

## 다중시기 위성영상을 이용한 시화 방조제 내만 식생변화탐지

정 종 철·서 영 상·김 상 육<sup>\*\*</sup>

남서울대학교 지리정보공학부, 국립수산과학원 동해수산연구소,

“한국토지공사 국토도시연구원

(2005년 10월 12일 접수; 2006년 3월 30일 채택)

## Vegetation Change Detection in the Sihwa Embankment using Multi-Temporal Satellite Data

Jong-Chul Jeong, Young-Sang Suh<sup>\*</sup> and Sang-Wook Kim<sup>\*\*</sup>

Department of Geoinformatics, Namseoul university, Cheonan 330-707, Korea

<sup>\*</sup>East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangneung 210-861, Korea

<sup>\*\*</sup>Land & Urban Institute, Korea Land Corporation, Seongnam 466-755, Korea

(Manuscript received 12 October, 2005; accepted 30 March, 2006)

The western coast of South Korea is famous for its large and broad tidal lands. Nevertheless, land reclamation, which has been conducted on a large scale, such as Sihwa embankment construction project has accelerated coastal environmental changes in the embankment inland. For monitoring of environmental change, vegetation change detecting of the embankment inland were carried out and field survey data compared with Landsat TM, ETM+, IKONOS, and EOC satellite remotely sensed data. In order to utilize multi-temporal remotely sensed images effectively, all data set with pixel size were analyzed by same geometric correction method. To detect the tidal land vegetation change, the spectral characteristics and spatial resolution of Landsat TM and ETM+ images were analyzed by SMA(spectral mixture analysis).

We obtained the 78.96% classification accuracy and Kappa index 0.2376 using March 2000 Landsat data. The SMA(spectral mixture analysis) results were considered with comparing of vegetation seasonal change detection method.

Key Words : Sihwa embankment, Spectral mixture analysis, Vegetation change detection, Satellite remote sensing

### 1. 서 론

1994년 시화방조제가 완공된 이후 시화호는 담수호로 유지하게 되었고, 반월공단과 시화공단에서 유입되는 수질오염부하에 의해 급격히 수질이 악화되었다. 이를 개선하기 위해 해수유통이 이루어졌고 1996년과 1997년 초에 시행된 배수갑문 개방이후 수질개선이 이루어졌다. 시화호의 해수유통은 시화호 갯벌지역의 면적을 조절하게 되었는데 해수면과 시화호 수위의 변화에 따라 시화호 폐쇄해역 내의 조간대 지형에 변화가 일어났다. 시화호 내만의 지형변화를 비교하는데 인공위성 자료의 분석이 적용

되었고, 특히 시화호 수질의 개선과 함께 시화호 내만의 갯벌지역에는 다양한 염생식물이 발달하게 되었다. 이러한 식생의 발달은 시화 내만지역에 다양한 동물과 식물의 생태계를 구성하게 되었다.

시화호 내만의 식생은 방조제 공사 완료 이후 시간 흐름에 따라 식생의 천이가 일어나고 갯벌의 염분이 강우에 의해 쟁기어 토양조건이 육상식생의 조건으로 변화하였기 때문이며, 시화호 내만의 식생은 시화호 갑문에 위치한 수위조절의 일정 조건을 기본적으로 유지하였기에 가능한 것이다(해양수산부, 2003:한국해양연구소, 1999).

최근 서해연안에는 새만금과 남양만 등 다양한 갯벌의 개발사업이 진행되고 있고 이를 개발지역의 내만에 광범위한 연안갯벌지역이 농지와 택지 개발 등으로 변화되고 있다. 하지만 환경변화의 측면과

Corresponding Author : Jong-Chul Jeong, Department of Geoinformatics, Namseoul university, Cheonan 330-707, Korea  
Phone: +82-41-580-2375  
E-mail: jjc1017@paran.com

도시 근교의 자연생태계 변화를 고려할 때 이들 지역의 생태적 가치는 매우 높게 평가되고 있다(안산시, 2001).

그린벨트지역이 급격히 감소하고 도심의 자연하천 개발에 많은 예산이 소요되는 현실을 고려할 때 이러한 연안개발지역의 갯벌은 생태보전의 측면에서 지속적인 연구가 요구된다. 현장조사와 위성영상에 의해 분석된 결과를 지리정보시스템과 연계한 생태모델을 구축하는 연구가 활발히 이루어지고 있다.(Kernohan, 1998; Ortigosa, 2000; Henderson et al., 1999; Kobler, 2000; Urbanski, 2003). 하지만, 해수수질을 고려한 연구가 연안갯벌 하구지역을 중심으로 육상의 오염부하 산정이나 수질모델의 연구로 이루어지는 반면(Khan, et al., 1992) 방조제 내만의 갯벌지역에 대한 생태조사 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 시화호 개발에 따른 방조제 내만의 갯벌과 이 지역에서 일어나는 식생의 변화를 분석하는데 연구의 목적이 있다. 특히 현장조사가 부족한 상태에서 광범위한 시화지역의 식생변화를 탐지하기 위해 본 연구에서는 인공위성 자료에 의한 분석결과를 현장조사 자료와 비교하여 식생 천이의 과정에 대한 위성자료 분석결과를 검증하는 기법을 제시하는데 연구의 목적이 있다.

## 2. 연구방법 및 자료

시화호 내만의 식생변화를 분석하기 위해 현장조사 자료를 분석하였고, 이들 자료를 인공위성 자료와 비교하기 위해 IKONOS, Landsat TM, ETM+의 자료를 UTM zone 52, WGS84 좌표계로 기하보정한 후 이들 자료의 식생지수와 Tasseled Cap 지수를 분석하였다. 또한 현장자료를 바탕으로 감독분류와 무감독분류를 통해 식생의 변화를 고찰하였다.

이러한 분류결과는 취득된 위성자료의 계절적 비교와 방조제 완공이후 연도별 변화를 통해 분류정확도 검증방식에 의해 분석하였다. 특히, 갯벌의 식생이 발전하는 단계에서는 Landsat TM의 공간해상력보다 작은 공간범위에서 식생의 출현이 이루어지고 이들이 군집을 이루거나 보다 확장된 범위로 발달하기 때문에  $900m^2$ 의 공간 이하에서 픽셀의 혼합분광분석(SMA; spectral mixture analysis)을 수행하였다.

혼합분광분석은 하나의 화소에 두 가지 이상의 개체가 포함되어 있을 때 각 개체가 화소의 분광특성에 영향을 주어 개체의 특성이 강한 분광특성을 나타내는 경우 이러한 분광특성이 분류결과에 치명적인 영향을 미치기 때문에 이에 대한 혼합정도를 0부터 1의 지수값으로 분석한다.

본 연구에서 분석하고자하는 방조제 내만 갯벌은 토양요소와 식생의 군집단위 그리고 갯벌의 부분적

인 웅덩이가 존재되어 있다. 때문에 이들의 혼합비율을 분석하여 갯벌식생군집의 분포연구에 적용하였다.

현장조사는 2000년 7월, 8월, 9월, 10월과 2001년 4월, 5월, 6월 그리고 2005년 5월, 8월에 수행하였으나, 위성영상의 취득 시점과 비교적 시간격차가 적은 시점의 영상자료를 참조자료로 분석하고 이를 바탕으로 현장조사가 이루어지지 않았던 시점의 위성자료를 비교·분석하였다.

연구에 사용된 위성자료는 Landsat (1996년부터 2004년 13개 자료) 자료가 계절별, 연도별 분석에 사용되었고, 영상좌표와 지도좌표간의 좌표 변환식은 1차 다항식을, resampling 방법은 원화소값에 변화를 주지 않는 bilinear interpolation을 사용하였다.

연구에 사용된 영상의 기하보정시 평균제곱근 오차는 ±0.5화소 이내가 되도록 하였다. 다중 시기의 영상을 이용해야 하므로, 가장 최근의 위성영상만을 위의 방법으로 기하보정 한 후 나머지 영상은 이미지 대 이미지 기하보정을 수행하였으며, 분류방법으로는 무감독분류(ISO-DATA, K\_means), NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), Tasseled Cap, 2D-Scatter Plot, PCA(principal component analysis), Confusion Matrix 기법, SAM를 이용하였다.

## 3. 분석 결과 및 고찰

시화방조제 내만의 갯벌과 갯벌식생의 군집은 식생의 종류와 생육특성에 의해 다양한 분포를 나타낸다. 그럼 1은 2000년에 방조제 내만에 서식하는 식생군집을 현장조사 결과를 바탕으로 ArcGIS를 사용하여 공간분포와 식생 종류를 표현한 것이다.

방조제 내만 갯벌의 토양에는 염생식물(퉁퉁마디, 칠면초, 해홍나물, 나문재, 갯질경, 천일사초, 사데풀, 갯개미취 등)과 사구식물 종(통보리사초, 좀보리사초, 갯쇠보리, 갯보리, 모래지치 등)이 분포하는데 연안습지의 특성이 육상식물상과 인접한 지역에서는 물웅덩이가 발달하여 갈대가 넓게 분포하고 있다. 현장조사를 통해 획득된 식물군집의 공간적인 분석은 위성영상 자료를 분류하여 얻어진 토지피복의 공간범위와 비교·검증하는데 적용하였다.

본 연구에서는 고해상도 위성자료를 활용하여 Landsat 다중시기 자료의 분류결과를 검증하기 위해 EOC(2000년 5월), IKONOS(2000년 3월, 12월, 2002년 5월)를 사용하였다. 그림 2는 2000년 3월 영상과 현장조사 벡터자료를 중첩하여 나타낸 것이다. 고해상도 위성자료는 높은 공간해상력을 제공하기 때문에 현장조사 자료의 목록과 위치정보를 비교함으로써 방조제 내만 갯벌의 식생지역과 아직 식생이 발달하지 않은 지역의 구분이 가능하다. 위와 같은 상황을 고려하여 비교분석 한 결과, 오이도와 시

## 다중시기 위성영상을 이용한 시화 방조제 내만 식생변화탐지

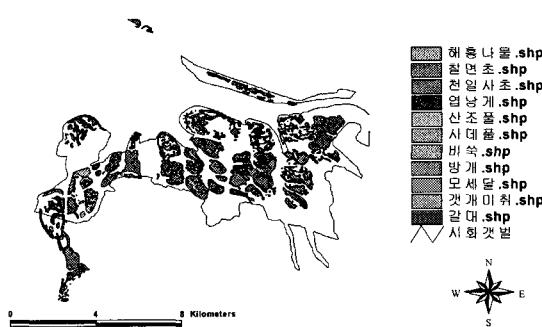


Fig. 1. Distribution map of vegetation community from field survey.

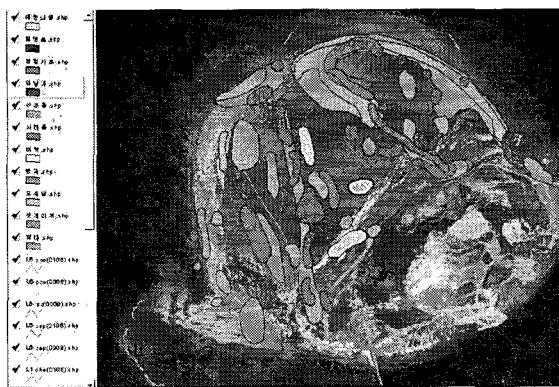


Fig. 2. Distribution map of vegetation community from field survey overlapped with IKONOS image in March, 2000.

화방조제의 연결 지점으로부터 시화공단 앞을 지나 안산시 사동으로 이어지는 북측 간척지와, 시화호 남쪽의 송산면에 위치한 닭섬과 개미섬을 축면으로 통과하는 수로를 중심으로 양측 지역에 식생군집의 분포가 확인되었다.

본 연구에서는 고해상도 위성자료의 획득이 가능하게 된 2000년 이후와 식생군집 분석에 적용 가능한 Landsat 자료의 2000년 이전 취득 자료를 비교 분석함으로써 각각의 위성자료에서 취득되는 식생군집 정보의 활용 가능성을 평가하였다. 그림 3과 그림 4는 2000년 8월 한국해양연구원의 주관으로 현장조사한 시기와 같은 시기인 2000년 9월 4일 촬영된 영상을 가지고 무감독분류(ISO data, K-means) 한 결과이다.

각각의 분류는 토지피복의 종류를 고려하여 식생군집의 구분 능력을 평가하기 위해 10개의 클래스로 분류하였다.

무감독분류의 결과는 현장조사에서 조사된 식생군집 결과와 같은 지역에 일치하여 식생이 분포하

는 것으로 나타났으며, 이를 기준으로 방조제 내만의 식생군집을 나대지와 갯벌, 물웅덩이, 식생지역의 4개 클래스로 1차 검증 가능하였다. 하지만 무감독분류된 결과는 식생지역과 물웅덩이 등이 혼재되어 정확한 식생공간 분포를 해석하는 데는 문제점이 발견되었고, 특히 식생의 종류에 따라 분포 특성을 해석하기 어려운 것으로 판단되었다. 이를 검증하기 위해 현장조사 식생분포도와 중첩하여 분석하였고, 이때 위성자료 취득시점과 현장조사 시기가 30일 이내 이므로 식생군집의 생육상 변화에 의한 오차는 무시할 수 있을 것으로 판단하였다.

식생지수는 그림 5에서 제시한 바와 같이 식생의 공간적 분포를 정량적으로 비교하기에 용이하여 방조제 내만에 분포하고 있는 식생군집의 공간밀도로 해석할 수 있을 것으로 판단되었다. 그림 6에서 방조제 내만의 식생군집이 갯벌의 나대지와 좁은 수로 등의 토지피복 특성과 혼재되어 있어서 이들이 식생의 분류에 오류 요인으로 평가되었다. 그림 7은

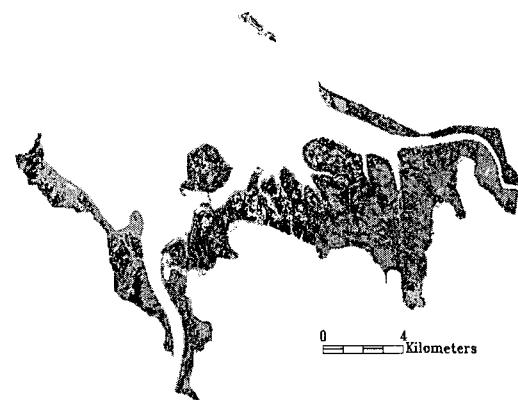


Fig. 3. Classified imagery using K-means method on 4th September, 2000.



Fig. 4. Classified imagery using ISO-data method on 4th September, 2000.

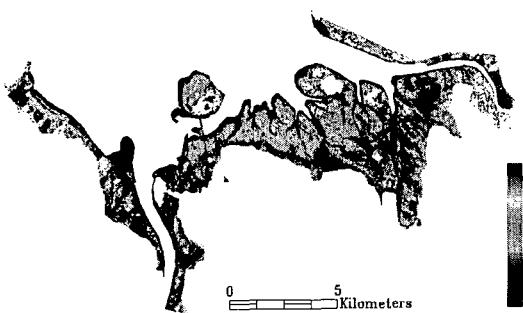


Fig. 5. Distribution chart of NDVI on 4th September, 2000.



Fig. 6. Picture of vegetation distribution and density in Field survey in May, 2005.

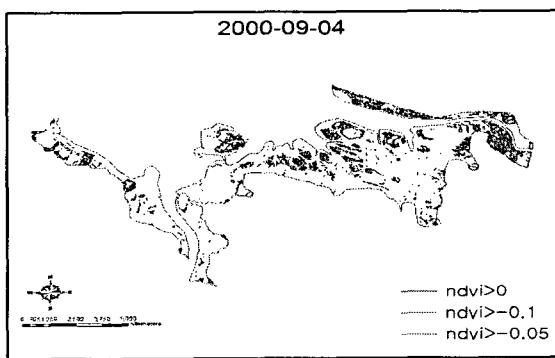


Fig. 7. Classified NDVI by three large groups for investigation of vegetation density.

식생지수를 공간구분이 가능한 3등급으로 나누어 식생의 공간 밀도로 평가하였다.

방조제 내만의 갯벌은 토양수분이 높은 습지지형에서 점차 수분과 염분이 제거되면서 간척지의 토양으로 변화된다. 이러한 토양조건의 변화는 식생군집의 분포에 영향을 미치는 것으로 판단되고 이러한 군집의 변화가 계절적으로 일어나고, 방조제 완

공이후의 연도별 변화가 나타나고 있다. 그림 8은 k-means 분류에 의한 10개 클래스의 분류 픽셀을 각 클래스별로 계산하여 시기별 클래스의 변화를 비교한 것이다. 그림 8에서 k-means 분류에 의한 10개 클래스의 분류 픽셀은 1996년 2월을 제외하면 분류 클래스별 픽셀 수의 변화가 일정한 경향을 나타낸다. 특히, 2002년 9월과 2003년 9월 분류 클래스의 픽셀 수는 다른 시기의 분류와 구분되는 경향을 나타내는데 클래스 5, 6, 7에서 다른 시기의 클래스는 분류 픽셀의 수가 감소하는 반면 2002년 9월과 2003년 9월 분류 클래스의 픽셀 수는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 분류 클래스 별로 나타나는 픽셀 수의 변화는 2002년 4월 이전과 이후의 시점으로 변화가 나타나는데 각각의 픽셀단위에서 분류된 결과를 계산하여 시기별 클래스의 변화를 비교한 것이다.

분류 클래스의 픽셀 단위 변화는 방조제 내만의 갯벌 토양환경과 식생군집의 변화에 의해 나타나는 결과이며, 이를 바탕으로 하여 개별 클래스의 특성을 통해 식생군집의 구분이 가능함을 평가하였다. 식생군집 구분의 평가는 현장조사가 이루어진 시점의 자료를 통해 분류 클래스의 픽셀 단위 변화를 검증하였다.

또한 봄과 가을의 계절적인 식생변화가 분류 픽셀의 정확도에 어떤 영향을 미치는지 판단하기 위해 표 1과 같이 분류된 각 클래스의 정확도를 검증하고, 픽셀 단위로 작성된 오차분류표를 바탕으로 그림 9와 같이 분류오차를 그래프로 작성하였다.

2000년 9월 위성자료에 의한 식생군집 분류를 현장조사 자료에 의해 수정 보완한 결과를 참조자료로 하여 비교한 2000년 3월의 분류결과는 78.96%의 분류정확도를 나타내었고, Kappa지수는 0.2376를 나타내었다. 각 클래스별 분류결과 비교는 그림 9와

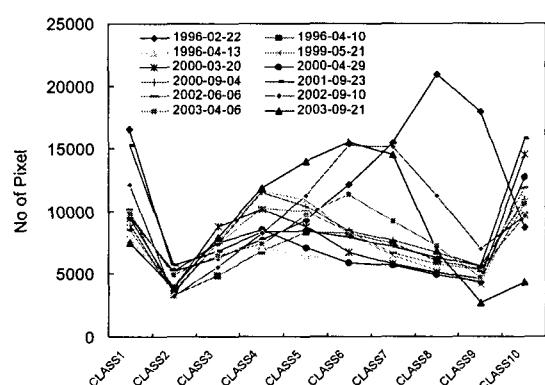


Fig. 8. Variation of the classified class using K-means method with time series from 1996 to 2003.

## 다중시기 위성영상을 이용한 시화 방조제 내만 식생변화탐지

Table 1. Classified accuracy by K-means method on 4th September, 2000

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)
class1	96.39	96.20	3.80	3.61
class2	96.76	96.43	3.57	3.24
class3	89.51	87.79	12.21	10.49
class4	85.76	87.48	12.52	14.24
class5	89.46	91.13	8.87	10.54
class6	93.74	95.00	5.00	6.26
class7	93.25	94.85	5.15	6.75
class8	91.51	93.52	6.48	8.49
class9	92.59	93.95	6.05	7.41
class10	90.11	86.88	13.12	9.89

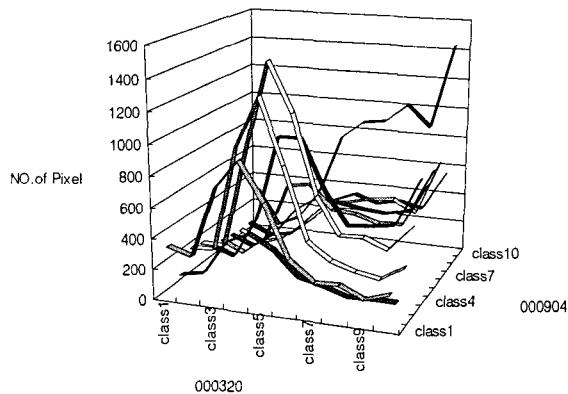


Fig. 9. Comparison of the classified classes in between Mar. 2000 and Sep. 2000.

같은 결과를 나타냈다. 각 분류 클래스의 픽셀 단위 변화는 식생의 군집변화로 판단하여 검증하였다. 그러나 그림 5와 같이 방조제 내만에 분포하는 식생은 군일한 분광 특성을 나타내지 못하고 갯벌의 나대지와 염생식물의 군집이 혼재된 혼합픽셀의 특성을 나타낸다. Landsat은 30m의 공간해상력으로 한 픽셀이 900m<sup>2</sup>의 공간을 나타내므로 픽셀의 분광혼합을 분석하여 식생분류의 오차를 최소화하였다. 그림 10은 분광혼합분석(SMA)의 분석 결과를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 분류된 식생의 분포와 각 클래스의 계절별 분포 경향, 연도별 변화를 분석하였다. 그러나 위성영상에서 분류된 각 클래스의 특성을 단일 식물 종과 구분하여 설명할 수는 없었다. 이는 현장조사에서 방형구 상에 분포하는 갯벌 식생의 종류가 2가지 이상의 종으로 혼재하고 있기 때문이다. 하지만 갯벌 나대지의 분포 비율의 영향이 많은

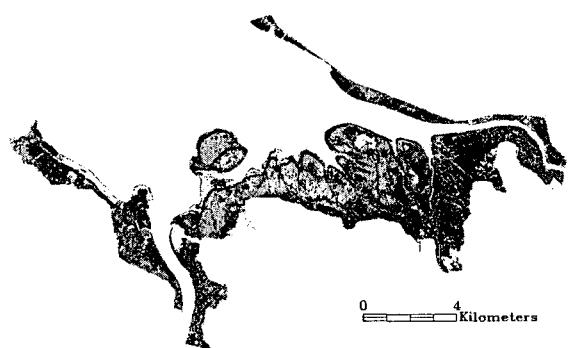


Fig. 10. Results of the classified vegetation class in Sep., 2001 using SMA.

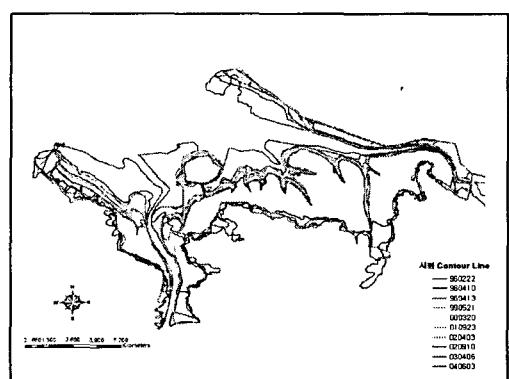


Fig. 11. Variation of Inside tidal flat area at the Sihwa embankment in Korea from 1996 to 2003.

픽셀과 갯벌 식생이 활발하게 분포하는 지역의 공간적 구분은 개별 클래스의 변화 경향을 통해 분석 가능하고 시계열적인 식생분포지역의 변화를 분

석하는 데는 높은 정확도를 나타내는 것으로 판단되었다. 또한 그림 11과 같이 시화 방조제의 수문 조절에 의해 해수위의 변화가 방조제 내만의 육상 지역 면적의 변화를 발생시키므로 해수면과 인접한 방조제 내만 갯벌의 분석 오차가 크게 나타남을 알 수 있다.

이러한 경향은 해수면 높이가 일정하게 유지되고 방조제 내만 육상부가 일정한 면적의 분포를 나타내는 2000년 이후의 식생분석에서 각 클래스별 분포에 대한 공간해석이 가능함을 설명해준다.

### 감사의 글

본 연구는 남서울대학교 2005 교내연구과제와 항공우주연구원 공공원격탐사 활용과제의 일부로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- 1) 안산시, 2001, 시화호 간척지 생태계 조사 연구, 195pp.
- 2) 한국수자원공사, 2001, 사후환경영향조사 보고서, 2001 시화지구개발 외곽시설(방조제) 사업, 154pp.
- 3) 한국수자원공사, 2002, 시화호 간척지 생태환경 보전방안 수립, 최종보고서, pp.23-87.
- 4) 한국해양연구소, 1999, 시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구 (2차년도), BSPE 97610-00-1035-4, pp.120-230.

- 5) 해양수산부, 2003, 갯벌생태계조사 및 지속가능한 이용방안연구, pp.762-773.
- 6) Kobler, A., 2000, Identifying brown bear habitat by a combined GIS and machine learning method, Ecological Modelling, 135, pp.291-300.
- 7) Kernohan, B. K., 1998, Use of an adaptive kernel home-range estimator in a GIS environment to calculate habitat use, J. of Environment Management, 53, pp.83-89.
- 8) Ortigosa, G., 2000, VVF: integrating modelling and GIS in a software tool for habitat suitability assessment, Environment Modelling Software, 15, pp.1-12.
- 9) Henderson, F. M., T. F. Hart, B. P. Heaton and J. E. Portolese, 1999, Mapping coastal ecosystems over a steep development gradient using C-CAP protocols, International journal of remote sensing, 20(4), 727-744.
- 10) Urbanski, J. A., 2003, GIS based mapping of benthic habitats, Estuarine Coastal and Shelf Science, 56, pp.99-109.
- 11) Khan, M. A., Y. H. Fadlallah and K. G. Al-Hinai, 1992, Thematic Mapping of Subtidal Coastal in the Western Arabian Gulf using Landsat TM Data - Abu Ali Bay, Saudi Arabia, Int. J. Remote Sensing, 14(4), 605-614.