

식재지반 용토로서 준설토의 이화학적 특성

김원태* · 윤용한**

*농촌진흥청 농업과학기술원 · **건국대학교 산림과학과

Physico-Chemical Properties of Dredged Soils as Planting Soil

Kim, Won-Tae* · Yonn, Yong-Han**

*National Institute of Agricultural Science & Technology, RDA

**Dept. Forest Science, College of Natural Science, Konkuk University

ABSTRACT

This study was carried out to find out the heavy metal contents and the physico-chemical properties for the improvement of dredged soils which widely exist in lowlands of Korea. At first all the average heavy metal contents were close to background level and were much lower than concern level of the Soil Environment Conservation Act of Korea. And the results of physical analyses of soils showed on the average 2.46~2.74 Mg/m³ in particle density, 0.45~2.45 kg/kg in soil water contents, 0.34~0.90 Mg/m³ in bulk density, 0.67~0.87 m³/m³ in porosity, 2.18×10⁻⁵~1.20×10⁻⁸ m/s in saturated hydraulic conductivity, 0.12~0.65 m³/m³ in available water contents. Finally the results of chemical analyses of soils showed on the average 6.5~8.2 in pH, 5~48 g/kg in OM, 0.48~4.51 g/kg in T-N, 19~25 mg/kg in available phosphate, 0.28~11.80 dS/m in EC, 8.7~38.1 cmol/kg in CEC, respectively. Accordingly, the physico-chemical properties of soils ought to be analyzed accurately before dredging for effective using of dredged soils. And it will be more effective, if the dredged soils are used with proper balance among each content of components with consideration to the physico-chemical properties of common soils.

Key Words : Dredged Soil, Heavy Metal Contents, Physico-Chemical Properties

1. 서론

수저 퇴적물은 육지로부터 유입되거나 내부적인 생·화학적 작용을 통해 호소, 하천, 하구, 바다 등의 바

닥에 쌓이는 자갈, 모래, 점토, 유기물질, 광물질을 통칭한다(이창희와 김은정, 1998). 이러한 퇴적물은 오래 전부터 자연자원의 이용, 이수, 치수 및 수운과 관련된 측면에서 관리의 대상이 되어 왔다. 즉 건설골재의 원료나 수로의 수심 감소 원인이 되는 모래, 자갈 등은 집

중적인 준설대상이 되어 왔으며, 하천 통수량의 확보를 위한 하천 정비 또는 홍수 통제 사업의 대부분도 수저 퇴적물의 준설을 수반한다. 이러한 준설 퇴적물의 관리 핵심은 준설된 대량의 수저 퇴적물을 어떻게 효율적으로 처분할 것인지에 달려 있다. 대부분의 경우 항구 및 수로 유지를 위해 준설된 퇴적물은 운반이 용이한 근처의 수계에 처분장을 만들어 투기하거나 대규모 매립공사와 함께 준설이 실시될 경우에는 매립용으로 사용되는 것이 보통이다. 해양수산부 통계자료에 따르면 2003년에만 2,400만 m^3 의 준설토가 발생하였고(해양수산부, 2003), 90년대 중반 이후 급격한 증가 추이로부터 판단해 볼 때 향후 발생량은 매년 증가될 것이 예상되지만 현재 처분지와 매립지가 부족하여 단순매립 처리만이 이루어지고 있으므로 매립비용의 증가와 해양환경문제 초래, 연근해 어류 생태계에 심각한 영향을 미치고 있는 실정이다. 일본 건설성 자료에 따르면 1998년 약 5,000만 m^3 의 준설토가 발생하였으나 내륙 및 해안 매립공사 등에 재활용은 약 30% 수준이라고 보고되었다(建設發生土利用技術マニュアル檢討委員會, 1998). 따라서 현재 이러한 국가적 차원의 문제를 해결하기 위한 준설토의 재활용 방안 및 대책 기술 개발이 요구되는 시점에 처해 있다고 할 수 있다.

한편 산업시설의 확충과 항만, 택지 개발 등과 같은 기반 시설의 신설 및 확장은 토지의 가용 면적 증대와 매립 및 성토시 양질의 지반재료를 필요로 한다. 부산 신항만 건설공사, 광양만 개발공사, 서해안 개발공사 등 최근 국책사업이 활발히 진행되어 매립, 성토 재료로서 대량의 토사를 사용하고 있지만 환경보전의 중요성 등을 감안하면 대량의 육상토나 해사를 사용하는 것이 어려운 실정일 뿐만 아니라 상당한 비용이 소요된다. 또한 현재 선진국에서는 준설토도 자원이라는 개념하에서 다양한 방면으로 재활용 방안을 모색하고 있으며, 특히 해양환경 복원의 관점에서 서식처 개발에 관한 연구 및 적용에 치중하고 있는 실정이다. 따라서 준설토의 성분분석을 통해 자원으로써 재활용하는 방안을 적극 검토하는 것은 매우 중요한 과제라고 생각된다.

이러한 점을 감안하여 준설토를 재활용하는 방법은 여러 측면에서 고려될 수 있으나 본 연구에서는 준설토의 중금속 함량 및 물리·화학적 특성을 분석하여 조경 식재지 객·복토용 재료로서의 재활용 가능성을 파악

하기 위한 기초자료를 제공하는데 연구의 목적이 있다. 공시토양은 일본의 경우 준설토를 식재 지반으로 적극 활용하고 있으므로 현재 활용되고 있는 곳의 토양을 대상으로 분석하였다.

II. 재료 및 방법

공시토양은 동경만 동경국제공항 확장공사 및 해안 주변 정비사업 준설 매립현장에서 채취한 해수 준설토 2점과 이바라키(茨城)현 카스미가우라(霞ヶ浦), 사가(佐賀)현 농수로, 사이타마(埼玉)현 오바가와(大場川), 북해도 아바시리(網走), 시마네(島根)현 마츠에(松江) 준설 매립현장에서 채취한 담수 준설토 5점을 포함해서 총 7점을 대상으로 하였으며, 각각의 채취장소는 그림 1에 나타난 바와 같다. 이하 '하네다', '카와사키', '카스미가우라', '사가', '오바가와', '아바시리', '마츠에'라고 한다. 토양시료는 1998년 1월~8월 사이에 준설 매립현장에서 이물질이 혼입되어 있지 않은 장소를 택해 채취하고, 밀봉하여 실험실로 가져와 분석하였다.

토양시료의 조제는 土壤環境分析法(博友社, 1997)에 준하여 실시하였다. 공시토양의 중금속 함량은 土壤環境分析法(博友社, 1997)에 따라 토양시료 10g을 100ml 삼각플라스크에 취하여 0.1-HCl 50ml(크롬의 경우 0.2 M- CH_3COONH_4 , 비소의 경우 1N-HCl 침출성)를 가한 다음 실온에서 1시간 진탕하고 No. 5B로 여과하여 구리, 아연, 카드뮴, 납, 크롬, 비소의 함량을 측정하였다.

공시토양의 물리적 특성 중 입도 분석은 비중계 및 체분석을 이용하고, 미국농무부의 입도 조성에 의한 삼각분류법(博友社, 1997)에 따라 토성을 분류하였다. 또한 입자밀도, 채취 당시 공시토양의 중량수분함량, 용적

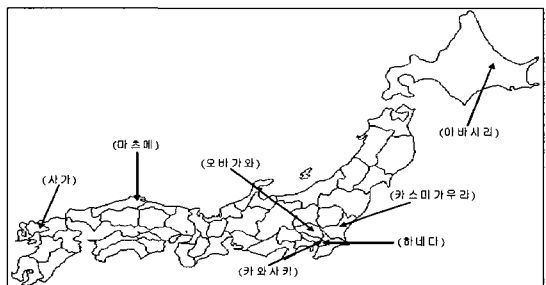


그림 1. 공시토양의 채취장소

밀도, 변수위법으로 구한 포화투수계수, 흡인법으로 구한 포장용수량(-1/3bar)과 가압관법으로 구한 영구위조점(-15bar)의 차인 유효수분량은 土壤物理性測定法(養賢堂, 1975)에 준하여 분석하였다.

공시토양의 화학적 특성은 土壤環境分析法(博友社, 1997)에 따라 토양반응(pH)은 토양과 H₂O를 1:1로 하여 Horiba compact pH meter B-212로, 전기전도도(EC)는 토양과 H₂O를 1:5로 하여 Horiba conductivity meter ES-14로 측정하였으며, 유기물(OM)은 Tyurin 법, 전질소(T-N)는 Kjeldahl법, 양이온치환용량(CEC)은 Semi-Schollenberger법, 치환성 양이온은 1N-NH₄OAc (pH 7.0) 용액으로 추출 후 원자흡광분석기를 이용하여 분석하였고, 유효인산은 Lancaster법으로 측정, 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 공시토양의 중금속 함량

토양오염을 일으키는 주요 원소로는 구리(Cu), 아연(Zn), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 크롬(Cr), 비소(As) 등을 들 수 있다. 이들 원소 중 구리, 아연은 식물 생육에 필요한 성분으로 미량만 공급해도 되는 미량원소라 할 수

있다. 그러나 이러한 미량원소는 약간만 많아져도 유해할 수 있다. 즉, 토양 중에 무기성분이 과잉하게 되면 식물에 직접적으로 나쁜 영향을 끼치는 한편 다른 원소의 흡수·이동에 영향을 주기도 한다(김복영 등, 1990; 김복영 등, 1995; 김계훈 등, 1995).

공시토양의 중금속 함량을 환경부가 제정한 토양환경보전법 상의 우려기준(환경부, 2001)과 비교한 결과는 표 1과 같다.

분석결과 공시토양의 중금속 함량 중 토양환경보전법상 우려기준을 초과하는 중금속은 없었으며, 우려기준에 비해 구리는 약 1/100, 카드뮴은 약 1/7, 납은 약 1/33, 크롬은 약 1/10, 비소는 약 1/15 정도로 낮은 농도를 나타내어 우려할 수준은 아니었다.

2. 공시토양의 물리적 특성

공시토양의 물리적 특성 분석결과는 표 2에, 건설교통부(1999)의 조경설계기준 토양 물리적 특성 평가기준은 표 3에 나타난 바와 같다.

보통 무기질 토양의 입자밀도는 평균적으로 2.65 Mg/m³인데 비해 유기물함량이나 광물조성의 차로 인해 공시토양의 입자밀도는 2.46~2.74Mg/m³의 범위를 나타냈다.

공시토양이 수저퇴적물인 관계로 채취 당시의 토양

표 1. 공시토양의 중금속 함량

		구리	아연	카드뮴	납	크롬	비소
		(mg/kg)					
해수준설토	하네다	8.7	88	0.3	5.3	0.6	0.8
	카와사키	7.3	83	0.3	4.8	0.6	0.6
담수준설토	카스미가우라	6.5	64	0.3	3.5	0.5	0.6
	사가	3.5	31	0.1	1.1	0.2	0.2
	오바가와	2.3	22	0.1	1.0	0.2	0.2
	아바시리	4.1	53	0.2	3.4	0.4	0.3
	마즈에	3.8	46	0.2	2.1	0.3	0.4
평균		5.2	55	0.2	3.0	0.4	0.4
우려기준*		50.0	-	1.5	100	4.0	6.0

*우려기준 : 논·밭·과수원·목장용지·하천·체육용지(수목·잔디 식생지)(환경부, 2001).

표 2. 공시토양의 물리적 특성

		입자밀도 (Mg/m ³)	입도조성			용적밀도 (Mg/m ³)
			모래(%)	미사(%)	점토(%)	
해수준설토	하네다	2.66	2.0	20.0	78.0	0.60
	카와사키	2.72	25.0	27.0	48.0	0.71
담수준설토	카스미가우라	2.55	1.0	22.0	77.0	0.34
	사가	2.46	2.6	21.5	75.9	0.48
	오바가와	2.74	72.7	8.5	18.8	0.90
	아바시리	2.47	33.0	53.0	14.0	0.65
	마즈에	2.51	13.0	58.0	29.0	0.68

		공극률 (m ³ /m ³)	포화투수계수 (m/s)	유효수분량 (m ³ /m ³)
해수준설토	하네다	0.77	1.32 × 10 ⁻⁸	0.38
	카와사키	0.74	1.04 × 10 ⁻⁶	0.33
담수준설토	카스미가우라	0.87	1.20 × 10 ⁻⁸	0.65
	사가	0.80	3.23 × 10 ⁻⁸	0.41
	오바가와	0.67	2.18 × 10 ⁻⁵	0.12
	아바시리	0.74	2.42 × 10 ⁻⁶	0.26
	마즈에	0.73	2.26 × 10 ⁻⁶	0.20

표 3. 건설교통부 조경설계기준(1999)의 토양 물리적 특성 평가항목과 평가기준

평가항목		평가등급			
항목	단위	상급	중급	하급	불량
공극률	m ³ /m ³	0.6 이상	0.6~0.5	0.5~0.4	0.4 이하
투수성 ^a	m/s	10 ⁻⁵ 이상	10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁶	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ 미만
유효수분량 ^b	m ³ /m ³	0.12 이상	0.12~0.08	0.08~0.04	0.04 미만

^a: 투수성은 포화투수계수를 기준으로 한다.

^b: 유효수분량은 용적수분함량을 기준으로 한다.

수분함량은 0.45~2.45kg/kg의 범위로 전체적으로 매우 높은 값을 나타냈는데 특히 카스미가우라의 경우 오바가와의 약 5배, 하네다의 약 2배 높은 값을 나타냈다.

입도분석 결과 토성은 크게 4가지로 분류되었으며, 입도 조성은 모래가 1.0~72.7%, 미사가 8.5~58.0%, 점토가 14.0~78.0%의 범위로 매우 다양한 분포 양상을 나타냈다.

토양의 용적밀도는 유기물함량, 토성 및 구조에 따라 변하며, 일반적으로 농경지 양토의 평균 용적밀도는 약

1.10~1.40Mg/m³의 범위이다(유순호와 임선옥, 1994). 공시토양의 경우 용적밀도는 0.34~0.90Mg/m³의 범위를 나타냈는데 이것은 유기물함량이 우리나라 토양에 비해 높은 회산회토의 특성이 반영된 결과라고 판단된다. 또한 본 실험의 결과는 기존의 연구성과와도 매우 유사하여 이로부터 추정해 볼 때 매립 후 토양면 증발과 배수처리로 0.9~1.0Mg/m³까지 증가될 것이 예상된다(長堀金造, 1994).

용적밀도와 마찬가지로 공극률 역시 토성, 구조, 유

기물함량, 경운, 수분상태에 따라 변하며 대체로 0.50 m³/m³ 내외이다(유순호와 임선옥, 1994). 공시토양의 공극률은 0.67~0.87m³/m³의 범위를 나타냈는데 이것 역시 용적밀도와 마찬가지로 화산회토의 일반적인 특성에 기인한 결과라고 판단된다. 또한 매립 후 건조과정을 통해 용적밀도가 증가하게 되면 상대적으로 공극률은 감소될 것이 예상된다. 더불어 분석결과를 표 3의 공극률 평가등급과 비교해 본 결과 모든 공시토양이 상급에 해당되었다.

中野政誌 등(1995)은 대표적인 포화투수계수 값으로 자갈 10⁻¹m/s 이상, 굵은 모래 10⁻¹~10⁻⁴m/s, 가는 모래 10⁻⁵m/s, 미사 10⁻⁶~10⁻⁷m/s, 점토 10⁻⁸m/s라고 하였다. 분석결과 공시토양의 포화투수계수 범위는 2.18×10⁻⁵~1.20×10⁻⁸m/s로 오바가와를 제외하면 미사 내지는 점토의 포화투수계수 값과 유사한 값을 나타냈다. 이를 조경설계기준의 투수성 평가등급과 비교해 본 결과 오바

가와만이 상급, 카와사키, 아바시리, 마츠에가 하급, 하네다와 카스미가우라가 불량에 해당되었다. 앞서 기술한 공시토양의 공극률과 투수성 평가등급을 비교해 보면 모든 공시토양의 공극률은 상급으로 평가되었으나 오바가와를 제외한 공시토양의 투수성 등급은 하급 내지는 불량으로 평가되었다. 이러한 결과는 모든 공시토양의 공극률이 높았지만 실제 투수성에 기여하는 공극률이 상대적으로 낮았기 때문이라고 판단된다. 일반적으로 토양구조 특히 공극의 크기와 양 및 토성이 투수계수와 가장 직접적으로 관련되는 특성이라고 볼 수 있다(中野政誌 등, 1995). 따라서 본 시험의 결과는 공시토양이 수저퇴적물인 관계로 토양구조에서 대공극이 발달하지 못한 것이 가장 큰 요인이라 판단되며, 이와 더불어 토성의 영향이 반영된 결과라고 생각된다.

유효수분은 포장용수량(-1/3bar)과 영구위조점(-15 bar) 사이의 수분으로 식물이 이용할 수 있는 수분을

표 4. 공시토양의 화학적 특성

		pH (H ₂ O)	OM (g/kg)	T-N (g/kg)	탄질비	유효인산 (mg/kg)
해수준설토	하네다	8.2	44	3.16	13.9	25
	카와사키	7.9	39	2.78	14.1	22
담수준설토	카스미가우라	6.5	48	4.51	10.8	20
	사가	6.8	41	3.52	11.7	22
	오바가와	7.6	5	0.48	10.7	19
	아바시리	6.5	41	3.93	10.6	20
	마츠에	6.8	42	4.19	10.1	21

		치환성 양이온(cmol/kg)				EC (dS/m)	ESP* (%)	CEC (cmol/kg)	염기포화도
		K	Na	Ca	Mg				
해수준설토	하네다	2.0	17.2	9.2	5.1	11.80	50.3	34.2	0.98
	카와사키	2.1	11.1	5.2	3.2	9.42	47.4	23.4	0.92
담수준설토	카스미가우라	1.2	0.3	10.9	7.9	0.79	0.8	38.1	0.53
	사가	1.6	0.7	8.6	7.3	0.31	2.0	35.0	0.52
	오바가와	0.2	0.2	3.5	2.1	0.42	2.3	8.7	0.69
	아바시리	1.3	0.6	7.6	5.2	0.28	2.3	25.6	0.57
	마츠에	1.5	0.2	8.5	5.4	0.36	0.7	27.8	0.55

*ESP : Exchangeable Sodium Percentage(치환성 나트륨 백분율).

의미한다(유순호와 임선옥, 1994). 분석결과 공시토양의 유효수분량은 $0.12\sim 0.65\text{ m}^3/\text{m}^3$ 의 범위를 나타냈다. 이를 조경설계기준의 유효수분량과 비교해 본 결과 모든 공시토양이 상급에 해당되었다.

3. 공시토양의 화학적 특성

공시토양의 화학적 특성 분석결과는 표 4에, 건설교통부(1999)의 조경설계기준 토양 화학적 특성 평가기준은 표 5에 나타낸 바와 같다.

토양반응(pH)은 토양 중에 존재하는 각종 양분의 유효도, 유해물질의 용해도, 식물뿌리와 미생물체내의 생리화학반응 등을 좌우하는 매우 중요한 토양의 화학적 성질이다. 만약 토양의 pH가 4~5로 내려가 강산성으로 되면 일반적으로 식물에 대하여 독성을 나타낼 정도로 가용성 Al과 Mn의 농도가 높아진다. 반대로 토양의 pH가 높아져 알칼리성으로 되면 미량원소의 용해도가 떨어지게 되며, 특히 Fe, Mn, Zn, Cu 등이 결핍되기 쉽다(유순호와 임선옥, 1994). 따라서 식물 생육에 적절한 토양의 pH는 무기질 토양에서 6.5 정도, 유기질 토양에서 약 5.5 정도이며, 대부분의 수목의 경우 6.0~6.5의 범위에서 양호하게 생육 가능하다고 알려져 있다(日本緑化センター, 1987). 공시토양의 토양 pH는 6.5~8.2의 범위로 이를 조경설계기준의 토양반응 평가등급과 비교해 본 결과 카스미가우라와 아바시리가 상급, 사가와 마츠에가 중급, 카와사키와 오바가와가 하급,

그리고 하네다가 불량에 해당되었다.

토양유기물(OM)은 식물에 대한 질소성분의 공급원이 될 뿐만 아니라 여러 가지 이화학적 특성을 지배하는 중요한 성분으로, 토양구조의 유지, 양이온의 흡착(주로 부식의 기능), 식물양분의 공급원, 토양생물군의 먹이 등의 역할을 한다. 따라서 유기물함량은 토양비옥도의 지표가 될 만큼 중요하다(유순호와 임선옥, 1994). 분석결과 공시토양의 유기물 함량은 5~48g/kg의 범위로 오바가와만이 하급으로 평가되었고, 그 외 공시토양은 중급으로 평가되었다. 또한 분석 결과를 우리나라 농경지 유기물함량 및 적정치(농촌진흥청, 1989)와 비교해 보면 우리나라의 경우 논토양 함량은 26~28g/kg 정도이고, 적정기준치는 30g/kg이며, 밭토양 함량은 20~22g/kg이고, 적정기준치는 30~35g/kg으로 오바가와를 제외한 공시토양이 적정기준치보다 높았다.

공시토양의 전질소(T-N)는 0.48~4.51g/kg의 범위로 오바가와를 제외한 공시토양이 상급으로 평가되어 질소 부족으로 인한 식물 생육장해를 우려할 수준은 아니었다.

토양 전질소에 대한 유기물함량의 비를 토양의 탄질비라 하는데 분석결과 공시토양의 탄질비는 10.1~14.1의 범위를 나타냈다. 일반적으로 경작지 표토의 평균 탄질비는 10~12이고, 심토는 이보다 약간 낮은 값을 나타냈는데 탄질비가 30 이상인 경우에는 질소의 고정 이 무기화를 상회하며, 15~30에서는 고정과 무기화가 거의 같은 수준이다. 또한 탄질비가 15 이하에서는 무

표 5. 건설교통부 조경설계기준(1999)의 토양 화학적 특성 평가항목과 평가기준

평가항목		평가등급			
항목	단위	상급	중급	하급	불량
토양반응(pH)	-	6.0~6.5	5.5~6.0 6.5~7.0	4.5~5.5 7.0~8.0	4.5 미만 8.0 이상
유기물함량(OM)	g/kg	50 이상	50~30	30 미만	-
전질소량(T-N)	g/kg	1.2 이상	1.2~0.6	0.6 미만	-
치환성 칼륨(K ⁺)	cmol/kg	3.0 이상	3.0~0.6	0.6 미만	-
치환성 칼슘(Ca ⁺⁺)	cmol/kg	5.0 이상	5.0~2.5	2.5 미만	-
치환성 마그네슘(Mg ⁺⁺)	cmol/kg	3.0 이상	3.0~0.6	0.6 미만	-
전기전도도(EC)	dS/m	0.2 미만	0.2~1.0	1.0~1.5	1.5 이상
양이온치환용량(CEC)	cmol/kg	20 이상	20~6	6 미만	-

기화가 고정화를 상회하므로 식물생육에 양호한 조건이라고 볼 수 있다(大平俊男, 1986). 따라서 모든 공시 토양이 탄질비에 있어서 양호한 상태라고 판단된다.

유효인산은 식물체에 흡수·이용될 수 있는 형태의 토양인산을 말하며, 일반적으로 적정수준은 밭토양에서 250mg/kg, 논토양에서 100mg/kg이지만 최근에는 식물이 필요한 만큼만 공급하는 것을 권장하고 있다(류순호, 2000). 분석결과 공시토양의 유효인산은 19~25mg/kg의 범위로 적정수준의 약 1/5~1/10 정도로 낮은 농도를 나타냈다.

치환성 양이온 중 치환성 칼륨의 경우 모든 공시토양이 전반적으로 낮은 함량을 나타내, 하급으로 평가되었으나, 치환성 칼슘 및 치환성 마그네슘의 경우 오바가와를 제외한 모든 공시토양이 높은 함량을 나타내, 상급으로 평가되었다. 한편 다른 공시토양에 비해 하네다와 카와사키의 경우 해수의 영향을 강하게 받은 결과 높은 치환성 나트륨 함량을 나타냈다.

토양내 전기전도도(EC)의 크기는 주로 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ 등)과 음이온(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} 등)의 농도에 의해 결정되며, 토양내 염류의 함유 정도를 나타내는 지표로 이용된다(이상은 등, 1987; 정구복 등, 1994). 분석결과 공시토양의 EC는 0.28~11.80dS/m의 범위로 이를 조정설계기준의 EC 평가등급과 비교해 본 결과 하네다와 카와사키를 제외한 공시토양은 중급에 해당되었으나 해수의 영향을 매우 강하게 받은 하네다와 카와사키는 불량에 해당되었다. 특히 미국의 경우 포화침출액전기전도도(ECe) 4dS/m, 치환성 나트륨 백분율(ESP) 15%를 작물 생육저해 임계농도로 규정하고 있어 본 시험에서 구한 하네다와 카와사키의 EC를 이승현과 박미현(2003)의 방법에 따라 ECe로 환산한 결과 4~8dS/m를 나타냈다. 따라서 하네다와 카와사키의 경우 ECe 4dS/m 이상, ESP 15% 이상으로 U. S. Salinity Laboratory Staff(1954)의 염류토양 분류기준에 따라 염류-나트륨성 토양으로 분류되었으며, 매립 후 과량의 염류로 인한 식물 생육장해가 발생할 가능성이 시사되었다. 이와 같은 과다 염류집적은 삼투압 작용에 의한 식물의 토양수 이용을 저하시키고(Bernstein, 1975), 이온의 불균형과 과다 이온 존재에 의한 이온 독성 발현 및 타 유효이온의 흡수저해(Chang and Dregne, 1955)를 초래함으로써 식물 생육장해를 유발

시킬 수 있다(Naidu and Rengasamy, 1993). 이와 함께 치환성 Na^+ 에 의한 토양구조의 파괴는 토양내 투수성을 저하시키고(Frenkel et al., 1987), 표면에 수분정체 현상을 발생시켜 토양 내부로 공기 유입이 차단됨으로써 혐기적 조건이 유도되어 탈질화 작용에 의한 질소 손실과 식물에 나쁜 영향을 미치는 유해성분들이 생성되는데 이와 같은 조건에서는 ESP가 3~5%만 되더라도 식물은 영향을 받게 된다(Shainberg, 1985). 따라서 이와 같은 토양을 조경 식재지 객·복토용 재료로서 재 활용하기 위해서는 염류 피해를 방지할 수 있는 식재기반을 조성해야 수목의 건전한 생육을 보장할 수 있다고 생각된다. 더불어 토양 물리적 특성 중 투수성을 증대시키는 방향으로 공시토양을 개량한 후 자연강우 등에 의한 염류의 용탈을 유도할 필요가 있다고 판단된다.

양이온치환용량(CEC)은 토양비옥도를 나타내는 지표로 CEC가 높은 토양일수록 양분을 보유할 수 있는 능력이 크므로 비옥도가 높다고 말할 수 있다(大平俊男, 1986). 분석결과 공시토양의 CEC는 8.7~38.1cmol/kg의 범위로 이를 등급화해 보면 오바가와를 제외한 모든 공시토양이 상급으로 평가되어 토양비옥도면에서 양호하다고 판단된다.

CEC에 대한 각 치환성 양이온 합의 비를 염기포화도라 하며, 우리나라 자연토양의 염기포화도는 0.5보다 낮은 것이 일반적이고, 강우량이 많을수록 염기의 용탈이 심하기 때문에 염기포화도는 낮아진다(유순호와 임선욱, 1994). 분석결과 염기포화도는 0.52~0.98의 범위를 나타냈으며, 특히 하네다, 카와사키, 오바가와가 높은 값을 나타냈다.

IV. 결론

본 연구는 현재 대량 발생되고 있는 준설토의 재활용 가능성과 관련해서 해수 준설토 2점과 담수 준설토 5점을 포함해서 총 7점을 대상으로 준설토를 식재지반의 토양으로 활용하기 위하여 이화학적 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 공시토양의 중금속 함량 중 토양환경보전법상 우려기준을 초과하는 중금속은 없었다.
2. 토양 물리적 특성 분석결과 공시토양의 입자밀도는 2.46~2.74Mg/m³, 토양수분함량은 0.45~2.45

kg/kg, 용적밀도는 $0.34 \sim 0.90 \text{Mg/m}^3$, 공극률은 $0.67 \sim 0.87 \text{m}^3/\text{m}^3$, 포화투수계수는 $2.18 \times 10^{-5} \sim 1.20 \times 10^{-8} \text{m/s}$, 유효수분량은 $0.12 \sim 0.65 \text{m}^3/\text{m}^3$ 의 범위를 각각 나타냈다. 토양 물리적 특성 분석항목 중 공극률은 적정한데 비해 포화투수계수가 낮게 나타난 것은 공시토양이 수저 퇴적물인 관계로 토양의 구조가 발달하지 못한 점과 더불어 토양의 입자가 분산되었기 때문이라고 판단된다.

3. 토양 화학적 특성 분석결과 공시토양의 pH는 6.5~8.2, OM은 5~48g/kg, T-N은 0.48~4.51g/kg, 유효인산은 19~25mg/kg, EC는 0.28~11.80dS/m, CEC는 8.7~38.1cmol/kg의 범위를 각각 나타냈다. 또한 해수 준설토의 경우 화학적 분석 결과 중 Na의 함량이 높아 pH, EC, ESP, 염기포화도 등이 높게 나타났다. 이를 개선하기 위해서는 토양 물리적 특성 중 투수성을 증대시키는 방향으로 공시토양을 개량한 후 자연강우 등에 의한 염류의 용탈을 유도할 필요가 있다고 판단된다.
4. 준설토는 퇴적장소에 따라 입도 조성에 차이를 나타냈으며, 입도 조성이 유사하더라도 퇴적장소 주변 환경에 따라 토양 물리·화학적 특성에 차이를 나타냈다.
5. 이상과 같이 준설토에 대한 정확한 토양 물리·화학적 특성 분석결과를 토대로 각 성분에 대한 함량간의 균형을 조절하며, 토양구조의 미발달, 투수성의 불량 등 식재용토로서의 제한요인을 개선한다면 본 연구가 목적인 조경 식재지 개·복토용 재료로서의 재활용 가능성은 충분하다고 판단된다.

인용문헌

1. 농촌진흥청(1989) 농토배양 10개년사업 종합보고서, 농촌진흥청.
2. 건설교통부(1999) 조경설계기준.
3. 김계훈, 윤주용, 류순호(1995) 한국 토양중 Cs-137과 K-40의 분포, 한국토양비료학회지 28(1): 33-40.
4. 김복영, 소규호, 김규식, 조재규, 조일환, 우기대(1990) 한국 발달양 및 곡물중의 중금속 자연함유량에 관한 조사연구, 농업

- 시험장논문집 32(2): 57-68.
5. 김복영, 정병간, 최정원, 윤율수, 최선(1995) 우리나라 논 토양 중 중금속 자연함량, 한국토양비료학회지 28(4): 295-300.
6. 류순호(2000) 토양사전, 서울 : 서울대학교 출판부.
7. 유순호, 임선옥(1994) 토양비료, 한국방송통신대학교 출판부.
8. 이상은, 박준규, 윤정희, 김만수(1987) 비닐하우스 토양 화학적 특성에 관한 연구, 농업시험장논문집 29(1): 166-171.
9. 이승현, 박미현(2003) 간척지 토양의 염류도 측정과 분석, 간척지연구회지 1: 103-116.
10. 이창희, 김은정(1998) 호소 및 하천 오염퇴적물 관리방안, 한국환경정책·평가연구원.
11. 정구복, 유인수, 김복영(1994) 중북부지역 시설원에서 토양의 토성, 염농도 및 화학성분의 조성, 한국토양비료학회지 27(1): 33-40.
12. 환경부(2001) 토양환경보전법.
13. 해양수산부(2003) 해양수산통계연보.
14. 大平俊男(1986) 植物環境と緑化土壤, 東京 : 日本造園建設業協會.
15. 建設發生土地利用技術マニュアル検討委員會(1998) 建設發生土地利用技術マニュアル, 土木研究センター.
16. 土壤環境分析法編纂委員會(1997) 土壤環境分析法, 東京 : 博友社.
17. 土壤物理性測定法編纂委員會(1975) 土壤物理性測定法, 東京 : 養賢堂.
18. 長堀金造(1994) 干拓地の農地工學, 岡山 : 大學教育出版.
19. 中野政誌, 宮崎毅, 塩澤昌, 西村拓(1995) 土壤物理環境測定法, 東京 : 東京大學出版會.
20. 日本緑化センター(1987) 緑化地の土壤改良, 日本緑化センター.
21. Bernstein, L.(1975) Effects of salinity and sodicity on plant growth, Ann. Rev. Phytopathology B.: 295-312.
22. Chang, C. W., and H. E. Dregne(1955) The effect of exchangeable sodium on soil properties on growth and cation content of alfalfa and cotton, Soil Sci. Soc. Am. Prac., 19: 29-35, 1955.
23. 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.
24. Naidu, R., and P. Rengasamy(1993) Ion interaction and constraints to plant nutrition in Australia sodic soils, Aust. J. Soil Res., 31: 801-819.
25. Shainberg, I.(1985) The effect of exchangeable sodium and electrolyte concentration on crust formation, Advances in soil science 1: 101-122.
26. U. S. Salinity Laboratory Staff(1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soil, U. S. Government Printing Office, Washington D. C. : USDA Handbook 60.