

學校建物과 受光 斷熱材

Light Throughable Insulation Materials in School Buildings

강철구*, 이 성**
Kang, Cheol-Ku, Lee, Seong

ABSTRACT

In this thesis, we will theoretically and practically study and analyze how the heat flows through an opaque wall, which is by the new material insulated, of a school buiding in Korea. It will be an important information for the effective using guidelines of the new light throughable insulation materials in Korea.

키워드 : 수광단열재, 에너지절약, 학교건축, 투광단열재

I. 서 론

최근에 지어지는 건축물은 어떤 건축물을 막론하고 에너지 절약 대책이 안 되 있으면 에너지 문제를 경제적인 방법으로 해결할 수 있는 방법 외에는 다른 방안이 없으며 이런 건축물들의 소유주는 매년 상승하는 에너지 비용에 의해 지속적으로 가중되는 경제적인 부담을 해결해 나가야만 할 것이며 한국에도 "세계 기후 협약"이 발효되기 시작할 경우 그 가중치는 부담의 한계를 넘어선 막중한 것이 될 것이다. 이러한 이유로 최근에는 유럽 등 각국에서 투명단열재를 개발하여 많은 에너지 절약을 하고

있는 것을 볼 수 있다.

이러한 투명단열재를 사용할 경우 독일 같은 열악한 기후조건 하에서도 한 다세대 주택의 경우 년중 난방 에너지를 불투명 단열했을때 보다 50% 이상 절약하고 있으며, 또 어느 연립 주택 단지는 불투명 단열된 건물에서보다 65% 이상을 절약하고 있는 것을 볼때 우리나라에서의 경우는 이론적으로 모든 건축물에 거의 100%의 난방 에너지 대체효과를 기대할 수 있을 것이다.

특히도 이러한 재료가 낮에만 이용되는 학교 건물에 사용될 경우 그 에너지 절약 효과는 막대한 것이며 실내공간의 쾌적도도 매우 클 것이기에 투명단열재가 학교건물에 이용될 경우 에너지 절약 효과에 대한 논문을 95년 6월 본 학회지에 발표한 바있다.

* 정회원/이사, 건축사, 건국대 건축공학과 박사과정, (주)동우건축 대표

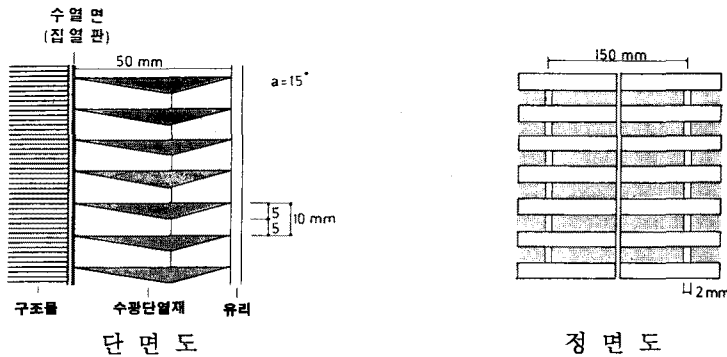
* 정회원, 공학박사, 동의대 건축공학과 부교수

II. 본 론

수광단열재는 전술된 투명단열재의 분석과 실측 과정에서 나타난 문제점들을 해결하여 불투명 외피를 통하여 태양 에너지를 취득할 수 있는 단열재가 갖추어야할 제반 조건을 만족시킬 수 있는 새로 연구 개발된 난연성 재료이다.

1. 수광 단열재의 구성

수광단열재는 투명단열재가 투명재료로 구성



〈그림 1〉 수광 단열재의 구성

이 구성 재료는 기존의 투명 단열재의 가장 큰 문제인 불연성의 해결은 물론 재료 자체로 구성이 되어 다른 구조적인 틀이 필요없으며 크기나 연결 등에서도 기능이나 구조에 제약없이 가능하며 열 팽창계수 또한 매우 낮아 형태 변화에서도 긍정적으로 나타났다. 수열면은 현장에서 크기에 맞게 접착이 가능하여 운송도 중등의 파손을 방지할 수 있으며 시공후 전면 에 유리로 마감만 하면 되도록 구성되어 있다.

2 수광 단열재의 기능

2.1 단열기능

수광단열재는 난연성 재료로 구성되어 있고 투광을 위한 사이사이의 공기층은 기존의 투명 단열재의 공기층 두께와 같은 5 mm 로 구성되어 있어 단열 기능은 투명 단열재와 비슷하여

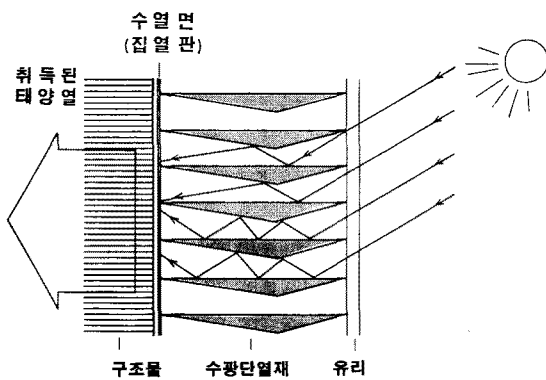
되는 것과는 달리 난연성의 단열성능이 좋은 불투명 재료로 아래 〈그림 1〉에서와 같이 5 mm 두께의 공기층과 (공기층의 두께에 따른 투과율 등을 연구조사한 결과 대류작용을 억제시킬 수 있는 두께로 판명됨) 5 mm 두께의 구성재료로 제작되어 공기층의 대류작용을 최대한 억제시켜 단열 효과를 크게하는 한편, 이 공기층을 통하여 태양광선이 수열면으로 잘 투과 될수 있도록 구성 재료의 양 단을 최대한 얇게하여 빛의 투과를 극대화 시켰다.

수광단열재 두께 5 cm 에 4 mm 유리로 보호막을 했을경우 열 관류 계수 $k=1.1-1.6 W/m^2K$ 로서 매우 좋은 단열 성능을 나타내고 있다.

2.2 에너지 취득 기능

투명 단열재가 재료의 투명성에 의해 에너지를 취득하는 것에 반해, 수광단열재는 구성 재료의 반사 작용에 의해 태양 에너지를 취득하도록 연구 되었다. 그 기능은 〈그림 2〉에서와 같이 남측수직면을 기준으로 했을 때, 겨울(12월 21일)에는 정오에 그 고도가 29°가 되고 그 이외의 시각에는 고도가 더 낮게 되어 겨울 기간 동안에는 태양 빛이 최대한 투과 되도록 하여 태양 에너지의 이용이 극대화 되도록 연구 되었다. 더욱이 수광 단열 구조물의 앞쪽을 서울을 기준하여 15°로 예각 처리하여 고도에 따

큰 빛의 투과에 지장도 없고 구조물에 의한 반사와 빛의 차단도 최소화 되도록 연구되었다. 여기에 수열면 쪽으로 경사지게 재료가 구성되어 반사 과정에서 발생하는 열이나 흑 대류가 미미하나마 발생하더라도 그 열이 다시 수열면 쪽으로 공급되도록 하여 열취득효율이 최대화 되도록 연구되었기에 실측된 빛 투과율은 태양 고도에 따라 큰 차이가 있고, 평균 투과율은 0.4 이지만 실제 난방 기간동안의 총 에너지투과율은 훨씬 상회할 것이다.



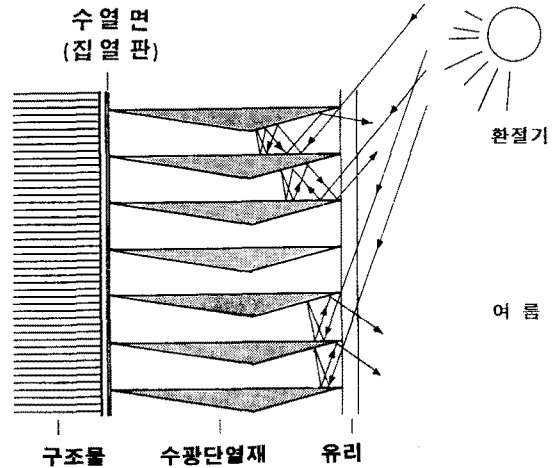
〈그림 2〉 수광 단열재의 에너지 취득 기능

이 수광단열재의 에너지 취득은 태양고도가 낮아 질수록, 다시 말해서 겨울 (12월 21일)이 오면 투과율이 최고가 되며 1월이 지나고 2월이 되면서 점차로 투과율이 감소하다가 여름 (6월 21일)이 오면 투과율이 최저가 되도록 연구되었기에 난방기간동안의 태양에너지 취득의 극대화와 냉방기간동안의 불필요한 태양에너지 차단효과를 그 재료자체와 구성만으로 극대화시킬 수 있도록 연구된 것이다.

2.3 환절기 및 여름의 과열차단기능

기존의 투명 단열재는 환절기나 여름철에 대비하여 과열 차단장치를 꼭 필요로 하는데 반해 수광단열재는 자체 재료의 불투명성과 반사기능을 이용하여 반사각을 계절에 따른 태양고도와 맞게하여 별도의 과열차단장치 없이 빛의

반사작용을 이용하여 여름에는 빛이 거의 완전히 외기로 다시 반사되고, 환절기에는 일부분만 수열면으로 반사되고, 겨울에는 거의 전부 수열면으로 반사되도록 연구되어 과열이 되는 것이 자체적으로 방지되도록 하였다 (〈그림 3〉 참조).



〈그림 3〉 환절기 및 여름의 과열차단기능

3. 수광 단열재의 성능

3.1 단열성능

기존의 투명단열재의 단열 성능과 비교해보면 새로 개발된 수광단열재는 그 성능 면에서 비슷하다는 것을 알수 있으며 다음 〈그림 4〉에서 수광단열재의 열 관류 계수 및 빛 투과율을 투명단열재와 비교할 수 있다.

	두께 (mm)	열 관류계수(W/m ² K)	투과율
별집형태	PC 100	1.07	0.75
	PC 4+50+4(유리)	1.3	0.65
	PA 98	0.7	0.6
	PS 108	1.10	0.49
모세관형태	PC 100	1.07	0.69
Aerogel	4+24+4	0.9	0.45
수광단열재	50+4	1.1-1.6	0.4

〈그림 4〉 투명 단열재와 수광 단열재의 단열 및 투과율의 비교

3.2 열적 성능

수광단열재의 열적성능을 이론적으로 computer simulation 을 통해 계산하여 기존의 투명 단열재와 비교 분석 하였다. 수광단열재의 경우도 투명 단열재의 경우와 같이 정확한 열적 성능 계산은 그 재료자체의 특성 외에 여러 가지 다른 요소들이 (벽체의 구조, 향, 환기횟수, 지역별 기후, 주변환경의 반사율등) 복합적으로 작용하여 약간의 오차가 발생할 수도 있으나 예를 들어 서울의 한 건축물의 불투명 외피에 대한 에너지 성능을 단열재의 종류에 따라 다음과 같이 비교 연구 해 보았다.

3.2.1 기후조건 (서울)

본 연구에서는 건물은 많고 기후조건이 좋지 않은 지역인 서울의 건축물에 대해 연구되었기에 서울의 기후조건에 대해서만 분석하고자 한다. 서울은 북위 37° 34' 에 위치하며 냉, 난방 에너지 소모와 태양에너지 취득에 영향을 주는 주요 요소는 일사량, 일조시간, 외기 온도, 태양고도와 방위각, 실내 온도가 될 것이며 1972년 부터 1980년 까지의 평균 기후조건이 고려됐으며 수직면에 대한 일사량은 1983년의 일사량이 고려됐다.

3.2.2 건축물

여기서는 수광단열재의 적용에서 열적성능 분석을 위한 중요한 요소들만 분석하고자 하며 그 중요한 요소는 다음과 같다.

A. 요구되는 실내공간의 조건

학교 건물에 요구되는 중요한 실내공간의 조건은 일반적으로 난방되는 공간은 20C 로 유지되어야 하고 비난방 공간은 더 낮겠지만 여기서는 학교 건물도 난방이 된다고 가정하고 (쾌적조건) 실내온도를 20C를 기준으로 하였다.

B. 단열 외피의 구조

본 연구를 위해 외피의 구조는 학교 건물에 많이 사용되고 있는 조적조를 선정했다.

불투명 : 1cm 몰탈바름+1.0 B 시멘트벽돌 + 5cm 불투명 단열+0.5 B 벽돌(k=0.55)

투명 : 1cm 몰탈바름+1.0 B 시멘트벽돌+5cm 투명단열+4mm 유리(k=0.75 투명단열부분 k=1.0(2))

수광 : 1cm 몰탈바름+1.0 B 시멘트벽돌+5cm 수광단열+4mm 유리(k=0.80 수광단열부분 k=1.1 (2))

3.2.3 계절과 외피에 따른 에너지 흐름양
서울의 기후 조건과 외피구조에 따른 난방 기간동안의 에너지 흐름은 향에 관계없이 실내 기후조건 하에서 다음과 같이 Goetzberger의 계산식에 의해 계산될 수 있다.

$$Q = (1/Rt) * (Ro * g * I \Delta T) \quad [W/m^2] \dots \dots \dots (1)$$

Q=구조물을 통한 에너지 흐름양 [W/m²]
(에너지 취득 : +, 에너지 손실 : -)

1/Rt=외피의 열 관류계수 [W/m² K]; Ro=단열층의 열전도 저항 [m² K/W]

g=단열층의 총 에너지 투과율; T=온도차 [K]

I=수직면에 비치는 일사량 [W/m²]

외피의 향은 남향으로 외벽면의 에너지 흐름은 1983년도 기후조건의 평균값에 의해 연구 분석되었다. 불투명 단열을 했을 경우에는 향과 구조에 따른 것은 조건이 같기때문에 월평균 불투명 외피를 통한 에너지 소모에 대해 이루어졌으며 아래<그림 5>와 같다.

월	외기온도(°C)	온도차(K)	열관류율(W/mK)	열흐름(W/m ²)
93년 11월	+ 9.8	10.2	0.55	+ 1515
93년 12월	+ 0.2	19.2	0.55	+ 2939
94년 02월	+ 2.4	17.6	0.55	+ 2703
94년 03월	+ 5.6	14.4	0.55	+ 1994

<그림 5> 월별 불투명단열된 불투명외피를 통한 에너지 소모량
(열흐름 : + =에너지소모, - =에너지취득)

위에서 보듯 불투명 단열된 불투명 외피를 통해서 는 낮 동안 인데도 9.15 kWh/m² 라는 많은 양의 에너지가 소비되고 있는것을 볼 수 있다. 이것은 에너지 소비라는 점에서도 문제지만 학생들에게 쾌적치 못한 교실의 환경조건에 더욱 문제가 있을 것이다. 그러나 새로 연구 개발된 수광단열된 외피를 통한 에너지 흐름을 살펴보면 다음과 같다.

월	외기온도(℃)	온도차(K)	열관류율(W/m ² K)	열흐름(W/m ²)
83년 11월	+ 9.8	10.2	1.56	- 16.2
83년 12월	+ 0.2	19.2	1.39	- 14.5
84년 2월	+ 2.4	17.6	2.26	- 21.3
84년 3월	+ 5.6	14.4	2.57	- 18.5

(+ : 에너지 손실, - : 에너지취득)

〈그림 7〉 일과시간동안 수광단열된 불투명외피를 통한 에너지 흐름양

똑같은 조건 하에서 수광 단열된 불투명 외피를 통한 에너지의 흐름은 난방 기간동안 70.5 kW/m²로 투명 단열을 통한 에너지 취득양 보다는 조금 적지만 불투명 단열된 외피에서 보다는 79.65 kW/m² 라는 많은 에너지 절약효과를 얻을 수 있었다.

이렇게 불투명외피를 통해 취득되는 에너지는 투명외피를 통해 취득되는 에너지와는 달리 일단 외피 구조물에 축적된 후 타임랙 효과를 갖고 서서히 실내로 공급되는 장점과 해가 없어 일정 시간동안 축적된 열에 의해 난방 효과가 지속되며, 또한 취득된 에너지를 효율적으로 이용할 경우 환기에 의한 열손실까지 대체시켜줄 수 있다는 것이다. 따라서 학교 건축물과 같이 낮동안만 사용되는 건축물의 투명단열이나 수광 단열을 통한 태양에너지 이용효과는 위에서 보는바와 같이 막대한 것이어서 수광 단열재의 학교건물에서의 이용은 에너지 절약면이나 학생들의 쾌적을 위해 절실한 것으로 나타났다. 더욱이 수광 단열재는 투명 단열재가 갖고있던 가장 큰 문제인 가연성의 재료를 난연성으로 교체했다는 것이고 다른 하나는 비

경제성의 원인인 과열차단 커텐 장치문제를 재료 자체로 해결했다는 것이다.

3.2.4 난방 기간동안의 과열차단효과

투명 단열재 뿐만아니라 태양 에너지 이용 전반에서 가장 큰 걸림돌중의 하나가 바로 이 봄, 가을 그리고 여름철의 과열차단 장치일 것이다. 그래서 투명 단열재에는 과열차단 장치가 필수적으로 사용되어야하며 그것으로 인한 여러가지 부수적인 문제가 발생되고 있는데 그중에서도 다음과 같은 것들을 예로 들 수 있다.

- 비경제성 (과열차단 장치를 위해 투명단열 재료비의 거의 5 배가 소모됨)
- 부정확한 작동 (차단이 되었을 때는 이미 축적된 열에 의해 과열현상발생)
- 운영상의 문제 (모터등이 벽속에 매입되기 때문에 고장날경우 보수의 어려움)

이러한 문제들이 수광단열재에서는 재료와 구성에 의해 자체적으로 해결될 수 있다. 이러한 기능은〈그림 3〉에서 볼 수 있으며 이것의 이론적인 실내쪽에서의 에너지 흐름은 다음과 같다.

- 불투명 단열재 : 7월=3.0(kW/m²), 8월=3.5(kW/m²)
- 투명 단열재 : 7월=35.7(kW/m²), 8월=37.4(kW/m²)
- 수광 단열재 : 7월=5.0(kW/m²), 8월=5.7(kW/m²)

이와같이 수광단열재는 재료자체의 불투명성과 반사성 그리고 단열성을 이용하여 태양고도에 따른 일사량의 조절이 가능하도록 연구되어 과열차단의 문제가 재료 자체에의해 해결되도록 하였다.

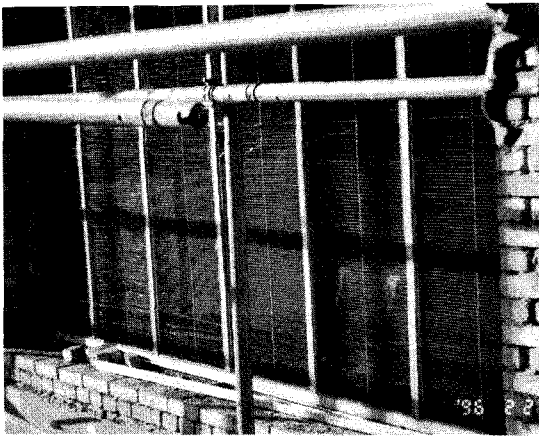
III. 실측

이제까지의 이론적인 결과는 일사량이 일정하다고 가정했을 경우의 결과이며, 외피의 구조가 일정하여 구조물의 단열능력이 일정하다

고 가정하고 일사량이 변화 된다고 할경우 (실제의 경우가 그러하므로) 이에 따른 수광단열 외피를 통한 에너지 흐름을 실질적인 조건 하에서 실측하여 에너지 취득량을 이론에 의한 연구 결과와 비교해 보았다.

1. 실측모델

실측을 하기위해 서울과 가까운 천안에 있는 호서대학교 학생회관 4 층건물의 4층 부분의 남측벽 약 4 m² 에 수광단열재를 시공한 후 실측을 하였다. (그림 8 참조)



<그림 8> 투명단열 시공된 외피의 전경

건물의 외피구조 : 20cm 시멘트벽돌+10cm 중공층 (5cm 불투명단열) + 20cm 시멘트벽돌+2cm 몰탈마감+타일

수광단열 외피구조 : 20cm 시멘트 벽돌+5cm 수광단열재

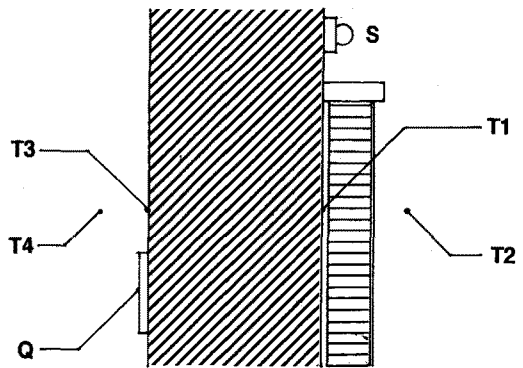
그러나 천정 부분등은 아직 미완공 상태였으므로 실내를 기준으로한 정확한 에너지 손실을 측정하기는 어려웠고, 또한 한 공간에서의 에너지 손실을 측정하기 위해서는 또다른 여러가지 부수적인 요소들이 복합적으로 작용하므로 (환기, 인접공간등) 여기서는 외피를 통한 에

너지 흐름에 대한 측정이 주 목적이므로 실내, 외 온도차와 일사량의 변화에 의해 얼마나 많은 에너지가 취득되는지 만을 측정하였다.

수광단열된 불투명 외피의 에너지 흐름을 측정하기 위해서 남측벽의 다음과 같은 자리에 센서를 부착시켰다 :

- T1 : 구조물에 무광 검정칠을 한 수열면온도;
- T2 : 외기 온도
- T3 : 수광단열된 외피의 내면온도;
- T4 : 실내 온도
- Q : 열류센서 (q : 열흐름양) ;
- S : 남측 수직면의 일사량

여기에서 열류센서를 실내측에 부착한 것은 수열면에 취득된 에너지가 다시 외기로 손실되는 부분이 있으므로, 이렇게 재 손실되는 부분이 전부 제외된 순수한 실내측으로의 취득 열량만을 실측하기 위한 것이다. 열류센서로는 Cu-Konstantan으로된 PVC 판 (25*25cm, 두께 3mm) 이 사용됐으며, 열흐름은 1mV당 4.87W/m² 로 구성되었다. 온도측정은 K 타입의 NiCr-Ni이 사용됐고 일사량 측정엔 Pyranometer 가 사용되었다. 측정기기는 독일 Ahlborn사의 Therm 3280-M이 사용되었고 측정된 모든 자료는 컴퓨터에 의해 입력되어 요구되는 실측결과가 자동으로 분석 종합되도록 프로그램 K-Wert 와 Thermcom 2 가 이용되었다. 측정센서 위치는 다음과 같다 (그림9 참조) :



<그림 9> 측정센서의 위치도

2. 실측결과

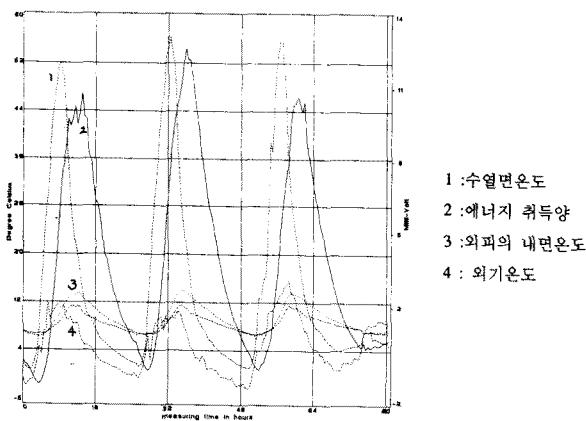
아래 그림의 열류센서에 의해 직접 측정된 에너지 흐름곡선에서 일사량에 따라 차이는 있으나 수광단열된 불투명 외피를 통한 에너지의 흐름이 낮 동안 지속적으로 약 8 시간 정도의 타임 락 효과를 가지고 실내쪽으로 이루어지고 있는 것을 알 수 있다. 이것을 좀더 세분화하여 보면 아직은 비난방 공간이므로 실내 표면 온도는 낮으나 학생들의 수업이 시작되는 오전 9-10 시경 부터 수열면의 온도가 20°C 이상으로 상승되기 시작하여 에너지 흐름이 실내 쪽으로 바뀌기 시작하여 낮 동안에는 50°C 이상 올라가 시간당 50 W/m² 이상의 에너지가 실내 쪽으로 흐르는 것을 볼 수 있다. 더욱 중요한 것은 흐린날에도 20°C 이상의 수열면 온도가 유지되어 수광단열된 외피를 통해서도 에너지의 손실이 낮동안에는 거의 없다는 것이다.

여기에서 실내표면 온도가 10°C 내외가 되고 있는 것은 아직 실내공간이 완성되지 않았기 때문이며, 더욱이 난방이 되지않고 있기 때문이며 더욱 결정적인 것은 이 구조물의 외피가 20cm 이상의 철근 콘크리트 구조물로 이루어져 있다는 것이다. 따라서 취득된 에너지가 실내 쪽으로도 흐르지만 다시 많은 양이 외기쪽으로

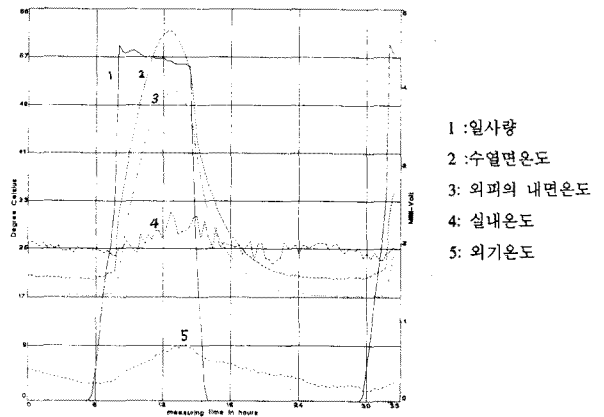
손실된다는 것이다. 이러한 실측결과를 보면 아래 <그림10>과 같다.

그러나 이러한 에너지 흐름을 실측이 2, 3월에 수행되었기에 2월과 3월의 이론결과와 비교해 보면 실측결과가 평균 609 W/day 의 에너지 취득이 되고 있어 2월의 이론결과인 792 W/day 보다 적으며 3월의 596 W/day 보다는 많이 취득되고 있음을 볼 수 있는데 이와같은 차이는 2월에는 취득된 에너지가 다시 외기로 손실되는 에너지가 많았으며, 3월의 경우에는 입사각이 커져 에너지 투과량이 적어졌기 때문인 것으로 분석되었다.

따라서 만일 낮에만 사용되는 건축물에 (예 : 학교, 사무소 등) 이러한 수광 단열재가 사용될 경우에는, 구조물의 외피가 두껍지 않도록하여 좀더 많은 에너지가 실내로 유입될 수 있도록 하는 것이 유리하게 될 것이다. 한 예로 10cm 두께의 시멘트 벽돌을 구조물로 사용했을 경우 한 모델 벽체에서의 실측결과 내면온도가 30°C를 오르내리고 있는 것을 아래 그림에서 볼 수 있으며 수열면의 온도는 오전 9 시경에 벌써 30°C가 되어 낮에는 55°C까지 상승하여 저녁 9시 경까지 25°C가 유지되고 있는 것을 볼 수 있다. (그림 11 참조)



<그림 10> 수광 단열된 불투명외피를 통한 에너지 흐름에 대한 실측양



<그림 11> 수광단열된 불투명 모형외피에서의 온도 변화

이것은 수광 단열외피의 종류와 축열능력 그리고 공간의 형태, 크기 등에 따라 다소의 차이는 있을 수 있으나, 그 지역의 일사량에 따른 수광 단열외피의 면적을 산출하는데 기본적인 자료가 될 수 있을 것이며 에너지 절약의 산출 지표로도 이용될수 있을 것이다.

IV. 결론

연구결과 새로 연구 개발된 수광단열재는 기존의 유럽에서 개발된 투명단열재보다 성능 면에서 크게 뒤지지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 즉 투명단열재를 통해서 난방기간 동안 78.4 kW/㎡의 태양에너지가 취득되는 것에 비해, 수광 단열된 외피를 통해서 70.5 kW/㎡의 태양 에너지가 취득되고 있어 그 차이는 매우 미미한 것으로 나타났다. 여기에 여름기간 동안의 에너지흐름은 투명단열된 외피에서는 과열 차단장치가 없는 경우 약 73.1 kW/㎡라는 막대한 에너지가 실내로 취득 되고있는 반면, 수광 단열된 외피에서는 재료자체의 반사작용과 태양고도의 변화에 의해 거의 불투명 단열재의 외피에서와 비슷한 10.7 kW/㎡의 에너지가 취득 되는것으로 나타나 과열 차단커튼이 불필요하여 비용 면에서는 투명 단열재의 약 1/5 가격으로 시공이 가능하고 난연성 재료로 구성되어 사용 장소의 제한을 받지 않는다는 것이다.

이러한 결과는 이론과 실측에 의한 것이기는 하지만 실제로 수업이 진행되고 있는 학교건물에서 실측된 것이 아니므로 환기, 학생들의 출입 등 실제로는 여러가지 다른 요인이 에너지 절약 요소에 작용될 수 있어 실제의 강의실이나 교실에서 실측될 경우 보다 확실한 결과가 산출될 수 있을 것이다. 더욱이 낮 동안의 과열 현상도 유발될 수 있어 취득된 열이 보다 효율적으로 이용될 수 있도록 적절한 축열 시스템도 함께 고려가 되어 연구가 된다면 더욱 효과적이고 정확한 결과가 도출될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 이 성 Anwendung transparenter Waermedaemmung Hannover, Universitaet Hannover, Institut fuer Industrialisierung des Bauens, Diss., 1993
- 2) 이 성 투명 단열재를 통한 획기적인 에너지 절약 대한건축학회지, 제37권 제6호, 1993
- 3) 이 성 학교건물의 에너지 절약과 투명 단열재, 한국교육시설학회지, 제2권 제2호, 1995
- 4) 이 성 투명 단열과 태양에너지, 태양에너지학회, 94국제 추계학술 논문발표회
- 5) Schmid, J. Transparente W rmed mmung-Energiehaushalt vonBauten-In : Arcus 14, Koeln, 1994
- 6) Balk, W. Fassadenintegrierte Solarmodule, In Sonnenenergie (Feb. 1991), Heft 1
- 7) Braun, P. O. Niedrigenergie user, In : Sonnenenergie Heft 2, 1992-04
- 8) Goetzberger, A. Transparente W rmed mmung, In : Sonnenenergie 17 Heft 2, 1992-04
- 9) Hilbig, G. Das thermische Verhalten partiell transparenter Waende, In : Bauphysik 13 (1991), Heft 6
- 10) Hullmann, H. Rarionelle Energieverwendung in Gebaeden, In : Beton -Und Fertigteiljahrbuch, 1992
- 11) Jesch, L. Proceeding of the 5th International Meeting on Transparent Insulation Technology, Freiburg 1992
- 12) Kraus, R. Energietransport durch transparente und nicht transparente Aussenwand-wandkonstruktionen, In : Bauphysik 13 (1991), 14 (1992)