

GIS와 원격탐사를 이용한 낙동강 하구 습지 데이터베이스 구축에 관한 연구*

이기철¹ · 윤해순² · 김승환¹ · 남춘희² · 옥진아¹

A Study of the Development of Wetland Database for the Nakdong River Estuary using GIS and RS*

Gi-Chul Yi¹ · Hae-Soon Yoon² · Seung-Hwan Kim¹
Chun-Hee Nam² · Jin-A Ok¹

요 약

본 연구는 낙동강 하구의 습지를 대상으로 습지생태계의 종합적인 정보 추출을 위해 지리정보 시스템 및 원격탐사 기법을 이용하여 습지 데이터베이스를 구축하였다. 습지 데이터베이스 구축을 위해 낙동강 하구를 대상으로 1998년 3월부터 9월까지 현지조사를 실시하였다. 또한, Landsat TM 영상자료(1997. 5. 17)를 1:50,000 지형도로 기하보정한 후, 감도분류 및 무감도분류를 실시하여 현지 식생조사 자료와 비교, 분석해 습지분류도를 제작하였으며, 습지식생의 활력을 측정하기 위해 중합차식생지수(NDVI:Normalized Difference Vegetation Index)에 의한 식생활력도 지도와 습지의 생산력을 분석하기 위해 낙동강 하구 습지의 우점식물종인 갈대군락의 생산성에 근거한 습지생산력 지도 및 습지식생의 변화를 사전에 예측한 식생전이 예상도를 작성하였다. 본 연구에서 구축한 낙동강 하구 습지생태계 데이터베이스는 습지생태계 보존 및 관리를 위한 기초자료로써 활용될 수 있으며, 식물 뿐 만 아니라 습지생태계 전반에 대하여 상세한 정보구축이 이루어지면 습지보존과 관리가 효과적으로 실현될 것이다. 또한, 이러한 기법들은 우리나라 전역의 습지목록 작성에 활용될 수 있을 것이다.

주요어: 지리정보시스템, 원격탐사, 영상분석, 습지 생태계, 데이터베이스, 낙동강 하구

ABSTRACT

This study was carried out to find out the way to build a comprehensive wetland ecosystem database using the technique of remote sensing and geographic information system. A Landsat TM image taken in May 17, 1997 was used for the primary source for the image analysis. Field surveys were conducted March to September of 1998 to help image analysis and examine the results. An

1999년 9월 15일 접수 Received on September 15, 1999

* 이 논문은 1998년도 한국학술진흥재단의 공모과제연구비에 의하여 연구되었음.

1 동아대학교 도시조경학부 Dept. of Planning and Landscape, Dong-A University

2 동아대학교 생물학과 Dept. of Biology, Dong-A University

actual wetland vegetation map was created based on the field survey. A Landsat TM image was analyzed by unsupervised and supervised classification methods and finally categorized into such 5 classes as *Phragmites australis* community, mixed community, sand beach, *Scirpus trigueter* community and non-vegetation intertidal area. Wetland basemap was developed for the overall accuracy assesment in wetland mapping. Vegetation index map of wetland vegetation was developed using NDVI(normalized difference vegetation index). The map of wetland productivity was developed based on the productivity of *Phragmites australis* and the relationship to the proximity of adjacent water bodies. The map of potential vegetation succession map was also developed based on the experience and knowledge of the field biologists. Considering these results, it is possible to use the remote sensing and GIS techniques for producing wetland ecosystem database. This study indicated that these techniques are very effective for the development of the national wetland inventory in Korea.

KEYWORDS: *GIS(Geographic Information System), RS(Remote Sensing), Image Analysis, Wetland, Database, Nakdong River Estuary*

서 론

습지는 육상 생태계와 바다 또는 하천의 수계 생태계 사이에 위치한 점이지대로서, 두 생태계와는 다른 독특한 생태적 특성을 가지고 있다(Mitsch와 Gosselink, 1986). 최근에 와서 습지(wetland)의 중요성이 전세계적으로 재인식되고 있는 이유는 습지가 제공할 수 있는 여러 기능에 의해 인류 사회에 유익한 보전적 가치가 점차 알려져 가고 있기 때문이다. 습지가 지닌 주요한 생태적 기능으로는 각종 조류, 어류, 포유류, 양서류, 파충류 등의 야생 동물 서식처로 이용되고, 유수 속의 침전물과 유기물을 제거하며, 지표수 및 지하수의 저장 및 충전을 통한 유량을 조절하는 동시에, 사람들에게는 수변과 연계된 아름다운 자연경관의 제공과 함께 레크리에이션의 이용 가능성이 높은 지역으로서 복합적인 측면을 가지고 있다. 따라서 이러한 습지들을 효과적으로 보존하면 생물 종의 다양성을 증대시킬 수 있고, 연안과 내수면의 수질을 정화할 수 있으며, 수산자원을 풍부하게 제공할 수 있는 서식처로 이용될 수 있고, 지하수의 보수 및 홍수조절에 기여할 수 있을 뿐 아니라, 자연교육, 생태관

광, 레크리에이션 및 각종 연구활동을 위한 장소로 제공될 수 있다.

그러나 국내의 습지는 농지, 공단, 관광지 및 기타 도시지역의 확보를 위한 간척 또는 매립, 수자원 관리 및 치수대책을 위한 하천의 직강화와 호안 정비, 제방, 댐, 하구언, 둑 등의 건설에 따른 인위적인 개발에 따라 심각하게 소멸되어 왔으나, 그 구체적인 실태가 정확히 파악되지 못한 실정이다. 하지만, 최근 들어 랍사협약의 회원국으로 가입한 이후 정부의 노력과 민간단체 및 전문가들의 활동에 의해 국내에서도 습지에 대한 관심이 고조되고 있다(국토연구원 등, 1999; 인천광역시 등, 1999).

구미 여러 국가의 경우 습지 생태계를 지속적으로 보존하고 관리하는 방법으로, 습지 목록(wetland inventory)을 개발하여 왔는데, 여러 나라의 습지 목록 중 1974년부터 미국 야생동물 보호처가 주체가 되어 미국 전 지역의 습지를 지도로 완성하고자 한 미국 습지 목록(NWI, National Wetland Inventory)이 가장 체계적인 분류 체계를 가진 것으로 알려져 있다. 이 NWI는 습지의 특성을 생태권역의 범위와 수리·지형·화학 또는 생물적 특성에 따라 계-소계-중

-우점종(system-subsystem-class-dominance) 등의 단계별 분류에 따라 구분하는 방법을 택하였는데, 최종 결과는 미국의 지형도면(USGS 7.5 minute topographic map)에 습지의 유형별로 그 결과를 나타내었다(Cowardin 등, 1979).

최근 미국 오하이오주 자연자원부(Ohio Department of Natural Resources)에서는 미국의 Landsat 자료에 의한 원격탐사기법과 지리정보체계를 연결하여 1990년부터 1992년까지의 3년이란 짧은 기간동안 오하이오주 전 지역의 습지 목록(OWI, Ohio Wetland Inventory)을 완성하여 습지 생태계 데이터베이스 구축의 효율성을 크게 증가시켰다(Yi 등, 1994). 이러한 개발에 힘입어 여러 나라에서는 이들 원격탐사 기술에 의한 습지 현황조사에 박차를 가하고 있으며, 국내에서도 서남해안의 연안 습지를 대상으로 구축된 습지 목록에 의해 인공위성 Landsat TM(thematic mapper) 자료 분석에 의한 시계열별 분석을 통해, 그 환경 영향을 파악하고자 한 시도가 있었다(이기철 등, 1996; 1997). 외국의 경우 오래 전부터 항공사진, MSS(multispectral scanner), TM 등의 다양한 원격탐사 자료에 의해 습지의 분류, 습지 식생의 생산력 측정, 습지 지역의 복사 특성, 습지의 부유물질 흡착에 따른 수질 정화능 평가 등에 관한 연구가 진행되어 습지 생태계 데이터베이스 구축에 필요한 다양한 기술이 개발되고 있지만, 아직까지 국내의 경우 이러한 방법에 의해 종합적이고 체계적으로 시도된 바가 없어, 이러한 분야의 연구가 매우 절실하다(Lyon, 1979; 1995; Lyon과 Adkins, 1995; Ramsey와 Jensen, 1995).

낙동강 하구는 담수와 해수가 만나는 기수역으로, 이 지역에 형성된 습지는 다양한 생물들의 서식처를 제공하고, 영양염류의 제거 및 보존에 의한 수질정화, 유량조절에 의한 농경지역의 침수 조절 등의 유익한 생태적 기능을 제공하여 왔다. 그러나 1983년에 시작해 1987년에 완공된 하구둑 축조 이후 대규모의 각종

개발 사업이 추진되어 대규모의 공업 및 주거단지 조성에 의해 낙동강 하구습지의 기능은 크게 상실되었고, 지금도 낙동강 고수부지의 개발 및 이용, 신항만 건설 등 중앙 및 지방정부에 의해 계속되고 있는 개발 정책으로 인해, 현재 남아 있는 습지도 훼손될 위기에 직면해 있다. 더욱이 낙동강 하구는 하구둑 건설 이후 수계의 변화에 따라 새로운 사주가 형성되는 등 지형의 변화가 심각하게 일어나고 있으며, 이에 따른 습지의 생태적 기능에 변화가 예상되지만, 낙동강 하류 지역의 연안과 낙동강 내수면에 남아 있는 습지 생태계의 기능에 대하여 전반적인 실태 파악이 체계적으로 이루어지지 못하고 있다. 그 결과, 낙동강 하구 습지가 제공하여 왔던 유익한 자연적, 사회적 기능은 이미 많이 감소되었고, 그나마 남아 있는 습지의 구체적인 생태적 기능과 실태를 파악하여 습지의 보존과 관리를 위한 각종 조치를 취하지 않으면, 그 기능을 완전히 상실 할 위기에 직면하고 있다.

이에 본 연구는 개발 일변도의 정책이 계속될 경우 머지 않아 사라지게 될 상황에 있는 낙동강 하구 습지생태계에 관한 정보를 종합적으로 파악하여, 합리적인 환경관리 및 계획에 필요한 각종 생태학적 정보를 효율적으로 구축하고, 구축된 정보를 과학적으로 활용할 수 있는 방법과 기술을 도입·이용하고자 지리정보체계(geographic information system)와 원격탐사(remote sensing)기법에 의해 습지의 구조와 기능을 효과적이며, 체계적인 방법으로 파악할 수 있는 방법을 개발하였다.

지리정보체계는 국토와 자원의 효율적인 의사결정을 위해 각종 정보의 추출, 관리, 조작, 분석 등을 체계적으로 가공, 처리해서 이용목적에 맞게 제공해 주는 체계로, 현재 국내의 여러 분야에서 특정 문제를 해결하기 위한 GIS 데이터베이스 구축사업이 시행되고 있다. 그러나 습지에 관한 GIS 데이터베이스 구축은 단편적 사례에 불과하고, 정책 및 제도상의 반

영을 위해 실제로 진행된 경우가 거의 없어, 습지 데이터베이스를 구축하고 이용할 수 있는 체계적인 응용기술의 개발과 실제 문제를 해결할 수 있는 방법이 절실히 요구되어진다.

원격탐사는 멀리 떨어져 있는 관측 대상물의 물리적 또는 자연적 특성을 대상물에 접촉하지 않은 채로 그 특성을 관측하게 하는 기술로 지역의 여러 정보를 효과적으로 구축할 수 있다. 인공위성자료의 다정보성을 이용한 원격탐사 기법은 왜곡될 수 있는 지형정보와 토지이용 및 피복상태, 식생, 수질 등 다양한 정보를 포함하고 있어, 인공위성 영상을 이용한 해독기술은 습지의 분포, 식생분포 및 활력도, 종 조성, 토지이용 등 각종 정보를 얻는데 유용하게 이용된다. 더욱이 이러한 정보는 지리정보체계와 연계하여 습지생태계의 종합적 데이터베이스로 구축하게 되면 습지의 보전과 관리에 효과적으로 이용할 수 있다.

이에 본 연구의 주요 목적은 습지생태계를 구성하는 주요 환경인자로서 생물적 인자인 식물과 비생물적 인자인 지형, 토양, 수리 등의 특성에 의해 나타나는 다양한 공간적 구조

와 기능을 설명할 수 있는 종합적 데이터베이스를 구축하기 위해 원격탐사 및 지리정보체계 기법에 기반해 습지 생태계의 실태를 분석할 수 있는 다양한 기법을 개발하는데 주력하였다. 또한, 이러한 기법에 의해 축적된 습지의 분포, 식생 분포 및 식생활력도, 생산력 등의 생태적 특성과 실태를 근거로 낙동강 하구 습지의 현명한 이용에 활용할 수 있는 실제적인 데이터베이스를 구축하고자 하였다.

연구범위 및 연구방법

1. 연구 범위

본 연구의 공간적 범위는 행정구역상 부산광역시 사하구에 위치하며, 낙동강 하구의 대마등, 장자도, 신자도, 명그머리, 백합등, 나무싯등과 그 아래 신생사주를 포함한 낙동강 하구 철새 도래지의 문화재 지정구역을 대상으로 하였다(그림 1). 내용적 범위는 GIS와 원격탐사 기법에 의해 수리, 수문, 토양 등 여러 물리적 환경과 수생식물 등의 특성에 근거한 습지의 정확한 분류 방법의 개발과 현재 남아



FIGURE 1. Location of the study area

D: 대마등 M: 명그머리 J: 장자도 B: 백합등, N: 나무싯등
S: 신자도 NEW: 새로 형성된 사주

있는 낙동강 하구 습지 식물군락의 우점종인 갈대의 생산성을 파악하여 습지의 생산력 지도에 의한 생태적 특성을 분석하고, 습지식생의 활력을 측정하기 위해 중합차식생지수(NDVI, normalized difference vegetation index)를 구하여 식생활력도 지도를 작성하고, 습지식생의 장래 변화를 예측한 식생천이 예상도를 제작하였다.

2. 연구자료

본 연구에서 사용한 영상자료는 1997년 5월 17일 오전 10시30분 경에 촬영된 공간 해상력 30m의 Landsat TM 영상자료를 이용하였으며, 당시 다대포 해안의 간조는 11시 00분(36cm)과 23시 31분(39cm)이며, 만조는 04시 52분(88cm)과 17시 32분(91cm)이었으므로 간석지의 약 80% 이상이 노출된 상태였다. Landsat TM 영상은 현재 지구상의 자원탐사위성 중 7분광대(bands)로 구성되어 가시광선에서 적외선까지 그 분광의 범위가 가장 넓고 다양하며, 낙동강 하구 습지생태계의 시계열 분석 및 다중영상분석을 이용한 습지분류와 생산력 등 습지의 특성을 분석하기에 적합한 영상이다.

본 연구에서는 인공위성 TM 자료 외에도 국립지리원에서 제작된 지형도, 부산광역시

항측도, 농촌진흥청의 토양도, 현지조사를 근거로 제작한 현지 식생도 등의 각종 자료를 기초 자료로 이용하였다 (표 1).

3. 연구방법

본 연구에서는 현지조사와 Landsat TM 영상자료를 이용한 영상분류 및 분석을 통해, 다양한 습지생태 주제도를 작성하였다. 연구의 과정은 그림 2와 같다.

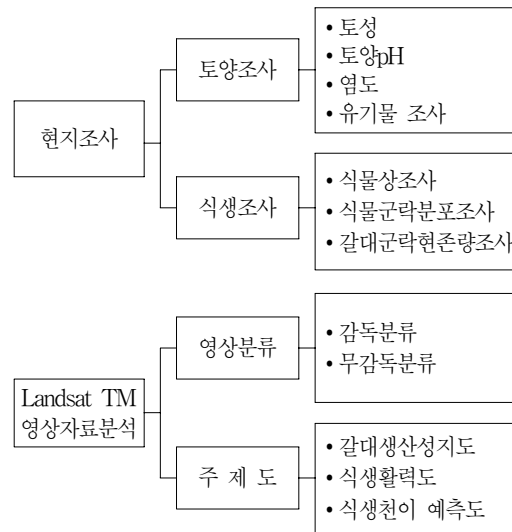


FIGURE 2. Procedures for the study

TABLE 1. Digital map data base

종류	원시자료	주제도	사 용 목 적
도형 자료	Landsat TM	습지분류도	현지조사와 영상분류를 통한 습지의 분포, 식생 및 토양특성을 설명하는 습지분류도 제작
	"	식생활력도	습지식생의 활력도 측정
	"	갈대생산성 지도	물근접도에 따른 갈대군락의 현존생산량 분석
	"	식생천이 예상도	토양상태 및 현재 식생분포도를 근거로 과거의 식생과 현재의 식생을 비교하여 미래의 식생천이 예상도 제작
	지형도, 항측도	현황도	1:5,000 지형도에 현지조사자료를 입력하여 습지현황도와 비교
	토양도	토양도	토성구분에 의한 습지 특성 파악
	지형도	갈대시료채취도	갈대군락의 현존량을 파악하기 위해 시료채취지점을 Point 데이터로 입력해 습지생태계 DB 속성자료로 활용

1) 현지조사의 수집 및 처리

현지조사는 1998년 3월부터 9월까지 매월 실시하였으며, 각 사주에 생육하고 있는 식물상을 조사하였다. 식물의 종은 이창복(1982)과 Makino(1988)의 도감에 의하여 동정하였다(윤해순, 1987; 1991). 각 사주의 식물군락은 상관에 의해 구분하였고, 각 사주의 갈대군락과 세모고랭이군락의 지상부 현존량은 최고 성장단계인 8월에 방형구(25cm×25cm)를 설치하고, 방형구 내의 지상부를 채집하여 80℃ 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시킨 후 건조량을 측정하였다. 각 사주의 갈대와 세모고랭이의 개체수, 최고초장 및 피도는 방형구내의 개체를 현지에서 측정하였다.

식생 정보는 현지조사에 의한 각 사주의 출현 식물 종수, 갈대군락과 세모고랭이군락의 현존량, 개체수, 최고초장 및 피도 등을 GIS의 속성자료로 구축하였고, 각 시료 채취지점의 위치정보는 조사지점을 이미지상에서 확인해 IDRISI의 점(point data) 자료 형태로 입력하였다.

2) 영상자료의 처리 및 습지생태주제도 제작

본 연구에서는 Landsat TM 영상자료를 이용하여 영상분류 및 분석을 통해 다양한 습지생태주제도를 작성하였다. 영상자료의 기하보정은 평면좌표로 디지털이징된 1:50,000 지형

도를 ARC/INFO상에서 횡메르카토르(TM, transverse mercator)투영법으로 변환시킨 후 영상에 대응되는 지점을 찾아 약 15개소의 지상기준점 (GCP, ground control point)을 입력하였으며, 평균제곱근 오차(RMS, root mean square)의 허용한도를 모두 1화소 이내가 되도록 해서 지형도상에서 좌표를 영상에 적용시킬 때 오차의 값이 1 이상 되는 지점을 제거하였다. 이렇게 보정이 된 영상은 보정 전후의 화소가 1:1로 대응하지 않기 때문에 영상 재배열을 실시하였다. 영상분석을 위해 최종적으로 선정된 지역은 517개의 행과 367개의 열로 이루어진 189,739개의 해상력 900m²(30m×30m) 크기의 격자 중, 정확한 분석을 위해, 습지와 주변 간석지를 포함하는 지역만을 추출하였다(그림 3).

본 연구에서 이용된 위성영상자료와 지리정보자료는 IBM/PC 호환 기종에서 가동되는 ER Mapper, IDRISI를 이용하여 처리하였다. 이 소프트웨어들은 구미 선진국가에서 많이 이용되고 있고, 다양한 토지피복 분류사례에 실제로 적용되어 그 효과가 입증된 바 있는 소프트웨어들이다. 인공위성자료는 소프트웨어가 제공하는 영상등록, 기하학적 교정, 영상분류 등을 이용하여 습지분류를 하게 되는데, 본 연구에서는 현지에 대한 구체적 정보가 없는 상황에서 컴퓨터가 지정한 군집(cluster)을 대상으로 공간적 특

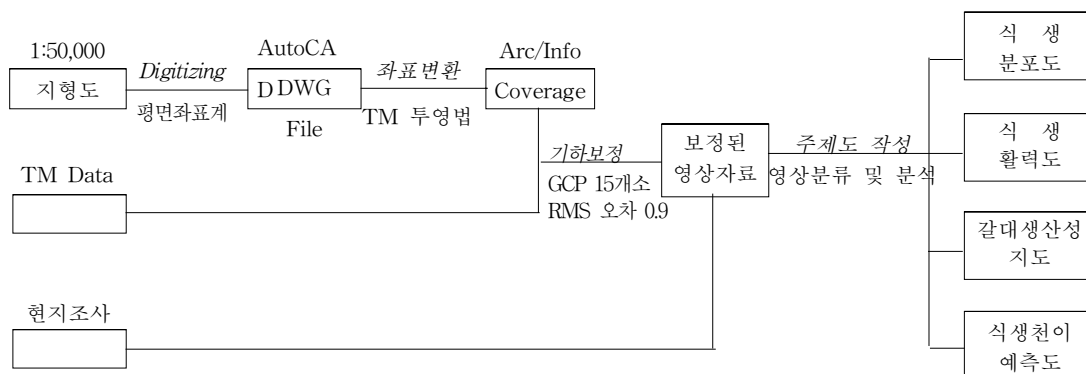


FIGURE 3. Procedures for TM image analysis

성을 파악, 분류하는 무감독분류(unsupervised classification)와 대상지역의 정보를 조사자가 직접 입력하여 이미지 데이터를 해독하는 감독분류(supervised classification)를 병행하여 실시하였다. 또한, 본 연구에서는 영상자료와 거의 같은 시기에 조사된 현지조사 자료와 인공위성 자료의 각각의 화소에 대한 수치값(DN, digital number)을 1:1로 대응하여 비교한 후, 분류항목에 따라 수치값을 재분류하는 방법으로, 무감독분류 및 감독분류에서 발생할 수 있는 분류오차를 줄여, 보다 정확도가 높은 기본도를 제작하였다.

이러한 절차에 의해 습득된 영상이미지의 해독 결과와 GIS에 의해 구축, 연계된 수치지도들은 지리정보체계의 지도중첩(map overlay) 및 근접성(proximity) 분석기법을 이용해 습지의 분류, 식생분포 및 활력도, 생산력 지도, 식생천이 예상도 등 다양한 습지생태주제도로 완성하였다.

연구결과 및 고찰

1. 현지조사 자료분석 및 정리

현지 식생조사의 결과에 의하면 각 사주에서 채집된 식물은 총 36과 137종으로, 각 사주 식생의 특성을 살펴보면 대마등은 독만 남아 있는 상태로 독에는 달맞이꽃, 쑥 등의 중성식물이 우점하고 있다. 이 지역은 1970년대 초부터 경작지로 이용되어왔던 지역을 1977년 대체 습지로 복원하였으나 내부의 호안에 인위적으로 식재한 갈대와 소수의 염생식물이 정착 초기단계에 있어 생육이 불량하다. 각 사주의 형성시기를 Mun과 Kim(1985)의 결과로부터 산출하여 약 75년 되는 장자도와 약 40년 되는 백합등에는 다른 사주에 비해 많은 종이 출현하였으며 염생식물과 내부에 표고가 높은 곳에 띠, 산조풀, 달맞이꽃, 쑥, 망초 등의 중성식물이 분포하고 있어 사구형성 시기가 오래됨에 따라 탈염에 의한 내륙화가 진행되고

있으나 하구둑 축조공사 초기(문형태, 1984)보다 종 수가 감소하였다. 신자도와 나무식등은 각각 30년, 25년 되는 사주로 신자도는 하구둑 축조 후 진우도 가까이 까지 사주가 성장하였으며, 외해에 면해 있어 통보리사초, 쯤보리사초 등의 건염생 해안 사구식물이 우점하였고, 북쪽(장자도 쪽)의 배후습지에는 불량하지만 갈대도 자라고 있다. 1983년(문형태, 1984) 보다 종 수가 증가하였을 뿐만 아니라 분포면적도 증가하였다. 나무식등에도 종수의 증가와 분포면적의 확대를 볼 수 있었다. 하구둑 축조 이후 1988년에 나무식등을 둘러싸듯이 새롭게 형성된 4개의 신생사주(부산지방환경청, 1992)는 서로 연결되어 1993년에 하나의 길다란 사주로 변모되었고(부산광역시, 1997), 이 신생사주에는 우산잔디, 쯤보리사초 등이 사주의 표면을 수평적, 수직적으로 고정하여 사주가 고정되는 기작(Mun과 Kim, 1985)을 증명해주고 있었다.

일반적으로 식물군락은 사주의 정선으로부터 간석지에 분포하는 세모고랭이군락, 사주의 자연제방 경계에 주로 분포하는 갈대군락, 사주의 내부에 분포하는 혼합군락으로 나누어진다(그림 4). 이러한 현지조사의 결과는 영상감독분류시 식생을 구별하는 근거 자료로 활용하였다.

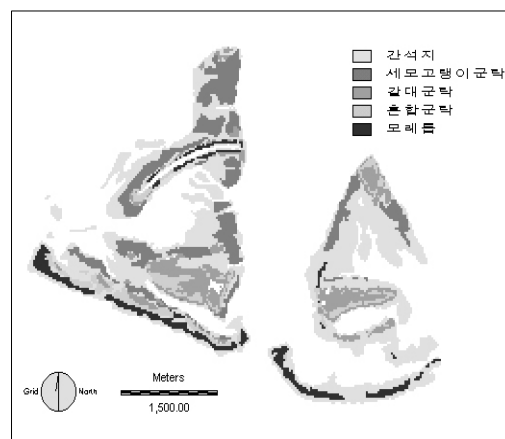


FIGURE 4. Vegetation map of field survey

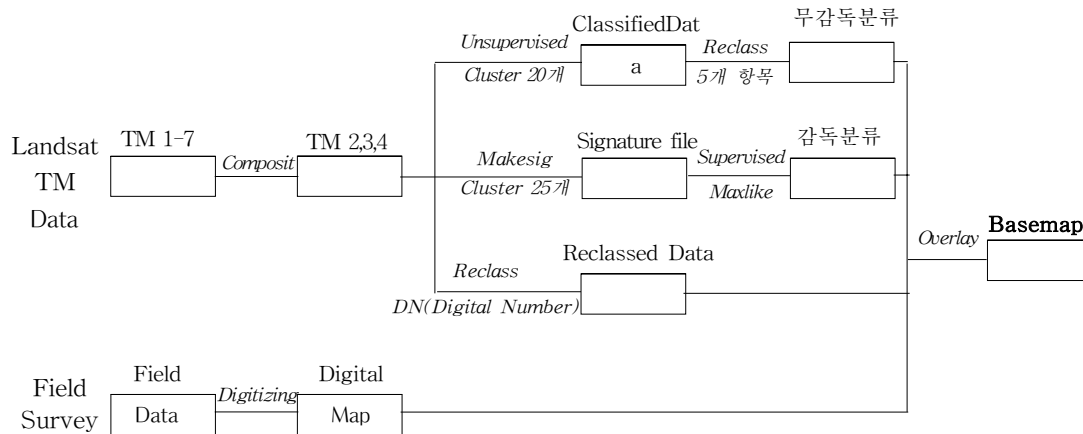


FIGURE 5. Procedures for classified map and base map

각 사주의 갈대군락을 채취해 측정된 현존량은 사주간에 차이가 뚜렷하다. 각 사주의 평균값을 보면 대마등은 $1085.22\text{g}/\text{m}^2$ 이었으며, 그 사주의 형성 및 발달시기가 비슷한 명그머리는 $1671.47\text{g}/\text{m}^2$ 이었다. 장자도는 $1373.95\text{g}/\text{m}^2$ 이었으며, 백합등은 $1509.01\text{g}/\text{m}^2$ 이었다. 신자도는 $677.32\text{g}/\text{m}^2$, 나무싯등은 $721.76\text{g}/\text{m}^2$ 이었다. 또한 사주형성 초기단계인 신생사주의 갈대는 $339.04\text{g}/\text{m}^2$ 로 생산력이 빈약하였다.

2. 영상자료에 의한 습지분류도 제작

Landsat TM 자료(1997년 5월 17일자)를 이용하여 대상지역에 대한 예비분석을 한 결과, TM의 7 밴드 중 습지의 분류에 적합하다고 판정된 밴드는 2, 3, 4 밴드로서 낙동강 하구 습지의 특성을 좌우하는 사주의 사빈(sand beach), 간석지(tidal flat), 습도(moisture)와 식생(vegetation) 등의 차이를 민감하게 반영해 주었기 때문이다. 선정된 밴드를 대상으로, 감독분류(supervised classification)와 무감독분류(unsupervised classification)를 실시하였는데, 최종적으로 분류한 항목은 갈대군락(*Phragmites australis* community), 혼합군락(mixed community), 세모고랭이군락(*Scirpus*

trigueter community), 사빈(sand beach), 간석지(non-vegetation intertidal area)의 5개의 항목으로 분류하였고, 분류된 습지의 분포를 정확히 파악하기 위해 기본도를 제작하였다(그림 5). 이 기본도는 Landsat TM자료로 분석가능한 습지의 분류를 나타내는데, 현지조사 및 영상분석 결과를 중첩하여 제작하였고, 분석된 각종 자료를 비교하는 근거로 이용하였다.

감독분류는 현지조사 자료를 이용하여 각각의 미지의 화소가 효율적으로 어느 항목에 속하는가를 판별하여 분류하였다. 분류의 결과를 살펴보면 실제 현지조사에서는 세모고랭이군락으로 나타난 지역이 간석지로 분류되는 경우가 많았고, 신생사주와 나무싯등에서 혼합군락과 사빈의 반사값도 비슷하여 신생사주에서 사빈이 혼합군락으로 분류되었다.

무감독분류는 반사특성에 근거를 두고 통계적인 방법으로 20개의 군집(Cluster)으로 분류한 후 이를 현지조사 자료를 근거로 상호 비교하여, 최종 분류하고자 하는 5개의 항목으로 재분류하여 제작하였다. 분류의 결과를 살펴보면, 재분류 과정에 있어서 분류항목들이 비슷한 수치값을 가질 경우 같은 항목으로 분

TABLE 2. A comparison of several wetland distribution analysis unit: ha

분류항목	현지조사	감독분류	무감독분류	Basemap	평균(표준편차)
간석지	498.0	442.9	492.9	451.5	471.32(28.13)
세모고랭이군락	169.0	155.0	171.1	210.4	176.37(23.73)
갈대군락	111.2	109.5	106.4	106.1	108.30(2.48)
혼합군락	65.8	133.8	80.2	70.4	87.55(31.38)
사빈	66.5	69.3	59.9	72.1	66.95(5.19)
합 계	910.5	910.5	910.5	910.5	

류되었다. 예를 들면, 식물이 없는 간석지 즉, 지대가 다소 높고 간조시 빨리 들어나는 지역과 세모고랭이군락은 반사값이 비슷하여 같은 항목으로 분류되었다. 특히 신생사주의 간석지에는 세모고랭이 군락이 나타나지 않는데 무감독분류의 결과에서는 세모고랭이군락이 분포하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 습지의 정확한 분포를 파악하기 위해 제작한 기본도는 감독 및 무감독분류를 실시한 분류결과와 현지조사 자료와의 비교를 통해 분류항목 중 비교적 정확하게 분류된 4개의 군집(cluster) 즉 간석지, 갈대군락, 혼합군락, 사빈에 대해 재분류를 실시한 후, 세모고랭이군락에 대해서는 현지조사 자료를 바탕으로 확실하게 세모고랭이군락이 있는 지역에 대한 인공위성 원영상에서의 수치값을 추출하여 이를 중첩하여 최종적으로 판단해 작성하였다.

5개의 분류항목으로 감독 및 무감독분류한 결과와 현지조사를 종합적으로 비교하여 만든 기본도를 정리한 결과는 표 2와 같으며, 면적은 간석지, 세모고랭이군락, 갈대군락, 혼합군락, 사빈 순으로 나타났으며, 그 각각의 분류 결과에 대한 표준편차를 비교해 본 결과 갈대군락, 사빈, 세모고랭이군락, 간석지, 혼합군락 순으로 나타나 갈대군락의 분류가 비교적 정확한 것을 알 수 있었다(그림 6~8).

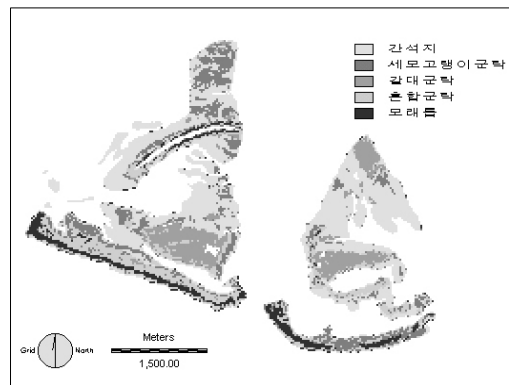


FIGURE 6. Supervised classified map

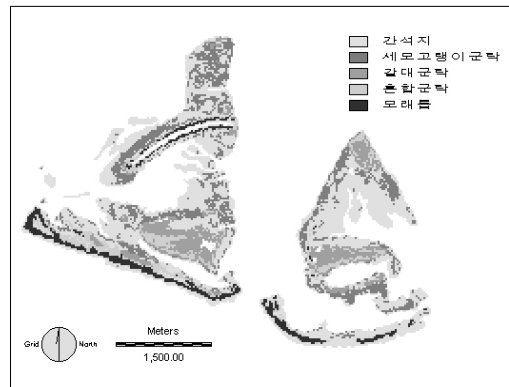


FIGURE 7. Unsupervised classified map

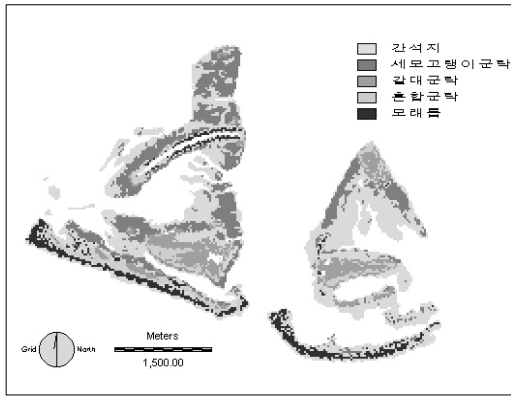


FIGURE 8. Base map

3. 습지생태 주제도 제작

본 연구에서는 낙동강 하구의 습지생태계 특성을 파악하기 위한 주제도로 현존량 조사 자료와 위성영상분석 및 지리정보체계의 중첩 기법을 통합해 갈대생산성 지도와 습지식생의 활력도를 추정해 나타내는 식생활력도 및 식생천이 예상도를 제작하였다.

1) 갈대생산력 지도

갈대생산력 지도는 습지의 생산력 상태를 측정할 수 있는 중요한 자료로써, 본 연구에서는 낙동강 하구 습지의 우점식물종인 갈대군락에 대해 분석하였다. 현지조사에 의한 현존량 조사자료와 위성영상분석 및 지리정보체계

의 근접성 분석의 결과로 만들어진 물근접도에 따른 갈대군락별 생산력 분석결과를 정리해 갈대생산력 지도를 제작하였고, 그 과정은 그림 9와 같다.

갈대군락의 생산력은 여러 가지 환경요인에 의해 영향을 받지만, 특히 토양의 수분포화상태와 연관이 있으므로, 수체(water body)에서부터 갈대군락들이 얼마만큼 근접해 있는가를 알아보기 위해 사주를 구성하고 있는 갈대군락, 혼합군락, 사빈의 경계에서부터 사주 내부로 60m간격으로 IDRISI buffer 모듈에 의한 물근접도(buffer map)를 만들고, 현지조사에서 측정된 갈대군락의 현존량을 바탕으로 각 물근접도에서 구분된 60m 간격 내부지역의 평균 현존량치와 군락의 면적을 곱하여 각 지역별 생산력을 추정하였다. 생산력을 나타내는 방법으로는 연중 최고 성장기의 현존량을 연간 생산력으로 간주하는 방식에 따라, 8월에 측정된 갈대군락의 현존량을 낙동강 하구 사주 및 주변 간석지에 분포하는 갈대군락에 적용하여 생산력지도로 제작하였다. 데이터베이스 질의를 통하여 물근접성에 따른 평균현존량을 산출한 결과는 그림 10과 같이 사주 경계면으로부터 0~60m 내부지역의 생산력이 가장 높게 나타났으며, 분포면적 또한 가장 넓었다(그림 10, 표 3). 이것은 갈대의 생산성이 침수지역이나 건조지역에서 보다 조석에 따라 침수와 건

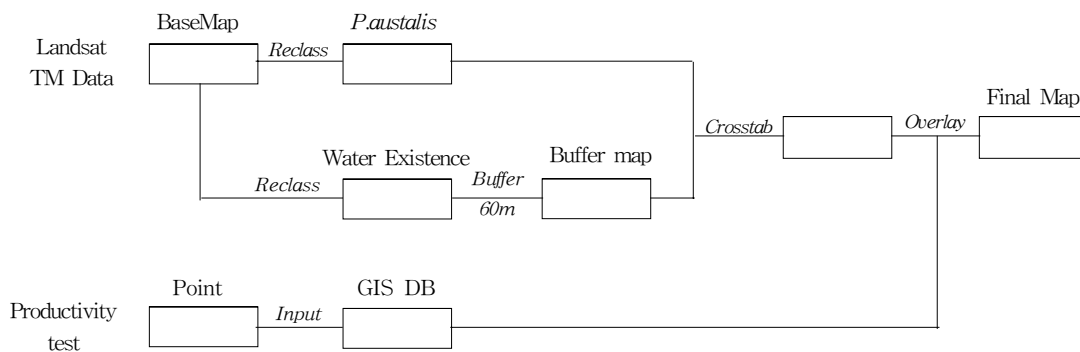


FIGURE 9. Procedures for productivity range map of *Phragmites* communities

조가 일어나는 지역에서 더 높게 나타난다 (Kim, 1975)는 결과와 일치하는 것으로 갈대가 수변식물이므로 물에서 가까울수록 생장이 왕성하여 생산량이 증가했기 때문이다.

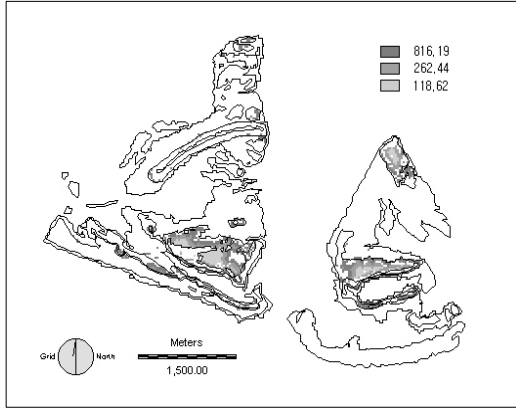


FIGURE 10. Productivity range map of *P. australis* community

TABLE 3. Productivity of *P. australis* community

물근접도	면적 (ha)	평균현존량 (g/m ²)	연간생산량 (t/m ² /yr)
0~60 m	63.17	1292.05	816.19
61~120 m	27.77	945.14	262.44
121 m 이상	15.18	781.12	118.62
합 계	106.12	3018.31	1197.25

2) 식생활력도

습지식생의 활력상태를 측정하기 위해 현재 가장 일반적으로 사용하는 중합차식생지수 (NDVI)를 이용하여 분류가 정확하다고 판단된 습지기본도에서 식생이 있는 지역만 추출하여 NDVI 값(-0.281≤NDVI≤0.366)을 산출하였다. 습지식생의 활력도는 초본식생이므로 산림식생의 활력도에 비하여 상대적으로 낮게 나타났으며, 군락간의 활력도 구분을 위해 본 연구에서는 NDVI값을 5등급으로 분류하여 상대적인 활력도를 측정하였다(그림 11).

중합차식생지수에 의해 5등급으로 분류된 식생활력도와 기본도를 교차분석(crosstab)하여 각 사주에서 식물군락의 식생활력도를 알아 본 결과, 세모고랭이군락은 1, 2 등급에 주로 분포하고, 갈대군락은 2, 3, 4등급으로, 혼합군락은 2, 3, 4, 5 등급으로 나타났다. 이것은 영상이 촬영된 시기가 5월 중순으로 이 시기는 현지조사에서는 넓게 분포하고 있는 간석지의 세모고랭이군락이 인공위성에서는 뚜렷하게 나타나지 않으므로 세모고랭이군락의 활력도가 상대적으로 가장 낮게 나타났으며, 갈대군락은 전년도 갈대의 고사 부분이 마른 상태로 남아 있어서 새로 성장하는 부분을 피복하고 있으므로 혼합군락보다 낮은 활력도를 나타내었다(그림 12, 표 4).

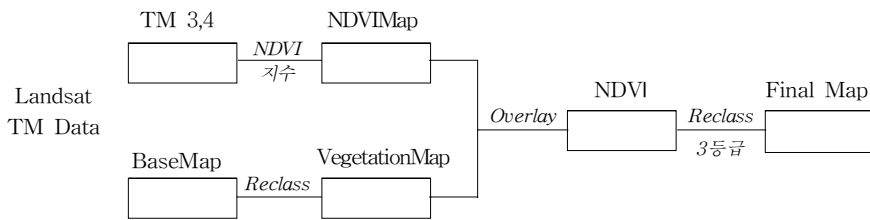


FIGURE 11. Procedures for wetland vegetation index map

TABLE 4. Area of Nakdong wetland NDVI class

Unit: cell(1 cell = 900m²)

분류	NDVI 등급					총면적
	1등급	2등급	3등급	4등급	5등급	
세모고랭이군락	859(37.8%)	1413(62.2%)	-	-	-	2272(100%)
갈대군락	-	246(21.0%)	875(74.1%)	60(4.9%)	-	1181(100%)
혼합군락	-	329(42.0%)	319(40.7%)	135(17.2%)	1(0.1%)	784(100%)
합 계	859(37.8%)	1988(46.9%)	1194(28.2%)	195(4.6%)	1(0.02%)	4237(100%)

참조: 분류된 습지식생의 활력을 측정하기 위해 NDVI를 이용하여 식생지수값(-0.2807018 ≤ NDVI ≤ 0.3664596)을 산출한 후, 이를 등간격으로 5등급으로 구분하였음.

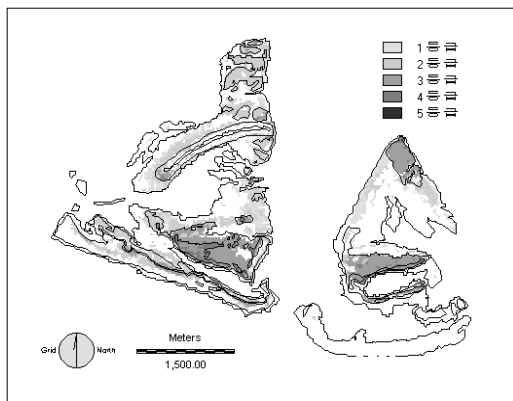


FIGURE 12. Vegetation index map

3) 식생천이 예상도

식생천이를 예상하는 것은 매우 복잡하여 여러 가지 환경요인을 종합하여야 하는데, 그러한 요인에 의한 결과는 꾸준히 변화된 환경에 적응한 식생의 형태로 귀결된다. 본 연구에서는 그림 13과 같이 식물의 시간에 따른 적응형태 즉, 과거의 식생과 현재의 식생을 비교하는 방법으로 과거의 식생천이가 나타난 상황을 근거로 식생천이를 예측하였는데, 세모고랭이군락은 현존식생도에서 파악된 현재 식생이 없는 지역과 습지기본도에서 파악된 지역을 근거로, 예측되는 갈대군락의 식생은 세모고랭이, 천일사초, 혼합군락을 포함한 식생이

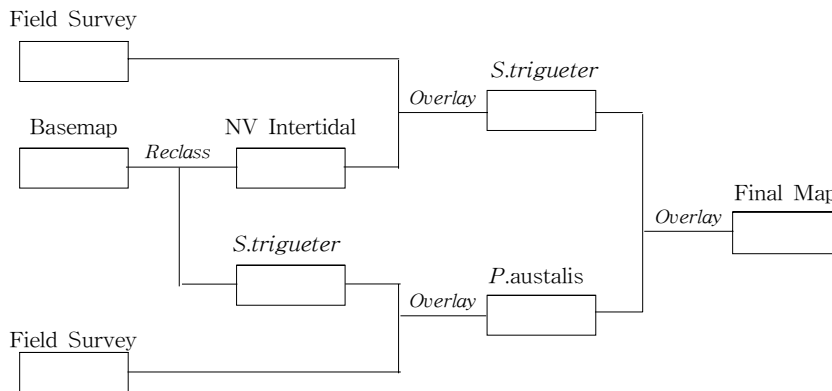


FIGURE 13. Procedures for potential vegetation succession map

현재 존재하는 지역 및 습지기본도에서 파악된 지역을 근거로 그림 13과 같이 GIS의 지도중첩에 의해 재분류하여 제작하였다.

현재의 간석지로 분류된 지역은 수심이 낮고, 간조에 의해 드러나며, 토양은 점토적 요소가 크다. 그리고 파도에 의한 침식의 가능성이 낮으므로 점차적으로 세모고랭이군락이 형성될 것으로 추정하였다. 또한 세모고랭이, 천일사초가 자라는 지역은 토양이 퇴적되기 쉬워 지대가 높아지고 안정되므로 후에 갈대가 침입할 것으로 예측된다. 문형태(1984)가 보고한 현존식생도를 보면 당시의 천일사초군락은 현재 일부만이 남아있고, 갈대군락으로 대체되었다. 또한 대마등 상부와 을숙도 명거머리 하부 간석지의 세모고랭이군락에 떠내려온 갈대가 정착하여 세모고랭이군락을 침입한 것이 관찰되었으며, 매년 그 세력이 확장되어가고 있으므로 장래 갈대군락으로 천이될 것으로 예상된다(그림 14).

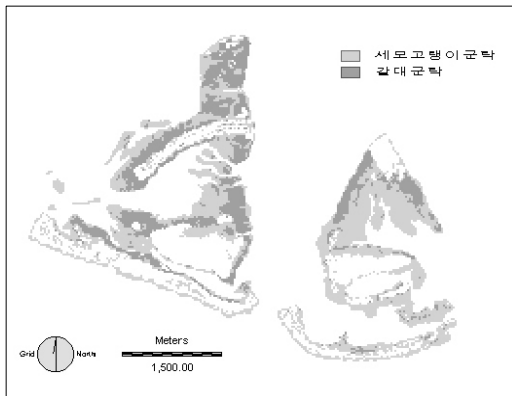


FIGURE 14. Potential vegetation succession map

식생천이 예상도를 기본도와 비교하면 갈대군락은 104.24ha가, 세모고랭이군락은 241.19ha가 증가하게 된다(표 5). 낙동강 하구 습지생태계의 갈대군락과 세모고랭이군락 분포면적의 이러한 증가는 토사를 퇴적시킴으로써 지형변화에 영향을 미치며, 생물의 먹이와 서식처를 제공함으로써 생물다양성 보존에 보다 큰

역할을 할 것이다. 이러한 변화를 사전에 파악하여, 식생의 천이가 실제로 전개되는지, 이러한 천이가 바람직한지에 관한 식물 또는 습지생태학적 연구는 추후에 진행되어야 할 내용이다. 다만 본 연구에서는 지리정보체계의 지도중첩 기법에 의해 사전에 식생천이를 추정할 수 있는 방법을 보여 줌으로서, 습지생태계의 보전 및 관리에 있어서 식생의 천이가 미칠 영향이 어떠한 지를 사전에 예측, 판단하는 것이다.

TABLE 5. Potential vegetation succession map of Nakdong estuary

군락(Community)	면적(ha)	증가면적(ha)
갈대군락 <i>Phragmites australis</i>	210.36	104.24
세모고랭이군락 <i>Scirpus trigueter</i>	451.55	241.19
합 계	661.91	345.43

결 론

본 연구는 낙동강 하구지역을 대상으로 원격탐사와 지리정보체계에 의해 습지생태계 데이터베이스를 개발한 것으로, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 습지자원의 보존과 관리시 필요한 습지생태계 공간자료의 수집 및 분석은 원격탐사의 영상해독 기법과 지리정보체계의 다양한 분석 기능에 의해 효율적이며 효과적으로 처리할 수 있다.
2. 낙동강 하구 습지는 우점식물종인 갈대, 세모고랭이 및 혼합군락 등의 식생이 있는 지역과 사빈과 간석지 등 식물이 없는 지역으로 구분될 수 있었으며, 면적은 간석지, 세모고랭이군락, 갈대군락, 혼합군락, 사빈 순으로 나타났다.
3. 낙동강 하구 습지의 우점식물종인 갈대

- 에 의한 생산력을 물근접성에 따라 현지 조사의 결과와 비교하여 산출한 결과, 물에서 가까운 내부지역(0~60m)의 생산력이 가장 높게 나타났고, 그 분포면적 또한 가장 넓었다. 이것은 갈대가 수변식물이므로 물에서 가까울수록 생장이 왕성하여 생산량이 증가했기 때문이다.
4. 종합차식생지수(NDVI)에 의해 습지식물 군락의 식생활력도를 분석한 결과 세모고랭이군락은 1, 2 등급에 주로 분포하고, 갈대군락은 2, 3, 4 등급으로, 혼합군락은 2, 3, 4, 5 등급으로 나타났다.
 5. 지리정보체계의 지도중첩 기법에 의해 식생천이 예상도를 제작하는 기법은 식생천이의 공간적 변화를 사전에 파악해 습지생태계의 보전 및 관리에 필요한 중요한 정보로 제공될 수 있다.
 6. GIS와 원격탐사 기법을 이용하여 구축한 낙동강 하구 습지생태계 데이터베이스는 효과적인 습지보존과 관리에 크게 기여할 수 있으며, 이러한 기법들은 우리나라 전역의 습지목록 작성에 필요한 기술임을 입증하였다. **KAGIS**

참고문헌

- 국토연구원, 환경운동연합. 1999. 한국의 갯벌 관리 어떻게 할 것인가? 심포지엄. 55쪽.
- 문형태. 1984. 낙동강 하구의 사주식생 천이에 관한 연구. 서울대 대학원 박사학위 논문. 102쪽.
- 부산지방환경청. 1992. 낙동강하구연 축조 전후 주요환경 변화조사. 308쪽.
- 윤해순. 1987. 낙동강하구에서의 수금류 식이 식물의 현존량과 이용에 관한 연구. 경희대학교 박사학위논문. 133쪽.
- 윤해순. 1991. 낙동강 하구 간석지의 수생관속 식물에 관한 연구 - 하구연 건설 전후의 간석지 식생의 생산성 비교. 한국생태학회지 14(1):63-73.
- 이기철, 임병선, 우창호, 조영환. 1997. Landsat TM 자료를 이용한 서남해 연안 습지의 시공간 변화 분석에 관하여. 환경영향평가 6(1):55-66.
- 이기철, 임병선, 우창호, 조영환. 1996. 지리정보체계와 원격탐사에 의한 연안습지목록 개발에 관하여. 한국지형공간정보학회논문집 4(2):149-159.
- 이창복. 1982. 한국식물도감. 향문사. 990쪽.
- 인천광역시, 인천환경운동연합. 1999. 인천 갯벌의 생태적 가치와 보전 방안. 갯벌보호 인천시민현장제정과 람사지역지정을 위한 심포지움. 97쪽.
- Carter, V., D.L. Malone and J.H. Burbank. 1979. Wetland classification and mapping in western Tennessee. Photogrammetric Eng. Rem. Sens. 45:273-284.
- Cowardin, L.M., V.Carter, F.C.Golet, and E.T.LaRoe. 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the U.S.Fish and Wildlife Service Pub., FWS/OBS-79/31 WA. DC. 103pp.
- Lyon, J. 1979. Analyses of coastal wetland communities: The St. Clair Flats, Michigan, M.S. Thesis. School of Natural Resources. Univ. of Michigan. Ann Arbor, MI, U.S.A. 80pp.
- Lyon, J. 1995. Remote sensing of sediments and wetlands in Lake Erie. In: Wetland and Environmental Applications of GIS. CRC Press. pp.107-124.
- Lyon, J.G. and K.F.Adkins. 1995. Use of GIS for wetland identification: The St. Clair Flats, Michigan. In: Wetland and Environmental Applications of GIS. CRC Press. pp.49-60.
- Makino, Tomitaro. 1989. Makino's new illustrated flora of Japan. Revised edition. The Hokuryukan Co. Tokyo, Japan. 1453pp.
- Mitsch, W.J. and J.G.Gosselink. 1986.

- Wetlands. Van Nestrand Reinhold Company. New York, U.S.A. 539pp.
- Mun, H.T. and J.H. Kim. 1985. Studies on plant succession of sand bars at the Nagdong River estuary. I. Vegetation and soil environment. Korean J. Bot. 28(1):79-93.
- Mun, H.T. and J. H. Kim. 1985. Studies on plant succession of sand bars at the Nagdong River estuary. II. Vegetation development and interspecific associations. Korean J. Bot. 28(3):191-198.
- Ramsey, E.W. and J.R.Jensen. 1995. Modeling mangrove canopy reflectance using a light interaction model and an optimization technique. In: Wetland and Environmental Applications of GIS. CRC Press. pp.61-81.
- Yi, G.C. 1993. Multiple utilization of a satellite image for wetland assessment mapping. Bulletin of Littoral Environment. Mokpo National University. 10:57-71.
- Yi, G.C., D.Risley., M.Koneff and C.Davis. 1994. Creation, value and use of Ohio's GIS-based wetlands inventory, Journal of Soil and Water Conservation 49(1):23-28.

KAGIS