



오목형 옥상녹화의 수자원확보효과와 영향인자

Water conservation effect of concave greenroof system and its influential factors

백소영* · 한무영

Baek, So-Young* · Han, Moo-Young

서울대학교 건설환경공학부

Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University

ABSTRACT

Green roofs are gaining much interest in many cities around the world due to its multi-purpose effects of water conservation, flood mitigation and aesthetic benefits. However it may cause additional water demand to maintain green plants, which may intensify the current and future water shortage problems. While ordinary concrete roofs and normal green roof drains off rain water, concave green roof system can retain rain water because of its water holding capability. In this study, the water conservation effect of concave green roof was compared to normal roof on #35 building in Seoul National University, Seoul, Korea. For seven rainfall events the amount of stored rainwater and runoff were measured and proved water conservation effect of the concave green roof system. The concave green roof system of which area is 140m² showed effect of water conservation from 1.8ton to 7.2ton and the most influence factors on water conservation in green roof are rainfall and antecedent day. If this concave green roof is applied to many buildings in the cities, it is expected as a way to water conservation through rainfall storage.

Key words: Antecedent day, Concave green roof, Rain fall, Water resource

주제어: 강수량, 선행무강우일수, 수자원확보, 오목형 옥상녹화

1. 서 론

옥상녹화는 도시의 미관향상, 도시 열섬현상 저감 및 생태적 이점 등으로 관심이 증가하고 있으며 국내 외적으로도 옥상녹화의 적용과 연구가 활발해지고 있다(Virginia, 2010; Stove et al.,2007; Deborah et al., 2011). 하지만 수자원확보나 홍수방지 효과와 같은 물 관리에 미치는 효과에 대한 정량적 분석은 이루어지지 않았다. 옥상녹화에는 일반적인 옥상녹화로 많이 쓰이는 블록형 옥상녹화와 오목형 옥상녹화가 있다. 블록형 옥상녹화는 가운데를 볼록하게 하여 바깥으로 물이 흘러나가게 하여 강우 시 빗물이 그대로 유출되

어 버려지지만, 오목형 옥상녹화시스템은 빗물을 바로 흘러 보내지 않고 일시적으로 물을 가두면서 천천히 유출시킨다(Teemusk and Mander, 2007; Lee et al., 2013; Ayako et al., 2011). 일반 옥상녹화에서는 식물이 자라는데 필요한 물을 주어야 하므로 물의 수요를 증가시키지만 오목형 옥상녹화를 적용시킨다면 물 사용을 줄일 수 있고 저류 된 빗물을 이용함으로써 새로운 수자원 확보 효과를 얻을 수 있다(Han, 2014).

본 연구에서는 서울대학교 관악캠퍼스 35동 건물 옥상에서 콘크리트옥상과 오목형 옥상녹화, 두 개의 옥상을 대상으로 비교실험 하였다. 본 연구의 목적은 2013년 여름에 발생한 7번의 강우에 대하여 강수량, 빗물유출량과 그에 따른 빗물 저류량을 측정하여 오목형 옥상녹화시스템의 수자원확보효과를 증명하고 수자원확보에 영향

Received 15 October 2014; Revised 20 November 2014; Accepted 14 April 2015

*Corresponding author: Han, Moo-Young (E-mail: myhan@snu.ac.kr)

pp. 155-163
pp. 165-169
pp. 171-182
pp. 183-192
pp. 193-202
pp. 203-209
pp. 211-222
pp. 223-231
pp. 233-241
pp. 243-249
pp. 251-259
pp. 261-269
pp. 271-281

을 미치는 인자를 찾아보고자 하는 것이다.

2. 연구방법 및 실험장치

서울대학교 관악캠퍼스 35동의 옥상에서(Fig. 1, 2)와 같이, 100 m² 면적의 일반지붕(A)과 140 m²면적의 오목형 옥상녹화(B)를 만들어 실험하였다. 일반옥상은 (10 m × 10 m)(A) 콘크리트 표면으로서 약간의 구배를 두어 1개의 홈통을 거쳐 배수하고 있으며, 홈통에 유량계(F1)를(유량계 모델명:Signet 2507 mini Flow Rotor Sensor) 설치하였다. 오목형 옥상녹화는(7 m ×

20 m)(B)는 기존 건물의 콘크리트 지붕 위에 방수를 한 후 높이 5 cm의 배수판을 바닥에 깔고 부직포를 덮은 후 그 위에 10 cm의 토양을 포설하고 씨를 뿌려, 20 cm 정도의 꽃이 160 units/m²의 밀도로 자라났다. 이 시설에서는 배수판과 홈의 공극에서 1 m²당 20 L의 물을 저수할 수 있고, 외벽을 10 cm정도 더 높여서 일시적으로 많이 내린 빗물을 추가로 저류 할 수 있게 되어있다. 기존 건물에 설치된 두 개의 홈통 근처에 빗물이 유입되도록 배수구를 만들고 거기에 F1과 같은 종류의 유량계 (F2, F3)를 달았다. 데이터로거를 이용하여 강수량(강우계모델명: HD2013 Tipping bucket rain gauge,

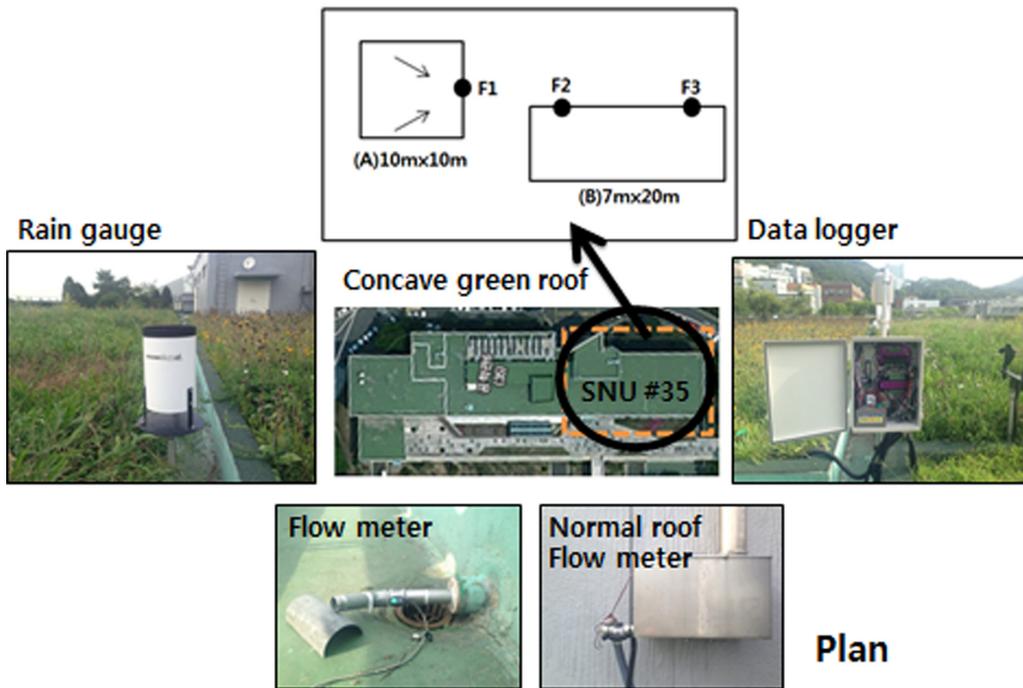


Fig. 1. Lay out of experimental roofs at #35Dong, SNU.

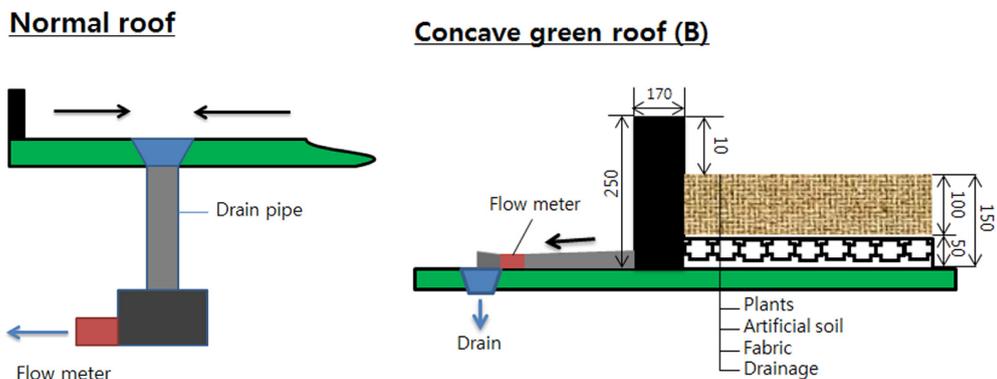


Fig. 2. Cross section of normal roof and concave green roof system.



Table 1. Summary of Rainfall events

Event	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
Date	7/2	7/4	7/8	7/22	8/18	8/23	8/29
Rainfall (mm)	51.5	32.5	74.5	84.5	13	49	47
Antecedent day	13	1	3	3	11	3	5

DELTA OHM)과 유량계 F1, F2, F3에서의 시간에 따른 유출량을 1분 간격으로 측정하여 데이터를 저장하였다. 두 구역 모두 인공적으로 물을 주는 시스템은 설치되지 않았으며, 강수만이 유일한 물의 공급원이 되었다.

실험기간인 2013년 7월 1일부터 8월 31일까지 62일간 15 번의 강우사상이 있었으며, 그 중 유출특성 분석에 적합한 7번의 강우사상을 날짜, 강우량, 선행무강우일수 순으로 정리하였다(Table 1). 선행무강우일수란 강우 전 비가 오지 않은 일수이며, 이 수치가 클수록 옥상의 흠이 건조하다는 것을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

대상으로 하는 옥상 면적 위에 떨어진 전체강수량 중 저장된 빗물의 비율을 빗물 저류율이라 정의할 수 있다. 빗물 저류율 100%가 의미하는 것은 내린 비가 한 방울도 유출되지 않고 모두 녹화된 옥상 내에 저류 되었다는 것을 의미한다. 한 예로, 강우이벤트 E6에서 A와 B 두 옥상의 강우에서의 시간에 따른 강우량과 유출량(Fig. 3), 누적 강수량과 누적 유출량을(Fig. 4)나타낼 수 있다. 정확한 유출량의 비교를 위하여 일반 옥상의 유출량에 1.4를 곱하여 140m²의 옥상 면적으로 환산하였다.

이때의 총 강우량은 49mm이었고, 강우지속시간은 4시간 이었다. 일반옥상(A)은 강우와 동시에 유출이 시작되어 3.67시간 후에 총 유출량의 95%가 빠져나간다. 옥상녹화(B)에서는 처음에는 유출이 거의 없다가 1.75시간 후부터 유출이 시작되고 6시간이 지날 때 전체의 21%만 빠져나갔다. 강우가 그친 후에도 옥상녹화(B)에서는 물이 계속 빠져나가는데 전체의 총 95%가 빠져나가는 시간은 강우 발생 후 11시간 후이다.

누적 강수량과 누적유출량(Fig. 4)을 비교해보면, 옥상에 남는 빗물의 양은 38.9 L/m²인 것을 알 수 있다.

이것은 140m²에서 총 5.44ton이 저장된 것과 같으며 이때의 빗물 저류율은 79.3%이다. 일반옥상의 유출량(A)과 총 강수량 곡선에서 약 3.8L/m²정도 차이가 나는 것을 볼 수 있는데, 이것은 일반옥상 구역 전체를 적시거나, 공기 중으로 증발되어 유출되지 않은 물의 양이다. 나머지 6개의 이벤트에 대해서도 마찬가지로 분석할 수 있으며 그 결과는 (Table 2)와 같다.

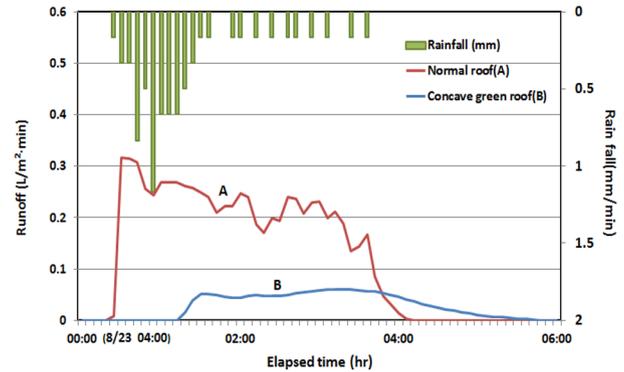


Fig. 3. Rainfall and runoff at Normal concrete roof and Concave green roof for rainfall event 6.

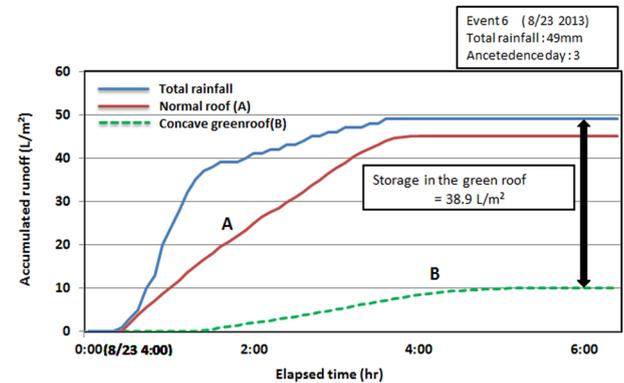


Fig. 4. Accumulated rainfall runoff at Normal concrete roof and Concave green roof for event 6.

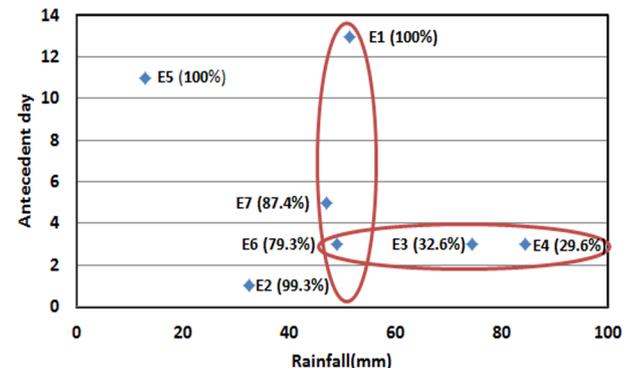


Fig. 5. Effect of rainfall and antecedent days.

Table 2. Summary of Rainfall events

Event	Date	Rainfall (mm)	Antecedent day(days)	Amount of water conservation(L/m ²)	Rainwater storage ratio(%)	Total Rainfall for 100m ² (ton)
E1	7/2	51.5	13	51.5	100	7.21
E2	7/4	32.5	1	32.3	99.3	4.52
E3	7/8	74.5	3	24.3	32.6	3.4
E4	7/22	84.5	3	25.1	29.6	3.51
E5	8/18	13	11	13	100	1.82
E6	8/23	49	3	38.9	79.3	5.44
E7	8/29	47	5	41.1	87.4	5.75

강수량과 선행무강우일수의 각 이벤트 별 빗물 저류율(%)을 나타낸 것은 (Fig. 5)와 같다. 여기서 선행무강우일수가 3일인 E3, E4, E6에서는 강수량의 영향을 비교할 수 있다(Fig. 5). E3, E4는 E6보다 강우량이 많았으나, 3일전에 내린 비로 흙의 수분이 어느 정도 포화되어있어 옥상녹화에서의 유출지연시간이 짧아, 총 저류량도 낮게 나타났다. 또한 E3의 경우 강우지속시간이 20시간이었고 E4경우 또한 15시간으로 E6의 4시간에 비해 4~5배가량 길었다. 이는 긴 강우시간으로 인해 흙이 충분히 포화되었고, E3과 E4에서 강우량이 E6보다 약 1.6~2배 많았기 때문에 E3과 E4의 빗물 저류율이 낮게 나타났다.

E1, E6, E7의 강수량은 비슷하므로 선행무강우일수 조건에 따른 효과를 비교할 수 있다. 선행무강우일수가 길어질수록 배수판의 물이 마르고 토양의 공극이 건조해진다. 이 때, 비가오면 하부의 배수판부터 물이 차기 시작하고 토양의 공극이 포화된 이후부터 유출이 발생한다. 따라서 수분이 포화되기까지의 시간이 길어지고 옥상녹화에서의 유출량이 감소되어, 같은 양의 비가 오더라도 빗물 저류량이 더욱 많아지고 유출량은 적어진다. 따라서 강수량이 비슷한 조건에서는 선행무강우일수가 길어질수록 빗물 저류율이 높아짐을 알 수 있다.

E3과 E4와 같이 강수량이 많은 경우에는 옥상녹화 하부의 배수판부터 흙까지 일시적으로 물이 차오르는 것을 관찰할 수 있었다. 차오른 물은 1~2시간 후에 옥상녹화 측면에 있는 두 개의 배수구를 통하여 천천히 빠져 나간다. 일시적으로 뿌리가 물에 잠겨도 1~2시간 후에는 물이 빠져 나가기 때문에 식생이 성장하는데 아무런 영향을 끼치지 않는 것을 확인할 수 있었다.

140 m²의 옥상녹화(B)에서 연구기간 내에 내린 7번의 강수이벤트의 경우 1.8 ton ~ 7.2 ton의 수자원을 확보하였으며 이것을 강수량으로 환산하면 13 mm ~ 51.5 mm가 된다. 부가적인 이득은 홍수저감효과와 열섬현상 방지효과, 심미적인 효과가 있으나 이것은 다른 논문에서 다루게 될 것이다.

4. 결 론

오목형 옥상녹화에서 측정된 연구기간 내의 7회의 강수 이벤트의 경우 140 m²의 옥상녹화 시스템에서 최대 7.2 ton, 최소 1.8 ton의 빗물저류 효과를 나타내었다. 저류량에 영향을 미치는 것은 강수량과 선행무강우일수이며, 강수량이 더 큰 영향을 나타낸다.

강수 시 일반옥상은 빗물을 그냥 흘려 보내지만, 오목형 옥상녹화는 일시적으로 물을 가두며 빗물을 천천히 유출시킨다. 그러므로 옥상녹화에 따른 물공급의 수요를 충족하여 수자원을 확보하는 효과가 있다. 만약 식물의 생장기와 물소비량의 패턴이 우리나라의 강우특성과 비슷한 식물로 옥상을 녹화한다면 별도로 물을 주지 않더라도 생물에도 지장이 없고 여름철 강우에도 많은 양의 유출을 방지할 수 있어서 다목적으로 활용할 수 있다. 이 같은 오목형 옥상녹화를 도심의 여러 건물에 적용한다면 빗물 저류를 통한 수자원을 확보하는 효과를 나타낼 수 있다.

References

Virginia S, Gianni V, Hartini K., (2010). The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *Journal of Hydrology* 414-415, 148-161.



- Stovin, V., Dunett, N., Hallam, A., (2007). Green roofs-getting sustainable drainage off the ground. In: 6th International Conference of Sustainable Technologies and Strategies in Urban Water Management (Novatech 2007), Lyon, France, 11e18.
- Deborah A. Beck, Gwynn R. Johnson, Graig A. Spolek.,(2011). Amending greenroof soil with biochar to affect runoff water quantity and quality. *Environmental Pollution* 159, 2111-2118.
- Teemusk, A.,Mander,U.,(2007). Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: the effects of short-term events. *Ecological Engineering* 30, 271-277.
- Lee, J., Moon, H., Kim, T., Kim, H., Han, M. (2013). Quantitative analysis on the urban flood mitigation effect by the extensive green roof system. *Environmental Pollution* 181, 257-261.
- Ayako, N., Nigel, D. (2011). Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. *Land scape and urban planning* 104, 3-4.
- Han, M., (2014) Concave Green Roof as Water-Food-Energy Nexus. In: *National ENERGY GLOBE Award Republic of Korea 2014*, <http://www.energyglobe.info/southkorea2014?cl>.

pp. 155-163

pp. 166-169

pp. 171-182

pp. 186-192

pp. 193-202

pp. 203-209

pp. 211-222

pp. 223-231

pp. 233-241

pp. 243-249

pp. 251-259

pp. 261-269

pp. 271-281