

SWMM 분석을 통한 투수성 포장의 유출 저감 특성 평가

Performance Evaluation of the Runoff Reduction with Permeable Pavements using the SWMM Model

| | | |
|-----|----------------|---|
| 임무광 | Lin, Wuguang | College of Transport & Communications, Shanghai Maritime University (E-mail : wglin@shmtu.edu.cn) |
| 류성우 | Ryu, SungWoo | 정회원 · 한국도로공사 R&D본부 도로교통연구원 선임연구원 (E-mail : htsw@gmail.com) |
| 박대근 | Park, Dae Geun | 정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 주무관 (E-mail : dgpark94@seoul.go.kr) |
| 이재훈 | Lee, Jaehoon | 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 교신저자 (E-mail : ranian74@ex.co.kr) |
| 조윤호 | Cho, Yoon-Ho | 정회원 · 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 교수 (E-mail : yhcho@cau.ac.kr) |

ABSTRACT

PURPOSES : This study aims to evaluate the runoff reduction with permeable pavements using the SWMM analysis.

METHODS : In this study, simulations were carried out using two different models, simple and complex, to evaluate the runoff reduction when an impermeable pavement is replaced with a permeable pavement. In the simple model, the target area for the analysis was grouped into four areas by the land use characteristics, using the statistical database. In the complex model, simulation was performed based on the data on the sewer and road network configuration of Yongsan-Gu Bogwang-Dong in Seoul, using the ArcGIS software. A scenario was created to investigate the hydro-performance of the permeable pavement based on the return period, runoff coefficient, and the area of permeable pavement that could be laid within one hour after rainfall.

RESULTS : The simple modeling analysis results showed that, when an impervious pavement is replaced with a permeable pavement, the peak discharge reduced from 16.7 m³/s to 10.4 m³/s. This represents a reduction of approximately 37.6%. The peak discharge from the whole basin showed a reduction of approximately 11.0%, and the quantity decreased from 52.9 m³/s to 47.2 m³/s. The total flowoff reduced from 43,261 m³ to 38,551 m³, i.e., by approximately 10.9%. In the complex model, performed using the ArcGIS interpretation with fewer permeable pavements applicable, the return period and the runoff coefficient increased, and the total flowoff and peak discharge also increased. When the return period was set to 20 years, and a runoff coefficient of 0.05 was applied to all the roads, the total outflow reduced by 5195.7 m³, and the ratio reduced to 11.7%. When the return period was increased from 20 years to 30 and 100 years, the total outflow reduction decreased from 11.7% to 8.0% and 5.1%, respectively. When a runoff coefficient of 0.5 was applied to all the roads under the return period of 20 years, the total outflow reduction was 10.8%; when the return period was increased to 30 and 100 years, the total outflow reduction decreased to 6.5% and 2.9%, respectively. However, unlike in the simple model, for all the cases in the complex model, the peak discharge reductions were less than 1%.

CONCLUSIONS : Being one of the techniques for water circulation and runoff reduction, a high reduction for the small return period rainfall event of penetration was obtained by applying permeable pavements instead of impermeable pavement. With the SWMM analysis results, it was proved that changing to permeable pavement is one of the ways to effectively provide water circulation to various green infrastructure projects, and for stormwater management in urban watersheds.

Keywords

permeable pavement, SWMM, runoff reduction

Corresponding Author : Lee, Jaehoon, Deputy Research Direct
Pavement Research Division Expressway & Transportation Research
Institute, Korea Expressway Corporation 208-96, Dongbudae-ro
922gil, Dongtan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, 18489, Korea
Tel : +82.31.371.3475 Fax : +82.31.371.3479
E-mail : ranian74@ex.co.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)

Received Aug. 19, 2014 Revised Jun. 03, 2015 Accepted Jun. 03, 2015

1. 서론

도시화가 진행되면서 도심지 지표의 불투수화가 급격히 진행되었다. 서울시의 경우 불투수 면적이 1962년 7.8%에서 2011년 48%로 약 7배 가량 증가하였다(서울시 2013). 이로 인해 강우 시 침투 유출 시간이 감소하고 단기간 집중유출이 증가하여 폭우로 인한 도시홍수 등이 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 일환으로 국내·외에서 투수성 포장을 적용하였다. 투수성 포장은 빗물 저장기능, 총 유출량 저감, 표면 유출 지연 효과 및 침투 유출율(peak flow rate)저감 등 네 가지 대표적인 기능이 있으며 포장 구조, 포장 표층의 투수 성능, 강우 조건에 따라 차이가 있다(Sansalone and Teng 2004, Fassman and Blackburn 2010). 더불어 적절한 포장 설계가 이루어지면 도시형 홍수 방재 효과까지 확보할 수 있다(Boomsma and Huurman 2006, Seters et al. 2006). 장연선 외 2인(2013)의 연구결과에 따르면 투수성 포장을 설치할 경우, 0.55~4.11%의 홍수 저감효과를 확보할 수 있다. 또한 불투수 면적의 10%를 투수성 포장으로 교체할 경우, 지표유량을 비교한 결과 기존 저수량의 3%, 갈수량의 17%를 증가시킬 수 있다(이정민 외 2인, 2006).

본 논문은 Storm Water Management Model (SWMM)을 이용하여, 단순화된 지역 모델과 ArcGIS를 활용한 관거 및 도로망 구성에 따른 시뮬레이션을 두 차례 수행하였으며, 기존의 아스팔트 포장을 투수성 포장으로 전환할 경우 유출 저감효과에 대해 평가하였다.

2. 단순 모델링을 통한 효과 분석

2.1. 모델링 방법

미국 환경부에서 개발한 SWMM을 기반으로 한 하수 및 우수관망 해석전용프로그램인 XP-SWMM을 활용하여 유출분석을 실시하였다. 도시지역의 도로를 기존 불투수 포장인 아스팔트에서 투수포장으로 교체하였을 경우 침투홍수량 등 유출 특성에 있어 어떤 변화가 있는지 알아보았다.

단순 해석 모델은 서울시 동작구를 대상 유역으로 선정하였다. 동작구 통계자료를 통해 동작구를 토지이용별로 구분하고 비슷한 지역 특성별로 4개 구역으로 묶어서 Fig. 1과 같이 나타냈다. 유출계수는 대지 및 학교 용지는 0.7, 임야·철도·기타의 경우 0.4, 공원 및 묘지는 0.25의 대표 값으로 가정하였으며, 도로 지역의 경우 변경 전인 아스팔트 포장의 경우 0.9, 변경 후에는 투수성 포장의 표면 유출계수인 0.5의 값으로 설정하였

다(Ferguson 2005). Fig. 1의 붉은색 원은 유출구 또는 맨홀로 각 지역에 한 개씩 배치하여 4개 구역에서의 유출특성을 살펴보고자 하였다.

단순화된 모델지역에 강우를 묘사하기 위해 2010년 9월 21일 추석연휴에 발생하였던 폭우 관측 자료를 확보하여 적용하였다. 주 강우시간은 10:00~22:00이며, 이때의 강우량은 279mm이었다.

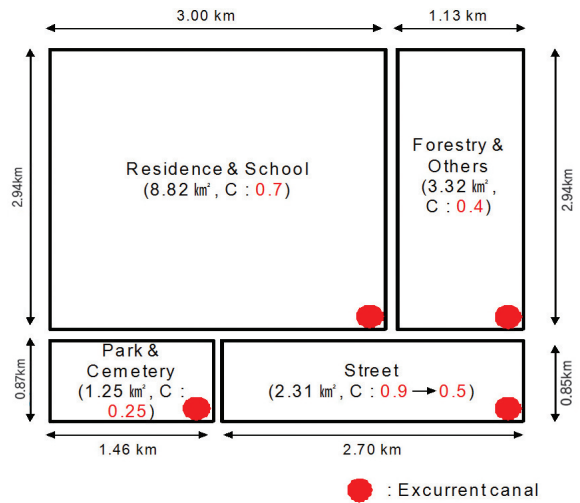


Fig. 1 Simplified Area Model

2.2. 결과 분석

지역별로 침투 유출량에 대한 결과를 Fig. 2~Fig. 6에 나타내었다. 지역 특성 및 기상청 데이터를 활용하고, 선정된 유출계수를 기반으로 침투량을 가정하였다. 또한 표면 유출량을 굵은 검정색 선으로 나타냈다. 해석 기간은 강우 시작시간인 2010년 9월 21일 10:00부터 45시간으로 설정하였다.

침투 유출곡선의 형태와 유출량은 대상 구역의 특성과 면적의 영향을 받는다. 침투 유출량은 1구역(주거지+학교)의 경우 17.7m³/s, 2구역(임야+기타)의 경우 15.1m³/s, 3구역(공원+묘지)의 경우 6.1m³/s이었다. 4구역(도로)의 경우는 불투수 도로(아스팔트 포장) 및 투수 도로(투수성 블록포장)로 구분하여 해석을 실시하였다. 그 결과 Fig. 5와 같이 불투수 도로에서 투수 도로로 변경하였을 때, 침투 유출량이 16.7m³/s에서 10.4m³/s로 줄어들었으며, 이는 약 37.6%의 침투 유출 저감효과를 나타낸다. 한편 Fig. 6은 전 해석지역을 대상으로 해석한 결과를 나타내며, Scenario a는 4구역(도로)을 불투수 포장으로, Scenario b는 투수성 포장으로 해석하였을 경우의 결과를 나타낸다. Scenario b는 Scenario a에 비하여, 총 침투 유출량이 52.9m³/s에서 47.2m³/s로

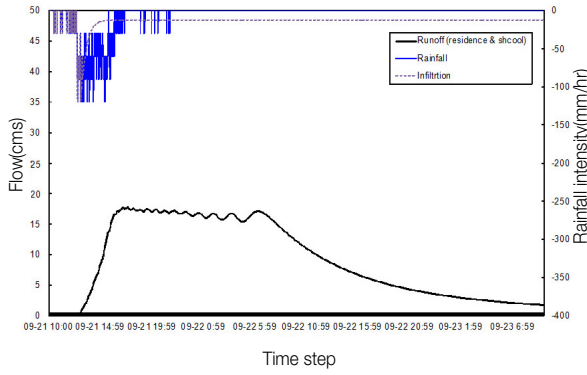


Fig. 2 Runoff Result from Residence & School

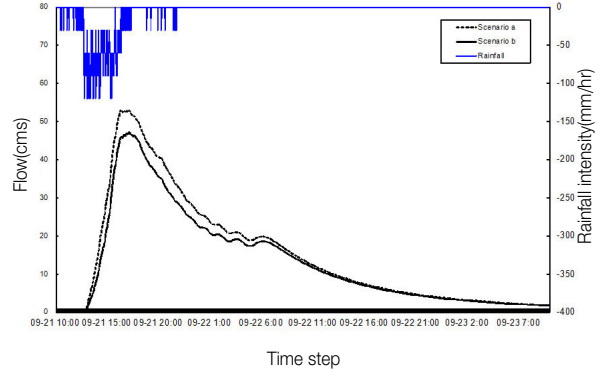


Fig. 6 Runoff Result from Entire Area

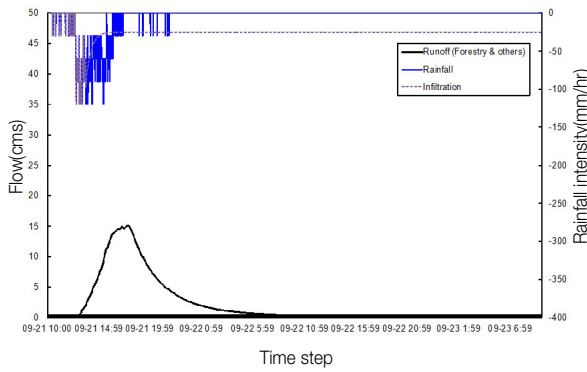


Fig. 3 Runoff Result from Forestry & Other

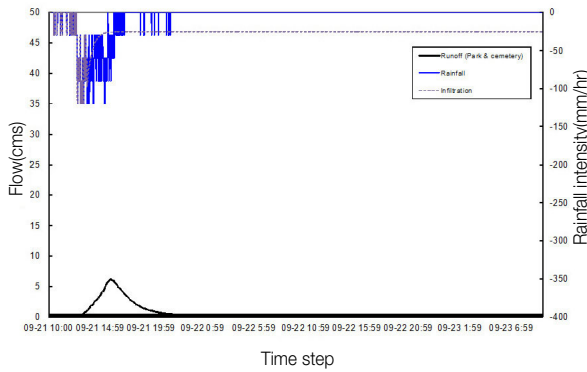


Fig. 4 Runoff Result from Park & Cemetery

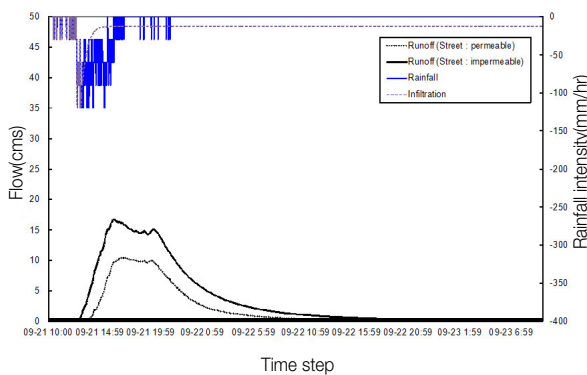


Fig. 5 Runoff Result from Street (Permeable Pavement vs Impermeable Pavement)

감소하였으며 이는 약 11.0%의 저감효과가 나타났다. 또한 전체 유역의 총 유출량도 Scenario b가 Scenario a에 비해 43,261m³에서 38,551m³으로 감소하여, 약 10.9%의 저감효과를 나타냈다.

3. ArcGIS를 활용한 투수성포장 대체 효과 분석

3.1. 모델링 절차

모델링 절차는 총 5단계이다. 투수성 포장의 적용률에 따른 우수유출 저감 효과를 평가하기 위해서 우선 ArcGIS 작업을 통해서 해석 유역인 보광동에서 도로가 차지하는 비율을 파악하기 위해서 도입하였다. 도로는 대로, 중로, 소로로 구분하고 각각의 면적을 계산하였다. 기존 68개의 소유역의 유출계수와 도로면의 유출계수(아스팔트 포장 및 블록 포장)를 입력한 후, 소유역의 유출계수와 그 소유역에 해당하는 도로의 면적대비 유출 계수를 계산하였다. SWMM 모델 작업에서는 관거와 맨홀 정보 및 수정된 소유역 유출계수를 입력한 뒤, 확률강우량 및 강우시간 분포 산출 결과를 입력하였다. 마지막으로 다양한 시나리오에 따라 시뮬레이션을 실행하였다.

3.2. 모델링 유역 정보

적합한 유출 저감 효과를 파악하기 위해 녹지가 적고 대부분 불투수 지역으로 이루어진 서울시 용산구 내의 보광 배수구역을 해석 대상으로 선정하였다. SWMM 모델을 이용한 시뮬레이션에 앞서 현재 대상지역의 하수관거, 총 면적, 도로 종류별 면적, GIS 구축 등 기본적인 자료를 조사 및 검토하였다. Fig. 7은 보광배수구역의 관거 및 도로망을 나타낸다.

보광 배수구역의 총 면적은 55.91ha이며, 총 도로 면

적은 10.48ha이다. 또한 보광 배수구역 내 소유역은 68개로 나누어지며, 하수관거는 총 94개, 맨홀은 93개이다. 보광배수구역의 개요를 Table 1에 나타내었다.



Fig. 7 Road and Sewer Layout of Bogwang Test Area

Table 1. Overview of Bogwang Test Area

| Total area of drainage basin | 559100m ² | |
|------------------------------|----------------------|-------|
| Area of arterial street | 23500m ² | 22.4% |
| Area of local street | 38900m ² | 37.2% |
| Area of collector street | 42300m ² | 40.4% |
| Total area of streets | 104700m ² | 100% |
| Street area ratio | 18.7% | |
| No. of sewers | 93 | |
| No. of manholes | 94 | |

3.3. 유출계수 선정 및 적용 강우사상

도로면의 유출계수 적용은 문헌조사 결과를 참고하였다. 적절하고 다양한 분석을 실행하기 위해 투수성 블록 포장의 경우 유출계수를 2가지로 선정하였다. Ferguson(2005)에 따르면 투수성 포장의 유출 계수는 0.3~0.5의 범위를 가지며, 아스팔트 포장의 유출계수는 0.73~0.95의 범위를 갖는다. 투수성 포장의 효과를 극대화시킬 경우도 같이 살펴보기 위해서 시뮬레이션에 적용할 유출계수는 0.05와 0.5로 선정하였고, 아스팔트 포장은 0.9로 선정하였다. 선정된 유출계수 및 선정근거는 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Coefficient of Runoff for SWMM Analysis

| Pavement type | Runoff coefficient | Remark |
|------------------|--------------------|---|
| Porous pavement | 0.05 | Case of maximize the effect of permeable pavement |
| | 0.5 | Ref. Ferguson 2005 |
| Asphalt pavement | 0.9 | Ref. Ferguson 2005 |

서울시 내에는 기상청 관할의 34개의 수문관측소가 위치하고 있으며, 본 연구에서는 대표 관측소로 서울 기상관측소를 선정하여 강우, 기상자료 등을 수집하여 분석에 활용하였다. 서울 관측소는 1961년 4월에 관측을 개시하여 약 52개년의 자료를 보유하고 있으며, 시간대별 강우량 및 1시간 이하의 강우량 자료도 보유하고 있어 강우 분석에 적용이 가능하였다. 강우 자료는 1961년 4월부터 2011년 9월까지의 자료를 이용하였고, 측정된 강우량은 FARD 모델을 통해 분석하여 사용하였으며, 산정된 확률강우량은 Fig. 8과 같이 Huff의 제 2분위법 시간분포를 적용하였다. FARD 모델을 통해 분석된 대상지역의 확률강우량은 Table 3과 같다. 시뮬레이션에 적용할 재현기간은 20년, 30년, 100년으로 3가지로 선정하였으며 재현기간에 따른 지속시간별 확률 강우량은 Fig. 9와 같다. 지속시간은 대상 지역의 면적을 고려하여 1시간으로 선정하였다.

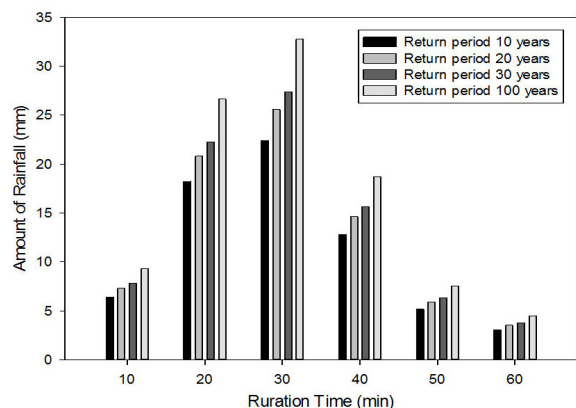


Fig. 8 Probable Isohyetal Distribution using by Huff's Method

Table 3. Probable Isohyetal Calculation using by Probability Weighted Moment Method

| | Return period | Duration time (h) | | | | | |
|--|---------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 4 | 8 | 12 | 24 |
| | 5 years | 58.1 | 91.0 | 130.4 | 167.5 | 190.8 | 243.6 |
| | 10 years | 68.1 | 106.9 | 155.2 | 196.6 | 225.2 | 294.6 |
| | 20 years | 77.7 | 122.1 | 179.0 | 224.6 | 258.2 | 343.6 |
| | 30 years | 83.2 | 130.9 | 192.6 | 240.7 | 277.1 | 371.8 |
| | 50 years | 90.1 | 141.9 | 209.7 | 260.8 | 300.8 | 407.0 |
| | 100 years | 99.5 | 156.7 | 232.8 | 287.9 | 332.8 | 454.5 |

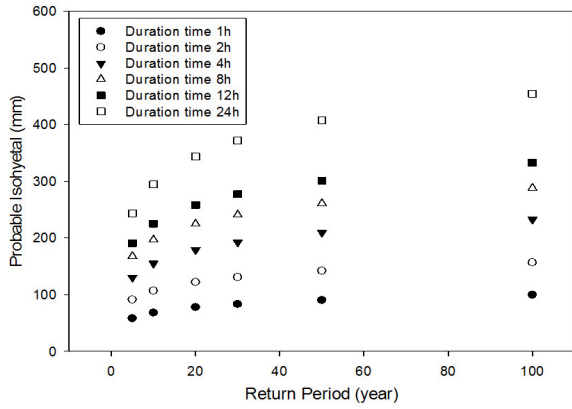


Fig. 9 Probable Isohyetal Relative to Return Period and Duration Time

3.4. 도로 구분 및 시나리오 구성

기존 불투수 아스팔트 포장에서 투수성 블록포장으로 전환 효과를 파악하기 위하여, 투수성 블록포장 적용 구간을 모든 도로, 중로와 소로, 소로 3가지 경우로 구분하였다. 그러나 도로의 폭원별 구분 기준을 고려한 GIS 분석 결과, 대로(폭: 25~40m)에 해당하는 도로는 해석 대상 지역에 존재하지 않았으며, 중로(폭: 12~25m)에 해당하는 도로의 면적도 매우 적게 나타났다. 따라서 적합한 해석 결과 도출을 위해 도로를 차선 수로 구분하였으며, Table 4에 정리하였다. 수정된 도로 구분을 기준으로 투수성 블록포장 적용 구간을 Table 5와 같이 모든 도로에 적용했을 경우, 중로와 소로에 적용했을 경우 및 소로에 적용했을 경우 총 세 가지로 나누었다.

Table 4. Classification of Road according to Width

| Classification of street | Standard width of street | Remark |
|--------------------------|--------------------------|---|
| Arterial street | 25~40m | More than 4 lanes |
| Loca street | 12~25m | More than 2 lanes and Less than 4 lanes |
| Collector street | Less than 12m | Less than 2 lanes |

Table 5. Composition of Road Hierarchy

| All streets | Local & collector streets | Collector streets |
|-------------|---------------------------|-------------------|
| | | |

앞서 조사한 도로 포장별 유출계수, 강우사상, 재현기간, 지속시간, 투수성 포장 적용 구간을 바탕으로 최종 시나리오를 작성하였으며, Table 6에 나타내었다. H-A-1, H-A-2, H-A-3은 기존 아스팔트 포장 상태의 유출량을 나타내며, Factorial Design을 통해 중복되는 경우를 제외하여 27가지 경우로 줄일 수 있었다.

Table 6. SWMM Analysis Scenarios

| Runoff coefficient | Application of porous pavement | Return period | | |
|--------------------|--------------------------------|---------------|-------------|--------------|
| | | 20 years(1) | 30 years(2) | 100 years(3) |
| 0.05 (L) | All streets (A) | L-A-1 | L-A-2 | L-A-3 |
| 0.5 (M) | | M-A-1 | M-A-2 | M-A-3 |
| 0.9 (H) | | H-A-1 | H-A-2 | H-A-3 |
| 0.05 (L) | Local & collector streets (B) | L-B-1 | L-B-2 | L-B-3 |
| 0.5 (M) | | M-B-1 | M-B-2 | M-B-3 |
| 0.9 (H) | | H-B-1 | H-B-2 | H-B-3 |
| 0.05 (L) | Collector streets (C) | L-C-1 | L-C-2 | L-C-3 |
| 0.5 (M) | | M-C-1 | M-C-2 | M-C-3 |
| 0.9 (H) | | H-C-1 | H-C-2 | H-C-3 |

※ HA-1, HA-2, HA-3 represents the discharge of the existing asphalt road.

3.5. 표면 유출 저감 효과

시나리오에 따른 유출 저감 효과를 분석하기 위해 재현기간, 유출계수를 기준으로 투수성 포장의 적용구간별 총 유출량 침투 유량을 비교해 보았다. 투수성 포장의 유출 계수 0.05인 경우, 재현기간 및 투수성 블록포장의 적용 구간별 시간에 따른 유출 특성은 Fig. 10과 같고, 총 유출량 및 침투 유량을 비교한 결과는 Table 7에 나타내었다. 투수성 포장 설치 비율이 증가할수록 총 유출량과 침투 유량이 감소하는 것으로 나타났고, 재현기간이 늘어날수록 그 효과가 줄어든 것으로 나타났다. 투수성 포장의 유출 계수가 0.5인 경우, 재현기간 및 투수성 블록포장의 적용 구간별 시간에 따른 유출 특성은 Fig. 11과 같고, 총 유출량 및 침투 유량을 비교한 결과는 Table 8에 나타내었다. 유출 계수 0.05의 경우와 비슷하게 총 유출량 및 침투 유량의 저감 효과는 투수성 포장의 설치 비율과 재현기간에 따라서 달라진 것을 알 수 있다. 또한 투수성 포장의 유출계수가 클수록, 투수성 포장의 적용 구간이 적을수록 유출량이 크게 나타났다. 전체 유역에 대한 해석결과에서는 투수성 포장의 유출지연 효과(침투 유출 시간)는 모든 시나리오에서 미미한 것으로 나타났으며, 그 이유는 전체 해석 면적에 비하여 도로가 차지하는 면적이 적기 때문이라고 판단된다.

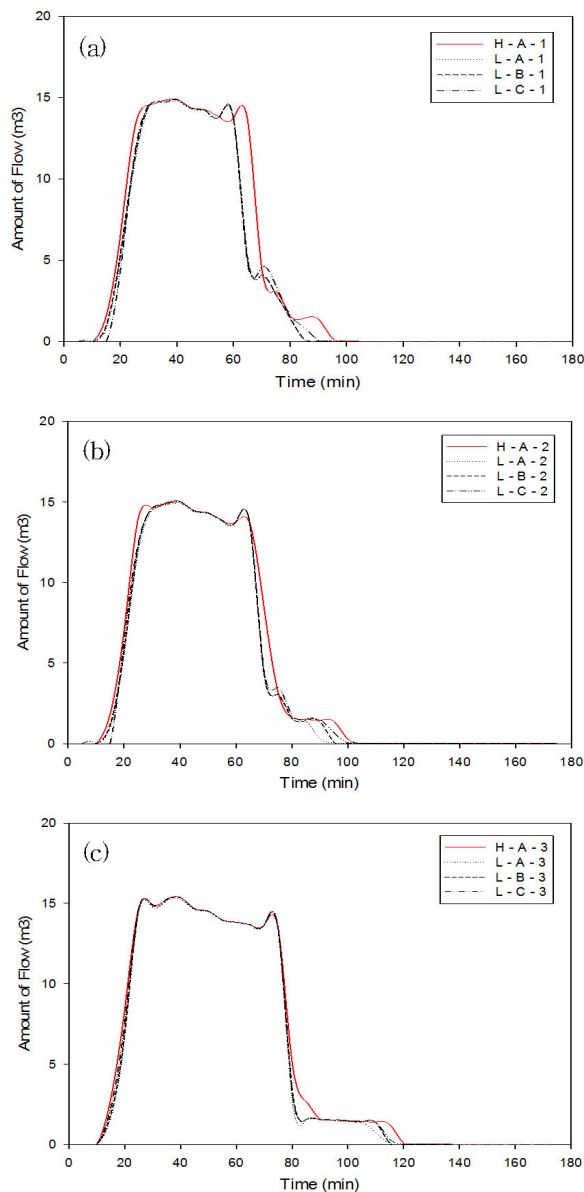


Fig. 10 Hydrological Curve (Coefficient of runoff = 0.05)

Table 7. Result of SWMM Analysis
(Coefficient of runoff = 0.05)

| | Total discharge (m ³) | Peak flow (m ³ /s) |
|-------|-----------------------------------|-------------------------------|
| H-A-1 | 44297.4 | 14.92 |
| L-A-1 | 39101.7 | 14.82 |
| L-B-1 | 39533.7 | 14.88 |
| L-C-1 | 39568.5 | 14.91 |
| H-A-2 | 46652.4 | 15.04 |
| L-A-2 | 42939.0 | 14.94 |
| L-B-2 | 43671.0 | 14.99 |
| L-C-2 | 44130.0 | 15.02 |
| H-A-3 | 55775.7 | 15.38 |
| L-A-3 | 52941.9 | 15.28 |
| L-B-3 | 53676.3 | 15.34 |
| L-C-3 | 54142.2 | 15.37 |

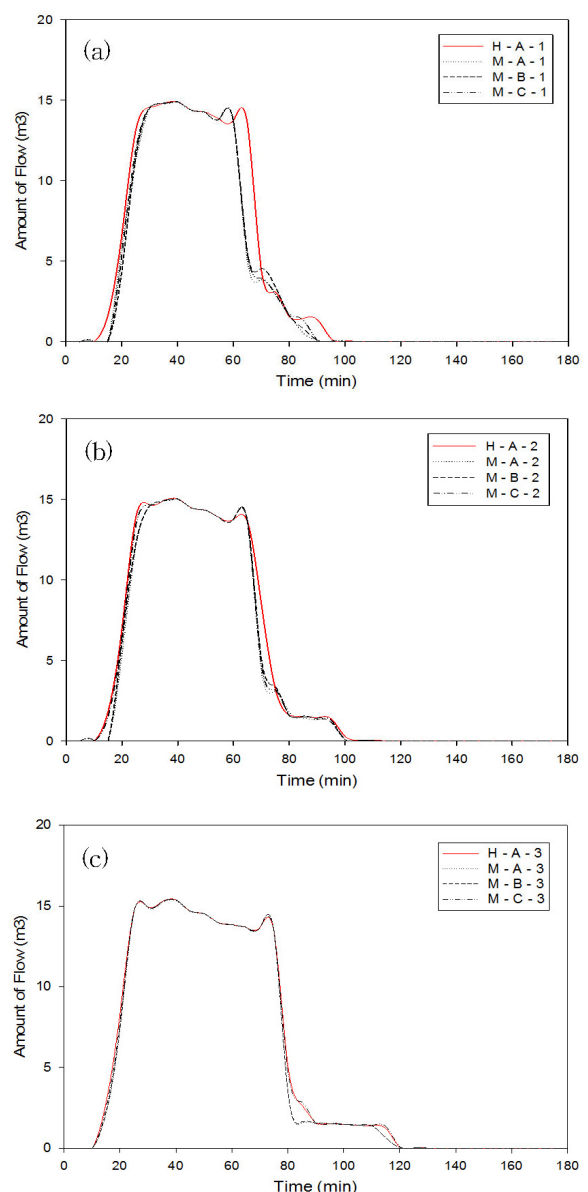


Fig. 11 Hydrological Curve (Coefficient of runoff = 0.5)

Table 8. Result of SWMM Analysis
(Coefficient of runoff = 0.5)

| | Total discharge (m ³) | Peak flow (m ³ /s) |
|-------|-----------------------------------|-------------------------------|
| H-A-1 | 44297.4 | 14.92 |
| M-A-1 | 39511.2 | 14.88 |
| M-B-1 | 39713.1 | 14.90 |
| M-C-1 | 40035.0 | 14.92 |
| H-A-2 | 46652.4 | 15.04 |
| M-A-2 | 43614.3 | 15.00 |
| M-B-2 | 44209.8 | 15.02 |
| M-C-2 | 45012.0 | 15.03 |
| H-A-3 | 55775.7 | 15.38 |
| M-A-3 | 54148.2 | 15.33 |
| M-B-3 | 54298.2 | 15.36 |
| M-C-3 | 55503.6 | 15.37 |

투수성 포장의 적용구간 별로 총 유출량 저감 효과를 비교하기 위해 총 유출량이 저감되는 비율을 Fig. 12에 나타내었다. 모든 도로가 아스팔트 포장(불투수 포장)인 경우와 비교하면 총 유출 감소량은 재현 기간 20년의 경우에서 유출계수가 0.05인 투수성 포장을 모든 도로에 적용했을 때 5195.7m³로 최대이며, 감소 비율은 11.73%로 나타났다. 또한 재현 기간이 20년에서 30년, 100년으로 경우 강도가 증가하였을 때, 총 유출 감소량은 11.73%에서 7.96%, 5.08%까지 감소하였다. 유출계수 0.5를 모든 도로에 적용했을 때, 모든 도로가 아스팔트 포장(불투수 포장)에 비하여 총 유출 감소 비율이 10.80%로 분석되었고, 재현 기간이 30년, 100년으로 늘어났을 때 총 유출 감소 비율이 6.51%, 2.92%로 나타났으며, 또한 재현기간이 20년에서 30년으로 늘어났을 때, 설정된 유출계수와 상관없이 총 유출 감소 비율은 큰 차이가 발생하지 않았다. 그러나 재현기간이 100년인 경우, 유출계수가 0.05에서 0.5로 증가했을 때 총 유출 감소 효율이 약 2배로 떨어진 것으로 나타났다.

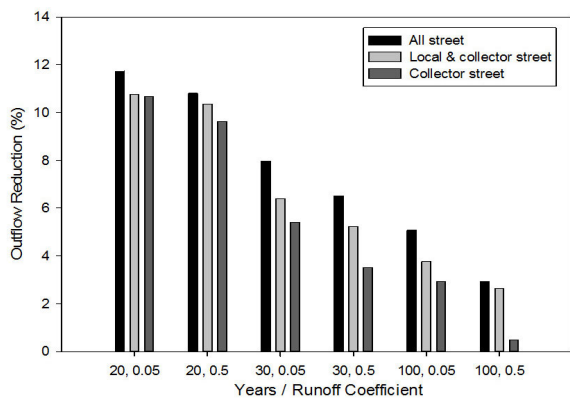


Fig. 12 Outflow Reduction Compared to Impermeable Pavement

투수성 포장의 적용구간 별로 침투 유출량을 정리하여 Fig. 13에 나타내었다. 침투 유출량 역시 투수성 포장 적용구간이 적을수록, 유출계수가 증가할수록 큰 값을 나타냈다. 하지만 재현기간에 따른 차이는 크지 않았다. 침투 유출량은 최대 0.104m³/s에서 최소 0.003m³/s까지 감소하였으며 감소된 비율은 1% 미만이었다. 이는 장영선 외 2인(2013)이 제시한 투수성 포장의 침투유량 저감 효과인 1.26~9.53%와는 상이하다. 또한 침투 유출 시간은 모두 40분경으로 나타났다. 침투 유출량은 재현기간 20년, 투수성 포장의 유출계수가 0.05일 경우 가장 큰 감소폭을 보였다.

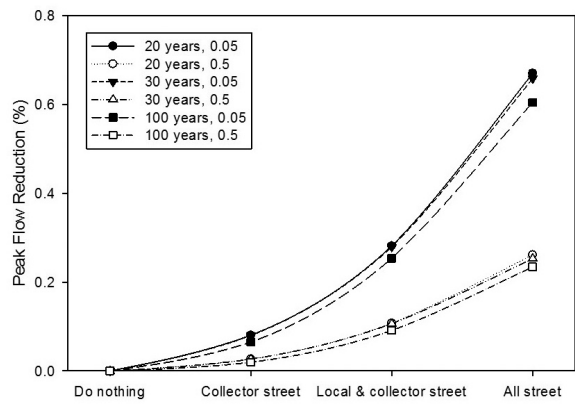


Fig. 13 Peak Flow Reduction according to Application of Permeable Pavement

4. 결론

SWMM 분석을 통해서 단순화된 모델과 ArcGIS를 활용한 관거 및 도로망 구성에 따른 시뮬레이션을 두 차례 수행하였다. 단순 해석 모델에서는 도로와 전체 유역에 대하여 불투수 포장에서 투수 포장으로 변경하였을 때, 각각 약 37.6%, 11.0%의 침투 유출 저감효과를 나타내었다. 전체 유역의 총 유출량도 약 10.9% 감소하였다. ArcGIS를 활용한 해석에서는 총 유출량과 침투 유출량이 투수성 포장의 적용구간이 적을수록, 유출계수와 재현기간이 증가할수록 큰 값을 나타냈다. 유출계수 0.05를 모든 도로에 적용했을 때 총 유출 감소량이 5195.7m³로 최대로 나타났으며, 감소 비율은 11.73%로 나타났다. 재현 기간이 20년에서 30년, 100년으로 경우 강도가 증가하였을 때, 총 유출 감소량이 11.73%에서 7.96%, 5.08%까지 감소하였다. 재현 기간 20년, 유출계수 0.5를 모든 도로에 적용했을 때 총 유출감소 비율이 10.80%로 분석되었고, 재현 기간이 30년, 100년으로 늘어났을 때 총 유출감소비율이 6.51%, 2.92%로 나타났다. 하지만 침투 유출의 감소효과는 단순 모델과 달리 1% 미만으로 나타났다.

따라서 투수포장의 적용은 지표면 침투를 이용하여 유출량을 지연 또는 저감하는 기술로서, 침투의 특성상 재현 기간이 작은 경우사상에 대하여 높은 저감 효율을 보였으며, 도시유역 빗물 관리를 위한 다양한 녹색인프라 수단 중 효과적으로 물 순환 역할을 할 수 있는 한 방법임을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No.

REFERENCE

- Seoul Metropolitan Government (2013), Technology Development for Improvement the Performance of Pervious Pavements, final report.
- Capacity. 8th International Conference on Concrete Block Paving, November 6-8, 2006 San Francisco, California USA, pp. 27-35.
- Fassman, E.A., Blackbourn, S. (2010). Urban Runoff Mitigation by a Permeable Pavement System over Impermeable Soils. *Journal of Hydrologic Engineering*, pp. 475-485.
- Ferguson, B. K. (2005). *Porous Pavements*. Boca Raton, Fla.: CRC Press. ISBN 9780849326707.
- Jang, Y., Mun, S. and Yang, S. (2013). An Analysis of Flood Mitigation Effect Applying to LID in Mokgamcheon Watershed using SWMM Model. *International Journal of Highway Engineering* · Vol.15 No.3, pp. 75-83.
- Lee, J., Lee, S. and Lee, K. (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 Hydro Environment Research* Vol. 39 No. 2 : 109-120 Feb 2006.
- Sansalone, J., Teng, Z. (2004). In Suit Partial Exfiltration of Rainfall Runoff I : Quality and Quantity Attenuation. *Journal of Environmental Engineering*, pp. 990-1006.
- Seters, T.V., Smith, D., MacMillan, G. (2006). Performance Evaluation of Permeable Pavement and A Bioretention Swale. 8th International Conference on Concrete Block Paving, November 6-8, 2006 San Francisco, California USA, pp. 161-170.