

물과 위성



최민하 |
한양대학교 건설환경공학과 조교수
mchoi@hanyang.ac.kr

수십 년간 전 지구 규모의 중요한 사회 환경문제로써 대두되고 있는 기후변화는 불과 수 년 전까지 추상적인 개념으로 받아들여진 것이 사실이다 (Adger et al., 2005). 실제로 기후변화에 관한 정부 간 협의체 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 4차 보고서에서는 21세기 말 지구의 평균기온이 최대 6.3 °C까지 더 상승할 것으로 내다보았고 지구 평균기온이 3.0 °C 오를 경우 아시아에서만 연간 700만 명 이상이 홍수 피해 위기에 직면하리라 예상했을 정도로 이미 기후변화는 가속화 되고 있다 (IPCC, 2007). 수자원 관리 측면에서의 기후변화 역시 수자원 확보에 대한 불확실성을 더욱 가중시키고 있으며, 이에 따라 우리나라의 물 부족량은 해마다 증가하고 있는 실정이다. 계절별로 극심한 수자원 불균형을 가지고 있는 우리나라의 경우 홍수 와 가뭄 등 기후변화로 인한 재해 취약성이 매우 높다. 하지만 선진국에 비해 연구가 미비하게 이뤄지고 있는 증발산 및 토양 수분의 정확한 해석에 따른 강수량과 지표유출량에

대한 정량화를 통한 통합 수문 순환 연구의 필요성이 절실하다. 최근 들어 다양한 분야에서 효용성이 날로 증가하고 있는 인공위성 영상자료를 이용하여 주요 수문 인자들의 시공간 분포를 산정함으로써 수문 순환 연구의 정확성을 높이고자 하는 연구가 국외에서 활발히 진행되고 있다. 하지만, 국내의 경우 불 균질한 분포를 가지고 있는 우리나라의 지형 및 식생, 토성, 토지피복의 특성상 공간적 제약에 따른 수문 인자들의 실측 및 정확한 추정 은 거의 불가능한 실정이며, 이마저도 선진국에 비해 그 실측 규모가 작고 기간이 짧아 아직 실무에 적극적으로 반영하는 데는 어려움이 있다. 따라서 공간 제약을 극복할 수 있는 인공위성 원격탐사 기술을 이용하여 수문 인자의 정확한 산정을 통해 기존 관측 시스템이 가지고 있는 한계를 극복하고자 하는 연구가 이루어지고 있는 한양대학교 건설환경공학과 수자원 IT융합연구실에서 수행되어지고 있는 연구들을 소개하므로 인공위성을 활용하여 수문학 및 방재 분야에 미칠 수 있는 영향과 그의 올바른 이해를 돕고자 한다. 간략히, 현재 본 연구실에서는 인공위성 영상 자료를 이용하여 한반도 및 동아시아 지역을 대상으로 증발산, 토양수분, 수분이용효율 등 수문기상인자의 정확한 공간 분포 산정 모형 및 통합 수문모형, 유역 규모의 신뢰성 있는 강우-유출 관계 모의 모형에 대한 개발 연구를 진행하고 있다.

1. MODIS 위성 자료 기반 수분이용효율 지도 작성

탄소를 주성분으로 하는 온실가스는 기후변화의 주된 원인 중 하나로, 탄소의 순환 과정을 정량적으로 모의함으로써 합리적인 기후변화/환경 관련 정책 및 의사결정의 토대를 제공할 수 있다. 탄소순환에 관해 널리 쓰이는 대표적인 지표는 총 일차생산량 (Gross Primary Product, GPP)으로, 대기 중의 존재하는 탄소의 양을 나타낸다. 본 연구실에서는 기존 연구를 기반으로 하여 수분이용효율 (Water Use Efficiency, WUE)이라는 수문학적 지표를 도입, 우리나라 지역에 적용하려는 연구를 수행 중에 있다. 수분이용효율은 일차생산량과 증발산의 비로 표현되며, 이를 통해 수문 순환을 고려한 탄소 순환의 정량적 분석이 가능해진다. 특히 미 항공우주국 (National Aeronautic and Space Administration, NASA) Terra와 Aqua 인공위성에 탑재되어있는 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 다중분광 센서를 이용하여 우리나라 전역의 수분이용효율 분포를 산정함으로써 지역 규모의 탄소순환 분석이 가능하게 되었다. 각 지역의 수분이용 현황을 파악

함으로 탄소순환 분석은 물론 가뭄, 산불과 같은 자연재해에 대비를 할 수 있으며, 더 나아가 통합 가뭄관리 시스템의 일환으로써 응용될 수 있다. 그림 1은 우리나라의 겨울철, 여름철 수분이용효율의 공간 분포를 나타낸 것으로, 계절별, 공간별 수분이용 현황을 쉽게 파악할 수 있다.

2. MODIS 위성 자료 기반 고해상도 증발산 지도 작성

Penman-Monteith 증발산 산정 모형을 바탕으로 우리나라의 지리/기후 특성을 반영한 증발산 산정 알고리즘을 자체적으로 개발하였고, 미 지질조사국과 미 항공우주국에서 제공하는 단계별 MODIS 육상/대기 이미지 데이터를 활용하여 에너지 수지 인자들을 산정하여 최종적으로 산출되는 잠열 에너지(증발산)를 구하였다. 1 km의 공간 해상도를 갖는 고해상도의 증발산 지도를 제작함으로써, 우리나라 전역에 대한 증발산의 공간적인 분포를 확인할 수 있고, 더 나아가 동북아시아 지역의 증발산 공간분포를 통해 시공간적인 변동성을 파악하는 연구도 진행 중에 있다(그림 2).

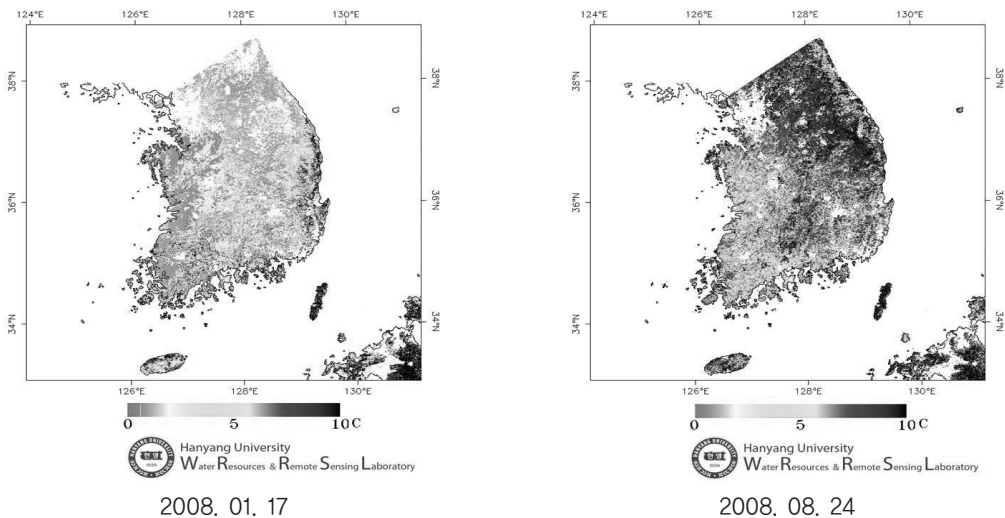
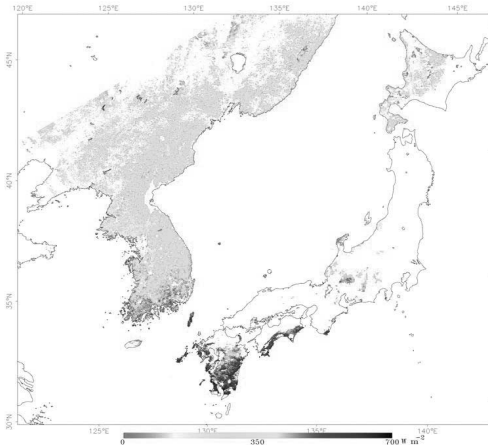
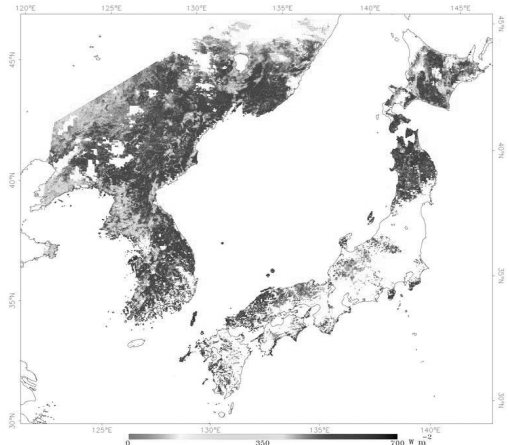


그림 1. 수분이용효율의 공간 분포



Hanyang University
Water Resources & Remote Sensing Laboratory

2008. 04. 20



Hanyang University
Water Resources & Remote Sensing Laboratory

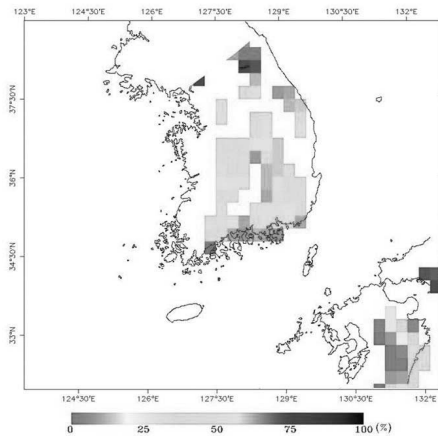
2008. 08. 07

그림 2. MODIS 기반 증발산의 공간 분포

3. AMSR-E와 MODIS 위성 자료 기반 토양 수분 지도 작성

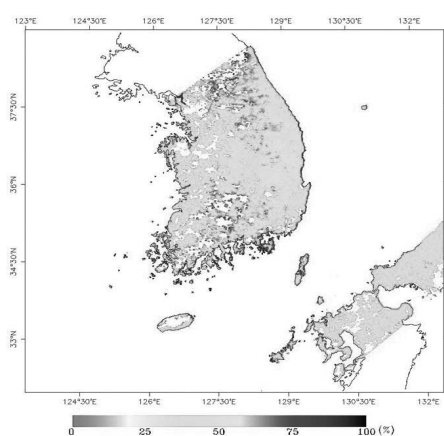
일본 우주항공 연구개발기구 (Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA)에 의해 개발되고 미 항공우주국 Aqua 위성에서 탑재된 Advanced Microwave Scanning Radiometer E (AMSR-E) 센서는 수동마이크로웨이브 관측시스템을 이용한 지표면 밝기온도 (Brightness Temperature)

기반 일 단위 토양수분 지도를 제공하고 있으나, 높은 정확도와 적용성에 비해 다소 낮은 25 km의 공간해상도를 가지고 있다. 이는 전 지구 규모의 연구에는 효과적이거나 우리나라와 같은 국소지역에 적용시 한계를 가지며, 이러한 단점을 보완하기 위해 MODIS 위성 영상을 이용하여 1 km 고해상도의 일별 토양수분 지도를 작성하였다(그림 3). 본 연구실에서 제작하고 있는 고해상도의 토양수분 지도는 데이터베이스화되어 홍수, 가뭄 등 자연재해 예측



Hanyang University
Water Resources & Remote Sensing Laboratory

2007년 5월 8일 토양수분 Map (25km)



Hanyang University
Water Resources & Remote Sensing Laboratory

2007년 5월 8일 토양수분 Map (1km)

그림 3. AMSR-E 및 MODIS 토양수분의 공간 분포

에는 물론, 통합수문모형의 정확성을 높이는 데에도 크게 기여할 것이다.

4. SMOS 위성 자료 기반 토양수분 지도 작성

유럽연합 산하 European Space Agency (ESA)에서는 전 지구적 토양수분/해양염도의 관측을 위해 Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) mission을 추진, 2009년 11월에 발사하여 운행 중에 있다. SMOS는 757 km 상공에서 microwave 센서의 L-Band (1.4 GHz)를 이용하여 4%의 오차범위로 전 지구를 관측한다. 또한 식생 및 지표면 특성에 의한 교란이 적고 시간, 날씨의 영향을 거의 받지 않아 높은 수득률을 가지고 있다. 다만 국내 지역에는 Radio Frequency Interference (RFI)의 영향으로 인해 SMOS 토양수분의 관측치가 거의 제공되지 않는 치명적인 단점을 가지고 있으며, 이를 보완하기 위해 현재 연구실에서는 위성 관측 밝기온도 기반의 토양수분 산정 알고리즘을 자체개발하여 국내 적용성을 높이는 연구를 진행하고 있다(그림 4).

5. 에너지수지에 기반 한 위성 증발산 지도 작성

증발산은 토양과 대기 사이의 상호작용의 매개체가 되는 주요 수문기상인자 중 하나로, 정확한 관측이 어렵고 시공간적으로 높은 변동성을 가지고 있어 공간적인 분포 예측이 힘들다. 이러한 점은 원격탐사 기술의 도입을 통해 보완이 가능하며, 실제로 이를 이용하기 위해 선진국을 중심으로 수십 년간 원격탐사 기반 증발산 산정 연구가 이루어지고 있다. 30 m의 높은 공간 해상도를 가지고 있는 Landsat 위성 영상 자료를 이용하여 에너지 수지 기반의 최신 원격 이미징 처리 모형인 Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) 모형을 적용함으로써, 국내 지역(경안천 유역)에 대한 신뢰성 높은 증발산 지도를 작성하였다(그림 5). 유역 규모의 고해상도 증발산 지도 작성을 통해 효율적인 수자원 관리 계획을 수립할 수 있는 한편, 물 순환의 정량화에도 크게 기여할 수 있다. 또한 유역 규모 수문모형에 정확도 높은 입력 자료로써 적용되어 수문해석 결과의 신뢰성을 높일 수 있게 된다.

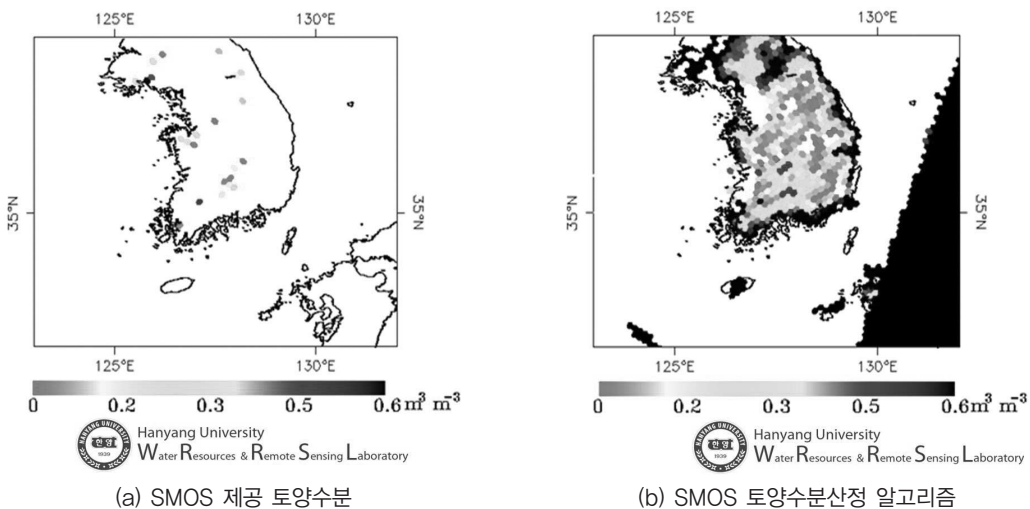


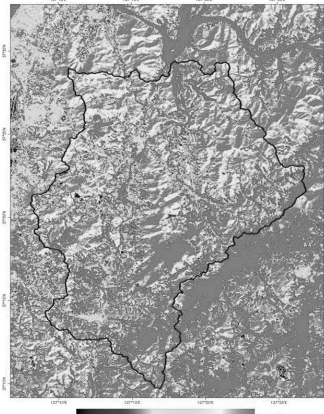
그림 4. SMOS 토양수분의 공간 분포 (2011. 5. 9)

(a) 2003. 2. 1



Hanyang University
Water Resources & Remote Sensing Laboratory

(b) 2006. 9. 13



Hanyang University
Water Resources & Remote Sensing Laboratory

그림 5. METRIC 증발산 에너지의 공간 분포

6. 위성 기반 기후모형을 이용한 강우-유출 모의

기존 유역 중심의 강우-유출 모의 연구가 가지는 단점 중 하나는 한정된 수의 기상관측소 지점관측 자료를 전 유역에 적용하였다는 것이다. 이러한 현실적인 문제로 인해 야기되는 낮은 정확도를 개선하기 위해 현재 연구실에서는 인공위성 기반 기후모형을 도입, 그 결과물을 강우-유출 모의 연구에 입력 자료로 활용하고 있다. 현재 선진국을 중심으로 개발되고 있는 위성영상을 사용하는 전 지구 모델을 기본으로 한 기후모형들 (MM5, WRF, ECMWF)을 이용하여 날씨의 변화들을 예측하고 있

다. 이를 이용하여 기존 Geographic Information System (GIS) 기반 수문모형 (HEC-HMS, HEC-GeoHMS 등)에 적용하여 강우-유출 관계를 모의, 우리나라의 지역 특성에 적합한 매개변수를 산정하고 있다 (그림 6). 인공위성 영상 기반의 보다 정확한 강우-유출 관계를 모의함으로써 수자원 관리 효율을 높이고 나아가 실시간 단기 홍수예정보 시스템 구축 등에 기본 토대를 마련할 수 있다.

7. 위성 기반 통합수문모형 구축

Common Land Model (CLM)은 물과 에너지의 순환을 모의하기 위해 개발된 Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer (SVAT) 모형의 한 종류로, 지표와 대기의 상호관계를 해석하기 위한 통합수문 모형이다. 이모형은 사용자 정의 변수를 이용하여 수문 기상 인자들에 대한 현실적이고 신뢰할 수 있는 모의 결과를 산출할 수 있다. 현재 연구실에서는 이모형의 정확도를 개선하기 위해 한반도지표자료동화체계 (Korea Land Data Assimilation, KLDAS) 자료를 모형의 입력 자료로 활용하는 연구를 진행하고 있다. 한반도지표자료동화체계는 한반

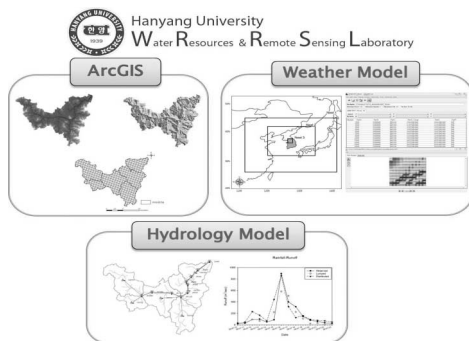


그림 6. 위성 기반 기후모형이 적용된 강우-유출 모의 기법 모식도

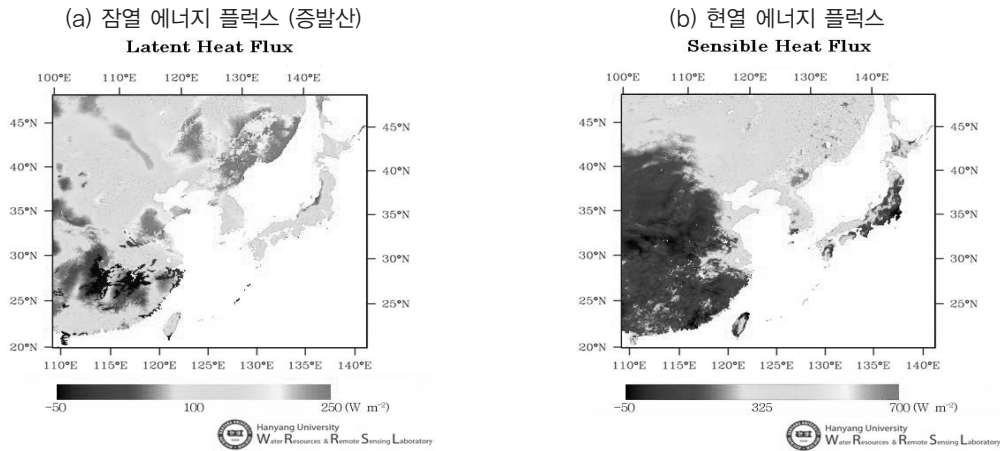


그림 7. CLM 에너지 수지 인자의 공간 분포

도를 포함한 동아시아 지역에 대하여 위성 데이터 및 관측자료, 지표 모델링 데이터 등을 융합한 일관성 있는 지표변수들을 생산하고 있으며, 이를 CLM 모형에 적용하여 그림 7과 같이 동아시아 규모의 결과물들을 지도 형태로써 나타낼 수 있게 된다.

8. 맺음말

본 소개서에서는 현재 한양대학교 건설환경공학과 수자원 IT융합연구실에서 이루어지고 있는 연구들을 통해 수문학 및 방재분야에서의 인공위성의 활용 방안들을 소개하였다. 위에서 보았듯이 다양한 위성자료와 그의 동화자료는 물 순환에서의 주요한 인자인, 토양수분, 증발산, 강우들을 모의하는 가장 근본이 되는 자료로 사용되어짐을 보였다. 이처럼 수문학 및 방재분야에서의 인공위성의 활용도는 광범위한 적용성을 보유하고 있으며 더욱이 대한민국이 IT 강국으로 발돋움 하면서 첨단 기기의

발달과 미래 산업발전의 한 부분으로 우주산업개발에 많은 관심과 투자를 가해 천리안 위성이 발사되었다. 이처럼 국내 보유 위성수의 증가를 모의하는 시점에 인공위성의 활용도에 대해 더욱더 정확한 이해와 더불어 그의 장단점을 올바르게 파악한다면, 위성이 가진 적극적인 활용성들(전 지구적 관측, 높은 자료취득률, 경제적인 비용)을 이용하여 기존 관측시스템의 한계로 인한 수문학 및 방재연구에서 이루어지지 못했던 부분들을 극복할 수 있을 것으로 본다.

감사의 글

이 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(0005005)과 유량조사사업단의 - “인공위성자료를 이용한 증발산 및 토양수분의 공간적 mapping 작성 기반구축” 과제의 지원을 받아 수행된 것입니다. ☺

참고문헌

1. Adger, W.N., Arnell, N.W., and Tompkins, E.L (2005) Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change*, Vol. 15, pp. 77-86.
2. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007) *Climate change 2007: The scientific basis*, IPCC contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change, *Cambridge University Press*, Cambridge.