

## 하천 퇴적토양의 이화학적 특성

장용선 · 손연규\* · 박찬원 · 현병근 · 문용희 · 송관철

농촌진흥청 국립농업과학원

## Soil Physical and Chemical Characteristics of River-Bed Sediments in River Basins

Yong-Seon Zhang, Yeon-Gye Sonn\*, Chan-Won Park, Byung-Keun Hyun,  
Yong-Hee Moon, and Kwan-Cheol Song

National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Republic of Korea

The river-bed sediments from the major river basins were analysed for the chemical and physical properties to evaluate environmental safety for the agricultural uses. The samples were taken from 16 sites of Han river, 36 of Geumgang river, 27 of Yeongsan river, and 140 of Nakdong river. The total of 219 samples from the 28 counties were taken from the surface of the sediments at the depth of 50 cm. The particle density of the sediments was greater than  $2.63 \text{ Mg m}^{-3}$  and the whole range of the density was  $2.60 \sim 2.69 \text{ Mg m}^{-3}$ , the average particle size was 0.7 mm whereas the size range was  $0.075 \sim 0.85 \text{ mm}$ . The analyses of the particle sizes by basins showed that Han and Geumgang river had particle sizes of  $0.075 \sim 0.85 \text{ mm}$ , while Geumgang and Yeongsan river had particle sizes of  $0.25 \sim 0.85 \text{ mm}$ . Geumgang and Yeongsan river tended to have greater particle sizes. The average values of the chemical properties were 6.3 for pH,  $0.16 \text{ dS m}^{-1}$  for EC,  $8 \text{ g kg}^{-1}$  for organic matter,  $101 \text{ mg kg}^{-1}$  for available phosphate, 0.39, 3.47, and  $0.93 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  for exchangeable potassium, calcium, and magnesium respectively. The greatest property at each basin was pH for Han river, Ec, available phosphate and exchangeable sodium for Geumgang river, organic matter, exchangeable calcium and magnesium for Yeongsan river, and exchangeable potassium for Nakdong river.

**Key words:** Soil physical characteristics, Soil chemical characteristics, River-bed sediments

## 서 언

최근에 하천준설은 하천 및 호수의 정비, 수로 또는 항로의 유지 및 보수, 건설용 골재 채취, 댐 유지용수 확보 등의 다양한 목적으로 수행되고 있으며, 최근 수환경의 개선과 친수환경조성을 위하여 하천 퇴적토 준설사업이 지속적으로 증가하고 있다. 하천에서 쌓인 퇴적물은 유속이 빠르면 큰 자갈도 하상에서 쉽게 침식 운반되며, 유속이 느리면 모래나 실트 같은 작은 입자들도 운반되다가 퇴적되는 경우가 생긴다. 특히 크고 천천히 흐르는 하천은 하천 유역을 가로지르는 규칙적인 전후 운동을 함으로써 굵고 작은 입자들의 분급이 매우 양호한 층을 퇴적시킨다. 실트와 점토입자는 홍수기 범람 기간 동안 하천 유역의 바닥에 쌓이며, 유기 퇴적물은 더 이상 물이 흐르지 않는 하도의 역할이 끝난 부분에 퇴적되므로 실트, 점토, 유기물은 미립자 성분으로 이루

어져 오염물질의 농도가 높게 나타난다 (Wenning et al., 2001).

국내에서 퇴적물은 '수질 및 수생태계 보전에 관한 법률', '해양환경관리법', '하천법', '폐기물관리법', '토양환경보전법' 등에서 오니, 퇴적물, 침전물, 수저퇴적물, 골재, 토양 등으로 다양하게 언급되고 있으나 폐기 처리되는 그대로 육상에 단순매립 또는 해양투기 되고 있다 (Park et al., 2011). 그러나 육상에서 단순 매립하는 경우 매립 후 침출수에 의한 2차 오염이 문제가 되며 (Kwon, 2004), 해양투기의 경우 육상폐기물은 해양오염방지법에 의한 14가지 항목 (유분, 시안, 크롬, 아연, 구리, 카드뮴, 수은, 유기인, 비소, 납, 6가 크롬, 불소, PCB 및 페놀류)이 폐기물의 해양배출 기준을 만족하면 해양에 투기하는 것을 허용하고 있으나 매년 해양에 배출되는 폐기물의 양이 증가하고 있는데다가 해양투기 폐기물의 포괄적인 평가체계인 런던협약 (1972년)과 의정서 (1996년)에 의거하여 폐기물 투기장으로서의 해양의 이용을 점차 축소해야 할 상황에 놓여있다.

미국에서는 조류 및 어류의 서식지조성, 모래가 유실되는 해안의 모래공급 등에 준설토가 활용되고 있으며, 일본

접수 : 2011. 9. 16 수리 : 2011. 11. 11

\*연락처 : Phone: +82312900338

E-mail: sonnyk@korea.kr

에서는 준설토를 이용한 수중보를 조성하여 해역의 온도를 유지하거나, 오염된 지질의 복토용으로 사용되고 있다 (Amdur et al., 1997; Yoon and Cho, 2002). 또한, 유럽에서는 준설토와 기존 토양과의 적절한 혼합에 의한 영양분이 풍부한 표토, 고형화에 의한 골재생산 등 다양한 활용방안을 모색·적용하고 있다 (Cecconi, 1997). 그 외에도 골프장 및 축구장을 위한 토양으로 활용하거나 공원조성 등 친환경적인 활용방안을 다각적으로 연구하고 있다 (Bray et al., 1997).

우리나라에서 준설토의 용출시험에 의한 오염도 평가가 실시되었고 (Cho et al., 2001), 오염도분석, 법적규제, 경제성분석, 기술적 타당성을 분석을 통하여 경제적인 활용이 곤란한 경우에는 환경영향을 최소화하는 처분체계를 모색하고 있다 (Kim and Jung, 2005; Kwon, 2004). 저수지 및 저수지 준설현황조사, 저수지 준설토양의 특성분석, 준설대상 저수지 수질분석 등의 연구가 실시되었다 (KICT, 2003). 또한, 하천의 오염된 퇴적물 현황을 파악과 고화처리를 통한 재활용 방안 (KRC, 2005)이 연구된 바 있다. 농어촌 하천의 퇴적된 퇴적물의 오염물질 함유정도, 물리·역학적 특성 평가 및 이를 재활용하기 위하여 성토용 재료로 적용하는 방법과 고화제를 이용하여 고화처리 하는 공법 (MIFAFF, 2003). 그 외에도 최근 해양 준설토 및 하수 준설토를 토목 재료로 활용하는 것에 대한 연구가 진행되어 왔다 (Lee et al., 2002; Nam and Yun, 2004; Song et al., 2008).

따라서 본 연구는 하천 퇴적토를 농업적으로 활용함에 있어서 하천퇴적토의 토양환경의 유지보전과 농산물에 대한 안전성 측면에서 평가가 이루어져야 하므로 국내 주요 하천 퇴적토의 물리·화학적 특성을 분석하였다.

## 재료 및 방법

주요하천 유역의 하천토사의 토양물리성과 화학성을 파악하기 위하여 2009년 9월부터 2010년까지 한강 16개소, 금강 32개소, 영산강 27개소, 낙동강 144개소로 28개 시군의

219개소의 하천표토에서 50 cm까지 시료를 채취하였다.

채취지점별로 살펴보면, 한강유역은 경기 여주 8개소, 충북 충주 7개소에서, 금강유역은 충남 서천 3, 논산 2, 부여 8, 공주 5, 연기 5, 충북 청원 6, 대전 3개소에서, 영산강유역은 전남 무안 1, 함평 1, 나주 11, 광주시 9, 전남 담양 5개소에서, 낙동강유역은 경남 양산 9, 김해 12, 밀양 12, 창녕 9, 함안 3, 의령 3, 대구 6, 경북 고령 6, 칠곡 5, 성주 3, 구미 18, 상주 13, 의성 1, 예천 19, 안동 25개소로 전체 28개 시군에서 시료를 채취하였다.

토양의 채취지점은 현지에서 GPS를 이용하여 좌표를 측정하였고, 토양분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 하천토사의 입자밀도는 KS F 2301에 따라 분석하였으며, 체가름 시험은 KS F 2301 흙의 입도시험 및 물리 시험용 시료조제 방법에 따라 실시하였다. 토양의 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 pH meter로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법으로, 유효인산은 Lancaster법으로, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등의 양이온은 1M NH<sub>4</sub>OAc로 추출하여 AAS 및 ICP로 분석하였으며, 전기전도도는 토양과 증류수의 비가 1:5인 토양용액을 EC meter로 측정하였다.

## 결과 및 고찰

**하천퇴적토의 토양 물리성** 하천 퇴적토사의 토양의 물리적 특성을 분석하여 성토재 및 객토원으로서 가능성을 검토하기 위하여 조사한 하천유역별 토사의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

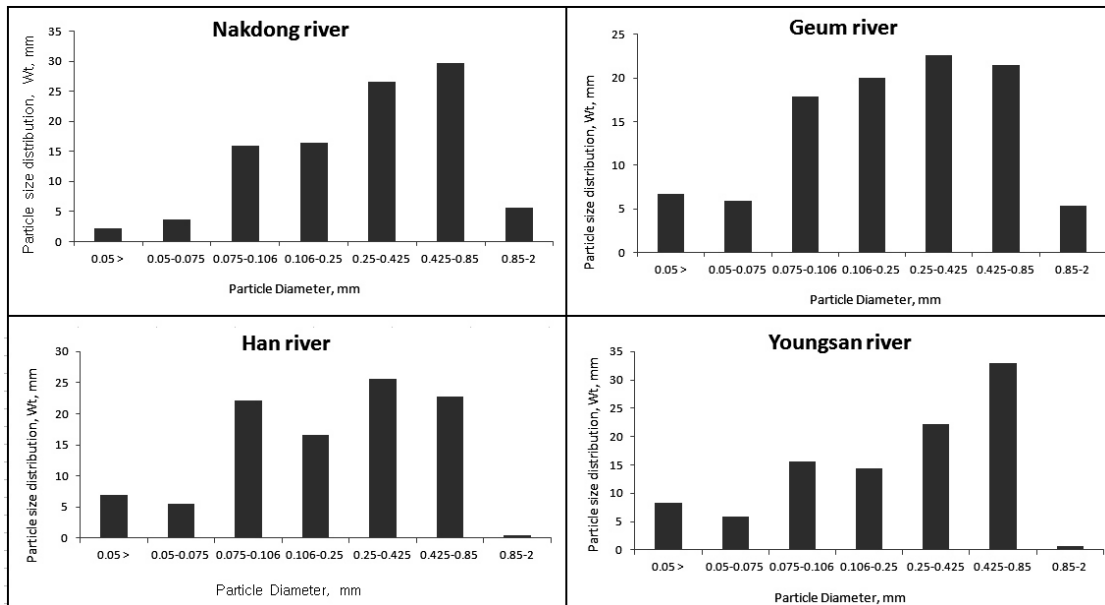
본 연구의 하천토사의 밀도 시험결과는 대부분 2.60 Mg m<sup>-3</sup> 이상으로 토사의 입자밀도는 2.60~2.69 Mg m<sup>-3</sup>의 범위로 평균 2.63 Mg m<sup>-3</sup>이었다. 유역별로는 한강 토사의 비중은 2.69로 가장 많은 부분을 차지하는 석영보다 높게 나타났는데, 6대 조암광물의 비중과 비교하면 석영은 2.5~2.8 Mg m<sup>-3</sup>으로 순수한 것의 비중은 2.65 Mg m<sup>-3</sup>이며, 장



Fig. 1. River-bed sediments (Kyungpook Uiseong, left) and sampling sites (right).

**Table 1. Particle densities and particle size distributions by river basins.**

River basins	Particle density Mg m <sup>-3</sup>	Average particle size mm	Particle size distribution						
			0.850 ~2.000 mm	0.425 ~0.85 mm	0.250 0.425 mm	0.106 ~0.250 mm	0.075 ~0.106 mm	0.050 ~0.075 mm	<0.05 mm
			Wt, %						
Han River	2.61	0.44	0.4	22.8	25.7	16.6	22.1	5.5	6.9
Geum River	2.63	1.10	5.4	21.5	22.6	20.0	17.9	5.9	6.7
Yeongsan River	2.59	0.56	0.7	32.9	22.2	14.5	15.5	5.8	8.3
Nakdong River	2.63	0.69	5.6	29.6	26.6	16.4	15.9	3.7	2.2
Total Average	2.62	0.71	4.6	28.4	25.4	16.7	16.6	4.4	3.4



**Fig. 2. Particle size distributions by river basins.**

석 2.5~2.7 Mg m<sup>-3</sup>, 운모 2.7~3.1 Mg m<sup>-3</sup>, 방해석 2.6~2.8 Mg m<sup>-3</sup>, 각섬석 3.1~3.3 Mg m<sup>-3</sup>, 휘석 3.2~3.6 Mg m<sup>-3</sup>, 감람석 3.2~3.4 Mg m<sup>-3</sup>이므로 한강유역 토사 중에는 비중이 높은 광물이 포함되어 있을 것으로 생각된다. 또한, 전체조사 지역 중에서 토사의 비중이 석영보다 무거운 2.8 Mg m<sup>-3</sup> 이상인 지점은 충북 충주, 충남 서천, 경북 안동·예천·구미 고령 등 7개 조사 지점이었다. 입자밀도는 하천 토사 구조골격을 이루고 있는 크기와 각기 다른 밀도를 가진 구성광물들로 다양하게 이루어진 입자의 평균적인 밀도를 말하며 단위체적당 중량을 말하며, 하천토사의 비중은 하천토사의 조성광물의 분류, 공극비와 포화도, 경도를 추정하는 데 이용되기도 한다. 일반적으로 토양의 입자밀도는 2.60~2.80 Mg m<sup>-3</sup> 사이로 모래의 경우 밀도는 약 2.50~2.65 Mg m<sup>-3</sup>로 알려져 있다.

퇴적토에 대한 입도분석 결과 자갈 (50 μm 이상) 2.0%,

모래 (50 μm 이상)는 94.4%, 실트이하 입자가 3.6%로 구성되어 있는 것으로 나타나 하천토사 시료 대부분의 경우 액·소성을 구할 수 없는 상태인 모래가 대부분이었다. 퇴적물에 있어서 63 μm 이하의 미세입경 입자는 입경크기나 모양, 하천의 유속, 강바닥의 형태에 따라 침전되고 재형성 된다. 또한, 미세입자에는 점토, 유기물, 석영, 장석, 탄산염 광물, 철이나 망간산화물, 수산화물로 구성되며 비표면적이 크고 이온치환력이 강하므로 퇴적토 내에서 오염물질이 흡착되어 있다 (Kwon, 2004).

토사의 평균 입경은 0.7 mm 이었으며 입경은 주로 0.075~0.85 mm 범위에 분포하고 있었다 (Table 1). 유역별 토사의 입경분포를 살펴보면, 한강과 금강에서는 0.075~0.85 mm 범위에 입자가 주로 분포하였으며, 금강과 영산강에서는 0.25~0.85 mm 범위에 입자로 입경이 큰 입자의 분포비율이 높았다. 한편, 금강유역에서는 대청댐을 기준으로 8.5 km

이내에 존재하는 충북 청원군 퇴적토에서 1.84 mm 정도로 굵은 입경이 채취되었다. 대청댐을 기준으로 입경의 크기를 비교하면 대청댐에서 멀어질수록 토사의 입경이 작아지다가 미호천이 합류되는 장기면에서 토사의 입경이 커지는 경향이였다. 따라서 금강유역 대청댐 퇴적지역의 평균입경이 다른 유역보다 큰 것은 조립질 퇴적물은 유속이 최대인 곳에 분포하고 세립질 퇴적물은 유속이 작은 곳으로 사행 굽이의 안쪽에 나타나는데, 금강유역 토사시료의 경우 하도 내에서 퇴적물이 대청댐 방류로 인하여 토사 중 조립질인 퇴적물이 포함된 것이 주요한 원인이었다.

토사입자의 입경별 누적곡선을 살펴보면, 전반적으로 0.75 mm에서 0.106 mm 사이에서 1차적으로 상승 후에 급한 경사를 갖는 누적의 형태를 보였다. 이는 토양의 입자는 토양모재와 모암물질간의 차이로 물리적으로 풍화된 암석 물질들은 전체 입자들 중에서 입자간의 크기차이가 작아서 경사가 급한 곡선의 형태를 보이며 특히 바람이나 물에 의

해 운적한 토양에서 더욱 확연하게 나타난다. 또한, 토양 중에서 풍화되어 생성된 토양학적 광물 입자들은 입자간 크기의 차이가 넓게 나타난다.

따라서 하천 토사가 층상으로 분포하며, 특히 지천 합류부에서는 복합적인 퇴적현상에 의하여 자갈, 모래 및 실트 층이 매우 복잡하고 불규칙적으로 쌓여 있으므로 퇴적토 자체로는 규격화된 골재로 활용하기 어려울 것으로 판단되었다.

**하천퇴적토의 토양 화학성** 하천퇴적토의 농경지 성토시 적정성 여부를 평가하기 위한 주요 하천유역별 하천퇴적지 표토의 토양 화학성은 Table 2와 같다.

하천 토사의 평균 화학성은 pH 6.3, EC 0.16 dS m<sup>-1</sup>, 유기물 8 g kg<sup>-1</sup>, 유효인산 101 mg kg<sup>-1</sup>, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.39, 3.47, 0.93 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>이었으며, 유역별로는 한강유역에서 pH, 금강유역에서 염농도 (EC), 유

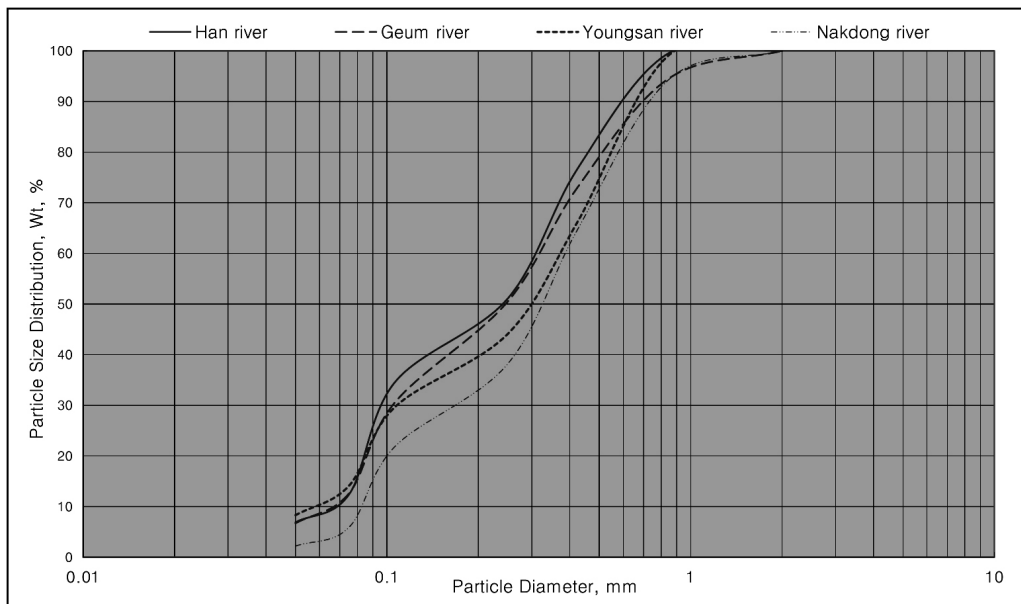


Fig. 3. Cumulative particle size distributions of river-bed sediments by river basins.

Table 2. Results of chemical properties from the river-bed sediments by river basins.

River basins	pH	EC	OM	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. Cation			
					Ca	Mg	Na	K
	(1:5)	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			
Han River	6.9	0.05	6	73	2.98	0.66	0.04	0.14
(min.-max.)	(6.4-7.7)	(0.02-0.13)	(2-13)	(18-150)	(0.71-8.21)	(0.18-1.62)	(0.02-0.08)	(0.02-0.41)
Geum River	5.9	0.21	8	113	3.56	1.13	0.21	0.35
(min.-max.)	(4.8-8.2)	(0.02-1.26)	(2-17)	(32-424)	(0.54-11.56)	(0.08-5.89)	(0.03-2.22)	(0.01-1.31)
Yeongsan River	6.1	0.14	12	102	4.47	1.54	0.16	0.31
(min.-max.)	(5.6-7.4)	(0.02-0.82)	(4-27)	(13-206)	(1.39-9.80)	(0.25-7.77)	(0.05-1.27)	(0.07-0.91)
Nakdong River	6.3	0.16	8	101	3.32	0.80	0.08	0.43
(min.-max.)	(4.3-7.9)	(0.02-3.13)	(2-26)	(4-676)	(0.60-12.13)	(0.08-4.26)	(0.02-2.22)	(0.01-1.98)
Total Average	6.3	0.16	8	101	3.47	0.93	0.10	0.39

효인산과 치환성 나트륨이, 영산강유역에서 유기물, 치환성 칼슘과 마그네슘이, 낙동강 유역에서는 치환성 칼륨이 각각 높은 것으로 조사되었다.

pH 평균범위는 pH 5.9~6.9로 조사되었는데, 농경지에서 적정 pH는 논토양 5.6~6.5 밭토양 6.0~6.5의 범위이다. 한편 토양산도 (pH)가 3.5이하로 떨어지게 되면 작물재배가 불가능하게 되는데, Soil Taxonomy (USDA, 1994)에서는 유황함유물질의 함량과 토양단면 내 존재형태에 의해 결정된다. 유황함유물질은 토양 중 총 유황 함량이 0.75% 이상이고 유황함유 토층은 토양의 pH가 3.5 이하이고 담황색의 반문을 가진 토양을 특이산성토양으로 분류하고 있다 (Jung and Yoo, 1996).

경남 창녕에서는 pH 4.3으로 잠재특이상성 토양이하로 pH가 낮은 토양이 검출되었는데, 특이산성토양은 해성 및

하해혼성층적층에서 생성된 특이산성토양은 배수가 불량한 식질 및 식양질이 대부분이며, 해수, 퇴적물, 생물체 및 빗물로부터 공급된 유황은 환원 조건에서 철 및 유황환원 미생물과 미생물의 영양원인 유기물이 풍부한 경우 Pyrite (FeS<sub>2</sub>)로 된다. 생성된 Pyrite는 산화조건에서 K함량이 많은 경우 Jarosite [KFe<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>]로 된다. Jarosite가 생성되면 토양 pH는 4.0이하로 하강되지만 담수에 의하여 Pyrite로 되면 중성 부근으로 pH가 상승하게 된다 (Fitzpatrick et al., 1996).

유역별 EC 평균범위는 0.05~0.50 dS m<sup>-1</sup>이었으며, 금강 유역의 평균 EC는 0.6 dS m<sup>-1</sup>으로 벼를 안전하게 재배하기 위한 토양의 염농도는 0.3 dS m<sup>-1</sup> 보다 높았으며, 특히 경남 양산지역에서는 1.0 dS m<sup>-1</sup> 이상으로 바닷물의 영향을 받은 토양이 검출되기도 하였다. FAO (1997)에 따르면 비의 수량

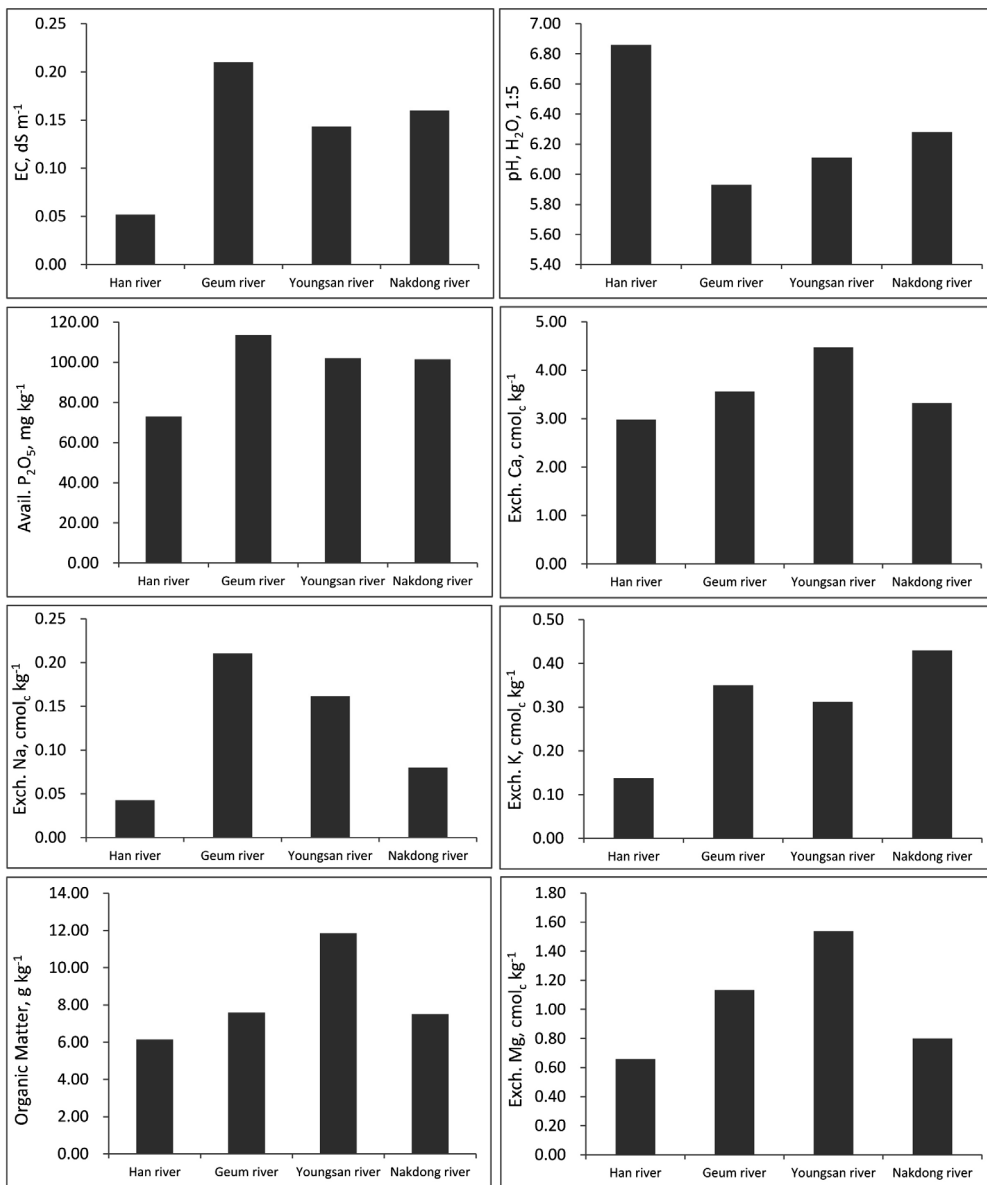


Fig. 4. Comparison of chemical properties from the river-bed sediments by river basins.

을 일반 논과 비교하여 염농도가 토양에서  $0.19 \text{ dS m}^{-1}$  이하, 관개수에서  $0.12 \text{ dS m}^{-1}$  이하에서는 피해가 나타나지 않고, 염농도가 토양에서  $0.7 \text{ dS m}^{-1}$ , 관개수에서  $0.48 \text{ dS m}^{-1}$  이상이면 벼의 재배가 완전히 불가능한 것으로 보고하였다. 또한, 현재 우리나라에서는 농업용수의 수질기준 중 EC에 대한 기준이 없으나, USDA Salinity Staff (1953)에서는 농업용수를 평가하기 위한 가장 중요한 척도로 제시한 기준 중 EC 농도가  $0.25 \text{ dS m}^{-1}$  이하의 관개수는 어떠한 작물에서도 염해를 일으키지 않는 양질의 관개수라고 했고, 또한,  $0.25 \text{ dS m}^{-1}$  이상  $0.75 \text{ dS m}^{-1}$  이하의 대부분의 작물에서 사용할 수 있는 관개수 수준이라 하였다.

하천유역별 유효인산의 평균범위는  $73 \sim 158 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 농경지에서 적정 유효인산은 논토양  $80 \sim 120 \text{ mg kg}^{-1}$ , 밭토양  $300 \sim 500 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 범위이다. 특히 금강유역의 하천토사에서는 평균 유효인산이  $158 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 유효인산이 환경으로 유출되면 수계의 부영양화를 초래할 수 있으므로 토양학적 측면에서는 관개수 및 하천오염을 방지하기 위하여 하천준설이 필요한 유역으로 판단되었다. 한편 전남 담양, 나주, 경북 안동 등 하천변 토양을 농경지로 활용되는 하천토사에서는  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  이상의 토양이 검출되기도 하였다.

이상으로 토사의 평균 입경은  $0.7 \text{ mm}$  이었으며 입경은 주로  $0.075 \sim 0.85 \text{ mm}$  범위에 분포하였다. 특히 지천 합류부에서는 복합적인 퇴적현상에 의하여 자갈, 모래 및 실트층이 층상으로 분포하며 매우 복잡하고 불규칙적으로 쌓여 있으므로 퇴적토 자체로는 규격화된 골재로 활용하기 어려울 것으로 판단되었다. 하천유역 내에서 농경지로 활용되는 하천 퇴적토에서는 유효인산, 염농도, 치환성 이온들의 함량이 많았으나 대부분의 하천퇴적 토양은 일반농경지 토양 화학성분이 적정범위 이하로 존재하므로 농경지 성토용 토양으로 적정할 것으로 판단되었다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업의 지원에 의해 이루어진 것임을 밝힙니다.

## 요 약

주요 하천 유역 퇴적토의 토양물리성과 화학성을 파악하여 농업적 활용에 있어서 토양환경적 안정성을 평가하기 위하여 2009년부터 2010년까지 한강 16개소, 금강 32개소, 영산강 27개소, 낙동강 144개소로 28개 시군의 219개소의 하천표토에서  $50 \text{ cm}$ 까지 시료를 채취하였다.

하천토사의 입자밀도는  $2.63 \text{ Mg m}^{-3}$  이상으로  $2.60 \sim 2.69 \text{ Mg m}^{-3}$ 의 범위이었으며, 입경은 평균  $0.7 \text{ mm}$ 로  $0.075$

$\sim 0.85 \text{ mm}$  범위에 분포하고 있었다. 유역별 토사의 입경 분포를 살펴보면, 한강과 금강에서는  $0.075 \sim 0.85 \text{ mm}$  범위에 입자가 주로 분포하였으며, 금강과 영산강에서는  $0.25 \sim 0.85 \text{ mm}$  범위에 입자로 입경이 큰 입자의 분포비율이 높았다.

하천 토사의 평균 화학성은 pH 6.3, EC  $0.16 \text{ dS m}^{-1}$ , 유기물  $8 \text{ g kg}^{-1}$ , 유효인산  $101 \text{ mg kg}^{-1}$ , 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각  $0.39, 3.47, 0.93 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 이었으며, 유역별로는 한강유역에서 pH, 금강유역에서 염농도 (EC), 유효인산과 치환성 나트륨이, 영산강유역에서 유기물, 치환성 칼슘과 마그네슘이, 낙동강 유역에서는 치환성 칼륨이 각각 높았다.

## 인 용 문 헌

- Amdur, J. and R. Jones. 1997. Issues and Conflict related to the Beneficial Reuse of Contaminated Dredged Material in California. USA. International Conf. on Contaminated Sediments, Rotterdam. The Netherlands.
- Bray, R.N., A.D. Bates, and J.M. Land. 1997. Dredging : A Handbook for Engineers, Second Edition, Chap. 5. Arnold : A member of the Hodder Headline Group.
- Cecconi, G. 1997. Beneficial Use of Dredged Material for Re-Creating Marshes in the Venice Lagoon, International Conf. on Contaminated Sediments, Rotterdam. The Netherlands.
- Cho, H.Y., K.H. Choi, and G.L. Yoon. 2001. Contaminant Assessment of Dredged Material by Leaching Test - focused on the impact assessment of the coastal environment - J. Korean Geoenviron. Soc. 2(2):5-69.
- FAO. 1997. Management of Agricultural Drainage Water Quality.
- Fitzpatrick, R.W., E. Fritsch, and P.G. Self. 1996. Interpretation of soil features produced by ancient and modern process in degraded landscapes; V. Development of saline sulfidic features in non-tidal seepage areas. Geoderma 69:1-29.
- Jung, P.K. and S.H. Yoo. 1996. Physico-chemical Characteristics and Classification of Acid Sulfate Soil in Gimhae Plain. Korean J. Soc. Soil Sci. Fert. 28:1-10.
- KICT. 2003. Distribution survey of sediments and development technology for Environmental dredging & reuse of dredged material in reservoir and stream. Korea Institute of Construction Technology. Goyang. Korea.
- Kim, G.H. and W.H. Jeong. 2005. Sediment Capping, a Viable Alternative for Efficient Treatment of Contaminated Sediment. J. Korean Soc. Civil Eng. 53(5):122-127.
- KRC. 2005. A study on the deriving of sediments quality guideline for reservoir dredging and the use of dredged soil. Korea Rural Community Corporation. Euwang. Korea.
- Kwon, Y.T. 2004. Evaluation of heavy metal pollution in the dumping site of the dredged sediment, Masan bay. J. Korean Soc. Marine Environ. Eng. 7(2):75-81.
- Lee, S., J.Y. Lee, J.S. Chae, and O.H. Lee. 2002. A study

- on the recycling of sewage dredged soils as construction materials. J. Korean Soc. Civil Eng. 21(5):597-604.
- MIFAFF. 2003. Research on the treatment and recycling methods of the dredged materials from small streams and reservoirs in rural area. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Gwacheon, Korea.
- Nam, J.M. and J.M. Yun. 2004. The improvement of surface layer using cement-hardening agents in dredged and reclaimed marine clay. J. Ocean Eng. Technol. 18(4):46-51.
- NIAST. 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Park, J.B., G.H. Lee, H.S. Woo, and J.W. Lee. 2011. Problems of disposal of dredged material and increasement of recycling. J. Korean Soc. Civil Eng. 59(3):65-74.
- Song, J.H., J.C. Im, and S.W. Hong. 2008. Analysis of compressive strength of lightweight air-mixed soil according to the properties of soil. J. Korean Geotech. Soc. 24(11): 157-166.
- USDA. Salinity Staff. 1953. Saline and Alkaline Soils. USDA HB60. p.160.
- USDA. Soil Survey Staff. 1994. Keys to Soil Taxonomy. Sixth ed. Soil conservation service. USDA Washington D.C..
- Wenning, R.J., E.A. Stern, K.W. Jones, and W.S. Douglas. 2001, The WDRA program and emerging decontamination technologies for contaminated sediments. Contaminated Soil Sediment and Water, Dec 2001.
- Yoon, G.L. and H.Y. Cho.. 2002. Recycling strategies and case histories of dredged soils . J. Korean Geotechnical Soc. 3(2):48-63.