

투과형 단열재의 열성능에 관한 연구  
김준수, 윤용진  
한국에너지기술연구원

Thermal Property on Transparent Insulation  
Joon soo Kim, Yong Jin Yoon  
Korea Institute of Energy Research

## 1. 서론

건축의 역사를 볼 때 인간은 인간생활에 부적당한 자연환경 조건을 물리적 차폐물과 에너지를 사용하여 바꾸었다. 물리적 차폐물은 건물의 외피구조의 발달을 초래하여 외부 환경에 따라 다양한 외피구조를 가지는 건축물을 낳게 되었다.

이러한 건물의 외피구조는 광선의 실내입사를 조절할 수는 있으나, 빛을 만들어내지는 못하며, 열을 보존 할 수는 있으나 열을 발생시키지는 못한다. 따라서 동시에 빛과 열을 얻을 목적으로 인간은 각종 에너지를 개발하여 건축 실내의 환경조건 조절의 수단으로 사용하게 되어 에너지 소비량이 급증하게 되었다.

에너지 소비량을 절감하기 위해서는 건물에서 가장 큰 에너지 손실 경로중의 하나로 알려진 건물 외피를 통한 열손실을 억제하기 위한 건물 외피의 새로운 단열기술이 필요한 실정이다.

기존의 건물 외피 단열기술은 실내 열의 외부 손실 방지가 주 목적이었기 때문에 겨울철에는 태양에너지에 의한 열 취득을 차단할 수밖에 없었다. 이러한 문제점 해결하기 위하여 기존의 단열 벽체의 장점을 유지하면서 벽체에 입사된 태양에너지를 최대한 흡수하여 유용하게 이용할 수 있는 투과형 단열재를 이용한 단열 시스템이 고안되어 많은 기술적 발전이 이루어져 오고 있다.

건물외피에 투과형 단열재를 이용한 단열 시스템은 빛이 통과할 수 있는 광투과성과 단열성을 가진 투명 단열재를 이용한 것으로, 빛이 통과할 수 있는 광투과성과 단열성을 가진 투명단열재를 이용하여 태양빛을 실내로 투과시키고 이 투과된 빛을 열로 전환시켜 건물의 냉난방 부하저감에 사용할 수 있도록 하는 새로운 단열 기술로 유럽에서는 실용화하여 효과적으로 에너지절약을 추진하고 있으나 국내에서는 투명단열재의 개발 및 응용 기술개발분야는 초기 개념정리단계에 있는 실정이다.

투명단열재를 이용한 단열 시스템에 관한 연구는 독일 Fraunhofer 연구소 등 유럽을 중심으로 유리, 합성수지, 에어로겔 재료를 이용한 투명단열재 개발과 이를 이용한 시스템 개발에 관한 연구가 오랫동안 수행되고 있으나, 국내에서는 수년 전부터 건물에 대한 응용검토 및 시스템 분석 연구 등이 이루어진 적은 있으나, 외국에서 개발 시판되고 있는 모세관 및 허니컴 형상의 투과형 단열재 및 투과형 단열재 구조체에 대한 연구는 전무한 실정이어서 현재 국내의 연구수준은 투과형 단열재의 개발 및 응용 기술개발분야는 초기 개념정리단계에 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 투과형 단열재를 이용하여 쉽게 건물에 적용할 수 있을 뿐만 아니라, 기존의 건물외피를 통한 열손실 방지라는 열차단적 기술로부터 열차단과 열취득을 동시에 할 수 있는 투과형 단열재를 개발하기 위한 투과형 단열 구조체의 계절별 설치효과 및 하절기 파열방지 기능 부가에 따른 효과 등의 열성능을 측정하였다.

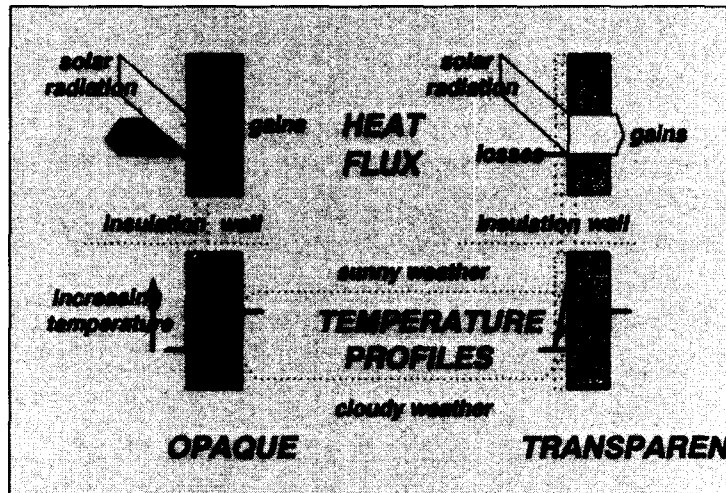
## 2. 이론

투과형 단열재는 투명단열재(TIM, Transparent Insulation Materials)의 한가지 종류로서 태양에너지를 적극적으로 활용하기 위하여 개발된 신소재로 최신 단열시스템 중에서 가장 실용성이 높은 재료로 주간 태양에너지가 가용 시간대와 야간에 열을 필요로 하는 시간대가 일치하지 않음으로서 주간 태양열을 구조체에 축열한 후 구조체에 지연효과를 이용하여 야간에 실내로 방출할 수 있도록 고안된 것이다.

즉, 투과형 단열재는 빛이 통과할 수 있는 광 투과성과 단열성을 가진 재료를 사용하여 태양복사열을 실내로 투과시키고 투과된 빛을 열로 전환시켜 건물의 냉난방부하저감을 위해 사용할 수 있는 기술로 투과형 단열재는 건물유리, 벽체, 태양열 집열판 등에 설치되어 에너지 절약효과를 극대화할 수 있는 기술이며 또한 자연에너지인 태양에너지를 최대한 활용할 수 있다는 점에서 환경친화적 건축재료의 개발 기술인 동시에 환경보호기술이라고 할 수 있다.

투명단열재는 단열효과 외에 에너지 취득효과까지 가지고 있어 불투명 단열에 비해 투명 단열재를 설치한 불투명외피에서는 정반대의 방향, 즉 실내 쪽으로 에너지가 흐르게 된다. 투명 단열재는 [그림 1]에서와 같이 파장이 짧은 태양의 직사광선 혹은 반사광선이 투명 단열재를 통과하여 구조물의 수열면에 도달되면 열로 변하여 외벽 구조물을 가열시켜 온도를 상승시키게 된다. 따라서 이러한 구조물의 높은 온도는 실내열이 외기로 유출되는 것을 막아줄 뿐만 아니라 실내쪽으로 에너지를 공급해주게 된다. 이렇게 취득되어 열로 변한 태양에너지는 투명 단열재의 높은 단열능력과 파장이 길어진 열선의 차단 효과에 의해 외기로부터 보호되어 태양에너지 취득효율을 높여 주게 된다.

이와 같이 투명 단열재는 에너지를 실내로 공급해 주기 때문에 많은 에너지 절약 효과를 얻을 수 있으나, 설치 지역별 태양열 유효 이용 및 과열 방지 등 특성을 적절히 활용하기 위한 시스템 기술개발이 수반되어야 최대한의 효과를 기대할 수 있다.



[그림 1] 투명단열재와 불투명단열재의 열흐름 비교

### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1. 실험장치

Capillary형 투과 단열재를 이용하여 투과 단열재의 계절별 설치 효과와 하절기의 과열 방지 기능 부가에 따른 효과를 측정하기 위하여 투과 단열재 열성능 측정용 test-cell과 측정된 열성능 비교 분석용 test-cell을 제작하였다.

Test-cell은 크게 외부 프레임, 집열부, 축열부, 그리고 집열부와 축열부 사이의 공간, 그리고 실내공간으로 구성되어 있다. Test-cell의 외피는 우레탄폼을 충전한 두께 100 mm 샌드위치 패널을 사용하였으며, 폭, 길이, 높이는 1650 mm, 2300 mm, 1750 mm이고 전면은 집열부로 이중 유리와 투과 단열재의 탈·부착이 용이한 구조로 되어 있다. 이중 유리는 5 mm 투명유리와 6 mm 공기층으로 조합되어져 있으며, 투과 단열재는 5 mm 투명 이중 유리 사이에 50 mm의 capillary형 투과 단열재가 조합된 것이다. 축열부의 축열벽은 무광택 도료를 사용하여 흡수율을 60% 및 95%로 조절한 일반 시멘트 벽돌을 사용하였다.

#### 3.2. 실험방법

투과 단열재를 건물 외벽에 설치시 적용 효과를 검토하기 위하여 계절별 성능 평가를 하기 위하여 먼저 동일한 열성능을 가지는 일반 단열재를 1650 mm × 1750 mm로 동일하게 제작하여 투과 단열재 열성능 측정용 test-cell과 측정된 열성능 비교 분석용 test-cell에 설치하고 test-cell내에 설치된 2kw 히터와 40W 팬을 가동시켜 22℃ 로 유지하도록 설정한 후, T-type 열전대를 이용하여 외기온도, 프레임 표면, 축열벽, 실내온도, 축열벽과 집열부 사이의 공기층의 온도를 포함해서 15 point를 5분 간격으로 측정하였다. 그리고 일사량은 Apply사의 PSP 일사계를 이용하여 수평면 및 경사면의 일사량을 1분 간격으로 측정된 값을 10분 간격으로 기록하였다. 풍속/풍향은 Maximum #40 Anemometer와 Wind Direction vane에 의해 매초간 측정된 자료를 매시간 평균치를 구하여 이를 대표치로 산정하여 기록하고, 저장된 자료를 data logger의 통신 port와 컴퓨터를 통해 파일화하여, 매시간의 풍속/풍향자료에 대한 정보를 구하였다.

상기의 실험방법과 동일한 방법으로 축열벽의 표면 흡수율과 두께 변화, 투과형 단열재 외부에 일사 차폐용 블라인드 및 집열공간의 자연환기를 이용한 여름철 과열 방지 효과를 검토하기 위하여 표 1과 같은 조건으로 외기온도, 프레임 표면, 축열벽, 실내온도, 축열벽과 집열부 사이의 공기층의 온도를 측정하였다.

표 1. 실험조건

실험명	실험내용				실험기간 (2002년)	비고
	축열벽두께	흡수율	블라인드	자연환기		
1	1B	60%	×	×	02.20-02.25	난방성능 실험
2		95%			02.26-03.08	
3	2B	95%			●	
4			06.17-06.23			
5			08.27-08.31			
6			09.01-09.03			

### 3. 결론

1. 일반 스티로폼 단열재를 이용한 투과 단열재 열성능 측정용 test-cell과 측정된 열성능 비교 분석용 test-cell의 열성능은 test-cell내의 실내온도 및 공급열량 차이가 크지 않아 test-cell의 열성능 차이가 거의 없는 것으로 확인하였다.
2. 1B(190 mm)의 두께를 가진 축열벽의 흡수율 변경(60%→95%)시, 투과단열재의 축열벽 내외 표면온도 및 실내온도가 최고점에 이르는 시간이 1시간 정도 단축되어 야간의 보온 효과에 우수한 것으로 나타났다.
3. 축열벽의 두께가 2B 이상에서는 난방에너지 절감효과가 거의 없는 것으로 나타났다.
4. 하절기 과열방지를 위한 실험에서 일사차폐를 위한 블라인드와 집열관간의 자연환기를 동시에 하였을 때 보다 효과적인 것으로 나타났다.