

LiDAR DEM과 다중시기에 촬영된 Landsat 영상을 이용한 낙동강 유역 내 토지피복 변화 탐지

정윤재^{1*}

Land Cover Change Detection in the Nakdong River Basin Using LiDAR Data and Multi-Temporal Landsat Imagery

Yun-Jae CHOUNG^{1*}

요 약

본 연구는 LiDAR DEM(Digital Elevation Model)과 다중시기에 촬영된 Landsat 영상을 이용하여 4대강 정비사업이 시행되기 이전 및 이후에 낙동강 유역 내 발생한 토지피복 변화를 탐지 및 분석하기 위하여 수행되었다. 우선 LiDAR DEM으로부터 추출된 제방경계선을 이용하여 하천유역 폴리곤을 생성하고, 하천유역 폴리곤을 이용하여 다중시기에 촬영된 Landsat-5 TM(Thematic Mapper) 영상과 Landsat-8 OLI(Operational Land Imager) 영상으로부터 4개의 하천유역 영상을 각각 추출하였다. 그리고 영상분류방법을 적용하여 각 하천유역 영상으로부터 하천유역의 주요 토지피복인 하천, 나지, 초지를 각각 분류하였고, 전체 면적에서 각 토지피복이 차지하는 비율을 계산하였다. 다중시기에 촬영된 하천유역 영상으로부터 분류된 각 토지피복의 변화량을 분석한 결과, 4대강 정비사업이 시행되기 이전과 4대강 정비사업이 완공된 이후에는 계절의 변화에 의해 나지와 초지의 면적은 큰 폭으로 변화하였으나, 하천의 면적은 큰 변화가 없었다. 반면에 4대강 정비사업 전후로, 낙동강 유역 내 저수량의 증가로 인해 하천의 면적이 큰 폭으로 증가하였다. 본 논문은 LiDAR DEM과 4대강 정비사업 이전과 이후에 촬영된 위성영상들을 이용하여 4대강 정비사업으로 인해 발생한 하천 유역 내 토지피복 변화를 탐지할 수 있는 효과적인 방법을 제시하였는데 의의가 있다.

주요어 : 낙동강 유역, Landsat 영상, LiDAR DEM, 토지피복 변화 탐지

ABSTRACT

This research is carried out for the land cover change detection in the Nakdong River

2015년 5월 1일 접수 Received on May 1, 2015 / 2015년 6월 15일 수정 Revised on June 15, 2015 / 2015년 6월 18일 심사완료 Accepted on June 18, 2015

1 (주) 지오씨엔아이 공간정보기술연구소 Research Institute for Spatial Information Technology, GEO C&I Co., Ltd..

* Corresponding Author E-mail : choung12osu@gmail.com

basin before and after the 4 major rivers restoration project using the LiDAR DEM(Digital Elevation Model) and the multi-temporal Landsat imagery. Firstly the river basin polygon is generated by using the levee boundaries extracted from the LiDAR DEM, and the four river basin imagery are generated from the multi-temporal Landsat-5 TM(Thematic Mapper) and Landsat-8 OLI(Operational Land Imager) imagery by using the generated river basin polygon. Then the main land covers such as river, grass and bare soil are separately generated from the generated river basin imagery by using the image classification method, and the ratio of each land cover in the entire area is calculated. The calculated land cover changes show that the areas of grass and bare soil in the entire area have been significantly changed because of the seasonal change, while the area of the river has been significantly increased because of the increase of the water storage. This paper contributes to proposing an efficient methodology for the land cover change detection in the Nakdong River basin using the LiDAR DEM and the multi-temporal satellite imagery taken before and after the 4 major rivers restoration project.

KEYWORDS : *Nakdong River Basin, Landsat Imagery, LiDAR DEM, Land Cover Change Detection*

서 론

1. 연구배경 및 목적

4대강 정비사업(the 4 major river restoration project)은 우리나라에 위치한 4대강(한강, 낙동강, 영산강 및 금강)의 정비를 위하여 하도의 준설 및 친환경 보의 설치 등을 통한 하천의 저수량 증가, 하천구역에 위치한 제방의 보강, 하천 주변의 자전거길 조성 등을 목적으로 2008년부터 2012년까지 시행되었던 하천 정비 사업이다(MOLIT, 2009). 4대강 정비공사 전후로 발생한 하천 생태계 변화 분석 및 토지 이용 변화 탐지 등의 목적을 위하여 공간정보자료를 이용한 하천구역 내 토지 피복 변화 분석은 4대강 정비사업으로 인한 환경변화 등을 평가하기 위해 매우 중요하다.

우리나라 4대강의 긴 길이(한강: 494km, 낙동강: 510km, 영산강: 115km, 금강: 327km)를 고려하였을 때, 현장답사를 통한 지형조사 방식은 상대적으로 많은 시간 및 비용이 소모된다는 단점 때문에, 4대강 하천구역 내 토지피

복 변화 탐지에 적합하지 않다. LiDAR(Light Detection And Ranging) 자료 및 위성영상 등 공간정보자료는 넓은 면적을 차지하는 하천 유역의 분광 및 지형 정보를 높은 정확도로 획득할 수 있다는 장점 때문에(Choung, 2014a; Choung, 2014b), 하천구역 내 발생하는 토지 피복 변화 탐지에 유용하게 활용될 수 있다.

다중시기에 촬영된 공간정보자료들을 이용한 하천유역 내 토지피복 변화 탐지 연구는 우리나라와 해외에서 활발히 진행되어왔다. Raj and Azeez(2010)은 다중시기에 촬영된 Landsat 영상들을 이용하여 Bharathapuzha 강 유역에 발생한 토지피복 변화를 탐지하였다. Qingqing *et al.*(2012)은 위성영상을 이용하여 Manas강 유역에서 최근 30년 동안 발생한 토지피복변화를 탐지 및 분석 하였다. Adewumi (2013)는 다중시기에 촬영된 공간정보 자료들을 이용하여 Benue 강 유역의 토지피복 변화 패턴을 분석하였다. Park *et al.*(2013)은 항공 사진을 이용하여 낙동강 유역 내 토지피복 변화를 탐지하였다. Choung(2014b)은 RapidEye 영상과 LiDAR DEM을 이용하여 낙동강 하천

유역 내 토지 이용 현황을 분석하였다.

일반적으로 하천유역은 제방과 하천사이에 존재하는 평탄한 영역을 의미하며, 정확한 하천 유역을 설정하기 위해서는 DEM과 같은 지형정보를 제공할 수 있는 공간정보자료가 반드시 필요하다(Choung, 2014b). 본 연구에서는 항공 LiDAR DEM 자료와 4대강 정비사업이 시행되기 이전에 촬영된 두 Landsat-5 TM 영상과 4대강 정비사업이 완공된 이후에 촬영된 두 Landsat-8 OLI 영상을 이용하여 4대강 정비사업이 시행되기 이전, 전후 및 이후에 발생한 낙동강 유역 내 토지피복 변화를 탐지하였다. 우선, LiDAR DEM으로부터 제방경계선을 추출한 뒤, 이를 이용하여 Landsat-5 TM 영상 및 Landsat-8 OLI 영상들로부터 하천유역 영상들을 각각 추출하였다. 그리고 영상분류방법을 이용하여 추출된 하천유역영상들로부터 하천토지피복 분류단위인 하천, 나지, 초지 지역을 각각 분류하였고, 하천유역영상에서 각 토지피복들이 차지하고 있는 비율의 변화를 탐지하여, 연구대상지역으로 선정된 하천유역 내에서 다중시기에 발생한 각 토지피복의 변화량을 탐지하였다.

2. 연구대상지역의 선정 및 연구자료 확보

본 논문에서는 창녕, 창원 및 밀양을 지나가

는 낙동강 본류 20km 지역을 연구대상지역으로 선정하였다. Landsat 위성은 미국 국토지질조사국(USGS: United States Geological Survey), 미국 대기해양국(NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration) 및 미국 항공우주국(NASA: National Aeronautics and Space Administration) 등이 지구관측을 위한 목적으로 공동으로 개발한 민간목적 원격탐사 위성으로서, 1972년에 1호가 발사되었고 현재 8호 위성까지 발사되어 운용 중이다(USGS, 2015). 표 1은 본 연구에서 사용된 Landsat-5 TM 영상과 Landsat-8 OLI 영상의 속성정보를 보여준다.

본 연구에서는 4대강 정비공사가 시행되기 이전(2006년 12월 4일과 2007년 5월 13일)에 촬영된 두 Landsat-5 TM 영상과 4대강 정비공사가 시행된 이후(2013년 12월 23일과 2014년 4월 14일)에 촬영된 두 Landsat-8 OLI 영상을 이용하여 4대강 정비사업 이전, 4대강 정비사업 전후 및 4대강 정비사업 이후에 발생한 낙동강 내 토지피복 변화를 탐지하였다. 서로 다른 시기에 연구대상지역을 촬영한 Landsat-5 TM 영상 및 Landsat-8 OLI 영상은 그림 1에서 확인할 수 있다.

본 연구에서 사용된 LiDAR DEM 자료는 Choung(2014b)이 사용한 자료와 동일하며

TABLE 1. Attributes of Landsat-5 TM and Landsat-8 OLI imagery used in this research (USGS, 2015)

	Landsat-5 TM imagery	Landsat-8 OLI imagery
Spatial resolution	30m	30m
Horizontal datum	GRS (Geodetic Reference System) 80	GRS (Geodetic Reference System) 80
Bands	Band 1:0.45-0.52 μ m Band 2:0.52-0.60 μ m Band 3:0.63-0.69 μ m Band 4:0.76-0.90 μ m Band 5:1.55-1.75 μ m Band 6:10.4-12.5 μ m Band 7:2.08-2.35 μ m	Band 1:0.43-0.45 μ m Band 2:0.45-0.51 μ m Band 3:0.53-0.59 μ m Band 4:0.64-0.67 μ m Band 5:0.85-0.88 μ m Band 6:1.57-1.65 μ m Band 7:2.11-2.29 μ m Band 8:0.50-0.68 μ m Band 9:1.36-1.38 μ m Band 10:10.6-11.19 μ m Band 11:11.5-12.51 μ m



(a) Landsat-5 TM imagery taken in 4 December 2006



(b) Landsat-5 TM imagery taken in 13 May 2007



(c) Landsat-8 OLI imagery taken in 23 December 2013



(d) Landsat-8 OLI imagery taken in 14 April 2014

FIGURE 1. Landsat-5 TM and Landsat-8 OLI imagery taken in the study area

TABLE 2. Attributes of LiDAR data used in this research

Ground resolution	1m
Data acquisition date	December 2009 ~ January 2010
Horizontal accuracy	15cm
Vertical accuracy	5cm
Horizontal datum	GRS 80
Vertical datum	MSL(Mean Sea Level at Incheon Bay)

LiDAR DEM 자료의 속성정보는 표 2에서 확인할 수 있다.

연구방법

본 연구에서는 LiDAR DEM으로부터 제방경계선을 추출한 뒤, 추출된 제방경계선을 이용하여 Landsat-5 TM 및 Landsat-8 OLI 영상들로부터 하천유역 영상을 각각 추출한다. 그리고 하천유역 내 토지피복을 분류하기 위한 최적의 영상분류방법을 선택하고, 각 하천유역 영상에 선택된 영상분류방법을 적용하여 각 하천유역영상으로부터 다양한 하천토지피복들을 분류하였다.

1. Landsat 영상들부터 하천유역 영상 추출

본 연구에서는 Choung(2014b)이 이용했던

방법과 동일한 방법을 적용하여 LiDAR DEM으로부터 제방경계선을 추출하여 하천 유역을 설정하였다. 우선, LiDAR DEM으로부터 slope map을 생성한 뒤, slope map으로부터 제방의 비탈경사 폴리곤을 추출하였고(Choung, 2014a), 최종적으로 slope map으로부터 제방경계선들을 추출한다(Choung, 2014b). LiDAR DEM으로부터 최종적으로 추출된 제방경계선은 그림 2에서 확인할 수 있다.

LiDAR DEM으로부터 제방경계선들을 추출한 뒤, 이들을 연결하여 LiDAR DEM으로부터 하천유역을 추출하였고, 이를 폴리곤으로 변환시켜 하천유역 폴리곤(river basin polygon)을 생성하였다. 생성된 하천유역 폴리곤은 그림 3에서 확인할 수 있다.

생성된 하천유역 폴리곤을 이용하여 Landsat 시계열 영상으로부터 하천유역에 해당되는 지

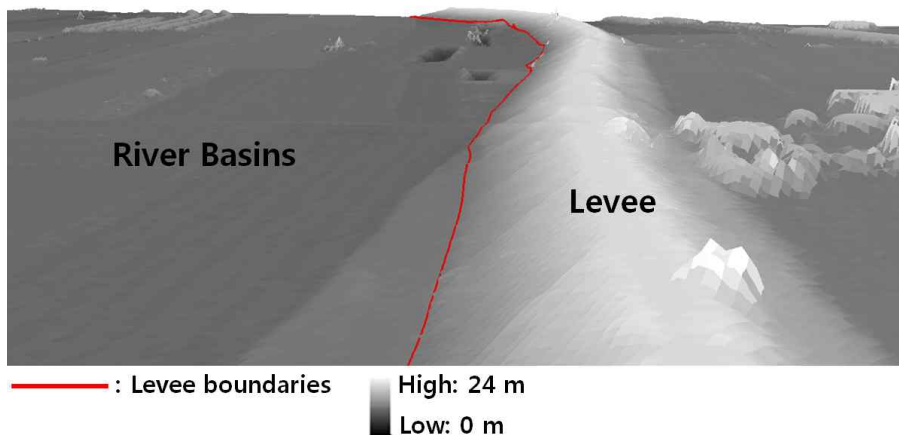


FIGURE 2. Levee boundaries extracted from LiDAR DEM using the same method proposed by Choung(2014b)

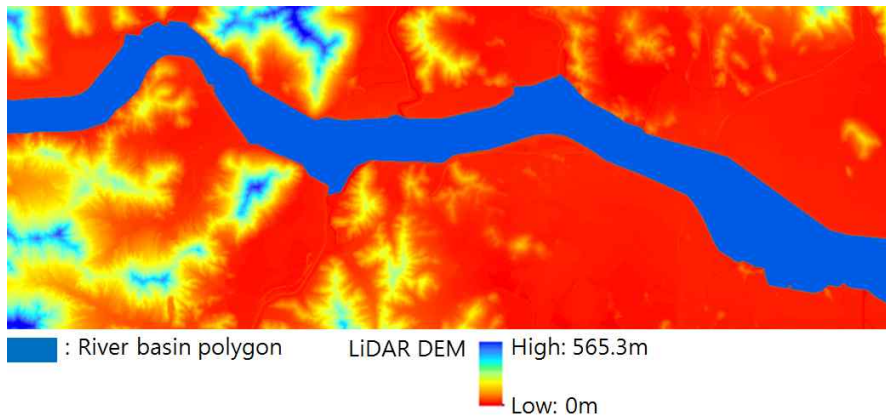


FIGURE 3. Generated river basin polygon from the LiDAR DEM

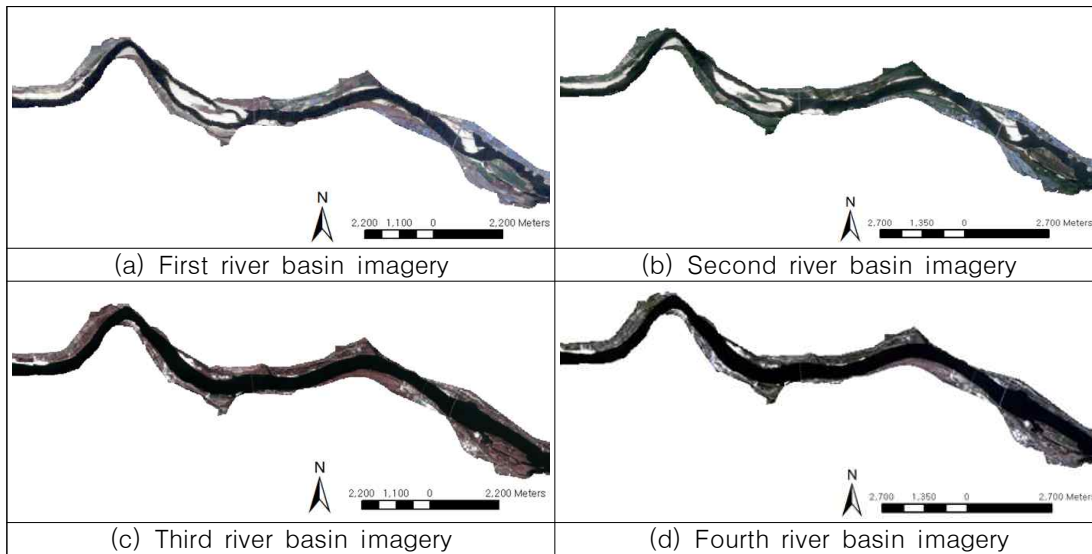


FIGURE 4. First, second, third and fourth river basin imagery

역을 각각 추출하였고, 이들을 각각 첫 번째, 두 번째, 세 번째 및 네 번째 하천유역 영상 (first, second, third and fourth river basin imagery)으로 정의하였다. 생성된 하천유역 영상들은 그림 4에서 확인할 수 있다.

2. 하천유역 내 토지피복 분류

4개의 하천유역 영상을 생성한 뒤, 영상분류 방법을 이용하여 각 하천유역 영상으로부터 토

지피복을 분류하였다. 위성영상은 각 픽셀마다 서로 다른 분광 특성을 가진 밴드별 값을 가지고 있으며, 일반적으로 숲, 도로, 물 등 같은 지역에 위치한 픽셀들은 유사한 분광 특성을 가지고 있다(Jensen, 2004). 영상분류방법은 영상자료에 포함된 다양한 토지피복들을 구별하기 위하여 유사한 분광 특성을 가지는 픽셀들을 하나의 클래스로 지정하는 방법을 의미하며, 화소 단위 분류 기법인 감독분류(supervised

classification) 및 무감독분류(unsupervised classification)와 객체 단위 분류 기법인 객체 지향분류(object oriented classification)로 나눌 수 있다(Jensen, 2004; Jo, 2012; Kim and Yeom, 2012; Choung, 2014b). 감독분류는 분류 항목과 각 분류항목의 트레이닝 샘플을 사용자가 지정하고 트레이닝 샘플을 기준으로 영상자료로부터 토지피복을 분류하는 방법이며, 어떤 픽셀이 어떤 트레이닝 샘플들과 가장 유사한 지를 판별하는 방법에 따라 최대우도법(Maximum likelihood), 최소거리법(Minimum distance), 인공신경망법(Neural network), 분광각도법(Spectral angle mapper) 등이 있다(Jensen, 2004). 무감독분류는 사용자가 분류 항목을 지정할 필요가 없이 컴퓨터를 이용하여 유사한 분광 특성을 가진 픽셀들을 자동적으로 동일한 클래스로 그룹화하는 방법이며, 클래스의 최대개수, 클래스의 최대반경 등 화소들을 군집화시키기 위해 입력해야할 파라미터들의 종류에 따라 K-평균(K-means)방법 및 ISODATA(Iterative Self-Organizing Data Analysis)방법 등이 있다(Jensen, 2004). 객체지향분류는 영상자료의 픽셀들을 묶어 하나의 객체로 형성하고 이 객체를 분류의 기본 단위로 이용하는 방법이며, 일반적으로 고해상도 위성영상에 적용할 때 만족스러운 결과를 기대할 수 있다(Ku, 2011).

본 연구에서는 Landsat 영상의 낮은 공간해상도와 하천유역 내 존재하는 토지피복에 관한 사전 정보가 없다는 점을 고려하여 분류항목과

각 분류항목의 트레이닝 샘플들을 미리 지정할 필요가 없이 분광 특성이 비슷한 픽셀들을 동일한 클래스로 자동적으로 그룹화할 수 있고 영상으로부터 분류해야할 클래스의 개수를 정할 필요가 없이 클래스의 최대반경 및 클래스 간 최소거리 등의 정보만을 이용하여 분류작업을 진행할 수 있는 ISODATA 방법을 적용하여 각 하천유역 영상으로부터 토지피복을 분류하였다.

ISODATA 방법을 적용하여 각 하천유역 영상으로부터 토지피복을 분류할 경우, 클래스간 최소거리와 클래스의 최대반경 등에 따라 일반적으로 클래스의 수가 자동적으로 조절된다는 특징을 가지고 있다. 본 연구에서는 ISODATA 방법을 하천유역 영상에 적용한 뒤, 사용자의 판단으로 동일한 지표면을 나타내는 복수의 클래스들을 합쳐서 하나의 클래스로 나타내는 post-classification 과정을 수행하였다. ISODATA 방법을 적용하여 하천유역 영상으로부터 생성된 최초의 클래스들과 post-classification 과정을 통하여 최종적으로 생성된 클래스들의 예시는 그림 5에서 확인할 수 있다.

위성영상을 이용하여 토지피복 분류작업을 수행할 경우, 영상의 공간해상도에 따라, 대분류, 중분류 및 세분류의 위계를 가진다(EGIS, 2015). 즉, 위성영상의 공간해상도가 높을수록 세밀한 토지피복 분류작업을 수행할 수 있지만, 위성영상의 공간해상도가 낮을수록 물, 초지, 나지 등과 같은 대표적인 토지피복만을 분류할

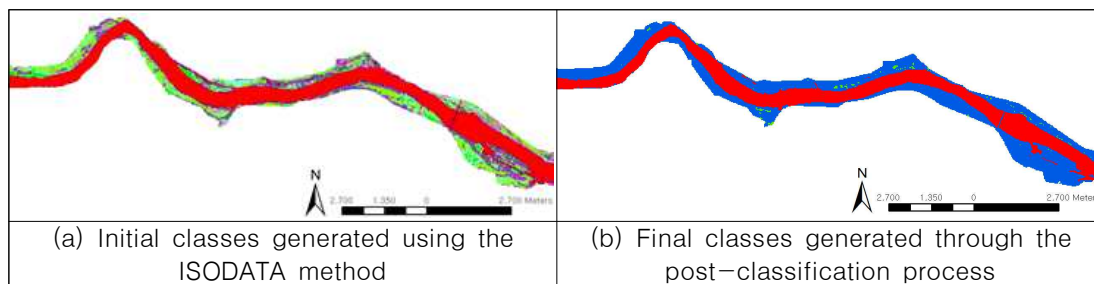
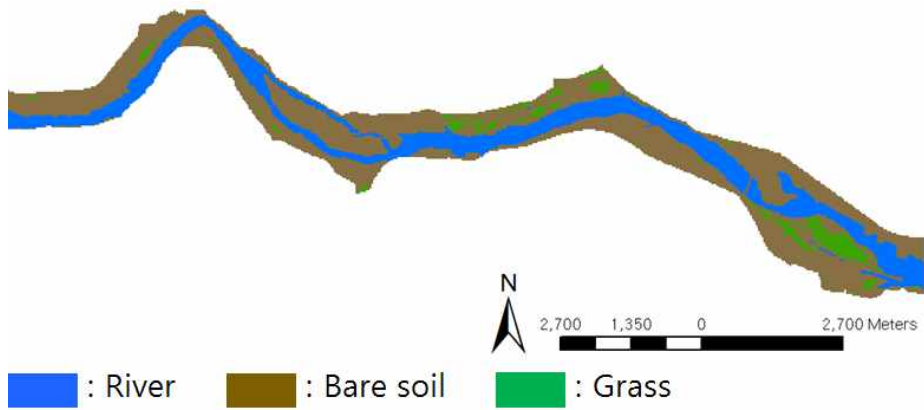


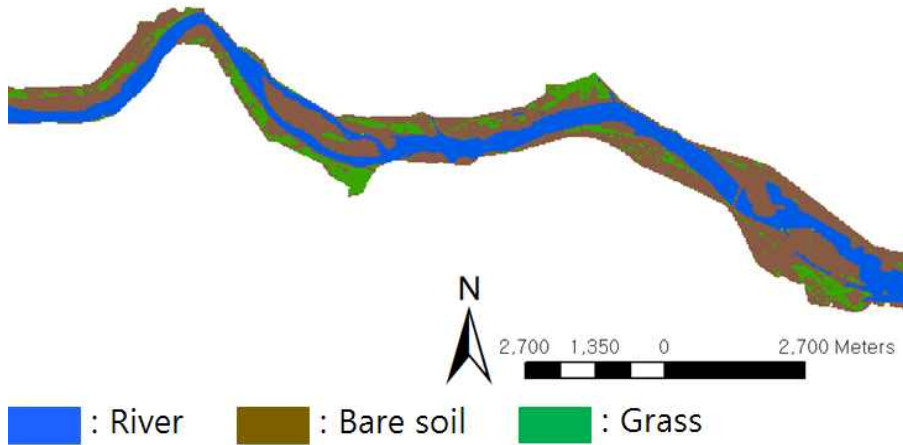
FIGURE 5. Examples of the final classes generated from the river basin imagery using the ISODATA method and the post-classification process

수 있다. 주어진 시계열 Landsat 영상들은 공간해상도가 30m인 저해상도 영상이므로, 본 연구에서는 생성된 4개의 하천유역 영상으로부터 대표적인 토지피복만을 분류하였다. 우리나라의 대표적인 7가지 토지피복으로는 시가지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지 및 수역이 있으며(EGIS, 2015), 본 연구에서는 주어진 시계열 Landsat 영상들의 낮은 공간해상도와 활

영시기로 인해 하천유역 영상 내 초지와 습지를 육안으로 구분하는 것이 어렵다는 점과 시가지역, 농업지역, 산림지역 등은 제방과 물 사이에 위치한 하천유역이 아닌 주로 제내지 지역에 존재한다는 점을 고려하여, 각 하천유역 영상으로부터 하천(river), 나지(bare soil) 및 초지(grass)의 총 3가지 토지피복을 분류하였다. 각 하천유역 영상으로부터 분류된 토지피복

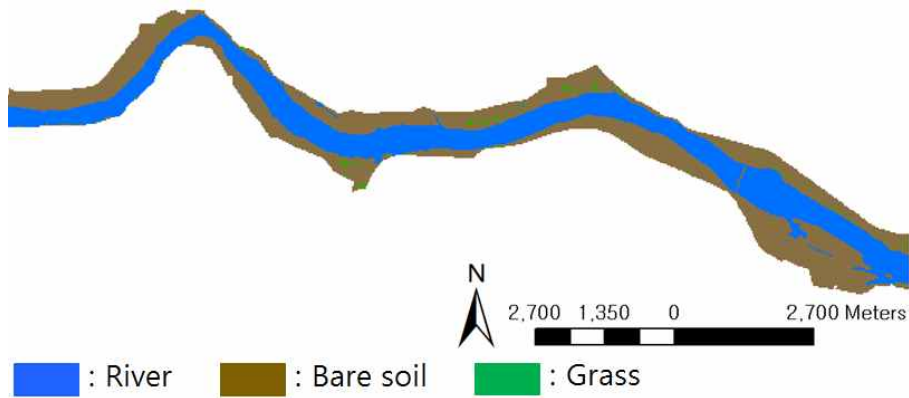


(a) Land covers classified using the first river basin image taken in 4 December 2006

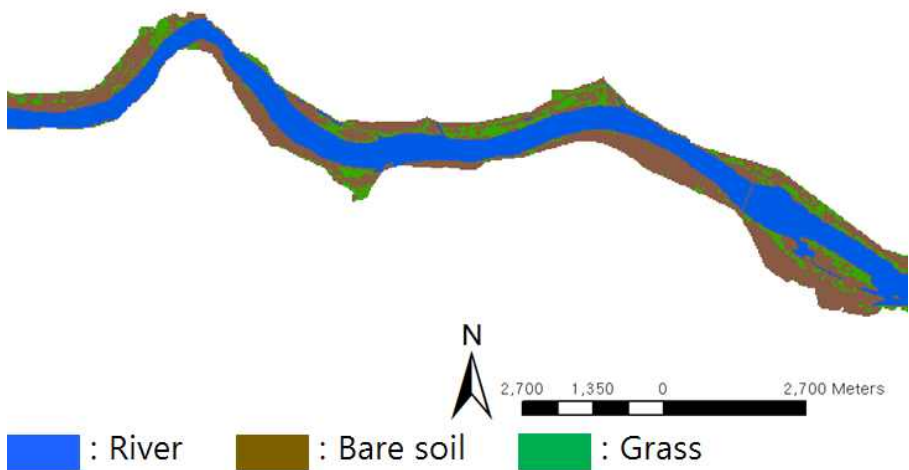


(b) Land covers classified using the second river basin image taken in 13 May 2007

FIGURE 6. Land covers classified using the multiple river basin imagery



(c) Land covers classified using the third river basin image taken in 23 December 2013



(c) Land covers classified using the fourth river basin image acquired in 14 April 2014

FIGURE 6. Continued

은 그림 6에서 확인할 수 있다.

각 하천유역 영상으로부터 분류된 토지피복의 정확도를 검증하기 위하여, 각 하천유역 영상 내에서 평균 1km 간격의 50개의 점검점들(checkpoints)을 생성하였고, 생성된 점검점들의 예시는 그림 7에서 확인할 수 있다.

각 하천유역 영상으로부터 분류된 토지피복의 분류정확도는 표 3에서 확인할 수 있다.

그림 4와 표 3에서 보는 바와 같이, 하천 및

나지는 초지에 비해 육안으로 확연히 구분되므로 다른 토지피복에 비해 분류 정확도가 상대적으로 높았으나, 하천 기슭에 위치한 초지는 하천과 구분이 잘 되지 않는 경우가 많고, 범람원에 위치한 초지는 나지와 구분이 잘 되지 않는 경우가 있으므로, 초지 클래스의 분류 정확도는 다른 토지피복의 분류 정확도에 비해 상대적으로 낮았다. 그러나 초지 클래스가 낮은 분류 정확도를 가지는 이유는 하천 클래스와

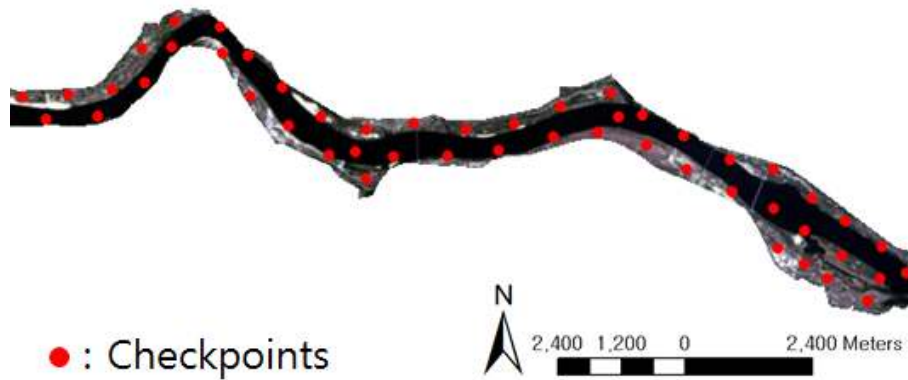


FIGURE 7. Examples of the checkpoints generated in the river basin imagery

TABLE 3. Classification error matrix of land covers in the multiple river basin imagery

(a) Classification error matrix of land covers in the first river basin imagery

Class	River	Bare soil	Grass	User's accuracy
River	15	1	0	94%
Bare soil	0	28	1	97%
Grass	1	2	2	40%
Producer's accuracy	94%	90%	67%	90%(Overall accuracy)

(b) Classification error matrix of land covers in the second river basin imagery

Class	River	Bare soil	Grass	User's accuracy
River	16	1	0	94%
Bare soil	0	18	2	90%
Grass	1	5	7	54%
Producer's accuracy	94%	75%	78%	82%(Overall accuracy)

(c) Classification error matrix of land covers in the third river basin imagery

Class	River	Bare soil	Grass	User's accuracy
River	19	1	0	95%
Bare soil	3	22	2	81%
Grass	0	1	2	67%
Producer's accuracy	86%	92%	50%	86%(Overall accuracy)

(d) Classification error matrix of land covers in the fourth river basin imagery

Class	River	Bare soil	Grass	User's accuracy
River	18	1	1	90%
Bare soil	2	20	2	83%
Grass	2	0	4	67%
Producer's accuracy	82%	95%	57%	84%(Overall accuracy)

나지 클래스에 비해서 상대적으로 적은 점검점의 개수가 원인일 수도 있으므로, 추후연구로 초지 클래스에 대한 점검점의 개수를 늘린 뒤 초지 클래스의 분류정확도를 다시 계산할 필요가 있다.

결과 및 분석

위성영상을 이용한 변화탐지는 크게 변화강조(change enhancement) 방법과 변화속성탐지(change nature detection) 방법이 있으며, 변화강조 방법으로는 차연산(image differencing), 주성분분석(principal component analysis), 변화벡터분석(change vector analysis) 등이 있고, 변화속성탐지 방법으로는 선분류 후비교(post classification comparison) 방법 등이 있다(Park *et al.*, 2003). 일반적으로 변화강조 방법을 사용할 경우, 토지피복 변화량 및 변화된 위치는 알 수 있으나 변화의 특성은 알 수 없는 반면에, 변화속성탐지 방법을 사용할 경우, 화소 대 화소의 비교가 가능하여 변화속성 정보의 파악이 가능하다(Park *et al.*, 2003).

본 연구에서는 하천유역 내 토지피복 변화속성 정보의 파악을 위해, 변화속성탐지 방법을 적용하였다. 즉 4대강 정비사업이 시행되기 이전, 4대강 정비사업 전후 및 4대강 정비사업이 완공된 이후에 발생한 토지피복의 변화량을 탐지하기 위하여 다음과 같은 방법을 적용하였다. 우선 각 하천유역 영상으로부터 분류된 토지피복의 면적을 각 토지피복 클래스를 구성하는 픽셀의 개수를 이용하여, 각 토지피복이 전체 하천유역에서 차지하는 비율을 계산하였다. 그리고 4대강 정비사업 이전에 촬영된 첫 번째

및 두 번째 하천유역 영상을 이용하여 4대강 정비사업 이전에 발생한 각 토지피복의 변화를 탐지하였고, 4대강 정비사업 이전과 이후의 비슷한 계절에 각각 촬영된 첫 번째 및 세 번째 하천유역 영상을 이용하여 4대강 정비사업 전후에 발생한 각 토지피복의 변화를 탐지하였고, 마지막으로 4대강 정비사업 이후에 촬영된 세 번째 및 네 번째 하천유역 영상을 이용하여 4대강 정비사업 이후에 발생한 각 토지피복의 변화를 탐지하였다. 하천유역 영상에서 차지하는 각 토지피복의 비율은 표 4에서 확인할 수 있다.

우선 4대강 정비사업이 시행되기 이전인 2006년 겨울에서 2007년 봄 동안, 하천의 면적은 32%에서 35.3%로 소폭 증가하였으나 큰 변화는 없었다. 그러나 나지의 면적은 67.4%에서 33.4%로 크게 감소한 반면에 초지의 면적은 0.6%에서 31.3%로 크게 증가하였다. 이는 하천유역에서 식생의 활동이 활발하지 않는 겨울에 비해 식생의 활동이 활발한 봄에 초지의 양이 증가했기 때문인 것으로 보인다.

4대강 정비사업이 시행되기 이전인 2006년 겨울에 촬영된 하천유역 영상과 4대강 정비사업이 완료된 이후인 2013년 겨울에 촬영된 하천유역 영상을 비교하였을 때, 하천의 면적은 32%에서 50.3%로 크게 증가한 반면에, 나지의 면적은 67.4%에서 48.8%로 크게 감소하였다. 4대강 정비 사업은 낙동강, 한강, 금강 및 영산강 등 4대강을 준설하고 하천의 저수량을 대폭 늘리는 것을 목적으로 하는 대하천 정비사업이다(MOLIT, 2009). 그러므로 4대강 정비사업 기간 동안 하천의 저수량이 대폭 증가하였기 때문에, 4대강 정비사업 전후로 하천의

TABLE 4. Land covers in the study area between 2006 and 2014

Class	Ratio of land covers in the first river basin imagery (2006.12.4)	Ratio of land covers in the second river basin imagery (2007.5.13)	Ratio of land covers in the third river basin imagery (2013.12.23)	Ratio of land covers in the fourth river basin imagery (2014.4.14)
River	32.0	35.3	50.3	54.4
Bare soil	67.4	33.4	48.8	36.2
Grass	0.6	31.3	0.9	9.4

면적이 대폭 증가한 것으로 보인다.

마지막으로 4대강 정비사업 이후인 2013년 겨울에서 2014년 봄 동안, 하천의 면적은 50.3%에서 54.4%로 소폭 증가한 반면에, 나지의 면적은 48.8%에서 36.2%로 크게 감소하였고, 초지의 면적은 0.9%에서 9.4%로 크게 증가하였다. 이는, 첫 번째 경우와 마찬가지로, 겨울에 비해 봄에 왕성한 식생의 활동으로 인해 초지의 양이 급격히 증가했기 때문인 것으로 보인다.

결론적으로, 4대강 정비사업이 시행되기 이전과 이후에는 하천유역에서 하천의 면적은 큰 변화가 없었으며, 영상이 촬영된 계절에 따라 초지와 나지의 면적이 큰 폭으로 증가 또는 감소한 반면에, 4대강 정비사업 전후에는 하천의 저수량이 대폭 늘어나서 하천의 면적이 큰 폭으로 증가했다는 사실을 알 수 있었다.


본 연구에서는 서로 다른 시기에 촬영된 위성영상의 토지피복을 각각 분류하고, 분류된 각 영상에서 동일한 분류 항목끼리 비교하여 어떤 토지피복이 어떤 토지피복으로 변했는지를 고찰할 수 있는 선분류 후비교 방법을 사용하여 하천유역 내 하천, 나지 및 초지 클래스의 변화 패턴 및 변화면적을 분석하였다. 일반적으로 선분류 후비교 방법을 사용하기 위해서는 각 분류항목의 분류정확도가 높아야하지만(Jang *et al.*, 2010), 표 2에서 보는 바와 같이, 초지 클래스의 정확도는 상대적으로 낮기 때문에 토지피복 변화탐지의 신뢰도가 떨어질 수 있다는 단점이 있다.

또한 본 연구에서는 post-classification 과정을 통하여 각 하천유역영상으로부터 토지피복을 3개의 클래스로 분류하였으나, Landsat-5 TM 영상과 Landsat-8 OLI 영상의 서로 다른 밴드 수 및 공간해상도 등으로 인해 각 영상으로부터 분류할 수 있는 토지피복의 개수는 서로 다를 수 있다. 그러므로 추후연구에서는 서로 다른 하천유역 영상에서 3개의 클래스 외 다른 클래스가 존재한다면 3개 클래스로 통합하기 보다는 비분류 또는 기타 클래스로 분류하여 토지피복 변화탐지의 신뢰도를 높일 필요가 있다.

결론

본 논문은 항공 LiDAR 자료와 다중시기에 촬영된 Landsat 영상을 이용하여 4대강 정비사업 이전과 전후 그리고 이후에 하천유역 내에서 발생한 토지피복 변화를 탐지할 수 있는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 방법을 이용하여 연구대상지역으로 선정된 낙동강 유역 내 토지피복 변화량을 분석한 결과, 4대강 정비사업이 시행되기 이전과 이후에는 계절의 변화에 따른 초지와 나지의 면적이 큰 폭으로 변화하였으나 하천의 면적은 변화가 거의 없었다. 그러나 4대강 정비사업 전후로 하천유역 내에서 하천의 면적이 큰 폭으로 증가하였다는 사실을 알 수 있었으며, 이는 4대강 정비사업으로 인해 증가한 하천의 저수량 때문인 것으로 보인다. 본 논문은 현장에 방문하지 않고 다양한 공간정보자료들을 이용하여 4대강 정비사업으로 인해 하천유역 내 발생한 토지피복 변화를 탐지할 수 있는 방법을 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토과학기술진흥원 건설연구사업의 연구비 지원(13건설연구S01)에 의해 수행되었습니다. 

REFERENCES

- Adewumi, A.S. 2013. Analysis of land use/land cover pattern along the river Benue channel in Adamawa State, Nigeria. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies* 2(5):95-107.
- Chung, Y.J. 2014a. Mapping levees using LiDAR data and multispectral orthoimages in the Nakdong river basins, South Korea. *Remote Sensing* 6(9):8696-8717.

- Choung, Y.J. 2014b. Analysis of land uses in the Nakdong river floodplain using RapidEye imagery and LiDAR DEM. *Journal of the Korean Association Geographic Information Studies* 17(4): 189-199 (정윤재. 2014b. RapidEye 영상과 LiDAR DEM을 이용한 낙동강 범람원 내 토지 이용 현황 분석. *한국지리정보학회지* 17(4):189-199).
- Jang, D.H., C. Kim and J.H. Park. 2010. The land-cover changes and pattern analysis in the tidal flats using post-classification comparison method: the case of Taean peninsula region. *The Geographical Journal of Korea* 45(2): 275-292 (장동호, 김찬수, 박지훈. 2010. 선분류 후비교법을 이용한 간석지의 토지피복 변화 및 패턴분석-태안반도 지역을 사례로-. *대한지리학회지* 45(2):275-292).
- Jensen, J.R. 2004. *Introductory Digital Image Processing(3rd Edition)*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 544pp.
- Jo, M.H. 2012. A study on the extraction of a river from the RapidEye image using ISODATA algorithm. *Journal of the Korean Association Geographic Information Studies* 15(4):1-14 (조명희. 2012. ISODATA 기법을 이용한 RapidEye 영상으로부터 하천의 추출에 관한 연구. *한국지리정보학회지* 15(4):1-14).
- Kim, H.O. and J.M. Yeom. 2012. A study on object-based image analysis methods for land cover classification in agricultural areas. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 15(4):26-41 (김현옥, 염종민. 2012. 농촌지역 토지피복분류를 위한 객체기반 영상분석 기법 연구. *한국지리정보학회지* 15(4):26-41).
- Ku, C.Y. 2011. A study on managing and processing the images with different spatial resolution for the systemic land cover classification. *The Geographical Journal of Korea* 45(3):375-386 (구자용. 2011. 해상도별 위성영상을 이용한 체계적 토지피복 분류에 관한 연구. *국토지리학회지* 45(3):375-386).
- MOLIT. 2009. Report for management of Nakdong river. 988pp (국토교통부. 2009. 낙동강수계 하천기본계획(변경) 보고서. 988쪽).
- Park, N.W., K.H. Chi, K.J. Lee and B.D. Kwon. 2003. Automatic estimation of threshold values for change detection of multi-temporal remote sensing images. *Korean Journal of Remote Sensing* 19(6):465-478 (박노옥, 지광훈, 이광재, 권병두. 2003. 다중시기 원격탐사 화상의 변화탐지를 위한 임계치 자동 추정. *대한원격탐사학회지* 19(6):465-478).
- Park, S.K., J. Kim, J.L. Lee and M.H. Jo. 2013. Analysis of land use change within four major river areas using high-resolution air-photographs: the case of the Nakdong river basin. *Journal of the Korean Association Geographic Information Studies* 16(4):171-188 (박수국, 김진, 이길재, 조명희. 2013. 고해상도 항공사진을 이용한 4대강 하천구역 내 토지 이용변화 분석 - 낙동강 유역을 사례로. *한국지리정보학회지* 16(4):171-188).
- Qingqing, Z., X. Hailiang, F. Jingyi, Y. Pujia and Z. Peng. 2012. Spatial analysis of land use and land cover changes in recent 30 years in Manas river basin. *Procedia Environmental Sciences* 12(B):906-916.

Raj, P.P.N. and P.A. Azeez. 2010. Land use and land cover changes in a tropical river basin: a case from Bharathapuzha river basin, southern India. *Journal of Geographic Information System* 2(4):185–193.

EGIS(Environmental Geographic Information Service). 2015. <http://egis.me.go.kr/ba/grdoverIntroPage.do?mode=1>.

<http://landsat.usgs.gov/>. **KAGIS**