

지오셀 보강체의 투수면적 변화가 투수성 아스팔트포장의 투수성능에 미치는 영향

유인균

한국건설기술연구원 도로교통연구본부

Effect of permeable area change of Geocell composite on permeability performance of porous asphalt pavement

In-Kyoon Yoo

Department of Highway and Transportation Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 도시홍수의 피해를 줄이는 투수성포장의 지지력을 보강하고자 고안된 지오셀 보강체에 대해서 투수면적의 변화에 따른 유출특성을 평가하기 위해서 수리실험을 수행하였다. 지오셀 보강체의 투수면적을 늘리면 투수가 양호한 반면 지지력을 손실하게 되기 때문에 적절한 투수면적의 산정이 중요하다. LID실험시설에 있는 길이 20m 높이 1m의 인공수로에 15cm 골재기층 위에 높이 15cm, 폭 20cm의 지오셀을 설치하고 투수면적이 50%, 33%, 25%가 되도록 시멘트를 이용하여 공간을 충전하고 투수면에는 기층골재를 충전하였다. 인공강우기를 이용하여 강우강도 105mm/hr, 145mm/2hr, 175mm/3hr로 물을 분사하고 이들에 대한 유출특성을 모니터링 하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 시험결과에 대한 그래프나 표만으로는 투수면적별 유출특성은 구별하기가 쉽지 않았다. 강우강도별 유출특성은 예측되는 대로 강한 강우강도에서는 유출이 크게 일어나고 약한 강우강도에서는 유출이 서서히 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 둘째, 강우강도와 투수면적 비율이 유출특성에 미치는 영향을 평가하기 위해서 분산분석을 실시한 결과 강우강도는 유출특성에 유의미한 영향을 미치는 반면 투수면적 비율은 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다. 셋째, 위의 결과로 볼 때, 지오셀 보강체에 기층용 골재로 형성되는 투수면적을 25%까지 축소하여 지지력을 향상시켜도 유출특성에는 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다. 투수면적의 비율이 강우의 유출성능에 미치는 영향을 연구하기 위해서는 채움재의 투수계수가 중요하다. 향후 지오셀 보강체의 투수면적을 얼마나 더 줄일 수 있는지, 그리고 투수계수가 서로 다른 재료가 유출특성에 미치는 연구가 추가적으로 필요하다.

Abstract A geocell composite (GC) is designed to reinforce a permeable pavement (PP) which alleviates the urban flood damage. We performed a hydraulic experiment to evaluate the runoff by the permeable area ratio (PAR) of the GC. The larger the PAR is better, but an increase in PAR can lead to bearing capacity loss. A geocell was installed on a base aggregate (BA) using an artificial waterway. The open spaces were filled with concrete such that an area of 50%, 33%, and 25% becomes permeable. The rest of the cells contains BA. Rain with an intensity of 105mm/hr, 145mm/2hr, and 175mm/3hr was sprayed with artificial rainfall facility, and the runoff characteristics were monitored. The first conclusion from the study results is that it was not easy to distinguish the runoff characteristics by PAR only with graphs or tables of the test results. Second, from the result of the analysis of variance, it appeared that the rainfall intensity had a significant effect on the runoff. But, at the same time, the PAR had no significant effect on the runoff. Third, from the above results, if GC uses the space with BA, it is evaluated that it does not affect the runoff even if the PAR is reduced to 25% to increase the bearing capacity. We knew a priori that the permeability coefficient of the filler is the most critical factor affecting the runoff characteristics in PP.

Keywords : Urban Flood, Geocell Composite, Porous Pavement, Hydrology, Permeable Area Ratio

*Corresponding Author : In-Kyoon Yoo(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)
email: ikyoo@kict.re.kr

Received September 16, 2021

Revised October 14, 2021

Accepted November 5, 2021

Published November 30, 2021

1. 서론

도시화로 인해 하천 유량을 증가시키고, 기저유량을 감소시키며, 도시오염물의 하천유입을 증가시키는 등 물 순환 체계에 악영향을 끼치고 있다[1,2]. 이러한 문제를 지속가능한 방법으로 해결하고자 하는 것이 저영향개발 (Low Impact Development, LID)기술이고 그 중 하나인 투수성 포장이다[3]. 불투수성인 기존 포장과는 달리, 투수성 포장은 빗물이 지하로 침투하는 것을 허용하여 유출량 감소, 수자원의 오염방지 효과가 있다[1].

그러나 투수포장은 포장속의 연결된 공극을 통해 빗물이 포장체를 통과하여 지하로 침투하게 되는데 공극이 크면 물이 잘 통과하는 반면 구조적인 지지력을 잃게 된다. 또한 반대로 공극이 너무 작으면 구조적인 지지력은 확보할 수 있는데 투수가 안 되는 문제가 발생한다. 그러므로 적절한 공극을 유지하면서 구조적인 지지력을 확보해야 한다.

최근에는 보도포장에 부분적으로 투수되는 플라스틱 투수블록을 규칙적으로 시공한 것을 많이 볼 수 있다. 전체적으로 투수성포장을 시공하기에는 비용이 많이 소요되고 또 그렇게 해야만 하는 것도 아니다. 부분적으로 투수가 되어도 전반적으로 투수성포장의 기능을 다 할 수 있다. 강우강도와 투수면적 그리고 투수계수를 고려하면 부분적인 투수성포장도 가능하다. 그러나 투수면적 비율에 대한 투수성포장의 유출성능에 대한 연구는 아직 없었으며 이에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 기층에 부분적으로 투수기능을 갖는 투수성포장에 대해서 강우강도별로 유출특성에 대해서 평가하고자 한다. Lee[4] 등이 고안한 지오셀 투수성보강체는 부분적으로 시멘트가 채워져 구조적인 성능을 보강하고 부분적으로는 골재가 채워져 투수기능을 하도록 고안된 복합체이다. 투수면적이 증가하면 지지력이 저하되고 투수능력이 증가하게 되므로 지지력과 투수능력을 동시에 확보할 수 있는 적절한 비율의 투수면적을 산정할 필요가 있다.

2. 관련연구

투수성포장은 Ferguson[5] 등에 의해서 투수성포장의 도로공학적인 기능과 수문학적인 기능을 통합함으로써 본격적으로 시작되었다. 그러나 최근에 발간된 투수성포장에 대한 세계시장의 동향을 분석한 보고서[6]에 따

르면 투수성포장의 설계법의 부재가 투수성포장의 활성화에 걸림돌이 되고 있다고 지적하고 있다. 설계법에는 투수성포장의 구조적인 설계와 수문학적인 설계를 모두 포함한다.

우리나라 KMOE[7]에서 발간한 저영향개발 지침에서도 투수성포장에 대한 탁월한 효과를 강조하고 있지만 실제 적용에 대해서는 구조적인 취약성에 대한 우려와 수문학적인 저류특성의 신뢰성으로 인해 실무에서의 적용이 저조한 실정이다.

국내의 관련 연구로는 투수성포장을 고려한 SWMM의 수정 및 하수처리 재이용수와 투수성포장의 효과분석이라는 논문에서 Lee[8] 등은 시험구역인 학의천 불투수면적의 10%를 투수성포장으로 치환할 경우, 하루 비산교 지점의 저수량은 3%, 갈수량은 17%가 증가하는 것으로 평가된다고 보고하였으며 투수성포장은 갈수기의 하천수량을 증가시키는 수단이 될 수 있다고 평가하였다. 또한 Koo[9] 등은 투수성포장에 의한 비점오염원 저감 효과분석이라는 연구에서 강우가 발생할 경우 인도, 주차장 및 투수성포장의 초기 지표유출이 발생할 때, 유출수를 채수하여 실험한 결과 투수성포장의 유출수가 인도의 유출수에 비해 BOD 60%, T-P는 26.84%, T-N은 87.73%, TSS는 60.43% 낮게 나타났다고 투수성포장의 효과에 대해서 보고하였다.

투수성포장에 대한 구조적인 지지력에 대한 연구는 국내[10-13] 4편과 해외[14,15]를 검색하였고 이들은 지오셀 등을 이용하여 빗물의 침투로 인해 약화될 수 있는 포장층을 강화하는 방법 등을 제시하고 있다. 투수성포장에 대한 구조적인 보강방법은 빗물침투로 인해 투수성포장이 갖아야 하는 최소성능을 제시하기만 하면 된다. 필요한 저수용량에 따라 포장체의 두께는 증가할 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 Lee[4] 등이 고안한 투수성포장의 지오셀 보강체가 투수성포장의 기층으로 사용되었을 경우, 지오셀 보강체가 부분적으로 투수성능을 갖기 때문에 수문설계에 활용하기 위해서는 수문학적인 유출특성을 평가할 필요가 있다. 또한 충전 공간에 시멘트를 많이 채우면 구조적인 성능이 증가하고 골재를 많이 채우면 투수성능이 증가한다. 유출특성을 평가하여 적절한 투수면적을 확보할 필요가 있다. 수리실험을 통해 투수면적에 따른 투수성포장의 수문유출특성을 검증하고자 한다.

3. 시험포장과 계측

3.1 지오셀 투수 보강체

지오셀을 이용한 투수성보강체는 투수성포장의 표층 하부에 건설되는 투수층으로 규칙적인 충전 공간을 갖는 3차원 지오셀에 각각의 충전공간의 중앙으로 관통하는 철근과 같은 보강철선을 설치하고 일부 충전공간에는 몰타르나 콘크리트가 타설되어 이루어진다(Fig. 1-3).

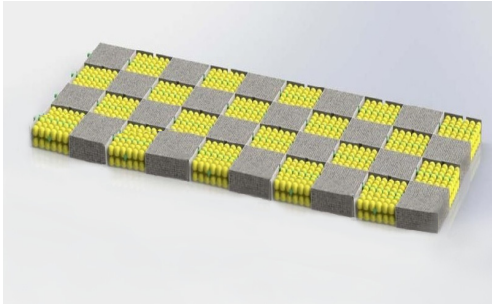


Fig. 1. Geocell Composite with 50% of Porous Area

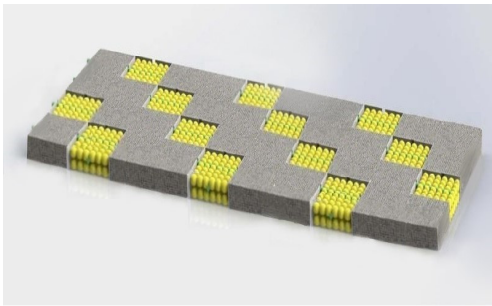


Fig. 2. Geocell Composite with 33% of Porous Area

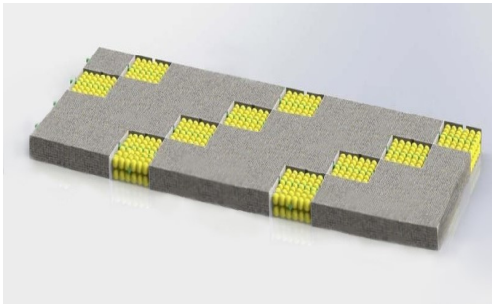


Fig. 3. Geocell Composite with 25% of Porous Area

지오셀 투수보강체는 충전 공간이 바둑판 형식으로 형성되며 그 충전 공간에 시멘트 몰타르를 채우거나 골재를 채워 투수기능을 확보할 수 있다. 구조적인 지지력을 높이려면 몰타르 영역을 넓히고 투수능력 높이려면 골재

영역을 조절할 수 있다. 충전 공간에 어떤 비율로 시멘트를 채우느냐에 따라 투수면적이 달라진다. Fig. 1이 충전 공간을 하나씩 건너 띄어 시멘트를 충전하여 50%의 투수면적을 갖는 지오셀 복합체를 보여주며 Fig. 2는 충전 공간 두 개를 채우고 하나를 건너 뛴 33%, Fig. 3은 충전 공간 세 개를 채우고 하나를 건너 뛴 25%의 투수면적을 보여주고 있다. 투수면적률이 작을수록 지지력은 증가하고 투수능력은 저하하게 된다.

3.2 시험포장 및 방법

본 시험은 LID 실험시설인 길이 20m, 높이 1m인 인공수로를 이용하여 투수와 유출실험을 실시하였다.

위 수로에 하부에 골재층 15cm를 포설하고 높이 15cm, 가로 세로 20x20cm의 Geocell을 설치하고 부분적으로 시멘트로 보강하고 나머지는 다시 골재로 충전하였다. 그리고 나란히 골재층만 설치된 수로를 두어 대조군으로 활용하였다.

본 시험에서 골재층의 입도는 미국 ASCE 개립도 골재규격에 따라 준비되었다. 사용된 지오셀 보강체에서 지오셀은 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)로 제작되었으며 높이 15cm, 폭 20cm, 두께 0.8mm인 지오셀이 사용되었다.

3.3 강우의 모사

본 시험은 국가공인 LID시험기관에서 강우-유출 직접 시험법에 따라 수행되었다. 이 방법은 포장체의 배수성능(강우-유출)을 결정하는데 적용하며, 포장체의 평균유출계수 C, 평균유출곡선지수 CN, 첨두유출저감률, 지체 시간 증가율, 단위 유출량 저감률 등을 구할 수 있다. 본 시험은 LID/W-물순환 효율성 검증기기 및 시험기관에서 보유중인 LID/W-스마트모니터링 시스템을 이용하여 수행되었다.



Fig. 4. Rainfall Simulation Test Equipments



Fig. 5. Outflow Test Set with Porous Area - 33%

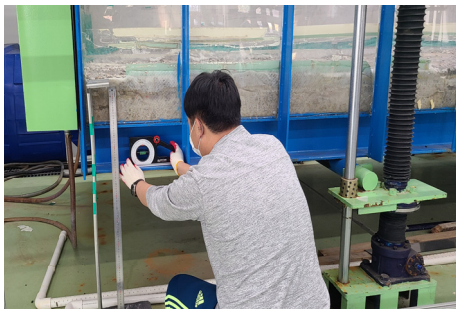


Fig. 6. Adjusting of Height of the End of Artificial Channel

Fig. 4는 수평조정을 위해 단부의 높이를 조정하는 모습을 보여주며 Fig. 6은 강우강도 조절을 위해 노즐을 교체하는 모습을 보여주고 있다.

강우량은 2017년에 행정안전부에서 제시한 지역별 방재성능목표 강우량 중 부산지역의 방재성능목표 강우량을 분사하여 각 강우량별로 표면 유출량, 표면 유출고, 발생시간, 배수유량, 배수유량 유출고, 발생시간 등을 측정하였다.



Fig. 7. Replacing the Nozzle to Change the Rainfall Intensity

방재성능목표 강우량은 홍수, 호우 등에 의한 재해를 예방하기 위해 방재 정책 등에 적용할 강우량의 목표로 정의하고 있으며, 지역별로 재현기간 30년 빈도 상당의 확률 강우량에 미래 기후변화 시나리오로 예측되는 강우 증가율을 고려하여 할증률을 적용한 예측 강우량이다. 할증률을 적용한 후 값의 단위를 5mm 기준으로 상향 적용하여 기준을 제시하고 있다. 본 연구에서 적용한 부산 지역의 방재성능목표 강우량은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Disaster Prevention Performance Target Rainfall(Busan Metropolitan)

Rainfall Duration	30 years Frequency Probability Rainfall (mm)	Disaster Prevention Performance Target Rainfall (mm)	Conversion Rainfall (mm/hr)
1hr	98.7	105	105.00
2hr	136.4	145	72.50
3hr	162.7	175	58.33

해당 강우량이 적용된 부산지역은 미래강우 증가율이 기준인 5%를 초과할 것으로 예측되는 관심지역으로 8% 까지 할증률 상향 여부를 검토할수 있도록 권고하고 있지만, 본 연구에서는 고시된 부산지역의 방재성능목표 강우량을 수정 없이 적용하였다. 해당 강우량의 분사 및 유출량의 계측은 분 단위로 측정하고, 우수유출수가 충분히 배수되었다고 판단된 시점에서 시험을 종료하고 이를 시험결과의 산정에 이용하였다.

4. 시험결과 및 통계적 분석

시험결과를 그래프로 표현한 Fig. 8은 강우강도 105mm/hr에서 투수면적 비율의 변화에 대한 유출곡선을 보여주고 있다. Fig. 9와 Fig. 10은 각각 강우강도 145mm/2hr 과 175mm/3hr에 대한 그래프를 보여주고 있다.

침투유량은 강우강도가 약화되면서 작아지는 경향을 보이며 Fig. 9의 145mm/2hr 강우강도에서는 과도기적인 변동을 보였다. 이들 그림으로부터 강우강도에 따른 유출곡선의 형상에는 차이가 있으나 투수면적별 유출차이는 시각적으로 큰 차이를 찾아보기 어렵다.

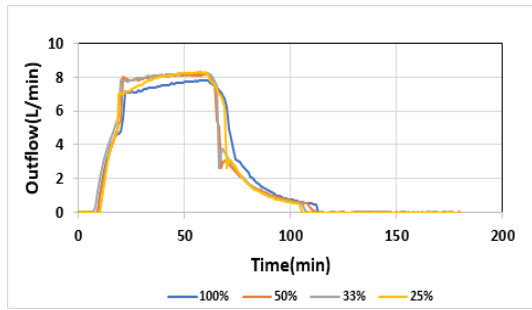


Fig. 8. Outflow by Porous Area - 105mm/hr

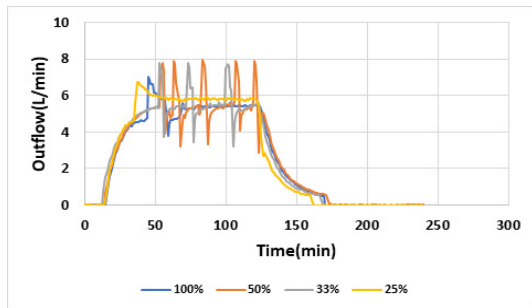


Fig. 9. Outflow by Porous Area - 145mm/2hr

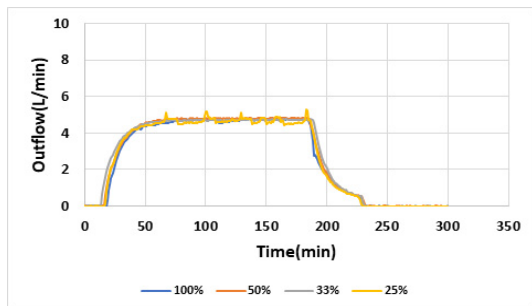


Fig. 10. Outflow by Porous Area - 175mm/3hr

세 가지 강우강도에 대한 실험결과를 표로 표현한 것이 Table 2, Table 3 그리고 Table 4와 같다.

Table 2. Outflow Characteristics by Porous Area - 105mm/hr

	Porous Area			
	100%	50%	33%	25%
Total Fow (%)	90.30	88.30	91.01	89.41
Flow Occurr. (min)	10	10	8	11
Equi Fow (L/min)	7.50	8.03	8.09	7.87
Equi. Occurr. (min)	22	21	20	19

Table 3. Outflow Characteristics by Porous Area - 145mm/hr

	Porous Area			
	100%	50%	33%	25%
Total Fow (%)	85.41	89.10	87.20	88.39
Flow Occurr. (min)	16	15	13	15
Equi Fow (L/min)	5.41	5.58	5.51	5.90
Equi. Occurr. (min)	45	45	45	37

Table 4. Outflow Characteristics by Porous Area - 175mm/hr

	Porous Area			
	100%	50%	33%	25%
Total Fow (%)	91.55	94.97	95.87	92.42
Flow Occurr. (min)	19	18	14	17
Equi Fow (L/min)	4.68	4.77	4.68	4.64
Equi. Occurr. (min)	48	47	47	46

표를 살펴보아도 어떤 경향성을 파악하기는 힘들다. 투수면적율이 줄어들수록 유출시간이 늦어지든가 첨두유량 도달시간이 늦어져야 한다고 판단할 수 있으나 그러한 경향을 찾아보기 어려운 상황이다.

이들 내용을 유출특성별로 다시 정리할 수 있고 등가 유출량으로 정리하면 Table 5와 같다.

Table 5. Equilibrium Flow by Porous Area and Rainfall Intensity

	Porous Area			
	100%	50%	33%	25%
105mm/1hr	7.50	8.03	8.09	7.87
145mm/2hr	5.41	5.58	5.51	5.90
175mm/3hr	4.68	4.77	4.68	4.64

이들 자료에 대해서 유의미한 차이가 있는가를 판단하기 위해서 분산분석을 실시한 것이 Table 6이다.

Table 6에서 Factor A(row)가 강우강도를 나타내며 P-Value는 8.4E-07로 0.05보다 매우 작은 숫자로 매우 유의미한 차이를 갖는다는 것을 의미한다. 반면에 Factor B(col.)는 투수면적 비율로서 P-Value가 0.314805로 0.05보다 매우 큰 숫자를 나타내고 있다. 이는 강우강도 차이에 대해 투수면적의 비율 차이가 유출량에 유의미한 영향을 미치지 못한다는 것을 의미한다.

Table 6. ANOVA: Two Way ANOVA for Equilibrium Flow by Porous Area and Rainfall Intensity

Source	Sum of Square	DF	Mean Square	F Ratio	P-Value	F Rejection
Factor A(row)	21.46695	2	10.73348	314.8929	8.4E-07	5.143253
Factor B(col.)	0.150033	3	0.050011	1.467199	0.314805	4.757063
Error	0.204517	6	0.034086			
Total	21.8215	11				

5. 결론

본 연구에서는 투수성포장의 지지력을 향상시키기 위하여 개발된 지오셀 보강체의 투수면적 비율에 따른 수문성능을 평가하기 위해 수행되었다. 지오셀 보강체의 투수면적을 50%, 33%, 25%로 변화를 주면서 세 가지 다른 강우강도에 대해서 유출특성 평가시험을 수행하였다. 이를 통해 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 강한 강우강도에서는 유출이 크게 일어나고 약한 강우강도에서는 유출이 서서히 일어나는 등 강우강도에 따른 유출특성은 정상적으로 나타났으나, 투수면적에 따른 유출특성은 어떤 경향성을 갖지 못하고 랜덤하게 나타났다.

둘째, 강우강도와 투수면적 비율이 유출특성에 미치는 영향을 평가하기 위해서 분산분석을 실시한 결과 강우강도는 유출특성에 유의미한 영향을 미치는 반면 투수면적 비율은 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다.

셋째, 위의 결과로 볼 때, 지오셀 보강체에 기층용 골재로 투수공간을 충전한다면 투수면적을 25%까지 줄여도 유출특성에는 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다.

투수면적의 비율이 강우의 유출성능에 미치는 영향을 연구하기 위해서는 채움재의 투수계수가 중요하다. 향후 지오셀 보강체의 투수면적을 얼마나 더 줄일 수 있는지, 그리고 투수계수가 서로 다른 재료가 유출특성에 미치는 연구가 추가적으로 필요하다.

References

[1] B. O. Brattebo, D. B. Booth, Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems, *Water Research*, Volume 37, Issue 18, November 2003, Pages 4369-4376
DOI : [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00410-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00410-X)

[2] M. D. Smith, The ecological role of climate extremes:

current understanding and future prospects, *Journal of Ecology*, Vol. 99, Issue 3, pp. 651-655, 15 April 2011
DOI : <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01833.x>

[3] R. Kumar, J. L. Musuza, A. F. Van Loon, A. J. Teuling, R. Barthel, Ten Broek J., J. Mai, L. Samaniego, S. Attinger, *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 20, Issue 3, pp. 1117, 1 March 2016

[4] K. S. Lee, I. K. Yoo, S. H. Lee, Reinforcement structure of roads, Korea Patent Office, Registered Number 10-1934884, Dec. 27 in 2018 (in Korean)
DOI : <https://doi.org/10.8080/1020160125775>

[5] B. K. Ferguson(2005), POROUS PAVEMENT, Taylor and Francis, 2005 pp. 1-10

[6] Markets and Markets, PERVIOUS PAVEMENT MARKET GLOBAL FORECAST TO 2026, Markets and Markets, pp. 40-44, 2016

[7] KMOE(2013), Low-impact development technology element guidelines for establishing a healthy water circulation system, Korea Ministry of Environment, Korea Environment Corporation, pp. 91-93, Apr. 2013

[8] J. M. Lee, S. H. Lee, K. S. Lee(2006), A modification of SWMM to simulate permeable pavement, and the effect analysis on a release of treated wastewater and the permeable pavement, *Journal of the Korean Water Resources Association*, Vol. 39, No. 2, pp. 109-120(in Korean)

[9] Y. M. Koo, Y. D. Kim, J. H. Park(2014), Analysis of Non-point Pollution Source Reduction by Permeable Pavement, *Journal of the Korean Water Resources Association*, Vol. 47, No. 1, pp. 49-62(in Korean)
DOI : <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2014.47.1.49>

[10] S. H. Lee, I. K. Yoo, J. W. Kim(2011), A Study on the Structure Design of Permeable Asphalt Pavement, *Journal of the Korean Society of Highway Engineers*, Vol. 13, No. 3, pp. 39-49(in Korean)

[11] H. W. Yoo, J. H. Oh, J. Y. Jung, S. I. Han(2018), Establishment of design Factors and Procedure for Permeable Asphalt Pavements Structural Design, *International Journal of Pavement Engineering*, Jan. 2017
DOI : <http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2018.38.1.0113>

[12] S. H. Lee, I. K. Yoo, D. Y. Lee(2012), Evaluation of

- Bearing Capacity for Permeable Pavement using Geocell, *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol. 11, No. 3, pp. 11-17(in Korean)
- [13] H. S. Oh, Y. K. Hong(2007), A Study on Enhancement of the Durability of Permeable Pavement Material, *Journal of Elastomer*, Vol. 42, No. 2, pp. 93-101(in Korean)
- [14] D. C. Saha, J. N. Mandal(2018), Performance of reclaimed asphalt pavement reinforced with Bamboo geogrid and Bamboo geocell, *International Journal of Pavement Engineering*, Aug. 2018
DOI : <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1502432>
- [15] A. M. George, A. Banerjee, A. J. Puppala, M. Saladhi (2019), Performance evaluation of geocell-reinforced reclaimed asphalt pavement(RAP) bases in flexible pavements, *International Journal of Pavement Engineering*, Mar. 2019
DOI : <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1587437>

유 인 균(In-Kyoon Yoo)

[정회원]



- 1986년 2월 : 고려대학교 공대대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 고려대학교 공대대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1995년 10월 : 도로 및 공항 기술사, 한국산업인력공단
- 1987년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 선임연구위원

〈관심분야〉

도로공학, 포장공학, 교통환경