



An analysis of storage and runoff reduction characteristics using planter box in architectural LID system

Kim, Byung Sung^a · Kim, Jae Moon^b · Baek, Jong Seok^c · Shin, Hyun Suk^{d*}

^aMaster Course, Department of Civil Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

^bPh.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

^cResearcher, K-water convergence institute, Daejeon, Korea

^dProfessor, Department of Civil Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

Paper number: 18-083

Received: 5 September 2018; Revised: 7 December 2018 / 8 February 2019; Accepted: 8 February 2019

Abstract

Recently, research about Low-Impact Development (LID) techniques has been expanded due to problems with the effects of climate change and urbanization that have been increasing. LID technology is used to control flood damage environmentally to reduce runoff and is reduce runoff on city also restore into previous water circulation system from present developed city. However, studies about quantitative data of LID techniques are insufficient. Therefore in this study, the Curve Number (CN) was calculated with the Planter Box, which is storage type LID technology to conduct the water circulation (infiltration, runoff, overflow) analysis. Rainfall intensity scenario (60.4 mm/hr, 83.1 mm/hr, 97.4 mm/hr, 108.2 mm/hr) about water circulation analysis of Planter Box is selected on the basis of probable rainfall intensity table. According to the experimental results, the storage rate of rainwater in Building Planter Box and Street Planter Box was 43.5% to 52.9% and 33.4% to 39%, respectively. In addition, CN value is estimated to 83 at the Planter box and the runoff reduction effect by applying Horton's infiltration capacity curve showed on 51% to 98%.

Keywords: Low-Impact development (LID), Planter box, Hydrological balance, Runoff reduction, Rain storage, Curve number (CN)

건축형 LID 시스템에서 Planter Box를 활용한 저류 및 유출저감 특성 분석

김병성^a · 김재문^b · 백종석^c · 신현석^{d*}

^a부산대학교 사회환경시스템공학과 토목공학과전공 석사과정, ^b부산대학교 사회환경시스템공학과 토목공학과전공 박사과정
^cK-water 융합연구원 위촉연구원, ^d부산대학교 사회환경시스템공학과 교수

요 지

최근 기후변화와 도시화로 인한 수재해 문제가 증가하고 있으며, 이에 대응방안인 저영향개발(Low-Impact Development, LID) 기법에 관한 연구가 확대되고 있다. LID 기법은 도시 내의 우수유출수를 저감시켜 다양한 수재해 문제를 친환경적으로 제어하고, 도시 개발 이전의 물순환 체계로 회복시키는 기술이다. 하지만 LID 기법에 관한 정량적 데이터가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 저류형 LID 기술인 식생화분(Planter Box)의 Curve Number (CN)값을 산정하여, 물순환(침투, 유출, 월류수) 분석을 실시하였다. Planter Box의 물순환 분석에 관한 강우강도 시나리오(60.4 mm/hr, 83.1 mm/hr, 97.4 mm/hr, 108.2 mm/hr)는 부산시 확률강우강도표(2010)를 이용하여 선정하였다. 실험 결과는 건물화분3(BPB-3)과 거리화분3(SPB-3)에서 우수저류율이 각각 43.5%~52.9%, 33.4%~39.0%로 나타났다. 또한 BPB-3에서 CN값은 평균 83이 산출되었고, Horton 침투능 곡선식 적용에 따른 우수유출효과는 17%~96%로 나타났다.

핵심용어: 저영향개발(LID), 식생화분, 물수지, 유출저감, 빗물저류, 유출곡선지수

*Corresponding Author. Tel: +82-51-510-3288
E-mail: hsshin@pusna.ac.kr (H. S. Shin)

1. 서론

최근 기후변화와 도시화로 인해 홍수피해 및 집중호우와 같은 수재해가 증가하고 있다. 한반도 중서부 지역의 여름철 강수량은 1941~1970년 동안 평균 864.5 mm에서 1971~2005년 동안 평균 867.3 mm로 거의 변하지 않았지만 6, 7, 9월의 강수량이 감소한 반면 8월의 강수량은 100 mm 이상 증가하였다(Ministry of Environment, 2010). 이러한 문제를 친환경적으로 해결하고자 저영향개발(Low Impact Development, LID) 기법을 연구하는 사례가 급증하고 있다. LID는 도시화에 의한 불투수면 증가로 발생하는 다양한 문제들을 완화하는데 크게 기여할 수 있다(Ministry of Environment, 2013). LID 요소 기술의 예로는 투수성 포장, 옥상녹화, 빗물정원, 침투도랑, 식생화분, 빗물통, 침투저류지 등이 있다.

도시화에 따른 문제를 해결할 수 있는 기법중 하나인 LID와 관련한 선행 연구사례들을 살펴보면 HEC-HMS 3.5로 Raritan River에 Green Infrastructure를 적용하여 CN값을 도출한 연구가 진행되며 있으며(Guo *et al.*, 2013), SWMM 내 LID 모듈을 상습침수구역에 적용한 결과 15.62%, 13.01%의 유출저감효과를 확인하였다(Shin *et al.*, 2013). 또한, Kim *et al.* (2015)은 강우-유출 시뮬레이터 실험 장치를 이용하여 투수성 블록의 우수유출저감 효과를 확인하였고 Yoo *et al.* (2015)과 Fassman-Beck *et al.* (2015)은 식생형 LID(레인가든, 옥상녹화)의 CN값 산정을 통하여 유출저감 특성에 관한 연구를 실시하였다. Moon (2015)은 침투화분을 이용하여 지붕유출수에 대한 물순환 분석 및 환경성 평가를 수행하였고, Baek *et al.* (2016)은 여름철 강우 시 저류형 옥상녹화의 효율성 분석을 위해 일반옥상과 유출량을 비교하여 24.8%~100%의 우수저감 효과를 확인하였다. 이렇듯 향후 도시 LID 기법 적용은 도시빗물관리를 위한 LID요소 기술들의 적절한 연계, 면적 산출 및 배치 등은 중요한 연구들이다. 이러한 요소들은 유출모형 구축을 통해 강우 모의에 따른 유출량 예측 분석이 가능하고, 이러한 유출모형의 정확성 및 신뢰성을 검증하기 위해 LID 요소 기술에 대한 특성 및 효율성을 정량적으로 분석되어야 한다. 하지만 현재 국내외에서 정량적인 분석이 부족한 실정이다.

본 연구에서는 물순환 효율성 검증이 가능한 건축형 LID인 식생화분(Planter Box)을 이용하여 물순환 실험을 실시하였다. 모의강우강도는 Ministry of Environment (2010)를 이용하여 5, 20, 50, 100년 빈도로 60분 강우강도를 선별하였으며, 강우에 의해 발생하는 침투유출, 저류수, 월류수의 관계를 분석하기 위해서 유출곡선지수(CN)값을 산정하여, 그 결과를

바탕으로 건축형 LID인 Planter Box의 저류 및 우수유출저감 특성을 분석하였다. 본 연구에서 활용한 Planter Box는 연구를 위해 기초콘크리트로 설치되어 기저지반으로 침투가 불가능한 시스템이지만 건축형 LID를 기저지반으로 침투하도록 가정하고 기저지반의 침투에 대한 영향 분석을 Horton 침투능 곡선식을 활용하여 우수유출저감 효과를 정량적으로 파악하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 시설개요 및 이론

본 연구는 경상남도 양산시 물금읍 부산대학로 49에 위치한 한국형 GI&LID (Green Infrastructure & Low Impact Development) 센터에서 건축형 LID 시스템 3_건물옥상-화분 연계형 GI 시스템을 활용하여 효율성 분석을 실시하였다. 한국형 GI&LID 센터는 건축형 LID, 도로형 LID, 주차장형 LID, 빗물정원형 LID, 생태공원형 LID, 실증실험동 및 연구 교육동 등으로 이루어져 있고 Fig. 1과 같이 나타내었다. LID 기법의 효율성 검증을 위한 건축형 LID 시스템3은 낙수홈통 3(Down Spot-3), 건물화분3(Building Planter Box-3), 거리화분3(Street Planter Box-3), 도로집수정3(Road Collection Box-3)으로 구성되어 있다. 건축형 LID 시스템3은 자연강우로 인해 발생하는 다양한 물순환 과정을 분석하기 위한 장치로써 유입된 강우가 건물화분3(BPB-3) 및 거리화분3(SPB-3)에 의해 저류되면서 지표유출을 효과적으로 저감시킨다. Table 1은 BPB-3과 SPB-3의 식생층, 여재층, 자갈층, 기초콘크리트 제원(높이, 부피)를 나타내었다.

건축형 LID 시스템3의 Planter Box는 콘크리트 박스에 식생층, 여재층, 자갈층, 기초콘크리트 순으로 제작되어있으며, Planter Box전체가 빗물을 저류하여 저장할 수 있도록 설계되어있다. BPB-3의 면적은 7.0 m × 2.15 m, SPB-3의 면적은 7.0 m × 1.5 m로 Fig. 2와 같은 형태로 설치되었다.

강우 시 건축형 LID 시스템3은 GI&LID 실증단지 옥상에 내린 우수가 DS-3을 통해 BPB-3으로 유입된다. 그리고 유입된 우수는 침투 및 저류되며, 침투되어 나온 유출수는 다시 SPB-3으로 유입되고, SPB-3에서 저류 및 침투된다. 또한 SPB-3에서 발생한 유출수가 RCB-3에서 수집되어 우수이용(조경용수, 청소용수, 화장실용수 등) 및 열섬저감과 같이 다양한 목적으로 활용된다. 각 시스템에서 발생하는 유출량은 해당 유량계를 통해 GI&LID 센터에서 관리하는 web상의 서버시스템(<http://210.118.169.18/monitoring/ach>)으로 전송

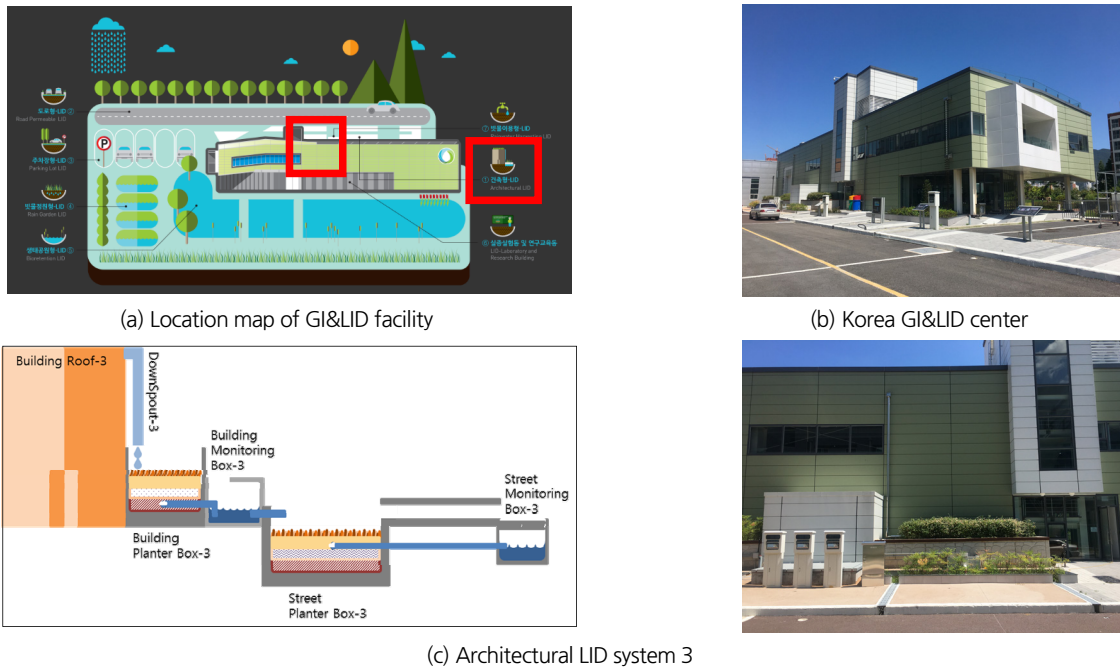


Fig. 1. Building Roof-Planter box Linked-GI system of GI&LID-Outside experimental test bed

Table 1. Specification of building planter box 3 and street planter box 3 in architectural LID system 3

| Type of Specification | Building Planter Box 3 | | Street Planter Box 3 | |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| | Height (m) | Volume (m ³) | Height (m) | Volume (m ³) |
| Planter Layer | 0.40 | 4.620 | 0.40 | 2.710 |
| Filter medium Layer | 0.10 | 1.155 | 0.10 | 0.730 |
| Gravels Layer | 0.30 | 3.465 | 0.30 | 2.180 |
| Foundation Concrete | 0.25 | 7.263 | 0.25 | 7.363 |

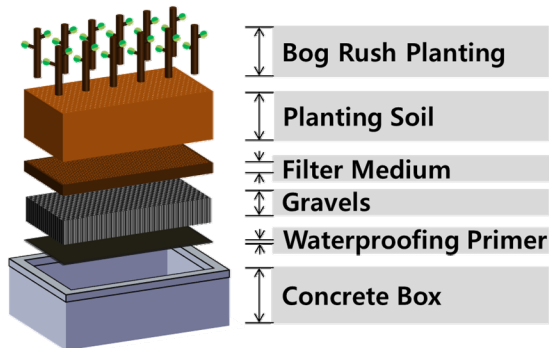


Fig. 2. Structure of planter box in architectural LID system 3

되어 실시간 모니터링이 가능하다. Fig. 3은 건축형 LID 시스템3의 물순환 계통도를 나타내었다.

본 실험에서는 DS-3으로 유입되는 유량을 강우에 의해 발

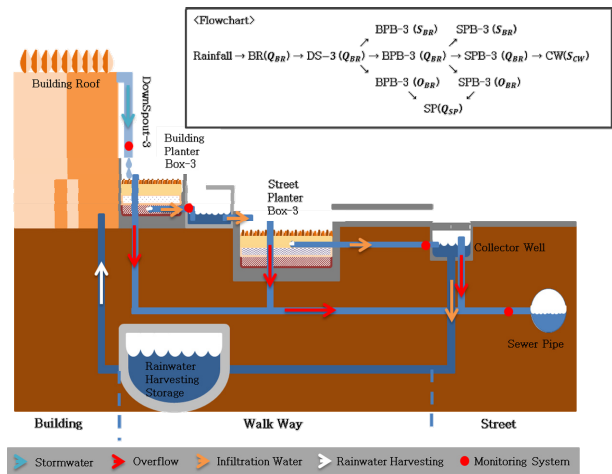


Fig. 3. Water cycle schematic diagram of architectural LID system 3

생하는 유입수로 가정했을 때, BPB-3, SPB-3에서 발생하는 침투(Infiltration), 유출(Runoff)등을 아래와 같은 수문학적 물수지 공식 Eq. (1)을 이용하여 분석할 수 있다.

$$P - E - Q = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (1)$$

여기서, P 는 강수량, E 는 증발량, Q 는 강우에 의해 발생하게 되는 유출량, S 는 저류량, t 는 시간을 나타낸다. 물 순환과정

중 증발 및 증산과정은 수자원 시스템의 운영에 대단한 중요성을 가지지만 이는 단기간보다는 비교적 장기간의 수자원 양적 손실 정도를 판단하는 기준이 되며, 비교적 짧은 기간에 발생하는 호우의 경우 증발산율은 포화증기압과 실제증기압의 차이가 크지 않아 강우강도에 비해 대단히 작으므로 호우 기간중의 증발산량은 거의 무시할 수 있다(Yoon, 2007). 이에 본 논문에서 증발량은 고려하지 않고 저류량을 산정하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 유량시나리오 설정 및 강우모의 방법

본 연구에서는 고저수조에서 나온 유량이 호스를 통해 DS-3으로 유입되고, 유입되는 유량을 조절하여 원하는 강우 강도를 모의하였다. 이러한 과정에서 유량의 흐름을 등류로 가정하였을 때, 연속방정식 Eq. (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$Q = A \times v \tag{2}$$

여기서, Q 는 유량계를 거쳐 측정되는 유량(L/min), A 는 DS-3 파이프의 면적(m²), v 는 DS-3 파이프를 지나가는 유속(m/min)이다. Table 2는 국토교통부의 2010년 기준 부산시 확률강우강도표이다.

본 논문에서는 실제 강우를 재현하기 위해 부산시 확률강우강도표를 이용하여 재현기간(5, 20, 50, 100년)에 맞는 강우 강도(60.4 mm/hr, 83.1 mm/hr, 97.4 mm/hr, 108.2 mm/hr)를 갖는 4개의 시나리오(A, B, C, D)로 설정하였다. 강우강도는 DS-3에 유입되는 유량을 BPB-3의 면적으로 환산하여 산정하였고, BPB-3의 자체 효율성을 분석하고자 하였다. 시나리오 A, B, C, D에 맞는 강우강도를 모의하기 위해 유량을 15.0

L/min, 20.5 L/min, 24.5 L/min, 27.0 L/min로 결정하였다. 모의강우는 20 cm × 20 cm × 20 cm 유량버킷을 이용하여 각 시나리오의 유량을 실측한 후 실험을 실시하였다.

2.2.2 함수율 측정 및 방법

Planter Box의 선행함수비는 실험에서 침투율과 저류량에 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 함수비의 선행조건 파악을 위해 함수비를 측정하여 파악하는 것은 매우 중요하다. 본 실험에서는 시간영역반사법(Time Domain Reflectometry, TDR)으로 체적함수율이 측정되는 TDR-300을 사용하여 실험 전과 후로 Planter Box 토양층 내의 함수량을 측정하였다. Fig. 4와 같이 TDR-300의 구성을 나타내었다.

TDR-300의 정밀한 측정을 위해 증류수로 검보정을 실시한 다음 토양의 함수율을 측정한다. 함수비 측정 지점은 Planter Box 콘크리트 벽면의 영향을 고려하여 벽체에서 30 cm 이상, 가로방향으로 각 지점의 간격은 150 cm 이상, 세로방향은 가로방향과 평행하게 30 cm 이상 거리를 두고 Planter Box 별로 각각 8개의 지점을 선정하였다. 각 Planter Box의 저류량은 실험 전·후로 측정된 함수율을 통해 산정한 값과 모니터링을 통한 값을 비교·분석하여 산출하였다.



Fig. 4. Measurement and composition of TDR-300

Table 2. Probable rainfall intensity of ministry of land, infrastructure and transport (MOLIT) in Busan (2010)

(unit : mm/hr)

| Duration (min) \ ARI (year) | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 90 | 120 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|------|------|
| 2 | 126.7 | 89.7 | 76.5 | 68.5 | 58.3 | 51.6 | 46.8 | 43.0 | 35.4 | 30.5 |
| 3 | 147.1 | 102.3 | 88.1 | 79.7 | 68.6 | 61.2 | 55.6 | 51.3 | 42.2 | 36.4 |
| 5 | 169.6 | 116.3 | 101.1 | 92.2 | 80.2 | 71.9 | 65.5 | 60.4 | 49.8 | 42.9 |
| 10 | 198.0 | 134.3 | 117.4 | 107.6 | 94.5 | 85.2 | 77.9 | 72.1 | 59.5 | 51.2 |
| 20 | 225.2 | 151.1 | 133.0 | 122.7 | 108.5 | 98.1 | 89.8 | 83.1 | 68.6 | 59.1 |
| 30 | 240.9 | 160.9 | 142.1 | 131.3 | 116.5 | 105.5 | 96.7 | 89.5 | 73.9 | 63.6 |
| 50 | 260.5 | 173.1 | 153.3 | 142.1 | 126.5 | 114.7 | 105.2 | 97.4 | 80.5 | 69.3 |
| 70 | 273.2 | 181.3 | 160.6 | 149.1 | 132.9 | 120.7 | 110.9 | 102.7 | 84.8 | 73.0 |
| 80 | 278.4 | 184.4 | 163.6 | 151.9 | 135.6 | 123.1 | 113.1 | 104.7 | 86.5 | 74.5 |
| 100 | 286.9 | 189.6 | 168.4 | 156.6 | 139.9 | 127.2 | 116.8 | 108.2 | 89.4 | 76.9 |

Table 3. Variable values with soil type of horton infiltration curve

| Soil Type | Initial Infiltration Capacity (f_0) | | Final Infiltration Capacity (f_c) | | Soil Constant k (1/hr) |
|--------------------------|---|---------|---------------------------------------|---------|-----------------------------|
| | (cm/hr) | (in/hr) | (cm/hr) | (in/hr) | |
| Alpha loam | 48.26 | 19.00 | 3.56 | 1.40 | 38.29 |
| Carnegie sandy loam | 47.68 | 14.77 | 4.49 | 1.77 | 19.64 |
| Cowarts loamy sand | 38.81 | 15.28 | 4.95 | 1.95 | 10.65 |
| Dthan loamy sand | 8.81 | 3.47 | 6.68 | 2.63 | 1.40 |
| Fuquay pebbly loamy sand | 15.85 | 6.24 | 6.15 | 2.42 | 4.70 |
| Leefield loamy sand | 28.80 | 11.34 | 4.39 | 1.73 | 7.70 |
| Robertsdale loamy sand | 31.52 | 12.41 | 2.99 | 1.18 | 21.75 |
| Stilson loamy sand | 20.59 | 8.11 | 3.94 | 1.55 | 6.55 |
| Tooup sand | 58.45 | 23.01 | 4.57 | 1.80 | 2.71 |
| Tifton loamy sand | 24.56 | 9.67 | 4.14 | 1.63 | 7.28 |

2.2.3 침투능 산정

Horton 침투능 곡선식의 토양종류별 변수값을 이용하여 침투능 곡선식을 산정하였고, BPB-3의 콘크리트 기초에 침투능 곡선식의 토양을 적용하여 유효유출량을 산정하였다. 본 연구에서는 산정된 유효유출량을 이용하여 우수유출저감 효과를 파악하고자 한다. Horton의 침투모형(Horton, 1940)은 침투현상을 구현하는데 잘 알려진 경험적인 모형이고 다음과 같은 침투능 곡선식 Eq. (3)을 제시한다.

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (3)$$

여기서, f_p 는 임의시각에 있어서의 침투능(mm/hr), f_0 는 초기침투능(mm/hr), f_c 는 종기침투능(mm/hr), t 는 강우시작 시간으로부터 침투측정시간(hr), k 는 주로 토양의 종류에 따라 결정되는 상수(hr⁻¹)이고, Table 3은 Horton 침투능 곡선식에 따른 토양종류별 변수값을 나타낸다.

2.2.4 유출곡선지수(CN) 산정

건축형 LID 시스템3은 우수를 저류시켜 유출량을 저감시키고 지체시간을 지연시켜 유출로 인한 수재해 피해를 저감하는 역할이다. 본 연구에서는 강우모의에 의한 유출량을 통해 유출곡선지수(CN)값을 산정하였다. 이에 산정된 CN값을 활용하여 건축형 LID 시스템3의 유출저감 효과를 분석하고자 한다. 유출량 자료가 없는 경우에 유역의 토양 특성과 식생피복상태 및 선행강수조건 등에 대한 상세한 자료만으로도 총우량으로부터 유효우량을 산정할 수 있는 방법을 1972년에 미국토양보존청(U.S. Soil Conservation Service, SCS/현재는 U.S. National Resources Conservation Service, NRCS)에서 개발하였고, SCS의 유출곡선지수방법으로 알려져 있으

며, 미 계측유역에서의 유효우량산정에 적용되고 있다(US/SCS, 1972).

SCS 유효우량 산정방법에서는 강우가 발생하기 이전 유역의 선행토양함수조건, 토양종류, 토지이용상태, 식생피복의 처리상태, 그리고 토양의 수문학적조건 등이 고려된다. SCS의 유효우량 산정방법에 적용되는 총 강우량-유효우량 관계는 다음 식 Eqs. (4) and (5)와 같이 나타낸다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (4)$$

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (5)$$

여기서, P 는 강우에 대한 총우량(mm), Q 는 P 에 대한 유효우량(mm), S 는 해당 유역의 최대잠재보유수량(mm)을 나타낸다. 위의 식에서 Q 는 유효우량으로 수문곡선에서 유출량과 밀접한 관계를 가지며 유효우량에 따라 해당유역의 유출량변화를 의미한다. CN값은 S 에 영향을 미치며 S 값은 해당 유역에서의 유출량과 밀접한 관계를 나타낸다. 본 연구에서는 시나리오별 강우모의를 통해 저감된 유출량으로 Planter Box의 CN값을 도출하고, BPB-3에서 Horton 침투능 곡선식의 토양을 고려한 CN값을 추정하였다.

3. 연구 결과

3.1 건축형 LID 시스템3의 강우모의 결과

본 연구는 시나리오별로 강우를 모의하여 각 Planter Box의 유량계에서 계측된 유출량을 web상에서 1분 단위로 모

니터링 하였다. 각 시나리오 모두 월류수는 발생하지 않았으며 web상의 서버시스템에서 모니터링 결과를 수문곡선으로 Fig. 5에서 나타내었다. Eq. (1)을 이용하여 관측된 유출량에 대한 저류량을 산정하였으며, 총 유입량에 따라 저류율을 산정하여 Table 4에서 시나리오별로 저류량과 지체시간을 나타내었다.

시나리오별로 BPB-3의 저류율은 52.9%, 46.2%, 43.9%, 43.5%로 나타났고, SPB-3의 저류율이 39.0%, 37.8%, 33.4%, 33.8%인 것을 확인하였다. 총 유입유량의 증가에 따라 각 Planter Box의 저류량이 증가하지만 저류율은 감소한다. 또한, 강우이벤트 발생 시에 기존의 건물옥상에서 집수되는 우수는 바로 우수관으로 통하게 설계되어 있다. 기존의 건물옥상에서 집수된 우수는 지체시간발생이 힘들지만 시나리오 A, B 보다 C, D에서 BPB-3의 지체시간이 20분가량 줄어들었다. 지체시간은 유역의 형상, 유로의 길이, 평균경사, 기하학적 특성, 하도의 조도 등에 영향을 받는다. 본 실험에서는 이러한 조건이 같음으로 시나리오 C 이상의 강우강도에서 지체시간 지연 효과가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

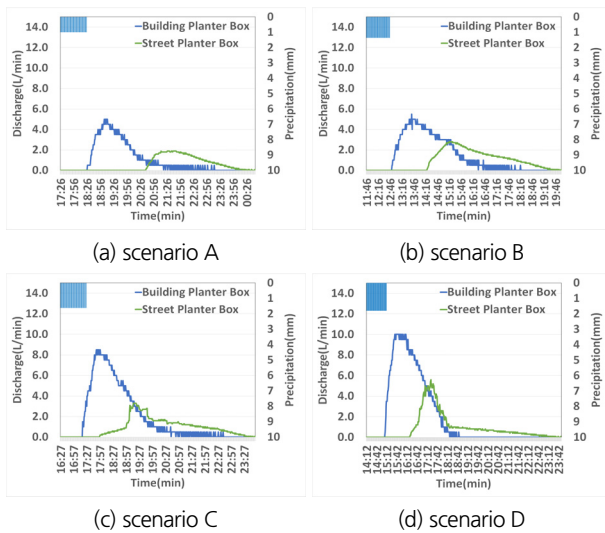


Fig. 5. The hydrograph of the architectural type LID system 3 according to each scenario

Table 4. Delay time, storage and storage rate according to each scenario

| Scenario | A | B | C | D |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Total Flow (L) | 900 | 1230 | 1470 | 1620 |
| Storage of BPB-3 (L) | 475.9 | 568.3 | 645.6 | 704.6 |
| Storage rate of BPB-3 (%) | 52.9 | 46.2 | 43.9 | 43.5 |
| Storage of SPB-3 (L) | 185.8 | 214.5 | 215.4 | 237.9 |
| Storage rate of SPB-3 (%) | 39.0 | 37.8 | 33.4 | 33.8 |
| Delay Time (min) | 69 | 85 | 52 | 54 |

3.2 Horton 침투능 곡선식에 따른 건축형 LID 시스템 3의 유출저감 특성

현재 도시에서 불투수지역은 기저지반으로 침투가 불가능하며, 강우발생시 대부분의 우수가 유출량에 영향을 미치게 된다. 건축형 LID 시스템3은 강우 시 유입되는 유량을 Planter Box에서 저류하여 직접유출량을 감소시키고 지체시간을 지연시켜 유출저감 효과를 극대화 시키는 것이다. GI&LID 센터의 Planter Box는 연구를 위해 기초콘크리트로 구축이 되어 있기 때문에 Planter Box에서 기저지반으로 우수가 침투되지 않는다. 이에 본 연구는 Planter Box에서 기초콘크리트가 아닌 자연 토사를 적용한 경우 침투 및 지하수로 인한 유출저감 특성을 평가하였다. 자연 토양을 BPB-3에 연계하여 총 유출량을 산출하였고 Table 5에서 나타내었다.

GI&LID 센터 내의 Planter Box는 도시에 불투수지역일 경우 보다 40%~48%의 저류효과를 가지는 것으로 나타났다. 또한 Horton 침투능 곡선식의 토양종류별 변수값을 BPB-3에 적용하여 기저지반으로 침투를 고려한 결과 Tooup sand

Table 5. Total discharge and discharge reducing rate according soil application on planter box

| Application Type | A | B | C | D |
|------------------------------|--------|---------|---------|---------|
| Impervious Area (L) | 821.73 | 1161.73 | 1376.30 | 1538.46 |
| Building Planter Box-3 (L) | 424.14 | 661.74 | 824.36 | 915.45 |
| Reducing Rate (%) | 48 | 43 | 40 | 40 |
| Alpha loam (L) | 278.82 | 495.84 | 651.43 | 741.20 |
| Reducing Rate (%) | 66 | 57 | 53 | 52 |
| Carnegie sandy loam (L) | 224.27 | 433.57 | 586.52 | 675.79 |
| Reducing Rate (%) | 73 | 63 | 57 | 56 |
| Cowarts loamy sand (L) | 186.06 | 389.95 | 541.05 | 629.97 |
| Reducing Rate (%) | 77 | 66 | 61 | 59 |
| Dthan loamy sand (L) | 202.47 | 408.68 | 560.57 | 649.64 |
| Reducing Rate (%) | 75 | 65 | 59 | 58 |
| Fuquay pebbly loamy sand (L) | 190.12 | 394.58 | 545.88 | 634.84 |
| Reducing Rate (%) | 77 | 66 | 60 | 59 |
| Leefield loamy sand (L) | 204.54 | 411.04 | 563.04 | 652.13 |
| Reducing Rate (%) | 75 | 65 | 59 | 58 |
| Robertsdale loamy sand (L) | 295.38 | 514.74 | 671.13 | 761.05 |
| Reducing Rate (%) | 64 | 56 | 51 | 51 |
| Stilson loamy sand (L) | 236.97 | 448.07 | 601.63 | 691.01 |
| Reducing Rate (%) | 71 | 61 | 56 | 55 |
| Tooup sand (L) | - | - | 31.92 | 116.93 |
| Reducing Rate (%) | - | - | 98 | 92 |
| Tifton loamy sand (L) | 222.91 | 432.02 | 584.91 | 674.16 |
| Reducing Rate (%) | 73 | 63 | 58 | 56 |

Table 6. CN values with soil type of horton infiltration curve for planter box

| Application Type | A | B | C | D |
|--------------------------|----|----|----|----|
| Impervious Area | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Building Planter Box-3 | 85 | 84 | 83 | 81 |
| Alpha loam | 79 | 70 | 77 | 76 |
| Carnegie sandy loam | 75 | 68 | 75 | 74 |
| Cowarts loamy sand | 73 | 66 | 73 | 72 |
| Dthan loamy sand | 74 | 67 | 74 | 73 |
| Fuquay pebbly loamy sand | 73 | 66 | 73 | 72 |
| Leefield loamy sand | 74 | 67 | 74 | 73 |
| Robertsdale loamy sand | 80 | 70 | 78 | 77 |
| Stilson loamy sand | 76 | 68 | 75 | 74 |
| Tooup sand | - | - | 42 | 47 |
| Tifton loamy sand | 75 | 67 | 75 | 74 |

의 경우 총 유출량이 시나리오 A, B에서는 발생하지 않았으며 C, D에서 각각 31.92 L, 116.93 L로 나타났다. 시나리오별로 유출량이 발생한 토양 중에서 가장 우수유출저감 효율이 좋은 Cowarts loamy sand의 경우 각각 186.06 L, 389.95 L, 541.05 L, 629.97 L의 유출량이 산정되었다. 불투수지역과 각 토양 종류에 따른 총 유출량을 비교하였을 때 우수유출저감율은 51%~98%까지 나타났다. Table 6은 Table 5에서 산정된 유출량을 통해 Eq. (4)에서 S 를 역산하여 산정하였으며, Eq. (5)를 통하여 CN값을 산정하였다.

BPB-3의 CN값은 각 시나리오 별로 85, 84, 83, 81로 비교적 변동이 없는 것으로 보아 실험결과의 신뢰성을 보여준다. BPB-3의 CN값은 평균 83으로 자연목초지 또는 목장, 토양군 D에 해당하는 값이다. BPB-3에 토양을 연계한 결과 시나리오 A, B에서 유출량이 발생하지 않은 Tooup sand를 제외하고 Cowarts loamy sand의 경우 CN값이 73, 66, 73, 72로 산정되었다. 토양종류별 변수값을 적용할 경우 BPB-3의 CN값이 18~56까지 감소하는 것을 확인하였다. 도시에서 불투수지역(주차장, 지붕, 도로 등)의 CN값은 98이며, Tables 5 and 6에서 볼 수 있듯이 CN값에 따라 유출량이 감소하는 것을 확인하였다. 또한, BPB-3은 기저지반에 따라 우수유출저감에 효과적인 것을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 기후변화와 도시화에 따른 도시 물 관리 문제를 해결하기 위한 저영향개발(LID) 기법 중 저류형 LID인

Planter Box의 저류 및 유출저감 특성을 분석하였다. 건축형 LID 시스템3의 실험을 통해 우수저류, 우수유출저감 및 지체 시간의 효과를 확인하였다. BPB-3과 SPB-3에서의 저류량이 각각 43.5%~52.9%, 33.4%~39.0%으로 나타났고, BPB-3에서 52~85분의 지체시간을 확인하였다. 또한 본 실험에서는 Horton 침투능 곡선식 및 CN을 이용하여 우수유출저감 효과를 파악하고자 하였다. 기존의 불투수지역에 Planter Box를 적용한 결과 40%~48%의 우수유출저감 효과를 확인하였고 토양종류별 변수값을 기존 BPB-3에 적용하여 기저지반으로 침투를 고려한 결과, 총 유출량은 31.92 L~761.05 L이고 우수유출저감율이 51%~98%에 해당하였다. 또한 BPB-3의 평균 CN값은 83로 산정되었고 A, B시나리오에서 우수유출이 발생하지 않은 Tooup sand를 제외할 경우, 우수유출저감 효율이 우수한 Cowarts loamy sand의 토양을 적용한 결과 불투수지역보다 평균 CN값이 27 감소하였고, 59%~77%의 우수유출저감 효과가 나타나 현장의 기저지반에 따라 Planter Box의 면적 또는 깊이 결정에 도움이 될 것으로 기대된다. LID 기법은 기존 전통적 방식의 개발에 비해 비용이 절감된 것으로 조사되었으며 강우유출수 처리 및 관리비용보다 약 15~80% 절감되는 것으로 나타났다(Ministry of Environment, 2013). 이와 같이 LID 기법은 도시 물 관리에 있어 경제적이며 친환경적인 기술로 볼 수 있다. 또한 도시 LID 설계 시 빗물관리를 위해 우수에 의한 유출량은 유출모형을 통해 예측·분석할 수 있다. 하지만 현재 국내외에서 LID 기법에 관한 정량적 분석 연구가 미비한 실정이며, 이러한 분석을 통하여 모형의 매개변수 산정은 빗물관리에서 중요한 요소이다. 본 연구는 향후 모델링 모형의 정확성 평가 및 매개변수 산정을 위한 기초자료로써 기대된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 환경정책기반공공기술개발사업의 연구비지원(2016000200003)에 의해 수행되었습니다.

“본 연구는 환경부 「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었습니다.”

References

- Baek, S. Y., Kim, H. W., Kim, M. K., and Han, M. Y. (2016). “Runoff reduction effect of rainwater retentive green roof.” *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, Vol. 16, No. 1, pp. 67-71.

- Fassman-Beck, E., Hunt, W., Berghage, R., Carpenter, D., Kurtz, T., Stovin, V., and Wadzuk, B. (2015) "Curve number and runoff coefficients for extensive living roofs." *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 21, No. 3, pp. 1-10.
- Guo, Q., and Correa, C. (2013). "The impacts of green infrastructure on flood level reduction for the raritan river: modeling assessment." *World Environmental and Water Resources Congress*.
- Horton, R. E. (1940). "An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity." *Soil Science Society of America Proceedings*, Vol. 5, pp. 399-417.
- Jang, Y. S., Kim, M. E., Beak, J. S., and Shin, H. S. (2014). "The study on development and verification of rainfall-runoff simulator for LID technology verification." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 47, No. 6, pp. 513-522.
- Kang, Y. B., Kim, B. J., Park, S. J., and Choi, H. K. (2012). "Estimation of infiltration curved formulas by using infiltration capacity experiment in the Hongcheun-River watershed." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12, No. 5, pp. 215-223.
- Korea Institute of Civil engineering and building Technology (KICT) (2011). "Improvement and Supplement of Probability Rainfall." Publication No.11-1611000-001995-01, *Ministry of Land, Infrastructure and Transport*, p. 358.
- Kim, M. E., Jang, Y. S., Nam, C. H., and Shin, H. S. (2015). "A study on the effectiveness verification of hydrological cycle of pervious pavement using LID simulator." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 48, No. 5, pp. 321-330.
- Ministry of Environment (2010). *Korea climate change evaluation report*.
- Ministry of Environment (2013). *Guidelines for low impact development technology elements*.
- Moon, S. Y. (2015). *Development and performance assessment of an infiltration planter for roof runoff management*. Master's Thesis, Kongju National University, pp. 1-87.
- Park, C. H., Yoo, C. S., and Kim, J. H. (2005). "Revised AMC for the application of SCS method: 1. Review of SCS method and problems in its application." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 38, No. 11, pp. 955-962.
- Shin, D. S., Park, J. B., Kang, D. K., and Jo, D. J. (2013). "An analysis of runoff mitigation effect using SWMM-LID model for frequently inundated basin." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 13, No. 4, pp. 303-309.
- Soil Conservation Service (1972). *National Engineering Handbook*, Section 4, Hydrology, Chap. 10, Washington, D.C.
- Yoo, C. S., Lee, J. W., Cho, E. S., Zhu, J. H., and Choi, H. N. (2015). "Evaluation of rain garden for infiltration capability and runoff reduction efficiency." *Journal of Wetlands Research*, Vol. 17, No. 1, pp. 101-111.
- Yoo, C. S., Park, J. H., and Kim, J. H. (2005). "Revised AMC for the application of SCS method: 2. Revised AMC." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 38, No. 11, pp. 963-972.
- Yoo, J. H. (2010). "An offer of procedure calculating hourly rainfall excess by use of horton infiltration model in a basin." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 43, No. 6, pp. 533-541.
- Yoon, Y. N. (2007). *Hydrology*. Cheong Mun Gak.