

역지붕 녹화옥상시스템[KICT-GRS2004]의 우수유출 특성에 관한 실험적 연구

A Experimental Study on Effluence Characteristic of the Rainfall in the IRMA Green Roof System of KICT

장대희* 김현수** 이건호*** 문수영*
Jang Dae-hee, Kim Hyeon-soo, Lee Keon-ho, Moon Soo-young

Abstract

The Purpose of this study is development and analysis of Effluence Characteristic of the Rainfall in the IRMA Green Roof System(developed in KICT)

Plus 50 program is an internal research project at KICT(Korean Institute of Construction Technology) which has it as an object ; to lengthen the building's life 50-year or more and reduce energy conception 50% than present. Green roof system is one of the most important theme in the Plus 50 program. Generally, a Green Roof System has a positive effect on the thermal conductivity in winter, the micro cooling effect on building and city by evaporation in summer, the flood-control effect by runoff-reduction or the treated rainwater-quality of green roof system and so on. However, inspection of the physical effect of green roof system does not consider in Korea. Above all, long-term monitoring and a whole observation of green roof system is needed to probate the effect. So a new experimental method could be tried in this research, which is never attempted in Korea. The measurement by a bucket with a great volume, 1L, gives a new dimension of measuring green roof effect to measure the permanent running flood from a wide roof. This offers a reasonable result on a long-term measuring of a running water. Additionally, the thermal behavior of the IRMA(Insulated Roof Membrane Assembly), known in the western europe as a reasonable solution at green roof system by economical benefits and easy construction, would be experimented.

키워드 : 옥상녹화, 옥상시공, 역지붕, 도시기후조절, 열성능

Keywords : green roof, roof construction, IRMA, city-climate-control, thermal conductivity

1. 서론

90년대 중반 이후 단순한 옥상조경을 벗어나 시스템적인 접근을 바탕으로 이루어진 옥상녹화시스템의 개념은 어느덧 도시미기후 조절 및 도심지속 근접녹지 조성의 실질적 대안의 하나로 자리를 잡아 가고 있으며, 기존 건축물의 옥상녹화시스템은 서울시의 옥상녹화 지원사업에 힘입어 어느 정도 수준의 보급화에까지 이르고 있다.¹⁾ 그러나 신축건축물에서 옥상녹화가 건물외피 일부로서의 기능뿐만 아니라 생태적 기능까지 보유하고 있는 기능성 옥상마감의 대안으로서 구조체를 제외한 단열 및 방수, 녹화시스템이 일체화 되어 적용되기 시작한 것은 불과 1여년전으로 한국건설기술연구원에서 시범사업으로 실시한 영등포크로바아파트 재건축현장의 노인정 옥상부가 최초의 사례로 파악되고 있다.²⁾ 물론 이전의 사례로서 '복도주택'³⁾과 같이 초기시공부터 계획되어 건물의 외피를 구성한 사례는 약20여년전부터 존재하여 왔으나, 기존 사례와 차별화되도록 일반적으로 현장에서 적용되는 누름콘크리트가 타설되는 외단열 공법을 대체할 수 있도록

개발된 개념으로서, 기존 외단열 공법에 있어 단열층을 보호하기 위한 무근콘크리트층을 대체하여 토양층과 식재층으로 마무리된 공법을 설계 초기부터 건물외피로서의 성능적인 측면과 기능적 역할을 생태적인 시스템과 일체화 시킨 사례라 할 수 있다.⁴⁾

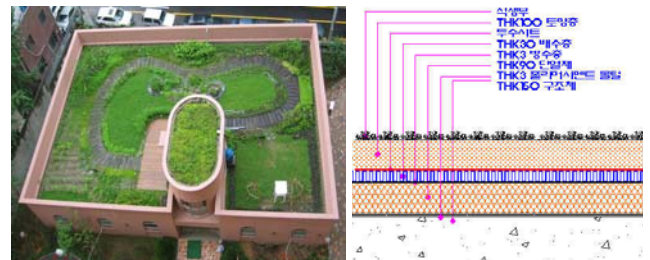


그림 1. D-아파트에 적용된 기존외단열 대체 GRS 현장 및 디테일

- 1) 김현수 외, 건물옥상녹화 학술용역, 서울시, 2000
- 2) 김현수, 이진호, 장대희, 문수영, 복합기능 생태적 건물외피 조성 기술 개발, 한국건설기술연구원, 2003
- 3) 이시웅, 우리나라 복도주택의 실례, 대한건축학회 건물에너지 위원회 논문집, 1985.
- 4) 전개서, 본 시스템은 KICT-GRS2003으로 명명되었다.

* 정희원, 한국건설기술연구원, 건축연구부, 연구원
** 정희원, 한국건설기술연구원, 건축연구부, 수석연구원
*** 정희원, 한국건설기술연구원, 건축연구부, 선임연구원

본 연구는 현재 한국건설기술연구원의 기본연구사업으로 진행중인 “Plus50 환경공생빌딩 조성 기술 개발”의 세부과제 중 하나인 “복합기능 생태적 건물외피 조성 기술 개발”의 일환으로 이루어진 연구 내용의 일부로서 진행되었다. 특히 유럽과 미국의 시공현장에서 기상변화에 민감한 옥상부공사의 약점을 개선하면서 합리적인 시공으로 인한 공기단축과 내구성 향상에 의한 수명연장 등으로 경제성 또한 입증되어 가장 널리 자리 잡고 있는 역지붕(IRMA : Insulated Roof Membrane Assembly)과 녹화옥상(GRS : Green Roof System)의 일체화를 통한 국내적 현실 적용 방안을 목표로 개발된 KICT-GRS2004 Proto-type의 개발방향과 이를 활용한 녹화옥상의 우수유출 특성에 대한 연구가 포함하고 있다.

적용 대상에 관계없이 옥상녹화라는 용어의 사용이 일반적이거나, 본 연구에서는 기술적 관점의 차이를 분명히 하기 위해 ‘옥상 녹화(Roof planting)’와 ‘녹화 옥상(Green roof)’ 용어를 구분하여 사용하였다. 그래서, ‘옥상 녹화’를 이미 건축된 건물의 옥상에 녹화시스템을 추가하는 기술로 구분하고, ‘녹화 옥상’ 건축 기술은 구조물과 녹화시스템이 일체화된 생태적 건물외피시스템 기술로서의 의미를 구분하여 사용하였다. 이 녹화옥상시스템은 장기적으로 국내에서도 선진적 녹화공법으로서 향후에 자리잡게 될 것이라는 전망아래 뚜렷한 사계절과 하절기에 집중되는 강우특성을 보여주는 국내의 기후적 여건과 단순히 옥상부 마감후 덧붙여지는 조경공사의 일부나 방수 하자의 원인으로 치부되고 있는 국내 옥상녹화의 시공현황 여건을 고려하여 한국적 현실에 적합한 공법으로 개발하여 역지붕 녹화옥상시스템을 활성화하기 위함이며, 이와 함께 시스템의 적용에 따른 우수유출 특성을 분석함으로써 궁극적으로 옥상녹화가 도시미기후조절이나 홍수억제기능의 차원에서 어떠한 효과를 지니고 있는지 보다 총체적인 관점에서 살펴볼 수 있도록 그 성능을 계측하는 방법론과 부분적인 결과치를 제시하고자 한다.

1.2 연구방법 및 내용

본 연구의 목적은 역지붕형 녹화옥상시스템이 가지는 다양한 효과 중 초기우수제어능력을 평가할 수 있는 우수유출량 측정을 위한 실험 방법론의 제시와 그 결과치를 계측하기 위한 과정정립 그리고, 역지붕 옥상녹화의 우수유출특성을 도출하는데에 있다. 이를 위하여 역지붕의 이해와 개발하고자 하는 역지붕형 녹화옥상시스템의 구성요소에 관한 특성을 분석하고, 우수유출 저감효과 및 유출특성 분석을 위한 새로운 실험방법론의 제시와 그에 따라 현재까지 진행된 데이터를 분석하여 실험 결과치의 분석을 연구 내용으로 포함하고 있다.

연구의 대상으로 조성된 실험구는 한국건설기술연구원 층간소음실험동의 옥상부(약 140m²)에 설치되었으며, 옥상부를 두 개의 구역(각 70m²)로 나누어 One-layer 및 Two-layer 두 가지 역지붕 공법을 동시에 실험할 수 있도록 구축하여 모니터링 하였다.

본 실험구는 독일베를린공대의 응용수자원연구소가 물

· 에너지수지 분석을 위해 베를린과 리오에 구축한 실험구와 연구성과의 공유를 위하여 시공되었으며, 이들 실험구와는 차별화되는 시스템으로 정확한 물수지 분석뿐만 아니라 IRMA GRS의 특성연구도 공동으로 수행할 수 있도록 새로운 개념의 실험장비들을 도입하여 국내 최초로 녹화옥상의 효과에 대한 체계적 분석이 가능한 실험구를 구축하였다.



그림 2. 베를린공대에서 구축한 Ufa-Fabrik내의 옥상녹화실험구

2. KICT-GRS2004의 개요

2.1 기존 옥상구조의 문제 및 해결방안

건물의 표피를 구성하는 방수층이 외기에 노출되면 직달일사에 의한 변형과 건축자재의 노화를 촉진시키는 자외선에 의해 또는 연중 외기의 극심한 온도변화에 따른 균열과 열화 등으로 인한 표면층 파손 등의 하자발생 원인을 제공된다. 비슷한 이유에서 기존의 누름콘크리트층의 노화로 인한 균열발생은 건물의 단열성능 저하 뿐만 아니라 구조적으로도 매우 치명적인 결과를 가져올 수 있으며, 그 균열 및 성능저하로 인한 상부층의 곰팡이 및 결로 등의 발생은 고질적인 하자 요인으로 대두되고 있다.



그림 3. 기존외단열공법 표준상세도, 대한주택공사

국내에서 적용되고 있는 외단열 공법은 일반적으로 누름콘크리트가 타설되는 부분을 제외하고는 구조적으로 역지붕 구조를 따르고 있으며, 방수층 또한 단열층 하부에 위치하여 급격한 외기온의 변화에 노출되지 않아 방수층의 내구성 증진에는 탁월한 효과를 지니고 있지만, 일반적으로 국외에서 적용되고 있는 역지붕 기준에는 미치지 못하고 있다. 특히 상부의 누름콘크리트는 지속적으로 외기에 노출되어 계절에 따른 온도변화로 균열에 노출되기 쉬우며, 단열재 상부에 누름콘크리트 타설을 위해 설치되는 폴리에틸렌 필름 2겹은 누름층의 균열 등으로 인해 단열층으로의 수분 침투가 완벽하게 차단되지 않음

며, 이는 EPS계 비드법단열재가 항상 수분에 노출되어 단열성능의 급격한 저하를 유발하게 된다.

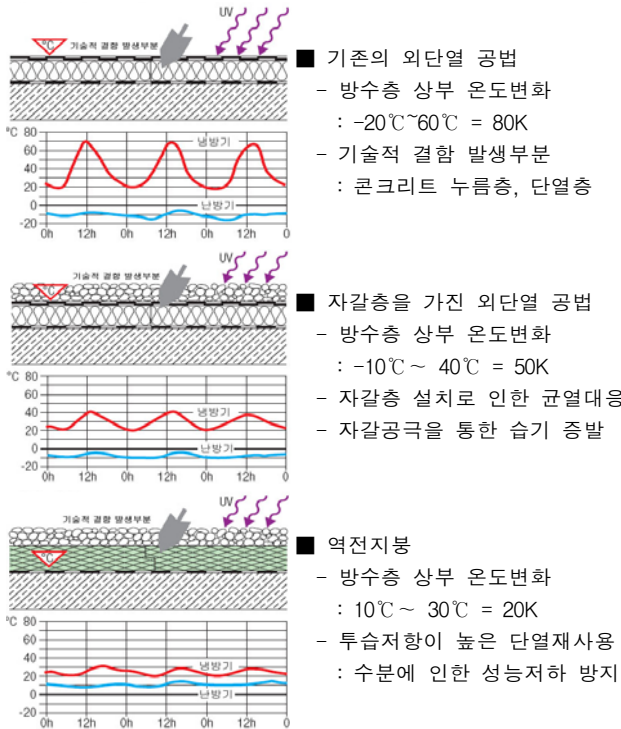


그림 4. 각 구조별 옥상부 계절별 표면온도변화

출처 : www.basf.de/basf/html/plastics/images/sst/11_KIESD.PDF

앞의 그림 4. 에서처럼 외기에 노출된 방수층에서의 연간 온도변화가 80K에 이르면 기존의 방수층이 자신의 역할을 달성하지 못하고, 그 이하의 조건에서보다 내구성이 저하되는 것은 당연한 결과라 할 수 있다.⁵⁾ 이런 이유로 인해 국내에서는 신공법에 속하는 역지붕 공법은 단열재의 하부에 방수층이 위치하여 기본적으로는 외단열의 물리적 장점은 유지되면서 건물의 표피를 구성하는 방수층은 단열재에 의해 보호를 받아 자외선 및 외기가 효과적으로 차단됨과 동시에 방수층표면의 온도변화가 노출방수의 80K에 비해 연간 20K 안팎에 이르러, 이로 인해 방수층의 수명이 독일 연구자료에 의하면 최소 40년 이상으로 연장된다는 기술자료가 나오고 있으며, 구조적 단순함은 시공의 편리함과 동시에 옥상부 공기단축에도 기여하게 된다.

2.2 역지붕 녹화옥상의 이해

역지붕 구축시 구조적 측면에서는 자외선차단 및 연간 80K 이상의 온도변화로부터 방수층이 보호되며, 단열재 하부에 방수층이 설치됨으로 인해 습기차단기능을 수행하여 추가적인 방수층의 구축이 불필요하다는 것이며, 그리고 무엇보다도 구조가 간단하여 시공이 단순하다.⁶⁾ 이

로 인한 이점은 결국 비용의 문제와 직결되며, 기상변화에 영향을 적게 받음으로 공기단축으로 인한 경비절감이 가능하고, 또한 XPS(압출법단열재)와 같은 내구성이 좋은 단열재의 경우는 재활용도 가능하다. 무엇보다도 대략 20년으로 예측하는 기존옥상 대비 역지붕의 방수수명은 통상적으로 40년 이상으로 연장될 수 있으며, 실제로는 그보다 더 많은 기간이 경과한다 하더라도 하자발생의 문제가 극히 드물게 발견되고 있다.

이러한 역지붕 구조의 장점을 최대한 확보한 상태에서 건물외피에 생태적 기능을 부가하기 위하여 보호층의 소재를 녹화층으로 구성한 것이 역지붕 녹화옥상으로, 기존의 옥상녹화 시스템과는 차별화되어 구체와 일체화되는 건축물의 외피를 구성하게 된다. 역지붕 구조로 시공되었던 기존의 시스템에서 보호층의 역할로서는 콘크리트 보호층과는 달리 외부조건에 따른 균열의 발생소지가 없어야 하며, 단열재를 통과하여 방수층까지 침투된 수분이 증발 가능한 투습소재로 구성되어야 한다. 이러한 요건을 충족시키고 옥상녹화의 장점을 적용함으로써 역지붕형 녹화옥상을 구성하게 된다.

일반적으로 알려져 있는 역지붕에서의 단점은 난방기 중에 단열층으로 침투하는 수분에 의한 열손실 증가 또는 이로 인해 발생 가능한 동파우려이다. 하지만 일반적인 역지붕 기준에 따라 시공된 경우, 단열층의 틈새가 최소화되어 시공되고, 침투된 수분은 매우 얇은 층을 형성하기 때문에 실질적인 열손실이 과다하지 않으며 또한 외기온도가 -10°C 이하인 경우에도 표면부의 온도는 식생층과 토양층의 영향으로 영하로 내려가게 되는 경우가 없음으로 동파의 염려 또한 없게 된다.

2.3 KICT-GRS2004 Prototype 개발방향

개별적인 요소기술적인 검토와 적용 가능한 국내의 재료적 비교분석을 통해 향후 국내에서 가장 합리적으로 적용 가능한 역지붕 녹화옥상시스템의 Prototype 개발방향을 One-layer 그리고 Two-layer system으로 제안하며, 그에 상응하는 기술적인 특징을 다음과 같이 도출하였다.

· 구조체 :

국내 공동주택 시공현장에서 보편적으로 시공되고 있는 옥상부로서 콘크리트슬래브를 전제로 하고 있으며, 일반적인 시공현장의 경우 구조체 상부에 무근콘크리트를 사용하여 구배를 조정하고 있지만, 가장 이상적인 구조로서는 방수층이 상부에 바로 시공될 수 있도록 구조체 자체에 구배를 가지도록 시공되는 것이 바람직하다.

· 면고르기 :

기본적으로 2%이상의 구배를 전제로 하고, 구조체가 구배를 가지고 있지 않아 별도의 구배층이 필요로 할때는 수용성 아크릴 수지와 포틀랜드 시멘트를 1대1 비율로 혼합한 폴리머시멘트 모르터를 사용하여 단순한 면고

5) 이 연구는 BASF사의 연구결과로서 연중 월평균기온의 차가 20K 정도에 달하는 독일의 경우를 의미하며, 서울의 경우는 약28K에 근접함으로 실제 발생가능한 부정적 영향은 독일의 경우보다 치명적이라 하겠다.

6) www.ecocasa.de/ecocasa/bauratgeber_daemmstoffe.asp

르기 기능을 넘어서 배수와 구배조정, 방수재와의 바인딩 및 습기차단 등의 복합적인 기능을 수행하도록 조정한다.

• 방수층 :

단열층에 의해 보호받게 됨으로 다양한 공법의 방수층의 시공이 가능하나 가능한 장기적인 관점에서 내구성의 보장과 수밀성, 내화학적, 내약품성 등에 있어서 유리한 시트방수 또는 복합방수층의 적용이 이상적으로 판단되며, 특히 파라펫부분 시공시에는 방수층이 난간상단까지 시공하여 방수 취약부분으로 알려져 있는 파라펫 연결부의 방수능력이 확보되도록 하고, 옥상드레인부와의 접합을 일체화하여 하자 발생요인을 최소화 하는 것이 바람직하다.

• 단열층 :

독일기준(DIN)에서는 폐쇄형 구조로서 투습저항이 높고 수증기에 강하여 장기적으로는 내구성확보에 유리한 쉘구조를 가진 압출법 단열재(XPS)만을 역지붕 적용에 허용하고 있다. DIN기준을 만족하는 국내의 단열재료는 열전도율이 0.027W/m²K 이하 그리고 압축강도가 25N/cm 이상인 가급 특호 압출법단열재이다. 특히 단열판의 Edge 부분에 Tongue & Groove형 또는 Schip-Lap형의 단이 있어 별도로 기밀성이 강화될 수 있는 구조가 유리하며, 특히 80mm 이상 건축물에너지절약 설계기준에 따라 단열 성능을 보강해야 할 경우에는 가능한 40mm 두 판을 겹쳐서 설치함으로 연결부위를 통한 열교발생 가능성을 최소화 하고, 아랫판은 가로방향으로 그리고 상판은 세로방향으로 엇갈리게 설치함으로써 기밀성 개선에 유리하도록 시공한다.

• 분리층 :

두께가 매우 얇은 초박형 구조로서, 투습저항이 0.10×10⁻⁹(m²×s×Pa)/Kg 수준으로, 적용시 상부로부터의 유입되는 우수량은 최소화하면서 하부로부터 발생하는 수증기는 상부로 배출할 수 있는 구조로 이루어진 소재이며, 역지붕 구조에서 방수층까지 스며든 습기를 배출하여 단열층의 함습을 방지하는 매우 중요한 역할을 한다. 방수 시공시와 마찬가지로 분리층도 파라펫부분 시공시 적어도 토양층 상부 150mm 이상 또는 난간상단까지 시공 되는 것이 우수유입을 효과적으로 차단할 수 있다.

• (배수층) :

EnkaDrain 또는 드레인보드과 같은 기본적인 배수기능을 수행할 수 있는 층으로서, EnkaDrain은 최소 5mm부터 그리고 드레인보드는 10mm부터 적용 가능하며 옥상부 면적이 넓을수록 효과적인 배수를 위해 두께를 증가시키는 것이 유리하다. 하지만 하부로부터 발생하는 수증기를 효과적으로 통과시키기 위해서는 플라스틱 판형으로 된 드레인보드 보다는 상하부가 부직포로 이루어진 Enkadrain이 습기 통과에 유리하다.

배수층 조성시 일반 옥상마감과 마찬가지로 설계도면

또는 공사시방에서 별도로 정한 수준의 구배 상태와 루프 드레인 개수 및 환경에 적합하도록 구성되어 있는 것을 전제조건으로 선택한다.

• 토양층 :

저관리형의 Extensive 개념의 옥상녹화층 확보를 위해 필요한 최저 두께로서 100mm의 토양층을 적용하며, 유기물 토양을 적당량 섞는다. One-layer System의 경우에는 필라이트계의 배수토양을 아랫부분에 30mm 가량 도포하는 것이 배수층 제외로 인한 단열층 상부에서의 배수 기능 저하를 방지할 수 있는 방안이라 하겠다.

실험에 사용된 토양층은 유기물성분의 이탄토와 수질 개선을 위한 지오라이트, 그리고 0.5~3mm의 마사토를 20:25:55로 섞어 유기물양과 배수 및 보습을 위한 입도를 조정된 토양층을 사용하였다.

• 식생층 :

뿌리가 깊지 않고 키가 작은 세덤류와 같은 식생이 비교적 관리적 측면에서도 용이하며, 또한 자연토양 적용시 유기물에 의한 염분피해 증상이 없는 식물로서 가능한 뿌리의 발달로 확산되기 보다는 얇게 그리고 수평으로 퍼지면서 생장하는 천근성 식물위주 및 다육질 식물로 무관수 및 저관리형의 식생을 선별하여 적용한다.

• 점검구 :

일반적인 옥상마감공법에 비해 낙엽이나 기타 이물질로 인해 드레인의 점검이 더욱 요구되어지므로, 손쉽게 유지관리가 가능한 덮개가 달린 점검구를 설치하여야 한다.

위의 요소기술별 특징을 토대로 한국건설기술연구원은 역지붕에 대한 기본대안을 One-layer 그리고 Two-layer system 으로서 개발 제시하고, 이를 KICT-GRS2004로 명명하였다.

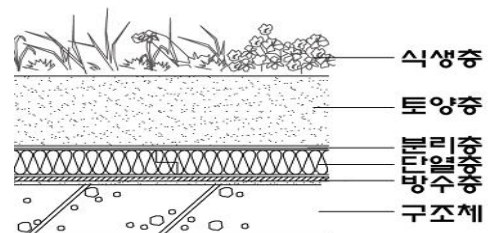


그림 9. One-Layer System

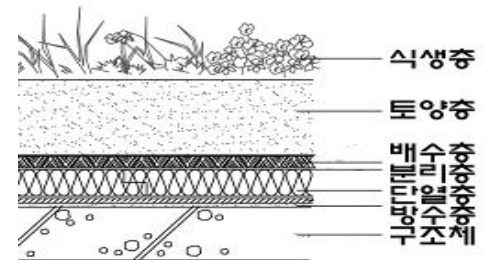


그림 5. Two-Layer system

두 가지 대안의 가장 큰 기술적 차이는 배수층 조성방법에 있다. One-layer System은 단열층 상부에 분리막을 설치하고 배수토양을 이용한 배수층 상부에 토양층과 식생층을 설치한 구조이며, Two-layer System의 경우는 분리막과 토양층의 사이에 배수관(EnkaDrain)을 활용한 배수층을 두는 구조이다. 두 개의 시스템에 차이를 줌으로써 어떠한 우수유출 특성을 나타내는지 알아보기 위한 목적으로 다른 배수층 소재를 활용하였다.



그림 7. 백엽상 및 우량계 현황

3. 우수유출 저감효과 및 유출 특성 분석

3.1 실험구 조성 및 개요

본 실험구는 앞서 제안된 One-layer 및 Two-layer의 두 가지 역지붕 녹화옥상시스템에 유입되는 강우량과 유출유량을 분석하여 개별적인 물순환 수지를 분석하고자 조성되었다.

두 가지 방식의 녹화시스템을 한국건설기술연구원내의 바닥충격음실험동 상부에 적용 시험시공 하였으며, 공사는 2004년 6월 5일 시작되어, 6월 10일 완공되었다.

다음의 그림을 통해 본 공사의 진행과정을 간략하게 살펴 볼 수 있다.



그림 6. 실험구 조성 Process

3.2 실험방법론의 제시

계측기의 안전한 보관을 위하여 실험구의 중앙에 백엽상을 설치하여, 데이터로거, 강우량계 및 펄스카운터와 같은 실험장비들을 배치하였다. 양측면부 중앙에는 배수구가 설치되어 있으며, 여기의 하단부에 대용량 Bucket과 강우량계를 설치하고, 옥상상단부에 별도로 외기온도 및 강우량 그리고 녹화옥상 구성 요소내 온도측정을 수행할 수 있는 여건을 조성하였으나 총괄적인 에너지수지 분석은 본 연구의 범위에서는 포함하지 않기로 하였다.

본 실험구의 계측에서 가장 주목할 만한 부분은 유출량의 측정에 사용된 대용량 1L Bucket의 적용에 있다. 통상 소면적의 경우라도 강우가 많으면 합리적 규모의 유량계가 필요하다. 예를 들어 10㎡의 콘크리트 옥상부에 시간당 강우 10mm가 발생하면 100L의 유량이 발생하여 유량계를 통과하게 되는데, 이의 측정을 위해 국내 기존 연구에서는 0.01L 강우량계가 적용되었다. 이의 경우 시간당 측정되는 횟수는 10000회로서 분당 1800회가 측정되어 초당 30회 가량이 측정될 수 있어야 한다. 하지만 이 측정기는 초당 1회 이상을 넘어가면 실제로 정확한 결과를 얻기가 힘들기 때문에 10㎡ 대해서도 30기 이상의 강우량계가 필요하게 된다. 만약 용량 1L짜리 Bucket을 사용하면 분당 18회가 측정되며, 이는 약 3초당 1회가 측정되는 분량으로 계측상의 무리 없는 이상적 작동이 가능하다.

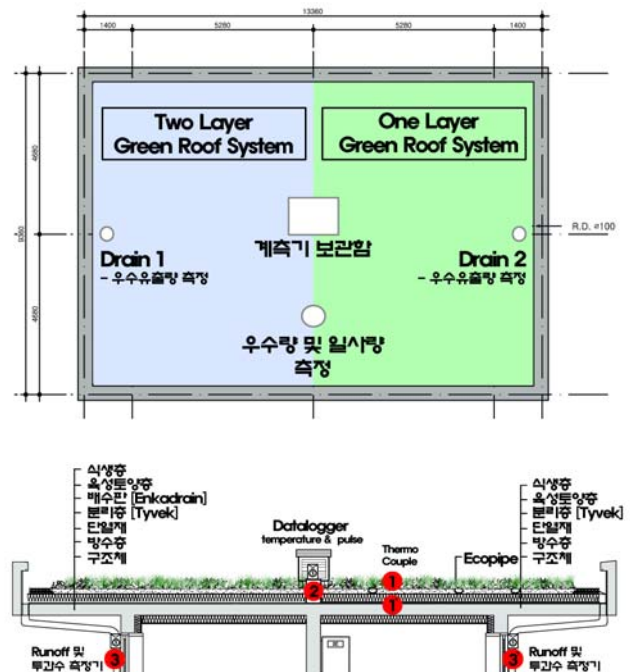


그림 8. 실험구 세팅 개념도

표 1. 실험기기 세팅 현황¹⁾

측정점	측정항목	측정방식	비고
1. 1'	건구온도	열전대	
2.	강우량	강우량계	국지적 강우량 측정
	데이터로거	펄스카운트	Hobo Event Logger
3.	유량	1L 버킷(2기)	분리막 상부
	유량	강우량계(2기)	방수층 상부
비고	열전대	총 8 Ch 소요	SQ800 1기
	데이터로거	총 5 Ch 소요	

또한 통상적으로 압력 또는 높이센서를 적용하여 유량을 측정할 경우 저장을 위한 별도의 저장고가 필요하며, 저장고에 우수가 가득 차기 전에 저장고가 다시 비워져야 함으로 간이실험과 같은 단기간의 실험에는 가능하였지만, 옥상녹화면의 물수지분석과 같이 별도의 관리 없이 장기간 유량 측정이 요구될 때에는 합리적 대안이 되지 못한다. 그러므로 1L대용량 Bucket의 적용은 1년 이상의 장기실험을 목적으로 할 경우에 있어 좋은 대안이라 할 수 있다.⁷⁾



그림 9. 1L대용량 Bucket, 강우량계 그리고 Puls-Counter가 적용된 실험기기부 전경

Bucket의 유량을 측정하는 계측기로는 Onset사의 Hobo Event Logger를 사용하였다. 기존의 카운트는 대부분 용량상의 한계(32~64Kb)와 단위시간당 발생횟수를 감지하여 저장하는 시스템으로 장기적인 맥락에서 접근하기에 문제점이 있었다. 하지만 여기에서 적용된 Hobo카운트는 이런 불편함을 개선하여, 유량발생이 일어나지 않을 경우에는 Standby 상태를 유지하며, 실제 강우 발생시에만 그 발생시각을 최소 1초단위로 신호를 보내는 방식으로 매우 효율적인 데이터 처리시스템을 구축하고 있다. 실제 용량은 32Kb의 기존 시스템의 용량과 비슷하지만 통상 한번 세팅 후에는 약 2~3년 별도의 관리없이 지속될 수 있는 장점이 있다. - 기존의 pulscounter는 분당으

7) 여기서 적용된 유량계는 독일 UGT사의 제품이며, Bucket은 설치상황에 따라 특히 높이에 의해 유속의 변화가 발생하여 이로 인한 오차가 발생함으로 이의 감증을 위해 독일전문가와 현장 검교정을 실시하였으며, 1L용으로 생산된 본 Bucket의 경우 한국건설기술연구원 층간소음실험동의 본 실험구에서는 현장 검교정 결과 0.9L용량으로 판명되었다.

로 계산할 경우 1년에 525Kb가 소요되어 32Kb용량으로 적용할 경우 한달에 한번이상 데이터 전송이 필요하게 되는 불편함이 있는 반면에, 본 실험구에 적용된 pulscount로 실험할 경우 본 실험구에서 옥상녹화를 거쳐 강우량의 70%를 유출하게 될 경우 27.3Kb만 소요됨으로 실제 본 실험기기를 1년이상 장기간 모니터링이 가능한 시스템으로 구성할 수 있다.

3.3 실험 내용

앞서 제시했던 역전지붕의 단점으로 지적되었던 단열층 하부로 스며든 우수의 유출에 의한 열손실을 측정하기 위하여 우수의 온도와 유출수의 온도를 측정하여 발생하는 열손실을 측정할 수 있지만, 본 연구의 범위에서는 이 부분을 제외하고 유출수의 양만을 측정하여 유출 경향을 분석하는 것으로 한정하였다.

우수유출량의 산정시 가장 중요한 역할을 하는 변수는 녹화옥상의 토양층에서 합습하게 되는 유량과 하부로 배출되는 유량의 크기산정이다. 옥상면적에 대비하여 발생한 전체강우량(m_r)은 유출된 유량(m_f+m_w)과 녹화옥상층이 합습하는 유량(m_s)의 합으로 나타난다. 결국 합습되는 유량은 도시미기후조절을 유도하는 중요한 측도임과 동시에 국지적인 집중호우시 발생할 수 있는 홍수를 효과적으로 제어할 수 있는 기반이 된다. 기존 연구상에서⁸⁾ 통상적으로 연간 우수의 약 70% 이상이 토양에 저장됨을 가정할 때, 토양층에서의 저장 우수량(m_s)은 유출되는 유량 ($m_f + m_w$)에 비해 훨씬 많을 것으로 예상된다.⁹⁾

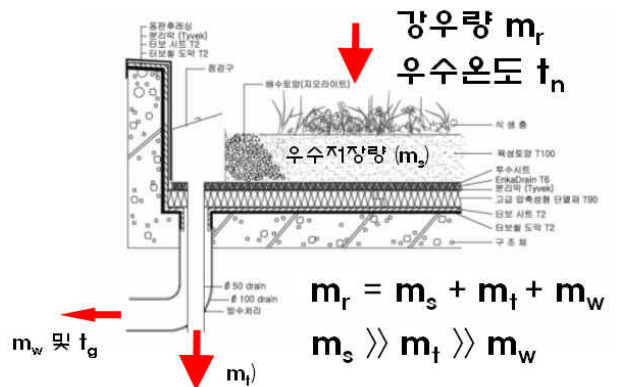


그림 10. 옥상녹화에서 강우 수지분석

- m_r, t_g : 강우량 및 우수온도
- m_s : 토양층의 우수저장량
- m_f : (단열재상부) 분리층 상부에서 유출되는 유량
- m_w, t_g : (단열재하부) 방수층 상부에서 유출되는 유량 및 온도

8) 김현수 외, 그린타운 개발사업 4, 1999

9) 실제에 있어서 옥상녹화부에 저장되는 우수량은 토양층뿐만 아니라 그 하부구조, 즉 단열체를 중심으로 부분적으로 적체되는 우수량은 실제 그 양이 커지는 않더라도 하부로 유출되지 않으므로 이는 옥상녹화시스템에 저장되는 우수량으로 산정한다.

3.4 우수유출량 측정 결과

앞서 제시된 실험장비와 실험방법을 통한 본 실험의 결과는 다음의 그래프와 같으며, 2004년 9월 13일부터 12월 27일까지의 강우량을 합산하여 측정한 결과이다.

우리나라 평균 연강우량인 1,200mm중 2/3를 차지하고 있는 장마기간과 봄철 우기를 제외하더라도 비교적 꽤 많은 양인 약 285mm의 강우량이 측정되었으며, 이례적으로 이틀에 걸쳐 100mm이상의 강우가 측정된 사례도 발생하였다.

그래프에서 보는 바와 같이 전체 강우량 측면에서 약 55%만을 유출시켜 녹화옥상을 통해 증발산량을 증가시킨 결과를 볼 수 있으며, 두 가지 type의 녹화옥상에서는 유출특성에 영향을 미칠 수 있는 배수성과 함습성능의 분석이 가능하였다. 또한 배수성능의 경우 강우의 유형에 따라 집중강우와 간헐적 강우로 분류하여 토양이 함습하고 있는 수분의 유무에 따라 배수성능과 함습성능의 상관관계를 분석하여 보았다.

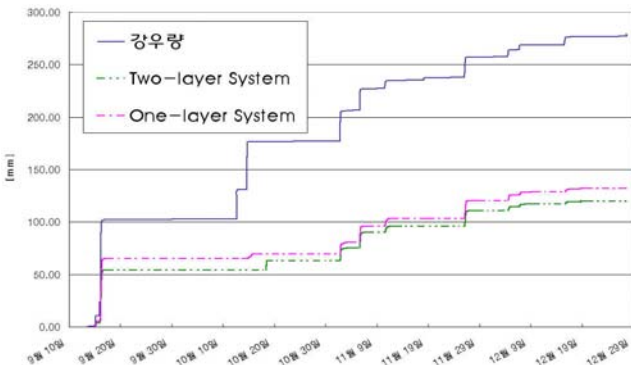


그림 11. 누적 강우량 및 유출량 [2004년 9월 13일 ~ 12월 27일]

(1) 배수성능

배수성능은 식생층의 성장상태에 지대한 영향을 끼칠 수 있다. 배수성능의 저하는 토양층의 수분 함유기간을 연장시켜 식생의 뿌리가 부패하게 되고, 반대의 경우 옥상녹화의 우수유출 저감 및 지연효과를 저감시켜, 적절한 수준의 배수성능을 확보하는 것은 시스템 구성에 있어 중요한 변수로 작용하고 있다. 배수층을 배수토양으로 구성한 One-layer는 배수판으로 구성된 Two-layer보다 배수성능은 떨어지지만 분리막 상부에서의 Run-off 속도를 낮추고 있는 현상을 관찰할 수 있었다. 이는 토양층을 통과한 우수가 Two-layer에서는 배수판을 통해 빠른 속도로 유출되는 것에 비해 One-layer에는 배수토양을 통과함과 동시에 Drain으로 유출되기까지 배수토양에 의해 진로를 방해받게 되어 유속이 감소되고 있기 때문으로 분석된다.

다음의 그래프는 옥상녹화가 초기우수에 대응하고 있는 부분을 도식화 한 것으로 두 가지 특징적인 상황으로 상태를 비교해 볼 수 있다.

가. 소량의 강우 연속 발생시 유출경향

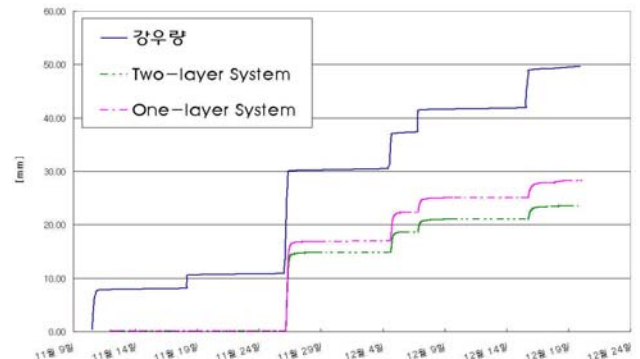


그림 12. 지속적인 강우에 대한 GRS의 우수유출 경향

위의 그래프는 2004년 11월 14일부터 12월 24일까지의 결과로서, 건조상태의 옥상녹화 시공면에 강우가 발생한 후 약 3시간 30분 이후 우수의 유출이 이루어지기 시작한 것을 보여주고 있으며, 강우가 멈춘 후 지속적으로 소량씩 배출하고 있는 상황을 나타내고 있다.

이는 녹화옥상의 유출시간 저감효과를 보여주고 있는 결과로서 녹화옥상 면적과 토양의 깊이가 변수로 작용하여 다양한 결과치를 나타낼 수 있지만, 현 실험구의 토양층 10cm만으로도 40일간 발생한 약 50mm의 강우를 유출저감 및 유출시간 저하 효과를 나타내고 있음을 보여주고 있으며, 이는 우수관거의 부하 산정시 적지않은 영향을 미칠 수 있는 요소로 작용할 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

나. 집중강우 발생시 유출경향

2004년 9월 15일의 측정치로서 하루 전 내린 강우에 의해 토양이 이미 함습하고 있는 상태에서 지속적인 강우가 발생한 경우 유출 증가율은 급격히 증가하고 있으나, 총량적인 개념에서는 약 60%만을 유출하고 있음을 알 수 있다. 우리나라와 같이 여름철 집중강우의 발생빈도가 높은 지역에서는 불리할 수도 있으며, 이러한 경우를 대비한 배수성능의 적절한 조정이 필요할 것으로 판단된다.

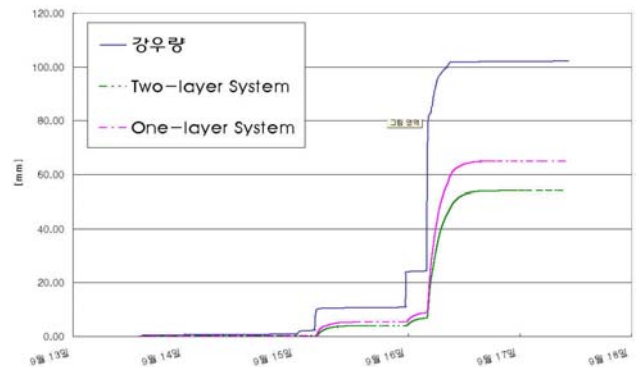


그림 13. 집중강우 발생시 GRS의 우수유출 경향

(2) 흡습성능

흡습성능은 토양층의 건조여부에 따라 커다란 차이를 나타내고 있다. 또한 배수성능 및 토양층의 입도 등 다양한 변수의 작용으로 인해 객관적인 성능치를 도출할 수는 없지만, 현 실험구의 조성방식에 따라 이루어진 녹화옥상의 경우 실험측정 초반부 건조되어 있던 토양층에 강우가 발생하였을 때는 최고 82%의 우수유출을 약 1시간가량 지연시키고 있음을 알 수 있었으며, 이어 계속되는 강우에 의해 유출량은 급격하게 증가하였지만, 총량적으로 약 55%의 우수를 흡습하고 있음을 관찰 할 수 있었다.

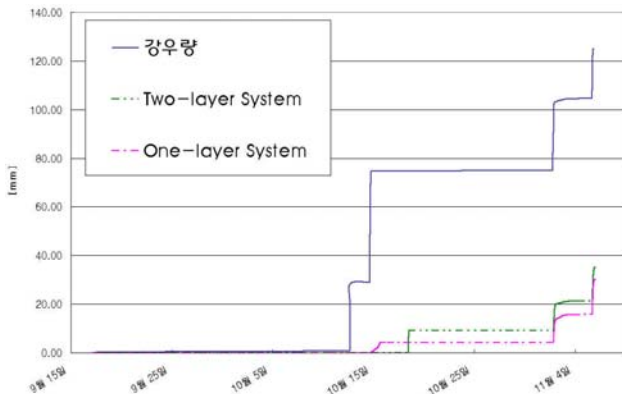


그림 14. 간헐적 강우에 대한 GRS의 우수유출경향

특히 위의 2004년 9월 17일부터 11월 5일까지의 유출 경향을 분석한 결과는 앞서 말한 사실의 효과를 극명하게 보여주고 있다. 약 한달간의 간헐적인 강우에 대한 유출량은 전혀 나타나고 있지 않았으며, 10월 14일에 내린 집중강우에도 장기간의 토양층의 건조로 인해 10% 이내의 우수만을 유출시키고 있음을 보여주고 있다. 또한 별도의 배수층을 가진 Two-Layer의 경우 배수토양으로 이루어진 One-Layer와 달리 집중강우시 유출지연이나 배수성능에서 유리한 경향을 보여주었다. 간헐적인 우수의 경우 대부분의 우수를 흡습하여 Drain을 통해 최소 3%만을 유출하는 경우도 관찰 할 수 있었다.

전체적으로 같은 두께를 가지는 두 개의 시스템은 10 mm 배수판의 적용으로 인해 상대적으로 토양층을 두껍게 가지고 있는 Two-layer에서 더 많은 양의 우수를 흡습하여 유출량을 감소시키고 있음을 알 수 있다.

4. 결론 및 향후 연구방향

일반적인 콘크리트 옥상면의 경우 옥상면의 모든 우수 는 Drain을 통해 100% 유출되며 그 유출시간 또한 강우가 내림과 동시에 유출되기 때문에 그 유량은 도심지 우수관의 부하를 증가시키고 결과적으로 도시홍수를 유발하게 되지만, 이와 같은 녹화옥상을 적용함으로써 우수유출 지연효과 즉, 우수가 단시간내 일시에 유출되지 않게 작용함으로써 최소 30분 이상의 유출지연효과를 얻을 수 있으며, 이는 도심지 우수유출저감에 효과적인 대응방안으로 활용될 수 있을 것으로 판단한다.

차후 에너지부분의 순환수지분석을 통하여 옥상부에 흡습되는 우수량이 증발산에 의해 건물뿐만 아니라 도시의 국지적인 냉각효과에 얼마나 기여할 수 있는지 정량적인 결과치를 얻어낼 수 것으로 본다.

본 실험에서는 2004년 하반기의 우수유출 특성만이 다루어졌으며 현재 2005년 상반기 모니터링이 진행중에 있다. 이를 통하여 우리나라의 특성에 적합한 생태적 건물외피로서의 녹화옥상을 구성하여 연간 강우량에 따른 우수유출 특성을 분석할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것으로 기대한다.

참고 문헌

1. 한국건설기술연구원, 복합기능 생태적 건물외피 조성기술 개발, 1,2차년도 보고서, 2003/2004
2. 김현수, 한국형 Green Roof System 개발을 위한 Prototype 제안 및 성능실험 연구, 대한건축학회 23권2호, 2003
3. 이시용, 우리나라 복토주택의 실태, 대한건축학회 건물에너지위원회 논문집, 1985
4. 이건호, 김현수, 옥상녹화부분에서의 IRMA(역전지붕) 활성화를 위한 방안연구, 대한건축학회 24권1호, 2004
5. 권시원, 김영삼, 박규성, 오상근, 건축물 옥상녹화를 위한 방수 기술 개발의 필요성에 관한 검토, 방수재료 및 공법을 중심으로, 대한건축학회, 23권2호, 2003
6. E. Cziesielski, O. Fechner, H. Merkel, D2 Grundsätze zur Planung von Umkehrdaechern, 2001
7. E. Cziesielski, Umkehrdaecher mit Dow Roofmate MK Trennlage, Berlin, 1999
8. H. Leimer 외, Requirements of inverted roofs with a drainage layer, Explanations to the application of EN ASO 6926 of October 2003 (draft)
9. www.dimagb.de/info/bautec/grndac01.html
"Begrünte Umkehrdaecher haben sich in der Praxis bewährt."