (4) 흡수거의 간격은 지형, 토양조건 및 토지이용형태 등에 따라서 결정한다.

## 다. 집수거

- (1) 집수거는 흡수거의 물을 지체없이 배제시키며 또한 배출수량을 조절(제어)하는 기능을 구비해야 한다.
- (2) 이 경우에 집수거의 배치 및 기울기는 각 흡수거 하류단(집수거와의 합류점)을 합류시키는 것을 원칙으로 하나, 집수거의 기울기를 적정하게 확보하기 위해 흡수거의 하류단 높이를 낮추어 조절할 수 있다.

## 라. 암거의 배치

- (1) 흡수거의 배열방향, 수갑 등의 암거 배수시설의 배치는 배수를 더욱 신속하게 할 수 있도록 하고, 배수기능을 보다 장기간 유지할 수 있게 충분히 검토해서 결정한다.
- (2) 논 또는 밭과 논으로 유회되는 논외 암거배수조직은 암거배수의 조절을 쉽게 할 수 있도록 배치해야 한다.



### 마. 암거의 관경 및 기울기

- (1) 흡수관의 관경은 계획배수량이 만류가 되지 않고 충분히 유하 할 수 있는 크기로 한다. 그러나 특별한 경우를 제외하고 최소관경은 50mm(A=19.6cm<sup>2</sup>)로 하며 경지정리답의 배미구 장변(100m인 경우)에 맞추어 흡수관 길이를 95m, 흡수관경을 50mm로 하면 충분하다.
- (2) 흡수거의 기울기는 평탄지에서 인력매설시는 1/300 ~ 1/600, 기계매설시는 1/500 ~ 1/1,000로 하면 적당하다. 그런데 침하로 균일한 기울기의 유지가 곤란하므로 가급적 기울기가 급한 쪽이 바람직하다.
- (3) 관내유속은 최대유속시에 0.3m/s이상 ~ 1.0m/s 범위에 있는 것이 바람직하다.

### 3.4 토양조건에 따른 암거배수조직 계획

암거배수는 토양조건에 의하여 가장 크게 영향을 받는다. 다음 토양조건에 따라 기술하는 공식이나 설계기준은 일반적인 사항이며 토양의 특성에 맞게 설계하기 위해서는 오히려 인근개발지역의 설계자료, 유사지구의 시공사례나 설계자의 경험 등을 참고하거나, 이것들이 없는 경우는 사전에 소규모 시험포를 해당 지구내에 설치 운영하여 여기서 얻은 시험결과를 참고하여 최적의 방법을 선택하는 것이 바람직하다.

#### 가. 간척지의 제염

- (1) 암거배수에 의한 제염
  - ① 간척지에서 가장 효율적인 제염방법은 암거배수(수직배수)에 의한 염분용탈 방법이다. 따라서 초기간척지에서 토양의 투수성을 얼마나 빨리 증진시켜 주느냐에 따라서 간척지의 제염효과가 좌우된다.
  - (2) 간척지 암거배수조직계획
    - ① 흡수거의 심도는 0.6 m ~ 0.7 m의 깊이로 유공관 직경 50 mm, 수평패드 폭 500 mm
    - ② 집수암거 터파기는 사면은 1:1로 설정하였으며, 심도는 0.8 m, 터파기량은 1.04 m<sup>3</sup>로 산정되었으며, 유공관이 놓일 바닥 폭은 0.5 m로 유공관 50 mm 이상으로 한다.
    - ③ 도달구는 가로 2.0 m, 세로 0.75 m의 크기로 터파기는 깊이 0.65 m, 하부너비 0.7 m의 크기로 터파기를 실시한다.

### 4. 시공

#### 4.1 시공전 사전 확인 사항

- (1) 공사 착수 전 ① 공사용 진입도로 위치 및 설치계획 ② 시공측량계획 ③ 사용자(농민)의 의견 및 요구사항 등에 대해 사전조사 등 현장 조건에 적절한 품질관리계획을 수립하여야 한다.
- (2) 현장조사는 다음 사항을 조사해야 한다.
  - 가) 지반 및 지질상태
  - 나) 각종 지하 매설물 및 부대시설
  - 다) 지하암거 및 저류시트 자재 공급 위치 및 운반통로
- (3) 착공전 설계도면, 시방서 등을 면밀히 검토하고 문제점이 있을 때는 공사감독자(또는 감리원)와 협의해야 한다.
- (4) 집수거 등 터파기 단면(치수 확인), 관 부설상황, 피복재(시공상황, 두께 확인 등), 되메움상황, 수압보호관 설치상황 등을 촬영 기록해야 한다.

- (5) 기타 공사시방서 및 설계도서에 기재되지 않은 사항 및 의문이 있는 사항에 대하여는 계약자와 공사감독자(또는 감리원)와의 협의 후 처리한다.

## 4.2 시공측량

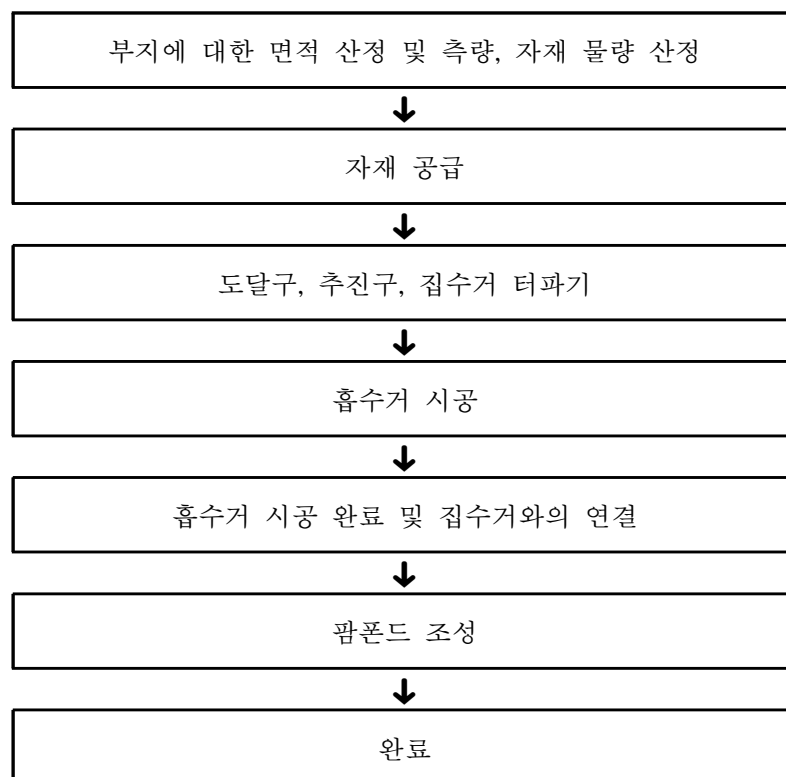
- (1) 설계시 설치한 기준점, 실측 및 설계도면 등의 성과품과 현장과의 이상 유무를 확인하기 위하여 확인측량을 실시해야 한다.
- (2) 시공 시 시공위치 및 시공심도를 확인하기 위한 기준점을 설치하여야 한다. 기준점의 설치 양은 많을수록 좋으나 경제성을 감안하여 1구역당 1개소 이상이 되도록 한다. 기준점은 망실, 훼손의 우려가 없는 장소로 선정하여 설치하도록 한다.
- (3) 설계 성과품의 현황도가 실제현황과 일치하는지 확인 측량을 실시한다.

## 4.3 시공준비

- (1) 현장장비 및 공구 등을 보관할 수 있는 가설창고 (컨테이너 등)을 설치한다.
- (2) 공사장비 진입로를 개설한다.
- (3) 자재적치장을 조성한다.

## 4.4 모관수 저류시트형 공법 시공순서

- (1) 체계적인 모관수 저류시트형 공법 시공을 위해 시공순서를 결정함. ① 시공을 위해 준비된 부지에 대한 면적 산정 및 공법 적용을 위한 자재 물량 산정, 측량 실시 ② 공법 적용을 실시하기 전 다음 공종과의 간섭이 없이 시공 가능한 자재 공급, ③ 집수암거 터파기 실시, ④ 간격별 흡수거 시공 실시, ⑤ 흡수거 시공 완료 및 집수암거와의 연결 시공, ⑥ 팜폰드 조성 ⑦ 완료의 순서로 실시하며, 공종순서는 <Fig. 3-99>과 같다.



<Fig. 3-99> 모관수 저류시트형 공법 시공순서

## 4.5 표층 경반층 등 파쇄

- (1) 경반층은 일반적으로 논에서 발작물을 재배할 때 토양의 물빠짐을 나쁘게 하여 습해를 일으키는 주요 원인이 되고, 뿌리의 활력을 크게 떨어트려 생산성을 줄어 들게 된다. 또한 표층은 건조수축에 의해 고결되어 있어 단단하여 무굴착암거장치가 진행하는데 저항력이 크기 때문에 유공관, 수평필터매트를 설치하는 주행을 원활히 하기 위하여는 심토파쇄가 필요하고, 지반 중에 양식용 말뚝, 사석 등이 주행노선에 있으면 흡수거 설치 중에 중단되어 낭패의 요인이 되므로 심토파쇄를 하여야 한다.

## 4.6 흡수거 설치노선 표시

- (1) 흡수거 설치예정노선을 따라 암거설치장비가 주행하여야 할 노선을 가능한 직선으로 페인트로 표시한다.

## 4.7 암거설치장비에 흡수거 및 저류형시트 부착

- (1) 흡수거 및 저류형시트를 암거설치장비에 부착한다.

## 4.8 도달구 및 추진구, 집수거 터파기

- (1) 무굴착 흡수거의 시공을 위한 추진구, 도달구, 집수거 터파기를 실시한다.
- (2) 집수거의 터파기 심도는 레벨측량을 하여 각 위치의 표고가 설계표고와 허용오차 범위내에 일치하도록 한다.
- (3) 집수거 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.

## 4.9 흡수거 및 저류형시트 시공

- (1) 암거설치장비에 부착된 흡수거 및 저류형 시트를 추진구에서부터 도달구를 향해 시공을 실시한다.
- (2) 흡수거 및 저류형시트는 집수거 방향으로 물을 유도하여야 하므로 설계도면에 있는 굴착시도로 집수거 방향으로 경사를 가지게 시공을 하여야 한다.

## 4.10 집수거 시공

- (1) 집수거 터파기 후 집수거 설치후 흡수거와의 연결시 T형 연결부를 사용하여야 하며 흡수거와 집수거의 높이가 상이할 때 흡수거를 일정부분을 휘어서 집수거에 연결한다.
- (2) 돌을 이용하거나 일부 고정할 수 있는 방법을 사용하여 되메우기시 관이 이동하지 않도록 한다.

## 4.11 폰드(Pond) 시공(필요시)

- (1) Pond는 침출수를 저류하고 관개용수로 재활용하기 위한 방안으로 간척지의 경우 재염효과를 촉진시킬수 있다.
- (2) Pond의 크기는 배수 및 관개면적을 고려하여 시공한다.

## 4.12 수직심토파쇄

- (1) 간척지의 토양은 해성점토로 함수비가 높고 점성이 높아 일반적인 심토파쇄장비로는 파쇄가 잘 안되므로 심토파쇄의 효과를 높이기 위하여 굴삭기에 장착한 수직심토파쇄기를 사용하여야 한다.
- (2) 심토파쇄는 설치된 흡수거가 파손되지 않도록 흡수거를 설치한 폭 50cm 암거설치 노선은 제외하고 심도 50~70cm까지 전 구간 고르게 심토파쇄를 실시한다.
- (3) 심토파쇄 시 하부토층이 상부로 올라오고 상부 고결토층이 내려가는 교반되는 조건의 심토파쇄가 토양개량효과가 훨씬 더 크므로 상하부 토층이 교반되도록 가능한 유도한다.
- (4) 심토파쇄한 경지면이 요철이 심하지 않도록 표고차가 10~20cm 범위내에 있도록 면고르기를 심토파쇄와 동시에 실시하여야 한다.

## 4.13 현장정리

- (1) 공사기간 중 운용하였던 자재 적치장을 원상 복구하여야 한다.
- (2) 공사기간 중 운용하였던 공사용 도로를 제거하고 원 지형으로 복구한다.
- (3) 공사 중 파손된 농로는 원상 복구 하여야 한다.
- (4) 공사 발생 된 건설폐기물 및 폐자재는 산업폐기물 또는 일반 쓰레기로 분류하여 깨끗이 치우도록 하여야 한다. 환경오염을 방지하기 위해 어떠한 경우에도 현지의 지중에 매설하여서는 아니된다.
- (5) 공사기간 중 가설 현장사무소를 운용하였을 경우에는 현장사무소를 철거 정리하여야 한다.

### ② 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 유지관리 매뉴얼

- 유지관리매뉴얼의 양식은 일반적으로 사용중인 유지관리매뉴얼의 양식을 준용함

## 1. 일반사항

### 1.1 적용범위

- (1) 본 운영 및 유지관리 지침은 간척지 등의 농지 범용화를 위한 경지 내 지하배수축진은 물론 토양제염축진이 가능하도록 하는 지하배수암거공법의 운영 및 유지관리에 적용 한다.
- (2) 지하배수 암거 운영 및 유지관리는 원칙적으로 KDS 67 45 90 : 2018 [농지배수 유지관리]에 따른다.

## 2. 자재

해당없음

## 3. 시공

해당없음

## 4. 유지관리

### 4.1 유지관리의 중요성

- (1) 지하배수시설 시공후 암거가 적절한 배수기능을 발휘하기 위해서는 암거가 설치되어 있는 농지의 관리주체인 경작자가 주의 깊게 유지관리 하여야 한다. 이를 위해서는 농가에 대하여 암거배수의 올바른 목적과, 암거시설의 기능을 어떻게 올바르게 발휘시킬 것인가를 잘 이해시키고, 관리에 대한 설명이 필요하다.
- (2) 지하배수시설을 조성했다하여도 이것이 계속 적절한 배수기능을 발휘한다고는 말할 수 없다. 예로 지금까지 서술해온 바와 같이 설계, 시공이 정확히 되었다 하여도 이후의 유지관리가 부적절하면 암거의 효과는 급속히 감소해 버리고 때에 따라서 완전히 시공 전의 과습상태로 되돌아가는 경우도 생긴다. 암거도 역시 다른 시설과 같이 제대로 유지관리하면, 그 기능을 양호한 상태로 유지하여 내용연한을 연장할 수 있다.
- (3) 암거의 유지관리를 고려할 때 특히 중요한 것은 지하배수 시설의 시공 후 관리 주체가 농가이며, 더욱 암거자체가 농지에 직접 설치되어 있는 것이므로 경작자가 주의 깊게 유지관리하는 것 이외에 다른 방법이 없다는 것이다.
- (4) 이 때문에 농가에 대하여 지하배수의 올바른 목적과, 암거시설의 기능을 어떻게 올바르게 발휘시킬 것인가를 잘 이해시키는 것이 우선 필요하며, 관리에 대한 요령을 잘 주지시켜야 한다.
- (5) 시설을 건전한 상태로 오래 유지시키기 위해서는 잘못된 부분의 조기발견과 신속·적절한 처치가 무엇보다 중요하다.

### 4.2 시설의 기능이 발휘되지 않는 제원인과 진단법

- (1) 암거설치 후 기능이 충분히 발휘 안되는 원인을 조사하여 배수기능을 회복할 수 있도록 하여야 한다. 흔히 현장에서 들리는 말로서 「암거를 조성하였는데 전혀 효과가 없다. 이번 암거는 불량품이므로 새로 재시공해야 한다」라고 하는 등의 불만이 나온다. 그러나 효과가 저하된 원인은 대부분 농가측의 불충분한 유지관리에 원인이 있는 경우가 많다. 기능이 충분히 발휘 안되는 원인을 충분히 조사하여, 보수하고 적절한 유지관리를 하면 새로 암거를 재조성할 것까지는 없고, 배수기능을 회복시킬 수 있는 경우도 있다.
- (2) 배수로 및 배수구의 관리 불량
  - ① 암거를 매설했는데 논이 종전과 같이 전면적으로 과습상태로 있는 경우, 소배수로에 개구되어 있는 배수구가 막혀 있을 가능성을 의심해 볼 필요가 있다.
  - ② 암거는 원칙적으로 소배수로의 수면보다 위에 그 배수구가 위치하고 있는 것이 기능보전의 입장에서 바람직하다.
  - ③ 배수구가 수면 아래에 위치하게 되면 이토로 막힐 위험성이 크다. 이토로 막히면 근본적으로 암거관 내의 수두는 그렇게 크지 않으므로, 관거내 물의 유출은 정말로 기대할 수 없게 된다.
  - ④ 또 이토 뿐만 아니라, 수초의 줄기나 뿌리 등이 배수구를 막고 있는 경우도 많다. 따라서 배수

로와 암거 배수구의 상황을 정기적으로 순회 점검하는 것이 바람직하다.

- ⑤ 배수구가 수중에 있을 때, 출구가 막혀 있는지의 여부를 조사하기 위해서는 폐쇄된 상태로 있는 수압을 급격히 열어보면 유출상황이 관찰되므로 비교적 간단히 검사할 수 있다.

(3) 암거관(흡수거, 집수거)의 관리 불량

- ① 암거관은 지하에 매설되어 있으므로, 이의 기능이 제대로 발휘되고 있는지의 여부를 확인하기는 어렵다. 그 때문에 관리불량이 되어 내용연수를 단축시키는 경우가 많다. 다음에 암거관에 생기기 쉬운 고장원인에 대해 설명한다.
- ② 흑니토(黑泥土), 화산회 등 토립자가 이동하기 쉬운 토양에서는 시공 후 1년간 정도의 사이에 관내에 미립토가 유입, 퇴적하는 경우가 있다.
- ③ 어느 정도 지하수의 물질이 안정되어, 흙이 굳어지면 유입은 대개 끝나나 당초에 유입된 흙을 그대로 방치해 두면 흡수관의 기능이 저하되고, 극단적인 경우에는 완전히 기능이 상실되는 경우도 있다.
- ④ 이와 같은 예는 흡수거를 부설하는 깊이에 사질토층 등이 일부 혼재되어 있는 경우에도 있고, 세립자가 흡수거내에 유입, 내부를 폐쇄하는 경우도 있다. 흡수거 구멍 크기에 따라서는 갈대 등의 뿌리가 침입하여 기능을 저해하는 경우도 있다.
- ⑤ 또 시공시점에서는 정확히 암거관이 부설되었다해도 유지관리 하는 과정에서 부등침하가 발생하여 기능의 발휘를 손상하는 경우가 있다.
- ⑥ 토양이 건조하면 체적변형이 크게 나타나는 이탄토, 흑니토, 혹은 연약한 간척 후의 저습지의 점성토 등에서 이와 같은 예가 보인다. 즉, 부등침하에 의해 흡수거에 굴곡이 생겨, 내부에 가스가 저장되는 것에 의해 통수가 저해되고, 극단적인 경우에는 암거관의 접속부가 빠져 수리적 연속성이 절단되고 마는 사태로 된다.
- ⑦ 또, 간척지 등에서 보이는 예로서 암거관의 배수구 등을 콘크리트 등의 기초로 무리하게 고정시켜 놓으면, 포장내의 지반 침하에 의해 암거관이 역기울기로 되어 통수 기능이 손상되는 경우가 있다. 연약한 지반에서는 유지관리에 각별한 배려를 해야 한다.
- ⑧ 암거관의 어느 부분에서 고장이 발생하고 있는가를 확인하기 위해서는 다음과 같이 한다. 우선 배수구가 메워졌는지 여부를, 수압조작에 의해 조사한다. 다음에 담면 담수를 배제시킨 후 강우에 의한 담면 요철부의 잔류수의 소실상황을 잘 관찰한다. 만약 암거관에 고장이 있으면 고장지점부터 상류부분의 담수 소실상황에 차이가 생겨 부분적으로 과습한 부분이 보이게 된다.
- ⑨ 이럴 때 암거관 배수구의 배수상황을 조사해보면 고장이 없는 건전한 상황의 암거관과 차이가 보이므로, 고장의 진단이 한층 정확하게 된다. 또한 암거관의 어느 부분에서 고장이 발생하고 있는가를 다시 상세히 조사하는 데는 다음과 같이 한다.
- ⑩ 우선 과습상태로 되어 있는 부분의 약간 하류부에서 암거관을 노출시켜 관의 매설심보다 약간 깊이 시험공을 판다. 암거관을 관찰가능한 상태로 해서 만약 여기서 물을 분출하면 고장개소는 여기보다 하류측에 있는 것이므로 다시 하류측을 시공한다. 만약 물이 분출되지 않으면 여기부터 상류측에 고장장소가 있는 것이므로 상류측으로 시공을 진행해간다. 이와 같이 해서 최종적으로 고장위치를 발견하게 되는 것이다.

#### (4) 수갑의 관리 불량

- ① 수갑은 지하배수시설 중 그 구조와 기능상 가장 눈에 띄기 쉬우며, 시공 후 가장 외적 조건에 좌우되기 쉽고 고장이 많은 부분이라고 할 수 있다. 즉, 조작상에 무리가 있는 것(농민은 지수봉을 잘 조작한다고 하나, 똑바로 상하로 움직이지 않으면 쉽게 파손된다). 또, 구조상이나 재질면에서도 많은 검토의 여지가 있다. 또 지상부에 노출되어 있는 수갑의 염화비닐관이 파손되는 경우도 많다.
- ② 지상부에 관련된 파손은 전체파손개수 중 약 24%가 되고 있다. 지상부는 농작업에 방해가 되는 것이 많으므로 보호대책과 구조상의 개선이 필요하다.
- ③ 재질이 플라스틱인 경우 한냉지의 저온이 악영향을 미치고 또한 논두렁에 쪼를 놓는 곳도 있어, 잡초가 연소하는 열에 의해 수갑의 지상부가 변형하고 있는 사례도 있다.
- ④ 만약 수갑의 기능이 원활하면 암거관 내의 수위가 상승할 것이다. 만약 암거관부의 수위가 상승하지 않으면 일단 지수부의 다짐불량이며, 또 하나는 수갑관 이음에서의 누수가 생각되므로, 각각의 상황에 따라 판단한다.
- ⑤ 수갑을 폐쇄해도 흡수거의 수위가 상승하지 않는 원인 중 하나는 논두렁 균열에서의 누수가 있다. 이것은 논두렁의 방호대책, 즉 소배수로의 수위관리대책 등 별도 측면에서의 대응이 필요하다.

### 4.3 유지관리

- (1) 지하배수 시설의 기능이 발휘되지 않는 제 원인이 정확히 파악되어 고장 장소가 확인되면 보수는 가능한 한 조기에 실시하여야 한다. 또한 지하배수 시설의 기능을 충분히 발휘시키기 위해서는 농지의 이용방법 연구와 영농상의 대응도 극히 중요하다. 특히 논의 발작물 재배 이용을 위해서는 이와 같은 유지관리의 중요성이 크다.
- (2) 암거의 유지관리는 다음과 같다.
  - ① 우선 수갑의 조작에 의한 암거관내의 청소에 대해 기술한다. 즉, 수갑을 폐쇄하고 암거관 내의 수위가 충분히 상승한 후 급격히 수갑을 연다. 이와 같은 작업을 씨레질 전 및 낙수기 전의 연간 2회 실시하면 좋다. 특히 이토 등 미립의 토립자가 시공 직후 흡수관 내에 유입하기 쉬운 조건하에서는 이와 같은 청소를 행하는 것이 중요하며 시공 후 1년째가 중요한 시기라고 할 수 있다. 만약 이 시기를 지나치면 관내에 유입된 미립의 흙이 고결해버리고, 지하배수의 기능이 대폭 줄어 회복불능 상태가 된다.
  - ② 수갑의 조작만으로는 청소가 불충분한 경우에는 흡수거의 최상류부에 흡수거 청소공을 설치하는 것도 생각해야 한다.
  - ③ 일반적으로 흡수거는 그 최상류부를 논두렁에서 일정한 거리를 두어 매설하고 있어 그 때문에 이 부분이 배수불량의 원인으로 되고 있는 경우가 많다. 그러나 이러한 흡수거 청소공을 설치하면 배수 촉진의 역할도 한다.
  - ④ 또한 청소공은 선단부가 농작업에 장애가 안되도록 낮게 하고, 사용시 이외는 캡을 씌워둔다.
  - ⑤ 최근 암거관 내의 청소를 위해 젯트노즐에 의한 물의 압송이 행해지고 있다. 화란 등 지하배

수의 선진지에서는 옛날부터 행해지고 있는 방법으로 지름 1인치 정도의 내압 호스로부터 압력수 (약 1MPa 정도)를 역분사 시키면서 관내에 그 호스를 넣어 세정하는 것이다. 드레인 클리너라고 불리는 이 장치로는 길이 400m 정도의 세정 능력을 갖는 것도 있다.

- ⑥ 시공 후 흡수거가 극단적으로 굴곡이 생기던지 관내의 접속부분이 빠져버렸을 때는 그와 같은 고장부분을 보수해야 한다. 전술한 시굴공에 의한 관찰 등으로 고장장소를 발견하면 그 부분의 관을 정성껏 보수한다. 보수 후 수압을 조작해서 흡수거내를 세정해주면 이상적이다. 또한 집수거에 대해서도 그 길이가 길고, 수로바닥, 도로, 제방밑 등을 통과할 경우는 관에 기능장애를 초래하기 쉬우므로 주의가 필요하다.
- ⑦ 이외 플라스틱 암거에서 피복재로서 필터를 부착시킨 것에서도 고장이 발생할 때가 있다. 이와 같은 얇은 필터는 이토가 관내에 유입하는 것을 방지하기 위해 고안된 것이다. 토질에 따라서는 역으로 세립토가 이 필터를 메꾸어 불투수성의 것으로 변하여 버리는 경우가 있다.
- ⑧ 지하배수가 필요한 토양중에는 환원상태(還元狀態)로 되어 있는 것이 보통이므로 흐르는 물중에는 철, 망간 등이 가용체로 되어 있다. 이런 것이 필터에 접촉되었을 때 관내의 공기에 의해 산화되어 불용화해서 침착한다. 이 때문에 필터는 물리적·화학적 작용으로 급속히 불투수성이 되어버린다. 시공 직후 물을 잘 배제하고 있었는데 2~3년 후에 완전히 배수능력을 상실한 사례도 있다.
- ⑨ 또한 피복재로서 벚집 등을 사용하면 단기간에 부패해 역으로 투수성을 손실하는 경우도 있어 주의를 요한다. 또 왕겨 등도 비교적 부패가 안되는 재료이긴 하나 논밭 전환 등을 실시하는 조건하에서는 수년간에 약간 그 재질이 변질하였다는 보고 예도 있어 그 내용연수에 대한 검토가 필요하다.

#### 4.4 영농기의 배수관리 요령

- (1) 영농기에 지하배수 시설의 기능을 충분히 발휘시키기 위해서는 논바닥의 물을 가능한 한 신속히 배제하여 토양건조를 도모하고 균열의 발생을 촉진하여 암거의 투수성 개선을 도모하는 것이 반드시 필요하다. 또 논뿐만 아니라 전환 밭에 있어서는 이러한 사항이 더 중요한 의미를 갖는다.
- (2) 논바닥 지표수의 관리
  - ① 포장의 건조를 도모하기 위해서는 우선 지표배수를 촉진할 필요가 있다. 지하배수와 지표배수는 능률이 크게 다르다. 예로 투수성이 극히 큰 기반으로 구성되어 있는 사질답의 지하배수 능률도 지표배수에 비하면 얇은 값에 불과하다.
  - ② 더욱이 일반 토양에서는 지표의 담수를 토양을 통과시켜 지하배수 시키려고 하면 배수를 위한 시간이 대폭적으로 지연될 뿐만 아니라, 토양은 과습하게 되어 지내력은 상승하지 않게 된다.
  - ③ 지표배수를 지배하는 인자로서 하나는 답면의 지균상태이고, 다른 하나는 낙수구의 구조이다. 특히 답면의 지균상태가 좋은 경우에도 낙수구를 향해 약간 경사되어 낮아지는 것이 이상적이다. (수구 부근의 답면에 대해 낙수구 부근의 답면이 10cm 정도 낮은 것이 좋다). 역으로 수구에 대해서 낙수구가 높으면 배수는 저해된다. 또 답면의 요철도 지표배수에 영향이 있으므로 이와 같은 때에는 농작업에 지장이 없는 정도의 얇은 배수소구를 설치하면 좋다.
  - ④ 또한 포장정비 직후는 논바닥의 요철도 많으므로 영농단계에서도 지균작업을 하도록 배려해야 한다. 통상의 영농관리에서 3년 정도 경과하면 지균(地均) 정도가 다시 향상하는 경우가 많다.



### (3) 중간낙수 등 재배법과 포장건조

- ① 수도작의 경우 토양건조를 도모하는 뜻에서 중요한 것의 하나로 중간낙수가 있다. 이 시기는 증발산도 왕성하고 작토층은 건조해져 pF2 이상이 되며 완전한 균열이 생긴다. 조건이 양호하면 하층토 300~400mm 까지의 토양수분까지도 현저히 저하시킬 수 있다.
- ② 이와 같은 조건하에서 작토에 발생한 균열은 재 담수하여도 재차 폐쇄되지 않고 물길로서 유효하다. 따라서 중간낙수 후는 투수성이 증대되고 지내력도 향상된다.
- ③ 가을에 낙수한 후에도 중간낙수의 효과가 지속되어 건조와 지내력의 증대가 진행된다. 벼 재배상의 물관리에서 보면, 중간낙수기와 낙수 이후의 비관개기의 포장 건조는 극히 중요하며, 이 시기는 수압을 개방해 주고, 최대한으로 배수효과를 발휘시켜야 한다. 이외 포장건조를 촉진시키기 위해서 유리한 재배법으로서는 다음과 같은 것이 있다.

(가) 건답직파

(나) 씨레질

(다) 무담수재배

(라) 담수기간의 단축

- ④ 또, 포장건조의 효과를 특히 거양하여, 증산력이 강하고, 심층까지 건조하게 하는 작물을 의도적으로 도입하면 유효한 경우도 있다. 이와 같이 포장건조의 촉진과 토양구조의 발달에 생물의 힘을 빌리는 것을 종종 연구해볼 필요가 있을 것이다.

### (4) 보조암거의 시공

- ① 토층이 중점토로서 투수성이 불량한 경우는, 본암거에 보조암거를 조합시켜 시공하지 않으면 충분한 배수효과가 없는 경우가 있다. 일반적으로 보조암거는 본암거보다 얇게, 조밀하게 시공한다. 보조암거 중에서도 가장 광범위하게 쓰이는 탄환암거(맹암거)는 지지판하에 설치된 대포 탄환모양의 것을 트랙터나 윈치에 의해 토중에 인입시켜 그 통과적(通過跡)으로 생긴 연속된 구멍에 의해 암거의 역할을 유지시키는 방법이며, 시공이 간단하고, 경비가 싸며, 심토파쇄 효과가 기대되며, 속효성이 있는 것이 이점이다. 반면 무자재이므로 효과가 지속되지 않으며 한분의 길이로 너무 길게 할 수 없는 것 등의 결점도 있다.
- ② 보조암거는 본암거에 직교하여 시공한다. 이때 본암거와 보조암거의 수리적 접속을 좋도록 암거의 피복재는 충분히 두껍게 해준다.
- ③ 이 보조암거가 지표부의 휴간(畦間)과 직교하는 경우에는 휴간의 담수 배제에 또한 유효하다. 이와 같이 보조암거는 토양의 투수성을 대폭 향상시켜 본암거의 기능을 충분히 발휘시킨다. 보조암거의 배치는 1본의 연장을 50m 이내로 하고 영농작업의 일환으로 고려하여 격년정도에 반복 시공하면 좋다.
- ④ 보조암거가 효과를 발휘하지 못하는 경우의 하나는 시공 시의 토층이 연약한데 무리하게 시공하는 경우이다. 시공시의 토층의 경도와 암거공 단면비(토중에 생긴 보조암거공의 단면적과 탄환의 단면적의 비율)를 보면 단면비 80%를 유지하기 위해서는 콘 지수 2kgf/cm<sup>2</sup> 정도가 필요하다는 것을 알 수 있다. 단면비가 너무 적으면 배수의 통수능이 나빠질 뿐더러 심토파쇄적 효과가 기대될 수 없다. 또, 시공시 지표에 담수 등이 남아있으면 지판(支板)이 통과한 자리에

서 이토가 유입되어, 기능을 저하시키는 원인이 되므로 주의를 요한다.

#### (5) 논·밭 이용에 대한 고려

- ① 이상에서 기술한 것은 주로 논·밭의 지하배수에 대한 것이지만 여기서는 논·밭 이용에 대해서 기술한다. 말할 것도 없이 논·밭 이용에 있어서 가장 큰 요점은 배수의 강화이다. 따라서 지하배수의 기능을 정확히 발휘시키는 것은 그대로 밭으로서의 이용의 성공에 연계된다.
  - ② 단, 밭의 경우는 논·밭의 경우와 달리 담수에 대한 여유가 적으므로, 강우에 대해서는 4시간 우량, 4시간 배제(논·밭의 경우 24시간 우량, 24시간 배제)의 배수량을 취하며, 또 지표배수의 강화는 물론이며 지하배수의 목표치로 작물에 따라서는 논·밭의 경우보다도 엄격한 값을 채택할 부득이한 경우도 생긴다. 또, 배수상의 요청에서 보면 구획계획에 대해서도 대응이 필요하게 될 경우도 생긴다. 또, 인접 논·밭에서의 침입수의 배제도 중요하며, 이점에서 집단적 전작(轉作)이 전제로 된다.
  - ③ 특히, 논·밭 이용에 있어 중요한 것은 포장의 구조가 논·밭 그대로를 유지하는 것을 전제로 하고 있기 때문에, 영농 배수상의 대응이 중요한 의미를 갖고 있다.
  - ④ 일본에서 전국 17지구에서 1,487필지의 전환(轉換) 밭에 대해서 설문조사를 실시한 결과를 보면 다음과 같은 영농 배수상의 경향을 볼 수 있다. 영농단계에서의 배수축진 대책으로서는 두령상 재배, 배수구 시공 등이 있다.
  - ⑤ 이런 것은 하나의 포장에서 여러 종류가 조합되어 실시되는 경우가 있으므로 작물과 장변 길이와의 관계까지 집계해 보면 영농배수는 집약작물에 많고, 조장작물에서는 적다. 또 집약작물에서는 길수록 배수상의 요구가 강해지고, 실시율이 증대되고 있다.
  - ⑥ 또한 지표의 잔류수 상황을 보면 명확히 영농배수상의 효과가 보이며, 배수시간의 단축이 예견된다. 또, 농가쪽에서도 명확한 효과가 있다고 판단하고 있는 것을 알 수 있다.
  - ⑦ 이와 같이 영농단계에서의 대응은 극히 중요하며 이와 같은 수단으로 포장 건조를 진행하는 것에 의해 토양구조는 밭의 그것에 향해 발달해, 균열이 암거층까지 발달해가게 된다. 그러나 반면 이와 같은 포장건조가 진행되면 지형과 토양조건에 따라서는 제차 논으로 돌아갔을 때에 논용수량의 증대를 초래하는 것에 대해서도 배려해야 할 경우가 생긴다.
- (6) 이와 같은 논·밭 이용기술 체계에 대해서는 지하배수 시설의 유지관리만 논해도 끝이 없다고 할 수 있다.

## 5. 관리운영계획

### 5.1 관리운영계획의 기본

- (1) 농업기반시설의 관리는 농어촌정비법과 관련법의 규정에 따라 농어촌공사 또는 지방자치단체 등이 관리자가 되어 시행하는 것이 일반적인 원칙이다.
- (2) 관리자는 농어촌정비법과 관련법의 규정에 정해진 관리규정, 하천법의 규정에 의하여 정해진 조작규정 기타 관계법령 등을 준수하여 농업기반시설의 관리를 할 필요가 있다. 이 때문에 사업계획에 있어서도 관리운영조직 및 관리제어방법에 관계되는 관리의 기본사항을 명확히 할 필요가 있다.

- (3) 또한 설치한 시설에 대하여 효율적 이용을 할 수 있으면서 원활히 관리운영을 하기 위하여는 관리운영계획에서, 시설의 관리운영을 실행하는 조직, 비상시의 대책을 포함하는 관리제어의 방법, 점검, 보수에 관한 사항, 비용부담 방법 등을 종합적으로 정할 필요가 있다.
- (4) 이 관리운영계획의 수립에 있어서는 일반적으로 다음 사항에 유의한다.
  - ① 관리의 체제 및 조직 : 구성, 조직의 운영방법
  - ② 시설의 관리제어 : 조작, 운전
  - ③ 시설의 관리운영방법 : 관리항목, 보수점검 및 정비보수의 방침 등
  - ④ 관리운영비 : 비용, 부담자, 부담방법 등

## 5.2 관리운영계획의 체제

- (1) 관리운영을 위한 체제는 배수의 조건변화에 대하여 고려하고, 홍수시, 평상시 및 비상시 등에 필요한 대응이 될 수 있게 계획한다. 또 비상사태에 있어서는 신속히 적절한 대응이 될 수 있는 체제가 필요하다.
- (2) 이 체제는 지역의 실상을 반영하여 시설의 기능이 최대한 발휘될 수 있도록 다음과 같은 상황을 고려하여 정한다.
- (3) 지금까지는 주로 논벼에 관한 배수관리로서 관행적으로 비교적 단순한 제어조작에 의한 배수관리가 되어 왔다.
- (4) 한편, 요즘에는 논외 범용경지화가 요구되어 이에 합치되는 배수계획 및 배수관리가 되게, 더욱 정밀성과 확실성이 요청되고 있다. 또, 농가의 겸업화의 진행에 따르는 노동력의 부족으로, 오늘의 관리운영을 전적으로 농업기반시설 관리자가 맡아 하는 형태를 취하고 있다. 이와 같은 새로운 상황에 대응하여 시설의 적절한 관리를 유지하기 위하여 관리제어의 장치화, 시스템화가 계획될 전망이다.
- (5) 농업기반시설의 관리는 하나의 농업생산기반정비사업으로 실시한다. 시설의 소유주체와 다른 자라 하더라도 농어촌정비법에 따르는 소정의 절차를 거쳐 시설의 관리를 할 수 있다.
- (6) 시설의 관리주체에 의해 관리조직이 달라지므로 관리주체를 명확히 할 필요가 있다.
- (7) 관리체제는 배수계획에 기초하여 시설계획 등을 검토하여 최소의 인원으로 말단에 이르는 배수에 관한 정보를 신속 정확하게 파악하여, 필요한 시설의 조작이 기동적인 것이 될 수 있도록 계획한다.

## 5.3 시설의 운영관리

- (1) 배수계획을 정확하고 효율적으로 이루어지게 하기 위하여는 관리제어를 하여야 할 항목, 시설의 유지·점검의 방법 등을 관리운영계획에 적절히 설정하여야 한다.
- (2) 배수시설의 적정 원활한 운영을 위하여 배수계획 및 시설계획을 검토함과 함께, 다음과 같은 생각에 따라 관리제어를 하여야 할 항목을 정리한다.
- (3) 배수시설의 계통별로 각 시설의 계획에서 감시 및 제어와 그들의 조작순서 등에 대하여, 각각의 기능 확보와 전체의 적합성(균형성)을 배려하여 중점이 될 항목을 정한다.

(4) 일반적으로 다음과 같은 목표가 설정된다.

- ① 배수수위의 적정화: 홍수시의 각 단계별 목표 내수위의 설정, 평상시의 배수로 내수위의 설정
  - ② 시설기능의 보전: 시설의 적정조작의 확보, 이상 상태의 조기발견 등
  - ③ 관리경비의 절감: 동력비 등 시설의 운전경비절감, 관리인건비의 절약 등
  - ④ 기타: 신속, 확실한 유지관리작업 등
- (5) 관리제어 시스템에서의 배수제어시설, 계측시설, 전송시설 등의 기능을 유지하기 위하여는 정기점검을 하여 그 작동상황을 정확히 파악함과 함께 필요에 상응한 유지관리기록을 보존하는 기틀을 만든다.
- (6) 시스템의 유지보존은 제어기기, 계측기 등의 관리시설에 대한 가동상황, 문제점, 특성 등의 운전 전에 관한 여러 점을 파악함과 함께, 이들의 관리방법을 충분히 이해하여 행할 필요가 있다.
- (7) 이상 상태에 대비하여 비상시에 취하여야 할 조치 및 보수방법에 대하여도 생각하여 둔다.
- (8) 계획된 여러 시설의 기능을 충분히 발휘시키기 위하여는 필요항목을 정리한 관리제어 기준을 작성하고, 규칙적 운용을 하는 것이 바람직하다.

## 5.4 포장의 관리계획

- (1) 포장에서의 관리시설 및 관리기준은 밭, 초지, 논 등의 입지조건이나 영농조건에 따라 상당히 다르다. 그러나 일반적으로 포장내의 배수시설로서 지표배수용 배수구(낙수구)와 지하배수용 암거의 보수관리가 중요하므로 이에 대하여 충분한 검토가 있어야 한다.
- (2) 포장에서의 배수관리는 포장을 작물생육에 적합한 조건으로 하기 위해 과잉된 물을 신속히 배제하는 것이다.
- (3) 바람직한 배수조건은 농작물의 수량이나 품질, 생산량이나 생산액을 최대화시키고 토지생산성을 증대시키며, 농작업의 환경을 개선하고 노동생산성을 높일 수 있도록 하는 것이다. 따라서 포장에서의 배수관리는 해당 지역의 지역적인 배수조건에 정비나 관리를 전제로 해서 실현시켜야 한다.
- (4) 포장의 배수시설로서는 포장에서의 지표수 배수를 위한 배수구(낙수구), 지하배수를 위한 암거 등이 있다. 통상 이 포장배수시설의 관리조작은 각 포장의 경작자가 행한다. 포장의 소유자와 경작자가 다른 경우에서도 통상의 배수관리는 경작자가 행하는 것이 보통이다. 또한 각 포장의 경작자가 아니라 위임을 받은 특별한 임무를 갖는 자가 전문적으로 조작하는 경우도 있다.
- (5) 배수시설은 될 수 있는 한 보수관리가 쉬운 구조로 하고 연간 2회 정도의 청소가 필요하다. 특히 흡수거, 집수거 등에는 토사의 유입이 많으므로 보수시 신중한 주의를 해야 한다. 또한, 수압은 지하수를 조절하는데 중요한 시설이므로 누수가 없도록 주의해야 한다.
- (6) 암거의 배수구에 대한 위치, 구조의 적부는 배수의 상태를 좌우하여 암거배수의 기능을 제약하므로 수로의 수위와 관계시켜 설계하여야 한다.

## 5.5 암거에 의한 지하배수량의 관리

- (1) 포장에서 과잉된 토양수분의 배제를 암거를 설치해서 촉진시키는 경우, 암거는 일반적으로 흡

수거, 집수거, 수갑, 배수구 등으로 형성된다. 이러한 암거시설을 이용 지표배수에서 배제하지 못한 지표의 담수나 과잉된 토양수를 포장지하수위의 저하를 도모하면서 배제할 경우, 개선된 토양수분조건에 의해 균열이나 대소의 수로가 토층내에 형성되어 투수성이 증가하고 배수량이 증대될 수 있도록 지하배수량을 철저히 관리해야 한다.

- (2) 암거배수량은 토양의 지하수위, 암거의 매설깊이·간격·관재료·소수재 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서 암거배수량을 집수거 등에 설치한 맨홀에서 유량이나 수위를 제어하여 조절하는 경우나 논에서와 같이 관개기(담수시)에 수갑의 폐쇄를 통해 조절하는 경우 이의 관리에 대한 사항을 충분히 검토해야 한다.

## 다. 저비용 고효율 지하암거 공법 매뉴얼 작성

○ 자문의견을 받아 이와같이 수정함

암거매뉴얼			
항목	매뉴얼 (안)	검토의견	근거 / 사유
목차	매뉴얼	‘기준’ 혹은 ‘지침’	공식적인 설계, 시공 관련 서식은 기준 혹은 기준, 규칙 사용 검토
1.2	(1) 공사용 자재 및 재료는 한국산업표준(KS) 품질기준에 적합하고, 가능한 한 친환경적인 것을 선정해서 사용하여야 한다.	(1) 공사용 자재 및 재료는 한국산업표준(KS) 품질기준에 적합하고, 가능한 한 친환경적 그리고 에너지 효율적인 것을 선정해서 사용하여야 한다.	
1.3	1.3.2 나. (1) 2) 토양 중력수를 대상으로 하는 경우 지표 잔류수가 제거된 후에 강우에 대한 토양 중력수를 관개기 N1일, 비관개기 N2일로 배제하는 판단법은 식(1)에 의해 구해진다.		N1, N2의 의미가 무엇인지 ?
1.3	(2) 지표잔류수가 없는 경우 또는 지표잔류수를 배제한 후에는 토양중력수를 허용시간 내에 계획 지하수위까지 저하시킬 수 있는 양이어야 한다.	지표	오자 수정
1.3	1.3.3 라. <그림 4>	‘쌍크홀 기능’ 의 의미 ?  ‘폰드’ -> ‘소유지’	추가 및 수정 검토
1.3	1.3.3 마. (2) 흡수거의 기울기는 평탄지에서 인력매설시는 1/300 ~	(2) 흡수거의 기울기는 평탄지에서 인력매설시는 1/300 ~	띄어쓰기

암거매뉴얼			
항목	매뉴얼 (안)	검토의견	근거 / 사유
	1/600, 기계매설시는 1/500 ~ 1/1,000로 하면 적당하다. 그런데 침하로 균일한 기울기의 유지가 곤란하므로 가급적 기울기가 급한 쪽이 바람직하다. (3) 관내유속은 최대유속시에 0.3m/s이상 ~ 1.0m/s 범위에 있는 것이 바람직하다.	1/600, 기계매설시는 1/500 ~ 1/1,000로 하면 적당하다. 그런데 침하로 균일한 기울기의 유지가 곤란하므로 가급적 기울기가 급한 쪽이 바람직하다. (3) 관내유속은 최대유속시에 0.3m/s이상 ~ 1.0m/s 범위에 있는 것이 바람직하다.	‘매뉴얼 전문에서 검토 필요’
1.4	1.4.4 (1) 체계적인 모관수 저류시트형 공법 시공을 위해 시공순서를 결정함.	(1) 체계적인 모관수 저류시트형 공법 시공을 위해 시공순서를 결정한다.	문구수정
2.4	2.4.1 (1) 지하배수시설 시공후 암거가 적절한 배수기능을 발휘하기 위해서는 암거가 설치되어 있는 농지의 관리주체인 경작자가 주의 깊게 유지관리 하여야 한다. 이를 위해서는 농가에 대하여 암거배수의 올바른 목적과, 암거시설의 기능을 어떻게 올바르게 발휘시킬 것인가를 잘 이해시키고, 관리에 대한 설명이 필요하다.	(1) 지하배수시설 시공후 암거가 적절한 배수기능을 발휘하기 위해서는 암거가 설치되어 있는 농지의 관리주체인 경작자가 주의 깊게 유지관리 하여야 한다. 이를 위해서는 농가에 대하여 암거시설의 설치목적과 기능을 어떻게 올바르게 발휘시킬 것인가를 잘 이해시키고, 관리에 대한 설명이 필요하다.	문구수정
2.4	(2) 지하배수시설을 조성했다하여도 이것이 계속 적절한 배수기능을 발휘한다고는 말할 수 없다. 예로 지금까지 서술해 온 바와 같이 설계, 시공이 정확히 되었다 하여도 이후의 유지관리가 부적절하면 암거의 효과는 급속히 감소해 버리고 때에 따라서 완전히 시공 전의 과습상태로 되돌아가는 경우도 생긴다. 암거도 역시 다른 시설과 같이 제대로 유지관리 하면, 그 기능을 양호한 상태로 유지하여 내용연환을 연장할 수 있다.	(2) 지하 배수시설의 설계, 시공이 정확히 되었어도 이후의 관리가 부적절하면 암거의 효과는 급속히 감소해 버리고 시공 전의 과습상태로 되돌아 갈 수도 있으므로 적절한 유지관리에 관심이 필요하다.	문구수정
2.4	2.4.2 (1) 암거설치 후 기능이 충분히 발휘 안되는 원인을 조사하	(1) 암거설치 후 기능이 충분히 발휘 안되는 원인을 조사하여	문구수정

암거매뉴얼			
항목	매뉴얼 (안)	검토의견	근거 / 사유
	여 배수기능을 회복할 수 있도록 하여야 한다. 흔히 현장에서 들리는 말로서 「암거를 조성하였는데 전혀 효과가 없다. 이번 암거는 불량품이므로 새로 재시공해야 한다」라고 하는 등의 불만이 나온다. 그러나 효과가 저하된 원인은 대부분 농가측의 불충분한 유지관리에 원인이 있는 경우가 많다. 기능이 충분히 발휘 안되는 원인을 충분히 조사하여, 보수하고 적절한 유지관리를 하면 새로 암거를 재조성할 것까지는 없고, 배수기능을 회복시킬 수 있는 경우도 있다.	배수기능을 회복할 수 있도록 하여야 한다. 흔히 현장에서 들리는 말로서 「암거를 조성하였는데 전혀 효과가 없다. 이번 암거는 불량품이므로 새로 재시공해야 한다」라고 하는 등의 불만이 나온다. 그러나 효과가 저하된 원인은 대부분 농가측의 불충분한 유지관리에 원인이 있는 경우가 많다. 기능이 충분히 발휘 안되는 원인을 충분히 조사하여, 보수하고 적절한 유지관리를 하면 새로 암거를 재조성할 것까지는 없고, 배수기능을 회복시킬 수 있는 경우도 있다.	
2.4	가. (6) 토양이 건조하면 체적변형이 크게 나타나는 이탄토, 흑니토, 혹은 연약한 간척 후의 저습지의 점성토 등에서 이와 같은 예가 보인다. 즉, 부등침하에 의해 흡수구에 굴곡이 생겨, 내부에 가스가 저장되는 것에 의해 통수가 저해되고, 극단적인 경우에는 암거관의 접속부가 빠져 수리적 연속성이 절단되고 마는 사태로 된다.	(6) 토양이 건조하면 체적변형이 크게 나타나는 이탄토, 흑니토, 혹은 연약한 간척 후의 저습지의 점성토 등에서 이와 같은 예가 보인다. 즉, 부등침하에 의해 흡수구에 굴곡이 생겨, 내부에 가스가 저장되는 것에 의해 통수가 저해되고, 극단적인 경우에는 암거관의 접속부가 빠져 수리적 연속성이 절단되는 문제가 발생 될 수 있다.	문구수정
2.4	(7) 또, 간척지 등에서 보이는 예로서 암거관의 배수구 등을 콘크리트 등의 기초로 무리하게 고정시켜 놓으면, 포장내의 지반 침하에 의해 암거관이 역기울기로 되어 통수 기능이 손상되는 경우가 있다. 연약한 지반에서는 유지관리에 특별한 배려를 해야 한다.	(7) 또, 간척지 등에서 보이는 예로서 암거관의 배수구 등을 콘크리트 등의 기초로 무리하게 고정시켜 놓으면, 포장내의 지반 침하에 의해 암거관이 역기울기로 되어 통수 기능이 손상되는 경우가 있다. 연약한 지반에서는 유지관리에 특별히 주의해야 한다.	문구수정
2.4	(8) 암거관의 어느 부분에서 고장이 발생하고 있는가를 확인하기 위해서는 다음과 같이 한다. 우선 배수구가 메워졌는지 여부를, 수압조작에 의해 조사한다. 다음에 답면 담수를 배제시킨 후 강우에 의한 답면 요철부의 잔류수의 소실상황을 잘 관찰한다. 만약 암거관에 고장이 있으면 고장지점부터 상	(8) 암거관의 어느 부분에서 고장이 발생하고 있는가를 확인하기 위해서는 우선 배수구 막힘 여부를 수압조작에 의해 조사하고 이어서 답면 담수를 배제시킨 후, 강우에 의한 답면 요철부의 잔류수의 소실상황을 잘 관찰한다. 만약 암거관에 고장이 있으면 고장지점부터 상류부분의 담수 소실상황에 차이	문구수정



암거매뉴얼			
항목	매뉴얼 (안)	검토의견	근거 / 사유
	<p>류부분의 담수 소실상황에 차이가 생겨 부분적으로 과습한 부분이 보이게 된다.</p> <p>(9) 이럴 때 암거관 배수구의 배수상황을 조사해보면 고장이 없는 건전한 상황의 암거관과 차이가 보이므로, 고장의 진단이 한층 정확하게 된다. 또한 암거관의 어느 부분에서 고장이 발생하고 있는가를 다시 상세히 조사하는 데는 다음과 같이 한다.</p>	<p>가 생겨 부분적으로 과습한 부분이 보이게 되어 정상적인 암거관과 차이가 보이므로, 고장의 진단이 한층 정확하게 된다.</p>	
2.4	<p>(9) 이럴 때 암거관 배수구의 배수상황을 조사해보면 고장이 없는 건전한 상황의 암거관과 차이가 보이므로, 고장의 진단이 한층 정확하게 된다. 또한 암거관의 어느 부분에서 고장이 발생하고 있는가를 다시 상세히 조사하는 데는 다음과 같이 한다.</p> <p>(10) 우선 과습상태로 되어 있는 부분의 약간 하류부에서 암거관을 노출시켜 관의 매설심보다 약간 깊이 시험공을 판다. 암거관을 관찰가능한 상태로 해서 만약 여기서 물을 분출하면 고장개소는 여기보다 하류측에 있는 것이므로 다시 하류측을 시공한다. 만약 물이 분출되지 않으면 여기부터 상류측에 고장장소가 있는 것이므로 상류측으로 시공을 진행해간다. 이와 같이 해서 최종적으로 고장위치를 발견하게 되는 것이다.</p>	<p>(9) 암거관의 어느 부분에 고장이 발생했는가를 상세히 조사하기 위해서는 과습부분의 약간 하류부에서 암거관을 노출시켜 관의 매설심보다 약간 깊이 시험공을 파서 암거관을 관찰 가능한 상태로 해서 만약 여기서 물이 분출하면 고장 개소는 여기보다 하류측에 있는 것이므로 다시 하류측을 시공한다. 만약 물이 분출되지 않으면 상류측으로 조사를 진행해 간다.</p>	문구수정
2.4	<p>2.4.3</p> <p>가. 암거의 유지관리는 다음과 같다.</p> <p>1) 우선 수갑의 조작에 의한 암거관내의 청소에 대해 기술한다. 즉, 수갑을 폐쇄하고 암거관 내의 수위가 충분히 상승한 후 급격히 수갑을 연다. ~</p>	<p>가. 암거의 유지관리는 다음과 같은 사항을 고려한다.</p> <p>1) 수갑 조작에 의한 암거 관내의 청소는 수갑을 폐쇄하고 암거관 내의 수위가 충분히 상승한 후 급격히 수갑을 연다. ~</p>	문구수정

암거매뉴얼			
항목	매뉴얼 (안)	검토의견	근거 / 사유
2.4	2.4.4 나. (1) 포장의 건조를 도모하기 위해서는 우선 지표배수를 촉진할 필요가 있다. 지하배수와 지표배수는 능률이 크게 다르다. 예로 투수성이 극히 큰 기반으로 구성되고 있는 사질담의 지하배수 능률도 지표배수에 비하면 얇은 값에 불과하다. (2) 더욱이 일반 토양에서는 지표의 담수를 토양을 통과시켜 지하배수 시키려고 하면 배수를 위한 시간이 대폭적으로 지연될 뿐만 아니라, 토양은 과습하게 되어 지내력은 상승하지 않게 된다.	(1) 포장의 건조를 위해서는 우선 지표배수를 실시할 필요가 있다. (2) 지하배수와 지표배수는 능률이 크게 다르다. 지표의 담수가 토양층을 통과해 지하배수되려면 배수시간이 크게 지연될 뿐만 아니라, 토양이 과습하게 되어 지내력은 상승하지 않게 된다.	
2.4	(3) 지표배수를 지배하는 인자로서 하나는 답면의 지균상태이고, 다른 하나는 낙수구의 구조이다. 특히 답면의 지균상태가 좋은 경우에도 낙수구를 향해 약간 경사되어 낮아지는 것이 이상적이다. (수구 부근의 답면에 대해 낙수구 부근의 답면이 10cm 정도 낮은 것이 좋다). 역으로 수구에 대해서 낙수구가 높으면 배수는 저해된다. 또 답면의 요철도 지표배수에 영향이 있으므로 이와 같은 때에는 농작업에 지장이 없는 정도의 얇은 배수소구를 설치하면 좋다. (4) 또한 포장정비 직후는 논바닥의 요철도 많으므로 영농단계에서도 지균작업을 하도록 배려해야 한다. 통상의 영농관리에서 3년 정도 경과하면 지균(地均) 정도가 다시 향상하는 경우가 많다.		용어수정 필요
2.4	2.4.4 다. (1) 수도작의 경우 토양건조를 도모하는 뜻에서 중요한 것의	(1) 수도작의 경우 토양건조를 위해서 중요한 것의 하나로 중	문구수정

암거매뉴얼			
항목	매뉴얼 (안)	검토의견	근거 / 사유
	하나로 중간낙수가 있다. 이 시기는 증발산도 왕성하고 작토층은 건조해져 pF2 이상이 되며 완전한 균열이 생긴다. 조건이 양호하면 하층토 300~400mm 까지의 토양수분까지도 현저히 저하시킬 수 있다.	간낙수가 있다. 이 시기는 증발산도 왕성하고 작토층은 건조해져 pF=2 이상이 되며 완전한 균열이 생긴다. 조건이 양호하면 하층토 300~400 mm 까지의 토양수분까지도 현저히 저하시킬 수 있다.	
2.4	(4) 또, 포장건조의 효과를 특히 거양하여, 증산력이 강하고, 심층까지 건조하게 하는 작물을 의도적으로 도입하면 유효한 경우도 있다. 이와 같이 포장건조의 촉진과 토양구조의 발달에 생물의 힘을 빌리는 것을 종종 연구해볼 필요가 있을 것이다.		용어수정 필요
2.4	라. (3) 이 보조암거가 지표부의 휴간(畦間)과 직교하는 경우에는 휴간의 담수 배제에 또한 유효하다 (4) 보조암거가 효과를 발휘하지 못하는 경우의 하나는 시공시의 토층이 연약한데 무리하게 시공하는 경우이다. 시공시의 토층의 경도와 암거공 단면비(토중에 생긴 보조암거공의 단면적과 탄환의 단면적의 비율)를 보면 단면비 80%를 유지하기 위해서는 콘 지수 2kgf/cm <sup>2</sup> 정도가 필요하다는 것을 알 수 있다. 단면비가 너무 적으면 배수의 통수능이 나빠질 뿐더러 심토파쇄적 효과가 기대될 수 없다. 또, 시공시 지표에 담수 등이 남아있으면 지판(支板)이 통과한 자리에서 이토가 유입되어, 기능을 저하시키는 원인이 되므로 주의를 요한다.		용어/단위 수정 필요
2.4	마. (1) 이상에서 기술한 것은 주로 논의 지하배수에 대한 것이지만 여기서는 논의 밭 이용에 대해서 기술한다. 말할 것도 없이 논의 밭 이용에 있어서 가장 큰 요점은 배수의 강화이	(1) 논을 밭으로 이용하는데 있어서 가장 큰 요점은 배수의 강화이다. 따라서 지하배수의 기능을 정확히 발휘시키는 것은 그대로 밭으로서의 이용의 성공에 연계된다.	문구수정

암거매뉴얼			
항목	매뉴얼 (안)	검토의견	근거 / 사유
	다. 따라서 지하배수의 기능을 정확히 발휘시키는 것은 그대로 받으로서의 이용의 성공에 연계된다.		
2.4	(4) 일본에서 전국 17지구에서 1,487필지의 전환(轉換) 밭에 대해서 설문조사를 실시한 결과를 보면 다음과 같은 영농 배수상의 경향을 볼 수 있다. 영농단계에서의 배수축진 대책 으로서는 두렁상 재배, 배수구 시공 등이 있다.	(4) 영농단계에서의 배수축진 대책 으로서는 두렁상 재배, 배수구 시공 등이 있다.	문구수정

○ 자문의견을 받아 이와 같이 수정함

암거매뉴얼			
항목	매뉴얼 (안)	검토의견	근거 / 사유
전체		<p>넘버링 및 스타일 적용 방법의 통일 예) 2.4.3. 유지관리 (1) 지하배수 시설의 ~ 가. 암거의 유지관리 ~ 1) ~</p> <p>vs.</p> <p>2.4.2. 시설의 기능이 발휘되지 않는 제원인파 진단법 (1) 암거설치 ~ 가. 배수로 및 (1) ~</p>	전체 내용 검토 필요
1.4	<p>1.4.11 폰드(Pond) 시공(필요시) (1) Pond는 침출수를 저류하고 관개용수로 재활용하기 위한 방안으로 간척지의 경우 제염효과를 촉진시킬수 있다. (2) Pond의 크기는 배수 및 관개면적을 고려하여 시공한다.</p>	<p>1.4.11 폰드(Pond) 시공(필요시) (1) 폰드는 침출수를 저류한 후 저류된 물을 관개용수로 재활용하기 위한 목적으로 시공되며, 간척지에 시공할 경우 제염효과를 촉진할 수 있다. (2) 폰드의 크기는 배수 및 관개면적을 고려하여야 정한다.</p>	Pond로서 영어 표현은 이미 제목에서 작성하였으므로 본문에는 한글로 표기 그 외 표현 수정
1.4	<p>1.4.12 수직심토파쇄 (1) 간척지의 토양은 해성점토로 함수비가 높고 점성이 높아 일반적인 심토파쇄장비로는 파쇄가 잘 안되므로 심토파쇄의 효과를 높이기 위하여 굴삭기에 장착한 수직심토파쇄기를</p>	<p>1.4.12 수직심토파쇄 (1) 간척지의 토양은 해성점토로 함수비가 높고 점성이 높아 일반적인 심토파쇄장비로는 파쇄가 잘 되지 않으므로 심토파쇄의 효과를 높이기 위하여 굴삭기에 장착한 수직심토파</p>	표현 수정

암거매뉴얼			
항목	매뉴얼 (안)	검토의견	근거 / 사유
	사용하여야 한다	쇄기를 사용하여야 한다	
1.4	1.4.13 현장정리 (1) 공사기간 중 운용하였던 자재 적치장을 원상 복구하여야 한다. (2) 공사기간 중 운용하였던 공사용 도로를 제거하고 원 지형으로 복구한다. (3) 공사 중 파손된 농로는 원상 복구 하여야 한다. (4) 공사 발생 된 건설폐기물 및 폐자재는 산업폐기물 또는 일반 쓰레기로 분류하여 깨끗이 치우도록 하여야 한다. 환경오염을 방지하기 위해 어떠한 경우에도 현지의 지중에 매설 하여서는 아니된다.	1.4.13 현장정리 (1) 공사기간 중 운용하였던 자재 적치장을 원상 복구하여야 한다. (2) 공사기간 중 운용하였던 공사용 도로를 제거하고 원지형으로 복구하여야 한다. (3) 공사 중 파손된 농로는 원상 복구하여야 한다. (4) 공사 중 발생한 건설폐기물 및 폐자재는 산업폐기물 또는 일반 쓰레기로 분류하여 깨끗이 치워야 한다. 환경오염을 방지하기 위해 어떠한 경우에도 현지의 지중에 매설해서는 안된다.	- 표현의 통일 띄워쓰기 오타 표현의 수정
2.1	2.1.1 적용범위 (1) 본 운영 및 유지관리 지침은 간척지 등의 농지 범용화를 위한 경지 내 지하배수축진은 물론 토양제염축진이 가능하도록 하는 지하배수암거공법의 운영 및 유지관리에 적용 한다. (2) 지하배수 암거 운영 및 유지관리는 원칙적으로 KDS 67 45 90 : 2018 [농지배수 유지관리]에 따른다.	2.1.1 적용범위 (1) 본 매뉴얼은 간척지 등을 포함하는 농지 범용화를 위한 경지 내 지하배수축진 혹은 토양제염축진을 위한 지하배수 암거의 운영 및 유지관리를 위해 적용된다. (2) 지하배수암거의 운영 및 유지관리는 원칙적으로 KDS 67 45 90 : 2018 [농지배수 유지관리]를 따른다.	표현의 수정  (추가 의견) 본문 내용에서 일부는 매뉴얼로 사용하고 일부는 지침으로 사용하고 있으나 이를 매뉴얼로 통일하는 것을 권고함
2.4	2.4.1. 유지관리의 중요성 (1) 지하배수시설 시공후 암거가 적절한 배수기능을 발휘하기 위해서는 암거가 설치되어 있는 농지의 관리주체인 경작자가 주의 깊게 유지관리 하여야 한다. 이를 위해서는 농가	2.4.1. 유지관리의 중요성 (1) 지하배수시설의 올바른 설계 및 시공 후에도 농지의 관리주체인 경작자는 유지관리를 지속적으로 수행하여야 한다. 만일 유지관리가 원활하게 이루어지지 않는다면 암거를 통한 배	표현수정 중복 내용 삭제 내용 재작성

암거매뉴얼			
항목	매뉴얼 (안)	검토의견	근거 / 사유
	<p>에 대하여 암거배수의 올바른 목적과, 암거시설의 기능을 어떻게 올바르게 발휘시킬 것인가를 잘 이해시키고, 관리에 대한 설명이 필요하다.</p> <p>(2) 지하배수시설을 조성했다하여도 이것이 계속 적절한 배수기능을 발휘한다고는 말할 수 없다. 예로 지금까지 서술해 온 바와 같이 설계, 시공이 정확히 되었다 하여도 이후의 유지관리가 부적절하면 암거의 효과는 급속히 감소해 버리고 때에 따라서 완전히 시공 전의 과습상태로 되돌아가는 경우도 생긴다. 암거도 역시 다른 시설과 같이 제대로 유지관리 하면, 그 기능을 양호한 상태로 유지하여 내용연한을 연장할 수 있다.</p> <p>(3) 암거의 유지관리를 고려할 때 특히 중요한 것은 지하배수 시설의 시공 후 관리 주체가 농가이며, 더욱 암거자체가 농지에 직접 설치되어 있는 것이므로 경작자가 주의 깊게 유지관리하는 것 이외에 다른 방법이 없다는 것이다.</p> <p>(4) 이 때문에 농가에 대하여 지하배수의 올바른 목적과, 암거시설의 기능을 어떻게 올바르게 발휘시킬 것인가를 잘 이해시키는 것이 우선 필요하며, 관리에 대한 요령을 잘 주지시켜야 한다.</p> <p>(5) 시설을 건전한 상태로 오래 유지시키기 위해서는 잘못된 부분의 조기발견과 신속·적절한 처치가 무엇보다 중요하다.</p>	<p>수 기능이 저하될 수 있으며, 농경지 내 토양의 과습상태를 야기할 수 있다.</p> <p>(2) 따라서 지하배수시설의 배수기능에 대한 효율성을 유지하고, 암거의 내용연한을 연장하기 위해서는 농가를 대상으로 암거배수의 목적, 암거배수시설의 기능과 관리에 대한 지속적인 교육이 필요하다.</p> <p>(3) 또한 시설물에 대한 문제가 발생할 경우, 조기발견과 신속 및 적절한 조치를 위한 방안이 마련되어야 한다.</p>	
2.4	<p>2.4.2. 시설의 기능이 발휘되지 않는 제원인과 진단법</p> <p>(1) 암거설치 후 기능이 충분히 발휘 안되는 원인을 조사하여 배수기능을 회복할 수 있도록 하여야 한다. 흔히 현장에서 들리는 말로서 「암거를 조성하였는데 전혀 효과가 없다.</p>	<p>2.4.2. 시설의 기능이 발휘되지 않는 제원인과 진단법</p> <p>(1) 암거설치 후 기능이 충분히 발휘되지 않는 원인을 조사하여 배수기능을 회복할 수 있도록 하여야 한다. 흔히 현장에서 들리는 말로서 「암거를 조성하였는데 전혀 효과가 없다. 이</p>	표현수정

암거매뉴얼			
항목	매뉴얼 (안)	검토의견	근거 / 사유
	이번 암거는 불량품이므로 새로 재시공해야 한다」라고 하는 등의 불만이 나온다. 그러나 효과가 저하된 원인은 대부분 농가측의 불충분한 유지관리에 원인이 있는 경우가 많다. 기능이 충분히 발휘 안되는 원인을 충분히 조사하여, 보수하고 적절한 유지관리를 하면 새로 암거를 재조성할 것까지는 없고, 배수기능을 회복시킬 수 있는 경우도 있다.	번 암거는 불량품이므로 새로 재시공해야 한다」라고 하는 등의 불만이 나온다. 그러나 효과가 저하된 원인은 대부분 농가측의 불충분한 유지관리에 원인이 있는 경우가 많다. 기능이 충분히 발휘되지 않는 원인을 충분히 조사하여, 보수하고 적절한 유지관리를 하면 새로 암거를 재조성할 것까지는 없고, 배수기능을 회복시킬 수 있는 경우도 있다.	
2.4	(5) 수압을 폐쇄해도 흡수거의 수위가 상승하지 않는 원인 중 하나는 논두렁 균열에서의 누수가 있다. 이것은 논두렁의 방호대책, 즉 소배수로의 수위관리대책 등 별도 측면에서의 대응이 필요하다.  2.4.3. 유지관리 (1) 지하배수 시설의 기능이 발휘되지 않는 제 원인이 정확히 파악되어 고장 장소가 확인되면 보수는 가능한 한 조기에 실시하여야 한다. 또한 지하배수 시설의 기능을 충분히 발휘시키기 위해서는 농지의 이용방법 연구와 영농상의 대응도 극히 중요하다. 특히 간척농지의 이용을 위해서는 이와 같은 유지관리의 중요성이 크다.	(5) 수압을 폐쇄해도 흡수거의 수위가 상승하지 않는 원인 중 하나는 논두렁 균열에서의 누수가 있다. 이것은 논두렁의 방호대책, 즉 소배수로의 수위관리대책 등 별도 측면에서의 대응이 필요하다.  2.4.3. 유지관리 (1) 지하배수 시설의 기능이 발휘되지 않는 제 원인이 정확히 파악되어 고장 장소가 확인되면 보수는 가능한 한 조기에 실시하여야 한다. 또한 지하배수 시설의 기능을 충분히 발휘시키기 위해서는 농지의 이용방법 연구와 영농상의 대응도 극히 중요하다. 특히 간척농지의 이용을 위해서는 이와 같은 유지관리의 중요성이 크다.	단락 붙여 쓰기
2.4	2.4.5 관리운영계획 가. 관리운영계획의 기본 (3) 또한 설치한 시설에 대하여 효율적 이용을 할 수 있으면서 원활히 관리운영을 하기 위하여는 관리운영계획에서, 시	2.4.5 관리운영계획 가. 관리운영계획의 기본 (3) 또한 설치한 시설에 대하여 효율적 이용을 할 수 있으면서 원활히 관리운영을 하기 위해서 관리운영계획에서, 시설의 관	표현수정



암거매뉴얼			
항목	매뉴얼 (안)	검토의견	근거 / 사유
	설의 관리운영을 실행하는 조직, 비상시의 대책을 포함하는 관리제어의 방법, 점검, 보수에 관한 사항, 비용부담 방법 등을 종합적으로 정할 필요가 있다.	리운영을 실행하는 조직, 비상시의 대책을 포함하는 관리제어의 방법, 점검, 보수에 관한 사항, 비용부담 방법 등을 종합적으로 정할 필요가 있다.	
4.1	<p>2.4.5 관리운영계획</p> <p>다. 시설의 운영관리</p> <p>(1) 배수계획을 정확하고 효율적으로 이루어지게 하기 위하여는 관리제어를 하여야 할 항목, 시설의 유지·점검의 방법 등을 관리운영계획에 적절히 설정하여야 한다.</p> <p>(8) 계획된 여러 시설의 기능을 충분히 발휘시키기 위하여는 필요항목을 정리한 관리제어 기준을 작성하고, 규칙적 운용을 하는 것이 바람직하다.</p>	<p>2.4.5 관리운영계획</p> <p>다. 시설의 운영관리</p> <p>(1) 배수계획을 정확하고 효율적으로 이루어지게 하기 위해서는 관리제어를 하여야 할 항목, 시설의 유지·점검의 방법 등을 관리운영계획에 적절히 설정하여야 한다.</p> <p>(8) 계획된 여러 시설의 기능을 충분히 발휘시키기 위해서는 필요항목을 정리한 관리제어 기준을 작성하고, 규칙적 운용을 하는 것이 바람직하다.</p>	<p>단락 붙여 쓰기</p> <p>표현수정</p> <p>본문 전체를 재검토하여 ‘위하여는’을 위해서 등으로 수정 필요</p>

# ○ 간척지 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼(최종안)

## 1. 간척농지 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 설계 및 시공 매뉴얼

### 1.1 일반사항

#### 1.1.1 적용범위

- (1) 본 매뉴얼은 간척농지에 밭작물 재배를 위하여 기상재해(습해, 가뭄, 염해, 토양고결)에 대비가 가능한 저비용(무굴착식) 고효율(지하배수+지하관수+재염화방지+토양개량) 지하암거공법의 설계 및 시공에 적용한다.

### 1.2 자재

- (1) 공사용 자재 및 재료는 한국산업표준(KS) 품질기준에 적합하고, 가능한 한 친환경적 그리고 에너지 효율적인 것을 선정해서 사용하여야 한다.
- (2) 한국산업표준(KS)에 명시되지 않은 각종 자재 및 재료는 구조물과 시설물의 설계에 요구되는 재료의 품질 및 성능 시험을 통과한 재료를 선정하여 사용하여야 한다.

#### 1.2.1 고효율 암거자재 품질확인 시험

- (1) 주름 유공관에 대하여 <Table 4-1>과 같은 시험항목에 대한 시험을 실시하여 그 품질이 기준 이상인지 확인하여야 한다.

<Table 4-1> 고효율 암거 품질기준

시험항목		단위	품질기준	비고
밀도 (23℃)		g/cm <sup>3</sup>	0.94 이상	
내경 5% 변형시 강성		kpa	343 이상	kg/cm <sup>2</sup> → 3.5 이상
아이쥘드 충격강도		KJ/m <sup>2</sup>	61.2 이하	
인장강도		N/mm <sup>2</sup>	24.5 이상	
신장율		%	600 이상	
투수율		%	0.1 이하	
침지시험	10% 염화나트륨	g/m <sup>3</sup>	±0.5 이내	무게, 변화율
	30% 황산나트륨		±0.5 이내	
	40% 황산마그네슘		±0.5 이내	
	40% 수산화나트륨		±0.5 이내	
	95% 에틸알콜		±0.5 이내	

## 1.3 설계

### 1.3.1 암거의 종류

- (1) 일반적으로 암거의 종류는 기능에 따라서, 사용하는 재료에 따라서, 또는 시공방법에 따라 나누어진다. 그리고 소수재(필터매트, 왕겨, 자갈, 모래, 왕겨 등 물을 빨리 암거관으로 흘러나오게 유도하는 재료)의 종류에 따라 나누어진다.
- (2) 암거의 종류는 그 기능에 따라서 흡수거, 집수거, 승수거, 보조암거로 구분하며, 재료에 따라서는 토관, 도관, 콘크리트관, PVC 유공주름관 등의 유재료암거와 지하배수의 기능을 촉진시키기 위한 두더지암거, 횡단암거 등의 무재료 암거로 구분한다.
- (3) 암거의 시공방법으로 굴착식과 무굴착식으로 나누어진다. 굴착식 암거는 터파기를 하고 암거관과 소수재(필터매트, 자갈, 모래 등 물을 빨리 암거관으로 흘러나오게 유도하는 재료)를 함께 설치하는 것이고, 무굴착식 암거는 터파기를 하지 않고 건설장비로 쟁기와 같은 암거매설장치를 땅속으로 끌면서 암거관과 소수재를 동시에 기계식으로 설치하는 것이다.
- (4) 암거는 우기에 지하배수를 목적으로 하는 지하배수 암거와 건기에 지하관수를 할 수 있는 지하배수+관수 겸용암거로 구분된다.

### 1.3.2 암거의 계획 기준치

#### 가. 계획 암거배수량

- (1) 계획 암거배수량은 경지구획의 평탄정도, 넓고 좁음, 토양의 투수성, 토지이용 형태 등에 따라서 10~30mm/day로 정한다.
- (2) 계획 암거배수량은 계획암거배수량에 대한 접근방법, 암거배수량의 필요성, 지표잔류수가 있는 경우의 계획 암거배수량, 지표잔류수가 없는 경우의 암거배수량을 구분하여 산정하여야 한다.
- (3) 표층의 흙의 투수성이 크면 강우 시 물이 땅속으로 그 만큼 많이 침투되므로 계획암거배수량을 크게 산정하여야 한다. 또한 심층에 모래자갈층과 같이 대수층이 있어 용출수가 있는 경우는 훨씬 크게 산정하여야 한다.

#### 나. 계획 암거배수량의 산정

- (1) 지표잔류수를 대상으로 계획암거 배수량을 산정하는 경우 간척농지에서는 발작물을 대상으로 하기 때문에 지표수가 포장 내에 정체하는 것은 습해의 큰 원인이 되므로 이것을 허용시간 내에 신속히 배제하는 방법을 채택하여야 한다.
- 1) 지표잔류수를 대상으로 하는 경우 논의 지표 잔류수 배제에 필요한 허용일수는 기존의 시험자료와 경험에서 종합하면 1~2일 정도라고 할 수 있다. 또, 발작물의 경우에는 침수시간이 최소화되도록 신속히 배제하여야 한다. 따라서, 지표잔류수가 있는 경우의 계획암거배수량

은 벼 재배의 경우 기계의 도입이나 적당한 물 관리를 위해서 논바닥의 물 배제는 1 ~ 2일 이내에 가능하도록 해야 한다.

<Table 4-2> 논 지표잔류수의 허용일수

기별	기별의 구분	허용일수
관개기	제초기·액비사용 시	1 ~ 2일 이내
	답수 직파의 아간 시	1일 이내
	중간 시	2 ~ 3일 이내
	관개종료 시	3 ~ 5일 이내
비관개기 (강우시 배제)	경기·땅고르기 작업기	1 ~ 3일 이내
	건답직파 파종 작업기	1 ~ 2일 이내
	건답직파 밭아기	1 ~ 2일 이내
	수확작업기	1 ~ 2일 이내
	이작기	2 ~ 3일 이내
	추경기	3 ~ 5일 이내

2) 토양 중력수를 대상으로 하는 경우 지표 잔류수가 제거된 후에 강우에 대한 토양 중력수를 관개기 N1일, 비관개기 N2일로 배제하는 판단법은 식(1)에 의해 구해진다.

$$q = \frac{R \times P \times 10^4 \times 10^3}{N \times 10^3 \times 84,400} - 0.1157R \times P/N \quad \text{수식 (1)}$$

여기서, q : 단위암거배수량( l /s/ha)  
 R : 유효토층 두께(mm)  
 N : 배제일수(day)  
 P : 유효간극률(Drainable porosity)

(2) 지표잔류수가 없는 경우 또는 지표잔류수를 배제한 후에는 토양중력수를 허용시간 내에 계획 지하수위까지 저하시킬 수 있는 양이어야 한다.

### 1.3.3 암거 조직

#### 가. 암거조직의 구성

- (1) 암거배수조직은 일반적으로 흡수거, 집수거, 수갑(밸브), 배수구로 구성된다. 이 밖에 필요에 따라 흡수거 상류단에 청소구(입상관)와 통기구, 집수거가 관로인 경우에는 유지관리나 청소 등을 위한 맨홀 등을 설치해야 한다.
- (2) 지하배수+관개 겸용 암거 조직은 일반적으로 급수구, 급수거, 흡수거, 집수거, 수갑(밸브), 배수구로 구성된다. 급수구, 급수거는 용수로 측에 설치하며 건기에 용수로에서 흡수거에 물을 공급하는 역할을 하도록 설치한다. 이때 급수구에 밸브를 설치하여 급수조절을 하고, 집수거 말단부에 수갑을 설치하여 건기 관개시에 배수를 차단하도록 한다

#### 나. 저비용 고효율 흡수거의 종류 선정

- (1) 흡수거는 무굴착식 암거가 공사비가 훨씬 저렴하므로 암거간격을 좁게 할 수 있으므로 공사비 대비 지하 관수와 배수효율을 고려하여 무굴착 식으로 하는 것이 효율적이다.

(2) 암거관과 소수재의 모양(Type of Culvert) 별 공사비 대비 지하배수성을 비교하여 저비용 고효율의 암거모양을 선정한다.

<Table 4-3> 무굴착식 암거 모양별 지하배수효율

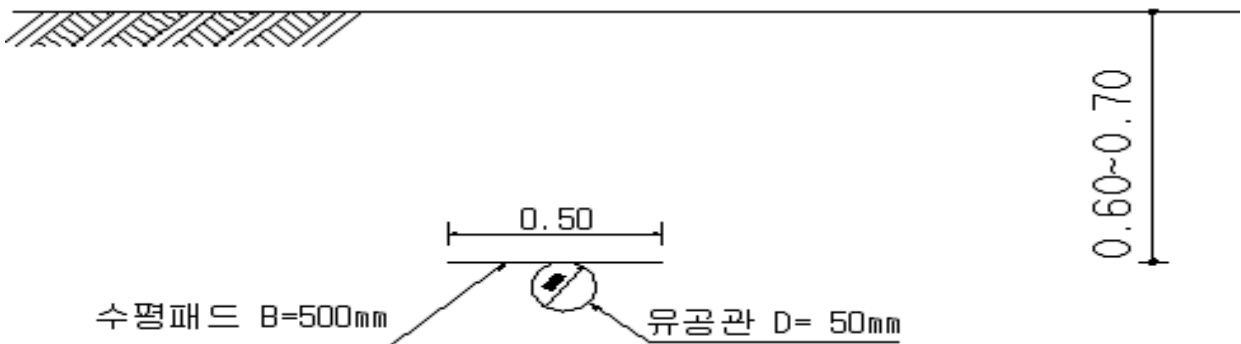
한국농공학회 논문집 Vol. 60, No. 6,

pp.73-81(2018)

Type of culvert	㉠	㉡	㉢	㉣	㉤
	N.E. Culvert ( $\Phi$ 5cm Per. pipe)	N.E.Culvert (5cm P.pipe +B50cm H.mat)	N.E.Culvert P.P+H.mat +Ver.gravel (B5,h40)	N.E.Culvert H.mat+Ver.Gr (B5,h40cm)	Exc.Culvert P. pipe + Gravel (B30,H40)
Permeability k (cm/s)	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$
Installation space (m)	5	5	5	5	10
Discharge, Q (cm <sup>3</sup> /s/m)	1,171	1,896	2,005	1,592	2,136
Discharge unit area, q (mm/day)	20.2 (110%)	32.8 (178%)	34.6 (188%)	27.5 (149%)	18.5 (100%)

#### 다. 흡수거의 매설깊이

- (1) 흡수거의 매설깊이는 『지표면에서 계획지하수위까지의 깊이 + 여유심』으로 하며, 일반적으로 흡수거의 상류단에서 0.6~1.0m, 하류단에서 0.8~1.2m로 한다. 다만, 주흡수거의 상단부 매설깊이를 최소한 0.6m 이상으로 해야 한다.
- (2) 흡수거의 심도는 0.6 m ~ 0.7 m의 깊이로 유공관 직경 50 mm, 수평패드 폭 500 mm를 적용한다.



<Fig. 4-1> 흡수거 설치 깊이 및 단면도

(3) 국내의 자료를 분석 정리한 결과 계획지하수위 및 암거배수 기준치는 <Table 4-3>와 같다.

<Table 4-3> 암거배수 기준치

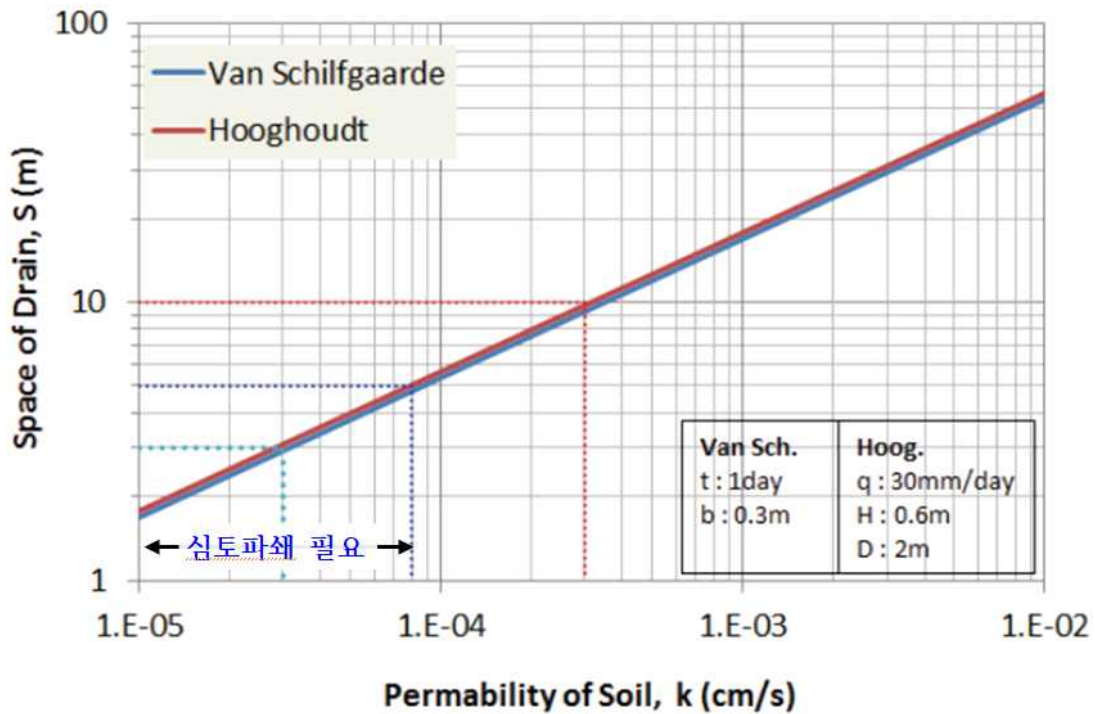
배수요인 \ 작기	답수기	비답수기
감수심	10 ~ 15mm/일	-
삼투속도	5 ~ 10mm/일	-
토양투수계수	10 ~ 5cm/일	10 ~ 4cm/일
지표잔류수 허용일수	물떼기후 3 ~ 5일	강우후 1 ~ 2일
강우후 5일째		
20cm층위 토양수분	-	pF 2.5
계획지하수위	-	지표하 50cm

(4) 흡수거의 여유심( $\alpha$ )은 배수로의 심도, 지하수위의 하강속진과 배수개선에 따른 지반의 수축침하, 영농기계의 주행하중 및 동결 등에 대한 암거 보호를 위한 것으로 대략 ( $\alpha$ ) = 20~50cm로 하는 것이 타당하며, 여유심( $\alpha$ )을 크게 해야 할 조건으로는 아래와 같이 결정한다.

- 1) 토양의 투수성이 커서 흡수거의 간격이 넓은 경우
- 2) 간척지 주변의 육지부, 경사지 및 인접고지대 등에서 깊은 침투수의 차단이 필요한 경우
- 3) 배수개선에 의해서 토층의 수축이 예상될 경우
- 4) 심근성의 영년생 작물이 도입될 경우 등
- (5) 흡수거의 간격은 지형, 토양조건 및 토지이용형태 등에 따라서 결정한다.

## 라. 흡수거의 매설간격

- (1) 암거배수는 토양조건에 의하여 가장 크게 영향을 받는다. 흙의 투수성이 크면 흙속의 물이 암거까지 잘 흘러오므로 흡수거의 간격은 흙의 투수계수에 따라 그림 4-2를 참조하여 결정하는 것이 필요하다.
- (2) 흙의 투수성( $k < 8 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ )이 매우 적은 경우, 암거간격을 5m이하로 하는 것보다, 심토파쇄효고가 높은 점성이 있는 토양(CL, SC)에서는 심토파쇄를 하여 흙의 투수성( $k > 8 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ )을 개선하여 암거간격을 5m이상으로 하는 것이 경제적이다. 특히, 발작물재배를 위하여 투수성은 물론 통기성이 개선되므로 심토파쇄를 병행하는 것이 효율적이다.
- (3) 새만금과 같이 점성이 없는 세사질 토양(SM, ML)은 심토파쇄에 의한 투수성개선 효과가 없으므로 흙의 투수성에 맞는 암거간격을 결정하여야 한다. 이 경우에도 간척지 흙은 대부분 해성퇴적토로 층상으로 되어 있는 경우가 대부분으로 이 층상을 파쇄시키기 위한 심토파쇄 공정을 적용하는 것이 필요하다.



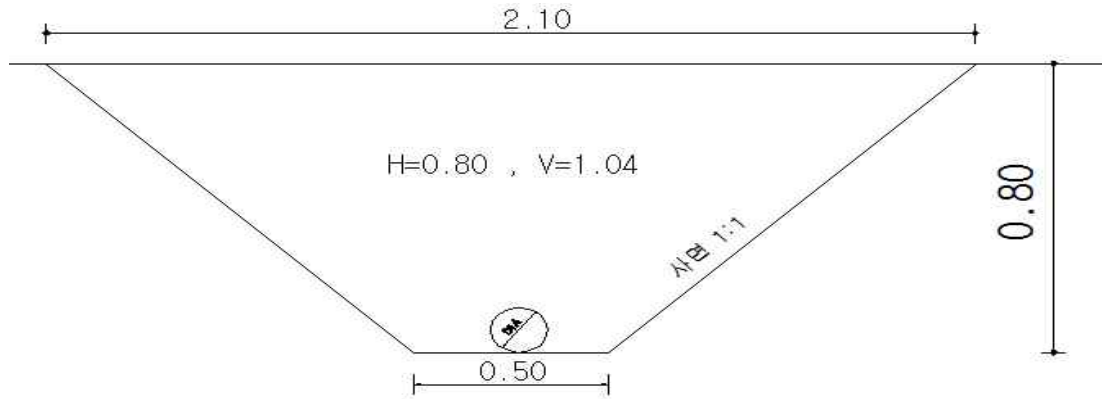
〈Fig. 4-2〉 흙의 투수계수별 암거의 간격

(출처: 한국농공학회 논문집 Vol. 61, No. 6, pp.67~72(2018))

## 다. 집수거

- (1) 집수거는 흡수거의 물을 지체없이 배제시키며 또한 배출수량을 조절(제어)하는 기능을 구비해야 한다.

- (2) 이 경우에 집수거의 배치 및 기울기는 각 흡수거 하류단(집수거와의 합류점)을 합류시키는 것을 원칙으로 하나, 집수거의 기울기를 적정하게 확보하기 위해 흡수거의 하류단 높이를 낮추어 조절할 수 있다.



부직포래핑 Pe유공관 100mm>

<Fig. 4-3> 집수거 단면도

## 라. 암거의 배치

- (1) 흡수거의 배열방향, 수갑 등의 암거시설의 배치는 지하 배수는 물론 관개를 더욱 신속하게 할 수 있도록 하고, 그 기능을 보다 장기간 유지할 수 있게 충분히 검토해서 결정한다.
- (2) 암거조직은 지하 배수와 관개를 쉽게 조절할 수 있도록 지형과 필지조건에 맞게 배치해야 한다.
- (3) 간척농지의 암거조직은 건기에 지하관개는 물론 재염화 방지를 위한 지하관개를 쉽게 할 수 있도록 배치해야 한다.

## 마. 암거의 관경 및 기울기

- (1) 흡수관의 관경은 계획배수량이 만류가 되지 않고 충분히 유하 할 수 있는 크기로 한다. 그러나 특별한 경우를 제외하고 최소관경은 50mm(A=19.6cm<sup>2</sup>)로 하며 경지정리답의 배미구 장변(100m인 경우)에 맞추어 흡수관 길이를 95m, 흡수관경을 50mm로 하면 충분하다.
- (2) 흡수거의 기울기는 평탄지에서 인력매설 시는 1/300 ~ 1/600, 기계매설 시는 1/500 ~ 1/1,000로 하면 적당하다. 그런데 침하로 균일한 기울기의 유지가 곤란하므로 가급적 기울기가 급한 쪽이 바람직하다.
- (3) 관내 유속은 최대유속 시에 0.3 m/s이상 ~ 1.0 m/s 범위에 있는 것이 바람직하다.



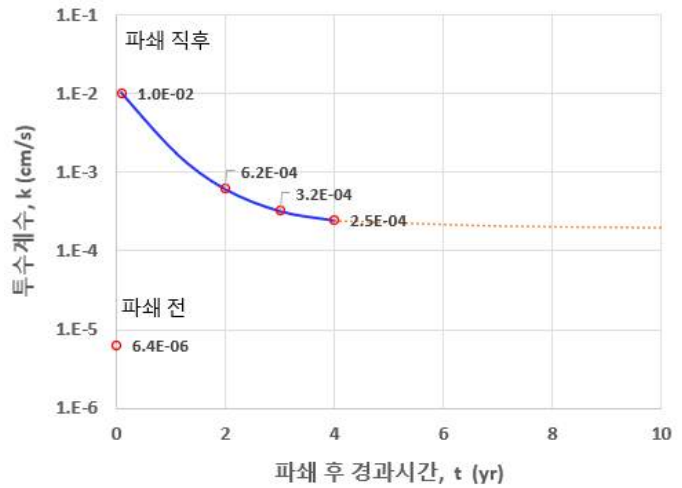
<Table 4-3> 흡수거의 기울기 및 관내최대유속

구분	세부내용
인력매설시	1/300~1/600
기계매설시	1/500~1/1,000
관내유속	최대유속시에 0.3 m/s이상 ~ 1.0 m/s

### 1.3.4 토양제염촉진 및 재염화 방지

#### 가. 심토파쇄와 암거배수에 의한 간척지의 제염

- 1) 간척지에서 가장 효율적인 제염방법은 암거배수(수직배수)에 의한 염분용탈 방법이다. 이 염분용탈 방법은 초기간척지에서 토양의 투수성을 얼마나 빨리 증진시켜 주느냐에 따라서 간척지의 제염속도가 좌우된다.
- 2) 간척지 불투수성 흙의 투수성개선은 심토파쇄가 매우 유효하므로 제염촉진을 위하여 심토파쇄를 적용하여야 한다.



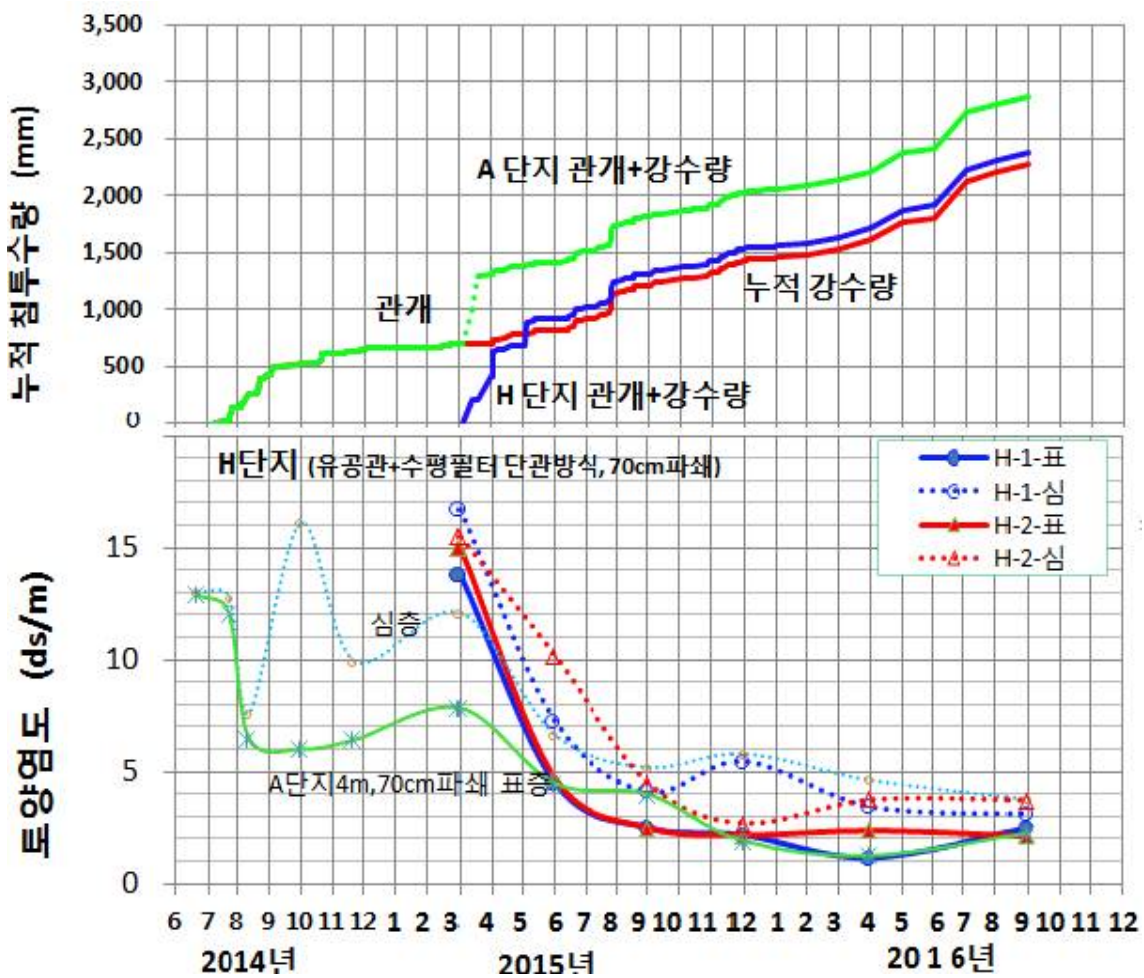
a) 간척지 심토파쇄 실례 사진

b) 심토파쇄에 의한 투수성 개선 실례

<Fig. 3-49> 심토파쇄에 의한 흙의 투수성 개선 현장실측사례(화옹간척지 2020)

## 나. 발작물 재배 시 간척지 토양의 재염화 방지

- 1) 간척지에 발작물을 재배하면 토양면과 작물을 통해 토양수분이 증발하면 모세관 현상에 의해 땅속의 심층 염분수가 올라와 토양의 재염화가 발생된다.
- 2) 이 심층의 염분수의 모관상승의 차단은 흠속의 모세관을 절단하는 방법(심토파쇄)과 기 설치한 암거를 통하여 건기에 민물을 공급하여 심층의 염수가 올라오지 못하도록 인위적인 지하수위를 형성해주는 방법이 있다.
- 3) 발작물 재배 시 재염화를 방지하기 위한 심토파쇄 공법을 설계 시 적용하고, 발작물 재배 시에 암거관으로 민물을 공급하는 지하관개 기법을 제시하여야 한다.



<Fig. 3-49> 심토파쇄와 지하 관수를 통한 제염 촉진 및 재염화 방지 사례  
(출처: 화옹간척지 시험시공보고서)

## 1.4 시공

### 1.4.1 시공전 사전 확인 사항

- (1) 공사 착수 전 다음 사항을 확인해야 한다.

- 1) 공사용 진입도로 위치 및 설치계획
- 2) 시공측량계획
- 3) 사용자(농민)의 의견 및 요구사항 등에 대해 사전조사 등 현장 조건에 적정한 품질관리계획을 수립
- (2) 현장조사는 다음 사항을 조사해야 한다.
  - 1) 지반 및 지질상태
  - 2) 각종 지하 매설물 및 부대시설
  - 3) 지하암거 및 저류시트 자재 공급 위치 및 운반통로
- (3) 착공전 설계도면, 시방서 등을 면밀히 검토하고 문제점이 있을 때는 공사감독자(또는 감리원)와 협의해야 한다.
- (4) 집수거 등 터파기 단면(치수 확인), 관 부설상황, 피복재(시공상황, 두께 확인 등), 되메움 상황, 수갑보호관 설치상황 등을 촬영 기록해야 한다.
- (5) 기타 공사시방서 및 설계도서에 기재되지 않은 사항 및 의문이 있는 사항에 대하여는 계약자와 공사감독자(또는 감리원)와의 협의 후 처리한다.

#### 1.4.2 시공측량

- (1) 설계시 설치한 기준점, 실측 및 설계도면 등의 성과품과 현장과의 이상 유무를 확인하기 위하여 확인측량을 실시해야 한다.
- (2) 시공 시 시공위치 및 시공심도를 확인하기 위한 기준점을 설치하여야 한다. 기준점의 설치 양은 많을수록 좋으나 경제성을 감안하여 1구역당 1개소 이상이 되도록 한다. 기준점은 망실, 훼손의 우려가 없는 장소로 선정하여 설치하도록 한다.
- (3) 설계 성과물의 현황도가 실제현황과 일치하는지 확인 측량을 실시한다.

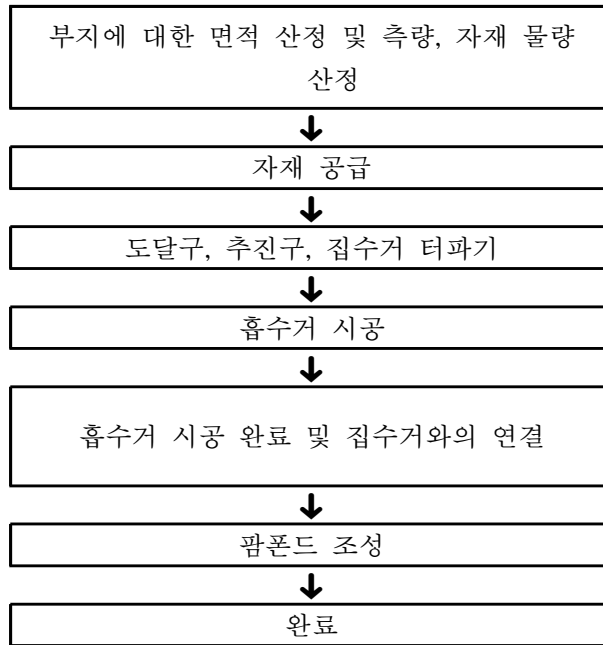
#### 1.4.3 시공준비

- (1) 현장장비 및 공구 등을 보관할 수 있는 가설창고 (컨테이너 등)을 설치한다.
- (2) 공사장비 진입로를 개설한다.
- (3) 자재적치장을 조성한다.

#### 1.4.4 모관수 저류시트형 공법 시공순서

- (1) 체계적인 모관수 저류시트형 공법 시공을 위해 시공순서를 결정한다.
  - 1) 시공을 위해 준비된 부지에 대한 면적 산정 및 공법 적용을 위한 자재 물량 산정, 측량 실시
  - 2) 공법 적용을 실시하기 전 다음 공종과의 간섭이 없이 시공 가능한 자재 공급
  - 3) 집수암거 터파기 실시
  - 4) 간격별 흡수거 시공 실시
  - 5) 흡수거 시공 완료 및 집수암거와의 연결 시공
  - 6) 팜펀드 조성

7) 완료의 순서로 실시, 공종순서는 <Fig. 4-6>과 같다.



<Fig. 4-6> 모관수 저류시트형 공법  
시공순서

#### 1.4.5 표층 경반층 등 파쇄

(1) 경반층은 일반적으로 간척농지에서 발작물을 재배할 때 토양의 물빠짐을 나쁘게 하여 습해를 일으키는 주요 원인이 되고, 뿌리의 활력을 크게 떨어뜨려 생산성을 줄어 들게 된다. 또한 표층은 건조수축에 의해 고결되어 있어 단단하여 무굴착암거장치가 진행하는데 저항력이 크기 때문에 유공관, 수평필터매트를 설치하는 주행을 원활히 하기 위하여는 심토파쇄가 필요하고, 지반 중에 양식용 말뚝, 사석 등이 주행노선에 있으면 흡수거 설치 중에 중단되어 낭패의 요인이 되므로 심토파쇄를 하여야 한다.

#### 1.4.6 흡수거 설치노선 표시

(1) 흡수거 설치예정노선을 따라 암거설치장비가 주행하여야 할 노선을 가능한 직선으로 페인트로 표시한다.

#### 1.4.7 암거설치장비에 흡수거 및 저류형시트 부착

(1) 흡수거 및 저류형시트를 그림 암거설치장치에 부착한다.

#### 1.4.8 도달구 및 추진구, 집수거 터파기

- (1) 무굴착 흡수거의 시공을 위한 추진구, 도달구, 집수거 터파기를 실시한다.
- (2) 집수거의 터파기 심도는 레벨측량을 하여 각 위치의 표고가 설계표고와 허용오차 범위내에 일치하도록 한다.
- (3) 집수거 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.

#### 1.4.9 흡수거 및 저류형시트 시공

- (1) 암거설치장비에 부착된 흡수거 및 저류형 시트를 추진구에서부터 도달구를 향해 시공을 실시한다.
- (2) 흡수거 및 저류형시트는 집수거 방향으로 물을 유도하여야 하므로 설계도면에 있는 굴착 시도로 집수거 방향으로 경사를 가지게 시공을 하여야 한다.

#### 1.4.10 집수거 시공

- (1) 집수거 터파기 후 집수거 설치후 흡수거와의 연결시 T형 연결부를 사용하여야 하며 흡수거와 집수거의 높이가 상이할 때 흡수거를 일정부분을 휘어서 집수거에 연결한다.
- (2) 돌을 이용하거나 일부 고정할 수 있는 방법을 사용하여 되메우기시 관이 이동하지 않도록 한다.

#### 1.4.11 폰드(Pond) 시공(필요시)

- (1) 폰드는 침출수를 저류한 후 저류된 물을 관개용수로 재활용하기 위한 목적으로 시공되며, 간척지에 시공할 경우 재염효과를 촉진시킬수 있다.
- (2) 폰드의 크기는 배수 및 관개면적을 고려하여 시공한다.

#### 1.4.12 수직심토파쇄

- (1) 간척지의 토양은 해성점토로 함수비가 높고 점성이 높아 일반적인 심토파쇄장비로는 파쇄가 잘 되지 않으므로 심토파쇄의 효과를 높이기 위하여 굴삭기에 장착한 수직심토파쇄기를 사용하여야 한다.
- (2) 심토파쇄는 설치된 흡수거가 파손되지 않도록 흡수거를 설치한 폭 50cm 암거설치 노선은 제외하고 심도 50~70cm까지 전 구간 고르게 심토파쇄를 실시한다.
- (3) 심토파쇄 시 하부토층이 상부로 올라오고 상부 고결토층이 내려가는 교반되는 조건의 심토파쇄가 토양개량효과가 훨씬 더 크므로 상하부 토층이 교반되도록 가능한 유도한다.
- (4) 심토파쇄한 경지면이 요철이 심하지 않도록 표고차가 10~20cm 범위내에 있도록 면고르기를 심토파쇄와 동시에 실시하여야 한다.

#### 1.4.13 현장정리

- (1) 공사기간 중 운용하였던 자재 적치장을 원상 복구하여야 한다.
- (2) 공사기간 중 운용하였던 공사용 도로를 제거하고 원지형으로 복구하여야 한다.
- (3) 공사 중 파손된 농로는 원상 복구하여야 한다.
- (4) 공사 중 발생한 건설폐기물 및 폐자재는 산업폐기물 또는 일반 쓰레기로 분류하여 깨끗이 치워야 한다. 환경오염을 방지하기 위해 어떠한 경우에도 현지의 지중에 매설해서는 안된다.
- (5) 공사기간 중 가설 현장사무소를 운용하였을 경우에는 현장사무소를 철거 정리하여야 한다.

## 2. 간척농지 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 유지관리 매뉴얼

### 2.1 일반사항

#### 2.1.1 적용범위

- (1) 본 매뉴얼은 간척지 등을 포함하는 농지 범용화를 위한 경지 내 지하배수축진 혹은 토양제염축진을 위한 지하배수암거의 운영 및 유지관리를 위해 적용된다.
- (2) 지하배수암거의 운영 및 유지관리는 원칙적으로 KDS 67 45 90 : 2018 [농지배수 유지관리]를 따른다.

### 2.2 자재

해당없음

### 2.3 시공

해당없음

### 2.4 유지관리

#### 2.4.1. 유지관리의 중요성

- (1) 지하배수시설의 올바른 설계 및 시공 후에도 농지의 관리주체인 경작자는 유지관리를 지속적으로 수행하여야 한다. 만일 유지관리가 원활하게 이루어지지 않는다면 암거를 통한 배수 기능이 저하될 수 있으며, 농경지 내 토양의 과습상태를 야기할 수 있다.
- (2) 따라서 지하배수시설의 배수기능에 대한 효율성을 유지하고, 암거의 내용연한을 연장하기 위해서는 농가를 대상으로 암거배수의 목적, 암거배수시설의 기능과 관리에 대한 지속적인 교육이 필요하다.
- (3) 또한 시설물에 대한 문제가 발생할 경우, 조기발견과 신속 및 적절한 조치를 위한 방안이 마련되어야 한다.

#### 2.4.2. 시설의 기능이 발휘되지 않는 제원인과 진단법

- (1) 암거설치 후 기능이 충분히 발휘되지 않는 원인을 조사하여 배수기능을 회복할 수 있도록 하여야 한다. 기능이 충분히 발휘되지 않는 원인을 충분히 조사하여, 보수하고 적절한 유지관리를 하면 새로 암거를 재조성할 것까지는 없고, 배수기능을 회복시킬 수 있는 경우도 있다.

#### 가. 배수로 및 배수구의 관리 불량

- (1) 암거를 매설했는데 간척농지가 종전과 같이 전면적으로 과습상태로 있는 경우, 소배수로에 개구되어 있는 배수구가 막혀 있을 가능성을 의심해 볼 필요가 있다.
- (2) 암거는 원칙적으로 소배수로의 수면보다 위에 그 배수구가 위치하고 있는 것이 기능보전

의 입장에서 바람직하다.

- (3) 배수구가 수면 아래에 위치하게 되면 이토로 막힐 위험성이 크다. 이토로 막히면 근본적으로 암거관 내의 수두는 그렇게 크지 않으므로, 관거내 물의 유출은 정말로 기대할 수 없게 된다.
- (4) 또 이토 뿐만 아니라, 수초의 줄기나 뿌리 등이 배수구를 막고 있는 경우도 많다. 따라서 배수로와 암거 배수구의 상황을 정기적으로 순회 점검하는 것이 바람직하다.
- (5) 배수구가 수중에 있을 때, 출구가 막혀 있는지의 여부를 조사하기 위해서는 폐쇄된 상태로 있는 수갑을 급격히 열어보면 유출상황이 관찰되므로 비교적 간단히 검사할 수 있다.

## 나. 암거관(흡수거, 집수거)의 관리 불량

- (1) 암거관은 지하에 매설되어 있으므로, 이의 기능이 제대로 발휘되고 있는지의 여부를 확인하기는 어렵다. 그 때문에 관리불량이 되어 내용연수를 단축시키는 경우가 많다. 다음에 암거관에 생기기 쉬운 고장원인에 대해 설명한다.
- (2) 흑니토(黑泥土), 화산회 등 토립자가 이동하기 쉬운 토양에서는 시공 후 1년간 정도의 사이에 관내에 미립토가 유입, 퇴적하는 경우가 있다.
- (3) 어느 정도 지하수의 물길이가 안정되어, 흙이 굳어지면 유입은 대개 끝나나 당초에 유입된 흙을 그대로 방치해 두면 흡수관의 기능이 저하되고, 극단적인 경우에는 완전히 기능이 상실되는 경우도 있다.
- (4) 이와 같은 예는 흡수거를 부설하는 깊이에 사질토층 등이 일부분 혼재되어 있는 경우에도 있고, 세립자가 흡수거내에 유입, 내부를 폐쇄하는 경우도 있다. 흡수거 구멍 크기에 따라서는 갈대 등의 뿌리가 침입하여 기능을 저해하는 경우도 있다.
- (5) 또 시공시점에서는 정확히 암거관이 부설되었다해도 유지관리 하는 과정에서 부등침하가 발생하여 기능의 발휘를 손상하는 경우가 있다.
- (6) 토양이 건조하면 체적변형이 크게 나타나는 이탄토, 흑니토, 혹은 연약한 간척 후의 저습지의 점성토 등에서 이와 같은 예가 보인다. 즉, 부등침하에 의해 흡수거에 굴곡이 생겨, 내부에 가스가 저장되는 것에 의해 통수가 저해되고, 극단적인 경우에는 암거관의 접속부가 빠져 수리적 연속성이 절단되는 문제가 발생 될 수 있다.
- (7) 또, 간척지 등에서 보이는 예로서 암거관의 배수구 등을 콘크리트 등의 기초로 무리하게 고정시켜 놓으면, 포장내의 지반 침하에 의해 암거관이 역기울기로 되어 통수 기능이 손상되는 경우가 있다. 연약한 지반에서는 유지관리에 특별히 주의 해야 한다.
- (8) 암거관의 어느 부분에서 고장이 발생하고 있는가를 확인하기 위해서는 우선 배수구막힘 여부를 수갑조작에 의해 조사하고 이어서 답면 답수를 배제시킨 후, 강우에 의한 답면 요철부의 잔류수의 소실상황을 잘 관찰한다. 만약 암거관에 고장이 있으면 고장지점부터 상류부분의 답수 소실상황에 차이가 생겨 부분적으로 과습한 부분이 보이게 되어 정상적인 암거관과 차이가 보이므로, 고장의 진단이 한층 정확하게 된다.
- (9) 암거관의 어느 부분에 고장이 발생했는가를 상세히 조사하기 위해서는 과습부분의 약간 하류부에서 암거관을 노출시켜 관의 매설심보다 약간 깊이 시험공을 파서 암거관을 관찰

가능한 상태로 해서 만약 여기서 물이 분출하면 고장 개소는 여기보다 하류측에 있는 것이므로 다시 하류측을 시공한다. 만약 물이 분출되지 않으면 상류측으로 조사를 진행해 간다.

## 다. 수갑의 관리 불량

- (1) 수갑은 지하배수시설 중 그 구조와 기능상 가장 눈에 띄기 쉬우며, 시공 후 가장 외적 조건에 좌우되기 쉽고 고장이 많은 부분이라고 할 수 있다. 즉, 조작상에 무리가 있는 것(농민은 지수봉을 잘 조작한다고 하나, 똑바로 상하로 움직이지 않으면 쉽게 파손된다). 또, 구조상이나 재질면에서도 많은 검토의 여지가 있다. 또 지상부에 노출되어 있는 수갑의 염화비닐관이 파손되는 경우도 많다.
- (2) 지상부에 관련된 파손은 전체파손개수 중 약 24%가 되고 있다. 지상부는 농작업에 방해가 되는 것이 많으므로 보호대책과 구조상의 개선이 필요하다.
- (3) 재질이 플라스틱인 경우 한냉지의 저온이 악영향을 미치고 또한 논두렁에 쥐불을 놓는 곳도 있어, 잡초가 연소하는 열에 의해 수갑의 지상부가 변형하고 있는 사례도 있다.
- (4) 만약 수갑의 기능이 원활하면 암거관 내의 수위가 상승할 것이다. 만약 암거관부의 수위가 상승하지 않으면 일단 지수부의 다짐불량이며, 또 하나는 수갑관 이음에서의 누수가 생각되므로, 각각의 상황에 따라 판단한다.
- (5) 수갑을 폐쇄해도 흡수거의 수위가 상승하지 않는 원인 중 하나는 논두렁 균열에서의 누수가 있다. 이것은 논두렁의 방호대책, 즉 소배수로의 수위관리대책 등 별도 측면에서의 대응이 필요하다.

### 2.4.3. 유지관리

- (1) 지하배수 시설의 기능이 발휘되지 않는 제 원인이 정확히 파악되어 고장 장소가 확인되면 보수는 가능한 한 조기에 실시하여야 한다. 또한 지하배수 시설의 기능을 충분히 발휘시키기 위해서는 농지의 이용방법 연구와 영농상의 대응도 극히 중요하다. 특히 간척농지의 이용을 위해서는 이와 같은 유지관리의 중요성이 크다.

가. 암거의 유지관리는 다음과 같은 사항을 고려한다.

- 1) 수갑의 조작에 의한 암거 관내의 청소는 수갑을 폐쇄하고 암거관 내의 수위가 충분히 상승한 후 급격히 수갑을 연다. 이와 같은 작업을 씨레질 전 및 낙수기 전의 연간 2회 실시하면 좋다. 특히 이토 등 미립의 토립자가 시공 직후 흡수관 내에 유입하기 쉬운 조건 하에서는 이와 같은 청소를 행하는 것이 중요하며 시공 후 1년째가 중요한 시기라고 할 수 있다. 만약 이 시기를 지나치면 관내에 유입된 미립의 흙이 고결해버리고, 지하배수의 기능이 대폭 줄어 회복불능 상태가 된다.
- 2) 수갑의 조작만으로는 청소가 불충분한 경우에는 흡수거의 최상류부에 흡수거 청소공을 설치하는 것도 생각해야 한다.
- 3) 일반적으로 흡수거는 그 최상류부를 논두렁에서 일정한 거리를 두어 매설하고 있어 그 때문에 이 부분이 배수불량의 원인으로 되고 있는 경우가 많다. 그러나 이러한 흡수거 청소공을 설치하면 배수 촉진의 역할도 한다.



- 4) 또한 청소공은 선단부가 농작업에 장애가 안되도록 낮게 하고, 사용시 이외는 캡을 씌워 둔다.
- 5) 최근 암거관 내의 청소를 위해 젯트노즐에 의한 물의 압송이 행해지고 있다. 화란 등 지하배수의 선진지에서는 옛날부터 행해지고 있는 방법으로 지름 1인치 정도의 내압 호스로부터 압력수 (약 1MPa 정도)를 역분사 시키면서 관내에 그 호스를 넣어 세정하는 것이다. 드레인 클리너라고 불리는 이 장치로는 길이 400m 정도의 세정 능력을 갖는 것도 있다.
- 6) 시공 후 흡수거가 극단적으로 굴곡이 생기던지 관내의 접속부분이 빠져버렸을 때는 그와 같은 고장부분을 보수해야 한다. 전술한 시굴공에 의한 관찰 등으로 고장장소를 발견하면 그 부분의 관을 정성껏 보수한다. 보수 후 수압을 조작해서 흡수거내를 세정해주면 이상적이다. 또한 집수거에 대해서도 그 길이가 길고, 수로바닥, 도로, 제방밑 등을 통과할 경우는 관에 기능장애를 초래하기 쉬우므로 주의가 필요하다.
- 7) 이외 플라스틱 암거에서 피복재로서 필터를 부착시킨 것에서도 고장이 발생할 때가 있다. 이와 같은 얇은 필터는 이토가 관내에 유입하는 것을 방지하기 위해 고안된 것이다. 토질에 따라서는 역으로 세립토가 이 필터를 메꾸어 불투수성의 것으로 변하여 버리는 경우가 있다.
- 8) 지하배수가 필요한 토양중에는 환원상태(還元狀態)로 되어 있는 것이 보통이므로 흐르는 물중에는 철, 망간 등이 가용체로 되어 있다. 이런 것이 필터에 접촉되었을 때 관내의 공기에 의해 산화되어 불용화해서 침착한다. 이 때문에 필터는 물리적·화학적 작용으로 급속히 불투수성이 되어버린다. 시공 직후 물을 잘 배제하고 있었는데 2~3년 후에 완전히 배수능력을 상실한 사례도 있다.
- 9) 또한 피복재로서 벚집 등을 사용하면 단기간에 부패해 역으로 투수성을 손실하는 경우도 있어 주의를 요한다. 또 왕겨 등도 비교적 부패가 안되는 재료이긴 하나 논밭 전환 등을 실시하는 조건하에서는 수년간에 약간 그 재질이 변질하였다는 보고 예도 있어 그 내용 연수에 대한 검토가 필요하다.

#### 2.4.4. 영농기의 배수관리 요령

가. 영농기에 지하배수 시설의 기능을 충분히 발휘시키기 위해서는 간척농지의 물을 가능한 한 신속히 배제하여 토양건조를 도모하고 균열의 발생을 촉진하여 암거의 투수성개선을 도모하는 것이 반드시 필요하다.

#### 나. 간척농지 지표수의 관리

- (1) 포장의 건조를 위해서는 우선 지표배수를 실시할 필요가 있다.
- (2) 지하배수와 지표배수는 능률이 크게 다르다. 지표의 담수가 토양층을 통과해 지하배수되려면 배수시간이 크게 지연될 뿐만 아니라, 토양이 과습하게 되어 지내력은 상승
- (3) 지표배수를 지배하는 인자로서 하나는 답면의 지균상태이고, 다른 하나는 낙수구의 구조이다. 특히 답면의 지균상태가 좋은 경우에도 낙수구를 향해 약간 경사되어 낮아지는 것이 이상적이다. (수구 부근의 답면에 대해 낙수구 부근의 답면이 10cm 정도 낮은 것이

좋다). 역으로 수구에 대해서 낙수구가 높으면 배수는 저해된다. 또 답면의 요철도 지표 배수에 영향이 있으므로 이와 같은 때에는 농작업에 지장이 없는 정도의 얇은 배수구를 설치하면 좋다.

- (4) 또한 포장정비 직후는 논바닥의 요철도 많으므로 영농단계에서도 지균작업을 하도록 배려해야 한다. 통상의 영농관리에서 3년 정도 경과하면 지균(地均) 정도가 다시 향상하는 경우가 많다.

## 다. 중간낙수 등 재배법과 포장건조

- (1) 수도작의 경우 토양건조를 위해서 중요한 것의 하나로 중간낙수가 있다. 이 시기는 증발산도 왕성하고 작토층은 건조해져  $pF=2$  이상이 되며 완전한 균열이 생긴다. 조건이 양호하면 하층토 300~400 mm 까지의 토양수분까지도 현저히 저하시킬 수 있다.
- (2) 이와 같은 조건하에서 작토에 발생한 균열은 재 담수하여도 재차 폐쇄되지 않고 물길로서 유효하다. 따라서 중간낙수 후는 투수성이 증대되고 지내력도 향상된다.
- (3) 가을에 낙수한 후에도 중간낙수의 효과가 지속되어 건조와 지내력의 증대가 진행된다. 벼 재배상의 물관리에서 보면, 중간낙수기와 낙수 이후의 비관개기의 포장 건조는 극히 중요하며, 이 시기는 수압을 개방해 주고, 최대한으로 배수효과를 발휘시켜야 한다. 이외 포장건조를 촉진시키기 위해서 유리한 재배법으로서는 다음과 같은 것이 있다.

1) 건답직파

2) 씨레질

3) 무담수재배

4) 담수기간의 단축

- (4) 또, 포장건조의 효과를 특히 거양하여, 증산력이 강하고, 심층까지 건조하게 하는 작물을 의도적으로 도입하면 유효한 경우도 있다. 이와 같이 포장건조의 촉진과 토양구조의 발달에 생물의 힘을 빌리는 것을 종종 연구해볼 필요가 있을 것이다.

## 라. 보조암거의 시공

- (1) 토층이 중점토로서 투수성이 불량한 경우는, 본암거에 보조암거를 조합시켜 시공하지 않으면 충분한 배수효과가 없는 경우가 있다. 일반적으로 보조암거는 본암거보다 얇게, 조밀하게 시공한다. 보조암거 중에서도 가장 광범위하게 쓰이는 탄환암거(맹암거)는 지지판하에 설치된 대포 탄환모양의 것을 트랙터나 원치에 의해 토중에 인입시켜 그 통과적(通過跡)으로 생긴 연속된 구멍에 의해 암거의 역할을 유지시키는 방법이며, 시공이 간단하고, 경비가 싸며, 심토파쇄 효과가 기대되며, 속효성이 있는 것이 이점이다. 반면 무자재이므로 효과가 지속되지 않으며 한본의 길이로 너무 길게 할 수 없는 것 등의 결점도 있다.
- (2) 보조암거는 본암거에 직교하여 시공한다. 이때 본암거와 보조암거의 수리적 접속을 좋도록 암거의 피복재는 충분히 두껍게 해준다.
- (3) 이 보조암거가 지표부의 휴간(畦間)과 직교하는 경우에는 휴간의 담수 배제에 또한 유효하다. 이와 같이 보조암거는 토양의 투수성을 대폭 향상시켜 본암거의 기능을 충분히 발

현시킨다. 보조암거의 배치는 1본의 연장을 50m 이내로 하고 영농작업의 일환으로 고려하여 격년정도에 반복 시공하면 좋다.

- (4) 보조암거가 효과를 발휘하지 못하는 경우의 하나는 시공 시의 토층이 연약한데 무리하게 시공하는 경우이다. 시공시의 토층의 경도와 암거공 단면비(토중에 생긴 보조암거공의 단면적과 탄환의 단면적의 비율)를 보면 단면비 80%를 유지하기 위해서는 콘 지수  $2\text{kgf/cm}^2$  정도가 필요하다는 것을 알 수 있다. 단면비가 너무 적으면 배수의 통수능이 나빠질 뿐더러 심토파쇄적 효과가 기대될 수 없다. 또, 시공시 지표에 담수 등이 남아있으면 지판(支板)이 통과한 자리에서 이토가 유입되어, 기능을 저하시키는 원인이 되므로 주의를 요한다.

#### 마. 논·밭 이용에 대한 고려

- (1) 논을 밭으로 이용하는데 있어서 가장 큰 요점은 배수의 강화이다. 따라서 지하배수의 기능을 정확히 발휘시키는 것은 그대로 밭으로서의 이용의 성공에 연계된다.
- (2) 단, 밭의 경우는 논·밭의 경우와 달리 담수에 대한 여유가 적으므로, 강우에 대해서는 4시간 우량, 4시간 배제(논의 경우 24시간 우량, 24시간 배제)의 배수량을 취하며, 또 지표배수의 강화는 물론이며 지하배수의 목표치로 작물에 따라서는 논·밭의 경우보다도 엄격한 값을 채택할 부득이한 경우도 생긴다. 또, 배수상의 요청에서 보면 구획계획에 대해서도 대응이 필요하게 될 경우도 생긴다. 또, 인접 논에서의 침입수의 배제도 중요하며, 이점에서 집단적 전작(轉作)이 전제로 된다.
- (3) 특히, 논·밭 이용에 있어 중요한 것은 포장의 구조가 논·밭 그대로를 유지하는 것을 전제로 하고 있기 때문에, 영농 배수상의 대응이 중요한 의미를 갖고 있다.
- (4) 영농단계에서의 배수축진 대책으로서의 두렁상 재배, 배수구 시공 등이 있다.
- (5) 이런 것은 하나의 포장에서 여러 종류가 조합되어 실시되는 경우가 있으므로 작물과 장·변 길이와의 관계까지 집계해 보면 영농배수는 집약작물에 많고, 조장작물에서는 적다. 또 집약작물에서는 길수록 배수상의 요구가 강해지고, 실시율이 증대되고 있다.
- (6) 또한 지표의 잔류수 상황을 보면 명확히 영농배수상의 효과가 보이며, 배수시간의 단축이 예견된다. 또, 농가쪽에서도 명확한 효과가 있다고 판단하고 있는 것을 알 수 있다.
- (7) 이와 같이 영농단계에서의 대응은 극히 중요하며 이와 같은 수단으로 포장 건조를 진행하는 것에 의해 토양구조는 밭의 그것에 향해 발달해, 균열이 암거층까지 발달해가게 된다. 그러나 반면 이와 같은 포장건조가 진행된다면 지형과 토양조건에 따라서는 재차 논으로 돌아갔을 때에 논용수량의 증대를 초래하는 것에 대해서도 배려해야 할 경우가 생긴다.
- (8) 이와 같은 논·밭 이용기술 체계에 대해서는 지하배수 시설의 유지관리만 논해도 끝이 없다고 할 수 있다.

## 2.4.5 관리운영계획

### 가. 관리운영계획의 기본

- (1) 농업기반시설의 관리는 농어촌정비법과 관련법의 규정에 따라 농어촌공사 또는 지방자치단체 등이 관리자가 되어 시행하는 것이 일반적인 원칙이다.
- (2) 관리자는 농어촌정비법과 관련법의 규정에 정해진 관리규정, 하천법의 규정에 의하여 정해진 조작규정 기타 관계법령 등을 준수하여 농업기반시설의 관리를 할 필요가 있다. 이 때문에 사업계획에 있어서도 관리운영조직 및 관리제어방법에 관계되는 관리의 기본사항을 명확히 할 필요가 있다.
- (3) 또한 설치한 시설에 대하여 효율적 이용을 할 수 있으면서 원활히 관리운영을 하기 위해서 관리운영계획에서, 시설의 관리운영을 실행하는 조직, 비상시의 대책을 포함하는 관리제어의 방법, 점검, 보수에 관한 사항, 비용부담 방법 등을 종합적으로 정할 필요가 있다.
- (4) 이 관리운영계획의 수립에 있어서는 일반적으로 다음 사항에 유의한다.
  - 1) 관리의 체제 및 조직 : 구성, 조직의 운영방법
  - 2) 시설의 관리제어 : 조작, 운전
  - 3) 시설의 관리운영방법 : 관리항목, 보수점검 및 정비보수의 방침 등
  - 4) 관리운영비 : 비용, 부담자, 부담방법 등

### 나. 관리운영계획의 체제

- (1) 관리운영을 위한 체제는 배수의 조건변화에 대하여 고려하고, 홍수시, 평상시 및 비상시 등에 필요한 대응이 될 수 있게 계획한다. 또 비상사태에 있어서는 신속히 적절한 대응이 될 수 있는 체제가 필요하다.
- (2) 이 체제는 지역의 실상을 반영하여 시설의 기능이 최대한 발휘될 수 있도록 다음과 같은 상황을 고려하여 정한다.
- (3) 지금까지는 주로 논벼에 관한 배수관리로서 관행적으로 비교적 단순한 제어조작에 의한 배수관리가 되어 왔다.
- (4) 한편, 요즘에는 논이 범용경지화가 요구되어 이에 합치되는 배수계획 및 배수관리가 되게, 더욱 정밀성과 확실성이 요청되고 있다. 또, 농가의 겸업화의 진행에 따르는 노동력의 부족으로, 오늘의 관리운영을 전적으로 농업기반시설 관리자가 맡아 하는 형태를 취하고 있다. 이와 같은 새로운 상황에 대응하여 시설의 적절한 관리를 유지하기 위하여 관리제어의 장치화, 시스템화가 계획될 전망이다.
- (5) 농업기반시설의 관리는 하나의 농업생산기반정비사업으로 실시한다. 시설의 소유주체와 다른 자라 하더라도 농어촌정비법에 따르는 소정의 절차를 거쳐 시설의 관리를 할 수 있다.
- (6) 시설의 관리주체에 의해 관리조직이 달라지므로 관리주체를 명확히 할 필요가 있다.
- (7) 관리체제는 배수계획에 기초하여 시설계획 등을 검토하여 최소의 인원으로 말단에 이르는 배수에 관한 정보를 신속 정확하게 파악하여, 필요한 시설의 조작이 기동적인 것이 될 수 있도록 계획한다.

## 다. 시설의 운영관리

- (1) 배수계획을 정확하고 효율적으로 이루어지게 하기 위해서는 관리제어를 하여야 할 항목, 시설의 유지·점검의 방법 등을 관리운영계획에 적절히 설정하여야 한다.
- (2) 배수시설의 적정 원활한 운영을 위하여 배수계획 및 시설계획을 검토함과 함께, 다음과 같은 생각에 따라 관리제어를 하여야 할 항목을 정리한다.
- (3) 배수시설의 계통별로 각 시설의 계획에서 감시 및 제어와 그들의 조작순서 등에 대하여, 각각의 기능 확보와 전체의 적합성(균형성)을 배려하여 중점이 될 항목을 정한다.
- (4) 일반적으로 다음과 같은 목표가 설정된다.
  - 1) 배수수위의 적정화: 홍수시의 각 단계별 목표 내수위의 설정, 평상시의 배수로 내수위의 설정
  - 2) 시설기능의 보전: 시설의 적정조작의 확보, 이상 상태의 조기발견 등
  - 3) 관리경비의 절감: 동력비 등 시설의 운전경비절감, 관리인건비의 절약 등
  - 4) 기타: 신속, 확실한 유지관리작업 등
- (5) 관리제어 시스템에서의 배수제어시설, 계측시설, 전송시설 등의 기능을 유지하기 위하여는 정기점검을 하여 그 작동상황을 정확히 파악함과 함께 필요에 상응한 유지관리기록을 보존하는 기틀을 만든다.
- (6) 시스템의 유지보존은 제어기기, 계측기 등의 관리시설에 대한 가동상황, 문제점, 특성 등의 운전에 관한 여러 점을 파악함과 함께, 이들의 관리방법을 충분히 이해하여 행할 필요가 있다.
- (7) 이상 상태에 대비하여 비상시에 취하여야 할 조치 및 보수방법에 대하여도 생각하여 둔다.
- (8) 계획된 여러 시설의 기능을 충분히 발휘시키기 위해서는 필요항목을 정리한 관리제어 기준을 작성하고, 규칙적 운용을 하는 것이 바람직하다.

## 라. 포장의 관리계획

- (1) 포장에서의 관리시설 및 관리기준은 간척농지의 입지조건이나 영농조건에 따라 상당히 다르다. 그러나 일반적으로 포장내의 배수시설로서 지표배수용 배수구(낙수구)와 지하배수용 암거의 보수관리가 중요하므로 이에 대하여 충분한 검토가 있어야 한다.
- (2) 포장에서의 배수관리는 포장을 작물생육에 적합한 조건으로 하기 위해 과잉된 물을 신속히 배제하는 것이다.
- (3) 바람직한 배수조건은 농작물의 수량이나 품질, 생산량이나 생산액을 최대화시키고 토지생산성을 증대시키며, 농작업의 환경을 개선하고 노동생산성을 높일 수 있도록 하는 것이다. 따라서 포장에서의 배수관리는 해당 지역의 지역적인 배수조건에 정비나 관리를 전제로 해서 실현시켜야 한다.
- (4) 포장의 배수시설로서는 포장에서의 지표수 배수를 위한 배수구(낙수구), 지하배수를 위한 암거 등이 있다. 통상 이 포장배수시설의 관리조작은 각 포장의 경작자가 행한다. 포장의

소유자와 경작자가 다른 경우에서도 통상의 배수관리는 경작자가 행하는 것이 보통이다. 또한 각 포장의 경작자가 아니라 위임을 받은 특별한 임무를 갖는 자가 전문적으로 조작하는 경우도 있다.

- (5) 배수시설은 될 수 있는 한 보수관리가 쉬운 구조로 하고 연간 2회 정도의 청소가 필요하다. 특히 흡수거, 집수거 등에는 토사의 유입이 많으므로 보수시 신중한 주의를 해야 한다. 또한, 수갑은 지하수를 조절하는데 중요한 시설이므로 누수가 없도록 주의해야 한다.
- (6) 암거의 배수구에 대한 위치, 구조의 적부는 배수의 상태를 좌우하여 암거배수의 기능을 제약하므로 수로의 수위와 관계시켜 설계하여야 한다.

## 마. 암거에 의한 지하배수량의 관리

- (1) 포장에서 과잉된 토양수분의 배제를 암거를 설치해서 촉진시키는 경우, 암거는 일반적으로 흡수거, 집수거, 수갑, 배수구 등으로 형성된다. 이러한 암거시설을 이용 지표배수에서 배제하지 못한 지표의 담수나 과잉된 토양수를 포장지하수위의 저하를 도모하면서 배제할 경우, 개선된 토양수분조건에 의해 균열이나 대소의 수로가 토층내에 형성되어 투수성이 증가하고 배수량이 증대될 수 있도록 지하배수량을 철저히 관리해야 한다.
- (2) 암거배수량은 토양의 지하수위, 암거의 매설깊이·간격·관재료·소수재 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서 암거배수량을 집수거 등에 설치한 맨홀에서 유량이나 수위를 제어하여 조절하는 경우나 간척농지의 관개기(담수시)에 수갑의 폐쇄를 통해 조절하는 경우 이의 관리에 대한 사항을 충분히 검토해야 한다.

## (사) 연구결과 종합결론

### 1) 전기 가뭄과 재염화방지를 위한 저류시트형 지하관수+배수 겸용 암거공법 개발

#### □ 요소기술 정립

##### ○ 수치해석결과

##### - 적용대상 조건

- 암거하부 토층이 불투수성 지반에서는 일반 무굴착 암거(유공관+투수성매트(폭 20cm))로 지하관수를 하면 인위적인 지하수위가 형성되고 모관상승에 의한 유효 관수량이 6mm/day이상으로 발작물의 지하관수가 가능함.
- 투수성이 큰 흙에서는 하강침투 손실량이 너무 커서 지하관수+배수 겸용을 위하여 암거하부 차수공법이 필요하며, 허용 손실수량 5mm/day를 기준으로 하면,  $ksb > 3 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  이상의 흙에서는 저류시트형 암거의 적용이 필요함

##### - 저류시트의 소요폭

- 하강침투손실량은 무차수 23.3~26.8mm/day에서 저류시트 10.4로 약 1/2.5로 절감되며, 일 모관상승 관수량 5mm/day 이상을 위하여 저류시트 폭 20cm 이상 필요함.

##### ○ 토조모형시험결과

- 투수성 시트 암거모형은 하강침투가 우세하고, 저류시트 암거모형은 하강침투는 거의 없이 모관상승 만 보이고 이는 수치해석결과와 유사함.
- 모형시험결과 모관상승량은 8.1~9.6mm/day로 일 관수량 5mm/day보다 크고, 지하침투 손실수량도 차수시트가 무차수 보다 1/2~1/4로 암거하부 흙이  $ksb > 3 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  이상의 투수성이면 저류시트형 지하 관수+배수 겸용암거공법의 적용이 필요하다는 결과를 얻었음.

#### □ 무굴착 저류시트암거 매설장비 개발

##### ○ 장비개발 조건

- 백호부착형 무굴착식으로 유공관과 지하관수 저류시트를 동시에 설치
- 매설심도 : 60~70cm, 시트 폭 : 30cm, 시트 설치모양 : 90도 삼각형
- 유공관 : 50mm 주름유공관, 저류시트 : 비닐+토목섬유 복합포

##### ○ 장비제작 도면 설계

- 기존 유공관+수평매트 암거 포설장치를 참조하여 복합포가 90도 삼각형모양으로 매설되게 설계

##### ○ 장비제작 및 시험시공 보완제작

- 시작품제작 시험시공 후 복합포 포설장치 보완

## □ 저류시트형 암거 실증단지 설계 및 시공

- 실증단지 설계
  - 암거간격 : 일관수량 5mm/day를 만족하는 3m, 5m로 설계
  - 암거심도 : 설계기준과 관수량 5mm/day를 만족하는 50~60cm로 설계
- 실증단지 시공
  - 0.25ha에 제작한 저류시트형 지하관수+배수 겸용암거 매설장비로 시공 완료

## 2) 강우 시 지표잔류수 배수촉진 수직소수재 지하암거공법 개발

### □ 요소기술 정립

- 수치해석결과
  - 수직소수재의 높이가 클수록 단위배수량이 커지나 경운시 작토심내 수직소수재는 파손되므로 작토심 (20cm정도) 아래까지만 매설이 되도록 하여야 함.
  - 간척지 토양이  $kd < 5 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 보다 적으나 점성이 있는 토양에서는 심토파쇄를 하면 시간이 경과하여도  $kd < 1.5 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 이상이 유지되므로 심토파쇄를 병행하면 수직소수재 없이 수평매트+유공관 암거로 충분한 것으로 분석됨.
  - 흙의 투수성이 약  $kd = 5 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-4} \text{cm/s}$  범위이고 심토파쇄효과가 없는 미사질 토양인 새만금, 시화, 부사 등의 간척지에서 지표잔류수 배수촉진 수직소수재 지하암거의 적용이 필요하다는 결과를 도출함.
- 토조모형시험결과
  - 토조모형시험결과 지표까지 수직매트를 설치한 토조는 지표잔류수가 10분 안에 하강침투가 완료되었으나, 지표하 10cm까지 수직매트를 설치한 토조는 지표잔류수가 3시간만에 하강침투가 완료 되었음.
  - 지표잔류수 지하배수촉진을 위한 수직소수재는 흙의 투수성이 약  $kd = 5 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-4} \text{cm/s}$  범위일 때 적용 효과가 있다는 결과를 도출함.

### □ 무굴착 수직소수재 암거 매설장비 개발

- 장비개발 조건
  - 백호부착형 무굴착식으로 유공관과 수직소수재를 동시에 설치
  - 매설심도 : 60~80cm, 수직왕겨 폭 : 10cm, 높이 : 50cm
  - 유공관 : 50mm 주름유공관
- 장비제작 도면 설계
  - 기존 유공관+수평매트 암거 포설장치에 왕겨를 수직으로 설치될 수 있게 설계



- 장비제작 및 시험시공 보완제작
  - 시작품제작 시험시공 후 복합포 포설 장치를 최종적으로 보완하였음.

#### □ 수직소수재 압거 실증단지 설계 및 시공

- 실증단지 설계
  - 압거간격 : 일관수량 5mm/day를 만족하는 5m로 설계
  - 압거심도 : 설계기준을 만족하는 60cm 이상으로 설계
- 실증단지 시공
  - 0.5ha에 제작한 저류시트형 지하관수+배수 겸용압거 매설장비로 시공 완료함.

### 3) 간척농지 투수성개선을 위한 고효율 심토파쇄 공법 개발

#### □ 심토파쇄의 필요성

- 흙의 유효공극을 크게 하여 투수성과 통기성 개선.
- 간척지 흙의 투수성 개선으로 토양의 제염촉진과 모세관 절단으로 재염화 방지
- 흙의 투수성을 크게 하여 압거간격을 크게 할 수 있어 공사비 절감
- 흙의 유효공극을 크게 하여 작물생육환경개선

#### □ 요소기술 정립

- 칩투류 수치해석결과 지하배수기능(10~20mm/day)을 유지하기 위하여 심토파쇄의 투수성 개선목표는  $k > 2 \times 10^{-4}$  cm/s 이상, 10년 이후에도  $k > 1 \times 10^{-4}$  cm/s 이상 유지가 요구됨.
- 심토파쇄로 유효공극을 30% 증가시키면 흙의 투수성  $k < 10^{-5} \Rightarrow k > 1 \times 10^{-4}$  cm/s로 개선이 예측됨.
- 심토파쇄공법을 적용한 화옹간척지에 현장투수시험 결과, 파쇄 전  $k=5.8 \times 10^{-6}$ cm/s에서 파쇄직후는  $k=1.3 \times 10^{-2}$ 로 270배 증가, 2년 후 96배, 4년 후 38배로 실측되었으며 10년 후에도 30배이상 유지될 것으로 예상되었음.

#### □ 저비용 고효율 심토파쇄 장비 개발

- 장비개발 제작
  - 백호부착형으로 02용과 08용으로 대형과 소형으로 구상
  - 파쇄심도 : 50~70cm, 모양 : 삼각형 날, 2련발톱, 바가지 3타입
- 시험시공결과
  - 삼각형 날 타입은 02, 08 백호부착 모두 경지반까지 파쇄효율이 가장 높았음.
  - 2련발톱 타입은 연약지반에 유용하나 경지반에 적용이 어려움

- 백호 바가지 타입은 간척지와 같은 연약지반의 파쇄에 매우 유효하였음.
- 실증단지 설계 및 시공지원
  - 전남 신안 도초 시금치 논재배 시범단지 설계 및 시공 지원
- **저비용 고효율 암거 공법 표준화, 제품화 또는 기술 실시**
  - 기상재해 대비 간척지 논 범용화 저비용 고효율 암거 공법 표준화
    - 표준화를 위한 <설계기준 및 유지관리 지침> 작성 별첨
  - 저비용 고효율 암거 및 심토파쇄 공법 표준화, 제품화 또는 기술(지원)실시
    - <신안군 도초면 시금치재배를 위한 지하배수암거 시범사업에 기술실시 함>

#### 4) 간척지 실증단지의 현장조사 및 모니터링

##### □ 1차 간척지 실증단지(시화)의 현장조사 및 모니터링

- 토양의 수분변화
  - 암거 10m간격은 상대적으로 토양수분함량이 높게 나타나고 있었으며, 저류지 인근으로 토양수분함량이 낮게 분포하고 있음
  - 또한, 암거 5m간격과 암거 3m간격간 토양수분 분포상에서는 큰 차이를 보이지 않고 있었으나 3m간격 처리구의 중앙부에서 토양수분함량이 낮게 나타나고 있어 상대적으로 배수가 양호한 것으로 나타남
- 토양의 염도변화
  - 암거 10m간격의 경우 EC 1:5법 EC는 0.8~8.9dS/m의 범위로 평균 3.7dS/m였고, 포화추출액 상태에서 분석한 ECe는 0.7~11.2dS/m의 범위로 평균 4.4dS/m로 분석되었음
  - 암거 5m간격에서는 EC 1:5법 EC는 0.6~4.5dS/m의 범위로 평균 2.1dS/m였고, 포화추출액 상태에서 분석한 ECe는 0.9~6.8dS/m의 범위로 평균 2.8dS/m로 10m간격보다 낮은 수준으로 분석되었음
  - 암거 3m간격은 EC 1:5법 EC는 0.1~6.8dS/m의 범위로 평균 1.6dS/m였고, 포화추출액에서 ECe는 0.2~9.2dS/m의 범위로 평균 2.2dS/m로 가장 낮은 수준으로 분석되었음
  - 본 공간분석 결과는 초기에 동일한 토양조건임을 가만할 때 3m암거의 제염효과가 가장 높은 것으로 나타남
  - 건기 재염화 특성을 보면 심층의 제염이 진행된 암거간격 3m간격 구역은 재염화율이 5%미만이며, 5, 10m간격 구역도 2년차 강우 후 심층까지 제염이 진행되고 건기 지하관수를 하면 재염화율이 10%미만으로 될 것으로 예측됨.
  - 간척지 초기 신속 제염이 필요할 경우 3m간격 암거설치가 유효할 것으로 판단되나 공사비, 설치 기간 등 효율성 면에서는 5m간격 암거가 좀더 유리할 것으로 판단됨

□ 2차 간척지 실증단지(화옹)의 현장조사 및 모니터링

○ 토양의 수분변화 및 지하배수량

- 토양수분함량은 시기별로 5월 평균 25.5%, 6월에는 21.3%로 낮은 수준이었으나 7월 강우기에 접어들면서 33.1%로 상승하였고, 8월, 9월, 10월에는 30%이상의 토양수분 함량을 기록하였음
- 상대적으로 테스트베드의 중앙부에 위치한 2지점의 토양수분이 비교적 낮은 편이었으며, 시험부지의 외곽부에 위치한 계측지점에서 상대적으로 높은 토양수분함량을 기록하였음. 이는 외곽배수로 인근으로 배수가 이루어지면서 외부지역의 토양수분함량이 높은 것으로 판단됨
- 장마철 100mm강우 시 피크 지하배수량을 측정한 결과 기존 굴착식암거 23.01, 42.6mm/day로 185%로 개선된 것으로 평가되었음

○ 지하수위 변화

- 시험포 지표면에서 지하수위면까지의 거리는 시기별로 7월 0.91m, 8월 0.68m, 9월 0.82m, 10월 0.86m를 기록한 것으로 분석되었고, 집중강우가 많이 발생하였던 8월에 급격하게 상승한 것으로 분석되었음
- 비교적 강우량이 많았던 8월에도 암거시설을 설치한 수준을 유지하고 있는 것을 통해 암거시설을 통해 지하수위 상승을 방지하는 것으로 판단됨

○ 토양의 염도변화

- 토양전기전도도는 7월에 2.9dS/m, 8월 2.7dS/m, 9월 2.2dS/m, 10월 1.8dS/m를 기록하여 8월에 다소 일시적으로 상승 후 감소하는 경향을 보임
- 4개월간 지점별로 1.1~6.9dS/m의 범위로 평균 2.4dS/m를 유지하고 있고 특히 외곽 배수로를 제외한 대부분의 재배지역 토양염도는 2dS/m 이하를 유지하고 있어 발작물 재배가 가능한 토양염도 범위를 나타냄

5) 작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사 등을 통한 경제성분석

□ 밀 실증재배

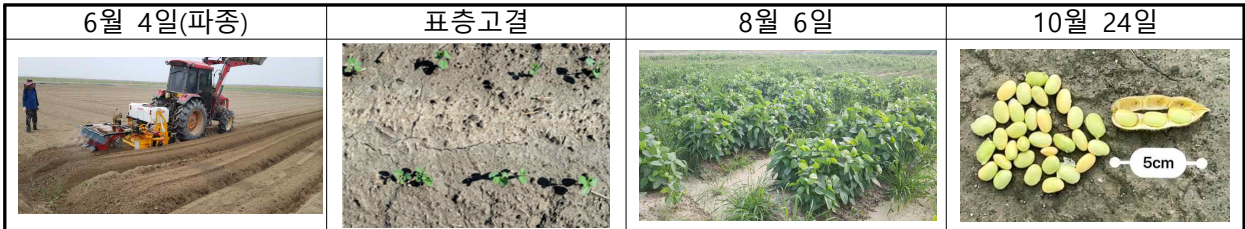
- 4월 5일 밀 봄파종 재배하여 7월 4일에 성공적으로 수확
- 수확량 : 390kg/10a으로 일반 밭 대비 93% 수확량 달성

※ 일반 밭 수확량 : 400kg/10a <밀산업육성계획기본계획 기준('20년)>

4월 30일(파종 후 25일)	6월 25일	수확 7월 4일	제분
			

□ 콩 실증재배

- 6월4일 콩 파종 후 토양표층고결로 발아율(50%)은 낮았으나 발아된 콩의 경우 생육상태가 양호하여 성공적으로 수확
- 수확량 : 170kg/10a으로 일반 밭과 비교 약 84% 수확량 달성
- ※ 일반 밭 수확량 : 203kg/10a <통계청 기준('21년)>



□ 옥수수 실증재배

- 6월8일 정식 후 일부구간에서 습해피해가 발생했으나 정상 수확
- 수확량 : 490kg/10a으로 일반 밭 대비 84% 수확량 달성
- ※ 일반 밭 수확량 : 580kg/10a <통계청 기준('21년)>



- 시화 테스트베드의 경우 용수부족으로 인한 제염화로 인해 옥수수가 고사되는 결과를 나타냈으나 화용 간척지의 경우 적절한 용수공급에 따른 지하수위 형성을 통해 제염화 방지가 정상적으로 이루어져 정상적인 재배결과가 도출된 것으로 사료됨

□ 경제성 분석

- 범용화 시공비용 국가 부담에 대한 경제성
    - 임대료 30만원/ha일 경우 작부가 “옥수수+밀” 이면 쌀 생산보다 더 높은 소득 달성
- (단위: 백만원)

임대료	작부	쌀 (A)	밭작물 (B)		도입효과 (B-A)
		순현재가치	순현재가치	B/C비율	
30만원/ha	옥수수+밀	113.0	112.3	6.145	-0.7
	콩+밀	113.0	59.4	3.723	-53.6
50만원/ha	옥수수+밀	113.0	109.2	6.002	-3.8
	콩+밀	113.0	56.3	3.580	-56.7

○ 범용화 시공비용 농가 부담에 대한 경제성

- B/C 비율이 모두 1보다 크기 때문에 손실이 발생하지 않고 경제성이 있으나 시공하지 않고, 쌀을 재배할 경우와 비교시 농가 소득감소

(단위: 백만원)

구분	작부	쌀 (A)	밭작물 (B)		도입효과 (B-A)
		순현재가치	순현재가치	B/C비율	
2,500만원/ha	옥수수+밀	113.0	111.5	6.723	-1.5
	콩+밀	113.0	58.6	4.010	-54.4
2,600만원/ha	옥수수+밀	113.0	110.7	6.464	-2.3
	콩+밀	113.0	57.9	3.855	-55.1
2,700만원/ha	옥수수+밀	113.0	109.9	6.225	-3.1
	콩+밀	113.0	57.1	3.713	-55.9
2,800만원/ha	옥수수+밀	113.0	109.2	6.002	-3.8
	콩+밀	113.0	56.3	3.580	-56.7

6) 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 작성

- 간척농지 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 설계 및 시공 매뉴얼(본문 참조)
- 간척농지 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 유지관리 매뉴얼(본문 참조)

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성, 연구개발과제의 특성에 따라 수정 가능합니다)

- 본 연구는 목표로 한 정량적 연구성과를 달성함. 또한 학술발표 등은 초과 달성하였음
- 특허출원, 등록, 제품화, 기술실시 등을 모두 달성하였으며, 연구성과를 인한 매출실적도 있음

< 정량적 연구개발성과 >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		연도	1단계 (2020~2021)	2단계 (2022~2024)	계	가중치 (%)	
전담기관 등록·기탁 지표1]	논문 (비SCI)	목표 (단계별)	1	2	3		
		실적 (누적)	1	2	3		
	학술 발표	목표 (단계별)	4	2	6	15	
		실적 (누적)	6	2	8		
	특허출원	목표 (단계별)	1	0	1	20	
		실적 (누적)	1	0	1		
	특허등록	목표 (단계별)	0	1	1	20	
		실적 (누적)	0	1	1		
	연구개발과제 특성 반영 지표2]	제품화	목표 (단계별)	0	1	1	15
			실적 (누적)	1	0	1	
매출액		실적 (누적)	0	0	0		
		실적 (누적)	74,000	0	74,000		
기술실시		실적 (누적)	0	1	1	15	
		실적 (누적)	1	0	1		
홍보전시		목표 (단계별)	1	0	1	10	
		실적 (누적)	3	1	4		
정책반영		목표 (단계별)	0	1	1	5	
		실적 (누적)	0	1	1		
계							

(3) 세부 정량적 연구개발성과 (해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

## [과학적 성과]

### 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	간척지 논범용화를 위한 유공관암거의 품질성능 평가	농업생명 과학연구	박찬기	-	대한민국	경상대학교 농업공학연 구소	비SCI	2021.12.31	1598-5504	100
2	발작물필요수 량 및 공급량을 고려한 가뭄의 시계열 분석	농업생명 과학연구	박찬기	-	대한민국	경상대학교 농업공학연 구소	비SCI	2023.02.28. (예정)	1598-5504	50
3	간척지 무굴착암거공 법 기술수용 요인에 대한 연구	농업생명 과학연구	박영준	-	대한민국	경상대학교 농업공학연 구소	비SCI	2023.02.28. (예정)	1598-5504	100

### 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국농공학회 학술발표회	박영준	2020.10.16	온라인	대한민국
2	한국작물학회 추계학술대회	박영준	2020.11.05	온라인	대한민국
3	한국응용생명화학회 국제학술대회	박영준	2020.8.23.~24	온라인	대한민국
4	한국농공학회 학술발표회	박찬기	2021.11.04~05	전라남도 진도 솔비치	대한민국
5	한국농공학회 학술발표회	박찬기	2021.11.04~05	전라남도 진도 솔비치	대한민국
6	한국농공학회 학술발표회	박영준	2021.11.04~05	전라남도 진도 솔비치	대한민국
7	한국농공학회 학술발표회	박찬기	2022.10.14~15	대구광역시 인터블고	대한민국
8	한국농공학회 학술발표회	박영준	2022.10.14~15	대구광역시 인터블고	대한민국

### 기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 의 활용여부	허용방식

### 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

### 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

## [기술적 성과]

지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	지표수 배수 검용 지하배수암거	한국	박영준, 장정렬, 김현태	2020. 11.30	10-2020- 0163881	1024757 680000	박영준, 장정렬, 김현태	2022. 12.05	1024757 680000	농어촌 연구원 50% 미래농 촌기술 연구소 50%	

### ○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타

저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		

표준화

### ○ 국내표준

번호	인증구분 <sup>1</sup>	인증여부 <sup>2</sup>	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 <sup>3</sup>	제안/인증일자

\* 1) 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.

\* 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.

\* 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

### ○ 국제표준

번호	표준화단계구분 <sup>1</sup>	표준명	표준기구명 <sup>2</sup>	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 <sup>3</sup>	제안자	표준화 번호	제안일자



- \* 1」 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 2」 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 3」 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

## [경제적 성과]

### □ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

### □ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
	자기실시	발작물 재배 확대를 위한 암거배수 시범사업	평택시 농업기술센터	2021.5	-	-

### □ 사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

\* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.

### □ 사업화 현황

번호	사업화 방식 <sup>1)</sup>	사업화 형태 <sup>2)</sup>	지역 <sup>3)</sup>	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자기실시	신공정 개발 (신제품 개발)	국내	간척지 농지 범용화 기술	1차년도 개발기술인 농지범용화 기술을 2차년도 사업화하여 매출발생	미래농촌기술연구소	74,000		2021년	10년

\* 1) 기술이전 또는 자기실시 중 해당하는 사항을 기재합니다.

\* 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.

\* 3) 국내 또는 국외 중 해당하는 사항을 기재합니다.

### □ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
간척지 논범용화 기술	2021	74,000			전자세금계산서
합계					

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
	국외				
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획				
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출				

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2020년	2021년	
1					
합계					

□ 고용 효과

고용 효과	구분	고용 효과(명)	
		개발 전	개발 후
	연구인력		
	생산인력		
	연구인력		
	생산인력		

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원

□ 기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/ 수입

## [사회적 성과]

### 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

### 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

### 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용
1					

### 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	석사학위 취득	2021		1			1						

### 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	한국농어촌공사 연구성과 발표회	한국농어촌공사	간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 및 적용기술 개발	2021.3.9
2	학술발표 특별세션	한국농공학회	간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거 및 적용기술 개발	2021.11.4~5
3	전원과자원	한국농공학회	기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 암거 및 적용 기술개발	2021.11

포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

## [인프라 성과]

### □ 연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

\* 「과학기술기초법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

### [그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

○ 해당사항 없음

### (4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

○ 연구기간에 목표로 하지 않은 매출실적을 달성함으로써 연구의 최종목표인 개발기술의 사업화 달성 가능성이 매우 높음

### 2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 토양수분 이동 수치해석을 통한 모관공급수 저류시트형 지하관수+배수암거 요소기술개발	○ 관배수암거 침투류해석과 모형실험을 통하여 모관공급수 저류시트형 지하관수+배수암거 요소기술을 개발함	○ 100
○ 실내요소실험을 통한 저류시트형 지하관수+배수암거의 최적조합 도출	○ 실험변수 설정하고 실내실험을 실시하여 저류시트형 지하관수+배수암거의 최적 배합을 도출함	○ 100
○ 간척지에 적합한 고효율의 저류시트형 지하관수+배수암거공법(암거 모양 등)	○ 간척지에 적합한 저류시트와 지하관수+배수암거공법(암거 모양 등)을 수치해석 및 모형실을 통하여 개발함	○ 100
○ 간척지 실증단지의 현장조사 및 모니터링	○ 1차 Test bed 실증단지인 시화방조제의 현장조사 및 모니터링을 실시함 ○ 1차년도에서 개발한 모관공급수 저류시트형 지하관수+배수암거를 조기에 적용하여 제염효과 등을 지속적으로 모니터링함	○ 100

○ 간척지에 적합한 고효율의 저류시트형 지하관수+배수암거공법 시공기술(적정장비 선정 시공효율화 기술, 토성에 따른 공법 적용 가능성 분석, 최적화 및 표준화 등) 개발	○ 간척지에 적합한 고효율의 저류시트 지하관수+배수암거 시공공법을 위한 적정장비 선정 및 개발하였으며, 토성에 따른 적용가능성을 분석하였음 ○ 또한 개발한 공법의 간척지에 적용성 평가를 통해 최적화 및 표준화를 달성함	○ 100
○ 기상재해 방지 고효율의 저류시트형 지하관수+배수암거공법의 간척지 실증 단지조성 계획수립 및 조성	○ 고효율의 저류시트형 지환수+배수암거공법의 간척지 실증단지(시화간척지)에 실증 단지 조성 계획 수립 및 Test-bed를 조기에 완성하였음	○ 100
○ 기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 조사 및 실증단지 모니터링	○ 간척지 논범용화를 위한 암거공법의 매뉴얼 조사 및 분석을 실시하였음 ○ Test-bed인 시화간척지의 토성, 재염효과 등을 모니터링하여 분석함	○ 100
○ 침투류해석을 통한 지표잔류수 지하흡수(씽크홀) 기능형 지하배수 암거 요소기술개발	○ 수치해석을 통한 지표잔류수 지하흡수(씽크홀) 기능형 지하배수 암거공법을 검증함 ○ 침투류해석을 통하여 실내요소실험을 위한 변수를 선정하고 배수효과를 분석함	○ 100
○ 실내요소실험을 통한 지표잔류수 지하흡수공+지하배수기능의 최적조합 도출	○ 실내요소실험을 실시하여 지하흡수공+지하배수 기능을 최적화할 수 있는 조합을 도출함 ○ 실내실험결과와 수치해석결과를 상호비교하여 최적 조합을 검증함	○ 100
○ 지표잔류수와 지하배수를 동시에 할 수 있는 지표잔류수 지하흡수공 기능형 암거모양 등 지표배수 겸용 지하암거공법 요소 기술 개발	○ 지표잔류수와 지하배수를 동시에 제거할 수 있는 지하흡수공 겸용 지하암거 공법을 수치해석 및 실내 모형 실험을 통하여 결정함	○ 100
○ 실증단지 콩, 옥수수 등 수입대체작물 실증 재배 및 작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사(모관공급수 저류시트를 이용한 고효율 지하관수+배수암거공법 적용 실증단지)	○ 간척지 Test-bed에 작물재배 실험을 실시하여 생육 상황 및 생산성을 조사 분석함 ○ 실증단지 1차년도에 조성 Test-bed로 모관공급수 저류시트를 이용한 지하관수+배수암거공법 적용 실증단지임	○ 100
○ 건기 모관공급수 저류시트를 이용한 지하관수+배수암거공법 시험포 조성 및 성능실험	○ 건기 모관공급수 저류시트를 이용한 지하관수+배수암거공법의 시험포는 시화간척지에 1차년도에 조성하였으며, 재염효과 등 성능실험을 완료함 ○ 2차년도에는 석문간척지에 지표잔류수 지하흡수공 지표배수 겸용 지하암거공법의 Test-bed 계획 및 조성을 완료함	○ 100
○ 건기 모관공급수 저류시트를 이용한 지하관수+배수암거공법 시	○ 건기 모관공급수 저류시트를 이용한 지하관수+배수암거공법의 시험포 조성 및 성능평가는 1차년도에 시	○ 100

<p>협포 조성 및 성능평가 및 개선 기술 개발</p>	<p>화간척지에 완료하였으며, 2차년도에는 지속적인 모니터링을 통하여 팜폰드 조성 등을 가뭄지 재염화 현상을 방지할 수 있는 개선기술을 개발함</p>	
<p>○ 지표잔류수와 지하배수를 동시에 할 수 있는 지표잔류수 지하흡수공 기능형 암거모양 등 지표배수 겸용 지하암거공법 시공 기술 개발 및 최적화</p>	<p>○ 지표잔류수와 지하배수를 동시에 할 수 있는 지표잔류수 지하흡수공 지표배수 겸용 지하암거 공법의 장비개선, 시공흐름 개선 등을 통하여 최적 시공기술을 개발함</p>	○ 100
<p>○ 기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 초안개발</p>	<p>○ 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법의 품질, 시공, 유지관리 매뉴얼 초안을 품질시험, 기존 간척지 적용 공법 등을 이용하여 작성완료함</p>	○ 100
<p>○ 실증단지 토양의 물리적 특성 평가 및 분석</p>	<p>○ 실증단지(시화 간척지 및 석문간척지 Test-bed)의 토양의 물리적 성능을 평가 분석함</p>	○ 100
<p>○ 간척지 토양 종류별 심토파쇄기법 별 투수성개선효과 평가</p>	<p>○ 간척지 토양 종류별 심토파쇄기법을 적용한 후 투수성 개선효과를 평가하여 최적의 심토파쇄기법을 개발함</p>	○ 100
<p>○ 작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사 등을 통한 경제성분석 실시</p>	<p>○ 실증단지 작물의 생육현황 분석 및 작물의 생산성 조사를 통한 경제성 분석을 실시함</p>	○ 100
<p>○ 실증단지 콩, 옥수수 등 수입대체작물 실증 재배, 작물의 생육 상황 분석 및 생산성조사</p>	<p>○ 실증단지에 작물재배 및 생육상황, 생산성을 조사 분석하였음</p>	○ 100
<p>○ 지표잔류수 지하흡수 기능형 지하배수 암거공법 시험포조성 및 배수성능 실증실험</p>	<p>○ 지표잔류수 지하흡수 기능형 지하배수 암거공법의 시험포를 조성(2차년도)하였으며, 실증시험을 실시함</p>	○ 100
<p>○ 지표잔류수 지하흡수 기능형 지하배수 암거공법 평가 및 개선 기술개발</p>	<p>○ 2차년도 실증단지 시험결과를 분석하여 배수성능을 향상시키기 위하여 간격 조성 등을 실시함</p>	○ 100
<p>○ 간척지 토양 종류에 적합한 저비용 고효율 심토파쇄기법 정립</p>	<p>○ 간척지 실증단지를 이용하여 간척지 토양의 종류에 적합한 저비용 고효율 심토파쇄기법을 정립하여 배수성능을 향상시킴</p>	○ 100
<p>○ 기상재해 대비 간척지 논 범용화 저비용 고효율 암거 공법 제품화 및 기술이전</p>	<p>○ 기상재해대비 간척지 논 범용화 저비용 고효율 암거 공법을 공동연구기관인 미래농촌기술연구소에서 자체 사업화를 통한 제품화 및 기술이전을 달성함</p>	○ 100
<p>○ 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼화</p>	<p>○ 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법의 매뉴얼을 작성완료함</p>	○ 100
<p>○ 실증조성단지 토양 모니터링 및 분석</p>	<p>○ 1차 및 2차 실증단지(시화 간척지 및 석문간척지 Test-bed)의 토양의 물리적 성능을 평가 분석함</p>	○ 100



#### 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

##### 1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

---

해당사항 없음

---

##### 2) 자체 보완활동

---

해당사항 없음

---

##### 3) 연구개발 과정의 성실성

---

해당사항 없음

---

## 5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 저비용의 고효율로 기존 간척지 논범용화 공법의 문제점인 배수문제를 해결할 수 있는 최적 암거기술의 개발로 간척지에서 농업인의 재배 작물의 다변화 제공할 수 있으며, 논 범용화를 위한 다양한 기술개발의 근거 자료 제공
- 간척지 논토양의 밭 전환시 토양수분 및 배수 관리 효과를 극대화할 수 있는 기술의 개발과 더불어 간척지 범용농지에 가뭄 등 기상재해 발생시 배출수를 관개용수로 활용할 수 있는 기술자료 제공과 이를 통하여 농업용수의 효율적 이용이 가능하도록 하는 기술 자료 제공
- 간척지 논토양의 밭작물 재배 합리적 전용을 위한 최적 배수 및 최적관리 기준 제시하고 작물재배 시험을 통하여 검증함으로써 밭작물 재배의 실증자료 및 유지관리 기준안을 제시함으로써 향후 다양한 간척지 논 범용화 공법의 개발 기준 특성 등 제공하여 관련기술 개발의 활성화가 가능토록 함

(단위 : 백만원, %)

총괄과제명	세부과제명	기관명	유형	총 연구개발비 (A)	정부지원 연구개발비 (B)	정부지원 연구개발비 비율 (C=B/A)	성과 유형	기술기여도	
								산정 근거	비율
기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거기술 개발 및 적용 기술개발	기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 요소기술 개발	농어촌연구원	기타 (비영리)	300	300	1.000	신규 기술개발	해당 없음	-
	기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 적용(시공)기술 개발	미래농촌기술연구소	대학 (비영리)	595	378	55.43	신규 기술개발	Ⅱ-①	63.52
	기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 개발	공주대학교	대학 (비영리)	70	70	1.000	신규 기술개발	해당 없음	-
	간척지 범용화 실증단지 작물재배 및 생산성 평가	삼백영농조합법인	영농조합 (영리)	34	34	1.000	기존 공정개선	해당 없음	-
<b>계</b>				<b>999</b>	<b>782</b>	-	-	-	-

## 6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내				
		2023	2024	2025	2026	2027
국외논문	SCIE					
	비SCIE					
	계					
국내논문	SCIE					
	비SCIE					
	계					
특허출원	국내					
	국외					
	계					
특허등록	국내					
	국외					
	계					
인력양성	학사					
	석사					
	박사					
	계					
사업화	상품출시	연구개발 1단계 제품화 달성				
	기술이전					
	공정개발					
	매출액(단위 : 천원)	5,000	5,000	10,000	10,000	10,000
	기술료(단위 : 천원)	127	127	254	254	254
제품개발	시제품개발					
비임상시험 실시						
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상				
		2상				
		3상				
의료기기						
학술발표		1건	1건			
정책활용						
성과홍보						
포상 및 수상실적						
정성적 성과 주요 내용		- 간척지 논 범용화 기술개발로 고소득 작물의 재배가 가능하여 농가소득 향상 - 국가 식량자원의 안정적인 생산을 도모할 수있음				

### 1) 연구개발 결과의 활용방안

- 간척지에서 밭작물 재배 및 기상재해(습해, 가뭄, 염해) 대비가 가능한 저비용·고효율 지하암거 공법 개발로 인한 간척농지의 다각적 활용 방안을 모색하여 기술, 정책적 지원 방안을 모색하는데 활용
- 간척지에 고부가가치 작물 재배를 위한 농지 범용 인프라 기술에 활용
- 간척지 범용농지 기반정비 사업시행 시 필요한 설계, 유지관리 기술 개발 및 종합 정비 지침에 활용
- 중국, 인도 등의 인구증가, 산업화에 따른 대외 곡물 수요의 증가로 국제 곡물 시장불안에 대비한 탄력적인 간척지 논 범용화 단지 조성에 활용
- 간척지 논 범용화를 통한 밭작물 생산단지, 농촌 체험단지, 지속가능한 농업시범연구단지 조성 사업에 활용


- 기상재해 대비 간척지 논 범용화를 위한 저비용 고효율 암거공법 매뉴얼 개발로 인한 향후 다양한 논 범용화 단지 조성의 적용 활용



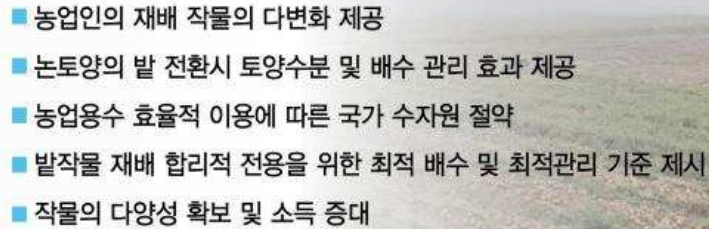
### 연구개발 결과의 활용 방안

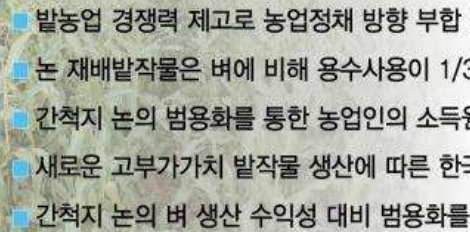
#### 2) 기대성과 및 파급효과


- 간척지 논을 위한 범용화를 위한 최적 암거 및 관리 기술 개발로 농업인의 재배 작물의 다변화 제공
- 저비용으로 간척지 논토양의 밭 전환시 토양수분 및 배수 관리 효과 제공
- 간척지 범용농지에 가뭄 등 기상재해 발생시 농업용수 효율적 이용에 따른 국가 수자원 절약
- 간척지 논토양의 밭작물 재배 합리적 전용을 위한 최적 배수 및 최적관리 기준 제시
- 간척농지의 범용화를 위한 최적 기술 제공으로 농작물의 다양성 확보 및 소득 증대
- 간척지 논에 벼 이외 타작물 재배 활성화를 통한 벼 재배 면적 적정수준 유지로 쌀 수급안정 및 논 작부체계 다양화를 통한 밭농업 경쟁력 제고로 농업정책 방향 부합 및 지원
- 기존 간척지 범용농지 기반정비 사업비에 비해 인프라조성 비용 부담이 덜하며 논 재배 밭작물은 벼에 비해 용수사용이 1/3수준으로 용수개발부담 감소
- 간척지 논을 위한 범용화를 통한 농업인의 소득원 다양화
- 기존의 간척지 논 대상으로 단편적인 쌀 생산에 탈피하여 논에 대한 공간적 이용 재편성을 통하여 새로운 고부가가치 밭작물 생산에 따른 농업 경쟁력 제고 모델을 개발하여 한국미래 농업의 신 농업 모델 제시
- 간척지 논을 위한 벼 생산 수익성 대비 범용화를 통한 농가 수익성 증대 (700만원/ha -> 2000만원/ha)



## 기술적 측면

- 농업인의 재배 작물의 다변화 제공
  - 논토양의 밭 전환시 토양수분 및 배수 관리 효과 제공
  - 농업용수 효율적 이용에 따른 국가 수자원 절약
  - 밭작물 재배 합리적 전용을 위한 최적 배수 및 최적관리 기준 제시
  - 작물의 다양성 확보 및 소득 증대
- 

- 
- 밭농업 경쟁력 제고로 농업정책 방향 부합 및 지원
  - 논 재배밭작물은 벼에 비해 용수사용이 1/3수준으로 용수개발부담 감소
  - 간척지 논·밭의 범용화를 통한 농업인의 소득원 다양화
  - 새로운 고부가가치 밭작물 생산에 따른 한국미래 농업의 신 농업 모델 제시
  - 간척지 논·밭의 벼 생산 수익성 대비 범용화를 통한 농가 수익성 증대



## 경제, 산업적 측면

## 〈참고문헌〉

- 김현태 외, 2015, 간척지 흙의 암거 설치조건에 따른 제염 특성의 이론적 해석, 한국농공학회논문집, Vol. 57, No. 3, pp.87-92
- 농림축산식품부, 2018, KCS 67 50 50 : 2018 경지정리 암거배수 공사
- 농림축산식품부, 2018, KDS 67 45 40 : 2018 농지배수 지하배수계획
- 농림축산식품부, 2018, KDS 67 45 90 : 2018 농지배수유지관리
- 농림축산식품부, 2018, KDS 67 65 30 : 2018 해면간척 용배수 설계
- 농림축산식품부, 2018, KDS 67 65 40 : 2018 해면간척 제염 설계 및 지구내 계획
- 농어촌연구원, 2012, 간척지의 제염 간척지 제염으로 한국의 미래 농업을 개척하자
- (주) 워터매니지먼트 외, 2019, 집중호우 대비 저비용 고효율 농지범용화 시스템과 이를 이용한 약물 재배 및 기능성 식품 제조기술 개발
- 한국농어촌공사, 2018, 간척실무총람(하권)
- 한국농어촌공사, 2015, 범용농지조성 기반기술개발
- 한국농촌경제연구원, 2012, 간척지의 농업적 이용을 위한 종합계획 수립방안

### 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농업기반 및 재해대응기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농업기반 및 재해대응 기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.