

# 준 분포형 수문모형에서의 MODIS NDVI/LAI 자료의 적용 및 평가

## Application and Evaluation of MODIS NDVI/LAI Data in Semi-Distributed Hydrological Model

김병식\*·김경탁\*·박정술\*\*·함창학\*\*\*

Byoung Sik Kim, Kyung Tak Kim, Jung Sool Park, Chang Hahk Hahm

### 요 지

수문모형은 많은 물리적, 식생적, 기후적, 인위적 요소들의 결과로 기인하는 수문학적 특성을 나타내는 유역의 복잡한 시스템을 현실적으로 표현하는 도구로써 인식되어 왔다. 공간적으로 분포된 수문모형들은 1960년대 처음으로 개발되었으며, 수문학과 수자원관리 분야에서 원격탐사데이터와 지리정보시스템의 그 역할은 급속도로 증가하였다. 비록 원격탐사자료가 수문학분야에 실제 적용된 경우는 매우 적지만, 그 효용성은 크다고 할 수 있다. 수문 모델링과 모니터링분야에서 원격탐사 자료를 이용함에 있어 가장 큰 장점 중의 하나는 시공간적인 정보를 지속적으로 생산할 수 있게 되었다는 점이다. 이와 같은 능력은 성공적인 모형의 분석과 예측, 검증에 위한 작업에 필수적이다. 본 연구는 준 분포형 수문학적 모형인 SLURP 모형을 경안천 유역을 대상으로 적용하였으며, MODIS 위성영상을 이용하여 제작한 엽면적지수(LAI), 정규식생지수(NDVI)를 수문모형의 입력자료로 활용하여 경안 수위표 지점에서 일 유출량 모의를 실시하였다. 또한, 각각의 원격탐사자료가 모의된 증발산량의 민감도에 어떤 영향을 미치는 가를 분석하였다.

**핵심용어** : 위성영상, 엽면적지수, 정규식생지수, 준 분포형 수문모형, SLURP

### 1. 서 론

수문모형은 유역내 수자원을 평가하고 적절한 배분을 위하여 이용되고 있다. 과거에는 집중형 모형에 대한 연구가 많이 수행되었으나, 최근에는 지형특성을 표현하는 많은 기법들의 개발로 분포형 모형에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(김병식 등, 2004). 이와 같이 분포형 모형의 활용이 늘어남에 따라 공간적으로 분포된 수문학적 인자 및 지형특성에 대한 정보의 추출이 용이한 원격탐사데이터와 지리정보시스템의 역할 또한 급속도로 증가하였다. 특히, 엽면적지수(Leaf Area Index: LAI) 또는 정규식생지수(Normalized Differenced Vegetation Index: NDVI)자료를 원격탐사자료로부터 획득하여 이용하게 되면서 대상유역의 식생 및 토지이용의 상황을 쉽고 정확하게 파악할 수 있게 되었으며, 기존의 토양정보나 지형정보와 함께 지리정보체계라는 도구 안에서 수문정보를 쉽게 조작할 수 있게 되었다.

엽면적지수(LAI)란 단위 지표 면적당 총 엽면적의 비를 나타내는 것으로, 환경생태, 기상, 수문 분야에서 다양하게 활용되고 있다. 식물에서 잎은 에너지 순환, 이산화탄소 및 산소의 교환, 수분의 순환에 있어서 중심역할을 하는 부분이므로, 식생지역에서 단위면적 당 엽량은 매우 중요한 정보로 활용될 수 있다. 수문모형에서도 LAI 수치가 높을수록 강우가 토양에 떨어지기 전에 식생에서의 차단이 증가하게 되며, 또한 증발산량에도 많은 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 준 분포형 수문모형인 SLURP 모형과 인공위성 영상자료를 이용하여 수문모형에 적용될

\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원·Email : hydrokbs@kict.re.kr.  
\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원·Email : ktkim1@kict.re.kr.  
\*\* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·Email : parkjs@kict.re.kr.  
\*\*\* 정회원·인하공업전문대학 항공지형시스템과 교수·E-mail : chhahm@inhac.ac.kr

수 있는 지역적 규모의 LAI를 추정하는 방법론을 개발하고, 위성영상을 통해 제작된 LAI를 SLURP모형의 입력 자료로 활용함으로써 물 순환과정에서 LAI 값이 어떠한 영향을 미치는 지를 파악하고자 하였다.

## 2. SLURP 모형의 개요

본 연구에서 LAI의 유용성을 확인하기 위해 선택한 SLURP 모형은 SSARR 모형과 같은 복잡한 모형의 대안으로서 중규모 유역에 사용하기 위해 1975년에 처음 개발되었으며 그 이후 12차례에 걸쳐 개선되어 왔다(Kite 등, 1999; 김 병식 등, 2003). 초기에는 SLURP(Simple Lumped Reservoir Parametric)으로 개발되었으나, SLURP(Semi-distributed Land Use-based Runoff Processes)의 준 분포형 모형으로 변환되었다. SLURP는 준 분포형 모형이지만, 분포형 모형으로 사용이 가능한 물리적 해석 모형으로써 강수사상을 강우 사상과 강설사상으로 분리하여 고려할 수 있다. SLURP 모형은 전체유역을 ASA(Aggregated Simulation Aea)라는 소유역으로 구분하여 모의하는 일 단위(daily time step) 유출 모형이며 지상학적 매개변수(ASA의 평균고도, 하도길이, 토지피복특성 등), 시계열 자료(온도, 강수 등) 그리고 물리적 매개변수(Manning 계수, 침투율 등)를 입력 자료로 이용한다.

수문모형에서는 LAI 수치가 높을수록 강우가 토양에 떨어지기 전에 식생에서의 차단이 증가하게 되며, 증발산량에도 많은 영향을 미치게 된다. SLURP모형에서는 작물에 의한 강수의 차단정도를 고려하고, 토양과 작물로부터의 증산을 분리하기 위하여 LAI를 사용한다. LAI를 획득하는 가장 이상적인 방법은 현지조사를 통하여 시기별로 토지피복에 따른 LAI를 측정하는 것이나 대규모 유역의 경우 시간과 비용이 많이 소요된다는 한계가 있으며, 이에 대한 대안으로 위성영상의 지표면 반사값을 이용하여 제작한 NDVI를 주로 사용하고 있다. NDVI는 SLURP 모형내에서 SiB(Simple Biosphere Model) 작물계수에 의해서 분류되어 LAI를 추정하는데 사용된다.

## 3. 대상유역 선정 및 자료 구축

### 3.1 공간자료의 수집 및 분석

본 연구에서는 산림분포 및 위성영상 존재 여부를 고려하여 연구 대상 지역을 경안천 상류유역으로 선정하였으며, SLURP 모형의 입력인자로 DEM, 정밀토양도, 토지피복도 등의 GIS 자료를 활용하였다. 경안천 상류유역은 경안고 지점을 포함하며, 성남, 경안, 낙생, 용인, 남곡, 운학 등 6개의 우량 관측소가 분포되어 있다. 본 연구에서는 2001년 1월~2003년 12월의 기간에 대해 일 유출량 자료, 6개 우량 관측소의 일 강우량 자료, 수원기상대의 기상자료를 사용하여 강우-유출 모의를 실시하였다. 표 1은 SLURP 모형의 입력인자로 사용된 공간자료 목록이다.

표 1. SLURP 수문모형의 입력자료로 쓰인 시공간자료의 속성

	DEM	정밀토양도	토지피복도
공간해상도	30m	1/25,000	30m
입력자료포맷	ASCII	shape	ASCII
원시자료	1/5,000 수치지도	-	Landsat7 ETM+ 2000년 4월 27일 영상
분류체계	-	88개 토양통	8개 클래스

### 3.2 NDVI 및 LAI 자료의 수집 및 분석

본 연구에서는 MODIS 위성영상자료를 이용하여 경안천 상류유역의 식생별 월별 LAI와 NDVI를 산정하였으며 이를 SLURP 모형의 LAI 입력인자로 활용하였다. 지구의 환경모니터링을 목적으로 운영 중인 NASA의 EOS Data Gateway(<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/index.html>)에서는 MODIS 위성영상의 지

표면 반사값을 변환하여 LAI나 NDVI와 같은 생물리학적 요소들을 제작 배포하고 있으며 MODIS LAI는 SLURP 모형의 입력인자로 직접적으로 활용 가능하다. MODIS NDVI 및 LAI 자료의 특성은 표 2와 같다.

표 2. MODIS 위성영상자료의 특성

	MODIS NDVI	MODIS LAI
파일명	Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m	Leaf Area Index/FPAR 8-Day L4 Global 1km
공간해상도	250m	1 Km
분광해상도	16 bit	8 bit
입력사용영상	반사율영상 (MOD09)	반사율영상 (MOD09), 피복분류영상(MOD12)
공급주기	16일	8일
투영법	원통투영법	원통투영법
수집기간	2003년 1월 1일 ~ 2003년 12월 31일	2003년 1월 1일 ~ 2003년 12월 31일

본 연구에서는 수중에 따른 LAI, NDVI 값의 변화를 분석하기 위해 토지피복도에서 침엽수 및 활엽수 레이어를 추출한 후 이를 AOI(Area Of Interest)로 설정하여 MODIS LAI, NDVI에서 침엽수 지역과 활엽수 지역을 분리하였다. 또한, SLURP 모형의 입력자료로 활용하기 위하여 영상자료의 공간해상도를 30m로 변환하였다.

표 3. 월별 MODIS LAI와 NDVI 비교

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
MODIS LAI -침엽수	0.923	0.750	0.590	1.307	3.958	3.567	2.549	2.840	2.540	2.629	0.90	0.713
MODIS LAI -활엽수	0.982	0.761	0.596	1.388	4.097	3.749	2.605	2.950	2.627	2.729	0.906	0.735
MODIS NDVI -침엽수	0.422	0.413	0.369	0.501	0.735	0.740	0.670	0.758	0.653	0.677	0.414	0.394
MODIS NDVI -활엽수	0.410	0.404	0.364	0.513	0.762	0.761	0.679	0.766	0.658	0.690	0.402	0.382

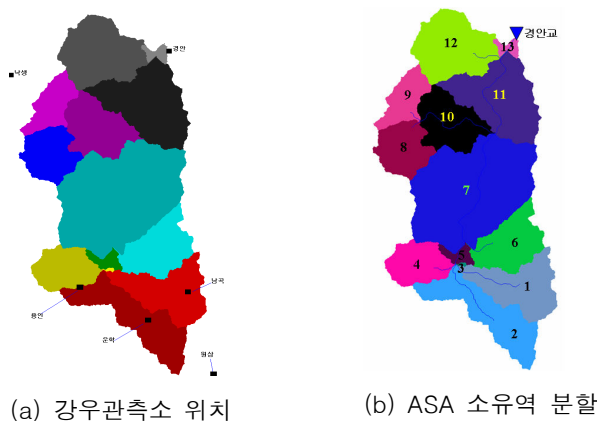


그림 1. ASA 소유역 분할과 강우관측소의 위치

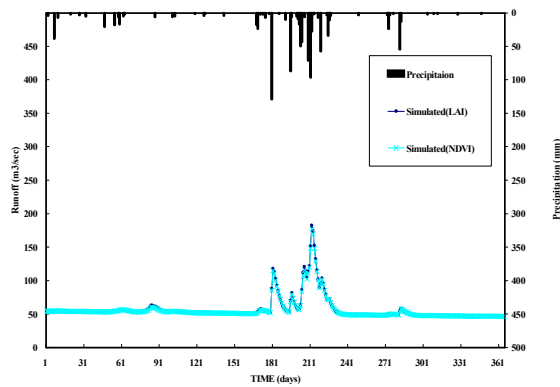
### 3.3 ASA 소유역 분할 및 토양특성 계산

본 연구에서는 대상유역을 13개의 ASA 소유역으로 분할하였으며, SLURP 모형의 지상학적 매개변수 (ASA의 평균고도, 하도길이, 물리적 매개변수)를 추출하기 위해 수치지형분석모형(digital terrain analysis model)인 TOPAZ(Garbrecht와 Martz, 1993)를 이용하였다. 그림 1의 (a)와 (b)는 경안교 상류유역의 ASA 소

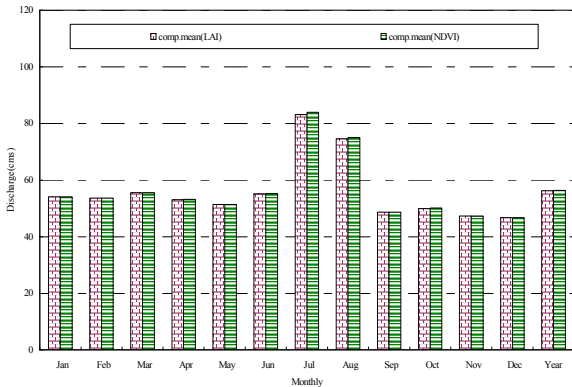
유역 분할과 강우관측소 위치를 나타낸 것이다. SLURP 모형은 모형내에서 토양변환함수(pedo-transfer funtion)을 이용하여 직접 토양특성인 토양수분 함유량(Field Capacity), 시들음점(Wilting Point)등을 계산하도록 되어 있다. 본 연구에서는 경안천 상류유역의 정밀 토양도를 이용하여 토지피복별 토양성분을 구분한 후 토양의 특성치를 계산하였다.

#### 4. 위성영상자료에 따른 증발산량 및 유출량 변화 분석

본 연구에서는 관측 수문기상 자료 및 유출량을 입력 자료로 하여 SCE-UA 최적화 알고리즘을 이용하여 SLURP 모형의 매개변수를 최적화하였다. 또한, SLURP에 포함된 5가지 증발산 모형 중 Motorn CRAE 모형을 이용하여 경안천 유역의 실제 증발산량을 산정하였으며, 위성영상자료에 따른 LAI 값이 유출량 및 증발산량에 어떠한 영향을 미치는 가를 분석하였다. 그림 2의 (a)는 위성영상자료별 일 유출량을 비교한 것으로 그림에 나타낸 결과와 같이 MODIS 위성영상 자료에 따라 일 유출량은 큰 영향을 받지 않음을 확인 할 수 있다. 그러나, 월 유출량의 경우, 2의 (b)에서 볼 수 있는 바와 같이 MODIS NDVI 자료를 이용하여 식생 특성을 반영하는 경우가 MODIS LAI를 이용하는 경우보다 7월과 8월의 월 평균 유출량이 크게 모의됨을 알 수 있다.



(a) 일 유출 수문곡선의 비교



(b) 월유출량의 비교

그림 2. 위성영상 자료별 유출량의 비교

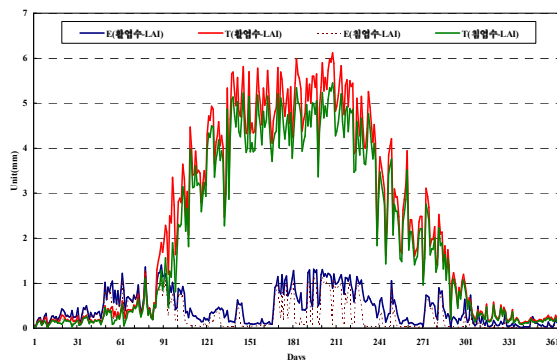


그림 3. 수종별 일 증발산량 비교 (MODIS LAI)

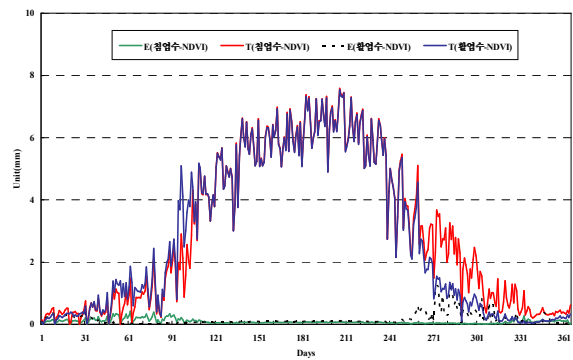


그림 4. 수종별 일 증발산량 비교 (MODIS NDVI)

본 연구에서는 침엽수림과 활엽수림에 대한 실제 일 증발량과 실제 일 증산량을 모의하였다. 그림 3과 4는 각각 MODIS LAI와 MODIS NDVI에 의해 모의된 증산과 증발량을 나타낸 것으로써, 두 수종 모두, 증

산량이 증발량 보다 상당히 크게 산정됨을 알 수 있다. 각 LAI값에 대한 증발산량의 반응을 보면, 그림 3에 나타난 바와 같이 LAI 영상자료를 이용한 경우 전반적으로 활엽수의 증산량과 증발량이 침엽수에 비해 큼을 확인 할 수 있다. 그림 4와 같이, NDVI를 이용한 경우, 전반적으로 증발량이 LAI에 의해 산정된 것보다 작게 산정됨을 알 수 있으며, 일년 중 겨울로 접어드는 10월, 11월 그리고 12월로 갈수록 침엽수의 증산량이 활엽수의 증산량보다 증가함을 확인 할 수 있다. 그리고 봄으로 접어드는 1월에서 4월로 갈수록 활엽수의 증산량이 증가함을 확인 할 수 있다. 이러한 결과만을 보면, NDVI를 이용하여 증발산을 모의하는 경우가 LAI를 이용하는 경우 보다 일반적으로 인식하고 있는 자연 현상을 잘 재현 한다고 할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 위성영상으로부터 획득한 LAI 값과 SLURP 모형에서 NDVI에 의해 추정된 LAI를 비교하였으며, 각각의 LAI 자료에 대하여 SLURP 모형의 매개변수를 보정한 후 SLURP 모형에 의해 모의된 수종별 증발량을 산정함으로써 유출량 변화 및 증발산량에 미치는 영향을 살펴보았다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 위성영상자료가 유출량 및 증발산량에 미치는 영향을 분석한 결과, 각각의 위성영상 자료가 일 유출량에는 큰 영향을 미치지 않음을 확인 할 수 있었으나, 월 유출량의 경우, NDVI 자료를 이용하여 식생 특성을 반영하는 경우가 LAI를 이용하는 경우보다 7월과 8월의 월 평균 유출량이 크게 모의됨을 알 수 있었다.
- (2) 각 위성 영상 자료에 대한 증발산량의 반응을 보면, LAI 영상자료를 이용한 경우가 전반적으로 활엽수의 증산량과 증발량이 침엽수에 비해 큼을 확인 할 수 있었으며, NDVI를 이용한 경우, 전반적으로 증발량이 LAI에 의해 산정된 것보다 작게 산정됨을 확인할 수 있었다. 겨울철에는 침엽수의 증산량이 활엽수의 증산량보다 증가되며, 봄으로 접어드는 1월에서 4월로 갈수록 활엽수의 증산량이 증가함을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과만을 보면, NDVI를 이용하여 증발산을 모의하는 경우가 LAI를 이용하는 경우 보다 일반적으로 인식하고 있는 자연 현상을 잘 재현 한다고 할 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 공공기술연구회의 일반연구사업(사업명 : 위성자료 공공활용 연구-위성영상을 이용한 하천정보 생산 및 활용에 관한 연구)과 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비 지원(과제:1-2-2)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 김병식, 김형수, 서병하(2004). SLURP 모형의 증발산 모형에 대한 평가. 한국수자원학회 논문집 제37권 제9호, pp. 745-758.
2. 김병식, 김형수, 서병하, 김남원(2003). SLURP 모형을 이용한 하천 유출량 모의. 대한토목학회 논문집 제23권 제4B호, pp. 289-303.
3. Garbrecht, J. and Martz, L.W(1993). Network and subwatershed parameters extracted from digital elevation models : The Bill's Creek experience. Water Resources Bulletin 29(6): 909-916.
4. Kite, G.W(1995). The SLURP model. In: Singh, V.(ed.). Computer Models of Watershed Hydrology, WRR publication, pp. 512-562.
5. <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/index.html>