

간척지 토양환경 조건별 토양내 질소 동태와 영향 요소

한상균 · 김혜진¹ · 송진아¹ · 정덕영^{1*}

농촌진흥청 농자재관리과, ¹충남대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과

Fate of Nitrogen Influenced by Circumstances of a Reclaimed Tidal Soils

Sang-Gyun Han, Hey-Jin Kim¹, Jin-Ah Song¹, and Doug-young Chung^{1*}

Agro-materials Management Division, Rural Development Administration, Suwon, 441-707, Korea, ¹Department of Bio-Environmental Chemistry, College of Agriculture and LifeSciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

In most agricultural soils, ammonium (NH_4^+) from fertilizer is quickly converted to nitrate (NO_3^-) by the process of nitrification which is crucial to the efficiency of N fertilizers and their impact on the environment. However, nitrification studies have been studied extensively in agricultural soils, not in a newly reclaimed tidal soil which show saline-sodic and high pH. Therefore, understanding the fate of nitrogen species transformed from urea introduced into reclaimed tidal soil is important for nutrient management and environmental quality. This paper reviewed studies regarding to transformation and fate of nitrogen sources such as urea under the circumstances of a reclaimed tidal soils located in a western coastal area.

Key words: Nitrogen, Transformation, Urea, Redox, Reclaimed soils

서 언

우리나라의 농경지는 산업화와 도시화의 영향으로 타 용도로 전용되는 등으로 그 면적이 급속히 감소되고 있다. 우리나라의 서남해안은 해안선이 복잡하고 수심이 낮아 간척하기에 좋은 조건을 갖추고 있어서 예로부터 서남해안을 중심으로 간척이 진행돼 왔으며 간척지는 식량의 안정적 공급을 위한 경지면적을 확보하는데 중요한 자원이 된다.

우리나라 서남해안에 분포된 신간척지는 대부분 인위적 방조제 구축으로 형성된 간척지로 지하수위가 높고, 염농도가 높으며 투수성이 불량하여 수직배수에 의한 제염이 어렵다. 간척지 중 사질계토양은 작토층의 경화로 수년간 이양작업이 곤란 내지 불가능하다. 이와 같이 간척 초기토양 중 영농에 문제점을 갖고 있는 사토 내지 사양토의 경우 전국 분포 면적 156ha 중 73%가 전북의 해안에 분포하고 있다. 그리고 간척지토양에서 벼를 재배할 경우 염분과 벼가 자라는 근권내 토양입자분포 특성에 영향을 받아 통기성이 매우 불량하며 또한 환원상태에서 황화수소의 발생과 인산, 칼리, 아연결핍이 많아 벼생육이 매우 불량하다 (Yang et al., 2010). 따라서 간척지에서 작물 재배의 문제점은 간척지 토양의 염농도, 높은 지하수위, 토양물리화

학적 등 작물생육에 지장을 초래한다 (Jung and Ryu, 2007).

그리고 오래된 간척지토양의 pH는 중성 이하로 조사되었지만 새만금과 같은 신간척지의 pH는 7 이상으로 조사되었다. 그리고 담수 시 토양의 산화환원 전위 조사 결과를 살펴보면 -200 mV 이하로 간척지 토양은 환원상태로 존재하여 요소를 질소원으로 공급 시 요소전환 특성에 따른 가용화율이 감소하는 반면 암모니아 가스 등으로 손실되는 질소의 양은 증가될 것으로 추정되고 있으나 이에 대한 연구는 매우 미미하다.

벼 수량은 수도 품종, 토양의 생산력, 재배관리기술, 기상 및 각종 환경요인 등에 좌우된다. 벼수확량을 증가시키기 위한 방법으로는 토양특성을 수도의 생육에 알맞도록 유지시키는 화학적인 개량과 작토층 및 근권확대를 위한 심경, 객토 및 배수개선 등의 물리적 개선방법이 있다. Park (2008)이 발표한 2002년도 해창만지구 간척지구 (간척연대 33년)별 시비량 및 수량을 살펴보면 질소시비량을 10a당 21.9 kg을 시용 시 쌀수량은 10a당 평균 480 kg으로 전국 평균의 약 90% 이상이었으나 2001년도 계화도 간척지 (간척연대 : 33년, 2001년)의 경우 문포통, 염포통, 광활통에서 질소시비량을 평균 10a당 20 kg 처리 시 쌀수량은 10a당 평균 515 kg 정도로 조사되었다. 반면 계화도 간척지에서 1990~1991년까지 2년간 시비량을 N-P₂O₅-K₂O를 10a당 20-13-10 kg 처리 시 쌀수량은 10a당 관행에서 224 kg, 객토구에서 가장 높은 412 kg 정도를 수확한 것

접수 : 2011. 9. 28 수리 : 2011. 10. 13

*연락처 : Phone: +82428216739

E-mail: dychung@cnu.ac.kr

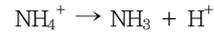
으로 조사되었다.

상기에서 살펴본 바와 같이 간척지에서 질소시비량은 일반 논토양의 2배 이상이나 수확량은 일반 논에서의 평균수확량 이하이나 벧집과 정조내의 질소와 인의 함량이 증가할수록 수량도 증가하는 것으로 조사되었다. 그러나 현재까지의 간척지토양에서 연구는 제염 연구 위주로 연구가 실시되었고 기존에 수행된 연구의 대부분이 제염방식에 따른 작물수량검정 연구로 제한적임을 알 수 있다. 따라서 수도를 비롯한 작물 생육 연구에 있어서 간척지 토양 특성에 따른 질소와 인의 토양내 동태를 조사하여 질소와 인의 작물체내 흡수율을 증가시킬 뿐만 아니라 기존의 질소 시비량을 감소시키기 위한 간척지토양에서 질소와 인의 효율적 관리 방법 연구가 필요하다.

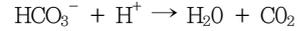
본 론

토양환경 조건별 토양내 질소 동태와 영향요소 토양내에서의 질소 전환 과정 여러 형태로 질소가 토양 내 유입되면 생물학적, 화학적 영향을 받아 분해가 된다. 예를 들어, 요소의 형태로 질소가 유입되면 가수분해가 되어 암모니아와 이산화탄소를 생성한다. 일부 암모니아는 대기 중으로 휘산되고, 나머지는 암모늄 형태로 전환이 된다. 암모늄이온은 식물의 뿌리에 의해 흡수 되거나 일산화질소 형태 등으로 방출된다. 또한, 암모늄이온은 *Nitrosomonas*의 작용으로 아질산 이온으로 산화되며, 이것은 다시 *Nitrobacter*의 작용으로 질산이온으로 산화된다 (Van Cleemput et al., 1996).

질산이온은 음이온이라 토양에 흡착되어 식물에 의해 흡수 되지만 일부는 탈질작용에 의해 휘산되거나 근권 밖으로 용탈된다. 한편 담수상태하에서 암모니움태 이온 용탈이 증가하는데 이는 담수상태하에서 상존 수두포텐셜이 증가하여 지하수쪽으로 지속적인 용탈을 발생하기 때문이다. 그러나 이러한 현상은 담수상태하에서 유기물을 사용한 경우에도 유사한 현상이 발생하는 것으로 보고되었다 (Kuichi and Omukai, 1959). 한편 토양의 pH가 7.5 이상의 알칼리성으로 존재할 때 토양에서는 암모니아 (NH_3)가 생성되어 대기로 휘발된다.



그리고 상기 과정에서 생성된 수소이온은 중탄산 (HCO_3^-)에 의해 중화되어 토양은 계속 알칼리성을 유지한다.



그러나 어느 정도 시간이 경과되면 $NH_4^+ \rightarrow NH_3$ 전환 과정에서 HCO_3^- 가 소모되어 pH는 감소하여 더 이상 암모니아 휘발은 발생하지 않는다. Fig. 2는 담수깊이를 5 cm 깊이로 유지하면서 조사한 토양 pH변화를 조사한 결과다 (Vlek and Craswell, 1978, 1981). 그림에서 보는 바와 같이 담수초기부터 약 80 시간 (약 3.5일) 정도까지 담수상태하에서 토양 pH는 7.5 이상으로 유지되었다. 따라서 조사한 담수초기부터 약 3.5일에 이르는 기간에는 토양에 처리된 Urea는 암모니아 형태로 대기로 휘발돼 갈 것으로 추정된다.

토양의 화학적 변화를 기준 시 암모니아휘발은 토양 pH, 알칼리특성, 그리고 암모니아태 질소 (N)와 담수와의 역학관계에 의해 결정된다 (Vlek et al., 1979). Fig. 3은 대기온도와 pH 변화에 따른 암모니아 형태로의 요소손실율을 조사한 연구 결과로 대기온도와 pH가 증가할수록 요소손실율은 지속적으로 증가하는 것으로 조사되었다 (Vlek and Craswell, 1979, 1981; Vlek et al., 1980).

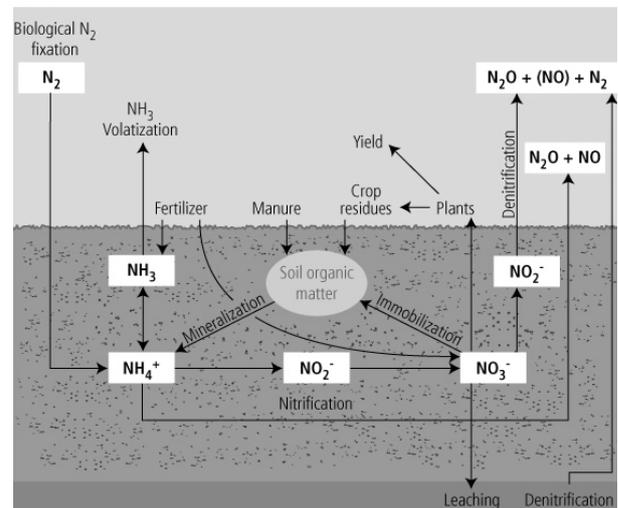


Fig. 1. The soil nitrogen cycle (Hofman and Van Cleemput, 2004).

Table 1. Yield of rice and fertilizer application rates on Haechang reclaimed area in 2002.

Fertilizer application rates			Yield of rice							
----- kg 10a ⁻¹ -----			----- kg 10a ⁻¹ -----							
N	P	K	Nampyong (55)	Dongahn (13)	Joonam (6)	Ilmee (6)	Dongjin (3)	Others (6)	Avg.	Remarks (Gywhwa)
21.9	4.5	8.0	465	477	494	473	495	479	480	515

(), numbers of rice-farming households.

토양수분함량 조건에 따른 암모니아 휘발손실량에 대한 연구 결과를 살펴보면 토양수분함량이 증가함에 따라 요소손실량은 감소하며 반감기 또한 불포화상태인 50% 수준에서 약 2.32일 정도 소요되는 것으로 조사되었다 (Vlek and Carter, 1983; Vlek and Craswell, 1981).

일반적으로 포장용수량상태에서 요소 처리 깊이가 깊어짐에 따라 질소손실은 급격히 감소하는 것으로 알려져 있다 (Overrein and Moe, 1967). Rao and Batra(1983)가 조사한 요소처리 깊이별 암모니아휘발량 결과를 살펴보면 처리 깊이가 지표면에서 지중 7.5 cm 정도로 깊어짐에 따라 암모니아휘발량도 약 60 %에서 10% 이하로 감소하는 경향을 보여주고 있다 (Fig. 4).

토양의 산화환원상태 토양의 산화환원상태는 토양통기성과 밀접한 관련이 있다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 일반적으로 호기상태에서 산화환원포텐셜은 +400 내지 +700 mV의 범위를 가지나 담수상태에서 산화환원포텐셜은 -250 내지 -300 mV 정도의 범위를 나타낸다 (Bohn, 1971). 논과 같이 초기부터 담수상태로 시작하는 토양에서

는 식물체가 질소원을 양분으로 이용하기 전 탈질화과정을 거치거나 아니면 용탈과정을 통하여 손실이 발생한다.

특히 지하수위가 높은 해안지역의 간척지토양에서는 모세관상승에 의한 높은 농도의 해수가 지표면으로 상승한다 (Fig. 6). 모세관상승 높이는 입경이 작아질수록 상승 높이가 증가되어 모래함량이 높은 사토보다는 점토함량이 많은 토성에서 더 높게 증가한다. 따라서 지속적인 모세관상승에 따라 염류도 상승하며 지표면에서 증발이 발생하면 염류는 뿌리 근처에 집적되어 saline-sodic 토양으로 변하며 토양의 pH도 8 이상으로 증가하는 경향을 보인다. 따라서 이와 같은 염류집적에 따른 saline-sodic 토양에서 토양에 처리된 요소의 경우 암모니아태로 전환되어 대기로 휘발되는 경우가 발생할 수 있다.

반면 점토가 많은 토양에서는 점토입자의 입단화에 의해 해수가 모세관을 따라 상승하는 경향이 낮아 뿌리 근

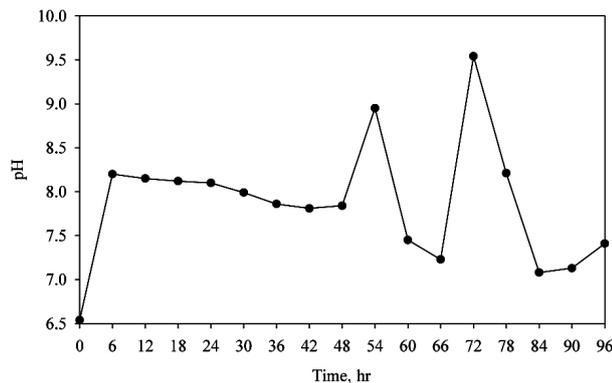


Fig. 2. Dynamics of floodwater pH following broadcast and incorporation of 100 kg N ha⁻¹ as urea. Floodwater depth was 5 cm (Vlek and Craswell, 1981).

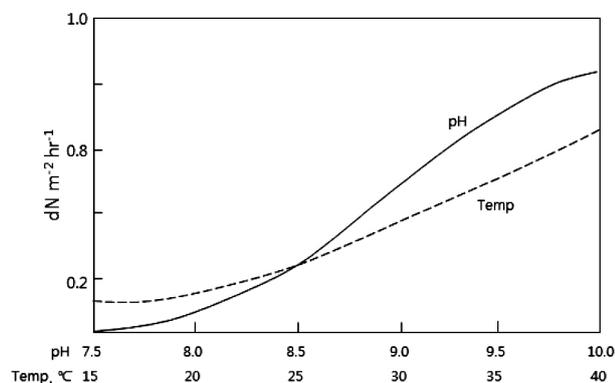


Fig. 3. Variation of ammonia volatilization with temperature and pH following broadcast and incorporation of 100 kg N ha⁻¹ as urea. Floodwater depth 5 cm (Vlek and Craswell, 1981).

Table 2. Effect of moisture saturation on volatile losses of ammonia from applied urea (60 mg L⁻¹ N), reaction coefficient (k) and t_{1/2} for alkali soil at field capacity (Vlek and Craswell, 1981).

Treatment	N loss	k	t _{1/2}
	%	days ⁻¹	days
50%	62.66	0.299	2.32
75%	49.33	0.233	2.97
100%	44.40	0.195	3.56
Water logged	34.90	0.066	10.46

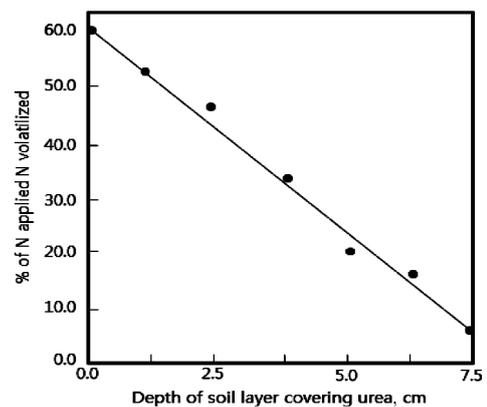


Fig. 4. Effect of depth of urea application (60 mg L⁻¹ N) on ammonia volatilization from alkali soil at field capacity (Rao and Batra, 1983).

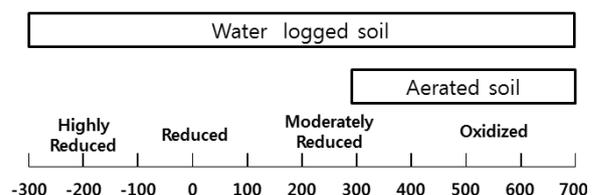


Fig. 5. Range of redox potential depending on soil moisture content.

처에 염류가 집적되는 현상은 거의 미미하다 (Knuteson et al., 1989). 그러나 지금까지의 간척지에서 제염에 관한 연구는 주로 담수를 통한 염류의 용탈 또는 환수를 통한 확산제염에 관한 것이 대부분으로 고염도의 간척지에서 염류의 모세관 상승을 막는 재염화 차단에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. Gismer and Gates (1988)가 조사한 바에 따르면 점토함량이 높은 식토보다 모래함량이 높은 토성에서 지표면에서 증발산량이 증가하나 지하수위가 깊어질수록 증발산량은 감소하는 경향을 보여주고 있다 (Fig. 7). 그러므로 지하수위가 높고 점토함량이 낮은 토양의 경우 높은 증발산량에 의해 지하수상승이 빨라져 토양은 saline-sodic 토양으로 전환되기 쉽다.

국내 간척지 토양의 이화학 특성 토양통별 간척지 토양의 이화학적 특성을 살펴보면 표층에 해당하는 A 또는 Ap층의 깊이는 20 cm 이내이며 대부분 하부에 C층이 바로 연결돼 있다. 그리고 A 또는 Ap층의 입도분포를 살펴보면 점토함량은 광활토의 8.5%가 최대로 조사되었다 (Table 3). 간척지토양의 토양입자분포 특성을 살펴보면 새만금지

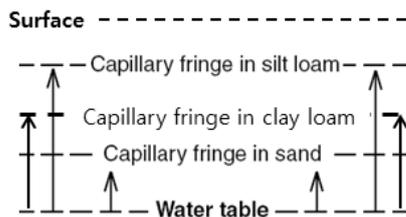


Fig. 6. Capillary rise from a water table depends on soil texture. Capillary rise will extend higher in a silt loam, silty clay loam and a very fine sandy loam than in a clay, clay loam or sand (David Franzen, 2007).

역의 광활토의 경우 지표면 30 cm 이내에서는 미사함량이 50% 이상 존재하며 다음 모래가 약 40%, 그리고 점토가 10% 이하로 존재하고 있다 (Ryu et al., 2010). 따라서 점토 크기에 가까운 미사함량이 증가할수록 토양내 공극의 크기는 감소하여 배수가 불량해진다. 그리고 토양에 가해지는 질소공급원인 요소 전환에 영향을 미치는 토양 pH는 간척기간이 오래된 염포통과 포승통을 제외한 나머지 토양통 모두에서 7 이상 알칼리토양으로 조사되었으며 특히 최근 간척지 완료된 광활의 경우 토양 pH는 8 이상으로 강알칼리 토양으로 조사되었다. 또한, pH가 7 이상으로 높은 경우 토양의 염류농도도 증가하는 경향을 보였다.

토양 화학성 변화 Ryu(2009)가 조사한 간척지구별 년차적 토양산도와 유기물함량변화를 조사한 결과를 살펴보면 토양 pH와 유기물함량은 대체로 낮아지는 것으로 조

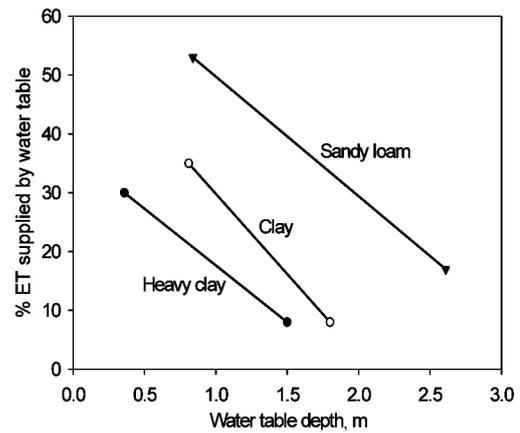


Fig. 7. Evapotranspiration supplied by a saline water table as affected by water table depth (Gismer and Gates, 1988).

Table 3. Physical and chemical properties of reclaimed soils located in western coastal area.

Soil series	Soil Layer	Depth cm	Particle distribution			Soil texture	pH	OM %	Exch. Cation				Salinity	
			Sand	Silt	Clay				Ca	Mg	Na	K	%	dS m ⁻¹
Hasa	AP	0~13	94.8	1.8	3.4	FS	7.3	0.24	1.2	0.45	1.4	0.08	0.30	4.69
	C1	13~21	92.4	3.0	4.6	FS	7.7	0.31	1.5	0.33	1.4	0.11	0.20	3.13
Yunpo	AP	0~10	69.7	25.3	5.0	FSL	5.6	0.56	1.2	1.41	4.0	0.23	1.00	15.63
	C1g	10~55	75.9	20.9	3.2	LFS	5.5	0.47	1.3	1.31	3.9	0.11	0.60	9.38
Moonpo	AP1	0~8	47.0	46.5	6.5	FS	7.7	0.80	1.5	3.62	2.4	0.26	0.60	9.38
	AP2	8~18	51.7	42.0	6.3	FS	8.1	0.24	1.5	3.51	3.2	0.39	0.80	12.50
	C1g	18~70	87.0	10.5	2.5	FS	8.1	0.19	1.6	2.84	3.6	0.51	1.30	20.31
Kwanghal	AP1g	0~12	26.6	68.1	5.3	SiL	7.4	0.81	3.5	4.41	2.9	0.55	0.70	10.94
	AP2g	12~22	36.7	54.8	8.5	SiL	8.1	0.35	2.9	5.31	4.4	1.14	0.90	14.06
	C1g	22~35	19.3	60.6	20.1	SiL	8.0	0.63	1.9	5.60	2.7	1.23	0.90	14.06
Poseung	AP	0~10	7.30	69.1	23.6	SiL	4.6	2.01	5.3	2.32	2.5	2.46	0.80	12.50
	B1	10~25	4.60	64.3	31.6	SiCL	5.8	1.39	4.4	2.68	1.6	0.18	0.60	9.38
	B2g	35~50	5.40	68.2	26.4	SiL	6.6	1.22	5.4	2.99	2.0	1.84	0.70	10.94
	Cg	80~140	10.6	61.8	27.6	SiCL	7.1	0.6	6.1	3.63	1.3	0.11	2.20	34.38

사되었으나 대부분 간척지지구에서 조사된 토양 pH는 알칼리에 해당하는 것으로 조사되었다. 따라서 이러한 토양 pH의 변화는 토양에 가해지는 질소형태에 영향을 미쳐 작물체내로의 이동과 용탈 등에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그러나 년차별 토양 pH와 유기물함량 변화는 상관관계가 매우 낮은 것으로 조사되었다 (Table 4).

간척 후 5년간 토양통별 pH와 유기물함량변화 결과는 지구별 조사 결과와 마찬가지로 대부분 토양통의 토양 pH는 알칼리에 해당하는 것으로 조사되었다. 토양 및 지구별 토양화학성 변화 중 토양산도는 토양 및 지구별 년차간 변화는 약간 낮아졌다. 토양별로 볼 때 포송통은 간척년대가 경과할수록 높아졌으나 포두통, 광활통, 염포통, 문포

통은 낮아지는 경향이였다. 그러나 1년차에 비하여 5년차에는 계화지구의 광활통, 염포통, 문포통은 같은 산도를 보였으나, 완도지구의 포두통 등은 모두 낮아졌다 (Table 5). 따라서 알칼리에 해당하는 토양에서 작물 재배 시 질소원으로 요소를 사용 시 상대적 손실량이 높았을 것으로 추정된다. Cabrera et al. (1991)이 조사한 결과에 따르면 토양 pH가 6.5에서 9.5로 증가함에 따라 요소형태로 토양에 가해진 질소원으로부터 암모니아가스 발생이 급격히 증가되어 손실율이 큰 것으로 보고되었다. 따라서 pH 7 이상의 간척지 토양에 요소를 질소원으로 처리 시 암모니아나 질산태 형태의 가급대 질소원은 매우 적을 것으로 추정된다.

Table 4. Chemical properties of reclaimed soils located in western coastal area in 1st and 5th year after reclamation.

Location	pH		OM		Avail. P ₂ O ₅	
	1st yr	5th yr	1st yr	5th yr	1st yr	5th yr
	(1:5)		g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	
Wando	8.2	8.3	9.3	8.7	18	12
Manduk	7.8	6.8	10.8	8.8	37	21
Nampo	7.6	7.1	3.4	4.2	14	26
Bojun	8.4	8.3	2.1	5.0	14	10
Gangsan	8.0	7.9	17.0	10.0	22	12
Seosan A	6.8	6.4	9.9	8.2	40	29
Sopo	8.0	7.6	13.3	10.2	30	25
Haechang	8.3	8.1	13.3	12.4	36	22
Gywhwa	6.2	6.2	8.6	7.3	37	36
Oma	6.3	6.2	11.6	9.4	72	38

Table 5. Changes in pH and organic matter content for various soils series of a reclaimed tidal soils.

Soil series	Location	pH		OM	
		1st yr	5th yr	1st yr	5th yr
		(1:5)		g kg ⁻¹	
Poseung	Manduk	7.7	6.8	8.2	5.3
	Seosan A	8.2	7.0	9.2	10.0
	Sopo	7.8	7.4	11.5	8.8
	Haechang	8.2	8.0	16.0	14.3
Podoo	Wando	8.2	8.3	9.3	8.7
	Bojun	8.4	8.3	0.9	6.4
	Gangsan	8.0	7.9	17.0	10.0
	Sopo	8.2	7.7	15.1	11.6
	Haechang	8.4	8.2	10.6	10.6
	Oma	6.3	6.2	11.6	9.4
Kwanghal	Manduk	7.8	6.8	13.4	12.3
	Seosan	6.4	6.3	8.6	7.6
	Gyehwa	6.2	6.2	9.7	9.7
Yumpo	Bojun	8.3	8.2	3.3	3.4
	Seosan	6.0	6.0	6.8	6.0
Moonpo	Nampo	7.6	7.1	3.4	4.2
	Seosan A	5.8	5.8	12.0	6.9
	Gyehwa	6.5	6.5	9.2	6.2

Table 6. Changes in Eh at the surface and the subsurface in a rice paddy soil.

Layer	Eh (mV)									
	7.29	8.3	8.9	8.17	8.24	8.31	9.7	9.14	9.21	9.28
surface	-183.2	-165.2	-209.6	-327.4	-289.2	-179.8	-8.6	-104.8	-107.2	19.2
Subsurface	32.2	19.6	54.0	32.8	33.4	-65.4	-143.4	-64.8	-68.2	-49.4

Initial flooding day, May 15.

전북통의 토양 Eh 변화는 출수기 이후까지 경반층은 산화상태인 반면에 작토층은 환원상태를 나타내고 있는데 (Table 6) 이와 같이 경반층 내의 산화상태에서는 유·무기 태질소, 인산, 철 등의 양분가급도가 저하될 수 있다. 그리고 질소질원으로 토양에 공급되는 요소의 경우 토양에서 가급태인 암모니움이나 질산태로 전환되는 과정에 토양수분 함량이 영향을 미치며 요소가수분해 (Urea hydrolysis)는 토양수분함량이 질량수분함량 기준 약 20%부터 포장용수량에 이르기까지는 증가하나 포장용수량 이상과 질량수분 함량이 약 20% 이하의 경우 요소가수분해율은 급격히 감소하는 것으로 알려져 있다 (Savant et al., 1983; Vlek and Carter, 1983). 그리고 토양의 산화환원전위는 토양에 가해지는 질소질비료의 전환과정에 영향을 미친다. Lindau et al. (1989)이 발표한 자료에 따르면 요소 (Urea)의 가수분해는 산화상태에서는 0.054 to 0.094 h^{-1} ($t^{1/2} = 7.4$ to 13.8 h) 이나 환원상태에서는 0.028 to 0.062 h^{-1} ($t^{1/2} = 11.2$ to 24.8 h)로 급격히 낮아지는 것으로 조사되었다. 그리고 요소손실율은 환원상태에서 0.403 h^{-1} 이나 산화상태에서는 0.369 h^{-1} 로 환원상태에서의 요소손실율이 더 큰 것으로 조사되었다.

결 론

국내 간척지 토양의 이화학 특성과 관련하여 여러 문헌들을 조사한 바, 현재 국내 간척지는 염농도가 높고 모래와 미사가 많고 지하수위가 높아 배수가 불량하고 표토에 염분집적이 쉬울 뿐만 아니라 제염을 실시한 후 다시 지하수 상승 등에 의한 재염화현상이 발생할 우려가 매우 높다. 한편 농경지로 이용되고 있는 대부분의 간척지는 배수불량으로 인해 대부분 논으로 이용되고 있다. 하지만, 생산성을 높이기 위해 질소처리량이 일반 논보다 2배 이상 사용하고 있지만 생산성은 관행 논에서의 평균 생산량보다 낮은 것으로 조사되었다. 이는 염농도 뿐만 아니라 질소원으로 가해지는 비료 종류에 따른 재배 기간 중 질소전환 과정과 질소형태에 따른 질소이용을 증대와 관련하여 적절한 토양관리방안이 적용되지 않았기 때문인 것으로 추정된다. 특히 담수상태에서 토양산화환원특성과 토양 pH에 따른 처리 비종 등이 결정되어야 하며 더 나아가 발작물 재배를 위한 토양관리방안도 함께 개발되어야

할 것으로 판단된다. 특히 지표면에서 증발산에 따른 염상승과 분포에 따른 염류집적 방지와 알카리성 상태로 존재하는 토양에 대한 개선 방안이 매우 필요한 것으로 판단된다. 따라서 상기에서 조사 평가한 결과를 토대로 간척지를 효과적으로 이용할 수 있는 개선방향을 모색하여야 한다.

사 사

The financial support from ITEP under grant (109185-03-2-CG000) is highly appreciated.

참 고 문 헌

- Al-Rashidi, R.K. and M.M. Al-Jabri. 1990. Nitrification and urea hydrolysis in amended calcareous saline soils. *Arid Land Research and Management*, 4. 4:243-252.
- Bohn, H.L. 1971. Redox potentials. *Soil Sci.* 112:39-45.
- Cabrera, M.L., D.E. Kissel, and B.R. Bock. 1991. Urea hydrolysis in soil: effects of urea concentration and soil pH. *Soil Biol. Biochem.* 23:1121-1124
- David Franzen. 2007. *Managing saline soils in North Dakota*. SF-1087
- Gismer, M.E. and T.K. Gates. 1988. Estimating saline water table contributions to crop water use. *California Agriculture* 42:23-24.
- 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.
- Knutson, P., C.A. Ghiani, J.M. Zhou, V. Gallo, and C.J. McBain. 1997. KI channel expression and cell proliferation are regulated by intracellular sodium and membrane depolarization in oligodendrocyte progenitor cells. *J Neurosci.* 17:2669-2682.
- Kuichi and Omukai, 1959. Influence of organic matter content and plant root on the leaching of cations from paddy soils. *Soil and plant food.* 5:108-113.
- Lindau, C.W., W.H. Patrick, R.D. Delaune, and K.R. Reddy. 1990. Rate of accumulation and emission of N_2 , N_2O and CH_4 from a flooded rice soil. *Plant and Soil.* 129:269-276.
- Overrein L.N and P.G. Moe. 1967. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31:57-61.

- Park, K.H. 2008. <http://blog.daum.net/viny9364/7826479>
- Rao D.L.N. and L. Batra. 1983. Ammonia volatilization from applied nitrogen in alkali soils. *Plant Soil*. 70:219-228.
- Ryu, J.H. 2009. <http://blog.daum.net/viny9364/7826770>
- Ryu, J.H., D.Y. Chung, S.W. Hwang, K.D. Lee, S.B. Lee, W.Y. Choi, S.K. Ha, and S.J. Kim. 2010. Patterns of Leaching and Distribution of Cations in Reclaimed Soil according to Gypsum Incorporation Rate. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:474-479.
- Savant N.K, A.F. James, and G.H. McClellan. 1985. Effect of soil submergence on urea hydrolysis. *Soil Sci.* 140: 81-88.
- Van Cleemput, G. H. and A. Vermoesen. 1996. *Progress In Nitrogen Cycling Studies*. Kluwer Academic Publishers.
- Vlek P.L.G, C.W. Hong, and L.J. Youngdahl. 1979. An analysis of N nutrition on yield and yield components for the improvement of rice fertilization in Korea. *Agron J.* 71:829-833.
- Vlek P.L.G, J.M. Stumpe, and B.H. Byrnes. 1980. Urease activity and inhibition in flooded soil systems, *Fertilizer Research*. 1:191-202.
- Vlek P.L.G. and J.M. Stumpe. 1978. Effect of solution chemistry and environmental conditions on ammonia volatilization losses from aqueous systems. *Soil Sci Soc Am.* 42:416-421.
- Vlek, P.L.G. and E.T. Craswell. 1979. Effect of nitrogen source and management on ammonia volatilization losses from flooded rice-soil systems. *Soil Sci Soc Am J.* 43:352-358.
- Vlek, P.L.G. and M.F. Carter. 1983. The effect of soil environment and fertilizer modifications on the rate of urea hydrolysis. *Soil Sci Soc Am.* 136:56-63.
- Vlek, P.L.G. and E.T. Craswell. 1981. Ammonia volatilization from flooded soils *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2:227-245.
- Yang, C.H., T.K. Kim, J.H. Ryu, S.B. Lee, S. Kim, N.H. Baek, W.Y. Choi, D.Y. Chung, and S.J. 2010. Effects of rice straw incorporation by cutting methods on soil properties and rice yield in a paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:1047-1050.
- Yoo, C.H., C.H. Yang, T.K. Kim, J.H. Ryu, J.H. Jung, S.W. Kang, J.D. Kim, and K.Y. Jung. 2007. Physico-chemical properties of paddy soil and actual farming conditions in gyeohwa reclaimed tidal land. 40:109-113.