

## 위성영상 및 항공사진을 이용한 해안선 변화 모니터링 : 울진군 죽변면 연안을 대상으로

엄진아\*\*\* · 최종국\* · 유주형\*† · 원중선\*\*

\*한국해양연구원 해양위성센터, \*\*연세대학교 지구시스템과학과

### Monitoring of Shoreline Change using Satellite Imagery and Aerial Photograph : For the Jukbyeon, Uljin

JinAh Eom\*\*\*, Jong-Kuk Choi\*, Joo-Hyung Ryu\*†, and Joong-Sun Won\*\*

\*Korea Ocean Satellite Center, KORDI, \*\*Department of Earth System Sciences, Yonsei University

**Abstract** : Coastal shoreline movement due to erosion and deposition is a major concern for coastal zone management. Shoreline is changed by nature factor or development of coastal. Change of shoreline is threatening marine environment and destroying. Therefore, we need monitoring of shoreline change with time series analysis for coastal zone management. In this study, we analyzed the shoreline change using airphotograph, LiDAR and satellite imagery from 1971 to 2009 in Uljin, Gyeongbuk, Korea. As a result, shoreline near of the nuclear power plant show linear pattern in 1971 and 1980, however the pattern of shoreline is changed after 2000. As a result of long-term monitoring, shoreline pattern near of the nuclear power plant is changed by erosion toward sea. The pattern of shoreline near of KORDI until 2003 is changed due to deposition toward sea, but the new pattern toward land is developed by erosion from 2003 to 2009. The shoreline is changed by many factors. However, we will guess that change of shoreline within study area is due to construction of nuclear power plant. In the future work, we need sedimentary and physical studies.

**Key Words** : Shoreline change, LiDAR, Aerial photograph, Kompsat-1/2, Uljin.

**요약** : 해수면과 육지가 접하는 해안선은 자연적인 요인은 물론 연안개발 등 인위적인 활동에 따른 침식 및 퇴적에 의하여 끊임없이 변화한다. 해안선 변화는 해안환경의 파괴뿐만 아니라 연안구조물을 위협하며, 따라서 효율적인 연안관리를 위하여 해안선 변화의 장기적이고 시계열적인 모니터링이 필요하다. 이 연구에서는 1971년부터 2009년까지의 항공사진, 항공라이다 및 고해상도 광학위성영상을 이용하여 경상북도 울진군 지역의 해안선 변화를 관측하였다. 해안선 변화를 관측하기 위하여 위성영상 및 항공사진을 정밀 기하보정을 실시하였으며, 젖은 모래, 마른 모래 및 해수의 스펙트럼을 측정하고 이를 이용하여 해안선을 추출하였다. 연구 결과, 원자력 발전소 방파제 설치 이후 방파제 주변으로 해안선 형태가 변화한 것을 알 수 있었다. 방파제 주변에서는 1971년부터 2009년까지 최대 120 m 해안선이 이동하였으며, 방파제 건설 전에는 약 30 m, 방파제 건설 이후 90 m 정도 해안선이 이동하였다. 한국해양연구원 동해연구소 앞 해안에서는

2003년까지는 퇴적으로 인하여 해안선이 해안쪽으로 최대 47 m 이동하였지만 2003년 이후부터 2009년까지 계속하여 침식현상이 일어나면서 해안선이 육지쪽으로 최대 40 m로 급격하게 변화하고 있다. 이러한 해안선의 변화는 많은 복합적인 영향으로 인하여 일어날 수 있으며, 연구지역의 경우 방파제의 건설에 의한 침식 및 퇴적 현상이 주 원인인 것으로 판단된다. 따라서 향후 물리학적 및 퇴적학적 연구를 통한 효율적 관리 방안 수립이 필요할 것으로 생각된다.

## 1. 서론

해안은 해수면과 육지가 서로 만나는 해안선을 포함하는 공간이다. 이 중 모래해안은 지형이 평탄하고 완만하여 인간이 이용하기에 매우 적합한 형상으로 최근 들어 사회·경제적으로 발달되면서 레저공간으로 활용되기도 한다. 뿐만 아니라 해안 생물의 서식지 및 해양물리 에너지를 완화시켜 주는 연안재해의 완충 지역으로서도 매우 중요한 기능을 하는 지역이다. 이러한 모래해안은 최근 들어 해안 침식이 빈번하게 나타나고 있다(김경남, 김범수, 2010). 특히 우리나라 동해안에 많이 위치한 모래해안의 침식이 점차 가속화되고 있는 실정이다.

모래해안 변화에 영향을 미치는 요인으로는 자연적인 요인과 인위적인 요인이 있다. 자연적인 요인으로는 날씨, 강수량, 바람 등 기상 요인과, 파도, 조석류, 연안류 등의 수리수문학적 요인, 모래해안 기질의 입자크기, 모래공급원 변화 등의 지역적인 특수성이 있다. 인위적인 요인으로는 연안 구조물 건설, 항로 준설, 항만 건설, 댐 건설, 해사 채취 등이 있다. 특히 급격한 연안 개발은 해안 침식 문제를 발생시켜 해안환경의 파괴뿐만 아니라 각종 연안구조물 등을 위협한다. 자연적인 요인의 변화는 시간적으로 짧게는 수일에서 길게는 수백만 년 동안 나타나지만 인위적인 변화는 일반적으로 수년 내에 발생한다(김종덕 외, 2005).

모래해안 변화는 국·내외적으로 많은 연구가 이루어져 왔으며, 특히 장기간 넓은 지역의 해안선 변화를 관측하기 위하여 원격탐사기술이 널리 이용되고 있다. 국외의 경우, White and El Asmar (1999)는 Landsat TM 자료를 이용하여 Nile Delta의 해안선 위치 변화를 모니터링 하였으며, Gutierrez *et al.* (2001)은 light detection and ranging (LiDAR) 자료를 이용하여 폭풍 전후 해안지역의 침식 및 취약지역의 평가에 대하여

연구를 수행하였다. Robinson (2004)은 항공사진과 지도를 이용하여 자메이카의 Vere 남쪽 연안 지역의 지난 200년간 해안선 변화 패턴을 분석하였으며, Brzank *et al.* (2005)는 항공레이저 스캔을 이용하여 해안선 면적을 자동으로 검출하여 해안선 변화에 대한 분석을 실시하였다. Shrestha *et al.* (2005)는 Airborne Laser Swath Mapping (ALSM)을 이용하여 Florida의 해안선 변화를 관측하였다. 최근에는 비디오 영상 (video image)을 이용한 해안선 관리 연구가 많이 이루어지고 있다(Quartel *et al.*, 2006; Kroon *et al.*, 2007). 비디오 시스템은 최소 한 시간에 한 번 촬영이 가능하며 장기간에 걸쳐서 다양한 변화를 관측할 수 있는 장점이 있어 (Holman and Stanley, 2007), 변화가 많이 일어나는 해안선 연구에 많이 이용되고 있다.

국내에서는 원준선과 유흥홍 (1995)이 Landsat TM 자료를 이용하여 경기만 지역에서 해안선 변화를 관측한 바 있다. 이 연구는 변화벡터분석법과 tasseled cap 변환을 이용하여 해안선 일대에서의 대규모 변화 및 미세한 변화를 관측 하였다. 그러나 사용된 영상 간의 시간 간격이 지질학적 작용에 의한 변화가 나타나기에는 짧은 간격이었으며, 해안선 변화 보다는 해안선 일대에서의 지형적 변화를 관측하였다. 이러한 영상의 변화 탐지 기법은 해안선 변화 분석보다는 주로 해안 지역에서 지형 변화 또는 토지 이용 변화 분석에 많이 이용되고 있다(Mas, 1999; Berlanga-Robles and Ruiz-Luna, 2002; Chen *et al.*, 2003). 박경원 외 (2001)는 과거 30여 년간의 항공사진과 해양조사원의 부산항 수위관측자료를 분석하여 광안리 해수욕장의 해안선 변화를 연구하였다. 매 3년마다 항공사진을 이용하여 정사투영과 digital elevation model (DEM) 추출을 실시하고, 광안리 해수욕장의 양쪽은 퇴적이 이루어지고 있으나 중앙부는 대규모로 침식되고 있는 경향을 나타내다고 보고하였다. 이창경 외 (2007)는 중복 촬영된 한 쌍

의 항공사진을 이용하여 경남 통영시의 매립전후 해안선을 도화하고, 해안선의 변화로 발생된 해안빈지의 위치 및 면적을 정량적으로 측정하였다. 김용석과 홍순현(2007)은 1987년, 1996년 및 2002년 항공사진을 이용하여 부산 지역 연안의 해안선 변화를 시계열적으로 분석하였다. 그 결과 과거에 비하여 해안의 면적이 많이 줄어들었으며 가장 큰 원인으로서는 해안 개발로 분석하였다. 이재원 외(2008)는 real-time kinematic (RTK)-GPS 측량을 통하여 실시간으로 변화하는 해안선을 실측하고, 항공 LiDAR 자료에서 추출한 해안선과 비교 분석을 통하여 침식 및 퇴적 면적을 파악하였다. 이들은 침식과 퇴적의 원인은 임의적인 양빈과 태풍, 조류인 것으로 분석하였으나, 자료 취득의 어려움으로 인하여 시계열 분석을 실시하지 못하였다.

기존의 연구들은, 위성영상의 경우 중저해상도 영상을 활용함으로써 정밀한 해안선 변화 분석이 어려웠으며, 항공사진은 고해상도이지만 고가의 자료로 인하여 다량의 자료 확보가 어려워 시계열적인 분석이 불가능하였다. 이 연구에서는 현재 해안 침식이 많이 발생하고 있는 동해안 울진 지역에 대하여 항공사진, 항공 LiDAR와 고해상도 광학위성 영상을 이용하여 장기적인 해안선 변화를 시계열적으로 관측하고자 한다. 과거로부터 최근 시기까지의 항공사진을 최대한 활용하고, 상대적으로 자료 취득이 용이한 국내 고해상도 광학위성 영상자료의 활용을 극대화함으로써, 한국해양연구원 동해연구소가 위치하고 있는 울진군 죽변면의 침식/퇴적에 의한 해안선 장기 변화를 관측하고자 한다.

## 2. 연구지역

연구지역은 경상북도 울진군 죽변면 후정리 부근의 연안지역이며, 북위 37도 4분 - 37도 6분, 동경 129도 22분 30초 - 129도 25분에 위치한다(Fig. 1). 울진군이 위치한 경상북도의 총 해안선 길이는 428 km이며, 이중 모래 해안은 110. 25 km로 약 25.76% 정도이다. 이 지역의 평균 기온은 약 12 ~ 13 °C이며 연평균 강수량은 약 1,300 mm 이다(울진군, 2009).

최근 들어 동해 연안의 해안 침식이 가중되면서 백사장 규모가 급격히 줄어들고 있다. 울진군내에도 죽변 봉

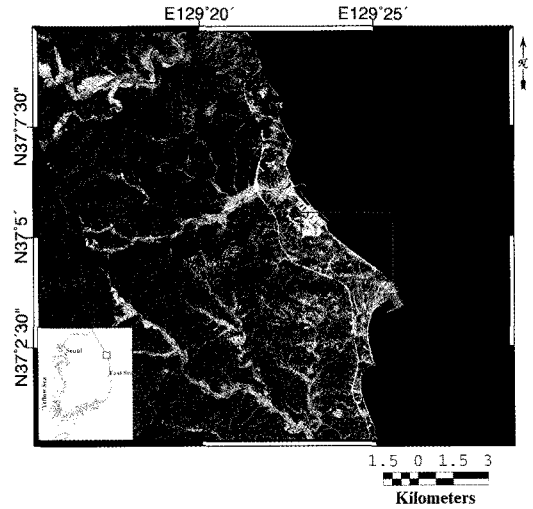


Fig. 1. The Landsat image of the Uljin-gun and east of Korea peninsula. The study area is rectangled in red.

평해수욕장, 산포리, 원남 오산, 덕신, 후포 등 많은 곳에서 해안 침식이 나타나고 있다. 이 연구는 그 중에서도 한국해양연구원 동해연구소가 위치한 죽변면 후정리 부근의 모래해안 지역을 그 대상으로 선정하였다.

## 3. 연구 자료 및 방법

### 1) 연구자료

이 연구에 사용한 영상 자료는 항공사진과 IKONOS, KOMPSAT-1, KOMPSAT-2, 항공라이다 자료이다. IKONOS 위성은 1999년 9월 24일에 발사하였으며 1 m의 전정색 밴드(panchromatic)와 4 m 해상도를 가지는 가시광선과 근적외선 사이의 다중분광(multispectral)의 4개밴드를 가지고 있다. 이번연구에서는 1 m 해상도를 가지는 IKONOS의 전정색 영상과 4 m의 다중분광 4개 밴드 영상을 영상 선명화(image sharpening)방법을 이용하여 1 m의 해상도를 가지는 다중분광 영상으로 변환된 영상을 이용하였다. 이 방법은 공간해상도가 낮고 분광해상도가 좋은 영상과 공간해상도가 높고 분광해상도가 낮은 영상을 가지고서 공간해상도와 분광해상도를 모두 높이는 방법이다.

KOMPSAT-1 위성은 1999년 12월에 발사되었으며 공간해상도는 6.6 m이며 흑백 단일 밴드의 전정색 밴드를 가지고 있다. KOMPSAT-2 위성은 2006년 7월

Table 1. List of the image used in this study with R.M.S. errors of image-to-image registration.

Sensor	Date	Spatial resolution (m)	Number of GCPs	Average R.M.S. error for image (pixes)
Aerial photograph	1971.08	0.9	7	0.403
	1980.10	0.6	12	3.989
	2008.02~03	0.5	12	3.030
	2008.06	0.25	20	2.597
IKONOS	2000.12.08	1	13	2.336
KOMPSAT-1	2003.06.08	6.6	16	2.048
	2004.05.29	6.6	26	1.674
KOMPSAT-2	2007.06.05	4		Reference image
	2009.10.20	4	16	2.303

에 발사하였으며 IKONOS 위성과 같은 고해상도 위성으로서 분광 특성은 IKONOS와 동일하게 구성되어 있다. 1971년과 1980년에 획득된 항공사진은 국토지리정보원에서 촬영한 영상이며, 2008년 2월에 촬영된 항공사진은 UltraCam-VEXCEL 센서로 획득된 영상으로 공간해상도가 0.5 m로 기존의 위성영상에 비하여 매우 높다. 2008년 6월 항공사진 영상은 항공라이다로 촬영한 영상을 정사영상으로 제작한 것이다. 또한, 이 연구에서는 항공 LiDAR 자료를 이용하여 DEM을 제작하였다. 항공 LiDAR는 지상의 표고자료를 측정하여 매핑하는 시스템으로서 높은 효율성과 정확도를 가지며 기후에 관계없이 주야로 자료획득이 가능하다. 또한, 스캐너로부터 지표면까지 거리를 직접 산출하여 고밀도의 표고정보를 획득할 수 있다. 항공 LiDAR에서 자료처리 과정을 통하여 최종 생성되는 산출물로서는 레이저 펄스의 반사 지점들에 대한 다량의 공간위치 (X, Y, Z) 자료와 이를 이용하여 제작된 DEM 과 digital surface model (DSM) 정보이다(심정민, 이석배, 2006).

이 연구에 사용한 영상의 획득 날짜는 Table 1과 같다.

## 2) 연구 방법

획득된 영상의 기하보정은 2007년 6월에 획득한 KOMPSAT-2 영상을 기준으로 실시하였다. 기하보정은 영상에서 지상기준점 (ground control points; GCPs)을 선정하여 polynomial 형식으로 실시하였으며, 이때 polynomial order는 linear로 하였다. 각 영상 별로 GCP 선정 후 나타난 Root mean square (RMS) error는 Table 1에 정리하였다. RMS error는 영상-영상에서 4 pixel 이내로 선정하였으며 좌표는 모

두 동일하게 WGS84/NUTM52 로 하였다.

연구지역은 동쪽 지역의 연안 지역을 제외한 대부분의 지역이 산으로 이루어져 있다. 산악 지형의 경우 변화가 매우 심한 곳이므로 GCPs를 선정하는데 있어 많은 어려움이 있다. 따라서 산을 제외한 지역에서 동쪽 부분의 연안지역에서 주로 GCPs를 선정하였다. 특히 1980년 항공사진의 경우 연안지역도 현재와 변화가 매우 많기 때문에 연안 지역에서 GCPs를 선정하였지만 기하보정을 위한 기준 영상이 최근 영상이기 때문에 상대적으로 다른 영상에 비하여 RMS error가 높게 나타났다. 또한 2008년 항공사진의 경우 영상이 해안선 부분만 획득하여 영상이 매우 작다. 따라서 GCPs를 선정할 곳이 매우 적었다. 따라서 주로 해안선 부분을 기준으로 하여 기하보정을 실시하였으며 이 영상 역시 다른 영상에 비하여 RMS error가 높게 나타났다.

기하보정이 완료된 영상들로부터 각각 해안선을 추출하였다. 해안선 추출은 육안 분석을 통하여 디지털화하였으며 해안선 디지털화는 상용프로그램인 ER-mapper를 이용하였다. 고해상도 영상으로부터의 해안선을 추출시에는 파랑의 쳐오름 효과에 의해 wet sand가 존재하여 정확한 해안선을 구분하기 어렵다. 따라서 정밀한 해안선을 추출하기 위하여 2010년 6월 9일에 현장조사를 실시하여 wet sand, dry sand 및 해수 (50 cm; 발목정도, 100 cm; 무릎정도 위)의 반사도를 측정하였다(Fig. 2). 반사도 측정 결과 wet sand와 dry sand의 반사도 형태는 서로 유사하지만 반사도 강도는 서로 다르게 나타났다. 또한, 해수 50 cm, 100 cm 위에서 측정한 반사도도 두 형태는 서로 유사하지만 반사도 강도는 서로 다르게 나타났다. 특히 dry sand는 wet

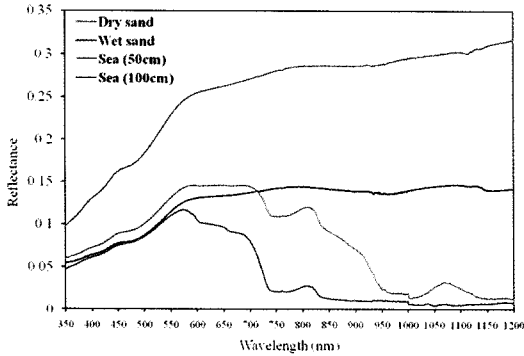


Fig. 2. The reflectance spectra which were acquired near the KORDI (X-axis : wavelength, Y-axis : reflectance, blue line : dry sand, red line : wet sand, green line : 50 cm above the sea surface, purple line : 100 cm above the sea surface).

sand와 해수 50 cm, 100 cm에서 측정한 것과 반사도 강도가 매우 다르게 나타났다. 반면에 wet sand, 해수 50 cm, 100 cm에서 측정한 반사도의 경우 550 nm 인 red 밴드에서는 반사도 형태가 비슷해 구분이 어려우나 green 또는 blue 밴드에서는 반사도 형태가 다르게 나타난다. 특히 모래와 해수의 반사도는 750 nm ~ 1200 nm 파장대 부분 (근적외선)에서 매우 다르게 나타났다. 따라서 이를 이용하여 영상에서 해안선 추출시 기준을 반사도가 매우 다르게 나타나는 해수와 모래의 경계로 하여 추출하였다. 위성 영상으로부터 해안선 추출시에는 모래와 해수의 반사도가 매우 다른 근적외선 밴드를 이용 하였으며 항공사진의 경우 green과 blue 밴드를 이용하여 해안선을 추출하였다.

또한, 항공 LiDAR로부터 DEM 자료 획득 원리는 다음과 같다.

$$Distance = \frac{(speed\ of\ light\ time\ of\ flight)}{2} \quad (1)$$

즉, 항공 LiDAR는 항공기로부터 지상에 레이저 펄스를 보내고 반사파의 속도와 강도를 측정함으로써 거리를 측정한다. 이때 고속계산기가 출발 펄스와 반사 펄스 사이의 비행시간을 계산하여 거리로 환산하고 이로부터 DEM은 각 발사파와 동조하는 항공기의 정확한 위치와 방향 그리고 각 레이저 펄스의 비행거리를 보간함으로써 생성된다(김대식, 2003). 이 연구에서는 관측된 자료를 이용하여 1m × 1m 간격으로 DEM 자료를 생성하였다.

## 4. 연구 결과

Fig. 3은 1971년 8월부터 2009년 10월까지 연구지역 전반에 걸친 해안선의 형태를 보여주고 있다. 총 9장의 영상으로부터 동일 지역인 측면면 일대의 해안선을 추출한 결과, 연구지역 최북단 해안의 원자력발전소가 생기기 이전인 1971년과 1980년대에는 해안선이 직선 형태로 분포하고 있다(Fig. 3a and b). 그러나 원자력 발전소 건설 이후인 2000년대 이후의 영상에서는 발전소 방파제 주변의 해안선 형태가 변화하는 것을 알 수 있다(Fig. 3c).

Fig. 4a는 항공 LiDAR로부터 획득한 자료를 이용하여 생성한 연구지역의 DEM이다. Fig. 4b는 원자력 발전소 근방, Fig. 4c는 한국해양연구원 동해연구소 부근 지역을 확대하여 나타낸 그림이며, Fig. 4d와 e는 이들을 3차원으로 시각화하여 나타낸 것이다. Fig. 5는 Fig. 4c와 d의 A - A'과 B - B'에 해당하는 DEM이다. 원자력 발전소 부근은 약 2 - 3 m 정도의 상대적으로 낮은 지형을 보이며, 전체적으로 완만한 형태를 가진다. 반면에, 한국해양연구원 동해연구소 부근은 6 m 이상의 높은 지형을 가지며 해안 쪽에서 급격한 경사를 가진다(Fig. 5).

Fig. 6은 각 영상 분석 시기의 원자력 발전소 근방 해안선 추출결과를 2000년 12월에 획득된 IKONOS 영상 위에 나타낸 그림이다. Fig. 6a는 1971년 8월부터 2004년 5월까지의 해안선 변화, Fig. 6b는 2004년 5월부터 2009년 10월까지의 해안선 변화를 나타낸 그림이다. Fig. 6c는 1971년, 1980년, 2000년 및 2009년의 해안선을 나타낸 그림이다. Fig. 6a, b에서 보듯이, 이 지역은 1971년부터 현재까지 계속 퇴적이 일어나고 있다. Fig. 6c는 좀 더 자세히 살펴보기 위하여 가장 최근 영상인 2009년 KOMPSAT-2 영상과 1971년과 1980년 항공사진에서 추출한 해안선을 나타내었다. 각 시기의 영상에서 추출된 해안선으로부터 변화된 길이를 계산해본 결과, Fig. 6c의 1971년부터 2009년까지 A 지역의 경우 해안선이 바다쪽으로 약 120 m의 해안선 이동이 일어났으며, B 지역은 약 82 m, C 지역은 약 38 m 정도로 이동한 것으로 분석되었다. 특히 발전소 방파제 전후의 이동량을 살펴보기 위하여 방파제 건설이 관측된 2000년 12월 영상을 기준으로 하여 이동량을 계산하였

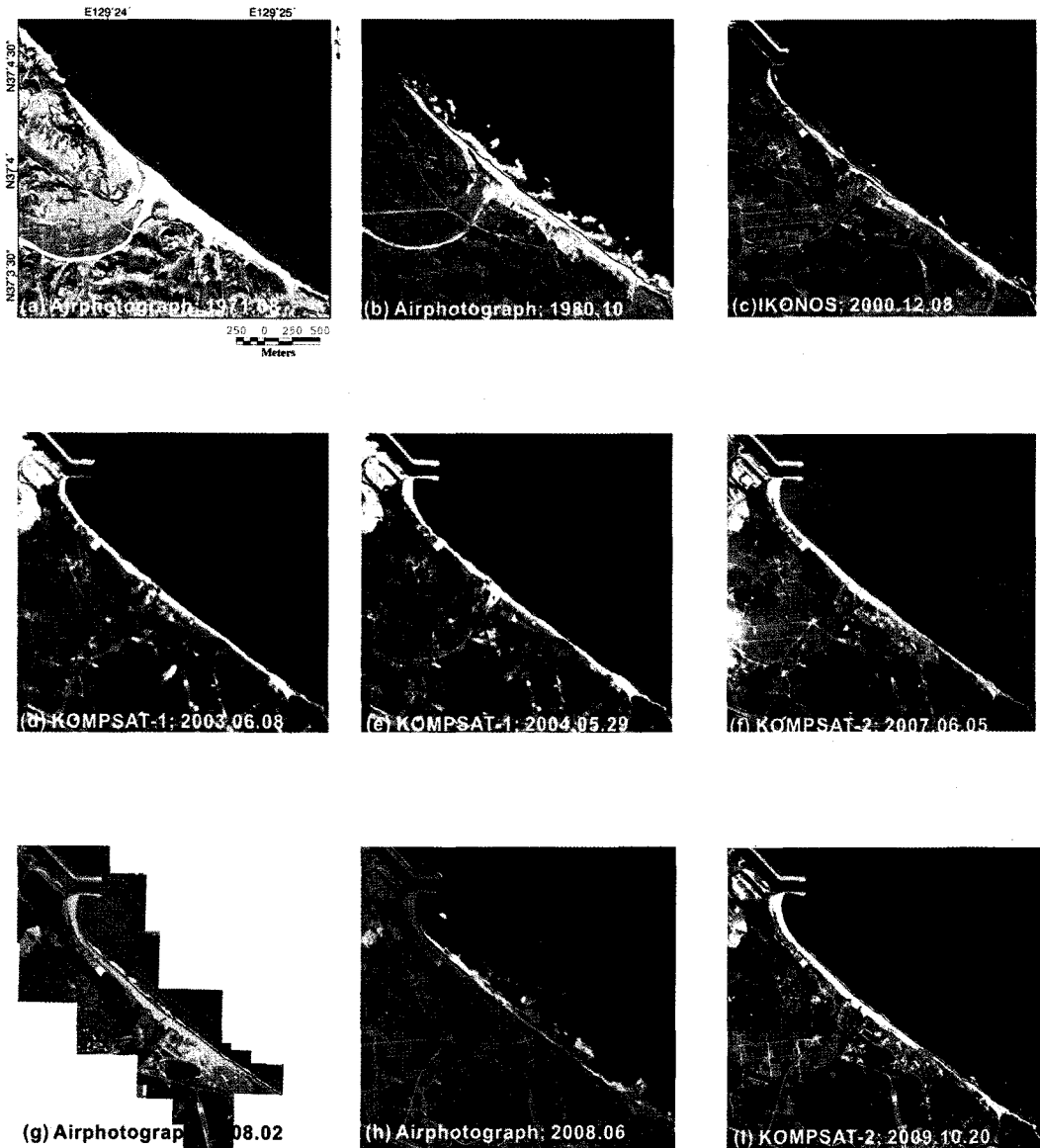


Fig. 3. Aerial photographs and satellite images over the study area. Red line denoted the shoreline of Jukbyeon.

다. 그 결과 D 지역의 경우 1980년 ~ 2000년까지 해안선이 바다쪽으로 약 30 m 가 이동하였으며, 2000년 ~ 2009년까지는 약 90 m 가 이동하였다. E 지역의 경우 1980년 ~ 2000년까지 해안선이 바다쪽으로 약 12 m, 2000년 ~ 2009년까지 약 74 m 가 이동하였다. F 지역의 경우 1971년 ~ 2000년에는 해안선이 바다쪽에서 육지쪽으로 약 9 m 가 이동하여 침식현상을 보이며 2000년 ~ 2009년까지 퇴적에 의하여 해안선이 바다쪽으로 약 44 m 이동하였다. 즉, 전체적으로 원자력 발전소 근

방으로 갈수록 많은 퇴적이 일어나고 있는 것을 확인 할 수 있었으며, 원자력 발전소 방파제 건설 전보다 그 이후로 특히 많은 퇴적이 일어나는 것을 확인 하였다.

Fig. 7은 한국해양연구원 동해연구소 앞 모래해안의 해안선 추출 결과를 나타낸 그림이다. Fig. 7a는 1971년부터 2004년까지의 해안선 변화, Fig. 7b는 2004년부터 2009년까지의 해안선 변화를 나타낸 그림이며, Fig. 7c는 1971년, 1980년, 2000년, 2003년 및 2009년의 해안선을 나타낸 그림이다.

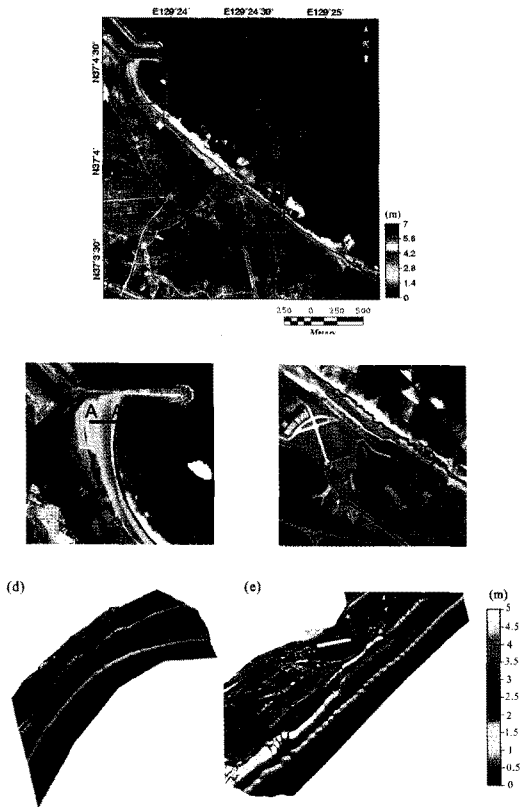


Fig. 4. (a) DEM of the study area which was generated from LiDAR data, (b) DEM near the nuclear power plant, (c) DEM near KORDI, (d) 3-D DEM near the nuclear power plant, (e) 3-D DEM near KORDI.

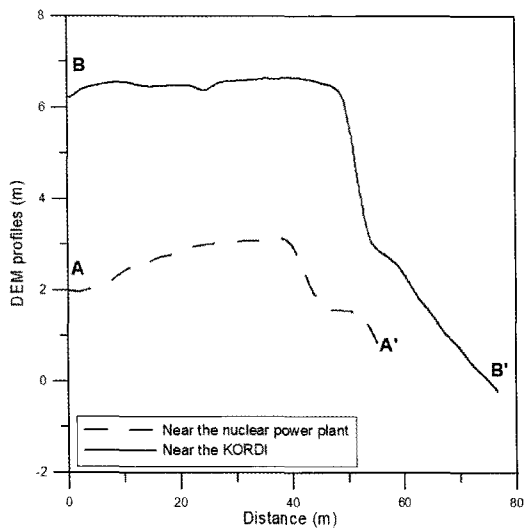


Fig. 5. DEM profiles extracted from LiDAR data along the line A-A' and B-B' marked in Fig. 4b and 4c, respectively. Dash line : near the nuclear power plant, solid line : near KORDI.

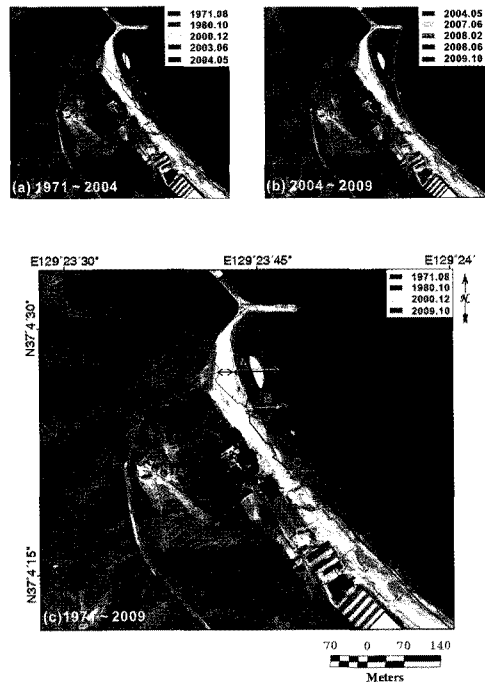


Fig. 6. The shoreline extracted from aerial photographs and satellite image near the nuclear power plant. The shoreline (a) from 1971 to 2004, (b) from 2004 to 2009, (c) in 1971, 1980, 2004 and 2009.

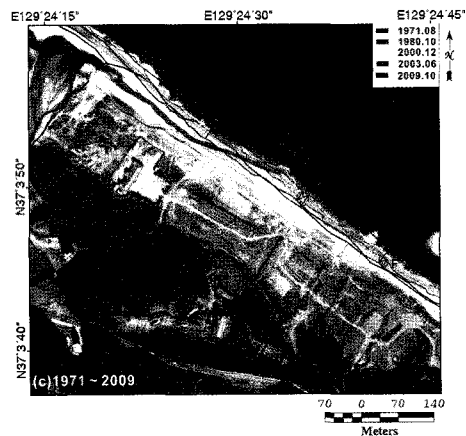
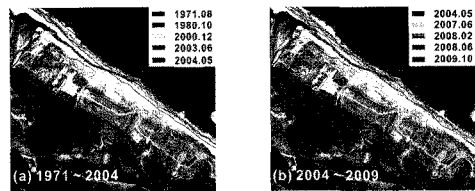


Fig. 7. The shoreline extracted from aerial photographs and satellite image near of the KORDI. The shoreline (a) from 1971 to 2004, (b) from 2004 to 2009, (c) in 1971, 1980, 2003 and 2009.

이 지역은 Fig. 5에서 본 원자력 발전소 부근과 다르게 1971년부터 2003년까지는 퇴적이 일어나 해안선이 육지에서 해안쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다. 반면에 2004년부터 2009년까지는 다시 해안쪽에서 육지쪽으로 해안선이 변화하면서 침식 현상이 나타나고 있다. Fig. 7c의 1971년부터 2003년까지 해안선이 육지에서 해안쪽으로 퇴적이 일어난 지역을 관측한 결과 A, B, C 지역은 각각 45 m, 29 m, 47 m의 해안선 변화가 일어났다. 동일 지역인 Fig. 7c의 D, E, F 지역에서 2003년부터 2009년까지의 해안선 변화를 관측한 결과 각각 28 m, 22 m, 40 m 가 육지쪽으로 이동하였다. 즉, 이 지역은 현재 침식이 우세하게 나타나고 있는 지역으로 분석되었다. 이 지역도 방파제 건설 전후의 이동량을 알아보기 위하여 2000년 12월을 기준으로하여 이동량을 계산하였다. 그 결과 D 지역의 경우 퇴적으로 인하여 1971년부터 2000년까지 해안선이 바다쪽으로 14 m 이동하였고 이 후 2003년까지 육지쪽으로 약 31 m 정도 이동하였다. 즉, 1971년부터 2003년까지 퇴적으로 인하여 해안선이 바다쪽으로 45 m 이동하였다. 2003년 이후부터는 2009년까지 침식현상으로 인하여 해안선이 바다에서 육지쪽으로 약 28 m 이동하였다. E 지역도 D 지역과 동일하게 1971년부터 2003년까지 계속 퇴적이 일어났으며 그 이후에 침식이 일어났다. F 지역은 1971년부터 2000년까지 약 21 m 해안선 이동이 일어났으며 2003년까지 약 16 m 정도 해안선 이동이 일어나 퇴적으로 인하여 총 47 m가 이동하였다. 반면에 2003년 이후부터 2009년까지 침식으로 인하여 해안선이 약 40 m 이동하였다.

연구지역의 침식 및 퇴적에 따른 해안선 이동양을 Table 2에 정리하였다.

Table 2. Summary of shoreline changes in the study area

	Near nuclear power plant (erosion/deposition)	Near KORDI (erosion/deposition)
A	0/120	0/45
B	0/82	0/29
C	0/38	0/47
D	0/120	28/0
E	0/86	22/0
F	9/44	40/0

## 5. 결론 및 토의

이 연구에서는 경상북도 울진군 죽변면 한국해양연구원 동해연구소가 위치한 동해안 지역에 대하여 장기적인 해안선 변화 분석을 실시하였다. 영상은 취득 가능한 항공사진 및 고해상도 광학위성영상을 모두 활용하였으며, 1971년부터 2009년까지 약 40년에 걸친 해안선의 침식 및 퇴적 양상을 관측하였다. 또한, 항공 LiDAR 자료를 이용하여 정밀 DEM을 형성하여 지형을 분석 하였다. 그 결과 원자력 발전소 부근은 전체적으로 낮고 완만한 지형을 보이며, 한국해양연구원 동해연구소 부근은 높은 지형을 가지며 해안쪽에서 급격한 경사를 가진다. 뿐만아니라, 영상을 이용한 해안선의 침식 및 퇴적 양상 관측 결과 원자력 발전소 방파제 부근에서는 1971년부터 2009년까지는 많은 퇴적이 일어나 해안선이 육지쪽에서 해안쪽으로 변화하였다. 반면에 한국해양연구원 동해연구소 바로 앞 해안은 1971년부터 2003년까지는 퇴적이 일어났지만 2003년부터 2009년까지는 침식이 우세하게 나타났다. 퇴적량 세부 분석 결과, 원자력 발전소 방파제 부근에서는 1971년 이후부터 꾸준히 퇴적 현상으로 인하여 해안선이 육지에서 해안쪽으로 최대 약 120 m 이동하였다. 반면에, 한국해양연구원 동해연구소 바로 앞 해안은 1971년부터 2003년까지는 해안선이 육지쪽에서 해안쪽으로 최대 약 47 m 이동하였으며, 2003년 이후에는 다시 해안쪽에서 육지쪽으로 최대 약 40 m 이동하였다. 특히 원자력 발전소 방파제 건설 전후의 퇴적량을 살펴본 결과 원자력 발전소 부근의 경우 방파제 전보다 그 이후에 많은 퇴적이 일어났으며, 한국해양연구원 동해연구소 앞 해안 지역은 방파제 전에는 퇴적이 일어났으며 2003년까지도 계속적인 퇴적이 일어났다. 하지만 2003년 이후에 많은 침식으로 인하여 해안선이 점차 해안에서 육지쪽으로 이동하였다. 김경남과 김범수 (2010)에 의하면 현재 강원 동해안 침식을 연안류 흐름의 교란에 의한 침식의 점진적 진행 유형, 너울성 파도에 의한 돌발적 발생 유형, 복합형으로 구분하였다. 연안류 흐름의 교란에 의한 침식의 점진적 진행 유형은 Fig. 8과 같으며, 이는 연안구조물 건설 이전에는 연안토사가 평행하게 이동하다가 연안구조물 건설 이후 입사파가 바뀌면서 구조물 안쪽으로 침식과 퇴적이 일어나며 구조물 바깥쪽으로 침식



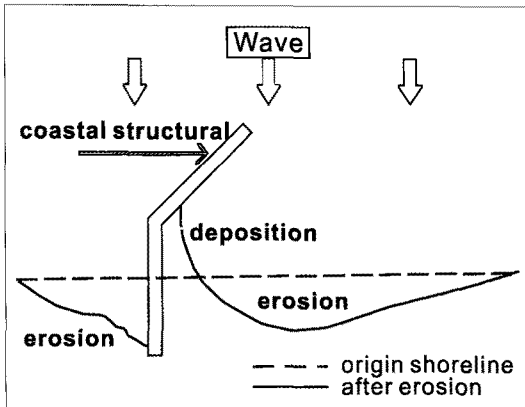


Fig. 8. The mechanism of the erosion and deposition near the shoreline according to the longshore current flow disturbance due to the artificial coastal structures (modified from Kim and Kim, 2010).

이 일어나는 것을 보여준다.

해안선 변화에는 복합적인 영향이 많이 있지만, 이번 연구 지역인 울진군 죽변면 지역의 경우에는 여러 복합 요소 중에서 특히 연안구조물에 의한 연안류 흐름이 변화가 해안선 변화에 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 이러한 이유는 영상 분석 결과 알 수 있었다. 연구 지역의 해안선 분석 결과 Fig. 8과 유사하게 연안구조물 전후로 구조물 근처 지역에는 많은 양의 퇴적이 일어났으며 그 이외의 지역에서 침식양상이 나타나는 것을 알 수 있었다. 하지만 이는 추후에 물리학적 및 퇴적학적으로 많은 연구가 필요하다. 뿐만 아니라 더 많은 양의 영상자료를 이용한 정밀 시계열 분석이 필요할 뿐만 아니라 현장조사를 통한 지속적인 검증이 필요하다. 이러한 해안선 변화 연구는 현재 해안선 정보 구축에 이용될 수 있다. 특히 연안을 관리하고 모니터링 하는데 이용될 수 있다.

## 사 사

본 연구는 한국해양연구원의 “동해 중부연안환경 변동성 연구 (PE98444)” 사업과 공공기술연구회의 “위성자료 공공활용연구 - 해양분야 위성활용 연구 (PG47530)” 사업의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 김경남, 김범수, 2010. 강원 동해연안의 해안침식 피해 예방 방안, 강원발전연구원.
- 김대식, 2003. 레이저 매핑시스템 LiDAR와 GPS 기술의 응용, 한국관계배수, 10(1): 103-111.
- 김용석, 홍순현, 2007. 항공사진을 이용한 해안선 변화에 대한 시계열 분석, 한국콘텐츠학회논문지, 7(3): 160-167.
- 김종덕, 장원근, 육근형, 2005. 우리나라 모래해안의 실태와 환경관리방안, 한국해양수산개발원.
- 박경원, 김영섭, 최철웅, 서영상, 2001. 항공사진을 이용한 광안리 해수욕장에 해안선변화에 관한 연구, 대한원격탐사학회 2001년 학술대회 논문집, 122-127.
- 울진군, 2009. 울진통계연보 2008, 48: 38-43.
- 원중선, 유홍룡, 1995. Landsat TM 자료를 이용한 해안선 변화 관측, Ocean Research, 17(2): 101-115.
- 이재원, 김용석, 위광재, 2008. 항공 LiDAR 측량을 이용한 해운대 해안의 해안선 변화 분석, 대한토목학회논문집, 28(4D): 561-567.
- 이창경, 김백은, 김남용, 2007. 항공사진측량에 의한 해안선 변화 조사, 한국지형공간정보학회, 15(2): 15-23.
- Berlanga-Robles, C. A. and A. Ruiz-Luna, 2002. Land use mapping and change detection in the the Coastal Zone of Northwest Mexico Using Remote Sensing Techniques, Journal of coastal research, 18(3): 514-522.
- Brzank, A., P. Lohmann, and C. Heipke, 2005. Automated extraction of pair wise structure lines using airborne laser scanner data in coastal area, ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop “Laser scanning 2005”, Enschede, the Netherlands, September 12-14: 36-41.
- Chen, J., P. Gong, C. He, R. Pu, and P. Shi, 2003. Land-Use/Land-Cover Change Detection Using Improved Change-Vector Analysis, Photogrammetric Engineering & Remote

- Sensing, 69(4): 369-379.
- Gutierrez, R., C. James, C. Rebecca, L. Tiffany, and R. John, 2001. Precise Airborne LIDAR Surveying For Coastal Research and Geohazards Applications, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXIV-3/W4 Annapolis, MD: 185-192.
- Kroon A., M. A. Davidson, S. G. J. Aarninkhof, R. Archetti, C. Armaroli, M. Gonzalez, S. Medri, A. Osorio, T. Aagaard, R. A. Holman, and R. Spanhoff, 2007. Application of remote sensing video systems to coastline management problems, Coastal Engineering, 54: 493-505.
- Mas, J. F., 1999. Monitoring land-cover changes : a comparison of change detection techniques, International Journal of Remote Sensing, 20(1): 139-152.
- Quartel, S., E. A. Addink, and B. G. Ruessink, 2006. Object-oriented extraction of beach morphology from video images, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8: 256-269.
- Robinson, E., 2004. Coastal changes along the coast of Vere, Jamaica over the past two hundred years : data from maps and air photographs, Quaternary International, 120: 153-161.
- Shrestha, R. L., W. E. Carter, M. Sartori, B. J. Luzum, and K. C. Slatton, 2005. Airborne Laser Swath Mapping: Quantifying changes in sandy beaches over time scales of weeks to years, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 59: 222-232.
- White, K. and H. M. El Asmar, 1999. Monitoring changing position of coastlines using Thematic Mapper imagery, an example from the Nile Delta, Geomorphology, 29: 93-105.