

임해매립지에서 식재기반 조성을 위한 토양특성에 관한 연구¹

구본학² · 강재선² · 장관순³

A Study of Soil Characteristics in Coastal Reclaimed Areas for Planting Ground Treatment¹

Bon-Hak Koo², Jae-Sun Kang², Kwan-Soon Chang³

요 약

본 연구는 임해매립지에서 토양의 화학적 특성을 조사하여 수목식재를 위한 합리적인 토양관리에 관한 자료를 얻고자 수행하였다. 토양조사는 시화매립지의 시흥공단에서 녹지조성 예정지를 중심으로 토지이용별 및 토심별로 실시되었다. 조사지역에서 개흙은 전기전도도와 치환성나트륨 백분율이 높은 염류알칼리성 토양 특징을 갖고 있었다. 임해매립지에서 토양 pH 평균값은 7.8~5.7 범위이었고, 주거/공단 완충녹지 토양에서 전기전도도와 치환성나트륨 백분율은 각각 3.76dSm^{-1} 와 35%로 조사지역 중에 가장 높았다. 토양 50cm 깊이에서 치환성 Na^+ 의 평균함량은 $1.76\sim 2.80\text{cmol}^+/\text{kg}$ 으로 조사되었고, 치환성 Na^+ 의 평균함량은 치환성 Ca^{2+} 보다는 낮았으나 치환성 Mg^{2+} 과 K^+ 보다는 높았다. 토심별 염분농도는 50cm보다 100cm 깊이에서 높게 조사되었으며, 주거/공단 완충녹지는 전토심에서 염분농도가 수목에 영향을 주기에 충분할 정도로 높았다.

주요어 : 시화매립지, 염류알칼리성 토양, 전기전도도, 양이온치환용량, 토양단면

ABSTRACT

This study was carried out to get reasonable method of soil management for planting tree through investigating the chemical properties of soil in reclaimed land. Soil survey was done with soil depths and land uses in spaces to plant in Shihung industrial complex of Shihwa reclaimed land. In research area marine soil could be a characteristic of saline-sodic soils with the high electrical conductivity and exchangeable sodium percentage. The average pH of reclaimed soils were estimated to be the range of 7.8~5.7. The levels of electrical conductivity and exchangeable sodium percentage of soil were the highest in residual and industrial buffer green space as 3.76dSm^{-1} and 35% respectively. The average content of exchangeable sodium in 50cm of soil depth was estimated to be $1.76\sim 2.80\text{cmol}^+/\text{kg}$. The level of exchangeable sodium was lower than the level of exchangeable calcium and was higher than the levels of exchangeable magnesium and potassium. The salt concentration of soil horizons was to be more in

1 접수 1월 31일 Received on Jan. 31, 1999

2 혜천대학 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Hyecheon College, Taejon, 302-713, Korea(blackroz@hcc.ac.kr, dkkang@hcc.ac.kr)

3 충남대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Chungnam National University, Taejon, 305-764, Korea(kschang@hanbat.chungnam.ac.kr)

100cm than in 50cm of soil depth. Soil profile of residual and industrial buffer green space contained the salts enough effected landscape woody plants.

KEY WORDS : SHIWA RECLAIMED AREA, SALINE-SODIC SOIL, ELECTRICAL CONDUCTIVITY, EXCHANGEABLE SODIUM PERCENTAGE, SOIL PROFILE

서론

국내에서는 제한된 국토를 효율적으로 이용하기 위한 방법으로 국가적 차원에서 해안지대의 간척, 매립사업이 추진되고 있다. 여러 가지 환경문제와 해양 자원 보존과 관련하여 해안매립에 부정적인 요인이 있지만 현재 2010년까지 20만 ha의 매립사업이 계획되어 추진되고 있고, 개발 가능면적이 60만 ha에 이르는 점을 감안하면 용지조성 방법으로 임해매립지의 활용도가 점차 높아질 것이다.

임해매립지 토양은 매립과정과 매립 후에 심각한 환경변화를 동반하게 되는데 매립재는 주로 인근 산지의 심토가 유입되어 매립과정에서 그 특성이 파괴되고 유효양분은 식물생육 요구량보다 낮은 함량을 갖는다(장관순과 김형복, 1999). 아울러 매립 대상 지역이 기존 염전이나 갯벌지이므로 매립 후에 기반층에 대량 존재하고 있는 염분은 토양표면과 수목의 증발산 작용으로 미세공극을 따라 상승하여 표토층에 집적하게 된다. 또한 집적된 염분은 우기와 건기동안 하향, 상향이동을 반복하게 되어 제염이 상당히 진행되기까지 때로는 식물근계면에 침적되어 수목에게 직접적인 피해를 유발시킨다(Fitter *et al.*, 1987).

염해토양은 높은 가용성 염류와 치환성나트륨이 토양의 이화학적 성질을 좌우하게 되는데 식물성장 과정에서 치환성 나트륨, 염소, 붕소 등과 같은 이온은 유독성 물질로 직접 작용하기도 하고 수목의 삼투 작용에 영향을 주어 양분흡수를 방해하여 수목의 양료체계 및 생리대사를 교란시킨다. 따라서 내염성이 약한 수목은 염류의 영향으로 외형적으로 왜소해지고 심하게는 고사하게 된다(Lovely, 1976). 그리고 과용염류가 용탈되면서 점토입자를 분산시켜 토양구조를 퇴화시키고 수리전도도를 감소시킴과 함께 공기의 유입을 엄격하게 통제하여 혐기적 조건을 유도하기도 한다. 상기조건에서 치환성나트륨 백분율이 3~7%가 되더라도 식물에게 충분한 영향을 미칠수 있는 양료손실과 독소들이 생성되기도 한다(Shainberg, 1985).

염류의 영향을 받고 있는 토양을 이용하기 위해서는 물리적인 관수시설 또는 여러 가지 제염처리를

사용하여 염류토양을 개량시켜야 하는데 그 성과는 세척수량, 유기물함량, 양이온치환용량, 치환성 나트륨양, 치환성나트륨에 대한 칼슘과 마그네슘의 비율, 그리고 CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} 와 같은 음이온의 활성도 등의 특성에 따라서 달라지게 된다(Frenkel *et al.*, 1987; Gupta *et al.*, 1984; Oster *et al.*, 1980; Yousaf *et al.*, 1987; 오왕근, 1991; 유순옥과 이상목, 1988; 조영길 등, 1992). 따라서 염류가 수목에게 상당한 영향을 미칠 수 있는 임해매립지와 같은 지역에서 수목식재를 위해서는 토양 특성을 면밀하게 조사하여 염류의 영향을 차단 할 수 있는 식재 방법을 모색해야 한다.

국내에서 임해매립지의 대표적인 사례의 하나인 시화지구 사업 중 1단계인 시흥공단의 토지이용계획을 보면 농업용지가 14.10km², 주거용지 4.71km², 상업용지 0.55km² 및 녹지 5.16km²로 농업용지가 57.5%를 차지하고 있어 주 용도가 산업시설 조성에 목적을 두고 있지만 환경에 대한 새로운 인식과 쾌적한 주거공간을 조성하기 위하여 녹지면적도 21.1%로 비교적 많은 면적을 차지하고 있다.

이와 같이 매립지 공단지역에서 환경의 질적 향상을 위하여 많은 녹지공간이 조성되고 있으나 수목식재 후 하자량이 매우 높아(구본학, 1993), 단지계획 중에 녹지의 필요성과 그 기능이 중요하게 인식되고 있음에도 불구하고 수목성장에 열악한 토양 환경조건을 갖고 있는 임해매립지에서 수목식재를 위하여 토양의 특성 파악하고 이를 바탕으로 토양을 합리적으로 관리할 수 있는 연구가 아직 미진한 실정에 있다.

따라서 본 연구는 임해매립지에서 수목식재지를 대상으로 토양의 화학적 특성을 조사하고 토양상태를 진단하여 식재기반을 조성하는 데 필요한 자료를 얻고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 조사지역

연구대상지는 경기도 시흥시와 화성군에 조성되는

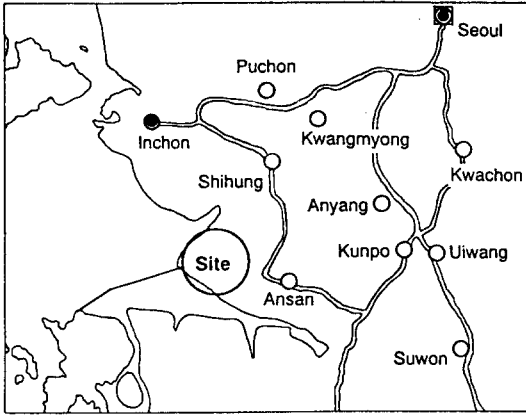


Figure 1. Location map of site

시화지구 개발사업 중 제 1단계인 시흥공단내 임해 매립지를 대상으로 하였다(Figure 1).

본 지역은 인근의 안산시(반월공단)와 더불어 수도권 지역의 공장을 유치하기 위한 목적으로 조성되었으며, 87년부터 매립하기 시작하여 96년까지 연차적으로 매립이 진행된 지역으로서, 토지이용계획에 의해 공원(근린공원, 어린이공원), 완충녹지(주거/공단 완충녹지: 공업지역과 주거지역 사이의 완충녹지대, 하천변 완충녹지), 미관광장, 보행자 도로, 녹도, 가로수, 분리대 등으로 구분하였다.

본 연구에서는 이 중에서 근린공원, 주거공단 완충녹지, 하천변완충녹지, 미관광장+녹도+보행자도로, 가로수 구간을 분석대상으로 하였다.

2. 토양조사 및 토양분석 방법

토양조사는 서해안 시화매립지의 시흥공단내 녹지 조성 예정지를 주거/공단 완충녹지, 하천변 완충녹지, 가로수, 근린공원 그리고 광장, 보행자공간 및 녹도로 구분하고 4차에 걸쳐 순차적으로 각 지역에서 토심별로 토양시료를 채취하였다. 토양시료는 각 조사지역에서 일정한 간격으로 반복적으로 채취하였으며, 채취시기는 96년 3월과 4월에 1차, 8월에 2차, 97년 4월에 3차, 4차는 98년 9월이었다. 또한 원지반 개흙과 개흙이 매립되어 5년이 경과된 토양 그리고 매립재로 사용되고 있는 일반 산림토양을 1차조사 시기에 시료를 분석하여 1차에서 4차에 걸쳐 조사된 매립지 토양의 이화학적 성질과 비교하였다.

토양분석 항목 및 방법으로 토성(Pipet 법), pH, 유기물함량(Tyurin법), 전기전도도는 토양시료와 증류수를 1:5로 혼합하여 30분간 진탕한 후에 EC미터로 측정하였고, 양이온치환용량(CEC)은 1-N 초산암모늄으로 Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ 의 치환성 양이온양은 1-N 초산암모늄추출액을 ICP로 측정하였다.

각 토양조사 지역에서 채취한 토양시료수 및 분석 항목은 Table 1로 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 개흙 및 매립재토양의 이화학적 성질

조사지역의 원지반 개흙과 개흙이 매립되어 5년이

Table 1. Quantity of soil samples and analysis items of soil samples (Unit : number)

	Depth	Factors*	Parks	Buffergreen (industrial/residential)	Buffergreen (riparian)	Pedestrian Street, Square, Avenue Greenway	Total	
1st analysis ('96. 3~4)	surface	1,2,3,4		29			29	
	50cm	1,2,3,4	15	30	27	18	90	
	100cm	1,2,3,4	15	28	27	18	88	
2nd analysis ('96. 8~9)	surface	3,4		58			58	
	50cm	1,2,3,4,5,6	20	58	10	17	122	
	100cm	3,4	20	56	10	17	120	
3rd analysis ('97. 4~5)	50cm	1,2,3,4,5,6	98	55		31	278	
	100cm	3,4	98	55		31	278	
4th analysis ('98. 9~12)	50cm	1,2,3,4,5,6		20		7	27	
	100cm	1,2,3,4,5,6		20		7	27	
Total			266	409	74	110	258	1,117

*1: texture, 2: O.M., 3: EC, salinity, 4: pH, 5: Ava. P_2O_5 , 6: exchangeable cation

Table 2. The chemical properties of marine soil and forest soil used reclamation material

Soil type	Soil texture	EC (dS/m)	O.M. (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable cation (cmol ⁺ /kg)			
					K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Marine soil	Silt loam	13.03	10.0	17	1.46	4.4	5.9	40.1
Marine soil (leaching)	Sandy clay loam	6.18	14.0	10	1.59	5.1	8.7	12.5
Forest soil	Sandy loam	2.07	12.0	10	0.27	3.9	2.7	2.3

경과된 경우, 그리고 매립재로 사용되고 있는 일반 산림토양에 대한 화학성을 비교해 보면(Table 2), 원지반 개흙의 전기전도도, 치환성 나트륨은 다른 토양보다 아주 높은 특성을 보였으며, 매립 이후 5년간 시간경과에 따라 전기전도도는 13.0dSm⁻¹에서 6.2dSm⁻¹로 치환성 나트륨은 40.1cmol⁺/kg에서 12.5cmol⁺/kg로 상당량이 감소되었으나, 매립재인 산림 토양과 비교하여 여전히 토양 중에 많은 염류가 존재하고 있었다. 그러나 치환성 나트륨의 감소와는 다르게 다른 치환성 양이온들은 약간 증가되었다.

원지반 개흙과 5년 동안 용탈된 개흙에서 치환성 Na⁺의 상대적인 양을 나타내는 치환성나트륨 백분율(Exchangeable sodium percentage)은 각각 77%와 43%로 치환성나트륨이 토양의 이화학적 성질을 지배할 정도의 아주 높은 양이 존재하고 있었다. 그 양에서는 원지반 개흙은 용탈개흙보다 1.8배나 되었으며 용탈개흙도 매립재토양보다 아주 높은 수준을 나타내고 있다. 이들 토양을 U.S. Salinity Laboratory(1954)에서 제시한 전기전도도와 치환성나트륨 백분율을 기준으로 분류하면 염류알칼리성 토양의 특징을 갖는 것으로 조사되었다. 대부분의 토양에서 유기물함량은 10g/kg 내외로서 대체로 척박한 토양이었으며, 유효인산은 극히 빈약한 상태이었다.

염류알칼리성 토양은 과일 가용염류와 과일 치환성나트륨을 동시에 함유하고 있기 때문에 대부분의 식물에게 악영향을 끼치는 환경조건이 된다. 이러한 토양을 일반 토양과 비교하여 자연적인 방법으로 토양 중에 존재하는 염류를 용탈시키기 위해서는 상당기간이 소요되고 관개배수, 객토, 토양개량제 등 특별한 토양관리 방법을 사용하지 않고서는 식물생육에 아주 부적절한 토양이 된다. 이러한 토양에서 수목식재는 토양성질이 어떠한 특성을 갖는지 조사한 후에 염해로부터 예상되는 문제점을 이해하고 바람직한 토양관리 및 수목식재 방법을 모색해야 한다.

2. 매립지의 토양 pH와 염분농도

시흥공단 임해매립지에서 여러 가지 토지이용 중에 근린공원, 완충녹지, 가로수 등과 같이 수목식재지로 분류되는 지역을 대상으로 일반 산림토양으로 매립 완료한 후 일정시간이 경과한 다음 토양 pH 변화를 진단하였다.

Table 3에서 조사지역의 토양에서 평균 pH 범위는 7.8~6.3로 중성내지 약알칼리성을 보였다. 평균 pH 수준은 원지반 개흙과 개흙이 매립되어 5년이 경과된 경우와 모두 유사하였으며 매립재로 사용되고 있는 일반 산림토양의 pH 5.8보다 모두 높았다.

각 조사지 토양의 EC는 1차에서 4차까지 조사기간 중 평균값이 주거/공단 완충녹지가 3.38~4.80dSm⁻¹이었으며 전체 평균 EC가 3.76dSm⁻¹로 가장 높았으며, 근린공원은 0.80~4.25dSm⁻¹이었고 전체 평균농도가 3.20dSm⁻¹로 그 다음으로 높게 나타났다. 그외 하천 완충녹지, 가로수, 중앙분리대는 일부지역에서 EC가 아주 높은 지역이 다소 존재하고 있었으나 조사기간 중에 평균 수준은 2.03~1.09dSm⁻¹로 조사되었다. 주거/공단 완충녹지와 근린공원지역에서 EC는 동일지역의 원지반 토양과 비교하여 낮은 수준이었으나 매립재 토양과 비교하면 높은 경향을 보였으며 그외 지역은 매립재 토양의 농도와 유사하였다.

주거/공단 완충녹지 및 근린공원에서 높은 EC를 나타내는 것은 원지반층에 다량으로 존재하는 염류의 상승과 매립과정에서 유입된 토양이 염분 함량이 많은 개흙이 부분적으로 많이 포함되었기 때문으로 보인다. 조사기간 중에 전체적으로 EC가 가장 높은 주거/공단 완충녹지와 부분적으로 개흙이 많이 포함되어 있는 지역에서 EC가 식물생육 한계를 초과하고 있어 이들 지역에서 수목식재 및 건전한 수목생육을 보장하기 위해서는 염류 피해를 방지할 수 있는 식재 방법에 대한 대책이 필요한 것으로 판단된다.

Table 3. The chemical properties of soil in spaces to plant landscape woody plants of reclaimed land

Investigation site	Soil texture	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable cation (cmol ⁺ /kg)				CEC (cmol ⁺ /kg)
						K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	
Parks	SL	6.83	3.20	8.3	59.8	1.19	7.07	2.68	2.35	14.9
Buffergreen (Industrial/ Residential)	SL~SL*	6.71	3.67	3.4	26.3	0.54	5.13	1.97	2.80	8.8
Buffergreen (riparian)	SL	6.29	1.32	3.8	30.0	0.17	5.58	1.45	2.02	9.8
Avenue	SL	7.80	1.09	5.7	77.0	0.57	7.87	1.65	1.76	12.5
Pedestrian street, square, greenway	SL	7.26	2.03	5.3	32.0	0.88	4.48	2.62	2.26	9.49

SL: sandy loam, SL* : silt loam

3. 치환성 양이온의 특성과 치환성나트륨 백분율

각 조사지의 토양 50cm 깊이에서 치환성 양이온 특성을 보면 Figure 2에서 치환성 Ca²⁺의 평균함량이 4.48~7.87cmol⁺/kg이었고 다른 치환성 양이온보다 높은 것으로 조사되었다. 지역적으로는 근린공원과 가로수지역이 다른 지역들보다 높게 나타났다. 치환성 나트륨의 평균함량은 1.76~2.80cmol⁺/kg으로 치환성 Ca²⁺보다 낮았고 치환성 Mg²⁺, K⁺보다는 높은 경향을 보였다. 지역적으로는 주거/공단 완충녹지와 근린공원에서 다른 지역들 보다 높았다. 치환성 Mg²⁺과 K⁺의 함량은 각각 1.45~2.68cmol⁺/kg 그리고 0.17~1.19cmol⁺/kg 정도로 조사되었다. 양이온치환용량은 8.78~14.87cmol⁺/kg로 근린공원이 다소 높았으나 전지역에서 비교적 고른 분포를 나타내고 있었다.

치환성나트륨 백분율은 주거/공단 완충녹지가 32%, 녹도, 미관지역이 24%, 하천 완충녹지가 21%, 근린공원 16%, 그리고 가로수가 14%로 주거/공단 완충녹지에서 가장 높았다.

각 지역에서 조사된 이온특성은 원지반 개흙과 용탈 개흙의 이온특성보다 치환성 나트륨의 함량은 적은 반면에 Ca²⁺의 함량이 높았고 그외 이온들은 유사한 수준을 보였다. 양이온치환용량은 낮은 상태이었다. 그리고 치환성나트륨 백분율도 아주 낮은 수준인 것으로 조사되었으나, 매립재토양과 비교하면 특히 주거/공단 완충녹지 지역에서 치환성 나트륨 함량과 치환성나트륨 백분율이 아주 높은 상태를 보였다.

간척지 토양에 대한 연구는 국내에서도 다수 이루어졌는데 신간척지 토양의 화학적 특징은 주로 일반

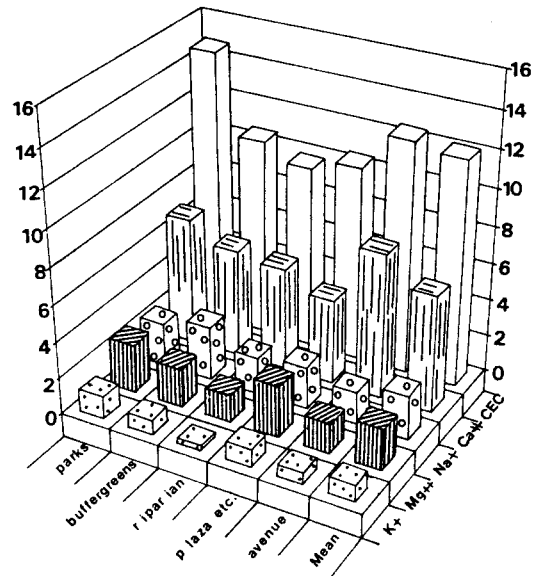


Figure 2. The change of exchangeable cations in 50cm

속답에 비하여 치환성염기와 SiO₂의 함량이 높은 반면에 Ca²⁺ 함량이 낮아 염기조성이 아주 불균등한 특징을 갖고 있다(本間, 1973). 그러나 간척연수가 경과됨에 따라 염기조성 변화를 보면 치환성 Na⁺, Mg²⁺, 그리고 K⁺는 감소되고 Ca²⁺은 증가하는 현상을 보인다(최원철과 박근용, 1991). 각 지역에서 토양시료의 이온을 조사지역에서 염류에 상당히 영향을 받고 있는 원지반 개흙과 개흙 매립되어 5년이 경과된 경우와 비교하면 치환성 Ca²⁺은 증가하였고 다른 양이온들은 적었으나 전체적으로 매립재 토양과 비교

하면 이온농도가 모두 높은 수준으로 매립 이후 염류의 양이 증가한 것으로 나타났다. 토양 중에 염류가 매립재 토양보다 많은 양이 함유되어 있는 것은 매립층 하부에 해수의 영향으로 대량 존재하고 있는 염류가 매립된 토양 중에 집적된 결과라 판단된다.

특히 주거/공단 완충녹지에서 토양 중 염류집적이 가장 현저한 것으로 나타났는데 이는 개흙이 부분적으로 많이 포함되어 있는 환경도 하나의 원인인 것으로 판단된다.

토양에서 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ 이온은 토양 콜로이드의 화학적 성질에 영향을 미치며 토양 물리성과 밀접한 관계가 있는데 염토에서 과다하게 함유되어 있는 치환성 나트륨은 토양입단을 분산시켜 토양 구조를 퇴화시켜 토양 물리성을 악화시킨다. 조사지역에서 토양중에 Ca^{2+} 이 높은 이유는 토양 콜로이드에 치환, 흡착하는 힘이 다른 이온보다 크기때문이며 염류에 영향을 받고 있는 매립지에서 토양 중에 나트륨보다 많이 존재하는 Ca^{2+} 은 토양 안정화에 기여하리라 본다.

4. 임해매립지의 염분상승 효과

Figure 3의 토심별 염분농도 변화는 표토에서 토심 100cm까지 조사된 주거/공단 완충녹지의 경우 표토의 염분농도 평균값은 $5.21dSm^{-1}$ 로 50cm,

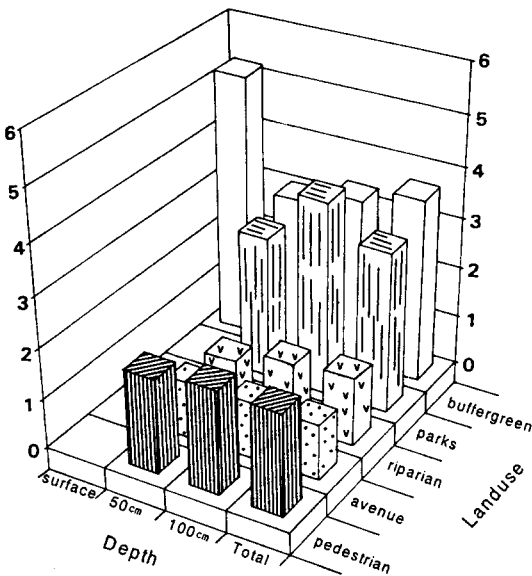


Figure 3. The changes of electrical conductivity (EC) in soil horizons

100cm 깊이의 염분농도 평균값인 $3.03dSm^{-1}$ 와 $3.34dSm^{-1}$ 보다 아주 높은 수준이었다. 표토를 제외한 토양 50cm, 100cm 깊이에서 조사된 염분농도 평균값은 50cm보다 100cm 깊이에서 높은 것으로 조사되었다. 지역적으로 주거/공단 완충녹지와 근린공원이 다른 지역들보다 전토심에서 염분농도가 높았다.

따라서 매립지에서 염분상승 정도는 지역적으로 차이가 있는 것으로 생각되며 주거/공단 완충녹지와 근린공원에서 토심별 염분농도는 매립재토양의 염분농도보다 높아 토양이 함유하고 있는 높은 염류는 원지반층에 다량으로 존재하고 있는 염분의 상승효과 때문인 것으로 판단된다. 주거/공단 완충녹지의 표토층에서 염분농도가 높은 이유는 표토의 염분농도가 토양 50cm와 100cm 깊이의 염분농도보다 훨씬 높게 나타났고 토심별 염분농도가 50cm보다 100에서 높게 조사되었기 때문에 염분상승 효과보다는 매립과정에서 염분이 많은 개흙이 다른 지역들보다 전체적으로 넓은 면적으로 유입되었기 때문인 것으로 판단된다.

시흥공단에서 조사된 토양상태로 수목식재시 염류장해로 수목피해를 야기시킬 수 있는 예상지역으로는 주거/공단 완충녹지로 조사되었다. 특히 주거/공단 완충녹지는 표토와 수목의 근계권이 되는 깊이에서 높은 염분농도를 보이고 있어 수목식재를 위해서는 전체적으로 토양개량이 요구되는 지역인 것으로 판단되었다. 또한 수목식재지에서 개흙이 일부 포함되어 있는 지역은 수목생육을 조장하기 위해서는 양질의 토양으로 개토하거나 수목이 염분피해를 받지 않도록 염분유입을 차단할 수 있는 식재기반을 조성해야 할 것이다.

인용문헌

구분학(1993) 임해매립지내 조정수목의 하자 요인에 관한 연구 -서해안과 남해안을 중심으로-. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
 오왕근(1991) 개흙의 제염에 미치는 벚짚, 석회와 병용 효과. 한국토양비료학회지 24(1): 35-40.
 유순욱, 이상목(1988) 간척지 제염과정에서 일어나는 토양의 수리전도와 유출액의 화학적 특성변화에 관한 실험적 연구. 토양비료학회 21(1): 3-10.
 장관순, 김형복(In press) 임해매립지의 생태계 복구를 위한 토양중 염류의 활성도 분석. 토양비료학회.
 조영길, 조인산, 엄기태(1992) 신간척지에서 근권의 염

- 농도 저하 방법이 토양특성과 작물생육에 미치는 영향. 한국토양비료학회 25(2): 127-132.
- 최원렬, 박근용(1991) 내염성 전작물의 개발과 재배전망. 농진청 심포지엄 17: 53-78.
- 本間啓(1973) サンドポンプによる臨海埋立地における緑地植物の植栽に関する研究. 緑地學研究.
- Fitter, A.H. and R.K.M. Hay(1987) Environmental physiology of plants. Academic Press, London.
- Frenkel, H., J.O. Goertzen, and J.D. Rhoades(1987) Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Am. J. 42: 32-39.
- Gupta, R.K., D.K. Bhumbra, and I.P. Abrol(1984) Effect of sodicity, pH, organic matter, and calcium carbonate on the dispersion behavior of soils. Soil Sci. 136: 245-251.
- Lovely, J.(1976) Relative significance of electrolyte and cation exchange effects when gypsum is applied to a sodic clay soil. Aust. J. soil res. 14: 361-371.
- 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.
- Shainberg, I.(1985) The effect of exchangeable sodium and electrolyte concentration on crust formation. Advances in soil science 1: 101-122.
- U.S. Salinity Laboratory Staff(1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. USDA Handbook 60.
- Yousaf, M., O.M Ali, and J.D. Rhoades(1987) Dispersion of clay from some salt-affected, arid land soil aggregates. Soil Sci. AM. J. Vol. 51: 920-924.