

RapidEye 영상과 LiDAR DEM을 이용한 낙동강 범람원 내 토지 이용 현황 분석

정윤재^{1*}

Analysis of Land Uses in the Nakdong River Floodplain Using RapidEye Imagery and LiDAR DEM

Yun-Jae CHOUNG^{1*}

요 약

범람원(floodplain)은 제방과 하천 사이에 존재하는 평탄하고 낮은 지역을 의미하며, 범람원 내 토지 이용 현황 분석은 하천유역의 효과적인 자원관리를 위해서 반드시 필요하다. 본 논문에서는 공간정보 자료인 LiDAR DEM 자료와 RapidEye 영상을 이용하여 낙동강 하천 범람원 내 토지 이용 현황 분석에 관한 연구를 진행하였다. 우선, DEM으로부터 제방 경계선을 추출하여 RapidEye 영상에서 연구대상지역 내 범람원의 범위를 설정하였다. 범람원의 범위를 설정한 뒤, RapidEye 영상에 ISODATA 클러스터링 및 post-classification 과정을 적용하여 범람원 내 토지피복 분류 작업을 진행하였다. ISODATA 클러스터링을 적용하여 분류된 범람원 내 토지피복은 91%의 분류 정확도를 가진다. 분류된 토지피복 클러스터들을 구성하는 픽셀들의 개수를 계산하여, 낙동강 범람원 내 토지 이용 현황에 관한 분석을 수행하였다. 본 연구를 통하여, 연구대상지역 범람원 내 하천의 면적은 46%, 나지의 면적은 36%, 습지의 면적은 11%, 그리고 초지의 면적은 7%라는 사실을 알 수 있었다.

주요어 : 범람원, 토지 이용, RapidEye, LiDAR DEM, 제방

ABSTRACT

Floodplain is a flat plain between levees and rivers. This paper suggests a methodology for analyzing the land uses in the Nakdong River floodplain using the RapidEye imagery and the given LiDAR(LiGht Detection And Ranging) DEM(Digital Elevation Models). First, the levee boundaries are generated using the LiDAR DEM, and the area of the floodplain is extracted from the given RapidEye imagery. The land

2014년 10월 12일 접수 Received on October 12, 2014 / 2014년 12월 19일 수정 Revised on December 19, 2014 /
2014년 12월 23일 심사완료 Accepted on December 23, 2014

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

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

uses in the floodplain are identified in the extracted RapidEye imagery by the ISODATA(Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique Analysis) clustering. The overall accuracy of the identified land uses by the ISODATA clustering is 91%. Analysis of the identified land uses in the floodplain is implemented by counting the number of the pixels constituting the land cover clusters. The results of this research shows that the area of the river occupies 46%, the area of the bare soil occupies 36%, the area of the marsh occupies 11%, and the area of the grass occupies 7% in the identified floodplain.

KEYWORDS : Floodplain, Land use, RapidEye, LiDAR DEM, Levee

서론

1. 연구배경 및 목적

범람원(floodplain)은 제방과 하천 사이에 존재하는 평탄하고 낮은 지역을 의미하며, 제내지(landside area)는 제방 안에 있어서 제방의 보호를 받는 지역을 의미한다(Lee, 2010). 하천유역(river basin)은 하천과 가깝거나 관계가 있는 지역을 의미하며, 일반적으로 하천의 물이 계속 흐르는 땅, 제방 등 수변 구조물이 있는 땅, 그리고 범람원을 포함하는 지역을 의미한다(KWRA, 2009). 그림 1은 범람원을 포함하는

하천유역의 단면도를 보여준다.

범람원 내 토지 이용현황 분석은 하천유역의 자원관리를 위해서 매우 중요하다. 하천유역의 토지이용 조사는 전통적인 지반조사 방식을 이용하여 진행되어 왔다(MOLIT, 2009). 그러나, 하천 유역의 넓은 면적 및 지형적인 변화가 심한 하천유역의 특징으로 인해서 전통적인 지반 조사 방식은 하천 범람원 내 토지이용 분석에 적합하지 않다(Jo, 2012). 고해상도 위성영상 및 항공 LiDAR(Airborne topographic LiDAR) 자료는 넓은 지역의 지형 및 분광정보를 높은 정확도로 획득할 수 있다는 장점 때문에, 하천 범람원 내 토지 이용현황 분석에 유용하다.

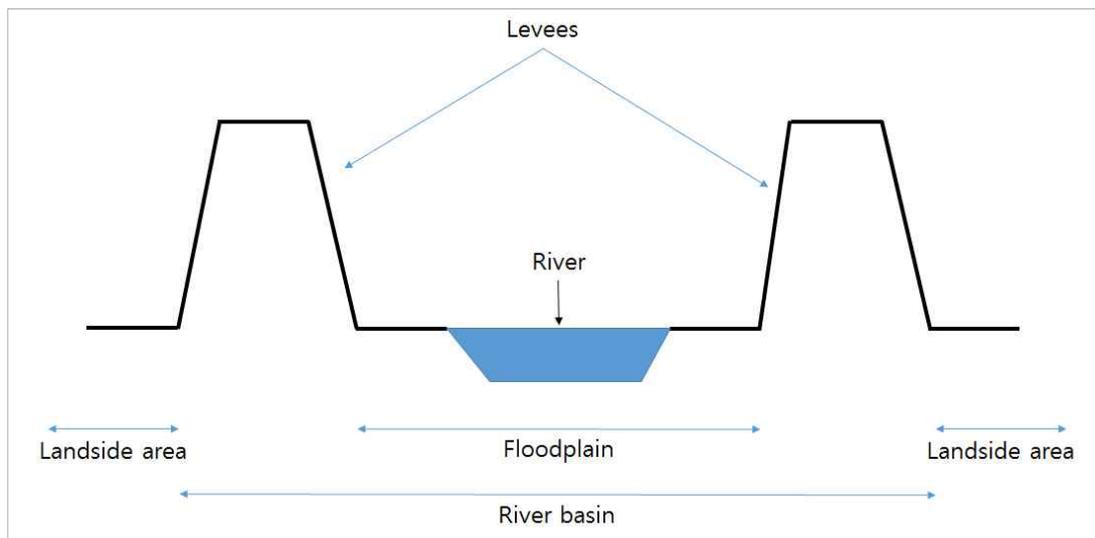


FIGURE 1. Profile of a river basin, modified from figures in Lee(2010) and KWRA(2009)

고해상도 위성영상 또는 항공 LiDAR 자료 등의 공간정보 자료를 이용하여 하천유역의 측량, 지형지물의 추출에 관한 연구는 활발히 진행되어 왔다. Choung *et al.*(2012)은 항공 LiDAR 자료와 고해상도 정사영상을 이용하여 하천경계선 매핑 연구를 하였다. Jo(2012)는 ISODATA 클러스터링을 이용하여 RapidEye 영상으로부터 하천 추출에 관한 연구를 하였다. Choung(2014)은 항공 LiDAR 자료와 고해상도 정사영상을 이용하여 하천제방 매핑에 관한 연구를 하였다.

공간정보 자료들을 이용한 하천유역의 토지 이용 현황 및 변화 분석에 관한 연구도 활발히 진행되어 왔다. Shin *et al.*(2006)은 초분광영상을 이용하여 도시지역의 수문학적 토지피복 분류를 위한 분광혼합분석을 하였다. Kim *et al.*(2006)은 Landsat 영상을 이용하여 도시하천유역의 토지이용 변화에 관한 분석을 하였다. Malini and Yeu(2010)는 위성영상 및 지형도를 이용하여 인도 Moyar유역의 토지이용변화에 관한 분석을 하였다. Gajbhiye and Sharma(2012)는 시계열 영상들을 이용하여 Indra강 유역의 토지피복 변화를 분석하였다. Lee and Lee(2012)는 영상정보를 활용하여 하천 서식처 분류 연구를 하였다. Park *et al.*(2013)은 고해상도 항공사진을 이용하여 하천유역 내 토지이용 변화에 관한 분석을 하였다.

낙동강 범람원 내 토지이용 현황에 관한 분석은 낙동강 범람원의 토지자원 및 환경관리를 위해서 반드시 필요하다. 위성영상을 활용하여 하천유역 토지이용 현황을 분석할 경우, 넓은 면적의 하천유역을 기존의 지반조사 방식을 이용하지 않고서 조사할 수 있다는 점에서 효율적이라고 할 수 있다(Choung, 2014). 본 연구에서는 낙동강 수계를 촬영한 RapidEye 영상과 LiDAR DEM 자료를 이용하여, 낙동강 하천 범람원 내 토지이용 현황에 관한 분석을 시행한다. 우선, 제방의 지형적인 특성을 고려하여 DEM으로부터 제방부지(levee area)를 탐지하여 제방 경계선을 추출한다. 추출된 제방 경계선을 연결하여 하천범람원의 범위를 설정하고,

RapidEye 영상으로부터 하천범람원에 해당하는 구역을 추출한다. 그리고 ISODATA 클러스터링을 적용하여 RapidEye 영상으로부터 추출한 범람원의 토지피복 분류 작업을 시행한다. 마지막으로, ISODATA 클러스터링을 사용하여 분류된 각 토지피복 클러스터들을 구성하는 픽셀들의 개수를 계산하여 범람원 내 토지 이용 현황을 분석한다.

2. 연구대상지역 선정 및 연구자료 확보

우리는 경상남도 밀양을 지나가는 낙동강 본류 10km 지역을 연구대상지역으로 선정하였다. RapidEye 영상은 DLR(German Aerospace Center)에서 발사한 RapidEye 위성에서 제공하는 영상으로서, Red(630-685nm), Green(520-590nm), Blue(440-510nm), Near-Infra Red(760-850nm) 밴드 및 Red Edge(690-730nm) 밴드를 제공하여 농작물 모니터링 연구 및 하천 토지피복 분류 연구 등 다양한 분야에 활용될 수 있다는 장점을 가지고 있다(DLR, 2014; Jo, 2012; Klemenjak *et al.*, 2012; RapidEye, 2014). RapidEye 영상의 공간해상도는 5m이며, 본 연구에서 사용된 RapidEye 영상은 2011년 10월 13일에 촬영되었다. 연구대상지역을 보여주는 RapidEye 영상은 그림 2에서 확인할 수 있다.

본 연구에서 사용된 DEM 자료는 LiDAR 자료를 이용하여 Terrascan 소프트웨어로 제작되었으며, 1m의 공간해상도를 가지고 있다. DEM을 제작하기 위해 사용된 LiDAR 자료는 Optech의 ALTM Gemini 167을 사용하여 2009년 12월부터 2010년 1월까지 취합된 자료이며, 1m² 당 1.5개의 평균 점밀도를 갖는다. 본 연구에서 사용된 LiDAR 자료의 수평 정확도와 수직 정확도는 각각 15cm, 5cm이다. 또한, LiDAR 자료의 수평 데이텀 기준은 GRS 80이고, 수직 데이텀 기준은 인천만 평균 해수면이다. 본 연구에서 사용된 DEM 자료는 그림 3에서 확인할 수 있다.

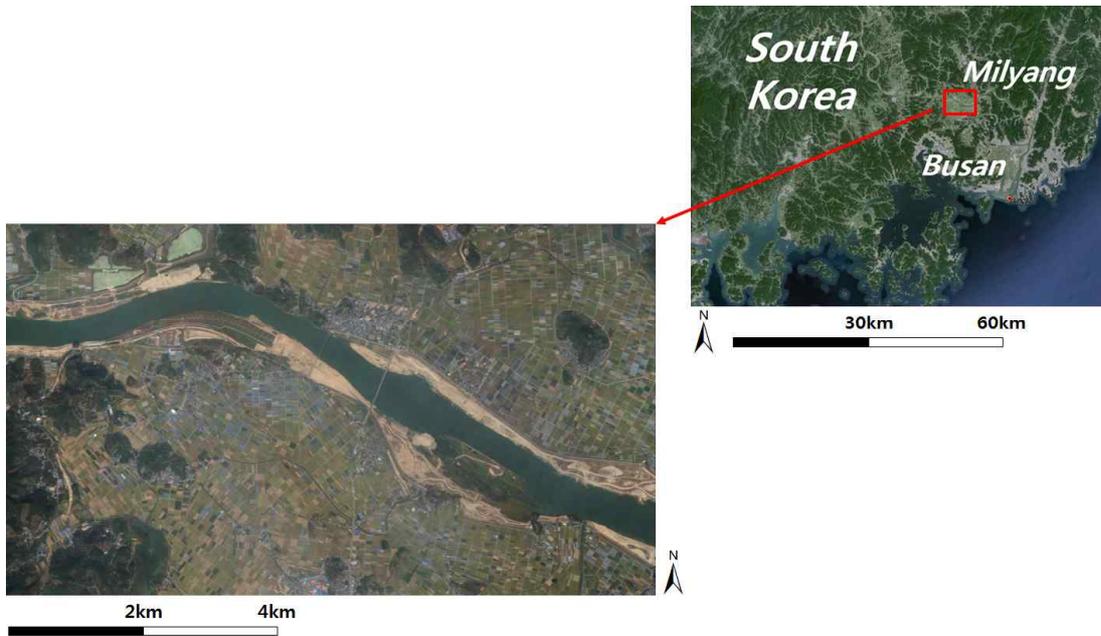


FIGURE 2. RapidEye imagery showing the study area

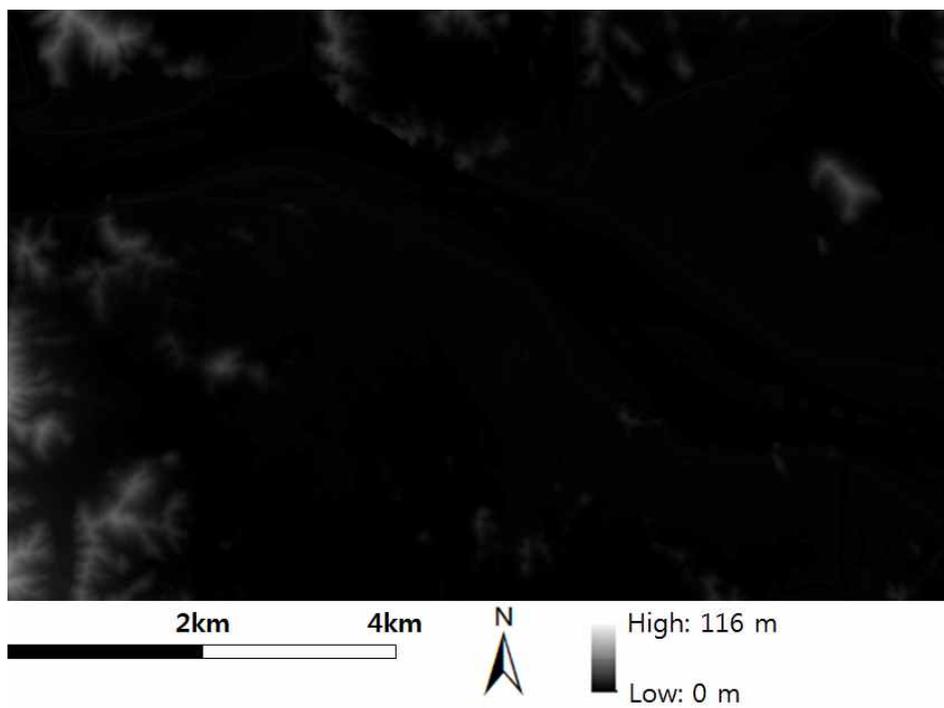


FIGURE 3. DEM used in this research

연구방법

우선, Choung(2014)이 개발한 slope classificatgion method를 사용하여 LiDAR DEM 및 RapidEye 영상으로부터 범람원을 추출한다. 그리고 ISODATA 클러스터링 및 post-classification 과정을 이용하여, 추출된 범람원 내 토지피복 분류작업을 진행한다.

1. DEM 및 RapidEye 영상으로부터 범람원 추출

그림 1에서 보는 바와 같이, 제방은 편평한 들판과 경사도가 급격히 변화하는 앞비탈 경사면 및 뒷비탈 경사면으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 Choung(2014)이 개발한 slope classification method를 이용하여 제방의 앞비탈 경사면 폴리곤을 추출하고, 폴리곤의 외곽선을 추출하여 제방 경계선으로 정의한다. 우선, ArcGIS 10.1 소프트웨어를 사용하여 DEM 으로부터 slope map을 제작한다. Slope map에서 8.43° 보다 크고 43.96° 보다 작은 값들을 가진 픽셀들을 추출하여 제방의 앞비탈 및 뒷비탈 경사면을 구성하는 픽셀들로 정의하고

(Choung, 2014), 이를 폴리곤으로 변환한다. 그리고 폴리곤의 외곽선을 추출하여 이를 제방 경계선으로 정의한다. 추출된 제방 경계선들(그림 4에서 붉은 선)을 연결하여 그림 4에서 보는 바와 같이, DEM으로부터 연구대상지역의 범람원(노란색 폴리곤)을 추출한다.

DEM으로부터 범람원을 나타내는 폴리곤을 추출한 뒤, ArcGIS 10.1소프트웨어의 Clip 기능을 이용하여 RapidEye 영상으로부터 범람원에 해당하는 지역을 추출한다. 그림 5는 범람원 폴리곤을 이용하여 RapidEye 영상으로부터 추출한 범람원 지역을 보여준다.

2. 범람원 내 토지피복 분류

RapidEye 영상으로부터 범람원 지역을 추출한 뒤, 무감독 분류 기법을 이용하여 추출된 범람원의 토지피복 분류 작업을 진행한다. 무감독 분류 기법은 사전정보 없이 영상을 구성하는 화소들의 분광적 특성만을 고려하여 분류하는 기법으로서, 감독 분류 기법들과는 달리 훈련샘플들(training samples)을 선정해 줄 필요가

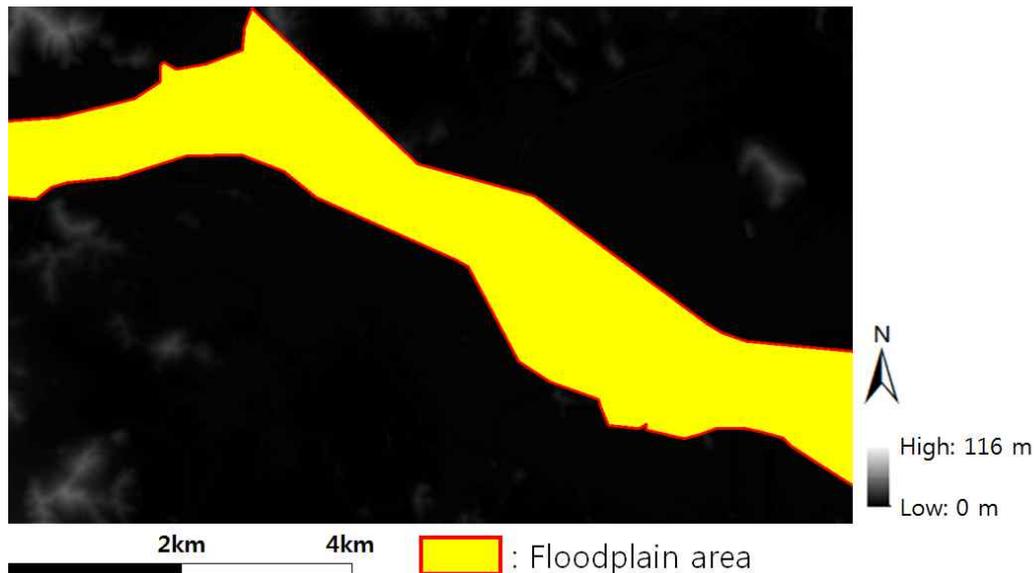


FIGURE 4. Floodplain(the yellow polygon) extracted from the DEM

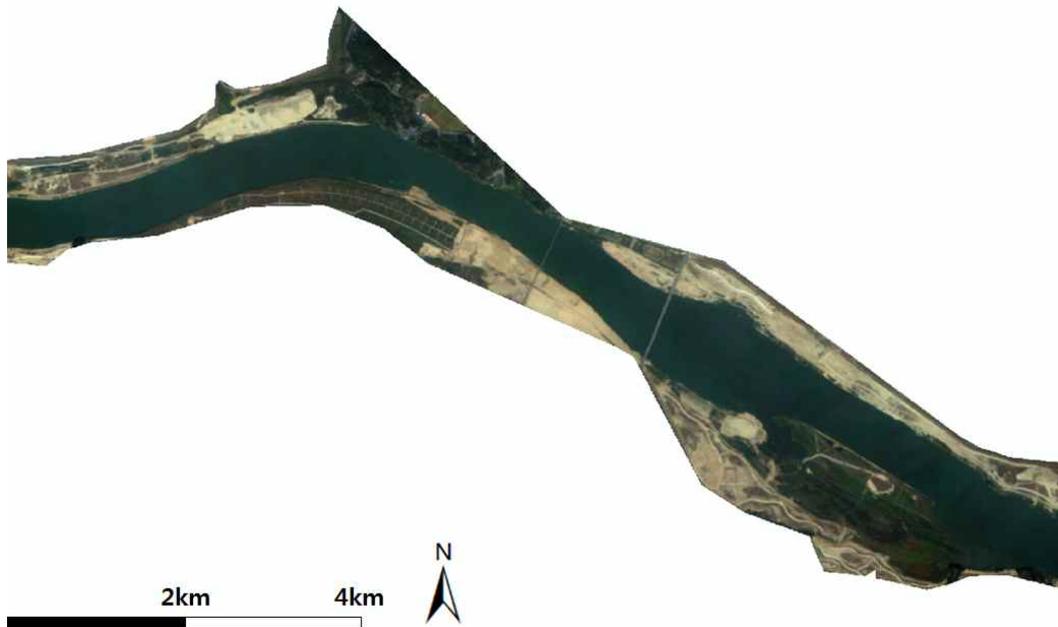


FIGURE 5. Floodplain extracted from the RapidEye imagery

없다는 장점이 있다(Han and Choi, 2011). ISODATA 클러스터링은 무감독 분류 기법들 중 하나로서, K-means 클러스터링과 비교하였을 때, 클러스터의 개수를 정해줄 필요가 없다는 장점이 있으므로(Choung, 2014; Jo, 2012), 본 연구에서는 ISODATA 클러스터링을 이용하여 추출된 범람원 지역의 토지피복 분류작업을 진행하였다. 우선, ArcGIS 10.1을 이용하여 RapidEye 영상으로부터 추출한 범람원에 ISODATA 클러스터링을 적용하여 initial land use image를 생성한 뒤, post-classification 과정을 거쳐서 initial land use image를 구성하는 클러스터들 중 비슷한 토지피복을 나타내는 클러스터들을 합쳐서 final land use image를 생성한다. 본 연구에서는, 환경부에서 제공하는 토지피복 분류표(환경공간정보서비스, 2014)를 참고하여 총 4 종류의 토지피복 분류 항목(하천(river), 습지(marsh), 나지(bare soil), 초지(grass))을 정하여 final land use image를 생성한다. 그림 6은 범람원 지역을 나

타내는 RapidEye 영상에 ISODATA 클러스터링을 적용하여 생성한 initial land use image를 보여주고, 그림 7은 post-classification 과정을 거쳐서 initial land use image를 구성하는 클러스터들 중 비슷한 토지피복을 나타내는 클러스터들을 합쳐서 생성한 final land use image를 보여준다.

우리는 ISODATA 클러스터링을 이용하여 생성된 토지피복의 정확도를 검증하기 위하여, 추출된 범람원 지역 영상에서 평균 100m 간격으로 점검점들(checkpoints)을 생성하였다. 본 연구에서는 총 150개의 점검점들을 이용하여 final land use image에서 분류된 각 토지피복의 전체 정확도(overall accuracy), 생산자 정확도(producer's accuracy) 및 사용자 정확도(user's accuracy)를 계산한다. 그림 8은 final land use image의 정확도를 검증하기 위하여 생성된 점검점들을 보여준다.

150개의 점검점들을 이용하여 계산한 final land use image의 토지피복의 분류 정확도 및 error matrix는 표 1에서 확인할 수 있다.

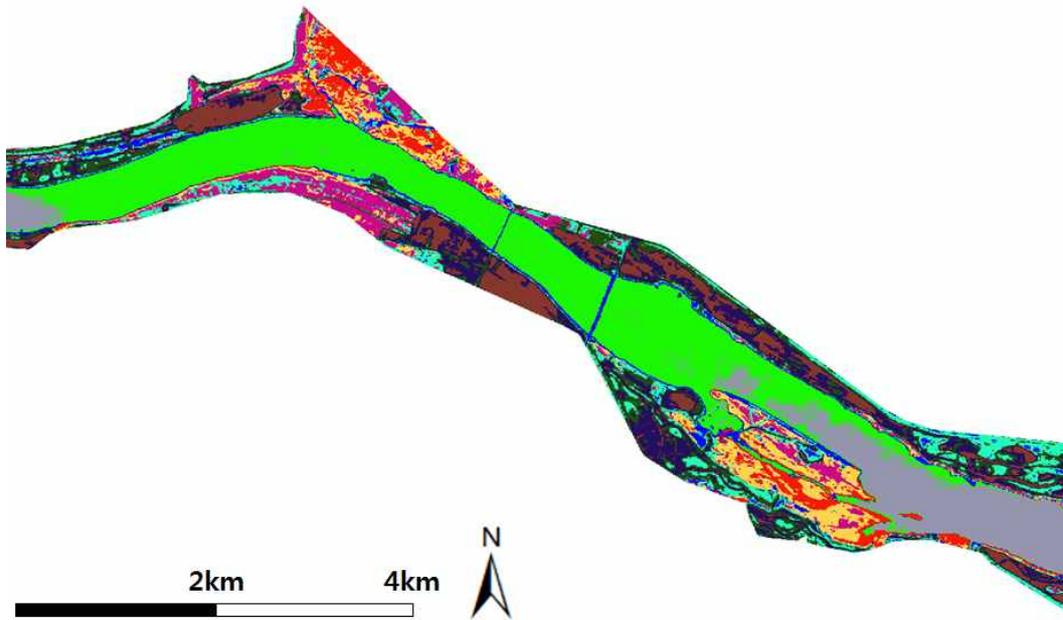


FIGURE 6. Initial land use image generated by the ISODATA clustering

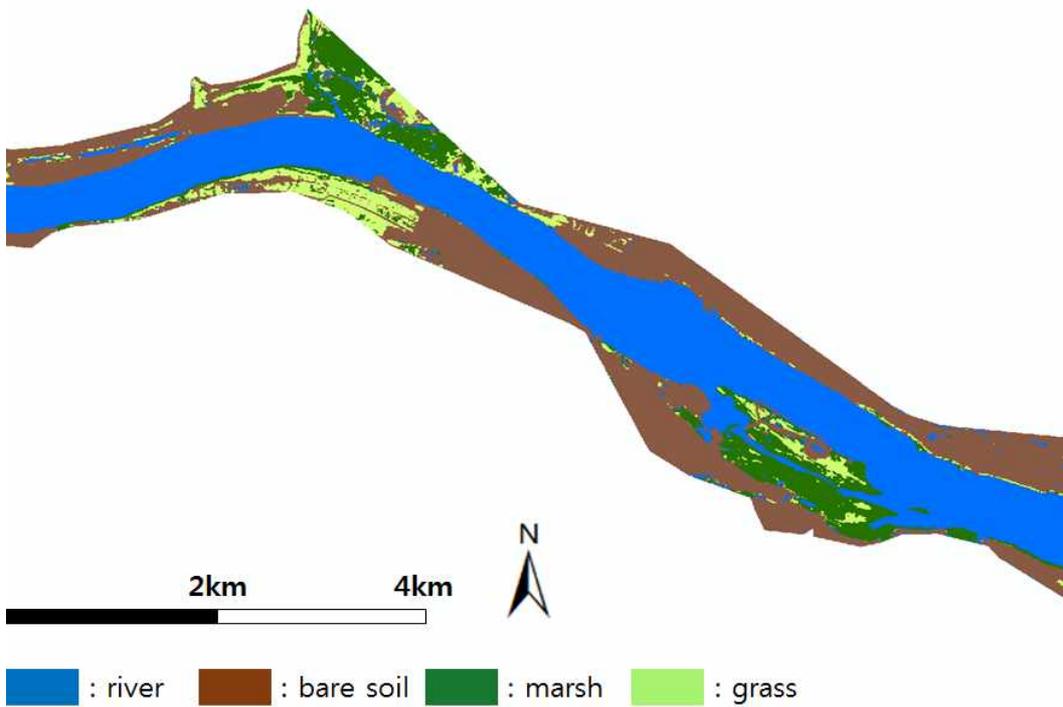


FIGURE 7. Final land use image generated by the post-classification process

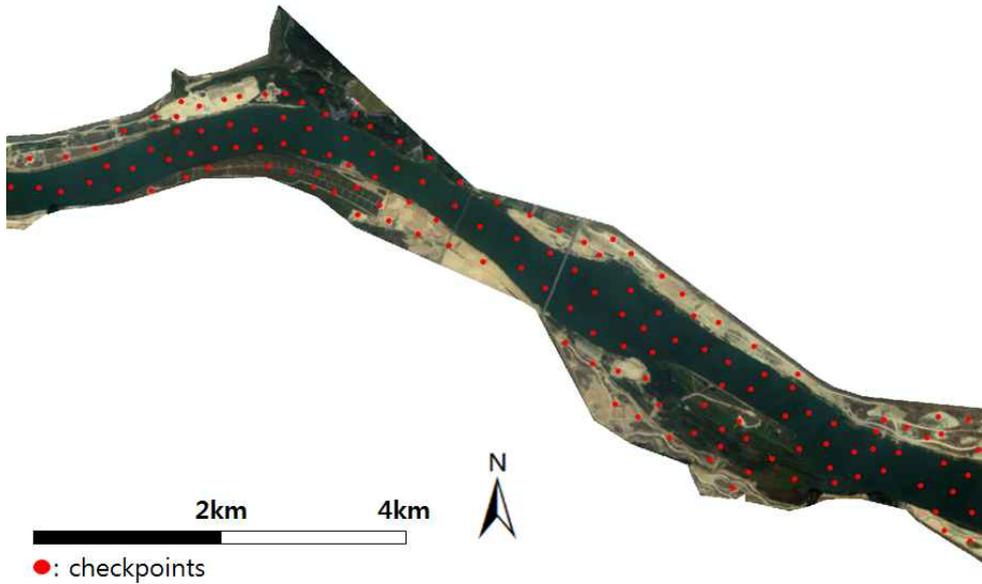


FIGURE 8. Checkpoints generated for measuring the accuracies of the final land use image

TABLE 1. Classification error matrix for the land uses identified by the ISODATA clustering

Class	River	Marsh	Bare soil	Grass	User's accuracy
River	67	0	0	0	100%
Marsh	8	11	0	1	55%
Bare soil	0	0	48	1	98%
Grass	0	3	1	10	71%
Producer's accuracy	89%	79%	98%	83%	
Overall accuracy				91%	

표 1에서 보는 바와 같이, ISODATA 클러스터링을 이용하여 제작한 범람원 내 토지피복 분류 정확도는 91%이다. 또한, 하천 및 나지 클러스터들은 다른 클러스터들에 비해서 상대적으로 높은 분류 정확도를 가지며, 초지, 습지 클러스터들은 상대적으로 낮은 분류 정확도를 가진다. 일반적으로, 습지는 하천 기슭에 위치하고 있는 경우가 많으며, 분류 에러에 의해서 습지의 일부분이 하천 또는 초지 클러스터로 잘못 분류되는 경우가 많아서, 습지 클러스터는 다른 클러스터들보다 상대적으로 낮은 분류 정확도를 가진다는 사실을 알 수 있다. 또한, 초

지 클러스터가 나지 또는 습지 클러스터들로 잘못 분류되는 경우도 많아서, 초지 클러스터의 분류 정확도 역시 다른 클러스터들에 비해서 상대적으로 낮다는 사실을 알 수 있다.

결과 및 분석

Final land use image를 생성한 뒤, 각 클러스터를 구성하고 있는 픽셀들의 개수를 계산하여 범람원 내 토지이용 현황에 관한 분석을 시행한다. 각 토지 피복의 면적은 아래 식 (1)을 이용하여 계산한다.

TABLE 2. Area of the classified land uses in the identified floodplain

Land covers	Area(km ²)	Occupation (%)
Total	13.4	100
River	6.1	46
Bare soil	4.8	36
Marsh	1.5	11
Grass	1.0	7

TABLE 3. Statistics of the land uses of the Milyang in Nakdong River Basin in 2006 provided by WAMIS(2014)

Urban area (km ²)	Crop land (km ²)	Forest (km ²)	Grass (km ²)	Marsh (km ²)	Bare soil (km ²)	River (km ²)
61	382	485	12	13	20	34

$$\text{Area} = P * S \quad (1)$$

식 (1)에서, Area는 각 토지 피복의 면적을 의미하고, P는 각 토지피복 클러스터를 구성하는 픽셀의 개수를 의미하며, S는 RapidEye 영상을 구성하는 한 픽셀의 면적을 의미한다. RapidEye 영상의 공간 해상도는 5m이므로, S는 25 m²로 설정되며, P는 각 클러스터들을 구성하는 픽셀들의 개수들을 계산하여 설정된다.

표 2는 식 (1)을 이용하여 계산된 연구대상지역의 범람원 내 토지이용 현황을 보여준다.

표 2에서 보는바와 같이, 연구대상지역 범람원 내 토지이용 현황은 하천지역이 46%, 나지지역이 36%, 습지지역이 11% 및 초지지역이 7%로 파악되었다. 연구대상지역은 낙동강 분류중하류 지역으로서, 이 지역을 위치한 낙동강 본류의 하폭은 약 800~1700m이다(WAMIS, 2014). 따라서 범람원 내에서 하천지역이 가장 큰 면적을 차지하고 있으며, 그림 7에서 보는바와 같이, 하천의 양쪽에 위치한 나지지역이 36%의 넓은 면적을 차지하고 있다는 사실을 알 수 있다. 또한, 그림 7의 아래 부분에서 보는 바와 같이, 하천의 기슭 일부지역에는 연중 또는 주기적으로 물에 잠기는 습지 및 초지 지역이 존재한다는 사실을 알 수 있다.

국가수자원관리 종합홈페이지시스템(WAMIS, 2014)에서 제공하는 연구대상지역을 포함한 낙동강 밀양지역의 2006년 토지피복현황은 표

3에서 확인할 수 있다.

일반적으로, 도시권지역(urban area) 및 농업지역(crop land)은 제방과 하천사이에 위치한 범람원지역이 아닌, 제방의 보호를 받는 지역인 제내지(landside area)에 위치하고 있다. 따라서 본 연구에서는 도시권지역과 농업지역은 분류항목으로 지정되지 않았다. 또한 본 연구에서는, 범람원 지역의 고도값을 고려하지 않았기 때문에, 산림지역은 분류항목으로 지정되지 않았다. 표2와 표 3에서 보는 바와 같이, WAMIS(2014)에서 제공하는 낙동강 밀양지역의 2006년 토지피복현황과 본 연구에서 계산된 연구대상지역의 범람원 내 토지이용 현황에서 하천유역이 가장 큰 면적을 차지하고 있다. 또한, 나지지역이 두 번째로 큰 면적을 차지하고 있고, 습지와 초지지역이 가장 작은 면적을 차지하고 있다는 사실을 알 수 있다. 그러나 WAMIS(2014)에서 제공하는 낙동강 밀양 지역의 토지피복 현황은 2006년도에 작성되었고, 본 연구에서 사용한 RapidEye 영상은 2011년에 촬영되었으므로, 4대강 정비 사업 등의 이유로 인해 발생하는 연구대상지역의 토지피복 변화량은 고려하지 않았다.

결 론

본 연구에서는, LiDAR 자료를 이용하여 생성한 DEM 과 위성영상 자료인 RapidEye 영

상을 활용하여 낙동강 하천 범람원 내 토지이용 현황 분석에 관한 연구를 진행하였다. 본 연구를 통하여, 연구대상지역으로 선정된 밀양 및 창원을 흐르는 낙동강 본류지역의 범람원에서 하천의 면적은 46%, 나지는 36%, 습지는 11% 및 초지는 7%의 면적을 차지한다는 사실을 알 수 있다. 본 연구에서는 LiDAR DEM 자료를 활용하여 제방의 위치를 탐지하여 낙동강 범람원의 정확한 범위를 설정하였고, ISODATA 클러스터링 기법 등을 적용하여 범람원 내 토지피복을 자동적으로 계산하여, 기존의 수작업을 활용하여 진행한 하천 범람원 내 토지 이용 분석 방법들에 비해서 효율적이라고 할 수 있다. 일반적으로, 하천구역의 토지피복은 계절 및 지역에 따라 상대적인 변화량이 크다(Park *et al.*, 2013). 또한 4대강 정비 사업 등의 이유로 인하여 연구대상지역의 최근 토지피복 변화량이 클 것이라 예측된다. 그러므로 4대강 정비 사업 및 계절의 변화 등의 이유로 발생한 연구대상지역의 토지피복 변화량 등을 분석하기 위하여, 다중 시기에 촬영된 영상들을 이용하여 연구대상지역의 토지피복 변화 분석을 시행할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(13건설연구S01)에 의해 수행되었습니다. 

REFERENCES

- Choung, Y.J. 2014. Mapping levees using LiDAR data and multispectral orthoimages in the Nakdong river basins, South Korea. *Remote Sensing* 6(9):8696–8717.
- Choung, Y.J., H.C. Park and M.H. Jo. 2012. A study on mapping 3D river boundary using the spatial information datasets. *Journal of the Korean Association Geographic Information Studies* 15(1):87–98 (정윤재, 박현철, 조명희. 2012. 공간정보를 이용한 3차원 하천 경계선 매핑에 관한 연구. *한국지리정보학회지* 15(1):87–98).
- Gajbhiye, S. and S.K. Sharma. 2012. Land use and land cover change detection of Indria river watershed through remote sensing using multi-temporal satellite data. *International Journal of Geomatics and Geosciences* 3(1):89–96.
- Han, S., and Choi, M. 2011. Comparison between supervised and unsupervised land cover classification using satellite image. *Proceedings of 2011 Korean Water Resource Association Symposium*. pp.355–359 (한승재, 최민하. 2011. 인공 위성 영상을 이용한 토지피복의 감독 분류 및 무감독 분류 비교. *한국수자원학회 2011년도 학술발표회논문집*. 355–359쪽).
- 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, J.C. C.H. Park, D.H. Shin and K.S. Lee. 2006. Land cover change detection over urban stream's drainage area using Landsat TM and ETM+ images. *Korean Journal of Remote Sensing* 22(6):575–579 (김재철, 박철현, 신동훈, 이규석. 2006. Landsat TM과 ETM+ 영상을 이용한 도시 하천 집수구역의 토지이용변화 파악. *대한원격탐사학회지* 22(6):575–579).
- Klemenjak, S., B. Waske, S. Valero and J.

- Chanussot. 2012. Unsupervised river detection in RapidEye data. Proceedings of 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). pp.6860-6863.
- KWRA(Korea Water Resource Association). 2009. Design and Explanation of Rivers. KWRA. 590pp (한국수자원학회. 2009. 하천설계기준 및 해설. 한국수자원학회. 590쪽).
- Lee, G. and H. Lee. 2012. Evaluation of possibility for the classification of river habitat using imagery information. Journal of the Korean Association Geographic Information Studies 15(3): 91-102 (이근상, 이현석. 2012. 영상정보를 활용한 하천 서식처 분류 가능성 평가. 한국지리정보학회지 15(3):91-102).
- Lee, J.S. 2010. River Engineering and Design. Saeron. 600pp (이종석. 2010. 하천공학 및 설계. 도서출판 새론. 600쪽).
- Malini, P. and Y. Yeu. 2010. Analysis of land use pattern change of sub-watershed: focused on Moyar, India. The Korean Society for Geospatial Information System 18(2):87-92 (Malini, P., 유연. 2010. 유역하류지역의 토지이용변화 분석: 인도 Moyar 유역을 중심으로. 한국지형공간정보학회지 18(2):87-92).
- MOLIT. 2009. Report for management of Nakdong river. 988pp (국토교통부. 2009. 낙동강수계 하천기본계획(변경)보고서. 988쪽).
- 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).
- Shin, J., S. Kim, J. Yoon, T. Kim and K. Lee. 2006. Spectral mixture analysis using hyperspectral image for hydrological land cover classification in urban area. Korean Journal of Remote Sensing 22(6):565-574 (신정일, 김선화, 윤정숙, 김태근, 이규성. 2006. 도시지역의 수문학적 토지피복분류를 위한 초분광영상의 분광혼합분석. 대한원격탐사학회지 22(6): 565-574).
- http://wamis.go.kr/WKF/wkf_banksaa_1st.aspx.
- <http://egis.me.go.kr/ba/grdCoverIntroPage.do?mode=1>.
- http://www.dlr.de/rd/en/desktopdefault.aspx/tabid-2440/3586_read-5336/.
- <http://blackbridge.com/rapideye/products/>.
- http://www.wamis.go.kr/WKB/WKB_LCSTB_B_LST.ASPX. **KAGIS**