

소규모 하천 친환경 물흐름을 위한 차수특성

Waterproof Characteristic for Environmental Water Flows in Small Streams

박민철¹⁾, Min-Cheol Park, 김성구²⁾, Seong-Goo Kim, 이 송³⁾, Song Lee

¹⁾ 서울시립대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, University of Seoul

²⁾ (주)SK건설 부장, Head of Dept, SK E&C

³⁾ 서울시립대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, University of Seoul

SYNOPSIS : This research produced internal model tester (2.0m×2.0m×1.0m) to evaluate the field application of Paju Unjeong District water recycling system for small streams eco-friendly river bed disparity method for the first time in Korea and conducted comparative analysis of the Paju Unjeong District water recycling system field test results and infiltration rate result of internal tests by each rainfall intensity following surface material. Infiltration rate result of internal tests concrete pavement by rainfall intensity following surface material, asphalt pavement, bentonite mate, stabilized soil construction and mixed soil construction manifested low infiltration rate. On the contrary, compaction soil, grassland and water permeable packaging materials resulted in significant amount of infiltration rate. As for the field permeability test results, they were manifested similar tendency as indoor permeability test results and they satisfied the standard for standard of water permeability of domestic disparity facility (less than 1.0×10^{-7} cm/sec). As compaction rate increased, unconfined compression strength increased as well while coefficient of water permeability decreased.

Keywords : River bed disparity method, Bentonite mate method, Mixed soil method, Stabilized soil method

1. 서 론

기존 소하천하상 시공시 손실수가 발생하지 않도록 하기 위하여 차수성이 뛰어나고 세굴현상에 대한 저항성이 뛰어난 콘크리트차수재로 시공을 하여 물 흐름을 유도했다. 그러나 콘크리트 구성 재료인 시멘트와 혼화제는 환경영향을 주는 유해한 성분을 포함하고 있어 환경오염에 대한 심각한 부작용으로 동·식물이 살지 못하는 실정이다.

이러한 환경문제를 해결하기 위한 방법으로 최근에는 친환경적인 차수성의 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 친환경적인 차수성에 문제는 매립지에서부터 연구가 시작 되었다. 매립지에서 제일 많이 사용된 재료는 점토 차수재로서 투수성이 우수하며, 시공이 간단하여 많이 사용되었다. 그러나 동결 및 융해, 건조 등에 의해 손상이 많이 이루어지고 자체적으로 복원이 어려우며, 소하천의 경우 장시간 물 흐름이 발생할 때 유실에 따른 손상이 증대되어 세굴현상을 일으키는 원인이며, 최근에는 재료수급 부족으로 어려움을 겪고 있는 실정이다.

따라서 환경문제해결과 장기적인 내구성을 확보할 수 있는 혼합토공법, 벤토나이트매트공법, 고화토 공법 등에 관한 실내모형실험과 현장시험을 통해 비교·분석하여 현장적용성을 연구하였다.

2. 실내모형실험

2.1 실험개요

본 연구 실내시험에 목적은 파주운정지구 물순환 시스템 조성공사에서 적용될 소하천의 물흐름에 있어서 친환경적 공법인 벤토나이트매트공법, 혼합토공법, 고화토공법 3공법과 기존에 사용한 아스팔트차수재, 콘크리트차수재, 다짐흙, 초지등의 차수공법에 대한 안정성을 분석하기 위하여 실내모형실험기를 제작하여 강우강도별 침투실험을 통해 침투 및 차수성을 비교·분석하였다.

차수성을 확인하기 위하여 아크릴로 2000mm×2000mm×1000mm 실내모형실험기를 제작하였고, 실제 강우조건을 모사하기 위하여 별도로 인공강우 시스템을 제작하였다. 인공강우 강우강도를 고려한 노즐 분사식으로 재현인공강우자동시스템을 설치하여 표 1에 나타내듯이 표면재료에 따른 차수 및 침투실험을 수행하여 비교·분석하였다.

표 1 표면재료에 따른 강우강도별 침투분석 시험

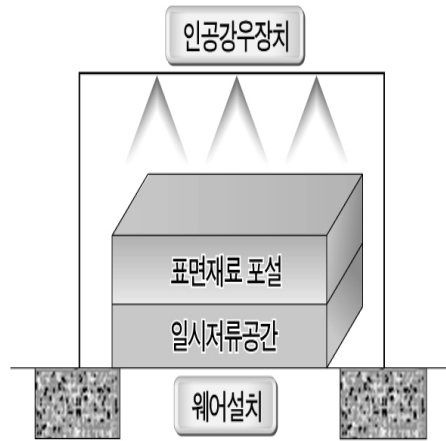
구 분	택지개발과 연관된 토지이용
콘크리트 포장	•도로 및 주택시설
아스팔트 포장	•도로 및 주택시설
다짐흙(마사토)	•운동장 및 체육 시설
초지	•공원 시설
투수성 포장재	•공원 및 도로시설
벤토나이트 매트 차수재	•도로시설 및 인공호수
혼합토 차수재	•도로시설 및 인공호수
고화토 차수재	•도로시설 및 인공호수

2.2 실험장치

본 논문에 사용한 실험 장치는 차수성을 확인하기 위하여 2000mm×2000mm×1000mm 실내모형실험기를 제작하였고, 하부 집수조에서 웨어부를 통과하여 침투량 및 직접유출량이 측정될 수 있도록 하였다. 인공강우는 강우강도를 고려한 노즐 분사식으로 재현인공강우자동시스템을 제작하여 강우조건에 맞게 제작하였고, 재료표면에는 종방향 2%, 횡방향 2% 경사를 주었다. 표면재료에 따른 강우강도별 침투량 실험을 실시하여 각 재료별 차수성을 파악하였다. 표 2와 그림 1은 실험장치 제원과 모식도, 사진을 나타내었다.

표 2 실험장치 제원

실험재료	유역경사	측 점	디지털유량계범위	월류웨어	저수조	측 구
2m×2m (4m ²)	종방향 2% 횡방향 2%	NO.1	15 ℓ/hr ~500 ℓ/hr	삼각웨어	1×2×0.6m (1,200 ℓ)	0.3×0.15m
		NO.2	500 ℓ/hr ~5,000 ℓ/hr			
		NO.3	2,000 ℓ/hr ~20,000 ℓ/hr			



(a) 실험장치 모식도

(b) 실험장치 사진

그림 1 실험장치 모식도 및 사진

2.3 실내모형시험결과

2.3.1 표면재료에 따른 강우강도별 분석

강우강도조건에 따라 택지개발에 많이 사용되고 있는 콘크리트포장, 아스팔트포장, 다짐흙, 초지, 투수성 포장재와 본 연구에 적용될 벤토나이트 매트 차수재, 혼합토 차수재, 고화토 차수재를 같은 조건하에서 실시한 침투량 분석 결과 콘크리트 포장재가 침투수량이 가장 적었고, 아스팔트 포장재, 고화토, 벤토나이트 매트, 혼합토, 다짐흙, 초지, 투수성포장재순으로 나타났으며 투수성 포장재는 가장 높은 침투수량을 보였다. 이는 혼합재료의 입자 크기가 작을 수록 비례적으로 간극비가 감소하기 때문에 침투수량이 적게 발생된다고 할 수 있다.

또한 침투발생시간은 모든 시료에서 강우강도 증가에 따라 단축 되는 경향을 나타내었고, 다짐흙, 초지, 투수성포장재에서는 강우강도가 증가할 수록 침투량도 비례하여 증가하는 경향을 얻을 수 있었다. 이는 차수시설에 적합하다고 할 수 없고 이와 반대로 아스팔트 포장재, 콘크리트 포장재, 고화토 차수재, 혼합토 차수재, 벤토나이트매트 차수재는 강우강도가 증가하여도 침투량에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 불투수성에 가깝고 국내차수시설 기준에 적합하므로 적용해도 무방하다고 사료된다. 표 3은 표면재료에 따른 강우강도별 침투량 분석결과를 나타내었고, 그림 3은 대표적인 200mm/hr 강우강도를 표면재료에 따른 침투율 분석 결과를 나타내고 있다.

표 3 표면재료에 따른 강우강도별 침투량 분석

구분	다짐흙 (l/sec)	초지 (l/sec)	아스팔트 포장재 (l/sec)	콘크리트 포장재 (l/sec)	투수성 포장재 (l/sec)	고화토 (l/sec)	혼합토 (l/sec)	벤토나이트 매트 (l/sec)
20mm/hr	0.0780	0.0149	0.0020	0.0000	0.0220	0.0003	0.0032	0.0021
30mm/hr	0.0151	0.0202	0.0031	0.0010	0.0321	0.0018	0.0051	0.0035
50mm/hr	0.0173	0.0260	0.0043	0.0021	0.0592	0.0036	0.0071	0.0042
80mm/hr	0.0192	0.0282	0.0052	0.0032	0.0901	0.0056	0.0075	0.0053
100mm/hr	0.0221	0.0295	0.0060	0.0042	0.1113	0.0061	0.0081	0.0062
200mm/hr	0.0296	0.0300	0.0071	0.0058	0.2078	0.0073	0.0085	0.0069

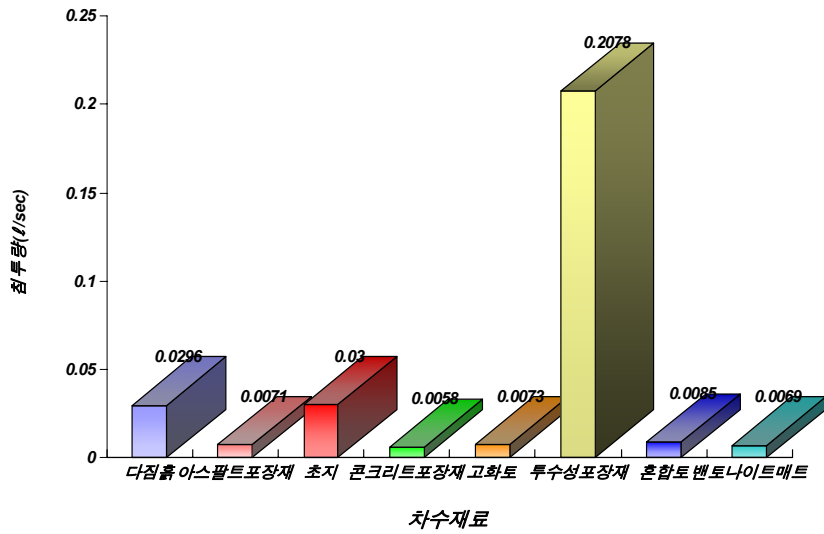


그림 3 강우강도 200mm/hr의 표면재료에 따른 침투량

2.3.2 표면재료에 대한 강우강도에 따른 침투율 분석

표면재료에 따른 강우강도별 침투율 분석결과 다짐흙 13.32%~35.02%, 초지 13.32%~67.60%, 아스팔트 포장재 0.10%~14.12%, 콘크리트 포장재 0.00%~13.13%, 투수성 포장재 93.50%~100.00%, 고화토 0.10%~14.17%, 혼합토 0.13%~15.22%, 벤토나이트매트 0.04%~13.60%로 나타났으며, 콘크리트 포장재는 가장 적은 침투율을 나타냈으며, 투수성 포장재는 가장 높은 침투율을 확인할 수 있었고 두 재료를 비교했을 때 최고 100배정도 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다.

다짐흙, 초지, 아스팔트포장재, 콘크리트포장재, 고화토차수재, 혼합토차수재, 벤토나이트매트차수재는 강우강도에 따라 침투율이 많은 편차를 확인할 수 있었고, 투수성 포장재는 거의 대부분 침투되는 것으로 확인되었다. 표 4는 표면재료에 따른 강우강도별 침투율 분석결과이며, 그림 4는 대표적인 200mm/hr 강우강도를 표면재료에 따른 침투율 분석 결과를 나타내고 있다.

표 4 표면재료에 대한 강우강도별 침투율 분석

구분	다짐흙 (%)	초지 (%)	아스팔트 포장재 (%)	콘크리트 포장재 (%)	투수성 포장재 (%)	고화토 (%)	혼합토 (%)	벤토나이트매트 (%)
20mm/hr	35.02	67.60	13.58	10.65	100.00	14.17	15.22	13.60
30mm/hr	34.80	58.01	10.12	9.85	99.65	13.02	13.51	11.61
50mm/hr	26.12	47.60	5.83	9.65	99.35	10.09	11.40	9.26
80mm/hr	17.82	31.82	3.25	1.29	98.99	5.11	5.63	4.57
100mm/hr	16.10	27.81	2.89	0.98	98.69	0.15	0.19	0.11
200mm/hr	13.32	13.62	0.10	0.00	93.50	0.10	0.13	0.04

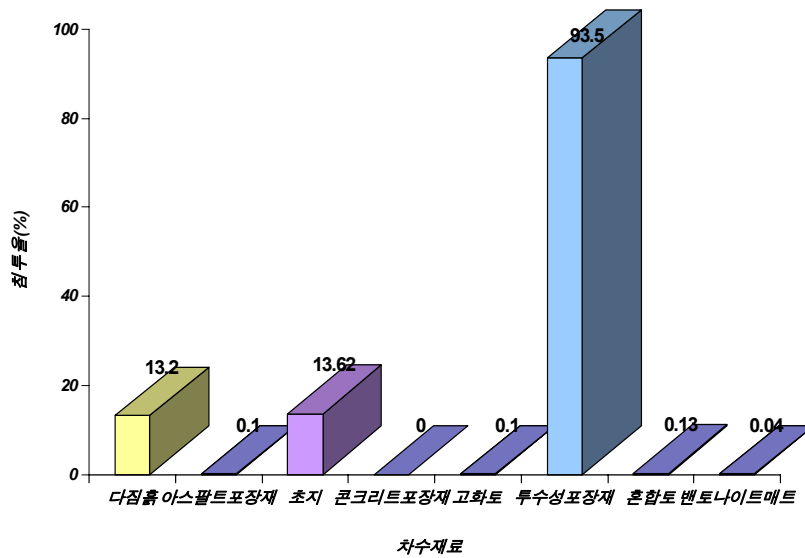


그림 4 강우강도 200mm/hr 표면재료에 따른 침투율

3. 현장시험결과 및 분석

3.1 강도 및 차수성 시험

본 연구에서는 벤토나이트매트공법, 혼합토공법, 고화토공법의 현장 적용성을 판정하기 위하여 실내 A다짐시험 결과값과 들밀도 시험결과값을 이용한 현장다짐도 결과값이 95%이상 되었을 때 미리 제작해 놓은 Ø70mm×140mm 원통형 시료채취기를 이용하여 불교란 시료를 채취하였고, 이를 일축압축강도 시험과 삼축압축시험을 통해 다짐도와 투수계수, 일축압축강도와 투수계수, 다짐도와 일축압축강도와의 관계를 비교·분석하였다.

표 5, 6, 7는 현장에서 채취한 샘플의 강도 및 차수성 시험결과를 나타내고 있다. 다짐도가 평균 95.0%이상 일 때 현장투수시험 결과 차수시설 기준인 1.0×10^{-7} cm/sec이하 결과값을 얻었고, 혼합토공법과 고화토공법은 차수시설 일축압축강도 기준인 1.0MPa이상보다 높은 결과값을 얻어 차수시설의 차수성 및 내구성에 문제가 없을 것으로 판단된다.

표 5 벤토나이트매트공법 투수계수 시험결과표

	시험 횟수	다짐도 (%)	투수계수 (cm/sec)	실내투수계수 (cm/sec)
벤토나이트 공법	1	95.8	1.63×10^{-7}	1×10^{-12}
	2	96.5	5.60×10^{-8}	
	3	97.9	4.40×10^{-8}	
	4	98.6	3.68×10^{-8}	
	5	99.1	2.50×10^{-9}	
	평균	97.6	6.05×10^{-9}	-

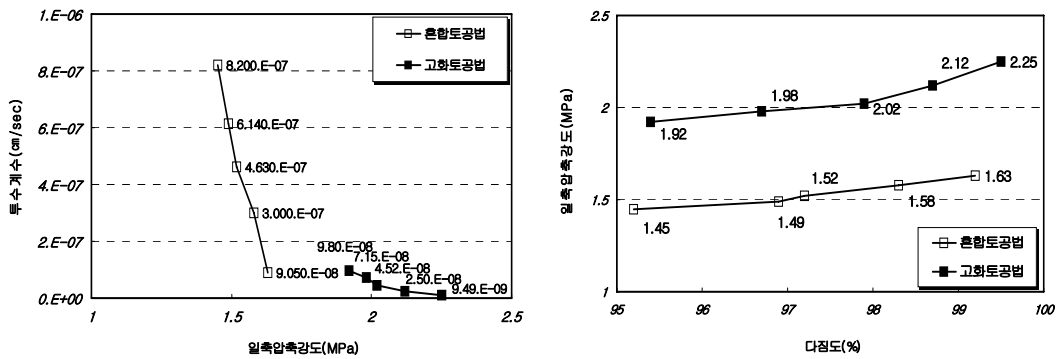
표 6 혼합토공법 투수계수 및 일축압축강도 시험결과

혼합토공법	시험 횟수	다짐도 (%)	현장투수계수 (cm/sec)	일축압축강도 (MPa)	실내투수계수 (cm/sec)
	1	95.2	8.20×10^{-7}	1.45	4.24×10^{-8}
	2	96.9	6.14×10^{-7}	1.49	
	3	97.2	4.63×10^{-7}	1.52	
	4	98.3	3.00×10^{-7}	1.58	
	5	99.2	9.05×10^{-8}	1.63	
	평균	97.4	4.58×10^{-8}	1.53	-

표 7 고화토공법 투수계수 및 일축압축강도 시험결과

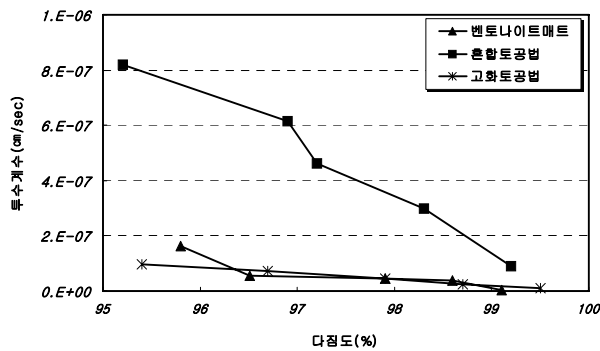
고화토공법	시험 횟수	다짐도 (%)	현장투수계수 (cm/sec)	일축압축강도 (MPa)	실내투수계수 (cm/sec)
	1	95.8	9.80×10^{-8}	1.92	9.05×10^{-8}
	2	96.7	7.15×10^{-8}	1.98	
	3	97.9	4.52×10^{-8}	2.02	
	4	98.7	2.50×10^{-8}	2.12	
	5	99.5	9.49×10^{-9}	2.25	
	평균	97.7	4.98×10^{-8}	2.06	-

그림 5의 결과에 나타나듯이 다짐도가 높을수록 투수계수는 감소하는 경향을 나타냈으며, 일축압축강도와 투수계수 관계는 압축강도가 증가하면, 투수계수는 감소하는 경향을 보였으며, 다짐도가 증가할수록 투수계수는 감소하고, 일축압축강도는 증가하였다.



(a) 일축강도-투수계수 관계

(b) 다짐도-일축압축강도 관계



(c) 다짐도-투수계수관계

그림 5 일축-다짐도-투수계수 관계

3.2 용출시험

용출 시험은 어떤 폐기물이 위생매립지에 처분되었을 때 중금속 등 유해물질이 침출되는 것을 시뮬레이션하기 위해 고안된 방법이다. 즉, 실제 상황을 가정하였을 때 오염물질이 장·단기간에 배출되는 양을 예측하는데 있어 재현성 있게 정형화하고자 제안한 방법이다. 용출실험은 크게 회분식 용출시험과 칼럼식 용출시험으로 구분할 수 있으며, 시험 시간의 제약을 고려할 때 법적 구속력을 갖는 대부분의 각국 용출시험 방법은 회분식 용출시험 방법을 채용하고 있다.

표 8은 파주운정지구 물순환시스템에서 실시된 현장에서 직접채취한 시료의 대한 용출시험결과이며, 결과에 나타나듯이 환경에 대한 무해한 성질을 가지고 있어 친환경적으로 유용한 공법이라고 판단된다.

표 8 고화토 용출시험결과

구 분	결 과	기 준	
고화토공법	P _b	검출안됨	3.0이하
	C _d	검출안됨	0.3이하
	Cr ⁶⁺	0.23	1.5이하
	C _u	검출안됨	1.0이하
	A _s	검출안됨	1.5이하
	H _g	검출안됨	0.005이하
	CN	검출안됨	검출무
	유기인	검출안됨	검출무
	트리클로로에틸렌	검출안됨	검출무
	테트라클로로에틸렌	검출안됨	검출무

6. 결 론

본 연구에서는 파주 운정지구 물순환 시스템 조성공사에서 적용된 소규모 하천 친환경 하상차수공법인 벤토나이트매트, 혼합토, 고화토공법의 현장적용성을 분석하기 위해서 실내모형시험기(2.0m×2.0m×1.0m)를 제작한 후 표면재료에 따른 강우강도별 침투율 실내시험을 실시하였고, 현장에서는 다짐도 95% 이상이었을때 시료를 채취하여 투수 및 일축압축강도를 실시하여 현장적용성의 적정성을 평가하였다.

- (1) 표면재료에 따른 강우강도별 침투분석 실내시험결과 고화토공법, 벤토나이트매트공법, 혼합토공법은 강우강도가 증가하여도 침투량이 증가하지 않았다.
- (2) 현장투수시험결과와 실내시험투수결과는 비슷한 경향을 나타냈으며, 국내차수시설 투수기준에 만족하므로 현장적용이 타당하는 것으로 확인되었다.
- (3) 혼합토, 고화토공법의 현장시험결과 다짐도가 증가할 수 록 일축압축강도는 증가하였고, 투수계수는 감소하는 경향을 확인 할 수 있었다.
- (4) 고화토공법의 환경유해성을 판단하기위하여 용출시험결과 국내 환경기준에 모두 만족하였으며, 친환경적으로 유용한 공법이라고 판단하였다.

참고문헌

1. 김명균(1998), “국내산 벤토나이트의 차수재로서의 공학적 특성,” 한국자원공학회지, Vol 35, 제 4호, pp. 800~806.
2. 석재덕(2005), GCL을 이용한 하상의 안정성 연구, 석사학위논문, 서울시립대학교.
3. 이송, 이재영, 김홍석(2000), “폐기물 매립지 바닥층의 고화토 포설시 동결/융해 현상에 관한 연구,” 한국지반공학회논문집, 제16권 제1호. pp. 179~189.
4. 이광열(2001), “Soil-Bentonite 혼합토의 다짐 및 투수성연구,” 대한토목학회 논문집, 21(6-C), pp. 689~696.
5. 주재우, 서계원, 박종범(2006), “벤토나이트 혼합토의 혼합비에 따른 투수성 연구,” 한국지반공학회 논문집, 제22권 제1호, pp. 45~52.
6. Lundgren, T.(1981). Some bentonite sealants in soil mixed blankets. Proceedings, Tenth international conference on soil mechanics and foundation engineering, Stockholm, 15~19 June, Balkema, Rotterdam. Vol. 2, pp. 349~354.
7. US EPA(1988, 1989). Requirement for hazardous waste landfill design. Construction and closure, US EPA.
8. Chapuis, R.(1990). Sand-Bentonite liners: Predicting permeability from laboratory tests. Canadian geotechnical Journal. Vol.27, NO.1, pp. 47~57.
9. Kenney, T., Van Veen, W., Swallow, M. A.(1992), Hydraulic conductivity of sand-bentonite mixture. Canadian geotechnical journal. Vol.29, NO.3, pp. 364~374.
10. Sivapullaiah, p., Sridharan, A., Stalin, V.(1996), “Swelling behavior of soil-bentonite mixtures,” Canadian geotechnical journal, Vol.33, pp. 808~814.