

간척지 염해담토양의 토성별 제염기간 및 단면특성변화를 기준한 분류학적 고려

손연규* · 현근수¹ · 서명철 · 정강호 · 현병근 · 정석재 · 송관철

농업과학기술원, ¹작물과학원

A Taxonomical Consideration based on Changes of Salinity and Profile Features of the Texturally Different Two Reclaimed Tidal Soils

Yeon-Kyu Sonn*, Geun-Soo Hyeon¹, Myung-Chul Seo, Kang-Ho Jung,
Byung-Keun Hyun, Suk-Jae Jung and Kwan-Chul Song

National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea

¹National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

To analyze the changes of soil physico-chemical properties after reclamation, we carried out an experiment for 75 samples of representative saline soils in South Korea. The more the years after reclamation is proceeded, the blighter the soil color is, soil horizon differentiation and structure is developed, but electrical conductivity(EC) decreased. After the soil survey, coarse textured soils were more quickly de-salinated than the fine textured soils. In case of fine loamy textured Poseung series, it could be estimated that the series had Salic horizons in sub-order level of taxonomical classification. In other case of coarse loamy textured soil series, it could be estimated that the series had Sodic properties in sub-group level. Sodium contents of fine loamy textured soils were not decreased after reclamation, but those of coarse loamy textured Gwanghwal series reclaimed about 76 years ago were reclassified because of desalinization. To be de-salinated low to 4 dSm⁻¹ of EC, it presumably takes about 108, or 12 years for fine loamy and coarse loamy textured soils, respectively.

Key words : Reclamation, Saline soils, Soil taxonomy, Soil classification, Horizon differentiation

서 언

우리나라 서해안에 분포된 하해혼성평탄지 토양은 동고서저의 지형적인 영향으로 내륙으로부터 운반된 부유물이 하구의 양안 또는 해안에서 해수에 의한 응집작용과 조수작용에 의해 발달된 축적퇴적물이다. 아울러 우리나라의 서해안은 침강해안의 특성 때문에 대륙붕이 존재하여 비교적 넓은 간척지가 분포하고 있으며, 순수한 해성퇴적물, 하해혼성퇴적물 등 넓은 의미의 하해혼성토가 대부분 포함되어 있다. 이들은 남해안의 해성토와 더불어 제4기신층에서 발달된 해성축적토로 알려져 있다(So et al., 1980). 이들 해성축적토는 다양한 토성을 나타내지만 중심 토성은 미사질 계통이고, 한 지역 내에서도 퇴적의 연대, 표고 및 유로와의 거리 등에 따라 다양한 토성의 토양이 존재한다. 따라서 정밀토양조사 결과 밝혀진 우리나라 간

척지에 분포하고 있는 염해담 토양으로는 포두, 포승, 광활, 태안, 문포, 염포, 가포 및 낙천통이 있으며, 이들은 주로 서해안 및 남해안에 분포하고, 그 면적은 약 51천 ha이다(NIAST, 1992).

한편 간척 후 시간의 경과와 지속적인 비 재배에 의한 제염에 의해 숙답화과정을 거쳐 가지적으로 염해를 받지 않는 논토양들로 발달하게 되며 이들에 대한 특성 구명연구는 다수 보고되어 있다. 간척 후 염해담의 제염은 미세지형 등 입지조건과 재배조건 등에 따라 차이가 있으며 일반적으로 제염기간은 약 30년 정도라고 알려져 있지만, 정밀토양조사 당시 토양학적 측면에서 염농도가 높아 염해담으로 분류되었던 간척지 토양도 제염의 정도에 따라 염해를 우려하지 않고 작물의 재배가 가능한 경우도 있다.

간척년대별 또는 간척위치별로 숙답화되는 정도에 따라 그 특성을 구명한 연구(Shin, 1972; Noh et al., 1986; Choi et al., 1987; Jung et al., 1987; Hyeon et al., 1990; Yoo et al., 1989, 1990; Park et al., 1991)는 다수 있으나, 이들 연구는 주로 화학성 및 형태적 특

접수 : 2006. 1. 23 수리 : 2006. 4. 11
*연락처 : Phone: +82312900268,
E-mail: sonnyk@rda.go.kr

성에 관한 내용이며, 간척지 토양이 경작년대가 진척됨에 따라 가리, 석회, 고토, 소-다, 망간, 규산 등의 함량이 감소하고 유기물함량이 증가된다고 보고 (Kim, 1987)된 바 있다. 그러나 실용적 분류체계하에서 염해답을 제염요인 즉, 토양특성 및 입지조건에 따른 숙답화 후 보통답이나 사질답으로 분류할 수 있는 시점을 규명하는 연구는 미미한 실정이다. 뿐만 아니라 우리나라에서 공식적으로 채택하고 있는 분류체계인 soil taxonomy에 따른 염해답 분류 연구도 미약한 실정이다.

따라서 본 연구는 우리나라 대표적인 염해답 토양통인 포승 및 광활통의 경작년대에 따른 토양특성 변화를 구명하여 soil taxonomy 분류 상 문제점을 제시하고 간척후 년수별 염해답의 재분류 기준을 설정코자 수행하였다.

재료 및 방법

염해답으로 분류된 토양 중 우리나라 중부지역 서해안에 많이 분포된 포승, 광활통을 대상으로 현지조사를 수행하였다. 토양 중 염농도가 가장 높은 시기인 3-5월 중에 지하 50 cm 부위에서 분석용 시료를 채취하였으며, soil taxonomy 분류기준 (Soil Survey Staff, 1993, 1999)에 따라 토양을 분석하였다.

토양조사시 구분하는 지형은 모두 하해혼성평탄지에 해당하였으며, 모재도 모두 하해혼성층적모재를 가지고 있었다 (Table 1). 토색 측정은 반문의 경우 문셀 토색첩 (Munsell soil color chart)을 이용하였으며 주토색은 토색계 (SPAD 503)을 이용하여 측정하였다. 간척지 평야의 위치별로 간척 후 경과년수를 조사하였다 (Table 2).

특히, 우리나라 염해답이 분류학적으로 염해답으로 분류되어 있지 않기 때문에 염해답의 중요한 분류기준인 EC (electrical conductivity), pH, SAR (sodium adsorption ratio), ESP (exchangeable sodium percentage) 등을 Soil Survey Laboratory Methods Manual을 기준하여 분석하였다. 결과의 해석은 식양질형인 포승통과 사양질형인 광활통으로 구별하여 실시하였다. 기타 현장조사기준은 Soil Survey Manual (USDA)을 기준하였다.

$$ESP = 100 \frac{\left(Na_{ex} - \left(Na_{ws} \frac{H_2O_{ws}}{1000} \right) \right)}{CEC} \quad (\text{Eq. 1})$$

ESP: Exchangeable sodium percentage

Na_{ex} : Extractable $Na(NH_4OAc)$ extractable Na^+ , $cmol(+)kg^{-1}$

Na_{ws} : Water-soluble Na (meq L^{-1})

H_2O_{ws} : Water saturation percentage

CEC: Cation exchange capacity by NH_4OAc , pH 7.0 ($cmol(+)k^{-1}$)

$$SAR = \frac{Na^+}{\frac{\sqrt{Ca^{++} + Mg^{++}}}{2}} \quad (\text{Eq. 2})$$

SAR: Sodium Adsorption Ratio

Na^+ : Water soluble Na^+ (meq L^{-1})

Ca^{++} : Water soluble Ca^{++} (meq L^{-1})

Mg^{++} : Water soluble Mg^{++} (meq L^{-1})

결과 및 고찰

간척지 토양의 이화학적 특성 조사분석 결과 토양의 이화학적 특성은 Table 3.와 같다. 포승, 광활통은 토심 50 cm 부위의 토색이 회색계통으로 모두 배수 “불량”한 형태를 보이고 있지만 표층부터 50 cm까지는 약간 밝은 경향을 보여 염이 많이 제거되어감에 따라 구조발달과 더불어 명색화된 것으로 판단되었다. Noh et al.(1986)은 용적밀도가 간척후 50년까지 급격히 증가하다가 그 후 완만히 증가한다고 하였으나, 본 연구에서는 0.82-1.72 Mg/m^3 으로써 일반 논토양에 비해 좀 높은 편이지만 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다. 다만, 썩레질이나 수확작업시 대형농기계를 사용하는 서산간척지 등에서 약간 높게 나타났다. pH에 있어서는 금당지역의 포승통(7.3), 김제 광활면의 광활통(7.5) 등 벼재배 경과년수가 40년 이상 오래된 토양들은 조금 낮게 나타났다. Noh et al.(1986)의 연구에서는 표층의 pH 변화가 기층보다 크다고 하였는데 본 연구결과와 비슷하였다. 또한 김포 약암지구의 포승통(7.6)이나 광활통(7.3)에서 pH가 낮은 원인은

Table 1. General characteristics of the two representative soil series distributed on Fluvio-marine deposits.

Soil series	Soil color	Soil texture (family)	Drainage class	Available soil depth	Gravel content
				cm	%
Poseung	Dark gray(5Y 4/1)	Fine silty	Poorly	0-20	-
Gwanghwal	Greenish gray(10GY 5/1)	Coarse silty	Poorly	0-20	-

Table 2. Soil sampling sites of the representative saline soils surveyed by the year after reclamation.

Years after reclamation	Representative soil series	
	Poseung	Gwanghwal
0-10	Hwaong(0): Yongduri, Seosin -Myeon, Hwasung-Si	
11-20	Daeho(11): Bangseom, Unsan -Myeon, Seosan-Si Gimpo(17): Yagamri, Daegoz -Myeon, Gimpo-Si Seosan A(18): Jisanri, Buseog -Myeon, Seosan-Si Seosan B(18): Songamri, Taeon -Eub, Taeon-Gun	Daeho(11): Bangseom, Unsan -Myeon, Seosan-Si Gimpo(17): Yagamri, Daegoz -Myeon, Gimpo-Si Seosan A(18): Ganweoldori, Buseog-Myeon, Seosan-Si
31-40	Namyang(32): Janganri, Jangan -Myeon, Hwaseong-Si	Namyang(32): Janganri, Jangan -Myeon, Hwaseong-Si Gyehwa(35): Changbugri, Dongjin -Myeon, Buan-Gun
41-50	Geumdang(41): Cheongweonri, Mado-Myeon, Gimpo-Si	
>51	Namyang(100): Sinpori, Cheongbug -Myeon, Pyeongtaeg-Si	Gimje(76): Eunpari, Gwanghwal -Myeon, Gimje-Si

(): years after reclamation

Table 3. Physico-chemical characteristics due to reclamation at depth of 50cm of saline soils.

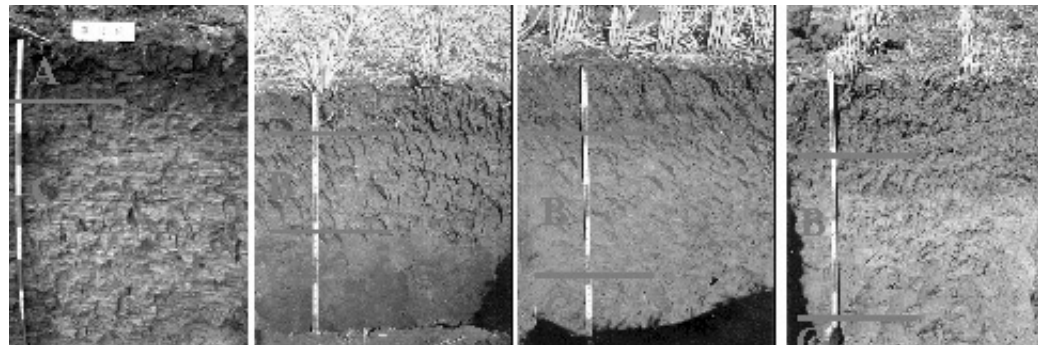
Soil Type	Soil series	Site sampled	Years after reclamation	Soil color	Bulk density	pH(1:1)		
						H ₂ O	0.02M CaCl ₂	1N KCl
					Mg m ⁻³			
Fine loamy	Poseung	Hwaong	0	Dark greenish gray(10Y 4/1)	1.06	8.2	8.1	7.5
		Daeho	11	Gray(2.5Y 6/1)	1.40	8.2	7.5	6.7
		Yagam	17	Dark gray(2.5Y 4/1)	1.21	7.6	7.3	6.4
		Seosan A	18	Dark greenish gray(5GY 4/1)	1.49	8.2	7.9	7.0
		Seosan B	18	Gray(10YR 5/1)	1.41	8.2	7.2	6.7
		Namyang	32	Gray(2.5Y 5/1)	-	8.3	8.2	7.2
		Geumdang	41	Dark gray(5Y 4/1)	0.82	7.3	7.2	6.1
Coarse loamy	Gwanghwal	Daeho	11	Gray(2.5Y 5/1)	1.57	8.0	7.4	6.4
		Yagam	17	Dark gray(2.5Y 4/1)	1.33	7.3	7.1	6.4
		Seosan A	18	Dark gray(2.5Y 4/1)	1.58	8.4	7.8	6.6
		Namyang	32	Gray(2.5Y 5/1)	-	8.5	8.2	7.1
		Gyehwa	35	Gray(2.5Y 5/1)	1.24	8.3	8.0	6.7
		Gimje	76	Gray(2.5Y 6/1)	1.48	7.5	6.8	5.5

주변의 높은 지대로부터 담수의 공급이 순조롭기 때문인 것으로 생각되었다.

간척지 토양의 형태적 특성 일반적으로 하해혼성 토양은 일반 내륙의 토양보다 벼 경작에 따른 단면의 발달정도가 빠른 것으로 알려져 있다. 광활통의(Fig. 1) 단면특성을 살펴보면 구조는 무구조에서 관상구조로 진행이 되었고, 토색은 점점 밝아지는 경향이였으며, 시간이 지남에 따라 배수등급이 “불량”에서 “약간 불량” 쪽으로 점점 양호해지는 경향이었는데 이는 Noh et al.(1986)의 결과와 일치하였다. 간척초기에는 A, C층으로 구성된 토양이 벼재배년수가 경과함에 따라 점차 B층이 생겨나고 B층이 두꺼워지는 결과를 보였다. 토양단면의 발달면에서 볼 때는 숙성화되어 Shin(1972)의 결과에서처럼 일반 내륙의 토양에 비해

발달정도가 빠르기 때문에 새로운 토양(new series)으로 설정하던가, 기존의 유사한 토양의 범주에 포함시킬 필요가 있다고 생각되었다.

경과년수별 제염정도 추정 제염이 되는데 걸리는 기간을 추정하기 위하여 간척년수에 따른 EC 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 분류기준에 따른 방법으로 EC를 측정하였으며 EC 2 dSm⁻¹ 이하가 되어야 non-saline으로 판단한다. EC 2-4일 때는 very slightly saline, 4-8일 때는 slightly saline, 8-16일 때는 moderately saline으로 판단하며 16일 때는 strong saline으로 나타낸다. 자료가 충분치는 않지만 크게 사양질과 식양질로 나누어 잠정적으로 판단하여 본 결과(Table 5), EC 4 dSm⁻¹를 기준으로 할 때 식양질형에서는 제염이 되는데 약 108년 정도가 소요되었으며



Years after reclamation	Typic	11	18	76
Region	Gimje	Daeho	Seosan A	Gimje
Horizon	A-C	A-B-C	A-B-C	A-B-C
Structure	-	Weak platy	Moderately platy	Strong platy
Mottles	-	Brown (10YR 4/3)	Brown (7.5YR 5/6)	Dark yellowish brown (10YR 4/4)

Fig. 1. Comparison of morphological characteristics among soils belonging to Gwanghwal series due to reclamation periods.

사양질에서는 12년 정도인 것으로 추정되었다.

Soil Taxonomy 분류기준 검토 토양조사 결과는 복합과학의 산물로서 매우 복잡할 뿐 아니라, 상당한 가변성과 더불어 상황별 응용력을 발휘해야 하므로, 일반 토지이용자가 토양조사결과를 손쉽게 이해하고 응용하기는 쉽지 않은 일이다. 따라서, 토양조사 결과는 “토양조사 해설”(soil survey interpretation) 혹은 “토양해설”이라 불리는 과정을 거쳐, 일반화(generalization)해야 비로소 이용자가 활용하기 쉽게 된다. 이는 토양의 생성학적 특성을 기준한 체계적 분

류(taxonomical classification)에 대응하는 용어로 실용적 분류(practical classification) 혹은 해석적 분류(interpretative classification)라 한다. 우리나라 토양조사의 경우, 토양조사 업무를 학문 연구적 차원에서 대학에서 수행하기 보다는, 시급한 국가의 실용적 목적달성을 위한 사업적 차원에서 능률성이 크게 강조되면서 농업연구기관에서 수행하였기 때문에 생성학적 분류는 매우 선진적이며, 크게 발달되어 있는 편이나, 실용적 분류인 토양해설은 낙후된 편이다. Taxonomical classification에서는 아군(sub-group)수준에서 “Typic”이 아닌 “Sodic”으로 분류할 필요가 있

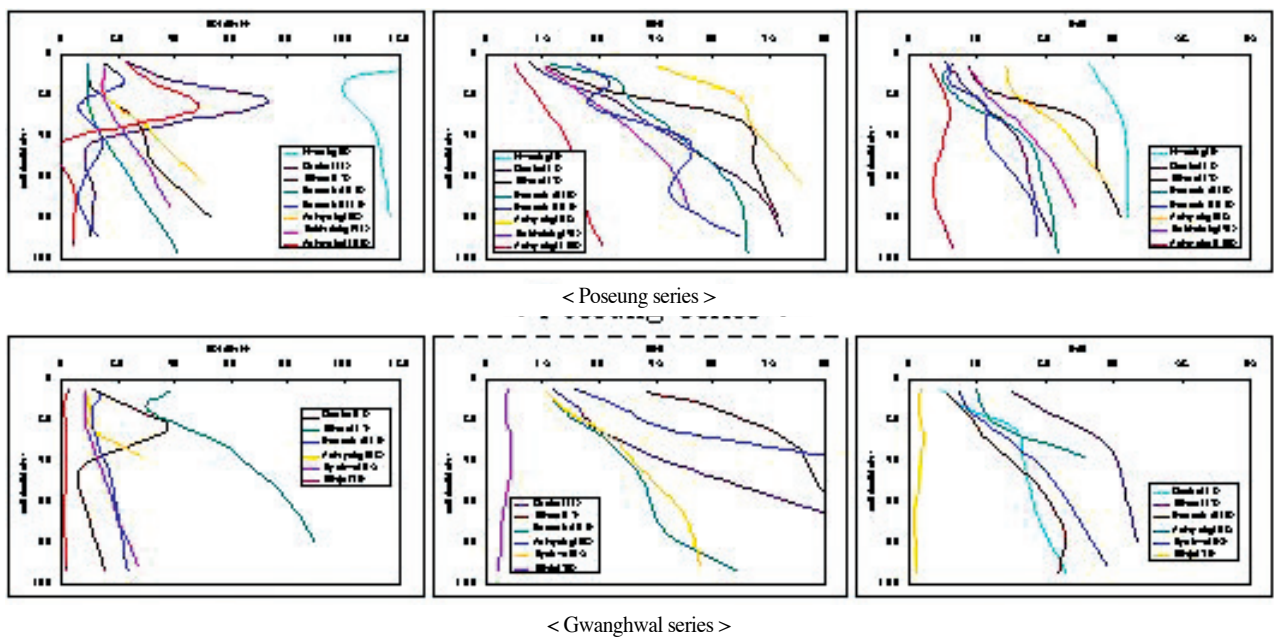


Fig. 2. Changes in EC, ESP, SAR of two saline soils due to reclamation.

는 토양들이 있는 것으로 밝혀졌다.

Fig. 2는 간척지의 경우처럼 EC가 높거나 Na 함량이 높은 토양에서 중요한 토양 분류기준인 EC, ESP, SAR 값을 보여주고 있다. EC가 매우 높은 토양에는 Salic Horizon이라는 감식층위가 존재한다. Salic 층위는 층위의 두께가 15 cm 이상이 되어야 하며 년중 90일 이상을 다음의 조건을 만족하여야 한다. i) EC가 30 dSm⁻¹ 이상이어야 하며, ii) EC(dSm⁻¹)×깊이(cm)가 900 이상이어야 한다. Salic 층위의 존재 여부는 토양에 따라 아목(sub-order)단위의 분류기준으로 이용되고 있다.

EC가 높은 토양에서 또 다른 중요한 분류기준은 ESP(Eq. 1)나 SAR(Eq. 2)이다. 이는 Na의 함량을 중요하게 생각하며 ESP가 15 이상이거나 SAR이 13 이상일 때 Entisols 분류시 아군(sub-group)단위에서 Sodic이라 명명할 수 있게 된다.

Fig. 2에서 보는 것처럼 토성에 따라 식양질인 포승통의 경우 EC 값이 사양질인 광활통에서보다 높음을 알 수 있다. EC(dSm⁻¹)×깊이(cm)가 900이상이 되는 토양도 상당수 있었다. 분석결과는 Table 5에 나타낸 것처럼 28개 토양시료 중 화용지구의 포승통을 비롯하여 8개의 토양층위가 Salic 특성을 가지고 있다고 판단되었다. 특히 비재배년수가 100년이 넘는 토양에서도 EC가 상당히 높게 나타나 재배년수 뿐만 아니라 So et al.(1980)의 연구에서처럼 미세지형에 대하여도 더 깊은 연구를 수행하여야 한다고 판단되었다. 사양질형인 경우 재배년수가 가장 오래되어 간척 후 76년이 경과된 김제 광활면의 광활통만이 염해담에서 완전히 제염이 되었다고 판단되었으며 대부분의 토양이 아군단위에서 Sodic 특성을 가지고 있었다. Sodic 특성을 갖고 있는 토양과 제염된 토양간에는 재배년수와 큰 상관성이 없었는데 이는 현재 대규모 경

Table 4. Taxonomical classification of two kinds of representative saline soils in Korea.

Soil series	Site sampled	Years after reclamation	Taxonomical characteristics	
			Pertinent depth	Diagnostic horizons
			----- cm -----	
Poseung	Hwaong	0	All horizon	Salic horizon
	Daeho	11	8-30	"
	Yagam	17	under 42	"
	Seosan A	18	under 85	"
	Seosan B	18	ESP>15 or SAR>13	Sodic (Sub-group)
	Namyang	32	44-84	Salic horizon
	Geumdang	41	45-85	"
Gwanghwal	Namyang	100	9-35	"
	Daeho	11	ESP>15 or SAR>13	Sodic(Sub-group)
	Yagam	17	All horizon	Salic horizon
	Seosan A	18	ESP>15 or SAR>13	Sodic(Sub-group)
	Namyang	32	ESP>15 or SAR>13	"
	Gyehwa	35	ESP>15 or SAR>13	"
	Gimje	76	-	No saline injury

[†] Sodic: ESP>15 or SAR>13

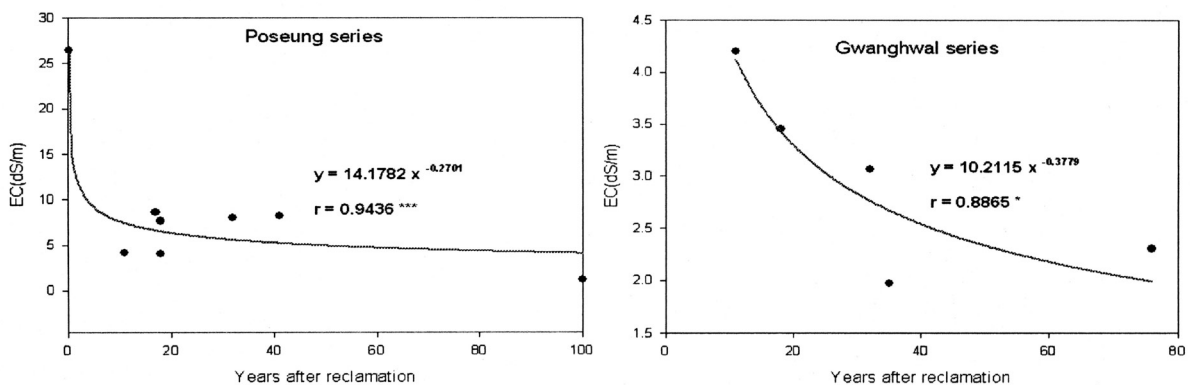


Fig. 3. Chronological changes of electrical conductivity after reclamation.

Table 5. Estimated years to be attained the EC by desalination at the depth of 50cm of the profile with different textured classes.

EC(dSm ⁻¹)	Years estimated with different textured classes	
	Fine loamy (18-35% clay)	Coarse loamy (<18% clay)
8	8	2
4	108	12
2	1,410	75

지정리가 된 상태라 알 수 없지만 미세지형에 따라 갯골 위치에 있는 토양이 제염이 덜 된 것이라 판단되었다(So et al., 1980). Sodic 특성을 기준한 토양경계선은 과거의 항공사진이라던가 대규모 경지정리 이전의 자료 또는 가문 해의 염해발달정도와 작황 등을 가지고 추정하면 쉽게 구분될 것으로 생각되었다.

현재 광활통은 Typic Endoaquents로 분류되어 있는데, 본 연구 결과에 의하면 이들 토양을 Typic Endoaquents와 Sodic Endoaquents로 세분할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 체계적인 분류보다도 실용적 분류를 하기 위해서는 비의 작황과 염해발생의 위험도 정도, 이모작시 염해여부, 수량 등을 같이 조사하여 광활통으로 매핑(mapping)이 되어 있는 토양을 세분하기 위한 더 많은 연구가 수행되어야 할 것이다.

적 요

중부 서해안에 분포하는 염해담으로 분류되어 있는 토양에서 간척 후 경작년대의 진척에 따른 토양 특성 변화를 구명하고, Soil Taxonomy 분류에 따른 문제점을 검토하며, 염해담에서의 제염 소요년수를 추정한 결과는 다음과 같았다.

1. 간척년대가 오래될수록 토색이 밝아지고, 층위가 발달되며, 토양구조의 형성이 진전되는 경향이며, EC는 감소되는 경향이였다.

2. 식양질인 포승통의 경우 분류기준에 따라 분석한 결과 Salic 층위를 가지고 있는 것으로 판단되었으며, 광활통 등 사양질 토양의 경우에는 아군단위에서의 Sodic 특성을 가지고 있는 것으로 판단되었다

3. Soil Taxonomy 분류기준을 적용하여 분석하였을 때에는 식양질 토양에서는 간척년대가 지속되어도 Na 함량이 기준 이하로 떨어지지 않았으며, 사양질 토양에서는 재배를 시작한지 76년 된 김제시 광활면 지역에 분포하는 토양에서만 Na 함량이 기준 이하로 떨어져 사질담이라 할 수 있었다.

4. 이용 측면에서 염농도의 피해 기준을 4 dSm×

로 판단할 때 식양질토양은 제염이 되는데 약 108년 정도가 소요되었으며 사양질 토양에서는 12년 정도가 소요되었다.

인 용 문 헌

- Choi, J.W., G.H. Cho, C.H. Yoo, C.H. Chung, and K.H. Park. 1987. Studies on soil characteristics of new polderland in Yeongsan rivershed. Res. Rept. RDA(P, M & U). 29:89-97.
- Hwang, N.Y., J. Ryu, J.S. Na, D.H. Oh, K.H. Park, and B.J. Choi. 1991. Studies on the changes of soil salinity in the Kyehwa saline paddy soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 24:265-271.
- Hyeon, G.S., C.S. Park, J.Moon, and K.T. Um. 1990. Soil characteristics of new polder soils in Daeho area. Res. Rept. RDA(S & F). 32:9-21.
- Jung, S.J., S.K. Rim, J.H. Lee, G.S. Hyeon, J.Moon, and K.T. Um. 1987. Soil characteristics on the newly reclaimed tidal land at Nam-Yang areas. Res. Rept. RDA(P, M & U). 29:1-6.
- Kim, S.C. 1987. Changes of some chemical constituents in different soil depth with textures of Fluvio-marine soil under assessment of reclamation duration. Korean J. Soil Sci. Fert. 20:23-28.
- Noh, D.C., D.H. Kim, K.T. Um, J.H. Chae, G.H. Youn, and H.S. Lee. 1986. Changes of physico-chemical characteristics in the Fluvio-marine soils of different reclaimed ages. Res. Rept. RDA(P, M & U) 28:20-27.
- Park, C.S., G.S. Hyeon, S.J. Jung, Y.K. Jo, and K.T. Um. 1991. Study on soil characteristics and classification of Yeongjong islet. Res. Rept. RDA(S & F). 33:1-11.
- Shin, Y.H. 1972. Characteristics and classification of paddy coils on the Gimje- Mangyeong plains. Korean J. Soil Sci. Fert. 5:1-31.
- So, J.D., S.J. Yoo, H.M. Kim, and N.P. Park. 1980. Studies on the characteristics of newly reclaimed land in the southwest seaside of Honam district. Res. Rept. RDA(P, M & U). 22:24-30.
- Soil Survey Staff, 1999. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA-NRCS, 2nd ed. Agricultural Handbook, p.436. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Soil Survey Staff. 1993. Soil survey manual. USDA, Washington, D.C.
- Yoo, C.H., G.H. Cho, J.W. Choi, H.H. Park, and Y.H. Kim. 1989. Studies on change of physico-chemical properties due to ripening degrees in the reclaimed tidal deposits. I. With reference to Munpo and Pori series. Korean J. Soil Sci. Fert. 22:180-190.
- Yoo, C.H., J.G. Kim, J.S. Lee, J.G. Kang, J.D. So, and K.H. Park. 1990. Change of physico-chemical properties of tidal soils on their mafurities. II. Gwanghwal and Poseung series. Korean J. Soil Sci. Fert. 23:259-267.
- NIASST. 1992. General report of Korean soils, 2nd. addition (Soil Survey Material 13). p.725. National Institute of Agricultural Sciences and Technology, RDA, Suwon, Korea.