

SWAT모형과 MODIS위성영상을 이용한 소양강댐 유역의 토양수분 평가

Assessment of Soil Moisture for a Soyanggang Dam Watershed using SWAT and MODIS Satellite Image

박근애*, 홍우용**, 정인균*, 이미선*, 김성준***
Geun Ae Park, Woo Yong Hong, In Kyun Jung, Mi Seon Lee, Seong Joon Kim

요 지

토양수분은 지표의 다양한 과정을 통제하는 중요한 수문학적 변수이며 이에 신뢰할 수 있는 토양수분의 정보를 습득하는 것은 매우 중요하다. 그러나 정확한 토양수분의 실측자료는 그 설치비용과 인력부족으로 매우 빈약하여 이를 대체할 만한 정보를 획득하기 위한 연구 또한 부족하다. 요즘, 많은 수문모형의 개발로 토양수분 또한 결과물로서 많이 이용된다. 그러나 모형에서 모의된 토양수분의 신뢰성을 판단할 때는 실측자료를 이용하는 것이 가장 이상적이나, 토양수분의 실측값이 부족하므로, 유역의 토양수분 실측자료 대신 모의된 토양수분을 적용할 필요가 있다. 이에 따라 본 연구에서는 우리나라 소양강댐 유역에 대하여 SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형을 이용하여 실측 토양수분자료를 최대한 활용함으로써 토양수분을 모의하였다. 또한 모의된 토양수분을 Terra MODIS NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)와 LST(Land Surface Temperature)과의 상관성을 계절별, 월별로 분석하여 그 관계식을 도출하고자 하였다.

핵심용어 : SWAT, MODIS, NDVI, LST, 토양수분, 상관성분석

1. 서 론

미래 물 부족 현상이 발생할 것으로 예상되면서, 이 문제를 극복하기 위한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 물 순환계통을 올바르게 이해하기 위해서는 강우 및 토양수분의 연구가 필수적이며, 특히 토양수분은 침투나 침루를 통하여 강우와 지하수를 연결하는 기능을 함과 동시에 강우사상에 따른 유출특성에 직접적인 영향을 미치며 증발산을 통하여 에너지 순환을 연결하는 중요한 기능을 한다. 기후 변화의 측면으로 보아도 계절적 기후변화의 예측가능성은 해수면 온도나 토양수분에 의존하므로 초여름 토양수분의 정보는 여름의 기온예측개선에 영향을 끼칠 수 있다 (Rind, 1982). 따라서, 신뢰할 수 있는 토양수분의 정보를 습득하기 위하여 많은 수문모형들이 이용되고 있으며, 모형에서 모의된 토양수분의 신뢰성을 판단할 때는 실측자료를 이용하는 것이 가장 이상적이나, 토양수분의 실측값이 부족하므로, 유역의 토양수분 실측자료 대신 모의된 토양수분의 신뢰성을 판단할 수 있는 척도가 필요하다. NDVI는 토양수분과 큰 상관성이 있다고 밝혀진 증발산량을 산정할 때도 이용되며 (신사철 등, 2007), Farrar 등 (1994)은 NDVI와 토양수분이 식물이 자라는 시기에 매우 잘 일치한다는 것을 발견하였다. 또한, Hutchinson 등 (2006)은 MODIS NDVI와 LST (Land Surface Temperature)를 이용하여 연속적인 토양수분 분포도를 작성하는 연구를 하였다. 박종윤 등 (2008)은 SWAT 모형을 이용하여 토지이용변화가 미래에 수문 수질에 미치는 영향을 분석했고, Park 등 (2008)은 SWAT을 우리나라 실정에 맞게 변형시킨 SWAT-K를 이용하여 미래 기후와 토지 이용 변화가 댐 유역의 수리학적 거동에 미치는 영향을 평가하였다. 황태하 등 (2006)은 SWAT 모형을 이용하여 토양수분지수 산정과 가뭄감시를 한 바 있다. 홍우용 등

* 정희원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 박사후과정 · E-mail : dolpin2000@konkuk.ac.kr, nemoik@konkuk.ac.kr, misun03@konkuk.ac.kr

** 정희원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 석사 · E-mail : carrot84@konkuk.ac.kr

*** 정희원 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 · E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

(2009)은 SWAT에 의해 충주댐 유역을 대상으로 토양수분을 모의하여 NDVI와의 상관관계를 분석하였는데 본 연구에서는 이 연구를 바탕으로, 소양강댐 유역에서도 토양수분과 NDVI와의 상관성 여부를 판단하여 NDVI를 이용하여 모의된 토양수분의 신뢰성을 판단할 수 있는지를 검토하고자 하였고, 이를 위해 Terra MODIS NDVI와 LST를 이용하여 SWAT 모형에서 모의된 토양수분과의 상관성을 분석하였다.

2. 유역모형 및 대상유역의 선정

본 연구에서는 소양강댐 수위관측소를 유역출구로 하는 소양강댐 유역(Fig 1)은 유역면적은 2,694.4km²이며 유역둘레는 383.6km, 유역평균 폭은 16.5km, 유역평균표고는 650.5m, 유역평균경사는 46.0%로 국내 북동부 산악지역에 위치해있으며 산림면적은 2,478.5km²으로서 유역면적의 92.0% 이른다. 본 대상유역 내에는 현장 토양수분 관측자료를 이용할 수 있는 지점이 인제, 춘천, 화천 등 3개의 지점이 존재하고 있다. 본 연구에서는 토양수분을 모의하기 위하여 SWAT 모형을 선정하였으며 이 모형은 물리적 기반의 준분포형 장기 강우-유출 모형으로서, 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 다양한 종류의 토양과 토지이용 및 토지관리 상태에 따른 유출의 영향을 예측하기 위해 개발되었으며 물수지 방정식에 근거를 두고 강수, 증발산, 지표유출, 기저유출, 지하수, 토양수분 등에 대한 모의를 각 수문반응단위 별로 계산할 수 있다(Arnold 등, 1998).

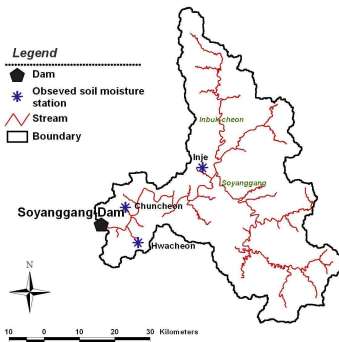


Fig 1. Study area

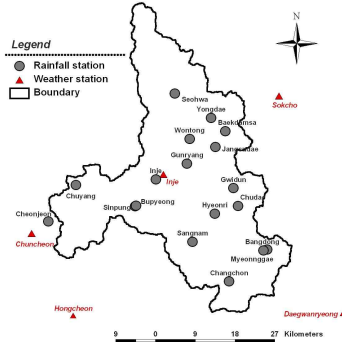


Fig 2. Location of rainfall and weather stations

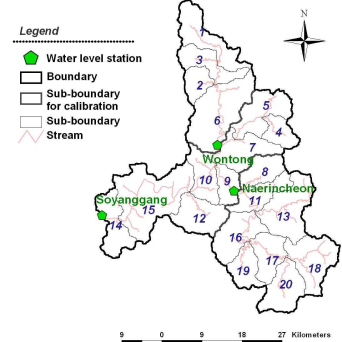


Fig 3. Water level station and subwatershed

3. 유역의 기초자료 수집 및 모형의 입력자료 구축

3.1 수문기상자료 구축

소양강댐 유역의 관측소 현황은 춘천, 인제, 속초, 대관령, 홍천 총 5개의 기상관측소가 위치해 있으며 총 18개의 AWS가 유역내 위치해 있다(Fig 2). 1998년부터 2008년까지의 일별 강우량, 온도, 풍속, 태양복사량 및 상대습도 자료를 기상청으로부터 제공받았다. 유역모형의 적용성 평가를 위해 총 3개의 수문관측지점(원통, 내린천, 소양강댐)을 선정하였고(Fig 3) 유출량 자료는 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 일별 유출량 자료를 구축하였다.

3.2 GIS/RS 기법을 이용한 지형자료 구축

지형공간자료에서 가장 유용한 자료 중에 하나는 수치지형도이다. 고도의 공간적 분포를 표현하고 있는 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM)은 숫자배열로 이루어져 있으며, 유용한 수문학적 평가는 DEM에서 비롯될 수 있다(Bedient 등, 2008). 본 연구에서는 NGIS(National Geographic Information System)의 1/5,000 수치지도로부터 검수과정을 거쳐 격자크기 100m의 DEM으로 제작하였다(Fig 4). 토지이용 정보는 증발산, 침투, 지표유출 등의 수문학적 구성 요소

들에 영향을 미치고, 이러한 토지이용의 영향은 유출량의 변화에 직접적인 영향을 미친다. 본 연구에서는 2000년 4월 Landsat TM 위성영상으로부터 감독분류 방법 중 각 분류항목의 평균과 공분산을 이용하는 최대우도방법을 적용하여 총 9개의 토지이용항목(수역, 도심지1, 도심지2, 초지, 논, 밭, 활엽수림, 혼효림, 침엽수림)으로 분류하였다(Fig 5). 또한, 산림이 대부분(92%)인 소양강댐 유역의 산림 특성을 정확하게 반영하기 위하여 NOAA/AVHRR Sensor의 Data를 통하여 계산된 정규화식생지수(NDVI) 자료로부터 산림을 침엽수림, 활엽수림, 혼효림으로 재분류하였다. 본 연구에서는 농촌진흥청에서 제공하는 1/25,000 정밀토양도(Fig 6)를 이용하여 미국 NRCS 토양분류 기준(Soil Survey Staff, 1996)에 따른 수문학적 토양그룹(Hydrologic Soil Group) A, B, C, D로 분류하였다. 토양층의 개수 및 토양층별 깊이 등은 농업과학기술원의 자료를 사용하여 구축하였으며 토양층의 유효수분량, 포화수리전도도 등의 물리적 값들은 Saxton 등(1986)의 결과를 토대로 토양속성값(usersoil.dbf)을 부여하였다.

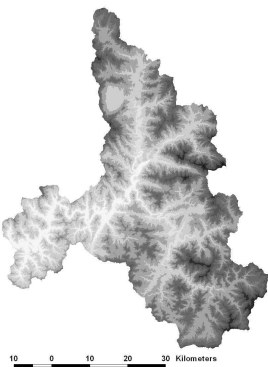


Fig 4. DEM

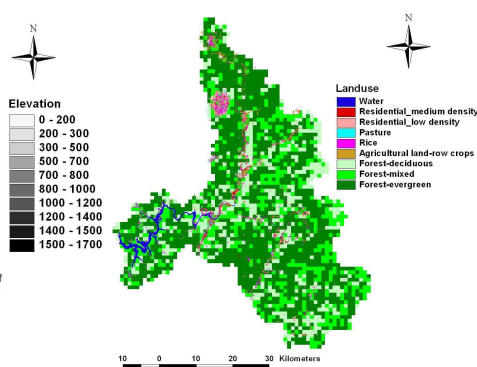


Fig 5. Land use

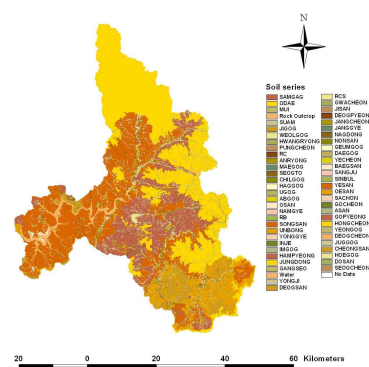


Fig 6. Soil

3.3 Terra MODIS NDVI 및 LST자료 수집

본 연구에서는 실측자료가 빈약한 토양수분을 판단하기 위한 자료로서 MODIS 영상에서 추출한 NDVI와 LST를 수집하였다. NDVI는 가시광선(특히 적색 영역)과 근적외선에서 녹색 식물의 반사율 차이가 크게 나는 것을 이용하여 식생의 분포상태를 추출하는 지수이며, LST(land surface temperature)는 지표온도로써 밴드31과 밴드32에 의해 추출되는 지수이다. MODIS NDVI는 전 지구를 대상으로 250m, 500m, 1km의 해상도 자료를 16일 간격으로 제공한다. 본 연구에서는 SWAT에서 모의되는 토양수분과의 보다 자세한 비교를 위하여 공간해상도 250m, 시간해상도가 16일인 NDVI를 수집하였다(Fig 7). 또한 LST는 전 지구를 대상으로 1km의 해상도 자료를 8일 간격으로 Kelvin 단위로 제공하고 있으며 이 자료 또한 SWAT에서 모의되는 토양수분과 비교하기 위하여 수집하였다(Fig 8).

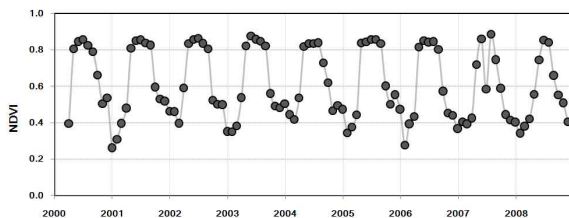


Fig 7. MODIS NDVI

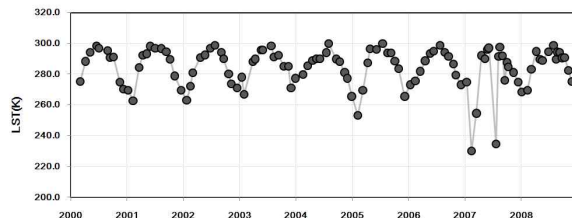


Fig 8. MODIS LST

4. 유역모형의 검 · 보정에 의한 적용성 검토

4.1 유역모형의 매개변수 선정 및 민감도 분석

본 연구에서는 수문-수질 보정을 위해 LH-OAT 방법을 이용하여 소양강댐 유역 전체에 대한 유출 및 토양수분과 관련된 대표 매개변수를 선정하고 보정에 사용하였다. 민감도분석(Sensitivity Analysis, SA)은 사용자 정의의 각 프로세스별 매개변수를 선정하고 LH-OAT 방법을 이용하여 민감도분석에 따른 민감도 등급을 결정하여 보정에 사용하게 된다. 본 연구에서는 총 26개의 매개변수를 선정하였으며, 1998-2008년까지의 일 유출모의를 통한 민감도 분석 후 유출관련 매개변수에 대한 민감도 등급을 결정하였다. 총 모의 횟수는 270번으로 각 매개변수의 구간을 10개의 구간으로 분할하였다. 매개변수 등급을 살펴보면, Ch_N과 CN2가 크게 민감한 것으로 분석되었으며 ESCO, Sol_AWC, Surlag 등의 매개변수가 비교적 민감한 것으로 분석되었다.

4.2 유역모형의 검 · 보정

유출량에 대한 SWAT 모형의 보정과 검정은 공간적으로 최상류부터 순차적으로 실시하였다. 먼저, 소양강댐 유역의 상류지점인 원통지점과 내린천지점에 대하여 먼저 보정한 후, 유역출구지점인 소양강댐에 대하여 보정을 실시하였다. 모의기간은 모형의 안정화 기간(warm-up)을 고려하여 1998년-2008년까지 모의하였으며, 보정과 검정은 실측자료의 양과 질이 충분한 2000년-2004년, 2005년-2008년 각각 5개년과 4개년으로 설정하여 지점별 실측 일 유출량 자료를 이용하여 보정하였다. 보정방법은 LH-OAT 민감도 분석을 통해 선정된 상위 10개의 매개변수를 이용하여, 총 유출량을 기준으로 지표유출량과 침투 및 기저유출, 감수곡선 형태를 기준으로 보정을 실시하였다. Fig 9는 보정 및 검증기간 동안의 소양강댐 지점의 실측치와 모의치 수문곡선을 비교한 것이다. 소양강댐 지점에 대해 보정 및 검증기간 동안의 ME는 각각 0.81과 0.78로 비교적 모의치가 실측치의 경향을 잘 따르는 것으로 분석되었고 R²는 각각 0.87의 높은 상관성을 보였다.

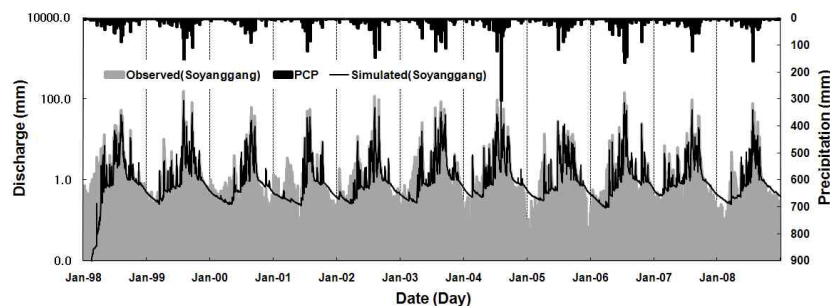


Fig 9. The result for model calibration and validation

5. 토양수분과 NDVI, LST의 공간적 상관관계 분석

본 연구에서는 토양수분에 대한 토지이용과 토양의 영향을 고려하기 위하여 SWAT 모형에서 HRU별로 토양수분을 추출해 HRU 그리드(grid) 파일에 입력하여 공간내삽 시킨 후, 영상간의 선형 회귀식과 상관성을 분석하는 Idrisi 프로그램의 Regress tool 모듈을 이용하여 NDVI, LST 영상과 상관성을 분석하였다. 유역의 특성이 다른 상류와 하류를 나누고 산림을 세 가지로 분류하여 상관성의 특성을 분석하였다. 먼저 유역별 상관성을 비교해 보면, 상류인 인제 지점이 하류인 춘천, 화천 지점보다 높은 상관성을 나타낸 것을 확인할 수 있다. 토양의 물리적인 특성은 토양수분에 큰 영향을 끼치며 따라서 토양수분과 NDVI와 LST의 상관관계에도 큰 영향을 끼친다. 상류유역의 주요 토양은 점토이며 하류 유역의 주요 토양은 사양토이다. 사양토의 투수계수는 점토의 11배 이므로 상류 유역의 배수 상태는 하류유역보다 매우 좋지 않으며, 강우가 없는 기간에 점토의 토양수분의 변화는 사양토에서 보다 안정적인 것을 알 수 있다. 따라서 토양수분의 변동성은 토양수분과 NDVI, LST의 상관관계에 영향을 미친다고 판단된다.

6. 요약 및 결론

본 연구에서는 SWAT에 의해 모의된 토양수분과 MODIS 위성영상으로부터 추출한 NDVI와 LST의 상관성을 분석하였다. SWAT으로부터 보다 신뢰성 있는 토양수분을 모의하기 위하여 유역의 유출량 자료를 이용하여 모형을 보정 하였으며, 유역의 특성에 따른 효과적인 보정을 위하여 상류와 하류 세 지점을 보정하였다. SWAT에 의하여 모의된 토양수분을 HRU 단위로 공간내삽시켜 NDVI, LST 분포도와 공간적 상관성을 분석해본 결과 상관성은 유역의 토양과 토지이용 특성에 따라 다르게 나타났다. 이는 배수능과 같은 토양이나 토지이용의 특성이 토양수분의 변동성에 영향을 미치고, 그에 따른 토양수분의 변동이 두 변수의 상관관계에 영향을 끼치기 때문이라 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 박종윤, 이미선, 이용준, 김성준(2008). SWAT 모형을 이용한 미래 토지이용변화가 수문-수질에 미치는 영향 분석. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제28권, 제2B호, pp. 187-197.
2. 신사철, 안태용(2007). 인공위성 자료를 활용한 광역증발산량의 산정방법 개발. 한국지리정보학회지, 한국지리정보학회, 제10권, 제2호, pp. 70-80.
3. 홍우용, 박민지, 박종윤, 하림, 박근애, 김성준(2009). 봄철 SWAT모형의 산림 토양수분과 Terra MODIS 위성영상 NDVI와의 상관성 분석. 한국농공학회논문집, 한국농공학회, 제51권, 제2호, pp. 7-14.
4. 황태하, 김병식, 김형수, 서병하(2006). SWAT 모형을 이용한 토양수분지수 산정과 가뭄감시. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제26권, 제4B호, pp. 345-354.
5. Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., and Williams, J. R.(1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development, Journal of American Water Resources Association, Vol. 34, No. 1, pp. 73-89.
6. Bedient, P. B., Huber, W. C., and Vieux, B. E.(2008). Hydrology and floodplain analysis. 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
7. Farrar, T. J.(1994). The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semiarid Botswana; II. NDVI response to soil moisture, Remote Sensing of Environ., Vol. 50, No. 2, pp. 121-133.
8. Hutchinson, J. M. S., and Vought, T. J.(2006). Continuous soil moisture mapping using MODIS NDVI and LST products, Papers of the Applied Geography Conferences, Vol. 29, pp. 140-149.
9. Park, M. J., Lee, Y. J., Shin, H. J., and Kim, S. J.(2008). Assessment of future climate and land use change impacts on hydrological behavior of dam watershed using SWAT-K model, 2008 ASABE Annual International Meeting
10. Saxton, K. E., Rawls, W. J., Romberger, J. S., and Papendick, R. I.(1986). Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Science Society of America Journal, Vol. 50, No. 4, pp. 1031-1036.
11. Soil Survey Staff(1996). National Soil Survey Handbook. title 430-VI, USDA Natural Resources Conservation Service, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.