

블록형 패넬을 이용한 옥상녹화 하부시스템의 건식화·일체화 시공기술에 대한 실험적 연구

An Experimental Study of the Dried and Unified Execution Technology for the Sub-Organization of the Green Roofs System using the Panel of Block Type

문 유 석*	장 상 목**	홍 채 호***	차 윤 정****	오 상 근*****
Moon, You-Seok	Jang, Sang-Muk	Hong, chae-ho	Cha, Yun-Jung	Oh, Sang-Keun

Abstract

Recently, the green roofs market is active, but most constructors use former waterproofing method. So there are a lot of problems in the sub-organization of the green roofs system. I studied to use the block panel for the sub-organization of the green roofs system and I tested about the effectiveness of waterproofing, root barrier, drainage, and insulation. I have not found any problems about waterproofing, root barrier, drainage, and insulation in the results. The sub-organization of the green roofs system using the block panel is effective for waterproofing, root barrier, drainage, and insulation. We can apply it to the dried and unified execution technology.

키 워 드 : 옥상녹화, 하부시스템, 건식화, 일체화, 방수, 방근
Keywords : Green Roofs, Sub-Organization, Dried, Unified, Waterproofing, Root barrier

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 서울과 같은 대도시에서는 급속한 경제성장과 더불어 녹지가 서서히 줄어들고 있으며, 이에 따라 현대도시에서는 건물이 차지하는 면적이 점차 늘어만 가고 있는 실정이다.

이러한 도시의 녹지공간 부족으로 인한 온난화 현상은 도심지 열섬화 현상이 빈발함으로 인해 에너지 소비측면에서 여름철에는 냉방부하가 급격히 증가하고 있다.

최근 우리나라에서도 기후환경 변화의 중요성을 인식하여, 도심지 녹화공간 조성에 신경을 쓰고 있고, 이미 선진 외국에서는 80년대 초 이러한 도시 미관을 복구하고자 옥상녹화 사업을 시행하여 왔다. 옥상녹화를 생태계의 복원과 도시 열섬화 완화와 도심기후의 조절, 소음감소효과 등 생태적인 도시환경을 조성하기 위한 대표적인 방법으로 인식하면서 서울시 등에서는 적극적으로 기존의 건축물 옥상에 옥상녹화를 시행하였으나 옥상녹화에 대한 이해부족으로 큰 효과는 거두지 못하고 있다.

따라서 그동안 옥상녹화의 시공에 따른 문제점으로써 복잡한 녹화층 하부구조를 보완 및 개선해 봄으로써 향후 국내의

옥상녹화 하부시스템 구성의 기술적 변화를 유도하기 위한 기초 자료로서 활용하고자 본 연구를 수행하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 기존의 문헌 및 현장조사 등을 통해 기존 옥상녹화에 있어서의 하부시스템 시공상 문제점(용재 및 화기의 사용, 방수, 방근, 배수층의 설치 구성의 복잡함, 유지관리의 어려움)을 파악하고 이를 개선하여 보다 건식화·일체화되어 개발되어진 블록형의 ABS수지 패넬시스템(이하 ‘블록형 패넬’이라 함) 적용성을 판단하기 위한 기초 자료로 활용하고자 한다. 따라서 블록형 패넬의 공법적 성능확인을 위해 방수성능 시험내방근성 시험, 배수성능 시험, 단열성능 시험을 실시하여 본 재료 및 공법에 대한 각각의 내구성과 옥상녹화 하부시스템의 적용에 있어서의 안정성확보 여부를 검토 하였다.

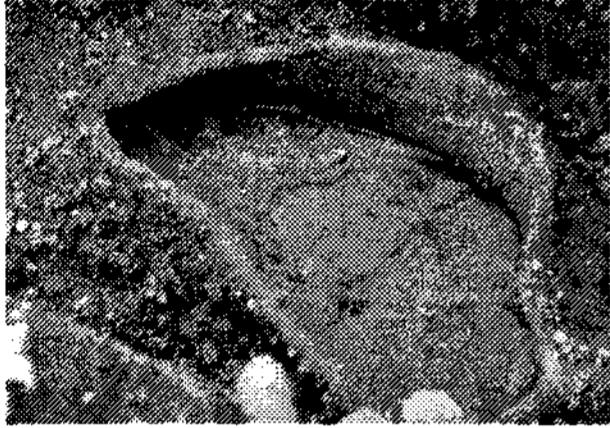
2. 옥상녹화 하부시스템의 현황 분석

2.1 기존 옥상녹화 하부시스템의 문제점

기존의 옥상녹화시스템은 내·외단열 모두가 방수층이 식생층, 토양층, 배수층, 보호누름층의 하부에 위치하므로 방수층의 손상 및 이상이 발생하였을 경우 녹화시스템 전반에 매우 심각하고 치명적인 피해에 따라 이를 보수하기 위해서 상부 녹화시스템의 전면적인 철거가 불가피하였다. 이러한 방수층의 손상은 녹화시스템 전반에 매우 심각하고 치명적인 피해를 주고 있

* 서울산업대학교 산업대학원 석사과정, 정회원
 ** 서울산업대학교 주택대학원 석사과정, 정회원
 *** 건용건설(주) 과장, 정회원
 **** 건용건설(주) 대표이사, 정회원
 ***** 서울산업대학교 건축학부 교수, 정회원

는 실정이다. 그리고 옥상녹화 하부시스템 시공에 있어 복잡한 구성으로 시공기한이 오래 걸리며 옥상녹화 방수시공을 하기 위하여 갖춰져야 할 부수기자재(버너, 블록 등)가 많다. 또한, 용제의 사용과 방수재를 용융함에 있어 작업자들이 고열에 대한 아무런 보호 장구 없이 노출되어 있으며, 자칫 작업자의 부주의로 기름 탱크 및 인화물질에 의해 화재가 발생한다면 큰 대형사고로까지 이어질 수 있으므로 보다 안정적이고 체계적인 시공방안이 요구되어 진다.



▲ 값싼 기술에 따른 재료열화



▲ 이물질에 의한 배수 불량



▲ 식물뿌리에 의한 방수층(우레탄 도막, 고무시트) 뚫림 현상



사진 1. 옥상녹화 하부시스템의 재료적 문제점



▲ 유기용제의 사용



▲ 복잡한 구성 체계

사진 2. 옥상녹화 하부시스템의 시공 및 기술적 문제점

2.2 옥상녹화 하부시스템의 문제점의 대안

2.1항에서 검토한 옥상녹화 하부시스템의 문제점을 분석한 결과 이를 해결하기 위해서는 다음 (1)~(3)의 사항에 대해 중점적으로 검토해야 한다.

(1) 옥상녹화 하부시스템의 안정성 확보를 위해서는 방수·방근 성능을 향상시키는 것이 최우선적 과제이며, 이를 위해서는 방수층으로 적용되는 재료가 기본적으로 방근성능을 확보할 수 있는 재질특성을 가져야하며, 시공기술에 있어서도 전식화로의 개념전환이 필요하다.

(2) 방수층을 옥상슬래브에 밀착하여 시공하던 기존 방식을 지양하고 슬래브면에서 일정높이로 띄우는 이중바닥방식을 적용할 경우 그 하부를 다목적 공간(단열, 진단용 장비운용, 유지관리 등)으로 이용할 수 있으며, 만약의 하자 발생시 기존 방식에서 처럼 옥상녹화 시스템을 전면적으로 철거하지 않고 부분보수를 통한 성능회복이 용이해 진다.

(3) 옥상녹화 하부시스템에 적용되는 여러 가지 기능(방수,

방근, 배수, 단열, 저수기능 등)을 통합할 수 있는 일체화 시공 기술의 적용이 필요하며, 이를 통해 기존 시공과정의 복잡성에 따른 공사비 증가, 시공하자 발생, 공기지연 등의 문제점을 해결할 수 있다.

3. 옥상녹화 하부시스템의 구성 형태

3.1 옥상녹화 하부시스템의 개발 목표

본 연구의 블록형 패널 옥상녹화 하부시스템은 옥상에 이중바닥 구조물을 설치하여 종래와 같이 옥상 슬래브 바닥으로 침투하려는 물을 강제적으로 막아내는 방식이 아닌 물을 각 패널의 배수로 쪽으로 자연스럽게 유도하여 배출시킬 수 있도록 구성됨으로써 방수시설 공사의 공정을 단순화함과 동시에 공사비용을 절감할 수 있는 목표를 두고 있다.

특히 본 이중바닥방식의 공법에 의해 형성되어지는 하부 공간으로 누수점검에 따른 유지관리를 할 수 있도록 하고, 반영구적인 유지보수를 가능케 할 뿐만 아니라 방수층의 내구연한을 증가시키고, 옥상 녹화에 최적의 유리한 조건을 확보할 수 있는 효과를 갖도록 하며, 방수층의 하자 발생을 원천적으로 방지하여 보다 효율적이고 경제적인 옥상녹화를 실현할 수 있도록 한다.

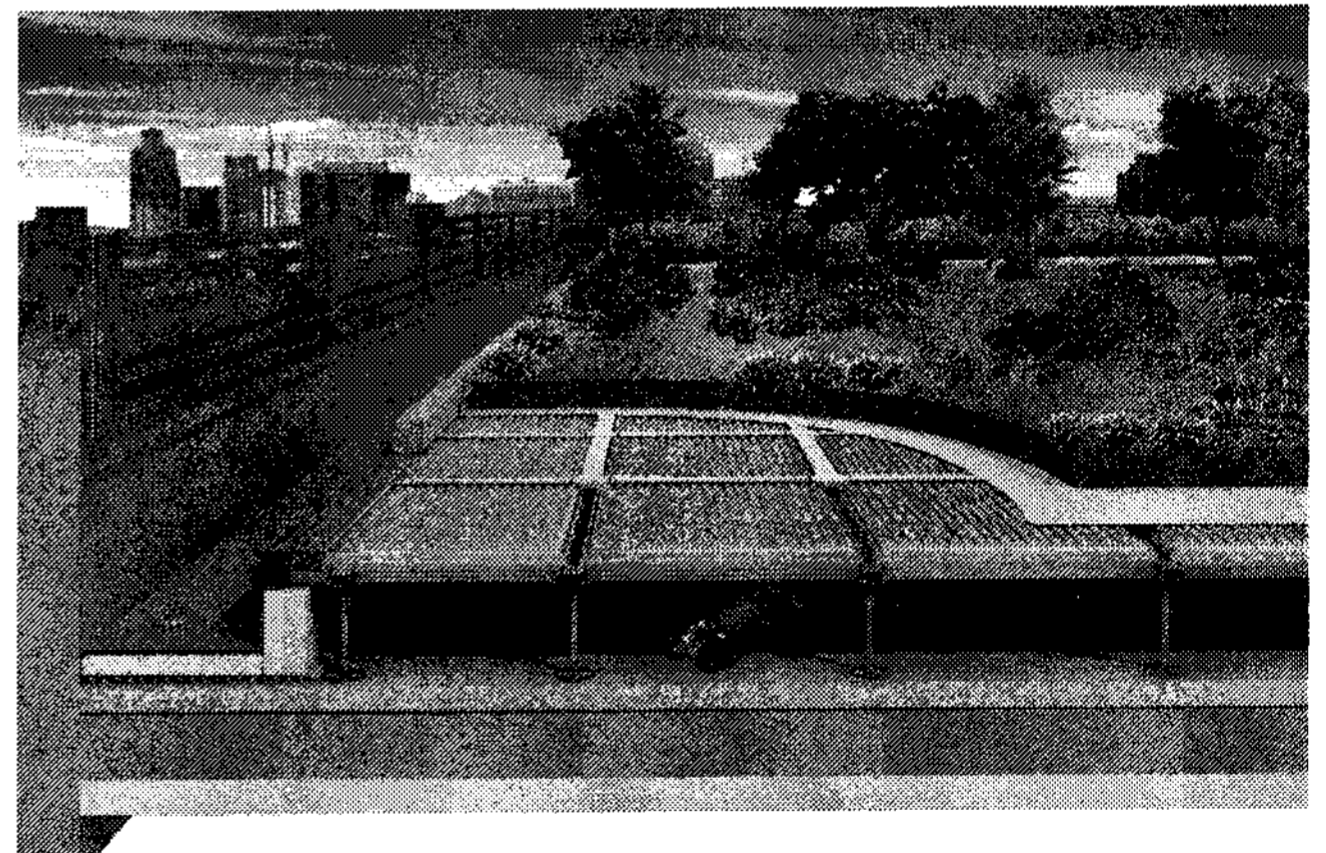


그림 1. 블록형 패널을 이용한 옥상녹화 하부시스템 설치 개념도

3.2 옥상녹화 하부시스템의 공법적 요구성능

3.2.1 방수성능

이중바닥 방식의 옥상녹화 방수공법은 ABS수지의 패널을 사용하여 상부 토양층 및 외부 충격으로부터 방수층을 보호하여야 하며, 패널간의 맞댐 조인트부는 두께 10mm이상의 실란트층은 온도변화에 따른 수축·팽창과 구조체의 거동, 녹화 상부진동에 대한 패널들간의 움직임이 보다 유연하게 대응할 수 있는 탄성 및 방수성능을 갖추어야 한다.

3.2.2 방근성능

패널의 상부 플레이트는 두께 3mm의 ABS 수지를 사용하여 방근성을 확보하고, 패널과 패널 조인트부는 우레탄계 실란트를 시공한후, ABS수지로 된 조인트바와 조인트스퀘어를 그 상부에 설치하여 식물 뿌리에 대한 방근성을 보완해야 한다.

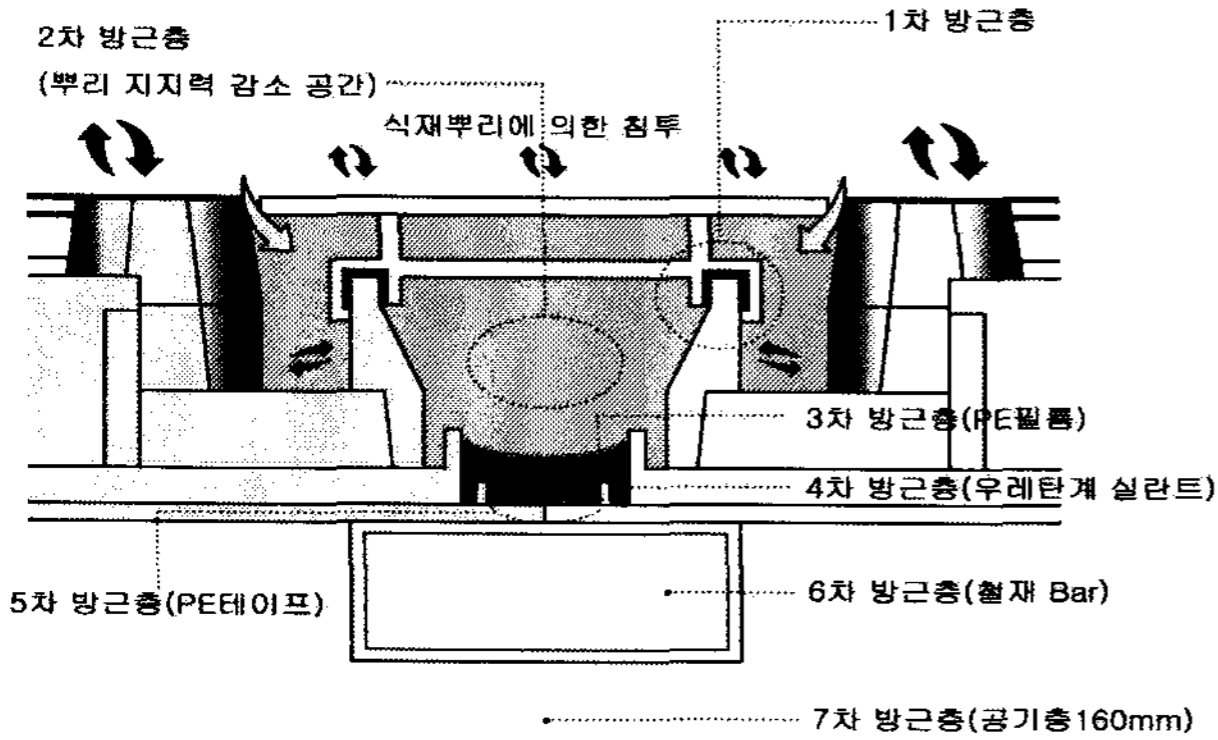


그림 2. 패널 조인트부의 7단계 방근 시스템 구성도

3.2.3 배수성능

배수시스템은 경량골재 또는 별도의 배수판을 설치하던 기존의 방식 보다는 방수·방근층의 일체형 구성과 그 상면에 U 〇형의 돌기를 형성하여 토양층을 통해 흘러들어온 강우를 패널의 양끝으로 신속히 배수할 수 있는 배수기능을 확보하는 것이 좋다.

3.2.4 단열성능

이중바닥 방식의 옥상녹화 하부시스템의 단열성능 확보를 위해서는 콘크리트 구조체와 약 15cm 이상의 간격을 두어 공기층을 형성하며, 패널 상부에는 토양 및 식재를 시공함으로써 표면결로·내부결로 및 열손실량을 최대한 줄일 수 있어야 한다.

4. 옥상녹화 하부 시스템공법의 성능평가

본 장에서는 옥상녹화 하부시스템에 대한 시공기술의 옥상녹화적용에 따라 요구되어지는 항목에 대한 성능평가로써 제 3장에서 제시된 4가지 공법적 요구성능인 방수성능, 방근성능, 배수성능, 단열성능에 대해 성능평가 하였다.

4.1 방수성능시험

방수성능 시험은 옥상녹화 하부 패널 조인트부에 사용되는 우레탄계 실란트를 시험체로 하여 구조물 거동 대응 시험 후 투수성능 시험을 하여 방수여부를 평가하였다.

구조물 거동시험은 KS F 4935에 의거하여 우레탄계 실란트를 $\varnothing 100 \times 30\text{mm}$ 크기의 시험체 중앙을 $\varnothing 40\text{mm}$ 크기로 구멍을 뚫은 곳에 모래 10mm를 채우고 중심을 맞춰 거동봉을 세운 후 실링재를 주입하였다. 단, 모래와 실링재가 세지 않도록하기 위해 $\varnothing 100 \times 3\text{mm}$ 시험체 밑에 100mm, 180g/m²의 부직포를 에폭시본드로 부착하였다. 모든 시험이 준비되면 거동봉으로 0~5mm의 확대 축소를 1분에 1회의 비율로 총 600회를 실시할 수 있는 만능인장시험기를 이용하여 시험을 실시하였다. 거동 성능 시험이 끝난 후에는 투수 시험기 Out-Put방식을 이용하여 0.1N/mm²의 수압으로 1시간 동안 정치하여 투수여부를 판단하였다.

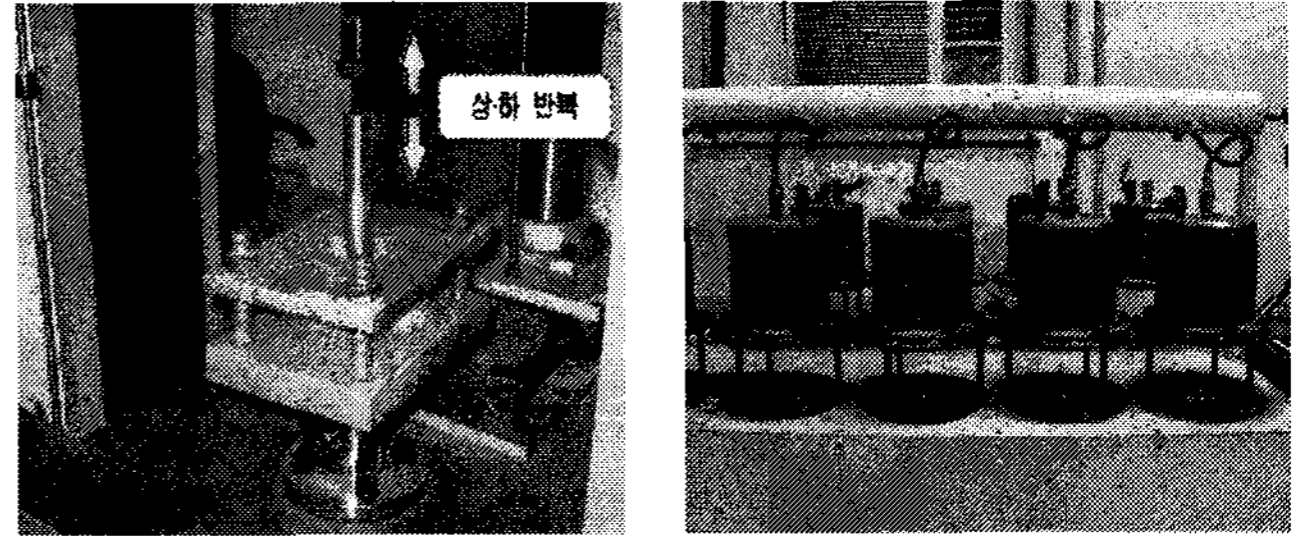


사진 3. 투수성능 시험현황

우레탄계 실란트의 내투수성 시험결과 표 1과 같이 0.1N/mm²의 수압을 1시간 가한 후 시험체 표면의 합습 여부를 확인한 결과 방수 도막층 안으로 수분의 흔적이 발견되지 않았다.

표 1. 구조물 거동 대응성 후 투수 시험 결과

구 분	순 번	시험결과	성능 기준 (KS F 4935)
우레탄계 실란트	①	투수 되지 않음	투수 되지 않음
	②	투수 되지 않음	
	③	투수 되지 않음	

4.2 내방근성능 중간 성능시험

시험체는 ABS 수지와 우레탄계 실란트가 조인트 처리된 하부패널로 구성 되었다. 본 시험체는 70cm×70cm로 패널 4조각을 십자 조인트 처리하여 식재시공에 따른 시간의 경과(4개월, 6개월, 12개월)에 따라 방근성능을 알아보고자 한다. 본 시험에서는 4개월이 경과된 식재의 내방근성을 측정하였다.

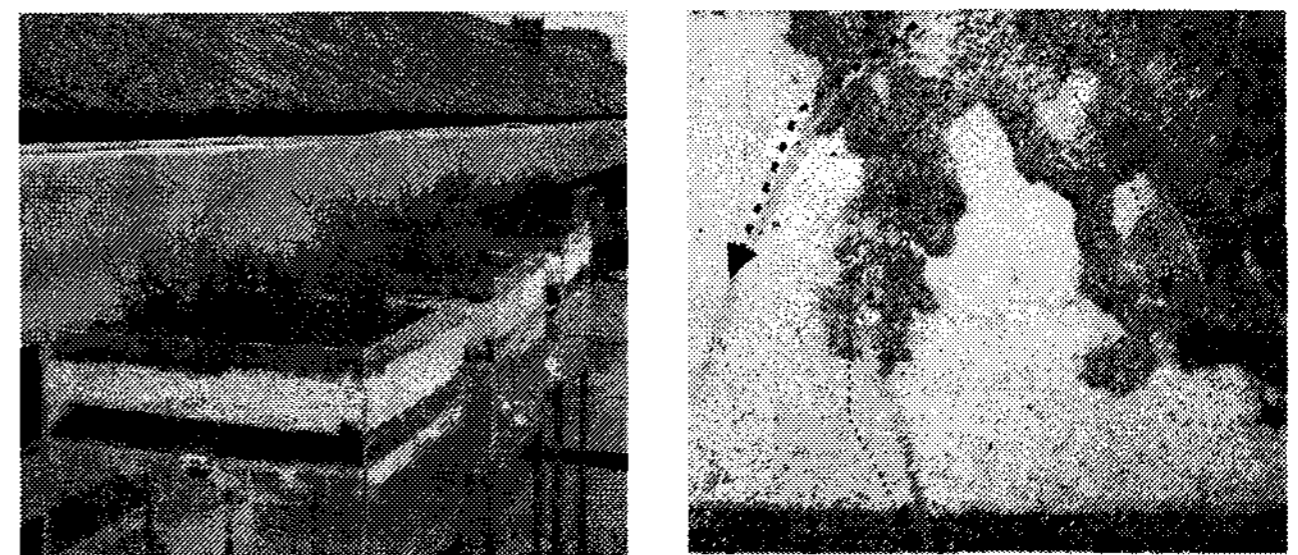
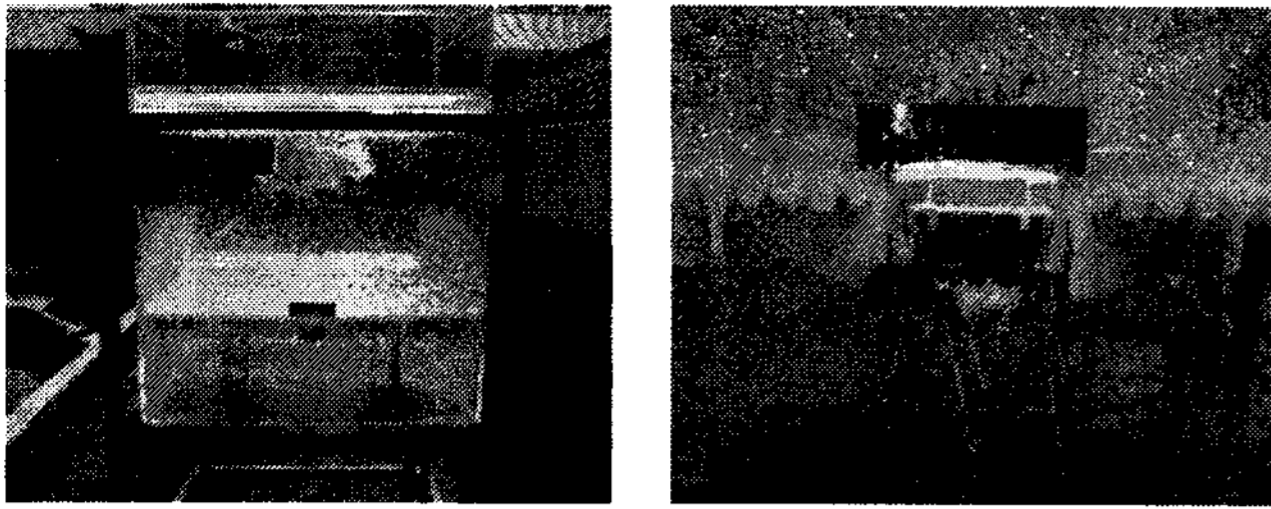


사진 4. 방근성 시험현황 및 결과

설치된 3개의 시험체 중 최초 설치 후 4개월 경과된 시험체를 해체하여 확인된 결과 식재의 뿌리가 토양속 부직포를 통과한 후 ABS수지 패널부와 접촉하였으나 4차의 방근성능 시스템과 ABS 수지의 치밀한 물성으로 인해 뚫지 못하고, 측면의 흠을 따라 그 진행 방향을 잃고 수평으로 불규칙하게 이동하였다.

4.3 배수성능시험

본 패널공법의 배수성능 시험은 총 3가지(패널부, 패널+부직포부, 패널+부직포+식재)로 시험하였다. 강수량은 여유율 50%를 감안한 국내 최대강수량을 200mm/Hour·cm²로 가상 설정하여 배수성능을 측정하였다.



▲ 배수성능 시험현황 ▲ 배수로를 통한 배수
사진 5. 배수성능 시험현황 및 결과

배수성능 측정 결과 패널부 및 패널+부직포, 패널+부직포+식재 시공부 모두 배수성능 저하에 따른 경량토의 부유와 이에 따른 식재의 전도가 발견되지 않는 것으로 확인되었다.

4.4 단열성능시험

단열성능시험은 시험체(옥상녹화)를 일조 조건이 좋은 곳에 시공하며, 시험체 제작은 본 공법의 옥상녹화시스템과 동일하게 시공하였다.

단열 성능시험에 따른 온도 측정부는 옥상녹화부 4 곳과 옥상녹화부 하부 슬래브의 4 곳으로 크게 나눌수 있다. 옥상녹화 측정부는 총 4개부로서(온도 1: 콘크리트 표면부, 온도 2: 옥상녹화 상부, 온도 3: 패널 상부, 온도 4: 옥상녹화 하부) 측정하였다. 또한, 옥상녹화 하부의 온도 측정부는(온도 5: 옥상녹화 하부 실내 온·습도, 온도 6: 비 옥상녹화 하부 실내 온·습도)로 측정하였으며 그 외 실내 내벽의 온도측정과 슬래브층의 온도측정으로 각각 비교 측정하였다.

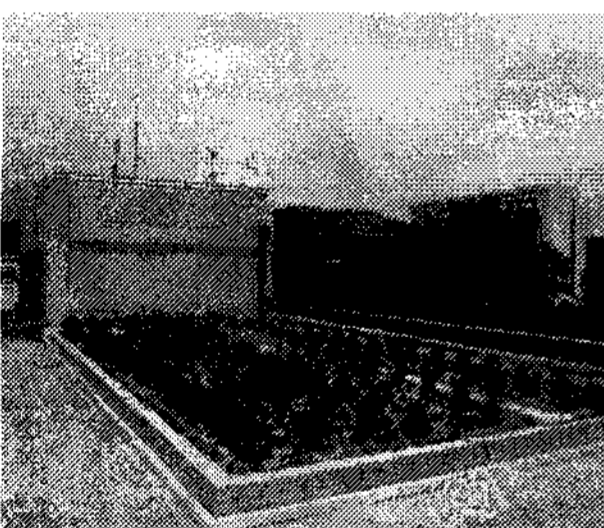


사진 6. 단열성능 시험 현황

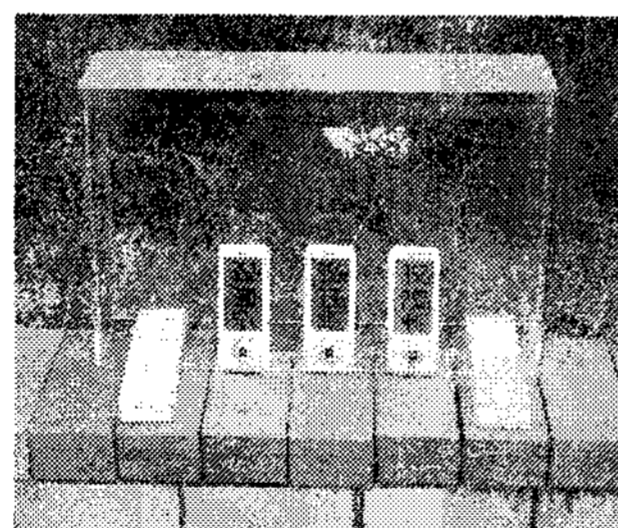


사진 7. 온도센서 모니터부

옥상녹화에 따른 단열성능시험결과는 아래의 (1)~(3)과 같다.

(1) 옥상녹화층 부위별 단열성능에 따른 시험결과 비옥상녹화 외부 콘크리트면과 옥상녹화되어진 상부의 온도 차이가 최대 약 5℃까지 차이가 나는 것으로 각각 측정되었다.

(2) 옥상녹화부 하부 온·습도가 비 옥상녹화부 하부보다 온도 약 0.6℃, 습도 약 3%가량 낮게 측정되었다.

(3) 옥상녹화가 시공되어진 하부의 실내 및 슬래브, 내벽의 단열성능은 옥상녹화되어진 슬래브가 비 녹화층 슬래브와 약 8℃ 이상의 온도 차이를 보였다. 내벽의 온도 또한 7℃ 이상의 차이를 보였다.

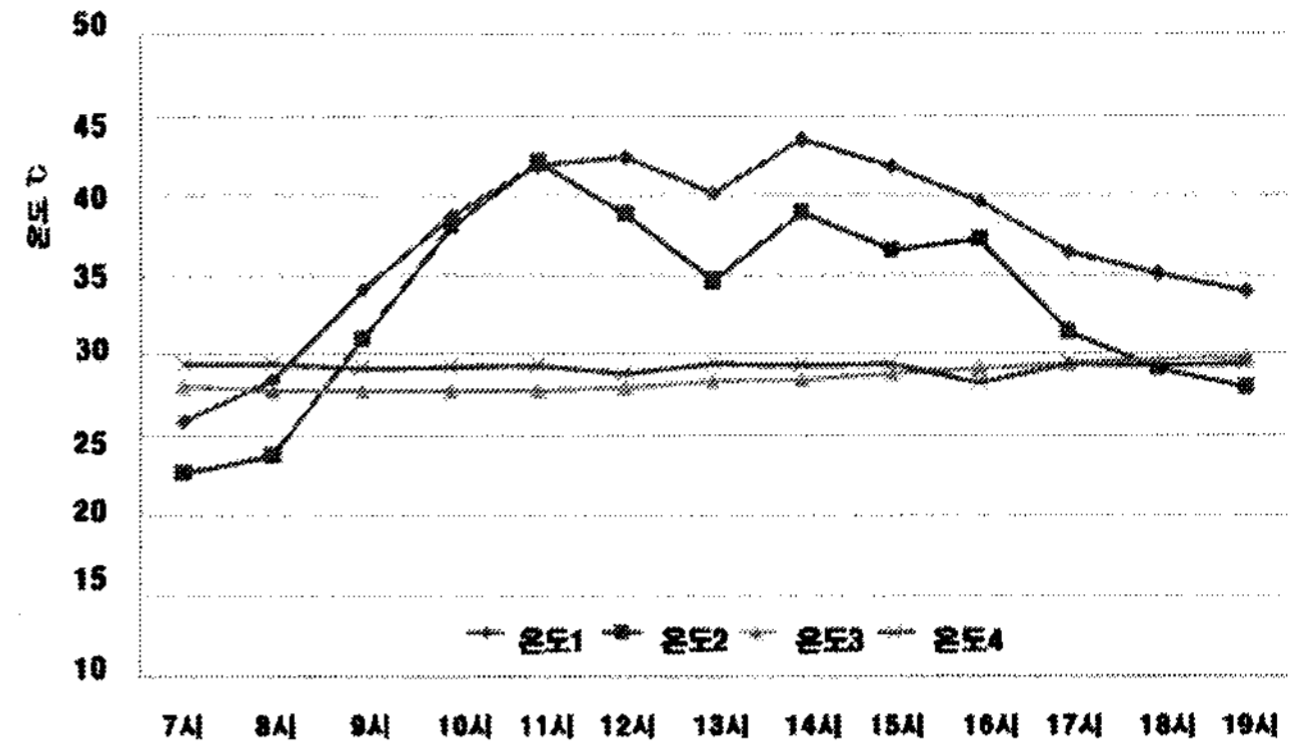


그림 3. 옥상녹화층 부위별 단열성능 측정 결과

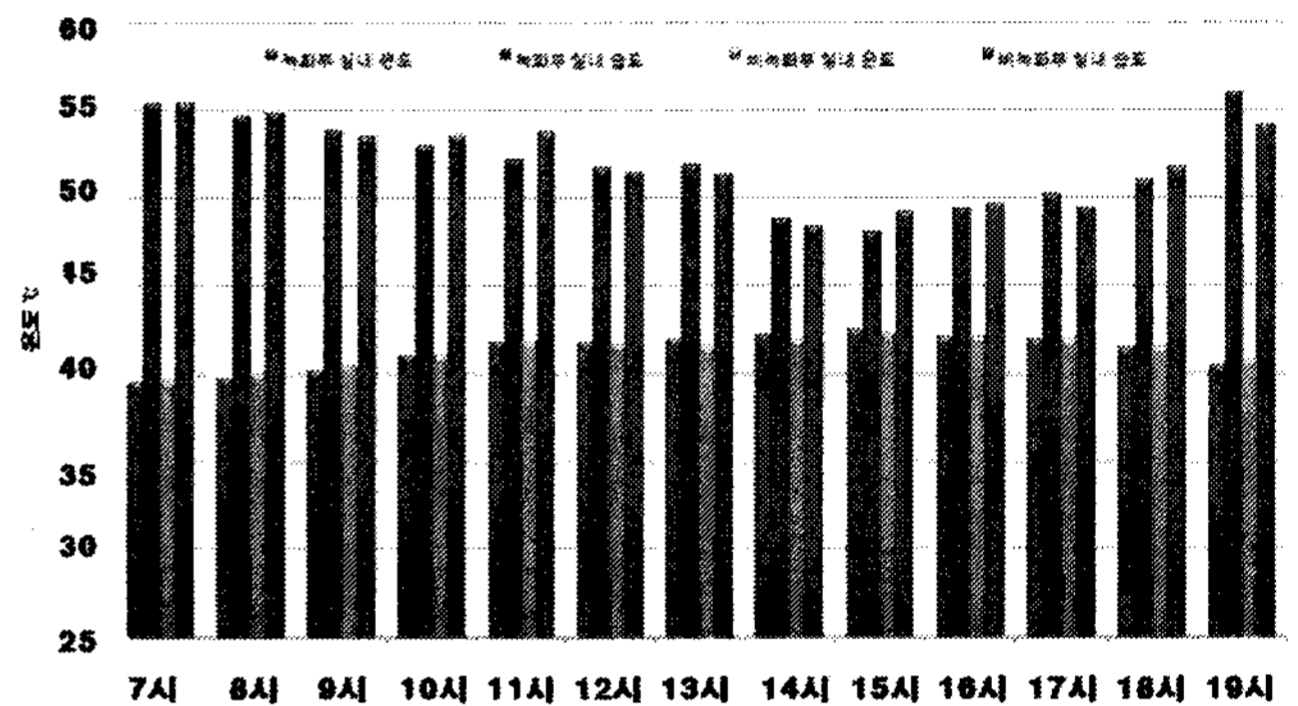


그림 4. 옥상녹화 실내하부 온습도 측정 결과

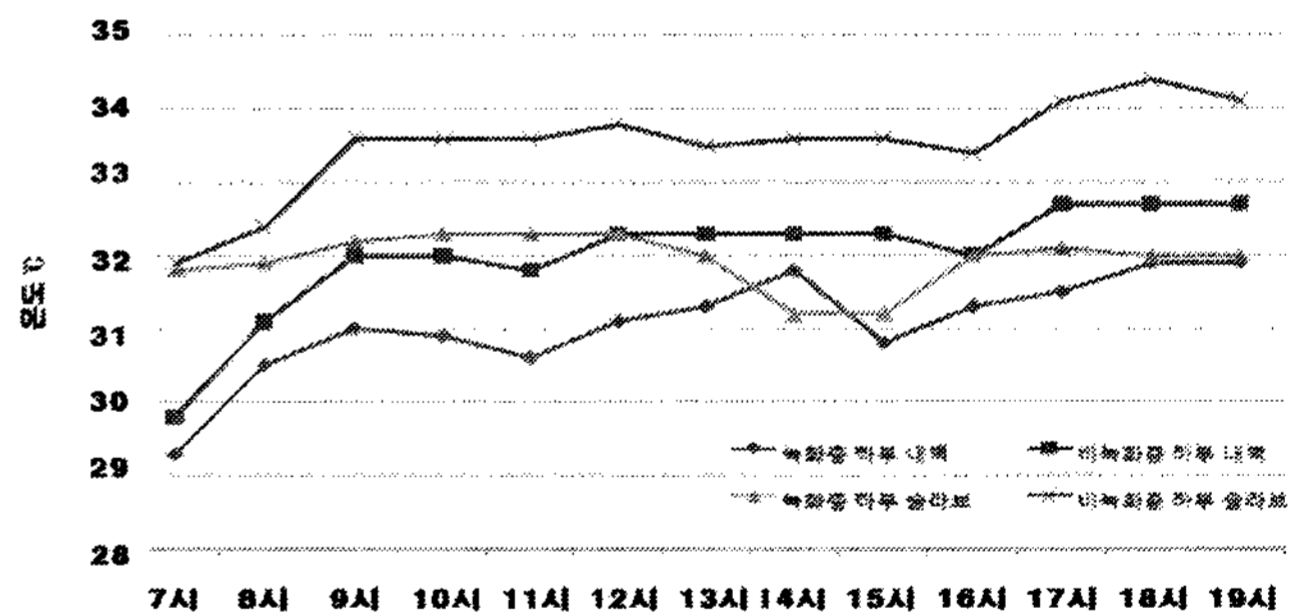


그림 5. 옥상녹화 하부 슬래브 및 내벽 단열성능 측정 결과

5. 결론

1) 옥상녹화 하부 패널 조인트부에 사용되는 우레탄계 실란트를 대상으로 구조물 거동 대응성 후 투수시험기를 이용하여 투수여부를 확인하였으나, 물이 내부로 침투되지 않은 것으로 나타났다. 따라서 실제 현장적용에 있어서 패널 조인트부는 외부로 노출되지 않으므로 온도변화에 따른 수축·팽창이 적다는 점을 고려하였을 때 거동폭 5mm 시험조건을 만족하였으므로 장기적으로 지속되는 미세한 거동에 대해서도 적절히 대응할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 내방근성 시험을 위해 4개월간 식물뿌리가 패널 또는 조인트 사이로 관통하는 것을 관찰하였으나, 식물뿌리가 이

를 관통하지 못하고, 수직(下)·수평방향으로 생장한 것을 확인할 수 있었다. 식물뿌리가 4개월 동안 시험체 내부를 감싸고 있을 정도로 생장한 것을 감안하였을 때 장기적으로도 내방근성을 가질 것으로 사료되며, 향후 6개월, 12개월 차 시험체에 대한 뿌리의 관통유무를 지속적으로 관찰할 필요가 있다.

- 3) 배수성능시험 결과 3개의 시험체 모두 배수에 문제가 없는 것으로 나타났다. 배수성능 저하에 따른 녹화부 집중하중 문제나 누수에 의한 문제가 없어 옥상녹화의 장기적인 내구성능을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 단열성능시험 결과 토양층 상부에 위치한 식물의 반사를 포함한 일사 차단효과와 식생부분의 증발산 작용에 의한 잠열효과 및 토양층이 지닌 물리적인 단열 성능이 복합되어 온도 저감에 영향을 미친 것으로 판단된다. 결과적으로 옥상녹화가 기존의 비녹화층에 비해 열전도율이 낮아 외기 온도가 전달될때 시간이 오래 걸리기 때문에 건축물 냉방 에너지 절약에 상당한 효과를 가져올 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 옥상녹화 하부 시스템 패널은 방수성능, 내방근성능, 배수성능, 단열성능을 갖고 있으며, 시공상에 있어 건식화, 일체화된 공법으로 적용 가능할 것으로 사료된다.

옥상녹화시장이 확대됨에 따라 보다 많은 종류의 옥상녹화 하부시스템의 개발 및 적용이 필요하며, 녹화적용에 따른 구조물별 단순한 일반적 특성에서부터 특수한 환경에 대한 충분한 검토와 품질관리 기준의 마련을 위해 지속적인 보완이 필요할 것이라고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 인공지반 녹화협회 인공지반녹화 아카데미 교재
2. 최일홍, 일본의 옥상녹화 제도 및 시공사례, 인공지반 녹화 협회, 2000.10