

NASA LIS를 이용한 미계측 지역의 수문인자 산출

Analysis of Hydrologic Parameters of Ungaged Area Using NASA LIS

박광하*, 황의호**, 정관수***

Gwang Ha PARK, Eui-Ho HWANG, Kwan Sue Jung

요 지

수문순환 과정 중 일부인 유출량을 산정하기 위해서는 지형학적 변수, 강우량, 토양수분, 증발산량 등의 인자들이 필요하다. 본 연구에서는 미계측 지역의 유출량 산정을 위한 주요 인자인 토양수분과 증발산량을 지표면 모델을 통해 산출하고자 한다. 사용한 시스템은 미국 NASA에서 개발한 LIS(Land Information System) 프레임워크이며 LIS에 적용된 지표면 모델 중 Noah-MP를 초기 매개변수로 사용하였다. 입력 자료는 전지구 범위로 제공되는 자료를 사용하여 남한 지역을 대상으로 토양수분 및 증발산량을 산출하고 지상 관측 자료, 원격탐사 기반의 토양수분과 증발산량을 통해 정확도를 평가하였고 ASOS 관측 자료를 내삽하여 산출된 토양수분 및 증발산량의 정확도도 평가하였다. 남한 지역을 대상으로 정확도를 평가한 후 대표적 미계측 지역인 북한을 대상으로 토양수분 및 증발산량을 산출하였다. LIS의 Noah-MP 지표면 모델로 토양수분 및 증발산량을 산출한 결과 ASOS를 내삽하여 산출한 결과가 설마천의 경우 정확도는 오히려 낮아졌고 청미천, 서산의 정확도는 높아졌다. 이는 초기 매개변수 설정을 이용한 것과 전지구 범위의 자료를 사용하여 토양수분 및 증발산량을 산출하여 발생한 오차이며 매개변수 최적화 및 고해상도의 입력자료를 사용하면 보다 높은 정확도를 확보할 수 있다. 이를 통해 미계측 지역에서도 충분히 활용 가능한 토양수분 및 증발산량을 산출하여 유출량을 산정할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : LIS, Noah-MP, 토양수분, 증발산량, 미계측

1. 서론

기후 변화에 관한 정부간 패널의 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 5차 보고서에 따르면 1880년 이후 2012년 사이에 평균기온이 0.65 ~ 1.06°C 상승한 것으로 보고되었으며, 향후 100년간 약 1.4 ~ 5.8°C의 온도상승이 예측되고 있다(IPCC, 2013). 특히, 한반도가 위치한 중위도 지역에서는 지구 평균의 2배를 상회하는 기온의 상승이 발생하여 극한 강수의 발생빈도가 증가하고, 몬순기간에 대하여 태풍의 발생빈도와 강수의 지속시간이 증가할 것으로 예상된다. 강수량이 증가함에 따라 유출량 또한 증가하게 되며 침수 피해 발생 빈도 또한 증가할 것으로 예상된다. 유출량은 지형적인 특성, 강우량, 토양수분, 증발산량 등의 수문인자를 통해 산정 가능하다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구에서는 NASA에서 개발한 LIS(Land Information System) 프레임워크를 활용하여 남한지역에 대하여 지표면 모델을 구축하고 토양수분, 증발산량에 대해서 적용성을 평가하였다. 또한 남한지역에 대한 적용성 평가 후 미계측 지역인 북한 지역을 대상으로 수문인자를 산출하였다. 본 연구가 우리나라에서 이미

* 정희원 · K-water융합연구원 위촉연구원, 충남대학교 토목공학과 수공 및 환경공학 석사과정 · E-mail : parkgh@kwater.or.kr

** 정희원 · K-water융합연구원 책임연구원 · E-mail : ehwang@kwater.or.kr

*** 정희원 · 충남대학교 토목공학과 교수 · E-mail : ksjung@cnu.ac.kr

수행되었던 연구들과 비교하였을 때 구분되는 점은 (1) 국내에 적용된 사례가 없는 Noah-MP 지표면 모델을 이용하여 토양수분 및 증발산량을 산정하였으며, (2) 미세측 지역인 북한 지역을 대상으로 원격탐사 자료와 지표면 모델을 이용하여 수문인자를 산출한 점이다.

LIS 프레임워크에서 사용한 지표면 모델은 Noah-MP이며 초기 매개변수 설정값으로 토양수분 및 증발산량을 산출하였고, 한국수자원조사기술원(KIHS) 및 농촌진흥청(RDA)의 지상관측자료와 GLDAS(Global Land Data Assimilation System)의 토양수분 자료, Aqua/Terra 위성의 MODIS 증발산량 자료와 비교하여 모델의 정확도를 평가하였다.

2.1 LIS 개요

LIS는 위성 관측 자료 및 지상 관측 자료를 활용하여 첨단 지표면모델의 통합을 목표로 최적화된 지표면 상태 및 수문순환 정보를 생산하는 지표면모델 및 자료동화를 위한 프레임워크이다.

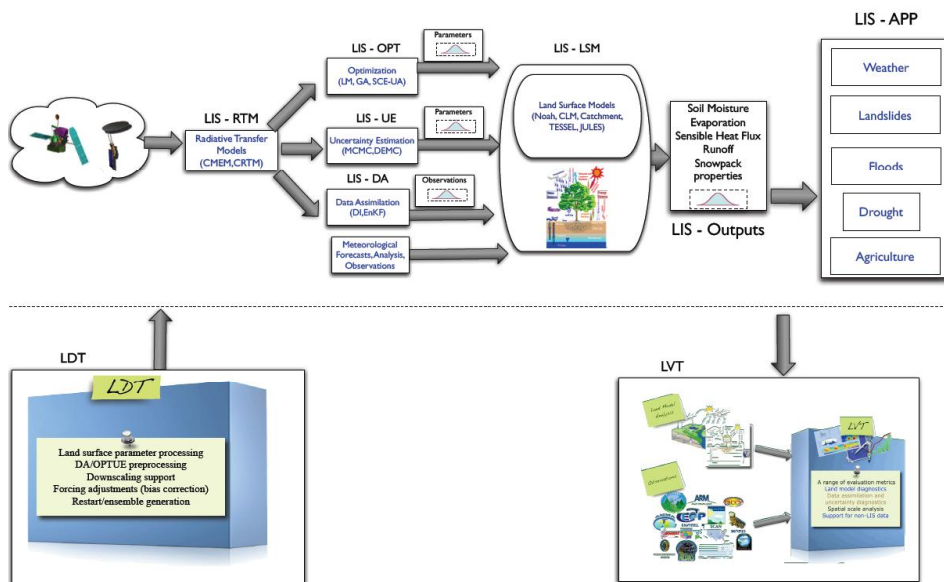


그림 1. LIS subsystems and toolkits (LIS Tutorial)

그림 1은 LIS의 전체적인 구성을 나타내며 LDT(Land Data Toolkit), LIS(Land Information System), LVT(Land surface Verification Toolkit)로 크게 3가지로 분류된다. LDT는 LSM 및 DA(Data Assimilation)를 위한 입력자료의 전처리 과정이며 LIS는 LSM 및 DA 수행 과정, LVT는 분석된 자료의 검보정 단계이다. LIS에 적용된 LSM은 VIC Model, Noah LSM, Catchment 등 12종류의 LSM과 HYMAP 등의 Router를 제공한다. LIS에서 산출 가능한 인자는 Energy Balance, Water Balance, Surface/Subsurface State, Evaporation, Hydrologic, Cold Season Processes, Compared Data, Carbon 등 9개로 분류되며 약 78개의 인자를 산출한다(표 1).

표 1. LIS 산출물(일부)

Class	Name	Units
Energy balance components	Net shortwave radiation	W/m ²
	Net longwave radiation	W/m ²
Water balance components	Total evapotranspiration	kg/m ² s

Class	Name	Units
	Surface runoff	kg/m ² s
	Subsurface runoff	kg/m ² s
Surface state variables	Surface albedo	-
	Surface water storage	kg/m ²
Subsurface state variables	Average layer soil moisture	kg/m ²
	Average layer soil temperature	K
Evaporation components	Potential evapotranspiration	kg/m ² s
	Interception evaporation	kg/m ² s
	Vegetation transpiration	kg/m ² s
Other hydrologic variables	Terrestrial water storage	mm

2.2 초기 입력 자료

LIS에서는 광범위한 지역을 대상으로 분석하기 때문에 지형자료의 해상도는 주로 25km 혹은 10km의 자료를 사용한다. 이는 미국, 아프리카 등에 적용되는 지형 자료의 해상도이며, 해당 지역의 특징은 산악 지형이 거의 없는 평탄한 지형이 대부분이므로 표고차이에 따른 오차가 높지 않으므로 25km 혹은 10km의 지형자료를 사용해도 정확도에 큰 영향을 끼치지 않는다. 하지만 국내에서는 고해상도의 지형자료가 필요하여 1km의 공간해상도를 가진 전지구 범위의 입력자료(표 2)를 사용하였다.

표 2. 초기 입력 자료

Input Type	Data Source
Landcover	MODIS_Native
Landmask	MODIS_Native
Soil Texture	FAO
Elevation	SRTM
Albedo	NCEP_Native
Snow Albedo	NCEP_Native
Greenness	NCEP_Native
Slope type	NCEP_Native
Bottomtemperature	ISLSCP1

2.2 수문기상자료

수문기상자료는 지형자료와는 다르게 매 시간마다 변화하는 성질을 가진 자료로 구성되어 있다. 지형 자료는 매 시간마다 변하는 특성이 아닌 장기간에 걸쳐 변화하는 특성을 가지고 있어 지형 자료는 LDT과정에서 처리한다. 하지만 수문기상자료는 매분, 매시간 자료값이 변하기 때문에 LSM에서 해당 시간마다 변수를 입력해 줘야 하며 주로 입력되는 자료는 온도, 습도, 기압, 강수량, 풍속 등의 수문정보로 이루어져 있다. 수문기상 입력 자료는 NASA에서 제공하는 MERRA2(Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2) 자료를 사용하였으며, 공간해상도는 50km x 65km의 공간해상도로 구축되어 있다.

3. 적용 결과 및 검증

3.1 정확도 평가 방법

정확도 평가 방법으로는 상관계수(Correlation Coefficient, R), 결정계수(coefficient of determination, R²), 편의(BIAS), 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE), 효율계수(Nash-Sutcliffe Efficiency, NSE)를 이용하였으며 관계식은 식 (1)~(5)와 같다.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}} \quad (1)$$

$$R^2 = \frac{\left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}) \right)^2}{\left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2 \right) \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \right)} \quad (2)$$

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{\sum_{i=1}^N O_i} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{N}} \quad (4)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

3.2 정확도 평가 - 토양수분

토양수분의 지상 관측 자료는 한국수자원조사기술원(KIHS)의 설마천과 청미천, 농촌진흥청(RDA)의 서산 관측소에서 관측된 자료를 활용하였으며, 원격탐사 자료로는 GLDAS의 토양수분 자료를 활용하였다. GLDAS는 NASA의 LIS 프레임워크를 통해 글로벌 범위의 수문인자를 산출하며 0.25°~1°의 공간해상도, 3시간~1달의 시간해상도로 구성되어 있다. Rodell et al.(2007), Kim and Choi(2015) 등 GLDAS 자료를 사용하여 위성으로 산출된 토양수분의 검보정에 사용하였고, 전세계적으로 검보정을 위한 자료로 GLDAS를 사용하고 있다(김형록 등, 2016).

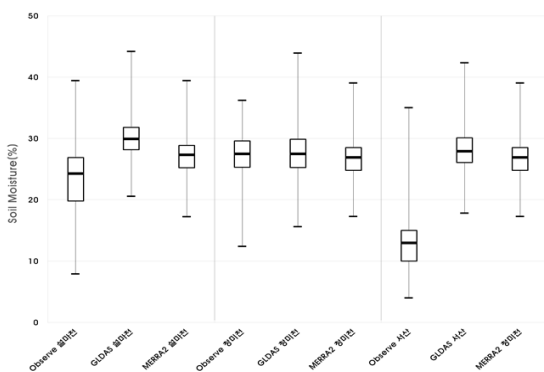


그림 2. 토양수분 분포도

표 3. 토양수분 정확도 평가

		R	R2	BIAS	RMSE	NSE
설마천	MERRA2	0.68	0.46	1.18	5.83	-0.14
	GLDAS	0.47	0.22	1.33	8.99	-1.72
청미천	MERRA2	0.63	0.40	0.99	3.14	0.30
	GLDAS	0.53	0.28	1.02	3.62	0.06
서산	MERRA2	0.68	0.47	2.07	13.98	-10.02
	GLDAS	0.35	0.12	2.22	16.10	-13.63

그림 2는 지상 관측 자료(Observe)와 GLDAS의 토양수분 자료(GLDAS), Noah-MP 지표면 모델로 산출된 토양수분(MERRA2)의 분포도를 나타내며 표 3은 지상 관측 자료와 GLDAS, 토양수분 산출물간의 정확도 평가 결과이다. GLDAS 및 Noah-MP로 산출된 토양수분은 설마천, 청미천, 서산 모두 비슷한 값을 가지고 있지만 지상에서 관측된 토양수분은 서산의 경우 낮은 분포를 보

이고 있다. 지상에서 관측된 토양수분과 Noah-MP로 산출된 토양수분의 상관계수는 비교적 높게 평가되었지만 편이가 크게 발생된 자료로 산출되었다.

3.3 정확도 평가 - 증발산량

증발산량은 설마천, 청미천을 대상으로 비교하였다. 지상관측자료는 한국수자원조사기술원의 관측자료를 활용하였으며, 원격탐사 자료는 Aqua/Terra 위성의 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 자료를 활용하였다.

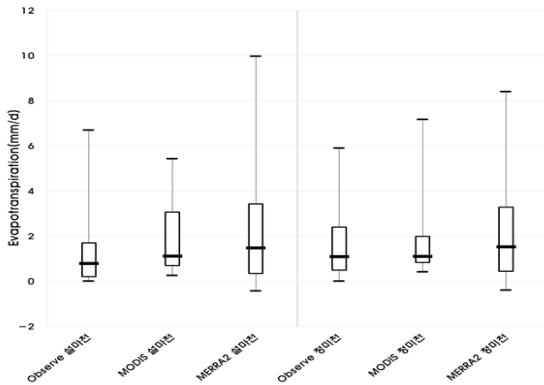


그림 3. 증발산량 분포도

표 4. 증발산량 정확도 평가

		R	R2	BIAS	RMSE	NSE
설마천	MERRA2	0.74	0.55	1.76	1.47	-0.76
	MODIS	0.75	0.57	1.81	1.29	-0.31
청미천	MERRA2	0.68	0.46	1.27	1.31	-0.10
	MODIS	0.52	0.27	0.96	1.28	0.02

그림 3은 지상 관측 자료(Observe)와 MODIS의 증발산량 자료(MODIS), Noah-MP 지표면 모델로 산출된 증발산량(MERRA2)의 분포도를 나타내며 표 3은 지상 관측 자료와 MODIS, 증발산량 산출물간의 정확도 평가 결과이다. 모두 비슷한 중앙값을 가지고 있으며 MODIS의 증발산량 분포가 가장 크게 나타났다. 상관계수는 높게 나타났지만 대체적으로 편이가 많이 발생하였다.

3.4 토양수분 및 증발산량 검정

산출된 토양수분 및 증발산량의 정확도를 높이기 위하여 한반도 특성에 맞는 입력자료를 사용하였다. 사용된 자료는 지형자료인 토지피복도, 기상자료인 기온, 지표면온도, 현지기압, 해양기압, 습도, 풍속, 풍향, 강수량 등이다. 토지피복도는 국내에 맞게 분류된 토지피복도를 사용하였으며 기상자료는 ASOS 및 GTS 자료를 사용하였다. 표 5는 MERRA2에 내삽된 ASOS 자료 항목이다.

표 5. MERRA2 변수 변환 항목

항목	ASOS		MERRA2			단위 환산 계수
	관측시간	단위	파일	변수	단위	
현지기압	1	hPa	SLV	PS	Pa	× 100
해면기압	1	hPa	SLV	SLP	Pa	× 100
기온	1	℃	SLV	T2M	K	+ 273.15
지면온도	1	℃	SLV	TS	K	+ 273.15
상대습도	1	%	SLV	QV2M	%	-
풍속	1	m/s	SLV	U2M V2M	m/s	풍속×cos(풍향) 풍속×sin(풍향)
풍향	1	Deg	SLV	-	-	-
강수량	1, 3	mm/h	LFO	PRECCUCORR	Kg/m2s	÷ 3600

표 6은 ASOS를 적용하여 토양수분 및 증발산량을 산출한 결과이다. ASOS를 적용하기 전보다 청미천, 서산의 상관계수 및 편의, 오차값, 효율계수는 증가하였지만 설마천의 경우 오히려 정확도가 낮아졌다.

표 6. 토양수분, 증발산량 검정 결과 (MERRA2, ASOS)

			R	R ²	BIAS	RMSE	NSE
토양수분	설마천	MERRA2	0.68	0.46	1.18	5.83	-0.14
		ASOS	0.63	0.40	1.43	10.89	-2.97
	청미천	MERRA2	0.63	0.40	0.99	3.14	0.30
		ASOS	0.76	0.57	0.94	3.03	0.35
	서산	MERRA2	0.68	0.47	2.07	13.98	-10.02
		ASOS	0.76	0.58	1.92	12.07	-7.18
증발산량	설마천	MERRA2	0.74	0.55	1.76	1.47	-0.76
		ASOS	0.71	0.50	2.02	1.68	-1.31
	청미천	MERRA2	0.68	0.46	1.27	1.31	-0.10
		ASOS	0.67	0.45	1.11	1.18	0.10

3.5 미계측 지역(북한) 토양수분 및 증발산량 산출

GTS 관측 자료를 사용하여 토양수분 및 증발산량 등의 수문인자를 산출한 결과 남한 지역과 비슷한 경향을 가진 수문인자가 산출되었다. 그림 4는 북한 지역의 GLDAS 토양수분 및 MODIS 증발산량과 Noah-MP로 산출된 자료의 R, R², BIAS를 분석한 결과를 분포도로 나타냈다. 토양수분은 북한 GTS 관측 지점의 27개 지점을 모두 비교하였고, 증발산량은 GTS 관측 지점 중 MODIS 관측 자료가 어느정도 확보된 11개 지점을 비교하였다. 남한지역의 토양수분 산출값과 GLDAS의 토양수분 자료간의 상관계수와 비슷한 상관계수로 분석되었다. 증발산량은 남한에서 산출된 증발산량과 MODIS 증발산량간의 상관계수보다 대체적으로 높은 상관계수로 산정되었다.

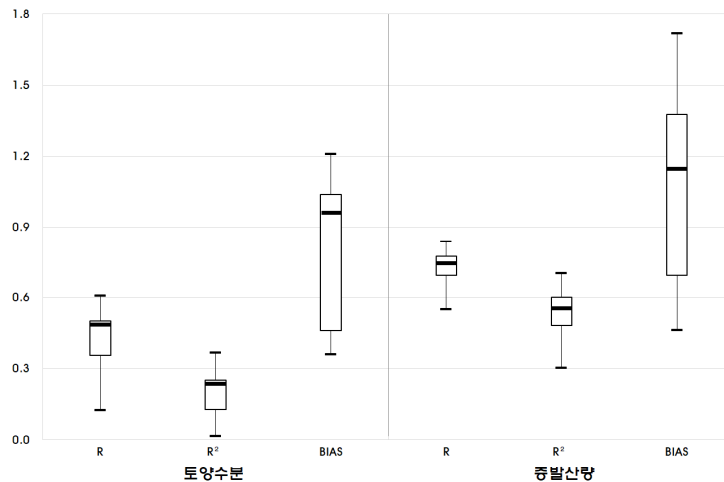


그림 4. 북한 지역 토양수분, 증발산량 R, R², BIAS 분포도

4. 결론

본 연구에서는 다양한 수문순환 모델을 하나의 프레임워크로 묶은 시스템인 NASA-LIS를 사용하여 일부 수문인자를 산정하였다. 사용한 수문순환 모델은 LIS 프레임워크에서도 가장 많이 업데이트가 된 Noah LSM 중 Noah-MP LSM을 사용하였으며 글로벌 수문기상 자료로는 MERRA2 자료를 사용하였다.

글로벌 수문기상 입력 자료를 사용하여 수문순환의 주요 인자 중 토양수분 및 증발산량을 한반도를 대상으로 산출하여 지상관측 자료와 비교하여 정확도를 평가하고 토지피복도, ASOS 등의 관측 자료를 활용하여 정확도를 높였다. 하지만 글로벌 입력 자료의 특성 상 공간해상도가 높고 원격탐사 자료를 활용하여 구축된 자료이기 때문에 높은 정확도를 가진 자료는 산출되지 않았으나, 한반도 특성에 맞는 자료를 내삽하여 토양수분 및 증발산량을 산출 한 결과 수문인자의 정확도가 높아졌다. 이는 한반도의 특성에 맞는 높은 공간해상도의 자료를 입력자료로 사용한다면 정확도는 본 연구에서 나온 수문인자보다 높아질 것으로 사료된다. 본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

1) MERRA2 수문기상 입력자료를 사용하여 분석된 결과와 ASOS 관측 자료를 사용하여 분석된 결과를 비교하였을 때 ASOS 관측 자료를 사용하여 분석된 결과가 지상에서 관측된 토양수분, 증발산량 자료와 보다 높은 정확성이 나타났다.

2) 매개변수 조정을 하지 않은 LIS의 Noah-MP LSM을 한반도에 적용하기에는 정확성이 낮게 평가되었지만 동일한 조건으로 한반도의 특성에 맞는 자료를 내삽 하여 분석한 결과 정확도가 향상되었으므로 고해상도의 한반도 특성에 맞는 입력 자료를 사용하면 정확도는 매우 높아질 것으로 판단된다.

3) 남한 지역과 비슷한 지형적 특징을 가지고 있는 북한 지역을 대상으로 수문인자를 산출하여 원격탐사 기반의 수문인자 자료와 비교하여도 남한에서 산출된 수문인자의 정확도는 비슷하여 남한 지역을 대상으로 검보정을 거치면 미계측 지역에서도 충분히 적용할 수 있다.

본 연구를 통해 초기 설정이지만 LIS 프레임워크에 적용된 Noah-MP 지표면 모델로 토양수분 및 증발산량의 수문인자 산출 가능성을 확인하였으며, 매개변수 조정, 고해상도 입력자료를 사용하여 정확도를 더 높인다면 충분히 활용 가능한 자료를 산출할 수 있고 미계측 지역에서의 유출량 산정에 적용할 수 있을 것이다.

감 사 의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(18AWMP-B079625-05)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 김형록, 김성균, 정재환, 신인철, 신진호, 최민하 (2016). “자료동화 토양수분 데이터를 활용한 동아시아지역 수동형 위성 토양수분 데이터보정: SMOS (MIRAS), GCOM-W1 (AMSR2) 위성 및 GLDAS 데이터 활용“, 한국습지학회지 18권 2호, pp.123-147
2. IPCC, Fifth Assessment Report(AR5), “Climate Change 2013 : The Physical Science Basis”, [http://www.ipcc.ch\(IPCC홈페이지\)](http://www.ipcc.ch(IPCC홈페이지)), 2013.9
3. Kim, H, and Choi, M (2015a). Impact of soil moisture on dust outbreaks in East Asia: Using satellite and assimilation data, Geophysical Research Letters, 42(8), pp. 2789-2796.
4. Kumar , S.V., C.D. Peters-Lidard, Y. Tian, P.R. Houser, J. Geiger, S. Olden, L. Lighty, J.L. Eastman, B. Doty, P. Dirmeyer, J. Adams, K. Mitchell, E. F. Wood and J. Sheffield, 2006: Land Information System - An Interoperable Framework for High Resolution Land Surface Modeling. Environmental Modelling & Software, Vol.21, 1402-1415. DOI:10.1016/j.envsoft.2005.07.004

5. NASA (2017). “LDT Tutorial“
6. NASA (2017). “LDT Users guide“
7. NASA (2017). “LIS Users guide“
8. NASA (2017). “LVT Tutorial“
9. NASA (2017). “LVT Users guide“
10. NASA (2017). “User’s Guide MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (NASA MOD16A2/A3) NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm“
11. Peters-Lidard, C.D., P.R. Houser, Y. Tian, S.V. Kumar, J. Geiger, S. Olden, L. Lighty, B. Doty, P. Dirmeyer, J. Adams, K. Mitchell, E.F. Wood and J. Sheffield, 2007: High-performance Earth system modeling with NASA/GSFC’s Land Information System. *Innovations in Systems and Software Engineering.* 3(3), 157-165. DOI:10.1007/s11334-007-0028-x
12. Rodell, M, Chen, J, Kato, H, Famiglietti, JS, Nigro, J and Wilson, CR (2007). Estimating groundwater storage changes in the Mississippi River basin (USA) using GRACE, *Hydrogeology J.*, 15(1), pp. 159-166.