

완결과제 최종보고서

일반과제(○), 보안과제()

(과제번호 : PJ009287)

국가관리 간척지 특성화 지구 토양, 수질, 생물상 변동연구

(Monitoring on soil, water, biota changes at government-controlled reclaimed lands)

국립식량과학원

연구수행기간

2013. 2. 1. ~ 2016. 12. 31.

농촌진흥청

제 출 문

농촌진흥청장 귀하

본 보고서를 “국가관리 간척지 특성화지구 토양, 수질, 생물상 변동연구”(개발기간 : 2013. 2. ~ 2016.12.) 과제의 최종보고서로 제출합니다.

제1세부연구과제 : 대규모 간척지 특성화지구 세부정밀 토양조사

제2세부연구과제 : 간척 지구별 토양 물리성 및 화학성 변동 조사

제3세부연구과제 : 간척지 담수호 및 유입하천 농업용수 수질조사

제1협동연구과제 : 간척지 토양에서의 이화학적 변화에 따른 생물상 변화

2017. 2. 28.

제1세부연구기관명 : 국립식량과학원

제1세부연구책임자 : 류진희

참 여 연 구 원 : 배희수, 김선, 김영주, 이수환, 이상훈, 정진

제2세부연구기관명 : 국립식량과학원

제2세부연구책임자 : 류진희

참 여 연 구 원 : 이수환, 양창휴, 홍하철, 오양열, 김영주, 정진, 배희수, 김홍규, 강종국

제3세부연구기관명 : 국립식량과학원

제3세부연구책임자 : 김영두

참 여 연 구 원 : 김홍규, 홍하철, 류진희, 김영주, 이상훈, 이수환, 오양열, 정진, 황선아, 배희수

제1협동연구기관명 : 원광대학교 산학협력단

제1협동연구책임자 : 최준호

참 여 연 구 원 : 김창환, 사동민, 고은성, 박미나, 정지안, 양광민, 백성범, 이남숙, 박혜림, 백종선,
유칠선, 김영근, 두하은, 이영욱, 김재홍, 이재강, 성소영, 강연경, 조영준, 최현웅,
강은옥, 오성택, 이현아

주관연구책임자 : 류진희 류진희

주관연구기관장 : 국립식량과학원장



농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업 운영규정 제51조에 따라 보고서
열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제번호	PJ009287	연구기간	2013.02.01.- 2016.12.31.(47개월)	
연구사업명	단위사업명	농업공동연구		
	세부사업명	농업첨단핵심기술개발		
	내역사업명	핵심전략기술개발		
연구과제명	주관과제명	국가관리 간척지 특성화 지구 토양, 수질, 생물상 변동연구		
	세부(협동) 과제명	(1세부) 대규모 간척지 특성화지구 세부정밀 토양조사 (2세부) 간척 지구별 토양 물리성 및 화학성 변동 조사 (3세부) 간척지 담수호 및 유입하천 농업용수 수질조사 (1협동) 간척지 토양에서의 이화학성 변화에 따른 생물상 변화		
연구책임자	구분	연구기관	소속	성명
	1세부	국립식량과학원	작물기초기반과	류진희
	2세부	국립식량과학원	작물기초기반과	류진희
	3세부	국립식량과학원	작물기초기반과	김영두
	1협동	원광대학교	식품·환경학부	최준호
총 연구기간 참여 연구원 수	총: 37명 내부: 14명 외부: 23명		총 연구개발비	정부: 180,000천원 민간: - 천원 계: 180,000천원
위탁연구기관명 및 연구책임자			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:		상대국 연구기관명:	
요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)				보고서 면수 : 115

〈 국 문 요 약 문 〉

연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none">○ 국가관리 간척지의 토양관리 대책 및 정책 수립을 위한 기초 자료 제공○ 국가관리 간척지 6개 지구 26,552ha 토양조사<ul style="list-style-type: none">- 영산강, 석문, 이원, 시화, 화옹, 새만금○ 국가관리 간척지 11개 지구의 토양 이화학성 모니터링<ul style="list-style-type: none">- 영산강, 새만금, 석문, 이원, 남포, 시화, 화옹, 군내, 보전, 삼산, 고흥○ 국가관리 간척지 11개 지구의 담수호 및 유입하천 수질 모니터링○ 국가관리 간척지의 토양의 이화학성 변화에 따른 생물상 변화 조사				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none">○ 국가관리 간척지 6개지구(26,552ha)의 토양조사 및 전자토양도 작성<ul style="list-style-type: none">- 영산강간척지 7,049ha, 석문, 이원간척지 2,815ha, 시화, 화옹간척지 8,118ha, 새만금간척지 8,570ha○ 국가관리 간척지 11개 지구의 대표지점에서 정점조사를 통한 토양 이화학성 모니터링 및 토양개량 방안 제시<ul style="list-style-type: none">- 국가관리 간척지구의 평균적인 토양 화학성은 pH, EC, 치환성 K, Mg는 적정치보다 높았고, 유기물과 유효인산은 크게 낮았음○ 국가관리 간척지 11개 지구의 대표지점에서 담수호 및 유입하천 수질 자료 축적(4회/년)○ 국가관리 간척지구의 토양의 이화학성 변화에 따른 생물상 변화 조사<ul style="list-style-type: none">- 토양 미생물의 조성(중온성 세균 대비 내염·호염성 세균의 비율)은 EC와 유의적인 정의 상관관계를 갖고 있어 이를 토양미생물 기반 간척지 숙전화 지표로 개발하였음- 간척지 토양의 유기물 함량은 경작 여부에 직접적으로 영향을 받고 있으나, 일반 토양에 비하여 낮은 수준. 간척지 토양에서 토양미생물의 밀도는 각각 탈수소효소활성(0~200 $\mu\text{g-TPF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)과 유기물 함량(0~10 g Kg^{-1}) 간에 유의적인 정의 상관관계를 나타냄				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none">○ 간척지 토양정보 DB 구축 및 「흙토람」 연계 토양정보 제공<ul style="list-style-type: none">- DB 구성 : 간척지 78지구, 75,535ha, 483도폭(1:5,000 축적)* 저작권 등록번호 : D-2016-000098(2016.10. 4)○ 토양염농도 분포지도 활용(새만금, 시화, 화옹간척지) 제안○ 국가관리 간척지 11개 지구의 효율적 농지 활용을 위한 토양화학성 및 지력증진 방안 제시○ 국가관리 간척지 11개 지구의 담수호 유입 하천수의 수질 특성 제시○ 토양미생물상에 기반한 간척지 토양의 숙전화 지표 개발<ul style="list-style-type: none">- 토양 미생물 상은 중온성 세균 대비 내염·호염성 세균의 비중 [(HTB+HB) MB⁻¹]이 토양의 EC와 직접적인 상관관계* 토양미생물의 조성을 토양의 생물학적 관리 인자로 활용				
중심어 (5개 이내)	간척지	토양	수질	미생물	식생

〈 Summary 〉

Purpose& Contents	<ul style="list-style-type: none"> ○ Accumulation of baseline data for soil management and policy making of government controlled reclaimed lands ○ Soil survey of 6 government controlled reclaimed lands(26,552ha) <ul style="list-style-type: none"> - Yeongsan river, Seongmun, Iwon, Sihwa, Hwaong, Saemangeum ○ Monitoring of changes of soil physico-chemical properties in government controlled 11 reclaimed lands ○ Monitoring of water quality of freshwater lake and inflow river in government controlled reclaimed land ○ Investigation of changes of flora and vegetation due to changes in physico-chemical properties of reclaimed soils 				
Results	<ul style="list-style-type: none"> ○ Soil survey and making of digital soil map of government controlled 6 reclaimed lands(26,552ha) <ul style="list-style-type: none"> - Yeongsan river, 7,049ha Seongmun · Iwon(2,815ha), Sihwa · Hwaong (8,118ha), Saemangeum(8,570ha) ○ Accumulation of soil physico-chemical data of government controlled reclaimed lands and suggestion of soil improvement methods ○ Accumulation of water quality data of freshwater lake and inflow river in government controlled reclaimed lands ○ Differentiation of microbial flora due to changes in chemical properties of reclaimed soils <ul style="list-style-type: none"> - The ratio of microbial composition (halo-tolerant and halophilies against mesophiles) has a close relationship with ECs of soils, and it was developed and applied as microbiological reclamation index. - The contents of organic matter in reclaimed soil is directly affected by the cultivation, but it is lower than that of general soil. The soil microbial population in the reclaimed soils have positive correlations with dehydrogenase activity ($0 \sim 200 \mu\text{g-TPF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) and organic matter content ($0 \sim 10 \text{ g Kg}^{-1}$), in respectively. 				
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> ○ Making DB for soil information of reclaimed land <ul style="list-style-type: none"> - 78 reclaimed lands, 75,535ha(1:5,000 scale) * copyright registration Number : D-2016-000098(2016.10. 4) ○ Offering of soil salinity map of government controlled reclaimed lands(Sihwa, Hwaong, Iwon) ○ Suggestion of soil improvement methods of reclaimed lands for efficient farmland utilization ○ Offering of water quality data of freshwater lake and inflow river in government controlled reclaimed lands ○ Development of Microbiological reclamation index of reclaimed soil <ul style="list-style-type: none"> - The ratio of microbial composition[halotolerant and halophilies against mesophiles(HTB+HB)/MB)] has a direct corelation with soil EC 				
Keywords	Reclaimed land	Soil	Water quality	Microbial flora	Vegetation

〈 목 차 〉

제 1 장	연구개발과제의 개요	1
제 2 장	국내외 기술개발 현황	3
제 3 장	연구수행 내용 및 결과	5
제 4 장	목표달성도 및 관련분야 기여도	108
제 5 장	연구결과의 활용계획	109
제 6 장	연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	109
제 7 장	연구개발성과의 보안등급	109
제 8 장	국가과학기술지식정보서비스에 등록된 연구시설·장비현황 ...	109
제 9 장	연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적 ...	110
제 10 장	연구개발과제의 대표적 연구실적	110
제 11 장	기타사항	111
제 12 장	참고문헌	112

제 1 장 연구 개발 과제의 개요

제1절 연구 개발 목적

우리나라의 간척지는 조성목적이 벼 재배 위주의 주곡생산이었기 때문에 지금까지는 주로 논으로 이용되어 왔다. 그러나 최근 우리나라의 쌀 소비는 감소 추세에 있는 반면 밭작물은 그 수요가 늘어나고 있어 간척지에서 벼 대신 밭작물을 재배해야 할 필요성이 증대되고 있다.

서남해안 간척사업은 1965년부터 2020년까지 135천ha의 농지를 조성할 계획으로 추진 중이다(표 1). 현재까지 약 95천ha의 농지가 조성되었고, 5개 지구에 약 4만ha의 간척지 조성사업이 시행중이다. 간척 준공 후 미처분 된 9개 지구 13,225ha(표 2)와 현재 시행중인 40,199ha중 비농업용 23,985ha를 제외한 30,394ha의 간척농지를 국가에서 관리하고 있다(표 1).

2010년 농식품부는 「대규모 간척지 활용 기본구상」(이하 “기본구상”)을 확정·고시하였고 2012년에는 「간척지의 농업적 이용 및 관리에 관한 법률」 제정되어 간척지를 효율적으로 활용하기 위한 법령이 마련되었다. 2014년에는 간척지를 농업적 이용 외 어업적으로도 활용 가능하도록 법령이 개정하여 법령이 「간척지의 농어업적 이용 및 관리에 관한 법률」로 변경되었다. 농식품부는 간척지법 제6조에 따라 2013년부터 간척지 활용 실태조사를 추진 중에 있다.

본 연구에서는 국가에서 관리하고 있는 간척지구에 대한 토양관리 대책과 효율적 활용을 위한 기초 자료를 제공하고자 간척지 토양의 물리·화학적·생물상 변동에 대한 모니터링을 실시하고 간척지 담수호와 유입하천의 수질을 분석하였으며, 대단위 간척지 6개 지구(영산강, 석문, 이원, 시화, 화옹, 새만금) 26,552ha를 대상으로 한 토양조사를 실시하였다.

표 1. 간척지 조성 계획 및 현황

계 획 면적 (천ha)	준 공(천ha)			공 사 중(천ha)	
	소 계	처 분	미처분	농업	비농업
135 (201지구)	95 (196)	82 (186)	13 (10)	17 (5)	23 (3)

표 2. 준공 후 미처분 간척지 현황

구 분	지구명	위 치		면적(ha)	사업기간	시행기관
		도	시·군			
계		7		13,369		
준공 후 처분 전	석 문	충남	당진	1,968	'87~05	당진군
	남 포	“	보령	825	'85~07	보령시
	고 흥	전남	고흥	2,057	'91~08	고흥군
	군 내	“	진도	464	'91~08	진도군
	보 전	“	진도	213	'87~97	진도군
	이 원	충남	태안	847	'90~09	태안군
	삼 산	전남	장흥	283	'97~09	장흥군
	시 화	경기	화성	745	'98~10	농어촌공사
	(영산강Ⅲ-1)	전남	영암/해남	3,093	'97~14	농어촌공사
	(영산강Ⅲ-2)	“	해남	2,874	'97~11	농어촌공사

제2절 연구 개발의 필요성

우리나라의 간척사업은 식량자원 확보를 위한 농경지 확보('80년대 까지) 차원에서 복합곡물 생산단지, 생태공원·환경자원 보존, 공업·농업단지, 수자원 확보 등으로 다양화 됨에 따라 간척지의 효율적이면서 다양한 이용을 위해 간척지 토양의 이화학적 성질, 수질 및 생물상에 대한 지속적인 모니터링이 중요하다.

우리나라는 전 국토에 대한 세부정밀토양조사를 실시하여 농촌진흥청의 토양환경정보시스템인 「흙토람: <http://soil.rda.go.kr>」이 구축·운영되고 있고 농업환경변동조사를 통하여 일반농경지(논, 시설재배지, 밭, 과수원), 취약농경지, 농업용수 등에 대하여 지속적인 모니터링을 실시하여 왔다. 그러나 간척지의 토양, 수질, 생물상에 대한 연구는 아직까지 제한적으로 추진되어 간척지의 토양·수질·생물상 변동에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다.

제3절 연구 개발 범위

1. 대규모 간척지 특성화지구 세부정밀 토양조사

영산강 간척지 12,500ha, 석문간척지 1,968ha, 이원간척지 847ha, 시화간척지 3,636ha, 화옹간척지(4,482ha), 새만금간척지(8,570ha)에 대한 세부정밀토양조사 및 토양이화학적 성질을 조사하고 토양통 분류 및 토양도를 작성한다.

2. 간척지구별 토양물리성 및 화학성 변동 조사

국가관리 간척지 11지구의 대표 조사지점을 선정하고 pH, EC 등 토양화학성과 토양 3상, 용적밀도 등 토양물리성을 조사한다.

3. 간척지 담수호 및 유입하천 농업용수 수질조사

국가관리 간척지 11지구의 담수호 39지점과 유입하천 60지점을 대상으로 수질시료를 채취하여 담수호와 하천수의 법적 수질기준 항목과 농업적 활용을 위한 수질 항목(EC, NO₃⁻ 등)을 분석한다.

4. 간척지 토양에서의 이화학적 변화에 따른 생물상 변화

간척지 특성화 11지구를 대상으로 식생조사는 해당 간척지 전 지역을 실시하고 토양미생물, 미소동물 및 탈수소효소 활성을 토양이화학적 정점조사를 실시한 지점과 동일 지점에서 시료를 채취하여 조사한다. 토양미생물은 중온성·고온성 세균, 내염성·호염성 세균, 사상균, 곰팡이의 밀도와 활성을 조사하였으며, 동시에 탈수소효소활성을 측정하였다. 또한 간척지 토양에 존재하는 토양미소동물은 간척지구별 정점토양을 대상으로 노린재목, 벌목, 거미목, 낫벌이목, 쫓붙이목, 톱토기목, 돌쫓목, 갈르와벌레목, 집게벌레목, 매뚜기목, 바퀴목, 다듬이벌레목, 총채벌레목, 진드기목, 통거미목, 의갈목, 등각목, 배각강, 순각강 등 17목 2강에 대하여 분석하였다. 간척지구별 식물상과 식생의 변화는 봄, 여름, 가을, 계절별 전체 간척지구를 대상으로 식물상(분포유형, 식물종 목록, 생활형, 산포기관형, 생육형 등에 대한 조사 후 간척지 내 식물상 변화, 생활형식, 분포유형식물의 분류 및 동정, 관속식물의 출현종, 귀화식물과 염생식물의 생활형)과 식생(우점종과 식별종에 의한 식생단위, 항공사진과 국립지리원발행 지형도를 이용한 식물사회학적 조사와 조사지점의 현존식생도)을 조사·분석하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내 현황

국내에서는 토양의 이화학적 변화를 조사하기 위하여 정밀토양 조사 (1964~1979), 농토배양 10개년 사업 (1980~1989), 밭토양 세부정밀 조사 ('95~'99), 농업환경실태 모니터링을 위한 농업환경변동 조사 (1999~2008), 특성화 11개 지구를 제외한 서해안 간척지 (75개 지구 38,141ha) 토양특성 조사 및 정보DB 구축 사업 (2010), 새만금간척지 계화, 광활, 화포, 군산 지구 등 4개 지역의 토양염 농도 및 물리성 등에 대한 연구 (2007, 2010) 등이 진행되었다. 또한 일반 농경지 토양을 대상으로 세균 (호기성 및 통성혐기성), 방선균, 사상균에 대하여 밀도와 활성을 조사함으로써 생물학적 농업환경 평가를 위한 토양미생물 분포조사가 농업환경변동조사사업(1999~2008)으로 진행되었고 토양 생태계의 중요한 구성원인 토양미생물을 활용하고자 하는 시도가 추진되었다. 전북 동진강(2005) 및 만경강(2006) 하구역 염습지 식물상 및 식생, 새만금 간척지 토양환경 변화에 따른 식생변화 ('08~'11), 새만금 간척지 식물군락의 활용구상(2010) 등에 대한 사업추진으로 간척지구의 식물생태계에 대한 조사·연구가역시 제한적으로 진행되었다. 토양의 상태를 판정하는 QBS (Biological Quality of Soil)를 위하여 토양 미소동물 (무척추동물)을 환경 지표생물로 활용하고자 하는 연구 (2006, 2011) 등에 대한 연구사업이 제한적으로 추진되었다.

제2절 국제 현황

국제적으로는 토양, 수질, 생물상을 통합적으로 인식하여 생태계 보존 및 생물자원의 다양성 확보 등 환경자원 보호와 종합적인 관리를 위한 연구 사업이 정책적으로 진행되어 왔다. 토양의 질을 포함하여 토양의 건전성과 생태계적인 기능을 적용하는 관리체계가 국외에서 도입되어 적용되고 있는 실정이다. 현재 OECD에서는 토양, 공기, 물 등 환경요인에 따른 다양한 지표를 개발하여 각국의 농업환경지표 (AEIs: Environmental Indicators for Agriculture)로 활용하고 있으며 정책효율성을 향상시키고 농업 부문의 환경에 대한 정책효과를 분석하여 농업환경정책에 반영하고 있다. 미국의 농무성은 80년대 중반부터 토양, 생물상 등 환경자원종합관리시스템 구축을 위한 연구사업을 추진하여 농업환경정책 수립과 평가에 활용하고 있으며, 자연자원보호청 (NRCS)은 90년대 초반부터 농업환경정보를 지리정보 시스템과 연계하는 서비스 (<http://soils.usda.gov>)를 제공함으로써 효율적으로 농업환경과 자연자원을 관리하고 있다. 캐나다 역시 농경지 수질의 환경영향 평가 연구를 통하여 농경지의 수질오염 위험성을 평가하는 기술을 개발하여 운영하고 있으며 국가 지하수 사용현황 및 수자원 분포지도에 해당하는 DB를 체계적으로 구축·운영하고 있다.

유럽연합은 JRC (Joint Research Center)를 구축하여 유럽지역의 Soil 포털을 운영함으로써 토양의 지속성과 관련된 토양침식 위험성 등 농업환경지표 작성하는 다양한 정책을 지원하고 있다. 대표적인 농업국가인 네덜란드에서는 토양의 비옥도 변화와 영양분 모니터링을 이용하여 작황패턴 예측에 활용하고 있으며, 90년대 초부터 국가적인 전략사업으로 농업환경정보시스템 구축을 추진하여 농업부문 농업환경자원 DB와 환경영향평가 모니터링시스템 등 운용하여

왔다. 일본의 경우에는 토양, 병해충, 미생물 등 농업환경자원 데이터베이스를 구축하였고, 토양 침식지도 작성, 지역단위 질소 오염 위험성 평가 등을 개발하여 친환경 지속농업을 위한 농업환경위험 지표로도 활용하고 있다.

전 세계적으로 토양환경요인 정보에 대한 토양정보를 새롭게 구축하고 개선하려는 노력을 지속적으로 경주하고 있으며, 단순한 토양정보에 국한하지 않고 이를 생태계적인 기능을 연계하여 효율적이고 종합적인 운영체계를 구축하여 운영하고 있다.

표 3. 국내외 연구현황 비교 및 필요 연구 분야

국가	연구현황	필요 연구 분야
국내	정밀토양 조사(1964~1979), 농토배양 10개년 사업(1980~0989), 밭토양 세부정밀 조사(1995~1999), 농업환경 실태 모니터링을 위한 농업환경변동 조사(1999~2008) 및 토양환경정보시스템 구축·운영 새만금 간척지 토양환경의 변화에 따른 식생의 변화(2008~2011), 새만금 간척지 식물군락의 활용(2010) 특성화 11개 지구를 제외한 서해안 간척지(75개 지구 38,141ha) 토양특성 조사 및 정보DB 구축 사업(2010) 새만금간척지 계화, 광활, 화포, 군산 지구 등 4개 지역의 토양특성 변동조사(2007년, 2010년)	일반농경지, 취락농경지, 농업용수, 농경지 등에 한정 특성화 11개 지구 토양에 대한 기초연구 추진 필요 토양의 물리화학적 성질과 식생·토양미생물·미소동물 간의 상호연관성에 대한 연구 필요
OECD	토양, 공기, 물 등 환경요인에 따른 다양한 지표를 개발하여 각국의 농업환경지표로 활용	토양과 더불어 생태계를 구성하는 다양한 요인에 대한 체계적인 환경자원에 대한 기초연구 및 지속농업환경 구축을 위한 관리체계 추진
미국	환경자원종합관리시스템 (국가토양정보시스템) 구축, 농업환경 정책수립과 평가에 활용	
일본	토양, 병해충, 미생물 등 농업환경자원 DB구축, 토양 침식지도 작성, 친환경 지속농업을 위한 농업환경위험 지표로 활용	
네덜란드	토양 내 영양분 모니터링을 통한 비옥도 변화와 작황패턴 예측에 활용 : 농업환경자원 DB와 환경영향평가 모니터링시스템 운영	
캐나다	농경지의 수질오염 위험성 평가에 대한 기술 개발 및 지하수 사용현황 및 수자원 분포지도 DB 구축	
유럽	유럽연합의 JRC(Joint Research Center), 토양의 지속성과 농업환경지표 지원	

제 3 장 연구 수행 내용 및 결과

제 1 절 대규모 간척지 특성화지구 세부정밀 토양조사

1. 연구수행 내용

국가관리 간척지 11개 지구 중 영산강간척지 12,500ha, 석문간척지 1968ha, 이원간척지 847ha, 시화간척지 3,636ha, 화웅간척지(4,482ha), 새만금간척지(8,570ha)에 대하여 세부정밀토양조사 및 토양이화학성을 조사하였다. 표 1에 토양조사 대상 간척지 개황을 나타내었다. 조사 시기는 2013년에 영산강간척지, 2014년에 석문, 이원간척지, 2015년에 시화, 화웅간척지, 2016년에는 새만금간척지를 조사하였다.

조사대상 간척지에 대하여 토성, 토양염농도, 배수등급 등의 토양 이화학성을 조사하였고 토양통 분류 및 토양도를 작성하였다. 조사방법은 ‘간척지 토양조사 및 해설 매뉴얼(2012, 식량원)’기준으로 조사하였다.

표 1. 토양조사 대상 간척지 개황

구분	위치	육지부 면적	토지이용	공사기간
영산강	전남 영암군, 해남군, 강진군(영산강 간척지 Ⅲ-I, Ⅲ-II 지구)	12,500ha	논, 밭(사료작물, 콩, 수수, 잔디 등), 시설재배(무화과양액재배)	Ⅲ-I : 1985~2003 Ⅲ-II : 1989~2004
석문	충남 당진시 석문면 삼화리, 통정리 일원	2,780ha	대부분 논, 밭(사료작물)	1987~2003
이원	충남 태안군 이원면 포지리, 원북면 방갈리	1,199ha	논	1990~2006
시화	경기도 안산시 단원구 대부동, 화성시 송산면, 서신면 일원	3,636ha	논	1998~2012
화웅	경기도 화성시 서신면, 우정읍 일원	4,482ha	논	1990~2012
새만금	전북 군산시 옥서면, 김제시 광활면, 부안군 계화면 일원	28,300ha	—	1991~2020

2. 결과 및 고찰

가. 영산강 간척지

(1) 토양통 분류 및 분포면적

영산강간척지 Ⅲ-1, Ⅲ-2 지구의 토양통 분류를 그림 1에 나타내었고 토양통별 분포면적을 표 2에 나타내었다. 영산강간척지는 포승통이 4,500ha로 가장 높은 면적 분포를 나타내었고 다음이 여수통(YF) 3,280ha, 광포통(Kw) 1,687ha 순을 나타내었다.



그림 1. 영산강 간척지 토양통 분류

표 2. 토양종류별 분포면적

구분	여수통 (YF)	포승통 (Pe)	복천통 (BH)	광포통 (Kw)	포리통 (Pr)	가포통 (Kp)	율포통 (YH)	다평통 (Dt)	태안통 (TD)	금진통 (Kl)	구포통 (Ku)
면적(ha)	3,280	4,500	1,201	1,687	1,280	176	132	96	64	52	32
비율(%)	26.2	36.0	9.6	13.5	10.2	1.4	1.1	0.8	0.5	0.4	0.3

(2) 토양 이화학적 특성

○ 영산강 간척지 조사 대표지점의 형태 및 물리적 특성

영산강 간척지 Ⅲ-1, Ⅲ-2 지구의 조사 대표지점과 2010년에 농식품부에서 고시한 대규모 간척지 활용 기본구상안을 그림 2에 나타내었다.



■ : 조사대표지점



대규모 간척지 활용 기본구상안(2010,농식품부)

그림 2. 영산강 간척지(Ⅲ-1, Ⅲ-2) 조사 대표지점 및 토지이용계획

조사된 토양통별 토양 물리적 특성은 표 3과 같다.

표 3. 영산강 간척지 조사 대표지점의 형태 및 물리적 특성

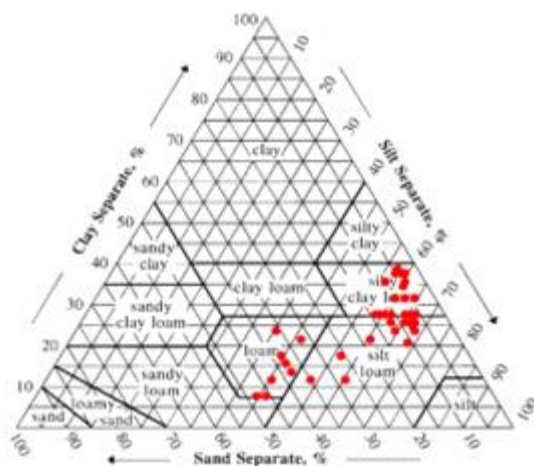
구분	유효 토심 (cm)	지하 수위 (cm)	토양 배수	토성	토색	용적밀도 (Mg/m ³)	토양3상			공극률
							고상	액상	기상	
여수통	0~20	20~50	불량	식질	암회색	1.35	51	26	23	49
포승통	0~20	20~50	불량	미사식양질	암회색	1.37	52	23	25	48
복천통	0~20	20~50	불량	미사식양질	암회색	1.28	48	27	24	52
광포통	50~100	20~50	약간불량	사양질	회갈색	1.52	57	16	26	43
포리통	0~20	20~50	불량	미사식양질	회갈색	1.26	48	26	27	52
울포통	0~20	20~50	약간불량	식양질	암갈색	1.53	58	18	25	42
가포통	0~20	20~50	불량	미사식양질	회색	1.53	58	19	23	42
구포통	20~50	20~50	불량	사양질	회갈색	1.51	57	18	25	43
금진통	0~20	20~50	불량	사양질	암회색	1.37	52	18	30	48
다평통	0~20	20~50	불량	사양질	회갈색	1.49	56	19	25	44
태안통	20~50	50~100	약간불량	사양질	암회색	1.38	52	21	27	48

○ 영산강간척지 조사 대표지점의 토성 및 입경분포

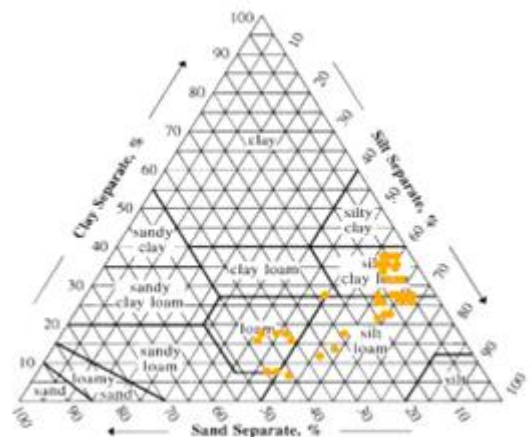
영산강간척지의 토양통별 토성 및 입경분포를 표 4와 그림 3에 나타내었다. 영산강간척지는 대부분의 서해안 간척지와 달리 점토함량이 높아 주로 미사질식양토의 토성을 나타내었다.

표 4. 토양통별 토성 및 입경분포

토양통	토층	입경분포(%)			토 성
		모 래	미 사	점 토	
여수통	표토	7.0	63.3	29.7	미사질식양토
	심토	7.6	62.8	29.6	미사질식양토
포승통	표토	8.5	61.5	30.0	미사질식양토
	심토	6.7	62.7	30.7	미사질식양토
북천통	표토	8.0	58.6	33.4	미사질식양토
	심토	6.6	58.6	34.8	미사질식양토
광포통	표토	25.0	58.3	16.7	미사질양토
	심토	23.0	56.8	20.0	미사질양토
포리통	표토	7.0	63.0	30.0	미사질식양토
	심토	5.0	60.0	35.0	미사질식양토
율포통	표토	30.3	49.0	20.7	양토
	심토	23.3	53.3	23.3	미사질양토
가포통	표토	14.0	58.0	28.0	미사질식양토
	심토	6.0	56.0	38.0	미사질식양토
구포통	표토	36.0	40.0	24.0	양토
	심토	13.0	61.0	26.0	미사질양토
금진통	표토	32.0	53.0	15.0	미사질양토
	심토	41.7	51.0	7.3	미사질양토
다평통	표토	35.7	49.0	15.3	양토
	심토	34.3	49.0	16.7	양토
태안통	표토	35.0	47.0	18.0	양토
	심토	29.5	47.5	23.0	양토



<표토>



<심토>

그림 3. 영산강 간척지 토양통별 입경분포

○ 토양통별 조사지점의 화학적 특성

영산강간척지의 조사 대표지점의 토양화학성을 표 5에 나타내었다. 표토의 토양화학성은 전기전도도(EC)는 0.59~4.93 dS/m의 범위를 나타내었고 유기물(OM)은 9~21 g/kg의 범위를 나타냈으며 유효인산(Av.P₂O₅)은 8~28 mg/kg로 적었고 유효규산(Av.SiO₂)은 113~307 mg/kg의 범위를 나타내었다.

표 5. 토양통별 조사지점의 화학적 특성

층위	토양통	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Av.SiO ₂ (mg/kg)	Ex.-cations (cmol ⁺ kg ⁻¹)			
							K	Ca	Mg	Na
표토	여수통	7.1	3.81	19	14	274	1.26	4.7	5.9	4.3
	포승통	7.1	4.93	199	16	191	1.39	4.4	5.6	5.6
	복천통	6.7	4.85	21	15	141	1.33	4.2	4.6	4.5
	광포통	7.5	3.31	14	18	113	0.72	4.6	2.8	2.9
	포리통	6.9	4.57	19	25	229	1.24	5.2	5.3	4.2
	울포통	7.9	3.48	17	11	212	1.01	7.6	3.4	3.5
	가포통	7.4	4.41	17	8	180	0.57	1.8	2.9	2.6
	구포통	7.6	3.50	9	18	200	0.88	7.3	2.7	5.3
	금진통	6.3	0.59	16	49	307	1.48	3.2	5.2	6.3
	다평통	6.3	3.57	13	18	120	0.66	2.5	3.0	3.1
	태안통	6.9	3.83	19	28	195	0.95	3.8	4.1	3.9
심토	여수통	7.8	5.98	10	20	369	1.76	4.2	6.8	6.9
	포승통	7.9	10.16	9	33	213	2.29	3.2	6.6	10.5
	복천통	7.8	7.07	9	25	194	1.77	4.3	5.6	7.3
	광포통	8.4	6.64	6	22	127	1.28	4.1	3.8	6.5
	포리통	7.7	8.56	9	35	316	2.24	4.9	6.4	8.8
	울포통	7.9	3.48	17	11	212	1.01	7.6	3.4	3.5
	가포통	7.5	8.91	8	40	270	0.63	2.5	2.6	3.0
	구포통	7.4	10.23	7	58	436	1.54	4.6	3.8	8.3
	금진통	6.1	0.83	12	33	210	1.02	3.7	4.1	4.3
	다평통	7.2	7.46	6	16	148	1.00	4.3	3.5	5.4
	태안통	7.2	4.62	10	48	298	1.26	3.8	4.5	5.4

○ 토양통별 단면특성

영산강 간척지 조사지점의 토양단면 특성을 표 6 ~ 15, 그림 4 ~ 8에 나타내었다.

■ 여수통

- 위 치 : 전남 해남군 산이면 금송리 1405인근(GPS : 34.63958, 126.51467)
- 조사일 : 2013.10.24
- 모 재 : 하해혼성충적층
- 토지이용 : 논전환밭



그림 4. 여수통 토양단면 및 조사지점

표 6. 여수통 조사지점의 토양 물리성

토층	토심 (cm)	용적밀도 (Mg/m ³)	3상(%)			공극률 (%)	경도 (mm)	입경분포(%)			토성
			고상	액상	기상			모래	미사	점토	
표토	0~25	1.37	52	24	24	48	20	25	58	17	SiltLoam (미사질양토)
심토	25~80	1.48	56	44	0	44	18	7	62	31	SiltyClayLoam (미사질식양토)
기층	80이하	1.04	39	61	0	61	-	5	63	32	SiltyClayLoam (미사질식양토)

표 7. 여수통 조사지점의 토양 화학성

토층	pH (1:5)	EC		OM (g/kg)	TN (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.-cations(cmol ⁺ kg ⁻¹)				SAR
		(dS/m)	(%)				k	Ca	Mg	Na	
표토	6.7	2.50	0.16	15	0.81	31	1.16	3.1	7.0	3.3	1.5
심토	6.5	6.65	0.43	7	0.18	49	1.57	3.0	9.4	7.7	3.1
기층	8.6	22.00	1.41	7	0.25	85	2.71	5.2	8.7	25.5	9.7

■ 포승통

- 위 치 : 전남 해남군 마산면 연구리 1701인근(GPS : 34.66427, 126.48438)
- 조사일 : 2013.10.24
- 모 재 : 하해혼성충적층
- 토지이용 : 논



그림 5. 포승통 토양단면 및 조사지점

표 8. 포승통 조사지점의 토양 물리성

토층	토심 (cm)	용적밀도 (Mg/m³)	3상(%)			공극률 (%)	경도 (mm)	입경분포(%)			토성
			고상	액상	기상			모래	미사	점토	
표토	0~9	1.02	39	30	32	61	10	25	58	17	SiltLoam (미사질양토)
심토	9~30	1.40	53	47	0	47	15	7	62	31	SiltyClayLoam (미사질식양토)
기층	300이하	1.18	44	55	0	55		5	63	32	SiltyClayLoam (미사질식양토)

표 9. 포승통 조사지점의 토양 화학성

토층	토심 (cm)	pH (1:5)	EC		OM (g/kg)	TN (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.-cations(cmol ⁺ kg ⁻¹)				SAR
			(dS/m)	(%)				k	Ca	Mg	Na	
표토	0~9	6.6	3.7	0.24	18	1.16	26.	1.23	3.9	8.5	3.7	1.5
심토	9~30	8.0	4.7	0.30	8	0.13	21	1.46	4.0	8.4	6.2	2.5
기층	300이하	8.7	16.8	1.08	7	0.26	101	2.75	2.9	8.5	20.7	8.7

■ 복천통

- 위 치 : 전남 해남군 산이면 구성리 39-1 동쪽 1800m (GPS : 34.66427, 126.48438)
- 조사일 : 2013.10.25
- 모 재 : 하해혼성충적층
- 토지이용 : 논



그림 6. 복천통 토양단면 및 조사지점

표 10. 복천통 조사지점의 토양 물리성

토층	토심 (cm)	용적밀도 (Mg/m ³)	3상(%)			공극률 (%)	경도 (mm)	입경분포(%)			토성
			고상	액상	기상			모래	미사	점토	
표토	0~6	1.34	51	49	0	50	8	3	69	28	SiltyClayLoam (미사질식양토)
심토	6~40	1.35	51	47	2	49	12	3	62	35	SiltyClayLoam (미사질식양토)
기층	400이하	1.15	44	56	0	56		3	70	27	SiltyClayLoam (미사질식양토)

표 11. 복천통 조사지점의 토양 화학성

토층	토심 (cm)	pH (1:5)	EC		OM (g/kg)	TN (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.-cations(cmol ⁺ kg ⁻¹)				SAR
			(dS/m)	(%)				k	Ca	Mg	Na	
표토	0~6	6.4	4.1	0.26	11	0.82	19	1.15	4.5	5.7	3.2	1.4
심토	6~40	8.2	4.1	0.26	12	0.99	25	1.51	4.7	6.7	5.6	2.4
기층	400이하	8.3	19.1	1.22	5	0.19	86	2.29	2.7	6.7	18.1	8.4

■ 광포통

- 위 치 : 전남 해남군 산이면 진산리 918인근(34.64847, 126.41515)
- 조사일 : 2013.10.25
- 모 재 : 하해혼성충적층
- 토지이용 : 논



그림 7. 광포통 토양단면 및 조사지점

표 12. 광포통 조사지점의 토양 물리성

토층	토심 (cm)	용적밀도 (Mg/m ³)	3상(%)			공극률 (%)	경도 (mm)	입경분포(%)			토성
			고상	액상	기상			모래	미사	점토	
표토	0~18	1.38	52	39	9	48	9	21	54	25	SiltLoam (미사질양토)
심토1	18~35	1.64	62	36	2	38	16	70	18	12	SandyLoam (사양토)
심토2	35~70	1.52	57	46	0	46		27	55	18	SiltLoam (미사질양토)
기층	700이하	1.24	47	53	0	53		27	65	8	SiltLoam (미사질양토)

표 13. 광포통 조사지점의 토양 화학성

토층	토심 (cm)	pH (1:5)	EC		OM (g/kg)	TN (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.-cations(cmol ⁺ kg ⁻¹)				SAR
			(dS/m)	(%)				k	Ca	Mg	Na	
표토	0~18	8.4	2.1	0.14	10	0.15	38	0.68	10.1	3.1	1.7	0.7
심토1	18~35	9.3	2.7	0.18	5	0.14	22	0.74	10.9	3.2	2.7	1.0
심토2	35~70	8.6	4.0	0.26	2	0.21	39	0.86	2.0	3.3	5.0	3.1
기층	700이하	8.3	9.9	0.63	1	0.44	22	1.01	1.3	3.4	9.3	6.0

■ 포리통

- 위 치 : 전남 해남군 산이면 진산리 740인근(34.66244, 126.44556)
- 조사일 : 2013.10.25
- 모 재 : 하해혼성충적층
- 토지이용 : 논



그림 8. 포리통 토양단면 및 조사지점

표 14. 포리통 조사지점의 토양 물리성

토층	토심 (cm)	용적밀도 (Mg/m ³)	3상(%)			공극률 (%)	경도 (mm)	입경분포(%)			토성
			고상	액상	기상			모래	미사	점토	
표토	0~10	1.34	51	42	8	49	21	7	65	28	Silty Clay Loam (미사질식양토)
심토	10~35	1.38	52	42	6	48	16	3	62	35	Silty Clay Loam (미사질식양토)
기층	35이하	1.02	37	63	0	63		4	68	28	Silty Clay Loam (미사질식양토)

표 15. 포리통 조사지점의 토양 화학성

토층	토심 (cm)	pH (1:5)	EC		OM (g/kg)	TN (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.-cations(cmol ⁺ kg ⁻¹)				SAR
			(dS/m)	(%)				k	Ca	Mg	Na	
표토	0~10	7.7	9.8	0.63	15	0.84	13	1.37	7.0	7.2	11.5	4.3
심토	10~35	8.2	11.0	0.70	8	0.12	24	1.82	11.8	8.1	12.1	3.8
기층	35이하	8.1	22.2	1.42	7	0.12	72	3.50	3.7	9.8	24.0	9.2

○ 적성등급 구분(논토양 다모작 기준)

영산강 간척지의 토양통별 논토양 적성등급은 표 16과 같다.

표 16. 영산강 간척지 토양의 논 적성 등급

인 자	토성×배수등급	경사도	모재	표토 EC	심토 pH	온량 지수	지하 수위	합계	등급
여수통	3	20	8	10	2	10	2	55	5급지
	식질(3)×불량(1)	2%이하	하해혼성	3.81	7.8	1100이상	< 40		
포승통	3	20	8	5	2	10	5	53	5급지
	미사식양질(3)×불량(1)	2%이하	하해혼성	4.93	7.9	1100이상	40~65		
복천통	3	20	8	5	2	10	2	50	5급지
	미사식양질(3)×불량(1)	2%이하	하해혼성	4.85	7.8	1100이상	< 40		
광포통	10	20	8	10	2	10	8	68	4급지
	사양질(5)×약간불량(2)	2%이하	하해혼성	3.31	8.4	1100이상	65~100		
포리통	3	20	8	5	2	10	2	50	5급지
	미사식양질(3)×불량(1)	2%이하	하해혼성	4.57	7.7	1100이상	< 40		
율포통	16	20	8	10	2	10	2	68	4급지
	식양질(8)×약간불량(2)	2%이하	하해혼성	3.48	7.9	1100이상	< 40		
가포통	3	20	8	5	2	10	5	53	5급지
	미사식양질(3)×불량(1)	2%이하	하해혼성	4.41	7.5	1100이상	40~65		
구포통	6	20	8	10	2	10	5	61	4급지
	사양질(6)×불량(1)	2%이하	하해혼성	3.50	7.4	1100이상	40~65		
금진통	6	20	8	10	10	10	5	69	4급지
	사양질(6)×불량(1)	2%이하	하해혼성	0.59	6.1	1100이상	40~65		
다평통	6	20	8	10	2	10	5	61	4급지
	사양질(6)×불량(1)	2%이하	하해혼성	3.57	7.2	1100이상	40~65		
태안통	10	20	8	10	2	10	8	68	4급지
	사양질(5)×약간불량(2)	2%이하	하해혼성	3.83	7.1	1100이상	65~100		

※1급지 : 91이상, 2급지 : 81~90, 3급지 : 71~80, 4급지 : 61~70, 5급지 : 60이하

나. 석문 간척지

(1) 토양통 분류 및 분포면적

석문간척지의 토양통 분류와 토양통별 분포 면적을 그림 9와 표 17에 나타내었다. 석문간척지는 문포통(MP)과 염포통(YP)으로 분류되었다.



그림 9. 석문 간척지 토양통 분류

표 17. 석문간척지 토양종류별 분포면적

토양통	문포통(MP)	염포통(YP)	준설토	계(ha)
면적(ha)	1,091	726	773	2,508

(2) 토양 이화학적 특성

○ 토양 물리적 특성

석문간척지의 토양통별 물리적 특성을 표 18에 나타내었다. 석문간척지의 토성은 세사양토(문포통), 사토(염포통)의 토성을 나타내었다.

표 18. 석문간척지 조사 대표지점의 형태 및 물리적 특성

토양통	층위구분	깊이 (cm)	입자분포(%)			토성	지하수위 (cm)
			모래	미사	점토		
문포통	산화 환원	0~20	46	48	6	세사양토 사토	50
		20~100	60	35	5		
염포통	산화 환원	0~16	87	9	4	사토 사토	40
		16~80	92	5	3		
인위토	산화 환원	10~20	48	45	7	사양토 사양토	40
		20~60	60	35	5		

○ 토양통별 조사지점의 화학적 특성

석문간척지의 조사 대표지점의 토양화학성을 표 19에 나타내었다. 표토의 토양화학성은 전기전도도(EC)는 문포통 5.0 dS/m, 염포통 3.6 dS/m을 나타내었고 유기물(OM)은 문포통과 염포통 모두 13 g/kg 전후를 나타냈으며 유효인산(Av.P₂O₅)은 문포통 38 mg/kg, 염포통 44 mg/kg로 적었다.

표 19. 석문간척지 토양통별 조사지점의 화학적 특성

토양통	층위	깊이 (cm)	pH (1:5)	EC _{1:5} (dS/m)	OM (g/kg)	T-N (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.cations(cmolc/kg)			
								K	Ca	Mg	Na
문포통	산화 환원	0~20	7.2	5.0	13	0.34	38	0.89	4.2	3.6	3.3
		20~100	8.2	5.4	7	0.38	61	1.08	4.7	3.9	5.0
염포통	산화 환원	0~16	7.8	3.6	14	0.28	44	0.89	5.0	3.0	2.4
		16~80	8.5	3.3	6	0.30	57	0.86	4.7	3.0	2.8
준설토	산화 환원	10~20	8.7	0.5	22	1.2	245	0.53	7.1	0.9	0.1
		20~60	8.8	0.5	16	0.7	189	0.55	7.2	0.8	0.1

다. 이원간척지

(1) 토양통 분류 및 분포면적

이원간척지의 토양통 분류를 그림 10에 나타내었고 토양통별 분포 면적을 표 20에 나타내었다. 이원간척지는 문포통(MP)과 염포통(YP)의 분포 면적이 각각 301ha, 299ha로 넓었고 다음으로 광활통(GW) 198ha, 만경통(MG) 53ha의 분포를 나타내었다.

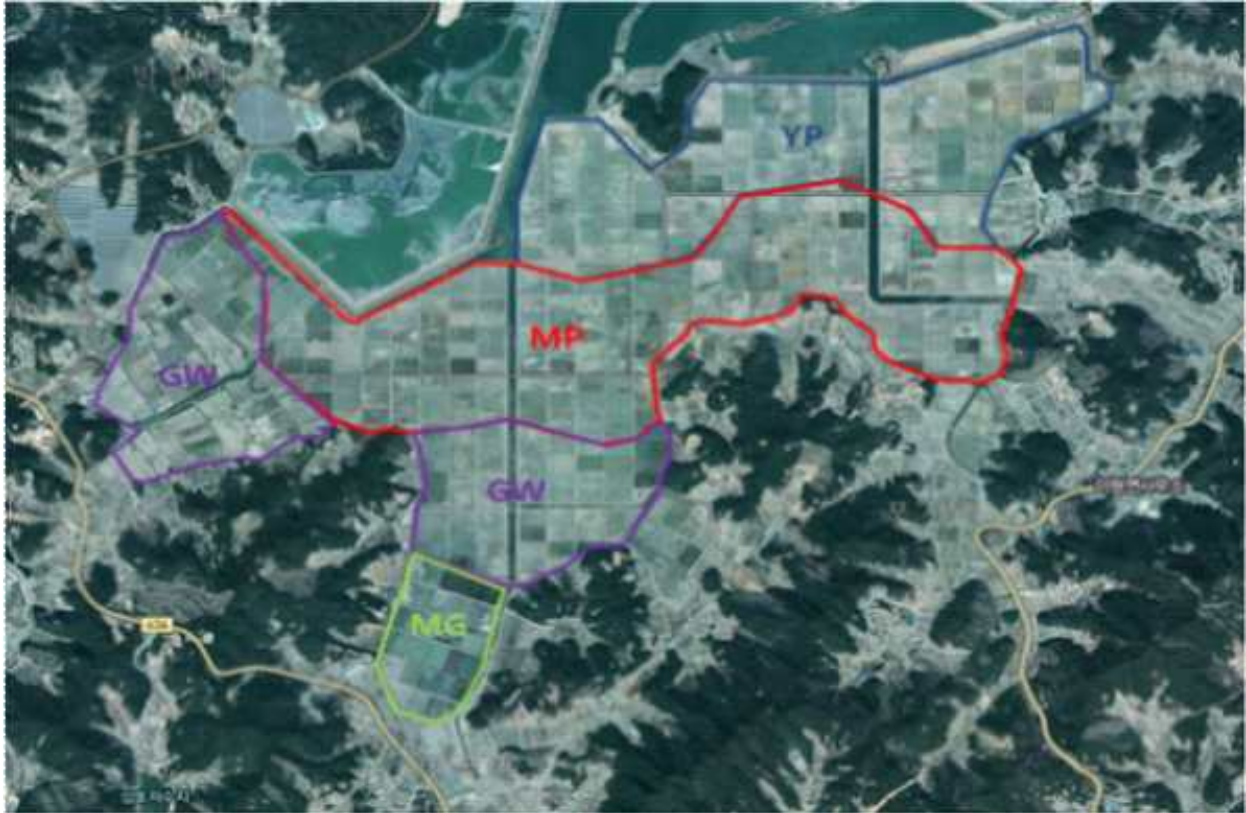


그림 10. 이원간척지 토양통 분류

표 20. 이원간척지 토양종류별 분포면적

토양통	문포통(MP)	염포통(YP)	광활통(GW)	만경통(MG)	계(ha)
면적(ha)	301	299	198	53	851

(2) 토양 이화학적 특성

○ 토양 물리적특성

이원간척지의 토양통별 토양 물리적 특성을 표 21에 나타내었다. 이원 간척지의 토성은 미사질양토(만경통), 사토(염포통), 세사양토(문포통), 미사질양토(광활통)를 나타내었다.

표 21. 이원간척지 조사 대표지점의 형태 및 물리적 특성

토양통	층위구분	깊이 (cm)	입자분포(%)			토성	지하수위 (cm)
			모래	미사	점토		
문포통	산화	0~16	40	53	7	세사양토 사양토	40
	환원	16~70	43	48	9		
염포통	산화	0~13	71	23	6	사토 사토	30
	환원	13~60	70	26	4		
광활통	산화	0~16	20	63	17	미사질양토 미사질양토	50
	환원	16~100	26	59	10		
만경통	산화	0~18	20	68	12	미사질양토 미사질양토	80
	환원	18~100	18	69	13		

○ 토양통별 조사지점의 화학적 특성

이원간척지의 조사 대표지점의 토양화학성을 표 22에 나타내었다. 표토의 토양화학성은 전기전도도(EC)는 4.6~6.6 dS/m을 나타내었다. 유기물(OM)은 8~12 g/kg 범위를 나타냈으며 유효인산(Av.P₂O₅)은 12~34 mg/kg를 나타내었다.

표 22. 이원 간척지 토양통별 조사지점의 화학적 특성

토양통	층위	깊이 (cm)	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	T-N (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.cations(cmolc/kg)			
								K	Ca	Mg	Na
만경통	산화	0~18	6.7	6.6	9	0.32	34	0.67	2.1	2.9	4.4
	환원	18~100	7.9	3.3	3	0.10	28	0.65	1.6	2.2	3.2
염포통	산화	0~13	8.5	6.3	8	0.27	15	0.74	6.9	3.1	4.5
	환원	13~60	9.0	7.3	5	0.12	17	0.96	6.3	2.9	6.2
문포통	산화	0~16	8.5	4.6	12	0.40	13	0.66	7.4	2.7	3.0
	환원	16~70	9.7	8.3	9	0.28	27	1.32	6.8	4.7	8.4
광활통	산화	0~16	7.1	6.0	10	0.41	12	1.12	2.5	4.3	5.0
	환원	16~100	8.2	6.5	7	0.26	27	1.38	2.2	4.7	6.9

○ 이원간척지 토양염농도 분포 자료(700ha)

이원간척지의 토양 깊이(10cm~110cm)에 따른 토양염농도 분포를 그림 11과 그림 12에 나타내었다. 토양 염농도는 토양의 깊이가 깊어질수록 높아지는 경향을 나타내었다.

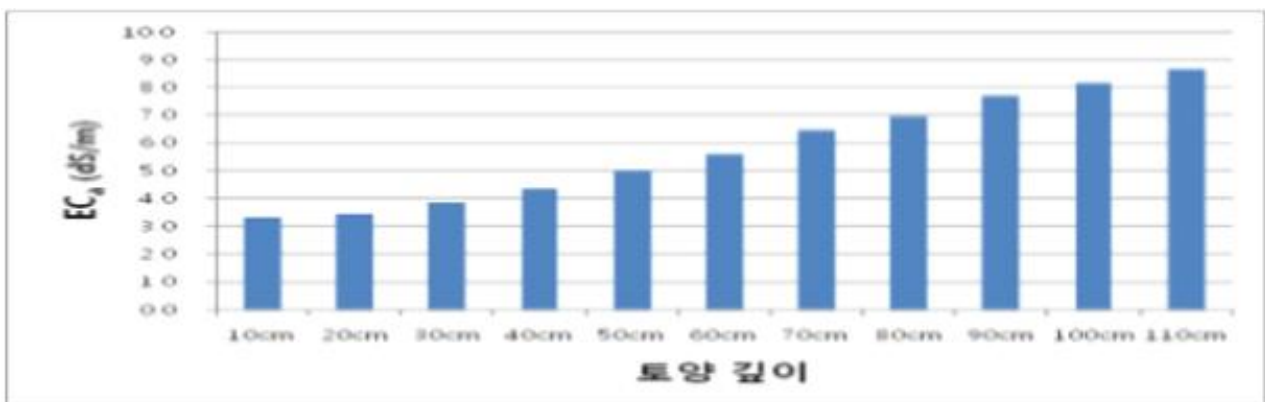


그림 11. 이원 간척지 토양의 깊이별 토양 염농도

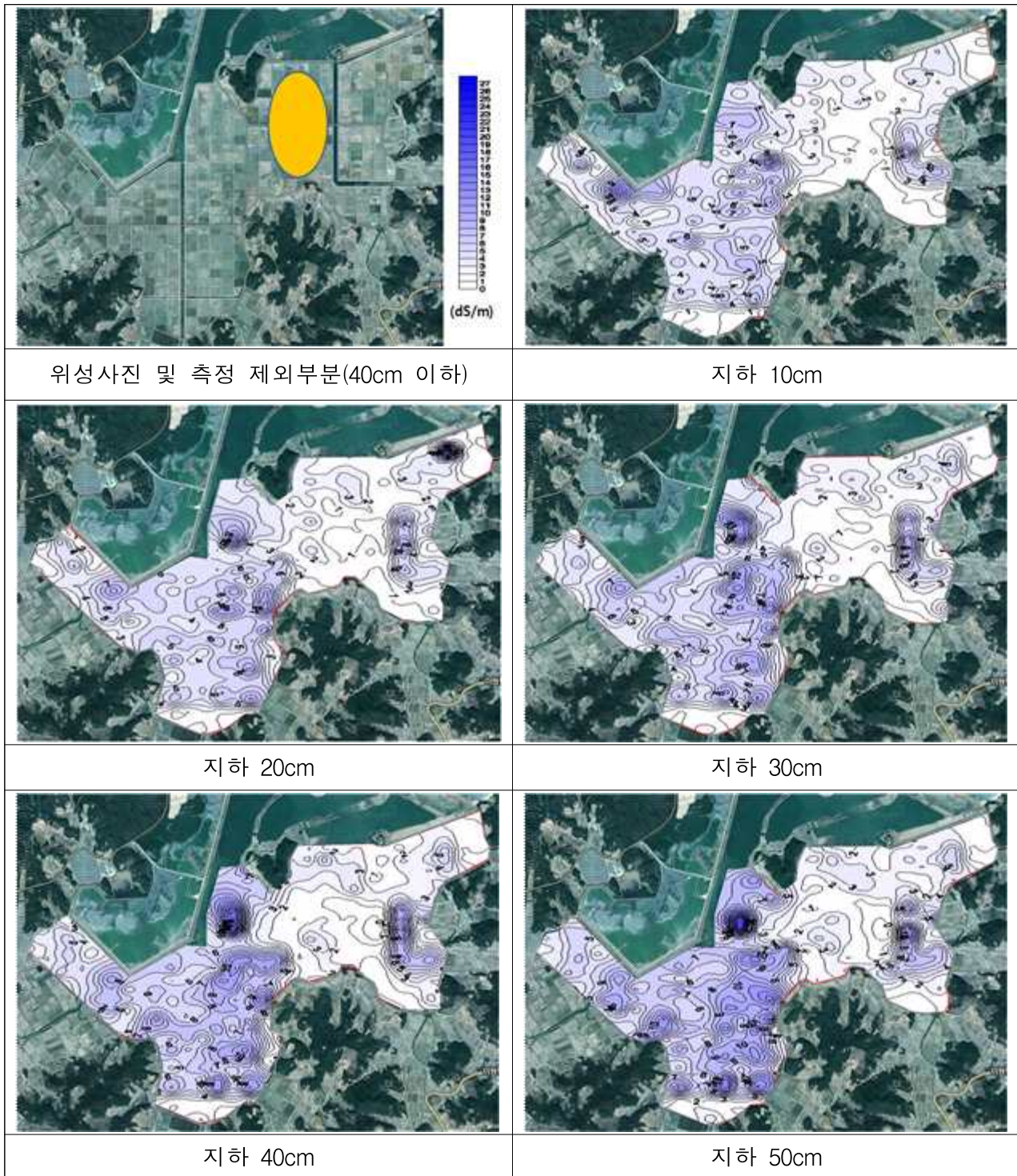


그림 12(a). 이원 간척지 토양의 깊이별 염농도 분포

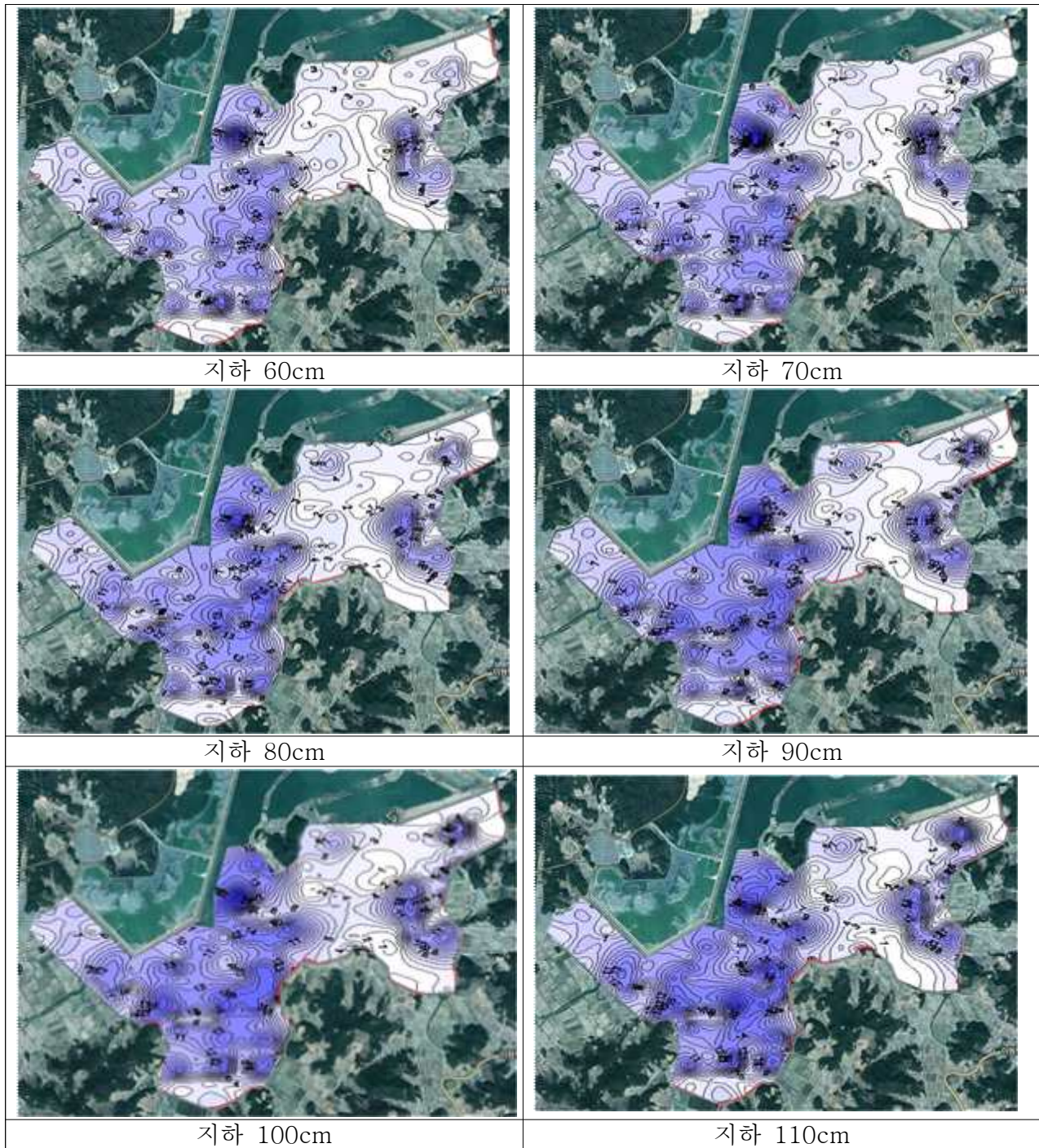


그림 12(b). 이원 간척지 토양의 깊이별 염농도 분포

라. 시화 간척지

(1) 토양통 분류 및 분포면적

시화간척지의 토지이용 구분과 토지이용 면적을 그림 13과 표 23에 나타내었다. 시화간척지는 대부분의 면적이 복합관광용지, 산업용지, 휴경지였고 논 이용 면적이 610ha로 조사되었다.



그림 13. 시화 간척지의 토지이용 구분

표 23. 시화 간척지의 토지이용 면적

구 분	면적(ha)	비 고
논	610	
나지	3,026	휴경상태
산업용지	926	인위토양
복합관광용지	5,689	나지상태
계	10,251	

시화간척지의 토양도 작성 및 토양시료 채취지점을 그림 14에 나타내었다.

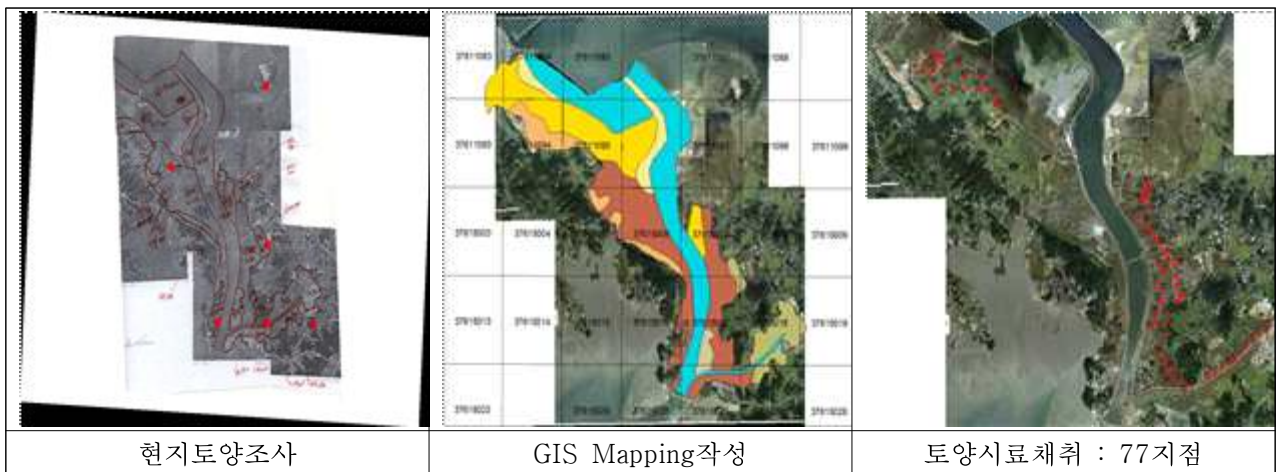


그림 14. 시화 간척지의 토양조사 및 토양시료 채취지점

시화간척지의 토양통 분류를 그림 15에 나타내었고 토양통별 분포면적을 표 24에 나타내었다. 시화간척지는 광활통이 가장 큰 면적을 차지하고 있었고 다음으로 문포통, 포승통 순의 분포 순을 나타냈다.

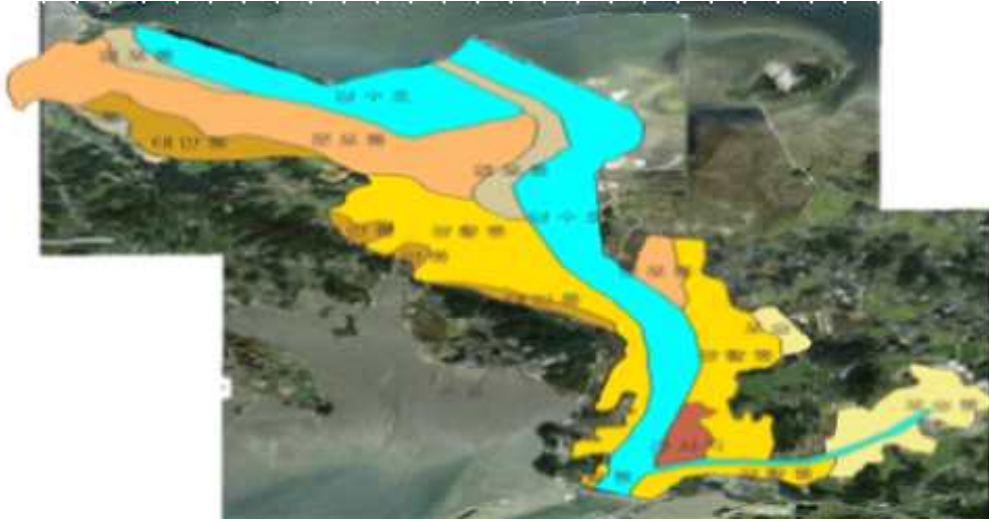


그림 15. 시화 간척지의 토양통 분류

표 24. 시화 간척지의 토양통별 분포 면적

토양통	부호	면적(ha)
광활통	Gw	1,008
문포통	Mp	769
포승통	Pe	281
태안통	TD	258
염포통	Yp	207
간척지	TF	65
계		2,588

(2) 토양 이화학적 특성

2015년 4월에 조사한 시화간척지 농업지구의 토양 화학적 특성을 표 25에 나타내었고 토양 이화학성 분포를 그림 16에 나타내었다. 조사결과, 시화간척지 농업지구의 토양 화학성은 논토양 적정기준에 비해 pH, EC, 치환성 K, Ca, Mg는 높았고 유기물, 유효인산 및 총질소는 크게 부족하였다.

표 25. 시화 간척지 농업지구의 토양 화학적 특성¹⁾

구 분	pH	EC	OM	Av. P ₂ O ₅	Av. SiO ₂	Ex.cation(cmol _c kg ⁻¹)				T-N
						K	Ca	Mg	Na	
	(1:5)	(1:5)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)						(g kg ⁻¹)
평 균	7.4 (8.0)	10.0 (7.7)	7 (5)	33 (31)	156 (165)	0.85 (0.90)	3.4 (3.5)	4.4 (3.9)	7.2 (6.7)	0.7 (0.5)
논토양 적정치	5.5~6. 5	-	25~30	80~120	157~180	0.25~0.30	5.0~6.0	1.5~2. 0	-	15.0

¹⁾ 2015년 4월 하순 조사, 77 지점 시료 분석치 평균, () : 심토

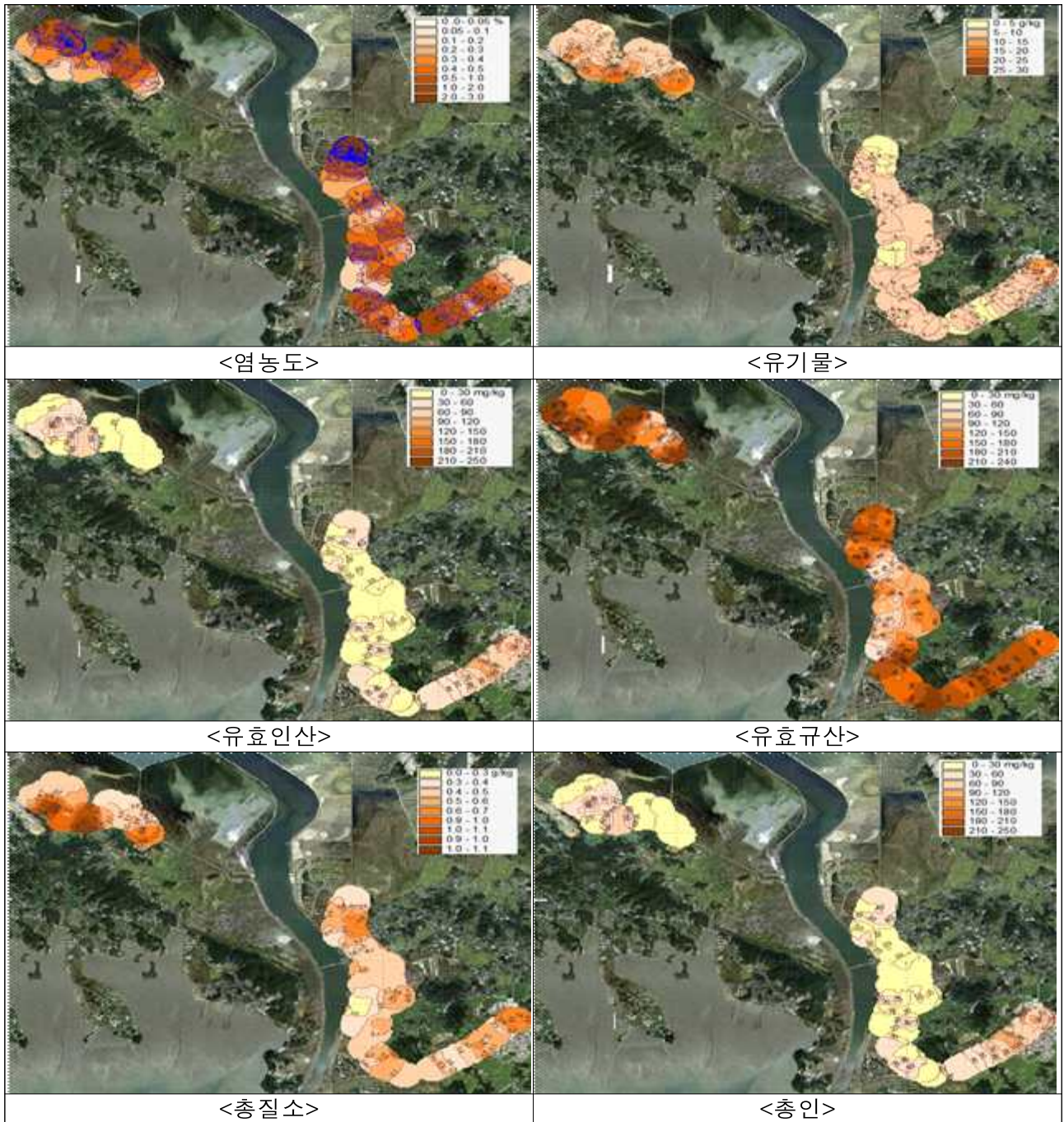


그림 16. 시화 간척지의 토양 이화학성 분포

마. 화웅 간척지

(1) 토양통 분류 및 분포면적

화웅간척지의 토지이용 구분과 토지이용 면적을 그림 17과 표 26에 나타내었다. 화웅간척지는 휴경지와 나지를 제외하고 논 1,632ha와 밭 174ha가 분포하고 있었다.



그림 17. 화웅 간척지의 토지이용 구분

표 26. 화웅 간척지의 토지이용 면적

구 분	면적(ha)	비 고
논	1,632	
밭	174	사료작물
휴경지	736	
나 지	1,940	
계	4,482	

화웅간척지의 토양도 작성 및 토양시료 채취지점을 그림 18에 나타내었다.

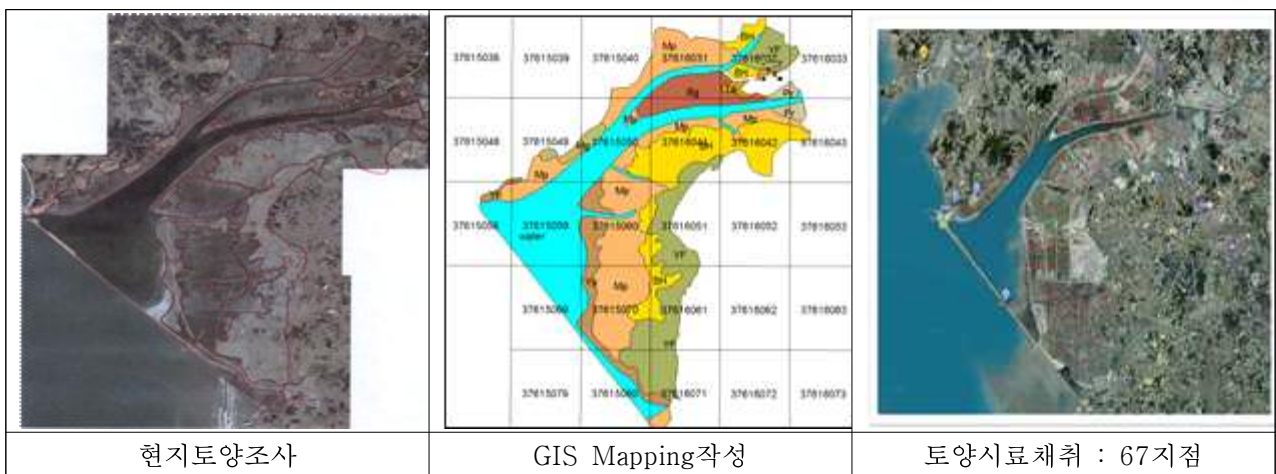


그림 18. 화웅 간척지의 토양조사 및 토양시료 채취지점

화옹간척지의 토양통 분류를 그림 19에 나타내었고 토양통별 분포면적을 표 27에 나타내었다. 화옹간척지는 문포통이 가장 큰 면적을 차지하고 있었고 다음으로 복천통, 여수통, 염포통 순의 분포를 나타내었다.



그림 19. 화옹 간척지의 토양통 분류

표 27. 화옹 간척지의 토양통별 분포 면적

토 양 통	토 양 부 호	면 적 (ha)
문포통	Mp	1,642
복천통	BH	978
여수통	YF	970
염포통	Yp	331
부용통	Bg	326
포리통	Pr	86
만경통	Mg	86
태안통	Ta	48
기 타	-	15
계		4,482

(2) 토양 이화학적 특성

2015년 4월에 조사한 화옹간척지 농업지구의 토양 화학적 특성을 표 28에 나타내었고 토양 이화학성 분포를 그림 20에 나타내었다. 조사결과, 화옹간척지 농업지구의 토양 화학성은 논토양 적정기준에 비해 pH, EC, 치환성 K, Ca, Mg는 높았고 유기물, 유효인산 및 총질소는 크게 부족하였다.

표 28. 화옹 간척지의 토양 화학적 특성¹⁾

구 분	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Av. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Ex.cation(cmol _c kg ⁻¹)				T-N (g kg ⁻¹)
						K	Ca	Mg	Na	
평 균	7.7 (7.9)	13.3 (10.7)	6 (5)	50 (53)	205 (221)	1.29 (1.34)	3.5 (3.5)	6.3 (5.7)	9.7 (8.5)	0.7 (0.6)
논토양 적정치	5.5~6.5	-	25~30	80~120	157~180	0.25~0.30	5.0~6.0	1.5~2.0	-	15.0

¹⁾ 2015년 4월 하순 조사, 67 지점 시료 분석치 평균, () : 심토

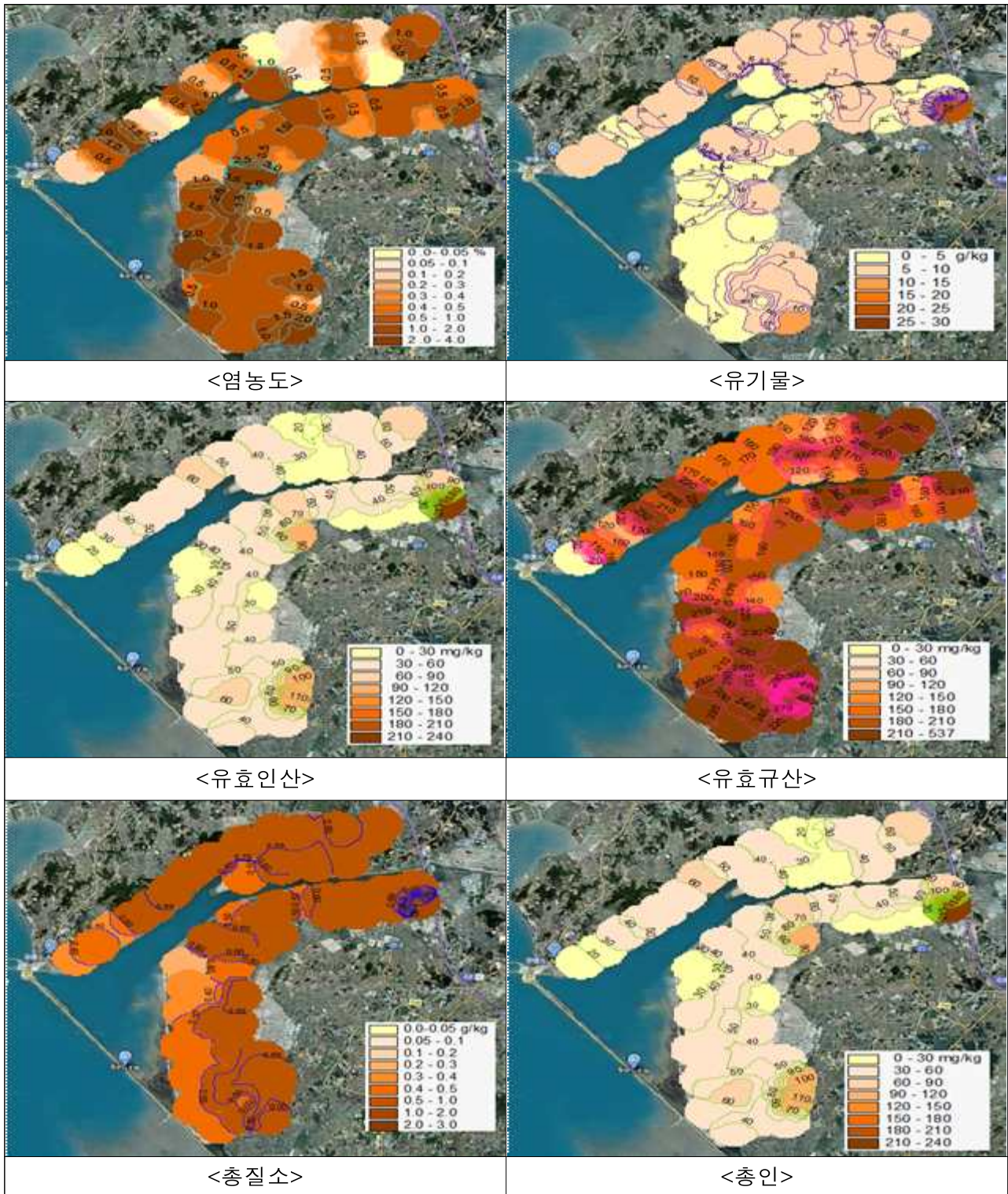


그림 20. 화옹 간척지의 토양 이화학성 분포

바. 새만금 간척지

(1) 토양통 분류 및 분포면적

○ 연도별 노출면적

새만금간척지의 연도별 노출 면적을 표 29에 나타내었다. 새만금간척지는 2015년 9월 기준으로 육지부 계획면적 29,100ha의 55%인 15,960ha가 노출되었다.

표 29. 새만금 간척지의 연도별 노출 면적

구분	노출면적(ha)	노출지 비율(%)
2010년	8,080	30.5
2014년	13,850	47.5
2016년	15,960	54.8

○ 새만금간척지 세부정밀토양도

새만금 간척지의 토양통 분류 및 토양통별 면적을 그림 21과 표 30에 나타내었다. 새만금간척지는 문포통이 전체 노출지의 60.8%를 차지하여 가장 많은 면적을 차지하고 있었고 다음에 염포통, 포승통, 광활통, 만경통, 가포통 순으로 면적 분포를 나타내었다.



그림 21. 새만금 간척지의 토양통 분류

표 30. 새만금 간척지의 토양통별 분포면적

번 호	토 양 통	토 양 부 호	면 적 (km ²)	비율(%)
1	문포통	Mp	9,700	60.8
2	염포통	Yp	2,660	16.7
3	포승통	Pe	1,410	8.8
4	광활통	Gw	640	4.0
5	만경통	Mg	540	3.4
6	가포통	Kp	160	1.0
7	간척지	TF	850	5.3
계			15,960	100.0

(2) 토양 이화학적 특성

○ 새만금 홍보관 인근 노출부지 토양염농도

경관녹지 조성을 위한 새만금개발청의 협조요청에 따라 2014년도에 실시한 새만금 홍보관 인근 노출부지(29ha)의 토양 염농도 분포 조사 결과를 그림 22에 나타내었다. 토양 염농도는 0.01% ~ 0.42%의 범위에 분포하였고 약 13% 면적이 염농도 0.1% 이상이였다.



그림 22. 새만금 홍보관 인근 노출부지 토양염농도 분포

○ 새만금 간척지(광활지구) 토양의 전기전도도(ECa) 연차간 변이

2008년과 2014년에 새만금 간척지 광활지구의 토양 염농도를 조사한 후 염농도 분포 지도를 작성하여 그림 23과 표 31에 나타내었다. 표토의 염농도는 2008년 0.93%에서 2014년에는 0.42%로 45.2% 감소되었다.

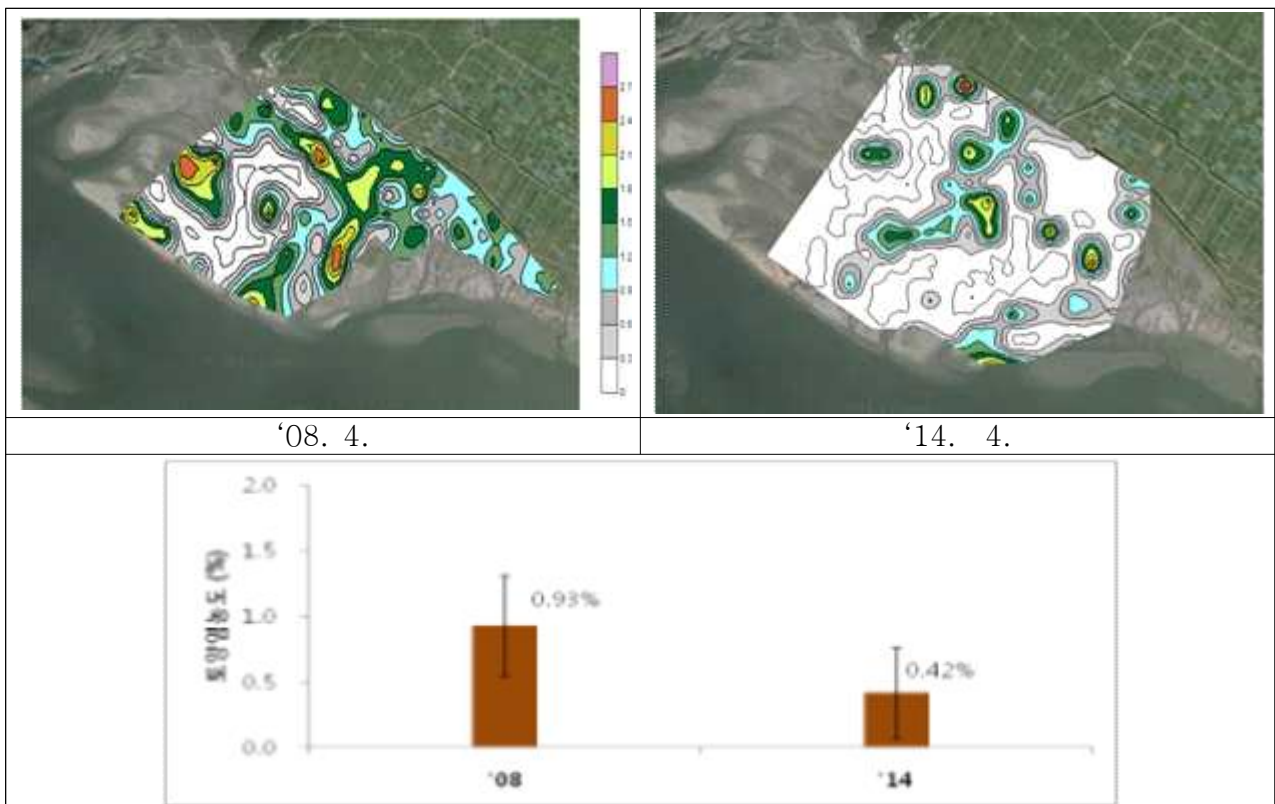


그림 23. 새만금간척지(광활지구)의 토양염농도 분포 변동 양상

○ 새만금간척지 농생명용지의 토양염농도 분포

2016년 4월에 새만금 간척지 농생명용지를 대상으로 GPS 활용 200m 간격으로 토양시료 채취하여 토양염농도 분포를 조사하였다. 조사 대상지역은 계화지구 1,120ha와 광활지구 1,195ha로 그림 24에 새만금 간척지의 토양염농도 조사지점을 나타내었다.



그림 24. 새만금 간척지의 토양이화학성 분포 조사지점(2016. 4.)

표 31에 새만금 간척지의 염농도별 분포면적을 나타내었다. 새만금간척지 농생명 용지의 평균 토양 염농도는 계화지구 0.19%, 광활지구 0.13%를 나타내었다. 새만금간척지 농생명용지(계화, 광활)의 토양 염농도 분포도는 그림 25와 같다.

표 31. 새만금 간척지의 염농도별 분포면적(2016. 4.)

염농도별	계화지구		광활지구	
	면적(ha)	비율(%)	면적(ha)	비율(%)
< 0.1%	723.5	64.6	927.3	77.5
0.1 ~ 0.2	113.1	10.1	111.9	9.4
0.2 ~ 0.3	75.0	6.7	38.0	3.2
0.3 <	208.4	18.6	118.2	9.9
계	1,120.0	100.0	1,195.4	100.0

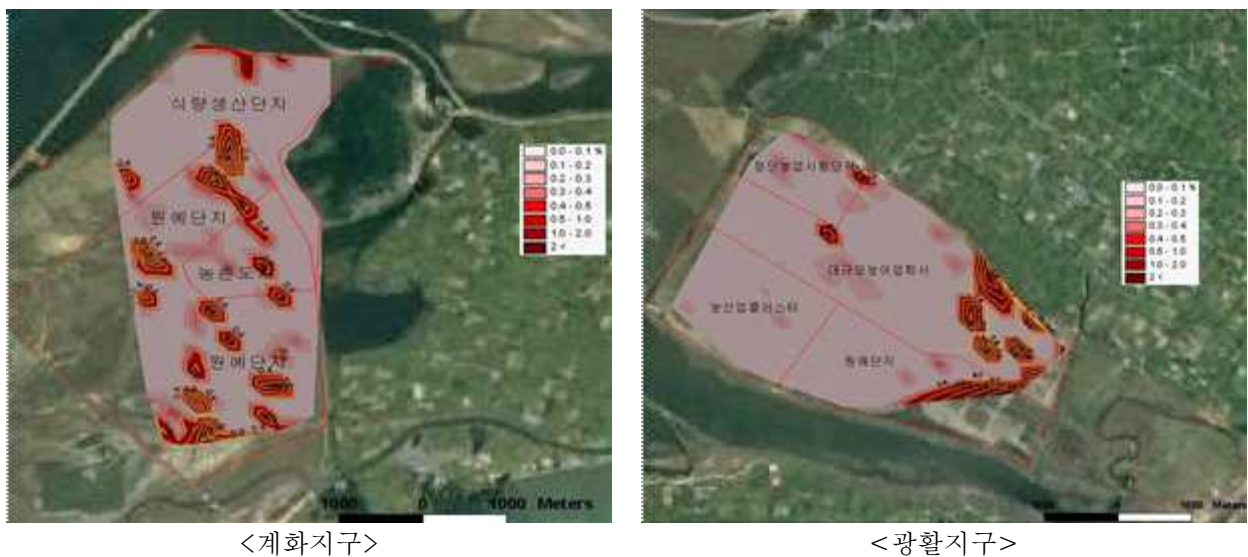


그림 25. 새만금 간척지의 토양염농도 분포(2016. 4.)

제 2 절 간척지구별 토양 물리성 및 화학성 변동조사

1. 연구수행 내용

국가관리 간척지 11개 지구의 대표지점을 대상으로 정점조사를 통하여 2013~2016년까지 매년 3월 토양이화학성을 조사하였다. 표 1에 간척지구별 조사지점을 나타내었다.

토양화학성 분석은 조사지점에서 매년 2~3월에 토양시료를 채취하여 토양화학분석법(농촌진흥청, 2010)에 따라 토양화학성 9종(pH, EC, 유기물, 유효인산, 유효규산, 치환성K, Ca, Mg, Na)을 분석하였다. 2013년도에는 중금속 7종(Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, As)을 분석하였는데, 중금속 분석법은 왕수환류냉각분해(Cd, Cu, Pb, Ni, Zn As), 알칼리분해 비색법(Cr)으로 하였다.

토양물리성 분석은 조사지점의 표토와 심토를 대상으로 토성, 토양3상, 용적밀도 등을 조사하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 간척지 특성화 11개 지구 토양화학성

(1) 간척지구별 토양 화학성

2013년도에 조사한 간척지구별 토양화학성 분석 결과를 표 2에 나타내었다. 간척지 토양의 pH는 7.4(4.8~9.5), EC는 8.3dS/m(0.1~79.8), 토양유기물은 9.8g/kg (0.8~24.9), 유효인산은 36 mg/kg(4~376), 치환성 K는 1.00 cmol_c/kg (0.23~3.10), 치환성 Ca는 4.7 cmol_c/kg(0.7~15.0), 치환성 Mg은 4.9 cmol_c/kg (0.1~23.4), 치환성 Na는 7.0 cmol_c/kg(0.1~62.2), 유효규산은 178 mg/kg (38~521)을 나타내었다. 간척지 토양의 pH, EC, 유효규산, 치환성 K, Mg, Na 등은 일반 토양보다 높았으며, 토양유기물, 유효인산, 치환성 Ca 등은 낮은 경향을 보였다.

2014년도 간척지구별 토양화학성 분석 결과를 표 3에 나타내었다. 토양의 화학성은 2013년 대비 화학성의 큰 변동은 없었고 삼산, 화웅간척지의 토양염농도 평균치가 각각 20.2, 10.3 dS m⁻¹로 가장 높게 나타났다. 11개 간척지 모두 유기물함량과 유효인산 함량이 논토양의 적정기준보다 미달되었고 11개 간척지 모두 규산함량은 적정치 전후의 값을 나타내었다.

2015년도 간척지구별 토양화학성 분석 결과를 표 4에 나타내었다. 토양의 화학성은 2014년 대비 EC, 치환성 Na, Mg 함량이 낮아지는 경향을 보였고 이원, 삼산, 화웅간척지의 토양염농도 평균치가 각각 11.9, 9.1, 7.2 dS m⁻¹로 높은 수치를 나타냈다. 11개 간척지 모두 유기물함량과 유효인산 함량이 적정치보다 미달되었다.

2016년도 간척지구별 토양화학성 분석 결과를 표 5에 나타내었다. 토양 염농도는 연차에 따라 지속적으로 감소하고 유기물, 유효인산은 증가하는 경향을 보였다.

표 1. 국가관리간척지 11지구의 토양시료 채취 지점

간척지구(도)	번호	위도	경도	간척지구(도)	번호	위도	경도
영산강	1	34.72512	126.48306	남포	1	36.28382	126.54637
	2	34.67416	126.53066		2	36.28827	126.54451
	3	34.64788	126.48624		3	36.29834	126.53555
	4	34.66543	126.48460		4	36.29897	126.54556
	5	34.70319	126.39369	시화	5	36.29490	126.54871
	6	34.70319	126.39369		1	37.20732	126.65311
	7	34.73280	126.40026		2	37.23714	126.63264
	8	34.74237	126.42850		3	37.26719	126.59457
	9	34.60570	126.45773	화옹	4	37.28577	126.57867
	10	34.64871	126.41476		5	37.23993	126.65427
	11	34.65911	126.45963		6	37.22517	126.66802
	12	34.66872	126.55474		7	37.22571	126.66888
	13	34.70160	126.41634		1	37.10738	126.73081
	14	34.62783	126.41370		2	37.12152	126.70524
	15	34.71983	126.47262		3	37.10541	126.75395
	16	34.60310	126.47053		4	37.13882	126.77149
	17	34.63615	126.61646		5	37.14642	126.75147
	18	34.65437	126.56434		6	37.09995	126.76036
	19	34.60370	126.45022		7	37.16652	126.78113
	20	34.66125	126.33305		8	37.11692	126.69671
새만금	1	35.77386	126.62528		9	37.10073	126.74087
	2	35.77289	126.62047		10	37.15113	126.74284
	3	35.77264	126.61486	군내	1	34.53971	126.26778
	4	35.82894	126.70144		2	34.54219	126.26147
	5	35.82522	126.69174		3	34.55433	126.26395
	6	35.81639	126.67972		4	34.56043	126.26143
	7	35.87756	126.68693		5	34.54892	126.26884
	8	35.87852	126.68752		6	34.56355	126.25986
석문	9	35.87963	126.68841	보전	1	34.47747	126.17783
	1	36.97936	126.63572		2	34.47085	126.16833
	2	36.98645	126.61362		3	34.47400	126.17474
	3	36.99240	126.61811	삼산	1	34.54024	126.97315
	4	36.98824	126.60244		2	34.52672	126.97114
	5	36.96315	126.63854		3	34.53814	126.97905
	6	36.96343	126.66214		4	34.53770	126.98302
이원	1	36.89493	126.27415	고흥	1	34.58854	127.20160
	2	36.88829	126.25140		2	34.61108	127.19859
	3	36.87505	126.23613		3	34.59963	127.21965
	4	36.86173	126.24039		4	34.59671	127.19220
	5	36.87975	126.25090		5	34.60107	127.23071
	6	36.87952	126.25456		6	34.61516	127.21338
	7	36.88604	126.26159		7	34.61618	127.23166
					8	34.62473	127.23528

표 2. 간척지구별 토양 화학성(2013)

지구	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations(cmol _c kg ⁻¹)				Av. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)
					K	Ca	Mg	Na	
영산강	7.15 (7.7)	3.9 (5.6)	17.2 (8.8)	17 (28)	1.15 (1.39)	5.1 (4.3)	4.3 (4.9)	4.5 (6.0)	203 (276)
새만금	7.9 (8.2)	6.9 (4.3)	2.1 (1.5)	28 (31)	0.87 (0.90)	1.0 (0.9)	2.5 (2.4)	4.8 (4.9)	97 (112)
석문	7.19 (8.16)	2.95 (4.51)	8.40 (4.61)	37 (32)	0.67 (1.03)	3.9 (4.3)	3.6 (4.5)	2.93 (4.6)	175 (204)
이원	7.68 (8.01)	10.36 (9.85)	4.17 (3.62)	34 (26)	1.03 (1.12)	3.8 (4.2)	5.9 (5.3)	6.3 (6.6)	150 (168)
남포	5.96 (7.31)	0.91 (0.80)	8.92 (4.94)	80 (47)	0.31 (0.250)	1.89 (1.94)	1.70 (1.62)	0.74 (0.90)	166 (101)
시화	7.89 (8.07)	9.2 (10.4)	5.5 (4.0)	44 (40)	1.34 (1.43)	4.2 (2.6)	6.7 (5.4)	11.3 (8.9)	178 (278)
화옹	7.85 (7.97)	25.6 (20.5)	6.5 (5.4)	87 (93)	1.23 (1.33)	2.6 (2.7)	9.5 (8.5)	21.8 (18.4)	180 (208)
군내	6.90 (7.55)	4.11 (5.41)	14.5 (13.9)	9 (14)	0.80 (1.13)	7.4 (10.4)	4.1 (5.6)	3.0 (3.8)	218 (249)
보전	7.05 (7.51)	3.25 (4.68)	12.4 (9.5)	21 (13)	0.49 (0.57)	5.4 (6.3)	2.8 (3.1)	2.7 (3.4)	122 (121)
삼산	8.37 (8.28)	19.4 (14.4)	6.53 (7.75)	29 (16)	1.26 (0.82)	12.0 (13.1)	6.4 (6.1)	13.2 (8.8)	145 (107)
고흥	8.15 (8.58)	4.89 (6.93)	11.4 (7.6)	39 (26)	1.01 (1.39)	7.7 (9.4)	4.4 (4.5)	4.4 (6.6)	220 (223)
평균	7.4	8.3	9.8	36	1.00	4.7	4.9	7.0	178
논토양 적정치	5.5~6.5	< 2.0	25~30	80~120	0.25~0.30	5.0~6.0	1.5~2.0	-	157~180

* () : 심토

표 3. 간척지구별 토양 화학성(2014)

지구	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations(cmol _c kg ⁻¹)				Av. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)
					K	Ca	Mg	Na	
영산강	7.0	4.26	12	14	1.30	5.56	5.3	4.5	183
새만금	7.9	6.14	3	21	1.05	1.31	3.1	6.8	116
석문	7.1	4.44	7	45	0.70	4.58	2.7	3.1	133
이원	7.7	6.58	5	13	0.88	4.97	3.6	5.5	176
남포	5.9	0.65	9	19	0.63	3.58	3.3	0.9	150
시화	7.1	7.72	6	29	1.01	3.5	4.5	6.8	211
화옹	7.7	10.33	5	30	1.27	3.7	4.5	9.4	209
군내	6.6	7.62	13	13	1.27	9.9	6.6	4.9	255
보전	7.1	7.28	10	19	0.80	5.3	3.3	5.4	119
삼산	8.4	20.18	6	32	0.99	12.2	6.8	15.3	182
고흥	7.9	6.18	10	32	1.47	8.5	5.4	5.0	181
‘14 평균	7.3	7.4	8	24	1.04	5.7	4.5	6.1	174
최소값	9.45	42.82	31	88	2.59	21.5	11.1	40.8	541
최대값	4.81	0.11	1	2	0.26	0.6	1.0	0.1	14
논토양 적정치	5.5~6.5	< 2.0	25~30	80~120	0.25~0.30	5.0~6.0	1.5~2.0	-	157~180

표 4. 간척지구별 표토의 토양 화학성(2015)

구 분		pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations(cmol _c kg ⁻¹)				Av. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)
						K	Ca	Mg	Na	
영산강	표토	7.4	3.6	14	16	1.55	4.9	4.4	4.6	192
	심토	8.0	5.7	9	23	1.83	4.9	4.8	7.1	234
새만금	표토	8.0	1.3	2	19	1.17	1.3	1.9	2.6	160
	심토	8.5	1.5	1	28	1.12	1.5	1.8	3.0	153
석문	표토	7.4	4.1	9	35	0.60	4.2	3.2	3.7	182
	심토	8.5	5.4	4	20	0.66	4.8	3.1	4.7	224
이원	표토	7.8	11.9	6	17	0.85	4.3	5.9	7.7	195
	심토	8.4	8.9	3	18	0.82	5.4	4.3	6.0	199
남포	표토	6.1	1.3	11	20	0.53	2.7	3.0	1.4	242
	심토	7.5	1.4	3	16	0.46	2.7	2.3	1.3	196
시화	표토	7.5	5.6	8	19	1.23	3.2	2.9	6.0	194
	심토	7.9	7.0	5	19	1.27	4.0	2.8	7.7	211
화옹	표토	8.2	7.2	5	43	1.12	2.7	4.8	7.0	276
	심토	8.0	11.9	4	37	1.28	3.1	5.4	10.4	294
군내	표토	7.5	6.5	12	8	1.50	10.2	4.7	5.1	282
	심토	7.8	8.1	9	11	1.82	12.9	5.3	6.4	306
보전	표토	4.6	6.7	9	15	0.67	6.3	2.7	4.1	155
	심토	8.2	7.6	5	11	0.81	6.2	2.8	5.6	175
삼산	표토	8.5	9.1	14	64	1.26	10.2	3.1	7.8	158
	심토	8.6	8.4	9	38	1.31	10.3	2.9	8.2	134
고흥	표토	7.8	5.7	11	24	1.62	8.0	4.1	5.4	199
	심토	8.1	7.5	8	23	1.93	7.6	4.2	7.8	213
평균	표토	7.3	5.7	9	25	1.10	5.3	3.7	5.0	203
	심토	8.1	6.7	5	22	1.21	5.8	3.6	6.2	213
논토양 적정치		5.5~6.5	< 2.0	25~30	80~120	0.25~0.3 0	5.0~6.0	1.5~2.0	—	157~180

표 5. 간척지구별 표토의 토양 화학성(2016)

지구		pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations(cmol _c kg ⁻¹)				Av. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)
						K	Ca	Mg	Na	
영산강	표토	7.2	3.55	17	18	1.10	5.6	4.9	3.2	353
	심토	8.0	4.48	11	16	1.18	5.5	5.1	3.9	380
새만금	표토	7.6	2.91	2	32	0.56	0.9	2.0	2.6	109
	심토	7.6	5.60	1	33	0.57	0.8	2.4	4.5	115
석문	표토	7.4	4.83	11	46	0.82	4.6	3.2	3.4	124
	심토	8.3	4.28	7	83	0.88	4.5	3.1	3.6	150
이원	표토	7.9	7.48	7	17	0.88	4.0	4.4	5.9	212
	심토	8.4	12.23	3	17	0.98	5.2	5.4	9.3	201
남포	표토	6.2	1.41	12	30	0.65	2.5	3.2	1.8	134
	심토	7.7	1.28	5	25	0.42	2.8	2.6	1.8	114
시화	표토	7.4	5.70	7	31	0.84	3.6	4.2	4.6	227
	심토	8.2	6.62	3	32	1.02	3.0	4.7	6.0	355
화옹	표토	8.2	6.25	8	26	1.14	3.8	4.6	5.6	357
	심토	7.8	11.21	5	32	1.27	3.5	5.2	7.6	398
군내	표토	7.3	5.38	17	22	1.12	8	5.4	2.9	311
	심토	8.1	7.22	11	21	1.34	10.9	5.9	3.9	429
보전	표토	8.1	5.84	11	30	0.67	5.8	3.1	3.2	144
	심토	8.4	6.84	6	26	0.71	8.2	3.0	3.6	141
삼산	표토	8.4	8.28	14	63	0.79	10.1	3.9	4.4	205
	심토	8.5	9.43	12	37	0.79	10.2	3.8	4.8	187
고흥	표토	8.2	4.52	14	39	1.11	7.4	5.0	3.1	342
	심토	8.7	6.02	10	33	1.32	8.4	5.7	4.4	400
‘16 평균	표토	7.6	5.1	11	32	0.88	5.1	4.0	3.7	229
	심토	8.2	6.8	7	32	0.95	5.7	4.3	4.9	229
논토양 적정치		5.5~6.5	< 2.0	25~30	80~120	0.25~0.30	5.0~6.0	1.5~2.0	—	157~180

국가관리 간척지 11지구의 4년 평균 분석치를 표 6에 나타내었다. 국가관리 간척지구의 평균적인 토양 화학성은 pH, EC, 치환성 K, Mg는 적정치보다 높았고, 유기물과 유효인산은 크게 낮았다. 국가관리 간척지 11지구의 연차별 염농도 변동 양상을 그림 1에 나타내었다. 간척지 11지구의 토양 염농도는 지속적으로 감소 추세에 있으며 특히, 화옹, 삼산, 새만금 간척지구는 타지구에 비해 크게 감소하였다.

표 6. 국가관리 간척지 11 지구의 토양의 화학적 특성^{*}

구 분	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex.cation(cmol _c kg ⁻¹)				Av. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)
					K	Ca	Mg	Na	
시화	7.5	7.1	7	31	1.11	3.6	4.6	7.2	203
화옹	8.0	12.3	6	47	1.19	3.2	5.9	11.0	256
석문	7.3	4.1	9	41	0.70	4.3	3.2	3.3	154
이원	7.8	9.1	6	20	0.91	4.3	5.0	6.4	183
남포	6.0	1.1	10	37	0.53	2.7	2.8	1.2	173
새만금	7.9	4.3	2	25	0.91	1.1	2.4	4.2	121
고흥	8.0	5.3	12	34	1.30	7.9	4.7	4.5	236
삼산	8.4	14.2	10	47	1.08	11.1	5.1	10.2	173
군내	7.1	5.9	14	13	1.17	8.9	5.2	4.0	267
보전	6.7	5.8	11	21	0.66	5.7	3.0	3.9	135
영산강	7.2	3.8	15	16	1.28	5.3	4.7	4.2	233
평 균	7.4	6.6	9.2	30.1	0.98	5.3	4.2	5.4	194
논토양 적정치	5.5~6.5	< 2.0	25~30	80~120	0.25~0.30	5.0~6.0	1.5~2.0	—	157~180
밭토양 적정치 (곡류 기준)	6.0~7.0	< 2.0	20~30	150~350	0.45~0.55	5.0~7.0	1.5~2.0	—	—

^{*} 4년 평균(2013~2016), 85지점 표토(0~20cm) 분석

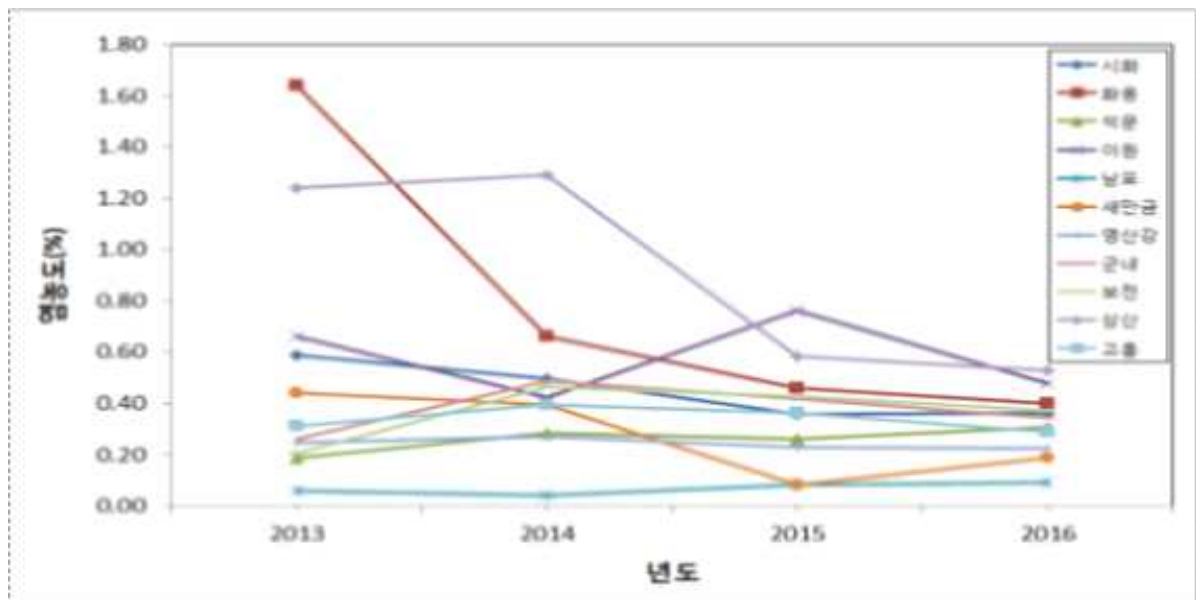


그림 1. 국가관리 간척지 11지구의 연차별 염농도 변동 양상

(2) 간척지구별 중금속 함량

간척지구별 토양 중금속 함량을 조사하여 표 7에 나타내었다. 중금속(Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb, As) 함량은 환경부의 토양오염우려 및 대책기준(2010)으로 볼 때, 표토와 심토에서 모두 우려기준 이하로 분석되었다.

표 7. 간척지구별 토양 중금속 함량(2013)

(단위:mg kg⁻¹)

지구 (2014)	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Pb	As
영산강	0.09 (0.06)	0.20 (0.22)	5.33 (2.82)	1.08 (1.06)	6.75 (3.53)	5.42 (5.21)	2.32 (1.94)
석문	0.19 (0.15)	0.09 (0.10)	3.23 (2.72)	1.20 (1.07)	3.56 (3.04)	4.24 (4.23)	1.60 (1.39)
이원	0.15 (0.12)	0.10 (0.07)	3.36 (2.12)	1.05 (0.98)	2.45 (2.06)	4.04 (3.24)	1.60 (1.39)
남포	0.17 (0.16)	0.18 (0.12)	2.59 (1.94)	0.57 (0.49)	2.89 (1.89)	4.80 (3.36)	0.79 (0.99)
시화	0.19 (0.12)	0.17 (0.09)	4.05 (3.27)	0.89 (0.85)	4.07 (2.81)	5.08 (3.90)	2.17 (1.19)
화옹	0.11 (0.09)	1.32 (1.36)	1.73 (1.60)	3.09 (2.42)	4.42 (4.36)	1.55 (1.57)	2.61 (2.04)
고흥	0.05 (0.03)	2.13 (2.14)	0.62 (0.26)	1.08 (1.69)	1.72 (1.14)	1.12 (0.77)	1.99 (2.25)
군내	0.05 (0.03)	1.87 (1.92)	1.06 (0.85)	1.82 (1.69)	10.17 (6.93)	1.73 (1.520)	2.02 (2.23)
보전	0.05 (0.06)	2.33 (1.95)	1.33 (0.95)	2.59 (1.94)	8.98 (5.48)	2.48 (1.97)	1.73 (2.00)
삼산	0.06 (0.03)	1.78 (1.74)	0.14 (0.13)	0.48 (0.16)	0.71 (1.03)	0.48 (0.27)	1.11 (1.60)
새만금	0.08 (0.08)	1.28 (1.23)	0.93 (0.85)	1.69 (1.84)	2.67 (2.61)	1.38 (1.43)	0.16 (0.16)
평균	0.10 (0.08)	0.88 (0.87)	2.72 (1.80)	1.42 (1.23)	4.59 (3.19)	3.25 (2.89)	1.84 (1.63)
중앙값	0.09 (0.08)	0.25 (0.23)	1.84 (2.00)	1.23 (1.10)	3.57 (3.20)	2.54 (3.71)	2.01 (1.77)
최저치	0.00 (0.00)	0.02 (0.00)	0.01 (0.00)	0.00 (0.00)	0.14 (0.04)	0.10 (0.01)	0.00 (0.00)
최고치	0.30 (0.27)	4.05 (4.12)	17.01 (11.50)	4.27 (4.36)	27.65 (15.70)	8.46 (9.08)	4.44 (4.87)
95%P	0.22 (0.22)	2.42 (2.41)	7.63 (3.78)	3.66 (3.37)	12.39 (6.78)	6.93 (6.59)	3.76 (3.62)
적정개수	85	85	85	85	85	85	85
우려개수	0	0	0	0	0	0	0
대책개수	0	0	0	0	0	0	0
기준	우려	>4	>5	>150	>100	>300	>200
	대책	>12	>15	>450	>300	>900	>600

※ 토양오염우려 및 대책기준(환경부, 2010)

- 중금속(Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb, As)은 표토와 심토에서 모두 우려기준 이하로 검출됨

나. 간척지 특성화 11개 지구 토양물리성

2013년도 간척지구별 토양 3상, 용적밀도 및 공극률을 조사하여 표 8에 나타내었다. 간척지구 전체의 용적밀도는 표토 1.20~1.90Mg m⁻³(평균 1.51 Mg m⁻³), 심토 1.22~1.96 Mg m⁻³(평균 1.58 Mg m⁻³)의 분포를 보였고 높은 용적밀도를 보인 간척지구는 이원, 시화, 낮은 지구는 보전, 군내 등 이었다.

표 8. 간척지구별 토양 3상 및 용적밀도(2013)

지구	구분	A층	용적밀도 (Mg m ⁻³)	삼상(%)			공극률 (%)
				고상	액상	기상	
영산강	표토	12.5cm	1.41	53.2	21.0	25.9	46.8
	심토	-	1.47	55.5	22.9	21.6	44.5
새만금	표토	8.2cm	1.45	54.5	27.6	17.9	45.4
	심토	-	1.50	56.1	31.03	12.9	43.2
석문	표토	11.3cm	1.51	54.1	43.5	2.4	45.9
	심토	-	1.65	61.1	37.3	1.7	39.0
이원	표토	10.5cm	1.68	63.1	33.3	3.7	36.9
	심토	-	1.68	63.5	31.0	5.5	36.5
남포	표토	12.9cm	1.60	58.4	40.2	1.4	41.6
	심토	-	1.62	60.2	34.0	5.8	39.8
시화	표토	12.2cm	1.63	59.3	37.5	3.2	40.7
	심토	-	1.68	63.5	31.0	5.5	36.5
화옹	표토	8.5cm	1.64	61.7	33.6	4.8	38.3
	심토	-	1.68	63.0	34.2	3.0	37.0
군내	표토	10.5cm	1.34	50.2	49.0	0.8	49.8
	심토	-	1.38	50.6	50.5	0.0	49.4
보전	표토	10.5cm	1.29	48.6	48.2	3.3	51.4
	심토	-	1.63	59.7	40.3	0.0	40.3
삼산	표토	12.3cm	1.66	62.5	34.8	2.7	37.5
	심토	-	1.68	63.1	33.7	3.2	36.9
고흥	표토	10.2cm	1.48	54.8	44.6	0.6	45.2
	심토	-	1.55	57.4	42.0	0.6	42.6
평균	표토 (심토)	-	1.51 (1.58)	56.3 (58.6)	34.0 (33.9)	9.7 (7.6)	43.7 (41.4)
중앙값	표토 (심토)	-	1.51 (1.60)	56.4 (58.8)	35.3 (35.5)	4.2 (1.6)	43.4 (41.1)
최저치	표토 (심토)	-	1.20 (1.22)	39.5 (44.2)	9.0 (5.6)	0.0 (0.0)	28.4 (26.5)
최고치	표토 (심토)	-	1.90 (1.96)	71.6 (73.5)	60.5 (55.8)	37.9 (44.3)	60.5 (55.8)
95%P	표토 (심토)	-	1.78 (1.81)	65.3 (68.3)	49.7 (47.9)	30.1 (23.5)	53.0 (50.6)

간척지구별 표토와 심토의 토성을 분석하여 그림 2에 나타내었다. 간척지의 토성은 미사질 양토(SiL)가 가장 많았고 이외에 사양토(SL), 미사질식양토(SiCL), 양질사토(LS), 양토(L), 사토(S)의 토성을 나타내었다.

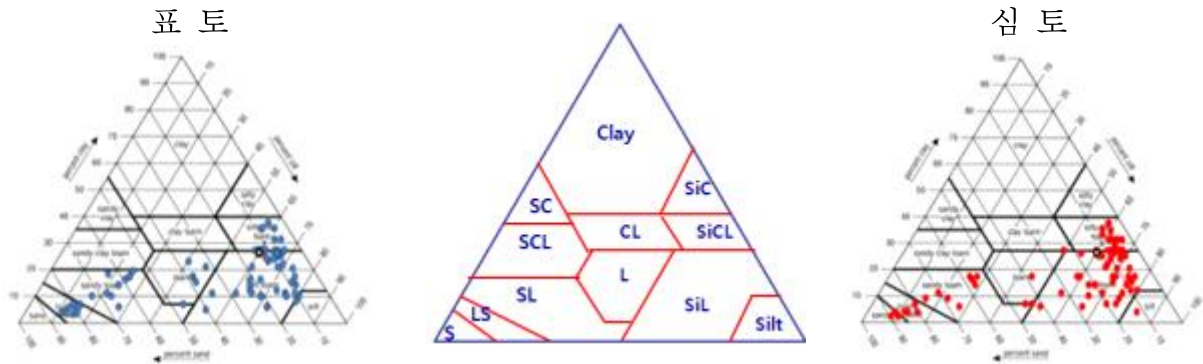


그림 2. 시료 채취지점의 토성 분포(2013)

2014년도 간척지구별 토양 3상, 용적밀도 및 공극률을 조사하여 표 9에 나타내었다. 11지구 간척지의 평균 용적밀도는 표토 1.35 Mg m^{-3} ($0.90 \sim 1.79 \text{ Mg m}^{-3}$), 심토 1.51 Mg m^{-3} ($0.99 \sim 1.87 \text{ Mg m}^{-3}$)을 보였다. 가장 높은 용적밀도를 보인 지구는 이원이었고, 가장 낮은 지구는 남포지구였다. 2014년 평균 공극률은 표토 49%, 심토 45% 를 나타냈으며 표토의 공극률이 가장 낮은 지구는 화옹지구로 43% 였으며 가장 높은 지구는 남포지구로 54%였다.

표 9. 간척지구별 토양 3상 및 용적밀도(2014)

지구	구분	용적밀도 (Mg m^{-3})	삼상(%)			공극률 (%)
			고상	액상	기상	
영산강	표토	1.32	50	30	20	50
	심토	1.45	55	34	12	45
새만금	표토	1.35	51	22	27	49
	심토	1.42	54	27	19	46
석문	표토	1.35	51	44	5	49
	심토	1.55	58	32	9	42
이원	표토	1.41	53	38	9	47
	심토	1.57	59	39	2	41
남포	표토	1.22	46	34	20	54
	심토	1.50	57	31	12	43
시화	표토	1.36	51	42	7	49
	심토	1.63	62	36	2	38
화옹	표토	1.51	57	36	8	43
	심토	1.60	59	40	1	40
군내	표토	1.25	47	47	6	53
	심토	1.25	47	50	3	53
보전	표토	1.36	51	39	9	49
	심토	1.67	63	33	4	37
삼산	표토	1.42	54	30	17	46
	심토	1.55	31	39	29	69
고흥	표토	1.33	50	38	12	50
	심토	1.41	53	47	0	47
'14 평균		1.35 (1.51)	51 (54)	36 (37)	13 (9)	49 (45)
최대값		1.79 (1.89)	68 (70)	66 (62)	43 (36)	66 (63)
최소값		0.90 (0.99)	34 (37)	8 (12)	0 (0)	32 (29)

2015년도 간척지구별 토양 3상, 용적밀도 및 공극률을 조사하여 표 10에 나타내었다. 간척지 표토의 평균 용적밀도는 1.41 Mg m^{-3} , 심토 1.55 Mg m^{-3} 를 나타내었다. 표토의 용적밀도가 가장 높은 지구는 이원이었고 낮은 지구는 군내지구였다. 2015년도 평균 공극률은 표토 46.7%, 심토 41.6%를 나타냈다. 표토의 공극률은 이원지구가 43.1%로 가장 낮았고 군내지구가 51.2%로 가장 높았다.

표 10. 간척지구별 토양 3상 및 용적밀도(2015)

지구	구분	용적밀도 (Mg m^{-3})	삼상(%)			공극률 (%)
			고상	액상	기상	
영산강	표토	1.36	51.4	31.0	17.7	48.6
	심토	1.52	57.2	28.7	14.1	42.8
새만금	표토	1.36	51.5	20.7	27.8	48.5
	심토	1.43	54.1	24.5	21.4	45.9
석문	표토	1.45	54.7	26.4	18.9	45.3
	심토	1.67	62.9	24.1	13.0	37.1
이원	표토	1.51	56.9	24.6	18.5	43.1
	심토	1.62	61.3	23.0	15.8	38.7
남포	표토	1.42	53.6	28.4	18.0	46.4
	심토	1.60	60.4	23.1	16.5	39.6
시화	표토	1.48	55.8	29.8	14.4	44.2
	심토	1.67	62.9	22.2	14.9	37.1
화옹	표토	1.40	52.9	33.1	14.0	47.1
	심토	1.50	56.8	29.9	13.3	43.2
군내	표토	1.29	48.8	35.8	15.4	51.2
	심토	1.44	54.4	31.7	14.0	45.6
보전	표토	1.45	54.7	29.4	15.9	45.3
	심토	1.62	61.0	24.1	14.9	39.0
삼산	표토	1.42	53.5	27.0	19.6	46.5
	심토	1.47	55.6	28.3	16.1	44.4
고흥	표토	1.38	52.0	32.6	15.5	48.0
	심토	1.49	56.2	28.5	15.2	43.8
평균	표토	1.41	53.3	29.0	17.8	46.7
	심토	1.55	58.4	26.2	15.4	41.6

2016년도 간척지구별 토양 3상, 용적밀도 및 공극률을 조사하여 표 11에 나타내었다. 간척지 토양의 평균 용적밀도는 표토 1.40 Mg m⁻³, 심토 1.57 Mg m⁻³를 나타내었다. 표토의 용적밀도는 이원, 시화, 삼산지구에서 높았고 석문, 남포, 군내지구에서 낮았다.

표 11. 간척지구별 토양 3상 및 용적밀도(2016)

지구	구분	용적밀도 (Mg m ⁻³)	삼상(%)			공극률 (%)
			고상	액상	기상	
새만금	표토	1.46	55.2	23.3	21.5	44.8
	심토	1.45	54.6	22.7	22.7	45.4
석문	표토	1.34	50.5	30.9	18.6	49.5
	심토	1.61	60.6	23.7	15.7	39.4
이원	표토	1.49	56.1	27.2	16.7	43.9
	심토	1.69	63.9	21.1	15.0	36.1
남포	표토	1.29	48.8	35.6	15.6	51.2
	심토	1.62	61.2	24.9	13.9	38.8
시화	표토	1.49	56.4	24.6	19.0	43.6
	심토	1.67	63.2	22.5	14.3	36.8
화옹	표토	1.46	55.0	27.2	17.8	45.0
	심토	1.56	58.7	27.2	14.1	41.3
영산강	표토	1.39	52.5	33.3	14.2	47.5
	심토	1.54	57.9	28.2	13.9	42.1
군내	표토	1.31	49.5	39.8	10.7	50.5
	심토	1.41	53.0	35.3	11.7	47.0
보전	표토	1.33	50.1	33.0	16.9	49.9
	심토	1.59	60.1	25.4	14.5	39.9
삼산	표토	1.50	56.8	28.5	14.7	43.2
	심토	1.66	62.7	22.5	14.8	37.3
고흥	표토	1.33	50.3	37.7	12.0	49.7
	심토	1.51	56.9	29.2	13.9	43.1
평균	표토	1.40	52.8	31.0	16.2	47.2
	심토	1.57	59.3	25.7	15.0	40.7

제 3 절 간척지 담수호 및 유입하천 농업용수 수질조사

1. 연구수행 내용

2013년부터 2016년까지 간척지 특성화 11지구의 담수호 및 유입하천을 대상으로 수질조사를 하였다. 조사지점은 서해안 간척지구 22지점(담수호 9지점, 유입하천 13지점), 남부 간척지구 18지점(담수호 9지점, 유입하천 9지점) 총 40지점을 대상으로 하여 1년에 4회(4월, 6월, 8월, 10월) 시료를 채취하여 수질분석을 실시하였다(표 1, 표 2). 담수호 수질은 법적기준 8항목 (pH, COD_{Mn}, TOC, SS, DO, T-P, T-N, Chl-a)을 분석하였고 하천수 수질은 법적기준 7항목 (pH, BOD, COD_{Mn}, TOC, SS, DO, T-P)을 분석하였다. 이외에 농업적 활용 기타 항목 (EC, NO₃-N, NH₄-N, PO₄-P, Ca, K, Mg, Na, Cl⁻, SO₄²⁻)을 분석하였다. 분석방법 수질오염공정시험방법으로 분석하였다.

표 1. 서해안 간척지구의 수질시료 채취지점

번호	조사지점	GPS좌표		비고
		위도(N)	경도(E)	
1	시화지구 유입하천	37.29570	126.80104	
2	시화호	37.29255	126.66002	
3	탄도호	37.28504	126.62950	
4	화옹지구 남양천 하류	37.14939	126.74298	
5	화성호	37.103005	126.69758	
6	화옹지구 자안천 하류	37.13975	126.75175	
7	석문 담수호	36.99937	126.64844	
8	석문지구 역천 하류	36.96127	126.62998	
9	이원 담수호	36.90324	126.26264	
10	이원지구 유입하천	36.88240	126.24181	
11	남포지구 남포천 하류	36.30224	126.54282	
12	남포 담수호	36.28627	126.53832	
13	새만금 담수호1	35.89201	126.51543	
14	새만금 담수호2	35.77788	126.49967	
15	새만금지구 동진강1	35.79787	126.63786	
16	새만금지구 동진강2	35.75870	126.77892	
17	새만금지구 동진강3	35.71745	126.81734	
18	새만금지구 만경강1	35.85632	126.69860	
19	새만금지구 만경강2	35.91148	126.83755	
20	새만금지구 만경강3	35.90651	126.95627	

표 2. 남해안 간척지구의 수질시료 채취지점

번호	조사지점	GPS좌표		비고
		위도(N)	경도(E)	
1	고흥호1	34.64680	127.20007	
2	고흥지구 고읍천 하류	34.61674	127.20337	
3	고흥호2	34.63590	127.22465	
4	삼산 담수호	34.51885	126.97847	
5	삼산지구 유입하천	34.52509	126.97088	
6	군내호	34.55347	126.24640	
7	군내지구 군내천 하류	34.53188	126.23938	
8	보전 담수호	34.48253	126.16317	
9	보전지구 유입하천	34.47562	126.16240	
10	금호호1	34.63114	126.36673	
11	금호호2	34.69669	126.34985	
12	금호호3	34.70978	126.37531	
13	금호호 금자천 하류	34.60096	126.46504	
14	영산강지구 대진교	34.65912	126.42608	
15	영암호	34.72019	126.38623	
16	영암호 유입하천1	34.67260	126.45870	
17	영암호 유입하천2	34.65163	126.55386	
18	영암호 유입하천3	34.68911	126.52490	

2. 결과 및 고찰

가. 간척지 11지구의 담수호 수질

2013년도 간척지 11지구의 담수호 수질 분석결과를 표 3과 표 4에 나타내었다. pH는 시기별로 3~8개 지구 담수호가 호소수 수질 기준을 초과하였으며, 그 중 화옹, 이원, 영산강지구에서는 6월, 8월, 10월에, 석문, 남포지구에서는 4월, 8월, 10월에 기준을 초과한 것으로 나타났다. TOC는 4월과 8월에 각각 1개 지구, 6월에 3개 지구 담수호에서 호소수 수질 기준을 초과하였으며, 10월에는 모든 지구 담수호가 수질 기준에 적합하였다. SS는 시기별로 5-10개 지구 담수호가 호소수 수질 기준을 초과하였으며, 화옹과 보전지구 담수호는 모든 시기에 수질 기준을 초과하였다. DO는 모든 시기에 모든 지구 담수호가 호소수 수질 기준에 적합하였다. T-P는 4월, 8월, 10월에 2-4개 지구 담수호가 호소수 수질 기준을 초과하였고 석문지구 담수호에서 높은 값을 나타내었으며, 6월에는 모든 지구 담수호가 수질 기준에 적합하였다. T-N는 시기별로 4-9개 지구 담수호가 호소수 수질 기준을 초과하였으며, 군내지구에서는 모든 시기에 수질 기준을 초과하였다. Chl-a는 10월에 5개 지구 담수호에서 호소수 수질 기준을 초과하였으며, 석문지구 담수호에서 401.3 mg/m³으로 가장 높은 값을 나타내었다. NO₃-N은 조사시기 중 6월에 8개 지구 담수호에서 가장 높은 값을 나타내었으며, 남포지구 담수호에서 6월에 1.65 mg/L로 가장 높은 값을 나타내었다. EC는 시화, 화옹, 새만금지구 담수호에서 높은 값을 나타내었으며, 음이온(Cl⁻, SO₄²⁻)과 양이온(Ca, Mg, Na, K)은 EC와 비슷한 경향으로 확인되었다.

표 3. 2013년 간척지 특성화 11지구 담수호 수질 법적기준 항목 분석 결과

담수호	시기	pH	COD _{Mn}	TOC	SS	DO	T-P	T-N	Chl-a (mg/㎡)
			mg/L						
시화지구 시화호	4월	8.07	13.6	1.9	62.0	11.6	0.05	0.70	5.4
	6월	8.46	45.3	1.9	48.0	10.1	0.04	0.35	3.5
	8월	8.97	47.0	3.0	10.4	7.4	0.03	0.68	3.2
	10월	7.56	34.1	0.5	30.7	6.6	0.11	2.50	3.3
화옹지구 화성호	4월	8.15	15.1	2.0	93.5	11.5	0.05	0.87	18.4
	6월	8.88	16.6	2.5	21.5	7.1	0.07	0.99	6.2
	8월	8.75	26.5	0.4	17.5	6.1	0.08	0.88	3.6
	10월	8.78	25.4	0.9	38.3	9.8	0.09	1.55	20.2
석문지구 담수호	4월	8.54	11.0	6.1	33.5	9.6	0.12	3.45	79.6
	6월	8.44	10.9	7.5	10.3	7.7	0.10	4.05	2.6
	8월	9.60	11.8	5.6	17.8	7.5	0.20	0.92	9.7
	10월	9.22	62.3	5.5	48.0	8.2	0.56	5.04	401.3
이원지구 담수호	4월	8.06	8.5	2.9	11.5	10.2	0.03	2.10	5.3
	6월	9.10	8.1	2.5	7.8	8.8	0.03	0.57	1.8
	8월	8.80	14.2	3.6	15.7	6.9	0.04	0.99	7.5
	10월	8.85	13.3	2.0	17.0	9.1	0.04	1.71	26.1
남포지구 담수호	4월	8.62	16.4	2.1	59.0	11.0	0.11	1.76	20.9
	6월	8.23	11.9	6.9	13.7	8.2	0.08	2.78	21.4
	8월	9.03	3.8	3.8	15.7	8.6	0.10	0.90	5.0
	10월	8.55	28.4	0.9	36.3	6.2	0.11	1.31	64.4
새만금지구 담수호	4월	8.25	14.5	1.7	47.3	13.5	0.04	0.83	3.8
	6월	8.76	47.1	2.4	31.9	10.0	0.08	0.69	9.0
	8월	8.60	31.5	0.0	15.6	7.1	0.12	1.05	1.8
	10월	8.23	71.6	0.2	13.9	9.0	0.03	0.81	4.4
고흥지구 고흥호	4월	8.41	8.3	5.6	9.5	9.2	0.04	2.82	19.5
	6월	8.65	8.4	5.6	7.5	7.3	0.05	0.73	14.7
	8월	7.08	7.7	4.2	8.3	7.0	0.04	0.71	0.8
	10월	8.59	10.3	2.8	12.3	9.1	0.04	0.82	52.2
삼산지구 담수호	4월	9.08	13.4	2.7	16.0	9.7	0.07	2.53	21.8
	6월	7.91	12.3	9.6	12.0	7.5	0.09	1.28	27.5
	8월	8.40	14.8	6.1	30.7	6.7	0.25	1.08	7.5
	10월	8.47	14.5	3.2	16.3	9.2	0.04	0.93	21.6
군내지구 군내호	4월	8.11	7.9	3.9	14.0	8.6	0.10	2.88	1.1
	6월	8.58	10.5	5.9	21.7	9.0	0.06	2.24	44.2
	8월	8.17	12.1	3.9	31.3	7.2	0.09	1.32	8.1
	10월	8.28	19.3	2.0	45.0	8.6	0.20	1.57	205.7
보전지구 담수호	4월	8.44	11.3	5.8	24.5	9.4	0.06	2.46	26.5
	6월	7.78	10.9	4.5	20.0	6.2	0.04	1.49	19.5
	8월	8.31	11.8	4.5	35.5	6.9	0.11	0.90	11.8
	10월	8.48	13.1	3.3	30.0	9.3	0.08	0.88	45.1
영산강지구 금호호	4월	8.48	11.5	1.9	20.5	9.9	0.03	2.41	6.2
	6월	8.55	14.1	3.4	14.4	9.1	0.05	6.67	11.4
	8월	8.61	9.8	2.4	22.4	7.3	0.03	0.64	2.0
	10월	8.72	11.1	1.3	18.1	10.3	0.04	0.84	19.7
영산강지구 영암호	4월	8.08	5.0	1.8	8.5	9.1	0.02	2.50	3.3
	6월	8.55	6.5	2.8	2.0	9.0	0.02	1.57	1.1
	8월	9.09	5.3	3.2	5.5	9.0	0.05	1.59	1.1
	10월	8.17	6.7	2.0	19.8	8.9	0.02	0.97	23.1
호소수 수질기준(농업용수)		6.0-8.5	80이하	60이하	150이하	2.00이상	0.10이하	1.00이하	350이하

표 4. 2013년 간척지 특성화 11지구 담수호 수질(기타 항목) 분석 결과

담수호	시기	EC (dS/m)	NO ₃ -N	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca	K	Mg	Na
			----- mg/L -----						
시화지구 시화호	4월	47.9	0.19	16534.7	1944.7	488.2	463.0	1072.7	8882.8
	6월	45.6	0.05	15135.6	1796.0	577.3	584.4	1268.2	8728.4
	8월	3.5	0.03	1062.1	171.9	44.9	27.6	63.8	600.7
	10월	22.3	1.08	7292.0	916.0	178.2	130.6	551.0	4090.5
화옹지구 화성호	4월	42.5	0.29	15286.3	1808.5	486.1	456.9	1001.4	8306.4
	6월	26.8	0.22	8853.5	1084.2	343.4	335.6	743.5	3746.6
	8월	18.5	0.05	6359.8	820.3	146.0	129.7	383.2	2260.0
	10월	29.6	0.04	10663.4	1286.4	23.1	19.4	79.0	5512.7
석문지구 담수호	4월	2.6	0.98	612.7	100.9	53.5	24.6	55.6	362.5
	6월	1.3	1.83	237.8	69.7	41.2	23.0	27.8	174.3
	8월	1.2	0.03	301.5	54.8	30.1	9.9	22.3	156.2
	10월	2.0	0.05	448.0	65.4	31.8	14.0	35.6	260.9
이원지구 담수호	4월	3.8	0.16	874.3	197.1	80.7	38.6	89.6	467.7
	6월	4.2	0.01	1009.8	218.5	88.4	49.5	91.3	537.8
	8월	4.4	0.05	1359.2	239.3	67.3	32.4	94.2	593.0
	10월	4.5	0.03	1128.5	184.4	64.3	30.7	87.6	750.6
남포지구 담수호	4월	25.6	0.02	7402.1	902.5	291.9	234.4	645.6	4147.9
	6월	1.8	1.65	365.8	72.5	38.4	21.7	35.3	254.7
	8월	3.6	0.06	1158.8	157.9	45.9	23.8	75.2	520.3
	10월	17.1	0.34	2263.9	281.4	89.0	46.2	171.8	1182.5
새만금지구 담수호	4월	42.8	0.19	14461.5	1734.5	454.0	437.4	983.5	7729.0
	6월	31.3	0.39	12015.7	1605.2	361.6	354.1	822.9	5299.8
	8월	20.5	0.14	7613.8	956.3	174.6	149.3	551.8	2872.0
	10월	40.1	0.05	15513.3	1823.3	335.1	274.2	857.1	6700.0
고흥지구 고흥호	4월	1.6	0.46	322.4	66.8	48.8	19.6	31.5	210.1
	6월	1.7	0.02	438.2	78.8	44.9	23.3	37.7	221.8
	8월	1.5	0.03	410.0	68.2	35.4	14.2	31.1	198.2
	10월	1.8	0.09	449.6	62.6	37.6	15.3	36.0	282.4
삼산지구 담수호	4월	4.8	0.05	1239.6	201.0	91.0	47.5	95.2	770.7
	6월	0.3	0.48	38.5	8.5	20.2	8.2	6.7	27.0
	8월	1.6	0.02	431.2	54.5	32.8	12.5	31.9	221.3
	10월	2.2	0.05	472.0	84.6	41.7	16.2	42.0	334.4
군내지구 군내호	4월	2.4	0.43	520.1	112.9	58.5	25.3	50.4	309.5
	6월	1.8	1.31	498.7	120.5	53.5	24.7	40.3	233.0
	8월	3.6	0.02	1071.4	165.1	61.3	24.6	73.8	491.6
	10월	3.2	0.03	834.4	129.2	46.2	19.8	63.3	583.6
보전지구 담수호	4월	2.2	0.02	466.4	116.8	49.0	27.0	41.6	283.1
	6월	2.4	0.30	758.0	156.9	57.0	30.9	54.2	323.3
	8월	1.9	0.02	527.5	95.7	34.7	16.4	34.3	236.8
	10월	1.9	0.03	462.4	69.7	32.2	13.1	33.1	294.4
영산강지구 금호호	4월	5.6	0.09	1407.1	195.2	77.3	57.4	112.5	753.9
	6월	5.3	0.40	1895.0	227.0	75.9	59.3	116.2	413.6
	8월	5.1	0.03	1621.5	215.9	55.0	30.7	104.5	786.6
	10월	5.4	0.07	1527.9	201.9	48.1	33.0	122.3	587.9
영산강지구 영암호	4월	2.6	0.34	592.7	92.8	43.9	29.6	50.3	335.3
	6월	2.0	0.95	546.8	89.6	38.0	24.5	43.5	271.5
	8월	1.4	0.86	379.3	61.7	21.9	10.7	26.1	204.3
	10월	1.5	0.45	367.6	57.8	22.4	13.0	26.3	202.5

2014년도 간척지 11지구의 담수호 수질 분석결과를 표 5과 표 6에 나타내었다. 간척지 담수호의 pH, COD, SS는 대부분 농업용수 수질기준을 초과하는 것으로 나타났으며, 남포지구는 T-P, T-N, Chl-a가, 삼산과 석문지구는 T-N, Chl-a가 4월과 6월에 수질기준을 초과하여 오염원에 대한 관리가 필요한 것으로 나타났다. 시화, 화웅은 현재 해수가 유통되고 있어 염농도가 다른 지구보다 높았고 TOC가 낮은 경향을 보였다.

2015년도 간척지 11지구의 담수호 수질 분석결과를 표 7과 표 8에 나타내었다. 간척지 담수호의 pH는 석문(6월, 8월), 이원(6월, 8월), 남포(6월), 새만금지구(4월)에서 농업용수 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. DO는 모든 지구에서 기준치를 충족하였고 T-P는 6월 남포, 8월 새만금, 삼산지구에서 수질기준을 초과하였다. SS, T-N은 대부분의 간척지에서 수질기준을 초과하여 오염원에 대한 관리가 필요한 것으로 나타났다. 시화, 화웅, 새만금 지구에서 염농도가 높게 나타났으며, 양이온(Ca, K, Mg, Na)도 비슷한 경향을 보였다.

2016년도 간척지 11지구의 담수호 수질 분석결과를 표 9과 표 10에 나타내었다. 간척지 담수호의 pH는 석문(4, 8, 10월), 이원(6, 8, 10월), 남포(6월), 새만금(4, 6, 8월), 고흥(6, 8월), 삼산(4월), 영산강 영암호(10월)에서 농업용수 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. DO는 모든 지구에서 기준치를 충족하였고 T-P는 석문(8월), 삼산(4, 6월)에서 수질기준을 초과하였다. SS와 T-N은 대부분의 간척지에서 수질기준을 초과하여 오염원에 대한 관리가 필요한 것으로 나타났다. 시화, 화웅, 새만금 지구에서 염농도가 높게 나타났으며, 양이온(Ca, K, Mg, Na)도 비슷한 경향을 보였다.

표 5. 2014년 간척지 특성화 11지구 담수호 수질 법적기준 항목 분석 결과

담수호	시기	pH	COD _{Mn}	TOC	SS	DO	T-P	T-N	Chl-a (mg/㎡)
			mg/L						
시화지구 시화호	4월	8.01	66.4	0.0	86.0	11.4	0.04	0.50	2.1
	6월	7.96	110.9	0.0	47.7	7.9	0.05	0.35	3.1
	8월	7.81	88.2	0.2	36.3	8.6	0.11	0.84	1.8
	10월	8.13	52.6	0.0	28.0	10.1	0.06	0.29	65.4
화옹지구 화성호	4월	8.28	57.1	0.2	83.5	9.8	0.03	0.49	5.8
	6월	8.54	59.6	0.6	34.3	7.3	0.11	0.73	13.2
	8월	8.97	43.4	1.0	50.7	6.8	0.11	0.81	9.4
	10월	8.35	46.8	0.0	114.0	10.0	0.11	0.43	2.4
석문지구 담수호	4월	8.79	13.9	1.7	35.0	9.4	0.09	2.12	111.3
	6월	9.70	35.0	4.7	26.0	9.2	0.16	1.72	65.9
	8월	8.56	10.3	3.2	45.3	8.5	0.11	1.21	45.8
	10월	9.21	23.7	1.5	80.5	9.1	0.25	2.18	21.0
이원지구 담수호	4월	8.00	14.3	1.5	18.0	9.7	0.06	1.19	14.3
	6월	9.00	24.6	1.7	13.7	8.8	0.04	0.89	6.8
	8월	9.09	29.0	1.8	19.3	9.2	0.07	0.82	14.6
	10월	8.86	17.7	0.3	34.3	9.3	0.05	1.18	3.2
남포지구 담수호	4월	8.60	59.7	0.9	67.0	10.4	0.14	1.22	35.6
	6월	8.23	21.2	3.1	19.5	8.4	0.12	2.37	41.8
	8월	8.32	24.8	1.8	47.0	9.1	0.28	1.21	7.0
	10월	8.44	30.2	0.0	59.7	9.3	0.15	0.95	8.0
부사지구 부사호	4월	7.64	7.5	1.1	10.5	11.3	0.03	1.20	13.6
	6월	8.01	111.8	0.0	41.5	9.0	0.05	0.33	4.0
	8월	8.70	13.4	2.4	12.7	9.0	0.05	0.72	21.4
	10월	8.23	14.9	0.3	49.0	9.1	0.10	1.09	14.9
새만금지구 담수호	4월	8.40	81.9	0.2	101.5	14.2	0.13	0.81	5.4
	6월	9.13	13.7	2.5	8.0	10.0	0.08	1.20	37.7
	8월	7.90	101.3	0.2	28.7	7.8	0.06	0.38	79.9
	10월	7.71	49.7	0.0	68.5	13.1	0.04	0.33	2.4
고흥지구 고흥호	4월	8.74	8.9	2.5	16.5	11.4	0.05	0.86	42.8
	6월	8.69	10.6	2.8	32.0	10.9	0.04	0.68	28.9
	8월	8.71	8.6	2.8	11.3	9.2	0.05	1.18	33.2
	10월	8.04	8.8	0.8	14.0	12.6	0.07	1.16	3.1
삼산지구 담수호	4월	8.87	12.6	2.8	38.0	9.9	0.08	1.15	71.4
	6월	9.11	17.7	3.5	46.5	10.8	0.14	1.13	94.1
	8월	8.86	12.0	3.7	126.5	7.1	0.17	1.53	84.4
	10월	8.06	11.2	1.2	44.0	12.8	0.17	1.78	8.8
군내지구 군내호	4월	8.20	11.5	2.0	34.5	9.6	0.05	1.20	17.0
	6월	8.07	11.3	2.9	22.5	10.2	0.04	0.97	20.8
	8월	8.63	10.2	3.0	42.3	7.0	0.23	1.57	39.9
	10월	8.12	10.2	0.9	21.7	13.3	0.04	1.47	2.2
보전지구 담수호	4월	8.78	13.2	2.7	17.5	9.9	0.06	0.90	42.5
	6월	8.54	15.2	3.4	24.0	9.9	0.07	1.00	48.6
	8월	8.71	13.0	3.5	23.0	6.4	0.10	1.26	81.3
	10월	8.11	12.2	0.0	28.0	13.5	0.05	1.39	6.3
영산강지구 금호호	4월	8.48	10.1	1.4	15.8	10.1	0.05	1.34	3.6
	6월	8.79	12.7	1.8	31.4	10.8	0.06	1.23	49.0
	8월	8.44	11.8	1.9	23.5	8.5	0.09	0.84	35.0
	10월	8.00	11.1	0.0	37.3	12.8	0.06	1.75	3.6
영산강지구 영암호	4월	8.75	5.5	1.5	6.0	12.3	0.01	2.02	4.8
	6월	8.61	6.8	1.7	16.3	10.7	0.03	2.20	3.6
	8월	7.63	6.0	2.6	17.7	7.8	0.04	1.87	4.1
	10월	7.98	5.7	0.0	8.7	12.9	0.02	2.40	1.0
호소수 수질기준 (농업용수)		6.0-8.5	80이하	60이하	150이하	2.00이상	0.10이하	1.00이하	350이하

표 6. 2014년 간척지 특성화 11지구 담수호 수질 기타 항목 분석 결과

담수호	시기	EC (dS/m)	NO ₃ -N	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca	K	Mg	Na
			----- mg/L -----						
시화지구 시화호	4월	48.7	0.17	17503.9	2243.4	326.3	244.1	645.1	10604.1
	6월	47.4	0.08	18183.5	2298.6	354.1	305.4	1111.6	10434.2
	8월	35.6	0.35	12323.2	1610.9	243.0	219.8	805.1	8192.7
	10월	47.6	0.20	9635.0	1505.0	258.0	208.1	855.5	8661.7
화옹지구 화성호	4월	47.3	0.02	16476.1	2090.3	351.9	263.4	680.8	10382.6
	6월	35.7	0.05	12431.8	1649.0	255.3	211.8	822.8	7225.9
	8월	19.7	0.30	6315.3	873.0	143.8	137.8	401.7	4210.8
	10월	39.3	0.01	6675.0	897.0	164.6	139.6	493.6	5179.5
석문지구 담수호	4월	5.5	0.61	1395.3	200.2	61.2	25.3	67.7	698.5
	6월	2.6	0.00	585.8	134.1	41.6	24.6	48.4	403.4
	8월	1.5	0.19	337.2	67.6	30.5	16.1	28.9	232.9
	10월	1.9	0.01	562.3	907.0	33.4	17.6	39.7	368.5
이원지구 담수호	4월	8.7	0.03	2182.5	370.4	141.1	38.0	85.2	925.5
	6월	10.0	0.01	2777.3	460.0	125.1	63.8	228.2	1353.2
	8월	12.5	0.01	3814.2	556.6	130.3	77.4	242.1	2672.3
	10월	10.1	0.01	2283.0	358.0	114.6	70.4	206.0	1823.3
남포지구 담수호	4월	30.1	0.02	9855.7	1332.2	283.0	179.6	513.4	3912.6
	6월	5.0	0.73	1286.0	188.6	62.4	35.0	93.5	823.5
	8월	7.8	0.05	2111.4	307.8	113.0	57.9	149.7	1309.8
	10월	22.0	0.06	6312.0	867.0	186.1	123.4	425.9	4392.1
부사지구 담수호	4월	4.3	0.44	1049.7	168.7	41.0	21.0	54.6	728.3
	6월	42.1	0.03	15507.5	1985.6	304.9	264.1	1060.8	9653.3
	8월	4.3	0.02	1187.2	157.8	54.1	34.9	81.2	685.1
	10월	3.6	0.04	779.0	131.0	42.9	32.6	74.6	668.9
새만금지구 담수호	4월	48.9	0.05	16625.9	2104.5	348.7	264.8	682.4	7854.3
	6월	3.9	0.22	966.3	155.5	52.8	30.5	80.9	693.0
	8월	34.7	0.19	13617.0	1769.6	234.5	234.3	779.8	9005.1
	10월	42.6	0.03	10165.0	1565.0	291.7	239.6	977.4	7337.2
고흥지구 고흥호	4월	2.1	0.04	494.6	81.4	43.9	15.6	33.2	322.5
	6월	2.2	0.01	506.2	87.6	44.0	17.3	42.3	337.8
	8월	1.6	0.28	335.3	53.3	29.9	15.3	28.5	205.7
	10월	2.2	0.02	517.8	84.1	42.3	20.8	43.2	331.8
삼산지구 담수호	4월	2.8	0.14	662.6	176.2	61.3	18.3	39.6	428.8
	6월	2.3	0.01	518.8	113.9	42.7	17.1	41.4	314.8
	8월	0.6	0.23	127.3	32.0	20.0	8.1	12.0	92.7
	10월	2.3	0.01	511.6	103.6	42.4	21.8	41.1	360.2
군내지구 군내호	4월	4.1	0.03	910.3	195.6	61.7	21.8	52.4	636.8
	6월	2.9	0.29	696.2	180.8	72.5	20.0	54.5	463.2
	8월	1.8	0.09	426.6	90.4	48.0	15.7	32.1	326.2
	10월	3.0	0.32	730.9	172.1	72.2	25.5	55.6	472.7
보전지구 담수호	4월	2.8	0.02	658.6	119.1	43.2	16.8	39.6	484.9
	6월	3.1	0.02	763.5	153.3	58.3	20.0	56.7	446.9
	8월	2.5	0.24	654.8	101.3	49.7	20.4	46.6	380.7
	10월	3.1	0.02	806.1	146.1	59.8	24.3	59.6	516.7
영산강지구 금호호	4월	3.5	0.63	902.9	141.3	37.2	20.9	45.9	596.0
	6월	3.6	0.57	936.7	149.3	42.9	23.3	64.1	625.4
	8월	3.2	0.07	894.6	128.9	44.7	28.2	58.5	553.3
	10월	3.6	0.63	948.0	135.6	45.7	30.6	64.8	676.9
영산강지구 영암호	4월	1.7	1.68	382.3	74.2	28.1	13.3	24.5	239.9
	6월	1.7	1.15	391.3	82.6	29.4	14.0	30.2	240.1
	8월	1.2	1.21	272.8	55.1	25.5	13.1	20.7	191.1
	10월	1.7	1.86	409.7	77.1	31.4	17.0	31.4	251.0

표 7. 2015년도 간척지 특성화 11지구 담수호 수질 법적기준 분석 결과

담수 호	시기	pH	COD _{Mn}	TOC	SS	DO	T-P	T-N	Chl-a (mg/m ³)
			mg/L						
시 화 지 구	4월	8.1	38.6	0.4	29.5	9.7	0.0	0.5	0.3
	6월	8.4	58.4	1.5	32.0	9.8	0.0	1.4	2.5
	8월	8.3	53.5	1.8	32.8	8.7	0.1	1.5	3.4
	10월	8.4	46.3	2.0	6.0	9.2	0.0	0.9	1.1
화 옹 지 구	4월	8.0	29.1	0.8	49.5	9.0	0.1	0.5	1.0
	6월	8.5	86.4	1.0	11.7	9.8	0.1	1.4	1.6
	8월	8.1	61.2	1.6	6.0	9.3	0.1	1.4	4.0
	10월	8.4	66.6	1.1	3.2	9.4	0.1	0.3	0.5
석 문 지 구	4월	8.2	8.5	2.8	40.0	8.2	0.0	2.2	2.6
	6월	8.7	27.8	5.6	32.0	8.6	0.0	2.6	13.2
	8월	8.3	20.1	6.6	24.0	8.7	0.1	2.3	14.7
	10월	9.1	23.9	4.1	3.2	7.2	0.0	1.2	24.6
이 원 지 구	4월	8.2	14.6	2.9	28.0	8.9	0.0	1.1	1.6
	6월	8.9	36.6	2.5	9.0	10.1	0.0	2.0	1.4
	8월	8.4	25.3	3.0	3.5	9.2	0.1	2.2	3.3
	10월	8.6	37.4	2.7	6.0	9.0	0.1	1.3	5.7
남 포 지 구	4월	8.3	14.1	2.1	36.7	8.7	0.1	1.4	2.5
	6월	9.0	29.1	4.6	17.0	9.4	0.2	3.1	21.7
	8월	8.4	20.0	2.5	16.0	9.5	0.0	2.0	7.4
	10월	8.4	37.2	1.4	5.2	6.9	0.1	0.8	8.8
새 만 금 지 구	4월	8.6	30.4	2.9	86.3	8.8	0.0	0.6	2.6
	6월	8.1	57.0	1.5	6.3	8.8	0.1	3.4	5.6
	8월	8.1	61.8	1.7	6.0	8.3	0.2	1.7	5.2
	10월	8.3	55.0	1.1	5.4	9.9	0.1	0.4	3.5
고 흥 지 구	4월	8.2	8.0	4.2	14.0	9.4	0.0	1.0	1.8
	6월	8.5	12.1	5.1	18.3	8.9	0.0	1.6	3.7
	8월	8.4	11.3	4.1	21.5	7.8	0.0	1.6	10.2
	10월	8.6	7.7	6.3	10.0	9.3	0.0	0.8	5.3
삼 산 지 구	4월	8.5	10.6	5.5	40.0	9.1	0.1	2.2	11.9
	6월	8.5	13.6	5.2	20.0	8.8	0.1	1.3	7.0
	8월	8.2	12.0	5.1	14.0	8.2	0.2	1.5	6.8
	10월	8.1	11.1	5.2	5.2	7.6	0.1	0.8	4.9
군 내 지 구	4월	7.9	6.0	2.6	28.5	9.9	0.0	1.5	0.0
	6월	8.2	13.1	4.1	61.6	8.5	0.0	1.5	9.3
	8월	8.3	9.6	3.9	66.5	8.0	0.1	1.7	1.3
	10월	8.4	9.5	4.6	30.8	9.2	0.0	0.6	9.2
보 전 지 구	4월	8.1	13.4	4.7	18.5	9.2	0.0	1.3	4.6
	6월	8.2	18.0	5.0	33.5	7.4	0.1	1.5	20.4
	8월	8.5	16.5	4.8	36.5	8.0	0.0	1.6	38.4
	10월	8.3	18.8	6.1	22.0	8.5	0.1	1.0	7.9
영 산 강 지 구 (금 호 호 유 입)	4월	7.8	7.5	3.2	34.0	8.6	0.07	2.4	0.7
	6월	8.4	10.0	3.9	34.8	9.2	0.05	2.5	2.3
	8월	8.4	9.8	2.8	13.3	7.7	0.06	1.9	5.4
	10월	8.3	16.4	2.1	10.0	9.8	0.02	0.6	0.8
영 산 강 지 구 (영 암 호 유 입)	4월	7.2	4.3	2.4	6.0	9.8	0.04	3.0	0.0
	6월	8.6	5.2	3.5	2.0	10.1	0.02	2.7	1.9
	8월	8.3	6.8	2.8	18.0	8.4	0.02	1.9	1.4
	10월	8.2	5.5	3.5	5.6	10.1	0.02	1.3	0.5
호 소 수 수 질 기준 (농업용수)		6.0-8.5	8 이하	-	15 이하	2.0 이상	0.1 이하	1.0 이하	-

표 8. 2015년도 간척지 특성화 11지구 담수호 수질 기타 항목 분석 결과

담수호	시기	EC (ds/m)	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca	K	Mg	Na	Cl-	SO ₄ ²⁻	PO ₄ -P
			----- mg/L -----								
시화 지구	4월	27.8	0.09	0.37	228	200	583	5758	9068	1703	0.02
	6월	27.6	0.12	1.19	235	171	746	6066	8637	476	0.03
	8월	27.7	0.10	0.62	177	186	516	5471	9844	1989	0.04
	10월	28.0	0.10	0.09	210	177	701	6242	10015	1340	0.00
화옹 지구	4월	42.6	0.23	0.12	306	334	847	9498	14886	2589	0.02
	6월	38.8	0.01	0.92	308	246	960	8415	12432	309	0.02
	8월	25.8	0.04	0.63	159	156	500	4218	9170	1910	0.05
	10월	42.1	0.05	0.05	296	247	1038	8801	10910	2099	0.01
석문 지구	4월	3.6	1.21	0.90	72	40	134	920	2542	176	0.02
	6월	2.8	0.24	1.81	52	27	56	497	701	154	0.03
	8월	2.2	0.22	0.81	32	18	33	260	511	2039	0.04
	10월	4.0	0.00	0.14	49	27	74	606	115	185	0.00
이원 지구	4월	10.0	0.03	0.83	145	88	268	2531	2615	575	0.02
	6월	12.1	0.00	1.03	123	63	261	2171	2411	548	0.02
	8월	13.1	0.05	0.72	118	88	206	1807	4066	762	0.01
	10월	14.6	0.03	0.17	172	86	316	2806	2919	612	0.00
남포 지구	4월	11.0	0.40	0.38	124	87	288	1981	3433	565	0.06
	6월	5.1	0.46	2.50	66	35	110	845	931	228	0.00
	8월	10.9	0.00	1.35	90	71	167	1651	3366	555	0.02
	10월	22.5	0.04	0.23	202	130	531	4549	5414	1203	0.00
새만금 지구	4월	39.1	0.12	0.20	286	268	886	8051	12343	2184	0.02
	6월	26.5	0.17	2.75	220	769	686	6078	7241	878	0.01
	8월	27.2	0.22	0.78	164	175	511	4743	10460	3090	0.12
	10월	38.6	0.16	0.02	288	232	981	8342	13108	2049	0.01
고흥 지구	4월	1.5	0.25	0.62	51	17	32	262	346	89	0.02
	6월	1.6	0.13	0.43	41	20	32	289	379	63	0.01
	8월	1.4	0.06	0.22	37	15	32	197	338	71	0.00
	10월	1.5	0.01	0.30	44	16	32	233	313	58	0.01
삼산 지구	4월	0.8	1.06	1.06	34	12	16	149	185	89	0.12
	6월	1.8	0.01	0.32	43	17	34	362	431	70	0.06
	8월	0.7	0.36	0.01	23	7	14	74	155	41	0.14
	10월	2.1	0.00	0.14	34	16	40	334	413	78	0.03
군내 지구	4월	2.4	0.84	0.64	52	22	53	464	687	168	0.02
	6월	2.6	0.06	0.37	57	23	51	480	641	223	0.00
	8월	1.4	0.53	0.09	33	13	28	190	337	72	0.01
	10월	2.2	0.01	0.16	43	16	41	321	483	95	0.01
보전 지구	4월	2.7	0.08	0.82	51	21	63	487	825	135	0.01
	6월	2.8	0.01	0.28	50	23	55	548	679	137	0.01
	8월	1.9	0.02	0.28	36	17	37	274	496	74	0.00
	10월	2.3	0.01	0.22	41	18	42	390	481	79	0.01
영산강 지구 (금호호 유입)	4월	2.1	1.52	0.65	39	22	45	424	552	145	0.06
	6월	2.3	1.00	0.58	36	22	41	430	577	147	0.02
	8월	3.1	0.48	0.17	42	24	61	488	861	295	0.03
	10월	4.5	0.02	0.16	54	44	91	803	1083	200	0.00
영산강 지구 (영암호 유입)	4월	1.4	2.16	0.78	31	15	28	263	340	81	0.01
	6월	1.3	2.23	0.26	27	14	24	228	325	122	0.01
	8월	1.2	0.95	0.27	27	13	23	163	308	70	0.00
	10월	1.4	0.97	0.16	26	13	26	217	287	61	0.00

표 9. 2016 간척지 특성화 11지구 담수호 수질 법적기준 분석 결과

담수호	시기	pH	COD	TOC	SS	DO	T-P	T-N	Chl-a
			mg/L						mg/m ³
시화지구 시화호	4월	8.1	57.8	1.1	56.7	11.3	0.04	1.08	0.6
	6월	8.1	55.0	1.7	114.0	10.0	0.03	0.97	7.6
	8월	8.2	26.7	1.1	20.3	7.0	0.06	0.79	4.4
	10월	8.1	22.2	0.9	10.0	10.3	0.07	1.00	1.1
화옹지구	4월	8.2	49.2	1.3	5.3	11.2	0.03	1.17	1.5
	6월	8.5	17.9	2.3	6.7	8.8	0.05	1.34	1.4
	8월	8.3	22.9	2.2	17.7	6.0	0.09	1.40	66.7
	10월	8.3	21.4	1.5	6.7	13.4	0.05	0.39	28.1
석문지구	4월	9.1	16.2	3.7	51.7	8.6	0.02	2.32	20.8
	6월	8.4	20.6	8.0	35.0	7.9	0.04	2.44	45.2
	8월	8.8	12.2	3.8	20.3	7.6	0.13	2.00	65.6
	10월	8.6	16.9	2.4	11.0	9.8	0.08	1.60	60.0
이원지구	4월	8.4	28.1	2.7	35.3	10.9	0.02	2.22	3.2
	6월	8.7	29.0	3.5	27.8	9.0	0.03	1.92	9.1
	8월	8.9	16.5	3.1	16.5	8.7	0.05	1.67	36.2
	10월	8.6	28.3	3.1	28.5	11.3	0.03	1.40	52.2
남포지구	4월	8.1	24.5	2.1	24.7	11.1	0.03	2.73	4.9
	6월	9.0	29.8	4.3	18.0	10.5	0.03	2.07	95.0
	8월	8.4	12.9	2.4	9.7	7.6	0.10	1.63	26.0
	10월	8.2	15.4	2.3	10.0	10.0	0.08	1.35	62.1
새만금지구	4월	8.8	62.1	1.9	15.8	11.0	0.02	2.33	7.3
	6월	8.8	21.9	2.2	7.3	9.1	0.03	1.56	12.7
	8월	8.9	23.7	1.8	2.8	8.3	0.06	1.50	6.1
	10월	8.2	17.8	1.5	4.8	11.0	0.05	1.32	31.0
고흥지구	4월	8.5	11.2	8.6	40.3	10.1	0.02	1.51	12.1
	6월	8.6	10.0	6.4	23.0	7.7	0.03	1.43	34.1
	8월	8.6	12.2	5.3	17.2	7.8	0.03	1.28	36.8
	10월	8.2	13.5	3.9	8.7	10.2	0.03	1.45	43.0
삼산지구	4월	8.8	16.9	10.6	39.0	9.1	0.19	1.53	19.5
	6월	8.0	18.0	8.3	18.7	6.8	0.15	1.28	52.0
	8월	8.0	16.9	6.5	15.0	7.3	0.10	1.36	66.4
	10월	7.9	16.3	5.1	19.0	10.4	0.05	1.21	146.6
군내지구	4월	7.9	7.0	7.6	20.7	9.9	0.01	2.30	3.1
	6월	8.2	13.6	6.0	36.0	7.8	0.02	2.13	20.9
	8월	8.2	11.8	4.1	39.0	7.2	0.07	1.27	29.2
	10월	7.8	12.7	4.3	47.0	9.2	0.04	2.55	33.0
보전지구	4월	8.2	22.0	6.3	19.7	10.5	0.02	1.72	12.1
	6월	8.2	16.2	6.3	37.5	7.0	0.04	1.85	24.9
	8월	8.4	14.8	5.4	38.3	7.5	0.08	1.53	74.5
	10월	7.2	6.1	3.6	8.3	6.4	0.07	6.87	3.3
영산강지구 금호호	4월	8.2	8.7	4.8	19.8	10.9	0.02	2.27	3.4
	6월	8.4	12.9	3.6	11.8	7.6	0.06	5.03	12.2
	8월	8.4	10.0	3.2	11.4	7.4	0.04	1.19	17.3
	10월	7.9	12.8	3.1	16.8	9.0	0.07	3.10	42.9
영산강지구 영암호	4월	7.9	4.7	6.5	12.7	10.4	0.02	2.84	0.3
	6월	8.5	5.6	3.6	6.3	9.4	0.01	2.57	7.0
	8월	8.5	9.8	3.8	23.3	8.1	0.02	1.72	26.6
	10월	9.8	5.7	3.3	11.0	8.2	0.03	1.86	5.1
호소수 수질기준 (농업용수)		6.0~ 8.5	8 이하	-	6 이하	2 이상	0.1 이하	1.0 이하	

표 10. 2016 간척지 특성화 11지구 담수호 수질 기타 항목 분석 결과

담수호	시기	EC (ds/m)	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca	K	Mg	Na	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ -P
			----- mg/L -----								
시화 지구 시화호	4월	44.4	0.16	0.07	301	251	1093	9100	18214	2671	0.03
	6월	48.7	0.32	0.30	401	412	1231	12407	17774	2457	0.02
	8월	49.5	0.13	0.28	430	364	1321	9922	19984	2530	0.02
	10월	49.1	0.49	0.32	392	293	1338	8591	19712	2604	0.07
화옹 지구	4월	42.6	0.07	0.11	291	232	1028	8221	18214	1821	0.02
	6월	29.1	0.09	0.33	247	259	639	8192	8744	1511	0.02
	8월	16.7	0.11	0.23	151	111	380	2462	5188	750	0.01
	10월	40.3	0.05	0.23	304	239	1113	5710	14037	2008	0.05
석문 지구	4월	4.4	0.23	0.09	55	33	82	686	8299	318	0.01
	6월	2.6	0.10	0.67	42	27	50	418	650	222	0.01
	8월	2.9	0.09	0.77	48	21	58	471	777	116	0.10
	10월	9.8	0.17	0.46	90	47	229	1399	2961	431	0.01
이원 지구	4월	14.2	0.09	0.10	174	81	277	2198	5577	820	0.02
	6월	13.7	0.03	0.54	193	102	293	2797	4576	683	0.02
	8월	11.2	0.03	0.32	166	73	253	1676	3399	556	0.01
	10월	13.4	0.06	0.28	171	80	310	1924	4437	669	0.03
남포 지구	4월	13.0	0.93	0.21	110	77	247	2154	6013	701	0.02
	6월	8.0	0.03	0.38	85	53	169	1542	2340	359	0.01
	8월	8.0	0.08	0.72	105	52	177	1333	2607	350	0.08
	10월	12.3	0.05	0.36	121	58	297	1572	3841	532	0.03
새만금 지구	4월	31.1	0.96	0.32	211	175	718	5751	13821	1452	0.02
	6월	24.1	0.13	0.48	198	204	578	5408	7779	1333	0.00
	8월	19.2	0.11	0.45	163	126	434	3510	6225	858	0.01
	10월	23.4	0.74	0.29	186	185	516	4220	7794	1103	0.02
고흥 지구	4월	1.8	0.09	0.55	47	18	35	214	884	85	0.01
	6월	1.9	0.03	0.21	41	20	35	330	437	117	0.02
	8월	1.9	0.05	0.27	47	18	44	237	486	71	0.00
	10월	1.1	0.26	0.18	42	17	43	241	503	67	0.01
삼산 지구	4월	0.8	0.31	0.09	22	7	13	99	459	75	0.16
	6월	1.0	0.11	0.27	33	12	20	160	223	62	0.13
	8월	2.0	0.03	0.10	37	15	38	320	673	70	0.03
	10월	0.6	0.71	0.19	21	11	12	89	111	37	0.01
군내 지구	4월	1.9	1.16	0.54	38	14	35	218	515	209	0.01
	6월	2.3	0.46	0.37	50	19	45	413	571	183	0.00
	8월	3.1	0.04	0.30	57	20	66	436	938	120	0.03
	10월	1.3	2.02	0.10	33	14	24	216	304	59	0.01
보전 지구	4월	2.7	0.19	0.40	43	19	50	345	789	110	0.01
	6월	2.4	0.08	0.50	38	21	40	456	611	153	0.02
	8월	2.0	0.02	0.28	36	15	38	281	516	64	0.01
	10월	0.3	6.13	0.08	18	5	8	33	34	23	0.04
영산강 지구 금호호	4월	3.9	0.96	0.35	46	30	72	607	1737	308	0.01
	6월	3.3	1.20	2.09	42	31	59	603	893	209	0.04
	8월	2.9	0.12	0.27	48	21	61	352	791	114	0.01
	10월	2.2	0.81	0.14	36	18	43	276	577	91	0.04
영산강 지구 영암호	4월	1.5	2.15	0.21	27	12	27	192	438	92	0.01
	6월	1.2	2.00	0.24	24	13	19	180	269	70	0.01
	8월	1.1	0.91	0.35	24	10	20	145	243	50	0.00
	10월	0.9	1.34	0.04	20	8	17	78	202	38	0.01

나. 간척지 특성화 11지구의 유입하천 수질

2013년도 간척지 특성화 11지구의 유입하천 수질 분석결과를 표 11과 표 12에 나타내었다. pH는 시기별로 3~4개 지구 유입하천이 하천수 수질 기준을 초과하였으며 그 중 화옹지구 유입하천이 6월, 8월, 10월에 초과한 것으로 나타났다. BOD는 4월에 1개 지구, 6월에 3개 지구 유입하천이 하천수 수질 기준을 초과하였고, 8월과 10월에는 모든 지구 유입하천이 수질 기준에 적합하였다. TOC는 6월에 9개 지구 유입하천이 하천수 수질 기준을 초과하였으며, 10월에는 모든 지구 유입하천이 수질 기준에 적합하였다. SS와 T-P는 각각 4월과 6월에 1개 지구 유입하천에서 하천수 수질 기준을 초과하였고, 다른 시기에는 모든 지구 유입하천이 수질 기준에 적합하였다. DO는 모든 시기에 모든 지구 유입하천이 하천수 수질 기준에 적합하였다. NO₃-N은 6월에 8개 지구, 4월에 4개 지구 유입하천에서 가장 높은 값을 나타내었으며, 보전지구 유입하천에서 6월에 4.05 mg/L로 가장 높은 값을 나타내었다. EC는 시화와 화옹지구 유입하천에서 높은 값을 나타내었으며, 음이온(Cl⁻, SO₄²⁻)과 양이온(Ca, Mg, Na, K)은 EC와 비슷한 경향으로 확인되었다.

2014년 간척지 특성화 11지구의 유입하천 수질 분석결과를 표 13과 표 14에 나타내었다. pH는 화옹(6, 8, 10월), 석문(6, 10월), 이원(6, 8월), 남포(10월), 새만금(4월), 고흥(4, 6, 8월), 삼산(4월), 군내(8월), 영산강 금호호(4, 6, 8월)에서 수질기준을 초과하였다. BOD는 화옹(4월), 석문(4, 6, 10월), 새만금(4월)을 제외하고는 농업용수 수질기준을 초과하지 않았고 SS는 화옹(4월)을 제외하고는 기준을 초과하지 않았다. DO는 모든 간척지구 유입하천에서 농업용수 수질기준을 초과하지 않았다. 석문지구 유입하천인 역천은 BOD, TOC와 T-P가 높아 오염원에 대한 관리가 필요한 것으로 나타났다.

2015년 간척지 특성화 11지구의 유입하천 수질 분석결과를 표 15과 표 16에 나타내었다. 간척지 담수호 유입하천의 pH는 석문(6, 10월), 이원(6, 8월), 남포(6, 10월)을 제외하고는 농업용수 수질기준을 충족하였다. BOD는 6월 석문, 남포, 보전지구를 제외하고는 농업용수 수질기준을 초과하지 않았고 SS는 6월 보전지구 유입하천을 제외하고는 기준을 초과하지 않았다. DO는 모든 간척지구 유입하천에서 농업용수 수질기준을 초과하지 않았다.

2016년 간척지 특성화 11지구의 유입하천 수질 분석결과를 표 17과 표 18에 나타내었다. 간척지 담수호 유입하천의 pH는 화옹(4, 6, 8월), 석문(6, 8월), 남포(6월), 새만금(8월), 고흥(6, 8월)을 제외하고는 농업용수 수질기준을 충족하였다. BOD는 화옹(4월, 10월), 삼산(8월)을 제외하고는 농업용수 수질기준을 초과하지 않았고 SS는 시화호 유입하천(8월), 화성호(6, 8월)을 제외하고는 기준을 초과하지 않았다. DO는 모든 간척지구 유입하천에서 농업용수 수질기준을 초과하지 않았다. EC는 시화호, 화성호 유입하천에서 매우 높은 수치를 나타내었고, 이원, 남포, 새만금(4월)에서 3 dS m⁻¹ 이상을 나타내어 작물이 염피해를 입지 않도록 농업용수 이용에 주의가 필요한 것으로 나타났다.

표 11. 2013년 간척지 특성화 11지구 유입하천 수질 법적기준 항목 분석 결과

간척지구	시기	pH	BOD	COD	TOC	SS	DO	T-P
			----- mg/L -----					
시화지구 유입하천	4월	8.04	2.8	14.9	2.0	114.0	10.7	0.06
	6월	8.13	5.1	16.3	2.3	92.3	8.3	0.11
	8월	8.09	0.3	57.6	0.0	61.8	7.6	0.05
	10월	8.54	1.5	12.2	2.0	16.0	8.3	0.04
화옹지구 유입하천	4월	8.45	6.4	16.3	2.7	82.8	11.6	0.11
	6월	9.50	8.4	17.5	3.0	46.7	10.1	0.06
	8월	9.08	4.2	13.2	3.2	54.8	6.6	0.14
	10월	8.71	6.2	38.2	0.6	38.5	10.5	0.08
석문지구 유입하천	4월	8.24	4.1	8.3	7.1	20.0	9.8	0.29
	6월	7.95	4.1	11.4	8.6	12.3	7.3	0.16
	8월	8.00	2.3	8.9	6.0	18.3	6.6	0.29
	10월	8.05	2.7	7.0	3.8	14.0	8.3	0.25
이원지구 유입하천	4월	8.05	2.2	9.5	3.3	16.5	10.2	0.04
	6월	9.02	4.0	14.5	7.6	13.7	9.6	0.08
	8월	8.49	3.4	14.5	4.0	18.0	7.0	0.09
	10월	7.80	1.0	9.1	2.6	5.3	7.8	0.03
남포지구 유입하천	4월	8.64	11.8	16.3	2.2	53.0	11.6	0.09
	6월	7.59	9.7	16.6	10.7	20.7	3.7	0.32
	8월	7.86	0.5	1.8	4.9	15.3	6.8	0.08
	10월	8.21	4.1	14.0	1.2	19.7	8.5	0.10
새만금지구 유입하천	4월	8.17	7.9	9.9	5.8	34.7	11.0	0.18
	6월	7.96	4.6	13.7	5.8	18.6	8.1	0.25
	8월	8.60	3.0	10.0	4.7	17.0	7.8	0.18
	10월	8.32	4.0	21.6	3.0	30.7	9.6	0.14
고흥지구 유입하천	4월	8.46	0.1	8.2	5.6	8.0	9.1	0.04
	6월	8.44	3.2	9.6	6.6	16.0	7.6	0.06
	8월	8.15	0.7	8.1	4.6	5.7	7.2	0.05
	10월	8.47	2.9	11.6	3.5	12.0	8.9	0.04
삼산지구 유입하천	4월	8.53	1.0	5.9	4.3	2.5	11.2	0.04
	6월	8.81	4.1	12.0	7.7	36.3	7.8	0.12
	8월	8.03	0.8	8.2	6.5	17.0	6.7	0.11
	10월	7.46	1.0	5.9	3.4	8.0	6.1	0.05
군내지구 유입하천	4월	8.77	1.2	8.3	4.9	12.5	9.4	0.04
	6월	8.01	8.1	14.3	7.8	53.7	7.2	0.05
	8월	8.20	1.4	7.2	5.4	24.3	7.0	0.07
	10월	8.92	4.0	16.1	4.4	30.0	10.4	0.04
보전지구 유입하천	4월	8.49	5.7	11.0	7.9	14.0	9.6	0.11
	6월	7.44	2.5	10.5	6.7	18.0	6.8	0.09
	8월	7.88	2.9	13.7	5.4	49.5	5.3	0.14
	10월	7.84	2.2	8.4	4.2	11.3	8.8	0.09
영산강지구 금호호 유입하천	4월	8.96	5.5	15.0	2.9	30.0	9.5	0.08
	6월	7.87	3.1	14.1	6.6	14.7	6.4	0.08
	8월	8.52	0.9	4.5	3.4	20.0	6.5	0.07
	10월	8.41	3.9	13.1	1.7	39.0	9.3	0.09
영산강지구 영암호 유입하천	4월	8.12	0.7	6.0	2.5	15.5	9.0	0.04
	6월	7.86	3.1	12.8	6.5	38.1	6.8	0.07
	8월	8.24	1.2	7.9	3.9	21.4	6.9	0.07
	10월	8.04	3.2	9.7	2.2	48.0	8.7	0.05
하천수 수질 기준 (농업용수)		6.0-8.5	8이하	9이하	6이하	100이하	2.0이상	0.3이하

표 12. 2013년 간척지 특성화 11지구 유입하천 수질 기타 항목 분석 결과

간척지구	시기	EC (dS/m)	NO ₃ -N	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca	K	Mg	Na
			----- mg/L -----						
시화지구 유입하천	4월	31.7	0.62	10615.2	1312.4	375.0	350.0	887.7	6657.5
	6월	21.2	0.65	6229.6	793.7	342.3	311.7	638.2	4065.7
	8월	43.5	0.14	19802.0	2282.1	381.0	295.9	1286.3	7692.7
	10월	3.3	0.02	845.7	125.8	39.0	26.5	58.6	561.6
화옹지구 유입하천	4월	22.5	0.98	6976.4	849.9	260.7	234.0	584.3	4158.7
	6월	14.3	0.02	4465.0	576.4	193.8	185.2	403.6	609.6
	8월	8.4	0.18	2497.8	338.0	80.1	39.3	170.1	1110.4
	10월	33.7	0.03	12460.5	1479.4	23.7	18.7	83.7	6442.5
석문지구 유입하천	4월	0.7	1.51	108.9	28.3	27.8	8.3	12.7	94.5
	6월	0.6	0.48	81.1	41.4	32.4	12.7	12.0	67.1
	8월	0.6	0.64	97.5	31.3	23.3	6.1	8.8	65.0
	10월	0.8	1.22	122.2	32.4	30.1	8.2	13.3	85.2
이원지구 유입하천	4월	3.6	0.03	789.0	230.9	116.5	31.6	82.4	439.8
	6월	2.8	0.40	603.7	169.9	68.7	44.8	69.1	384.9
	8월	4.5	0.03	1293.4	268.6	96.4	30.2	94.1	581.1
	10월	1.7	0.03	391.9	44.9	28.3	11.4	34.3	221.6
남포지구 유입하천	4월	24.9	0.04	7621.4	927.1	328.0	249.1	628.7	4387.4
	6월	0.9	1.93	169.2	39.3	34.1	14.6	19.2	133.2
	8월	0.4	0.42	83.7	22.4	21.5	4.0	9.2	41.3
	10월	8.1	0.31	2161.5	295.0	87.9	42.2	196.6	1073.8
새만금지구 유입하천	4월	7.2	1.86	2301.1	303.0	89.9	73.3	179.2	1286.7
	6월	2.1	2.09	1627.4	220.7	39.2	27.5	46.8	369.6
	8월	2.7	1.28	835.2	123.5	31.0	16.9	44.7	320.6
	10월	8.7	2.02	2631.3	344.3	72.4	46.8	182.7	1465.8
고흥지구 유입하천	4월	1.6	0.46	302.1	60.0	48.2	20.1	29.8	198.4
	6월	1.6	0.24	418.4	72.0	45.6	23.9	38.2	210.8
	8월	1.6	0.03	421.3	66.7	38.4	12.0	34.3	218.0
	10월	1.6	0.20	366.1	54.1	36.0	14.5	31.4	210.2
삼산지구 유입하천	4월	0.2	1.08	31.1	10.5	16.5	3.7	3.7	21.2
	6월	1.4	0.00	360.3	76.3	44.7	25.4	30.3	184.9
	8월	0.4	0.03	84.3	5.1	22.3	3.7	8.1	44.7
	10월	0.3	0.06	45.0	14.7	19.3	4.9	6.8	33.2
군내지구 유입하천	4월	0.3	0.25	468.2	121.2	62.6	26.4	44.7	292.4
	6월	1.7	1.72	414.9	106.8	62.0	23.5	36.7	201.4
	8월	2.9	0.04	894.3	111.9	64.3	15.7	55.3	433.0
	10월	1.8	0.03	411.7	61.8	42.0	12.8	33.5	241.9
보전지구 유입하천	4월	0.5	0.69	63.8	18.8	26.8	5.9	8.5	45.0
	6월	4.3	4.05	77.9	29.0	19.9	6.6	9.3	45.1
	8월	1.8	0.17	511.3	82.3	40.0	11.8	32.5	238.9
	10월	0.6	0.05	105.8	14.4	27.3	8.5	13.4	72.0
영산강지구 금호호 유입하천	4월	4.6	0.01	1170.3	170.1	69.0	47.5	92.7	943.1
	6월	1.8	1.19	539.3	70.9	39.8	26.6	39.1	244.2
	8월	3.1	0.02	959.2	119.0	41.6	16.6	66.5	435.8
	10월	3.9	0.02	1103.5	137.7	39.5	24.3	75.1	607.0
영산강지구 영암호 유입하천	4월	2.4	0.25	555.8	90.7	41.7	26.7	46.8	311.9
	6월	1.4	1.08	359.8	54.0	35.5	24.6	37.7	251.0
	8월	1.6	0.25	435.4	63.8	28.2	10.7	32.2	212.9
	10월	1.7	0.23	408.8	55.6	25.0	13.5	28.7	224.4

표 13. 2014년 간척지 특성화 11지구 유입하천 수질 법적기준 항목 분석 결과

간척지구	시기	pH	BOD	COD	TOC	SS	DO	T-P
			----- mg/L -----					
시화지구 유입하천	4월	7.59	1.0	59.5	0.3	80.5	9.1	0.11
	6월	7.37	0.5	112.2	0.7	93.5	4.6	0.15
	8월	7.28	2.1	17.3	1.3	22.0	6.5	0.18
	10월	7.85	1.2	58.3	0.0	90.0	9.1	0.11
화옹지구 유입하천	4월	8.06	9.4	70.6	1.0	168.5	8.3	0.24
	6월	8.79	3.5	52.0	1.3	66.0	7.1	0.15
	8월	8.72	3.7	29.3	1.7	94.3	8.1	0.18
	10월	8.52	6.5	42.1	0.0	57.3	10.9	0.14
석문지구 유입하천	4월	7.87	8.6	24.4	3.4	39.0	8.6	0.75
	6월	9.06	10.9	29.5	6.6	27.0	9.4	0.26
	8월	7.72	1.3	6.3	3.1	23.0	7.6	0.16
	10월	8.94	9.7	10.8	2.2	35.0	10.8	0.41
이원지구 유입하천	4월	7.91	3.4	14.0	1.6	37.5	9.3	0.07
	6월	8.94	1.6	22.0	2.1	19.0	9.4	0.07
	8월	9.07	2.4	15.8	3.4	15.7	11.0	0.05
	10월	7.86	2.8	16.6	1.6	10.3	5.6	0.12
남포지구 유입하천	4월	8.22	7.3	60.7	0.9	56.0	9.5	0.24
	6월	7.84	2.2	23.5	6.5	10.0	7.2	0.12
	8월	8.12	5.3	4.3	2.7	18.3	8.8	0.19
	10월	8.54	4.6	22.6	0.0	22.7	9.6	0.24
새만금지구 유입하천	4월	8.61	8.8	23.7	3.3	42.9	11.8	0.21
	6월	7.85	3.4	19.6	4.5	35.0	8.3	0.18
	8월	7.65	2.0	14.7	3.1	44.3	8.2	0.19
	10월	7.82	2.8	17.5	2.9	33.0	13.1	0.17
고흥지구 유입하천	4월	8.72	2.7	9.7	2.6	16.0	10.9	0.04
	6월	8.73	3.7	11.3	2.9	13.5	11.0	0.05
	8월	9.33	2.9	9.5	3.3	11.3	9.6	0.07
	10월	8.20	2.7	7.7	0.6	9.7	13.5	0.16
삼산지구 유입하천	4월	9.24	0.8	7.1	3.9	5.0	13.5	0.05
	6월	7.11	1.4	11.6	6.5	2.3	8.9	0.08
	8월	7.73	0.2	5.4	3.2	3.7	8.1	0.08
	10월	8.08	2.2	9.7	5.0	8.0	13.1	0.10
군내지구 유입하천	4월	8.27	1.1	11.2	1.5	42.5	9.5	0.03
	6월	8.14	3.7	16.4	3.3	68.5	10.5	0.07
	8월	8.59	1.5	10.9	3.5	32.5	7.8	0.07
	10월	8.17	2.3	15.0	1.2	76.0	13.0	0.05
보전지구 유입하천	4월	7.67	3.7	11.3	4.1	15.5	9.9	0.09
	6월	7.65	2.7	12.7	4.7	6.5	9.4	0.16
	8월	7.21	1.4	10.5	3.7	9.0	6.8	0.16
	10월	8.17	2.2	11.1	0.9	6.0	13.5	0.15
영산강지구 금호호 유입하천	4월	9.25	6.7	12.2	1.8	20.5	10.7	0.04
	6월	9.00	5.1	11.7	3.0	21.0	11.1	0.10
	8월	8.62	2.0	11.1	2.7	15.5	8.5	0.09
	10월	8.09	2.5	9.3	2.7	15.3	13.2	0.06
영산강지구 영암호 유입하천	4월	8.12	0.4	5.4	1.6	28.2	9.5	0.04
	6월	7.99	3.1	12.6	3.8	33.2	10.3	0.05
	8월	7.29	0.7	9.6	3.3	42.7	6.0	0.11
	10월	8.11	2.3	9.5	2.1	41.3	13.0	0.10
하천수 수질 기준 (농업용수)		6.0~8.5	80이하	90이하	60이하	100이하	2.00이상	0.30이하

표 14. 2014년 간척지 특성화 11지구 유입하천 수질 기타 항목 분석 결과

간척지구	시기	EC (dS/m)	NO ₃ -N	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca	K	Mg	Na
			----- mg/L -----						
시화지구 유입하천	4월	41.6	0.19	14428.1	1882.0	323.3	227.0	619.8	6427.6
	6월	29.3	0.30	10032.7	1369.8	240.5	200.5	745.5	5987.9
	8월	10.2	1.11	3044.7	451.8	79.6	68.7	205.1	1960.9
	10월	38.2	0.63	11989.0	1530.0	270.4	203.5	871.3	8191.6
화옹지구 유입하천	4월	36.2	0.02	12283.8	1580.4	270.7	197.3	539.2	5804.7
	6월	26.2	0.00	8706.4	1174.6	203.4	171.4	614.4	4214.5
	8월	10.6	0.47	3099.8	460.3	88.9	77.0	203.4	2090.4
	10월	35.1	0.05	10677.0	1349.5	249.6	197.9	775.7	8969.8
석문지구 유입하천	4월	1.8	0.53	364.5	64.9	36.9	14.3	27.4	158.2
	6월	1.1	1.46	184.5	60.4	35.4	14.0	19.8	133.6
	8월	0.4	1.98	42.6	19.5	23.4	5.5	8.8	34.9
	10월	1.0	0.45	135.4	37.2	33.3	11.5	17.8	127.9
이원지구 유입하천	4월	9.6	0.02	2602.7	482.2	205.3	39.8	89.0	1171.8
	6월	9.8	0.09	2676.7	479.6	137.0	62.1	218.5	1509.9
	8월	3.6	0.01	1029.5	162.0	48.3	31.5	73.7	551.8
	10월	5.0	0.01	938.0	127.0	59.8	32.9	83.6	805.1
남포지구 유입하천	4월	31.9	0.06	8974.1	1170.2	239.9	140.9	449.8	3974.1
	6월	0.7	0.97	117.6	27.4	26.8	9.9	16.8	76.3
	8월	1.9	0.38	442.9	69.8	42.2	15.5	35.8	323.6
	10월	20.0	0.01	4854.0	982.9	156.3	98.1	346.7	2841.8
새만금지구 유입하천	4월	3.3	0.50	837.0	130.2	36.3	17.2	44.7	468.8
	6월	2.2	0.51	505.8	81.1	36.1	18.0	40.1	303.5
	8월	2.6	0.07	676.1	92.5	43.2	23.1	46.6	411.6
	10월	2.2	0.01	434.5	65.6	35.0	24.8	43.0	423.9
고흥지구 유입하천	4월	8.6	1.74	2918.1	402.6	81.3	52.4	118.8	1648.7
	6월	5.8	1.31	1893.5	261.7	55.1	39.5	123.5	1043.9
	8월	3.7	2.10	1112.6	166.1	38.7	28.7	75.2	737.2
	10월	5.9	1.36	1439.3	209.5	200.4	85.9	146.5	1816.1
삼산지구 유입하천	4월	2.1	0.05	469.2	79.9	43.4	16.8	32.4	337.4
	6월	2.2	0.03	497.6	85.4	45.6	17.4	41.4	309.2
	8월	1.3	0.30	351.2	54.4	29.0	13.9	25.6	181.7
	10월	2.2	0.02	496.2	81.7	44.8	19.8	42.7	314.3
군내지구 유입하천	4월	0.3	0.44	33.3	11.3	16.9	3.9	4.6	22.5
	6월	0.3	0.12	31.3	8.3	18.7	5.3	6.3	26.5
	8월	0.2	0.05	24.5	10.2	15.6	3.2	5.1	23.4
	10월	0.3	0.10	32.4	8.6	203.0	61.1	58.6	281.4
보전지구 유입하천	4월	3.9	0.05	846.3	190.5	64.2	22.0	50.7	611.0
	6월	2.9	0.52	673.0	191.1	78.4	20.7	54.7	423.3
	8월	1.5	0.01	373.3	73.2	45.3	11.9	28.4	217.8
	10월	2.9	0.61	691.0	177.6	78.4	24.5	57.5	465.5
영산강지구 금호호 유입하천	4월	0.9	0.02	167.3	37.0	30.6	7.4	15.6	98.6
	6월	1.9	0.05	432.2	75.1	50.4	12.9	35.0	261.9
	8월	1.1	0.83	258.7	50.0	32.6	9.4	22.0	153.4
	10월	1.9	0.04	433.3	72.0	49.6	16.9	36.1	286.7
영산강지구 영암호 유입하천	4월	3.5	0.03	888.1	139.7	36.6	21.1	45.0	612.0
	6월	2.5	0.22	606.0	107.6	38.7	20.6	44.3	377.5
	8월	2.0	0.21	508.9	79.9	32.3	20.5	38.0	306.4
	10월	2.6	0.23	619.9	98.5	41.1	25.8	46.4	441.6

표 15. 2015년도 간척지 특성화 11지구 유입하천 수질 법적기준 분석 결과

유입 하천	시기	pH	BOD	COD	TOC	SS	DO	T-P
			----- mg/L -----					
시화 지구	4월	7.6	2.0	64.1	1.3	52.0	9.2	0.11
	6월	7.8	3.6	88.3	1.2	62.0	10.1	0.08
	8월	8.0	1.5	52.5	1.2	29.5	8.6	0.16
	10월	7.7	1.1	33.9	1.3	14.0	7.1	0.21
화옹 지구	4월	8.4	3.3	21.2	2.8	52.2	8.8	0.10
	6월	8.4	6.1	84.2	1.7	19.0	9.0	0.09
	8월	8.2	5.9	43.6	1.8	62.8	8.8	0.11
	10월	8.2	2.2	47.9	1.8	7.8	8.3	0.11
석문 지구	4월	7.6	0.7	3.4	4.0	16.0	8.6	0.08
	6월	9.2	8.3	20.7	8.9	16.5	10.3	0.06
	8월	8.3	3.7	16.3	6.0	25.5	9.0	0.09
	10월	8.9	7.1	16.1	4.8	10.4	8.3	0.14
이원 지구	4월	8.1	1.5	13.3	3.0	26.0	8.5	0.06
	6월	8.7	2.1	35.7	3.4	10.0	10.3	0.05
	8월	8.6	8.1	34.7	4.5	38.5	8.1	0.09
	10월	8.0	0.2	36.0	3.2	2.4	7.8	0.04
남포 지구	4월	7.6	1.2	12.2	1.1	28.7	8.5	0.12
	6월	9.0	9.8	28.0	4.9	17.5	9.6	0.07
	8월	8.3	4.0	19.3	2.4	10.5	9.1	0.06
	10월	8.6	7.0	46.1	1.5	14.4	7.3	0.06
새만금 지구	4월	7.8	2.7	18.2	4.3	28.3	9.1	0.08
	6월	8.0	3.1	14.8	5.5	15.8	8.2	0.08
	8월	8.2	5.4	18.9	5.0	40.6	8.6	0.09
	10월	8.2	4.6	19.3	4.4	24.8	10.5	0.06
고흥 지구	4월	8.1	2.8	7.2	4.1	14.0	9.2	0.03
	6월	8.3	5.9	11.6	4.5	20.0	8.3	0.05
	8월	8.4	1.0	10.7	3.9	13.0	7.8	0.04
	10월	8.3	1.8	7.6	5.7	8.8	8.6	0.02
삼산 지구	4월	7.7	1.2	3.8	3.4	1.0	10.8	0.08
	6월	7.4	3.4	17.8	11.3	11.5	6.5	0.09
	8월	7.8	0.7	7.5	4.2	2.5	7.4	0.08
	10월	7.6	0.6	2.1	2.6	2.0	8.6	0.07
군내 지구	4월	8.3	3.2	7.9	4.9	18.0	11.9	0.05
	6월	8.3	1.7	12.5	4.2	33.5	9.9	0.03
	8월	8.2	2.6	9.3	5.2	13.0	7.7	0.04
	10월	7.6	2.2	21.7	8.4	29.2	3.8	0.06
보전 지구	4월	7.2	1.7	5.2	4.2	4.0	8.6	0.08
	6월	7.3	8.3	65.3	6.5	145.5	8.4	0.18
	8월	7.9	1.5	11.2	5.4	81.0	7.2	0.05
	10월	7.5	2.2	26.4	4.1	11.6	6.4	0.04
영산강지구 (금호호유입)	4월	7.7	4.5	8.7	3.9	16.7	9.7	0.04
	6월	8.4	7.1	13.9	4.3	21.5	8.8	0.04
	8월	8.2	1.8	9.6	3.9	26.5	8.3	0.06
	10월	8.3	3.1	8.9	3.6	11.6	8.8	0.04
영산강지구 (영암호유입)	4월	7.9	0.9	5.4	2.8	19.3	9.1	0.03
	6월	8.2	2.5	7.3	4.0	29.9	9.4	0.03
	8월	8.1	1.9	8.6	3.9	29.2	7.6	0.04
	10월	8.1	2.9	7.4	4.1	23.5	9.4	0.03
하천수 수질기준 (농업용수)		6.0-8.5	8이하	-	-	100이하	2이상	-

표 16. 2015년도 간척지 특성화 11지구 유입하천 수질 기타 항목 분석 결과

유입 하천	시기	EC (ds/m)	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca	K	Mg	Na	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ -P
			----- mg/L -----								
시화 지구	4월	32.9	0.69	0.75	248	261	824	6173	9458	1934	0.08
	6월	37.7	0.18	1.08	307	244	980	8876	12348	723	0.07
	8월	41.7	0.35	0.98	257	276	859	7898	15745	2155	0.14
	10월	36.0	1.02	0.45	281	193	916	8220	11000	2055	0.08
화옹 지구	4월	18.5	0.33	0.61	153	151	357	3723	5875	1130	0.07
	6월	35.6	0.08	1.24	294	245	891	7463	11522	591	0.04
	8월	21.6	0.01	0.92	154	160	453	4451	7335	2484	0.08
	10월	27.5	0.03	0.17	205	167	651	5736	7879	1430	0.01
석문 지구	4월	0.4	2.69	0.05	30	10	11	82	75	39	0.07
	6월	0.7	0.37	1.05	32	10	14	84	135	66	0.02
	8월	0.9	0.58	0.57	25	7	12	89	178	67	0.08
	10월	1.2	0.62	0.21	34	12	20	188	260	69	0.06
이원 지구	4월	9.6	0.10	0.92	180	79	310	2283	3163	597	0.03
	6월	11.7	0.01	1.05	231	62	255	1954	2144	590	0.02
	8월	0.7	0.00	0.67	127	74	170	1491	3288	546	0.00
	10월	13.2	0.01	0.16	188	79	270	2683	3045	567	0.00
남포 지구	4월	6.6	1.14	1.15	89	53	189	1250	2062	312	0.09
	6월	4.4	0.37	1.15	61	33	101	760	819	213	0.00
	8월	10.4	0.00	0.98	88	65	173	1574	3161	534	0.04
	10월	22.8	0.01	0.10	209	129	530	4632	4473	1403	0.00
새만금 지구	4월	6.5	2.05	1.36	59	46	152	1316	1907	357	0.05
	6월	3.1	1.72	2.30	42	22	66	632	638	183	0.06
	8월	5.4	1.58	0.91	44	33	94	803	2008	562	0.06
	10월	7.8	3.33	0.40	78	49	173	1656	2945	389	0.01
고흥 지구	4월	1.4	1.06	0.84	43	17	31	254	328	82	0.02
	6월	1.5	0.15	0.46	37	18	28	245	343	68	0.01
	8월	1.3	0.19	0.20	32	13	28	174	320	54	0.00
	10월	1.5	0.05	0.25	40	15	32	231	282	65	0.00
삼산 지구	4월	0.1	1.68	0.05	10	4	3	19	18	26	0.05
	6월	0.5	0.01	0.39	27	7	10	58	78	95	0.04
	8월	0.1	0.55	0.01	12	3	3	12	37	27	0.03
	10월	0.3	0.14	0.06	15	4	5	25	283	20	0.03
군내 지구	4월	1.2	1.13	0.73	63	13	28	205	266	149	0.03
	6월	2.3	0.57	0.38	55	24	45	450	491	187	0.02
	8월	0.7	0.19	0.10	21	7	14	96	163	41	0.01
	10월	1.3	0.01	0.19	40	15	27	172	236	29	0.01
보전 지구	4월	0.3	4.09	0.23	19	6	36	555	54	28	0.05
	6월	2.4	0.57	2.90	54	19	44	468	563	150	0.15
	8월	0.3	3.59	0.02	11	3	41	25	38	40	0.01
	10월	0.5	0.01	0.07	28	6	76	55	774	21	0.01
영산강 지구 (금호호 유입)	4월	1.8	1.01	0.94	35	20	37	350	435	98	0.02
	6월	2.0	0.37	0.33	35	23	34	332	492	129	0.00
	8월	1.3	0.96	0.19	23	12	25	163	334	53	0.00
	10월	2.8	0.01	0.23	41	20	54	482	631	108	0.00
영산강 지구 (영암호 유입)	4월	1.2	2.33	0.62	28	14	24	230	290	73	0.02
	6월	1.3	1.61	0.32	28	15	25	227	308	166	0.01
	8월	0.8	0.52	0.19	19	9	15	97	189	41	0.01
	10월	1.2	0.68	0.19	24	12	21	179	230	54	0.01

표 17. 2016 간척지 특성화 11지구 유입하천 수질 법적기준 분석 결과

유입 하천	시기	pH	BOD	COD	TOC	SS	DO	T-P
			----- mg/L -----					
시화 지구	4월	7.9	3.1	47.0	1.6	22.3	10.7	0.07
	6월	7.7	1.4	26.6	2.2	49.0	9.1	0.13
	8월	7.9	1.9	24.2	2.0	101.7	7.6	0.39
	10월	8.0	0.8	20.8	1.2	10.0	5.6	0.15
화옹 지구	4월	8.8	8.2	40.5	2.5	37.0	11.7	0.03
	6월	8.6	4.6	18.6	3.2	107.3	9.2	0.10
	8월	9.0	7.4	22.3	3.1	105.9	7.6	0.13
	10월	8.3	9.0	21.2	1.8	27.3	12.0	0.07
석문 지구	4월	8.1	3.1	9.5	5.7	25.7	10.9	0.10
	6월	8.6	4.7	21.2	10.5	24.0	10.1	0.03
	8월	8.6	5.2	15.3	6.1	25.3	8.4	0.16
	10월	8.4	3.0	10.4	4.1	5.7	10.6	0.15
이원 지구	4월	8.2	4.7	22.0	5.7	52.0	11.3	0.04
	6월	8.4	8.0	38.2	4.7	53.0	8.5	0.07
	8월	8.4	6.5	16.7	3.7	12.3	7.3	0.07
	10월	8.5	3.7	26.5	4.4	19.6	10.2	0.06
남포 지구	4월	7.9	5.3	22.9	2.2	26.0	11.1	0.10
	6월	8.7	4.3	18.7	4.0	18.0	9.5	0.04
	8월	8.1	2.8	10.2	2.9	7.3	7.7	0.14
	10월	8.3	5.8	17.3	2.6	7.3	10.6	0.07
새만금 지구	4월	8.2	4.7	17.6	4.9	22.6	9.8	0.05
	6월	7.9	3.3	19.6	7.4	27.3	8.4	0.08
	8월	8.5	4.0	13.0	5.0	23.3	9.5	0.10
	10월	8.0	2.0	10.0	3.3	21.0	8.9	0.08
고흥 지구	4월	7.9	3.3	12.6	8.6	24.3	9.2	0.06
	6월	8.7	1.4	11.0	5.7	13.3	7.7	0.02
	8월	8.7	1.7	10.4	4.3	8.0	7.7	0.02
	10월	7.7	1.8	10.2	4.6	9.0	8.1	0.15
삼산 지구	4월	7.4	4.3	6.2	11.4	18.7	10.5	0.03
	6월	7.5	0.8	20.3	11.7	75.0	4.7	0.11
	8월	7.7	8.8	20.3	9.2	6.3	6.4	0.21
	10월	7.2	0.4	3.9	1.9	34.0	7.2	0.05
군내 지구	4월	7.9	1.7	18.0	7.2	18.7	10.0	0.01
	6월	8.1	1.8	17.7	8.9	75.0	7.3	0.03
	8월	7.8	6.8	14.6	6.5	6.3	5.1	0.09
	10월	7.5	1.1	11.3	4.8	34.0	8.0	0.04
보전 지구	4월	7.3	1.5	10.0	7.1	13.0	10.2	0.05
	6월	7.7	1.0	14.1	7.9	7.0	6.3	0.15
	8월	7.8	1.5	13.3	6.0	3.0	6.1	0.13
	10월	7.8	2.8	17.6	5.0	36.3	9.5	0.03
영산강 지구 금호호	4월	7.9	3.9	11.8	8.2	40.7	9.8	0.03
	6월	8.1	2.3	11.3	4.7	14.5	7.1	0.03
	8월	8.4	2.7	11.3	3.6	17.3	7.5	0.04
	10월	7.4	1.1	12.4	4.8	50.0	7.9	0.07
영산강 지구 영암호	4월	7.8	1.3	5.5	7.1	22.6	9.8	0.03
	6월	7.9	1.7	10.5	6.5	40.8	6.4	0.07
	8월	8.2	3.9	9.7	4.3	25.4	7.8	0.03
	10월	7.5	0.7	8.1	3.8	42.7	8.0	0.04
하천수 수질기준 (농업용수)		6.0~8.5	8이하	-	-	100이하	2이상	-

표 18. 2016 간척지 특성화 11지구 유입하천 수질 기타 항목 분석 결과

유입 하천	시기	EC (ds/m)	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Ca	K	Mg	Na	Cl-	SO ₄ ²⁻	PO ₄ -P
			----- mg/L -----								
시화 지구	4월	27.4	0.90	0.75	189	152	628	5183	10600	5040	0.04
	6월	31.9	0.61	0.86	268	264	777	7948	10990	1814	0.10
	8월	36.7	0.48	0.91	888	530	1882	14813	14039	1911	0.24
	10월	36.8	1.12	0.34	449	283	1003	5762	14139	1851	0.14
화옹 지구	4월	16.3	0.43	0.06	125	106	332	2691	6634	822	0.02
	6월	15.3	0.03	0.30	138	129	343	3398	4848	707	0.06
	8월	8.9	0.03	0.19	92	64	191	1319	2612	390	0.06
	10월	36.6	0.03	0.22	301	213	920	6376	13376	1848	0.02
석문 지구	4월	0.5	2.53	0.35	23	7	8	37	103	45	0.09
	6월	1.0	0.26	0.28	33	15	16	157	200	669	0.01
	8월	0.8	0.02	0.13	33	9	13	94	140	37	0.09
	10월	1.1	2.11	0.96	36	11	23	117	226	50	0.09
이원 지구	4월	5.3	0.03	0.10	74	39	111	736	4254	456	0.02
	6월	13.8	0.03	0.59	210	92	294	2949	3872	734	0.01
	8월	10.0	0.02	0.32	156	63	223	1612	2980	517	0.01
	10월	9.8	0.05	0.20	134	66	220	1320	3277	446	0.05
남포 지구	4월	11.7	2.06	0.30	101	74	226	1793	4832	810	0.09
	6월	9.4	0.08	0.56	96	56	208	1872	3196	437	0.01
	8월	4.6	0.08	0.44	78	29	102	564	1214	183	0.09
	10월	9.2	0.17	0.36	108	49	205	1383	2692	401	0.05
새만금 지구	4월	6.2	2.93	0.65	56	38	140	1110	2988	294	0.05
	6월	2.1	1.81	0.88	32	19	42	404	544	139	0.05
	8월	1.7	0.92	0.21	32	13	32	217	452	72	0.05
	10월	2.7	3.57	0.73	36	22	50	340	389	122	0.02
고흥 지구	4월	1.1	2.45	0.36	30	13	22	131	566	95	0.06
	6월	1.8	0.02	0.21	39	18	34	315	409	106	0.01
	8월	2.0	0.02	0.28	42	18	43	273	503	74	0.00
	10월	0.8	2.60	0.17	23	11	17	98	169	31	0.11
삼산 지구	4월	0.2	2.21	0.11	7	3	3	21	44	23	0.02
	6월	0.4	0.11	0.90	20	13	8	37	53	29	0.05
	8월	0.6	0.04	0.25	32	4	9	72	108	2	0.13
	10월	0.1	2.01	0.08	10	3	3	16	14	9	0.03
군내 지구	4월	1.7	1.31	0.07	35	14	33	202	498	178	0.01
	6월	1.7	0.75	0.80	49	19	31	279	388	131	0.02
	8월	1.9	0.03	0.30	52	13	35	308	480	45	0.06
	10월	0.6	3.13	0.08	21	9	12	78	107	33	0.01
보전 지구	4월	0.3	4.01	0.07	10	3	5	220	50	33	0.04
	6월	0.6	2.09	1.52	19	11	10	69	100	44	0.14
	8월	1.8	0.03	0.35	37	11	33	234	570	47	0.08
	10월	1.6	1.12	0.19	30	15	29	241	425	59	0.01
영산강 지구 금호호	4월	2.4	1.23	1.12	52	35	79	658	682	193	0.03
	6월	2.5	0.47	0.37	36	22	47	456	645	176	0.01
	8월	2.5	0.05	0.33	40	20	49	353	652	94	0.01
	10월	0.5	3.14	0.28	16	10	11	55	88	30	0.02
영산강 지구 영암호	4월	1.3	1.84	0.20	23	12	22	160	1110	71	0.02
	6월	1.1	1.05	0.68	24	15	19	194	264	65	0.06
	8월	1.1	0.30	0.38	27	11	23	145	285	46	0.01
	10월	0.5	1.30	0.20	14	7	10	61	106	25	0.01

다. 간척지 특성화 11지구 오염원 현황

2014년도에 간척지구별 오염원 조사를 실시하였고 표 19에 오염원조사 대상지역을 나타내었다.

표 19. 간척지구별 오염원 조사 대상지역

간척지구	오염원 조사 대상지역
시화지구	경기도 안산시, 화성시 송산면, 비봉면, 매송면, 시흥시 정왕동
화옹지구	경기도 화성시 마도면, 서신면, 우정읍, 팔탄면
석문지구	충청남도 당진시 석문면 삼화리, 통정리, 고대면 슬항리, 용두리, 송산면 당산리, 무수리, 가곡리, 금암리
이원지구	충청남도 태안군 이원면 포지리, 원북면 방갈리
남포지구	충청남도 보령시 남포면, 신흑동
부사지구	충청남도 보령시 웅천읍, 주산면, 미산면
새만금지구	전라북도 군산시, 김제시, 전주시, 완주군, 부안군 계화면, 백산면, 동진면, 하서면, 주산면, 익산시 함열읍, 성당면, 웅포면, 망성면, 낭산면, 정읍시 (산내면만 제외)
고흥지구	전라남도 고흥군 도덕면 용동리, 신양리, 풍양면 당두리, 보천리
삼산지구	전라남도 장흥군 장흥읍 삼산리, 관산읍 신동리, 송촌리
군내지구	전라남도 진도군 군내면 덕병리, 정자리, 나리, 분토리, 송산리, 진도읍 수유리, 수역리
보전지구	전라남도 진도군 지산면 보전리, 거제리, 길은리
영산강지구	전라남도 해남군 황산면, 화원면, 문내면, 산이면, 마산면, 옥천면, 계곡면, 영암군 삼호읍, 미암면

표 20에 간척지구별 담수호 오염원이 되는 인구와 축산 현황을 나타내었고 표 21에 오염원이 되는 폐수, 양식장, 토지이용 현황을 나타내었다. 간척지구 오염원 조사결과 인구수와 가축사육두수는 새만금지구에서, 산업폐수 발생량은 화옹지구에서 가장 높은 것으로 조사되었으며, 새만금지구에서 토지를 논과 밭으로 이용하는 면적이 가장 넓은 것으로 조사되었다.

표 20. 간척지구별 오염원(인구, 축산) 현황

간척지구	인구수 (명)	축산사육두수							
		개	닭	돼지	말	사슴	오리	젓소	한우
시화지구	947,998	1,135	263,113	14,902	1,101	284	4,575	5,563	7,860
화옹지구	550,649	34,542	5,316,427	148,345	569	1,056	153,722	28,616	34,449
석문지구	8,266	538	38,314	12,189	65	49	33	1,059	2,574
이원지구	1,027								89
남포지구	6,260			1,550					1,919
부사지구	12,396	300	15,615	8,519			30,000	643	3,894
새만금지구	1,275,844	28,069	14,688,259	639,515	421	800	2,405,710	18,480	182,113
고흥지구	1,542	360							677
삼산지구	823		25,000	3,241	60				1,619
군내지구	2,096	100	5,000	97			11		975
보전지구	703			58					13
영산강지구	56,607	4,869	1,256,041	48,379		51	193,393	1,370	24,927

표 21. 폐수, 양식장, 토지이용현황

간척지구	산업폐수 발생량 (m ³ /d)	양식장 (ha)	토지이용			
			논 (ha)	밭 (ha)	임야 (ha)	대지 (ha)
시화지구	199,992	0.29	3,922	3,008	10,726	2,704
화옹지구	1,222,258	0.49	16,030	8,277	24,671	3,627
석문지구	649		2,676	486	1,138	14
이원지구	13,174	0.22	573	98	874	22
남포지구	185	0.22	2,165	404	2,103	227
부사지구	2,544		2,597	1,069	10,733	350
새만금지구	213,102	64.14	80,727	24,114	120,505	11,077
고흥지구			539	206	571	39
삼산지구			383	87	496	22
군내지구	5	0.24	1,065	559	1,606	51
보전지구		0.59	401	215	794	20
영산강지구	9,976	3.25	17,108	9,176	24,749	1,322

제 4 절 간척지 토양에서의 이화학적 변화에 따른 생물상 변화

1. 연구수행 내용

조사지점 및 시료채취 국가관리 11개 특성화 지구의 정점토양을 2013~2016년 3~4월에 GPS 측량기 (GPSmap 62s, Garmin)를 이용하여 좌표를 설정하고 해당하는 정점토양의 표토 (0~10 cm)를 채취하여 시료 제조에 사용하였다. 간척지구별 조사지점에 대한 정보는 표 1와 표 2에 정리하였다.

토양 시료조제 및 화학성 분석 토양의 화학적 특성 분석은 농업과학기술원의 토양 및 식물체분석법에 준하여 실시하였다 (RDA, 2000). 채취한 표토를 풍건한 이후 2 mm 체에 통과시킨 세토를 분석시료로 사용하였다. pH 및 EC (Electrical conductivity)는 토양과 증류수를 1:5 (w/v) 비율로 한 초자전극법 (Orion Star A215, Thermo Scientific), 토양 유기물은 Tyurin법, 치환성양이온은 1N-NH₄OAc (pH 7.0)로 추출하여 유도결합플라즈마 발광광도계 (ICP, Varian)로 분석하였다. 토양의 수분함량은 수분측정기 (ML-50, AND)로 측정하여 시료의 건조토양 산출에 적용하였다.

토양 시료조제 및 토양미생물 분석 토양미생물분석을 위하여 채취한 표토는 2 mm 체를 통과시킨 세토를 4°C 냉장고에서 90일 이내로 보관하였다. 미생물 생균수는 생리식염수를 이용한 희석평판법을 이용하여 측정하였다. 토양 중 호기성 세균은 Yeast Glucose (YG) 한천배지 (James, 1958)를 이용하여 30°C에서 7일간 배양한 결과를 바탕으로 중온성 (MB; Mesophilic bacteria) 세균의 생균수를 조사하였다. 곰팡이 (F; Fungi)는 Streptomycin이 첨가된 Rose-bengal (RB) 한천배지 (Martin, 1950)를 이용하였고, 방선균 (A; Actinomycetes)은 Starch Casein Agar (SCA) (Wellington and Cross, 1983) 배지를 이용하여 30°C에서 7일간 배양한 결과를 분석하였다. 내염성 (HTB; Halotolerant bacteria) 및 호염성 (HB; Halophilic bacteria) 세균은 Tryptic Soy Agar (TSA) 배지 (Brisou et al., 1974)에 각각 5% 및 10% NaCl을 첨가하여 30°C에서 7일간 배양한 결과를 이용하여 분석하였다. 미생물의 생균수는 수분함량을 적용하여 산출한 건조토양 (g) 당 CFU (colony forming unit)로 환산하였다.

표 1. 국가관리 특성화 간척지구 A지역 정점토양의 조사지점

구역	지구	지점수	ID	2013년	2015년	지구	지점수	ID	2013년	2015년
A (사양질)	시 화	7	1	37.20732/126.65311		석 문	6	1	36.97936/126.63572	
			2	37.23714/126.63264				2	36.98645/126.61362	
			3	37.26719/126.59457				3	36.99240/126.61811	
			4	37.28577/126.57867				4	36.98824/126.60244	
			5	37.23993/126.65427				5	36.96315/126.63854	
			6	37.22517/126.66802				6	36.96343/126.66214	
			7	37.22571/126.66888		새 만 금	9	1	35.77386/126.62528	
	이 원	7	1	36.89493/126.27415				2	35.77289/126.62047	
			2	36.88829/126.25140				3	35.77264/126.61486	
			3	36.87505/126.23613				4	35.82894/126.70144	
			4	36.86173/126.24039				5	35.82522/126.69174	
			5	36.87975/126.25090				6	35.81639/126.67972	
			6	36.87952/126.25456				7	35.87756/126.68693	
			7	36.88604/126.26159				8	35.87852/126.68752	
	남 포	5	1	36.28382/126.54637				9	35.87963/126.68841	
			2	36.28827/126.54451						
			3	36.29490/126.54871						
			4	36.29897/126.54556						
			5	36.29834/126.53555						

표 2. 국가관리 특성화 간척지구 B지역 정점토양의 조사지점

구역	지구	지점수	ID	2014년	ID	2016년	지구	지점수	ID	2014년	2016년
B (식양질)	영산강	13~17	2	34.72545/126.48321	1	34.72512/126.48306	군 내	6	1	34.53971/126.26778	
			13	34.64782/126.48622	3	34.64788/126.48624			2	34.54219/126.26147	
			17	34.66545/126.48472	4	34.66543/126.48460			3	34.55433/126.26395	
			28	34.60570/126.45773	9	34.60570/126.45773			4	34.56043/126.26143	
			30	34.64823/126.41469	10	34.64871/126.41476			5	34.54892/126.26884	
			32	34.65908/126.45963	11	34.65911/126.45963			6	34.56355/126.25986	
			38	34.60313/126.47054	16	34.60310/126.47053	보 전	3	1	34.47747/126.17783	
			39	34.63698/126.61504	17	34.63615/126.61646			2	34.47085/126.16833	
			42	34.60397/126.44905	19	34.60370/126.45022			3	34.47400/126.17474	
			10	34.68167/126.52524	2	34.67416/126.53066	삼 산	4	1	34.54024/126.97315	
			31	34.68918/126.33501	7	34.73280/126.40026			2	34.52672/126.97114	
			36	34.61668/126.43314	14	34.62783/126.41370			3	34.53814/126.97905	
			21	34.66500/126.34237	20	34.66125/126.33305			4	34.53770/126.98302	
			5	34.70985/126.51268			고 흥	8	1	34.58854/127.20160	
			16	34.66253/126.57820					2	34.61108/127.19859	
			15	34.65856/126.37565					3	34.59963/127.21965	
			45	34.64096/126.58669					4	34.59671/127.19220	
	화 웅	5~7	2	37.12152/126.70524					5	34.60107/127.23071	
			4	37.13882/126.77149					6	34.61516/127.21338	
			5	37.14642/126.75147					7	34.61618/127.23166	
			8	37.11692/126.69671					8	34.62473/127.23528	
			10	37.15113/126.74284							
			11	37.08251/126.74106							
			12	37.10859/126.72970							

토양의 탈수소효소활성 분석 토양 내 생존 미생물의 탈수소효소활성을 측정하기 위하여 토양미생물 분석용 토양시료 2 g에 0.1 M Tris 완충용액 (pH 7.6)으로 제조한 2% 2,3,5-Triphenyltetrazolium (TTC) 용액 0.5 mL, 2% (w/v) 포도당 용액 1 mL, 그리고 토양시료의 pH에 따른 0.1 M Tris 완충용액 1.5 mL을 첨가하여 잘 혼합한 이후 암상태의 25°C에서 24~72시간 반응시켰다 (Klein et al., 1971; Rossel et al., 1997). 반응 후 생성된 Triphenylfromazan (TPF)을 10 mL 메탄올을 이용하여 추출하여 여과한 뒤 485 nm에서 흡광광도계 (POP, Optigen)를 이용하여 흡광도를 측정하였다. 탈수소효소활성은 수분함량을 적용하여 $\mu\text{g-TPF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 로 환산하였다.

유기물 분해력을 지닌 토양미생물 분석 2015년 토양 내 생존하는 미생물 중 다양한 유기물 분해력을 지닌 미생물의 생균수는 2 mm체를 통과시킨 토양시료를 생리식염수를 이용한 희석평판법을 이용하여 30°C에서 5일간 배양한 결과로 분석하였다. 유기물 분해력을 지닌 생균수는 셀룰로오스 (Avicel[®] PH-101, Fluka 11363, Cellulose microcrystalline), 전분 (Soluble starch), 단백질 (Skim milk powder, Fluka 70166), 지질 (Tributyrin, Fluka W222305)을 기질로 분해하여 생육할 수 있는 선별배지에서 투명한 (Clear zone)을 확인하는 방법으로 조사하였으며 건조토양 (g) 당 CFU로 환산하였다 (표 3) (Kim et al., 2007). 또한 세균과 방선균·곰팡이를 구분하기 위하여 선별배지 내에 적량의 chloramphenicol과 kanamycin 혼합물, 그리고 cycloheximide를 각각 첨가하여 구분하였다.

표 3. 유기물 분해력을 지닌 효소활성을 선별하기 위한 선별배지 조성 및 확인 염색약

Enzyme	Substrate (Basal medium*)	Dye	Identification
Cellulase	1% (w/v) Avicel [®]		Clear zone
Amylase	1% (w/v) Soluble starch	0.2%(w/v) Congo red solution	Clear zone
Protease	1% (w/v) Skim milk powder 0.5% (w/v) Casein from milk		Clear zone
Lipase	1% (w/v) Tributyrin		Clear zone

* : Basal medium contains yeast extract 0.1%, peptone 0.1%, NaCl 0.5%, Agar 1.5%

미소동물 조사지점 및 토양 미소동물 분석 국가관리 11개 특성화 지구의 정점토양을 2015~2016년 7~8월에 GPS 측량기 (GPSmap 62s, Garmin)를 이용하여 좌표를 설정하고 해당하는 정점토양 (10×10×5 cm)을 채취하였다. 채취한 토양을 24시간 이내에 Tullgren Funnel에 넣어 48시간 동안 토양 미소동물을 수집하여, 70% 알코올 용액에 보관한 뒤, 광학현미경을 이용하여 조사구별 분포를 19종 (17목 2강)에 대하여 분석하였다. 간척지구별 조사지점에 대한 정보는 표 4에 정리하였다.

표 4. 토양미소동물 채취 및 분석을 위한 국가관리 특성화 간척지구별 정점지점

Year	지구	ID	좌표	Year	지구	ID	좌표
2015	남포	남포1	36.30127/126.53022	고흥	고흥1	34.62742/127.23391	
		이원1	36.88742/126.27232		고흥2	34.61393/127.23187	
	이원	이원2	36.89661/126.27474		고흥3	34.60028/127.23296	
		이원3	36.89353/126.26522	삼산	삼산1	34.54236/126.97311	
	석문	석문1	36.95829/126.65811		삼산2	34.52378/126.96960	
		석문3	36.95684/126.65538		삼산3	34.53909/126.98447	
		석문4	36.95734/126.65544	보전	보전1	34.48096/126.17569	
	시화	시화1	37.25926/126.65894		보전2	34.47812/126.18224	
		시화2	37.25943/126.66066		보전3	34.47306/126.17903	
		시화3	37.24541/126.66441	군내	군내1	34.56547/126.26118	
	계화	계화1	35.77911/126.62364		군내2	34.55410/126.26972	
		옥구1	35.88006/126.68355		군내3	34.54016/126.27325	
	새만금	옥구2	35.87756/126.68695	화옹	화옹1	37.14008/126.78016	
		옥구3	35.87852/126.68755		화옹3	37.14883/126.73553	
		옥구4	35.88005/126.67948		화옹4	37.12295/126.69885	
				영산강	영산강1	34.65973/126.32961	
			영산강2		34.65972/126.45895		
			영산강3		34.63011/126.41558		
		영산강4	34.60625/126.47593				
		영산강5	34.68043/126.56451				
		영산강6	34.73456/126.40495				

식물상 및 생활형 조사 및 분석 2013~2016년 간척지구별로 4월에서 10월까지 봄, 여름, 가을 매년 3회에 걸쳐 현지답사를 통하여 확인된 모든 관속식물의 출현종을 기록하고, 일부 종은 사진촬영 및 채집을 실시하였으며 미확인 식물은 실험실로 운반하여 동정하였다. 식물의 분류와 동정은 이우철 (1996a; 1996b), 이영노 (2006a; 2006b), 이창복 (2003a; 2003b)과 한국양치식물연구회 (2005)의 도감을 참고하였으며, 귀화식물 (Park, 2009)과 염생식물 (Kim, 2013) 분류하였다. 조사된 소산식물은 Fuller & Tipppo 법식에 따라 정리하여 목록을 작성하였으며, Raunkiaer (1934)의 생활형을 구분 집계하였다.



그림 1. Raunkiaer의 생활형

식생 식생조사는 국립지리원 발행 1:25,000 지형도와 1:5,000 지형도 및 다음 항공사진(www.daum.net)을 이용하여 식물사회학적 조사를 실시하였다 (Yim, et. al., 1990). 각 방형구에서 얻어진 자료로 표조작법을 이용하여 우점종과 식별종을 구분하여 식생단위를 분류하였다 (Kim & Yim, 1988; Muller-Dombois & Ellenberg, 1974). 표본구의 설치는 표본 추출 대상지가 균질 하다고 인정되는 지역의 가장 전형적인 곳에 하였다. 표본구의 크기는 교목림, 관목림, 초지를 구분하여 최소면적 (minimal area)에 따라 설치하였고 (Kim et. al., 1995), 표본구 내에서 출현하는 식물종의 기록은 관속식물에 한하였으며, 교목림의 경우 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층 등 계층별로 종의 목록을 식생조사표에 기재하였다. 이러한 각 계층에서 출현하는 종에 대하여 Braun-Blanquet (1964)의 전추정법에 따라 피도(cover)와 군도(sociability)를 측정하여 기록하였다 (Werger, 1974).

표 5. 식생형에 따른 조사구의 최소면적 범위

식생형	구조	식물군락의 해설 및 사례	최소 면적(m ²)
부유식생	-	<ul style="list-style-type: none"> 수면에서 서식하는 식물군락 예 : 부엽침수식생(생이가래-좀개구리밥군락, 마름-물수세미군락) 등 	0.1 ~ 3
초원식생	단층	<ul style="list-style-type: none"> 키 작은 초본만으로 구성되는 식물군락 예 : 초본식생(고마리-여뀌군락), 해안절벽초원식생(땅채송화군락), 해안사구 초본식생(갯방풍군락), 터주식생(질경이-토끼풀군락), 고층습원식생(끈끈이주걱군락) 등 	1 ~ 10
	이층	<ul style="list-style-type: none"> 키 큰 초본과 키 작은 초본으로 구성되는 식물군락 예 : 저층습원식생(갈대군락), 경작지식생(망초-개망초군락), 고층습원식생(진퍼리새군락) 등 	1 ~ 25
관목식생	-	<ul style="list-style-type: none"> 키 작은 목본으로 구성되는 식물군락 예 : 계류식생(갯버들-달뿌리풀군락), 해안풍충저목림(동백나무-돈나무군락), 선구성 임연저목림(철군락, 누리장나무군락) 등 	12 ~ 150
삼림식생	단층	<ul style="list-style-type: none"> 이층 이하의 층구조를 가지는 키 큰 식물군락(교목층-초본층) 예 : 조림식생(왕대림, 리기다소나무조림군락) 등 	50 ~ 200
	다층	<ul style="list-style-type: none"> 삼층 이상의 층구조를 가지는 식물군락(교목층-아교목층-관목층-초본층) 예 : 상록활엽교목림(신갈나무-조릿대군락), 계곡림(느티나무-팽나무군락), 상록침엽이차림(소나무군락), 하록활엽이차림(굴참나무-은방울꽃군락) 등 	200 ~ 500

표 6. 피도 및 군도의 조사기준(Braun-Blanquet, 1964)

피도 판정기준	군도 판정기준
r - 피복면적 미약, 개체수 한 개	1 - 단독생육하는 것(單生 : solitarily, single)
+ - 5% 미만, 개체수 적음	2 - 소군상(clumps or dense groups)
1 - 5% 미만, 개체수 많음	3 - 소반상(small patches or cushions)
2 - 5% 이상 25% 미만	4 - 대반상(small colonies, broken mat)
3 - 25% 이상 50% 미만	5 - 카펫트상(pure population stands)
4 - 50% 이상 75% 미만	-
5 - 75% 이상	-

피도(중합점도) 배분모식 등급(수개)	군도 배분모식

그림 2. 우점도[피도(중합점도) 배분모식] 및 군도 배분모식도

2. 결과 및 고찰

간척지구별 정점토양의 화학성

2013년과 2015년 A지구에 대한 간척지구의 정점토양을 대상으로 대표적인 이화학적 특성인 토양의 pH, EC 및 유기물 함량을 조사하였다. 남포간척지구 정점토양의 화학성인 pH, EC 및 유기물 함량은 2013년에 평균 5.97, 0.91 dS m⁻¹, 8.92 g Kg⁻¹에서 2015년에 각각 6.08, 1.26 dS m⁻¹, 11.4 g Kg⁻¹로 경작에 따라 유기물 함량이 증가하는 추세로 확인되었다. 남포간척지의 대부분이 논토양으로 사용되고 있으며, 간척지 토양이지만 일반 토양과 유사한 토양 화학성을 지니고 있으며, EC 역시 2.0 dS m⁻¹ 미만으로 국가관리 간척지 특성화지구 중에서 일반 토양에 가장 근접한 것으로 확인되었다. 이원간척지구 정점토양의 화학성인 pH, EC 및 유기물 함량은 2013년에 평균 7.64, 10.4 dS m⁻¹, 4.17 g Kg⁻¹에서 2015년에 7.81, 11.9 dS m⁻¹, 5.59 g Kg⁻¹로 EC의 지속적인 증가가 확인되었다. 이원간척지는 논토양으로 주로 사용되고 있으나, 아직 간척지 토양의 전형적인 특성인 높은 염도와 낮은 유기물 함량을 보이고 있으며, 정점지점별 차이는 있으나 전반적으로 제염이 이루어지지 않고 유기물 함량 역시 낮은 수준을 유지하고 있었다. 석문간척지구 정점토양의 화학성인 pH, EC 및 유기물 함량은 2013년에 평균 7.15, 2.88 dS m⁻¹, 8.45 g Kg⁻¹에서 2015년에 7.44, 4.13 dS m⁻¹, 9.04 g Kg⁻¹로 2년 기간 동안 EC가 50% 이상 증가한 사실이 확인되었다. 석문간척지는 논토양으로 주로 사용되고 있으며, 정점지점별 차이는 있으나 점진적인 제염이 진행되어 토양의 염도가 고염도에서 저염도로 이동하고 있으며, 경작에 따라 유기물 함량도 증가하는 것으로 확인되었다. 시화간척지구 정점토양의 화학성인 pH, EC 및 유기물 함량은 2013년에 평균 7.80, 12.2 dS m⁻¹, 5.47 g Kg⁻¹에서 2015년에 7.47, 5.65 dS m⁻¹, 7.74 g Kg⁻¹으로 2년 기간 동안 EC가 점진적으로 감소하는 경향이 확인되었다. 시화간척지의 토양 EC는 고염도에서 낮아지고 있으며, 경작에 따른 유기물 함량 역시 증가하는 추세이지만 경작여부에 따른 토양의 화학성 변화가 직접적으로 영향을 받는 것으로 확인되었다. 새만금간척지구 정점토양의 화학성인 pH, EC 및 유기물 함량은 2015년에 평균 8.05, 1.32 dS m⁻¹, 1.92 g Kg⁻¹로 확인되었다. 새만금간척지 토양 대부분은 무경작 상태로서 토양의 pH는 알칼리성을 유지하고 있는 반면 EC는 일반 간척지 토양보다 낮은 1.32 dS m⁻¹로 확인되었으며 이는 지하수위나 기후환경에 따라 매우 유동적인 것으로 판단되었다. 새만금간척지 토양의 유기물 함량은 계속되는 도로공사와 무경작으로 인하여 매우 낮은 수준을 유지하였다.

2014년과 2016년 B지구에 대한 간척지구의 정점토양을 대상으로 대표적인 이화학적 특성인 토양의 pH, EC 및 유기물 함량을 조사하였다. 영산강간척지구 정점토양의 화학성인 pH, EC 및 유기물 함량은 2014년에 평균 6.92, 4.26 dS m⁻¹, 12.2 g Kg⁻¹에서 2016년에 각각 7.33, 3.57 dS m⁻¹, 13.8 g Kg⁻¹로 조사되었다. 영산강간척지의 대부분이 논토양으로 사용되고 있으며, 2년 기간 동안 경작에 따라 유기물 함량은 증가한 반면 토양의 EC는 소폭 증가하는 경향을 확인하였다. 군내간척지 정점토양의 화학성인 pH, EC 및 유기물 함량은 2014년에 평균 6.61, 7.62 dS m⁻¹, 13.3 g Kg⁻¹에서 2016년에 각각 7.34, 5.75 dS m⁻¹, 16.2 g Kg⁻¹로 조사되었다. 군내간척지의 경우, 경작에 따라 유기물 함량은

20% 정도 증가한 반면 토양 EC는 25% 정도 감소하였다. 보전간척지 정점토양의 화학성인 pH, EC 및 유기물 함량은 2014년에 평균 7.05, 7.28 dS m⁻¹, 9.57 g Kg⁻¹에서 2016년에 각각 8.05, 5.84 dS m⁻¹, 11.2 g Kg⁻¹로 조사되었다. 보전간척지의 경우, 보전간척지와 유사하게 경작에 따라 유기물 함량은 20% 정도 증가한 반면 EC는 20% 정도 감소하였다. 삼산간척지 정점토양의 화학성인 pH, EC 및 유기물 함량은 2014년에 평균 8.39, 20.2 dS m⁻¹, 6.24 g Kg⁻¹에서 2016년에 각각 8.44, 8.28 dS m⁻¹, 13.9 g Kg⁻¹로 확인되었다. 삼산간척지의 경우, 경작에 따라 토양의 pH는 알칼리성을 띠고 있지만 EC는 2년 기간 동안 60% 이상 급격하게 감소한 반면, 유기물 함량은 2배 이상 증가하였다. 고흥간척지 정점토양의 화학성인 pH, EC 및 유기물 함량은 2014년에 평균 7.87, 6.18 dS m⁻¹, 10.1 g Kg⁻¹에서 2016년에 각각 8.23, 4.52 dS m⁻¹, 14.2 g Kg⁻¹로 조사되었다. 고흥간척지의 경우, 경작에 따라 토양 EC는 2년 기간 동안 25% 정도 감소하였으며, 유기물 함량은 40% 정도 증가하였다. 화옹간척지 정점토양의 화학성인 pH, EC 및 유기물 함량은 2014년에 평균 7.71, 10.3 dS m⁻¹, 4.92 g Kg⁻¹에서 2016년에 각각 8.44, 4.67 dS m⁻¹, 3.90 g Kg⁻¹로 조사되었다. 화옹간척지의 경우, 2년 기간 동안 유기물 함량이 낮은 수준인 반면, 토양 EC는 55% 정도 감소하였다.

표 7. 국가관리 특성화 간척지구 A지역 정점지점 토양의 화학적 특성

Area	ID	pH		Electrical Conductivity (dS m ⁻¹)		Organic Matter (g Kg ⁻¹)	
		2013	2015	2013	2015	2013	2015
남포	1	5.95	5.45	1.26	0.59	6.51	9.12
	2	6.44	6.28	1.02	2.30	9.90	11.60
	3	5.83	6.64	0.57	1.40	11.10	12.30
	4	5.72	6.40	0.39	1.56	7.50	15.00
	5	5.89	5.64	1.31	0.44	9.56	8.95
	Mean	5.97	6.08	0.91	1.26	8.92	11.40
이원	1	8.38	8.83	1.32	2.18	3.91	5.79
	2	8.69	8.78	2.17	3.94	3.98	2.95
	3	7.76	8.00	6.23	10.60	5.14	6.50
	4	7.64	7.80	42.50	48.90	2.32	2.76
	5	7.99	8.10	16.80	13.60	4.65	4.69
	6	5.92	5.66	2.66	2.01	6.46	12.20
	7	7.09	7.52	0.89	2.26	2.73	4.28
	Mean	7.64	7.81	10.40	11.90	4.17	5.59
석문	1	7.23	7.12	3.31	4.04	8.85	7.07
	2	7.89	8.62	3.15	5.38	5.76	7.79
	3	7.23	7.71	3.31	3.60	8.85	6.71
	4	7.21	7.08	4.53	5.68	7.21	8.21
	5	7.07	7.78	0.25	0.74	10.10	12.00
	6	6.24	6.32	2.74	5.35	10.00	12.50
	Mean	7.15	7.44	2.88	4.13	8.45	9.04
시화	1	7.96	7.58	0.32	6.08	3.23	4.29
	2	8.05	7.08	32.90	10.20	3.03	7.69
	3	7.22	6.59	2.62	4.99	8.81	9.93
	4	9.47	8.27	8.03	0.85	7.78	11.30
	5	7.65	8.46	11.80	9.07	3.78	4.43
	6	7.09	6.74	0.97	2.10	6.74	8.95
	7	7.18	7.55	7.92	6.23	4.91	7.59
	Mean	7.80	7.47	12.2	5.65	5.47	7.74
새만금	1		7.99		2.73		1.34
	2		7.76		0.38		4.07
	3		7.89		0.07		4.36
	4		9.55		6.86		1.88
	5		7.45		0.53		3.64
	6		6.64		0.25		0.34
	7		9.74		0.64		0.14
	8		8.03		0.17		0.55
	9		7.36		0.27		0.97
	Mean		8.05		1.32		1.92

표 8. 국가관리 특성화 간척지구 B지역 정점지점 토양의 화학적 특성

Area	ID	pH		Electrical Conductivity (dS m^{-1})		Organic Matter (g Kg^{-1})	
		2014	2016	2014	2016	2014	2016
고 흥	1	7.20	7.68	4.31	5.33	8.42	11.00
	2	8.21	8.53	4.32	3.07	9.77	15.10
	3	8.07	8.23	4.65	4.01	11.90	16.10
	4	7.63	7.81	4.60	3.80	7.40	10.30
	5	7.84	8.26	4.51	4.90	9.24	15.80
	6	7.92	8.44	11.40	4.60	18.60	16.60
	7	7.86	8.44	5.26	5.11	8.22	12.20
	8	8.28	8.46	10.40	5.31	7.49	16.60
	Mean	7.87	8.23	6.18	4.52	10.10	14.20
삼 산	1	8.33	8.56	26.70	5.06	7.77	27.30
	2	8.39	8.25	9.18	7.66	5.09	10.90
	3	8.29	8.46	10.10	9.31	7.10	10.10
	4	8.56	8.51	34.80	11.10	4.98	7.50
	Mean	8.39	8.44	20.20	8.28	6.24	13.90
보 전	1	5.17	7.98	10.20	6.13	8.87	7.54
	2	8.20	8.28	4.33	5.64	9.65	14.00
	3	7.79	7.90	7.30	5.75	10.20	12.10
	Mean	7.05	8.05	7.28	5.84	9.57	11.20
군 내	1	6.85	7.25	9.80	5.05	17.10	16.60
	2	4.86	7.14	9.85	5.88	14.70	16.90
	3	7.60	8.15	4.55	5.41	11.70	14.30
	4	6.48	7.69	6.19	5.73	10.70	15.20
	5	7.26	8.00	7.71	6.70	12.10	18.20
	6	/	5.82	/	3.51	/	21.60
	Mean	6.61	7.34	7.62	5.75	13.30	16.20
화 용	2	7.51	8.48	30.50	2.96	3.38	2.28
	4	7.14	8.85	4.57	4.41	5.88	3.60
	5	7.86	8.09	5.86	2.44	3.66	3.54
	8	6.72	8.58	5.94	9.68	6.20	2.20
	10	8.30	8.24	3.41	3.88	6.16	7.87
	11	7.61	/	6.43	/	4.51	/
	12	8.84	/	15.60	/	4.65	/
	Mean	7.71	8.44	10.30	4.67	4.92	3.90

표 8 (계속). 국가관리 특성화 간척지구 B지역 정점지점 토양의 화학적 특성

Area	ID		pH		Electrical Conductivity		Organic Matter	
					(dS m ⁻¹)		(g Kg ⁻¹)	
	2014	2016	2014	2016	2014	2016	2014	2016
영산강	2	1	5.17	6.44	4.80	4.98	14.10	13.80
	13	3	6.23	7.74	2.35	3.54	12.20	12.40
	17	4	5.97	6.44	3.41	4.48	13.10	16.60
	28	9	6.29	8.39	3.81	3.05	11.10	8.76
	30	10	7.04	8.47	2.46	2.21	7.09	16.40
	32	11	8.61	8.63	4.60	4.40	30.80	31.40
	38	16	6.49	7.29	4.60	2.18	9.21	12.00
	39	17	5.06	5.33	1.18	0.32	7.15	20.30
	42	19	8.55	6.69	7.84	2.44	8.76	19.50
	10	2	6.58	7.47	2.76	5.02	11.00	14.30
	31	7	7.22	7.18	6.13	5.36	9.25	14.00
	36	14	6.97	8.63	1.47	3.13	14.90	18.50
	21	20	8.47	6.56	6.61	4.64	10.80	20.10
	5		7.63		3.12		10.60	
	16		6.95		5.77		11.60	
	15		8.71		3.25		7.14	
	45		5.75		7.43		8.53	
	Mean		6.92	7.33	4.26	3.57	12.20	13.80

동일한 정점지점으로 간주

간척지 토양의 이화학적 특성 및 변화

2013년과 2015년 국가관리 특성화 간척지구 A지역에서 동일한 지점에 해당하는 정점토양의 이화학적 특성 중에서 EC와 치환성 양이온 (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}) 간의 상관관계를 조사하였다. 일반적으로 염류농도의 증가는 Na^+ 과 K^+ 이온 사이에 복합적인 경쟁작용이 일어난다고 알려져 있다 (Wang et al., 1997). 국가관리 특성화 간척지구 A지역 정점토양의 EC와 치환성 양이온 간의 상관관계에서는 Na^+ 만이 높은 정의 상관관계를 갖고 있는 반면 다른 치환성 양이온인 K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 의 경우에는 유의성이 낮은 것으로 확인되었다 (그림 3). 2014년과 2016년 국가관리 특성화 간척지구 B지역 정점토양의 EC와 치환성 양이온 중 치환성 Na^+ 간에 정의 상관관계가 존재하는 것을 재확인할 수 있었다 (그림 4).

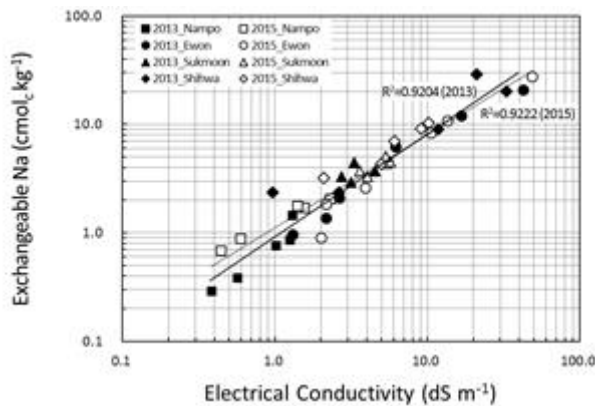


그림 3. 국가관리 특성화 간척지구 A지역 토양의 EC와 치환성 양이온 간의 상관관계

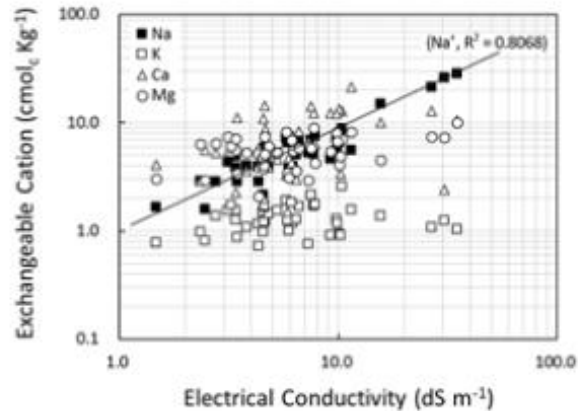


그림 4. 국가관리 특성화 간척지구 B지역 토양의 EC와 치환성 양이온 간의 상관관계

국가관리 11개 간척지구의 평균 EC는 이원간척지와 석문간척지를 제외하고는 시간 경과에 따라 점진적으로 감소하는 경향이 확인되었다 (그림 5). 이원 및 석문간척지의 경우에는 휴경으로 인하여 토양의 염분이 축적되는 경향으로 EC의 감소경향을 확인할 수 없었다. 간척지 토양의 유기물 함량은 경작여부에 따라 많은 영향을 받고 있으며, 경작이 미흡한 새만금과 화웅간척지를 제외하고는 시간 경과에 따라 증가하거나 유지되는 경향을 확인하였다 (그림 6).

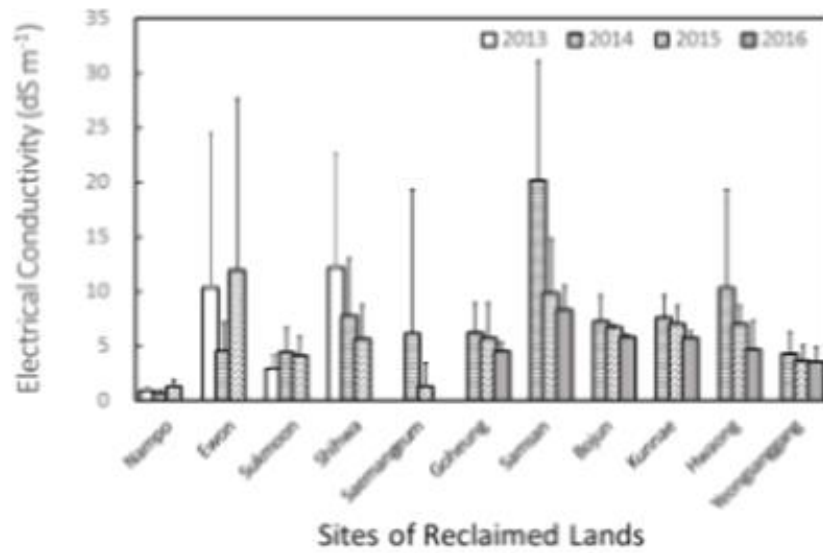


그림 5. 시간 경과에 따른 국가관리 11개 간척지구 정점토양에 대한 평균 EC의 연도별 변화추이

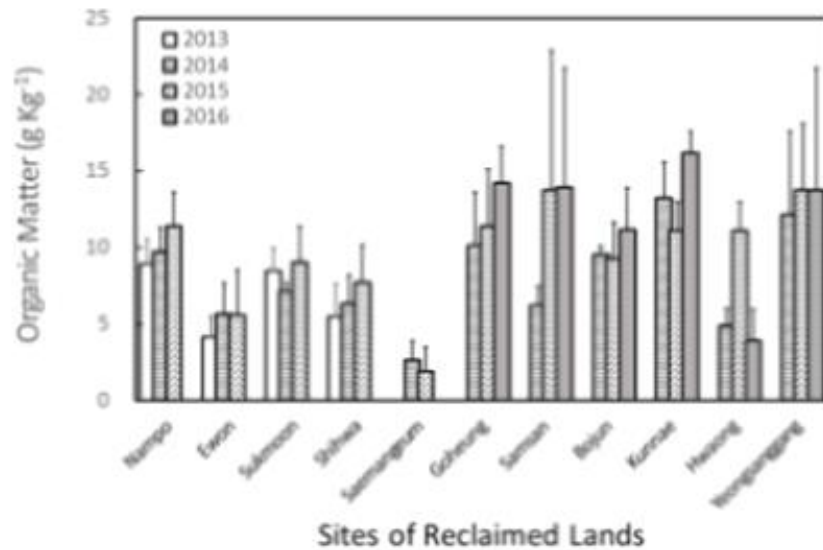


그림 6. 시간 경과에 따른 국가관리 11개 간척지구 정점토양에 대한 평균 유기물 함량의 연도별 변화추이

간척지구별 정점토양의 미생물 분포

2013년과 2015년 국가관리 특성화 간척지구 A지역 정점토양을 대상으로 토양미생물의 분포를 내염성 및 호염성 세균, 중온성 및 고온성 세균, 방선균 및 곰팡이에 대하여 조사하였다. 남포간척지구 정점토양에 생존하는 평균 토양미생물의 밀도 (CFU g^{-1})는 내염성 세균, 호염성 세균, 중온성 세균, 방선균 및 곰팡이가 2013년에 41.7×10^3 , 4.7×10^3 , 207×10^3 , 218, 2,350에서 2015년에 각각 283×10^3 , 95.6×10^3 , $14,200 \times 10^3$, 1,780, 3,700으로 2년 기간 동안 대부분 증가하는 추세로 확인되었다. 남포간척지 토양에 존재하는 2013년 대비 2015년에 중온성 세균은 약 7배, 이에 따라 내염·호염성 세균 역시 7배 정도의 증가가 확인되었으며, 방선균 역시 7배 정도 증가하였으나 곰팡이의 경우에는 1.5배 증가에 머물렀다. 남포간척지는 국가관리 간척지 11개 지구 중에서 가장 일반토양에 근접하게 숙전화가 진행되었지만 아직 방선균과 곰팡이의 분포는 아직 미흡한 수준으로 확인되었다. 남포간척지의 중온성 세균은 2015년에 $1 \times 10^7 \text{ CFU g}^{-1}$ 이상의 수준으로 일반 경작지 토양에 근접한 상태이며 내염·호염성 세균은 중온성 세균의 10% 미만의 수준을 유지하고 있다. 이러한 토양미생물의 증가는 경작방법에 많은 영향을 받고 있으며, 토양의 유기물 함량 증가가 주요 원인으로 판단되었다. 특히, 토양 미생물의 비중 [(HTB+HB) MB^{-1}]이 2013년 5%에서 2015년에 2% 수준으로 감소하여 이미 토양미생물 상이 일반 토양에 근접하고 있는 것으로 판단되었다. 이원간척지구 정점토양에 생존하는 평균 토양미생물 (CFU g^{-1})은 내염성, 호염성, 중온성 세균, 방선균 및 곰팡이가 2013년에 561×10^3 , 42.0×10^3 , 264×10^3 , 416, 665에서 2015년에 각각 173×10^3 , 40.1×10^3 , 384×10^3 , 351, 601로 2년 기간 동안 내염성 세균이 1/3 수준으로 감소한 반면 나머지 미생물은 유사한 수준을 유지하였다. 2013년 대비 2015년 이원간척지구 토양 EC는 소폭 증가하였으나 토양 미생물의 비율 [(HTB+HB) MB^{-1}]이 2013년 (15,000%)에 비하여 2015년 (346%)에 급격하게 감소하는 경향으로부터 점진적인 숙전화가 진행되고 있음을 예측할 수 있었다. 석문간척지구 정점토양에 생존하는 평균 토양미생물(CFU g^{-1})은 내염성, 호염성, 중온성 세균, 방선균 및 곰팡이가 2013년에 $1,530 \times 10^3$, $1,190 \times 10^3$, $7,200 \times 10^3$, 801, 2,130에서 2015년에 각각 $1,190 \times 10^3$, 609×10^3 , $4,620 \times 10^3$, 663, 1,320으로 중온성 세균은 2013년 대비 2015년에 35% 정도 감소하였으며, 이에 따라 내염성 세균은 20% 정도 감소한 반면 호염성 세균은 30% 정도 증가하였다. 석문간척지구 토양의 중온성 세균은 2015년에 $1 \times 10^6 \text{ CFU g}^{-1}$ 이상의 수준으로 간척지 토양으로서는 상대적으로 높은 미생물 분포이지만 내염·호염성 세균 역시 $1 \times 10^6 \text{ CFU g}^{-1}$ 수준으로 중온성 세균의 밀도를 고려할 경우 높은 수준이었다. 2013년 대비 2015년 석문간척지구 토양 EC와 유기물 함량이 증가하였으나 토양 미생물의 비율 [(HTB+HB) MB^{-1}]은 30% 수준을 유지하고 있어 특별한 변화가 확인되지 않았다. 시화간척지구 정점토양에 생존하는 평균 토양미생물 (CFU g^{-1})은 내염성 세균, 호염성 세균, 중온성 세균, 방선균 및 곰팡이가 2013년에 $1,020 \times 10^3$, 175×10^3 , 399×10^3 , 284U, 305에서 2015년에 각각 465×10^3 , 132×10^3 , 938×10^3 , 1,388, 1,350으로 중온성 세균은 2013년 대비 2015년에 약 2배 이상 증가하였으나, 내염성 세균은 50% 이상 감소하였다. 시화간척지구 토양의 중온성 세균은 2015년에 $1 \times 10^6 \text{ CFU g}^{-1}$ 수준에 근접하고 있어 간척지 토양으로서는 상대적으로

높은 미생물 분포이며, 내염·호염성 세균 역시 5×10^5 CFU g⁻¹ 수준으로 중온성 세균의 50% 정도 수준으로 감소하는 경향을 확인하였다. 2013년 대비 2015년 시화간척지구 토양 EC의 감소와 유기물 함량의 증가에 따라 중온성 세균이 증가하였고, 토양 미생물의 비중 [(HTB+HB) MB⁻¹] 역시 100% 수준으로 급격하게 감소하여 숙전화가 진행되고 있는 것으로 판단되었다. 2015년 새만금간척지구 정점토양에 생존하는 평균 토양미생물의 밀도는 내염성 세균 219×10^3 CFU g⁻¹, 호염성 세균 20.3×10^3 CFU g⁻¹, 중온성 세균 $1,170 \times 10^3$ CFU g⁻¹, 방선균 895 CFU g⁻¹, 곰팡이 209 CFU g⁻¹로 분석되었다. 새만금간척지구 토양의 중온성 세균은 1×10^6 CFU g⁻¹ 수준으로 간척지 토양으로서는 상대적으로 높은 미생물 밀도이며, 내염·호염성 세균 역시 2×10^5 CFU g⁻¹ 수준으로 중온성 세균의 20% 정도 수준으로 확인되었다. 특히, 새만금간척지에서 토양 미생물의 비율 [(HTB+HB) MB⁻¹]이 30% 수준으로 석문간척지와 유사한 경향을 보이고 있으나, 전체 미생물의 분포는 석문 간척지의 1/5 수준이었다.

2014년과 2016년 국가관리 특성화 간척지구 B지역 정점토양을 대상으로 토양미생물의 분포를 분석하였다. 영산강간척지구 정점토양에 생존하는 평균 토양미생물 (CFU g⁻¹)은 내염성, 호염성, 중온성 세균, 방선균 및 곰팡이가 2014년에 $6,020 \times 10^3$, 909×10^3 , $45,700 \times 10^3$, 18,200, 21,500에서 2016년에 각각 $4,730 \times 10^3$, $2,220 \times 10^3$, $28,600 \times 10^3$, 7,410, 17,800으로 확인되었다. 영산강간척지 토양에 존재하는 중온성 세균은 2016년에 3×10^7 CFU g⁻¹ 이상의 수준으로 2013년 이후에 지속적으로 유지하고 있어 일반 경작지 토양에 근접한 상태이며 내염·호염성 세균은 중온성 세균의 25% 수준이었다. 특히, 영산강간척지 토양미생물의 비율 [(HTB+HB) MB⁻¹]이 18.9% (2014년)에서 31.8% (2016년)로 증가하였으나 이미 토양의 미생물 상이 일반 토양에 근접하고 있는 것으로 판단되었다. 또한 국가관리 간척지 특성화 11개 지구 중에서 영산강간척지구의 방선균과 곰팡이 밀도가 $2 \sim 3 \times 10^4$ CFU g⁻¹ 이상을 유지하는 간척지구이다. 군내간척지구 정점토양에 생존하는 평균 토양미생물 (CFU g⁻¹)은 내염성 세균, 호염성 세균, 중온성 세균, 방선균 및 곰팡이가 2014년에 $7,520 \times 10^3$, $1,570 \times 10^3$, $45,600 \times 10^3$, 7,960, 24,900에서 2016년에 각각 $2,670 \times 10^3$, $1,320 \times 10^3$, $43,400 \times 10^3$, 1,840, 6,700으로 확인되었다. 군내간척지 토양에 존재하는 중온성 세균은 4×10^7 CFU g⁻¹ 이상의 수준으로 2014년 이후에 지속적으로 유지하고 있어 일반 경작지 토양에 근접한 상태이며 내염·호염성 세균은 중온성 세균의 10% 수준에 불과하였다. 군내간척지구 토양의 EC는 2014년 대비 2016년에 감소한 반면, 유기물 함량이 증가하여 토양미생물의 비율 [(HTB+HB) MB⁻¹]이 19.0% (2014년)에서 10.0% (2016년)로 감소하여 토양의 미생물 상이 일반 토양에 근접하고 있는 것으로 확인되었다. 보전간척지구 정점토양에 생존하는 평균 토양미생물의 밀도(CFU g⁻¹)는 내염성 세균, 호염성 세균, 중온성 세균, 방선균 및 곰팡이가 2014년에 $1,660 \times 10^3$, 322×10^3 , $2,510 \times 10^3$, 1,170, 1,540에서 2016년에 각각 491×10^3 , 205×10^3 , $3,000 \times 10^3$, 533, 1,570으로 확인되었다. 보전간척지 토양에 존재하는 중온성 세균은 2016년에 3×10^6 CFU g⁻¹ 수준을 유지하고 있으며 2014년 대비 2016년에 내염성 세균이 1/4 수준으로 감소하였다. 보전간척지구 토양의 EC는 2014년 대비 2016년에 감소한 반면, 유기물 함량이 증가하여 토양미생물의 비율 [(HTB+HB) MB⁻¹]이 86.5% (2014년)에서 44.1% (2016년)로 감소하여 지속적으로 숙전화가 진행되고 있는 것으로 판단되었다. 그러나 보전간척지는

군내간척지와 유사한 토양화학성을 보이고 있으나 아직 중온성 세균의 분포는 군내간척지의 10% 수준에 불과한 실정이다. 삼산간척지구 정점토양에 생존하는 평균 토양미생물 (CFU g⁻¹)은 내염성, 호염성, 중온성 세균, 방선균 및 곰팡이가 2014년에 161×10³, 44.9×10³, 542×10³, 186, 220에서 2016년에 각각 636×10³, 168×10³, 2,730×10³, 382, 915로 확인되었다. 삼산간척지 토양에 존재하는 중온성 세균은 2016년에 3×10⁶ CFU g⁻¹ 수준이며 내염·호염성 세균은 중온성 세균의 30% 수준이었다. 삼산간척지의 토양미생물은 2014년 대비 2016년 토양 EC의 감소와 유기물 함량의 증가로 중온성 세균이 약 5배 증가하였으며, 내염·호염성 세균 역시 4배 정도 증가하였다. 특히, 삼산간척지구 토양 미생물의 비율 [(HTB+HB) MB⁻¹]이 265% (2014년)에서 33.2% (2016년)로 감소하여 지속적인 숙전화 진행을 확인하였다. 고흥간척지구 정점토양에 생존하는 평균 토양미생물 (CFU g⁻¹)은 내염성, 호염성, 중온성 세균, 방선균 및 곰팡이가 2014년에 8,480×10³, 1,220×10³, 17,200×10³, 3,200, 4,240에서 2016년에 각각 3,210×10³, 1,130×10³, 29,200×10³, 6,340, 6,220으로 확인되었다. 고흥간척지 토양에 존재하는 중온성 세균은 2016년에 3×10⁷ CFU g⁻¹ 이상의 수준으로 2014년 이후에 지속적으로 유지하고 있어 일반 경작지 토양에 근접한 상태이며 내염·호염성 세균은 중온성 세균의 15% 수준이었다. 고흥간척지의 토양미생물은 2014년 대비 2016년 토양 EC의 감소와 유기물 함량의 증가로 중온성 세균이 약 70% 증가한 반면, 내염성 세균은 60% 정도 하였다. 특히, 고흥간척지구 토양 미생물의 비율 [(HTB+HB) MB⁻¹]이 43.6% (2014년)에서 16.7% (2016년)로 감소하여 토양의 미생물 상이 일반 토양에 근접하고 있는 것으로 판단되었다. 고흥간척지는 국가관리 간척지 특성화지구 중에서 영산강간척지와 함께 방선균과 곰팡이의 분포가 2~3×10⁴ CFU g⁻¹ 이상을 유지하는 특별한 간척지구로 확인되었다. 화옹간척지구 정점토양에 생존하는 평균 토양미생물 (CFU g⁻¹)은 내염성, 호염성, 중온성 세균, 방선균 및 곰팡이가 2014년에 850×10³, 77.2×10³, 1,640×10³, 437, 848에서 2016년에 각각 448×10³, 103×10³, 1,370×10³, 458, 747으로 확인되었다. 화옹간척지 토양에 존재하는 중온성 세균은 2016년에 1×10⁶ CFU g⁻¹ 수준으로 2014년 이후에 지속적으로 유지하고 있어 일반 경작지 토양에 근접한 상태이며 내염·호염성 세균은 중온성 세균의 50% 이상의 수준을 유지하고 있어 숙전화가 진행 중인 것으로 확인되었다. 화옹간척지의 토양미생물은 2014년 대비 2016년 토양 EC가 감소하였으나 유기물 함량도 낮은 수준에서 감소하여 중온성 세균은 유지되고 내염성 세균만 50% 정도 감소하였다. 특히, 화옹간척지구 토양 미생물의 비중 [(HTB+HB) MB⁻¹]이 1,380% (2014년)에서 99.6% (2016년)로 감소하였지만 아직 내염·호염성 세균의 비중이 높은 상황이었다.

표 9. 국가관리 특성화 간척지구 A지역 토양미생물 분포

Area	ID	HTB		HB		MB		(HTB+HB) MB		TB	
				×10 ³ CFU/g-soil							
		2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015
남포	1	14.6	4.7	6.4	1.5	207	2,820	10.1%	0.2%	ND	7
	2	147	374	50.3	215	2,890	12,780	6.8%	4.6%	ND	6,630
	3	11.1	144	3.2	49.0	4,570	17,140	0.3%	1.1%	ND	3,300
	4	6.4	886	1.7	210	1,740	37,200	0.5%	3.0%	ND	8,930
	5	29.1	7,030	1.1	2.4	588	1,330	5.1%	0.7%	ND	40
	Mean	41.7	283	12.5	95.6	2,000	14,200	4.6%	1.9%	ND	3,780
이원	1	12.5	27.8	5.9	11.0	105	658	17%	6%	ND	13
	2	104	172	27.1	43.2	403	327	32%	66%	ND	18
	3	476	194	48.6	58.2	151	283	347%	89%	ND	33
	4	1,620	303	15.2	48.8	1.6	19.8	102,000%	1,770%	ND	19
	5	879	322	82.4	82.0	45.1	90.3	2,134%	447%	ND	19
	6	12.1	58.3	1.9	3.5	55.2	913	25%	7%	ND	74
	7	822	133	113	34.1	1,090	399	86%	42%	ND	454
	Mean	561	173	42.0	40.1	264	384	15,000%	346%	ND	90
석문	1	246	150	108	97.2	544	638	65%	39%	ND	43
	2	584	118	225	59.5	1,360	441	59%	39%	168	57
	3	7,890	3,040	2,370	1,500	37,600	13,900	27%	33%	1,110	3,170
	4	90.4	107	36.9	66.9	605	550	21%	32%	15	13
	5	321	189	12.2	92.1	2,530	1,690	13%	17%	58	275
	6	44.9	3,550	14.9	1,840	606	10,500	10%	51%	167	1,830
	Mean	1,530	1,190	461	609	7,200	4,620	33%	35%	252	897

표 9. 국가관리 특성화 간척지구 A지역 토양미생물 분포

Area	ID	HTB		HB		MB		(HTB+HB) MB		TB	
				$\times 10^3$ CFU/g-soil							
		2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015
시화	1	4,550	755	665	122	6.3	259	82,900%	339%	182	157
	2	1,580	1,210	370	538	11.7	877	16,700%	199%	27	261
	3	60.5	48.9	21.5	21.5	201	517	41%	14%	83	153
	4	218	576	3.6	23.6	152	2,110	145%	28%	51	173
	5	186	170	40.8	84.4	71.7	244	317%	104%	ND	392
	6	167	448	5.6	73.6	2,030	2,120	9%	246%	72	294
	7	378	46.5	115	58.8	317	438	156%	24%	ND	13
	Mean	1,020	465	175	132	399	938	14,300%	105%	59	206
새만금	1		480		86.6		596		95.1%		249
	2		199		40.8		591		40.6%		50
	3		225		5.3		2,598		8.9%		296
	Mean		302		44.2		1,261		48.2%		198
	4		209		3.0		519		40.9%		1,220
	5		39.7		9.7		1,212		4.1%		487
	6		178		26.6		4,725		4.3%		217
	Mean		142		13.1		2,152		16.4%		640
	7		127		17.4		250		57.6%		329
	8		333		18.7		1,454		24.2%		181
	9		198		24.8		1,807		12.3%		329
	Mean		219		20.3		1,170		31.4%		279

표 10. 국가관리 특성화 간척지구 B지역 토양미생물 분포

Area	ID	HTB		HB		MB		(HTB+HB)		TB	
				$\times 10^3$ CFU/g-soil				MB			
		2014	2016	2014	2016	2014	2016	2014	2016	2014	2016
고 흥	1	3,150	2,450	2,110	1,740	22,300	10,600	23.6%	39.4%	7,510	2,950
	2	93.0	230	30.3	869	2,340	4,760	5.3%	23.1%	106	2,250
	3	9,010	5,090	3,330	1,810	18,400	47,600	67.0%	14.5%	4,490	3,300
	4	190	62.1	11.7	7.5	577	1,650	34.9%	4.2%	118	152
	5	6,270	6,900	1,990	1,320	15,400	53,200	53.7%	15.5%	2,460	3,730
	6	37,400	4,650	416	1,400	44,900	48,200	84.1%	12.5%	3,990	15,200
	7	8,710	2,850	520	853	17,300	32,200	53.3%	11.5%	1,440	1,990
	8	3,060	3,460	1,370	1,030	16,200	35,200	27.4%	12.8%	302	3,020
	Mean	8,480	3,210	1,220	1,130	17,200	29,200	43.6%	16.7%	2,550	4,070
삼 산	1	366	635	73.1	261	284	1,800	154.7%	49.7%	712	516
	2	201	666	93.2	136	1,250	3,870	23.6%	20.7%	1,880	31,300
	3	39.6	946	8.3	219	630	4,240	7.6%	27.5%	43	18,700
	4	39.3	299	5.0	55.5	5.1	1,020	872.7%	34.8%	197	494
	Mean	161	636	44.9	168	542	2,730	265%	33.2%	547	12,700
보 전	1	1,920	781	206	385	1,700	1,060	125.4%	110.4%	1,630	1,420
	2	2,150	150	390	31.9	2,720	3,540	93.6%	5.1%	300	571
	3	890	541	371	197	3,120	4,420	40.4%	16.7%	220	7,050
	Mean	1,660	491	322	205	2,510	3,000	86.5%	44.1%	720	3,010
군 내	1	11,300	1,230	4,810	796	46,200	15,400	34.9%	13.2%	8,640	4,670
	2	3,460	2,180	737	884	35,100	53,400	12.0%	5.7%	3,740	6,920
	3	3,660	1,700	688	745	26,400	69,100	16.5%	3.5%	1,820	3,540
	4	15,100	6,230	1,100	3,190	75,900	53,200	21.3%	17.7%	2,320	2,170
	5	4,120	4,230	503	2,200	44,400	63,400	10.4%	10.1%	9,100	20,800
	6		454		105		5,690		9.8%		650
	Mean	7,520	2,670	1,570	1,320	45,600	43,400	19.0%	10.0%	5,120	6,460
화 용	2	2,090	49.8	77.4	0.8	25.2	74.8	8603.6%	67.7%	101	156
	4	320	9.8	123	0.9	1,890	41.2	23.4%	25.9%	175	4,360
	5	515	89.4	57.6	5.0	1,020	1,380	56.0%	6.9%	96	682
	8	411	127	38.6	2.7	2,300	37.0	19.6%	351.2%	145	117
	10	2,370	1,960	214	492	5,870	5,300	44.0%	46.3%	1,160	3,490
	11	53.5		8.9		331		18.9%		64	
	12	187		20.7		23.5		884.3%		218	
	Mean	850	448	77.2	103	1,640	1,370	1378.5%	99.6%	279	1,760

표 10 (계속). 국가관리 특성화 간척지구 B지역 토양미생물 분포

Area	ID		HTB		HB		MB		(HTB+HB)		TB	
	2014	2016	2014	2016	2014	2016	2014	2016	2014	2016	2014	2016
영산강	2	1	5,020	2,230	1,270	769	94,700	15,300	6.6%	19.7%	1,510	2,610
	13	3	8,700	16,500	815	1,930	68,500	64,400	13.9%	28.6%	4,810	5,940
	17	4	2,880	4,630	482	3,080	16,200	19,500	20.8%	39.6%	3,460	11,700
	28	9	8,110	261	1,930	101	103,000	1,930	9.8%	18.7%	71,900	55
	30	10	19,300	2,980	311	1,170	153,000	18,300	12.8%	22.7%	712	4,840
	32	11	2,900	3,610	388	2,300	18,000	82,000	18.3%	7.2%	5,100	19,500
	38	16	5,200	4,330	1,390	2,020	67,900	10,300	9.7%	61.5%	7,210	3,140
	39	17	8.3	8.8	3.4	5.0	939	384	1.2%	3.6%	59	1,270
	42	19	6,450	2,610	1,250	2,120	21,400	20,600	35.9%	22.9%	3,780	1,990
	10	2	6,610	6,890	318	3,760	87,400	34,100	7.9%	31.3%	2,390	31,100
	31	7	13,300	7,420	1,130	5,170	27,800	17,600	52.0%	71.4%	1,710	993
	36	14	11,400	3,100	2,210	540	89,600	71,700	15.2%	5.1%	2,770	24,500
	21	20	3,120	6,990	796	5,950	14,500	15,900	27.1%	81.4%	3,680	70,600
	5		10,700		1,280		74,300		16.1%		3,330	
	16		4,070		1,510		23,400		23.8%		13,400	
	15		2,490		264		8,380		32.8%		2,820	
	45		80.2		7.7		1,710		5.1%		47	
	Mean		6,020	4,730	909	2,220	45,700	28,600	18.9%	31.8%	6,950	13,700

간척지구별 토양 미생물의 변화

2013년과 2015년 국가관리 특성화 간척지구 A지역, 2014년과 2016년 B지역에서 간척지구별 평균 중온성 세균(MB)의 분포는 유지 또는 증가하는 경향이 확인되었다(그림 7). 그러나 이원, 시화, 화옹 지구의 중온성 세균의 밀도는 아직 1×10^6 CFU g⁻¹ 미만으로 확인되었다. 한편, 토양의 염도와 밀접한 관련이 있는 내염(HTB)·호염성(HB) 세균의 분포는 경작여부에 직접적인 영향을 받고 있었으며, 경작에 따라 간척지구별 평균 내염(HTB)·호염성(HB) 세균의 분포는 감소하는 경향을 보이고 있다(그림 8). 아직 고흥, 군내, 영산강 지구에서 내염(HTB)·호염성(HB) 세균의 밀도는 1×10^6 CFU g⁻¹ 이상을 유지하고 있는 실정이다.

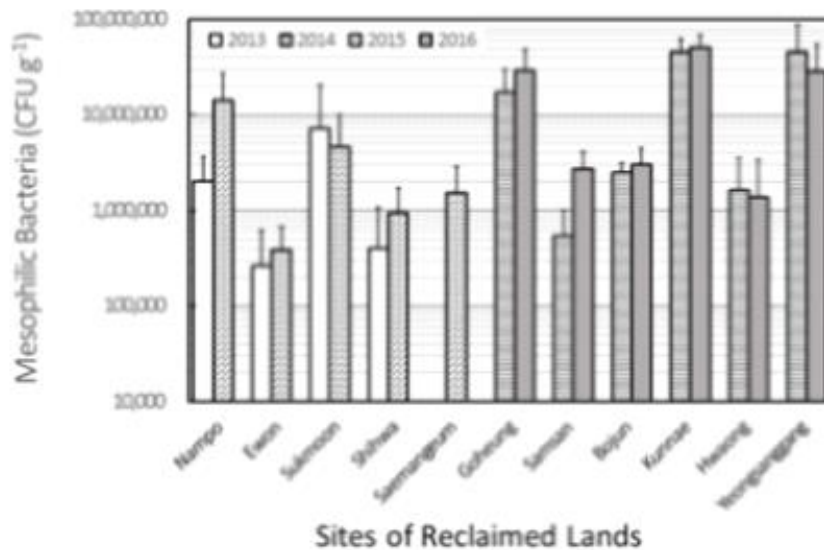


그림 7. 국가관리 11개 간척지구별 중온성 세균의 변화

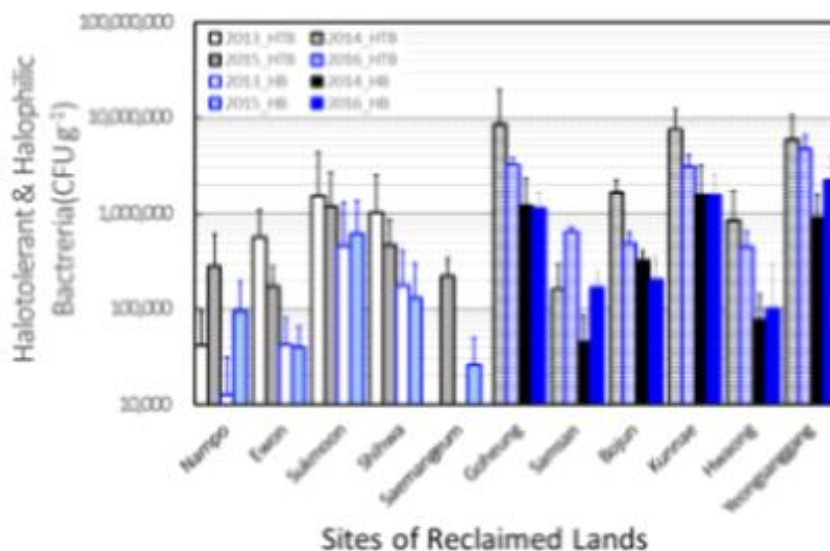


그림 8. 국가관리 11개 간척지구별 내염성·호염성 세균의 변화

간척지 토양의 염도에 따른 토양미생물의 분포를 중온성 세균 대비 내염·호염성 세균의 비중 $[(HTB+HB) MB^{-1}] (%)$ 은 이미 일반토양으로 전환이 된 남포간척 지구를 제외하고는 시간경과에 따라 점진적으로 감소하는 경향이 확인되었다 (그림 9).

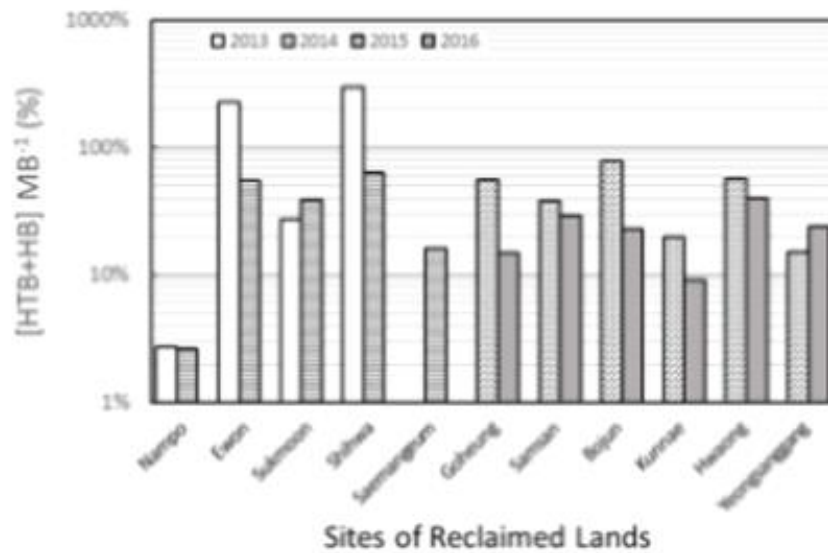


그림 9. 국가관리 11개 간척지구별 중온성 세균 대비 내염·호염성 세균의 비중 변화

간척지 토양의 이화학적 특성과 토양 미생물의 분포 간의 상관관계

간척지구별 정점토양의 화학적 특성 중 염류도 기준에 활용되는 EC와 토양미생물의 분포 간 상관관계를 분석하였다. 토양의 염류화 정도를 의미하는 EC와 중온성 세균의 밀도 간에 부의 상관관계를 2013년과 2015년에 확인할 수 있었다 (그림 10). 토양의 EC가 증가함에 따라 중온성 미생물의 생균수는 감소하며, EC 값이 5 dS m^{-1} 이상에서 중온성 세균의 생균수는 급격하게 감소하는 경향을 확인하였다. 이는 토양미생물이 염류에 의한 삼투압에 민감하여 세균 및 곰팡이의 생균수가 염류도 증가에 따라 감소한다는 사실과도 일치한다 (Pankhurst et al., 2001; Omar et al., 1994). 토양 EC에 따른 내염·호염성 세균 (HTB+HB)이 미생물 군집에서 차지하는 비중을 확인한 결과, 내염·호염성 세균 (HTB+HB)이 전체미생물 (HTB+HB+MB+TM+A+F) 중 차지하는 비중이 20% 이상이거나 중온성 세균 대비 내염·호염성 세균의 비율이 20% 이상인 경우는 대부분 토양 EC 값이 2 dS m^{-1} 이상으로 확인되었다. 따라서 분석 가능한 미생물 군락 중에 내염·호염성 세균의 비중이 20% 이하인 경우에 일반토양과 유사한 염류도를 가진 토양으로 분류할 수 있다는 점이다. 이러한 결과는 간척지 염해답토양의 제염정도를 분류하는 기준으로 EC가 2 dS m^{-1} 이하인 경우에 non-saline으로 판단할 수 있다는 연구결과와 동일한 경향을 보였다 (Sonn et al., 2006). 간척지 토양에서 염류 집적도를 대표하는 EC와 토양 내에 존재하는 중온성 대비 내염·호염성 세균의 비율(%) 간의 정의 상관관계는 2013년 ($R^2=0.9110$)과 2015년 ($R^2=0.8809$)에 모두 높은 유의성을 갖고 있었다 (그림 11). 특히, 시간경과에 따라 EC에 대한 중온성 대비 내염·호염성 세균 비율(%)의 민감도는 낮아지고 있으며 높은 내염·호염성 세균의 비율에 해당하는 지점의 분포가 감소하는 것도 확인할 수 있었다. 이는 토양 내에 내염·호염성 세균의 변화가 토양의 화학적 인자인 EC에 따른 생물학적 상호작용에 의한 결과라고 판단된다. 또한, 토양 내에 존재하는 전체미생물 중 내염·호염성 세균이 차지하는 비중(%) 역시 토양의 EC에 따라 반응하는 것으로 확인되었다. 따라서 토양 내에 존재하는 전체미생물 중에서 내염·호염성 세균이 차지하는 비중을 토양의 염류도를 관리하는 생물학적 기준으로 활용할 수 있을 것이다.

한편, 토양 내에 존재하는 중온성 세균과 유기물 함량 간에는 2013년 대비 2015년의 기간 동안 간척지 논토양에서 유기물 함량의 증가에 따른 중온성 세균의 증가와 더불어 EC 변화에 따른 내염성 및 호염성 세균의 유의적인 변화는 일반농경지 토양에 근접한 남포지구와 전형적인 염류토양의 특성을 지닌 시화지구의 모든 지점에서 확인되었다. 간척지구별 토양의 유기물 함량과 중온성 세균의 분포 간에는 정의 상관관계가 성립하지만 유의성이 낮았으며, 이는 간척지 토양에서 전체미생물의 밀도가 유기물 함량이 10 g kg^{-1} 이하에서만 유의적인 상관관계를 보인다는 결과 (Park et al., 2015)와 유사하였다 (그림 12). 이러한 사실로부터 토양 내 유기물 함량 조절에 중온성 세균이 중요한 역할을 수행하고 있으나 내염·호염성 세균과는 무관하다는 사실 또한 확인할 수 있었다. 토양의 EC가 $3.15 \sim 5.38 \text{ dS m}^{-1}$ 인 석문지구의 3개 지점에서는 EC 변화에 따른 내염·호염성 세균의 유의적인 상관관계가 성립하지 않았으며, 유기물 함량이 $3.91 \sim 6.50$

g kg⁻¹인 이원지구의 2개 지점에서 유기물 함량의 변화에 따른 중온성 세균의 유의적인 상관관계가 성립하지 않았다. 이는 간척지 토양에서 미생물의 분포는 토양의 물리성과 지하수위의 변화 등에 의해 영향을 받기 때문이며, 토지이용과 경작방법, pH, 토양관리방법, 수분 및 온도 등의 환경요인 등에 따라 상관관계의 유의성은 일정하지 않은 결과와 일치하였다 (Aciego and Brookes, 2009; Ahn et al., 2011; Lee and Ha, 2011; Rahman et al., 2008).

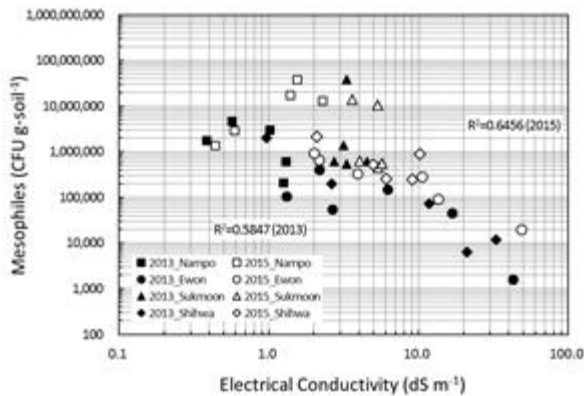


그림 10. 간척지구 토양의 EC와 중온성 세균의 밀도 간에 상관관계

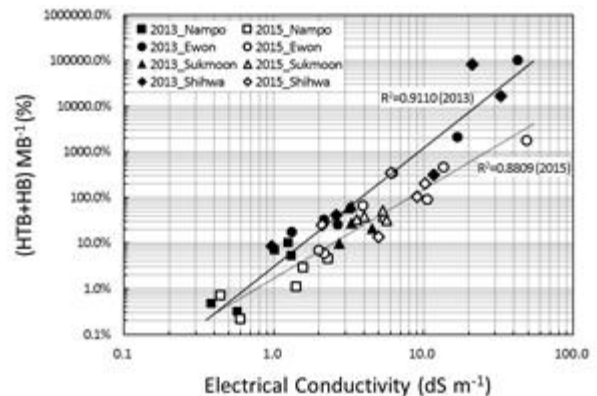


그림 11. 간척지구 토양의 EC와 중온성 세균 대비 내염·호염성 세균의 비율(%) 간의 상관관계

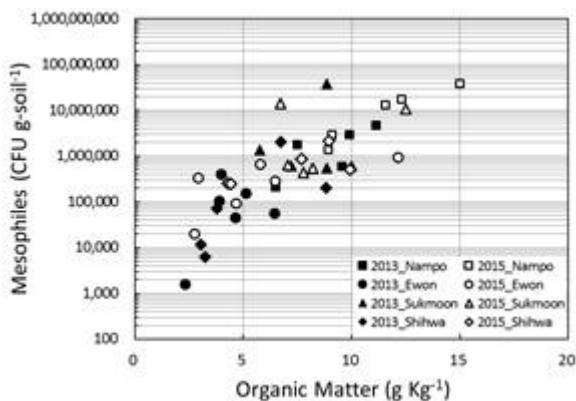
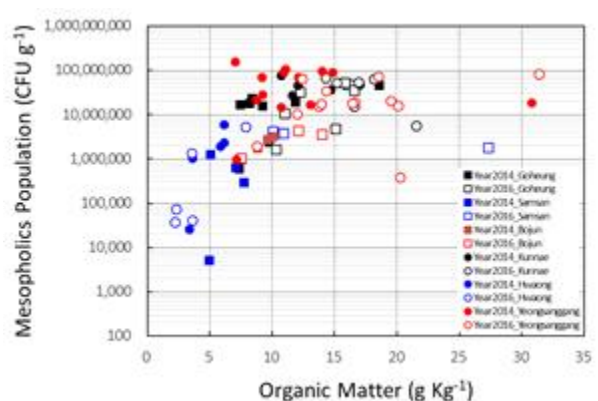


그림 12. 간척지구 토양의 유기물 함량과 중온성 세균 간의 상관관계



간척지구별 정점토양의 탈수소효소 활성

탈수소효소 활성은 토양의 생물학적 특성을 대표하는 인자이지만 토양의 수분함량, 산소이용도, 산화환원전위, pH, 유기물함량, 온도 등 토양의 환경적인 인자에 의하여 영향을 받는 것으로 알려져 있다 (Quilchano and Maranon, 2002). 특히 대부분의 탈수소효소는 혐기성 미생물에 의하여 생성되지만 일반적으로 토양 미생물체량과 탈수소효소 활성 간에 비례관계가 성립한다고 알려져 있다. 높은 유기물 함량은 미생물 생육에 필요한 영양분을 공급하여 위하여 유기물 분해에 필요한 효소생성으로 효소활성이 증가하게 된다. 대부분 토양의 탈수소효소 활성은 표준방법 (Casida et al., 1964)을 사용하지만 본 연구에서는 너무 낮은 탈수소효소 활성으로 인하여 유기탄소원인 포도당을 첨가하는 방법 (Klein et al., 1971)을 적용하여 탈수소효소 활성을 조사한 결과를 표 11와 표 12에 정리하였다.

표 11. 국가관리 특성화 간척지구 A지역 토양탈수소효소 활성

Area	ID	$\mu\text{g-TPF g}^{-1} \text{h}^{-1}$	
		2013	2015
남포	1	44.6	843.0
	2	85.5	139.8
	3	127.6	162.9
	4	117.8	816.9
	5	43.7	26.2
이원	1	10.1	14.6
	2	26.1	24.3
	3	117.4	483.3
	4	11.5	42.2
	5	15.5	12.6
	6	45.7	226.9
	7	25.3	21.3
석문	1	43.9	53.6
	2	48.2	52.7
	3	53.2	820.2
	4	55.6	163.0
	5	49.1	84.5
	6	443.4	791.2
Area	ID	$\mu\text{g-TPF g}^{-1} \text{h}^{-1}$	
		2013	2015
시화	1	40.1	339.1
	2	15.3	473.5
	3	41.8	733.2
	4	51.5	115.6
	5	44.5	44.6
	6	60.5	492.3
	7	37.3	750.5
새만금	1		26.8
	2		64.2
	3		59.5
	4		25.7
	5		36.8
	6		39.0
	7		4.1
	8		34.9
	9		130.2

표 12. 국가관리 특성화 간척지구 B지역 토양탈수소효소 활성

Area	ID	$\mu\text{g-TPF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$	
		2014	2016
고 흥	1	271.8	255.3
	2	355.6	125.6
	3	543.5	265.7
	4	196.2	88.4
	5	494.0	445.3
	6	398.1	442.4
	7	389.1	416.7
	8	403.1	535.9
삼 산	1	313.1	193.4
	2	66.2	320.6
	3	49.1	482.6
	4	11.9	235.1
보 전	1	164.1	95.3
	2	220.8	102.4
	3	342.8	171.5
화 응	2	43.9	12.1
	4	59.9	26.9
	5	52.6	19.8
	8	218.8	11.6
	10	76.2	77.9
	11	32.6	
	12	34.5	

Area	ID	$\mu\text{g-TPF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$		
		2014	2016	
군 내	1	222.0	314.6	
	2	250.3	266.8	
	3	283.2	273.4	
	4	411.2	435.4	
	5	275.0	338.4	
	6		427.0	
영 산 강	2	1	160.4	92.1
	13	3	171.9	349.6
	17	4	82.3	251.4
	28	9	272.0	78.1
	30	10	230.8	356.3
	32	11	219.6	450.9
	38	16	279.4	113.5
	39	17	82.7	43.2
	42	19	223.3	90.3
	10	2	178.6	316.6
	31	7	130.0	240.5
	36	14	277.8	306.3
	21	20	175.3	150.9
	5		219.7	
	16		72.0	
	15		65.3	
	45		160.4	

간척지 토양의 이화학적 특성과 탈수소효소활성 간의 상관관계

탈수소효소활성은 토양의 생물학적 특성을 대표하는 인자이지만 토양의 수분함량, 산소이용도, 산화환원전위, pH, 유기물함량, 온도 등 토양의 환경적인 인자에 의하여 영향을 받는 것으로 알려져 있다 (Quilchano and Maranon, 2002). 간척지구별 토양의 탈수소효소활성과 전체 미생물분포 간의 상관관계는 유기물 함량과 유사하게 탈수소효소활성이 $100 \mu\text{g-TPF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 이내에서만 제한적으로 상관관계가 존재하였다 (그림 13). 실제 토양의 화학성과 탈수소효소활성 간의 상관관계는 시설재배지와 과수원 토양의 유기물 함량 (Ahn et al., 2011; Joa et al., 2013)과 pH (Kim et al., 2011)에서 보고되었으나 탈수소효소활성이 토양온도, 유기물공급, 연작, 시비, 제초, 경운, 표토관리 등 다양한 요인에 영향을 받기 때문에 상관관계를 확정하기는 어렵다는 보고도 있다 (Kang et al., 2009; Nosalewicz and Nosalewicz, 2011; Sardans et al., 2008; Sebiomo et al., 2011; Timothy and Dick, 2004).

간척지구별 토양의 탈수소효소활성은 중온성 세균 및 내염·호염성 세균 간에는 유의적인 상관관계를 찾을 수 없었다. 또한 간척지구별 토양의 탈수소효소활성과 토양의 pH, EC, 유기물 함량 간의 유의적인 상관관계 역시 확인되지 않았다. 한편 탈수소효소활성이 토양의 염류에 의하여 감소하는 경향도 보고되었다 (Frankenberger and Bingham, 1982).

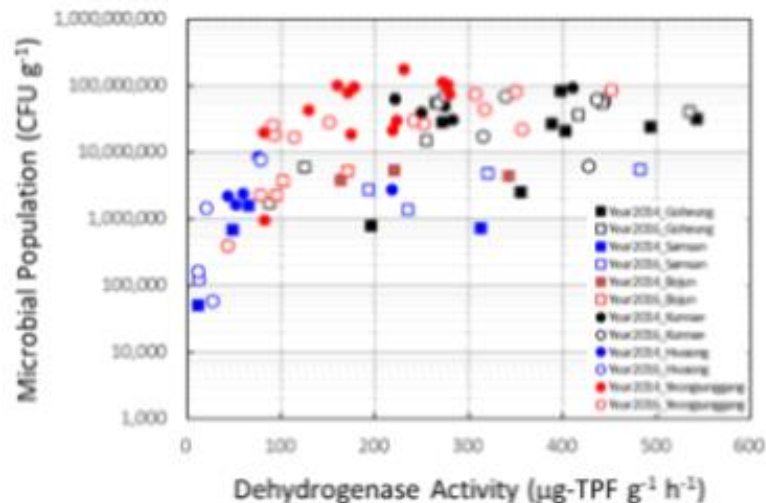


그림 13. 간척지구별 토양의 탈수소효소 활성과 전체 토양미생물 밀도 간의 상관관계

유기물 분해력을 지닌 토양미생물 밀도

2014년 국가관리 특성화 간척지구 B지역의 정점토양에 대하여 유기물을 분해하는 다양한 효소 (cellulase, amylase, protease, lipase) 활성을 지닌 미생물 (중온성 세균 및 방선균·곰팡이)의 생균수를 조사하였다. 일반적으로 유기물 분해에 중요한 역할을 하는 미생물은 초기에는 세균이 중반 이후에는 곰팡이가 중요한 역할을 수행한다고 알려져 있으며, 토양미생물 중 곰팡이는 세균에 비하여 염류에 의한 삼투압에 민감한 것으로 알려져 있다 (Pankhursy et al., 2001). 간척지구별 토양에 존재하는 총미생물의 분포와 유기물 분해 효소활성을 지닌 미생물의 생균수 간에 정의 상관관계 ($R^2=0.8688$)를 확인하였다 (그림 14). 토양미생물의 분포를 산출하는 과정에서 내염·호염성세균과 중온성 세균을 중복 산출하였기 때문에 4가지 효소활성을 지닌 미생물의 생균수도 중복하여 산출하였다. 유기물 분해와 관련된 효소활성을 지닌 방선균과 곰팡이의 생균수는 $10^2 \sim 10^5$ CFU g⁻¹ 범위에서 방선균·곰팡이의 분포와 매우 높은 정의 상관관계 ($R^2=0.9042$)가 존재하였다 (그림 15). 효소활성을 지닌 중온성 생균수 역시 중온성 세균의 분포 간에도 정의 상관관계가 존재하지만 1×10^7 CFU g⁻¹ 이상에서는 정체하는 양상을 보이고 있으며 상관계수 역시 감소하는 것으로 확인되었다. 이는 토양 내에 존재하는 유기물의 물질 순환에 관여하는 유기물 분해력을 지닌 미생물의 생육이 제한되거나 토양의 토성 등 물리적인 제약요건에 의한 것으로 예측된다. 이러한 현상은 간척지 토양에 존재하는 미생물의 분포와 유기물 함량 및 탈수소효소활성간의 상관관계가 제한되는 원인 중에 한 인자로 판단된다.

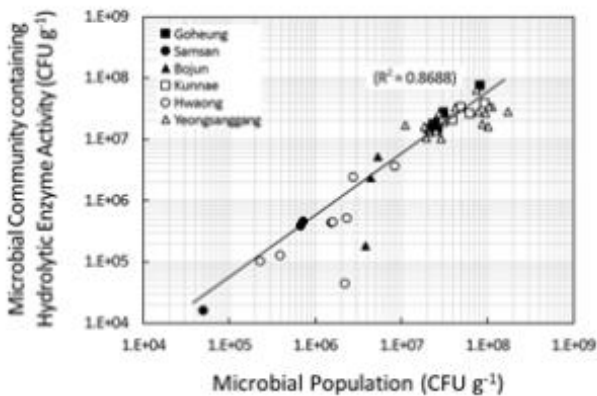


그림 14. 전체 토양미생물과 유기물 분해력 효소활성을 지닌 미생물의 상관관계

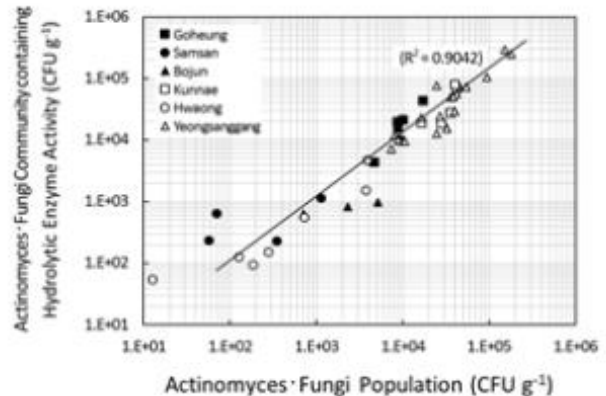


그림 15. 방선균·곰팡이와 유기물 분해 효소 활성을 지닌 방선균·곰팡이의 상관관계

간척지구별 정점토양의 미소동물 분포

토양 중에는 다양한 토양미소동물이 서식하고 있으며, 이들의 밀도와 분포는 열, 스트레스, 수분의 변화 등 다양한 환경에 의하여 영향을 받고 있다 (Cepeda-Pizarro and Whitford, 1989). 서식지의 자연적인 환경요인 이외에도 경작 등의 활동에 따라 토양 미소동물의 구성, 밀도, 분포가 영향을 받는 것으로 알려져 있다 (Sgardelis and Margaris, 1993). 특히, 간척지 토양이 일반 토양으로 숙전화되는 과정은 자연환경과 농업환경 등을 포함하여 복잡하게 진행되기 때문에 토양의 물리화학적 특성 뿐 만 아니라 미생물 분포 및 이와 관련된 물질순환, 작물재배와 연관된 식물상 등 토양의 생물학적 환경을 함께 고려하여야 한다. 토양생태계는 토양미생물에 의한 유기물 분해와 증식에 이어 미소(무척추)동물, 그리고 척수동물로 연결되는 피라미드 구조를 이루고 있기 때문이다. 2015년과 2016년 간척지구별 토양미소동물의 분포를 조사하기 위하여 채취한 정점토양의 이화학적 특성 (EC 및 유기물 함량), 토양미생물 (중온성 세균, 내염·호염성 세균, 방선균과 곰팡이)의 분포와 더불어 토양미소동물 (17목 2강)의 분포를 조사하여 그 결과를 표 13~15에 정리하였다.

표 13. 국가관리 특성화 간척지구 A지역 토양화학성 및 토양미소동물의 분포

Year	지구	ID	토양이화학성		토양미소동물 (개)							
			EC (dS m ⁻¹)	OM (g Kg ⁻¹)	노린재 목	벌목	거미목	낫발이 목	톡토기 목	바퀴목	다듬이 벌레목	총채 벌레목
2015	남포 간척지	남포1	0.43	4.39	5	-	1	-	1	-	-	-
	이원 간척지	이원1	1.66	9.04	-	-	-	-	10	-	-	-
		이원2	10.3	0.81	-	1	-	2	4	-	-	-
		이원3	0.83	3.64	-	-	-	-	2	1	-	-
	석문 간척지	석문1	0.74	5.62	-	-	-	-	60	-	-	-
		석문3	2.78	2.51	-	-	2	1	26	-	1	-
		석문4	19.5	1.22	-	-	-	-	-	-	-	-
	시화 간척지	시화1	0.32	3.08	-	-	-	-	-	-	-	-
		시화2	2.89	0.46	-	-	-	-	1	1	-	-
		시화3	0.87	3.07	-	1	-	-	-	-	-	-
	새만금간척지	계화1	0.26	1.22	-	-	-	-	-	-	-	-
		옥구1	0.12	0.42	-	3	3	1	5	-	-	-
		옥구2	1.51	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-
		옥구3	0.12	0.18	-	1	-	-	-	1	-	-
		옥구4	37.5	0.30	-	2	-	2	-	-	-	1

표 13. 국가관리 특성화 간척지구 B지역 토양화학성 및 토양미소동물의 분포

Year	지구	ID	토양이화학성			토양미소동물 (개)						
			EC (dS m ⁻¹)	OM (g Kg ⁻¹)	노린재 목	벌목	거미목	낮말이 목	톡토기 목	바퀴목	다듬이 벌레목	총채 벌레목
2016	고 흥 간척지	고흥1	0.69	19.9	10	-	-	-	-			-
		고흥2	0.84	20.0	-	-	-		-			-
		고흥3	1.69	25.0	2	-	2		48			-
	삼 산 간척지	삼산1	7.46	11.7	-	2	-		-			-
		삼산2	2.03	8.65	-	-	-		-			-
		삼산3	0.92	34.5		-	-		-			-
	보 전 간척지	보전1	0.43	42.8	7	9	1		17			-
		보전2	0.81	49.3	-	3	-		1			-
		보전3	0.19	10.5	-	2	-		-			-
	군 내 간척지	군내1	0.57	51.2	26	3	-		1			-
		군내2	0.92	17.7	-	2	-		3			2
		군내3	2.14	19.3	-	-	1		-			-
	화 용 간척지	화용1	3.93	7.66	-	1	-		-			-
		화용3	4.08	11.52	1	1	-		-			-
		화용4	59.23	4.68	-	4	-		1			-
	영 산 강 간척지	영산강1	13.58	12.46	-	-	-		-			-
		영산강2	1.33	34.71	9	12	-		3			-
		영산강3	1.20	11.5	6	-	-		-			-
		영산강4	0.33	21.34	-	-	-		-			-
		영산강5	0.60	4.81	-	1	-		-			-
		영산강6	2.97	4.78	2	-	-		-			-

표 14. 국가관리 특성화 간척지구의 토양미생물 분포

Year	지구	ID	$\times 10^3$ CFU/g-soil			CFU/g-soil		
			HTB	HB	MB	TB	Act	Fun
2015	남포간척지	남포1	263	65.6	5,550	7,426	83,698	3,935
	이원간척지	이원1	8,420	2,880	46,800	882,150	56,720	20,078
		이원2	1,180	117	193	365	54	74
		이원3	381	12.1	17,000	323	38,297	4,792
	석문간척지	석문1	14,300	3,720	59,700	4,130	47,827	95,963
		석문3	6,370	3,540	13,800	3,052	6,506	8,501
		석문4	1,890	3,000	2,400	7,234	499	493
	시화간척지	시화1	256	4.79	3,890	2,922	13,411	7,813
		시화2	292	80.9	717	220	58	71
		시화3	149	14.5	4,96	10,634	3,470	77
	새만금간척지	계화1	568	95.3	1,46	3,255	5,003	4,497
		옥구1	406	128	5,830	2,036	12,177	1,741
		옥구2	722	281	5,780	2,433	1,316	907
		옥구3	485	194	11,300	850	6,441	4,898
		옥구4	401	108	224	2,596	437	885
2016	고흥간척지	고흥1	133	6.8	5,480	3,378	2,193	2,595
		고흥2	38.5	3.6	258	426	73	57
		고흥3	193	23.4	1,420	2,127	1,180	1,248
	삼산간척지	삼산1	758	22.9	677	1,815	385	405
		삼산2	342	118	441	895	151	52
		삼산3	185	176	13,200	119,978	11,447	7,361
	보전간척지	보전1	150	20.5	4,720	6,536	6,504	22,018
		보전2	3,890	841	18,440	83,286	40,901	60,810
		보전3	52.9	1.8	608	2,962	436	420
	군내간척지	군내1	2,430	279	15,000	20,190	84,851	16,531
		군내2	92.7	11.8	1,450	3,524	799	839
		군내3	53.1	38.9	135	8,559	789	820
	화옹간척지	화옹1	40.7	34.0	2.3	0	18	201
		화옹3	1,910	1,250	17,400	2,407	3,140	3,969
		화옹4	1,840	6,250	1,150	27	87	175
	영산강간척지	영산강1	75.2	4.8	77.1	849	650	330
		영산강2	2,930	64.4	14,500	2,658	16,614	17,434
		영산강3	42.9	1.9	238	286	1,440	1,037
		영산강4	17.0	6.3	537	719	1,192	1,485
		영산강5	9.7	0.5	79.7	138	212	599
		영산강6	13.0	0.3	238	414	191	376

간척지구별 토양 미소동물과 토양 미생물 간의 상관관계

2015년과 2016년 간척지구별 토양미소동물의 분포에 미치는 토양의 화학성 및 토양 미생물의 분포의 영향을 분석한 결과, 미소동물의 분포는 토양화학성과는 상관관계가 존재하지 않은 반면 토양미생물의 밀도와 밀접하게 관련되어 있었다. 간척지구별 토양 미소동물의 분포는 전체토양미생물의 밀도와 유의적인 정의 상관관계 ($R^2=0.6125$)를 보이고 있다 (그림 16). 토양 생태계에서 토양화학성에 의한 토양미생물의 분포가 영향을 받고, 토양미생물에 이어 미소동물이 연결되는 피라미드 구조에 의한 결과라고 판단된다.

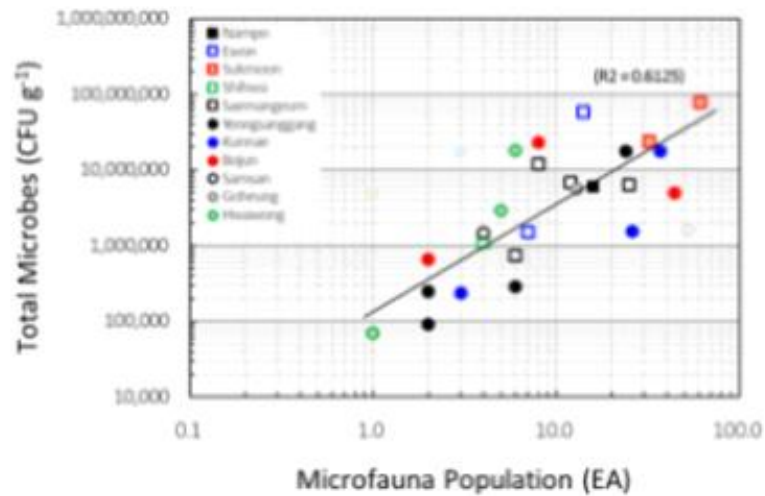


그림 16. 간척지구별 토양미소동물과 토양미생물 간의 상관관계

간척지구별 식물상

국가관리 11개 간척지구에서 조사된 관속식물은 총 85과 412종으로 조사되었다. 이 중 1차 시기에 조사된 지구 중 2013년에 조사된 시화간척지가 142종으로 가장 많은 종이 조사되었으며, 2차 시기에 조사된 지구 중 2015년에 조사된 석문간척지가 188종으로 가장 많은 종이 조사되었다. 염생식물은 산조풀, 갈대, 갯잔디, 갯강아지풀, 띠 등을 포함하여 총 33종이 조사되었다. 관속식물 중 식물구계학적특정식물은 V등급에 검정말, IV등급에 장팔기, III등급에 뚝새풀, I 등급에 붉나무, 팽이밥 등 총 92종, 특산식물로는 붓꽃, 호랑버들을 포함한 5종, 희귀식물로는 솔새, 사방오리 등을 포함하여 총 7종이 조사되었다.

귀화식물에는 메귀리, 오리새, 쥐보리, 호밀풀, 들묵새, 방울새풀, 미국개기장, 나도바랭이를 포함하여 총 77종이 조사되었으며, 이 중 생태계 교란야생식물로는 물참새피, 털물참새피, 애기수영을 포함하여 총 9종이 조사되었다.

표 15. 각 간척지별 식물상(관속식물 및 염생식물) 분포현황

	조사시기	(1차)관속식물	(1차)염생식물	조사시기	(2차)관속식물	(2차)염생식물
시 화	2013	142	23	2015	150	23
석 문		138	17		188	23
이 원		125	17		166	21
남 포		123	7		143	11
새만금		114	20		145	22
영산강	2014	131	11	2016	155	13
군 내		91	8		128	12
보 전		88	6		113	9
삼 산		64	11		117	13
고 흥		84	5		102	9
화 용		112	17		126	16



그림 17. 각 간척지별 관속식물상 및 염생식물상 비교

간척지구별 식물상 변화

국가관리 11개 간척지구에서 조사된 염생식물 포함한 전체 관속식물상은 전지구에서 증가하는 경향을 보였다. 이는 시간 경과에 따른 간척지 토양환경의 변화와 경작, 식생환경 변화 등이 간척지로 중 침입을 허용한 결과이며 간척지내 식생의 고사된 식물들이 토양 내 환경을 변화시키면서 육상식물의 침입을 허용한 결과로 판단된다. 또한 육상식물의 생육환경 변화과정에서 토지이용 형태의 부분적 변화에 따른 불안정한 식물생육환경, 교란, 토지이용 형태의 다양성에 따른 미소기후가 일부 반영된 결과로 판단된다.

국가관리 간척지 특성화 지구의 염생식물상의 변화는 일반적인 토양환경과 연관하여 염습지가 육상습지 또는 육상식생지역으로 시간의 흐름에 따라 염생식물의 수는 점차적으로 감소하고 육상관속식물은 증가하는 경향을 보였다. 이는 간척지 식생이 육상식생으로 변화하는 과정에서 토양환경, 주변 식생환경, 토지이용 상황, 미기후, 대기후, 식생천이, 우점종의 변화, 간척지내 지형의 미세한 차이 등 다양한 환경이 반영된 결과로 판단된다.

1. 석문과 이원지구는 1차년도에 경작지로 사용되고 있었으나 2차년도에 폐경작으로 토지이용 상황이 변화되어 폐경작지 내에서 소수종의 염생식물이 출현하였으며, 새만금, 삼산, 화옹, 영산강간척지 등은 간척지 내 미세지형이 간척지 토지이용 형태에 따른 염생식물종의 증가는 전체 식생의 양적 피복도, 우점도, 개체수의 현저한 증가가 아닌 식물종수의 증가로만 나타났다. 영산강 및 삼산간척지에서 염생식물의 양적 증가는 거의 의미가 없는 1~10개체 미만으로서 전체 식생에서 차지하는 비율은 극히 낮아 이들 염생식물의 종수 증가가 간척지 토양의 토양환경 변화에 미치는 영향은 미비한 것으로 판단된다. 또한 극히 낮은 개체수를 가진 염생식물이 출현한 간척지 외에도 새만금, 고흥간척지의 경우 우리나라 염생식물의 우점종이나 비교적 높은 염도를 나타내는 토양에서 주로 군락을 이루는 종들의 출현빈도는 매우 낮게 나타났다.

국가관리 특성화지구 간척지는 육상토양과 염습지가 육화되어 가는 토양 등에서 주로 출현하는 염생식물의 증가로 인한 염생식물 종수가 미비하게 증가하였으나 실제 염생식물 종수의 변화보다는 피도(염생식물 군락 면적)의 변화가 큰 것으로 나타났다.

간척지구별 식생분포면적 및 현존식생도 특성 및 변화

11개의 국가관리 특성화 간척지구의 현존식생 및 식생 분포면적을 조사하였다. 그 결과 2013, 2015년 조사에서는 개방수면, 시설지, 도로 등을 제외하면 대부분 경작지의 면적이 가장 넓게 나타났으며, 그 다음으로 갈대군락이 가장 넓은 면적을 차지하고 있으며, 그 다음으로는 갈대와 혼생을 이루는 갈대-산조풀군락, 갈대-애기부들군락, 갈대-칠면초군락, 그리고 그 외 물수세미군락, 칠면초군락, 산조풀-칠면초군락, 새섬매자기군락 등이 분포되어 있는 것으로 조사되었다.

각 간척지별 현존식생도 및 식생 분포현황의 변화를 보면 1, 3차년도 조사와 2, 4차년도 조사에서 큰 변화를 보이지 않았으나 일부 경작을 위한 시설물(비닐하우스 등), 태양열 발전 시설, 공원조성지, 시설지 등의 증가가 있었으며, 석문간척지나 화옹간척지에서는 폐경작지가 늘어나면서 갈대군락, 산조풀-갈대군락, 새섬매자기군락, 칠면초군락, 억새군락 등의 증가로 인한 현존식생도 변화가 나타난 것으로 조사되었다.

표 16. 시화간척지 식생분포면적 변화

식생구분	2013년		2015년	
	면적(m ²)	구성비(%)	면적(m ²)	구성비(%)
경작지	10,307,285.66	28.35	8,116,266.20	22.32
갈대	2,873,509.11	7.90	5,065,722.57	13.93
갈대-산조풀	1,456,832.34	4.01	87,776.07	0.24
산조풀-갈대	1,277,369.44	3.51	2,010,752.15	5.53
물수세미	995,048.56	2.74	269,727.86	0.74
갈대-애기부들	45,455.76	0.13	68,356.79	0.19
나리	20565.25503	0.06	-	-
잔디	54,326.92	0.15	82,410.09	0.23
산조풀	323,857.40	0.89	444,321.96	1.22
산조풀-천일사초	12,428.86	0.03	18,853.69	0.05
산조풀-칠면초	8,966.37	0.02	13,601.34	0.04
소나무	10,679.70	0.03	16,200.34	0.04
칠면초	137,663.46	0.38	113,193.92	0.31
칠면초-산조풀	238,677.37	0.66	362,056.63	1.00
천일사초	4,907.51	0.01	7,444.35	0.02
애기부들	90,815.96	0.25	137,210.29	0.38
아까시나무-갈대	14,926.73	0.04	22,642.80	0.06
아까시나무-소나무	8,407.75	0.02	12,753.75	0.04
코스모스	14,926.73	0.04	24,350.47	0.07
생태공원조성지	-	-	778,219.30	2.14
나대지	-	-	244,790.33	0.67
개방수면	18,463,349.10	50.78	18,463,349.10	50.78
합계	36,360,000.00	100.00	36,360,000.00	100.00

표 17. 석문간척지 식생분포면적 변화

식생 구분	2013년		2015년	
	면적(m ²)	구성비(%)	면적(m ²)	구성비(%)
경작지	18,267,617.43	64.53	17,807,054.3	62.90
갈대	818,475.43	2.89	437,437.3	1.55
갈대-애기부들	585,669.28	2.07	582,176.4	2.06
갈대-산조풀	407,392.12	1.44	523,844.4	1.85
갈대-아카시나무	62,950.87	0.22	80,774.0	0.29
애기부들	40,607.64	0.14	-	-
산조풀	8,629.03	0.03	19,774.2	0.07
나대지	200,987.75	0.71	563,535.4	1.99
공원조성지	-	0.00	150,317.8	0.53
칠면초	7,740.53	0.03	-	-
시설지	215,496.53	0.76	376,730.2	1.33
도로	-	0.00	250,283.2	0.88
개방수면	7,694,433.40	27.18	7,518,072.8	26.56
합계	28,310,000.00	100.00	28,310,000.0	100.00

표 18. 이원간척지 식생분포면적 변화

식생 구분	2013년		2015년	
	면적(m ²)	구성비(%)	면적(m ²)	구성비(%)
경작지	5,125,270.08	65.96	4,229,649.84	54.44
산조풀-갈대	460,027.50	5.92	231,817.67	2.98
갈대	213,953.29	2.75	241,321.13	3.11
산조풀	206,388.75	2.66	47,800.61	0.62
애기부들	89,062.02	1.15	80,319.70	1.03
갈대-애기부들	25,511.86	0.33	32,862.13	0.42
갈대-칠면초	62,947.74	0.81	18,969.06	0.24
갈대-산조풀	-	-	251,292.26	3.23
새섬매자기	13,751.22	0.18	698,775.19	8.99
칠면초	26,906.66	0.35	288,645.37	3.71
새섬매자기-칠면초	-	-	53,533.93	0.69
칠면초-갈대	12,115.14	0.16	11,233.10	0.14
천일사초-칠면초	8,206.56	0.11	8,324.59	0.11
취명아주-애기부들	-	-	11,037.54	0.14
글풀	-	-	6,833.64	0.09
칠면초-통통마디	-	-	14,238.76	0.18
칠면초-새섬매자기	-	-	11,505.65	0.15
물수세미	9,134.69	0.12	7,527.38	0.10
돌피-물피	9,557.58	0.12	9,546.12	0.12
곰솔	10,331.07	0.13	7,164.89	0.09
조경수	7,172.52	0.09	7,164.04	0.09
나대지	-	-	10,774.08	0.14
개방수면	1,489,663.32	19.171986	1,489,663.32	19.17
합계	7,770,000.00	100.00	7,770,000.00	100.00

표 19. 남포간척지 식생분포면적 변화

식생 구분	2013년		2015년	
	면적(m ²)	구성비(%)	면적(m ²)	구성비(%)
경작지	12,875,748.11	87.77	12,808,244.54	87.31
갈대군락	284,949.39	1.94	336,164.32	2.29
갈대-산조풀	2,474.81	0.02	-	-
산조풀-애기부들	1,397.34	0.01	-	-
억새-큰김의털	-	-	13,871.32	0.09
큰김의털	-	-	21,586.16	0.15
소나무	65,408.99	0.45	65,408.99	0.45
나대지	57,933.51	0.39	4,242.33	0.03
시설지	68,075.72	0.46	36,482.49	0.25
개방수면	1,314,012.12	8.96	1,383,999.84	9.43
합계	14,670,000.00	100.00	14,670,000.00	100.00

표 20. 영산강간척지 식생분포면적 변화

식생 구분	2014년		2016년	
	면적(m ²)	구성비(%)	면적(m ²)	구성비(%)
경작지	69,852,457.23	55.88	64,192,087.84	51.35
갈대	2,163,485.10	1.73	2,576,693.81	2.06
갈대-칠면초	1,806,784.64	1.45	1,920,907.31	1.54
애기부들	7,260.23	0.01	46,452.19	0.04
애기부들-갈대	110,238.64	0.09	117,201.69	0.09
털물참새피	113,528.76	0.09	33,028.98	0.03
강아지풀-망초	-	-	98,815.85	0.08
갈대-애기부들	1,095,841.57	0.88	1,300,879.62	1.04
칠면초-갈대	59,498.48	0.05	63,256.61	0.05
억새-갈대	30,960.46	0.02	32,916.03	0.03
마름	87,179.44	0.07	92,685.99	0.07
곰솔	66,985.37	0.05	71,216.40	0.06
곰솔-이대	9,707.46	0.01	71,216.40	0.06
털물참새피-갈대	-	-	141,532.89	0.11
억새	-	-	231,368.57	0.19
공원조성지	-	-	14,402.17	0.01
시설지	2,278,657.16	1.82	2,901,109.83	2.32
나대지	778,169.27	0.62	1,615,404.27	1.29
군사시설	1,904,440.06	1.52	2,024,730.98	1.62
개방수면	44,634,806.13	35.71	47,454,092.57	37.96
합계	125,000,000.00	100.00	125,000,000.00	100.00

표 21. 보전간척지 식생분포면적 변화

식생 구분	2014년		2016년	
	면적(m ²)	구성비(%)	면적(m ²)	구성비(%)
경작지	1,387,067.04	65.12	1,389,085.01	65.22
갈대	36,966.67	1.74	39,807.76	1.87
애기부들	25,573.57	1.20	35,964.96	1.69
마름	23,060.78	1.08	-	-
애기부들-마름	9,706.55	0.46	15,360.86	0.72
갈대-개밀	-	-	20,375.62	0.96
공원조성지	5,538.36	0.26	5,546.41	0.26
나대지	27,266.48	1.28	3,831.19	0.18
개방수면	614,820.55	28.86	620,028.18	29.11
합계	2,130,000.00	100.00	2,130,000.00	100.00

표 22. 삼산간척지 식생분포면적 변화

식생 구분	2014년		2016년	
	면적(m ²)	구성비(%)	면적(m ²)	구성비(%)
경작지	1,379,703.95	46.93	1,251,849.11	42.58
갈대	474,673.23	16.15	940,794.29	32.00
칠면초-쥐보리	260,679.81	8.87	5,534.92	0.19
애기부들	15,754.45	0.54	1,042.01	0.04
잔디-갈대	19,443.89	0.66	9,432.58	0.32
새섬매자기	578.62	0.02	1,587.87	0.05
개방수면	789,166.05	26.84	729,759.21	24.82
합계	2,940,000.00	100.00	2,940,000.00	100.00

표 23. 고흥간척지 식생분포면적 변화

식생 구분	2014년		2016년	
	면적(m ²)	구성비(%)	면적(m ²)	구성비(%)
경작지	13,320,427.59	64.19	13,251,946.82	63.86
갈대	789,048.50	3.80	829,018.51	4.00
애기부들	54,217.89	0.26	108,481.28	0.52
갈대-애기부들	36,533.59	0.18	36,511.94	0.18
수련	31,521.50	0.15	31,502.82	0.15
곰솔	21,334.50	0.10	21,321.86	0.10
참	-	-	6,815.48	0.03
띠	-	-	5,879.50	0.03
나대지	24,698.19	0.12	24,683.56	0.12
시설지	212,533.47	1.02	231,772.94	1.12
개방수면	6,259,684.76	30.17	6,202,065.28	29.89
합계	20,750,000.00	100.00	20,750,000.00	100.00

표 24. 고흥간척지 식생분포면적 변화

식생 구분	2014년		2016년	
	면적(m ²)	구성비(%)	면적(m ²)	구성비(%)
경작지	1,718,927,302.79	38.35	998,865,721.03	22.29
산조풀-칠면초	811,038,555.84	18.10	-	-
갈대-칠면초	167,401,864.17	3.73	266,468,139.86	5.95
산조풀-갈대	144,133,234.92	3.22	69,459,258.15	1.55
칠면초	113,747,220.79	2.54	107,373,233.85	2.40
달뿌리풀	87,619,634.13	1.95	11,987,760.59	0.27
갈대	79,831,148.11	1.78	1,471,068,366.01	32.82
산조풀	69,407,306.91	1.55	68,728,503.36	1.53
갈대-애기부들	21,788,883.01	0.49	-	-
칠면초-산조풀	11,212,028.40	0.25	16,671,544.90	0.37
곰솔	7,331,736.93	0.16	23,682,034.13	0.53
갯개미취	-	-	9,910,519.93	0.22
비짜루국화	-	-	7,167,065.32	0.16
나문재-칠면초	-	-	2,819,925.27	0.06
망초-갯개미취	-	-	658,924.76	0.01
갈대-갯개미취	-	-	3,626,377.74	0.08
폐경작지	382,330,057.42	8.53	-	-
공원조성지	12,950,602.77	0.29	16,539,069.74	0.37
나대지	10,659,466.79	0.24	546,779,407.91	12.20
시설경작지	10,110,627.77	0.23	644,117.70	0.01
건물	7,186,544.70	0.16	33,226,245.18	0.74
개방수면	826,323,784.56	18.44	826,323,784.56	18.44
합계	4,482,000,000.00	100.00	4,482,000,000.00	100.00

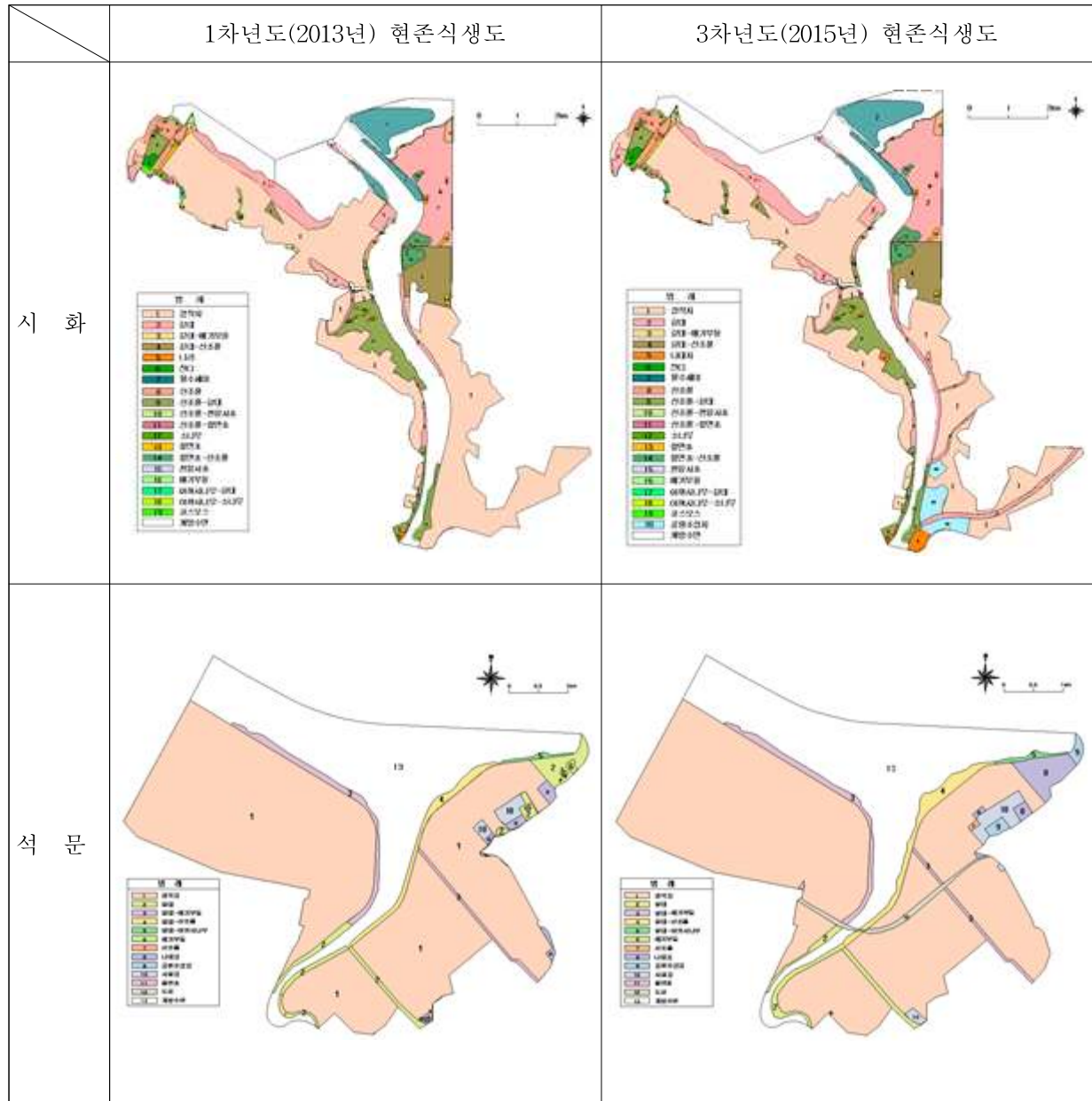


그림 18. 시화간척지, 석문간척지 현존식생도 변화

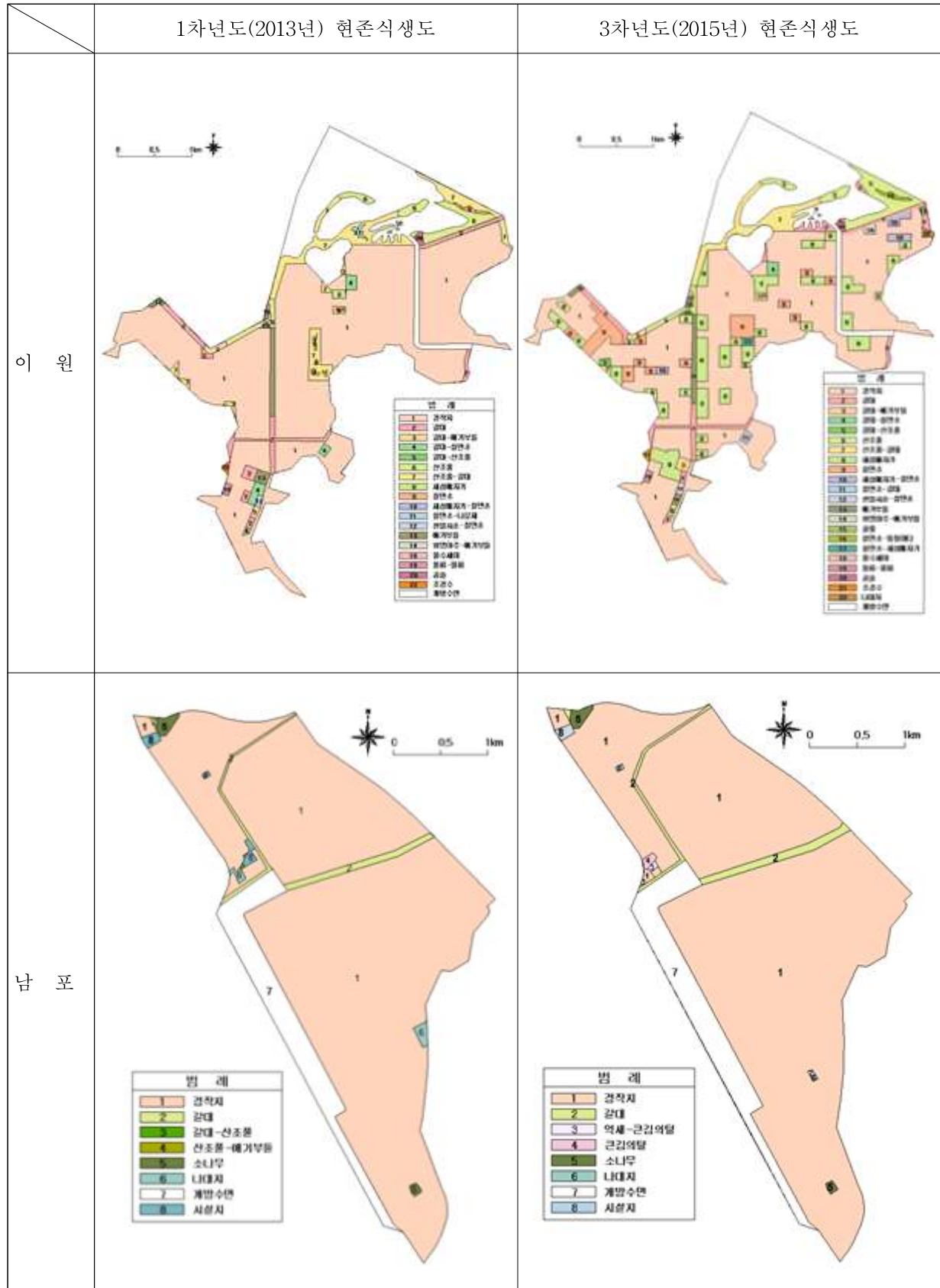


그림 19. 이원간척지, 남포간척지 현존식생도 변화

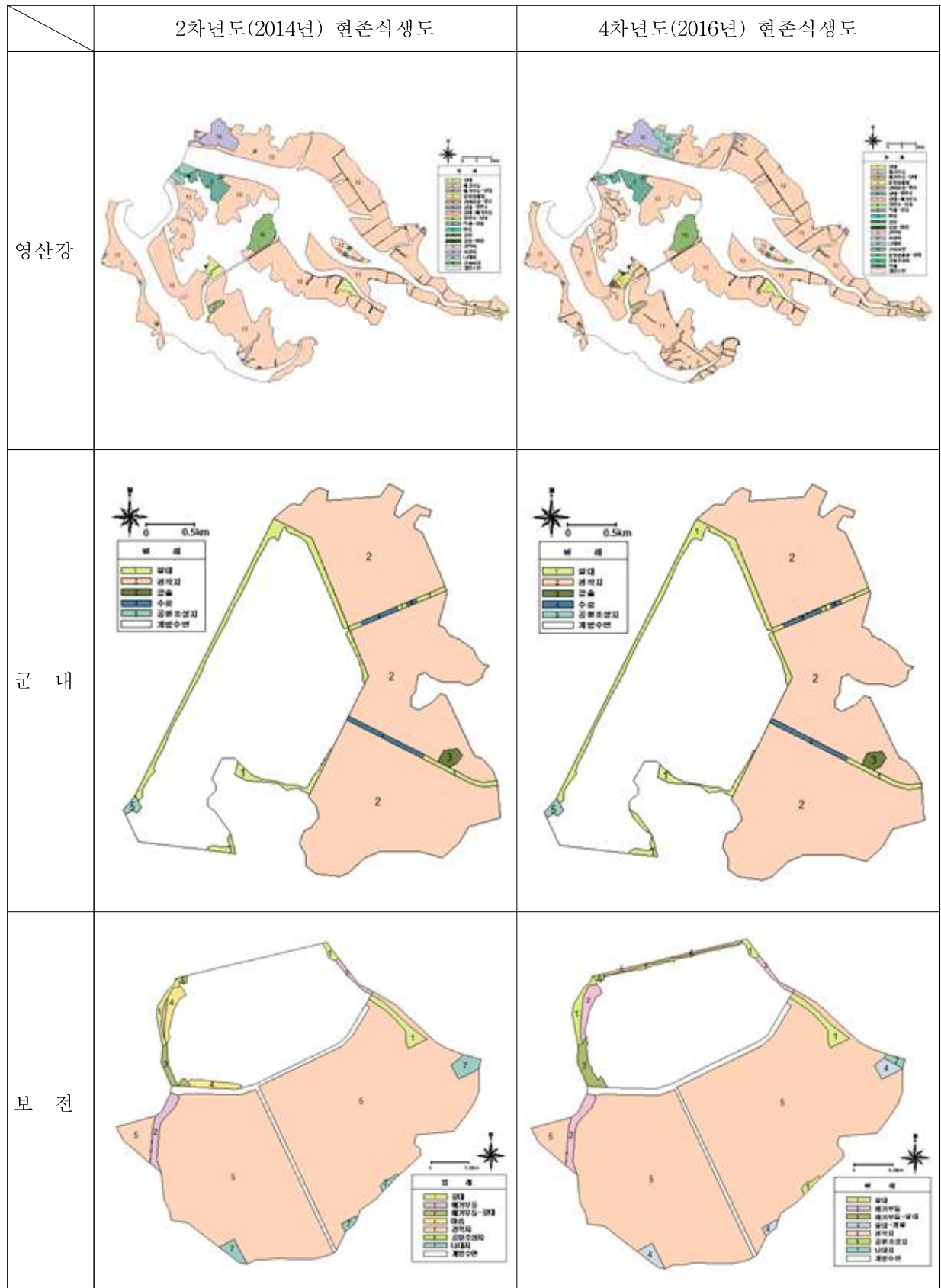


그림 20. 영산강간척지, 군내간척지, 보전간척지 현존식생도 변화

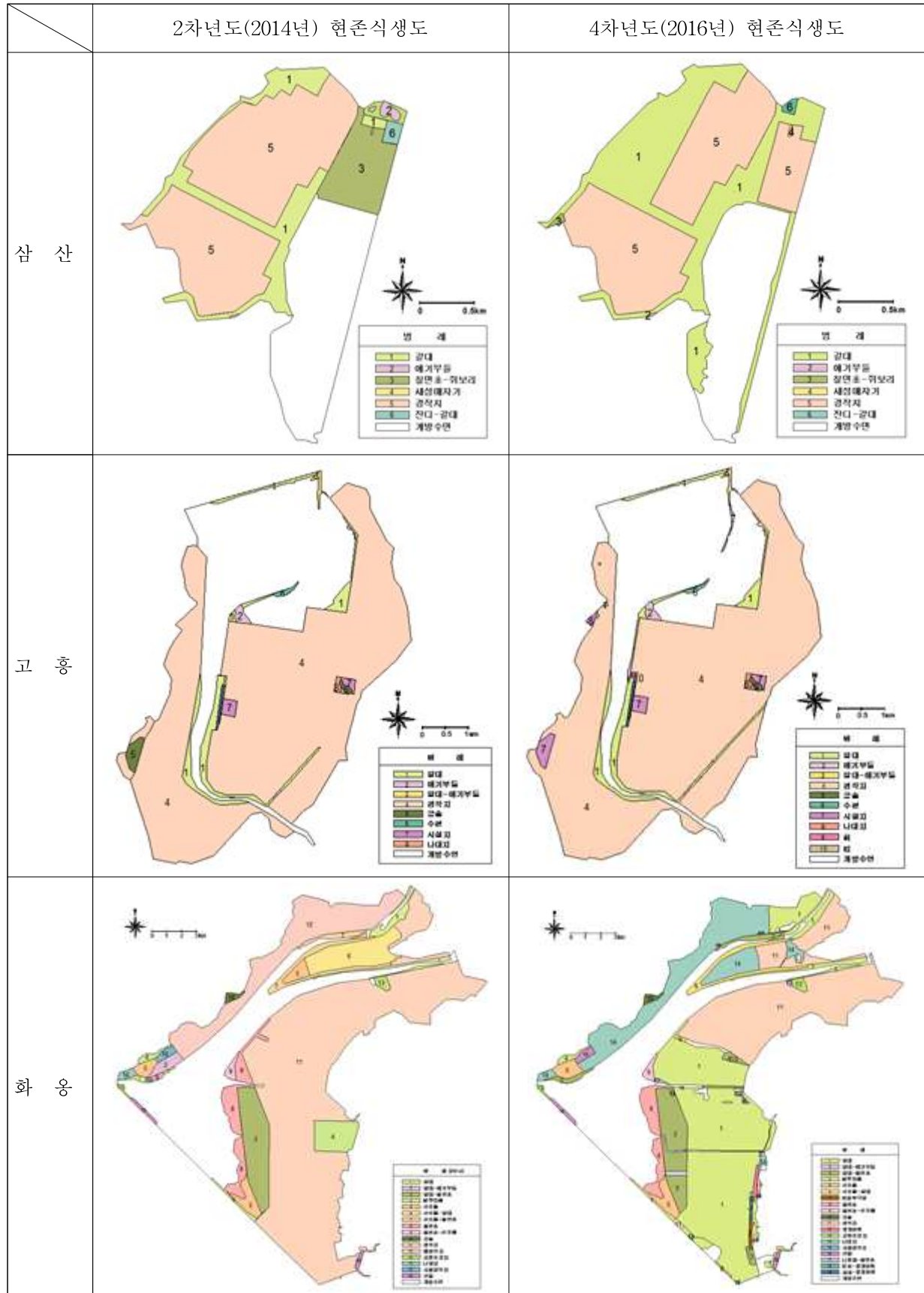


그림 21. 삼산간척지, 고흥간척지, 화용간척지 현존식생도 변화

제 4 장 목표달성도 및 관련분야 기여도

제1절 : 목표대비 달성도

당초 목표	가중치 (%)	개발 내용	달성도 (%)
1) 대규모 간척지 특성화지구 토양특성 조사	25	1) 간척지 토양특성조사 ha (영산강, 석문, 이원, 시화, 화옹, 새만금)	100
2) 간척지 특성화 11개 지구 토양의 물리,화학적 변동조사	25	2) 간척지 특성화 11개 지구 토양의 물리, 화학성 조사	100
3) 간척지 특성화 11개지구 담수호 및 유입 하천 수질분석	25	3) 간척지 특성화 11개지구 담수호 및 유입하천 152지점 수질분석	100
4) 국가관리 간척지 11개 지구에 대한 생물상 분석 - 식물분포유형, 식물상, 식물의 생육형, 현존식생도 및 식생단면도 - 정점토양에 대한 토양미생물(내염·호염성세균 포함) 및 탈수소효소 활성	25	4) 국가관리 간척지 11개 지구에 대한 생물상 분석 - 식물상 및 식생조사, 식생분포면적 및 현존식생도 조사 - 토양미생물(내염·호염성세균 포함) 및 탈수소효소 활성 및 토양미소동물 조사	100
	100%		

제2절 : 정량적 성과(논문게재, 특허출원, 기타)를 기술

성과지표명		당초 목표 (전체)	실적	달성도 (%)	가중치 (%)
논문게재	SCI	1	(1)	(100)	20
	비SCI	5	9	100	110
학술발표	국제	-	1	-	-
	국내	10	20	100	120
DB구축		1	1	100	10
정책자료 기관제출		4	4	100	40
영농기술·정보 기관제출		5	5	100	30
자료발간		2	3	100	20
홍보성과		5	11.3	100	50
계		33	55.3	-	400

* ATIS 승인 기준

* 달성도(%) = (실적소계/당초목표전체) × 100

제 5 장 연구 결과의 활용 계획

- 추가 연구의 필요성
 - 국가관리 간척지의 합리적 이용을 위해 지속적인 토양 물리성 및 화학성 조사 필요
- 영농기술정보 활용
 - 간척지 토양정보 DB 구축 및 「흙토람」 연계 토양정보 제공
 - 국가관리 간척지의 토양화학성 및 토양 유기물 증진 방안
 - 국가관리 간척지 담수호 유입 하천수의 수질 특성
 - 토양미생물상 기반 간척지 토양의 숙전화 지표개발
- 정책자료 활용
 - 국가관리 간척지구의 토양화학성 및 지력증진 방안
 - 영산강 간척지 세부정밀 토양특성조사 자료 활용
 - 새만금 간척지 대규모 농어업회사 예정부지 토양염농도 자료 활용
 - 새만금 홍보관 인근 노출부지 토양 특성자료 활용 건의
 - 시화간척지 토양특성 분류 및 토양관리 요령
- SCI 논문게재 예정
 - Journal of Environmental Biology (Influence of Salinity variations on exocellular polysaccharide production, biofilm formation and flocculation in halotolerant bacteria)
- 간척지 토양관리방안 및 정책수립 기초자료 활용
- 간척지 토양미생물 및 생물상 기초자료 확보
- 간척지 농업환경 변동 기본자료 구축 및 지역별 토양관리 방법 제공
- 간척지 유역의 지속적인 환경보전과 수질향상을 도모

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보

- 해당없음

제 7 장 연구 개발 결과의 보안 등급

- 일반

제 8 장 국가과학기술지식정보서비스에 등록된 연구시설·장비 현황

- 해당없음

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

기술적 위험요소	안전관리 대책	비 고
○ 토양, 식물체 및, 수질 분석 시 실험실 유독성 시약 안전 관리 대책 구축	○ 화학실험의 안전사고 사전예방 및 안전관리 평시 점검 ○ 연구실 위험요소별 맞춤형 조치계획 및 절차 숙지	
○ 간척지 토양조사 현장 및 토양시료 채취시 발생할 수 있는 위험요소	○ 위험요소 발생 대비 비상연락망 및 연락체계 구축	
○ 포장작업시 안전사고	○ 야생동물(뱀, 멧돼지) 주의 교육 ○ 농기계 사용시 안전수칙 준수	

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지	Impact Factor	논문게재일	사사여부	특기 사항
1	저작권	간척지 토양정보 데이터베이스	식량원	주저자	한국저작권위원회		*등록일 2016.10.4.	-	
2	논문	Microbial Differentiation on Chemical Properties of Paddy Soils in Reclaimed Tidal Lands at Western-coast Area of Korea	원광대학교	주저자	한국토양비료학회지, 49: 381-387	0.35	2016.08.15	단독사사	
3	논문	남해안 주요 간척지 식물상 및 생활형에 관한 연구	원광대학교	주저자	한국도서연구, 27: 175-190	0.8	2015.08.15	단독사사	
4	논문	Relation between Chemical Properties and Microbial Activities in Soils from Reclaimed Tidal Lands at South-western Coast Area in Korea	원광대학교	주저자	한국토양비료학회지, 48: 262-270	0.35	2015.08.15	단독사사	
5	논문	Relationship between Chemical Property and Microbial Activity of Reclaimed Tidal Lands at Western Coast Area in Korea	원광대학교	주저자	한국토양비료학회지, 47: 254-261	0.35	2014.08.15	단독사사	
6	논문	서해안 간척지 식물상 및 생활형에 관한 연구	원광대학교	주저자	한국도서연구 25: 213-226	0.8	2013.10.15	단독사사	
7	논문	Effect of Dispersed and Proximate Inoculation Methods of <i>Glomus etunicatum</i> on Root Colonization of Sorghum-Sudangrass Hybrid	원광대학교	공동	한국토양비료학회지, 46: 373-378	0.35	2013.10.15	단독사사	

제 11 장 기타사항

○ 변경사항

연차	항 목	당초계획	변경내용	근거문서
1년차 (2013)	6. 연구원편성표 나. 참여연구원	<ul style="list-style-type: none"> - 강은옥 - 박혜림 - 오성택 	<ul style="list-style-type: none"> - 백종선(변경) - 유철선(변경) - 박미나(변경) - 고은성(신규) 	원광대학교 참여연구원변경신청서 (20130318 & 20130403)
2년차 (2014)	<2세부> 1. 연구원 편성 가. 세부연구책임자	<ul style="list-style-type: none"> - 이수환 	<ul style="list-style-type: none"> - 배희수 	간척지농업과-128 (2014.2.5.)
3년차 (2015)	1. 연구원 편성 가. 주관연구책임자 나. 세부연구책임자 다. 참여연구원	가. 주관연구책임자 <ul style="list-style-type: none"> - 김홍규 나. 세부연구책임자 <ul style="list-style-type: none"> - 1세부 : 배희수 - 2세부 : 이수환 - 3세부 : 김홍규 다. 참여연구원 ○ 2세부 <ul style="list-style-type: none"> - 김홍규 ○ 3세부 <ul style="list-style-type: none"> - 황선아, 배희수 ○ 4세부 <ul style="list-style-type: none"> - 이영욱, 정지안 	가. 주관연구책임자 <ul style="list-style-type: none"> - 김영두 나. 세부연구책임자 <ul style="list-style-type: none"> - 1세부 : 류진희 - 2세부 : 양창후 - 3세부 : 김영두 다. 참여연구원 ○ 2세부 <ul style="list-style-type: none"> - 류진희 ○ 3세부 <ul style="list-style-type: none"> - 이수환, 오양열, 이상훈 ○ 4세부 <ul style="list-style-type: none"> - 김재홍, 이현아, 백성범 	○ 운영지원과-66 (2015. 1. 5.) ○ 운영지원과-81 (2015. 1. 5.)

제 12 장 참고문헌

- Aciego, P.J.C. and P.C. Brookes. 2009. Substrate inputs and pH as factors controlling microbial biomass, activity and community structure in an arable soil. *Soil Biol. Biochem.* 41:1396-1405.
- Ahn, B.K., H.J. Kim, S.S. Han, Y.H. Lee and J.H. Lee. 2011. Response of microbial distribution to soil properties of orchard fields in Jeonbuk area. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:696-701.
- APHA, AWWA, WEF, (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed. APHA, Washington, DC.
- Baeg, C.O., Kang, S.G., and Lee, K.S. (1996). A Status of Agricultural Water Quality Improvable Countermeasure in Korea. *Koren J. Environ. Agric.* 15(4), pp. 43-52.
- Bentham, H., J.A. Harris, P. Birch and K.C. Short. 1992. Habitat classification and soil restoration assessment using analysis of soil microbiological and physico-chemical characteristics. *J. Appl. Ecol.* 29:711-718.
- Bossio, D.A. and K.M. Scow. 1998. Impacts of carbon and flooding on soil microbial communities: phospholipid fatty acid profiles and substrate utilization patterns. *Micro. Ecol.* 35:265-278.
- Braun-Blanquet, J. 1964. *Planzen Soziologie*, 3. Auf, Springer, Wein, New York. 865pp.
- Brisou, J., D. Courtois and F. Denis. 1974. Microbiological study of a hypersaline lake in French Somaliland. *Appl. Microbiol.* 27:819-822.
- Casida, L.E., D. Klein and T. Santoro. 1964. Soil dehydrogenase activity. *Soil Sci.* 98:371-376.
- Cepeda-Pizarro, J.G. and W.G. Whitford. 1989. Spatial and temporal variability of higher microarthropod taxa along a transect in a northern Chihuahuan Desert watershed. *Pediobiologia* 33:101-111.
- Choi, J.K., Son, J.G., and Koo J.W. (1996). Studies on Water Quality of Agricultural Reservoirs in Chonbuk Province. *Korean J. Society of Agricultural Enginerrrs.* 38(2), pp. 65-74.
- Clegg, C.D. 2006. Impact of cattle grazing and inorganic fertiliser additions to managed grasslands on the microbial community composition of soils. *Appl. Soil Ecol.* 31:73-82.
- Crecchio, C., M. Curici, M.D.R. Pizzigallo, P. Ricciuti and P. Ruggiero. 2004. Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. *Soil Biol. Biochem.* 36:1595-1605.
- Deenik, J. 2006. Nitrogen Mineralization potential in important agricultural soils of Hawaii. *Soil Crop Manage.* 15:1-5.

- Dinesh, R., R.P. Dubey and G.S. Prasad. 1998. Soil microbial biomass and enzyme activities as influenced by organic manure incorporation into soils of a rice-rice system. *J. Agron. Crop Sci.* 181:173-178.
- FAO. (1997). *Management of Agricultural Drainage Water Quality*. pp.174.
- Filip, Z. 2002. International approach to assessing soil quality by ecologically-related biological parameters. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88:169-174.
- Frankenberger W.T. and F.T. Bingham. 1982. Influence of salinity on soil enzyme activities. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:1173-1177.
- Hu, C. and Z. Cao. 2007. Size and activity of the soil microbial biomass and soil enzyme activity in long-term field experiments. *World J. Agri. Sci.* 3:63-70.
- James, N. 1958. Soil extract in soil microbiology. *Can. J. Microbiol.* 4:363-370.
- Joa, J.H., K.H. Moon, K.S. Choi, S.C. Kim and S.W. Koh. 2013. Soil dehydrogenase activity and microbial biomass C in croplands of Jeju province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46: 122-128.
- Kang, H.J., S.K. Kang and D.W. Lee. 2009. Variations of soil enzyme activities in a temperate forest soil. *Ecol. Res.* 24:1137-1143.
- Kim, B.Y., H.Y. Weon, I.C. Park, S.Y. Lee, W.G. Kim and J.K. Song. 2011. Microbial diversity and community analysis in lettuce or cucumber cultivated greenhouse soil in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:1169-1175.
- Kim, E.G. 2013. *Halophytes of Korea. Nature and Ecology*. Seoul. Korea.
- Kim, J.O., W.J., Kim, and K.H., Jo. (2007). The Evaluation of Water Quality in Coastal Sea of Saemangeum by Chemical Environmental factors. *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers.* 49(5): 57-65.
- Kim, J. U. and Y. J. Yim. 1988. Phytosociological classification of plant communities in Mt. Naejang, southwestern Korea. *Kor. J. Bot.* 31:1-31.
- Kim, J.W, D.I. Lee, and W. Kim. 1995. Minimal Areas and Community Structures of *Pinus densiflora* Forests and *Quercus mongolica* Forests. *Journal of Ecology and Environment.* 18(4):451-462
- Kim, Y.I., S.H. Jung, J.S. Seok, S.Y. Yang, J.W. Huh and W.S. Kwak. 2007. Isolation and identification of high cellulolytic bacteria from spent mushroom substrate and determination of optimal medium conditions for the growth. *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* 35:255 - 260.
- Kirk, J.L., L.A. Beaudette, M. Hart, P. Moutoglis, J.N. Klironomos, H. Lee and J.T. Trevors. 2004. Methods of studying soil microbial diversity. *J. Microbiol. Meth.* 58:169-188.

- Klein, D.A., T.C. Loh and R.L. Goulding. 1971. Short communication: A rapid procedure to evaluate the dehydrogenase activity of soils low in organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 3:385-387.
- Korean Fern Research Society. 2005. *Ferns and fern allies of Korea*. Geobook. Seoul. Korea.
- Jang, J.I., Han, I.S., Kim, K.T., and Ra, K.T. (2011). Spatial Characteristics of Pollutant Concentrations in the Streams of Shihwa Lake. *J. Korean Soc. Environ. Eng.* 33(4), pp. 289-299.
- Lebron, I., D. L. Suarez, and T. Yoshida. 2002. Gypsum effect on the aggregate size and goemetry of three sodic soils under reclamation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:92-98.
- Jeon, J.H., Yoon, C.G., and Ham, J.H. (2001). Analysis of Relationship Among the Pollutant Concentrations in Non-urban Area. *Korean J. Limnol.* 34(3), pp. 215-222.
- Jung, Y. S. and C. H. Yoo. 2007. Soil problems and agricultural water management of the reclaimed land in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:330-348.
- Lee, C.B. 2003a. *Coloured flora of Korea*. hyangmunsa. Seoul. Korea.
- Lee, C.B. 2003b. *Coloured flora of Korea*. hyangmunsa. Seoul. Korea.
- Lee, K.B., J.G. Kang, J. Li, D.B. Lee, C.W. Park and J.D. Lim. 2007. Evaluation of salt-tolerant plant for improving saline soil of reclaimed land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:173-180.
- Lee, S. H., S. H. Yoo, S. I. Seol, Y. S. Jung, and S. M. Lee. 2000. Assement of salt damage for upland-crops in Dae-Ho reclaimed land. *Korean J. Environ. Agric.* 19:358-363.
- Lee, U.C. 1996a. *Coloured standard illustrations of Korean plants*. Academibook. Seoul. Korea.
- Lee, U.C. 1996b. *Lineamenta florum Koreae*. Academibook. Seoul. Korea.
- Lee, Y.H. and S.K. Ha. 2011. Impact of chemical properties on microbial population from upland soils in Gyeongnam province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:242-247.
- Lee, Y.N. 2006. *New flora of Korea*. Kyohak publishing. Seoul. Korea.
- Levy, G. J., D. Goldstein, and A. I. Mamedov. 2005. Saturated Hydraulic conductivity of semiarid soils : Combined effects of salinity, sodicity, and rate of wetting. *Soil Sci. Soc. Am.* 69:653-662.
- MAFRA. (2005). *A Research for the Salt Damage Prediction System Development of the Fresh Water Reservoir at the Reclaimed Tideland*. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Gwacheon. Korea.
- Martin, J.P. 1950. Use of acid, rose bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Sci.* 69:215-232

- Martin, J. P. and S. J. Richards. 1959. Influence of exchangeable hydrogen and calcium, and of sodium, potassium and ammonium at different hydrogen levels on certain physical properties of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 23:335-338.
- McNeal, B. L. and N. T. Coleman. 1966. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30:308-312.
- Muller-Dombois, D. and H. Ellenberg, 1974. *Aims and methods of Vegetation Ecology*. John Wiley and Son Inc. 547pp.
- NIAST(National institute of Agricultural Science and Technology). 2000. *Methods of analysis of soil and plant*, NIAST, Suwon, Korea.
- Nosalewicz A. and M. Nosalewicz. 2011. Effect of soil compaction on dehydrogenase activity in bulk soil and rhizosphere. *Int. Agrophys.* 25:47-51.
- Omar, S.A., M.A. Abdel-Sater, A.M. Khallil and M.H. Abdalla. 1994. Growth and enzyme activities of fungi and bacteria in soil salinized with sodium chloride. *Folia Microbiol.* 39:23-28.
- Oster, J. D., I. Shainberg, and Wood, J. D. 1980. Flocculation value and gel structure of Na/Ca montmorillonite and illite suspension. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:955-959.
- Oster, J. D. and H. Frenkel. 1980. The chemistry of the reclamation of sodic soils with gypsum and lime. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:41-45.
- Pankhursy, C.E., S. Yu, B.G. Hawke and B.D. Harch, 2001. Capacity of fatty acid profiles and substrate utilization patterns to describe differences in soil microbial communities associated with increased salinity or alkalinity at three locations in South Australia. *Biol. Fertil. Soils* 33:240-217.
- Park, M.N, G.S. Go, C.H. Kim, H.S. Bae, T. Sa and J.H. Choi. 2015. Relation between chemical properties and microbial activities in soils from reclaimed tidal lands at south-western coast area in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48:262-270.
- Park, S.H. 2009. *New illustrations and photographs of naturalized plants of Korea*. Ilchokak. Seoul. Korea.
- Pupisky, H. and J. Shainberg. 1979. Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:429-433.
- Quilchano, C. and T. Maranon. 2002. Dehydrogenase activity in Mediterranean forest soils. *Biol. Fert. Soils* 35:102-107.
- Rahman, M.H., A. Okubo, S. Sugiyama and H.F. Mayland. 2008. Physical, chemical and microbiological properties of an Andisol as related to land use and tillage practice. *Soil Till. Res.* 101:10-19.
- Raunkiaer, C. 1934. *Life form of plants and Statistical Plant Geography*. Charendon Press, Oxford.

- RDA(Rural Development Administration). 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon. Korea.
- RDA(Rural Development Administration). 2003. Standard methods of analysis and survey for agricultural research. Suwon, Korea.
- Rossel, D., J. Taradellas, G. Bitton and J. Morel. 1997. Use of enzymes in soil ecotoxicology: A case for dehydrogenase and hydrolytic enzymes, pp. 179–206. *In*: J. Taradellas, G. Bitton, D. Rossel (ed.) Soil Ecotoxicology. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Sagardehis, S.P. and N.S. Margaris. 1993. Effects of fire on soil microarthropods of a phryganic ecosystem. *Pedobiologia* 37:83–94
- Sardans, J., J. Penuelas and M. Estiarte. 2008. Changes in soil enzymes related to C and N cycle and in soil C and N content under prolonged warming and drought in a Mediterranean shrubland. *Appl. Soil Ecol.* 39:223–235.
- Sebiomo, A., V.W. Ogundero and S.A. Bankole. 2011. Effect of four herbicides on microbial population, soil organic matter and dehydrogenase activity. *Afr. J. Biotechnol.* 10:770–778.
- Sonn Y.K., G.S. Hyeon, M.C. Seo, K.H. Jung, B.K. Hyun, S.J. Jung and K.C. Song. 2006. A taxonomical consideration based on changes of salinity and profile features of the texturally different two reclaimed tidal soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39:59–64
- Suh, J.S. 1998. Soil Microbiology. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(S):76–89
- Suh, J.S. and J.S. Shin. 1997. Soil microbial diversity of paddy fields in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 30:200–207
- The Ministry of Environment. 2000. The Test Methods of Pollutions Process in Water Quality. M.E. Korea.
- Timothy, R.K. and R.P. Dick. 2004. Differentiating microbial and stabilized β -Glucosidase activity relative to soil quality. *Soil Biol. Biochem.* 36:2089–2096.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook No.60.
- Wang, L.W., A.M. Showalter and I.A. Ungar. 1997. Effect of salinity on growth, ion content and cell wall chemistry in *Atriplex prostrata* (Chenopodiaceae). *Am. J. Botany* 84:1247–1255.
- Wellington, E.M.H. and T. Cross. 1983. Taxonomy of antibiotic producing actinomycetes and new approaches to their selective isolation. P. 36. In M.E. Bushell (ed.) *Progress in industrial microbiology?* Elsevier, Amsterdam.
- Werger M.G.A. 1974. Concepts and techniques applied in the Zurich–Montpellier method of vegetation survey. *Bothalia.* 11:309–323

- Yim, Y.j., J.U. Kim, N.J. Lee, Y.B. Kim, K.S. Paek. 1990. Phytosociological Classification of Plant Communities on Mt. Halla National Park, Korea. *Journal of Ecology and Environment*. 13(2):101-130
- 농촌진흥청 국립식량과학원. 2013. 간척지 토양 들여다보기.
- 농촌진흥청 국립식량과학원. 2012. 간척지 토양 활용성 제고를 위한 토양조사 및 해설 매뉴얼.
- 농촌진흥청 농업과학기술원. 2006. 농업용수 수질분석 이론과 실무.
- 농촌진흥청 농업과학기술원. 2005. 우리나라 토양조사사업의 성과와 발전방안.
- 농촌진흥청 농업기술연구소, 1984, 원색도감 한국의 답토양.
- 농촌진흥청 농업기술연구소, 1986, 원색도감 한국의 전토양.
- 농촌진흥청 농업기술연구소, 1992, 증보 한국토양총설.
- 농촌진흥청 호남농업시험장. 2003. 토양조사 이론과 실무기술.
- 농촌진흥청 호남농업시험장. 2002. 한국의 간척지 농업.
- 농촌진흥청 호남농업연구소. 2007. 간척지 논토양 관리기술.

주 의

1. 이 보고서는 농촌진흥청에서 시행한 「농업첨단핵심기술개발사업」의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농촌진흥청에서 시행한 「농업첨단핵심기술개발사업」의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.