

Article

서해연안 토지이용 및 토지피복 변화탐지를 위한 KOMPSAT-2 영상의 활용

선우우연* · 김다은** · 강석구** · 최민하*†

*성균관대학교 수자원전문대학원 수자원학과, **한양대학교 건설환경공학과

Application of KOMSAT-2 Imageries for Change Detection of Land use and Land Cover in the West Coasts of the Korean Peninsula

Wooyeon Sunwoo*, Daeun Kim**, Seokkoo Kang** and Minha Choi*

*Department of Water Resources, Graduate School of Water Resources, Sungkyunkwan University

**Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

Abstract : Reliable assessment of Land Use and Land Cover (LULC) changes greatly improves many practical issues in hydrography, socio-geographical research such as the observation of erosion and accretion, coastal monitoring, ecological effects evaluation. Remote sensing imageries can offer the outstanding capability to monitor nature and extent of land and associated changes over time. Nowadays accurate analysis using remote sensing imageries with high spatio-temporal resolution is required for environmental monitoring. This study develops a methodology of mapping and change detection in LULC by using classified Korea Multi-Purpose Satellite-2 (KOMPSAT-2) multispectral imageries at Jeonbuk and Jeonnam provinces including protected tidal flats located in the west coasts of Korean peninsula from 2008 to 2015. The LULC maps generated from unsupervised classification were analyzed and evaluated by post-classification change detection methods. The LULC assessment in Jeonbuk and Jeonnam areas had not showed significant changes over time although developed area was gradually increased only by 1.97% and 4.34% at both areas respectively. Overall, the results of this study quantify the land cover change patterns through pixel based analysis which demonstrate the potential of multispectral KOMPSAT-2 images to provide effective and economical LULC maps in the coastal zone over time. This LULC information would be of great interest to the environmental and policy managers for the better coastal management and political decisions.

Key Words : Coastal monitoring, land use and land classification, Change detection, Unsupervised classification, KOMPSAT-2

Received March 22, 2016; Revised March 30, 2016; Accepted April 13, 2016.

† Corresponding Author: Minha Choi(mhchoi@skku.edu)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

요약: 토지이용 및 토지피복변화에 대한 신뢰성 높은 평가는 수로학 및 지리학적 연구에서 침식 및 퇴적, 해안 모니터링, 생태영향평가와 같은 다양한 실질적인 사안들을 발전시켰다. 원격탐사 이미지는 시간 변화에 따른 자연 및 토지변화를 살펴보는 데 있어 뛰어난 잠재력을 지니고 있다. 따라서 최근에서는 환경 모니터링을 위해 고해상도의 원격탐사 영상 이미지를 활용한 보다 정확한 연구가 요구되고 있다. 본 논문에서는 갯벌보호지역이 위치한 한반도의 전라남도, 전라북도 일부지역의 토지이용 및 토지피복 변화에 대한 맵핑 및 변화탐지 방법을 실시하였다. 이를 위하여 2008년부터 2015년에 촬영된 KOMPSAT-2 위성의 다중분광 이미지를 사용하였다. 토지이용 및 토지피복변화 맵핑은 무감독 토지분류방법으로 분석하였으며, post-classification 변화탐지 방법으로 평가하였다. 전라북도와 전라남도의 연안지역에 대한 토지이용 및 토지피복변화에 대한 평가결과는 시간변화에 따라 큰 차이가 나타나지는 않았으나 각각 약 1.97%, 4.34% 정도의 변화를 보였다. 본 연구결과는 연구지역의 토지피복 변화 양상을 정량화 하였으며, 특히, 화소기반 분석을 통해 연안지역에 대한 KOMPSAT-2 다중분광 이미지의 효율적이고 경제적인 활용 가능성을 확인하였다. 이러한 토지이용 및 토지피복변화 정보는 연안환경 관리 및 정책결정을 위해서 환경 및 정책관리자들에게 유용할 것으로 기대된다.

1. 서론

국토의 토지현황 모니터링은 토지이용 및 토지피복 변화를 지속적으로 탐지하여 변화정도를 식별하고, 변화원인 및 결과와 관련된 변화관계에 대한 분석을 통해 과거와 현재 상황이 미래에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 예측하기 위한 일련의 과정이다. 이는 현대산업의 고도화로 인한 국토 공간의 급격한 변화에 따라 효율적인 활용 및 관리를 위해서 그 중요성이 점차 증가하고 있다. 특히, 토지이용 및 토지피복 변화는 사회·경제 변화 및 인간 활동에 따른 영향을 반영하는 동시에 자연환경 변화와 밀접한 관계를 가지고 있다(Squires, 2002).

토지이용변화는 전 지구 규모의 대기 및 물 순환과 지역적 규모의 생태계 순환과정 및 구성에 큰 영향을 미친다. 그러나 광범위한 지역의 토지피복 및 토지변화를 주기적으로 탐지하고 분석하기 위한 기술적 방법이 마련된 것은 오래되지 않았다(Yuan *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2009). 1970년대 초반부터 제공되기 시작한 인공위성 원격탐사 기술은 전 지구 규모의 토지이용 및 토지피복분류(Land cover classification)의 전기를 마련하였다. 이는 원격탐사 기술의 대표적인 응용분야로 지표면의 물리적 상황을 분류할 수 있으며, 원격탐사 기술을 활용한 토지피복분류도(Land cover map)는 지표면의 현재 상황을 시각적으로 잘 나타내기 때문에 현실을 반영한 여러 모델링의 기초 자료로 활용되어 정책수립의 효율성·

과학성을 높이는데 기여하고 있다. 또한 위성영상자료를 이용한 토지이용 변화 지도는 지구환경 변화와 관련된 전 지구 규모의 토지이용 및 토지피복 모니터링을 통해 제작되고 있으며, 미항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA)을 비롯하여 유럽 우주국(European Space Agency, ESA) 등 여러 국가 및 국제기구에서 이와 관련하여 지속적인 연구 사업이 진행되고 있다(<http://lcluc.umd.edu>). 위성 영상을 활용한 전 지구 규모의 토지피복도는 열대림의 손실, 사막지역의 확대, 산림면적 축소 등과 같이 대륙적 규모에서 발생하는 지구환경 변화뿐 아니라 대기, 물, 탄소 순환 연구를 위한 자료로 활용되고 있다. 또한 이러한 변화는 인구증가, 대도시 성장, 도시화지역 팽창과 같은 사회경제 변화 등이 주요변화 요인으로 작용하기 때문에 사회적 환경연구 분야에서 전 지구규모 및 대륙적 규모, 지역적 규모 분석에서 변화 자료가 유용하게 활용되고 있다(Angel *et al.*, 2011).

생태환경변화와 관련하여 인공위성영상 자료를 활용할 경우, 현지조사 및 항공사진에 비해 시공간의 제약을 최소화하여 광범위한 지역에 대한 지속적인 관측이 가능하며, 육안으로 분류하기 어려운 대상 및 지역을 감지할 수 있는 이점이 있기 때문에 위성영상을 통한 원격탐사는 환경 모니터링 정보를 얻는 중요한 수단으로 이용가능하다. 또한 토지이용 및 토지피복 변화와 관련한 정보 수집은 대개 넓은 공간에 걸쳐 실시되기 때문에 바다와 육지의 경계지역으로 수륙의 경계를 이루

는 선의 기준이 불분명한 연안지역(Coastal zone) 연구에서 특정 토지피복 변화에 중점을 두어 분석하는 사례가 늘고 있다(Zhao *et al.*, 2010; Angel *et al.*, 2011). 그러나 국내에서는 인공위성을 활용한 토지이용 분석이 주로 토지피복도 제작 분야에서 이루어지고 있어 앞으로 사회적 환경변화 및 생태환경 변화 모니터링을 위한 지속적인 연구가 필요한 실정이다.

우리나라의 토지 상황을 한 눈에 볼 수 있도록 한 토지피복도는 1998년 남한 지역에 대한 대분류 토지피복 지도를 시작으로 발전하여 왔다. 또한 토지피복지도 제작을 위해 필요한 기초자료와 토지분류 항목 및 체계를 구축하여 토지피복과 관련한 국내 규정을 마련하였다. 이를 기반으로 2000년 정보화근로사업으로 수행된 2차 토지피복지도 구축 사업에서는 80년대 말, 90년대 말 두 시기의 Landsat Thematic Mapper(TM)의 위성영상자료를 이용하여 남·북한의 30 m 공간해상도의 1:50,000 축적의 대분류 토지피복지도 제작을 하였다. 이후 2010년에는 Landsat-7 위성영상을 이용하여 대분류 토지피복지도 제작을 하였으나 현재 수요에 비해 제공이 충분하지 않은 실정이다(환경부, 2002). Landsat 위성영상은 주로 대분류 토지피복도 제작에 사용되었으며, 1:25,000 축적의 중분류 토지피복도 제작에는 SPOT-5 위성영상이 사용되었다. 2009년에는 국내 위성인 아리랑 2호 위성영상과 STOP-5 영상을 사용하여 서울, 인천, 경기, 대전 및 충청도 일부 지역의 지도를 갱신하였다. 아리랑 위성영상은 높은 공간해상도의 영상을 제공하기 때문에 현재 세분류 토지피복지도에 사용되고 있으며, 2010년 북한강·남한강 유역 및 수질오염총량제가 실시된 경안천 유역에 대해서는 1 m 공간해상도의 토지피복지도 제작에 활용되기도 하였다.

앞서 언급한 우리나라 토지피복도 제작에 사용된 아리랑위성은 우리나라 최초의 다목적 실용 위성으로써 정밀 지도 제작, 지리정보 시스템(GIS), 국토 관리, 재해 예방을 위한 목적으로 1호의 경우 1999년 12월 21일, 2호는 2006년 7월 28일에, 가장 최근 3A호는 2015년 3월에 각각 발사되었다. 아리랑 위성은 탑재체와 위성본체가 합쳐진 위성체, 발사체 및 지상국으로 구성되어 있으며, 본 연구에서는 사용된 KOREAN MultiPurpose SATellite-2 (KOMPSAT-2)호는 685 km 상공에서 지구를 관측하는 위성으로 공간해상도(Ground Sample Distance, GSD)

1 m급 전정색 영상(Panchromatic image, PAN)과 GSD 4 m급의 다중분광 영상(Multi-Spectral image, MS)을 동시에 제공하는 세계 7번째 고해상도 위성으로 여러 분야에서 다양한 활용성을 인정받고 있다. 고해상도 위성영상은 세밀한 공간 정보의 획득이 가능하기 때문에 생태환경 모니터링 분야에서 다양한 연구가 수행되어 오고 있으며, 특히 국토의 지형변화를 탐지 및 추출하여 변화양상을 파악하는 주요기법인 변화탐지(Change detection) 기법은 고해상도 위성영상을 이용할 경우 신뢰성 높은 결과를 도출할 수 있어 적극 활용되고 있다(Chang *et al.*, 2009; Ekercin, 2007; Ormezi *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2002). 우리나라의 저해상도, 중해상도의 단일 시점 토지피복도는 전체 또는 일부 지역에 대한 현황 정보를 얻기 위한 방법론적인 접근을 통하여 제작된 것으로, 한반도 토지이용 및 토지피복 모니터링을 위한 자료로 직접 활용되기에는 미흡한 실정이다(Lee *et al.*, 2009). 그러나 변화탐지 기법에서 활용되는 다중 시기에서 획득된 항공사진 및 위성영상 중 KOMPSAT-2, IKONOS, Quickbird 등과 같은 고해상도 위성영상은 이러한 한계점을 보완할 수 있으며, 토지이용 및 토지피복 변화가 발생한 공간적 위치와 규모를 파악하고 변화의 원인 및 결과를 분석하는 과정에서 효율적인 방안이 될 수 있다. 또한 아직까지 KOMPSAT-2 위성영상의 획득 문제로 인해 이를 이용한 연안지역 모니터링 연구가 미흡한 실정으로 한반도의 연안지역에 고해상도 위성 영상을 활용한 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 서해안 연안의 토지이용 및 토지피복 모니터링을 위하여 우리나라의 KOMPSAT-2 고해상도 다중분광 영상을 분석하고, 또한 변화탐지 기법을 통해 KOMPSAT-2 영상의 활용 가능성을 검토하여 향후 한반도의 연안환경 모니터링에의 적용성을 확인하고자 한다. 이를 위해 2008년, 2009년, 2014년에 촬영된 KOMOSAT-2 영상을 이용하여 줄포만과 고창갯벌, 증도갯벌을 대상으로 Land Use & Land Classification (LULC) 변화에 대한 분석을 실시하였다. 또한 변화탐지 기법을 이용한 핫스팟 분석을 통해 토지피복의 공간적 분포패턴을 파악하고, 위성영상 기반 고해상도 토지피복 분류도를 제시하였다

2. 연구 방법 및 범위

서해안 연안의 토지피복 변화탐지 분석을 위해 먼저 고품질의 KOMPSAT-2 영상 자료를 선별한 후 전처리 작업을 실시하였다. KOMPSAT-2 위성영상에 기본적으로 적용되는 방사보정(Radiometric correction)은 위성에서 촬영된 상태의 데이터를 배포 가능한 상태의 영상으로 보정하는 내용으로 자세한 사항은 항공우주연구원에서 확인이 가능하다(<http://www.kari.re.kr>). 영상의 촬영일 및 촬영조건에 따라 영상촬영 위치가 상이하여 왜곡을 보정하기 위해 각 영상을 동일 위·경도 정보로 보정(Geometric correction)하였다. 토지피복 분류는 무감독 분류(Unsupervised classification)방법으로 실시하였으며, 분류결과를 기반으로 변화탐지기법을 적용하여 토지피복변화를 분석하였다. 자세한 연구방법(Fig. 1) 및 연구범위는 아래에 기술하였다.

1) 연구대상지

연구대상지는 현재 연안습지보호지역으로 지정되어 관리중인 전라북도에 위치한 부안 줄포만 갯벌(제 6호 습지보호지역), 고창갯벌(제 7호 습지보호지역)과 전남지역에 위치한 증도갯벌(제 9호 습지보호지역)이다(Fig. 2). 습지보전법 제8조 1항에는 자연상태가 원시성을 유지하고 있거나 생물다양성이 풍부한 지역, 희귀하거나 멸종위기에 처한 야생 동·식물이 서식·도래하는 지역, 그리고 특이한 경관적·지형적·지질학적이

치를 지닌 지역을 습지보호지역으로 지정한다고 명시하고 있다. 국제적으로는 1975년 발효된 람사르 협약으로 가입국의 습지를 보전하는 정책을 의무화하고 있으며, 습지를 바닷물 또는 민물의 간조 시 수심이 6m를 초과하지 않는 늪과 못 등의 소택지와 갯벌로 정의하고 있다. 국내에서는 1997년 7월 28일 람사르 협약이 발효되었으며, 환경부장관·해양수산부장관 또는 시·도지사가 5년마다 습지의 생태계현황 및 오염현황과 습지 주변 영향지역의 토지이용실태 등 습지의 사회·경제적 현황에 관한 기초조사를 실시하고, 그 결과를 토대로 습지보전기초계획을 세우고 있다. 본 연구의 대상지인 부안 줄포만, 고창, 증도 갯벌을 포함한 13개 갯벌지역이 습지보호지역으로 지정되어 관리되고 있다. 부안 줄포만 갯벌은 2006년 12월 5일 보호지역으로 지정되었으며 행정구역은 전라북도 부안군 줄포면, 보안면 일원으로 면적은 4.9 km²이다. 고창 갯벌은 2007년 12월 31일 해양수산부고시로 지정되었으며 전체 면적은 10.4 km²이다. 고창 갯벌의 행정구역은 고창군 부안면, 심원면 일대로 줄포만 갯벌과 반경 15 km 이내로 인접해 있다. 증도갯벌은 2010년 1월 29일 지정되었으며 행정구역은 전라남도 신안군 증도면 증도 및 병풍도 일대로 면적은 31.3 km²이다(Table 1). 전라남도 지역은 전형적인 동고서저 및 리아스식 해안 지형으로 인해 해안선의 굴곡이 심한 특징이 있으며, 해면은 조석, 파랑 등의 변화에 따라 주기적, 부정기적으로 오르내리기 때문에 해안선은

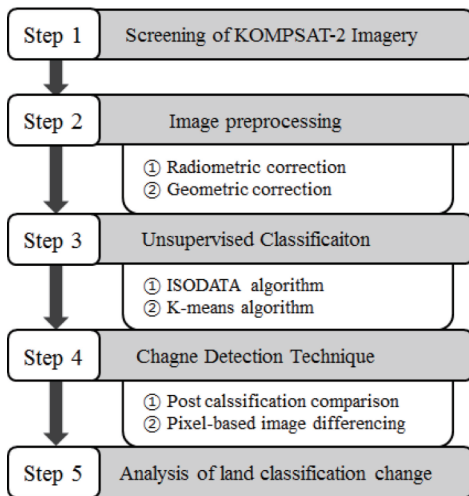


Fig. 1. Procedure of this study.

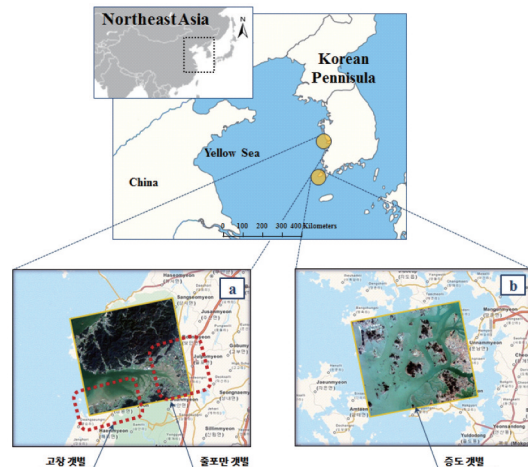


Fig. 2. KOMPSAT-2 imageries over study area; (a) Julpoman & Gochnag wetland, (b) Jeongdo wetland.

Table 1. Description of KOMSAT-2 multi-spectral image data

Coastal wetland protected area	Area (km ²)	KOMSAT-2 Image date		Cloud condition	Tide condition
		t (1)	t (2)		
Julpoman	4.9	April 05, 2009	October 04, 2014	0%	Low tide
Gochang	10.4	April 05, 2009	October 04, 2014		Low tide
Jeongdo	31.3	August 08, 2008	January 15, 2014		Low tide

고정되어 있지 않고 계속 이동하고 있다고 할 수 있다. 또한 해안선 이동에 따라 확인 가능한 갯벌 면적이 변화한다.

2) KOMSAT-2 다중분광영상

본 연구에서는 연구대상지에 대하여 1 m, 4 m 영상 및 헤더정보를 이용하여 분석하였다. 각 연구지역에 대한 KOMSAT-2의 영상 제원과 운량정보, 조석조건을 Table 1에, KOMSAT-2에 탑재된 밴드와 각 밴드별 특성을 Table 2에 나타내었으며, 한 켄의 영상크기는 15 km × 15 km(Swath × Width)이다. 줄포만과 고창갯벌, 그리고 증도갯벌 지역을 관측한 KOMSAT-2 1 m 영상과 4 m 영상은 각각 Fig. 3, 4와 같다.

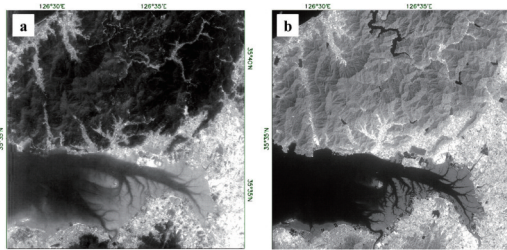
앞서 설명한 지형적 특성에 따라 고품질의 KOMSAT-2 다중분광영상을 선별하기 위해서 바다에서 조수가 빠져 나가 해수면이 가장 낮은 상태인 간조 시간대(low tide

Table 2. Characteristics of bands onboard in KOMSAT-2

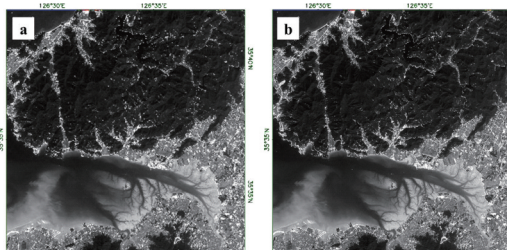
Ground Sampling Distance	PAN	1 m @ altitude 685 km (nadir)
	MS	4 m @ altitude 685 km (nadir)
Swath Width	15 km (nadir)	
Spectral Bands	PAN	500 nm - 900 nm
	MS1 (Green)	520 nm - 600 nm
	MS2 (Blue)	450 nm - 520 nm
	MS3 (NIR)	760 nm - 900 nm
	MS4 (Red)	630 nm - 690 nm
Orbit	Sun Synchronous Orbit - Altitude: 685.13±1 km - Inclination: 98.127 degree - MLTAN: 10:50+10/-15min	

[http://www.si-imaging.com/ds2_2_1.html]

condition)에 촬영된 영상 및 고해상도의 가시성 조건을 유지하기 위하여 각 영상의 운량조건이 0%인 최고등급에 해당하는 영상을 위주로 분류하였다. 이후 과거시점과 함께 비교적 현재시점에 촬영된 KOMSAT-2 영상

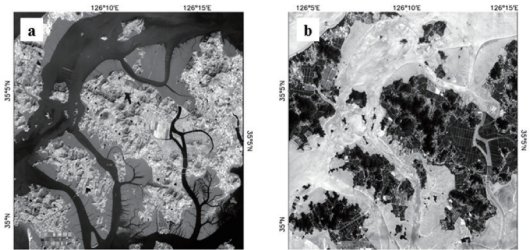


April 05, 2009

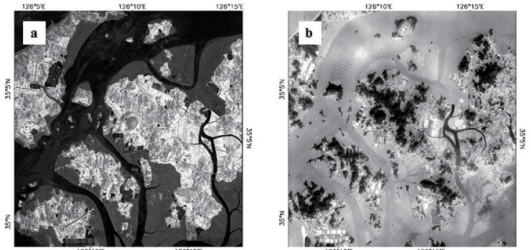


October 04, 2014

Fig. 3. (a) Panchromatic (1 m) and (b) Multi-spectral (4 m) images of KOMSAT-2 including Julpo and Gochang wetlands at different days.



August 08, 2008



January 15, 2014

Fig. 4. (a) Panchromatic (1 m) and (b) Multi-spectral (4 m) images of KOMSAT-2 including Jeongdo wetland at different days.

을 선별하여 연안의 변화양상을 분석하였다. 각 지역의 간조시간은 국립해양조사원에서 제공되는 조석예보시간(<http://www.khoa.go.kr>)을 참조하였으며, 각 영상의 촬영시간 및 기본적인 메타데이터는 Arirang Satellite Image Search & Order System 사이트에서 획득하였다(<http://arirang.kari.re.kr>).

3) 무감독 토지피복분류기법

무감독 분류는 표본자료와 같은 사전정보 없이 영상 자료의 파장별, 공간별 특성에 의해서 분류하는 방법으로, 최소한의 입력자료로부터 군집화(Clustering)가 시작되어 분류되는 등급별(Class)로 평균과 공분산을 선택하여 알고리즘이 계산된다. 분류하고자 하는 모든 지표 대상물은 빛의 반사 및 흡수 등으로 인해 각 파장에 대해서 고유한 밝기 값을 나타내기 때문에 같은 종류의 지표 대상물은 비슷한 분광반사 패턴을 가지게 된다(Sohn and Rebello, 2002). 이러한 분광 특성을 이용한 원격탐사 데이터 분석에서는 동일 지표 대상물들의 분광이 대기 및 지형적인 영향으로 인해 유사한 특성 지니며, 선형적인 분포 모양을 가지는 특성에 기초하여 분석이 수행된다(Foody 2002; Jensen, 2004). 무감독 분류를 통해 무작위로 추출된 화소를 기반으로 추출된 개략적인 지형 지물(Feature)을 정량적으로 분류하게 된다. 그러나 원격탐사를 이용한 변화탐지기법은 위성영상의 기하학적 특성에 민감하며, 기복면위 등에 의한 영상 왜곡이 발생할 경우 변화탐지기법 적용이 어려울 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 최소화하기 위해서 다중분광영상을 이용한 다양한 무감독 분류기법들이 제안되고 있으며(Wagn *et al.*, 2012), K-means 군집분류, Interactive Self Organizing Data Analysis(ISODATA) 기법, 최우도법(Maximum Likelihood method), 신경망(Neural Net) 등이 대표적인 무감독 분류기법이다. 본 연구에서는 ISODATA 기법과 K-means 군집분류 기법을 적용하였으며, 임의의 무감독 분류는 먼저 군집 초기중심(Seed Points)을 결정하여 군집 중심 계산 시 각 평균을 사용하고, 병합과 분할 시 유동적인 군집 분석을 수행하게 된다(Gose *et al.*, 1996). 또한 토지의 물리적 표면 상태를 나타내기 위해 미국지질조사소(United States Geological Survey, USGS)의 토지분류기준을 참고하여 총 6개(Water, Wetland, Mixed fores, Agriculture, Residential/Development, Bare

soil)의 토지피복 항목을 설정하였다. 또한 유효한 무감독 분류를 수행하기 위해서 최적의 군집 유효성 지수 및 군집개수에 대해 시행착오법을 실시하여, 각 영상별로 최적의 유효지수를 도출하도록 했다.

4) 변화탐지기법

변화탐지기법은 서로 다른 시간대의 관측을 통해 대상의 상태 변화 차이를 분석하는 기법이다. 다중시기의 데이터를 통해 관측대상의 시간적 변동성을 파악이 가능하며, 그 차이를 정량화할 수 있다(Singh, 1989). 위성 데이터를 이용한 원격탐사는 변화탐지기법을 적용하기에 최적의 조건을 갖추고 있다. 위성 데이터의 경우, 다른 영상 데이터에 비해 시간 해상도가 높고, 제공되는 자료의 형태가 컴퓨터를 활용한 수치해석에 적합할 뿐 아니라, 공간 및 분광해상도가 높아 관측 목표에 따라 적합한 표본의 데이터를 추출하여 분석할 수 있기 때문이다. 그러나 동시에 관측 목표에 대한 자료 선택이 폭이 적은 경우에 추출된 자료의 시·공간적, 분광학적 해상도에 따라 분석에 제한을 받을 수 있으며 원격탐사 자료가 받는 기후조건, 토양수분과 같은 다양한 외부 조건의 영향들을 통제하면서 관측대상의 특성을 파악하는 것 또한 복잡한 과정이 요구된다.

선행 연구들을 통해 변화탐지기법이 적용되고 발전되어 왔으며 이는 크게 두 방식으로 분류되고 있다. 첫 번째는 Pre-classification 변화탐지기법으로 동일한 변수(센서)의 다른 날짜에 해당되는 이미지들을 통해 그 변동성을 파악하는 방법이고, 두 번째는 Post-classification 변화탐지기법으로 서로 다른 독립적인 변수가 가진 다른 날짜의 이미지들을 활용하여 각각의 시간 변동성에 따른 차이를 비교분석하는 것이다(Singh 1989, Ridd and Liu 1998, Yuan *et al.*, 2005).

본 연구에서는 Post-classification 방법을 이용한 서해 연안의 토지이용 및 토지피복에 대한 격자 기반(pixel-based) 변화탐지를 수행하였다. 정확한 변화탐지를 위한 선행조건들을 만족시키기 위해 동일 지역에서 촬영된 KOMPSAT-2의 다중분광 영상을 활용하여 공간해상도, 분광해상도, 복사해상도를 일치시켰다. 영상 품질 및 조건시간에 먼저 우선순위를 두고 영상을 분류했기 때문에 계절적 시간은 상이하나, 이를 통해 계절적 변화 또한 탐지가 가능하였다.

3. 연구 결과 및 고찰

1) 전라북도 연안(줄포만 & 고창 갯벌)

그림 5(a)는 KOMPSAT-2 영상으로 무감독 토지피복 분류한 결과를 나타낸 지도이며(2009년 4월 5일), 그림 5(b)는 2014년 10월 4일 영상을 대상으로 한 토지피복 분류 결과이다. 2009년과 2014년 KOMPSAT-2 영상 결과의 비교, 분석을 통해 토지이용 변화를 파악할 수 있다. 토지피복 분류 영상을 대상으로 Post-classification 변화탐지기법을 이용하여 토지 변화 결과를 산출하였다. Table 3에서 무감독 분류를 통한 6개의 토지분류 항목에 대한 Pixel 수, 면적(km²), 전체 영상에서 각 토지분류 항목이 차지하고 있는 면적을 백분율(%)을 각 연구지역별로 나타냈으며, 편의상 줄포만과 고창갯벌이 위치한 영상을 전라북도, 증도갯벌이 위치한 영상을 전라남도로 표기하였다. 전북지역의 전체 갯벌지역(Wetland)은 9.33%에서 10.88%로 증가했으며, 주거지 및 개발지역(Residential/Developed)은 3.86%에서 5.84%로 증가해 2009년과 2014년의 비교 시 약 1.97%의 변화가 있었으며, 갯벌지역과 개발지역의 면적 변화 등으로 해수영역(Water)은 3.22%의 면적이 감소한 것으로 나타났다(Table 3(a)). 그러나 해수면적 변화는 실제로 해수가 감소한 것이 아니라, 동일 영상에서의 상대적인 면적에만 차이가 나타난 것이다. 개발지역 증가는 과거 중심어항이던 줄포에서의 뺨의 퇴적으로 수심이 얕아지면서 항구의 기능을 잃어버리자 곰소항에 제방을 축조가 일조

하였을 것이라고 판단된다. 반면, 자연스럽게 갯골지역의 중심어항이 항구 역할을 하지 않았기 때문에 갯벌지역에 큰 변화는 나타나지 않은 것으로 보인다.

Table 4는 KOMPSAT-2의 고해상도 영상을 이용하여 pixel-based image differencing 기법으로 2009년과 2014년 토지이용 분포를 비교한 결과를 면적백분율(%)로 나타낸 것이다. 전북 지역의 결과(Table 4(a))에서 갯벌지역으로 가장 크게 변화한 영역은 해수영역(86.27%)으로 나타났으며, 그 외 분류 항목은 모두 0.2~5.3% 정도의 근소한 변화만을 나타냈다. 2009년에서 2014년까지의 산림지역(Mixed Forest)의 전체 변화 중 96.93% 농경지(Agriculture)로 나타났으며, 갯벌지역의 전체 변화 중 54.39%가 주거지역 및 개발지역으로 나타났다. 이러한 변화를 통해 토지가 개발되고, 인구 유입이 늘어났음을 확인할 수 있다. 또한 나지(Bare soil)는 2009년과 비교하여 전체변화 중 73.91%가 산림지역으로 변화한 것으로 계절적 영향을 촬영시기에 따른 계절적 영향을 나타내었다. 반면, 해수영역 및 나지로 토지피복이 변화한 영역은 가장 작은 것으로 나타났다.

사회·환경적 변화가 토지이용 변화에 미친 영향을 살펴보기 위해 매년 통계청에서 발행되는 통계연보를 토대로 전북지역에 유입된 인구변화의 영향을 살펴보기 위해 1980년부터 2010년까지의 총인구수를 조사하였다(Table 5). 2015년에 인구총조사가 실시되었으며 이 자료는 2016년 9월부터 제공되기 때문에 이를 제외한 2010년까지의 자료만 표기하였다. 전북지역의 경우, 도

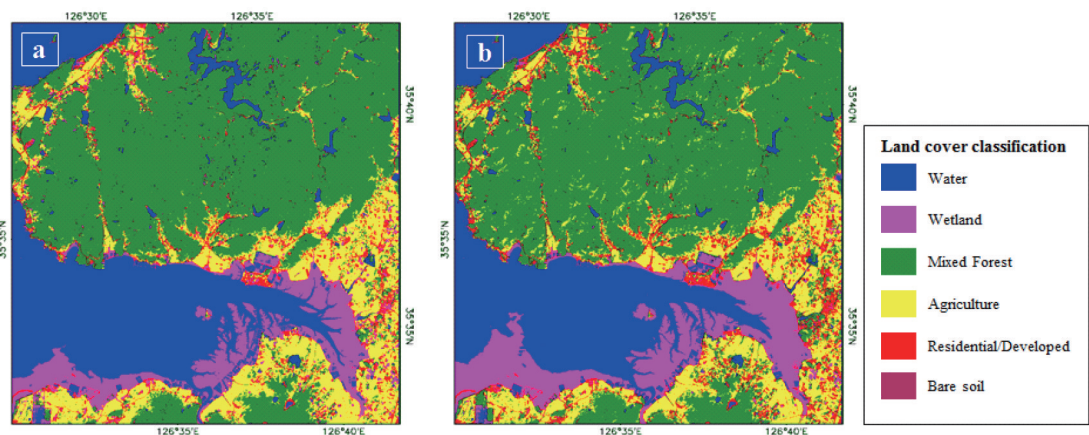


Fig. 5. Land use and land cover classification derived from KOMPSAT-2 for Julpoman & Gochang wetland; (a) April 05, 2009, (b) October 04, 2014.

Table 3. Summary of Unsupervised classification results from KOMPSAT-2

a. Jeonbuk Province						
Class name	2009			2014		
	Pixel count	Area (km ²)	Percent (%)	Pixel count	Area(km ²)	Percent (%)
Water	58812	54.11	24.07	50689	46.91	20.85
Wetland	22785	20.96	9.33	26462	24.49	10.88
Mixed Forest	118828	109.32	48.63	119390	110.49	49.11
Agriculture	34468	31.71	14.11	32383	29.97	13.32
Residential/Developed	9437	8.68	3.86	14192	13.13	5.84
Bare soil	1	0.00	0.00	2	0.00	0.00
Total	244331	225	100	243118	225	100

b. Jeonnam Province						
Class name	2008			2014		
	Pixel count	Area (km ²)	Percent (%)	Pixel count	Area(km ²)	Percent (%)
Water	1496694	83.63	37.17	1847099	96.39	42.84
Wetland	1259054	70.35	31.27	1175635	61.35	27.27
Mixed Forest	502345	28.07	12.47	471329	24.60	10.93
Agriculture	401009	22.41	9.96	330453	17.25	7.66
Residential/Developed	270011	15.09	6.71	476404	24.86	11.05
Bare soil	97740	5.46	2.43	10957	0.57	0.25
Total	4026853	225	100	4311877	225	100

Table 4. Matrices of land use and land classification changes area (%)

a. Jeonbuk Province							
2009 \ 2014	Water	Wetland	Mixed Forest	Agriculture	Residential/Developed	Bare soil	Total area (%)
	Water	0	86.27	13.49	0.00	0.09	0.15
Wetland	0	0	45.14	0.03	54.39	0.45	100
Mixed Forest	0	0.69	0	96.93	1.01	1.36	100
Agriculture	0	0.21	52.65	0	47.14	0.00	100
Residential/Developed	8.77	5.26	45.61	22.81	0	17.54	100
Bare soil	14.13	3.26	73.91	0.00	8.70	0	100

b. Jeonnam Province							
2008 \ 2014	Water	Wetland	Mixed Forest	Agriculture	Residential/Developed	Bare soil	Total area (%)
	Water	0	48.04	15.40	3.06	19.20	14.30
Wetland	78.26	0	4.00	5.41	7.47	4.87	100
Mixed Forest	7.12	6.38	0	8.26	65.23	13.01	100
Agriculture	19.43	16.11	13.15	0	48.78	2.53	100
Residential/Developed	6.68	12.11	21.81	53.30	0	6.10	100
Bare soil	25.81	41.86	12.65	4.85	14.84	0	100

시화와 산업화로 서울, 경기 등 대표적인 대도시에 비해 폭발적인 인구유입은 없었으며 오히려 거의 비슷하거나 0.01% 정도 꾸준한 감소를 보이고 있다. 따라서 직접적인 인구유입이 아닌 지역개발에 대한 필요성 등에

의하여 토지이용 변화가 점차 발생한 것으로 추정되며, 전체적인 토지분류 항목 변화는 ±1~4% 정도로 작게 나타났다(Fig. 6(a)). pixel 기반으로 도출된 토지피복 변화를 grey scale change로 나타냈으며, 검은색으로 나타

Table 5. Population change and (growth rate) comparison

Area	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Jeonbuk Province	2,286,720	2,201,265	2,069,378	1,900,558	1,887,239	1,778,879	1,766,044
		(0.99)	(0.99)	(0.98)	(1.00)	0.99	(1.00)
Jeonnam Province	3,778,777	3,747,506	2,506,944	2,066,109	1,994,287	1,815,174	1,728,749
		(1.00)	(0.92)	(0.96)	(0.99)	(0.98)	(0.99)

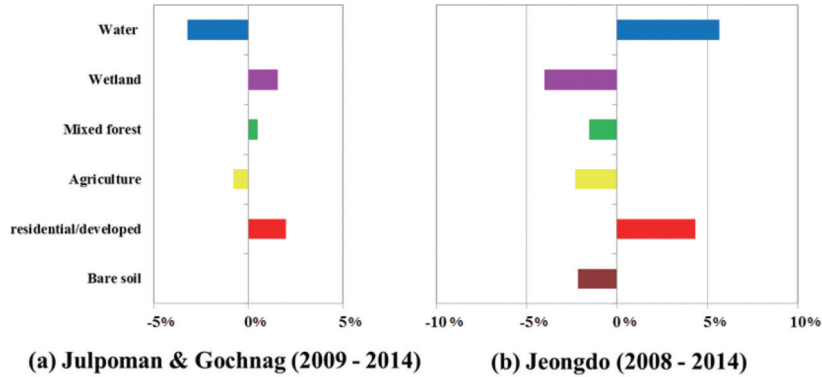


Fig. 6. Comparison of the land use and land cover changes; (a) Julpoman & Gochang wetland from 2009 to 2014, (b) Jeongdo wetland from 2008 to 2014.

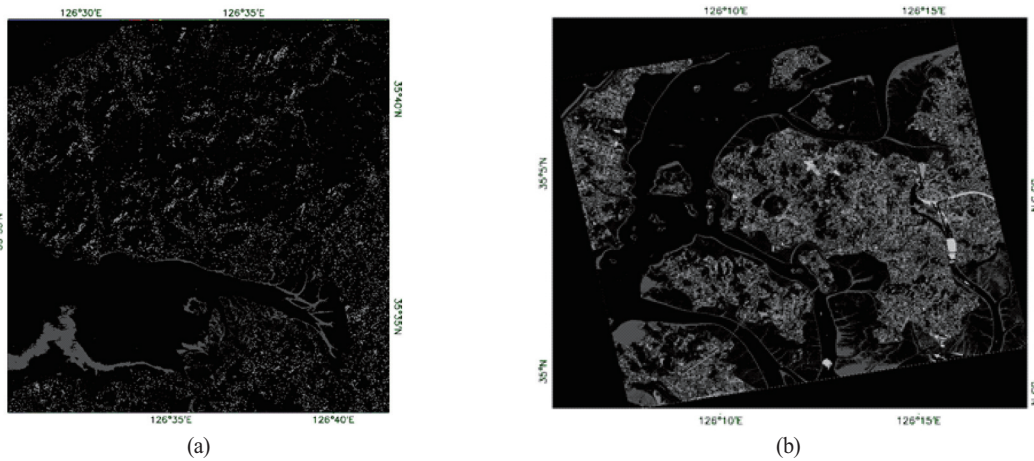


Fig. 7. Pixel based change detection map; (a) Julpoman & Gochang wetland from 2009 to 2014, (b) Jeongdo wetland from 2008 to 2014.

난 pixel은 토지피복 변화가 나타나지 않은 지역이다 (Fig. 7(a)).

추가적으로, 위성영상 촬영시기에 따른 계절적 변화를 확인하기 위해 MODIS에서 제공되는 정규식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)를 살펴 보았다(Fig 8). 줄포만과 고창 갯벌의 KOMSAT-2 촬영 시기인 2009년 4월(Fig 5(a))과 2014년 10월(Fig 5(b))에서 계절에 따른 식생의 차이를 확인할 수 있으며, 이는 사계절이 뚜렷한 한반도에서 계절 변화에 의한 식생 감소

및 증가가 토지피복현황에도 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

2) 전라남도 연안(증도 갯벌)

증도갯벌 일부지역에 대해 2008년 8월 6일과 2014년 1월 15일에 촬영된 KOMSAT-2 영상으로 무감독토지 피복분류를 실시(Fig. 5)하고, 각 항목별 토지피복 결과를 도출하였다(Table 3(b)). 갯벌지역의 면적은 2008년 31.27%에서 2014년 27.27%로 약 4% 감소했으며, 농경지

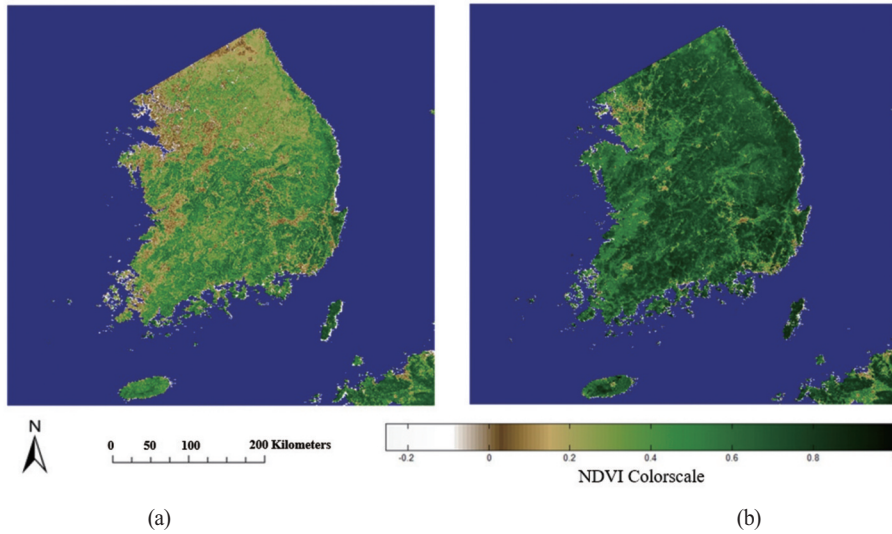


Fig. 8. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) mapping using MODIS onboard Terra satellite; (a) April 2009, (b) October 2014.

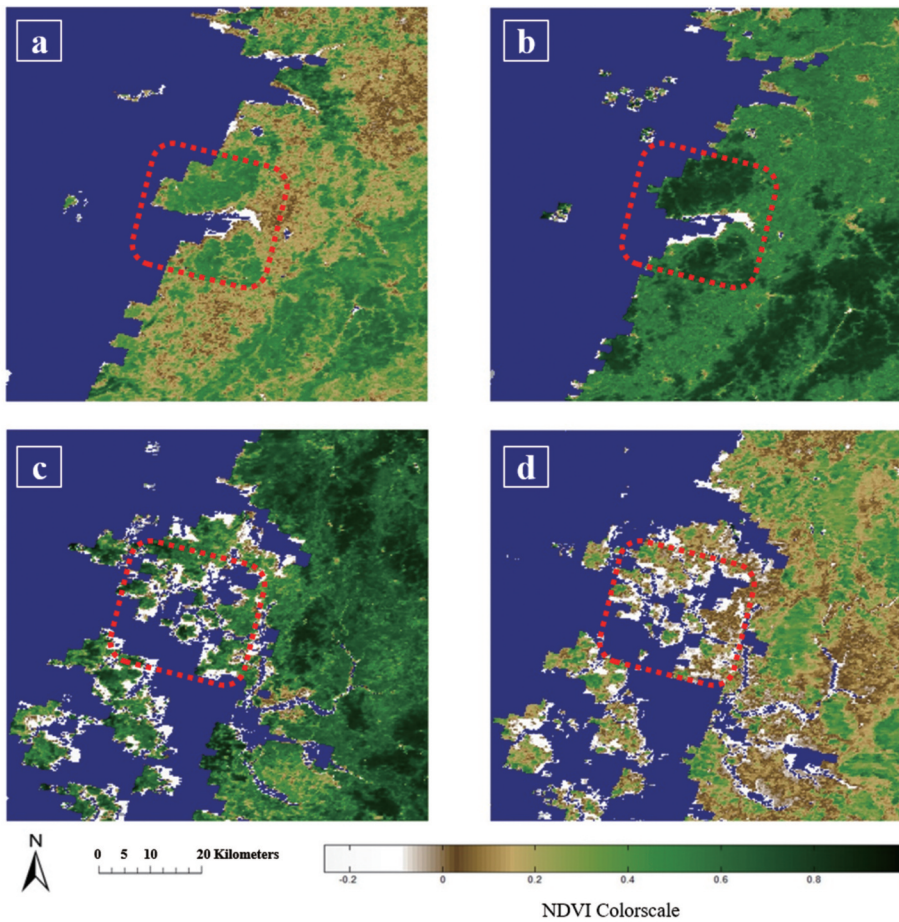


Fig. 9. NDVI mapping using MODIS onboard Terra satellite; (a) Julpoman & Gochang wetland on April 2009, (b) Julpoman & Gochang wetland on October 2014, (c) Jeongdo wetland on August 2008, (d) Jeongdo wetland on January 2014.

역(Agriculture)은 9.96%에서 7.66%로 약 2.29% 감소하였다. 반면, 주거지 및 개발지역은 6.71%에서 11.05%로 1.97% 증가하였다. 증도는 육지와 그리 멀지 않은 거리에 있지만 교통수단 때문에 왕래가 쉽지 않았으나 2004년 지도대교가 완공되고, 배편 증가 및 야간운항을 시작하면서 증도를 찾는 관광객들이 크게 늘어나 지역소득이 상승하였다. 이러한 변화가 개발로 이어지며 증도일대 지역의 토지이용 변화가 나타난 것으로 추정된다.

이 일대의 토지이용 변화(Table 4(b))는 2008년에서 2014년까지의 갯벌지역 전체 변화 중 78.26%가 해수영역으로 나타났으며, 해수영역의 전체 변화 중 48.04%가 갯벌지역에서 나타났다. 각 영상 촬영시간의 조석시간대는 간조인 것으로 추정되나 해수면 변화가 활발하게 이루어져 해수영역과 갯벌지역에서 변화가 나타난 것으로 보인다. 또한 산림지역의 전체 변화 중 65.23%, 농경지역의 전체 변화 중 65.23%가 주거지역 및 개발지역으로 확인되었다. 전남지역은 도시화로 농경지역이나 산림지역이 개발되었지만 급격한 인구유입 등의 사회·환경적 변화가 없어(Table 5) 이와 관련된 전체적인 토지피복 변화가 ±1~6% 정도 나타난 것으로 추정된다(Fig. 6(b)). 추가적으로 증도의 전반적인 면적 변화양상을 pixel기반으로 나타냈으며(Fig. 7(b)), 줄포만과 고창갯벌 지역과 비교하여 해수영역 및 갯벌지역에 뚜렷한 변화가 나타나, 전라남도 지역의 활발한 해수면 변화 영향이 반영되었음을 알 수 있다. 또한 Fig 9(b)에 증도갯벌 지역에 대한 정규식생지수를 도시하여, 위성영상 촬영시기에 따른 계절적 변화를 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 KOMSAT-2 위성영상을 활용하여 우리나라 서해연안 지역의 토지피복 변화를 확인하고 이를 통해 갯벌 및 토지분류 항목에 대한 변화탐지 및 분석을 실시하였다. KOMSAT-2 위성영상은 고해상도의 영상을 제공하기 때문에 지역적인 범위에서의 높은 품질의 토지피복도 구축에 용이하다. 하지만 위성영상은 계절적, 위치적 변화에 따라 영상품질에 영향을 받으므로, 이에 대한 고려 및 추가적인 보정이 필요하여 영상분석에 앞서 Screening of imagery와 image preprocessing을 수행하였다. 연구지역인 줄포만, 고창 갯벌과 증도갯벌이 위치한 전라북도, 전라남도 지역은 인구유입이 거의 없거나 감소추세를 보이고 있어 급격한 사회·환경적 변화로 인한 토지이용 변화가 나타나지 않는 것으로 파악되었다. 특히, 두 지역은 각각 2006년과 2007년부터 습지보호지역으로 지정·관리되고 있어 도시화로 인한 개발지역 증가를 제외한 갯벌지역의 면적변화가 2008과 2014년 기준 ±5% 내외로 적게 나타났다. 특히, 전라남도 지역은 전형적인 동고서저 및 리아스식 해안 지형 특성으로 인해 해안선의 굴곡이 심하며, 우리나라 갯벌의 30% 이상이 집중되어 있어 증도갯벌 지역은 다른 연구지역과 비교하여 비슷한 조건대라도 육지면과 해면에 차이가 있음을 확인하였다.

육지면은 단기간의 변화가 거의 나타나지 않으나, 해면은 조석, 파랑, 기압 등의 변화에 따라 주기적 혹은 부정기적으로 오르내리기 때문에 해안선이 고정되어 있

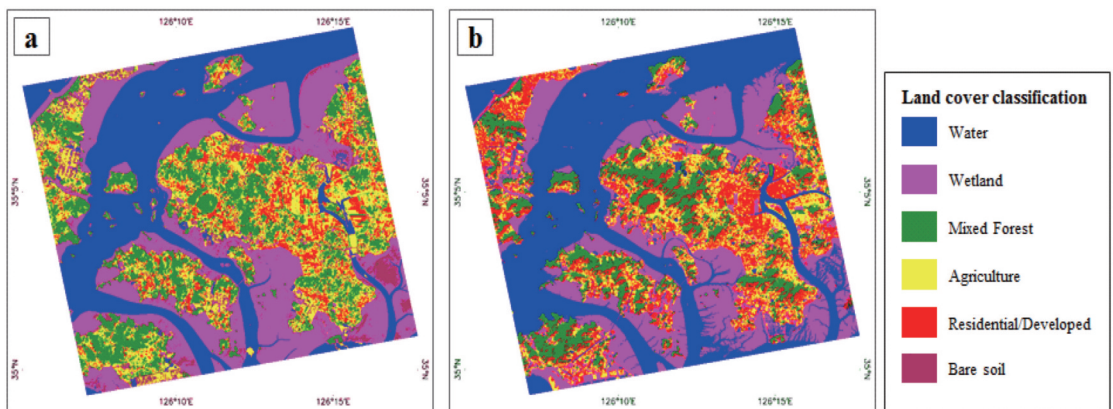


Fig. 10. Land use and land cover classification derived from KOMSAT-2 for Jeongdo wetland; (a) August 08, 2008, (b) January 15, 2014.

지 않고 계속 이동한다. 따라서 갯벌 등 습지보호지역에 대한 변화추이 분석에 어려움이 있으므로 본 연구에서 제시한 위성영상기반 토지피복변화 분석을 활용함으로써 높은 공간해상도의 자료로 조밀한 지역에 대한 모니터링이 가능하며, 연안환경 모니터링을 위한 경비를 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 연안환경 변화를 파악할 수 있도록 고해상도의 분석 정보를 제공하여 지역별로 차별화된 대책을 수립하는데 있어 유용한 자료로 활용될 수 있다.

사 사

본 연구는 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 우주핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다(No. 2014M1A3A3A03067387).

참고문헌

- 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: 53-107.
- Chan, J.C.W., K.P. Chan, and A.G.O. Yeh, 2001. Detecting the nature of change in an urban environment: a comparison of machine learning algorithms, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67(2): 213-225.
- Ekercin, S., 2007. *Multitemporal change detection on the Salt Lake and its vicinity by integrating remote sensing and geographic information system*, PhD Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul.
- Ekercin, S. and C. Ormeci, 2008. An application to estimating soil salinity using satellite remote sensing data and real-time field sampling, *Environmental Engineering Science*, Academic Press.
- Gose, E., R. Johnsbaugh, and S. Jost, 1996. *Pattern Recognition and Image Analysis*, Prentice Hall.
- Hasse, J.E. and R.G. Lathrop, 2003. Land resource impact indicators of urban sprawl, *Applied Geography*, 23: 159-175.
- Kim, H.Y., T.J. Kim, and H. Lee, 2012. Brightness Value Comparison Between KOMPSAT-2 Images with IKONOS / GEOEYE-1 Images, *Korean Journal of Remote Sensing*, 28(2): 181~189 (in Korean with English abstract).
- Lee, H.J., J.H. You, and K.Y. Chang, 2009. Analysis for practical use as KOMPSAT-2 imagery for product of geo-spatial information, *The Korean Society for Geospatial Information System*, 17(1): 21-35 (in Korean with English abstract)
- Lee, S. and J. Shan, 2003. Combining LIDAR elevation data and IKONOS multispectral imagery for coastal classification mapping, *Marine Geodesy*, 26(1-2): 117-127 (in Korean with English abstract).
- Potere, D., A. Schneider, S. Angel, and D.L. Civco, 2009. Mapping urban areas on a global scale: which of the eight maps now available is more accurate?, *International Journal of Remote Sensing*, 30(24): 6531-6558.
- Ridd, M.K. and J. Liu, 1998. A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment, *Remote Sensing of Environment*, 63: 95-100.
- Singh, A., 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, 10: 989-1003.
- Sohn, Y. and N.S. Rebelló, 2002. Supervised and unsupervised spectral angle classifiers, *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 68(12):1271-1280.
- Squires, G.D., 2002. *Urban sprawl: Causes, consequences, and policy responses*, Washington D.C. Urban Institute Press.
- Xu, M.X. and C.L. Wei, 2012. Remotely sensed image

- classification by complex network eigenvalue and connected degree, *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2012: 632-703.
- Yuan, F., M.E. Bauer, N.J. Heinert, and G. Holden, 2005. Multi-level land cover mapping of the Twin Cities (Minnesota) metropolitan area with multi-seasonal Landsat TM/ETM + data, *Geocarto International*, 20(2): 5-14.
- Yuan, G.C., Y.J. Liu, M.F. Dion, M.D. Slack, L.F. Wu, S.J. Altschuler, and O.J. Rando, 2005. Genome-scale identification of nucleosome positions in *S. cerevisiae*, *Science*, 309: 626-630.
- 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.