

토낭 보강토 옹벽의 수평 배수재로서 PBD의 적용성 평가

Evaluation of PBD as Horizontal Drains of Soilbag Retaining Wall

신은철¹, 이명신², 김성환^{3*}

Eun-Chul Shin¹, Myung-Shin Lee², Sung-Hwan Kim^{3*}

¹Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, The University of Incheon, 12-1 Songdo-Dong, Yeonsu-Gu, Incheon, 406-772, Republic of Korea

²Member, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, The University of Incheon, 12-1 Songdo-Dong, Yeonsu-Gu, Incheon, 406-772, Republic of Korea

³Member, Graduate Student, Dept. of Civil engineering, The University of Incheon, 12-1 Songdo-Dong, Yeonsu-Gu, Incheon, 406-772, Republic of Korea

ABSTRACT

Recently, construction of reinforced earth structure using geosynthetics has been increased because it has advantages such as construction efficient, cost effectiveness and appearance aspect against existing gravity or cantilever retaining wall. However due to the climate change in Korea excessive inflow of ground water and surface water from heavy rainfall could affect the stability of reinforced retaining wall seriously. So the discharge capacity of drains should be evaluated by using experimental method in the design of reinforced earth wall. In this study, instead of concrete block used in most of the retaining wall, eco-friendly porous soilbag was used. This paper describes the test method and result of the laboratory testing for determination of discharge capacity utilizing PBDs.

요 지

흙 구조물의 안정성은 물과 직접적인 관련이 있고, 강우나 침투수에 대한 충분한 대책을 세우지 않는다면 구조물에 큰 피해를 입을 수 있다. 최근 이상기후로 인한 집중호우의 횡수가 잦아짐에 따라 흙 구조물의 안정성에 대한 관심이 커지고 있으며, 구조물의 배수에 대한 여러 가지 방법이 제시되고 있다. 본 연구에서는 연직 배수공법에 사용되는 PBD(Plastic Board Drain)를 보강토 옹벽의 수평 배수재로 이용했을 시 적용성 여부에 대해 평가 하였다. 특히 전면벽을 콘크리트 블록이 아닌 토낭으로 하여 시공성과 경제성을 높이고, 토낭과 연결재, PBD를 일체화 시켜 안정성을 확보하였다. PBD를 활용한 배면수의 투수능 시험결과 보강토체 사이에 자갈층을 포설한 것과 유사한 효과를 나타내었으며, 실제 현장에서의 수평배수재로 활용이 가능한 것으로 판단된다.

Keywords : Retaining wall, Soilbag, Discharge capacity, PBDs

1. 서 론

최근 이상기후 현상으로 인한 가뭄, 태풍, 폭설, 집중호우 등 자연재해 발생이 전 세계적으로 빈번하게 발생하고 있으며, 이에 따라 막대한 인적, 물적 피해가 발생하고 있

다. 한국 환경정책 평가 연구원의 연구결과에 의하면 전 세계가 기후변화에 대한 대책을 실행하지 않을 경우 기후 변화로 인한 우리나라 피해 비용은 2100년 까지 약 2,800조원으로 추정했다. 특히 우리나라는 연평균 강수량의 60~70%가 여름철에 집중되어 있고, 기후변화로 인한 집중호우의 횡수가 증가함에 따라 여름철 토류구조물의 안전성에 큰 문제가 발생하고 있다. 이러한 여름철 토류구조물 붕괴사고는 강우의 침투로 인한 모관흡수력 감소로 인해 흙의 전단강도 감소 및 하중 지지력 감소에 그 원인이 있

Received 25 Mar. 2013, Revised 13 May. 2013, Accepted 14 May. 2013

*Corresponding author

Tel: +82-32-472-0014; Fax: +82-32-472-0023

E-mail address: jws01-ksh@jangwoneng.kr (S. H. Kim)

다(Yoo et. al., 2004, 2005; Koemer & Soong, 2001).

최근에는 토류구조물의 설계, 시공시 기후변화로 인한 자연재해에 대한 안정성 뿐만 아니라, 구조물의 친환경성을 강조하고 있다. 따라서, 자연친화적인 보강토 공법들이 많이 개발되고 있는데 이러한 공법들의 안정성에 대한 연구가 부족한 실정이며, 특히 옹벽의 안정성에 큰 영향을 미치는 간극수의 배수에 대한 연구가 이루어져야 한다.

따라서 본 연구에서는 식생이 가능한 친환경 배수성 토양을 이용한 옹벽 축조 시 옹벽 배면에서의 신속한 배수를 위해 PBD를 설치하였고, 옹벽의 배수재로써 PBD의 적절성을 평가하는데 목적이 있다.

2. 이론적 배경

2.1 기후변화에 따른 우리나라의 강우 특성 변화

우리나라의 연평균 강수량은 1200mm~1500mm로 세계 평균치보다 많은 편이고, 여름철 강수량(6~9월)이 연평균 강수량의 60~70%를 차지할 만큼 강수량의 계절 편차가 크다. 기상청 자료에 의하면 서울에서 1960년대 이

후 연평균 강수량은 크게 차이가 나지 않지만, 여름철 평균 강수량은 1990년대 이후 급격한 증가 추세를 보이고 있다. 특히 8월의 경우 2011~2012년 평균 강수량은 1960년대 평균 강수량의 2.5배 이상을 나타내고 있다. Table 1은 1961년부터 2012년까지 서울의 여름철 월평균 강수량을 나타낸 것이다.

강수의 미래변화에서 21세기 전반과 21세기 후반에서의 한반도 평균 변화 값이 RCP4.5 시나리오에서는 각각 8.4%, 15.8% 증가로 전망되고, RCP8.5 시나리오에서는 5.2%, 18.7% 증가로 전망되어, 21세기 말에 가까워질수록 강수량 증가가 뚜렷하다. 강수량의 증가는 지역적으로 변화의 폭이 매우 크며, 전반적으로 남해안과 중서부지역에서 두드러지게 나타난다(NIMR, 2011). 국내의 여름철 강우패턴은 평균 강수량 증가와 더불어 사면이나 옹벽 구조물 등의 안정성에 크게 영향을 미칠 수 있는 국지성 호우가 증가하고 있다. 그리고 이러한 현상은 앞으로 계속될 것이라는 기상학자의 전망이 우세한 상황이다. 설계와 시공시 이에 대한 고려가 반드시 필요함을 보여주고 있다(Park, 2010).

2.2 강우가 보강토 옹벽의 거동에 미치는 영향

일반적으로 흙 구조물의 붕괴는 물이 직접적인 원인이 되어 발생하는 경우가 압도적으로 많다. 흙 구조물인 보강토 옹벽에서도, 원호파괴나 벽면변형 및 기초 부분의 세굴 등의 피해는 필연적이라고 해도 좋을 만큼 물이 직접적인 원인이 되고 있다. 이와 같은 피해는 지표수에 의한 사면의 세굴, 침식 및 침투수에 의한 사면파괴 등으로부터 진행되는 경우가 많다. 이와 같은 피해는 지표수에 의한 사면의

Table 1. Average rainfall in summer (mm, Seoul)

Year \ Month	6	7	8	9
1961~1970	134.6	446.3	276.9	226.6
1971~1980	104.1	314.2	282.7	117.2
1981~1990	134.8	352.4	307.6	170.9
1991~2000	199.6	133.0	322.7	439.1
2001~2010	200.6	124.0	430.3	394.4
2011~2012	201.1	248.2	789.9	315.8

Table 2. Drainage design guide of reinforced retaining wall

Construction Work Surface of Slope Design Guide (Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, 2011)	Design Guide of Reinforced Retaining Wall (Korea Expressway Corporation, 2007)
(1) 보강토체에 이용되는 뒤채움 재료는 비교적 비수성이 양호하고 전면 배수공이 충분한 양질의 토사를 이용하지만, 다량의 배면 유입수로 뒤채움 흙이 포화되면 흙의 전단강도가 급격히 저하하여 불안한 상태가 될 수 있으므로 배면 용출수의 유무, 수량의 과다에 따라 적절한 배수시설을 하여야 한다. (2) 보강토 옹벽에 적용하는 배수시설의 종류는 다음과 같다. ① 보강토체 내부 배수시설 - 전면벽체 배면의 자갈, 쇄석 등 배수층 및 암거 - 전면벽체 배면의 토목섬유 배수재 - 보강토체 내부의 수평 배수층 ② 보강토체 외부 배수시설 - 벽체 상부 지표수 유입을 방지하기 위한 지표면 배수수 - 보강토 옹벽 배면에서 유입되는 용수 처리를 위한 보강토체와 배면토체 사이의 경계면 배수층	(1) 보강토체에 이용되는 뒤채움재료는 비교적 배수성이 양호하고 전면 배수공이 충분한 양질의 토사를 이용하지만, 다량의 배면 유입수로 뒤채움 흙이 포화되면 흙의 전단강도가 급격히 저하하여 불안한 상태가 될 수 있으므로 배면 용출수의 유무, 수량의 과다에 따라 적절한 배수시설을 하여야 한다. (2) 보강토 옹벽의 배수처리를 위하여 다음과 같은 배수시설을 설치해야 한다. ① 보강토체 내부 수평배수층 ② 보강토체 전면판 뒤 30~100cm 필터재 설치 ③ 벽체 상부 지표수 유입 방지를 위한 배수구 설치

세굴, 침식 및 침투수에 의한 사면파괴 등으로부터 진행하는 경우가 많다. 즉, 보강토 옹벽 구조물의 안정성은 강우나 침투수에 대한 대책을 충분히 세운다면 예상파괴의 대부분을 방지할 수 있다(Korean Geosynthetics Society, 2010).

Table 2는 우리나라의 보강토 옹벽 배수시설에 대한 설계기준을 나타낸 것이다. 설계기준에 의하면 배면 간극수의 신속한 배재를 위해 배수성이 양호한 뒤채움 재료를 사용하고, 보강토체 내, 외부에 배수시설을 사용설치해야 한다고 명시되어 있다.

3. PBD를 이용한 토낭 옹벽의 배수능 시험

친환경 토낭공법은 Geobag공법의 일종으로 기존에 사용되고 있던 토낭 쌓기 공법에 신개념 연결재 및 녹화기술을 가미하여 영구구조물을 축조하는 공법이다. 자재는 배수형, 일반형 토낭과 연결재, 뒷걸이 보강재, 배수재로 구성되어 있다. 친환경 토낭공법은 전면부의 식생으로 자연친화적 구조물을 형성할 수 있고, 현장 토사를 유용함으로 써 자재 구득이 용이하다. 사면 보호 및 보강 방식에서는 일반 식생 토낭을 2층으로 쌓고 배수기능이 보강된 토낭을 쌓는다. 토낭은 자체 개발된 연결재를 사용하여 연결하고 보강재 역시 자체 개발된 보강재를 3층 마다 연결하여 안정성을 높인다. 보강토 옹벽방식에서도 일반 식생토낭을 2층으로 쌓고 배수기능이 보강된 토낭을 쌓는다.

일반적인 블록형 보강토 옹벽의 경우 전면블록과 뒤채움 사이에 골재층을 형성하여 옹벽 배면의 침투수를 배재하고, 전면블록과 근접한 지반의 다짐 시 블록의 이동을 방지한다. 그러나 식생토낭 옹벽의 경우 토낭 적층시 뒤채

움과 함께 다져서 구성함에 따라 따라서 잡석에 의해 토낭이 파손될 수 있고, 전면에서 초화류가 발아하여 생육해야 하므로 잡석층을 설치할 경우 뒤채움 토사와 전면의 식생 토낭이 완전히 분리되어 식생토낭이 습윤한 상태를 유지하기 곤란하기 때문에 전면 식생토낭과 뒤채움 사이에 잡석을 채울 수 없다. 따라서, 블록형 보강토 옹벽의 잡석층의 역할 중 침투수가 과다할 경우 이를 배재할 수 있도록 PBD를 일정한 간격으로 수평으로 삽입하여 적용하기 위하여 배수능 실험을 실시하였다. Fig. 1은 블록식 보강토 옹벽과 식생토낭 옹벽의 단면 형성도를 비교하여 나타낸 것이다.

3.1 시험 재료

3.1.1 배수성 토낭과 연결장치

친환경 토낭에는 토낭 내부에 씨앗이 포함되어 있어, 씨뿌리기를 따로 하지 않아도 식생이 가능하고 표면 식생의 뿌리 내림으로 시간이 지날수록 안정화 된다. 또한 자재가 경량이기 때문에 운반 및 시공이 용이하다는 장점이 있다. 연결재는 PP(폴리프로필렌)재질로 토낭과 보강재를 연결시켜 줄뿐만 아니라 상하, 좌우의 토낭을 결속해주는 역할을 한다. 연결재의 규격은 100(W)×300(L)×48(H)이고, 상면에 4개 하면에 8개의 돌출부가 있다. 지오그리드 보강재 대신 뒤채움 토사와 연결재, 토낭을 일체화 시켜주는 뒷걸이 보강재의 규격은 100(W)×520(L)×4(H)이고 상하에 요철이 형성되어 있다. Fig. 2는 친환경 배수성 토낭과 연결재, 뒷걸이 보강재의 전경이고 Table 3은 토낭의 역학적 특성을 나타낸 것이다.

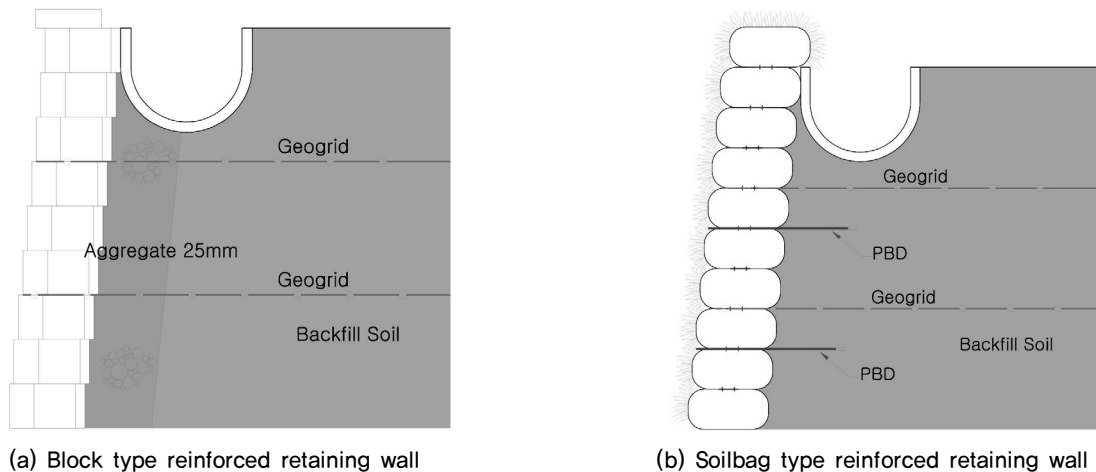


Fig. 1. Comparison of view block type and soilbag type reinforced retaining wall

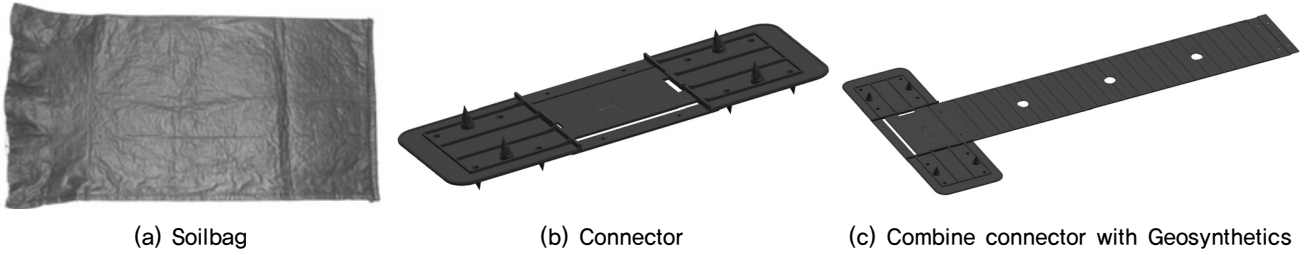


Fig. 2. Pictures of soilbag and connector

Table 3. Material properties of soilbag

Category		Unit	Result
Weight		g/m^2	170.1
Tensile strength	Length	N	653.1
	Width		454.0
Seam strength		N	498.4
Puncture strength		N	237.3
Vertical permeability		cm/s	2.3×10^{-1}
Quantity of passing water		$l/min/m^2$	3821.1
Effective hole size		μm	114

Table 4. Material properties of PBD

Category	Unit	Standard	Test method	Test condition	Result	
Core	Width	mm	100 ± 5	KS K 0505	101.0	
	Thickness	mm	3 ~ 5	KS K ISO 9863-2	Pressure 2kPa	3.52
	Weight	g/m	more then 70	KS K ISO 9864		88.5
	Tensile strength	kN/width	more then 0.98	KS K ISO 10319		2.75
	Drainage ability	cm^3/sec	more then 25 (straight) more then 15 (curve)	Delft method	confine stress : 300kPa hydraulic gradient : 0.5 pressure period : 1 week test completion : 20% deformation	(straight) 27 (curve) 15
Filter	Permeability	cm/sec	1×10^{-3} more		loss head 20mm	2.7×10^{-2}
	Tensile strength	N	more then 200	KS K 0743		218.1
	Effective hole size	μm	less then 90	KS K ISO 12956	O_{90}	43

3.1.2 PBD(Plastic board drain)

배수능 실험을 위하여 사용된 PBD는 지반개량을 위한 연직배수공법에 사용되는 PBD와 같은 재료로써 토양 사이에 수평으로 삽입하여 옹벽 배면의 침투수를 배제하는 기능을 수행하는데 이용하였다. 배수재의 물성 및 분해성에 대한 시험은 한국의류시험연구원(KATRI)에 의뢰하여 수행하였으며 Table 4와 같은 결과를 도출하였다. Table 4의 배수재 물성에 대한 시험결과는 모두 기준치(한국산업규격 표준시방)를 만족시키는 결과를 얻었다.

3.2 배수능 시험장비 및 방법

시험장비에서 토조의 경우 전면에서 물의 흐름을 관찰할 수 있도록 아크릴로 제작되었으며, 크기는 길이 240cm, 폭 48cm, 깊이 100cm이고 중앙부에는 토립자의 유실을 방지하고 물만 통과가 가능하게 하기위한 투수막을 설치하였다. 뒤채움 토사는 모래와 화강풍화토를 이용하였고 각각의 물성치는 보강토 옹벽 설계기준에 맞추어 실시하였다. Fig. 3은 실험에 사용된 PBD의 모식도를 나타낸 것이고, Fig. 4는 배수능 시험을 위한 토조의 모식도이다.

실험에 이용된 PBD의 길이는 700mm이고, 전면부를

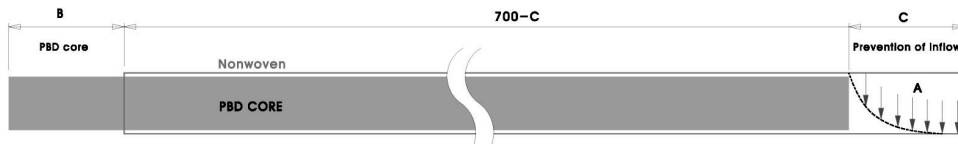


Fig. 3. Schematic of installed PBD

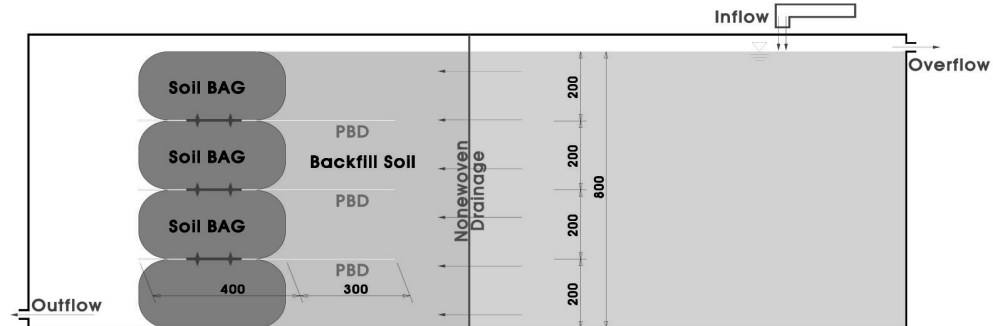
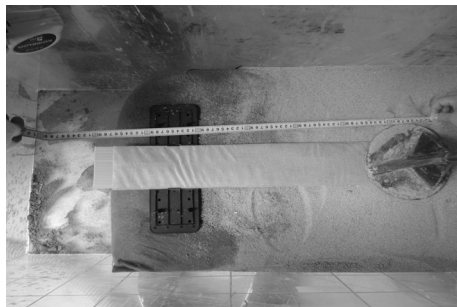


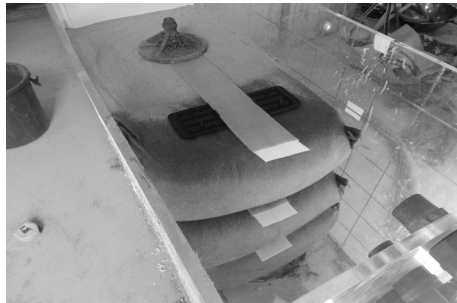
Fig. 4. Schematic of chamber for drainage ability test



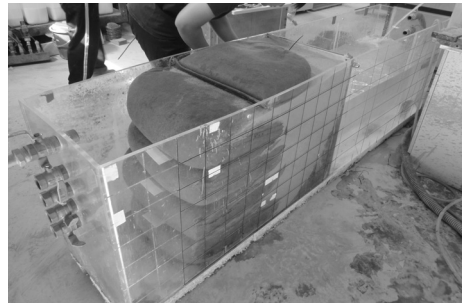
(a) Stacking first soilbag, installation PBD



(b) Stacking second soilbag, installation PBD



(c) Stacking third soilbag, installation PBD



(d) Maintain water level

Fig. 5. Drainage ability test process

B=30~40mm 노출시켰다. 이것은 뒷채움 토사가 PBD를 통해 입자의 유실을 막고 토사의 유입으로 인해 배수능이 급격히 감소하는 클로킹(clogging)현상을 방지하기 위함이다. Fig. 5는 배수능 시험과정을 나타낸 것이다.

3.3 배수능 시험 결과

배수능 시험은 뒷채움재로 모래를 이용했을 경우와 화강 풍화토를 이용했을 경우로 나누어 실시하였고, 두 경우

모두 토립자의 유출은 없었다. 토립자의 유출 여부는 PBD를 통과한 물을 다시 200번체를 통과 시키는 방식으로 확인하였다. PBD를 설치하지 않았을 경우 유출이 발생하지 않았고, 뒷채움재로 모래를 사용했을 경우 1, 2, 3단에서 유출을 확인 할 수 있었다. 화강풍화토를 사용했을 경우 1단과 2단에서만 유출을 확인할 수 있었다. Fig. 6은 1층 PBD와 2층 PBD의 유출량, 토립자 유출여부를 측정하는 과정이고, Fig. 7은 배수시험결과 모식도와 유선이 형성된 토조를 나타낸 것이다.

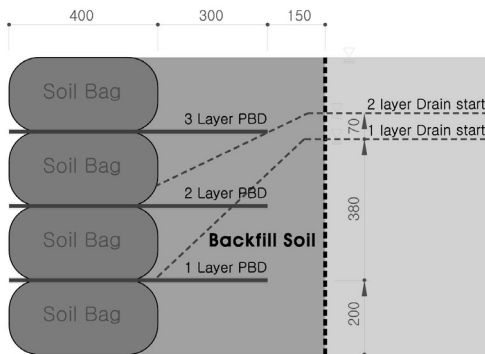


(a) Check spilled soil particle



(b) Check of spill water quantity through PBD

Fig. 6. Check spilled soil particle and spill water quantity through PBD



(a) Test result Schematic



(b) Formation of flowline

Fig. 7. Drainage ability test result

실제 현장 적용 시 뒤채움재로 현장의 풍화토를 이용하게 되므로 화강풍화토에 대한 유출유량을 측정하였고, 최하단에서의 유출유량 측정결과 초당 약 2.0~3.8ml의 결과를 나타내었다. 배면 정수위 유지 시 300시간 이후 안정화 되는 경향을 확인할 수 있었다. 강우시 용벽 배면 수위의 상승과 하강에 따른 유출유량 측정하기 위하여 토조 내부의 물을 완전 배수하고, 2일이 지난 후 다시 수위를 초기 높이까지 상승시켜 4일간 정수위를 유지하며 유출량을 측정하였다. 또한 7일째 수위를 하강시키며 유량을 측정하는 과정을 약 한달간 반복하였다. 수위 하강 시 3cm 하강 시점 마다 유출유량과 하강시간을 측정하였고, 최하단 PBD에서 더 이상의 유출이 진행되지 않는 시점까지 진행하였다. 실험결과 시간이 지남에 따라 유출유량은 증가하는 경향을 나타내었고, 배면의 물을 유출시키는데 문제가 없음을 알 수 있었다. 수위하강에 따른 유출량의 특성 확인 결과 Fig. 8과 같이 동수경사가 감소함에 따라 초당 유출량의 감소가 발생하였고, 1회 유출보다 약 한달 후의 유출유량이 증가하는 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 1주일 후, 2주일 후, 한달 후의 유출유량은 동수경사가 감소함에

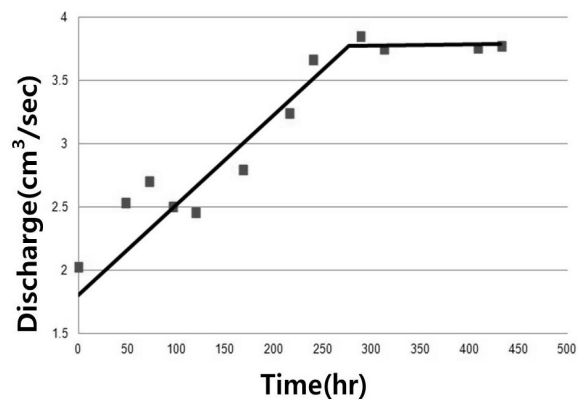


Fig. 8. Change of spill water quantity when maintain water level according to time at the bottom

따라 일정한 유출량으로 수렴하는 경향을 나타내는 것을 알 수 있었고, 초기 유출유량은 증가하지만 설정한 최종 동수경사에서의 유출량은 거의 변함이 없었다. 이것은 용벽형성 초기에 토립자의 배열과 배면수위의 증가, 하강이 반복되는 과정에서 토립자의 재배열로 인해 물이 흐를 수 있는 유로가 형성되면서 발생한 현상으로 판단된다. Fig. 8은 배면 정수위 유지시 최하단에 설치된 PBD에서 유출

Table 5. Spill water quantity according to water level drawdown and change of spill time

Water level from top of chamber (cm)	0day		7day		14day		28day	
	Turnaround time (min)	Spill water quantity (cm ³ /sec)	Tturnaround time (min)	Spill water quantity (cm ³ /sec)	Turnaround time (min)	Spill water quantity (cm ³ /sec)	Turnaround time (min)	Spill water quantity (cm ³ /sec)
0	0	1.94	0	3.12	0	3.83	0	3.97
-3	118	1.42	50	2.61	45	3.40	38	3.77
-6	257	1.08	99	2.11	100	3.10	88	3.47
-9	452	0.80	182	1.44	168	2.55	161	2.87
-12	692	0.74	336	1.32	290	1.83	241	2.42
-15	896	0.72	569	1.02	387	1.45	343	1.84
-18	1025	0.69	667	0.84	522	0.97	482	1.11

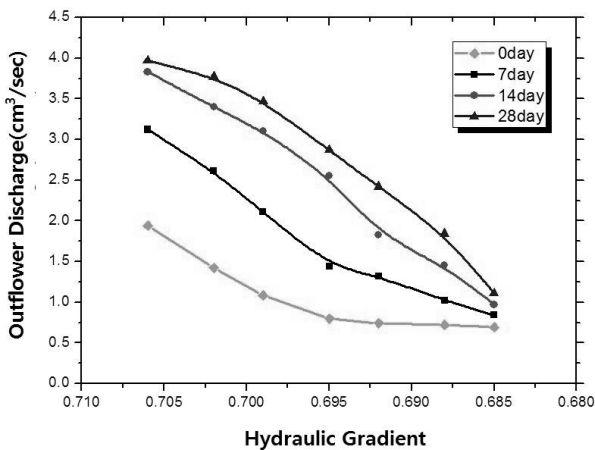


Fig. 9. Change of spill water quantity according to water level drawdown at the bottom

된 유량의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. Table 5는 수위 하강에 따른 유출량과 유출시간의 변화를 나타낸 표이다.

최하단에서의 측정된 초당 약 2.0~3.8ml의 유출유량은 투수가 양호한 자갈층의 투수계수와 유사하므로 PBD를 보강토 옹벽의 수평 배수재로 이용한다면 경제성, 시공성에서 매우 유리할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 옹벽에 설치되는 수평배수층을 PBD(연직배수재)로 대체 가능 여부에 대해 확인하기 위해 배수실험을 실시하였다. 토낭을 전면벽으로 사용한 옹벽을 축소 모형으로 만들어 PBD를 설치하고 옹벽 배면 수위를 상승, 하강 시키며 PBD의 유출량을 측정하였고, 실험을 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 화강풍화토로 이루어진 옹벽 배면에 수평배수층으로 PBD를 설치하고, 동수경사를 0.706으로 하였을 때 유출량은 옹벽 배면토를 화강풍화토로 하였을 시 초당 약 2.0~3.8ml의 결과를 나타내었으며, 배면 정수위 유지 시 300시간 이후 안정화되는 경향을 확인할 수 있었다. PBD를 통해 유출된 유량은 투수가 양호한 자갈층의 투수계수와 유사한 값을 나타내었고, 이것은 보강토체 내부에 수평 배수층을 PBD로 이용가능하다는 것을 의미한다.
- (2) 강우시 옹벽 배면 수위의 상승과 하강에 따른 유출 유량을 약 한달간 측정한 결과, 시간이 지남에 따라 유출 유량은 증가하였고, 수위하강에 따른 유출량의 특성 확인 결과 동수경사가 감소함에 따라 초당 유출량의 감소가 발생하였다. 1회 유출보다 약 한달 후의 유출 유량이 증가하는 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 1주일 후, 2주일 후, 한달 후의 유출유량은 동수경사가 감소함에 따라 일정한 유출량으로 수렴하는 경향을 나타내는 것을 알 수 있었고, 초기 유출 유량은 증가하지만 설정한 최종 동수경사에서의 유출량은 거의 변함이 없었다. 이것은 옹벽형성 초기에 토립자의 배열과 배면 수위의 증가, 하강이 반복되는 과정에서 토립자의 재 배열로 인해 물이 흐를 수 있는 유로가 형성되면서 발생한 현상으로 판단된다.
- (3) 차후 오랜 시간의 계측을 통해 배수재의 clogging 현상에 의한 옹벽의 안정성 문제를 밝히는 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 기후 변화에 의한 집중 호우의 위험이 증가하고 있으므로 옹벽을 비롯한 흙 구조물의 배수에 대한 구체적인 연구와 정확한 설계기준의 수립이 이루어져야 할 것이다.

References

1. Koener, R. M. and Soong, T. Y. (2001), "Geosynthetic Reinforced Segmental Retaining Walls", *Geotextiles and Geomembranes*, 19(6), pp.359-386.
2. Korea Expressway Corporation (2007), *Reinforced Retaining Wall Design Standard*, Korea Expressway Corporation, Kyeonggi, Korea.
3. Korea Geosynthetic Society (2010), *Method of Reinforced Retaining Wall Construction*, CIR, Seoul, Korea, pp.55-57.
4. Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation (2011), *Construction Work Slope Design Standard*, Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs, Government Complex Sejong, Korea.
5. NIMR (2011), "Climate change scenario report for IPCC 5th valuation report response", National institute of Meteorological Research.
6. Park, Y. J. (2010), *The Improvement of Drain System for Mechanical Stabilized Earth Wall*, Master Thesis, Kyeonggi University.
7. Yoo, C. S., Jung, H. Y. and Jung, H. S. (2004), "A Case Study in a Rainfall Induced Failure of Geosynthetics-Reinforced Segmental Retaining Wall", *Korea Geosynthetic Society Conference Fall 2004*, pp.51-59.
8. Yoo, C. S., Jung, H. Y. and Jung, H. S. (2005), "Geosynthetics-Reinforced Segmental Retaining Wall Failure during Heavy Rainfall - A Case Study", *Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol.21, No.4, pp.135-143.