



## 농촌수로 퇴적토사의 물리화학적 특성 분석 및 재활용 방안 검토

### Analysis Characteristics of Physical - Chemical and Study on the Recycling of Sediment in Rural Canal

박정구\* · 임성윤\*† · 송창섭\*

Park, Jung Koo · Lim Seong Yoon · Song, Chnag Seob

#### ABSTRACT

In Korea, length of irrigation and drain canal is about 98,638 km. In the case of 2011, dredging on the irrigation and drain canal was 7,288 km about 3,290,483 m<sup>3</sup>, cost of dredging was about 5.6 billion won and cost of dredging increases every year. (Korea Rural Community Corporation, 2013)

In the case of land reclamation, the problem of cross-contamination due to leachate after landfill is expected, causing saturation of the landfill site, or complaints of landfill local residents, a number of problems. The ocean landfill is possible if the items of 14 types as defined in the Sea Pollution Prevention Law contained in sediment soil, such as chromium. In terms of cost and labor, it is need to develop a technology utilizing a processing method reasonable sediments for irrigation and drainage canal.

The objective of this study was to analyze the characteristics of the sediment deposited on the irrigation and drain canal. it is to provide basic data for the scheme that can be efficiently recycled sediment deposited on the irrigation and drain canal.

**Keywords:** irrigation, drain, sediment, soil sediment, reclaimed land

#### 1. 서 론

우리나라의 국토면적은 약 9,989,741 ha로 2/3 이상이 임야 등으로 구성되어 있으며, 경작이 가능한 농경지는 국토의 17.4 % 정도인 1,736,798 ha이며, 이 중에서 논이 10.1 %로 1,010,287 ha, 밭이 7.3 %인 726,511 ha로 구성되어 있다. 특히, 답면적의 79.8 %는 수리답으로 808,475 ha가 각종 수리시설의 혜택을 받고 있는 실정이다. 용·배수로의 연장은 약 98,638 km이고, 용수로가 63,333 km, 배수로가 35,295 km로, 2011년의 경우, 용·배수로 준설작업은 7,288 km에 약 3,290,483 m<sup>3</sup>, 배수장 유지지 준설은 29개소에 21,000 m<sup>3</sup> 준설되고 있으며, 준설비용은 약 56억 정도 소요되고 있으며, 매년 준설단가가 증가하는 실정이다 (한국농어촌공사, 2013).

용수로에 유입되거나 퇴적되는 토사의 경우, 상류측이나 외부 유입에 의한 퇴적토사는 비교적 신선하고 오염이 되지 않은 자연토가 대부분이며 이를 제거하거나 재활용하는 경우에는 크게

어려움이 없는 실정이다. 그러나 하류측이나 배수로 또는 오염 물질을 함유한 퇴적토의 경우는 폐기물로 처리되어야 한다.

현재 국내에서는 아직까지 퇴적토사의 오염현황 파악과 정부 차원의 퇴적토사 재활용을 위한 정책 및 오염 퇴적토사의 유효 관리방안이 없는 실정이며, 퇴적토사를 육상매립, 해양투기, 응집 또는 침전처리 후에 탈수하는 것이 대부분이다.

육상매립의 경우 매립 후 침출수에 의한 2차 오염문제가 예상되며, 매립장소의 포화, 매립지 주변 주민의 민원 등 많은 문제점을 야기하고 있다. 해양투기는 퇴적토사에 포함된 시안, 크롬 등 해양오염방지법에 정한 14가지 항목이 배출기준에 만족하는 경우에 해양투기가 가능하다. 따라서 비용, 인력적인 측면에서 단순처리되는 용·배수로의 퇴적토사에 대한 합리적인 처리 방법 및 활용기술을 개발하는 것이 필요한 실정이다.

환경부 “폐기물관리법”에서는 준설토를 엄연히 폐기물로 보고 있으며 준설토에 중금속 등의 물질이 있을 경우에는 그대로 복토재 및 다른 여재로 사용하는 것을 금지하고 있다 (환경부, 2011).

준설토의 식재지 객·복토용 재료로서의 재활용 가능성을 파악하기 위해 일본의 준설토를 대상으로 연구한 결과, 준설토의 유기물함량이 우리나라의 적정기준치보다 높은 것으로 보고하였다 (Kim and Yoon, 2004). 낙동강 하류 및 부산 연안지역의 준설토와 퇴적토 활용을 위한 특성 평가를 통해 하천준설토를 식재지반으로 이용하기 위해서는 염분의 직접적인 제거 및 물리

\* 충북대학교 지역건설공학과

† Corresponding author Tel.: +81-43-261-2572

Fax: +81-43-271-5922

E-mail: soilab73@chungbuk.ac.kr

2014년 7월 21일 투고

2014년 7월 24일 심사완료

2014년 7월 24일 게재확정

적 특성의 개선이 필요하다고 보고하였다(Yi, 2011). 일부 준설 토사에서 카드뮴, 비소 등의 중금속이 오염기준치를 초과하는 것으로 나타났다(Yoon and Jeong, 2008).

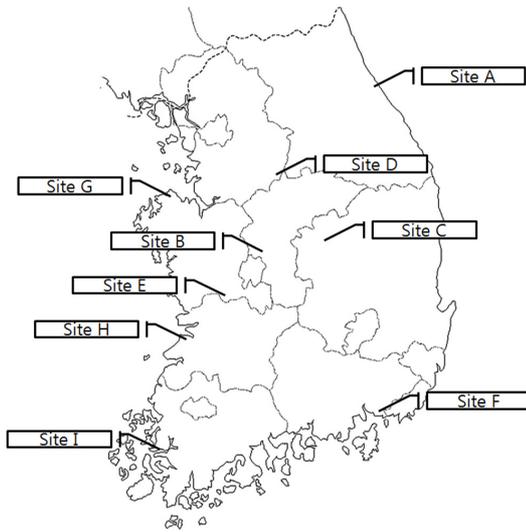
본 연구에서는 지형별 즉, 산지, 평지, 간척지의 용배수로에 퇴적된 토사의 특성을 분석하여 용배수로에 퇴적된 토사를 효율적으로 재활용할 수 있는 방안을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

## II. 재료 및 시험방법

본 연구에서 분석한 시료는 산지와 평지, 간척지에서 각각 채

취하였으며, 각 지형별로 용수로와 배수로로 나누어서 채취하였다. Fig. 1은 시험에 사용된 시료의 채취장소를 보여주며 Site A부터 Site C는 산지지형이며, Site D부터 Site F는 평지지형, Site G부터 Site I는 간척지지형이다. 산지의 경우 강원도 강릉과 충청북도 청원, 경상북도 문경에서 채취하였고, 평지의 경우 경기도 여주와 충청남도 논산, 경상남도 김해에서 채취하였으며, 간척지의 경우는 충청남도 당진과 전라북도 부안, 전라남도 무안에서 시료를 채취하였으며, 채취한 시료에 대한 물리적 특성은 Table 1과 같다.

시료의 유기물함량을 측정하기 위한 강열감량시험은 자연상태의 시료를 노건조하여 유발에서 힘을 들이지 않는 상태로 분쇄



용수로 시료채취



배수로 시료채취

Fig. 1 Sampling point

Table 1 Physical and organic content of sediment

Land Type	Site	Canal Type	sample label	Atterberg Limits (%)		Grain size			OC (%)	USCS
				LL	PI	No.4	No.40	No.200		
Mountain	A	Irrigation	MA-1	41.44	5.05	96.82	51.82	27.44	6.89	SM
		Drain	MA-2	47.83	4.54	86.29	42.53	21.19	8.18	SM
	B	Irrigation	MB-1	58.44	6.12	91.84	44.76	34.99	7.27	SM
		Drain	MB-2	36.33	3.29	91.01	74.06	56.39	7.38	ML
	C	Irrigation	MC-1	N.P	N.P	86.43	40.72	4.06	2.66	SP
		Drain	MC-2	35.72	3.94	89.61	32.59	11.90	3.54	SM
Flatten	D	Irrigation	FA-1	30.60	2.57	98.19	67.03	37.56	4.33	SM
		Drain	FA-2	36.35	4.73	99.70	79.69	55.86	7.53	ML
	E	Irrigation	FB-1	21.67	1.21	98.88	9.49	0.16	1.11	SP
		Drain	FB-2	32.77	5.06	99.53	61.56	35.38	4.74	SM
	F	Irrigation	FC-1	35.55	4.97	84.72	50.42	35.37	6.69	SM
		Drain	FC-2	44.39	9.19	87.53	42.82	29.99	7.72	SM
Reclaimed land	G	Irrigation	RA-1	36.50	2.56	95.27	78.19	37.65	7.09	SM
		Drain	RA-2	25.02	1.79	98.68	93.92	55.93	3.28	ML
	H	Irrigation	RB-1	34.80	4.41	88.34	47.97	13.66	3.29	SM
		Drain	RB-2	33.14	4.75	91.43	61.52	32.65	3.11	SM
	I	Irrigation	RC-1	48.36	3.50	82.10	35.98	17.20	8.97	SM
		Drain	RC-2	41.98	5.45	92.07	54.73	34.53	6.55	SM

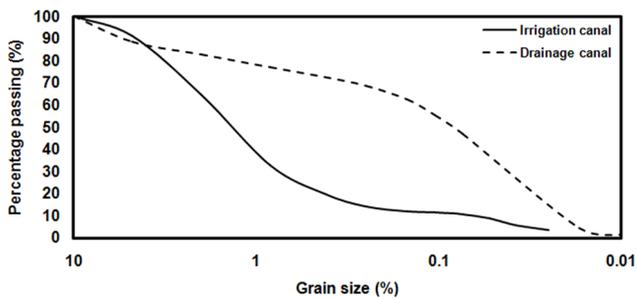
OC: Organic Content

후 No.10체 (2 mm이하)의 통과분을 사용하였고, 통과시료를 다시 건조로에서 105 °C로 향량이 될 때까지 가열한 뒤 전기로에서 800 °C 상태로 3시간 동안 강열하며, 50 °C 이하로 전기로 내에서 방치 후 꺼내어 테스케이터에서 상온으로 식혀 무게를 측정하였다. 본 논문에서 유기물 함량을 측정한 이유는 유기물 함량이 높을수록 재활용 측면, 즉 성토재나 뒤채움재료로 사용하기가 부적절하기 때문이다. 중금속 함량시험은 카드뮴 (Cd), 구리 (Cu), 비소 (As), 납 (Pb), 수은 (Hg), 6가크롬 (Cr<sup>6+</sup>)에 대하여 시험하였다.

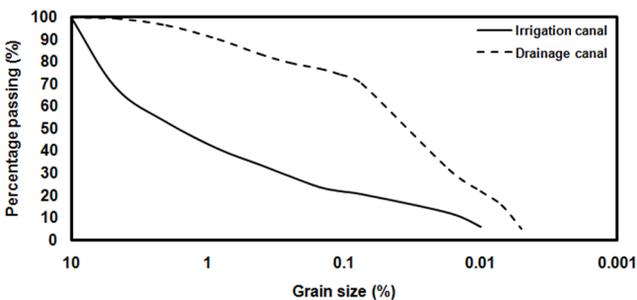
### III. 결과 및 고찰

#### 1. 지형별 입도분포

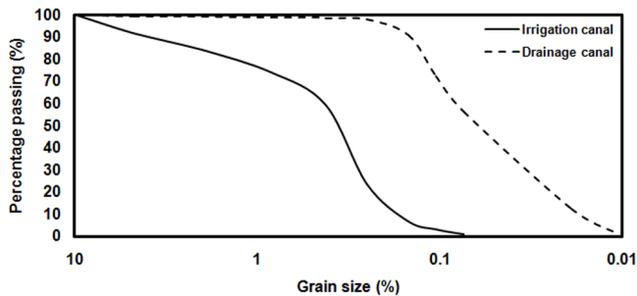
Fig. 2는 산지와 평지, 간척지의 대표적인 곳의 입도분포곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 산지와 평지, 간척지 모든 지형에서 용수로가 배수로보다 큰 입자로 구성되어 있는



(a)The grain-size distribution curve of mountain (Site B)



(b)The grain-size distribution curve of flatten (Site F)



(c)The grain-size distribution curve of reclaimed land (Site G)

Fig. 2 Grain-size distribution curve with land type

Table 2 Coefficient of uniformity and curvature used samples.

Sample label	D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>60</sub>	Cu	Cg
MA-1	0.02	0.14	0.56	28.00	1.75
MA-2	0.02	0.24	0.95	47.50	3.03
MB-1	0.01	0.02	0.10	13.89	0.45
MB-2	0.01	0.02	1.10	154.93	0.04
MC-1	0.16	0.30	0.85	5.31	0.66
MC-2	0.06	0.40	1.25	20.83	2.13
FA-1	0.01	0.04	0.33	33.00	0.48
FA-2	0.01	0.02	0.13	18.57	0.17
FB-1	0.33	0.95	1.80	5.45	1.52
FB-2	0.01	0.03	0.40	47.06	0.30
FC-1	0.01	0.05	0.82	91.11	0.29
FC-2	0.01	0.10	1.30	130.00	0.77
RA-1	0.01	0.05	0.25	25.00	0.81
RA-2	0.01	0.03	0.06	6.00	1.04
RB-1	0.04	0.23	0.70	19.44	2.10
RB-2	0.02	0.06	0.37	19.47	0.51
RC-1	0.03	0.32	1.40	42.42	2.22
RC-2	0.02	0.06	0.36	22.50	0.67

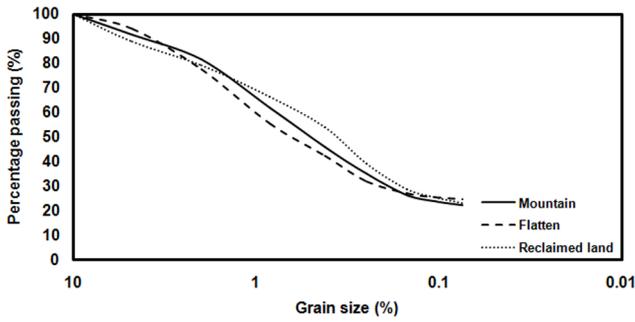
것을 알 수 있다. 용수로와 배수로의 입도 크기 차이는 산지에서 평지, 간척지로 갈수록 큰 차이를 보이며, 산지의 경우는 주위의 환경으로 인해 수로로 유입되는 토사가 많아 용수로와 배수로의 입자차이가 크게 나타나지 않는 것으로 판단된다. 용수로와 배수로의 입도분포가 차이가 나는 이유는 배수로의 경우 논에서 발생하는 세립분이 수로로 유입되기 때문이라 사료된다.

입도양호의 판정은 균등계수 (Cu)를 6을 기준으로 판정하며, Cu>6 일 경우는 양입도이며, Cu<6 일 경우는 빈입도로 판정한다. 지형별로 입도의 양호를 알아보면 산지와 평지, 간척지 모든 지형에서 80 %이상이 빈입도를 가지는 것으로 나타났으며, 균등계수 및 곡률계수는 Table 2와 같다.

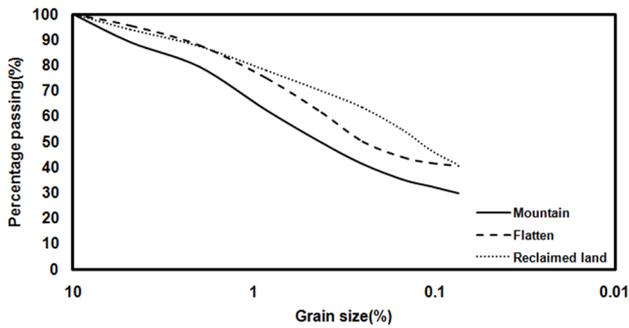
입도분포의 판정은 곡률계수 Cg를 1과 3을 기준으로 판정하며, 1<Cg<3 일 경우는 양호하다고 보며, 그 외의 경우는 불량하다고 판정한다. 본 연구에서 산지는 약 30 %의 양호한 입도분포를 보이며, 평지는 약 20 %의 양호한 입도분포를 보인다. 간척지에서는 양호한 입도분포와 불량한 입도분포가 각각 50 %씩 나타나고 있다.

#### 2. 수로별 입도분포

Fig. 3은 수로별로 용수로와 배수로의 입도분포곡선을 나타낸 것이다. 용수로에서는 산지와 평지, 간척지에서의 입도크기 차이가 크게 나타나진 않지만 배수로의 경우 지형에 따라 입도크기의 큰 차이를 보이며, 특히 산지와 간척지간의 입도크기 차이가



(a) The grain-size distribution curve of irrigation canal



(b) The grain-size distribution curve of drainage canal

Fig. 3 Grain-size distribution curve with canal

크게 나타났으며, 이는 산지와 평지의 경우 논의 가지고 있는 세립분이 산지에 비해 더 많기 때문으로 판단된다.

입도의 양호를 알아보면 용수로에서는 약 80 %가 양입도를 나타내며, 약 20 %가 빈입도를 나타낸다. 배수로에서는 약 90 %의 양입도를 나타내고, 약 10 %의 빈입도를 나타낸다. 입도 분포는 용수로에서 약 40 %의 양호한 입도분포를 보이며, 배수로에서는 약 20 %의 양호한 입도분포를 보인다.

수로별로 통일분류법으로 분류된 흙의 종류를 알아보면 용수로에서는 SP와 SM의 흙이 나타나고, 그 중 SM이 80 %를 차지하고 있다. 배수로에서는 SM, ML의 흙이 나타하고, 역시나 SM이 대부분으로 약 70 %를 차지하고 있다.

### 3. 유기물함량

강열감량법으로 시험된 유기물함량을 Fig. 4와 Fig. 5와 같이 지형별과 수로별로 나타냈다. 지형별 유기물함량은 산지에서 5.99 %로 가장 큰 유기물함량을 보였으며, 평지와 간척지에서는 비슷한 수치로 산지보다 낮은 유기물함량을 보였다. 이와 같은 결과는 산지의 수로에서는 평지와 간척지의 수로보다 나뭇잎과 나뭇가지 등 불순물이 수로로 유입되는 양이 많기 때문에 이러한 수치가 나타난 것으로 예측된다.

수로별 유기물함량은 용수로에서 5.37 %, 배수로에서 5.78 %로 비슷한 수치를 보였지만 배수로에서 조금 더 큰 수치를 보였다.

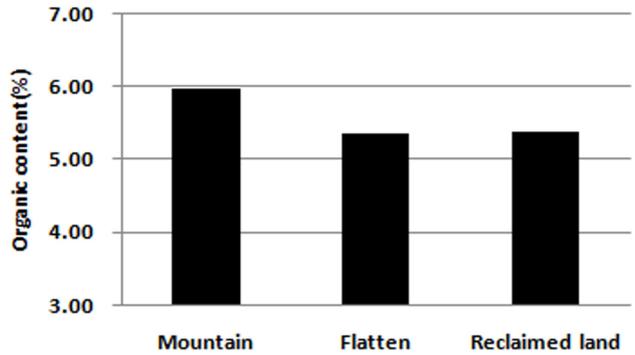


Fig. 4 Organic content with land type

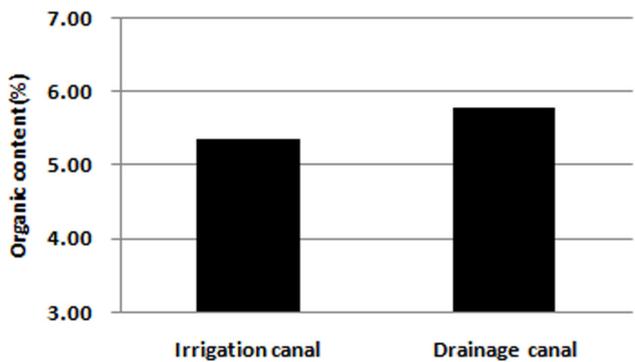


Fig. 5 Organic content according to rural canal

### 4. 중금속함량

중금속 함량시험은 카드뮴 (Cd), 구리 (Cu), 비소 (As), 납 (Pb), 수은 (Hg), 6가크롬 (Cr<sup>6+</sup>) 등 6개 항목에 대하여 시험하였다.

토양오염우려기준이란 사람의 건강·재산이나 동물·식물의 생육에 지장을 줄 우려가 있는 토양오염의 기준을 말하며, 토양오염대책기준이란 우려기준을 초과하여 사람의 건강 및 재산과 동물·식물의 생육에 지장을 주어서 토양오염에 대한 대책이 필요한 토양오염의 기준을 의미한다. 토양오염우려기준과 토양오염대책기준은 1지역부터 3지역까지로 구분하는데, 1지역은 측량, 수로조사 및 지적에 관한 법률에 따른 지목이 전, 답, 과수원, 목장용지, 광천지, 대(주거의 용도), 학교용지, 구거, 양어장, 공원, 사적지, 묘지인지역과 어린이 놀이시설(실외 설치)부지를 말하고, 2지역은 측량, 수로조사 및 지적에 관한 법률에 따른 지목이 임야, 염전, 대(1지역 외), 창고용지, 하천, 유지, 수도용지, 유원지, 종교용지 및 잡종지를 말하며, 3지역은 측량, 수로조사 및 지적에 관한 법률에 따른 지목이 공장용지, 주차장, 주유소용지, 도로, 철도용지, 제방, 잡종지(2지역 외)를 말한다.

지형별의 중금속함량은 토양오염우려기준과 토양오염대책기준에 모두 만족하여 오염이 우려되거나 대책이 필요하지 않으며, 6가크롬의 경우 모든 지형에서 검출되지 않았고, 대부분의 지형

**Table 3** The worrisome levels of soil contamination and the standards for measure against soil contamination in South Korea (2009, 10)

	The worrisome levels of soil contamination			The standards for measure against soil contamination		
	Area 1	Area 2	Area 3	Area 1	Area 2	Area 3
Cd (mg/kg)	4	10	60	12	30	180
Cu (mg/kg)	150	200	2000	450	1500	6000
As (mg/kg)	25	50	200	75	150	600
Pb (mg/kg)	200	400	700	600	1200	2100
Hg (mg/kg)	4	10	20	12	30	60
Cr <sup>6+</sup> (mg/kg)	5	15	40	15	45	120

**Table 4** Heavy metal contents according to land type

	Mountain	Flatten	Reclaimed land
Heavy metal (mg/kg)			
Cd	2.11	2.01	1.64
Cu	20.86	22.05	11.54
As	3.54	1.33	0.78
Pb	11.04	15.14	12.02
Hg	0.03	0.06	0.04
Cr <sup>6+</sup>	Non-detection	Non-detection	Non-detection

**Table 5** Heavy metal contents according to canals

	Irrigation canal	Drainage canal
Heavy metal (mg/kg)		
Cd	1.91	1.93
Cu	18.40	17.90
As	2.26	1.44
Pb	11.62	13.84
Hg	0.04	0.05
Cr <sup>6+</sup>	Non-detection	Non-detection

에서 비슷한 중금속함량을 보였지만 산지지형에서의 비소함량이 다른 지형에 비해 높게 나타났고, 간척지지형에서의 구리함량이 산지지형이나 평지지형보다 다소 낮게 나타났다.

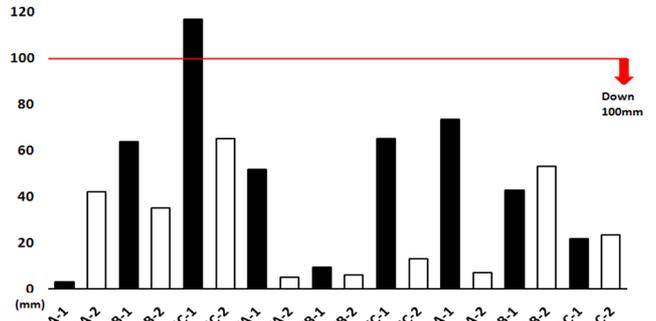
수로별로의 중금속함량 역시 토양오염우려기준과 토양오염대책기준의 범위 안에 들어가 있으며, 6가크롬은 용수로와 배수로 모두에서 검출되지 않았고, 구리와 비소를 제외한 모든 항목에서 용수로보다 배수로에서 다소 높은 함량을 나타냈다.

### 5. 재활용 적용 가능성

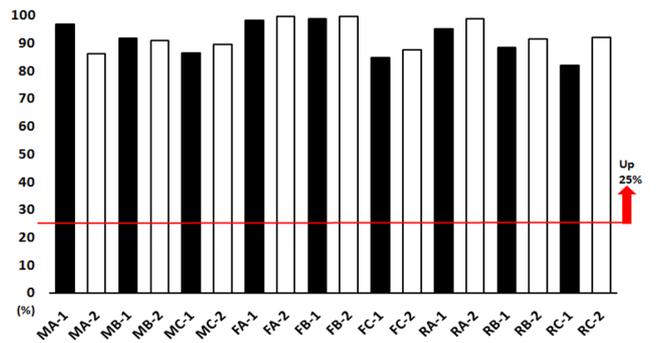
용배수로에 퇴적된 토사의 성토재료로서의 재활용 가능성을 평가하기 위하여 고속도로공사 전문시방서 (한국도로공사, 2009)의 품질기준을 대상으로 적용성을 평가하였으며 품질기준은 Table 6과 같다.

**Table 6** Quality standard of embankment and backfill materials

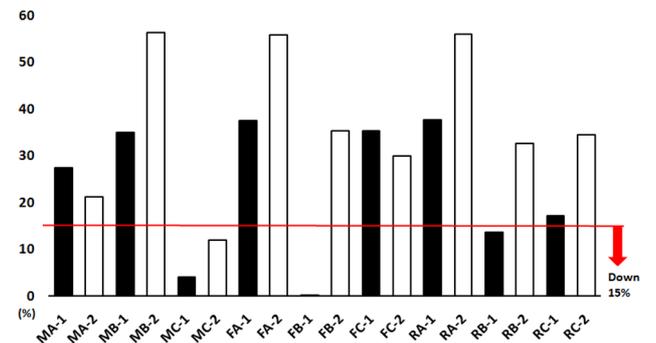
	Subgrade	Remarks
	soil	
Maximum dimension (mm)	less than 100	-
Passing by sieve of 5 mm (%)	25~100	KS F 2302
Passing by sieve of 0.08 mm (%)	less than 15	KS F 2301, KS F 2309
Plastic Index (PI)	less than 10	KS F 2303



**Fig. 6** Maximum dimension



**Fig. 7** Passing by sieve of 5mm



**Fig. 8** Passing by sieve of 0.08mm

품질기준의 항목 중 최대치수는 산지지형의 Site C 용수로를 제외하고는 모두 만족하며, 5 mm체 통과율과 소성지수는 모든 지형과 Site의 용·배수로에서 만족하는 것으로 나타났다. 그러나, 하지만 0.08 mm체 통과율의 경우는 산지지형의 Site C 용·배수로를

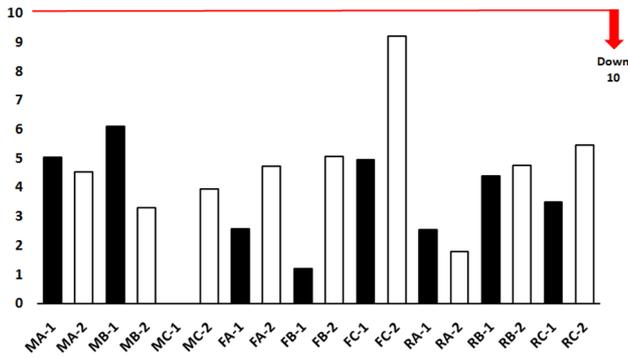


Fig. 9 Plastic Index

비롯한 4개의 지점에서만 품질기준을 만족하는 것으로 나타났으며 각 시료에 대한 품질기준 시험결과는 Fig. 6~Fig. 9와 같다.

모든 품질기준을 종합해보면, 산지지형의 Site C 배수로와 평지지형의 Site E 용수로, 간척지지형의 Site H 용수로만이 흙쌓기 및 뒤채움용 재료의 품질기준에 만족하는 것으로 나타났다.

#### IV. 결 론

1. 지형별로 통일분류법으로 분류된 흙의 종류는 대부분 SM인 실트로 모래로 분류되었으며, SP와 ML도 적은 비율로 나타났다. 수로별로의 통일분류법 결과 역시 대부분 SM으로 분류되었고, 용수로에서는 적은 비율로 SP, 배수로에서는 ML이 분류되어 나타났다.

2. 입도분포곡선을 통하여 지형별로 나누었을 때 간척지지형의 용수로와 배수로에서 가장 작은 입도의 크기를 나타내며, 평지지형과 산지지형 순으로 입도의 크기가 커지는 것이 나타났다. 수로별 입도분포곡선을 통해서는 배수로의 입도 크기가 용수로의 입도 크기보다 작은 것으로 나타났고, 모든 지형의 용수로에서는 비슷한 입도분포곡선이 나타났지만, 배수로의 경우는 산지지형과 평지지형, 간척지지형 순으로 입도의 크기가 점점 작아지는 것으로 나타났다.

3. 입도분포곡선을 통해 알 수 있는 입도의 양호 판정은 용수로와 배수로를 포함한 18개 지점에서 90%에 육박하는 지점이 양입도로 판정되었으며, 입도분포는 30%정도만 양호한 입도분포를 가진 것으로 나타났다.

4. 유기물함량은 지형별로 봤을 때 산지지형에서 가장 큰 유기물 함량이 나타났으며, 평지지형과 간척지지형에서는 비슷한 유기물 함량이 나타났다. 수로별로 봤을 때는 용수로와 배수로에서 비슷한 유기물 함량이 나타났지만, 배수로에서 용수로보다 약 0.5%정도 큰 수치가 나타났다.

5. 흙쌓기 및 뒤채움용 재료로의 재활용 가능성은 지형과 수로별로 나는 18개의 지점 중 3개의 지점에서만 가능한 것으로 나타났으며, 중금속함량은 토양환경보전법 (환경부, 2011)의 토양오염우려기준과 토양오염대책기준에 모두 만족하는 것으로 나타났다.

본 논문은 농림수산식품기술기획평가원 공동연구사업(과제번호 : 2012031252)의 지원에 의해 이루어진 것 임.

#### REFERENCES

- Kim, C. S., G. L. Yoon and H. G. Park, 2004. A Study on Bulking Change of Dredged Soils by Pump Dredger, *Journal of Korean Geo-Environmental Society*, Vol.5, No.4, 5-11 (in Korean).
- Expressway Construction Guide Specification, 2009. Korea Expressway Corporation.
- Soil Environment Conservation Law, 2011. Ministry of Environment.
- Yi, Y. M., U. S. Yeo, D. H. Oh and K. J. Sung, 2011. Annual Changes in *Scirpus planiculmis* and Environmental Characteristics of the Nakdong River Estuary, *Journal of Korean wetlands society*, Vol.13 No.3, 567-579 (in Korean).
- Yoon, G. L. and W. S. Jeong, 2008. Assessment of Contamination of Harbor Dredged Materials for Beneficial Use, *Journal of the Korean geotechnical society*, Vol.24, No.5, 15-25 (in Korean).
- Report of the Amount of Dredging for the Canal, 2013. Korea Rural Community Corporation.