

우리나라 2차원 토양수분 자료의 생산과 시·공간 변화도 분석

Analysis of Temporal and Spatial Variability of Generated 2D Soil Moisture Data

김광섭*, 김종필**

Gwangseob Kim, Jong Pil Kim

요 지

토양수분은 토양입자나 공극에 포함되어 있는 물을 의미하는 것으로서 여러 수문현상을 연계하는 주요 변수이며, 올바른 물순환 체계를 이해하기 위해서는 토양수분에 대한 활발한 관측과 연구가 수반되어야 한다. 하지만, 우리나라의 토양수분 자료는 지상관측 자료로서 관측기간이 짧고 결측치가 많아 장기 추세나 공간변화도를 분석하기엔 미흡할 뿐만 아니라 2차원 토양수분 자료는 보유하고 있지 않은 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 이를 보완하기 위해 우리나라와 위도가 비슷한 지역인 미국 Illinois 지역의 토양수분자료와 정규식생지수의 상관관계를 이용하여 우리나라의 2차원 토양수분을 산출하였으며, 산출된 장기 토양수분 자료를 이용한 시·공간 변화도 분석을 수행하였다.

핵심용어 : 토양수분, 정규식생지수, 경험적 직교함수분석, 엘니뇨

1. 서 론

토양수분은 지구상에서 담수의 약 0.15% 정도의 작은 구성비를 가지고 있음에도 불구하고 여러 수문현상을 연계하는 주요 변수이다. 현재 우리나라에는 총 120여개의 지점에서 토양수분을 관측하고 있으며 농업기상정보시스템(<http://weather.rda.go.kr>)으로부터 자료를 제공받을 수 있다. 자료기간이 가장 긴 관측지점은 계화, 아산, 여주, 철원, 화성 등 5개 지점이며, 이 5개 지점 또한 불과 5년 정도의 자료가 구축되어 있는 상태지만 토양수분의 장기 추세나 공간 변화도를 분석하기엔 미흡하다. 이러한 이유로 본 연구에서는 정규식생지수(NDVI : Normalized Difference Vegetation Index)를 이용하여 우리나라의 장기 토양수분 자료를 구축하고자 하였으며, 우리나라와 비슷한 위도 상에 존재하는 Illinois의 토양수분자료를 사용하였다. Illinois와 마찬가지로 중국도 비슷한 위도 상에 있고, 토양수분 자료가 구축되어 있지만 지상관측소의 위치 등 관측지점에 대한 정보의 재배포를 금지하고 있는 실정이기 때문에 Illinois 자료를 이용할 수 밖에 없었다. 수집된 토양수분자료와 정규식생지수의 관계식을 이용하여 우리나라의 정규식생지수로부터 토양수분을 산출하였으며, NOAA/AVHRR 정규식생지수 이외에도 USGS(United States Geological Survey)의 토지피복 자료와 우리나라의 DEM(Digital Elevation Model) 자료를 이용하여 토지피복과 고도에 따라 세분화된 정규식생지수·토양수분 관계식을 이용함으로써 보다 정확한 토양수분 자료를 산출하고자 하였다. 정규식생지수와 토지피복 그리고 고도자료를 이용하여 2차원 토양수분 자료를 구축하였으며, 산출된 토양수분을 이용한 시·공간 변화도를 분석을 수행하기 위하여 선형추세분석, 경험적 직교함수(EOF : Empirical Orthogonal Function) 분석을 수행하였다. 이상기후가 토양수분에 미치는 영향을 보기 위하여 엘니뇨나 라니냐가 없었던 해(평년), 엘니뇨해, 라니냐해로 분류하여 분석을 수행하였다.

* 정회원·경북대학교 토목공학과 조교수E-mail : kimsgs@knu.ac.kr

** 경북대학교 토목공학과 석사과정E-mail : gangster3569@hotmail.com

2. 자료수집

2.1 토양수분자료

국내에서는 현재 총 120개 지점에서 토양수분을 관측하고 있다. 한반도의 토양수분 관측지점 중 가장 자료기간이 긴 계화외의 경우, 2000년 10월부터 2005년 9월까지의 5년간의 월 자료로 수집되어 있다. 국내 토양수분자료 중 가장 장기간 자료임에도 불구하고 정규식생지수와 일치하는 자료기간은 2000년 9월부터 2001년 9월까지 12개월에 불과하다. 장기간 토양수분이 존재하지 않는 관계로 본 연구에서는 국외의 정규식생지수와 토양수분과의 상관관계를 이용하여 한반도 토양수분 장기자료를 추정하였다.

Global Soil Moisture Data Bank(http://climate.envsci.rutgers.edu/soil_moisture)의 중국, 인도, 몽고, 구소련(Ukraine 포함), Iowa, Illinois 등의 토양수분자료를 제공하고 있다. Global Soil Moisture Data Bank로부터 수집할 수 있는 자료 중 한반도와 비슷한 위도 상에 있는 관측지점으로는 중국, Illinois 등이 있다. 중국의 토양수분자료는 총 40개 측정지점의 1981년 1월부터 1997년 12월까지의 자료가 수집되어 있지만, 12월과 1월은 매년 관측이 이루어지지 않았으며, 지점별로 측정기간이 상이하여 자료의 일관성이 결여되어 있었다. 또한, 중국 정부가 측정지점 위치 등 정보 게재를 금지하고 있어 중국의 토양수분자료 또한 연구 수행에 부적절하다고 판단되었다. Illinois 토양수분자료는 총 19개 지점에서 측정되고 있으며, 수집된 자료기간은 1981년 2월부터 2003년 6월까지이다. 자료는 ASCII형식으로 제공받을 수 있으며, 단위는 mm이고, -999.99로 나타낸 것은 결측값이다. 하나의 지점에서는 측정 깊이에 따라서 총 10개의 자료로 구분되어 있으며, 측정 깊이는 0 cm ~ 200 cm까지 20 cm씩 나뉘어 있다. 본 연구에서는 표면에서 20 cm까지 상층부 토양수분자료를 사용하였다. 다음 그림은 Illinois 토양수분 관측지점을 도식화하여 나타낸 것이다.

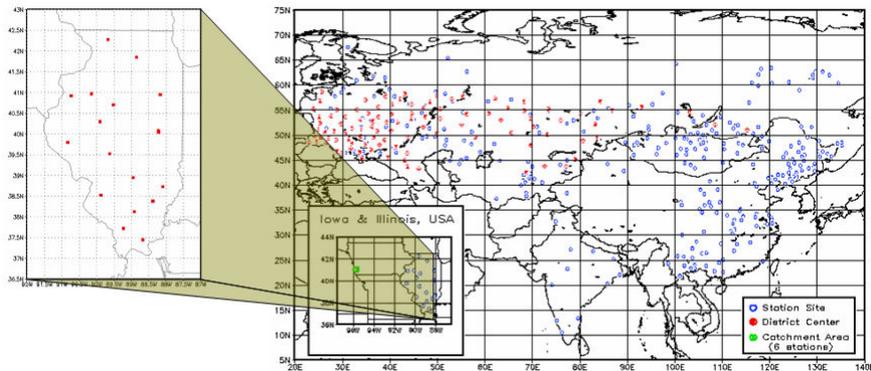


Fig. 3.2.1 Map of Global and Illinois Soil Moisture Stations (Alan 외, 2000)

2.2 정규식생지수(NDVI : Normalized Difference Vegetation Index)

본 연구에 사용된 정규식생지수 자료는 NOAA/NASA Pathfinder AVHRR Land (PAL) 프로그램에 따라 만들어진 자료들이다. Pathfinder 프로그램은 현재 운영중인 위성자료를 지구환경변화연구에 사용하고 이 자료들을 처리하는 것을 목적으로 한다. 이 자료들은 10일 자료와 월 자료 등으로 구성되며, 8 km, 1°의 공간 해상도를 가지고 있다. 자료 기간은 1981년 7월 1일부터 2001년 10월 1일까지이다. 정규식생지수 자료구조는 8 bit unsigned이고 128의 offset, 0.008의 gain을 가진다. 자료의 정수범위는 1 ~ 253까지이지만, 실제 정규식생지수에 해당되는 값의 범위는 5 ~ 253까지이고, 1은 해양을, 2는 투영법 때문에 발생하는 자료가 없는 공간을, 3은 육지의 영역에 존재하는 결측지점을 각각 나타낸다. Global 8km 정규식생지수는 행 2168개, 열 5004개의 행렬로 구성되어 있다. 이 정규식생지수자료는 1994년 9월부터 12월까지의 결측기간을 포함하고 있으며 이 결측자료는 1993년 자료와 1995년 자료로부터 선형보간 하였다. 본 연구에 사용된 NOAA/AVHRR 정규식생지수에 대한 정보는 NASA의 GES DISC Home Global Land Biosphere Data and Resources (<http://daac.gsfc.nasa.gov/data/dataset/AVHRR>)를 참조하였다.

3. 토양수분의 추정 및 시공간 변화도 분석

3.1 정규식생지수를 이용한 토양수분의 추정

Illinois의 토양수분 관측지점 전체의 자료를 이용했을 경우 0.5326의 음의 상관관계를 지닌다. 본 연구에서는 정규식생지수와 토양수분과의 상관관계를 개선하기 위하여 지형과 토지피복의 영향을 고려하여 1 km DEM자료와 8 km 토지피복 자료를 적용, 선형회귀식을 분류하여 적용하였다. 토지피복 자료는 정수범위 1 ~ 13으로 구성되어 있으며, 각 정수에 해당하는 피복의 형태는 다음과 같다(Fries 외, 1998).

- | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| 1 : Evergreen needleleaf forest | 2 : Evergreen broadleaf forest | 3 : Deciduous needleleaf |
| 4 : Deciduous broadleaf forest | 5 : Mixed forest | 6 : Woodlands |
| 7 : Wooded grasslands/shrublands | 8 : Closed bushlands or shrublands | 9 : Open shrublands |
| 10 : Grasses | 11 : Croplands | 12 : Bare |
| 13 : Mosses and lichens | | |

지형에 따라 분류한 경우를 Case1, 토지피복에 따라 분류한 경우를 Case2, 지형과 토지피복을 복합적으로 적용하여 분류한 경우를 Case3으로 나누어 적용하였다. 지형과 토지피복에 따라 선형회귀식을 달리 적용하여 토양수분과 정규식생지수의 상관관계를 분석한 결과, 전 지점의 토양수분자료와 정규식생지수의 선형회귀식을 적용할 때보다 대체적으로 개선된 상관관계를 보여주었다.

3.2 추정 토양수분자료의 선형 변화도 분석

20년간의 장기 정규식생지수로부터 추정된 우리나라 평균의 20년 동안의 변화도는 다음 그림과 같다.

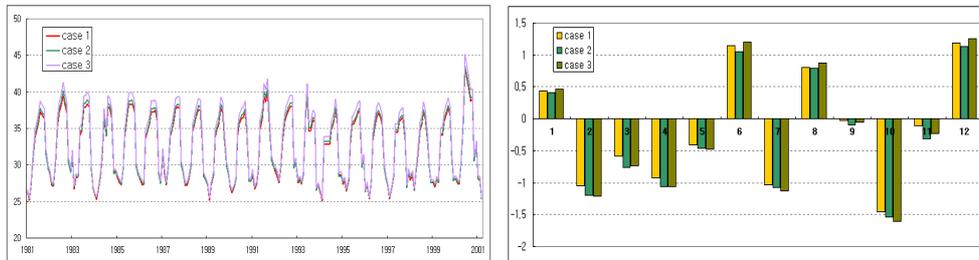
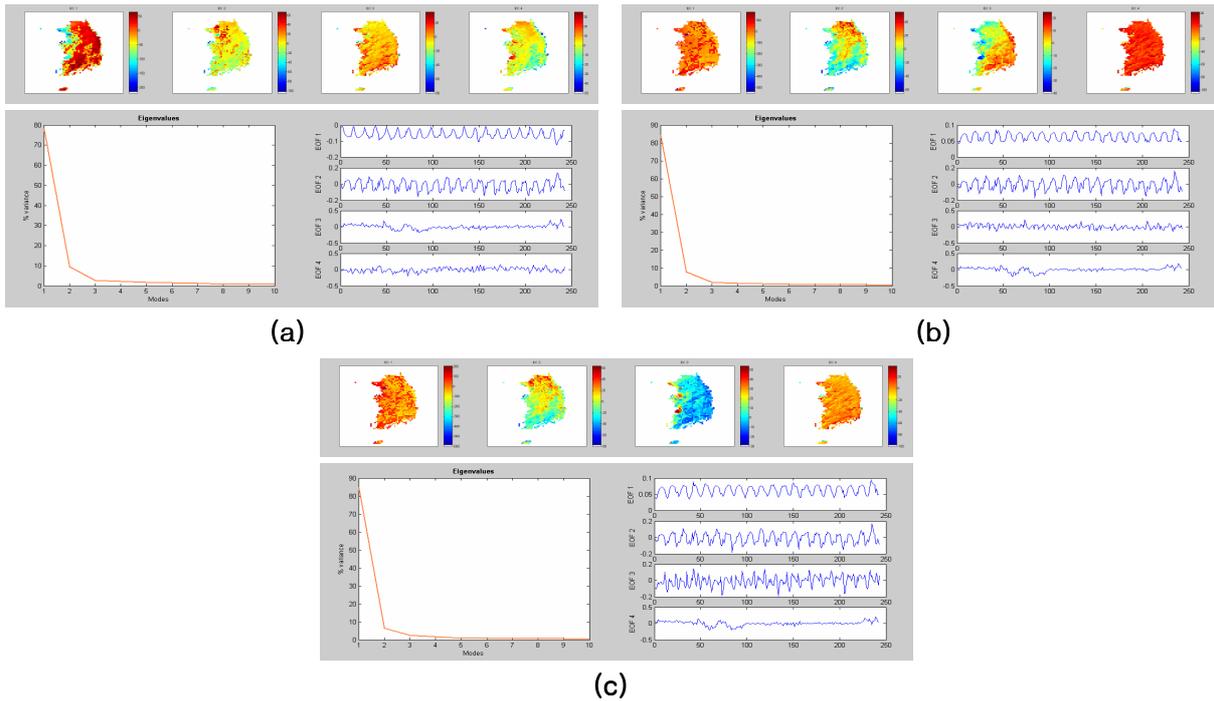


Fig. 1. Soil moisture time series and deviations for 20 yrs

Case 1, 2, 3 세 가지 경우 모두 정규식생지수와 비슷한 계절 변화를 보여주고 있다. Fig 3.2.2는 20년 동안의 변화도를 월별로 나타낸 것으로서 전체적으로는 계절적인 영향을 잘 따르지만, 7월의 경우 정규식생지수의 증가의 영향으로 이와 음의 상관관계에 있는 토양수분자료는 20년 동안 감소해온 것으로 나타난다.

3.3 추정 토양수분자료의 EOF(Empirical Orthogonal Function)분석

추정 토양수분 공간변화도의 주요 변화성분을 규정하기 위하여 경험적 직교함수분석을 실시하였다. 다음 그림은 각각의 경우에 대한 토양수분의 주요성분과 % Variance 그리고 각 성분의 EOF를 나타낸 것이다. Case 1의 경우, 토양수분의 공간변화도는 첫 번째 주성분으로 약 78% 정도가 설명되며 우리나라 지형패턴과 비슷한 양상을 보여 주었다. Case 2와 Case 3의 경우는 첫 번째 주성분으로 약 84% 정도가 설명되며, 지형 패턴보다는 토지피복패턴을 보여주었다.



**Fig. 2. (a) Four Principal Components and % Variance of Soil Moisture, in Case 1
 (b) Four Principal Components and % Variance of Soil Moisture, in Case 2
 (c) Four Principal Components and % Variance of Soil Moisture, in Case 3**

4. 결론

본 연구에서는 정규식생지수와 토양수분의 상관성과 공간변화도를 분석하기 위하여 Illinois의 정규식생지수와 토양수분과의 관계를 이용하였으며, 지형과 토지피복의 영향을 고려한 보다 세분화된 선형회귀식을 적용, 정규식생지수로부터 토양수분자료를 구축하였다. 토양수분은 정규식생지수 이외에도 지형, 토지피복 등과 강한 상관관계가 있었으며, 지형보다는 토지피복과 더욱 강한 상관관계를 가짐을 볼 수 있었다. 토양수분의 시간적 변화도는 정규식생지수와 마찬가지로 계절적 변동성을 가지고 있으며, 전체적으로 봄과 가을은 감소 경향을, 여름과 겨울은 증가 경향을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-9-2)에 의해 수행되었습니다. 이와 관련되신 분들에게 감사드립니다.

참고 문헌

1. A. Robock and Vinnikov, K.Y. (2000). The global soil moisture data bank, *Bulletin of the American Meteor. Soc.*, Vol. 81, No. 6, pp. 1281-1299.
2. Kim, G. (2002). Spatial and temporal influences on soil moisture estimation, *KWRA Water Eng. Res.*, Vol. 3, No. 1, pp. 31-43.
3. R.S. De Fries, M. Hansen, J.R.G. Townshend and R. Sohlberg. (1998). Global land cover classifications at 8km spatial resolution: the use of training data derived from Landsat imagery in decision tree classifiers, *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 19, No. 16, pp. 3141-3168.