

다중시기 Sentinel-2 위성영상과 일강수량 자료를 활용한 집중호우 전후의 토지피복별 원격탐사지수 변화 분석*

김경섭¹ · 문갑수¹ · 정윤재^{2*}

Analysis on the Changes of Remote Sensing Indices on Each Land Cover Before and After Heavy Rainfall Using Multi-temporal Sentinel-2 Satellite Imagery and Daily Precipitation Data*

Kyoung-Seop KIM¹ · Gab-Su MOON¹ · Yun-Jae CHOUNG^{2*}

요 약

최근 도시홍수에 의해 많은 피해가 발생하고 있으며, 단시간에 국지적으로 발생하는 집중호우가 1차 원인으로 꼽히고 있다. 도시홍수의 피해는 도시지역 내 물수지의 변화로 규명하고 있으며, 이를 간접적으로 파악하기 위해 일강수량 자료와 다중시기 Sentinel-2 위성영상을 활용해 집중호우 전후의 토지피복별 원격탐사지수 변화를 분석하였다. 일강수량 자료를 바탕으로 호우주의보 및 경보의 사례를 선정하였고, 해당 기간의 Sentinel-2 위성영상을 취득해 이를 기상청 서울관측소 기준 반경 1,000m 범위의 정규식생지수(NDVI), 정규수분지수(NDWI) 및 정규습윤지수(NDMI) 영상을 토지피복별로 제작하여 통계적 변화를 비교하였다. 각 영상을 구성하고 있는 픽셀의 최댓값, 최솟값, 평균 및 그 증감을 분석한 결과, 집중호우 전후 도시지역 원격탐사지수에 유의미한 변화가 발생한 것으로 보기는 힘들다고 판단하였다.

주요어 : 집중호우, 일강수량, Sentinel-2 위성영상, 토지피복, 원격탐사지수

ABSTRACT

Recently, a lot of damages have been caused by urban flooding, and heavy rainfall that temporarily occur are the main causes of these phenomena. The damages caused

2020년 05월 27일 접수 Received on May 27, 2020 / 2020년 06월 05일 수정 Revised on June 05, 2020 / 2020년 06월 05일 심사완료 Accepted on June 05, 2020

* 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물관리연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다(79627).

1 ㈜지오씨엔아이 공간정보기술연구소 연구원 Geospatial Research Center, GEO C&I., Ltd., Researcher

2 ㈜지오씨엔아이 공간정보기술연구소 연구소장 Geospatial Research Center, GEO C&I., Ltd., Director

* Corresponding Author E-mail : choun12osu@gmail.com

by urban flooding are identified as the change in the water balance in urban areas. To indirectly identify it, this research analyzed the change in the remote sensing indices on each land cover before and after heavy rainfall by utilizing daily precipitation data and multi-temporal Sentinel-2 satellite imagery. Cases of heavy rain advisory and warning were selected based on the daily precipitation data. And statistical fluctuation were compared by acquiring Sentinel-2 satellite images during the corresponding period and producing them as NDVI, NDWI and NDMI images about each land cover with a radius of 1,000 m based on the Seoul Weather Station. As a result of analyzing the maximum value, minimum value, mean and fluctuation of the pixels that were calculated in each remote sensing index image, there was no significant changes in the remote sensing indices in urban areas before and after heavy rainfall.

KEYWORDS : Heavy Rainfall, Daily Precipitation, Sentinel-2 Satellite Imagery, Land Cover, Remote Sensing Indices

서 론

최근 게릴라성 폭우의 빈도가 증가하며 도시 지역에 많은 피해가 발생하고 있다(Kim *et al.*, 2011). 2011년 서울시의 기록적인 폭우는 도시화(Urbanization)로 인한 도시홍수(Urban Flooding)의 심각성을 드러냈다. 서울시의 경우 도시화의 영향으로 도시 지표면의 불투수율이 1962년 7.8%에서 2015년 48.9%로 약 6.3배 증가하였고, 시가지의 평균 불투수율은 86%에 달해(Kim and Jin, 2018) 홍수에 취약해졌다. 특히 대표적 도시지역인 서울시 강남역 주변 지역의 침수는 불투수면적 증가 및 저지대라는 지형적 특징과 함께 단시간에 국지적으로 발생한 엄청난 양의 집중호우(Heavy Rainfall)가 1차 원인으로 꼽히고 있다(Han and Park, 2014).

일반적으로 집중호우는 한 시간에 30mm 이상이나 하루에 80mm 이상의 비가 내릴 때 또는 연강수량의 10%에 상당하는 비가 하루에 내리는 정도를 말하며, 이로 인해 발생하는 도시홍수의 피해는 강우의 증가와 도시화에 따른 유출율의 변화로 규명하고 있다(Kim *et al.*, 2011). 이는 곧 도시지역 내 물수지(Water Balance)를 의미하며, 서울시의 경우 도시화로 인한 물수지의 변화를 회복하고자 2004년

「물순환 기본계획」을 시작으로 물순환 정책을 지속 추진해 오고 있을 만큼 도시의 물수지에 대한 관심이 높다(Kim and Jin, 2018).

물은 끊임없이 순환·이동하고 있으며, 이 과정에서 식물의 잎 표면에서 대기로 증산된 수분의 양도 중요한 요소로 작용한다. 우리나라의 기상 상황에서 유역 단위의 물수지를 생각할 때 증발산량이 점유하는 비율은 전체 강수량의 40%를 상회하며(Shin and An, 2004), 따라서 집중호우 전후 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)로 대표되는 원격탐사지수(Remote Sensing Indices)의 변화를 살펴보는 것은 도시홍수에 영향을 미치는 도시지역의 물수지 변화를 간접적으로 파악하는 데 도움이 될 수 있다.

원격탐사에 있어 드론의 역할이 점차 확대되고 있으나, 드론의 경우 바람의 세기, 배터리 수명 등 하드웨어의 한계로 촬영에 많은 제약이 있을 수 있으며 현실 법에 의해 도시 내 원하는 지역의 촬영이 어려울 수 있다(Kim, 2016). 이에 반해 인공위성의 경우 기상과 관계없이 주기적으로 관측이 이루어지고 있으므로 축적된 데이터에서 운량과 잡음 등을 고려해 선별하면, 도시지역의 데이터를 확보하기가 비교적 용이하다.

위성영상을 활용하여 원격탐사지수를 분석하는 연구는 국내외에서 지속적으로 수행되고 있지만 국내에서는 주로 가뭄 모니터링을 위한 목

적으로 이루어졌다(Shin *et al.*, 2006; Park *et al.*, 2006; Jang *et al.*, 2007; Shin *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2017). 홍수 후의 원격탐사지수 분석과 관련해서는 Landsat-TM 자료를 기반으로 원격탐사지수를 분석해 홍수 전후 농경지의 변화를 추정한 연구가 있으며(Jung *et al.*, 1999), 도시홍수 및 물수지와 관련해서는 Landsat-7 ETM+ 영상으로부터 원격탐사지수를 추출해 도시의 불투수도를 추정하는 연구가 수행되었다(Kim *et al.*, 2007).

한편, 국외에서는 원격탐사지수와 강수량의 상관성 분석에 대한 연구가 다수 수행되어 왔다(Kawabata *et al.*, 2001; Parmiggiani *et al.*, 2006; Tourre *et al.*, 2008; Chamaille-Jammes and Fritz, 2009). 특히 Kawabata *et al.*(2001)은 Pathfinder AVHRR Land NDVI 데이터를 사용하여 온도 및 강수량이 정규식생지수의 연간 변화에 미치는 영향을 분석하였으며, Chamaille-Jammes and Fritz(2009)는 반건조 지역을 대상으로 강수량과 정규식생지수의 관계를 밝혔다.

위와 같이 강수와 관련하여 원격탐사지수를 분석한 연구는 국내외 많은 연구자들에 의해 수행되었지만, 단기간의 호우에 따른 원격탐사지수 변화분석 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 Sentinel-2 위성영상을 활용하여 집중호우 전후 토지피복별 원격탐사지수의

변화를 분석하고, 이를 통해 도시홍수에 영향을 미치는 물수지의 변화를 간접적으로 파악할 수 있는 기반을 마련하는 데 목표를 둔다.

연구 방법

1. 연구 대상 지역 및 범위

본 연구에서는 기상청 서울관측소 일대를 대상 지역으로 선정하였다. 서울시는 우리나라의 대표 도시이자 다양한 토지피복으로 구성되었으며 도시화율 100%를 나타내는 지역이면서(Korean Statistical Information Service (KOSIS), 2019), 여러 차례 도시홍수로 인한 피해를 겪었으므로 본 연구에 적합한 지역으로 볼 수 있다. 그러나 강수량 자료는 관측소 1개소의 자료가 서울시 강수량의 대푯값으로 쓰이고 있으므로, 서울시 전체를 대상으로 하는 것보다 관측소를 기준으로 일정 범위를 대상으로 하는 것이 실제 강수량의 영향을 보다 유효하게 확인할 수 있을 것으로 판단하였다. 이에 본 연구에서는 기상청 서울관측소(37.57142N, 126.9658E)를 중심으로 서울시의 경계를 넘지 않는 반경 1,000m를 연구 대상 지역 및 범위로 선정하였다.

2. 연구 자료

1) 일강수량

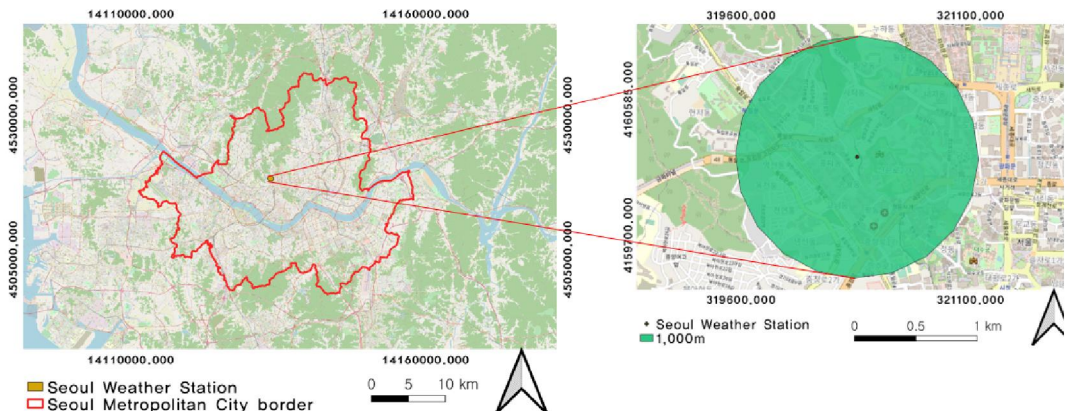


FIGURE 1. Locations of the Seoul Weather Station and its neighbor areas, South Korea

TABLE 1. Precipitation data with reference to weather special report

Case	Date	Precipitation(mm)	Weather Special Report
I	2018-06-26	71.5	Heavy Rain Advisory
	2018-06-27	1.0	
	2018-06-28	26.5	
	2018-06-29	6.5	
	2018-06-30	14.5	
	2018-07-01	86.5	Heavy Rain Advisory
	2018-07-02	59.5	
II	2018-08-27	19.5	
	2018-08-28	96.5	Heavy Rain Warning
	2018-08-29	42.0	

일강수량은 기상청 날씨누리에서 제공하는 지상 관측자료를 사용하였다(Korean Meteorological Administration(KMA), 2020). 집중호우에 의해 발생하는 도시홍수의 경우 객관화된 예보 기준이 마련되어 있지 않고 기상청의 호우주의보 및 경보에 의존하고 있으므로(Choi *et al.* 2014), 과거 기상특보를 참고하여 일강수량 데이터를 선별하였다(표 1). Case I은 2018년 7호 태풍 뿌라삐룬(Prapiroon)의 활동 기간을 포함하며, 침수에 대비해 청계천 출입이 통제되는 등 일주일간 두 차례의 호우주의보(Heavy Rain Advisory)가 내려지고 266.0mm의 강수량을 기록한 사례이다. 한편 Case II는 서울시 은평구에서 침수로 인한 이재민이 발생하는 등 3일간 158.0mm의 강수가 집중되며 호우경보(Heavy Rain Warning)가 발표된 사례로서, Case I과 함께 동년의 호우주의보 및 경보에 따른 연구결과의 차이를 보여줄 수 있을 것으로 기대하였다. Case I에서는 2018년 7월 1일 86.5mm, Case II에서는 2018년 8월 28일 96.5mm의 강수량을 기록해 일강수량 80mm 이상인 집중호우 기준에 부합하였다.

2) Sentinel-2 위성영상

연구지역 탐지를 위해 ESA(European Space Agency)에서 취득된 Sentinel-2 위성영상을 활용하였다. Sentinel-2 위성은 2015년에 발사된 2A와 2017년에 발사된 2B로 구성된 쌍둥이 위성으로서(Lee *et al.*, 2017), Landsat-8 위성보다 정밀한 해상도와 다양한 분광 정보를 제공하고 있다(Kim *et al.*, 2019). 또한, 재방문주기가 5일로 Landsat-8 위성과 비교했을 때 강우일(Rainfall Day)에 보다 근접한 일자의 영상을 확보할 수 있을 것으로 기대하였다. 선별된 일강수량 데이터를 바탕으로 강우일 직전 및 직후의 구름 없는 영상을 확보하려 하였으나, 국내를 대상으로 한 여름철 위성영상이 전반적으로 많은 운량을 보유하고 있어 최종적으로는 표 2와 같은 위성영상을 수집하였다. 구름의 영향으로 Dataset II의 강수 전 영상이 호우경보 발표를 기준으로 12일의 간격을 보이지만, 16일의 재방문주기를 갖는 Landsat-8 위성에 비해 짧은 간격의 위성영상을 확보할 수 있었으므로 Sentinel-2 위성영상을 이용하여 연구를 진행하는 데 무리가 없다고 판단하였다.

TABLE 2. Sentinel-2 imagery datasets before and after rainfall day

Dataset	Date	Platform	ID
I	2018-06-22	Sentinel-2B	L1C_T52SCG_A006750_20180622T021601
	2018-07-07	Sentinel-2A	L1C_T52SCG_A015873_20180707T021604
II	2018-08-16	Sentinel-2A	L1C_T52SCG_A016445_20180816T022315
	2018-08-31	Sentinel-2B	L1C_T52SCG_A007751_20180831T022201

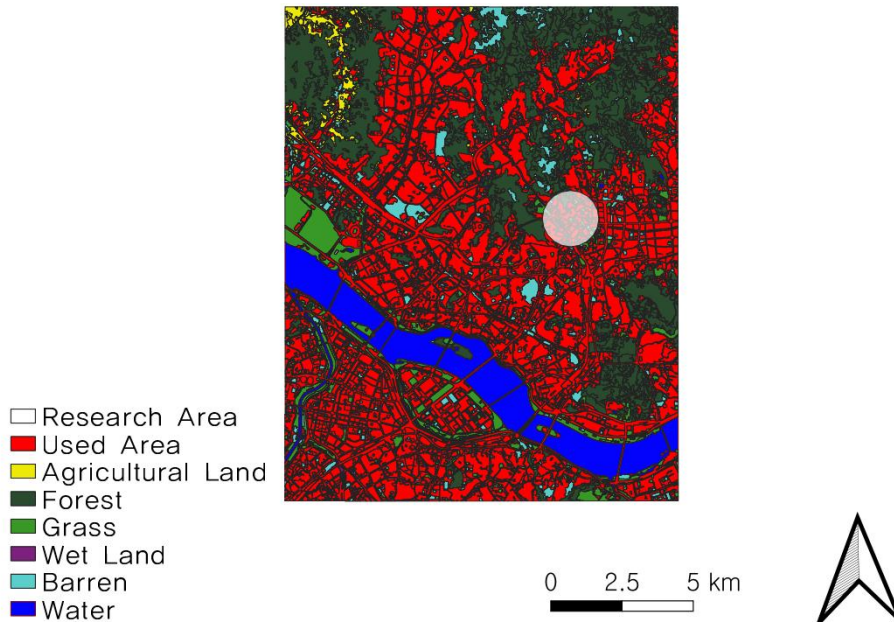


FIGURE 2. Land cover map of part of Seoul, including an research area

3) 토지피복지도

대상 지역의 토지피복 분류는 환경부의 환경공간 정보서비스에서 제공하는 토지피복지도를 이용하였다(Environmental Geographic Information Service(EGIS), 2018). 공간해상도 5m급의 중분류 토지피복지도를 대분류 7개 항목으로 변환하여 사용하였으며, 대상 지역이 포함된 도엽(도엽번호 376084)을 시가화·건조지역(Used Area), 농업지역(Agricultural Land), 산림지역(Forest), 초지(Grass), 습지(Wet Land), 나지(Barren), 수역(Water)의 7개 항목으로 분류한 토지피복지도는 그림 2와 같다.

3. 연구 방법

본 연구에서는 집중호우 전후 기상청 서울관측소 일대의 토지피복별 원격탐사지수 변화를 분석하였다. 일강수량 자료와 Sentinel-2 위성영상을 활용하여 원격탐사지수 영상을 제작하고, 통계를 산출해 집중호우 전후의 원격탐사지수를 비교하는 과정은 그림 3에서 확인할 수 있다.

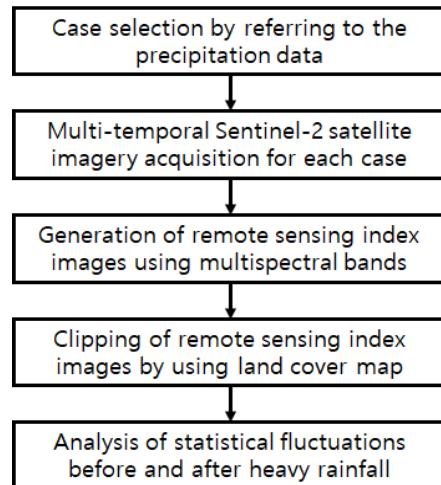


FIGURE 3. Flowchart showing the procedure carried out in this research

기상청의 과거 기상특보를 참고하여 일강수량 자료를 선별한 후 (Case I, II) 해당 강우기간의 전후 Sentinel-2 위성영상을 취득하였으며 (Dataset I, II), 이를 바탕으로 원격탐

TABLE 3. Spectral bands for the Sentinel-2(ESA, 2020)

Band Number	Sentinel-2A		Sentinel-2B		Spatial Resolution (m)
	Central Wavelength (μm)	Bandwidth (μm)	Central Wavelength (μm)	Bandwidth (μm)	
Band 1 (Coastal Aerosol)	442.7	21	442.3	21	60
Band 2 (Blue)	492.4	66	492.1	66	10
Band 3 (Green)	559.8	36	559.0	36	10
Band 4 (Red)	664.6	31	665.0	31	10
Band 5 (Red Edge)	704.1	15	703.8	16	20
Band 6 (Red Edge)	740.5	15	739.1	15	20
Band 7 (Red Edge)	782.8	20	779.7	20	20
Band 8 (NIR)	832.8	106	833.0	106	10
Band 8A (Narrow NIR)	864.7	21	864.0	22	20
Band 9 (Water Vapor)	945.1	20	943.2	21	60
Band 10 (SWIR - Cirrus)	1373.5	31	1376.9	30	60
Band 11 (SWIR)	1613.7	91	1610.4	94	20
Band 12 (SWIR)	2202.4	175	2185.7	185	20

사지수의 변화를 분석하기 위해 원격탐사지수 영상을 생성하였다. Sentinel-2 위성영상은 표 3과 같은 분광 밴드를 보유하고 있으며, 이러한 분광 특성을 이용하여 원격탐사지수 영상을 생성할 수 있다.

본 연구에서는 원격탐사지수 중 증발산에 영향을 미치는 식생의 변화를 탐지하기 위해 정규식생지수(NDVI)를 이용하였고, 이와 함께 보다 직접적으로 식생의 수분 변화를 탐지할 수 있다고 여겨지는 정규수분지수(NDWI, Normalized Difference Water Index) 및 정규습윤지수(NDMI, Normalized Difference Moisture Index)를 활용하였다.

정규식생지수(NDVI)는 가시광선 중 적색 밴드와 근적외선 밴드를 이용하는 지수로서, 건강하고 활력이 높은 식생에서 근적외선의 반사율이 매우 높게 나타나는 것에 착안하여 Rouse *et al.*(1974)에 의해 고안되었다. 현재 식생 분석을 위해 가장 보편적으로 사용되고 있는 원격탐사지수로서(Shin and An, 2004), -1에서 +1까지의 값을 가지고 이 값이 높을수록 즉 밝게 나타날수록 식생의 활력이 높다는 것을 의미한다. 정규수분지수(NDWI)는 가시광선 중 녹색 밴드와 근적외선 밴드를 이용하여 계산되며, 지표에서 수체를 구분하기 위해 개발되었다

(Jang *et al.*, 2017). 정규식생지수와 마찬가지로 -1에서 +1까지의 값을 가지고, 이 값이 높을수록 수분이 많은 상태를 의미한다. 따라서 하천, 호수, 습지 등 수분을 다량으로 함유하고 있는 지형지물을 위성영상에서 탐지하는 데 주로 사용된다(Park *et al.*, 2016). 정규습윤지수(NDMI)는 근적외선 밴드와 중적외선 밴드의 비율에 의해 결정되며, 주로 식생의 수분함유량을 측정하기 위해 이용되며, 이 역시 -1에서 +1의 값을 가지고, 값이 높을수록 수분함유량이 높은 것을 의미한다. 정규수분지수는 특히 도시지역 내 수체에 민감하게 반응하고 정규습윤지수는 식생 및 토양의 수분함유량의 미묘한 변화(subtle change)를 감지하는 데 유용하여, 두 가지 원격탐사지수를 함께 적용하였을 때 보다 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대하였다. Sentinel-2 위성영상을 이용한 상기 원격탐사지수의 영상은 아래의 식 1~3에 의해 생성된다(GEO University, 2020).

$$NDVI = \frac{Band_8 - Band_4}{Band_8 + Band_4} \tag{1}$$

$$NDWI = \frac{Band_3 - Band_8}{Band_3 + Band_8} \tag{2}$$

$$NDMI = \frac{Band_8 - Band_{11}}{Band_8 + Band_{11}} \quad (3)$$

식 1~3에서 Band 3, Band 4, Band 8 및

Band 11은 각각 Green 밴드, Red 밴드, 근적외선 밴드 및 SWIR(Short Wave Infra-Red) 밴드를 의미한다. 그림 4는 식 1~3을 이용해 각각 생성한 Case I의 집중호우 전후 원격탐

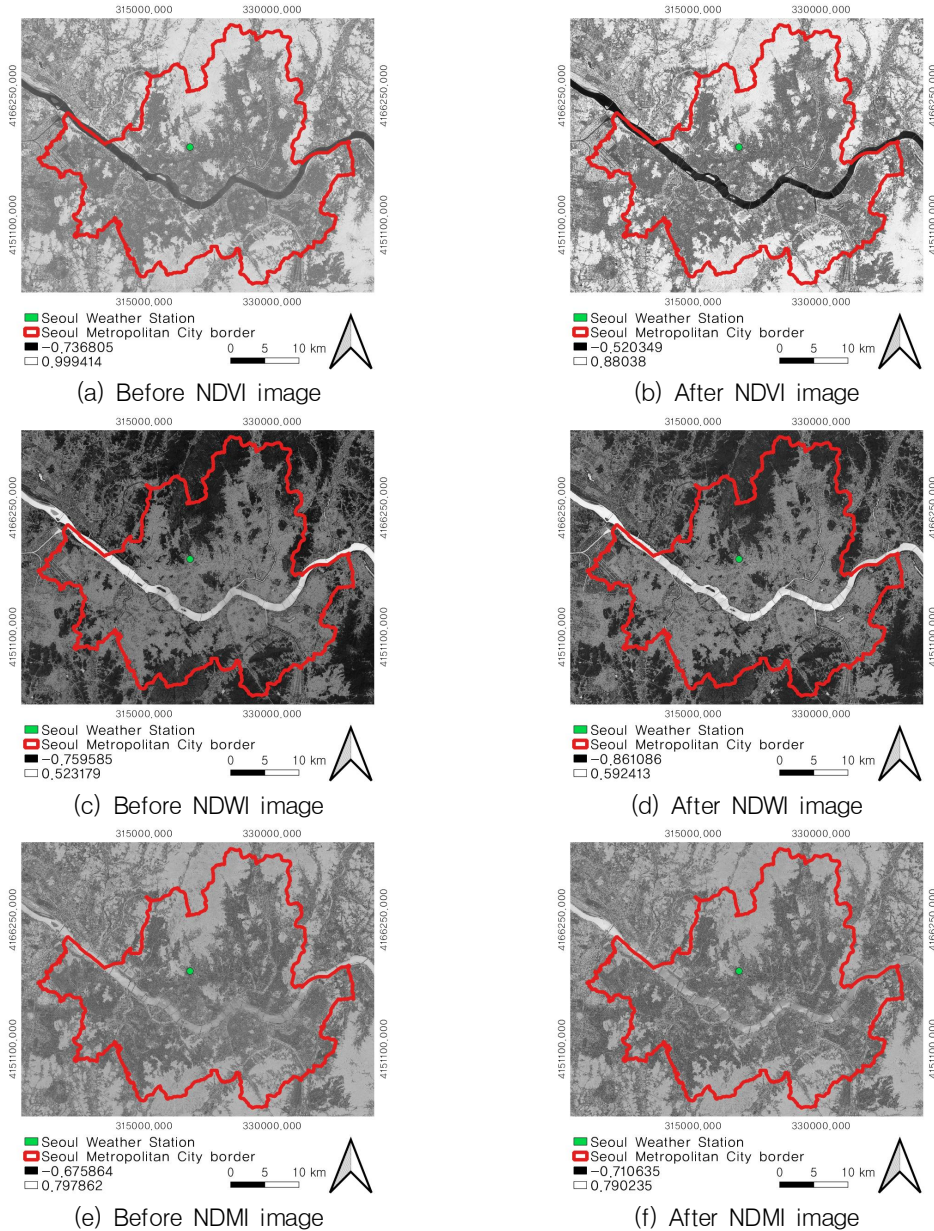


FIGURE 4. Examples of the remote sensing index images for case I

사지수 영상이다. 정규식생지수(NDVI) 영상에서는 서울시 외곽의 산지 환경에서 주로 화소 값이 밝게 나타나고 있으며, 이 지역에서 식생의 활력이 상대적으로 높다는 것을 알 수 있다. 정규수분지수(NDWI) 영상에서는 도시와 산지 지역이 어둡게 나타나고, 대표적인 수체(Water Body)로서 한강이 상대적으로 밝게 보인다. 정규습윤지수(NDMI) 영상에서는 식생의 밀도가

높은 주변 산지와 수체인 한강이 상대적으로 밝게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다.

생성된 각 원격탐사지수 영상을 환경부에서 제공하는 토지피복도를 이용해 토지피복별로 분류하였으며, 이를 기상청 서울관측소(37.57142N, 126.9658E)를 기준점으로 하여 반경 1,000m에 해당하는 범위로 잘라(clipping) 토지피복별 영상을 제작하였다. 그리고 해당 영상들로부터

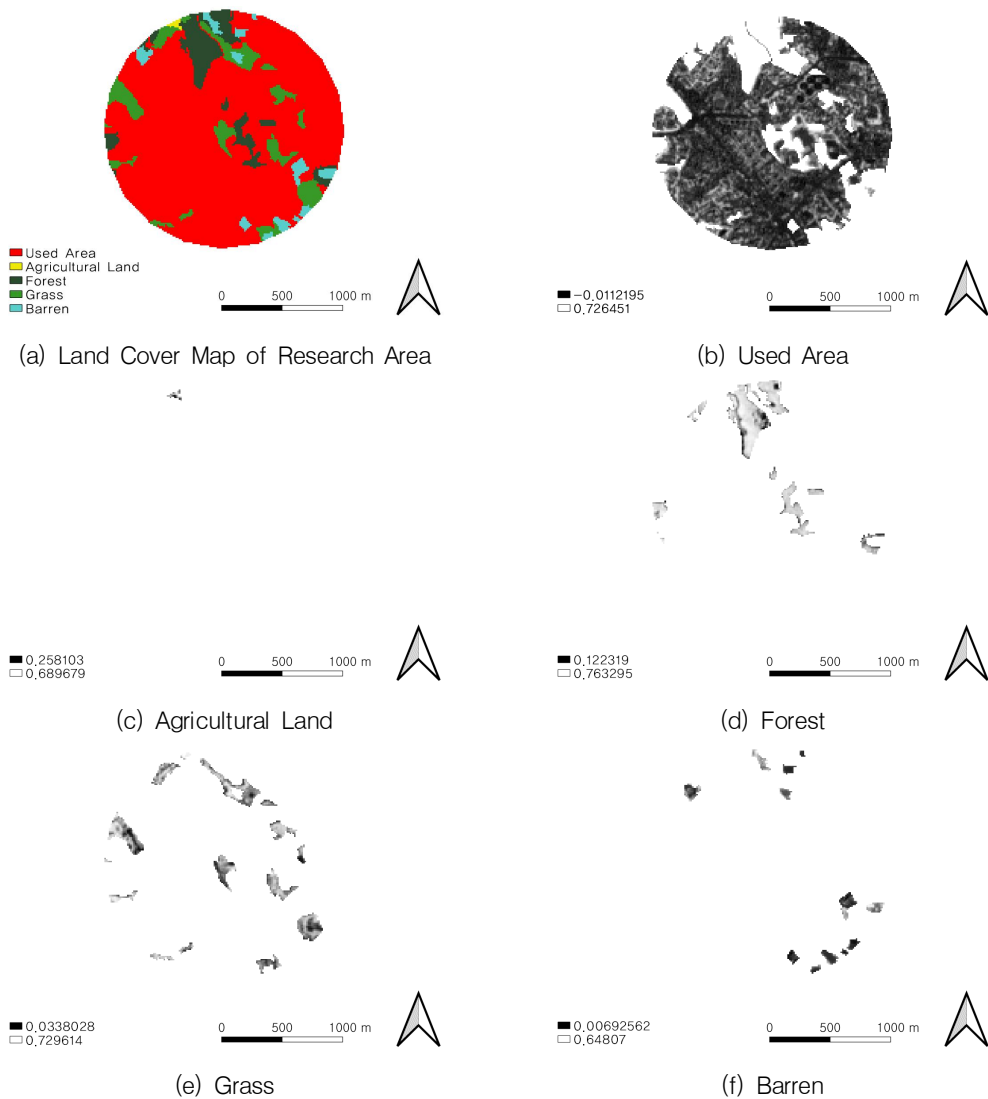


FIGURE 5. Land cover map of research area and clipping NDVI images for case 1

원격탐사지수의 최댓값, 최솟값 및 평균을 추출하여 비교·분석하였다. 그림 5는 연구 대상 지역의 토지피복지도와 Case I의 강우일 전에 해당하는, 토지피복별로 제작한 정규식생지수(NDVI) 영상 예시이다.

결과 및 고찰

본 연구에서는 기상청 서울관측소 일대의 집중호우 전후 원격탐사지수 변화를 탐지하기 위해 다중시기 Sentinel-2 위성영상과 일강수량

자료를 활용하여 토지피복별 원격탐사지수 영상을 제작한 후, 각 영상을 구성하고 있는 픽셀(pixel)의 원격탐사지수 최댓값, 최솟값 및 평균과 그 증감을 확인하였다(표 4).

정규식생지수(NDVI), 정규수분지수(NDWI) 및 정규습윤지수(NDMI)의 세 가지 원격탐사지수 중에서 ± 0.1 이상의 변화는 Case I의 시가화·건조지역 및 나지와 Case II의 농업지역에서 일부 확인할 수 있었다. Case I의 시가화·건조지역에서 정규식생지수의 최솟값이 0.36 감소, 정규수분지수의 최댓값이 0.15 증

TABLE 4. Statistics of remote sensing indices for research area

Case	Land Cover	NDVI				NDWI				NDMI					
		Before	After	Difference	Difference(%)	Before	After	Difference	Difference(%)	Before	After	Difference	Difference(%)		
I	Used Area	Max	0.72	0.79	0.07	9.7	0.05	0.20	0.15	300.0	0.34	0.35	0.01	2.9	
		Min	-0.01	-0.37	-0.36	-3600.0	-0.61	-0.66	-0.05	-8.2	-0.36	-0.56	-0.20	-55.5	
		Mean	0.20	0.19	-0.01	-5.0	-0.19	-0.16	0.03	15.7	0.00	-0.02	-0.02	-500.0	
	Agricultural Land	Max	0.68	0.73	0.05	7.3	-0.26	-0.23	0.03	11.5	0.26	0.24	-0.02	-7.6	
		Min	0.25	0.22	-0.03	-12.0	-0.59	-0.61	-0.02	-3.3	0.02	0.00	-0.02	-100.0	
		Mean	0.51	0.55	0.04	7.8	-0.45	-0.47	-0.02	-4.4	0.18	0.17	-0.01	-5.5	
	Forest	Max	0.76	0.81	0.05	6.5	-0.14	-0.09	0.05	35.7	0.40	0.39	-0.01	-2.5	
		Min	0.12	0.07	-0.05	-41.6	-0.65	-0.69	-0.04	-6.1	-0.10	-0.13	-0.03	-30.0	
		Mean	0.59	0.65	0.06	10.1	-0.51	-0.54	-0.03	-5.8	0.23	0.22	-0.01	-4.3	
	Grass	Max	0.72	0.77	0.05	6.9	-0.04	0.05	0.09	225.0	0.35	0.36	0.01	2.8	
		Min	0.03	-0.01	-0.04	-133.3	-0.60	-0.63	-0.03	-5.0	-0.13	-0.18	-0.05	-38.4	
		Mean	0.43	0.48	0.05	11.6	-0.38	-0.40	-0.02	-5.2	0.14	0.13	-0.01	-7.1	
	Barren	Max	0.64	0.76	0.12	18.7	0.02	0.15	0.13	650.0	0.32	0.31	-0.01	-3.1	
		Min	0.00	-0.05	-0.05	-833.3	-0.55	-0.63	-0.08	-14.5	-0.21	-0.42	-0.21	-100.0	
		Mean	0.26	0.27	0.01	3.8	-0.26	-0.25	0.01	3.8	0.02	0.01	-0.01	-50.0	
	II	Used Area	Max	0.72	0.73	0.01	1.3	0.23	0.29	0.06	26.0	0.40	0.41	0.01	2.5
			Min	-0.11	-0.13	-0.02	-18.1	-0.59	-0.59	0.00	0.0	-0.58	-0.52	0.06	10.3
			Mean	0.17	0.18	0.01	5.8	-0.13	-0.13	0.00	0.0	-0.02	-0.01	0.01	50.0
Agricultural Land		Max	0.67	0.70	0.03	4.4	-0.16	-0.17	-0.01	-6.2	0.21	0.29	0.08	38.1	
		Min	0.14	0.19	0.05	35.7	-0.55	-0.57	-0.02	-3.6	-0.06	-0.05	0.01	16.6	
		Mean	0.49	0.55	0.06	12.2	-0.35	-0.46	-0.11	-31.4	0.12	0.17	0.05	41.6	
Forest		Max	0.77	0.78	0.01	1.3	-0.04	0.00	0.04	100.0	0.37	0.44	0.07	18.9	
		Min	0.04	0.05	0.01	25.0	-0.62	-0.63	-0.01	-1.6	-0.15	-0.17	-0.02	-13.3	
		Mean	0.58	0.59	0.01	1.7	-0.47	-0.47	0.00	0.0	0.15	0.18	0.03	20.0	
Grass		Max	0.72	0.74	0.02	2.7	0.07	0.06	-0.01	-14.2	0.42	0.38	-0.04	-9.5	
		Min	-0.02	-0.02	0.00	0.0	-0.59	-0.60	-0.01	-1.6	-0.24	-0.29	-0.05	-20.8	
		Mean	0.42	0.46	0.04	9.5	-0.34	-0.37	-0.03	-8.8	0.11	0.14	0.03	27.2	
Barren		Max	0.76	0.76	0.00	0.0	0.20	0.22	0.02	10.0	0.31	0.39	0.08	25.8	
		Min	-0.04	-0.06	-0.02	-50.0	-0.63	-0.64	-0.01	-1.5	-0.40	-0.33	0.07	17.5	
		Mean	0.25	0.28	0.03	12.0	-0.23	-0.24	-0.01	-4.3	0.00	0.04	0.04	571.4	

가, 정규습윤지수의 최솟값이 0.20 감소한 것을 확인하였고, 나지에서 정규식생지수의 최댓값이 0.12 증가, 정규수분지수의 최댓값이 0.13 증가, 정규습윤지수의 최솟값이 0.21 감소하였다. 그리고 Case II의 농업지역에서는 정규수분지수의 평균만 0.11 감소한 것이 확인되었다. 평균을 고려했을 때, Case I에서는 토지피복별로 -0.03에서 0.06의 차이만 발생하였고, Case II에서는 토지피복별로 0.06에서 -0.11의 차이만 발생하였다. 본 연구에서 활용된 원격탐사지수(NDVI, NDMI, NDWI)의 최댓값(1)과 최솟값(-1)을 고려했을 때, Case I, II에서 발생한 집중호우 전후의 원격탐사지수 변화는 미세하다고 할 수 있다.

그리고 Case I의 강우일 후 영상에서 일부 음영이 나타나 시가화·건조지역의 통계에 영향을 준 것으로 파악되었고, Case별, 원격탐사지수별, 토지피복별로 나누어 보았을 때 일관된 변화가 나타난 것으로 보기는 어렵다. 특히 상대적으로 큰 변화를 보여줄 것으로 기대하여 비교군으로 제시한 호우경보 기준의 Case II에서 거의 변화가 확인되지 않았으므로, 집중호우 전후 토지피복별 원격탐사지수에 유의미한 변화가 발생한 것은 아니라고 판단된다.

본 연구에서는 일강수량 자료를 활용하여 기상청 서울관측소 일대의 구름이 없는 Sentinel-2 위성영상 자료를 취득하였으나, 이는 2018년 여름철에 촬영된 영상에 한정되어 있으므로 향후 다양한 시기의 위성영상 확보 및 분석 사례 제시를 통해 연구의 신뢰성을 높여야 할 것이다. 추후 연구에서는 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 등 일별 원격탐사지수 정보를 확보할 수 있는 위성영상을 활용하여 보다 더 정밀한 집중호우 전후의 원격탐사지수의 변화를 분석할 필요가 있다.

결 론

본 연구에서는 도시홍수에 영향을 미치는 물수지의 변화를 간접적으로 파악하기 위해, 일강

수량 자료와 다중시기 Sentinel-2 위성영상을 활용하여 기상청 서울관측소 일대의 정규식생지수(NDVI), 정규수분지수(NDWI) 및 정규습윤지수(NDMI)의 변화를 분석하였다. 기상청 서울관측소를 기준으로 1,000m 반경의 원격탐사지수 영상을 제작하여 토지피복별로 픽셀(pixel)의 최댓값, 최솟값, 평균 및 증감을 비교·분석한 결과 집중호우 전후 도시지역을 구성하는 다양한 토지피복(시가화·건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 나지)에서 원격탐사지수에 유의미한 변화가 발생하지 않는다는 사실을 확인하였다.

또한 본 연구에서는 일강수량 자료를 바탕으로 호우주의보 및 경보에 해당하는 사례를 선별하여, 범위별로 Sentinel-2 위성영상 자료를 이용해 원격탐사지수 영상을 제작하였다. 그러나 본 연구에서는 집중호우 시기에 획득된 위성영상의 기상조건, Sentinel-2 위성영상의 획득 주기 등 다양한 제한 조건으로 인해 2018년 여름철로 사례가 국한되어 있으며, 범위도 최대 반경 1,000m로 한정되었고 사용 가능한 Sentinel-2 위성영상의 개수도 제한되었다. 추후 연구에서 다양한 시기의 사례와 대상 범위를 1, 5, 10km 등 다양하게 선정 및 분석하여 도시지역의 위성영상을 활용하여 산출한 원격탐사지수 변화를 파악한다면 연구의 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 추후연구에서는 MODIS 등 본 연구에서 활용한 Sentinel-2 위성영상과 다른 공간해상도, 밴드 종류 및 획득 주기를 가진 위성영상을 활용하여 보다 더 정밀한 집중호우 전후 원격탐사지수 변화 분석을 진행할 계획이다.

REFERENCES

Chamaille-Jammes, S. and H. Fritz. 2009. Precipitation-NDVI relationships in eastern and southern African savannas vary along a precipitation gradient. *International Journal of Remote Sensing*

- 30(13):3409-3422.
- Choi, W.J., T.S. Jung, K.J. Kim, S.Y. Choi, J.W. Cho, C.J. Kwak, J.W. Heo, J.U. Jin, K.A. Seo and S.H. Ko. 2014. A development of major disaster response scenarios and standards by locally (I) -focused on urban flooding and drought-. National Disaster Management Research Institute (NDMI) Primary Research Report. p.15 (최우정, 정태성, 김경준, 최승용, 조재웅, 광창재, 허지원, 진지웅, 서경아, 고신혜. 2014. 지역별 주요 재난 대응 시나리오 및 기준개발 (I) -도시홍수 및 가뭄 중심으로-. 국립재난안전연구원 주요사업 연구보고서. 15쪽).
- Environmental Geographic Information Service (EGIS). 2018. Land Cover Map. <https://egis.me.go.kr/intro/land.do>. (Accessed may 13, 2020).
- European Space Agency (ESA). 2020. MultiSpectral Instrument (MSI) Overview. <https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument>. (Accessed april 6, 2020).
- GEO University. 2020. Remote Sensing Satellite Data and Spectral Indices. <https://www.geo.university/pages/spectral-indices-with-multispectral-satellite-data>. (Accessed march 13, 2020).
- Han, W.S. and T.S. Park. 2014. Diagnosis and policy direction of urban flooding disaster prevention system. KRIHS Policy Brief. p.2 (한우석, 박태선. 2014. 도시홍수 방재체계의 문제점 진단 및 정책방향. 국토정책 Brief. 2쪽).
- Jang, J.C., Y.W. Yoon and K.A. Park. 2017. Development of R&E educational program using satellite image for science-gifted student -focused on land use classification around Siheung-si-. School Science Journal 11(1):98-112. (장재철, 윤예원, 박경애. 2017. 위성 영상을 활용한 과학 영재 대상 R&E 교육 프로그램 개발 -시흥시 주변 지표이용분류를 중심으로-. 현장과학교육 11(1):98-112).
- Jang, M.W., S.H. Yoo and J.Y. Choi. 2007. Analysis of spring drought using NOAA/AVHRR NDVI for North Korea. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 49(6):21-33. (장민원, 유승환, 최진용. 2007. NOAA/AVHRR NDVI를 이용한 북한지역 봄 가뭄 분석. 한국농공학회논문집 49(6):21-33).
- Jung, W.K., S.K. Lim and M.S. Kim. 1999. Changes of agricultural land use after flooding analyzed by Landsat-TM data. The Journal of the Korean Society of International Agriculture 11(2):155-160. (정원교, 임상규, 김무성. 1999. LANDSAT-TM 자료를 이용한 경기도 연천지역의 홍수후 농경지 변화 추정. 한국국제농업개발학회지 11(2):155-160).
- Kawabata, A., K. Ichii and Y. Yamaguchi. 2001. Global monitoring of interannual changes in vegetation activities using NDVI and its relationships to temperature and precipitation. International Journal of Remote Sensing 22(7):1377-1382.
- Kim, B.K., D.W. Jang, N. Zhang and D.M. Yang. 2011. The deduction of urban flood risk factor considering climate change. Crisisonomy 7(1):125-142. (김보경, 장대원, 장남, 양동민. 2011. 기후변화를 고려한 도시홍수 위험요인 도출. 한국위기관리논집 7(1):125-142).
- Kim, D.W., J.C. Park and D.H. Jang. 2017.

- Analysis of the possibility for drought detection of spring season using SPI and NDVI. *Journal of the Association of Korean Geographers* 6(2):165-174. (김동우, 박중철, 장동호. 2017. 표준강수지수와 정규식생지수를 활용한 봄 가뭄 탐지 가능성 분석. *한국지리학회지* 6(2):165-174).
- Kim, E.S., B.R. Lee and J.H. Lim. 2019. Forest damage detection using daily normal vegetation index based on time series Landsat Images. *Korean Journal of Remote Sensing* 35(6):1133-1148. (김은숙, 이보라, 임중환. 2019. 시계열 위성영상 기반 평년 식생지수 추정을 통한 산림생태계 피해 탐지 기법. *대한원격탐사학회지* 35(6):1133-1148).
- Kim, I.H. 2016. Drone based construction of spatial image information and plan of GIS data gathering and utilizing. *Real Estate Focus* 95. p.35 (김인현. 2016. 드론의 공간 영상 정보 구축과 GIS자료 수집 및 활용방안. *부동산 포커스* 95. 35쪽).
- Kim, S.H., J. Heo, K.H. Yun and H.G. Sohn. 2007. Impervious surface estimation using Landsat-7 ETM+ image in An-sung area. *Korean Journal of Remote Sensing* 23(6):529-536. (김성훈, 허준, 윤공현, 손홍규. 2007. Landsat-7 ETM+ 영상을 이용한 안성지역의 불투수도 추정. *대한원격탐사학회지* 23(6):529-536).
- Kim, Y.R. and J.K. Jin. 2018. Diagnosis and improvement of water-cycle policy in Seoul. *Seoul Institute Policy Research Report*. p.2 (김영란, 진정규. 2018. 서울시 물순환정책 진단과 개선방안. *서울연구원 정책과제연구보고서*. 2쪽).
- Korea Meteorological Administration(KMA). 2020. Historical Data. Ground Observation Data. https://www.weather.go.kr/weather/climate/past_cal.jsp. (Accessed march 13, 2020).
- Korean Statistical Information Service (KOSIS). 2019. Population status of urban areas. http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=315&tblId=TX_315_2009_H1001&vw_cd=MT_OTITLE&list_id=315_31502_008&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=E1. (Accessed march 31, 2020).
- Lee, S.J., K.J. Kim, Y.H. Kim, J.W. Kim and Y.W. Lee. 2017. Development of FBI(Fire Burn Index) for Sentinel-2 images and an experiment for detection of burned areas in Korea. *Journal of the Association of Korean Photo-Geographers* 27(4):187-202. (이수진, 김광진, 김영호, 김지원, 이양원. 2017. Sentinel-2 영상 기반의 FBI(Fire Burn Index) 개발 및 우리나라 산불피해지역 탐지 실험. *한국사건지리학회지* 27(4):187-202).
- Park, J.S., K.T. Kim, J.H. Lee and K.S. Lee. 2006. Applicability of multi-temporal MODIS images for drought assessment in South Korea. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 9(4):176-192. (박정술, 김경탁, 이진희, 이규성. 2006. 봄 가뭄 평가를 위한 다중시기 MODIS 영상의 적용성 분석. *한국지리정보학회지* 9(4):176-192).
- Park, J.S., W.H. Lee and M.H. Jo. 2016. Improving accuracy of land cover classification in river basins using Landsat-8 OLI image, vegetation index, and water index. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 19(2):98-106. (박주성, 이원희, 조명희. 2016. Landsat-8 OLI 영상과 식

- 생 및 수분지수를 이용한 하천유역 토지피복 분류 정확도 개선. 한국지리정보학회지 19(2):98-106).
- Parmiggiani, F., G. Quarta, G.P. Marra and D. Conte. 2006. NDVI fluctuations from 1995 to 2006 in South Italy and North Africa: A search for a climate change indicator. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering 6359.
- Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell and D.W. Deering. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. 3rd Earth Resource Technology Satellite Symposium. Proceedings 1:48-62.
- Shin, H.J., M.J. Park, E.H. Hwang, H.S. Chae and S.J. Kim. 2015. A study of spring drought using Terra MODIS satellite image -for the Soyanggang dam watershed-. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 18(4):145-157. (신형진, 박민지, 황의호, 채효석, 김성준. 2015. Terra MODIS 위성영상을 이용한 봄 가뭄 연구 - 소양강댐유역을 대상으로-. 한국지리정보학회지 18(4):145-157).
- Shin, S.C. and T.Y. An. 2004. Estimation of areal evapotranspiration using NDVI and temperature date. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 7(3):79-89. (신사철, 안태용. 2004. NDVI와 기온자료를 이용한 광역증발산량의 추정. 한국지리정보학회지 7(3):79-89).
- Shin, S.C., S. Jeong, K.T. Kim, J.H. Kim and J.S. Park. 2006. Drought detection and estimation of water deficit using NDVI. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 9(2):102-114. (신사철, 정수, 김경탁, 김주훈, 박정술. 2006. NDVI를 이용한 가뭄지역 검출 및 부족수분량 산정. 한국지리정보학회지 9(2):102-114).
- Tourre, Y.M., L. Jarlan, J-P. Lacaux, C.H. Rotela and M. Lafaye. 2008. Spatio-temporal variability of NDVI-precipitation over southernmost South America: possible linkages between climate signals and epidemics. Environmental Research Letters 3(4) 044008:1-9.