

LID 기술의 효율성 검증을 위한 강우-유출 모의장치 개발 및 검증실험에 관한 연구

The Study on Development and Verification of Rainfall-Runoff Simulator for LID Technology Verification

장 영 수* / 김 미 은** / 백 종 석*** / 신 현 석****

Jang, Young Su / Kim, Mi Eun / Baek, Jong Seok / Shin, Hyun Suk

Abstract

Climate change and urbanization have affected a increase of peak discharge and water pollution etc. In a view of these aspects, the LID (Low Impact Development) technology has been highlighted as one of adjustable control measures to mimic predevelopment hydrologic condition. Many LID technologies have developed, but there is a lack of studies with verification of LID technology efficiency. Therefore this study developed a rainfall-runoff simulator could be possible to verify LID technology efficiency. Using this simulator, this study has experimented the rainfall verification through the rainfall distribution experiment and the experiment to show the relation between inflow and effective rainfall in order to sprinkle the equal rainfall in each unit bed. As a result, the study defined the relation between allowable discharge range and RPM by nozzle types and verified the hydrologic cycle such as the relation between infiltration rate, surface runoff and subsurface runoff at pervious area and impervious area through the rainfall-runoff experiment.

Keywords : Low Impact Development (LID), rainfall-runoff simulator, efficiency of hydrologic cycle

요 지

최근 도시화 및 기후변화에 의한 홍수피해의 증가로 인하여 이에 대응하는 방안으로 저영향개발(LID) 요소기술에 관하여 다양하게 개발이 되고 있다. 하지만 이러한 요소기술에 대한 효율을 검증할 수 있는 표준화된 검증방법 및 기기는 부재한 실정이다. 본 연구에서는 LID 기법에 대한 물순환의 효율성 검증이 가능한 강우-유출 모의장치를 개발하였다. 소유역 내 강우가 균등하게 분사될 수 있도록 강우공간분포실험 및 유입유량-유효유량 관계 실험을 통하여 강우를 검증하고 유입되는 강우와 이로 인해 발생하는 침투 및 지표유출 관계 실험을 실시하였다. 그 결과 노즐의 종류에 따른 적정 유량범위와 RPM의 관계를 정리하였으며 강우-유출 모의장치를 이용한 실험을 통해 투수면과 불투수면에서의 강우 시의 수문학적 물순환(지표유출, 중간유출, 침투량)의 관계를 정량적으로 검증하였다.

핵심용어 : 저영향개발(LID), 강우-유출 모의장치, 수문순환의 효율성

* 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 박사과정 (e-mail: jysone@nate.com)

Ph.D., Student Dept. of School of Civil & Environmental Eng., Pusan National Univ., Busan 609-735, Korea

** 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 박사과정 (e-mail: way8210@naver.com)

Ph.D., Student Dept. of School of Civil & Environmental Eng., Pusan National Univ., Busan 609-735, Korea

*** 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공과 석사과정 (e-mail: baek2baek@naver.com)

Graduate Student Dept. of School of Civil & Environmental Eng., Pusan National Univ., Busan 609-735, Korea

**** 교신저자, 부산대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 교수 (e-mail: hsshin@pusan.ac.kr, Tel: 82-51-510-2348)

Corresponding Author, Prof., Dept. of School of Civil & Environmental Eng., Pusan National Univ., Busan 609-735, Korea

1. 서 론

기후 변화와 급격한 도시화에 따른 유역 내 불투수 면적의 증가는 갈수기 하천유량을 감소시켜 건천화를 유발하고, 건천화에 따른 하천유지유량의 부족은 수질오염 증가 등의 문제를 초래한다(Lee, 2011). 또한 이러한 현상은 집중호우의 증가로 인한 돌발홍수의 피해를 증가시키고, 하천생태계를 파괴하거나 비점오염원에 의한 피해를 더욱 증가시키고 있다. 세계 각국에서는 이러한 기후변화 및 도시화에 따른 물관리 쟁점을 해소하기 위한 다양한 대책을 강구하고 있다. 예로써, 독일식 분산식 도시계획(Decentralized Urban Design, DUD), 호주의 지속가능 도시계획(Water Sensitive Urban Design, WSUD), 일본의 자연순형 개발(Sound Water Cycle, SWCNP), 그리고 한국의 녹색도시(Smart Watery City [SWC], 아산탕정 도시, U-Eco City) 등이 있다(Jo, 2012). 또한 대책 방안 중 하나인 LID 기법에 대한 연구는 국내외에서 활발하게 진행되고 있다. 하지만 우수저감 및 비점오염저감 효과 등의 LID 요소기술의 효율성 및 적용성을 평가하고 검증할 수 있는 연구는 미약한 수준이며 현재 미국 등 선진국에서는 LID 효율성을 검토하기 위한 실험 및 실증 기술의 개발을 강조하고 있다. 특히 강우모의장치는 LID 요소기술의 우수저감 및 비점오염저감 효과를 확인할 수 있는 방법으로 사용되고 있다. 이 기기는 소규모 스케일의 투수성 포장재, 침투트렌치, 식생여과대 등의 LID 기법의 효율성 검증실험에 효과적으로 사용될 수 있다. 이와 관련한 LID 기법에 대한 연구는 최근 국내에서도 활발하게 진행되고 있으나 LID 요소기술의 검증에 관한 연구는 미비한 수준이다. 국내의 경우 강우-유출 모의장치의 설계 및 검증에 관한 연구는 미비하지만 2000년대 이후로 강우-유출 모의장치를 이용한 투수성 포장재에 대한 연구가 주로 진행되어 오고 있다. Lee et al. (2001)은 인공강우장치를 이용하여 투수성 포장재의 우수유출 저감 효과 분석을 하였고 Lee et al. (2009)은 강우-유출 모의장치를 이용하여 투수성 보도블록의 침투능을 분석한 바 있다. 또한 Koo et al. (2013)은 강우-유출 모의장치를 이용한 투수성 포장의 침투실험을 통한 결과를 SWMM 모형에 적용하여 도시유역 내 발생하는 유출 변화를 분석한 바 있다. National Disaster Management Institute (2002)에서는 강우발생장치를 이용한 투수성 포장 실험을 통해 각 재료의 투수계수를 산정하고 지속시간별 유출 저감량에 대해 분석하였다. 국외에서는 미국을 중심으로 지자체 및 대학기관에서 LID 요소기술의 수문순환의 효율성 검증 및 수질

개선에 대한 방법으로 강우-유출 모의장치를 통한 실험이 진행되어 왔다. 샌디에고 대학과 콜로라도 주립대학 등에서는 강우-유출 모의장치를 통해 유출량 및 수질 분석에 관한 실험이 진행되어 왔으며 LID 요소기술에 대한 유출량, 침투율, 수질오염저감 효과 등에 대한 연구가 진행되고 있다. Willis et al. (1989)은 실측 강우자료를 이용하여 강우모사기의 강우강도 및 강우분포 선정에 대한 비교 분석 연구를 진행하였으며, Exeter et al. (1990)은 강우모사기 디자인 및 시공과정 소개 및 강우강도 및 노즐 사이즈, 분사압에 따른 강우분포의 결정에 대한 연구를 실시한 바 있다. Bhattacharyya et al. (2000)은 강우강도별 강우 분포 사이즈에 따른 적정 범위를 선정하는 연구를 진행했으며 Sorenson et al. (2004)은 강우모사기 제작 및 강우모사기를 이용한 유출량 분석에 관한 연구를 수행한 바 있다.

본 연구에서는 수문학적 의미의 물순환 기술에 대한 효율성 검증실험을 수문요소별 저감 및 개선효과를 정량적으로 산정 및 분석을 할 수 있는 강우-유출 모의장치를 개발 및 제작하였다. 강우-유출 모의장치는 수문학적인 물순환 과정을 구현한 것으로 지표유출, 중간유출, 지하수 유출 및 침투에 대하여 정량적인 측정 및 분석이 가능하다. 하지만 수문학적 물순환 과정 중 하나인 증발산의 경우, 수자원 시스템 운영 측면에서 매우 중요한 요소이나 이는 단기간보다는 비교적 기간이 길 때 수자원의 양적 손실 정도를 판단하는 기준이 되며 비교적 짧은 기간에 발생하는 호우 시 증발산율은 포화증기압과 실제증기압의 차가 크지 않아 강우강도에 비해 대단히 작으므로 호우기간 중 증발산량은 무시할 수 있다(Yoon, 2007). 이에 따라 본 기기를 활용하여 LID 요소기술에 대하여 우수저감 및 비점오염저감 등의 정량적 분석은 단기간 호우에 대한 다양한 강우사상에 대하여 적용되며 강우 시의 수문학적 물순환을 고려하는 기기를 개발하였다. 또한 본 연구에서는 기기의 수문순환 관계를 정량적으로 기기의 효율성을 검증하기 위하여 기기 내 투수면과 불투수면으로 분리하여 강우에 따른 지표유출 및 침투량을 산정하는 실험을 실시하였다.

2. 강우-유출 모의장치의 이론

강우-유출 모의장치는 자연현상 중 하나인 강우가 발생할 때 발생하는 다양한 수문학적 현상을 고찰하기 위한 장치로써 물의 순환과정을 분석하기 위하여 하천의 소유역을 하나의 단위 수문시스템으로 보고 수문순환의 과정 중

하나인 강수를 본 모의 장치의 입력(input) 성분으로 하고 유역으로부터 발생하는 유출 및 침투 및 지하수 성분을 출력(output) 성분으로 하였다. 이는 수문순환에서 발생하는 중간과정 변수를 고려함으로써 강수와 유출 간의 관계를 규명할 수 있다. Fig. 1은 강우-유출 모의장치의 수문학적 배경 및 모의장치에 적용된 이론을 나타낸 것이다.

입력 성분인 강수량 및 강우강도를 조절함으로써 자연 현상에서의 토지피복 및 LID 요소기술에 따른 수문학적 물수지(Water Balance) 분석이 가능하다. 강우에 의하여 발생하게 되는 지표유출(Surface Runoff), 지표하유출(Subsurface Runoff), 침투(Infiltration) 및 지하수 유출(Groundwater Runoff)의 계측이 가능하며 수문시스템의 입력과 출력을 고려하여 아래와 같은 수문학적 물수지 공식을 바탕으로 설계하였다.

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (1)$$

$$(I_t + I_{t+1}) - (O_t + O_{t+1}) = \left(\frac{\Delta S_{t+1} - \Delta S_t}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

여기서, I 는 입력 성분인 강수량 또는 유입량, O 는 강우에 의하여 발생하게 되는 유출량, S 는 저류량을 나타낸다.

3. 강우-유출 모의장치의 설계

3.1 강우-유출 모의장치의 구성

강우-유출 모의장치는 가로 2m, 세로 5m, 높이 3m로 구성되어 있으며 주요 구성요소로는 프레임(frame), 노즐(nozzle), 펌프, 유량계, 밸브, 오실레이터, 물탱크 등으로 구성된다. 펌프를 통해 유량계로 유입되는 유량을 수치적으로 확인할 수 있으며 밸브를 사용하여 유량을 조절하여 실제 자연현상에서 발생하는 다양한 강우강도를 재현할 수 있다. 또한 강우를 분사하는 노즐의 종류에 따라 강우량과 이에 따른 물입자의 크기 및 분사 각도 등을 조절할 수 있으며, 다양한 강우강도 및 지속시간의 재현이 가능하다. 특히 본 장치의 시스템 조작 및 자료의 수신은 실험하는 동안 강우 및 지표유출, 중간유출, 침투, 지하수유출의 수조에 각각 차집되는 유량을 실시간 데이터로 수신이 가능하며 PC에 설치된 프로그램을 통해 설정된 측정 간격(2분/10분/60분 등)의 데이터 수치를 그래프로 나타내어 시각적으로 확인 및 저장이 가능하다. 다양한 강우사상별로 자료의 저장이 가능하도록 설계하였다. 강우-유출 모의장치의 제작은 프레임 조립 및 베드 제작, 기초 시공을 거쳐 노즐 및 배관 설치를 통해 완료하였다. Fig. 2는

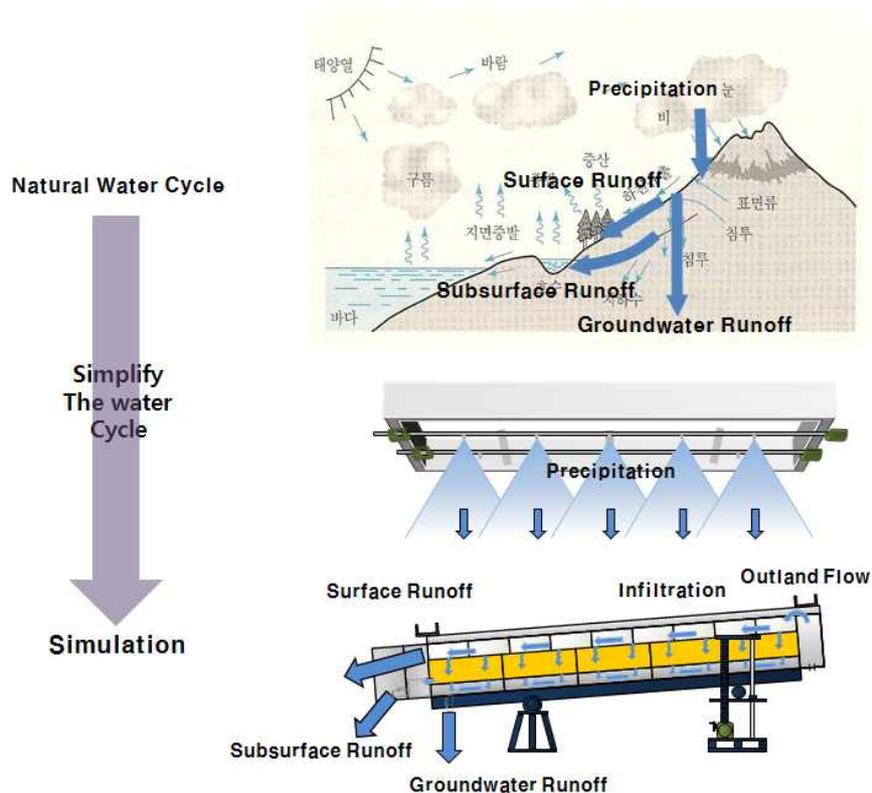


Fig. 1. Principle Water Cycle of Rainfall-Runoff Simulator



Fig. 2. Installation Process of Rainfall-Runoff Simulator

강우-유출 모의장치의 설치과정을 나타낸다.

개발된 강우-유출 모의장치는 유출플롯(plot)시스템, 강우모의시스템, 지표유출시스템, 유출차집시스템, 데이터 수신 시스템으로 구성되어 있다. 인공강우는 유량계를 통해 유량이 조절되며 펌프를 통해 노즐로 전달되어 분사된다. 또한 분사된 인공강우는 유출베드를 통해 지표유출베드 및 침투유출베드를 통해 차집이 되고 각 수조에 설치되어 있는 수위계를 통하여 자동으로 수위 및 유량 데이터를 기록하도록 구성되어 있다. 본 장치의 후면부에는 월류수조를 설치하였으며 수조에 차집된 유량은 다시 유출베드로 유입되도록 설계하여 월류량에 대한 실험도 가능하다. Fig. 3은 제작 및 설치가 완료된 강우-유출 모의장치의 실제 사진과 Fig. 4는 강우-유출 모의장치의 전체 기기의 구조에 대하여 상세하게 나타낸다.

3.2 노즐의 선정

실제 강우를 재현하기 위해 강우-유출 모의장치 설계 중 가장 중요시 되는 부분은 노즐의 설계이다(Paul, et al., 1989). 본 장치는 Fig. 5의 유출베드는 단위베드(1×1m)가 총 2×5m로 구성되어 있으며 각각의 단위베드에 맞게 분사가 되도록 단위베드 당 강우분사 노즐을 설치하고 이의 범위를 설정하였다. 강우를 분사하는 노즐과 제작되는 시료 및 유출베드와의 높이를 고려하여 분사높이 1.55m에서 2.05m로 선정하고 이에 따른 각각의 단위베드에 내접 또는 외접 가능한 α 와 β 각의 범위를 정하였고 강우강도 5~150 mm/hr로 실제 강우를 재현할 수 있도록 노즐을 선정하였다. 또한 노즐회전빈도(RPM)를 통해 노즐



Fig. 3. Completion of Rainfall-Runoff Simulator

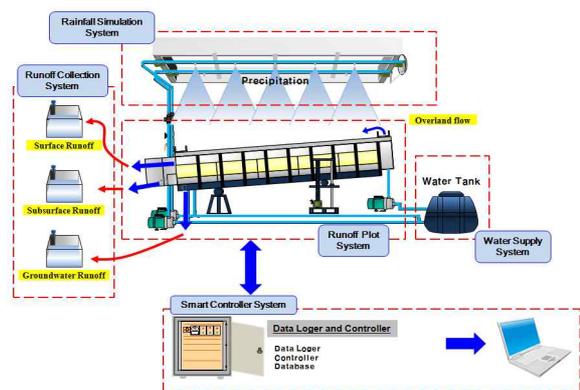


Fig. 4. Detailed Structure of Rainfall-Runoff Simulator

이 좌우로 이동하면서 분사되어 자유낙하하기 때문에 실제 강우와 더욱 유사하게 분사되도록 설계하였다. Fig. 5는 강우-유출 모의장치의 각 단위 유출베드에 대한 노즐

각도의 설계에 대하여 나타낸 것이다.

또한 노즐의 선정 시 균등한 강우분포 뿐만 아니라 강우 입자에 대한 조절 기능이 중요하므로 여러 종류의 노즐을 제작하여 보통 강우입자부터 폭우 시의 강우까지 재현이 가능하도록 하였다. 본 논문에서는 한국에서 발생되는 가장 높은 강우빈도의 강우강도로 실험하였다. Table 1은 선정된 노즐에 관한 재원이다.

4. 장치 검증실험 방법 및 결과분석

4.1 강우공간분포실험

수문과정 중에서 강우의 시공간적인 변동성은 다른 어떤 과정보다도 유출발생에 큰 영향을 끼친다. 본 연구에서는 강우 시 발생하는 과정 중 강우, 유출, 침투에 대한 정량화하여 과학적이고 일관성 있는 자료의 획득을 위한 검증을 실시하였다. 강우공간분포검증실험은 강우의 시간적인 분포특성과 함께 공간적인 분포특성이 매우 다양하게 나타남에 따라 강우 발생의 특성을 파악하기 위해서는 시공간적인 분포특성에 대한 분석이 필요하며, 특히 강우의 공간적 분포를 파악하기 위해서 강우분사노즐의 분사범위를 단위 베드에 만족하는 최소 유입유량을 결정하는 것이 중요하다. Fig. 6과 같이 각각의 단위베드에 9개의 강우계를 설치하고 노즐 HM-FF를 사용하여 노즐

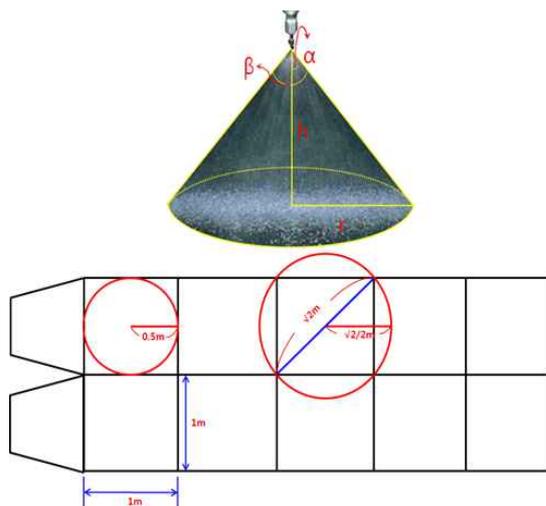


Fig. 5. Design of Angle Jet for Rainfall Nozzle

회전빈도(RPM 0, 10, 30, 60)로 증가하면서 강우를 20분간 분사하였다. CASE1은 Q=8L/min, CASE2=14L/min의 유량으로 실험을 하였으며 동일한 유량-RPM별로 강우계를 이동하여 각 베드당 총 80회 실험을 실시하였다.

4.2 유입유량-유효우량의 검증실험

강우의 공간분포를 추정하는데 있어서 강우 관측망의 문제점은 우량계 사이의 강우 분포에 대한 정보를 얻기가 어렵기 때문에 과대 및 과소 측정된 강우 자료가 발생할 수도 있다. 따라서 노즐에 따른 단위베드의 공간분포 뿐만 아니라 유입유량과 유효우량과의 손실율을 검증하여 LID 요소기술에 대한 검증 실험 시 적용할 필요가 있다. 또한 노즐별 유입유량 관계는 각 유량조건에 따라 동일한 조건에서 반복적인 실험을 통하여 결정할 수 있으며, 이러한 초기의 유입유량-유효우량 검증을 통하여 더욱 더 정확하고 신뢰성이 있는 결과를 도출할 수 있다. 유입유량-유효우량 관계 검증실험은 먼저 선정된 노즐의 전체적인 공간분포 범위조건을 단위 베드에 만족하는 최소 유입유량 범위를 결정하고, 각 유량별 빈도(RPM)를 0~60까지 10 단위로 증가하여 10분간 분사하여 최종 수조에 집수된 유량의 수위를 유출베드의 면적으로 나누어 유입유량-유효우량 관계를 결정하였다. Table 2는 유입유량-유효우량 관계 검증실험에 사용된 노즐의 특징이다.

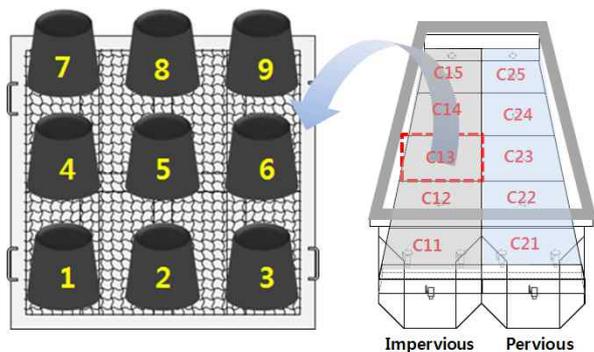


Fig. 6. Layout of Rainfall Distribution Experiment

Table 1. Specifications for Selected Nozzles

Nozzle	Type	Angle of Injection	Drop Size(mm)	Flow(ℓ/min)
1/4FF-SS14W	Full-cone	120	0.5~3	11(ℓ/min)~14(ℓ/min)
HM-FF	Full-cone	58	0.1~1	8(ℓ/min)~14(ℓ/min)

4.3 강우-유출 모의실험

강우-유출 모의장치의 수문순환 관계를 정량적으로 검

Table 2. Nozzles using the Experiment about Relationship between Inflow and Effective Rainfall

Nozzle Name	Effective Range Discharge	Range RPM
1/4FF-SS14W	11(ℓ/min)~14(ℓ/min)	0~60
HM-FF	8(ℓ/min)~14(ℓ/min)	10~60

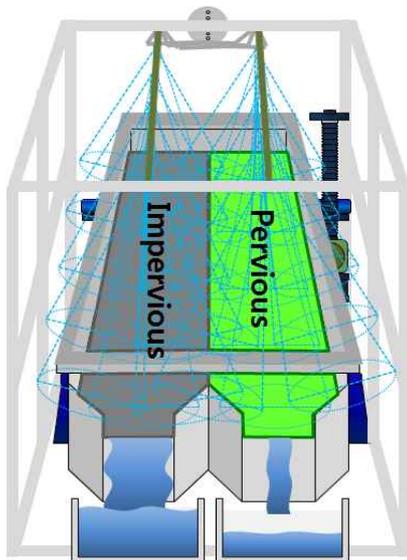


Fig. 7. Layout of Rainfall-Runoff Experiment for Verification

정하기 위하여 스펀지를 활용한 실험을 실시하였다. Fig. 7에서와 같이 유출베드에 두께 10cm 스펀지를 1단 설치한 경우를 투수층으로 가정하고 유출베드를 원 상태 그대로 사용한 유출베드를 불투수층(강우에 의하여 발생하는 유출이 지표유출로 발생하는 층)으로 가정하여 발생하는 침투량과 유출량인 두 가지 성분을 이용하여 차집된 유량을 비교하는 실험을 실시하였다. HM-FF 노즐을 이용하여 30분간 강우강도 20mm/hr로 실험을 실시하였다. Fig. 7은 본 장치의 강우-유출 모의실험의 개요를 나타내었다.

4.4 강우공간분포실험 결과

강우공간분포실험을 위해 단위 베드당 9개의 강우계를 설치하고 노즐 HM-FF를 사용하여 노즐 회전빈도(RPM 0, 10, 30, 60)를 증가하여 20분간 분사하였다. CASE1 (Q8)은 Q=8 L/min, CASE2 (Q14)는 Q=14 L/min의 유량으로 실험을 하였으며 동일한 유량-RPM별로 강우계를 이동하여 각 단위 베드당 총 80회 실험을 실시하였다. Q8이 RPM 0, 10, 30, 60일 경우 평균 표준편차가 4.6, 1.7, 1.6, 1.6으로 나타났으며 Q14가 RPM 0, 10, 30, 60 일 경우 평균 표준편차가 12.08, 6.66, 7.26, 7.14로 나타났다. 따라서 Q8일 경우 RPM 0일 때보다 RPM 10~60일 경우 표준편차가 작으며 강우공간분포가 균등하게 분포되어 있음을 알 수 있으며 Q14일 경우 RPM10일 경우 표준편차가 6.66으로 다른 RPM의 경우보다 강우공간분포가 균등함을 알 수 있다. 따라서 Q8의 경우 표준편차가 작은 RPM30~60을 사용하고 Q14일 경우 RPM 10을 사용하는 것이 적합함을 알 수 있다. Figs. 8 and 9는 강우공간분포실험의 결

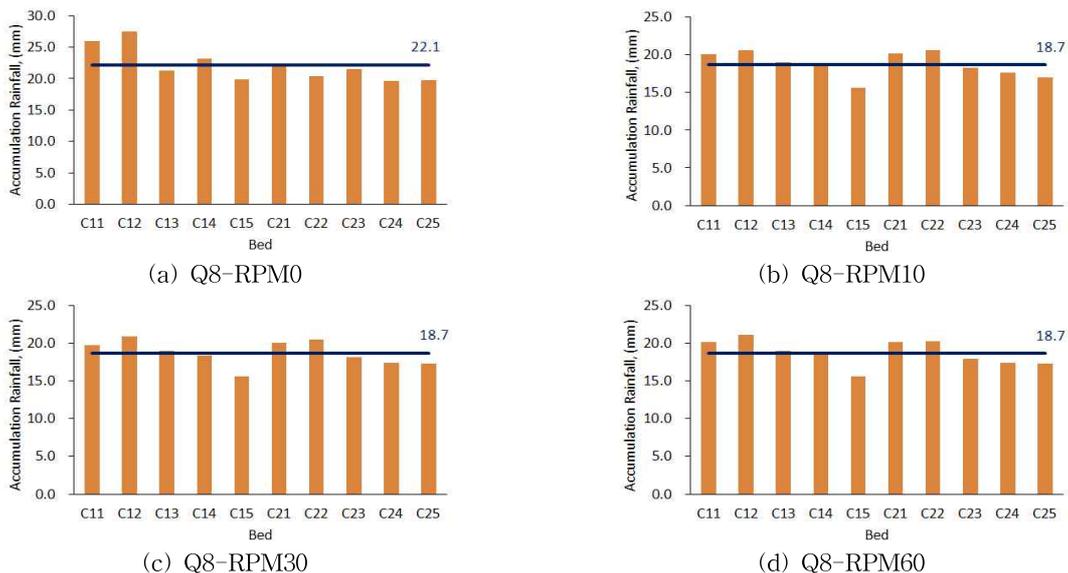


Fig. 8. CASE 1 (Q8): Accumulative Rainfall per Unit Bed

과를 나타내었다.

4.5 유입유량-유효우량 관계 검정실험 결과

유입유량-유효우량 관계 검정실험은 선정된 노즐에 대한 전체적인 공간분포의 범위조건을 단위 베드에 만족하는 최소 유입유량 범위를 결정하고, 각 유량별 빈도(RPM)를 0~60까지 10 단위로 증가하여 10분간 분사하여 수조에 최종 집수된 유량의 수위를 유출베드의 면적으로 나누어 노즐별 유입-유량 관계를 결정하였다. 적용 RPM의 범위는

사전 테스트를 통해 균등한 공간분포가 이루어지지 않는 경우는 제외하였다. 1/4FF-SS13W와 HM-FF 두 노즐은 RPM 값이 증가함에 따라 유입유량(강우분사량)에 대한 강우량 값의 차이가 적었다. 하지만 유입유량(강우분사량) 값이 증가함에 따라 손실유량은 증가함을 알 수 있다. Fig. 10과 11은 노즐에 따른 유입유량의 관계에 대한 실험으로 검정한 결과이다. 두 노즐의 결과를 비교해 보았을 때 Q11~13인 경우 HM-FF 노즐의 손실률이 1.5~2.5배 크므로 1/4FF-SS14W 노즐을 쓰는 것이 적합함을 알 수 있었다.

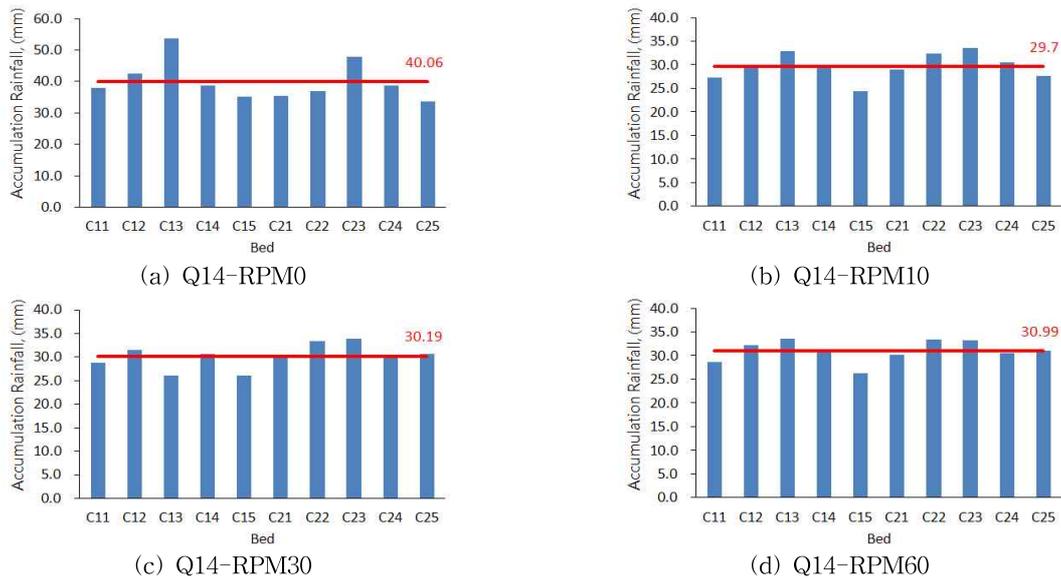


Fig. 9. CASE 2 (Q14): Accumulative Rainfall per Unit Bed

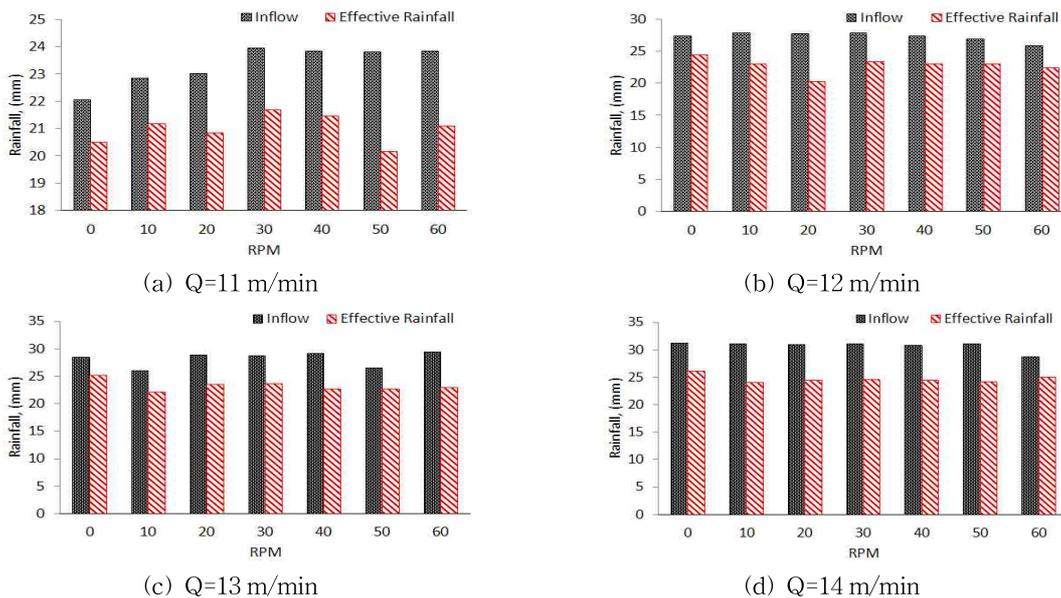
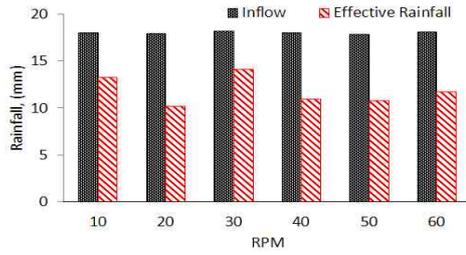


Fig. 10. Results of Relation between Inflow and Effective Rainfall on 1/4FF-SS13W Nozzle

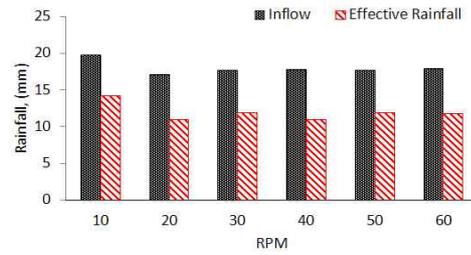
4.6 강우-유출 모의실험 결과

두께 10 cm 스펀지를 1단으로 올린 기기의 유출베드를 투수층으로 가정하고 아무것도 올리지 않은 유출베드를 불투수층으로 가정하여 HM-FF 노즐로 강우강도 20 mm/hr와 강우지속시간 30분 동안 강우에 의하여 발생

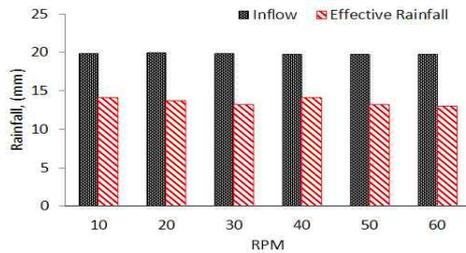
되는 수문순환 실험을 실시하였다. 그 결과, Table 3과 Fig. 12에 나타난 바와 같이 총 강우량 중 투수층에서는 유출률이 25%, 침투율이 48%, 함수율이 27%로 나타났으며 불투수층에서는 유출률이 98%, 함수율이 2%로 나타났다.



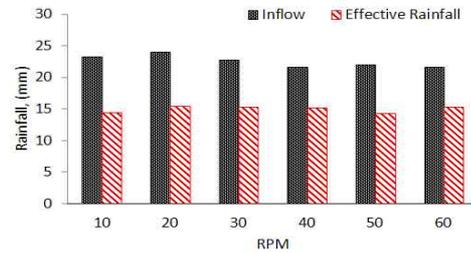
(a) Q=8 m/min



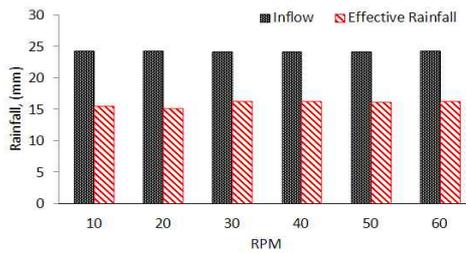
(b) Q=9 m/min



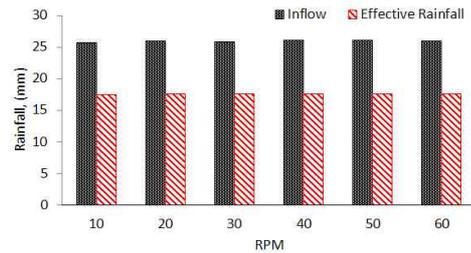
(c) Q=10 m/min



(d) Q=11 m/min



(e) Q=12 m/min



(f) Q=13 m/min

Fig. 11. Results of Relation between Inflow and Effective Rainfall on HM-FF Nozzle

Table 3. Results of Rainfall-Runoff Experiment

	Impervious area	Pervious area
Total Rainfall	0.1 m ³	0.1 m ³
Runoff Discharge	0.025 m ³	0.098 m ³
Infiltration	0.048 m ³	-
Runoff Rate	25%	98%
Infiltration Rate	48%	-
Water Content	27%	2%

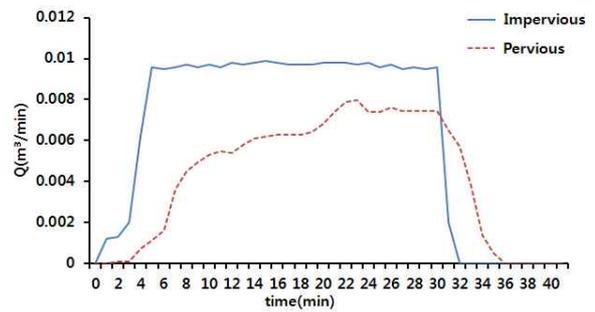


Fig. 12. Discharge Resulting from Rainfall-Runoff Experiment

5. 결 론

본 연구에서는 저영향개발(LID)기법의 효율성 검증실험이 가능한 강우-유출 모의장치를 개발을 통하여 장치의 강우공간분포 및 수문학적 물순환 관계를 검증하여 본 장치의 유효성을 검증하였다.

- 1) LID 요소기술의 효율성 검증을 위해 강우-유출 모의장치를 설계하였다. 강우-유출 모의장치의 규격은 가로 2m, 세로 5m, 높이 3m로 구성되어 있으며 주요 구성요소로는 프레임(frame), 노즐(nozzle), 펌프, 유량계, 밸브, 오실레이터, 물탱크로 이루어져 있다. 펌프를 통해 유량계로 유입되는 유량은 자동 데이터 수신을 통하여 수치적으로 확인할 수 있으며 밸브를 사용하여 강우를 발생시키는 유량의 조절을 통하여 강우강도를 조절할 수 있다. 본 장치를 이용하여 LID 요소기술에 대한 효율성 검증을 위한 실험이 가능하며 각 LID 요소기술에 대한 효율성 검증의 표준화 정립이 가능할 것이다.
- 2) 강우공간분포실험의 결과로 Q8일 경우 RPM 0일 때보다 RPM 10~60일 때 표준편차가 작으며 강우공간분포가 균등하게 분포되어 있음을 알 수 있으며 Q14일 경우 RPM10일 경우 표준편차가 6.66으로 다른 RPM의 경우보다 강우공간분포가 균등함을 알 수 있다. 따라서 Q8의 경우 표준편차가 작은 RPM30~60을 사용하고 Q14일 경우 RPM 10을 사용하는 것이 적합함을 알 수 있었다.
- 3) 노즐-유입유량 관계 검증실험 결과로 1/4FF-SS13W와 HM-FF 두 노즐 모두 유입유량 값이 증가함에 따라 손실유량은 증가하였다. 두 노즐을 비교 보았을 때 Q11~13일 경우 HM-FF 노즐(CASE2)의 손실율이 1.5~2.5배 크므로 1/4FF-SS14W 노즐(CASE1)을 쓰는 것이 적합함을 알 수 있었다.
- 4) 강우-유출 모의실험의 결과로 스펀지를 올려놓은 베드를 투수층, 즉 저류와 침투 기능을 가지고 있는 LID 요소기술을 설치한 지점을 의미하며 장치의 유출베드에 아무것도 설치하지 않은 불투수층은 현재 기존도시의 토지이용상태로 가정할 수 있다. 이러한 강우-유출실험을 통해 현재 개발되고 있는 LID 요소기술의 우수저감 효과, 침투효과, 비점오염저감 효과 등 다양한 효과에 대한 효율성 검증이 가능할 것이다.

LID 요소기술의 효율성을 검증하기 위한 장치로 강우-유출 모의장치를 개발 및 제작하였으며 이 장치의 검증을

실시하였다. 추후 본 장치를 다양한 강우사상에 대한 효율성 검증을 통하여 적용 대상의 범위를 설정하고 다양한 LID 요소기술에 대한 정확하고 과학적인 효율성 검증이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신C04)에 의해 수행되었습니다.

References

- Bhattacharyya, S. Marina Dan, A.K. Sen (2000). "Modeling of drop size distribution of rain from rain rate and attenuation measurements at millimeter and optical wavelengths." *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, Vol. 21, No. 12, pp. 2065-2075.
- Cho, E.Y. (2012). *The Analysis of LID Adaptation Efficiency on Urban Basin based on SWMM-LID Model*. Pusan National University Master Thesis. <http://stormwatercenter.colostate.edu/>; Colorado State University Stormwater Center
- <http://www.low-impactdevelopment.org>; U.S. EPA, (2007) <http://www.sdsu.edu/>; San Diego State University
- Joshua Russell Sorenson (2004). "The use of large plot rainfall simulation to investigate runoff generation on the edwards plateau."
- Koo, Y.M., Jo, J.J., Kim, Y.D., and Park, J.H. (2013). A study on Runoff Analysis of Urban Watershed by Hydrologic Infiltration Experiment of Permeable Pavement.
- Lee, H., Jung, D.J., Kim, Y.B., and Kim, Y.T. (2009). "An Experimental Study on the Analysis of Infiltration Capacity of the Permeable Block." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 9, No. 4, pp. 99-106.
- Lee, J.E., Yeo, W.G., Shim, J.H., and Kang, T.H. (2001). "Analysis of Stormwater Runoff Reduction Effects by Using Porous Pavement." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 21, No. 6, pp. 645-654.
- Lee, J.M., Hyun, K.H., Lee, Y.S., Kim, J.G., Park, Y.B., and Choi, J.S. (2011). "Analysis of Water Cycle Effect by Plan of LID-decentralized Rainwater Management Using SWMM-LID Model in a Low-carbon Green

Village.” *LHI Journal*, Vol. 2, No. 4, pp. 503-507.

National Disaster Management Institute. (2002). *Study on the Storage and Infiltration Facilities for Reducing of Runoff Quantity (V)*, pp. 44-56.

Navas, A., Alberto, F., Machin, J., and Galan A. (1990). “Design and operation of a rainfall simulator for field studies of runoff and soil erosion.” *Soil Technology*, Vol. 3, pp. 385-397.

Paul T., and Willis, Paul Tattelman (1989). “Drop-Size Distributions Associated with intense Rainfall.” *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 28, pp. 3-15.

Yun, Y.N. (2007). *Hydrology*. Chungmungak, pp. 7, 135

논문번호: 14-032	접수: 2014.03.31
수정일자: 2014.04.23/05.12	심사완료: 2014.05.12