



MODIS 이미지를 이용한 지표특성에 따른 토양수분의 시·공간적 분포 특성

Characteristics of Soil Moisture Distributions at the Spatio-Temporal Scales Based on the Land Surface Features Using MODIS Images

김상우* · 신용철*[†] · 이태화* · 이상호* · 최경숙* · 박윤식** · 임경재*** · 김종건****

Kim, Sangwoo · Shin, Yongchul · Lee, Taehwa · Lee, Sang-Ho · Choi, Kyung-Sook · Park, Younshik · Lim, Kyoungjae · Kim, Jonggun

Abstract

In this study, we analyzed the impacts of land surface characteristics on spatially and temporally distributed soil moisture values at the Yongdam and Soyang-river dam watersheds in 2014 and 2015. The soil moisture, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and temperature values at the spatio-temporal scales were estimated using satellite-based MODIS (MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer) products. Then the Pearson correlations between soil moisture and land surface characteristics (NDVI, temperature and DEM-digital elevation model) were estimated and analyzed, respectively. Overall, the monthly soil moisture values at the time step were highly influenced by the precipitation amounts. Also, the results showed that the soil moisture has the strong correlation with DEM while the temperature was inversely correlated with the soil moisture. However the monthly correlations between NDVI and soil moisture were highly varied along the time step. These findings indicated that water loss near the land surface are highly occurred by soil and plant activities as evapotranspiration and infiltration during the no/less precipitation period. But the high precipitation amounts reduce the impacts of land surface characteristics because of saturated condition of land surface. Thus these results demonstrated that soil moisture values are highly correlated with land surface characteristics. Our findings can be useful for water resources/environmental management, agricultural drought, etc.

Keywords: Soil moisture, MODIS, Precipitation, DEM, NDVI, Temperature

1. 서론

전 세계적으로 기후변화로 인한 수문순환의 변동성이 증가하며 최근 물 관련 재해(홍수, 태풍, 가뭄, 폭염, 폭설, 수질 오염 등)의 발생 빈도 및 피해가 지속적으로 증가하는 추세이다(IPCC, 2014). 홍수, 가뭄 등의 물 관련 재해에 효율적으로 대응 및 대비하기 위해서는 시·공간적으로 변화하는 수자원(강우, 지표수, 지하수, 토양수분, 저수지, 댐 등) 변동성의 준·실시간 관측이 필요하다. 토양수분은 지표면에서 발생하는

물 순환을 연구하는데 있어서 매우 중요한 수문 인자이며, 특히 날씨예측, 기후변동 및 변화 예측, 수문 분석, 수자원 관리, 농업 생산성 예측, 가뭄, 홍수 등 다양한 응용분야에서 직·간접적으로 사용되고 있다.

일반적으로 토양수분측정은 직접 및 간접방법으로 구분한다. 직접방법은 TDR (Time Domain Reflectometry) 장비를 이용하여 현장에서 토양수분을 측정하며 정확도가 매우 높은 장점이 있지만, 공간적인 분포를 나타내지 못하는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 항공기 및 인공위성을 이용하여 지표면의 공간적으로 분포되어 있는 토양수분을 관측하는 간접방법이 제시되었다. 최근까지 미국, 유럽, 일본 등의 선진국에서는 AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System, Njoku, 2008), SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity, Kerr, Yann H., et al., 2001), SENTINEL (2008) 등 다양한 인공위성을 이용하여 지표면의 토양수분의 시·공간적 분포를 관측하고 있다. 최근 미 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA)은 2014년에 토양수분전용위성(Soil Moisture Active & Passive, SMAP)을 발사하였으며, L-band radar/radiometer 센서를 탑재한 SMAP 위성은 radar 기반의 3 km 고해상도의 토양수분(0~5 cm) 및 radiometer 기반의 40 km 저해상도에서

* Department of Agricultural Civil Engineering, Kyungpook National University

** Department of Rural Construction Engineering, Kongju National University

*** Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

**** Institute of Agriculture and Life Science, Kangwon National University

† Corresponding author

Tel.: +82-53-950-5734 Fax: +82-53-950-6752

E-mail: ycshin@knu.ac.kr

Received: August 22, 2017

Revised: September 20, 2017

Accepted: September 20, 2017

토양수분(0~5 cm)을 제공하며 combined radar 및 radiometer 를 연계하여 9 km 중해상도에서 전 세계를 약 56시간 간격으로 지표 토양수분(0~5 cm)을 관측하고 있다.

인공위성 기반의 간접적인 방법은 시·공간적으로 연속적인 토양수분 이미지를 제공하는 장점이 있지만, 공간적인 해상도(>25~40 km)가 낮은 단점이 있다(Engman, 1991; Entekhabi et al., 1999; Shin and Mohanty, 2013; Shin et al., 2016). 이러한 공간해상도의 문제점을 해결하기 위하여 다양한 상세화 기법에 관한 연구가 수행되었다(Crow et al., 2000; Kerr et al., 2001; Merlin et al., 2005, 2012; Shin and Mohanty, 2013; Ines et al., 2013). 또한 국내에서는 Shin et al. (2016)이 LANDSAT (<https://landsat.usgs.gov/>) 및 MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer, <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/>) 이미지와 경험식(Scott et al., 2003)을 이용하여 중(500 m × 500 m)·고해상도(30 m × 30 m) 토양수분 이미지를 산정하였다. 지표면에서의 토양수분은 지표특성(피복, 토양특성, 지형 등)에 크게 영향을 받는다(Shin et al., 2012). 그러나 현재까지 지표피복의 시·공간적 변화 특성이 토양수분에 미치는 영향에 관한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 원격탐사된 MODIS 이미지 자료를 활용하여 지표특성과 토양수분을 산정하였으며, 지표특성이 토양수분에 미치는 영향을 시·공간적으로 분석하였다. 연구 목적은 1) 시·공간적으로 연속적인 토양수분 산정 및 2) 지표 특성의 시·공간적 변화가 토양수분에 미치는 영향을 월별로 분석하였다. 본 연구결과는 수자원관리, 농업가뭄, 환경 등 다양한 분야에 기초자료로 효율적으로 이용될 수 있을 것이다.

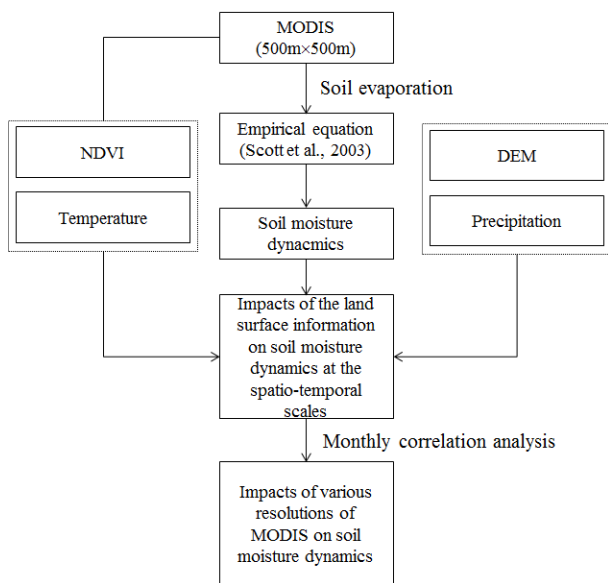


Fig. 1 Schematics of this study

II. 재료 및 연구방법

본 연구에서는 원격탐사된 MODIS (500 m × 500 m) 기반의 토양수분 이미지 자료를 이용하여 지표특성(지표피복, 온도 및 지형)이 토양수분의 시·공간적 분포특성에 미치는 영향을 분석하였다. 토양수분은 Scott et al. (2003)이 제안한 경험식을 MODIS 이미지 자료 기반 토양증발량에 적용하여 토양수분으로 변환하였다. 지표특성 정보는 MODIS 이미지 자료를 이용하여 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 및 지표온도를 산정하였으며, 지형정보(Digital Elevation Model, DEM)는 국토지리정보원에서 제공하는 DEM (30 m × 30 m)을 사용하였다. Fig. 1은 본 연구의 모식도를 나타낸다.

1. MODIS 기반 토양수분산정 및 정규식생지수 산정

Scott et al. (2003)이 제안한 경험식(공식 1)은 토양의 증발량과 실측된 토양수분의 관계를 도출하여 토양수분을 산정한다. 경험식을 MODIS (500 m × 500 m) 기반 토양의 증발량 이미지자료에 적용하여 시·공간적으로 분포되어 있는 토양수분을 산정하였다.

$$R_n = G + H + \lambda E \tag{1}$$

$$\lambda = \lambda E / (\lambda E + H)$$

$$\theta / \theta_{sat} = \exp(\lambda - a) / b$$

$$a = 1.0, b = 0.421$$

여기서 R_n : 지표 순복사량(net radiation, [W/m^2]), G : 토양의 열 이동(soil heat flux, [W/m^2]), H : 대기로 향하는 현열 이동(sensible heat flux, [W/m^2]), λE : 잠열 이동(물의 증발에 사용된 에너지, [W/m^2]), λ : 토양의 증발량(soil evaporation) 비율, θ : 토양수분($cm^3 cm^{-3}$), θ_{sat} : 포화 상태의 토양수분($cm^3 cm^{-3}$), 및 a,b : 곡선적합계수(curve-fitting parameters), 이다.

정규식생지수(NDVI)는 근적외선 및 적색파장을 이용하여 식생의 상대적 분포를 나타낼 수 있으며, 공식(2)를 사용하여 산정한다. 또한 지표온도는 MODIS에서 제공하는 온도 자료를 사용하였다.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \tag{2}$$

여기서, NIR : 근적외선 파장(Band 2 : 0.841~0.876 μm), RED : 가시광선 적색파장(Band 1 : 0.620~0.670 μm)이다.

2. 연구 구역 및 실험방법

본 연구에서는 금강 상류의 용담댐 유역과 소양강댐 유역을 대상 지역으로 선정하였다. 용담댐 유역은 북위 35°35'~36°00', 동경 127°20'~127°45'의 범위에 위치하고 있으며, 무주군, 진안군, 장수군을 포함한 충청남도, 전라북도, 경상남도의 경계에 걸쳐있다. 유역면적은 930 km²로 금강 유역면적의 약 9.5%를 차지하고 있으며, 대부분이 산지와 농업지역으로 각각 70% 및 21%를 차지하고 있다. 유역의 연평균 기온은 11.6 °C이며, 연평균 강수량은 1,362.3 mm이다 (Park et al., 2014). 소양강댐 유역은 소양강댐 수위관측소를 유역출구로 유역면적은 2,694.4 km²이며 한강 전체 유역면적 35,770.4 km²의 7.6%를 차지하며 유역둘레는 383.6 km, 유역평균 폭은 16.5 km, 유역평균표고는 650.5 m, 유역평균경사는 46.0%로 국내 북동부 산악지역에 위치해있으며 산림면적은 2,478.5 km²로서 유역면적의 92%에 이른다 (Shin, 2015). 소양강 유역의 겨울철 12~3월에는 시베리아에서 발달한 한랭하고 건조한 북서풍에 의해 매년 결빙된다. 여름철 6~8월에는 습하고 더운 남동풍 및 남서풍이 지배적이나 때때로 남태평양에서 발생한 폭우를 동반한 태풍으로 인해 홍수를 야기한다. 또한 연중 평균기온은 10 °C 내외이며 여름철 최고 기온은 40 °C 까지 올라가며 동계의 최저기온은 영하 30 °C 까지 내려간다. 강우의 계절적 분포는 약 60~70%가 여름철에 발생하고 있다. 본 연구에서는 용담댐 및 소양강댐 유역에서 산정된 토양수분 및 지표특성 (정규식생지수 및 온도) 자료들을 500 m × 500 m 해상도로 추출하였다. 지표특성이 토양수분에 미치는 영향을 분석하기 위하여 월별 상관성 분석을 실시하였다. 강

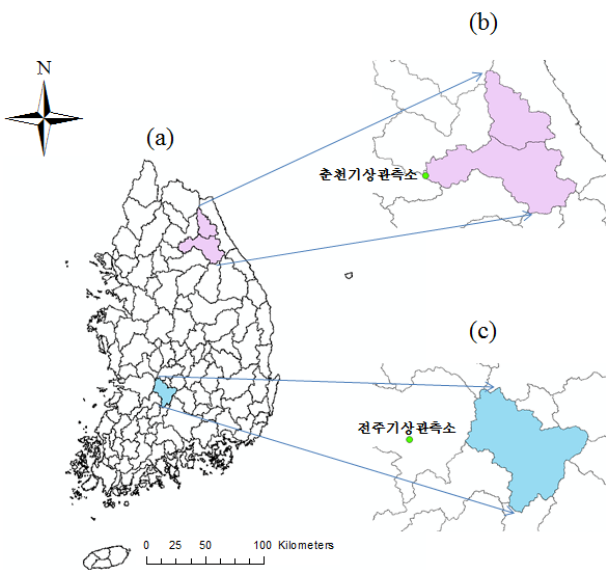


Fig. 2 (a) 남한, (b) 소양강댐 유역, (c) 용담댐 유역

우자료는 춘천 ASOS 관측소와 전주 ASOS 관측소에서 2014 및 2015년 일별 자료를 수집하였다. MODIS 기반의 토양수분 이미지 자료는 설마천과 청미천에서 수집된 실측 토양수분을 이용하여 보정하였다 (Shin et al., 2016).

지형자료는 국토지리정보원에서 제공하는 수치표고모델 (Digital Elevation Model, DEM)을 이용하였으며 (Fig. 3), 강수량은 기상청의 전주 및 춘천 종합기상관측소 (Automated Synoptic Observing System, ASOS)의 기상 자료를 이용하였다. MODIS는 1992년 12월 발사된 미국의 E05 M-1 (Terra) 위성과 2002년 3월 발사된 EOS PM-1 (Aqua) 위성에 탑재된 센서이다 (https://lpdaac.usgs.gov/data_access/data_pool). MODIS는 대기, 해양, 육지를 관측할 수 있는 센서로, 36가지 파장을 이용하여 전 지구의 지표 및 대기의 변화를 관측한다. MODIS의 공간 해상도의 경우 Band (1-7)은 500 m × 500 m 해상도 및 휘도온도의 경우 1 km × 1 km 해상도로 제공된다. 따라서 MODIS (1 km × 1 km) 온도자료와 DEM (30 m × 30 m) 자료를 500 m × 500 m 해상도로 변환하여 상관성 분석을 수행하였다. 본 연구에서는 위성자료의 결측으로 인하여 인제 상류 지역은 제외하였다. 또한 토양수분과 지표특성의 상관성 분석을 위하여 Peasons' 상관계수 (R)를 이용하였다 (공식 3).

$$R_t = \frac{\sum_{i=1}^I (x_{i,t} - \bar{x}_t)(y_{i,t} - \bar{y}_t)}{\sqrt{\sum_{i=1}^I (x_{i,t} - \bar{x}_t)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^I (y_{i,t} - \bar{y}_t)^2}} \quad (3)$$

여기서 x : 공간적으로 분포되어 있는 토양수분, \bar{x} : 공간적으로 분포되어 있는 토양수분 평균, i : I: 공간적으로 분포되어 있는 토양수분 이미지 (pixel) 총 개수, y : 공간적으로 분포되어 있는 지표특성 (정규식생지수, 온도 및 지형), \bar{y} : 공간적으로 분포되어 있는 지표특성 평균 및 t : 월별 (3~10) 시간을 나타낸다.

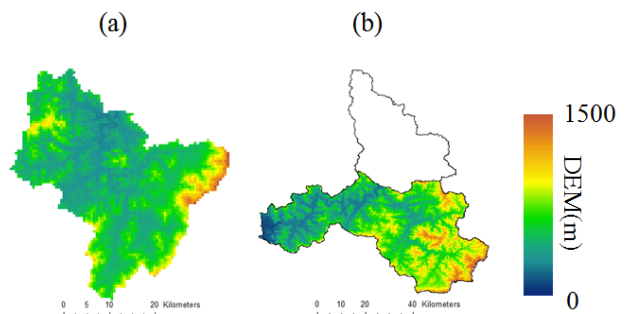


Fig. 3 2014년 MODIS 위성 자료 DEM; (a) 용담댐 유역 및 (b) 소양강댐 유역

III. 결과 및 고찰

1. MODIS 기반 토양수분 산정

토양수분과 지표특성의 상관성 분석을 위하여 용담댐 및 소양강댐의 MODIS 위성 자료 기반의 토양수분과 지표특성(정규식생지수 및 온도)을 산정하였다. Fig. 4는 용담댐과 소양강댐 유역의 2014 및 2015년 월별 강수량을 나타낸다. 2014년의 경우 소양강댐의 총 강수량은 705 mm로 용담댐(1,181 mm)과 비교하여 매우 적은 것으로 나타났다. 2015년의 경우 용담댐 유역에서는 월별 강수량이 균등하게 발생한 것과 비

교하여 소양강댐 유역에서는 4, 7, 8 및 11월을 제외하고는 매우 적은양의 강수량이 발생하였다. 전체적으로 소양강댐 유역의 가뭄정도가 용담댐 유역과 비교하여 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

Fig. 5와 Fig. 6은 2014년 용담댐 및 소양강댐 유역의 월평균 정규식생지수(500 m × 500 m)를 나타낸다. 용담댐 유역의 정규식생지수의 경우 여름철 식생의 생장이 활발하기 때문에 봄, 가을철에 비해 정규식생지수가 높게 나타났다. 일부 지형이 낮은 강, 도심 등 지형 및 지표특성에 따라서 정규식생지수 공간적 분포의 차이가 발생하는 것으로 나타났으며, 전

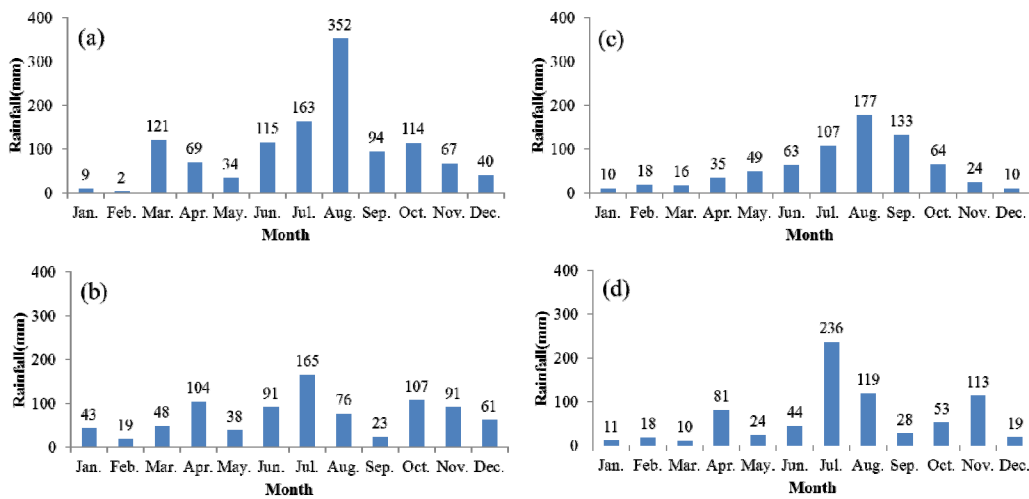


Fig. 4 월별 강수량 그래프 (a : 2014년 용담댐유역, b : 2015년 용담댐유역, c : 2014년 소양강댐유역, d : 2015년 소양강댐유역)

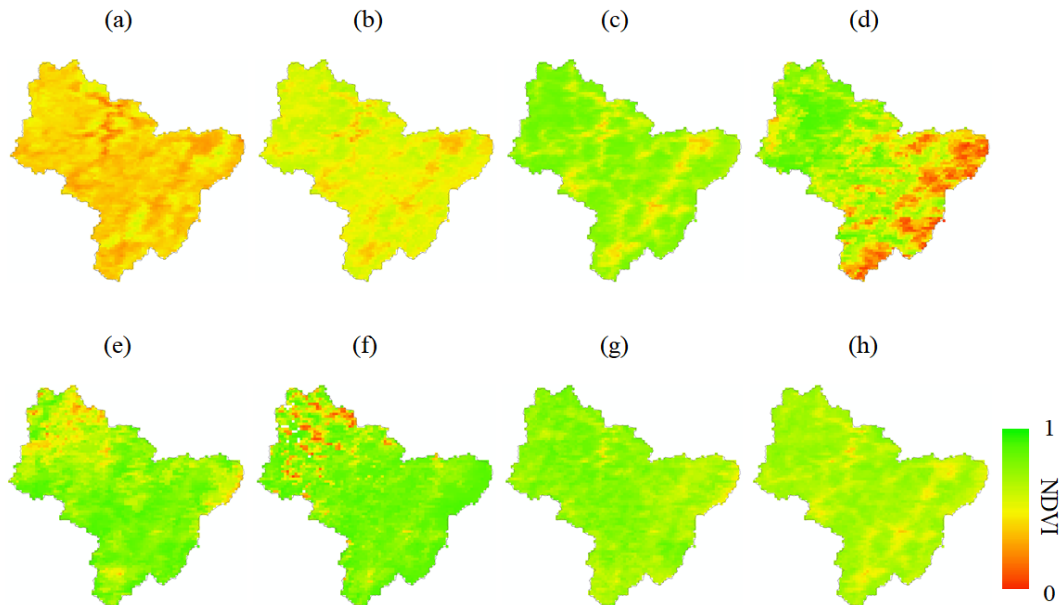


Fig. 5 용담댐 유역 2014년 MODIS 위성 자료 NDVI (a : 3월, b : 4월, c : 5월, d : 6월, e : 7월, f : 8월, g : 9월, h : 10월)

체적으로 산림이 우세한 지역이기 때문에 정규식생지수가 높은 공간분포 특성을 보였다.

소양강댐 유역의 경우 용담댐과 비교하여 정규식생지수의 상대적으로 낮은 공간분포를 나타냈으며, 이는 2014년의 경우 매우 적은 강수량으로 인해 식생의 성장이 영향을 받은 것으로 판단되었다. 소양강댐 유역의 식생지수 분포는 용담댐과 달리 여름철보다 가을철이 높게 나타났다. 소양강댐의 경

우 1~6월까지 매우 적은 강수량이 발생하여 식생의 성장이 가뭄의 영향을 받았으며, 7~8월 이후 350 mm 이상의 강우가 발생한 이후 가을철에 정규식생지수가 높아진 것으로 판단되었다.

용담댐 유역의 MODIS 기반 지표온도의 경우 봄, 가을철과 여름철 기온차가 높은 것으로 나타났다. 또한 정규식생지수가 높은 지역의 지표온도가 낮게 나타났으며, 정규식생지

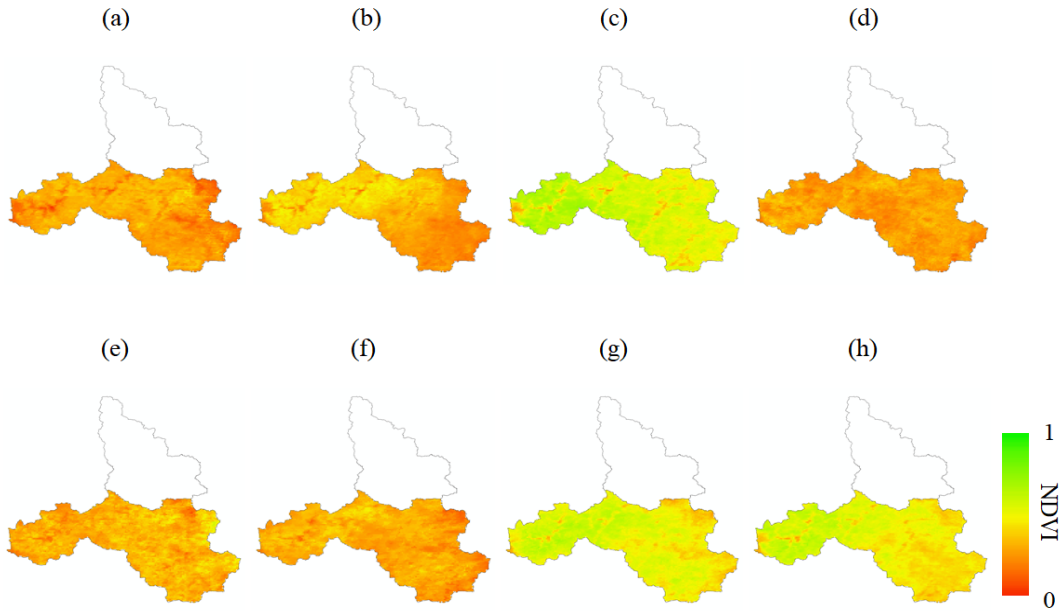


Fig. 6 소양강댐 유역 2014년 MODIS 위성 자료 NDVI (a : 3월, b : 4월, c : 5월, d : 6월, e : 7월, f : 8월, g : 9월, h : 10월)

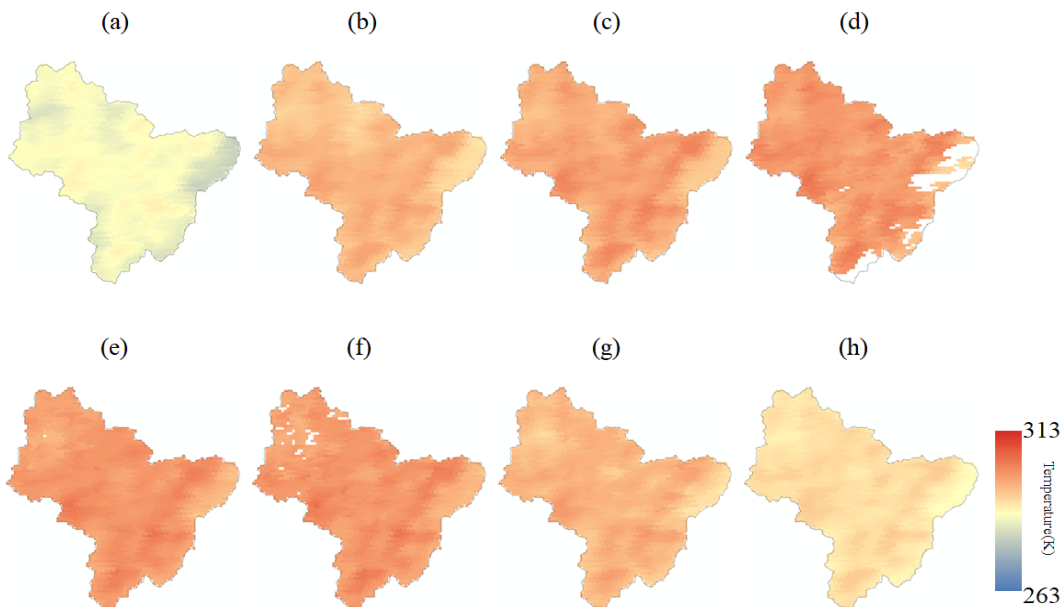


Fig. 7 용담댐 유역 2014년 MODIS 위성 자료 지표온도 (a : 3월, b : 4월, c : 5월, d : 6월, e : 7월, f : 8월, g : 9월, h : 10월)

수가 낮은 지역의 경우 상대적으로 지표온도가 높게 나타났다. 이는 태양으로부터 지표면에 도달하는 일사량의 경우 지표면의 식생의 분포정도에 영향을 받기 때문에 정규식생지수와 지표온도가 반비례하는 특성을 보이는 것으로 판단된다. 전체적으로 소양강댐 유역의 지표온도 변화는 용담댐 유역과 유사하게 나타났다 (Fig. 7 및 Fig. 8). 그러나 여름철 지표온도가 상대적으로 용담댐 유역과 비교하여 낮은 특성을 보였다.

다. 소양강댐 유역의 경우 용담댐 유역과 비교하여 북동부 산악지역에 위치하는 지형적 특성으로 인하여 상대적으로 온도 분포가 낮은 것으로 판단되었다.

용담댐 유역의 월평균 토양수분 공간분포는 월별 강수량의 분포와 유사한 특성을 보였다 (Fig. 9). 3월을 제외한 1, 2, 4, 5월에는 적은 강수가 발생으로 인하여 토양수분이 낮게 나타났으나, 6월 이후로 토양수분이 증가하는 경향을 보였다.

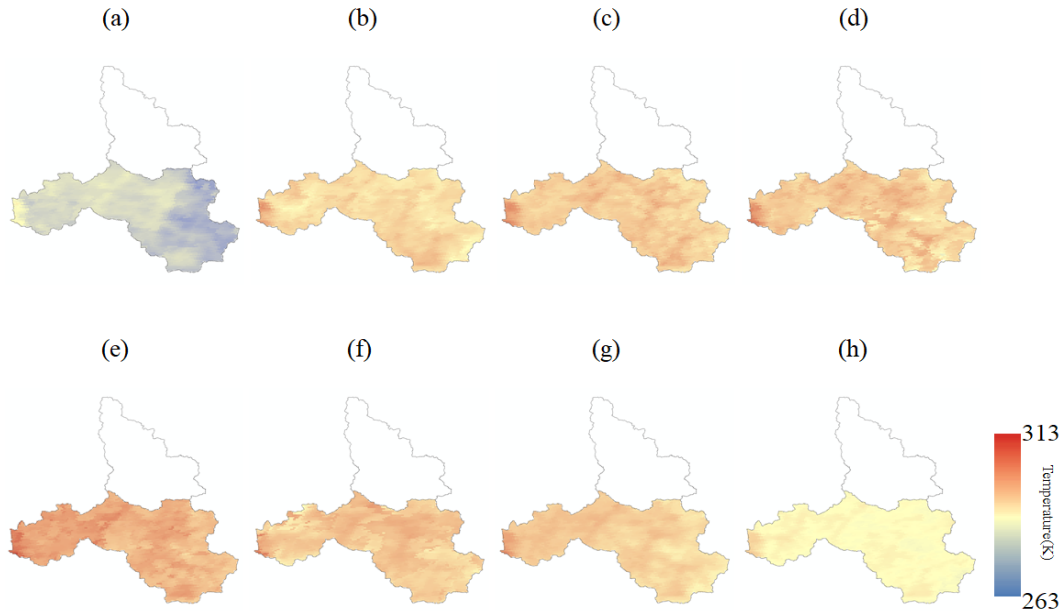


Fig. 8 소양강댐 유역 2014년 MODIS 위성 자료 지표온도 (a : 3월, b : 4월, c : 5월, d : 6월, e : 7월, f : 8월, g : 9월, h : 10월)

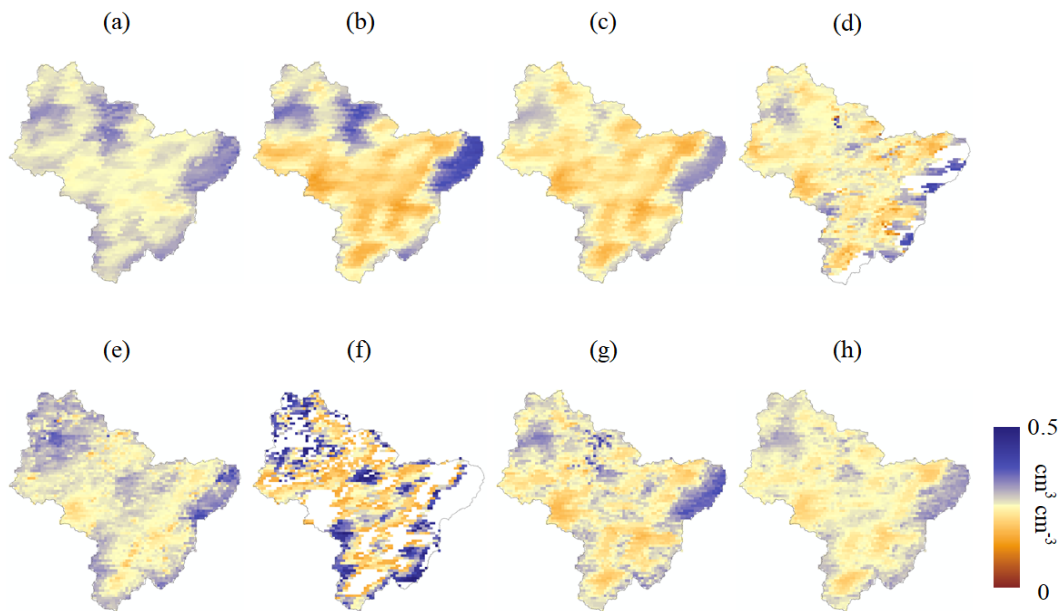


Fig. 9 용담댐 유역 2014년 MODIS 위성 자료 토양수분 (a : 3월, b : 4월, c : 5월, d : 6월, e : 7월, f : 8월, g : 9월, h : 10월)

전체적으로 강우발생이 적은 기간에 토양수분의 공간분포 차이가 상대적으로 많은 강우가 발생한 기간보다 높은 것으로 나타났다. 이는 증발산 및 침투로 인해 발생하는 수분의 손실이 지표면의 특성(지형, 피복, 토양 등)에 크게 영향을 받는 것으로 판단되었다.

소양강댐의 토양수분 역시 월별 강수량과 유사한 특성을 보였다(Fig. 10). 전체적으로 월평균 토양수분 분포는 여름철보다 봄, 가을철에 더 높은 것으로 나타났으며, 또한 지표특성

에 따라 토양수분의 공간적 분포의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 여름철과 비교하여 봄, 가을철의 토양수분이 상대적으로 높게 나타났으며, 이는 강설 등에 의한 지표피복으로 인한 불확실성에 의한 것으로 판단되었다.

2. 토양수분 및 관련인자 상관분석

2014 및 2015년 MODIS (500 m × 500 m) 위성자료를 이용하여 용담댐 및 소양강댐 지역의 월별 및 계절별 토양수분

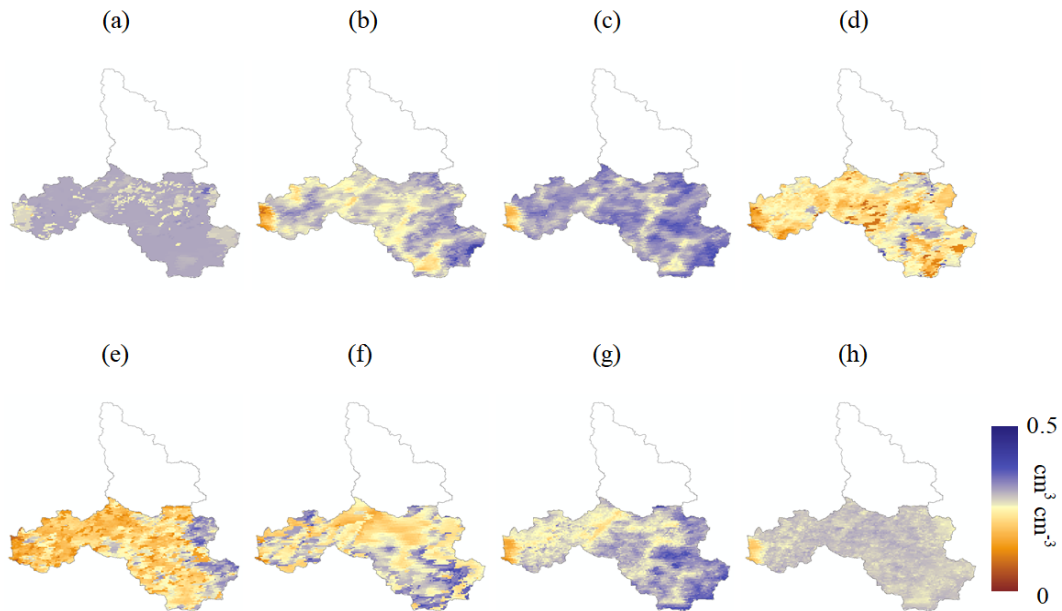


Fig. 10 소양강댐 유역 2014년 MODIS 위성 자료 토양수분 (a : 3월, b : 4월, c : 5월, d : 6월, e : 7월, f : 8월, g : 9월, h : 10월)

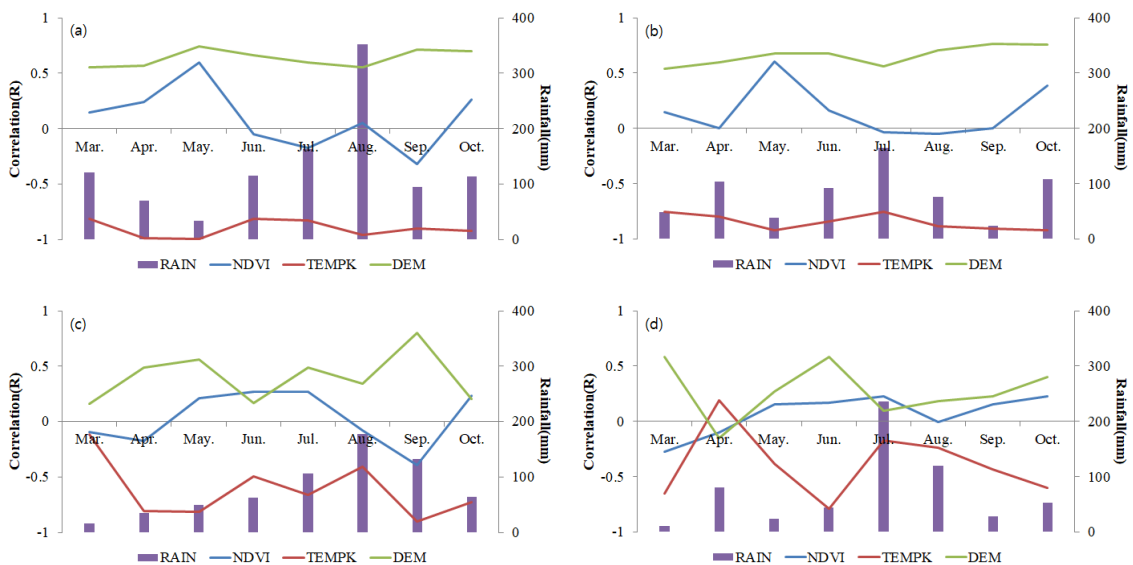


Fig. 11 토양수분 월별 상관관계 그래프 (a : 2014년 용담댐, b : 2015년 용담댐 c : 2014년 소양강댐, d : 2015년 소양강댐)

과 지표특성의 상관성 분석을 실시하였다 (Fig. 11). 2014 및 2015년도 월별 상관성 분석결과 전체적으로 용담댐 유역에서는 DEM이 토양수분과 높은 상관성을 보였다. 여름철에는 NDVI와 토양수분의 상관성이 낮아지는 것으로 나타나 강수량이 토양수분과 NDVI와의 상관성에 영향을 주는 것으로 나타났다. 강우가 발생할 경우 지표토양층에 수분이 포화되기 때문에 NDVI의 영향이 감소하며 토양수분과의 상관성이 낮아졌으나, 무강우기간에는 지표면에서 증발산 및 침투로 인한 수분손실이 지표피복 상태에 영향을 받기 때문에 지표피복과 토양수분의 상관성이 높아지는 것으로 판단되었다. 또한 지표면의 온도의 경우 온도가 높아질 경우 증발산이 활발하게 발생하여 토양수분이 낮아지기 때문에 역상관성이 높은 것으로 판단되었다. 소양강댐 유역 또한 용담댐과 유사한 경향을 보였으나, 상대적으로 상관계수의 변동성이 용담댐보다 높은 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 연구에서는 MODIS 위성 이미지 자료를 이용하여 용담댐 및 소양강댐 유역의 시·공간적으로 연속적인 토양수분을 산정하였으며, 지표특성 (정규식생지수, 지형 및 온도)이 토양수분에 미치는 영향을 분석하기 위하여 토양수분과 지표특성의 공간적 상관성을 분석하였다. 토양수분과 지표특성의 시·공간적 상관성을 분석하기 위하여 용담댐 및 소양강댐 유역을 선정하였다. 각 유역의 2014 및 2015년의 강수량자료와 일별 MODIS 이미지 자료를 수집하여 온도, 정규식생지수 및 토양수분을 산정하였으며, 지형자료는 국립지리원에서 제공하는 자료를 사용하였다. 일별 온도, 정규식생지수 및 토양수분은 월평균으로 환산하여 월별 지표특성 변화와 토양수분의 공간적인 분포의 상관성을 분석하였다.

용담댐과 소양강댐의 정규식생지수 (NDVI)는 월별 시간에 따라 큰 차이를 보였으며, 또한 지표특성에 따라 공간적으로 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 특성은 온도분포에서도 유사한 특성을 보였다. 용담댐과 소양강댐 유역의 월별 토양수분 분포는 강수량의 발생정도에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 토양수분과 지표특성의 월별 공간적 상관성을 분석한 결과 전체적으로 지표특성 (지형, 피복 및 온도)중에서는 DEM과 토양수분의 상관성이 가장 높은 것으로 나타나 지형특성이 토양수분의 공간분포에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 정규식생지수의 경우 적은 강우가 발생한 3~5월 및 10월에서는 양의 상관성을 보였으나 많은 강우가 발생한 7~9월에는 음의 상관성을 보였다. 많은 강우가 발생할 경우에는 지표면의 토양수분이 전체적으로 포

화된 상태이지만, 강우 발생이 적은 기간에는 식생과 토양특성에 영향을 받는 증발산과 침투가 발생하기 때문에 공간적 상관성이 높은 것으로 판단되었다. 온도의 경우 토양수분과 역상관성이 매우 높은 것으로 나타났으나, 2015년 소양강댐 유역의 4월에는 양의 상관성이 나타났다. 이는 위성관측시 관측센서의 민감도, 기상상태 (구름), 공간해상도 등의 불확실성으로 인해 발생한 것으로 판단된다. 본 연구에서 도출된 결과는 수자원관리, 홍수, 농업기름 및 환경 등의 다양한 분야에 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 토양유실에 직·간접적으로 영향을 미치는 지표면의 토양수분은 시·공간적으로 변동하는 토양유실 관측을 위해 효율적으로 사용될 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 한국환경산업기술원의 한국형 표토식심 예측모델 개발 (2014000540004) 사업에서 지원받았습니다.

REFERENCES

1. Bastiaanssen, W. G. M., 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey, *Journal of hydrology* 229(1): 87-100.
2. Crow, W. T. E. F. Wood, and R. Dubayah, 2000. Potential for downscaling soil moisture maps derived from space borne imaging radar data, *Journal of Geophysical Research* 105: 2203-2212.
3. Donlon, C., 2008. Sentinel-3 OLCI and SLSTR, In Medspiration/GlobColour symposium, 20th November.
4. Engman, T., 1991. Application of microwave remote sensing of soil moisture for water resources and agriculture, *Remote Sensing Environment* 35: 213-226.
5. Gwak, Y. S., S. H. Kim, S. W. Jung, Y. G. Lee, J. H. Lee, and S. J. Kim, 2015. Spatial and Seasonal Variability of Soil Moisture Properties along Transect Line on a Forest Hillslope in the Cheong-Mi Catchment, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 17(1): 45-57.
6. HA, R., H. J. Shin, M. S. Lee, and S. J. Kim, 2010. Estimation of Spatial Evapotranspiration Using satellite images and SEBAL Model, *Journal of Korean Society of civil Engineers*, B 30(3B): 233-242.
7. HUR, Y. M., M. H. Choi, H. W. Kim, S. D. Kim, and J. H. Ahn, 2011. Analysis of soil moisture response due to co-hydrological change, *Journal of Korean Wetlands Society* 13(2): 171-179.
8. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution

- of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
9. Jeong, J., 2016. Estimation of Soil Erosion Using National Land Cover Map and USLE, *Journal of Korean Society of Environmental Impact Assessment* 25(6): 525-531.
 10. Kerr, Y. H., P. Waldteufel, J. P. Wigneron, J. M. Martuzzi, J. Fondt, and M. Berger, 2001. Soil moisture retrieval from space: The soil moisture and ocean salinity (SMOS) mission, *IEEE Transaction of Geoscience remote sensing* 39(8): 1729-1735.
 11. Kim, J. H., K. T. Kim, and H. J. Lee, 2009. Analysis of Korea Soil erosion yields and Soil loss hazard zone, *The journal of geographic information system association of Korea* 17(3): 261-268.
 12. Kim, N. S., H. C. Lee, and J. Y. Cha, 2013. A Study on Changes of Phenology and Characteristics of Spatial Distribution Using MODIS Images, *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Tecnology* 16(5): 59-69.
 13. Lee, J. H., S. K. Kang, K. C. Jang, J. H. Ko, and S. Y. Hong, 2011. The evaluation of meteorological inputs retrieved from MODIS for estimation of gross primary productivity in the US corn belt region, *Korean Journal of Remote Sensing* 27(4): 481-494.
 14. Lee, J. H., 2011. The Study about Reasonableness Assessment of Soil Erosion Load Computed using USLE Model. Master's Thesis, Seoul, Hanyang University.
 15. Merlin, O., G. Chehbouni, Y. Kerr, E. G. Njoku, and D. Entekhabi, 2005. A combined modeling and multi-spectral/multi-resolution remote sensing approach for disaggregation of surface soil moisture: Application to SMOS configuration, *IEEE Transaction of Geoscience Remote Sensing* 43(9): 2036-2050.
 16. Merlin, O., C. Rudiger, A. Al Bitar, J. P. Walker, and Y. H. Kerr, 2012. Disaggregation of SMOS soil moisture in southeastern Australia, *IEEE Transaction of Geoscience Remote Sensing* 50(5): 1556-1571.
 17. Njoku, E., 2008. AMSR-E/Aqua dail L3 surface soil moisture, interpretive parameter & QC EASE-Grids V002, National Snow and Ice Data Center, Boulder, CO.
 18. Park, C. W., Y. K. Sonn, Y. S. Zhang, S. Hong, B. K. Hyun, K. C. Song, and Y. H. Moon, 2010. Soil erosion risk assessment in the upper Han River basis using spatial soil erosion map, *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 43(6): 828-836.
 19. Park, C. W., Y. K. Sonn, B. K. Hyun, K. C. Song, H. C. Chun, H. J. Cho, ... and S. G. Yun, 2012. Soil erosion risk assessment by soil characteristics and landuse in the upper Nakdong River basin, *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 45(6): 890-896.
 20. Park, J. Y., H. Jung, C. H. Jang, and S. J. Kim, 2014. Assessing climate change impact on hydrological components of Yongdam dam watershed using RCP emission scenarios and SWAT model, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(3): 19-29.
 21. Shin, Y., B. P. Mohanty, and A. V. M. Ines, 2012. Soil hydraulic properties in one-dimensional layered soil profile using layer-specific soil moisture assimilation scheme, *Water Resources Research* 48: 1-15.
 22. Sunwoo, W., D. Kim, S. Hwang, and M. Choi, 2014. Analysis of Regional Antecedent Wetness Conditions Using Remotely Sensed Soil Moisture and Point Scale Rainfall Data, *Korean Journal of Remote Sensing* 30(5): 587-596.
 23. Shin, H. J., M. J. Park, E. H. Hwang, H. S. Chae, and S. J. Park, 2015. A Study of Spring Drought Using Terra MODIS Satellite Image-For the Soyonggang Dam Watershed, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 18(4): 145-157.
 24. Shin, Y., K. S. Choi, Y. Jung, J. E. Yang, and K. J. Lim, 2016. Soil Moisture Estimation and Drought Assessment at the Spatio-Temporal Scales using Remotely Sensed Data : (I) Soil Moisture, *Journal of Korean Society on Water Environment* 32(1): 60-69.
 25. Van der Werf, H. M. and J. Petit, 2002. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93(1): 131-145.
 26. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith, 1978. Predicting rainfall erosion losses, A Guide to Conservation Planning, The USDA Agricultural Handbook No.537.
 27. Y. G. Lee, S. H. Kim, S. R. Ahn, M. H. Choi, K. S. Lim, and S. J. Kim, 2015. Estimation of Spatial Evapotranspiration Using Terra MODIS Satellite Image and SEBAL Model - A Case of Yongdam Dam Watershed -, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 18(1): 90-104.