

집열면의 마감상태에 따른 축열벽 시스템의 열성능 변화에 관한 연구

- A Study on the Thermal Performance of T.W System with Various Wall Surface Finishes -

송국섭* 이연구** 이명호**

< Summary >

The solar energy collection of a passive solar system depends on the finish of collecting surfaces. In this study, the test models of T.W system with different wall surface finishes were constructed, and the temperature distribution through the models was monitored. At the same time, a computer program based on F.D.M was developed in order to simulate various surface finishes. The difference of indoor temperature between the model with white color finish ($\alpha=0.25$) and the one with black color finish ($\alpha=0.95$) was about 10°C . For the wall with selective coating, the indoor temperature was $4-5^{\circ}\text{C}$ higher than that of red brick wall, and $3-4^{\circ}\text{C}$ higher than that of wall with black paint.

1. 서론

자연형 태양열 시스템의 축열벽형에서 일사 에너지를 효율적으로 흡수하기 위해서는 집열면의 표면 흡수율이 높아야 한다.

본연구의 목적은 축열벽의 마감상태에 따른 집열성능과 축열성능을 정성적 방법과 정량적 방법으로 분석하여, 우리 나라의 기후조건에 적합한 축열벽형의 표면마감에 관한 설계 기초자료를 제공하기 위한 것이다. 연구방법은 동일 조건의 실험모델 2개를 제작하였고, 붉은 벽돌로 제치장 마감한 경우와 선택 흡수막으로 마감한 경우를 상호 비교하여 축열벽의 일사 흡수와 방열, 벽체 내부에서의 열 이동, 이송부위에서의 열손실 관계를 분석하였다. 또한 유한 차분법을 이용한 수치해석 모델을 제작하여 컴퓨터 프로그램으로 작성하였으며, 실험치와 프로그램에 의한 계산치를 상호 비교하여 해석모델의 타당성을 검증하였다. 프로그램을 이용하여 일반적으로 이용될 수 있는 벽체 마감재료로 Simulation을 실시하여 열성능을 평가하였다.

2. 실험 실측

2-1. 실험 모델의 제작

실험 모델은 2개를 제작하여 축열벽 표면마감을 제외한 모든 부분을 동일하게 하여 열성능을 비교하였다.

<Table 2-1> 실험 모델의 열성능

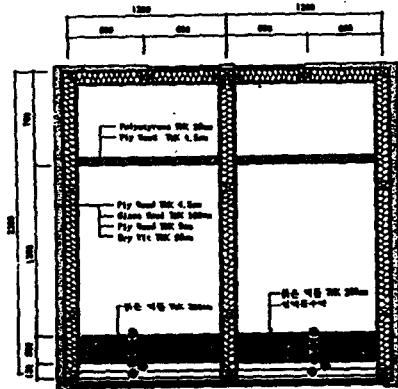
부위	규격	성능 (Kcal/m ² h ²)
집열창	1.2x1.8m	2.7
축열벽	2.3x1.8m	0.205
외벽	1.2x1.8m	0.263
바닥	1.2x1.8m	0.205
지붕	1.2x1.8m	0.207

* 정희원, 부천 전문대학 부교수, 공학박사

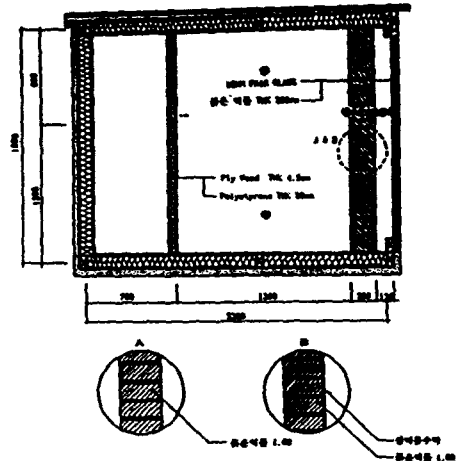
** 정희원, 중앙대학교 교수, 공학박사

<Table 2-2> 실험 모델의 표면 마감 특징

모델\항목	표면마감	흡수율	방사율
A 모델	붉은벽돌 제치장 마감	0.70	0.9
B 모델	선택 흡수막 부착	0.93	0.2



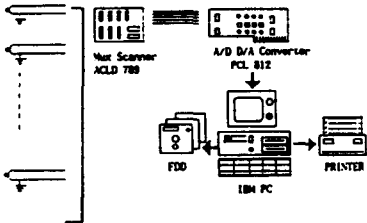
(Fig 2-1) 실험 모델의 평면도 및 sensor 위치



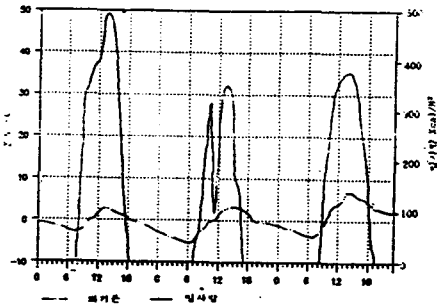
(Fig 2-2) 실험 모델 단면도

2 - 2. 실험 실측

실험 실측은 예비 실험기간을 포함하여 1990년 2월 18일 0시부터 2월 27일 23시 까지 10일간 중앙대학교 공과대학 옥상에서 실시하였다. 측정 기간 동안의 기상은 다음 그림과 같다.



(Fig 2-3) 실험 기기의 구성도

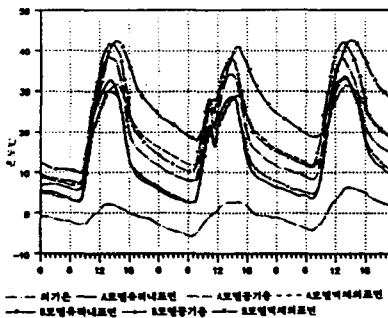


(Fig 2-4) 측정 기간동안의 기상

2 - 3. 실험 결과

1) 집열 부위별 온도 변화

집열부위의 온도측정은 집열창 표면, 공기층, 축열벽체 외표면의 온도를 측정하여 일반벽체의 마감면과 선택흡수막의 마감면에서 집열성능과 방열성능을 비교하였다.



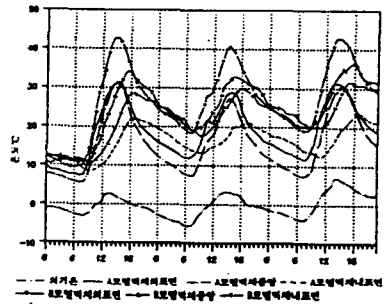
(Fig 2-5) 집열 부위별 온도변화

<Table 2-3> 집열 부위별 최고 최저 평균 온도

기호	기호 설명	25 일			26 일			27 일		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
---	외기온	2.5	-3.1	-0.6	3.3	-6.9	-1.3	6.8	-4.0	1.2
---	A모형유리내표면	33.2	3.1	13.3	28.1	2.5	12.2	24.3	3.5	14.0
---	A모형 공기층	38.8	5.8	17.8	34.8	7.9	17.5	30.0	7.9	14.8
---	A모형벽체의표면	38.8	7.6	17.6	28.9	11.9	16.8	31.3	11.2	20.5
---	B모형유리내표면	30.2	3.1	12.7	28.3	2.9	12.4	33.3	4.8	13.6
-A-	B모형 공기층	42.1	6.8	20.0	36.3	10.0	20.6	42.5	11.1	23.6
-A-	B모형벽체의표면	43.2	9.8	24.0	41.6	18.3	27.9	43.4	18.1	29.8

2) 축열부위의 온도 변화

벽체의표면의 온도와 벽체중양, 실내측 표면 온도를 상호 비교하므로써 집열된 열이 축열되고 전파되어 가는 과정을 분석하였다.



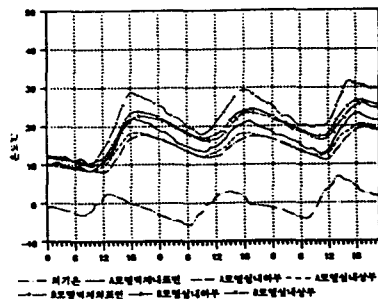
(Fig 2-6) 축열 부위별 온도 변화

<Table 2-4> 축열 부위별 최고 최저 평균 온도

기호	기호 설명	25 일			26 일			27 일		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
---	A모형벽체의표면	38.8	7.6	17.6	28.9	11.9	16.8	31.3	11.2	14.8
---	A모형 벽체 중앙	34.8	7.9	15.6	23.0	13.6	18.3	25.9	14.0	19.4
---	A모형벽체내표면	22.2	8.6	14.2	21.3	13.3	17.3	23.6	12.4	18.0
---	B모형벽체의표면	43.2	9.8	24.0	41.6	18.3	27.9	43.4	18.1	29.8
-A-	B모형 벽체 중앙	34.4	10.5	20.5	33.2	15.3	25.0	35.3	15.2	27.6
-A-	B모형벽체내표면	29.1	9.9	17.9	28.6	16.9	23.9	32.1	19.4	25.2

3) 실내의 기온의 변화

실내 기온은 이용자와 직접 피부로 접촉하는 부위로 벽체 내표면과 실내 상하의 온도를 비교하였다.



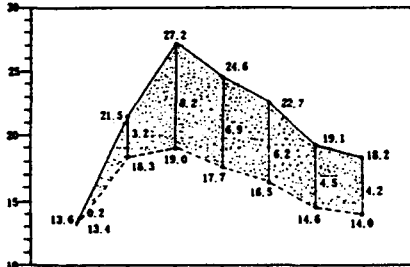
(Fig 2-7) 실내의 온도 변화

<Table 2-5> 실내 기온의 최고 최저 평균

기호	기호 설명	25 일		26 일		27 일	
		최고	최저	평균	최고	최저	평균
---	A모달벽체내표면	22.2	8.6	14.2	21.3	13.3	17.3
---	A모달 실내하부	17.9	8.0	11.9	17.4	11.6	14.7
---	A모달 실내상부	18.0	8.3	12.8	18.4	11.9	15.2
---	B모달벽체내표면	20.1	9.9	17.9	20.6	18.9	23.9
---	B모달 실내하부	22.0	9.3	14.7	23.3	15.7	19.4
---	B모달 실내상부	23.0	9.8	15.4	24.2	16.6	20.4

4) 부위별 온도 구배

선택흡수율으로 마감한 벽체와 일반 붉은벽돌로 마감한 벽체의 부위별 온도 구배도를 작성하여 선택흡수율의 방사성능이 낮고 집열성능이 우수함을 확인하였다.

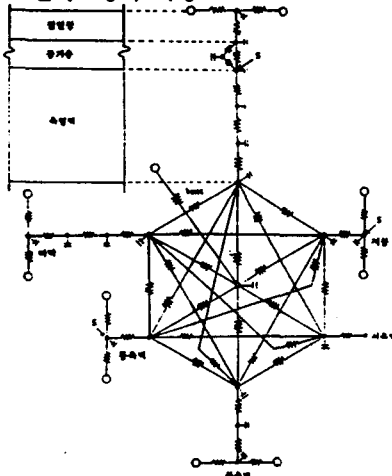


(Fig 2) 선택 흡수 벽체와 일반 벽체 부위별 온도 분포도

3. 컴퓨터 프로그램의 개발

본 연구에서는 일사 성분의 영향을 정밀 분석하기 위하여 집열창의 투과율과 흡수율을 시간에 따라 동적으로 계산하였으며, 축열재 내부의 열전달 해석은 유한 차분법을 이용하여 해석하였다. 실내 공간의 온도 형성은 각 구조체의 대류 열전달과 구조체 표면과의 복사 열전달로 계산하였으며, 외피로 손실되는 열량은 바람에 의한 강제 대류 현상과 천공 복사에 의한 열전달도 메시지를 손실율을 계산하여 해석하였다.

3-1. 열회로망의 작성



(Fig 3-1) 축열벽형의 열회로망

3 - 2. 수치해석 모델 개발

1) 확산 일사 및 직달일사 해석

$$\text{direct} = \cos(\text{incidence}) * DN * \text{skyshade}$$

$$\text{diffuse} = \text{skyview} * \text{difhor} + \text{grview} * \text{reflect} * (\text{difhor} + \text{difhor} * \text{skyshade})$$

2) 집열창의 투과율

$$y = (1-x)/(1+n*x), \text{ alpha}=0 \text{인 경우}$$

$$= 0.5 * [(1-u)/(1+n*u) + (1-v)/(1+n*v)]$$

$$\text{alpha} \neq 0 \text{인 경우 } (-k \text{ path})$$

$$\tau = y * e$$

3) 집열창의 흡수율

$$w = (1-x)/(1+x), \text{ alpha} = 0 \text{인 경우}$$

$$= 0.5 * [(1-u)/(1+u) + (1-u)/(1+u)]$$

$$\text{alpha} \neq 0 \text{인 경우 } (-k \text{ path/layers})$$

$$z = w * e$$

$$\text{abs} = \sum_{i=1}^n (A_{ij} * z^{i-1})$$

4) 집열창을 통과한 일사량의 계산

$$\text{dirtrans} = \text{direct} * \tau(\text{angle}) * SC * Ag * \text{sunfr}_s$$

$$\text{diftrans} = \text{diffus} * \tau(\text{difang}) * SC * Ag$$

5) 벽체에 흡수되는 일사량 계산

$$\text{Absw} = Fw * [As * (\text{direct} * \text{sunfr}_s + \text{diffus})$$

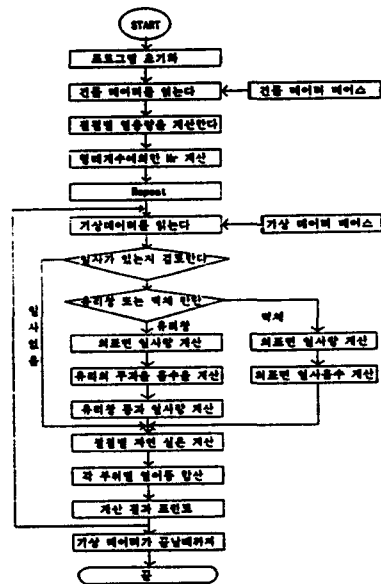
$$- \sum_j (Ag * (\text{direct} * \text{sunfr}_s + \text{diffus}))] * [Aw / (As - \sum_j Ag)]$$

6) 벽체 내부의 열전달

$$C * (df/dt) = HL * (TL - T) + HR * (TR - T)$$

$$T' = (1 - D_{HE}/C - D_{HR}/C) * T + (D_{HE}/C) * TL + (D_{HR}/C) * TR$$

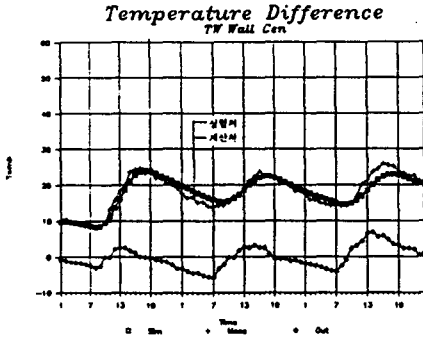
3-3. 프로그램 플로우 차트



(Fig 3-2) Flow-Chart

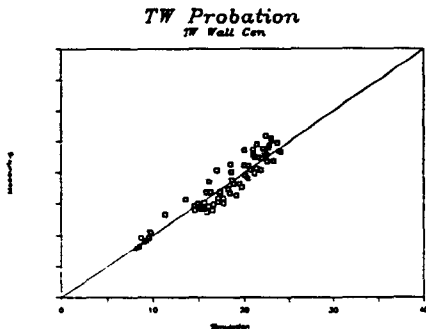
3 - 4. 수치해석 모델의 검증

컴퓨터 프로그램으로 작성된 계산치와 실험을 통하여 얻은 온도는 다음 그림과 같다.



(Fig 3-3) 축열벽 증상의 계산과 실측 온도

실험치와 계산치는 거의 일치하고 있으며 부분적으로 오차가 생기는 것은 측정장치의 한계와 물성치의 부정확성 때문으로 생각된다. 그러나 전체적으로 최대 오차 범위가 2-3°C의 범위로 나타나 계산치의 신뢰성을 보여 주고있다. 상관관계를 나타내는 R²의 값이 0.9로 나타나 계산치에 대해 90%의 설명력을 갖는 신뢰성을 확보하였다.



(Fig 3-4) 계산치와 실험치의 상관관계

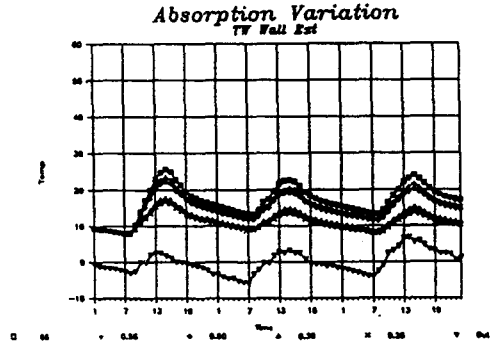
4. Simulation

4-1. 축열벽 표면의 일사 흡수율 변화

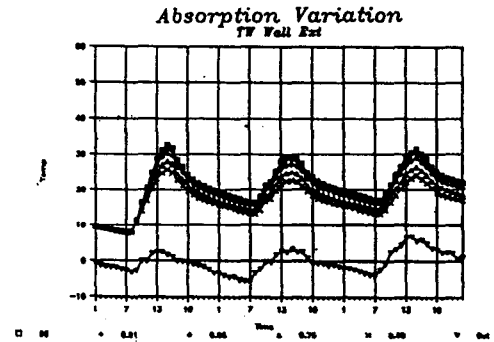
축열벽 표면을 밝은 색으로 마감할 경우 흡수율은 약 0.25이고 검정색 무광일 경우는 0.95이다. 흡수율의 값을 약 0.1씩 변화 시키면서 계산하였으며 Simulation 조건은 <Table 4-1>와 같다. 축열벽의 두께는 모두 200mm로 통일하였고 열전도율 1.4Kcal/mh°C, 용적비열 462Kcal/m³°C로 동일조건으로 결정하였다.

<Table 4-1> 축열벽 표면의 일사 흡수율 변화 Simulation 조건

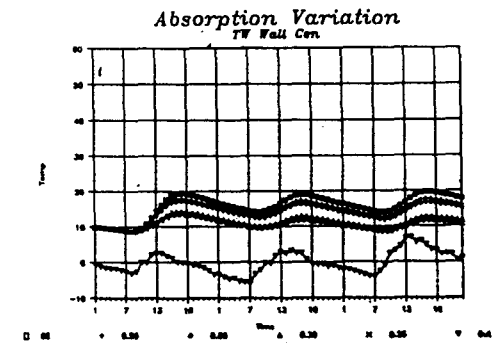
항 목	TV.25	TV.30	TV.5	TV.55	TV.65	TV.75	TV.85	TV.91	TV.95
표면 일사흡수율	0.25	0.4	0.5	0.55	0.65	0.75	0.85	0.91	0.95
축열벽 두께(Cm)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0



(1a) 축열벽 외표면의 온도 변화

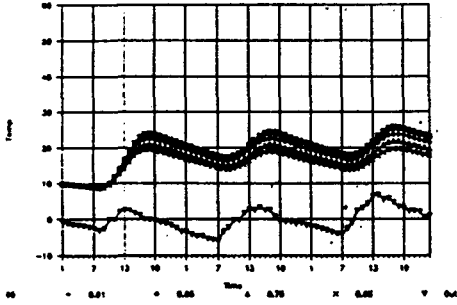


(1b) 축열벽 외표면의 온도 변화



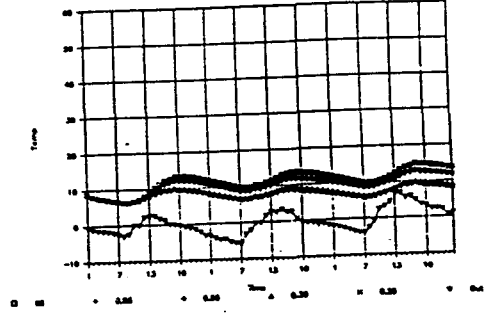
(2a) 축열벽 증상의 온도 변화

Absorption Variation
TV Wall Cen.



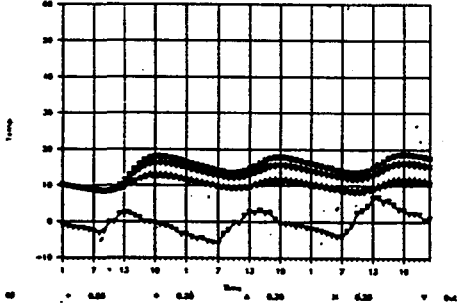
(2b) 축열벽 중앙의 온도 변화

Absorption Variation
TV Indoor



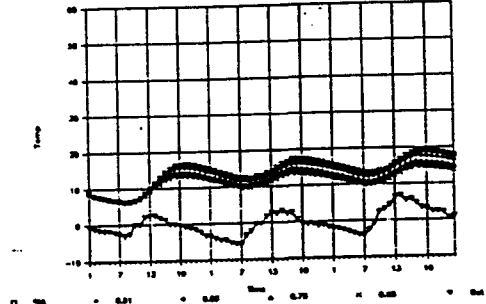
(4a) 실내 기온의 변화

Absorption Variation
TV Wall Int



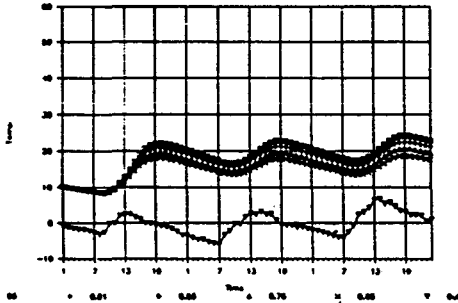
(3a) 축열벽 내표면의 온도 변화

Absorption Variation
TV Indoor



(4b) 실내 기온의 변화

Absorption Variation
TV Wall Int



(3b) 축열벽 내표면의 온도 변화

(Fig 4-1) 표면 흡수율 변화에 따른 Simulation 결과

실내 기온은 흡수율이 0.25일 경우와 0.95일 경우 약 10°C 정도의 차이를 보여 주고 있어서 일사 흡수율의 값이 매우 중요한 변수임을 알 수 있다. 축열벽의 외표면으로 접근할 수록 흡수율에 따른 온도차이는 크게 나타 났다. 일사가 좋은 날의 경우 외표면 온도 차이는 25°C 이상이었 고 축열벽 중앙의 경우 15°C 이상이었다. 따라서 축열벽 외표면의 일사 흡수율을 높이는 것이 열 성능을 향상 시킬수 있는 좋은 방법으로 평가된다.

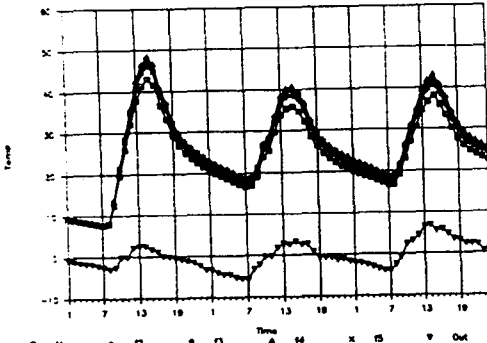
4-2. 선택흡수막 마감

축열벽 외표면을 일사 흡수율은 높고 방사율이 낮은 선택흡수막으로 마감하여 온도변화를 계산 하였다.

<Table 4-2> 선택 흡수막 마감의 Simulation 조건

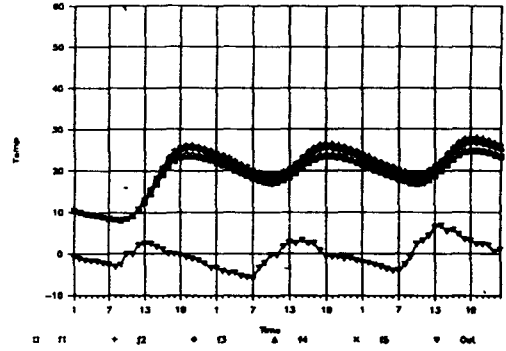
항 목	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
흡수율	0.81	0.89	0.90	0.95	0.93	0.81	0.83	0.91	0.94
방사율	0.16	0.17	0.16	0.09	0.11	0.11	0.17	0.085	0.07

Selective Coating Variation
TW Wall Ext



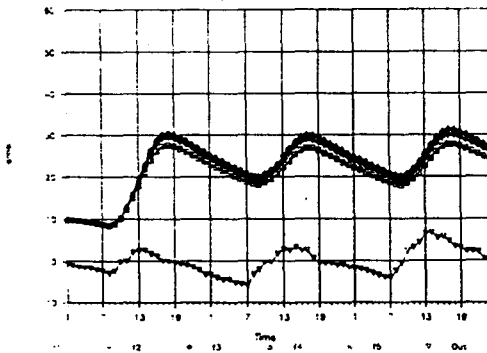
(1) 외표면의 온도변화 (선택흡수막)

Selective Coating Variation
TW Wall Int



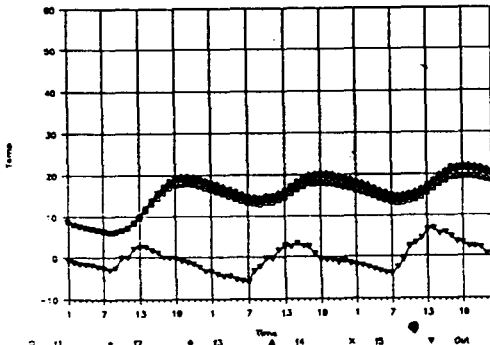
(4) 실내 기온의 변화 (선택흡수막)

Selective Coating Variation
TW Wall Cen



(2) 벽중앙의 온도변화 (선택흡수막)

Selective Coating Variation
TW Indoor



(3) 내표면의 온도변화 (선택흡수막)

선택흡수막은 검정색 무광처리한경우 보다 실내 기온에서 약 3-4°C 높게 나타나 시스템의 성능을 향상시키는 탁월한 재료로 나타났다. 선택 흡수막의 재료별 최고와 최저의 성능차이는 실내기온에서 2-3°C로 나타났다.

(Fig 4-2) 선택 흡수막의 변화에 따른 Simulation 결과

5. 결론

축열벽 시스템의 표면 마감에 따른 열성능을 실험연구와 Simulation 연구를 통하여 진행하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 일사 흡수율 변화 Simulation에서 흡수율이 0.25인 경우와 0.95인 모델의 온도차는 실내 온도차는 1.0B 두께의 축열벽에서 10°C정도의 차이를 나타내었다. 축열벽형은 집열면의 일사흡수율을 높이는 것이 열성능을 향상시킬 수 있는 좋은 방법으로 평가된다.

(2) 선택 흡수막으로 마감한 모델의 경우는 일반 붉은 벽돌로 마감한 경우보다 1.0B의 축열벽에서 실온이 4-5°C 높게 나타나고 검정색 마감보다 3-4°C 높게 나타나 선택 흡수막의 이용은 열성능을 높일 수 있는 좋은 재료로 평가된다.

(3) 선택 흡수막의 비교 Simulation에서 가장 우수한 성능을 갖춘 재료는 성능이 나쁜 재료보다 2-3°C 높은 실온을 유지하였다.

(4) 본 연구에서 제작한 축열벽형의 수치해석 모델은 실험실측의 내용과 비교하여 신뢰도를 나타내는 R²의 값이 0.9로 나타나 Simulation에 이용될 수 있는 타당성이 검증되었다.

< 참고 문헌 >

- 송국섭, "유한차분법을 이용한 자연형 태양열 시스템의 열성능 분석에 관한 연구", 중앙대 박사 학위 논문, 1991. 9.
- Duffie, John and William a Beckman, "Solar Engineering of Thermal Process", John Willy and Sons, New York, 1980.
- Solar Energy Research Institute, "SERI-RES Manual", 1985.