

연약지반에서 수평배수재용 순환골재와 쇄석의 막힘 거동

이달원^{1*} · 노재진²

¹충남대학교 지역환경토목학과, ²충남대학교 대학원

Clogging behavior of recycled aggregates and crushed stone as horizontal drains in soft ground

Dal-Won Lee^{1*}, Jae-Jin Noh²

¹Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Department of Agricultural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Received on 2 August 2013, revised on 29 August 2013, accepted on 29 August 2013

Abstract : In this study, laboratory model test carried out to present the suitable range of particle size distribution and clogging behavior of recycled aggregates and crushed stone as horizontal drains in soft ground. The recycled aggregates and crushed stone showed clogging phenomenon because the top fill material and bottom clay inflow into the horizontal drains. The pp mat was the most effective method to minimize clogging phenomenon. The horizontal coefficient of permeability in case of installing the pp mat showed largely 2.1 times more than the case of not installing. When the pp mat is not installing, the thickness of fine grained soil inflow into the horizontal drains showed 6.7~13.3% range in top fill material and 3.3~6.7% range in bottom clay. Overall, the reduction of the discharge capacity by fine grained soil inflow showed small in recycled aggregates and crushed stone. Also, the appropriate criterion range of particle size distribution is presented to make use of a horizontal drains in soft ground on the basis of laboratory test.

Key words : Recycled aggregates, Crushed stone, Clogging, Coefficient of permeability, Particle size distribution

I. 서론

최근 국토의 효율적인 이용을 위해서 항만공사와 배후단지 조성 사업 등의 연약지반의 개발이 광범위하게 진행되고 있고, 이들 조성 사업에 막대한 양의 성토재료의 수요가 요구되고 있으나 천연자원의 고갈과 환경파괴로 인해 많은 문제점이 대두되고 있다.

연약지반 상에 축조되는 대규모 단지개발과 도로 건설 시 압밀침하를 촉진하기 위해서 수평배수재로서 모래를 시공하는 것이 일반화 되어 있다. 그러나 모래의 채취 규제에 따라서 투수성이 큰 재료의 확보가 상당히 어렵고 무분별한 채취로 인하여 생태환경의 파괴 및 천연적인 자연경관의 손상 등의 환경적 문제가 발생하고 있다. 따라서 수요급증으로 인한 단가 상승과 자원고갈로 인한 환경적, 경제적

문제를 해결하기 위해서 모래 대신 이용할 수 있는 순환골재 및 쇄석 등의 대체 재료 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다(Lee and Lim, 2010).

도시의 재개발에 따른 노후화된 구조물 해체 시 발생하는 많은 양의 건설 폐기물의 양은 매년 증가하고 있지만, 아직까지 재활용하기 위한 연구가 부진하여 단순히 매립하거나 폐기처분하여 국토의 오염뿐만 아니라 심각한 환경문제로 대두되고 있다. 따라서 연약지반에 대한 효과적인 개량뿐만 아니라 환경적으로 무해하고 가용 건설 폐기물을 발굴하여 건설재료로 활용하기 위한 많은 관심과 연구가 모아지고 있다(Kim et al., 2001; Lee et al., 2009).

건설폐기물 발생량 중 순환골재 생산원료인 폐 콘크리트 발생량은 '09년도에 115,424 ton/year, 폐 아스팔트 콘크리트의 경우 32,612 ton/year 으로 전체 건설폐기물의 63%, 폐 아스팔트 콘크리트는 17.8%를 차지하고 있다(KORAS, 2009).

*Corresponding author: Tel: +82-42-821-5793

E-mail address: dwlee@cnu.ac.kr

폐 콘크리트를 재활용하여 생산되고 있는 순환골재는 국내의 유수의 학회 연구보고 결과, 환경성 및 활용성에 대한 가치가 높게 평가되고 있다.

2003년 12월 건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률『이하 건설폐기물법』을 제정하여 건설현장에서 발생하는 건설폐기물중 순환골재 사용의 입법화가 가능해졌고, 그 이후 폐 콘크리트를 이용한 연구는 매년 꾸준히 증가하고 있는 실정이다.

2009년부터 순환골재 의무사용 건설공사를 도로법, 국토계획 및 이용에 관한 법률 시행령, 산업용지 및 개발에 관한 법률, 하수도법, 택지개발 촉진법에 의해 구분하고, 도로보조기층용으로 순환골재 소요량의 15%를 사용하도록 법률로서 고시하고 있다(MLTM, 2009; ME, 2009).

건설폐기물처리 통계상 재활용이 97.5%에 이르고 있으나, 건설폐기물의 대부분은 성토 및 복토(약 56%), 되메우기 및 뒤채움용(10.9%) 등 저급용도(75.2%)로 이용되고 있고, 도로기층용, 보조기층용, 콘크리트용, 콘크리트 제품제조용, 아스팔트 콘크리트용, 도로포장 아스팔트용, 수평배수재 등과 같은 고부가가치용도(24.8%)의 재활용 실적은 매우 저조한 실정이다(Kim and Lee, 2012).

그 동안 연직 배수재에 대한 압밀특성과 개량공법 등에 관해서는 많은 연구가 진행되어 왔지만, 수평배수재의 대체공법으로서 순환골재와 쇄석에 관한 수평투수계수 실험, 수평배수재의 막힘 현상 실험 및 품질관리기준 검토 등의 연구는 미약하고, 실내 및 현장시험 사례가 거의 없어 실용화 되지 않고 있다(Lee et al., 2007; Lee, 2008; Lee and Lim, 2010).

따라서 본 연구에서는 연약지반에서 수평배수재로서 순환골재와 쇄석을 사용하였을 경우 막힘 현상에 대한 실내 모형실험을 실시하고, 막힘 현상을 최소화하기 위한 입도 기준 범위를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 사용시료

본 실험에 사용한 모래(해사), 순환골재 및 쇄석은 충남 당진군에서 구입하였다. 시험에 사용된 시료는 최대입경은 모래 2 mm(SA), 순환골재 25 mm(RA25), 쇄석 25 mm(CS25)의 시료를 사용하였다. 투수시험에 사용된 시료의 물리적 특성 및 입경가적곡선은 Fig. 1 및 Table 1과 같다.

모래, 순환골재, 쇄석의 입도분석 결과를 도로 시공시 적용되는 sand mat 시방서 기준과 비교하면 모래(해사)만 적용기준에 만족한다. 그 외의 경우는 조립토가 많이 포함되어 있어 기준에 벗어나 있지만 수평배수재로서 사용가능 여부를 판단하는 것이 목적이므로 투수계수가 상대적으로 큰 재료를 선정하였고 다른 재료와 혼합 없이 사용하였다.

연약지반에서 수평배수재로서 순환골재와 쇄석의 입경별 투수시험을 모래(해사)를 기준으로 비교·분석한 결과, 순환골재의 경우는 2.2~2.9배, 쇄석의 경우는 3.0~3.3배 정도 수평 및 수직투수계수가 더 크게 나타났다(Lee and Lim, 2010).

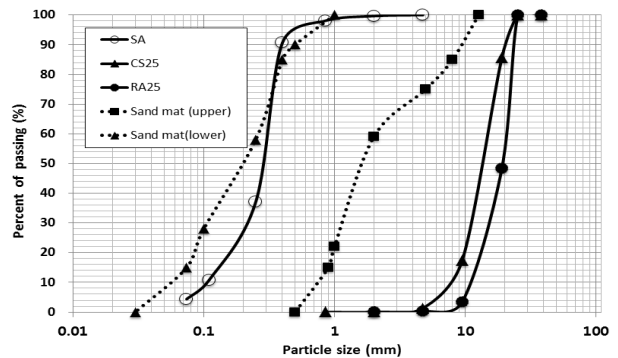


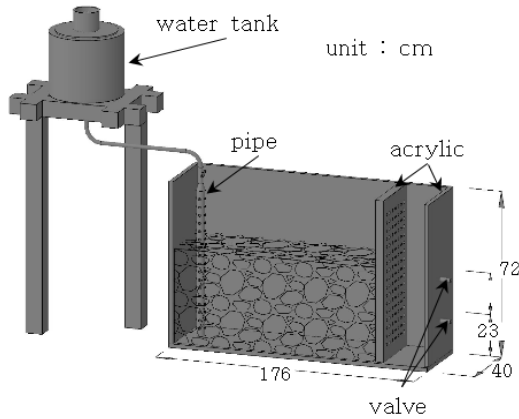
Fig. 1. Grain size accumulation curve.

Table 1. Physical properties of used soil.

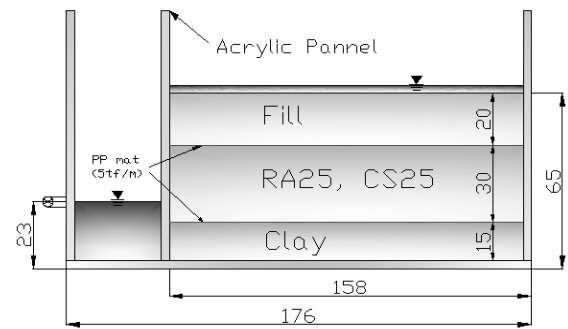
Sample	Symbol	Max. particle size	Passing 5 mm (%)	Passing No.200 (%)	PI	k_h (cm/s)	k_v (cm/s)	D15 (mm)	D85 (mm)	Cu	U.S.C.S
Sand	SA	2 mm	100	4.35	NP	7.82E-02	2.86E-02	0.13	0.36	2.88	SP
Recycled aggregate	RA25	25 mm	0.27	0	NP	2.23E-01	6.24E-02	12.6	23.5	1.83	GP
Crushed stone	CS25	25 mm	1.31	0	NP	2.55E-01	8.60E-02	9	18.8	1.8	GP

Table 2. Physical properties of fill and clay material.

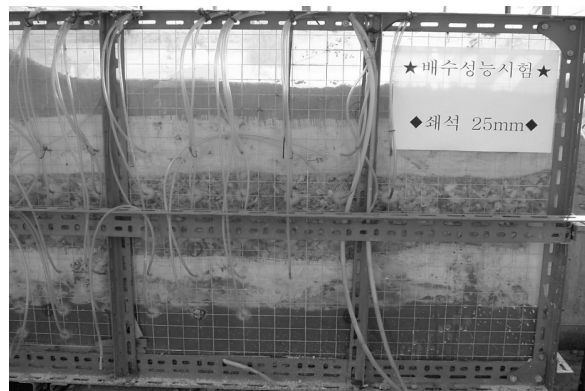
Soil	Passing No.200 (%)	W_n (%)	G_s	Atterberg limits		Shear parameters (UU)		Consolidation test			U.S.C.S
				LL	PI	c (kPa)	P_c (kPa)	C_c	e_0	C_v (cm ² /s)	
Clay	84.4	44.8	2.72	32.89	17.14	29.43	70	0.419	1.184	2.33E-3	CL
Fill material	43.0	14.4	2.55	24.13	3.72	-	-	-	-	-	SM



(a) Cross-section



(b) Types of test



(c) Model photograph

Fig. 2. Apparatus of clogging test.

따라서 기존에 수평배수재로서 사용되어 왔던 모래의 대체 재료로서 순환골재 및 쇄석은 충분한 배수성능을 나타내어, 현장 적용 시 우수한 수평배수재로서 사용가능할 것으로 평가되었다.

수평배수재 막힘 현상에 관한 실내모형시험 시 상부 성토재와 하부 점토재로 사용한 시료의 실내시험 결과는 Table 2와 같다.

2. 수평배수재의 막힘 현상 실험

수평배수층은 하부 점토층과 상부 성토재의 중간층에 존재한다. 따라서 시공장비 운행 및 강우 등에 의해 상부 성토재가 수평배수층 내로 혼입되고, 연약지반 개량시 하부 점토가 혼입되어 막힘 현상이 발생되기 때문에 배수성능이 감소하게 된다.

이에 따라 수평배수재의 막힘 현상 실험을 실시하기 위해

Table 3. Clogging test for various case.

Case	Type
case 1	horizontal drains : RA, CS (30 cm)
case 2	horizontal drains : RA, CS (30 cm) + fill (20 cm)
case 3	horizontal drains : RA, CS (30 cm) + pp mat + fill (20 cm)
case 4	clay (15 cm) + horizontal drains : RA, CS (30 cm) + pp mat + fill (20 cm)
case 5	clay (15 cm) + horizontal drains : RA, CS (30 cm) + fill (20 cm)
case 6	clay (15 cm) + pp mat + horizontal drains : RA, CS (30 cm) + pp mat+ fill (20 cm)

Fig. 3과 같이 높이(H) 72 cm, 폭(W) 40 cm, 길이(L) 176 cm, 배수높이(h) 23 cm로 철재와 아크릴로 제작하여 실험하였다.

유량공급수조에서 조절된 물은 파이프를 통해 상부에 포설된 성토재와 수평배수층에 침투한 후 수평방향으로 배수되도록 하였다. 수평배수재와 성토 사이에 공극수압계를 삽입하고, 공극수압의 값이 일정할 때까지 물을 공급시킨 후에 실험을 실시하였다.

점토와 성토재 포설후 다짐은 각각의 재료에 공극이 생기지 않도록 나무막대를 이용하였다. 상부 성토재는 No.4 체를 통과한 시료를 준비하고, 하부 점토는 현장에서 채취한 연약한 상태로 시험하였다.

시험방법은 Table 3과 같이 6개의 case별로 하부점토의 포설유무, 수평배수재의 상하부에 pp mat (인장강도: 49 kN/m) 포설 유무, 성토재의 포설 유무로 구분하여 막힘 현상을 실험하였다.

case 1은 수평배수재만 30cm 포설하였고, case 2는 수평배수재 30 cm 위에 성토재 20 cm를 포설하였다

case 3는 수평배수재 30 cm 위에 pp mat와 성토재 20 cm를 포설하였고, case 4는 점토 15 cm 상부에 수평배수재 30 cm, pp mat, 성토재 20 cm 순으로 포설하였다.

case 5는 점토 15 cm 상부에 수평배수재 30 cm, 성토재 20 cm 순으로 포설하고, case 6은 점토 15 cm 상부에 pp mat, 수평배수재 30 cm, pp mat, 성토재 20 cm 순으로 포설하고 동일한 유량 공급시 배수시간, 배수량 및 간극수압 변화를 측정하였다.

수평배수시험시 성토재와 점토를 포설할 경우는 순환골재와 쇄석을 통해서만 배수가 허용되도록 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 순환골재와 쇄석의 막힘 현상 평가

수평배수층은 하부 점토층과 상부 성토재의 중간층에 존

재한다. 따라서 시공장비 운행 및 강우 등에 의해 상부 성토재가 수평배수층 내로 혼입되고, 연약지반 개량시 하부 점토가 혼입되어 막힘 현상이 발생되기 때문에 배수성능이 감소하게 된다.

이에 따라 수평배수재의 막힘 현상을 검토하기 위하여 6개의 case 별로 투수계수와 배수량을 비교함으로써 성토재와 점토의 혼입으로 인해 배수성능에 변화를 분석하였다.

수평배수층으로 혼입이 가장 클 경우는 강우시 상부 성토재의 이동이므로 이를 바탕으로 모형실험을 수행하였다. 모형토조 내에 유입되는 강우량은 1일 최대 117 mm/day로 조절한 후 시험을 실시하였다.

실험 결과 투수계수가 작게 측정되었을 경우는 성토재와 점토가 수평배수층내로 혼입되어 막힘 현상이 발생되고 배수성능이 감소하는 것으로 판단하였다.

막힘 현상을 방지하기 위한 대책으로 성토층과 점토층 사이에 pp mat를 포설하여 성토재와 점토의 혼입을 차단할 수 있는지를 확인하였다. 또한 기존 수평배수재로 사용해 왔던 모래의 대체 재료로서 적합한지를 배수성능 측정을 통하여 확인하였다.

Table 4와 Fig. 3(a)는 순환골재와 쇄석을 사용하였을 경우 case별 수평투수계수를 나타낸 것이다.

수평배수재만 포설하였을 경우(case 1)는 수평배수재와 성토재를 포설한 경우(case 2)보다 순환골재에서는 case 1 = 3.7 case 2, 쇄석은 case 1 = 3.1 case 2 배 정도 크게 나타났다.

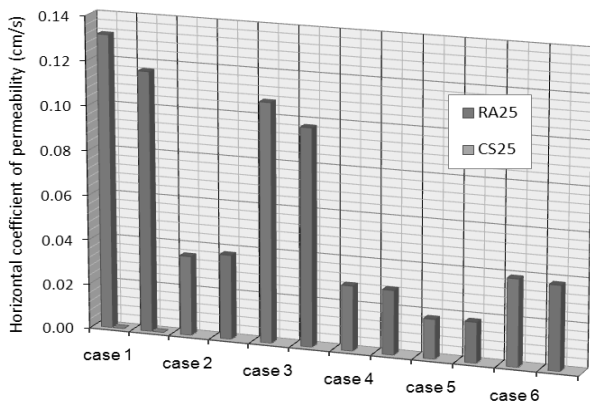
수평배수재와 성토재 사이에 pp mat가 있을 경우(case 3)는 없을 경우(case 2)보다 순환골재에서는 case 3 = 3.0 case 2, 쇄석은 case 3 = 2.6 case 2 배 정도 크게 나타났다.

하부에 점토를 포설하고 수평배수재와 상부 성토재 사이에 pp mat 를 포설한 경우(case 4)는 포설하지 않은 경우(case 5)보다 순환골재에서는 case 4 = 1.64 case 5, 쇄석은 case 4 = 1.59 case 5 배 정도 크게 나타났다.

연약지반 개량시에 점토와 수평배수층 사이에 pp mat가

Table 4. Results of horizontal coefficient of permeability (k_h) and discharge capacity (Q) for various case.

Case	Recycled aggregate 25 mm (RA25)		Crushed stone 25 mm (CS25)	
	k_h (cm/s)	Q (m ³ /day)	k_h (cm/s)	Q (m ³ /day)
Case 1	1.32E-01	3.82E-01	1.17E-01	3.39E-01
Case 2	3.56E-02	1.04E-01	3.78E-02	1.10E-01
Case 3	1.07E-01	3.12E-01	9.76E-02	2.75E-01
Case 4	2.92E-02	8.13E-02	2.90E-02	8.42E-02
Case 5	1.78E-02	5.18E-02	1.83E-02	5.39E-02
Case 6	3.92E-02	1.14E-01	3.81E-02	1.08E-01



(a) Horizontal coefficient of permeability

(b) Clogging of embankment (CS25)

Fig. 3. Comparison of horizontal coefficient of permeability for different case.

없는 경우(case 4)는 점토의 미세한 입자들이 상승하여 수평배수층의 막힘 현상이 발생하였다.

수평배수층 상하부 사이에 pp mat를 모두 제거할 경우(case 5)는 상부 성토재 혼입과 하부 점토 입자의 혼입으로 인해 배수성능 감소가 가장 크게 나타났다.

점토와 성토재가 수평배수층 혼입으로 인한 막힘 현상을 방지하고자 수평배수재 상하부에 pp mat를 포설한 경우(case 6)는 포설하지 않은 경우(case 5)보다 순환골재에서 case 6 = 2.2 case 5, 쇄석은 case 6 = 2.1 case 5 배 정도 크게 나타나서 수평배수층으로 혼입되는 성토재와 점토의 미세 입자를 차단하는 것을 알 수 있다.

위와 같은 case 1~case 6 시험 결과로부터 수평투수계수는 상부 성토재와 하부 점토의 혼입으로 인해 배수성능이 떨어지는 것을 확인할 수 있었고, 이와 같은 방지대책으로 pp mat가 막힘 현상을 최소화 하는데 효과가 있는 것으로 나타났다.

Fig. 3 (b)는 pp mat를 포설하지 않았을 경우 쇄석 25

mm(CS25)에서 상부 성토재가 수평배수재속으로 혼입되는 과정을 나타낸 것이다.

상부 성토재의 미립자가 수평배수층으로 혼입되는 깊이는 순환골재에서는 약 3~4 cm, 쇄석에서는 약 2~3 cm 정도로 이는 수평배수층 두께의 6.7~13.3% 범위로 공극이 감소하였다.

또한, 하부 점토가 수평배수층으로 혼입되는 깊이는 순환골재 약 2 cm 정도, 쇄석은 약 1 cm 정도로 이는 수평배수층 두께의 3.3~6.7% 범위로 공극이 감소하여 전체적으로 토사유입에 의한 순환골재 및 쇄석의 통수단면감소는 작은 것으로 나타났다.

Fig. 4는 순환골재와 쇄석을 사용하였을 경우 case별 배수량을 나타낸 것이다.

일반적으로 시공현장에서 적용되고 있는 case 6을 기준으로 배수량을 비교해 보면, 수평배수재 상하부에 pp mat를 포설한 경우(case 6)는 포설하지 않은 경우(case 5)보다 순환골재와 쇄석 모두 case 6 = 2.1 case 5 배 이상으

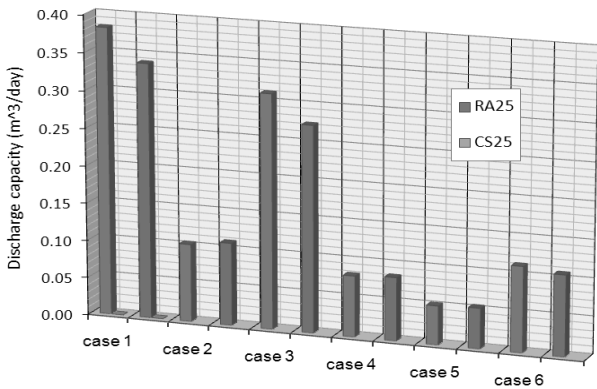


Fig. 4. Comparison of discharge capacity for different case.

로 배수량이 크게 측정되었다.

현장시공시에는 실내모형실험보다 열악한 조건이므로 강우시 성토재와 점토의 미세한 입자의 혼입으로 인해 순환골재 및 쇄석에 막힘 현상이 발생되어 배수성능 감소가 클 것으로 예측되므로 이와 같은 배수성능 감소현상을 해결하기 위한 방법으로 pp mat의 포설이 필요할 것으로 판단된다.

2. 수평배수재의 입도분포 기준

건설폐기물법 제정으로 순환골재 활용을 위한 법적기준은 확보되었지만, 실제 활용을 위해서는 입도기준, 각종 물리적 및 환경적 품질기준 정립이 필요하다.

그러나 아직까지 연약지반 개량을 위한 모래의 대체 재료로서의 순환골재와 쇄석의 입도기준 범위가 정립되지 않아 현장에서 활용성을 감소시키는 원인이 되고 있다.

따라서 한국도로공사의 sand mat 시방기준, 국토해양부에서 제정한 순환골재 품질기준(성토용, 도로보조기층용), 실내모형실험, NAVFAC 기준 (1986)을 참고로 순환골재와 쇄석의 입도관리기준 범위를 제시하였다.

시험결과 순환골재와 쇄석의 물리적 특성은 최대치수, 수정 CBR, 소성지수, 이물질 함유량 등은 순환골재 품질기준 (성토용, 도로보조기층용)에 만족하고 있다. 통일 분류법 (USCS)에 의한 입도는 GP로 나타났고, 균등계수 (Cu)는 1.8로 나타났다.

그리고 sand mat 시방기준인 D_{15} 및 D_{85} 입경에서는 순환골재와 쇄석 모두 만족하지 못하고 있다. 그러나 수평투수계수는 sand mat 시방기준보다 (1×10^{-3} cm/s) 약 220 배 이상 (2.2×10^{-1} cm/s) 크게 나타났고, 수직투수

계수는 sand mat 시방기준보다 (1×10^{-3} cm/s) 약 62배 이상 (6.2×10^{-2} cm/s) 크게 나타나 배수성능의 우수성이 실내모형실험을 통하여 검증되었다(Lee and Lim, 2010).

순환골재와 쇄석은 sand mat 입도 범위에 벗어나므로 막힘 현상이 발생할 것으로 판단되어 실내모형실험과 NAVFAC 기준 (1986)을 참고로 3가지 입도범위기준으로 막힘 현상을 분석하였다.

상부 성토재를 기준으로 고려하면 순환골재는 기준 ①에서만 막힘 현상이 발생되고 쇄석은 ①, ②, ③의 모든 기준에서 막힘 현상이 발생되었다. 하부 점토를 기준으로 고려하면 순환골재와 쇄석 모두 수평배수재에서 막힘 현상이 발생되었다.

$$4 < \frac{D_{15}(RA)}{D_{15}(B)} < 20 \text{-----} \text{①}$$

$$\frac{D_{15}(RA)}{D_{85}(B)} < 5 \text{-----} \text{②}$$

$$\frac{D_{50}(RA)}{D_{50}(B)} < 25 \text{-----} \text{③}$$

여기서, $D_{15}(B)$, $D_{50}(B)$, $D_{85}(B)$: 성토재의 15, 50, 85% 통과하는 직경

$D_{15}(RA)$, $D_{50}(RA)$: 순환골재의 15, 50% 통과하는 직경

$D_{15}(CS)$ $D_{50}(CS)$: 쇄석의 15, 50% 통과하는 직경

이러한 막힘 현상을 최소화하기 위한 대책으로 수평배수층 상하부에 pp mat 를 포설하여 배수성능을 실내모형실험으로 분석한 결과, 순환골재 25 mm와 쇄석 25 mm에 대하여 상하부에 pp mat를 포설한 경우는 포설하지 않은 경우보다 2.1배 정도 배수성능이 향상되었다.

그리고 pp mat를 포설하지 않았을 경우에 상부 성토재와 하부 점토재의 미립자가 수평배수층내로 혼입되는 깊이는 약 1-4 cm 정도로 토사유입에 의한 순환골재 및 쇄석의 통수단면감소는 작은 것으로 나타났다.

순환골재와 쇄석에 대한 입경 범위는 D_{15} , D_{50} , D_{85} 기준으로 상·하한치 범위를 설정하고, 각 입경범위에서 시험에 이용한 수평배수재의 입도곡선 오차를 고려하여 결정하면 Fig. 5와 같다.

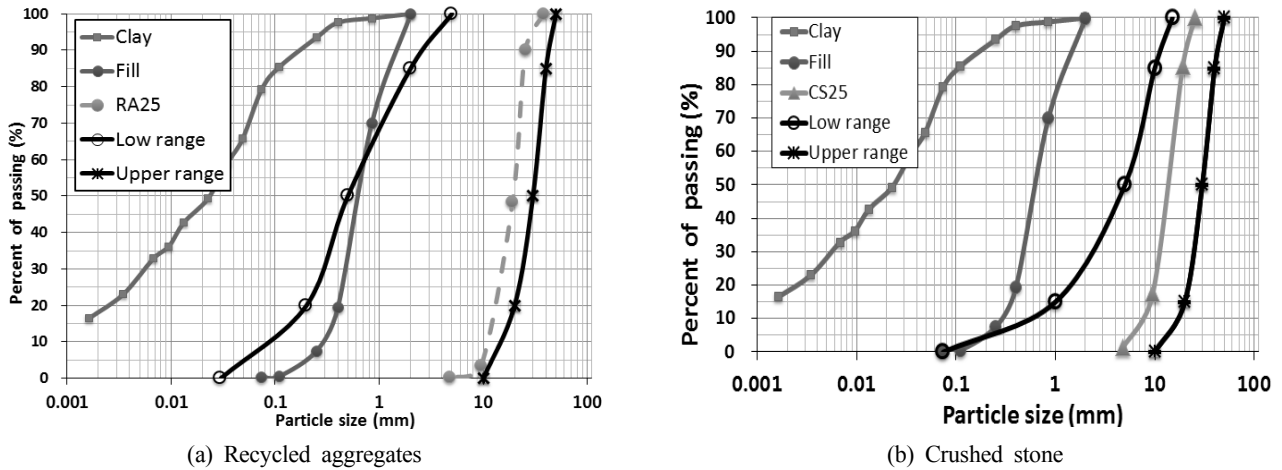


Fig. 5. The range of particle size distribution for various drains.

- 순환골재 : ① $0.2 < D_{15}(RA) < 20$
 ② $0.5 < D_{50}(RA) < 30$
 ③ $2.0 < D_{85}(RA) < 40$
 쇄 석 : ① $1.0 < D_{15}(CS) < 20$
 ② $5 < D_{50}(CS) < 30$
 ③ $10 < D_{85}(CS) < 40$

IV. 결론

본 연구에서는 연약지반에서 수평배수재로서 순환골재와 쇄석을 사용하였을 경우 막힘 현상에 대한 실내모형실험을 실시하고, 막힘 현상을 최소화하기 위한 입도기준 범위를 제시하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 연약지반 개량시에 점토와 수평배수층 사이에 pp mat가 없는 경우 (case 4)는 점토의 미세한 입자들이 상승하여 수평배수층의 막힘 현상이 발생하였고, 수평배수층 상하부 사이에 pp mat를 모두 제거할 경우 (case 5)는 상부 성토재 혼입과 하부 점토 입자의 혼입으로 인해 배수성능 감소가 가장 크게 나타났다.
2. 수평배수층의 막힘 현상을 최소화하기 위한 방법은 수평배수층 상하부에 매트를 포설하는 것으로 나타났다, 실내모형실험 결과, 순환골재와 쇄석에 대하여 상하부에 매트를 포설한 경우 (case 6)는 포설하지 않은 경우 (case 5)보다 2.1 배 이상 배수성능이 향상되었다.
3. 매트를 포설하지 않았을 경우 상부 성토재의 미립자

가 혼입되는 깊이는 2~4 cm 정도로 수평배수층 두께의 6.7~13.3% 범위이고, 하부 점토에서는 1~2 cm 정도로 수평배수층 두께의 3.3~6.7% 범위로 공극이 감소하여 토사유입에 의한 순환골재와 쇄석의 통수단면감소는 작은 것으로 나타났다.

4. 순환골재와 쇄석의 입도기준 범위를 실내시험을 바탕으로 연약지반에서 수평배수재로 활용할 수 있도록 적합한 기준 범위를 제시하였다.

- 순환골재 : ① $0.2 < D_{15}(RA) < 20$
 ② $0.5 < D_{50}(RA) < 30$
 ③ $2.0 < D_{85}(RA) < 40$
 쇄 석 : ① $1.0 < D_{15}(CS) < 20$
 ② $5 < D_{50}(CS) < 30$
 ③ $10 < D_{85}(CS) < 40$

참고 문헌

Kim HT, Kim SK, Kong KY. 2001. Required discharge capacity of horizontal drains for fills on the soft ground. Journal of the Korean Geotechnical Society 17(5):83-96. [in Korean]
 Kim SJ, Lee DW. 2012. Field test of recycled aggregates and crushed stone as horizontal drains. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 54(1):39-45. [in Korean]
 KORAS (Korea Construction Resource Association). 2009. Recycled aggregates and recycled asphalt concrete superiority application casebook. <http://www.koras.org>.
 Lee BJ, Kwon YC, Lee JK. 2007. Practical design of the sand mat considering consolidation settlement properties. Journal of Korean Geoenvironmental Society 8(5):31-38. [in Korean]

- Lee DW, Kim SJ, Oh GH, Lim JH, Lee JJ. 2009. Evaluation of the applicability of recycled aggregates and crush rock as horizontal drains materials for soft ground. Proceedings of the 2009 KSAE Annual Conference. [in Korean]
- Lee DW, Lim JH. 2010. Utilization of recycled aggregates and crushed stone as horizontal drains in soft ground. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 52(6): 111-123. [in Korean]
- Lee JY. 2008. A study on utilization of recycled aggregates as lateral drain for soft ground improvement. Journal of the Korean Geotechnical Society 24(10):5-15. [in Korean]
- ME (Ministry of Environment). 2009. The law enforcement regulation about the recycling promotion of the construction waste. <http://www.me.go.kr>. on August 2009.
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2009. The quality criterion of recycled aggregates. <http://www.mlrm.go.kr>. on June 2009.
- NAVFAC. 1986. Design manual for soil mechanics 7.1. Department of the Navy. Naval facilities engineering command. 272-278.