

Original Article

## GPS와 위성영상자료를 활용한 낙동강 하구 사주섬의 식생대선 비교 연구

이상협<sup>1</sup> · 윤한삼<sup>2,\*</sup> · 김민수<sup>1</sup> · 장성철<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>부경대학교 해양산업공학(협) 대학원생  
<sup>2</sup>부경대학교 생태공학과 교수

### A Comparative Study on Vegetation Frontline at Deltaic Barrier Island in the Nakdong River Estuary Using GPS and Satellite Image Data

Sang-Hyub Lee<sup>1</sup>, Han-Sam Yoon<sup>2,\*</sup>, Min-Su Kim<sup>1</sup>, and Sung-Chul Jang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, Interdisciplinary Program of Ocean Industrial Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 48515, Korea

#### 요 약

본 연구는 낙동강 하구 사주섬인 진우도, 신자도, 도요동에 대해서 DGPS를 이용하여 사주 식생대 전선(vegetation frontline)을 조사하고 인공위성 영상 해석결과와 비교 분석하였다. 이를 통해 향후 식생대 전선 조사 방법에 대한 신뢰도를 증대시키고 기존 현장 조사 및 분석 방법에 있어서 보완점을 찾고자 하였다. 결과적으로 본 연구에서는 현장조사가 어려운 경우 위성 영상 자료를 바탕으로 식생대선 변화 과정을 일부 분석할 수 있음을 확인하였다. 위성 영상을 통해 식생대선을 추출할 경우, 현장 조사결과에 비해 대상해역에 태풍이 다수 내습한 경우에는 약 60%, 태풍이 내습하지 않은 경우에는 약 85%의 유사성을 확보할 수 있다고 판단된다.

**Abstract** – In this study, the vegetation frontline of Jinu-do, Shinja-do, and Doyo-deung in the Nakdong River estuary was determined using DGPS and then compared with the analysis results of satellite image data. The aim of the study was to increase the reliability of the vegetation frontline survey method and to find a complement procedure to the existing field survey/analysis method. It was confirmed that changes in the vegetation frontline can be partially analyzed based on satellite image data when field investigations are difficult. Compared to field survey data, the vegetation frontline data obtained from satellite images had a similarity of about 60% at a site influenced by a typhoon and about 85% at a site with no typhoon influence.

**Keywords:** Nakdong river estuary(낙동강 하구역), vegetation frontline(식생대선), Satellite image(위성 영상), DGPS field survey(DGPS 현장조사)

#### 1. 서 론

낙동강 하구 사주는 해안침식에 대한 효과적 대응 방안인 동시에 배후 연안 재해를 경감시키는 자연방파제로서의 역할도 수행하고 있는데 피복식생의 성장에 영향을 주어 해빈 모래 및 지하수위 저장고의 가치 및 중요성이 대단히 높고 또한 해안방재 측면에서 내

습하는 파랑에너지를 소산시키는 주요 기체로 작용한다(Park *et al.*[2016], Kim *et al.*[2019]).

하지만 사주 지형은 해양파랑의 영향력이 크게 작용한 결과로 변화하고(Kim[2005]; Yoo[2006]; Yoon *et al.*[2007]) 이는 해안표착물 거동과 배후 식생대 공간(Vegetation zone)의 변화 과정에 영향을 미치게 된다. 특히 해안표착물은 해안공학적 측면에서 해빈 안정화 및 배후 식생대 전선 발달에 매우 중요한 요소라고 알려져 있다(Yoon and Yoo[2014]).

\*Corresponding author: yoonhans@pknu.ac.kr



Fig. 1. Satellite image of the Nakdong River estuary, Busan. The field surveys for this study were conducted in the vegetation zones of Jinu-do, Shinja-do, and Doyo-deung.

이러한 측면에서 Yoon and Yoo[2014]과 Kim *et al.*[2019]은 Fig. 1의 낙동강 하구 사주섬(울타리섬)인 진우도, 신자도, 도요등에 대해서 DGPS를 이용하여 사주 전면에 서식하는 사구식물의 식생대 전선(vegetation frontline, 이하 식생대선)을 조사하고 그 공간적인 변동 특성을 고찰하였다.

그러나 기존 현장 조사 방법은 육상 및 해상 날씨 조건, 현장조사 선박 운항 가능 여부, 조사 장비의 작동 여부 등 다양한 제약 조건이 따를 뿐만 아니라 조사 인력이 약 10 km에 해당하는 모래 지반의 거리를 직접 걸어서 이동을 해야 하는 어려움이 따른다. 따라서 조사 방법에 있어 시간과 공간, 경제적인 제약 조건을 해결하기 위한 효율적인 방안으로 기존에 제공되어지는 인공위성 영상 기반의 지도 프로그램으로부터 이와 같은 현장조사 대체 가능성이 제시되었다. 하지만 이러한 방법이 직접 현장조사 결과와 어느 정도

의 차이를 보이며 어떤 측면에서 그 정도를 줄일 수 있는지에 대한 기초 연구가 필요하다고 할 것이다.

이에 본 연구에서는 기존 Kim *et al.*[2019] 연구의 연장선에서 GPS에 기반한 현장 조사를 추가 수행하고 획득된 연구결과를 인공위성 영상 해석결과와 비교함으로써 향후 진출한 식생대 전선 조사 방법에 대한 신뢰도를 증대시키고 기존 현장 조사 및 분석 방법에 있어서 보완점을 탐구하는데 목적이 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 태풍 및 해양파랑 내습 현황

연구 대상해역의 사주 지형 변화에 영향을 미치는 내습 태풍과 해양파랑 특성을 살펴보기 위해 Fig. 2와 같이 기존 인근 해역에서

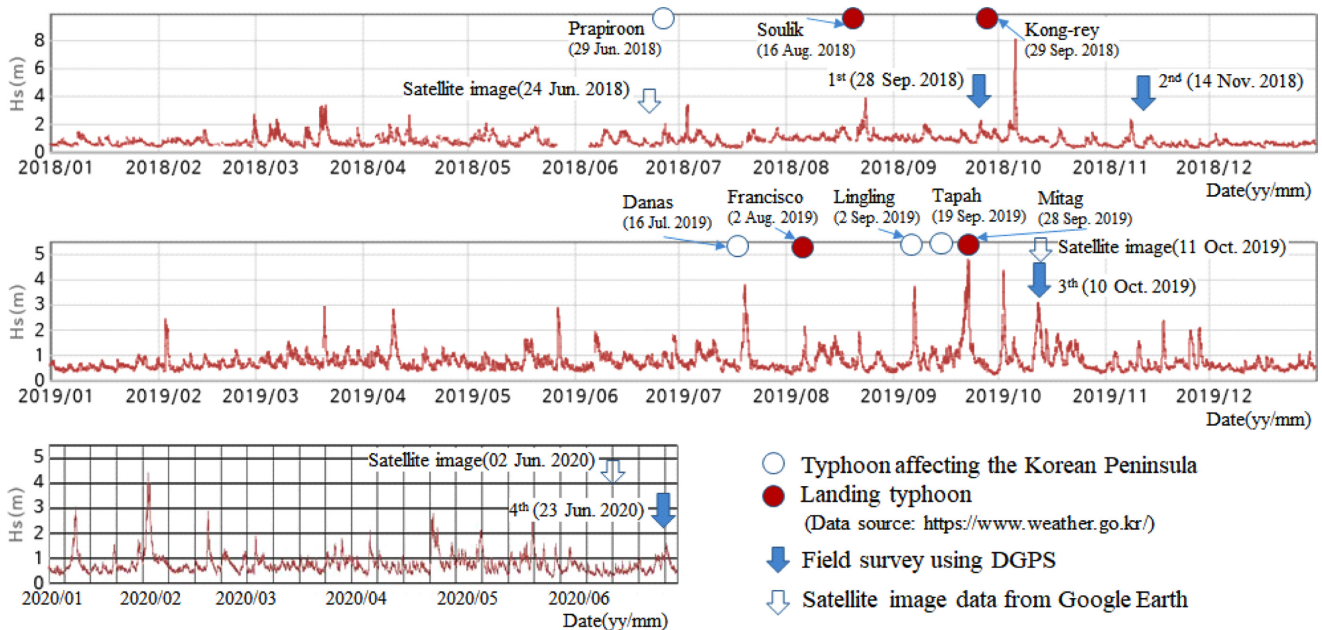


Fig. 2. Typhoons that have affected the Korean Peninsula since 2018 and the current status of significant waves occurring in the target sea area.

실관측된 파랑관측자료를 수집하여 분석하였다.

태풍 자료는 기상청(KMA, 2020)에서 제공하는 자료로서 2018년 1월 이후 2020년 6월까지 우리나라에 직·간접적으로 영향을 준 태풍에 한정하였다. 결과적으로 우리나라에 영향을 미친 태풍의 개수는 총 8개이며 그 중에서 한반도에 상륙한 태풍은 Kong-rey(29 Sep. 2018)를 비롯하여 총 4개이다. 또한 해양파랑 자료는 전국파랑관측 자료 제공시스템(<http://wink.kiost.ac.kr>)에서 제공하는 2018년 1월부터 2020년 6월까지의 부산 감천항 전면해역(N35.0138, E128.9966)에서 관측된 자료를 활용하였다. 내습한 해양파랑 특성을 살펴보면 유의 파고( $H_s$ )가 4 m 이상인 경우는 대체로 태풍 내습시기에 발견되며, 간헐적으로 2~4 m 정도의 파랑이 내습하고 그 외 시기에는 대체적으로 1 m 정도의 평상 파고 분포를 보이고 있음을 알 수 있다.

## 2.2 식생대선 현장조사

DGPS(Differential Global Positioning System)를 사용하여 2018년 9월 28일(1차)과 11월 14일(2차), 2019년 10월 10일(3차), 2020년 6월 23일(4차)의 총 4회의 식생대선 추적 현장 조사를 수행하였다.

현장 조사 시기와 태풍 및 해양파랑 내습 현황과의 비교를 위해 Fig. 2에 현장조사 시점을 ↓로 표기하여 나타내었다. 1차와 2차 시기 기간에는 태풍 Kong-rey(29 Sep. 2018)가, 2차와 3차 시기 기간에는 Mitag(28 Sep. 2019)을 비롯하여 5개의 태풍이 직·간접적으로 영향을 미쳤고 3차 시기 이후로는 태풍의 내습이 없었다.

현장조사 방법은 진우도, 신자도, 도요등의 서측에서 동측으로 식생대선을 따라서 이동하면서 식생대선의 위성좌표를 획득하였다. 사용되어진 DGPS는 GIR1600(SOKKIA TOPCON CO., LTD 제작)를 사용하였다. 현장조사 및 분석 방법에 대한 보다 상세한 내용은 Yoon and Yoo[2014]와 Kim *et al.*[2019]의 논문을 참조하기 바란다. 식생대 전선 현장 관측시 각 조사시점에서의 개인 측량 오차(사용자의 기기 기구의 취급 방법에 따른 오차)를 줄이기 위해 4회 관측시 동일 인물이 트래킹을 실시하였다. 또한 지점별로 특이하거나 식생대 전선의 변화가 큰 지점의 경우 현장에서 사진을 촬영하여 과거 자료와 비교 및 고찰하였다.

## 2.3 위성 영상 해석 방법

구글(Google)에서 제공하는 지도 프로그램(Google Earth)에서 2018년 6월 24일(1차), 2019년 10월 11일(2차), 2020년 6월 02일(3차)의 총 3회의 인공위성 영상을 획득하여 식생대선 추적 조사를 수행하였다. Fig. 2에 위성 영상이 획득된 시기를 □로 표기하였다.

DGPS 현장 조사 결과와 비교를 위해서 도요등의 임의 영역을 선정하여 위성 영상으로부터 식생대선을 추출하였다. 도요등은 기존 연구에서 밝혀진 바와 같이 낙동강 하구둑에서 외해로 담수가 흘러나가는 길목임과 동시에 외해에서 생성되는 해양파랑의 영향(주입사파향은 북동(NE), 남서(SW))을 가장 직접적으로 받는 지역으로 식생대의 변화폭이 가지적으로 가장 잘 드러나는 곳이다(Kim[2005]).

이는 가장 최근 생성 과정에 있는 도요등이 다른 사주섬에 비해 지반고가 낮기 때문이라 할 수 있는데, Eom and Lee(2017)은 위성

영상을 활용한 도요등의 해안선 변화가 북·남 방향에서는 약 20 m/yr, 동·서 방향에서는 약 -20~10 m/yr 변화율을 가진다고 제시하여 진우도와 신자도보다 해안선 변화가 많다고 제시한 바 있다.

도요등에서의 비교 임의 영역은 Fig. 1의 직사각형 A area(위도 35°3'4.67"N, 경도 128°56'47.72"부터 위도 35°2'56.19"N, 경도 128°57'4.53"까지의 영역)를 대상으로 하였으며, 동서 방향의 계측 거리는 약 424.7 m이었다. 해당 위성 사진을 Adobe Photoshop 프로그램을 사용하여 100 m 당 11.63 cm의 축척비를 구했으며 이를 통해 25 m당 2.91 cm의 간격으로 단면(transect)을 설정하여 PL-01~PL-16으로 구분하였다. 사실 단면 간격이 조밀할수록 식생대선의 전진 및 후퇴 거리의 변화량이 정밀하게 나타날 것으로 예측되나 본 연구에서는 기존 관련자료와의 연속적인 해석 방법을 적용하기 위해 Yoon and Yoo[2014]의 조사방법과 동일하게 적용하여 수행하였다.

또한 각 해당하는 단면에 대해서 2018년 식생대선을 기준으로 2019년 및 2020년의 식생대선의 위치 및 거리를 파악하였으며 시기별로 전진 및 후퇴거리를 판단하였다. 위성 영상의 단면상에서 식생대선이 바르한(Barchan)의 존재 및 불규칙적인 식생대선이 발견되는 경우 해안 방향으로 가장 많이 전진한 지점을 기준으로 거리를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 식생대선 GPS 현장 조사 결과

DGPS를 사용하여 2018년 9월 28일과 11월 14일, 2019년 10월 10일, 2020년 6월 23일(4회 관측 실시)에 낙동강 하구 사주섬인 진우도, 신자도, 도요등 전면의 식생대 전선의 변화를 추적 관찰하였다. 4차 시기 동안의 식생대선 추적 조사 결과를 Fig. 3에 제시하였다.

낙동강 하구역의 서쪽에 위치한 진우도의 경우, 1차 시기와 2차 시기에 큰 식생대선 변화를 보였으며 이후의 3차, 4차 시기에서는 후퇴하였던 식생대선이 전진하며 1차 시기와 유사한 형태를 나타내는 것을 확인하였다(Fig. 3(A)). 시간 경과에 따라서 식생대선의 변화가 급격하게 발생하는 지역은 진우도 서측과 중앙부로, 2차 시기에서 진우도 서측 지역(J1)에서는 최대 69.8 m, 중앙부(J3)에서는 최대 84.4 m 후퇴한 결과를 나타내었다. 하지만 3차와 4차 시기에는 1차 시기로 회복한 것을 확인할 수 있다. 동측 지역(J4~J5)의 경우, 후퇴하였던 식생대선이 다시 전진한 서측(J1)과 중앙부(J3)와는 달리 식생대선의 변화가 없거나 북측으로 일부 후퇴하는 경향을 나타내었다. 식생대선의 공간 변화의 이유로, 태풍 Kong-rey(유의파고 8.6 m)의 영향으로 후퇴한 식생대선이 시간 경과후 점차 전진하여 1차 시기로 회복한 것을 확인하였으며, 2019년 9월과 10월에 내습한 태풍(Tapah, 유의파고 7.2 m)의 경우 식생대선의 변화에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

다음으로 신자도의 경우, 식생대선 변화가 진우도와 유사한 경향을 보이는 것을 확인하였다(Fig. 3(B)). 1차 시기와 2차 시기에

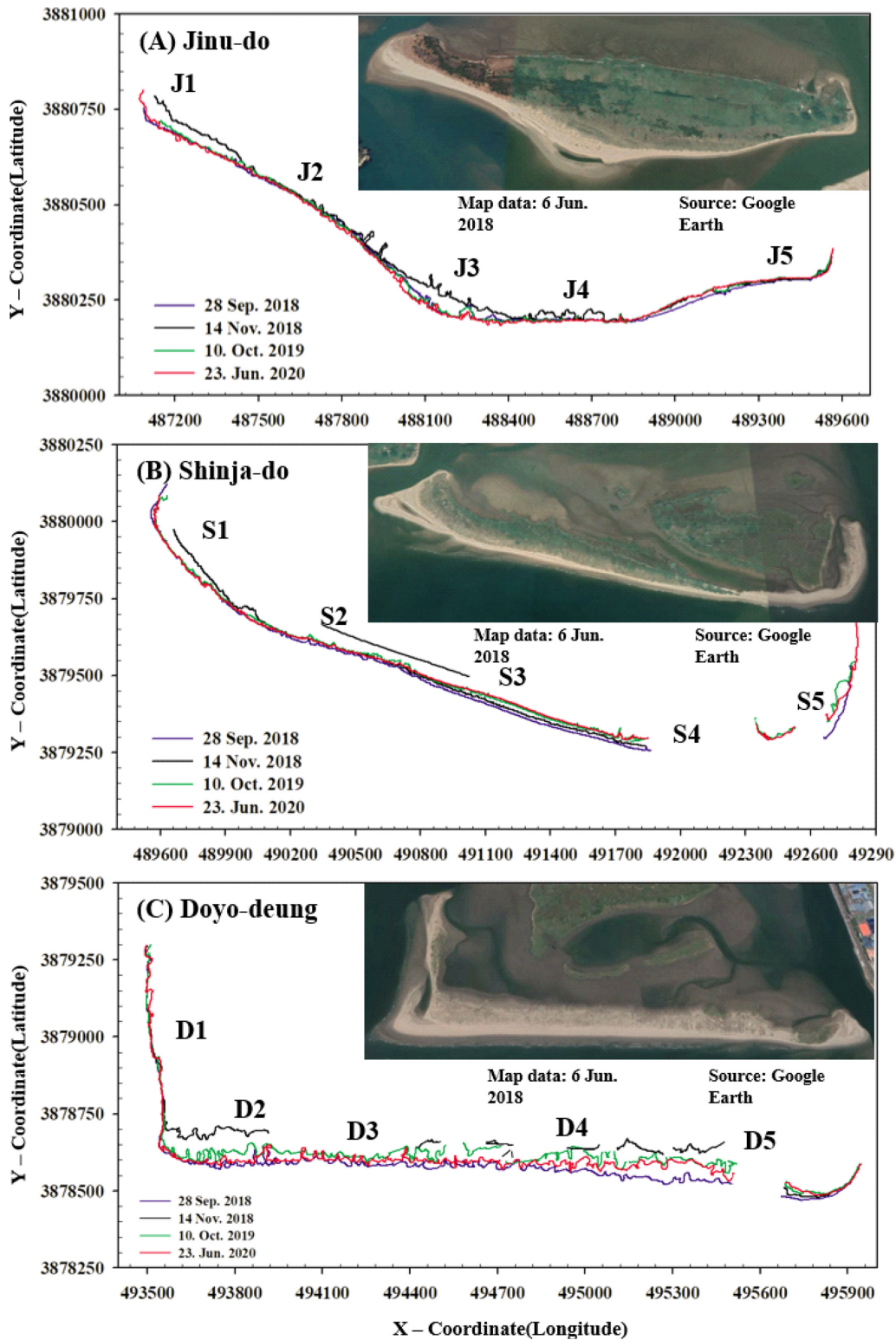


Fig. 3. Comparison of vegetation tracking data from a GPS survey in Nakdong River Estuary.

후퇴하였던 식생대선이 이후 3차, 4차 시기에서 외해로 전진하며, 회복되는 모습을 보였으나, 중앙부(S3~S4)에서는 진우도 동측 지역과 유사하게 후퇴하는 경향을 나타내었다. 서측의 S1 영역의 경우에는 최대 75.8 m 후퇴, 중앙부 S2~S3 영역의 경우 식생대 전진

이 약 40~54 m 정도 후퇴한 결과를 나타내었으며, S1의 서측 끝, S4의 동측에 존재하던 식생대는 2차 시기에는 사라지고 없었으나, 3차 시기와 4차 시기에서 회복한 모습을 나타냈다. 신자도 식생대선의 공간 변화 이유로, 1차 조사 때 식생이 뿌리를 내려 안정된 상

태를 유지하기 이전에 외해 외력환경에 의해 해수 침입을 받고 이로 인해 식생대 전선이 전부 후퇴된 것으로 판단되며, 이후 시간 경과에 따라 회복되는 것으로 판단된다.

마지막으로 도요등의 경우는 Fig. 3(C)과 같이 조사되었다. 서측의 D1 영역의 경우에는 모든 조사 시기동안 거의 동일하였으며, D2~D5 영역에서는 1차 시기에 관측된 식생대 전선이 2차 시기에는 전반적으로 후퇴하거나 일부에서는 소멸되어 찾아볼 수 없었다. 3차와 4차 시기에서는 식생대선이 전진하여 1차 시기 모습으로 회복되는 것을 확인하였으며, 전체 조사에서 D2 영역에서는 최대 137.9 m 후퇴, 중앙부 D4~D5 영역의 경우 식생대 전선이 약 62.0~135.3 m 정도 후퇴한 결과를 나타내었다. 또한 D3 영역과 D4 영역의 일부분에 존재하던 식생대는 2차 현장조사시에는 사라지고 없었으며, 동측의 경우 모든 조사결과에서 후퇴되는 것으로 나타났다.

이상의 DGPS를 이용한 식생대선 현장 조사결과를 바탕으로 낙동강 하구 사주섬 식생대선 변동의 전체적인 특징을 고찰하였다. 먼저 강한 외해 외력환경(태풍 Kong-rey, 유의파고 8.6 m)에 의해 식생대선의 후퇴가 발생하며, 이후 평상 날씨 조건에서 식생대선이 전진하며 회복되는 것으로 판단된다. 또한 진우도와 도요등의 동측, 신자도의 중앙부의 경우, 연속된 후퇴 현상이 발견되었다.

또한 식생대 전선의 변화가 큰 지점에 대한 현장 사진을 분석한 결과, Fig. 4와 같이 식생대선의 전진 및 후퇴의 메카니즘을 확인할 수 있었다. 즉, 대상해역에 동일한 해양파랑이 내습하여 영향을 미쳤다고 가정할 때, 해변 단면의 특성에 따라 해양파랑의 침입 범위와 해안표착물의 해변상에 표착 위치가 다르며, 이는 식생대의 변동 및 복원 과정에 직접적인 영향을 미치게 된다. Fig. 4(A)에서 Fig. 4(B)로의 과정은 태풍 내습에 의해서 급격히 해변이 파괴되는 상황으로 해변 경사가 완만하거나 식생대 지반고가 높지 않은 경

우에 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 반해 Fig. 4(C)에서 Fig. 4(D)로의 과정은 해변상에 식생대선의 전진, 비사와 해안표착물에 의한 바르한(Barchan) 생성 및 발달에 의해서 해변 경사가 다소 급경사가 되고 식생이 충분히 발달하여 지반고를 증가시킴으로써 식생대선의 전진에 영향을 주게 되는 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합하면 낙동강 하구역에 위치한 진우도, 신자도, 도요등의 3개 사주섬의 식생대의 경우 지속적으로 해양파랑 및 해안표착물에 의해 침식과 퇴적 현상이 반복되는 과정을 가지며 동측에 위치한 도요등에서 사주 식생대 전선의 변화가 가장 크고, 다음으로 신자도, 진우도의 순이었다.

### 3.2 위성 영상에서의 식생대선 변화

구글(Google)에서 제공하는 지도 프로그램(Google Earth pro)에서 인공위성 영상을 획득하여 식생대선 변화를 확인하고자 하였다. Fig. 5~Fig. 7이 각각 진우도, 신자도, 도요등에 대한 인공위성 영상의 연도별 변화를 나타낸 것이다. 각 그림에서 좌측은 사주섬의 전체 영역을, 우측의 작은 영역(A area)은 해안선, 지반 및 식생대선의 변화가 많은 영역에 대해서 확대해서 나타낸 것이다. 한편, 지도 프로그램에서 제공하는 영상의 촬영시점이 조금씩 다른 점이 있음을 밝혀둔다.

Fig. 5는 진우도의 위성 영상을 나타낸 것으로 시간이 경과할수록 서측 해안선이 발달하여 외해 방향으로 전진하는 것을 확인할 수 있다. 작은 영역(A area)은 DGPS를 이용한 현장조사에서 살펴본 중앙부(J3)에 해당하는데 2019년 10월의 경우 식생대선이 해변의 형태와 아울러 명확히 구분되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 신자도의 위성 영상을 나타낸 것으로 작은 영역(A area)은 S4의 동측에 존재하던 식생대로서 2018년 시기에는 발견되는 식생

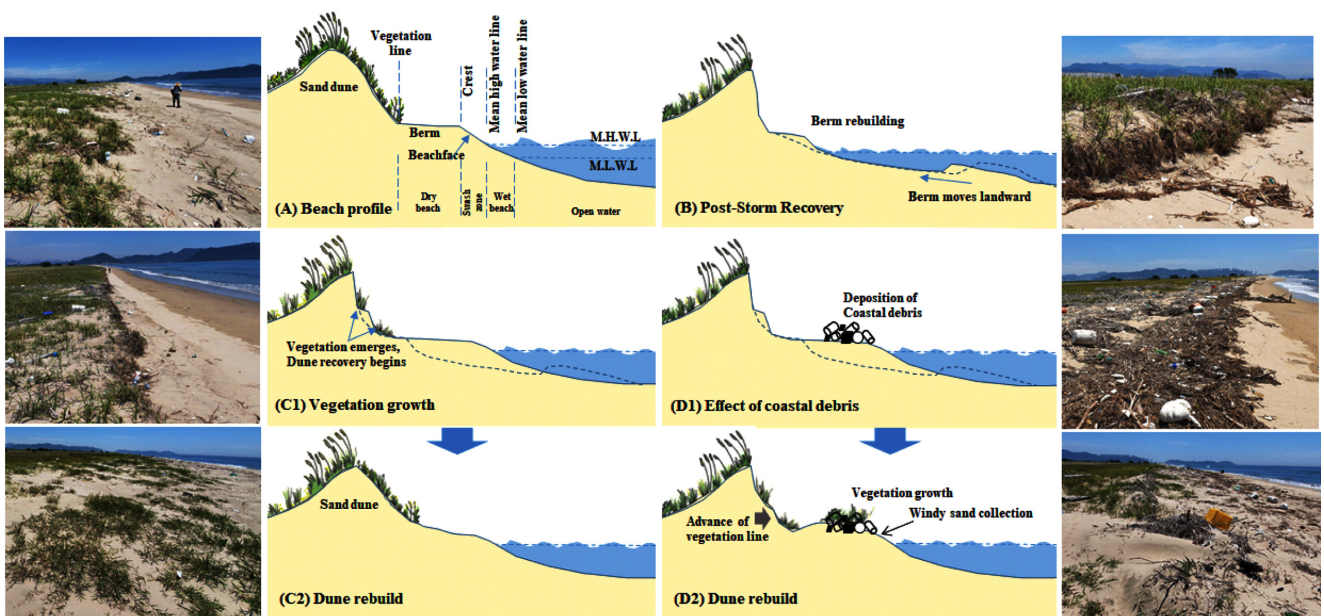


Fig. 4. A schematic diagram showing the growth of the vegetation line after damage/destruction by an oceanic external force in the beach section. The photograph was taken in June 2020.



Fig. 5. Comparison of satellite image data for Jinu-do during the field survey period.



Fig. 6. Comparison of satellite image data for Shinja-do during the field survey period.

대가 시간 경과에 따라서 해안선이 변화하고 이에 따라서 식생대선이 소멸된 것을 확인할 수 있다.

마지막으로 Fig. 7은 도요등의 위성 영상을 나타낸 것으로 D5의

서측 영역에 해당하는데 2018년도에 남쪽 물가선까지 넓게 분포하던 식생대선이 2019년도에 후퇴하여 소멸된 것을 확인할 수 있으며 2020년 영상에서는 점차 외해 방향으로 전진하는 것을 살펴볼 수 있다.

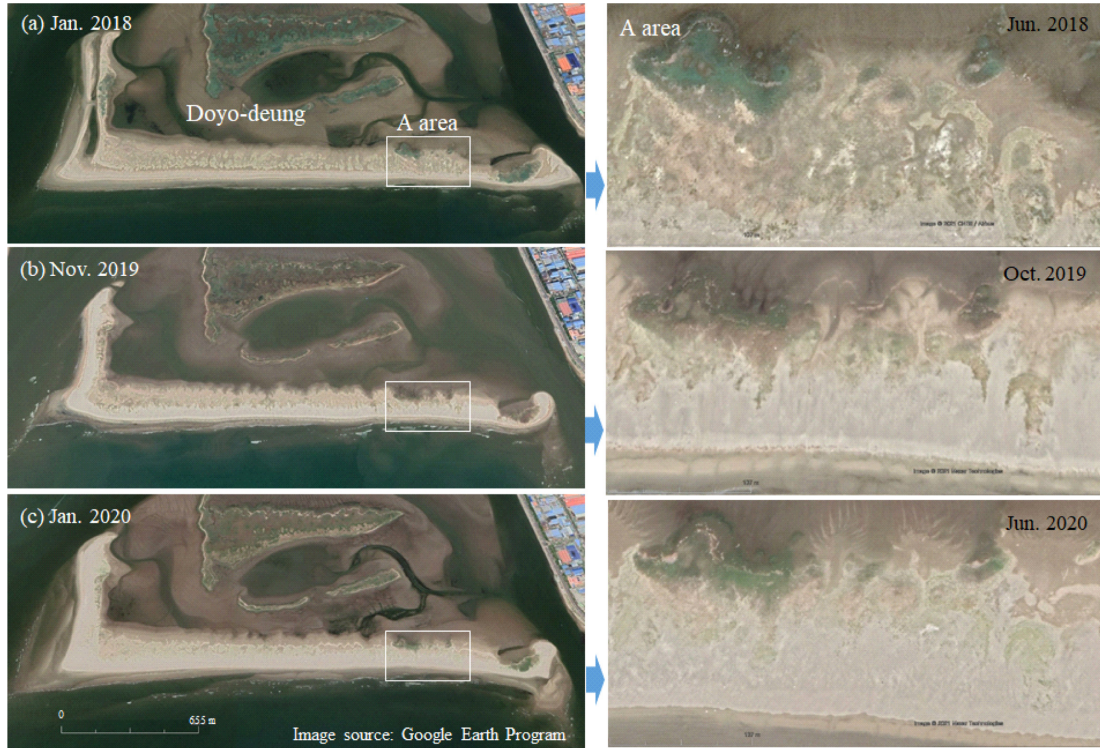


Fig. 7. Comparison of satellite image data for Doyo-deung during the field survey period.

3.3 현장조사와 위성 영상 자료의 비교

식생대선의 DGPS를 이용한 현장 조사 결과와 위성 영상과의 상관성 비교를 위해서 Fig. 7의 도요등 임의 영역(A area)에 대해서 비교 연구를 수행하였다. 전술한 바와 같이 도요등의 임의 영역(A area)은 하구둑 담수 및 해양파랑의 영향으로 식생대의 변화폭이 가시적으로 가장 잘 드러나는 곳이기도 하다.

결과적으로 GPS에 기반한 현장 추적조사 결과(Fig. 8(a))와 위성 영상으로부터 연도별로 식생대선을 추출하여 나타낸 결과(Fig. 8(b))를 제시하였다. 그림에서 위성 영상은 Google Earth에서 획득한 2020년 6월의 영상에 해당한다.

먼저 Fig. 8(a)는 GPS에 기반한 2018년, 2019년, 2020년의 현장 추적조사 결과를 중첩하여 나타낸 것이다. 전반적으로 2018년 9월의 식생대선이 2019년에는 물가선으로부터 급격히 후퇴하였음을 알 수 있으며 2019년과 2020년은 각 단면에서 부분적으로 전진과 후퇴를 나타내고 있음을 살펴볼 수 있다. 대표적으로 PL-09~PL-11에서는 지속적으로 후퇴하는 경향을, PL-13~PL-15에서는 2019년보다는 2020년이 전진하는 경향을 나타내고 있다. 또한 Fig. 8(b)는 위성 영상에 기반한 2018년, 2019년, 2020년의 식생대선 조사 결과를 중첩하여 나타낸 것이다. 결과적으로 전체적으로 Fig. 8(a)와 Fig. 8(b)는 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 식생대선 추출 결과를 보다 면밀히 비교하기 위해 2018년 식생대선을 기준선으로 잡고 2019년 및 2020년 식생대선 이격 거리를 산출하였다. 표에서  $VD_{2019-2018}$ 는 각 단면(transect)에서 2019년도와 2018년도,  $VD_{2020-2018}$ 는 2020년도와 2018년도 식생

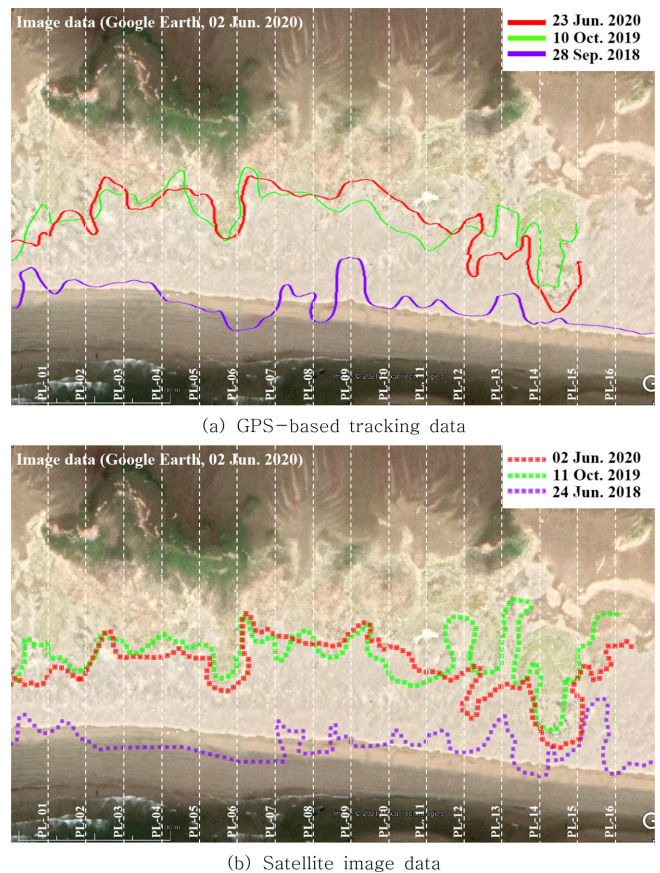
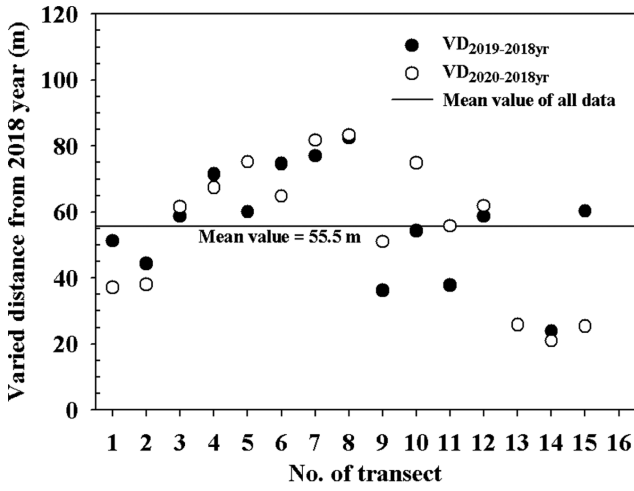
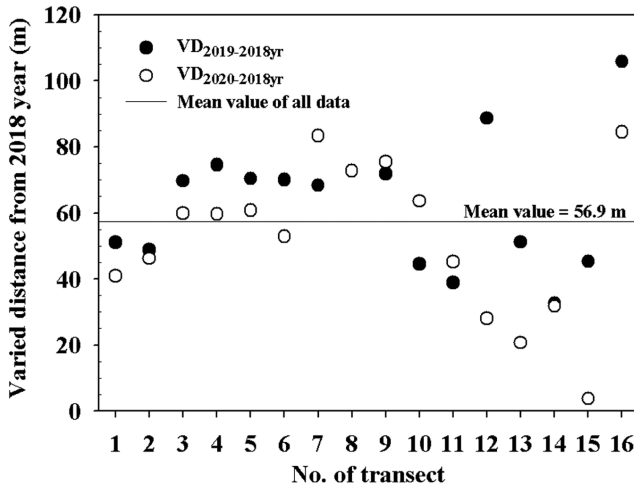


Fig. 8. Annual spatio-temporal changes of GPS and satellite image data for Doyo-deung's vegetation frontline.



(a) GPS-based tracking data



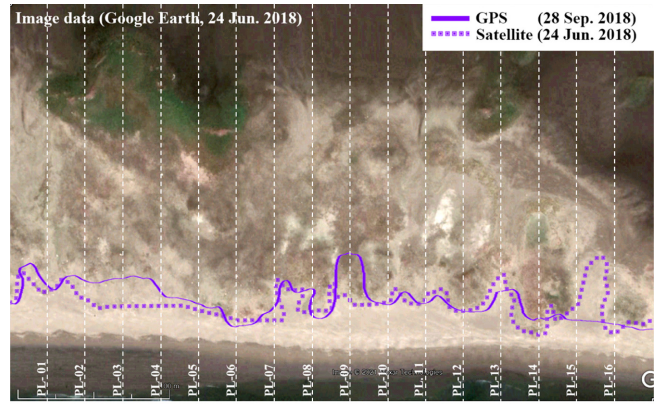
(b) Satellite image data

Fig. 9. The varied distance (VD) of the vegetation frontline from 2018 to 2020 for survey transect lines PL-1 to PL-16.

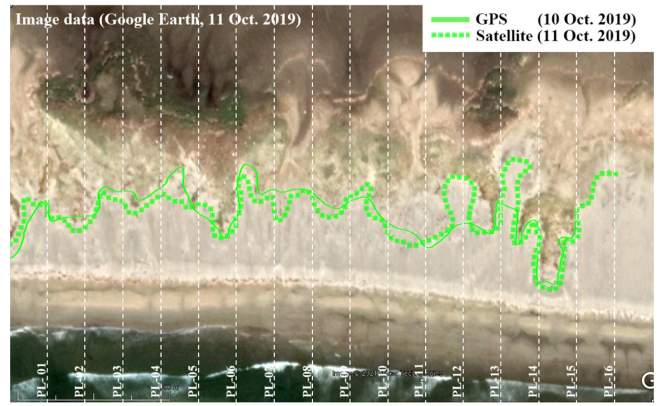
대선과의 이격 거리를 산출한 것이다. 그림에서 심볼 ○가 ●보다 아래에 있을 경우 2019년에서 2020년 기간동안 식생대선이 외해 방향으로 전진을, 심볼 ○가 ●보다 위에 있을 경우는 반대로 후퇴하였음을 의미한다.

먼저 Fig. 9(a)는 GPS에 기반한 현장 추적조사 결과이다. 2018년에 비해 PL-08에서 최대 약 80 m, PL-14에서 최소 약 20 m가 후퇴하였음을 알 수 있다. 15개 단면(PL-16은 식생대선 소멸)의 전체적인 평균 후퇴 거리는 55.5 m에 해당하였다. 2019년에서 2020년 기간동안에 식생대선의 후퇴가 두드러지는 단면은 전술한 바와 같이 PL-09~PL-11이고, PL-13과 PL-15에서는 전진하는 경향을 나타내었다.

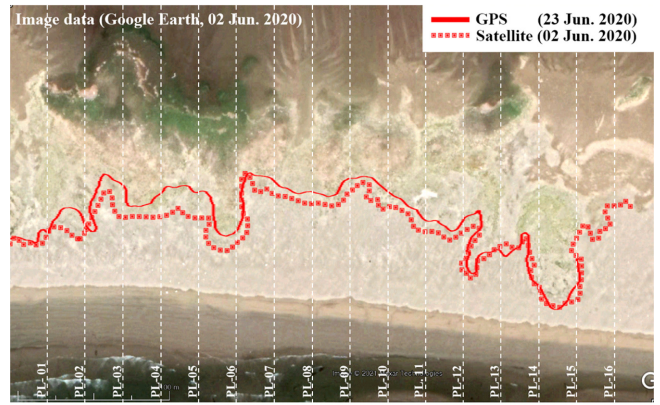
또한 Fig. 9(b)는 위성 영상으로부터 연도별로 식생대선을 추출하여 나타낸 결과이다. 2018년에 비해 PL-16에서 최대 약 105 m, PL-15에서 최소 약 5 m가 후퇴하였음을 알 수 있다. 16개 단면의 전체적인 평균 후퇴 거리는 56.9 m에 해당하였다. 현장조사에서는



(a) 2018 year



(b) 2019 year



(c) 2020 year

Fig. 10. Comparison of the annual spatio-temporal changes between GPS and satellite image data.

큰 특징을 보이지 않던 PL-03~PL-05에서 식생대선의 외해방향으로의 전진이 나타났으며 PL-09~PL-11에서는 큰 차이를 보이지 않는다. 또한 PL-13과 PL-15에서 전진하는 경향은 현장조사 결과와 일치하였다.

Fig. 10과 Fig. 11은 각 연도별로 GPS에 기반한 식생대선 현장 추적조사 결과와 위성 영상으로부터 연도별로 추출하여 나타낸 결과를 비교하고자 나타내었다.

먼저 Fig. 10에서 대체적으로 두 조사 결과는 유사한 경향을 보



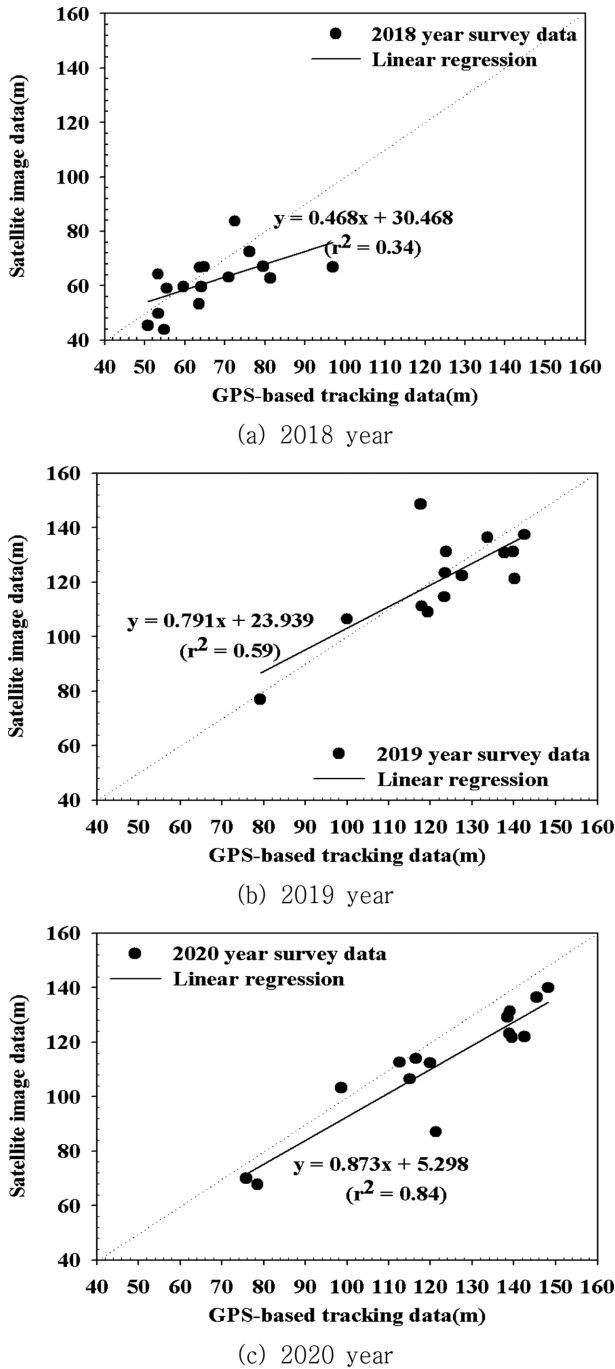


Fig. 11. Comparison of the annual correlation between GPS and satellite image data during the observation period.

이고 있으나 2018년 조사 결과인 Fig. 10(a)에서는 PL-02~PL-04, PL-09, PL-15와 PL-16의 사이 공간에 대해서는 두드러진 차이를 보였다. 또한 2019년 조사 결과인 Fig. 10(b)에서는 PL-12와 PL-13에서, 2020년 조사 결과인 Fig. 10(c)에서는 전체적으로 유사한 경향을 보이지만 PL-1~PL-11에서 위성 영상에서 외해 방향으로 보다 전진한 결과를 나타내고 있다. 이는 대체적으로 현장조사에서 해양파랑의 치오름 현상으로 인해 해빙상의 식생대 내측으로 침입한 침

수지역에 대해서 오차를 보이고 있어 향후 현장조사시 보완해야할 점으로 생각된다.

각 연도별로 GPS에 기반한 식생대선 현장 추적조사 결과와 위성 영상으로부터 연도별로 추출하여 나타낸 결과에 대한 상관성을 살펴보기 위해 Fig. 11과 같이 선형 회귀(Linear regression)를 검토하였다. 각 연도별 식생대선의 단면상의 거리는 직사각형 영역인 A area의 바닥면을 기준으로하여 이격거리를 산출하였다.

결과적으로 Fig. 11(a)와 같이 2018년에는 기준면으로부터 약 100 m이내에 분포하던 식생대선이 2019년의 Fig. 11(b)에서는 대체적으로 110~150 m사이에 분포하고(식생대선의 후퇴를 의미함) 2020년의 Fig. 11(c)에서는 점차적으로 100~120 m 사이로 이동함을 알 수 있다. 평균제곱근오차(RMSE, Root Mean Squared Error)  $r^2$ 는 2018년의 경우 0.34, 2019년은 0.59, 2020년에는 0.84로 나타났다. 즉, 선형 회귀를 통해서 GPS 및 위성 영상 자료의 오차가 2018년도가 가장 떨어지고 2020년도가 가장 유사함을 알 수 있다. 이는 Fig. 2에 제시된 바와 같이 위성 영상을 통해 식생대선을 추출할 경우, 현장 조사결과에 비해 대상해역에 태풍이 다수 내습한 경우에는 약 60%, 태풍이 내습하지 않은 경우에는 약 85%의 유사성을 확보할 수 있다는 것을 의미한다.

#### 4. 결 론

본 연구는 낙동강 하구 사주섬인 진우도, 신자도, 도요등에 대해서 DGPS를 이용하여 사주 식생대 전선(vegetation frontline)을 조사하고 인공위성 영상 해석결과와 비교 분석하였다. 이를 통해 향후 식생대 전선 조사 방법에 대한 신뢰도를 증대시키고 기존 현장 조사 및 분석 방법에 있어서 보완점을 찾고자 하였다. 본 연구를 통해 획득되어진 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 식생대선 현장조사는 총 4회 수행되었는데 현장조사 기간동안 대상해역에 내습하여 직·간접적으로 영향을 미친 태풍은 총 8개이다.

(2) 3개 사주섬의 식생대의 경우 지속적으로 해양파랑 및 해안표착물에 의해 침식과 퇴적 현상이 반복되는 과정을 가지며 동측에 위치한 도요등에서 사주 식생대 전선의 변화가 가장 크고, 다음으로 신자도, 진우도의 순이었다.

(3) 위성 영상을 통해 식생대선을 추출할 경우, 현장 조사결과에 비해 대상해역에 태풍이 다수 내습한 경우에는 약 60%, 태풍이 내습하지 않은 경우에는 약 85%의 유사성을 확보할 수 있다고 판단된다.

최종적으로 본 연구에서는 현장조사가 어려운 경우 위성 영상 자료를 바탕으로 식생대선 변화 과정을 일정 부분 파악할 수 있음을 확인하였다. 하지만 향후 본 연구에서 분석 방법으로 설정한 단면(transect) 25 m를 보다 조밀하게 설정할 경우, 위성 영상에서 식생대선이 계절변화에 따라서 얼마나 차이 나는지 여부, 현장조사와 위성 영상 사이의 오차를 얼마까지 허용할 수 있는지에 대한 보다 면밀한 검토가 필요하리라 생각된다.

## 후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의기술연구비(2019년)에 의하여 연구되었음.

## References

- [1] Eom, J. and Lee, C., 2017, Analysis on the Area of Deltaic Barrier Island and Suspended Sediments Concentration in Nakdong River Using Satellite Images, *Korean J. Remote Sens.*, 33(2), 201-211.
- [2] Kim, M.S., Jang, S.C. and Yoon, H.S., 2019, Spatio-temporal Changes of Vegetation Frontlines on Barrier Islands in the Nakdong River Estuary during Autumn 2018, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 22(2), 67-76.
- [3] Kim, S.H., 2005, The morphological changes of deltaic barrier islands in the Nakdong river estuary after the construction of river barrage, *J. Kor. Geogr. Soc.*, 30(4), 416-427.
- [4] Korea Meteorological Administration (KMA), <http://www.kma.go.kr/index.jsp>, <https://data.kma.go.kr/>.
- [5] Korea Meteorological Administration (KMA), <https://data.kma.go.kr/>.
- [6] Park, J.H., Yoon, H.S. and Jeon, Y.H., 2016, Spatial Characteristics of Vegetation Development and Groundwater Level in Sand Dunes on a Natural Beach, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 19(3), 218-226.
- [7] Yoo, C.I., 2006, A Study on the Generation and Development of the shoal in Nakdong river estuary, M.S. thesis, Dept. Ocean Eng., Pukyong National Univ., Busan, Korea.
- [8] Yoon, H.S., Yoo, C.I., Kang, Y.K. and Ryu, C.R., 2007, Delta Development in Nakdong River Estuary: a Literature Survey, *J. Ocean Eng. Technol.*, 21(2), 22-34.
- [9] Yoon, H.S. and Yoo, C.I., 2014, Interaction between Coastal Debris and Vegetation Zone Line at a Natural Beach, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 17(3), 224-235.

---

Received 14 April 2021

1st Revised 14 May 2021, 2nd Revised 20 May 2021

Accepted 20 May 2021