

# 습지목록의 개발, 가치 및 활용방안

이 기 철\*

## Development, value and use of wetland inventory

Gi Chul Yi\*

**요약** : 본 연구는 낙동강 하구 일대 습지의 생태계 특성과 변화를 파악하기 위해 습지목록을 제작하였다. 목록의 기초자료로 Landsat TM(1986년 4월 1일, 1987년 6월 23일, 1997년 6월 18일), Kompsat-2 (2008년 1월 12일) 인공위성 이미지, 항공 LiDAR (2009년 3월 1일) 자료와, 부산시에서 조사한 생물 모니터링 자료를 바탕으로 DB를 구축하였다. 습지목록의 활용방안으로, 시계열별 습지분류도 제작 및 시공간 분석, 경관 패턴 분석, 저서생물 분포 특성 등을 파악해 습지 생태계 관리에 도움이 되도록 하였으며 특히 3차원으로 제작된 습지지도는 습지의 경계설정과 습지의 동적 특성분석에 도움을 주어 이러한 기법들을 잘 활용한다면 우리나라 전역의 습지목록 개발에 이용될 수 있다.

**핵심용어** : 습지목록, 분류, 시공간 분석, 경관패턴, 분포

**Abstract** : This study developed a wetland inventory describing the characteristics and change of Nakdong estuary wetland ecosystem. The data which are used to develop the inventory are Landsat TM(April 1, 1986; June 23, 1987; June 18, 1997), Kompsat(Jan. 12, 2008) and LiDAR(March 1, 2009) images and published monitoring data of Busan metropolitan city. The developed inventory was utilized for the classification of wetland cover, the spatiotemporal analysis of wetland and landscape pattern, the distribution of benthos species etc. Furthermore, the developed 3 dimensional wetland map showed a better way to delineate wetland boundary and understand wetland dynamics. Considering these results, it's concluded that it is possible to use the similar techniques for the development of wetland inventory in Korea.

**Keywords** : wetland inventory, classification, spatiotemporal analysis, landscape pattern, distribution

### 1. 서 론

습지는 육상과 해상을 연결하는 중요한 자연 생태학적 연결고리로서 영구적으로 또는 계절적으로 습윤 상태를 유지하며, 육상과 수생태계의 전이지대로 인류에게 미치는 여러 중요한 기능을 수행하고 있다. 이러한 습지에 관한 정보를 체계적으로 정리하기 위해 습지 목록은 습지의 형태나 특성을 지도와 함께 관련 정보를 수집, 정리하는 중요한 방법으로 인정받아 왔고, 여러

나라에서 다양한 모습으로 개발되어 진화해오고 있다(박수영 등 2000). 우리나라는 지난 1960년대부터 서남해안 간척사업과 각종 내륙개발 사업으로 인하여 전국의 습지가 급격히 감소해 왔지만 구체적인 실태파악이 되지 못하고 있는 실정이다. 기존의 습지 현황을 조사 하는 방법은 여러 가지가 있으나 외국의 최근 연구동향을 보면 항공 LiDAR(Light Detection and Ranging) 자료나 고해상도 위성영상을 이용하여 습지 현황을 분석하는 기법들이 주목을 받고 있다. 따라서 본

\* 정회원: 동아대학교 조경학과 교수 : Geyi@dau.ac.kr

연구에서는 습지목록의 제작 방법, 가치 및 활용 방안에 대한 종합적 고찰을 위해 항공 LiDAR 측량과 고해상도 위성영상 등을 이용하여 다양한 제작 기법을 제시하고자 한다. 최근 측량 및 GIS DB 구축의 다양한 분야에서 활용되고 있는 항공 레이저 측량(SHOALS : Scanning Hydrographic Operational Airborne LiDAR Survey) 기법은 지표면을 3차원으로 정밀 측량이 가능하여, 본 연구에서는 이를 기반으로 3차원 지표면의 정보를 기반으로 우리나라 고해상도 위성영상(Kompsat-2)과 미국의 지구환경 관측위성인 Landsat TM 등을 시계별로 적용하였다. 본 연구는 우리나라 습지 목록제작에 대한 다양한 기법을 제시함으로써 지도제작과 DB 구축에 따른 많은 시간과 경제적인 절감에 기여 할 수 있다.

## 2. 연구의 범위 및 방법

### 2.1 공간적 범위

본 연구의 공간적 범위는 낙동강 하구 일원으로 낙동강의 담수와 해류가 만나는 수역으로 삼각주와 여러 개의 해안 사주가 형성되어 있다. 사주와 사주 사이에는 높은 생산성을 가진 갯벌의 발달로 인하여 갯지렁이(*Neanthes japonica*)와 같은 저서무척추동물과 엽낭게(*Scopimera globosa*), 말뚝게(*Sesarma dehaani*) 및 여러 종류의 조개류가 존재하며, 갯벌에는 고니류의 먹이원이 되는 새섬매자기(*scirpus planiculmis*) 군락이 광범위하게 분포되어 있다. 특히 이 지역은 동아시아-호주 철새 이동로의 중간에 위치하는 겨울철새들의 월동지로서 고니(*Cygnus columbianus*), 노랑부리저어새(*Platalea leucorodia*), 재두루미(*Grus vipio*) 등의 천연기념물과 큰기러기(*Anser fabalis*), 넓적부리도요(*Eurynorhynchus pygmeus*), 물수리매(*Spizaetus nipalensis*) 등의 멸종위기종들이 찾아들고 있어 세계적으로 잘 알려진 철새도래지이자 우리나라의 대표적인 하구생태계로서 국내외 여러 사람들의

관심이 집중되고 있는 지역이다.

### 2.2 연구의 방법

#### 2.2.1 연구사

현대의 습지목록에 관한 체계적인 연구는 미국에 의해 시작되었다고 볼 수 있다. 미국 야생동물서비스(U.S. Fish and Wildlife Service)가 1956년에 발간한 Circular 39(Shaw and Fredline 1956)를 습지목록의 효시로 볼 수 있는데, 야생조류 서식처 보호를 위해 얕은 수면으로 덮여 있거나 물이 천천히 들어오고 나가는 낮은 지역만을 대상으로 삼아 습지의 경계 설정(delineation)을 하였다. 그러나 이 작업은 야생조류의 서식처 기능 외에 관심이 있는 여러 전문가들의 공감대를 얻지 못하였다. 이후 미국 야생동물서비스는 체계적인 습지분류를 위해 수년간에 걸친 습지생태학자들의 연구와, 지방 및 연방정부 관계전문가들의 도움으로 1977년 초안을 완성해 1970년대 후반부터 미국 전 지역을 대상으로 국가습지목록(NWI: National Wetland Inventory)을 시작하였다(Cowardin et. al. 1979). NWI의 습지 분류체계에 의해 목록 작업은 습지의 특성을 생태권역의 범위와 수리·지형·화학·생물적 특성에 따라 계-소계-강-우점종(system-subsystem-class-dominance)의 단계별 분류에 따라 구분하였고, NWI의 최종 결과는 미국 지질조사국(U.S. Geological Survey)에서 제작한 지형도면(topographic map)에 습지의 유형별로 분류한 결과를 나타내었다. 이 NWI는 여러 고도에서 촬영된 항공사진을 판독하는 전형적인 원격탐사(Remote Sensing) 방법을 선택하였는데 그 이유는 조사하고자 하는 지역을 일일이 현장조사하지 않고 감지된 항공사진을 해독하는 방법을 통해 어떤 특성을 가진 습지인지 분별할 수 있었기 때문이었다. 1980년대부터는 인공위성과 컴퓨터의 발달에 힘입어, 미국 오하이오주 자연자원부(Ohio Dept. of Natural Resources)에서는 미국의 LANDSAT TM(Thematic mapper)

자료에 의한 원격탐사기법과 지리정보체계(GIS: Geographic Information System)를 연결하여 1990년부터 1992년까지의 3년이란 짧은 기간 동안 오하이오주 전체 지역의 습지 목록(OWI: Ohio Wetland Inventory)을 완성하여 습지 생태계 데이터베이스 구축의 기반기술을 획득한 동시에 정보수집과 처리의 효율성을 크게 증가시켰다 (Yi et al. 1994).

이러한 방법과 유사하게 국외의 여러 나라에서는 원격탐사기술에 의한 습지 현황조사에 박차를 가하고 있다. 미국의 캘리포니아, 위스콘신 주 및 환경보존단체인 Duck's Unlimited 등은 자신들이 관할하는 습지 목록을 개발해 습지의 현황, 지역별 집계 또는 습지의 특성별 통계를 체계적으로 제공하여 주고 있다. 그 결과 습지의 여러 기능들에 대한 각종 자료들을 좌표계와 속성 자료에 근거한 데이터베이스로 구축해 어떤 지역을 보존 또는 관리해야 할지에 대한 습지관리계획 수립 및 평가를 할 수 있는 방안으로 삼고 있다 (Kelly 2006; Wehr 1999; Wilen 1996; Yi et. al. 1994; 이기철 등 2010).

습지의 분포를 선택된 분류 방식에 의해 현황을 나타내는 전형적인 습지목록외에도 습지의 특성을 구체적으로 나타내기 위한 목록들이 있는데, 미국야생동물서비스에서는 특정 생물종의 서식처를 보호하기 위해 토지, 수면 등의 가치를 수치로 나타낸 HEP(Habitat Evaluation Procedure)와 습지의 다양한 기능을 나타내기 위해 만들어진 WET(Wetland Evaluation Technique) 등에 의해 환경영향이 발생하기 이전과 이후의 서식처의 가치를 비교하고 있다. 또한 미국의 환경보호국(EPA)은 1996년 습지의 건강성을 평가하는 방법을 제안하였고, 미국의 미네소타주를 위시해 여러 지방정부에서 다양한 지수를 이용해 개별습지의 기능을 건강성 측면에서 평가하고 있으며 우리나라도 습지총량제와 연계해 이러한 연구를 진행하였다(환경부 2009). 이러한 방법은 의미 있는 접근 방법으로 볼 수 있지만 한계

가 있다. 우선 습지의 경계설정 구분을 위한 과정과 방법이 불명확하다. 한 국가의 기본도로 제작되기 위해서는 기본적인 축적에 맞추어 지도화 할 수 있는 표준화된 방안이 필요하지만 아직 우리나라는 이를 위한 표준화된 프레임이 마련되어 있지 못한 상황이며, 국내에서 제작된 습지지도들은 체계적인 DB 구축이 되지 못한다. 이차원적 표현에 국한되어 습지의 기능 및 특성분석에 한계를 보인다. 따라서 본 연구에서는 이를 보완하면서 다양한 습지지도를 만드는 방안을 제시하고자 하는데, 이러한 습지지도의 장점은 습지경계 설정에 유리하고, 습지의 다양한 기능 및 특성분석이 가능해, 이와 같이 제작된 지도는 여러 용도로 그 활용가치를 부여할 수 있다.

## 2.2.2 연구 자료의 획득

본 연구에서 활용된 연구 자료는 Landsat TM(1986년 4월 1일, 1987년 6월 23일, 1997년 6월 18일), Kompsat-2 (2008년 1월 12일) 인공 위성 이미지 자료와 항공 LiDAR (2009년 3월 1일) 및 국토지리정보원에서 제작된 수치지형도(1:5,000)를 사용하였다.

그림 2는 항공 LiDAR 촬영의 취득 및 처리과정을 나타내었다. 연구 대상지역에 대한 촬영 작업계획을 수립한 후 관계기관으로부터 비행과 보안관련 촬영허가를 취득하고 나면, 영상취득을 위한 최적의 기상조건을 고려하여 촬영 작업이 진행되며 본 연구에서는 2009년 3월 1일 오전 10시부터 오후 3시 사이에 촬영 작업을 수행하였다. 일반적으로 항공사진의 촬영과 LiDAR 촬영을 분리하여 실시하고 있으나 본 연구에서는 디지털 영상과 LiDAR Point 자료를 동시에 취득하였다. 이렇게 취득된 자료로부터 항공 삼각측량, 도화 및 편집과정 등을 거쳐 지형도 제작과 정사사진 및 3차원 입체 동영상 등을 구축하였다. 표 1에서는 촬영시 기상조건 및 취득 자료에 대하여 정리하였으며, 최저 저수위는 7cm, 최고 고수위는 153cm, 평균해수면은 95.3cm이었다.

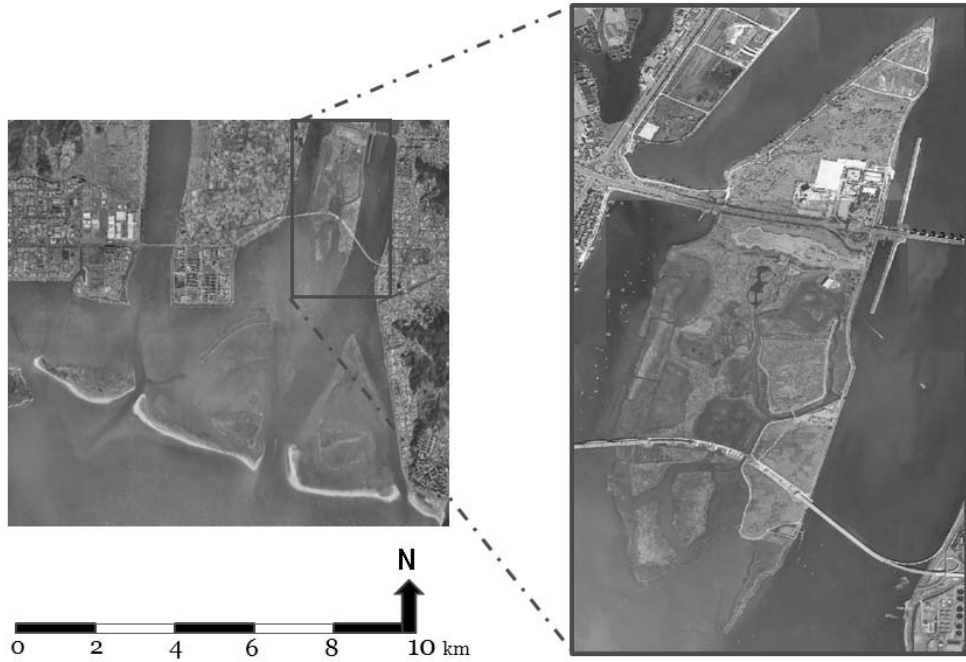


그림 1. 연구 대상지역으로 선정된 낙동강 하구와 을숙도



그림 2. 항공 LIDAR 처리 흐름도

표 1. 항공라이더 촬영 여건 및 취득 영상

분류	촬영 현황
기상 조건	2009년 03월 01일 (맑음, 9.5℃, 3.1m/s)
최저/최고위	7cm / 153cm (15:58) / (10:53)
평균해면(MSL)	95.3cm
촬영면적	63.24km <sup>2</sup>
취득영상수	18코스, 451매(80%중복)
비행고도(픽셀크기)	1,300m(23cm)

### 2.2.3 습지도도 분류방법

본 연구에서 채택한 분류는 크게 5개 종류의 습지를 중심으로 분류하였는데 이 분류체계는 미국의 NWI, OWI 등과 비교하며 낙동강 하구에 맞게 세분화 하였다. 이 분류에서 수면(Open water)은 해수(sea water)와 담수(fresh water)를 합친 기수역 지역이며, 염습지는 식생이 존재

하지 않는 갯벌(tidal flat)과 삼각주 모양의 사주(sand bar)로, 염습지 식물군락지(salt marsh covered with hydrophyte)는 이 지역의 식물 우점종인 갈대 (*phragmites australis*)와 새섬매자기(*scirpus planiculmis*) 군락을 중심으로 세분하

였다. 이렇게 결정된 분류체계와 미국의 다양한 습지 목록과 비교한 결과 갯벌, 사주, 새섬매자기 및 갈대군락지 는 미국 NWI, OWI 등의 얇은 늪과 습지초원과 같은 수준으로 비교가 가능하다(표 2 참조).

표 2. 습지 분류 비교

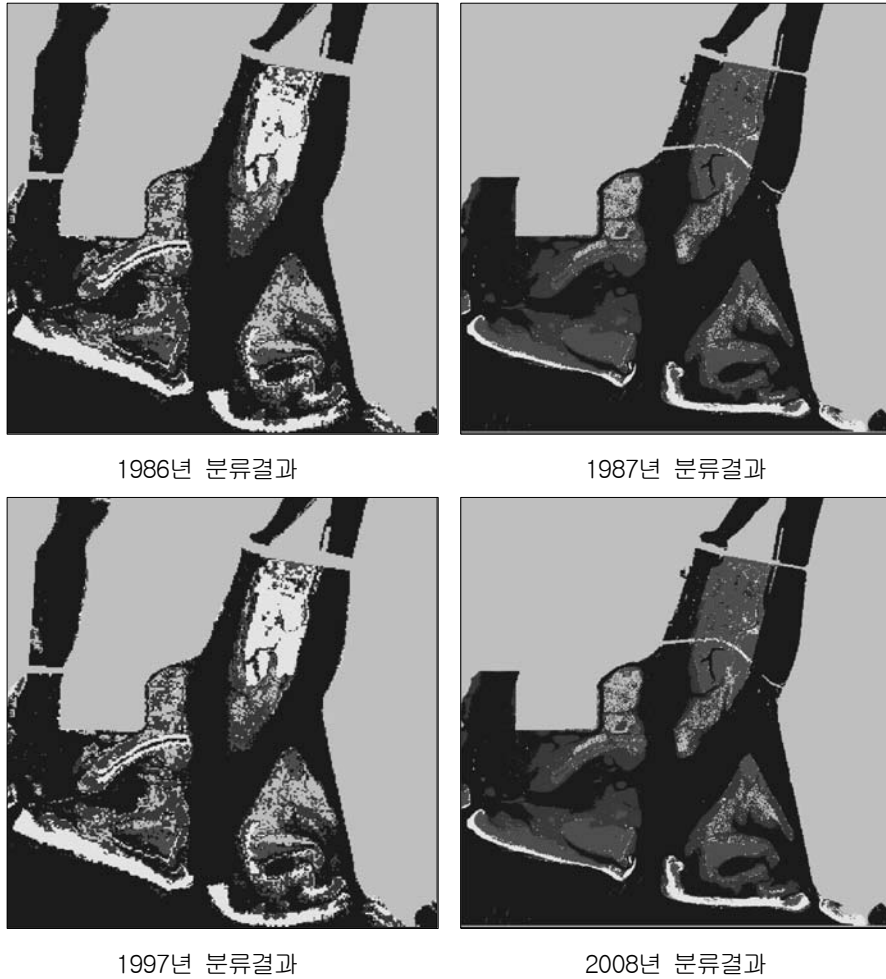
OWI(Ohio Wetland Inventory)의 습지 분류	본 연구의 습지 분류	미국 습지목록(U.S. National Wetland Inventory)의 습지 분류	미국 야생동물보호처(U.S. Fish and Wildlife Service)의 Circular39에 의한 습지 분류
수면(Open water)	수역(Open water)	Palustrine or lacustrine(호소 또는 소택), littoral(호안); aquatic bed(수중생물); submergent(침수), floating(부유), and floating-leaved(부엽)	Type 5: inland open fresh water(내륙 담수)
얇은 늪(Shallow marsh)	Type 1. 갯벌(tidal flat) Type 2. 갈대식물군락지(marsh covered with <i>phragmites</i> sp.)	Palustrine; emergent(신생의); emergent/wet meadow	Type 3: inland fresh marsh(내륙 습지)
습지 초원(Wet meadow)	Type 3. 새섬매자기식물군락지(marsh covered with <i>scirpus</i> sp.) Type 4. 사주(sand bar)	Palustrine; emergent; broad(광엽) and narrow-leaved(좁은 잎) persistent(영속적인)	Type 1: Seasonally(계절별) flooded basin (침수지) or flat(평탄지) Type 2: inland fresh meadow(내륙 습지초원)

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 습지 분류 및 시공간 분석

본 연구에서 사용된 인공위성자료를 처리하기 위해 첫 번째 단계는, 영상의 기하보정작업으로 영상자료중 시각적으로 구별하기 쉬운 교각, 도로의 교차점 등을 근거로 여러 개의 GCP(Ground Control Point)를 선정해 평균제곱근 오차(Root Mean Square)가 1화소 이내가 되도록 하였다. 둘째, 습지의 영상 분류(image classification)를 위해 감독분류(supervised classification)와 무감독분류(unsupervised classification)의 결과중 분류의 정확도를 비교해 습지의 특성인 수면, 습도

(moisture) 와 식생(vegetation) 등을 민감하게 반영해 준 방법을 최종 채택하였다. 감독분류시 필요한 특정 필드 선정 및 분류결과를 검증하는 과정에 있어 현지 조사의 결과를 적용했는데, 현지조사는 주요 습지 식생 군락과 토지이용 현황을 현지에서 지도에 표시한 결과를 이용해 인공위성 이미지상의 여러 밴드를 중첩해 색조(tone) 또는 질감(texture)의 차이에 의해 토지피복의 특성이 명확히 나타나는 지역만을 특정 필드로 최종 지정해 분류의 근거로 이용하였다. 여러 분류 방법을 검토한 결과 최대 우도법(Maximum Likelihood Classifier)이 분류결과와 정확도가 가장 높게 나타났다(Wilen & Smith 1996; Paine et al. 2005).



범례	구분	1986년	1987년	1997년	2008년
	수역	25692300	33773400	25415100	23393735
	갈대 군락	1670400	2295900	2411100	4960841
	사주	4183200	1962000	4179600	1154441
	새섬매자기	6490800	2616300	2930400	1045761
	갯벌	5034600	1536300	4643100	4340488
	기타	24991200	25878600	28483200	31167234

(단위: m<sup>2</sup>)

그림 3. 연구대상지역의 습지피복도 결과

그림 3은 1986년, 1987년, 1997년과 2008년의 습지피복 분류결과를 보이고 있는데, 1986년과 1987년의 분류결과가 큰 차이를 보이고 있는

이유는 Landsat TM 촬영시간대가 오전 약 10시 30분으로 정해져 있는바 조석의 차이에 따라 1986년은 간석지의 80 % 이상이 노출된 반면

1987년의 경우 약 80 % 이상이 수면으로 덮여 있었기 때문이다. 시계열 분석에서 가장 염두에 둔 것은 1987년 11월에 완공된 하구둑 조성이후 약 10년이 지난 1997년과 최근까지의 변화이다. 그중 가장 두드러진 변화 몇 가지를 살펴보면 하구둑 인근지역의 개발로 인한 갯벌, 염습지 식물군락의 감소이다. 1986년 503 ha에 다다르던 갯벌은 명지주거단지, 신호공단 등의 개발로 인해 약 434 ha의 규모로 축소되었고, 649 ha 규모의 새섬매자기 군락은 약 105 ha 미만으로 크게 감소되었다(그림 4 참조). 이 새섬매자기는 낙동강 하구에서 월동하는 겨울철새 특히 고니류의 주요

먹이 원으로서 최근 고니류의 개체수가 크게 감소한 것과 무관하지 않다(부산광역시 2010). 반면 갈대군락은 약 2배 이상의 증가를 보이고 있는데 그 이유는 육상에서 내려온 준설토에 의해 만들어진 사주와 을숙도에 최근 진행된 인공생태계 조성 사업에 따라 우점종이었던 갈대가 과도하게 번식하였기 때문으로 추정된다. 그리고 하구둑 건설 이전에는 염습지 식물군락 주변부 곡선의 모습이 갯벌과 함께 만입이 계속되며 다양한 타곡선 형태로 존재하다가 세월이 지남에 따라 단순하게 변해가는 모습을 보였다.

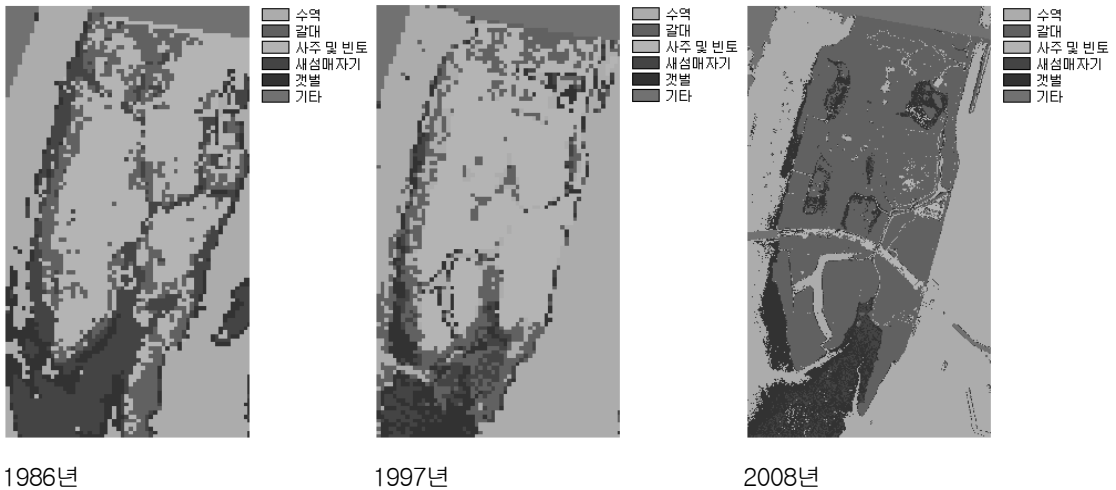


그림 4. 연구대상지역내 을숙도 지역의 습지피복도 변화

이러한 습지 분류 결과는 라이다자료로 취득한 지형자료와 중첩하면 3차원으로 표현 가능하다. 이렇게 3차원으로 나타내면 습지 유형별 차이를 명확하게 알 수 있어 습지의 경계 도출 또는 윤곽을 파악하는데 있어 2차원으로 파악한 평면지도보다 유용함을 알 수 있다(Kelly & Tuxen 2006).

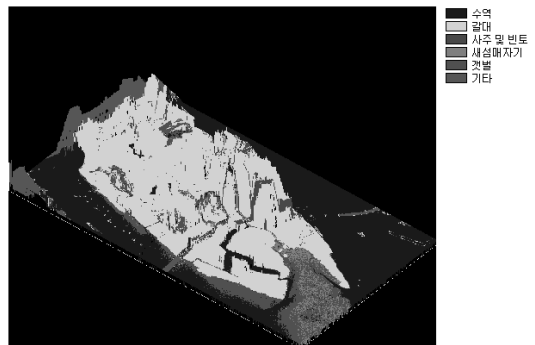


그림 5. 3차원으로 나타낸 을숙도 지역의 습지 분류도

### 3.2 습지 염생식물의 분포 특성

낙동강 하구의 우점 염생식물 군락은 갈대와 새섬매자기로서 주기적으로 해수가 침투해 범람 하거나 침수되어 물로 포화된 토양에 적응된 식생이다. 본 연구에서는 라이다자료로 획득된 을숙도 지역 지형도를 이용해 경사 분석을 수행한 후(그림 6 참조) 이들 염생식물과 지도중첩을 한 결과 갈대는 경사 3-8%의 범위에서 을숙도 인근의 전

체 갈대 지역 중 1256190 m<sup>2</sup> (53.3 %)를 나타내었고 경사 8-12%와 0-3% 범위의 순으로 나타났다(표 3 참조). 반면 새섬매자기는 경사 3% 미만의 평지에서 36,635(64.3%)를 나타내었다. 즉, 경사는 갈대의 성장에 제한 요소가 되지 못해 점차적으로 갈대의 세력이 새섬매자기보다 강해 을숙도 육상부지역의 갈대군락의 지속적인 확장이 예상되어진다.

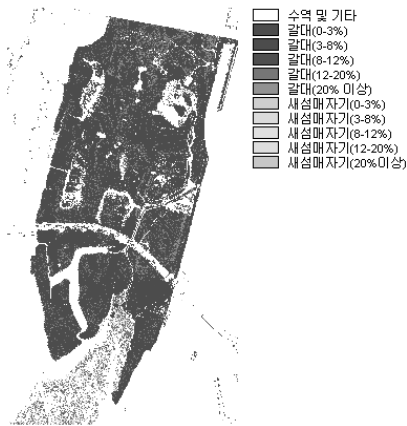


그림 6. 을숙도지역의 경사와 갈대와 염생식물 중첩도

표 3. 갈대와 새섬매자기 분포면적(단위 m<sup>2</sup>)

경사(%)	갈대	새섬매자기
0 - 3	278,517(11.8%)	36635(64.3%)
3 - 8	1,2561,90(53.3%)	
8 - 12	476,538(20.2%)	13726(24.1%)
12 - 20	317,272(13.5%)	
20 이상	30,372(1.3%)	6587(10.3%)
합계	2,358,889	56,948

그림 7은 낙동강 하구의 해수면과 육지가 만나는 경계선으로부터 완충지역을 50 m와 100 m로

구분하여 분석한 후 갈대와 새섬매자기의 분포를 중첩하여 나타낸 것이다.

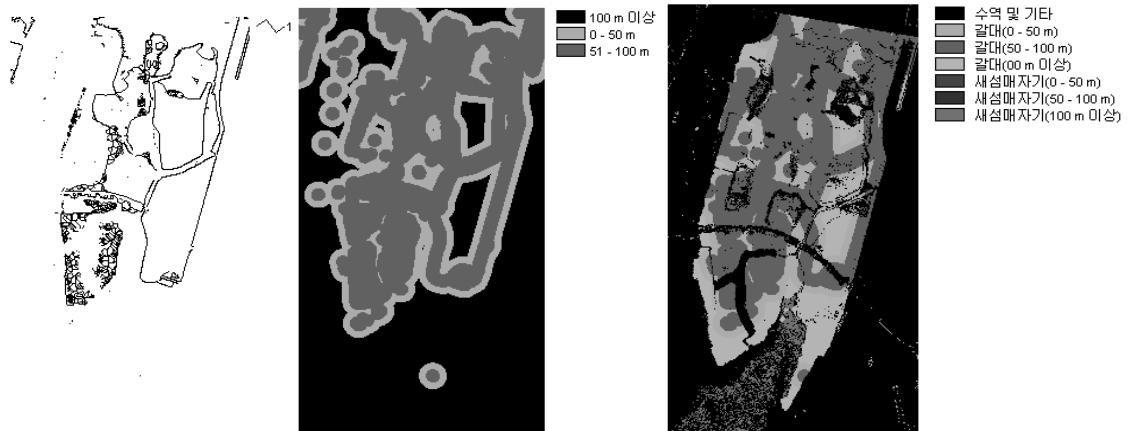


그림 7. 을숙도지역의 해수면 경계선과 완충지역의 염생식물 분포도



표 4는 이를 면적으로 정리한 것인데, 갈대는 수역 경계선으로부터 육지 쪽으로 대부분 (약 82%) 분포하고 있고, 반면 새섬매자기는 대부분 (약 86 %)이 해수면 방향으로 나타나고 있다(그림 7 참조).

표 4. 수역 경계선으로부터 구분한 완충지역의 갈대와 새섬매자기 분포 면적(단위 m<sup>2</sup>)

지역구분	갈대	새섬매자기
0-50 m	474,505(20.2 %)	24,372(14.2 %)
50 - 100 m	1,450,708(61.9 %)	
100 m 이상	419,007(17.9 %)	147,245(85.8 %)

### 3.3 습지 분류의 경관패턴 분석

생물개체군에서 어떤 종이 분포하는 양상을 이해하기 위해 전형적인 방법은 종의 다양성(diversity), 풍부도(richness), 우점도(dominance) 등의 생태 지수를 근거로 군집구조의 복잡한 정도를 파악해 왔다. 본 연구에서는 분류된 습지 피복도를 근거로 경관패턴 분석을 실시하였다. 이 경관패턴은 육지와 수중 생태계 모든 생물에게 영향을 미치고 있고 (Reiners et al. 1994; Cooper 1995), 결과적으로 생물 다양성에도 영향을 미친다(홍선기의 2007). 낙동강 하구 습지 서식지의 공간 패턴은 앞에서 살펴보았듯이 시간에 따라 변화해 왔고 그

결과 연속적이던 서식지가 파편화(fragmentation) 되는 지역 또한 나타났다. 분석을 위해 1986년의 자료는 가로, 세로 30m 격자 크기의 TM으로부터, 2008년은 1m의 일정해상도를 가진 Kompsat 위성자료로부터 만들어 진 것을 이용하였다. 그림 8 과 9에서는 상대적 풍부도와 다양성을 비교한 내용으로 그 수식(IDRISI 2002)은 다음을 근거로 인접한 격자의 3 X 3 규모로 비교하였다.

$$\text{상대적 풍부도 } R = n/n_{\text{max}} \times 100$$

여기서 n = number of different classes present in the kernel (격자 안에 나타난 분류의 수)

$$n_{\text{max}} = \text{maximum number}$$

of classes in entire image

(전체 이미지 안에 나타난 최대 분류의 수)

$$\text{다양성 } H = -\sum(p \times \ln(p))$$

여기서 sum = the sum over all classes in the entire image

(전체 이미지 안에 나타난 분류의 합계)

p = proportion of each class in the kernel

(격자 안에 나타난 개별 분류의 비율)

ln = natural logarithm

(자연 로그)

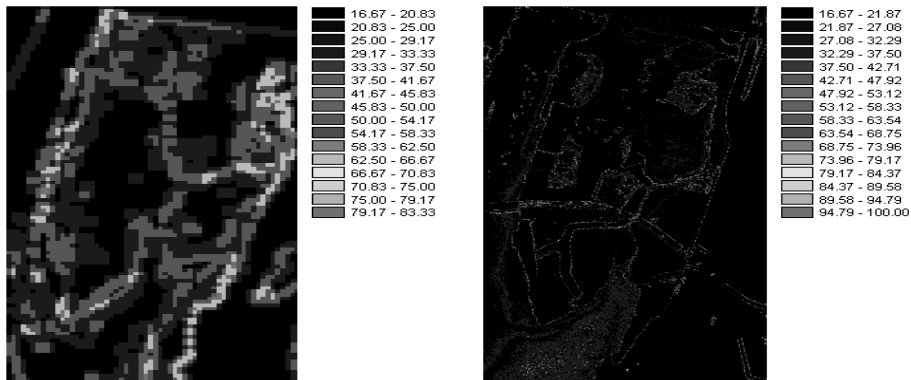


그림 8. 을숙도 지역의 1986년(좌측)과 2008년(우측)의 상대적 풍부도

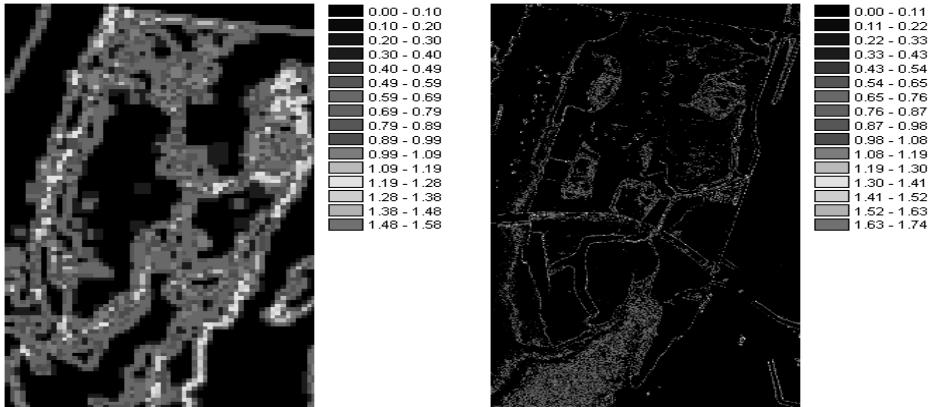


그림 9. 을숙도 지역의 1986년(좌측)과 2008년(우측)의 다양성

1986년과 2008년의 상대 풍부도와 다양성 지수를 비교해 보면 1986년 연결되어 있는 습지 서식지가 파편화 현상에 의해 분리되어 나타나는 것을 시각적으로 쉽게 알 수 있다.

### 3.4 저서생물 분포 특성 분석

2009년 3월부터 2010년 10월 까지 조사된 을숙도 지역 8개 지점의 저서동물상은 총 5문 56종으로 나타났으며 정점별 출현종수의 경우 2009년은 정점 7에서 11종, 2010년은 정점 6에서 13종으로 타 정점에 비해 상대적으로 다양한 출현종을 보였고, 정점 2에서는 2009년 2종, 2010년 5종으로 가장 적게 나타났다(그림 10 참조). 정점 2가 출현종수가 가장 낮은 이유는 조석의 변화에 따른 수면에 잠기는 변화가 다른 지역보다 그 차이가 적어(그림 11의 단면 S2 참조) 그 원인으로 추정된다.

생태지수의 분석결과 2008년의 경우 균집구조의 안정성을 나타내는 종다양성 지수는 평균  $1.86 \pm 0.26$ 이고 0.56(정점 3)에서 2.05(정점 7)의 범위로 나타났다. 균등도 지수는 평균  $0.83 \pm 0.03$ , 우점도 지수는 평균  $0.54 \pm 0.09$ , 풍부도 지수는 평균  $2.49 \pm 0.068$ 의 범위를 나타내었다. 정점 7이

종다양성지수, 풍부도 지수, 균등도 지수가 상대적으로 높게 나타난 반면 우점도지수가 낮게 나타났는데 그 이유는 타정점에 비해 출현종수가 많이 나타나 상위 우점종의 서식밀도가 낮게 나타난 결과로 판단된다. 2010년은 종다양성지수 평균  $1.50 \pm 0.70$ , 균등도 지수는 평균  $0.66 \pm 0.29$ , 우점도 지수는 평균  $0.66 \pm 0.25$ , 풍부도 지수는 평균  $1.86 \pm 0.67$ 로 나타났으며 정점 8은 종다양성지수 풍부도 지수, 균등도 지수는 상대적으로 높게, 우점도 지수는 낮게 나타났다. 정점 7과 8이 종다양성지수 풍부도 지수, 균등도 지수에서 상대적으로 높게 나온 이유는 조사지역중 조석의 변화에 따른 수면에 잠기는 변화가 다른 지역보다 그 차이가 많아(단면 S7, S8 참조) 그 원인으로 추정되지만 지속적인 모니터링이 필요하다.

이와 같이 조사지점의 단면도와 라이다자료와 위성자료를 중첩한 이미지자료위에 각종생태지수들을 나타낸 것은 시각적인 구별에 의해 철새들의 먹이원이 되는 저서생물의 습지관리에 도움을 줄 뿐만 아니라, 추후 저서생물의 서식과 관련된 여타 특성, 즉, 조석시 나타나는 물의 체류 또는 노출시간, 토양 특성, 유기물 오염 등의 각종 자료를 속성자료로 연계해 지속적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

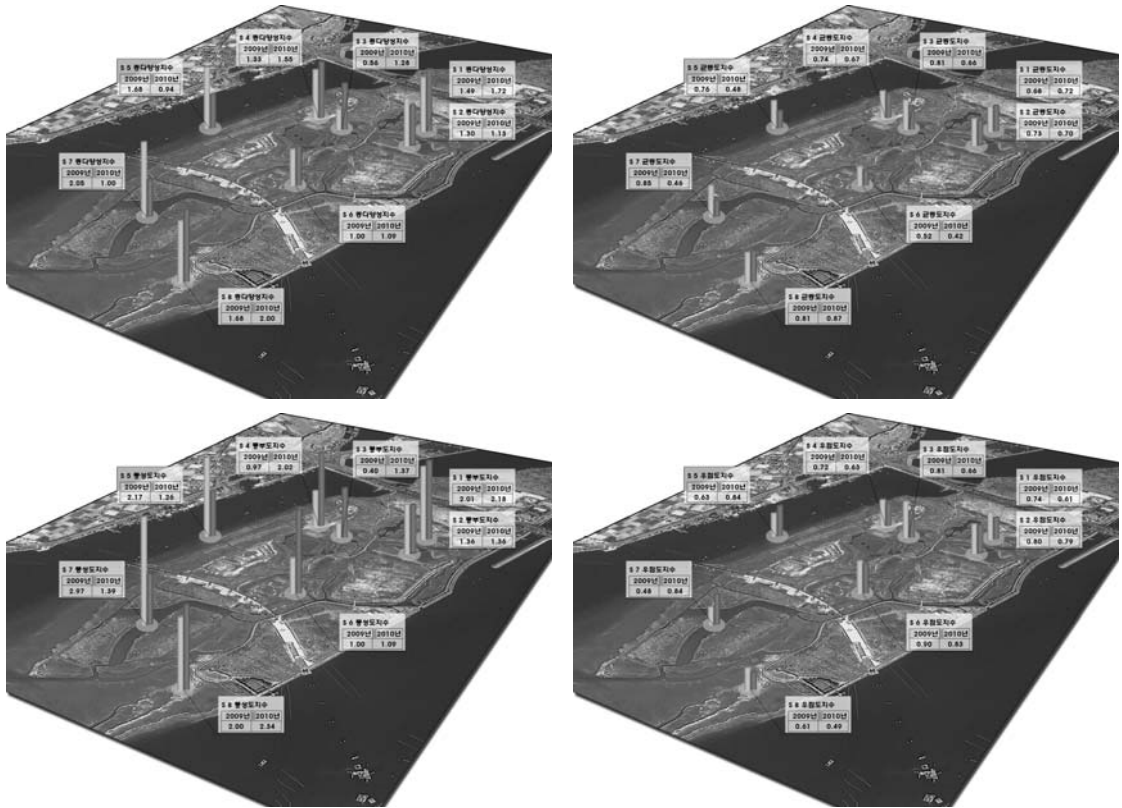


그림 10. 을숙도지역의 저서생물 생태지수

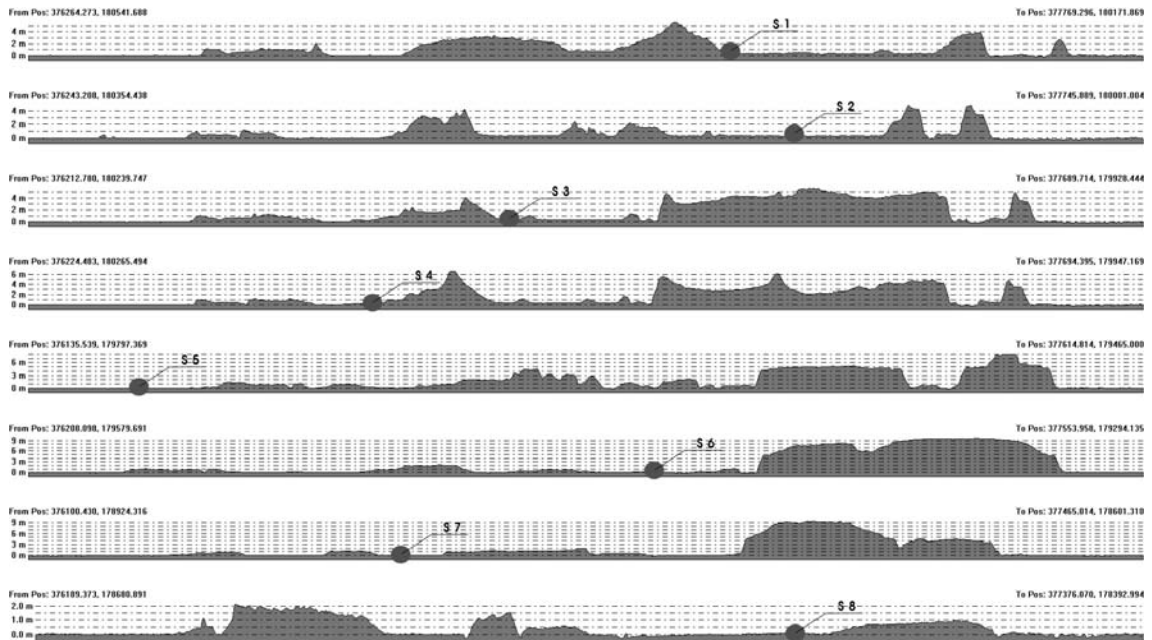


그림 11. 저서생물 조사지역의 단면도

그림 12는 을숙도 지역 내 습지의 물이 차고 빠지는 상태를 평면으로 나타낸 것으로 범례 3번(청색) 이하로 나타낸 지역은 매일 거의 모든 시간동안 수면에 잠겨있는 지역이고, 9번(적색 및 황색) 이상으로 나타낸 지역은 육지로 남아 있는 지역이며, 그 중간의 지역은 조석변화에 따라 갯벌로 노출되는 지역을 지형의 높이에 따라 구분한 것이다. 이러한 변화는 습지생물에 많은 영향을 미치는 데, 예를 들어 조석 간만에 의해 행동하는 조류로 도요물떼새류는, 1년 내내 서식하는 종과 철새로서 그 곳을 중간기착지로 이용하는 종이 있는데, 둘 다 갯벌에 서식하는 저서생물을 주식으로 하기 때문에 갯벌에 대한 의존도가 높다. 따라서 그 행동은 갯벌의 간출면적에 의해 지배를 받는데, 밀물이 되어 갯벌에 물이 차게 되면 다른 지역으로 이동해야 한다. 즉, 이들 조류는 조석의 변화에 맞추어 일중 및 야간에 발생하는 물의 변화에 따라 행동하므로 습지의 동적특성을 잘 보여준다고 할 수 있다.

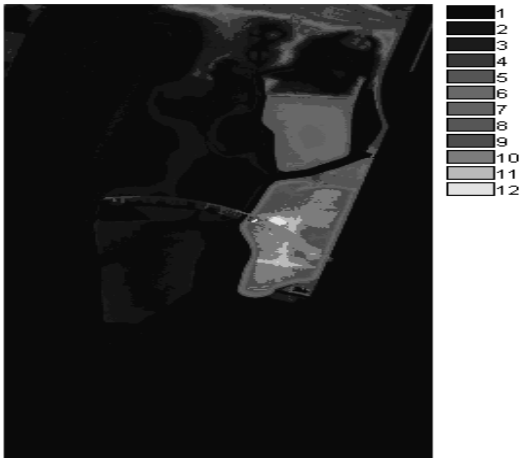


그림 12. 을숙도 지역의 조석변화에 따른 갯벌 노출

#### 4. 결 론

본 연구에서는 세계적 철새도래지로 보전의 중요성이 매우 높지만 하구인 개발로 인해 생태계의

변화가 크게 발생한 낙동강 하구를 대상으로 하구 독 완공 이전인 1986부터 최근까지의 습지목록을 제작하고 습지의 피복 분류, 시공간 분석, 경관패턴 분석, 저서생물상 분포 특성 등을 파악해 생태계 보전 및 관리에 필요한 다양한 활용방안을 제시하였으며 본 연구가 가지는 의의는 다음과 같다.

첫째, 원격탐사와 지리정보체계를 이용해 습지 목록에 필요한 효율적인 DB 구축이 가능함을 입증하였다.

둘째, 구축된 DB를 근거로 생태계 변화를 파악하는 시공간 분석을 수행함으로써 생태계의 공간 구조와 패턴에 대한 과학적인 분석이 가능하도록 하였다. 특히 습지 서식지의 손실과 파편화에 대한 객관적 평가가 가능하도록 그 방향을 제시하였다.

셋째, 낙동강 하구 일대 뿐만 아니라 다른 지역에도 유사한 기법을 적용해 다양한 생태계 DB를 구축할 수 있는 방법을 제안하여, 종합적인 습지 생태자원 분석 가능성이 가능함을 보여 주어, 추후 이러한 방법을 체계화 한다면 습지관리에 필요한 의사결정시 유용한 습지목록의 활용방안과 가치를 제시하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 2010년도 동아대학교 학술연구조성비(국외연구과건)에 의하여 연구를 수행하였으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

박수영, 윤성운, 이기철, 김귀곤, 배덕효, 김형수, 경남발전연구원. 2000. 습지학원론. 은혜기획 pp. 32-70.

부산광역시. 2010. 을숙도 하단부 생물모니터링. 부산광역시 낙동강사업본부. 62p.

윤해순, 김구연, 김승환, 이원화, 이기철. 2002. 서낙동강 수질의 이화학적 특성과 수생관속 식물의 분포, 한국생태학회지 25(3): 165-173.

- 이기철. 습지목록의 개발과 활용방안. 1999. 한국 습지학회지 1(1): 77-85.
- 이기철, 이원화, 윤해순, 남춘희, 김구연, 김승환, 서상현. 2004. GIS와 RS를 이용한 생태지도 작성기법에 관한 기초연구, 한국지리정보학회지 7(3): 57-69.
- 이기철, 이재원, 김용석. 2010. GIS에 기반한 습지목록의 제작과 활용. 한국지리정보학회지 13(1): 50-61.
- 최정현, 엄진아, 이윤경, 유중현, 현중선. 2007. 프랙탈 기법을 활용한 조류로 발달 양상의 분석. 한국원격탐사학회지 23(2): 131-135.
- 홍선기, 강신규, 김재은, 노백호, 노태호, 이상우. 2007. 경관생태계. 라이프사이언스 pp 47-58.
- 환경부. 2009. 습지총량제 도입기반을 위한 습지 건강성 평가모델 개발연구. 142p.
- Cooper SR. 1995. Chesapeake Bay watershed historical land use: Impact on water quality and datum communities. Ecological Application 5: 703-723.
- Cowardin LM, Carter V, Golet FC, LaRoe, ET. 1979. Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the U.S. U.S. Fish and Wildlife Service Pub. FWS/OBS-79-31 Washington, D.C. 103pp.
- Idrisi. 2002. Tutorial. Clark University, USA.
- Barrette J, August P, Golet F. 2000. Accuracy Assessment of Wetland Boundary Delineation Using Aerial Photography and Digital Orthophoto graphy. PE&RS, 66(4): 409-416.
- Paine JG, William A, Rebecca C, Smyth J. 2005 Combining EM and LidAR to Map Coastal Wetlands : An Example from Mustang island, Texas ASPRS, Environmental and Engineering Geophysical Society (Proceedings) pp. 745-756.
- Kelly M, Tuxen K. 2006. Integrating LiDAR and CIR Imagery for Mapping Tidal Wetlands. ASPRS 72(7): 251-257.
- Reiners WA, Bouwman A, Parsons J, Meller M. 1994. Tropical rain forest conversion to pasture: Changes in vegetation and soil properties. Ecological Application 4: 363-377
- Shaw and Fredline. 1956. Wetlands of the United States, Their Extent, and Their value for Waterfowl and other Wildlife. U.S. Dept. of Interior, Fish and Wildlife Service, Circular 39. 67pp
- Wehr A, Lohr U. 1999. Airborne laser scanning : an introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54(2): 68-82.
- Wilén BO, Smith G. 1996. Assessment of remote sensing/GIS technologies to improve national wetlands inventory maps, Proceedings of Sixth Biennial Forest Service Remote Sensing Applications Conference. 29(3); 33-50.
- Yi GC, Risley D, Koneff M, Davis, C. 1994. Value and Use of Ohio's GIS-based Wetlands Inventory. Journal of Soil and Water Conservation. 49(1): 23-28.

- 논문접수일 : 2012년 03월 29일
- 심사의뢰일 : 2012년 04월 02일
- 심사완료일 : 2012년 05월 29일