

# 수문기상분야에서의 인공위성 영상이미지의 활용성



최민하  
조교수/한양대학교 공과대학  
건설환경공학과  
mchoi@hanyang.ac.kr



김현우  
연구교수/한양대학교 공과대학  
건설환경공학과  
kim4ecchydro@gmail.com

## 1. 서론

20세기 중반 이후 지구온난화와 같은 기후변화로 인해 빈번하게 발생하는 홍수, 가뭄과 같은 재해현상은 사회 경제적으로 많은 피해를 유발하고 있으며, 산업화에 따른 물 수요 공급과 각종 오폐수의 증가로 충분하고 안전한 물의 공급이 어려워지고 있는 실정이다. 기후 변화는 21세기 온 인류가 직면한 가장 중요한 사회 환경문제 중 하나로 받아들여지고 있다. 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 4차 보고서에서는 21세기말 지구의 평균기온이 최대 6.3℃까지 더 상승할 것으로 전망하였다. 지구 평균기온이 3.0℃ 오를 경우 아시아에서만 연간 70만명 이상이 홍수피해 위기에 직면하리라 예상하였다(정일원, 2007; IPCC, 2007). 수자원 측면에서의 기후변화는 기온 증가에 따른 증발산량의 증가, 강수량의 강도 및 빈도 변화, 유

출량의 시공간적 변동을 초래하여 수자원의 효율적 관리 및 안정적인 공급에 어려움을 증대시키리라 예상된다(정일원, 2007). 특히, 우리나라의 경우 과거에 비해 유역의 건조현상이 날로 증가하고 있는 실정이어서(이주현과 이길재, 2006) 효율적인 물 관리 공급에 있어 어려움이 예상된다. 가뭄의 경우 그 진행속도가 느리고 진원지나 경로를 파악하기가 쉽지 않기 때문에 그에 대한 대책을 마련하기가 쉽지 않은 실정이다. 또한 가뭄은 국부적이기 보다는 광역적 범위에서 발생하기 때문에 공간적인 변동성을 파악하여 가뭄을 해석하는 것이 보다 효율적이거나 이에 대한 연구는 거의 전무하다. 다행히 최근 들어 수자원분야와 관련된 인공위성/항공기 관측이 빠르게 개발되고 있어 재해현상을 2차원/3차원적으로 해석하고 이에 대한 대책을 효과적으로 세우기 위한 활발한 연구가 진행 중에 있다(Schmugge et al., 2002). 원격탐사(Remote Sensing)는 대상체와의 직접적인 물리적 접촉없이 정보를 획득하

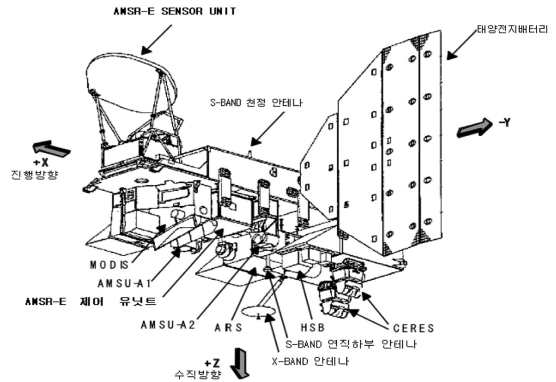
는 과학이라 정의할 수 있다 (Jensen, 2007). 수자원에 대한 원격탐사관련 연구는 주로 수문기상인자와 수문기상플렉스의 관측에 중점을 두고 있는데 주요한 수문기상관측인자로는 지표온도, 지표토양수분, 강설, 수질, 지표 거칠기, 그리고 토지피복도 등이며, 수문기상플렉스 인자로는 증발, 증산, 그리고 강설유출량 등이다. 본 연구에서는 이러한 주요인자중 홍수, 가뭄과 가장 밀접한 연관성을 가진 토양수분과 증발산 산정에 관한 인공위성 데이터의 활용에 대한 내용을 소개하고자 한다.

## 2. 인공위성 토양수분 알고리즘

아쿠아 (Aqua) 인공위성은 지구 시스템 변화에 작용하는 영향을 종합적으로 조사하는 미국의 지구관측위성으로서 2002년 발사되었다. 여기에 탑재된 여러 가지 관측장비를 통해 제공되는 대기 온도 및 강설과 강수, 토양수분 등의 데이터로 지구환경변동의 연구가 촉진 되는 것과 함께 수직 기상 예보의 개선에도 큰 역할을 하고 있다 (그림 1).

Advanced Microwave Scanning Radiometer-E (AMSR-E)는 아쿠아 (Aqua) 위성에 탑재된 수동 마이크로웨이브 복사계로 다양한 식생피복 조건하에서 토양수분을 측정하기 위한 현존하는 가장 유용한 기기로 6개의 다른 주파수에서 (6.9 GHz - 89 GHz) 측정할 수증기, 구름, 강수, 토양수분 등 주로 물에 관한 밝기온도 (Brightness Temperature,  $T_b$ ) 관측이 진행되고 있으며, 6개의 주파수 중 6.9 GHz (C band)와 10.7 GHz (X band)가 가장 유용하게 사용되어 진다. AMSR-E는 마이크로파를 사용하기 때문에 야간이나 구름이 있는 상황 등 기상조건에 관계없이 지표관측이 가능하다.

AMSR-E는 토양수분 산출알고리즘 (Retrieval Algorithm)에 의해 지표면 토양수분자료를 제공하고 있으며 (Njoku et al., 2003), 토양수분 산출 알고리즘은 관측된  $T_b$ 와 계산된  $T_b$ 를 상호 비교하는 마이크로웨이브 전도 알고리즘을 사용하며 반복 다중채널 역방향 알고리즘

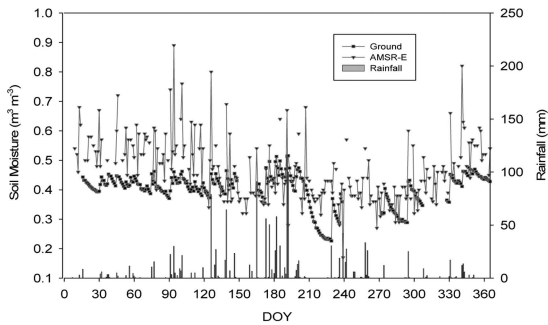


(그림 1) Aqua 인공위성(Japan Aerospace Exploration Agency, 2006)

에 근거하고 있다.

식생 수관 내의 마이크로파의 방출률은 식생에 의해 크게 영향을 받는다. 식생은 토양에서 반사되는 마이크로파를 흡수하거나 산란시키며, 또한 자기 자신의 마이크로파를 방출하기도 한다. 식생에 의해서 흡수되는 광선의 양은 마이크로파의 파장 길이와 식생의 흡수율에 의해 결정된다 (Njoku and Entekhabi, 1996).  $T_b$ 는 주로 토양에 함유되어 있는 수분함량과 식생에 포함되어있는 수분함량, 그리고 지표면 온도에 영향을 받는다.

이와 같은 토양수분 복원알고리즘에 의해 해남플렉스 관측 지점에서의 AMSR-E 토양수분의 시계열 분포는 그림 2에 나타내었다. 그림2에 나타난 관측토양수분과 AMSR-E 토양수분자료의 차이점은 크게 다음과 같은 이유에서 기인하였을 것으로 판단된다. 1) AMSR-E 토양수분 자료는 지표 하 2cm에서 관측되었으며 현장 관측 자료는 지표 하 10cm에서 관측된 자료이다. 2) AMSR-E 토양수분 자료의 공간해상도는 5-50km 인데 반하여 현장 관측 자료는 지점에서 관측되었다. 이와 같은 차이점에도 불구하고 강우사항에 대한 증가, 감소 현상을 잘 나타내고 있는 것으로 파악되며, 정규편차의 비교에서는 상당한 수준의 일치성을 나타내었다. 또 한가지 예로 광릉지점에서의 관측 수위 자료와의 관계 곡선 식을 그림 3에 나타내었는데, 관측 수위를 예측하기 위한 간단한 회귀곡선을 구축할 수 있었다.



〈그림 2〉 해남 플렉스 지점에서의 관측토양수분과 AMSR-E 토양수분 비교(2006년)

### 3. 인공위성 영상자료를 사용한 증발산 모형 -SEBS

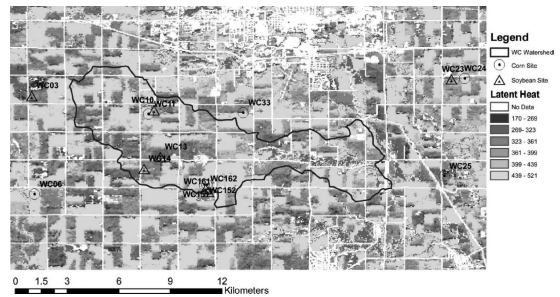
증발산은 대기와 지표간의 에너지교환을 물순환 과정으로 연계하는 주요한 에너지 흐름과정이며, 국토의 효율적인 수자원 평가 및 관리를 위해서는 주요 물순환 과정 중 하나인 증발산량을 정확히 예측할 필요가 있다(강신규 등, 2008). 지표면의 이질성과 열 교환 과정의 역동성으로 인하여 증발산은 시공간적으로 큰 변이를 보인다. 남한 전체를 대상으로 한 수자원 관리 측면을 고려한다면, 광역을 대상으로 신뢰할 만한 증발산 자료체계를 구축할 필요가 있는데, 이를 위해서 인공위성자료를 이용한 원격 탐사 기술은 큰 장점을 가지고 있다(Su, 2002; 강신규 등, 2008). 이러한 이유로 세계적으로 많은 증발산 모형들이 개발되어 원격 탐사 기술에 적용되어 왔다. 본고에서는 그 중에서 LANDSAT, MODIS, GOES, NLDAS 등 많은 종류의 인공위성 영상에 대한 적용성이 좋아 널리 사용되고 있는 Surface Energy Balance System (SEBS) 모형을 간략히 소개하고자 한다. Surface Energy Balance System (SEBS) 모형은 위성 영상자료와 기상관측자료를 순차적으로 에너지 수지식에 적용하여 격자 단위의 증발산량을 계산할 수 있도록 제작되었는데(Su, 2002 참조), 다음 식으로 최종적으로 도출해 낼 수 있다.

$$E_{daily} = 8.64 \times 10^7 \times (\lambda \cdot R_{ndaily} / \lambda_{0w})$$

(Su, 2002)

여기서  $E_{daily}$ 는 일일 실제 증발산량 ( $mmd^{-1}$ ),  $\lambda$ 는 순간 증발산량,  $\lambda_{0w}$ 는 증발로 인한 잠열 ( $JKg^{-1}$ ),  $\rho_w$ 는 물의 밀도 ( $Kgm^{-3}$ ),  $R_{ndaily}$ 는 일일 순 복사량이다.

SEBS 모형은 인공위성 종류에 따른 적용성이 좋아 보다 넓은 범위에 활용이 가능하며 다른 종류의 위성 이미지를 처리하여 산정된 증발산 지도와의 상호 분석을 통하여 보다 정확하고 높은 해상도를 가지는 증발산 지도의 제작이 용이하므로 우리나라의 실정에 맞는 모형이라고 할 수 있다. 그림 3은 Soil Moisture-Atmosphere Coupling Experiment (SMACEX) 프로젝트를 통해 얻어진 고품질의 지상관측자료와 SEBS 모형을 이용하여 미국 Iowa 주 Walnut Creek 유역을 대상으로 작성한 증발산 지도이다.



〈그림 3〉 미국 Iowa 주 Walnut Creek 유역의 SEBS 증발산 지도 (Su et al., 2005)

이와 같은 증발산 지도를 일정 시간 단위로 제작한다면 점 단위 증발산량을 산정하던 기존의 방법을 보완하여 정확성과 효율성이 높아진 양질의 증발산 데이터를 얻을 수 있게 된다. 또한 분포된 증발산의 통계분석을 통해 증발산의 시공간적 변동성을 분석할 수 있어 남한 전역을 대상으로 한 전반적인 수문 순환을 정확히 이해하는데 중요한 자료가 될 뿐만 아니라 이를 통하여 기후변화로 인한 홍수 가뭄 등의 극한사상에 대비한 수자원 관리 등 정책적인 측면에도 유용하게 활용할 수 있으리라 사료된다.

### 4. 결론

기후 변화는 이제 지구가 직면한 가장 중대한 환경문제

중 하나이며, 이에 효과적으로 대처하기 위하여 전 지구 규모의 수문 순환에 대한 정확한 이해가 필요하다. 수문 요소 중에서 가장 산정이 어려운 두 부분은 토양수분과 증발산의 산정이라고 할 수 있으며, 특히 시공간적 이질성으로 인한 대표성의 결여로 기존 방식으로는 광역 기반의 자료 구축은 어려운데, 이 점에 있어서 인공위성 영상 자료를 이용한 원격 탐사 기술은 큰 장점이 있다고 할 수 있다. 본고를 통하여 해외에서 유용하게 사용되고 있는 인공위성 영상자료를 기반으로 한 토양수분 복원 알고리즘 및 증발산 산정 모형을 살펴보았다. 우리나라의 경우 국토의 2/3 이 산림이라는 지형적 특성으로 인해 해외의 알고리즘을 그대로 적용하기 전에 해외의 기상 및 지형적 특성에 맞게 개발된 기존의 알고리즘을 검증하고 우리의 실정에 맞도록 수정, 개선해 나가는 작업이 반드시 선행되어야 하겠다.

### 참고문헌

- 강신규, 장근창, 이보라, 김소희 (2008) MODIS 위성자료를 이용한 증발산 지도 제작. 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단 기술보고서. TR 2008-13.
- 이주현, 이길재 (2006) 국가 가뭄관리 정보시스템 구축, 한국수자원학회지, Vol. 39, No. 3, pp 29-36.
- 정일원 (2007) 혼합상세화 기법을 적용한 국내 수자원의 기후변화 영향평가. 세종대학교 박사학위논문.
- 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.
- Japan Aerospace Exploration Agency (2006) AMSR-E Data Users Handbook, 4<sup>th</sup> ed. NCX-030021.
- Jensen, J.R. (2007) Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. 2<sup>nd</sup> ed. Pearson Education, Inc.
- Njoku, E., and Entekhabi, D. (1996) Passive microwave remote sensing of soil moisture, *J. Hydrol.*, Vol. 184, pp. 101-129.
- Njoku, E.G., Jackson, T.J., Lakshmi, V., Chan, T.K., and Nghiem, S.V. (2003) Soil moisture retrieval from AMSR-E. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, Vol. 41, No. 2, pp. 215-229.
- Schmugge, T.J., Kustas, W.P., Ritchie, J.C., Jackson, T.J., and Rango, A. (2002) Remote sensing in hydrology. *Adv. Wat. Res.*, Vol. 25, pp. 1367-1385.
- Su, Z. (2002) The surface energy balance system (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes, *Hydrol. Earth Sys. Sci.*, Vol. 6, No. 1, pp. 85-99.
- Su, H., McCabe, M. F., Wood, E. F., Su, Z. and Prueger, J. (2005) Modeling evapotranspiration during SMACEX: comparing two approaches for local and regional scale prediction. *J. Hydrometeo.*, Vol. 6, No. 6, pp. 910~922.