

우수유출 저감을 위한 투수성 포장의 설치 면적에 관한 연구

장영수, 신현석*
부산대학교 사회환경시스템공학과

The study on Installation Areas of Permeable Pavement for Stormwater Control

Young-su Jang, Hyun-suk Shin*

Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

요약 도시화와 기후변화로 인해 홍수피해의 증가, 수질의 악화 등의 피해가 커지고 있다. 이에 대응하기 위해 전세계적으로 도시유역의 수문학적 체계를 가능한 자연 상태로 복원하고자 하는 기술인 저영향개발(Low Impact Development, LID) 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 정부에서 발표한 저탄소녹색성장기본법, 친수구역 특별법 등에서는 LID 기법과 같은 기술의 중요성을 명시하고 있다. 현재 저영향개발 요소기술은 다양하게 개발되고 있으나 요소기술의 효율성 검증에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다. 본 연구에서는 초보 단계에 있는 저영향개발(LID)기법의 효율성 검증을 위해 K-LIDM 모형을 사용하여 주차장의 투수-불투수 포장 최적 공간 분포를 분석하였다. 8가지의 포장 시나리오와 3가지 강우강도 시나리오를 활용하였으며, 하루 40%의 투수포장이 전체 투수포장과 유사한 약 90%의 유출 저감 효과를 나타내는 것으로 나타났다. 이러한 분석과 실제 투수포장에 대한 실험의 연계를 통하여 향후 도시 계획, 단지 조성 등에 LID 시설을 배치하기 위한 근거 자료로 활용 될 것이다.

Abstract The flooding and deterioration of water quality caused by urbanization and climate change are becoming more serious. In order to respond to this, studies on low impact development (LID) technology, which is designed to restore the hydrological system of the urban basin to its natural state, have been actively pursued all over the world. The announcement of the low carbon green growth law, hydrophilic area special law, etc., highlights the importance of technology such as the LID method. However, whereas various developments have been made in relation to the current LID element technology, there has been little research designed to verify its effectiveness. In this study, we analyzed the optimum spatial distribution of pitcher fire pitcher packing in parking lots using the K - LIDM model to verify the effectiveness of the low impact development (LID) method in the early stages. Using the eight package scenario and the three rain intensity scenarios, it was found that the lower 40% pitcher packaging results in an approximately 90% spill reduction effect, as in the case of the whole pitcher's package. The confirmation of these analyses and experimental verification is expected to ensure that the actual pitcher packaging will be used as a basis for arranging LID facilities such as urban planning and housing development in the future.

Keywords : K-LIDM, Low Impact Development, Peak Discharge, Permeable Pavement, Runoff Volume

1. 서론

기후변화에 따른 이상 현상은 도시화로 인해 불투수

층이 증가한 도심에 큰 영향을 끼치고 있다. 특히 강우패턴의 변화와 강우강도의 증가는 투수능력이 부족한 도시 유역에서 홍수, 내수침수 등의 심각한 경제적인 사회적

본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 1615007273).

*Corresponding Author : Hyun-suk Shin(Pusan National Univ.)

Tel: +82-51-510-2348 email: hsshin@pusan.ac.kr

Received September 25, 2017

Revised (1st October 19, 2017, 2nd October 24, 2017)

Accepted November 3, 2017

Published November 30, 2017

인 피해를 주고 있다. 우리나라의 경우 1 조원 이상의 홍수피해가 8회 발생하였고 ‘87년을 제외하고는 대규모의 피해가 최근에 발생하였다. 또한 재해발생 원인별 재산 피해 발생 비율은 태풍으로 인한 피해가 59%, 호우 23%, 호우-태풍 11% 등으로 풍수해에 의한 피해가 93%에 달하고 있다[1].

최근 기존 유역단위의 치수 관리의 한계를 극복하기 위한 대안으로 저영향개발(Low Impact Development, LID) 기법이 연구되고 있다. 미국의 PGDER(Prince George's County, Maryland Department of Environmental Resources)에서 시작된 저영향개발 기법이란 기존 강우 유출수 관리에 적용되었던 복잡하고 과대한 비용을 요구하는 공학적 접근 방식과 다른 방식으로 녹색 공간의 확보, 자연형 공간 조성, 자연 상태의 수문순환 기능의 유지 기법 등을 활용하여 개발 대상지에서의 강우유출 및 비점오염원의 영향을 최소화할 수 있는 새로운 기술이다. 미국, 유럽 등 선진국을 중심으로 기존의 단위 유역별 우수 관리 시스템에서 지구 단위의 우수 관리 시스템으로 도시계획 및 실용화 연구가 이루어지고 있다. 저영향개발 요소기술 중 투수성 포장은 다공성 재료로서 단 입도 골재를 사용하여 제조하여 공극의 비율이 매우 높은 특성을 가지고 있다. 따라서 투수성 포장은 1990년대 후반 처음 도입 되었으며, 물 순환 체계를 개선하기 위한 포장기술은 초기 적용 단계 및 연구개발 중에 있다[2].

투수성 포장에 대한 국내 연구사례로는 [3]은 투수성 포장의 호우시 우수유출 저감 효과를 분석하였으며 [4]는 SWMM을 이용하여 옥상녹화와 투수성 포장의 유출 저감 효과를 분석하였다. [2]는 투수성 포장의 침투 실험을 통한 도시유역 유출 변화를 연구하였으며 전체 면적 대비 투수성 포장의 설치면적이 1%에서 15%로 증가함에 따라 유출 저감효과가 2.72%~8.6%로 나타났다. [5]는 SWMM을 이용하여 저영향개발 요소기술의 공간적 분포에 따른 우수유출특성을 분석하였으며 옥상녹화와 투수성 포장의 적용 개수에 따라 저감효과가 증가함을 알 수 있었다. [6]은 투수성 포장의 침투를 분석을 위해 더블링을 이용하여 현장 침투능을 분석하였다. 국외 연구사례로는 [7]은 자연강우에 대해서 불투수성과 투수성 포장의 침투효과를 분석하였으며 [8]은 투수성 포장에 대한 모델링 결과값을 실제 현장 모니터링을 통해 두 값을 비교하였다. 또한 [9]는 설치되어 있는 투수성 포장 시스템과 불투수 토장에 대한 더블링 실험과 실강우 모

니터링을 통해 침투능과 유출량을 평가하였으며 [10]과 [11]은 투수성 포장의 막힘 현상에 따른 유출량 변화를 분석하였다.

이같이 투수성 포장에 대한 우수유출 저감 효과를 위한 실험과 모델링을 통해 효과를 분석하고 효율성을 확인하였지만 투수성의 포장에 대한 효과적인 설계에 대한 연구는 미비하다.

따라서 본 연구에서는 투수성 포장의 설계 비율에 따른 효과를 분석하기 위해 같은 면적의 주차 면적에 대해 5개의 주차장을 투수성 포장과 불투수성 포장의 배치에 따른 시나리오에 대해서 K-LIDM을 이용하여 침투유출 저감 효과 및 유출체적 저감 효과를 분석하였다.

2. 연구방법

2.1 투수성 포장 개요

투수성 포장은 불투수를 기본 설계개념으로 하는 기존의 포장공법과는 달리, 투수가 가능하도록 시공된 포장체를 통해, 포장체 공극에서의 저류 및 증발산을 유도하여 강우 유출에 적극적으로 대응하기 위한 공법이다. 투수성 포장의 구조는 평탄성을 제공해주는 표층, 저류 공간을 확보해주는 저류층으로 기층과 보조기층으로 구성된다. 기층은 쇄석과 같이 불포화층으로 볼 수 있고, 보조기층으로는 모래와 같이 포화층으로 볼 수 있다. 따라서 투수성 포장체의 빗물처리 방식은 표면 유출, 하부층으로는 침투, 대기 증으로 증발로 나눌 수 있다. 투수성 포장은 빗물 저장기능, 총 유출량 저감, 표면 유출 저감, 침투 유출을 저감 등의 대표적인 기능이 있으며 표면 침투능 및 강우조건에 따라 차이가 있으며 표면층에서 발생하는 오염원이 투수성 포장을 통해서 토양층과 대수층으로 전이되지 않도록 하여 하천이나 농경지의 오염을 줄일 수 있다. 또한 도시화로 열섬 현상을 감소시키고 주행 및 보행 안정성을 확보 할 수 있는 장점이 있다.

2.2 모형의 선정

저영향개발 기술에 대한 모델링은 SWMM이 국내에서 주로 사용되고 있으나 저영향개발 적용시 적용 비율에 대한 효과를 분석할 수 있지만 저영향개발 요소간의 연계에 대한 효과분석에는 한계가 있으며 저영향개발 시설의 수리학적 거동을 엄밀하게 해석할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 저영향개발 기술의 수

리, 수문학적 분석이 가능하고 단일, 복합 시설의 분석이 가능한 한국형 저영향개발-해석모형(K-LIDM)을 사용하였다. 본 모형은 국토교통부 도시물순환 기술 연구단에서 개발한 모형으로 기존 미국의 WWHM(Western Washington Hydrology Model)을 한국형으로 보완하여 개발한 모형이다. [12]는 WWHM의 초기모델인 BAHM의 HSPF의 기작과 저영향개발 기법의 대한 적용에 대한 모형 검보정을 실시하였으며 검보정 결과 오차범위가 5% 이내로 실제 현상과 모의가 맞음을 확인하였다.

본 모형을 통해 구축이 가능한 저영향개발 시설은 투수성포장, 식생체류지, 옥상녹화, 빗물집수통, 식생여과대, 수목여과박스, 침투저류지, 침투트렌치, 식생수로, 모래여과가 있으며 각 시설물의 제원을 입력하여 분석이 가능하며 특히, 저영향개발 시설 하부토양의 토양종류 및 공극율에 따른 침투효과를 상세히 모델링 할 수 있다. 또한 시설물의 방류구조물인 라이저(Riser), 오리피스(Orifice), 웨어(Weir)의 설치효과를 수리 수문학적 하도 추적으로 명확하게 규명할 수 있는 장점이 있다. 저영향개발 시설은 저류계산(Reservoir), 침투계산(침투율, Green-Ampt, Darcy's and Van Genuchten's equation), 방류계산(Orifice, Weir equation)으로 분석된다. 기상자료는 국내 10개의 기상관측소의 강우 및 증발산량 장기 자료와 2년, 5년, 10년, 20년, 50년, 100년 빈도 지속기간 1, 2, 3시간 강우 DB를 모형에 탑재하여 유출량 계산이 가능하다. 또한 개발 전·후 시나리오로 구분하여 LID 시설에 의한 우수유출저감 분석 및 물순환 효과 분석이 가능하다.

강우유출계산의 기본유출계산의 경우 HSPF의 투수지형(pervious land)에서의 수문 및 수질을 모의하는 PERLND 모듈과 불투수지형(impervious land)의 수문 및 수질을 모의하는 IMPLND 모듈이 적용되었다. 포장면에 대한 유역 유출 모의는 도로, 주차장 등 불투수면에 대한 유역유출계산은 HSPF 모형의 IMPLND 모듈을 이용하여 계산할 수 있으며 IWATER의 주요 입력 매개변수는 LSUR, SLSUR, NSUR 등이 있다. IWATER의 입력매개변수는 도로의 경사에 따라 SLSUR(불투수면에 대한 지표흐름 경로의 경사)와 RETSC(부투수면적 초기 표면저류용량)에 차이가 있다. 또한 투수성 포장의 도로 노면에 대한 IWATER 매개변수는 FLAT한 경사의 도로와 동일한 매개변수가 적용된다. 투수성 포장의 LID 기작은 포장층 상부 저류, 투수포장층의 내부의 저류, 포장

층 하부의 침투, 하부집수암거를 통한 Underdrain 으로 구성되며 HSPF의 RCHRES 모듈의 HYDR 섹션에서 계산된다.

Fig. 1은 K-LIDM의 작동화면이다.



Fig. 1. Interface of K-LIDM

3. 연구결과

3.1 투수성 포장 적용 시나리오

투수성 포장의 분포에 따른 유출저감 효과분석을 위해 투수성 포장의 제원은 경상남도 양산시 부산대학교 양산캠퍼스 내 한국 GI&LID 센터의 실외 주차장형 LID 구역의 투수성 콘크리트 시설의 제원으로 설계하였다. 본 대상유역의 포장 길이는 10.85m, 포장 폭은 2.3m이며 바닥경사는 1%이다. 또한 유공관 직경은 100mm 이며 바닥에서 유공관의 높이는 0.1m로 설정하였다. Table 1은 K-LIDM 모형 구축을 위한 투수성 포장의 매개변수를 나타내었다.

Table 1. Parameter K-LIDM for Permeable Pavement

Spec.	Parameters	Value
Facility Dimensions	Pavement Length (m)	10.85
	Pavement Bottom Width (m)	2.3
	Effective Total Depth (m)	0.5
	Bottom slope (m/m)	0.01
	Effective Volume Factor	0
Layers for Porous Pavement	Pavement Thickness (m)	0.2
	Pavement porosity (0-1)	0.2
	Sublayer 1 Thickness (m)	0.06
	Surlayer 1 porosity (0-1)	0.3
	Sublayer 2 Thickness (m)	0.64
	Surlayer 2 porosity (0-1)	0.25
Native Infiltration	Measured Infiltration Rate (mm/hr)	17
	Reduction Factor (infiltr*factor)	1
	Use Wetted Surface Area (sidewall)	No
Initial Con.	initial Stage (m)	0
Outlet Condition	Underdrain Diameter(mm)	100
	Underdrain Height(m)	0.1

투수성 포장의 배치에 따른 우수효과 분석을 위해 동일한 면적의 주차영역에 대해 5개의 불투수 포장과 투수성 포장의 위치 분포를 다르게 하여 동일한 강우 시나리오에 대해 우수저감 효과를 분석하였다. 첫번째 시나리오는 대조군으로써 5개의 주차장 모두 불투수 포장으로 구성하였고 두번째 시나리오는 전체를 투수성 포장으로 구성하였다. 세번째 시나리오는 최상부에 투수성 포장을 설치하고 나머지는 불투수 포장으로 구성하였다. 네번째 시나리오는 최상부 2개의 주차장에 투수성 포장을 설치하고 나머지는 불투수 포장으로 구성하였다. 다섯번째 시나리오는 최하부에 투수성 포장을 설치하고 나머지 상부에는 불투수 포장으로 구성하였으며 여섯번째 시나리오는 최하부에 2개의 주차장에 투수성 포장을 설치하고 나머지 상부에는 불투수 포장으로 구성하였다. 일곱번째 시나리오는 최하부에 3개의 주차장에 투수성 포장을 설치하고 나머지 상부에는 불투수 포장으로 구성하였으며 마지막 시나리오는 불투수 포장 사이에 투수성 포장을 설치하여 배치하여 구성하였다. Table 2은 투수성 포장의 공간 배치에 따른 시나리오를 나타내었다.

Table 2. Scenarios for Permeable Pavement Methods and Areas

Scenarios	Kind of Pavement				
	Top	-	middle	-	bottom
Scenarios 1	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Scenarios 2	Permeable	Permeable	Permeable	Permeable	Permeable
Scenarios 3	Permeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Scenarios 4	Permeable	Permeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Scenarios 5	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Permeable
Scenarios 6	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Permeable	Permeable
Scenarios 7	Impermeable	Impermeable	Permeable	Permeable	Permeable
Scenarios 8	Impermeable	Permeable	Impermeable	Permeable	Impermeable

3.2 우수유출 저감 효과 분석

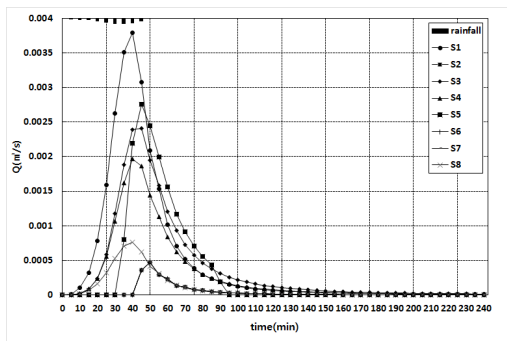
투수성 포장의 배치에 따른 우수 저감효과 분석을 위해 5개의 동일한 면적에 대해 투수성 포장과 불투수성 포장의 배치에 따른 시나리오에 대해서 분석하였다. 강우 시나리오는 [13]의 부산시 설계 강우 5년, 10년, 30년 빈도 지속시간 60분에 대한 강우량을 사용하였으며 huff 3분위를 이용하여 5분 단위의 강우량을 산정하였다. 5년

빈도의 총 강우량은 60.40mm, 10년 빈도의 총 강우량은 72.1mm이며 30년 빈도의 총 강우량은 89.5mm이다.

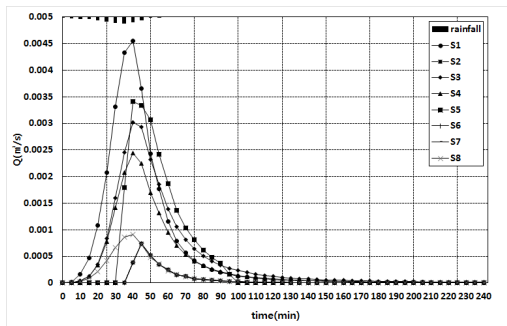
침투 유출 저감 효과를 분석하면 불투수 포장의 침투 유출량과 대비하여 모든 시나리오에서 침투 유출 저감 효과가 발생하였으며 강우량이 증가함에 따라 저감되는 것을 알 수 있다. 시나리오별로 저감 효과를 분석하면 S2의 경우 81.76~87.64%, S3의 경우 30.41~36.52%의 저감 효과가 있었다. S4의 경우 44.56~48.07%, S5의 경우 21.40~27.21%의 저감 효과가 있으며 S6의 경우 81.76~87.63%의 저감 효과가 있었다. S7의 경우 81.76~87.64%, S8의 경우 79.96~79.97%의 저감 효과가 있었다. 가장 큰 저감 효과를 나타낸 시나리오는 S2, S6, S7로서 S2의 경우 전 구역에 투수성 포장을 실행한 시나리오이고, S6은 하부의 40%를 투수성 포장으로 한 시나리오이며, S7은 하부의 60%를 투수성으로 포장한 시나리오이다. 가장 작은 저감 효과를 나타낸 시나리오는 S3, S5으로서 상부 또는 하부에 20%를 투수성으로 포장한 시나리오이다. 전 구역을 투수성 포장으로 한 경우와 하부의 40%만 투수성으로 포장한 경우의 침투유출 저감 효과가 유사함을 알 수 있다. Table 3은 시나리오별 침투 유출량에 대한 저감 효과를 나타내었으며 Fig. 2는 시나리오별 유출수문곡선을 나타냈다.

Table 3. Peak Discharge Results from Scenario

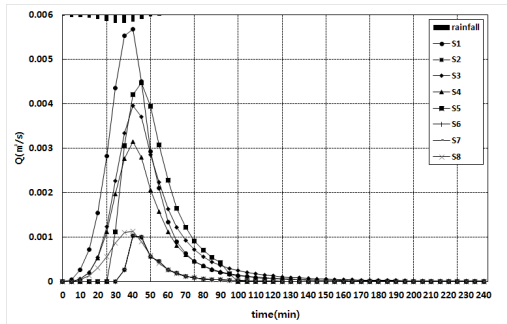
Scenario	5 year		10 year		30 year	
	Peak discharge (m ³ /s)	Reduction (m ³ /s)	Peak discharge (m ³ /s)	Reduction (m ³ /s)	Peak discharge (m ³ /s)	Reduction (m ³ /s)
S1	0.0038	-	0.0046	-	0.0057	-
S2	0.0005	0.0033 (▼87.64%)	0.0007	0.0038 (▼83.75%)	0.0010	0.0046 (▼81.76%)
S3	0.0024	0.0014 (▼36.52%)	0.0030	0.0015 (▼33.72%)	0.0040	0.0017 (▼30.41%)
S4	0.0020	0.0018 (▼48.07%)	0.0024	0.0021 (▼46.31%)	0.0032	0.0025 (▼44.58%)
S5	0.0028	0.0010 (▼27.21%)	0.0034	0.0011 (▼25.19%)	0.0045	0.0012 (▼21.40%)
S6	0.0005	0.0033 (▼87.63%)	0.0007	0.0038 (▼83.74%)	0.0010	0.0046 (▼81.76%)
S7	0.0005	0.0033 (▼87.64%)	0.0007	0.0038 (▼83.75%)	0.0010	0.0046 (▼81.76%)
S8	0.0008	0.0030 (▼79.97%)	0.0009	0.0036 (▼79.96%)	0.0011	0.0045 (▼79.96%)



(a) 5 year, 60min



(b) 10 year, 60min



(c) 30 year, 60min

Fig. 2. Runoff hydrograph for scenarios

3. 결론

본 연구에서는 투수성 포장의 설치 면적에 따른 우수 저감 효과를 분석하기 위해 같은 면적의 주차 공간에 대해 5개의 주차장을 투수성 포장과 불투수성 포장의 배치를 다르게 하여 8개의 시나리오로 분석하였다.

(1) 적용 시나리오를 분석하기 위해 K-LIDM 모형을

이용하여 모델링 하였으며 설계강우 지속시간 60분의 5년, 10년 30년 빈도의 강우에 대해 분석한 결과 불투수층의 유출에 비해 투수성 포장에 포함된 경우 모두 침투유출 저감 효과 및 유출체적 저감 효과가 있음을 알 수 있다.

(2) 침투유출 저감 효과에 따른 결과를 분석해보면 S2, S7, S6, S8, S4, S3, S5 순으로 저감 효과가 크게 발생하였으며 가장 큰 저감 효과는 전 지점이 투수성 포장일 경우이지만 S6의 경우 투수성 포장이 하부 40%에 적용된 경우 전 구역을 투수성 포장으로 설치한 경우와 동일한 결과를 얻음을 알 수 있다. 또한 유출체적 저감 효과에 따른 결과를 정리하면 S2, S7, S6, S8, S5, S4, S3 순으로 저감 효과가 크게 발생하였으며 가장 큰 저감 효과는 전 지점이 투수성 포장일 경우이지만 침투 유출량 저감 효과와 동일하게 S6의 경우 투수성 포장이 하부 40%에 적용된 경우 전 구역을 투수성 포장으로 설치한 경우와 동일한 결과를 얻음을 알 수 있다.

(3) 투수성 포장을 전 구역에 설치를 한다면 가장 큰 효과를 가지지만 경제성을 포함한다면 하부 40%의 구역에만 투수성 포장을 설치하여 같은 효과를 내기 때문에 투수성 포장의 효과적인 설치를 통해 최상의 저감 효과를 얻으면서 경제성도 얻을 수 있을 것이다.

투수성 포장의 최적공간 분포 선정을 위해 K-LIDM을 이용하여 투수성 포장의 공간 분포에 따른 d우수 유출 저감 효과를 평가하였다. 향후 연구에서는 실제유역에 적용하여 현장실험을 통한 검증이 필요할 것이며 다양한 저영향개발 시설에 대한 효과 증대를 위한 공간 분포 연구와 실측값을 통한 복합적인 저영향개발 시설에 대한 연구가 함께 수행되어야 할 것이다.

References

- [1] Hong, C., "Understanding the affect of preliminary disaster inspection and consultation system.", Journal of Korean Society of Civil Engineering, vol. 54, no. 5, pp. 21-27, May, 2006.
- [2] Koo, Y. M., Jo, J. A., Kim, Y. D., Park, J. H., "A study on runoff analysis of urban watershed by hydrologic

infiltration experiment of permeable pavement.”, Journal of Korean Society of Civil Engineering, vol. 33, no. 2, pp. 559-571, Feb. 2013.

DOI: <http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2013.33.2.559>

- [3] Yi, J. E., Yeo, W. G., Shim, J.H., and Kang, T.H., “Analysis of stormwater runoff reduction effects by using porous pavement.”, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, vol. 21 no. 6A, pp. 645-654, June, 2001.
- [4] Bae, C. Y., Park, C. K., Choi, S.H., and Lee, D.K., “Analysis of urban runoff with LID application - Focused on green roofs and permeable pavement.”, Journal of Korean Planning Association, vol. 47 no. 6, pp. 39-47, June, 2012.
- [5] Yeon, J. S., Jang, Y. S., Lee, J. H., Shin, H. S., Kim, E. S., “Analysis of stormwater runoff characteristics for spatial distribution of LID element techniques using SWMM.”, Journal of the Korea Academia-Industrial, vol. 15, no. 6, pp. 1-7, June, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.6.3983>
- [6] Kim, G., Field permeable performance analysis and evaluation of permeable pavement in pusan national university-korea GI & LID center. Master dissertation, Pusan National University, Busan, Korea, pp. 1-88, 2007.
- [7] Erin A. Dreelin, Laurie Fowler, C. Ronald Carroll, “A test of porous pavement effectiveness on clay soils during natural storm events”, Water Research, vol. 40, pp. 799-805, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.12.002>
- [8] Wolfram Schluter, Chris Jefferies, “Modelling the outflow from a porous pavement”, Urban Water, vol. 4, pp. 245-253, 2002.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00065-6)
- [9] Elizabeth A. F., Samuel B., “Urban runoff mitigation by a permeable pavement system over impermeable soils”, Journal of Environmental Engineering, pp. 475-485, 2010.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000238](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000238)
- [10] Pezzaniti, D., Beecham, S., Kandasamy, J., “ Influence of clogging on the effective life of permeable pavements”, Water Management, 162(WM3), pp. 211-220, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1680/wama.2009.00034>
- [11] C. F. Yong, D. T. McCarthy, A. Deletic., “Predicting physical clogging of porous and permeable pavements”, Journal of Hydrology, 481, pp. 48-55, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.009>
- [12] Jill B., Doug B., Arleen F., “The Bay Area Hydrology Model - A Tool for Analyzing Hydromodification Effects of Development Projects and Sizing Solutions”, California Stormwater Quality Association, 2006.
- [13] Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, Improvement and Supplement of Probability Rainfall, pp. 1-533, 2011.

장 영 수(Young-su Jang)

[정회원]



- 2011년 2월 : 부산대학교 토목공학과 (공학사)
- 2013년 2월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 수공학전공 박사과정

<관심분야>
수공학, 수자원

신 현 석(Hyun-suk Shin)

[정회원]



- 1990년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 고려대학교 토목환경공학 (공학석사)
- 1997년 1월 : University of Colorado 토목환경공학 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 교수

<관심분야>
수공학, 수자원