

# 생태수문 변화에 따른 토양수분의 영향 분석

허 유 미\* / 최 민 하\*\*+ / 김 현 우\*\*\* / 김 상 단\*\*\*\* / 안 재 현\*\*\*\*\*

## Analysis of soil moisture response due to Eco-hydrological change

Hur, Yoomi / Choi, Minha+ / Kim, Hyun woo / Kim, Sangdan / Ahn, Jaehyeon

**요약 :** 본 연구는 기후변화의 영향을 받아 달라질 것으로 예상되는 식생의 분포가 수문인자인 토양수분에 어떠한 변화를 야기하는지 규명하고자 하는데 있다. 식생인자와 수문기상인자와의 시공간적 상관관계를 알아보기 위해 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 다중분광센서로 스캔한 위성 이미지 데이터를 연구에 적용하였으며, 식생인자는 MODIS 13 Vegetation Indices Product에서 추출한 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)를 이용하였다. 식생인자와 토양수분의 상관관계를 분석하기 위해 농업기상정보시스템 (Rural Development Administration) 에서 측정한 국내 4개 지점의 토양수분 Data 및 Aqua 위성에 탑재된 Advanced Microwave Scanning Radiometer E (AMSR-E)를 이용하여 측정된 토양수분과 MODIS 13 NDVI를 비교 분석하였다. 식생인자와 수문기상인자의 시계열 자료를 이용하여 각 지점에 대한 인자가 시간의 경과에 따라 변화하는 양상을 알아내고자 하였으며 추가적으로 토양수분과 식생이 서로 일정한 시차를 두고 연관이 있을 것이라는 가정 하에 상관 분석을 수행하였다. 그리하여 토양수분에 일정한 시차 (5일, 10일, 15일)를 주는 Time lag을 통한 상관분석을 시행한 결과 시차를 고려하지 않은 상관분석에서 보다 토양수분과 NDVI의 상관관계가 높게 나타났으며, 또한 토성에 따라 그 상관관계의 양상이 다르게 나타났다. 이러한 결과를 통해 식생인자가 수문인자에 어떠한 영향을 주는지 다양한 스케일 별로 이해하는 데 도움이 될 것이다.

**핵심용어 :** 식생, 토양수분, AMSR-E, MODIS, NDVI

**Abstract :** The main objective of this study is to estimate of the vegetation response induced by climate change to soil moisture. We investigated a relationship between vegetation activity and climate variables using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)-retrieved Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and soil moisture. NDVI which extracted from MODIS 13 Vegetation Indices Product was considered as an useful parameter to figure out a relationship with two types of soil moisture, which were observed at Rural Development Administration sites and estimated from Advanced Microwave Scanning Radiometer E (AMSR-E) satellite imagery. The correlation of MODIS-NDVI and ground measured soil moisture were observed, became much stronger when compared to soil moisture values with time lag (5days, 10days, 15days). The correlation patterns between NDVI and soil moisture with different time lag were related to soil texture. The results from this study will be useful to understand the role of vegetation in water balance control in various scales from regional to global climate change.

**Keywords :** Vegetation, Soil Moisture, AMSR-E, MODIS, NDVI

### 1. 서 론

기후 변화는 21세기 온 인류가 직면한 가장

중요한 사회 환경문제 중 하나로 이제 더 이상 추상적인 이론이 아니라 우리가 당장 맞닥뜨려야 할 사실이다 (Adger *et al.*, 2005). 기후변화에

+ Corresponding author : mchoi@hanyang.ac.kr  
\* 한양대학교 건설환경공학과 석사과정 · E-mail : youm1030@hanyang.ac.kr  
\*\* 한양대학교 건설환경공학과 조교수 · 공학박사 · E-mail : mchoi@hanyang.ac.kr  
\*\*\* 한양대학교 건설환경공학과 연구교수 · 이학박사 · E-mail : k4ecohydro@hanyang.ac.kr  
\*\*\*\* 부경대학교 환경해양대학 환경공학과 부교수 · 공학박사 · E-mail : skim@pknu.ac.kr  
\*\*\*\*\* 서경대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사 · E-mail : wrt@skuniv.ac.kr

관한 정부 간 협의체 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 4차 보고서에서는 21세기말 지구의 평균기온이 최대 6.3 °C 까지 더 상승할 것으로 보고하였으며, 지구 평균기온이 3.0 °C 오를 경우 아시아에서만 연간 700만 명이상이 홍수피해 위기에 직면하리라 예상했다 (정일원, 2008; IPCC, 2007). 실제로 최근 들어 홍수나 가뭄, 혹서 등과 같은 극한기후사상에 의한 피해도 전 세계적으로 급증하고 있다. 프랑스의 경우 기상관측 이래 최악의 혹서로 2003년 8월 한달간 전국적으로 15000명 이상이 사망하였으며 (Notre planete, 2010), 2004년 12월 동남아시아에서 발생한 쓰나미, 2005년 미국 남동부해안을 강타한 허리케인 카트리나 등이 대표적인 예라 할 수 있다 (이주헌과 이길재, 2006).

이러한 기후 변화를 고려한다면 수자원 관리 측면에서 우리나라는 약 18억 톤의 물 부족이 예상되고 있으며, 기후변화 또한 이러한 수자원 확보에 대한 불안감을 더욱 증가 시킬 것으로 전망되고 있다 (배덕효, 2009). 우리나라의 연평균 강수량은 1,245 mm로 세계 평균 강수량 (880 mm)에 비해 1.4배나 되지만, 1인당 강수량은 2,591 m<sup>3</sup>/year로 일본 (5,107 m<sup>3</sup>/year)의 51%, 세계 평균 (1만 9,635 m<sup>3</sup>/year)의 13% 수준에 불과하다. 또한 강수량의 계절별 편중으로 연 강수량의 2/3가 우기인 6~9월에 집중되어 여름철에는 홍수, 겨울과 봄에는 가뭄이 빈발하며 기후변화에 매우 취약한 특성을 지니고 있다. 이와 같은 현상은 앞으로 더욱 빠르게 진행될 것으로 분석 및 예측하고 있으며 이로 인하여 우리나라에도 다양한 영향을 끼칠 것으로 보고 있다. 기후변화로 인한 기온과 강수량의 시공간적 변화는 미래의 수문순환 과정을 지금까지와는 사뭇 다른 방향으로 변화시킬 수 있다고 보고된 바 있기 때문에 지표면의 수문학적 반응에 대한 영향을 이해하고 예측하는 것은 매우 중요한 문제이며 (Jackson *et al.*, 2001), 수문현상에 있어서 변화를 정확하게 이해하기 위해 지역의 고유한 수문 특성을 식별하거나 변화 정도를 감지/예측하는 것은 기후와 식생의 물이용 가능성의 연간

변동에 대한 식생 반응을 이해하는 매우 중요한 사항으로 부각된다.

기후변화로 야기되는 식생변화는 수문순환에 영향을 미치게 되는데 그 중에서도 증발산 및 토양수분에 가장 많은 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 우리나라를 대상으로 하여 기후변화로 인해 달라지는 식생 분포 특성이 수문순환과정 그 중 토양수분에 주는 영향을 분석하고자하며, 또한 기후변화로 인해 야기되는 생태환경변화가 수문기상 특성에 미치는 영향에 대하여 고찰해보고자 한다.

## 2. 연구 방법 및 절차

### 2.1 정규식생지수: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

식생지수는 원격탐사 기법을 이용하여 식물의 생물리학적 정보를 얻기 위하여 개발되었다 (채효석 외, 2006). 이는 원격 탐사 연구에서는 가장 오래된 도구 중 하나이며 (Glenn *et al.*, 2008), 생태수문 연구 분야에서 보편적으로 사용되어 지고 있는 생태환경 지수 중 하나이다.

본 연구를 위하여 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 인공위성 영상자료가 사용되었다. MODIS는 1999년과 2002년에 발사된 미항공우주국 (National Aeronautics and Space Administration, NASA)의 지구관측시스템 위성 (Earth Observation System, EOS)인 Terra와 Aqua에 탑재되어 있으며, 지구 표면과 대기 하층에서 발생하는 전 지구적인 생태계 변화 과정에 대한 정보를 연속적으로 획득할 수 있다. MODIS는 여러 가지 영상자료를 제공하고 있는데, 본 연구에서는 그 중에서 식생지수를 포함한 MODIS13 Vegetation Index Product를 사용하였다.

MODIS 13 Vegetation Index Product는 식생 구조와 생물기후학적, 생물리화학적 요소들의 변화를 계절별, 년별로 분석하는데 사용되며, 전 지구를 대상으로 1 km, 500 m, 250 m 등의 해상도

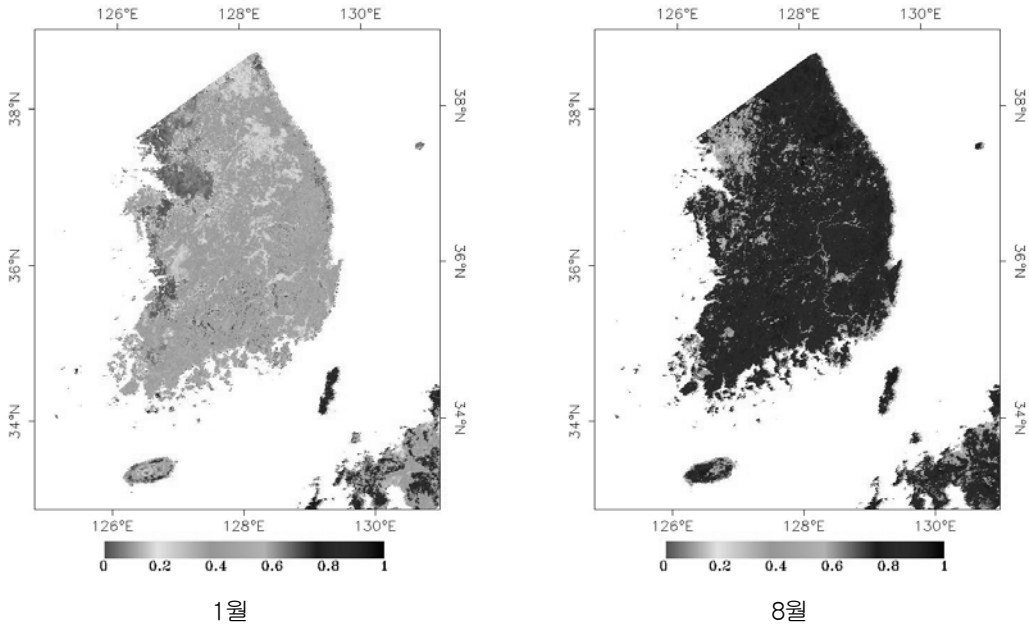


그림 1. 2004년 NDVI의 공간분포

자료를 16일 간격으로 제공한다. 본 연구에서는 시간해상도 16일, 공간해상도 1 km인 MOD13A2 Product가 사용되었으며 NDVI를 대상으로 토양수분과의 상관관계를 살펴보았다. NDVI는 지금까지 고안된 20여개의 식생지수 중 가장 널리 사용되어 왔는데 (Glenn *et al.*, 2008) 다음 식 (1)과 같이 계산하며, 그림 1과 같이 나타낸다.

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{red})}{(\rho_{NIR} + \rho_{red})} \quad (1)$$

여기서,  $\rho_{NIR}$ 은 근적외선 파장대,  $\rho_{red}$ 는 적색 영역 파장대의 반사도를 의미한다.

정규식생지수는 일반적으로 -1에서 1 사이의 값을 갖게 된다. 일반적으로 식물이 아닌 토지피복에서는 -1~0에 가까운 값을 가지며, 식물은 0~1 사이의 값을 갖게 되는데, 식물이 있는 지역 내에서도 식물의 양이 많거나 건강한 식물이 있는 지역에서 높은 값을 나타낸다. 그림 1은 2004년 남한 지역을 대상으로 정규식생지수의 변화를 도식화한 것으로, 계절별 지수의 분포가 일정하게 나타

남을 확인할 수 있다. 서울 등 대도시 지역의 지수 분포는 최소값에 근접한 작은 값을 나타내고 있으며, 이는 산지 및 농지로 이동함에 따라 증가하게 된다. 계절별로 1월 (겨울)에 0~0.4, 8월 (여름)에 0.4~0.9의 정규식생지수 분포를 보임으로써 시간 및 계절에 따른 식생분포의 변화가 뚜렷함을 확인할 수 있다.

## 2.2 대상지역

토양수분의 경우 현재 우리나라에서는 농업기상 정보시스템 (Rural Development Administration, RDA)에서 약 60개 지역에 대해 10cm 깊이에서 측정된 토양수분 값을 얻을 수 있다. 이는 각 지역마다 한 시간 간격으로 관측된 값이며, 기간의 차이는 있지만 대부분 2004년부터 2008년까지의 토양수분 측정값을 나타내고 있다. 약 60개 지역 중 결측값이 미비하고 분포가 고른 4개 지역 군위, 논산, 안동을 선택하였다 (그림 2). 각 지역은 초지로 이루어져 있고 양토와 사양토로 구성되어있다 (표 1).

표 1. 대상지역 정보

지역	고도 (m)	위도	경도	토성	토지피복
군위	130	36° 10'48"	128° 34'48"	사양토	초지
논산	38	36° 21'00"	127° 13'48"	양토	초지
안동	129	36° 31'48"	128° 48'00"	사양토	초지
청송	233	36° 22'48"	128° 27'00"	양토	초지



그림 2. 대상지역

### 2.3 토양수분 (Soil Moisture)

토양수분은 토양 입자나 공극사이에 존재하는 수분을 말하며 지표면과 대기중의 물과 에너지의 교환 및 수문 순환에 결정적인 역할을 하는 수문 기상 인자이다. 이는 증발과 증산을 통하여 대기와의 상호작용을 하며 강우에서 유출, 침투, 지면저류를 결정 하는 등 (Pachepsky *et al.*, 2003; Choi *et al.*, 2008) 기후학적인 측면에서도 강수의 패턴과 증발량의 변화에서도 달라진다. 이러한 토양수분 상태를 고려해보면 에너지 방정식 계의 태양에 의한 heat flux이며 전 지구학 적인 수문 현상에서

지표면의 알베도 및 지표복사에너지와의 관계가 깊을 뿐만 아니라 물 순환과 밀접한 관계가 있다. 이렇듯 토양수분이 중요함에도 불구하고 우리나라의 경우 이에 대한 실측 및 데이터베이스 구축, 그리고 활용성에 대한 수문학적 접근도 거의 이루어지지 않고 있으며, 이루어지고 있다 하더라도 장비의 노후화와 결함으로 데이터의 값이 정확하지 않아 신뢰성이 부족한 실정이다 (김광섭 외, 2009). 그러나 최근 들어, 위성과 항공관측 기술의 발달로 인하여 대규모 지역에서 토양수분이 관측되어 오고 있으며 특히, 2002년에 발사된 Aqua 위성에 탑재된 Advanced Microwave Scanning Radiometer E (AMSR-E) 복사계를 이용하여 5-50 km 격자스케일에서 일단위의 토양수분이 관측되어지고 있다 (Njoku *et al.*, 2003). 그러므로 본 연구에서는 이를 이용하여 토양수분의 시공간적 변화양상 등 이에 따른 수문학적 특성을 분석하고 파악하였으며, 식생지수 및 강우의 변화에 의한 토양수분의 영향을 파악하였다.

### 2.4 Advanced Microwave Scanning Radiometer E (AMSR-E)

Advanced Microwave Scanning Radiometer E (AMSR-E)는 Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)에 의해 개발되고 2002년 5월 National Aeronautics and Space Administration (NASA)의해 Aqua 위성에 탑재되어 발사된 센서이다 (Bindlish *et al.*, 2006). 이는 구름을 투과하여 지표에서 토양수분을 측정하는 등 기상조건에

관계없이 토양수분을 관찰하고 있으며 (Njoku *et al.*, 2003), 6개의 다른 주파수 (6.9, 10.7, 18.7, 23.8, 36.5, 89 GHz)에서 밝기온도 (Brightness Temperature,  $T_b$ ) 를 측정하는 다중 채널 마이크로복사계이다. 그 중 6.9 GHz (C band)와 10.7 GHz (X band)가 가장 유용하게 사용되고 있으며, 토양수분 복원 알고리즘 (Retrieval Algorithm)에 의해 지표면 토양수분자료를 제공하고 있다 (Njoku *et al.*, 2003). AMSR-E는 1:30 pm (Ascending) 과 1:30 am (Desending)의 local solar time 자료를 각각 United States Department of Agriculture (USDA), Vrije Universiteit Amsterdam (VUA), National Aeronautics and Space Administration (NASA), Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)에서 제공하고 있으며, 본 연구에서는 VUA 에서 제공하고 있는 1:30 pm (Ascending) AMSR-E 토양수분 자료를 사용하였다.

토양수분 복원 알고리즘은 밝기 온도  $T_b$ 를 식 (2)와 같이 계산하여 관측 밝기 온도  $T_b$ 와 비교하는 마이크로웨이브 전도 알고리즘을 사용한다 (Njoku and Li, 1999; Njoku *et al.*, 2003).

$$T_b = T_s(1 - r_p)\exp(-\tau) + \quad (2)$$

$$T_c(1 - \omega_p)[1 - \exp(-\tau)][1 + r_p\exp(-\tau)]$$

$$\tau = b \cdot \omega_v / \cos\theta \quad (3)$$

$$r_p = [Q_v + (1 - Q)r_h]\exp(-h) \quad (4)$$

여기서,  $T_s$ 는 토양의 온도 (Soil Temperature),  $r_p$ 는 지표토양반사도 (Soil reflectivity),  $\tau$ 는 식생 불투명도 (vegetation opacity),  $\omega_p$ 는 식생분산알베도 (Vegetation Single Scattering Albedo),  $b$ 는 식생함수 (Vegetation Type),  $\omega_c$ 는 식생의 수분함량 (Vegetation Water Content),  $\theta$ 는 입사각 (Incidence Angle)이다. 식 (4)는 지표토양반사도  $r_p$  산정에 있어 Wang and Choudhury (1981)에 제안된 semi-empirical이 사용되어지며,  $r_v$ 와  $r_h$ 는

수직방향과 수평방향에서의 편광반사 인자,  $h$ 는 식생에 관한 인자이다. 이와 같은 토양수분 복원 알고리즘에 의해 산정된 AMSR-E 토양수분의 공간적인 분포는 그림 3과 같다.

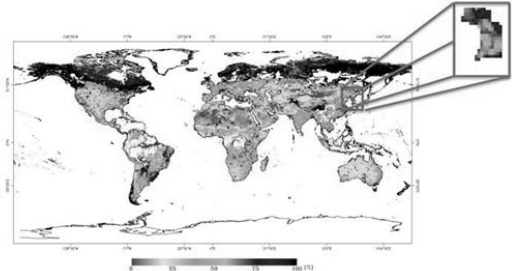


그림 3. 토양수분 복원 알고리즘에 의해 산정된 2007년 8월 토양수분 지도

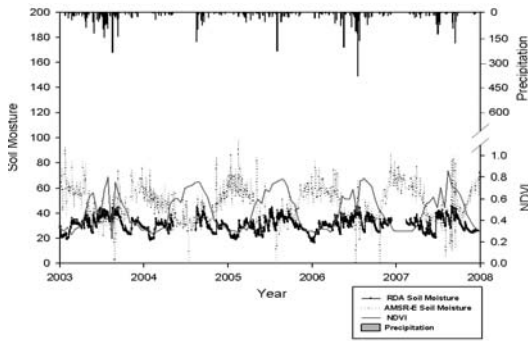
## 2.5 연구 절차

생태수문 변화에 따른 토양수분의 영향을 분석하기 위하여 현장 관측 자료인 RDA 토양수분 data와 위성 자료인 AMSR-E 토양수분 data를 사용하였다. RDA 토양수분은 한 시간 간격으로 관측되고 있어 AMSR-E의 Ascending (1:30 pm) 자료와 측정 시간이 다르다. 그리하여 RDA와 AMSR-E 토양수분 data의 시간간격을 일치시키기 위하여 RDA에서 제공받은 1:00 pm과 2:00 pm의 토양수분 data를 평균하였다. 또한, MODIS는 매일 10:30 am (Descending)과 1:30 pm (Ascending)에 적도를 통과 하며(<http://modis.gsfc.nasa.gov/>), 토양수분과 서로 다른 시간 간격을 가지고 있다. 이처럼 NDVI는 16일 단위로 관측되고 토양수분은 매일 관측되어 이를 일치시키기 위하여 NDVI가 추출된 그 날의 토양수분 data를 사용하여 상관성을 분석하였다.

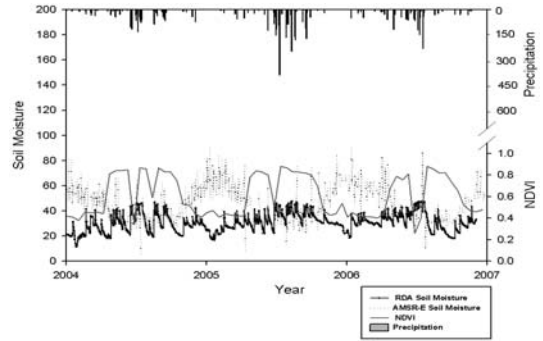
## 3. 결 과

### 3.1 MODIS NDVI와 토양수분의 시간분포

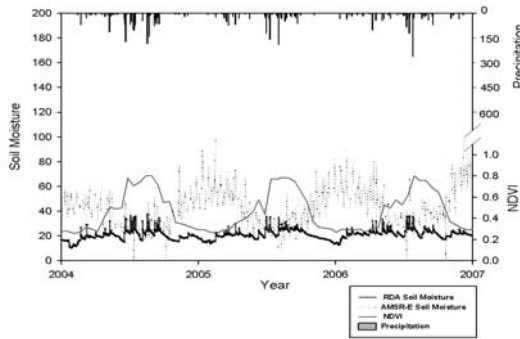
그림 4는 RDA 현장 관측 토양수분과 VUA AMSR-E 토양수분을 MODIS NDVI와 함께 나타



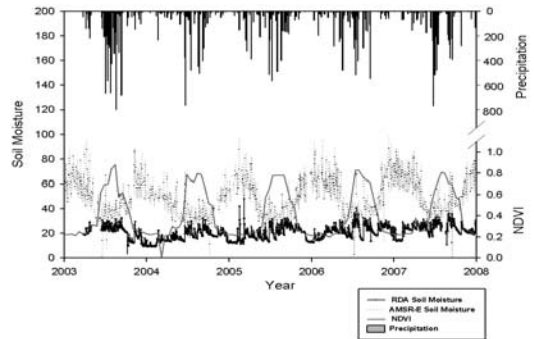
군 위



논 산



안 동



청 송

그림 4. RDA와 VUA AMSR-E 토양수분과 MODIS NDVI

낸 것으로 생장기 (growing season)에는 강우사상에 대해 증가 · 감소 현상을 잘 나타내고 있는 것으로 파악되며, RDA 현장 관측 토양수분 값과 MODIS NDVI의 경향은 거의 같은 것으로 나타났다. 그에 반면, VUA AMSR-E 토양수분의 경우 비교적 추운기간인 봄과 겨울에 토양이 동결 (Frozen Soil)되어 부정확한 토양수분 값을 산정하고, 높은 시간의 변동성을 나타내는 것으로 파악된다. 그러므로 이 시기에는 VUA AMSR-E와 RDA 토양수분간의 많은 오차가 나는 것을 확인할 수 있고, 여름기간에는 비교적 강수량에 대한 토양수분의 변화량이 잘 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그리하여 16일 간격의 MODIS NDVI와 RDA 현장 관측 토양수분과 VUA AMSR-E 토양수분간의 관계 비교를 강우사상에 대한 증가 · 감소현상이 잘 맞는 growing 기간 (5~9월)만 시행

하였다 (그림 5). 그림 5를 살펴보면 지역적으로 약간의 차이를 보이지만, RDA 현장 관측 토양수분 값은 VUA AMSR-E 토양수분보다 MODIS NDVI와 높은 상관관계를 나타내고 있으며, 이는 MODIS NDVI가 1 km의 스케일, RDA 토양수분이 point 스케일, VUA AMSR-E 토양수분이 25 km의 스케일과 같이 각각의 다른 공간적 스케일을 지니고 있어 이 같은 상관관계나 나타난다고 판단된다. 뿐만 아니라 RDA 현장 관측 토양수분의 측정 깊이는 10 cm, VUA AMSR-E 토양수분은 비교적 얇은 2 cm 깊이에서 값을 측정하였기 때문에 이 같은 결과가 나타나는 것으로 판단되고, 각 지역의 토성이 다르기 때문에 식생의 변화가 토양수분에 미치는 영향이 각 지역마다 차이가 있을 것이라고 사료된다.

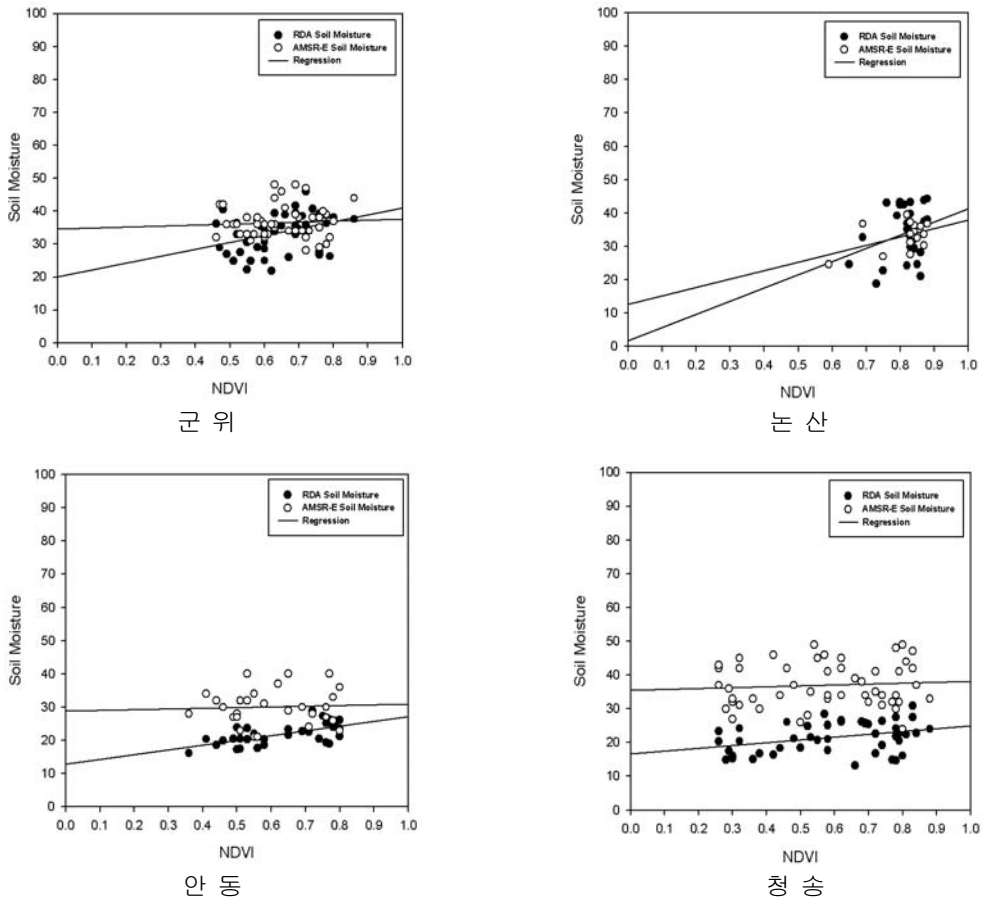


그림 5. RDA · VUA AMSR-E 토양수분과 MODIS NDVI의 상관관계

이처럼 서로 다른 공간적 스케일, 측정 깊이의 차이 및 토성을 가진 지역의 토양수분과 NDVI를 비교한 결과가 비교적 낮은 상관관계를 보이므로 보다 정확한 이들과의 관계를 유추하기 위해 5일, 10일, 15일 Time lag를 시행하였다. 토양수분의 거동에 따라 식생 변화가 야기되기 때문에, 토양 안에 수분이 많아지면 어느 정도 시간이 지난 후에 NDVI값이 커질 것이고 수분이 적으면 NDVI값이 적어질 것이다 (Wang *et al.*, 2007). 이처럼 예상되는 결과를 바탕으로 토양수분 (RDA · VUA AMSR-E)과 MODIS NDVI의 Time lag을 시행하였으며, 결과를 다음과 같이 나타내었다.

### 3.2 MODIS NDVI와 토양수분의 Time lag

표 2는 토양수분과 MODIS NDVI의 Time lag을 시행한 결과이다. 군위와 안동지역은 토양의 공극이 양토에 비해 비교적 큰 사양토 지역이다. 이들 지역의 토양수분 값을 5일 앞당겨서 비교했을 때 다른 기간 (10일, 15일)에 비해 상관관계가 높게 나타났으며, 토양수분이 NDVI에 미치는 영향이 빠르게 나타나는 것으로 판단된다.

논산, 청송 지역은 10일의 시차를 주었을 때의 상관관계가 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 이 지역들은 입단의 크기별로 38.5%의 모래, 31.5%의 미사, 그리고 30%의 점토로 구성되어 있는 () 양토로 이루어져 있다. 양토는 많은 점토를 함유하고 있어 토양 입자의 공극 이 다른 토양의 비례 조밀하여, 입자 사이에 수분이 흡수되는 시간이 느려

표 2. RDA · AMSR-E 토양수분과 MODIS NDVI의 Time lag을 고려한 상관관계

( $y = \text{Soil Moisture}$ ,  $x = \text{NDVI}$ ), (\*\* :  $\alpha > 0.01$ , \* :  $\alpha > 0.05$ )

Sites	RDA Soil Moisture				AMSR-E Soil Moisture			
	0day	5day	10day	15day	0day	5day	10day	15day
	r	r	r	r	r	r	r	r
군 위	0.37**	0.40	0.44*	0.24	0.06	0.22	0.14	0.36*
논 산	0.28	0.04	0.42	0.36	0.39	0.20	0.57	0.17
안 동	0.62**	0.66	0.52	0.03	0.001	0.07	-	0.14
청 송	0.35**	0.33*	0.33*	0.10	0.08	0.17	0.26	0.06

질 것이다. 이로 인하여 사양토에 비해 식생에 대한 토양수분의 변화가 느린 것으로 분석된다.

토양수분 (RDA · VUA AMSR-E)과 MODIS NDVI의 15일간 Time lag을 시행한 결과, 앞서 시행하여 얻은 결과보다 낮은 상관관계를 보였다. 하지만, 5일, 10일, 토양수분 (RDA · VUA AMSR-E)과 MODIS NDVI의 Time lag을 시행한 결과가 Time lag을 시행하지 않았을 때보다 상관성이 높음을 확인 할 수 있었고, 각각의 토성이 NDVI의 변화에 따른 토양수분의 변화에 깊은 상관성이 있음을 파악할 수 있었다. 그러나 이들의 공간적 스케일이 각각 다르고, 토양수분을 측정하는 깊이의 차이가 있기 때문에 앞으로 이를 고려하여 분석한다면 좀 더 명확한 식생 변화에 따른 토양수분의 관계를 규명할 수 있을 것이다.

#### 4. 결 론

식생의 시공간적인 변화가 토양수분에 미치는 영향을 분석하기 위하여 농업기상정보시스템 (RDA)에서 관측된 토양수분 자료와 VUA AMSR-E에서 추출된 토양수분자료를 MODIS13에서 산정된 NDVI 자료를 활용하여 비교 분석하였다. 지상과 위성에서 관측토양수분 자료와 MODIS NDVI 자료는 생장기에서는 증가, 감소 현상이 일치하는 것으로 파악되었다. 또한 전 시간구간에 대해서는 현장 관측 자료인 RDA토양수분 자료와 MODIS NDVI의 경향은 비슷하게 나타남을 알 수 있었다. 이에 좀 더 정확한 NDVI 변

화에 따른 토양수분의 변화를 규명하고자 5일, 10일, 15일 간격으로 Time lag을 시행한 결과 RDA 현장 관측토양수분 값은 Time lag이 10일 일 때 상관성이 비교적 높게 나왔으며, VUA AMSR-E 경우 Time lag이 5일 일 때 상관성이 높게 나타남을 볼 수 있었다. RDA에서 제공하는 토양수분의 경우 10cm 깊이에서 측정된 값이며, VUA AMSR-E에서 제공하는 토양수분의 경우 2cm깊이 즉, 지표에서 측정된 값이다. VUA AMSR-E 토양수분 값은 RDA 토양수분 보다 얇은 토심에서 측정되기 때문에 비교적 빠른 5일 일 때 Time lag에서 높은 상관관계를 보임을 알 수 있었다. 그러나 MODIS NDVI와, VUA AMSR-E 토양수분, 그리고 RDA 토양수분이 가지고 있는 공간적 스케일이 1km, 25km, Point지점으로 각각 다르고, 각 지역의 토성 및 토지 피복도가 다르기 때문에 추후 이를 보완하여 연구한다면 보다 명확한 식생변화에 따른 토양수분의 변화의 관계를 규명 할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2010년도 IHP 연구사업의 재원으로 지원을 받아 수행된 연구입니다.

#### 참 고 문 헌

농업기상정보시스템 (<http://weather.rda.go.kr/>)  
 MODIS (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>)



- 김광섭, 김종필, 박한균. 2009. 기상관측자료와 위성영상자료를 연계한 토양수분 산정, 대한토목학회 2009년도 정기학술대회 논문집. pp 3439-3442.
- 배덕효. 2009. 기후변화에 따른 수자원 영향평가 및 적응대책. 국토연구원. pp 34-45.
- 이주현, 이길재. 2006. 국가 가뭄관리 정보시스템 구축. 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 39 (3): 29-36.
- 정일원. 2008. 혼합 상세화 기법을 적용한 국내 수자원의 기후변화 영향평가. 박사학위논문, 세종대학교.
- 채효석, 김광은, 김성준, 김영섭, 이규성, 조기성, 조명희. 2009. 환경원격탐사, 시그마프레스.
- Adger WN, Arnell NW, Tompkins EL, 2005. Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change* 15: 77-86.
- Bindlish R, Jackson T, Gasiewski A, Klein M, Njoku E. 2006 Soil moisture mapping and AMSR-E validation using the PSR in SMEX02. *Remote Sensing of Environment* 103: 127-139.
- Choi M, Jacobs JM, Kustas WP. 2008. Assessment of clear and cloudy sky parameterizations for daily downwelling longwave radiation over different land surfaces in Florida, USA. *Geophysical Research Letters* 35: L20402, DOI: 10.1029/2008GL035731.
- Choi M, Lee S, Kwon H. 2010. Understanding of Common Land Model (CLM) performance for water and energy fluxes in farmland during a growing season in Korea. *Hydrological Processes* 24: 1063-1071.
- Glenn EP, Huete AR, Nagler PL, Nelson SG. 2008. Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors* 8: 2136-2160.
- Jackson RB, Carpenter SR, Dahm CN, McKnight DM, Naiman RJ, Postel SL, Running SW. 2001. Water in a changing world. *Ecological Applications* 11: 1027-1045.
- Njoku E, Li L. 1999. Retrieval of land surface parameters using passive microwave measurements at 6-18 GHz. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 37: 79-93.
- Njoku EG, Jackson TJ, Lakshmi V., Chan TK, Nghiem SV. 2003. Soil Moisture Retrieval From AMSR-E. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41: 215-229.
- Notre planete Canicule en France: 15000 morts. Notre planete. 2010.([http://www.notre-planete.info/actualites/actu\\_238\\_canicule\\_France\\_15000\\_morts.php/](http://www.notre-planete.info/actualites/actu_238_canicule_France_15000_morts.php/))
- Porporato A, Laio F, Ridolfi L. Rodriguez-Iturbe I. 2001. Plants in water-controlled ecosystems: Active role in hydrologic processes and response to water stress. III. Vegetation water stress. *Advanced in Water Resources* 24: 725-744.

- 논문접수일 : 2010년 12월 30일
- 심사의뢰일 : 2011년 01월 04일
- 심사완료일 : 2011년 06월 22일