

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 22, No. 1, 2002

지하외벽체의 단열유형별 열성능에 관한 실험적 연구

이재윤*

* 삼척대학교 건축학과

An Experimental Study on the Thermal Performance by the Type of Thermal Insulation in Basement Structures

J.Y. Lee*

* *Department of Architecture, Samchok National University*

Abstract

This is study of the planning of thermal insulation to prevent heat loss in a basement, is aimed at investigating the heat loss from the basement space and basement structures. The results analyzed in these researches are as follows:

To analyze the heat loss from basement structures, this study experimented on the heat flow phenomenon of a non-insulation structure and two insulation structure models.

From the result, the interior surface temperature of two insulation structures(B, C, model) showed an equal temperature, but the interior surface temperature of a non-insulation structure (A model) is different from the two models,

Therefore, we understand that the insulator constructed in the basement structure makes a role of preventing the heat loss from the basement.

In addition, the exterior surface temperature of two insulation structure models showed an equal temperature.

Specially, judging from the temperature difference of C model, we understand that the performance of insulator is low under the definite depth of underground.

The thermal insulation design should be constructed under the definite depth of underground considering outdoor and building conditions.

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

지상의 건축물은 기후변화에 의한 외계조건의 영향을 직접 받으며, 지면 아래에 매립된 지하공간 및 지하구조체는 지상의 기후환경 변화에 따른 지중환경 변화의 영향을 받게 된다. 일반적으로 지중온도는 지상의 외기온도 변화에 대해 비교적 안정적이고 계절적인 변화현상이 적은 것으로 알려져 있다. 또한 연중 변화 폭이 적은 지중온도에 의해 지중공간은 하기에는 서늘하고 동기에는 따뜻한 조건을 유지할 수 있어 에너지 절약효과를 볼 수 있는 것으로 알려져 있다.

현행 건축법에는 단열내용을 규정하여 열손실 방지를 도모하고자 건축물의 각 부위별로 열관류율이나 단열재의 두께에 의해 지역별로 마련되어 있으나, 단열기준의 구체성 부족으로 일부 부위에 에너지 손실요인이 잠재하고 있다.

한편, 선진국에서는 지하구조물에서 발생하는 열손실 및 결로 현상을 방지를 위해 많은 연구가 진행되어, 적정단열설계 및 시공기술이 정착되어, Model Energy Code(미국), Building Regulation 1995(영국), 건축 기준법(일본) 등의 건축 관련법에도 반영되어 있다.

근년 건물의 지상부분 단열성능이 향상되면서 건물의 전체 손실열량 중에서 지중을 통한 손실열량이 차지하는 비중이 상대적으로 증가하고 있다. 따라서 지상에 비해 환경적으로 복잡한 지하공간 및 지하구조체에 대한 연구가 요구된다.

여기서, 본 연구에서는 지하외벽의 단열유형별 열류 분포를 실험을 통해 분석하여, 지하공간 및 구조체에 대한 단열설계에 관련한 기술적 기초자료를 얻고자 한다.

1.2 연구내용 및 방법

본 연구는 지하외벽의 열적 현상이 어떻게 이루어지고 있는지를 평가하기 위해 지하외벽의 단열

재 설치유형별 온도분포 및 열류 경향을 현장 모델실험을 통하여 분석한다. 이를 위해 건축물 지하공간 및 구조체에서 발생할 수 있는 열손실을 분석하기 위해 기존의 건물을 실험대상으로 하여, 일반적으로 시공되고 있는 무단열 지하외벽체와 지하외벽 일부만 단열 처리된 경우, 지하외벽 전부 단열 처리된 경우에서 전열 되는 열적 현상을 분석한다.

2. 실험내용 및 방법

2.1 실험대상 개요

본 연구의 모델실험은 기존의 건물을 실험대상 건물로 하였고, 실험대상 건물은 정남향으로 위치한 학교건물이며 실험실로 사용되고 있다. 건물의 지하공간은 콘크리트구조로 높이 2m, 폭 2m 길이 20m의 공간을 구성하고 있으며, 지표면 위로 지하벽체가 0.5m정도 노출되어 있다.

2.2 실험장치

실험모델의 단열재설치 유형은 단열재의 설치 유무에 따른 비교를 위해 기존의 단열처리가 되지 않은 지하외벽 모델(A)의 지하외벽체에서 발생하는 열적 특성과 단열재가 지하외벽 일부만 설치된 모델(B), 단열재가 지하외벽 전부에 설치된 모델(C)의 유형으로 구분하였다.

먼저 모델 A는 단열재가 설치되지 않은 구조이며, 모델 B는 외기의 영향을 많이 받는 지표면 부근의 상부구조에서부터 아래로 1.2m까지 단열재를 부분적으로 배치하여 그 효과를 분석코자 하였다. 모델 C는 지하구조의 상부에서 바닥면까지 지하외벽체의 전면에 설치하였고, 부분적으로 단열재를 설치한 모델 B와의 열적 특성을 비교코자 하였다.

본 모델실험을 위해 건물외부의 지하벽체가 위치한 지표면에서부터 깊이 3m, 폭 3m의 크기로

건물외벽의 흠을 파내고, 측정을 위한 온도센서를 각 측정점에 위치토록 하였다. 또한 실험모델구조에 맞는 단열유형별로 단열재를 센서와 함께 부착하고 흠을 다시 매립하는 방법으로 실물실험구조를 구성하였다. 이때 각 모델간에 열적인 영향을 받지 않도록 하기 위해 100mm두께의 단열재로 각 모델간을 구획하였다.

실험에 사용된 단열재는 비교적 습기와 압력에 강한 80mm의 압축 폴리스틸렌 폼을 사용하였다. 그림 1~그림 3은 단열유형별 지하단면구조와 온도 측정점 위치를 나타낸 것이다.

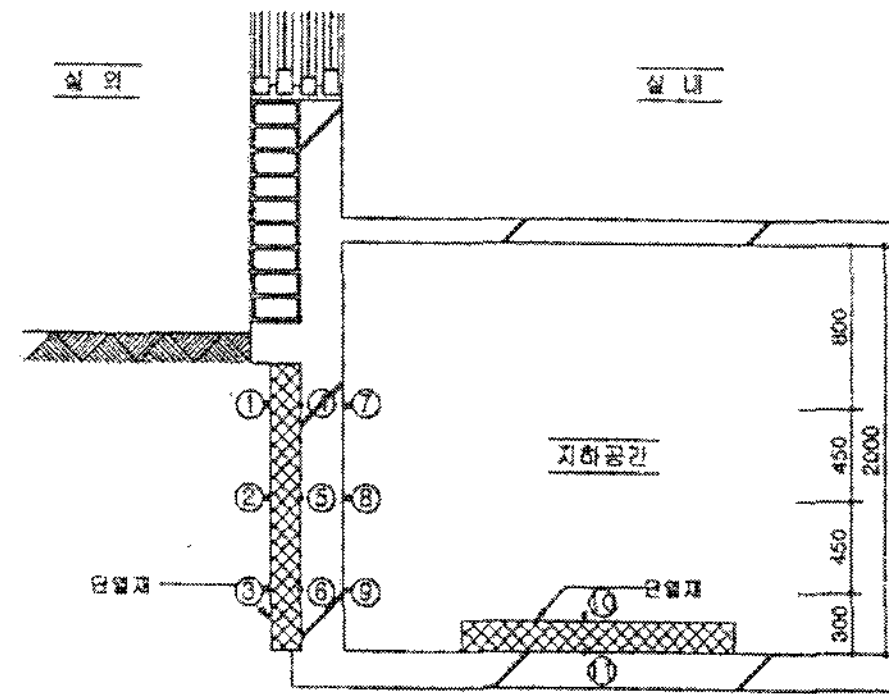


Fig. 3 모델 C의 단면구조와 측정점

측정항목은 표 1과 같이 지하공간 및 지상층의 실내온도, 외기온도, 지표면온도, 지하 깊이별 지하온도를 측정하였다. 또한 모델별로 지하 외벽체의 내외표면온도, 바닥구조체 내표면온도 및 단열재의 내외표면온도를 측정하였다.

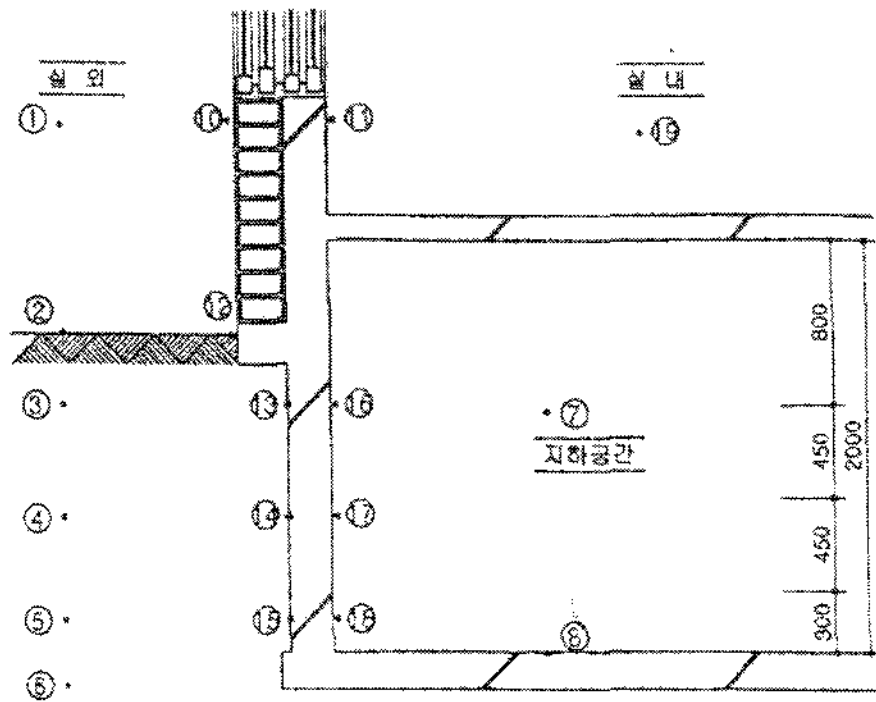


Fig. 1 모델 A의 단면구조와 측정점

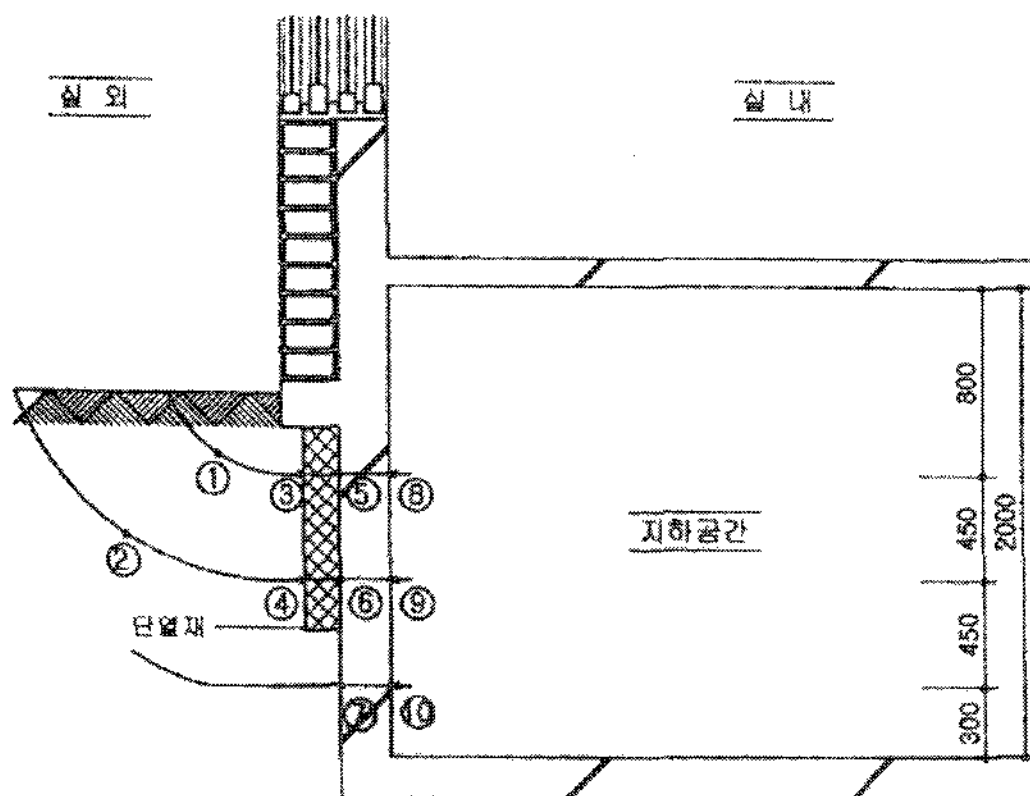


Fig. 2 모델 B의 단면구조와 측정점

Table 1. 현장 모델실험의 측정항목

측정 항목	측정 점 위치	측정 기기
1. 지하층 및 지상 1층의 실내온도	- 측정공간의 중앙에서 수직높이 1.2m에 측정점 설치	1. 측정기기 : Data Logger (MDL64)
2. 바닥표면 온도	- 바닥 직상부	
3. 벽체 내외 부면온도	- 각 모델별로 내외벽체의 수직높이별로 3개의 측정점 설치	2. 기록장치 : IBM PC (586)
4. 지중온도	- 지하외벽체로부터 3m 떨어진 지점에서 수직으로 0.8m, 1.6m, 2.4m 깊이별로 측정	
5. 외기온도	- 외벽으로부터 3m 외기	3. 온도센서 : Thermo-couple($\Phi 0.25$)
6. 지표면 온도	- 지표면 100mm깊이에 고정설치	
7. 대류방열기의 온도	- 난방주기를 파악하기 위해 난방배관 표면에 부착	

3. 실험결과 및 고찰

3.1 단열재를 설치하지 않은 구조(모델 A)

본 측정모델은 단열재를 설치하지 않은 경우에 지하구조체에서 나타나는 열적 특성을 분석코자 하였다. 그림 4는 단열재를 설치하지 않은 지하구조체에 대한 내표면온도의 변화를 수직높이별로 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 내표면온도는 지하공간 전체의 영향을 받아 온도편차가 비교적 적은 양상을 보이고 있다. 또한 평균 내표면온도의 경우 지하 0.8m에서 $12.6 \pm 0.56^\circ\text{C}$ 로 나타났으며 지하 1.25m에서 $13.8 \pm 0.53^\circ\text{C}$, 지하 1.70m에서 $14.4 \pm 0.42^\circ\text{C}$, 그리고 지하구조체의 바닥면에서 $15.8 \pm 0.53^\circ\text{C}$ 로 나타나 외기온도와 지중온도의 영향을 받아 지하로 내려갈수록 내표면온도가 뚜렷이 상승하는 것으로 나타났다. 특히, 바닥면에서의 온도는 평균 내표면온도 보다 3.2 K 정도 높은 것으로 나타나 지중열의 대부분이 지하구조체의 바닥에 영향을 미치는 것으로 분석된다.

온도편차 및 최고·최저온도의 차이도 지하깊이로 갈수록 적은 차이를 보이는 것으로 파악되었다.

한편, 지하공간내의 평균 실내온도는 $13.9 \pm 1.10^\circ\text{C}$ 로 나타나 내표면의 평균온도 $13.6 \pm 0.45^\circ\text{C}$ 와 매우 유사한 값을 보이고 있다. 이를 수직높이에 따라 발생한 내표면 온도와 비교해보면 지하 1.70m에서는 0.5 K 낮게 나타났으며, 지하 1.25m에서는 0.1 K, 지하 0.8m에서는 1.3 K 높게 나타났다. 이는 지하 1.25m를 기준으로 하부 측에서는 열을 취득하는 부위로, 상부 측에서는 열을 손실하는 부위인 것을 의미한다. 이는 지하공간에서 형성되는 실내온도에 따라 달라질 수 있으나 동일한 지하공간 내에서도 실내온도를 기준으로 열을 취득하는 부위와 손실하는 부위가 동시에 존재할 수 있다는 것을 의미하는 것이다.

그림 5는 단열재를 설치하지 않은 지하구조체

의 내·외표면온도의 변화를 수직높이별로 비교한 것이다. 각 측정점에서 수직깊이별로 온도가 상승하는 경향을 보이고 있지만 지하구조체의 평균 내·외표면의 온도차는 0.9 K 이내로 큰 차이를 보이지 않는 것으로 파악되었다.

그리고, 지하공간과 동일한 높이에서 측정된 3 지점의 평균 지중온도가 8.3°C 임을 비추어볼 때, 지하구조체에서는 일정한 열이 지속적으로 지중으로 손실되고 있는 것으로 파악되었다. 따라서 본 실험의 측정결과에서는 지하구조체에서 지중으로 손실되는 열에 대한 단열화 방안이 필요한 것으로 분석된다.

한편, 그림 6은 본 실험을 위한 지하공간의 상부층에 위치한 지상공간에 대한 구조체 및 외부환경에 대한 온도분포를 나타낸 것이다.

지상층에서 나타나는 구조체의 내외표면온도는 외부온도 등의 외기환경의 영향을 직접 받아 심한 온도변동을 나타내고 있다.

한편, 같은 높이에서 측정된 지표면의 온도와 지표면과 구조체가 접한 지표면 모서리의 온도를 비교해 보면, 지표면온도가 평균 0.7°C 인 반면에 모서리의 온도는 평균 6.9°C 로 나타나 모서리에서의 온도가 6.2 K 높은 것으로 조사되었다. 이것은 건물에서 발생하는 열이 모서리부분을 통해 손실되어 지표면 주변의 온도를 상승시키는 것으로 판단된다.

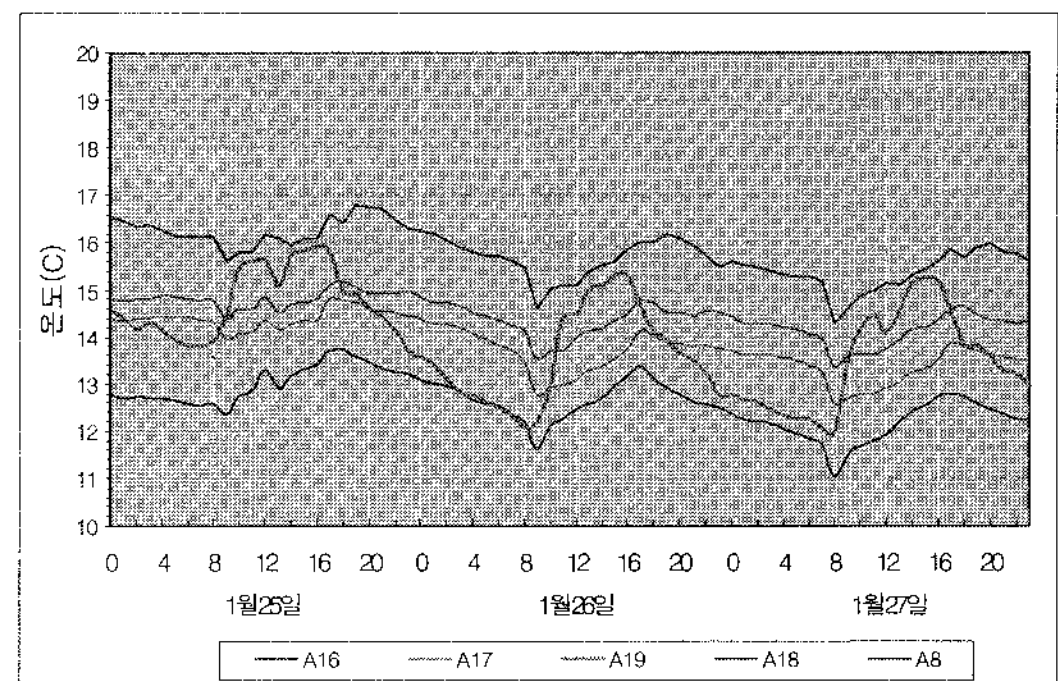


Fig. 4 수직높이별 내표면온도의 변화(모델 A)

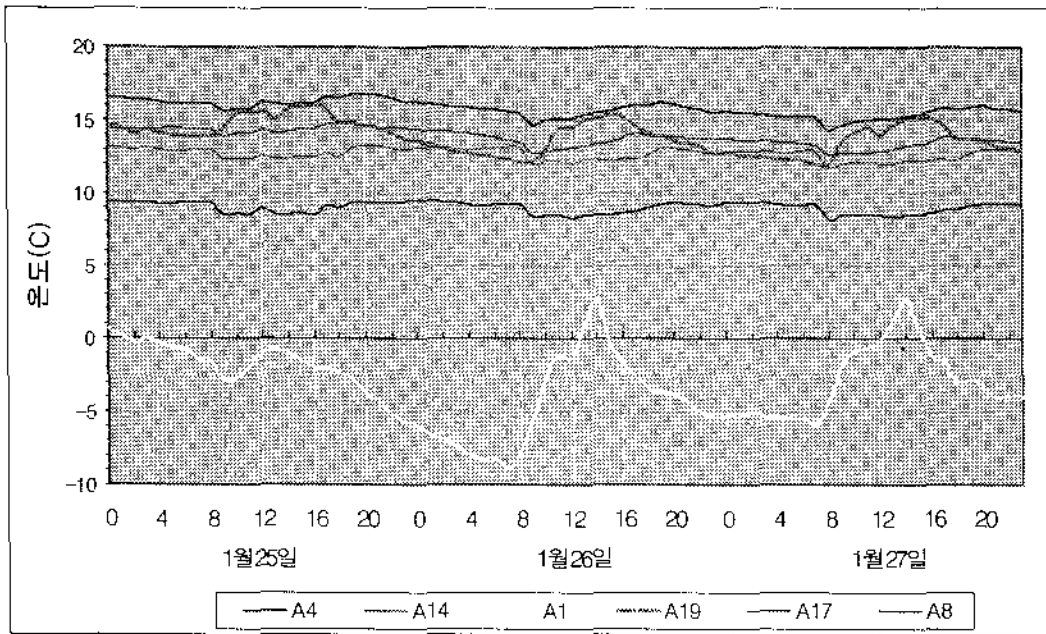


Fig. 5 구조체 내·외벽표면온도의 변화 (모델 A-1.25m)

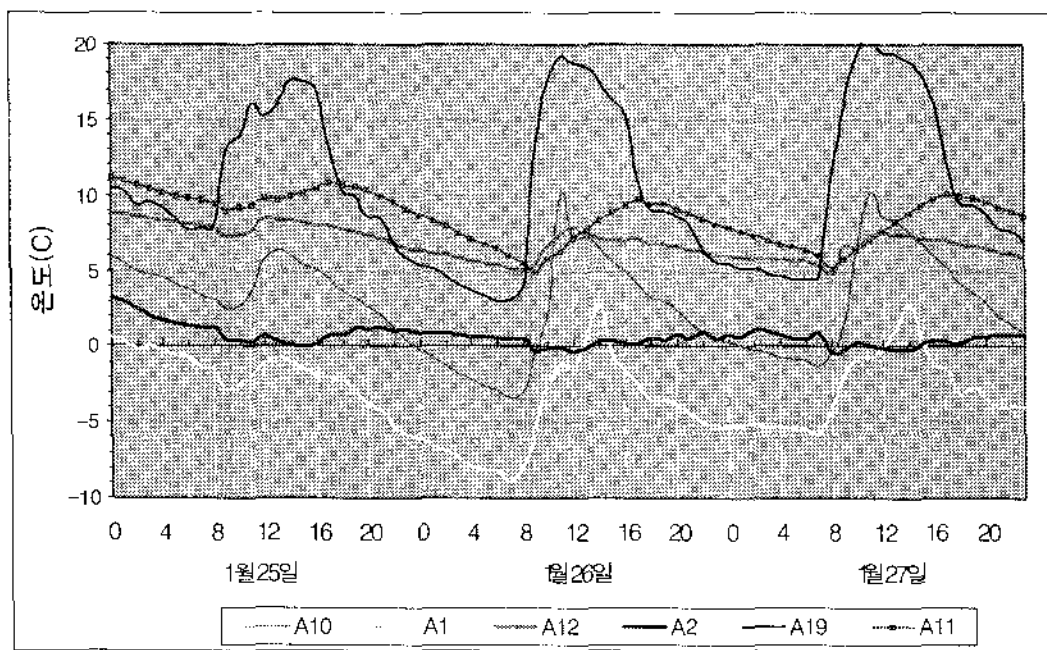


Fig. 6 지상공간 구조체의 표면온도 분포

3.2 단열재를 지하외벽체에 일부만 설치한 구조 (모델 B)

본 측정모델은 단열재를 지표면부근의 구조체에서 아래로 1.2m 깊이까지 구조체의 외부에 단열재를 설치한 경우에 나타나는 열적 특성을 분석한 것이다. 그림 7은 단열재를 일부 설치한 지하구조체에 대한 내표면온도의 변화를 수직높이별로 비교한 것이다.

내표면온도는 지하공간 전체의 영향을 받아 온도편차가 비교적 적은 양상을 보이고 있다. 평균 내표면온도는 지하 0.8m에서 $14.1 \pm 0.42^\circ\text{C}$ 로 나타났으며, 지하 1.25m에서 $14.8 \pm 0.28^\circ\text{C}$, 지하 1.70m에서 $15.9 \pm 0.50^\circ\text{C}$ 로 나타났다.

한편, 측정기간에 나타난 지하 내표면의 전체 평균온도는 14.9°C 로 나타나 단열재가 설치되지

않은 모델 A의 지하 내표면의 전체평균온도 13.4°C 와 비교해 볼 때, 1.5 K의 온도가 높게 형성되는 것으로 분석되었다. 이는 지하구조체에서 외기의 영향을 받아 상대적으로 열손실이 많은 지표면부근으로 단열재를 설치함으로써 지하 내표면의 전체적인 평균온도가 상승한 것으로 판단된다.

그림 8은 모델 B의 지하 0.8m높이를 기준으로 측정된 지하구조체 내·외벽 표면온도와 주변 지하온도에 대한 시간별 변화를 비교한 것이다.

각 측정점에서 단열재의 내부측 온도가 13.5°C , 단열재 외부측 온도가 10.7°C 로 온도차가 2.8 K로 나타나 단열재에 의해 온도차단효과를 보이는 것으로 파악되었다. 또한 각 측정점에서 나타난 평균온도는 지하온도 10.3°C , 단열재 외표면온도 10.7°C , 구조체 외표면온도 13.5°C ,

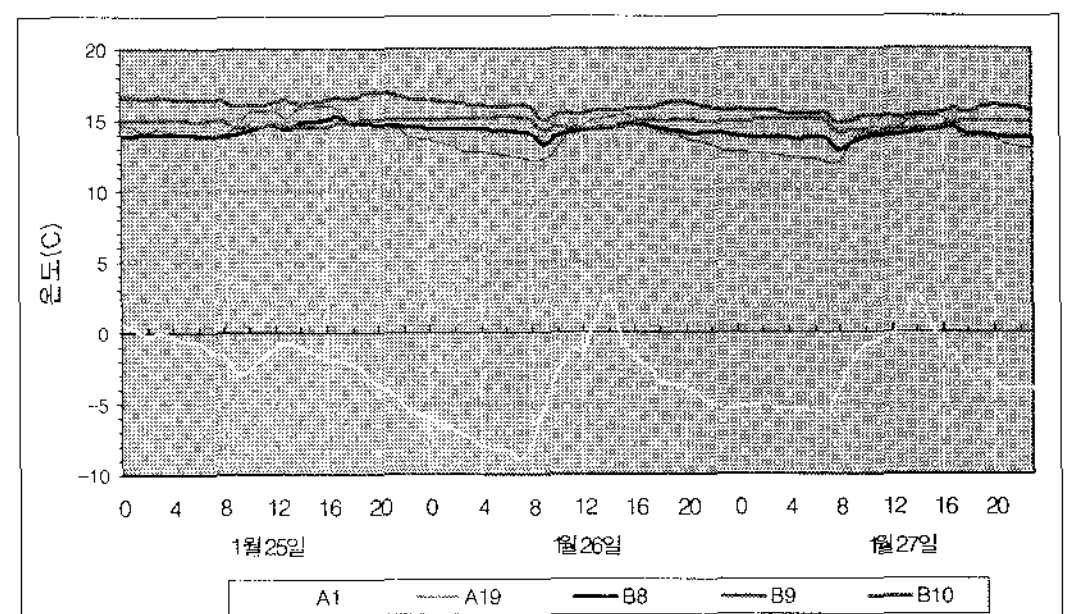


Fig. 7 수직높이별 내표면온도의 변화(모델 B)

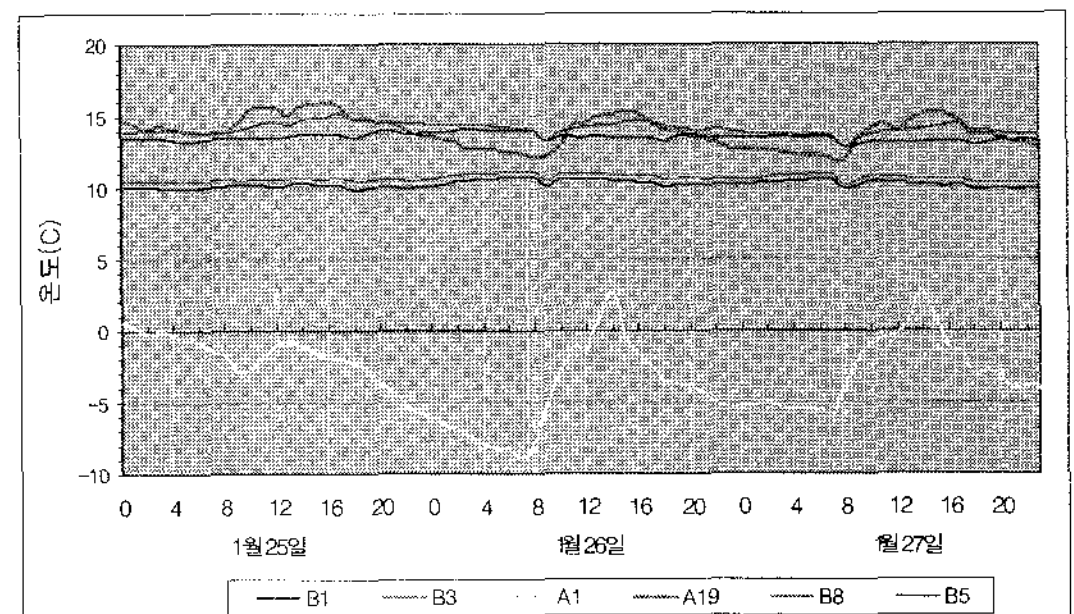


Fig. 8 단열재에 의한 구조체 내·외벽표면온도의 변화(모델 B-0.8m)

구조체 내표면온도 14.1°C의 순으로 높아지고 있어 지하 0.8m 지점에서는 지표면으로 열손실이 발생하는 위치인 것으로 분석된다.

그림 9는 모델 B의 지하 1.25m높이를 기준으로 측정된 지하구조체 내·외벽 표면온도와 주변 지중온도에 대한 시간별 변화를 비교한 것이다.

이 지점에서도 단열재 내외의 온도차가 2.2 K로 나타나 단열재에 의해 뚜렷한 온도차단효과를 보이는 것으로 파악되었다. 각 측정점에서 나타난 평균온도는 지하온도 9.9°C, 단열재 외표면온도 11.5°C, 구조체 외표면온도 13.7°C, 구조체 내표면온도 14.8°C의 순으로 높아지고 있어 지하 1.25m 지점에서도 지표면으로 열손실이 뚜렷이 발생하고 있으며, 지하 0.8m 지점보다는 전체 측정점에서의 온도가 약간 높은 상태를 유지하고 있다.

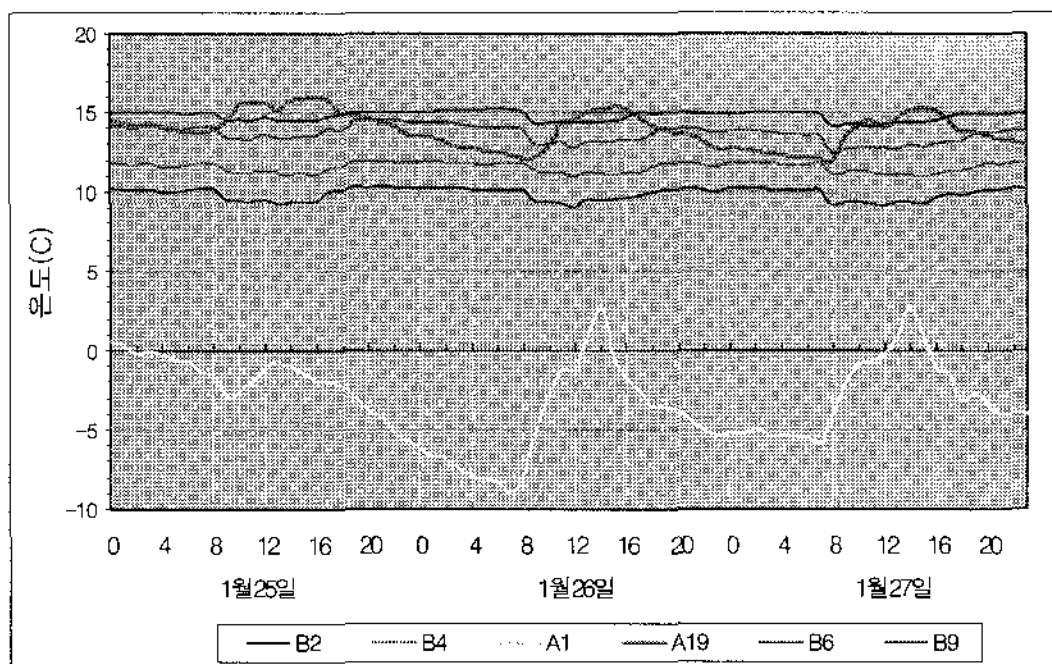


Fig. 9 단열재에 의한 구조체 내·외벽표면온도의 변화(모델B-1.25m)

3.3 단열재를 지하외벽체에 전부 설치한 구조 (모델 C)

본 측정모델은 단열재를 지표면부근의 구조체에서 지하 1.7m깊이까지 지하공간의 바닥면까지 구조체 외부에 단열재를 설치한 경우에 대한 열적 특성을 분석한 것이다. 그림 10은 모델 C에 대한 내표면온도의 변화를 수직높이별로 비교한 것이다.

내표면온도는 지하공간 전체의 영향을 받아 온도편차가 비교적 적은 양상을 보이고 있다. 평균 내표면온도는 지하 0.8m에서 14.1±0.42°C로 나타났으며, 지하 1.25m에서 14.5±0.39°C, 지하 1.70m에서 15.8±0.97°C로 나타났다.

한편, 측정기간에 나타난 지하 내표면의 전체 평균온도는 14.8°C로 나타나 단열재가 설치된 구조와 유사한 온도대를 형성하는 것으로 분석되었다.

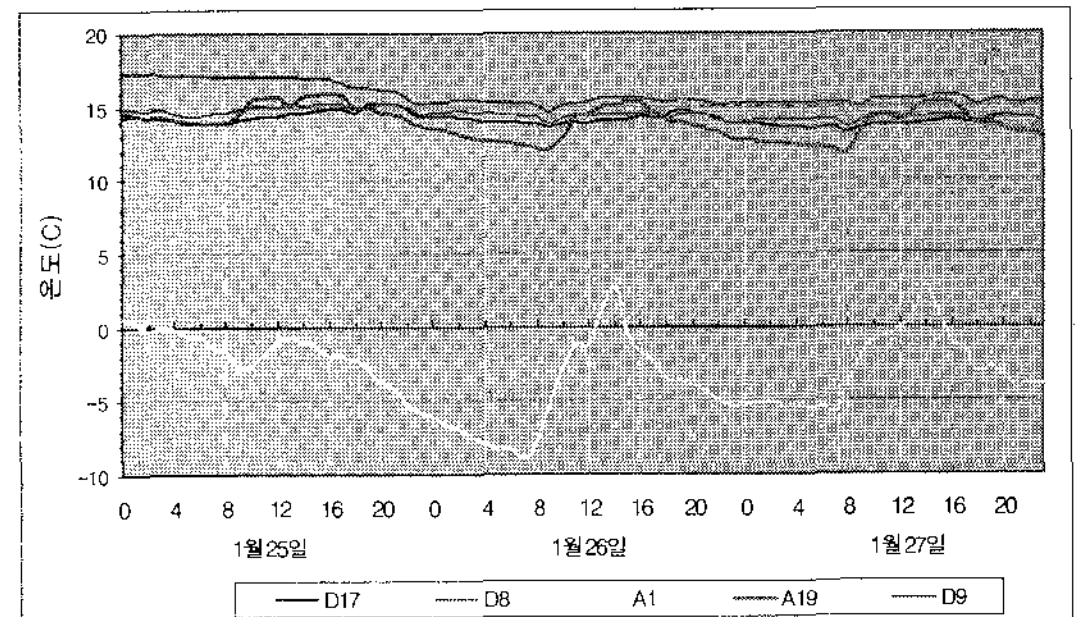


Fig. 10 수직높이별 내표면온도의 변화(모델 C)

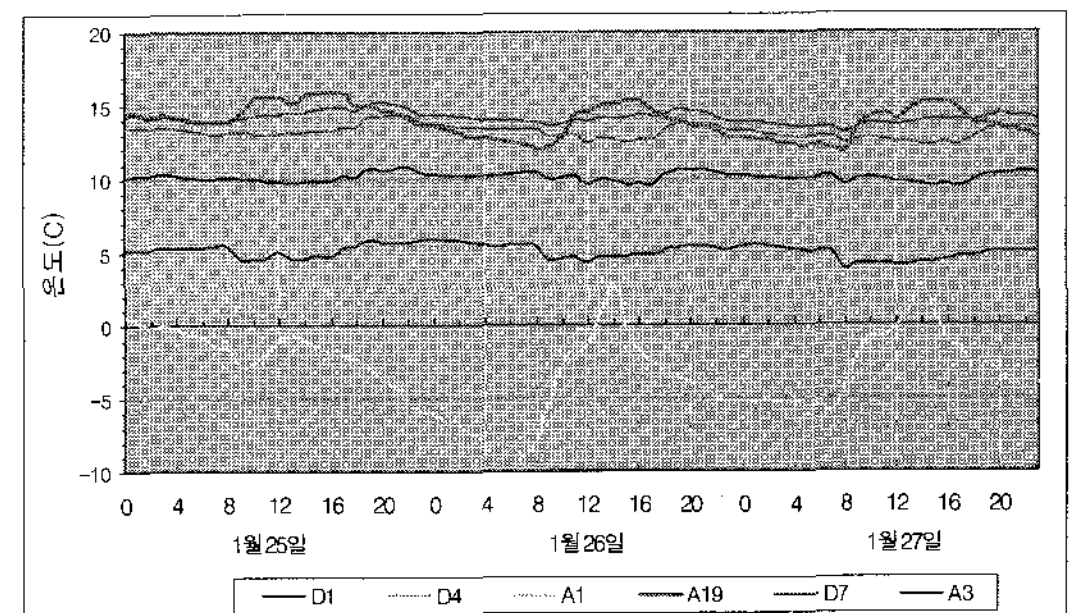


Fig. 11 단열재에 의한 구조체 내·외벽표면온도의 변화(모델 C-0.8m)

그림 11은 모델 C의 지하 0.8m높이를 기준으로 측정된 지하구조체 내·외벽 표면온도와 주변 지중온도에 대한 시간별 변화를 비교한 것이다.

각 측정점에서 나타난 평균온도는 단열재 외표면온도 10.1°C, 구조체 외표면온도 13.2°C, 구

조체 내표면온도 14.1°C 순으로 높아지고 있다.

그림 12는 모델 C의 지하 1.25m높이를 기준으로 측정된 지하구조체 내·외벽 표면온도와 주변 지중온도에 대한 시간별 변화를 비교한 것이다.

각 측정점에서 나타난 평균온도는 단열재 외표면온도 11.1°C, 구조체 외표면온도 13.8°C, 구조체 내표면온도 14.5°C의 순으로 높아지고 있어 지하 1.25m 지점에서도 지표면으로 열손실이 뚜렷이 발생하고 있다.

그림 13은 모델 C의 지하 1.70m높이를 기준으로 측정된 지하구조체 내·외벽 표면온도와 주변 지하온도에 대한 시간별 변화를 비교한 것이다.

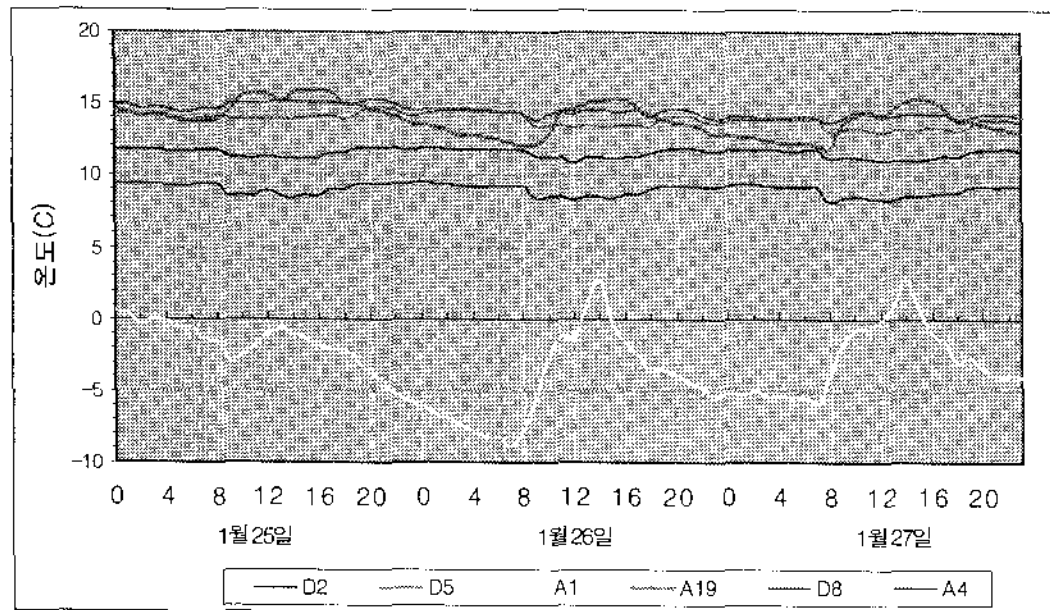


Fig. 12 단열재에 의한 구조체 내·외벽표면온도의 변화(모델 C-1.25m)

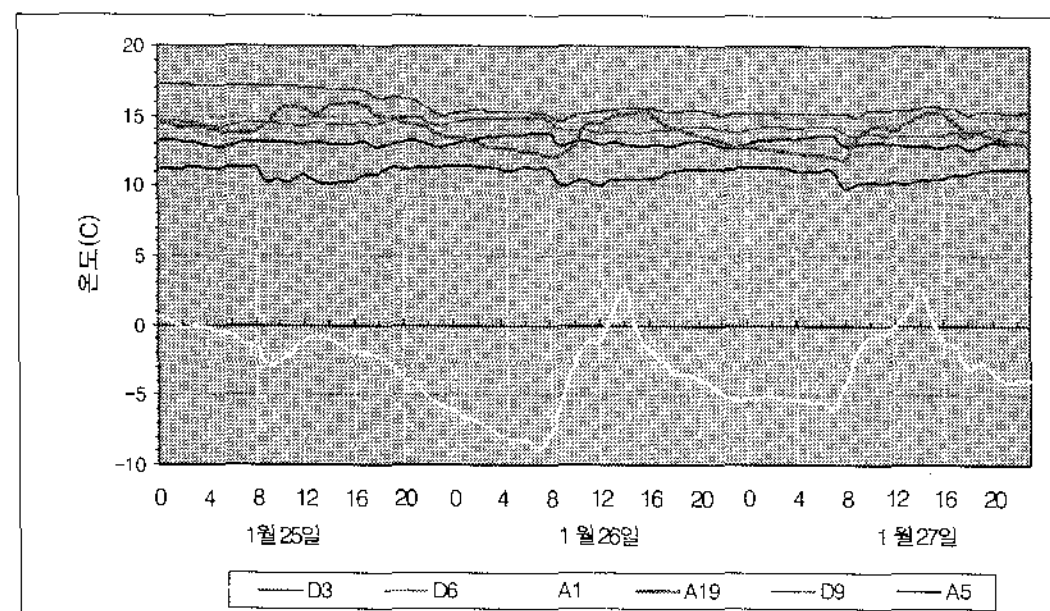


Fig. 13 단열재에 의한 구조체 내·외벽표면온도의 변화(모델 C-1.7m)

각 측정점에서 나타난 평균온도는 단열재 외표면온도 13.1°C, 구조체 외표면온도 14.3°C, 구

조체 내표면 온도 15.8°C의 순으로 높아지고 있으며 지중열의 영향으로 전체적으로 가장 높은 측정점온도를 유지하고 있는 것으로 나타났다.

각 측정점에서 단열재의 내부측 평균온도가 13.8°C, 단열재 외부측온도가 11.6°C로 온도차가 2.2 K의 온도차를 보이고 있다.

3.4 각 실험모델간의 비교

각 모델간의 온도특성을 비교하기 위해 구조체의 평균 내표면온도를 산출해본 결과를 표 2에서 보면, 단열재를 설치한 모델 B, C에서는 내표면온도가 14.8°C~15.0°C로 비교적 균일하게 나타난 반면, 단열재를 설치하지 않은 모델 A에서는 13.6°C로 단열재를 설치한 모델과 약 1.2 K 이상의 온도차를 보이고 있다. 이는 지하 구조체에 설치한 단열재가 지하공간에서의 열손실을 차단하는 역할을 하는 것으로 판단다.

또한, 각 모델에서 구조체 외측의 평균온도는 지하 0.8m에서는 모델A가 11.7°C로 나타났으며, 모델B가 13.5°C, 모델C가 13.2°C이며, 지하 1.25m에서는 모델A가 12.7°C로 나타났으며, 모델B가 13.7°C, 모델C가 13.8°C로 나타났다.

유형별로 단열재를 설치한 모델간에 온도차가 크게 나타나지 않은 것은 지하 일정깊이 이상에서는 단열재의 성능이 큰 효과를 보이지 않는다고 볼 수 있다.

Table 2. 모델별 지하벽체의 평균 표면온도

구 분	모델 A	모델 B	모델 C
내 표 면	13.6	14.8	15.0
지하외표면 0.8m	11.7	13.5	13.2
지하외표면 1.25m	12.7	13.7	13.8
지하외표면 1.7m	13.6	14.0	15.1

4. 결론

본 연구는 지하외벽체에 대한 단열유형별 열적 현상을 평가하기 위해 현장 모델실험을 실시하였으며 결과를 요약하면 아래와 같다.,

1. 단열재를 설치한 모델의 내표면온도는 비교적 균일하게 나타났다. 단열재를 설치하지 않은 모델에서는 단열재를 설치한 모델과 온도차가 나타났으며, 이는 지하 구조체에 설치한 단열재가 지하공간에서의 열손실을 차단하는 역할을 하는 것으로 해석할 수 있다.
2. 각 모델의 구조체 외측의 평균온도는 지하로 내려 갈수록 온도차가 나타나지 않았다. 또한, 단열재를 설치한 모델간에 온도차가 크게 나타나지 않은 것은 지하 일정깊이 이상에서는 단열재의 성능이 큰 효과를 보이지 않는다고 볼 수 있다.
3. 따라서 지하공간에서는 기상조건 및 건물조건을 고려하여 지하구조체 부위의 지하 일정깊이까지는 단열설계·시공이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

그러나 본 연구는 지하외벽체의 단열에 대한 기초적인 결과만을 제시한 것이다. 향후 시뮬레이션을 통해 보다 구체적이고 다양한 자료를 도출하기 위해 나아갈 계획이다.

후 기

본 연구는 2001년도 삼척대학교 학술연구비의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김태웅, 유호천, 주거 냉난방용 지열에너지 이

용효과에 관한 연구, 대한건축학논문집 제13권2호 통권100호, 1997. 2

2. 유신환, 박승익, 이상혁, 박효순, 이 훈, 지면에 접하는 건물 구조체의 열손실에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제19권 제2호, 1999. 10. 30
3. Beckerman, J.D. Sale, Measurement and prediction of insulated and uninsulated basement wall heat losses in a heating climate, ASHRAE Transaction Volume 87, part 1, 1987
4. Charlic, Huizenga, Dragan Curcija, THERM 2.0 for Analyzing Two-Dimensional Heat Transfer Through Building Products, Lawrence Berkeley National Laboratory, 1998. 6
5. E.H. Perry, Ph.D.; G.T. Cunningham,; S.Seesa, Ph.D.; An Anaiysis of Heat Losses Through Residential Floor Slabs, ASHRAE Trans. Vol.92, 1986
6. G.P. Mitalas, Calculation of below-grade residential heat loss: low-rise residential building, ASHRAE Transaction Volume 87, part 1, 1987
7. L.S. Shen, J. Poliakova, Y.j. Huang, Calculation of building foundation heat loss using superposition and numerical scaling, ASHRAE Transactions Volume 88, part 2, 1988
8. California Energy Commission, Residential Manual for Compliance with the 1998 Energy Efficiency Standard, 1999. 7
9. 財團法人住宅·建築省エネルギー機構, 次世代省エネルギー基準セミナーテキスト, 1999. 4
10. 日本 建設省 建築研究所, 住宅性能 総合評價システムの 開發研究報告書