

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 21, No. 1, 2001

주기 함수에 의한 지중 온도의 예측 방법에 관한 연구

정수일*, 박효순**, 장문석**

* 금오공과 대학교

** 한국에너지기술연구원

A Study on the Method to Predict Underground Temperature by Periodic Function

S.I.Jeong*, H.S.Park**, M.S.Jang**

* *Kumoh National University of Technology*

** *Korea Institute of Energy Research*

Abstract

Underground space gives two benefits to us. First, it helps us to solve the land scarcity problem in urban city. Second, it also helps us to manage the thermal properties of underground to keep cool in summer and warm in winter.

How much it save energy depends on the ability to predict the exact temperature of the space. The purpose of this paper is to make a function predicting the temperature of underground space, analysing the 20 years measures of underground temperature kept in Korea Central Weather Bureau.

1. 서론

1.1 연구목적

지하공간의 사용이 점차 확대되어 가고 있는 것은 전 세계적인 추세이며, 이는 도심지에서 필

요한 지상공간의 부족을 지하공간으로 보충하려는 것과, 지하공간이 가지고 있는 열특성—겨울철의 따뜻함과 여름철의 시원함—을 에너지 절약에 이용하려는 것이다. 우리나라는 인구밀도의 조

밀함이 세계에서 상위그룹에 해당되는데다 사용 에너지의 주종을 이루고 있는 석유자원이 전무하여 지하공간의 열적특성 이용이 절실하게 요구되고 있는 실정이다. 지하공간의 열적특성 이용에는 냉방과 난방의 이용으로 분류할 수 있는데, 이를 위하여는 지중 온도의 지역별 깊이별 예측이 필요하다. 외국의 문헌들(Energy and Building, Tunnelling and Underground space)에 발표된 논문들을 살펴보면 사전에 측정되어졌거나 측정하고있는 지중온도를 대상으로 하고있고, 국내에 발표된 논문들(건축학회지, 태양에너지학회)에서도 같은 형편이어서 지중온도를 예측하는 연구는 아직 접해보지 못하였다.

우리나라의 경우, 각 기상대 및 측후소에서 지중온도를 측정하고 있는데, 0.0~0.5m까지는 상세하게 측정하고 있으나, 더 깊은 곳은 1.0, 1.5, 3.0, 5.0m를 측정하고 있으며, 어떤 곳은 표면과 표면 가까운 2~3개 깊이에 국한하여 측정하고 있다. 따라서 불변층으로 생각되는 10~15m까지의 온도예측이 가능한 공식이 있으면 냉난방부하 계산에 적극 활용될 수 있으며, 지하공간의 온도해석에도 경계조건을 설정할 수 있어서 도움이 될 것이다.

1.2 연구방법

서울, 대전, 부산 기상대에서 측정해온 지중온도에 대한 20년간(1979년~1998년)의 데이터를 365일동안 평균으로 한 값을 계산한다. 최초계획에서는 광주를 포함한 4개지역으로 하였으나 광주 지역은 지중 3m, 5m 측정치가 없으므로 3개 지역으로 국한 시켰다. 통계처리를위하여 Exel97이, 방정식계산에는 Borland C++이 사용되었으며, 윤년이 되는 2월 29일은 계산의 편의상 생략하였다.

비교의 편리를 위하여 기상대에서 측정하고 있는 0.0m, 1.0m, 3.0m, 5.0m를 기준으로 하여 측정된 값과 지배방정식(편도함수)에서 유도되는 지

중온도방정식(주기성 함수)으로 계산한 값을 비교하여 오차가 크게되는 이유를 찾아내어 점차로 개량해 나간다.

2. 지중온도의 해석 방정식

지중온도의 해석에는 주기성해석과 수치해석이 있는데 수치해석은 지하공간을 포함하고 있는 경우에 주로 사용되고 있으며, 주기성 해석방법은 지중을 반무한 고체로 간주하여 복소수 함수로 가정하여 구하는 것이다.(여기서는 주기성해석방법 사용)

지중온도 T에 대한 에너지 방정식을 지배방정식- 식(1)과 같이 놓고서 풀이하면 식(22)와 같이 해석된다.¹⁾

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

식(1)에서 a는 열확산계수 ($k/\rho c$: k->열전도율 Kcal/m h °c : c->비열Kcal/Kg °c : ρ->밀도Kg/m³), t는 시간, x는 지면으로부터의 깊이를 나타내며, T는 t와 x의 함수 즉 T(x,t)가 되며 식(1)의 해를 구하기 위한 경계조건은 다음과 같다.

$$T(0, t) = T_{av} + T_{am} \cos \omega t \quad (2)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} T(x, t) = T_{av} \quad (3)$$

식(2)에서 Tav는 지중평균온도, Tam은 온도진폭, ω는 온도변화의 각속도이며 1일의 지중온도 해석에서는 $2\pi/24$, 1년의 지중온도 해석에서는 $2\pi/365$ 가 된다.(여기서는 $2\pi/365$ 가 사용됨)

식(1)의 풀이를 간편하게 하기 위하여 $\theta(x, t) = T(x, t) - T_{av}$ 로 정의하면 (1), (2), (3)식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (4)$$

$$\theta(0, t) = T_{am} \cos \omega t \quad (5)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \theta(x, t) = 0 \quad (6)$$

(2)식의 $T_{am} \cdot \cos \omega t$ 를 Euler공식 $e^{i\omega t} = \cos \omega t + i \sin \omega t$ 를 이용하여 $T_{am} e^{i\omega t}$ 의 실수부로 나타내기 위하여 식(4)와(5)에서 θ 대신 G 로 바꾸면 다음과 같다.

$$G(x, t) = \theta(x, t) + iS(x, t) \quad (7)$$

식(4), (5), (6)에 식(7)을 대입하면 식(8), (9), (10)으로 된다.

$$\frac{\partial^2 G}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial G}{\partial t} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} G(0, t) &= T(0, t) + iS(0, t) \\ &= T_{am} \cos \omega t + i T_{am} \sin \omega t \quad (9) \\ &= T_{am} e^{i\omega t} \end{aligned}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} G(x, t) = 0 \quad (10)$$

또한 식(8), (9), (10)을 허수부 $S(x, t)$ 에 관해서 전개하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial S}{\partial t} \quad (11)$$

$$S(0, t) = T_{am} \sin \omega t \quad (12)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} S(x, t) = 0 \quad (13)$$

식(8), (9)에서 보는 바와 같이 G 는 x 와 t 의 함수이므로 다음과 같이 가정 할 수 있다.

$$G(x, t) = X(x) \cdot e^{i\omega t} \quad (14)$$

식(8)에 식(14)를 대입하면 변수분리가 되어 식(15)와 같은 상미분방정식이 된다.

$$X''(x) - \frac{i\omega}{a} X(x) = 0 \quad (15)$$

또한 식(14)에 식(9), (10)을 대입하면 $X(x)$ 에 관한 경계조건은 다음과 같이 된다

$$X(x) = T_{am} \quad (16)$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} X(x) = 0 \quad (17)$$

식(15)의 일반해는 식(18)과 같다.

$$X(x) = A \cdot \text{EXP}\left(-x\sqrt{\frac{i\omega}{a}}\right) + B \cdot \text{EXP}\left(x\sqrt{\frac{i\omega}{a}}\right) \quad (18)$$

식(18)에 식(17)을 적용하면 $B=0$ 이 되고, 식(16)을 적용하면 $A=T_{am}$ 이 되어 $G(x, t)$ 는 식(19)와 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 G(x, t) &= T_{am} \cdot \text{EXP}\left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right) \cdot \text{EXP}\left(-ix\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right) \cdot \text{EXP}(i\omega t) \\
 &= T_{am} \cdot \text{EXP}\left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right) \cdot \text{EXP}\left(i\left(\omega t - x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right)\right) \\
 &= T_{am} \cdot \text{EXP}\left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right) \cdot \left(\text{Cos}\left(\omega t - x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right) + i \text{Sin}\left(\omega t - x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right)\right)
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

식(7)에서 $G = \theta + iS$ 이므로 식(19)를 θ 와 S 로 분리하여 실수부분 θ 만 취하면 식(20)과 같이 된다.

$$\theta(x, t) = T_{am} \cdot \text{EXP}\left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right) \cdot \text{Cos}\left(\omega t - x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right)
 \tag{20}$$

$\theta(x, t) = T_{(x,t)} - T_{av}$ 이므로

$$T(x, t) = T_{av} + T_{am} \cdot \text{EXP}\left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right) \cdot \text{Cos}\left(\omega t - x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right)
 \tag{21}$$

식(21)을 그래프화 한 것이 그림 1인데 중심선 T_{av} 를 중심으로 상하로 펼쳐지는 점근선인 지수 함수 $T_{am} \cdot \text{EXP}\left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right)$ 를 따라서 점점 축소되는 온도진폭을 갖는 $\text{Cos}\left(\omega t - x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right)$ 함수를 나타내고 있다.

식(21)을 사용하여 계산한 서울, 대전, 부산의

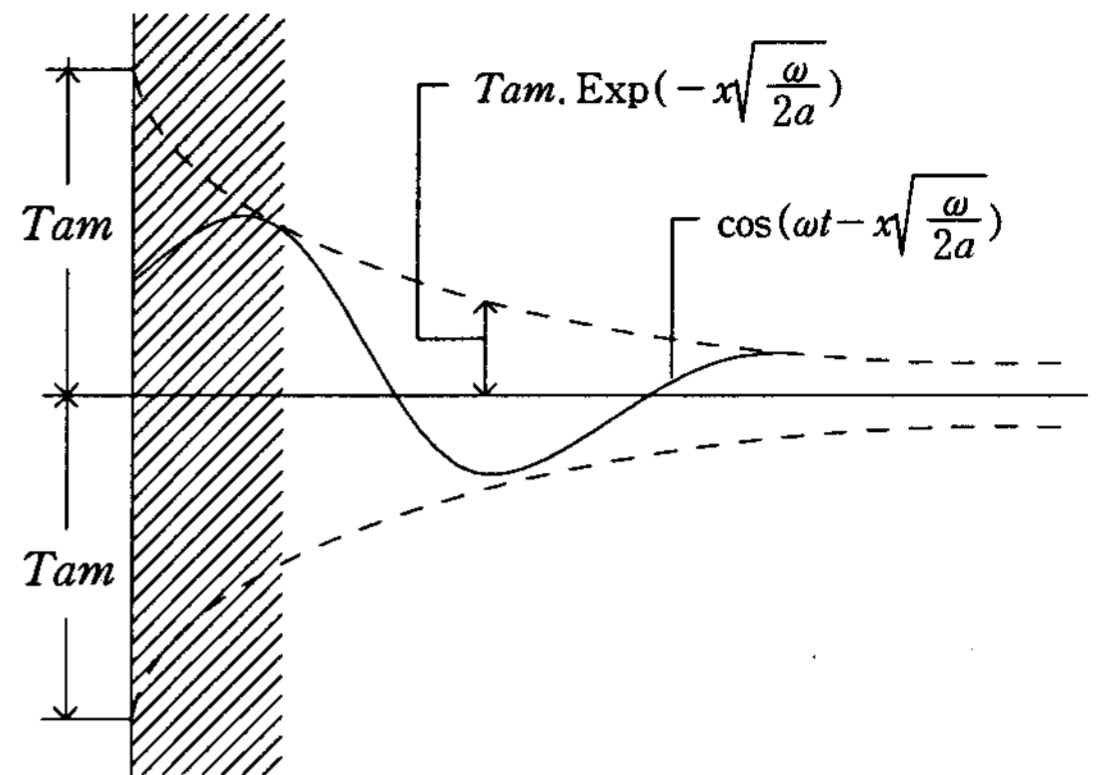


Fig. 1. 지중온도 T(x,t)방정식

Table 1. 주기 함수 값과 측정온도의 비교(°C)

지역	방법	0.0m	1.0m	3.0m	5.0m	비교
서울	주기	20.17	13.49	6.32	3.17	
	실측	13.31	13.89	14.60	14.57	
	차이	6.86	-0.40	-8.28	-11.46	6.74
대전	주기	18.64	12.37	6.01	2.63	
	실측	14.29	14.55	14.46	14.55	
	차이	4.35	-2.18	-8.45	-11.92	6.73
부산	주기	16.46	10.03	3.90	1.85	
	실측	15.82	15.45	15.52	15.36	
	차이	0.64	-5.42	-11.62	-13.51	7.80

3개도시에 대한 지중온도(주기)와 위 3개지역의 기상대에서 20년간 측정된 깊이별 지중온도의 평균값(실측)은 표 1과 같다.

표 1에서 보는 바와 같이 서울에서는 0.0m, 1.0m, 3.0m, 5.0m 4개 깊이의 실측값과 주기함수를 계산한 값의 차이의 평균이 6.74°C, 대전은 6.73°C, 부산은 7.80°C를 나타내고 있어서 식(21)

은 실용식으로는 부적합 한 것을 알수있다.

표 1에서의 주기 함수값과 실측값을 그래프로 낸것이 그림 2, 3, 4 이다. (0.0, 1.0, 3.0, 5.0m의 4개 지점을 택한것은기상대의 측정치에 따른 것이다. 즉 기상대에서는 전 지역 모두 2.0m와 4.0m는 측정하지 않음).

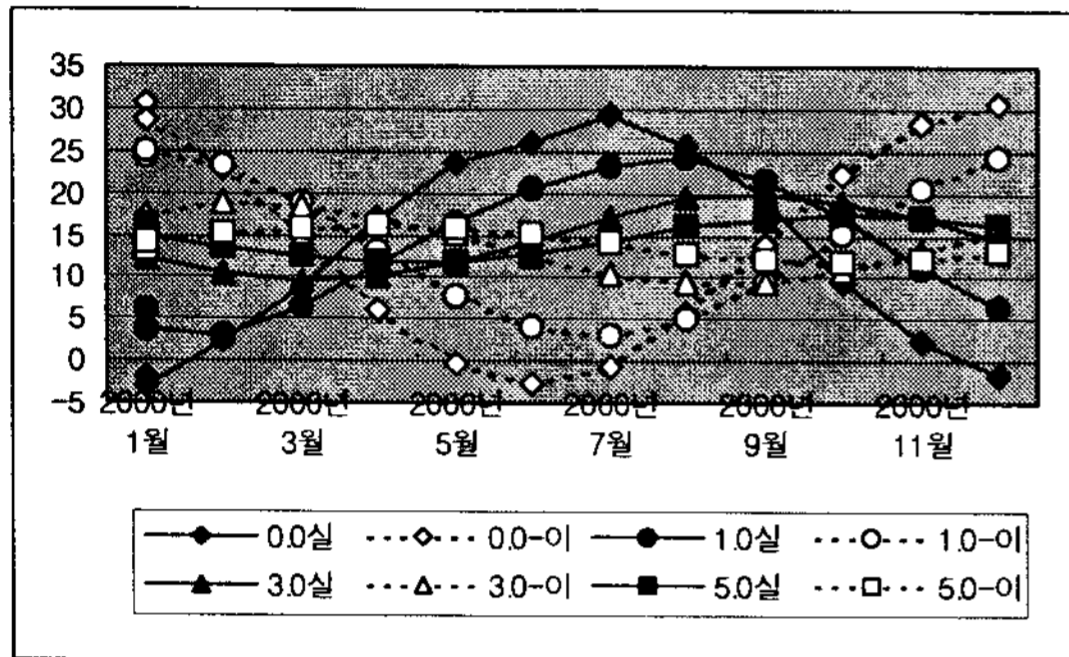


Fig 2. 서울 : 주기함수값과 실측치

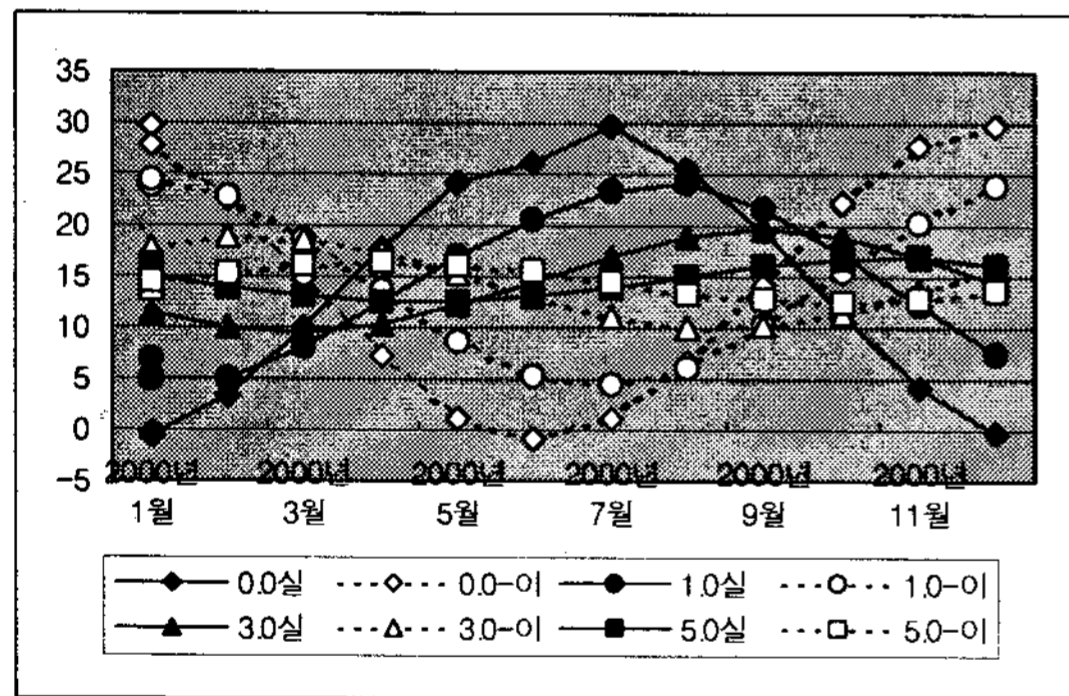


Fig 3. 대전 : 주기함수값과 실측치

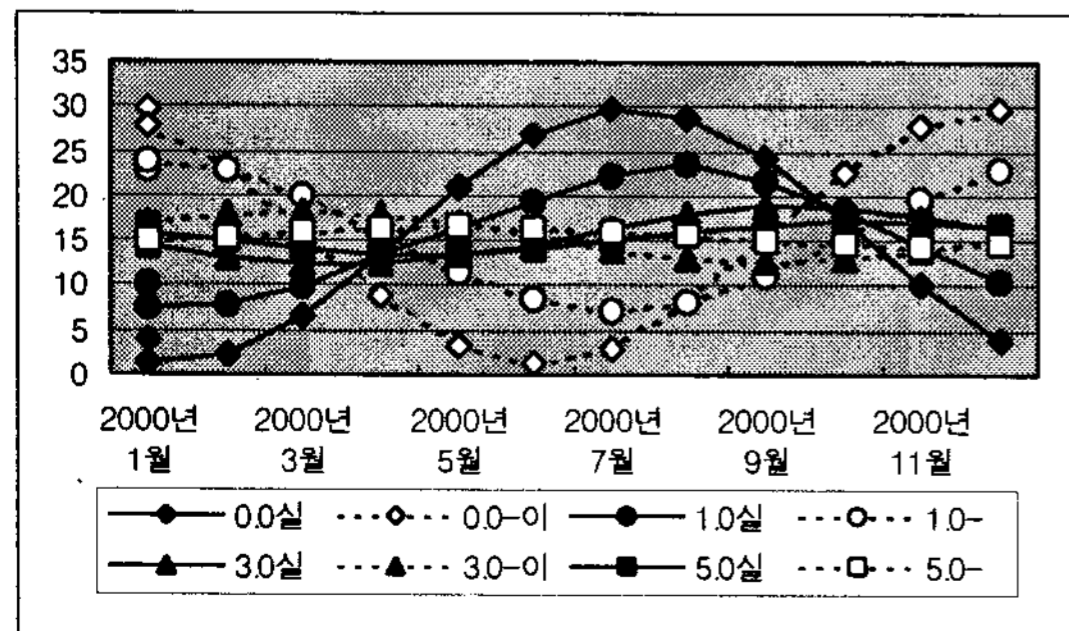


Fig 4. 부산 : 주기함수값과 실측치

3. 지중온도 해석 방정식의 개선

식(21)과 실측치가 차이를 나타내는 이유는 식(21)의 방정식은 여현값의 시작점을 0°에서 시작하여 360°에서 끝나는 주기를 가지고 있어서 이 함수의 최대값은 0°와 2π인데 반하여, 지중온도의 최대값은 0과 2π가 아닌 다른 값이기 때문이다. 표 2는 3개지역의 최대값이 나타나는 날짜(20년통계치)이다.

식(21)에서는 깊이 0.0m의 최대값이 1월 1일 (혹은 12월 31일)이 되지만, 서울지표면에서는 8월 1일로서 1월 1일에서부터 213일 차이가 나며, 지중1m에서는 8월 21일로서 233일 차이가 난다.

표 3은 최대값을 기준으로한 3개지역의 깊이별 지연시간을 계산한것으로서, 서울지역의 경우 1m의 깊이에서는 20일이 지연되었고 3m깊이에서는 총 42일이 지연되어 14일/m일이 되었다. 1m당 지연시간이 거의 비슷한 지역은 대전으로 1m깊이는 21일/m, 3m에서는 21일/m, 5m에서는 22.2일/m를 나타내었다

실제로 식(22)에서 $\cos(\omega t - x\sqrt{\frac{\omega}{2a}})$ 에서 여현값이 최대가 되는 t의 값은²⁾ 후술하는 AI 값을 적용하였을 때 서울24.1/m, 대전24.1/m,

Table 2. 지중온도 최대값의 일자(1979~1998년 통계치)

지역	0.0m	1m	3m	5m
서울	8월 1일 (213일)	8월 21일 (233일)	9월 21일 (255일)	10월 29일 (302일)
대전	7월 31일 (212일)	8월 21일 (233일)	10월 2일 (275일)	11월 9일 (323일)
부산	8월 8일 (220일)	8월 27일 (239일)	9월 28일 (271일)	11월 15일 (319일)

Table 3. 지중온도의 지연시간

지역	구 분	0.0m(일)	1m(일)	3m(일)	5m(일)	비 고
서울	최대값 일자	213	233	255	302	
	지연일자 (표면으로부터)		20	42	89	
	1m당 지연 일자		20일/m	14일/m	18일/m	평균 17.3일/m
대전	최대값 일자	212	233	275	323	
	지연일자 (표면으로부터)		21	63	111	
	1m당 지연 일자		21일/m	21일/m	22.2일/m	평균 21.4일/m
부산	최대값 일자	220	239	271	319	
	지연일자 (표면에서부터)		19	51	99	
	1m당 지연 일자		19일/m	17일/m	19.8일/m	평균 18.6일/m

부산 30.7/m의 값을 나타내어, 실제와는 차이가 있었다.

표 3의 결과인 지연시간을 근거로 하여 식(21)을 각 지역별로 수정하면 다음과 같아진다. 즉 지표면의 최대값 일자를 1년의 마지막인 365일이 되도록 한 다음 깊이별 지연시간을 보정하여 주면 다음과 같다.

서울지역 :

$$T(x, t) = T_{av} + T_{am} \cdot \text{EXP}\left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right) \cdot \text{Cos}\left[\omega(t + 17.3x + 213) - x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right] \quad (22-1)$$

대전지역 :

$$T(x, t) = T_{av} + T_{am} \cdot \text{EXP}\left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right) \cdot \text{Cos}\left[\omega(t + 21.4x + 212) - x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right] \quad (22-2)$$

부산지역:

$$T(x, t) = T_{av} + T_{am} \cdot \text{EXP}\left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right) \cdot \text{Cos}\left[\omega(t + 18.6x + 220) - x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right] \quad (22-3)$$

4. 지중온도 계산을 위한 변수결정

식(21)에서 지중 온도는 깊이 x와 시간 t(일)의 함수이며, 이식의 계산을 위해서 변수결정을 해야 한다. 먼저 T_{av} 는 각 지역의 지중 불변 온도로 각 깊이별 지중온도의 평균값으로 불변층인 10m 내외에서는 거의 일정한 값으로 나타난다. 표 4, 5, 6은 3개 지역 지중온도계산요소로서, 지표면온도의 (최고값-최저값)/2는 각 깊이별 온도 진폭이 되어 0.0m 온도 진폭은 식(22-1), (22-2), (22-3)의 T_{am} 이 되며 서울지역은 16.71°C, 대전 15.42°C, 부산 14.34°C가 된다. 또한 식(21),

Table 4. 서울지역 지중온도계산요소

깊이 m	최고 ℃	최저 ℃	진폭 ℃	AI	평균 지온
0.0	29.46	-3.96	16.71		13.31
0.5	26.27	0.56	12.855	0.525	13.53
1.0	24.8	2.91	10.945	0.423	13.89
1.5	23.66	5.17	9.245	0.395	14.31
3.0	20.04	9.34	5.35	0.380	14.60
5.0	17.41	11.63	2.89	0.351	14.57
전체 평균				0.415	14.04

Table 6. 부산지역 지중온도계산요소

깊이 m	최고 ℃	최저 ℃	진폭 ℃	AI	평균 지온
0.0	30.89	2.215	14.34		15.82
0.5	25.75	4.635	10.56	0.612	15.28
1.0	23.63	7.41	8.11	0.570	15.45
1.5	22.09	9.87	6.11	0.569	15.76
3.0	18.88	12.35	3.27	0.493	15.52
5.0	17.28	13.43	1.93	0.401	15.36
전체 평균				0.529	15.53

Table 5. 대전지역 지중온도계산요소

깊이 m	최고 ℃	최저 ℃	진폭 ℃	AI	평균 지온
0.0	29.78	-1.05	15.42		14.29
0.5	26.27	2.05	12.11	0.483	14.29
1.0	24.56	4.46	10.05	0.428	14.55
1.5	22.76	6.22	8.27	0.415	14.55
3.0	19.63	9.32	5.16	0.365	14.46
5.0	16.9	12.35	2.28	0.382	14.55
전체 평균				0.415	14.45

각 깊이별 온도진폭은 $T_{am} \cdot \text{EXP}(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}})$ 에서 결정되며, 서울지역의 경우는 T_{am} 이 16.71℃이므로

$$\begin{aligned} \text{진폭} &= T_{am} \cdot \text{EXP}(-x\sqrt{\frac{\omega}{2a}}) \\ &= 16.71 \cdot \text{EXP}(-x \cdot AI) \end{aligned}$$

0.5m의 진폭 : 12.855 = 16.71 EXP (-0.5 AI)
 \therefore AI = 0.525로 계산할 수 있고 지역별 깊이별 계산은 표 4, 5, 6의 AI항과 같다.

또한 지역별 깊이별 T_{av} 는 표 4, 5, 6의 평균 지온의 값이 된다. 따라서 식(22-1), (22-2), (22-3)은 식 (23-1), (23-2), (23-3)으로 바뀌어 진다.

서울지역 :

$$\begin{aligned} T(x, t) &= 14.04 + 16.71 \cdot \text{EXP}(-x \cdot AI) \cdot \text{Cos} \\ &\quad [\omega(t + 17.3x0 - x \cdot AI)] \end{aligned} \tag{23-1}$$

(22-1), (22-2), (22-3)에서 $a=k/\rho c$ 로서 k 는 흙의 열전도율 $\text{kcal/m h}^\circ\text{C}$, ρ 는 흙의 밀도로서 kg/m^3 , C 는 흙의 비열로서 $\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$ 의 단위를 가지고 있어서 a 의 개별적인 계산이다소 번잡하므로 여기서는 $AI = \sqrt{\frac{\omega}{2a}}$ 로하여 측정된 지중온도에서 직접계산 하기로 한다.

대전지역 :

$$T(x, t) = 14.55 + 15.42 \cdot \text{EXP}(-x \cdot A1) \cdot \text{Cos}[\omega(t + 17.3x0 - x \cdot A1)] \quad (23-2)$$

부산지역 :

$$T(x, t) = 15.53 + 14.34 \cdot \text{EXP}(-x \cdot A1) \cdot \text{Cos}[\omega(t + 17.3x0 - x \cdot A1)] \quad (23-3)$$

어야 하는데 각 깊이별로 보정계수 (NC)를 구하여 평균하였다.

서울지역

$$0.0\text{m에서는 } \omega \times 213 - 0 + \text{NC} = 2\pi$$

$$\text{NC} = 1.21$$

$$1.0\text{m에서는 } \omega \times 233 - 1 \times A1 + \text{NC} = 2\pi$$

$$\text{NC} = 0.66$$

$$3.0\text{m } \omega \times 255 - 3 \times A1 + \text{NC} = 2\pi$$

$$\text{NC} = 0.56$$

5. 지중온도의 비교검토

식(23-1), (23-2), (23-3)에서 계산한값과 기상대의 측정값의 차이를 비교한 것이 표 7, 8, 9의 지연시간 항이다.

표 7, 8, 9에서 보는 바와 같이 지연시간 적용의 경우는 주기함수인 이론식의 경우 보다는 실측과의 차이가 줄어들었으나, 보다 차이를 줄이기 위해서 다음과 같은 방법을 사용하였다.

즉 여현값인 $\text{Cos}(\omega t - x \cdot A1)$ 의 값이 최대값 즉 1이 되기 위해서는 $(\omega t - x \cdot A1)$ 의 값이 2π 가 되

Table 8. 대전 : 실측과의 차이(°C)

깊이m	이론식	지연시간	통합보정계수	비고
0.0	4.35	1.93	1.28	
1.0	-2.18	0.99	0.56	
3.0	-8.45	0.80	0.59	
5.0	-11.92	0.40	0.10	
평균 (절대값)	6.73	1.03	0.64	

Table 7. 서울 : 실측과의 차이(°C)

깊이m	이론식	지연시간	통합보정계수	비고
0.0	6.86	2.63	1.21	
1.0	-0.4	1.1	0.66	
3.0	-8.28	0.75	0.56	
5.0	-11.40	0.84	0.64	
평균 (절대값)	6.74	1.33	0.77	

Table 9. 부산 : 실측과의 차이(°C)

깊이m	이론식	지연시간	통합보정계수	비고
0.0	0.64	2.73	2.06	
1.0	-5.42	1.53	0.73	
3.0	-11.62	0.86	0.21	
5.0	-13.35	1.01	0.77	
평균 (절대값)	7.8	1.53	0.94	

Table 10. 지역별 보정계수(NC)값 (Radian)

	0.0m	1.0m	3.0m	5.0m	평균
서울	1.21	0.66	0.56	0.64	0.77
대전	1.28	0.56	0.59	0.10	0.63
부산	2.06	0.73	0.21	0.77	0.94

각 지역별 보정계수 NC 값은 표 10과 같다.

표 10의 보정계수(평균값)를 적용한 지중온도 방정식은 식(24-1), (24-2), (24-3)과 같으며, 이 식들에 의한 계산값과 실측치의 차이는 표 7, 8, 9의 통합보정계수 적용차이 값으로 나타나며, 각 지역의 보정계수 평균값을 적용한 주기함수는 식 (24-1), (24-2), (24-3)과 같다.

서울 :

$$T(x, t) = 14.04 + 16.71 \cdot \text{EXP}(-x \cdot A1) \cdot \text{Cos}(\omega t + 0.77 - x \cdot A1) \quad (24-1)$$

대전 :

$$T(x, t) = 14.55 + 15.42 \cdot \text{EXP}(-x \cdot A1) \cdot \text{Cos}(\omega t + 0.63 - x \cdot A1) \quad (24-2)$$

부산 :

$$T(x, t) = 15.53 + 14.34 \cdot \text{EXP}(-x \cdot A1) \cdot \text{Cos}(\omega t + 0.94 - x \cdot A1) \quad (24-3)$$

위식들에 대한검증은 표 7, 8, 9에서 보는 바와 같이 서울, 대전, 부산 3개지역 모두 보정계

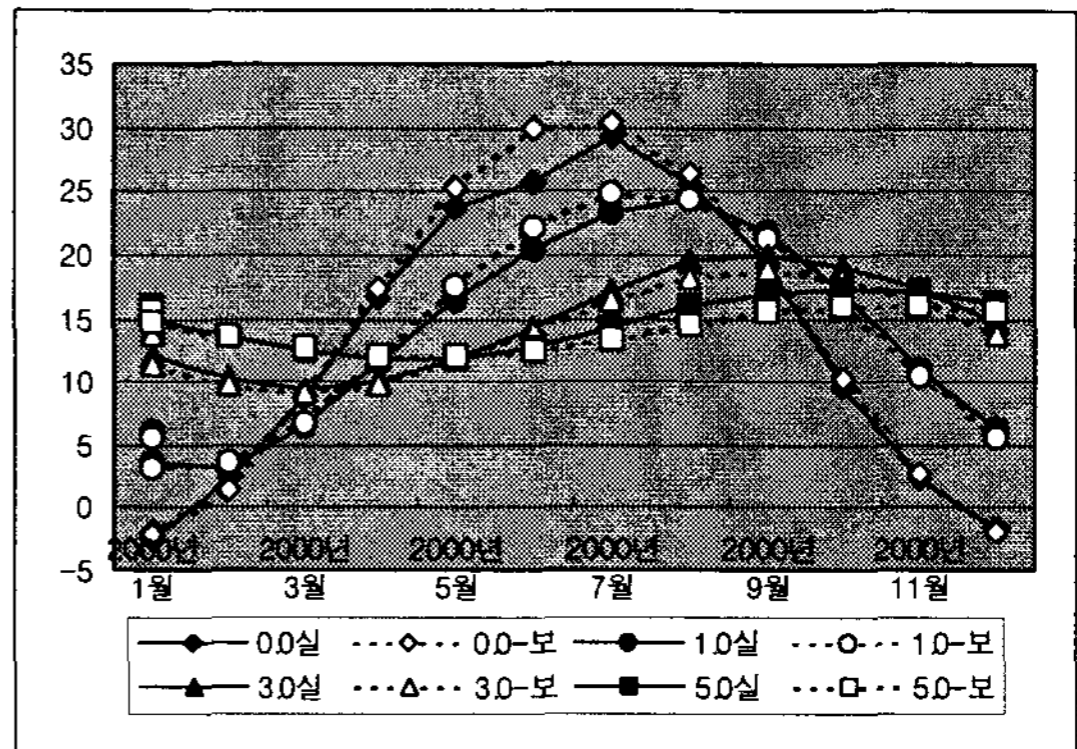


Fig 5. 서울 : 보정계수적용치와 실측치

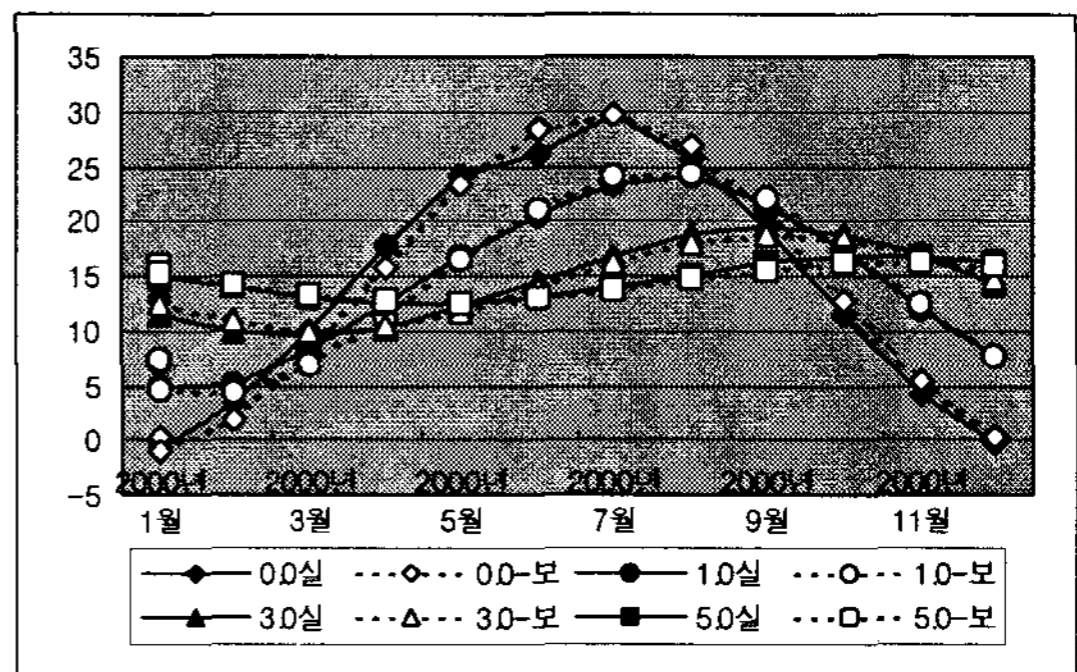


Fig 6. 대전 : 보정계수적용치와 실측치

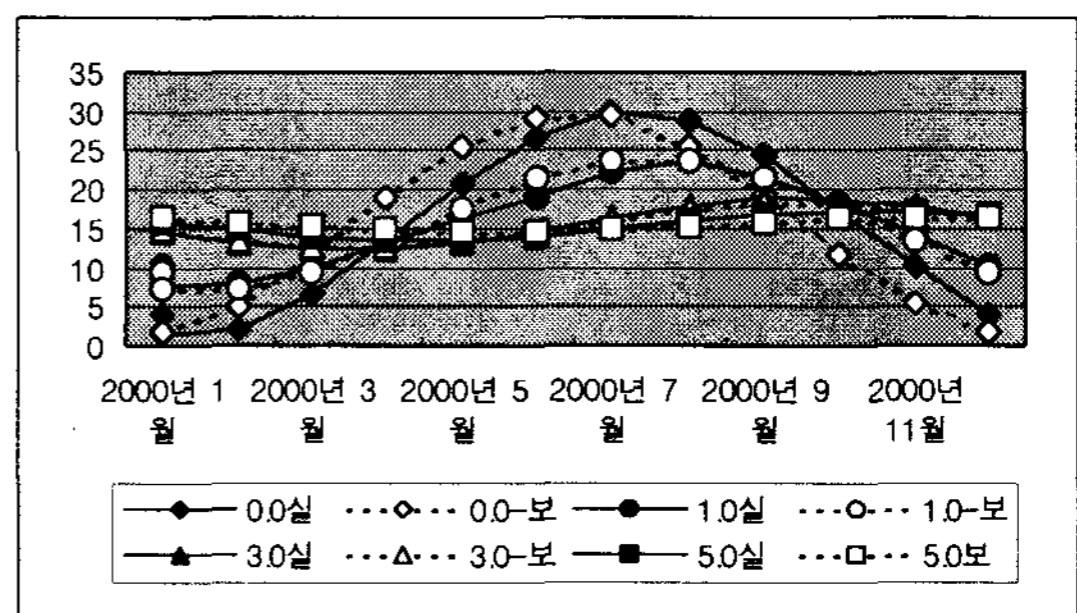


Fig 7. 부산 : 보정계수적용치와 실측치

수를 적용했을 때는 실측치와의 차이가 1°C보다 작은값 (서울 : 0.77, 대전 : 0.63, 부산 : 0.94)으로서 신뢰할 만한 수치를 나타내고 있다. 그림 5, 6, 7은 식(24-1), (24-2), (24-3)에 대한 그래프이다.

6. 결 론

지중 온도의 예측을 위하여 지중을 반무한 고체로 보고 서울, 대전, 부산의 3개 지역에 대해서 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지중 온도 예측을 위한 온도 방정식은 지수와 여 현 함수의 조합으로 유도되었으며, 이공식으로 계산한 결과와 기상대의 실측치와는 큰 차이를 보였는데 이는 지표면의 최대 온도가 나타나는 위상차이로 인한 것이었다.
2. 위상차이와 지하깊이에 따르는 시간지연효과를 감안한 지중 온도 방정식을 유도하였으나, 실측치와 차이가 커서, 통합된 보정 계수를 사용한 지중 온도 방정식을 개발하여 비교한 결과 훨씬 정확해졌으며, 3개 지역에서 실측치와의 차이는 0.63~0.94°C였다.
3. 지중온도 예측방정식의 적용이 서울, 대전, 부산의 3개지역에 국한 되었으나 전국으로 확대 되어 연구되어야 할 것이며, 더 나아가서는 지중온도 측정자료가 없는 지역을 포함한 지중

온도예측방정식이 개발되어야 할 것이다.

4. 앞의 연구가 성공적으로 이루어 진다면, 지중 온도 측정 자료가 없는 지역에서도 지중온도를 이용한 냉·난방시스템의 설계, 태양열과 지중온도를 함께 이용한 저에너지 주택의 개발이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

1. Glen E. Myers, Analytical Methods in Conduction Heat Transfer, Mcgraw-Hill Book Company, 1971
2. P.J. Schneider, Conduction Heat Transfer, Addison Wesley Publishing Company, Inc, 1957
3. J.P. Holman, Heat Transfer, Mcgraw-Hill, 1981
4. Frank P. Incropera, Fundamentals of Heat Transfer, John Wiley & Sons, 1981