

《原著》

## 낙동강 하류 및 부산연안지역의 준설토와 퇴적토 활용을 위한 특성 평가

이용민<sup>1</sup> · 김국진<sup>2</sup> · 성기준<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 생태공학과

<sup>2</sup>(주)오이코스

## Assessment of Dredged Soils and Sediments Properties in the Lower Reach of Nakdong River and Coastal Areas of Busan for Beneficial Uses

Yongmin Yi<sup>1</sup> · Gukjin Kim<sup>2</sup> · Kijune Sung<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Ecological Engineering, Pukyong National University

<sup>2</sup>OIKOS Co. Ltd.

### ABSTRACT

Although the quantity of dredged soils has increased owing to recent new harbor construction, sea course management, polluted sediment dredging, and four-river project, the reuse or recycling of those dredged soils has not done properly in Korea. To develop measures to utilize them in various ways for reuse or recycling, the biophysicochemical properties of dredged soils and sediment were assessed in this study. Samples were classified according to their sources-river and sea-by location, and as dredged soil and sediment depending on storage time. The results showed that dredged materials from the sea have high clay content and can be used for making bricks, tiles, and lightweight backfill materials, while dredged materials from the river have high sand content and can be used in sand aggregates. Separation procedures, depending on the intended application, should be carried out because all dredged materials are poorly sorted. All dredged soils and sediments have high salinity, and hence, salts should be removed before use for cultivation. Since dredged materials from the sea have adequate concentrations of nutrients, except phosphate, they can be used for creating and restoring coastal habitats without carrying out any additional removal processes. The high overall microbial activities in dredged materials from the river suggested that active degradation of organic matter, circulation of nutrients, and provision of nutrients may occur if these dredged materials are used for cultivation purpose.

**Key words :** Recycle, Biophysicochemical properties, Potential use, Planting soil, Aggregate

### 1. 서 론

최근 신항만 건설 및 해안 매립, 해상 항로유지 확보, 오염해역 준설토 인하여 2003년에만 2,400만 m<sup>3</sup>의 해양준설토가 발생하였고, 국내 연안에서 발생하는 준설토의 양 또한 2000년부터 2005년까지 약 27,900 m<sup>3</sup> 기록하는 등 그 발생량은 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다(MOMAF, 2003; Park, 2007). 또한 최근 마무리된 4대강 살리기 사업으로 인하여 2012년 기준, 약 4.5억 m<sup>3</sup>의 하천준설토가 발생하였다(MLTM, 2011).

발생한 해양 준설토 중 81%는 투기장에 투기되고 9%

는 외해에 투기하고 있어 그 활용률이 극히 낮은 실정이다(Yoon and Kim, 2011). 준설토 직후 매립지에 장기간 방치하여 건조·처리하는 방법은 대규모의 부지를 확보해야 할 뿐만 아니라 이마저도 수명 및 처리비용의 상승으로 문제가 제기되고 있으며, 부지를 확보한다 하더라도 최근 투기장 환경오염 문제로 인하여 투기장을 신축하는 것이 지역사회 여론의 반대에 크게 부딪히고 있는 실정이다. 외해로 투기하는 방법은 연안에서 멀리 떨어진 3개 해역(서해 1곳, 동해 2곳)에 대해서 준설토사 등을 투기해 왔으나, 1993년 폐기물 해양투기를 규제하는 런던협약에 의한 ‘96의정서’에 따라 2012년부터는 해양투기마저 어려운

\*Corresponding author : ksung@pknu.ac.kr

원고접수일 : 2012. 11. 9 심사일 : 2013. 2. 7 게재승인일 : 2013. 2. 8

질의 및 토의 : 2013. 4. 30 까지

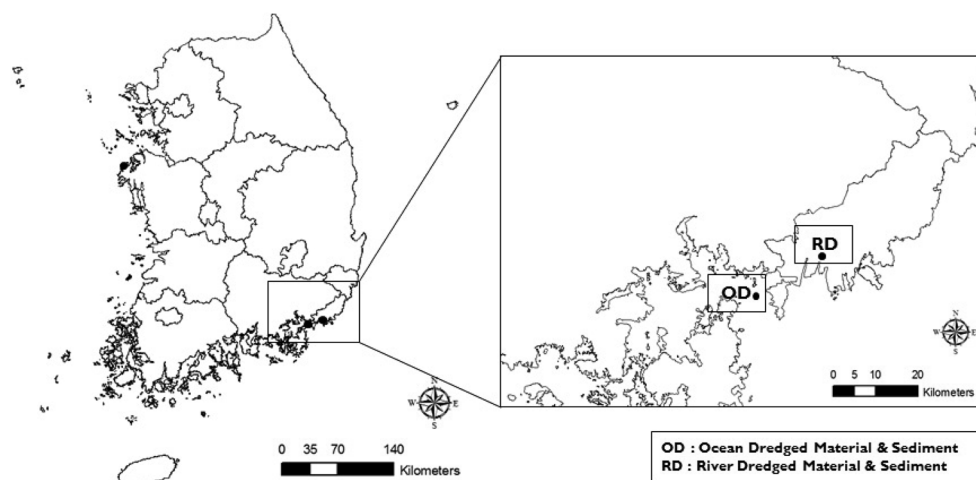


Fig. 1. Map of sampling sites.

실정이다(Park et al., 2011). 이에 따라서 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 준설토를 재활용하는 연구가 지속적으로 관심을 받고 있다.

현재 준설토의 재활용과 관련하여 진행되고 있는 연구로는 건설재료로 사용하기 위하여 고화제를 혼합하고, 경량화를 위하여 기포를 첨가한 경량기포혼합토의 응력-변형거동과 압축강도 특성을 구명하기 위한 연구(Kim and Lee, 2002), 조경 식재지 객·복토용 재료로서의 재활용 가능성을 파악하기 위해서 일본의 준설토를 대상으로 물리·화학적 특성에 관한 연구(Kim and Yoon, 2005), 인공염습지와 같은 환경복원재료로서의 이용가능성을 평가하기 위해 준설토와 원지반 토양간의 배합비에 따른 인공염습지 조성 후 초기 환경변화에 관한 연구(Park et al., 2008), 준설토사의 유효활용을 위한 환경기준의 정립을 위하여 타당하다고 판단되는 외국의 준설토사 활용기준을 선별하여 국내 퇴적물 오염현황, 국내 퇴적물의 주요오염성분, 그리고 오염퇴적물 정화기준의 하위기준과 상위기준을 종합적으로 비교 및 분석하여 준설토사의 유효활용을 위한 환경기준을 제안한 연구(Yoon et al., 2008) 등이 있다.

준설토의 재이용 혹은 재활용할 수 있는 자원으로 가치를 갖기 위해서는 준설토의 특성을 잘 파악하여 활용성을 높여야 하지만 준설토의 특성 또한 준설토지역이나 시기에 따라 달라질 수 있으므로 준설토의 특성을 확실적으로 평가하기는 어렵다. 다만 준설토의 특성이 많이 다를 것으로 예상되는 하천과 해양준설토의 특성 파악은 초기 발생 단계에서 향후 적용 가능한 활용처를 스크리닝 하는데 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서는 골재용 또는 매립에 의

존하는 준설토를 보다 더 다양하게 재활용 또는 재이용할 수 있는 방안을 강구하고자 준설토의 발생위치에 따라 하천 및 해양준설토로, 이를 다시 준설토가 이루어져 적재되어 있는 준설토와 현장에서의 퇴적물을 채취한 퇴적토로 구분하여 주요 특성을 평가하여 잠재적인 활용처를 제안하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 조사지개황

준설토의 특성을 파악하기 위해서 하천 준설토와 해양 준설토를 구분하여 시료를 채취하였다. 하천 퇴적토는 낙동강 하구둑 상류지역에서, 해양 퇴적토는 부산 연안지역에서 그랩 샘플러를 이용하여 채취하였다. 낙동강 하구 준설토는 4대강 살리기 사업의 일환으로 준설토된 후 적재되어 있는, 해양 준설토는 신항 건설로 인하여 배후에 적재되어 있는 준설토를 채취하여 분석하였다. 퇴적토의 경우에는 채취 위치는 준설토 채취 지역과 동일하나 현장에서 직접 채취한 토양이기 때문에 준설토에 비해 준설토 당시의 퇴적물의 상태를 잘 반영한다고 볼 수 있다. Fig. 1은 조사지역의 위치를 나타낸다.

### 2.2. 분석방법

준설토의 물리·화학적 특성을 살펴보기 위해서 물리적 특성으로 입도를 분석하였고, 화학적 특성으로 토양산도, 전기전도도, 치환성 나트륨·칼륨·칼슘·마그네슘·알루미늄, 양이온교환능력, 유기물함량, 총질소, 유효인산 등을 분석하였다. 입도와 유기물함량을 제외한 전 항목에

대해서는 2 mm 체를 통과한 풍건토양을 이용해 실험을 실시하였는데, 토양산도와 전기전도도는 초자전극법으로, 치환성 나트륨, 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 알루미늄 등의 양이온은 1N HN4OAc로 추출하여 ICP(Perkin elmer, USA)로 분석하였다. 양이온교환능력은 1N Acetic acid 법을 이용하였으며, 총 질소는 Micro Kjeldahl 법(NIAST, 2000), 유효태인산은 Bray P2 법을 사용하여 분석하였다(Jones, 2001). 입도는 체분석과 피펫팅법을 병행하여 분석한 후(Shepard, 1954), 조직변수(평균입도, 분급도, 왜도, 첨도)를 GRADISTAT 프로그램을 이용하여 계산하였다(Blott and Pye, 2001). 분석에 사용된 단위인  $\Phi(\phi)$ 와 입자의 직경인  $D(mm)$ 의 사이에는  $\Phi = -\log_2 D$ 의 관계가 있다. 유기물 함량은 강열감량법을 이용하였다(Park, 1983).

생물학적 특성으로 중속영양세균 총수는 3M사의 일반 세균용 petrifilm 배지를 이용하여 분석하였고, 효소활성과 관련된 탈수소효소활성도,  $\beta$ -glucosidase, acid phosphatase, arysulphatase은 Methods of Soil Analysis를 참조하여 분석을 하였다(Weaver et al., 1994).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 물리적 특성

준설토의 공학적 활용 기능치를 살펴 보고자 대상토양의 입도 특성을 분석하였다. 입도 분석 결과, 하천준설토와 퇴적토, 해양퇴적토는 입자크기 2 mm 이상의 자갈(gravel)이 각각 0.6%, 0.8%, 0.0%로 대부분 2 mm 이하의 입자로 구성된 것으로 나타난 반면, 해양준설토의 경우에는 자갈이 15.3%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

하천준설토는 입자구성에서 모래의 함량이 62.3%로, 해양 퇴적토는 점토의 함량이 53.4%로 가장 높은 것으로 나타났다(Fig. 2). Yoon and Kim(2011)에 따르면, 입도 분리에 따라 모래와 자갈은 콘크리트용 골재로, 모래는 뒤텔흙재, 역청혼합물 또는 모르타르 용으로, 모래함량이 30% 이하인 점토는 벽돌생산을 위한 원재료용으로, 점토는 타일, 경량의 뒤텔흙재 또는 골재를 활용 가능하다고 한다. 따라서 대상토양 중 상대적으로 점토의 함량이 높고 모래함량이 30% 이하의 점토로 구성된 해양퇴적토는 벽돌이나 타일, 경량의 뒤텔흙재 또는 골재를 활용 가능한 것으로 판단된다. 나머지 토양에 대해서는 입도분리 후 각각의 입도에 따라 적절하게 이용 가능하리라 판단된다.

입도분석 결과를 이용하여 평균입도, 분급도, 왜도, 첨도를 살펴보았다(Table 1). 하천준설토와 퇴적토, 해양준설토의 평균입도는 4.07~4.47  $\Phi$ 로 극조립실트 중심으로, 해양퇴적토는 평균입도 7.97  $\Phi$ 로 세립실트 중심으로 나

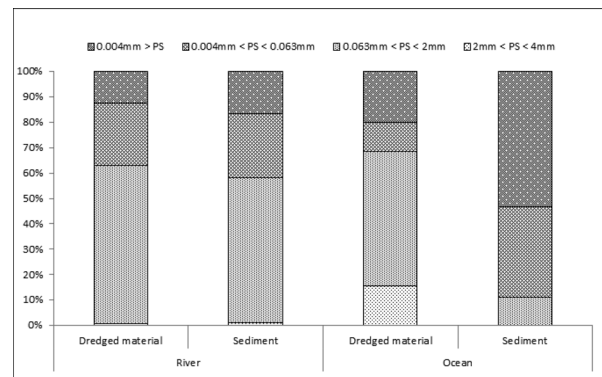


Fig. 2. Soil texture of dredged material and sediment in river and ocean.

Table 1. Soil texture variables of dredged material and sediment in river and ocean

Sample	River		Ocean	
	Dredged material	Sediment	Dredged material	Sediment
Mean ( $\Phi$ )	4.452	4.407	4.073	8.002
Sorting ( $\Phi$ )	Very Coarse Silt			Very Fine Silt
	2.610	3.262	4.097	3.152
	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Extremely Poorly Sorted	Very Poorly Sorted
Skewness	0.569	0.585	0.660	-0.080
	Very Fine Skewed			Symmetrical
Kurtosis	1.597	1.010	1.090	1.128
Classification 1 <sup>1)</sup>	Very Leptokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Leptokurtic
Classification 2 <sup>2)</sup>	Silty Sand	Silty Sand	Muddy Sand	Sandy Mud
	Sandy Loam	Sandy Loam	Sandy Clay Loam	Clay

1) Folk, 1954

2) USDA, 1993

**Table 2.** Proper ranges of physicochemical soil properties for agricultural and landscape uses

Group	Properties	Unit	Agriculture <sup>1)</sup>				Landscape <sup>2)</sup>			
			Rice paddy	Green house	Field	Orchard	High	Medium	Low	Poor
Chemical	pH		5.5-6.5	6.0-7.0	6.0-6.5	6.0-6.5	6.0-6.5	5.5-6.0 or 6.5-7.0	4.5-5.5 or 7.0-8.0	< 4.5 > 8.0
	EC	dS/m	—	—	—	—	< 0.2	0.2-1.0	1.0-1.5	> 1.5
	CEC	cmol/kg	—	—	—	—	> 20	20-6	< 6	—
	Ex. K	cmol/kg	0.25-0.30	0.70-0.80	0.50-0.60	0.30-0.60	> 3.0	3.0-0.6	< 0.6	—
	Ex. Ca	cmol/kg	5.0-6.0	5.0-7.0	5.0-6.0	5.0-6.0	> 5.0	5.0-2.5	< 2.5	—
	Ex. Mg	cmol/kg	1.5-2.0	1.5-2.0	1.5-2.0	1.2-2.0	> 3.0	3.0-0.6	< 0.6	—
	OM	g/kg	25-30	20-30	20-30	25-30	> 50	30-50	< 30	—
	TN	mg/kg	—	—	—	—	> 1200	600-1200	< 600	—
	Avail.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/kg	80-120	350-500	300-500	200-300	> 200	200-100	< 100	—
	Avail.SiO <sub>2</sub>	mg/kg	157-180	> 2.0	—	—	—	—	—	—

1) Soil environment information system, <http://soil.rda.go.kr>

2) KILA, 2002

타났으며, Folk(1954)의 삼각법에 따라, 하천준설토와 퇴적토는 silty sand, 해양준설토는 muddy sand, 해양퇴적토는 sandy mud로 각각 분류되었다. 이들 입도를 육상토 양분류에 많이 사용되는 미국 USDA의 분류기준으로 평가하면 하천준설토와 퇴적토는 sandy loam, 해양준설토와 퇴적토는 sandy clay loam과 clay로 점토 특성이 더 큰 것으로 조사되었다.

퇴적물의 균일성을 나타내는 지표인 분급도는 평균입도에서 어떠한 표준편차를 나타내는가를 지시한다(Jang and Cheong, 2010). 하천준설토와 퇴적토, 해양퇴적토는 분급도가 2.61~3.26  $\Phi$ 으로 나타나 아주 좋지 않은 분급(very poorly sorted)으로, 해양준설토는 분급도가 4.10  $\Phi$ 로 극도로 좋지 않은 분급(extremely poorly sorted)으로 분류되어, 다양한 크기의 입도를 가지고 있는 것으로 나타났다. 세립질 또는 조립질 분포의 대칭성을 나타내는 왜도는 평균입도( $\Phi$ )가 증가할수록 왜도값은 (-) 값을 나타낸다. 해양퇴적토를 제외한 대상토양은 0.569~0.660으로서 강한 양성왜도(very fine skewed)를 보였으며, 해양퇴적토는 -0.08으로서 약한 대칭성(symmetric)을 갖는 것으로 나타났다. 첨도는 퇴적물 입도의 정규분포에서 퇴적물의 분산이 얼마나 좁은 확률범위에 존재하는가를 나타내는데, 하천준설토는 높게 첨용(very leptokurtic)하는 것으로 나타났다, 하천퇴적토와 해양준설토는 중첨(mesokurtic), 해양퇴적토는 첨용(leptokurtic)하는 것으로 나타났다.

### 3.2. 화학적 특성

토양 pH로 표현되는 토양의 산도 혹은 알칼리도는 토양의 여러 가지 화학적 및 미생물학적 성질에 영향을 주

는 중요 변수이다. 토양산도는 식물이 필요한 양분의 유효도와 미생물의 활동에 큰 영향을 미친다. 낮은 pH에서는 Al, Fe, Mn 등이 용존되어 식물에 독성을 띠는 경향이 있으며, pH가 증가하면 Al, Fe, Mn의 용해도는 감소하게 되어 중성 이상의 pH에서는 식물이 이용할 수 있는 Fe, Mn과 같은 미량 필수원소의 결핍을 가져오기도 한다(Sparks, 1995). 따라서 식물 생육에 적절한 토양의 pH는 무기질 토양에서 6.5 정도, 유기질토양에서 약 5.5 정도이며, 대부분의 수목의 경우 6.0~6.5의 범위에서 양호하게 생육 가능하다고 알려져 있다. 본 연구에서는, 하천에 비해 해양의 준설토와 퇴적토가 상대적으로 높은 토양산도를 보였으며, 모두 조정기준 하 등급으로, 농업용 기준을 모두 초과하는 것으로 나타났다(Table 2). 이와 같이 중성 이상의 높은 pH는 미량원소의 용해도가 떨어지게 되며, 특히 Fe, Mn, Zn, Cu 등이 결핍으로 식물생장에 영향을 줄 수 있다. 따라서 다소 높은 알칼리성 토양에서는 산을 생성하는 침엽수의 부식토, 송엽유, 탠껍질, 소나무 그리고 산성습지 이끼 등과 같은 유기물을 첨가하는 방법 등(Brady and Weil, 2010)을 통해서 토양 pH를 낮추는 작업이 필요하리라 판단된다.

토양 내 전기전도도의 크기는 주로 양이온과 음이온의 농도에 의해 결정되며, 일반적으로 0~2 dS/m에서는 작물 생육에 염류 영향이 낮은 것으로 알려져 있다(Choi et al., 2009). 과다 염류집적은 삼투압 상승으로 인한 양분의 흡수저해와 식물의 토양수 이용을 저하시키고(Ramoliya et al., 2004), 이온의 불균형과 과다이온존재에 의한 이온 독성 발현(Chang and Dregne, 1955)을 초래하고 토양에 존재하는 다양한 이온종 중에서 특히 Na<sup>+</sup> 이온은 토양

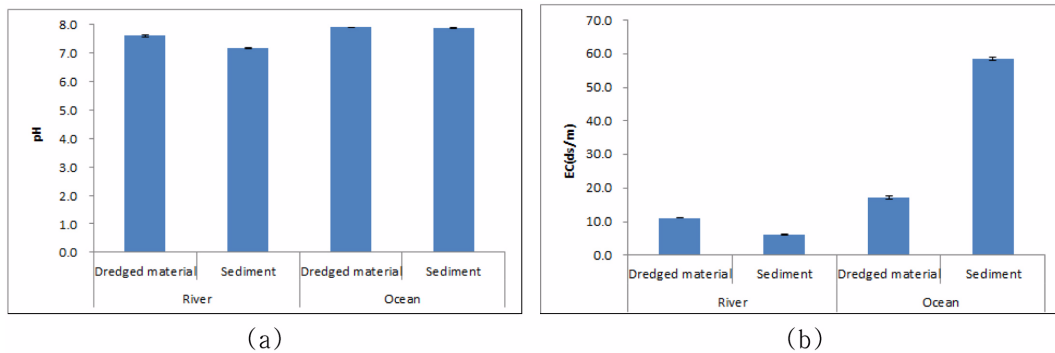


Fig. 3. (a) pH and (b) Electronic conductivity (EC) of dredged material and sediment in river and ocean.

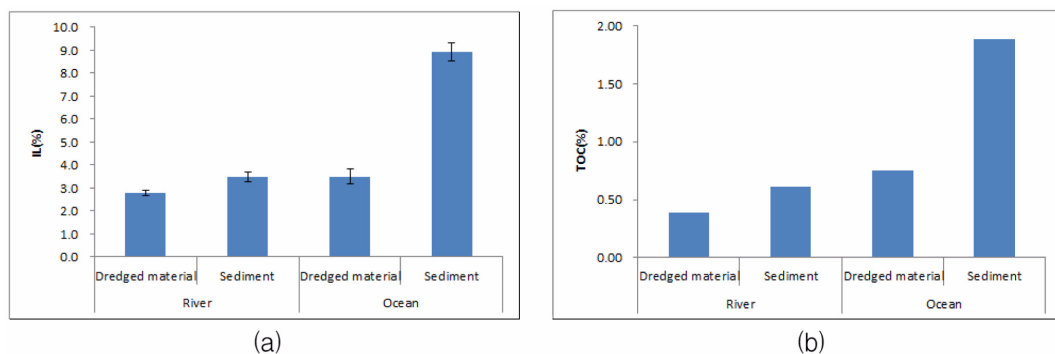


Fig. 4. (a) Organic matter content (IL) and (b) Total organic carbon (TOC) of dredged material and sediment in river and ocean.

입자간 반발력 증가를 통해 입단 형성을 저해하여 투수성과 경운성을 나쁘게 하는 등 토양 물리성 악화에 큰 영향을 미침으로써(Lee et al., 2003) 식물 생육장해를 유발시킬 수 있다. 하천 및 해양 준설토와 퇴적토의 전기전도도는 조정기준 불량 등급에 속하는 것으로 나타났다. 하천 준설토임에도 불구하고 높은 전기전도도를 보이는 것은 낙동강 하구둑의 개폐여부에 따른 해수의 영향으로 판단된다. 이와 같이 높은 전기전도도를 가진 준설토를 식재지반으로 이용하기 위해서는 염분의 직접적인 제거 또는 토양의 물리적 특성 개선을 통한 지속적인 염분의 용탈을 유도할 필요가 있다. 하지만 염분의 제거가 어려울 경우 인근 연안서식처의 복원 또는 조성을 위한 식재지반으로 활용하는 것이 가장 효과적으로 판단된다.

토양유기물(SOM)은 토양의 물리적, 화학적 그리고 생물학적 특성에 지배적인 영향을 미치는 토양구성요소로서, 토양의 양이온교환용량, 수분보유능, 토양 입단의 형성과 안정화에 크게 기여할 뿐만 아니라 다량의 식물 양분을 함유하고 있으며 특히 질소에 대해서는 양분을 서서히 방출함과 동시에 양분의 저장고로서의 역할을 한다. 이는 식물성장에 직·간접적으로 영향을 미친다. 따라서 토양유

기물의 양과 질은 토양질을 결정하는 핵심이다(Brady and Weil, 2010). 본 대상토양의 경우, 유기물 함량을 나타내는 강열감량과 총유기탄소량은 토양별로 유사하게 나타났다. 하천 준설토는 조정기준 하, 하천퇴적토와 해양준설토는 조정기준 중, 해양준설토는 조정기준 상으로 나타났다. 하지만 농업기준에서는 유기물 적정범위를 2.5~3.0%로 정하고 있어 해양준설토의 경우 이를 초과한 반면, 나머지 토양은 적정 범위 수준으로 나타났다. 이와 같은 토양에 따른 유기질 함량의 차이는 상대적으로 유기물질을 많이 함유하는 점토질의 함량 차이에 의한 것으로 판단된다.

일반적으로 고등식물은 최소한 16가지의 원소를 필요로 하며 이 중 식물이 다량으로 흡수하는 것을 다량영양소라 한다. 특히 질소, 인, 칼륨은 3대 비료영양소라고 한다(Kang and Shin, 2005). 식물체에서 질소의 결핍은 백화현상의 주요인이 되며, 과용되면 식물체의 과도한 영양생장이 나타나며, 과도한 지상부의 무게로 인한 도복, 성숙 지연, 병충해에 대한 저항성이 떨어지는 현상을 보인다(Brady and Weil, 2010). 총질소의 경우, 하천준설토와 해양준설토는 조정기준 하, 하천퇴적토와 해양퇴적토는 각각 중, 상으로 나타났다(Fig. 5(a)).

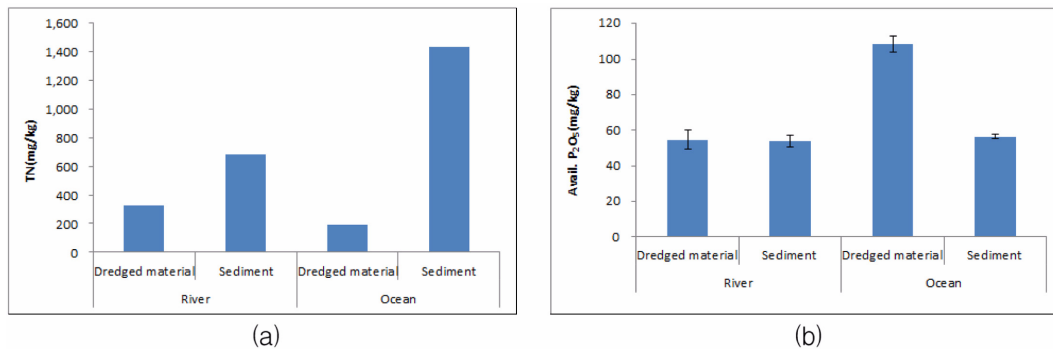


Fig. 5. (a) Total nitrogen (TN) and (b) Available phosphate (Avail-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) concentration of dredged material and sediment in river and ocean.

인은 핵산의 합성과 단백질 합성에 큰 영향을 미친다. 따라서 인이 결핍된 식물의 근계의 발달은 제한되고 줄기는 가늘어지며 키도 작아지며 잎은 다소 보라색을 띠는 짙은 녹색을 나타낸다.(Brady and Weil, 2010; Kang and Shin, 2005). 유효인산의 경우, 조정기준 중으로 나타난 해양준설토를 제외하고, 나머지 토양에 대해서는 조정기준 하로 나타났다(Fig. 5(b)). 농업기준에서는 논토양 기준 80~120 mg/kg을 해양준설토만이 만족시켰을 뿐, 나머지 토양은 54.0~56.4 mg/kg으로 나타나 모두 기준 미달인 것으로 나타났다.

이와 같이 적정범위를 충족시키지 못하는 토양을 향후 조정용 또는 농업용으로 이용하기 위해서는 질소와 유효인산을 이용 목적에 따라 적절히 시비해 줄 필요가 있다고 판단된다.

치환성 양이온은 식물체의 성장이나 개화, 결실에 영향을 주는 무기영양분으로 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등을 말한다. 칼륨은 효소의 촉진제로써, 에너지 대사, 전분 합성, 질산 환원, 광합성 및 당질 분해와 같은 식물과 동물의 주요 대사에 관여하는 80여 개 이상의 효소 활성을 촉진하는 것으로 알려져 있다(Brady and Weil, 2010). 만약 식물에 칼륨이 결핍되면 황백화와 괴사현상을 가져온다(Kang and Shin, 2005). 본 연구에서는, 하천 준설토와 해양준설토는 조정기준 중, 해양퇴적토는 상으로 나타난 반면 하천 퇴적토는 하로 나타났다(Table 2, 3). 농업기준으로는 하천 퇴적토만이 과수원용으로 적절한 범위에 포함되는 것으로 나타났고 나머지 토양은 모두 적정범위 0.25~0.80 cmol/kg를 초과하는 것으로 나타났다. 칼륨은 자체적으로 독성이 없고 토양으로부터 방출된다고 하더라도 환경문제를 야기하지는 않지만 칼륨의 과잉흡수는 칼슘과 마그네슘의 흡수를 저해하여, 이들 무기물을 이용하는 동물과 식물의 영양 불균형을 초래할 수 있다(Brady

and Weil, 2010).

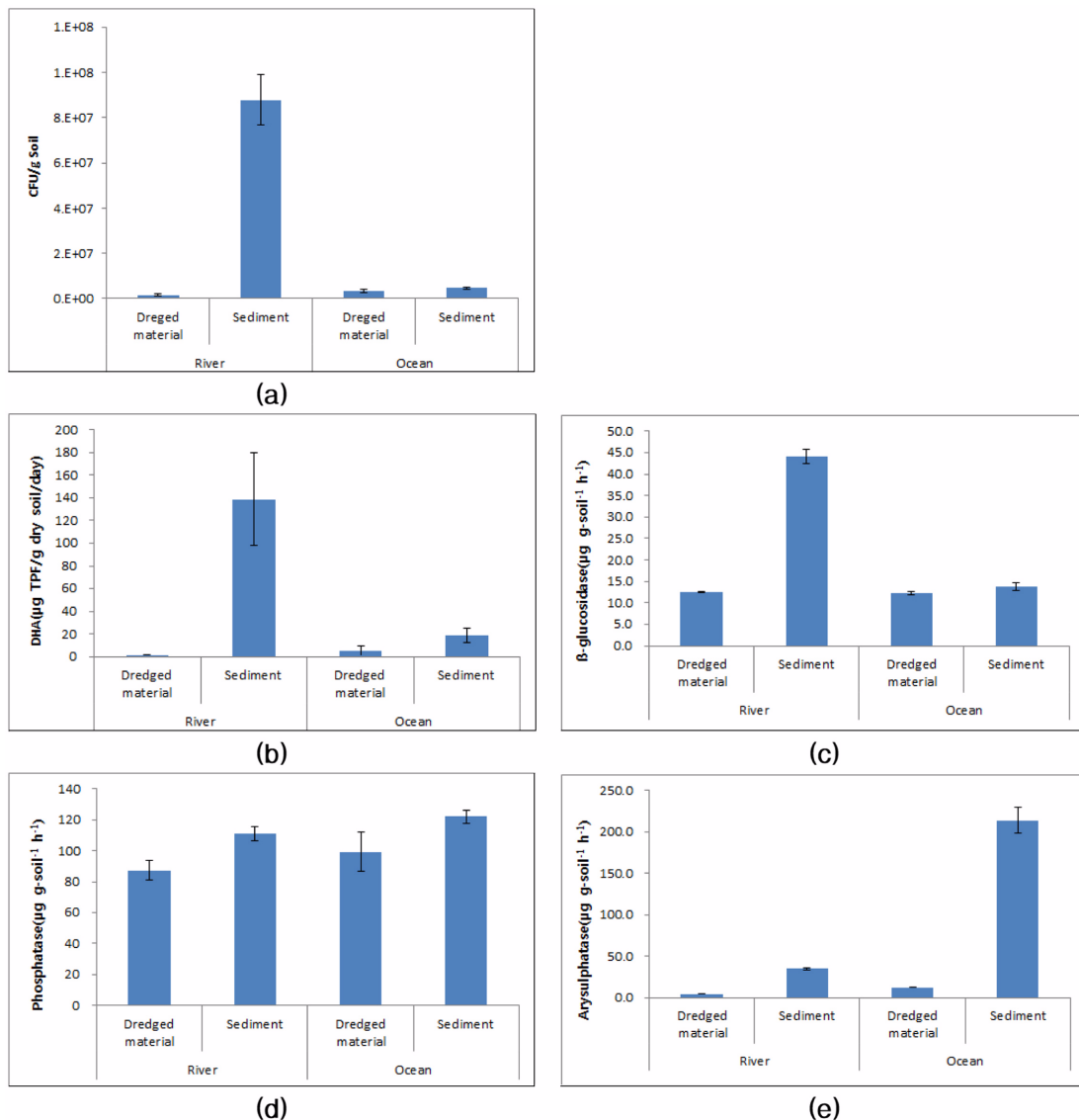
치환성 칼슘은 식물 생육상 4대 필수원소로 엽록소와 탄수화물의 생성과정에 필요하고, 뿌리 발육을 촉진하고 식물체의 조직을 강화시켜 병해 등에 대한 저항력을 키워주며, 미생물의 번식촉진, 유기물의 분해촉진, 유해 중금속의 흡수 억제 및 토양입자의 입단화를 촉진하는 역할을 한다. 결핍되면, 일반적으로 식물체의 싹, 펼쳐지는 잎, 과실 및 뿌리 선단부와 같은 생장부분에 있어서 저해를 가져오며, 정상 생육에서는 독성을 띠지 않던 다른 무기물이 독성을 띠게 될 수 있다(Brady and Weil, 2010). 본 대상토양은 조정기준 하로 나타난 하천퇴적토 외에는 모두 조정기준 상으로 나타나 칼슘 부족으로 인한 식물장해는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

치환성 마그네슘은 엽록소의 구성원소로 식물의 신진대사를 왕성하게 하며, 식물체의 단백질이나 지방 합성에 필요하고, 인산의 이동을 도와주는 등 생리작용을 하고 있다. 토양 중 pH가 낮으면 마그네슘의 결핍 증상이 나타나기 쉽다. 마그네슘 결핍의 공통된 증상은 노엽의 맥간 황화현상으로 쌍자엽식물에서는 녹색과 노란색의 얼룩덜룩한 반점으로, 단자엽 식물에서는 줄무늬로 나타난다(Brady and Weil, 2010). 본 대상토양은 조정기준으로 각각 하천준설토는 하, 하천퇴적토는 중 그리고 해양준설토와 퇴적토는 상으로 나타났다. 농업기준에서는 모든 토지 이용에 대해서 마그네슘 적정기준을 1.5~2.0 cmol/kg으로 정하고 있으며 하천퇴적토만이 이 기준에 해당하는 것으로 나타났다.

이와 같이 각각의 대상 토양에 따라서 치환성 양이온이 다양하게 나타났으며 해양 준설토와 퇴적토는 상대적으로 하천 준설토와 퇴적토에 비해 높은 양이온 함유량을 보여주었다. 이는 높은 점토 함량과 다량의 이온을 포함하고 있는 해수에 의한 것으로 판단된다.

**Table 3.** Exchangeable cation concentration and cation exchange capacity (CEC) of dredged material and sediment in river and ocean

		Exchangeable cation (cmol/kg)					CEC (cmol/kg)
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	
River	Dredged material	10.086	1.176	6.380	0.220	0.016	10.853
	Sediment	1.867	0.330	2.473	1.815	0.016	8.580
Ocean	Dredged material	8.272	1.003	13.391	3.612	0.017	28.527
	Sediment	40.325	3.734	17.565	16.965	0.017	29.773



**Fig. 6.** (a) Microbial number, (b) Dehydrogenase (DHA), (c)  $\beta$ -glucosidase (d) Phosphatase (e) Arysulphatase concentration of dredged material and sediment in river and ocean.

### 3.3. 생물학적 특성

토양은 입자표면에 미생물 미소균체가 발달할 수 있고 유기물이 비교적 풍부하므로 미생물 증식에 알맞은 서식처이다(Atlas and Bartha, 1993). 미생물은 토양 생태계에

서 분해자로서, 토양내에서 유기물질의 분해, 독성화합물의 분해, 무기물의 변환, 질소고정 등과 같은 중요한 역할을 한다. 특히, 일부 근권세균은 식물 질병 억제, 영양분 흡수 개선, 식물 호르몬 분비 자극 등의 여러 가지 방법

을 통해 식물 생장을 촉진시킨다(Brady and Weil, 2010). 또한 미생물의 경우 사멸하면 쉽게 이용할 수 있는 유기물이라는 관점에서 비료학적으로도 가치가 높다(Suh et al., 2000). 따라서 퇴적토나 준설토를 식재기반으로 재활용 하고자 할 때 영양물질 순환이나 토양의 건강성이나 위해성을 간접적으로 평가하기 위하여 토양 미생물을 직·간접적으로 조사하는 것은 중요한 의미를 가진다. 미생물을 평가하는 방법에는 염색법에 의한 종속영양세균을 측정하는 방법과 효소활성도를 측정하는 방법 등이 있다(Paul and Clark, 1989). 종속영양세균은 유기물의 순환 및 영양염류의 재생산과정에서 중심적인 역할을 하는 것으로(KORDI, 2002), 이들의 분포는 유기물의 생물학적 분해가능성에 대한 지표가 될 수 있다(Park et al., 2008). 또한 온도, pH 등의 환경조건과 유기물 농도에 민감하게 반응하여 짧은 시간동안에 급격히 변화함으로써 환경에 가해지는 변화와 이에 따른 세균의 활성변화를 반영하는 지표가 될 수 있다(KORDI, 2002). 토양효소활성도 측정은 토양비옥도를 반영할 뿐만 아니라, 중금속 독성에 민감하게 반응하기 때문에(Welp, 1999), 토양질의 중요한 생물지표로 이용된다(Paul and Clark, 1989). 주변 환경 여건에 따라 토양 미생물의 상대적 활력도가 달라지므로 특정 효소활성을 측정함으로써 토양미생물의 상대적 활성을 측정하고 이를 기준으로 토양생태계의 건전성을 평가할 수 있다(Speir et al., 1999). 토양효소활성도 중에서 dehydrogenase는 토양내 바이오매스 탄소, 미생물 기초호흡과 비례하는 것으로 알려져 있고(Garcia et al., 1997), phosphatase는 토양 내 유기인산을 분해하여 가용화(mineralization)함으로써 미생물들이 이용할 수 있도록 해주고(Garcia-Gil et al., 2000),  $\beta$ -glucosidase는 유기물내의 다당류를 분해하여 포도당으로 전환시켜 미생물들에 공급한다(Eivazi and Tabatabai, 1988).

본 연구 결과, 종속영양세균의 수는 하천퇴적토에서  $7.5 \times 10^6 \sim 9.6 \times 10^6$ 으로 가장 많이 관찰되었고 나머지 토양에 대해서는  $1.1 \times 10^5 \sim 4.9 \times 10^5$  범위로 나타났다. 탈수소효소활성도는 하천퇴적토에서 가장 높게 나타났으며 준설토보다는 퇴적토에서 높은 경향을 보였다(Fig. 6). 이는 준설 이후 일정 기간 방치에 따른 환경적인 변화에 의한 것으로 판단된다.  $\beta$ -glucosidase는 하천퇴적토에서 가장 높게 나타났으며 그 외의 토양에서는 비슷한 수준을 보였다. phosphatase는 각 토양간 큰 차이를 나타나지 않았지만 arylsulphatase는 해양퇴적토에서 현저하게 높게 나타났다. 이는 다량의 황을 포함하고 있는 해수의 영향으로 판단된다. 하천퇴적토의 경우, 미생물활성도에 있어서 전반적으

로 가장 높게 나타나 식재지반으로 활용 시 유기물 분해와 영양물질의 순환이 활발하게 나타날 것으로 판단되며, 이는 식물의 성장에 필요한 무기물질의 공급에 긍정적인 영향을 줄 수 있으리라 생각되며 추가적인 연구가 요구된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 점차 발생량이 증가하고 있는 준설토를 보다 더 다양하게 재활용 할 수 있는 방안을 강구하고자 낙동강 하구와 부산 연안 해역 지역을 대상으로 주요 특성을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 상대적으로 점토의 함량이 높은 해양퇴적토는 벽돌이나 타일, 경량의 뒤채움재 또는 골재로 활용 가능할 것으로 판단되며 모래함량이 높은 하천 준설토나 퇴적토는 골재로 재활용하는 것이 바람직하다고 판단되나 두 가지 모두 분급도가 나빠 활용 목적에 맞게 입도분리 및 선별이 필요할 것으로 판단됨.

2. 대상토양은 염도에 있어서 조경기준 불량으로 나타나 식재지반으로 이용하기 위해서는 염분의 직접적인 제거 또는 토양의 물리적 특성 개선을 통한 지속적인 염분의 용탈을 유도할 필요가 있음. 해양 준설토와 퇴적토의 경우 염분 용탈을 위해서 많은 시간과 비용이 발생할 수 있으므로 인근 연안서식처의 복원 또는 조성을 위한 식재지반으로 활용하는 것이 가장 효과적으로 판단됨.

3. 해양퇴적토의 경우, 유효인산을 제외한 모든 항목에서 조경기준 상으로 나타나 해양서식처조성, 복원 등의 식재지반으로 활용 가능하리라 판단됨.

4. 하천퇴적토의 경우, 전반적으로 미생물활성도가 가장 높게 나타나 식재지반으로 활용 시 유기물 분해와 영양물질의 순환이 활발하게 나타날 것으로 판단되며 또한 식물의 성장에 필요한 무기물질의 공급에 긍정적인 영향을 줄 수 있음.

5. 하천 및 해양퇴적토 모두 준설 후 유기물과 총질소 농도 및 미생물활성도의 감소 등이 관찰되어 준설 후 환경변화에 따라 토양의 생물리화학적 특성에도 변화가 발생하는 것으로 나타남.

#### 사 사

본 연구는 환경부의 “토양 지하수 오염방지기술개발 사업”인 GAIA(Geo-Advanced Innovative Action) Project의 지원을 받은 과제입니다.



## 참 고 문 헌

- Atlas, R.M. and Bartha, R., 1987, Microbial ecology: Fundamentals and applications, Benjamin/Cummings.
- Brady, N.C. and Weil, R.R., 2010, The Nature and properties of soil, 3rd edition, Pearson Education, Inc., New Jersey, 303, 336, 395, 396 p.
- Blott, S.J. and Pye, K., 2001, GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, **26**, 1237-1248.
- Chang, C.W. and Dregne, H.E., 1995, 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.
- Choi, S.I., Lee, G.T., and Yang, J.K., 2009, Soil contamination management and introduction to restoration, Donghwa press, 209 p.
- Eivazi, F. and Tabatabai, M.A., 1988, Glucosidases and agalactosidases in soils. *Soil Biol. Biochem.*, **20**, 601-606.
- Folk, R.L., 1954, The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature, *J. Geo.*, **62**(4), 344-359.
- Garcia-Gil, J.C., Hernandez, T., and Costa, F., 1997, Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soil, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, **28**(1&2), 123-134.
- Garcia-Gil, J.C., Plaza, C., P., Soler-Rovira, P., and Polo, A., 2000, Long-term effects on municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass, *Soil Biol. Biochem.* **32**, 1907-1913.
- Jang, S.G. and Cheong, C.J., 2010, Characteristics of grain size and organic matters in the tidal flat sediment of the Suncheon bay, *J. Kor. Soc. Mar. Env. Eng.*, **13**(3), 198-205.
- Jones, J.B., 2001, Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis, CRC press, 68-69 p.
- Kang, Y.H. and Shin, Y.O., 2005, Soil-Plant nutrition·Science of fertilizer, Jiphyeon press, 194 p.
- Kim, W.T. and Yonn, Y.H., 2005, Physico-chemical properties of dredged soils as planting soil, *J. Kor. Ins. Land. Arch.*, **32**(6), 95-102.
- Kim, Z.C. and Lee, C.K., 2002, Mechanical characteristics of light-weighted foam soil consisting of dredged soils, *Kor. Geo. Soc.*, **18**(4), 309-317.
- Korea Ocean Research and Development Institute (KORDI), 2002, Restoration of degraded costal ecosystem, Ministry of Environment, 153 p.
- Korean Institute of Landscape Architecture (KILA), 2002, Landscape design standards. 316 p.
- Lee, S.H., Ji, K.J., An, Y., and Ro, H.M., 2003, Soil salinity and vegetation distribution at four tidal reclamation project, *Kor. J. Env. Agr.*, **22**(2), 79-86.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), 2011, press reference.
- Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (MOMAF), 2003, Marine fisheries statistical year book.
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST), 2000, Methods for soil and plant analysis.
- Park, J.B., Lee, G.H., Woo, H.S., and Lee, J.W., 2011, Problems of disposal of dredged material and increasement of recycling, *Kor. Soc. Civ. Eng.*, **59**(3), 65-74.
- Park, S.J., Lim, J.D., Park, S.H., Lee, E.S., and Kim, I.S., 2007, Study of monitoring for change of marine environment by dumping dredged material, *Kor. Soc. Mar. Env. & Safety Spring conference*, 15-20.
- Park, S.Y., Lee, I.C., Yi, B.H., Lee, J.Y., Yi, Y.M., and Sung, K.J., 2008, Initial change of environmental factors at artificial tidal flat constructed using ocean dredged sediment, *Kor. Soc. Mar. Env. Eng.*, **11**(2), 63-69.
- Park, Y.A., 1983, Marine geology and sedimentology experiment, Jipmun press, 38 p.
- Paul, E.A. and Clark, F.E., 1989, Soil microbiology and biochemistry, Academic press, San diego, California, 32-46 p.
- Ramoliya, P.L., Patel, H.M., and Pandey, A.N., 2004, Effect of salinization of soil on growth and macro-and micro-nutrient accumulation in seedlings of *Salvadora persica* (Salvadora-ceae), *For. Ecol. Manage.*, **202**, 181-193.
- Shepard, F., 1954, Nomenclature based on sand-silt-clay ratios, *J. Sed. Pet.*, **24**, 151-158.
- Soil Environment Information System, <http://soil.rda.go.kr>.
- Sparks, D.L., 1995, Environmental soil chemistry, Academic press, Inc., San Diego, california, 203 p.
- Speir, T.W., Hettles, H.A., Percival, H.J., and Parshotam, A., 1999, Is soil acidification the cause of biochemical responses when soils are amended with heavy metal salt?, *Soil Biol. Biochem.*, **31**, 1953-1961.
- Suh, J.S., Kim, S.H., and Um, M.H., 2010, Diversity of soil microbes and assessment of soil health, *Kor. Asso. org. agr., the first half of symposium*, 135-148.
- United States Department of Agriculture (USDA), 1993, Soil survey manual, 62-65 p.
- Weaver, R.W., Angle, S., Bottomley, P., Bezdicek, D., Smith, S., Tabatabai, A., and Wollum, A., Methods of soil analysis : Part2-

Microbiological and biochemical properties, Soil science society of America, Inc., Madison, Wisconsin, 807-826.

Welp, G., 1999, Inhibitory effects of the total and water-soluble concentrations of nine different metals on the dehydrogenase activity of a loess soil, *Biol. Ferti. Soils*, **30**(1-2), 132-139.

Yoon, G.L. and Kim, H.S., 2011, Use of dredged material, C.I.R., 131 p.

Yoon, G.L., Lee, C.W., and Jeong, W.S., 2008, Korean environmental standards for beneficial use of dredged material, *Kor. Geo. Soc.*, **24**(5), 5-13.