

# 지중 열교환을 통한 에너지 절약방안

조정식 / 한국건설기존연구실기술연구원

지표면으로부터 일정한 깊이 이하의 토양이 보유하고 있는 지열에너지는 에너지자원을 절약하기 위해서는 매우 유용한 에너지원이 될 수도 있다. 따라서 지중에너지를 활용하기 위한 지중온도분포에 대한 해석과 그 활용면에서 도로 융설시스템 및 건물의 냉·난방의 에너지원으로 이용할 수 있는 에너지절약 방안에 대한 연구개발이 추진되고 있다.

## 1. 서 언

고도의 문명사회로 접어들어 따라, 현격한 에너지의 소비증가를 초래하고 있으며, 이로 인해 현대는 에너지의 소비와는 불가분의 관계를 유지하고 있는 실정이다.

현재는 유가의 인상이 약간 주춤하고는 있지만, 70년대에 걸친 에너지파동을 거울삼아 전 세계적으로 에너지 절약을 위한 노력과 새로운 에너지의 연구개발이 추진되고 있다.

최근들어 환경오염에 대한 인식이 새롭게 부각되면서 청정에너지라고 할 수 있는 자연에너지에 깊은 관심을 끌게 되었고, 현재 사용되고 있는 주에너지인 화석에너지는 멀지않은 장래에 고갈되어 새로운 에너지원에 대한 준비가 요구되고 있으며, 지표면으로부터 일정한 깊이 이하

의 토양이 보유하고 있는 지열에너지는 에너지자원을 절약하기 위해서 매우 유용한 에너지원이 될 수도 있다.

선진 외국에서는 비교적 저급에너지이면서 연중 일정한 온도를 유지하는 지열에너지의 개발을 적극적으로 추진하여 에너지 절약형 시스템을 활발하게 연구·보급하고 있다.

따라서, 이와 같은 지중에너지를 활용하기 위한 지중 온도분포에 대한 해석과 그 활용면에서 도로 융설시스템 및 건물의 냉·난방의 에너지원으로 이용할 수 있는 에너지의 절약방안에 대한 내용을 고찰하여 보고자 한다.

## 2. 지열에너지의 이용현황

### 2.1 도로 융설시스템

도로용설의 응용에 사용되는 열파이프는 밀폐된 파이프 안에 기체-액체의 2상이 존재하는 소량의 작동액이 충전되어 있는 간단한 구조로 구성되어 있으며, 매설되어 있는 열파이프의 저부위를 가열하면 작동액이 증발하고 도로포장면 가까이에 포설되어 있는 위쪽의 저온부로 상승하고, 여기에서 증기는 응축되면서 잠열을 포장면에 전달하고 다시 증발부로 환류된다.

이와같은 구조의 열파이프가 처음 도로에 실험적으로 응용된 것은 1972년 미국이었으며, 실험의 성공으로 West Virginia주에서는 고속도로 입체교차로의 경사길에 23m 길이의 열파이프 1213개를 설치하였다. 그 결과 도로 표면에 눈과 얼음이 쌓이는 것을 방지하는 데에 있어서 커다란 효과를 발휘하였다.

지열원 열파이프 융설시스템은 일본과 유럽에서도 개발하여 적용하고 있는데, 일본에서는 1977년에 처음 시도되어 1982년까지 20여군데에서 실험적으로 설치되었으며, 현재까지도 이들 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그중에서 가장 대표적인 것으로 일본의 노지리(野尻) 지방에 설치된 시설을 들 수 있다. 이곳의 연평균 온도는  $10\sim 13^{\circ}\text{C}$ 이며, 깊이  $7\sim 20\text{m}$ 에서의 지중온도는 약  $10\sim 14^{\circ}\text{C}$ 로서 이것을 노면으로 전달하면 융설 또는 도로의 결빙방지가 가능하다는 점에 착안하여 열파이프를 이용한 융설 및 동결방지 시스템을 설치하였다.

한편, 겨울철의 결빙으로 인한 사고 위험성이 많은 곳으로 알려진 교량 상판표면의 결빙을 방지하기 위해 열파이프를 이용한 지열회수 결빙방지 시스템에 대한 최초의 소규모 실험장치가 미국 Wyoming주에서 1976년에 건설되었다. 이 경우에 상판부 가열에 필요한 열은 교량과 인접한 지중에서 추출하여야 하기 때문에 매우 긴 열파이프를 교량주위에 매설하여야 하므로 열파이프의 규모가 커져 공장제작이 곤란하여 현장에

서 가공을 하였다.

## 2.2 냉·난방시스템

지열에너지를 이용한 열펌프시스템은 북미와 유럽에서 특히 많이 이용되고 있다. 북미의 경우에, 1985~1986년도에 설치된 지열원 열펌프의 수는 1,500개에서 15,000개 정도에 이르고, 사무소 건물에서 633kw의 열펌프 용량을 갖는 시스템도 있다.

표 2.1은 외국에서 실용화된 지중코일의 채열능력을 나타낸 것으로, 보통  $20\sim 40\text{w/m}$ 가 일반적이며, 채열방식도 직팽코일 순환방식과 간접 열교환방식이 각각 연구되고 있다.

지중에 파이프를 경제적으로 매설하는 매설기에 대한 연구도 진행되고 있으며, 매설기의 연구는 지열원 열펌프의 보급을 좌우한다.

이외에 태양열과 결합시킨 일본의 大林組기술연구소 본관의 시스템은 코일길이가 1,200m, 채열능력은  $16\sim 20\text{kcal/m}\cdot\text{h}$ 이며, 일본에서 최대 규모의 지열원 열펌프시스템은 동경의 리조트호텔에 도입한 예를 들 수 있다.

이를 채용한 이유는 겨울철에 석유확보의 문제, 사용수의 제한, 염해의 방지 및 청결한 운전 등에 있었으며, 다소 추가공사가 있었지만 운전은 순조롭게 진행되고 있다.

스웨덴에서는 태양열 집진기를 이용한 것과 Wind Convectore를 이용하는 시스템에 대해 연구하였다. 특히, 스웨덴에서는 난방용 히트펌프수가 급증하고 있으며, 가장 추운날(스웨덴 남부 지방:  $-16^{\circ}\text{C}$ )의 열공급 및 회수되는 온도는 다세대 주택의 경우  $55/45^{\circ}\text{C}$ , 지역난방 시스템의 경우  $120/70^{\circ}\text{C}$ 이다. 실질적으로 스웨덴에서의 모든 히트펌프는 동절기에 난방을 하기위해 사용되고, 하절기에 냉방을 하기위한 수요는 거의 없는 실정이다.

또한, Sunclay 플랜트에 태양열 집진기와 지중

열교환기, 그리고 히트펌프를 갖는 완벽한 실험장치를 설치하여, 계속 실험연구를 진행중에 있다.

이와 같이, 선진 외국에서는 지열을 회수하여 유효하게 활용하기 위한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다. 또한, 미국에서는 주택건설의 초기단계에서 열펌프 설비를 갖추는 경우가 있으며, 이 때의 열원은 주로 지열을 대상으로 하고 있다. 이들 시설에는 고밀도의 축열조를 설치하고, 심야전기를 이용하여 축열시켜 사용하는 경우가 보편화되어 있다.

### 3. 지중 온도 분포해석

#### 3.1 지중온도 해석

지구 표면의 온도는 태양에서의 복사 에너지에 의하여 결정되어진다. 지표에 도달한 태양 복사열은 토양에 흡수되어 지온을 상승시키는데, 그 흡수량은 지표면의 피복상태, 지열, 지표면의 열전도도에 따라 다르다. 지중온도는 토양의 열

전도계수, 토양의 열용량에 따라 결정되므로 사질토와 같이 공기를 많이 포함하고 가벼운 흙은 낮에는 온도가 급격하게 상승하고 밤에는 빠르게 냉각된다. 토양 중의 공기가 대신 물로 채워지면, 물은 열전도율과 열용량이 크므로 온도는 쉽게 변하지 않아 일교차는 적다. 지표면의 열이 전도되는 깊이, 전달 속도등은 토양의 종류, 함수량에 따라 다른데, 마른 사질의 흡열수축 높고, 수분이 많은 점토질 흡열수축 낮다.

지중온도에 대한 일반적 연구는 Carson과 Moses(1963)가 Argonne, Illinois지역의 여름철 토양 온도를 이용하여 하루 동안 온도의 수직적인 변화 양상에 대하여 고찰하였고, Al-Nakshabandi와 Kohnke(1965)는 모래 실트 점토 토양이 수분을 포함했을때 열 전도도와와의 관계를 조사하였으며, Baker(1965)는 St. Paul, Minnesota지역에서 1월과 7월 하루 동안 토양 온도의 깊이에 따른 긴폭변화에 대하여 연구하였다. 그리고

<표 2.1> 지중코일의 채열능력

국 명	열부하	깊이	파이프직경	파이프길이	채열능력
	[kW]	[m]	[cm]	[m]	[W/m]
덴 마 크	-	0.5~10.5	4.0	-	17~20
	9.6	12~20	1.6	210	-
	-	-	-	160	-
스 웨 덴	10.0	0.7~10.7	5.0	370	17.5
	760.0	35	1.6	28,500	-
네 델 란 드	18.0	1~11	4.0	300	-
	21.0	40~100	9.0	275	29~38
	-	0~10	2.0	10	40
	240.0	1.5~21.5	5.0	2,400	-
	220.0	0.1~10.0	5.0	1,400	-
	850.0	20	2.0	7,200	-
카 나 다	-	12	2.5	128	40
영 국	-	8	9.5	16	32~50
독 일	-	1~11	2.8	300	47
	14.5	1.5~6.5	4.0	100	-
	-	1~49	6.0	192	65~100

Baggs(1982)는 지중온도분포의 수학적 모델을 연구해서 호주의 지중온도지도도를 작성하였다.

우리나라에서는 장정진 등(1971)이 우리나라의 지체 구조와 관련한 지각 열류량에 대해 연구하였고, 박종걸(1992)은 국립중앙기상대에서 1965년부터 1990년 까지 26년간 전국의 주요지역의 지중온도를 측정된 자료를 바탕으로 전국의 지중온도지도도를 작성하였다.

정수일(1984)은 정현이나 여현의 주기성을 도입하여 대기온도의 주기적 변화를 적절하게 고려한 방법을 사용하여 다음과 같이 우리나라의 지역별 지중온도분포를 구했다.

$$T(x, t) = T_{av} + T_{am} \exp\left(-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}(x + C)\right) \cos(\omega t - x\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}})$$

$T(x, t)$  : 시간과 깊이에 따른 지중온도

$T_{av}$  : 평균지중온도

$T_{am}$  : 연간 월평균 지표면온도의 진폭

$\omega$  : 온도변화의 각속도

$\alpha$  : 흙의 열확산계수

$C$  : 보정계수

$T_{av}$ ,  $T_{am}$ ,  $\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}$ ,  $C$ 값을 지역별로 계산한 것이

<표 3.1> 지역별  $T_{av}$ ,  $T_{am}$ ,  $\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}$ ,  $C$ 값

지 명	$T_{av}$ (°C)	$T_{am}$ (°C)	$\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}$	Radian(°C)
속 초	13.4	13.00	0.323	2.375
대 관령	9.6	13.55	0.508	2.481
춘 천	16.1	14.95	0.371	2.548
강릉	13.7	13.45	0.411	2.639
서울	14.2	15.00	0.336	2.424
인천	14.2	14.65	0.402	2.612
울릉도	13.2	12.20	0.426	2.420
수원	13.1	14.15	0.411	2.410
서산	14.2	14.00	0.450	2.438
울진	13.8	12.70	0.333	2.950
청주	14.6	14.75	0.355	2.378
대전	14.2	13.80	0.355	2.245
추풍령	13.8	14.20	0.391	2.393
군산	15.0	13.85	0.441	2.431
대구	15.2	14.70	0.389	2.478
전주	14.9	14.25	0.413	2.510
울산	15.4	13.05	0.498	2.474
광주	15.6	13.80	0.424	2.310
부산	15.7	13.20	0.447	2.452
충무	17.3	12.50	0.513	2.488
목포	15.9	13.10	0.365	2.396
여수	15.1	13.45	0.452	2.439
제주	16.0	12.50	0.365	2.374
서귀포	18.1	11.55	0.581	2.536
진주	15.9	13.30	0.437	2.539
포항	14.1	13.95	0.406	2.683

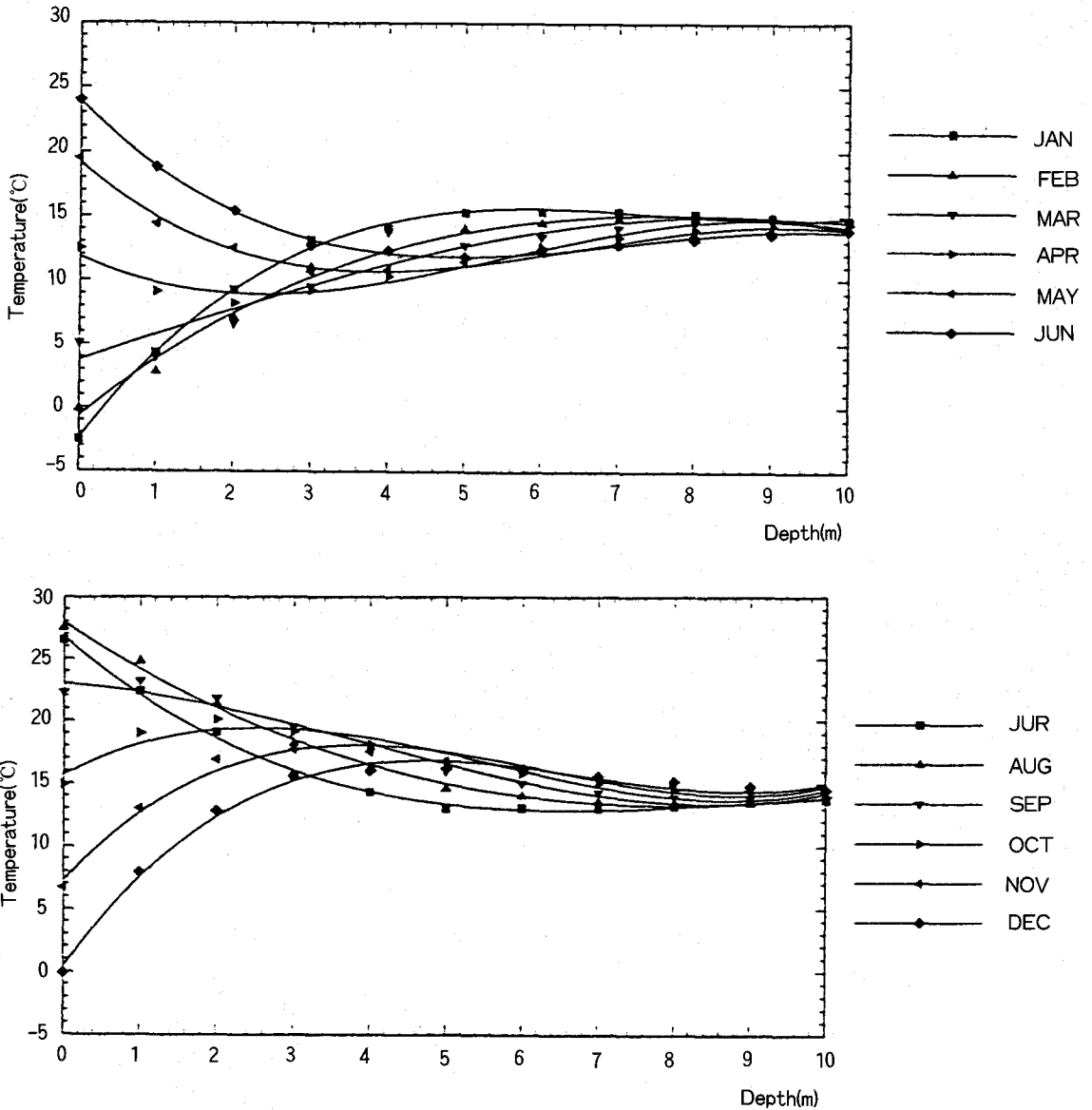
표 3.1이다.

그림 3.1과 3.2는 식 (3.1)을 토대로 서울지역의 지중온도를 그래프로 나타낸 것이다.

그림 3.1은 월별 지중깊이에 따른 온도변화를 나타내며, 그림 3.2는 깊이별로 월별 지중 온도를

구해 연중 지중온도변화를 나타내고있다.

전국 주요지점의 온도분포를 살펴보면, 모든 지역이 1.0m 보다 깊은 곳에서는 0°C 이하로 내려가지 않으며, 지표면 부근에서 1.5m까지는 연중 온도변화가 크게 나타난다.



<그림3.1> 서울에서 지중깊이에 따른 평균 지중온도

연중 온도변화는 모든 지역이 대부분 비슷한 형태를 보여준다. 지표면에서 0.5m까지는 월별 온도의 변화가 크므로 최고온도와 최저온도의 차에 의한 진폭이 크게 나타나지만, 1.0m 부터 5.0m에서는 월별온도의 변화가 적어 진폭이 없어진다.

온도의 변화가 없는 깊이는 지역별로 약간의 차이는 있으나 9.0m이내로, 대부분의 지역은 9.0m정도의 깊이에 이르면 일정한 온도를 유지하게 된다.

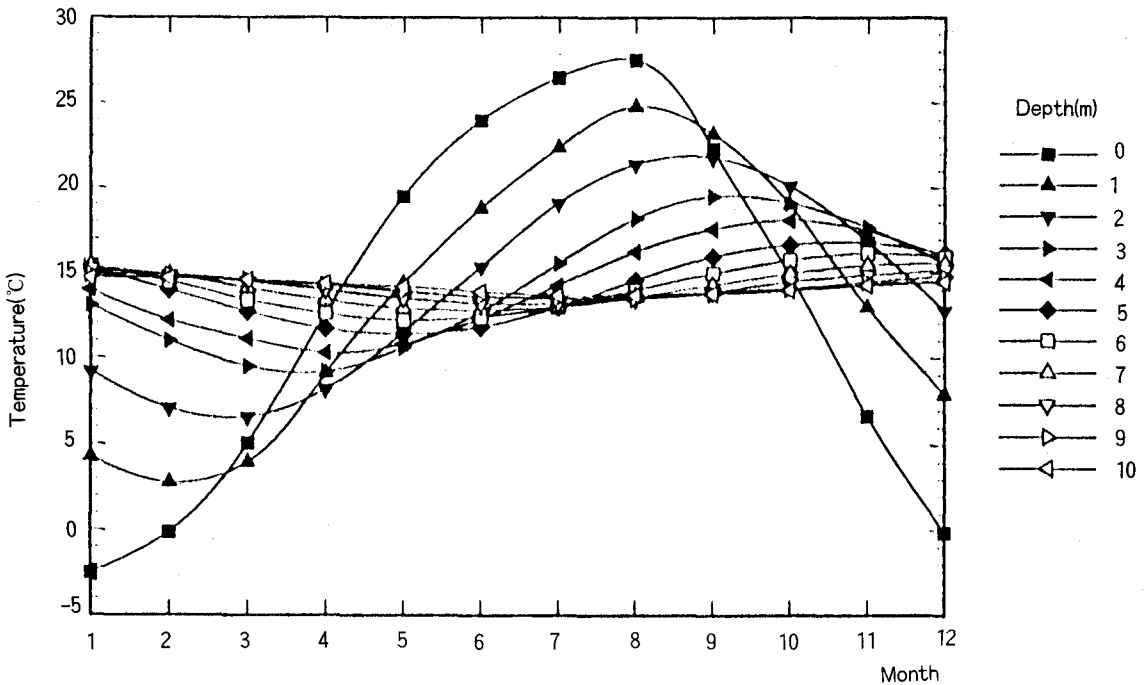
### 3.2 지하공간을 포함한 지중열전도 해석

지상건물의 외피를 통하는 열량은 외부의 기온과 실내의 온도차에 의해서 쉽게 구할 수 있다. 그러나 지하구조물의 경우 지중깊이와 구조물의 열적 특성에 따라 지하의 열류경로가 형성되어

관류열량을 구하는 과정이 복잡해진다.

ASHRAE 1989 Handbook of Fundamental에 의한 지하구조물의 열류는 지상건물의 지하동을 대상으로 하고, 벽체의 열저항값 중 규정된 예가 몇 개에 제한되어 있어 지하구조물의 설치조건이 다양해지고 벽체의 열저항 값이 변화할 경우에는 적용하기가 까다롭다. 또한 ASHRAE에서 제안된 방법은 지중의 온도변화를 고려한 것이 아닌 겨울철 대기중의 평균기온을 적용하여 이것의 지중을 통한 열류경로를 해석하고 이 경로 차에 의한 열저항 값을 계산하여 관류열량의 차이를 보정하였다.

지하구조물을 포함한 지중의 깊이 변화에 따른 지중온도를 구할 수 있다면 외피의 관류열은 이에 의하여 일반적 벽체의 관류열 계산 방법을 준하여 계산할 수 있게 된다. 즉, 미소 범위의 지



〈그림3.2〉 서울에서의 연중 지중온도변화

중깊이에 따른 온도와 지하부 실내 기온의 온도차를 계산하여 벽체의 열관류율과 미소면적을 곱하여 주면 미소 단위면적에 해당하는 관류열을 쉽게 구할 수 있게 되며 이를 모두 합하면 전체 지하벽체를 통한 관류열이 된다. 따라서 벽체의 관류열 계산을 겨울철 지상의 평균기온에 의한 함수가 아닌 직접적인 열교환이 이루어지는 지중의 온도분포에서 구할 수 있게 된다.

그러므로 지하구조물의 냉난방부하를 정확히 구하기 위해서는 지하구조물 포함한 지중의 온도분포를 파악하는 연구가 선행되어야 한다.

지금까지의 지중온도분포를 파악하는 연구가 국내·외에서 주로 수치해석방법을 통해 수행되어졌다. Richard와 Thomas(1981)는 흙으로 덮은 구조물(Earth-Shelterd Structures) 주위의 지중온도를 해석하기 위해 유한차분법을 사용하여 2차원 비정상 열전달방정식을 풀었고, George ect.(1980)는 열전달방정식을 해석하여 지중구조물 벽체의 단열효과를 연구하였다. 국내에서는 정수일(1984)이 지하공간이용을 위한 지중온도의 해석방법에 관해 연구를 수행한 바 있다.

본 연구에서는 이러한 연구결과들을 바탕으로 지하구조물의 유동 및 열환경을 포함하는 3차원 지중온도해석모델을 설정하고, 현상을 지배하는 방정식을 적절한 경계조건을 적용하여 수치해석을 수행하였다.

#### 가. 해석모델

일반적으로 지하구조물을 포함하는 지중의 온도분포를 수치해석하기 위해서는 적용모델을 설정하여야 한다.

본 연구에서는 지하토질로 이루어진 부분의 열전달현상과 지하구조물 내부의 열환경·유동현상을 함께 고려하였다. 즉, 온도차에 의한 자연대류로 지하구조물내 유동이 발생하여 열환경에 영향을 주므로 이를 수치해석에 포함하였다.

지하구조물은 밀폐공간으로 가정하고, 벽면은

단열되지 않은 것으로 하였다. 그리고 시간에 대해서 변화가 없는 정상상태로 하였고, 3차원으로 해석하였다.

앞절에서 구한 전국 주요지점의 지중깊이에 따른 온도분포를 수치해석의 경계조건으로 이용하였다.

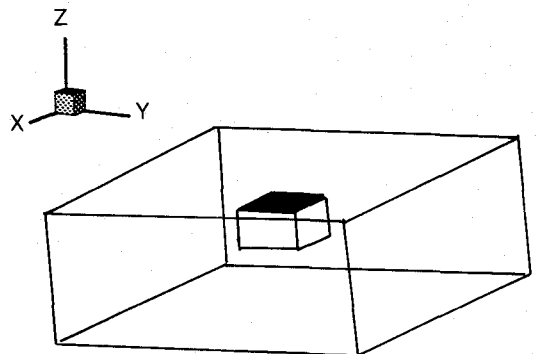
#### 나. 해석방법

앞 절에서와 같은 지배방정식을 경계조건을 적용, 유한체적법(Finite Volume Method)을 사용하여 해석하였다. 본 연구에서는 수치시뮬레이션을 수행하는데 있어 프로그램의 작성에 소요되는 시간을 절약하고, 정확성과 타당성이 검증되어 열·체공학과 관련된 문제에 널리 사용되고 있는 AEA사의 FLOW-3D 패키지를 사용하였다.

#### 다. 해석결과 및 고찰

<그림 3.3>는 시뮬레이션의 대상이 되는 지중온도해석모델이다. 지하가운데 지하구조물이 위치한다. 지하생활공간은 5m×5m×3m의 크기를 가지고 있고, 전체해석공간은 벽체에서 10m까지를 포함했고, 지하로 9m까지를 계산영역으로 정했다. 지하생활공간은 단열하지 않았다. 그리고 지질의 열전달계수는 1.2W/m℃로 하였다.

경계조건을 주기위해서, 그림 3.1을 참조하여 서울의 월별 지중온도분포를 다음과 같이 구했다.



<그림 3.3> 지중온도해석 모델의 3차원적 형상

$$T = -2.437 - 7.809Z - 1.080Z^2 - 0.048Z^3 \dots 1\text{월}$$

$$T = 11.850 + 2.765Z + 0.745Z^2 + 0.045Z^3 \dots 4\text{월}$$

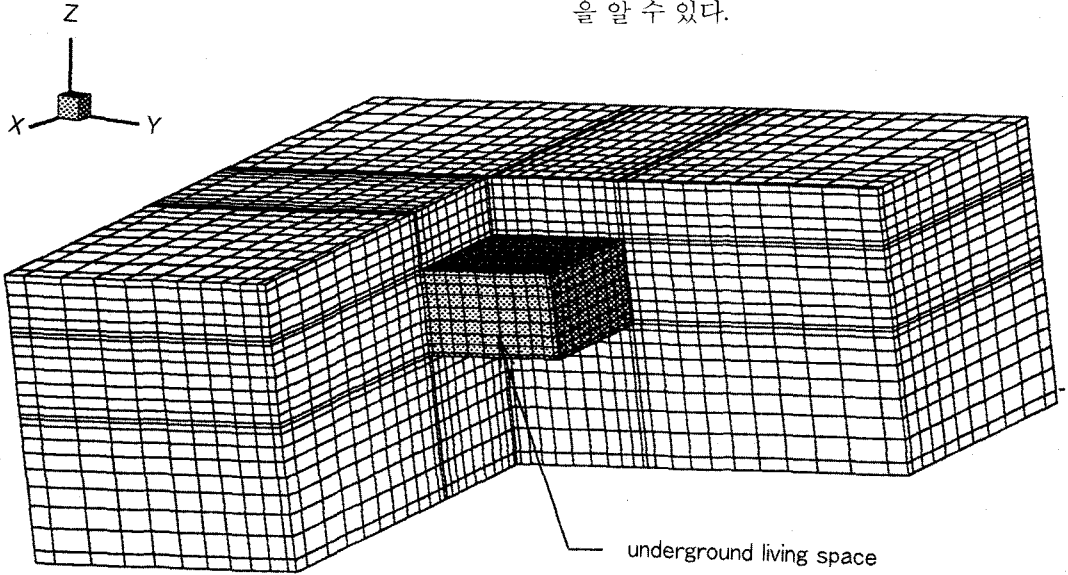
$$T = 26.779 + 5.273Z + 0.636Z^2 + 0.024Z^3 \dots 7\text{월}$$

$$T = 15.671 - 3.257Z - 0.827Z^2 - 0.049Z^3 \dots 10\text{월}$$

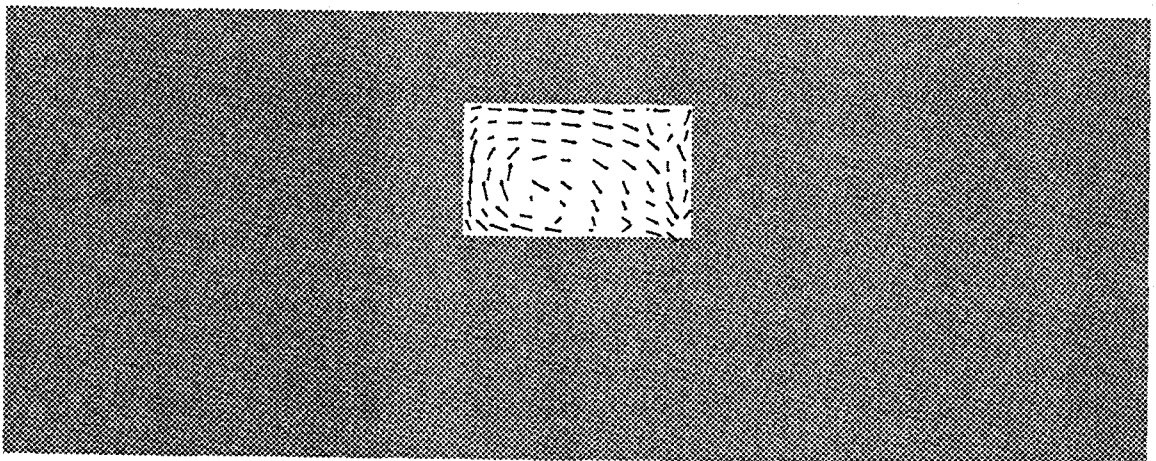
여기서 T의 단위는 °C이고 Z은 지중깊이다.

그림 3.4는 수치해석을 위해 작성한 격자계 (grid system)를 도시하였다.

그림 3.5은 지하구조물내의 유동현상을 보여준다. 공간내 온도차이에 의해 자연대류가 발생함을 알 수 있다.



<그림 3.4> 수치해석을 위한 격자계



<그림 3.5> 지하구조물내의 속도벡터(7월, 서울)



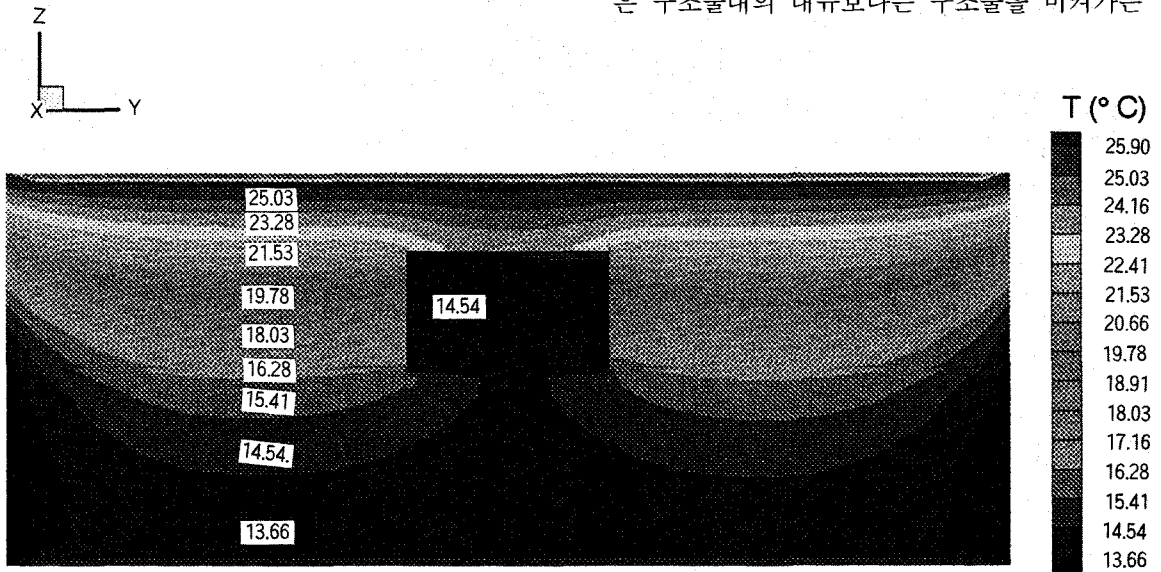
그림 3.6에서 3.9는 지하구조물을 포함한 지하의 온도분포를 나타낸다. 그림은 지하구조물의 존재가 지중온도분포에 상당한 영향을 끼침을 보여주고 있다.

지하구조물내의 온도는 구조물의 하부지중온도

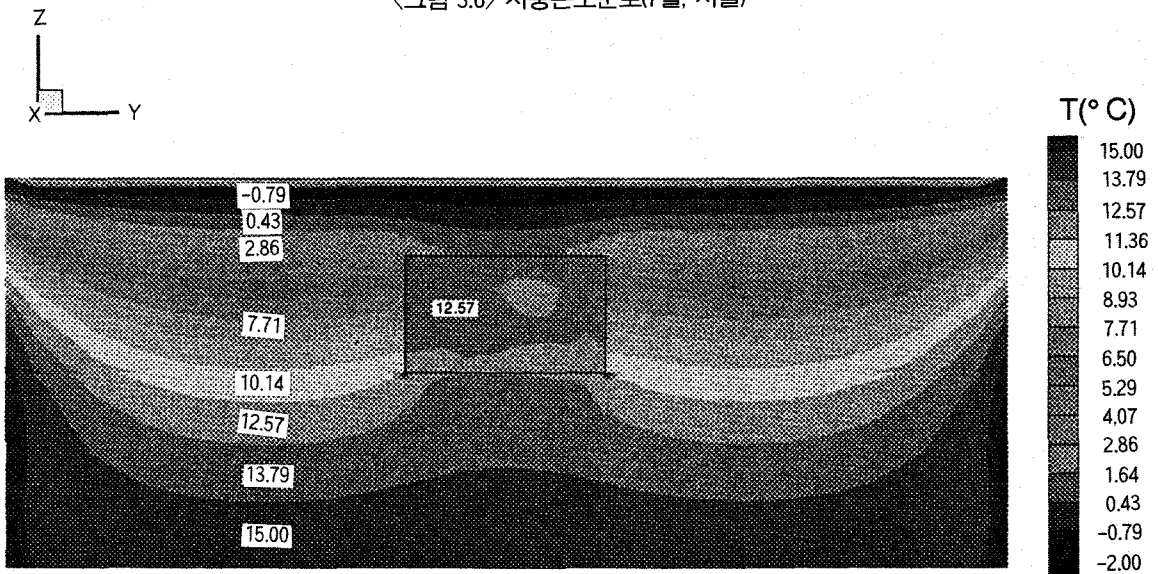
에 큰 영향을 받으며, 연중 12°C-14°C 정도의 범위로 계절에 따라 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

1월과 7월에 지하 5m 정도까지 온도구배가 커서 열전달이 활발하게 이루어진다.

열류의 경로는 등온선에 법선방향이다. 그림의 등온선분포에서 알 수 있듯이 지하의 열전달은 구조물내의 대류보다는 구조물을 비껴가는



<그림 3.6> 지중온도분포(7월, 서울)



<그림 3.7> 지중온도분포(1월, 서울)

전도에 의해 상당부분이 이루어진다. 그러므로 구조물 상단과 하단에서는 대각방향의 열류가 발생함을 알 수 있다.

앞으로 지중온도분포에 대한 수치해석연구를 지하구조물의 다양한 벽면단열효과를 고려하는 범위까지 확장하여, 지하구조물의 냉·난방방부

하를 효과적으로 산출하는 방법을 도출하는 방향으로 연구를 진행할 것이다.

#### 4. 지열에너지의 활용 및 에너지 절감방안

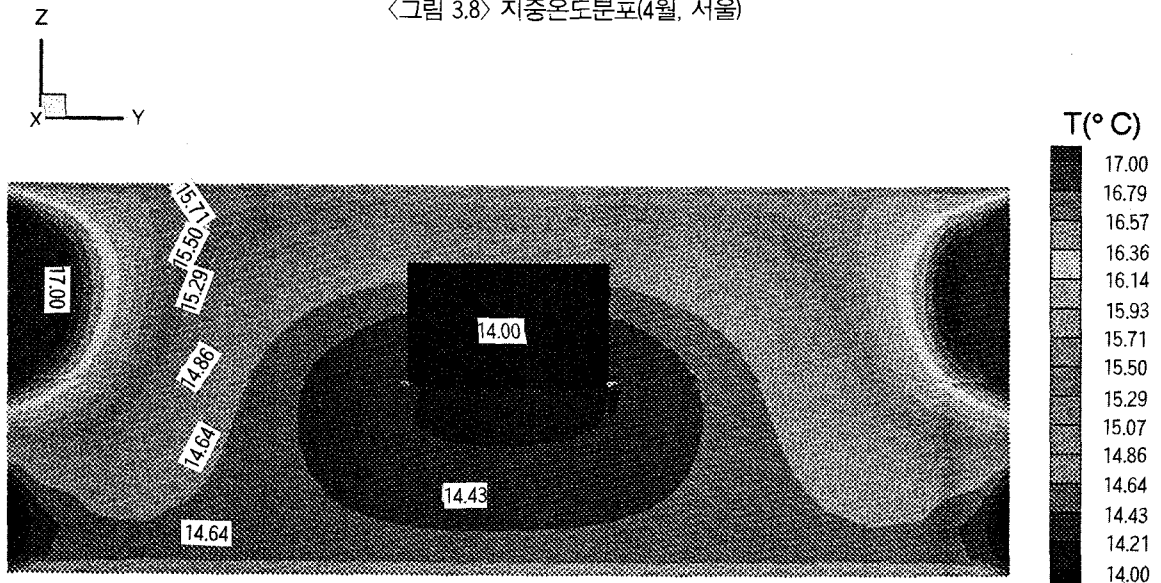
##### 4.1 지열에너지 이용 도로 융설시스템

###### (1) 도로 융설시스템의 개요

겨울철 도로의 융설 및 결빙을 방지하기 위해



〈그림 3.8〉 지중온도분포(4월, 서울)



〈그림 3.9〉 지중온도분포(10월, 서울)

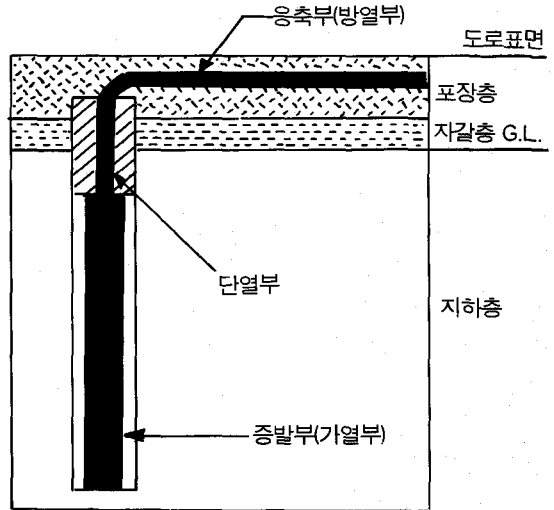
서 지열에너지를 이용한 시스템의 상세 단면도를 그림 4.1에 나타내고 있으며, 실험장치를 구성하고 있는 4개의 모델에 대해서 단면의 구조는 동일하지만, 각기 다른 규모로 설치한 사양을 종합적으로 정리하면 표 4.1과 같다.

응축부에 대한 파이프의 설치후, 실제 도로의 단면과 같은 구조를 만들어 실험장치를 구성하였다.

또한, 증발부의 온도를 측정하기 위해 각 파이프의 최하단에 열전대(Thermocouple)를 설치하였다. 열전대는 T-type이며, 직경 0.5 mm 내외의 접점을 만들어 전용본드를 사용해서 정해진 측정위치에 접착시켰다. 자료의 수집은 미국 KAYE Instrument Inc. 에서 제작한 128 채널의 Data Acquisition System을 사용하여 실험자료를 수집하였다.

(2) 실험 결과 및 고찰

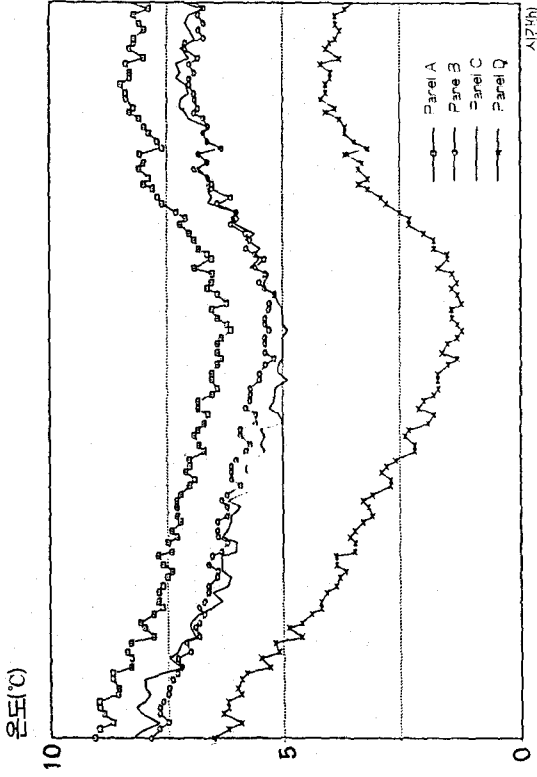
실험장치는 앞에서 설명한 것과 같은 공정에 따라 설치를 완료한 후, 실험에 필요한 측정장치를 설치하여 각 Panel에 부착된 온도센서에 의



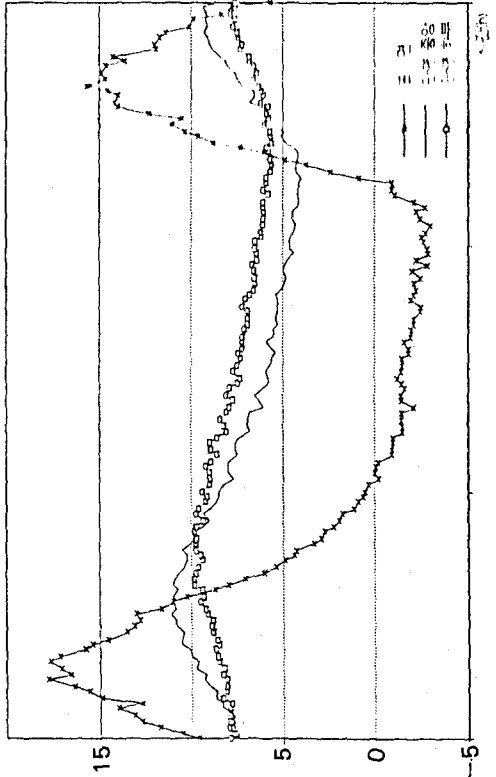
〈그림 4.1〉 도로결빙 방지장치의 개념도

〈표 4.1〉 실험장치의 사양

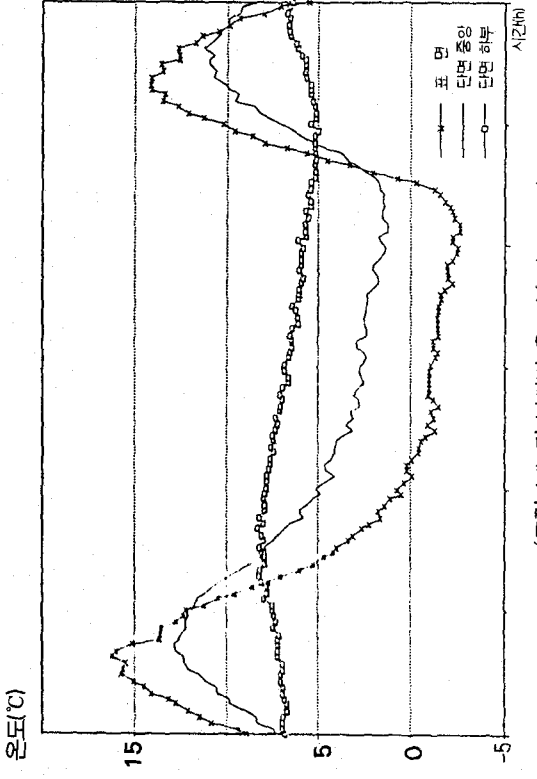
구 분	구 조	비 고
Panel A	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증발부 길이 : 14m</li> <li>○ 단열부 길이 : 6m</li> <li>○ 응축부 길이 : 4m</li> <li>○ 파이프 피치 : 0.4m</li> <li>○ 규 격 : 0.8m×4.5m</li> </ul>	공통사항 : 파이프직경 : $\varnothing 28.15$ 재 질 : 동파이프 (K S D 5301) 단열두께 : 30mm 파이프 수량 : 2개
Panel B	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증발부 길이 : 6m</li> <li>○ 단열부 길이 : 4m</li> <li>○ 응축부 길이 : 2.5m</li> <li>○ 파이프 피치 : 0.4m</li> <li>○ 규 격 : 0.8m×3m</li> </ul>	
Panel C	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 증발부 길이 : 4m</li> <li>○ 단열부 길이 : 2m</li> <li>○ 응축부 길이 : 2m</li> <li>○ 파이프 피치 : 0.4m</li> <li>○ 규 격 : 0.8m×2.5m</li> </ul>	
Panel D	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 열파이프를 설치하지 않음</li> <li>○ 규 격 : 0.8m×4m</li> </ul>	



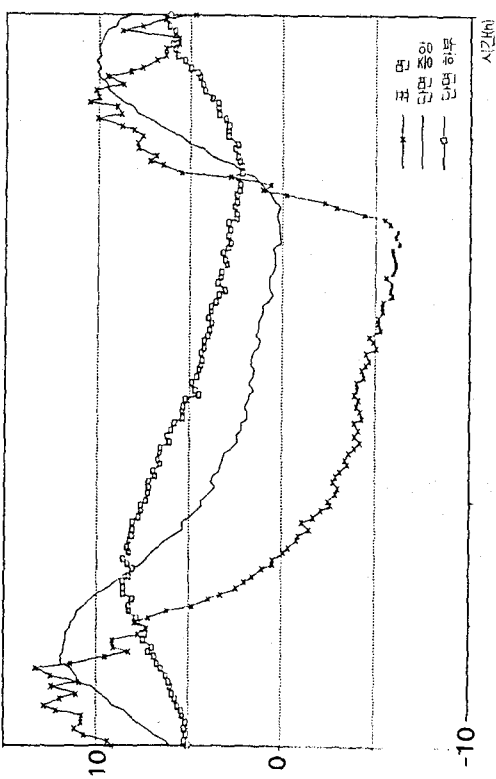
<그림 4.2> 각 Panel의 단면온도 분포



<그림 4.3> 각 부위별 온도 분포(Panel A)



<그림 4.4> 각 부위별 온도 분포(Panel B)



<그림 4.5> 각 부위별 온도 분포(Panel C)

해서 온도특성을 조사하였다.

그림 4.2는 열파이프가 위치한 곳의 자갈층과 접한 단면의 下部의 온도를 나타낸다.

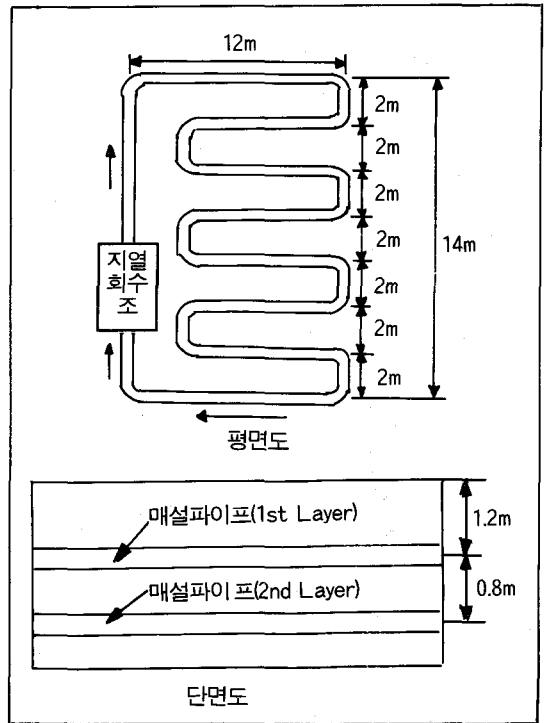
이 그림에서도 역시 열파이프를 설치하지 않은 Panel의 온도가 열파이프를 설치한 Panel에 비해 크게 낮은 것을 알 수 있다.

그림 4.3~4.6는 각 Panel의 단면 부위별 온도를 나타낸다. 이 경우에 있어서도 열파이프를 설치한 Panel은 설치하지 않은 Panel에 비해 상대적으로 높은 온도를 유지하고 증발부의 설치 위치가 깊을수록 유리함을 알 수 있다.

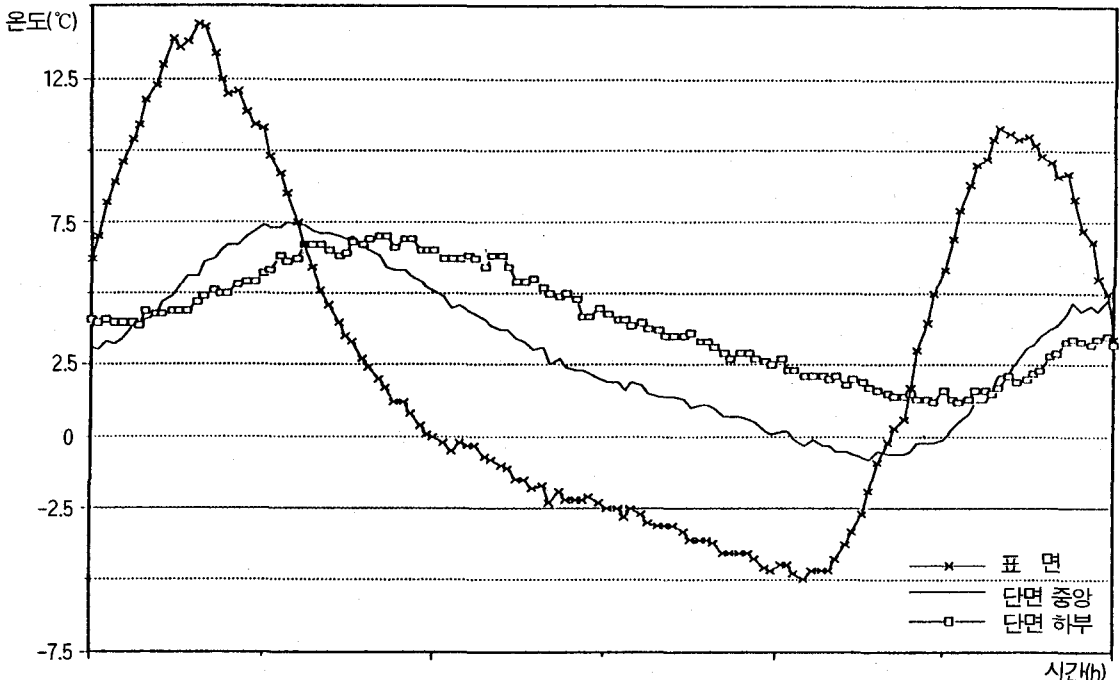
#### 4.2 지열에너지 이용 냉·난방시스템

##### (1) 지열에너지 이용 냉·난방시스템의 개요

지중열교환 코일에서 채열된 열을 열원으로 하는 열펌프 시스템의 설계를 위한 열펌프 시스템은 특수한 조건의 변화에 따라 적절하게 상황



<그림 4.7> 수평 코일 열교환기 설치도



<그림 4.6> 각 부위별 온도 분포(Panel D)

을 변화시켜가면서 실험을 할 수 있도록 하기 위해서 기존의 제품을 사용하기 보다는 설계에 부합되도록 제작하여 설치하였다.

지중매설 파이프를 이용한 축열 및 채열 열교환기는 매설방식별로 나누면 크게 수평매설방식과 수직매설방식으로 구분할 수 있으며, 또한 기하학적 구조, 설치방법, 사용자재 및 순환유체 등에 따라서 그 형태가 달라지게 된다.

지열의 축·채열 특성을 파악하기 위해 표 4.2와 같은 사양으로 파이프를 수평과 수직으로 매설하였으며, 이러한 내용을 간략히 서술하면 다음과 같다.

그림 4.7와 같이 수평매설은 파이프의 길이를 각각 10m, 12m로 제작한 후 굴삭기를 이용하여 지하 2m 깊이로 굴삭하였고, 굴삭작업이 완료된 후 각각의 길이로 제작된 파이프를 설치하였다.

지하 2m 깊이의 설치작업이 완료된 후 흙을 0.8m 두께로 매립한 후 지하 2m 깊이에서 설치한 방법과 동일한 방법으로 설치하였다. 지하 1.2m 깊이의 설치작업이 완료된 다음, 지표로부터

0.5m되는 깊이까지 매립한 후 파이프의 동파를 방지하기 위해 보온섬유를 덮고, 마무리작업을 실시하였다.

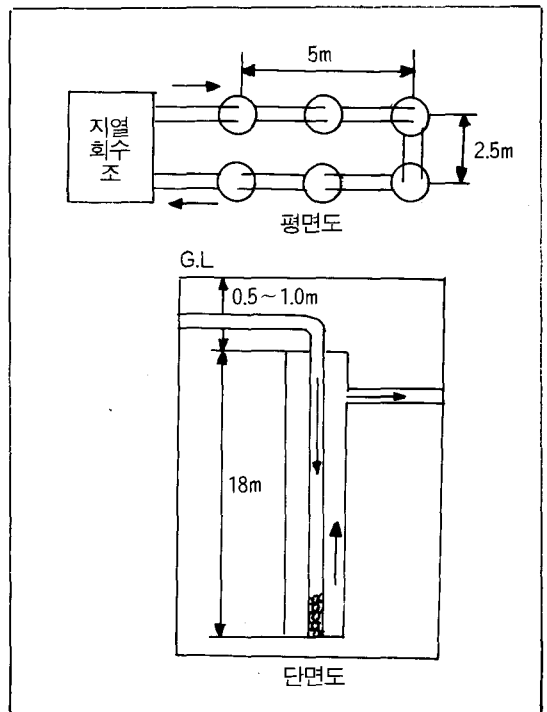
수평매설에서 PVC를 매설한 이유는 시공성이 비교적 쉽고 경제성이 높다는 장점을 갖고 있기 때문에 열전도율이 낮다는 단점에도 불구하고 동파이프의 성능과 PVC 파이프의 성능을 비교 분석을 위해 설치하였다.

다음으로, 지중코일에 대한 매설 면적을 많이 차지하는 수평매설보다 면적을 적게 차지하고, 지열에너지의 이용면에서 유리한 수직매설을 고려하여 그 성능을 알아 보고자 수직매설도 설치하였다.

수직매설의 경우 그림 4.8과 같이 18m 깊이로 6개 각 홀에 들어가는 파이프중 내부 파이프의 하단에는 유체가 흐를 수 있도록 같은 면적의 홀을 가공하였으며, 외부 파이프의 상단에는 다음

〈표4.2〉 지중열교환기의 사양

사 양	매설방법	
	수평매설	수직매설
재 질	동파이프	동파이프
PVC 파이프	규격	K-Type
	K-Type	
호 칭 경 ( m m )	동파이프 : 32	외측파이프 : 50
	PVC파이프 : 25	내측파이프 : 32
매 설 깊 이	1.2m, 2m	19m
매설파이프길이	108m	108m
매 설 간 격	2m	2.5m
매 설 홀	-	6개
순 환 액	Water	Water
전 열 축 진 매 체	-	벤토나이트 사용
작 업 기 계	굴삭기	



〈그림 4.8〉 지중 수직 코일 열교환기 설치도

홀에 설치된 파이프로 유체가 흐를 수 있도록 T 이음관을 연결시켰으며, 외부 파이프의 상단 부에 있는 캡에는 내부파이프가 들어 갈수 있도록 홀을 가공하였다.

(2) 실험결과 및 고찰

각 부분의 온도를 측정하기 위해 축열조 입구와 지중매설 파이프 입·출구, 증발기(응축기), 응축기(증발기)를 통과하는 냉매의 입출구, 압축기 입출구의 온도를 측정하기 위해 Thermocouple (T-Type)를 부착한 후 Data Logger에 접속시켰다.

실험은 수직 매설 파이프와 수평매설 파이프에 대해서 각각 실험을 실시하였으며, 실험을 할 때 파이프 입구에 부착되어 있는 유량계와 축열조의 수량을 체크하였다.

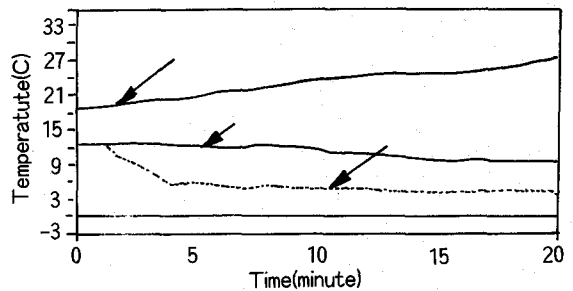
이들 중 한가지 실험이 종료된 후에는 전체 시스템을 일정 시간 동안 정지 시킨 후 재가동하였으며, 또한 축열조의 물을 새로 교체하면서 실험을 하였다. 난방실험을 완료한 후 냉매 파이프 내의 냉매의 평형을 유지시키기 위해 유분리기의 냉·난방 밸브를 모두 개방시키고, 4 Way Valve와 Solenoid Valve의 S/W를 냉·난방을 선택하여 Sight Glass로 평형상태를 확인하는 순서로 실험을 하였다.

이상의 실험을 통해 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

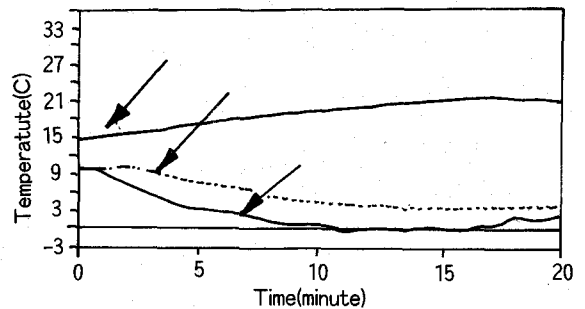
그림 4.9는 수직 매설 파이프의 난방 실험 결과로서 축열조내의 수량은 0.5m<sup>3</sup>이며, 이 때 지중매설 파이프와 증발기에 물을 순환시켜 얻은 지열원과 증발기내를 통과하는 냉매와의 열교환으로 얻어진 냉매의 온도를 이용하여 축열조내의 초기수온 19℃를 31℃까지 승온시키는 데 압축기에서 소비한 소비전력은 3.2kW이었다. 여기서, 지중매설 파이프 입출구 온도차가 갈수록 적어짐을 알 수 있으며, 이는 지중 매설 파이프 주위의 토양온도가 채열과정으로 인하여 역시 감

소되고 있음을 알 수 있다. 그림 4.10은 수평 매설 2m 동파이프의 난방 실험 결과로서 축열조내의 수량은 역시 0.5m<sup>3</sup>이며, 축열조의 초기온도는 15℃로 일정시간 동안 열펌프가 작동된 후에 열펌프가 멈추었을 때 축열조내의 수온은 20℃로 승온되었다.

그림 4.11은 1.2m, 2m 동파이프의 Double Layer의 난방실험 결과로서 축열조 내의 수량이 0.5m<sup>3</sup>이며, 축열조내의 초기온도는 26℃였으며, 일정 시간 동안 열펌프가 작동된 후 축열조내의 수온은 16℃였다. 압축기에서 소비된 소비전력은 2.29kW이었다. 이때 지중 매설 파이프 입출구의 초기온도는 15.7였으며, 열펌프의 난방 Cycle이 작동된 후 지중 매설 파이프와 토양과의 열교환은 거의 5℃차로 상승 곡선을 형성하고 있음을 알 수 있었다.

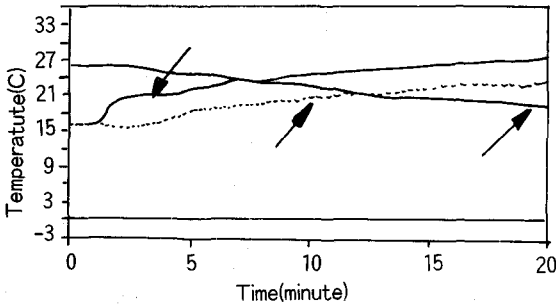


<그림4.9> 수직 매설 파이프의 난방실험



<그림4.10> 수평 매설 파이프의 난방실험(2m)

이와 같은 실험결과에서 알 수 있듯이, 지중 매설 파이프를 이용하여 비교적 저급에너지인 지열을 활용할 수 있는 가능성을 확인할 수 있으며, 특히 설치 면적도 적게 소요되는 수직매설방식이 수평매설방식보다 유리함을 알 수 있었다.



〈그림4.11〉 수평 매설 파이프의 냉방실험

## 5. 결론

에너지자원의 대부분을 수입에 의존하는 국내의 실정에 비추어 볼 때, 무한한 에너지자원의 보고라고 할 수 있는 지열에너지의 활용성에 대한 꾸준한 관심과 연구·개발이 필요하다.

특히, 지열에너지를 활용함으로써 특별한 동력원이 없이도 이용할 수 있는 도로 융설 및 결빙 방지시스템과 저밀도 에너지원인 지열에너지를 이용하여 건물에서 사용되어지는 냉·난방 에너지를 절감하고자 하는 연구방안에 대한 연구를 실시하여 그 활용성을 충분히 타진하여 보았다.

이와 같은 지열에너지에 대한 응용성을 높임으로서, 환경적인 측면에서의 부작용을 최소화할 뿐만아니라, 화석에너지의 수입을 감소시킬 수 이와 같은 지열에너지에 대한 응용성을 높임으로서, 환경적인 측면에서의 부작용을 최소화할 뿐만아니라, 화석에너지의 수입을 감소시킬 수 있는 기술개발 및 활용분야에 부단한 연구 및 노력이 경주되어야 할 것이다.

## 〈참고문헌〉

1. 岡 建雄, 藤田尊志, '히트펌프熱源とその有効活用, 空氣調和衛生工學會, 第67卷, 第6號, pp25~35, 1993.
2. 岡 建雄, 藤田尊志, '土壤熱利用 히트펌프ヒステム, 建築設備と西管工事, pp 73~77, 1989, 10
3. 高 島熱, 本多朗郎, '地熱エネルギー', エネルギー-資源, Vol. 11, pp 40~44, No. 1, 1990.
4. 申鉉準, '地熱探熱을 위한 Thermosyphon의 利用에 關한 研究', 博士學位論文, 1994.8.
5. P. D. Metz, 'Ground-Coupled Heat Pump System Experimental Results', ASHRAE Trans. Vol. 89, pp 407~415, 1983.
6. W. S. Johnson, et al, 'Annual Performance of a Horizontal-Coil Ground-Coupled Heat Pump', ASHRAE Trans. No. 2945
7. P. Frank, T. Berntsson, 'Ground-Coupled Heat Pumps with Low-Temperature Heat Storages ; Some Swedish Experiences', ASHRAE Trans., Vol.91, Part 2B, 1985.
8. M. A. Catan, V. D. Baxter, 'An Optimized Ground-Coupled Heat Pump System Design for Northern Climate Applications', ASHRAE Trans., Vol.91, Part 2B, 1985.
9. Carson J. W., and H. Moses, 1963, J.Appl. Meteorol, 2: 397-406.
10. Al-Nakshabandi G., and H. Kohnke, 1965, Agr. Meteorol, 2:271-279.
11. Baker D. G., 1965, Minn. Farm Home Sci. 22:11- 13.
12. S. A. Baggs, 1982, Remote Prediction of Periodic Ground Temperatures in Australia Using Isothermal Contour Maps, Underground Space, Vol. 7, pp. 127- 132.
13. 장정진, 김규호, 공영세, 1970, 한국의 지열류량, 지구 물리 화학 탐사 연구 보고, 제4권 1호, pp. 30-37.
14. 박종길, 1992, 남한에서 지중온도의 변화특성에 관한 연구, 전남대학교, 석사논문.
15. 정수일, 1984, 지하공간 이용을 위한 지중온도의 해석 방법에 관한 연구, 고려대학교, 박사논문.
16. Richard F. S., and Thomas H. K., 1981, Analysis of Transient Heat Loss in Earth-Sheltered Structures, Underground Space, Vol. 5, pp. 237-246.
17. George D. M., Paul H. S., and Thomas P. B., 1980, The Impact of Insulation Placement on the Seasonal Heat Loss Through Basement and Earth-Sheltered Walls, Underground Space, Vol. 5, pp. 41- 47.
18. 김성식, 1995, 지하공간의 활용을 위한 에너지 효율 평가에 관한 연구, 고려대학교, 석사논문.