

## 시험공간에 대한 난방부하 실증실험 및 계산

현 석 균, 홍 회 기\*, 유 호 선\*\*

경희대학교 대학원, \*경희대학교 기계산업시스템공학부, \*\*숭실대학교 기계공학과

### Verification Experiment and Calculation of Heating Load for a Test Space

Suk Kyun Hyun, Hiki Hong\*, Hoseon Yoo\*\*

Graduate School, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

\*School of Mechanical and Industrial System Engineering, KyungHee University, Yongin 449-701, Korea

\*\*Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

(Received August 10, 2001; revision received January 23, 2002)

**ABSTRACT:** As a way to assess the reliability of programs for building energy analysis, verification experiment and calculation of heating load are simultaneously conducted for a well-defined test space. Experimental conditions are carefully set to minimize uncertainties associated with radiation heating, air change, infiltration, and room-to-room interaction. Dynamic load calculations using TRNSYS, which are performed for two different computation domains, rely on the energy rate control that represents inherent load characteristics of a space. The predicted instantaneous heating load favorably simulates the overall behavior the measured one, though the latter fluctuates much more rapidly than the former. Comparison of the accumulative load between the experiment and calculations shows a close agreement within an engineering tolerance, regardless of the computation model. It is deduced from such findings that the present experimental results along with weather information can serve as a set of reference data for validating load calculation softwares from the users' standpoint. In order to enhance the completeness of this work, a complementary study on the cooling load for the same test space is highly recommended.

**Key words:** Thermal load(열부하), Heating load(난방부하), Verification experiment(실증실험), TRNSYS, Building energy simulation(건물 에너지 시뮬레이션)

### 1. 서 론

국내 에너지원의 수입의존도가 절대적임은 주지의 사실이다. 따라서 에너지의 효율적 이용 및 절약은 국가적 과제이며, 이런 관점에서 전체 에너지소비량의 25% 정도를 점하는 건물 부문은 상당한 관심의 대상이 될 수밖에 없다. 건물 에

너지 관리에 있어서 핵심적인 요소는 설계단계에서의 정확한 설비용량 산정, 실내환경의 쾌적성을 유지하는 범위 내에서의 고효율 운전 등이다. 신뢰성 있는 건물 열에너지 해석 또는 열부하 계산은 이러한 설비용량 예측과 운전조건 설정을 위한 전제조건 가운데 하나이다.

다양한 형태의 건물 열에너지 해석용 소프트웨어가 개발되었으며 이미 널리 보급되어 있다. 상태의 시간의존성, 열부하 계산방법, HVAC의 포함 여부 등에 따라 여러 가지로 분류될 수 있으며, 개발자나 용도에 따라 특성이 상이하다. 국내

† Corresponding author

Tel.: +82-31-201-2925; fax: +82-31-202-8106

E-mail address: hhong@khu.ac.kr

외에서 사용 혹은 개발중인 대표적인 건물 에너지 시뮬레이션 프로그램의 개요와 특징에 관해서는 최근 소개된 바 있다.<sup>(1,2)</sup> 많은 해석 프로그램 가운데서 특정한 것을 선정할 때 사용자의 중요한 고려사항은 예측결과와 타당성이다. 이와 관련하여, 각 개발주체는 단독이나 공동으로 프로그램의 체계적인 검증을 위하여 다양한 노력을 경주하였으며,<sup>(3)</sup> 최근에는 검증방법의 표준화에까지 도달하였다.<sup>(4)</sup> 그러나 완전한 타당성이란 본질적으로 확보될 수 없을 것이다. 검증(validation) 또는 인증(accreditation)을 거친 소프트웨어라 하여도 사용자나 용도 등에 따라서 상이한 결과가 초래될 수 있다.<sup>(3)</sup> 따라서 목적에 부합되는 프로그램을 선정하기 위해서는 사용자의 관점에서도 나름대로 그 신뢰성을 평가할 필요가 있다.

해석적 검증(analytical validation), 경험적 검증(empirical validation), 모델간 비교(intermodel comparison) 등 프로그램 개발자에 의해 알려진 타당성 검증방법 가운데서 사용자의 신뢰성 평가 수단을 채택할 수 있을 것이다. 국내의 경우 건물 동적 열부하 계산 프로그램들을 대상으로 모델간 비교가 시도된 바 있으나,<sup>(5)</sup> 예측결과 사이의 상대적 편차가 클 때는 평가가 곤란하다는 사실을 보여주었다. 이러한 상대적 평가방법의 한계를 극복하기 위해서는 관련자료가 명확히 정의된 시험공간에 대하여 직접적으로 측정된 자료와 계산결과를 비교하는 경험적 검증을 병행하는 것이 바람직하다.<sup>(6)</sup> 이때 측정에 따른 불확실성을 최소화하기 위한 주의가 요망된다.

전술한 바와 같이 해석 프로그램에 대한 검증은 다양한 형태로 진행되어 왔고 그 기준과 결과를 제시하였으나, 온도모델이나 새로운 설비계통에 대한 모사 등 독자적인 분야에서의 지속적인 검증을 필요로 한다. 본 연구는 이런 장기계획의 시작으로, 소형 시험공간을 대상으로 일정한 기간 동안 난방 열부하를 실측하고 TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation)를 사용한 동적 부하계산과 비교하고자 한다. 이를 통하여 향후 해석의 도구로 사용할 TRNSYS 14.2의 신뢰성을 검토할 수 있을 뿐만 아니라 획득된 실증실험의 결과는 측정조건 및 기상자료와 함께 타 프로그램을 위한 표준모델 또는 비교기준으로 활용될 수 있을 것이다. 시험공간 자체의 부하특성에 초점을 맞추었으므로 해석방법은 HVAC와 제어계

통의 영향을 배제하고 이상적인 기기를 가정한 energy rate control에 의존한다(이에 관해서는 뒤에서 상술). 해석영역을 시험공간만으로 국한한 경우와 인접한 공간까지 포함한 경우에 대하여 계산을 수행하고 그 결과의 비교를 통하여 입력 자료의 적정성과 경계조건과 관련된 사항에 관하여 검토하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 시험공간

실증실험의 대상이 되는 시험공간은 기하학적 형상과 벽면재료 등 관련자료가 명확히 알려져 있어야 하고, 열원이나 측정기기 등 필요한 조건을 구비해야 한다. 별도의 구조물을 건축하는 것이 이상적이지만,<sup>(7)</sup> 비용이나 시간을 절약함은 물론 실제 사용 중인 공간의 특성을 반영하기 위하여 기존의 건물에서 실증실험의 구비조건을 대략적으로 만족하는 시험공간(경기도 수원시 소재)을 선정하였다. 난방열원의 선택에 있어서도 해석 프로그램에 의한 시뮬레이션과 가능한 한 부합되도록 상당한 주의가 필요하다. 예를 들어, 실내공기를 미리 정해진 설정온도로 가열하기 위하여 복사식 전열기를 사용하면 발생열의 일부는 벽체 등에 축적되므로 시간지연을 두고 실내로 방출된다. 이러한 현상을 타당하게 반영한 해석 모델은 복잡해지므로 실험과 계산 사이에 큰 차

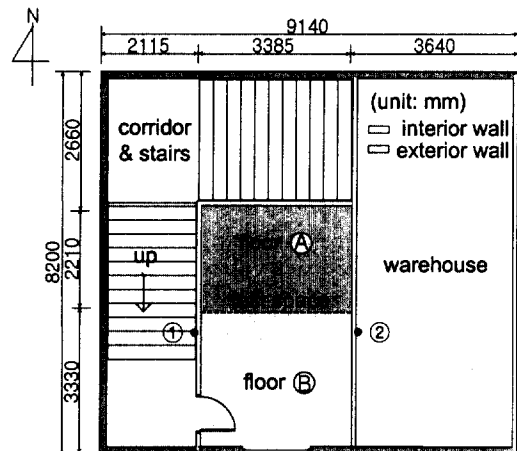


Fig. 1 The plan view of the present test space and its vicinity.

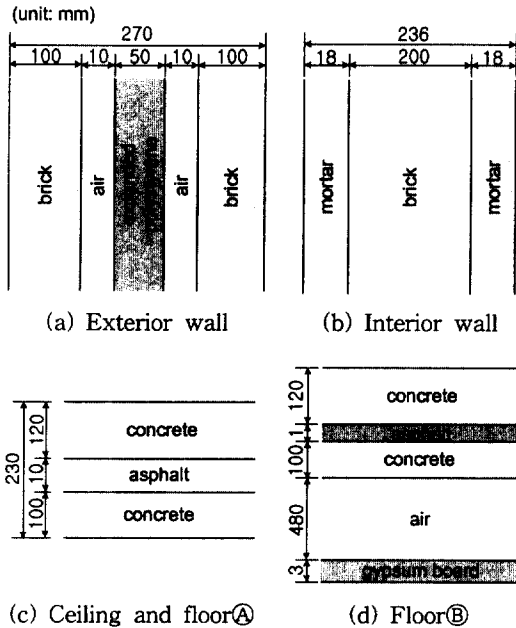


Fig. 2 The wall composition.

이가 발생할 수 있다. 본 실험에서는 후술하듯이 발열량의 거의 전부가 실내공기를 직접 가열하는데 기여하는 대류식 팬히터를 사용하였다.

선정된 시험공간과 인접한 공간의 평면도를 Fig. 1에 도시하였으며, 벽체구조 및 재료의 물성치를 각각 Fig. 2와 Table 1에 정리하였다.<sup>(8)</sup> 시험공간(5540×3385×3500 mm)은 외기와 직접 접하는 천장과 유리창(1485×1820 mm)의 단층유리, 단일창이 있는 남쪽 벽을 제외하면 복도 혹은 다른 공간과 접하고 있으며 주위의 구조물에 의해 일사

의 방해를 받지 않는다. 복도, 창고 및 아래층 일부(Fig. 1의 ㉔, 바닥면적의 40%)는 비공조공간이기 때문에 특별히 주의할 사항이 없다. 반면 아래층의 일부(Fig. 1의 ㉕, 바닥면적의 60%)는 공조공간이므로 이론적으로는 시험공간과의 상호작용이 고려되어야 하며, 실측된 실내온도가 계산에 사용될 수 있도록 하였다. 이에 관해서는 다시 언급하기로 한다.

내벽으로 표시된 창고의 동쪽 벽(Fig. 1에서 우측 벽)은 다른 창고와 접하고 있다. 실제 측정결과 난방이 가동하지 않을 때 두 창고의 온도차는 거의 없었으므로 비난방시에는 이 벽을 통한 열교환은 없는 것으로 간주될 수 있다. 취득한 자료는 창고가 비난방시를 대상으로 한 것이며, 계산에서도 동쪽 벽에 단열 경계조건을 부여할 수 있다.

## 2.2 실험방법

목표가 되는 실험결과는 난방부하로서, 본 연구에서는 실내공기를 설정온도로 유지하기 위하여 공급되는 단위시간당 열량으로 정의한다. 난방부하는 일사량, 외기온도 등 기상조건뿐만 아니라 인접한 공간과의 열교환에도 관련되므로 계산과의 합리적인 비교를 위해서는 각 공간의 온도변화를 동시에 측정할 필요가 있다. 특히 Fig. 1의 지점 ①과 ②의 벽면온도는 뒤에서 다룰 부하계산에서 Model B의 입력자료가 된다.

본 실험의 실내 설정온도는 20℃이고 시간에 따라 불변이기 때문에 24시간 연속적으로 난방이

Table 1 The properties of wall materials

Material	Thermal conductivity W/mK (kcal/mh℃)	Specific heat kJ/kgK (kcal/kg℃)	Density kg/m <sup>3</sup>
Brick	0.64(0.55)	0.84(0.2)	1660
Expanded polystyrene	0.034(0.03)	1.25(0.3)	28
Mortar	1.51(1.30)	0.79(0.19)	2000
Asphalt	0.11(0.095)	0.92(0.22)	1000
Concrete	1.39(1.20)	0.88(0.21)	2200
Gypsum board	0.17(0.15)	0.31(0.27)	910
Thermal resistance			
Air space	Horizontal (10~500 mm)	0.17 m <sup>2</sup> K/W	
	Perpendicular (10~20 mm)	0.13 m <sup>2</sup> K/W	
Single windows	Overall heat transfer coefficient 5.8 W/m <sup>2</sup> K (5.0 kcal/m <sup>2</sup> h℃)		

이루어진다. 실증실험의 성격상 가능하면 재현하기 용이한 조건이 요구되므로, 환기는 하지 않고 사람의 출입도 금지하였다. 같은 맥락에서, 계산에서 불확실성이 큰 침입공기를 차단하기 위하여 창문 및 출입문을 테이프로 밀봉하였다. 반면에 복도 및 계단의 경우에는 침입공기의 영향이 있을 것으로 판단되나 정량적으로 파악하거나 예측은 대단히 곤란하므로 Model A의 계산에는 그 양을 일단 0으로 가정하였다.

난방열원으로서 전술한 이유로 2대의 팬히터(용량 2kW 및 1.8kW)를 사용하였다. 가능하면 실내의 온도분포가 균일하도록 팬히터 앞에 선풍기를 설치하여 공기를 강제로 순환시켰다. 조명(형광등: 160W)과 기기(PC 및 선풍기: 320W)는 전 실험기간에 걸쳐 가동되며, 발생하는 열은 해석시 실내획득열량에 포함시켰다.

시험공간의 열원이 균일하지 않고 층고가 높기 때문에 위치에 따른 온도차는 존재할 수밖에 없다. 온도분포를 파악하기 위하여 시험공간을 16개 구역으로 분할하고 각각에 K형 열전대를 설치하였다. 예비실험을 통해 온도편차가 크지 않음(최대 1°C 정도)이 확인되었으므로 계산된 평균온도에 의미가 부여될 수 있다. 설정온도를 유지하기 위하여 평균온도에 가장 근접하는 지점의 열전대를 디지털 온도조절기에 연결하여 팬히터를 온·오프 방식으로 제어하였다.

온도, 일사량, 팬히터의 전압과 온·오프 상태 등은 자료획득장치(HP3852A)에 기록하였다. 그래픽 언어(HP-VEE)를 사용하여 30초 간격으로 자료를 측정하고 저장할 수 있도록 프로그램을 작성하였다. 팬히터 등의 전력사용량은 1일 단위의 적산전력량과 30초 간격으로 전압을 측정하여 구한 순시값을 모두 기록하였다. 순시값의 적분과 적산값 사이에는 미소한 차이가 있으나 쉽게 보정될 수 있다.

신뢰성이 있는 자료를 확보하기 위하여 2000년 12월초부터 장기간 실험을 진행하면서 시험공간 및 인접한 공간의 온도변화를 추적하였다. 그 결과 Fig. 1 ㉔ 부분의 아래층 공간의 온도가 거의 일정하게 유지되고 전술한 두 창고의 온도가 일치하는 4일간(2000년 12월 14일 8시부터 18일 8시까지)의 자료가 해석 프로그램의 검증용으로 가장 적합하다고 판단되었다.

### 3. 부하계산

#### 3.1 TRNSYS의 개요

미국 Wisconsin 대학에서 태양열 시스템 설계를 위하여 처음 개발된 TRNSYS는 지속적인 확장과 갱신을 거쳐 현재에는 건물 열에너지의 종합적인 해석과 평가가 가능한 수준으로 발전하였다. 다른 프로그램과 유사하게 동적부하계산은 ASHRAE의 전달함수법에 기초한다.<sup>(9)</sup> 구체적인 구성, 기능, 사용방법 등에 관해서는 문헌<sup>(10,11)</sup>을 참조하기 바라며, 여기서는 본 연구와 직접 관련된 부분만을 간략히 기술하기로 한다.

열부하계산과 관련된 구성요소 가운데 본 연구에서는 TYPE 56을 사용한다. 다구역(multi-zone) 건물에서 구역 사이의 상호작용을 원활하게 해석하기 위하여 개발된 알고리즘으로서, 벽체 안쪽과 바깥쪽의 모든 복사열전달(태양으로부터의 단파장, 다른 벽체와 천공으로부터의 장파장 등)을 포함한다. 건물제원, 계산조건 등 외부자료는 별도의 프로그램인 PreBID와 IISiBat를 통하여 쉽게 입력할 수 있다.

기본적으로 TRNSYS는 동적부하계산이지만, 해석에 설비 및 제어시스템의 포함 여부에 따라 energy rate control과 temperature level control로 구별된다. 전자는 공간을 유출입하는 열량으로부터 실온의 변화를 계산하고 실온과 설정온도 사이의 차이로부터 부하를 계산하는 해석방법으로서, 공간 자체의 부하특성을 파악하는 데 적합하다. 다만 이상적인 냉난방설비를 가정하므로 실제의 열부하와는 다소 차이가 있다. 후자는 실내온도 변화의 허용범위 이내로 설비가 운전중인 실제 상태에 대한 시뮬레이션으로서, 공간과 설비가 결합된 종합적인 열에너지 해석에 유용하다. 본 연구에서는 일정한 설정온도에 대한 시험공간의 난방부하에 대한 실험을 수행하였으므로 이와 부합되는 energy level control에 의존한다.

#### 3.2 기상자료

동적부하계산을 위해서는 기상자료가 필요하다. 건물 열부하에 영향을 미치는 기상인자는 기온, 습도, 일사량, 풍속, 풍향 등이다. 실험기간 동안 외기온도와 일사량은 측정하였으나, 공신력

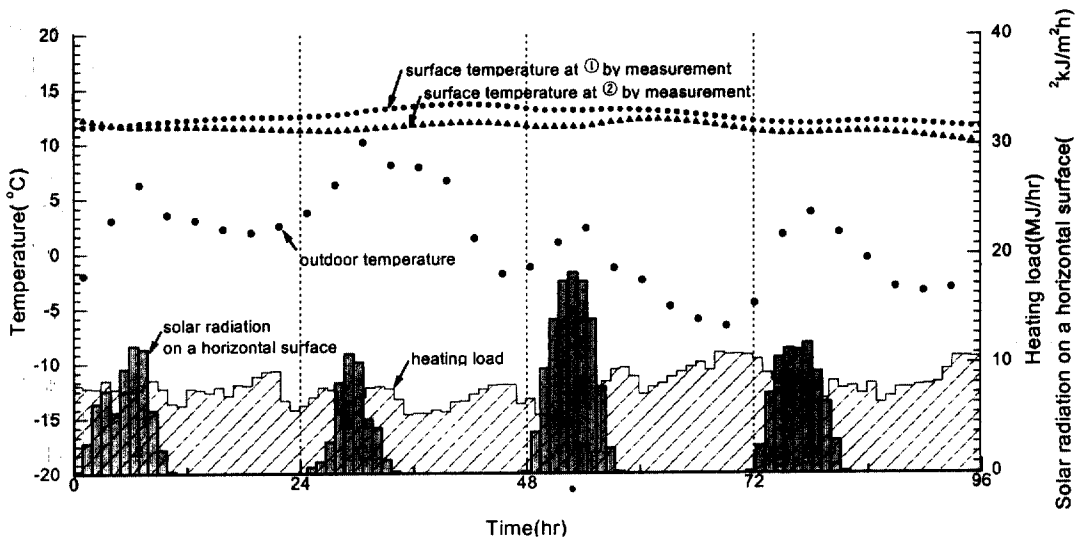


Fig. 3 Weather data and related results.

이나 재현성을 감안하여 기상대에서 제공하는 자료에 전적으로 의존하였다. 참고로 측정된 국소 기온과 일사량은 Fig. 3에 예시된 수원 기상대의 자료와 잘 일치한다.

일반적으로 기상청에서 제공하는 자료는 1시간 간격으로 측정된 것이지만, 일사량(엄밀히는 수평면 전천일사량)의 경우에는 1시간 동안의 적산값 형태이다. 실제 계산에서 필요한 것은 임의의 경사면에 대한 순시일사량이므로 제공된 적산 전천일사량을 직달일사량과 천공일사량의 순시값으로 분리(이른바 직산분리)해야 한다. 대한설비공학회에서 발표되는 표준기상자료의 일사량은 직산분리를 거친 것이다.<sup>(12)</sup> 그러나 TRNSYS를 비롯하여 대부분의 동적열부하계산 프로그램은 직산분리기능을 내장하고 있으므로 적산값을 그대로 입력해 주면 된다.

### 3.3 계산

본 연구에서는 해석영역이 상이한 두 모델에 대하여 동적열부하계산을 수행하였다. 구체적으로 Model A는 Fig. 1에 도시된 평면 전체를, Model B는 시험공간만을 해석영역으로 한다. 전자에서 창고 및 복도는 비공조공간으로 취급하였으며, 앞에서 언급하였듯이 창고의 동쪽 벽을 통한 열전달은 무시하였다. 후자의 경우 Fig. 1의 지점 ①과 ②에서 측정된 온도 각각의 평균값(Table 2 참조)을 인접한 공간과 접하는 시험공간 외벽의

경계조건으로 부여하였다.

계산에 사용된 주요 수치자료를 Table 2에 정리하였다. 실험에서의 실내설정온도는 20°C(±0.5°C)이었으나, 측정값의 시간 및 공간에 따른 차이를 반영하여 계산에서는 실험기간 동안의 평균값(20.2°C)을 기준하였다. 위에서 기술한 Model B의 경계조건으로 측정된 순시 벽면온도(Fig. 3 참조) 대신 일정한 평균값을 적용한 것은 변화의 폭이 작을 뿐만 아니라 계산이 간편하기 때문이다. 실제로 4일간의 평균값을 부여한 것과 매시각별의 값을 부여한 것의 난방부하 차이는 0.4%에 불과하다. Fig. 1 ③ 부분 아래층 공간의 온도도 마찬가지로의 이유로 평균값 31.4°C를 계산에 적용하였다(이때의 차이는 0.6%). 단, 비정상적으로 온도가 높은 것은 실험실의 특성상 30°C 이상을 유지해야 하기 때문이며, 임의로 통제가 불가능하였으나 다행히 거의 일정온도를 유지하였다.

Table 2 Input data for calculations

Item	Value	
Temperatures	Test space	20.2°C
	Room under ③	31.4°C
	Surface of corridor ①	12.6°C
	Surface of warehouse ②	11.5°C
Gains	Lighting	160 W
	Machinery	320 W
Surface conductances	Interior surface	8.3 W/m <sup>2</sup> K
	Exterior surface	34 W/m <sup>2</sup> K

계산에 필요한 수치자료는 이외에도 열전달계수, 방사율, 형상계수 등이 필요한데, 이 중 내외 벽 표면의 방사율은 일반적인 벽체조건인 0.6으로 설정하였다. 천공과의 복사열교환의 계산을 위해 필요한 형상계수는 주위의 장애물이 없으므로 수직벽 0.5, 수평벽 1.0으로 하였다. 바깥쪽 벽의 열전달계수는 겨울철 평균풍속 6.7 m/s일 때의 값인  $34 \text{ W/m}^2\text{K}$ , 안쪽면의 열전달계수는  $8.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ 를 사용하였다.<sup>(13)</sup> Fig. 2에서 벽체 사이의 공기층은 자연대류효과를 고려해 주어야 한다. 즉 정지된 공기의 열전달률 대신 단위 열저항값을 Table 1과 같이 부여하였다.

계산순서는 먼저 건물관련 정보와 필요한 수치자료를 TRNSYS의 부속 프로그램인 PreBID에 입력하는 것으로 시작된다. 건물관련 정보는 Fig. 1과 2, Table 1에 수록된 벽체의 면적, 방향, 구성 등이 포함된다. 창문이 있는 경우에는 창문의 면적과 종류가 제공되어야 하며, 벽체 표면에서의 열전달계수 등도 요구되는 입력자료이다. 자료입력이 끝나면 IISiBat에서 구성요소들을 연결하고 필요한 정보를 추가한다. 이와 같은 작업을 거쳐서 계산에 필요한 입력파일이 생성되고 이를 이용하여 본격적인 계산으로 들어간다.

#### 4. 고 찰

전술한 기상자료, 실험에서 측정된 난방부하(팬

히터로 공급한 열량), 측정 및 계산에 의한 시험공간의 외벽 온도를 종합하여 Fig. 3에 정리하였다. 대체적인 형태 즉 외기온도 및 일사량의 증가에 따라 난방부하가 감소하는 경향은 물리적으로 부합되는 결과이다. 사실 이 그래프의 보다 큰 의미는 여기에 포함된 기상자료와 난방부하가 Fig. 1과 2 및 Table 1과 2를 통하여 제시된 시험공간에 대한 자료와 더불어 다른 건물 열에너지 해석 프로그램의 검증용으로 사용될 수 있다는 데 있다.

한편 Fig. 3에는 Fig. 1의 지점 ①과 ②에서 벽면온도의 측정값을 보였다. 복도와 창고 모두 비공조공간임에도 지점 ①의 측정값이 ②보다 평균  $1^\circ\text{C}$  정도 높은(Table 2) 이유는 상하로 개방된 계단공간을 따라 형성된 건물 전체의 온도성층화에 기인한 것으로 보인다. 온도성층화가 고려되지 않은 계산에서 두 온도가 거의 일치하는 것은 복도와 창고가 외부와 비교적 잘 단열된(Fig. 2 및 Table 1) 비공조공간임이 타당하게 반영된 결과이다. 측정과 예측 사이에는  $2\sim 4^\circ\text{C}$ 의 온도차가 존재하는데(예측치가 전반적으로 작게 나타남), 이것은 단위공간의 공기온도를 균일하게 취급하는 전달함수법의 접근방법에 비추어 해석에서 충분히 나타날 수 있는 차이이다.

본 연구의 핵심은 난방부하에 있다. 실험 및 두 가지 계산을 통하여 구한 시험공간의 순시 및 적산 난방부하를 각각 Fig. 4 및 Table 3에서 비

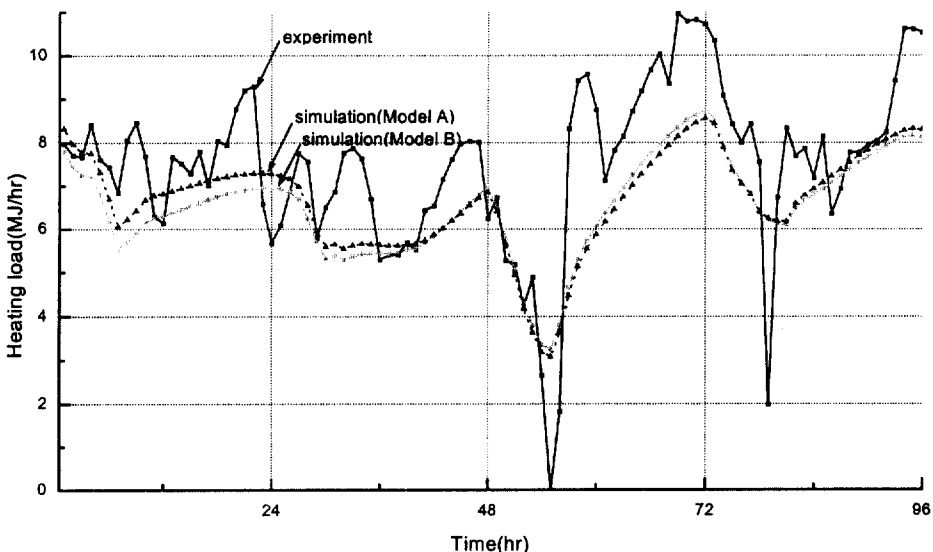


Fig. 4 Comparison of the instantaneous heating load between by the experiment and calculations.

Table 3 Comparison of the accumulative heating load between by the experiment and calculations (unit: MJ)

Period (hr)	Experiment	Simulation (Model A)	Simulation (Model B)
0~24	183.0	170.5	159.2
24~48	162.7	146.0	142.4
48~72	180.1	146.1	150.5
72~96	194.0	176.8	174.7
Total	719.8	639.4 (-11.2%)	626.8 (-12.9%)

교하였다. 순시난방부하(Fig. 4)에서 측정값은 변동의 폭과 정도가 매우 큼에 비하여, 예측값은 모델에 무관하게 훨씬 완만한 변화를 보인다. 이는 난방열이 실험에서는 팬히터의 온·오프 제어를 통하여 공급되었지만, 해석에서는 이상적인 난방기기가 실내온도와 설정온도와의 차이에 대응하는 열량을 보상한다고 취급(energy rate control)하였기 때문이다. 실험과 계산 사이 순시값은 상당한 차이를 보임에도 불구하고, 양자에 의한 부하의 전반적인 변화형태는 유사하다. 마치 예측값이 측정값을 곡선맞춤(curve-fitting)한 형태이다. 이러한 결과는 계산에 의한 예측이 실제의 부하 변동을 허용 오차범위 이내에서 추종할 수 있음을 보여준다. 한편 Model A와 B에 의한 예측치 사이에는 약간의 차이는 있으나 전 기간을 통하여 정성적은 물론 정량적으로도 잘 일치한다.

적산난방부하(Table 3)에 있어서는 일관되게 실험값이 예측값보다 크지만, 순시값에서 이미 고찰하였듯이 양자의 차이는 크지 않다. 전 실험 기간에 걸친 총 부하의 경우 Model A에 의한 계산값이 실험값에 비하여 11.2% 정도 작다. 실제 현상과 해석모델 사이의 본질적인 차이를 감안할 때 동적 열부하 계산 프로그램에서 10% 정도의 오차는 허용될 수 있는 수준이다. 사실 실험 자체의 불완전함이나 물성치 등 입력자료의 불확실성에도 이 정도 오차의 요인은 잠재되어 있다. 종합적으로 판단할 때 본 실험과 계산은 양호하게 일치하며, 실험자료는 타 해석 프로그램의 검증에도 충분히 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

수차 기술하였듯이 시험공간만을 해석영역으로 하는 Model B에서는 측정된 벽면온도(Table 2 및 Fig. 3)의 평균값을 경계조건으로 사용하였다.

그 결과 Model A의 경우와 비교하여 2% 이내의 부하차이를 보인다(Table 3). 결과를 구체적으로 제시하지는 않았지만, 예비계산에 의하면 Model B에서 벽면온도가 1℃ 변화하면 난방부하는 약 7%의 영향을 받는 것으로 밝혀졌다. 더욱이 시험공간이 비공조공간과 접하기 때문에 온도의 차이로 인한 열교환이 상대적으로 크다. 참고로 본 연구의 인접공간 중에서 유일한 공조공간인 Fig. 1 ㉔ 아래층의 경우 그 온도가 시험공간의 총 부하에 미치는 영향은 1℃당 약 1.4%로서 상대적으로 영향이 비교적 작다. 이러한 사실들을 고려할 때 해석영역이 상이한 Model A와 B의 좋은 일치는 적어도 계산에 사용된 자료가 적정했음을 의미한다. 또한 해석영역을 시험공간에 국한하여도 합리적인 부하계산이 가능할 것으로 보이지만, 적절한 경계조건의 확보가 선행되어야 함에 유의해야 한다.

그러나 전술한 실험방법에서 언급하였듯이 복도 및 계단영역의 침입공기량을 0으로 취한 것은 불확실성에 의한 입력조건외 한계로서, 0.5회/시간의 침입공기량으로 가정하면 난방부하는 5% 증가하게 된다. 또한 창고에 대한 불확실성도 어느 정도 존재하는 것 등을 고려하면, Model A에 수반되는 다양한 오차가 오프셋되어 결과적으로 Model B와 잘 일치한 것으로 보는 것이 타당할 것이다.

본 연구에서는 이상적인 조건을 만족하도록 난방기로서 대류식 팬히터를 선정하여 실험하고 계산으로 비교하였으나, 복사가 주된 온돌 및 벽체 가열방식에 의한 난방실험도 수반되어야 한다. 또한 연구의 완결을 위해서는 냉방부하에 대해서도 같은 접근을 하는 것이 바람직하다. 다만 냉방은 난방에 비하여 실증실험이 상당히 어려워진다. 난방의 경우 공급열량은 소비전력을 통하여 정확히 알 수 있지만, 냉방의 경우 냉방기의 정확한 성능곡선이 구비되지 않으면 제거열량의 측정이 실질적으로 곤란하기 때문이다. 성능곡선이 있어도 외기온도의 변화 등으로 인하여 냉방기의 부분부하 운전이 수반되므로 해석에서도 temperature level control에 의존하여야 할 것이다.

## 5. 결 론

사용자의 관점에서 건물 열에너지 해석 프로그램의 신뢰성을 평가하고 부하계산의 표준화를

모색하기 위한 방법으로서, 적절히 선정된 소형 시험공간에 대하여 난방 실증실험을 실시하고 TRNSYS 14.2를 이용한 동적 열부하 계산과 비교하였다. 형상과 벽면재료 등 관련자료가 명확히 정의된 시험공간에 대하여 복사가열, 실내온도의 불균일성, 환기, 침입공기, 인접공간과의 상호작용 등 불확실성의 요인을 가능한 배제한 조건에서 4일간 난방부하를 측정하였다. 기본적으로 시험공간 자체의 부하특성에 초점을 맞춘 실증실험과 부합되도록 이상적인 난방기기를 가정한 energy rate control에 의존하여 동적 열부하 계산을 수행하였다. 계산에서는 해석영역이 상이한 두 모델을 채용하였다.

시험공간에 대한 실증실험 및 계산을 동시에 수행한 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론에 도달할 수 있었다. 순시난방부하에서는, 현상과 모델 사이에 난방기기의 운전 및 제어특성이 상이하기 때문에, 그 변동의 폭과 주기가 실험에서는 급격하고 계산에서는 완만하게 나타났다. 그럼에도 불구하고 양자의 전반적인 거동은 매우 유사하여 해석이 실험을 비교적 잘 추종하는 것으로 보인다. 실험기간 동안 적산난방부하의 경우 측정값이 예측값을 일관되게 상회하지만 공학적인 허용오차범위 이내에서 일치한다. 또한 적절한 경계조건만 확보된다면 인접공간을 제외하고 시험공간만을 해석영역으로 취하여도 합리적인 부하계산이 가능할 것으로 판단된다. 이러한 사실들을 종합할 때 본 연구의 실험과 계산은 양호하게 일치하며, 특히 실험자료는 기상자료 등과 함께 타 해석 프로그램의 검증에도 이용될 수 있을 것으로 기대된다. 마지막으로 연구의 완결을 위해서는 향후 같은 시험공간에 대하여 불확실성이 배제된 정밀한 추가 실험과 더불어 복사난방 및 냉방부하에 대한 실험과 계산도 수행되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- Hong, T. et al., 2000, Building simulation: an overview of developments and information sources, Building and Environment, Vol. 35, pp. 347-361.
- Hong, H. and Cho, S. H., 2001, Analysis of dynamic thermal energy analysis for building and LCC, J. Korean Association of Air Conditioning, Refrigerating and Sanitary Engineers, pp. 44-54.
- Bloomfield, D. P., 1999, An overview of validation methods for energy and environmental software, ASHRAE Transactions, Vol. 105(2), pp. 685-693.
- Judkoff, R. D. and Neymark, J. S., 1999, Adaptation of the BESTEST intermodel comparison method for proposed ASHRAE Standard 140P: Method of test for building energy simulation programs, ASHRAE Transactions, Vol. 105(2), pp. 721-736.
- Lee, J. H. et al., 1999, A Comparison on simulation results of load analysis program, Air Conditioning Seminar of SAREK, pp. 51-64.
- Lomas, K. J. et al., 1997, Empirical validation of building energy simulation programs, Energy and Buildings, Vol. 26, pp. 253-275.
- Jensen, S. O., 1995, Validation of building energy simulation programs: a methodology, Energy and Buildings, Vol. 22, pp. 133-144.
- Kim, Y. H. and Park, J. W., 1999, The newest air conditioning equipment, Bomundang, pp. 462-463.
- McQuiston, F. C. and Spitler, J. D., 1992, Cooling and heating load calculation manual, 2nd ed., ASHRAE.
- Solar Energy Lab., 1994, TRNSYS reference manual, University of Wisconsin-Madison.
- Hong, H., 2001, An Introduction of TRNSYS program, J. of Korean Association of Air Conditioning, Refrigerating and Sanitary Engineers, pp. 54-59.
- SAREK, 1996, Development of the computer software and weather data for cooling and heating load calculation, Report of Ministry of Commerce, Industry and Energy.
- ASHRAE, 1993, Fundamentals of ASHRAE Handbook, p. 22.1.