

투명단열재가 적용된 축열벽 시스템의 최적구성 선정에 관한 연구

A study on the Optimum Design Configuration of Passive Solar TI-wall system

김 병 수* 윤 종 호** 윤 용 진*** 백 남 춘***
 Kim, Byoung-Soo Yoon, Jong-Ho Yoon, Yong-Jin Baek, Nam-Choon

Abstract

The aim of this study was to analyze the thermal performance through Test-Cell of TI-wall in domestic climate. This study was carried out as follows: 1) The TI-wall was studied for ability to reduce heat loss through the building envelope and analyzed to TIM properties. 2) Test models of TI-wall were designed through the investigation of previous paper and work, measured for winter and spring, and the thermal effects were analyzed. The type of the TIM used in test model is small-celled(diameter 4mm and thickness 50mm) capillary and cement brick(density 1500kg/m³) was used by thermal mass. 3) Test-cell of TI-wall was calibrated from measured data and the dynamic simulation program ESP-r 9.0. In these simulations, the measured climate conditions of TaeJön were used as outdoor conditions, and the simulation model of Test-cell was developed. 4) The sensitivity analysis is executed in various aspects with standard weather files and ESP-r 9.0, and then most suitable system of TI-wall are predicted. Finally, The suitable system of TI-wall was analysed according to sizes of air gap, kinds, thickness, and the surface absorption of them wall. The result is following. In TI-wall, Concrete is better than cement brick, at that time the surface absorption is 95%, and the most efficient thickness is 250mm. As smaller of a air gap, as reducer of convection heat loss, it is efficient for heating energy. However, ensuring of a air gap at least more than 50mm is desirable for natural ventilation in Summer.

키워드 : 투명단열재, 민감도 분석,

Keywords :Transparent Insulation Materials(TIM), Sensitivity Analysis

1. 서 론

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 곳에서나 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 해석¹⁾이나 단기간 실험에 의한 현상 검증²⁾³⁾에 대한 선행연구가 있었으나 국내기후에서 구체적인 열현상 규명에 대한 본격적인 성능규명 연구는 이루어지지 않은 상태이다.

따라서 본 연구는 투명단열재를 적용한 축열벽 시스템의 Test-cell 실험모델을 사용하여 동절기 및 중간기동안

1) *

**

* 건양대학교 실내건축과 강사, 공학박사

** 한밭대학교 건축공학과 교수, 공학박사

*** 한국에너지기술연구원, 책임연구원

1) 이성, “투명단열된 불투명 외피에서의 에너지 흐름”. 태양에너지학회논문집, Vol16. No.3 1996

2) 김세환, 김삼열, 이성, “ 투명 단열외피를 통한 환기효과에 관한 연구”, 태양에너지학회논문집 Vol. 20. No 4. 2000.

3) 유승호, 윤용진 “투과형 단열시스템의 투과 및 단열특성 평가” 대한건축학회계획논문집 18권4호, 2002. 4.

축열벽의 두께와 태양복사흡수율 변화에 따른 난방에너지 성능평가를 수행하였다. 시뮬레이션을 통해 보정작업과 민감도분석을 실시하여 국내의 기후에 적합한 TI-wall의 최적구성안을 제안하는데 연구의 목적이 있다.

2. Test-cell을 이용한 TI-wall의 에너지 성능 실험

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 소재개발⁴⁾부터 시스템적용 기법⁵⁾⁶⁾까지 매우 다양한 연구 및 개발이 활발히 진행중이다. 특히 투명단열재는 자체의 광학적인 특성 때문에 주광의 이용 측면 뿐만 아니라, 난방에너지 절약을 위해 축열효과를 이용한 트롬베(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 태양복사흡수율을 주 실험변수로 설정하였다. 실험방법은 표 1에 요약한 바와 같이 3개의 구성에 대해 2월20~3월22일까지 수행하였다.

표 1. TI-wall의 실험개요

	실험 내용	실험 일시
실험조건1	축열벽의 두께1B+태양복사흡수율60%	2/20~2/25
실험조건2	축열벽의 두께1B+태양복사흡수율95%	2/26~3/8
실험조건3	축열벽의 두께2B+태양복사흡수율95%	3/17~3/22

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 그림1과 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. 프레임에 부착된 투명단열재의 재료는 PC(polycarbonate)이며, 지름이 4mm 미만의 대롱모양의 Capillaries Type으로 되어 있다. 전체 두께는 60mm이며, 유리(5mm)+TIM(50mm)+유리(5mm)로 구성되어져 있다. 그림2는 실험에 사용된 투명단열재의 투과특성 데이터를 나타낸 것이다.

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.



그림 1. 투명단열재를 설치한 실험모델

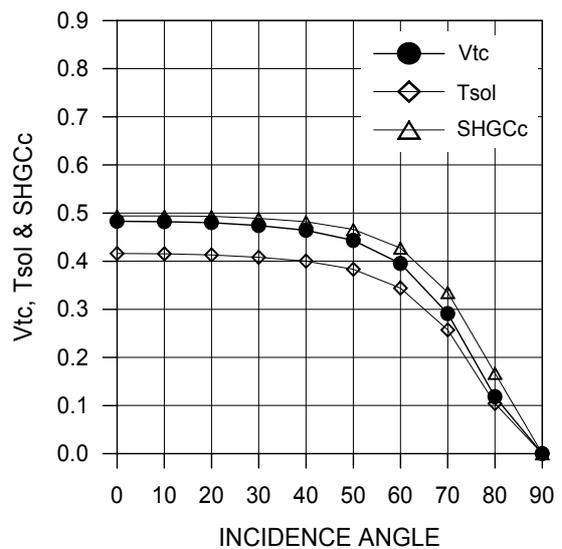


그림 2. 실험에 사용한 투명단열재의 가시광선 투과율(Vtc), 태양복사 투과율(Tsol) 및 일사확득계수(SHGCc)

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,

표 2. 실험모델의 부위별 열적특성데이터⁷⁾

구성	재료명	열전도율 W/mK	밀도 kg/m ³	비열 J/kgK	방사율	두께 mm	열관류율 W/m ² K
축열벽	시멘트 벽돌	0.9	1500	700	0.9	190	2.57
외부프레임	알루미늄	210	2100	880	0.22	2	0.28
	우레탄 폼	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 태양복사흡수율을 변화를 위해 시멘트 벽돌의 태양복사흡수율을 60%조건과 흑색도장을 한 후의 95% 조건에 대해 각각 실험을 수행하였다.

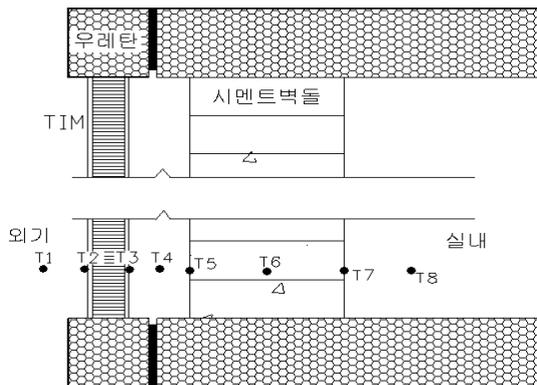


그림 3. 실험모델의 구성요소별 센서의 측정위치

실험에 사용된 센서와 데이터로거는 각각 T-type Thermocouple, Hp Agilent(Model No:34970A)를 사용하였다. 측정시간은 1분마다 데이터를 측정하고 10회, 즉 10분 동안 측정된 값의 평균을 컴퓨터에 저장하도록 프로그램하였다. 그림3은 Test-cell의 온도 센서 및 설치 위치를 나타내었다.

2.3 실험결과 및 분석

실험모델의 에너지 성능 평가를 위해 그림2와 같이 투명단열재의 내외표면, 투명단열재와 축열벽 사이의 집열공간의 중앙부, 축열벽의 내외표면, 실내온도를 분석하였다.

1) 실험조건1:축열벽의 두께가 1B+흡수율60%

축열벽의 효과를 실험하기 위해 흡수율이 60%인 일반벽

돌을 사용하여 축열벽의 두께를 1B(190mm)로 설치하였다.

실험결과 그림4와 같이 투명단열재와 축열벽 사이의 집열공간의 온도(T4)는 평균 오후2시경에 최고온도에 도달하며, 실내온도보다 약 14℃~18℃이상 높게 유지되고 있다. 실내온도(T8)는 집열공간보다 평균 5시간 늦은 오후7시경에 최고점에 도달하는 것으로 나타났다.

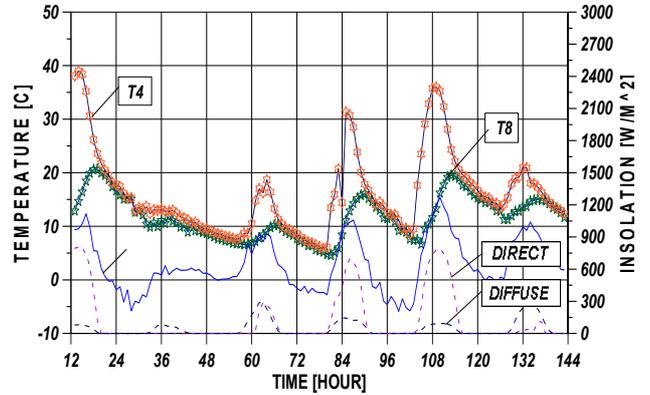


그림 4. 태양복사흡수율이 60%인 일반 시멘트 벽돌을 사용한 실험모델의 온도분포 (2/20~2/25)

2) 실험조건2:축열벽의 두께 1B+흡수율95%

흡수율을 95%로 한 경우, 그림5와 같이 투명단열재와 축열벽 사이의 집열공간의 온도는 평균 오후 2시에 최고 온도에 도달하며 실내온도보다 7℃~14℃높게 유지되고 있다. 실내온도는 집열공간보다 평균 4시간 늦은 오후 6시경에 최고점에 도달하는 것으로 분석되었다.

따라서 태양복사흡수율 60%와 비교할 때 흡수율이 95%인 경우가 더 빨리 많은 양의 태양복사를 흡수하는 것으로 분석되었다.

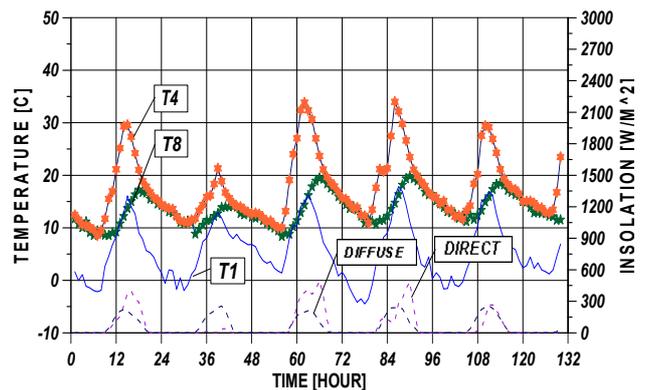


그림 5. 태양복사흡수율이 95%인 일반 시멘트 벽돌을 사용한 실험모델의 온도분포 (2/26~3/4)

3) 실험조건3:축열벽의 두께 2B+태양복사흡수율95%

축열벽의 두께 2B와 태양복사흡수율을 95%로 한 3월의 실험결과, 그림6과 같이 투명단열재와 축열벽 사이의 집열공간의 온도는 평균 오후 3시에 최고온도에 도달하며 실내 온도보다 6℃~16℃높게 유지되고 있지만, 흐린날의 경우를 제외하면 평균 15℃이상 높게 유지되고 있는 것으로 분

7) Liisa Rautiainen, "Transparent Thermal Insulation(TIM)-Performance properties", ETTR-research program funding by Ministry of Trade and Industry Energy Department. 1992.

석되었다. 실내온도는 집열공간보다 4시간 늦은 오후 7시 경에 최고점에 도달하는 것으로 분석되었다. 이것은 축열벽의 두께가 1B인 경우와 거의 비슷한 온도분포를 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

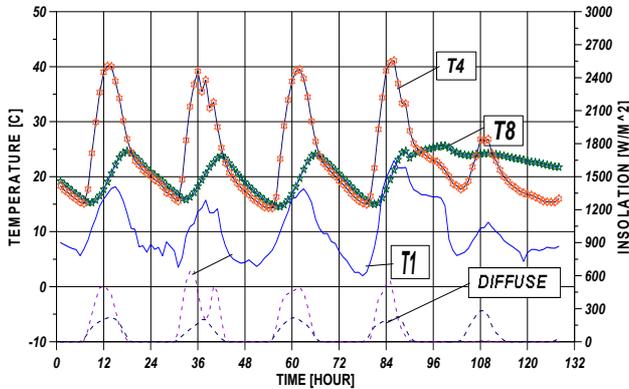


그림 6. 축열벽의 두께 2B+태양복사흡수율95%인 일반시멘트 벽돌을 축열벽으로 사용한 실험모델의 온도분포 (3/17~3/22)

3. 시뮬레이션을 통한 Test-cell의 해석모델 도출

Test-cell을 사용한 실험의 보정작업을 통해 해석모델을 도출하였다. 시뮬레이션 프로그램은 Esp-r9.0을 사용하였으며, 앞에서 서술한 실험조건별 실측데이터를 근거로 하여, 태양복사흡수율이 60%인 일반 시멘트 벽돌을 축열벽으로 사용한 실험과 축열벽의 태양복사흡수율을 95%로 한 실험, 축열벽의 두께를 2B로 변경한 실험결과를 보정한 후 해석모델을 도출하였다.

실험결과와 시뮬레이션의 비교항목은 투명단열재와 축열벽 사이의 집열공간과 난방에너지 소비량과 직접적인 관련이 있는 실내온도를 중심으로 수행하였다.

3.1 실험조건1의 시뮬레이션 보정

실험조건1은 동절기 투명단열재와 이중유리를 적용한 축열벽 시스템이며, 축열벽은 일반적인 시멘트 벽돌 1B(190mm)을 사용한 실험의 검증을 실시하였다.

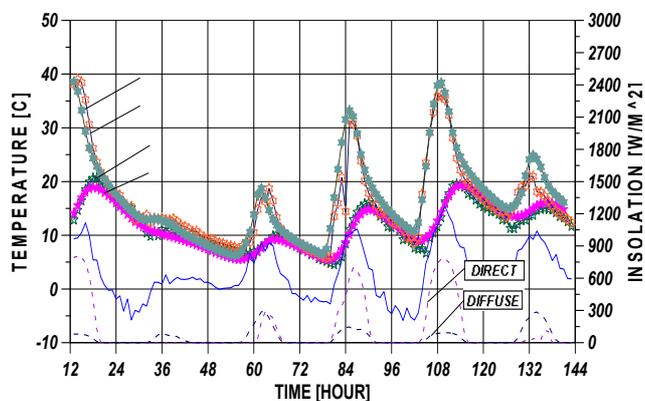


그림 7. 실험조건1의 시뮬레이션 보정결과

실험조건1의 시뮬레이션 보정결과를 그림7에 나타내었다. 그림에 나타난 기호 Ts와 Tm은 시뮬레이션 결과와 측정실험의 결과를 나타내고 있다. 시뮬레이션 검증결과 투명단열재를 적용한 시스템의 경우 외기의 온도와 일사량이 높거나 변화폭이 큰 주간에 큰 오차가 발생하였으며, 그 때의 집열공간의 최고 오차는 약 3℃, 최저 오차는 0.2℃로 나타났으며 평균오차는 1.5℃로 나타났다. 실내온도의 최고오차는 약 1.5℃, 최저오차는 0.2℃로 나타났으며, 평균오차는 약 0.8℃로 나타났다. 야간의 경우는 집열공간의 온도분포가 약 2℃ 높게 유지되고 있으며, 실내의 경우는 약 0.5℃정도 높게 지속되는 것으로 나타났다. 하지만 실제 난방에너지 성능에 영향을 주는 실내의 온도분포이며 그 오차는 최고 7.1%에서 최저5%으로 나타났기 때문에 시뮬레이션에 의해 실험모델이 거의 동일하게 온도분포가 재현된 것으로 분석되었다.

3.2 실험조건2의 시뮬레이션 보정

실험조건2의 경우 일반 시멘트 벽돌의 태양복사흡수율을 95%로 상승시킨 실험조건의 시뮬레이션 보정결과를 그림8에 나타내었다.

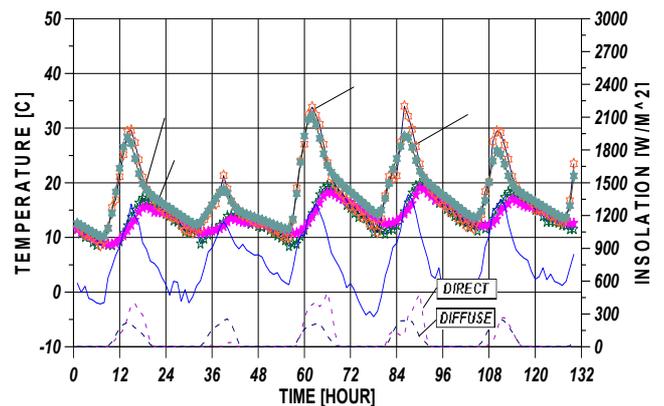


그림 8. 실험조건2의 시뮬레이션 보정결과

투명단열재를 적용한 축열벽(TI-wall)의 실험조건2의 시뮬레이션결과 외기온도와 일사량이 높은 주간에 오차가 크게 나타나는 것으로 나타났으며, 그 때의 집열공간의 최대 오차는 약 5℃, 최저 오차는 0.3℃이며, 평균적으로 약 1.3℃의 오차를 나타내는 것으로 나타났다. 실내온도의 최대오차는 2.7℃이며, 최소오차는 0.1℃로 나타났으며, 평균적으로 0.9℃의 오차가 있는 것으로 나타났다. 따라서 실험조건1의 경우와 같이 실제 난방에너지의 성능에 영향을 주는 실내온도의 평균오차가 1℃미만으로 상당히 정확하게 묘사된 것으로 분석되었다.

3.3 실험조건3의 시뮬레이션 보정

실험조건3은 축열벽의 두께가 2B(380mm)이며, 태양복사흡수율이 95%인 실험모델의 보정결과를 그림9에 나타내었다. 투명단열재를 적용한 축열벽 시스템의 경우 다른 실험조건1,2와 달리 외기온도와 일사량이 높은 주간보다는 야

간의 외기온도가 급격히 떨어지는 시간이나 외기조건이 비교적 흐린날에 오차가 크게 발생하는 것으로 나타났으며 그때의 집열공간의 최대오차는 6.4℃, 최소오차는 0.1℃이며, 평균 3.7℃의 오차를 나타내었으며, 실내온도의 최대오차는 3.6℃, 최소오차는 0.1℃이며, 평균오차는 1.2℃로 나타났다.

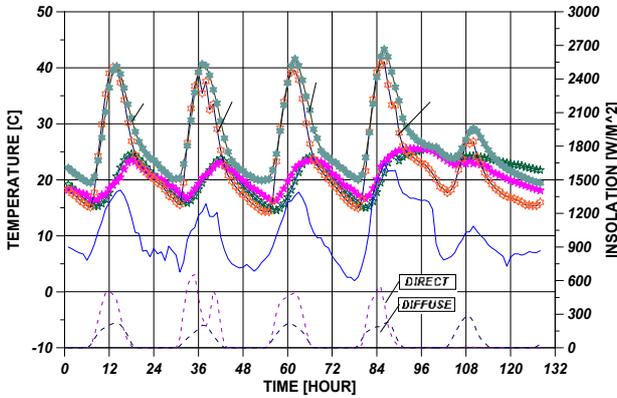


그림 9. 실험조건3의 시뮬레이션 보정결과

3.4 Test-cell의 시뮬레이션 보정결과

시뮬레이션 결과와 실험조건별 실측데이터와의 오차는 일사와 외기온도가 높거나 급격한 일사의 변화가 있는 주간에 집열공간의 오차율이 상대적으로 높게 나타났지만, 실제 축열벽 시스템의 에너지 성능에 영향을 주는 실내공간의 오차는 거의 없는 것으로 나타났다. 표3은 실험조건별 측정결과와 시뮬레이션 보정결과를 나타내고 있다.

표 3. 실험조건별 시뮬레이션 보정결과

실험조건 및 시뮬레이션 조건	구성 요소	최대 오차	최소 오차	평균 오차	기간
실험조건1	집열공간	3.00℃	0.20℃	1.50℃	2/20~2/25
	실내공간	1.50℃	0.20℃	0.80℃	
실험조건2	집열공간	5.00℃	0.30℃	1.30℃	2/26~3/4
	실내공간	2.70℃	0.10℃	0.90℃	
실험조건3	집열공간	6.40℃	0.10℃	3.70℃	3/15~3/20
	실내공간	3.60℃	0.10℃	1.20℃	

4. 시뮬레이션을 통한 TI-wall 시스템의 최적구성도출

투명단열재를 설치한 축열벽 시스템의 에너지 성능에 영향을 미치는 변수를 적용하여 시스템의 최적안을 도출하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다.

컴퓨터 시뮬레이션 프로그램은 ESP-r을 사용하였으며, 국내 기후에서의 객관적인 데이터를 도출하기 위해 대전지역 30년 기상자료를 바탕으로 ESP-r 기상포맷에 맞는 기상파일을 제작하여 사용하였다.

시뮬레이션에 사용된 해석모델은 실험조건별로 보정된 실험모델을 적용하였으며, 투명단열재의 열적데이터 및 분광데이터는 표2와 그림2에 제시된 데이터를 활용하였다.

시뮬레이션 변수는 표4에 나타난 것과 같이, 집열공간의 크기, 축열벽의 종류, 축열벽의 두께, 축열벽의 태양복사흡수율을 변수로 하였다.

변수에 대한 민감도 분석은 투명단열재의 면적에 따른 난방에너지를 대상으로 분석하였다.

표 4. 민감도 분석을 위한 변수의 종류 및 크기

시뮬레이션 변수의 종류	크기
집열공간의 크기(mm)	10 50 100 150 200
축열벽의 두께 (mm)	시멘트벽돌 50 100 150 200 250 300 380
	콘크리트 50 100 150 200 250 300 380
축열벽의 태양복사흡수율(%)	60 80 95

4.1 민감도 분석의 결과

축열벽의 종류에 따른 TI-wall의 난방에너지 성능평가를 위해 축열벽은 시멘트 벽돌과 콘크리트를 적용하였다. 시멘트 벽돌 및 콘크리트의 물리적인 값들은 제조 회사별로 다소 차이가 있을 수 있다. 본 연구에 적용된 시멘트벽돌의 밀도와 비열은 1,300kg/m³, 750J/kg℃으로 하였으며, 콘크리트의 밀도와 비열은 2,100 kg/m³, 650J/kg℃로 적용하였다.

TI-wall에서 시멘트 벽돌과 콘크리트를 축열벽으로 사용한 경우 축열벽의 두께와 종류에 따른 난방에너지는 다음과 같다.

시멘트 벽돌을 축열벽으로 사용한 경우 태양복사흡수율을 60%, 80%, 95%로 상승시켰을 때, 난방에너지 절감량은 4.6kWh/m², 4.9kWh/m²로 나타났다. 동일한 조건에서 콘크리트를 축열벽으로 사용한 경우, 난방에너지 절대 절감율은 5.0kWh/m², 5.3kWh/m²으로 나타났다. 따라서 축열벽의 태양복사흡수율을 60%에서 95%로 상승시킬 경우, 절대 감소율은 시멘트 벽돌보다 콘크리트가 약간 크게 나타났다.

축열벽의 종류에 따른 난방에너지 절감은 그림 10에서 그림16에 나타난 것과 같이 축열벽의 두께가 50mm 인 경우 시멘트 벽돌보다 콘크리트가 평균적으로 21kWh/m²정도 난방에너지가 감소하였으며, 250mm의 경우 약 7kWh/m², 380mm의 경우 약 6kWh/m², 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 축열벽의 종류별 난방에너지 절감은 시멘트 벽돌보다 열전도율과 비중이 높은 콘크리트가 축열벽으로서 효과가 더욱 좋았으며, 250mm이상의 두께에서는 절감효과의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

집열공간의 크기에 따른 난방에너지 절감효과는 그림에 나타난 것과 같이 축열벽의 종류에 따라서 증감의 폭이 다르다. 콘크리트를 축열벽으로 하는 TI-wall의 경우 축열벽의 두께와 상관없이 집열공간이 증가할수록 약 5%의 난방에너지가 증가하는 것으로 나타났다. 시멘트 벽돌의 경우 약 3%의 난방에너지 증가가 있는 것으로 나타났다. 따라서 시뮬레이션 분석 결과 집열공간의 크기는 최소화하는 것이 난방에너지 절감을 위해서 보다 효과적인 것으로 나타났다.

하지만 기존의 자연형 태양열 시스템의 과열방지를 위해 사용하는 블라인드나 자연환기 장치와 같이 일반적인 시스템을 사용할 경우 장치의 설치공간 확보를 위해서는 선행 연구에서 제시된 실험식을 사용하여 일정거리 이상 간격을 유지하는 것이 바람직하다고 사료된다.

축열벽의 두께에 따른 난방에너지 절감효과는 다음과 같다. 시멘트 벽돌의 경우 축열벽의 두께를 50mm에서 100mm로 증가할 경우 난방에너지의 절감율은 16.5%로 가장 크게 나타났으며, 250mm에서 300mm로 증가할 경우 약 2%의 에너지 절감율이 나타났으며, 300mm이상에서는 난방에너지 절감율은 없는 것으로 나타났다.

콘크리트의 경우 축열벽의 두께를 50mm에서 100mm로 증가할 경우 난방 에너지 절감율은 17%로 가장 크게 나타났으며, 150mm에서 200mm로 증가할 경우 3%의 난방 에너지 절감율이 있었으며, 250mm이상에서는 절감율은 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 TI-wall에서는 시멘트 벽돌을 축열벽으로 사용할 경우 300mm에서 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 콘크리트의 경우 250mm일 때, 가장 효과적인 것으로 나타났다.

결론적으로 TI-wall 시스템에서는 축열벽으로서 시멘트 벽돌보다 상대적으로 열전도율 및 비중이 큰 콘크리트가 더욱 효과적인 것으로 나타났다. 태양복사흡수율은 95%에서 난방에너지 절감효과가 가장 큰 것으로 나타났으며, 집열공간의 경우 크기가 증가할수록 난방에너지 성능은 다소 떨어지지만 여름철 과열방지를 위해서는 최소 50mm이상 확보하는 것이 필요하다. 이상의 동일한 조건에서 축열벽의 두께는 200mm에서 250mm의 범위에서 가장 효과적인 것으로 나타났다.

4.2 민감도 분석을 통한 TI-wall의 최적구성의 제안

TI-wall 시스템의 난방에너지 절감효과가 가장 좋은 최적구성요소는 다음과 같다.

축열벽의 종류는 시멘트 벽돌보다 콘크리트가 보다 우수하며, 태양복사흡수율은 높을수록 난방에너지 절감효과가 좋으며, 본 연구에서는 95%로 제안하였다.

축열벽의 두께는 50mm에서 100mm로 증가할 때 난방에너지 절감율이 가장 크게 나타났지만, 250mm이상에서 가장 좋은 효율을 나타내고 있다.

집열공간은 크기는 작을수록 공기층에 형성되는 대류 손실을 감소시켜 난방에너지 절약효과는 뛰어나지만, 하절기 공기층의 자연환기장치의 설치 및 자연환기현상이 효과적으로 형성되도록 하기 위해서는 공기층의 두께를 최소 50mm이상으로 하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

본 연구에서 도출된 TI-wall의 최적구성안은 지름이 4mm 미만이며 두께 50mm의 Capillaries Type의 투명단열재의 시뮬레이션 결과이다. 따라서 다른 종류의 투명단열재를 적용할 경우 다소 차이가 발생할 수 있을 것으로 사료된다.

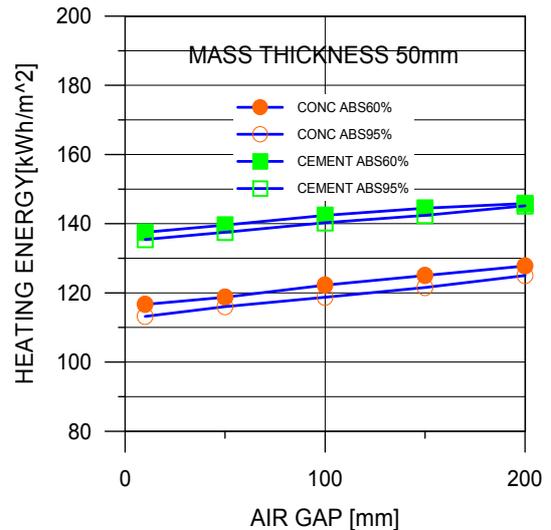


그림 10. TI-wall 민감도 분석결과(축열벽두께:50mm)

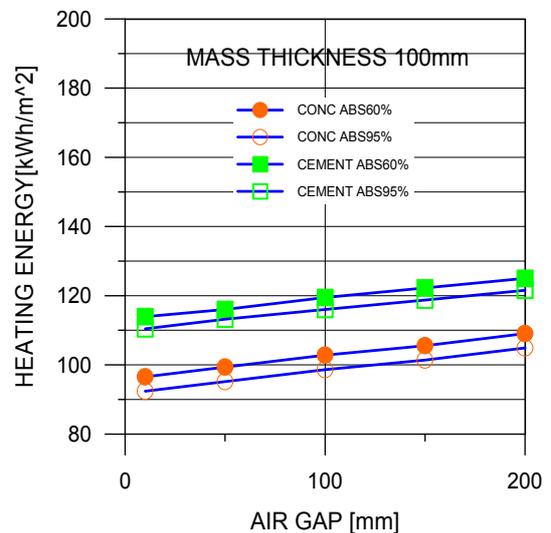


그림 11. TI-wall 민감도 분석결과(축열벽두께:100mm)

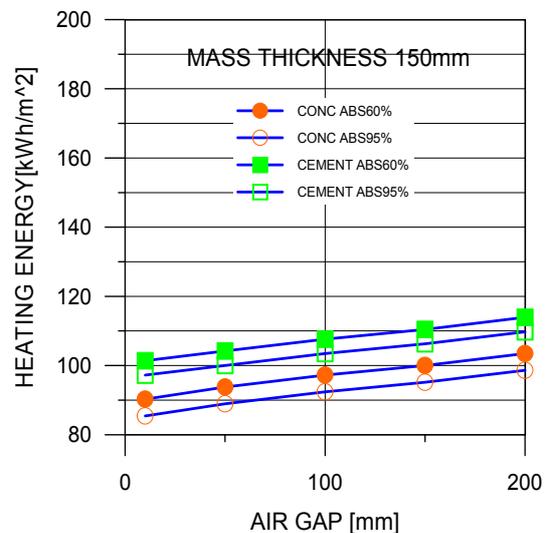


그림 12. TI-wall 민감도 분석결과(축열벽두께:150mm)

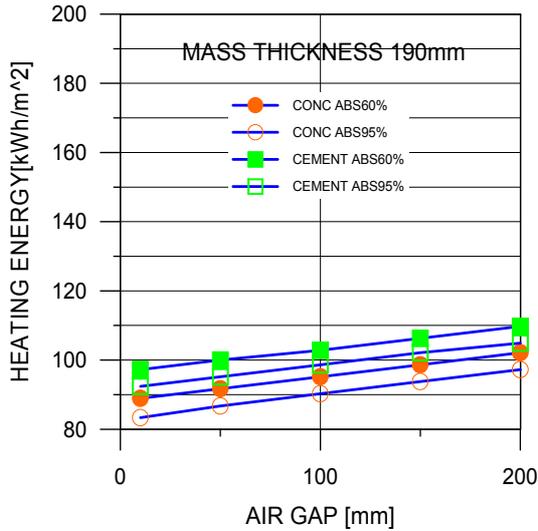


그림 13. TI-wall 민감도 분석결과(축열벽두께:190mm)

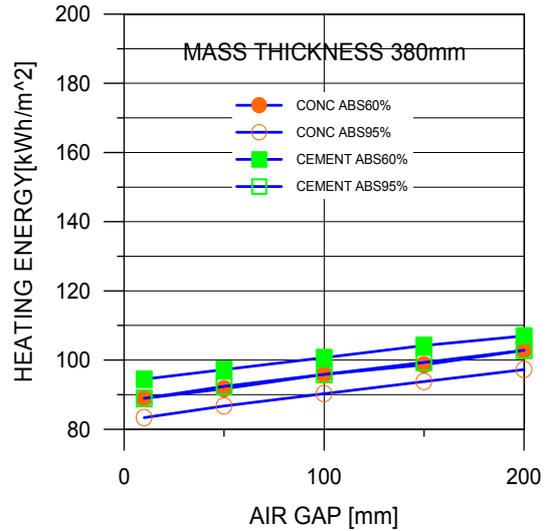


그림 16. TI-wall 민감도 분석결과(축열벽두께:380mm)

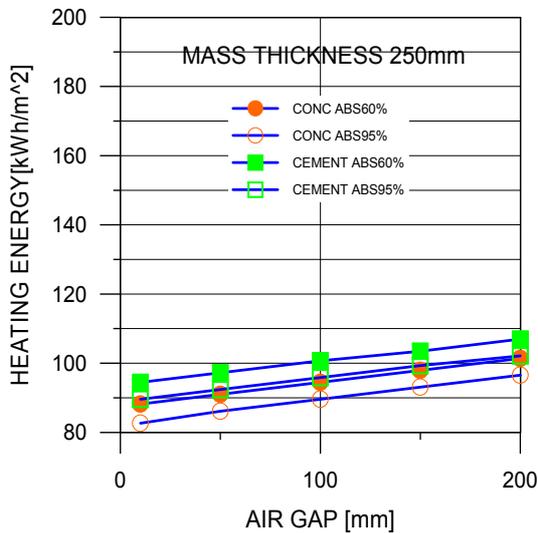


그림 14. TI-wall 민감도 분석결과(축열벽두께:250mm)

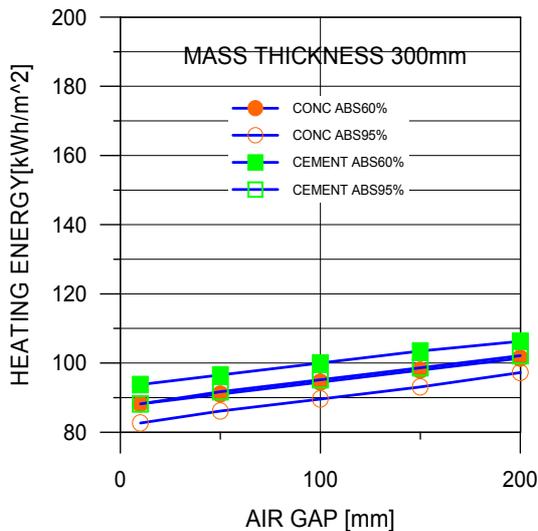


그림 15. TI-wall 민감도 분석결과(축열벽두께:300mm)

5. 결론

투명단열재를 적용한 축열벽 시스템의 동절기 및 중간기 실험결과를 통해 국내의 기후에서의 적용가능성을 입증하였다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 국내의 기후에 적합한 시스템의 최적구성을 도출하였으며, 전체적인 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 축열벽의 태양복사흡수율에 따른 실험결과 태양복사흡수율이 60%인 일반 시멘트 벽돌의 경우 실내의 온도가 최고점에 이르는 시간은 평균 19시로 나타났으며, 흑색도장에 의해 95%로 상승시킨 경우, 실내온도가 최고점에 이르는 시간은 18시로 나타났다. 따라서 동일한 두께(1B)에서 태양복사흡수율을 60%에서 95%로 상승시킬 경우 축열벽의 온도 및 실내온도가 최고점에 이르는 시간이 1시간정도 줄어든 것으로 나타났다.
2. 일반 시멘트 벽돌을 축열벽으로 하고 두께를 2B(380mm)로한 실험결과 주간에 가열된 열이 충분히 실내측으로 전달되지 못하고 야간에 외부로 손실되는 것으로 나타났다기 때문에 우리나라의 경우 난방을 위해 TI-wall을 설치할 경우 축열벽은 380이상으로 하는 것은 바람직하지 않는 것으로 분석되었다.
3. 시뮬레이션을 통한 Test-cell 실험의 보정 및 검증을 통해 허용오차범위에서 해석모델을 도출하였다.
4. 해석모델을 이용한 민감도 분석을 통해 대전지역의 기상조건에 난방에너지 절감효과가 우수한 최적구성안은 축열벽을 콘크리트로 할 경우 두께는 250mm이며, 태양복사태양복사흡수율은 95%, 공기층의 두께는 50mm로 도출되었다.

참고문헌

1. 이성, “투명단열된 불투명 외피에서의 에너지 흐름”. 태양에너지학회논문집, Vol16. No.3 1996
2. 김세환, 김삼열, 이성, “ 투명 단열외피를 통한 환기효과에 관한 연구”, 태양에너지학회논문집 Vol. 20. No 4. 2000.
3. 유승호, 윤용진 “투과형 단열시스템의 투과 및 단열특성 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.