

Soil Physical and Hydraulic Properties over Terrace Adjacent Four Major Rivers

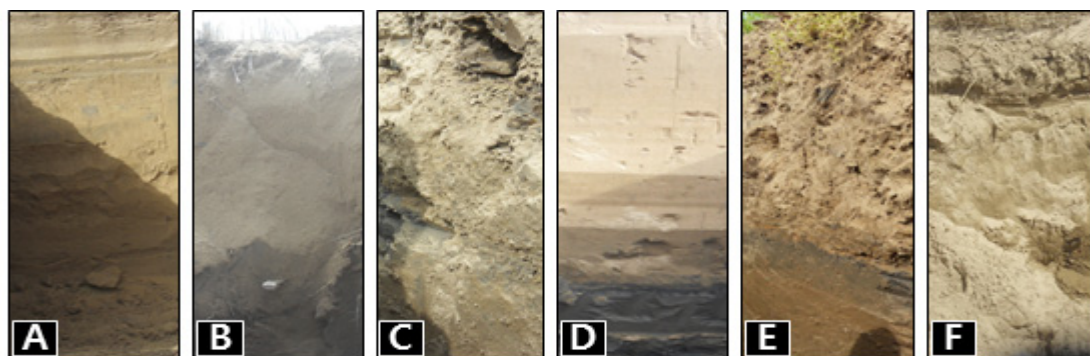
Kyo Suk Lee, Jae Bong Lee, Myoung Yun Lee, Ri Na Joo, Dong Sung Lee, and Doug Young Chung*

Dept. of Bio-environmental Chemistry, Collage of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Deajeon, 34134, Korea

(Received: April 25 2016, Revised: May 27 2016, Accepted: May 31 2016)

The soil does not only serve as a medium for plant growth but also for engineering construction purposes. It is very weak in tension, very strong in compression and fails only by shearing. The behaviour of the soil under any form of loading and the interactions of the earth materials during and after any engineering construction work has a major influence on the success, economy and the safety of the work. Soils and their management have therefore become a broad social concern. A limitless variety of soil materials are encountered in both agronomy and engineering problems, varying from hard, dense, large pieces of rock through gravel, sand, silt and clay to organic deposits of soft compressible peat. All these materials may occur over a range of physical properties, such as water contents, texture, bulk density and strength of soils. Therefore, to deal properly with soils and soil materials in any case requires knowledge and understanding of these physical properties. The desired value of bulk density varies with the degree of stability required in construction. Bulk density is also used as an indicator of problems of root penetration, soil aeration and also water infiltration. This property is also used in foundation engineering problems. While not conforming to standard test procedures, this work attempts to add to the basic information on such important soil parameters as water content, bulk density.

Key words: Terrace, Rivers, Soil Physical and Hydraulic Properties properties, Infiltration, Hydraulic conductivity



Characteristics of soil profiles and soil structures at the terraces located at Geum river and Nakdong River (A:Changporee Buyeo Chungnam Province, B:Bookgoree Buyeo Chungnam Province, C:I-Oesanree Milyang Kyungnam province, D:II-Oesanree Milyang Kyungnam province, E:Sangraangjin Kyungnam province).

*Corresponding author: Phone: +82428216739, Fax: +82428216731, E-mail: dychung@cnu.ac.kr

§Acknowledgement: This study was carried out with the support of "2014 Research Program by Chungnam National University.

Introduction

4대강 유역은 국토의 약 63.7%를 차지하고 있을 뿐만 아니라 인구 62.0%, GNP 67%, 경지면적 53.7%, 물자원 부존량 62.2%, 연평균 홍수피해 69.5%, 가뭄피해 60.0%를 차지하고 있으며 1966년부터 실시된 4대강 유역에 대한 정비사업은 4대강에 대한 하천유역조사를 근거로 2008년 하반기부터 한국형 녹색뉴딜사업으로 시작되었다 (MOLIT, 2010). 4대강사업의 목표는 퇴적토 준설을 실시하여 홍수위를 낮추고, 신규 댐의 건설, 홍수조절지의 건설, 농업용 저수지의 증고 및 강변저류지의 조성, 노후제방 보강, 도류제 설치에 의하여 홍수조절능력을 증대시킴으로써 유기적 홍수방어 대책을 마련할 뿐만 아니라 하천 내 농경지를 정리하여 농약 비료 등의 하천유입을 차단하여 2012년까지 수질을 2급 수 수준으로 개선하고, 친환경지역인 초지나 습지로 하천생태도 복원시키기 위한 사업으로 2012년 말 공정이 완료된 것으로 알려져 있다. 정부는 '4대강사업'을 통해 하천 주변 경작지를 철거하고 친환경지역인 초지나 습지로 복원하는 사업을 추진해 준공하였으나 하천 둔치 경작이 문제가 되고 있다. 2009년 4월 국토해양부 4대강 살리기 기획단이 발표한 자료에 따르면 농경지 리모델링으로 인한 준설토 적치 면적은 약 8000 ha이며 준설된 준설토로 조성된 하천둔치 중 약 630 ha를 조사료 재배지로 사용 또는 사용 예정으로 있다 (MOLIT, 2010).

그러나 하천부지에서 조사료 생산과 같은 연구는 하천법, 환경오염에 대한 사회적 인식, 여름철 잦은 범람, 거대 호수의 갈수기에만 이용할 수밖에 없는 하천부지의 한계성으로 인하여 많은 연구가 진행되지 못하였으며 4대강 사업이 추진되면서 하천 내 경작은 농업활동이 수질에 미치는 영향요인으로 인하여 2009년 11월 '하천법 시행령을 개정하여 (MOLIT, 2010) 정부는 하천부지 내에서 경작을 원칙적으로 금지하였다. 그러나, 가축 사육농가에서는 가축 사육비 절감 등을 위해 하천둔치를 조사료 작물 생산에 활용하려는 요구가 증가하고 있다. 한편 조사료재배를 요구하는 축산농가가 제시한 무퇴비, 무농약, 무비료 3무 (無) 재배에 대한 타당성 여부에 대한 근거가 거의 없다.

원래 자연의 물질순환을 기본으로 하고 있는 농업은 비료와 농약 그리고 기계화로 대변되는 현대농업으로 전환되면서 보통비료나 퇴비 등의 유무기질 형태의 비료를 사용하여 토지의 생산성을 높이고 살충제, 제초제와 같은 농약을 사용하여 노동생산성을 높이고 있다. 그러나 농업용 생산요소를 과다하게 사용함으로써 비점오염원으로서 호소나 강의 부영양화 그리고 지하수 오염 등 수생태계를 파괴하기도 한다. 따라서 환경의 중요성과 보전에 대한 목소리가 높아짐에 따라 1990년대에 들어서 농업도 환경과 조화를 이루면서 생산을 지속하게 하는, 즉 농업생산의 경제성 확보, 환경

보존 및 농산물의 안전성을 동시에 추구하는 개념으로서 화학비료와 농약의 사용량을 감축하는 목표를 설정하는 등 정부가 환경보전형 농업 육성을 선도하고 있다.

2010년 5월 한강수계관리위원회가 조사한 수질영향 분석 보고서 (Ahn, 2009)에 따르면 팔당호와 인접한 농경지 면적은 총 1.34 km²이며 하천구역 경작지에서 발생하는 총질소 (T-N)와 총인 (T-P)은 연간 km²당 약 2284 kg과 498 kg을 수계로 배출하고 있는 것으로 나타났다 (MOLIT, 2010). 이는 하천 구역내 경작지의 단위면적당 총인 부하량은 팔당상수원보호구역 전체 토지의 단위면적당 부하량의 7배에 해당하며 경작지 철거 후 초지로 복원할 경우 총인 (T-P) 부하량은 98%까지 감소할 것으로 예측하였다.

한편 정부가 추진하고 있는 식량자족을 향상이나 지속적으로 감소하고 있는 농경지를 대체하기 위한 수단으로서 하천둔치의 활용은 필요하다. 특히 농지개발수요는 계속되고 있으나 농업진흥지역 대체농지 지정제도가 폐지되고, 신규 간척지와 같은 새로운 대체 농지로 활용할 국토개발 계획도 없어 기존 농경지의 경지이용률 확대를 통한 식량자급률 향상과 4대강 수변구역 내 하천 둔치 등 대상지를 농작물 재배가 가능한 농경지로 활용하는 방안에 대한 대책 개발이 시급하다. 그러나 4대강사업으로 인하여 조성된 하천둔치를 농경지로 활용하기 위한 기초 조사는 매우 미미하다. 특히 환경적 측면에서 하천에 인접하여 조성된 하천둔치에서 농경을 실시할 경우 하천둔치와 하천 수계가 연결 되어있어 농업 활동에 따른 시비나 농약 사용에 따른 질소와 인 그리고 농약이 토양으로부터 수계로 흘러가 환경문제가 생길 수 있다. 따라서 본 연구에서는 4대강 사업으로 조성된 하천둔치의 준설토를 대상으로 토양의 물리적 특성과 수리 특성을 조사하여 향후 농경지로 활용하고자 할 때 농업에서 발생하는 비점오염원의 수계오염 가능성과 유입양을 추정할 수 있는 기초자료로 활용하기 위한 자료를 확보하기 목적으로 조사를 실시하였다.

Materials and Methods

4대강 하천 둔치 토양 특성을 조사하기 위하여 4대강 사업부지 중 현재 조사료로 옥수수를 재배하고 있는 충남 부여군 장암면 북고리 (A)와 세도면 청포리 (B) 각 1개소와 낙동강에 위치한 경상북도 밀양 상남면 외산리 2개소 (C), 그리고 삼랑진 1개소를 정하여 토양조사를 실시하였다 (Fig. 1).

상기 4개 하천 둔치 토양의 특성은 조사지점별로 굴삭기를 이용하여 폭 3 m 그리고 지표면으로부터 준설토 적치 이전의 원토양층 또는 지표면으로 150 cm까지 굴착하여 토양 단면을 조사하였다. 그리고 직경 10 cm 그리고 길이 10 cm 원형스테인리스 코어를 이용하여 각각의 층위별로 수평 직선상으로 1 m 간격으로 3개의 비교란시료를 채취하여 용적밀



Fig. 1. Satellite pictures of locations for the survey of soil physical and chemical properties over terrace adjacent Geumgang River (A and B) and Nakdong river (C).

Table 1. Properties of the soil profiles investigated at the terraces located at Geum river and Nakdong River.

Location	Depth of sediment pile (cm)	Characteristics
Buyeo	Jangam 115	15 cm depth of organic matter accumulated layer between original soil surface and sediment pile
Chungnam	Gyuam 100	100 cm depth of organic matter accumulated layer between original soil surface and sediment pile
Milyang	Sangnam-I 90	10 cm depth of organic matter accumulated layer between original soil surface and sediment pile
Kyungnam	Sangnam-II 200 <	original soil surface located below 220 cm from the surface
	Sanrangjin 110	organic matter accumulated layer and subsurface flow below the sediment pile

도와 수분함량을 조사하였다 (Azooz, R.H and M.A, Arshad, 1994). 토양의 이화학적과 양분 분포 특성은 각각의 토층에서 채취한 토양시료를 실험실에서 풍건 후 Wiley Mill을 이용하여 분쇄 후 2.0 mm체를 통과한 토양을 전기건조기를 이용하여 105°C에서 약 48시간 건조한 토양을 이용하여 농촌진흥청 토양분석법에 준하여 분석을 실시하였다 (Jung et al., 1995; Jung et al., 2007; Reynolds and Elrick, 1985; Walker and Skogerboe, 1987). 수분침투율 (Infiltration rate, Eq. 1)와 포화수리전도도 (Saturated hydraulic conductivity; Eq. 2) 시험은 (Glenn 2016), 직경 60 mm 그리고 길이 400 mm인 Acryl 원통에 각각의 조사지점에서 토층별로 채취한 토양을 Table 1에서 조사된 용적밀도로 30 mm 깊이로 충전한 후 Falling head permeability 방법 (Yoo et al., 1988)으로 측정하였다 (Eq. 2).

$$IR = K_{sat} \left[\frac{h_1 - (-\psi - H)}{H} \right] \quad (Eq. 1)$$

$$K = 2.3 \frac{a \times L}{A \times \Delta t} \text{Log} \frac{h_1}{h_2} \quad (Eq. 2)$$

여기서 ψ : wetting front soil suction head

H : the vague total depth of subsurface ground in question

K : Coefficient of permeability (cm sec^{-1})

A : The area of soil sample (soil column)

a : the cross section of the standpipe

L : Length of soil column

h_1 : Initial height of water

h_2 : Final height of water ($h_1 - \Delta h$)

Δt : Time required to get head drop of Δh

Results and Discussion

금강과 낙동강 유역에 위치한 하천둔치의 단면 특성을 조사한 결과 (Table 1) 준설토 적치 깊이는 표층으로부터 대부분 120 cm 이내에 조사되었으며 또한 적치층과 원토양층 사이에 유기물이 집적된 층이 위치하고 있는 것으로 조사되었다. 한편 각각의 조사지점의 토양구조를 조사한 결과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 준설토 적치층에서는 토양구조 발달이 없는 무형구조 (massive)로 조사되었다.

조사지점별로 토양 깊이에 따른 토성을 조사한 결과 금강지역과 낙동강에 위치한 하천둔치의 토성은 금강유역의 북고리를 제외한 모든 조사지역에서 모래함량이 80% 이상인 사질토양에 해당하며 모래함량은 토양의 깊이가 깊어짐에 따라 감소하나 반대로 점토함량은 깊이가 깊어짐에 따라 증가하는 것으로 조사되었다. 이는 준설토를 적치 후 지역별 강수 특성에 따라 수분이동에 따른 점토입자가 하부로

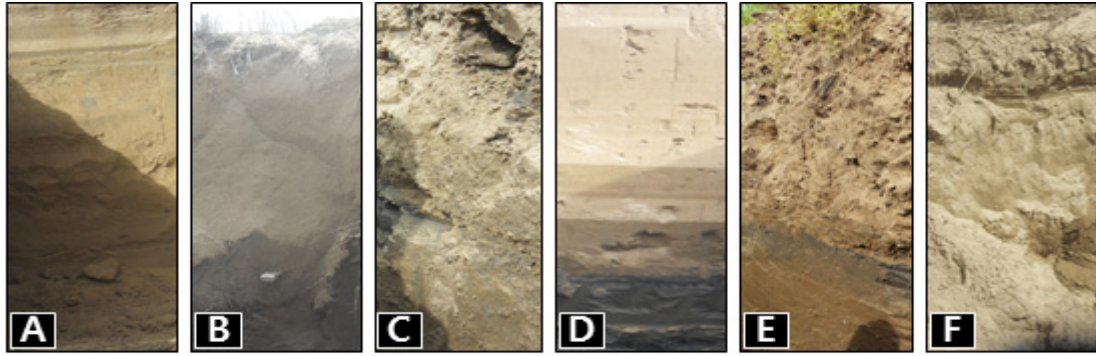


Fig. 2. Characteristics of soil profiles and soil structures at the terraces located at Geum river and Nakdong River (A: Changporee Buyeo Chungnam Province, B: Bookgoree Buyeo Chungnam Province, C: I-Oesanree Milyang Kyungnam province, D: II-Oesanree Milyang Kyungnam province, E: Sangraangjin Kyungnam province).

Table 2. Soil particle distribution and soil texture within the sediment pile for five terraces located at Geum river and Nakdong river.

Location	Depth (m)	Soil particle distribution(%)			Soil texture	Bulk density (g cm ⁻³)	Porosity
		Sand	Silt	Clay			
Buyeo Booggo (BG)	0~15	44.2	23.6	32.2	Clay Loam	1.42	0.46
	15~45	37.7	30.3	31.9	Clay Loam	1.43	0.49
	45~75	47.4	20.7	31.9	Clay	1.39	0.47
	75~95	38.4	20.9	40.7	Clay	1.40	0.47
Buyeo Changpo (CP)	0~15	89.4	9.50	1.10	Fine Sand	1.31	0.50
	15~45	88.4	9.40	2.16	Fine Sand	1.51	0.44
	45~75	91.5	5.74	2.80	Fine Sand	1.56	0.42
	75~110	82.0	10.3	7.71	Loamy Fine Sand	1.60	0.41
	110~135	80.5	9.1	10.4	Loamy Fine Sand	1.62	0.41
Milyang Oesan-I OS-I	0~15	87.1	7.1	5.8	Loamy Fine sand	1.38	0.48
	15~45	90.0	7.9	2.1	Fine Sand	1.41	0.47
	45~75	88.8	8.2	3.0	Fine Sand	1.48	0.44
	75~110	86.4	8.9	4.7	Loamy Fine Sand	1.51	0.43
	110~135	89.0	8.2	2.8	Fine Sand	1.59	0.42
Milyang Oesan-II (OS-II)	0~15	76.5	11.5	12.0	Sandy loam	1.52	0.44
	15~45	86.2	7.9	5.8	Loamy Fine Sand	1.54	0.43
	45~75	84.2	7.99	7.89	Loamy Fine Sand	1.55	0.40
	75~110	87.6	8.75	3.67	Fine Sand	1.62	0.41
	110~135	85.8	8.94	5.28	Loamy Fine Sand	1.66	0.42
Milyang Samrangjin (SRJ)	0~15	90.4	8.3	1.3	Sand	1.44	0.45
	15~45	91.7	7.7	0.6	Sand	1.52	0.42
	45~75	91.6	8.2	0.2	Sand	1.55	0.29
	75~110	55.5	17.7	26.8	Sandy Clay Loam	1.58	0.40
	110~135	43.1	25.9	31.0	Clay Loam	1.52	0.43

이동 축적된 결과로 판단된다. 적토층의 용적밀도는 1.5 ~ 1.95 g cm⁻³로 조사되었으며 이에 따른 공극율은 최저 0.29에서 최고 0.46으로 모래함량이 증가함에 따라 공극율은 감소하는 것으로 조사되었다 (Table 2).

수분침투율 (Infiltration rate)은 토양지표면을 통하여

토양내로 들어가는 단위시간당 수분량을 의미한다. 수분침투율은 토성과 토양구조 등에 따라 변이가 크며 또한 지표면 식생 등도 영향요인으로 작용한다. 수분침투율은 토양내에 점토함량이 증가하면 감소하며 한편 토양구조가 괴상(blocky)구조인 토양에서는 수분침투율이 증가한다. 일례로

사질 토양의 수분침투율은 30 mm hr^{-1} 이며 양토는 $10 \sim 20 \text{ mm hr}^{-1}$, 그리고 식토는 $1 \sim 5 \text{ mm hr}^{-1}$ 정도다. 각각의 조사 지점의 용적밀도로 충전한 토주로부터 수분침투력을 조사한 결과 모래함량이 약 44% 정도인 북고리 (BG)는 1.23 cm hr^{-1} 정도이나 모래함량이 약 77% 정도인 외삼라-II (OS-II)는 11.5 cm hr^{-1} , 그리고 모래함량이 약 90%인 삼랑진 (SRJ)은 11.9 cm hr^{-1} 로 증가하였다 (Fig. 3).

한편 각각의 조사지점의 층위별 포화수리전도도를 조사한 결과 (Fig. 4) 점토함량이 높은 금강변 북고리의 경우 지표면으로부터 깊이가 깊어짐에 따라 포화수리전도도 감소하는 경향을 보이고 있으나 반면 창포리 (CP)의 경우 토양 깊이와 상관없이 토층내 모래와 점토함량에 따라 포화수리전도도 변한다. 그러나 삼랑진 (SRJ)에서와 같이 토양이 깊어짐에 따라 점토함량도 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 토양의 경우 점토가 용탈된 토양층에서는 포화수리전도도가 증가하나 점토가 집적된 토양하층부에서는 포화수리전도도가 급격히 감소하는 경향을 보인다. 따라서 준설토가 적치된 하천둔치의 포화수리전도도는 적치 기간과 적

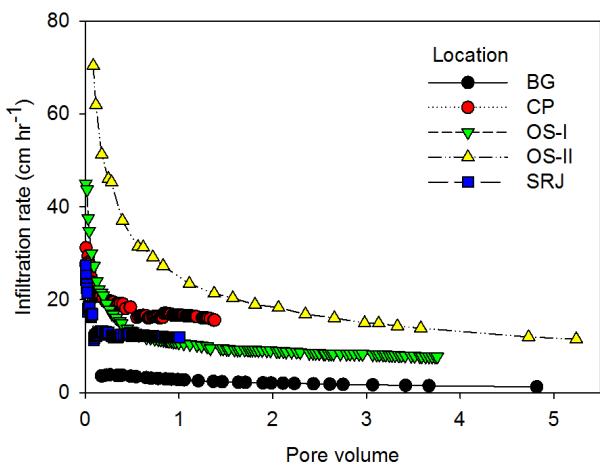


Fig. 3. Measured infiltration rates of the top 15cm of soils for five terraces located at Geum river and Nakdong river.

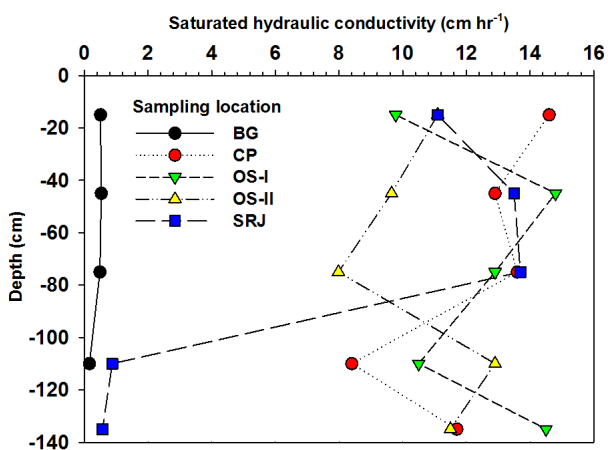


Fig. 4. Saturated hydraulic conductivities of soils with depth for five terraces along Geum river and Nakdong river.

치 기간 중 강수량에 의한 점토입자 등의 이동 특성에 의해 영향을 받을 것으로 판단한다.

각각의 조사된 지점에서 조사 깊이별 모래함량과 포화수리전도도를 비교하여 보았다 (Fig. 5). Fig. 5에서 보는 바와 같이 모래함량이 약 55% 이하인 경우 포화수리전도도는 $0.16 \sim 0.51 \text{ cm sec}^{-1}$ 인 반면 모래함량이 80% 이상인 양질 사토에 해당하는 경우 포화수리전도도는 최저 8 cm hr^{-1} 이상으로 급격히 증가한다. 따라서 하천둔치의 경우 수리특성은 준설토 내 토양입자 분포특성과 적치 후 적치기간과 적치기간 중 강수량 특성과 밀접한 관련이 있다.

조사된 지점별 지표층 15cm 깊이에서 수분침투율과 포화수리전도도를 비교한 결과 수분침투율과 포화수리전도도는 토양내 모래함량과 따라 정의 상관관계를 조사되었다 (Fig. 6).

하천 둔치 토양깊이별 중금속과 양이온 분포 특성을 살펴보면 중금속은 모든 하천둔치토양에서 비소 (As)가 조사

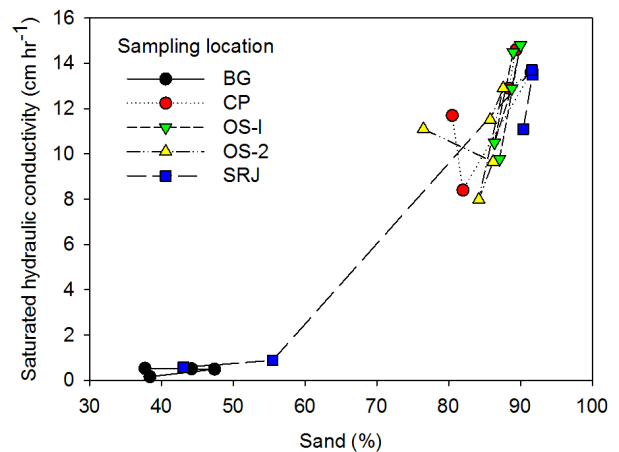


Fig. 5. Saturated hydraulic conductivities of soils with proportion of sand in soils for five terraces along Geum river and Nakdong river.

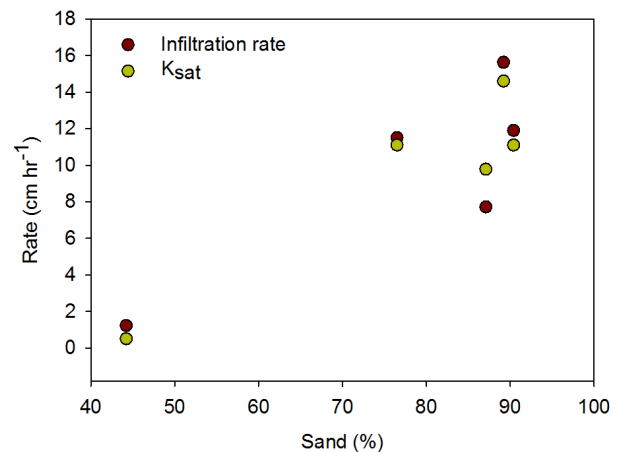


Fig. 6. Correlation between infiltration rate and saturated hydraulic conductivity of the top 15 cm of soils for five terraces located at Geum river and Nakdong river.

Table 3. Distribution of cations and heavy metals with depth on the terraces at Geumgang river and Nakdong river.

Location	Depth (cm)	As	Ni	Pb	Zn	Al	Fe	Mn	Na	K	Ca	Mg
BG	0~15	0.35	1.00	0.85	-	6.00	2.70	0.20	89.1	-	35.1	8.85
	15~45	0.40	2.60	0.25	-	7.75	4.45	0.10	105	0.95	24.2	8.50
	45~75	0.40	-	-	-	-	14.2	6.50	75.6	50.5	97.9	40.3
	75~95	0.45	1.40	1.45	-	2.45	1.00	1.85	45.8	-	52.1	15.3
	Average	0.40	1.67	0.85	-	5.40	5.59	2.16	78.9	25.7	52.3	18.2
CP	0~15	0.35	2.00	-	-	-	1.70	-	-	-	23.6	0.65
	15~45	0.40	1.10	-	-	4.05	1.50	-	-	-	27.6	0.95
	45~75	0.50	1.80	-	0.80	0.05	0.95	-	1.10	-	13.1	0.60
	75~110	0.35	-	-	-	6.25	4.60	4.75	5.00	4.70	25.4	3.40
	Average	0.40	1.63	-	0.80	3.45	-	4.75	3.1	4.70	22.4	1.40
OS-I	0~15	0.35	-	-	-	-	0.55	-	2.55	-	30.9	2.80
	15~45	0.35	-	-	-	-	0.10	-	-	-	-	-
	45~75	0.35	0.80	-	-	-	0.20	-	-	-	-	-
	75~110	0.30	0.80	-	-	-	0.25	-	-	-	-	-
	110~135	0.25	0.75	-	-	-	0.15	-	-	-	-	-
Average	-	0.78	-	-	-	-	-	2.6	-	30.9	2.80	
OS_II	0~15	0.45	0.80	-	-	20.0	13.9	0.55	6.00	-	41.6	4.40
	15~45	0.35	0.25	-	-	4.50	2.95	0.15	-	-	-	-
	45~75	0.45	1.05	-	-	-	0.30	-	4.65	-	40.4	2.25
	75~110	0.45	1.40	-	-	0.60	0.35	-	5.90	-	34.8	1.60
	110~135	0.40	0.80	-	-	1.00	0.35	-	4.60	-	33.3	2.25
Average	0.42	0.86	-	-	6.53	-	-	5.3	-	37.5	2.63	
SRJ	0~15	0.50	1.45	0.70	-	-	0.75	-	0.70	-	25.3	-
	15~45	0.35	1.30	-	-	3.40	2.90	-	-	-	33.1	1.20
	45~75	0.60	1.70	-	-	2.30	1.30	-	1.60	-	33.2	2.50
	75~110	0.35	-	-	-	3.20	1.30	1.20	17.8	-	35.3	6.60
	110~135	0.50	1.05	-	-	-	0.80	2.90	39.7	-	69.9	15.0
Average	0.46	1.38	0.70	-	2.97	1.41	-	15.0	-	39.4	6.33	

되었으며 분포는 니켈 (Ni, Ave. 1.26 mg kg⁻¹) > 비소(As, Ave. 0.420 mg kg⁻¹) > 납(Pb, Ave. 0.775 mg kg⁻¹) > 아연 (Zn, Ave. 0.800 mg kg⁻¹) 순이었으며 알카리토금속이온에 해당하는 Ca와 Mg 이온은 외삼리-I 을 제외한 조사지점 모든 깊이에 존재하는 것으로 조사되었다 (Table 3). 그리고 점토함량이 높은 식양토와 식토인 부여 복고리 조사지점의 경우 Na가 다른 조사 지점의 평균보다 5.26 내지 30.3배 정도 높게 잔류하는 것으로 조사되었다. 특히 낙동강 삼랑진 하천둔치의 경우 사질식양토와 식양토에 해당하는 토층에서 Na 함량은 17.8과 39.7 mg kg⁻¹이나 사질토양에 해당하는 0~75 cm 깊이의 토양에는 0~1.3 mg kg⁻¹으로 나타나 하천둔치 토층에서 Na 함량은 토양내 점토함량에 직접적인 영향을 받은 것으로 나타났다.

Conclusion

하천둔치의 토양단면조사 결과 준설토 적치층에서는 토양구조 발달이 없는 무형구조 (massive)로 모래함량은 토양의 깊이가 깊어짐에 따라 감소하나 반대로 점토함량은 깊이가 깊어짐에 따라 증가하는 것으로 조사되었다. 지표면에서 수분침투력과 포화수리전도도는 하천둔치 토층 내 모래함량과 비례하며 일반적으로 포화수리전도도는 적치 기간과 적치 기간 중 강수량에 의한 점토입자 등과 밀접한 관련이 있다. 하천 둔치 토양의 모래함량에 따른 수분침투율과 포화수리전도도의 상관 조사한 결과 정의 상관관계를 나타내었다. 하천 둔치 토양깊이별 중금속과 양이온 분포 특성을 살펴보면 중금속은 모든 하천둔치토양에서 비소 (As)가 조사되었으며 분포는 니켈 (Ni) > 비소 (As) > 납 (Pb) > 아연 (Zn) 순이었으며 알카리토금속이온에 해당하는 Ca와 Mg 이온의 토양내 분포특성은 토양내 점토함량에 직접적인 영향을 받은 것으로 나타났다.

References

- Ahn, J.H. 2009 Final report for agricultural practices withing the area of river. <http://www.hanriver.or.kr/>
- Azooz, R. H and M.A. Arshad. 1994. Laboratory calibration of pessure transducer-tensiometer system for hydraulic studies. *Can. J. Soil Sci.* 74: 315-319.
- Glenn, B. 2016. Darcy's Law Basics and More <https://bae.okstate.edu/faculty-sites/Darcy/LaLoi/Basics.htm>
- Jung J.H., S.P. Jang, H.I. Kim, Y.T. Jung, K.S. Heo, and H. Park. 1995. Classification of hydrologic soil group for estimation of runoff rate. *The Korean Society of Agricultural Engineers.* 37:12-33.
- Jung K.H., S.O. Hur, Y.K. sonn, C.W. Park, S.K. Ha, and S.J. Jung. 2007. Classification of hydrologic soil group using permeability measurement data. Workshop for effective use of hydrologic soil group. National Institute of Agricultural Science & Technology Press, Suwon, Korea
- MOLIT, 2010. press release (2010.10.9.)
- Reynolds W.D., and D.E. Elrick. 1985. In-situ measurement of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the alphaparameter using the Guelph permeameter. *Soil Sci.* 140:292-303.
- Ryu, J.H., D.Y. Chung, C.H. Yang, S.B. Lee, W.Y. Choi, and S.J. Kim. 2009. Effect of Na ion on changes in hydraulic conductivity and chemical properties of effluent of reclaimed sandy soil column. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42:454-459.
- Walker, W.R. and G.V. Skogerboe. 1987. 1987. Surface irrigation: Theory and practice. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Yoo, S.H., and S.M. Lee. 1988. Laboratory study on changes in hydraulic conductivity and chemical properties of effluent of soil during desalinization. *J. Korean Soc. Soil. Sci. Fert.* 21:3-10.