

초분광 영상정보를 이용한 태화강 수계지역의 토지피복 변화분석*

김용석^{1*}

Analysis of Land Cover Change in the Waterfront Area of Taehwa River using Hyperspectral Image Information*

Yong-Suk KIM^{1*}

요 약

토지피복도는 도시의 확장과 개발에 있어 다양한 분야에서 활용되고 있다. 본 연구는 태화강 수계지역을 중심으로 멀티센서 정보를 이용하여 시계열적 토지피복 변화량을 분석하였다. 정확도가 높은 항공 초분광 영상을 적용하기 위하여 지상분광 스펙트럼과의 패턴을 검토하고, 시계열 수치지형도와 비교하였다. 초분광 영상은 13개의 토지피복 등급을 설정하였고, 시계열 수치지형도는 7개, 그리고 수계지역을 중심으로는 각각 5~6개 등급으로 분류하여 분석하였다. 1990년대에서 2010년까지 수치지형도의 토지피복 변화량 분석결과 산림지역이 빠르게 감소하고 농경 및 초지가 도시화되고 있는 것을 알 수 있었다. 초분광 영상을 통한 수계지역(500m 설정)의 토지피복변화(2010~2019)는 농업, 산림, 초지가 각각 1.4km², 1.0km², 0.8km²가 시가지화 건조지역으로 변화되었으며 태화강 수계를 중심으로 도시화가 가속화되고 있음을 알 수 있었다. 최근 고정밀 위성영상과 항공 초분광 영상을 이용하여 토지피복도 제작에 대한 연구가 많이 이루어지고 있기 때문에 더욱 세분화되고 정밀한 토지피복도를 제작하여 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 토지피복도, 초분광영상, 수계지역, 지상분광, 수치지형도

ABSTRACT

Land cover maps are used in various fields in urban expansion and development. This study analyzed the amount of land cover change over time using multi-sensor

2021년 01월 05일 접수 Received on January 05, 2021 / 2021년 01월 21일 수정 Revised on January 21, 2021 / 2021년 01월 22일 심사완료 Accepted on January 22, 2021

* 본 연구는 2020년도 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원(KEITI)의 지원을 받아 수행한 과제입니다.

1 동아대학교 디자인환경대학 조경학과 부교수 Associate Professor, Dept. of Landscape Architecture Dong-A University

* Corresponding Author E-mail: rosekys@dau.ac.kr

information, focusing on the waterfront area of the Taehwa River. In order to apply high-accuracy aerial hyperspectral images, patterns with Field-spectral were reviewed and compared with time series Digital map. The hyperspectral image was set as 13 land cover grades, and the time series digital map was classified into 7 and the waterfront area was classified into 5-6 grades and analyzed. As a result of analysis of the change in land cover of the digital map from the 1990s to 2010, it was found that forest areas were rapidly decreasing and Farmland and grassland were becoming urban. As for the land cover change(2010~2019) in the waterfront area(set 500m) analyzed through hyperspectral images, it was found that Farmland(1.4km²), Forest(1.0km²), and grassland (0.8km²) were converted into urbanized and dried areas, and urbanization was accelerating around the Taehwa River waterfront. Recently, a lot of research has been conducted on the production of land cover maps using high-precision satellite images and aerial hyperspectral images, so it is expected that more detailed and precise land cover maps can be produced and utilized.

KEYWORDS : Land cover map, Hyperspectral image, Waterfront, Field-spectral, Digital map

서 론

도시의 팽창과 급격한 변화가 많은 시대에서 토지피복 구축을 통한 국토 모니터링은 건설, 도시계획, 환경, 재해 등 많은 분야에서 효과적으로 사용되고 있으며, 토지이용 및 토지피복 변화는 사회생활 및 자연환경 변화와 밀접한 관계를 맺고 있다.

토지피복 정보 구축을 위하여 기존에는 항공 사진과 위성영상을 주로 이용하였지만, 최근에는 많은 분광 밴드를 가지고 있는 초분광영상(Hyper-spectral image)을 활용한 분석기법들의 연구들이 진행되고 있다. 이러한 영상을 구성하는 분광 밴드는 대상 지표물의 연속적이고 완전한 분광 정보를 보다 쉽고 빠르게 취득할 수 있는 장비라 할 수 있다. 특히, 복잡한 도심지의 경우 토지피복에 대한 변화 주기가 짧으며 많은 형태의 객체 정보를 포함하고 있기 때문에 기존의 영상정보를 통한 피복분류 정확성에는 한계가 있었다. 이러한 단점에 대하여 효과적으로 대응하기 위하여 다양한 특성과 개체를 포함한 초분광 영상에 대한 분류의 정확도를 높이는 연구가 진행되고 있다.

환경 및 재난재해 관련 업무가 정성적 측면에

서 정량적 분석 기반으로 변화하면서 토지피복도의 활용은 지속해서 증가하고 있으며 이러한 분야에 대한 연구 동향을 살펴보면, Cho *et al.* (2014)는 초분광 영상을 이용하여 차원축소기법과 감독분류를 통해 토지피복 분석과 침엽수림의 수종을 분류하는 연구를 진행한 바 있으며, Myneni *et al.*(1995)은 섬세한 분광 밴드를 가지고 있는 초분광 영상을 이용함으로써 대상지역의 식생지수들에 대하여 배경토양과 식생의 구분이 명확하지 않은 산림 지역에서는 수종의 구조와 캐노피의 구조에 따라 식생지수의 결과가 달라질 수 있다는 것을 제시하였다.

Kim *et al.*(2013)은 분광각매핑 기법을 적용한 초분광 영상에 대하여 소규모 녹지공간을 탐지하기 위하여 SAM(Spectral Angle Mapper) 기법과 Isodata를 이용한 무감독분류를 수행하였다. SAM기법의 적용에 있어 참조 스펙트럼의 설정과 임계각의 중요성을 제시하였으며, 특히 SAM기법은 사용되는 참조데이터를 수치지형도가 아닌 영상에서 추출한 Endmember로 적용해도 좋은 결과가 제시됨을 나타내었다.

Zhao *et al.*(2010)은 토지피복 변화에 대해 바다와 육지의 경계를 이루는 선의 기준이 불분명한 지역에 대한 연구를 진행함과 동시에 넓은 공간에 걸쳐 많은 정보가 수집되기 때문에 특정

한 토지피복 변화에 증점을 두어 다양한 센서 정보를 가지고 있는 다차원적인 분류 방법과 분석 결과를 제시함으로써 피복분류기법의 효용성을 제시하였다.

위성영상 정보를 활용한 전 지구 규모의 토지피복도 분류는 열대림의 손실 및 사막 지역의 확대 등과 같이 광활한 규모에서 발생되어지는 변화 양상을 위한 자료로 이용되고 있다. 그리고 도시 성장과 인구증가와 같은 사회경제 변화 등이 주요인으로 작용하는 넓은 지역에 대한 변화분석을 파악하기 위해서도 위성영상을 이용한 토지피복도를 많이 사용하고 있다(Angel *et al.* 2011).

2000년도 들어서는 초분광 영상을 활용하여 육상 및 해상에 대하여 다양한 분석기법을 적용하고 분광라이브러리 구축에 대한 연구가 많이 수행되었다(Hochberg *et al.*, 2003; Ma *et al.*, 2014). 이러한 초분광 영상에 대한 연구 동향을 살펴보면, Lee *et al.*(2016)은 항공 하이퍼스펙트럴 영상을 이용하여 대기보정 유무에 따른 해수, 갯벌, 식생, 아스팔트, 콘크리트 등의 토지피복 항목별 분광반사율의 특성을 비교하였으며, Park *et al.*(2017)은 초분광 영상을 이용한 토지피복분류를 위해 PC(Principle component) 밴드와 NDVI(Normalized difference vegetation index) 자료에 대하여 감독분류를 수행하고, 정확도 향상을 위하여 morphological filter를 통해 각 밴드의 extended attribute profiles(EAP) 적용한 연구를 수행하였다.

Ryu *et al.*(2017)은 항공 초분광 영상을 이용하여 광 스트레스에 민감한 광화학반사지수(PRI, Photochemical Reflectance Index)를 분석할 때 그림자 영향을 어떻게 해석해야 하는지를 제시한 연구를 수행한 바 있으며, Oh *et al.*(2016)은 기존 환경부 토지피복지도 중 세분류 체계를 개선하기 위하여 해외 사례와 항목당 면적비율, 그리고 사용자 설문조사를 통하여 41개 분류 체계를 33개 항목으로 개선하는 방안을 제시하였다. 그리고 Sunwoo *et al.*(2016)은 서해연안 지역의 토지이용 및 토지피복 변화를 탐지하기 위하여 다중분광영상에 대하여

post-classification 방법으로 6개의 항목의 토지피복변화를 분석하였다. 그리고 Park *et al.*(2020)은 다중시기 위성영상을 이용하여 시계열적 토지피복 변화 탐지를 통한 시가화지역 변화 패턴을 분석하였다.

본 연구에서는 이러한 연구 동향을 기반으로 다중시기 초분광영상 정보를 이용하여 분광스펙트럼을 추출하고 분광알고리즘을 적용하여 토지피복변화 양상을 분석하였다. 기존 연구동향과의 차별성은 환경부 토지피복분류를 바탕으로 각각의 등급을 구분하고 분광각 값을 분석하여 수계지역을 중심으로 시계열적 토지피복도와 초분광 영상을 비교·분석함으로써 초분광 영상의 활용 가능성을 제시하였다.

연구 방법

1. 연구자료 및 방법

본 연구는 환경부 토지피복도를 기반으로 초분광 영상의 분광스펙트럼을 추출하여 수변지역을 중심으로 시계열 토지피복의 변화량을 분석하고자 하였다. 지상분광자료의 경우 항공 초분광 영상을 분류하기 위한 기준 자료로 사용하였으며, 현장에서 측정된 분광라이브러리를 사용하였다.

실험지역에 대한 연구는 태화강 수계를 중심으로 초분광 영상에 대한 토지피복변화량 분석과 장기적인 관점에서의 비교 분석을 하였고, 그림 1은 연구흐름도를 제시하였다.

본 연구에 적용할 다양한 공간정보에 대하여 정확도, 해상도와의 관계를 표 1과 같이 나타내었으며, 태화강 지역의 토지피복변화 분석을 위하여 다양한 자료들을 사용하여 처리하였다. 획득된 초분광 영상은 방사보정, 기하보정, 대기보정의 전처리 과정을 거쳐 반사도 영상으로 변환하였다.

표 2에는 연구 방법에 대하여 제시하였으며, 먼저 시계열 초분광 영상을 태화강 주변 약 60km² 지역에 대하여 13개 등급(환경부 토지피복 중분류 기준)으로 분석하였고, 울산 전역에 대하여

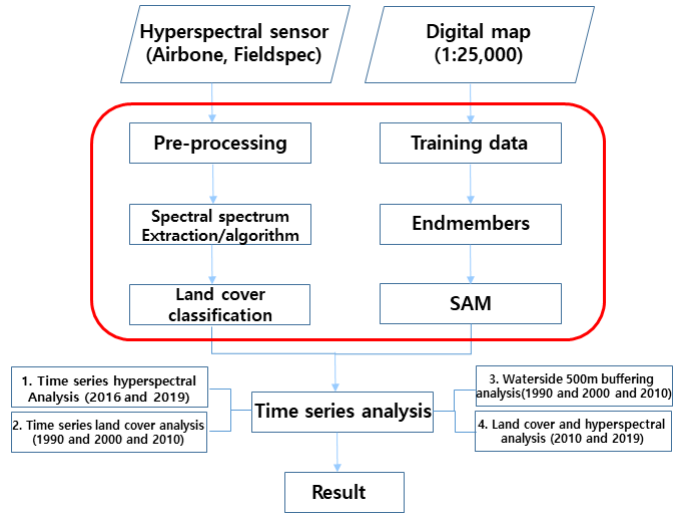


FIGURE 1. Work flow

TABLE 1. Multi-sensor Information

	Resolution	Year
Hyperspectral image	1m	2016.05, 2019.06
Field-spectral Sensor	12.2cm(FOV 10°)	2016.05, 2019.06
Digital map(1:25,000)	30m	1990, 2000, 2010

TABLE 2. Research method

Analysis method	Year and classification grade	Analysis area
1. Time series hyperspectral analysis	(2016 and 2019) (13 categories)	Around 60km ² around Taehwa River
		Asphalt(1) / Concrete(2) / Red asphalt(3) / Blue roof(4) / Green roof(5) / Red roof(6) / Rice field(7) / Paddy field and bare land(8) / Plastic house(9) / Deciduous forests(10) / Conifer forests(11) / Wetland(12) / Water(13)
2. Time series land cover analysis	(1990 and 2000 and 2010) (7 categories)	Ulsan whole area
		Urban(1) / Farmland(2) / Forest(3) / Grassland(4) / Wetland(5) / Bare land(6) / Water(7)
3. Waterside 500m buffering analysis	(1990 and 2000 and 2010) (6 categories)	Waterfront(500m, buffering)
		Urban(1) / Farmland(2) / Forest(3) / Grassland(4) / Bare land(5) / Water(6)
4. Land cover and hyperspectral analysis	(2010 and 2019) (5 categories)	Waterfront(500m, buffering)
		Urban(1) / Farmland(2) / Forest(3) / Grassland(4) / Water(5)

여 30년 동안의 토지피복 변화분석을 수행하였다. 그리고 수계를 중심으로 500m 구역을 지정하여 토지피복도와 초분광 영상과의 변화를 파악하도록 하였다.

2. 분광스펙트럼 추출

2019년 지상분광측정을 통해 분광라이브러리를 구축하였고, 이는 분광스펙트럼의 집합으로서 비교·분석할 수 있다. 초분광 영상을 분류하기 위한 기준자료로 분광라이브러리에 포함된

분광스펙트럼을 사용하였으며, 분광스펙트럼은 13개 분류등급(표 3) 각각에 대해 분광라이브리로부터 추출하여 영상과 동일한 과장영역을 대상으로 하였다. 그림 2는 13개 분류등급에 대한 분광라이브리와 2019년 촬영한 초분광 영상에서 추출한 분광스펙트럼을 비교하여 나타내었다. 분광라이브리에서 추출한 분광스펙트럼은 영상의 각 화소가 13개 등급 중 어떤 등급에 해당하는지 분류하기 위한 기준자료로 사용하였다.

기준 자료로 사용하는 지상에서 측정한 분광라이브러리의 분광스펙트럼을 초분광 영상에서 획득한 샘플 화소의 분광스펙트럼과 비교한 결과를 표 4에 나타내었으며, 분광스펙트럼(L-R)에서 약간의 값 차이가 나타남을 알 수 있었다.

TABLE 3. Spectral spectrum classification classes(13)

Class(Cover)	Color	Middle class
Asphalt (1)	Black	Traffic area
Concrete (2)	Grey	Traffic area
Red asphalt (3)	Red	Traffic area
Blue roof (4)	Cyan	Dwelling/industry/commerce
Green roof (5)	Light Green	Dwelling/industry/commerce
Red roof (6)	Brown	Dwelling/industry/commerce
Rice field (7)	Yellow	Rice field
Paddy field and bare land (8)	Olive Green	Paddy field and bare land
Plastic house(9)	Light Yellow	Facility plant
Deciduous forests (10)	Bright Green	Deciduous forests
Conifer forests (11)	Dark Green	Conifer forests
Wetland (12)	Purple	Inland wetland
Water (13)	Blue	Inland water

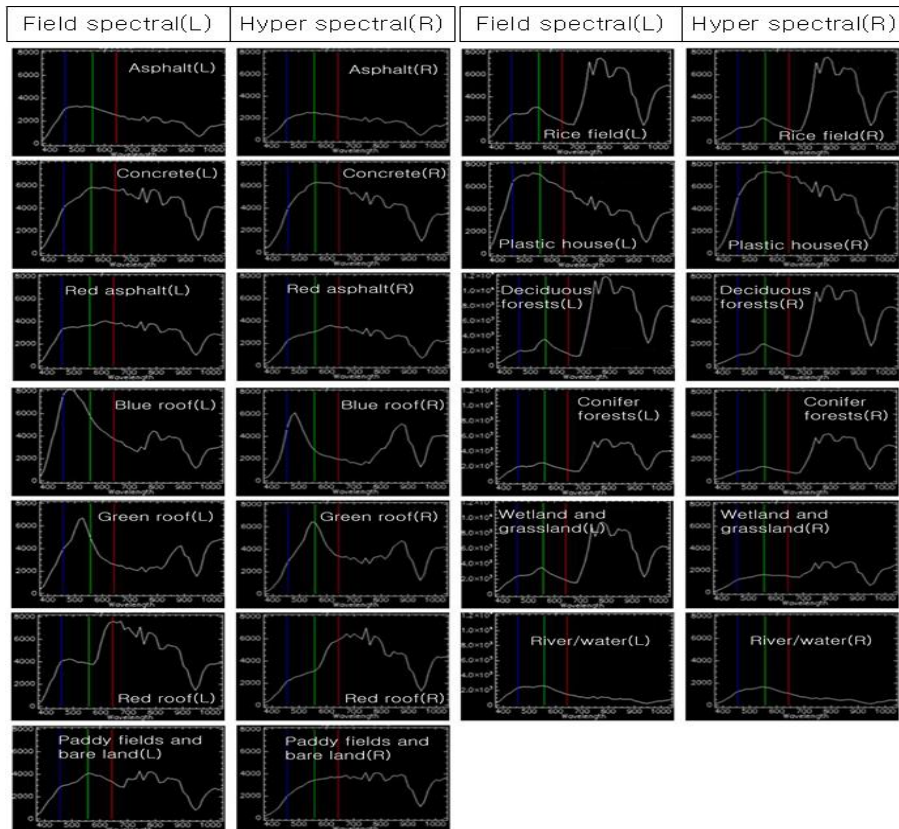


FIGURE 2. Work flow Spectral spectrum by classification class extracted from fieldspectral and hyperspectral image

TABLE 4. Fieldspectro(L) and hyperspectral(R) difference analysis(Unit : nm)

Wavelength	L-R Difference(nm)												
	Asphalt	Concrete	Red Asp.	Blue Roof	Green Roof	Red Roof	Rice Field	Paddy field /bare land	Plastic House	Deciduous Forests	Conifer Forests	Wetland	Water
370.2	-167	-204	-154	-135	-103	-229	-52	-152	-106	-165	-127	-221	-45
384.6	-314	-430	-323	-229	-302	-509	-241	-343	-244	-249	-250	-350	-219
399	-620	-898	-531	-444	-599	-845	-561	-642	-545	-544	-603	-670	-542
413.4	-955	-1403	-741	-504	-891	-1278	-777	-1043	-748	-860	-885	-1073	-819
427.8	-986	-1510	-751	-427	-915	-1359	-774	-1109	-720	-884	-1005	-1125	-829
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1001.9	-231	-1146	-664	-411	-704	-534	1465	2567	26	-720	832	-3137	-31
1016.2	-316	-985	-728	-249	-741	-483	1545	2560	56	-831	842	-3188	-34
1030.6	-254	-1163	-740	-442	-756	-522	1486	2374	47	-777	1086	-3116	-25
1044.9	-457	-1116	-383	-419	-750	-529	1677	2194	137	-1061	689	-2921	-231
sum	-23284	-57419	-34058	-5290	-12166	-52307	42180	23870	-11754	-30392	-288	-108867	-16824
S.A.	0.092	0.073	0.051	0.250	0.158	0.071	0.480	0.212	0.154	0.135	0.227	0.139	0.132

시차가 있지만 각 재질은 고유의 분광반사특성을 갖는다는 이론을 바탕으로 분광라이브러리와 영상의 분광스펙트럼을 비교하였고, 그 결과 절댓값의 차이는 약간 있지만, 전반적인 스펙트럼의 형태는 유사하게 나타나고 있는 것을 알 수 있었다.

3. 분광분류 알고리즘 적용

분광라이브러리에서 추출한 분광스펙트럼을 기준으로 영상의 각 화소가 어떤 등급에 해당하는지 구별하는 분류 알고리즘을 영상 전체에 적용하였다. 이는 2017년과 2019년 초분광 영상에 적용한 분류 알고리즘과 동일한 분광각매퍼를 이용하였다. 일반적인 분류 알고리즘은 화소의 스펙트럼을 각 등급에 해당하는 기준 스펙트럼과 비교하는 데 있어 스펙트럼의 절댓값(반사도)을 이용하여 유사도를 계산하였다. 그러나 많은 경우에 있어 실제 초분광 영상은 스펙트럼의 절댓값에 변이가 발생하고 대기보정 과정에서 발생하는 오차를 포함하고 있다. 분광각매퍼 알고리즘은 이러한 변이와 오차로 인한 오분류를 최소화하기 위하여 스펙트럼을 밴드수 공간의 벡터로 가정한 후 벡터의 방향을 각으로 비교한다. 이 방법은 스펙트럼의 증감 패턴을 비교함으로써 절댓값을 비교하는 것보다 스펙트럼

의 형태를 비교하는 방법에 해당한다. 그림 3은 분광각매퍼 알고리즘의 원리이며, 여기에서 α 는 두 스펙트럼 간의 분광각, x 는 영상(화소) 스펙트럼 벡터, r 는 기준 스펙트럼 벡터를 의미하며, 수식으로 표현하면 식 1과 같다(Jensen, 2005).

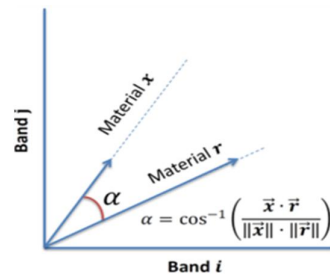


FIGURE 3. SAM Algorithm

$$A = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{nb} t_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{nb} r_i^2}} \right) \quad (1)$$

TABLE 5. Spectral angle value(S-A)

Class(No.)	S-A(Radian)	Class(No.)	S-A(Radian)
Asphalt (1)	0.092	Paddy field and bare land (8)	0.212
Concrete (2)	0.073	Plastic House(9)	0.154
Red Asp. (3)	0.051	Deciduous Forests (10)	0.135
Blue Roof (4)	0.250	Conifer Forests (11)	0.227
Green Roof (5)	0.158	Wetland (12)	0.139
Red Roof (6)	0.071	Water (13)	0.132
Rice field (7)	0.480		

영상 전체에 대해 분광각매퍼 알고리즘을 적용하여 각 화소가 13개 분류등급 중 어떤 등급에 해당하는지 분류하였다. 그림 4는 연구지역에 대한 2019년 촬영 초분광 영상과 이 영상을 분광각매퍼 알고리즘을 이용하여 13개 피복등급으로 분류한 결과를 나타내었다.

0.5 이상일 경우 다른 패턴이라고 판단한다. 따라서 대부분 분광각이 0.2 이하로 작게 나타남을 알 수 있지만, 밭의 경우 식생 유무에 따라 0.5에 가까운 큰 분광각이 나타나기도 하였지만, 전반적으로 양호한 값을 제시할 수 있었다.

적용 및 고찰

1. 시계열 초분광 영상의 토지피복변화 분석

2016년과 2019년 초분광 영상을 이용하여 분류한 토지피복도는 그림 5와 같이 나타났다. 전반적인 토지피복의 구성이 크게 변화한 것으로 나타나지는 않지만, 도심지역에서 적색 아스팔트(적색)로 나타나던 부분이 아스팔트(검은색)로 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 초분광 영상을 이용한 분류에 있어 촬영 각도 및 촬영 환경, 자연환경에 따라 발생하는 건물의 그림자 또는 미세한 반사율의 차이, 그리고 식생의 변화에서 오는 것으로 볼 수 있다.

표 6은 2016년 초분광 영상과 2019년 각각의 토지피복분류 결과에 대한 변화량을 정량적으로 추출하여 나타내었다. 여기서 좌상단의 인공 피복(아스팔트, 콘크리트, 적색 아스팔트, 비닐하우스) 간, 그리고 식생(논, 밭, 비닐하우스, 활엽수림, 침엽수림) 간의 변동이 각각 큰 것으로 나타났다. 이는 촬영환경 및 자연환경의 차이로 인해 유사한 분광반사특성을 갖는 피복 내에서 발생하는 오(誤)분류로 인해 나타나는 변동으로 판단된다. 따라서 실제 변동이라고 하기 보다는 오(誤)분류에 의한 변동일 확률이 높으며, 연구지역 내 토지피복 변화가 크게 발생하

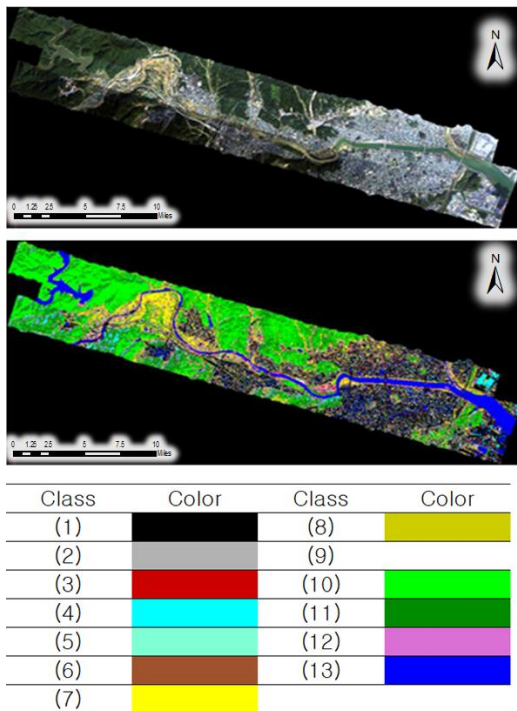


FIGURE 4. 2019 Hyperspectral image(top) and land cover classification results(bottom)

분광각의 경우 Radian 단위로 1이면 완전히 반대의 스펙트럼 패턴을 의미하고, 일반적으로

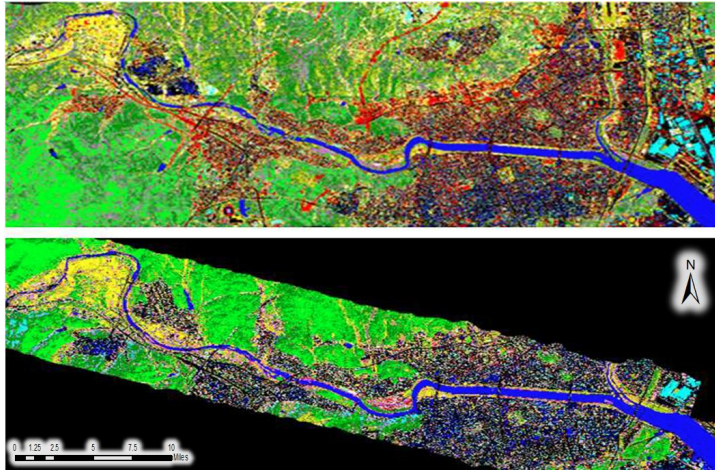


FIGURE 5. Land cover classification results using hyperspectral image : 2016 (top), 2019 (bottom)

TABLE 6. Land cover change in 2019 compared to 2016(km²)

2019 \ 2016	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
	(1)	0	2.4	0.2	0.2	0.5	0	0.6	0.3	0.7	0	0.1	0
(2)	0.4	0	0.3	0	0	0	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0
(3)	0.4	0.5	0	0	0	0	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0
(4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(5)	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0
(7)	0.2	0.1	0.2	0	0	0	0	0.2	0.3	0	0.1	0.1	0
(8)	0.2	0	0.1	0	0	0	0.4	0	0.9	0	0.8	0.4	0
(9)	0.7	0.4	0	0	0	0	0.3	0.3	0	0	0.2	0.1	0
(10)	0	0	0	0	0	0	0	1.6	0.3	0	3.2	1.6	0
(11)	0	0	0	0	0	0	0	1.7	0.4	0.8	0	1.6	0
(12)	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0.4	0.9	0.9	0.2	0.7	0	0
(13)	0.9	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	3.5	4.1	1.2	0.2	0.5	0	2.3	5.5	3.9	1.0	5.5	4.2	0.8

지 않았음을 알 수 있었다.

2. 시계열 토지피복도의 정성적/정량적 분석

시계열 토지피복도의 정성적 분석을 위하여 울산광역시에 해당하는 1:25,000 수치지형도를 적용하였다. 그리고 환경부 토지피복도 대분류 4개 도엽을 대상으로 1990년대, 2000년대, 2010년대의 시계열 분석을 하였다. 여기서는 ENVI 5.1 소프트웨어를 사용하여 Mosaic이 완

료된 1990, 2000, 2010년대의 토지피복도를 대상으로 토지피복 변화를 정성적으로 비교하였다. Mosaic은 좌표를 기준으로 하였으며 Output pixel size는 대분류 토지피복도의 해상도와 동일한 30m로 적용하였다(그림 6).

농업지역(노란색)과 산림 및 초지(녹색)의 면적이 시간이 지남에 따라 감소하였고, 태화강을 중심으로 시가지(빨간색)의 면적이 증가하고 있는 것을 확인할 수 있었다(그림 7).

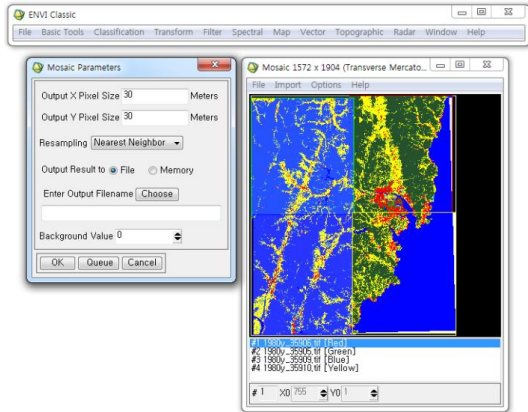
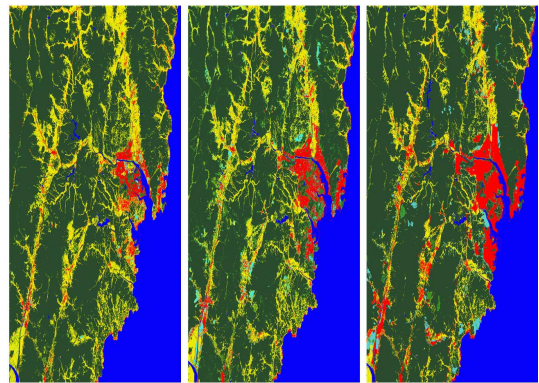


FIGURE 6. Mosaic making using ENVI



(1990) (2000) (2010)
FIGURE 7. Land cover map by period

TABLE 7. Area of land cover change in the 2000s compared to the 1990s(km²)

1990 \ 2000	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
(1)	47	37	10	7	0	6	4
(2)	4	62	1295	27	0	0	2
(3)	7	49	85	17	0	1	1
(4)	13	221	73	23	0	1	2
(5)	0	0	1	0	0	0	0
(6)	4	24	17	4	0	2	0
(7)	1	1	3	0	0	0	527
class total	77	396	1484	78	0	11	541

Urban(1) / Farmland(2) / Forest(3) / Grassland(4) / Wetland(5) / Bare land(6) / Water(7)

시계열 토지피복도의 변화를 정량적으로 분석하기 위하여 1990년대~2000년대와 2000년대~2010년대, 그리고 1990년대~2010년대의 변화를 분석하였다. 정량적 분석 대상은 13개 등급에서 7개 등급으로 하였다. 이는 1:25,000의 토지피복도에서 분류하기 위한 해상도가 낮고, 10년 단위의 시간적 범위와 초분광 영상처럼 세부적으로 구분하기 어려운 부분이 있기 때문에 7개 등급으로 분석하였다.

분석결과 변화지역이 산악지대를 제외한 대부분 지역에서 발생하고 있었다. 특히 집중적인 변화가 태화강을 중심으로 한 지역으로 특히 도심지에서 많이 발생하고 있는 것을 알 수 있었으며 이러한 변화의 범위가 도심에서 외곽지역으로 점차 이동하는 것으로 나타났다.

표 7에는 토지피복도 7개 등급을 대상으로 시기별로 면적의 변화를 분석한 결과 1990년대에서 2000년대 사이에 산림이 농업지역으로 변화한 면적이 73km², 산림이 시가지화 건조지역으로 변화한 면적이 10km²로 나타났다. 농업지역이 시가지화 건조지역으로 변화한 면적은 37km², 초지가 시가지화 건조지역으로 변화한 면적은 7km²로 나타났다. 따라서 산림을 농지로 개발하거나, 산림과 농지를 도시로 개발하여 전반적으로 식생이 감소였고, 도시의 면적이 증가하였다.

표 8에는 2000년대에서 2010년대 사이에 산림이 농업지역으로 변화한 면적이 20km², 산림이 시가지화 건조지역으로 변화한 면적이 9km²로 나타났으며, 농업지역이 시가지화 건조지역으로 변화한 면적은 30km², 초지가 시가지화 건조지역

TABLE 8. Area of land cover change in the 2010s compared to the 2000s(km²)

2010 \ 2000	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	(1)	89	30	9	16	0	24
(2)	2	66	1329	102	0	6	1
(3)	3	19	13	20	0	4	0
(4)	11	198	20	17	0	10	0
(5)	0	0	0	78	0	0	0
(6)	3	19	16	6	0	8	0
(7)	2	2	2	0	0	0	525
class total	111	333	1389	161	0	52	534

Urban(1) / Farmland(2) / Forest(3) / Grassland(4) / Wetland(5) / Bare land(6) / Water(7)

으로 변화한 면적은 16km²로 분석되었다. 따라서 산림을 농지로 개발하는 경향은 감소하고, 농지와 초지를 도시로 개발하는 경향이 1990년대에서 2000년대 사이에 많이 발생한 것으로 판단된다.

3. 수계지역에 대한 토지피복도의 정량적 변화 분석

환경에 직접적인 영향을 미치는 수계지역에 대한 토지피복 변화를 분석하기 위하여 태화강 및 지천을 중심으로 500m 지역을 지정하여 변화를 분석하였다. 그림 8은 1990년대, 2000년대, 2010년대의 수계 지역에 대하여 버퍼링을 설정하여 분석하였다. 1990년대 울산 구도심과 공단을 중심으로 시가지화 건조지역이 발달하였고, 그 외에는 대부분 농지와 산림이었다. 그러나 2000년대에는 시가지화 건조지역이 해당 지역의 우측을 대부분 차지할 정도로 증가하였고, 2010년대에는 해당 지역의 좌측(선바위)지역을 제외한 대부분의 지역이 도시로 개발된 것을 알 수 있었다.

수계지역에 대한 토지피복도의 정량적 변화 분석을 위하여 6개 등급으로 하였다. 기존 수치지형도에 대한 정량적 분석에서 수계지역의 특성상 습지와 초지의 구분이 모호하기 때문에 습지 등급을 제외하고 분석 하였다.

표 9에는 수계 500m 지역을 대상으로 시기별로 토지피복 등급별 면적의 변화를 분석한 결과 1990년대에서 2000년대 사이에 산림이 농

업지역으로 변화한 면적이 약 3km², 산림이 시가지화 건조지역으로 변화한 면적이 0.8km²로 나타났다. 그리고 농업지역이 시가지화 건조지역으로 변화한 면적은 약 5km², 초지가 시가지화 건조지역으로 변화한 면적은 0.9km²로 분석되었다. 따라서 산림을 농지로 개발하거나, 산림과 농지를 도시로 개발하여 전반적으로 식생이 감소하였

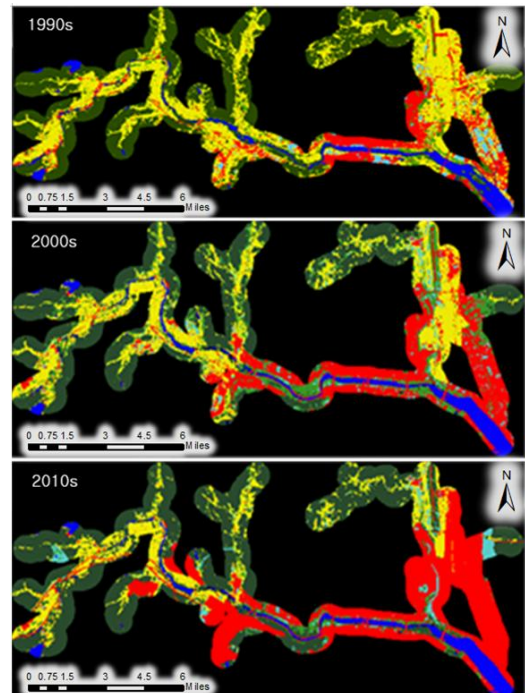


FIGURE 8. Land cover change in the waterfront area

TABLE 9. Area of land cover change in the 2000s compared to the 1990s for 500m of the waterfront area(km²)

1990 \ 2000	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(1)	6.0	4.7	0.8	0.9	0.9	0.5
(2)	0.9	11.4	2.5	1.1	0.1	0.1
(3)	0.2	2.2	19.6	0.5	0.0	0.2
(4)	0.8	4.1	2.4	0.9	0.1	0.2
(5)	0.3	1.3	0.4	0.2	0.2	0.0
(6)	0.1	0.2	0.8	0.2	0.0	2.5
class total	8.3	24.0	26.7	3.9	1.4	3.8
class change	2.3	12.6	7.2	3.0	1.1	1.3
Urban(1) / Farmland(2) / Forest(3) / Grassland(4) / Bare land(5) / Water(6)						

TABLE 10. Area of land cover change in the 2010s compared to the 2000s for 500m of the waterfront area(km²)

2000 \ 2010	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(1)	11.3	4.9	0.7	2.4	1.2	0.3
(2)	0.5	6.2	1.5	1.1	0.4	0.1
(3)	0.5	3.7	19.2	3.0	0.3	0.6
(4)	0.7	0.6	0.6	1.0	0.2	0.2
(5)	0.3	0.6	0.5	0.6	0.3	0.0
(6)	0.4	0.1	0.2	0.4	0.0	2.4
class total	13.9	16.2	22.9	8.6	2.5	3.7
class change	2.6	10.0	3.7	7.6	2.2	1.3
Urban(1) / Farmland(2) / Forest(3) / Grassland(4) / Bare land(5) / Water(6)						

고, 도시의 면적이 증가하는 것으로 분석되었다.

표 10에는 2000년대에서 2010년대 사이에 산림이 농업지역으로 변화한 면적이 약 1.5km², 산림이 시가지화 건조지역으로 변화한 면적이 0.7km²로 분석되었고, 농업지역이 시가지화 건조지역으로 변화한 면적은 약 5km², 초지가 시가지화 건조지역으로 변화한 면적은 2.4km²로 제시되었다. 따라서 2000년대에서 2010년대 사이에는 산림을 개발하는 것보다 농지와 초지를 도시로 개발하는 현상이 많았음을 알 수 있다.

4. 토지피복도와 초분광 영상을 이용한 환경 변화 분석

환경부 토지피복도를 이용하여 1990년대부터 2010년대까지 수계 500m 구역에 대한 장기간의 토지피복 변화량을 분석하였다. 그리고 2016

년과 2019년의 초분광 영상을 이용하여 토지피복분류를 실시한 후 연간 토지피복 변화량을 분석하였다. 초분광 영상은 원격탐사 자료 중 토지피복을 분류하는 데 유리하고, 특히 항공 초분광 영상은 높은 공간해상도와 분광해상도보다 세밀한 토지피복 분류가 가능하였다. 따라서 환경부 토지피복도와 초분광 영상을 이용한 토지피복도를 비교함으로써 2010년대부터 2019년 사이에 발생한 토지피복 변화를 분석할 수 있었다. 다만 환경부 토지피복도의 공간해상도가 30m이고 항공 초분광 영상을 이용한 토지피복도의 공간해상도가 1m이므로 위치오차 및 공간해상도에 따른 차이는 고려해야 할 사항으로 판단된다.

본 연구에서는 2010년대를 대상으로 제작된 환경부 토지피복도와 항공 초분광 영상으로 제

TABLE 11. Changes in land cover in 2010 and 2019

	2010	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
2019						
(1)		14.8	1.4	1.0	0.8	0.1
(2)		0.3	0.9	0.3	0.0	0.0
(3)		0.8	0.5	5.9	0.3	0.1
(4)		0.3	0.2	1.3	0.2	0.1
(5)		0.7	0.1	0.5	0.1	2.3
class total		19.8	5.3	12.9	2.3	2.8
class change		4.9	4.4	7.0	2.1	0.5

Urban(1) / Farmland(2) / Forest(3) / Grassland(4) / Water(5)

작성된 토지피복도에서 수계 500m 구역을 추출하였고, 공간해상도를 통일시키기 위하여 환경부 토지피복도의 공간해상도를 1m로 재구성(Resampling) 하였다. 그 후 두 토지피복도 간의 변화를 분석하였으며, 그림 9는 각각 환경부 토지피복도(2010년대)와 초분광영상 토지피복도(2019년)의 변화가 발생한 지역을 도식화하였다. 환경부 토지피복도는 공간해상도의 한계로 인하여 비교적 단순한 피복분포를 나타내고 있으나, 초분광영상 토지피복도는 이에 비해 세밀한 토지피복 분포가 나타남을 알 수 있다.

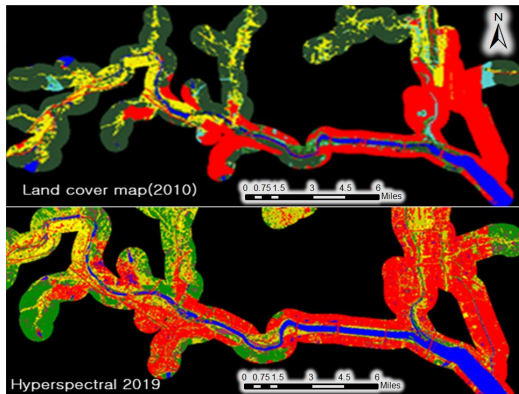


FIGURE 9. Change analysis of land cover map and hyperspectral image

전반적으로 2010년대와 2019년의 토지피복 분포는 울산공항 부근을 중심으로 농경지가 감소하고 시가지화 건조지역이 증가한 것으로 판단된다. 그 외의 지역에서 나타나는 피복의 변

화는 두 자료간의 세밀도 차이로 인한 것으로 판단된다.

표 11에는 2010년대 환경부 토지피복도와 2019년 초분광영상 토지피복도 간의 토지피복 변화를 나타내었으며, 앞서 분석한 나지를 제외하고 5개로 조정하였다. 이는 나지의 구분이 모호하여 세밀도에 의한 오분류가 발생하는 점을 고려하여 5개 등급으로 분석하였다. 분석결과 2000년대 대비 2019년에 농업지역, 산림지역, 초지가시가지화건조지역으로 변화된 면적이 각각 1.4km², 1.0km², 0.8km²로 제시되었고, 산림이 농업 지역으로 변화한 면적이 0.3km²로 나타났다. 따라서 농업지역과 산림지역을 도시로 개발하는 현상이 지속해서 나타나고 있음을 알 수 있었다.

결론

토지피복 변화는 자연환경 및 인문환경에 직접적인 영향을 미치며, 다양한 분야와 도시개발계획의 정책 수립 등에 많이 활용되고 있다. 본 연구에서는 울산광역시 주변의 환경부 토지피복도 1:25,000, 4개 도엽을 대상으로 1990년대, 2000년대, 2010년대의 시계열 자료를 확보하여 장기간의 토지피복 변화량을 분석하였다. 그 결과 1990년대에서 2000년대 사이에 산림이 약 189km²가 감소하고 농지와 도시지역이 각각 약 174km², 약 30km² 증가 하는 경향을 보였고, 2000년대와 2010년대 사이에는 농지가 약 135km² 감소하고 도시지역 약 22km² 증가 하는 경향이 나타났다. 따라서 울산광역시 및

주변 지역에서 1990년대와 2000년대 사이에 산림을 농지 및 도시로 개발하였고, 2000년대에서 2010년대 사이에는 농지를 도시로 개발하였음을 알 수 있었다.

초분광 영상으로는 촬영지역을 대상으로 태화강 및 지천을 중심으로 한 수계 500m 지역에 대한 토지피복 변화를 분석하였으며, 그 결과 1990년대에서 2000년대 사이에 농지가 약 7km², 산림이 약 3km² 감소하였고, 도시지역이 약 6km² 증가한 것으로 분석되었다. 또한 1990년대에서 2000년대 사이에는 농지지역이 약 6km², 초지가 약 5km² 감소하고, 도시지역이 약 7km² 증가한 것으로 나타났다. 태화강을 중심으로 도시의 개발과 확장이 활발히 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

본 연구를 기반으로 울산지역은 태화강 수계 지역을 중심으로 시간이 변화함에 따라 도시화의 가속도가 빠르게 진행되고 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 기존 구축되어진 토지피복도를 활용하여 초분광 영상의 자료를 비교·분석함으로써 다양한 변화양상을 빠르게 파악할 수 있다는 것을 제시하였다. 도시의 개발과 확장의 가속도가 빨라짐에 따라 무분별한 도시팽창을 억제하기 위한 다양한 녹지 공간, 오픈스페이스, 그리고 도시 경관적 측면에서 토지피복 변화를 고려한다면 정책대안에 좋은 자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Angel, S., J. Parent, D.L. Civco, A. Blei, and D. Potere. 2011. The dimensions of global urban expansion: estimates and projections for all countries, 2000–2050. *Progress in Planning* 75: pp.53–107.
- Cho, H.G. and Lee, K.S. 2014. Comparison between hyperspectral and multispectral images for the classification of coniferous species. *Korean Journal of Remote Sensing* 30(1):25–36 (조형갑, 이규성. 2014. 침엽수종 분류를 위한 초분광 영상과 다중분광영상의 비교. *대한원격탐사학회지* 30(1):25–36).
- Hochberg, E.J., M.J. Atkinson and S. Andrefouet. 2003. Spectral reflectance of coral reef bottom—types worldwide and implications for coral reef remote sensing. *Remote Sensing of Environment* 85:159–173.
- Jensen J.R. 2005. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* 3rd edition. Sigma Press Seoul Korea. p.580 (Jensen J.R. 2005. *원격탐사와 디지털 영상처리* 제3판. 시그마프레스. 580쪽).
- Kim, T.W., Choi, D.J., We, G.J., and Suh, Y.C. 2013. Detection of small green space in an urban area using airborne hyperspectral imagery and spectral angle mapper. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 16(2):88–100 (김태우, 최돈정, 위광재, 서용철. 2013. 분광각매핑 기법을 적용한 항공기 탑재 초분광 영상의 소규모 녹지 공간 탐지. *한국지리정보학회* 16(2):88–100).
- Lee, J.D., Bhang, K.J., and Joo, Y.D. 2016. Atmospheric Correction Effectiveness Analysis and Land Cover Classification Using Airborne Hyperspectral Imagery. *The Journal of the Korea Contents Association* 16(7):31–41 (이진택, 방건준, 주영돈. 2016. 항공 하이퍼스펙트럴 영상의 대기보정 효과 분석 및 토지피복 분류. *한국콘텐츠학회 논문지* 16(7):31–41).
- Ma, S., Z. Tao, X. Yang, Y. Yu, X. Zhou and Z. Li. 2014. Bathymetry retrieval from hyperspectral remote sensing data in optical—shallow water. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 52(2):1205–1212.

- Myneni, R.B., F.G. Hall, P.J. Sellers and A.L. Marshek. 1995. The interpretation of spectral vegetaion indexes. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 33(2):481-486.
- Oh, K.Y., Lee, M.J., and No, W.Y. 2016. A Study on the Improvement of Sub-divided Land Cover Map Classification System-Based on the Land Cover Map by Ministry of Environment. Korean Journal of Remote Sensing 32(2):105-118 (오관영, 이명진, 노우영. 2016. 세분류 토지피복 지도 분류체계 개선방안 연구: 환경부 토지피복지도를 중심으로. 대한원격탐사학회 32(2): 105-118).
- Park, H.L., and Choi, J.W. 2017. Accuracy evaluation of supervised classification by using morphological attribute profiles and additional band of hyperspectral imagery. Journal of Korean Society for Geospatial Information System 25(1):9-17 (박홍련, 최재완. 2017. 초분광 영상의 Morphological Attribute Profiles와 추가 밴드를 이용한 감독분류의 정확도 평가. 한국지형공간정보학회 지 25(1):9-17).
- Park, H.S. and Jang, D.H., 2020. Analysis of Changes in Urbanized Areas in Daejeon Metropolitan City by Detection of Changes in Time Series Landcover: Using Multi-temporal Satellite Images. Journal of the Association of Korean Geographers 9(1):177-190 (박현수, 장동현. 2020. 시계열 토지피복 변화 탐지를 통한 대전광역시의 시가화지역 변화 패턴 분석 : 다중시기 위성영상을 활용하여. 한국지리학회 9(1):177-190).
- Ryu, J.H., Shin, J.I., Lee, C.S., Hong, S., Lee, Y.W., and Cho, J. 2017. Evaluating Applicability of Photochemical Reflectance Index using Airborne-Based Hyperspectral Image: With Shadow Effect and Spectral Bands Characteristics. Korean Journal of Remote Sensing 33(5_1):507-519 (류재현, 신정일, 이창석, 홍성욱, 이양원, 조재일. 2017. 항공 초분광 영상을 이용한 광화학반사지수 이용 가능성 평가: 그림자 영향 및 대체 밴드를 중심으로, 대한원격탐사학회 33(5_1):507-519).
- Sunwoo, W., Kim, D., Kang, S., and Choi, M. 2016. Application of KOMSAT-2 Imageries for Change Detection of Land use and Land Cover in the West Coasts of the Korean Peninsula. Korean Journal of Remote Sensing 32(2):141-153 (선우우연, 김다운, 강석구, 최민하. 2016. 서해연안 토지이용 및 토지피복 변화탐지를 위한 KOMPSAT-2 영상의 활용, 대한원격탐사학회 32(2):141-153).
- Zhao, M., Z.H. Kong, F.J. Escobedo, and J. Gao. 2010. Impacts of urban forests on offsetting carbon emissions from industrial energy use in Hangzhou, China. Journal of Environmental Management 91:807-813.