

대전천 생태하천복원지역의 지표특성 분석을 위한 원격탐사 자료의 활용*

김재엽** · 장동호***

An Applications of Remote Sensing Data for the Land Surface Characteristics Analysis of Ecological Stream Restoration Area in Daejeon Stream*

Jae-Yeob Kim** · Dong-Ho Jang***

요약 : 하천의 정기적인 모니터링은 지난 수십 년간 진행된 생태하천복원사업의 복원성과에 대한 불확실성을 주기적으로 점검하고 보완할 수 있는 중요한 활동이다. 더 나아가 체계적인 관리 방법 등을 모니터링할 수 있는 새로운 과학적 접근 방법이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 하천의 과학적 모니터링 방법을 제시하기 위해 대전천을 대상으로 생태하천 복원 전후의 토지피복과 NDVI 그리고 지표면 온도를 분석하였다. 이를 위해 KOMPSAT-2 영상자료에서 토지피복과 NDVI 분포도를 작성하였고, Landsat-5와 Landsat-8의 TIR 영상자료를 이용하여 지표면 온도 분포도를 작성하였다. 연구결과, 토지피복은 생태하천복원사업 전후로 인공구조물과 나지가 감소하고 식생이 크게 증가한 것으로 나타났다. 특히, 하천 복개공사가 진행된 구간에서 수역 및 식생의 면적이 급격히 증가하였다. NDVI 분석에서는 모든 구간에서 복원 전에 비해 NDVI가 높게 나타났으며, 특히 연구지역 중 가장 상류 구간에서 값이 높게 나타났다. 지표면온도 분석에서는 대부분의 지역에서 지표면온도가 높아졌는데, 이는 사용된 영상의 공간해상도가 하천의 규모에 비해 너무 작아서 정확한 분석을 할 수 없었기 때문인 것으로 판단된다. 하지만, 거리별 지표면온도 분석에서는 하천으로부터 거리가 멀어질수록 지표면온도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 지표면온도 분석 역시 토지피복 및 NDVI 분석과 마찬가지로 생태하천 복원사업 전후의 지표특성 분석에 유용함을 확인할 수 있었다.

주요어 : 토지피복, NDVI, 지표면 온도, Landsat, KOMPSAT-2, 생태하천

Abstract : Periodic monitoring of stream is an important activity on the long term stream restoration project in terms of supplement and inspection. In the systematic management method, new scientific approaches are also necessary. Through this study, for the purpose of scientific management method, land-cover, NDVI and land surface temperature has been analyzed before and after ecological stream restoration of Daejeon Stream. To achieve this, the land-cover and NDVI distribution maps have been prepared from KOMPSAT-2 images and Landsat-5 and 8 images were used to produce the land surface temperature distribution maps. As a result of the study showed that after ecological stream restoration, urban and bare land was decreased, whereas vegetation was increased. Particularly in stream covering section, the area of water and vegetation were sharply increased. After stream restoration NDVI result shows the high value for all sections, especially the upstream region of the study area. In the land surface temperature change calculation, temperature was risen in most sections. However, those are presumed it this is because used image resolution was not high enough for the real size of stream. According to analysis of surface temperature by distances, the more distance from stream, the more temperature decrease. Therefore, the measurement of land surface temperature as well as analysis of the land-cover and NDVI would be useful to evaluate about land surface properties of ecological stream before and after restoration.

Key Words : Land-cover, NDVI, Surface temperature, Landsat, KOMPSAT-2, Ecological stream

*이 논문은 2013년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF2013S1A3A2052995).

**공주대학교 지리학과 석사(Master, Department of Geography, Kongju National University, blader2@kongju.ac.kr)

***공주대학교 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Kongju National University, gisrs@kongju.ac.kr)

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

지난 수십 년간 하천생태계의 중요성이 부각되면서 생태계 복원을 위한 자연형 하천정비 사업이 전국적으로 광범위하게 진행되어 왔다. 초기의 하천정비 사업은 주로 수해예방 기능을 강화하는 이수 및 치수의 목적으로 이루어졌다. 하지만 수해예방 측면의 하천정비 사업은 하천시설물 및 하천 주변의 무분별한 토지이용으로 하천을 생태적으로 단절시키고, 전천화로 인해 수생태계를 교란시키는 결과를 가져왔다(구운모 등, 2014). 이러한 문제점들이 심화되자 하천의 생태적 기능을 되살리고자 하는 다양한 시도가 진행되고 있으며, 특히 하도 뿐만 아니라 주변 둔치로까지 생태하천 복원의 범위를 확대시키고 있는 추세이다.

최근에는 생태하천에 대한 국민적 관심 증대와 함께 하천복원 사업이 급증하고 있지만, 선진국에 비해 생태하천 복원의 전문 인력과 예산이 부족한 실정이다. 특히, 하천 주변의 자연생태 기반 공간정보 획득의 부족으로 인하여 하천정비기본계획이나 하천환경정비사업 등 생태하천 관리 업무를 효율적으로 수행하기 위한 지속적인 정보의 갱신이 어렵다(환경부, 2014).

생태하천 복원은 구성요소간의 상관관계가 복잡하고 홍수·가뭄과 같은 하천 유량의 변동성에 따라 교란생태계가 나타날 수 있어서 복원성과 있어 불확실성이 있다. 또한 복원사업이라 하더라도 공사과정 동안의 인위적 교란이 발생하여 하천 생태계에 악영향을 줄 수 있고, 공사 직후에는 일정 기간 동안 의도치 않은 생태적 변화를 수반하기도 한다. 따라서 생태복원의 유효성을 높이면서 성과의 불확실성을 보완하고 부정적 영향을 경감하기 위해서는 지속적인 모니터링을 통한 하천생태계 평가와 그에 따른 적응관리 과정이 필요하다(최정권 등, 2015).

따라서 생태하천 복원 분야에서 하천생태계 평가와 생태하천 복원에 따른 체계적인 적응 관리 방법 등을 모니터링 할 수 있는 새로운 과학적 접근 방법이 필요하다(김재엽·장동호, 2015). 그중 항공사진 및 위성영상을 이용한 원격탐사 기법은 광역성을 가지고, 주기적인 관측이 가능하다는 점에서 시간의 흐름에 따른 공간 변화를 관찰하기에 유용하다(염종민 등, 2008). 즉 원격탐사의 장점은 생태하천복원 전·후의 하천 및 하천주변의

시·공간적 변화를 관측하기에 적합하다. 또한 생태하천 복원사업 지역의 지표특성 변화를 탐지하고, 이를 정량적으로 분석할 수 있다.

원격탐사기법을 이용한 생태하천관리 분야에서의 지표특성 분석은 주로 토지피복 분류, 지표면 온도 추정, 식생지수 분석 등이 주된 연구방법이었다. 하지만, 대부분의 연구들은 하천 내의 지표 특성 보다는 도심지역 전체를 대상으로 연구를 수행하였다. 그중 Lo *et al.*(1997)은 ATLAS 자료에서 산출된 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 사용하여 하천 주변지역의 토지피복에 따른 반사도와 식생의 양 사이에 일정한 상관관계를 파악하였으며, Ross *et al.*(2006)은 다중시기 MODIS NDVI 자료를 이용하여 생태보존지역의 토지피복 변화를 탐지하였다. 또한 Ainong *et al.*(2006)은 원격탐사 및 GIS 기법을 이용하여 티베트평야 동쪽의 Minjiang 강의 지표생태 환경 특성을 분석하였으며, Barraza *et al.*(2013)은 아르헨티나의 베르메호강 유역을 대상으로 MODIS 영상 자료에서 산출된 NDVI를 이용하여 시계열 분석을 통한 지표면 변화 모니터링을 실시하였다. 이밖에 Osman *et al.*(2014)은 다중시기 위성영상 자료를 이용하여 터키의 솔트레이크 주변 관개시설에 대한 지표면온도와 식생지수 변화를 모니터링 하였다.

국내에서도 위성영상을 이용한 생태하천 연구가 수행되었는데, 김상욱·박종화(2003)는 원격탐사 자료에서 산출된 식생지수와 SPOT-5 영상으로 작성한 토지피복도를 분석하여 하천변 습지를 판별하는 방법론을 제시하였다. 또한 윤영배(2005)는 태화강의 치천인 척과천을 대상으로 식생지수와 하천자연도 평가 지수의 관계를 분석하였으며, 권혁춘·이병길(2009)은 원격탐사 자료를 이용한 지표면온도와 식생지수와의 상관계수를 통한 토지피복에 따른 온도분포 특성을 분석하였다. 이밖에 조명희 등(2009)은 청계천 하천 복원사업을 통한 원격탐사 자료를 이용한 지표면 열분포 변화를 분석하였으며, 김재엽·장동호(2015)는 위성영상 자료를 이용하여 생태하천 복원사업 전후의 지표 특성을 분석하였다.

이상의 선행연구들은 대부분 하천복원사업이 실시된 도심하천을 중심으로 사업 전·후의 하도 내 지표특성 등을 분석하였다. 하지만 사용된 위성영상들이 중해상도 위성영상을 사용하거나, 지표면온도 및 NDVI와 같은 특정 지표에 개별적인 분석결과를 도출하는 한계를 가지고 있었다. Landsat과 같은 중해상도 위성영상을 폭이 작은 하

천에 적용할 경우 하도 내 지표특성을 분석하기에는 한계가 있으며, 또한 지표면온도와 NDVI는 그 상관성이 매우 높기 때문에 개별적으로 분석하는 것보다 각각의 요소를 분석하여 그 상관성을 파악하는 것이 더 효율적일 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하고자 Landsat 위성영상 뿐만 아니라 고해상도 위성영상인 KOMPSAT-2를 사용하여 정밀한 지표특성 결과 값을 도출하고자 한다. 특히, 하천복원사업 전후의 고해상도 위성영상을 이용하여 하도 내 토지피복 및 NDVI 등을 정량적으로 분석하고, 중해상도 위성영상을 이용하여 지표면 온도 변화를 분석하고자 한다. 이를 통해 생태하천복원사업 전·후의 지표면 특성 변화 및 복원 효과를 분석하고자 한다.

2. 연구지역 및 연구방법

본 연구에서는 생태하천복원사업 전후의 지표 특성 변화 및 복원사업의 효과를 분석하기 위해 생태하천복원사업(2006년~2010년)이 진행된 대전광역시 대전천을 연구지역으로 선정하였다(그림 1). 특히, 연구지역 내에서 지표 특성 변화를 정량적으로 분석하기 위해 4개의 구간을 임의로 설정하였다. A구간은 유등천과 합류하는 지점에서 선화교, B구간은 선화교에서 보문교, C구간은 보문교에서 대별교, D구간은 대별교에서 사용된 영상에서의 끝지점 구간이다.

대전천은 금강수계에 속하며, 갑천과 유등천과 더불어 금강의 제3지류에 속한다. 유로연장은 44.88km, 하천연장 22.4km, 유역면적 138.45km²의 지방하천이다. 유역 내 이수 현황을 살펴보면, 생활용수와 농업용수는 대청호로부터 공급받으며, 농업용수는 하천의 표류수를 이용하고 있다. 대전시 동구 하소동과 금산군 복수면 및 추부면의 경계인 만인산에서 발원하여 서쪽으로 유하하면서 도시화 밀도가 가장 높은 도심지를 관통하여 유등천에 유입된다(대전광역시, 2003).

대전천은 본래 목척교를 중심으로 아름다운 도심경관



그림 1. 연구지역 위치도

을 자랑하였으나 1970년대에 들어 대전시의 경제 발전과 함께 하상도로, 주차장 건설, 복개 등으로 인해 생태계 훼손 및 수질이 악화되어 하천의 구조와 기능을 상실하였다. 그러나 목적교 살리기 상호협력과 더불어 ‘청계천+20프로젝트’ 선도사업으로 선정되어 기존의 복개구간을 철거하였으며, 또한 수변 경관의 개선을 통하여 도심 속 수변 휴식 공간 조성 및 생태하천복원을 통한 생물종 다양성을 증대시키고자 하였다.

본 연구에서 사용된 위성영상은 고해상도 위성영상인 KOMPSAT-2와 중해상도 위성영상인 Landsat TM/OLI(Operational Land Imager) 센서의 자료이다. 대전천의 생태하천복원 전·후의 영상을 한 장씩 취득하였고 사용된 영상의 제원은 다음과 같다(표 1).

표 1. 연구에 사용된 위성영상의 제원

Satellite	Sensor	Path/Row	Acquisition date	Acquisition Time
KOMPSAT-2	MSC	1081 / 1271	2007.07.05	10:37:07
	MSC	1082 / 1272	2014.06.27	11:03:37
Landsat	TM	115/35	2005.04.28	10:52:13
	OLI	115/35	2014.04.21	11:04:54

본 연구는 생태하천복원사업 전후의 지표 특성 변화 및 복원사업의 효과를 분석하기 위해 고해상도 위성인 KOMPSAT-2영상을 사용하여 식생지수 및 토지피복 변화를 탐지하였고, Landsat TM/OLI 영상을 이용하여 지표면온도 변화를 분석하였다. 식생 변화 탐지에는 NDVI를 활용하였고, 토지피복 변화 분석은 위성영상의 분류 방법 중 하나인 객체기반 분류방법을 이용하였다. 이밖에 지표면 온도는 TIR(Thermal Infrared)밴드를 이용하였으며, 이를 통하여 생태하천복원사업의 효과가 주변 지역의 온도 저감에 영향을 미치는지를 고찰하였다. 구체적인 연구방법은 다음과 같다.

먼저, 위성영상의 기하학적 왜곡을 보정하기 위해 기하보정을 실시하였다. KOMPSAT-2 영상은 정밀 기하보정을 위해 참조 영상으로 항공사진을 이용하였으며, KOMPSAT-2 영상과 항공사진에서 각각 약 30점씩 지상기준점(GCP, Ground Control Point)을 추출하였다. 추출한 지상기준점을 이용하여 일반적으로 사용되는 Affine 변환으로 KOMPSAT-2 영상을 기하보정하였다. 기하보정 후 결과 값의 정확도 향상을 위해 영상에 실제 지형 고도를 입력하는 정사보정을 수행하였다. 정사보정 시 사용된 데이터는 1:5000 수치지도를 이용하여 구축한 DEM(Digital Elevation Model)과 KOMPSAT-2 RPC(Rational Polynomial Coefficient)를 사용하였다. Landsat 영상도 KOMPSAT-2 영상과 동일한 과정을 통하여 전처리를 실시하였다. 정사보정까지 완료된 KOMPSAT-2와 Landsat 영상의 RMSE는 반 픽셀 이내로 나타났다. 또한 Landsat 영상을 이용한 지표면온도 분석을 위해 방사보정을 실시하였다.

다음으로, 전처리된 영상은 지표 특성 분석을 위해 토지피복, NDVI 및 지표면 온도를 산출하였다. 토지피복 분류는 고해상도 영상 분류에 주로 사용되는 eCognition Developer 프로그램의 다해상도 분할(multi resolution segmentation)기능을 이용하여 객체 분할을 수행하였다. 그리고 객체 분할된 영상에 대해 각 클래스별 훈련지역을 선정 후 최근린내삽법(nearest neighbor)을 이용한 감독분류를 재실시하였다. 분류된 클래스는 인공구조물(urban), 나지(bare land), 초지 및 식생(vegetation), 수역(water)으로 총 4개이다. 또한 작성된 각각의 토지피복도는 생태하천복원사업 전후를 분석하고자 클래스별로 면적을 구하여 증감량을 계산하였다.

고해상도 위성영상을 이용한 생태하천복원사업 전후

의 NDVI 변화량을 산출하기 위해서는 동일계절 및 동일 시기 자료를 사용하는 것이 바람직하다(김재엽·장동호, 2015). 하지만, 획득된 KOMPSAT-2 영상은 자료 획득의 한계로 동일시기의 자료를 획득하지 못하였다. 따라서 본 연구는 가급적 생태하천복원사업 시행 전과 후에 가장 가깝게 촬영된 영상을 선택하였다. 이 때, 계절변화로 인해 자연적으로 NDVI가 높아지는 것을 피하기 위하여, 복원사업 후의 영상 선택은 사업 전 영상보다 더 이른 계절에 촬영된 것을 사용하였다.

지표면 온도 산출을 위해서는 NDVI 산출과 마찬가지로 동일한 기상조건에 해당하는 자료를 사용하는 것이 바람직하지만, 자료 획득의 한계로 동일한 기상조건을 자료를 획득하지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 생태하천복원사업 전후의 지표면 온도를 산출한 후 전체 영상의 지표면 온도값과 하천변의 온도값을 연산하여 그 차이를 구하였다. 이를 통해 기상조건에 따른 지표면 온도 변화값을 최소화 하여 생태하천복원사업 전후의 지표면 온도 변화값을 비교하였다. 지표면 온도 산출은 NASA(National Aeronautics and Space Administration)에서 제공하는 복사 휘도값을 이용한 지표면 온도 계산식을 사용하였다(Chander and Markham, 2003). 산출된 지표면 온도는 다시 하천 인근지역에 온도저감 영향을 분석하고자 추출된 연구 범위 경계에서 30m 간격으로 150m 까지 범위에 대한 지표면 온도를 재산출하였다. 본 연구의 영상분석 및 자료처리는 ENVI 4.7의 FAASH Tool과 PCI Geomatica 2013 및 ArcMap 9.3을 이용하였다.

II. 생태하천 복원사업 전후의 지표특성 분석

1. 토지피복 변화 분석

KOMPSAT-2 영상을 이용한 대전천 복원사업 전후의 토지피복 변화 분석을 위해 먼저 분류된 토지피복도에 대해 정확도 검증을 실시하였다. 그 결과, 대전천 복원사업 전후 토지피복도 각각의 전체정확도는 86.7%, 82.8%로 나타났으며, 대부분의 클래스들이 80% 이상의 생산자 및 사용자 정확도를 유지하고 있어서 토지피복 변화 특성 분석에 유용할 것으로 판단하였다.

대전천 복원사업 전후의 토지피복 변화 분석결과, 인

표 2. 대전천 생태하천사업 전후 구간별 토지피복분류 결과

(단위 : m²)

구간			Urban	Bare land	Vegetation	Water
A	합류부 ~ 선화교	전	26,722	19,182	171,637	58,402
		후	28,310	9,832	158,350	79,514
		증감	+1,588	-9,350	-13,287	+21,112
B	선화교 ~ 보문교	전	78,944	3,543	21,817	19,407
		후	36,801	20,617	42,724	23,280
		증감	-42,143	+17,074	+20,907	+3,873
C	보문교 ~ 대별교	전	56,873	55,776	149,855	62,541
		후	55,286	20,335	193,415	56,133
		증감	-1,587	-35,441	+43,560	-6,408
D	대별교 ~ 끝지점	전	3,741	10,568	76,852	18,007
		후	10,616	10,576	66,382	21,792
		증감	+6,875	+8	-10,470	+3,785
전 구간 (A ~ D)		전	166,280	89,069	420,161	158,357
		후	131,013	61,360	460,871	180,719
		증감	-35,267	-27,709	+40,710	+22,362

공구조물, 나지의 면적이 각각 35,267m², 27,709m²로 감소하였고, 식생 및 수역은 각각 40,710m², 22,362m²로 감소하였다. 구간별로 살펴보면, A구간에서는 인공구조물, 구역의 면적이 각각 1,588m², 21,112m²로 증가하였고, 나지, 식생은 각각 9,350m², 13,287m²로 감소하였다. B구간에서는 인공구조물은 42,143m²로 감소하였고, 나지, 식생, 수역은 각각 17,074m², 20,907m², 3,873m²로 증가하였다. C구간에서는 인공구조물, 나지, 수역이 각각 1,587m², 35,441m², 6,408m²로 감소하였고, 식생은 43,560m²로 증가하였다. D구간에서는 인공구조물, 나지, 수역은 각각 6,875m², 8m², 3,785m²로 증가하였고, 식생은 10,470m²로 감소하였다(표 2).

전체적으로, 대전천은 인공구조물과 나지가 감소하고 식생이 크게 증가한 것으로 나타났다. 생태하천복원사업 전의 B구간은 홍명상가, 중앙데파트 그리고 하상주차장으로 복개되어 있었으나 ‘청계천+20프로젝트’ 선도사업으로 선정되어 기존의 복개구간을 철거하였다. 그 결과 본 연구의 토지피복분류에서 인공구조물이 크게 감소한 것으로 나타났다. C구간에서는 비포장된 하상주차장이 나지로 분류된 경우가 많았으나, 사업 후에 초지로 변한 것으로 판단된다. A와 D구간은 비교적 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 작성된 대전천의 구간별 토지

피복도는 그림 2와 같다.

2. NDVI 분석

연구지역의 시계열 NDVI 분석에서는 KOMPSAT-2 영상의 PAN 밴드와 MS 밴드를 융합한 영상을 이용하여 1m 공간해상도를 갖는 값을 산출하였다. 연구 범위는 제방 안쪽으로 정하고 수치지도를 이용하여 대상지 경계를 동일하게 추출하였고, 분석 값에 영향을 줄 수 있는 불필요한 수로는 마스킹(masking) 처리하였다. 또한 생태하천복원사업의 전·후를 정밀하게 분석하고자 토지 피복도와 마찬가지로 각각 4개의 구간으로 나누어 NDVI 분포도와 통계 값을 구간별로 작성하였다.

대전천 생태하천 복원사업 전·후 NDVI의 증감량을 살펴보면, A구간에서 최대값은 0.344, 최소값은 0.287, 평균값은 0.337로 증가하였고, B구간에서 최대값은 0.351, 최소값은 0.232, 평균값은 0.324로 증가하였다. C구간에서 최대값은 0.357, 최소값은 0.389, 평균값은 0.359로 증가하였고, D구간에서 최대값은 0.324, 최소값은 0.301, 평균값은 0.323로 증가하였다(표 3).

또한 모든 구간에서 NDVI 최소값이 0에 가까운 값을 나타냈으며, 특히 B구간에서 NDVI의 최대값과 최소값

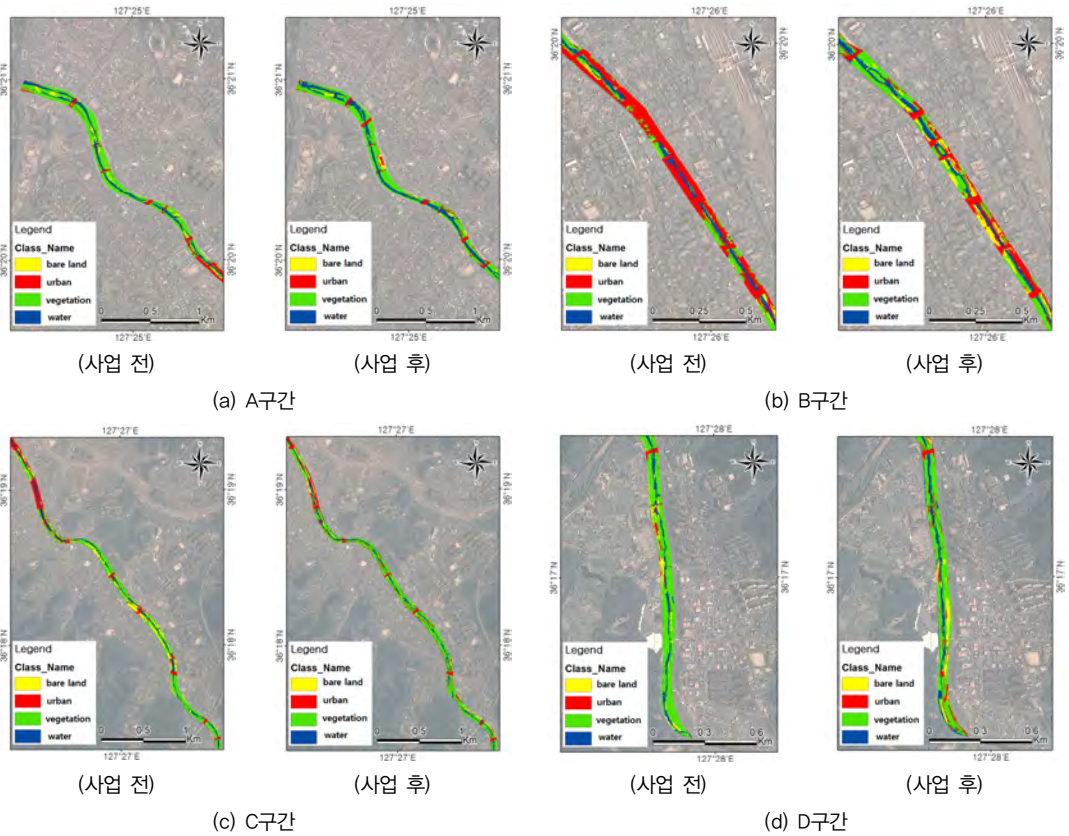


그림 2. 대전천 생태하천사업 전후 구간별 토지피복분류도

표 3. 대전천 생태하천사업 전후 구간별 NDVI 분석 결과

구간			최대값	최소값	평균값	표준편차
A	함류부 ~ 선화교	전	0.028	-0.316	-0.100	0.060
		후	0.372	-0.029	0.237	0.057
		증감	+0.344	+0.287	+0.337	-0.003
B	선화교 ~ 보문교	전	-0.008	-0.388	-0.191	0.041
		후	0.343	-0.156	0.178	0.046
		증감	+0.351	+0.232	+0.369	+0.005
C	보문교 ~ 대별교	전	0.050	-0.383	-0.117	0.066
		후	0.407	0.006	0.242	0.055
		증감	+0.357	+0.389	+0.359	-0.011
D	대별교 ~ 끝지점	전	0.048	-0.209	-0.071	0.044
		후	0.372	0.092	0.252	0.031
		증감	+0.324	+0.301	+0.323	-0.013

그리고 평균값이 모두 가장 낮은 값이 나타났다. 이는 대전천이 관측된 2007년 7월 당시 B구간은 홍명상가 및

중앙데파트와 같은 건축물로 하천이 복개되거나 하상 주차장으로 많이 이용된 구역을 포함하기 때문이다. D

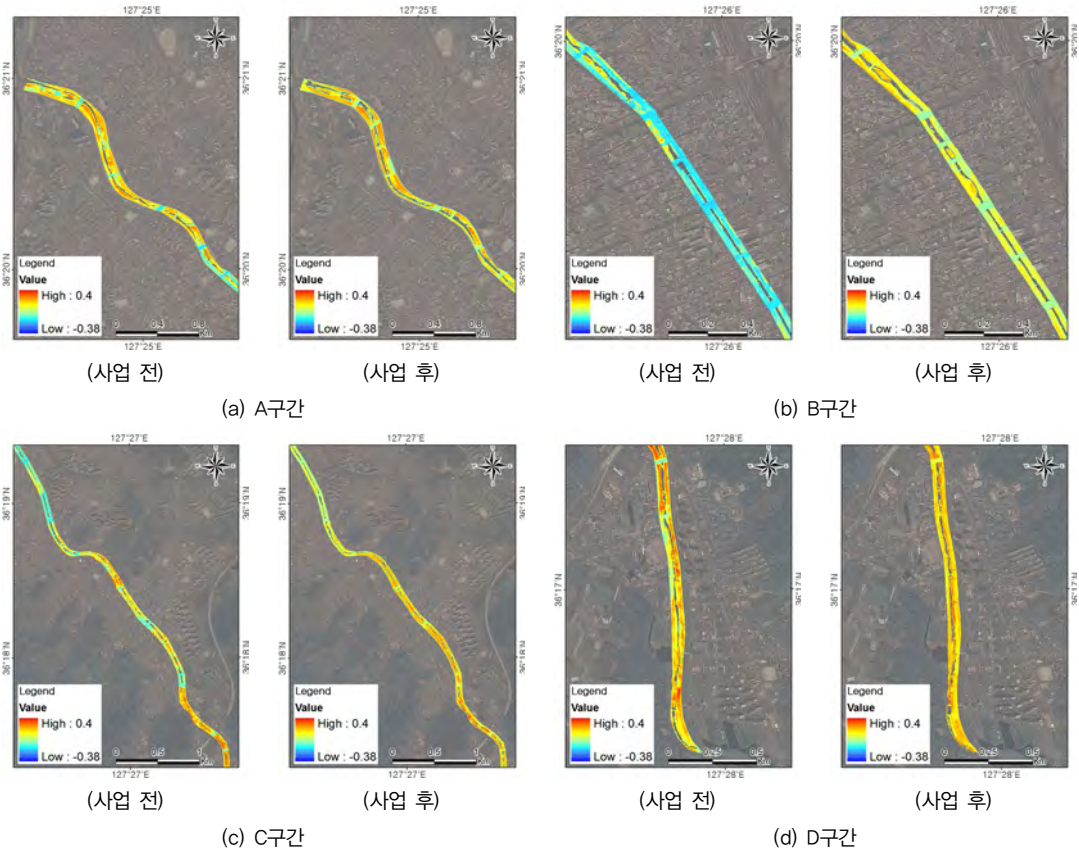


그림 3. 대전천 생태하천사업 전후 구간별 NDVI 분포도

구간은 도심지에서 가장 멀리 떨어진 구간으로 NDVI가 다른 구간에 비해 비교적 높은 값을 나타냈다.

생태하천복원사업 전·후의 구간별 평균 NDVI를 종합하여 보면, 모든 구간에서 복원 전에 비해 NDVI가 높게 나타났다. 또한 사업 전과 마찬가지로 NDVI 값이 B구간에서 비교적 낮은 값을 보였고, D구간에서 높은 값이 나타났다. 특히, NDVI 값의 가장 큰 변화는 B구간에서 나타났는데, 이는 토지피복 분석과 마찬가지로 복원사업 과정에서 복개된 구간을 철거한 효과로 판단된다. 작성된 대전천의 구간별 NDVI 분포도는 그림 3과 같다.

3. 지표면온도 분석

본 연구에서는 Landsat TIR밴드를 이용하여 생태하천 복원사업 전후의 변화량을 산출하였다. 특히, 생태하천 복원사업의 영향이 인근지역의 온도 변화에 영향을 미

치는지 분석하기 위해 추출된 연구범위의 경계에서 30m 간격으로 최대 150m 까지 경계를 설정하여 지표면온도를 산출하였다. 그 결과, 대전천 생태하천복원사업 전의 구간별 지표면온도에서는 D구간에서 32°C로 가장 높은 지표면온도를 나타냈고, A구간에서 26°C로 가장 낮은 지표면온도가 나타났다. 평균 지표면온도는 D구간에서 29.7°C로 가장 높게 나타났고, A구간에서 27.5°C로 가장 낮게 나타났다. 복원사업 후에는 B구간에서 24°C로 가장 높은 지표면온도가 나타났고, D구간에서 17°C로 가장 낮은 지표면온도가 나타났다. 평균 지표면온도는 B구간에서 21.8°C로 가장 높게 나타났고, D구간에서 20.2°C로 가장 낮게 나타났다(표 4).

전체 영상의 지표면온도와 하천 내 지표면온도를 연산하여 비교해 본 결과, 전 구간(A~D)의에서 최대값이 -1°C 감소하고, 최소값이 1°C 증가하였으며, 평균값은 1.005°C 증가하였다. 세부적으로 A구간을 비롯하여 B구

표 4. 대전천 생태하천사업 전후의 전체 영상의 지표면온도

(단위 : °C)

구간			최대값	최소값	평균값	표준편차
A	합류부 ~ 선화교	전	29	26	27,527	0.724
		후	23	19	21,068	0.935
B	선화교 ~ 보문교	전	31	28	29,231	0.691
		후	24	21	21,845	0.709
C	보문교 ~ 대별교	전	31	27	29,008	0.644
		후	23	18	20,815	0.848
D	대별교 ~ 끝지점	전	32	28	29,712	0.936
		후	22	17	20,210	0.984
전 구간(A~D)		전	32	26	28,676	1.087
		후	24	17	20,961	0.987
전체 영상		전	35	21	27,785	1.892
		후	28	11	19,065	2.961

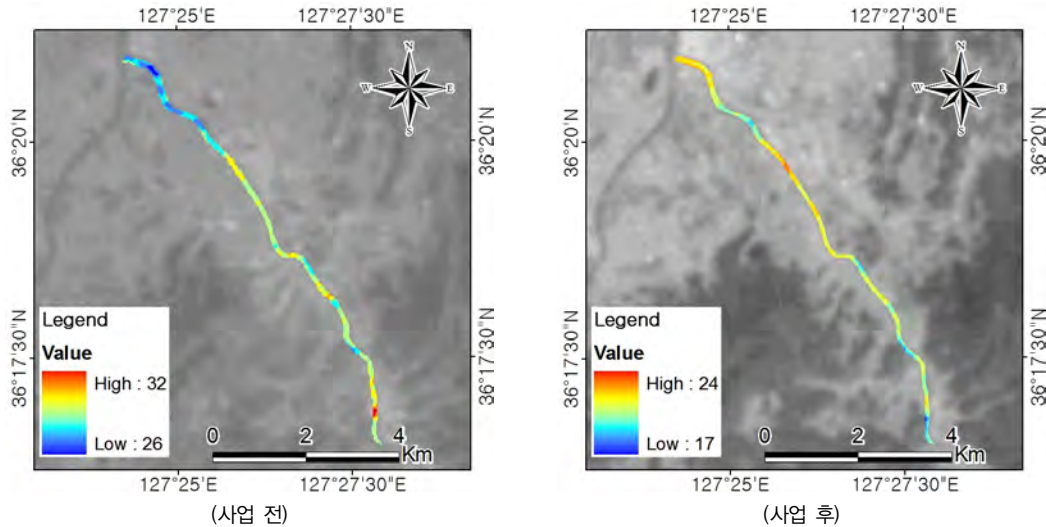


그림 4. 대전천 생태하천사업 전후의 지표면온도 분포도

간 및 C구간은 평균값이 일정부분 증가하는 양상을 보였으나, D구간의 경우 유일하게 평균값이 감소하는 양상이 나타났다. 작성된 대전천의 지표면온도 분포도는 그림 4와 같다.

대전천의 토지피복 분석과 NDVI 분석에서 식생이 증가하였고, 인공구조물이 감소한 결과가 나타났다. 하지만 토지피복도와 NDVI와 상관성이 있는 지표면온도는 오히려 상승한 결과를 보였다. 한편, 생태하천복원사업 전후로 하천구간만을 비교 했을 시 각 구간별로 비교적인 온도 차이를 볼 수 있다. 이러한 결과는 영상 취득

시점의 기상개황을 원인으로 추측할 수 있다. 지표면 온도는 영상 취득 시기의 날씨에 따라 큰 차이를 나타낼 수 있는데, 사업 전 획득한 영상의 날씨는 평균기온 21.4°C, 최고기온 28°C, 최저기온 16.5°C이었으며, 사업 후 획득한 영상의 날씨는 평균기온 15.6°C, 최고기온 22.6°C, 최저기온 8.9°C으로 나타났다. 두 영상의 촬영시간은 모두 오전 11시 안팎으로 큰 차이는 없었다. 사업 전의 평균기온은 사업 후의 평균기온보다 5.8°C 더 높았고 이러한 기온의 차이에 근거하여 생태하천복원사업 이후 하천의 각 구간별 지표면온도 차이를 사업 전후 두 시기의 기온

표 5. 대전천 생태하천사업 전후 주변지역 지표면온도 분석

(단위 : °C)

거리(m)	최대값		최소값		평균값		표준편차	
	전	후	전	후	전	후	전	후
30	32	24	26	17	28.868	21.113	1.023	1.127
60	32	25	27	16	29.130	21.466	1.042	1.304
90	32	25	27	16	29.451	21.713	1.083	1.467
120	32	26	27	16	29.698	21.857	1.219	1.651
150	33	26	27	16	29.735	21.803	1.337	1.824

차로부터 기인하는 것으로 판단할 수 있을 것이다.

하지만 날씨에 따른 지표면온도의 영향은 전체 영상의 지표면 온도 값과 하천변의 온도 값을 연산한 차이와는 다소 상반된 결과가 나타난다. 이 같은 이유는 본 연구에 사용된 Landsat 영상 TIR밴드의 공간해상도에 비해 하천의 규모가 작아서 정확한 분석을 할 수 없었기 때문인 것으로 판단되며, 같은 이유로 수로를 마스킹할 수 없었기에 신뢰할 만한 자료를 획득하지 못한 한계점이 있었다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하고 하천 주변지역이 복원공사 이후 지표면온도 저감에 어떤 영향을 미치는지를 분석하기 위해 전체 영상의 지표면온도와 하천 내 지표면온도를 연산하여 비교하였다.

그 결과, 대전천 복원사업 전의 거리별 지표면온도에서는 30m 구간에서 평균 지표면온도가 28.8°C로 가장 낮게 나타났고, 150m 구간에서 평균 지표면온도가 29.7°C로 가장 높게 나타났다. 복원사업 후에도 30m 구간에서 평균 지표면온도가 21.1°C로 가장 낮게 나타났고, 150m 지점에서 평균 지표면온도가 21.8°C로 가장 높게 나타났다. 또한 하천에서 거리가 30m씩 멀어질수록 지표면온도가 소폭으로 상승하는 것을 분석할 수 있었다(표 5).

종합하여 보면, 대전천의 복원사업 전후의 지표면온도 분석 결과는 KOMPSAT-2 영상에 비해 Landsat 영상이 낮은 공간해상도로 인해 정확한 지표면온도를 분석할 수 없었다. 하지만, 거리별 지표면온도 분석에서 하천으로부터 거리가 멀어질수록 지표면온도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 지표면온도 분석 역시 토지피복분석 및 NDVI 분석과 마찬가지로 생태하천 복원사업 전후의 지표특성 분석에 유용함을 확인할 수 있었다.

III. 결론

본 연구에서는 고해상도 위성인 KOMPSAT-2 영상과 Landsat TM/OLI 영상을 활용하여 대전천의 생태하천복원사업 전후의 토지피복 및 NDVI, 지표면온도 변화 및 복원 효과를 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 대전천 생태하천복원사업 전·후의 토지피복의 변화에서는 전체적으로 인공구조물과 나지가 감소하고 식생이 크게 증가한 것으로 나타났다. 특히, 복원사업 전의 B구간은 홍명상강, 중앙데파트 그리고 하상주차장으로 복개되어 있었으나 복원사업 이후 철거가 진행되면서 수역 및 식생의 면적이 급격히 증가하였다. 또한 C구간에서는 비포장된 하상주차장이 나지로 분류된 경우가 많았으나, 사업 후에 초지로 변한 것으로 판단된다. 이밖에 A와 D구간은 비교적 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

둘째, 대전천 생태하천복원사업 전후의 NDVI의 변화에서는 전체적으로 모든 구간에서 복원 전에 비해 NDVI가 높게 나타났다. 또한 사업 전과 마찬가지로 NDVI 값이 B구간에서 비교적 낮은 값을 보였고, D구간에서 높은 값이 나타났다. 특히, NDVI 값의 가장 큰 변화는 B구간에서 나타났는데, 이는 토지피복 분석과 마찬가지로 복원사업 과정에서 복개된 구간을 철거한 효과로 판단된다.

마지막으로, 대전천 생태하천복원사업 전후의 지표면온도 변화 분석에서 대부분의 지역에서 지표면온도가 높아진 것으로 나타났다. 이는 사용된 Landsat 영상 TIR밴드의 공간해상도에 비해 하천의 규모가 작아서 정확한 분석을 할 수 없었기 때문인 것으로 판단된다. 하지만, 거리별 지표면온도 분석에서는 하천으로부터 거리가 멀어질수록 지표면온도가 낮아지는 것을 확인할 수

있었다. 따라서 지표면온도 분석 역시 토지피복분석 및 NDVI 분석과 마찬가지로 생태하천 복원사업 전후의 지표특성 분석에 유용함을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 다양한 위성영상을 이용하여 생태하천 복원사업 전후의 지표특성 변화를 분석할 수 있었다. 따라서 이러한 연구는 향후 지표면 특성 변화 자료를 기반으로 한 생태하천복원사업의 추진계획 및 체계적인 관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

참고문헌

구윤모·강형식·이미숙, 2014, “홍천강 생태하천 복원사업의 경제적 가치,” 한국환경생태학회지, 28(1), 71-79.

권혁춘·이병걸, 2009, “Landsat TM 영상을 이용한 제주도 도심지역 지표면온도분포와 식생지수의 상관성 분석,” 한국지형공간정보학회지, 17(4), 39-44.

김상욱·박종화, 2003, “다중시기 식생지수를 이용한 하천변 습지의 판별기법 조사,” 한국GIS학회 춘계학술대회자료집, 170-175.

김재엽·장동호, 2015, “다중시기 위성영상을 이용한 생태하천복원지역의 지표특성 분석-태화강을 대상으로-,” 한국지형학회지, 22(1), 63-73.

대전광역시, 2003, 도심생태하천조성 학술연구.

염종민·한경수·이창석·박윤영·김영섭, 2008, “SPOT/VEGETATION NDVI 자료를 이용한 북한지역 식생 변화 탐지,” 한국지리정보학회지, 11(2), 28-37.

윤영배, 2005, 자연형하천평가를 위한 원격탐사법 응용: 다중파장 위성영상의 식생지수 중심, 울산대학교 석사학위논문.

조명희·조운원·김성재, 2009, “도시복원사업의 열 환경 변화 분석을 위한 ASTER 열적외 위성영상자료의 활용: 청계천 복원사업을 사례로,” 한국지리정보학회지, 12(1), 73-80.

최정권·최미경·최철빈, 2015, “생태하천 복원 후 모니터링과 적응관리-안양시 학의천을 중심으로-,” 한국조경학회 학술발표논문집, 1, 19-20.

환경부, 2014, 생태하천복원사업 사업효과 분석 연구.

Ainong, L., Angsheng, W., Shunlin, L., and Wancun, Z., 2006, Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and

GIS—a case study in the upper reaches of Minjiang River, China, *Ecological Modelling*, 192(102), 175-187.

Barraza, V., Grings, F., Salvia, M., Perna, P., Carbajo, A.E., and Karszenbaum, H., 2013, Monitoring and modelling land surface dynamics in Bermejo River Basin, Argentina: time series analysis of MODIS NDVI data, *International Journal of Remote Sensing*, 34(15), 5429-5451.

Chander, G. and Markham, B., 2003, Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11), 2674-2677.

Lo, C.P., Quattrochi, D.A., and Luvall, J.C., 1997, Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect, *International Journal of Remote Sensing*, 18(2), 287-304.

Osman, O., Semih, E., and Filiz, D., 2014, Use of landsat land surface temperature and vegetation indices for monitoring drought in the Salt Lake Basin Area, Turkey, *The Scientific World Journal*, 2014, 142939, 1-11.

Ross, S.L., Joseph, F.K., Jayantha, E., John, G.L., and Dorsey, L.W., 2006, Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data, *Remote Sensing of Environment*, 105(2), 142-154.

교신 : 장동호, 314-701, 충남 공주시 신관동 182, 공주대학교 지리학과 (이메일: gisrs@kongju.ac.kr)

Correspondence : Dong-Ho Jang, 314-701, 182, Shin-kwandong, Gongju, Chungnam, Korea, Department of Geography, Kongju National University (Email: gisrs@kongju.ac.kr)

투 고 일: 2015년 11월 25일
심사완료일: 2015년 12월 7일
투고확정일: 2015년 12월 8일