

TEST CELL에서 단기측정에 의한 열성능 평가

전 명 석 · 윤 환 기 · 천 원 기 · 전 흥 석

한국동력자원연구소

Thermal Performance Evaluation of a Test Cell Thru Short Term Measurements

M.S. Jeon · H.K. Yoon · W.G. Chun · H.S. Jeon

Korea Institute of Energy & Resources

요 약

건물의 사양으로부터 시뮬레이션에 의해 열성능을 추출하는 기법과 실측 데이터로부터 연역적인 방법에 의해 열성능을 추출하는 기법을 연합시켜 단기간의 측정에 의해 건물의 열성능을 간단하고 정확하게 결정할 수 있는 기법을 Test cell에 적용하였다. 실험과정 및 자료분석은 PSTAR기법에 따라 수행했다. 각 측정기간은 3일간으로 비거주 상태에서 측정했으며, 실내온도, 외기온, 일사량, 공급열량, 풍속, 상대습도등의 자료를 측정하여 건물의 사양에 의한 시뮬레이션 모델의 재표준화에 사용했다. 아래의 3개 주요계수들이 본 분석에 의해 얻어졌다. 1) 건물 열손실계수: BLC(표면전도율+침기에 의한 전도율); 2) 유효 건물열용량; 3) 유효 태양열획득량. 그리고 재표준화된 식으로부터 예측된 값과 건물의 사양으로 시뮬레이션에 의해 예측된 값과 측정된 값과의 비교를 통해 재표준화된 식이 실제건물의 열성능을 잘 묘사함을 알수 있었다. 장기간의 외삽으로 기후 자료를 이용하여 표준쾌적도를 유지하기위해 필요한 에너지를 계산했다.

ABSTRACT

Short-term tests were conducted on a house at KIER, Daejeon for its thermal performance evaluation. The test procedure and data analysis were made according to the PSTAR method. Each test period was 3 days during which the building was unoccupied. The data measured with 8 channels were used to renormalize an audit based simulation model of the house. The following are the key parameters obtained in the present analysis: 1) the building loss coefficient(skin conductance plus infiltration conductance during coheating period); 2) the effective building heat capacity; and 3) the

effective solar gain. An estimation of total heat required to maintain a standard level of comfort during a typical winter season is also calculated on the basis of the renormalized simulation model and typical long term weather data.

1. 서론

에너지 부족현상 및 에너지 비용의 증가로 인해 건축물에서의 에너지 절약에 대한 관심이 고조되고 있으며 에너지 절약형 건물의 설계 기술도 진보되어가고 있다. 그러나 이와 같은 기술 개발을 위해 필수적인 것은 건물의 열성능을 정확하게 평가할 수 있는 기술의 보유이다. 건물 열성능의 평가는 열성능 계수를 통해 할 수 있으며, 이를 통해 건물의 열적성능과 특성을 파악할 수 있고 또한 사용에너지의 예측 및 조절에 적용할 수 있다.

건물에서 건물 요소를 통한 열흐름은 간단한 정상상태의 열흐름이 아니라 시간에 따라 연속적으로 변하는 시간의존의 열흐름이다. 이러한 열흐름을 동적 열흐름이라 하며 이러한 건물의 동적 열흐름은 입사되는 태양광의 영향, 외기 온도의 변화, 풍속의 변화, 외표면의 색과 형태, 그리고 축열체의 영향에 의해 변한다. 이러한 변화를 건물의 동적 열응답이라하며 이러한 건물의 동적 열응답을 계산하기 위해 여러가지 수치모사 모델들이 개발되어 왔고^{1,2,3,4)} 건물의 열성능 예측에 많이 사용되었다. 한편, 건물의 열성능은 실제건물의 측정에 의해 얻을 수 있다. 즉, 장기간의 측정에 의해 실내온도, 공급된 열원 등의 측정된 성능 데이터를 얻을 수 있으나 때때로 그 측정된 데이터를 수치모사(Numerical Simulation) 모델에 의해 예측된 값과 비교해 보면 이 두값들의 상호관계는 일반적으로 우리의 기대치에 미치지 못한다.

측정자료에 의한 방법은 장기간동안 측정된 데이터를 분석하여 건물의 열성능을 결정하는 방법으로 많은 오차를 내포하고 있다. 비록 온도변화를 보정하는 방법이 있으나 그해의 기후와 다른해의 기후 차이에 의해 에너지 사용량에 있어서 큰 차이를 나타낼 수 있다. 가장 큰 문제점은 거주자들의 다른 행동 양식의 차이에 의해 발생하는 것으로 이것은 완전히 불확실한

인자로서 존재한다. 거주자에 의해 발생하는 3가지 문제점은—온도조절기 조절, 조명기구나 설비에 의해 발생하는 내부발생열, 창문의 개폐 등이다. 측정자료에 의한 방법의 또다른 문제점은 사용가능한 결과를 얻기 위해 적어도 1년동안을 거주하며 측정해야 한다는 점이다.

위의 방법을 대신하여 수학적모델을 사용하여 건물의 열성능을 계산하는 방법이 사용되기도 한다. 이 방법은 설계도면으로부터 얻어지는 자료를 이용하여 수학적 모델을 구성하며 보통 1시간 간격의 동적수치모사해석을 한다. 이 방법에서는 기후자료로서 15년 이상의 측정 자료를 사용하고, 표준주거 형태를 가정하여 이를 바탕으로 건물의 열성능을 계산한다. 그러나 이러한 접근 방법에도 또다른 문제점이 있다.

건물은 본질적으로 매우 복잡하므로 적당한 수학적 모델로서 묘사한다는 것은 매우 어려운 일이므로 대부분의 모델들은 상당히 큰 오차를 포함하고 있다. 또한 시공에 사용된 재료의 불확실함과 물성치의 차이, 실제 상세 시공상태의 차이등은 매우 중요한 영향을 미칠수 있으며, 건물의 입지도 매우 중요하다. 이 방법들의 불확실성은 최소한 30%에 이르므로 건물의 열성능 측정은 건물 비에너지(specific energy) 측정이 필요하다.

이러한 문제점을 극복하기 위해 측정과 수치모사를 결합 시킨 방법이 개발되었다.^{5,6,7,8)} 이 방법은 거주자가 없는 건물에서 단기간(약 3일)의 측정에 의해 얻어진 데이터를 사용하여 건물 모사모델을 재표준화 시키는 기법으로 모사모델의 오차를 수정하도록 고안되었으므로 간단한 audit를 바탕으로 하여 상당히 간단한 형태의 모델로 만들수 있다. 열해석에서 중요한 인자들은 다음과 같이 3개의 중요한 건물 열흐름에 대한 인자로 구분한다; 1) 정상상태에서 내부와 외부와의 온도 차이에 의한 열흐름(건물의 열손실 계수), 2) 건물 내부의 축열매체

에 의해 저장되는 열, 3) 태양으로부터 획득되는 열.

이 인자들을 수학적 모델과 결합시키고 실측 데이터를 이용하여 오차를 최소화시키는 방법을 재표준화(renormalization)라고 한다. 이렇게 재표준화된 모델에 기후자료와 주거형태를 입력하여 장기간의 사용에너지등의 장기열성능 계산에 이용할 수 있다.

2. 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⁾

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

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 열관류율로 이 항은 실내온도 T_{in} 과 지하실의 온도 T_{bsm} 와의 온도차에 의해 발생하는 열흐름을 나타내는 것이나 이것은 2차적인 소량의 열흐름이므로 실험적으로 결정한다.

$Q_{storage}^{in}$ 는 건물의 축열매체에 저장 또는 방열되어지는 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 나타낸 것으로 건물의 사양과 외기온 T_{out} 의 시간함수로부터 구하며 2차적인 소량의 열흐름이다. $Q_{bsm.storage}$ 는 지하실의 온도 T_{bsm} 과 관련된 축열효과이지만 일반적

으로 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} 으로 이것은 1차적인 열흐름항이다. Q_{infil} 는 외기의 침투나 배기에 의해 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 맞지않는다. 그러므로 우리는 1차적으로 우세한 열흐름에 대해 재표준화 계수를 도입하여, 실험 기간 동안의 측정결과를 이용하여 선형최소자승법에 의해 재표준화 계수들을 결정할 수 있다. 재표준화된 건물의 에너지 수지식은 다음과 같다.⁶⁾

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

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 실험방법(test protocol)을 적용한다. 즉 $Q_{storage}^{in}$ 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-heating 방법에 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 같은방법에 의해 P_{sun} 을 추출해낼수 있다.

3. 실험

3.1 측정건물

본 실험에서 사용되어진 건물은 한국동력자원연구소 태양에너지 시범동산에 위치하고 있는 실험용 주택이다. 본 건물의 방위는 북위 36.35도이며, 경도는 동경 127.3도이고 태양에너지 시범동산의 남측면에 위치하고 있다. 건물의 기본 구성은 3.0m×3.6m×2.6m 규모의 상자(Box)형 축소 모델로 중량구조(massive)이며 온수코일에 의한 바닥난방 방식이다. 내부에는 중간내벽이 있으며 각 부위별 구조와 평면이 Fig.1에 제시되어 있다.

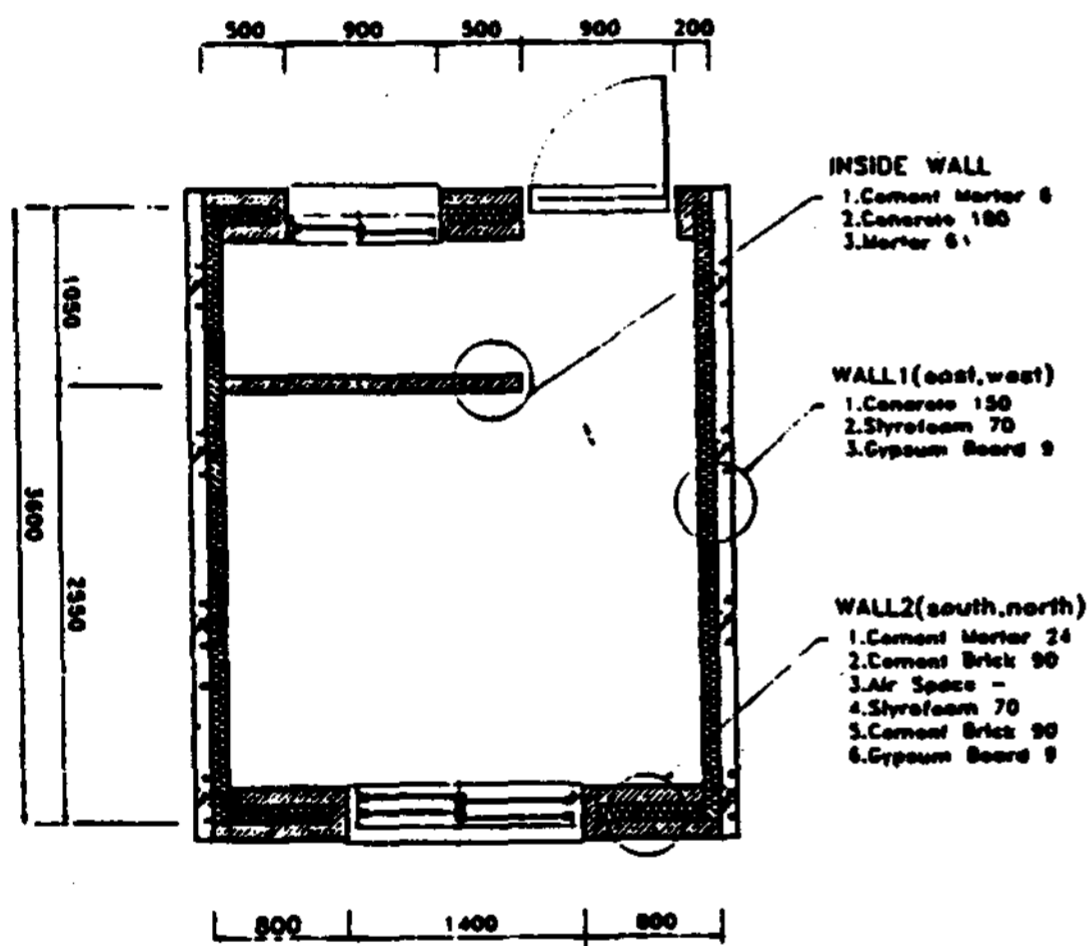


Fig.1 Floor plan for the building

3.2 측정장비

측정장비는 간단하게 설치가능하고 소형 경량인 장비를 사용하였다. 이 장비는 소형 laptop 컴퓨터와 12-bit A/D 변환기로 구성되어졌으며 데이터는 매 10초마다 읽어 1시간 간격으로 평균을 내어 기억장치에 저장하였다가 모뎀을 통해 원격지의 데이터 분석용 컴퓨터로 전송된다. 측정채널은 8개로 Table 1과 같다.

Table 1. Measurement channels

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

3.3 실험방법

이론부에서 언급한 Fig. 2의 실험방법(test protocol)에 의해 실험을 실시한다. 첫째날밤 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 제 2일밤에는 팬히터를 끈 상태에서 cooldown 실험을 실시하고 제 3일밤에는 coheating 실험을 반복했다.

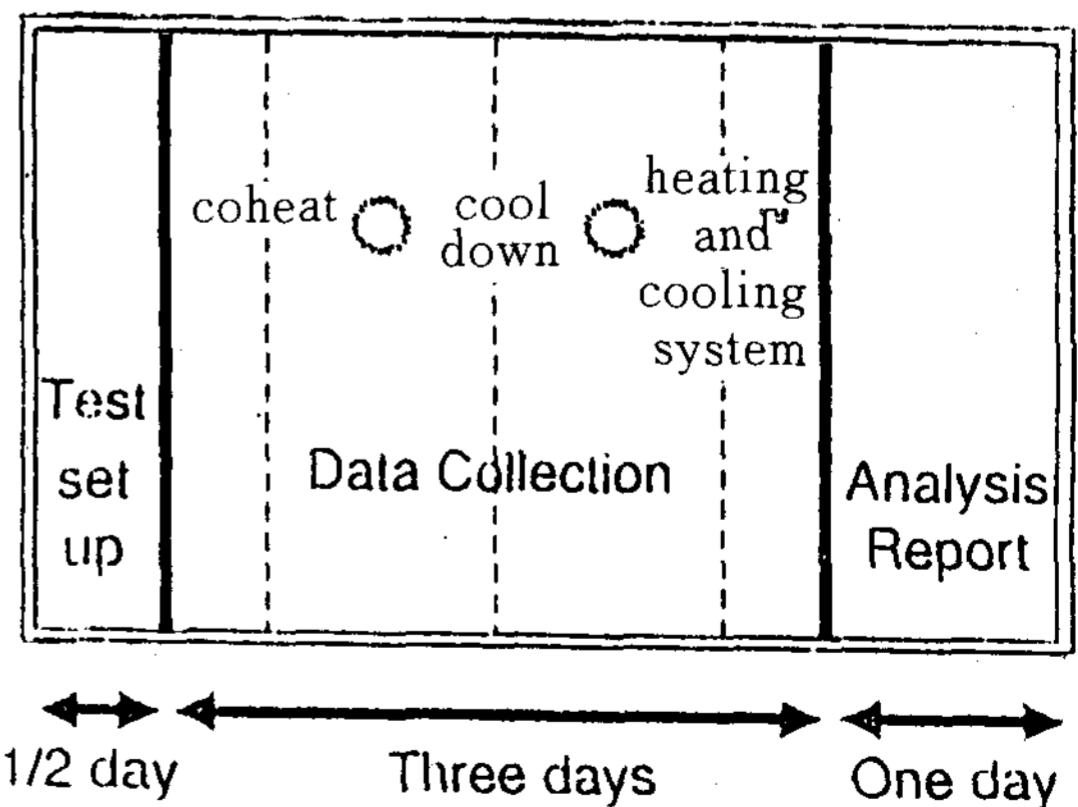


Fig.2 Test Protocol

4. 결과 및 고찰

먼저 실험대상건물의 audit 사양을 알아야 하므로 건물의 도면으로부터 SUNCODE-PC 입력화일의 형태로 화일을 작성한다. 이 audit 사양으로부터 UA합산에 의해 L 과 L_b 를 계산하고, 주파수 응답법을 사용하여 $Q_{storage}^{in}$, $Q_{storage}^{out}$, Q_{sky} 의 열흐름을 계산한다.

P_o , P_{in} , P_{sun} 의 재표준화 계수를 결정하기 위해 3절의 실험방법(test protocol)에 의해 실험을 하여 측정결과를 Fig.3, Fig.4의 그래프로 나타내었다. Fig.3는 실내 온도 및 외기온을 나타낸 것으로 첫날 오전 7시까지 팬히터에 의해 온도를 일정하게 유지시키고 그 이후부터는 팬히터를 작동시키지 않은 상태에서 측정한다. Fig.4은 수평면 총일사량 및 건물의 남측면에 수직으로 설치한 일사량계에 의해서 측정된 수직면 총일사량이다. 건물의 남측면에 일사량계를 설치한 이유는 유리창이 남측면에 위치하여 대부분의 태양열이 남측면을 통해 도입되기 때문이다. 풍속은 지붕위에 설치된 풍속계에 의해 측정된 것으로 침기에 의한 열손실을 계산하기 위해 사용된다. 이외에도 coheating 기간중 공급된 전력량(Fig.5) 및 천공복사에 의한 열손실을 계산하기 위한 상대습도등도 측정했다. Fig.6와 Fig.7은 각각의 일사량계에 대한 분석을 통해 normal beam, diffuse on surface, beam on surface를 계산하여 그린 것이다.

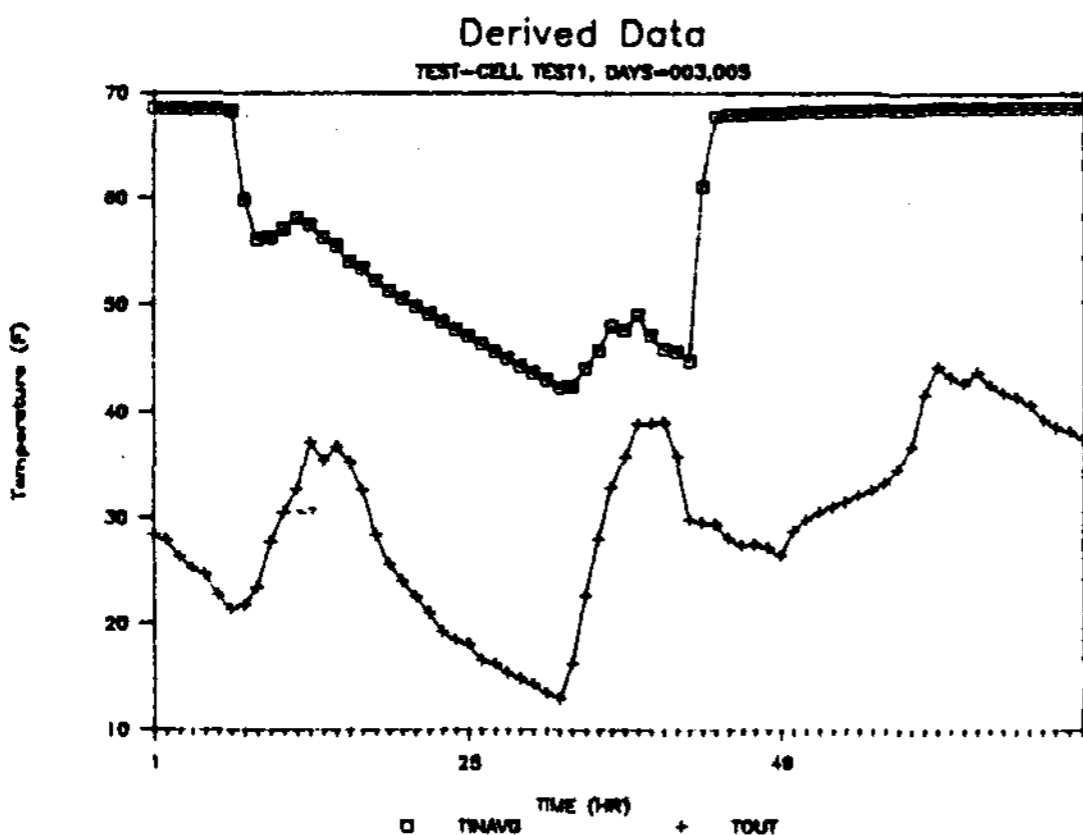


Fig.3 Hourly average of indoor and outdoor temperature

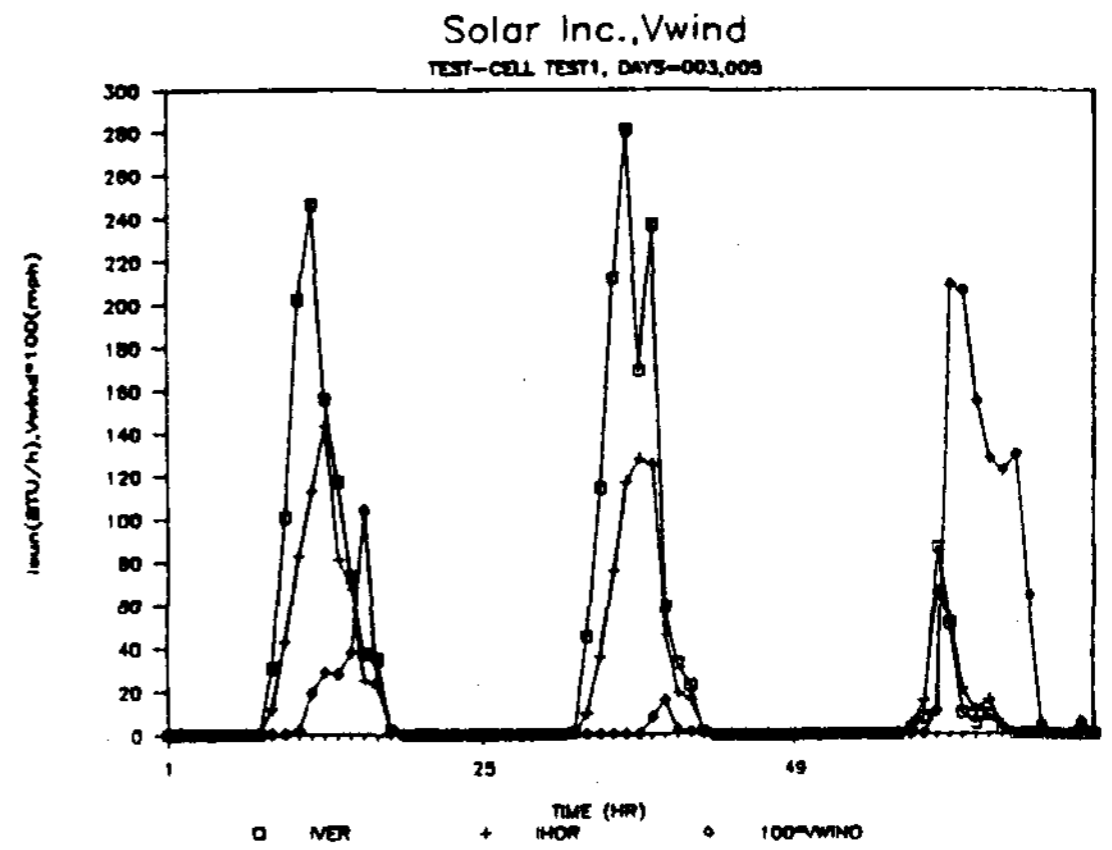


Fig.4 Incident solar radiation and wind velocity

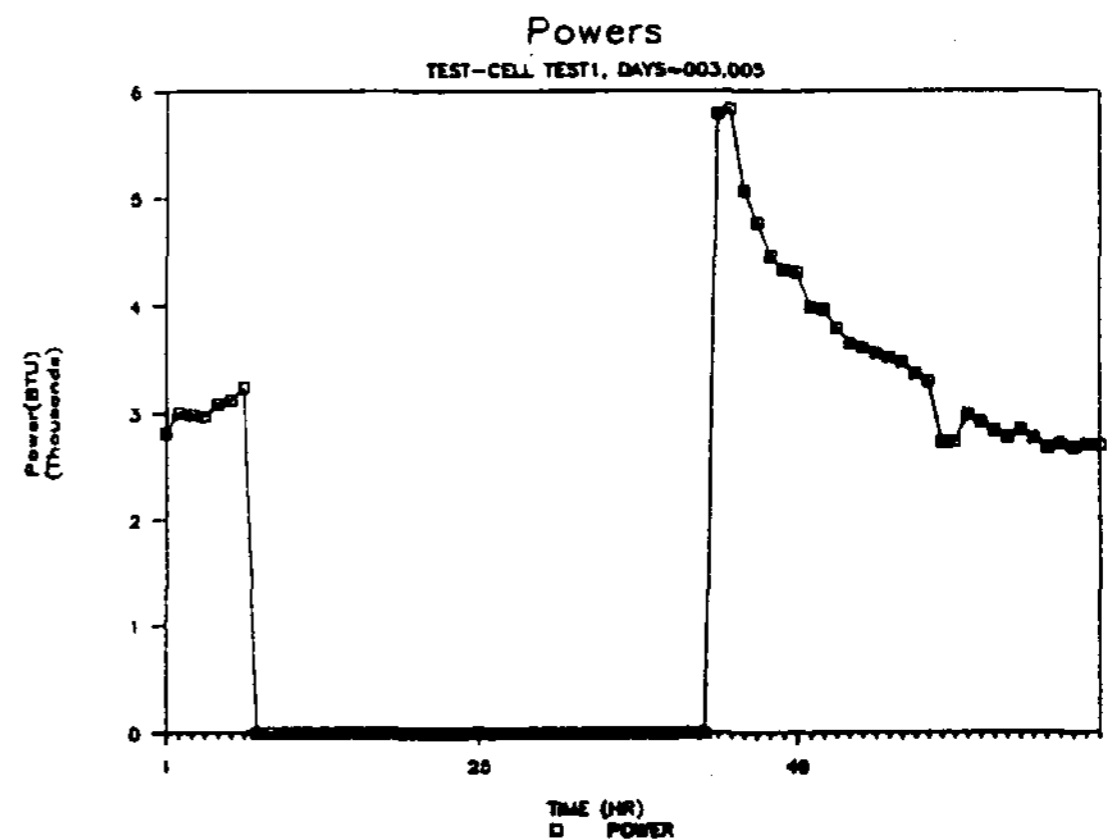


Fig.5 Supplied heater power during the test

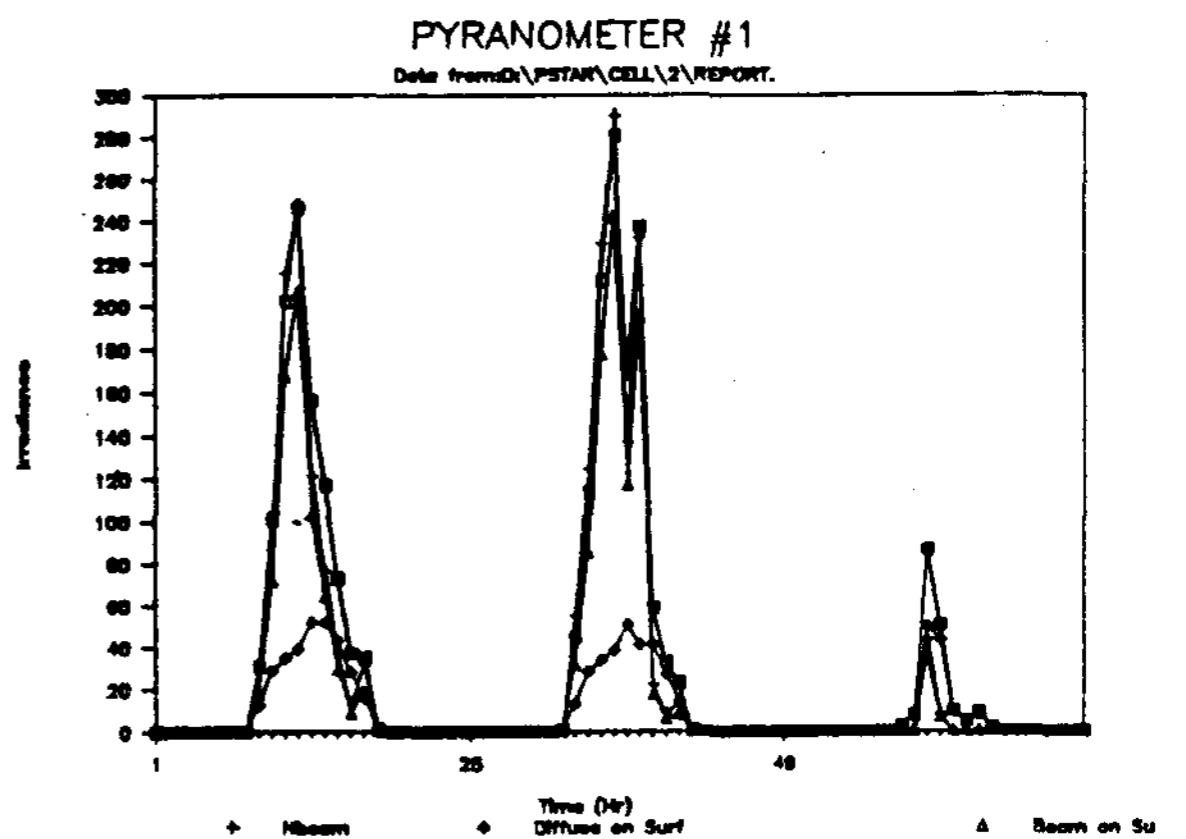


Fig.6 Normal beam, diffuse on surface on Horizontal pyranometer

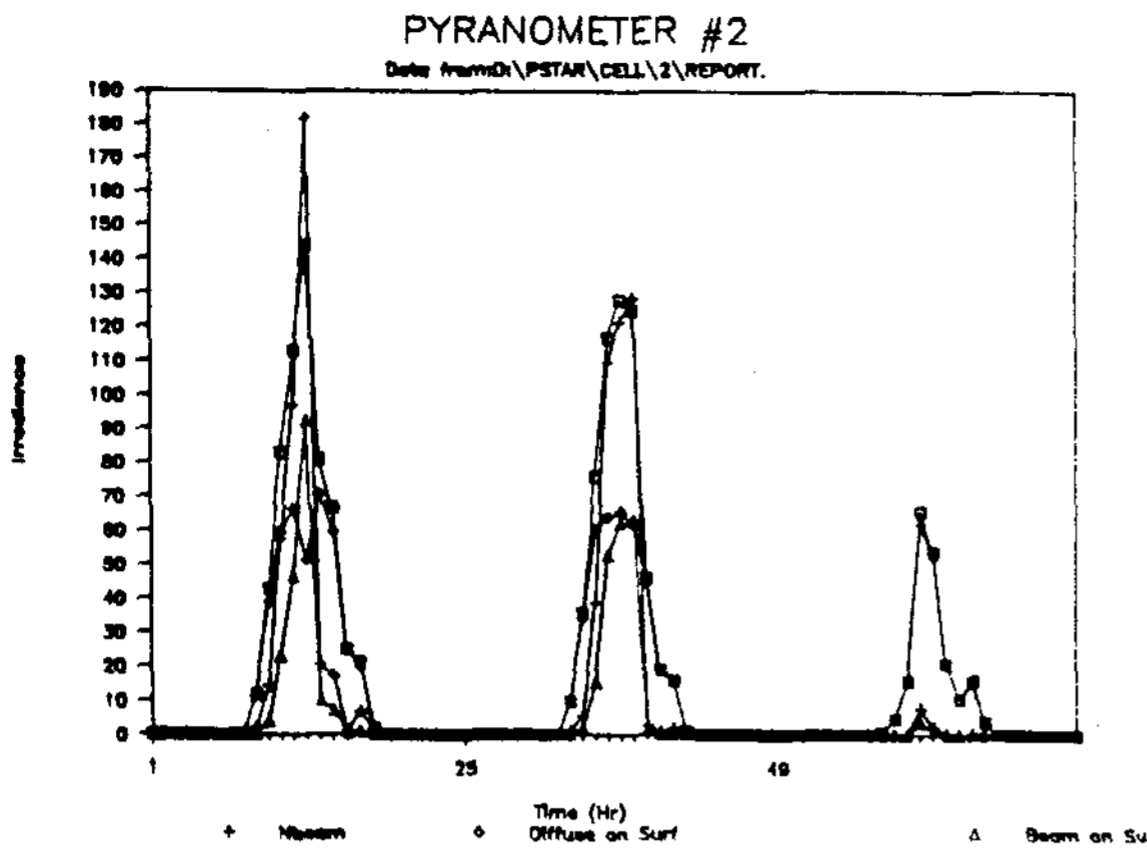


Fig.7 Normal beam, diffuse on surface on vertical pyranometer

Audit 사양으로부터 주파수 응답법에 의해 zero frequency에서 W 값을 계산하면 이값은 표면의 열전도율을 의미하며, 약 140의 값을 갖는다. 그리고 외기의 침투에 의한 열손실은 약 55이므로 두 값을 합하면 195이다. 그러나 재표준화된 계수값을 보면 70으로 실제의 값이 적게 나타남을 볼 수 있다. P_{in} 의 값은 0.8로 audit값보다 massive하지 않은 건물임을 알 수 있다. 태양열 획득항에 대한 재표준화 계수는 1.3이며 시간지연은 -0.28 로 수직일사량계가 audit값보다 약간 서쪽으로 치우쳐 있음을 알 수 있다. 측정값과 audit값 및 재표준화된 값과 비교기간동안의 에너지 사용량 오차의 평균제곱근은 294Btu이고 재표준화 이전의 값과 측정된 값과의 오차의 평균제곱근은 $8.5^{\circ}F$ 이나 재표준화 이후의 값은 $1.8^{\circ}F$ 이다. 그러므로 재표준화에 의해 측정치와 잘 일치하는 재표준화 계수가 포함된 식을 구할 수 있다. Fig.8은 측정된 값, Audit값으로부터 예측된 값과 재표준화된 식으로부터 예측된 값을 그린 것으로 재표준화된 식이 실제 결과와 잘 일치하고 있다는 사실을 명확하게 보여준다. Fig.9, Fig.10은 재표준화 계수를 포함하는 열흐름항으로 Fig.9은 영향이 큰 1차적 열흐름항과 순열흐름(net heat flow)를 그린 것이고, Fig.10은 영향이 적은 2차적 열흐름을 나타낸 것이다.

다음과정으로 위의 과정을 통해 얻어진 재표

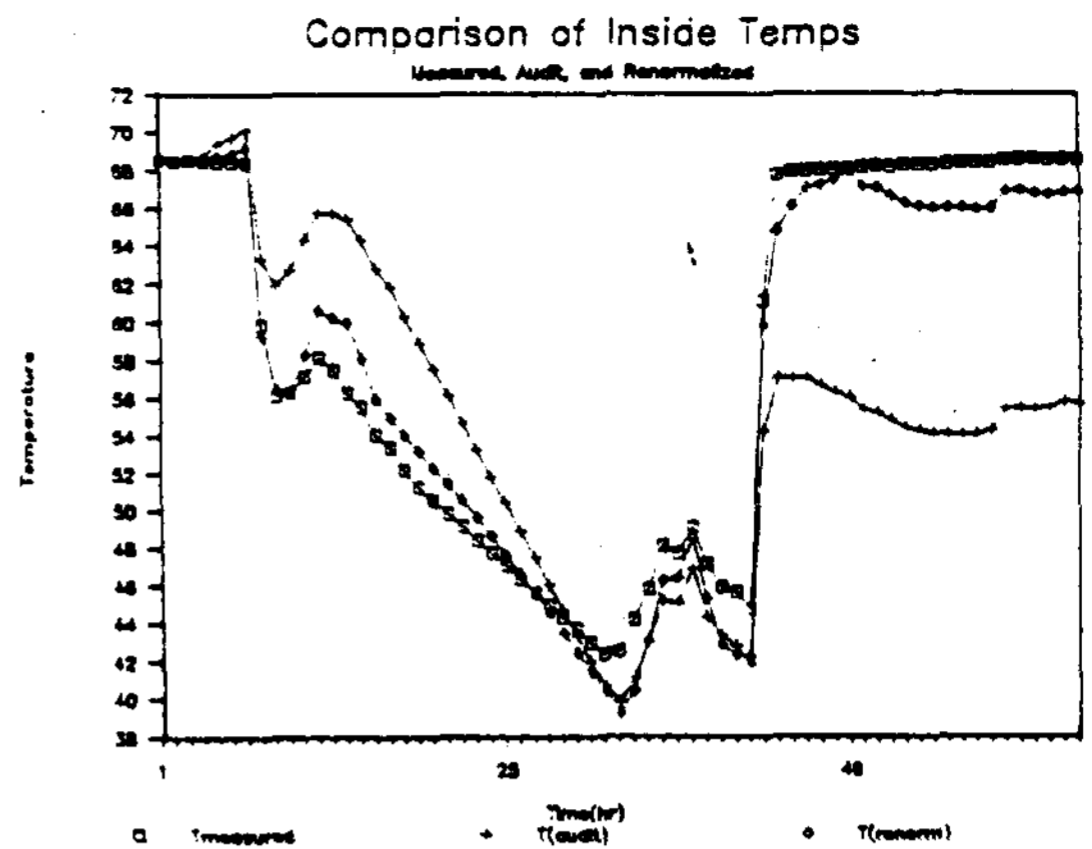


Fig.8 Comparison of the internal temperature as a result of measurement, as modeled with the audit house description and as modeled after the renormalization.

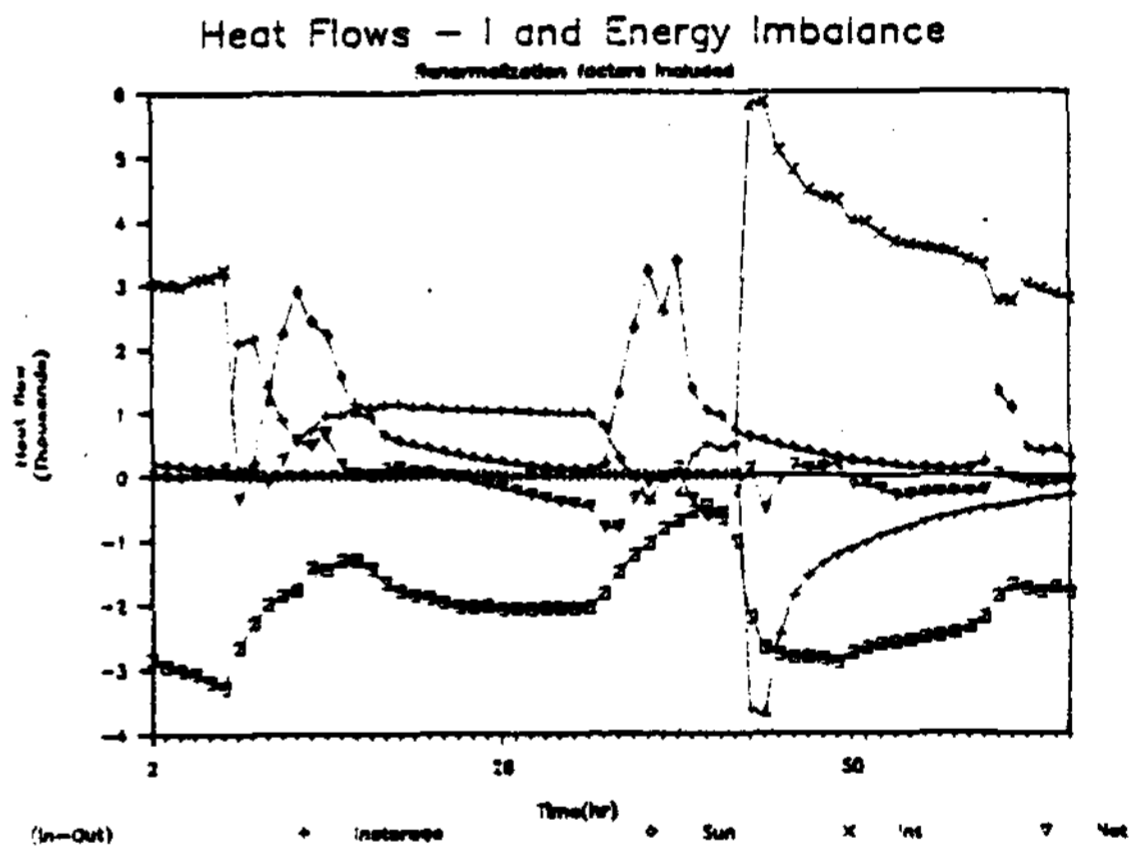


Fig.9 Primary heat flows

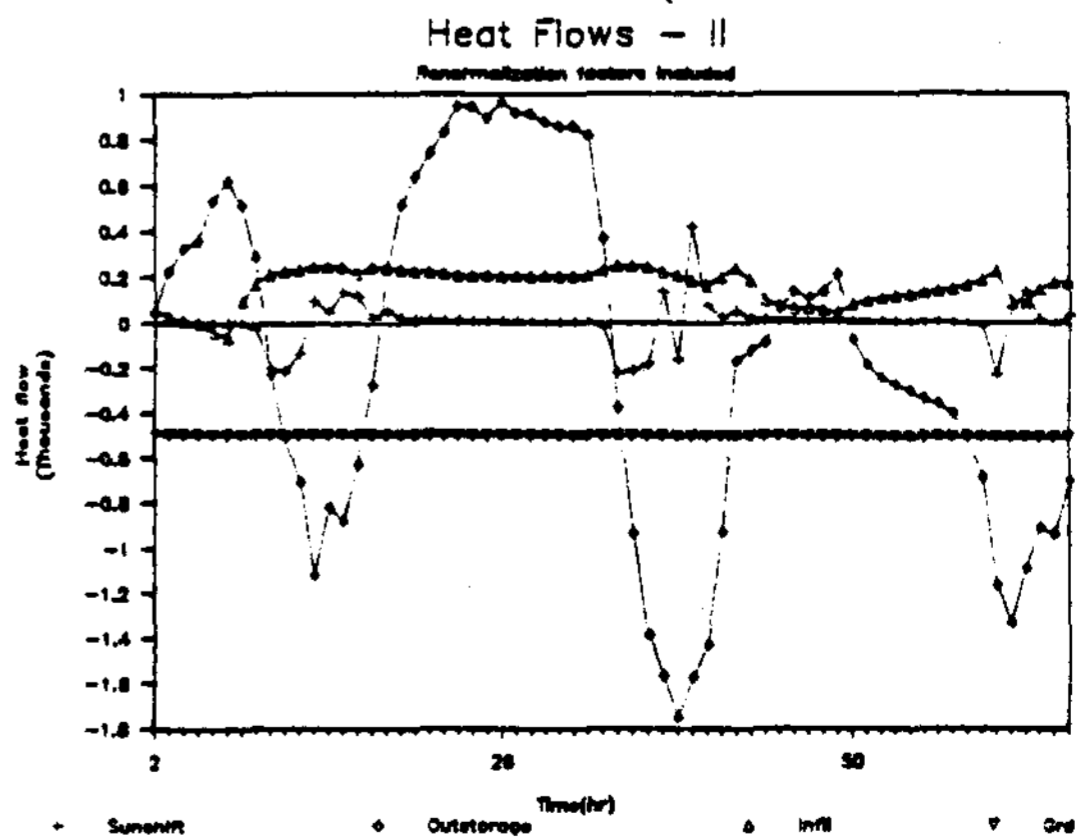


Fig.10 Secondary heat flows

준화된 에너지 수지식에 TMY 기후데이터를 입력하여 1년간의 장기간 외삽(extrapolation)을 하였다. 그 결과 월별 난방부하 및 냉방부하,

그리고 월별 난방 및 냉방 최대요구치를 계산해 냈으며, 연간 총난방부하 및 냉방부하를 계산했다. 이 결과는 Table 2에 나타나 있다.

Table 2. The Result of Long-Term Extrapolation

	Heating Load	Cooling Load	Peak Heat	Peak Cool
Jan	1659050.07	0.00	8337.58	0.00
Feb	1397592.23	0.00	7202.20	0.00
Mar	898267.13	-3419.47	5683.17	-911.10
Apr	385705.75	-22713.53	4650.36	-1327.59
May	69078.39	-136601.23	2581.58	-1784.66
Jun	23669.66	-436957.31	2476.75	-2876.80
Jul	0.00	-930694.46	0.00	-3017.31
Aug	0.00	-821314.74	0.00	-13160.06
Sep	2561.44	-510656.12	1228.80	3116.17
Oct	156251.05	-102243.07	4583.33	-2018.42
Nov	731146.84	0.00	5435.95	0.00
Dec	1336658.36	0.00	7412.41	0.00

HEATING LOAD(MILLIONS OF BTUS) FOR THE PERIOD : 6.660

COOLING LOAD(MILLIONS OF BTUS) FOR THE PERIOD : 2.965

5. 결 론

건물의 사양으로부터 시간별 시뮬레이션에 의해 열성능을 추출하는 기법과 실측데이터로부터 연역적인 방법에 의해 추출하는 기법을 연합시켜 단기간의 측정에 의해 건물의 열성능 계수를 간단하고 정확하게 결정할 수 있는 기법을 실험용 건물에 적용하여 다음의 결과를 얻었다.

㉑ 건물의 사양으로부터 건물의 열성능 계수를 추출하여 건물의 열성능에 영향을 미치는 여러가지 추진력들에 대한 정량적 역할을 알 수 있는 직관적 정보를 얻을 수 있다.

㉒ 본 실험의 test protocol은 3개의 재표준화 계수를 추출하기 위한 좋은 방법이라고 생각되며 이 방법을 통해 실험 기간을 단축할 수 있다.

㉓ 일사량 자료의 분석을 통해 도입되는 태양열을 보다 정확하게 예측할 수 있도록 하였다.

㉔ 열흐름 계산 기간동안의 측정된 결과와 audit 사양으로부터 예측된 결과, 재표준화된 결과로부터 예측된 결과를 비교해 보면, 재표준화 이전의 예측된 실내온도와 측정된 결과와의 차이의 RMS는 8.5°F이고, 재표준화 이후의 결과와 측정된 결과와의 차이의 RMS는 1.8°F로 재표준화 이후의 결과가 실측치와 근접함을 알 수 있다.

㉕ 재표준화된 계수를 이용하여 연간 난방부하 및 냉방부하, 월별 최대난방요구량 및 냉방요구량을 계산할 수 있다. 따라서 이 결과를 이용하여 건물에너지 조절 및 절약에 활약할 수 있다.

후 기

본 연구는 과학기술처 기술개발사업의 일환으로 수행되었으며 관계자 제위께 감사를 표한다.

참고 문헌

1. Carslaw, H.S., and Jaeger, J.C., 1977. "Conduction of Heat in Solids", Second Edition, Oxford Univ. Press.
2. DOE-2 Reference Manual. 1980, Los Alamos, NM: Los Alamos Scientific Lab.
3. Hittle, 1977: Hittle, D.C., The Building Loads Analysis and System Thermodynamics Program, Volume I: User's manual
4. Palmiter, L., Wheeling, T.: 1982, SE-RI-RES 1.0, Golden, CO: Solar Energy Research Institute.
5. Jeon, H.S., Claridge, D.C., Subbarao, K., and Burch, J., "Thermal Dynamics from Component and Building Test", Proceedings of ASME Conference, 1988.
6. Subbarao, K., "PSTAR(Building Element Vector Analysis). A new Hour-by-Hour Building Energy Simulation With System Parameters as Inputs". SER/TR-254-2195.
7. Subbarao, Mort and Burch, 1985: Subbarao, K., Mort, D., and Burch, J., "Short-Term Measurement of Envelope Retrofit Performance", SER/TP-253-2693, 1985.
8. Subbarao, Burch, and Christensen, 1985: "A Unified Framework for Building Energy Analysis", Proc. Building Energy Simul. Conference. Seattle, 1985.

Characteristics Analysis of Domestic Wind Energy Resources

Park, Kyung-Ho · Kim, Keon-Hoon · Chung, Hun-Saeng

Korea Institute of Energy & Resources

ABSTRACT

The recent technology of Wind Energy Conversion System(WECS) in the world is well-developed and the feasibility of WECS is better than the past time. So, it is necessary to re-analyze the characteristics of wind energy in this country.

This paper deals with the analysis of wind energy distribution in Korean Peninsula, Cheju and Ullung island. The assessment was performed based on the raw data collected 64 meteorological stations for the last 10 years. The wind energy characteristics were analyzed hourly, monthly, seasonally and annually.

The Weibull distribution was assumed and two parameters in all areas were calculated and the wind energy potential distribution in Korea was obtained.

Thermal Performance Evaluation of a Test Cell Thru Short Term Measurements

M.S. Jeon · H.K. Yoon · W.G. Chun · H.S. Jeon

Korea Institute of Energy & Resources

ABSTRACT

Short-term tests were conducted on a house at KIER, Daejeon for its thermal performance evaluation. The test procedure and data analysis were made according to the PSTAR method. Each test period was 3 days during which the building was unoccupied. The data measured with 8 channels were used to renormalize an audit based simulation model of the house. The following are the key parameters obtained in the present analysis : 1) the building loss coefficient(skin conductance plus infiltration conductance during coheating period); 2) the effective building heat capacity; and 3) the effective solar gain. An estimation of total heat required to maintain a standard level of comfort during a typical winter season is also calculated on the basis of the renormalized simulation model and typical long term weather data.