

Effects of porous pavement on runoff reduction in Boguang subcatchment

투수성 포장도로 도입을 통한 보광배수유역 유출량 저감효과 검토

Jiyun Jung · Gunyoung Lee · Jaena Ryu · Jeill Ohe*

정지윤 · 이건영 · 류재나 · 오재일*

중앙대학교 사회기반시스템공학부

Abstract : Among various Green Infrastructure measures for urban stormwater management, effects of porous pavement were quantitatively examined in terms of hydrological cycle. Different scenarios for porous pavement were introduced on a SWMM model and the effects were compared and analysed using discharge hydrographs. Two types of pavements having different runoff coefficients (0.05 & 0.5) were introduced to cover different ratio of entire road areas (100 %, 77.5 % and 40.4 %) and these made up in total 6 different scenarios. Total runoff volume was reduced and peak flow was significantly decreased by applying the porous pavement. The highest reduction for total runoff was shown from S-6(covering area: 100 %, runoff coefficient: 0.05) as 19 % followed by S-5(covering area: 77.5 %, runoff coefficient: 0.05, 16 %), while that of S-2(covering area: 40.4 %, runoff coefficient: 0.05) and S-1(covering area: 40.4 %, runoff coefficient: 0.5) were the lowest with 8 % and 5 %. This proved that the application of porous pavement would improve urban hydrological cycle.

Key words : Porous pavement, Stormwater management, Green infrastructure, Discharge hydrograph, Stormwater management model

주제어 : 투수성 포장, 빗물 관리, 녹색인프라, 유출수문곡선, 강우유출모형

1. 서론

최근 미국 환경청(EPA)은 저영향개발(low impact development), 녹색인프라(green infrastructure)등으로 대변되는 최적관리방법들(best management practices)을 환경 친화적인 도시 우수(stormwater) 관리차원에서 매우 중요한 수단으로 파악하고 있으며, 물순환(빗물 침투, 증발, 침수 및 재사용), 수질보전, 홍수완화, 도시 열섬효과 완화 및 기후변화 적응 등 모든 측면에

서 지속가능하고 비용·효과적인 종합적 빗물관리 전략으로 파악하고 있다(USEPA, 2010).

도시빗물 관리 차원의 녹색인프라는 실제 사람들이 생활하고 일하는 도시지역에서 사회적·경제적·환경적 편익을 제공하며, 다음의 두 가지 접근방법으로 크게 대변될 수 있다. 먼저 숲, 습지, 침수지 등 자연경관 및 생태 민감지역의 보전과 복구를 빗물 관리의 핵심요소로 보고 이러한 지역의 보전과 복구를 통해 수질개선, 생물서식지 및 야외 여가활동을 위한 기회를 제공하는 거시적(Macro) 접근 방법과, 레인가든(Rain garden; 빗물의 흐름을 완화시키고 모아서 땅에 스며들도록 하기 위해 토착식물을 심어 놓은 정원), 투수

* Received 7 November 2012, revised 4 April 2013, accepted 15 April 2013.

* Corresponding author: Tel : +82-2-820-5339 Fax : +82-2-812-1834 E-mail : ohjeill@cau.ac.kr

성 도로/도보 포장, 옥상녹화(Green roofs), 빗물모으기(Rain harvesting), 화단 등과 같은 우수의 유출수를 줄이거나 집수·처리할 수 있는 미시적(Micro) 접근 방법으로 구분할 수 있다 (Haifeng, J., 2011; USEPA, 2002, 2009).

이들의 대표적인 방법들은 주로 저류의 기능 또는 침투의 기능을 수행하며, 이들의 효과를 유출량 저감, 침투, 증발산, 수질개선 등으로 모의하고 검토하는 연구는 다방면에서 수행되어 왔다. Jia et al. (2012)의 경우, 중국 베이징의 소규모 지역을 대상으로 녹색지붕, 투수성포장, 침투 트렌치 등의 다양한 우수관리의 방법을 모의하여 가장 적절한 저영향개발의 관리방법을 도출하는 연구를 수행하였으며, Pyke et al. (2011)에서는 기후변화에 의한 강우의 변화에 대하여 대상지역의 토지이용의 변화를 가정 한 투수지역의 변화 영향을 모의하였다. 2012년 Schaffler and Swilling의 연구에서는 요하네스버그 지역을 대상으로 다양한 시나리오를 구성하여 이들의 효과를 검토하고, 특히 사회-경제적인 측면 하에서 이들의 도입에 대한 고려가 필요함을 나타내었다.

이들의 다양한 방법 중 특히 투수성 포장의 효과는 우수/저류시설과 달리 전체 우수체적을 감소시킴과 동시에 침투 유출도 저감할 수 있는 효과를 나타낸다 (Brattebo and Booth, 2003). 유출량 감소에 대해 나타낸 연구들은 미국의 플로리다, 노스캐롤라이나, 조지아에서 수행된 결과가 있으며, 각각 50, 75, 93 %의 저감을 나타내었다 (Rushton, 2001; Hunt et al, 2002, Dreelin et al, 2006). Scholz et al. (2007)의 연구에서는 우수관리를 위한 투수성 포장의 효과가 침투 유출의 저감에 42 %까지 영향을 미치는 것으로 나타내었다. Newell et al. (2013)에서 조사된 미국에서 우수관리를 위한 투수성 포장재(투수성 아스팔트, 콘크리트, 포장재로 등)의 도입은 시카고, 발티모어, 로스앤젤레스, 시애틀, 워싱턴 등 전역에서 수행되고 있으며, 국

내의 경우도 소방방재청에서는 도로의 시멘트 콘크리트 포장재를 통하여 빗물을 노상에 침투시켜 흡속으로 환원시키는 기능을 갖는 “투수성 시멘트 콘크리트 포장”과 아스팔트 콘크리트 내부에 공극을 형성하도록 하여 물이 포장재 속을 투과, 노반에 흡수되게 하는 “투수 아스팔트 콘크리트 포장(투수 아스콘)”의 설계, 시공 및 유지관리와 관련한 기준을 속속 도입하고 있다(소방방재청, 2009).

본 연구에서는 도시 빗물 관리를 위한 다양한 녹색인프라 수단 중에서 투수성 도로 포장제의 도입 효과를 물 순환 관점에서 정량적으로 검토하고자 한다. 대상 소규모 집수구역에 대상으로 우수유출 모형(SWMM Model)을 구축하고 투수성 도로면의 도입 시나리오에 따른 효과를 유출수문곡선(Runoff hydrograph) 중심으로 검토하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 대상구역 SWMM 모형 구축

2.1.1 대상구역 선정

본 연구에서 선정한 연구대상지역은 다음의 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 서울시 용산구 보광동 일대를 중심으로 유역 면적은 약 55.9 ha이며, 현재 한남 뉴타운 재정비 촉진지구로서 주거지역으로 조성될 예정인 곳으로, 유역 내에서 발생하는 모든 빗물을 관리할 수 있는 지점이다. 대상 유역 내의 토지이용현황은 고밀도의 주거 밀집지역으로 주택지와 상업지가 약 60 %로서 대부분의 구성을 차지하고 있으며, 도로가 약 19 %로 구성되어 있어, 전체 유역 면적의 약 80 %가 도시화가 되어 있어 불투수면적의 비율이 높은 지역이다. 따라서 도시 빗물 관리를 위한 다양한 녹색인프라 수단 중에서 지역적 적합인자를 고려하였을 때 투수성 도로 포장제의 도입 효과를 검토하기에 적합하다고 판단되어 연구대상 유역으로 선정하였다.

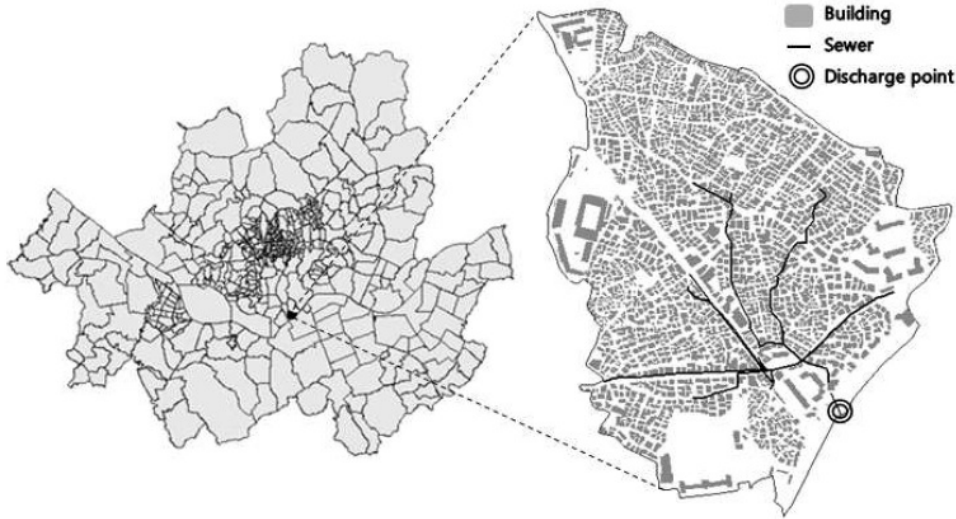


Fig. 1. Location of the Bogwang catchment at Yongsan-gu, Seoul.

2.1.2 대상 유역 SWMM 모형 구축

본 연구에서는 강우유출해석에서 대표적으로 상용화된 XP-SWMM ver. 2011을 사용하여 대상 유역의 모형을 구축하였다. SWMM 모형은 강우 시 도시 유역 내에서 발생하는 유출량에 대한 해석 및 지표면 및 지표 하 흐름 등을 모의할 수 있는 합리적인 모형이다.

대상 유역의 강우유출해석 모형 구축은 GIS를 통한 하수관망도와 지형도를 바탕으로 간선관로를 분리하여 관망을 구성하고, 구성된 관망에 대해서 각 관로와 맨홀의 제원에 대한 자료를

입력하였다. Fig. 2(a)는 대상 유역의 자연적인 지표면의 높이를 나타내는 수치표고모델로 해발고도 13 ~ 82.5 m로 분석되었고, 지표의 물길흐름을 확인하였다. SWMM 모형에 구성된 관로와 맨홀의 총 개수는 94개, 93개이고, 관경이 800 mm 이상인 관로를 기준으로 구축하였다 (Fig. 2(b)). 대상 유역에서 유역의 지형과 배수계통에 따라 분리한 소유역은 Fig. 2(c)에 나타냈으며 총 114개로 구성되었다. GIS를 활용하여 각 소유역의 면적, 평균 경사, 불투수 면적비율 등의 지형 특성인자를 도출하였으며, 유출특성

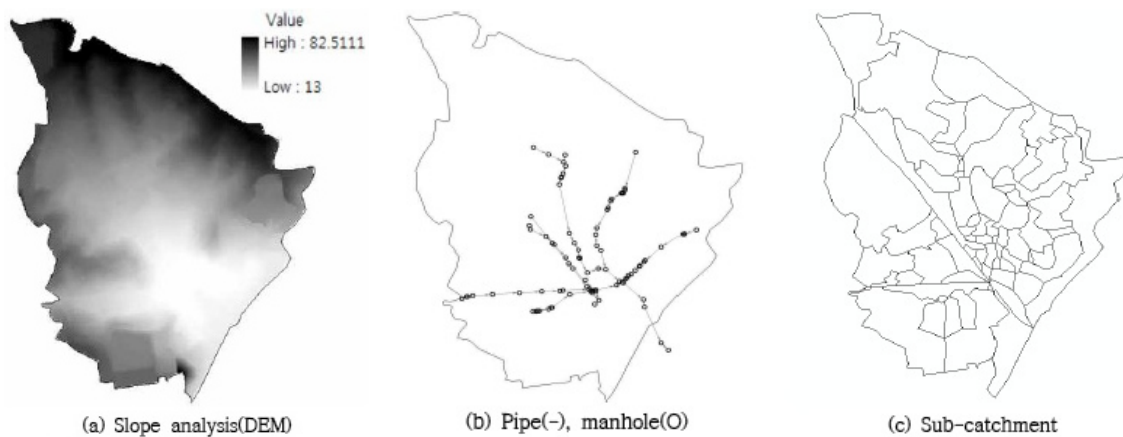


Fig. 2. SWMM input data sets for study area

을 나타내는 조도계수, 표면저류, 침투 손실 등에 대한 매개변수를 산정하였다.

2.1.3 대상 유역 모델 보정 및 검증

본 연구대상유역에서는 유량의 측정된 자료가 부재하여, 대상유역이 포함된 용산구 전체 유역의 추정 침수피해 흔적도와의 결과를 비교하였다. 2010년 9월 21일 발생한 강우량과 침수피해 흔적도를 이용하여 구축된 모델을 검증하였으며, 침수 발생 특성을 나타내는 인자로서 모델의 보정, 검증 인자로는 침수심과 침수면적을 사용하였다. 침수심은 일반적으로 시뮬레이션 기간 동안 표면유출 모델 격자별 발생하는 최대 침수심을 나타내며, 물리적인 침수흔적조사의 결과와 비교할 수 있는 인자이다. 침수면적은 일반적으로 시뮬레이션 기간 동안 대상유역에서 침수가 발생하는 최대 면적을 나타낸다. 대상지역의 침수발생은 침수심 0.05 m를 기준으로 침수가 발생한다고 가정하여, 해당 침수심 이상의 발생이 기록된 모델 격자들의 면적을 침수면적으로 평가하였으며, 홍수량은 시뮬레이션 기간 동안 각 셀에서 기록된 최대 침수심 값과 침수면적을 곱하여 산정하였다.

2010년 9월 21에 발생하였던 강우사상에 대한 침수피해 조사 결과, 침수 발생 시 조사된 총 강우량은 263 mm로 기상청 강우자료 259.5 mm보다 약 3.5 mm 많이 발생한 것으로 파악되었다. 2시간 최대 발생 강우량은 15:40에서 17:40 동안 발생한 120 mm로 강우분석을 통해 산정된 확률강우량과의 비교 결과 확률년수 20년 정도에 해당하는 강우량(122.1 mm)이 발생한 것으로 파악되었다. 모델의 검증 시 침수 발생 특성 파악 및 대응시설 검토 등의 시뮬레이션 모델의 오차범위는 20 %로 설정하였다. 2010년 실제 강우사상 발생 시 기록된 침수피해흔적도의 결과를 비교하여 모델을 검·보정하였을시 발생한 최대 침수심은 0.5 m로 오차범위 내이며, 침수면적은 21.7 ha로 나타났다. 모델에서 기록된 침수흔적도 또한 Fig. 3에 나타난 바와 같이, 추정된 침수흔적도내에 해당하는 것으로 나타나 검증 및 보정을 완료하였다.

2.2 모의 강우사상 결정

도시 유역에서 발생하는 유출량을 결정하기 위해서는 수많은 강우분석 방법들이 존재한다. 모든 강우사상으로부터 발생하는 유출량과 95

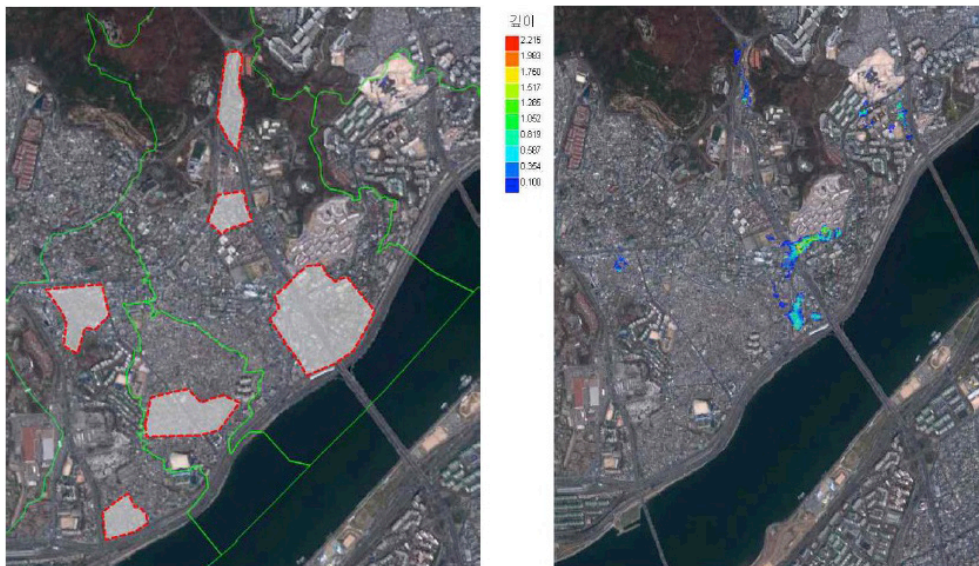


Fig. 3. Calibration and Verification of SWMM Model using Flood Damage Information

백분위 강우사상에서 발생하는 유출량을 평가하는 것은 USEPA(2009)에 의해 정의되었고, 연간강우량의 대부분이 높은 빈도로 발생하는 적은 양의 강우량으로 조사되었다(USEPA, 2009). 또한, 환경부(2008)에서 제안하는 90 % 강우사상(Rainfall event)는 전체 강우사상의 90 %에 해당되는 강우사상이거나 또는 연중 24시간 강우사상 전체의 90 % 이상에 해당되는 강우량으로 해당 지방의 강우기록을 조사하여 강우량 빈도 스펙트럼(RFS : Runoff Frequency Spectrum)을 만들어서 결정한다고 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 환경부(2008)에서 제안하는 90 백분위수 강우를 결정하기 위해 서울시의 대표 관측소로 서울 기상관측소를 선정하여 강우, 기상자료 등을 수집하여 분석에 활용하였다. 서울 기상관측소는 1961년 4월에 관측을 개시하여 약 50개년의 자료를 보유하고 있으며, 시간강우량 및 1시간 이하의 강우량 자료도 보유하고 있어 강우분석에 적용이 가능하였다. 따라서 강우자료는 1961년부터 2011년까지의 약 50년 동안의 장기 강우량 자료를 사용하여 빈도 분석을 수행하였으며, 전체 강우사상의 90 백분위수에 해당되는 39.91 mm(1.6 inch)을 산정하여 모델 해석의 기준 강우사상으로 결정하였다(Fig. 4). 산정된 90 백분위수 강우량은 건설교통부(2000)의 지역적 설계 강우의 시간적 분포에 제시되어 있는 Huff의 제 2분위법을 적용하였고, 지속시간을 24시간으로 분포시킨 설계 강

우를 이용하여 모델 해석에 적용하였다.

2.3 모의대상 시나리오

유출계수가 상이한 2개(0.05, 0.5) 투수성 포장제를 전체 도로 면적의 100 % (대로, 중로, 소로), 77.5 % (중로, 소로), 40.4 % (소로)에 적용하여 총 6개 시나리오로 모의하였다(Table 1). 도로 분류의 기준은 대로는 4차선 이상, 중로는 4차선 미만 및 2차선 이상, 소로는 2차선 미만으로 설정하였고, 각각의 면적은 2.35 ha, 3.90 ha, 4.23 ha이다. Fig. 5(a)는 대상유역의 대로, 중로, 소로, Fig. 5(b)중로 및 소로, Fig. 5(c)소로의 특성을 나타낸 GIS 모식도이다. Ferguson(2005)에 따르면 투수 블록 포장(다공성 포장)의 유출계수는 0.05 ~ 0.53의 범위를 가지며, 틈새 투수 블록은 0.30 ~ 0.50의 범위로 정의된다. 시나리오에 적용된 2개의 유출계수는 투수 블록 포장(다공성 포장)과 틈새 투수 블록을 적용했을 경우로 가정하였으며, 모델에 적용된 투수성 도로면의 유출계수는 투수성 포장(Porous Pavement) 0.05, 틈새 투수 블록(Open-jointed blocks) 0.5의 값으로 선정되었다. 따라서 시나리오에 대한 모델의 구축은 투수성 도로가 각 소유역마다 차지하는 비율에 따라 각 소유역의 불 투수 면적을 변화시킴으로 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

우수유출 모형(SWMM Model)을 이용하여 Table 1의 시나리오를 모의하였고, Fig. 1에서 표기한 유출지점에서의 유출수문곡선을 Fig. 6에 나타내었다. 시나리오에 따른 유출 특성 모의 분석 결과, 투수성 도로 포장의 적용 전보다 적용 후 유출량이 감소되는 것을 확인하였으며, Table 1의 평균 유출계수가 가장 낮은 S-6에서 높은 저감 효율을 보여주었다. 전반적으로 강우 유출량이 확연히 감소되는 효과를 보였지만, 침투시간 및 유출량의 패턴은 변화하지 않았다.

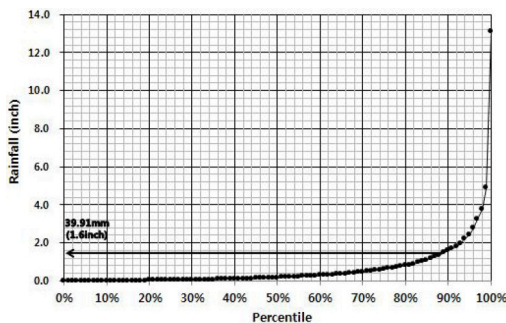


Fig. 4. Rainfall frequency spectrum showing the 90th percentile rainfall event for Seoul

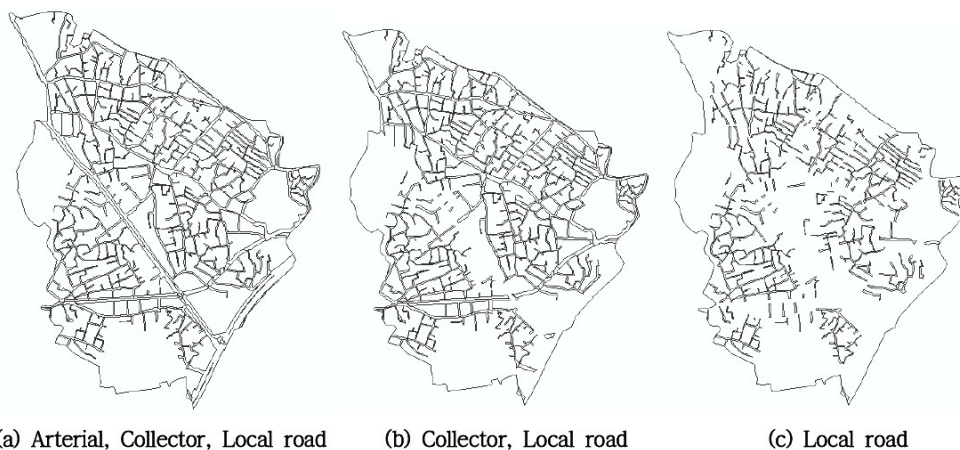


Fig. 5. Status of road for study area

Table 1. Six scenarios applying different runoff coefficients and rates of covering road area

Scenario	Runoff coefficients			Road covering rate*(%)	Average of porous pavement road area**
	Arterial road (area=2.35ha)	Collector road (area=3.9ha)	Local road (area=4.23ha)		
BASE	1	1	1	0	1.00
S-1	1	1	0.5	40.4	0.80
S-2	1	1	0.05	40.4	0.62
S-3	1	0.5	0.5	77.5	0.61
S-4	0.5	0.5	0.5	100	0.50
S-5	1	0.05	0.05	77.5	0.26
S-6	0.05	0.05	0.05	100	0.05

* Covering road rate = (Covering road area/Total road area) × 100

**Average = (Σ Each road area × Each runoff coefficient)/Total road area

각 시나리오별 모의 결과를 통해 침투 유출량 저감, 총 유출량 저감을 비교한 결과는 Table 2에 나타내었으며, 이를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

Table 2. Comparison of runoff reduction

Scenario	Peak runoff (m ³ /s)	Reduction rate (%)	Total runoff (m ³)	Reduction rate (%)
BASE	0.532	-	21,996	-
S-1	0.502	6	20,801	5
S-2	0.485	10	20,130	8
S-3	0.481	11	19,949	9
S-4	0.472	13	19,614	11
S-5	0.445	20	18,541	16
S-6	0.428	24	17,873	19

3.1 침투 유출량 저감 효과 비교

침투 유출량(m³/s)은 S-6(0.428 m³/s) > S-5(0.445 m³/s) > S-4(0.472 m³/s) > S-3(0.481 m³/s) > S-2(0.485 m³/s) > S-1(0.502 m³/s)의 순서로 나타났다. 특히 S-6(투수성 도로 포장 면적의 비율이 100%, 유출계수가 0.05)의 경우 투수성 도로 포장의 적용 전보다 침투 유출량 감소가 약 20%로 가장 높은 효율을 보이는 것으로 나타났다. 반면, S-4(투수성 도로 포장 면적의 비율이 100%, 유출계수가 0.5)와 S-5(투수성 도로 포장 면적의 비율이 77.5%, 유출계수가 0.05)의 침투 유출량을 비교한 결과, 0.472 m³/s와 0.445 m³/s로 S-5가 약 5% 정도 높은 효율을 보였다. 이를 통해 투수성

도로 포장 면적의 비율이 상대적으로 작아도 유출계수를 낮추면 침투 유출량이 감소되는 것을 알 수 있었다.

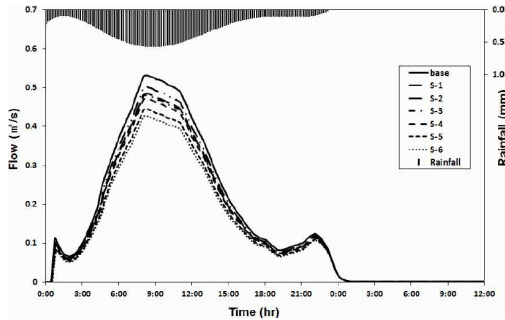


Fig. 6. Runoff Hydrographs of different scenarios

3.2 총 유출량 저감 효과 비교

도시 빗물 관리를 위해 투수성 도로 포장의 도입 효과를 물 순환 관점에서 정량적으로 검토하고자 투수성 도로 포장의 적용 전·후의 총 유출량 저감 효과를 비교·분석하였다(Fig. 7). 총 유출량 저감 효과 결과, S-6(투수성 도로 포장 면적의 비율이 100%, 유출계수가 0.05) 19%, S-5(투수성 도로 포장 면적의 비율이 77.5%, 유출계수가 0.05) 16%로 가장 높은 저감 효율을 보였으며, S-2(투수성 도로 포장 면적의 비율이 40.4%, 유출계수가 0.05) 8%, S-1(투수성 도로 포장 면적의 비율이 40.4%, 유출계수가 0.5) 5%로 가장 낮은 효율을 보이는 것으로 나타났다.

2.2의 모의 강우사상에서 사용된 대상강우사상의 총 빗물량(39.91 mm)을 각 시나리오에 대하여 저감량을 나타내면 다음과 같다. 빗물 저감량의 산정은 각각의 시나리오에 따른 유출량을 빗물량으로 환산하여 산정하였다. Table 1에 나타낸 유출계수와 투수성 포장도로 도입을 가정한 면적의 비율이 증가함에 따라 빗물 저감효과가 크게 증가하는 것으로 나타났으며, Fig. 8에 나타낸 바와 같이 대상지역의 경우 약 유출계수×적용면적의 비율이 10% 증가시마다 약

0.8 mm의 빗물 저감효과가 있을 것으로 기대되어진다.

가장 높은 저감 효율을 보인 S-6의 경우 약 7.5 mm의 빗물이 저감된 것으로 확인되었으며, S-5의 경우 투수성 도로 면적 비율이 S-4보다 작지만 낮은 유출계수의 적용으로 1 mm 이상의 빗물 저감 효과를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 투수성 도로 포장의 적용에 의한 유출량 저감 효과 및 빗물 저감 효과로 개발 이전의 불 투수 면적이 낮은 수문학적 특성과 근접하는 수문 순환의 개선 효과를 보일 것으로 판단된다.

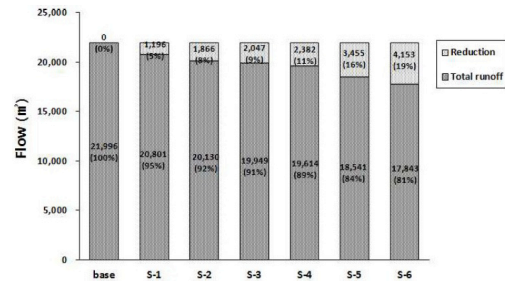


Fig. 7. Effects on total runoff reduction

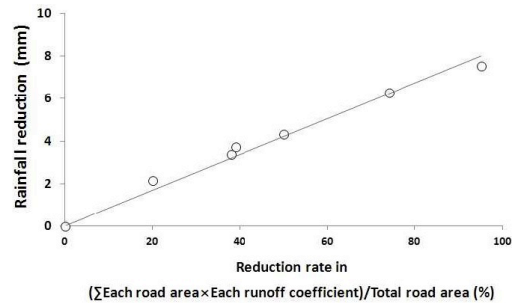


Fig. 8. Effects on rainfall reduction

4. 결론

본 연구에서는 도시 빗물 관리를 위한 다양한 녹색인프라 수단 중에서 투수성 도로 포장제의 도입 효과를 물 순환 관점에서 정량적으로 검토하고자, 대상 소규모 집수구역(Catchment)을 대상으로 우수유출 모형(SWMM Model)을 구축하고 투수성 도로면의 도입 시나리오에 따른 효과를 유출수문곡선(Runoff hydrograph) 중

심으로 비교·분석하였다. 이를 통해 투수성 도로 포장제가 물 순환에 미치는 효과와 적용 가능성을 확인하였다.

시나리오에 따른 유출 특성 모의 분석 결과, 투수성 도로 포장의 적용 전보다 적용 후 유출량이 감소되는 것으로 나타났으며, 침투 유출량이 확연히 감소되는 효과를 보였다. 특히 S-6(투수성 도로 포장 면적의 비율이 100%, 유출계수가 0.05)의 경우 투수성 도로 포장의 적용 전보다 침투 유출량이 가장 높은 약 20% 감소 효율을 보였다. 총 유출량 저감 효과 결과, S-6(투수성 도로 포장 면적의 비율이 100%, 유출계수가 0.05)과 S-5(투수성 도로 포장 면적의 비율이 77.5%, 유출계수가 0.05)이 19%와 16%로 높은 저감 효율을 보였으며, 7.5 mm와 4.5 mm의 빗물이 저감된 것으로 나타났다. 이를 통해 투수성 도로 포장의 적용에 의한 침투 유출량, 총 유출량 저감 효과가 도시 개발 이전 상태의 투수 면적의 비율이 높은 수문학적 특성과 근접하는 수문 순환의 개선 효과를 보일 것으로 판단된다.

향후 연구에서는 우수유출모형을 통해 도시 개발이 계획된 지역에서 투수성 도로 포장의 도입으로 인한 수질개선 효과도 함께 평가하는 것이 필요하다.

사 사

본 연구는 환경부 “차세대 에코이노베이션기술개발사업(과제번호 414-111-006)”으로 지원 받은 과제입니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

Brattebo, B. O., Booth, D. E. (2003) Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems, *Water Research*, 37, 4369-4376

Dreelin, E. A., Fowler, L., Ronald, C. C. (2006) A test of porous pavement effectiveness on clay soils during natural storm events, *Water Research*, 40, 799-805

Haifeng, J., Yuwen, L., Shaw L, Y., Yurong, C. (2011) Planning of LID-BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village, *Separation Purification Technology*, 84, pp.112-119

Hunt, W. F., Stephens, S., Mayes, D. (2002) Permeable pavement effectiveness in Eastern North Carolina, *Proceedings of 9th International conference on urban drainage*, ASCE, Portland, OR.

Jia, H., Lu, Y., Lu, S. L., Chen, Y. (2012) Planning of LID-BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village, *Separation and Purification Technology*, 84, 112-119

Ministry of Construction & Transportation (2000) *Rainfall Frequency Atlas in Korea*, A research paper of Water management techniques development.

Ministry of Environment (2008) *Installation and operation/ management manual for Non-point Pollution Reduction Facilities*.

National Emergency Management Agency (2009) *Facility, structure, installation, and maintenance standards of Runoff reduction the type*.

Newell, J. P., Seymour, M., Yee, T., Renteria, J., Longcore, T., Wolch, J. R., Shishkovsky, A. (2013) *Green Alley Programs: Planning for a sustainable urban infrastructure?*

Pyke, C., Warrent, M. P., Johnson, T., LaGro Jr., J., Scharfenberg, J., Groth, P., Freed, R., Schroerer, W., Main, E. (2011) Assessment of low impact development for managing stormwater with changing precipitation due to climate change, *Landscape and Urban Planning*, 103, 166-173

Rushton, B., (2001) Low-impact parking lot design reduces runoff and pollutant loads, *Journal of water resources planning and management* 127(3) 172-179

Schaffler, A., Swilling, M. (2012) Valuing green infrastructure in an urban environment under pressure- The Johannesburg case, *Ecological Economics*, (in press)

Schluter, W., Jefferies, C. (2002) Modelling the outflow from a porous pavement, *Urban Water*, 4, pp.245-253

Scholz, M., Grabowiecki, P. (2007) Review of permeable pavement systems, *Building and Environment*, 42, 3830–3836

USEPA (2002) *Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century*.

USEPA (2004) *Storm Water Management Model, User's Manual Ver.5.0*.

USEPA (2009) *Technical Guidance on Implementing the Stormwater Runoff*. Requirements for Federal Projects under Section 438 of the Energy Independence and Security Act.

USEPA (2010) *Green Infrastructure Case Studies : Municipal Policies for Managing Stormwater with Green Infrastructure*.