

[논문] 한국태양에너지학회 논문집  
*Journal of the Korean Solar Energy Society*  
Vol. 23, No. 1, 2003

## 투명단열 축열벽 시스템의 열성능 평가 실험 연구

# Thermal Performance Evaluation Monitoring Study of Transparent Insulation Wall System

김병수\*, 윤종호\*\*, 윤용진\*\*\*, 백남춘\*\*\*, 이진숙\*\*\*\*

B. S. Kim\*, J. H. Yoon\*\*, Y. J. Yoon\*\*\*, N. C. Baek\*\*\*, J. S. Lee\*\*\*\*

**Key words** : 투명단열재(TIM), 축열효과(Thermal storage effect), 축열벽(Thermal mass-wall)

### Abstract

Various efforts to combine new high-tech materials with solar system have been progressed nowadays in order to improve the performance of the existing passive solar system. TIM(Transparent Insulation Material) replacing the conventional outer building envelope glazing as well as the wall is good example for this trend. TI integrated wall is a thermal mass wall with a special shaped TIM instead of using typical envelope materials. The tested TIM type is a small(diameter 4mm and thickness 50mm) capillary tube of OKalux model and cement brick(density 1500kg/m<sup>3</sup>). The purpose of this study was to analyze the thermal performance through the actual measurements performed in a test cell. This study was carried out to justify the following issues: 1) the impact of TI-wall over the temperature variations 2) the impact of mass wall surface absorptance over the transient thermal behavior and 3) the impact of thermal mass wall thickness over the temperature variations. Finally, as results indicated that the peak time of room temperature was shifted about one hour early when absorptance of thermal mass wall changed from 60% to 95% for the 190mm thickness thermal mass wall test case. the temperature difference of both surfaces of thermal mass wall surface showed about 23°C during a day of March for the 380mm thickness thermal mass wall case. However, the thermal mass wall was over-heated by outside temperature and solar radiation in a day of May. the temperature difference of both surfaces of thermal mass wall surface was indicated 10°C and inside temperature was observed more than average 22°C.

\* 충남대학교 건축공학과 박사과정  
\*\* 한밭대학교 건축공학과 교수  
\*\*\* 한국에너지기술연구원 책임연구원  
\*\*\*\* 충남대학교 건축공학과 교수

\* Graduate school, Chungnam National University  
\*\* Department of Architecture, Hanbat National University  
\*\*\* Korea Institute of Energy Research  
\*\*\*\* Department of Architecture, Chungnam University

## 1. 서론

세계 각국에서는 각종 에너지 절약 정책의 시행과 함께 대체에너지의 개발촉진을 통하여 에너지원의 합리적 이용과 안정적 확보를 꾀하고 있다.

태양열, 태양광, 지열, 풍력과 같은 대체에너지 개발은 또다른 에너지원의 확보뿐만 아니라 환경오염등과 같은 지구의 위기를 극복할 수 있는 유일한 방법이다. 그 중에서도 태양에너지는 우리나라 기후조건에서는 어느 곳에서도 쉽게 적용할 수 있는 장점을 갖고 있기 때문에 전망이 좋은 대체에너지원이다. 우리나라와 같이 난방에너지 소비가 큰 비중을 차지하는 주거용 건물에서는 아주 적합한 시스템이다. 특히 부착온실이나 축열벽 시스템과 같은 자연형 태양열 시스템은 에너지 절감효과 뿐만 아니라 건축물의 일부로 활용할 수 있기 때문에 신축건물뿐만 아니라 기존 건축물의 리모델링시 다양한 형태로 적용되고 있다.

최근 선진국에서는 시스템의 성능향상을 위해 고효율 건축자재의 개발이 이루어지고 있으며, 그 중에서도 투명단열재(TIM: Transparent Insulation Materials)의 개발은 보다 성능이 우수한 시스템의 개발이 가능하도록 하였다. 투명단열재는 일반 단열재와 같이 열적으로 우수할 뿐만 아니라, 유리와 같은 투과성이 우수하기 때문에 축열벽과 같은 자연형 태양열 시스템의 집열부를 투명유리대신 투명단열재를 적용한 시스템의 연구가 활발히 진행중이다. 국내의 경우 일부 이론 해석<sup>1)</sup>이나 단기간 실험에 의한 현상검증<sup>2) 3)</sup>에 대한 선행연구가 있었으나 국내기후에서 구체적 열현상 규명에 대한 본격적인 성능규명 연구는 이루어지지 않은 상태이다.

따라서 본 연구는 투명단열재를 적용한 축열벽 시스템의 Test-cell 실험모델을 사용하여 동절기 및 중간기동안 축열벽의 두께와 흡수율 변화에 따른 난방에너지 성능평가를 수행함으로써 국내 기

상조건에서 투명단열재를 적용한 축열벽 시스템의 열성능을 분석하여 설치 가능성을 검증하는데 연구의 목적이 있다.

## 2. 실험방법 및 조건

투명단열재는 주로 TIM(transparent insulation materials)또는 OM(Optical materials)으로 불리며, 유리와 같은 투과체의 성질과 일반단열재의 열적 특성이 매우 우수한 새로운 개념의 단열재이다. 따라서 선진국에서는 90년대 이후 자연형 태양열 시스템의 성능향상을 위해 투명단열재의 소재개발<sup>4)</sup>부터 시스템적용 기법<sup>5) 6)</sup>까지 매우 다양한 연구 및 개발이 활발히 진행중이다. 특히 투명단열재는 자체의 광학적인 특성 때문에 주광의 이용 측면 뿐만 아니라, 난방에너지 절약을 위해 축열효과를 이용한 트롬월(Trombe wall), 또는 매스월(Mass-wall)과 같은 축열벽 시스템의 구성요소로 사용되고 있다. 본 연구에서는 투명단열재를 적용한 매스월 시스템을 투명단열 축열벽(TI-wall)으로 정의하고 투명단열재의 열성능평가를 실시하였다.

### 2.1 실험의 방법 및 조건

본 실험에서는 TI-wall의 국내 적용 가능성에 초점을 맞추어 일단계로 시스템 구성의 핵심요소인 축열두께와 표면흡수율을 주 실험변수로 설정하였다. 실험방법은 표 1에 요약한 바와 같이 3개의 구성에 대해 2월20~3월22일까지 수행하였으며, 중간기 및 과열 실험을 위해 5월에도

표 1. TI-wall의 실험개요

	실험 내용	실험 일시
실험조건1	축열벽의 두께1B+흡수율60%	2/20~2/25
실험조건2	축열벽의 두께1B+흡수율95%	2/26~3/8
실험조건3	축열벽의 두께2B+흡수율95%	3/17~3/22
		5/10~5/15

실험을 실시하였다.

실험모델의 성능평가는 난방에너지 소비량에 영향을 주는 실내공간, 투명단열재의 표면온도, 집열공간, 그리고 축열벽의 온도 분포를 비교 분석하였다.

## 2.2 실험모델의 개요

TI-wall의 성능실험을 위한 실험모델은 그림 1과 같이 두께 100mm 샌드위치 판넬을 사용하였으며, 크기는 1,650×2,300×1,650mm로 하였다.

모델의 전면에는 탈착이 자유로운 프레임(1,650×1,650mm)을 제작하였으며, 가로×세로의 길이가 1,200mm×1,200mm의 투명단열재를 설치하였다.

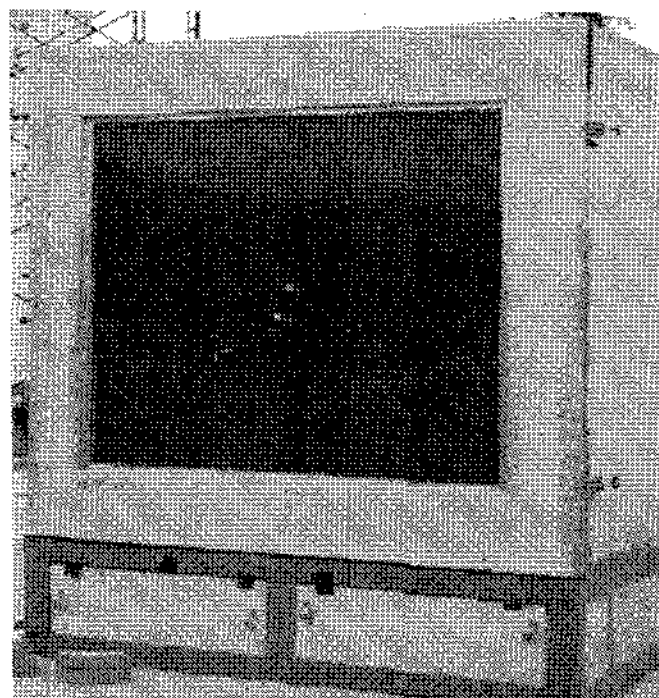


그림 1. 투명단열재를 설치한 실험모델

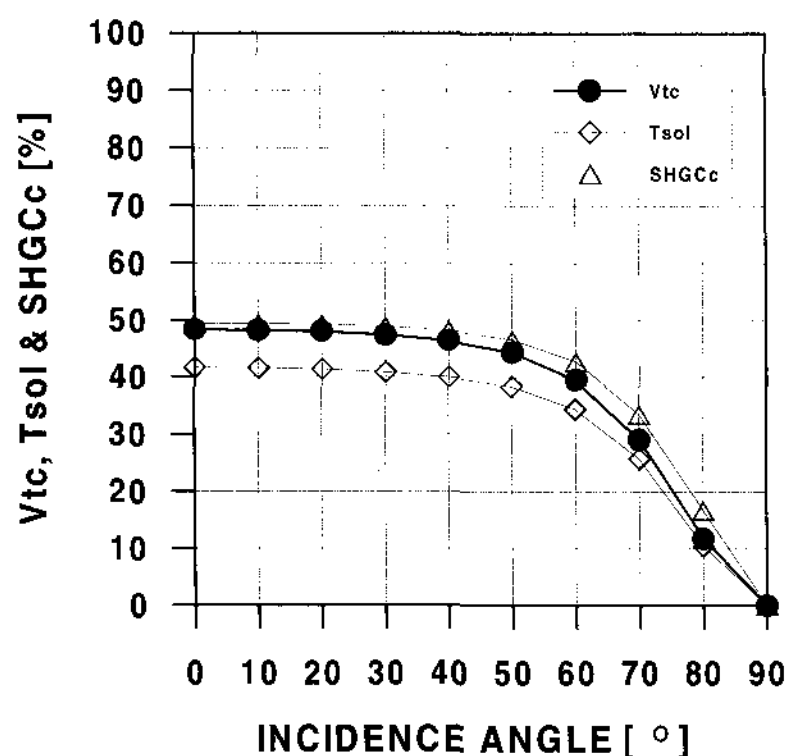


그림 2. 투명단열재의 가시광선 투과율(Vtc), 태양복사 투과율(Tsol) 및 일사획득계수(SHGCc)

프레임에 부착된 투명단열재는 Okalux사의 제품으로 재료는 PC(polycarbonate)이며, 지름이 4mm 미만의 대롱모양의 Capillaries Type으로 되어 있다. 전체 두께는 60mm이며, 유리(5mm)+TIM(50mm)+유리(5mm)로 구성되어 있다.

그림 2는 실험에 사용된 투명단열재의 투과특성 데이터를 나타내고 있으며, 표 2는 투명단열재 및 실험모델의 구성요소별 열적 특성을 나타내고 있다.

한편 샌드위치 판넬이 교차하는 부분의 열교(Thermal bridge)현상방지를 위해 커팅과 충전등으로 열교차단 처리를 하였으며, 실험모델과 전면 프레임의 부착시 발생하는 침기현상을 차단하기 위해 탄력성이 강한 우레탄 폼을 사용하였다.

표 2. 실험모델의 부위별 열적특성데이터<sup>7)</sup>

구성	재료명	열전도율 W/mK	밀도 kg/m <sup>3</sup>	비열 J/kgK	방사율	두께 mm	열관류율 W/m <sup>2</sup> K
축열벽	시멘트벽돌	0.9	1500	700	0.9	190	2.57
	알루미늄	210	2100	880	0.22	2	0.28
	우레탄폼	0.03	30	837	0.9	100	
알루미늄	210	2100	880	0.22	2		
투명단열재	유리	0.76	2710	837	0.83	5	0.86
	TIM	0.06	905	500	0.5	60	
	유리	0.76	2710	837	0.83	5	

축열벽의 재료로는 가로×세로×높이가 190mm×90mm×56mm의 일반 시멘트 벽돌을 사용하였으며, 두께는 1B(190mm), 2B(380mm)를 적용하였다. 한편 축열벽의 표면 흡수율 변화를 위해 무광택 흑색페인트를 사용하였으며, 접물색 차계(Model: Minolta spectrophotometer CM 2002)를 사용하여 흡수율을 측정하였다. 시멘트 벽돌의 흡수율을 60%, 95% 조건으로 실험을 수행하였다.

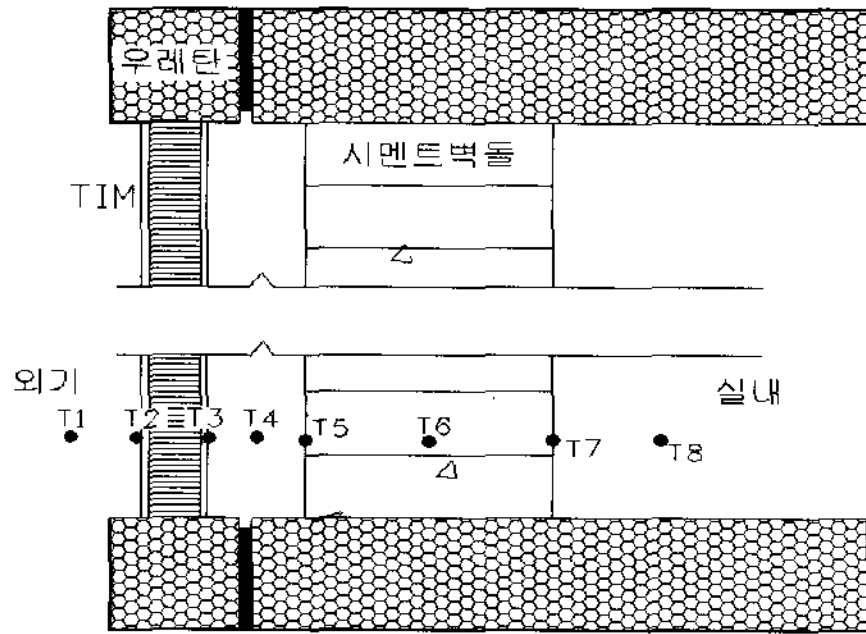


그림 3. 실험모델의 구성요소별 센서의 측정위치

실험에 사용된 센서와 데이터로거는 각각 T-type Thermocouple, Hp Agilent(Model No: 34970A)를 사용하였다. 측정시간은 1분마다 데이터를 측정하고 10회, 즉 10분동안 측정한 값의 평균을 컴퓨터에 저장하도록 프로그램 하였다. 또한 일사량은 한국에너지기술연구원에서 제공한 대전지역의 시간평균 직달, 산란일사 데이터를 활용하였다. 그림 3은 Test-cell의 온도 센서 및 설치 위치를 나타내었다.

### 3. 실험결과 및 분석

실험모델의 에너지 성능 평가를 위해 그림 3과 같이 투명단열재의 내외표면, 투명단열재와 축열벽 사이의 집열공간의 중앙부, 축열벽의 내외표면, 실내온도를 분석하였다.

#### 3.1 실험조건1: 축열벽의 두께가 1B+흡수율 60%

축열벽의 효과를 실험하기 위해 흡수율이 60%인 일반벽돌을 사용하여 축열벽의 두께를 1B(190mm)로 설치하였다.

실험결과 그림 4와 같이 투명단열재의 내표면 온도분포(T3)은 집열공간(T4)의 온도보다 약 2°C~4°C정도 높지만 집열공간의 온도와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 외표면온도분포(T2)는 야간이나 새벽의 경우 외기온도와 동일한 온도분포

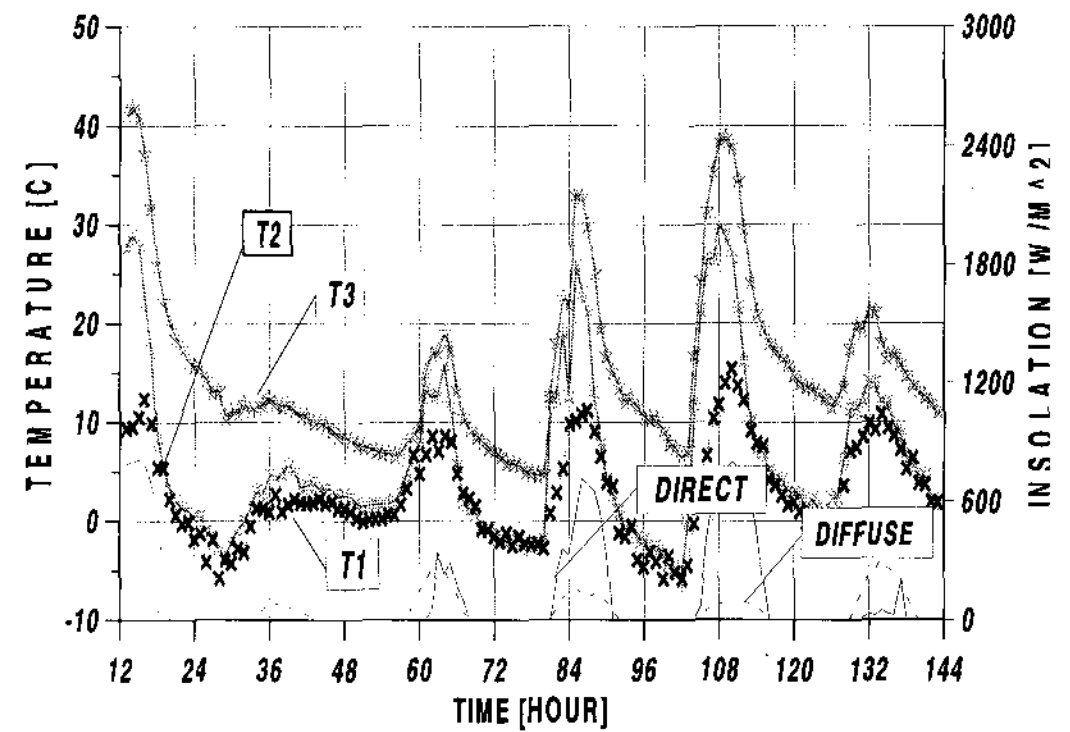


그림 4. 흡수율이60%인 일반 시멘트 벽돌을 사용한 실험모델의 TIM내외표면온도 (2/20~2/25)

를 나타내고 있지만, 일사량과 외기온도가 높은 주간의 경우 외기온보다 최고 12°C이상 상승하는 것으로 나타났다. 또한 투명단열재의 내외표면온도분포는 일사량이 높은 주간의 경우 외표면보다 내표면이 12°C이상 높게 유지되고 있으며, 오후 6시경에는 최고 14°C이상 높게 유지되는 것으로 나타났다.

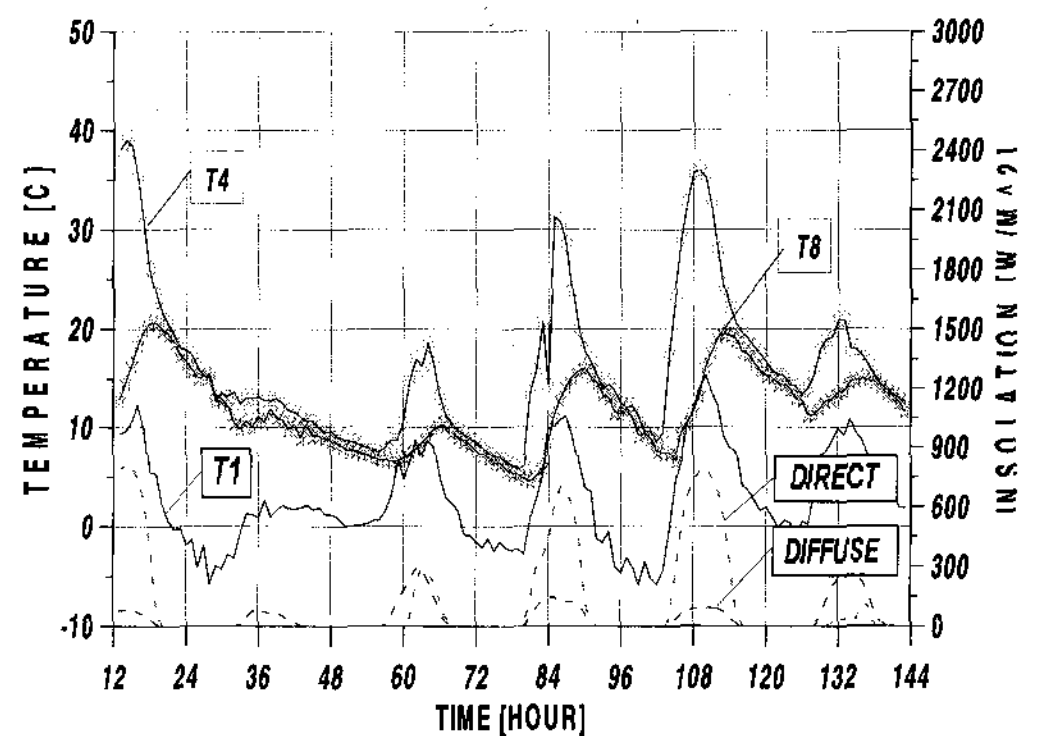


그림 5. 흡수율이 60%인 일반 시멘트 벽돌을 사용한 실험모델의 온도분포 (2/20~2/25)

그림 5와 같이 투명단열재와 축열벽 사이의 집열공간의 온도(T4)는 평균 오후2시경에 최고온도에 도달하며, 실내온도보다 약 14°C~18°C이상 높게 유지되고 있다. 실내온도(T8)는 집열공간보다 평균 5시간 늦은 오후7시경에 최고점에 도달하는 것으로 나타났다.

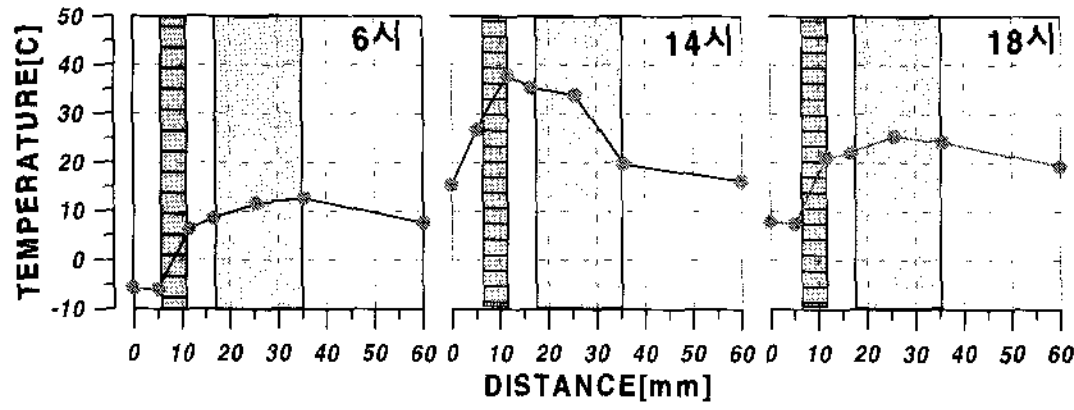


그림 6. 실험조건1의 시간에 따른 부위별온도분포(2/24)

그림 6은 실험조건1의 부위별 온도를 시간별로 나타내고 있다.

그림 6에 나타난 것과 같이 실험조건1의 경우 주간에는 열류의 방향이 외부에서 실내측으로 이동하고 있으며, 야간이나 주간의 경우 투명단열재의 단열효과에 의해 실내에서 외부로 이동하는 열류의 양이 작게 나타나는 것으로 나타났다.

### 3.2 실험조건2: 축열벽의 두께1B+흡수율 95%

축열벽의 표면 흡수율을 95%로 한 경우, 그림 7에 나타난 것과 같이 투명단열재의 내표면 온도분포는 실험조건1과 같이 집열공간의 온도분포보다 약 2°C~4°C정도 높으며, 집열공간의 온도와 비슷한 온도분포를 나타내고 있다.

외표면 온도분포는 실험조건1과 같이 외기온도보다 최고 12°C높게 상승하였으며, 외기온도에 가장 민감하게 변화하는 것으로 나타났다.

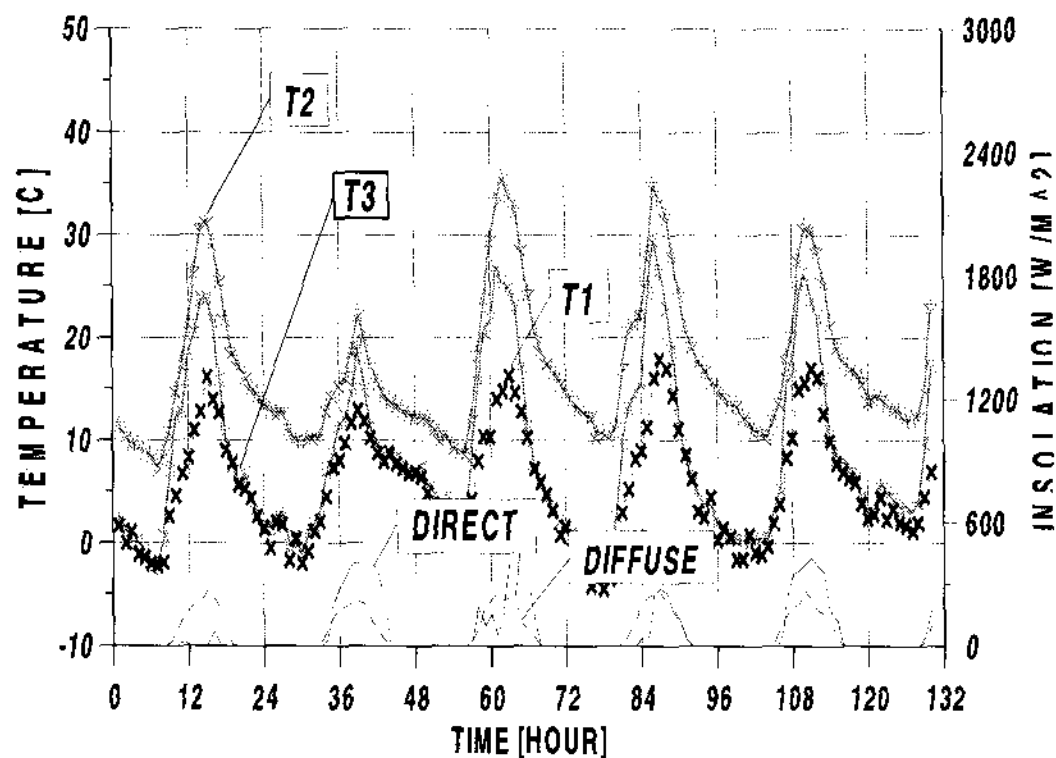


그림 7. 흡수율이95%인 일반 시멘트 벽들을 사용한 실험모델의 TIM내외표면온도 (2/26~3/4)

그림 8와 같이 투명단열재와 축열벽 사이의 집열공간의 온도는 실험조건1과 같이 평균 오후 2시에 최고온도에 도달하며 실내온도보다 7°C~14°C높게 유지되고 있다.

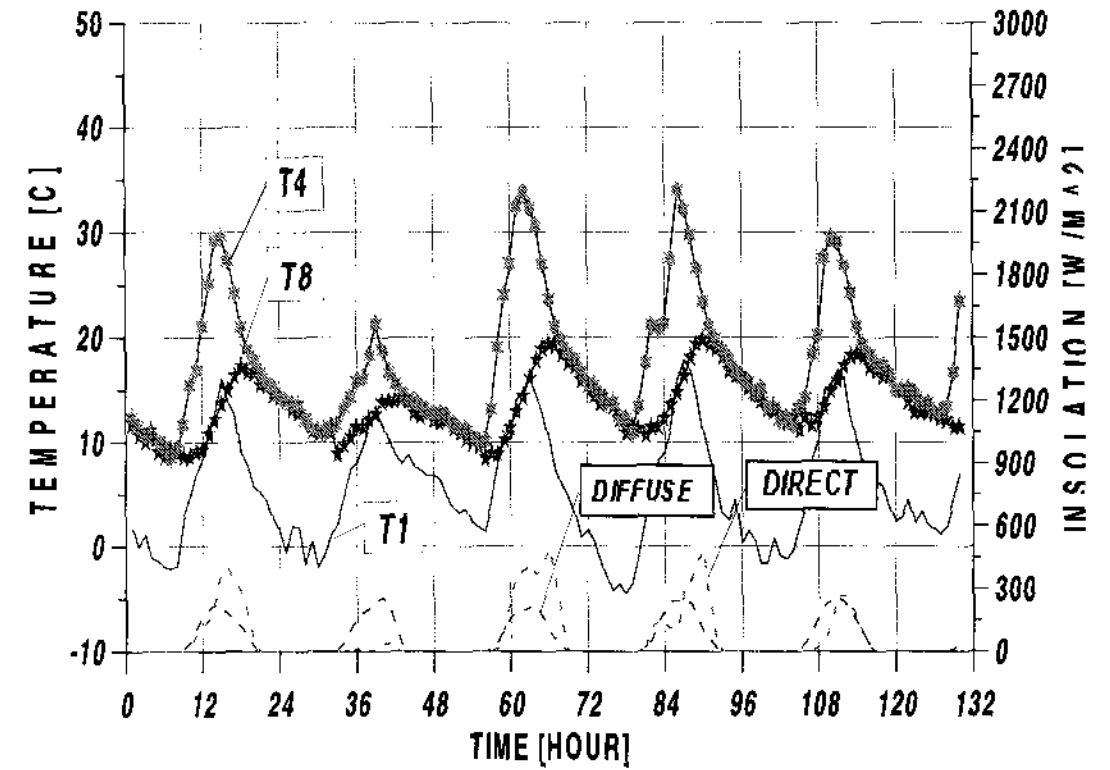


그림 8. 흡수율이 95%인 일반 시멘트 벽들을 사용한 실험모델의 온도분포 (2/26~3/4)

실내온도는 집열공간보다 평균 4시간 늦은 오후 6시경에 최고점에 도달하는 것으로 분석되었다. 축열벽의 흡수율이 60%인 실험조건1과 비교할 때, 실내온도가 최고점에 이르는 시간이 1시간정도 단축되는 것으로 나타났으며, 흡수율이 높을수록 많은 양의 태양복사를 흡수하는 것으로 분석되었다.

그림 9은 실험조건2의 부위별 온도를 시간별로 나타내고 있다.

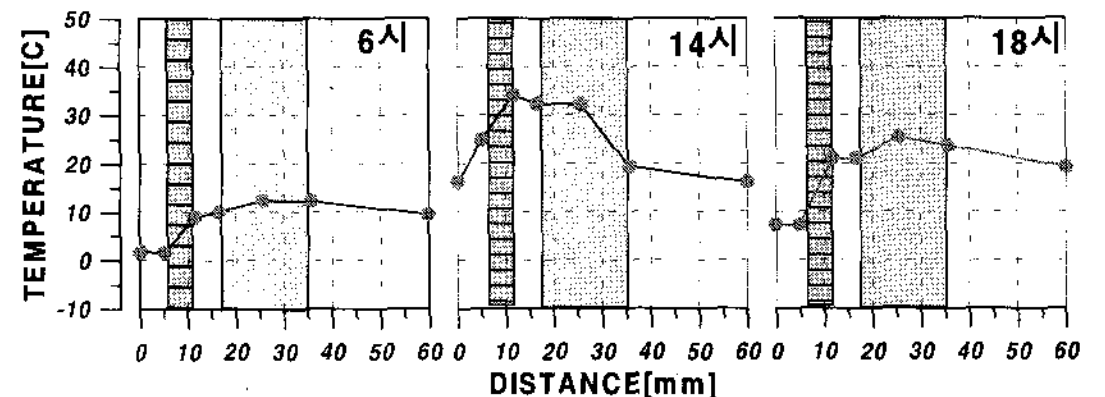


그림 9. 실험조건2의 시간에 따른 부위별온도분포(2/27)

그림 9에 나타난 것과 같이 실험조건2에서도 투명단열재의 설치를 통해 주간동안에 열류의 방향이 외부에서 실내측으로 이동하는 것을 알 수 있다.



**3.3 실험조건3: 축열벽의 두께 2B+흡수율 95%**

축열벽의 두께에 따른 TI-wall의 열성능 실험을 위해 외기온도가 평균 10°C정도인 3월의 실험과 외기온도가 평균 20°C를 넘는 5월의 실험을 실시하였다.

첫째, 축열벽의 두께 2B와 흡수율을 95%로 한 3월의 실험결과, 그림 10과 같이 투명단열재의 내표면 온도분포는 실험조건1,2와 달리 집열공간의 온도보다 약 2°C정도 낮게 유지되고 있지만, 전체적인 온도분포경향은 집열공간과 비슷하다. 외표면 온도분포는 실험조건1,2와 달리 일사량이 없는 오후나 새벽에도 외기온도보다 약 2°C 높게 유지되고 있으며, 내외표면의 온도차는 일사와 외기온도가 높은 주간에는 약 10°C의 온도차이를 나타내고 있으며, 야간의 경우 약 5°C의 온도차를 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

투명단열재와 축열벽 사이의 집열공간의 온도는 그림 11과 같이 오후 3시에 최고온도에 도달하며 실내온도보다 6°C~16°C높게 유지되고 있지만, 흐린날의 경우를 제외하면 평균 15°C이상 높게 유지되고 있는 것으로 분석되었다. 실내온도는 집열공간보다 4시간 늦은 오후 7시경에 최고점에 도달하는 것으로 분석되었다.

그림 12는 실험조건3의 부위별 온도를 시간별로 나타내고 있다

그림 12와 같이 실험조건3의 경우 주간에는 축열벽의 외표면온도는 내표면온도보다 최고 23°C 이상 높게 상승하고 있지만, 주야간 축열벽 내표면온도는 거의 변화가 없기 때문에 실내온도 변화도 거의 차이가 없었으며, 야간의 경우 실험조건 1,2와 달리 축열벽의 내표면온도가 외표면온도보다 약 3°C정도 낮은 것을 볼 수 있다.

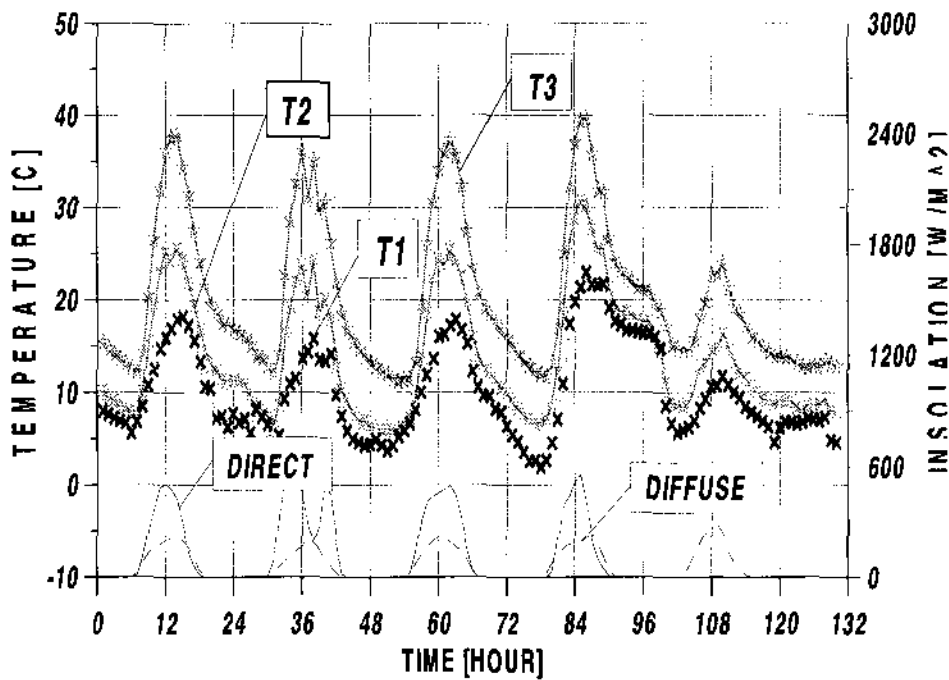


그림 10. 축열벽의 두께 2B+흡수율95%인 실험모델의 TIM내외표면온도 (3/17~3/22)

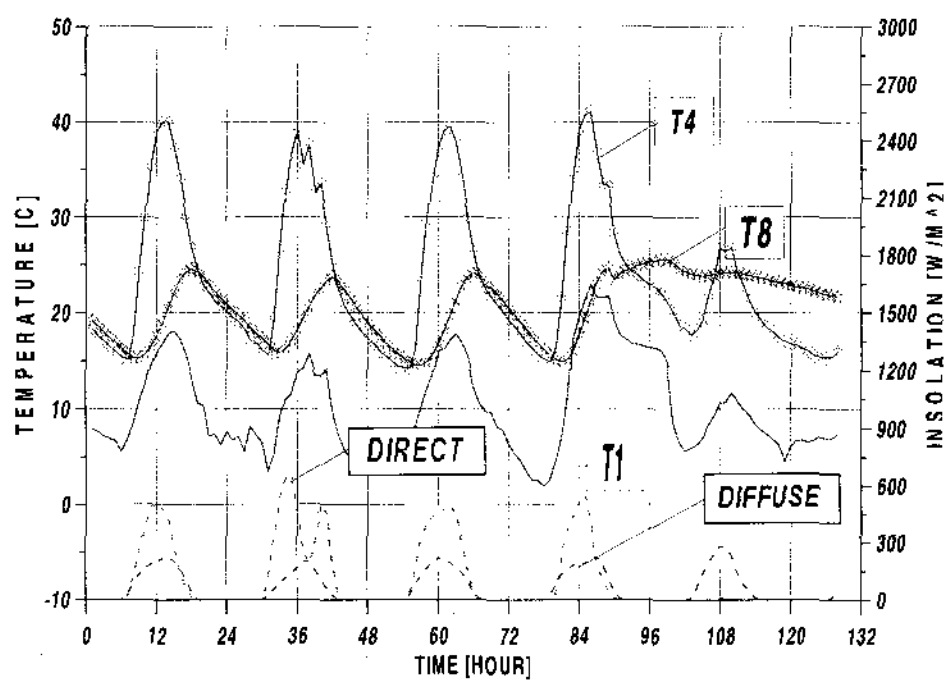


그림 11. 축열벽의 두께 2B+흡수율95%인 실험모델의 온도분포 (3/17~3/22)

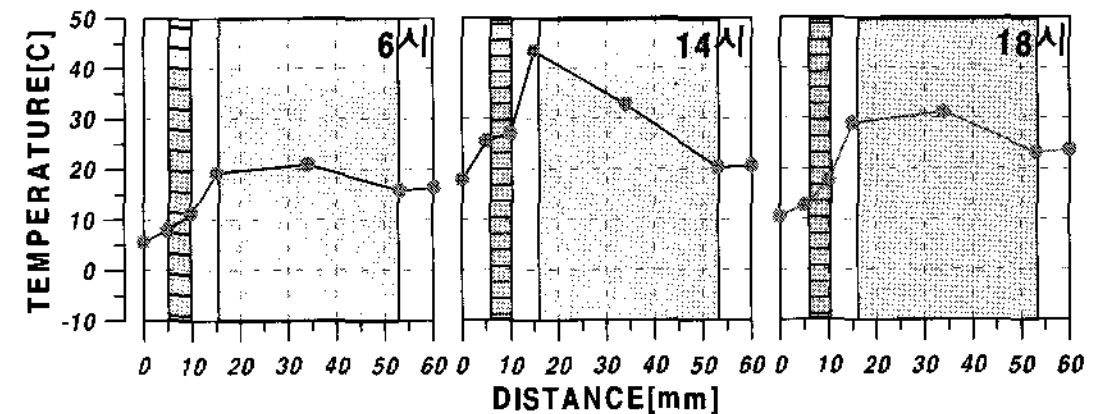


그림 12. 실험조건3의 시간에 따른 부위별온도분포(3/17)

이것은 축열벽의 두께가 2B인 경우 주간에는 외부에서 실내측으로 충분하게 열전달이 이루어지지 않는 것으로 나타났다. 따라서 난방을 위해 시멘트 벽돌을 축열벽으로 사용할 경우 축열벽의 두께는 2B(380mm)이상으로 하는 것은 바람직하지 않는 것으로 예측된다.

둘째, 축열벽의 두께 2B와 흡수율을 95%로 한 5월의 실험은 자연형 태양열 시스템의 설치시 실내온도가 필요이상으로 상승하는 과열현상과 축열효과에 대해 실험하였다.

투명단열재 내측면온도는 그림 13과 같이 다른 조건의 실험결과와 마찬가지로 집열공간의 온도보다 약 2°C낮게 유지되고 있는 것으로 분석되었

으며, 외측표면의 온도 역시 다른 조건의 실험과 같이 외기온도에 비슷한 온도분포를 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

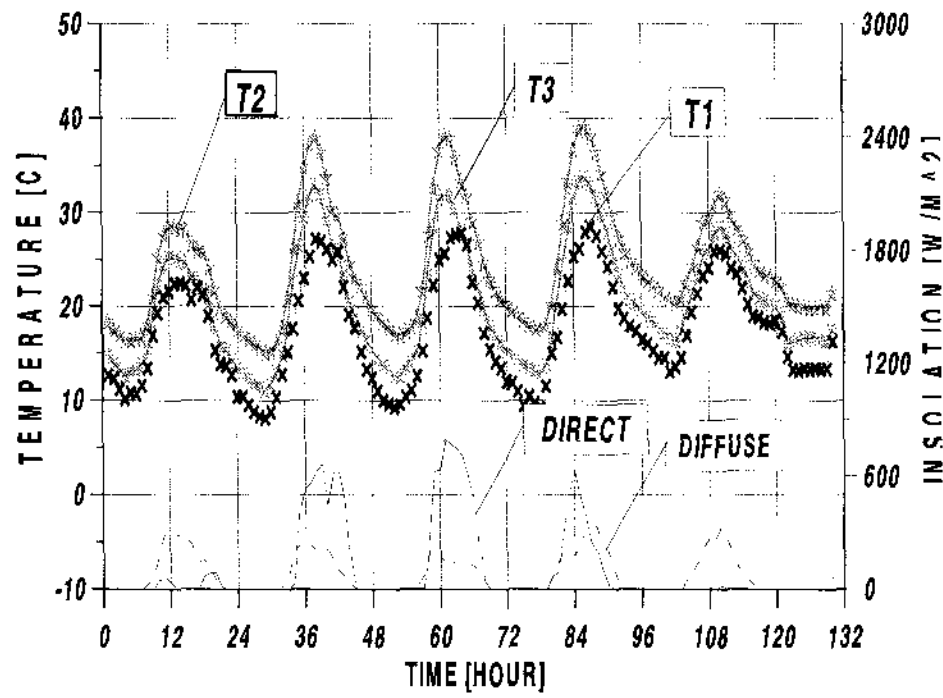


그림 13. 축열벽의 두께 2B+흡수율95%인 실험모델의 TIM내외표면온도 (5/10~5/15)

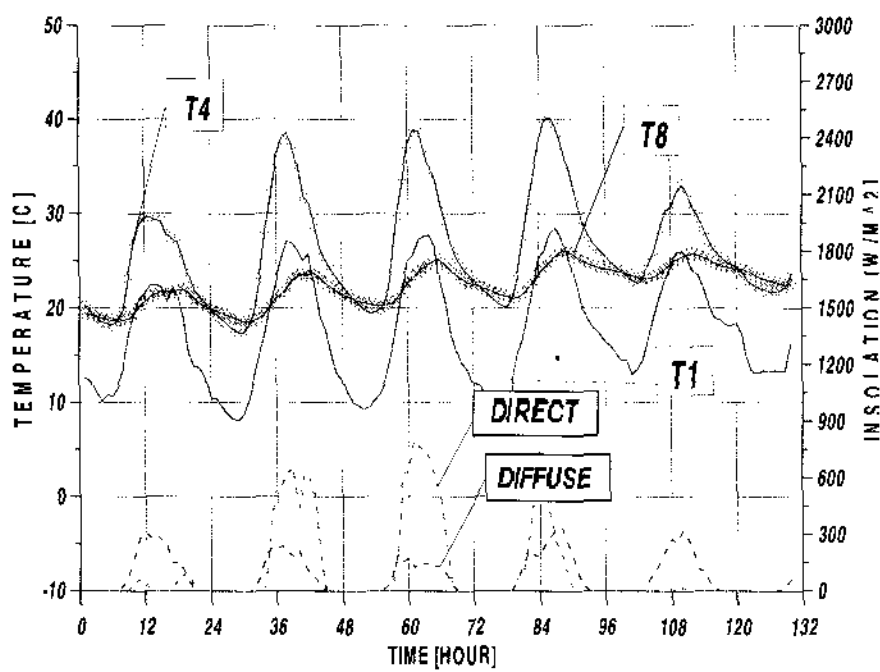


그림 14. 축열벽의 두께 2B+흡수율95%인 실험모델의 온도분포 (5/10~5/15)

그림 14에 나타난 것과 같이 외기의 온도는 21.5°C~30.9°C로 변하고 있으며, 집열공간의 온도는 17°C~40°C의 온도분포를 나타내고 있다. 실내온도분포는 18.6°C~26°C까지 분포하고 있으며, 주야간 평균 22°C를 넘는 것으로 나타났다.

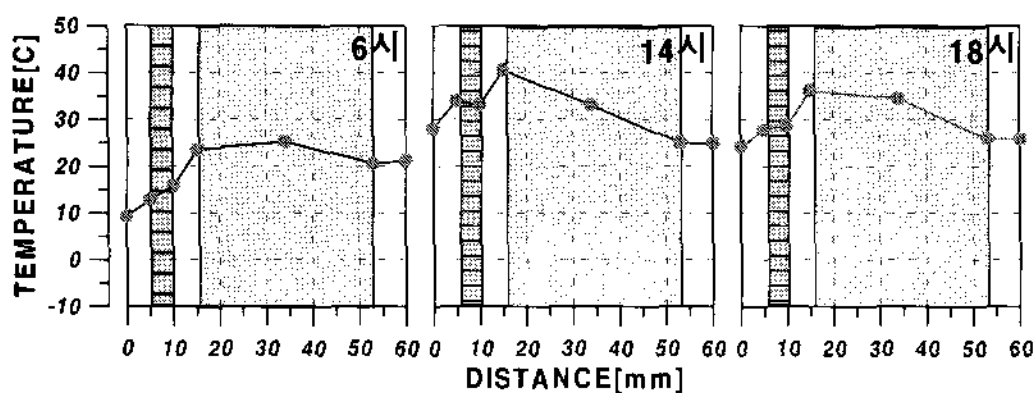


그림 15. 실험조건3의 시간에 따른 부위별온도분포(5/13)

그림 15는 실험조건3의 부위별 온도를 시간별로 나타내고 있다. 축열벽의 온도분포는 실험조건3의 3월달 실험과 달리 외기온도가 30°C로 상승하는 5월의 경우 축열벽의 내외표면 온도분포는 40°C~27°C까지 유지하고 있다. 특히 오후 2시경에는 축열벽의 중간온도가 30°C를 넘었으며 내표면온도는 25°C를 넘는 것으로 나타났다.

실내온도 역시 축열벽 내표면온도가 가장 높은 오후 2시경부터 25°C를 넘었으며, 오후 6시 이후까지 지속되는 것으로 나타났다. 또한 축열벽 두께가 1B인 실험조건1,2의 하루 중 실내온도 변화가 10°C~12°C의 변화가 있는 반면, 축열벽의 두께가 2B인 실험조건3의 경우 상대적으로 외기온도와 일사량이 높지만, 실내의 온도분포는 7°C~8°C까지 변화하는 것으로 나타났다. 따라서 축열벽의 두께가 1B에서 2B로 될 때, 실내온도의 급격한 상승현상은 경감시킬 수 있지만, 하절기 고온으로 가열된 축열벽으로 인해 실내온도가 고온으로 장시간 유지될 가능성이 있는 것으로 예상된다. 따라서 하절기 과열방지를 위해서는 별도의 환기장치나 일사차단 장치가 필요할 것으로 사료된다.

#### 4. 종합토의 및 결론

기존의 이론해석 및 단일조건하에서 단시간에 이루어진 실험과 달리, 본 실험은 투명단열재를 적용한 Test-cell 축열벽 시스템을 대상으로 축열두께 및 표면흡수율을 변화시켜 동절기 및 중간기에 따른 에너지 성능변화 실험을 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 투명단열재의 시간별 온도분포의 경우 실험 조건별로 약간의 차이가 있지만, 내표면의 경우 집열공간 및 축열벽 외표면 온도분포와 거의 동일한 온도분포를 나타내고 있으며, 외표면온도는 일사량이 높은 주간의 경우를 제외하면 외기의 온도와 거의 일치하는 것으로 나타났다.

2. 축열벽의 표면흡수율에 따른 실험결과 동일한 축열벽두께(1B)에서 흡수율을 60%에서 95%로 상승시킬 경우, 축열벽의 내외표면온도 및 중간온도가 평균 2°C 높게 나타났으며, 실내온도가 최고점에 이르는 시간이 1시간정도 줄어든 것으로 나타났다.

표 3. 실험조건별 외기조건 및 온도분포

실험조건		T1 (°C)	수평면 전일사량 (W/m <sup>2</sup> )	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	T8 (°C)
1	최대	9.8	675	28.1	40.4	37.8	35.5	24.3	18.6	18.8
	최소	-3.7	-	-2.3	6.2	7.5	9.6	8.1	5.8	8.6
	평균	4.1	288.5	8.1	16.6	17.1	18.6	15.4	11.6	11.8
2	최대	17.9	775	29.6	36.9	34.4	35.4	25.5	20.9	20.7
	최소	-5.2	-	-3.2	7.3	8.5	11.8	10.8	7.6	8.4
	평균	5.3	293.5	8.6	18.4	18.7	21.1	17.8	13.9	14.0
3	최대	22.9	711	30.8	39.6	41.1	43.5	29.9	25.0	25.3
	최소	9.8	-	14.0	20.6	23.5	27.2	22.2	17.8	18.3
	평균	-1.0	318.5	1.7	6.7	10.1	13.8	13.2	9.7	10.4
	최대	30.9	894.6	39.0	33.9	40.2	40.5	34.8	30.9	26.1
	최소	21.5	-	15.1	10.9	17.4	20.4	21.5	21.5	18.6
평균	26.1	332.6	24.4	20.5	26.4	28.6	27.6	26.1	22.4	

3. 축열벽의 두께가 2B(380mm)인 3월달의 실험결과 축열벽 두께가 1B인 실험조건1,2보다 실내온도의 변화폭은 감소하였지만 주간 가열된 열이 충분히 실내측으로 전달되지 못하는 것으로 나타났으며, 동일한 조건에서 상대적으로 일사량과 외기온도가 높은 5월의 실험결과 주야간 축열벽의 온도는 평균 30°C 이상 유지되고 있으며, 실내온도는 평균 22°C 이상 지속되는 것으로 나타났다. 따라서 우리나라의 경우 난방을 위해 축열벽의 두께를 2B 이상으로 하는 것은 바람직하지 않는 것으로 분석되었다. 또한 중간기 및 하절기 급격한 실내온도변화를 방지할 수 있지만, 상승된 실내온도가 야간까지 지속되기 때문에 일사차폐를 위한 블라인드설치와 집열공간의 자연환기시스템이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구는 투명단열재를 적용한 TI-wall의 실

험모델을 이용하여 다양한 변수에 따른 실험을 실시한 결과 국내기후에서도 시스템의 최적화가 이루어질 경우 기존의 축열벽 시스템의 성능을 개선시킬 수 있는 것으로 평가되었다. 또한 하절기 실내온도의 과열현상을 방지하기 결론에서 제시한 과열방지 시스템의 효과에 대한 추가실험을 실시한 후, 효과적인 해결방안을 제시할 것이다. 한편 위의 실험조건에 따른 실험결과를 근거로 향후 시뮬레이션 해석모델의 정밀도 보정을 실시하고 TI-wall의 시스템 최적화를 위한 모델링 및 국내 지역별 에너지 성능 예측을 수행할 예정이다.

참고문헌

1. 이성, "투명단열된 불투명 외피에서의 에너지 흐름". 태양에너지학회논문집, Vol16, No.3 1996
2. 김세환, 김삼열, 이성, "투명 단열외피를 통한 환기 효과에 관한 연구", 태양에너지학회논문집 Vol. 20, No 4. 2000.
3. 유승호, 윤용진 "투과형 단열시스템의 투과 및 단열 특성 평가" 대한건축학회계획논문집 18권4호, 2002. 4.
4. A. Beck, M. Reim, W. Korner, J. Fricke, "Highly Insulating Aerogel Glazing", EuroSun 2000.
5. Bruno Peuportier, Jacques Michel., 1995, "Comparative Analysis of Active and Passive Solar Heating Systems with Transparent Insulation" Solar Energy, Vol.54, No.1. pp13-18.
6. A. Haller, H-J. Althaus, "Gain Control for Solar Wall Heating With Transparent Insulation(TI) Requirements for Cost Effective Applications of Natural Ventilation in Multi-functional and Ventilated Facades (MFVF)", EuroSun 2000.
7. Liisa Rautiainen, "Transparent Thermal Insulation(TIM)-Performance properties", ETTR-research program funding by Ministry of Trade and Industry Energy Department. 1992.