

태양복사열이 투사되는 주거공간 벽면의 열전달에 관한연구

A Study on the Heat Transfer in Residential Space Wall having Solar Radiation

고영렬*
Young lyoul Ko

손철수**
Cheol soo Son

Abstract

This study was conducted to estimate the solar energy, as an alternative energy evaluating an effect of solar radiation on indoor space of residential building. The basic data of solar radiation which is useful for architectural design was suggested using theoretical and experimental analysis. Accordingly, this study was carried out measuring the solar energy using Explicit Method. These results were compared with the results using steady state heat transfer method. The results of this study are summarized as follows; Based on the results using Explicit Method and steady state heat transfer on the indoor space of building, it was shown that an analysis on heat transfer using Explicit Method is more sensitive to the outdoor environmental changes. The results using Explicit Method to analysis and evaluate the solar radiation should be used for residential building design.

Keywords : Heat transfer, Solar Radiation, Explicit Method

주요어 : 열전달, 태양복사

1. 서론

식물은 태양에너지를 광합성작용에 의해서 에너지로 변환한다. 이것이 식물의 끊임없는 에너지 생성을 가능케 한다. 우리가 화석연료라고 부르는 석유나 석탄은 동물이나 식물이 땅속에 묻히면서 본래의 에너지 덩어리로 축적되는 것이다.

문제는 생물체가 묻혀서 화석 연료화 하는데 50만 년 이상이 걸린다는 것이다. 이토록 오래 축적된 에너지를 우리는 문명의 급격한 발전을 위해서 너무 손쉽게 써왔고, 이제는 문명의 발전이 수십 만년의 공이 들어간 에너지의 덕분이 아니라 잘난 인간의 능력이라고 착각하고 있다. 또한 연소과정에서 생성된 공해물질은 심각한 문제점을 야기 시키고 있으므로 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전 세계적으로 대체 에너지원으로 전환하기 위하여 노력하고 있다.

태양에너지는 대체에너지 기술 중에서도 무한정·청정한 자연에너지원으로서 각광을 받고 있다.

최근 국가적 차원에서 추진하고 있는 에너지원의 다양화, 부존자원의 활용의 극대화, 대체에너지 개발 및 이용의 적극화 등 제반 사업도 이와 같은 취지에서 실행되고 있는 것이다.

국내외적으로 현재 광범위한 분야에 걸쳐 이를 활용하기 위한 연구사업이 활발하게 진행되고 있으며, 이미 여러 분야에서 경제성과 장래성이 입증되고 있다.

건축부분에서도 에너지 절약이라는 측면은 아주 중요한 현대건축이 해결 해야할 문제이다. 국내에서 소비되는 전체에너지의 1/3 이상을 건물분야가 차지하고 있으며 21세기의 새로운 건축개념인 Intelligent Building, Green Building System의 도입으로 환경에 대한 배려와 건축물에 의한 에너지 사용량이 점점 늘어날 것으로 예측되며, 아울러 대체에너지로서 주거 건축물에 적용할 수 있는 태양열에 대한 해석 방법의 필요성이 인식된다.

*DST 종합건축사 사무소
**계명대학교 건축공학과 교수

II. 이론적 배경

1. 연구의 배경 및 내용

국내의 연구동향에서 살펴본 결과 우리나라의 경우, 일사량을 측정하여 데이터화하여 사용한지는 그리 오래되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 태양복사가 주거 건축물의 난방공간에 미치는 영향을 평가하기 위한 것으로 연구의 내용 및 방법을 연구 진행 순서에 따라 정리하면 다음과 같다.

건물의 냉난방부하 산정시 태양에너지가 미치는 영향을 평가하기 위해 먼저 대구지역의 계명대학교 성서캠퍼스 내의 주거공간에 대한 복사량을 측정하고, 태양의 흑체복사와 비교하여 분석한다.

건축물의 각부분별 특성에 따른 에너지 실측을 다음과 같이 진행한다.

- 벽체의 구성재료의 두께에 따른 에너지 실측과 열전달 이론적 해석.
- 유리창을 통한 복사 에너지 실측과 열전달 이론적 해석
- 연구의 범위는 태양복사가 투사되는 벽면을 통해 내부로 전달되는 에너지를 Explicit Method의한 이론적 해석치와 실내 부하계산 방법 중 열관류에 의한 방식에 의한 해석치를 비교 분석함으로써 벽면의 열전달에 관한 해석 방법이 필요하게 된다.

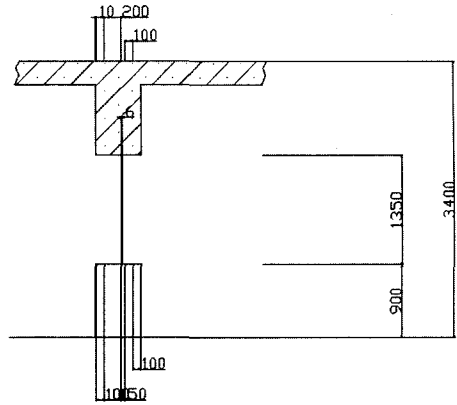


그림 1. 벽체의 단면

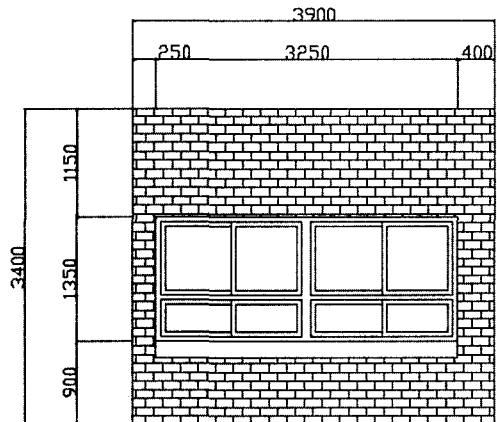


그림 2. 실험의 측정위치

III. 실험 방법

1. 실험의 방법 및 측정기구

본 실험을 태양복사에너지가 난방을 실시하고 있는 건축물의 내부에 미치는 영향을 해석하기 위해 2002년 1월20일 23:00부터 23일 18:00까지 본 실험을 대구시 계명대학교 성서캠퍼스 내의 주거공간에서 실시하였다.

건물의 외벽에 도달되는 태양복사를 측정하기 위해서 센서를 외벽면과, 창문, 그리고 창문을 통해서 투과되는 태양복사를 측정하기 위해 실내의 창문들 부분에 센서를 설치하여 측정하였다.

실내외의 온도 변화를 측정하기 위해 실내의 벽체 하단, 벽체의 상단, 창문의 안쪽면, 창문의 바깥쪽면, 외벽부분의 온도를 실측하였다.

본 실험에서 벽체는 적벽돌 100 mm와 일반시멘트

표 1. 벽체 구성재료의 성질

	밀도 (Density) kg/m ³	전도율 (Conductivity) W/m ² °C	비열 (Specific Heat) kcal/kg°C	열확산성 (Thermal Diffusivity) m ² /s
일반 시멘트 벽돌	1600	0.69	0.79	4.7×10 ⁻⁷
외장 점토벽돌	2000	0.63	0.84	3.2×10 ⁻⁷
스치로폼	300	0.04	1.25	9.1×10 ⁻⁸
철근 콘크리트	2400	1.63	0.79	7.4×10 ⁻⁷
미장 시멘트 몰탈	1950	0.93	0.92	4.5×10 ⁻⁷
유리창	2540	1.02	1.01	3.5×10 ⁻⁷

벽돌 100 mm, 철근콘크리트 200 mm, 단열재 50 mm, 미장몰탈 10 mm로 구성되어 있다.

표 2. 측정 기구

실험내용	측정기기	제작 회사
온도 측정	REMOTE SCANNER DE1200 1대	NEC Son-ei instrument, Ltd
복사량 측정	LI-1400 Data logger 1대	LI-COR
	LI-190SA Quantum Sensor 3개	LI-COR

2. 실험 데이터

본 실험은 난방을 실시하고 있는 동안의 실내와 실외의 열전달을 알아보고 태양복사가 미치는 영향을 알아보기 위해 실시하였다. 실험을 실시하는 삼 일동안 맑은 날씨가 계속되었으며, 측정은 1초단위로 측정하였으며, 데이터 값은 5분 동안의 평균치로 기록하였다.

실험의 데이터 값은 <그림 3>에서 보듯이 1월 23일에 태양복사에너지의 최고치가 기록된 것으로 나타났다.

<표 3>에서는 1월 22일 낮 동안의 태양복사에너지를 측정된 것으로 실내와 창문부분에서는 12:00시에 최고치를 기록하였으며 실외에서는 오후 1:00시에 최고치를 기록한 것으로 나타났다.

실험기간동안의 온도 변화를 <표 4>에서 살펴보면 실내는 난방에 의한 실내 벽체상부의 온도는 최저 20.8°C에서 최고치 22.8°C를 보이고 있으며, 실내 벽체하부의 온도는 최저 17.5°C에서 최고치 19.6°C를 보이고 있다. 실내창문의 온도를 보면 최저 13.6°C에서 최고치 16.3°C를 보이고 있으며, 실외창문의 온도는 최저 -0.3°C에서 최고치 4.6°C를 보이고 있으며, 실외의 벽체 표면온도는 최저 -0.2°C에서 최고치 18.0°C로 나타났다.

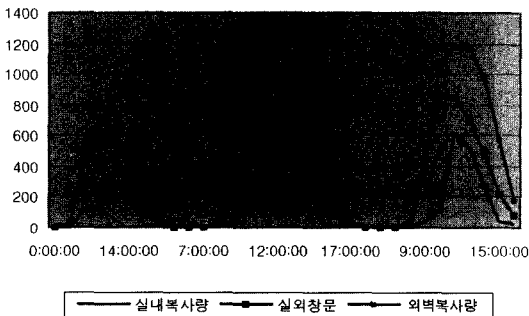


그림 3. 1월 23일 복사량 그래프

표 3. 복사량 데이터 (단위: w/m²)

날자	1월 22일			1월 23일		
	실내 복사량	실외창문 복사량	외벽 복사량	실내 복사량	실외창문 복사량	외벽 복사량
6:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8:00	6.2	23.1	27.9	5.6	22.7	28.1
9:00	43.4	230.5	248.3	43.9	475.9	430.1
10:00	122.6	451.4	502.1	191.6	780.0	807.7
11:00	135.3	561.5	682.8	127.1	926.4	1,135.4
12:00	195.6	417.4	552.7	708.0	967.7	1,312.3
13:00	305.5	569.3	848.5	616.3	806.2	1,321.4
14:00	244.7	531.9	945.1	338.8	616.6	1,196.1
15:00	36.5	264.1	614.1	35.5	306.2	896.4
16:00	20.0	96.1	324.4	17.1	91.0	360.9
17:00	9.1	31.6	49.3	8.3	29.3	45.3
18:00	0.2	0.9	1.4	0.3	1.0	1.5
19:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

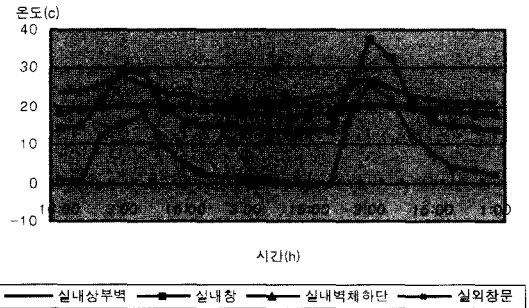


그림 4. 온도 그래프

VI. Explicit Method에 의한 결과 분석

1. Explicit Method

실내 복사 공간의 표면온도를 산출하기 위하여 Explicit 방법이 사용된다.

세가지의 다른 경우가 있는데, 다음과 같다.

· 바깥쪽 대류 경계

$$T_m^{p+1} = 2F_0(T_m^{p+1} + B_i T_{outside}^p) + (1 - 2F_0(1 + B_i))T_m^p$$

· 바깥쪽 대류와 태양복사 q_{sol}

$$T_m^{p+1} = -T_m^p(2F_0 + 2F_0B_i - 1) + 2F_0B_iT_{outside}^p + \frac{2F_0B_i}{h}q_{sol} + 2F_0T_{m+1}^p$$

· 벽체 내부

$$T_m^{p+1} = F_0(T_{m+1}^p + T_{m-1}^p) + (1 - 2F_0)T_m^p$$

· 실내 대류와 복사 경계

$$T_m^{p+1} = 2F_0\left(T_{m-1}^p + B_iT_{inside}^p + \frac{\Delta x}{k}q_{rinn}^p\right) + (1 - 2F_0(1 + B_i))T_m^p$$

여기서,

B_i : 실내와 실외 표면의 Biot 수

Fouier number : $F_0 = \alpha\Delta t/\Delta x^2$

Thermal diffusivity : $\alpha = k/\rho c_p$

2. 실험의 결과 분석

Explicit Method에 의한 이론적 해석을 한 결과 벽체상부의 온도변화를 살펴보면, 외표면을 구성하고 있는 점토벽들의 온도변화가 많이 일어났으며, 단열 스티로폼과 콘크리트, 시멘트벽들에서는 내부의 난방의 원인으로 온도 변화가 내부(CT8)에서 단열체의 표면(ST0)까지는 온도변화가 완만하게 일어났다.

벽체상부의 재료별 온도변화는 <표 5>에서 보듯이 외기와 태양의 복사에 영향을 많이 받는 점토벽들이 외표면의 최저온도 -14°C일 때 내표면의 온도가 1.0°C이고, 외표면의 최고온도 32.9°C일 때 내표면의 온도가 10.1°C로 많은 변화를 보이고 있다. 벽체상부의 에너지 변화는 <그림 5>와 같이 나타났으며, 온도 변화가 가장 많이 일어난 시간때의 재료의 단위면적당 에너지 변화는 <표 6>와 같이 나타났다.

벽체하부의 온도 변화는 <그림 6>에서 보듯이 벽체상부와 비슷한 변화를 보이고 있으며, 재료의 내표면과 외부의 온도가 차이가 많이나는 시간의 에너지 변화는 <표 7>과 같이 나타났다.

실험을 통한 결과를 해석한 결과 1월 21일은 벽

표 4. 온도 데이터 (단위: °C)

시간	실내상부 벽	실내창	실내벽체 하단	실외 창문	실외온도
0:00	22.8	16.3	19.6	4.6	1.5
1:00	22.4	16.0	19.3	4.1	1.2
2:00	22.3	15.6	19.3	3.6	1.2
3:00	22.1	15.1	19.1	2.9	0.5
4:00	21.8	15.1	19.1	2.5	0.1
5:00	21.7	14.8	18.8	2.3	-0.2
6:00	21.6	14.6	18.8	2.2	-1.0
7:00	21.4	14.7	18.7	1.8	-1.8
8:00	21.3	14.5	18.5	1.8	-2.1
9:00	21.2	14.4	18.5	1.6	-2.4
10:00	21.5	14.1	18.4	1.6	-2.8
11:00	21.4	14.1	18.3	1.5	-1.3
12:00	21.2	14.1	18.4	1.2	7.6
13:00	21.0	14.0	18.0	1.2	13.7
14:00	20.9	13.8	17.9	0.9	13.0
15:00	20.8	13.6	17.8	0.6	16.0
16:00	21.0	13.6	18.0	0.7	18.0
17:00	21.2	13.6	17.5	0.4	15.3
18:00	21.3	13.4	17.5	-0.3	12.7
19:00	21.6	13.5	17.7	0.0	9.4
20:00	21.8	13.4	17.7	0.0	6.7
21:00	22.0	13.5	17.6	-0.1	4.5
22:00	22.1	13.6	17.8	-0.1	3.4
23:00	22.2	13.6	17.6	-0.1	2.1

Time step : Δt
 step distance : Δx
 specific heat : c_p
 Density : ρ
 Convection heat-transfer coefficient : h
 Conductivity : k
 q_{sol} : 태양복사
 $T_{inside\infty}$: 실내 공기온도
 $T_{outside\infty}$: 실외 공기온도
 q_{rinn}^p : 실내 표면에서 방출되는 복사량
 - 실내 표면으로 흡입되는 복사량

표 5. 벽체상부의 재료별 온도 변화 (단위: °C)

시간	점토벽	스�티로폼	철근콘크리트	시멘트 벽돌				
RT0	RT4	ST0	ST2	CT1	CT8	BT1	BT5	
8:00	-1.4	1.0	5.5	8.3	9.3	15.6	16.4	19.4
16:00	20.2	7.0	6.5	7.6	8.6	15.2	16.2	20.1
8:00	-1.6	3.9	7.6	9.7	10.6	17.2	18.1	21.2
15:00	32.9	10.1	8.6	9.4	10.3	16.4	17.2	19.9

표 6. 벽체상부의 재료별 에너지 흐름 (단위: W/m²)

시간	점토벽돌 qx(w/m ²)	스치로폼 qx(w/m ²)	철근콘크리 트qx(w/m ²)	시멘트벽돌 qx(w/m ²)
8:00	-14.9	-2.2	-42.4	-23.8
16:00	82.8	-0.9	-44.2	
	-30.3			
8:00	-34.8	-1.7	-43.4	-25.0
15:00	143.6	-0.7	-40.6	-22.0

표 7. 벽체하부의 재료별 에너지 흐름 (단위: W/m²)

시간	점토벽돌 qx(w/m ²)	스치로폼 qx(w/m ²)	철근콘크리 트qx(w/m ²)	시멘트벽돌 qx(w/m ²)
7:00	-16.5	-2.2	-54.9	-16.8
14:00	119.1	-1.6	-55.7	-24.0
8:00	-34.8	-1.4	-37.8	-17.1
14:00	161.4	-0.9	-43.5	-25.5

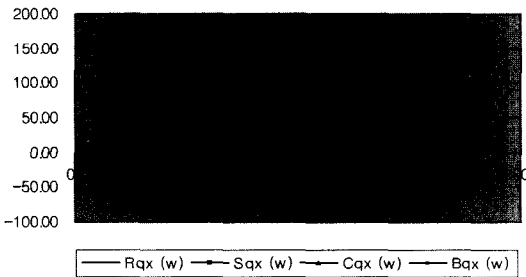


그림 5. 벽체상부의 구성재료별 에너지 흐름

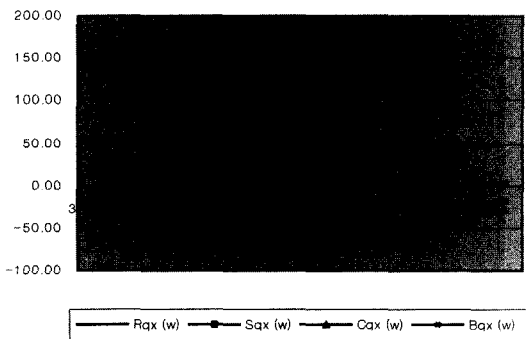


그림 6. 벽체하부의 구성재료별 에너지 흐름

체상부는 7:00시에 1 m²당 403.8W/m²의 에너지 방출로 최고치를 기록하였으며, 1월 22일은 1:00시에 589.1W/m²의 에너지 외부 방출의 최고치를 나타냈다. 벽체하부는 1월 21일 7:00시에 399.5W/m²의 에

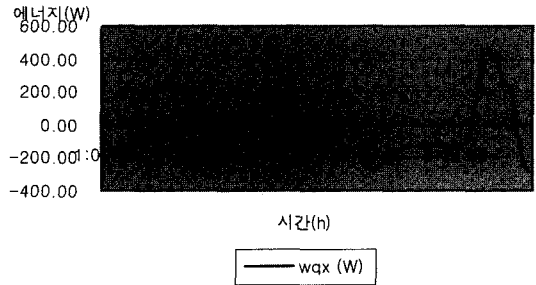


그림 7. 유리의 시간에 따른 에너지 흐름

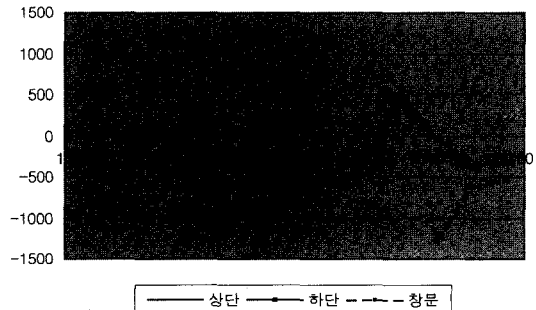


그림 8. 각부분별 에너지 흐름

너지의 최고방출이 나타났으며, 1월22일은 1:00시에 434.5W/m²의 에너지 방출이 최고치로 나타났다. 창문을 통한 에너지 방출은 최고 1,266.1W/m²의 에너지를 방출하였으나 에너지 획득 또한 1,198.7W/m²의 에너지 살내획득 되어졌음이 나타났다. 벽체와 창문을 통한 에너지 흐름은 <그림 7>에서와 같이 나타났다.

시간에 따른 벽체의 각 부분별 에너지 흐름은 <그림 8>와 같이 나타났다.

3. 에너지흐름 분석

벽체의 유효 단면적은 벽체상부가4.8625 m²,벽체하부가 4.442125 m², 유리창의 단면적은 4.3875 m²로 되어있다.

벽체상부와 벽체하부의 에너지 흐름은 실험에서 최대 168 W의 차이를 보였고, 창문을 통한 에너지흐름을 벽체와 비교해서 살펴보면 실험은 낮시간 동안의 에너지 획득면에서는 1월 22일 최대 1,436.9W정도를 더 획득하고, 18:00시에 최대에너지 방출이 1,007W의 에너지 방출이 더 일어나는 것으로 나타났다.

유리창의 온도변화와 에너지의 흐름변화는 <그림 9>에서와 같이 두께와 열적성능의 차이로 인하여 벽체의 온도변화와 에너지흐름보다 더욱 민감하게 반응하는 것으로 나타났고, 에너지의 흐름이 오후보다 오전에 더욱 많이 발생하는 것으로 나타났다.

창문을 통해 실내로 유입되는 태양복사에 의한 직접획득에너지는 낮 시간에 집중되며, 1월 21일은 13:00시에 1,340.5W로 최대치로 나타났으며 1월 22일은 12:00시에 3,106.4W의 최대 에너지 획득이 일어났다.

전체적인 에너지 흐름을 살펴보면 1월 22일 최대 에너지 방출은 23:00시에 1,376.8W가 발생되며, 최대 에너지 획득은 12:00시에 4,633.9W가 발생하였다.

실험의 각 부분별 1월 22일 에너지 흐름을 <표 8>에서 보면 벽체상부의 획득에너지는 1,833.4W이고 방출 에너지는 7,749.5W로 하루에 벽체상부로 방출된 에너지는 5916.1W로 나타났다. 벽체하부는 1,602.9W를 획득하고 6,176W를 방출하여 벽체하부로 방출된 에너지는 4,573.8W로 나타났다. 1월 22일 하루 동안 벽체상부가 벽체하부 보다 1,572.8W 더 방출하는 것으로 나타났다.

유리창을 통한 에너지 획득은 3,211.7W, 방출 에너지는 12,701.1W로 유리창으로 방출된 에너지는 9489.4W로 나타났다. 1월 22일 하루동안의 총 에너지 획득은 14229.6W이고 방출 에너지는 25,026.2W로 총 에너지 방출량은 10,796.6W로 나타났다

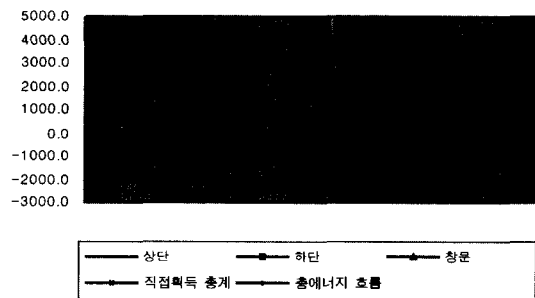


그림 9. 에너지 흐름 그래프

표 8. 실험의 에너지 흐름의 총량 (단위: W)

	벽체상부	벽체하부	유리창	총계	직접 획득	총 에너지
흐름	-5,916	-4,573	-9,489	-19,979	9,1	-10,796
획득	1,833	1,602	3,211	5,377	9,182	14,229
방출	-7,749	-6,176	-12,701	-25,357	.	-25,026

4. Explicit Method방법에서 One dimensional Method에 의한 결과와 열관류에 의한 결과 비교

실험의 결과를 Explicit Method방법에서 One dimensional Method에 의한 해석결과와 열관류에 의한 해석결과를 비교 한 결과 <표 9>에서와 같이 1월 21일 1:00에 해석 결과 에너지 방출면에서 열관류에 의한 방식과 Explicit Method에 의한 에너지 차이가 257.5W의 차이가 나타났으며, 10:00에 에너지 획득면에서 2,164.7W로 가장 많은 차이가 나타났다.

<표 10>에서 1월 22일 하루동안의 열관류에 의한 에너지흐름과 Explicit Method방식에 의한 총 에너지 흐름을 살펴보면 열관류는 12,276.0W를 방출한 것으

표 9. 열관류에 의한 방식과 Explicit Method에 의한 에너지 (단위: W)

시간	열관류에 의한 에너지흐름	Explicit Method총 에너지 흐름	에너지 차이
1:00	-1,301.9	-1,553.4	-251.5
10:00	-957.3	1,207.4	2,164.7
18:00	-627.0	-1,731.1	-1,104.1
11:00	-888.2	1,263.5	2,151.7
17:00	89.0	-1,267.0	-1,355.9

표 10. 열관류에 의한 방식과 Explicit Method에 의한 에너지 흐름 (단위: W)

	열관류에 의한 에너지흐름	Explicit Method총 에너지 흐름	에너지 차이
총에너지	-12,276.0	-10,796.6	1,479.4
획득에너지	6,967.5	14,229.6	9,850.4
방출에너지	-19,243.4	-25,026.3	-8,371.0

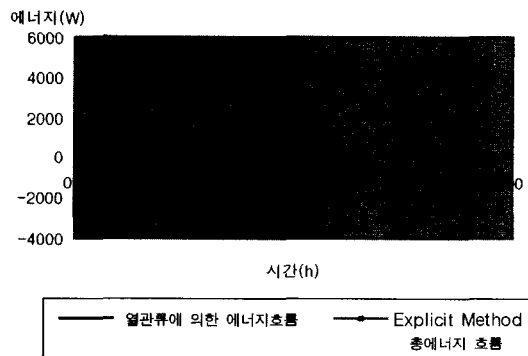


그림 10. 에너지 해석결과의 차이 그래프

로 나타났으며, Explicit Method 방식은 10,796.6W 방출한 것으로 차이는 1,479.4W가 차이가 나타났다.

V. 결 론

본 연구는 태양복사가 일반적인 주거 건축물에 투사될 때 획득되어지는 에너지를 수치화하여 태양복사가 주거 건축물의 실내공간에 미치는 영향을 해석하고자 하였다. 태양복사량의 유입으로 인해 실내의 에너지 절약적인 면을 도출해 낼 수 있다.

본 연구를 통한 해석 결과는 다음과 같다.

실험을 통한 1월 22일 겨울철에 도달되는 태양복사에너지는 최대 1,321W/m²로 나타났으며 하루동안의 평균태양복사에너지는 837W/m²로 나타났다.

또한 Explicit Method 방식을 이용하여 해석한 결과는 다음과 같다.

1월 21일의 벽체상부를 통해 획득된 에너지의 최고치는 13:00시에 224.7W, 벽체하부를 통해 획득한 에너지의 최고치는 13:00시에 177.4W이고, 창문을 통해 획득한 에너지의 최고치는 10:00시에 1198.7W로 나타났다.

1월 22일의 벽체상부를 통해 획득된 에너지의 최고치는 13:00시에 523.2W, 벽체 하부를 통해 획득한 에너지의 최고치는 13:00시에 463.7W이고, 창문을 통해 획득한 에너지의 최고치는 11:00시에 865.1W로 나타났다.

여기서 실측에 의한 평균태양에너지의 값과 Explicit Method 방식을 이용한 결과의 값은 거의 일치됨을 보이고 있다. 이에 Explicit Method 방식을 이용하여 일평균 유입되는 태양 복사 에너지량을 계산할 수 있으며, 유입되는 태양복사에너지에 의한 에너지

절약량을 도출해 낼 수 있다.

이같이 태양복사가 주거 건축물에 투사될 때 해석된 에너지는 주거건축의 설계에 충분히 고려되어야 할 사항이다.

이런 결과를 볼 때 실내 열환경 계획 시 외벽에 투사되는 에너지를 고려하면 에너지 절약이 가능할 것이라고 사료된다. 이 연구를 더욱 보완하기 위해서는 향후 유입되는 태양복사에너지의 양에 따른 실내의 온도변화량과 그에 따른 절약량을 연구하는 것이 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김세환·김삼열·이 성(2000). "투명 단열외피를 통한 환기효과에 관한 연구." 한국태양에너지학회 20, 4: 31-43.
2. 이교태(1999). 열유체공학. 서울: 원창출판사.
3. 임장순·최국광·서태범(2000). 에너지 변환공학. 서울: 원창출판사.
4. 전철호(1999). 열역학. 서울: 보성각.
5. 정석진·성준용·박경석(2001). 에너지와 환경. 서울: 삼성실업.
6. 조덕기·전일수·이태규·오정부(2000). "경험적 예측모형을 통한 입지의 지점의 일사예측." 한국태양에너지학회 20, 3: 21-30
7. Eugene Hecht(1996). PHYSICS. New York: Brooks/Cole Publishing Company.
8. Faye C(1988). Mcquiston, Jerald D. Parker. Hearing, Ventilating and Air Conditioning. New York: John Wiley & Sons.
9. Jan F. Kreider, Ari Rabl. Heating and Cooling of Buildings. New York: McGraw-Hill book.
10. John R. Howell(1982). A Catalog of Radiation Configuration Factors. New York: McGraw-Hill Book Company.
11. J. P. Holman(1986). Heat Transfer. New York: McGraw-Hill Book Company.

(接受: 2003. 5. 14)