

## 구미지역 지중온도의 실측과 예측에 관한 비교 연구

### A Study on the Comparison of Measurement and Prediction of Underground Temperature in Gumi.

정수일\*  
Jeong, sooil

#### Abstract

Korea gets most of its housing energy from fossil fuel which can be mined only for 30 years. So the development of an alternative energy is very important. Solar and underground thermal energy are two of these alternatives but little study has been conducted on these. For use of underground energy, we need accurate data regarding underground temperature, but there are only 30 measuring points for underground temperature in the entire country. We need to have a method of predicting underground temperature precisely. In this study the underground temperature is measured at under 3m in Gumi, and these data are compared with predicted data for checking the accuracy of the predicting method.

Keywords : Fossil fuel, Energy, Underground, Temperature

#### 1. 서 론

우리나라 주거용 에너지의 대부분을 차지하고 있는 화석연료의 가채량이 30년 정도로 줄어들어 있는 시점에서 대체 에너지 개발이 중요하게 대두되고 있으며 주택 에너지 부분에서는 대체 에너지 개발이라는 방법은 제시되고 있으나 그 연구가 아직도 부족한 실정이다.

주거용 에너지에서 화석 연료에 대체될 수 있는 것은 태양 에너지와 지열의 사용인데, 우리나라는 화산활동이 없기 때문에 뉴질랜드와 같이 지열을 이용해서 발전을 한다던가, 난방에 이용하는 등의 활용은 할 수 없지만, 지중은 깊이에 따라서 일정한 온도를 유지하고 있으므로 이 온도의 메카니즘을 확실하게 알 수 있다면 냉·난방에 적절히 이용할 수가 있고, 현재 사용 중인 화석 연료가 내뿜는 공해 물

질과 탄산가스가 없는 무공해한 많은 양의 에너지를 생산비를 들이지 않고 획득할 수가 있는 것이다.

우리나라에서는 약 30개의 지점에서 지중온도를 측정하고 있으나 일개 도 단위에서 2~4개 정도만 측정하고 있고, 그나마 농업을 위한 제한된 얇은 깊이만을 측정하고 있어서 지하공간의 냉·난방 부하 계산에는 별로 도움이 되질 않고 있는 실정이다.

이에 측정 자료가 없는 지역의 지중온도를 예측할 수 있는 방법을 위도, 해발고도, 해면으로부터의 거리, 주변의 지표면 상태를 변수로 한 회귀식으로 구하는 방법 등이 연구되었다<sup>1)</sup>.

본 연구에서는 구미지역의 지중 3m 깊이<sup>2)</sup>의 온도를 실측하여 예측공식에서 구한 값과 비교하여 그 정확성을 검증하고 기존의 방법을 개선하는데 그 목

\*정회원, 금오공과대학교 건축학부 교수, 공학박사

본 연구는 2003년도 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임

1) 정수일, 측정 자료가 없는 지역의 지중온도 예측방법에 관한 연구, 한국 태양에너지학회 논문집(제 23권 제 2호), P. P. 1~7  
2) 여기서 지중 3m에 측정지점을 설치한 것은 단독 주택에 일반적으로 사용되는 지하실이 지하 1층 규모인 3m 정도이고, 3m 지점에 사용된 온도방정식은 다른 깊이에도 적용할 수 있음.

적이 있다. 구미지역 지중온도 측정 지점은 금오공과대학교 교내에 있으며, 지중 3m에 온도센서를 설치하여 1시간 간격으로 지중온도를 측정하였고, 측정기간은 2003. 11. 1~2003. 12. 31까지의 2개월간이다. 이 연구에서 사용된 지중온도 측정 자료는 기상청의 20~30년 통계이고 분석에 사용된 프로그램은 SPSS10.1이며 실제 측정에 사용된 장비는 온도 측정 세트 TR-71S이다.

## II. 지중온도 예측 방법

지중온도를 예측하는 방법은 지중을 반무한 고체로 가정하고 비정상 상태 방정식

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

를 복소수 함수로 구한 해

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

를 이용하는 방법으로 한국 태양에너지 학회(제 23 권 제 2호 2003. 6. 30 pp. 2-3)에 자세하게 풀이되어 있다. 여기서는  $\sqrt{\omega/2\alpha}$ 를 AI로 대체하여

$$T = T_{av} + T_{am} \cdot \text{EXP}(-x \cdot AI) \cdot \text{COS}(\omega t - x \cdot AI + NC + 2\text{차보정계수}) \quad (3)$$

를 사용하고 있다. 위 공식에서 변수  $T_{av}$ ,  $T_{am}$ , AI, NC를 구하는 방법은 동일지질대의 동일열물성치를 이용하여 구하는 방법과 위도, 고도, 해면 거리, 주변지형에 대한 회귀식으로 구하는 2가지로 나누어 생각할 수 있다.

### 1. 동일 지질대의 변수 이용

이 방법은 우리나라의 각 지역 지질 분포에 따라서 동일한 지질인 경우는 열 확산계수( $\alpha$ )가 같으므로 AI도 일정한 값으로 하여( $\because AI = \sqrt{\omega/2\alpha}$ ) 공식에 대입하는 방법이다. 여기서 나머지 변수  $T_{av}$ ,  $T_{am}$ , AI는 인접 지역의 지중온도 측정값들을 평균하여 사용한다. 이 방법에 의한 구미 지역과 같은 대보 화강

표 1. 대보 화강암 지질대의 변수(°C)

지역	$T_{av}$ (°C)	$T_{am}$ (°C)	AI(°C)	NC
서울	14.025	15.925	0.496	2.291
인천	14.425	15.965	0.473	2.911
수원	13.577	15.515	0.439	2.739
서산	14.423	15.890	0.514	2.687
대전	14.448	15.415	0.415	2.733
청주	14.403	16.380	0.410	2.792
속초	13.205	15.330	0.388	2.700
춘천	12.860	16.045	0.267	2.637
원주	13.353	16.795	0.525	2.715
평균	13.858	15.918	0.436	2.759

암 지질대의 변수들은 <표 1>과 같다.<sup>3)</sup>

### 2. 회귀식에 의한 변수 산출

회귀식에 의한 변수 산출은 위도(Lat), 해발고도(Hi), 바다로부터의 거리(Sea), 측정 주변의 지형(Geo)과  $T_{av}$ ,  $T_{am}$ , AI, NC와의 상관 관계를 분석하여 유의도 수준이 높은 인자들로 구성되는 회귀식을 구성하고, 이 회귀식으로 (3)식에 필요한 변수들  $T_{av}$ ,  $T_{am}$ , AI, NC를 구하는 방법으로서 한국 태양에너지 학회 논문집(vol, 23, 2003 NO.2)에 상세하게 설명되어 있다<sup>4)</sup>.

$$T_{av} = 40.278 - 0.0069 \times Hi - 0.689 \times \text{Lat}$$

$$T_{am} = 5.038 + 0.274 \times \text{Lat}$$

$$NC = -2.747 + 0.147 \times \text{Lat} - 0.0031 \times \text{Sea}$$

$$AI = 1.665 - 0.031 \times \text{Lat} - 0.0031 \times \text{Sea}$$

위  $T_{av}$ ,  $T_{am}$ , AI, NC에 대한 회귀식으로 계산된 주요지점들의 변수들의 값은 <표 2>와 같다<sup>5)</sup>.

## III. 구미지역 지중온도의 실측치와 예측치의 비교

구미지역의 지중온도는 기상대에서 측정하지 않기

3) 정수일, 구미지역 지중온도 예측 방법에 관한 연구, 한국주거학회 논문집(제 13권 제 4호) p. 29.

4) 정수일, 측정 자료가 없는 지역의 지중온도 예측 방법에 관한 연구, 한국 태양에너지학회 논문집(제 23권 제 2호), p. 4.

5) 정수일, 측정 자료가 없는 지역의 지중온도 예측 방법에 관한 연구, 한국 태양에너지학회 논문집(제 23권 제 2호), p. 5.

표 2. 회귀식으로 계산된 변수의 값

순위	location	AI	NC	$T_{am}$	$T_{av}$
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

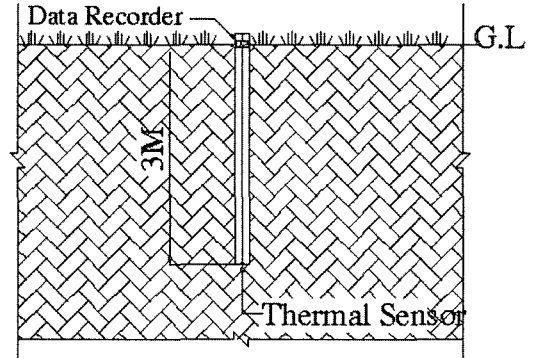


그림 1. 구미지역 지중온도 측정

표 3. 구미지역 지중 3m 온도 실측(°C)

월/일	실측치	월/일	실측치
11/1	19.25	12/1	17.49
11/2	19.23	12/2	17.38
11/3	19.15	12/3	17.29
11/4	19.01	12/4	17.21
11/5	18.98	12/5	17.15
11/6	18.90	12/6	17.14
11/7	18.87	12/7	16.93
11/8	18.82	12/8	16.88
11/9	18.77	12/9	16.84
11/10	18.70	12/10	16.76
11/11	18.63	12/11	16.76
11/12	18.58	12/12	16.69
11/13	18.54	12/13	16.67
11/14	18.50	12/14	16.55
11/15	18.47	12/15	16.50
11/16	18.32	12/16	16.43
11/17	18.23	12/17	16.40
11/18	18.20	12/18	16.30
11/19	18.17	12/19	16.20
11/20	18.13	12/20	16.03
11/21	18.04	12/21	16.03
11/22	17.82	12/22	16.03
11/23	17.81	12/23	15.96
11/24	17.80	12/24	15.90
11/25	17.79	12/25	15.79
11/26	17.72	12/26	15.67
11/27	17.71	12/27	15.58
11/28	17.63	12/28	15.53
11/29	17.63	12/29	15.48
11/30	17.53	12/30	15.36
		12/31	15.31
평균	18.36	평균	16.39
표준편차	0.534	표준편차	0.640

때문에 금오공과대학교 교내 도서관과 학생회관 사이에 3m 깊이의 철관을 매설하고 철관내부 바닥에 온도센서를 설치하여 1시간 간격으로 지중온도를 측정하였다. 측정관의 설치는 기상대에서 사용하는 방법을 준용하였으며 지표면은 잔디로 덮여있다<그림 1>. 2001년 10월에 매설한 후 2년 동안은 온도의 변화가 심하였으나<sup>6)</sup> 2년 후 부터는 1일중 24회 유효 측정값이 거의 일정하게 나타났으며 측정기간은 2003. 11. 1~2003. 12. 31의 두달 간이며 측정온도는 <표 3>과

6) 파이프의 최초 매설 후 기온폭과 주변폭의 밀도 차이로 열 불성치가 일정하지 않기 때문이며 "Soil Science Vol. 53, p. 435"에서 Undisturbed Soil에서 측정해야 됨을 기술 함.

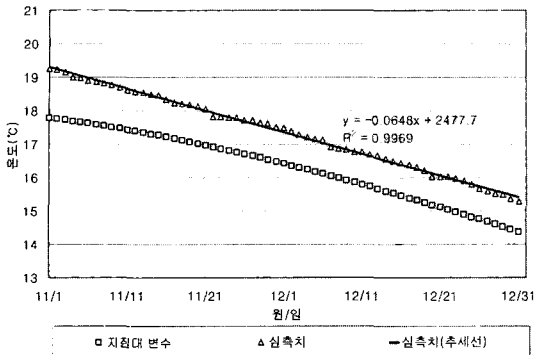


그림 2. 지질대 변수와 실측치의 비교

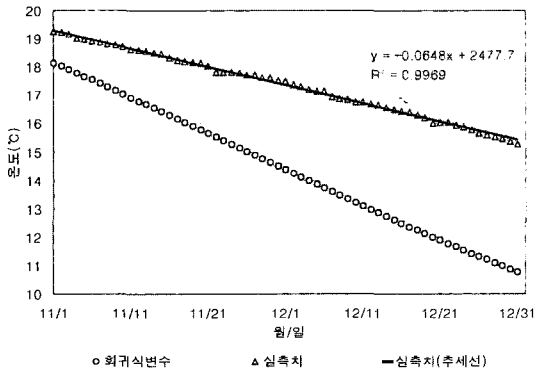


그림 3. 회귀식 변수와 실측치의 비교

같다.

<표 3>의 값은 1일 동안 1시간 간격으로 24회 측정된 지중 3m 지점의 온도를 평균한 값이며 1일중 최대·최저 온도 차이는 0.1°C였다.

위에서 실측한 온도와 예측온도를 비교하기 위하여 구미지역 지중 3m 온도의 예측치를 II, 1, 2의 방법 즉 동일지대의 변수를 이용하는 방법과 회귀식에 의한 변수 산출의 방법으로 11, 1~12, 31 두달간을 계산한 것이 <표 4a, 4b>이며, 이것을 그래프로 표시한 것이 <그림 2>, <그림 3>이고, 차이의 평균치를 비교한 것이 <표 5>이다.

<표 5>에서 볼 수 있는 것과 같이 동일 지질대 변수 이용 방법은 실측치와 6%, 회귀식에 의한 변수 산출 방법은 실측치와 17% 정도의 오차를 나타내고 있으며 <그림 4>는 3방법의 비교이다.

표 4a. 구미지역 지중온도 예측치(11월 지중 3m), °C

월/일	지질대 변수	회귀식 변수
11/1	17.80	18.14
11/2	17.77	18.02
11/3	17.74	17.90
11/4	17.70	17.78
11/5	17.67	17.66
11/6	17.64	17.54
11/7	17.60	17.42
11/8	17.56	17.30
11/9	17.52	17.17
11/10	17.48	17.05
11/11	17.44	16.92
11/12	17.40	16.80
11/13	17.36	16.67
11/14	17.32	16.55
11/15	17.27	16.42
11/16	17.23	16.29
11/17	17.18	16.16
11/18	17.13	16.04
11/19	17.08	15.91
11/20	17.03	15.78
11/21	16.98	15.65
11/22	16.93	15.52
11/23	16.88	15.39
11/24	16.83	15.27
11/25	16.77	15.14
11/26	16.72	15.01
11/27	16.66	14.88
11/28	16.60	14.75
11/29	16.55	14.62
11/30	16.49	14.49
평균	17.21	16.34
표준편차	0.401	1.112

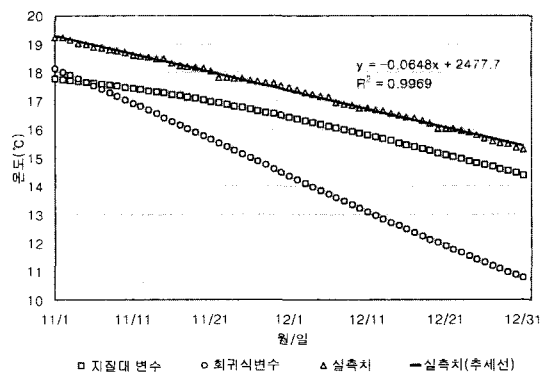


그림 4. 지질대 변수, 회귀식 변수와 실측치의 비교

표 4b. 구미지역 지중온도 예측치(12월 지중 3m), °C

월/일	지질대 변수	회귀식 변수
12/1	16.43	16.43
12/2	16.37	16.37
12/3	16.31	16.31
12/4	16.25	16.25
12/5	16.19	16.19
12/6	16.12	16.12
12/7	16.06	16.06
12/8	16.00	16.00
12/9	15.93	15.93
12/10	15.87	15.87
12/11	15.80	15.80
12/12	15.74	15.74
12/13	15.67	15.67
12/14	15.60	15.60
12/15	15.53	15.53
12/16	15.46	15.46
12/17	15.40	15.40
12/18	15.33	15.33
12/19	15.26	15.26
12/20	15.19	15.19
12/21	15.12	15.12
12/22	15.04	15.04
12/23	14.97	14.97
12/24	14.90	14.90
12/25	14.83	14.83
12/26	14.76	14.76
12/27	14.68	14.68
12/28	14.61	14.61
12/29	14.54	14.54
12/30	14.47	14.47
12/31	14.39	14.39
평균	15.45	12.51
표준편차	0.620	1.092

표 5. 구미지역 지중온도 실측과 예측의 비교

구분	11.1~12.31 평균	비교
실측치	17.38	
지질대 변수	16.31	
차이	1.07	6%
회귀식 변수	14.40	
차이	2.98	17%

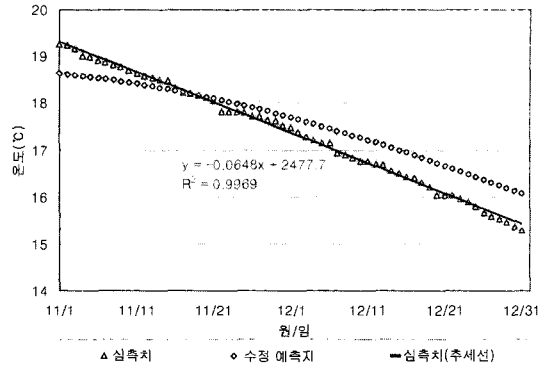


그림 5. 구미지역 실측과 수정예측 비교

#### IV. 예측방법의 수정

<표 5>에서와 같이 구미지역 3m 깊이의 지중온도의 실측치와 예측치의 비교에서 회귀식에 의한 방법은 오차가 커서 실제로 사용하기에는 무리가 따른다.

또한 지질대에 의한 예측 방법은 오차는 작았으나, 복잡한 지질을 파악하는 것과 지질별로 열물성치를 구하는 것은 쉽지 않다. 그래서 위도에 따라서 더해 주는 2차 보정계수를 0.17(위상 10일)로 하여 공식 (3)에 대입하고 값은 도별 평균값을 대입하는 수정 예측 방법 식 (4)를 사용하여 계산한 결과 <표 6a, 6b>와 같이 오차가 크게 줄어들어 실용적이 되었다.

$$T = T_{av} + T_{am} \cdot \text{EXP}(-x \cdot Al) \cdot \text{COS}(0.017 \cdot \text{Lat} - x \cdot Al + \text{NC} + 0.17) \quad (4)$$

즉  $T_{av}$ ,  $T_{am}$ ,  $\text{NC}$ 는 회귀식으로 결정하고,  $Al$ 은 열물성치(열확산 계수)에 의해 결정되는 값이므로 지질대에 의한 값을 사용하는 것이 좋을 것이나 지질대가 매우 세분되어 있어서 실제 적용이 곤란하므로 <표 7>과 같이 각 도별 평균 값을 사용하였다. <표 7>에서는 내륙 지방과 서해안은 각 도별 평균치와 큰 차이가 없으나 동해안과 남해안 그리고 섬 지방은 해양의 영향을 받아서 내륙과는 차이가 크므로 별도로 취급하였다. <그림 5>는 구미 지역의 지중 3m에서 2개월간의 실측치와 예측치를 비교한 것이다.

이상과 같이 수정된 예측 방법 —  $T_{av}$ ,  $T_{am}$ ,  $\text{NC}$ 는 회귀식으로 결정하고,  $Al$ 은 도별 평균값을, 2차 위상 보정계수는 0.17로 동일하여 지중온도를 계산하는 —

표 6a. 구미지역 수정예측 방법과 실측치의 비교(11월), °C

월/일	실측치	수정 예측치	차이
11/1	19.25	18.63	.62
11/2	19.23	18.61	.62
11/3	19.15	18.60	.55
11/4	19.01	18.58	.43
11/5	18.98	18.56	.42
11/6	18.90	18.54	.36
11/7	18.87	18.51	.36
11/8	18.82	18.49	.33
11/9	18.77	18.46	.31
11/10	18.70	18.44	.26
11/11	18.63	18.41	.22
11/12	18.58	18.39	.19
11/13	18.54	18.36	.18
11/14	18.50	18.33	.17
11/15	18.47	18.30	.17
11/16	18.32	18.27	.05
11/17	18.23	18.23	.00
11/18	18.20	18.20	.00
11/19	18.17	18.17	.00
11/20	18.13	18.13	.00
11/21	18.04	18.10	.06
11/22	17.82	18.06	.24
11/23	17.81	18.02	.21
11/24	17.80	17.98	.18
11/25	17.79	17.94	.15
11/26	17.72	17.90	.18
11/27	17.71	17.86	.15
11/28	17.63	17.82	.19
11/29	17.63	17.78	.15
11/30	17.53	17.74	.21

표 6b. 구미지역 수정예측 방법과 실측치의 비교(12월), °C

월/일	실측치	수정 예측치	차이
12/1	17.49	17.69	.20
12/2	17.38	17.65	.27
12/3	17.29	17.60	.31
12/4	17.21	17.55	.34
12/5	17.15	17.51	.36
12/6	17.14	17.46	.32
12/7	16.93	17.41	.48
12/8	16.88	17.36	.48
12/9	16.84	17.31	.47
12/10	16.76	17.26	.50
12/11	16.76	17.21	.45
12/12	16.69	17.16	.47
12/13	16.67	17.10	.43
12/14	16.55	17.05	.50
12/15	16.50	17.00	.50
12/16	16.43	16.94	.51
12/17	16.40	16.89	.49
12/18	16.30	16.83	.53
12/19	16.20	16.78	.58
12/20	16.03	16.72	.69
12/21	16.03	16.66	.63
12/22	16.03	16.61	.58
12/23	15.96	16.55	.59
12/24	15.90	16.49	.59
12/25	15.79	16.43	.64
12/26	15.67	16.37	.70
12/27	15.58	16.31	.73
12/28	15.53	16.25	.72
12/29	15.48	16.19	.71
12/30	15.36	16.13	.77
12/31	15.31	16.07	.76
평균(11~12월 평균)			.38(2.2%)

을 적용하여 서울, 대전, 부산의 지중 3m를 계산하여 실측치와 비교한 결과 <표 8>과 같이 오차 허용범위 10% 이내가 되어 충분히 사용가능한 것으로 검증되었다.

### V. 결 론

구미 지역 지중 3m의 온도를 예측 공식으로 계산하는 것과 실측한 것을 비교한 결과 기존의 예측 방법은 오차가 크게 나타났다. 공식을 수정하여 비교한 결과 오차범위가 2.2%로 크게 축소되었다. 여

표 7. 도별 값

도 별	AI
경 기(서울)	0.469
강 원	0.377
충 북	0.484
충 남(대전)	0.465
전 북	0.490
전 남(광주)	0.483
경 북(대구)	0.475
경 남	0.441
남동 해안	0.619
섬 지역	0.766

표 8. 수정 예측방법의 적용(지중3m)(°C)

지역 별		연 평균 온도	비 고
서울	실 측	12.61	
	수정 예측	13.80	
	차 이	1.19	9.4%
대전	실 측	14.46	
	수정 예측	14.62	
	차 이	0.16	3.2%
부산	실 측	16.34	
	수정 예측	15.62	
	차 이	0.72	4.4%

■ 기 호 설 명 ■

$T$  : 임의 깊이의 지중온도, °C

$T_{av}$  : 지중 불변 층의 온도, °C

$T_{am}$  : 지중 온도의 진폭, °C

$x$  : 지중 임의의 깊이, m

$\omega$  : 각 속도(), Radian

$t$  : 일(365일중)

$\alpha$  : 열 확산 계수, m<sup>2</sup>/h

$NC$  : 위상 보정계수, Radian

$Lat$  : 위도(도)

$Hi$  : 해발고도(m)

$Sea$  : 해면으로부터의 거리(km)

$Geo$ : 측정지점 주변의 지형 계수(주변이 수목 이 나 잔디, 농경지, 도심지에 따라 1, 2, 3, 4 의 가중치를 부여)

기에서 사용된 방법은  $T_{av}$ ,  $T_{am}$ ,  $NC$ 는 회귀식으로 산출하고, 2차 위상 보정 계수는 0.17로 통일하였으며,  $Al$ 은 도별 평균값을 사용하였다.

$$T = T_{av} + T_{am} \cdot \text{EXP}(-x \cdot Al) \cdot \text{COS}$$

$$(0.0172 \times \text{일수} - x \cdot Al + NC + 0.17)$$

$$T_{av} = 40.278 - 0.0069 \times Hi - 0.689 \times Lat$$

$$T_{am} = 5.038 + 0.274 \times Lat$$

$$NC = -2.747 + 0.147 \times Lat - 0.0031 \times Sea$$

$$Al = \text{도별평균값}$$

단, 남동 해안과 도서지방은 별도로 취급.

위의 수정된 공식을 서울, 대전, 부산의 지중 3 m 에 적용하여 실측치와 비교한 결과 오차 범위가 10% 이내의 실용적인 것으로 입증되었으며, 이 연구의 결과는 구미지역 지하공간의 냉·난방 계산은 물론 지중온도 측정 자료가 없는 다른 지역에도 적용이 가능하여 건물의 에너지 보존 연구에 크게 도움이 될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 정수일(2000. 8), 구미 지역의 지중온도 예측 방법에 관한 연구, 한국 주거 학회지, 제 3권 제 4호, p. 5.
2. 정수일, 측정 자료가 없는 지역의 지중온도 예측방 법에 관한 연구, 한국 태양 에너지 학회(vol, 23, 2003 No. 2.), p. 5.
3. 기상청, 1980~1999, 기상연보.
4. 대한설비공학회(2001), 설비 공학 편람 제 2권.
5. 한국수자원공사(2000), 지하수 관측연보.
6. 한국지질도(1995), 한국자원연구소.
7. Frank P. Incopera(1981), Fundamentals of Heat, Transfer, John Wiley & Sons.
8. Glen E. Myers(1971), Analytical Methods in Conduction Heat Transfer, Mcgraw Hill.
9. J. P. Holman(1981), Heat Transfer, Mcgraw Hill.

(接受: 2004. 1. 13)