

건물의 축열질량이 실내기온 변화에 미치는 영향 평가

천 원 기 · 전 명 석

한국에너지기술연구소

An Investigation into the Building's Thermal Mass Effect on the Variation of Indoor Temperature

Chun, Wongee, Jeon, Myung Seok

Korea Institute of Energy Research

요 약

본 연구에서는 건물의 축열 질량이 실내 온도의 변화에 미치는 영향을 조사하였다. 건물의 열적 성능 분석과 관련하여 사용된 기법은 미국 신에너지 연구소에서 개발된 PSTAR(Primary and Secondary Terms Analysis and Renormalization) 방법이다. 얻어진 결과는 축열 질량과 관련하여 매우 대조적인 두 경우를 대변하는데, 특히 실내의 열환경과 건물의 전체적인 열적 성능에 미치는 영향을 잘 보여주고 있다. 재표준화된 모델을 이용한 월별 냉난방 부하와 이의 최대 요구치는 건물에 있어서 냉난방 시스템의 설계에 유용한 자료를 제시하고 있다.

ABSTRACT

This paper is concerned with the accurate estimation of the thermal mass effect on the variation of indoor temperature for residential buildings. To carry out the analysis here, the method called "PSTAR (Primary and Secondary Terms Analysis and Renormalization)" has been extensively used. This method was originally developed by the National Renewable Energy Laboratory(NREL) in the United States. The test results reported here represent two extreme cases of the interior thermal mass, which demonstrate its effect on the interior thermal environment as well as on the overall thermal behavior of the building structure. The monthly heating and cooling loads are also extrapolated by using the renormalized model, which are crucial in designing and refurbishing HVAC systems for the building.

1. 서론

건물에 있어서 열에너지의 유입 및 손실을 정확히 계산하는 것은 냉난방 에너지의 절약 뿐 아니라 쾌적한 주거 환경을 조성하기 위하여도 매우 중요한 일이다. 특히 자연형 시스템을 적용한 건물등 열용량이 비교적 큰 자재로 건축된 건물에 있어서 실내 온도는 Thermal Mass Effect의 영향으로 시간에 따른 일사량 및 외기온의 변화 뿐 아니라 냉난방 시스템의 작동에 비교적 큰 time lag을 두고 변화한다. 즉, 실내 기온의 변화는 건물을 구성하는 모든 축열체로부터의 시간에 따른 동적 열흐름(heat flows)의 결과이며 이는 계속적으로 변화하는 일사량, 외기온, 풍속 그리고 보조 열원의 영향을 반영하고 있다고 볼 수 있다.

건물은 본질적으로 매우 복잡하여 단순한 수학적 모델로서 이의 열적 성능을 정확히 평가하기란 거의 불가능한 일이며, 특히 지어진 건물과 설계 도면상의 건물과는 실제 사용된 재료의 물성치에 대한 불확실성과 함께 시공 상태의 차이 등이 엄연히 존재한다. 그러므로 단순히 설제도면으로부터 얻어지는 자료를 토대로 건물에 대한 수치모사를 수행하여 건물의 열적 성능을 평가한다면 큰 오류를 범할 가능성마저 있다. 본고에서는 이와같은 수치모사의 한계성을 보완하기 위해 미국 NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 개발된 PSTAR(Primary and Secondary Terms Analysis and Renormalization) 방법을 이용하여 건물의 열적 성능 평가에 있어서 주요한 파라미터(parameters)에 대한 분석과 함께 건물의 축열 질량이 실내 온도의 변화에 미치는 영향을 조사하였다.

PSTAR는 수치모사 모델에 실제 측정에서 얻어진 결과를 반영하여 건물의 열적 성능을 평가하는 방법이다. 즉, 이 방법은 거주자가 없는 상태에서 건물에 대한 단기간(약 3일)의 측정 데이터를 토대로 건물의 수치모사 모델을 보정하여(재표준화: Renormalization) 그 열적 성능 평가

에 정확성을 높이고자 개발된 방법으로 실제 건물의 답사를 통해 얻은 결과(설계 도면과 함께)로부터 작성된 간단한 "Audit Model"을 근간으로 열해석을 수행한다. PSTAR방법은 건물의 주요 열흐름을 몇가지로 대별한다: 1) 정상상태에서 실내부와 외부와의 온도 차이에 의한 열 흐름, 2) 건물 내부의 축열매체로 인한 열흐름, 그리고 3) 태양열의 획득으로 인한 열 흐름.

본고에서 PSTAR기법이 적용된 주택은 축열 질량에 있어 상당히 차이가 나는 미국 캘리포니아(California)주 Benecia 소재 한 주택과 대전 에너지 연구소 내의 한 자연형 주택이었으며, 특히 난방시스템과 구조가 다른 후자에의 적용을 위해 PSTAR표준 protocol의 일부를 수정하였다.

2. PSTAR의 이론적 배경

주거공간을 단일 zone으로 취급을 하여 물질들의 열전달 특성이 온도의 함수가 아니라는 가정하에 건물에 대한 에너지 수지식(balance equation)을 세울 수 있다.[6]

$$\begin{aligned}
 Q_{int(n)} + [-L(T_{in(n)} - T_{out(n)})] + [-L_b(T_{in(n)} - T_{bsm(n)})] \\
 + Q_{storage(n)}^{in} + Q_{storage(n)}^{out} + Q_{bsm.storage(n)} + Q_{sun(n)} \\
 + Q_{infil(n)} + Q_{sky(n)} + Q_{aux(n)} = 0 \quad \dots\dots\dots(1)
 \end{aligned}$$

여기에서

Q_{int} 는 내부 획득열로 실험기간동안에는 비거주 상태에서 실시하므로 컴퓨터에서 조절하는 전열기에 의해 공급되는 열량이다. L 은 정상상태 열손실 계수로 실내의 온도 T_{in} 과 외기온 T_{out} 와의 차이에 의해 발생하는 열손실이며 1차적으로 고려해야 할 열흐름항의 하나이다. L_b 는 주거공간과 지하실사이의 연관류율로 이 항은 실내온도 T_{in} 과 지하실의온도 T_{bsm} 와의 온도차에 의해 발생하는 열흐름을 나타내는 것이나 이것은 2차적인 소량의 열흐름이므로 실험적으로 결정한다.

$Q_{storage}^{in}$ 는 건물의 축열매체에 저장 또는 방열

되어지는 열량으로 건물의 사양과 실내온도 T_{in} 의 시간함수로부터 구하며 전형적인 1차적 열흐름항이다.

$Q_{storage}^{out}$ 는 외기온 T_{out} 의 변화에 따라 축열매체에 축열되는 효과를 나타낸것으로 건물의 사양과 외기온 T_{out} 의 시간함수로부터 구하며 2차적인 소량의 열흐름항이다. $Q_{storage}$ 는 지하실의 온도 T_{bsm} 과 관련된 축열효과이지만 일반적으로 지하실의 온도는 변화가 크지않으므로 무시할 수 있다. Q_{sun} 은 태양광에 의한 실내공기의 열획득량으로 audit 건물의 수치모사에서 $T_{in} = T_{out} = \text{일정(constant)}$ 로 놓고 다른 열흐름항을 0으로 무시하여 구하며 이때 결과로서 얻어지는 냉방부하가 Q_{sun} 으로이것은 1차적인 열흐름항이다. Q_{infil} 는 외기의 침투나 배기에 의해서 야기되는 열손실로 측정과 모델링의 결합에 의해 구한다. Q_{sky} 는 천공의 온도가 주변의 온도보다 더 강하되는 현상에 의해 천공으로 방사되는 열손실로 수치모사에 의해 구한다. Q_{aux} 는 난방시스템에 의해 공급되는 열량으로 측정에 의해 구하며 전형적인 1차적 열흐름항이다.

일반적으로 audit 사양은 실제건물의 사양과 차이가 있기 때문에 앞의 에너지 수지식은 잘 맞지 않는다. 그러므로 우리는 1차적으로 우세한 열흐름에 대해 재표준화 계수를 도입하여, 실험 기간 동안의 측정결과를 이용하여 선형 최소자승법에 의해 재표준화 계수들을 결정할 수 있다. 재표준화된 건물의 에너지 수지식은 다음과 같다. <6>

$$\begin{aligned}
 & Q_{int(n)} + P_o [(L + L_{infil}) (T_{in(n)} - T_{out(n)})] \\
 & + [-L_b (T_{in(n)} - T_{bsm(n)})] \\
 & + P_{in} Q_{storage(n)}^{in} + Q_{storage(n)}^{out} \\
 & + P_{sun} Q_{sun(n)} \\
 & + [Q_{infil(n)} + L_{infil} (T_{in(n)} - T_{out(n)})] \\
 & + Q_{sky(n)} = 0 \dots\dots\dots(2)
 \end{aligned}$$

여기에서 P_o, P_{in}, P_{sun} 은 재표준화 계수이다. 이

3개의 계수들을 결정하기 위해서는 측정 데이터가 필요하며 이 측정 데이터는 이들 계수들을 추출할 수 있어야 된다. 그러므로 다음의 실험 방법(test protocol)을 적용한다. 즉 $Q_{storage}$ 와 Q_{sun} 을 적게하면 식(2)에서 P_{in} 과 P_{sun} 이 포함되어 있는 두항을 무시할 수 있으므로 P_o 를 결정하기 쉽다. 이것은 일사량이 없는 야간에 실내의 온도를 일정하게 유지시켜 주는 co-heating방법에 의해 실시하여 마지막 몇시간 동안의 데이터로부터 선형최소자승법에 의해 P_o 를 추출한다. 이 결과를 가지고 야간에 냉각을 시키면서 얻은 데이터로부터 선형최소자승법에 의해 같은방법으로 P_{in} 을 추출해내며, P_o 와 P_{in} 의 결과를 가지고 낮동안의 데이터로부터 같은 방법에 의해 P_{sun} 을 추출해 낼 수 있다.

3. 측정건물

본 실험에서 사용되어진 건물은 한국동력자원연구소 태양에너지 시범동산에 위치하고 있는 실험용 주택이다. 본 건물의 방위는 북위 36.35도이며, 경도는 동경 127.3도이고 태양 에너지 시범동산의 남측면에 위치하고 있다. 건물의 기본 구성은 115㎡ 규모의 중량구조(massive)이며 온수코일에 의한 바닥난방방식이다. 내부에는 중간내벽이 있으며 각 부위별 구조와 평면이 Fig.1에 제시되어 있다.

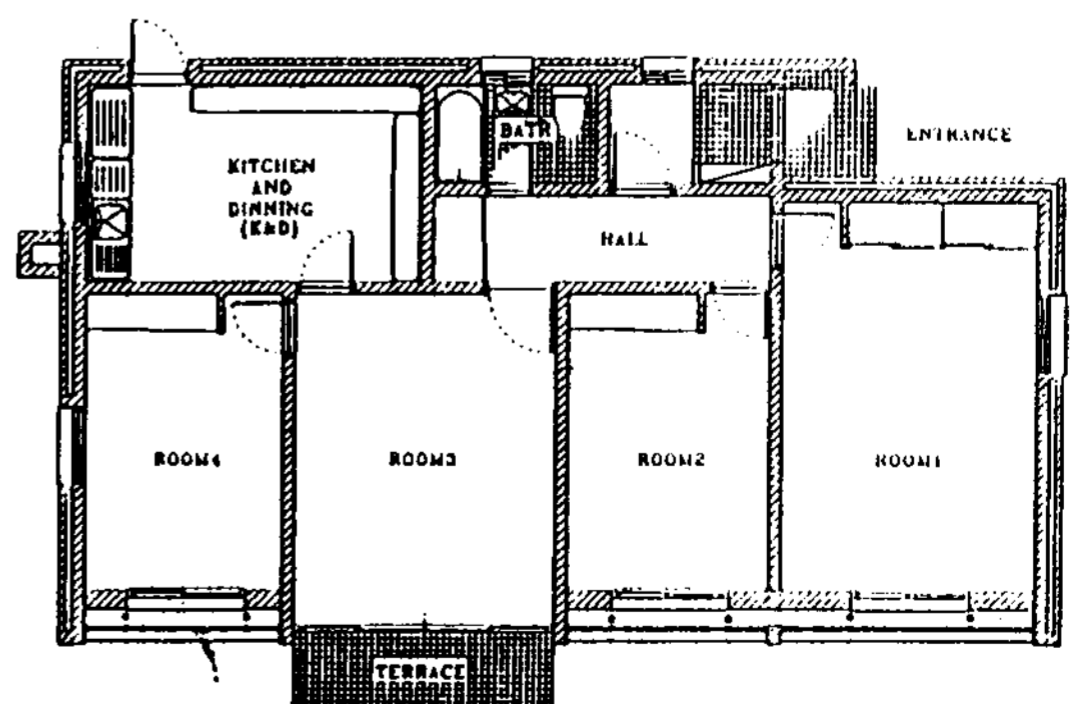


Fig.1 Floor plan for the building (The Passive solar house at KIER)

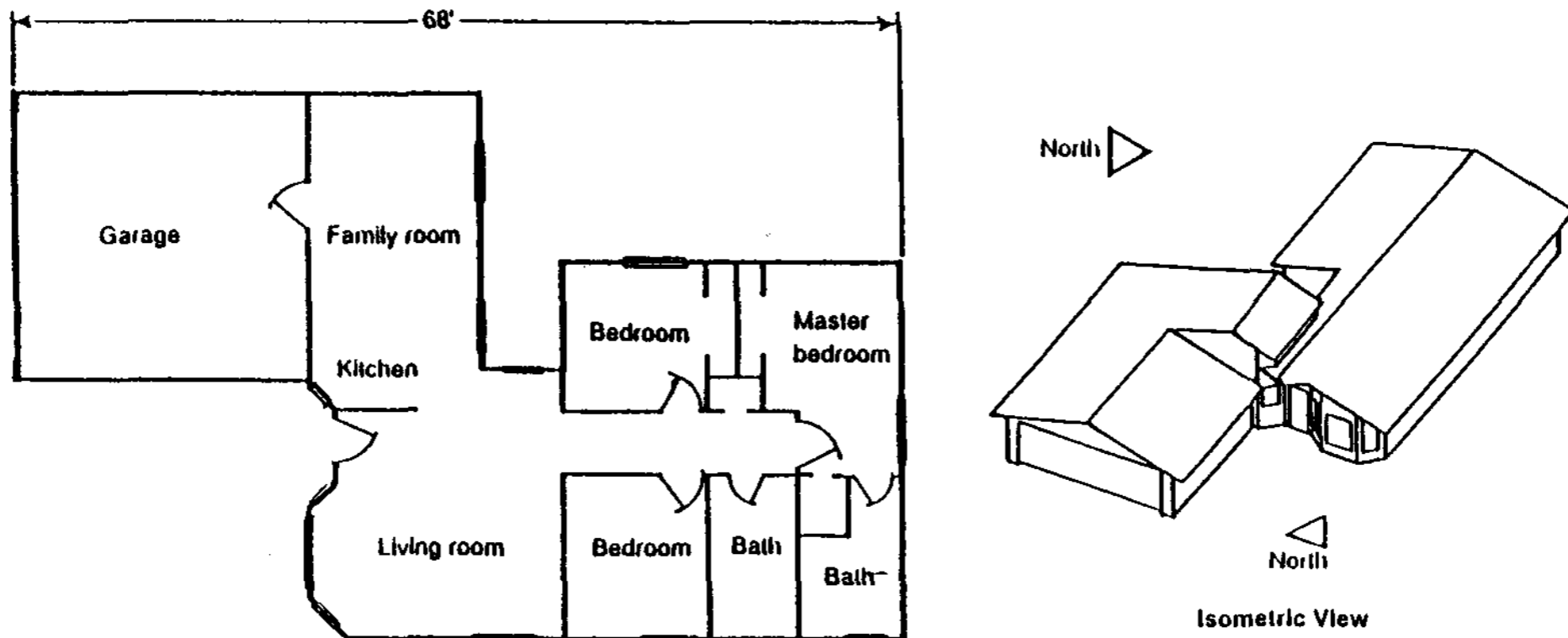


Fig.2 Floor plan for the Benecia house. The floor is shown on the left and the isometric view of the house is shown on the right. The house is located over the crawlspace.

Table 1. Measurement channels

Quantity Measured	Sensor	Accuracy
1. Solar Irradiance a. global horizontal b. south vertical	Li-Cor : Silicon PV	8%
2. Electric Power	Amp Clamp	5%
3. Indoor Temperature (5 channel)	AD590, Thermister	0.5°C
4. Outside air temperature	AD590, Thermister	0.5°C
5. Wind Speed	Three Cup Anemometer	1%
6. Relative Humidity	RH-3, General Eastern	5%

한편 열적질량이 적은 건물에 대한 실험은 미국 캘리포니아주의 Benecia소재(샌프란시스코에서 동북쪽으로 80km)의 한 가정용 주택을 대상으로 수행되었다. 이 실험 주택은 1987년 지어진 것으로 약 125㎡의 주거면적을 가지고 있는 목조 건물이다. Fig.2는 이 건물의 평면도이다.

량인 장비를 사용하였다. 이 장비는 소형 lap-top 컴퓨터와 12-bit A/D 변환기를 구성되어졌으며 데이터는 매 10초마다 읽어 1시간 간격으로 평균을 내어 기억장치에 저장하였다가 모뎀을 통해 원격지의 데이터 분석용 컴퓨터로 전송된다. 측정채널은 11개로 Table 1과 같다.

4. 측정장비

측정장비는 간단하게 설치가능 하고 소형 경

5. 실험방법

이론부에서 언급한 실험방법(test protocol)에

의해 실험을 실시한다. 첫째날 밤 coheating 기간에는 컴퓨터에 의해 조절되는 자체 제작한 2kw 팬히터를 이용 실내의 온도를 설정온도(20°C)로 유지시키며 공급된 전력량 및 실내온도, 외기온 등을 측정한다.

오전 7시부터는 팬히터를 끄고 측정을 하여 낮동안 일사량에 관계되는 데이터를 얻으며 제2일밤에는 팬히터를 끈 상태에서 cooldown 실험을 실시하고 제3일밤에는 coheating 실험을 반복했다.

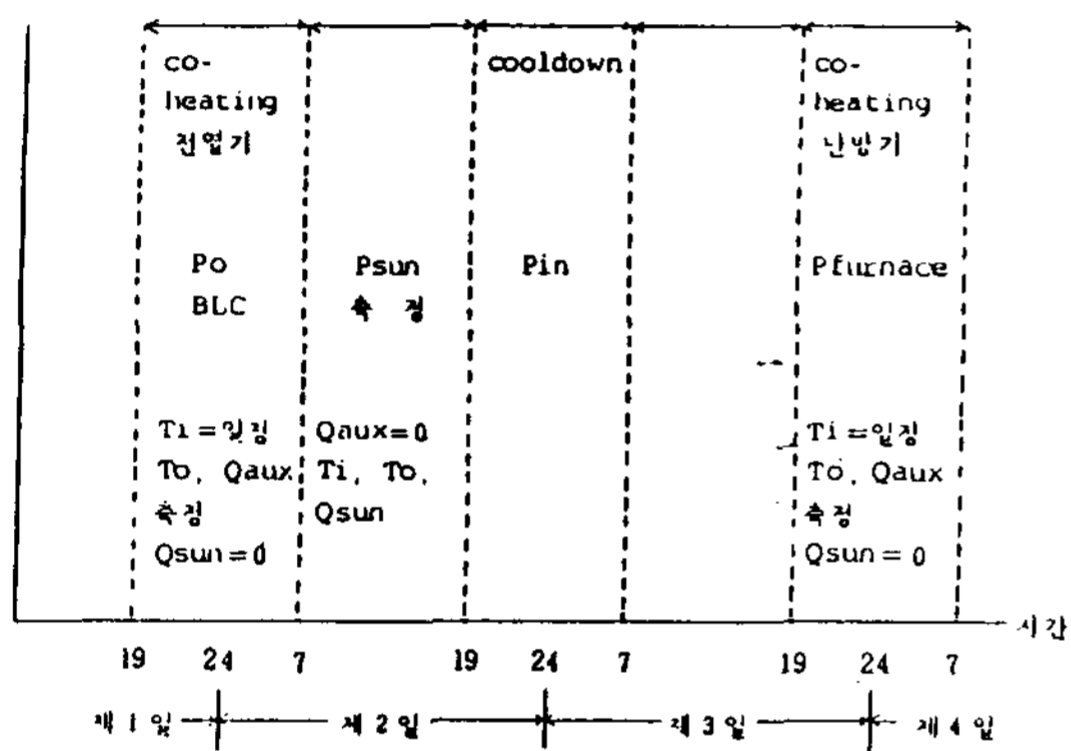


Fig.3 Test Protocol

6. 결과 및 고찰

Fig.4는 5절의 방법으로 사흘간에 걸친 측정 결과를 나타낸 것이다. PSTAR는 건물 내부의 실내 공간을 하나의 Zone으로 취급하여 대표준화 모델을 구하는데 실내의 전체 평균온도는 각 방의 면적에 비례한 가중치를 고려하여 얻은 값이다. Fig.5는 이와같이 하여 얻어진 실내온도의 측정값, audit 사양으로부터 계산된 값, 그리고 대표준화 모델로부터 얻은 결과를 각각 나타내고 있다.

대표준화 모델에서 계산된 값은 실측치에 비교적 근접하여 특히 56-66시간대에서는 거의 일치된 값을 보여준다. Fig.6는 두개의 Li-Cor PV형 일사계(pyranometer)로부터 측정된 일사량을 나타내고 있다. 두개의 일사계 중 하나는 수평으로 설치되었으며 다른 하나는 대부분의 태양열

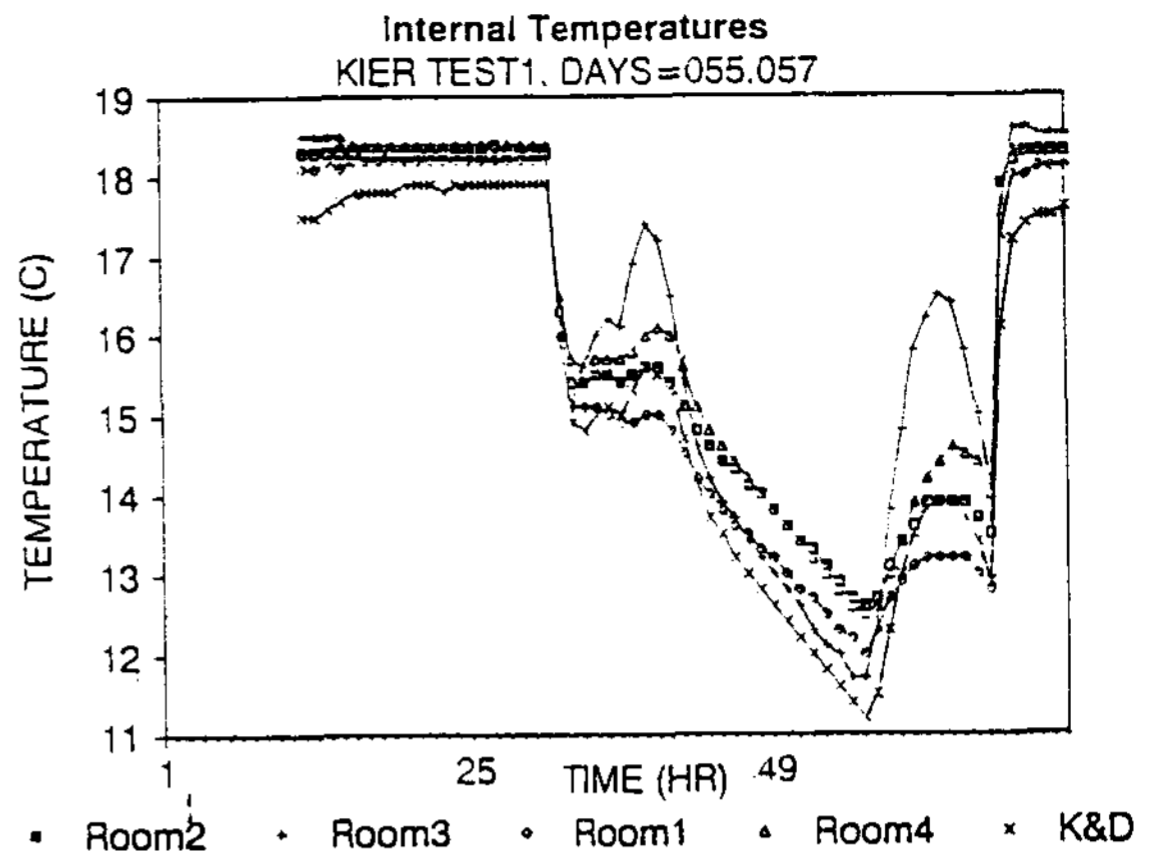


Fig.4 Hourly average of indoor temperature at KIER solar house.

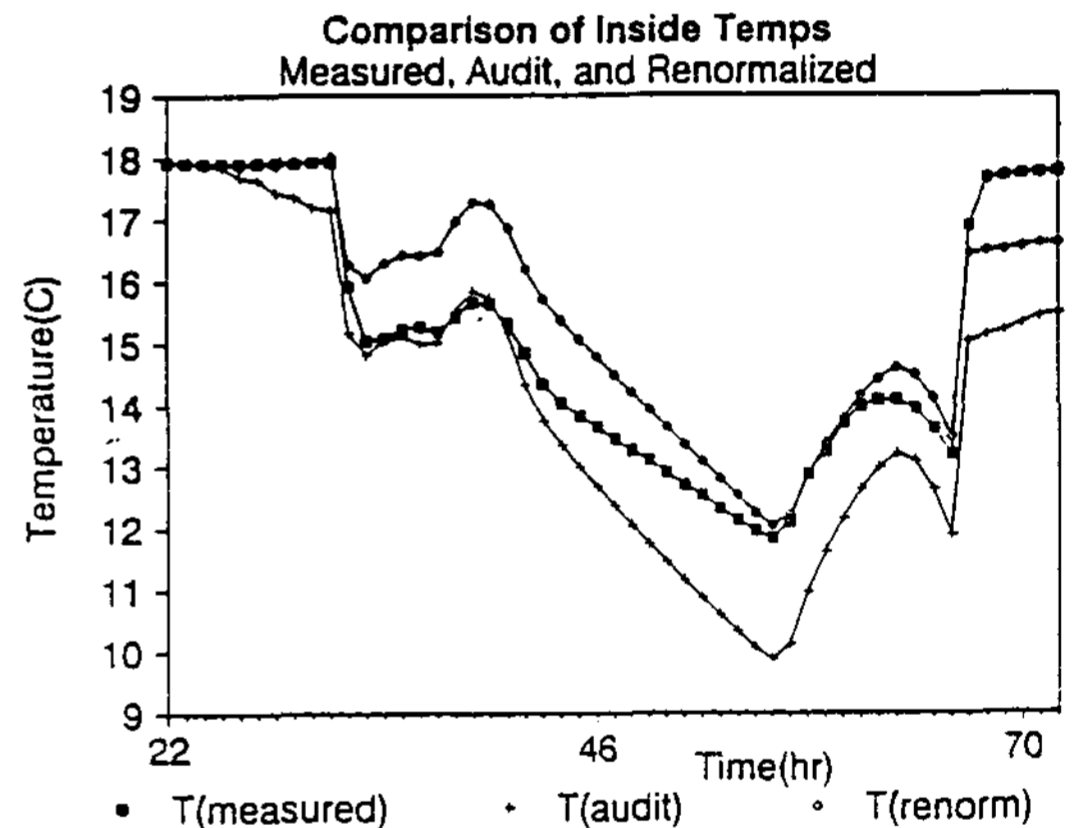


Fig.5 Comparison of the internal temperature as a result of measurement, as modeled with the audit house description and as modeled after the renormalization.

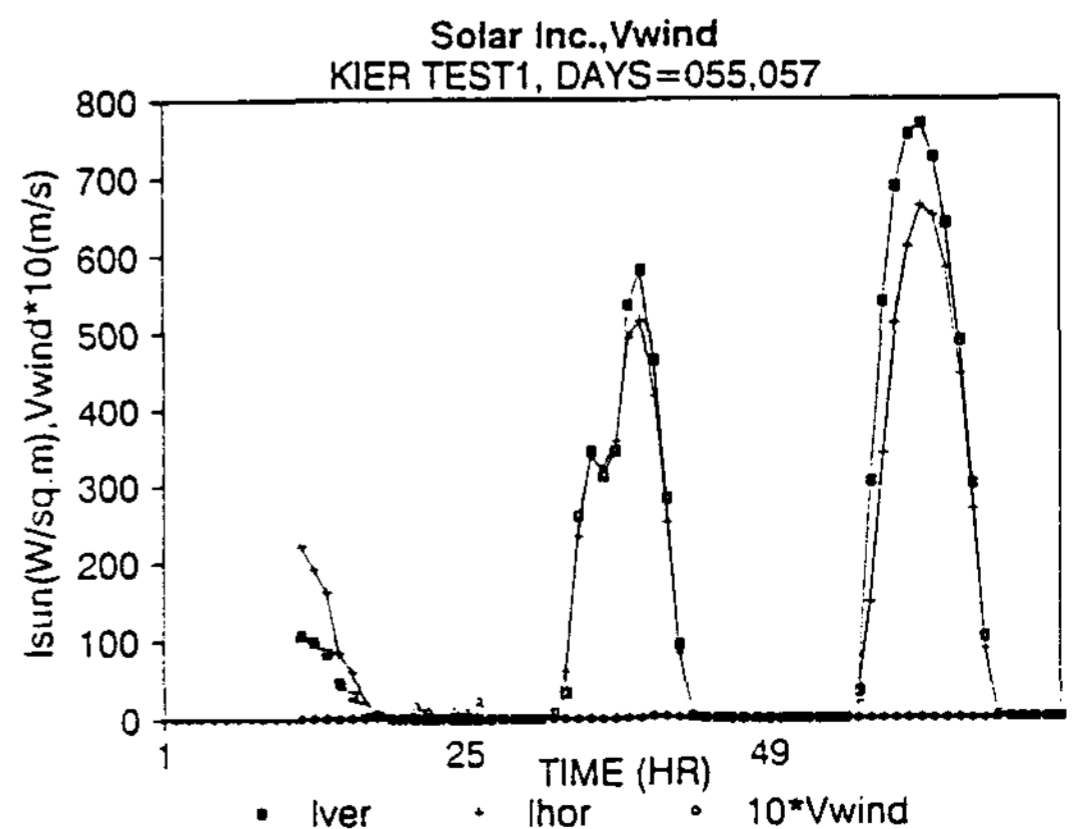


Fig.6 Incident solar radiation and wind velocity.

획득이 남측으로부터인 점을 고려하여 남측면 벽에 수직으로 설치하였는데 둘다 지면으로부터 3m의 높이로 건물가까이 위치하도록 하였다. 이와같은 일사계의 설치는 PSTAR방법의 표준 Protocol로써 측정된 일사량으로부터 건물의 태양열 획득과 관련된 재표준화 계수 P_{sun} 을 계산한다. 이 그림에서는 또 외기의 침투와 관련된 열손실 (infiltration loss)을 구하기 위해 측정된 풍속도 아울러 보여주고 있다. 한편, 건물의 외피 열손실과 관련된 재표준화 계수(P_o)등을 보이기 위해서는 앞서 언급한 것과 같이 coheating 실험을 수행하는데 Fig.7은 coheating 실험기간 동안 소모된 전열량을 나타내고 있다. Cool-down(32-66 시간대), 태양열 획득량 측정기간 동안에는 그림에서 보는 바와 같이 팬히터를 작동 한하므로 전력 소모량이 전혀 없다.

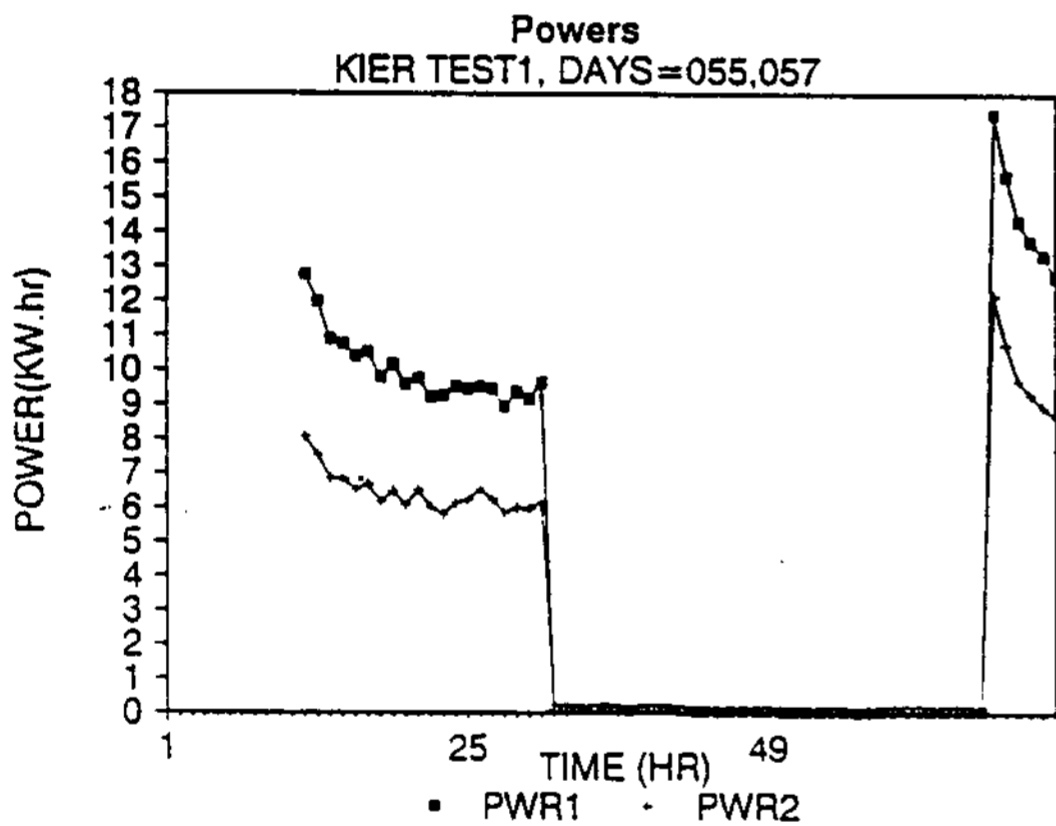


Fig.7 supplied heater power during test period.

대전에 위치한 자연형 주택의 큰 열적 질량은 Fig.8의 instorage 열흐름량에 잘 나타나고 있는데 일몰후의 실내열방출이 일정 시간동안(43-56 시간대) 거의 균일하게 지속되고 있다. 이 건물은 유효 열용량이 $37,261\text{KJ}/^\circ\text{C}$ 이며 유효 건물열전도 계수는 $3,637\text{W}/^\circ\text{C}$ 로 계산되었는데 이와 비교하여 미국 캘리포니아주 Benecia소재 건물은 그 값이 각각 $12,600\text{KJ}/^\circ\text{C}$ 그리고 $2,003\text{W}/^\circ\text{C}$ 로 나타났다. Fig.9는 실험이 실시된 기간동안 Benecia주택의 시간별 실내외의 온도변화를 보여주고 있으며 Fig.10은 이 기간동안의 주요 열흐름량을 나타내

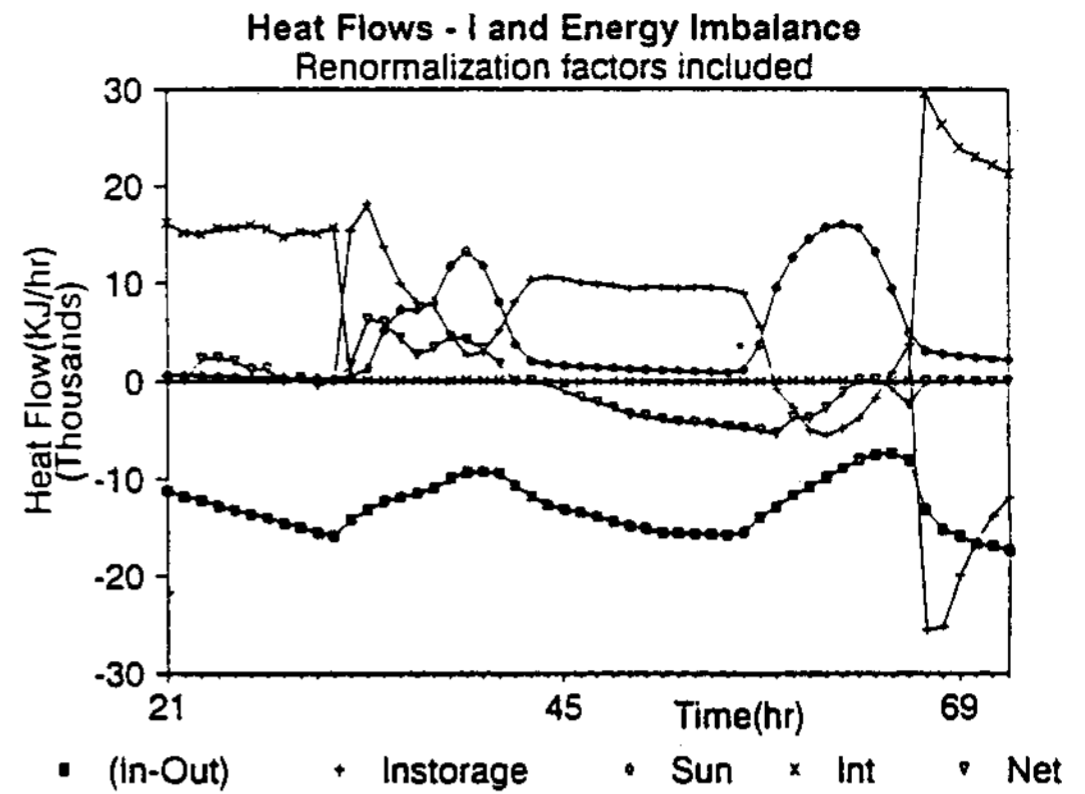


Fig.8 Plot of primary heat flow terms for KIER passive solar house.

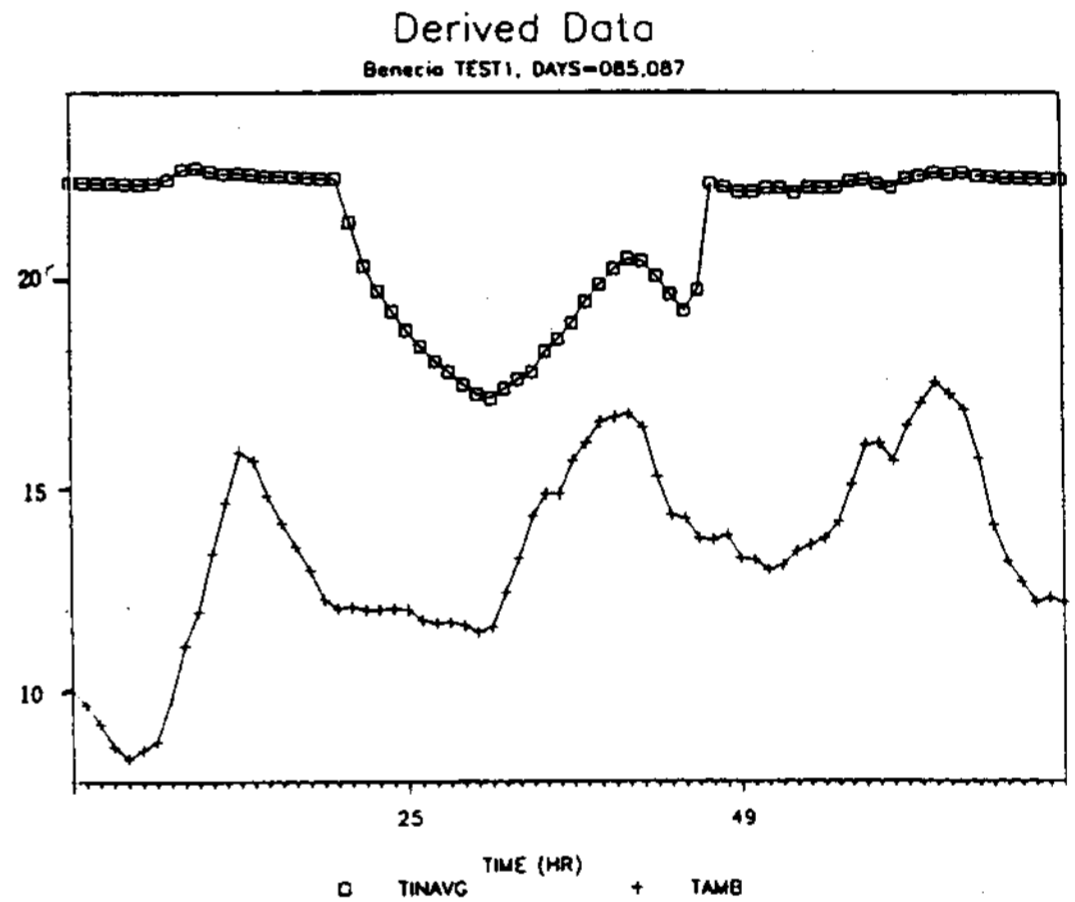


Fig.9 Indoor and outdoor temperature at Benecia house.

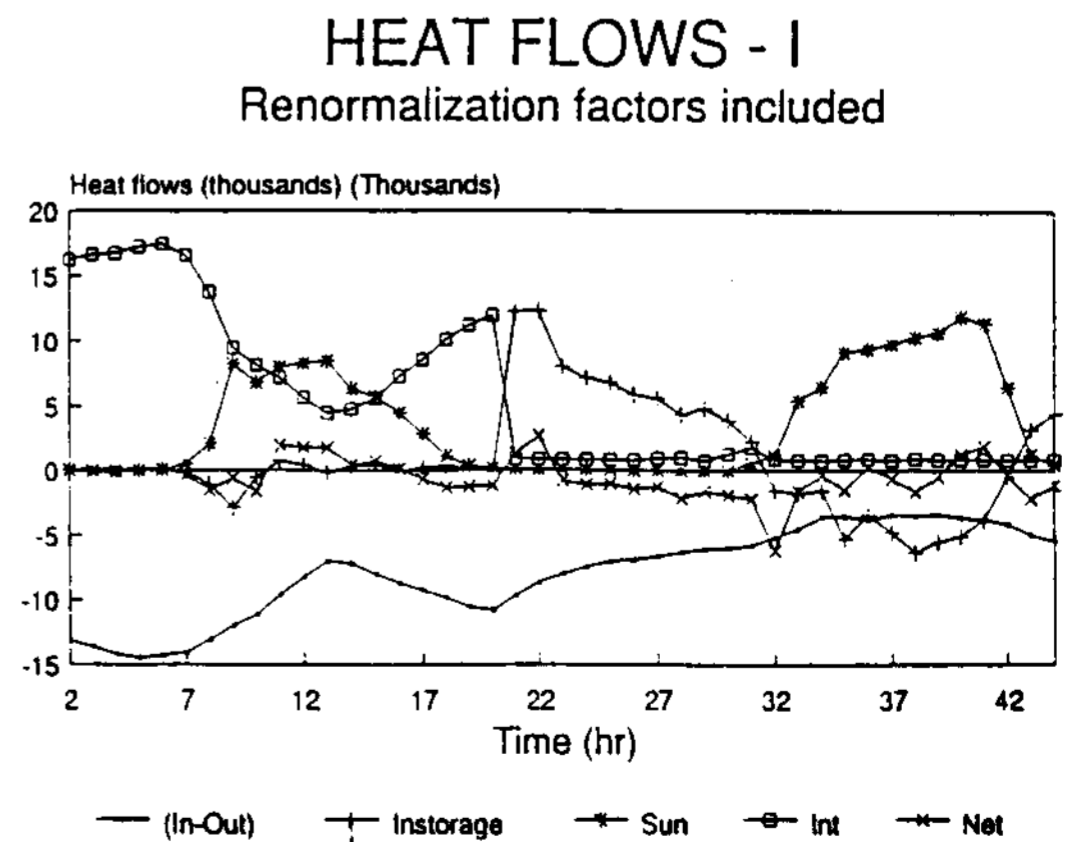


Fig.10 Plot of primary heat flow terms for Benecia house.

고 있다. Fig.10을 Fig.8과 비교해보면 알 수 있듯이 Benecia의 주택은 그 유효열용량이 작은 관계로 일몰후에 실내로의 열방출을 나타내는 instorage항이 계속 감소함을 알 수 있다.

한편, Fig.5와 Fig.9의 실내의 온도변화를 비교해보면 Benecia의 주택이 대전의 자연형 주택에 비하여 외피 열손실계수와 측정기간 동안의 실내외의 온도차가 작음에도 불구하고 밤동안에 실내기온이 약 2.4°C정도 더 떨어지고 있는데 이는 실내부의 축열체로부터의 방열이 건물이 작은 유효 열용량으로 인하여 Fig.10에서 도시된 바와 같이 점점 감소하기 때문이다. 즉, 외부로의 열손실을 실내부의 축열체를 통하여(자연형 주택에 비하여) 보상받지 못하기 때문이다. Fig.11은 자연형 주택에서 보조열원으로 기름 보일러를 이용한 온돌난방이 가동되었을때의 실내온도의 변화를 보여주고 있다. 여기서는 Thermostats을 20°C로 설정한 연속 난방방식을 취하고 있는데 축열체의 열적질량이 큰 관계로 실내온도 변화폭이 매우 완만하여 또한 실외의 온도 변화와 난방장치의 가동에도 시간차를 두고 상당히 둔감하게 반응을 나타내고 있다. 이와같은 현상은 특히 32

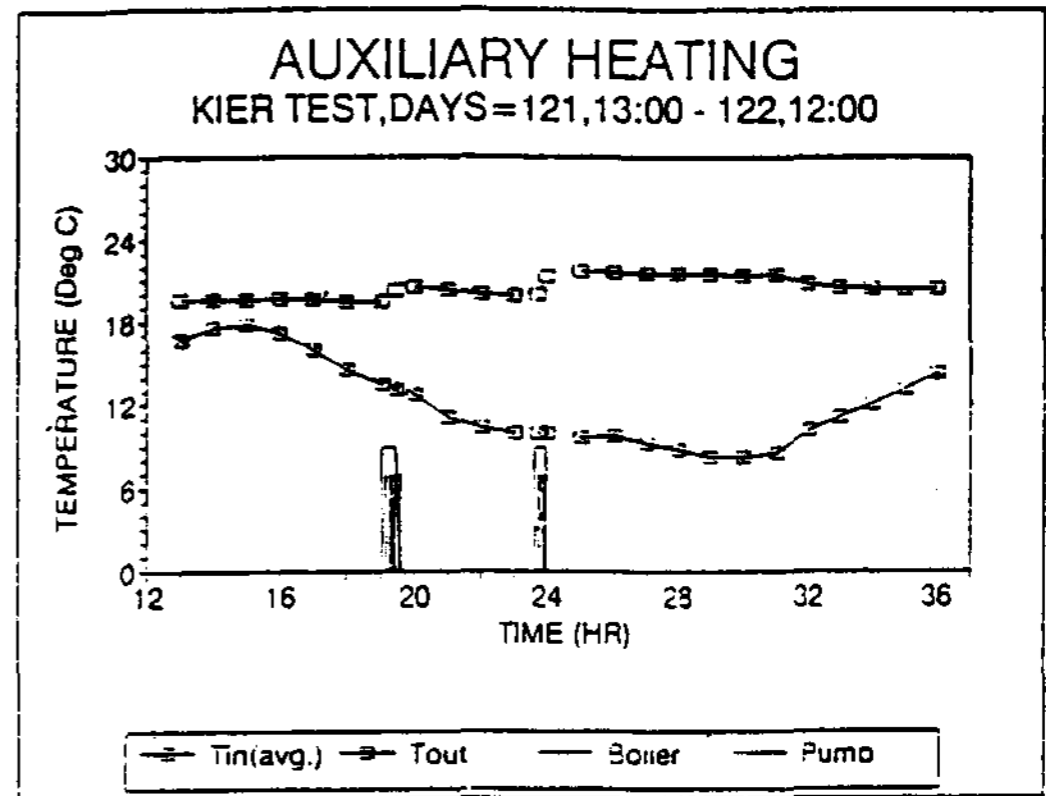


Fig.11 A typical case of radiant floor heating by an auxiliary oil-fired boiler.

시간 이후의 계속적인 외기온 상승에 실내온도가 거의 일정하게 유지되는데서 쉽게 관찰할 수 있다. Table 2와 3은 각각 대표준화 모델을 근거로 산출된 대전의 자연형 주택과 Benecia주택의 월별 냉·난방 부하 및 그 최대 요구치를 나타내고 있다.

Table 2. Result of long-term extrapolation for KIER solar house

(UNIT : KJ)

	Heating Load	Cooling Load	Peak Heat	Peak Cool
JAN	4,908,000	0	23,700	0
FEB	4,496,000	0	23,200	0
MAR	4,316,000	0	21,200	0
APR	2,438,000	0	15,800	0
MAY	538,000	0	0	0
JUN	0	-8,800	0	-1,123
JUL	0	-1,530,000	0	-6,120
AUG	0	-2,530,000	0	-8,020
SEP	0	-2,184,000	0	-10,000
OCT	0	-517,000	0	-9,070
NOV	971,000	0	16,900	0
DEC	3,008,000	0	25,300	0

Table 3. result of long-term extrpotation for Benecia house

(UNIT : KJ)

	Heating Load	Cooling Load	Peak Heat	Peak Cool
JAN	3,160,783	0	43,901	0
FEB	1,466,985	0	36,599	0
MAR	1,049,695	-3,461	33,101	-1,103
APR	337,499	-143,038	23,130	-7,616
MAY	180,932	-663,866	22,495	-14,314
JUN	45,011	-950,123	8,155	-13,052
JUL	350	-1,176,176	350	-15,014
AUG	0	-1,321,356	0	-13,043
SEP	12,958	-1,206,584	1,364	-13,111
OCT	215,176	-372,792	18,585	-11,029
NOV	1,033,644	-342	41,725	-342
DEC	2,373,455	0	42,348	0

7. 결 론

본 연구에서는 건물의 축열 질량이 실내의 온도변화에 미치는 영향을 대전의 한 자연형 주택과 미국 캘리포니아주 Benecia에 위치한 목조 구조물의 한 주택을 비교분석함으로써 정량적으로 평가하였다. 그 결과 축열질량은 내부 온도의 변화와 매우 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었으며 특히 일몰후의 내부 축열체로부터의 열흐름량은 이의 분석에 매우 중요한 정보를 제공하였다. 미국 캘리포니아 Benecia소재의 주택은 대전의 자연형 주택보다 더 단열이 잘 되고 실내외의 온도차가 작음에도 불구하고 건물 외피로부터의 열손실을 내부 축열체에서의 방열이 자연형 주택의 경우에 비하여 보상하지 못한 까닭에 오히려 더 큰 온도 하강폭을 보여주었다.

후 기

본 연구는 과학기술처 기술개발사업의 일환으

로 수행됐으며 관계자 제위께 감사를 표한다.

참 고 문 헌

1. Palmiter, L., Wheeling, T. : 1982, SERI-RES 1.0, Golden, CO : Solar Energy Research Institute.
2. Jeon, H.S., Claridge, D.C., Subbarao, K., and Burch, J., "Thermal Dynamics from Component and Building Test", Proceedings of ASME Conference, 1988
3. Subbarao, K., "PSTAR (Building Element Vector Analysis). A new Hour-by-Hour Building Energy Simulation With System Parameters as Inputs". SERI/TR-254-2195.
4. Subbarao, Mort and Burch, 1985 : Subbarao, K., Mort, D., and Burch, J., : "Short-Term Measurement of Envelope Retrofit Performance", SERI/TP-253-2693, 1985
5. Subbarao, Burch, and Christensen, 1985 : "A Unified Framework for Building Energy Analy-

- sis”, Proc. Building Energy Simul. Conference. Seattle, 1985
6. 전홍석외 5인, “벡타합성 건물 열해석 신기술 개발(I)”, 한국동력자원연구소, 과기처 보고서, 1990
 7. 전홍석외 5인, “벡타합성 건물 열해석 신기술 개발(II)”, 한국동력자원연구소, 과기처 보고서, 1991

In the present investigation, experimental analysis was performed to research heat transfer phenomena generated by means of conduction and natural convection at a succession of tube-inclinations relative to the vertical tube during inward melting process of a phase change material.

The phase change material used in the experiments is 99 percent pure n-docosane paraffin($C_{22}H_{46}$).

When the tube is vertical, the dominant mode of energy transfer between the tube wall and the melting interface is natural convection. On the other hand, when the tube is inclined to the vertical, the melting solid is brought into direct contact with the tube wall by the action of gravity.

In the experimental results, direct contact gave rise to substantial enhancements in the amount of melted mass, relative to those for natural-convection-dominated melting.

Indoor Air Temperature Distribution in a Floor Heating Space with PCM Panels

Cho, Soo* · Sohn, Jang Yeul**

*Korea Institute of Energy Research

**Dept. of Architectural Engineering, Hanyang Univ.

The purposes of the present study are to investigate the characteristics of heat storage and emission of the PCM($CaCl_2 \cdot 6H_2O$) panel, and to analyze the distribution of indoor air temperature in a floor heating space with PCM panels for the heating system. Two identical unit test cells sized $1.8m^W \times 1.8m^L \times 1.8m^H$ were built and installed with specially designed aluminium Ondol-panels. It held 1.2kg of calcium chloride hexahydrate(CCH).

It was found that PCM panels could reduce the indoor air temperature fluctuations and maintain the phase changing temperature for considerably long duration, 2~3 times longer in heating hour over no-CCH one. When the elapsed time was 6 hours, the average temperature difference between PCM panel and Ondol panel was $7.7^\circ C$

An Investigation into the Building's Thermal Mass Effect on the Variation of Indoor Temperature

Chun, Wongee, Jeon, Myung Seok

Korea Institute of Energy Research

This paper is concerned with the accurate estimation of the thermal mass effect on the variation

of indoor temperature for residential buildings. To carry out the analysis here, the method called "PSTAR (Primary and Secondary Terms Analysis and Renormalization)" has been extensively used. This method was originally developed by the National Renewable Energy Laboratory(NREL) in the United States. The test results reported here represent two extreme cases of the interior thermal mass, Which demonstrate its effect on the interior thermal environment as well as on the overall thermal behavior of the building structure. The monthly heating and cooling loads are also extrapolated by using the renormalized model, Which are crucial in designing and refurbishing HVAC systems for the building.

A study on the Thermal Characteristics of a Thermal Storage Tank for using Gravels

Park, Jung-Won*Park, Bong-Kyu*Ahn, Sang-Kyu**

**Yn-Han Technical College*

***Baum Architects Engineers Consultants*

The purpose of this study was to investigate the fluid flow characteristics of heat storage in sensible heat storage system for use in cooling and heating of buildings.

Heat storage material was gravels and experiments were performed in the condition of constant temperature. The experimental parameters were fluid velocity and size of gravels.

The experimental results of the heat storage quantity and the heat storage efficiency by the variation of packing size and fluid velocity were as the follows :

The maximum value of the heat storage capacity and heat storage efficiency and the minimum arriving time for maximum heat storage were observed when the packing ratio was 72.5% and the fluid velocity was 0.14m/s.

High Temperature Solar Gas Heating by a Compact Fluidized-Bed Receiver of Closed-Type

Choi, Jun-Seop

Korea Institute of Machinery & Metals

A small-scale solar collector and tracking system, using a Fresnel lens of 0.5 μ , and novel compact fluidized-bed solar receiver[FBR] of closed type has been developed for high temperature solar