



저류형 옥상녹화의 우수유출저감에 대한 연구

Runoff Reduction Effect of Rainwater Retentive Green roof

백소영* · 김현우** · 김미경*** · 한무영****

Baek, So-Young* · Kim, Hyun-Woo** · Kim, Mi-Kyeong*** · Han, Moo-Young****

* Dept. of Civil and Environmental Engineering, Seoul National Univ., South Korea (baik901010@naver.com)

** Dept. of Civil and Environmental Engineering, Seoul National Univ., South Korea (khwool1133@naver.com)

*** Institute of Construction and Environmental Engineering, Seoul National Univ., South Korea (bmw337@snu.ac.kr)

**** Corresponding author, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Seoul National Univ., South Korea (myhan@snu.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: There is a growing interest in rainwater runoff reduction effect of green roof, as flooding caused by increasing impervious surface is becoming more and more frequent in urban areas. This study was conducted to prove runoff reduction and runoff delay effect of the retentive green roof and to investigate its influencing factors to the rainfall events that occurred in the summer of 2013. **Method:** The experiment intended to monitor the runoff quantity of the retentive green roof(140 m²) and normal roof(100 m²) in #35 building in Seoul National University, Seoul, Korea for 75 days in 2013. **Result:** On analysis of 9 rainfall events, it showed that the retentive green roof has 24.8~100% of runoff reduction ratio, 21.2~100% of peak flow reduction ratio, 0.5~3.75 hours of peak delay, and 1.8~7.2 m³ of retaining capacity in an area of 140 m². It shows different results depending on rainfall and antecedent dry days. The results show that runoff reduction effect is effective when the rainfall is less than 50 mm and antecedent dry day is longer than five days on average. By installing retentive green roofs on buildings, it can help mitigate urban floods and rehabilitate urban water cycle.

KEYWORD

빗물저류
저류형 옥상녹화
우수유출저감
첨두유출저감

retentive green roof
Rainwater retention
Runoff reduction
Peak flow reduction

ACCEPTANCE INFO

Received November 20, 2015

Final revision received February 15, 2016

Accepted February 19, 2016

© 2016 KIEAE Journal

1. 서론

최근 집중호우의 양상이 심해지고 있으며 이러한 강우패턴의 변화와 급격한 도시화에 따른 도시 내 녹지 부족, 불투수면의 증가는 내수침수를 야기한다(Bengtsson et al, 2005; VanWoert et al, 2005; Mentens et al, 2006). 도시 내 홍수는 하수관으로 유입되는 유량이 관의 통수능력보다 클 때 일어나며, 이를 막기 위해서는 하수관의 통수 능력을 키우거나 유입되는 첨두 유량을 줄여야 한다. 그러나 하수관의 확장이나 개발된 도심지 내에 투수면인 녹지를 확보하는 것은 막대한 비용과 시민의 불편 등이 따른다. 하수관으로 유입되는 유량을 줄이는 방법으로는 빗물저류시설의 설치, 투수성 포장, 옥상녹화 등의 방법이 있다. 이 중 옥상녹화는 인공적인 구조물 위에 인위적으로 토양층을 형성하고 식재를 하여 녹지공간을 조성하는 것을 의미한다(Stovin et al, 2012). 옥상녹화는 강우시 우수유출 저감 효과가 있을 뿐만 아니라 도시 내 열섬현상 저감, 녹지 확보 효과 등으로 그 적용이 활발해지고 있다.

옥상녹화를 물 관리 측면에서 보면 식생층과 토양층은 일차적으로 일정량 이상의 보수능력을 지니며, 토양층으로의 우수침투

과정에서 우수유출에 대한 유출지연효과를 지닌다(Roehr and Kong 2010; Lee et al, 2013; Krebs et al, 2015). 그동안 여러 연구자에 의하여 옥상녹화의 토심에 따른 우수유출량 저감효과에 대한 연구가 진행된바 있으며(Moran et al, 2004; Kohler et al, 2001; DeNardo, 2003), 옥상녹화 시 식생 종류에 따른 유출량 예측(이재형 등, 2006) 및 실규모의 옥상녹화에서 30 mm 이하의 소강우를 대상으로 한 옥상녹화의 우수유출저감효과에 대한 연구도 진행된 바 있다(이은희 등, 2011). 하지만 기존의 연구사례들에서는 옥상녹화의 우수유출저감 영향인자를 주로 토양두께와 식재 타입을 대상으로 한정하여 수행하였으며, 토심 및 식생 종류별 효과 분석이 대부분이었다. 또한, 한국의 장마철 강우강도 조건에서 실규모의 옥상녹화를 대상으로 한 옥상녹화의 우수저류 및 우수유출저감 효과에 대한 정량적 분석은 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 옥상녹화의 하부에 저류판을 두어 옥상녹화의 저류기능이 보완된 저류형 옥상녹화공법을 적용하였다. 본 연구의 목적은 2013년 여름철 주요강우이벤트 9개를 대상으로 일반 콘크리트 옥상과 실규모의 저류형 옥상녹화의 유출특성을 비교하고 이를 통해 저류형 옥상녹화에서의 우수 저류량과 유출저감량을 정량화 하는 것이다.

2. 연구 방법

2.1. 연구대상지

본 연구는 서울대학교 관악캠퍼스 35동 옥상에서 100 m²의 일반 콘크리트 옥상(A)과 140 m²의 저류형 옥상녹화(B)를 대상으로 실규모의 현장실험을 진행하였다(Fig. 1).

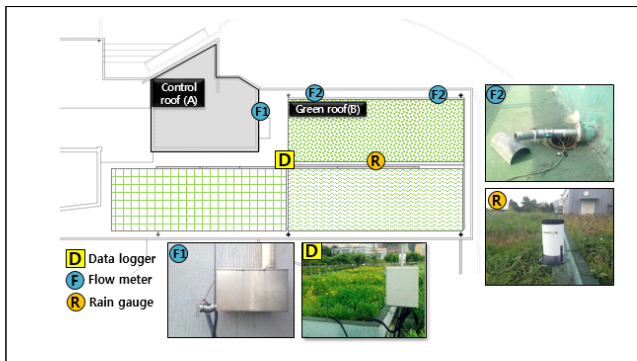


Fig. 1. Monitoring equipments of the Control roof and Green roof of full scale site at Seoul National University

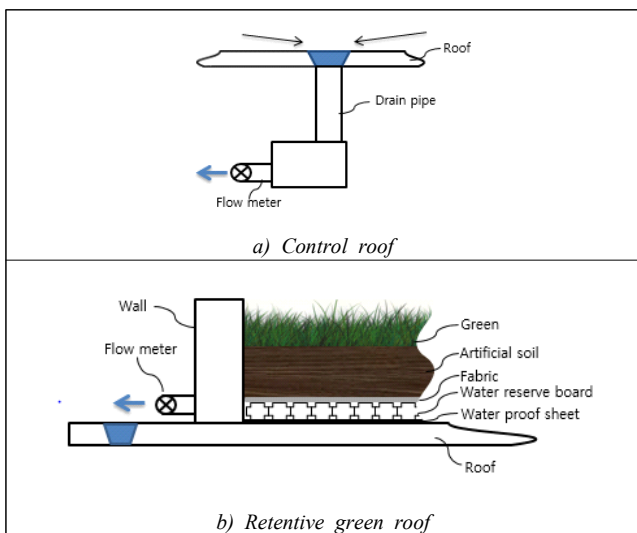


Fig. 2. Cross section of Control roof(a) and Retentive green roof(b)

저류형 옥상녹화는 기존 35동 건물 옥상 표면에 방수를 한 후 5 cm의 저수판을 깔고 부직포를 덮은 후 15 cm 깊이의 토양을 두어 녹화하였다. 토양은 cocopeat 30%, perlite 30%, peatmoss 30%, bottomash 10%의 비율로 배합된 인공토양을 사용하였으며, 녹화식물은 썩부쟁이, 루드베키아가 160 unit/m²의 밀도로 자라났다. 옥상녹화의 하부에 둔 저수판은 m²당 20 L의 물을 저수할 수 있으며, 옥상녹화의 외벽을 토양보다 10 cm 높여서 일시적으로 많이 내린 빗물을 추가로 저류할 수 있게 하였고 이를 저류형 옥상녹화라 하였다(Fig.2). 일반 옥상녹화는 표면을 불록하게 하여 강우 시 녹지 바깥으로 빗물이 배수되지만, 저류형 옥상녹화에서는 저수판을 두고 녹지보다 높은 외벽을 두어 빗물이 최대한 저류되고 천천히 유출될 수 있도록 설계되었다.

2.2. 측정 방법

일반 콘크리트 표면의 옥상은 강우 시 1개의 홈통을 거쳐 빗물을 배수하고 있으며, 홈통에 유량계(Signet 2507 mini Flow Roter Sensor, GF, US)를 설치하여 유출량을 측정하였다(Fig.2(a)). 저류형 옥상녹화는 기존 건물에 설치된 두 개의 홈통 근처에 빗물이 유입되도록 배수구를 설치하였고 유출량을 측정하기 위하여 각각의 배수구에 유량계(Signet 2507 mini Flow Roter Sensor, GF, US)를 설치하였다(Fig.2(b)).

강수량은 우량계(HD 2013 Tipping Bucket Rain Gauge, Delta OHM, Italy)를 이용하여 측정하였고 데이터로거 (DT80, Data Taker, Australia)를 이용하여 유량계에서의 시간에 따른 유출량을 매 6분 간격으로 측정하고 측정된 데이터는 데이터로거에 저장하였다(Fig.1).

두 지점 모두 인공적 관수는 실시하지 않았고 측정은 2013년 7월 2일부터 9월 14일까지 75일간 총 28번의 강우를 대상으로 하였으며, 유량계측기의 오류로 인해 주요 강우사상 중 9번의 강우를 대상으로 연구하였다(Fig.3). 선행무강우일수는 강우 이벤트 전 비가 오지 않은 일수이며, 선행무강우일수가 길수록 건기일수가 긴 것을 의미한다.

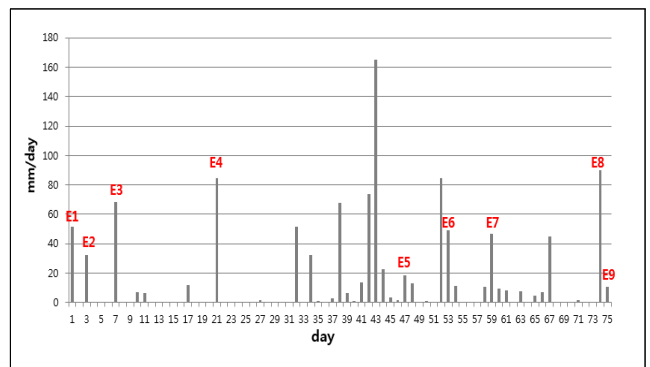


Fig. 3. Daily precipitation from Jul 2, 2013 to Aug 14, 2013 and the object of 9 events

3. 결과 및 고찰

3.1. 일반옥상과 옥상녹화의 우수유출량 비교

9개의 강우이벤트 중 총 49 mm의 강우가 내린 2013년 8월 23일의 강우 이벤트(6번 강우이벤트)를 대상으로 저류형 옥상녹화와 일반옥상의 유출량을 비교하였다(Fig. 4). 강우와 동시에 일반옥상은 유출이 시작되었고 옥상녹화는 강우시작 50분 후부터 유출이 시작되었다. 침투유출은 일반옥상의 경우 강우시작 6분 후에 발생하였고 그 때의 침투유출량은 1.9 mm/6 min 이었다. 옥상녹화의 경우 강우시작 약 3시간 후에 침투유출이 발생하였고 침투유출량은 0.5 mm/6 min 이었다. 일반옥상과 비교할 때 옥상녹화의 침투유출지연시간은 약 2.8 시간이었다. 일반옥상은 강우시작 3.5 시간 후에 총 유출량의 92%가 유출되었으며 옥상녹화에서는 5.5 시간이 지날 때 총 유출량의 29%가 유출되었다.

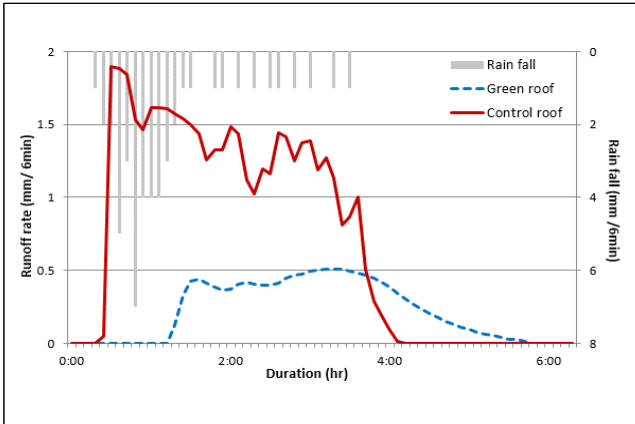


Fig. 4. Runoff rate at the retentive green roof and control roof for rain event 6 dated Aug 23, 2013

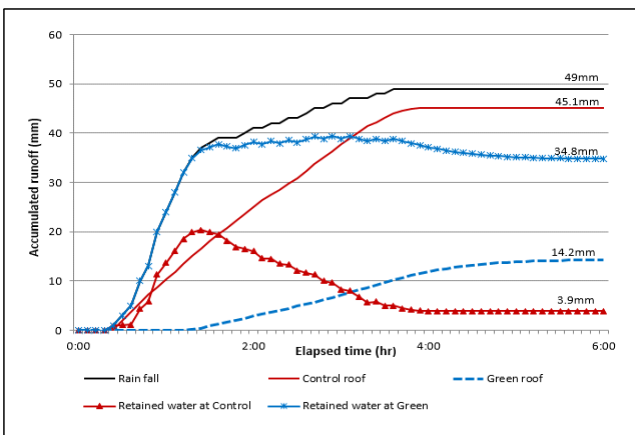


Fig. 5. Accumulated rainfall runoff at the retentive green roof and control green roof for rainfall event 6 dated Aug 23, 2013

Fig. 5에서는 6번 강우이벤트에서의 강수량과 각 옥상에서의 누적유출량으로 나타내어 비교하였다(Fig. 5). 일반옥상의 총 유출량은 45.1 mm, 옥상녹화는 14.2 mm으로 나타났으며, 일반옥상과 비교할 때 옥상녹화에서 총 유출량이 약 68.5% 감소함을 알 수 있었다. 이 때 증발산량을 포함하여 옥상녹화에 저류된 빗물은 34.8 mm로 내린 비의 71%가 저류 되었으며, 일반옥상에 저류된 빗물은 3.9 mm으로 이것은 일반옥상 구역 전체를 적시거나 공기 중으로 증발되어 유출되지 않은 양으로 판단된다.

연구 대상인 총 9개의 이벤트에 대해서도 유출량, 침투유출량, 침투유출지연시간 등을 분석하여 Table. 1에 나타내었다. 이벤트 별 강수량은 11 mm~84.5 mm, 선행무강우일수는 0일~13일, 우수 유출저감율은 24.8%~100%, 침투유출저감율은 21.2%~100%의 범위를 나타내었고 침투유출 지연시간은 최소 30 분에서 최대 3.75 시간이었으며 이벤트 1과 이벤트 5에서는 옥상녹화에서의 빗물 유출이 발생하지 않았다. 연구기간 동안 내린 비에 대해 일반옥상에서의 빗물은 대부분이 유출되었으며 옥상녹화에서는 총 면적 140 m²당 1.8~7.2 m³의 빗물을 저류하여 우수유출이 저감되었다. 총 9개의 이벤트에 대해 각 이벤트 별 옥상녹화에 저류된 양을 나타낸 그래프는 Fig. 6와 같다.

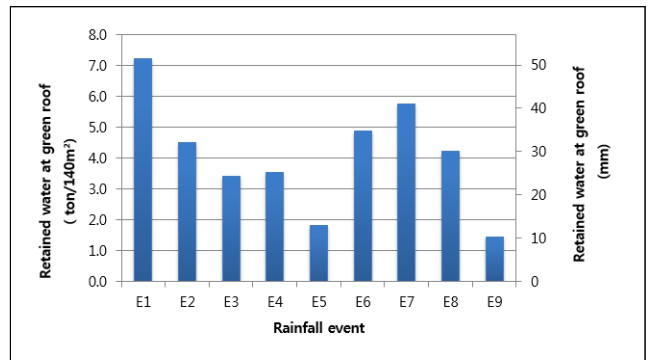


Fig. 6. Retained water at the retentive green roof for 9 events

3.2. 선행무강우일수 및 강수량에 따른 옥상녹화의 침투 유출저감

각 이벤트 별 강수량 및 선행무강우일수에 따라 우수유출저감율 및 침투유출저감율이 다르게 나타났으며 선행무강우일수에 따른 침투유출저감율, 강수량에 따른 침투유출저감율을 나타낸 그래프는 fig. 7 와 같다. 9개의 강우 이벤트에서 선행무강우일수는 0일부터 13일까지 분포하고 있으며 선행무강우일수가 길수록 침투유출저감율이 높아졌다(Fig. 7(a)).

선행무강우일수가 0일일 때 침투유출저감율이 최소값을 나타내었으며 그때의 침투유출저감율은 21%이었고, 선행무강우일수가 3일인 E3, E4, E6은 침투유출저감율이 72%~74%의 결과로 비슷하게 나타났다. 선행무강우일수가 5일인 E7은 침투유출저

Table 1. Summary of the results for selected rainfall events during the test period

Event	Date	Rainfall	Antecedent dry day	Runoff Normal	Runoff Green	Runoff reduction ratio	Peak flow Normal	Peak flow Green	Peak flow reduction Ratio	Peak delay
		(mm)	(days)	A	B	(A-B)/A*100	C	D	(C-D)/D*100	(hours)
E1	7/2	51.5	13	50	0	100.0	12.8	0	100.0	-
E2	7/4	32.5	1	32	0.3	99.1	15.7	1.5	90.4	1
E3	7/8	68.5	3	63.3	44.2	30.2	16.1	4.5	72.0	1
E4	7/22	84.5	3	79	59.4	24.8	42.1	10.6	74.8	1.5
E5	8/18	13	11	12	0	100.0	2.7	0	100.0	-
E6	8/23	49	3	45.2	14.2	68.6	18.9	5.1	73.0	2.8
E7	8/29	47	5	45	5.9	86.9	5.7	0.2	96.5	3.75
E8	9/13	90	1	85.1	60	29.5	18.9	11.9	37.0	1.6
E9	9/14	11	0	10.3	0.7	93.2	3.3	2.6	21.2	0.5

감율이 약 96%, 선행무강우일수가 각각 11일과 13일인 E5는, E1은 침투유출 저감율이 100%를 나타내어 선행무강우일수가 길수록 침투유출저감율이 높은 것으로 나타났다. 한편, 강수량이 많아질수록 대체로 침투유출저감율이 낮아지는 것으로 나타났다 (Fig. 7(b)).

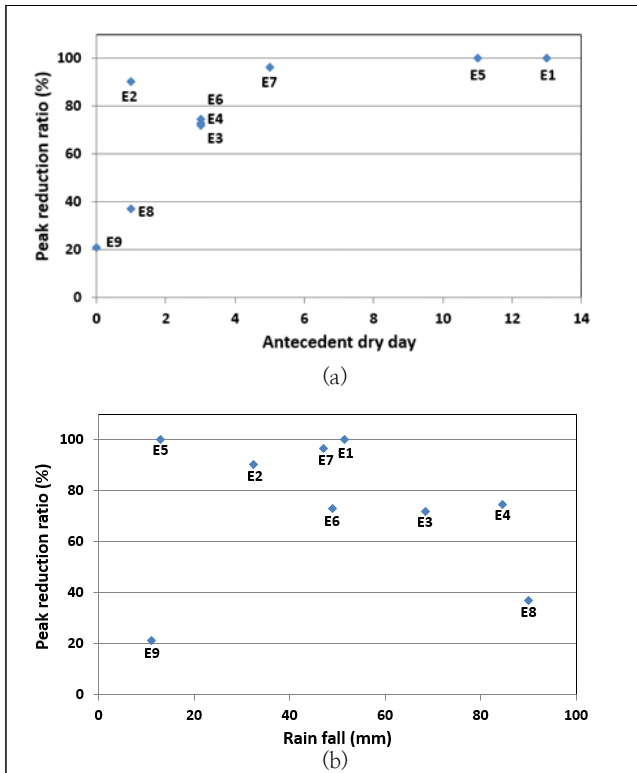


Fig. 7. Peak reduction ratio according to antecedent dry day(a), rainfall(b) for 9 events at green roof

Fig. 8에서는 옥상녹화에서 각 이벤트별 선행무강우일수와 강수량에 따른 침투유출저감율을 나타내었다. 강수량이 비슷한 E1, E6, E7의 선행무강우일수 조건에 따른 침투유출저감율을 비교하였다. 선행무강우일수가 각각 3일, 5일, 13일로 선행무강우일수가 길어질수록 침투유출저감율이 높아졌다. 선행무강우일수가 길어질수록 토양과 저수판 내 수분이 줄어들며, 강우 시에 토양이 포화되고 저수판에 물이 차오른 이후부터 유출이 발생한다. 따라서 선행무강우일수가 길어질수록 토양 및 저수판 내 저수공간이 포화되기까지의 시간이 길어지게 되고, 옥상녹화에서의 유출량이 감소되어 같은 양의 비가 오더라도 우수유출량은 적어지는 것으로 판단된다.

선행무강우일수가 3일로 동일한 E3, E4, E6에서 강수량에 따른 침투유출저감율을 비교하면 Fig. 8와 같다. 각 이벤트의 침투유출저감율은 약 73%로 비슷하게 나타났다. 또한 강수량이 다소 높은 85~90 mm 범위의 E4와 E8에서 비교해보면 선행무강우일수가 1일인 E8에서 침투유출 저감율이 37%이었고, 선행무강우일수가 3일인 E4에서 75%로 나타났다. 이는 옥상녹화에서 침투유출저감율이 강수량의 영향보다 선행무강우일수의 영향이 더 큰 것이라고 판단된다.

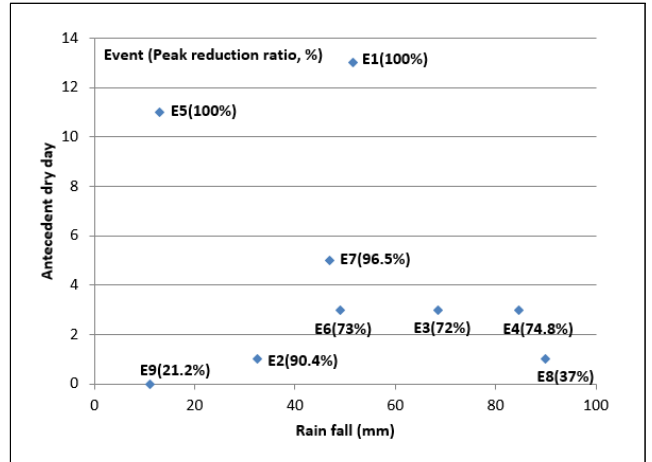


Fig. 8. Peak reduction ratio according to antecedent dry day and rainfall for 9 events at green roof

선행무강우일수 및 강수량에 따른 우수유출저감율을 Fig. 9에 나타내었다. 선행무강우일수가 3일로 동일한 E6, E3, E4에서, 강수량이 증가할수록 우수유출저감율이 감소하며, 강수량이 비슷한 E6, E7, E1을 비교하면 선행무강우일수가 길어질수록 우수유출저감율이 증가함을 보였다. 따라서 옥상녹화의 우수유출저감율은 강수량과 선행무강우일수 모두 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Carter and Rasmussen(2006)의 연구에서는 총 강수량 25 mm 이하에서는 우수유출저감효과가 88%이고, 76 mm 이하에서는 48%를 나타낸바 있다. 본 연구의 저류형 옥상녹화의 우수유출저감율은 총 강수량 32 mm 이하의 이벤트에서 97%, 90 mm 이하의 이벤트에서는 70%를 나타냈다. 또한 Simmons 등(2008)의 연구에서는 49 mm의 강우조건 일 때 선행무강우일수에 따라 13%~44%의 우수유출 저감효과 나타내었고, 본 연구에서는 47 mm~52 mm의 강우이벤트에 대해 선행무강우일수에 따라 68.6%~100%의 우수유출 저감효과를 나타내었다. 따라서, 본 연구의 대상인 저류형 옥상녹화기술은 기존 옥상녹화보다 우수유출저감에 더욱 효과적인 것으로 판단된다.

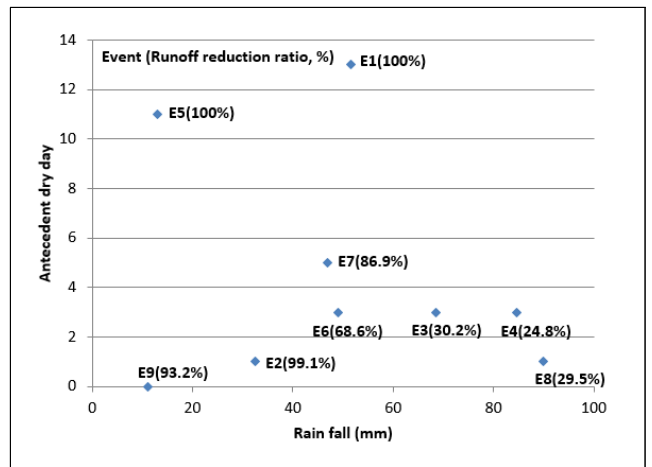


Fig. 9. Runoff reduction ratio according to antecedent dry day and rainfall for 9 events at green roof

선행무강우일수와 강수량에 따른 침투유출지연시간은 Fig. 10에 나타내었다. 강수량이 비슷한 E1, E6, E7에서는 선행무강우일수가 길어질수록 침투유출지연시간도 길어졌으며, 선행무강우일수가 비슷한 E3, E4, E6을 비교했을 때 강수량에 따른 영향은 크게 작용하지 않은 것으로 판단된다. 또한 선행무강우일수 5일 이상일 때는 침투유출지연시간이 3시간 이상이거나 유출이 발생하지 않았다.

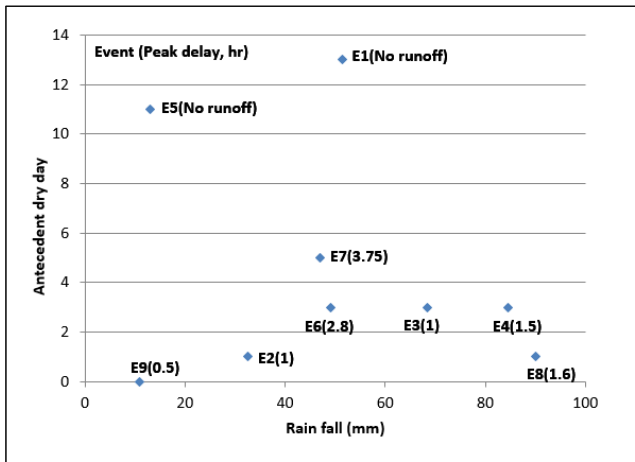


Fig. 10. Peak delay according to antecedent dry day and rainfall for 9 events at green roof

강우강도에 따른 침투유출저감 및 침투유출지연시간에 대한 기존 연구(Simmons 등, 2008; VanWoert 등, 2005)가 침투유출지연시간이 평균 10분을 나타낸 것과 비교할 때 본 연구의 저류형 옥상녹화는 평균 1시간 40분을 나타내었다. 저류형 옥상녹화는 기존의 옥상녹화와 비교했을 때, 빗물을 저류할 수 있는 저류판의 용량이 크고 일시적으로 많이 내린 비를 모두 저류할 수 있게 하는 저류벽의 영향으로 침투유출지연효과가 큰 것으로 판단된다. 한편, 저류형 옥상녹화는 선행무강우일수 5일을 기준으로 옥상녹화의 침투유출지연에 효과적으로 영향을 미치는 것으로 보이거나 본 연구는 9개 강우 이벤트만을 대상으로 하였으므로 향후 더 많은 강우 이벤트를 대상으로 선행무강우일수의 기준을 판단할 필요가 있다.

4. 결론

본 연구에서는 여름철 강우에 대해 실 규모의 저류형 옥상녹화와 일반옥상을 대상으로 유출량을 측정하였다. 저류형 옥상녹화는 침투유출량 저감효과 및 침투유출시간 지연효과가 있었으며 이는 강우강도 및 선행무강우일수에 따라 저감효과가 다르게 나타났다. 본 연구의 대상인 저류형 옥상녹화의 우수저감 효과는 24.8%~100%, 침투유출지연은 0.5~3.75 시간을 나타내었으며 강수량 및 선행무강우일수에 따라 유출이 없기도 하였다. 우수유출저감량은 강수량과 선행무강우일수가 모두 영향을 미치고 강수량이 50 mm 이하일 때와 선행무강우일수가 5일 이상일 때 우수유출저감이 더욱 효과적인 것으로 나타났다. 침투유출저감효과

와 침투유출지연은 강수량보다 선행무강우일수의 영향이 큰 것으로 보였다. 선행무강우일수의 경우 5일 이상일 때 비교적 효과적이었으나 향후 더 다양한 강우이벤트를 대상으로 분석하여 옥상녹화 유출관리 효과의 세부적 범위 등을 보완할 필요가 있다. 본 연구에서 대상으로 한 저류형 옥상녹화기술은 기존의 조경적, 생태적 기능에 중점을 두었던 기존의 옥상녹화기술에 빗물의 관리의 개념을 추가한 기술이다. 이러한 기술은 우수유출저감을 통한 도시내 홍수저감에 기여할 수 있을 뿐만 아니라 옥상녹화에 저류된 빗물을 활용한 식물의 증발산 등을 통해 도시 물순환 관리에도 기여할 수 있을 것이다.

Acknowledgements

본 연구는 환경부 “차세대 에코이노베이션 사업(413-111-008)”의 지원을 받았으며, 이에 감사를 표합니다.

References

- [1] Bengtsson, L., Grahn, L., Olsson, J. Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden. *Nordic Hydrology*, 36, 259-268, 2005
- [2] VanWoert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Rugh, C.L., Fernandez, R.T., & Xiao, L. Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. *J Environ Qual*, 34(3), 1036-1044, 2005
- [3] Mentens, J., Raes, D., Hermy, M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217-226, 2006
- [4] Stovin, V., Vesuviano, G., Kasmin, H. The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *Journal of Hydrology*, 414-415, 148-161, 2012
- [5] Roehr, D., Kong, Y. Runoff reduction effects of green roofs in Vancouver, BC, Kelowna, BC, and Shanghai, PR China. *Canadian Water Resources Journal*, 35(1), 53-68, 2010
- [6] Lee, J., Moon, H., Kim, T., Han, M. Quantitative analysis on the urban flood mitigation effect by the extensive green roof system. *Environmental Pollution*, 181, 257-261, 2013
- [7] Krebs, G., Kuoppamaa, K., Kokkonen, T., & Koivusalo, H. Simulation of green roof test bed runoff. *Hydrological Processes*, 2015
- [8] Moran, A., Hunt, B., and Jennings, G. A North Carolina Field Study to Evaluate Greenroof Runoff Quantity, Runoff Quality, and Plant Growth. *World Water & Environmental Resources Congress 2003*: 1-10, 2004
- [9] Köhler, M., Schmidt, M., Grimme, F.W., Laar, M., & Gusmao, F. Urban water retention by greened roofs in temperate and tropical climate. in 38th International Federation of Landscape Architects World Congress, Singapore, 2001
- [10] DeNardo, J., Jarrett, A., Manbeck, H., Beattie, D., and Berghage, R. Stormwater detention and retention abilities of green roofs. in *World water and environmental resources congress*, 2003
- [11] Lee, J., Kim, B., Park, H., Jung, H., Yeom, K. A Simulation of Runoff by a greening roof for Rainfall Runoff Retardation. *J. Korean Society of Water & Wastewater*, 2006: 981-990, 2006
- [12] Lee, E., Jang, H., Anh, G. Effects of Extensive Green Roof System on Rainwater Circulation. *J. Korean Env. Res. Tech.* 14(4), 81-88, 2011.
- [13] Carter, T.L., Rasmussen, T.C. Hydrologic Behavior of Vegetated Roofs, *Journal of the American Water Resources Association*, 42(5), 1261- 1274, 2006
- [14] Simmons, M.T., Gardiner, B., Windhager, S., Tinsley, J. Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate. *Urban Ecosystems*, 11(4), 339-348, 2008