

지하층 구조체의 단열재 설치방법에 따른 열전달 특성

이 재 윤[†], 조 동 우^{*}

삼척대학교 건축학과, *한국건설기술연구원

Thermal Characteristics with Various Thermal Insulation Types in Basement Structures

Jae-Yoon Lee[†], Dong-Woo Cho^{*}

Department of Architecture, Samchok National University, Samchok 245-711, Korea

*Building Division, Korea Institute of Construction Technology, Koyang 411-712, Korea

(Received August 6, 2003; revision received September 22, 2003)

ABSTRACT: This study is to analyze thermal characteristics of the basement structures with a non-thermal insulation and various thermal insulations. From the results through the field experiments and computer simulations, the thermal bridges and heat loss is found in non-insulation structure of the basement under the definite depth of ground level. Therefore, the thermal insulation structure should be installed for preventing the heat loss in the basement.

Key words: Basement structure(지하층 구조체), Thermal insulation(단열)

1. 서 론

건축물은 지표면을 기준으로 지상공간 및 지하공간 구조체로 크게 나눌 수 있다. 지상의 건축물은 기후변화에 의한 환경적 영향을 직접 받으며, 지면 아래에 매립된 지하공간 및 지하층 구조체는 지상의 기후환경과 지중의 환경변화의 영향을 동시에 받게 된다. 따라서 지하층은 지상층의 공간보다 열적으로 복잡한 특성을 나타내게 된다. 일반적으로 지중온도는 지상의 외기온도 변화에 대해 비교적 안정적이고 계절적인 변화현상이 적은 것으로 알려져 있다. 또한 연중 변화폭이 적은 지중온도에 의해 지중공간은 하기에는 서늘하고 동기에는 따뜻한 조건을 유지할 수 있어 에너지 절약적인 효과를 볼 수 있는 것으로 알려져 있다.

그러나 건축물의 지하층 구조체는 주위의 흙에 함유된 수분의 영향을 많이 받게 되며 지상의 기후환경에 간접적인 영향을 받아 지상에 있는 구조체에 비해 열성능을 포함한 각종 환경적 특성이 불균일하게 나타난다. 형상이 동일한 지하구조체 내부의 온도는 지상부분에서부터 지하 깊숙히 매립된 위치로 이동하면서 열적인 분포를 달리하게 된다. 이러한 현상은 구조체의 물리적 특성에 직접적인 영향을 미칠 수 있으며 구조체의 균열 및 하자의 발생 가능성을 높게 된다.

최근, 지하층을 거주공간으로 이용하는 건축물이 늘어남에도 불구하고 종래의 방법으로 설계가 이루어지고 있어 지하공간의 환기부족, 지하구조체를 통한 습기이동 및 접합부의 부실시공 등에 따른 결로 등의 하자발생의 위험성도 우려된다. 한편 최근 건물의 지상부분 단열성능이 향상되면서 건물의 전체 손실열량 중에서 지중을 통한 손실열량이 차지하는 비중이 상대적으로 증가하고 있으나 지상에 비해 환경적으로 복잡한 지하공간 및 지하구조체에 대한 연구는 상대적으로 적은

[†] Corresponding author

Tel.: +82-33-570-6593; fax: +82-33-570-6599

E-mail address: jy3028@hanmail.net

실정이다. 여기서, 본 연구는 지하층 구조체를 대상으로 열손실의 경로 등의 문제점을 파악하고 무단열 지하구조체인 경우와 단열제의 설치유형에 따라 나타나는 열적 특성을 현장 모델실험과 시뮬레이션을 통하여 분석하여 지하층 구조체의 단열설계를 위한 기초 자료를 제시하는 것을 목적으로 한다.

한편, Yoon et al.⁽¹⁾은 지하공간에서의 결로를 주택을 대상으로 분석하였고, Jeong⁽²⁾은 지하공간 이용을 위한 지중온도 해석을 구조물의 유무에 따라 지중온도를 해석하였다. Jeong and Park⁽³⁾은 지하구조물이 있는 정상상태의 해석에서 단열경계까지의 거리를 설정하였다.

또한, Yu et al.⁽⁴⁾은 지면과 접하는 건물구조체를 대상으로 바닥을 통한 열흐름을 정상상태와 비정상상태에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 단열방법에 따른 열손실 및 실내 온도분포를 분석하여 단열제의 필요성 및 효과적인 단열방안을 연구하였다.

2. 실험내용 및 방법

2.1 실험개요

본 연구는 지하층 구조체의 열적 특성을 평가하기 위해 현장모델 실험을 통하여 지하층 구조체의 단열제 설치유형별로 온도 및 열류 경향을 분석한다. 이를 위해 기존건물을 대상으로 일반적으로 시공되고 있는 무단열 지하구조체인 경우와 여러 가지 형상으로 단열처리된 지하구조체인

경우에 대한 전열 특성을 분석한다.

2.2 실험내용 및 방법

2.2.1 실험대상 개요

본 연구의 모델실험은 기존의 건물을 실험대상 모델로 하였고, 실험대상 모델건물은 정남향으로 위치한 학교 건물이며 1층은 실험실로 사용되고 있다. 건물의 지하층은 콘크리트 구조로 높이 2m, 폭 2m, 길이 20m의 긴 공간을 구성하고 있으며, 지표면 위로 지하구조체가 0.5m 정도 노출된 구조로 되어 있다.

실험모델의 단열제 설치유형은 단열제 유무에 따른 비교를 위해 모델 A는 기존의 단열처리가 되지 않은 지하구조체이며, 모델 B는 외기의 영향을 많이 받는 지표면 부근의 상부구조에서부터 아래로 1.2m까지 단열제를 설치한 구조체이다. 모델 C는 열류의 흐름과 동일한 방향으로 45도의 각도를 두어 1.2m의 단열제가 설치된 구조체이고, 모델 D는 단열제가 지하구조 하단까지 설치된 구조체로 4가지의 유형으로 구분하였다.

2.2.2 실험장치

본 모델실험을 위해 건물 외부의 지하 벽체가 위치한 지표면에서부터 깊이 3m, 폭 3m, 너비 16m의 크기로 건물 지하구조부의 흙을 파내고, 측정을 위한 온도센서를 각 측정점 위치에 매입하였다. 한편 지하구조체에 4m 간격으로 4개의 실험모델 구조에 맞도록 단열형상별로 단열제를 센서와 함께 부착하고 흙을 다시 매립하는 방법

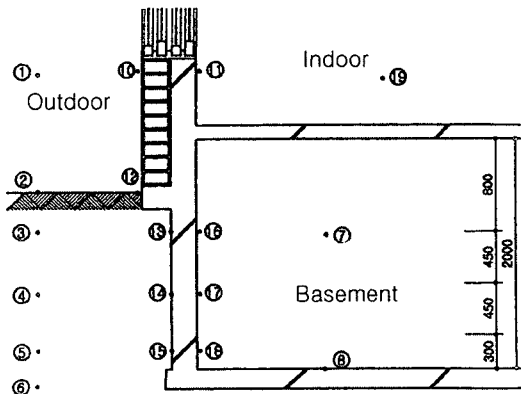


Fig. 1 Section and measurement points of Model A.

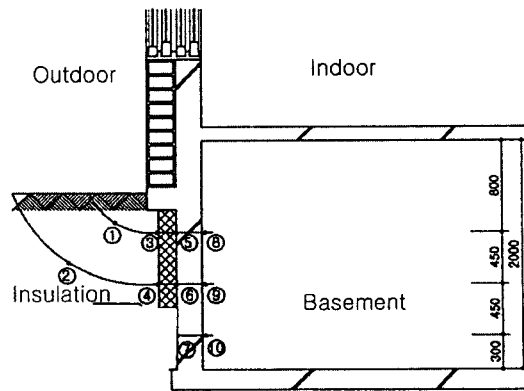


Fig. 2 Section and measurement points of Model B.

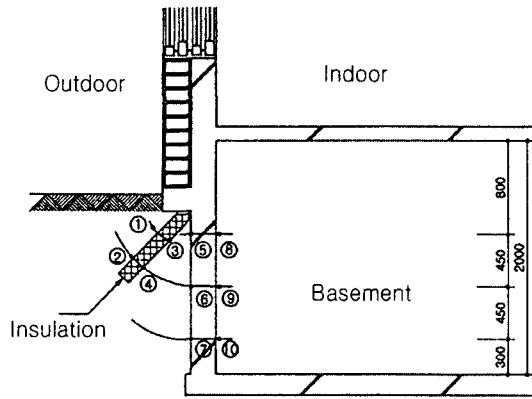


Fig. 3 Section and measurement points of Model C.

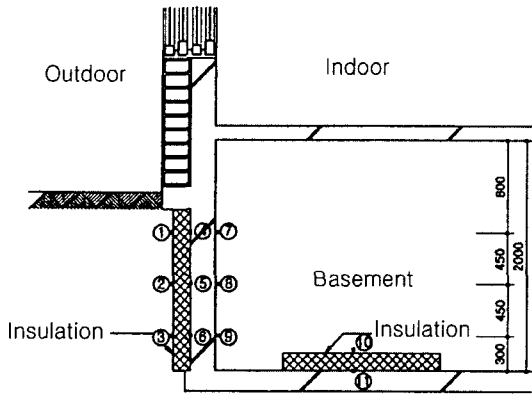


Fig. 4 Section and measurement points of Model D.

으로 실물실험 구조를 구성하였다.

또한, 지하 외벽에 시공한 단열재의 연결부분에는 테이프, 단열재용 접착제, 분사식 단열 폼등을 이용하여 틈이 발생하지 않도록 밀실 단열 시공 조치를 하였다.

이때 각 모델 간에 열적인 영향을 받지 않도록 하기 위해 100 mm 두께의 단열재로 각 모델 간을 구획하였다. 또한 지하 외벽체에 부착된 단열재는 흠에 함유된 습기문제를 고려하여 방습필름으로 감싸도록 하여 장기간의 실험시에도 습기가 침투하는 등의 영향을 받지 않도록 하였으며, 온도센서는 감지부분을 본드로 처리하여 습기에 의해 발생될 문제를 최대한 배제하였다.

모델실험 구조는 기존의 흠을 파내고 다시 매립하는 방식으로 이루어졌기 때문에 흠이 다시



Fig. 5 Installation of thermal insulations in the basement structure.

충분히 다져질 수 있는 기간을 고려하여 약 4개월의 기간을 예비실험기간으로 진행하였으며, 이후 약 6개월간 본 실험을 진행하였다.

Fig. 1~4는 단열유형별 지하단면구조와 온도측정점 위치를 나타낸 것이다. 측정항목은 지하층과 지상층의 실내온도, 외기온도, 지표면온도 및 지하깊이별 지하온도를 측정하였다. 또한 모델별로 지하구조체의 내외표면온도, 바닥구조체 내표면온도 및 단열재의 내외표면온도를 측정하였다. Fig. 5는 현장 실물실험을 위한 지하구조의 단열재 설치장면을 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

본 실험은 기존에 일반적으로 시공되고 있는 무단열 구조체와 단열재의 설치방법에 따라 나타나는 지하구조체의 열적 특성을 가장 외기온도가 낮게 나타난 기간인 1월 25일부터 1월 27일의 3일간을 대상으로 시간별로 비교·분석하였다.

3.1 단열재를 설치하지 않은 구조(모델 A)

Fig. 6은 단열재를 설치하지 않은 지하구조체에 대한 내표면온도의 변화를 수직 높이별로 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 내표면온도는 지하공간 전체의 영향을 받아 온도편차가 비교적 적은 양상을 보이고 있다. 또한 평균 내표면온도의 경우 지하 0.8m에서 $12.6^{\circ}\text{C} \pm 0.56$ 으로 나타났으며 지하 1.25m에서 $13.8^{\circ}\text{C} \pm 0.53$, 지하 1.70m에서 $14.4^{\circ}\text{C} \pm 0.42$, 그리고 지하구조체의 바닥면에서 $15.8^{\circ}\text{C} \pm 0.53$ 으로 나타나 외기온도와 지중온도의 영향을 받아 지하로 내려갈수록 내표면온도가 뚜렷이 상승하는 것으로 나타났다. 특히, 바닥면에서의 온도는 평균 내표면온도보다 3.2K 정도 높은 것으로 나타나 지중열이 지하구조체의 바닥에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석된다.

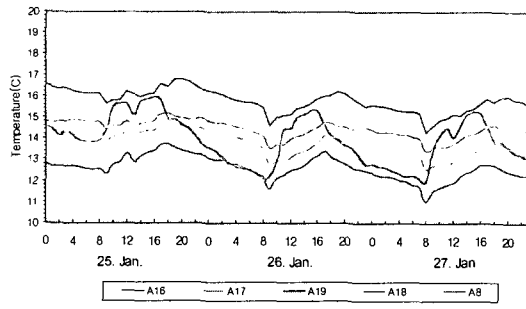


Fig. 6 Internal surface temperatures in the basement structure (Model A).

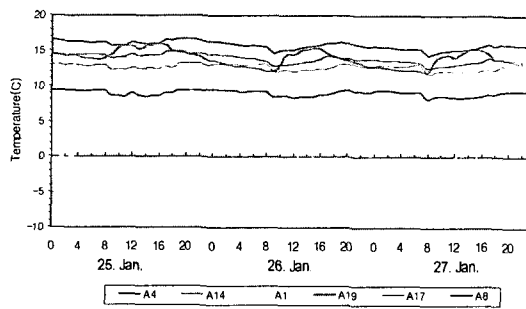


Fig. 7 Internal & external surface temperatures in the basement structure (Model A).

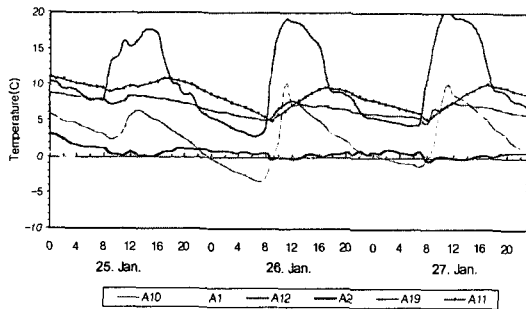


Fig. 8 Structure temperatures of in the first floor (Model A).

또한, 측정기간의 최고·최저온도의 차이 및 온도편차도 지하 깊이로 갈수록 적은 차이를 보이는 것으로 파악되었다.

한편, 지하공간 내의 평균 실내온도는 $13.9^{\circ}\text{C} \pm 1.10$ 로 나타나 내표면의 평균 온도 $13.6^{\circ}\text{C} \pm 0.45$ 와 매우 유사한 값을 보이고 있다. 이를 수직 높이에 따라 발생한 내표면온도와 비교해 보면 지하 1.70 m에서는 0.5 K 낮게 나타났으며, 지하 1.25

m에서는 0.1 K, 지하 0.8 m에서는 1.3 K 높게 나타났다. 이는 지하 1.25 m를 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 존재한다는 것을 의미하는 것이다.

Fig. 7은 단열재를 설치하지 않은 지하구조체의 내·외표면온도의 변화를 수직 높이별로 비교한 것이다. 각 측정점에서 수직 깊이별로 온도가 상승하는 경향을 보이고는 있지만 지하구조체의 평균 내·외표면의 온도차는 0.9 K 이내로 큰 차이를 보이지 않는 것으로 파악되었다.

그러나, 지하공간과 동일한 높이에서 측정된 3 지점의 평균 지중온도가 8.3°C 임을 비추어 볼 때, 지하구조체에서는 일정한 열이 지속적으로 지중으로 손실되고 있는 것으로 파악되었다. 따라서 본 실험을 통한 측정결과에서는 지하구조체에서 지중으로 손실되는 열에 대한 단열화 방안이 필요한 것으로 분석된다. 한편, Fig. 8은 지하구조체의 상부에 위치한 지상층에 대한 구조체 및 외부 환경에 대한 온도분포를 나타낸 것이다.

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

한편, 같은 높이에서 측정된 지표면의 온도와 지표면과 구조체와 지표면이 접한 모서리의 온도를 비교해 보면, 지표면온도가 평균 0.7°C 인 반면에 모서리의 온도는 평균 6.9°C 로 나타나 모서리에서의 온도가 6.2 K 정도 높은 것으로 조사되었다. 이것은 건물 내의 열이 모서리부분을 통해 손실되어 지표면 모서리 주변의 온도를 상승시키는 것으로 분석된다.

3.2 단열재를 일부에 설치한 구조(모델 B)

본 측정모델은 단열재를 지표면부근의 구조체에서 아래로 1.2 m 깊이까지 구조체의 외부에 단열재를 설치한 경우에 나타나는 열적 특성을 분석한 것이다. Fig. 9는 단열재를 일부 설치한 지하구조체에 대한 내표면온도의 변화를 수직 높이별로 비교한 것이다.

내표면온도는 지하공간 전체의 영향을 받아 온도편차가 비교적 적은 양상을 보이고 있다. 평균

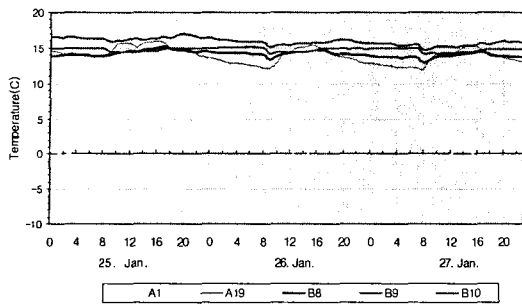


Fig. 9 Internal surface temperatures in the basement structure (Model B).

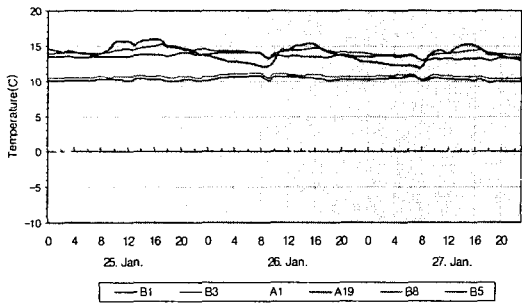


Fig. 10 Internal & external surface temperatures in the basement structure (Model B-0.8 m).

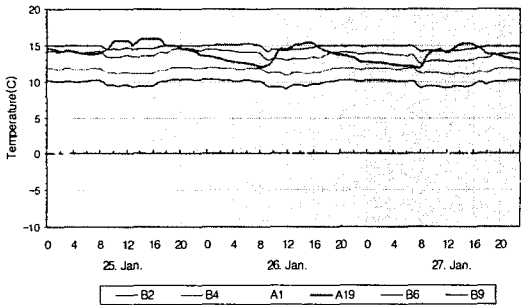


Fig. 11 Internal & external surface temperatures in the basement structure (Model B-1.25 m).

내표면온도는 지하 0.8m에서 $14.1^{\circ}\text{C} \pm 0.42$ 로 나타났으며, 지하 1.25m에서 $14.8^{\circ}\text{C} \pm 0.28$, 지하 1.70m에서 $15.9^{\circ}\text{C} \pm 0.50$ 로 나타났다.

한편, 측정기간에 나타난 지하 내표면의 전체 평균 온도는 14.9°C 로 나타나 단열재가 설치되지 않은 모델 A의 지하 내표면의 전체 평균 온도

13.4°C 와 비교해 볼 때, 1.5K 의 온도가 높게 형성되는 것으로 분석되었다. 이는 외기의 영향을 받아 열손실이 발생하는 지표면 부근의 지하구조체에 단열재를 설치함으로써 지하 내표면의 평균 온도가 상승한 것으로 분석된다.

Fig. 10은 모델 B의 지하 0.8m 높이를 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 2.8K 로 나타나 단열재에 의해 뚜렷한 온도차단 효과를 보이는 것으로 파악되었다. 또한 각 측정점에서 나타난 평균 온도는 지하온도 10.3°C , 단열재 외표면온도 10.7°C , 구조체 외표면온도 13.5°C , 구조체 내표면온도 14.1°C 의 순으로 높아지고 있어 지하 0.8m 지점에서는 지표면으로 열손실이 뚜렷이 발생하는 위치인 것으로 분석된다.

Fig. 11은 모델 B의 지하 1.25m 높이를 기준으로 측정된 지하구조체 내·외벽 표면온도와 주변 지중온도에 대한 시간별 변화를 비교한 것이다. 이 지점에서도 단열재 내외의 온도차가 2.2K 나타나 단열재에 의해 뚜렷한 온도차단 효과를 보이는 것으로 파악되었다. 각 측정점에서 나타난 평균 온도는 지하온도 9.9°C , 단열재 외표면온도 11.5°C , 구조체 외표면온도 13.7°C , 구조체 내표면온도 14.8°C 의 순으로 높아지고 있어 지하 1.25m 지점에서도 지표면으로 열손실이 뚜렷이 발생하고 있으며, 지하 0.8m 지점보다는 전체 측정점에서의 온도가 약간 높은 상태를 유지하고 있다.

3.3 단열재를 경사지게 설치한 구조(모델 C)

본 측정모델은 외부기상조건이 지하구조에 영향을 미치는 열류의 방향성을 고려하여 모델 B와 같은 길이를 갖는 1.2m의 단열재를 지하구조체와 지표면이 만나는 지점을 축으로 45° 의 기울기로 경사지게 설치한 경우에 나타나는 열적 특성을 분석한 것이다.

Fig. 12는 단열재를 일부 설치한 지하구조체에 대한 내표면온도의 변화를 수직 높이별로 비교한 것이다.

내표면온도는 지하공간 전체의 영향을 받아 온도편차가 비교적 적은 양상을 보이고 있다. 평균 내표면온도는 지하 0.8m에서 $15.1^{\circ}\text{C} \pm 0.41$ 로 나타났으며, 지하 1.25m에서 $13.9^{\circ}\text{C} \pm 0.38$, 지하 1.70

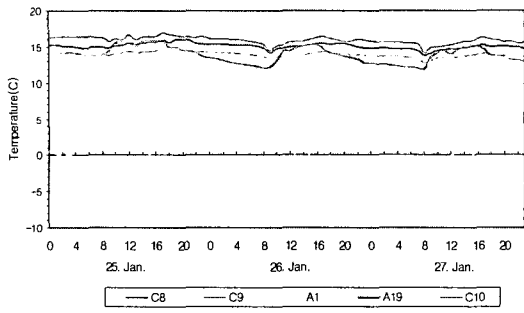


Fig. 12 Internal surface temperatures in the basement structure (Model C).

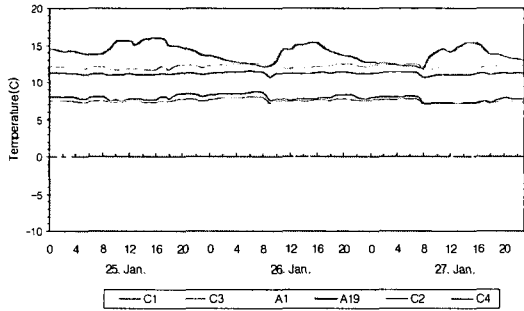


Fig. 13 Internal & external surface temperatures in the basement structure (Model C-0.8 m).

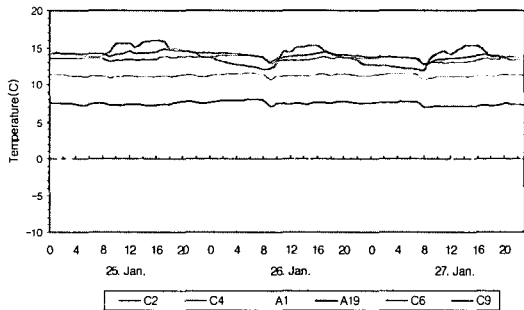


Fig. 14 Internal & external surface temperatures in the basement structure (Model B-1.2 m).

m에서 $15.9^{\circ}\text{C} \pm 0.52$ 로 나타났다.

한편, 측정기간에 나타난 지하 내표면의 전체 평균 온도는 15.0°C 로 나타나 모델 B와 같이, 단열재가 설치되지 않은 모델 A의 지하 내표면의 전체 평균 온도 13.4°C 와 비교해 볼 때, 1.6K 높게 형성되는 것으로 분석되었다. 모델 C의 측정

결과는 대체로 모델 B와 매우 일치하는 경향이 있는데, 이는 단열재를 열류의 방향과 일치한 45° 의 기울기로 설치하여 나타나는 현상인 것으로 분석된다. 따라서 지하공간에 단열재를 계획할 경우 열류의 방향을 고려하여 설치할 경우 구조체에 설치한 수준의 단열성 확보가 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 13은 모델 C의 지하 0.8 m 높이를 기준으로 측정된 지하구조체 내·외벽 표면온도와 주변 지중온도에 대한 시간별 변화를 비교한 것이다.

각 측정점에서 단열재의 내부측 온도가 12.1°C , 단열재 외부측 온도가 7.7°C 로 온도차가 4.4K 나타나 단열재에 의해 뚜렷한 온도차단 효과를 보이는 것으로 파악되었다. 또한 각 측정점에서 나타난 평균 온도는 단열재 외표면온도 7.7°C , 단열재 내표면온도 12.1°C , 구조체 외표면온도 12.9°C , 구조체 내표면온도 15.1°C 의 순으로 높아지고 있다.

Fig. 14는 모델 C의 지하 1.25 m 높이를 기준으로 측정된 지하구조체 내·외벽 표면온도와 주변 지중온도에 대한 시간별 변화를 비교한 것이다.

이 지점에서도 단열재 내외의 온도차가 3.7K 나타나 단열재에 의해 뚜렷한 온도차단 효과를 보이는 것으로 파악되었다. 각 측정점에서 나타난 평균 온도는 단열재 외표면온도 7.5°C , 단열재 내표면온도 11.2°C , 구조체 외표면온도 13.5°C , 구조체 내표면온도 13.9°C 의 순으로 높아지고 있다.

3.4 단열재를 전부 설치한 구조(모델 D)

본 측정모델은 단열재를 지표면 부근의 구조체에서 지하 1.7 m 깊이까지 지하공간의 바닥면까지 구조체 외부에 단열재를 설치한 경우에 대한 열적 특성을 분석한 것이다. Fig. 15는 모델 D에 대한 내표면온도의 변화를 수직 높이별로 비교한 것이다.

내표면온도는 지하공간 전체의 영향을 받아 온도편차가 비교적 적은 양상을 보이고 있다. 평균 내표면온도는 지하 0.8 m에서 $14.1^{\circ}\text{C} \pm 0.42$ 로 나타났으며, 지하 1.25 m에서 $14.5^{\circ}\text{C} \pm 0.39$, 지하 1.70 m에서 $15.8^{\circ}\text{C} \pm 0.97$ 로 나타났다.

한편, 측정기간에 나타난 지하 내표면의 전체 평균 온도는 14.8°C 로 나타나 모델 B, C와 유사한 온도대를 형성하는 것으로 분석되었다.

Fig. 16은 모델 D의 지하 0.8 m 높이를 기준으

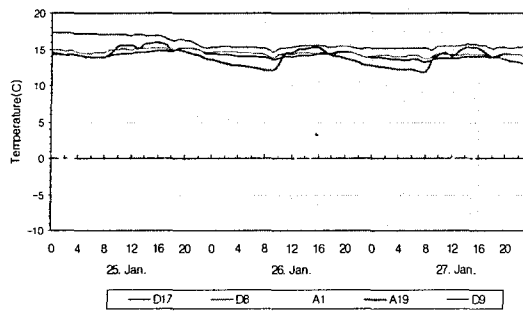


Fig. 15 Internal surface temperatures in the basement structure (Model D).

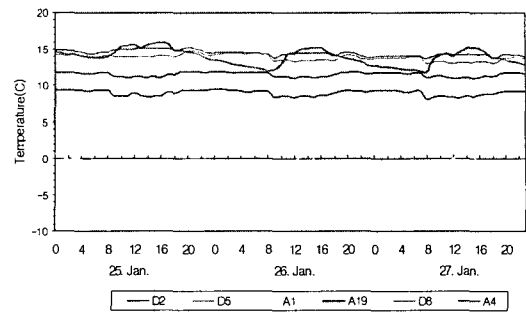


Fig. 17 Internal & external surface temperatures in the basement structure (Model D-1.25 m).

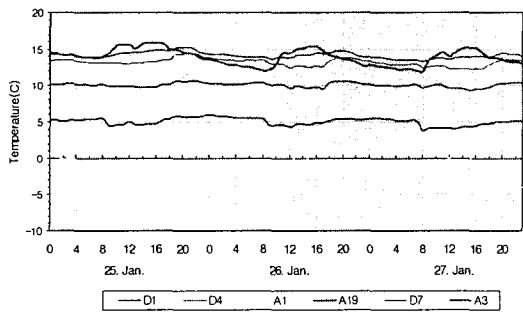


Fig. 16 Internal & external surface temperatures in the basement structure (Model D-0.8 m).

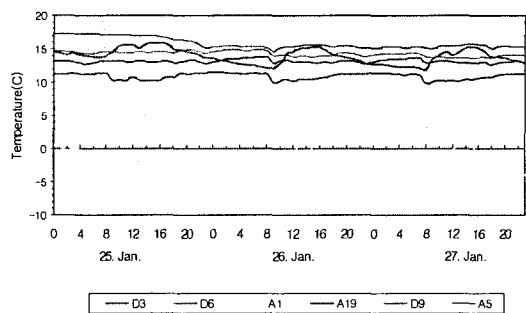


Fig. 18 Internal & external surface temperatures in the basement structure (Model C-1.7 m).

로 측정된 지하구조체 내·외벽 표면온도와 주변 지중온도에 대한 시간별 변화를 비교한 것이다.

각 측정점에서 나타난 평균 온도는 단열재 외 표면온도 10.1°C, 구조체 외표면온도 13.2°C, 구조체 내표면온도 14.1°C의 순으로 높아지고 있어 모델 B, C와 유사한 열적 특성을 보이고 있다.

Fig. 17은 모델 D의 지하 1.25m 높이를 기준으로 측정된 지하구조체 내·외벽 표면온도와 주변 지중온도에 대한 시간별 변화를 비교한 것이다.

각 측정점에서 나타난 평균 온도는 단열재 외 표면온도 11.1°C, 구조체 외표면온도 13.8°C, 구조체 내표면온도 14.5°C의 순으로 높아지고 있어 지하 1.25m 지점에서 지표면으로 열손실이 뚜렷이 발생하고 있다.

Fig. 18은 모델 D의 지하 1.70m 높이를 기준으로 측정된 지하구조체 내·외벽 표면온도와 주변 지하온도에 대한 시간별 변화를 비교한 것이다.

각 측정점에서 나타난 평균 온도는 단열재 외

표면온도 13.1°C, 구조체 외표면온도 14.3°C, 구조체 내표면온도 15.8°C의 순으로 높아지고 있으며 지중열의 영향으로 전체적으로 가장 높은 측정점 온도를 유지하고 있는 것으로 나타났다.

각 측정점에서 단열재의 내부측 평균 온도가 13.8°C, 단열재 외부측 온도가 11.6°C로 온도차가 2.2 K의 온도차를 보이고 있다.

3.5 각 실험모델간의 비교

각 모델간의 온도특성을 비교하기 위해 구조체의 평균 내표면온도를 Table 1에 나타내었다. 단열재를 설치한 모델 B, C, D에서는 내표면온도가 14.8~15.0°C로 비교적 균일하게 나타난 반면, 단열재를 설치하지 않은 모델 A에서는 13.6°C로 단열재를 설치한 모델과 약 1.2K 이상의 온도차를 보이고 있다. 이는 지하구조체에 설치한 단열재가 지하공간에서의 열손실을 차단하는 역할을 하

Table 1 Surface temperature according to Model types (Unit: °C)

Model type	A	B	C	D
Internal surface	13.6	14.8	14.7	15.0
Enternal surface-0.8 m	11.7	13.5	12.8	13.2
Enternal surface-1.25 m	12.7	13.7	13.5	13.8
Enternal surface-1.7 m	13.6	14.0	13.9	15.1

는 것으로 해석할 수 있다.

또한, 각 모델에서 구조체 외측의 평균 온도는 지하 0.8m에서는 모델 A 11.7°C, 모델 B 13.5°C, 모델 C 12.8°C, 모델 D 13.2°C로 나타났다. 지하 1.25m에서는 모델 A가 12.7°C로 나타났으며, 모델 B 13.7°C, 모델 C 13.5°C, 모델 D 13.8°C로 나타났다. 단열재를 설치한 모델 간에 온도차가 크게 나타나지 않은 것은 모델 B와 모델 C는 열류의 방향 측면에서 일치할 하고 있으며, 모델 D의 경우에서도 온도차가 나타나지 않은 것은 지하 일정 깊이 이상에서는 단열재의 성능이 큰 효과를 보이지 않는 것으로 해석할 수 있다.

4. 지하구조체에 대한 시뮬레이션

4.1 분석대상 모델의 설정

본 연구에서는 지하구조체의 열해석을 위해 미국 Lawrence Berkeley Laboratory에서 개발된 2차원 열전달 해석 프로그램인 THERM 2.0을 이용하기로 한다.

THERM 프로그램을 수행하기 위해서는 먼저

지하구조체와 지중의 조건을 설정할 필요가 있다. 본 연구에서는 해석을 위한 모델은 지하 깊이 5.0m, 폭 7.0m의 지중단면에 실험대상 지하구조체가 위치하는 형태로 분석모델을 설정하였다.

분석모델에 대한 격자체계는 THERM의 자동 격자 생성 프로그램에 의해 자동으로 구축된다. 모델해석을 위해 필요한 경계조건을 설정하기 위해 실내온도 및 외기온도는 측정기간에 실측된 자료를 이용하였으며, 지하 5m 깊이에서의 지중온도는 기상대에서 측정된 자료를 이용하였다.

한편, 본 연구의 분석모델에 대하여 시뮬레이션에 필요한 조건들에 대하여 다음과 같은 가정 조건을 설정하였다.

- (1) 건물구조체와 외기 및 지중환경과의 열전달은 정상상태 조건(steady state condition)으로 가정한다.
- (2) 건물구조체에 사용된 재료 및 흙의 구성층 내에서의 물성은 동일하다.
- (3) 경계조건에 설정된 온도는 일정하다.

4.2 시뮬레이션 결과분석

실험대상 지하구조체에 대하여 계산모델을 설정하여 단열재 설치유형에 의한 각 모델의 온도 분포를 분석하였다.

Fig. 19와 Fig. 20은 모델 C에 대한 시뮬레이션 결과의 온도분포, 열류 방향 및 분포를 나타낸 것이다. 모델 전체적으로 외벽체와 지면이 만나는 부분을 중심으로 열교현상으로 인해 많은 열 손실이 발생하고 있는 것으로 나타났다. 또한 이 부분을 중심으로 원형의 형태로 열류의 방향이

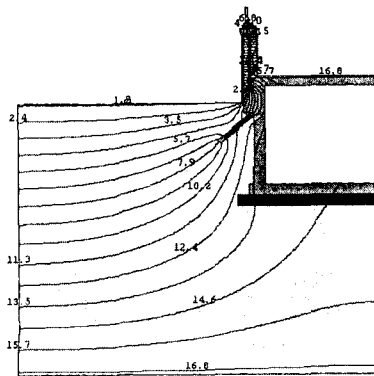


Fig. 19 Temperature distribution of Model C.

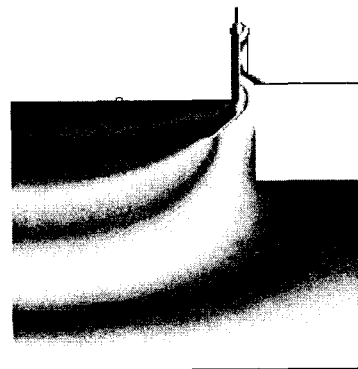


Fig. 20 Heat flow of Model C.

Table 2 Heat loss coefficients according to Model types (Unit: W/m²K)

Location (cm)	Model A	Model B	Model C	Model D
0~20	0.85	0.87	0.88	0.87
20~40	1.20	1.20	1.21	1.21
40~60	1.04	0.94	0.96	0.95
60~80	0.77	0.55	0.59	0.54
80~100	0.57	0.34	0.39	0.31
100~120	0.43	0.30	0.31	0.21
120~140	0.35	0.32	0.27	0.17
140~160	0.30	0.32	0.25	0.18
160~180	0.27	0.31	0.25	0.26
Average	0.642	0.572	0.566	0.522

형성되고 있다. 전체적으로 온도분포는 실측치와 ±1.5K 이내에서 오차를 보이고 있는 것으로 분석되었다. 이와 같은 오차는 주로 지표면 부근에서 발생을 하고 있는데 이와 같은 이유로는 지중 및 지하구조를 정상상태로 가정을 하여 발생한 것으로 판단된다.

또한, 모델별 지하구조체에서의 열손실계수를 Table 2와 Fig. 21에 나타내었다. 전체적으로 열손실계수의 변화 특성을 살펴보면 열손실계수가 지하 30cm까지 상승한 후 급격하게 낮아지는 현상을 나타내고 있으며, 지하 100cm 이하에서는 열손실계수가 안정된 분포를 이루고 있다.

단열재가 설치되지 않은 모델 A의 경우 지하 90cm까지 열손실계수가 단열기준치인 0.64 W/m²K를 초과하는 것으로 분석되었으며, 기타 모델 B, C, D에서도 60cm까지의 열손실계수가 0.64 W/m²K를 초과하는 것으로 분석되었다.

단열재의 길이는 같으나 단열재의 설치각도가 다른 모델 B와 모델 C의 경우 서로 유사한 열손실계수를 나타내고 있으나, 단열재가 설치되지 않는 지하 110cm에서 두 모델 간에 변곡지점이 생기는 것으로 분석되었다.

한편, 지하 100cm 이하의 깊이에서 발생하는 열손실계수는 단열재가 설치된 모델 B, C, D뿐만 아니라 단열재가 설치되지 않은 모델 A에서도 단열기준치 이하로 낮아지는 것으로 분석되었다. 따라서 본 실험 구조체를 대상으로 분석한 시뮬레이션 분석결과, 지하 일정 깊이까지는 단열재의 설치가 필요한 것으로 판단된다.

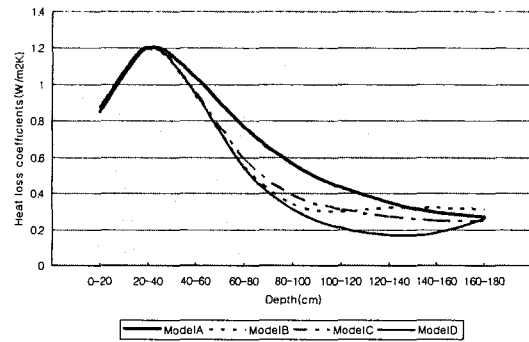


Fig. 21 Heat loss coefficients according to Model types.

5. 결론

본 연구에서는 지상 및 지중환경의 영향을 동시에 받는 지하층 구조체를 대상으로 열손실의 경로 등의 문제점을 파악하고 단열재 설치방법에 따라 나타나는 열적 특성을 분석하여 지하층 구조체의 단열설계를 위한 기초자료를 얻고자 하였다. 이를 위해 기존건물을 대상으로 일반적으로 시공되고 있는 무단열 지하구조체인 경우와 여러 가지 형상으로 단열처리된 지하구조체인 경우에 대한 전열특성을 현장실물 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 분석해 본 결과, 지하층 구조체에서는 실내온도를 기준으로 열을 취득하는 부위와 손실하는 부위가 동시에 존재한다는 것이 밝혀졌다.

또한, 기존 건물의 지하층 구조체에서는 지면과 만나는 부분을 중심으로 열교현상으로 인해 많은 열손실이 발생하고 있는 것으로 나타났다. 이는 현행의 구조체에서 지표면 부근 및 지하층 구조체에 단열시공이 이루어지지 않아서 나타나는 현상이라고 볼 수 있다.

유형별로 단열재를 설치한 모델에서 구조체의 평균 내표면온도를 산출해 본 결과, 내표면온도 분포가 비교적 균일하게 나타나 지하구조체에 설치된 단열재가 지하공간에서의 열손실을 충분히 차단하는 역할을 하는 것으로 해석된다.

또한, 유형별로 단열재를 설치한 각 모델에서 지하구조체 외측의 평균 온도에서도 온도차가 크게 나타나지 않았다.

한편, 각 모델에 대한 시뮬레이션 결과 각 모델별 지하구조체에서의 열손실계수는 전체적인 변화특성으로 지하 30cm까지 상승한 후 급격하게

낮아지는 현상을 나타내고 있으며, 지하 100 cm 이하에서는 안정된 값을 나타내고 있다.

단열재가 설치되지 않은 모델의 경우 지하 90 cm까지 열손실계수가 단열기준치를 초과하는 것으로 분석되었으며, 기타 모델에서도 60 cm까지의 단열기준치를 초과하는 것으로 분석되었다.

한편, 지중 100 cm 이하의 깊이에서 발생하는 열손실계수는 단열재 유무에 관계없이 단열기준치 이하로 낮아지는 것으로 분석되었다. 따라서 지하층 구조체를 대상으로 실물실험 및 시뮬레이션 분석 결과, 지하층 구조체는 지하 일정 깊이까지 단열재의 설치가 필요한 것으로 나타났다.

본 연구는 동계 난방기간을 대상으로 하였지만 향후 지하공간의 냉방효과분석, 하계의 결로분석 및 단열시공방안, 지하공간 및 구조체의 단열설계에 대한 연구가 있어야 할 것이다.

참고문헌

1. Yoon, Y. J., Min, J. H. and Park, S. D., 1988, Ventilation Effects for Preventing Surface Condensation of Basement in Summer Season, pp. 408-413.
2. Jeong, S. I., 1984, A Study on the Analysis of the Underground Temperature Using Basement, Ph.D. thesis, Korea University, Korea.
3. Jeong, S. I. and Park, Y. S., A Study on the Optimum Distance of the Boundary Condition for the Analysis of the Underground Temperature in Steady State, Vol. 2, No. 4, pp. 169-176.
4. Yu, S. H., Park, S. I., Lee, S. H., Park, H. S. and Yi, H., 2000, A Study on the Heat from the Basement Wall & Floor Slabs on Grade, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 16, No. 3, pp. 93-100.
5. ASHRAE, 1997, Handbook of Fundamentals.
6. Parker, D. S., 1987, F-factor correlations for determining death contact heat loads, ASHRAE Trans., Vol. 87, Part 2.
7. Perry, E. H., Cunningham, G. T. and Seesa, S., 1986, An analysis of heat losses through residential floor slabs, Ph.D., ASHRAE Trans., Vol. 92.
8. Mitalas, G. P., 1987, Calculation of below-grade residential heat loss: low-rise residential building, ASHRAE Trans., Vol. 87, Part 1.
9. Ian Bsausolell-Morrison, Gintas Mitalas, below-grade heat losses form houses using Harry Chin, Estimating three-dimensional two-dimensional calculations, Thermal Envelopes VI.
10. Christian, J. E. and Strzepek, W. R., 1987, Procedure for determining the optimum foundation insulation levels for new, low-rise residential buildings, ASHRAE Trans., Vol. 87, Part 2.
11. Mcbride, M. F. and Blancett, R. S., 1979, Measurement of subgrade temperatures for prediction of heat loss in basements, ASHRAE Trans., Vol. 79.
12. Swinton, M. C., Eng, P. and Platts, R. E., 1981, Engineering method for estimating annual basement heat loss and insulation performance, ASHRAE Trans., Vol. 87.
13. Szydlowski, R. F., 1981, Analysis of Transient Heat Loss in Earth-Sheltered Structure, Under Space.