

KOMPSAT-2 영상과 항공 LiDAR 자료를 이용한 3차원 해안선 매핑

Mapping 3D Shorelines Using KOMPSAT-2 Imagery and Airborne LiDAR Data

정윤재¹⁾

Chung, Yun Jae

Abstract

A shoreline mapping is essential for describing coastal areas, estimating coastal erosions and managing coastal properties. This study has planned to map the 3D shorelines with the airborne LiDAR(Light Detection and Ranging) data and the KOMPSAT-2 imagery, acquired in Uljin, Korea. Following to the study, the DSM(Digital Surface Model) is generated firstly with the given LiDAR data, while the NDWI(Normalized Difference Water Index) imagery is generated by the given KOMPSAT-2 imagery. The classification method is employed to generate water and land clusters from the NDWI imagery, as the 2D shorelines are selected from the boundaries between the two clusters. Lastly, the 3D shorelines are constructed by adding the elevation information obtained from the DSM into the generated 2D shorelines. As a result, the constructed 3D shorelines have had 0.90m horizontal accuracy and 0.10m vertical accuracy. This statistical results could be concluded in that the generated 3D shorelines shows the relatively high accuracy on classified water and land surfaces, but relatively low accuracies on unclassified water and land surfaces.

Keywords : Coastal Zones, Shorelines, NDWI, LiDAR, KOMPSAT-2 Imagery

초 록

해안선 매핑은 해안지역의 묘사, 해안침식의 예측 및 해안지역 자원관리를 위해서 중요하다. 본 연구에서는 항공 LiDAR 자료 및 KOMPSAT-2 영상을 이용하여 울진지역의 해안선을 매핑 연구를 진행하였다. 우선, LiDAR 자료를 이용하여 DSM(수치표면모형)을 생성하였다. 그리고 KOMPSAT-2영상을 이용하여 NDWI(정규수분지수) 영상을 생성한 뒤, 영상분류방법을 적용하여 NDWI 영상으로부터 물 클러스터와 육지 클러스터를 분할하였다. 분할된 두 클러스터들의 경계선을 추출하여, 2차원 해안선으로 정의하였다. 마지막으로 DSM으로부터 획득한 고도 정보를 2차원 해안선에 입력하여 3차원 해안선을 구축하였다. 구축된 3차원 해안선은 0.90m의 수평정확도 및 0.10m의 수직정확도를 가지고 있었다. 정확도 분석을 통하여, 구축된 3차원 해안선은 육지와 물 클러스터가 선명하게 분류된 지역에서는 상대적으로 높은 정확도를 가지고 있으나, 육지와 물 클러스터가 선명하게 분류되지 않은 지역에서는 상대적으로 낮은 정확도를 가지고 있다는 사실을 알 수 있었다.

핵심어 : 해안지역, 해안선, 정규수분지수, LiDAR, KOMPSAT-2 영상

Received 2015. 01. 14, Revised 2015. 02. 12, Accepted 2015. 02. 28

1) Member, Research Institute of Spatial Information Technology, GEO C&I Co., Ltd. (E-mail: chung12osu@gmail.com)

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.

1. 서론

해안선(shorelines)은 해안지역(coastal zones)에서 육지와 물이 맞닿아 있는 경계선을 의미한다(Lee 2012; Li *et al.*, 2003; Shalowitz, 1964). 일반적으로 해안지역은 태풍, 해일 등과 같은 자연적인 이유와 간척지 및 방파제 건설 등과 같은 인공적인 이유로 인하여 지표면의 지속적인 변화가 심하다는 특징을 가지고 있다(Wie and Jeong, 2006). 따라서 해안선 매핑 작업은 해안지역의 변동량 계산, 해안침식의 탐지 및 해안지역의 자원관리를 위해서 매우 중요하며(Liu *et al.*, 2009), 특히 3차원 해안선 매핑 작업은 해안침식 등 해안지역에서 발생한 지표면의 변동을 수직 및 수평방향으로 측정하기 위해 반드시 필요하다.

해안지역은 지표면이 불균일하고 변동이 심하다는 특징 때문에 지형측량 등 전통적인 지반조사 방법을 이용할 경우, 정확한 자료의 획득이 어려울 뿐만 아니라 대상지역의 접근에도 많은 제약이 있다(Lee and Kim, 2007). 고해상도 위성영상 및 항공 LiDAR 자료 등 공간정보자료는 지형의 변화가 심하고 면적이 넓은 해안지역을 전통적인 지반조사 방법을 이용하지 않고서 대상지역의 분광 및 지형 정보를 획득할 수 있다는 장점 때문에, 해안선 매핑 작업에 유용하게 활용될 수 있다(Lee and Kim, 2007; Liu *et al.*, 2009; Choung *et al.*, 2013).

공간정보 자료를 이용하여 해안선 매핑 및 해안지역 토지피복 연구는 국내외에서 활발히 진행되어 왔다. Kim *et al.*(2005)은 Corona 위성영상을 이용한 동해안 해안선 변화 탐지 연구를 하였다. Wie and Jeong(2006)은 LiDAR 자료를 이용하여 해안선 추출 알고리즘을 개발하였다. Lee and Kim(2007)은 RTK-GPS와 항공사진을 이용하여 해안선 변화량 분석 연구를 하였다. Kim and Song(2012)은 거진항 일대의 해안 침식 현황 조사 연구를 하였다. Lee(2012)는 항공 LiDAR 점군 자료를 기반으로 점군 기반 해안선을 생성하였다. Liu *et al.*(2009)와 Choung *et al.*(2013)은 항공 LiDAR 자료와 고해상도 항공사진을 이용하여 미국 Lake Erie 지역의 절벽 해안선 추출 연구를 하였다. Kim *et al.*(2013)은 Landsat 영상을 이용하여 해안선 자동 추출과 변화탐지 모니터링 연구를 하였다.

고해상도 위성영상은 지표면의 분광특성을 탐지할 때 활용될 수 있으며, 연속적인 픽셀로 구성되어 있어서 인접한 두 영역 사이의 경계선을 추출할 때 유용하다. 또한 고해상도 위성영상은 LiDAR 등 다른 공간정보 자료들에 비해서 상대적으로 높은 수평 정확도를 가진다는 장점이 있다(Liu *et al.*,

2009; Choung *et al.*, 2013). 반면에, 항공 LiDAR 자료는 지표면의 지형특성을 탐지할 때 유용하게 활용될 수 있으며, 높은 수직 정확도를 가진 점군 자료를 제공한다는 장점이 있다(Liu *et al.*, 2009). 본 연구에서는 앞에서 언급한 주어진 두 자료의 서로 다른 특징을 이용하여, KOMPSAT-2 영상으로부터 추출한 2차원 해안선에 항공 LiDAR 자료에서 제공하는 지표면의 고도 정보를 입력하여 3차원 해안선 매핑 연구를 수행하였다. 우선, KOMPSAT-2영상으로부터 NDWI(정규수분지수)영상을 생성한다. 그리고 ISODATA(Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) 클러스터링을 적용하여 NDWI 영상으로부터 물 클러스터와 육지 클러스터를 분할한다. 분할된 두 클러스터의 경계선을 추출하여 2차원 해안선으로 정의한다. 마지막으로, 선형보간법을 이용하여 LiDAR 자료로부터 DSM을 생성한 뒤, 생성된 2차원 해안선에 DSM으로부터 추출한 고도 정보를 입력하여 3차원 해안선을 구축한다.

2. 연구대상지역과 데이터

본 연구에서는 연구대상지역으로 경상북도 울진 해안 7km 지역을 선정하였으며, 연구대상지역으로 선정된 울진 해안을 포함한 경상북도 동해안지역은 파도로 인한 도로 유실 등 지속적인 해안침식(coastal erosion) 현상으로 인하여 해마다 막대한 피해가 발생하고 있다(Eom *et al.*, 2010).

KOMPSAT-2 영상은 한국항공우주연구원(KARI: Korea Aerospace Research Institute)이 발사한 다목적 실용 위성으로서, 총 4개의 밴드(Blue: 450~520nm, Green: 520~600nm, Red: 630~690nm, NIR: 760~900nm)로 구성되어 있으며, 1m의 공간해상도를 가지고 있다(Oh *et al.*, 2012). 본 연구에서 사용한 KOMPSAT-2 영상은 1m의 공간해상도를 가진 DEM(Digital Elevation Model)을 이용하여

Table 1. Attributes of the LiDAR data used in this research

Sensor	ALTM(Airborne Laser Terrain Mapper) Gemini 167, Optech
Data acquisition time	January, 2012
Average point density	1.5 points/1m ²
Horizontal datum	GRS 80
Vertical datum	MSL(Mean Sea Level) at Incheon Bay
Horizontal accuracy	15cm
Vertical accuracy	5cm

제작한 정사영상으로서, 2012년 7월 29일에 촬영되었으며, 수평 데이텀 기준은 GRS(Geodetic Reference System) 80 이고, georeferencing 작업에 의한 RMSE(Root Mean Square Error)는 0.8m 이다. 본 연구에서 사용한 항공 LiDAR 자료의 재원은 Table 1에서 확인할 수 있다.

점검점들을 이용하여 측정한 주어진 두 자료들의 평균 변위는 40cm 이다.

3. 3차원 해안선 매핑

본 연구에서는 3차원 해안선을 매핑하기 위하여 KOMPSAT-2영상으로부터 NDWI 영상 생성, ISODATA 클러스터링을 이용하여 물 및 육지 클러스터의 분할, 2차원 해안선 추출, LiDAR 자료로부터 DSM 생성, DSM 으로부터 고도 정보의 추출 및 3차원 해안선 구축의 총 6단계의 과정을 거친다. 3차원 해안선 매핑을 위한 전체적인 순서는 Fig. 1에서 확인할 수 있다.

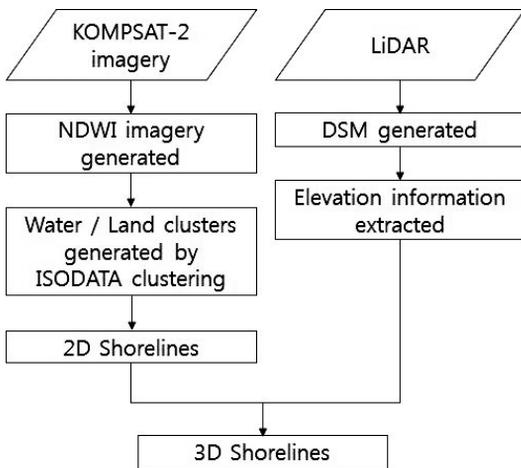


Fig. 1. Flow chart for mapping 3D shorelines

3.1 NDWI 영상 생성

NDWI는 Gao(1996)에 의해 개발된 지수이며, 지표면 또는 식생의 수분 함유량을 나타내는 지수로 널리 이용된다(Xu, 2006). NDWI 지수는 수영장, 하천 등 수분을 다량으로 함유하고 있는 지형지물을 위성영상에서 탐지하는데 주로 이용되며(McFeeters, 1996), Eq. (1)을 이용하여 계산된다(McFeeters, 1996; Xu, 2006).

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (1)$$

Eq. (1)에서 *Green*은 Green 밴드를 의미하고, *NIR*은 NIR(Near Infra-Red) 밴드를 의미한다. Eq. (1)을 이용하여 KOMPSAT-2 영상의 Green 밴드와 NIR 밴드를 이용하여 NDWI 영상을 생성하였다. 생성된 NDWI 영상은 Fig. 2에서 확인할 수 있다.

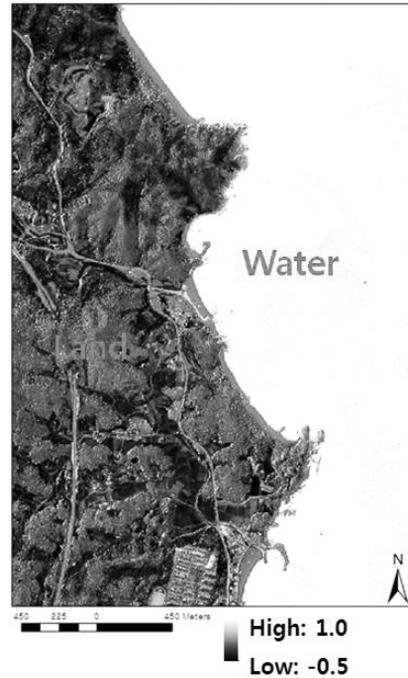


Fig. 2. NDWI imagery generated from KOMPSAT-2 imagery

Fig. 2에서 보는바와 같이, NDWI 영상에서 물에 해당되는 지역은 상대적으로 밝은 색으로 표시된다는 사실을 알 수 있고, 육지에 해당되는 지역은 상대적으로 어두운 색으로 표시된다는 사실을 알 수 있다.

3.2 물과 육지 클러스터의 분할

생성된 NDWI 영상으로부터 2차원 해안선을 추출하기 위해서, 영상으로부터 물과 육지를 분할할 필요가 있다. 본 연구에서는 NDWI 영상으로부터 지표면의 분광특성이 다른 물과 육지를 분할하기 위해 영상처리 기법들 중 하나인 영상분류방법을 이용하였다. 영상분류방법은 원격탐사에서 분광특성이 다른 두 지역들을 서로 다른 클러스터로 분할하고 분광특성이 비슷한 지역들을 동일한 클러스터로 근집화 하는데 주로 이용된다(Jensen, 2004). 영상분류방법은 무감독 분류(unsupervised classification)방법과 감독 분류

(supervised classification)방법이 있으며, 무감독 분류방법은 훈련샘플이 없이 영상 자체의 정보만을 이용하여 분류를 수행하기 때문에 감독분류 방법에 비해 간단하고 분류작업이 빠르게 수행될 수 있다는 장점이 있다(Jensen, 2004; Wharton and Turner, 1981). 본 연구에서는 일반적으로 널리 이용되는 무감독 분류방법들 중 하나인 ISODATA 클러스터링 기법을 이용하여 NDWI 영상으로부터 복수의 클러스터들을 분할하였고, 비슷한 토지피복에 해당되는 클러스터들은 동일한 클러스터로 결합시켜서, 육지 클러스터와 물 클러스터를 최종적으로 분할하였다. NDWI 영상으로부터 분할된 육지 클러스터와 물 클러스터는 Fig. 3에서 확인할 수 있다.



Fig. 3. Water and land clusters generated from the NDWI imagery

3.3 2차원 해안선 추출

물 클러스터와 육지 클러스터를 NDWI 영상으로부터 분할한 뒤, 두 클러스터의 경계선을 추출하여 이를 2차원 해안선으로 정의하였다. 우선 그리드 형태의 물과 육지 클러스터로 분할된 영상을 ArcGIS 10.1의 Conversion Tools를 이용하여 폴리곤(polygon) 파일로 변환한 뒤, 두 폴리곤의 경계선을 폴리라인(polyline) 형태의 2차원 해안선으로 추출하였다. 추출된 2차원 해안선은 Fig. 4에서 확인할 수 있다.

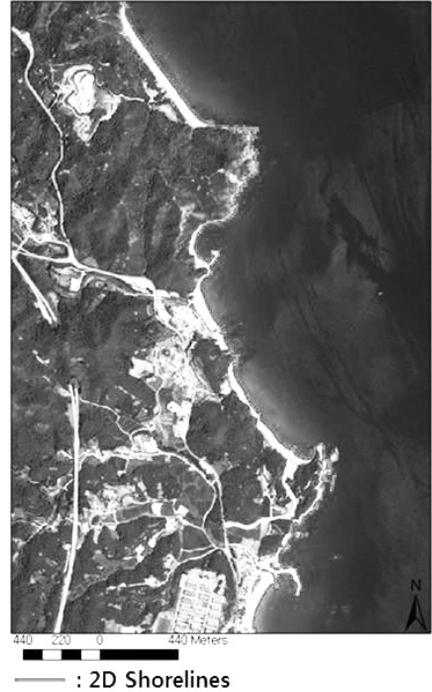


Fig. 4. Generated 2D shorelines

3.4 DSM 생성

원시 LiDAR 자료는 불균일한 점군자료로 취득되므로, 추출된 2차원 해안선에 고도 정보를 입력하여 3차원 해안선으로 구축하는데 많은 제약이 따른다. 본 연구에서는 2차원 해안선에 고도 정보를 입력하여 3차원 해안선으로 구축하기 위해, 보간법을 이용하여 불균일한 점군자료로 구성된 LiDAR 자료를 균일한 픽셀로 구성된 그리드 자료형태인 DSM으로 변환하였다. 일반적으로 해안지역은 상대적으로 경사가 가파른 절벽해안 또는 상대적으로 경사가 완만한 모래해안 등으로 구성되어 있다(MOLIT(Ministry of Land Infrastructure and Transport), 2010). 선형 보간법은 LiDAR 자료를 이용하여 지형의 변화가 심한 지표면의 수치표고모형 또는 수치표면모형 제작에 유용한 방법이다(Choung *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2004). 본 연구에서는 모래해안, 절벽해안 등 지형의 변화가 심한 지표면으로 구성된 해안지역을 LiDAR 점군 자료를 이용하여 DSM으로 표현하기 위하여 선형 보간법을 이용하였다. 또한, LiDAR 점군자료의 평균점밀도(1.5points/m²)를 고려하고 연구대상지역의 지표면을 최대한 정밀하게 표현하기 위하여 생성된 DSM의 공간해상도는 1m로 정하였다. LiDAR 점군자료를 이용하여 생성된 DSM은 Fig. 5에서 확인할 수 있다.



Fig. 5. One section of DSM generated using LiDAR point cloud

3.5 3차원 해안선 구축

마지막 단계로 KOMPSAT-2 영상으로부터 생성된 폴리라인 형태의 2차원 해안선에 LiDAR 자료로부터 생성된 DSM에서 추출한 고도 정보를 더하여 3차원 해안선을 구축한다.



Fig. 6. Constructed 3D shorelines

최종적으로 생성된 3차원 해안선은 Fig. 6에서 확인할 수 있다.

4. 연구결과 및 논의

구축된 3차원 해안선의 정확도를 검증하기 위하여 70개의 점검점들(checkpoints)이 사용되었다. 점검점들은 디지털 타이징 방법을 이용하여 제작된 기준 해안선을 따라 평균 100m 간격으로 생성되었다. 생성된 점검점들의 고도정보는 본 연구에서 사용한 LiDAR 자료로부터 획득하였다. 생성된 70개 점검점들의 3차원 좌표는 Appendix 1에서 확인할 수 있다. 구축된 3차원 해안선의 정확도를 검증하기 위하여 생성된 점검점들과 기준해안선은 Fig. 7에서 확인할 수 있다.

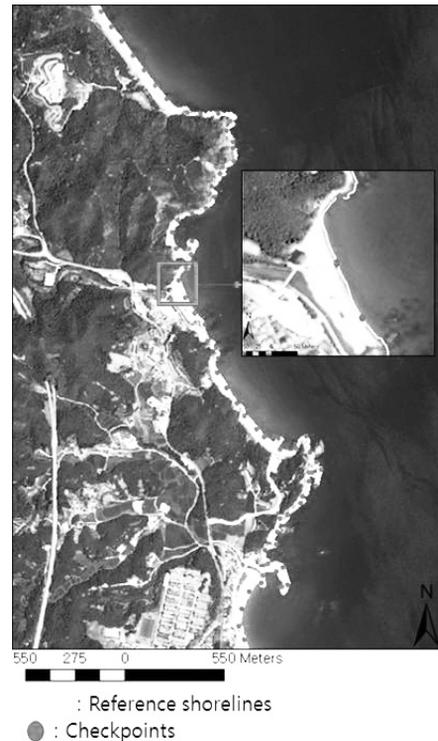


Fig. 7. Checkpoints and reference shorelines for measuring the accuracies of the generated 3D shorelines

구축된 3차원 해안선의 정확도는 70개의 점검점들로부터 3차원 해안선까지의 수평 및 수직 거리의 절대값을 측정하여 계산된다. Table 2는 구축된 3차원 해안선의 수평 및 수직 정확도의 통계치를 나타낸다.

Table 2. Statistical results showing the vertical and horizontal accuracies of the constructed 3D shorelines

	Horizontal accuracies (m)	Vertical accuracies (m)
Mean	0.90	0.10
Max	3.71	1.91
Standard Deviation	0.76	0.15

Table 2에서 보는 바와 같이, 구축된 3차원 해안선의 평균 수평 정확도는 0.90m 이고, 평균 수직 정확도는 0.10m 이다. Fig. 8(a)에서 보는 바와 같이, 물과 육지 지역이 선명하게 구분되는 모래해안(beach coast) 지역에 위치한 3차원 해안선은 NDWI 영상으로부터 명확하게 분할된 물과 육지 클러스터의 경계에 위치하고 있기 때문에, 상대적으로 높은 수직 및 수평 정확도를 가진다. 그러나 Fig. 8(b)에서 보는 바와 같이, 물과 육지 지역이 선명하게 구분되지 않는 절벽해안(bluff coast)의 일부지역에 위치한 3차원 해안선은 NDWI 영상으로부터 명확하게 분할되지 않는 물과 육지 클러스터의 경계에 위치하고 있기 때문에, 상대적으로 낮은 수직 및 수평 정확도를 가진다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이, 본 연구를 통하여 구축된 3차원 해안선은 육지와 물 표면의 분광 특성 차이가 큰 지역에서는 상대적으로 높은 수평 및 수직 정확도를 가지고 있고, 육지와 물 표면의 분광 특성 차이가 작은 지역에서는 상대적으로 낮은 수평 및 수직 정확도를 가지고 있다는 사실을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 서로 다른 특성을 가진 두 자료(위성영상 및 LiDAR 자료)를 이용하여 3차원 해안선 매핑 연구를 수행하였다. 우선, 위성영상은 높은 수평정확도와 연속적인 픽셀로 구성되어 있다는 점을 고려하여 위성영상으로부터 2차원 해안선을 추출하였고, LiDAR 자료는 높은 수직정확도와 고도 정보를 제공한다라는 점을 고려하여 위성영상으로부터 추출된 2차원 해안선에 LiDAR 자료로부터 획득한 고도 정보를 더하여 3차원 해안선을 구축하였다. 본 논문에서 제시한 방법을 이용하여 울진지역을 촬영한 KOMPSAT-2 정사영상과 LiDAR 자료를 이용하여 3차원 해안선 매핑 작업을 실행한 결과, 구축된 3차원 해안선은 0.90m의 수평 정확도와 0.10m의 수직 정확도를 가지고 있으며, 모래해안과 같이 물과 육지 표면의 분광 특성 차이가 큰 해안지역에서는 상대적으로 높은 수평 및 수직 정확도를 가지고 있는 반면에, 절벽해안의 일부지역과 같이 물과 육지 표면의 분광 특성 차이가 작은 해안지역에서는 상대적으로 낮은 수평 및 수직 정확도를 가지고 있다. 따라서 물과 육지의 경계가 선명하게 구분되지 않는 해안지역에서도 높은 정확도를 가지고 있는 3차원 해안선 매핑을 추후 연구로 시행할 필요가 있다. 그리고 3차원 해안선 매핑을 위해 이용된 두 자료의 촬영시기가 서로 다를 경우 조수간만의 차이로 인한 오차 등이 발생 가능성이 높으

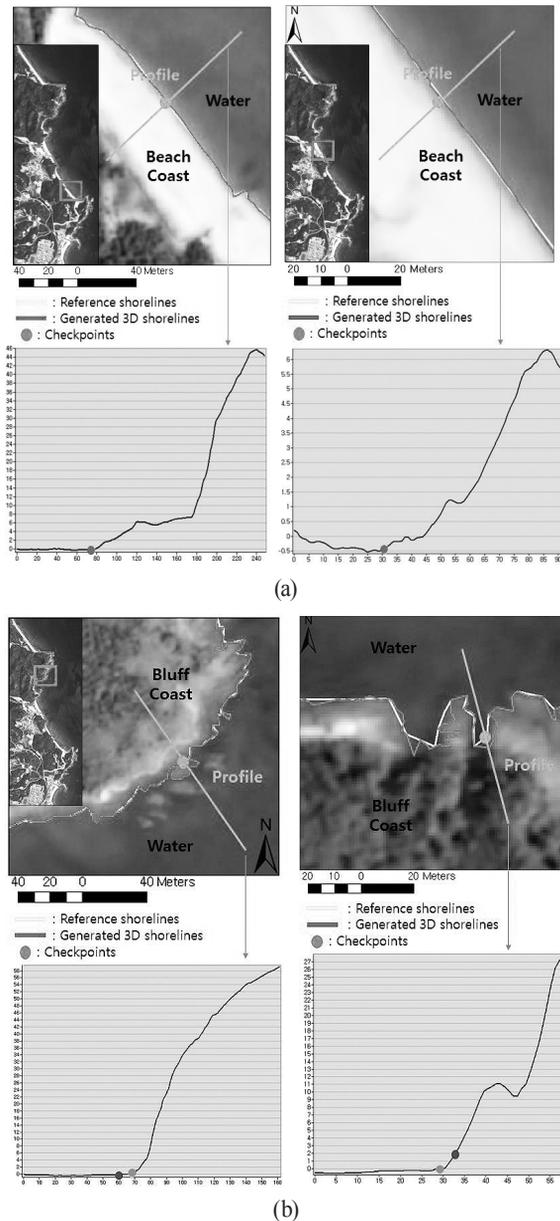


Fig. 8. Examples showing the 3D shorelines in the various coastal areas

므로, 비슷한 시기에 촬영한 두 자료를 이용한 3차원 해안선 매핑 작업을 시행할 필요가 있다. 또한 본 연구를 통하여 구축된 3차원 해안선의 정확성과 신뢰성을 확보하기 위해, 3차원 해안선 구축에 사용된 데이터보다 높은 정확도의 데이터를 이용하여 정확도 검증을 시행할 필요가 있다.

해안지역은 인공적 및 자연적인 이유로 인해서 지형의 변화가 빈번히 발생하며, 높은 정확도를 가진 해안선 매핑작업은 해안침식의 탐지 및 해안지역 지표면의 변동량 분석을 위해서 매우 중요하다. 그러므로 다중 시기에 촬영된 고해상도 위성영상 등을 활용하여 다중 시기별 해안선 매핑작업을 수행함으로써, 연구대상지역에서 발생하는 지속적인 해안침식 탐지 및 지표면의 변동량 분석을 추후 연구로 시행할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부/한국연구재단 우주핵심기술 개발사업의 연구비지원(NRF-2014M1A3A3A03067386)에 의해 수행되었습니다.

References

- Choung, Y., Li, R., and Jo, M. (2013), Development of a vector-based method for coastal bluffline mapping using LiDAR data and a comparison study in the area of Lake Erie, *Marine Geodesy*, Vol. 36, No. 3, pp. 285-302.
- Choung, Y., Park, H., and Jo, M. (2012), A study on mapping 3-d river boundary using the spatial information datasets, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 15, No. 1, pp. 87-98.(in Korean with English abstract)
- Eom J., Choi, J., Ryu, J., and Won, J. (2010), Monitoring of shoreline change using satellite imagery and aerial photograph: for the Jukbyeon, Uljin, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 5, pp. 571-580.(in Korean with English abstract)
- Gao, B. (1996), NDWI - a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 58, No. 3, pp. 257-266.
- Jensen, J. (2004), *Introductory Digital Image Processing* (3rd Edition), Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Kim, G., Choi, S., Yook, W., and Song, Y. (2005), Coastline change detection using CORONA imagery, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 23, No. 4, pp. 419-426.(in Korean with English abstract)
- Kim, M., Sohn, H., Kim, S., and Jang, H. (2013), Automatic coastline extraction and change detection monitoring using Landsat imagery, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 21, No. 4, pp.45-53. (in Korean with English abstract)
- Kim, I. and Song, D. (2012), Investigation of coastal erosion status in Geojin Port Area, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 30, No. 1, pp. 67-73.(in Korean with English abstract)
- Lee, I. (2012), *Instantaneous Shoreline Extraction Utilizing Integrated Spectrum and Shadow Analysis From LiDAR Data and High-resolution Satellite Imagery*, Ph.D. dissertation, The Ohio State University, Columbus, OH, USA, 224p.
- Lee, J., and Kim, Y. (2007), Coastline change analysis using RTK-GPS and aerial photo, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 25, No. 3, pp. 191-198.(in Korean with English abstract)
- Lee, G., Koh, D., and Kim, W. (2004), Efficient construction of topographic data for flood mapping using digital map, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 7, No. 1, pp. 52-61.(in Korean with English abstract)
- Li, R., Di, K., and Ma, R. (2003), 3d shoreline extraction from IKONOS satellite imagery, *Marine Geodesy*, Vol. 26, No. (1-2), pp. 107-115.
- Liu, J., Li, R., Deshapnde, S., Niu, X., and Shih, T. (2009), Estimation of blufflines using topographic LiDAR data and orthoimages, *PE&RS*, Vol. 75, No. 1, pp. 69-79.
- Mcfeters, S. (1996), The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 17, No. 7, pp. 1425-1432.
- MOLIT (2010), *Guidebook for Management of Coastal Areas*, Publication No. 11-1611000-001595-01, MOLIT,

Seoul, 207p.

Oh, K., Jung, H., and Lee, K. (2012), Comparison of image fusion methods to merge KOMPSAT-2 panchromatic and multispectral images, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 28, No. 1, pp. 39-54.

Shalowitz, A. (1964), *Shore and Sea Boundaries*, Volume 2, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, Washington, D.C., USA, 631p.

Wharton, S. and Turner, B. (1981), ICAP: an interactive cluster analysis procedure for analyzing remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 11, pp. 279-293.

Wie, K. and Jeong, J. (2006), Development of shoreline extraction algorithm using airborne LiDAR data, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 24, No. 2, pp. 209-215.(in Korean with English abstract)

Xu, H. (2006), Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 27, No. 14, pp. 3025-3033.

Appendix 1. 3D coordinates of the 70 checkpoints

Point ID	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	410301.2	407261.34	0.11
2	410356.55	407178.13	0.13
3	410417.58	407099.04	0.02
4	410476.22	407018.04	-0.10
5	410538.77	406939.95	-0.12
6	410601.03	406861.63	-0.17
7	410665.13	406784.84	-0.20
8	410780.18	406713.7	-0.20
9	410852.52	406708.76	-0.34
10	410954.45	406709.75	0.27
11	411020.07	406664.26	-0.07
12	411001.06	406615.23	-0.15
13	411034.6	406554.78	-0.36
14	411037.94	406518.77	-0.29
15	411038.5	406449.12	-0.35
16	410980.53	406415	-0.26
17	410960.33	406380.93	0.01
18	410915.03	406314.01	-0.21
19	410932.58	406257.07	-0.25

20	410882.03	406191.97	-0.24
21	410804.78	406168.17	-0.01
22	410725.86	406131.74	0.01
23	410696.21	406063.18	-0.25
24	410717.23	405974.23	-0.09
25	410790.95	405973.11	-0.02
26	410807.57	406017.68	-0.08
27	410803.07	405946	-0.05
28	410776.06	405870.65	-0.05
29	410733.34	405803.74	-0.13
30	410771.02	405711.42	-0.22
31	410820.7	405624.87	-0.03
32	410878.57	405562.41	-0.10
33	410895.47	405474.06	-0.12
34	410941.79	405439.91	0.01
35	410950.04	405382.55	-0.06
36	410945.34	405303.58	-0.15
37	410999.34	405219.76	-0.17
38	411055.78	405139.3	-0.17
39	411097.18	405069.21	-0.01
40	411166.43	404999.06	-0.16
41	411209.05	404956.71	0.18
42	411284.22	404949.32	0.15
43	411295.98	404889.08	0.01
44	411383.72	404891.23	-0.18
45	411439.82	404958.07	0.01
46	411459.57	404871.11	-0.11
47	411497.51	404821.75	-0.18
48	411469.95	404761.6	-0.26
49	411522.06	404779.38	-0.16
50	411491.16	404691.88	-0.04
51	411458.75	404762.51	-0.17
52	411457.62	404716.29	-0.09
53	411421.24	404633.51	-0.21
54	411409.45	404594.07	-0.13
55	411337.52	404535.1	-0.17
56	411294.46	404514.87	-0.12
57	411280.5	404439.57	-0.12
58	411274.2	404371.63	-0.19
59	411211.12	404341.39	-0.16
60	411225.73	404268.31	-0.17
61	411313.18	404248.44	-0.18
62	411336.7	404153.5	-0.11
63	411308.28	404141.46	-0.04
64	411275.86	404225.67	-0.09
65	411201.42	404205.25	-0.17
66	411189.79	404166.84	0.03
67	411123.63	404115.99	-0.13
68	411081.76	404025.28	-0.17
69	411065.82	403928.4	-0.01
70	411096.41	403856.07	0.11