

플릭스타워와 위성영상 자료를 연계한 유역 수자원 관리 및 개발 기법 소개



김 성 준 |
건국대학교 사회환경시스템공학과 교수
kimsj@konkuk.ac.kr



김 광 섭 |
경북대학교 건설환경에너지공학부 교수
kings@knu.ac.kr



채 효 석 |
한국수자원공사 K-water연구원
소장
chaehs@kwater.or.kr



이 종 진 |
한국수자원공사 미래조사처 조사사업팀장
Ljj@kwater.or.kr

1. 머리말

최근 국내외 가뭄, 홍수, 폭설과 같은 재해 분석 및 예측을 위해 NOAA, MODIS 등 위성영상으로부터 추정된 식생, 눈지도 및 가공된 증발산, 토양수분 지도가 활용되고 있으며, 이는 유

역 통합 물수지 분석 연구를 위한 기초 매개변수으로써 큰 역할을 담당하고 있다(김성준, 2004).

특히 유역 수문 순환 과정에서 큰 비중을 차지하는 증발산량과 토양수분량은 전지구의 수자원 순환, 기후 변화, 농업 환경 모니터링에 가장 중요한 기초 인자임에도 불구하고, 현실적으로는 광범위한 지역의 실측에 많은 어려움이 따른다.

일반적으로 유역 증발산 및 토양수분은 크게 점 자료를 이용한 내삽법 및 원격탐사 기법을 통해 추정되어져 왔다. 위 기법 중 점 자료 이용 시에는 다양한 영향 요소들을 모두 고려하기에는 많은 제약이 따르므로, 간단하면서도 신뢰도 높은 결과 도출이 가능한 위성영상 활용 추정 기법이 효과적인 것으로 평가되었다.

1970년대 미국에서 원격탐사 기술을 이용한 소규모 지역 증발산량 추정 연구가 시도된 이후, NOAA 영상을 활용한 증발산량 추정 모델이 적극적으로 개발되기 시작했다. 현재까지는 미국이 전 세계적으로 각종 극궤도 위성 및 기상위성 자료를 이용한 증발산량 추정 모델(SEBI, SEBAL, METRIC, ALEXI 등)의 개발 및 특정 주제도 제작에 주도적 역할을 담당하고 있으며, 타 국가에서도 개발 모델들을 다양하게 적용하고 비교하는 연구가 진행되고 있다(국립농업과학원, 2012).

국내에서는 1996년 4월 ‘우주개발 중장기 기

본계획' 수립 후 독자적 위성영상 기술 개발 능력을 확보해 나가고 있으며(김경탁 등, 2008), 현재까지는 NOAA, MODIS와 같은 저해상도 위성영상을 활용하여 식생 정보를 추정하고, 증발산량이나 토양수분을 도출하는 등의 결과를 통해 유역 가뭄을 예측하는 유역 수자원 관리 기법에 관한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 그러나 궁극적 목적인 활용 및 적용 기술은 아직까지 상대적으로 부족한 실정이며, 실측자료가 빈약한 토양수분 관련 연구에 사용된 위성영상(MODIS, AMSR-E 등) 활용 연구 결과를 토대로 개선된 토양수분 추정 기법이 요구된다.

이러한 다수 식생 정보 추정 및 수문 인자 구축기술은 정보의 지속적 활용으로 이어져야 하는 매우 중요한 기술이며, 결과적으로 지속적 통합 유역 수자원 관리를 위한 강우유출모형과의 유기적 연계 기술 개발 등을 통해 한 단계 발전시키려는 노력이 필요하다.

이에 본 고에서 소개하는 기술의 목적은 위성영상을 이용하여 증발산량 및 토양수분량 추정을 위한 선진 기술의 활용성 분석 및 국내 실정에 맞는 최신 기법 개발을 통해 수문모형과의 연계로 이어지는 보다 정밀한 유역 수자원 개발 및 관리 체계를 구축하고자 함이다.

2. 수문인자 산정기법 개발

2.1 위성영상 활용 수문인자 산정기법

2.1.1 증발산량 산정

국외 다수 연구결과에 따르면 위성영상을 입력하고, 실측자료를 통해 검증을 거친 에너지 수지 모델을 통해 증발산량을 추정하는 방법이 매우 효과적인 것으로 나타났다(하림 등, 2010; Kustas과 Norman, 1996; Moran 등, 1989). 특히 소개하고자 하는 SEBAL (Surface

Energy Balance Algorithm for Land)(Bastiaanssen, 1995) 모형은 지형이나 상태가 균일하지 못한 유역이나 하천유역에서 비교적 적은 양의 자료를 이용하여 실제 증발산량을 추정하는 알고리즘을 가지고 있다. 또한 위성영상을 이용하여 증발산량을 추정하는 기존의 모형에 비해 기상자료를 적게 필요로 하면서도, 여러 선행연구에서 Penman 식 등을 이용한 증발산량 측정 결과와 비슷한 결과를 보여 모형의 신뢰도가 높다. 최초의 SEBAL 모형은 평평한 농경지에서의 증발산량을 산출하는 데 적합하게 고안되었으며, 현재는 산악지형의 고도, 경사, 경사방향까지 고려할 수 있도록 알고리즘이 개선되었다. 위성영상은 지나가는 시간에 대한 정보만을 제공하므로, SEBAL 모형에서는 위성영상 획득 순간의 증발산량(ET)을 계산한다.

모형 구성 측면에서 볼 때, SEBAL 모형은 에너지 수지 방정식의 항마다 개별적으로 계산하여 종합하는 독립적인 모듈 방식으로 구성되어 있다(그림 1). 따라서 각 항에 대한 개선 연구가 이루어지면 모형의 성능을 쉽게 향상시킬 수 있는 장점이 있으며, 더욱이 미국 Idaho주의 공동연구에 의한 연구보고서에는 모형의 세부적인 내용까지 공개함으로써, 모형 개선의 가능성을 높이고 있다.

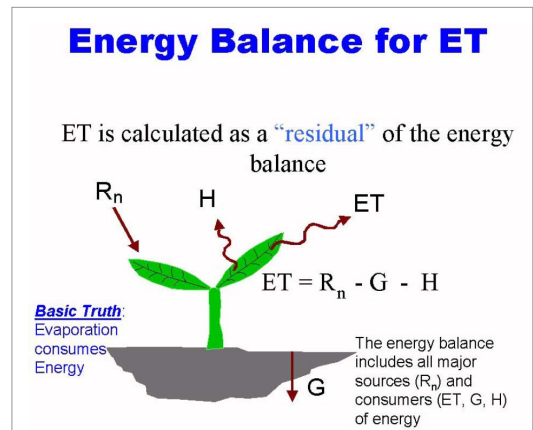


그림 1 SEBAL 모형 내 에너지 수지

모형은 ERDAS IMAGINE 8.6 프로그램의 Model Maker Tool을 이용하여 구축가능 하도록 개발되었으나, ArcGIS 프로그램을 이용하여 국내 실정에 맞는 모형으로 수정 구축 하여 활용 가능하다(그림 2).

모형의 입력 자료로는 Lansdat TM, ETM+ 및 Terra MODIS (Raw data) 위성영상을 다운 받아 사용하며, DEM 및 기상자료를 추가 입력 하여 모형을 구동하게 된다.

SEBAL 모형에 구동 후 결과적으로 증발산량이 외에도 식생관련지수 영상 (NDVI : Normalized Difference Vegetation Index,

SAVI : Soil Adjusted Vegetation Index, LAI : Leaf Area Index)과 Rs (단파복사에너지), 지표 온도, 알베도 등을 얻을 수 있다.

2.1.2 토양수분량 산정

토양수분량 추정을 위해 AMSR-E과 SMOS와 같은 위성영상을 활용 가능하며, AMSR-E는 지구의 물 순환과 관련된 토양수분, 해양증발량, 수증기량, 운량, 강수량, 적설량 등의 정보를 수집하고 이 밖에도 식생피복이나 기온, 수온 등의 다양한 물리변수에 대해서도 관측하고 있다(김광섭 등, 2009). SMOS는 2009년 11월 유럽우주

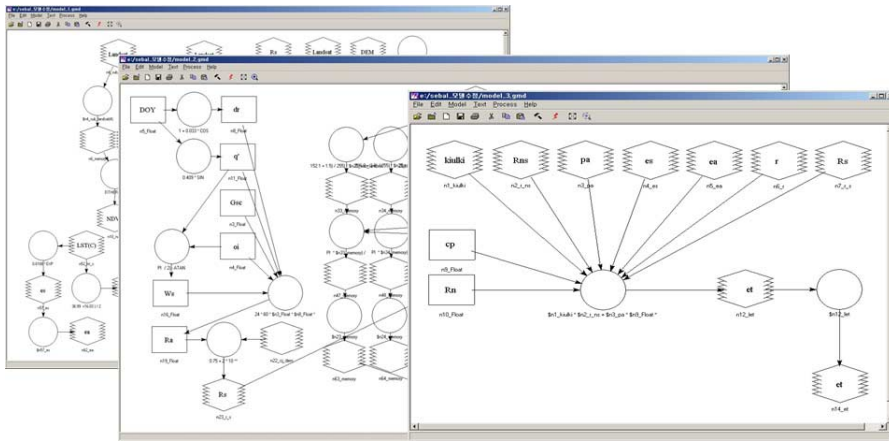


그림 2 SEBAL 모형 구동 화면

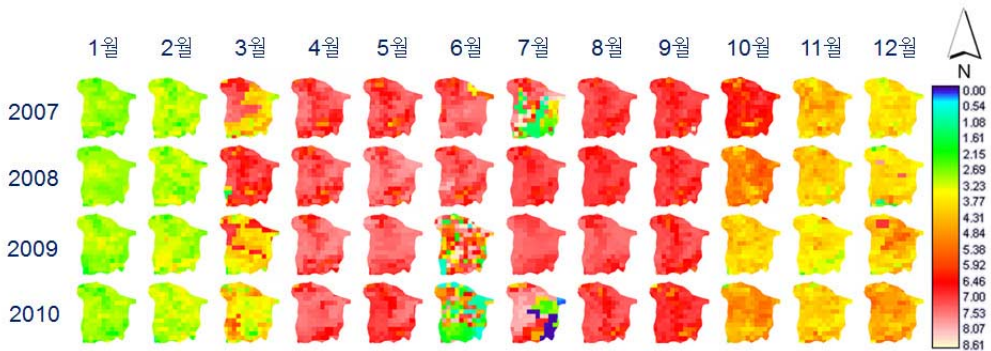


그림 3 SEBAL 모형 결과 예시 -설마천 유역 증발산량지도-

기구(ESA, European Space Agency)에서 저궤도(LEO)를 돌며 탑재된 마이크로파 라디오미터를 이용하여 토양 수분 및 해양 염도 측정 목적으로 발사되었다.

이들 영상이 기본적으로 가지는 시공간 분해능의 한계와 관측기기의 물리적 한계에 기인한 공간정보 대표성을 개선하고, 수문학적 적용에 타당한 시공간 분해능과 공간정보 대표성을 가진

광역 토양수분자료 생산 기법 개발을 위해 각 영상별 국내 실정에 맞는 보정이 필요하다.

SMOS의 토양수분 자료는 L-band로 관측심(7cm)은 깊으나 시간해상도가 좋지 않기 때문에, CATDS에서 토양수분 자료를 취득할 때 휘도온도를 같이 취득할 수 있는 점을 이용하여 토양수분 Retrieval 알고리즘 기법을 통해 우리나라 실정에 맞게 보정 가능하다.

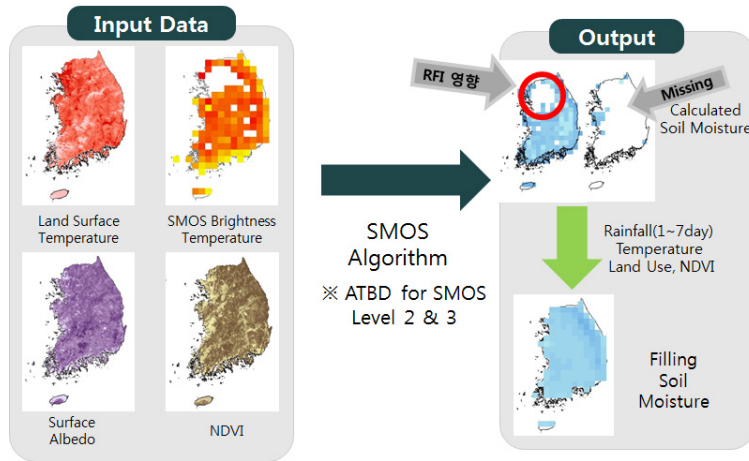
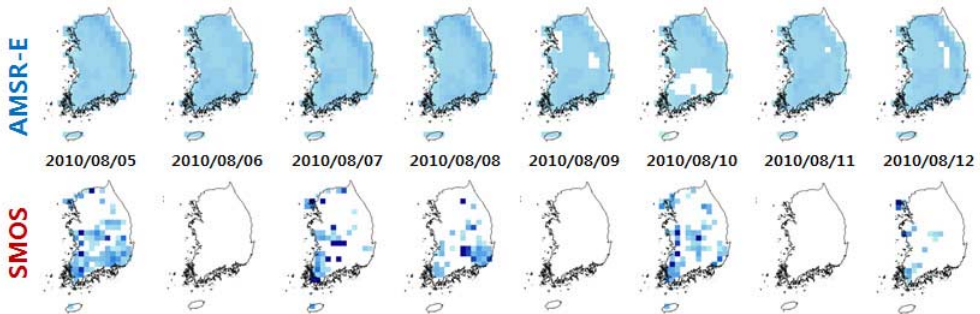


그림 4 토양수분량 지도 공간해상도 보정



SMOS의 토양수분은 AMSR-E의 토양수분에 비하여 결측 치가 많음

그림 5 전국단위 토양수분량 지도

2.2 플렉스 데이터 관측

각 개발된 기법들의 보정 및 검증을 위한 자료로 한국수자원공사에서 설치 및 관리하고 있는

용담댐 유역 내 덕유산 플렉스 타워 데이터를 소개하고자 한다. 덕유산 플렉스 타워는 금강 수계 구량천의 상류부의 덕곡제 유역내에 위치하며, 동경 127° 42' 23" ~ 127° 44' 53", 북위 35° 50'

47" ~ 35° 52' 50" 사이로 중부지방에 위치하고 있다(한국수자원공사, 2013). 타워는 2011년 3월에 설치하여 2011년 4월 1일부터 관측을 실시

하였으며, 관측 기기 목록 및 관측 항목은 다음 표 1과 같다.

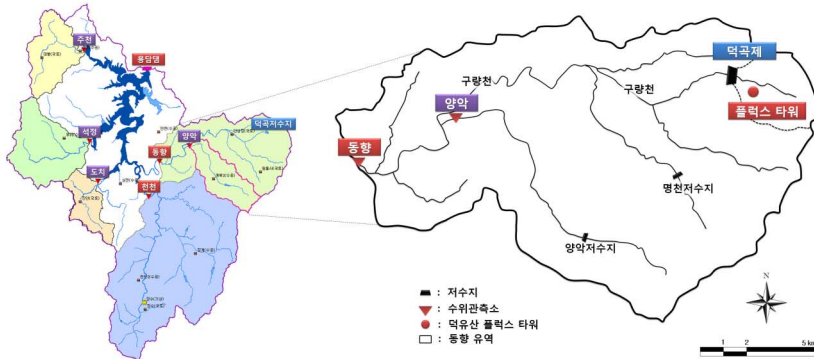


그림 6 용담댐 유역 현황 및 덕유산 플렉스 타워 위치

표 2. 청계천 복원 전, 직후 및 복원 8년 후의 수질 및 수생태성 평가결과(복원전, 직후: 과기부(2007))

기기 목록	기기모델	관측높이(m)	관측 목록
3차원 풍속계	CSAT3	19	풍향, 풍속
순복사 센서	CNR4	23	순복사
웨더 센서	WXT520-NC	2, 19	강우
토양온도 센서	TCAV	-0.05	토양온도
지중열 플렉스 센서	HFP01-L35	-0.05	지중열
토양수분센서	CS616-L35	-0.1, 0.2, 0.4, 0.6	토양수분
강우량계		2, 16	강우
결로센서	237-L35	4, 9, 16	이슬점
CO ₂ /H ₂ O 가스분석기	EC155	19	CO ₂ , H ₂ O 농도 관측
카메라	CC640	16	식생변화

군락의 높이를 고려하여 플렉스 타워 높이를 25m로 하고, 에디 공분산 시스템인 3차원 풍속계와 가스분석기는 타워본체 19m 높이에 설치되어있다. 또한 자동기상시스템 1기는 19m에 설치되었고 보조타워를 세워 2m 높이에 추가로 설치하여 군락 상하부의 풍향, 풍속, 온도, 강수를 측정하도록 되어있다. 순복사 센서는 23m 높이에 위치한다.

토양온도 센서와 지중열 플렉스 센서는 각각 토양깊이 0.05m에 설치되어있으며, 결로 센서

는 4, 9, 16m의 위치에서 이슬점을 측정하도록 하고 있다. 또한 식생변화를 관측할 수 있는 카메라 1기도 설치되었다.

플렉스타워 관측 항목들을 에디 공분산법을 적용하여 증발산량을 산정하게 되는데, 이는 직접적으로 생태계와 대기 사이의 에너지와 물, 탄소 등의 연직 방향의 물리적인 이동을 정량화하여 측정하는 방법이다. 특히, 기존의 방법에 비해 관측지에 영향을 끼치지 않으며, 비교적 넓은 지역에 대한 플렉스를 구할 수 있다.

그림 7과 8은 2011년 4월~11월, 2012년 3월 ~12월 동안의 일 증발산량을 구하여 강우자료와 함께 그래프로 나타낸 것이다.

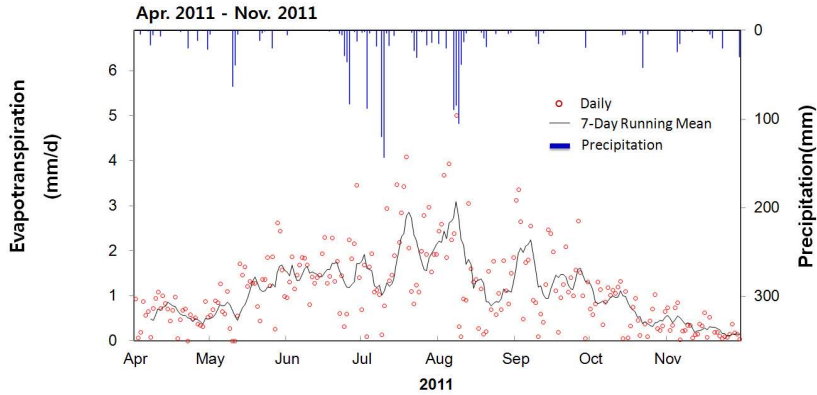


그림 7 2011년 4월~11월 플렉스타워 증발산량

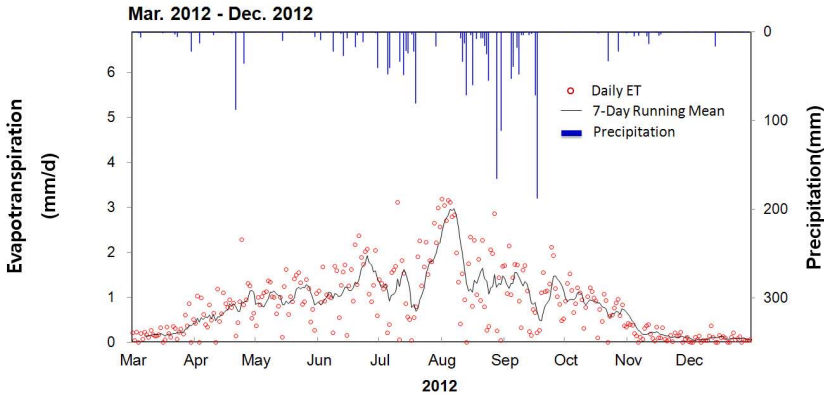


그림 8 2012년 3월~12월 플렉스타워 증발산량

3. 수문모형에서의 활용을 위한 연계기법 개발

기존 수문모형 내 매개변수들은 일반적으로 유역에 속한 지점 값의 평균을 이용하거나, 미세 측 유역의 경우 기존 유사 유역 값을 그대로 적용하는 등 현실성을 반영하기에는 다소 어려움이 많았다. 따라서 개발된 기법은 현재 많이 활용되고 있는 SWAT 과 같은 수문모형의 경우, 기준(잠재)증발산량이 결정된 후에 실제증발산량이

계산되는데, 이때 관여된 각 인자들과 개발된 기법을 통해 추정된 증발산량의 상관 분석을 통해 좀 더 현실성 있는 값을 적용할 수 있다. 또한 개발된 공간토양수분지도와 모형 내 토양수분함량 및 토양증발요구량 등에 관계된 계수 간의 관계 분석을 통해 토양층별 증발요구량을 적정 수준 조정하는 등의 적극 활용이 가능 할 것으로 판단 된다.

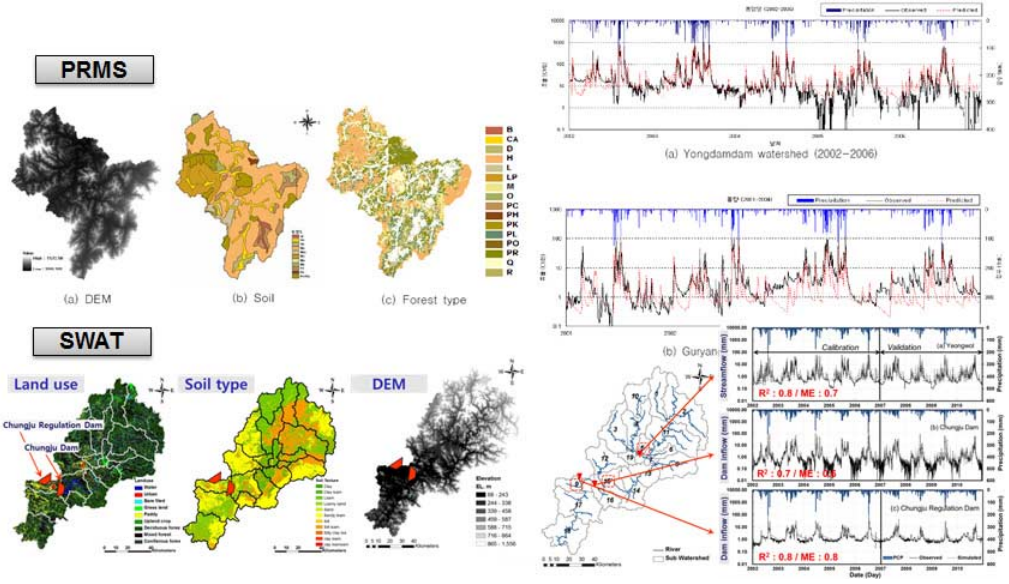



그림 11 PRMS 및 SWAT 모형 적용 예시

4. 맺음말

본 고에서 소개한 증발산량 및 토양수분량 추정 기법은 다양한 위성정보와 GIS 공간자료를 이용하여 국내 실정에 맞는 수문 매개변수 추정 관련 연구로 의미가 있을 것이다. 기법 적용을 통해 PRMS나 SWAT과 같은 유역 관리 수문 모델의 모의 신뢰도를 높이는 데 기여할 것이며, 또한 기존 수문순환 분석을 위해 사용된 입력 매개변수 대비, 개발된 기법을 통해 구축된 증발산량 및 토양수분 자료의 우수성을 도출하여 정확한 신뢰도 검증 결과 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

국내의 신규 수자원개발 추진 시 사업계획 수

립에 필요한 유역특성자료 등 위성영상을 적극 활용한 기초자료로 활용될 수 있으며, 수문조사(토양수분량, 증발산량) 기법으로의 활용 및 관련 실무자를 위한 매뉴얼 작성과 배포를 통한 지속성을 유지해야 할 것이다.

향후 관련 기술이 체계적으로 활용될 수 있도록 자료 수집 및 분석 절차, 기법 활용 등의 내용을 포함한 실용화 기법을 개발하고, 현업연계를 위하여 업무기준 수립 매뉴얼 제정 등 제도화가 뒷받침 되어야 할 것이며, 기술 수행에 사용되는 자료의 체계적 DB화 및 추가 자료 구축을 위한 관련 기관의 지속적 협조 등 기준 확립이 이루어진다면 활용도가 더욱 높을 것이라 기대한다. 

참고문헌

1. 국립농업과학원 (2012) 선진외국의 최근연구개발 동향. 138호. pp. 1-2.
2. 김경탁, 박정술, 김주훈. (2008) 위성영상을 이용한 수자원 정보생성 및 활용연구. 한국항공우주학회 학술발표회 발표논문집. pp.1455-1458.
3. 김광섭, 김종필, 박한균. (2009) 기상관측자료와 위성영상자료를 연계한 토양수분 산정. 대한토목학회 정기학술대회 발표논문집. pp. 3447-3450.
4. 김성준. (2004) 농촌용수 물수요량 추정을 위한 GIS/RS 기반의 통합시스템 정보체계. 한국관개배수 논문집 제11권 제1호 특집. pp. 17-24.
5. 하림, 신형진, 이미선, 김성준. (2010) 위성영상과 SEBAL 모형을 이용한 공간증발산량 산정 연구. 대한토목학회논문집. 제30권 제3B호. pp. 233-242.
6. 한국수자원공사 (2013) 덕유산 플렉스타워 증발산량 산정 및 분석 기술지원보고서.
7. Bastiaanssen, W.G.M. (1995) Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climates. Wageningen Agricultural University, Wageningen. The Netherlands.
8. Kustas, W.P. and Norman, J.M. (1996) Use of remote sensing for evapotranspiration monitoring over land surfaces. Hydro. Sci. J. Vol. 41, pp. 495-516.
9. Moran, M.S., Jackson, R.D., Raymond, L.H., Gay, L.W., and Slater, P.N. (1989) Mapping surface energy balance components by combining Landsat Thematic Mapper and ground-based meteorological data. Remote Sens. Environ. Vol. 30, pp. 77-87.