

간척지 토양의 특성과 관리

Soil problems and agricultural management of the reclaimed land

정 영상* · 류 철현**

*강원대학교 농업생명과학대학, **호남농업연구소

I. 머릿말

우리나라에서 간척지는 서남해안의 간척지를 막아 농토로 조성되어 주로 논으로 이용되어 왔고, 일부는 밭과 그 밖의 농업 이외의 목적으로 사용되어 왔다. 간척 농업의 역사는 오래되어 고려 고종 22년(1235년)시대로 거슬러 올라갈 수 있지만, 현재 오늘날과 같은 간척 농업의 본격화는 1960년대 이후 농경지 확보를 위한 대단위 국토 개발 사업의 추진으로 이루어졌다. 최근에 추진되고 있는 새만금 간척사업은 전북 군산시·김제시·부안군의 3개 시·군에 걸쳐 총 40,100ha가 개발되고 사업지구 안에는 28,300ha의 토지자원이 새롭게 조성되는 세계 최대 규모의 간척 사업이다.

간척지 토양에서 염류도 관리의 핵심은 토양과 관개수의 염류 농도와 조성분의 관리에 있다. 간척 초기에는 염류 농도가 정상적인 영농이 불가능하므로, 조기 제염과 토양의 물리성 유지가 중요하다. 제염과 함께 작물의 재배가 가능해지면, 토양의 염류 농도에 따른 작물의 선택과 염류 피해 방지와 함께, 토양의 재염화 방지가 중요하다. 제염 과정이나 재염화 과정 모두에서 관개수의 역할이 중요성이 하다. 그러므로 토양 염류와 관개수 관리는 항상 동일시하게 마련이다.

우리나라에서 간척지 토양 관리에 대한 연구가 오래 전부터 농촌진흥청과 농업기반공사를 중심으로 이루어져 왔으며, 이에 대한 국내 문헌이 정리되어 “간척 농업”으로 발간되었으며, 간척지에 관한 연구와 영농에 활용 크게 기여할 것으로 기대된다. 필자 등은 염류 토양 관리에 대한 기술적 방안을 제시하고자 간척지 등 함염토의 특징과 토양 관리 기술, 관수에 의한 염류 집적토의 토양 관리 기술, 및 비배 관리에 의한 염류 집적 토양의 토양 관리 기술 등의 기술적 체계에 대한 국내외 문헌을 수집 정리한 바 있다(정 등, 2002). 이 논문에서 위 문헌들을 중심으로 토양과 관개수 염류도 관리를 위한 지침을 제시하고자, 먼저 염해지에서의 농업을 개관하고, 염류 토양과 Na 염성 토양 식생에 대한 특징을 살펴보고, 그 관리법을 살펴보았다.

II. 우리나라 간척지 토양의 특성

1. 간척지 토양의 종류와 분포

우리나라의 서·남해안에 분포된 간척지는 수력에 의하여 운반된 모재가 해안 평탄지에 축적되거나, 조수에 의하여 해안이 침식되어 풍화된 모재가 해안을 따라 축적되어 형성된 간척지를 개간한 토양이다(류 등, 1998). 이들 간척지는 조석 간만의 차이가 큰 리아스식 만, 석호, 해안 사구의 배후지 등으로, 해저 경사가 비교적 완만한 해안에 잘 형성되어 있는 퇴적 지형에 위치한다. 이러한 특징 때문에 간척지는 해안선이 매우 복잡하고, 평탄하며, 만입을 이루고 있다. 따라서 이들 간척지는 만입된 지형과 섬을 연결하여 제방을 쌓기 쉬워 간척지로 개발하기 좋은 조건을 갖추고 있어, 일찍이 고려 고종 22년(1235년)에 강화도에서 영안 방조제를 축조하여 간척지를 조성한 기록이 있다(호남농업시험장, 2002).

간척지에 대한 토양 특성을 농업기술연구소의 정밀 토양 조사 결과인 하해 혼성 토양을 토성 중심으로 살펴보면(표 1), 미사질 토양인 조립 미사질토(coarse silty)와 세립 미사질토(fine silty)가 전체의 70.4%로 가장 많다. 세립 미사질토와 세립 양질토의 분포 비율은 간척지의 분포 비율과 비슷하다. 이에 비해 조립 미사질토의 분포 비율은 간척지에서 적은 반면, 조립 양질토와 사질토가 간척지에서 많다. 간척지 토양의 특성을 지역별로 볼 때, 경기, 전남지역은 세립질 토양(미사질양토~미사질식양토), 전북지역은 조립질 토양(세사양토~사양토) 그리고 충남은 조립질과 세립질 토양이 혼재하여 분포하고 있다(류 등, 2005). 하해 혼성 평탄지의 세립질 토양은 80% 이상이 논으로 이용되고 있지만, 조립질 토양은 20% 이상이 논 이외의 목적으로 이용되고 있으며, 사질 토양의 경우에는 논으로 이용하는 비율이 50%에 불과하다. 이러한 간척지와 배후지의 토성 분포 차이가 의미하는 것은 앞으로 간척되는 간척지는 조립질 토양의 비율이 높아질 가능성이 있다. 사질 토양이 많으면 논 이외의 목적으로 사용되어야 할 부분이 많아질 가능성을 내포하고 있다.

표 1. 서·남해안 간척지와 하해 혼성 평탄지의 토성별 분포와 논이용 비율

토 성	간척지*		하해혼성 평탄지**			
	면적 (ha)	비율 (%)	면적 (ha)	비율 (%)	논면적 (ha)	논이용율 (%)
사 질 토	90,531	20.5	9,235	3.4	4,688	50.8
조립 양질토	66,859	15.1	18,705	6.9	14,912	79.7
조립 미사질토	60,287	13.6	100,138	36.7	79,073	79.0
세립 양질토	62,718	14.2	47,269	17.3	42,399	89.7
세립 미사질토	161,605	36.6	91,769	33.7	80,277	87.5
세립 식질토		0.0	5,542	2.0	5,277	95.2
계	442,000	100.0	272,658	100.0	226,626	83.1

* 안(1990)

** 정 등(2002)에 의한 농업기술연구소(1992) 자료 재정리

간척지 토양의 카테나 특성을 농업기술연구소의 토양 정밀 조사 결과를 통하여 살펴보

면, 주로 하해 혼성 또는 해성 충적토인 가포, 광포, 광활, 문포, 염포, 포승통과 일부 해안 사구의 퇴적토인 하사와 해리통 등 49개 토양통이 간척지와 이에 연결한 해안에 분포하고 있다(표 2). 이들 토양의 토지 이용형태별 분포는 표 3에 있다.

간척지 및 이에 연결한 하사, 문포, 염포, 광활, 포승통이 바다와 면한 간척지로부터 토양 카테나를 형성하고 있다(그림 2). 해안에 가까운 염포, 문포, 하사, 광활통은 Soil Taxonomy상에서 Entisol, 그리고 포승은 Inceptisol에 속하는 토양이다.

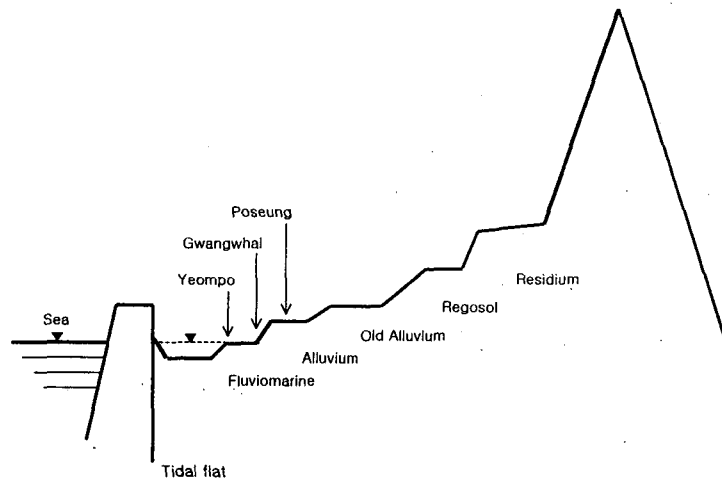


그림 1 간척지 토양 카테나(류 등, 1998)

US Soil Conservation Service의 Soil Taxonomy에서는 염류 토양의 특수 형태가 대토양군 수준인 3차 분류 단계에 도입되어 있다. 염류토양은 Entisol, Inceptisol, Alfisol, Mollisol, Aridisol목에 포함되어 있다. Soil Taxonomy에서 염류토의 형태적 진단 특징은 다음과 같다.

- 나트릭 층의 존재. 교환성 나트륨의 포화도가 15% 이상인 아질릭 층을 가지고 있다.

- 살릭 층이 존재. 두께가 0.15 m 이상인 석고보다 용해도가 높은 염의 집적층을 가지고 있다. 염 농도는 2% 이상이며($EC_e > 60 \text{ dSm}^{-1}$), 염농도(%)와 두께(cm)를 곱하여 60 이상인 층이다.

이들 토양 단면의 형태적 특성을 그림 3에서 살펴보면(호남농업시험장, 2002), 지하 수위의 고저와 관계가 있음을 알 수 있다. 즉, 지하수의 영향을 많이 받는 토양의 기층은 심히 환원되어 토색은 청회색 내지 암회색을 나타내고, 토양 중 반문은 거의 형성되지 않는 것이 특징이다. 지하 수위의 상층 부위와 작토층은 등색, 회갈색, 암회색을 나타내며, 또한 대부분 황갈색의 반문이 형성되어 있어, 일부 산화환원의 영향을 받음을 알 수 있다. 이와 같이 토양의 형태적 특성에 큰 영향을 미치는 지하 수위는 염포통이 20~30cm로 가장 높으며, 광활, 포승통은 50~60cm, 문포통은 50~80cm이며 하사통은 90~100cm로 가장 낮다. 또한 지하 수위에 따라 토양의 배수 상태가 다르며, 지하 수위가 가장 높은

염포, 광활, 포승통은 배수가 매우 불량하고 지하 수위가 중간인 문포통은 약간 불량하다. 지하 수위가 가장 낮은 하사통은 배수가 약간 양호하다.

염포통은 Soil Taxonomy에 의하면, mixed, mesic family of Typic Psammaquents에 속하는 세사양토 또는 양질사토이다. 지하 수위가 지표로부터 20~40cm 깊이로 지표 부근에 있어, 배수가 불량하고, 토심이 낮다. 표토는 암회색이다. 심토는 회색이며, 반점이 없고, 구조의 발달이 없다. 토층의 분화가 약하며, B층의 발달이 없다. 광활통은 coarse silty, mixed nonacidic mesic family of Typic Endoaquents에 속하며, 표토는 암회색 농암회색 또는 농암갈색의 미사질 양토 양토 혹은 극세사양토이다. 지하 수위는 40-60cm로 염포통보다 깊고, 배수는 불량하지만, 약간의 배수가 이루어져 황갈색 또는 적색 반점이 있다. 포승통은 fine silty, mixed nonacid mesic family of Typic Endoaquents에 속하는 토양으로, 표토는 암회색, 농암회색 미사질양토이며, 암활갈색, 올리브색 반문이 있다. 심토는 암회색 미사질양토이며, 암회갈색 반문이 있고, B층의 분화가 이루어져 있으며, 발달이 약한 각주상 구조를 갖는다. 문포통은 coarse loamy, mixed, nonacid, mesic family of Typic Fluvaquents로 지하수위가 광활통이나 포승통보다 깊은 토양이며, 심토의 토성은 세사토이다. 하사통은 mixed mesic family of Aquic Quartzisamments로 사구에 가까운 토양이다.

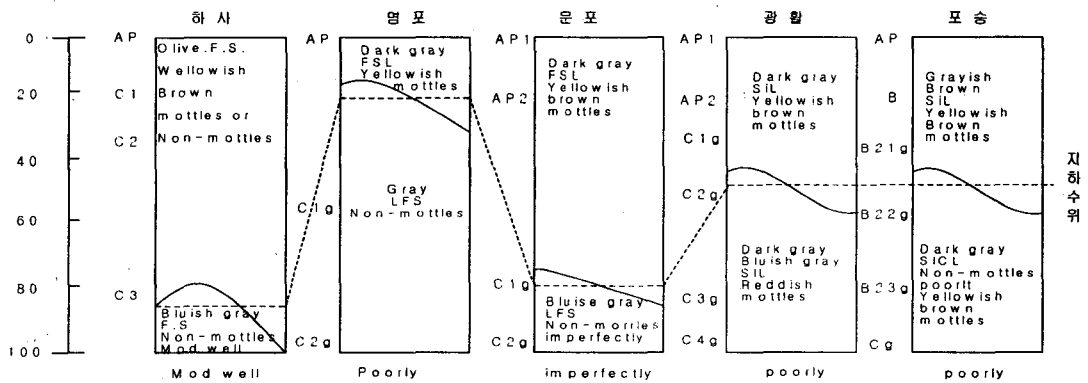


그림 2. 간척지 대표 토양 단면 특성(호남농업시험장, 2002)

표 2. 간척지 토양의 분류

목 (order)	아목 (Suborder)	대군 (Great Group)	아군 (Sub Group)	토성속 (Texture Family)	토양통 (Series)	
Entisols	Aquents	Psammaquents	Typic Psammaquents	Sandy	염포(Yeompo)	
			Typic Fluvaquents	Coarse loamy	문포(Munpo)	
		Loamy skeletal				가포(Gapo)
						율포(Yulpo)
			Fine	여수(Yeosu)		

목 (order)	아목 (Suborder)	대군 (Great Group)	아군 (Sub Group)	토성속 (Texture Family)	토양통 (Series)
Inceptisols		Endoaquepts	Typic Endoaquepts	Fine silty	포승(Poseung)
Entisols			Typic Endoaquepts	Coarse silty	광활(Gwanghwal)
		Hydraquepts	Typic Hydraquepts	Coarse loamy	구포(Gupo)
				Fine silty	포두(Podu)
	Fluents	Udifluents	Typic Udifluents	Coarse loamy over sandy	북평(Bugpyeong)
	Psamments	Quartzipsamments	Typic Quartzipsamments	Sandy	비천(Bicheon) 해리(Haeri)
		Udipsamments	Typic Udipsamments	Sandy skeletal	대본(Daebon) 일평(Ilpyeong)
			Aquic Udipsamments	Sandy over loamy	사두(Sadu)
		Quartzipsamments	Aquic Quartzipsamments	Sandy	백수(Baegsu) 하사(Hasa)
Inceptisols	Aquepts	Endoaquepts	Typic Endoaquepts	Coarse loamy over sandy	동호(Dongho)
				Coarse loamy	금진(Geumjin) 학포(Hagpo)
				Fine loamy over Coarse loamy	다평(Dapyeong)
				Fine loamy	평해(Pyeonghae)
Inceptisols	Aquepts	Endoaquepts	Typic Endoaquepts	Fine loamy over clayey	승주(Seungju)
				Fine silty	복천(Bogcheon) 향호(Hyangho)
				Fine	포리(Pori)
				Fine silty	전북(Jeonbug)
			Fluvaquentic Endoaquepts	Coarse loamy	광포(Gwangpo)
				Coarse silty	만경(Mangyeong)
				Fine silty over sandy	학성(Hagseong)
				Fine loamy over Coarse silty	춘포(Chunpo)

목 (order)	아목 (Suborder)	대군 (Great Group)	아군 (Sub Group)	토성속 (Texture Family)	토양통 (Series)
					등구(Deunggu)
				Fine silty	덕하(Deogha)
					봉림(Bongrim)
					김해(Gimhae)
				Fine silty over sandy	달동(Daldong)
				Coarse silty	해척(Haecheog)
				Fine silty	김제(Gimje)
				Fine clayey	공덕(Gongdeog)
					봉남(Bongnam)
Entisols			Lithic		태안(Taeon)
			Endoaquepts	Coarse loamy	
			Vertic	Fine	서탄(Seotan)
			Endoaquepts		
Alfisols	Aqualfs	Endoaqualfs	Typic	Fine	부용(Buyong)
			Endoaqualfs		
Mollisols	Udolls	Hapludolls	Fluventic	Sandy	명지(Myongji)
			Hapludolls		
Histosols	Hemists	Haplohemists	Terric	Fine	용호(Yongho)
			Haplohemists		

*호남농업시험장(2002)

표 3. 하해 혼성 토양의 유형별 구분

구분	토성	토양통	면적(ha)	논 비율(%)	
논	보통답	식질형	김제, 부용, 봉남, 포리	32,999	89.4
		식양질형	전북, 덕하, 등구, 달동, 춘포, 다평, 향호, 복천, 승주, 평해	73,154	90.0
	사질답	사양질형	만경, 광포, 학포, 울포	75,612	90.3
		사질형	사두, 백수	3,209	68.9
	습답	식질 및 식양질	서탄, 공덕, 용호, 학성, 여수	3,472	88.2
		사양질형	구포, 동호, 금진	7,300	90.6
	염해답	식양질형	포승, 가포, 포두	31,129	82.9
		사양질형	광활, 문포, 태안	35,931	59.3
		사질형	염포	3,077	80.5
	특이산성답	식양질형	김해, 봉림, 해척	3,060	99.1
밭	보통전	사양질	북평	955	0
	사질전	사질	명지, 비천, 하사, 해리, 대본, 일평	3,904	0

* 류 등(2005)의 자료 재구성

2. 간척지 토양의 이화학적 특성

토양 조사 분류상의 간척지를 포함하는 하해혼성토 중의 몇가지 대표 단면의 이화학적 특성을 살펴 보면(표 4), 미사 함량이 2~70%, 점토 함량은 3~24% 범위였으며, 포승>광활>문포>염포>하사통의 순서로 내륙에 가까운 곳에서 발달하는 토양일수록 미사 및 점토 함량이 증가하였으며, 해면에 가까울수록 모래 함량이 많았다. 또한 유기물 함량은 표층에 0.2~0.8%로 낮았으며, 특히 점토 함량이 낮은 하사통 및 염포통에서 0.2~0.8%에 불과하였다. 염기교환용량(CEC)은 점토 함량이 낮은 염포 및 하사통에서 2.9~6.5 cmol_ckg⁻¹로 매우 낮은 반면, 점토 함량이 많은 포승통은 12.5 cmol_ckg⁻¹로 비교적 높았다.

이와 비슷하게, 간척지 토양에서 Ca, Mg, K 및 Na 등의 양이온 함량은 조립질 토양에 비하여 중립질 토양에서 높아지는 경향이였다. 토양의 pH는 표토에서 4.6~7.4이었으나, 깊이 80 cm 이하에서는 염포통을 제외하고는 7.1 이상을 보였고. 염 농도는 1~2.3%로 높았다.

표 4. 간척지 대표 염류 토양의 물리 화학적 특성

토양통	층위	깊이 cm	입경분포			토성	pH (1:5)	O.M %	CEC	Ex.cation				염농도 %
			모래 -	미사 %	점토 -					Ca	Mg	Na	K	
하사	AP	0~13	94.8	1.8	3.4	FS	6.8	0.24	2.9	1.2	0.45	1.4	0.08	0.3
	C ₁	13~21	92.4	3.0	4.6	FS	7.7	0.31	2.0	1.5	0.33	1.4	0.10	0.2
	C ₂	21~38	93.8	3.0	3.2	FS	6.9	0.10	1.9	1.4	0.27	1.3	0.08	0.5
	C ₃	38~83	64.9	2.8	2.3	FS	7.0	0.07	1.6	1.1	0.22	1.4	0.08	0.8
	C ₄	83~100	94.2	2.6	3.4	FS	7.1	0.19	1.3	0.9	0.16	1.5	0.06	1.0
염포	AP	0~10	69.7	25.3	5.0	FSL	5.6	0.56	4.0	1.2	1.41	4.0	0.23	1.0
	C _{1g}	10~55	75.9	20.9	3.2	LFS	5.5	0.47	4.2	1.3	1.31	3.9	0.11	0.6
	C _{2g}	55~100	91.2	6.7	2.1	FS	5.9	0.38	3.8	1.0	1.20	4.2	0.08	1.5
문포	AP ₁	0~8	47.0	46.5	6.5	FS	6.7	0.8	6.5	1.5	3.60	2.4	0.26	0.6
	AP ₂	8~18	51.7	42.0	6.3	FS	8.1	0.24	6.5	1.5	3.50	3.2	0.39	0.8
	C _{1g}	18~70	87.0	10.5	2.5	FS	8.1	0.19	5.9	1.6	2.84	3.6	0.50	1.3
	C _{2g}	70~100	76.8	19.0	4.2	LFS	9.4	0.95	9.0	1.5	3.17	2.9	0.71	1.8
광활	AP _{1g}	0~12	26.6	68.1	5.3	SiL	7.4	0.81	6.9	3.5	4.40	2.9	0.55	0.7
	AP _{2g}	12~22	36.7	54.8	8.5	SiL	8.1	0.35	5.8	2.9	5.30	4.4	1.14	0.9
	C _{1g}	22~35	19.3	60.6	20.1	SiL	8.0	0.63	8.4	1.9	5.60	2.7	1.20	0.9
	C _{2g}	35~56	24.9	64.5	10.6	SiL	7.7	1.04	7.2	3.0	3.67	1.9	1.16	1.5
	C _{3g}	56~85	25.1	62.5	12.4	SiL	7.6	0.56	6.3	1.9	5.87	5.2	1.08	1.7
	C _{4g}	85~150	24.0	64.2	11.8	SiL	7.8	0.37	9.9	3.5	3.05	2.8	1.10	2.3
포승	AP	0~10	7.3	69.1	23.6	SiL	4.6	2.01	12.5	5.3	2.30	2.5	2.46	0.8
	B ₁	10~25	4.6	64.3	31.6	SiCL	5.8	1.39	11.6	4.4	2.68	1.6	0.18	0.6
	B _{21g}	25~35	10.4	58.7	30.9	SiCL	6.7	0.89	12.6	2.8	3.40	1.9	0.26	0.6
	B _{22g}	35~50	5.4	68.2	26.4	SiL	6.6	1.22	12.9	5.4	2.99	2.0	1.84	0.7
	B _{23g}	50~80	3.4	71.7	24.9	SiL	6.5	0.73	13.2	5.1	3.17	2.1	1.10	1.0
	Cg	80~140	10.6	61.8	27.6	SiCL	7.1	0.60	14.7	6.1	3.63	1.3	0.11	2.2

*호남농업시험장(2002)

표 5는 서산, 계화도 지구 등 최근 이루어진 간척 사업 지구의 논토양의 화학성 조사 결과이다(류 등, 2005). 2000년에 조사된 EC는 염포통에서 0.6-10.9 dS m⁻¹ 범위로 평균 5.8 dS m⁻¹, 포두통에서 3.4-11.6 dS m⁻¹ 범위로 평균 7.9 dS m⁻¹이었다. 4년 후, 2004년에 조사된 EC는 염포통과 포두통에서 각각 3.8 dS m⁻¹와 6.9 dS m⁻¹를 보여 사질토에서 제염이 빠른 것을 여실히 보여 주고 있었다. 간척지 논외의 pH는 평균 5.8에서 8.3 범위로 일반 논보다 높으나, pH 8.5 이상인 알칼리토 범주에 들어가지는 않는다. 유기물 함량은 3.4 g kg⁻¹에서 14.3 g kg⁻¹의 범위로 낮으며, 유효 인산의 함량 역시 12에서 55 mg kg⁻¹ 범위로 매우 낮다. 양이온 교환 용량은 3.8에서 12.1 cmol_c kg⁻¹으로 비교적 낮다. 제염이 아직 진행 중인 간척지이므로 교환성 양이온의 함량은 높으며, 특히 교환성 Na⁺이 CEC의 43.7%를 차지하고 있다. 새로 조성되고 있는 새만금 간척지 토양의 토성도 비교적 점토 함량이 낮은 사질 토양이다(농어촌연구원, 2004).

표 5. 간척 사업 지구 토양의 화학적 특성

토양명	EC(dS/m)		pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	조사 지구명
	'00년	'04			
염포통	5.8 (0.6-10.9)	3.8 (0.2-7.2)	7.1 (6.0-8.2)	4.7 (3.4-6.0)	보전, 계화
문포통	3.4 (1.7-5.0)	1.4 (0.3-2.3)	6.5 (5.8-7.1)	5.8 (4.2-6.9)	화남포, 서산A, 계화
광활통	3.9 (2.5-6.7)	2.1 (2.0-2.2)	6.4 (6.2-6.8)	9.9 (7.6-12.3)	만덕, 서산, 계화
포승통	4.7 (2.2-9.4)	2.9 (1.6-4.1)	7.3 (6.8-8.0)	9.6 (5.3-14.3)	만덕, 서산A 소포, 해창만
포두통	7.9 (3.4-11.6)	6.9 (4.7-9.7)	7.8 (6.2-8.3)	9.5 (6.4-11.6)	완도, 보전, 강산, 소포, 해창만, 오마

Continue

토양명	P ₂ O ₅	SiO ₂	Ex. cation(cmol _c kg ⁻¹)				CEC
	(mg kg ⁻¹)		K	Ca	Mg	Na	(cmol _c kg ⁻¹)
염포통	2.1 (12-30)	82.5 (49-116)	1.2 (1.1-1.3)	3.7 (3.0-4.4)	4.9 (3.8-6.0)	3.7 (3.4-3.9)	6.4 (6.3-6.5)
문포통	26.0 (22-30)	115.0 (61-146)	0.9 (0.5-1.6)	3.4 (2.4-5.4)	3.8 (1.5-6.8)	2.4 (1.0-4.4)	6.0 (3.8-7.2)
광활통	37.0 (26-55)	55.0 (12-150)	0.6 (0.5-0.9)	3.8 (3.4-4.1)	3.7 (2.0-4.9)	2.6 (1.6-3.3)	7.7 (6.8-8.2)
포승통	26.5 (12-43)	146.5 (120-164)	1.2 (0.9-1.5)	7.0 (4.3-13.4)	5.1 (4.0-7.0)	4.5 (3.3-5.6)	10.4 (8.6-11.8)
포두통	16.8 (8-38)	169.5 (120-232)	1.1 (0.9-1.3)	7.1 (3.1-12.3)	4.9 (3.5-6.2)	4.7 (3.1-5.8)	10.6 (9.2-12.1)

류 등(2005)

Ⅲ. 토양의 염류도와 관계수의 수질

1. 염류의 근원

간척지 토양의 염의 근원은 바닷물이다. 바닷물의 전체 염류 농도는 0.35%이며, NaCl의 농도는 0.27%이다. 이의 조성을 살펴보면, Na^+ 가 $470 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 이며, Cl^- 이 550이다. 간척지 토양의 포화 침출액 조성은 제염 정도에 따라 크게 다르다(표 6). 제염이 덜된 대호 B 토양은 Na/Ca의 비가 30이 넘지만, 제염이 진행된 토양의 Na/Ca비는 3에 불과하다. Cl^- 과 SO_4^{2-} 가 주 음이온이며, 제염이 진전됨에 따라서 크게 줄어든다. HCO_3^- 및 CO_3^{2-} 는 이들에 비해 매우 적다.

표 6. 토양 용액과 바닷물의 조성

양이온	토양 용액 조성(mmol/L)			음이온	조성(mmol/L)		
	대호A	대호B	바닷물*		대호A	대호B	바닷물
Na^+	30	322	470	Cl^-	40	544	550
Mg^{2+}	7	83	54	SO_4^{2-}	16	98	28
Ca^{2+}	10	28	10	HCO_3^- , CO_3^{2-}	2.6	2.3	2.3
K^+	1	9	10	Br^-			0.83
				H_3BO_3			0.43
				I			0.02
				F	1.4		0.07

* 이와 정(1991)

토양의 염류 문제는 토양 용액 중 수용성 염류의 농도가 높기 때문에 생긴다. 수용액 중 모든 이온의 활동도는 묽은 용액에서 화학종의 이온 농도와 이온가에 의해서 결정되며, 활동도 총합이 같으면, 같은 성질을 나타내게 된다. 이를 용액의 총괄성이라 한다. 용액의 총괄성은 어느 점과 끓는 점의 강하, 전기 전도 특성 등이 대표적이다. 수용액의 전기 전도 특성은 전기전도도(Electrical conductivity, EC)로 표시한다.

수용액에서 염류의 총괄성으로 나타나는 중요한 성질은 삼투압 포텐셜이다. 즉, 토양 중 염류의 총 농도가 높아지면, 물의 삼투압 포텐셜이 낮아져, 작물이 토양으로부터 물을 흡수하기 어려워진다.

$$\psi_o = -40 \text{ EC} \quad (1)$$

일반적으로 사용되고 있는 ψ_o 에 대한 계수 36은 0°C 에 대한 값이다(US Salinity Laboratory, 1954). 이 식에 의하면, EC 1 dS/m 높아질 때, ψ_o 는 40kPa 씩 낮아진다. 토양의 포화 침출액의 ECE가 4dS/m이면, 삼투압 포텐셜은 -160kPa이다. 그러므로, 식물은

토양 수분이 -160 kPa인 반건조 상태인 것으로 인식하게 된다. 일반적으로 포장용수량 상태는 포화 토양 수분 함량의 반 정도되므로, 토양 수분이 충분한 상태에 있어도, 염에 약한 작물은 토양 수분 스트레스를 받게 된다.

염류 토양의 주 양이온은 Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , 그리고 양은 적지만 K^+ 이다. 주 음이온은 Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , 그리고 pH가 높은 조건에서 있는 CO_3^{2-} 이다. HCO_3^- 와 CO_3^{2-} 는 합쳐서 탄산염 알칼리도로 표시한다. 혐기 조건에서 존재하는 NH_4^+ , NO_2^- , 유기산 등은 흔히 무시된다.

염류 농도가 높은 관개수 중에서 문제가 되는 성분으로 B, Sr, Li, SiO_2 , Rb, F, Mo, Mn, Ba, Al 등이 있다. 이들 중 일부는 미량 원소로 작물의 생육에 꼭 필요한 성분이기도 하다.

2. 토양의 염류도와 나트륨 염성의 분류

Soil Taxonomy에서 염이 집적된 층은 calcic 층, gypsic 층, 그리고 salic 층 등이다. calcic 층은 탄산칼슘의 함량이 C 층보다 높아 상층에서 용탈되어 집적한 층이다. gypsic 층은 석고가 집적된 층으로 석고 집적 층의 두께(cm)와 석고 함량(%)의 곱이 150을 넘는 층이다. salic 층이란 석고의 용해도 보다 큰 염의 집적된 층의 두께가 15cm 이상인 층으로 정의되어 있다. 간척지에서 주염은 NaCl이므로, salic 층으로 분류되나, 용탈이 진행된다면, salic 층은 없어진다.

토양 관리를 위한 실용적 분류로 토양의 염류도를 기준으로 염류 토양은 다음과 같은 기준에서 정의된다. 즉, 수용성 염류의 농도가 작물의 생육에 악영향을 줄 수 있는 수준이며, 교환성 나트륨 퍼센트가 토양 구조에 영향을 줄 수 있는 수준일 때 염류 토양이라 한다.

미국 염류토 연구소(US Salinity Laboratory)에서 제시한 방법(Richards, 1954)이 가장 널리 이용되고 있다. 염류 토양의 개간을 목적으로 개발된 분류 체계로서, ECe로 대표되는 토양의 염류도와 교환성 나트륨 퍼센트(ESP)를 기준으로 삼는다. ESP 대신에 SAR 값을 적용하기도 한다. 그러나, 이 방법은 분류의 단순함으로 인해, 자연에서 발생하는 수많은 변이를 모두 고려할 수는 없으며, 따라서 절대적인 것으로 적용되는 것은 아니다.

이 방법에서 염류 토양은 다음과 같이 분류된다(표 7).

염류 토양 : $\text{ECe} > 4 \text{ dSm}^{-1}$, $\text{ESP} < 15$

토양의 pH는 일반적으로 8.5 이하이다. 주 음이온은 Cl^- 과 SO_4^{2-} 이다. HCO_3^- 는 적은 양이 존재한다. NO_3^- 는 매우 적다. Na^+ 은 일반적으로 수용성 양이온의 50% 이하이다. 탄산칼슘과 석고가 토양에 존재하는 경우도 있다.

나트륨 염성 염류 토양 : $\text{ECe} > 4 \text{ dSm}^{-1}$, $\text{ESP} > 15$

토양의 pH가 8.5를 넘는 경우는 매우 드물다. 중성에 가까운 경우가 많다. 토양 용액 중 Na^+ 는 중성염인 NaCl 또는 Na_2SO_4 상태로 존재한다. pH가 8.5 이상이면, 토양 용

액에 HCO_3^- 또는 CO_3^{2-} 가 존재함을 의미한다. 이러한 토양은 개량하는 데 많은 문제가 있다.

나트륨 염성 토양 : $\text{ECe} < 4 \text{ dSm}^{-1}$, $\text{ESP} > 15$

pH는 보통 8.5 이상이며, 10 이상이 경우도 있다. 토양 용액 중 Na가 주 양이온이다. 토양에 탄산칼슘이 함유되어 있는 경우가 많지만, 용해도가 낮아 pH를 낮추지 않는 한, 토양 중 교환성 Na를 치환하는 데 유용하지 않다. 나트륨 염성 토양의 구조는 불량한 것이 보통이다. pH는 7 이하인 비염류성 나트륨 염성 토양의 표토에는 탄산칼슘이 없는 경우가 많다. 따라서 토양의 교환성 수소가 차지하는 비율이 높다.

표 7. 염류 토양의 실용적 분류 기준

토양	pH	ECe (dSm^{-1})	ESP (%)	SAR
일반 토양	6.5~7.2	<4	<15	<13
염류 토양 (Saline soil)	8.5<	>4	<15	<13
염류-나트륨 염성 토양 (saline and sodic soil)	<8.5	>4	>15	>13
나트륨 염성 토양 (sodic soil)	>8.5	<4	>15	>13

류(2000)

그림 3과 4는 간척지에서 EM38과 DGPS를 이용하여 토양 염류도를 현장에서 조사하는 모습과 이에 의한 김포와 계화도 간척지의 염지도이다. 토양의 염류도가 낮은 곳은 7 dSm^{-1} 이하에서 높은 곳은 60 dSm^{-1} 이상으로, 변이가 심하며, 염류도가 높은 곳과 낮은 곳의 분포를 쉽게 알 수 있다.



그림 3. EM 38 및 DGPS에 의한 현장에서
의 염류도 분포조사

간척지와 같이 넓은 면적에서 토양 시료 채취에 의존한 방법은 많은 시간과 인력을 필요로 한다. 현장에서 직접 토양의 염류도를 평가할 수 있는 방법으로, 전기 전극법과 전자장 유도를 이용한 방법 등이 있다. 전기 전극법은 현장에서 직접 측정할 수 있는 장점이 있으나, 측정 장치의 조작이 번거롭고, 전극 접촉에 유의해야 한다. 본 연구진에 의해 수행된 전자장 유도 장치의 일종인 EM38을 이용한 염지도 작성법은 단시간에 넓은 면적의 염류도 분포를 쉬고 빠르게 파악할 수 있다. 그러므로, 넓은 면적에서 장소 특이성(site specific)을 요구하는 정밀 농업 수행을 위한 토양 정보 제공에 효율적이다.

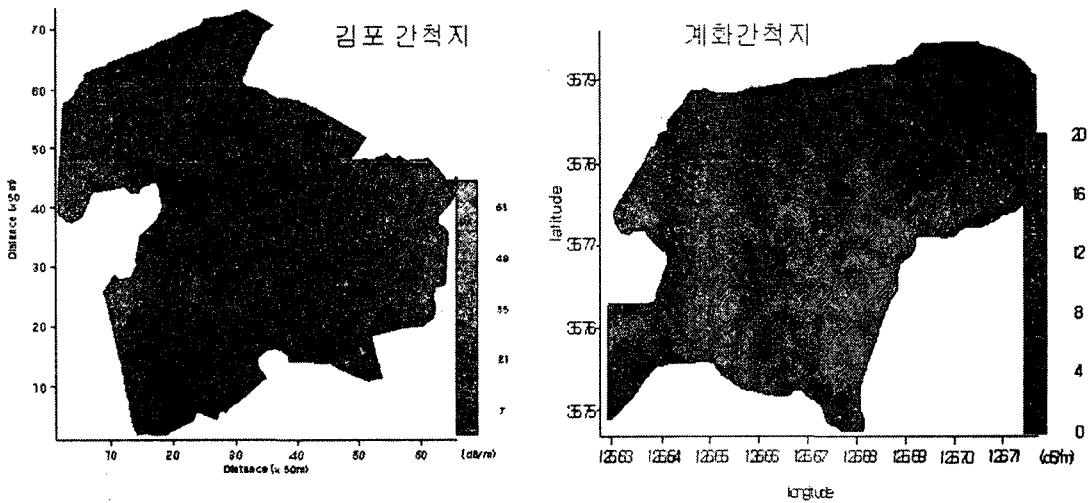


그림 4. EM38에 의한 간척지 염지도

3. 작물의 재배를 중심으로 한 염류도 기준

농업의 관점에서 염류도 분류의 핵심은 원하는 작물의 생육이 가능하며, 목적하는 수확물을 얻어낼 수 있는가 하는 것이다. 염류도의 기준은 작물의 종류와 재배 방법에 따라 달라지게 된다. 그러므로, 수 많은 작물에 모든 지역에서 일괄되게 적용할 수 있는 기준을 정하기는 대단히 어렵다. 그림 5는 토양의 염도에 따른 상대 수량의 모식도이다. 염류에 약한 오이는 ECE가 2.5 dSm⁻¹만 되어도 수

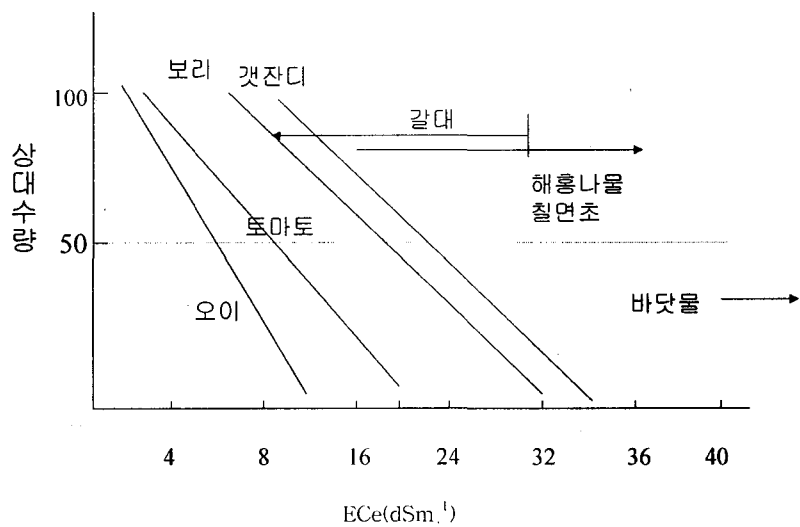


그림 5. 토양의 염류도에 따른 식생 생육 모식도

량 감소가 시작되며, 6 dSm⁻¹에서는 50%의 수량이 감소한다.

표 8은 작물 재배를 중심으로, ECe를 기준으로 한 토양의 염류도 분류이고, 표 6은 작물의 종류에 따른 내염성 분류 지표이다. 다. 이 표에서 염류도와 그림 2는 토양의 토성이 중립질 또는 세립질 토양을 기준으로 한 것이다. 이들 토양에서 포장 용수량의 토양수분 함량은 포화 토양 수분의 반 정도이므로, 포화침출액 전기전도도(ECe)는 포장용수량 상태에서의 EC의 1/2, 즉 ECe=0.5EC_f로 가정된 것이다. 사토와 양질사토에서는 ECe는 약 0.25EC_f에 해당한다. 그러므로, 사질토에 적용하기 위해서는 이 표의 ECe를 반으로 나누어야 한다. 그렇지 않으면 염류도가 낮게 평가된다.

표 8. 작물 재배를 중심으로 한 토양의 염류도와 ECe

토양의 염류도	ECe	작물
비염류성	<2.0	대부분 작물 재배 가능
약염류성	2.0~4.0	내염성 약한 작물 수량 감소 과수 작물 재배 제한
중염류성	4.0~8.0	많은 작물 수량 감소 채소 작물 재배 제한
강염류성	8.0~16.0	내염성 작물 수량 유지 곡류 작물 재배 제한 대부분 작물 생육 한계
극염류성	>16.0	내염성 매우 강한 작물에 한함 내염성 작물 재배 제한

표 9. 작물의 내염성과 염도 한계

내염성	작물의 종류	염도 한계 (dSm ⁻¹)
작물		
매우 약함	완두콩, 양파, 강남콩	4-6
약함	오이, 배추	6-11
보통	토마토, 브로콜리, 호박, 시금치	8-16
강	보리, 밀, 아스파라거스	13-20
목초		
약함	클로버	5-10
보통	톨페스큐, 오차드그라스	12-23
강	위트그라스, 하이브리드	16-28

4. 관개수의 염류도와 수질

가. 농업 용수의 수질

간척지에서 사용되는 농업 용수는 일반 내륙의 농업 용수와 수질에 있어서 차이가 있다. 표 10은 농업기반공사(2000)에서 조사된 농업용수수질 측정망 조사 보고서의 수질 자료를 경기, 충남, 전남, 전북을 대상으로 간척지에서 사용되는 농업 용수와 일반 농경지의 농업 용수로 구분하여 수질의 차이를 비교한 것이다. 이 표에 의하면, pH를 비롯한 대부분의 수질 지표가 일반 농경지에 비해 높으며, 특히 EC와 Na 등 양이온의 함량에서 커다란 차이를 보인다. 일반 농경지 농업용수의 EC는 평균이 131 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이며, 27~407 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위에 있다. 이에 비해 간척지 농업용수의 EC는 평균 1,337 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이며, 최고 11,946 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 을 보인다. 일반 농경지 농업용수의 Na 함량은 0.40 mmol/L로 낮지만, 간척지 농업용수의 Na함량은 7.77mmol/L로 높다. 이에 따라서 SAR비도 높다.

표 10. 간척지와 일반 농경지 농업 용수의 수질

수질 지표	간척지 농업용수		일반 농경지 농업용수	
	평균	범위	평균	범위
pH	8.2	6.5~9.5	7.8	6.0~10.1
EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1,337	58~11,946	131	27~407
BOD(mg/L)	4.6	0.3~43.0	4.0	0.3~16.7
COD(mg/L)	9.8	3.8~35.2	6.6	1.4~19.2
TN(mg/L)	2.9	0.27~17.10	1.9	0.5~9.3
TP(mg/L)	0.14	0.01~1.47	0.08	0.01~1.20
SS(mg/L)	17.2	1.90~17.12	11.4	0.12~11.38
K(mmol/L)	0.41	0.02~2.38	0.11	0.01~0.66
Na(mmol/L)	7.77	0.10~75.86	0.40	0.05~2.22
Ca(mmol/L)	1.21	0.18~4.13	0.57	0.11~2.03
Mg(mmol/L)	2.11	0.10~19.68	0.24	0.05~1.50
SAR	4.69	0.17~22.0	0.62	0.17~1.67

* 농업기반공사(2000) 자료 재정리

관개수의 SAR 값과 EC의 관계를 그림 6에서 보면, log-log 함수 상에서 고도의 유의성이 있는 직선 상관을 보인다. 이에 따르면, EC가 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이면 SAR 값은 4.2이고, EC가 4,270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 일 때 SAR 값은 13이 된다.

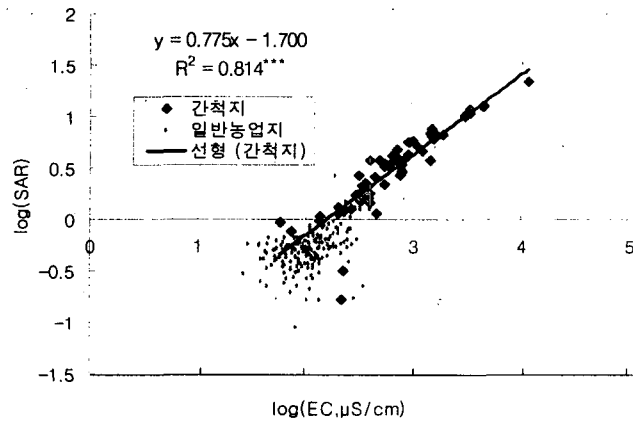


그림 6. 간척지와 일반 농업지 농업 용수 중 EC와 SAR의 관계

나. 영농을 위한 염류도를 중심의 관개수 수질 기준

관개를 위해 사용된 물은 녹아 있는 염의 형태와 양에 의하여 크게 결정된다. 관개를 위한 수질 평가의 지침은 표 11에 있다. 이는 작물 생산, 토양 조건과 관리에 대한 수질의 장기적 영향의 평가를 강조하고 있다. 관개수의 수질 지침을 정함에 있어 충분한 논거가 있어야 한다(정 등, 1997).

표 11. 영농을 위한 관개수 수질 지침

관개 문제의 가능성	단위	사용 제한 정도			
		없음 (I)	조금 있음 (II)	있음 (III)	큼 (IV)
염류도(작물의 물이용에 영향)					
EC	dSm ⁻¹	<0.7	0.7 - 1.0	1-2.5	2.5<
TDS	mgL ⁻¹	<450	450 - 650	650-1,600	1,600<
침투율(토양 구조에 영향)					
SAR = 0 - 3일 때 EC	dSm ⁻¹	> 0.7	0.7 - 0.2		<0.2
= 3 - 6		> 1.2	1.2 - 0.3		<0.3
= 6 - 12		> 1.9	1.9 - 0.5		<0.5
= 12 - 20		> 2.9	2.9 - 1.3		< 1.3
= 20 - 40		> 5.0	5.0 - 2.9		< 2.9
특정 이온 독성 (감수성 작물 영향 기준)					
나트륨(Na)	SAR	<3	3 - 9		>9
	mmol _c L ⁻¹	<3	>3		
염소(Cl)	mmol _c L ⁻¹	<4	4 - 10		>10
기타 요소 (감수성 작물 영향 기준)					
질산성 질소 (NO ₃ -N)	mgL ⁻¹	< 5	5 - 30		>30
암모늄성 질소 (NH ₄ -N)	mgL ⁻¹	<1	1 - 6		>6
pH		6.5-8.4			

이 지침은 지표수, 지하수, 배수수, 배출폐수 등에 공통적으로 적용할 수 있는 수질 조성 평가를 위한 것이며, 관개 농업에 실용적 적용이 가능한 것이다. 이 지침의 기준 중에는 작물과 토양에 대한 영향에 근거한 것이다. 특히 특정 이온의 독성의 한계를 정함에 있어, 충분한 과학적 연구 결과가 검토되어야 한다. 또한, 관개수의 조성 성분은 식물의 영양소가 대부분이며, 중금속일지라도, 미량 원소로 식물의 생육에 꼭 필요하다. 질산태 질소 또는 암모니아태 질소도 마찬가지로 식물에 꼭 필요한 비료 성분이다. 정 등(1997)은 질산태 농도가 5 mgL^{-1} 이하이며, EC가 $750 \mu\text{Scm}^{-1}$ 이하 관개수는 작물이 아무런 장애를 받지 않는 농업 용수이며, 질산태 질소 농도가 $5\sim 30 \text{ mgL}^{-1}$ 이며, EC가 $750 \mu\text{Scm}^{-1}$ 이상인 관개수는 질소 시비 관리와 관배수에 유의해야 한다고 하며, 질산태 질소 농도가 30 mgL^{-1} 이상이며, EC가 $2.5\mu\text{Scm}^{-1}$ 이상인 관개수의 사용은 회피해야 한다고 하였다.

염류도가 0.5 dSm^{-1} 이하로 낮은 관개수, 특히 0.2 dSm^{-1} 이하인 관개수로 Na 함량이 높으면, 부식성이 있다. 특히 칼슘 등 수용성 무기물과 염을 용탈하며, 이에 따라서 토양 입단과 토양 구조에 영향을 준다. 염류가 적고, 칼슘이 없으면, 토양은 분산되며, 분산된 입자는 작은 공극을 메워 토양 표면에 피막을 형성하여 투수를 방해한다. 토양 피각의 형성과 작물 출아 문제가 자주 발생하게 되며, 이에 따라서 주어진 시간에 토양으로 침투하는 물이 적어져, 관개 효율이 떨어지게 된다.

IV. 간척지 토양의 관리

1. 염농도 이외의 간척지 토양의 문제점

간척지는 평탄하며, 면적이 넓어 농업 용지로 알맞다(류 등, 1998). 그러므로, 우리나라에서는 오래 전부터 간척한 토지를 농경지로 이용해 왔다. 특히, 간척지는 물이 공급될 수 있는 곳에서 제염을 하여 논으로 사용해 왔다. 논 농사의 특징은 알맞은 관개수를 계속 담수하면서 제염이 이루어지는 과정에서 재배할 수 있다는 점에서 대부분의 간척지는 논농사에 의존하게 되었다. 염농도 이외에 간척지가 경작지로서 가지는 두 가지 큰 문제점은 지하수위와 경반층의 형성에 의한 투수 불량이다.

(1) 지하수위

간척지 토양에서 지하 수위가 높은 토양에서 염농도가 높은 경우가 많다. 이는 염농도가 높은 지하수의 수위가 지면 부근에 있으면, 이의 영향을 받아 염농도가 높다(그림 7). 지면에서 증발에 따라 염이 상승하기 때문이다. 또한 지하 수위가 높으면, 제염이 늦어진다. 제염이 되려면, 배수가 필수적이다. 배수가 이루어지는 것은 지면으로부터 침투된 물이 내려가는 수직 배수와 배수수 배출구로 나가는 수평 배수로 이루어지는 데, 토양의 수리전도도가 큰 사질토에서 수직 배수가 빠르다 해도, 지하수위가 높으면, 수평 배수가 매우 느리게 된다. 이에 따라서 제염이 느려지게 된다.

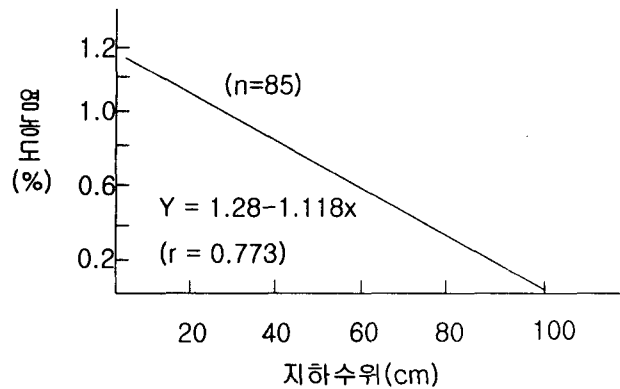


그림 7. 지하 수위에 따른 염농도 (호남시험장, 2002)

간척지는 이러한 유리한 입지 조건에도 불구하고, 토양의 염의 함량이 높아 재배 작물이 제한되는데다가, 토양과 물 관리가 어렵다. 간척지 토양의 염농상 가장 큰 문제점은 제염 기간이 토성에 따라 다르고, 같은 토양이라 하더라도 지형 특성상 지하수위 고저에 따라 크게 다르다는 데 있다(류 등, 2005). 간척지는 저지대에 위치하고, 지하수위가 높아 배수가 불량하며, 지형적인 영향으로 홍수기에 침수될 우려가 있으며, 지역에 따라서는 농업 용수가 부족한 곳이 있어 영농에 어려움이 있다. 시비 이외에 간척지 토양 관리의 핵심은 투수와 물관리이다. 간척지 토양의 토성은 양질 사토 내지 미사질 식양토이며, 간척 초기의 토양은 토양의 구조 발달이 없이 토양 입자가 분산되어 있어, 투수성과 통기성이 나쁘고, 지내력이 약하다. 제염 진행에 따라 토양의 구조도 변화하게 되는 데, 특히 심층 토양의 경반화가 이루어진다. 이러한 여러 가지 토양 조건에 의하여, 제염이 어렵고, 작물 뿌리의 활착과 신장이 나쁘며, 비배 관리도 어렵다.

간척지 토양의 가장 큰 문제점은 제염 기간이 토성에 따라 상이하고 같은 토양이라 하더라도 간척 지구별로 지형 특성상 지하수위의 고저에 따라 크게 다르다는 데 있다. 또한 토성별로 양분의 불균형 때문에 작물재배시 양분의 보충과 개량대책이 간척지구 및 토성별로 정밀한 조사·분석을 통한 종합개량대책이 요구된다. 한편 근년들어 작토의 천층화와, 심토의 경반화로 인한 양분의 가용화가 문제가 되고 있다. 전 논토양에서 볼수 있는 바와 같이 1995년도부터 어린모재배가 시작되면서 깊이갈이가 천경으로 바뀌었고, 농기계의 대형화와 농촌일손의 노령화에 따른 일련의 농작업을 기계화영농단에 의뢰하는 관계로 깊이갈이가 잘 안되는 원인도 클것으로 생각된다. 특히 구간척지 토양인 하해혼성층적층에 형성된 논토양은 더욱 이러한 천층화와 경반화가 크게 진행되어 어떠한 대책의 마련이 없으면 안될것으로 생각된다.

(2) 경반층의 형성에 의한 투수 불량

(가) 경반층의 생성 원인

간척지 토양의 심층에서 경반층의 생성은 토양 관리를 어렵게 하고 있다. 경반층이 생기는 주 원인은 염농도가 높은 Na 염성 토양에서 분산된 토양 입자의 집적과 토양 생성

학적인 원인에 있다. 토양 생성학적 원인 측면에서 보면, 토성이 미사질양토 내지 미사질 식양토이면서, 배수가 약간 불량 내지 불량한 퇴화 염토 논토양에서 철과 마그네슘 등이 하층으로 이동하면서, 이때 점토와 미사가 함께 이동하여 하층에 집적하여 생긴다. 인위적인 측면으로, 대형 농작업기의 이동에 의한 압밀에 의해 생기며, 벧짚 등 유기물의 투여가 적고, 매년 천경을 계속하는 경우에도 생기기 쉽다.

우리나라 해안 및 내륙 평탄지에 분포된 하해 혼성 충적 논은 미사 함량이 많고 토심 20~30cm 깊이에 경반층이 있어서 작물 생육에 불량하여 퇴화 염토라 한다. 퇴화 염토는 전국 논 면적의 25% 이상인 293천ha에 이르며, 대부분이 호남 지방의 평야지 논에 분포하고 있다. 이들 토양은 간척 연대가 오래되어 쟁기 바닥층이 단단하게 형성되어 있어, 투수성, 용적 밀도, 공극율, 경도 등 토양 물리적 성질이 매우 불량하여 수량이 제한된다.

따라서 호남 평야지 논 토양 중 3년주기나 일정한 년수 별로 심경 또는 심토 파쇄를 해야 할 대상면적은 약 55.8%(212.8천ha)로 전국 논의 33.0%를 점유하고 있다. 또한 평야지 논토양의 경운 및 로타리작업을 하기에 가장 좋은 수분상태는 27.3%(소성한계)로 이 수분함량 상태에서 경운이나 로타리작업시에는 이겨지지 않고 쇠토율이 양호하다.

(나) 경반층 논토양의 분포면적

우리나라의 간척지토양은 226.1천ha로 토양생성 당시 작토면이 경반층을 형성한 논면적은 13.5천ha, 토양생성 후에 재염과 더불어 경반층을 형성해가는 논면적은 212.6천ha이다. 호남지방에서 경반층 논은 전북지역이 43.9%(60.8천ha)로 가장 많고 전남과 충남순으로 분포하고 있다.

(다) 경반층의 생성원인

경반층이 생기는 원인은 생성학적인 것과 인위적인 것으로 구분할수 있는데 생성학적으로는 토성이 미사질양토 내지 미사질식양토이면서 배수가 약간불량 내지 불량한 퇴화 염토 논토양은 벧 재배시 환원에 의해 철이나 고토가 하부층으로 이동하는데 이때 미사나 점토도 같이 이동하여 집적된다. 그러나 토양생성 당시부터 작토면의 경도가 14.0kg/cm²이상으로 로타리 후 바로 침전되어 이양작업이 안되는 백수통, 사두통, 문포통, 염포통 등은 산적토의 성토나 미사질양토의 객토로 작토층을 인위적으로 만들어 주어야 벧 등의 작물을 재배할 수 있다.

또한 인위적으로 생기는 경반층은 벧짚 등 유기물을 시용하지 않은 경우와 매년 10cm 정도로 천경을 하는 경우 그리고 과습조건에서 트랙터 같은 대형농기계로 로타리와 경운작업을 하는 경우 진동과 답압 등의 원인에 의하여 경반층이 형성되고 있다.

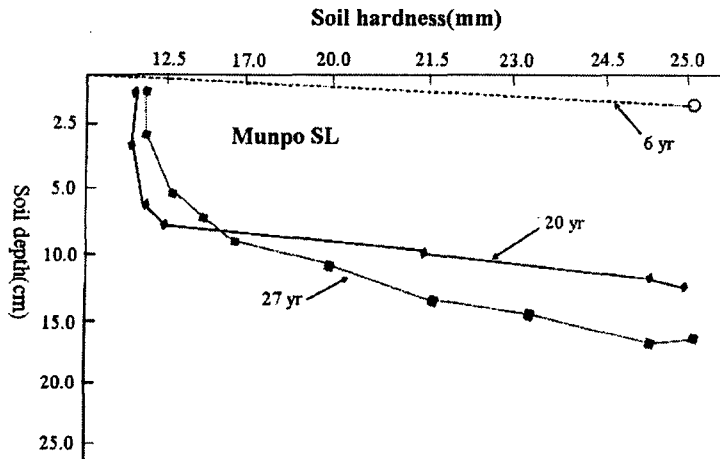


그림 8. 문포통에서 간척 연대에 따른 토양 깊이별경도 변화

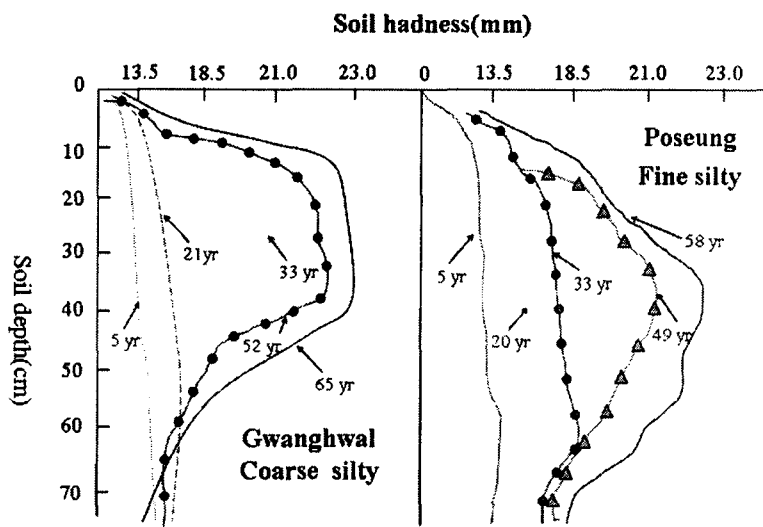


그림 9. 광활통과 포승통의 간척 연대에 따른 토양 깊이별 경도 변화

(라) 경반층 농토양의 문제점

경반층형성 논의 문제점은 근권신장의 미확보로 양분흡수 저해와 심토의 지온저하로 유·무기태질소, 인산, 철, 망간 등 양분의 가급도가 저하되며, 작토심이 얇아져 양분의 보지능이 없고 비료시용시 전층시비가 불가능하게 되는 관계로 양분의 유실이 일어나게 된다. 또한 한발시 수분공급의 불안정 등 여러가지 문제점을 유발하게 된다

(마) 간척년대별 경반층 생성변화

간척년대별 경도의 변화는 문포통에서 간척 6년차는 표층상부에서 10kg cm^{-2} 이상, 20년차는 토심 12.5cm에서 10kg cm^{-2} 을 보인 반면 27년차는 15.0cm에서 10kg cm^{-2} 이상을 보여 경작을 할 수 있는 토심이 깊어졌고 수도 근권역이 넓어졌다. 한편 포리통은 간척 12년차까지 전토층의 경도가 3kg cm^{-2} 로 트랙터의 주행가능 판정기준에 의하면 로타리경운이 불가능한 범위이나 23년차는 토심 10~30cm부위에 경반층이 생성되어 농기계작업이 가능하였고, 51년차는 두껍게 경반층이 생성되어 농기계작업에 지장을 받지 않는 경도를 보였다.

또한 광활통과 포승통은 동일한 미사질양토로서 미사함량이 주종을 이루고 점토함량이

포송통에서 많은 것이 특징으로 광활통에서 간척 5년까지 경도가 3.0kg cm^{-2} 이하로 트랙터의 로타리작업이 불가능한 범위였지만 미사함량이 많아 작업이 가능하다고 보며, 포송통은 간척 12년차까지는 작업에 지장을 받는 경도를 나타냈다. 한편 광활통은 31년차부터, 포송통은 49년차부터 경반층이 생성되고 있으나 광활통보다 포송통에서 두껍게 형성되고 있다.

(바) 심토의 경도·용적밀도와 수량과의 관계

토양물리성과 수량과의 관계를 보면 용적밀도와 경도가 높아질수록 수량은 감소되어 고도의 부의 상관관계를 나타냈고, 심토의 뿌리량이 많을수록 수량은 증가하여 고도의 정의 상관관계를 보였다. 이와 같이 토양물리성과 수량과는 밀접한 관련이 있어 경반형성 논에서의 토양관리상 개선대책은 시급한 일이 아닐 수 없다고 할 수 있다.

2. 논토양의 관리

가. 시비 관리

간척지 논에서 질소의 표준 시비량은 일반 논에서보다 많으며, 특히 분시를 강조하고 있다. 인산과 칼리의 시비량은 일반 논과 큰 차이가 없이 비슷하다(표 12). 여기서 질소 표준량은 염농도가 NaCl을 기준으로 0.1% 이상인 간척 초기의 논에 대한 시비량 기준이므로, 염농도가 0.1% 이하로 떨어진 간척 후기의 논에서는 15% 감량한다. 신간척지 논에서는 염농도가 높아 이를 배출시키기 위해 환수제염을 하여 비료의 양분이 빠져나가기 때문에 비료를 일반논보다 많이 사용한다(ha당 질소 200, 인산51, 칼리 57kg). 그러나 염농도가 낮아지고 환수 횟수가 줄어들면 비료량도 당연히 줄여 주어야 한다.

표 12. 답 유형별 3요소 표준 시비량

구분			시비량 (kg ha ⁻¹)						
			질소				인산	칼리	
			밑거름	웃거름					계
새끼칠때	이삭거름	알거름							
평야지	보통논	적기이앙	55	22	22	11	110	45	57
		만기이앙	77	-	22	11	110	45	57
	모래논, 고논		65	26	26	13	130	51	71
간척지			40	80	60	20	200	51	57

박 등(2004)

표 13은 계화도 지구 177개 농가를 대상으로 조사된 시비 및 토양 관리 현황을 보면, 질소의 시비량이 200 kg ha^{-1} 수준이다. 계화도 지역은 사질토가 많아 비교적 제염이 잘 이루어져 염농도가 상당히 낮아졌음에도 불구하고, 대부분의 농가가 200kg 수준을 유지

하고 감비를 하지 않고 있다. 염농도가 충분히 낮아진 토양에서는 검정 시비가 요구된다. 또 규산 함량이 적정치보다 낮으므로 현재 규산질비료 공급주기 4년에서 3년으로 단축할 필요가 있다.

표 13. 계화지구의 벼 재배농가의 영농방법

경운시기	염피해정도	벼짚사용주기	시비량(kg ha ⁻¹)	쌀수량 (kg ha ⁻¹)
			N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	
춘경 : 84%	있음 : 11% (50%이하/펼지)	무시용 16% 매년 14% 격년 21% 2~3년주기 49%	200 - 54 - 61	5,150
추경 : 16%	없음 : 89%			

J: 177농가 설문결과

나. 경반층 생성에 의한 투수 불량 토양의 관리

시비 이외에 간척지 논토양 관리의 핵심은 투수와 경반층 토양의 관리이다. 여기서 시비 대책은 이들은 양면성을 가지고 있다. 투수가 매우 빠른 사토에서는 투수를 지연시켜야 물관리가 가능하며, 투수가 너무 느린 토양에서는 투수를 촉진시킬 수 있는 방안이 강구되어야 한다.

토양의 경도가 4 kg cm²일 때는 수량이 거의 제한되지 않으나, 4~8일 때에는 10~25%의 수량이 감소되고, 10 kg cm²이상인 때에는 수량이 현저히 떨어진다(류, 2005). 토양 생성 당시부터 작토면의 경도가 14.0 kg cm² 이상으로 로타리 직후 바로 침전되어, 이양 작업이 어렵다. 백수통, 사두통, 문포통, 염포통 등이 이에 해당한다(류, 2005). 이들 기존 간척지 논에서 산적토 성토나 미사질 양토의 객토로 인위적으로 작토층을 만들어 벼를 재배하고 있다.

경반층이 있는 토양을 개량하려면, 심경과 심토 파쇄를 해야 한다. 특히, 벼 수확시 콤바인으로 벼짚을 절단하여 시용하고, 심경 추경이나 심토 파쇄를 3년 주기로 시행하는 것이 가장 바람직하다. 다음은 호남농업연구소에서 경반층 토양에 대한 연구 결과를 종합 요약한 것이다(류 등, 2005).

(1) 심경 및 심토파쇄 효과

경반층 형성 논에서 심경 및 심토 파쇄 후 토양 물리성을 조사한 결과 관행에 비하여 심토의 경도가 크게 낮아졌고 그 정도는 심경보다 심토 파쇄시 더욱 효과가 크게 나타났다(그림. 10). 공극률도 같은 경향으로 심토에서 심경 보다 심토 파쇄로 증가하였다. 또한 심경 및 심토파쇄 후 수도의 시비질소 흡수량은 심토파쇄>심경>관행순으로 많았으며, 질소이용율도 같은 경향으로 쌀수량은 심토파쇄구에서 관행 대비 8%, 심경구는 4%가 증수하였다. 한편 벼 재배시 심경을 하여 작토심을 깊게하였을 경우 수량은 관행에 비하여 8%, 또 다비 밀식하였을 경우에는 13%가 증수하였다. 그리고 경반 형성 논에서 진단 시

비와 심토 파쇄에 의한 소득은 관행에 비하여 9%의 소득지수를 나타냈다. 경운 방법에 따른 작토심의 깊이는 트랙터 로타리와 트랙터쟁기를 사용하였을 경우 모두 18cm였으나 수량은 트랙터 로타리로 한 것이 관행보다 6% 증수하였다.

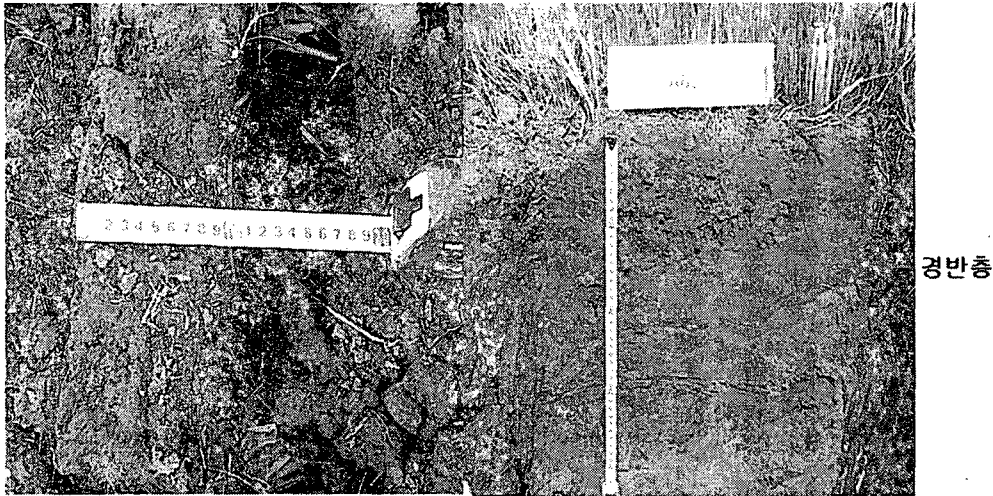


그림 10. 경반층 형성 토양과 심토 파쇄 효과

(2) 유기물 시용과 토양 물리성 개선 효과

벼 재배시 벧짚과 벧짚퇴비를 시용할 경우 토양의 물리성은 유기물을 시용하지 않은 것 보다 경도가 낮아지고 공극율이 증가하나 그 효과는 벧짚시 용구에서 벧짚 퇴비를 시용한 것 보다 효과가 컸다. 또한 벧짚과 벧짚 퇴비 시용에 따른 질소 이용율은 유기물을 시용하지 않은 것 보다 벧짚퇴비를 시용했을 때 18.6%가 높았고 벧짚 시용시에는 16.1%가 높았다. 이와 같이 벧짚이나 벧짚퇴비를 논에 시용하면 시비질소의 이용율이 크게 높아져 환경오염이나 영농비도 절약되는 것으로 나타났다. 또한 토양 중 유기물 함량도 벧짚이나 벧짚 퇴비를 시용하지 않았을 때는 22g kg^{-1} 인데 대하여 벧짚과 벧짚퇴비를 시용하면 각각 30g kg^{-1} 와 29g kg^{-1} 로 나타났다.

(3) 강우후 트랙터 로타리 작업 가능 일수

퇴화 염토지 논 토양에서 강우 후에 트랙터 로타리 작업 가능 일수를 보면, 관행구에서 강우 후 4일까지는 작업이 불가능하고, 5~6일까지는 작업 가능, 7일째부터는 용이한 것으로 나타났다. 심토 파쇄구에서는 강우 후 3~4일까지는 작업 가능, 5~6일까지는 작업 용이한 것으로 나타났다.

(4) 심토 파쇄에 의한 감수심의 변화

경반층 형성 논 의 투수성은 관행에서는 1일당 2mm이하였으나 심토 파쇄시에는 9월 초순까지 큰 변화가 없었으나 9월 20일부터는 1일당 10mm이상으로 빨랐으며 이것은 주변 논 의 단수에 따라 지하수위가 낮아졌기 때문으로 보였다.

(5) 투수 정도별 수도의 양분 흡수량 변화

수도의 양분 흡수량은 투수 정도에 따라 큰 차이를 보였다. 유수 형성기까지는 투수 양호답과 불량답 간에 큰 차이를 보이지 않았으나, 유수 형성기 이후에는 큰 차이를 보였다. 질소의 경우 투수 양호답에서 불량답 보다 12kg/10a의 흡수량이 많았고, 칼리는 13kg/10a, 인산은 4kg/10a가 더 많았다. 이와같이 양분흡수량이 투수양호논에서 증가하기 때문에 토성이 미사질양토 내지 미사질식양토인 호남평야지 논처럼 작토층 밑에 경반층을 형성하여 배수가 약간불량내지 불량한 논토양에서의 배수개선의 중요성은 크다고 할 수 있다. 한편 감수심 정도와 수량성은 1일 감수심이 15~30mm정도에서 수량성이 가장 높게 나타났다.

(6) 논토양 배수정도와 수량성

논 토양 배수 조건별 퇴비 시용량과 수량을 보면 배수가 불량한 논에서 퇴비 5,000 kg ha⁻¹시용한것 보다 퇴비 10,000 kg ha⁻¹ 시용했을 때 3%의 증수를 보였고, 15,000 kg ha⁻¹ 시용과 질소를 1.5배 시용했을 때에는 10%가 줄었다. 이에 비해 배수 양호한 논에서는 퇴비량과 질소비료를 증시할 수록 수량은 증가하여, 퇴비 15,000 kg ha⁻¹와 기비 질소량의 1.5배 비료량을 더 준 곳에서는 퇴비 5,000 kg ha⁻¹ 시용한것에 비하여 55%의 증수를 나타냈다. 심토 파쇄시 무배수와 배수의 수량성은 무배수에 비하여 11%증수된 반면, 관행에서는 무배수에 비하여 5%의 증수를 보였다. 또한 40cm 혼층구에서는 14%의 증수를 보였는데 이와 같이 수량면에서 배수 효과는 컸다.

나. 객 토

토성이 세사양토~사양토의 토성을 갖는 논에서는 전토층이 토양생성당시부터 경반층을 형성하기 때문에 이양작업이 불가능하므로 산적토 내지 점토함량이 높은 갯벌의 객토 내지 성토가 없으면 수도재배가 곤란하다. 원래 간척답은 유효토심이 20cm미만으로 얇기 때문에 제염이 되었더라도 수도의 근권력을 넓혀주기 위해서는 계속적인 토양개량이 필수적이다. 이와 같이 표층부터 경반층을 갖는 논에 대하여는 점토함량을 높여주기 위한 객토가 아니라 작토심이 문제가 되며, 수도를 재배하기 위하여는 최소한 작토심을 15cm이상으로 만들어 주어야 하는데 1cm의 작토층을 조성하기 위하여는 12.5톤의 객토량이 소요되므로 단보당 190톤의 객토량이 필요하다.

또한 객토한 논은 땅심을 높여야 하는데 유기물은 ha 당 퇴구비 15,000kg 또는 볏짚 5,000 kg와 퇴구비 5000 kg을 시용하고, 비료중 3요소는 20~30%더 주어야 하며, 규산질 비료는 토양검정에 의해 적정치인 130ppm을 맞추어야 한다.

3. 밭토양의 관리

염류토에서 밭 작물 재배는 비염류 토양에서의 재배보다 어려우나, 경작자는 관개와 배수 체계의 관리에 여러 가지 선택이 가능하다. 선택된 방법은 토양의 염류화 문제와 지하수위 깊이에 영향을 주며, 농지 생산성과 이익성에도 영향을 준다. 농가 현장에서 물 관리 결정은 지표수 또는 지하 삼출수의 양과 질, 그리고 주변 다른 농지와 일반적인 환경

에도 영향을 주게 된다.

간척지 밭 토양의 관리는 논 토양 보다 작물의 선택과 관리 측면에서 훨씬 어렵다. 또한, 우리나라에서 밭 이용을 위한 연구도 논 토양 만큼 많이 진행되어 있지 못하다. 밭 이용에 있어서 무엇보다 중요한 것이 관개와 염분의 재상승 억제이다. 이는 지하수 관리와 연관되어 매우 중요하다.

관개 농업 지대에서, 관개와 관개 사이 또는 작물 재배가 이루어지고 있지 않는 건조 기간에 투수되는 물이 없으면, 모세관 현상에 의하여 물이 상향 이동하게 된다. 물은 식물의 뿌리에 의해 흡수되거나, 지면에서 증발하고 염은 근권 또는 표토에 남는다.

가. 모세관 상승과 지하수위 관리

모세관에 의한 상향 이동은 토양의 종류, 지하수위의 깊이, 토양수분 구배 등에 의하여 달라진다. 그림 7-12는 세 가지 다른 토양에서 모세관수 상승 속도와 지하수위 깊이와의 관계를 보여준다. 이는 지하수위에서의 장력 0에서부터 토양 표면에서의 $16 \times 10^5 \text{Pa}$ (= 16 bar)일 때 모세관수 상승 속도이다. 지하수위가 삼출되는 물에 의하여 한 위치에 고정되어 있다면, 모세관수 상승은 상당한 양에 달하게 된다. 예를 들어 모세관 상승 속도가 1 mm/day라면, 6개월 동안 180mm의 지하수가 상승하는 셈이 된다. 모세관수 상승속도 1mm/day를 보이는 지하 수위 깊이는 식양토에서 1m, 양토에서 1.95m, 및 미사양토에서 2.85m이다.

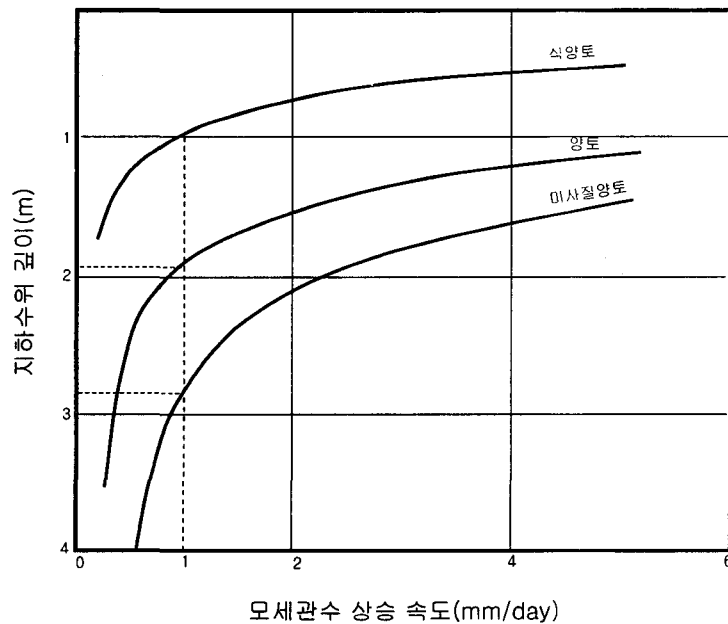


그림 11. 모세관수 상승 속도와 지하 수위 깊이(van Hoorn, 1979)

지하수가 삼출수에 의하여 공급되지 않으며, 모세관수 상승은 지하 수위를 낮추게 되고, 불포화권의 토양의 수분 함량은 낮아지게 된다. 토양 수분 함량이 낮아지면, 수리전도도가 낮아져 모세관수 상승 속도는 현저히 감소하게 된다. 결국, 모세관 상승 속도가 거의 0에 가까워지게 되면, 지하 수위는 더 이상 낮아지지 않는다.

지하 수위와 모세관 상승량은 같은 토양에서도 지역적 특성에 따라서 다르다. 삼출수의 유입이 없다면, 모세관 상승량은 지하 수위가 낮아짐에 따라서 적어진다. 지하 수위가 충분히 낮아져 모세관 상승 속도가 거의 0에 가깝게 되는 깊이를 임계 깊이라 한다. 임계 깊이는 그 지역의 기후 조건과 관련이 있으며, 우리 나라의 경우 약 2.8 m이다.

지하 배수 문제와 천층 지하 수위 문제는 염류도 관리에 있어서 매우 복잡하고 어려운 문제이다. 천층 지하 수위는 지면 부근의 점토층이나 경반층 등 투수속도가 매우 느린 층이 존재하는 경우에 생기거나, 배수수의 배출이 없을 때 생긴다. 전자는 농지 현장 상태에 따른 적합한 배수 개선으로 해결해야 하며, 후자는 배수 구역의 구조적 문제로 다루어져야 한다. 천층 지하 수위와 관련된 염류도를 효과적으로 제어하기 위해서는 첫째로 지하 수위를 낮추어야 하며, 수질을 개선해야 한다.

신개간지를 이용하고자 할 때, 배수 문제가 최우선적으로 고려되어야 하며, 장기적인 면에서 영농의 성공과 실패를 좌우한다. 일단 배수 문제가 제기되면, 즉각적인 개선 대책이 마련되어야 하며, 미래의 관리 대책도 함께 마련되어야 한다. 적절한 배수 개선이 이루어지면, 표토의 염류 문제는 관개 관리로 제어할 수 있다.

나. 석고의 사용

토양의 구조 파괴를 방지하고, 개간을 촉진하기 위해, 화학 토양 개량재의 사용이 바람직하다. 이 목적의 토양 개량재는 수용성 칼슘원을 함유하거나, 토양에 존재하는 탄산 칼슘의 용해도를 높힐 수 있어야 한다.

석고는 염류 토양과 나트륨 염성 토양의 개량에 가장 많이 사용되는 토양 개량재이다. 석고는 산업 부산물이다.

석고 사용 효율은 다음 요인에 의해 결정된다.

- ① 사용된 석고 모두가 교환성 나트륨의 치환에 이용되는 것이 아니다. 일부는 Mg와 K를 치환한다.
- ② 토양 중 석고의 사용이 불균일하다.
- ③ 사용된 석고 중 일부는 심토로 투수되는 물을 따라 이동된다.
- ④ 석고의 입도
- ⑤ 토양 용액에 존재하는 수용성 염이 종류

석고 살포 효율은 40-70% 수준이다. 네델란드에서 개간 중인 간척지 토양에 대한 지속적인 모니터링을 통해 석고 효율은 50%이다(van der Molen, 1957).

석고의 표면 사용에서 특히 입도가 0.25mm 이하로 가는 입자를 사용하였을 때, 관개수에 의해 낮은 곳으로 몰릴 수 있다. 그러므로, 석고는 토양이 건조한 상태에서 표토 0.05-0.10 m 깊이 토양과 잘 섞어 주는 것이 가장 효과적이다.

나트륨 염성 토양의 개간은 매우 어려우며, 개간에 시간과 경비가 많이 든다. 이러한 토양에서는 우선 양어장이나 벼 재배를 고려할 수 있다. 벼 이외에 교환성 나트륨에 내염성을 갖으면서, 심토의 토양 구조가 불량한 토양에서 자랄 수 있는 목초들이 있다. 이들 목초의 뿌리 활동으로 토양의 물리성이 개선될 수 있다. 뿌리의 활성과 유기물은 토양 내

존재하는 탄산칼슘의 용해도를 증가시켜 교환성 나트륨이 치환될 수 있도록 한다. 그러나, 나트륨 염성 토양을 개량하기 위한 이들 방법은 수년 이상의 많은 시간을 요구한다.

석고외의 토양 개량제로 유기물, 황, 황산철, 또는 산 생성 물질 등이 있다. 이들 산생성 물질은 토양에 탄산칼슘이 존재하는 토양에 제한된다. 황과 황산철은 미생물 활동에 의해 산화하여, 중간 생성물로 황산 이온이 생긴다. 황산 이온은 탄산칼슘과 반응하여 용해도가 이보다 더 큰 석고(황산칼슘)로 된다. 인산 석고(phosphor-gypsum)는 인산 제조 과정에서 생산되는 부산물로 분말상 물질이다. 이들은 염류 토양에 매우 효과적인 토양 개량제이다.

염해답에서 조기 영농을 위하여 관개수에 의한 환수제염에 의해 소다와 고토를 씻어내고 석회를 보충해야 하며, 높은 pH를 낮추어야 하는데 이를 위해 토양개량제로 석회물질이 사용된다.

토양개량제로 가장 많이 쓰이는 석회물질로는 부산석고와 소석회가 사용되고 있다.

(1) 부산석고비료

부산석고를 사용하면 토양에 석회를 공급하고 소다를 치환하여 토양교질에 흡착되어 토립이 견고하게 되므로 투수성 및 입단화도가 촉진되어 점토 유실방지와 물리성개량에 유리하나 염농도가 높은 신간척지에 다량의 석고를 사용하면 염류농도의 상승 및 석회이온의 길항작용에 의해 다른양분의 흡수저해와 토양중 유효아연함량이 감소된다.

부산석고는 용해도가 낮아 토양입자와 완전 혼합하여 석회이온을 토양입자표면에 접촉시켜야 제염효과가 커진다. 따라서 가을에 조대유기물(벼짚, 보릿짚 등)을 살포하고 석고를 단보당 300kg을 사용한 다음 추경(심경)을 하면 지하부에서 지표면으로 연결되는 모세관을 차단하여 염분의 상승집적을 감소시키므로 효과가 크다.

한편 물빠짐이 좋지 않은 토양에 부산석고를 사용하면 공급된 황산염의 환원으로 황화수소가 발생되어 수도에 해를 끼칠 수 있으므로 이러한 토양에는 소석회를 사용해야 한다. 그러나 개량제시용은 간척지구별로 사용하는 것이 효율성을 높이는데 간척지구별 토양환경에 따른 적정시용량 설정으로 개량하고자 하는 교환성 나트륨율을 목표로 하여 신·구 간척지 논의 조기제염을 위한 개량제($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)산정방법으로 그 방법은 다음과 같다.

부산석고와 Ca이온과의 분자량비×Ca 1당량(개량제시용전 토양 ESP -개량목표 ESP)×CEC×용적밀도×개량토심/100으로 계산함(개량토심은 20cm까지로 한정함)

「계산 예」 부산석고와 Ca이온과의 분자량비는 4.30 이며, Ca의 1당량은 20 임. 이때 개량하고자 하는 논양의 ESP가 100, 개량목표 ESP가 50이고 논토양의 CEC가 10.0, 용적밀도가 1.221, 개량하고자 하는 토심이 10cm라고 할 때

$$4.30 \times 20(100-50) \times 10.0 \times 1.221 \times 10/100 = 5,250 \text{ kg/ha(부산석고비료량 임)}$$

이다.

(2) 소식회

소식회는 물빠짐이 비교적 좋은 논에 ha 당 3,000kg을 사용하는데 소식회도 마찬가지로 가을에 조대유기물(벼짚, 보릿짚 등)을 살포하고 그위에 소식회를 사용한 다음 추경(심경)을 하는 것이 효과적이다.

다. 심경

토양과 수질의 개량, 관개수의 혼용 등은 물의 화학 특성 변화를 통한 개량인데, 물리적 개량 방법은 기계적 방법을 통한 토양의 개량이다. 가장 흔히 사용되는 물리적 방법은 경운과 심경이다. 이들은 모두 효과적이지만, 그 효과의 지속이 짧아 물의 침투 문제 해결에 임시적인 방법이다.

경운은 작물의 파종을 위한 경운과 작물 재배 기간 중간에 하는 중경이 있다. 중경은 물의 침투성 개선 목적보다는 주로 잡초를 제거하거나, 통기 개선을 목적으로 한다. 침투 문제가 심한 경우에 경운은 토양의 피각을 파괴하여 침투율 개선에 도움을 준다. 그러나, 너무 자주하게 되면, 중장비의 잦은 사용에 의한 압밀과 토양 입단의 파괴로 역효과가 나는 수도 있다.

다층 구조 토양은 효과적인 관개에 어려움을 준다. 경반층은 염류도 제어에 필요한 물의 투과를 방해하며, 식물 뿌리의 신장을 방해한다. 이 층을 깨어 주어야 용탈에 필요한 물이 투과되고 뿌리가 뻗는다. 치슬이나 심토 파쇄 등 심경 방법은 토양의 물리성 개선에 효과적이다. 이들 방법 역시, 임시적이며, 영구적인 개량 방법은 아니다. 그 효과는 단기적으로 1-5년 지속된다. 심경은 특히 경반 층이 있는 토양 단면을 물리적으로 파쇄하여, 침투율을 높이고, 작물의 뿌리 뻗음을 돕는다. 두더지 압거기를 이용한 물리성 개선 효과도 가능하다. 심경은 토양이 건조한 상태에서 실시해야 효과적이며, 점토가 많은 토양에서 습한 상태에서의 심경은 압밀을 가중시켜 물리성을 악화시키는 경우도 있으므로, 유의하여야 한다.

심토 반전 경운이 필요한 경우도 있다.

라. 유기물 관리

포장에 남아 있는 작물의 잔재 또는 다른 유기물은 물의 침투를 돕는다. 유기물의 관리는 토양을 개량하는 방법으로 널리 받아들여지고 있다. 유기물의 관리는 경제적 부담이 큰 다른 토양 개량 방법을 사용하기 어려운 소농이 물의 침투를 개선하기 위해 사용할 수 있는 가장 손쉬운 방법이다.

토양에 남은 작물의 잔재물 또는 시용된 유기물은 토양의 물리성을 좋게 한다. 특히 식물의 뿌리는 물의 침투를 도울 뿐 아니라 통기에도 좋은 영향을 준다. 벼짚, 보리짚 호밀짚 등 섬유질이 거친 화분과 작물 잔재물이 토양의 물리성을 개선에 좋다. 쉽게 분해하지 않는 유기물일수록, 토양의 침투율을 개선하는 데 효과가 크다.

침투율 개선을 위한 유기물의 투여량은 많아야 하는데, ha 당 40에서 400MT을 사용한다. 용적으로 표토 15cm의 10에서 30%에 달하는 양을 사용하는 경우도 있다. 이때, 양분

관리가 뒤따라야 한다. 침투율을 개선하기 위하여 유기물을 사용하는 경우에, 유기물이 토양 속으로 잘 혼입되어 들어가도록 해야 원하는 효과를 얻을 수 있다. 왕겨, 톱밥, 분쇄 목 등 가용 자원을 대량으로 사용하는 데, 효과성과 사용해야하는 양은 토양의 조건에 따라 다르다. 그러므로, 이들의 사용 여부와 사용량은 현장 검증을 통하여 결정해야 한다.

마. 토양 침식의 방지

토양의 침식은 물에 의한 침식과 바람에 의한 침식이 있다. 우리 나라에서 물에 의한 침식은 경사지를 중심으로 많은 연구가 이루어져 왔으며, 토양 보전 대책도 이를 중심으로 이루어져 왔다.

우리 나라에서 물에 의한 침식량은 연간 40~60 MT ha¹yr⁻¹로 추정되고 있다 이는 경사지에서의 침식을 말한다. 평지에서는 이보다 적다. 토양 침식량 예측은 USLE에 의한 다.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (4)$$

여기서

A : annual soil loss (MT ha¹ yr⁻¹)

R : rainfall and runoff erosivity(MJ · mm ha¹ yr⁻¹ hr¹)

K : soil erodibility(=A/R, MT · hr MJ⁻¹ mm⁻¹)

LS : Slope length and steepness(dimensionless)

C : cover-management(dimensionless)

P : support practice(dimensionless)

예를 들어 군산 지방에서 R 인자 값은 4,190 MJ · mm ha¹ yr⁻¹ hr¹이다. 미사질 양토의 K 값은 0.053이다. 경사도가 2%인 평지로 경사장이 100 m인 포장의 LS 인자 값은 0.30이다. 작보인자 0.4인 배추를 등고선 재배하였다면, C×P는 0.4×0.6=0.24이다. 그러므로, 연간 토양 유실량은 $A = 4,190 \times 0.053 \times 0.3 \times 0.24 = 16.0$ MT ha¹yr⁻¹이다. 이 값은 우리나라 경사지의 평균 유실량 40 MT ha¹yr⁻¹보다는 낮지만, 토양 보전을 위한 보전 목표치인 한계 침식량 T(11 MT ha¹yr⁻¹)보다는 높다. 이를 한계 침식량 이하로 줄이기 위한 토양 보전 대책이 필요하다. 물에 의한 침식량을 줄이기 위해서는 무엇보다도 토양의 유기물 함량을 높혀 침식에 대한 내성을 기르고, 지피를 유지할 수 있는 경작법이 중요하다.

풍식 문제는 일반적인 논에서는 큰 문제가 아니다. 지피가 충분히 보호되어 있지 않은 넓은 개활지에서는 문제가 된다. 예를 들어 새만금 지구의 경우, 토양이 풍식에 취약한 사질토가 많다. 토양의 풍식성과 수위 관리 깊이에 의한 풍식 우려 지구로 적극적 대책이 필요한 지구는 군산의 1 지구와 김제의 13 지구 1,035ha, 소극적 대책이 필요한 지역은 5, 6, 15, 20 지구 1,366ha이며, 장기적 대책이 필요한 지역은 16, 19 지구 826 ha이다(표 14, 그림 12). 대책이 필요한 지구에는 체절 직후 염생 식물 등의 파종에 의한 식생 조성

이 필요하다. 특히 적극적 대책이 필요한 지역에는 체절 직후 대책 마련이 필요하며, 소극적 대책이 필요한 지구에는 육지 인근 마을에 인접한 지역을 중심으로 비산 먼지 발생 대책 마련이 필요하다. 장기적 대책이 필요한 지구에서는 지균 작업 등 공정 진행에 따라 비산 먼지 발생 대책이 강구되어야 한다.

표 14. 새만금 지구 토양의 특성과 수위 관리에 의한 풍식 우려 지구 분포

토양번호	부호	면적(ha)	비고
1	R3W3	289.4	적극적 대책 필요
2	R3W2	1147.1	수위 관리
3	R2W2	167.9	수위 관리
4	R2W2	1004.5	수위 관리
5	R2W3	588.0	대책 필요
6	R2W3	606.5	대책 필요
7	R1W2	450.0	수위 관리
8	R1W1	212.2	대책 불요
9	R2W2	1514.7	수위 관리
10	R3W2	697.1	수위 관리
11	R3W2	411.9	수위 관리
12	R3W2	621.1	수위 관리
13	R3W3	745.4	적극적 대책 필요
14	R1W2	44.4	대책 불요
15	R2W3	129.6	대책 필요
16	R1W3	657.4	장기 대책 필요
17	R1W1	131.8	대책 불요
18	R1W2	1207.3	수위 관리
19	R1W3	169.0	장기 대책 필요
20	R2W3	41.7	대책 필요
21	R2W2	2367.1	수위 관리
22	R1W2	1666.8	수위 관리
23	R3W2	136.3	수위 관리
24	R3W1	25093.0	대책 불요
계		40100.0	

지구 분류 기준 : 풍식지수 R1 100 이하, R2 100 ~ 400, R3 400 이상
수위관리 W1 -1.5 m 이하, W2 -1.5 ~ 1.3 m, W3 1.3 m 이상
대책 기준 : 적극적 대책 필요(풍식 피해 우려, 체절 직후 식생 조성)
대책 필요(건조시 풍식 대비, 장기적 소극적 대책 필요)
수위 관리(수위 관리로 풍식 억제)
대책 불요(풍식 우려 없음)

농어촌연구원(2004)

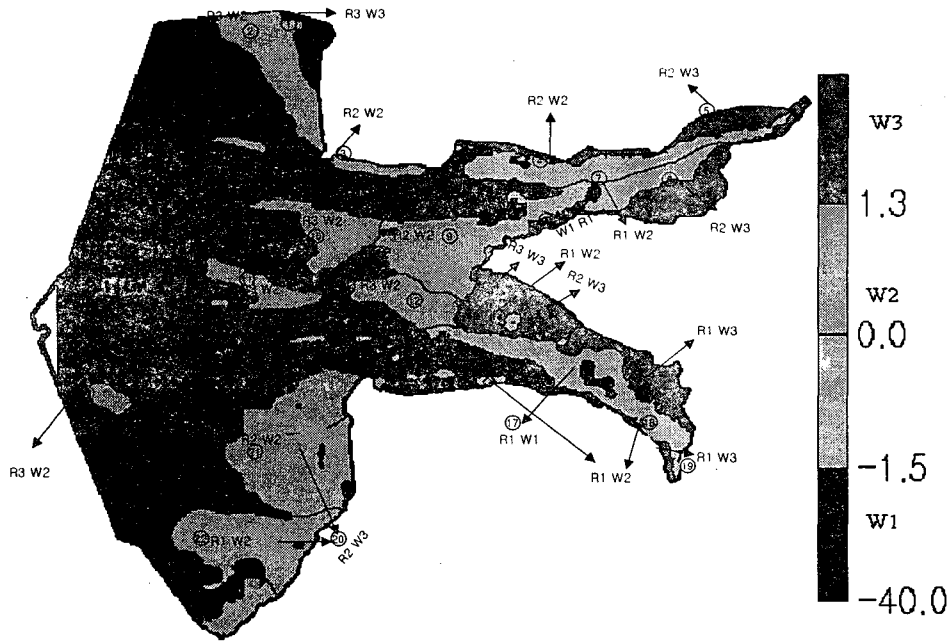


그림 12. 새만금 지구의 토양의 풍식성과 수위 관리 깊이에 의한 풍식 우려 지역
(농어촌연구원, 2004)

V 결론 및 요약

우리나라에서 간척지는 서남해안의 간척지를 막아 농토로 조성되어 주로 논으로 이용되어 왔고, 일부는 밭과 그 밖의 농업 이외의 목적으로 사용되어 왔다. 간척 농업의 역사는 오래되어 고려 고종 22년(1235년)시대로 거슬러 올라갈 수 있지만, 현재 오늘날과 같은 간척 농업의 본격화는 1960년대 이후 농경지 확보를 위한 대단위 국토 개발 사업의 추진으로 이루어졌다. 최근에는 새만금 사업으로 최대 규모의 대단위 간척 농지 개발이 추진되고 있다.

간척지 토양에서 염류도 관리의 핵심은 토양과 관개수의 염류 농도와 조성분의 관리에 있다. 간척 초기에는 염류 농도가 정상적인 영농이 불가능하므로, 조기 제염과 토양의 물리성 유지가 중요하다. 제염과 함께 작물의 재배가 가능해지면, 토양의 염류 농도에 따른 작물의 선택과 염류 피해 방지와 함께, 토양의 재염화 방지가 중요하다. 제염 과정이나 재염화 과정 모두에서 관개수의 역할이 중요성이 하다. 그러므로 토양 염류와 관개수 관리는 항상 동일시하게 마련이다.

기존 간척지 토양의 특성을 파악하기 위해, 토양 조사 분류상의 간척지를 포함하는 하해혼성토 중의 몇 가지 대표 단면의 이화학적 특성을 살펴보면, 미사 함량이 2~70%, 점토 함량은 3~24% 범위였으며, 내륙에 가까운 곳에서 발달하는 토양일수록 미사 및 점토 함량이 증가하였으며, 해면에 가까울수록 모래 함량이 많았다. 간척지에서 점토 함량이 많은 토양은 논 이용율이 높으며, 사질토의 경우 논 이용율이 낮았다.

간척지 토양의 유기물 함량은 표층에 0.2~0.8%로 낮았다. 양이온 교환 용량(CEC)은 점토 함량이 낮은 염포 및 하사통에서 2.9~6.5 cmol.kg⁻¹로 매우 낮은 반면, 점토 함량이

많은 포승통은 $12.5 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 로 비교적 높았다.

이와 비슷하게, 간척지 토양에서 Ca, Mg, K 및 Na 등의 양이온 함량은 조립질 토양에 비하여 중립질 토양에서 높아지는 경향이였다. 토양의 pH는 표토에서 4.6~7.4이었으나, 깊이 80 cm 이하에서는 염포통을 제외하고는 7.1 이상을 보였고, 염 농도는 1~2.3%로 높았다.

간척지 토양에서 지하 수위가 높은 토양에서 염농도가 높은 경우가 많다. 이는 염농도가 높은 지하수의 수위가 지면 부근에 있으면, 이의 영향을 받아 염농도가 높고, 특히 지면에서 증발에 따라 염이 상승하기 때문이다. 또한 지하 수위가 높으면, 제염이 늦어진다. 제염이 되려면, 배수가 필수적이다.

기존 간척지 토양의 중요한 특성의 하나는 경반층의 존재이다. 과거에 퇴화염토라고 부르던 토양에 존재하는 경반층은 간척 연대가 오래되어 쟁기 바닥층이 단단하게 형성되어 투수성, 용적밀도, 공극률, 경도 등 토양 물리적 성질이 매우 불량하여, 벼의 생육을 저해시킴으로써 수량을 제한하는 요인이 되고 있다. 이를 개량하기 위한 심토 파쇄와 심경의 효과가 크다.

현재 간척이 진행되고 있는 새만금 간척사업은 전북 군산시·김제시·부안군의 3개 시·군에 걸쳐 총 40,100ha가 개발되고 사업지구 안에는 28,300ha의 토지자원이 새롭게 조성되는 세계 최대규모의 간척사업이다. 이 사업이 성공하기 위해서 이제까지 간척 농지에 대한 연구 결과들을 잘 적용하도록 체계화할 필요가 있다. 이제까지의 간척 사업은 농지의 확보가 절대적인 명제이었으나, 오늘날에는 농업 외적 요인이 간척 사업에 크게 영향을 준다. 특히 환경에의 영향은 중요한 문제이다.

간척 농지의 이용으로 인한 환경에의 영향은 주로 수질에 대한 영향으로 집약된다. 특히 농약과 비료의 사용에 의한 수질 악화 우려는 새만금 간척지의 농지 이용에 가장 큰 걸림돌이다. 새만금 지구의 경우 물에 의한 침식 뿐 아니라, 풍식에 의한 침식도 무시할 수 없다. 이에 대한 대안은 양분의 종합 관리(INM, integrated nutrient management), 병해충 종합 관리(IPM, integrated pest management), 최적 관리 체계(BMP, Best management practices)의 확립과 함께 정밀 농업 체계(PAS, Precision agriculture system)를 갖춘 친환경 농업의 추진이다. 이러한 농업 체계는 고도의 기술 접목을 요구한다.

어떠한 농업 기술이던, 간척지에서의 새로운 기술 체계를 세우기 위해서는 첫째, 현장 조사를 통하여 식생에 대한 염해와 토양에 대한 염류도 평가가 이루어져야 하고, 둘째, 토양과 물 및 식물에 대한 정밀한 실험실 분석을 통해 염해의 원인이 규명되어야 하고, 셋째, 현장 조사와 실험실 분석 결과를 토대로 한 진단, 그리고 넷째, 이에 따른 기술 대책 수립이 이루어져야 한다.

참고 문헌

- 농어촌연구원. 2004. 새만금 간척 농지의 고도 이용과 환경 농업 추진 방안 연구:농업기
반공사:pp516.
- 박 양호 등. 2004. 벼 재배를 위한 양분의 종합관리(INM). 농업과학기술원:pp197

- 농업기반공사. 1985. 제염배수 및 토양성숙에 관한 연구.
- 농업기반공사 1988. 새만금지구 간척종합개발사업 기본조사보고서(제3권. 토양)
- 농업기술연구소. 1984. 한국의 답토양. P349
- 농업기술연구소. 1989. 토양종류별 분포면적(전라북도). 토양조사자료 8-2 : 116
- 농업기술연구소. 1992. 증보 한국토양 총설 P236~237
- 류 순호, 정 영상, 류 인수, 이 완주, 박 근조. 1994. 신간척지 토양 개량과 작부체계에 관한 연구. 농어촌연구원. 농어촌진흥공사:pp214
- 류순호, 정 영상, 안 열, 이 승헌. 1998. 간척지 제염 방법 개선에 의한 발작물 재배 기술에 관한 연구. 농업촌연구원. 농어촌진흥공사:pp318
- 류 철현. 2005. 간척지 토양 조사와 토양 관리. 2005 한국토양비료학회 춘계학술발표회 논문초록집 435-466
- 이춘수. 1998. 시비. 한토비지 31(S.I) : 64~75
- 이종영. 1986. 간척지에 있어서의 제염방법이 토양의 이화학성과 수도생육 및 수량에 미치는 영향 전남대학교. 박사학위 논문.
- 이 창환, 정 영상. 1991. 일반화학. 한국방송통신대학:pp437
- 정 영상, 주 진호, 윤 세영. 2002. 간척지에서 토양과 관개수의 염류도와 염류토 관리. 강원대학교 농업과학연구소:pp234
- 호남농업시험장. 1988. 호남작물시험연구 60년. P 434~460
- 호남농업시험장. 1991. 우리나라 간척지농업의 현황과 발전방향
- 호남농업연구소. 2004. 간척농업:pp426