

기온과 식생을 고려한 지표면 토양온도 예측 모형 개발

Development of a land surface soil temperature prediction model considering air temperature and vegetation

조선주*, 김상단**
Seon Ju Cho, Sangdan Kim

요 지

토양온도는 기후변화, 지역기상모형, 수생태 영향과 밀접한 상관성을 가지고 있으며 이에 대한 연구들이 활발하게 진행 중에 있다. 특히 기후는 토양의 분포와 성장, 그리고 소멸에 영향을 미치고, 식생은 증산과정에 의해 대기 중 수분을 내보내는 과정을 통해 기후에 영향을 미치고 있다. 이 때, 지표면의 토양온도는 토양수분 및 식생의 성장에 영향을 미치게 된다. 이에 본 연구에서는 격자기반 일 지표면 토양온도 모형이 제안되며, 이를 이용하여 한반도 남동쪽에 위치한 낙동강 유역 내 안동댐 상류지역에 대한 지표면 토양온도가 모의된다. 제안된 모형의 구동을 위해 필요한 입력 자료는 일 평균기온 및 관측 NDVI 자료이다. 전국 60개 지점에서 관측된 일 평균기온은 고도가 고려된 Krignig기법을 이용하여 격자별로 구축되며, NDVI 및 지표면 토양온도를 위한 위성자료는 적절한 전처리 과정을 거쳐 자료를 구축한다. 전반적으로 모의된 일 지표면 토양온도는 관측 자료를 잘 재현하고 있는 것으로 분석된다. 추가적으로 감쇠율을 적용하여 토양온도를 토양깊이에 따라 예측하는 방법이 제안되며, 토양깊이에 따라 토양온도가 감소하는 경향을 살펴볼 수 있을 것이다. 이상과 같이 본 연구에서 제안된 모형은 추후 하천수온예측 및 격자기반의 수문모형의 구성을 위한 기초자료를 제공할 것으로 기대된다. 더 나아가 본 연구는 기후-토양-식생의 관계를 바탕으로 미래기후에 대한 물 환경 영향을 평가하는데 있어서 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 기온, 식생, 지표면, 토양온도

1. 서론

최근의 연구 결과들은 기후변화에 의한 수온상승을 통해 하천 생태계가 변화될 수 있음을 보여주고 있다. 이에 지표 및 하천 수온 예측모형에 관한 연구 필요성이 부각되고 있으며, 모형에 사용되는 여러 가지 변수들 가운데 기온과 토양온도는 지표의 에너지균형에 따라 결정되는 특성 때문에 중요한 변수로서 역할을 하게 된다. 특히 토양온도는 기후변화에 따른 생태계 및 물 환경 관리에 매우 중요한 변수임에 틀림없다. 기온 및 강우를 관측하는 기상관측소는 국내전반에 걸쳐 상대적으로 많이 설치되어있는 반면에 지표면 및 지표하 깊이에 따른 토양온도를 관측하는 관측소는 매우 적은 실정이다. 이에 본 연구에서는 기상관측소에서 쉽게 획득할 수 있는 일 평균기온과 위성자료인 월 정규화식생지수를 이용하여 일 지표면 토양온도 및 지표하 깊이에 따른 토양온도를 예측하는 모형을 개발하고자 하였다.

2. 연구방법

제안된 모형은 일 단위로 모의되며 격자기반으로 지표면 토양온도 모의하는 것을 목적으로 하고 있다. 모형에 사용되는 입력 자료는 (1) 일 평균기온(°C); (2) 고도(m); (3) 월 정규화식생지수이며, 입력 자료의 구

* 정희원 · 부경대학교 환경해양대학 환경공학과 석사과정 · E-mail : ture0815@nate.com

** 정희원 · 부경대학교 환경해양대학 환경공학과 부교수 · E-mail : skim@pknu.ac.kr

측은 ArcGis와 Matlab을 사용하였으며, 모형의 기본 coding은 Matlab을 이용하여 작성되었다. 그림 1에 모형의 기본적인 절차를 도시하였다.

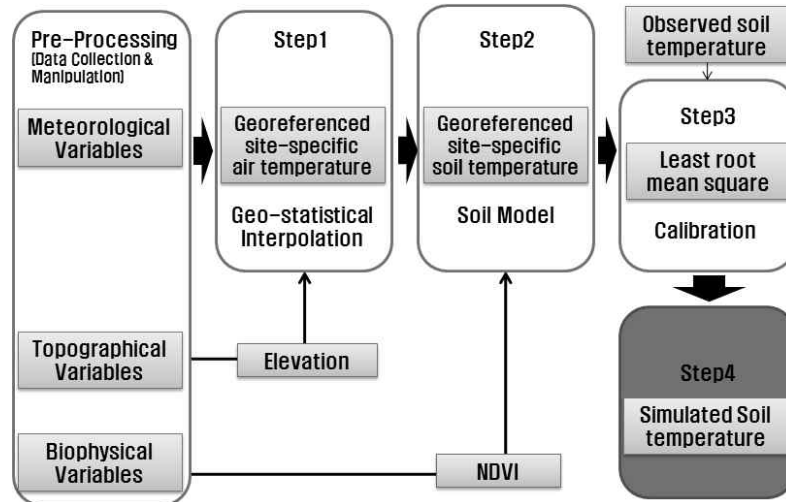


Fig. 1. A schematic diagram illustrating the steps involved in estimating soil temperature from meteorological, topographic, and biologic data.

본 연구에서는 낙동강 유역 상류부에 위치한 안동댐 상류 유역을 포괄하는 지역을 선정하여 모형의 적용성을 살펴보았다. 격자기반 일 지표면 토양온도 예측 모형을 실행하기 위한 입력 자료는 공간자료, 기상자료, 위성자료의 형태로 크게 3가지로 구분된다. 이때 제안된 모형은 격자기반으로 이루어져있기 때문에 입력 자료는 모두 공간적으로 동일한 좌표를 가진 형태로 구성하여야 한다. 입력 자료의 해상도는 위성자료의 해상도를 기준으로 하여 1 km × 1 km로 구축되었다.

본 연구에서 사용되는 공간자료는 수치지형고도(Digital Elevation Model, DEM)이다. 대상유역의 DEM은 수자원관리종합정보시스템(<http://www.wamis.go.kr>)에 탑재되어 있는 자료를 이용하였다.

본 연구에 필요한 기상자료는 일 평균기온이며, 모형에 실제 입력되는 자료는 11일 이동평균이다. 이동평균은 일 평균기온에 간헐적으로 나타나는 극값에 대한 영향을 줄이기 위해 적용되었다. 11일 이동평균이 일 평균기온에 있는 극값의 영향을 줄이는데 효과적이라는 연구결과를 참고하였다(Zheng et al., 1993). 60개 지점에서 관측된 일 평균기온을 공간적으로 확장하기 전에 모든 지점의 일 평균기온을 해수면 위치의 일 평균기온으로 보정한 후, 보정된 60개 지점에 대한 해수면 일 평균기온을 대상지역에 1 km × 1 km 해상도를 가진 격자로 확장하기 위해서 Kriging 기법을 적용하였다. 해수면 고도에서 공간 확장된 평균기온을 다시 격자별 고도에 따라 보정한 후에 일 평균기온을 11일 이동 평균하였다.

본 모형에서 필요한 위성자료는 정규화식생지수와 지표면 토양온도(Land Surface Temperature, LST)이다. 식생자료의 경우 원격탐사자료인 MODIS NDVI 16 days 자료를 이용하였다. 또한 위성자료의 경우에는 촬영지점에서의 구름이나 기타 기상현상으로 인해 자료가 공백으로 처리되거나 존재하더라도 신뢰할 수 없는 자료, 즉 이상치 자료 등이 존재하기 때문에 이에 대한 자료의 검증이 필요하게 된다. 검증 대상 일의 자료와 이 자료의 선행 2개 시계열과 후행 2개 시계열의 자료를 평균한 값의 차이가 절반 미만 또는 2배 초과가 될 경우 이를 이상치로 보고 원자료에서 제거하였다. 이후 자료의 비정상적인 잡음을 줄이기 위하여 2n+1의 이동평균(즉, 해당 일 기준으로 앞의 2개 자료, 뒤의 2개 자료, 해당 일 자료 등 5개 자료의 평균)을 계산하여 이를 해당 일의 값으로 간주하였다. 만약 이 때 이동평균을 위해 필요한 선행 및 후행 자료들 중 1개라도 존재하지 않으면 해당 일은 결측된 것으로 간주하였다. 이러한 과정을 거쳐 생성된 수정된

16일 간격 NDVI 자료는 같은 월에 해당되는 자료 중에서 최고값을 해당 월을 대표하는 값으로 두어 월 자료로 변환하였다. 이 때 만약 해당 월에 16일 간격 NDVI 자료가 하나라도 존재하지 않는다면 월 NDVI 자료는 결측으로 처리하였다. 마지막으로 월 NDVI의 결측값이 있을 경우에 코사인함수를 이용하여 결측된 자료를 내삽하였다. 관측 지표면 토양온도의 경우 원격탐사자료인 MODIS LST 8days 자료를 이용하였다. 이상치 자료를 제거하기 위해 해당 일 자료와 선행 2개 시계열과 후행 2개 시계열 자료의 평균값의 차이가 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 이상일 경우 이를 이상치로 보고 원자료에서 제거하였다. 이후 비정상적인 잡음을 제거하기 위하여 NDVI 보정 시와 동일한 방법으로 $2n+1$ 의 이동평균을 계산하여 이를 해당 일의 시계열을 작성하였다.

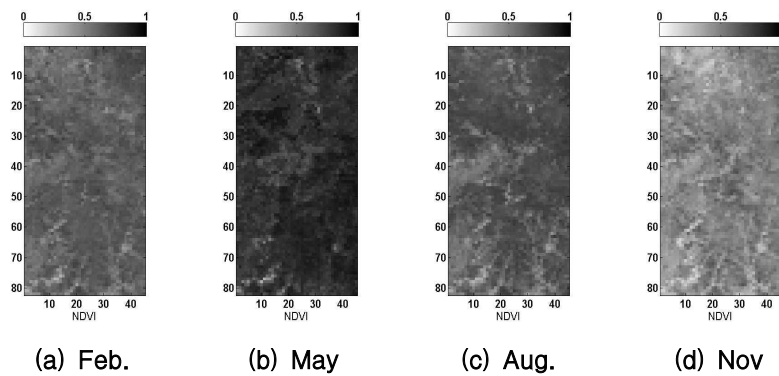


그림 2. Monthly NDVI (2010).

지표면 토양온도를 모의하기 위하여 Zheng et al.(1993)이 제안한 경험식을 기반으로 토양의 물리적인 열전달 방정식을 이용하여 지표면 토양온도를 산정하고자 하였다. 지표면 토양온도는 아래와 같은 과정을 통하여 모의할 수 있다.

$$\begin{aligned} &\text{if } x, t > A(x, t-1) \\ &\text{then } T(x, t) = T(x, t-1) + [A(x, t) - A(x, t-1)] \cdot M_1 \cdot e^{-V(x, t)} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\text{if } A(x, t) \leq A(x, t-1) \\ &\text{then } T(x, t) = T(x, t-1) + [A(x, t) - A(x, t-1)] \cdot M_3 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, A 는 일평균 기온의 11일 이동평균기온, T 는 모의되는 지표면 토양온도, M_1 , M_2 , M_3 은 모형의 매개변수로서 관측된 지표면 토양온도를 이용하여 추정하게 된다. M_1 은 기온이 올라갈 때 토양온도 상승에, M_3 는 기온이 내려갈 때 토양온도의 하강에 각각 관여하는 변수이며, M_2 는 식생과 관련된 변수이다. 그리고 V 는 월 정규화식생지수를 의미한다.

3. 연구결과

지표면 토양온도를 정확하게 예측하기 위해서 모의된 토양온도 시계열 자료와 관측된 지표면 토양온도 자료 사이의 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RSME)를 최소화하는 매개변수(M_1 , M_2 , M_3)를 선정하였다. 즉, 8일 간격으로 관측된 지표면 토양온도와 관측된 날과 동일한 날에 대한 모의 지표면 토양온도의 평균제곱근 오차를 최소화시켜 적절한 매개변수를 산정하였다. 아래 그림은 매개변수 최적화 과정을 통하여 추정된 매개변수 M_1 , M_2 , M_3 의 공간적인 분포도이다. M_1 과 M_3 의 경우 고도가 높을수록 상대적으로 낮게, M_2 의 경우 반대로 고도가 낮을수록 상대적으로 높게 추정되었음을 살펴볼 수 있다.

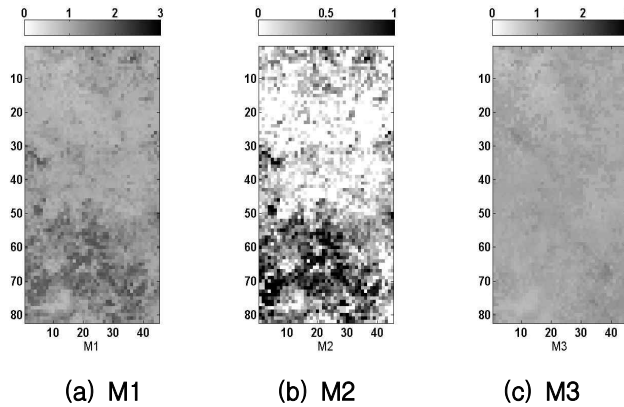


그림 3. Parameter estimation.

아래 그림은 모의된 일 지표면 토양온도와 관측 값을 비교한 결과이다. 결과 예시를 위해 적용된 격자는 안동댐 상류지역의 중앙부에 위치하고 있다. 전반적으로 관측 자료를 잘 재현하고 있음을 살펴볼 수 있다.

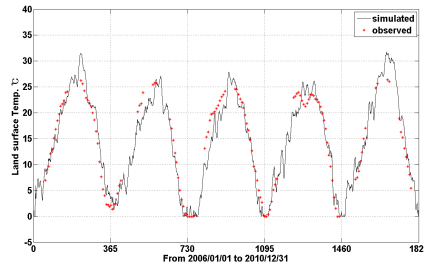
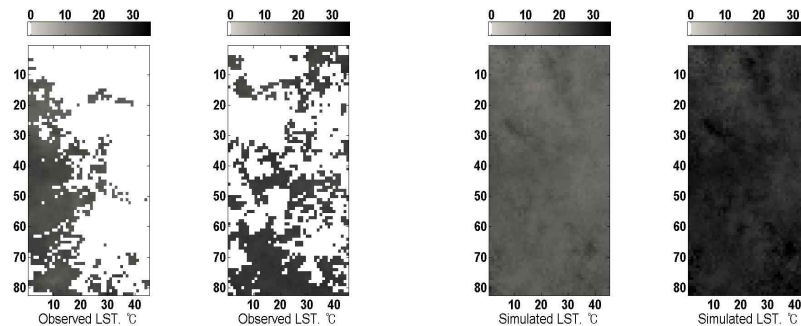


그림 4. Comparison between observed and simulated LST for specific cell.

지표면 토양온도의 모의 정확도를 공간적으로 살펴보기 위하여 격자별로 모의된 일 지표면 토양온도를 월 평균하여 관측 값과 모의 값을 월별로 비교해 보았다. 아래 그림은 그 중 2010년 5월 및 8월을 대상으로 월 평균 관측 및 모의 지표면 토양온도를 도시하였다. 월 평균 관측 값에서 빈 격자들은 결측된 부분으로 MODIS LST자료를 보정하는 과정에서 발생하게 된다. 8일 간격으로 관측된 원자료 자체에 결측치가 많이 포함되어있으며, 이상치 제거 및 평활화 과정에서 추가적인 결측치가 발생하였다. 실제 LST는 격자별로 월 3-4회 정도 관측되는데 LST 보정 절차를 거치다보면 해당 월에 대한 관측치가 모두 제거되는 경우가 발생할 수도 있기 때문이다.



(a) Observed (May and August) (b) Simulated (May and August)

그림 5. Comparison between observed and simulated monthly mean LST (2010).

월 평균 모의 값을 월 평균 관측 값과 비교해 보았을 때 안동댐 상류지역 전반적으로 지표면 토양온도가 잘 재현하고 있음을 살펴볼 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 격자기반 일 지표면 토양온도 모형이 제안되었으며, 이를 이용하여 한반도 남동쪽에 위치한 낙동강 유역 내 안동댐 상류지역에 대한 지표면 토양온도를 모의하였다. 전반적으로 모의된 일 지표면 토양온도는 관측 자료를 잘 재현하고 있는 것으로 분석되었다. 이상과 같이 본 연구에서 제안된 모형은 추후 하천수온예측 및 격자기반의 수문모형의 구성을 위한 기초자료를 제공할 것으로 기대된다. 더 나아가 본 연구는 기후-토양-식생의 관계를 바탕으로 미래기후에 대한 물 환경 영향을 평가하는데 있어서 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국립환경과학원 『기후변화에 따른 수질 및 수생태 영향 평가 모델 개발(Ⅱ)』의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. Zheng, D., Hunt Jr, E. R., and Running, S. W. (1993). A Daily Soil Temperature Model Based on Air Temperature and Precipitation for Continental Applications. *Climate Research*, 2, pp. 183-191.