

RCP 8.5 시나리오와 연동한 저관리형 옥상녹화시스템의 수해방재 성능에 대한 전산모의 연구*

김태한¹⁾ · 박상연²⁾ · 박은희²⁾ · 장성완³⁾

¹⁾ 상명대학교 환경조경학과 · ²⁾ 상명대학교 대학원 환경자원학과 · ³⁾ 에코엔바이오

A Study for the Computer Simulation on the Flood Prevention Function of the Extensive Green Roof in Connection with RCP 8.5 Scenarios*

Kim, Tae Han¹⁾ · Park, Sang Yeon²⁾ · Park, Eun Hee²⁾ and Jang, Seung Wan³⁾

¹⁾ Dept. of Environmental Landscape Architecture, Sang Myung University,

²⁾ Dept. of Environmental Resources, Graduate School, Sang Myung University,

³⁾ Eco & Bio.

ABSTRACT

Recently, major cities in Korea are suffering from frequent urban flooding caused by heavy rainfall. Such urban flooding mainly occurs due to the limited design capacity of the current drainage network, which increases the vulnerability of the cities to cope with intense precipitation events brought about by climate change. In other words, it can be interpreted that runoff exceeding the design capacity of the drainage network and increased impervious surfaces in the urban cities can overburden the current drainage system and cause floods.

The study presents the green roof as a sustainable solution for this issue, and suggests the pre-design using the LID controls model in SWMM to establish more specific flood prevention system. In order to conduct the computer simulation in connection with Korean climate, the study used the measured

* 본 연구는 환경부의 차세대 에코이노베이션 기술개발사업 ‘인공지반부 도시생태계 적응, 관리 기술개발(과제번호 : 416-111-016)’의 지원으로 수행됨.

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

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

Received : 10 October, 2013. **Revised** : 17 March, 2014. **Accepted** : 22 April, 2014.

precipitation data from Cheonan Station of Korea Meteorological Administration (KMA) and the forecasted precipitation data from RCP 8.5 scenario. As a result, Extensive Green Roof System reduced the peak runoff by 53.5% with the past storm events and by 54.9% with the future storm events. The runoff efficiency was decreased to 4% and 7%. This results can be understood that Extensive Green Roof System works effectively in reducing the peak runoff instead of reducing the total stormwater runoff.

Key Words : *Green Roof System, Urban Disaster Prevention, Hydrologic Computer Simulation (SWMM), Climate Change Scenarios (RCP 8.5), Peak Runoff.*

I. 서 론

최근 국내 대도시는 기후변화로 인한 집중강우로 도심홍수가 매년 반복되고 있다. 고도화된 도시인 서울의 경우 2011년 7월말 3일 동안 누적강수량 595mm를 기록하여 대규모 침수피해를 기록했다. 서울 연구원의 연구결과에 따르면 하천 계획홍수수위보다 낮은 지역이 18.1%, 불투수지역이 65.3%에 이르는 등 도시과밀화로 인해 도심 내 수해취약 공간이 증가한 것을 주요한 원인으로 제기하고 있다.(Sin et al, 2011)

이와 같은 현대 도시의 내수피해는 제한된 설계용량에 의해 구획된 배수관망체계가 집중강우로 인해 포화되면서 도시전반의 수해 취약성이 높아졌기 때문이다. 즉, 도시화에 따른 불투수면의 증가는 호우 시 도심 배수관망에 우수부하를 가중시켜 수해취약지역에 수용한계 초과로 인한 침수피해가 발생하는 것으로 해석할 수 있다. 이는 도시홍수가 중앙집중식 배수관망 시스템의 설계용량초과에만 기인한 것이 아니라 도시화로 인한 불투수면 증가가 보다 근원적인 문제라는 것을 확인할 수 있다.

따라서 도심 내수피해에 대한 방재대책은 단순히 설비적 관점에서 접근하기보다 도시 생태적 측면의 지속가능한 방안이 요구된다. 다양한 해결방안 중에서 옥상녹화는 도심 열섬현상 완화, 건물의 생태적 기능성 증진 등의 순기능과

더불어 우수유출 저감효과를 기대할 수 있어 효과적인 대안으로 제시되고 있다. 한편, 옥상녹화시스템을 통한 우수유출 저감효과 정량화를 위해서는 체계적인 시스템 성능 예측과 이와 연동된 국내강우사상에 대한 이해가 필수적이다. 기후변화에 따른 강수량 증가는 설계홍수량을 가중시켜 기존 배수설계용량에 직접적인 영향을 미치므로 이러한 상관관계를 이해하기 위해서는 우선 국내기후환경에 적합한 확률강우량 분석 및 미래기후예측을 통한 접근이 요구된다.

이와 관련된 연구로는 현 기상관측소 간의 이격 거리에 1km 격자를 적용하여 일별 기온 및 강우자료의 해상도를 높이는 연구(Kim et al, 2012), A1B 기후변화 시나리오를 고려하여 지역별 확률강우량 산정 및 관측소별 관측자료 특성에 대한 적정도출방법을 제안하는 연구(Yeo et al, 2011), IPCC 5차 보고서(AR5)의 대표농도경로(RCP: Representative Concentration Pathways)시나리오를 기반으로 한 지역기후모형으로 남한 지역의 치수안전도를 유추한 연구(Sung et al, 2012) 등이 보고되고 있다.

반면, 옥상녹화의 우수유출저감 성능과 관련된 연구는 장기간 수문유동모델개발을 위해 옥상녹화시스템의 우수저류능을 분석한 연구(Stovin et al, 2013), SWMM LID 모형을 다양한 강우사상과 연동하여 LID설계방향을 제시한 연구(Qin et al, 2013), 옥상녹화 유형과 강우정도

에 따라 우수저감 및 유출 지연효과의 상관관계를 규명한 모니터링 연구(Lee et al, 2006), 재개발 주택 지구를 대상으로 LID 적용에 따른 우수유출량 변화를 기후변화 시나리오를 연동한 SWMM 모의로 LID기술별 우수저감효과를 평가한 연구(Bae et al, 2012) 등이 제시되고 있다.

이러한 선행연구는 모니터링 중심의 현장 우수유출저감효과 측정 또는 광역적 수문모델 적용을 통한 옥상녹화의 활용 방향에 대한 연구가 주를 이루었다. 반면, 옥상녹화를 수방기술로 정립할 수 있는 이론적 기반은 논의 단계이며, 시스템 구성요소와 물성치가 우수유출조절에 미치는 상관관계에 대한 연구는 현재 국내에 보고되고 있지 않다. 관련산업을 촉진하기 위해서는 이를 기반으로 시스템의 사전설계(pre-design)에 적용 가능한 모델 연구가 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구는 옥상녹화시스템 구성요소의 물성치와 시스템 모델링에 필요한 수치모형을 제시하고 우수저감 성능을 유추하기 위해 단일사상모의를 진행하고자 한다. 이를 통해 우수저감측면의 시스템 성격을 규명하고, 과거와 미래 10년간의 실측 및 예측자료를 비교 적용하여 국내기후환경과 연동된 시스템을 제안하고자 한다.

II. 이론적 고찰

1. RCP 시나리오

유엔환경계획(UNEP)과 세계기상기구(WMO)는 지난 1988년 11월 공동으로 기후 변화에 관한 과학정보를 제공하고 환경, 사회, 경제적 측면의 영향을 평가하여 대응전략을 수립하는 목적으로 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)를 설립한다. IPCC는 시나리오를 통해 점차 심화되는 기후변화에 대응하고 효율적인 정책지원이 가능하도록 과학기반의 통일된 국가차원 미래 기후예측자료를 제공하고 있다. 현재 기후변화 시나리오는 RCP 8.5/6.0/4.5 등이 보고되

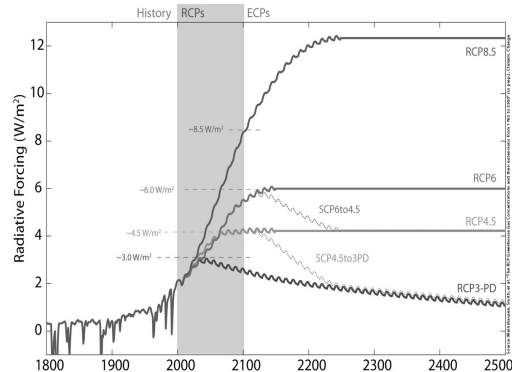


Figure 1. Global Anthropogenic Radiative Forcing for the RCP Scenarios.

(<http://www.pik-potsdam.de/~mmlalte/rcps/>)

고 있으며 이 숫자는 2100년에 기록되는 복사강제력(W/m^2)을 의미한다. 태양복사는 평균 약 $238W/m^2$ 가 유입되므로 RCP 시나리오의 복사강제력은 입사 태양복사량의 약 3.6%, 2.5%, 1.9%에 해당된다.(Kim, 2012)

RCP8.5는 2100년 후에 복사강제력이 $8.5W/m^2$ 를 초과하는 고농도 시나리오로서, 기존 배출시나리오에 관한 특별보고서(SRES: Special Report on Emissions Scenarios) A2와 A1FI 사이의 복사강제력에 해당하며, RCP6.0은 복사강제력 $6W/m^2$ 에서 안정화하는 중간 농도 시나리오로서, SRES A1B의 복사강제력과 유사하다. RCP4.5는 2100년 후에 약 $4.5W/m^2$ 에서 안정화되는 저농도 시나리오로서 SRES B1의 복사강제력을 약간 상회하며, 최저농도 시나리오인 RCP3-PD는 2100년 전에 복사 강제력이 약 $3W/m^2$ 에 도달하고 이후 하강곡선을 기록한다(Figure 1).

2. EPA(Environmental Protection Agency) SWMM(StormWater Management Model)

1971년 미국 EPA의 지원 하에 Metcalf & Eddy 사가 Florida 대학과 WRE(Water Resources Engineers) 간의 공동연구로 개발한 SWMM은 도심 내 유량과 수질 모의가 가능한 수문해석모델이다. 합성, 분리가 가능한 배수유역은 최대

3,000개의 소유역과 2,000개의 수로 및 관거 설정이 가능하며 유출은 강우와 응설로 이루어져 비선형 저류식으로 수면평형조건 하에서 저류 추적방법이 적용된다.

침투량 산출은 Horton식 또는 Green-Ampt식이 사용되며 수로 또는 관거설정은 비선형 저류식의 RUN OFF, 연속적인 kinematic wave식의 TRANSPORT와 dynamic wave식의 EXTRAN으로 구분되어 모의된다.

SWMM모델은 4개의 연산블록과 5개의 보조블록을 연계하는 1개의 실행블록으로 구성되었으며 여기에 126개의 세부 프로그램들로 형성된다. 적용되는 강우자료는 미국 NWS(National Weather Service)의 1시간 간격(DSI-3240), 15분 간격(DSI-3260), 캐나다 관측지점의 시우량 자료(HLY03, HLY21), 15분 간격자료(FIF21) 등이 지원된다(Figure 2).

3. 옥상녹화시스템의 수문모델

EPA SWMM 5.0은 표면유출수를 저류, 침투, 여과, 증발산으로 조절하는 저영향개발(LID) 기술 모의가 가능한 LID controls 모델을 제공한다.

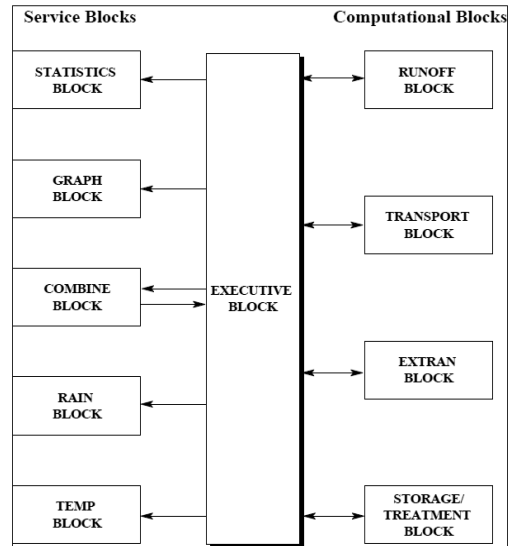


Figure 2. The relationship between SWMM blocks (Huber et al, 1988).

이 모델은 생태저류지 (Bio-Retention Cell), 투수 포장(Porous Pavement), 침투트렌치(Infiltration Trench), 우수저류조(Rain Barrel), 식생습지 (Vegetative Swale) 등 모두 5가지의 LID 기술에 대한 모형으로 구성되어 있다. 모형별 시스템 요

Table 1. Conceptual SWMM Model of LID Process(James, 2012).

Infiltration Flux		$f = K_{sat} (1 + \frac{(\phi - \theta)(d + \psi)}{F})$
Percolation Flux		$f_p = K(\theta)(1 + \frac{\psi(\theta)}{D})$
Outflow Flux	Surface Zone	$Q = (1.49/n) AR^{2/3} S^{1/2}$
	Storage Zone	$Q = C_D (d)^n$

소는 표면(Surface), 포장(Pavement), 토양(Soil), 저류(Storage), 배수(Underdrain) 층으로 구분되고 개별 요소에 대한 물성치 부여로 사전설계가 가능하다.

여기서 생태저류지 모형이 옥상녹화시스템과 가장 유사한 우수 유출수 처리 메커니즘을 가지고 있다. 유입되는 우수는 표면유출과 침투, 여과, 저류 후 배수되거나 각 구성층에 잔류한 수분이 증발산되는 과정을 거친다. 여기서 발생하는 토양과 저류층간의 물리적 수문유동과정을 다음과 같이 설명할 수 있다(Table 1).

1) 침투유동

표면수 유입이 옥상녹화면을 통해 토양층으로 수분 전이되는 과정을 침투라고 하고 이를 침투율(f)로 해석하여 다음 방정식으로 표현할 수 있다.

$$f = K_{sat} \left(1 + \frac{(\phi - \theta)(d + \psi)}{F} \right)$$

여기서 K_{sat} 는 포화수리전도도, ϕ 는 공극율, θ 는 수분함량, d 는 지면에 물이 고이는 깊이를 나타내는 담심(ponding depth), ψ 는 모세관 장력, F 는 누적침투량을 의미한다.

2) 여과유동

다공성 토양층의 수분이 포화점에 도달한 후 저류층으로 전이되는 과정을 여과라 하고 다음 방정식과 같이 이를 Darcy's Law에 의해 여과율(f_p)로 표현할 수 있다.

$$f_p = K(\theta) \left(1 + \frac{\psi(\theta)}{D} \right)$$

여기서 K 는 수리전도도, θ 는 수분함량, ψ 는 모세관 장력, D 는 토양층의 깊이를 나타낸다.

다시 수리전도도(K)와 모세관장력(ψ)은 다음 방정식과 같이 포화수리전도도(K_{sat}), 공극율

(ϕ), 포장용수량(θ_{FC}), 보정계수(HCO), 토양수분장력의 합을 수분함량의 합으로 나눈 계수(PCO)로 해석가능하다.

$$K = K_{sat} \exp(-(\phi - \theta)HCO)$$

$$\psi = 135 \exp(-(\theta - \theta_{FC})PCO)$$

III. 연구의 내용 및 방법

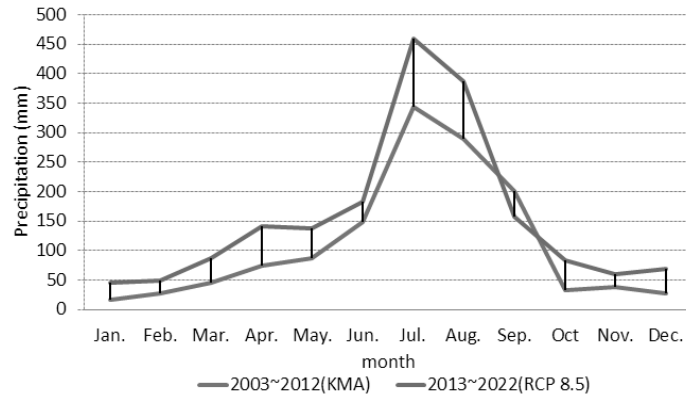
1. 대상지 개요

옥상녹화의 우수유출 저감성능을 모의하기 위해 상명대학교 천안 캠퍼스 내에 위치한 상록관(S01)을 대상으로 하였다. 미래예측 강우자료 추출을 위한 지리정보위치는 상록관을 기점으로 위도 36.83도, 경도 127.18도로 설정하였다.

2. 대상지 강우유형분석

본 연구는 과거와 미래의 강우유형변화에 따른 옥상녹화시스템의 강우유출저감 성능을 비교하려고 한다. 이를 위해 기상청 천안기상대의 2003년~2012년간의 실측강우자료와 2013년~2022년간의 RCP8.5 시나리오에 의한 미래예측 강우자료가 사용되었다. 대상지의 RCP8.5 미래예측 강우자료는 기점건물인 상록관의 지리정보위치를 기반으로 추출한 뒤 SWMM의 강우자료형태(DAT)로 변환하여 연산에 적용하였다.

과거 천안기상대 10년간 월평균강우는 7월이 342.69mm로 가장 많은 강우량을 기록하였고 RCP 8.5 시나리오에 의한 향후 10년간 7월 평균강우는 134% 증가한 459.13mm를 나타내고 있다. 그리고 연간 월평균 강우량이 가장 많이 증가한 달은 1월로 16.85mm에서 45.19mm로 증가하여 278%의 증가율을 기록했다. 반면, 9월은 200.50mm에서 156.92mm로 78%로 감소하여 연중 유일하게 월평균강우량이 과거에 비해 감소할 것으로 예상되고 있다(Table 2).

Table 2. Average Monthly Precipitation for 2003~2012(KMA) and 2013~2022(RCP8.5), Cheonan.

Month	Average Monthly Precipitation(mm)		Rate of Increase (%)
	2003~2012 (KMA)	2013~2022 (RCP8.5)	
Jan	16.25	45.19	278%
Feb	26.39	49.37	187%
Mar	44.59	86.25	193%
Apr	74.73	140.96	189%
May	86.41	136.92	158%
Jun	148.17	183.29	124%
Jul	342.69	459.13	134%
Aug	288.51	387.63	134%
Sep	200.50	156.92	78%
Oct	32.66	83.15	255%
Nov	38.34	59.32	155%
Dec	26.97	67.97	252%
Total	1326.21	1856.10	140%

3. 전산모의조건

1) 전산모의모델

전산모의 대상지인 상명대학교 천안캠퍼스의 상록관을 중심으로 총 9구역의 소유역(Sub Catchment)를 구획하여 SWMM에 의한 단일사상모의를 진행하였다. 대상건물의 유역면적을 상록관 838m²로 설정하고 유출수는 도서관 전정으로 취합한 후 하수관거로 연계되도록 모델을 구축하였다(Figure 3).

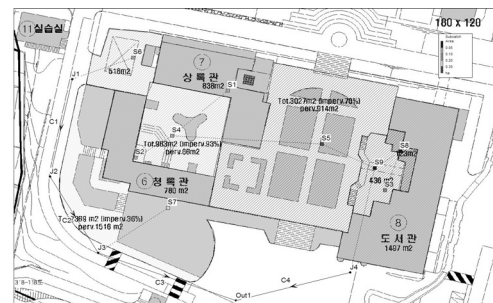


Figure 3. Study Area Map, SangMyung University, Cheonan Campus.

2) 기후데이터선정

기후변화에 따른 옥상녹화시스템의 과거와 미래 유출저감성능비교를 위해 기상청 천안기상대의 실측 강우자료와 RCP8.5 시나리오의 미래 예측 강우자료를 선정하였다. 현재 천안기상대는 2000년부터 전산화된 시간당 강우자료를 제공하고 있으며, 기후변화정보센터에서는 미래 예측 기상자료를 최소 일단위로 제공하고 있다.

과거 10년간 천안기상대의 최대 일평균 강우량은 9월 17일 31.80mm로 기록되었고, 미래 10년간 RCP8.5 시나리오의 최대 일평균 강우량은 7월 11일 34.34mm로 예상하고 있다 (Table 3).

여기서 과거와 미래 10년 간 최대 일강우량을 기록한 해는 2005년과 2018년 이었다. 해당 해가 대상기간 동안의 강우유형을 대표한다는 가정 하에 이를 중심으로 같은 해 전후 2일을 추가하여 총 5일간의 단일사상 우수유출모의를 진행하였다.

3) 옥상녹화시스템 모델

본 연구는 (주)에코엔바이오 사의 식생유닛인 Ecotop EP-16을 기반으로 옥상녹화시스템 모델을 구축하였다(Table 4).

이 시스템 모델에 EPA SWMM 5.0에서 제공하는 LID controls 생태저류지 모형의 물성치 모델링을 적용하였다. 저류기능을 증대하기 위해 담심 확보가 가능한 90mm의 격벽을 시스템에 추가하였으며 육성층 물성치는 초기값을 적용하였다(Table 5).

IV. 결과 및 고찰

1. 과거 우수유출저감효과 모의

(2005.9.15.~9.19)

전산모의에 적용된 2005년 9월 15일 부터 19일까지의 천안기상대 강우자료에서 시간당 최대강우량은 9월 17일 21시 73mm로 기록되었고 18일 오전까지 많은 강우량이 지속되었다. 반면 15,

Table 3. Comparison of Average Daily Precipitation between 2003~2012(KMA) and 2013~2022(RCP8.5).

KMA, Cheonan			RCP 8.5	
Rank	Date	Average Daily Precipitation(mm)	Date	Average Daily Precipitation(mm)
1	Sep17	31.80	Jul11	34.34
2	Jul16	26.93	Jul10	31.34
3	Jul28	23.05	Jun30	30.55

Table 4. Properties of Green Roof System, Ecotop EP-16.


	
Dimension(mm)	500×500 ×100
Weight(kg/EA)	1.4
Storage Depth(mm)	30
Retention Volume(L/m ²)	Max. 11

Table 5. Process Layer of Green Roof.

Process Layer	Properties	Value
Surface	Storage Depth (mm)	90
	Vegetation Volume Fraction	0.0
	Surface Roughness	0.2
	Surface Slope	0
Soil	Thickness(mm)	70
	Porosity(volume fraction)	0.463
	Field Capacity(volume fraction)	0.1
	Wilting Point(volume fraction)	0.05
	Conductivity(mm/hr)	3.4
	Conductivity Slope	2.4
Storage	Suction Head(mm)	88.9
	Height(mm)	30
	Void Ratio(Voids/Solids)	0.5
	Conductivity(mm/hr)	0
Under drain	Clogging Factor	0
	Drain Coefficient(mm/hr)	120
	Drain Exponent	0.5
	Drain Offset Height	0

16일은 강우가 없었고 19일에는 총 4mm의 일강우량만이 기록되었다.

한편, 상록관(S01)을 대상으로 한 5일 간의

단일사상 전산모의 결과는 다음과 같다. 평지붕의 경우 시간당 최대 강우량을 기록한 후 침투 유출량이 16.99 ltr/s에 도달했으나 옥상녹화를

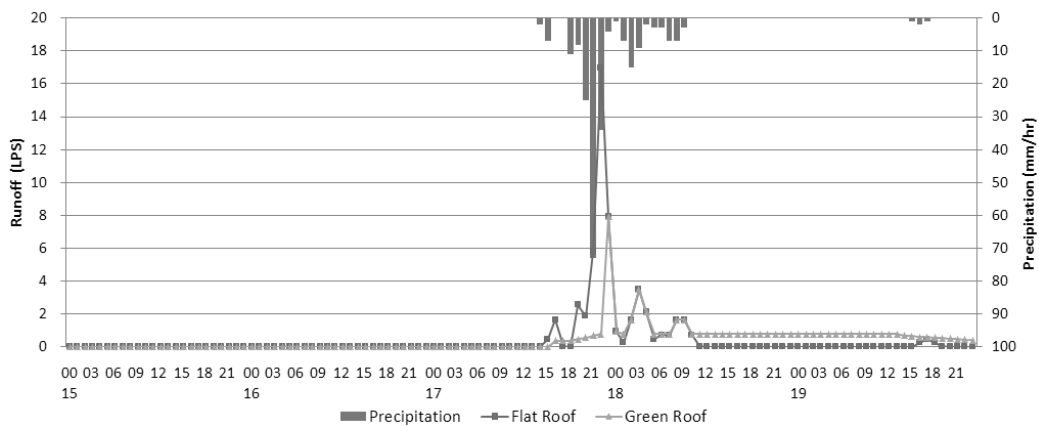


Figure 4. Comparison of Stormwater Runoff between Flat Roof and Green Roof, Sep.17~19, 2005, Cheonan, KMA.

Table 6. Summary of Single Event Simulation for Stormwater Runoff, Sep.17~19, 2005, Cheonan, KMA

Sub Catchment SangRokKwan(S01)	Sep. 15~19, 2005(KMA)	
	Flat Roof	Green Roof
Total Runoff(mm)	225.30	216.97
Total Runoff(10 ⁶ ltr)	0.19	0.18
Peak Runoff(ltr/s)	16.99	7.91
Runoff Coefficient	1.00	0.96

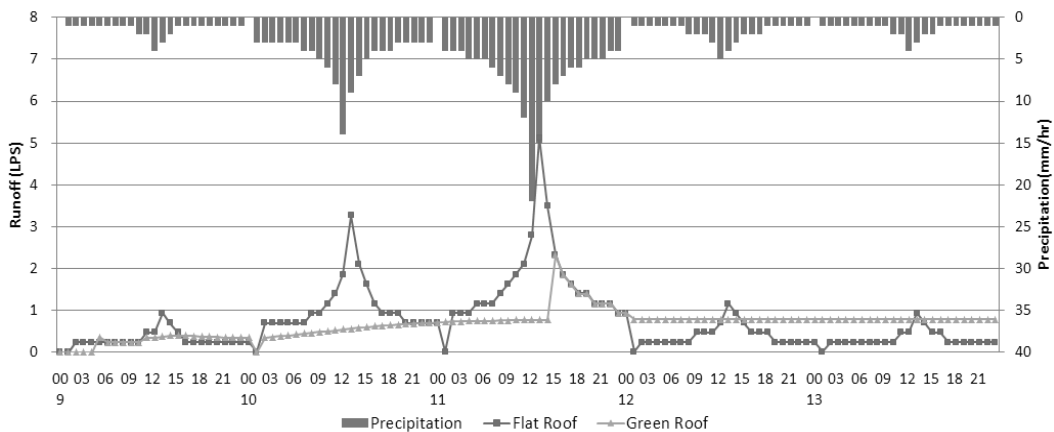
적용한 후에는 7.91 ltr/s로 53.5% 저감되었다. 강우 종료 후, 평지붕면의 우수는 완전 유출된 반면 옥상녹화를 적용한 후에는 우수가 0.78 ltr/s의 속도로 28시간동안 지속적으로 유출되었다. 반면 총량적인 측면에서 우수유출량은 평지붕은 225.30mm로 산출되었고 녹화적용 후에는 8.33mm 저감된 216.97mm로 기록되어 유출효율이 4% 개선되었다(Figure 4, Table 6).

2. 미래 우수유출저감효과 모의 (2018.7.9.~7.13)

기후변화정보센터에서 제공하는 일단위 미래 예측 강우량자료의 시간단위 분포모형을 구축하기 위해 강우분포방법 중 하나인 Mononobe Method를 적용했다. 여기서 유추된 시간단위 강

우자료를 통해 2018년 7월 9일에서 13일까지 총 5일간의 단일사상모의를 진행하였다. 이 기간 중 최대강우량은 7월 11일 12시 22mm로 기록되었고 모의대상기간 동안 고른 강우량 조건으로 설정되었다.

여기서 상록관(S01)에 기존 평지붕을 유지할 경우 최대강우량을 기록한 직후 침투유출량 5.12 ltr/s에 도달했으나 옥상녹화를 적용한 후 2.31 ltr/s로 54.9% 저감되었다. 최대강우량을 기록한 11일 이후 이틀간 시간당 강우량 5mm 미만의 강우가 지속되었고 저류된 우수가 0.78 ltr/s의 속도로 47시간동안 점진적으로 유출되었다. 반면 총량적인 측면에서 우수유출량은 평지붕 조건의 경우 374.89mm에서 녹화적용 후에 31.22mm 저감된 343.67mm를 기록하여 유출효

**Figure 5.** Comparison of Stormwater Runoff between Flat Roof and Green Roof, Jul. 9~13, 2018, Lat. 36.83, Long. 127.18 RCP8.5.

율이 7% 개선되었다(Figure 5, Table 7).

V. 결 론

본 연구는 우수유출 저감측면에서 옥상녹화 시스템의 사전설계에 적용 가능한 물성치 도출을 위해 SWMM의 LID controls 모형을 사용하였다. 객관적으로 국내 강우사상을 반영하기 위해 기상청의 과거실측 강우자료와 RCP8.5 시나리오의 미래예측 강우자료를 비교 적용한 단일 사상모의를 수행하였고 결론은 다음과 같다.

1) 상명대학교 천안캠퍼스 지역에서 복사강 제력이 $8.5W/m^2$ 를 초과하는 RCP8.5 시나리오의 2013~2022년 연평균 강우량은 과거 2003~2012년 대비 140% 증가한 1,856.10mm으로 높은 강우 증가현상을 기록하였다.

2) 과거와 미래 강우사상과 연동된 저관리형 옥상녹화시스템의 침투유출량은 각각 53.5%, 54.9% 감소하였고 유출효율은 4%와 7%로 저감했다. 이를 통해 저관리형 옥상녹화시스템은 총량적 측면의 총 우수유출량 저감 보다 침투유출량 저감에 효과적인 것으로 판단된다.

3) 수해방재 측면에서 저관리형 옥상녹화시스템은 집중호우 시에 침투유출량을 저감하여 우수유출을 지연하고 배수관망부하를 경감하는 수해방재기술로 정의할 수 있다.

일반적으로 녹화시스템에 의한 수해방재 성능은 기저유출량의 유무에 의해 구분된다. 이러한 측면에서 인공지반에 시공되는 저관리형 옥상녹화시스템은 지하수위와 연계된 기저유출량은 배제되며 침투유출량이 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 저관리 옥상녹화시스템의 수해방재 성능은 집중강우시 총량적인 우수유출감소 보다 우수유출시간을 지연하여 배수관망부하를 저감하는 관점에서 해석되어야 할 것이다.

본 연구의 한계는 내용이 수치해석모델에 의해 통제된 전산모의결과로 실질적인 수해방재

형 인공지반 녹화시스템 구축을 위해 RDII, 시계열분석 등을 고려하여 강우사상에 대한 전반적인 보완연구가 요구된다. 또한, 시스템의 우수조절능 정량화를 위해 수치해석모형과 연동된 잠재적 증발산(PET) 산정이 장기 모니터링 및 사전설계 연구에 의한 검증이 필요하다.

References

- Bae, Chae Young · Park, Chan · Kil, Sung Ho · Choi, il Ki and Lee, Dong Kun. 2012. Analysis of Urban Runoff with LID Application. Korea Planners Association. 47(6). pp. 39-47.
- Climate change information center (www.climate.go.kr).
- Climate Change Scenario Web Supply System User manual.
- Huber, W. C. and Dickinson, R. E. 1988. Stormwater management model, ver. 4, part a; user's manual. EPA-600/3 -88/001a, U. S. EPA.
- James, Rob. 2012. Modeling LIDs using PCSWMM and EPA SWMM 5, CHI.
- Kim, Maeng Ki · Han, Myeong Soo · Jang, Dong Ho · Beak, Seung Gyun · Lee, Woo Seop · Kim, Yeon Hee and Kim, Sung. 2012. Production Technique of Observation Grid Data of 1km Resolution, Journal of climate research, 7(1) pp. 55-68.
- Kim, Jung Hye. 2012. groundwater network of observation introduction for future water resource management, with the Climate Change, No.155, pp. 104-116.
- Lee, Dong Kun · Oh, Seung Hwan · Yoon, So Won and Jang, Seong wan. 2006. A Field Study to Evaluate Greenroof Runoff Reduction and Delay, The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology.

- 9(6). pp. 117-122.
- Ministry of Environment / Next generation EI technology development project, City Ecosystem Adaptive Management Technical Development: artificial ground Department, Second Report, 2012.
- Qin, Hua-peng · Li, Zhuo-xi and Fu, Guangtao. 2013. The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. *Journal of Environmental Management*. 129. pp. 577-585.
- Sin, sang young · Lee, Suk Min and Park, Min Gyu. 2011. Seoul, corresponding to extreme weather flood prevention strategy. SDI Policy Report. pp. 1.
- Stovin, Virginia · Poë, Simon and Berretta, Christian. A modelling study of long term green roof retention performance, *Journal of Environmental Management*. 131. pp. 206-2015.
- Sung, Jang Hyun · Kim, Byung Sik · Kang, Hyun Suk and Cho, Chun Ho. 2012. Non-stationary Frequency Analysis for Extreme Precipitation based on Representative Concentration Pathways (RCP) Climate Change Scenarios. *Korean Society of Hazard Mitigation*. 12(2). pp. 231-244.
- Yeo, Chang Geon · Kim, Young Ho · Seo, Geun Soon and Song, Jai Woo. 2011. Estimation of Regional Probable Rainfall based on Climate Change Scenarios. *Korean Society of Hazard Mitigation*. 11(3). pp. 29-35.