

ORIGINAL ARTICLE

## 용담댐시험유역 기상자료와 식생지수의 상관성 분석

이형근 · 황지형 · 이길하\*

대구대학교 토목공학과

### Relationship between Vegetation Index and Meteorological Element in Yongdam Catchment

Lee, Hyeong-keun, Hwang, Ji-hyeong, Lee, Khil-Ha\*

Department of Civil Engineering, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

#### Abstract

The real-time monitoring of surface vegetation is essential for the management of droughts, vegetation growth, and water resources. The availability of land cover maps based on remotely collected data makes the monitoring of surface vegetation easier. The vegetation index in an area is likely to be proportional to meteorological elements there such as air temperature and precipitation. This study investigated relationship between vegetation index based on Moderate Resolution Image Spectroradiometer (MODIS) and ground-measured meteorological elements at the Yongdam catchment station. To do this, 16-day averaged data were used. It was found that the vegetation index is well correlated to air temperature but poorly correlated to precipitation. The study provides some intuition and guidelines for the study of the droughts and ecologies in the future.

**Key words** : MODIS, Vegetation index, Drought

#### 1. 서론

장기적인 기후변화는 육상과 해양의 생태계를 포함한 지구 환경 전체에 막대한 영향을 미치고, 이는 기상학적, 수문학적, 농학적, 보건위생 인자의 변화로 연결되어 인간의 일상생활, 사회, 경제, 문화, 보건 등의 기본활동범위에 영향을 미친다. 나아가 홍수와 가뭄 같은 극한 기후 상황을 초래하므로 이에 대한 관찰과 적절한 대비가 필요하다(IPCC, 2007). 이러한 환경의 변화는 주변의 식생에서도 뚜렷이 나타나 계절적, 공간적 변화를 쉽게 감지할 수 있다. 식생은 지구의 토양, 그 속에 든 토양수분,

그리고 대기와 수문학적 또는 기상학적으로 연결고리 역할을 하는 중요한 매개체로서 기후변화의 지표로서도 활용 가능하다. 식생은 지구생태계에서 결정적 역할을 하는 여러 요소 중 하나로서 지구의 에너지와 CO<sub>2</sub> 교환에 영향을 미치며 광합성, 지표면 반사(albedo), 표면저항(roughness)을 통해서 기후변화에 막대한 영향을 미친다(Brustaert, 1991). 식생과 기상 특히 온도와 강수의 상관성을 파악한다면 미래에 닥칠 기후변화에 따른 식생의 성장과 건강도를 추정할 수 있는 단서를 제공할 것이다.

지표면의 특성을 나타내는 식생의 존재, 분포, 양, 건강도 등은 인공위성으로 관측한 영상자료를 이용하면

Received 28 June, 2018; Revised 16 August, 2018;

Accepted 17 August, 2018

\*Corresponding author: Lee, Khil-Ha, Department of Civil, Engineering, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea, Phone: +82-53-850-6522  
E-mail: khil\_ha@yahoo.com

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

정량적인 정의가 쉬워진다(Fisher et al., 2008). 녹색을 띠는 식물의 경우 녹색 파장 영역의 반사율이 높고 적색 파장 영역의 반사율은 낮은 원리를 이용하는 것이다. 각 파장대의 반사율을 기반으로 분광대 간의 특성을 조합하여 식생의 밀집도 등을 구하는 식을 만들어 식생지수를 정량화하는데 사용해 오고 있다(Huete, 1988). 식생지수에는 여러 종류가 있지만 그중 가장 널리 쓰이는 것은 정규식생지수(normalized difference vegetation index, NDVI, Rouse et al., 1974)이며 이 NDVI를 개선한 식생지수가 Enhanced Vegetation Index (EVI)이다. NDVI는 식생을 토양과 구분하여 지형의 영향을 최소화하여 식생의 양을 나타내주는 인자이다. NDVI는 -1.0에서 1.0에 걸쳐 분포하며 0보다 큰 값은 건강한 식생의 양이 증가함을 나타내며, 반면에 0보다 작은 값은 바위, 맨흙과 같은 황무지, 물, 눈, 얼음, 구름으로 덮인 표면을 나타낸다(Schnur et al., 2010).

EVI는 Leaf Area Index (LAI), 식생의 타입, 식생의 모양 등과 같은 식생의 구조적 변화를 감지하는 지수이다. NDVI나 EVI 모두 식생의 변화와 성장을 나타내는 지수로서 식생의 변화를 정량화하는데 흔히 사용된다. 사실 식생지수는 저항능력을 향상시켜 유역의 흐름에 영향을 미치며 유역의 기온을 나타내는 지표의 보조인자로 활용이 가능할 정도로 물과 온도에 민감한 반응을 보인다. 추운지역에서는 식생의 성장에 온도가 제한된 역할을 할 것이고, 중간지역에서는 강우와 온도 모두 제한된 역할을 할 것이다. 고온지역에서는 온도가 최소로 필요한 정도를 넘어서므로 계절적 변화에 제한된 역할을 할 것이다. 따라서 식생지수는 주변의 환경에 반응하여 성장에 영향을 받을 것이며 주변의 기상환경이 식생지수와 어떤 상관관계를 가지는지를 살펴보는 것이 과학적인 의미가 있다. Chuai et al.(2013), Hao et al.(2012), Liping et al.(1994)은 식생의 품종에 따라 식생지수와 온도, 강우의 상관관계가 달라진다는 것을 보여주면서 기후변화와 인간의 활동이 식생에 미치는 영향을 연구하였다.

이 연구에서는 우선 미국 NASA가 수집한 2013년부터 2015년까지의 식생지수 자료인 NDVI 와 EVI 자료를 발췌하였다(Didan et al., 2015). 이 식생지수를 바탕으로 온도 또는 강우와의 상관관계를 살펴보기 위하여 수자원공사에서 집중관측하고 있는 용담댐 유역을 연구

대상으로 선정하였다. 시간적 공간적으로 일치된 관측 자료를 활용하여 두 자료 간의 상관관계를 분석해 보았다.

## 2. 연구대상 및 자료

### 2.1. 용담댐 유역

용담시험유역은 북위 36° 00' ~ 35° 35', 동경 127° 20' ~ 127° 45'에 해당하는 금강유역의 최상류 지역이다(Fig. 1). 유역 동측은 국립공원 덕유산 향적봉(1,614 m)에서 동북으로 금강지류인 남대천 유역, 동측으로 낙동강의 지류인 황강유역과 경계를 이루고 있다. 유역의 남측으로는 장안산(1,237 m), 사두봉(1,015 m), 신무산(897 m), 팔공산(1,151 m), 성수산(1,059 m), 마이산(678 m)을 경계로 하여 섬진강 유역과 접하고 있다. 서측으로는 운장산(1,126 m)을 경계로 만경강 유역과 접하고 있다. 용담댐 유역면적은 약 930 km<sup>2</sup>에 이르며, 용담시험 유역 내에는 장수군, 진안군, 무주군의 3개군 2개 읍 12개면이 위치하고 있다. 유역은 대부분 임야지역인 산악지대로 분류된다. 수계에 따라 농경지가 분포하고 있으며 일부 농경지에서 사용하는 농약에 의한 오염원 외에는 특별한 토양 오염원이 없다(K-water Institute, 2013).

### 2.2. MODIS

Terra (EOS AM-1)는 1999년 12월 18일에 또 Aqua (EOS PM-1)는 2002년 5월 4일에 나사에서 발사된 위성으로서 moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS)는 이 두 위성에 탑재된 센서를 말한다. Terra 궤도는 적도를 지나 북쪽에서 남쪽으로 지나가고 Aqua는 오후시간에 남쪽에서 북쪽으로 적도를 지나간다. Terra MODIS와 Aqua MODIS는 1일에서 2일마다 지구 표면 전체를 관찰하고 36 개의 스펙트럼 밴드 또는 파장 그룹으로 데이터를 수집한다. 이 데이터는 육지, 대양 및 저층 대기에서 발생하는 지구 역학 및 과정에 대한 이해를 도우며 지구 식생성장과 변화를 탐지하는데 활용된다. 공간 해상도는 250 m (bands 1-2), 500 m (bands 3-7), 1000 m (bands 8-36)이며, 설계수명은 6년이다(Didan et al., 2015). 물론 NDVI와 EVI모두 장애물의 영향을 완전히 배제하는 것은 불가능하다. 그러나 기존 인공의성인 Advanced Very High Resolution

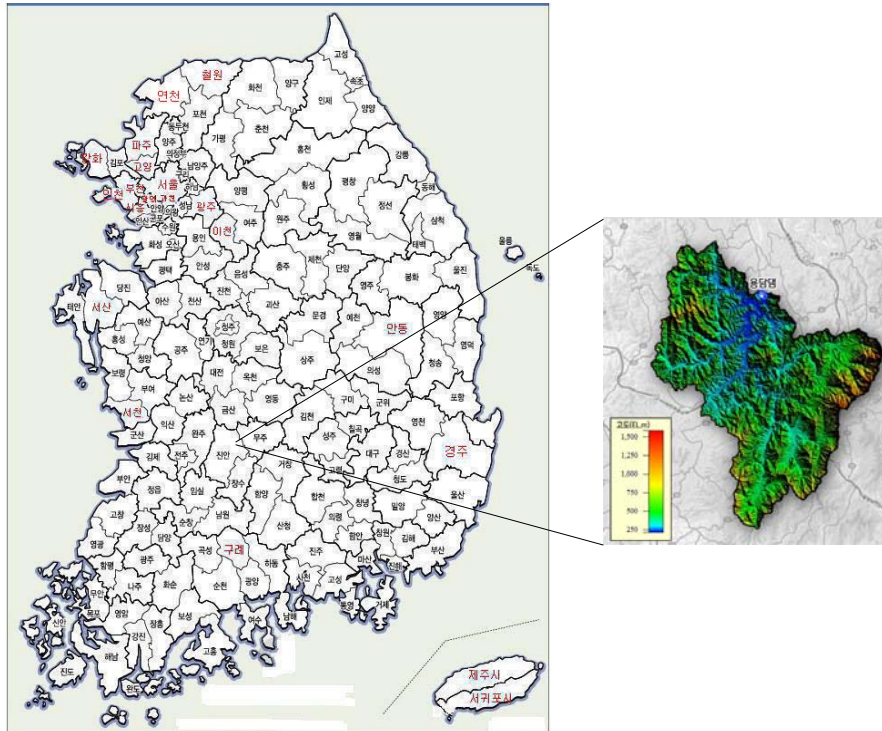


Fig. 1. Location of Yongdam experiment catchment.

Radiometer (AVHRR)을 넘어서 NDVI보다 대기먼지와 지표면 영향을 덜 받는 EVI를 새로이 추출할 수 있는 능력을 장착하여 기뭇뿐만 아니라 지구 식생변화와 성장을 모니터링하는 역할을 훌륭하게 수행하고 있다.

MODIS자료는 NASA 홈페이지에서 무료로 이용이 가능하므로 저자가 구축한 매트랩 프로그램을 이용하여 자료를 다운로드받아 사용하였다 (<https://lpdaac.usgs.gov>). MODIS의 시간해상도는 16일로 자료의 일관성을 가지기 위하여 MODIS의 시간타이밍에 맞춰 평균하여 일대일 대응이 되도록 하였다.

### 3. 분석 결과

현장에서 관측한 자료를 활용하여 분석할 때에 항상 자료의 질(quality)과 검증(integrity)이라는 이슈에 부딪힌다. 이 연구에서 사용한 식생지수는 미국의 NASA에서 검증을 거쳐 방출한 자료이며, 기상자료는 K-water 연구원에서 방출한 자료로서 특이사항이 없어 그대로 사용

하였다(K-water Institute, 2013). Fig. 2(a)는 2013년부터 2015년까지 3년간의 NDVI 시계열을 보여주며, Fig. 2(b)는 같은 기간 동안의 EVI 시계열을 보여준다. 전 구간에 걸쳐 범위를 벗어나거나 이상치는 발견할 수 없다. NDVI와 EVI 모두 봄철에 서서히 증가하기 시작하여 여름철에는 절정에 다다르고 가을철이 되면서 서서히 감소하는 전형적인 온대기후의 특징을 보여준다. NDVI가 EVI보다 약간 큰 값을 보여주는 양상을 나타낸다.

Fig. 3(a)는 같은 기간 동안 용담댐 시험지역에서 수집한 기온자료를 보여준다. 2013년과 2015년 가을-겨울철에 일정기간 결측이 존재한다. Table1은 일 년 중 결측이 없이 자료가 연구에 사용된 일수를 나타낸다. 기온자료는 2013년과 2015년에 약 한 달의 결측이 존재하며 강수는 2015년에 미미한 결측이 존재한다. 3년 동안 평균온도는 11.65℃이며 최고기온은 28.95℃, 최저기온은 -14.01℃로서 여름철에는 상승하다가 겨울철에 하강하는 전형적인 온대기후이다. Fig. 3(b)는 같은 기간 동안에 수집한 강수자료로서 연평균 강수량은 2013년은

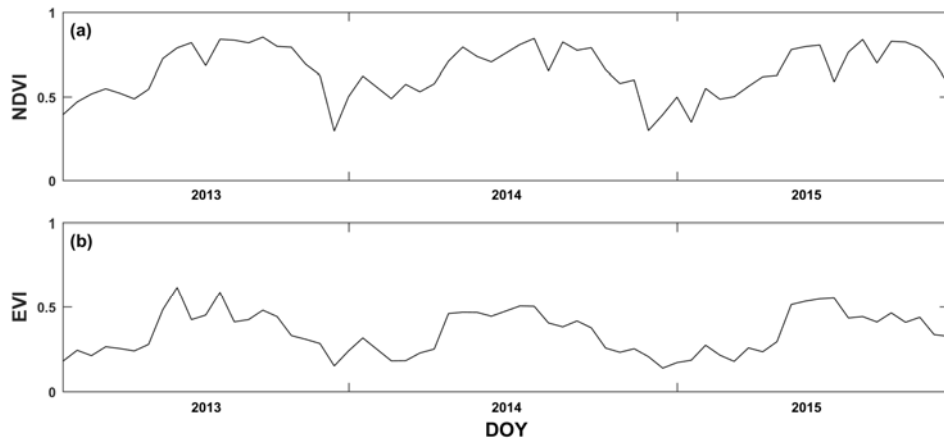


Fig. 2. A Time course of NDVI and EVI during study period; (a) NDVI, (b) EVI.

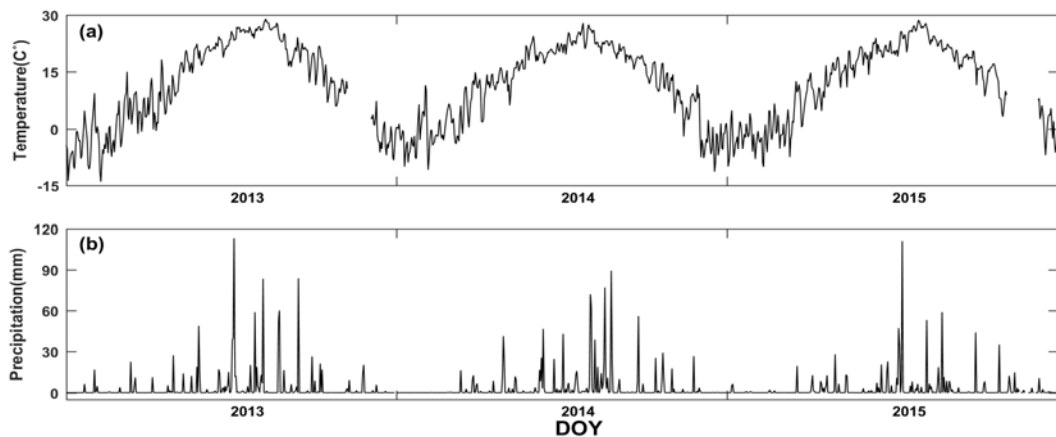


Fig. 3. A Time course of air temperature and precipitation in Yongdam-dam watershed during study period. Upper panel presents temperature, while lower panel presents precipitation.

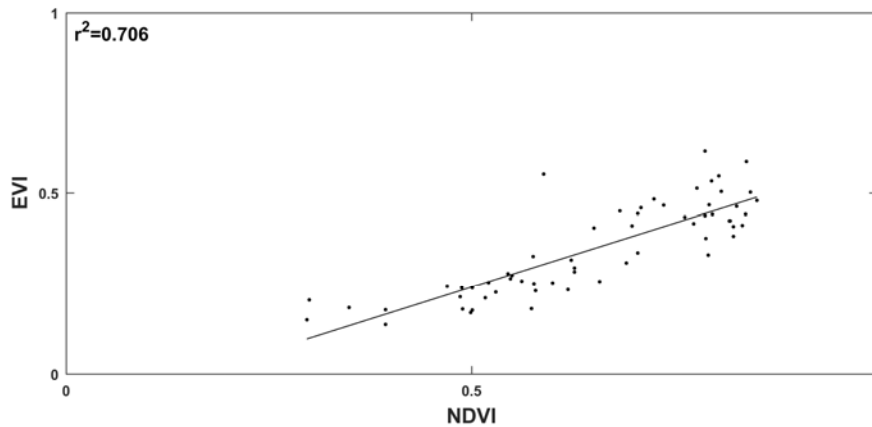
1121 mm, 2014년은 1119 mm, 2015년은 849 mm로 전반적으로 우리나라 연평균강수량보다 작으며 특히 2015년의 경우 5월에는 이상고온 현상으로 인해 1973년 이래 5월 전국 평균기온 최고 1위를 기록했으며, 장마 기간(6.24~7.29) 동안에는 전국 평균 강수량이 평년대비 73%로 적게 나타났다. 또 전국 연평균 강수량은 평년대비 72%로 1973년 이래 역대 최저 3위를 기록할 정도로 강수량이 부족했다. 수도권을 중심으로는 강수량이 평년대비 60% 미만으로 적었으며, 제주도와 남해안지방을 제외한 대부분 지방에서 겨울철까지 가뭄 현상이 지속됐다. 11월에는 비가 온 날이 절반(14.9일)으로 1973년 이

래 역대 최다 1위를 기록하는 등 다양한 이상기후가 발생했다(KMA, 2015). 연구 기간 동안 최고 강수는 113.13 mm이며 연 강수일수는 2013년 144일, 2014년 182일, 2015년 186일로 연 평균 강수일수는 171일이다.

우선 NDVI와 EVI간의 상관관계를 살펴보았다. NDVI와 EVI는 모두 식생의 성장과 건강도에 관련되는 지수로서 단지 상관관계를 살펴볼 뿐만 아니라 자료의 질을 간접적으로 점검하는 수단이기도하다. Fig. 4에서 두 식생지수의 상관관계를 보여준다 x-축 NDVI, y-축은 EVI를 나타내는데 두 식생지수간의 결정계수가 0.706로서 예상한대로 상관성이 강한 것으로 보인다. Fig. 4에서

**Table 1.** Number of daily data used for the study

	2013	2014	2015
Temperature	340	365	331
Precipitation	364	365	360

**Fig. 4.** A Scatter plot of NDVI vs EVI for the study station.

보듯이 상관성을 벗어나 이상치로 보이는 한 점이 존재 하기는 하나 분석의 대세에 영향이 미미하므로 그대로 사용하였다. 전형적으로 여름철에는 1에 가까운 높은 값을 보이고 겨울철에는 0에 가까운 낮은 값을 보이는데 가 시적으로는 여름철과 겨울철에 비슷한 정도의 상관성을 가지는 것으로 보이며 계절에 따라 상관성이 달라지는 양상은 보이지 않는 것으로 나타났다.

식생지수와 기상과의 상관관계는 Fig. 5에서 보여준다. Fig. 5(a)는 NDVI와 기온의 상관관계를 보여주는데 결정계수가 0.729로 강한 상관성을 보여준다. EVI와 기온도 Fig. 5(b)에서 보듯이 결정계수가 0.668로서 NDVI와 기온처럼 비슷한 정도의 상관성을 보여준다. 이는 용담댐 유역에서 온도가 식생의 성장과 건강도에 상당한 영향을 미치며 중요한 인자로서 역할을 한다는 것을 의미한다. 일반적으로 높은 온도에서 식생의 성장이 완성하므로 증발산 활동이 활발할 것이며 흐름에서는 저항성이 강하여 속도가 느리고 지체현상이 생겨 홍수를 더 쉽게 유발할 수 있는 환경이 형성될 것을 간접적으로 알 수 있다. 그러나 이러한 양상은 NDVI와 강수(Fig. 5c) 그리고 EVI와 강수(Fig. 5d)에서는 완전히 달라진다. 결정

계수가 각각 0.234와 0.298로서 상관성이 약한 것으로 보인다. 용담댐 유역에서는 동시기에 발생한 강수가 식생의 성장에 기여도가 아주 낮다는 것을 의미한다. 용담댐시험유역운영백서(K-water Institute, 2013)에 의하면 용담댐시험유역은 강수가 없을 시에는 토양수분을 20% 정도 유지하다가 강수가 있는 경우에는 약 40% 이상의 포화상태로 수분을 함유한다. 이는 용담댐 유역은 표토층에서 토양수분을 함유하다가 식생의 성장에 충분한 수분을 공급하기 때문에 이상 기뭇이 없는 한 강수가 식생의 성장을 지배하지는 않는 듯이 보인다. 한편 용담댐 유역의 식생이 깊은 토양까지 수분을 흡착할 수 있는 품종으로 수분공급을 강수에 의존하지 않을 수도 있으므로 추가적으로 생태학적 접근도 필요해 보인다.

#### 4. 결론 및 고찰

미국 NASA의 식생지수와 K-water연구원에서 2013년에서 2015년까지 3년동안 수집한 기온과 강수자료를 이용하여 용담댐시험유역에서 상관관계를 점검해 보았다. NDVI와 기온의 결정계수는 0.729이며 EVI와 기온의

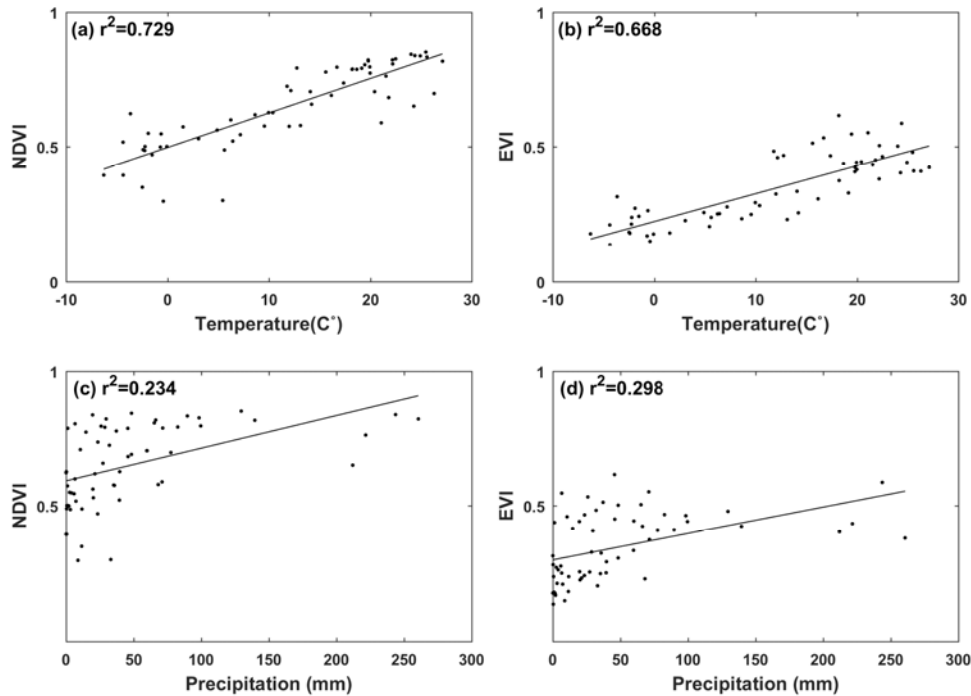


Fig. 5. A Scatter plot of vegetation index (NDVI, EVI) vs. meteorological element (temperature, precipitation) for the study station.

결정계수는 0.668로서 강한 상관성을 보여주었다. 그러나 NDVI와 강수의 결정계수는 0.234, EVI와 강수의 결정계수는 0.298로서 상관성이 약한 것으로 나타났다. 이는 용담댐시험유역에서 기온이 강수보다 식생의 성장과 건강도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 보인다. 이 결과는 매 16일마다 수집되는 식생지수를 바탕으로 분석한 것으로 강수자료도 같은 주기로 일대일 대응을 하였다. 강수 자료의 평균기간을 더 길게 잡고 예를 들어 1년간의 연평균값을 바탕으로 상관성을 분석한다면 강수와 식생 성장의 장기적인 상관성을 얻을 수도 있을 것이다. 가뭄은 흔하게 관측되는 자연현상이나 시작 시점의 예측이 어렵고 재해로 인식되는 시점에서는 극복방안이 쉽지 않다. 가뭄은 강우, 증발산, 물 수수와 같은 수자원이용 과정의 불균형으로 빚어지는 자연현상으로서의 일반적으로 가뭄 지수를 산정하고 정량화하여 대응책을 사전에 만들어내는 것이 중요하다. 식생과 기상의 상관성은 장기간의 기후변화 추세에 따른 식생성장의 변화를 분석할 수 있으

며 가뭄에 대한 영향에 대한 직관을 제공함으로써 가뭄 해석과 지수개발에 기여할 수 있을 것이다. 이 경우 장기간의 자료(예를 들어 20년, 30년 이상)가 필요하다. 식생 지수는 AVHRR 또는 MODIS로부터 장기 자료를 추출하는 것이 가능할지라도 용담댐시험유역은 2013년에 관측이 시작되었으므로 현재는 적용이 불가능하다. 다른 방법으로서의 연구접근이 필요할 것이다.

한편 이 연구에서는 식생과 대기온도에 대한 상관성을 조사하였으나 식생지수와 지표면 온도(Land Surface Temperature, LST)의 상관성을 도시지역에서 분석한다면 식생의 존재와 양이 도시의 온도를 얼마나 저감하는지를 살펴볼 수 있고 예측방법에 대한 가이드라인을 제공할 수 있을 것이다.

#### 감사의 글

이 논문은 2017년 한국연구재단 이공분야기초연구사업 중견연구자사업의 지원을 받아 수행된 연구임(한국연구

구재단-2017년도-2017001809).

#### REFERENCES

- Brustaert, W., 1991, Evaporation into the atmosphere, theory, history and application, Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- Chuai, X. W., Huang, X. J., Wanga, W. J., Baoc, G., 2013, NDVI, temperature and precipitation changes and their relationships with different vegetation types during 1998~2007 in Inner Mongolia, China, *International Journal of Climatology*, 33, 1696-1706.
- Didan, K., Munoz, A. B., Solano, R., Heute, A., 2015, MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series), The University of Arizona, AZ, USA.
- Fisher, J., Tu, K., Baldocchi, D., 2008, Global estimates of the land atmosphere water flux based on monthly AVHRR and ISLSCP II data, validated at 16 FLUXNET sites, *Remote Sensing Environment*, 112, 901-919.
- Huete, A. R., 1988, A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), *Remote Sensing Environment*, 25, 295-309.
- Hao, F., Zhang, X., Ouyang, W., Skidmore, A., K., Toxopeus, A. G., 2012, Vegetation NDVI Linked to Temperature and Precipitation in the Upper Catchments of Yellow River, *Environmental Modelling Assessment*, 17(4), 389-398.
- IPCC (Interpanel of climate change), 2007, *Climate change 2007: The physical science basis*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY, USA.
- KMA, 2015, *Abnormality of climate 2015*, KMA, Seoul, S. Korea.
- K-water Institute, 2013, *Yongdam experimental catchment manage white book*, KIWE-WRRC-14-01, Daejeon, S.Korea.
- Liping, D. I., Rundquist, D. C., Luoheng, H., 1994, Modelling relationships between NDVI and precipitation during vegetative growth cycles, *International Journal of Remote Sensing*, 15(10), 2121-2136.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Scheel, J. A., Deering, D. W., 1974, Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS, *Proceedings, 3rd EarthResource Technology Satellite (ERTS) Symposium*, 1, 48-62.
- Schnur, M. T., Hongjie, X., Wang, X., 2010, Estimating root zone soil moisture at distant sites using MODIS NDVI and EVI in a semi-arid region of southwestern USA, *Ecological Informatics*, 5, 400-409.