

## 카메라를 활용한 조석사주 관측시스템 구축 및 지형변화

이승지<sup>1</sup> · 이관홍<sup>2</sup> · 강태순<sup>3</sup> · 김영택<sup>4</sup> · 김태림<sup>†</sup>

(Received October 30, 2014 ; Revised February 9, 2015 ; Accepted March 25, 2015)

### Monitoring of Tidal Sand Shoal with a Camera Monitoring System and its Morphologic Change

Soong-Ji Lee<sup>1</sup> · Guan-Hong Lee<sup>2</sup> · Tae-Soon Kang<sup>3</sup> · Young-Taeg Kim<sup>4</sup> · Tea-Lim Kim<sup>†</sup>

**요약:** 인천시 옹진군의 대이작도 주변해역 해양보호구역에 존재하는 ‘풀등’이라 불리는 조석사주는 인근 선갑지적의 해사채취로 인해 침식의 위협에 직면해있다. 접근성이 좋지 못한 풀등의 침식을 모니터링하기 위하여 대이작도의 송이산 정상에 무인영상 자동모니터링시스템을 구축하였다. 영상모니터링시스템은 매 10분마다 4608×3456의 해상도로 풀등을 분할 촬영하는 2대의 디지털 카메라, 실시간으로 영상자료를 실험실로 전송하는 Eye-fi 메모리카드와 LTE 휴대전화로 구성된 무선네트워크, 그리고 카메라와 무선네트워크 구동에 필요한 전력을 공급하는 태양광 전원공급시스템으로 구성되어 있다. 영상모니터링시스템으로 획득한 영상자료는 기하보정, 해안선관독, 풀등 면적 산정 및 오차산정의 영상분석방법을 적용하였다. 2012 해양보호구역 조사관찰 보고서에 기록된 조위 137 cm의 2008년 풀등 면적 1.79 km<sup>2</sup>과 조위 148 cm의 2010년 면적 1.59 km<sup>2</sup>과 비교하기 위하여, 동일 조위의 풀등 면적을 획득하였다. 2013년에 조위 137과 148 cm일 때 풀등의 면적은 각각 1.37과 1.24 km<sup>2</sup>로 나타났다. 2008-2013년 사이에 대이작도 주변해역 해양보호구역의 풀등에서 약 0.42 km<sup>2</sup>가 감소하였으며 2010-2013에는 약 0.35 km<sup>2</sup>가 감소하였다. 대이작도 해양보호구역의 풀등에서 진행되는 침식은 심각한 정도이며, 이러한 침식의 계절적인 변동 및 퇴적역학적 원인 규명이 시급하게 이루어져야 할 것이다.

**주제어:** 영상모니터링, 조석사주, 침식, 풀등, 카메라

**Abstract:** A tidal sandshoal, called ‘Puldeung’ in the Daeijackdo Marine Protected Area(DMPA), is facing erosion due to sand mining in the nearby coastal region. To monitor the morphologic change and erosion of Puldeung, a camera monitoring system was established at the top of Song-Ee Mountain in Daeijack Island. The system consists of 2 Cannon digital cameras, Eye-fi memory card/Long-Term Evolution wireless network, and solar power supply. The acquired camera images were analyzed to obtain the area of Puldeung by the following methods: geometric correction of image, identification of shoreline, areal measurement of Puldeung and its error estimation. To compare the Puldeung area with previously measured area of 1.79 km<sup>2</sup> at tidal height of 137 cm in 2008 and of 1.59 km<sup>2</sup> at tidal height of 148 cm in 2010, we selected images with same tidal heights. The Puldeung area was 1.37 and 1.23 km<sup>2</sup> at the tidal height of 137 and 148 cm, respectively. The erosion at DMPA is very severe and thus it is imperative to initiate the morphodynamical study on the seasonal variation and long-term evolution of Puldeung as well as the causes and measures of Puldeung erosion.

**Keywords:** Camera monitoring, Tidal sandshoal, Erodion, Puldeung, Camera

## 1. 서론

경기만은 마지막 빙하기 이후 해수면 상승에 의한 해침으로 형성된 리아스식 해안으로 크고 작은 섬들이 산재하고 있으며, 섬 주위에는 조류 방향과 평행한 조석사주가 잘 발달되어 있다[1]-[3]. 섬 주위에는 강한 조류가 섬 주위를

통과할 때 발생하는 빠른 유속으로 인하여 깊은 수로가 형성되는 반면, 강한 왕복성 조류에 의해 조류방향으로 이동하는 사질퇴적물의 선택적 집적으로 인해 조석사주가 불연속적으로 형성되었다[4]. 경기만 조석사주의 경우 수십 킬로미터의 폭을 가지고 조류의 방향에 평행하고, 해안선에

† Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8149-1205>): Department of Ocean Science and Engineering, Kunsan National University, 558, Daehak-ro, Gunsan-si, Jeollabuk-do, 573-360, Korea, E-mail: [trkim@kunsan.ac.kr](mailto:trkim@kunsan.ac.kr), Tel: 063-469-1865

1 Ocean Science, Inha University, E-mail: [soongji@inha.ac.kr](mailto:soongji@inha.ac.kr), Tel: 032-861-7886

2 Ocean Science, Inha University, E-mail: [ghlee@inha.ac.kr](mailto:ghlee@inha.ac.kr), Tel: 032-861-7886

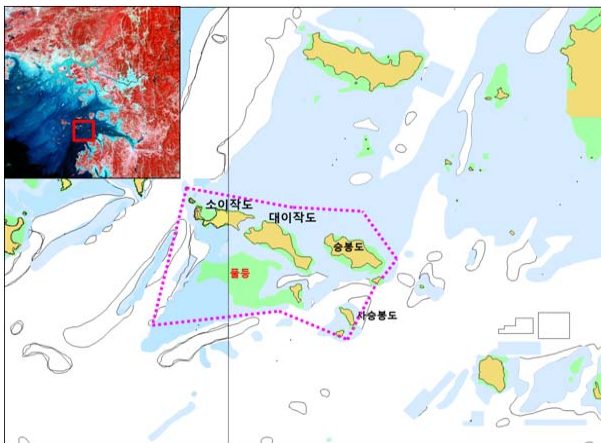
3 GeoSystem Research Cooperation, E-mail: [kangts@geosr.com](mailto:kangts@geosr.com), Tel: 070-7019-0610

4 Ocean Research Division, Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, E-mail: [kyt5824@korea.kr](mailto:kyt5824@korea.kr), Tel: 051-400-4361

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.

수직방향으로 발달해 있다[5](Figure 1). 이렇게 발달되어 있는 대규모 조석사주는 지난 간빙기 이후의 퇴적학적 발생 및 발달의 관점, 또는 모래 자원으로서의 경제적인 관점에서 가치가 높기 때문에 많은 연구가 이루어졌다. 조석사주의 발생기원과 특징[2][5][7], 조석사주의 순차층서학적 발달[8][10], 조석사주의 형태 및 구조[7][11][12] 및 퇴적물 이동에 따른 조석사주 발달[3][13][14]에 대한 연구가 지금까지 수행되어 왔다.

경기만에 발달한 대규모 조석사주의 상층부는 대부분 모래로 구성되어 있다[2][6][8][10]. 그렇기 때문에 1980-1990년대의 건설 경기로 인해 하천 골재자원이 고갈되면서 조석사주는 해양 골재원으로 활용되었다. 1990년대 중반부터 2000년대 초반까지 경기만에서 이루어진 연간 약 1800만 m<sup>3</sup>에 달하는 해사채취는 수도권 골재의 약 70%를 감당하였고, 해사 채취 인근 지역의 해사 부존량 감소 및 해안지형 변화와 같은 다양한 사회-환경 문제를 야기했다[15]. 2000년대 초반에는 환경단체와 지역주민들이 대이작도 해수욕장의 지형변화와 해양 생태계 변화 및 수산자원의 변동을 해사채취와 관련시켜 사회화함으로써 대이작도, 소이작도, 승봉도 그리고 조석사주인 풀등을 포함하는 인천 용진군 대이작도 인근지역 55.7 km<sup>2</sup>가 2003년 12월에 대이작도 주변해역 해양보호구역으로 지정되었다(Figure 1). 그리고 이렇게 지정된 대이작도 주변해역 해양보호구역의 관리 및 보존을 위해서는 해당 해양보호구역의 침식·퇴적 현황 파악이 필요하다.



**Figure 1:** Location of Daeijack Marine Protected Area, for which area of 55.7 km<sup>2</sup> is indicated by the pink dotted line. The tidal sand shoal, Puldeung, is marked by green area.

대이작도 주변해역 해양보호구역의 침·퇴적 현황을 파악하기 위해 2006년부터 실시된 시민모니터링 사업에서 전통적인 RTK-GPS 측량방법을 사용하여 대이작도에 위치한 큰풀안 해수욕장과 작은풀안 해수욕장에서 지속적인 침식이 발생하고 있음을 보고하였다[15]. 그러나 대이작도의 남

쪽에 위치한 풀등, 풀치 또는 하벌천퇴라고 불리는 동서 방향으로 약 3 km, 남북 방향으로 약 1.2 km에 이르는 조석사주에 대한 침·퇴적에 대한 연구는 원활하지 못하였다. 이는 침식·퇴적을 파악하는 지형변화에 대한 관측에 있어서 전통적인 측량방법을 사용하기에는 접근성이 원활하지 않을 뿐만 아니라, 간조시 짧은 시간동안 노출되는 약 3.6 km<sup>2</sup>의 넓은 지역을 측량해야 하는 어려움이 존재하기 때문이다.

접근성이 용이하지 않고 많은 시간과 비용이 소요되는 지역의 지형변화를 감시하기 위한 연구방법으로 인공위성이나 비디오모니터링과 같은 원격탐사가 활용되고 있다. 1970년대부터 해변의 swash 또는 runup에 적용된 영상처리 기법[16][17]은 1980년대에 미공병대 산하 Field Research Facility에서 연안사주 형태를 모니터링하는 기법[18]으로 적용된 이후 파랑 및 지형의 변화를 연구하는 분야뿐만 아니라 연안관리의 중요한 요소를 점하고 있다[19]. 국내에서는 최초로 Kim et al. [20]와 Kim et al. [21]이 각각 비디오와 카메라를 이용한 해안선 변화 관측기법을 제안한 바 있다. 이후 영상관측시스템 활용이 본격적으로 활용되고, 비디오모니터링에 기반을 두고 전국 주요 해수욕장의 장·단기 변화(해안선 폭과 면적)를 파악하는 해안선 모니터링 사업을 통해 연안관리에 활용하고 있다[22][24]. 최근에는 비디오 모니터링을 통해 낙동강 하구의 연안사주가 퇴적에 의해 바다로 전진하고 있다는 연구가 이루어진 바 있다[25][26]. 이렇듯 기존의 영상관측시스템 활용 연구는 주로 육지에 면한 해수욕장이나 해수면 위에 드러난 하구의 연안사주에 대한 것으로 섬에 위치하여 전기 공급이 원활하지 않고 접근성이 낮은 지역에서 조석에 의하여 잠시 드러나는 조석사주에 대한 모니터링은 쉽지 않았다. 본 연구에서는 대이작도 풀등의 지형변화를 관측할 수 있는 무인자동 카메라 관측·전송시스템을 소개하고, 이 시스템을 통하여 획득한 영상을 분석하여 풀등의 면적변화를 파악하고자 한다.

## 2. 무인영상 관측·전송시스템

### 2.1 영상 모니터링 원리

영상모니터링 기법은 카메라 또는 비디오를 이용하여 해변의 영상을 연속적으로 촬영하고, 획득된 영상을 실제지점의 정확한 좌표로 변환하여 해변의 영상을 실제좌표로 표현하는 것이다. 일반적으로 획득된 영상이미지 자체로 변화의 추이를 알 수 있지만, 정확한 정량적인 근거를 산출하기가 어렵다. 그렇지만, 좌표 변환된(rectified) 영상은 해변의 시간적인 변화는 물론 해안선의 변화를 정량적으로 관찰할 수 있는 틀을 제공함으로써 변화의 추이뿐만 아니라 그 변화의 정도를 산정할 수 있게 한다.

영상모니터링은 정밀도에 있어서는 다른 지형변화 관측 기법에 비하여 떨어지지만 적은 비용으로 장기간 관측이 가능하다는 장점이 있다. 최근 유·무선 인터넷의 발달로 기

기에 대한 원격 제어뿐만 아니라 획득된 자료의 전송도 가능하게 되었다. 그러므로 이러한 영상모니터링 시스템은 접근성이 낮은 섬 지역의 지형변화 모니터링에 적합하다고 할 수 있다.

2.2 영상모니터링 시스템 구성 및 적용

풀등의 지형변화를 모니터링하기 위하여 해발고도 188.7 m 인 대이작도 송이산 정상에 설치한 무인영상관측시스템은 크게 카메라, 네트워크 그리고 전원공급 장치로 구성된다. 카메라는 Canon Powershot sx500is 디지털 카메라를 사용하였으며, 카메라의 제원은 Table 1과 같다. Canon Powershot sx500is는 순정상태에서 매 10분마다 자동적으로 촬영할 수 없으며, 본 시스템에서는 컴퓨터로 카메라를 제어하지 않는다. 그렇기 때문에, CHDK(Canon Hack Development Kit)를 카메라에 설치하여 카메라에 걸려있는 제한사항을 제거함과 동시에 CHDK 스크립트 촬영 기능을 이용하여 매 10분마다 4608 × 3456의 해상도로 영상을 획득하도록 프로그래밍하였다. 디지털 카메라 1대로 풀등 전체 지역을 촬영할 수 없으므로, 2대를 사용하여 송이산과 가까운 풀등 동쪽 지역과 서쪽 지역을 분할 촬영하고 영상 분석을 실시할 때 기하 보정 후 접합하였다.

Table 1: Canon PowerShot sx500is digital camera specifications.

Image Sensor	1/2.3" CCD
Sensor Resolution	16 Megapixel
Focus Range	4.8~129.0mm
Dimension	104 x 69.5 x 80.2 mm
Weight	341 g

매 10분마다 얻은 영상자료를 실시간으로 실험실에 전송하기 위하여 자료의 저장 및 무선전송이 가능한 Eye-fi 메모리 카드를 카메라에 장착하였다. Eye-fi 메모리 카드는 촬영한 영상을 촬영 즉시 무선인터넷을 통하여 지정된 컴퓨터로 전송할 수 있는 기능을 가지고 있으므로 유·무선 인터넷 네트워크가 구성되어있지 않은 산 정상에서 무선 인터넷을 이용할 수 있도록 LTE(Long Term Evolution) 휴대전화를 설치하여 무선 네트워크를 구축하였다. Canon PowerShot sx500is로 찍은 영상 1장의 용량은 약 25 Mb 에 해당하므로 LTE 무선 네트워크가 아니면 원활한 전송은 불가능하다.

송이산 정상에 설치된 카메라 구동과 영상의 인터넷 전송을 위한 무선 네트워크 구동에는 안정적인 전력의 공급이 필요하다. 이를 위하여 3개의 12 V 18 Ah 축전지를 사용하였으며, 각각의 축전지는 2대의 카메라와 휴대폰에 전원을 공급한다. 이 축전지에 저장된 전력을 사용하게 되면 축전지가 방전되어 전력원으로서의 기능을 유지하지 못하므로, 태양광을 이용하여 자체적으로 전력 생산이 가능한

태양 전지판을 이용하여 낮에 생산된 전력을 축전지로 충전하는 방식으로 전원공급이 이루어지게 하였다. Figure 2는 시스템 구축에 사용된 장비들과 실제 설치 모습을 보여준다.



Figure 2: Video monitoring system. (a) Canon Powershot sx500is camera, (b) Eye-fi memory card, (c) 12 V 18 Ah battery, (d) View of camera system setup at the top of the mountain.

2.3 풀등 영상관측

2013년 8 ~ 10월에 걸쳐 송이산 정상에 풀등 영상을 관측할 수 있는 무인 영상 관측 시스템을 구축하였고 2013년 10월 16일부터 풀등의 영상관측을 시작하였다. 영상의 기하보정에 필요한 지상 기준점은 Spectra Precision의 Promark700 GNSS System을 이용하여 관측하였고, 관측 당시의 조위는 굴엽도의 조위를 활용하였다. Figure 3은 송이산 정상에 설치된 2대의 영상관측시스템으로 촬영한 분할된 풀등 영상을 보여주고 있다.

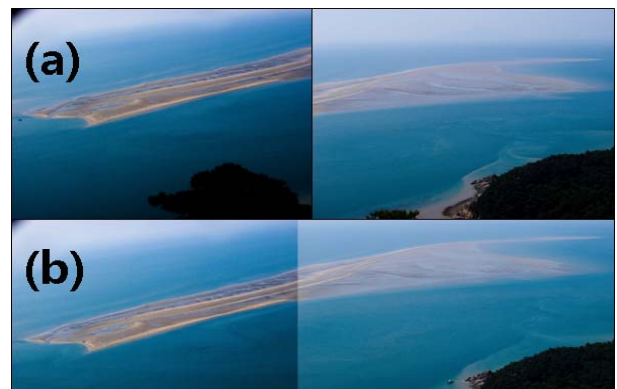


Figure 3: Image taken from top of Song-Ee mountain (a) Two images of Puldeung taken from two cameras, (b) One Puldeung image that was combined from two separate images.



### 3. 영상이미지 분석

#### 3.1 지상기준점(Ground Control Point) 관측 및 좌표변환

현장에서 촬영된 영상 자료를 이용하여 지형변화에 대한 정량적인 분석을 위해서는 영상의 기하보정을 실시해야 한다. 기하 보정은 좌표변환을 이용하여 원근감이 나타나는 빗각 촬영된 영상을 지도와 같이 정사영상으로 변환하는 것을 말한다. 즉, 임의의 점 A의 영상 좌표와 지상좌표의 관계를 통해서 수직상의 공중에서 촬영한 영상과 같이 사진 또는 비디오 영상이 갖고 있는 화면상의 굴절이나 원근효과가 제거된 정사영상으로 만드는 것이다. 정사영상의 경우 픽셀과 픽셀 사이의 거리를 이용하여 실제거리에 대한 계산이 가능하므로 영상의 정성적인 분석뿐만 아니라 해안선 변화 혹은 풀등 면적 등에 대해 정량적인 분석이 가능하다.

영상자료를 실제 좌표의 정사영상으로 변환하기 위해서는 좌표변환의 기준이 되는 지상기준점(Ground Control Point)을 관측하여야 한다. 풀등과 같은 조건대 갯벌 지형에 대한 지상 기준점의 관측은 썰물 동안 넓은 갯벌을 관측해야 하는 시간적인 제약을 갖고 있지만, 정확한 좌표변환을 위해서는 골고루 분포된 기준점에 대한 관측이 이루어져야 한다[27]. 그러므로, 본 연구에서는 대이작도 풀등에 지상 기준점이 고루 분포하도록 2013년 10월 26일에 Promark 700 VRS-GPS를 이용하여 16점을 측량하였으며, 2013년 11월 15~16일에는 36점을 측량하였다. Figure 4는 좌표변환된 풀등 영상에 지상기준점을 표시한 것이다. 풀등의 가장 자리를 따라 골고루 분포되어 있는 지상기준점이 잘 나타나 있다.

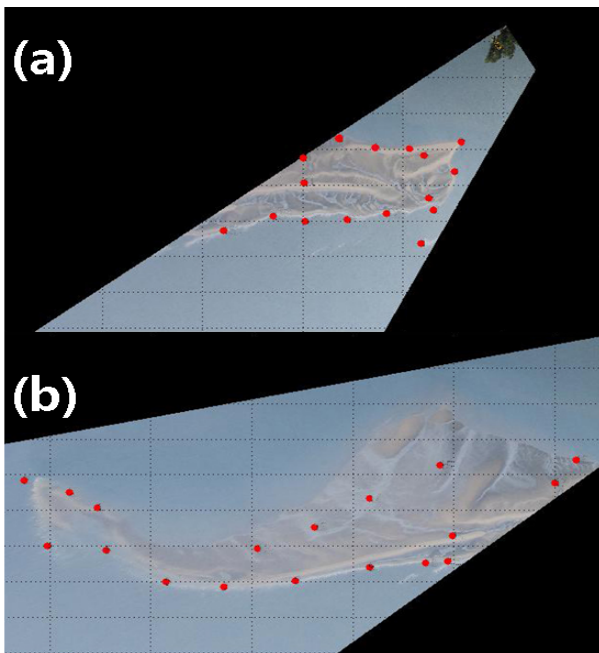


Figure 4: GCP coordinates displayed on the converted images (a) east of puldeung GCP, (b) west of puldeung GCP

본 연구에서는 지상기준점을 Matlab의 공간변환 함수인 “tform”에 입력하여, 송이산 정상에서 획득한 영상의 좌표를 수직상의 공중에서 촬영한 정사영상처럼 지상 좌표계에 투영하는 기하 보정을 실시하였다. Figure 5(a)는 빗각으로 촬영한 영상을 보여주고 있으며, Figure 5(b)는 지상기준점을 이용하여 Matlab ‘tform’으로 변환한 정사영상을 나타낸다. Figure 5(c)는 Figure 5(b)의 직사각형을 확대한 것으로 각 화소의 크기는 실제 거리에 대하여 일정한 축척으로 나타내고 있으므로 영상에서 원하는 지점간의 거리를 계산할 수 있다. 그렇기 때문에 동일한 조위를 가지는 두 장의 영상을 선별하여 기하보정을 실시하였고, 이렇게 얻은 두 장의 정사영상은 풀등 전체의 면적을 산출하기 위하여 하나의 영상으로 집합하였다(Figure 6).

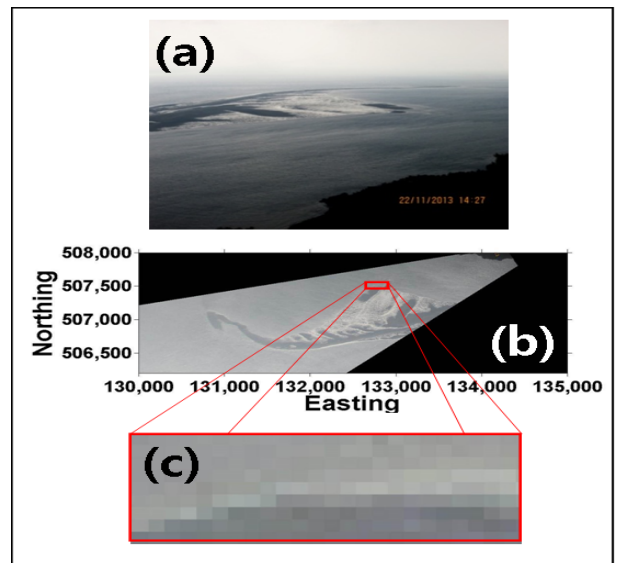


Figure 5: (a) Original image, (b) Rectified image, (c) Zoomed-in, rectified orthogonal pixel image.

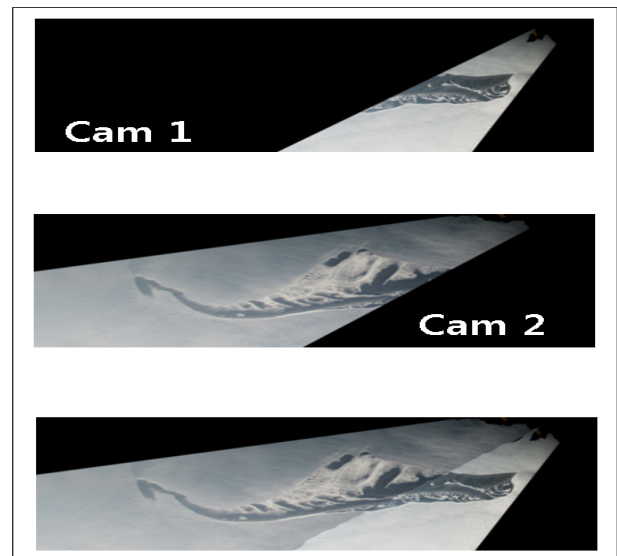


Figure 6: Rectified and combined image.

### 3.2 해안선추출과 면적산출

접합된 정사영상에서 풀등의 면적을 정확하게 산출하기 위해서는 풀등의 해안선을 추출해야 한다. 해안선을 추출하기 위해서는 영상에서 육지에 해당하는 부분과 바다에 해당하는 부분을 구분할 필요가 있다. 이를 위하여 노출된 풀등에 해당하는 픽셀의 색을 구성하는 RGB(Red, Green, Blue)값을 분석하였다. 육지와 바다의 경계에 해당하는 해안선을 상대적으로 쉽게 추출하기 위하여 Aarinkhof *et al* [28]에서 제안한 방법에 따라 Matlab의 함수인 'imadjust'을 사용해서 영상의 색상 대비를 더 크게 만들었다. 이렇게 대비가 커진 영상에서 노출된 풀등에 해당하는 RGB값의 평균과 범위를 구하고, 이 범위에 해당하는 픽셀을 풀등으로 분류하였으며, 그 이외의 RGB값을 가지는 픽셀은 바다로 분류하였다. 이렇게 풀등으로 인식한 픽셀들의 경계를 연결하여 해안선을 추출하였으며, 그 결과는 육안으로 확인하고 오차가 발생하는 부분은 수작업으로 보정하였다. 이렇게 추출·보정된 해안선은 하나의 폐곡선으로 만들었다 (Figure 7).

해안선 추출이 이루어진 이후, 해안선을 구성하는 폐곡선을 이용하여 풀등 면적을 산정하였다. 즉, 폐곡선 내부의 픽셀의 개수를 세고, 픽셀의 개수에 각 픽셀의 면적을 곱하여 면적을 계산하였다. 각 픽셀의 면적은 기하보정된 영상에서 하나의 픽셀이 차지하는 길이를 평가하면 가능하다. 픽셀 길이는 x-방향이 0.9998 m이고 y-방향이 0.9995 m로서, 하나의 픽셀이 표현하는 면적은 0.9993 m<sup>2</sup>이다. 그리고 영상에서 추출된 풀등의 경계선 폐곡선을 이용하여 폐곡선 내부의 픽셀의 개수를 계산하였고, 이 값에 각 픽셀이 표현하는 면적을 곱하여 풀등의 면적을 산출하였다.

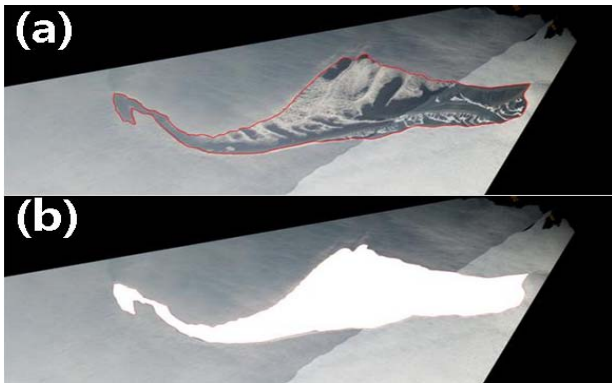


Figure 7: (a) Obtained by extracting the coastline boundary, (b) Inside filled with white pixels in coastlines

### 3.3 영상 기하보정의 오차

풀등의 면적을 산출하는데 있어서 영상자료분석에 따르는 오차, 즉, 좌표변환에 따라 발생하는 오차를 산정하는 것이 중요하다. Matlab을 이용하여 기하보정하였을 때 발생하는 오차를 산정하기 위하여 두가지 방법을 이용하였다.

먼저 첫 번째 방법은 각각의 지상기준점의 오차를 산정하는 것으로 Aarinkhof *et al.*[28]을 따라 원본 영상에 지상기준점 좌표를 표시하고, 기하보정이 이루어진 영상에 지상기준점의 좌표를 표시하였다(Figure 8).

즉, Figure 8 (a)에서 붉은색 점은 지상기준점 중 하나의 좌표에 표시한 것이고, Figure 8 (b)는 Figure 8 (a)의 붉은색 점을 그대로 유지한 채 좌표 변환된 정사영상을 보여주고 있다. Figure 8 (b)에는 붉은색으로 표현된 변환된 지상기준점은 이미지 변환 과정에서 두 개의 점으로 표현이 되었고, 변환된 지상 기준점이 표시되어야 하는 좌표 위치는 파란색 점으로 나타내었다. 이 점들의 거리가 좌표변환에 따른 오차를 나타낸다. 만약, 좌표 변환에 오차가 발생하지 않는다면, 붉은색과 파란색 점들이 중첩되어 나타날 것이다.

두 번째 방법은 지상기준점을 꼭짓점으로 하는 다각형의 면적의 차를 이용한 것으로 실제 지상기준점의 GPS좌표와 기하보정된 지상기준점의 픽셀좌표를 이용하여 작성한 다각형의 면적을 비교하였다(Figure 9). Figure 9는 변환된 풀등의 정사영상과 지상기준점을 꼭짓점으로 하는 다각형을 보여주고 있다. 파란 다각형은 실제의 지상기준점의 좌표를 꼭짓점으로 하는 다각형이고, 붉은 다각형은 변환된 지상기준점의 좌표를 꼭짓점으로 하는 다각형으로 각각의 면적은 파란 다각형은 1.7755 km<sup>2</sup>이고, 붉은 다각형은 1.7780 km<sup>2</sup>이다.

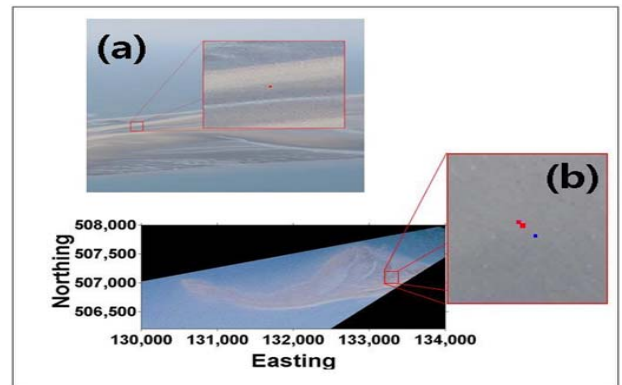


Figure 8: Two cases (a and b) of error estimation. Red dot – transformed coordinated in the original image; Blue dot – real coordinate of GCP.

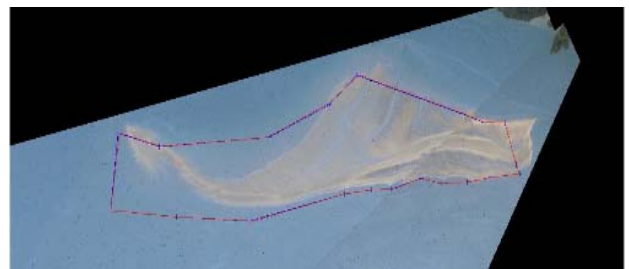


Figure 9: Puldeung Image and polygon using ground control points. Blue polygon – real coordinate of GCP; Red polygon – transformed coordinate of GCP.

첫 번째 방법으로 산정한 각 지상기준점에 대한 기하보정 오차는 일반적으로 카메라로부터 거리가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이며, 각 지상기준점이 가지는 오차 중 가장 작은 값은 0 m로 실제좌표와 변환좌표간의 오차가 발생하지 않았다. 오차가 가장 큰 지상기준점은 카메라와 먼 지역에서는 24 m로 나타났다. 전체 지상기준점에 대한 기하보정 평균오차는 7 m이므로, 정사영상의 오차는 ±7 m로 산정하였다.

두 번째 방법으로 산정한 면적의 차이는 0.0025 km<sup>2</sup>으로 기하보정 시에 발생하는 면적의 오차는 0.0025 km<sup>2</sup>로 산정하였다. 하지만 이 오차 값은 첫 번째 방법으로 산정한 오차보다 매우 작은 값을 가지므로 폴등의 면적 변화는 첫 번째 방법으로 산정한 오차 값을 고려하였다.

#### 4. 폴등 면적 변화

2012년에 해양환경관리공단에서 대이작도 해양보호구역에 대한 조사관찰을 실시하였다[29]. 조사관찰에서는 KOMPSAT-2 위성영상 9매 가운데 조위가 비슷한 2008.04.08과 2010.05.13의 영상으로부터 폴등의 면적을 산출하였다. 이 두 영상의 조위는 각각 137과 148cm로 두 영상간의 조위 차이는 약 10cm 이다. 조위 137 cm인 2008년 4월 8일 폴등 면적은 약 1.79 km<sup>2</sup>이었고, 조위 148 cm 인 2010년 5월 13일 폴등 면적은 약 1.59 km<sup>2</sup>로 산출하였다. 이 두 시기에 산출된 면적을 서로 비교한 결과 2008년에서 2010년까지 약 2년 동안 폴등의 면적이 약 0.2 km<sup>2</sup> 감소하였다고 보고하였다.

본 논문에서는 조사관찰보고서에 수록된 폴등 면적과 비교하기 위하여 같은 조위를 갖는 시기인 2013년 11월 16일과 동년 11월 22일에 촬영된 영상에 대해 폴등 면적을 계산하였고, 조위에 따라 발생하는 오차를 줄이고자 동일한 조위를 가지는 영상끼리 비교하였다. 먼저 조위가 137 cm 일 때인 2013년 11월 16일 10:55에 촬영된 영상과 2013년 11월 22일 11:36에 촬영된 영상을 이용하여 산출한 면적은 각각 1.376과 1.367 km<sup>2</sup>으로 평균은 약 1.37 km<sup>2</sup>이다. 그리고 조위가 148 cm에 해당하는 2013년 11월 22일 14:26 영상에서 획득한 폴등의 면적은 약 1.24 km<sup>2</sup>이다. 그러므로 조위가 137 cm인 경우 2008년부터 2013년까지 약 0.42 km<sup>2</sup>가 감소하였으며, 조위가 148 cm인 경우 2010년부터 2013년까지는 약 0.35 km<sup>2</sup>가 감소하였다.

기하보정 오차를 이용하여 위에서 산정된 폴등의 면적에 기하보정 오차를 포함하였을 경우의 면적을 재 산정하였다. 추출한 해안선에 기하보정 오차인 약 ±7 m를 적용하여 산정한 면적은 Table 2에 나타났다. 조위가 137 cm일 때는 최대 오차가 0.085 km<sup>2</sup>이고 조위가 148 cm일 때는 최대 오차가 0.089 km<sup>2</sup>이기 때문에 면적 감소의 경향에 영향을 미치지

않는다. 그러므로 지난 5년간 폴등은 지속적으로 면적이 감소하고 있으며, 면적감소율은 무시할 정도로 낮지 않다고 볼 수 있다.

Table 2: Error estimation of Puldeung area.

Acquisition Time (Tidal Level)	Boundary Line	Area (km <sup>2</sup> )
2013-11-16 10:55:00 (137 cm)	Origin	1.377
	+7m	1.462
	-7m	1.339
2013-11-22 11:36:00 (137 cm)	Origin	1.368
	+7m	1.441
	-7m	1.325
2013-11-22 14:26:00 (148 cm)	Origin	1.238
	+7m	1.327
	-7m	1.200

#### 5. 토의 및 결론

본 연구에서는 접근성이 낮고 전력공급이 어려운 도서 지역에서 해안지형을 관측하는 방법으로 카메라를 이용한 자동영상관측시스템을 대이작도의 조석사주(폴등)에 도입함으로써 전통적인 지형관측 방법의 단점을 극복하고 장기간 연속적 관측이 가능하도록 하였다. 특히, 본 연구에서는 카메라에서 무선으로 영상을 휴대전화로 전송하는 Eye-fi와 휴대전화에서 연구실로 영상을 무선으로 전송하는 LTE를 사용하여 실시간으로 영상전송이 이루어지도록 하였다.

대이작도 주변해역 해양보호구역이 지정되는데 큰 역할을 한 대이작도 폴등은 경기만 남단에서 이루어지는 해사 채취의 영향을 가장 크게 받는 조석사주로서, 본 연구에서 2008년부터 5년간에 걸쳐 지속적인 침식을 받고 있다는 것을 밝혔다. 그렇지만, 이러한 지형변화가 계절적인 변동폭 내에 위치하는지, 아니면 장기적인 침식현상의 일환으로 발생하는가에 대한 규명은 현재 지속적으로 획득하고 있는 영상자료를 장기간 축적하고 분석함으로써 가능할 것이다. 그러나 대이작도의 해빈이 2007년부터 지속적으로 침식되고 있는 점을 고려할 때[15] 폴등의 침식과도 관련성이 있을 것으로 사료된다. 특히 향후에는 폴등 주변 해역에서의 현장 관측을 통하여 바람, 파랑 그리고 조석과 조류 등 외력에 의한 퇴적물이동 메커니즘의 규명이 필요하며 이를 통해서 외력에 반응하는 폴등의 지형변화 원인을 밝힐 수 있을 것으로 보인다.

#### 후 기

본 연구는 국립해양조사원 ‘인천항만 매몰 저감방안 연구’ 용역지원과 (주)지오시스템리서치의 연안침식 지역거점 대학사업 지원으로 수행되었습니다.

## References

- [1] B. C. Kum and D. H. Shin, "Dune migration on an offshore sand ridge in the southern gyeonggi Bay," *Ocean and Polar Research*, vol. 35, no. 1, pp. 51-61, 2013 (in Korean).
- [2] H. G. Bang, H. Y. Lee, J. C. Jang, C. W. Lee, and J. G. Oh, "History and characteristics of tidal sand ridges in Kyeonggi bay, Korea," *Journal of the Korean Society of Oceanography*, vol. 29, no. 3, pp. 278-286, 1994b (in Korean).
- [3] D. Knuth. *The Art of Programming*. 2nd ed. Addison-Wesley, 1973.
- [4] Y. S. Park, G. G. Ji, and H. G. Bang, *Basic Research on Marine Environmental Geology of the Kyeonggi Bay*, Technical Report KR-95(B)-9, Korea Institute of Geoscience And Mineral Resources, Korea, 1995 (in Korean).
- [5] T. S. Jang, *Stratigraphic Development of Large-scale, Tidal Sand Bars in Gyeonggi Bay*, Technical Report JP2006\_024-2007(1), Korea Institute of Geoscience And Mineral Resources, Korae, 2007 (in Korean).
- [6] H. G. Bang, C. W. Lee, and J. G. Oh, "Origin and characteristics of sand ridges in the western continental shelf of Korean peninsula," *Journal of the Korean Society of Oceanography*, vol. 29, no. 3, pp. 217-227, 1994 (in Korean).
- [7] S. S. Chun, G. H. Min, and I. T. Lee, *Evolution of Transgressive Subtidal Sand Ridges and Intertidal-Flat Bodies in the Kyeonggi Bay Area, and Its Application to Ancient Transgressive Coastal Deposits*, Research Report to Korea Research Foundation, R01-2001-000-0008-0, pp. 54, 2003 (in Korean).
- [8] Y. K. Kwon, "Late quaternary sequence stratigraphy in Kyeonggi bay, mid-eastern yellow sea," *Journal of the Korean Earth Science Society*, vol. 33, no. 3, pp. 242-258, 2012 (in Korean).
- [9] Y. O. Lee, S. I. Choi, and G. C. Jung, "Seismic stratigraphy and sedimentary environment of the Dukjuk-Do sand ridge in western Gyeonggi bay, Korea," *Journal of the Engineering Geology*, vol. 24, no. 1, pp. 9-21, 2014 (in Korean).
- [10] J. Y. Choi, Y. K. Kwon, and G. S. Chung, "Late quaternary stratigraphy and depositional environment of tidal sand ridge deposits in Gyeonggi bay, west coast of Korea," *Journal of the Korean Earth Science Society*, vol. 33, no. 1, pp. 10-19, 2012 (in Korean).
- [11] B. C. Kum, D. H. Shin, S. K. Jung, Y. K. Lee, and J. G. Oh, "Morphological characteristics and control factors of bedforms in southern Gyeonggi bay, yellow sea," *Journal of the Korean Earth Science Society*, vol. 31, no. 6, pp. 608-624, 2010a (in Korean).
- [12] B. C. Kum, D. H. Shin, S. G. Jung, S. Jang, and J. G. Oh, "Morphological features of bedforms and their changes due to marine sand mining in southern Gyeonggi bay," *Ocean and Polar Research*, vol. 32, no. 4, pp. 337-350, 2010b (in Korean).
- [13] M. J. Park, *Modelling of Sediment Transport and the Formation of Sand Shoal at Macro-tidal Area*, Research Report to Korea Research Foundation, pp. 32, 1999 (in Korean).
- [14] D. L. Choi and S. R. Kim, "Transport of sandy sediments in the yellow sea off Tae-An peninsula, Korea," *Journal of the Korean Society of Oceanography*, vol. 27, no. 1, pp. 66-77, 1992 (in Korean).
- [15] Incheon Regional Maritime Affairs & Port Authority, "2010 Citizen's Monitoring of Daeijackdo Marine Protected Area," pp. 63, 2010 (in Korean).
- [16] R. A. Hollman and A. H. Sallenger, Jr, "Set-up and swash on a natural beach," *Journal of Geophysical Research*, vol. 90, no. C1, pp. 945-953, 1985.
- [17] J. W. Maresca and E. Seibel, "Errestrial photogrammetric measurements of breaking waves and longshore currents in the nearshore zone," *Proceedings of the 15th Conference on Coastal Engineering*, pp. 681-700, 1976.
- [18] R. A. Hollman and R. T. Guza, "Measuring run-up on a natural beach," *Coastal Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 129-140, 1984.
- [19] A. Kroon, 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, "Application of remote sensing video systems to coastline management problems," *Coastal Engineering*, vol. 54, no. 6-7, pp. 493-505, 2007.
- [20] T. R. Kim, G. S. Lee, and G. D. Seo, "Review of coastal environmental measurement techniques using video monitoring," *Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, vol. 10, no. 1, pp. 45-53, 1998 (in Korean).
- [21] J. B. U. Kim, Y. A. Park, I. S. Oh, B. G. Kim, and G. S. Choi, "Beach profile estimation using a photogrammetry," *Journal of Korean Society of Oceanography*, vol. 3, no. 4, pp. 228-233, 1998 (in Korean).

Korean).

- [22] T. S. Kang, S. Y. Nam, and M. H. Kim, "Analysis of coastal erosion in Korea using real-time video monitoring Technique, Korean," Korean Society of Hazard Mitigation, vol. 7, no. 1, pp. 47-56, 2007 (in Korean).
- [23] T. S. Kang, K. H. Kim, S. Y. Nam, and C. S. Hwang, "The characteristics of Haeundae beach morphodynamics using video monitoring method," Proceedings of the Korea Society of Marine engineering, pp. 347-348, 2009 (in Korean).
- [24] Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, "Development of coastal erosion monitoring system," pp. 209, 2009 (in Korean).
- [25] H. S. Yun, S. U. Ryu, and T. S. Kang, "Monitoring system of sandbar variation of estuary using video-based technique," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 32, no. 4, pp. 630-636, 2008 (in Korean).
- [26] J. H. Park, H. S. Yun, and C. R. Ryu, "Video monitoring of shoreline changes of an offshore bar in the Nakdong River estuary, South Korea," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 34, no. 4, pp. 575-584, 2010 (in Korean).
- [27] T. L. Kim and S. G. Park, "Study on intertidal flat topography observation using camera images," Journal of Korean Society of Oceanography, vol. 11, no. 4, pp. 145-151, 2006 (in Korean).
- [28] S. G. J. Aarinkhof, I. L. Turner, T. D. T. Dronkers, M. Caljouw, and L. Nipius, "A video-based technique for mapping intertidal beach bathymetry," Coastal Engineering, vol. 49, no. 4, pp. 275-289, 2003.
- [29] Korea Marine Environment Management Corporation, "Research and monitoring of 2012 marine protected area," 11-1611000-002539-10, pp. 259, 2012 (in Korean).