

[논문] 한국태양에너지학회 논문집  
Journal of the Korean Solar Energy Society  
Vol. 23, No. 2, 2003

## 측정 자료가 없는 지역의 지중 온도 예측 방법에 관한 연구

### A Study on the Method to Predict Underground Temperature of the District without the Measured Data

정수일\*  
Jeong, Soo-Il\*

**Key words** : 지중(Underground), 에너지(Energy), 위도(Latitude)

#### Abstract

Due to the lack of fossil fuel the demand for the development of alternative energy is gradually growing. There are solar energy and underground energy as the alternative energies for housing. To use underground energy, we need some data on the underground temperature but the data are very rare in our country. So we need tools to calculate the underground temperature.

In this paper a method to calculate the underground temperature is sought with the latitude, the level, and the distance from sea for the district without the measured data.

#### ■ 기호설명 ■

$T$  : 임의 깊이의 지중 온도, °C

$T_{AV}$  : 지중 불변 층의 온도, °C

$T_{AM}$  : 지중 온도의 진폭, °C

$x$  : 지중 임의의 깊이, m

$\omega$  : 각 속도( $2\pi/365$ ), Radian

$t$  : 일 (365일중)

$\alpha$  : 열 확산계수, m<sup>2</sup>/h

$NC$  : 위상 보정 계수, Radian

\* 금오공과 대학교

\* Kumoh National University of Technology

## 1. 서론

우리나라는 에너지 전량을 수입에 의존하는 화석 연료를 사용하고 있는데, 이 화석연료의 전 세계 가채량은 앞으로 30~40년 정도로 추정되고 있어서 에너지 수급에 대한 불안이 점차 가중되고 있다.

따라서 주거 에너지 분야에서 화석연료에 대체 될 수 있는 에너지 사용방법의 개발을 서둘러야 할 것으로 생각된다. 지금까지 대체방법으로 생각되고 있는 것은 태양 에너지와 지열 에너지가 유력한 것으로 생각되고 있으며, 이 중 태양 에너지는 상당부분이 실용화단계에 있으나, 지열에너지는 연구가 부족한 형편이다. 10여 년 전에는 지하 공간에 관한 연구가 활발하여 지하공간해석 방법에 관한 논문이 많았으나 지금은 찾아보기가 힘든 지경으로, 이는 우리나라나 외국이나 비슷한 형편으로 생각된다.

지하공간은 여러 차례 이야기 된바 있지만, 무공해 한 에너지를 무한대로 사용할 수 있고, 생산비가 필요 없으며, 흙의 매스(Mass)가 가지고 있는 열 물성으로 외기의 온도 변화에 거의 영향을 받지 않고 있으므로 열적인 특성만 파악이 된다면 주거공간의 냉난방에 효율적으로 이용할 수 있다. 문제는 지중 온도를 예측 할 수 있어야 하는데, 우리나라에서는 각 지방 기상대에서 지중 온도를 측정하고는 있으나 측정개소가 30군데 밖에 없으며 그나마 지표면과 지중 1m 정도의 온도 측정에 중점을 두고 있는데다 측정 깊이가 제한되어 있어서 측정 자료가 있는 지역이나 없는 지역이나 모두다 지중 온도를 예측할 수 있는 방법이 필요한 실정이다.

이러한 점에 착안하여 지중 온도에 영향을 줄 수 있는 인자들—위도, 고도, 해수면과의 거리, 주변지형 등과 지중 온도 변수들과의 상관 관계를 분석하여 유의도 수준이 높은 인자들로서 구성되는 회귀식을 이용하여 지중 온도를 계산하는데

필요한 변수들을 구하고, 이 변수들을 지중 온도 계산 공식에 대입하여 구한 지중 온도와 이미 측정되어 있는 지중 온도를 비교하여 그 정확성을 비교하기로 한다.

지중 온도 측정 자료는 기상청의 20~30년 통계이며 분석에 사용된 프로그램은 SPSS 10.1이다

## 2. 지중 온도 예측 공식

지중 온도 예측 공식은 여러 방법이 있으나 지하를 반 무한 고체로 보고서 주기함수를 이용하여 풀이하는 것이 정확하고 해석도 간단하며, 이에 대해서는 태양에너지학회 제21권 제1호에 해석되어 있다. 즉 비정상 상태의 온도 방정식을 식 (1)과 같이 둔다.

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

복소수 함수로서 해를 구하면 다음의 식(2)와 같이 된다.

$$T = T_{AV} + T_{AM} \cdot \text{EXP}\left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}\right) \cdot \cos\left(\omega t - x\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} + NC\right) \quad (2)$$

$T_{AV}$ 는 임의 지점의 지중 불변 온도로서 대략 지중 10m정도에서 나타나고 있으며, 각 깊이에서 년 평균온도로서 구할 수가 있다.

$T_{AM}$ 은 지표면 최대온도와 최소온도 차이의 절반으로 구한 지중 온도진폭이며,  $\alpha$ 계수는 식 (3)에서

$$T_{AM} \cdot \text{EXP}\left(-x\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}\right) = \text{지중 온도 진폭} \quad (3)$$

좌변의  $T_{AM}$  은 지표면온도의 최대 최소 값으로 구할 수 있으며,  $x$  는 임의의 깊이를 대입하고,  $\omega$  는  $2\pi/365$ ,  $\alpha$  는 미지수로 한 후, 우변의 값은 좌변의  $x$  깊이에서의 지중 최고온도와 최소온도차이의 2분의 1을 대입하면 미지수  $\alpha$  를 구할 수 있다. 그러나 식(3)에서  $\sqrt{\frac{\omega}{2\pi}}$  를 직접 구할 수 있고 식(2)에서 EXP 나 cos항에  $\sqrt{\frac{\omega}{2\pi}}$  를 직접 대입할 수 있으므로 이 값을 AL로 하여 사용하기로 한다. 따라서 식(2)은 다음과 같이 고쳐 쓸 수가 있다.

$$T = T_{AV} + T_{AM} \cdot \text{EXP}(-x \cdot AL) \cdot \cos(\omega t - x \cdot AL + NC) \quad (4)$$

NC 는 cos항의 위상 보정 계수로 cos항의 최대 값이 나타나는 시점에서 지중 온도가 최대가 되도록 cos항의 Radian 값을 보정 해 주는 수치로서 지역마다 다른 값을 가지고 있다.

### 3. 변수설정

지중 온도를 계산하는데 필요한 변수는 2장에서 언급한 것과 같이 지중 불변 온도( $T_{AV}$ ), 지중 온도 진폭( $T_{AM}$ ), 열 확산 보정 계수( $AL$ ), 위상보정계수( $NC$ ), 지중 깊이( $x$ ), 각속도( $\omega$ ), 날자수( $t$ )의 7개이며, 이 중  $x$ 는 지중임의의 깊이이고, 각속도  $\omega$ 는 365일을 1주기로 하므로  $2\pi/365$ 가 되며,  $t$ 는 날자수이므로 1~365일을 대입하면 되기 때문에 나머지 4개 변수 즉,  $T_{AV}$ ,  $T_{AM}$ ,  $AL$ ,  $NC$ 를 결정하여 식(4)에 대입하면 1년 중 어느 하루의 지온을 구할 수가 있는 것이다.

이들 변수를 구하기 위하여 지중 온도에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 생각해 보면 위도(LAT,

°), 해발고도(HI : m), 바다로부터의 거리(SEA, km ; 동,서,남 해안으로부터 가장 가까운 거리), 지형(GEO, 무차원 수) 등을 들 수가 있으며, 이 4개의 인자들과 4개의 변수들의 2변량 상관관계를 분석한 후 유의 수준이 높은 인자들을 찾아내었다.

※ 지형은 측정지역 주변의 수목이나 식물이 많은 정도를 나타내는 것으로 도시지역(척도 4), 농경지(척도3), 야산(척도2), 삼림지역(척도1)으로 분류하였다.

표 1은 기상청 지중 온도측정 지점들의 위도, 해발고도, 바다로부터의 거리, 지형에 대한 자료이다.

표 1. 변수 추출을 위한 4개 인자

location	HI	LAT	SEA	GEO
90(속초)	17.80	38.25	1.00	3.00
100(대관령)	842.50	37.65	8.50	1.00
101(춘천)	76.80	37.90	32.00	2.00
105(강릉)	25.90	37.75	2.00	1.00
108(서울)	85.50	37.57	10.00	3.00
112(인천)	68.90	37.47	.50	1.00
114(원주)	149.80	37.33	32.00	2.00
115(울릉)	220.90	37.43	1.00	1.00
119(수원)	33.60	37.27	4.00	3.00
129(서산)	25.90	36.77	3.00	2.00
130(울진)	49.40	36.98	.50	2.00
131(청주)	57.40	36.63	28.00	3.00
133(대전)	68.30	36.55	25.00	1.00
135(추풍)	242.50	36.22	34.00	2.00
140(군산)	25.60	35.98	1.50	1.00
143(대구)	57.60	35.88	27.00	3.00
146(전주)	53.50	35.82	10.00	3.00
152(울산)	34.70	35.55	3.00	3.00
155(마산)	11.30	35.18	2.00	3.00
156(광주)	70.50	35.17	13.00	3.00
159(부산)	69.20	35.10	2.50	1.00
162(통영)	31.70	34.95	1.00	1.00
165(목포)	37.90	34.82	.50	1.00
168(여수)	66.10	34.73	.50	2.00
170(완도)	34.90	34.40	.50	2.00
184(제주)	33.52	33.52	1.00	3.00
189(서귀포)	50.50	33.25	1.00	3.00
192(진주)	21.30	35.20	9.00	2.00

이 중 먼저 지중 평균 온도( $T_{AV}$ )와 4개 인자들과의 상관관계를 SPSS10.1 프로그램으로 분석한 것이 표 2-1, 표 2-2이며, 그 결과 유의수준이 0.05 이하가 되는 것은 위도(LAT), 고도(HI)의 2개였다. 여기서 유의수준이라 함은 신뢰도를 나타낸 것으로 숫자가 작을수록 신뢰도가 높은 것이다.  $T_{AM}$ 과 유의한 수준 0.05 이하의 인자는 LAT 한 개였고, AL과는 LAT, NC와는 LAT로 나타났다. 각 변수들과 유의수준이 높은 인자들과의 회귀식은 다음의 식 (5)~(8)과 같다.

$$T_{AV} = 40.278 - 0.0069 \times HI - 0.689 \times LAT \quad (5)$$

$$T_{AM} = 5038 + 0.274 \times LAT \quad (6)$$

$$AL = 1.665 - 0.031 \times LAT - 0.0031 \times SEA \quad (7)$$

$$NC = -2.747 + 0.147 \times LAT \quad (8)$$

식 (5), (6), (7), (8)에 의한 각 측정지점의 변수 값은 표 6과 같다.

표 2-1. 상관계수( $T_{AV}$ )

		$T_{AV}$	LAT
$T_{AV}$	Pearson 상관계수	1	-.730*
	유의확률(양쪽)	.	.000
	N	30	28
LAT	Pearson 상관계수	-.730*	1
	유의확률(양쪽)	.000	.
	N	28	28

\*\*상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의한다.

표 2-2. 상관계수( $T_{AV}$ )

		$T_{AV}$	LAT
$T_{AV}$	Pearson 상관계수	1	-.789*
	유의확률(양쪽)	.	.000
	N	30	28
HI	Pearson 상관계수	-.789*	1
	유의확률(양쪽)	.000	.
	N	28	28

\*\*상관계수 0.01수준(양쪽)에서 유의한다.

표 3. 상관계수( $T_{AM}$ )

		$T_{AM}$	LAT
$T_{AM}$	Pearson 상관계수	1	.405*
	유의확률(양쪽)	.	.032
	N	30	28
LAT	Pearson 상관계수	.405*	1
	유의확률(양쪽)	.032	.
	N	28	28

\*\*상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의한다.

표 4-1. 상관계수(AL)

		AL	LAT
AL	Pearson 상관계수	1	-.438*
	유의확률(양쪽)	.	.020
	N	30	28
LAT	Pearson 상관계수	-.438*	1
	유의확률(양쪽)	.020	.
	N	28	28

\*\*상관계수는 0.005수준(양쪽)에서 유의한다.

표 4-2. 상관계수(AL)

		AL	LAT
AL	Pearson 상관계수	1	-.401*
	유의확률(양쪽)	.	.035
	N	30	28
SEA	Pearson 상관계수	-.401*	1
	유의확률(양쪽)	.035	.
	N	28	28

\*\*상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의한다.

표 5. 상관계수(NC)

		AL	LAT
NC	Pearson 상관계수	1	.561*
	유의확률(양쪽)	.	.002
	N	30	28
HI	Pearson 상관계수	.561*	1
	유의확률(양쪽)	.002	.
	N	28	28

\*\*상관계수는 0.01수준(양쪽)에서 유의한다.

### 4 . 지중 온도 계산

앞서 2~3장에서 지중 온도 계산공식과 해당 변수를 정하는 방법에 대해서 연구하였는데, 이 장에서는 이것을 사용하여 지중 온도를 계산하여 그 정확성을 검증해 보기로 한다.

우선 지중 온도를 실측하고 있는 지역 중 서울, 대전, 광주, 대구, 부산의 5대 도시지역을 선정하여 실측 지중 온도를 검토한바 광주지역은 지표면과 지중 1m의 온도만 측정하고 있어서 비교 검토에는 자료가 부족하므로 제외하여 서울, 대전, 대구, 부산의 4개 지역이 선정되었다. 이들 4개 지

표 6. 회귀식으로 계산된 변수의 값

순위	location	AL	NC	TAM	TAV
1	90(속초)	.49	2.88	15.86	13.80
2	100(대관령)	.48	2.79	15.70	8.51
3	101(춘천)	.40	2.82	15.76	13.64
4	105(강릉)	.50	2.80	15.72	14.09
5	108(서울)	.48	2.78	15.67	13.80
6	112(인천)	.51	2.76	15.65	13.99
7	114(원주)	.42	2.74	15.61	13.53
8	115(울릉)	.51	2.76	15.64	12.97
9	119(수원)	.51	2.73	15.59	14.37
10	129(서산)	.53	2.66	15.45	14.77
11	130(울진)	.53	2.69	15.51	14.46
12	131(청주)	.45	2.64	15.42	14.64
13	133(대전)	.47	2.63	15.39	14.62
14	135(추풍)	.45	2.58	15.30	13.65
15	140(군산)	.56	2.54	15.24	15.31
16	143(대구)	.48	2.53	15.21	15.16
17	146(전주)	.53	2.52	15.19	15.23
18	152(울산)	.56	2.48	15.12	15.54
19	155(마산)	.58	2.42	15.02	15.96
20	156(광주)	.55	2.42	15.02	15.56
21	159(부산)	.58	2.41	15.00	15.62
22	162(통영)	.59	2.39	14.96	15.98
23	165(목포)	.59	2.37	14.92	16.03
24	168(여수)	.60	2.36	14.90	15.89
25	170(완도)	.61	2.31	14.81	16.34
26	184(제주)	.63	2.18	14.56	16.95
27	189(서귀포)	.64	2.14	14.49	17.02
28	192(진주)	.56	2.43	15.02	15.88

역은 2변량 상관관계에서 유의 수준이 높은 (0.05이하) 인자들로 구성된 회귀식으로 구한 변수들을 식(4)에 대입하여 구한 지중 온도를 4개 지역의 실측치와 비교한 것이 표 7이다.

표 7. 지중 온도계산 결과(회귀식 변수, °C)

지역	평균 지중온도 (실측치)	1m		3m		5m		오차 평균 (온도)	비교 %
		오차	%	오차	%	오차	%		
서울	14.04	1.80	13.0	1.20	8.7	0.05	0.40	1.02	7.1
대전	14.45	1.27	8.7	1.38	9.4	0.78	5.3	1.15	7.8
대구	15.16	2.10	13.9	2.05	13.5	1.30	8.6	1.82	12
부산	15.53	2.33	14.9	1.41	9	1.28	8.2	1.67	10.7
평 균								9.50	

즉 표 7은 서울, 대전, 대구, 부산의 지중 1, 3, 5m 의 계산치를 실측치 지중 1, 3, 5m와 비교한 것으로 차이 값은 실측치와 계산치 차이의 절대값의 평균치이다.

표 7에서 서울 지역은 오차 평균이 1.02°C로 7.1% 정도의 오차를, 대전은 1.15°C로 7.8%, 대구는 1.82°C로 12%, 부산은 1.67°C로 10.7%의 오차를 나타내고 있는데 오차가 다소 큰 것을 알 수가 있다. 오차를 줄일 수 있는 방법을 다각도로 검토해본 결과 위도 차에 따르는 주기함수의 위상은 차이가 있을 것이라는 가정 하에 cos항에 보정계수를 주어서 계산해본 결과 오차가 현저히 줄어들었다.

대구와 부산은 0.34 라디안(20일 위상 차이)을 더하고, 대전은 0.17 라디안(10일 위상 차이)을 더한 결과 표 8과 같이 개선되었다

위의 결과는 표 9와 같이 북위 36°이하 지역에서 식(4)의 cos항에 0.34 라디안(Radian)을 더해주고 북위 36°~37°지역에서는 0.17 라디안을 더해주며 북위 37°이상에서는 보정 하지 않는

표 8. 개선된 지중 온도(°C)

지역	지중 온도 (실측치)	위도 (. )	1m		3m		5m		오차 평균 (온도)	비고 %
			오차	%	오차	%	오차	%		
서울	14.04	37.57	1.80	13.0	1.20	8.7	0.05	0.40	1.02	7.4
대전	14.45	36.55	0.53	3.60	0.09	0.62	0.66	4.50	0.76	5.2
대구	15.16	35.88	0.95	6.30	1.13	7.50	0.93	6.10	1.0	6.6
부산	15.53	35.10	0.67	4.30	0.92	5.90	1.11	7.10	0.9	5.8
										6.25

다는 것을 뜻하는 것이다.

그림 1, 2, 3, 4 는 4개 지역에 대한 실측치와 계산치를 비교한 것이다.

표 9. 위도에 따른 위상 보정계수의 수정

위도 범위	수정치 (Radian)	지역	비고
N 36°이하	NC+0.34	대구, 부산	20일 지연
N 36~37°	NC+0.17	대전	10일 지연

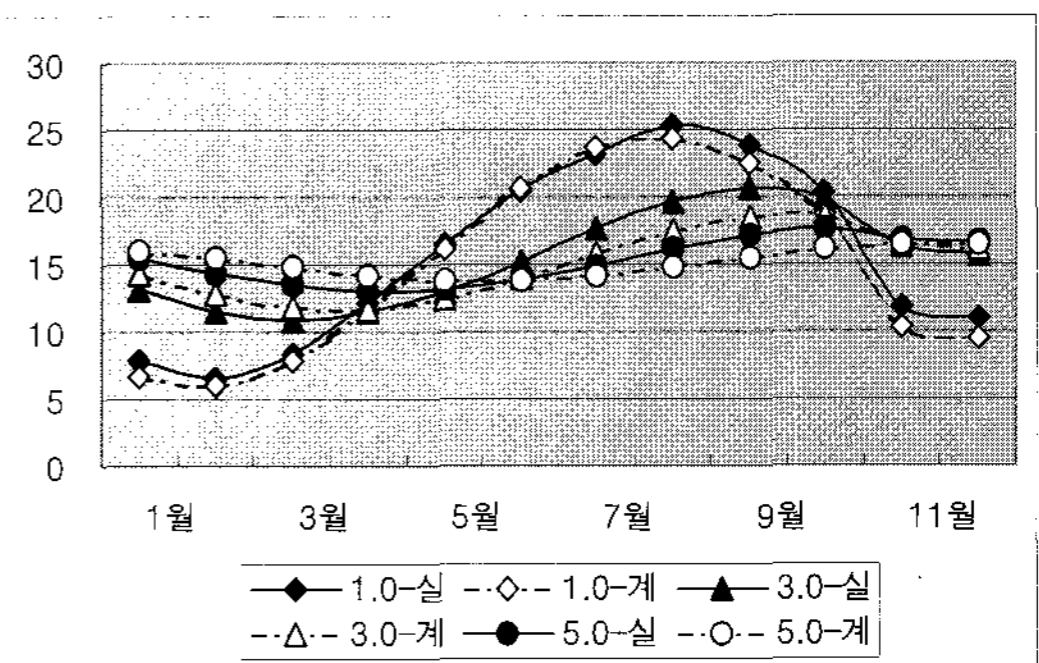


그림 3. 대구 : 실측치와 계산치

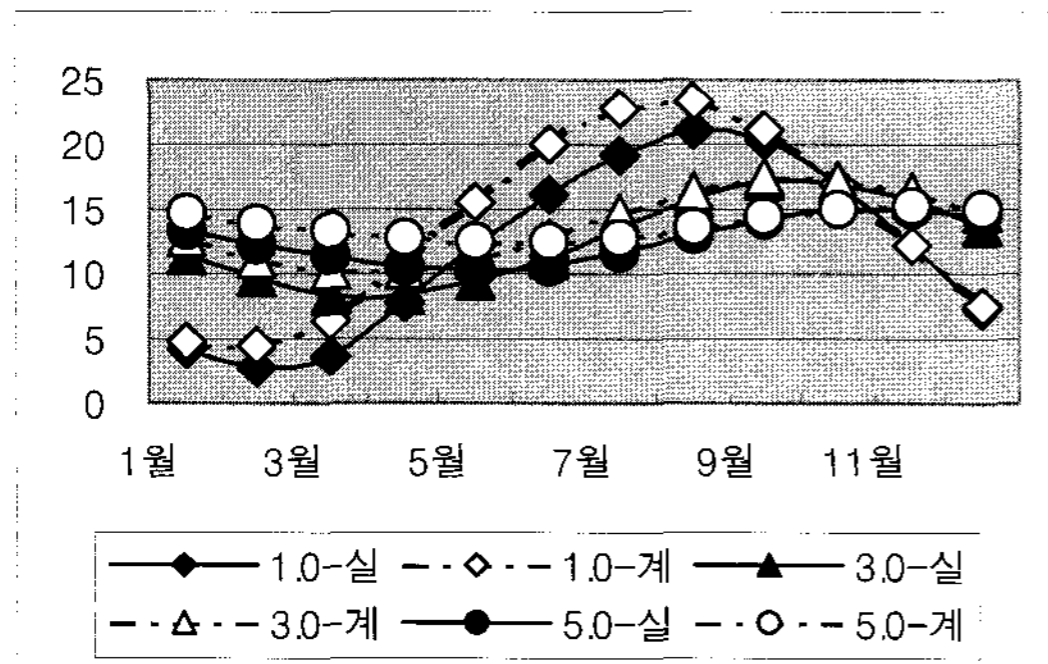


그림 1. 서울 : 실측치와 계산치

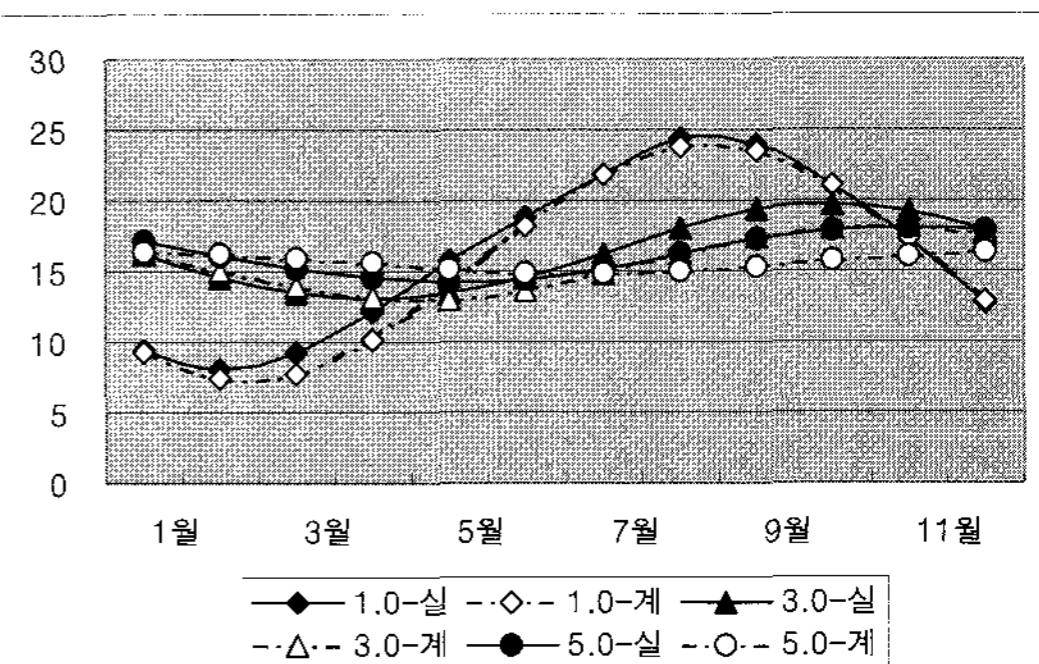


그림 4. 부산 : 실측치와 계산치

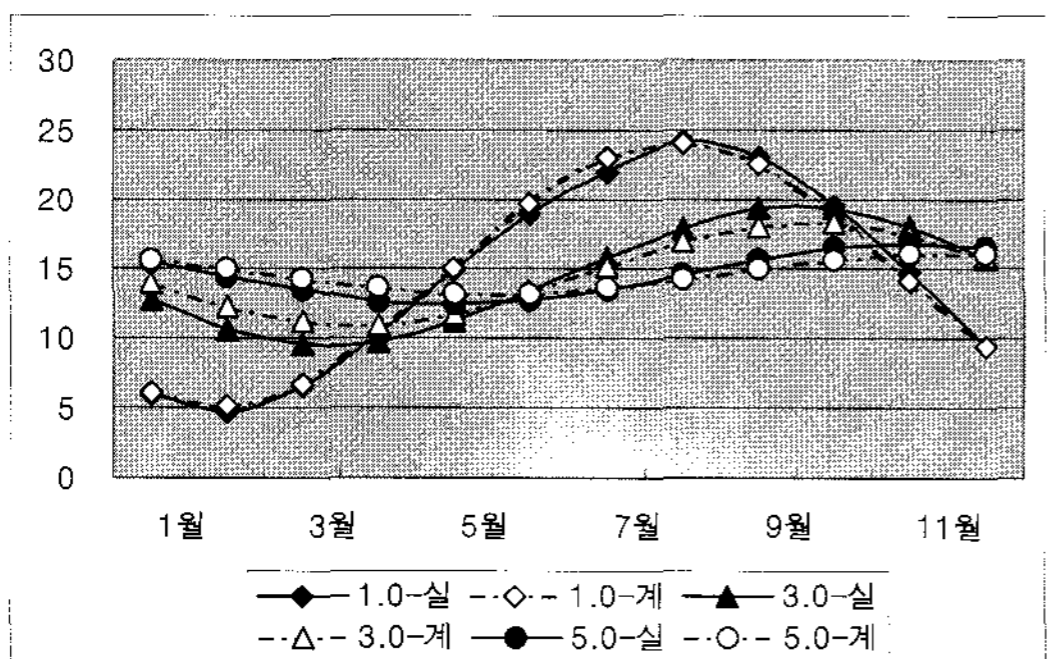


그림 2. 대전 : 실측치와 계산치

## 5. 결론

지중 온도에 대한 측정 자료가 없는 지역의 지중 온도를 예측하기 위하여 지중 온도 계산공식을 적용하기 위한 방법을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 지중 온도 계산 공식을 사용하기 위해서는 4가지 변수가 필요하며, 이들 변수들과 상

관관계가 있을 것으로 생각되는 4가지 인자 - 위도, 고도, 해면 거리, 주변지형 - 를 선택하였다.

(2) 지중 평균온도와의 위도와 고도가 상관관계의 유의 수준(0.05이하)이며, 지중 온도 진폭과는 위도, 열 확산 보정계수는 위도와 해면 거리가, 위상 보정계수는 위도가 유의 수준이고, 주변 지형은 4가지 변수와 모두 유의 수준이하이었다.

(3) 위 (2)항의 상관관계에서 유의수준의 인자들에 의한 변수들의 회귀식은 다음과 같다.

$$T_{AV} = 40.278 - 0.0069 \times HI - 0.689 \times LAT$$

$$T_{AM} = 5038 + 0.274 \times LAT$$

$$AL = 1.665 - 0.031 \times LAT - 0.0031 \times SEA$$

$$NC = -2.747 + 0.147 \times LAT$$

(4) 위 (3)항의 회귀식 변수들을 이용하여 서울, 대전, 대구, 부산 4개 지역 지중 온도를 계산 한 결과 오차 절대치의 평균이 9.5%가 되었으며, 위상을 보정하여 계산한 결과는 오차 절대치 평균이 6.25%로 낮아졌다.

위 연구는 지중온도 측정 자료가 없는 지역에 대한 지중온도의 예측이 가능하여 냉·난방 계산에 보다 정확성을 기할 수 있을 것으로 생각된다.

## 후 기

본 연구는 2002년도 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

## 참고문헌

1. 기상청, 1980~1999, 기상연보.
2. 대한설비 공학회, 2001, 설비 공학편람 제2권.
3. 정수일, 2001, 한국 태양 에너지학회 논문집(Vol, No. 1).
4. 정수일, 구미지역의 지중온도 예측 방법에 관한 연구, 한국 주거 학회지, 제13권 제4호, 2000, 8
5. 한국수자원공사, 2000, 지하수 관측연보.
6. 한국지질도, 1995, 한국자원 연구소.
7. Frank P. Incopera, 1981, Fundamentals of Heat, Transfer, John Wiley & Sons.
8. Glen E. Myers, 1971, Analytical Methods in Con-duction Heat Transfer, Mcgraw-Hill.
9. J. P. Holman, 1981, Heat Transfer, Mcgraw Hill.