

효율적인 해안선 추출을 위한 위성영상별 디지털라이징 정확도 비교 분석

김동현¹ · 박주성² · 조명희^{2*}

A Comparative Analysis for the Digitizing Accuracy by Satellite Images for Efficient Shoreline Extraction

Dong-Hyun KIM¹ · Ju-Sung PARK² · Myung-Hee JO^{2*}

요 약

본 논문에서는 기존의 현지조사 및 항공영상을 통하여 해안선 측량의 인력낭비와 경제적 손실이 발생하게 되고 이를 최소화하기 위하여 약최고고조면의 표준 해안선으로부터 추출한 포인트와 다양한 국내외 위성영상(다목적실용위성 3호, SPOT-5, Landsat-8, Quickbird-2)에서 얻어진 각 영상별 디지털라이징 포인트를 활용하여 광범위의 효율적인 해안선을 추출하기 위한 디지털라이징을 실시하여 정확도 비교 분석을 실행한다. 약최고고조면의 표준 해안선의 포인트들과 각 위성별 해안선의 차이 값은 다목적실용위성 3호, Quickbird-2, SPOT-5, Landsat-8의 순서로 작게 나타났다. 다목적실용위성 3호와 Quickbird-2 간의 유의성 검증을 통하여 유의확률(양쪽)(significant probability (2-tailed))이 유의수준 1%에서 통계적으로 의미가 있는 값으로 나타났다. 그러므로 효율적인 해안선 추출을 위해서는 고해상도의 위성영상이 필요하고 영상 획득이 용이하면서 가격이 저렴한 다목적실용위성 3호를 사용한다면 국가의 자력으로 가장 효율적인 해안선 추출이 가능하다.

주요어 : 디지털라이징, 다목적실용위성 3호, 해안선 추출, 위성영상

ABSTRACT

The existing field survey and aerial photography involve the waste of manpower and economic loss in the coastline survey. To minimize these disadvantages, the digitization for efficient coastline extraction was conducted in this study using the points extracted from the standard coastline of the approximate highest high water and the diverse

2015년 1월 2일 접수 Received on January 2, 2015 / 2015년 3월 16일 수정 Revised on March 16, 2015 / 2015년 3월 20일 심사완료 Accepted on March 20, 2015

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

2 경북대학교 융복합시스템공학부 School of Convergence & Fusion Engineering, Kyungpook National University

* Corresponding Author E-mail : mhjo@knu.ac.kr

satellite images (KOMPSAT-3, SPOT-5, Landsat-8 and Quickbird-2), and the comparative accuracy analysis was conducted. The differences between the standard coastline points of the approximate highest high water and the coastline of each satellite were smallest for KOMPSAT-3, followed by Quickbird-2, SPOT-5 and Landsat-8. The significant probability from between the multipurpose applications satellite and Quickbird-2 (significant probability two-tailed) was statistically significant at 1% significance level. Therefore, high-resolution satellite images are required to efficiently extract the coastline, and KOMPSAT-3, from which images are easily acquired at a low cost, will enable the most efficient coastline extraction without external support.

KEYWORDS : Digitizing, KOMPSAT-3, Shoreline Extraction, Satellite Image

서 론

1. 연구배경 및 목적

기온 상승은 전 지구적으로 널리 일어나고 있고, 북극의 평균 기온은 지난 100년 동안 지구 평균의 거의 두 배의 속도로 상승했다. 지구 평균 해수면은 1961년부터 2003년 사이에 연간 1.8mm씩 상승했고, 1993년부터 2003년까지 10년 동안 연간 3.1mm씩 상승했다(IPCC, 2007). 해수면 상승에 따른 해안성의 변화는 전 지구적 기후변화에 의해 영향을 받으므로 해안선의 변화는 전 지구적 기후변화를 표현할 수 있는 지표로 활용될 수 있다. 일반적으로, 해안선의 변화는 해수면 상승과 간척에 의한 토지 개발의 요인들로 구성된다.

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸인 반도국가로 단위면적당 해안선 연장 비율이 상당히 높다. 우리나라에서 정량적인 해안선 조사는 2000년 1월 제정된 “국가지리정보체계의 구축 및 활용 등에 관한 법률”에 따라 해안선은 육상 및 해양 기본지리정보의 주요항목으로 지정되었다. 이러한 관련 법률을 근거로 국토해양부 국립해양조사원에서 2001년부터 전국에 걸쳐 정량적이고 상세한 해안선 조사가 현지조사 위주로 조사를 진행하여 데이터베이스를 구축하고 있다. 또한 도서 지역에 대한 해안선 조사를 2011년부터 실시하고 있다. 국립해양조사원에서는 해안선은 일반 지도상에서 육지와 바다의

경계선을 나타내는 것으로서 엄밀하게 말하면 해면이 약최고고조면(Approximate highest high water level: 일정 기간 조석을 관측하여 분석한 결과 가장 높은 해수면)에 달하였을 때의 육지와 해면의 경계로 표시된다. 그러나 해도에서는 선박의 안전 통행을 위하여 해면이 약최저저조면(Approximate lowest low water level: 일정기간 조석을 관측하여 분석한 결과 가장 낮은 해수면)에 달하였을 때의 육지와 해면의 경계인 저조선을 해안선의 전면에 기입하며 이러한 저조선은 우리나라의 영해를 나타내는 기준선이 된다.

최근 해안의 효율적 이용과 관리에 대한 관심이 증대되면서 해안침식의 경우 생활에 직접적인 영향을 인근 주민에게 피해를 주면서 민원 제기 등으로 사회적 문제로 비화되고 있다. 국가 해안은 국토 이용과 활용 그리고 해양자원 보호 측면에서 매우 중요하다. 이러한 해안선 변화에 대한 자료를 수집하고 관리하는 것은 해양개발과 환경보존에 있어서 중요한 부분이다. 해안 지역에 방파제와 같은 인공 구조물이 축조되거나 하천에 변화가 발생하면서 토사를 공급하게 되면 평형상태가 붕괴되면서 주변 해안에 토사 침식이나 퇴적 등의 현상이 발생하게 된다면 해안선에 변화를 가져온다. 이러한 문제점은 해수욕장의 사빈 유실이나 항만의 매물 그리고 해안의 환경 보존에 영향을 미칠 수 있다(Yang *et al.*, 1990).

해안선이 변화된 경우에는 과거시점의 해안선을 재래식 육상측량 방법으로 조사를 시행하

지만 이는 한계가 존재한다. 위성영상은 촬영될 당시의 지형정보를 담고 있는 일종의 데이터베이스이므로 과거 시점의 해안선은 그 당시 촬영된 위성영상을 이용하여 측정이 가능하다. 위성영상을 이용한 해안선조사 연구는 국내에서도 2000년대 이후 활발히 진행 중이고 위성영상의 경우 광범위한 지역에 대한 정보를 취득과 동시에 경제적 장점을 통한 해안선 추출과 변화 탐지에 유용하게 활용될 수 있으며 실제로 적용한 연구 사례들이 많이 존재하고 다양한 분야로 활용된다.

본 논문에서는 기존의 현지조사 및 항공영상을 통하여 해안선 측량의 인력낭비와 경제적 손실을 최소화하기 위하여 다양한 국내외 위성영상(KOMPSAT-3, SPOT-5, Landsat-8, Quickbird-2)을 활용하여 광범위의 효율적인 해안선을 추출하기 위한 디지털라이징을 실시하여 정확도 비교 분석을 실행한다.

2. 연구대상지역 선정 및 연구자료 확보

본 연구의 대상지역은 그림 1에 나타난 바와 같이 경상북도 포항시 남구 호미곶면 인근 연안을 연구대상지역으로 선정하였다. 표준 해안선 데이터의 경우 공공데이터포털 사이트

(www.data.go.kr)를 통해 TM도법 내 중부원점(가상기준점 : 200000, 600000)과 타원체 WGS-84로 설정된 약최고고조면 해안선 shape를 사용하였다. 다음은 본 연구에서 사용할 각 위성별 제원을 나타낸다.

한국항공우주연구원(KARI)에서 2012년에 발사된 다목적실용위성 3호 위성은 Pan(450-900nm), Blue(450-520nm), Green(520-600nm), Red(630-690nm), Near Infrared(760-900nm) 밴드와 Panchromatic(0.7m), Multi Spectral(2.8m)의 공간해상도(spatial resolution)를 제공하며 농작물 모니터링 연구 및 하천 토지피복 분류 연구 등 다양한 분야에 활용될 수 있다는 장점을 가지고 있다.

프랑스 국립 우주 연구 센터(CNES)에서 2002년에 발사된 SPOT-5 위성은 Pan(480-710nm), Green(500-590nm), Red(610-680nm), Near Infrared(780-890nm), Shortwave Infrared(1,580-1,750nm) 밴드와 Panchromatic(2.5m), Multi Spectral(10m)의 공간해상도를 제공한다.

USGS와 NASA에서 공동으로 2013년에 발사된 Lansat-8 위성은 총 11개가 존재한다. 본 연구에서 사용될 주요 밴드로 Blue(452-512nm), Green(533-590nm), Red(636-



FIGURE 1. The study area

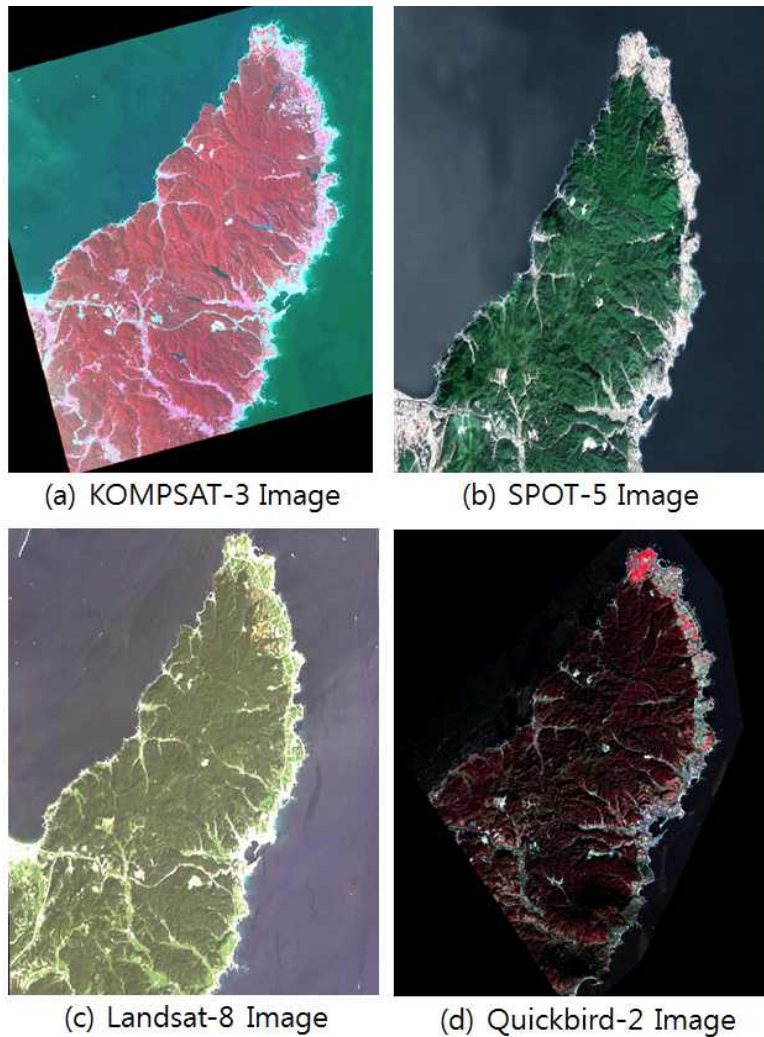


FIGURE 2. Test satellite images

673nm), Near Infrared(851–879nm), Pan (503–676nm) 밴드와 Panchromatic(15m), Multi Spectral(30m)의 공간해상도를 제공한다.

마지막으로 미국 DigitalGlobe사에서 2001년에 발사된 Quickbird-2는 Blue(450–520nm), Green(520–600nm), Red(630–690nm), Near Infrared(760–900nm), Pan (450–900nm) 밴드와 Panchromatic(0.61m), Multi Spectral(2.44m)의 공간해상도를 제공한다.

그림 2는 연구대상지역의 위성별 영상이다. (a)는 2014년 9월 27일에 촬영한 다목적실용 위성 3호의 영상이고 (b)는 2010년 9월 15일에 촬영한 SPOT-5의 영상이다. (c)는 2014년 9월 5일에 촬영된 Landsat-8호의 영상이고 (d)는 2009년 3월 21일에 촬영된 Quickbird-2의 영상을 보여준다. 본 연구에서 사용되는 위성영상의 경우 전처리 과정을 마친 정사영상을 사용하였다. 전처리 과정을 위하여 소프트웨어는 Leica사에서 개발한 ERDAS

IMAGINE 9.1 내 Leica Photogrammetry Suite를 사용하였다.

연구방법

1. 표준 해안선 포인트 추출

위성영상별 해안선 포인트를 추출하기 위해서는 기준이 필요하다. 본 연구에는 각 위성영상 기하보정 시에 포함되는 오차, 영상에서 해안선을 디지털라이징 하는 오차, 해안선에서 reference 포인트와 같은 지점을 찾는 오차가 포함된다. 이는 수동 작업으로 인해 항상 포함되는 오차이며 이를 없애는 것은 불가능하다. 다만 연구 결과의 정당성을 찾기 위해 위 오차들을 최소화 하려는 노력이 요구되며 본 연구에서도 여러 과정을 거쳐 오차를 줄이고자 하였다. 첫 번째로 reference 포인트의 경우 당초 700개의 랜덤 포인트를 reference 해안선 위에 생성하였으나, 육안으로 특정 지점을 파악하기 어려운 경우에는 삭제하여 439개의 특징이 있는 지점만을 선정하였다. 둘째, 위성영상에서 reference 지점의 포인트를 바로 생성하지 않고 우선 위성영상에 대한 해안선을 디지털라이징 한 후, 해안선 벡터 위에서 reference의 특정점과 같은 위치를 찾아 포인트를 생성하였다.

본 절에서는 ArcGIS 10.1 소프트웨어에서 Data management tools의 Feature Class - Create Random points tool 사용하여 표준 약 최고고조면 해안선 shape 파일에서 무작위(Random) 포인트 500개를 추출하였다. 500개의 해안선 포인트 중 지점이 명확한 439개를 추출하였고 명확하지 않은 61개의 해안선 포인트는 제거하였다. 그림 3은 439개의 해안선 포인트가 생성된 표준 해안선 shape 파일의 그림이다. 생성된 표준 해안선 포인트들은 각 위성영상별 해안선 포인트 간 좌표 차이 값을 비교 및 분석을 위하여 기준이 된다. 그러므로 해안선 전체를 대상으로 고르게 분포되어야 하며 명확한 지점에 대한 포인트만 추출해야 한다.

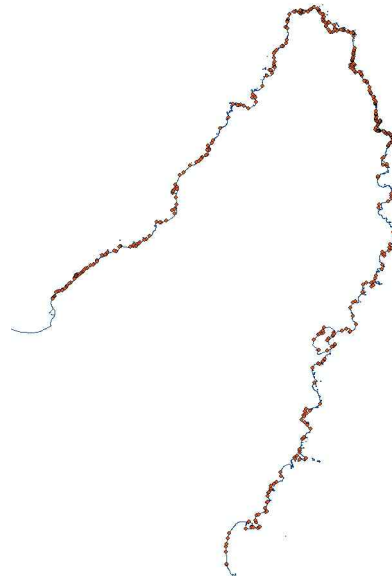


FIGURE 3. Created random points from reference shoreline

2. 위성영상별 해안선 포인트 추출

본 절에서는 위성영상별 해안선 포인트를 추출하는 방법에 대하여 소개한다. 그림 2에서 얻어진 각 위성영상들을 이용하여 영상별 해안선을 수동으로 디지털라이징하여 해안선을 추출하고 표준 해안선과 같은 위치의 해안선 포인트를 선택한다. 그림 4는 연구대상지역의 위성별 영상에서 추출한 해안선 및 좌표 포인트 값을 나타낸다.

ArcGIS 10.1 소프트웨어에서 각 위성영상별 해안선 포인트 추출 과정은 다음과 같다. 각 영상에 대해 Create Feature Class - Polyline 옵션으로 해안선 Feature Class를 제작하고 Point 옵션으로 표준해안선에서 추출한 지점과 동일한 439지점의 포인트를 추출하고, Attribute table에서 Calculate Geometry를 이용해 좌표 값을 추출하였다. 추출된 좌표 값들을 dbf 파일로 export 시켜 엑셀 파일로 저장하였다.

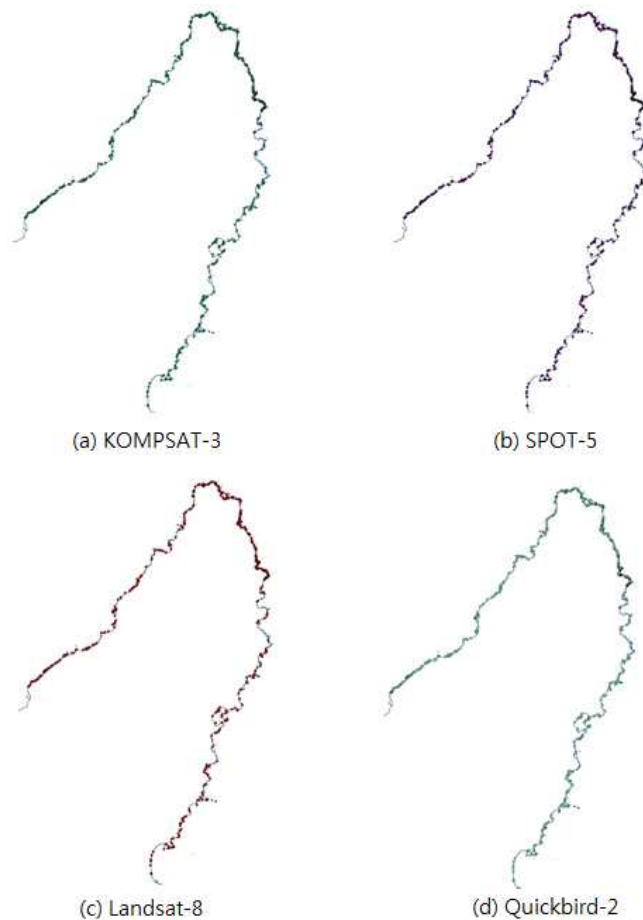


FIGURE 4. The digitizing of diverse satellite images

결과 및 분석

본 절에서는 표준 해안선의 좌표와 위성영상 별 좌표의 차이 값들의 비교 분석을 통하여 효율적인 해안선 추출에 대한 정확도를 검증한다. 우선 수동 디지털링의 경우엔 실험자의 주관적인 견해가 적용될 수 있다. 위성영상 위에 직접 수동으로 해안선 라인을 추출하기 때문에 매번 다른 결과가 나타날 수 있지만 고해상 위성영상일수록 표준 해안선과의 좌표 값 차이는 적을 것이라 가설을 설정하고 실험한 결과 값 역시 정확도가 높게 나타났다. 표 1은 표준 해안선에서 생성된 439개의 실제 좌표와 각 439

개의 위성영상별 좌표들의 차이 값을 나타낸다.

표 2는 표준 해안선 좌표와 각 위성영상 별 좌표의 차이 값의 기술통계량을 나타낸다. 평균 차이 값은 다목적실용위성 3호가 가장 낮게 나타났다. 가설에 의하면 Quickbird-2의 영상이 가장 차이 값이 적어야 하지만 표준 해안선의 자료는 2013년의 자료인 반면 Quickbird-2의 영상은 2009년의 영상으로 좌표 값의 차이가 나타났다. Quickbird-2의 영상은 해외영상으로 획득이 어렵고 가격 또한 다목적실용위성 3호 영상에 비해 고가이다. 본 실험에서도 최근 자료를 획득하기에 비용적으로 문제가 있어 Archive 영상을 사용하였다. 만약 Qucibird-2

TABLE 1. Comparison of coordinates between reference shoreline and satellite images (unit : meter)

	Between reference and KOMPSAT-3	Between reference and SPOT-5	Between reference and Landsat-8	Between reference and Quickbird-2
1	0.071885888	7.730963435	5.102783853	11.42313502
2	0.044815561	9.749849188	4.976988450	10.55141313
3	0.074624666	9.593733016	4.055274917	8.577388251
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
437	1.702292912	4.553720354	5.610177945	3.198709799
438	2.623088353	10.28549829	3.511467759	2.710568811
439	2.449208204	13.20172892	5.795848921	1.742789603

의 영상이 신규 촬영된 최근 영상이라고 가정한다면 다목적실용위성 3호보다 더 정확한 해안선 추출이 가능할 것이라는 새로운 가설을 세울 수 있으나 획득 경로의 어려움과 고비용의 문제가 발생하기 때문에 다목적실용위성 3호가 국내 해안선 추출에 가장 용이한 위성이라는 사실을 알 수 있다. Landsat-8호의 경우는 Panchromatic(15m), Multi Spectral(30m)의 중해상도의 위성영상이라서 표준 해안선의 좌표 값의 차이는 크게 나타난다.

표 3은 SPSS 18을 이용한 표준 해안선 좌표와 각 위성영상별 좌표의 차이 값의 상관분석 결과를 나타낸다. 상관분석의 목적은 변인 간의 관계를 상관(correlation)이라고 하며, 관계성의 정도나 강도를 나타내는 측정치를 상관계수(correlation coefficients)라고 한다. 즉, 상관분석은 한 변수가 커지거나 혹은 작아질 때, 다른 변수가 어떻게 변화하는지 그 변화의 정도와 방향을 살펴보는 통계적 분석 방법이다. 변인은 모두 등간 이상인 경우엔 피어슨(Pearson)의 적률상관계수(피어슨 r)를 사용한다. 본 실험에서는 구간데이터로 표집분포가 정규분포일 때 사용하고 가장 보편적이고 보통의

상관계수를 구할 때 사용하는 피어슨 방법으로 상관분석을 실시하였다. 피어슨 상관계수는 두 변수 간 선형 결합의 측도, 상관계수 값의 범위는 -1부터 +1까지이다. 계수의 부호는 관계의 방향을 가리키고 절댓값은 강도를 나타내는데 절댓값이 클수록 강한 관계가 있음을 나타낸다. 상관관계는 방향성이 없으므로 분석표의 모든 값들은 대각선을 중심으로 대칭이다. 다목적실용위성 3호와 Quickbird-2의 유의확률(양쪽)은 0.000으로 매우 유의하며, 매우 유의하다는 의미로 0.220**와 같이 숫자에 ** 표시가 붙어 있는 것을 알 수 있다. 유의확률(양쪽)은 0에서 1 사이의 값을 가지며, 0에 가까울수록 유의도가 크고, 1에 가까울수록 유의도가 낮음을 의미한다. 다목적실용위성 3호와 Quickbird-2 간의 유의확률(양쪽)(significant probability (2-tailed))이 0.01보다 작으면 유의수준 1%에서 의미(**)가 있으므로 통계적으로 의미가 있는 값으로 나타났다. 또한, 공분산(covariance)이 0에 가까우면 상관관계가 적다는 것을 의미한다. 즉, 해안선 추출을 위한 위성영상별 디지털라이징 정확도를 비교하였을 때 다목적 실용위성 3호가 가장 효율적으로 나타

TABLE 2. Descriptive statistics

	Mean error	Std. deviation	N
Reference & KOMPSAT-3	2.84428592	3.747650924	439
Reference & SPOT-5	3.65497835	3.314115798	439
Reference & Landsat-8	13.20820183	8.764147306	439
Reference & Quickbird-2	3.42871165	8.280690304	439

TABLE 3. A coefficient of correlation

	Reference & KOMPSAT-3	Reference & SPOT-5	Reference & Landsat-8	Reference & Quickbird-2
Standard & KOMPSAT-3	Pearson correlation	1	.117*	.138**
	significant probability(2-tailed)		.014	.004
	covariance	14.045	1.456	4.524
Standard & SPOT-5	Pearson correlation	.117*	1	.042
	significant probability(2-tailed)	.014		.381
	covariance	1.456	10.983	1.217
Standard & Landsat-8	Pearson correlation	.138**	.042	1
	significant probability(2-tailed)	.004	.381	
	covariance	4.524	1.217	76.810
Standard & Quickbird-2	Pearson correlation	.220**	.095*	.008
	significant probability(2-tailed)	.000	.048	.860
	covariance	6.831	2.595	.614

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

났고 Quickbird-2와 강한 상관관계를 나타내므로 고해상도의 위성영상일수록 그 효율성이 뛰어나다.

결론

본 연구에서는 약최고고조면의 표준 해안선 Shape파일로부터 획득한 439개의 포인트와 다목적실용위성 3호, SPOT-5, Landsat-8, Quickbird-2에서 얻어진 각 영상별 디지털링 포인트 439개를 이용하여 효율적인 해안선 추출을 위한 정확도를 비교 분석하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

약최고고조면의 표준 해안선의 포인트들과 각 위성별 해안선의 차이 값은 다목적실용위성 3호, Quickbird-2, SPOT-5, Landsat-8의 순서로 작게 나타났다. 수동 디지털링을 감안하여 개인적인 견해가 발생할 수 있지만 대부분 고해상의 위성영상의 경우 표준 해안선과의 차이가 작게 나타났다. 특히 고해상도의 다목적실용위성 3호와 Quickbird-2 간의 유의성 검증을 통한 유의확률(양쪽) (significant probability (2-tailed))이 유의수준 1%에서 통계적으로 의미가 있는 값으로 나타났다. 즉, 약최고고조면의 표준 해안선과의 거리 차이 값이 다른 위성들에 비해 작다고 할 수 있다. 하지만

Quickbird-2 위성의 경우 해외영상으로 구매 과정이 복잡하며 다목적실용위성 3호에 비해 비용적인 측면과 접근 어려움을 가진다.

결론적으로 효율적인 해안선 추출을 위해서는 고해상도의 위성영상이 필요하고 영상 획득이 용이하면서 가격이 저렴한 다목적실용위성 3호를 사용한다면 국가의 자력으로 가장 효율적인 해안선 추출이 가능하다. 추후 수동 디지털링이 아닌 자동으로 해안선이 추출되는 시스템이 개발된다면 현재의 결과와 비교 분석을 통하여 해안선 추출에 가장 용이한 위성영상을 찾을 수 있다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부/한국연구재단 우주핵심기술개발사업의 연구비지원(NRF-2014 M1A3A3A03067384)에 의해 수행되었음. **KAGIS**

REFERENCES

- Ahn, C.H., Y.K. Lee, H.R. Yoo and J.K. Oh. 1989. Application of satellite data on geomorphological study of the tidal flats near Kum river estuary. Korea

- Journal of Remote Sensing 5(1):1-14 (안충현, 이용국, 유홍룡, 오재경. 1989. 위성자료의 한국 금강하부부근 조간대 지형 연구에 대한 응용. 대한원격탐사학회지 5(1): 1-14).
- Chen, L.C. and L.H. Park. 1993. Rigorous generation of digital orthophotos from SPOT Images. PE&RS 59(5):665-661.
- IPCC. 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.
- Jo, M.H. 2012. A study on the extraction of a river from the RapidEye image using ISODATA algorithm. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 15(4):1-14 (조명희. 2012. ISODATA 기법을 이용한 RapidEye 영상으로부터 하천의 추출에 관한 연구. 한국지리정보학회지 15(4):1-14).
- Kim, G.H., S.P. Choi, W.S. Yook and Y.S. Song. 2005. Coastline change detection using CORONA imagery. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 23(4): 419-426 (김기홍, 최승필, 육운수, 송영선. 2005. CORONA 위성영상을 이용한 동해안 해안선 변화탐지. 한국측량학회지 23(4): 419-426).
- Kim, M.K., H.K. Sohn, S.P. Kim and H.S. Jang. 2013. Automatic coastline extraction and change detection monitoring using LANDSAT imagery. Journal of the Korean Society for Geospatial Information System 21(4):45-53 (김미영, 손홍규, 김상필, 장효선. 2013. LANDSAT 영상을 이용한 해안선 자동 추출과 변화탐지 모니터링. 한국지형공간정보학회지 21(4):45-52).
- Lee, K.J., H.C. Yun and Y.S. Kim. 2013. Generation of the KOMPSAT-2 ortho mosaic imagery on the Korean peninsula. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 16(3): 103-114 (이광재, 윤희천, 김윤수. 2013. 아리랑위성 2호 한반도 정사모자이크영상 제작. 한국지리정보학회지 16(3):103-114).
- Oh, C.Y., S.Y. Park, H.S. Kim, Y.W. Lee and C.U. Choi. 2010. Comparison of landcover map accuracy using high resolution satellite imagery. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 13(1):89-100 (오치영, 박소영, 김형석, 이양원, 최철웅. 2010. 고해상도 위성영상의 토지피복분류와 정확도 비교 연구. 한국지리정보학회지 13(1):89-100).
- Ryu, J.H., W.J. Cho, J.S. Won, I.T. Lee, S.S. Chun, A.S. Suh and K.L. Kim. 2000. Intertidal DEM generation using waterline extracted from remotely sensed data. Korea Journal of Remote Sensing 16(3):211-233 (류주형, 조원진, 원중선, 이인태, 전승수, 서애숙, 김금란. 2000. 원격탐사 자료로부터 해안선 추출에 의한 조간대 DEM 생성. 대한원격탐사학회지 16(3):211-233).
- Yang, I.T., C.H. Choi, W.N. Kim and K.S. Cho. 1990. A study on the shoreline changes by the geodetic characteristics of the East sea and on the numerical model for its predicting. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography 8(2):9-16 (양인태, 최한규, 김옥남, 조기성. 1990. 동해안의 측지학적 특성에 의한 해안선 변화와 그의 예측을 위한 수치모델에 관한 연구. 한국측량학회지 8(2):9-16). **KAGIS**