

연구노트

## 새만금 갯벌의 식생 공간변화에 대한 위성관측

정 종 철

남서울대학교 GIS공학과

### The Satellite Observation for Spatial Changes of Vegetation in Saemangum Tidal Flat

Jong-chul Jeong

Namseoul Univ. Dep. of GIS

#### Abstract

The aim of this study is to detection of changed vegetation area of Saemangeum tidal flat with comparison of topography and surface sediments during the dyke construction. Sedimentary facies of four seasons of 2001 from inside Saemangeum tidal flat revealed homogeneous layers in the upper part, however near sea side tidal flat were detecting with carried out rapid sediment deposition during the dyke construction using satellite image spatial analysis. The sedimentation types inside Saemangeum tidal flat were classified with vegetation types, which were well matched with the sedimentation pattern revealed by change in vegetation patterns.

Keywords : Saemangeum tidal flat, Sediment types, Satellite image

#### I. 서론

새만금 지역은 군산과 부안지역에 방조제 33 km를 축조하여 28,300ha의 토지를 매립하는 사업으로 1991년 11월 28일 방조제 사업을 착공하여, 2006년 4월 21일 방조제 물막이 공사가 완료되었다. 그러나 광범위한 갯벌 간척이 이루어진 새만금 간척사업은 방조제 인공 구조물에 의하여 주변의 수리학적 변화를 야기하였고, 주변 갯벌과 해안선에 퇴적과 침식을 야기하는 것으로 알려져 있으며, 이는 새만금 연안

갯벌의 환경변화 요인이 되었다(노백호 등, 2006, 장진호, 2008, 이정전 등, 2001).

새만금 사업과 같은 대규모 연안개발사업은 연안 환경변화에 따라 발생할 수 있는 연안 환경재해를 일으키는 원인이 되기 때문에 주기적으로 광범위한 연안개발지역의 환경변화를 모니터링하는 방법을 개발하는 것이 요구된다. 때문에 광범위한 지역을 관측하기 용이한 항공사진과 위성관측에 의한 공간정보 분석 기술을 적용하는 연구는 연안 환경재난을 예측하거나 평가하는데 중요한 정보를 제공할 것으로 판단된다.

새만금 간척사업은 1991년부터 사업이 진행되는 동안 방조제 내만과 방조제 외곽의 연안지역에서 침식과 퇴적의 환경변화가 있었고, 이에 따라 새만금 갯벌의 지형과 퇴적물 조성의 물리적 환경이 변화하였으며, 갯벌식생과 조간대 저서생물 등 연안생태환경에도 상당한 변화가 있다고 보고되고 있다. 특히 새만금 방조제는 갯벌 환경 파괴 문제의 명확한 규명을 위해서 환경영향평가를 위한 다양한 연구 노력이 제기된 사업으로 방조제 공사에 대한 타당성을 평가하기 위해 1999년 5월 1일 민관 공동 환경영향평가가 착수되고, 공사가 잠정 중단된 사례가 있었다. 민관 공동 조사를 거쳐 2001년 5월 2일 정부는 공사를 계속하기로 결정하였고, 2001년 8월 환경단체는 사업 취소 행정소송을 제기하였다. 이후 2003년 6월에 제 4호 방조제 개방구간 1.8km에 대한 물막이 공사가 완료되었고, 전라북도 도민과 환경단체는 법원에 공사 집행정지를 신청했다. 이러한 과정에서 새만금 방조제의 영향에 대한 갯벌 환경 변화를 종합적으로 모니터링 하는 방법의 기술적 평가 방안이 요구되었으나, 이에 대한 적절한 연구가 당시에는 제시되지 못하였다.

대규모 방조제 건설이 진행되는 동안 나타나는 갯벌의 물리적, 생태학적 환경변화에 대한 모니터링 기법 연구는 Boyd *et al.*, (1992), Diefenderfer *et al.*, 2009, Diaz *et al.*, (2004), 김계환 등(2005), 김창환 등(2005), Woo *et al.*, (2006), Zhen Xu *et al.*, (2013)에 의해 주로 생물학적 그리고 지화학적 변화 양상에 대한 결과가 보고되었다. 그러나 제4호 방조제 물막이 공사가 완료된 2003년 이전에 만경강과 동진강 유역 갯벌들의 장기적인 퇴적학적 변화를 파악하고 방조제 건설 이전의 갯벌 식생 분포 등에 대한 조사를 실시한 연구 자료는 부족한 실정이다. 특히 제한된 공간범위의 조사지역을 대상으로 연구가 이루어져 새만금 전체 지역에 대한 시공간적 갯벌 환경변화를 파악한 연구 결과는 제시되지 못하였다.

갯벌은 연안 조석의 시간적 차이와 갯벌의 특성상 접근하기 어려운 지역이라 현장조사를 통한 갯벌의 퇴적과 침식을 파악하기 어렵다(정종철, 2011). 특히 계절적으로 갯벌 식생의 생활사에 의해 분포의 범위



Fig. 1. Satellite image of Landsat path (116/35) and study area.

가 달라지는 염생식물의 공간적 범위를 파악하기 위해서는 광범위한 새만금 지역을 동시에 조사 관측하기 용이한 인공위성영상과 항공사진 자료의 비교를 통하여 갯벌 퇴적환경변화의 정도를 분석하고, 식생의 공간적 분포를 파악하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 1999년 5월 1일 민관 공동 환경영향평가가 착수되고, 공사가 잠정 중단된 시기인 2000년 11월부터 2001년 12월에 새만금 갯벌 변화의 환경영향평가 요소가 될 수 있는 갯벌의 범위와 갯벌식생을 위성영상을 바탕으로 추출하고, 새만금 연안습지의 식생 분포 변화를 시공간적으로 파악하는데 연구의 목적이 있다.

## II. 연구방법

본 연구에서는 새만금 지역의 전 영역을 동시에 관측할 수 있는 Landsat 위성자료를 활용하여 조수간만의 차이에 따라 나타나는 갯벌의 퇴적 분포와 함께 갯벌에 분포하는 염생식물의 공간적 변이를 파악하였다. 갯벌 식생 분포 연구는 조상대, 조간대, 조하대의 자연성, 생태적 안정성 등을 판단하는데 있어 비교적 용이한 수단이며, 연안습지의 가치를 평가하는데 있어 효과적인 방법으로 제시되어 왔다.

오현경 등 (2013)의 연구와 같이 현장조사에 의한 식생분포의 파악과 평가는 매우 중요한 자료의 취득이 될 수 있으나, 새만금 방조제 공사에 의해 나타난

방조제 내만 갯벌의 퇴적 지형 환경변화와 식생의 공간적 변화 경향을 시계열적으로 분석하기에는 접근성이 용이하지 않다. 특히 연안습지인 갯벌의 퇴적상과 갯벌의 염생식물 분포는 대상지역이 광범위하고 조석에 따른 현장조사 접근의 한계점으로 인해 위성영상에 의한 공간분석 방법이 효과적이라고 판단하였다.

갯벌은 조석의 차이에 따른 갯벌 환경변화가ダイ나믹하게 나타나기 때문에 갯벌의 식생분포에 대한 연구를 추진하기 위해서는 갯벌의 연안 지형에 대한 공간정보를 추출하고, 연안관리측면에서 자연적·인공적 영향에 의한 조간대의 해안선과 지형 변화를 조사·연구하는 것으로 갯벌의 지형변화에 따른 식생의 분포와 생태적 특성을 파악하는 것이 매우 중요하다.

본 연구에서는 갯벌의 식생 변화를 관측하기 용이한 원격탐사기술에 의해 새만금 연구지역을 시공간적으로 분석하기 위해 Landsat 영상을 통해 갯벌의 공간적 변화를 탐측하였다. 또한 위성 원격탐사 기법에 의한 연안 갯벌의 시공간적 변화는 갯벌의 식생 분포와 지표 특성에 따른 변화경향으로 비교하였다. 갯벌의 식생분포 파악은 식생지수(NDVI)와 Tassled Cap Greenness를 파악하여 식생분포지역을 추출하였고, 육상과 해안선 경계를 구분하는 밴드 5번을 적용하여 방조제 내만의 육상경계선을 추출하였다(류주형 등, 2003, 박성우 등, 2003, 정종철 등, 2006, Zhen Xu *et al.*, 2013). 본 연구에서는 갯벌의 경계선을 Landsat 자료로 탐지하기 위해서 윤여상(2001)에서 적용한 ASD 분광 스펙트로메타 조사를 통해 획득된 갯벌 경계면의 분광 파장대를 이용하여 경계선 분석을 하였고, Landsat 영상자료에 이윤경 등(2007)의 염생식물 분류기법을 적용하여 식생지역을 셀 단위로 추출하였다(Fig. 2)

정종철(2013)은 갯벌의 탄소순환 모델 인자 연관 분석을 수행하기 위한 위성영상의 활용 방법으로 Landsat 자료에서 갯벌의 공간범위와 갯벌 식생을 탐지하고 이때 토양과 식생에 의한 탄소순환을 제시하였는데 Fig. 3은 Landsat 영상을 기반으로 근적외선 영역에 의한 육상과 해수면 경계를 구분하여 갯벌의 공간적 변화를 탐지하는 과정을 제시한 것이다.

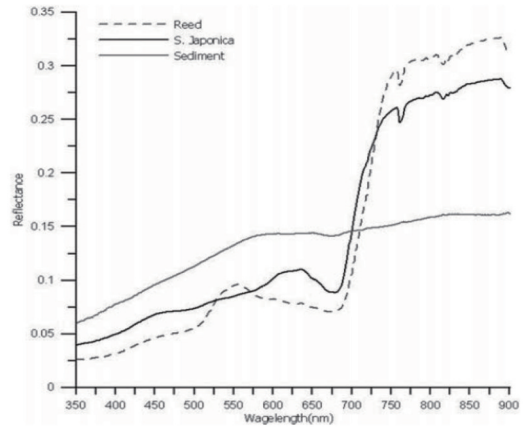


Fig. 2. Reflectance of tidal flat and reed, S Japonika vegetation with same wavelength (Leen *et al.*, 2007).

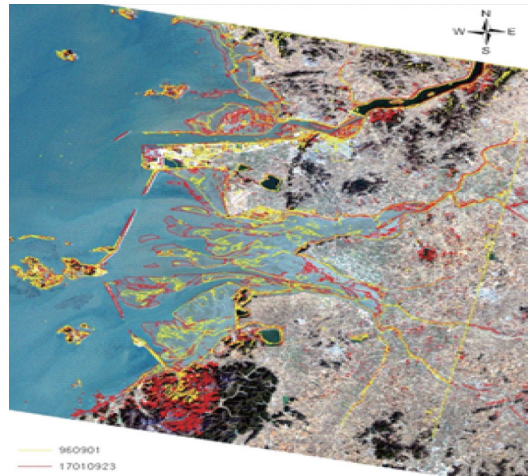


Fig. 3. Extracted coast line from Landsat band 5 in shore line between Sep. 1, 1996 (yellow) and Sep. 23, 2001 (red)

본 연구에서 분석하고자 하는 새만금사업 중단에 대한 대법원 판결 시점의 기간인 1996년과 2001년의 서로 다른 시기의 영상을 통해 갯벌의 공간적 범위를 탐지하고, 이를 비교하여 갯벌 공간 범위와 식생분포 지역을 제시하였다.

### III. 결과 및 고찰

본 연구에서는 갯벌의 시공간적 변화요인 중 갯벌의 공간적 분포와 갯벌 식생이 분포하는 영역에 의한 지표 특성을 제시하여 위성영상기반 갯벌 식생의 공간적 분포를 탐지하였다. 위성영상에 의해 추출 가능

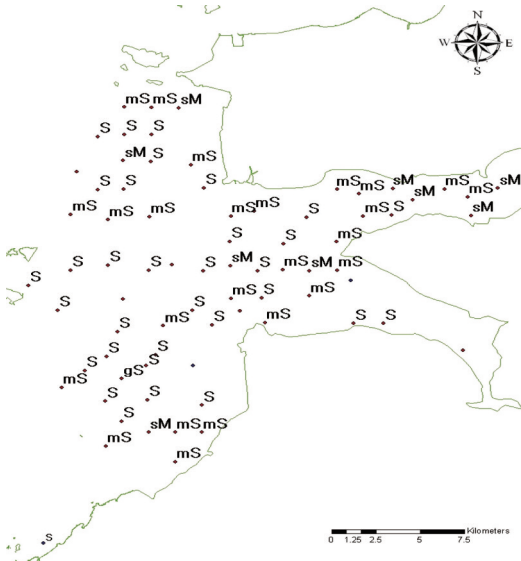


Fig. 4. Field survey of tidal flat soil types S(sand), M(mud) and observation 58 points location.

한 시공간적 갯벌의 식생분포는 갯벌식생의 분포와 갯벌의 입자 분류에 대한 공간적 차이를 파악하여 추정하는 것이 가능하였다.

새만금 방조제의 공사 전과 공사 중, 공사이후에 방조제 내부지역은 급격한 지형적 변화가 일어났고, 연안 갯벌 지형의 변화와 관계하여 갯벌의 식생분포, 갯벌 입자분포도 큰 변화 경향이 나타났다. 그러나 새만금방조제 사업이 시행되는 기간 중에는 갯벌의

Table 1. Comparison tidal flat area(m<sup>2</sup>) and vegetation area(m<sup>2</sup>) of Saemangum tidal flat

Time	tidal flat area(m <sup>2</sup> )	vegetation area(m <sup>2</sup> )	rate(%)
2000.11	95,430,300	4,470,389	4.68
2001.01	235,074,986	2,544,243	1.08
2001.03	146,554,867	7,842,220	5.35
2001.09	138,840,706	368,793	0.27
2001.11	33,033,370	2,065,433	6.25
2001.12	111,035,505	1,339,957	1.21

범위나 식생분포 등을 조사할 수 없었다. 따라서 Fig. 4와 같이 갯벌은 펄과 실트, 모래 등과 같은 퇴적지형으로 이루어져 있고, 조석의 시간적 변화에 따라 대기 중으로 노출되는 공간이 다르기 때문에 다양한 습지식생의 분포지역이 다르게 나타났다.

갯벌의 토양입자는 S(sand), M(mud)의 갯벌토양 입자 형태에 mS과 sM과 같이 일정 성분이 포함된 형태의 토양 입자 구분으로 연안습지기본조사의 결과를 바탕으로 58개 정점에 대해 구분하여 갯벌 토양 입자 분포를 제시하였다. 이러한 토양입자 형태와 Landsat 영상을 통해 분석된 식생 분포를 Fig. 4와 같이 제시하였다.

Landsat은 오전 10시30분에 관측된 조사지역의 관측 영상자료를 제공하기 때문에 방조제 수문 공사 지점과 조위 자료에 따라 갯벌이 노출되는 지역이 달

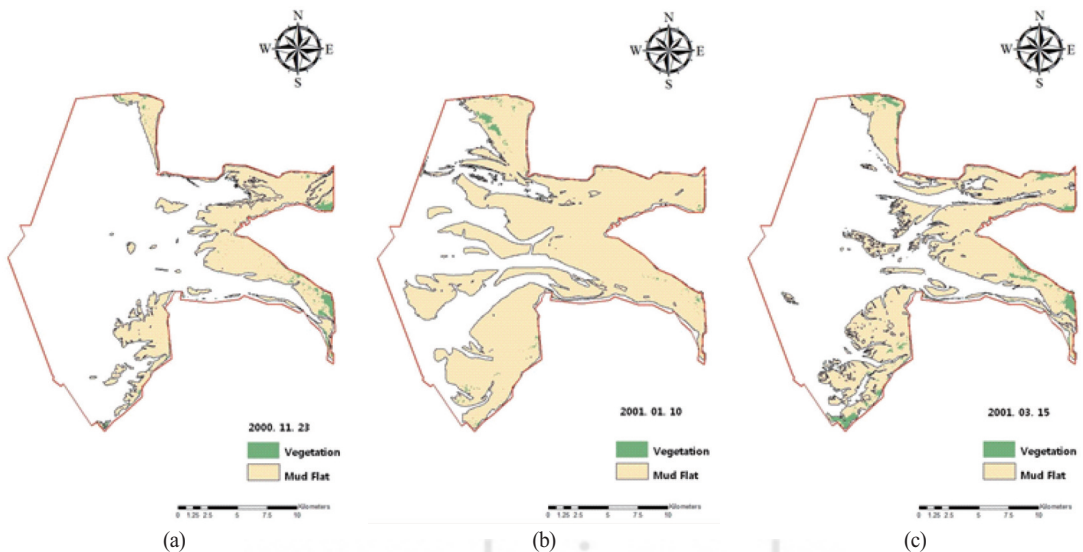


Fig. 5. Tidal flat area and vegetation distribution map with time series from Nov, 2000 to Dec, 2001 in study area.

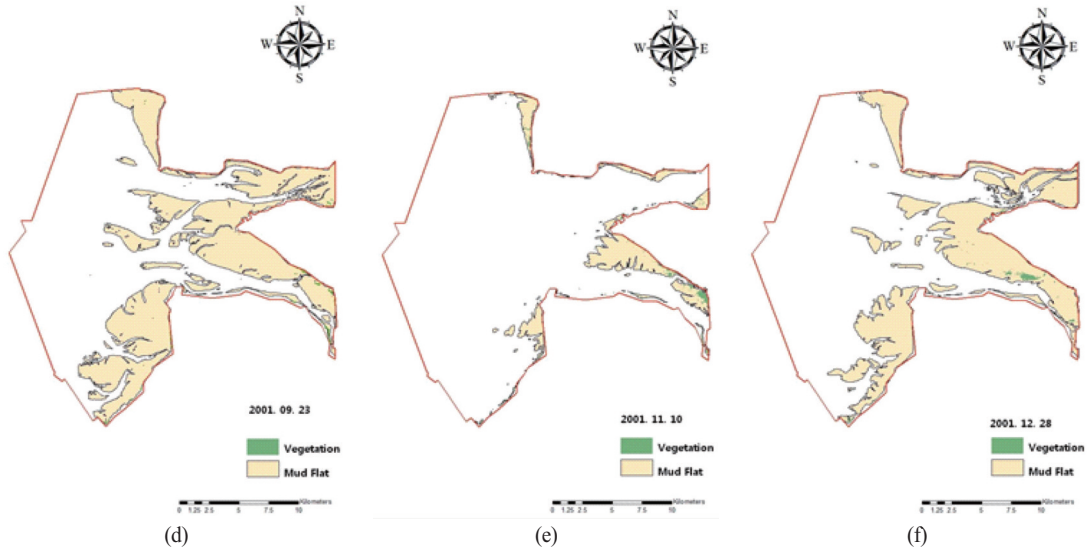


Fig. 5. Continued

라진다. 이러한 제한점에도 불구하고 구름이 없이 동일시간에 새만금에서 관측된 위성자료는 2000년 11월부터 2001년 12월까지 총 6시기의 자료를 통해 갯벌 분포 분석 결과를 Fig. 5에 제시하였다.

Fig. 5의 (a)는 2000년 11월, (b)는 2001년 1월, (c)는 3월, (d)는 9월, (e)는 11월, (f)는 12월 영상자료를 분석하여 오전 10시30분 동일시간대의 새만금 지역에 대한 식생분포지역을 비교한 것이다. 표 1과 같이 새만금 갯벌의 갯벌분포 면적과 갯벌 식생분포 면적을 분석하였는데 갯벌 식생 분포는 2000년 11월이 가장 높은 밀도 분포를 나타내고 있는데, 탐지된 갯벌의 면적이 2001년 1월과 2001년 3월에 비해 적은데도 불구하고, 가장 넓은 지역의 식생분포를 나타내고 있다. 2001년 11월 탐지된 갯벌의 면적은 조위의 영향으로 적으나, 갯벌의 면적 대비 식생의 분포 비율이 가장 높게 나타나고 있어서 11월의 연안습지 식생 분포가 가장 높은 것으로 파악된다. 2001년 3월은 갯벌의 면적과 식생의 비율이 가장 높게 나타났는데, 이는 봄에 서식하는 갯벌 식생종의 발달에 의한 것으로 판단된다.

갯벌의 식생분포 지역은 만조선을 중심으로 토양의 염분도와 토양의 타입에 의해 공간적 분포가 달라지는데 가장 중요한 식생분포의 인자는 토양의 입자

성분 분포에 따라 식생 포자가 성장하기 적절한 조건을 찾는 것이다. 이는 갯벌 토양의 수분과 토양염분, 토양 성분 조건에 따라 갯벌의 식생분포 지역 확산에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

Fig. 6은 새만금 갯벌의 주요 식생분포 지역을 종합하여 나타낸 것으로 만경강 하구 갯벌에서 염생식

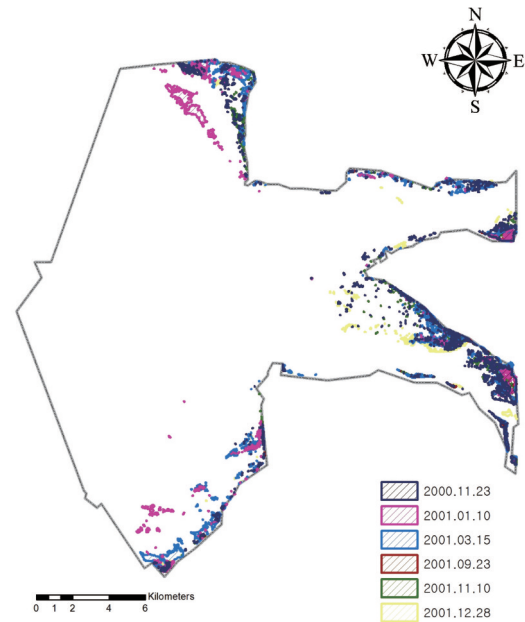


Fig. 6. The Saemangeum vegetation distribution map with time series of Dake construction.

물의 분포가 가장 풍부하게 나타나고 있다. Landsat 영상은 공간해상력이 30m×30m이므로 갯벌식생의 종 조성을 파악할 수는 없었다. 그러나 갯벌식생의 시계열적 변화와 주요 갯벌 식생 분포지역을 계절적 시기로 비교하여 제시할 수 있었고, 이러한 갯벌식생에 의한 공간구분으로 갯벌 식생 분포 지역을 찾아 식생의 발달 정도를 현장조사 하는데 있어서 위성자료에 의한 광범위한 공간분석 자료가 기초 자료로 활용되는 것이 가능하다고 판단된다.

본 연구에서는 Landsat 영상을 기반으로 갯벌공간과 갯벌 식생지역을 추출하고 이를 시계열적 변화로 비교하는데 연구의 목적을 두었다. 때문에 Fig. 6과 같은 결과를 바탕으로 2000년 11월과 2001년 Landsat 영상을 기반으로 추출한 갯벌식생의 공간 분포 지도는 새만금방조제 공사 중지 시점에서 나타나는 갯벌환경변화의 시간적 분포 변화를 파악하는데 기초자료로 적용 가능함을 제시할 수 있었다.

#### IV. 결론

1991년 11월 28일 방조제 사업을 착공하여 2006년 4월 21일 방조제 물막이 공사가 완료되는 오랜 기간 이루어진 새만금 방조제 공사에 의해 인근 연안 지형이 급격히 변화하고 있다. 이에 따라 갯벌의 식생분포에도 변화가 나타나고 있다. 본 연구에서는 새만금 공사가 진행되어 갯벌의 공간적 변화가 급격하게 나타나는 2000년과 2001년 기간 동안에 갯벌 식생 공간 분포를 위성자료에 의해 분석하였고, 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

첫째 방조제공사가 진행되는 과정에서 갯벌의 공간적 범위와 식생 분포 변화를 위성자료에 의해 추출하고, 분포 밀도를 파악하였다.

둘째 방조제공사가 진행되는 시기에 현장조사가 어려운 지역을 위성영상을 통한 분석으로 조석과 수위에 따른 갯벌의 표면적과 식생의 분포 면적비율을 산출하였다.

셋째 대규모 연안매립이나 방조제 공사 등으로 인한 갯벌의 환경영향평가를 수행하는데 있어서 위성자료의 분석기술에 의한 식생 분포 지도 작성의 적용

가능성을 제시하였다. 이를 근거로 새만금 방조제 공사와 같은 광역적 연안개발사업에 대한 환경영향평가를 수행하기 위한 조사 분석에서 위성영상의 시공간 분석에 따른 갯벌의 사후환경영향 과정에 본 연구의 결과가 기초자료를 제공하는데 기여할 것으로 판단한다.

#### 참고문헌

- 김계환, 박준모, 서병수, 변무섭, 오현경, 임성구, 2005, 만경강과 동진강(전북) 하천변의 식생 한국환경생태학회 학술발표논문집, 2005(1), 48-49.
- 김창환, 이경보, 김재덕, 조태동, 김문숙, 2005, 전북 동진강 하구역 일대의 염습지 식물상 및 식생에 관한 연구, 한국환경과학회지 14(9), 817-825.
- 노백호 등, 2006, 지속가능한 하구역관리방안(III), 한국환경정책평가연구원, RE-02
- 류주형 등, 2003, 곰소만 조간대 퇴적물의 Landsat ETM+자료특성, 대한원격탐사학회지, 19(2), 117-133.
- 박성우 등, 2003, 위성영상을 이용한 강화도 남단 갯벌의 DEM추출, 한국GIS학회, 11(1), 13-22.
- 이정전 외, 2001, 새만금간척사업의 경제적 타당성 논쟁: 편익추정을 중심으로, 한국재정학회 「재정논총」, 15(2).
- 오현경, 김세천, 유주한, 2013, 서천갯벌 습지보호 지역의 염생식물상과 식생, 한국환경영향평가학회지, 22(5), 409-426.
- 이운경, 엄진아, 유주형, 원중선, 2007, 강화도 동검도 주변 조간대 내에 서식하는 염생식물의 분포특성 분석, 대한원격탐사학회지, 23(6), 575-581.
- 장진호, 2008, 보호지역 지정을 위한 갯벌의 평가 기준 개발과 전남 지역갯벌의 평가, 한국환경과학회지, 17(2), 1391-1402.
- 정종철, 2011, 시화갯벌식생의 시공간적 범위 분석,

- 한국환경영향평가학회, 20(3), 349-356.
- 정종철 등, 2006, 다중시기 위성영상을 이용한 시화방조제 내만 식생변화탐지, 한국환경과학회지, 15(4), 373-378.
- 정종철, 2013, 갯벌의 탄소순환 모델 인자 연관분석, 한국환경영향평가학회 2013 추계학술대회.
- Boyd, R., Dalrymple, R.W. and Zaitlin, B.A., 1992. Classification of clastic coastal depositional environments. *Sed. Geol.*, 80, 139-150.
- Diaz R.J, Solan. M, Valente R. M, 2004, A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. *Journal of Environmental Management* 73, 165-181.
- Diefenderfer H.L., *et al.*, 2009, Multiscale analysis of restoration priorities for marine shoreline planning. *Environmental Management* 44, 712-731.
- Woo H.J. *et al.*, 2006, Changes of Sedimentary Environments in the Saemangeum Tidal Flat on the West Coast of Korea, *Ocean and Polar Research*, 28(4), 361-368.
- Zhen Xu *et al.*, 2013, Research of topography changes by artificial structures and scattering mechanism in Yoobu-Do intertidal flat using remote sensing data, *KSRS*, 29(1), 57-68.