

확산반사를 이용한 경질시트 옥상 단열방수공법의 열성능 개선에 관한 연구

Development of Thermal Properties on the Roof Waterproof with Insulation System using the Diffused Reflection Material

구재오*

Koo, Jae-Oh

Abstract

This paper aims to develop the diffused reflection material in order to reduce the solar absorption coefficient, and to compare the thermal properties with the different roof structure system; one is using the diffused reflection material applied the upper side of the rigid sheet waterproof system and the other is using the conventional up-side down waterproof system on the roof.

For this purpose two experimental test boxes were made of same iso-panel wall and floor with different roof system. The experiment was carried out under these process; measure the surface temperature exposed solar radiation of the variation of the reflection materials(cement paste, silica, galvanized steel and titanium dioxide(TiO₂)), measure and analyze the variation of the temperature distribution of the each roof system and indoor air in order to evaluate the thermal properties according to the different roof system.

The result shows clearly that using the titanium dioxide(TiO₂) might be more effective to reduce the solar insolation.

키워드 : 확산반사, 경질시트, 단열방수, 열성능, 이산화티타늄(TiO₂)

Keyword : Diffused reflection, Rigid sheet, Waterproof with insulation, Thermal properties, Titanium dioxide

1. 서론

건물이란 사람을 비롯한 생명체와 물품을 수용하기 위한 구축물을 총칭하는 것으로서 부정적인 자연 요소로부터 공간을 보호하는 방법의 합리성과 안정성에 의하여 그 성능이 결정된다. 이를 위한 과학적인 기술의 전개 요소 중 방수와 단열은 건축 행위의 합목적성을 달성하기 위한 가장 기본적인 기술이다. 물과 습기는 건축물의 거주 성능 뿐 아니라 건물의 수명과도 직결되는 매우 치명적인 유해요소이므로 가능한 신속하게 최단 동선을 이용하여 건물로부터 이격시켜 누수를 원천적으로 방지하는 것이 가장 중요하다. 특히 건축물 옥상 마감의 경우 외부 기후(추위 및 더위)로부터의 영향을 최소화하는 단열 및 보온을 방수와 동시에 고려해야 하는 것이 근래의 필수적인 조건으로 인식되고 있다.

건물 외피의 단열방법은 내단열과 외단열로 크게 구분된다. 건축물 옥상의 경우 슬래브의 아래쪽 실내부분에 시공하는 내단열 공법은 시공과 유지관리가 비교적 간편한

장점이 있는 반면, 단열이 연속적으로 이어지지 못하는 구조적 단점을 가지고 있다. 따라서 열교 현상 등으로 인한 단열성능의 저하 및 결로 발생위험 증대, 에너지 손실 등의 여러 가지 문제점이 노출되고 있는 실정이다.

이에 반해 옥상 슬래브의 위쪽 바깥부분에 시공하는 외단열 공법은 단열이 연속됨으로 열교 현상 방지, 구조체의 내구성 향상, 실내 온도변화가 적어 거주자의 쾌적성이 증대되는 등의 장점을 가지고 있다.

그러나 이와 같은 외단열 시공방법은 시공 후 옥상 부위에 방수의 결함으로 인한 습기 침투·균열 등의 결함이 발생하면 그 단열성능도 연동하여 급격히 저하되는 단점을 가지고 있으므로 시공의 정밀도가 엄격히 요구된다.

따라서 방수층의 파단을 방지하기 위한 외단열 방수 공법의 하나로 단열재의 상부에 강화 플라스틱 또는 고강도 금속 재질의 경질시트를 사용하는 단열방수 공법이 근래에 개발되어 보급되고 있으나, 여름철 직달 일사에 노출될 경우 표면온도가 급격히 상승하며 겨울철 야간 방사에 의한 복사냉각으로 표면온도가 외기온보다 저하되는 등 열에 대한 기복이 심하여 열화현상에 의한 파단

* 정회원, 국립 강원대학교 교수, 공학박사

현상의 부작용이 우려되고 있다.

본 연구는 경질시트의 일사 흡수율을 낮출 수 있는 확산 반사재를 개발하고 이를 적용한 실물 모델을 이용한 실험을 통하여 여름철 실내 열성능을 기존 단열방수공법의 열성능과 비교 검토함으로써 경질시트 옥상 단열방수공법의 적용 가능성을 평가하고 개선을 위한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 이론적 고찰

2.1 옥상 단열 및 방수의 문제점

우리나라의 옥상구조(방수 및 단열) 시스템은 설계·시공·유지관리 단계에서 기술적 근거나 자료에 의해 체계적으로 진행되지 못하고 있으며, 경험과 경제적 조건, 시공의 편리성 등에 의해 이루어져 보급 규모에 비해 기술수준은 낙후되어 있는 실정이다. 향후 건축물의 규모 및 물량을 감안하면 현행 옥상구조에 대한 문제점 및 개선방안, 시스템 관련 기술 자료의 구축, 신개념의 옥상 방수 및 단열 시스템 개발 등은 매우 중요하며 지속적인 연구와 지원이 요구되고 있다.

외단열을 위한 단열재와 방수층의 위치에 따른 건축물 옥상의 구조는 크게 Up-side down(USD)형과 노출단열 방수형의 두 가지로 구분된다.

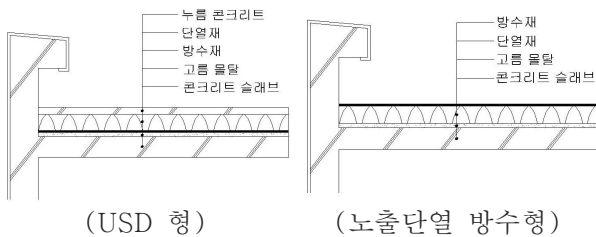


그림 1. USD형과 노출단열 방수형의 비교

USD형은 단열재의 하부에 방수층이 위치함으로서 노출 단열 방수형에 비해 방수재의 열화현상이 상대적으로 적어 방수층의 파단현상이 감소되는 장점을 가지고 있으나, 단열재가 항상 외기와 우수에 노출되기 때문에 구조체와 실내의 열적 성능이 저하되며 단열 성능도 낮아지는 등의 문제점이 발생하게 된다. 방수층 역시 상부 단열재의 손상에 의한 외부 충격이나 수분의 용해 및 동결 현상에 의하여 내구성이 저하되고 방수 효과가 떨어지며 아울러 누름 물탈로 인해 자중이 증가하는 등 시공의 경제성 측면에서 매우 불리하다.

반면 노출단열 방수형은 단열재의 상부에 방수층이 위치하는 방법으로 누름층이 생략되어 경량이고 경제적이며, 장스팬의 경량옥상에 적당한 이점이 있다. 그러나 여름철 직달 일사에 노출될 경우 최고 85℃까지 표면온도가 상승하며+ 겨울철 야간 방사에 의한 복사냉각으로 외기온

보다 5~6℃ 이상 저하되는 등 열에 대한 기록이 심하여 열화현상에 의한 파단현상이 쉽게 발생할 우려가 발생한다. 따라서 노출단열 방수형의 단점을 해결하기 위해서는 강한 일사 및 열에 의한 열화 및 경화현상 등으로 초래되는 방수층의 균열 및 파손으로부터 보호하기 위한 충분한 일사 차단(확산)기능 및 내열성은 물론, 고도의 방수 성능 및 인장강도 등의 기계적 성능을 만족시키는 경질시트 마감재의 개발 및 적용이 절실히 요구되고 있다.

2.2 경질시트 단열방수 공법

경질시트 단열방수 공법은 노출단열 방수 공법의 일종으로 단열재 상부에 고강도 아연도 강판 등의 내식성이 있는 경질시트를 설치하고 방수재를 도포한 후 코팅으로 보호막을 형성하여 일체화한 제품을 사용하는 방수공법을 의미한다.

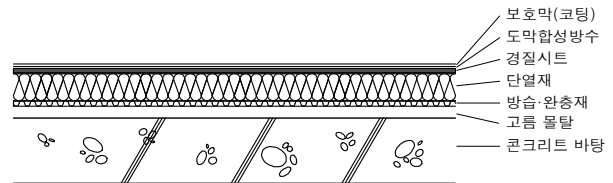


그림 2. 경질시트 단열방수 단면 상세

경질시트 단열방수의 특징은 다음과 같다.

- ① 시공의 완벽성 : 현재 사용되고 있는 방수공법이나 방수재는 모두 장단점을 가지고 있으나, 공통적으로 안고 있는 문제는 방수 바탕층의 균열에 의한 방수층의 파괴라 할 수 있다. 그러나 이 공법은 이러한 바탕층의 균열에 의한 영향을 거의 없앨 수 있다.
- ② 시공의 단순성 : 시공이 단순하므로 숙련된 기술자의 확보가 어려운 상황에서 특별한 기술을 가지고 있지 않아도 누구나 쉽게 시공할 수 있다.
- ③ 공사 기간의 단축 : 기계화 시공이 가능하므로 공기를 단축할 수 있어, 특히 대규모 공사의 경우 인건비 등 공사비를 절감할 수 있다.
- ④ 기존 건물 보수의 편리성 : 보호층이 있는 경우, 기존의 보호층을 철거하지 않아도 시공이 가능하다.
- ⑤ 단열방수 공법 적용의 용이성 : 단열재 상부의 경질시트는 열화 현상에 의한 방수층의 파단 현상을 방지하며, 단열재로의 물 침투를 막을 수 있으므로 완벽한 성능을 기대할 수 있다.
- ⑥ 건축물의 경량화 : 별도의 누름물탈 등의 보호층이 필요하지 않으며, 따라서 건물 전체의 자중을 줄여 전체 공사비를 낮출 수 있다.
- ⑦ 수명 연장 : 경질시트로 마감된 옥상 부분은 균열이나

+ 건설기술연구원, 확산반사형 옥상방수 초단열 이중바닥시스템 개발, 2005.

과단 현상이 적고 그에 따른 하부 단열재의 열적 성능이 보장되므로 보수 및 재시공 필요성이 현저히 감소된다.

경질시트 단열방수 공법은 고강도 경질시트로 방수 바탕을 만들기 때문에 구체의 바탕이 어느 정도는 평활하지 않아도 가능하다. 따라서 바탕 정리가 거의 필요 없으므로 바탕층을 시공하고 양생시키는데 필요한 시간을 단축시킬 수 있다.

경질시트는 구조체와 띄우는 절연 공법으로 시공되므로 구조물에서 균열이 발생하여도 방수층에는 직접적인 영향을 주지 않으며, 바탕과 단절시키므로 바탕에서 수증기가 올라와도 방수층의 들뜸 현상이 없기 때문에 방수층 파단의 우려가 없다. 보수를 할 경우에도 경질시트가 바탕층과 떨어져 있으므로, 철거가 용이하며 소음 발생 및 폐기물 발생이 적어 보수비용을 줄일 수 있어 환경친화적인 공법이라 할 수 있다.

표 1. 경질시트 마감재에서 요구되는 기계적 특성

항 목	물 성 치	비 고
인장강도(N/mm ²)	270 이상	KS D 3506, SGCC 기준 적용
항복점(N/mm ²)	205 이상	
연신률(%)	24 - 26	연신율 연장을 기준
강도(로크웰)	85 HBR 이상	
평탄도 (너비 1000 mm 미만)	12 이하	

3. 확산반사

3.1 확산반사의 특성

방수층 보호를 위하여 경질시트의 최상부에 위치하는 보호막은 분리되거나 형상의 변화가 없어야 한다. 또한 내산, 내마모, 내알칼리성을 보유하여 반복되는 자외선, 보행, 부식으로부터 내구성이 장기간 유지될 수 있어야 한다.

반복적인 태양열 사이클 및 강한 일사에 의한 온도의 상승은 옥상방수층 및 단열층의 균열에 직접적인 원인으로 작용하고 있다. 기존에는 일사차단을 위하여 전자기과 반사 특성이 우수한 금속을 사용하기도 하였으나 이는 고온 및 오존환경에서 쉽게 부식이 될 뿐 아니라 심한 눈부심을 불러일으키기도 하였다.

미세 복합 재료 표면에 입사된 태양광원은 재료의 미세 요철 구조, 굴절률, 반사율, 복합 재료와의 밀도 차이 등으로 인하여 무방향성의 확산반사를 하게 되는데 내부로 향한 태양광은 재료내부를 통과하는 동안 이와 같은 과정이 반복되면서 두께에 따라 다른 반사율을 보이기도 한다.

따라서 본 연구에서는 고강도 패널 표면에 고조도 확산반사 기술(나노기술)을 적용한 확산 반사 코팅기술을 적용하였다. 이러한 기술은 눈부심 없이 우수한 일사 및 열

차폐 기능을 가지며, 확산반사용 나노기술(NT)을 이용한 확산 반사 코팅재는 장기간 재료적 변화 없이 일사 반사 특성을 유지할 수 있는 장점을 갖게 된다.

또한 확산 반사 패널 재료의 표면 에너지를 낮추면 오염 방지 역시 가능하며 특히, 도시의 고층건물이나 공동주택의 옥상에 이 기술을 적용될 경우 열섬현상을 줄일 수 있는 환경친화적인 기술이라 할 수 있다.

나노기술을 이용한 확산 반사 코팅 기술은 내구성, 방오, 열차폐 측면에서 중요한 기술이다. 확산반사 기술에 의한 열차단으로 최상층의 여름철 냉방비 절감을 도모할 수 있으며, 옥상의 시멘트 콘크리트가 열과 물에 직접 노출되지 않으므로 반영구적인 수명 연장이 가능하다(개보수비 절감).

또한 코팅재료는 수명이 반영구적이므로 경제성에서 매우 뛰어나며, 이는 태양광, 산성비, 오염 등의 조건에서 영구적인 수명을 갖는 재료로서 건축분야에서 대단히 중요한 나노기술이 될 것이다.

3.2 확산반사재의 선택

표 2와 그림 3, 4는 태양 일사에 의한 표면 온도 변화를 측정하기 위하여 동일한 아연도 강판 시료에 사용가능한 여러 가지 코팅 재료를 도포한 후 태양에 노출시킨 후의 표면 온도 변화를 측정한 결과이다. 실험은 2006년 5월 26일 OO대학교 공학관 옥상에서 24시간동안 실시하였다.

표 2. 도료 코팅 패널의 표면온도 변화 값

	온도(°C)		교 차(°C)
	최고	최저	
옥상 외부기온	평균	22.0	
	최저	14.3	
	최고	32.2	
노출 아연도 강판	최고	51.1	40.6
	최저	10.5	
아연도 강판 위 TiO ₂	최고	38.9	26.9
	최저	12	
아연도 강판 위 실리카코팅	최고	51.7	40.9
	최저	10.8	
아연도 강판 위 시멘트물탈(3 mm)	최고	54.8	43.8
	최저	11	

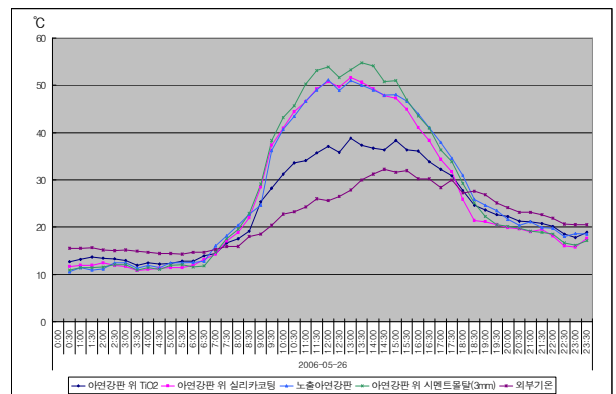


그림 3. 코팅물질에 따른 표면온도 변화

실험결과, 시료 표면의 최고온도는 아연도 강판 위 시멘트 몰탈(54.8℃) > 아연도 강판 위 실리카 코팅(51.7℃) > 노출 아연도 강판(51.1℃) > 아연도 강판 위 TiO₂(38.9℃) > 옥상 외부 기온(32.2℃)의 순으로 높게 나타났다.

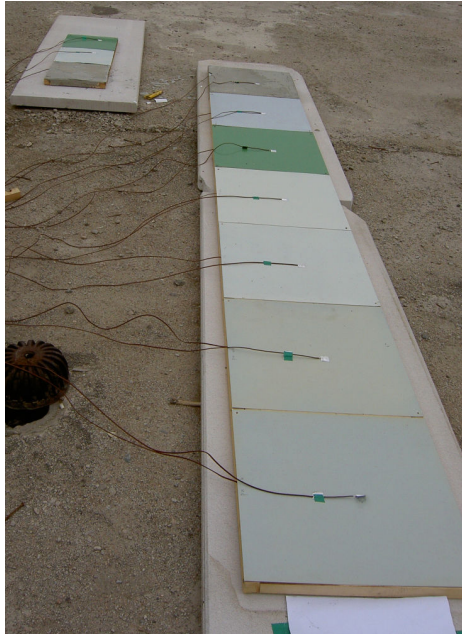


그림 4. 각종 코팅재료의 표면온도 측정실험

TiO₂(이산화티타늄)를 도포한 시료의 표면 온도가 다른 재료에 비해 확산반사로 인해 금속 표면에서의 정반사가 감소하고 도료에 의한 확산반사 정도가 증가하여 표면 온도가 낮고 교차도 가장 적음을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 가시광선 영역의 빛은 흡수하지 않고 큰 굴절률을 가져 가장 우수한 확산반사 특성을 가지고 있는 미세한 입자 형태로 첨가된 이산화티타늄(Titanium dioxide: TiO₂)을 코팅재료로 채택하였다.

TiO₂는 백색의 미세한 분말로 매우 안정적이며 화학적인 반응성이 거의 없어 우리 몸에 들어와도 인체의 특정 장기 또는 물질과 반응하지 않으므로 인체에 무해한 물질로 널리 알려져 있으며, 페인트의 안료, 화장품이나 그림물감, 완구의 도료, 향균성 세라믹필터, 식품의 포장용지 등에 많이 이용되고 있다. 그 외에 법랑이나 도자기의 유약, 치과용 재료 외에 비누나 인쇄잉크의 원료로도 사용된다.

또한 21세기 최첨단기술인 나노기술을 활용하여 제조된 TiO₂는 광촉매의 주성분으로도 널리 이용되고 있다. 광촉매란 빛을 에너지원으로 산화와 환원(화학반응)을 일으켜 각종 세균 및 악취, 유해물질 등을 분해하여 인체에 무해한 물질로 변환시켜 주는 것을 의미한다.

경질시트 바탕재 표면에 TiO₂의 도포는 현장 습식 도포 방식과 부착력과 표면 균질성을 향상시키기 위한 진공로

에서의 전기 이온도금 방식 등이 있다.

본 연구에서는 실험의 편의성을 위하여 실험체에 시공되어 있는 경질시트 상부에 투명 락카 첨가 후 스프레이도포 방식을 채택하였으나, 추후 확산반사 경질시트의 제품개발에는 스퍼터링법과 증기증착법의 장점을 적용하여 건식도금에 이용되고 있는 이온도금 방법을 TiO₂ 박막 제조에 이용할 예정이다.

표 3은 실험에 사용된 TiO₂의 물리화학적 특성을 보여주며, 그림 5는 TiO₂의 일반적인 제조공정을 나타내고 있다.

표 3. TiO₂의 물리 화학적 특성

특 성	단 위	표준값	
비표면적(BET)	m ² /g	50 ± 15	
입자 크기	nm	21	
밀도 (tapped density)	g/l	approx. 130	
함습비	wt. %	1.5 이하	
연소손실물	wt. %	2.0 이하	
pH		3.5 - 4.5	
TiO ₂ 함유비	wt. %	99.50 이상	
기 타	Al ₂ O ₃ 함유비	wt. %	0.300 이하
	SiO ₂	wt. %	0.200 이하
	Fe ₂ O ₃	wt. %	0.010 이하
	HCL	wt. %	0.300 이하
	불순물	wt. %	0.050 이하

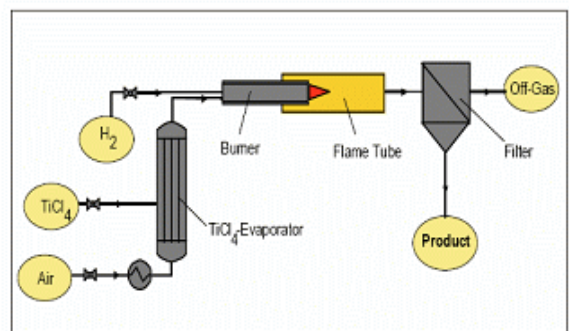


그림 5. TiO₂의 제조 공정

4. 실물 실험모델 제작 및 측정 개요

4.1 개요

본 연구에서는 강한 일사 및 열에 의한 열화 및 경화현상 등으로 초래되는 방수층의 균열 및 파손으로부터 보호하기 위한 충분한 일사 차단(확산)기능 및 내열성은 물론, 고도의 방수 성능 및 인장강도 등의 기계적 성능을 만족시키는 환경친화적인 나노기술(NT)을 이용한 TiO₂ 확산반사 경질시트 단열방수 공법의 열적 성능을 보다

정확하게 판단하고 정량화하기 위하여 현재 일반적으로 널리 사용되고 있는 습식공법인 USD 공법과의 비교평가를 식물 실험모델을 대상으로 실시하였다.

4.2 측정대상 실험모델의 특성

실험모델은 2005년 12월 20일부터 2006년 1월 15일까지 00대학교 공과대학 3호관 5층 옥상에 제작되었다. 실험모델은 실제 시공 상태에서의 단열성능을 평가할 수 있는 규모로 기존의 연구결과+를 토대로 이루어졌으며, 규모는 최소 거주공간 크기로 설정된 7,000mm(W) × 2,600mm(L) × 2,700mm(H)이다(그림 6, 7 참조).

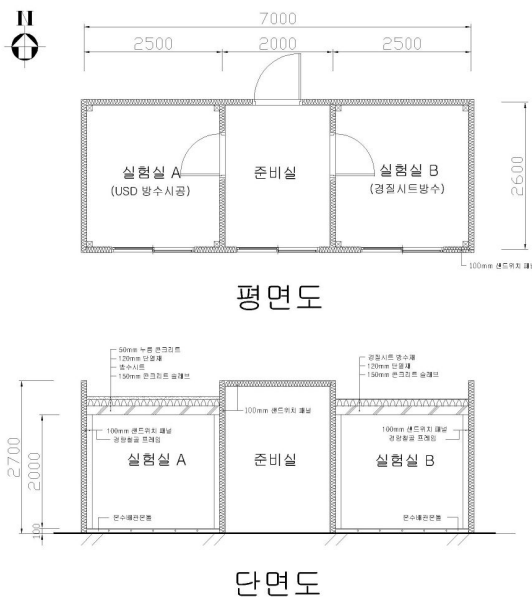


그림 6. 실험모델의 평·단면도



그림 7. 실험 모델 전경

실험에 이용된 냉방장치는 실내기(냉방능력 : 3.2 kW)와 실외기로 구성된 2대의 냉방장치(Air-conditioner)를 사용하였으며, 각 냉방장치의 전력 인입측에 적산전력계를 설치

하여 소비 전력량을 측정하였다. 실험모델의 여름철 차열성을 자연 상태에서 평가하기 위하여 두 실험체 모두 1,000 × 1,500mm 크기의 개구부를 남측에 설치하였으며 개구부는 일사의 영향을 최소화하기 위하여 흑색 단열 필름을 사용하여 차광하였다. 평가대상 실험모델은 옥상 슬래브 위 단열 및 방수층의 구성에 따라 좌우에 각각 옥상 슬래브 위 USD 단열방수 공법(실험체 A)과 본 연구에서 제안된 TiO₂를 이용한 확산반사 경질시트 단열방수공법(실험체 B)으로 된 2 가지 유형의 실험체로 구분하여 제작하였으며, 옥상 구조체의 열성능을 중심으로 평가될 수 있도록 벽체 및 바닥은 100 mm 아이소월(열관류율 0.3 W/m²℃)의 동일한 재료로 구성·시공하였으며, 옥상 구조체는 150 mm 콘크리트 슬래브 위에 두 실험체의 구성위치에 따라 각각 150 mm 단열재를 사용하였다(그림 6 단면도 참조). 중앙에는 전원 및 적산전력계, 데이터 로거, 컴퓨터 등의 실험 장비가 있는 실 등 모두 3개의 실로 구성되었다.

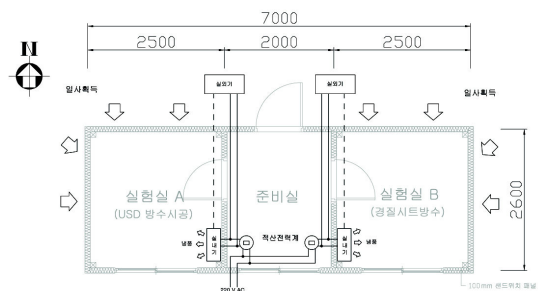


그림 8. 냉방장치 구성 및 배선도

4.3 측정내용 및 방법

가. 측정점의 설정 및 측정장비

옥상 구조체의 단면층별 온도를 측정하기 위하여 실험체 각 구성층의 표면 및 내부, 실내 공기층마다 필요한 부위 및 위치에 센서를 설치하였다. 같은 구성층에서의 온도 측정은 방위별로 4 지점을 설정하여 측정 후 평균값을 구하였으며, 열전대를 이용하여 실내 바닥면 온도, 실내 공기층 온도(+600, +1200), 천장면 온도, 슬래브 상부온도, 단열재 및 방수층 상·하부온도, 외표면 온도, 내외부 벽체 온도, 실험체가 위치한 옥상 외기온도 등 총 65개 지점의 온도를 동시에 측정하였다.

온도측정 센서는 T-type C-C 열전대(Cu-constantan thermocouple)를 이용하였다.

측정장비는 미국 KAYE사의 Digistrip 4 Plus 데이터 로거(Data logger)와 Data 기록용 컴퓨터, 냉방장치(Air-conditioner) 및 적산전력계 등을 이용하였다. 온도측정을 위한 시간 간격은 데이터 에러에 의한 보정을 위하여 10분 간격으로 측정하였으며, 1시간 간격으로 분석하였다.

주 + ① 건설기술연구원, 성능평가 및 활성화 방안연구시리즈, 1994
 ② P. Strachan, Model Validation Using the PASSYS Test Cells, Building and Environment, Vol 28, NO.2, pp153-165, 1993.

나. 측정 내용 및 분석 방법

측정은 예비 실험을 거쳐 2006년 7월 10일부터 8월 14일 까지 약 36일간 실시하였으며, 측정기간 중 우천시는 제외하였으며, 소비 전력량을 분석하기 위한 냉방장치 가동 시간(약 174시간)은 별도로 분석·평가하였다.

측정된 데이터는 데이터 로거에서 PC로 전송되며 전송된 데이터를 Excel 파일로 변환하여 통계 처리하였다.

실험은 다음의 두 가지 방법에 의해 진행되었다.

(1) USD 공법으로 시공된 실험체 A와 확산반사 경질시트로 마감된 공법으로 시공된 실험체 B를 대상으로 일사 획득량의 차이에 의한 옥상 구조체 각 부위 및 실내 온도의 변화 측정을 실시하여 열성능을 분석·평가하였다.

(2) 냉방장치를 가동하여 실내의 온도를 일정하게 유지할 경우, 공급되는 열량을 제거하기 위한 냉방장치의 소비 전력량의 차이를 측정하여 두 실험체의 실내 에너지 소비량을 분석·평가하였다.

실험체의 외벽 및 바닥의 재료 및 구조는 실험체 A와 B 모두 동일하므로 두 실험체간 예상되는 온도 변화 및 소비 전력량은 옥상 구조의 차이에 의한 것이라고 해석할 수 있다. 특히 여름철의 주된 열 공급은 태양 일사 획득이므로 두 실험체 옥상 표면의 일사 획득량에 따른 표면 온도의 차이가 실내외에 미치는 영향이 주된 평가 항목이 된다.

5. 열적 성능 분석 및 평가

5.1 냉방장치 비가동기간의 열적 성능 측정

표 4는 전 측정 기간 중 냉방장치를 가동하지 않은 약 28일간 65개 측정점에 대해 10분 간격으로 측정된 결과를 평균한 값과 표준편차를 나타낸 것이다. 측정기간 동안 대체로 맑은 상태의 기상 조건을 나타내었으며 창문 및 출입구는 측정 전 모두 개방하여 환기를 실시한 후 측정기간 중에는 닫힌 상태를 유지하였다.

표 4. 냉방장치 비가동 측정기간 동안의 실내외 기온 및 각 부위별 온도 (°C)

	실험체 A (USD 공법)		실험체 B (경질시트 공법)	
	평균	표준 편차	평균	표준 편차
옥상 외기 온도*	최고**	38.4	표준편차 4.5	
	평균	25.1		
	최저**	17.4		
옥상외표면	28.8	10.0	27.2	10.0
단열재 상부	28.4	8.8	27.0	9.8
슬래브 상부	27.5	3.5	26.8	3.4
천장	26.9	3.6	26.9	3.4
FL + 1200	26.8	3.5	26.9	3.4
FL + 600	26.8	3.5	26.9	3.4

주) * : 옥상 외기 온도는 그 기간 중의 지상 외기온도와 다름.
 ** : 평균값이 아닌 그 기간 중 최고 및 최저 온도를 의미함.

실내 기온 및 천장면(슬래브 하부면)의 평균 온도 및 표준편차는 두 실험체 모두 비슷한 값을 나타내었음을 알 수 있었다. 이는 USD 공법과 경질시트 공법간 실내 열성능에 미치는 영향이 유의적 차이가 미미함을 의미하며, 실험모델이 전반적으로 우수한 단열성능을 지니고 있음을 나타내는 것이라 할 수 있다.

일사 흡수율에 직접적인 영향을 받는 슬래브 상부면(단열재 하부면), 단열재 상부면 및 실험체가 위치한 옥상 외표면 온도는 실험체 A(USD 공법)의 기간 평균 온도가 실험체 B(경질시트 공법)보다 0.7 - 1.6°C 정도 높은 것을 알 수 있었으며, 특히 측정기간 중 USD 공법(실험체 A)의 옥상 외표면 최고온도는 68.9°C, 최저온도는 16.6°C, 평균온도는 28.8°C, 표준편차 10.0을 나타내었다. 이는 단열재 상부의 누름 몰탈(50 mm)의 축열 효과에 의한 영향을 받은 것으로 해석할 수 있다.

같은 기간 중 TiO₂ 확산반사 코팅으로 마감된 경질시트 공법(실험체 B)의 옥상 외표면 최고온도는 67.1°C, 최저온도는 15.2°C, 평균온도는 27.2°C를 기록하였으며 표준편차는 10.0을 나타내었다. 이는 일반적인 경질시트 보호막의 경우 여름철 직달 일사에 노출되면 최고 85°C까지 표면 온도가 상승한다는 기존의 연구 결과+보다 약 18°C 낮은 표면온도를 보여주는 것으로 확산반사 코팅의 일사 차단 효과가 적지 않음을 의미한다고 평가할 수 있다.

표 5는 시간대별 온도 변화를 분석·평가하기 위하여 냉방장치 비가동 측정기간 중 옥상 외기온도가 가장 높았던 2006년 8월 4일부터 5일까지의 48시간을 대상으로 열성능을 분석·평가한 결과를 나타낸다. 측정기간 중의 옥상 외기온도는 최고 38.7°C, 최저 24.3°C, 평균 28.9°C를 나타내었으며 표준 편차는 4.7이었다.

표 5. 옥상 외기온도가 가장 높았던 48시간 동안의실내외 기온 및 각 부위별 온도 (°C)

	실험체 A (USD 공법)		실험체 B (경질시트 공법)	
	평균	표준 편차	평균	표준 편차
옥상 외기 온도*	최고**	37.3	표준편차 4.7	
	평균	28.9		
	최저**	23.5		
옥상외표면	37.9	14.0	34.6	15.3
단열재 상부	37.2	12.0	34.6	15.5
슬래브 상부	32.5	1.3	31.8	1.0
천장	32.2	1.0	31.9	1.2
FL + 1200	31.8	1.5	31.7	1.6
FL + 600	31.8	1.5	31.6	1.6

주) * : 옥상 외기 온도는 그 기간 중의 지상 외기온도와 다름.
 ** : 평균값이 아닌 그 기간 중 최고 및 최저 온도를 의미함.

+ 건설기술연구원, 확산반사형 옥상방수 초단열 이중바닥시스템 개발, 2005.

측정기간 중 USD 공법(실험체 A)의 옥상 외표면 최고온도는 66.0℃, 최저온도는 21.5℃, 평균온도는 37.9℃, 표준편차 14.0을 나타내었다. 같은 기간 중 TiO₂ 확산반사 코팅으로 마감된 경질시트 공법(실험체 B)의 옥상 외표면 최고온도는 64.8℃, 최저온도는 19.7℃, 평균온도는 34.6℃를 기록하였으며 표준편차는 15.3을 나타내었다. 그림 9는 분석 및 평가에 사용된 2일간의 측정자료 중 옥상 외기온도, 옥상 외표면 및 단열재 상부 온도를 시간대별 그래프로 나타낸 것이다.

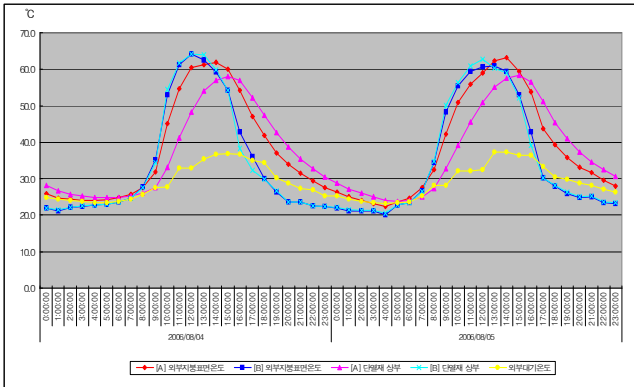


그림 9. 시간대별 외기온 및 외표면 단열재 상부 온도변화

확산반사 경질시트 공법으로 시공된 실험체 B의 경우 낮 동안 일사의 영향을 받아 외표면의 온도가 급격히 상승하는 것을 알 수 있으며, 경질시트 바로 아래에 단열재가 위치함으로 단열재 상부 온도 역시 외표면의 온도 변화와 거의 동일한 양상을 나타내었다. USD 공법으로 시공된 실험체 A의 옥상 외표면 및 단열재 상부온도와 옥상 외기온도는 가장 높을 때의 시간대가 거의 비슷하였으나, 실험체 B의 경우는 1 - 2 시간 빠르게 최고 온도에 도달하며 이 또한 일사의 영향으로 판단된다.

오후에는 실험체 B의 옥상 외표면 및 단열재 상부 온도가 실험체 A보다 먼저 하강하며, 오후 및 야간의 동일시간대 온도는 오히려 확산반사 경질시트 공법으로 시공된 실험체 B가 더 낮은 것으로 나타났다. 이는 경질시트 공법의 경우 누름 몰탈층이 생략되므로 축열 효과가 없으나, USD 공법의 경우 옥상 외표면 및 단열재 상부의 온도가 누름 몰탈층에서의 축열 효과로 인한 영향을 받고 있음을 의미한다. 따라서 실험체 B의 옥상 구조체는 축열 효과가 없으므로 실험체 A보다 오후 및 야간에는 표면의 온도가 오히려 낮아 확산반사 경질시트 공법이 USD 공법에 비해 도시의 열섬 및 열대야 현상 방지에 유효한 환경친화적인 공법으로 평가할 수 있다.

그림 10은 측정기간 중 옥상 외기온도와 실험체 A, B의 천장면 및 실내기온 변화를 보여주고 있다. 밀폐된 실내의 기온 및 천장면의 온도는 일사 및 외부 기온의 영향을 받아 대체로 높으며 시간에 따른 온도 변화 역시 옥

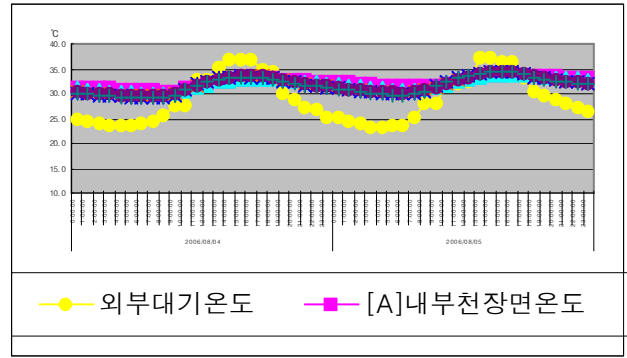


그림 10. 시간대별 옥상 외기온도, 천장면 및 실내기온 변화

상 외기온도의 변화와 비슷한 양상을 보이고 있으며, 두 실험체 모두 유사한 것으로 분석되었다. 따라서 두 실험체의 경우 실내 기온의 변화에 주간의 일사와 야간의 천공복사가 미치는 영향의 유의적인 차이는 그림에서 보는 바와 같이 미미한 것으로 평가할 수 있다.

5.2 냉방장치 가동기간의 열적 성능 측정

표 6은 전 측정기간 중 냉방장치를 가동한 174시간 동안 측정된 결과를 평균한 값과 표준편차를 나타낸 것이다. 냉방 실내온도는 냉방장치에 부착되어 있는 자동온도조절장치(thermostat)를 이용, 25.0℃로 고정하여 측정하였다.

표 6. 냉방장치 가동 측정기간 동안의 실내외 기온 및 각 부위별 온도 (℃)

	실험체 A (USD 공법)		실험체 B (경질시트 공법)	
	평균	표준 편차	평균	표준 편차
옥상 외기	최고**	38.4	표준편차 4.5	
	평균	27.0		
	최저**	20.1		
옥상외표면	33.8	12.3	31.2	12.9
단열재상부	32.8	10.6	31.2	13.0
슬래브상부	27.4	2.3	25.9	2.3
천장	26.0	1.7	25.9	1.7
FL + 1200	25.0	1.6	25.0	1.7
FL + 600	25.1	1.6	25.1	1.6
총소비전력량	24.2(kWh)		23.35(kWh)	

주) * : 옥상 외기 온도는 그 기간 중의 지상 외기온도와 다름.
 ** : 평균값이 아닌 그 기간 중 최고 및 최저 온도를 의미함.

표에서 나타난 바와 같이 냉방장치 가동 기간 중의 총 소비 전력량은 실험체 A의 경우 24.2 kWh(시간당 0.139 kWh), 실험체 B의 경우 23.35 kWh(시간당 0.134 kWh)로 두 실험체 모두 유의할 수준의 차이를 보이고 있지 않음을 알 수 있었다.

표 7과 그림 11은 시간대별 온도 변화를 분석·평가하기 위하여 냉방장치 가동 측정기간 중 가장 옥상 외기온도가 높았던 2006년 8월 8일 08시부터 10일 20시까지의 36시간을 대상으로 열성능을 분석·평가한 결과를 나타낸다. 측정기간 중의 옥상 외기온도는 최고 38.7℃, 최저 24.4℃,

평균 30.5℃를 나타내었으며 표준 편차는 4.4이었다. 측정기간 중 냉방장치를 가동한 실내 온도는 두 실험체 모두 25.3℃ - 25.6℃, 표준편차 1.3 - 1.4의 안정된 온도 분포를 나타내었다. USD 공법(실험체 A)의 옥상 외표면 최고온도는 64.4℃, 최저온도는 23.6℃, 평균온도는 41.0℃, 표준편차 13.3을 나타내었다. 같은 기간 중 확산반사 코팅으로 마감된 경질시트 공법(실험체 B)의 옥상 외표면 최고온도는 65.2℃, 최저온도는 22.0℃, 평균온도는 37.7℃를 기록하였으며 표준편차는 14.7을 나타내었다.

표 7. 냉방장치 가동기간 중 36시간 동안의 실내외 기온 및 각 부위별 온도 (℃)

	실험체 A (USD 공법)		실험체 B (경질시트 공법)	
	평균	표준 편차	평균	표준 편차
옥상 외기 온도	최고**	38.4	표준편차 4.4	
	평균	30.5		
	최저**	24.4		
옥상외표면	41.0	13.3	37.7	14.7
단열재상부	36.4	11.4	37.8	15.0
슬래브상부	30.0	1.6	28.4	1.9
천장	26.9	1.1	26.7	1.1
FL + 1200	25.4	1.4	25.3	1.4
FL + 600	25.6	1.3	25.3	1.3

주) * : 옥상 외기 온도는 그 기간 중의 지상 외기온도와 다름.
 ** : 평균값이 아닌 그 기간 중 최고 및 최저 온도를 의미함.

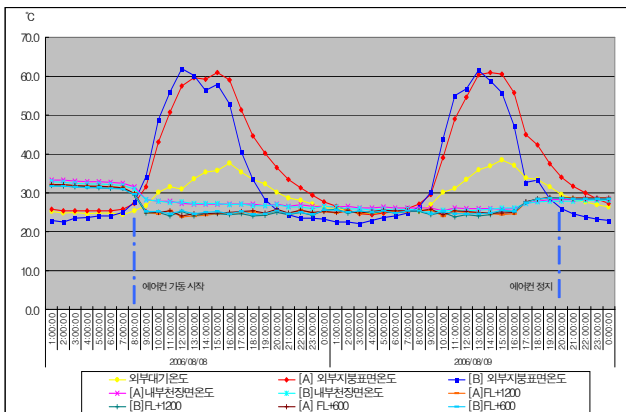


그림 11. 냉방장치 가동기간 중의 시간대별 옥상 외기온도, 외표면, 천장면 온도 및 실내기온 변화

6. 결론

기존의 습식공법인 USD 공법과 TiO₂ 확산반사 코팅 마감 경질시트 공법의 열적 특성을 비교 분석·평가하기 위하여 두 실험체를 대상으로 여름철 냉방장치 비가동 및 가동 전(全) 기간, 특정일의 시간대별 측정 및 분석을 실시하여 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

가. TiO₂(이산화티타늄)를 도포한 시료의 표면 온도가 다른 재료에 비해 확산반사로 인해 금속 표면에서의 정반사가 감소하고 도료에 의한 확산반사 정도가 증가하여

표면 온도가 상대적으로 낮고 교차도 가장 적은 것으로 분석되었다.

나. 두 실험체 모두 측정기간 중 비교적 안정된 실내 기온 분포를 보였으며, 옥상 외기 온도 변동 폭에 비하여 실내기온 변동 폭이 전반적으로 적은 경향을 나타내었다. 이는 실내 기온 분포에 미치는 영향은 일사 및 외기보다 구성 재료의 단열성능이 더 크게 작용한다는 것을 의미하는 것으로 해석할 수 있다.

다. 기존의 USD 공법으로 시공된 실험체 A와 TiO₂ 확산반사 경질시트 공법으로 시공된 실험체 B의 구조체 온도 및 실내 기온 분포 등의 열성능은 유의할 수준의 차이를 나타내지 않았다. 또한 냉방장치 가동의 경우에도 두 실험체간의 소비 전력량의 차이는 극히 미미한 것으로 평가되었다.

라. TiO₂ 확산반사 경질시트 공법으로 시공된 실험체 B의 경우 옥상 외표면 온도의 상승폭은 USD 공법의 경우와 유사하나, 축열 효과가 없으므로 오후 및 야간에는 USD 공법보다 옥상 외표면 온도가 오히려 낮아 도시의 열섬 및 열대야 현상 방지에 유효한 친환경적인 공법으로 평가되었다.

결론적으로 앞에서 언급한 바와 같이 USD 공법에 비해 누름층이 생략되어 건물을 경량화 할 수 있어 경제적이며, 장스팬의 경량 옥상에 적합하고 시공이 간편한 이점이 있는 환경친화적인 경질시트 단열방수 공법의 사용에 대한 우수성과, 가시광선 영역의 빛은 흡수하지 않고 큰 굴절률을 가져 가장 우수한 확산반사 특성을 가지고 있는 미세한 입자 형태로 첨가된 이산화티타늄(TiO₂) 코팅 재료 개발의 타당성을 검증하였다.

본 연구는 실물 모델을 이용한 실험을 통한 비교분석 방법 사용의 한계를 가지고 있으나 추후 겨울철 난방기를 포함한 실제 조건에서의 종합적이고 장기적인 연구의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 구재오 외, 건축환경계획, 태림문화사, 2006.
2. 방재편찬위원회, 건축방수핸드북, 건설정보사, 2003.
3. 서울대학교 건설기술연구실, 건물부위에 따른 최적 방수공법 선정시스템 개발에 관한 연구, 1994.
4. 건기원, 성능평가 및 활성화 방안연구 시리즈, 1994
5. 함정도 외 1인, 친환경건축의 이해, 기문당, 2005.
6. 황태성, 열공학, 보문당, 1995.
7. Björn Berge, The Ecology of Building Materials, Architectural Press, 2001
8. P. Strachan, Model Validation Using the PASSYS Test Cells, Building and Environment, Vol 28, NO.2, pp. 153-165, 1993.
9. M. J. Cunningham, Moisture Transfer in Roof Sections under Cyclic Conditions and Constant Air Pressure Difference-Laboratory & Modelling Studies, Building and Environment, Vol 28, No.3, 1993.