

## 옥상녹화의 우수유출량 저감효과에 관한 연구\*

- 토심 및 식생유무를 중심으로 -

이동근<sup>1)</sup> · 오승환<sup>2)</sup> · 윤소원<sup>3)</sup> · 장성완<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> 서울대학교 조경·지역시스템공학부 · <sup>2)</sup> 서울대학교 대학원 석사과정

<sup>3)</sup> 서울시설공단 · <sup>4)</sup> 에코앤바이오(주)

## A Field Study to Evaluate Greenroof Runoff Reduction and Delay\*

Lee, Dong-Kun<sup>1)</sup> · Oh, Seung-Hwan<sup>2)</sup> · Yoon, So-Won<sup>3)</sup> and Jang, Seong-Wan<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Landscape Architecture, Seoul National University,

<sup>2)</sup> Graduate School, Seoul National University,

<sup>3)</sup> Seoul Metropolitan Facilities Management Corp.,

<sup>4)</sup> Eco & Bio Corporation.

### ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the greenroof runoff quantity and delay. The experimental districts, have different soil thickness and vegetation, had installed. A measurement was conducted in Seoul University to investigate the runoff quantity and delay of the greenroof. The measurement point of runoff quality data were 8, located next to each experimental district. Also, the precipitation was measured by rain gauges(# RG2). The experimental investigation lasted from 21th July to 4th December, a total of 137 days.

The results showed that the greenroof can contribute runoff retention and delay by soil, but the intensity of actual rain event affected the runoff reduction and delay. Overall, when was the rainy season, percent rainfall retention ranged 17.5% and runoff flow was delayed for 1-3 hours. But on the other hand, when was the typical rain event, percent rainfall retention ranged over 90% and runoff flow was delayed for 1-11 hours. In the result, the greenroof had the greatest runoff retention and delay, while for the typical rain event.

Key Words : *Greenroof, Runoff, Retention, Reduction, Soil thickness, Vegetation.*

\* 본 연구는 2006년도 차세대 핵심환경기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

**Corresponding author** : Oh, Seung-Hwan, Graduate School, Seoul National University,

Tel : +82-2-880-4885, E-mail : snu88@snu.ac.kr

**Received** : 28 October, 2006. **Accepted** : 17 December, 2006.

### I. 서론

현대의 도시는 녹지의 부족과 불투수성 표면적의 증가로 인해 생태적인 기능을 상실해 왔다. 그에 따른 결과로 생태계 파괴, 도시열섬현상, 도시형 홍수발생, 도시인을 위한 휴식공간의 부재라는 문제점을 양산하였다(김귀곤 · 조동길, 2000; 문석기 등, 2002; 김수봉 등, 2003; 최희선 등, 2004). 도시 내에 이러한 문제 해결을 위한 대안으로 제시되고 있는 옥상녹화는 도시 안의 환경을 개선하고 녹지를 보충하여 폭우시 우수유출을 저감하며 도시의 홍수를 예방할 수 있다(한무영 등, 2003; Moran et al., 2004; Villarreal and Bengtsson, 2005; VanWoert et al., 2005; Berndtsson et al., 2006; 이재형 등, 2006).

옥상녹화가 갖는 다양한 효과 중에서도 우수유출량 저감효과에 대한 여러 가지 실험이 외국에서는 활발하게 진행되고 있다. 외국의 연구 중에서도 Moran et al.(2004)은 토심 5cm와 10cm로 조성하여 연구를 실시하였으며, VanWoert et al.(2005)는 토심 2.5, 4.0, 6.0cm의 우수유출에 대한 실험을 실시하였다. 옥상녹화의 우수유출 저감효과에 대한 연구 중 국내는 옥상녹화에 따른 우수유출량 특성에 대해 이재형 등(2006)이 강우유출 지체를 위한 옥상녹화에 따른 유출량 예측

모의에 관한 연구를 실시하였다. 그 결과 아이비, 풍미나, 트리안의 순서로 강우유출에 지체효과가 있는 것으로 나타났다. 한무영 등(2003)은 장마기간 동안의 옥상녹화를 통한 빗물의 수량 및 수질 특성에 관한 연구를 수행하여 강우강도에 따라 1/12-4/5 정도의 유출량을 보였으며 2시간-30시간의 지연효과를 나타내었다. 하지만 국내는 외국에 비해 다양한 옥상녹화 조건에 따른 우수유출량 저감효과에 대해 실험한 연구가 거의 전무한 실정이다. 따라서 옥상녹화의 토심, 토양종류, 식생 등에 따른 우수유출량 저감효과에 관한 연구가 필요하다.

본 연구의 목적은 옥상녹화 조성시 토심과 식생유무에 따라 우수유출량 저감효과를 분석하는 것이다. 특히 본 연구에서는 국내의 기존연구에서는 다루지 않았던 토심(10, 15, 20cm)을 중심으로 옥상녹화 실험구를 조성하여 우수유출량을 측정함으로써 우수유출량저감효과에 대한 연구를 실시하였다.

### II. 실험 재료 및 방법

#### 1. 실험 개요

서울대 농업생명과학대학동 9층 옥상에 8개 실험구를 설치하고 강우량계(Data logging rain gauge

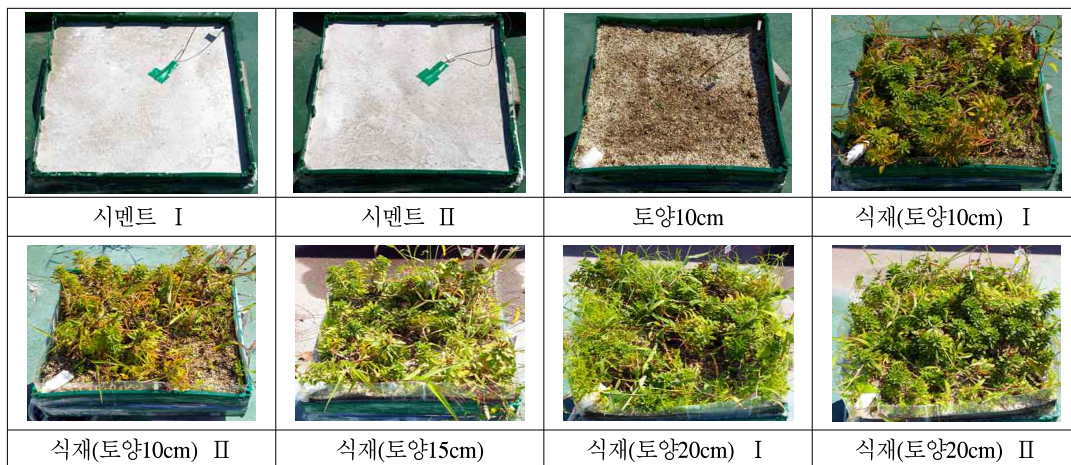


그림 1. 실험구 조성 사진(2006. 7.).

manual Part # RG2)로 8곳의 우수유출량과 강우량을 동시에 측정하였다. 데이터 측정은 7월 21일부터 12월 4일로 총 137일간 실시되었다.

## 2. 실험 내용

우수유출량 데이터 수집을 위한 실험구는 각 단위 면적 '50cm(폭)×50cm(길이)×10cm(높이)'인 모듈을 1개씩 사용하여 조성하였다. 시멘트 옥상표면 실험구 2개구와 옥상녹화 실험구 6개구를 설치하여 총 8개의 실험구를 조성하였다. 실험 변수는 토심과 식생유무만을 고려하였으며 토심의 경우 10, 15, 20cm로 설정하였다. 식생은 토양, 토심에 관계없이 척박한 토양에 잘 자라는 세덤류인(김명희 2003; 방광자 2004), 돌나물과 기린초를 사용하였다. 옥상녹화 실험구는 토양 10cm를 부설한 실험구 1개구, 토양 10cm에 식생을 조성한 실험구 2개구, 토양 15cm에 식생을 조성한 실험구 1개구, 토양 20cm에 식생을 조성한 실험구 2개구로 총 6개구를 조성하였다. 본 실험에서는 정확도를 높이기 위해 우선 시멘트와 식생(토양10cm)과 식생(토양20cm) 실험구에 대해 반복 실험구를 조성하였다(그림 1).

## 3. 실험 방법

실험구 우수유출량 데이터 수집을 위해 강우량계(Data logging rain gauge manual Part # RG2) 총 10개를 사용하였다. 8개의 강우량계는 우수유출량 측정을 위해 각각의 실험구에 설치를 하였으며 2개의 강우량계는 강우량 측정을 위해 실험구 옆에 설치하였다. 실험구는 2006년 7월 24일에 일차적으로 시멘트 옥상표면 실험구 2개와 토양 10cm 실험구 1개구, 토양 10cm+식생 실험구 2개구의 총 5개구를 설치하였다. 2006년 9월 1일에 모든 실험구의 설치를 완료 하였다.

실험구 데이터 분석을 위하여 강우와 우수유출량 데이터를 하루 또는 지속적인 강우가 있었던 기간인 2-3일 간격으로 분석 데이터를 재구성하였다. 2개씩 조성한 시멘트 옥상표면, 식재(토

양10cm), 식재(토양20cm) 실험구의 데이터를 우수유출량 데이터를 평균하여 토양10cm, 식재(토양15cm) 실험구의 데이터와 비교분석 하였다. 2곳에서 측정한 강우량 데이터도 평균하여 재구성 하였다. 7월은 강우 데이터를 수집하지 못하였으며 8월의 식재(토양10cm) 실험구 데이터는 데이터 로거 이상으로 수집하지 못하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 우수유출 저감효과

그림 2에서 7월 26일의 강우에서 시멘트 실험구에서만 11.36mm의 우수유출량이 발생하였다. 7월 27-29일 3일간 지속된 강우에서 시멘트 실험구는 211.9mm의 우수유출량이 발생하였으며 토양 10cm 실험구와 식생(토양10cm) 두 실험구 모두 188.19mm의 같은 우수유출량을 보였다. 토양 10cm와 식생(토양10cm) 실험구는 시멘트 실험구보다 우수유출량이 35.07mm가 추가로 줄었다.

그림 3에서 8월 26일의 16.23mm 강우에서 시멘트 실험구에서만 12.72mm의 우수유출량이 발생하였다. 8월 27일의 23mm 강우에서 시멘트 실험구는 23mm, 토양10cm 실험구는 15.59mm의 우수유출량을 보였다. 8월 26-27일 2일간의 39.23mm 강우에서 토양10cm 실험구가 실제 강우량에서 유출량이 23.64mm가 줄었으며 시멘트 실험구보다 우수유출량이 20.13mm가 추가로 줄었다. 8월 29일의 4.52mm 강우에서 시멘트 실험구는 3.74mm, 토양10cm 실험구는 0.53mm의 우수유출량을 보였다.

8월 26일과 27일의 시멘트 우수유출량 저감 정도에 차이를 보이는 것은 26일의 우수가 27일의 우수유출량 저감에 영향을 미쳤기 때문인 것으로 판단된다. 26일에 강우가 16시 40분에 시작하여 27일 18시 50분까지 지속되었기 때문에 26일에 내린 강우에 의해 포화된 시멘트 실험구는 27일 강우의 유출을 저감시킬 수 없는 상태로 강우량과 같은 23mm의 우수유출량을 보인 것으로 판

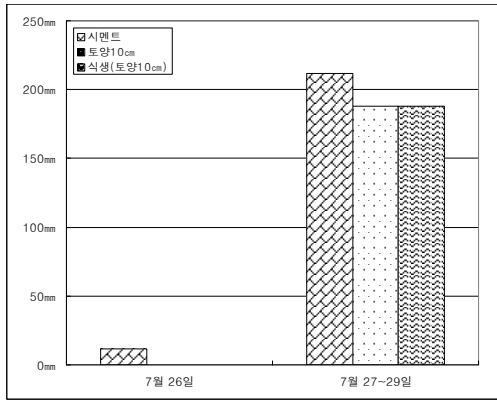


그림 2. 7월 26-29일 우수유출량 비교도.

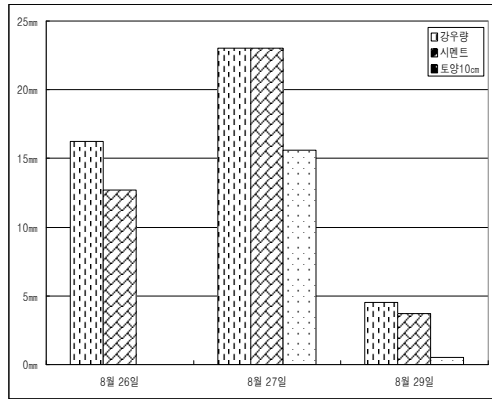


그림 3. 8월 26-29일 우수유출량 비교도.

단된다. 즉, 27일의 강우에서 시멘트 실험구는 우수유출을 전혀 저감하지 못하였다. 8월 29일의 경우도 8월 26-27일의 강우에 의해 포화된 시멘트 실험구가 29일 강우가 다시 시작되기 전까지 28일 하루만 우수 증발을 위한 시간이 있었기 때문에 우수유출량은 시멘트 실험구 평균 우수유출저감량인 1.17mm보다 적은 0.78mm를 보인 것으로 판단된다. 8월 29일에 토양10cm 실험구에서 우수유출이 발생한 이유도 26-27일의 39.23mm의 강우에 의해 토양이 포화에 가까운 상태였기 때문인 것으로 판단된다.

그림 4에서 9월 5일과 6일의 2.79mm 강우와 9월 17과 18일의 2.29mm 강우에서 시멘트 실험구만 1.32mm와 1.45mm의 우수유출량을 보였다. 9월 9일의 6.35mm 강우에서 시멘트 실험구는 5.93mm,

식생(토양10cm) 실험구는 0.02mm의 우수유출량을 보였다. 즉, 장마철이 아닌 10mm 미만의 강우에서 옥상녹화는 100%에 가까운 우수유출저감효과를 나타냈다.

그림 5에서 10-12월의 87.89mm 강우에서 시멘트 실험구 77.46mm, 토양10cm 실험구 8.58mm, 식생(토양10cm) 실험구 8.89mm, 식생(토양15cm) 실험구 4.53mm, 식생(토양20cm) 실험구 3.05mm의 우수유출량을 보였다. 10-12월의 강우 중 11월 5-7일의 42.17mm 강우를 제외한 10월 22-23일의 17.02mm, 11월 9일의 2.79mm, 13일의 1.02mm, 15일의 5.33mm, 27일의 16mm, 30일의 1.27mm, 12월 1일의 2.29mm 강우에서는 시멘트 실험구를 제외한 모든 실험구에서 우수유출량이 없거나 0.5mm 이하로 나타났다. 11월 5-7일의 42.165mm

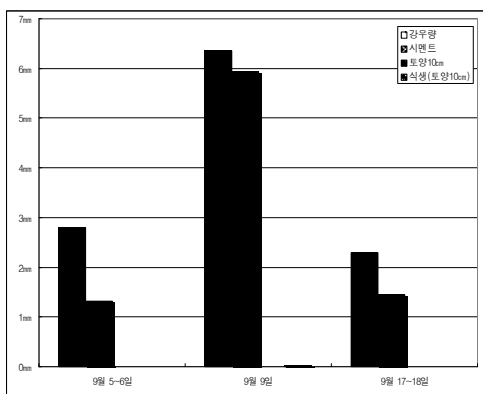


그림 4. 9월 우수유출량 비교도.

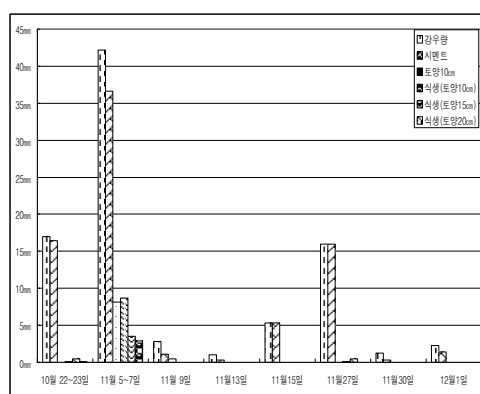


그림 5. 10-12월 우수유출량 비교도.

강우에서 시멘트 실험구 36.66mm, 토양10cm 실험구 8.12mm, 식생(토양10cm) 실험구 8.72mm, 식생(토양15cm) 실험구 3.52mm, 식생(토양20cm) 실험구 2.92mm의 우수유출량을 보였다.

장마철 우수시 우수유출 저감효율은 시멘트 2.1%(4.74mm), 토양10cm와 식생(토양10cm) 17.5%(39.81mm)로 나타났다. 장마철이 아닌 가을철 우수시 각 실험구의 우수유출 저감효율은 시멘트 11.9%(10.43mm), 토양10cm 90.2%(79.31 mm), 식생(토양10cm) 89.9%(79mm), 식생(토양15cm) 94.8%(83.26mm), 식생(토양20cm) 96.5% (84.84mm)로 나타났다.

Moran et al.(2004)의 연구결과 실험기간 중 최고 강우량인 41.4mm 강우에서 32%(13.2mm), 최저 강우량인 7.9mm 강우에서 100%의 우수유출 저감효율을 보였다. 본 연구에서는 최고 강우량인 228mm 강우에서 17.5%(39.81mm), 여름철 최저 강우량인 16.23mm와 가을철 강우량 5.33mm에서 100%의 우수유출 저감효율을 보였다. 본 연구의 우수유출 저감량은 6-17mm로 나타나 Moran et al.(2004)의 연구결과인 평균 우수유출 저감량 13-15mm와 거의 차이가 없었다.

2. 우수유출 지연효과

그림 6에서 나타난 것과 같이 강우량 증가에 따라 우수를 거의 흡수하지 못하는 시멘트 실험구의 우수유출량은 강우량과 비슷하였다. 그러나 옥상녹화 실험구의 우수유출량은 토심에 따라 근소한 차이가 나타나지만 시멘트 실험구의 우수유출량과는 큰 폭의 차이를 보여주고 있다. 우수유출 지연 시간도 시멘트 실험구의 우수유출 지연시간이 옥상녹화 실험구의 우수유출 지연시간보다 짧은 것으로 나타났다. 10월 22일의 강우는 12시 6분부터 시작되었으며, 우수유출 발생 시간은 시멘트 실험구가 13시 6분인데 반해 식생(토양10cm) 실험구 22시 47분, 식생(토양15cm) 실험구 21시 4분, 식생(토양20cm) 실험구 22시 31분으로 나타났다. 10월 22일의 강우에서 옥상녹

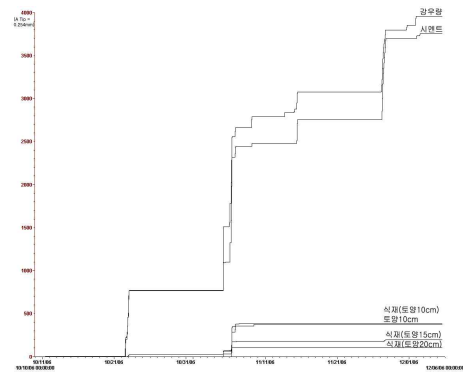


그림 6. 10-12월 강우량 및 우수유출량 그래프.

화 실험구의 우수유출 발생시간은 강우 시작 후 8시간 58분에서 10시간 41분 뒤였으며 시멘트 실험구의 우수유출 발생시간 보다는 7시간 58분에서 9시간 41분 뒤에 일어났다.

8월 27일의 강우는 3시 40분에 시작되었으며, 우수유출 발생 시간은 시멘트 실험구가 3시 49분, 토양10cm 실험구가 4시 45분으로 나타났다. 8월 29일의 강우는 17시 50분에 시작되었으며, 우수유출 발생 시간은 시멘트 실험구가 18시 48분, 토양10cm 실험구가 20시 14분으로 나타났다. 9월 9일의 강우는 7시 12분에 시작되었으며, 우수유출 발생 시간은 시멘트 실험구가 8시 54분, 식생(토양10cm) 실험구가 12시 32분으로 나타났다.

장마철 우수시 우수유출 지연시간은 1시간 15분에서 2시간 24분으로 나타났다. 장마철이 아닌 가을철 우수시 옥상녹화 실험구의 우수유출 지연시간은 5시간 20분에서 10시간 41분으로 나타났다.

IV. 결 론

옥상녹화 실험구에 따라 우수유출량 저감효과를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 도출해 낼 수 있었다. 첫째, 옥상녹화는 우수유출량 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 토심에 따른 옥상녹화의 형태 및 강우강도에 따라 저감효과의 차이가 있는 것으로 나타났다. 둘째, 옥상녹화는

우수유출 지연효과가 있는 것으로 나타났다. 우수유출 지연효과도 우수유출량 저감효과와 비슷한 경향을 보였다. 예를 들면 토심10cm의 옥상녹화는 하루 동안 6-17mm 이상의 우수유출 저감과 1-11시간의 우수유출을 지연할 수 있는 것으로 나타났다. 옥상녹화는 장마철을 제외한 우수에는 90% 이상의 우수유출 저감효과를 보여 옥상녹화만으로도 충분히 우수유출을 저감할 수 있다. 비가 많이 오는 장마철에는 도시 내의 홍수조절이 용이하지 않지만 옥상녹화만으로도 도시홍수를 저감하는 효과는 어느 정도 있는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서는 식생에 따른 효과는 검증이 되지 않았다. 따라서 향후에는 좀 더 다양한 식생과 피복율, 토양종류, 강우강도에 따른 연구가 필요하다.

## 인 용 문 헌

- 김귀곤 · 조동길. 2000. 생물다양성 증진을 위한 옥상 소생태계 조성기술에 관한 이론적 고찰 및 사례적용 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 3(1) : 38-51.
- 김명희 · 방광자 · 주진희 · 한승원. 2003. 옥상조경용 경량 토양의 혼합비와 토심이 3가지 자생초화류의 생육에 미치는 영향. 한국조경학회지 31(1) : 101-107.
- 김수봉 · 심근정 · 이홍대 · 권진오. 2003. 옥상 녹화 활성화 방안에 관한 연구. 한국정원학회 21(3) : 54-62.
- 문석기 · 이은엽 · 광문기. 2002. 옥상녹화를 위한 몇몇 야생초본류 선정에 관한 연구. 한국복원녹화기술학회지 5(3) : 31-39.
- 방광자 · 주진희 · 김선혜(2004) 옥상녹화용 인공배합토에서 토심 및 관수주기에 따른 몇몇 자생식물의 생육특성. 한국환경복원녹화기술학회지 7(6) : 75-83.
- 이재형 · 김부길 · 조덕준 · 김재권 · 이병철. 2006. 강우유출 지체를 위한 옥상녹화에 따른 유출량 예측 모의. 한국물환경학회 · 대한상하수도학회. 공동춘계학술발표회 논문집. pp.27-26.
- 최희선 · 김귀곤 · 홍수영. 2004. 도시생태네트워크 측면에서의 옥상녹화입지를 위한 목표종 선정에 관한 연구. 한국조경학회지 32(3) : 18-31.
- 한무영 · 김준규 · 박상철. 2003. 장마기간 동안의 옥상녹화를 통한 빗물의 수량 및 수질 특성. 한국물환경학회 · 대한상하수도학회, 공동추계학술발표회 논문집. pp.53-56.
- Berndtsson J. C., T. Emilsson and L. Bengtsson. 2006. The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality. Science of the total environment, 355 : 48-63.
- Moran A. 2004. North Carolina State University, Biological and agricultural engineering, the degree of master of science.
- VanWoert N. D., D. B. Rowe., J. A. Andresen., C. I. Rugh., R. T. Fernandez and L. Xiao. 2005. Green roof stormwater retention : Effects of roof surface, slope, and media depth. Journal of Environmental Quality 34 : 1036-1044.
- Villarreal E., and L. Bengtsson. 2005. Response of a Sedum green-roof to individual rain events. Ecological Engineering 25 : 1-7.