

봄철 SWAT 모형의 산림 토양수분과 Terra MODIS 위성영상 NDVI와의 상관성 분석

The Correlation Analysis Between SWAT Predicted Forest Soil Moisture and MODIS NDVI During Spring Season

홍우용* · 박민지* · 박종윤* · 하림* · 박근애* · 김성준**†

Hong, Woo Yong* · Park, Min-Ji* · Park, Jong Yoon* · Ha, Rim* · Park, Geun Ae* · Kim, Seong Joon**†

ABSTRACT

The purpose of this study is to identify how much the MODIS NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) can explain the forest soil moisture simulated from SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model. For ChungjuDam watershed (6,661.3 km²) which covers 82.2 % of forest, the SWAT model was calibrated for four years (2003-2006) at two locations of the watershed using daily streamflow data and was verified for three years (2000-2002) with average Nash and Sutcliffe model efficiencies of 0.69 and 0.75 respectively. For the period from March to June, the average spatial correlation between 16 days composite MODIS NDVI and the corresponding SWAT forest soil moisture was 0.90. The two variables averaged for each data set during that period showed an inverse relation with the average coefficient of determination of 0.55.

Keywords: SWAT; soil moisture; MODIS NDVI; HRU; land use

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 지표의 다양한 과정을 통제하는 중요한 수문학적 변수이며, 침투나 침투를 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 영

향을 끼칠 수 있다 (Rind, 1982).

따라서 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 결과물로써 많이 이용된다. 그러나 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, 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 담

* 건국대학교 일반대학원

** 건국대학교 생명환경과학대학

† Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3749

Fax: +82-2-444-0186

E-mail address: kimsj@konkuk.ac.kr

2008년 12월 12일 투고

2009년 1월 30일 심사완료

2009년 3월 16일 게재확정

유역의 수리학적 거동에 미치는 영향을 평가하였다. 우리나라에서는 안태용 등 (2003)이 NDVI와 기상자료를 이용하여 증발산량을 산정하여 토양수분을 계산하였으며, 황태하 등 (2006)은 SWAT 모형을 이용하여 토양수분지수 산정과 가뭄감시를 한 바 있다. Narasimhan 등 (2005)은 SWAT으로 목초지의 토양수분을 모의하여 NDVI와의 상관관계를 이용하여 모형을 보정하는 연구를 하였는데 본 연구에서는 이 연구를 바탕으로, 우리나라 충주댐 유역에서도 토양수분과 NDVI가 상관성이 있어 NDVI를 이용하여 모의된 토양수분의 신뢰성을 판단할 수 있는지를 검토하고자 하였고, 이를 위해 공간해상도 250 m, 시간해상도 16 day인 Terra MODIS 위성영상 Product와 SWAT 모형에서 모의된 토양수분을 사용하여 두 변수의 상관성을 분석하였다.

II. 연구의 개요

본 연구의 목적은 SWAT에서 모의한 토양수분과 Terra MODIS 위성 영상에서 추출한 NDVI와의 상관관계를 구하는 것이다. 식물이 자라는 봄 (3월~6월)의 산림 지역을 대상으로 NDVI와 시간해상도를 일치시키기 위하여 16일을 기준으로 한 평균한 토양수분을 공간내삽 (interpolation) 하여 2000년부터 2006년까지의 토양수분 분포도를 작성하여 NDVI 영상 자료와 영상 간 비교를 수행하였고, 동일기간의 토양수분과 NDVI 상관성을 분석하여 식으로 나타내었다 (Fig. 1).

SWAT 모형은 수문순환을 정확히 예측하기 위하여 물수지 방정식에 근거를 두고 강수, 증발산, 지표유출, 기저유출, 지하수, 토양수분 등에 대한 모의를 각 수문반응단위 별로 계산할 수 있다 (박중윤 등, 2008). SWAT 모형에서 사용하는 물수지 방정식은 다음과 같다.

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - w_{seep} - E_a - Q_{gw}) \quad (1)$$

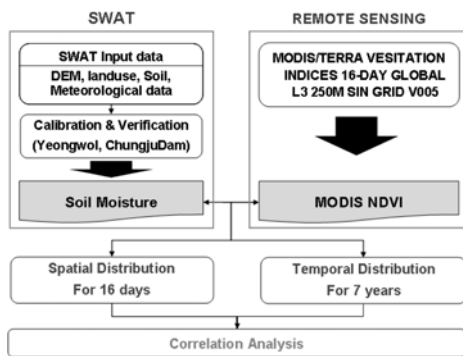


Fig. 1 Flowchart of this study

여기서, SW_t 는 최종의 토양 수분량 (mm H₂O), SW_o 은 i 일의 초기 토양수분량 (mm H₂O), t 는 시간 (일), R_{day} 는 i 일의 강수량 (mm H₂O), Q_{surf} 는 i 일의 지표유출량 (mm H₂O), E_a 는 i 일의 증발산량 (mm H₂O), w_{seep} 는 i 일의 토양면으로부터 투수층으로의 투수되는 총량 (mm H₂O), 마지막으로 Q_{gw} 는 i 일의 회귀수량 (mm H₂O)이다.

본 연구에서는 충주댐 유역의 일 유출 자료를 이용하여 SWAT 모형의 보정과 검증을 하여 보다 신뢰성 있는 자료를 확보하였다. 토양수분의 추출은 토지이용과 토양의 특성을 고려하는 HRU (Hydrologic Response Unit)를 단위로 하고 일별 토양수분 16일 단위로 평균하여 MODIS NDVI와 비교 분석 하였다.

III. SWAT 모형의 적용성 검토

1. 대상유역 및 입력자료

본 연구의 대상지역은 한반도의 중심부를 관류하는 남한강 수계에 속하는 충주댐 유역이다 (Fig. 2). 이 유역은 동경 127° 9'~129° 0', 북위 36° 8'~37° 8' 사이에 위치한다. 면적은 약 6,661.3 km²이며, 이 중 산림이 82.2%를 차지하고, 유역의 연평균 강우량은 1,198mm이다.

토양수분은 그 지역의 유역 특성을 반영하므로, 본 연구에서는 충주댐 유역을 토지이용, 토양, 경사 등 유역의 특성이 다른 상류와 하류로 나누어 토양수분과 NDVI의 상관성을 분석 하였다 (Table 1). SWAT 모형에서 필요로 하는 입력 자료인 기상자료는 일 강우 (mm), 기온 (°C), 일사량 (MJ/m²), 평균상대습도 (%), 평균풍속 (m/sec)이며, 본 연구에서는 강우, 기온, 상대습도, 풍속 자료는 1996년 1월 1일부터 2006년 12월 31일 까지 기상청에서 측정된 충주댐 유역의 기상관측소 자료를 이용하였고 (<http://www.kma.go.kr>), 일사량은 기상청에서 자

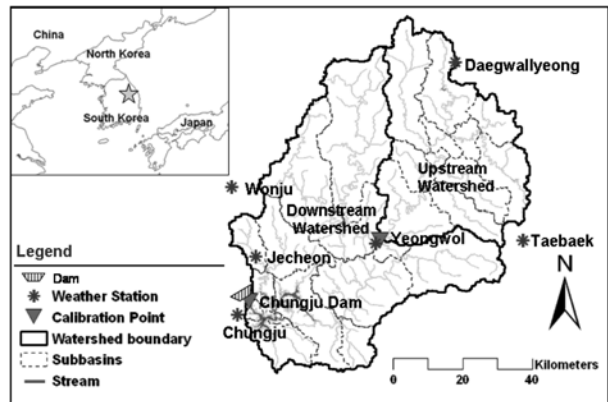


Fig. 2 Study area

Table 1 Watershed characteristics.

Watershed	Area (km ²)	Mean Elevation (m)	Mean Slope (degree)	Mean Annual Precipitation (mm)
Upstream watershed (A)	2419.1	744.5	18.7	1317.4
Downstream watershed (B)	4168.0	524.6	16.4	1292.8
Total / Ave.	6587.1	634.6	17.6	1305.1

료를 제공하지 않으므로, 일조시간을 이용하여 동일한 기간의 자료를 구축하였다.

2. GIS 자료

SWAT 모형에서 수문 순환 분석 시, 해당 유역의 지형특성, 토양 및 토지이용 등을 고려한다. 따라서 정확한 지형자료의 구축은 모의결과에 큰 영향을 미치므로 정확한 자료의 구축이 필요하다(박종윤, 2008). SWAT에서는 지형 특성을 고려하기 위해 DEM (Digital Elevation Model)을 입력 자료로 이용하므로, 본 연구에서는 NGIS의 1:5,000 수치지도로부터 격자 크기 30m의 DEM을 제작하였다. 본 연구에서는 산림이 세분화된 토지이용도가 필요하므로 총7개(수역, 시가지, 나지, 초지, 산림, 논, 밭)의 항목으로 구분되어 있는 국가 수자원 관리 종합정보 시스템 (WAMIS)에서 자료를 제공받고, Park 등 (2008)이 NOAA NDVI 2000년 영상을 이용해 산림을 침엽수, 활엽수, 혼효림으로 구분하여 구축한 토지이용도를 최종적으로 이용하였다. 토양도는 농촌진흥청에서 제공하는 1:25,000 정밀토양도를 기본으로 유역 내 총 37개의 토양통에 대한 정보를 농업과학기술원의 자료를 사용하여 구축하였다.

SWAT 모형의 소유역 구분은 25개로 하였고, 토양수분을 토지이용과 토양특성을 고려하여 모의하기 위해 각 소유역별 토지이용과 토양특성을 고려한 수문학적 반응 단위인 HRU를 설정하였다. HRU 생성을 위한 Definition of Landuse & Soil distribution 과정 중 면적 비율을 10 %:5 %로 설정하여 면적이 적어 영향을 크게 미치지 않는 요인들은 제외하고 총 HRU 개수를 376개로 구분하였다 (Fig. 3).

3. 모형의 검보정

일반적으로 수문모형에서는 모형을 실세계에 적용시킬 때 생기는 불확실성을 제거하는 방안으로 유역특성 및 유출과정의 주요 인자를 매개변수화 하고 이들 매개변수를 실측자료에 근거하여 보정함으로써 수문모형의 적정성을 검토하고 신뢰성 있는 수문분석 결과를 얻으려고 한다 (장중석, 2003). 본 연구에서는 보다 신뢰성 있는 토양수분 자료를 얻기 위해 토양수분의 실측자료를 이용하여 모형을 보정하는 것이 이상적이나 토양수분은 실측자료가 충분하지 못하므로, 유출 자료를 이용하여 유역을 모형으로부터의 결과가 관측 기록 자료에 일치되도록 보정을 실시하였다. 일반적으로, 유역의 보정은 유출구 지점에서 이루어진다. 그러나 본 유역과 같은 넓은 지역은 한 지점의 매개변수가 모든 유역을 대표하지 않으며 두 곳 이상의 지점의 매개변수를 보정할 경우 보정의 결과가 향상될 수 있다. 본 연구에서는 영월 지점과 유출구 지점 (충주댐) 두 곳을 보정 하였으며, 초기 매개변수를 안정화하기 위하여 1999년을 초기 안정화 기간으로 지정하고, 실측 자료가 신뢰성 있다고 판단되는 2003~2006년을 보정기간, 2000~2002년을 검증기간으로 사용하였으며, 침투유출 및 기저유출 기준으로 유량과 감수곡선에 영향을 미치는 매개변수를 선정하여 보정을 실시하였다. Table 2는 보정 시 사용한 SWAT 매개변수와 보정값을 정리한 것이다.

보정과 검증은 결정계수 (R^2)와 평균제곱근오차 (Root Mean Square Error, RMSE)를 이용하여 판단하였고, 모형의 효율성을 검증하기위해 Nash 와 Sutcliffe (1970)가 제안한 모형 효율성 계수 (Model Efficiency, ME)를 사용하였다. Fig. 4는

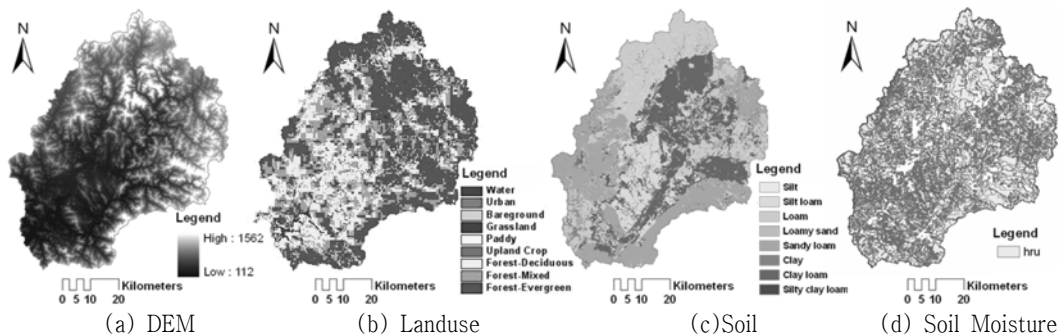


Fig. 3 Input data for SWAT model

Table 2 The calibrated SWAT model parameters

Parameter	Description	Calibration Range	Yeongwol Optimal Value	Chungju Dam Optimal Value
CN2	Curve number adjustment ratio	± 20%	8	-8
ESCO	Soil evaporation compensation	± 20%	0.1	0.1
SOL_AWC	Available water capacity	± 20%	0.025	0.025
SFTMP	Snowfall temperature (°C)	-5 ~ 5	0	0
SMTMP	Snow melt base temperature (°C)	-5 ~ 5	0	0
SMFMX	Maximum snow melt factor (mm H ₂ O/°C-day)	0 ~ 10	6	6
SMFMN	Minimum snow melt factor (mm H ₂ O/°C-day)	0 ~ 10	2	2
TIMP	Snow pack temperature lag factor	0 ~ 1	0.5	0.5
SNOCOVX	Minimum snow water content that corresponds to 100% snow cover	0 ~ 500	50	50
LAT_TTIME	Lateral flow travel time (days)	-	3	0
GW_DELAY	Groundwater delay time (days)	0 ~ 500	150	120
CH_K2	Effective hydraulic conductivity of main channel	0 ~ 50	60	30

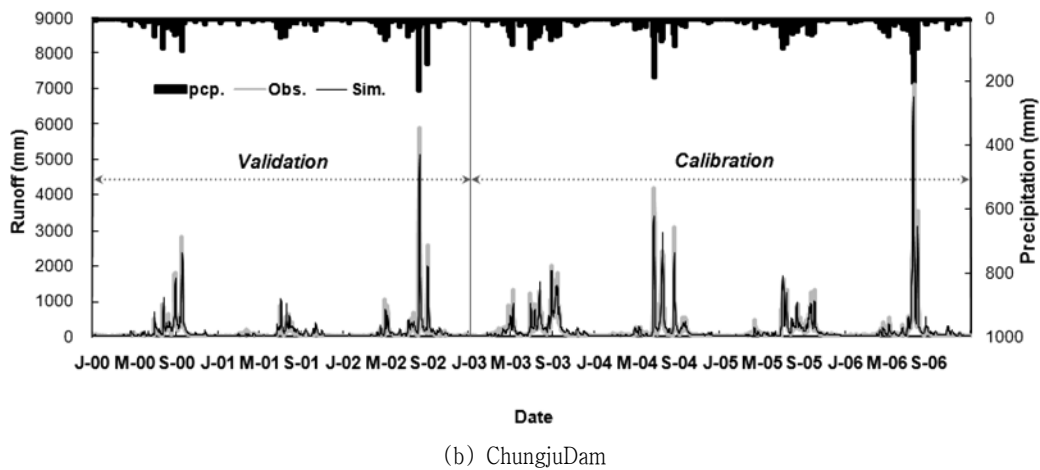
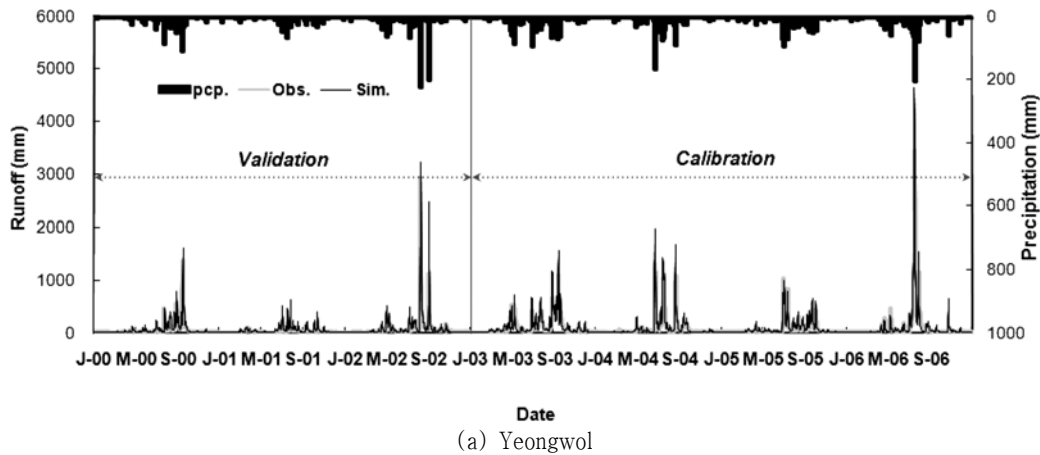


Fig. 4 The comparison of observed and simulated streamflow at two locations

보정 및 검증 기간 동안의 실측치와 모의치의 수문곡선을 비교한 것이고 Table 3과 Table 4는 보정 및 검증의 결과를 표로 나타낸 것이다. 영월 지역은 보정기간 동안의 총 강수량

6118.5 mm에 대하여 유출율은 약 7%의 오차를 나타내었고, 결정계수는 0.90, RMSE는 1.17 mm/day, ME는 0.91이었으며, 충주댐 지역은 보정기간 동안의 총 강수량 6077.8 mm에

Table 3 The calibration and validation statistics of Yeongwol station

Period	Year	Rainfall (mm)	Runoff (mm)		Runoff Ratio (%)		R ²	RMSE (mm/day)	ME
			Obs.	Sim.	Obs.	Sim.			
Calibration	2003	1,733.2	756.1	653.8	43.6	37.7	0.88	1.07	0.90
	2004	1,466.4	642.2	556.5	43.8	38.0	0.93	1.02	0.93
	2005	1,305.3	498.8	414.0	38.2	31.7	0.85	0.98	0.86
	2006	1,613.6	790.4	614.4	49.0	38.1	0.94	1.59	0.94
Average		1,733.2	671.9	559.7	43.7	36.4	0.90	1.17	0.91
Validation	2000	1,162.9	475.7	447.7	40.9	38.5	0.79	0.92	0.98
	2001	838.4	283.4	257.4	33.8	30.7	0.61	0.73	0.35
	2002	1,517.5	720.8	711.7	47.5	46.9	0.75	2.64	0.75
Average		1,173.0	493.3	472.3	40.7	38.7	0.72	1.43	0.69

Table 4 The calibration and validation statistics of ChungjuDam station

Period	Year	Rainfall (mm)	Runoff (mm)		Runoff Ratio (%)		R ²	RMSE (mm/day)	ME
			Obs.	Sim.	Obs.	Sim.			
Calibration	2003	1,688.1	1,050.9	1,050.8	62.3	62.3	0.84	1.68	0.85
	2004	1,472.9	911.2	920.5	61.9	62.5	0.87	2.38	0.86
	2005	1,341.2	743.0	761.1	55.4	56.8	0.88	1.24	0.86
	2006	1,575.6	954.3	1,045.5	57.7	66.4	0.91	2.96	0.90
Average		1,519.5	914.9	944.5	59.3	62.0	0.88	2.07	0.87
Validation	2000	1,170.5	608.4	664.9	52.0	56.8	0.86	1.50	0.96
	2001	811.0	310.6	399.4	38.3	49.3	0.73	1.03	0.38
	2002	1,454.6	840.6	840.6	57.8	57.8	0.91	2.19	0.91
Average		1,145.4	586.5	635.0	49.4	54.6	0.8	1.57	0.75

(RMSE : Root Mean Square Error, ME : Model Efficiency)

대해 유출율은 약 4%의 오차를 보였고, 결정계수 0.79, RMSE는 1.27 mm/day, ME는 0.69로 모형의 보정은 잘 이루어진 것으로 판단되었다. 검증기간동안의 유출율, 결정계수, 모형효율 등을 분석해 본 결과 검증기간 동안에도 모의치와 실측치가 유사하므로, 유출의 결과치가 유역의 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

IV. MODIS 식생지수(NDVI)

본 연구에서는 실측자료가 빈약한 토양수분을 판단하기 위한 자료로서 MODIS 영상에서 추출한 NDVI를 이용하였다. NDVI는 가시광선(특히 적색 영역)과 근적외선에서 녹색 식물의 반사율 차이가 크게 나는 것을 이용하여 식생의 분포상태를 추출하는 지수이다 (박은주 등, 2002).

본 연구에서 사용한 MODIS 식생지수 Product인 NDVI는 두개 혹은 세 개 분광 밴드의 조합으로 이루어지며, 식생 구조와 생물 기후학적, 생 물리학적 요소들의 변화를 계절별, 년 별로 분석하는데 사용된다. 두개의 MODIS 식생지수는 정규식생

지수 (NDVI)와 강조된 식생지수 (EVI)로 전 지구를 대상으로 250m, 500m, 1km의 해상도 자료를 16일 간격으로 제공한다. MODIS NDVI는 NOAA AVHRR NDVI에 비해 향상된 공간해상도를 갖으며, 좁은 밴드 폭을 갖는 적외선과 근적외선을 사용하여 대기의 영향을 감소시키고 16bit의 분광해상도를 보유하고 있어 지표의 식생상황을 충실하게 반영하는 특징이 있다 (Huete 등, 2002). 본 연구에서는 SWAT에서 모의되는 토양수분과 보다 자세한 비교를 위하여 공간해상도 250m, 시간해상도가 16일인 NDVI를 이용하여 분석하였다. Terra MODIS 식생지수 Product는 NASA 홈페이지 (<https://wist.echo.nasa.gov/api>)에서 무료로 다운받을 수 있다.

V. 모형의 토양수분과 NDVI의 상관관계 분석

1. 토양수분과 NDVI의 공간적 상관관계 분석

SWAT 모형에서 모의한 토양수분은 소유역별, HRU별, 전체 유역 이렇게 세 가지 형태로 출력된다. 본 연구에서는 토양수분

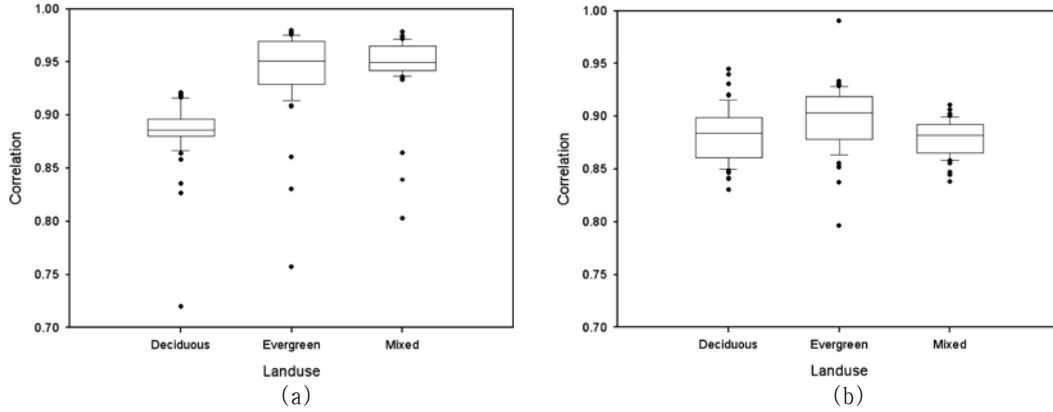


Fig. 5 The Spatial Correlation between 16 days composite MODIS NDVI and SWAT simulated forest soil moisture from March to June; (a) upstream watershed (A), (b) downstream watershed (B)

Table 5 The statistical summary of spatial correlation between Soil Moisture and NDVI

	Yeongwol (Upstream)				ChungjuDam (Downstream)			
	Minimum	Mean	Maximum	Std. Dev.	Minimum	Mean	Maximum	Std. Dev.
Deciduous	0.72	0.89	0.92	0.03	0.83	0.88	0.94	0.03
Evergreen	0.76	0.94	0.98	0.03	0.80	0.90	0.99	0.04
Mixed	0.80	0.95	0.98	0.02	0.84	0.88	0.91	0.03
Average	0.76	0.93	0.96	0.03	0.82	0.89	0.97	0.03

에 대한 토지이용과 토양의 영향을 고려하기 위하여 HRU별로 토양수분을 추출해 HRU 그리드(grid) 파일에 입력하여 공간내삽 시킨 후, 영상간의 선형 회귀식과 상관성을 분석하는 Idrisi 프로그램의 Regress tool 모듈을 이용하여 NDVI 영상과 상관성을 분석하였다. Fig. 5와 Table 5는 토양수분과 NDVI의 영상 간 상관성 분석의 결과이다.

유역의 특성이 다른 상류와 하류를 나누고 산림을 세 가지로 분류하여 상관성의 특성을 분석하였다. 먼저 유역별 상관성을 비교해 보면, 상류인 영월 유역이 하류인 충주댐 유역보다 높은 상관성을 나타낸 것을 확인할 수 있다. 토양의 물리적인 특성은 토양수분에 큰 영향을 끼치며 따라서 토양수분과 NDVI의

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 NDVI의 상관관계에 영향을 미친다고 판단된다.

2. 토양수분과 NDVI의 시간적 상관관계 분석

본 연구에서는 2000년부터 2006년까지 식생의 활동이 활발

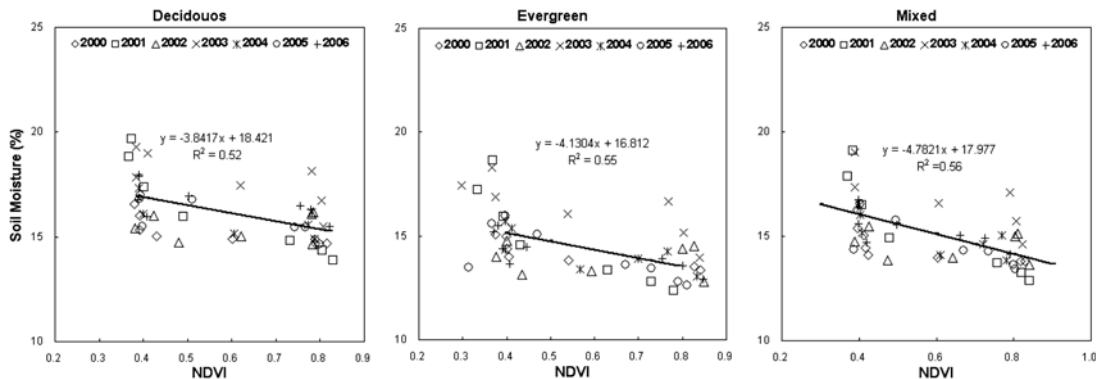


Fig. 6 The relationship between MODIS NDVI and SWAT soil moisture which were averaged for each data set

Table 6 The regression equation between MODIS NDVI and SWAT soil moisture of forest for each year

year	Rainfall (mm)	Equation (y = Soil Moisture, x = NDVI)			R ²		
		Deciduous	Evergreen	Mixed	Deciduous	Evergreen	Mixed
2000	1183.6	y = -2.8054x + 16.840	y = -2.7249x + 15.629	y = -2.4605x + 15.732	0.57	0.70	0.59
2001	834.3	y = -10.114x + 22.183	y = -11.543x + 21.031	y = -10.188x + 21.362	0.87	0.81	0.84
2002	1450.3	y = 0.5036x + 15.138	y = -0.3726x + 14.072	y = -0.5838x + 14.903	0.02	0.01	0.03
2003	1693.7	y = -4.8587x + 20.618	y = -5.1492x + 19.280	y = -3.8745x + 17.463	0.57	0.67	0.67
2004	1476.1	y = -2.7942x + 17.591	y = -3.8549x + 16.533	y = -4.8926x + 19.759	0.54	0.54	0.59
2005	1339.5	y = -3.8983x + 18.140	y = -4.6884x + 16.732	y = -5.2520x + 17.898	0.66	0.55	0.66
2006	1616.0	y = -2.8528x + 18.305	y = -3.1239x + 15.915	y = -3.8745x + 17.463	0.42	0.58	0.53
Total	1370.5	y = -3.8417x + 18.421	y = -4.7821x + 17.977	y = -4.3157x + 16.971	0.52	0.55	0.56

한 봄 기간의 토양수분과 NDVI의 상관성을 시간적으로 분석하였다. Fig. 6과 Table 6은 NDVI가 회귀식에 의해서 토양수분을 얼마나 설명해 주는지를 보여준다. 잎이 성장하는 시기에 식물은 증발산을 위해 수분이 필요하고, 또한 식물 성장 시기인 3월부터 6월까지 온도가 증가하여 지표면에서 수분의 증발도 활발하므로, NDVI는 식생이 성장하면서 증가하고, 강우에 영향을 받지 않는 한 토양수분은 점점 감소하게 된다. 또한, 분석 기간 중 봄 기간에 가뭄이 들었던 2001년에 상관성이 가장 높았던 것으로 보아 강우에 의한 토양수분의 변동은 NDVI와의 상관성에 영향을 주고 NDVI와 토양수분의 상관성을 저하시키는 요인이 된다고 판단된다. 2002년이 다른 해에 비하여 R² 값이 지나치게 낮은 이유 또한 2002년은 봄 기간에 비가 많이 와서 토양수분의 변동이 커졌기 때문이라 생각되며, 그러므로 강우량이 많은 기간에는 NDVI를 이용하여 토양수분을 보정하는 것은 적합하지 않다고 판단된다.

분석 기간 중 강우의 방해를 받지 않은 경우, 토양수분의 지속적인 감소는 두 변수들 사이의 반비례 관계를 보여주며, 최종 결과에 따라 NDVI는 선형 회귀식에 의하여 토양수분을 약 55% 나타낼 수 있고, 토양수분의 변동성이 심했던 2002년을 제외하면, 약 62% 나타낼 수 있다.

VI. 결 론

본 연구에서는 SWAT에 의해 모의된 토양수분과 MODIS 위성영상으로부터 추출한 NDVI와의 봄 기간 산림지역의 공간적, 시간적 상관성을 분석하였다.

1) 본 연구에서는 SWAT으로부터 보다 신뢰성 있는 토양수분을 모의하기 위하여 유역의 유출량 자료를 이용하여 모형을 보정 하였으며, 유역의 특성에 따른 효과적인 보정을 위하여 상류와 하류 두 지점을 보정하였다.

2) SWAT에 의하여 모의된 토양수분을 HRU 단위로 공간내

삽 시켜 NDVI 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.

3) 2000년부터 2006년 까지 봄 기간의 토양수분과 NDVI를 16일 단위로 분석한 결과, 토양수분과 NDVI는 반비례 관계를 나타내고, 토양수분은 NDVI에 의해 약 55% 설명될 수 있었다.

4) 두 변수사이의 상관성은 상관계수 0.8로 가뭄기간에 가장 크게 나타났으며, 이것은 강우에 따른 토양수분의 큰 변동성은 변동성이 작은 NDVI와의 상관성을 저해하는 요인이기 때문이라 판단된다.

5) 그러므로 우리나라 산림에서 가뭄기간이나 비교적 건조한 기간의 NDVI는 토양수분을 추정하는 것이 가능하다고 판단되나 비가 많이 온 해나 여름의 NDVI는 토양수분을 추정하는데 어려움이 있을 것이라 보여지며, 향후 NDVI가 감소하는 기간인 9-11월의 NDVI와 토양수분의 상관관계에 관한 연구를 진행할 예정이다.

이 논문은 2008년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임

REFERENCES

- Ahn, T. Y., 2003. Development of drought map based on climatic water balance using satellite data. Master thesis, Andong University.
- 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.*, 50(2): 121-133.
3. Huete, A. R., K. Didan, T. Miura, E. P. Rodriguez, X. Gao & L. G. Ferreira, 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, *Remote Sensing of Environment*, 83: 195-213.
 4. Hutchinson, J. M. S. & T. J. Vought, 2006. Continuous soil moisture mapping using MODIS NDVI and LST products, *Papers of the Applied Geography Conferences*, 29: 140-149.
 5. Hwang, T. H., B. S. Kim, H. S. Kim & B. H. Seo, 2006. The Estimation of soil moisture index by SWAT model and drought monitoring, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, 26(4B): 345-354.
 6. Jang, J. S., 2003. Introduction of hydrologic models and parameters, *Korean Commission on Irrigation and Drainage Journal*, 10(1): 95-102.
 7. Nash, J. E. & J. E. Sutcliffe, 1970, River Flow Forecasting through conceptual models, Part I-A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10(3): 282-290.
 8. Park, E. J., C. S. Hwang & J. C. Seong, 2002. The analysis of drought susceptibility using soil moisture information and spatial factor involved in satellite imagery, *Journal of Korean Association of Geographic Information Studies*, 10(3): 481-492.
 9. Park, J. Y., M. S. Lee, Y. J. Lee & S. J. Kim, 2008. The analysis of future land use change impact on hydrology and water quality using SWAT model, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, 28(2B): 187-197.
 10. Park, M. J., Y. J. Lee, H. J. Shin & S. J. Kim, 2008. Assessment of future climate and land use change impact on hydrological behavior of dam watershed using SWAT-K model, *2008 ASABE Annual International Meeting*
 11. Rind, D., 1982. The influence of ground moisture conditions in North America on summer climate as modeled in the GISS GCM, *Monthly Weather Rev.*, 100: 501-526.
 12. Shin, S. C. & T. Y. An. 2007. 인공위성 자료를 활용한 광역증발산량의 산정방법 개발, *The Journal of GIS Association of Korea*, 10(2): 70-80.
 13. 기상청 홈페이지: <http://www.kma.go.kr>. Accessed 9 May 2008.
 14. NASA WIST Primary Data Search: <https://wist.echo.nasa.gov/api>. Accessed 29 Apr. 2008.