

국내 간척지의 토양 특성과 질소 동태

김혜진¹ · 김기림¹ · 우현녕¹ · 박숙현¹ · 신지훈¹ · 최윤철¹ · 정덕영^{1*}

¹충남대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과

Properties and fate of nitrogen in a reclaimed tidal soil

Hye-Jin Kim¹, Gi-Rim Kim¹, Hyun-Nyung Woo¹, Suk-Hyun Park¹, Ji-Hoon Shin¹, Yoon-Chul Choi¹, Doug-Young Chung^{1*}

¹Dept. of Bio-environmental Chemistry, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Received on 11 May 2011, revised on 4 June 2011, accepted on 20 June 2011

Abstract : In this article, we reviewed properties of reclaimed tidal soil and fate of nitrogen in its soil. The results were summarized as followings. Most of the soil derived from the fluvio-marine deposit were silty textured soils. The EC of the Saemanguem soil were ranged from 14.7 to 33.9 dS m⁻¹, pH was 7.7. The organic matter content was low with 1.5g kg⁻¹. The cation exchange capacity was 7.2 cmol kg⁻¹ and exchangeable sodium percent was high with range 45.1% to 56.2%. High sodium concentration caused poor drainage. The salinity significantly affects efficiency of N fertilizer in reclaimed tidal soil.

Key words : Reclaimed tidal soil, Salinity, Nitrogen, Transport

I. 서론

농업생산은 토양을 기반으로 함에 따라 적정생산지 확보를 위하여 간척사업을 진행하는 것은 비단 우리나라뿐만 아니라 네덜란드를 비롯하여 우리와 인접하고 있는 중국, 일본 등에서도 활발하게 진행되고 있다. 그러나 최근에는 간척사업이 한정된 국토에서 늘어나는 인구와 급속한 산업화로 주택, 공업용지, 도로시설 등에 잠식 되는 농경지 및 산업단지 대체 확보로 안정적 식량공급과 산업기지 공급 등 긍정적인 직·간접 효과를 가져왔음에도 불구하고 수자원 및 갯벌 자연생태계 파괴 등 부정적인 시각도 없지 않아 이에 대한 대책이 시급한 실정이다(NIAST, 2002).

우리나라의 서남해안은 조·석 간만의 차가 커서 간척지가 잘 발달되어 있고 바다의 수심이 낮으며, 리아스식 해안으로 되어 있어 만 입구의 거리는 짧으면서도 내부 간척지의 면적이 넓어 짧은 방조제를 축조하여 넓은 땅을 개발할 수 있다. 또한 연안일대의 섬들이 많아 섬 간을 연결함으로써 방조제 축조가 용이하다. 우리나라의 서남해안 총 간척

자원은 81만 ha로 이중 개발가능 면적은 51만 9천 ha이고(NIAST, 1995), 간척사업 추진현황은 정부가 시행한 대단위지구와 소규모지구, 미 완공 간척지 및 민간이 시행한 간척지 등을 포함하여 총 대상면적이 156,603 ha인데, 이중 준공한 면적은 81,531 ha이고, 시행중인 면적은 53,998 ha이며 향후 21,074 ha가 개발될 예정이다(Noh 등, 2001).

우리나라의 간척지 토양은 표토에 염분이 집적되어 있는 미국의 경우와 달리 심토에 염분이 많이 집적되어 있는데 이는 약알칼리토양이 상당히 발달되어 있기 때문이다(Hur, 1991). 그러나, 증발산량이 강우량보다 많은 지역에서는 용탈에 의한 가용성분의 유실양보다 모세관상승에 의한 표토 집적양이 많아지고 작물재배 기간 중 시용한 비료성분의 상당량이 표토에 집적되기 때문에 표토의 염분농도가 증가하는 것으로 나타났다(Richard, 1956).

개발초기의 간척지 토양은 가용성염류와 치환성 나트륨이 과다하게 함유되어 있어 염분농도가 높다. 토양 내 가용성염류는 토양용액의 삼투압을 증가시키고 치환성 나트륨은 토양의 알칼리성을 증가시켜 작물생육의 저해요인이 된다. 가용성염류 또는 치환성 나트륨을 함유하는 토양을 염해토양(salt-affected soil)으로 정의하고 있다. 염해토양

*Corresponding author: Tel: +82-42-821-6739

E-mail address: dychung@cnu.ac.kr

의 특성으로는 염류토양이나 알칼리 토양 내에 함유되어 있는 전해질이 염해토양의 형성과정을 지배하고 그 형태를 결정하며, 전해질농도가 다른 일반 토양보다 높고, 이러한 요인들이 토양의 생산성에 해로운 영향을 미친다는 점을 들 수 있다(U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954).

토양의 물리적 화학적 성질은 치환성양이온의 종류 및 함량에 매우 민감한 반응을 나타내는데 치환성 나트륨은 점토분산과 팽창을 일으켜 수리전도도를 감소시키는 반면 칼슘과 같은 2가 이온은 토양의 물리적 성질을 양호하게 하여 토양의 투수성을 증가시킨다(Gardner, 1945; Richards와 Coleman, 1959, Reeve, 1960). 토양 구조 내 점토의 분산과 팽창은 서로 밀접한 관계가 있는데 팽창은 점토내 공극의 크기를 감소시키고 분산은 토양공극을 폐쇄함으로써 토양의 수리전도도를 감소시키는 주요한 원인이 된다. 또한 토양의 수리전도도는 치환성 나트륨 백분율(ESP)과 삼투수의 전해질농도에 크게 영향을 받는데 전해질농도가 어느 한계치 이하일 경우에는 ESP가 증가함에 따라서 토양의 수리전도도는 감소하는 경향이 있다(McNeal 등, 1968; Pupiski와 Shainberg, 1979; Quirk와 Schofield, 1955; Shainberg 등, 1971).

Saline soil과 saline-sodic soil의 개량을 위해서는 우선 치환성 나트륨과 가용성 염류의 수준을 낮추어야 한다. 치환성 복합체(Exchangeable complex)에서 나트륨이온의 제거는 칼슘이온 또는 수소이온에 의한 치환으로 효과적으로 이루어질 수 있다(Brady와 Weil, 2002).

국내에서 간척지 토양과 관련하여 이루어진 연구는 주로 토성별 제염효과 분석, 제염과정 해석, 제염용수량 추정, 제염시 용수 중 염분함량의 영향(Koo 등, 1998), 제염과 수도재배(Im, 1970; Im 등, 1971) 및 내염성 벼 품종의 개발을 중심으로 이루어져 왔다(Cho 등, 1990). 지금까지 국내에서는 간척지 토양을 작물생산성이 낮은 특수토양으로 규정하여 다양한 연구가 미비한 실정이다.

질소는 토양 중에서 이동성이 큰 물질로서 대기권, 토양 및 생물 사이를 순환하고 있다. 토양에 존재하는 무기태 질소는 ammonium($\text{NH}_4\text{-N}$)과 nitrate($\text{NO}_3\text{-N}$)의 형태가 주를 이루고 있다. 지금까지 알려진 바로는 중성염을 가지고 추출하여 분석하였을 때 무기태질소의 함량은 총질소의 약 2% 미만으로 알려져 있다. 토양질소의 대부분은 유기태 질소로 구성되어 있으며, 가급태질소의 급원으로서 토양비옥도면에서 중요한 인자로 알려져 있다(Cho 등, 2006).

Choi 등(2004)의 남서해안 간척지에서 토양 염농도(저염; 0.1%, 중염; 0.3~0.4%) 별로 쌀 품질 향상을 위한 적정 질소 시비량을 구명하기 위한 시험 결과 남서해안 간척지에서 쌀 수량 및 미질 등을 고려해 볼 때, 저염 토양에서는 $12\text{kg } 10\text{a}^{-1}$, 중염 토양에서는 $20\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ 이 적당하다고 판단했다.

2000년대에 들어서면서 고품질 쌀 생산의 필요성이 강조되고 있어 질소시비량이 많이 감소되고 있으나 아직도 농가의 질소 시비량은 $11\text{kg } 10^{-1}$ 을 초과하고 있으며, 특히 간척지에서 질소비료를 과다하게 시비하여 품질저하의 원인이 되고 있는 실정이다(Back 등, 2005).

간척지 개발에 있어서 방조제 축조 등 토목분야의 간척 기술은 상당한 수준으로 향상되고 있으나, 간척사업으로 형성되는 내부 간척지의 적극적인 활용방안의 수립을 위한 토양특성 조사 등 기초기술에 대한 연구는 아직까지 부족한 실정이다(Kim 등, 2002).

따라서 최근에 이루어지고 있는 간척사업에 대해서 다양한 농업형태로 이용되어야 함은 물론 환경을 보존할 수 있는 방향으로의 개발이 절실히 요구되고 있어 이에 대한 체계적인 기반 조성 및 실천전략 수립을 위한 연구가 진행되어야 한다.

II. 간척지의 토양 특성

Ryu 등(2010)이 새만금 간척지의 문포동 토양에서 수행한 실험결과(Table 1)를 보면, 점토함량이 적고, 미사의 함량이 많은 미사질 양토(Silt loam)로 토양의 pH는 표토 7.7, 심토 7.8이었고, 전기전도도(Electric conductivity; EC)는 표토 33.9 dS m^{-1} , 심토 14.7 dS m^{-1} 로 높았으며, 치환성 나트륨 백분율(Exchangeable sodium percentage; ESP)은 표토 45.1%, 심토 56.2%를 나타내어 시험토양은 염농도가 높고 치환성 나트륨함량이 높은 saline-sodic soil이었다(Rye 등, 2010).

표토층의 염분농도가 심토층의 염분농도에 비하여 상당히 높는데 이것은 모세관현상에 의한 표토층의 염분 집적 현상에 기인한 것이라고 볼 수 있다(Koo 등, 1998).

토양의 특성 중 토성은 작물재배와 기타 토지 이용에 있어서 모든 부분에 가장 기본적인 성질이 된다. 토성을 결정하는 토양 입자 중에서 모래($2\sim 0.05\text{ mm}$), 미사($0.05\sim 0.002\text{ mm}$), 점토(0.002 mm 이하)가 있는데, 이중 점토가

Table 1. Physico-chemical properties of the Saemangeum reclaimed tidal soil (Ryu, 2010).

Soil		pH (1:5)		EC		OM		CEC		ESP	
				dS m ⁻¹		g kg ⁻¹		cmolc kg ⁻¹		%	
Surface		7.7		33.9		1.5		7.1		45.1	
Subsurface		7.8		14.7		1.5		7.2		56.2	

Cations											Particle Size Distribution			Soil Texture	
Exchangeable				Soluble				Total			Clay	Silt	Sand		
K	Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na	---- % ----			
cmol kg ⁻¹															
0.82	1.3	2.8	3.5	1.40	1.1	7.4	24.7	2.22	2.4	10.2	28.2	6.1	56.1	37.8	SiL
56.2	0.50	0.9	2.2	1.17	1.0	4.2	13.4	1.67	1.9	5.9	15.6	5.4	57.1	37.5	SiL

Table 2. Area distribution of soil texture by areas.

(Jung, 2008)

Soil Texture	Area (ha)						Ratio (%)
	Gyeonggi	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongnam	Sum	
Sand (S)	1,189	4,845	920	8,748	692	16,394	6.2
Loamy Sand (LS)	3,038	4,163	45,050	5,119	50	57,420	21.7
Sandy Loam (SL)	4,730	3,066	29,450	2,706	677	40,629	15.3
Silt (SI)	467	-	-	-	-	467	0.2
Silty Loam (SIL)	23,416	7,786	30,080	56,073	7,507	124,862	47.1
Silty Clay Loam (SICL)	-	250	-	14,537	7,191	21,978	8.3
Silty Clay (SIC)	-	-	-	3,055	-	3,055	1.2
Total	32,840	20,110	105,500	90,238	16,117	264,805	100

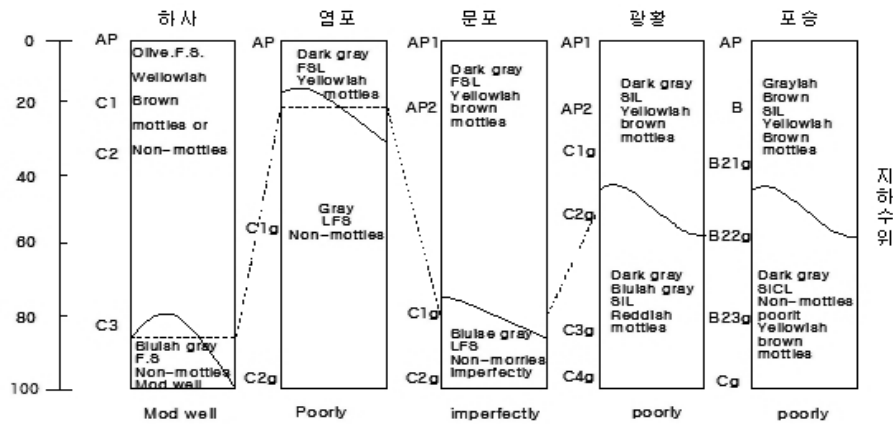


Fig. 1. Soil profile description of the typical agricultural soils derived from the fluvio-marine deposits.

가장 중요하다. 조사면적 264,805 ha 중 사토는 16,394 ha로 전면적의 6.2%를 차지하고, 양질사토는 57,420 ha이며, 사양토는 40,629 ha로서 이들 사질계 토양이 전 조사면적의 37%를 차지하고 있다(Table 2). 해성충적물의 특징인 미사와 점토를 모재로 한 미사질계 토양은 전 조사면적의 47.3%를 차지하고 식질계 토양은 9.5%를 차지하고 있다(Jung, 2008).

서남해안 신간적지 토양의 형태를 지하수위 고저에 따라

분류하면, 지하수위에 따라 토양의 형태가 상이하여 지하수의 영향으로 기층은 환원되어 청회색 또는 암회색을 나타내고 토양중 반문은 거의 형성되지 않는 것이 특징이다. 이와 같이 토양의 형태적 특성에 큰 영향을 미치는 지하수위는 염포토는 20~30 cm로 가장 높으며, 광활, 포승토는 50~60 cm, 문포토는 50~80 cm이며 하사토는 90~100 cm로 가장 낮다(Fig. 1).

종합해 보면, 간척지 토양은 일반적으로 가용성 염류와 치환성 나트륨이 과다하게 함유되어 있기 때문에 염분농도가 대단히 높아서(Kang, 1993) 일반 토양에 비해 자연 비옥도가 낮고, 작물에 대한 수분의 이용도를 감소시킴은 물론 양분의 불균형을 초래해 작물의 발아 및 생장에 악영향을 미치게 되어 궁극적으로 생산량을 저하시킨다. 또한 간척지 토양은 토양 구조의 발달이 미약하여 입자의 결지력이 부족하고 보수력이 나쁜 물리성을 가지고 있다(Lee 등, 2000).

III. 간척지 토양의 질소전환과 작물생육 특성

1. 간척지 토양 내 질소 동태

질소는 작물생육에 중요한 질소화합물인 아미노산, 단백질, 효소의 구성성분으로 이들 물질은 광합성에 의하여 동화된 탄수화물(당류, 전분)에서 합성된다. 질소는 작물체 건물당 약 2-4 %함유되어 있어 탄소의 40%에 비하여 매우 적은 양이다. 단백질은 엽록체 원형질의 구성물질로 세포분열 및 증식에 필수적인 물질일 뿐 아니라 효소 및 보조효소의 구성성분으로 생체내의 복잡한 대사 조절 기능을 갖고 있다. 생육을 촉진하는데 가장 역할이 커서 질소 비료의 다량시비로 장해를 받는 경우가 많아 주의가 필요하다.

질소가 결핍되면 외관상 생육이 저조한 것이 특징이다. 잎은 엽록체의 발육부진으로 황백화(Chlorosis) 되고 시일이 경과하면 괴사한다. 잎은 작고 늙은 잎은 성숙 전에 떨어진다. 줄기는 가늘고 크지 않으며, 분얼이 억제되고, 뿌리의 신장이 나쁘게 되고 세근이 적게 된다. 성숙이 빠르고, 영양생장기가 짧아 일찍 노화되는데 이는 작물의 노화를 방지하는 식물 호르몬(Hormone)인 시트키닌의 합성이 억제되기 때문이다. 질소는 토양 중에 광물 구성성분으로 존재하지 않는 유일한 원소로서 대기가스 중에 78%로 두과 작물에 의한 생물학적 질소고정과 질소비료 제조 시에도 공중질소를 고정하여 요소를 만들고 있어 주요 질소공급원은 대기 중의 질소가스이다. 질소성분을 과잉 흡수하면 잎은 진한 녹색이 되고 줄기가 왕성하게 뻗은 개체는 연약해져 도복하기 쉽고, 병충해 및 냉해 저항성이 약하고 생장기가 연장되어 성숙기가 늦어져 수량이 감소되고 품질이 떨어진다(Kim, 2000).

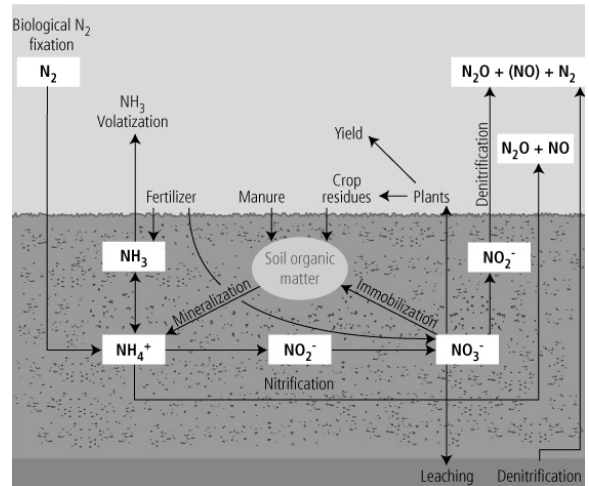


Fig. 2. The soil nitrogen cycle (Adapted from Hofman and Van Cleemput, 2004).

여러 형태로 질소가 토양 내 유입 되면 생물학적, 화학적 영향을 받아 분해가 된다. 예를 들어, 요소의 형태로 질소가 유입되면 가수분해가 되어 암모니아와 이산화 탄소를 생성하게 된다. 일부 암모니아는 대기 중으로 휘산되고, 나머지는 암모늄 형태로 전환이 된다. 암모늄이온은 식물의 뿌리에 의해 흡수 되거나 이산화 질소 형태 등으로 방출된다. 또한, 암모늄이온은 *Nitrosomonas*의 작용으로 아질산이온으로 산화되며, 이것은 다시 *Nitrobactor*의 작용으로 질산이온으로 산화된다. 질산이온은 음이온이라 토양에 흡착되어 식물에 의해 흡수 되지만 일부는 탈질작용에 의해 휘산되거나 근권 밖으로 용탈된다.

Ryu(2003) 등의 토양 중 염농도에 따른 질소, 인 동태 구명 연구에서 간척지 토양의 염농도가 토양 중 질소 용탈에 미치는 영향을 보면, 토양 중 암모늄 이온의 용탈량은 염농도가 높을수록 증가하였다. 이 같은 원인은 염농도가 높아질수록 토양 중 Na함량이 높아져서 결과적으로 NH_4^+ 의 용탈량이 증가한 것으로 해석된다(Fig. 3). Fig. 4는 토양으로부터 질산염의 용탈량을 나타낸 것인데, 염농도가 높아질수록 많아졌으나 그 차이는 크지 않았다. 세척횟수별 차이를 보면 새만금에서는 1회 세척시 총량의 42~48%가 용탈되었으며, 2차 세척시에는 24~35%량이 용탈되어 세척횟수가 증가할수록 용탈량은 점차 감소되었다. 전북통 토양에서는 1차 세척시 총량의 78~79%량이 용탈되었으며 2차 세척시에는 16~17%량이 용탈되는 것으로 보고되었다(Rye 등, 2004).

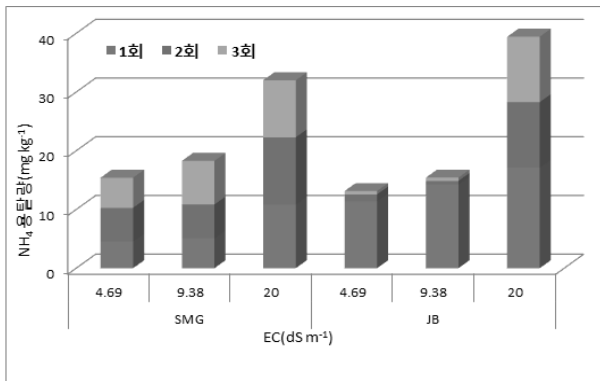


Fig. 3. Change of ammonium leaching under different salinity (Rye 등, 2004).

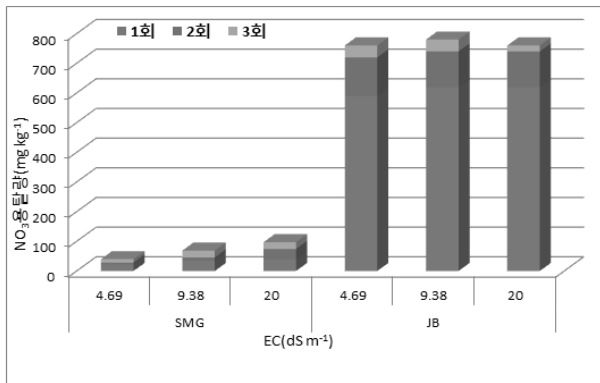


Fig. 4. Change of nitrate leaching under different salinity (Rye 등, 2004).

Kim 등(1983)은 신간척지 토양에 개량제를 처리하고 요소를 사용했을 때의 암모니아 휘산 정도를 알아보기 위한 연구에서 일반답 토양과 염농도가 다른 간척지 2개 토양을 공시하여 석고는 석회포화도 60%, 120% 조절량, 소석회는 석회 중화량을 처리하여 실내시험을 수행하였다. 그 결과 암모니아 총 휘산량은 일반답 토양이 간척지 토양보다 높았으며, 간척지 토양에서 염농도 간의 휘산량 차이는 없었다. 생고처리하는 3개 토양 모두 3요소 및 3요소+석회, 석고 처리보다 휘산량이 많았으며 과석처리의 경우 휘산량이 가장 적었다(Table 3).

2. 토양 염농도와 작물 생육

과도한 염농도가 식물 생육을 저해하는 일차적인 이유는 높은 염농도에서는 염이 물 분자를 끌어 당겨 토양의 수분 퍼텐셜을 감소시켜 식물이 토양으로부터 물을 흡수할 때 많은 에너지가 요구되기 때문이다. 그밖에 특정 이온의 영향은 이차적인 원인으로 취급되고 있다. 염농도는 어떤 한계를 넘으면 생육이 저해되는데 작물의 생육을 저해할 수 있는 한계 염농도는 식물의 종류와 상태, 그리고 온도, 습도, 풍속 등의 외부환경과 근권의 수분 퍼텐셜 등에 의하여 결정되는데, 생육저해는 염농도가 높아질수록 커지게 된다 (Lee 등, 2000).

Choi 등(2004)의 염도 처리에 따른 초장, 분얼수, 엽색

Table 3. Amount of ammonia loss in treated-soils.

(Kim 등, 1983)

토양	처리	NH ₃ -N 휘산량(mg 300mg ⁻¹)			휘산율(%)		
		10일	20일	30일	10일	20일	30일
일반답	NPK	12.79	22.86	24.93	4.3	7.6	8.3
	NPK+석회	13.02	21.79	22.73	4.3	7.3	7.6
	NPK+생고	13.97	30.00	37.28	4.7	10.0	12.4
	NPK+과석	10.57	17.57	19.33	3.5	5.9	6.4
간척답(1)	NPK	1.82	7.97	14.76	0.6	2.7	4.9
	NPK+석고60%	1.91	8.74	12.17	0.6	2.9	4.1
	NPK+석고60+생고	9.17	19.81	29.52	3.1	6.6	9.8
	NPK+석고+과석	0.98	4.75	10.70	0.3	1.6	3.6
	NPK+석고120%	1.25	5.31	12.66	0.4	1.8	4.2
간척답(2)	NPK	1.15	6.37	14.44	0.4	2.1	4.8
	NPK+석고60%	1.15	4.61	11.88	0.4	1.5	4.0
	NPK+석고60+생고	8.90	16.00	17.93	3.0	5.3	6.0
	NPK+석고+과석	1.07	4.22	9.67	0.4	1.4	3.2
	NPK+석고120%	1.01	4.55	9.94	0.3	1.5	3.3

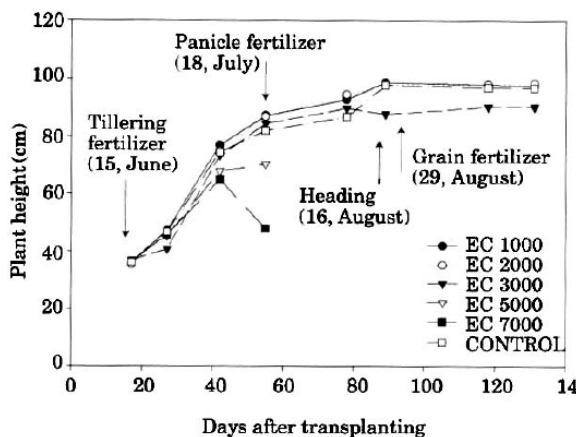


Fig. 5. Temporal changes of rice plant height under the different salt levels of the irrigated water (Choi 등, 2004).

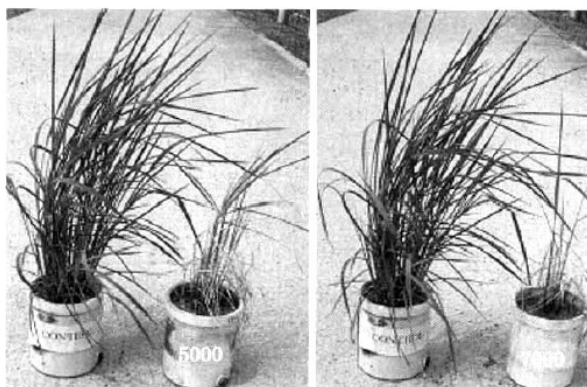


Fig. 6. Comparison of rice growth in control and treatment of EC5000 and EC 7000 (Choi 등, 2004).

도, 건물중에 대한 조사에서 초장은 관개수의 염도가 증가할수록 작아지는 경향으로 생육초기부터 EC 5000과 EC 7000 처리구에서는 눈에 띄게 초장이 감소하였으며, 유수형성기 이후부터는 EC 3000처리구가 다른 시험구에 비해 초장이 유의하게 작았다(Fig. 5). 유수형성기 이전인 이앙 후 40일 정도 지난 7월 중순경에 EC 5000과 EC 7000 처리구에서는 식물체가 고사하였다(Fig. 6). 본 연구의 결과를 종합해 볼 때, 염분농도가 1 dS m⁻¹ 이상에서는 수량감소를 가져오고, 특히 3 dS m⁻¹ 이상에서는 절대적인 벼 생육 피해 뿐만 아니라 식물체 고사까지 초래하고 있다.

IV. 결론

본 연구는 국내 간척지 토양의 이화학 특성과 토양 내 질소 동태를 조사하여 앞으로 진행될 연구에 대한 이론적

기초를 마련하는데 있었다. 여러 문헌들을 조사한바, 현재 국내 간척지는 염농도가 높고 모래와 미사가 많고 지하수위가 높아 배수가 불량하고 표토에 염분집적이 쉽다. 또한 유기물 함량, 인산 및 석회 함량이 극히 적어서 토양의 입단화가 이루어지지 않고, 작물 생산성이 매우 낮다. 따라서 토양환경을 개량하기 위해 유기물, 인산 및 석회질을 보충해줘야 한다.

대부분의 간척지는 농경지로 이용되고 있으며, 배수불량으로 인해 농경지 대부분은 논으로 이용되고 있다. 하지만, 생산성을 높이기 위해 질소비료를 저염지보다 2배 이상 사용하고 있지만 생산성은 미비했다.

토양 내 염농도가 증가할수록 용탈되는 질산태 질소와 암모니아태 질소도 증가하였고, 석회시용량이 증가할수록 암모니아의 휘산량이 감소하였다.

이상과 같은 연구 결과를 토대로 간척지를 효과적으로 이용할 수 있는 개선방향을 모색할 수 있을 것이다.

참고 문헌

Back NH, Choi WY, Ko JC, Nam JK, Park HK, Chung IJ, Park KG. 2005. Proper Nitrogen Fertilizer Level for Improving the Rice Quality at Reclaimed Saline Land in the Southwestern Area. *Korean J. Crop. Sci.* 50(S): 46-50.

Ben-Hur M. 1991. The effect of dispersants, stabilizer and slope length on runoff and water-harvesting farming. *Aust. J. Soil Res.* 29: 553-563.

Brady NC, RR Weil. 2002. *The Nature and Properties of Soils*. 13thed. Pearson Education Inc., Upper Saddle River, NJ, USA.

Cho JY, Koo JW, Sohn JK. 2006. Chemical Properties in the Soils of Reclaimed and Natural Tidelands of Southwest Coastal Area of Korea(III): Distribution of Nitrogens Fractions. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 48(3): 3-8.

Cho YK, Jo IS, Um KT. 1992. Effects of decreasing methods of salt content in root zone on soil properties and crop growth at the newly reclaimed tidal soil. *Korean Soc. Soil Sci. and Fert.* 25(2): 127-132.

Choi SH, Kim HI, Ahn Y, Jang JR, Oh JM. 2004. Salinity effects on growth and yield components of rice. *Korean J. Limnol.* 37(2): 248-254.

Choi WY, Lee KS, Ko JC, Park HK, Kim SS, Kim BK, Kim CK. 2004. Nitrogen fertilizer management for improving rice quality under different salinity conditions in tidal reclaimed area. *Korean J. Crop. Sci.* 49(3): 194-198.

Gardner R. 1945. Some Soil Properties Related to the Sodium Salt Problem in Irrigated Soils. *USDA Tech. Bull.* 902 pp.

- Hofman, Van C. 2004. <http://www.fertilizer.org/ifa/HomePage/SUSTAINABILITY/Climate-change/Nitrogen-cycle.html>
- Im HB. 1970. Study on the salt tolerance of rice and other crops in reclaimed soil areas. *Korean Soc. Soil Sci. and Fert.* 3(1): 31-41.
- Im HB, Lim UK, Hoang CS. 1971. Study on the salt tolerance of rice and other crops in reclaimed soil areas. *Korean Soc. Soil Sci. and Fert.* 4(1): 79-85.
- Jung JH. 2008. <http://blog.daum.net/viny9364/7826390>.
- Kang YM. 1993. Chapter.9 Desalination. Reclamation engineering. Hyangmoonsa. Seoul, Korea.
- Kim BJ. 2000. Soil and fertilizer. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 1: 18-26.
- Kim JY, Son JG, Koo JW, Choi JK. 2002. *Rural Planning* 8(1): 3-14.
- Kim WC, Park MH, Hwang KN, Jung BK, Park JK. 1983. Effect of gypsum on nitrogen emission in reclaimed soil. *NAAS.* pp. 522-532.
- Koo JW, Choi JK, Son JG. 1998. Soil properties of reclaimed tidal lands and tidelands of western sea coast in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(2): 120-127.
- Lee HJ, Jung JH, Lee CH, Jung YS, Park JK. 2003. *Development of Precision Agriculture Technique and Improvement of Agricultural Management and Environment in Direct-seeding Rice Culture.* MAF. pp. 29-35.
- Lee SH, Ryu SH, Seol SI, An Y, Jung YS, Lee SM. 2000. Assessment of salt damage for upland-crops in Dae-ho reclaimed soil. *Korean J. Environ. Agri.* 19(4): 358-363.
- McNeal BI, Layfield DA, Norvell WA, Rhoades JD. 1968. Factors influencing hydraulic conductivity of soils in the presence of mixed salt solutions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 187-190.
- NIAST. 1995. South Korea's Land Reclamation. RDA.
- NIAST. 2002. Agricultural Reclamation in South Korea. RDA.
- Noh GG, Lee JK, Choi JW, Han SW. 2001. *Research on North Korea's Agricultural Production Base.* Korea Institute for National Unification. pp. 51-54.
- Pupiski H, Shainberg J. 1979. Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil: *Soil Science Society of America Journal* 43: 429-433.
- Quirk JP, Schofield RK. 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *J. Soil Sci.* 6: 163-178.
- Reeve RC. 1960. The transmission of water by soils as influenced by chemical and physical properties. *Int. Congr. Agr. Eng., Trans.* 5: 21-32.
- Richards LA. 1956. Agricultural use of water under saline conditions. In *The Future of Arid Lands*, Amer. Assoc. Advance. Sci. Publ. 43: 221-225.
- Richards SJ, Coleman NT. 1959. The effect of soil solution Al and Ca on root growth. *Soil Soc. Am. Proc.* 23: 355-357.
- Ryu CH, Lee DB, Bark CW, Lee KB, Son JK. 2004. *Fate of Nitrogen and Phosphorus on Soil Salinity.* RDA
- Ryu JH, Chung DY, Hwang SW, Kang JG, Lee SB, Choi WY, Ha SK, Kim SJ. 2010. Leaching and distribution of cation in multi-layered reclaimed soil column with intermediate macroporous layer. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(5): 602-609.
- Shainberg I, Bresler E, Klausner Y. 1971. Studies on Na/Ca montmorillonite systems. I. The swelling pressure. *Soil Sci.* 111: 214-219.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.* L.A. Richards (ed.) USDA Handb. 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.