

# 지하거주공간의 연간 열환경에 관한 연구

## A Study on the Yearly Thermal Environmental Characteristics in Underground Space

정 효 민 · 정 한 식

H. M. Jeong and H. S. Chung

**Key Words** : Unsteady Heat Conduction(비정상 열전도), Underground Space(지하 공간), Combined Heat Transfer(복합 열전달), Air Conditioning Load(공조 부하)

**Abstract** : The room temperature and air conditioning load in the underground space have been investigated numerically by the unsteady heat conduction equation. The model room has 3 m in height and 10 m in width, and it's position in the underground depth are 0.5 m to 5 m.

When the room was located around surface, the room temperatures were strongly influenced by the atmosphere. But the underground depth is more than 2 m, the yearly temperature amplitude was small and the temperature phase was delayed.

Up to 5 m of the depth, the cooling and heating load was decreased rapidly, but over 10 m of the depth, the air conditioning load was constant.

### 기호설명

### 1. 서 론

- $a$  : 일사의 흡수율,  $C$  : 비열(J/kg °C)
- $C_a$  : 구름 량,  $J$  : 일사량
- $J_n$  : 야간 복사량,  $l$  : 일사의 잠열 변환율
- $T$  : 절대온도,  $t$  : 시간(h)
- $X_a$  : 절대 습도(kg/kg),  $Y$  : 수평방향 좌표
- $Z$  : 수직 지하 깊이 좌표
- $\alpha_c$  : 지표면의 대류 열전달율(W/m<sup>2</sup>°C)
- $\epsilon$  : 지표면 방사율,  $\lambda$  : 열전도율(W/m °C)
- $\theta$  : 온도(°C),  $\rho$  : 밀도(kg/m<sup>3</sup>)
- $\sigma$  : Stefan-Boltzmann 상수

오는 21세기에는 세계 인구의 60~70%가 도시 거주자가 될 것이라는 예측이 있는 가운데 우리나라의 도시인구 집중율은 현재 80%를 상회하며 계속 증가추세를 보이고 있고, 이에 따른 도시의 환경 및 자원의 관리 문제를 해결해야 하는 중요한 과제를 안고 있다. 우리 나라 대도시의 과밀화는 다른 나라보다 단시간에 종래의 수평방향으로 도시 확대에 부가하여 초고층 및 지하와 같은 수직 방향으로의 확대가 급격히 진행되고 있다. 따라서 최근에는 지하철 개발과 연계하여 지하상가의 설치, 고층건물의 지하화, 농산물의 지하 저장고등과 같은 지하공간의 개발에 보다 많은 관심이 집중되고 있다. 이와 같이 인간의 생활 공간으로서 뿐만 아니라 최근에는 상하수도, 가스, 통신 케이블 등의 에너지 및 정보 수송 수단의 공간으로서도 아주 유용하게 활용되고 있다.

### 참 자

- $a$  : 대기  $c$  : 콘크리트
- $s$  : 흙 또는 지표면  $w$  : 콘크리트 벽면

지하공간은 대기 중에 노출된 일반 지상공간과는 달리 대기온도나 일사량 등의 변동에 의한 영향이 적어서 여름철에는 시원하고 겨울철에는 따뜻한 이상적인 환경이 보장되며, 연중 일정한 열환경이 존재함과 동시에 열부하의 측면에서도 유리하기 때문에 냉난방시에도 많은 에너지의 절약을 기대 할 수

접수일 : 1998년 12월 4일  
 정효민, 정한식 : 경상대학교 선박기계공학과

있다.

한편, 공간내의 열환경 평가를 위한 많은 연구가 최근에 성행하고 있고, 그 중에서 외부의 대기상태를 고려하지 않은 순수한 실내 유동패턴에 관한 연구<sup>1,2)</sup>를 비롯하여 외기온도의 변동에 따른 실내의 열환경에 관한 연구<sup>3,4)</sup>도 많이 보고되고 있다.

특히, Sato<sup>5)</sup>는 연료의 지하비축, 핵폐기물의 암반 내 저장을 위한 지하동굴 주변의 전열 문제를 취급하였고, Ishino<sup>6)</sup>는 공조 시스템을 중심으로 최적의 실내 열환경에 대하여 보고하였다. Becker<sup>7)</sup>는 최적의 냉장 저장 효과를 위한 농산물의 열적인 특성에 관하여, Kerestecioglu<sup>8)</sup>는 시간별로 변동하는 실내의 온습도 환경의 예측 수법에 대하여 검토하였다.

본 연구에서는 임의의 지하 깊이에 공간이 존재하였을때 이 공간내의 년중 열적환경을 파악하는 기초단계로써 지온의 변화에 따른 지하공간의 온도 변화를 추적하여 보다 쾌적한 온열환경의 기초 자료를 도출하고자 한다. 이미 본 연구자들은 반 대기 개방형인 지하철 구내의 온열환경을 검토<sup>9,10)</sup>하였으며, 이를 토대로 하여 지하실내의 연간 열환경 특성을 조사한다. 지하공간의 사용목적이 단순한 지하 저장고와는 달리, 생활 거주공간일 경우에는 지상공기와 환기를 주기적으로 해야 하며, 이때에는 지하공간내의 열적 환경은 대기의 영향이 커지게 된다. 이와 같이 환기의 영향에 의한 지하공간의 열적 환경의 변화를 파악함과 동시에 지하 거주 공간일 때와 지하 냉장 저장고로 활용하였을 때의 냉난방 부하도 예측 하고자 한다.

## 2. 수치계산 방법

### 2.1 지하공간 계산모델

Fig.1은 지하공간내의 온도를 계산하기 위한 모델 및 계산격자를 나타낸다.

그림의 Y좌표는 수평방향으로 15 m이며, Z좌표는 지하의 깊이로서 20 m로 설정하여 계산하였다. 실제 지온의 변화는 지표면 근처에서 대기온 및 일사량에 의하여 크게 좌우되지만 지하 10~20 m에 다다르면 연중 일정한 온도가 된다는 것이 이미 알려져 있고<sup>11)</sup>, 지하 5 m부근까지가 온도 기울기가 가장 급격하다는 것이 보고되어 있다.

따라서, 본 계산의 주요 인자로서 지하깊이의 설정은 지표면에서 지하공간의 천장까지의 거리를 1 m에서 5 m까지 1 m의 간격으로 하여 각각 계산을 하였다. 또한, 지상의 공기가 지하공간에 환기의 형태로 유입하였을 때의 공간온도변화를 보기 위하여 환

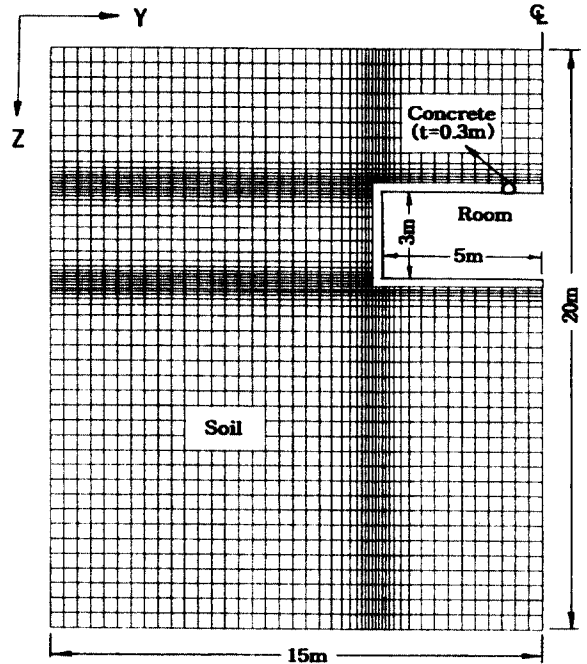


Fig. 1 Geometry and grid system

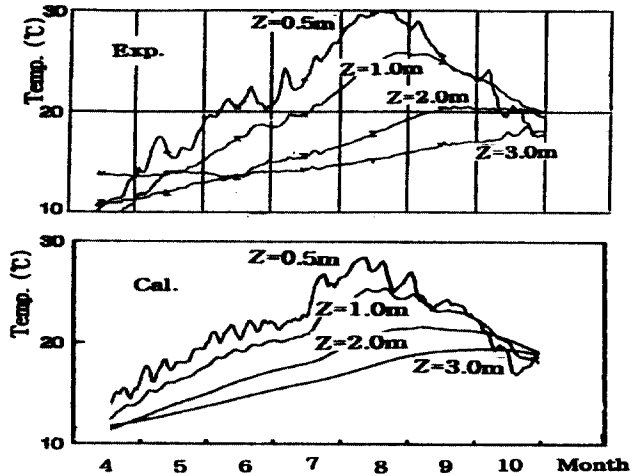


Fig. 2 Comparison of calculation and experiment in a underground temperature

기유량을 0~0.1(m<sup>3</sup>/s)로 변화시키면서 계산하였다.

지하공간의 계산모델의 크기는 높이3 m,길이10 m의 2차원 사각형 공간으로 가정하였고, 실제의 계산은 Y=15 m지점을 대칭축으로 하였다. 또한, 지하공간과 흙의 경계면에는 두께 0.3 m의 콘크리트 벽을 두었다.

### 2.2 기초 방정식

지하공간 주변을 싸고 있는 콘크리트 벽체 및 흙에서의 열 이동은 다음의 2차원 비정상 열전도 방

정식으로 표시 할 수 있다.

$$\rho C \frac{\partial \Theta}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Z^2} \right) \quad (1)$$

식 (1)을 차분법으로 이산화<sup>12)</sup>하여 각 격자상의 온도를 구한다. 또한, 시간에 대하여는 양해법을 이용하였으며, 본 연구에서는 지하공간 열환경의 일변동 혹은 연변동과 같은 긴 주기변화에 대한 것을 주 연구 대상으로 하기 때문에 수치계산의 시간 차분 간격은 1시간으로 하였다.

### 2.3 경계조건

본 계산에서의 경계조건은 다음과 같이 지표면을 제외한 밑면 및 측면은 단열 조건으로 하였다.

$$\frac{\partial \Theta}{\partial Z} = 0, \quad \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = 0 \quad (2)$$

지표면의 온도에 관한 경계조건의 경우, 단순한 대기의 온도로는 불충분하며 일사량의 영향을 고려할 필요가 있다. 그래서 일사의 영향을 온도로 환산한 값에 대기온도  $\Theta_a$ 를 더하여 등가한 온도로 다음과 같은 상당 외기온도  $\Theta_{ae}$ <sup>13)</sup>를 지표면의 경계온도로 한다.

$$\Theta_{ae} = \Theta_a + \frac{a(1-h)J - \epsilon J_n}{a_c} \quad (3)$$

여기서  $J$ 는 일사량을 나타낸다. 기상청에서 측정하는 일사량은 태양과 법선방향의 직달 일사량(Direct Normal Solar Radiation)이고, 본 계산모델에서의 지표면은 수평면이기 때문에 표준 기상 자료로부터 수평면의 일사량을 분리하여 일사량  $J$ 로 하였다. 야간 복사량  $J_n$ 은 다음 식을 이용하였다.

$$J_n = \sigma T_a^4 \left( 0.49 - 2.1 \sqrt{\frac{X_a}{0.622 + X_a}} \right) \cdot (1 - 0.062 C_a) + 4\sigma T_a^3 (\Theta_s - \Theta_a) \quad (4)$$

콘크리트와 흙의 경계면에 대한 열전도율  $\lambda_1$ 는 식(5)과 같이 경계면에서의 열유속이 연속이 되도록 격자 폭을 동일하게 하여 조화평균의 값으로 하였고,

$$\lambda_1 = \frac{2\lambda_s \lambda_c}{\lambda_s + \lambda_c} \quad (5)$$

콘크리트벽면과 실내공간사이의 열전도율  $\lambda_2$ 는 식(6)과 같이 공기의 대류 열전달을 고려한 복합열전도율을 구하여 경계면을 처리 하였다.

$$\lambda_2 = \left( \frac{1}{\frac{\Delta x}{2\lambda_c} + \frac{1}{h}} \right) \cdot \Delta x \quad (6)$$

여기서  $h$ 는 실내공기의 대류 전달율이며,  $\Delta x$ 는 콘크리트의 온도 대표 격자점과 공기층의 벽면 최근접 격자 점과의 거리이다.

지하공간내의 온도  $\Theta_R$ 은 공간과 가장 가까운 격자점의 온도  $\Theta_w$ 와 그 격자점의 표면적  $S_w$  및 환기량  $Q_v$ (m<sup>3</sup>/s)를 이용하여 다음식으로 구한다.

$$\Theta_a = \frac{K \cdot \sum \Theta_w S_w + \Theta_a (\rho C)_{air} Q_v}{K \cdot \sum S_w + (\rho C)_{air} Q_v} \quad (7)$$

여기서  $K(= \frac{\lambda_2}{\Delta x})$ 는 실내측의 열전달율과 벽체의 열전도율을 합성한 복합 열전달율을 나타낸다.

## 3. 계산결과

### 3.1 지중온도

Fig. 2는 본 수치계산법에 의한 계산결과와 기존의 실험결과<sup>14)</sup>를 비교한 것으로, 지하 깊이가 0.5 m, 1 m, 2 m, 3 m인 지점의 4월에서 10월까지 지중 온도 변화를 나타낸 것이다. 실험치의 측정장소는 일본 동경에서 약 60 km 떨어진 소도시이며, 계산시의 대기온은 부산지방의 기상데이터를 사용하였다. 실제 지중온도는 그 장소의 대기온도, 일사량 등에 의하여 크게 달라진다. 그러나, 실험치의 측정장소와 부산의 경우는 년중 대기온도의 분포도 유사하고, 위도가 거의 같고 경도에 약간의 차이가 있을 뿐이므로 일사의 양적인 차이는 거의 동일하고 일사량의 위상차만 존재한다. 더구나 본 연구에서는 일평균 온도의 연변화를 주로 취급하기 때문에 지중온도의 계산 검증용으로 사용해도 큰 차이는 없으리라 생각된다.

이 Fig. 2에서 알 수 있듯이 지중온도는 지하 깊이가 깊어질수록 연변화의 진폭이 작아지고 위상도 늦어지는 것을 알 수 있다. 즉, 지하 1 m와 같이 지

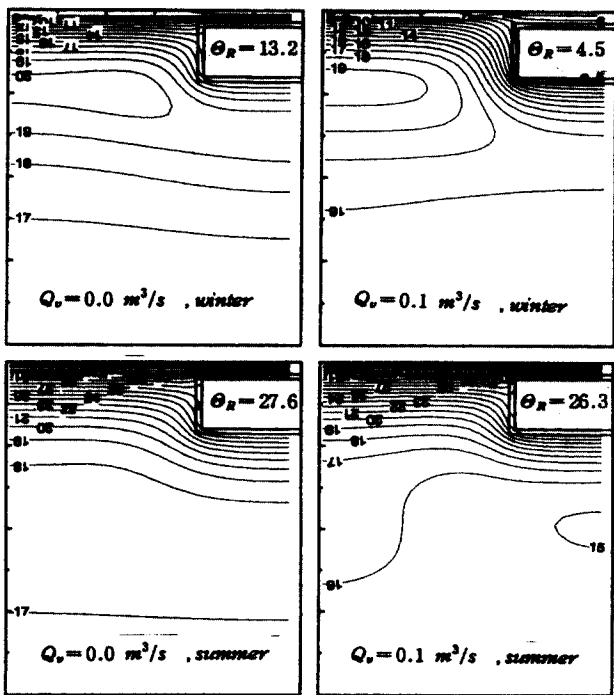


Fig. 3 Distribution of temperature contours in case of  $z=1$  m

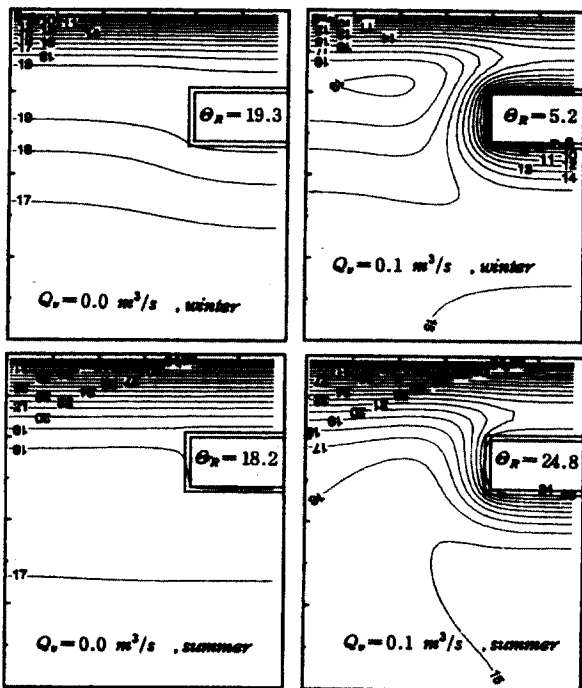


Fig. 4 Distribution of temperature contours in case of  $z=5$  m

표면 근처에서는 최대 온도점의 위치가 지하 0.5 m에 대하여 약 반달 정도 겨울철 쪽으로 이동하고, 지하 2 m 이상의 지하에서는 약 한달 가량 늦게 최

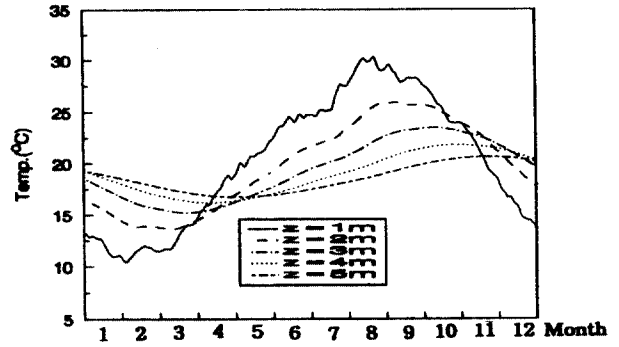


Fig. 5 Yearly temperature distribution in case of  $Q_v=0.0$  m<sup>3</sup>/s

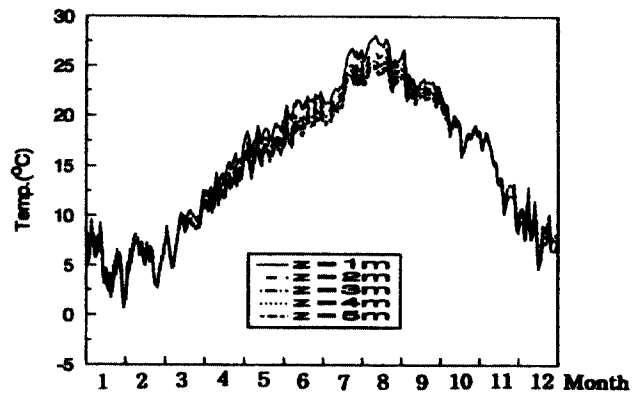


Fig. 6 Yearly temperature distribution in case of  $Q_v=0.05$  m<sup>3</sup>/s

대 온도점이 위치하게 된다. 이것은 흙이라는 열매체의 특성이 큰 축열성을 가지고 있고, 이 영향도 지하로 갈수록 커짐을 말해 준다.

실제의 대기온도 및 일사는 매 시간 간격으로 급격한 변화(Fig. 7, 8의 대기온도)가 있으며, 이들 변화가 지하 깊이에 따라서 크게 달라지는 것은 흙의 단열성에 기인한 것으로 생각된다. 대기온도와 일사의 일변동에 의한 지중온도의 변동은 지하 0.5 m에서는 그 영향이 뚜렷하지만 지하 1 m이상의 깊이가 되면 거의 일변동의 영향을 받지 않는 것은 실험치와 계산에서도 명확히 나타나고 있다.

### 3.2 지하공간 주위의 온도분포

지하공간의 활용적인 측면에 따라서 인간의 생활 공간인 경우와 상하수도관, 가스관, 통신 케이블 등의 비생활 공간으로 구분하면, 그 용도에 따라서 대기의 신선한 공기를 지하공간으로 유입해야 할 필요성도 대두된다. 그래서, Fig. 3과 Fig. 4에는 지하 깊이가 각각 1 m, 5 m인 경우 대기와의 환기량  $Q_v$

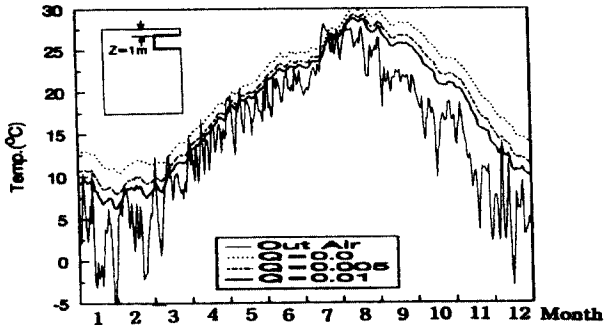


Fig. 7 Yearly temperature distribution in case of z=1 m

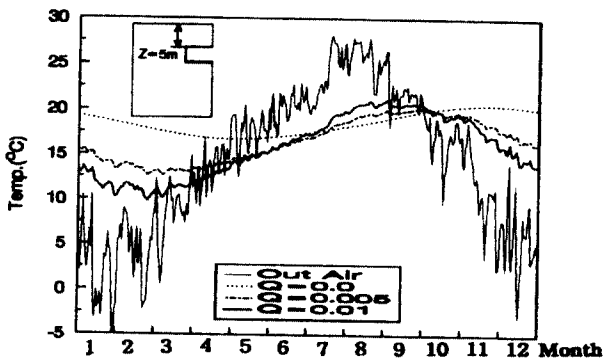


Fig. 8 Yearly temperature distribution in case of z=5m

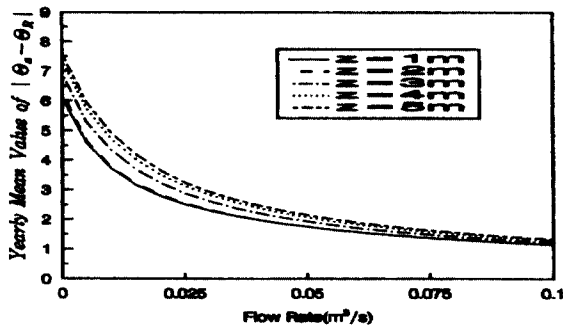


Fig. 9 Difference of atmosphere and room temperature versus ventilation flow rate

를 0과 0.1로 변화시켰을 때 지하공간 주변의 등온도선 분포를 나타내었다.

또한, 각 그림상의 위 두 그림은 겨울철(1월 1일 12시), 밑의 두 그림은 여름철(8월 1일 12시)의 온도 분포를 나타낸다. 환기량이 0인 경우에는 지하공간 내의 온도는 주변의 지중온도와 비슷한 온도를 나타내었다. 이러한 경향은 지하 깊이가 깊을 수록 두드러진다. 이것은 지표면 근처에서는 지중온도 기울

기가 큰 것에 기인하며 지하가 깊을 수록 온도의 기울기가 작아지기 때문이다.

그러나, 환기량이 어느 정도 존재하면 대기의 온도가 실내온도를 지배하기 때문에 지중온도 기울기가 작은 Z=5 m에서는 지하실 주변에는 큰 온도 기울기가 존재함을 알 수 있다. 즉, 대기측과의 환기가 없으면 지하로 갈수록 지중온도의 기울기가 작아져서 지하공간 주변에는 대체로 18°C 전후의 일정한 온도가 유지된다. 그러나, 일정량의 환기를 행하면 지하 공간내의 온도가 대기온도의 영향을 크게 받게 되어 공간주위의 지중 온도 분포도 크게 달라져 계절에 따라서 지반으로부터 흡열 또는 방열이 커짐을 예측할 수 있다.

### 3.3 연중 지하공간의 온도 분포

Fig. 5와 Fig. 6에는 환기량에 따라서 변하는 실내 온도를 나타내었다.

먼저 환기량이 없을 때(Fig. 5)의 지하 1 m인 경우에는 지표면의 대기온도의 일변동의 영향이 어느 정도 남아 있으나 지하 2 m 이상이 되면 일변동의 온도 변화의 영향이 거의 소멸됨을 알 수 있다. 또한, 지하로 내려 갈 수록 최대 온도점이 2~3개월 늦어지는 현상이 생기며, 4계절의 온도차가 작아져 연중 일정한 온도가 유지되어 겨울철 및 여름철의 냉난방 부하도 크게 줄일 수 있음을 알 수 있다. 이는 Fig. 2의 지하공간이 없는 경우의 지중온도 분포와 유사하다. 즉, 환기량이 없는 경우의 지하공간내의 온도는 공간 주위의 벽체 온도에 의하여 결정되기 때문이다. 또한, 최대 온도점의 주기적 지연도 Fig. 5가 Fig. 2보다 큼을 알 수 있다. 이것은 Fig. 5의 경우 공간내의 주변이 흙보다도 열용량 및 축열성이 큰 콘크리트 벽체로 형성되어 있기 때문이라 생각된다.

Fig. 6은 일정한 환기량이 있을 경우의 실내 온도 분포이다. 대기로부터 일정량의 환기가 이루어지면 대기의 일변동 온도 영향이 지하 공간 내를 지배하게 되고, 지하깊이에 거의 무관함을 알 수 있다. Fig. 7과 Fig. 8은 일정 지하 깊이에 대하여 환기량 변화에 대한 지하 실내의 온도 분포를 나타내었다. 지하 1 m의 경우(Fig. 7)에는 대기의 일변동 온도의 영향이 그대로 지하에도 영향을 주고 있고, 특히 8월 이후에는 대기측의 온도보다 약 5°C 높게 나타내고 있어 겨울철을 제외한 다른 계절에는 냉방 부하가 큼을 알 수 있다. 또한 환기량의 영향도 비교적 작게 받고 있음을 알 수 있다.

그러나, 지하 5 m의 경우에는(Fig. 8) 환기량의 영향이 뚜렷히 나타나고 있음을 알 수 있다. 특히,

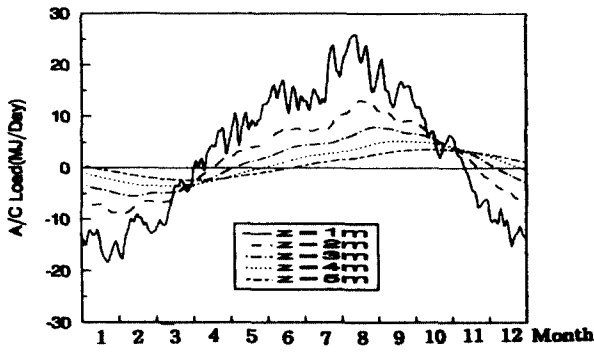


Fig. 10 Yearly air conditioning load in case of room temperature 18°C

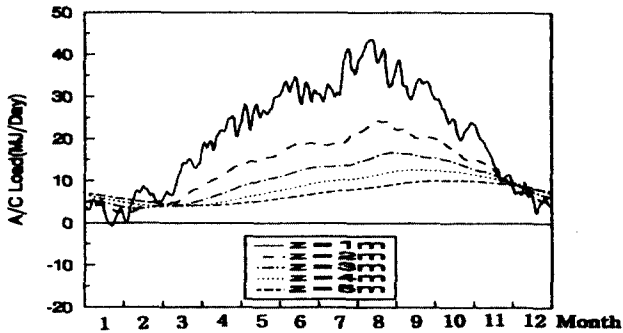


Fig. 11 Yearly air conditioning load in case of room temperature 5°C

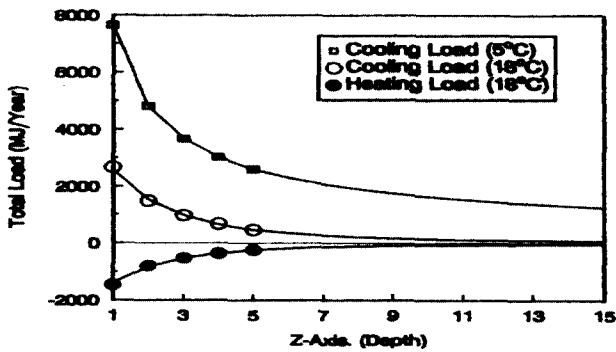


Fig. 12 Total air conditioning load versus depth

하계철에서 대기 보다 낮은 온도가 형성되는 경향은 지하로 내려 갈 수록 현저함을 알 수 있고, 환기량이 0인 경우에는 대기온도에 비해 겨울철에는 약 15°C 높고, 여름철에는 약 10°C정도 낮은 온도분포를 보이고 있어 냉난방 부하가 상당히 저하됨을 알 수 있다. 그러나, 지하공간을 주거공간과 같은 용도로 사용할 경우에는 주기적인 환기가 필연적이므로 환기량이 0인 경우보다는 어느 정도 냉난방 부하가 증가 한다.

Fig. 9는 환기량에 대하여 대기온과 지하공간의 연평균 온도차를 나타낸다. 환기량이 0인 경우에는 지하깊이에 따라서 실내온도와 대기온의 차이가 나타나지만 환기량이 0.1 m<sup>3</sup>/s(환기회수로는 약 14회/시간)이상이 되면 지하깊이에 무관하게 대기온과 지하실내의 온도는 거의 같음을 의미한다. 즉, 일정한 환기가 주어지면 실내온도는 대기온도와 동일하게 되므로 실내온도의 제어만을 위해서라면 환풍기 등의 기초설계 자료로써 활용할 수 있으리라 생각된다.

### 3.4 냉난방 부하

지하공간의 사용 목적에 따른 냉난방 부하를 조사한다. 우선, 지하공간이 실내 거주 공간으로 활용되는 경우를 가정한 냉난방 부하를 고려하기 위하여 실내공간의 온도가 연중 18°C로 유지된다고 가정하였을 때의 냉난방 부하를 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서 종축의 부하는 일평균 부하를 의미하며, 이 부하의 값이 양일 경우에는 지하공간을 둘러싼 주위 벽체의 온도가 공간 내부의 온도 보다 큼을 의미하며 지반으로부터 열류가 내부 공간 쪽으로 이동하기 때문에 냉방에 소요되는 부하의 양을 나타낸다. 또한, 부하의 값이 음일 경우에는 역으로 지반 온도가 낮아 열류가 벽체로 이동함에 따른 난방부하의 량을 나타낸다.

지하 깊이가 깊어질수록 냉난방 부하가 감소하며 지표면 가까이에 거주공간이 존재하면 냉난방 부하가 급격히 증가함을 보이고 있다. 특히, 지하로 내려감에 따라 냉난방부의 값이 0인 지점이 약 1달 가량 시간 지연 현상을 일으키고 있다. 특히, 지하깊이가 5m인 경우에는 연간 냉난방의 부하 절대값은 작지만 6월부터 12월까지 냉방을 하여야 함을 알 수 있다. Fig. 11은 지하공간을 냉장저장고로 가정하여 연중 5°C로 일정히 유지시키기 위하여 소요되는 냉난방의 부하를 나타내었다. 이 경우는 난방의 필요성은 없고 연중 냉방을 위한 부하만을 고려하여야 함을 알 수 있다.

Fig. 12는 Fig. 10과 Fig. 11의 일평균 냉난방 부하를 1년 적산치로 나타낸 것이다. 지하거실(18°C)의 경우는 지하 깊이에 무관하게 냉방 부하가 난방 부하보다 약 2배 높음을 알 수 있다. 또한, 지하 5m정도까지는 지하공간의 용도에 무관하게 냉난방 부하가 급격히 감소함을 알 수 있어 지하공간의 설계에 있어서 적절한 지하 깊이를 선택할 필요성이 있음을 나타낸다. 그림의 실선은 지하 1 m에서 5 m까지의 계산 결과로부터 구한 보간곡선이며, 지하 10 m 이상이 되면 지하거실의 경우는 냉난방 부하

가 전혀 필요 없는 공간으로 됨을 알 수 있다. 그리고, 지하 냉장고의 경우는 냉방 부하가 일정하게 되어 불필요한 에너지의 낭비 없이 최적의 공간 설계도 가능하리라 생각된다.

본 연구에서는 지하공간의 용도를 연중 18℃ 유지의 지하거실과, 5℃ 유지의 지하 냉장 저장고를 예로 조사하였으나, 지중온도의 연간 분포로부터 하절기 및 동절기의 일부 기간에 대하여 냉난방을 실시하여 최적의 환경 설정 및 에너지 활용의 적절한 분배도 고려할 수 있으리라 생각된다. 또한, 본 내용에서는 지하공간에서 가장 중요한 지반의 흡열 및 방열에 의한 효과만을 고려하였으나 지하공간의 활용상 설치가 불가피한 각종 발열체(인체의 발열을 비롯하여 조명 및 난방을 위한 각종 발열)에 의한 냉난방 부하도 고려할 필요가 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 지하 1 m이하 지표면 근처의 지하공간은 대기의 일변동 영향이 크게 작용하지만, 지하 2 m 이상에서는 연변화의 진폭도 작아지고 온도 변화 주기의 위상이 늦어진다.
- 2) 환기량이 많아지고, 지하가 깊을수록 지하공간 주변의 지중온도의 기울기가 크게 나타난다.
- 3) 환기량이 0.1 m<sup>3</sup>/s 이상이면 지하 깊이에 무관하게 대기온과 지하실내의 온도는 거의 같다.
- 4) 지하 5 m까지의 냉난방 부하는 급격히 감소하여, 지하 10 m 이상이 되면 지하거실의 경우는 냉난방 부하가 없어지며, 지하 냉장고의 경우는 냉방 부하가 일정하게 된다.

#### 후 기

이 논문은 1998년도 경상대학교 해양과학대학 부설 해양산업연구소 학술연구조성비에 의해 연구되었으며, 관계자 여러분께 감사를 표합니다.

#### 참고문헌

1. Murakami, S., Kato, S., "Current Status of Numerical and Experimental Methods for Analyzing Flow Field and Diffusion Field in a Room", Preceeding of ASHRAE Building Systems, pp. 39~56, 1988
2. Chaturvedi, S.K., Mohieldin, T. O. "A CFD Analysis of Effects of Vent Location dn Pollutant Concentration in Rooms", Preceeding of ASRAE

- Building Systems., pp. 158~160, 1989
3. Axley, J. W., "Integrating Microscopic and Macroscopic Models of Air Movement and Contaminant Dispersal in Buildings", Preceeding of ASHRAE Building Systems, pp. 116~122, 1988
4. Onishi, J., Tanaka, S., Naito, K. "Numerical Prediction of Room Air Distributions-Effects of Calculation Procedures at Fluid-Solid Interfaces", Preceeding of ASHRAE Building Systems, pp. 161~168, 1988
5. 佐藤邦明, 伊藤 洋, "地下空洞周邊の電熱に関する研究", 日本土木學會論文集, 363號/II-4, pp. 97~106, 1985
6. 石野久彌, "體感溫度の年間シミュレーション", 日本空氣調和衛生工學會論文集, 59卷, 4號, pp. 331~341, 1985
7. Becker, B.R., Misra, A.M. "Bulk Refrigeration of Fluits and Vegetables Part I: Theoretical Considerations of Heat and Mass Transfer", HVAC&R Research, Vol.2, No.2, pp. 122~134, 1996
8. Kerestecioglu, A. "Combined Heat and Moisture Transfer in Building Systems and Their Effects on Contaminant Distribution", Preceeding of ASRAE Building Systems, pp. 153~157, 1998
9. 김종렬, 김동규, 금종수, 최광환, 정효민, "지하철 폐열회수량 예측 프로그램 개발", 공기조화냉동공학회, 춘계학술대회논문집, pp. 122~127, 1996
10. 김종렬, 김동규, 금종수, 최광환, 정효민, 박준택, "지하철 터널내 열환경 예측 프로그램 개발에 관한 연구", 공기조화냉동공학회논문집, 제 9권, 제4호, pp. 504-516, 1997
11. 下田吉之, "都市における地下利用の熱的評價に関する基礎的研究", 日本大板大學, 博士論文, pp. 17~21, 1990
12. Patankar, S.V. " Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere Publishing corporation, 1984
13. 松尾, 鎌田, 田中, 栗田, "地中建築の熱的性能に関する研究", 日本空氣調和衛生工學會學術講演論文集, pp. 37~40, 1979
14. 松尾 陽, 高浪孝勝, 井上隆, 吉岡松太郎, 本間俊輝, 釜谷智弘, "地下居室の熱的特性に関する研究(1), シミュレーションによる熱學動の把握", 日本建築學會大會學術講演會, pp. 959~960, 1985