

## 대구지역 지중온도의 변화예측

김동석<sup>1</sup> · 홍수진<sup>2</sup> · 박준표<sup>3</sup>

<sup>1</sup>경기대학교 수학과 · <sup>2,3</sup>경북대학교 대학원 수학과

접수 2009년 3월 25일, 수정 2009년 7월 7일, 게재확정 2009년 7월 17일

### 요약

기온과 더불어 지중온도는 기후 변동 및 농업 환경 예측의 중요한 기준이 되고 있다. 이 논문에서는 대구지역의 1932년부터 1990년도까지의 토심 0.5m 지중온도의 연평균 변화와 1961년부터 2008년까지의 기온 자료를 이용하여 연평균 기온변화를 살펴보고, 지중온도와 기온의 관계 모델을 도출하였다. 이 모델을 통하여 현재 측정되지 않는 대구의 지중온도를 기온을 이용하여 복원하였으며 그 결과 지중온도는 매년 약 0.028℃의 증가를 보이고 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 복원을 통한 지중온도의 예측은 대구 지역 기후 변화 예측의 중요한 기준이 되며, 농업 환경의 변화에 대한 FTA 협약, 지구온난화 등에서 발생가능한 상황의 대비책을 마련할 수 있는 정보가 되겠다.

주요용어: 기온 및 지중온도 선형 회귀 모델, 미측정값 복원, 지중온도.

### 1. 서론

최근 여러 연구에서 전 세계적으로 지속적인 온난화 현상이 나타나며, 우리나라도 기온의 증가 경향이 뚜렷하게 나타난다고 밝히고 있다. 기후 변화에 영향을 미치는 지면-대기 상호작용은 대기와 지면 상태에 의해서 조절되며, 지중온도의 변동은 일주기 또는 연주기의 변동을 나타내는 지표면의 온도가 하부로 전달되면서 발생하며 지표면의 온도는 해당지역의 기후환경과 밀접하게 관련되어 변동한다 (김승옥과 서명석, 2003; 김승옥, 2003; 허인혜 등, 2007).

지면-대기 상호작용의 영향을 받는 지면 및 지중온도는 농업기상의 한 요소로 지중온도의 변화는 작물의 발육과 재배지역의 변화를 가져오는 중요한 요인이다 (김태웅 등, 1997). 우리나라에서 지중온도는 1910년대 중반부터 측정이 시작되어 1970년대 중반에는 약 100여소에 이르는 지점에서 관측을 시행하였으나, 1991년 이후부터 그 지점수가 줄어 현재에는 약 20여소에서만 지중온도를 관측하고 있다. 그러나 지중온도의 변화가 생활환경 및 농작물재배 등 다른 지구환경 시스템과도 연관이 있다고 볼 때, 지점별 지중온도의 관측은 매우 중요한 사항이다. 하경자 등 (2004)은 1909년 이후 서울, 대구, 부산, 목포의 4대 도시의 기온경향과 극한 기후에 대한 연구로부터 기온 변화 경향을 분석하고 극한기후를 정의하였다. 그 결과 대구는 특히 1970년대 이후에 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타나며 과거 100년간 약 2.10℃의 기온증가를 보이고 있다고 밝혔다. 장기 증가의 경향을 보이고 있는 대구 지역의 경우 지구 온난화의 영향을 받고 있음을 잘 보여주고 있으며, 이것은 지중온도의 변화에도 영향을 미칠 것으로 예상된다. 지구온난화, 지중온도의 변화 및 농업환경의 변화는 서로 밀접한 관계를 가지고 있으나, 현재 대

<sup>1</sup> (443-760) 경기도 수원시 영통구 이의동 산 94-6, 경기대학교 수학과, 교수.

<sup>2</sup> (702-701) 대구광역시 북구 산격동 1370번지, 경북대학교 대학원 수학과, 박사과정.

<sup>3</sup> 교신저자: (702-701) 대구광역시 북구 산격동 1370번지, 경북대학교 대학원 수학과, 박사과정.

E-mail: jppark@knu.ac.kr

구는 지중온도의 관측이 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 기상청의 지중온도 및 기온 관측 자료를 토대로 대구 지역의 과거 60년간 평균 지중온도와 기온의 변화 (그림 2.1)를 통하여 두 요소간의 관계를 살펴보고 이를 통하여 현재 미측정된 지중온도를 예측해본다. 더불어 지중온도는 기후 변화를 판단하는 중요한 기준으로 예측된 지중온도로부터 대구의 기후변화를 예측하며 이에 따른 농업환경의 변화도 예상해본다.

## 2. 대구지역 연평균 기온 및 지온의 관계

1910년대 중반부터 측정된 지중온도는 1990년대부터 줄어들기 시작하여 현재 20여소에서만 측정되고 있다. 토심 0.5m에 대한 지중 온도는 기후 변화 예측에 중요한 기준이 되므로 꾸준한 관측이 필요한 실정이나 대구의 경우 1990년을 마지막으로 측정은 더 이상 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 대구의 지중온도와 기온을 조사대상으로 한다. 지중온도는 농촌진흥청의 깊이별 지중온도에 대한 일자별 자료로부터 토심 0.5m에 대한 자료를 이용하여 1932년부터 1990년간 매년 연평균 값을 계산한다. 또한 기온과의 관계를 알아보기 위하여 기상청의 과거자료를 이용한다. 현재 기상청 자료에서는 대구의 일자별 기온정보가 1961년부터 확인이 가능하여 1961년부터 1990년간의 일자별 자료로부터 연 평균기온을 계산한다.

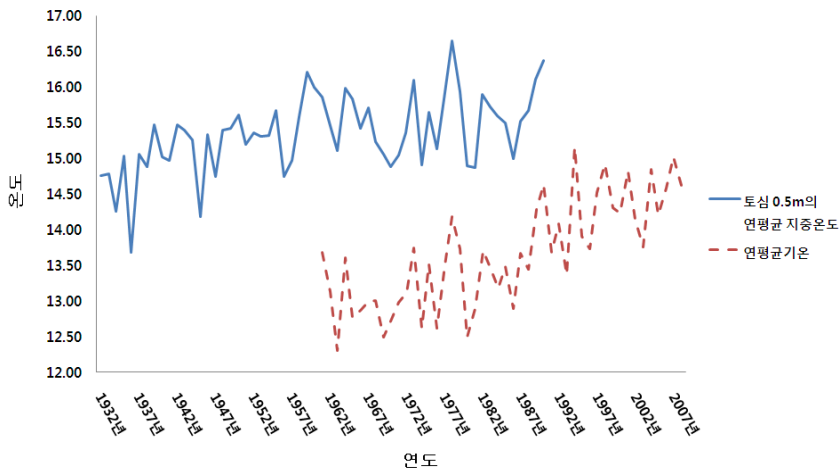


그림 2.1 대구지역의 연평균 지중온도 및 기온변화 (지중온도: 1932년부터 1990년간, 기온: 1961년부터 2008년간)

그림 2.1에서 실선은 1932년부터 1990년간의 토심 0.5m의 연평균 지중온도의 변화를 보여주며, 점선은 1961년부터 2008년간의 연평균 기온의 변화 추이를 나타내고 있다. 그림 2.1로부터 대구의 연평균 기온과 연평균 지중온도의 변화는 증가 경향을 가지고 있으며, 토심 0.5m의 경우 1932년 14.76°C에서 1990년 16.38°C로 약 1.62°C 가량 증가하였음을 알 수 있다. 이로부터 토심 0.5m의 지중온도는 매년 약 0.028°C씩 증가하고 있음을 예측할 수 있다. 또한 1961년부터 1990년간을 살펴보면 지중온도와 기온의 변화 추이는 비슷한 모습을 보이고 있다. 따라서 두 측정값이 존재하는 1961년부터 1990년간의 자료로부터 기온과 지온의 관계를 살펴보도록 하겠다.

1961년부터 1990년간 연평균 기온을  $x$  축, 토심 0.5m의 연평균 지온을  $y$  축으로 표현하게 되면 그림 2.2와 같이 나타난다. 그림에서 점은 매년 계산된 평균 기온값에 대응되는 지중온도 값을 나타내고 있

다. 이 자료로부터 선형 회귀법을 이용하여 두 요소 간의 관계를 살펴보면 다음과 같다.

$$y = 0.71526x + 6.0653 \quad (R^2 = 0.746). \quad (2.1)$$

( $x$  : 연평균 기온,  $y$  : 토심 0.5m의 연평균 지중온도).

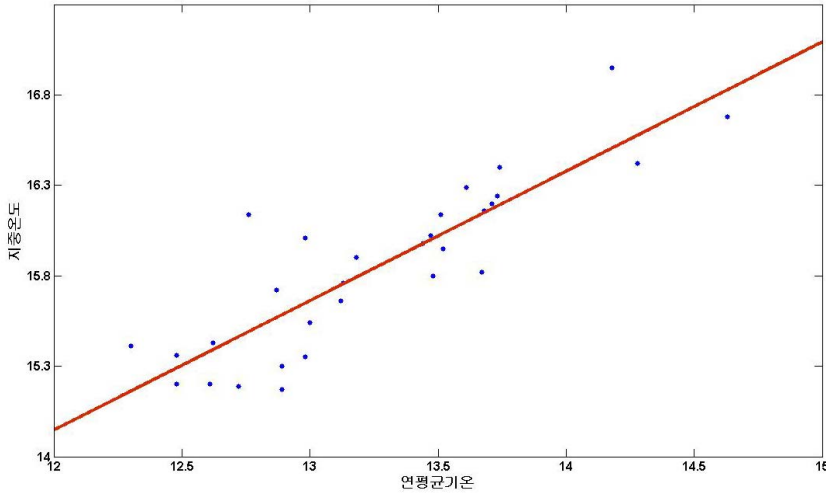


그림 2.2 1961년부터 1990년간의 연평균 기온 및 지중온도 분포

선형 회귀법을 통하여 도출한 모델에서 기온 측정값이 주어지면, 모델 (2.1)을 이용하여 대응되는 토심 0.5m의 지중온도 값을 예측할 수 있다. 그러나 모델 (2.1)의 경우 두 요소의 평균값을 이용하여 도출한 것으로, 이 모델이 실제로 임의의 기간에 대하여 어느 정도의 정확성을 나타내고 있는가에 대한 검증이 필요하다. 따라서 모델 (2.1)의 검증을 위하여 예로써 1980년의 자료를 바탕으로 일자별 실제 기온과 지중온도의 변화 및 기온으로부터 모델 (2.1)을 통하여 도출한 예상 지중온도의 추이를 비교해 보도록 한다.

모델 (2.1)을 1980년의 일자별 자료를 이용하여 비교하면 그림 2.3과 같은 추이를 보인다. 실선은 기온을 나타내며, 가운데 점선은 토심 0.5m의 실제 지중온도 값을 표현하고 있다. 편차가 상대적으로 크게 나타나는 것이 모델 (2.1)을 통하여 도출한 예측값이며, 1월~3월, 11월~12월의 경우는 실제 측정값과의 편차가 크게 나타나고 있다. 모델 (2.1)이 평균자료에 의한 것으로 오차를 감안할 때, 예측값과 실제값은 비슷한 추이를 나타내고 있다는 것을 알 수 있다.

지중온도는 농업 환경변화의 예측, 건설업 및 환경 공학적 측면에서 기온과 함께 중요한 지표가 되고 있다. 그러나 이렇게 중요한 지표가 되는 지중온도는 1990년을 기점으로 현재 대다수의 지역에서 측정이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 모델 (2.1)과 그림 2.3의 사실로부터 기온의 추이를 알고 있다면, 현재 측정하지 않는 지중온도의 값과 연간 변화 추이를 예측할 수 있겠다.

### 3. 선형회귀모델을 이용한 지중 온도의 복원

기온에 대한 연구는 장학진과 주용성 (2009), 주용성 등 (2009), 하경자 등 (2004) 등에 의해 많이 이루어졌으나 지중온도와의 관계를 다루는 연구는 미흡한 실정이다. 하경자 등 (2004)은 4대 도시에 대

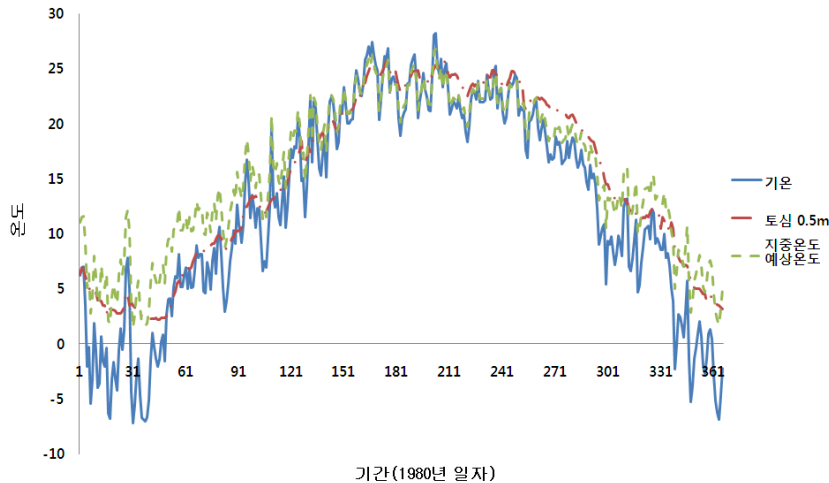


그림 2.3 1980년도 일자별 기온 및 지중 온도, 예측 지중 온도의 추이

한 기온의 변화 경향을 연구하면서 1909년부터 1978년간에 대한 기온의 선형모델을 소개하였다. 당시 이 모델은 기후 아노말리 (다른 지역에서 나타나는 기후경향을 각각 다르게 간주하여 발생하는 편차)를 바탕으로 개발한 선형모델이었으며, 이것을 통하여 대구지역의 기후 아노말리가 증가한다는 결과로부터 모든 기후적인 성향이 증가하고 있다고 밝혔다. 지중온도는 기온과 함께 기후 변동의 중요한 지표가 되므로 이에 대한 수학적 모델의 개발과 실험적 연구가 행해지고 있으나, 이 경우 지표면의 다양한 특성을 고려한 모델로 온도변화의 추이를 살펴보는 데 어려움이 따른다. 2장에서 연평균값을 이용하여 선형 회귀법을 통한 기온과 지중온도의 관계식을 도출하였다. 본 장에서는 도출한 모델과 현재의 기온자료를 통하여 1990년 이후로 측정되지 않고 있는 대구의 토심 0.5m에 대한 지중 온도를 복원하고 예측해보도록 하겠다.

기상청 자료로부터 1991년부터 현재까지의 일자별 기온자료를 확인할 수 있다. 이 자료를 이용하여, 매년 연평균 기온값을 구한 후 모델 (2.1)을 통하여 해당 연도의 연평균 지중온도를 구한다. 이러한 방법을 통하여 구한 값을 기존의 지중온도 변화 그래프와 함께 나타내면 다음과 같다. 여기서 예측된 지중온도의 신뢰구간은 신뢰도 95%에서 (16.14, 16.54)를 나타낸다.

그림 3.1에서 상부 실선은 1932년부터 1990년간의 토심 0.5m의 연평균 지중온도를 나타내며, 하부 실선은 1961년부터 2008년간의 연평균 기온을 나타내고 있다. 상부의 점선으로 구성된 부분은 기온자료를 통하여 복원된 지중온도를 나타낸다. 그림 2.1의 1932년부터 1990년간의 자료로부터 지중온도는 매년 약  $0.028^{\circ}\text{C}$ 로 증가한다는 사실을 알 수 있으며 이러한 증가추이는 복원된 자료에서도 잘 나타나고 있다. 그림 3.1의 결과로부터 전체 검증기간인 77년 동안 지중온도는 약  $2.15^{\circ}\text{C}$ 만큼 상승함을 알 수 있으며, 복원된 자료로부터 2008년의 대구지역 토심 0.5m의 지중온도는  $16.53^{\circ}\text{C}$ 가 될 것으로 예상된다.

위의 사실로부터 지구온난화의 영향으로 기온이 상승하며, 동시에 지중온도 역시 꾸준히 상승하고 있다는 것을 알 수 있다. 농업과학원의 자료에 의하면 우리나라의 토양온도권은 온대권과 열대권으로 구분되며, 열대권의 경우 토심 0.5m의 지중온도는 평균적으로  $15\sim 22^{\circ}\text{C}$ 를 이루고 있다. 제주도의 경우 2008년 토심 0.5m의 연평균 지중온도  $18.9^{\circ}\text{C}$ 로 나타나고 있다. 복원 자료로부터 현재 대구의 토심 0.5m의 지중온도는 약  $16.5^{\circ}\text{C}$ 로 열대권 지역 기준에 해당된다. 이는 향후 대구지역의 농업환경 및 농작

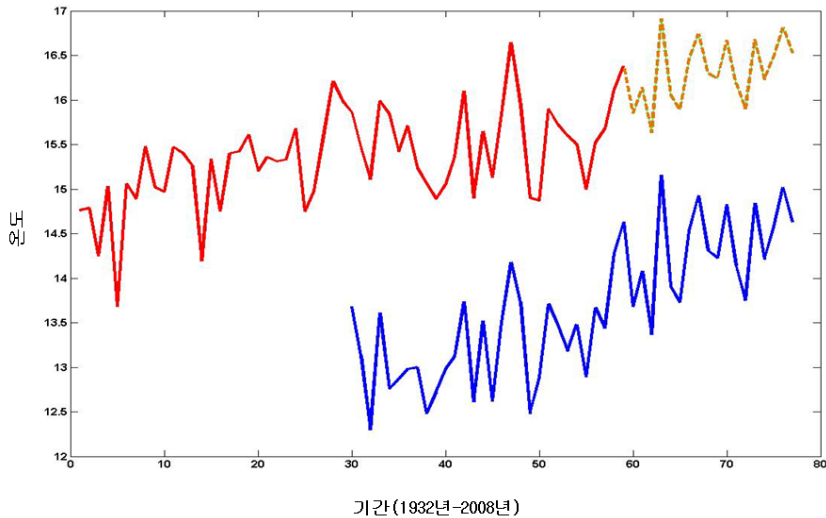


그림 3.1 1990년 이후 지중 온도의 예측 및 복원 (복원자료의 신뢰도 95%, 신뢰구간 = (16.14, 16.54))

물의 급격한 변화를 가져올 것으로 예상된다.

#### 4. 결론

기온과 더불어 지중온도는 기후 변동의 중요한 지표가 되고 있다. 본 연구에서 토심 0.5m의 지중 온도와 기온의 관계를 표현하는 선형모델을 개발하였으며, 더불어 연간 지중 온도의 변화추이를 나타내는 선형 모델도 도출하였다. 또한 기온과 지온의 관계모델로부터 현재 측정되지 않는 대구의 지중온도에 대하여 복원 및 예측을 하였다. 지중 온도의 복원을 통한 추이는 최근 20년간의 기온 변화 추이와 유사한 형태를 보이고 있다는 사실을 알아낼 수 있었다. 또한 복원된 자료와 실제 기온자료로부터 1930년대 이후로 현재까지 대구의 지중 온도와 기온은 매년 약 0.028℃씩 꾸준히 증가하며, 이러한 추이는 계속 유지될 것으로 예상된다. 이러한 사실은 대구 지역 기후변화 예측의 중요한 기준이 되며, 동시에 한반도의 기후 변화 예측도 가능하겠다. 지중 온도의 예측은 향후 지구온난화와 함께 농업환경 변화에 따른 FTA 무역협정 등에서 발생가능한 문제의 대비책을 고려할 수 있는 정보라 하겠다.

#### 참고문헌

- 김승욱, 서명석 (2003). 지중온도 관측현황 및 변동경향. <대기>, **13**, 246-247.
- 김승욱 (2004). <우리나라 지중온도의 관측현황 및 기후학적 특성>, 석사학위논문, 공주대학교, 공주.
- 김태웅, 허강렬, 유호천 (1997). 지중온도의 수학적 모델에 관한 실험적 연구. <한국태양에너지학회 학술대회논문집>, 33-40.
- 장학진, 주용성 (2009). 서울의 온도 패턴 변화. <한국데이터정보과학회지>, **20**, 89-96.
- 주용성, 정형주, 김병준 (2009). 한국 기상자료의 군집분석: 베이지안 모델 기반 방법의 응용. <한국데이터정보과학회지>, **20**, 101-202.
- 하경자, 하은호, 류철상, 전은희 (2004). 1909년 이후의 우리나라 4대 도시의 기온 경향과 극한 기후. <한국기상학회지>, **40**, 1-16.
- 허인혜, 권원태 (2007). 우리나라의 최근 10년간 기온변화. <기후연구>, **2**, 79-93.

## Predicting an soil temperature in Daegu area

Dongseok Kim<sup>1</sup> · Soojin Hong<sup>2</sup> · Junpyo Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Mathematics, Kyonggi University

<sup>2,3</sup> Department of Mathematics, Kyungpook National University

Received 25 March 2009, revised 7 July 2009, accepted 17 July 2009

### Abstract

Soil temperature is an important tool in predicting a change of climate and agricultural environment together with the change of atmospheric temperature. In this paper, we examine changing patterns of soil temperature measured in 0.5m under ground from 1932 to 1990 and atmospheric temperature from 1961 to 2008, and derive a relationship between atmospheric temperature and soil temperature. Using this model, we predict unmeasured soil temperature in Daegu area and soil temperature is found to be increasing about 0.028°C per a year. Prediction of soil temperature is an important indicator for climate change in Daegu and will be useful information to help us take precautions for global warming, etc.

*Keywords:* Linear regression model, prediction of unmeasured data, soil temperature.

---

<sup>1</sup> Professor, Department of Mathematics, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea.

<sup>2</sup> Graduate student, Department of Mathematics, Department of Mathematics, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea.

<sup>3</sup> Corresponding author: Graduate student, Department of Mathematics, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea. E-mail: jppark@knu.ac.kr