

# MODIS 위성영상으로부터 추출된 엽면적지수(LAI)가 SLURP 모형의 Penman-Monteith 증발산량 추정에 미치는 영향 평가

## Assessment of MODIS Leaf Area Index (LAI) Influence on the Penman-Monteith Evapotranspiration Estimation of SLURP Model

하림\*, 신형진\*\*, 홍우용\*\*\*, 김성준\*\*\*\*

Rim HA, Hyung-Jin SHIN, Woo-Yong Hong, Seong-Joon KIM

### Abstract

Evapotranspiration (ET) is an important factor while simulating daily streamflow in hydrological models. The LAI (Leaf Area Index) value reflecting the conditions of vegetation generally affects considerably in the estimation of ET, for example, when using FAO Penman Monteith equation. Recently in evaluating the vegetation condition as a fixed quantity, the remotely sensed LAIs from MODIS satellite data are available, and the time series values of spatial LAI coupled with land use classes are utilized for ET evaluation. The 4 years (2001-2004) MODIS LAI data were prepared for the evaluation of continuous hydrological model, SLURP (Semi-distributed Land Use-based Runoff Processes). The model was applied for simulating the dam inflow of Chungjudam watershed (6661.58 km<sup>2</sup>) located in the upstream of Han river basin of South Korea. From the model results, the FAO Penman Monteith ET was affected by the MODIS LAIs. Especially for the ET of deciduous forest, the Total ET was 33.9 % larger than coniferous forest for the 3.8 % larger of LAI. The watershed average LAI caused a 7.0 % decrease in average soil moisture of the watershed and 14.3 % decrease of ground water recharge.

*Key words:* Evapotranspiration, Terra MODIS, NOAA AVHRR, NDVI, LAI, SLURP

## 1. 서론

지역적 수문 변화를 모의하고 예측함에 있어 증발산량은 유출량 및 토양수분 등에 상당한 영향을 미친다. 따라서, 좀 더 정확한 유역 증발산량을 추정하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 증발산량 추정에 관련된 매개변수로 기상인자 이외에도 식생관련 변수에 영향을 받게 되는데, 식생 변수를 대표하는 엽면적지수인 LAI 값의 추정을 위해서는 주로 정규화식생지수(NDVI)를 이용하여 왔다. LAI는 실질적인 측정이 힘들고 광대한 유역의 자료를 획득하는데 어려움이 따르므로 최근에는 위성영상을 이용한 광대역 LAI의 추정이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 자료의 획득이 쉽고 사용이 편리한 MODIS 위성영상을 이용하여 추정된 LAI 자료의 활용성 및 영향력을 평가하고자 식생이 고루 분포되어 있는 충주댐 유역을 대상으로 SLURP 모형을 적용하여 증발산량

\* 정회원-건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정-E-mail : rim486@konkuk.ac.kr  
\*\* 정회원-건국대학교 사회환경시스템공학과 박사과정-E-mail : shjin@konkuk.ac.kr  
\*\*\* 정회원-건국대학교 사회환경시스템공학과 석사과정-E-mail : carrot84@konkuk.ac.kr  
\*\*\*\* 정회원-건국대학교 사회환경시스템공학과 교수-E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

추정에 MODIS LAI가 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. SLURP 모형 내 증발산량 추정 모듈 (Penman-Monteith)

SLURP 모형 내 증발산량 추정모듈은 5가지가 있는데 그 중 본 연구에서는 Penman-Monteith 공식을 이용하여 추정하였다. 아래 식 (1), (2)에서 보여지는 것과 같이, 증발산량 추정에 영향을 미치는 매개변수들 중 LAI와 관계한 피복저항 ( $r_s$ )값은 단엽의 최소 유효기공저항 경험값 ( $r_1$ )을 이용하여 계산 후, 모형에 입력된다.  $r_s$ 는 값이 커질수록 (LAI 값이 작을수록) 증발산량이 크게 추정되는 것을 확인할 수 있으며, 이는 유역의 유출 및 토양수분과 지하수충진량에 관계하여 상당한 영향을 미친다.

$$\lambda \cdot ET = \frac{s(Q^* - G) + p_a c_p (e_s - e_a) / r_a}{s + \gamma(1 + r_s / r_a)} \quad (1)$$

$$r_s = \frac{r_1}{LAI_{active}} \quad (2)$$

여기서,  $\lambda$ : 잠열강도 ( $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ),  $ET$ : 증발산량 ( $\text{mm/d}$ ),  $s$ : 포화수증기압-온도 곡선의 기울기  $de/dT$  ( $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ ),  $Q^*$ : 순복사량(net radiation) ( $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ),  $G$ : 지열 플럭스 ( $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ ),  $e_s$ : 포화수증기압 ( $\text{kPa}$ ),  $e_a$ : 수증기압,  $\gamma$ : 습도상수 ( $\text{kPa}/^\circ\text{C}$ ),  $r_s$ : 식생피복저항 ( $\text{s/m}$ ),  $r_a$ : 공기역학저항 ( $\text{s/m}$ ),  $r_1$ : 단엽의 최소 유효기공저항 ( $\text{s/m}$ ) 이다.

## 3. 대상 유역 선정

본 연구의 대상 지역은 북동부 산악지역에 위치한 충주댐 수위관측소를 유역출구로 하는 충주댐 유역은 유역면적이  $6,661.5\text{km}^2$ 이며 유역둘레는  $471.6\text{km}$ , 유역평균폭은  $23.5\text{km}$ , 유역평균표고는  $609.1\text{m}$ , 유역평균경사는  $34.9\%$ 로 국내 북동부 산악지역에 위치해있으며 산림면적은  $5,481.7\text{km}^2$ 으로서 유역면적의  $83.0\%$  이른다. 따라서 인위적인 토지이용현황 상태가 적어 수위관측소의 유입량은 곧 자연적인 수문패턴을 가지고 유출이 발생한다고 볼 수 있어 자료의 신뢰성이 우수하다고 판단되어 선정하였다.

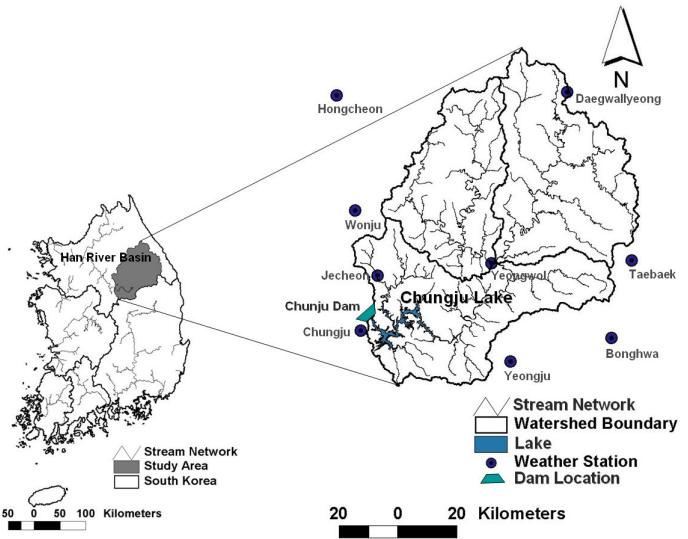


Fig. 1. The study watershed and weather stations.

## 4. 입력자료 구축

### 4.1 수문 기상 자료

본 연구에서 기상자료는 기상청에서 제공하는 일 자료 중에서 2001년부터 2004년까지의 충주댐 유역에 위치하고 있는 9개(대관령, 홍천, 원주, 영월, 태백, 제천, 영주, 봉화, 충주) 관측소의 기상 자료를 획득하였다(Fig. 1). 또한 SLURP 모형에서는 고도가 증가함에 따른 기온 및 강수량의

변화와 위도에 따른 입사복사량의 변화를 고려하게 되는데, 기온  $-0.75^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ , 이슬점  $-0.15^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  변화율을 고려하며, 강우의 경우 평균대기온도에 따라서 강우와 강설로 구분되기 때문에 기온의 감소율과 같이 강우 변화율  $-2.00\%/100\text{m}$  을 고려하였다. 유역의 수문자료는 WAMIS (Water Management Information System)에서 제공하는 충주댐의 일 단위 댐 유입량 자료를 사용하였다(2001년-2004년).

## 4.2 지형 자료

1:5,000 NGIS (National Geographic Information System) 수치지도를 사용하여 해상도  $100\text{m}\times 100\text{m}$ 의 DEM과 하천망을 구축하였다(Fig. 2a). ASAs 소유역 분할을 위해 TOPAZ에 입력하였으며 9개의 소유역으로 분할하였다(Fig. 2b). 토지피복도는 2000년 4월 29일 Landsat ETM<sup>+</sup> 영상을 이용하여 최대우도 감독분류(Maximum Likelihood Supervised Classification)를 실시하여 총 9개(1.시가지, 2.논, 3.밭, 4.활엽수, 5.침엽수, 6.혼효림, 7.초지, 8.나지, 9.수역)의 항목으로 분류하였으며 (Fig. 2c), 각 항목별 면적은 아래 Table 1과 같다. 토양 속성자료는 농업진흥청 토양도로 부터 토양 타입을 확인 후, 포장용수량(FC: field capacity)과 영구위조점(WP: wilting point), 공극률(PS: effective porosity)을 계산하여 모형 입력 매개변수로 사용하였다(Table 1).

Table 1. Summary of land surface and soil properties for each land use class

Land use	Area		SiB1	FC (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	WP (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	PS (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Albedo <sup>2</sup>
	km <sup>2</sup>	%					
Urban	112.4	1.7	11	0.266	0.124	0.418	0.15
Paddy	186.3	2.8	16	0.255	0.113	0.430	0.14
Upland Crop	590.7	8.8	12	0.271	0.127	0.417	0.12
Deciduous Forest	1668.9	25.0	2	0.265	0.115	0.439	0.11
Coniferous Forest	2501.9	37.6	4	0.269	0.124	0.421	0.10
Mixed Forest	1386.9	20.8	3	0.272	0.123	0.429	0.11
Grassland	29.4	0.4	7	0.267	0.119	0.434	0.15
Bare Ground	178.5	1.0	11	0.266	0.124	0.418	0.17
Water	66.1	1.8	9	0.244	0.109	0.427	0.12
<b>Total</b>	<b>6661.3</b>	<b>100.0</b>	<b>0</b>	-	-	-	-

FC: field capacity, WP: wilting point, PS: effective porosity (Rawls et al, 1982)

1 SiB: coefficient of SiB2 method (Kite, 2002)

2 Zhou et al. (2003)

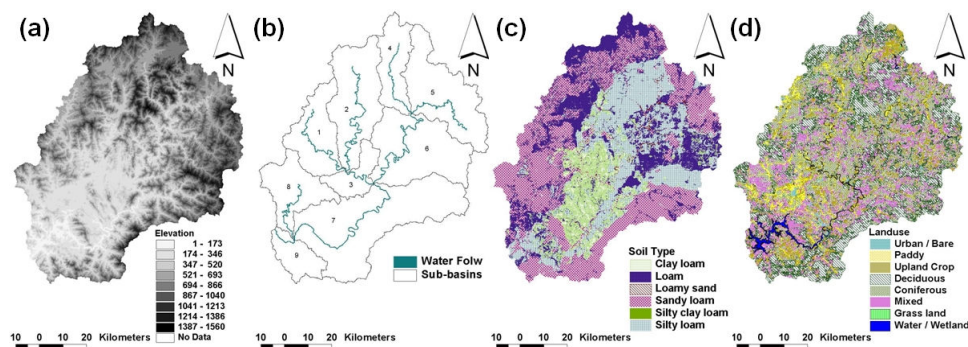


Fig. 2. Elevation (a), Subbasins (b), Soil type (c), and Land use (d) of the study watershed.

### 4.3 식생 자료 (MODIS LAI)

LAI는 NDVI와 함께 식생정보를 대표적으로 제공하는 지표이며, 단위 지표 면적당( $m^2$ ) 수목이 지니고 있는 전체 잎의 면적( $m^2$ )에 대한 비율을 지수로 나타낸 것이다. MODIS LAI자료의 추정 은 주 알고리즘과 주 알고리즘 실패 시 적용되는 보조 알고리즘으로 구성된다. 본 연구에 사용 된 2001년-2004년 기간 동안의 8일 주기 MODIS LAI영상은 전체적으로 영상의 구름 및 대기의 영향을 최소화하기 위해 MCV (Maximum Value Composite)기법을 통해 월별 LAI 영상으로 재구축 하여 토지피복에 따른 값을 추출하였다(Fig. 3). 또한 영상에 대한 대기 및 지형보정이 필수적이기 때문에 전, 후월과 비교하여 확연히 튀는 값은 보간법을 이용하여 지역별로 보정하였다.

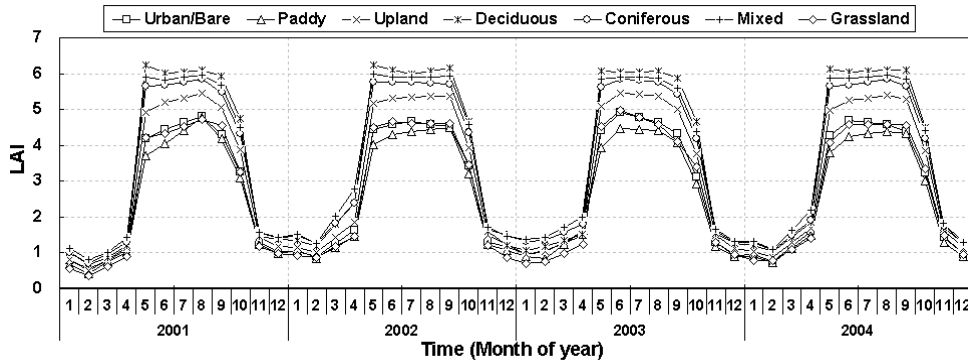


Fig. 3. MODIS LAIs for each land use

### 5. 모형 적용 결과 및 고찰

SLURP 모형의 매개변수 최적화를 위해 민감도분석과 SCE-UA 최적화기법(Duan 등, 1994)을 이용하여 2001년과 2003년을 보정하였으며, 2002년과 2004년을 검증하였다. 매개변수추정의 최적화 척도로 Nash-Sutcliffe (Nash와 Sutcliffe, 1970) 모형효율을 사용하였다.

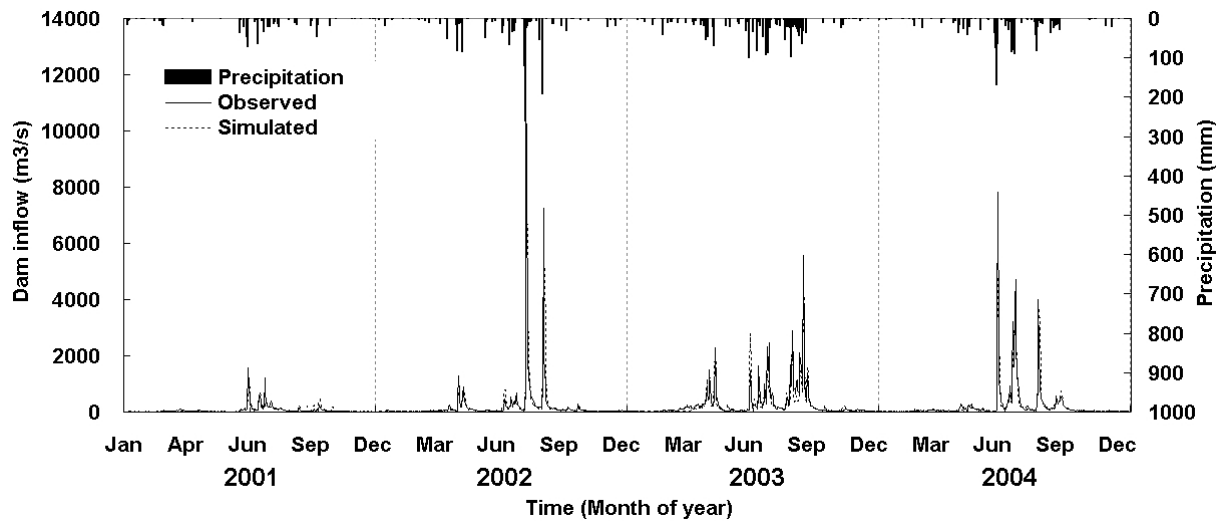


Fig. 4. Observed versus simulated dam inflow for model calibration and validation (2001 and 2003: calibration, 2002 and 2004: verification)

Table 2. Summary of model calibration and verification results (2001–2004)

Year	P (mm)	Observed		Simulated		RMSE (mm/day)	R <sup>2</sup>	ME	Note
		Q (mm)	QR (%)	Q (mm)	QR (%)				
2001	807.9	332.9	41	318.8	39	1.24	0.99	0.58	C
2002	1710.9	974.3	57	1036.0	61	7.32	0.61	0.60	V
2003	1916.0	1241.8	65	1151.1	60	3.43	0.99	0.73	C
2004	1655.6	1016.1	61	836.7	51	4.47	0.76	0.73	V
Average	1522.6	891.3	56	835.6	53	4.11	0.84	0.66	

P: Precipitation, Q: Dam Inflow, QR: Runoff ratio, ET: Evapotranspiration, R<sup>2</sup>: Coefficient of Determination, ME: Nash–Sutcliffe Model Efficiency, C: Calibration, V: Verification

## 6. 결 론

SLURP 모형을 통해 모의된 증발산량 분석 결과, 유역 총 증발산량은 2001년–2004년 기간동안 490.8–663.9(mm/year)이었으며, 특히 MODIS LAI값이 평균적으로 가장 높은 값을 가졌던 활엽수림의 경우 침엽수림에 비해 LAI값은 3.8% 높았으며, 이에 따른 증발산량은 33.9% 높았으며, 토양수분은 7.0% 낮았고, 지하수 충전량은 14.3% 낮았다. 또한 혼효림에 비해 LAI값은 0.5% 컸으며, 증발산량은 1.2% 높았으며, 토양수분은 5.3% 낮았고, 지하수 충전량은 0.5% 낮았다. 평균적으로 LAI값이 1% 증가함에 따라 증발산량은 10% 늘어나는 것을 확인할 수 있었으며 크게는 20% 민 감도를 보였다. LAI의 증가는 증발산량의 증가로 이어졌으며 이에 따라 토양수분과 지하수 충전량은 감소함을 알 수 있었다.

## 감 사 의 글

본 연구는 21세기 프런티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 : 1-9-3, 2-2-3)에 의해 수행되었음에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Duan, Q., S. S. Sorooshian, and V. K. Gupta.(1994). Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models. J.Hydrology,158:265–284.
2. Kite, G.(2002). MANUAL FOR THE SLURP HYDROLOGICAL MODEL Version 12.2., <http://www.hydrologic-solutions.com>.
3. Nash, J. E., and J. V. Sutcliffe.(1970). River flow forecasting through conceptual models; Part 1 – A discussion of principles. J.Hydrology 10(3):282–290.