

## 인공강우기 기반 확률강우재현을 통한 식생유니트형 LID시스템의 우수유출지연 효과분석\*

김태한<sup>1)</sup> · 박정현<sup>2)</sup> · 최부현<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 상명대학교 환경조경학과 교수 · <sup>2)</sup> 상명대학교 일반대학원 환경조경학과 학생

## Analysis of Rainfall Runoff Delay Effect of Vegetation Unit-type LID System through Rainfall Simulator-based Probable Rainfall Recreation\*

**Kim, Tae-Han<sup>1)</sup> · Park, Jeong-Hyun<sup>2)</sup> and Choi, Boo-Hun<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Dept. of Environmental Landscape Architecture, Sang Myung University, Professor,

<sup>2)</sup> Dept. of Environmental Resources, Graduate School, Sang Myung University, Student.

### ABSTRACT

In a climate change environment where heat damage and drought occur during a rainy season such as in 2018, a vegetation-based LID system that enables disaster prevention as well as environment improvement is suggested in lieu of an installation-type LID system that is limited to the prevention of floods. However, the quantification of its performance as against construction cost is limited. This study aims to present an experiment environment and evaluation method on quantitative performance, which is required in order to disseminate the vegetation-based LID system. To this end, a 3<sup>rd</sup> quartile huff time distribution mass curve was generated for 20-year frequency, 60-minute probable rainfall of 68mm/hr in Cheonan, and effluent was analyzed by recreating artificial rainfall. In order to assess the reliability of the rainfall event simulator, 10 repeat tests were conducted at one-minute intervals for 20 minutes with minimum rainfall intensity of 22.29mm/hr and the maximum rainfall intensity of 140.69mm/hr from the calculated probable rainfall. Effective rainfall as against influent flow was

\*본 연구는 2018학년도 상명대학교 교내연구과제지원에 의해 수행되었음.

**First author** : Kim, Tae-Han, Dept. of Environmental Landscape Architecture, Sang Myung University, Professor,  
Tel : +82-41-550-5303, E-mail : taehankim@smu.ac.kr

**Corresponding author** : Kim, Tae-Han, Dept. of Environmental Landscape Architecture, Sang Myung University, Professor,  
Tel : +82-41-550-5303, E-mail : taehankim@smu.ac.kr

**Received** : 20 November, 2019. **Revised** : 10 December, 2019. **Accepted** : 6 December, 2019.

21.83mm/hr (sd=0.17~1.36, n=20) on average at the minimum rainfall intensity and 142.27mm/hr (sd=1.02~3.25, n=20) on average at the maximum rainfall intensity. In artificial rainfall recreation experiments repeated for three times, the most frequent quartile was found to be the third quartile, which is around 40 minutes after beginning the experiment. The peak flow was observed 70 minutes after beginning the experiment in the experiment zone and after 50 minutes in the control zone. While the control zone recorded the maximum runoff intensity of 2.26mm/min(sd=0.25) 50 minutes after beginning the experiment, the experiment zone recorded the maximum runoff intensity of 0.77mm/min (sd=0.15) 70 minutes after beginning the experiment, which is 20 minutes later than the control zone. Also, the maximum runoff intensity of the experiment zone was 79.6% lower than that of the control zone, which confirmed that vegetation unit-type LID system had rainfall runoff reduction and delay effects. Based on the above findings, the reliability of a lab-level rainfall simulator for monitoring the vegetation-based LID system was reviewed, and maximum runoff intensity reduction and runoff time delay were confirmed. As a result, the study presented a performance evaluation method that can be applied to the pre-design of the vegetation-based LID system for rainfall events on a location before construction.

*Key Words* : low impact development, rainfall runoff process simulation, system reliability analysis, design rainfall model, peak flow reduction

## I. 서론

도로이동오염원에 의해 발생하는 분진, 자동차 타이어 및 누유 오염물질 등은 도로상 누적으로 인하여 비점오염원 확산에 직접적인 원인을 제공한다. 또한, 동일오염원에 의해 2차 미세먼지 생성을 유발하는 전구체인 질소산화물(NOx) 발생에도 기여하는 현 도로오염원 배출 현상은 도시환경에 부정적 영향을 미치고 있다. 이와 같은 복합적인 오염물질이 발생하는 선형 비점오염원 저감시설로 저영향개발기술(LID)이 제시되고 있는데, 유지관리 편의성 측면에서 주로 식생이 배제된 장치형 시설이 시공되고 있다. 2018년도와 같이 집중우기에 열해 및 가뭄 현상이 발생될 경우, 수해방재에 국한된 장치형 시설은 활용에 한계가 도출된다. 이에 대한 대안으로 상시 보행자 이용과 도시의 생태적 기능을 증진할 수 있는 식생기반 LID 시스템이 제시될 수 있지만, 시공비용대비 정량적 성능제시가

제한적인 상황이다.

식생이 적용된 LID 시스템에 대한 정량화 연구는 주로 우수유출 저감효과를 중심으로 보고되고 있다. Choi et al.(2013)는 도로변에 수목여과시설의 Test-bed 운영을 통해 평균 유입유량의 50% 이상 저류하고, 장치형 시설대비 오염물질도 저감되는 효과를 확인하였다. Yoon et al.(2017)은 건축, 도로, 주차장, 빗물정원, 생태공원의 5가지 유형으로 구분된 LID 실증단지들을 통해 강우규모에 따른 차이는 있지만, 시설별 일시적 저류효과를 확인하였다. 이러한 LID 시스템의 우수유출 저감효과 연구는 주로 현장모니터링을 기반으로 하여, 시스템 구성에 따른 객관적 상관관계 규명이 제한적인 경향이 있다.

현장모니터링의 한계를 보완하고, LID 시스템의 객관적인 우수유출 저감성능에 대한 환경통제 조건 확보를 위해 인공강우기연계 연구가 보고되고 있으며, 해당부문의 연구는 주로 사면침식을 중심으로 보고되고 있다. Aksoy et. al.(2012)은

136cm×650cm×17cm 규모의 20% 경사 조절이 가능한 침식용 베드로 소규모의 토양침식 평가를 수행하였다. 평가에 적용된 강우는 산림 사면의 유출 매커니즘이 적용된 시뮬레이터의 재현성 분석결과를 제시하고 있다. Lora et. al.(2016)은 폭우에 의한 수문학적 역학조건이 산사태 유발에 기여하는 것을 규명하기 위해 인공강우기와 연계된 200cm×600cm×350cm의 베드에서 성능평가를 진행하였다. 이러한 사면침식 규명에 사용된 인공강우기는 주로 개방형이며, 우수유출 지연효과 및 표면유출 모니터링이 가능한 구조로 제작되고 있다.

사면침식부분 외에 제한적으로 인공강우기를 통해 LID 시스템의 우수유출 지연효과를 규명하는 연구도 보고되고 있다. Jang et. al.(2014)은 LID 기술의 수문요소별 강우유출 개선효과를 분석하기 위해 200cm×500cm의 대형 유출베드를 포함하는 인공강우 모의장치를 개발하였다. 해당 모의장치에 LID 시스템을 스펀지로 대체하여, 우수저감, 침투, 비점오염 개선효과에 대한 검증방안을 제시하고 있다. Erdal et. al.(2018)은 다층 토양의 배수과정을 규명하기 위해 인공강우기를 개발하고, 150cm×130cm의 유출베드에 간이우량계를 설치하여 성능평가환경을 조성하였다. 인공강우기의 노출압력에 따른 강우량 회귀곡선을 보정하여 재현성능을 평가하고, 토양 유형에 따른 유출거동의 분석결과를 제시하고 있다.

인공강우기를 이용한 기존 연구는 동일한 강우강도 조건에서 시험편의 거동특성을 규명하는 분석방법을 중심으로 제시되고 있다. 부분적으로 가변적인 강우강도 조건에서 시험편의 성능평가가 이루어지고 있지만, 식생 LID 시스템의 시계열 강우유출 거동특성에 관한 연구는 제한적인 상황이다. 따라서, 본 연구는 LabView 기반의 자동제어형 유량센서를 적용하여, 소형 식생유니트형 LID 시스템의 우수유출 지연효과 분석에 적합한 인공강우기 활용방안을 제안하

고자 한다. 이를 통해 확률강우가 반영된 인공강우 조건에서 시스템의 시계열 유출지연특성을 해석하여, 식생기반 LID 시스템의 성능분석 방안을 제시하고자 한다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 강우사상 선정

본 연구의 확률강우 대상지는 충청남도 천안시로 선정하였다. 천안시는 최근 집중강우가 발생하는 지역으로 2017년 7월 16일 일강수량 232.7mm, 시간당 강수량 69.3mm로 기상청 강수량 데이터 수집 이래 3번째 극값을 기록하였다.

확률강우량도는 국토교통부 확률강우량 정보 시스템에서 제공하는 국내강우특성 분석자료를 참조하였다. 최소 2년에서 500년 빈도로 제공되는 자료 중 2017년 최대 시간당 강수량과 유의한 20년 빈도 60분 기준의 확률강우강도 68mm/hr를 선정하였다. 시간분포산정은 Huff 모형 중 실무적 안전성이 고려된 최빈분위인 3분위(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2011)를 적용하여 누가곡선으로 도출하였다.

### 2. Huff 모형기반의 설계강우 산정

설계강우의 시간분포 산정에는 Mononobe, Huff, Yen & Chow 방법 등이 주로 적용된다. 실무에서는 강우기록의 통계학적 분석을 통한 누가곡선으로 강우를 분포시키는 Huff(1967)방법이 주로 사용되고 있다. 국내의 경우, 관련연구(Ministry of land, Transport and Maritime Affairs, 2012)를 통해 제시된 무차원 누가곡선을 적용하여, 누가강우량의 시간분포를 결정하고 있다.

Huff 방법은 미국 Illinois 주 중부 400m<sup>2</sup>의 유역에 설치된 49개 강우 우량관측소의 12년간 강우 자료를 기반으로 강우를 무차원 누가곡선으로 분포시키는 방법이다. 국내 강우사상에 해당 모형을 연계한 연구(Ministry of Land, Infrastructure and Transport · Korea Institute of Civil Engineering

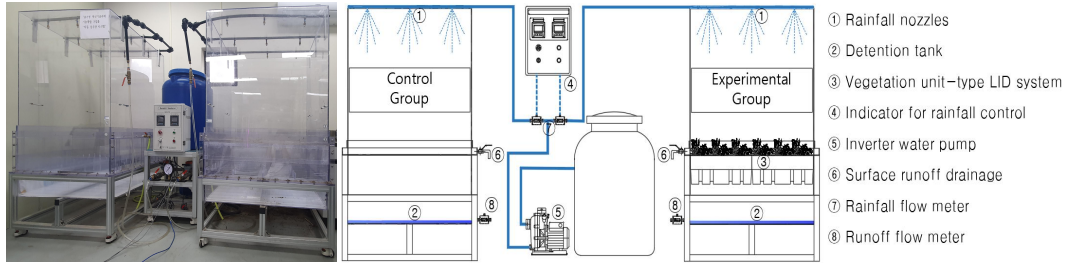


Figure 2. Rainfall simulator system

and Building Technolog. 2000)에서 경호우는 강우의 92%가 집중된 1분위를 최빈분위로 분석하고, 중호우는 2분위와 3분위에 집중된 해석결과를 보고한 바 있다. 중호우의 최빈분위인 2분위는 대부분 초기손실이 많아 홍수유출량이 적게 산정되는 구조적 문제로 인해 실무에서 3분위를 원칙적으로 채택하고 있다. 4개 분위로 구분되는 Huff 방법은 강우의 시간적 무차원화를 위해 강우사상의 누가지속기간과 이에 따른 누가강우를 백분율로 산정하며, 다음과 같이 정리하고 있다.

$$PT(i) = \frac{T(i)}{T} \times 100\%$$

$$PR(i) = \frac{R(i)}{R} \times 100\%$$

$PT(i)$ :percentage of time

$T(i)$ :over rainfall duration T

T :rainfall duration (h)

i :unit increment count

$PR(i)$ :percentage of cumulative rainfall depth

$R(i)$ :up to time T(i) over total rainfall depth R during rainfall duration T

R :design rainfall depth (mm)

### 3. 인공강우 환경설정

설계강우의 시간분포 누가곡선으로 도출된 인공강우를 재현하기 위해 중소기업청 지원으로 실험구와 대조구로 구분된 강우사상 모의장치(rainfall simulator)를 설치하였다(Figure 2). 급수조, 관수펌프로 연계된 실험구와 대조구는 0~180 mm/hr의 강우강도 재현을 위해 105cm의 높이에

고정된 총 9개의 0.5mm 포그형 분사노즐과 유출베드(100cm×100cm)가 별도로 구성되었다. 재현된 강우의 유출수는 시험편을 통과하여, 저면부에 구비된 수평형 저류조에 일시 저류된 후 유출되도록 설계되었다. 강우량은 급수조와 연계된 유량센서(ifm electronic, SM 6100)에 의해 조절되며, 유출량도 하단 저류조 측면의 유출구에 연결된 동일한 유량센서에 의해 수집되도록 고려되었다. 또한, 강우사상재현을 위해 Mononobe, Huff 방법을 선택적으로 적용할 수 있도록 LabView기반의 “강우재현 프로그램”을 자체개발하여, 모의장치에 연계하였다.

### 4. 시험편 제작

시험편으로 사용되는 식생유니트형 LID 시스템은 우수유출지연을 목적으로 500mm×500mm×200mm의 모듈구조로 설계되었다(Figure 04). 중소기업청 지원으로 개발된 해당 시스템은 중간에 삽입된 타공판을 경계로 상부 100mm 식재공간과 하부 100mm 저류공간으로 분할된 구조이다. 저면부에는 우수 저류흡과 저류된 우수의 유출속도를 지연하는 오리피스가 구비되어있다(Korea Institute of Green Infrastructure Co., Ltd., 2018).

시험편 제작에 사용된 식생모델은 유사시스템 관련 선행연구(Huh, 2003; Park et al., 2016)를 참조하여, 기린초(*Sedum kamtschaticum*)로 선정하였다. 유니트별 24분 식재를 통해 평균 31.6%의 녹피율을 확보하였다.

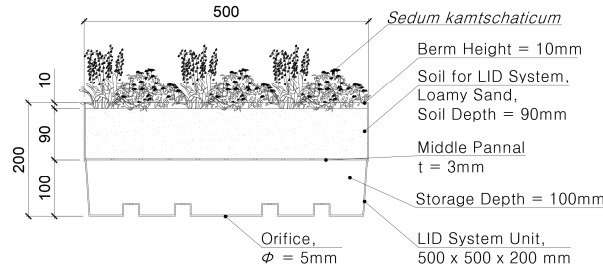


Figure 4. Test piece of LID system

LID 전용토양의 토성은 pipet법에 의해 sand 87.96%, clay 4.36%의 loamy sand로 분석되었다. 시험편 내 토양의 균일한 습윤상태를 유지하기 위해 다음과 같은 준비과정을 거쳤다. 우선, 토양을 열풍건조기 내 110℃에서 24시간 건조한 후 반출하여 유니트에 포설하고, 12시간 냉각하였다. 이후, 포설된 토양의 냉각여부를 확인하여 선정된 식생모델을 식재하고, 5L의 용수를 유니트 별로 관수하였다. 준비된 시험편을 본 실험 전 3일 동안 거치하여, 토양 내 수분총량을 동일한 수준으로 유지하였다.

### 5. 인공강우 및 유출 모니터링

강우사상은 천안시 20년 빈도 60분 기준의 확률강우강도 68mm/hr를 Huff 3분위 시간분포 모형에 적용하여 도출된 누가곡선을 사용하였다. 이를 “강우재현 프로그램”에 연동하여, 10분 단위의 가변적 강우사상을 시계열로 재현하였다. 시험편의 우수유출 지연성능을 평가하기 위해 60분의 강우재현 후 60분의 유출조건을 추가하여, 총 120분의 강우 및 유출 모니터링을 진행하였다. 또한, 전자식 유량센서의 정압조건을 확보하기 위해 강우사상 모의장치 하부에 구비된 저류조 수위를 유출구 수준으로 유지하였다.

## III. 연구결과

### 1. 설계강우 시간분포

“강우재현 프로그램”에 적용된 천안시 20년

빈도 확률강우의 Huff 3분위 누가곡선은 다음과 같이 10분 단위의 분포도로 표현할 수 있다 (Figure 5). 최빈분위는 인공강우 재현 후 40분 전후인 3분위이며, 강우강도는 최대 140.69 mm/hr, 최소 22.28mm/hr로 산출되었다.

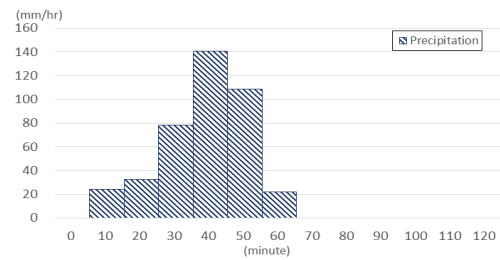


Figure 5. Mass curve of precipitation for 60-minute design rainfall in Cheonan

### 2. 강우사상 모의장치 신뢰도 평가

강우사상 모의장치의 가변적 인공강우 재현 신뢰성 검토를 위해 입력 대 출력의 제어구간별 평균, 표준편차 및 오차율을 집계하였다. 이를 위해 0.5mm 포그형 노즐을 교체없이 사용하여, 단일한 강우사상(Aksoy et al., 2012; Lora et al., 2016; Jang et al., 2014)과 달리 가변적 강우사상 재현에 용이하게 출력환경을 조성하였다. 모니터링은 상기 관련연구를 참조하여, 실험구와 대조구별로 최소·최대강우강도 조건에 대한 강우강도와 유출강도를 20분간 10회 반복 집계하여, 다음과 같이 정리하였다(Figure 6).

최소강우강도 22.28mm/hr 조건에서 강우강도의 경우 실험구는 평균 21.28mm/hr(sd=1.15, n=10),

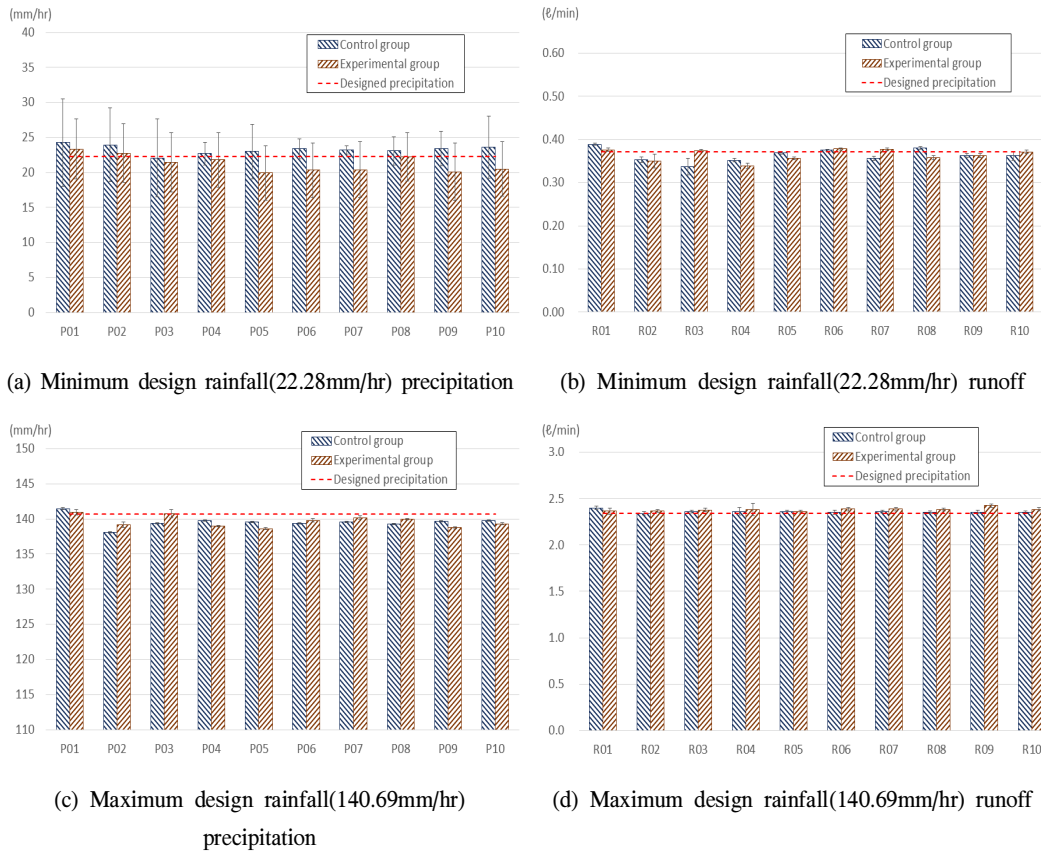


Figure 6. Reliability analysis of rainfall simulator

오차율 -4.5%였고, 대조구는 평균 23.26mm/hr (sd=0.59, n=10), 오차율 4.4%로 집계되었다. 반면, 유출강도의 경우 실험구는 평균 0.36ℓ/min (sd=0.77, n=10), 오차율 -1.9%였고, 대조구는 평균 0.36ℓ/min(sd=0.86, n=10), 오차율 -2.1%로 집계되었다.

최대강우강도 140.69mm/hr 조건에서 강우강도의 경우 실험구는 평균 139.64mm/hr(sd=0.77, n=10), 오차율-0.7%였고, 대조구는 139.59mm/hr (sd=0.77, n=10), 오차율 -0.8%로 집계되었다. 반면, 유출강도의 경우 실험구는 평균 2.38ℓ/min (sd=0.017, n=10), 오차율 1.6%였고, 대조구는 평균 2.36ℓ/min(sd=0.015, n=10), 오차율 0.6%로 집계되었다.

또한, 각 시험회차별 1분 단위 유효우량의 20

분간 표준편차는 최소강우강도 22.28mm/hr 조건에서 21.83mm/hr(sd=0.17~1.36, n=20)였고, 최대강우강도 140.69mm/hr 조건은 142.27mm/hr (sd=1.02~3.25, n=20) 범위에서 집계되었다.

해당결과를 노즐의 회전빈도(rpm)와 분사유량을 감안하여, 유출베드별로 유효우량을 평가한 연구(Jang et al., 2014)와 비교해 볼 수 있다. 여기서, 유출베드 10개를 연계한 모의장치에 단위베드별로 9개의 강우계를 이동하며, 80회 실험을 통해 8ℓ/min(sd=1.6~4.6, n=80), 14ℓ/min(sd= 7.14~12.08, n=80)의 분사유량별 분석결과를 제시하고 있다. 이에 비해 본 연구에 적용된 강우사상 모의장치는 실험구와 대조구로 표본수 및 시험횟수가 제한적이지만, 상대적으로 균질한 강우분포 확보가 가능한 것으로 해석되었다.

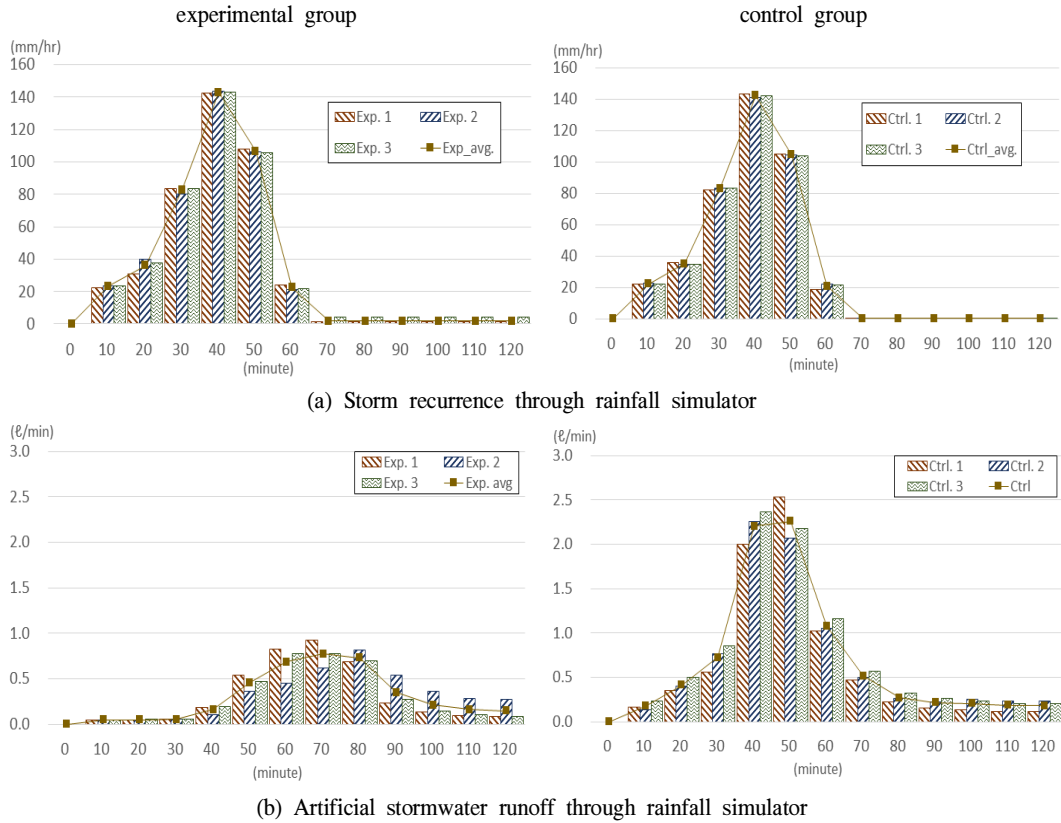


Figure 7. Stormwater runoff monitoring through rainfall simulator

### 3. 인공강우유출 모니터링

식생유니트형 LID 시스템의 우수유출지연 효과에 대한 시계열 거동특성을 분석하기 위해 실험구와 대조구로 구분된 강우사상 모의장치의 3 반복 모니터링 결과를 다음과 같이 정리하였다 (Figure 7). 인공강우의 최빈분위는 확률강우 누가곡선과 동일하게 시험 40분 전후인 3분위에서 확인되었다.

최대강우강도 140.69mm/hr 기준으로 대조구는 평균 142.24mm/hr(sd=4.21~6.62, n=3)였고, 실험구는 평균 142.91mm/hr(sd=1.44~5.45, n=3)로 집계되었다. 반면, 최소강우강도 22.28mm/hr 기준으로 대조구는 평균 22.80mm/hr(sd=3.17~4.13, n=3)였고, 실험구는 평균 22.46mm/hr (sd=5.21~5.86, n=3)로 집계되었다. 재현된 인공강우의 표준편차는 단

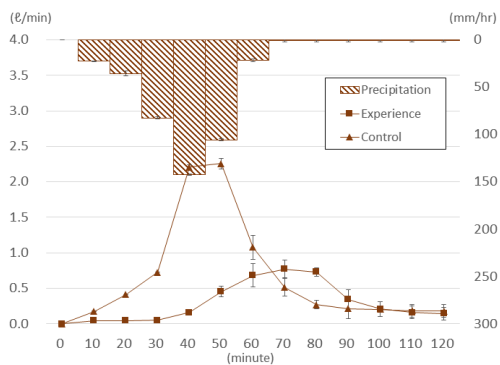
일 사상으로 진행된 모의장치의 신뢰도 평가와 비교하여 높은 수준이었다. 강우재현을 위한 강우강도제어의 경우, LabView기반의 “강우재현 프로그램”에서 이루어지고, 10분 단위의 제어구간 사이에 약 2~3분의 보정시간이 소요된다. 따라서, 제어구간별로 자동보정과정에 따른 가변적인 보정강우강도가 표준편차 증가에 반영된 것으로 판단된다.

반면, 유입된 인공강우의 유출거동은 실험구와 대조구가 상이하였다. 최대유출강도는 실험구에서 시험경과 70분에 0.77ℓ/min(sd=0.12, n=3)이었고, 대조구는 시험경과 50분에 최대값 2.26ℓ/min (sd=0.20, n=3)을 기록하여, 서로 다른 첨두시간이 집계되었다.

#### 4. 우수유출 지연효과 분석

상기 인공강우유출 모니터링 결과를 통해 식생유니트형 LID 시스템의 최대유출강도 저감 및 침투시간 지연효과를 확인하였으며, 다음과 같이 정리하였다(Figure 8).

최대유출강도는 시스템이 적용되지 않은 대조구의 경우, 최대강우강도 발생시점 직후인 시험경과 50분에 최대유출강도가 집계된 반면, 실험구는 시험경과 70분에 최대유출강도를 기록하였다. 이를 통해 식생유니트형 LID 시스템 적용으로 20분의 침투시간 지연효과가 확인되었으며, 대조구의 최대유출강도 대비 79.6% 감소한 0.46ℓ/min (sd=0.08, n=3)의 우수유출강도 저감효과를 확인할 수 있었다. 또한, 유출강도의 저감경향은 대조구의 경우 침투시간 후 급격히 감소한 반면, 실험구는 침투시간 확보시점까지 상대적으로 완만한 증가를 보여, LID 시스템 적용에 따른 유출거동특성의 시계열 변화를 확인할 수 있었다.



**Figure 8.** Analysis of reduction effect between experimental and control group in artificial stormwater runoff

#### IV. 결론 및 고찰

본 연구는 설계강우 재현이 가능한 강우사상 모의장치를 통해 기린초(*Sedum kamtschaticum*)가 식재된 식생유니트형 LID 시스템 적용에 따른 우수유출 지연효과의 시계열 특성을 규명하고자

하였다.

우수유출거동 분석을 위해 인공강우기를 사용한 선행연구는 개방형 시스템(Aksoy et al., 2012; Lora et al., 2016; Jang et al., 2014)과 부분 폐쇄형 시스템(Erdal et al., 2018)으로 구분할 수 있었다. 개방형 시스템의 경우, 대규모의 유출베드 상에 인공강우의 비산으로 비교적 균질하지 않아, 유입유량 대비 유효유량 간의 유의성 확보에 집중된 것으로 해석되었다. 반면, 본 연구는 100cm×100cm의 소규모 유출베드에 노즐의 비산을 최소화하기 위해 챔버형으로 제작하고, 유입·유효유량이 일정하게 유지되도록 설계하였다. 표면유출 모니터링을 위해 챔버 측면에 유출구를 구비하였으나, sandy loam 전용토양의 우수한 투수능과 1시간의 한정된 강우재현 시간으로 인하여 표면유출이 제한된 것으로 판단되었다.

강우사상 모의장치의 신뢰도 확보를 위해 Jang et al.(2014)은 노즐별, 분사 유량별 강우량을 평균 및 표준편차로 검토한 바 있다. 인공강우에 대한 공간분포검증은 유출베드별로 HM-FF 노즐의 회전빈도(rpm)와 분사유량을 고려하고, 노즐별 유효유량을 8ℓ/min(sd=1.6~4.6, n=80), 14ℓ/min (sd=7.14~12.08, n=80)으로 구분하여 분석하였다. 유출량은 저류조에 설치된 수위계로 수집되는 구조로 LID 시스템을 대체하는 스펀지의 적용유무에 따른 유출률을 제시하였다. 반면, 본 연구에 사용된 강우사상 모의장치는 강우량과 유출량 측정에 동일한 전자식 유량센서를 적용하고, 노즐에서 분사되는 강우량을 실시간 보정하는 LabView기반의 “강우재현 프로그램”으로 강우강도를 제어하였다. 10분 단위의 가변적 강우사상을 용이하게 재현하기 위해, 유출베드별 총 9개의 분사노즐을 고정하여 시계열 거동 특성을 모니터링하였다. 선행사례에 비해 실험 인프라가 소규모인 점을 반영하여, 해당 기기의 자체성능과 모니터링 성능으로 구분된 시스템의 신뢰도 검토를 수행하였다. 우선 자체성능은 최



소강우강도 21.83mm/hr(sd=0.17~1.36, n=20)와 최대강우강도 142.27mm/hr(sd=1.02~3.25, n=20) 모두 선행연구에 비해 유입유량 대비 균질한 유출유량을 확인할 수 있었다. 반면, 모니터링 성능은 인공강우 재현에서 자체성능에 비해 높은 표준편차를 기록하였다. 이는 강우강도제어를 위해 사용된 LabView기반의 “강우재현 프로그램”의 자동보정과정 중에 가변적인 보정강우강도가 표준편차 증가에 반영된 것으로 판단되었다. 따라서, 가변강우사상에 의한 모니터링 성능은 단일강우사상의 자체성능 신뢰도 평가에 비해 실시간으로 조정되는 보정강우강도에 대한 고려가 필요한 것으로 해석되었다.

Song et al.(2007), Kim et al.(2015)은 강우사상 모의장치를 통해 단일 사상별로 인공강우를 재현하여, 포장재 및 투수블럭에 대한 우수유출 저감효과를 확인하였다. 단일한 강우사상은 현실적인 침투유출 및 우수유출지연에 대한 시계열 분석이 제한될 수 있다. 이 경우 재료별 유출량 평가를 통해 단순 우수유출 저감효과에 대하여 결과를 제시하고 있다. 반면, Erdal et al.(2018)는 이스탄불에 소재한 운동장의 다층 토양의 배수 거동특성을 분석하기 위해 기상관측소 IDF를 AB method를 기반으로 10분 단위의 50분 설계강우를 도출하였다. 실험구와 대조구에 배수층 입경이 상이한 배수층을 설치하여, 침투유출 지연시간과 저감량을 집계하였다. 배수층에 따른 지연효과를 확인한 결과, 입경이 증가하면 우수 유출시간은 유사하고, 최대유출강도가 상승하는 것으로 보고하지만, 구체적인 결과는 제시하지 않고 있다. 본 연구에서는 천안시 20년 빈도 지속시간 60분의 설계강우를 Huff 3분위 시간분포 누가곡선에 적용한 가변적 강우사상을 모의장치로 재현하였다. 신뢰도 표준편차 범위 내로 재현된 인공강우는 모형과 동일하게 3분위에 최빈분위가 조정되었고, 식생유니트형 LID 시스템 적용으로 20분의 침투시간 지연과 79.6%의 최대유출강도 저감효과를 확인할 수 있었다. 이를 통해

정량적 데이터에 근거하여 식생기반의 LID 시스템이 우수유출의 유출시간 및 강도를 조절하고, 유출거동을 개선하여 도심 내 배수관망부하 저감에 기여하는 것으로 정의할 수 있었다.

상기 연구결과는 식생유니트형 LID 시스템의 우수유출 모니터링을 위한 강우사상 모의장치를 통해 시스템의 지연성능에 대한 정량적 분석 방안을 제시하고 있다. 이는 시공 전 대상지의 강우사상에 대응하여, 기존 장치형 LID 시스템 대체에 요구되는 식생기반 LID 시스템의 정량적 사전 성능평가방법에 참조 가능할 것으로 사료된다. 본 연구에서 규명되지 못한 시스템 구성요소별 구체적인 성능해석, 시스템 사전설계를 위한 전산모의 연동방안과 장기간 모니터링 성능검토 등은 후속연구를 통해 보완이 요구된다.

## References

- Aksoy, N.H. · Unal, E. · Cokgor, S. · Gedikli, A. · Yoon, JY. · Koca, K. · Inci, S.B. and Eris, E. 2012. A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall-runoff-sediment transport processes over a two-dimensional flume. CATENA. 98: 63-72
- Choi JY. · Son YG. · Lee SY. · Lee YH. and Kim LH. 2013. Development of tree box filter LID system for treating road runoff. Journal of wetlands research. 15(3): 407-412. (in Korean with English summary)
- Erdal, K. · Ahmet, D. and Hayrullah, A. 2018. Rainfall simulator for investigating sports field drainage processes. Measurement. 125: 360-370
- Huff, FA. 1967 Time distribution of rainfall in heavy storms, Water Resources Research, 3(4): 1698-1693
- Huh. KY. 2003. Effects of Substrate Type, Soil

- Depth, and Drainage Type on the Growth of *Sedum kamtschaticum* in Extensive Green Roof Systems. *Journal of Korean institute of landscape architecture*, 31(4): 90-100 (in Korean with English summary)
- Jang YS. · Kim ME. · Back JS. and Shin HS. 2014. The Study on Development and Verification of Rainfall-Runoff Simulator for LID Technology Verification. *Journal of Korea Water Resources Association*. 47(6): 513-522. (in Korean with English summary)
- Kim. ME. · Jang. YS. · Nam. CH. · Shin. HS. 2015. A Study on the Effectiveness Verification of Hydrological Cycle of Pervious Pavement using LID Simulator. *Journal of Korea Water Resources Association*. 48(5): 321-330 (in Korean with English summary)
- Korea Institute of Green Infrastructure Co., Ltd., (2018) Development of Rainwater Penetration and Runoff Delay Technology for Urban Ecosystem Restoration. Research report to Small and Medium Business Administration(in Korean)
- Lora, M. · Camporese, M. and Salandin, P. 2016. Design and performance of a nozzle-type rainfall simulator for landslide triggering experiments. *CATENA*, 140: 77-89
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2011. A Study on the Improvement and Complementation of Precipitation Frequency (in Korean)
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport · Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. 2000. A Study on the Time Distribution of Design Rainfall by Region (in Korean)
- Ministry of land, Transport and Maritime Affairs. 2012. A Study on the Calculation of Design Flood (in Korean)
- Park. SS. · Choi. JH. · Park. BJ. 2016. Assessment of Plant Drought Tolerance for Extensive Green Roof. *Korean journal of organic agriculture*, 224(4): 787-795 (in Korean with English summary)
- Song, JW. · Im, JH. 2007. An Experimental Study on Runoff Reducing Effect of Infiltration-Storage System due to Rainfall Intensity. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 7(4): 85-95 (in Korean with English summary)
- Yoon EH. · Park JK. · Shin HS. and Lee JH. 2017. Establishment of LID Demonstration Complex Monitoring System and Analysis of Storage Efficiency. *Korea Society of Hazard Mitigation*. 17(5): 345-353. (in Korean with English summary)