

Green Roof System의 다양한 성능 추구를 위한 공법 제시 및 성능 비교 실험 연구

A Study of the Proposes of GRS Prototype for various purpose achievement and it's Efficiency Comparative Experiment

장 대 희*
Jang, Dae-hee

김 현 수**
Kim, Hyeon-soo

이 건 호***
Lee, Keon-Ho

박 창 영****
Park, Chang-Young

Abstract

Green Roof Systems are embossed that realize ecological architecture as a substantially alternative plan. So, a Purpose of the study is seeking to optimize expectation effect through the Green Roof System. we set possible object and propose the prototype on the basis of the existing Green roof System technologies. We visualize a proposed Prototype apply various materials and methods. and we analyse the effects of Green Roof System upon our City climate with use energy efficiency comparison the Green roof system with the Concrete Rooftop. We'll Provide the low data for The prospects of City climate improvement through the a ripple effect on Green Roof System and for activation of Green Roof Technology

키워드 : 옥상녹화, 옥상시공, 도시기후조절, 물·에너지수지

Keywords : Green Roof System, Roof Construction, City-Climate-Control, Water-Energy Balance

1. 서 론

1.1 연구의 배경

녹화옥상시스템은 기존의 단순한 옥상조경을 벗어나 시스템적인 접근을 통한 건축물의 최상부 외피를 생태적으로 조성하기 위한 다양한 방안을 제시함으로써 과도한 포장과 밀도 높은 개발 등으로 생태계의 터전이 사라져가는 도시에 활력을 줄 수 있는 실질적 대안으로 자리 잡아 가고 있다. 그러나 아직까지는 도시화와 더불어 지표면과 건축물의 상부가 콘크리트와 같은 불투수성 포장으로 조성됨으로써 도시 전체 자연의 순환기능을 저해하고 있는 주요 요인으로 작용하고 있다. 최근 일시적으로 협소한 지역에 발생하는 집중호우의 빈도가 증가함에 따라 우수관거로 집중되는 과도한 유출량의 집중으로 인한 도시홍수의 발생뿐만 아니라 도시내 증발산량의 감소, 건축구조물의 증가에 의한 도시전체 열용량 증대 및 화학 에너지의 대량소비에 의한 배출열 증대 등은 도시 기후 환경을 악화시키는 주요한 원인으로 대두되고 있는 현실이다.

이러한 현실을 배경으로 본 연구에서는 도시의 미기후

개선과 도시열섬현상 완화를 위한 하나의 실용적인 수단으로서 Green Roof System의 보급에 있어 달성하고자 하는 다양한 목표를 설정하고 이를 위한 다양한 공법을 제시함과 동시에, 그에 따른 물·에너지 성능을 기존 콘크리트 옥상부와 비교 분석할 수 있는 실험구의 구성방안과 이의 모니터링을 통한 도시 기후에 미치는 영향을 실험적으로 비교 분석하고자 한다.

1.2 연구방법 및 내용

본 연구는 기존 콘크리트 옥상부와 다양한 녹화옥상의 우수유출 및 열성능을 비교 분석함으로써, 녹화옥상의 보급을 통한 도시의 기후 개선 가능성을 가늠할 수 있는 기초자료를 제공하고자 하는 것을 연구의 목적으로 한다. 이를 위하여 일정한 목적과 성능을 추구하는 다양한 녹화옥상 공법을 제시하고, 제시된 공법에 따라 실험구를 조성하여 각각의 목적에 적합한 성능을 유지할 수 있는지의 여부를 모니터링을 통하여 관찰하고, 실험구의 물·에너지 수지를 측정함으로써 도시 기후 개선효과를 정량적으로 제시할 수 있는 근거 자료를 구축하고자 한다.

구체적인 연구내용으로는 기존 콘크리트 옥상부와 옥상 녹화시스템이 설치된 실험구의 Runoff량과 강우량을 비교함으로써 각각의 실험구에 설치된 공법에 따라 우수저장 가능성 및 증발산량을 정량적으로 계측하고, 콘크리트 Rooftop 과의 비교 실험을 통하여 총 일사량에 대한 반

* 정회원, 한국건설기술연구원, 건축연구부, 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원, 건축연구부, 수석연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원, 건축연구부, 선임연구원

**** 정회원, 광운대학교 건축공학과 석사과정

사랑, 복사랑, 증발산랑 등을 통합적으로 계측하여 녹화 옥상을 통한 물·에너지 순환 수지를 분석하여 옥상녹화가 도시기후에 미칠 수 있는 영향을 정량적으로 비교 분석하고자 하였다.

1.3 연구의 목적

본 연구의 결과는 단순한 우수유출 또는 표면온도 변화 등의 단편적인 실험적 결과를 활용한 연구의 한계를 넘어 녹화옥상의 물 순환과 에너지 순환의 통합적 성능을 평가할 수 있는 틀을 마련함과 동시에 도시 기후 개선을 위한 근거 자료로 녹화옥상의 보급에 이용될 수 있도록 근거를 제시하기 위한 연구로서 현재 동절기 성능만이 분석되고 있지만, 하절기 성능계측을 거쳐 녹화옥상 시스템의 연간 물·에너지성능을 정량적으로 규명하고자 한다.

2. 녹화옥상 공법 제안

녹화옥상의 일반적인 기대효과는 기존의 다양한 연구결과에서 제시하고 있으며, 본 연구를 위하여 제시하고자 하는 녹화옥상을 통해 달성하고자하는 목적을 다음과 같이 설정하였다.

표 1. Prototype에 따른 특징

구분	설명
기존 식재공법 개선 [Prototype 01]	기존의 포트묘 방식 또는 매트형 방식을 탈피하여 녹화옥상 식재층의 다양화 및 저비용을 추구한 녹화옥상 공법
초기우수 저장기능 극대화 [Prototype 02]	도시 홍수 등과 같이 일시적인 집중호우에 의한 피해를 최소화 할 수 있는 분산식 물관리 수단으로서의 녹화옥상 공법
저관리 식재플랜 [Prototype 03]	관수, 전정 등의 관리 없이 초기 설계자의 의도된 식재플랜을 유지할 수 있는 토양층 구성을 통한 녹화옥상 공법

위와 같이 설정된 목표에 충실하도록 다음과 같은 3가지 공법을 제시하였고, 기본적으로 제시된 공법은 녹화옥상으로서의 기본적 시스템 성능²⁾을 갖출 수 있도록 구성하였으며 각각의 시스템에 대한 세부구성은 다음과 같다.

2.1 기존 식재공법 개선 [Prototype 01로 명명]

식재층의 구성 방안은 공법의 분류상 포트묘의 식재나 식생매트의 설치에 한정되어 대규모 면적 조성에 있어 시공성의 저하와 인건비의 상승을 가져왔으며, 포트나 매트의 운송, 보관 및 양중에 따른 추가비용의 여지를 가지고 있었다. 이의 보완을 위하여 기존 식재공법을 탈피한 새로운 식재공법의 제시가 필요하다.

이를 위하여 녹화옥상분야의 선진국인 독일에서는 보편

화된 살포방식의 식재공법을 기본으로 현재 국내에 사면 녹화 공법으로 활용되고 있는 공법을 활용하여 이끼를 양액과 혼합 살포하여 식재층을 구성하는 공법을 제시하였다. 식재층이 가지는 두께의 한계를 보완하기 위하여 배수와 함습능의 확보를 위한 토양층을 설치하고, 공법에 활용된 이끼의 성장을 용이하게 하기 위하여 굵은 골재를 상부에 포설하였다. 본 공법을 통하여 기존 식재공법 대비 월등한 시공성의 향상과 단위면적당 기존대비 약 25% 이상의 공사비 절감을 가져올 수 있었으며, 이렇게 구성된 녹화옥상시스템의 단면을 다음의 그림과 같다.

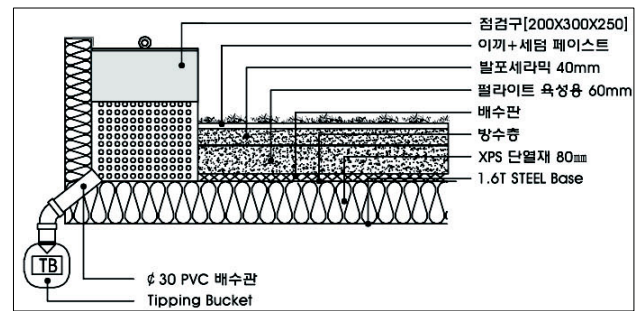


그림 5. 기존 식재공법 개선을 위한 녹화옥상 단면

2.2 초기우수 저장기능의 극대화 [Prototype 02로 명명]

녹화옥상을 구성함에 있어 초기우수의 유출 저감 성능은 배수층의 성능과 매우 밀접한 관계를 가진다. 녹화옥상의 특성상 일반적인 지상의 녹화면과 달리 배수층의 성능에 따라 식재층의 성장에 많은 영향을 미치고, 식재종류에 따른 적정선의 배수성능을 찾아내는 것 또한 녹화옥상의 완성을 위해 해결해야 할 과제라 할 수 있다. 이러한 배수층에 신소재를 활용하여 식재의 성장과 함습 및 배수 기능의 극대화 할 수 있는 공법을 제안하고자 하였다.

배수층의 소재로는 폴리우레탄(P) 80~90중량%; 셀룰로오스 토우(C) 9~19중량%; 및, 수지성 보습첨가제(W) 1~2중량%;를 포함하여 매트형태로 성형하였으며, 하부에는 배수를 위한 홈을 설치하였으며, 상부는 포트묘 등을 설치할 수 있도록 홈을 성형하였다. 본 소재는 일종의 스폰지와 같은 형상으로 제작되어 함습성능이 우수하고, 일정한 매트형상을 유지하여 제작 및 설치가 용이하다는 장점을 지니고 있다. 하지만 일사에 직접적인 노출시 내구성의 저하를 가져오기 때문에 식재층의 구성을 세덤매트를 활용하였고, 소재 특성상 상부 보행시 토양과 함께 배수층의 압착이 발생하여 식생의 피해가 발생할 가능성이 있어 적용 대상을 상부의 보행이 제한된 Extensive Green Roof에 한정되어 적용해야 하는 단점을 지닌다.

구성된 녹화옥상시스템의 단면은 다음의 그림과 같다.

2) 김현수 외, 복합기능 생태적 건물외피 조성 기술 개발, 한국 건설기술연구원, 2004

녹화옥상의 기본 성능으로서 방수성능과 단열성능(실험구 상에서 동일한 성능을 가지는 것으로 설정)을 제외한 배수 및 함습 성능 측면, 식재층 구성 측면, 시공성 측면을 복합적으로 고려하여 공법을 제시하고자 함.

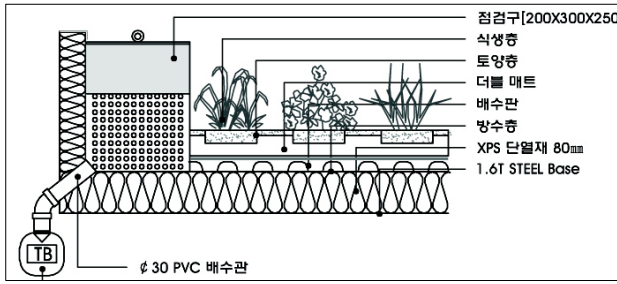


그림 6. 초기우수 저장 기능 극대화 녹화옥상 단면

2.3 무관리 식재플랜 유지 [Prototype 03으로 명명]

녹화옥상을 구성함에 있어 식재플랜은 건물의 상부면 외피를 디자인하고자 하는 설계자의 의도를 반영할 수 있도록 유지될 수 있어야 한다. 즉, 초기 적용한 식재의 범위가 다른 초종의 영역을 침범하지 않아야 하며, 외부로부터 여러 가지 원인으로 유입되는 이입종의 침해를 당해 지속적인 관리를 요하지 않아야 하는 조건을 지닌다. 이는 이입종의 생장이 원활이 이루어지지 않는 극한 생존조건을 조성하여 조건에 적응할 수 있는 초종만을 선정하여 식재하여야 하고, 이를 위한 방안으로 토양층의 유기물 함량을 질량비 5% 이하로 유지할 수 있도록 설정하였으며, 토양에 포함된 골재의 입도를 적정수준으로 조정하였다. 또한 저관리 식재플랜의 유지를 위하여 씨를 통해 번식하는 초종을 지양하고 위와 같은 토양층의 상황에서 성장할 수 있는 초종을 선정하였다.

토양층의 구성은 적정 배수성능을 위하여 입도 조정된 2~5mm의 마사토와 녹화옥상을 통한 유출수의 정화능력을 강화하기 위한 성분으로서 지오라이트를 혼합하고, 여기에 적정 유기물 수준을 유지하기 위한 이탄토를 혼합하여 형성하였다. 또한 식재층은 녹화옥상에서의 원활한 성장과 식재플랜 유지에 유리한 돌나물과 식물 등을 위주로 식재하였으며, 이렇게 구성된 녹화옥상시스템의 단면은 다음의 그림과 같다.

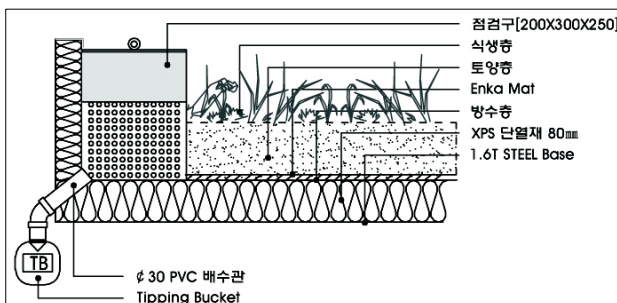


그림 7. 무관리 식재플랜 유지를 위한 녹화옥상 단면

3. 성능 비교 실험구 조성

3.1 실험구 조성

앞서 제시한 녹화공법의 성능을 계측하기 위하여 기존 콘크리트 Rooftop과 비교를 통한 상대적 성능비교 실험을 시행하였으며, 이를 위하여 최대한 현장과 유사한 상황을 조성하기 위하여 실험구의 크기를 최대한 확보하여

4M × 4M 크기로 설정하였다.

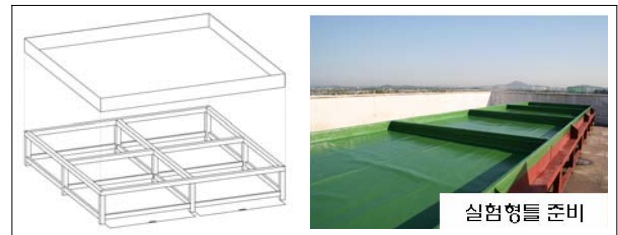


그림 8. 실험구 형틀구조

실험구의 구조는 1.6T Steel 강판을 사용하여 사각틀을 제작하고, 실험형틀로부터의 열적 영향을 최소화 하기 위하여 XPS 단열재를 이용하여 단열처리한 후 그 상부에 복합방수 공법으로 실험구에서 유출되는 우수량을 계측할 수 있는 기반을 조성하였다. 일반적인 옥상부 단면과 비교할 때 일정한 열용량을 가지는 구조체 상부에 조성되어야 하지만 비교 실험구 모두에 동일한 영향을 미치는 것으로 가정하여 단열재 하부의 온도가 건축물 구조체에 미치는 온도로 가정하였다.

기존 콘크리트 Rooftop의 재현은 현장마다 다양한 변수를 가지고 있으나, 본 연구에서는 가장 보편적인 마감공법으로서 구조체 상부 방수층 설치 후 방수층 보호를 위한 누름 보호 모르타르 100mm로 마감된 옥상부로 설정하였다.

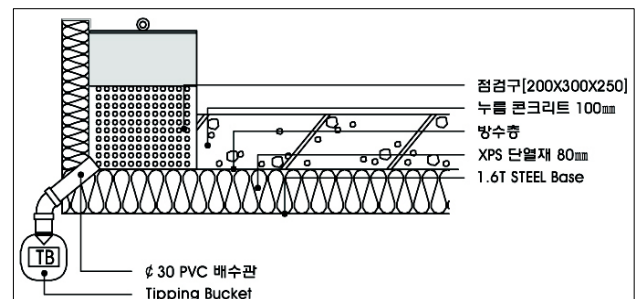


그림 9. 콘크리트 Rooftop 재현 비교 실험구



그림 10. 실험구 조성 진행과정



그림 11. 실험구 조성 현황 전경

실험구내부의 우수유출을 위한 구배는 일반적인 옥상부의 구배보다는 높은 1/10 구배를 설정하여 평지붕상에서 가급적 최대한의 우수유출이 발생할 수 있는 상황을 설정하여 실험하였고, 관경 $\Phi 50$ 의 드레인 상부에 이물질 등의 유입을 차단하기 위한 점검구(200×300×250)를 설치하였다. 점검구는 토양높이 이상까지 편칭메탈을 사용하여 하부 배수층에서의 측면배수 뿐만 아니라 상부 표면에서의 배수까지 이루어질 수 있는 구조로 제작 적용하였다.

3.2 물·에너지 수지 계측시스템 구축

실험구내의 녹화옥상 성능을 계측하고 있는 각 기자재별 특성 및 측정목적에 대해 설명하면 다음과 같으며, 실험구 상호간의 간섭이 최소화 될 수 있는 실험구 중앙부위에 계측기를 설치하였다.

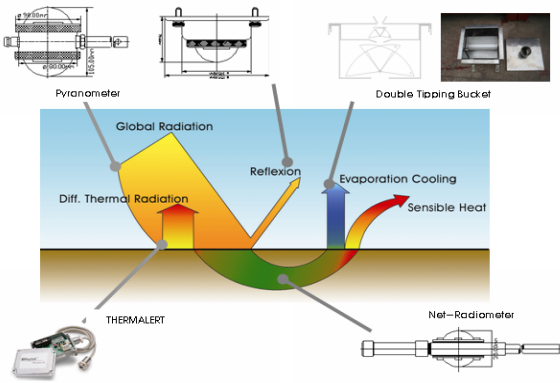


그림 12. 녹화옥상의 물·에너지 수지 분석 개념 및 설치 계측기

가. 일사량 측정 : Pyranometer

직달일사량 및 확산 일사량의 합으로 나타나는 총일사량 G의 측정에 사용된다. 측정원리는 표면에 흰색과 검정색으로 도색된 부분의 온도차에 의한다. 측정결과는 ambient온도에 영향을 받지 않으며, precisely cut dome은 환경적 영향에 의한 측정요소를 shield한다. 측정영역은 $0 \sim 1500 \text{ w/m}^2$ 이며, 감도는 $0.3 \sim 3 \mu\text{m}$ 이다. 본 실험구에서는 총일사량을 1기 측정하며, 각 실험구에 1기씩 총4기 구축된 나머지 실험구에서는 표면으로부터의 반사율을 측정하기 위한 수단으로서 설치되었다.

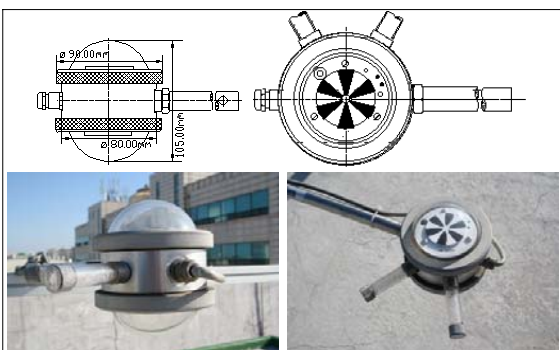


그림 13. 일사량계 실험구 설치모습

나. 복사량 측정 : Net Radiometer

직달 및 반사되는 단/장파 복사영역에서의 직달 및 instantaneous 복사량의 차이를 측정하기 위한 설비이다. 측정원리는 열전대에 의해 상부로 향한 blackened 리시버판과 하단으로 향한 리시버판사이의 온도차를 이용하여 측정한다. 전기적으로 두 개의 판은 연결되어 있어서, Net 복사량이 바로 결정되어진다. 측정영역은 $0 \sim 1500 \text{ w/m}^2$ 이며, 감도는 $0.3 \sim 3 \mu\text{m}$ 이다. 본 실험구에서는 각 실험구에 1기씩 총4기 구축되어 Prototype의 각 표면부로부터의 복사량을 측정하였다.

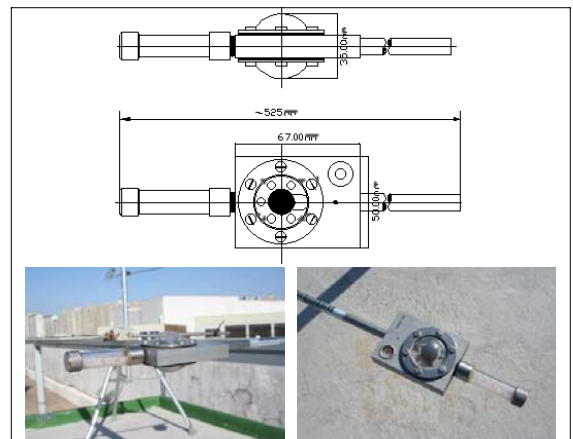


그림 14. 복사량계 실험구 설치모습

다. 표면 및 대기온도 측정 : Raytek Thermalert MID

Miniature 센서헤드를 가진 infrared 온도측정계로서 emissivity, peak hold, valley, averaging이 가능하다. 측정범위는 $-40 \sim 1112^\circ\text{F} (-40 \sim 600^\circ\text{C})$ 까지 가능하며, 이 범위 내에서는 오차가 1% 내외이다. 본 실험에서는 직경 50cm 정도의 표면부 온도값을 평균적으로 구한 값을 표면온도로 결정하였으며, 복사에 의한 효과 측정을 위한 대기 온도 측정용으로 북측하늘로 향하여 1기를 설치하였다.



그림 15. 적외선 온도측정장치 및 실험구 설치모습

라. 우수유출량 측정 : Tipping Buckets

유출되는 우수량을 측정하기 위해 UMT(독일)사의 1L 유량계(tipping bucket)를 설치하였으며, 그 원리는 삼각 깔대기 형식의 유량통이 내부에 있어 유입되는 유량이 1L에 도달하면 유출되며 신호를 보내게 되는 방식으로, 이때 발생된 신호는 지속적으로 저장되어, 장기간의 측정기간이 요구되는 본 실험에서 활용하였다. 유출량의 계측에는 다양한 방식이 있지만, 본 실험에서 적용한 방식은 1L 이내의 시간적 유량변화에 대하여는 측정이 불가능하

지만 1L단위의 유출량 변화를 시간대별 계측 및 유출경향 분석에 용이하다고 판단하여 적용하였다.



그림 16. Tipping Buckets 실험구 설치모습

마. 온라인 모니터링 시스템

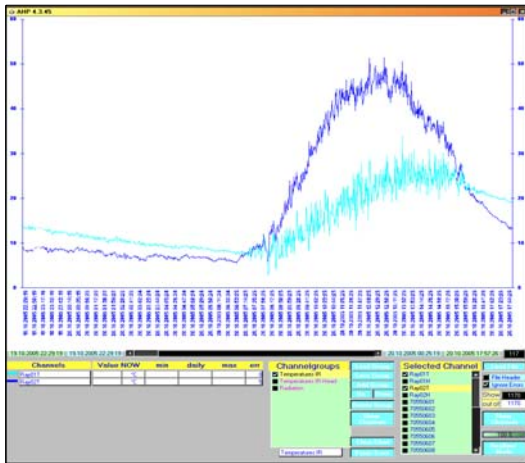


그림 17. 온라인 계측시스템 모니터링 프로그램

앞서 설명한 계측기기들의 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 PC로 전환시켜주는 AD-adapter를 거쳐 모여진 데이터를 계측 결과로서 저장해주는 프로그램으로서 TU-Berlin의 실험구와 데이터의 원활한 교류를 위하여 동일한 시스템으로 설치하였다.

현재 실험구에 적용된 계측시스템은 각 계측기로부터 읽어들인 데이터를 1분 간격으로 저장하여 TEXT 파일 형태의 자료로서 PC에 직접 저장하고 있으며, 실시간으로 확인 가능하도록 데이터의 축적현황 뿐만 아니라 각 데이터에 대한 진행 추이가 표현되도록 구성되어있다. 또한 분석하고자 하는 계측장비의 채널을 그룹화 하여 비교 분석 할 수 있도록 프로그래밍 되어 있다.

4. 성능 비교 실험

4.1 실험방법

종합적으로 녹화옥상 부분을 통한 통합적인 에너지수지 분석이란 현실적으로 매우 복잡한 과정을 거쳐서 산출되며, 앞서 구축된 실험구를 통하여 최소 일일의 단위에서부터 연간 단위까지 구체화하여 산출할 수 있는 기반을 조성하였다. 이를 통해 녹화옥상이 가지는 물·에너지 특성을 기존의 콘크리트 옥상과 대비하여 분석하고자 하였다.

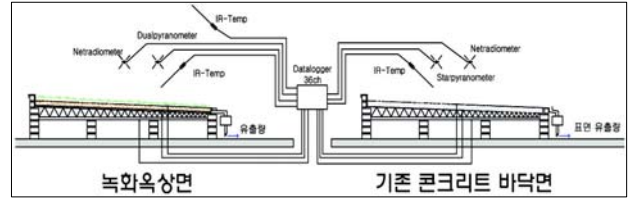


그림 18. 성능 비교 실험방법 도식화

총일사량

$$= \text{반사량} + \text{복사량} + [\text{증발산량(잠열열량)} + \text{현열열량}]$$

- 총일사량 (Global Radiation)
: 천공으로 향한 Pyranometer에서 산출, 단위(W/m²)
- 반사량 (Reflection)
: Albedo로 표현되기도 하며, 이는 바닥면으로 향한 Pyranometer에서 산출, 단위 (W/m²)
- 복사량 (Differential Thermal Radiation)
: 바닥면으로 부터의 복사량을 의미하며, 바닥면과 하늘로 향한 Thermalert MID로 온도를 측정하여 Steffan Boltzmann 식에 의해 산출. 단위 (W/m²)

$$Q_r = 5.67 \varepsilon A \left[\left(\frac{T_4}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_5}{100} \right)^4 \right]$$

- 에너지 수지 (Energy balance)
: Net-radiometer를 통해 나오는 값으로 단위는 W/m²이며, 이 값은 Net-radiometer의 상단과 하단에 총파장대에서의 유입되는 열량의 차가 산출되며, 그 차의 의미는 증발산량 및 잠열열량의 합으로 이해
- 증발산량 (Evaporation)
: 냉각효과를 가지는 부분으로 이는 토양의 함수한 량을 통해서 계산하나, 실제 토양부의 함수량을 분단위 또는 시간단위의 측정에 한계가 있음으로 강우량 대비 실험구의 유출량을 계산하여 산정. 1m²의 물은 2400kJ/kg의 열량을 가지며, 이를 환산하면 2.73kWh의 냉각효과를 가짐
- 현열열량 (Sensible Heat)
: 온도의 변화를 유발하는 열량으로서 현열열량은 상부의 식에 의해서 총일사량에서 반사량, 복사량, 증발산량을 감한 값으로 나타남. 단위 (W/m²)

4.2 실험결과

2005년 10월 실험구의 계측기와 온라인 모니터링 시스템이 완성되어 2005년 12월부터 2006년 2월까지의 동절기 데이터를 수집하여 연간 물·에너지 통합 수지 분석을 위한 DB 기반을 구축하였으며, 현재까지 진행 중이다. 다음의 분석데이터는 전형적인 구배를 나타내고 있는 2006년 1월 6일~9일까지 데이터를 분석하였다. 이 기간동안은 낮기온 0°C에서 밤 -12°C 정도의 낮은 기온을 유지하며 맑은 날씨가 지속된 기간이었다. 또한 강우량에 대한 데이터는 1월 12일과 13일에 걸쳐 발생한 강우량을 기준으로 분석하였다.

가. 실험구 모니터링 개략결과

기존의 식재공법을 개선하기 위해 개발된 Prototype01의 경우 기존의 일반적인 녹화옥상 조성공법 대비 약 20%의

공사비 절감과 약 30% 수준의 식재층 조성시간의 절감을 가져올 수 있었다. 하지만 하절기 경과 후 식생의 성장성 검토가 필요할 것으로 판단하며, 차후 세덤 등과 같은 성장조건이 유사한 식물과의 혼합된 식재소재의 적용이 우선 적용되어야 할 것으로 보인다.

초기 우수 저장의 성능을 극대화하기 위한 Prototype02의 경우 다음의 우수유출패턴 분석에서도 알 수 있듯이 최초 강우이후 약 15분 이후에 유출이 시작된 콘크리트 Rooftop과 비교하여 약 3시간가량의 초기 우수유출 지연 효과를 나타내고 있음을 측정결과로 알 수 있다. 이는 집중호우로 인한 초기 우수유출의 집중을 완화시키기 위한 충분한 성능을 발휘하는 것으로 판단된다.

식재플랜의 유지를 목적으로 하는 Prototype03의 경우 기존 일반적인 녹화옥상 조성공법(이입종 개체수 11종) 대비 적은 이입종(개체수 5종)이 발견되었으며 이 또한 3개월 후 자연 도태되는 상황을 관찰 할 수 있었다. 하절기 경과 후 식생의 성장성 및 이입종의 성장상태에 대한 비교 모니터링이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단한다.

나. 온도구배 비교

표면온도는 초기 피복도를 높이기 위해 개선된 식재공법으로 인해 짙은색의 이끼류로 밀실하게 피복된 Prototype 01에서 35K 이상의 가장 높은 변화폭을 가지고 있었으나 모든 실험구에서 내부온도는 12~13K의 적은 변화폭을 유지하여, 시스템 하부의 방수층에 전달되는 온도변화는 모든 시스템에서 유사하게 이루어질 것으로 예상할 수 있다.

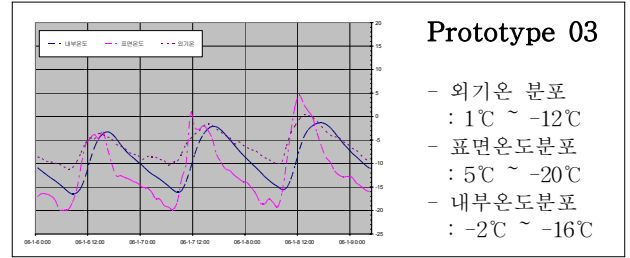
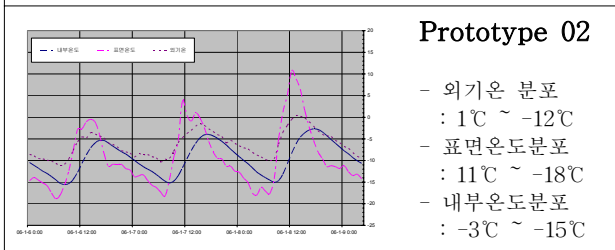
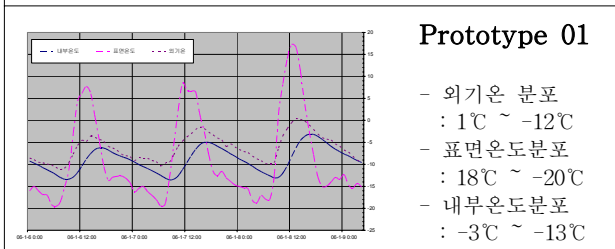
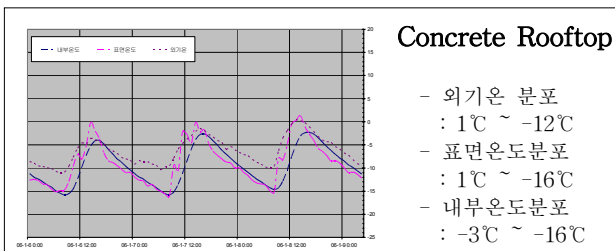


그림 19. 실험구 온도구배

콘크리트 옥상의 경우 표면온도와 내부온도가 거의 2~3K 정도에서 결정되고 있는 모습을 보였으나, GRS의 경우 세 가지 Prototype 모두에서 표면온도와 적계는 5K 많게는 15K 정도의 차이를 보여주고 있어, 이는 외기온과 표면온도에 영향을 식생부와 그 하부에 위치한 합습층으로 인하여 최소화 시키고 있음을 보여주고 있고, 하절기에도 급격한 온도변화에 대하여 최소한의 온도변화를 가져올 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

다. 반사량 비교

콘크리트 표면의 반사량이 다른 실험구에 비해 월등히 측정되었으며, 식생이 전면적으로 피복되어 상부에 노출된 Prototype 01, 02의 경우 콘크리트 대비 약 1/3정도의 반사량을, 포트묘의 식재로 토양층의 노출이 높은 Prototype 03의 경우 약 2/3정도의 반사량을 나타내었다.

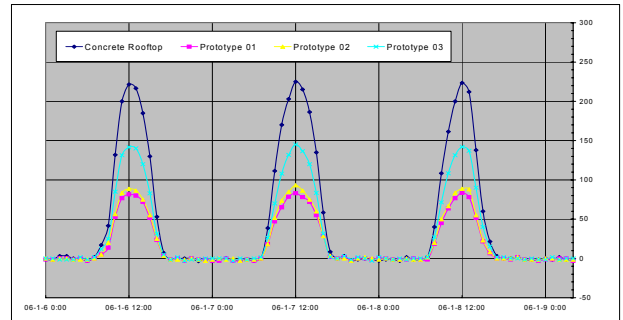


그림 20. 반사량 측정 데이터

콘크리트 표면의 반사량은 실험구를 구축한지 얼마되지 않아 표면의 상태가 양호하고, 콘크리트의 중성화가 진행되지 않아 밝은 회색을 띄고 있어 월등히 높은 반사량을 나타내고 있는 것으로 분석되었으며, 이는 실험구 조성 초기의 반사량과 최근의 반사량의 측정치가 급격히 줄어들고 있는 결과를 통해 유추해 볼 수 있으며, 일반적인 건축물의 경우 또한 시간이 경과됨에 따라 반사량이 감소함에 따라 구체의 표면온도와 하부에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

라. 복사량 비교

복사량은 4개 실험구에서 거의 유사하게 측정되었으나 Prototype 02에서만 약 15~20W 높게 측정되었다.

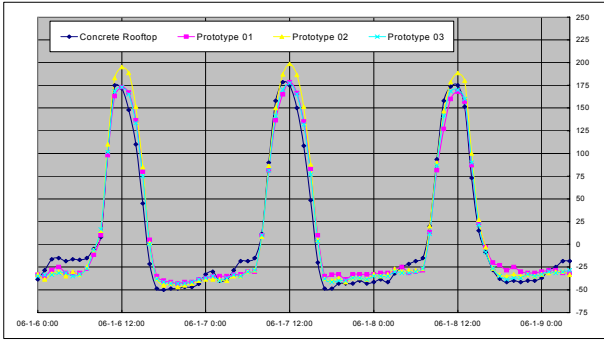


그림 21. 복사량 측정 데이터

Prototype 02에서 표면온도가 높게 측정된 결과 복사량 에너지의 상승을 가져왔을 것으로 판단되며, 동절기인 관계로 식생의 영향이 최소화된 경우로서 일반적인 콘크리트 옥상과의 차이가 그다지 많지 않게 나온 것으로 판단된다. 이는 하절기 표면온도와 복사량의 관계를 비교 분석해보아야 할 것이며, 식생 피복에 따른 영향요소 또한 고려되어야 할 것으로 보인다. 또한 콘크리트 옥상의 경우 높은 반사량을 가짐에도 불구하고 다른 녹화옥상시스템과 유사한 복사량을 가지는 결과가 측정된 경시변화에 따라 반사량이 저감되는 콘크리트 옥상의 경우 복사량은 늘어날 것으로 예상되며, 이는 하절기 열섬현상의 주요 원인으로 작용할 것으로 판단된다.

마. 우수유출량 비교

실험상으로 전체 강우량의 98%를 배출시킨 콘크리트 Rooftop에 비하여 대부분 50% 수준의 강우량만을 배출시키고 있는 것을 발견할 수 있다.

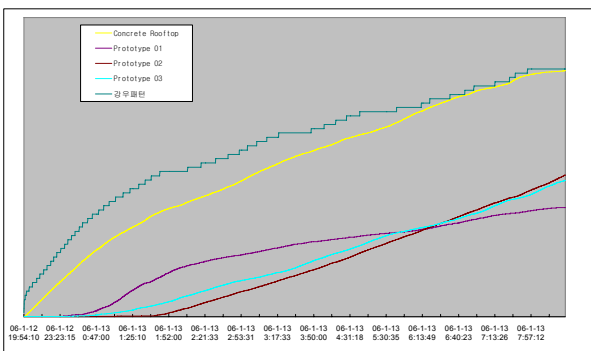


그림 22. 우수유출패턴 측정데이터

초기 우수유출 저감효과의 극대화를 목적으로 조성된 Prototype 02는 그래프에서 알 수 있듯이 우수유출이 가장 늦게 발생하고 있는 것을 발견할 수 있다. 토양대체 소재로 활용된 토양매트가 목표했던 바와 같이 초기의 우수를 대부분 흡수함으로써 다른 Prototype에 비하여 초기 우수유출량이 현저히 감소되었으며, 유출지연효과 역시 우수하게 판명되었다. 강우가 발생한 후 3시간 후부터 유출이 시작된 Prototype 02와 비교하여 다른 Prototype의 초기 유출은 약 75~90분 이후 시작되었다.

Prototype 01에서는 초기우수 저감효과는 다른 공법에

비해 떨어지나 전체 우수유출량 저감에는 다소 효과가 높은 것을 관찰 할 수 있었으며, 이는 식생층의 성장을 위한 보습층 마련을 목적으로 다소 높게 설치된 토양층의 효과라고 예상할 수 있었다.

바. 에너지 수지 평가

다음의 그래프는 계측기에 의해 측정될 수 없는 각 시스템의 현열량을 구하기 위한 중간과정으로 정확한 증발산량 산정의 한계를 감안하여 총일사량에서 반사량과 복사량을 뺀 값을 나타낸 그래프이다.

$$\text{현열량} = \text{총일사량} - (\text{반사량} + \text{복사량}) - \text{증발산량}$$

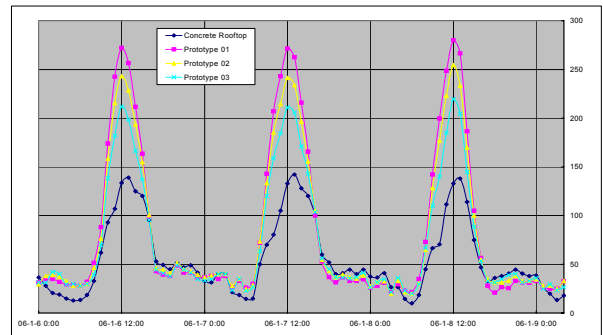


그림 23. 복사 에너지 비교

그래프에서 보이듯이 콘크리트 Rooftop 대비 녹화옥상이 약 2배 이상의 값을 나타내고 있으며, 여기에 앞서 계측된 우수유출량에 따른 증발산량의 예상치를 대입하면 현열의 크기는 콘크리트 대비 약 4배 이상의 크기를 가짐을 예상 할 수 있다. 이는 녹화옥상을 통한 도시기후 냉각효과를 단적으로 보여주고 있는 근거라 할 수 있을 것이며, 이의 정량적인 수치는 냉방기 계측결과를 포함하여 연간의 물·에너지 수지를 산정한 후에 정확하게 산출 가능할 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구방향

일반적인 콘크리트 옥상면의 경우 옥상면의 모든 우수는 Drain을 통해 100% 유출되며 그 유출시간 또한 강우발생과 동시에 유출되기 때문에 그 유량은 도심지 우수관의 부하를 증가시키고 결과적으로 도시홍수를 유발하게 되지만, 이와 같은 녹화옥상을 적용함으로써 우수유출 지연효과에 효과적으로 대응할 수 있다. 또한 옥상부에 함습되는 우수량은 결국 증발산에 의해 건물뿐만 아니라 도시의 국지적인 냉각효과에 기여하여 도시미기후조절에 매우 중요한 역할을 일임하게 된다.

특히 물·에너지수지 분석실험구의 가동을 통해서 가장 큰 의미를 가지게 되는 냉방기 중 증발산량 및 무엇보다도 장마철의 경우 옥상녹화가 도시미기후 조절에 가지는 역할의 정확한 측정을 위해 다음과 같은 방법의 도입이 필요하다. 먼저 토양에 우수유출이 진행되어 강우량 대비 유출량을 감하여 토양층에 저장되는 우수량을 증발산량

으로 산정한다. 하지만 이의 양을 시간대별로 모니터링하기에는 토양의 중량을 매 시간마다 측정하기 어려움으로 인해 한계가 있다. 그러므로 본 실험에서는 한달간의 강우량과 유출량을 통합하여 모니터링하여 그 값을 평균치로 나타내면 냉방기 중 증발산량에 있어 월별로 표준값을 제시할 수 있다.

본 비교실험을 통해서 우리나라의 특성에 적합한 생태적 건물외피로서의 녹화옥상을 구성하여 도시 기후 전반에 미치는 영향을 정량적으로 산출할 수 있는 기반을 마련하였으며, 좀 더 세분화된 분석을 통하여 단위면적에 따른 역량을 산출 가능한 식으로 표현될 수 있도록 연구를 진행하고자 한다.

참고 문헌

1. 한국건설기술연구원, 복합기능 생태적 건물외피 조성기술 개발, 1-3차년도 보고서, 2003-2005
2. 김현수, 한국형 Green Roof System 개발을 위한 Prototype 제안 및 성능실험 연구, 대한건축학회 23권2호, 2003
3. 이건호, 김현수, 옥상녹화부분에서의 IRMA(역전지붕) 활성화를 위한 방안연구, 대한건축학회 24권1호, 2004
4. E. Cziesielski, O. Fechner, H. Merkel, D2 Grundsätze zur Planung von Umkehrdaechern, 2001
5. E. Cziesielski, Umkehrdaecher mit Dow Roofmate MK Trennlage, Berlin, 1999
6. H. Leimer 외, Requirements of inverted roofs with a drainage layer, Explanations to the application of EN ASO 6926 of October 2003 (draft)