

GIS와 RS를 이용한 생태지도 작성기법에 관한 기초연구*

이기철^{1*} · 이원화² · 윤해순³ · 남춘희³ · 김구연⁴ · 김승환¹ · 서상현⁵

A base study of an Ecological Mapping technique by using GIS and Remote Sensing*

Gi-Chul YI^{1*} · Won-Hwa LEE² · Hae-Soon YOON³ · Chun-Hee
NAM³ · Gu-Yeon KIM⁴ · Seong-Hwan KIM¹ · Sang-Hyun Suh⁵

요 약

본 연구는 낙동강 하구 일대의 생태계 변화와 생태 관련자료를 GIS DB로 구축하고 생태지도를 작성하였다. 생태지도 작성을 위해 1984년 11월 21일, 1997년 5월 17일에 촬영된 공간해상도 30m의 Landsat TM 위성영상과 국립지리원에서 발행된 1:25,000 수치지형도, 부산시에서 조사한 생물 현황 자료를 바탕으로 DB를 구축하였다. 생태지도를 작성하기 위해, 첫째, 낙동강 하구 생태계 조사 보고서와 현재까지 진행된 생태지도에 대한 문헌 연구, 둘째, 시계열적 토지피복분류도 제작, 셋째, 동·식물상, 수질 등 생태계 항목별 DB 구축과 3단계 방식에 의한 생태계 평가, 최종적으로는 이러한 분석 결과를 바탕으로 생태계 관리를 위한 생태지도를 작성하였다.

주요어 : 지리정보체계, 원격탐사, 생태계관리, 생태지도

ABSTRACT

This study developed an ecological mapping technique with GIS database using the analyses of existing ecological survey reports and the change detection on the Nakdong river estuary. The data which are used to establish GIS DB include 2 Landsat TM images on Nov. 31, 1984 and May 17, 1997, 1:25,000 topographical maps established by National Geography Institution and various ecological survey reports published by Busan metropolitan city government. The details for producing ecological map are as follows.

2004년 7월 28일 접수 Received on July 28, 2004 / 2004년 9월 13일 심사완료 Accepted on September 13, 2004

* 본 연구는 한국과학재단 지정 동아대학교 지능형통합항만관리 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

1 동아대학교 도시조경학부 Dept. of Urban Planning and Landscape Architecture, DongA University

2 경남발전연구원 Kyongnam Development Institute

3 동아대학교 생물학과 Department of Biology, Dong-a University

4 부산대학교 생물학과 Department of Biology, Pusan National University

5 한국해양연구원 KORDI

* 연락처자 E-mail: Gcyi@daunet.donga.ac.kr

At first, the current methods of ecomapping efforts and previous ecological surveys of Nakdong river estuary were carefully examined. Secondly, the land cover maps were created from the classified Landsat images of 1984 and 1997 for the spatiotemporal ecosystem analysis. Thirdly, the ecosystem was evaluated by using GIS ecological database based on the criteria of botany, zoology and water quality etc. Each criteria was reclassified into 3 stages which describe the overall quality of ecological condition. At last, the comprehensive ecological map was suggested as a prototype of ecosystem assessment and management tool with the discussion of further study. The findings of this study would be a milestone for preserving and managing the ecosystem.

KEYWORDS : GIS, Remote Sensing, Ecosystem Management, Ecological Map

서 론

오늘날 생태계는 경제 성장에 따른 도시화 및 인구 증가, 환경을 고려하지 않은 성장위주의 개발정책으로 인해 본래의 자연성을 상실해 가고 있으며, 그에 따른 결과로 생물 서식처의 단편화, 파편화 및 생물다양성의 단순화, 생물 종의 멸종위기 등 여러 가지 생태적 교란이 심화되고 있다. 생태계는 일단 파괴되면 원래의 상태로 복원이 거의 불가능하며, 복원이 된다하더라도 오랜 시간과 많은 경제적 부담이 따르기 때문에 우리나라와 같이 국토가 협소한 상태에서 인구밀도가 높고, 자연자원이 빈약한 나라일수록 생태계 보전의 중요성은 한층 더 강조된다.

세계적 추세를 보면 1992년 리우환경회의에서 채택된 '생물다양성 협약'과 '기후변화방지 협약'에서 국민의 '삶의 질'을 향상시키고 '환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(ESSD : Environmentally Sound and Sustainable Development)'의 이념을 실천하기 위하여 인간과 자연의 생산적인 조화 속에서 국토의 영속적 이용이란 목적을 달성하는 것이 향후 국가경영의 과제가 되고 있다. 그러나 지금까지 우리 정부는 경제성장위주의 개발정책에 따른 도시화와 국토확장이라는 이름 하에 주거지, 농업경작지, 관광위락지, 공단 등의 다양한 토지용도의 확충을 위해 국내 여러 연안 및 내수면지역의 간척과 매립사업을 계속해 오고 있다. 이러한 인위

적인 환경 변형작업은 국토 전체에 심각한 부작용을 일으켰으며, 각종 환경 피해에 대한 체계적이고 종합적인 모니터링이 매우 필요하다.

인류는 원시시대부터 지도를 사용해 왔으며 육안으로 직접 볼 수 없는 상황을 지도라는 매체를 통해서 표현해 왔고, 필요한 공간정보를 상호 교환해 왔다. 생태지도의 작성은 생태계를 효율적으로 관리하기 위한 방안으로 출발하였으며, 일반적으로 해당 지역의 공간에 대한 생태적 정보를 구축하여 공간에 대한 문제의식을 키우고, 이에 대한 소통의 기회를 마련하는데 있으며, 나아가 지역의 환경보전 및 쾌적한 환경을 지속적으로 유지·관리하고, 시민들과 함께 그 정보를 공유하는데 그 제작의 목적이 있다. 아직 국내에서는 정확한 개념 정의 및 지침이 마련되어 있지 않은 상태이나, 일반적으로 환경적으로 문제가 발생할 가능성이 높은 지역이나 자연성이 뛰어난 곳의 다양한 정보를 종합하여 나타낸 지도 또는 생태계의 주요 생물요소와 주변 환경 요소들을 보전가치에 따라 등급화 하여 지역의 자연환경 현황을 객관적으로 보여주는 지도를 생태지도라 정의 내리고 있고(해양수산부, 1999), 지도에는 생태와 생물학적인 요소만을 담는 것이 아니고, 해당 지역의 종합적인 정보를 담아 가능한 모든 정보들을 지수화 하여 객관성 있는 기준을 만들어 표시하는 방법으로 인정되고 있다.

다행히, 최근 국내에서는 생태계 보전 및 관리에 효과적인 수단으로 등장한 GIS와 원격탐

사기법(remote sensing)을 이용하여 기존 현장 조사의 한계점을 보완하고, 보다 체계적인 생태 자원 분석과 평가를 수행하고 있다. 그리고 분석된 결과를 바탕으로 생태계 관리 및 보호 우선순위를 정하기 위한 각종 지도를 제작하는 사례가 늘고 있다(김경민, 2000; 서울시, 2000; 전성우 등, 2000). 이러한 지도화는 보다 포괄적이고, 종합적인 지역계획 수립의 밑바탕이 되며 생태계 보전을 위해 우선적으로 보호되고, 개발되어야 할 구체적인 사업을 위한 도구로 유용하고, 국내에서는 생태지도, 비오톱지도 등의 이름으로 제작되고 있다. 제도적 기반 하에 제작되고 있는 생태자연도는 전국을 대상으로 환경부가 주관해 자연환경조사 사업으로 진행된 생태 조사결과를 1:25,000 축척의 수치지도에 표현하고 있는데, 현재는 식생우수지역의 평가를 한 생태지도를 제작하고 있다.

이에, 본 연구는 지금처럼 개발 일변도의 정책이 계속될 경우 현재 남아있는 귀중한 자연 자원 중 훼손의 가능성성이 매우 높은 많은 국내의 연구대상지역 중, 낙동강 하류지역을 대상으로 GIS 기반의 생태지도를 제작해 동식물상의 서식공간, 수질오염, 시공간 토지피복 변화 등에 의한 다양한 생태계 평가 등이 가능한 방법을 모색하고, 나아가 이를 활용해 생태계 모니터링의 활용방안을 제시하고자 하였다.

관련 연구 동향

국내에서 생태지도가 제작되기 시작한 것은 극히 최근의 일이나, 정부부처 및 지방자치단체에서부터 각종 환경단체, 개인에 이르기까지 매우 다양한 분야에서 제작되고 있다. 대표적인 사례로 강화도 남단 갯벌생태지도(해양수산부, 1999)의 경우 갯벌의 가치평가와 보전 전략 수립, 자원평가, 환경의식 함양 등에 이용하기 위하여 다양한 생태정보를 종합·도면화 한 국내 최초의 갯벌생태지도로 간주된다. 1:25,000 축척 지도에는 강화도 갯벌면적 변화, 갯벌의 종류

(모래, 펄 등), 철새서식지역 및 저서생물의 분포밀도, 퇴적상 분포와 이동변화, 주요생물의 우점종(철새 포함), 갈대밭, 생태학습장, 생태계보호 후보지역, 항구, 해수욕장, 양식장, 관망위치, 도로망, 지명 등을 담고 있다. 만경강 하천생태지도(국토연구원, 2000)는 만경강을 자연생태하천으로 가꾸기 위한 사업의 일환으로 자연·인문환경으로 구분하여 대상지역을 조사하고 그 결과로 얻어진 공간정보를 수치지도상에 기입하여 제작하였다. 성남시 생태지도(서울대, 2001)는 도시안의 생물서식공간과 하천수질 확보, 개발용지는 물론 주변 지역의 난개발을 방지하기 위한 목적으로 제작되었으며, 도시생태계의 중요 지표인 식생을 위성영상을 활용하여 조사·분석한 뒤 이를 분류, 평가하는 방식으로 제작되었고, 1등급에서 5등급까지의 위상적 순위체계에 따른 토지이용을 구분하여 제작하였다.

그러나 국내에는 아직 생태지도와 관련된 제도적 체계와 지침이 마련되어 있지 않은 상태이고, 개별적으로 필요에 따라 만들어지고 있어 많은 문제점을 내포하고 있는데, 지도제작을 위한 축척, 방위 등의 기본적 요소 미기입, 지도 심벌의 임의적 표기, 생태 조사시 생태적 평가 기준의 모호성, 일회적 조사, 조사 방법 및 시기의 상이성, 표본지역의 제한성 등의 근본적인 문제들로 지도화하는데 많은 한계성을 보여 왔다. 또한 생태지도는 그 제작의 의의가 환경적으로 민감한 지역의 생태계를 보전하고 현명한 이용을 하기 위한 기반으로 사용되기 위해, 표준화된 조사방법에 의한 지속적인 조사가 전개되어야 하지만, 아직 필요한 제도적 기반이 만들어지지 않아 일회성으로 제작, 배포되는데 그치고 있어 지속적인 생태계 모니터링의 제한요인이 되고 있다.

이에 본 연구는 현재 남아있는 귀중한 자연 생태계 자원 중 훼손의 가능성성이 매우 높다고 판단된 낙동강 하류지역을 선택해 지속적인 생태계 모니터링이 가능한 GIS 기반의 생태지도를 제작하고자 하였다.

낙동강 하류는, 담수와 해수가 자연스럽게 연결되며 습지(wetland)가 자연적으로 형성되어 유지되어온 천혜의 자연 습지로서 지역사회에 여러 유익한 생태적 기능을 제공하였던 곳으로서, 그 주요 기능으로 조류, 어류, 패류 등의 야생동물의 서식처(habitat), 육지로부터 바다에 들어가는 오염물질 정화(purification), 지표수 및 지하수의 저장 및 충전(storage and recharge)을 통해 육지의 침수를 방지, 지역주민들의 레크리에이션을 위한 미적 특성(aesthetic characteristics)을 복합적으로 보유하고 있던 귀중한 자연공간이었다. 그러나 1983년 하구언 공사 시작 및 1987년 하구언 완공 이후, 해수와 담수의 단절로 시작된 생태계 변화는 본래의 생태적 특성을 파괴하고, 훼손되기 시작해 환경의 변화에 따른 취약성이 매우 높은(vulnerable) 지역으로 밝혀져 그 환경변화에 대한 지속적 모니터링이 절실한 지역이다.

그 구체적인 일부내용을 보면, 하구둑 건설 공사로 인해 피해를 받은 수생식물은 우점종인 갈대군락이 습지의 훼손과 함께 자연 상태의 모습을 거의 상실하였으며, 수생관속식물의 분포 면적은 하구언 완공전의 1985년 여름에는 서낙동강교에서부터 치등에 이르기까지 30ha의 마름이 큰 부도(floating islands)를 이루고 있었으나 하구둑 공사 이후 1991년 여름의 조사에서 약15ha로 심하게 감소하였다(서울대, 2001). 플랑크톤의 경우 담수지역의 저수지화로 바뀐 현상을 분명히 보여주고 있는데, 1990년 이후부터는 을숙도 상부지역은 담수화로 인해 해산성규조는 거의 나타나지 않고 군체성 녹조 군집이 주를 이루고 있으며 특히 갈수기 여름철마다 *Mircrocystis*(남조) 군집이, 겨울철에는 *Stephanodiscus*(규조) 군집의 우점현상이 계속되고 있어 만성적인 번무로 인한 물꽃현상(water bloom)으로 부산시민의 취수원, 김해일대의 농업용수원까지 위협하고 있다. 저서성 대형무척추동물의 경우 담수지역은 1988년(135종)과 비교해 현재는 절반이상의 수서생물이 사라졌고, 해수지역에서는 을숙도 하단부로부터

다대포에 이르는 하안(河岸) 공사 등에 의해 조간대에 서식하는 저서생물들의 서식환경이 크게 파괴되었는데 특히 상업적으로 중요한 패류중 하나인 재첩, 바지락을 위시해 가리맛조개, 우럭, 종잇등의 개체수가 격감하였다(서울대, 2001). 또한, 조류의 경우 하구둑 건설이전 1983년에는 103종이 관찰되었으나, 하구둑 축조 이후 1991년(96종), 1992년(84종), 1997년(55종) 등으로 감소현상을 보이고 있다가 변화된 환경에 적응하기 시작한 종들의 개체수가 최근 증가하기 시작하고 있다(서울대, 2001).

낙동강 하구를 대상으로 생태학적 자료를 종합적으로 파악해 본 결과, 하구둑 축조 이후 조류, 어류, 패류 등 거의 모든 생물종에 있어 종다양성의 감소, 개체수의 변화 등이 나타나며 불안정한 생태계를 유지해 오고 있지만, 현재도 계속되고 있는 개발 정책에 의해 이미 조성된 대규모의 인근 주거 및 공업지를 연결해 을숙도를 관통하는 명지대교 건설, 낙동강 하류 고수부지의 개발 및 이용, 인근 가덕도 지역의 신항만 건설 등 중앙 및 지방정부(지방자치단체)에 의한 각종 개발 사업이 계속 추진되고 있어 습지 생태계의 훼손이 매우 우려되는 지역이다.

이러한 관점에서 생태계의 각종 변화를 모니터링하기 위한 환경 정보를 효율적으로 구축하고, 구축된 정보를 과학적으로 활용 할 수 있는 방법과 기술을 도입·활용하고자 하는데, 본 연구에서는 지리정보체계(GIS : geographic information system)와 원격탐사(remote sensing)기법에 의해 낙동강하구 습지 생태계의 구조와 기능 분석을 체계적인 방법으로 파악·실행한 내용을 정리하였다.

연구의 범위

연구의 내용적 범위는 생태계에 대한 진단이 가능하고, 보다 객관적인 지표가 될 수 있는 GIS 기반의 생태지도를 제작하는 기법 개발에 있다. 공간적 범위는 낙동강 하구일대 중 생태

FIGURE 1. 연구대상지역

적 가치가 매우 높아 자연환경보전지역으로 지정된 을숙도, 대마등, 진우도, 신자도, 장자도, 백합등, 무명등 일대이다 (Fig. 1 참조).

생태지도 데이터베이스 구축 및 생태지도 제작

생태계에 대한 객관적인 진단이 가능하기 위해서 본 연구에서는, 일차적으로 넓은 지역의 환경적 특성을 탐지하는데 효과적인 원격탐사기법(RS)을 이용하여 낙동강 하구 일대에 대한 시계열적 토지피복분류를 수행하였다. 이차적으로는 GIS를 이용하여 식물상과 동물상, 수질에 대한 각종 조사 및 현황정보를 DB로 구축하고, 구축된 DB를 바탕으로 하여 종합적인 생태계평가를 실시하였다. 개별항목에 대한 평가는 생태계의 우열성을 손쉽게 비교가 가능하도록 3등급으로 나누어 현황을 판단하는 근거 자료가 되도록 하였다. 본 연구에서 이용된 위성영상자료와 지리정보자료는 IBM/PC 호환 기종에서 가동되는 ARC/INFO, ArcView, ER Mapper, IDRISI 를 이용하여 처리하였다.

1. 토지피복분류에 의한 하구생태계 시공간 분석

본 연구는 자연환경, 수질, 대기, 기후 등 생태계의 현황분석을 위해 시계열분석에 의한 토지피복분류도를 제작하였다. 영상자료의 기하보정은 평면좌표로 디지타이징된 1:25,000 지형도를 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 선정한 지역은 507개의 열과 332개의 행으로 이루어진 총 168,324개의 해상력 900 m²(30 m×30 m) 크기의 격자를 대상으로 하였다. 2개의 Landsat TM 영상자료는 1984년도 영상의 경우 11월 21일, 1997년도 영상은 5월 17일에 촬영되어 같은 시기에 촬영되지 못한 계절적 상이성에 따른 분류결과의 오차를 줄이기 위해 연구대상지역

을 중심으로 전개되었던 각종 문현에 나타난 지도(서울대, 2001), 항공사진(부산시, 2000) 등을 면밀히 비교해 정리하였다. Landsat TM 촬영시간은 약 오전 10시30분 경으로 당시 주변 해역의 간조는 간석지의 약 80% 이상이 노출된 상태로 습지분류에 적합하였다(이기철 등, 1999). 또한, 습지에 생육하고 있는 식물상을 현지조사 하였는데, 식물의 종은 이(1982)의 도감에 의하여 동정하되, (윤해순, 1987 & 1991) 대규모 갈대군락과 세모고랭이군락의 현존위치와 규모를 중심으로 파악하였다. 최종, 토지피복분류는 낙동강 하구 생태계를 대표할 수 있는 인자로 판단된 물, 갈대, 혼합군락, 습지, 논, 밭, 산림, 도시화지역 등 총 8개를 분류항목으로 최종 구분하였고, Landsat TM 영상의 열적외선 밴드를 제외한 6개 밴드를 사용하여 감독분류(supervised classification)를 실시하였다. 1984년의 경우 분류항목에 따른 면적을 정리하면, 갈대 1024.87ha, 혼합군락 1427.19ha, 습지 1414.43ha, 논 2324.53ha, 밭 1687.90ha, 산림 2212.92ha, 도시화지역 1281.33ha으로 각각 나타났고, 1997년의 경우는 갈대 868.85ha, 혼합군락 1142.48ha, 습지 636.81ha, 논 2622.57ha, 밭 1470.30ha, 산림 1415.77ha, 도시화지역 2146.07ha으로 나타났다.

FIGURE 2. 1984년 토지피복도

시계열 토지피복 분석 결과, 1983년 9월에 착공하여 1987년 11월에 완공된 하구둑 조성 이후 약 10년이 지난 1997년과의 변화를 보면, 산림(797ha), 습지(778ha)와 낙동강 하구의 우점식물종인 갈대(156 ha)는 대규모의 감소를 보인 반면 도시지역(865ha)과 논(298ha)의 면적은 크게 증가하였다. 이러한 변화 외에도 하구언 물막이 공사와 이에 따른 다량의 하상 준설토가 연안으로 방출되면서 삼각주 및 사주의 지형에 큰 변화를 발생하였는데, 신생 사주인 무명등이 새롭게 형성되었고, 다대포 해수욕장의 모래 및 갯벌이 확대가 되고 있으며, 이러한 해안지형의 변화는 계속적으로 예상되고 있고, 이에 따른 철새 등의 서식지가 계속 변화해 갈 것으로 판단되어 진다.

본 연구의 보완작업으로 진행된 현지 식생조사의 결과에 의하면 해안사주에서 채집된 식물은 총 36과 137종으로(이기철 등, 1999), 각 사주식생의 특성을 살펴보면 대마등은 둑만 남아 있는 상태로 둑에는 달맞이꽃, 쑥 등의 중성식물이 우점하고 있었고, 장자도와 백합등은 다른 사주에 비해 비교적 많은 염생식물종이 출현하였지만, 하구둑 축조공사 초기(문형태, 1984)보다 종 수가 감소하였다. 신자도와 나무식등은

FIGURE 3. 1997년 토지피복도

하구둑 축조 후 사주가 성장하였으며, 외해에 면해 있어 통보리사초, 좀보리사초 등의 전염생해안 사구식물이 우점 하였고, 하구둑 축조 후 습지식물의 분포면적도 증가하여, 습지면적의 변화는 식생변화에 크게 영향을 미치는 것으로 판단되었고, 시공간분석에 의한 토지피복분류는 광역적 또는 국지적 생태계 변화를 모니터링하는데 중요한 기초 자료임을 입증하였다.

2. 생태계 DB 구축 및 평가

생태계 DB를 구축하기 위해 국립지리원에서 제작한 수치지형도(1:25,000)를 근거로, 부산광역시를 비롯한 각종 생태, 환경 전문가들이 조사한 각종 보고서를 종합하였다(부산시, 2000; 부산시, 1997). 본 연구에서는 하구 생태계의 특성을 파악하기 위해, 3단계의 정량적 평가지표를 도입하였는데, 그 이유는 평가대상을 구체적으로 정량화해 손쉽게 이해를 할 수 있기 때문이다. 또한, 최근 우리나라에서 진행된 생태계지표 개발 관련 연구는 여러 가지 방식으로 다양하게 진행되어 일관성 있는 기준으로 사용하기에는 무리가 있으며 (서울시, 2000; 김경민, 2000; 이명우, 1997; 박소현, 2000), 본 연구의 대상지역인 강 하구에 적용하기에 문제점이 많았다.

1) 식물상 분석

식물상은 각 지역별 종수와 군락수를 평가기준으로 선정하여 정리하였다.

TABLE 1. 식물상 평가기준

지역별 식물의 분포특성을 살펴보면, 종수에 있어서는 진우도와 을숙도가 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 대마동과 신자도로 나타났다. 군락수에 있어서도 진우도가 가장 높게 나타나고 있으며, 무명도는 가장 낮게 나타났다(Fig. 4 참조).

FIGURE 4. 식물종수(좌)와 군락수(우)

2) 동물상 분석

TABLE 2. 동물상 평가기준

*특별종 : 천연기념물, 멸종위기, 보호종

동물상의 경우 포유류, 양서류, 파충류, 어류, 저서동물, 조류로 구분하여, 생물종수 또는 특이 종을 중심으로 각각의 생물상에 따라 차별적인 평가기준을 설정하여 1-3등급으로 분류해 DB화 하였다. 단, 포유류, 양서류, 파충류는 낙동강 하구일대 지역중 진우도가 조사되어 있지 않아 이를 제외시켰으며, 모든 동물상은 1km×1km 격자의 크기에서 조사된 내용으로 공간적 범위를 통일하였다.

① 포유류

지역별 포유류의 출현 종수는 대마등이 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 을숙도, 장자도, 백합등이며, 신자도와 무명도가 가장 낮게 나타났다. 멸종위기 및 보호종의 출현여부를 살펴보면, 을숙도를 제외한 각 사주에서 천연기념물인 수달과 보호종인 고라니가 출현하였다(Fig. 5 참조).

FIGURE 5. 포유류 종수(좌) 와 보호종수(우)

② 양서·파충류

양서류의 경우 출현 종수는 을숙도, 대마등, 무명등에서 비교적 높게 나타났고, 파충류의 경우도 대마등에서 높게 나타났는데, 전반적으로 고른 분포를 보이고 있다(Fig. 6 참조).

FIGURE 6. 양서류수(좌)와 파충류수(우)

③ 어류

어류의 경우, 종수에 따른 분포는 을숙도와 백합등사이에서 높게 나타나고 있으며, 개체수에 의한 분포는 장자도와 대마등 사이의 갯벌지역에서 높게 나타났다. 어류는 조류의 먹이가 되며, 분포밀도에 따라 조류의 서식지에 영향을 미칠 것으로 판단된다(Fig. 7 참조).

FIGURE 7. 어류종수(좌)와 개체수(우)

④ 저서동물

저서동물은 각종 어류 및 조류의 먹이원으로 중요성을 가지며, 먹이연쇄에 따른 종다양성과 밀접한 관련이 있다. 특히 현존량 변화는 조류의 서식밀도에 큰 영향을 미칠 수 있는 인자이므로 이를 파악하는 것은 조류서식지 관리에 있어서 매우 중요하다. 분석결과를 살펴보면, 저서동물의 종수는 진우도 일대에서 가장 높게 나타났고, 그외 지역은 고른 분포특성을 나타내었다. 현존량에 있어서는 을숙도 하단과 백합등사이, 대마등과 명지주거단지 우측, 신자도 일대에서 가장 높게 나타나, 이 지역에 철새가 많이 도래하는 것과 깊은 연관이 있다(Fig. 8 참조).

FIGURE 8. 저서동물수(좌)와 현존량(우)

⑤ 조류

낙동강 하구일대에 도래하는 조류는 균일하게 분포하는 것이 아니라, 지역별 환경적 특성에 따라 종과 개체수가 달라지는 양상을 보이고 있는데, 본 연구에서는 우점종인 오리류, 도요·물떼새류, 갈매기류, 수금류 등이 어느 지역에 많이 도래하는지를 파악하고, 이들 4종류의 조류 분포밀도를 합산하여 전체적으로 조류의 다양성이 높은 지역을 파악하였다. 또한 낙동강 하구일대의 멸종위기 및 보호종인 흰꼬리수리, 참수리, 매, 아비, 개리, 큰기러기, 큰고니, 고니, 물수리, 솔개, 말똥가리, 알락꼬리마도요, 검은머리갈매기, 고대갈매기, 황조롱이, 재두루미 등이 도래하는데, 이들의 서식지가 되는 지역을 파악하였다.

TABLE 3. 조류평가기준

대마등과 명지주거단지 우측 갯벌지역, 무명동 하단지역에서 높게 나타났는데 그 이유는 이 곳이 갯벌이 많고 상태가 양호해 조류들의 먹이가 되는 갑각류, 환형동물, 연체동물, 소형물고기 등이 많고, 산란 등 서식환경상 조류들이 좋아하는 모래밭이 무명동에 많기 때문이다(Fig. 9 참고).

FIGURE 9. 오리류(좌)와 물떼새 종수(우)

갈매기류(Gulls)의 분포밀도를 살펴보면, 하구둑아래, 대마등과 장자도 사이 갯벌지역, 무명동 아래지역에서 높게 나타났다. 수조류(Waterbirds)의 경우는 무명동과 백합동지역에서 비교적 높은 분포밀도를 나타냈고, 기타 지역에 있어서는 도래하는 개체수가 적은 것으로 나타났다(Fig. 10 참고).

FIGURE 10. 갈매기류(좌)와 수조류 종수(우)

오리류(Ducks and Geese)의 개체수에 따른 분포밀도를 살펴보면, 하구둑위, 녹산수문 아래, 을숙도 남단의 갯벌, 명지남단과 대마등 갯벌, 백합동, 무명동, 장자도, 신자도 갯벌 주변에서 높은 분포밀도를 나타냈다. 도요·물떼새류는

상기 도출된 결과를 종합하여 보면, 어느 지역에서 조류의 분포밀도가 가장 높은지를 파악할 수 있다. 종합한 결과를 보면 명지주거단지, 대마등, 무명동, 백합동일대에서 높게 나타났는데, 이는 이 지역이 오염이 적게 되어 먹이가 비교적 풍부할 뿐만 아니라 조용하고 안전하여 번식에 적당하기 때문인 것으로 판단된다. 또한,

하구일대에서 관찰되는 천연기념물, 멸종위기·보호 조류는 1998년 부산시에서 조사한 결과 총 13종이 보고 되었는데, 비교적 고른 분포특성을 나타내고 있다(Fig. 11 참조).

FIGURE 11. 총조류(좌)와 보호조류 종수(우)

3) 수질

염분, Chl. a, 수질중금속(Zn, Pb, Cd, Cu) 등은 수질상태를 나타내는 각종 지표를 참조해 평가기준을 선정하였고, 그 조사지점별 환경특성을 비교, 정리하였다.

TABLE 4. 수질평가기준

수 있고, 호소의 영양상태를 판정하는 지표로 이용된다. 하구해역은 낙동강 본류의 고농도의 영양류의 유입으로 식물플랑크톤의 번식이 활발하여 부영양화가 하구둑을 중심으로 심화되고 있다(Fig. 12 참조).

FIGURE 12. 염도(좌)와 Chlorophyll-a 농도(우)

수질중금속 함량분석은 Zn, Pb, Cd, Cu 등 4 항목에 대해서 퇴적물내의 농도분포를 기준으로하여 정리하였다. 결과를 살펴보면, Zn과 Cd의 경우 매우 유사한 농도분포를 보이고, Pb와 Cu의 경우는 같게 나타났다. 4 항목 모두 신평-장림공단과 인접해 있는 지점이 가장 높게 나타났는데, 이러한 중금속의 오염은 이곳에 서식하는 생물들의 서식 환경에 크게 영향을 미치는 것으로 사료되었다(Fig. 13 &14 참조).

FIGURE 13. 아연(좌) 및 납 농도(우)

Chl. a 농도는 수중의 식물플랑크톤 현존량의 지표로, 조류의 생체량 평가지표가 되는데, Chl. a를 측정함으로써 현존량과 생산성을 밝힐

FIGURE 14. 카드뮴(좌)과 구리농도(우)

4) 생태지도 작성 및 활용방안

본 연구에서 구축된 DB는 생태계 자원의 관리와 이용·개발시의 의사결정을 위한 기초자료로 활용될 수 있는데, 생태계 보전 및 관리를 위한 종합적 생태지도를 하나의 예시로 작성하였다(Fig. 15). 작성항목은 크게 인문환경과 자연환경으로 구분하였으며, 앞에서 분석된 각각의 주제도를 종합해, 대상지의 생태적 특성을 종합적으로 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 작성된 생태지도는 목적에 따라 다양하게 이용될 수 있지만, 각종 개발 및 복원계획의 기초자료, 보호구역 설정, 생태환경 모니터링, 시민들의 환경교육 등에 즉시 활용 가능할 것이다. 본 연구에서는 제시하지 않았지만, 다양한 용도로 활용이 가능한데, 예를 들어 습지 생태계 현황을 지역단위별로 쉽게 알 수 있어서 해당지역의 행정경계도, 법정 생태계 관리구역도 등과 중첩하면 어떤 상태의 습지 생태계가 어느 정도 어떤 지역에 나타나는지, 그 생물적 현황이 어떠한지 구체적으로 파악할 수 있어, 습지관리를 하는 행정 부서에서는 보전의 강도를 달리해 어떤 습지를 절대보존 해야 할지 정확히 알 수 있다. 또한, 갯벌 및 인근 해수면 등에 주민들의 어획 행위를 허가해 줄 지역의 지정 또는 조정 및 지속적인 관리가 필요한 기관의 기초자료로 활용할 수 있다. 또한, 여타 개발 관련 부서에서도 이러한 자료를 이용할 수 있는데, 개발 대상지 역내의 습지분포를 사전에 파악하여 습지가 가지고 있는 생태적 기능을 보전하면서 여타 지역만을 개발하여 이용할 수 있는 지역을 찾는데도 기여 할 수도 있다.

시공간분석을 통해 입증하였듯이 이미 훼손된 습지의 현황 파악 및 회복 등에 대한 생태계의 평가가 가능한데, 같은 궤도를 다른 시점에 반복 활용한 인공위성자료를 이용한 습지의 시공간 분석은 전형적인 지도분석보다 생태계 전반에 대한 현황파악 및 변화추이 분석에 효율적으로 이용할 수 있어, 각종 개발 사업의 시행 이전, 습지의 훼손 정도를 사전에 평가해 습지훼손

을 방지할 수 있는 사전계획(Advance planning)적인 방법으로 적용이 가능하고(이기철 등, 1997), 외국의 사례와 같이 습지의 다양한 생태적 기능(예: 어류·패류·야생동물 등의 서식지, 수질 정화능, 생산성 등)과 사회·경제적 기능(예: 홍수조절, 해안 침식조절, 해상재해 방지, 어장 및 양식장, 사냥 및 여가활동, 심미적 가치 등)에 따른 구체적 내용을 데이터베이스화한다면, 한걸음 더 진보된 생태계관리와 관련된 전반적인 정책의 수립에 기여 할 수 있을 것이다(University of Wisconsin-Madison, 1990).

본 연구의 한계는 생태계 전반의 실시간 모니터링이 가능한 GIS 기반의 생태지도를 제작하는 기법을 적용하지 못한데 있다. 즉, 시시각각으로 변화하고 있는 각종 생태자료의 신속한 정리가 불가능해, 생태계 훼손에 따른 즉각적인 모니터링이 불가능하다는 점이다. 다행히 최근의 GIS는 정보통신기술의 급속한 발전에 의해 모바일 GIS로 추세가 확장되고 있어, 모바일 GIS를 활용해 현장에서 확인하고 조사된 공간 및 속성자료를 현장에서 바로 입력할 수 있는 기술 개발 및 적용에 관한 연구가 필요하다.

또한, 생태계 관리를 위한 지도 제작시 생태계 평가모형을 구축하고, 정량적인 평가를 위한 체계적인 사전 연구가 요구되나, 본 연구에서는 손쉽게 인지가 가능한 3단계 평가기준을 설정하고 이를 지도화함으로서, 본 연구와 같은 생태지도 제작방법의 표준화를 위한 방안에 대해서는 추후, 논의가 필요하다. 이와 함께, 생물상을 기초로 한 생태계의 평가는 오랜 기간동안 가능한 동일한 방법으로 정확한 공간적 위치를 주기적으로 조사된 데이터가 필요하지만, 이러한 자료의 부족과 생태전문가들에 의한 각종 생태계 인자들의 조사시 조사위치 표기 누락 또는 오기, 상이한 축적의 도면 이용 등 조사방법이 서로 달라 평가결과들을 상호 연계해 정확한 생태적 기능을 비교·분석하기는 어려웠으며, 따라서, 표준화된 생태적 조사방안 및 조사시스템의 개발이 매우 필요한 것으로 판단되었다.

FIGURE 15. 낙동강하구 생태지도

최종적으로 이와 유사한 연구를 진행하기 위해서는, 생태지도 제작을 위한 DB 구축 이전에, 먼저 어떠한 정보를 담을 것이며, 어떻게 정보를 수집하고, 어떠한 형태로 입력할 것인지에 대한 철저한 기획이 요구된다.

결 론

본 연구에서는 세계적 철새도래지로 그 보전의 중요성이 매우 높으나, 각종 개발로 파괴가 우려되고 있는 낙동강 하구일대를 대상지로 원격탐사기법(RS)과 GIS를 이용한 생태지도를 작성해, 이를 활용해 보다 효과적인 생태계 보전 및 관리의 가능성을 제시하였으며, 주요 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 시공간분석에 의한 토지피복분류는 광역적 또는 국지적 생태계 변화에 따른 생태적 변화를 파악하는데 중요한 기초 자료임을 입증하였다. 하구인 공사 이전과 이후의 시계열적 습지 변천 실태 분석은 다른 토지용도로 개발된 훼손된 습지의 파악뿐만 아니라, 현재 남아 있는 습지생태계의 현황파악에 효과적인 자료로 활용가능하다.

둘째, 기존의 생태현황을 나열하는 수준에서 제작된 생태지도를 한 단계 향상시켜, 종다양성에 근거한 동식물상 평가, 수질오염 현황 등을 포함한 생태지도를 작성함으로써 생태계 보존을 위한 의사결정시 생물서식처로 중요한 지역의 구분이 손쉽게 가능하도록 해, 생태계 보전과 관리에 보다 유용한 생태지도 제작의 방향을 제

시하였다. 다만, 본 연구에서 실시한 3단계에 의한 등급평가 기준은 여타 하구 또는 연안 생태계 지역에 재적용해 검증을 받을 필요가 있다고 판단되어진다.

셋째, 원격탐사기법(RS)과 GIS를 이용해 생태계에 대한 진단과 평가가 가능한 종합적인 생태자원분석 가능성이 검증되었고, 낙동강 하구 일대는 현재 본 연구에서와 같은 기법으로 생태지도를 작성한 사례가 없으므로 추후 생태계의 실제적 관리를 위한 의사결정시 중요한 기초자료로 이용될 수 있을 것이다. **KAGIS**

참고문헌

- 김경민. 2000. 도시생태계 보전·복원을 위한 생태·자연도 작성기법 개발. 서울대학교. 23-25쪽.
- 국토연구원. 2000. 만경강 생태하천가꾸기 사업 기본계획 연구 및 기본설계. 중간보고서(2차) 72-75쪽.
- 박소현. 2000. 자연자원의 평가를 중심으로 한 자연환경감사의 적용. 서울대. 46-52쪽
- 부산시. 2000. 낙동강하구일원 철새도래지 보전 및 복원계획. 189-235쪽.
- 서울대학교. 2001. 한국의 갯벌. 1074쪽.
- 서울대학교 환경계획연구소. 2001. 도시생태현황도 제작 및 GIS구축사업(1차년도). 35-37쪽.
- 서울시. 2000. 서울시 비오톱 현황조사 및 생태도시 조성지침 수립-1차년도 보고서-. 31-37쪽.
- 윤해순. 1987. 낙동강하구에서의 수금류 식이식물의 현존량과 이용에 관한 연구. 경희대학교 박사학위논문. 133쪽.
- 윤해순. 1991. 낙동강 하구 간석지의 수생관속식물에 관한 연구 - 하구인 건설 전후의 간석지 식생의 생산성 비교. *Korean J. Ecol.* 14(1):63-73.
- 이기철, 임병선, 우창호, 조영환. 1997. Landsat TM 자료를 이용한 서남해 연안 습지의 시공간 변화분석에 관한연구. *환경영향평가학회지* 6(1):55-66.
- 이기철, 윤해순, 김승환, 남춘희, 육진아. 1999. GIS와 원격탐사를 이용한 습지 생태계 데이터베이스 구축에 관한 연구, *한국지리정보학회지* 2(3):1-15.
- 이창복. 1982. 한국식물도감. 향문사. 990 쪽.
- 이명우. 1997. 지리정보체계를 이용한 생태환경 분석 및 적지분석. *환경영향평가* 6(2):61-80.
- 전성우, 조정건, 정휘철. 2000. 생태자연도 작성 및 활용을 위한 원격탐사기법 연구III. *한국환경정책·평가연구원*. 48-55쪽.
- 해양수산부. 1999. 갯벌생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구. 239-243쪽.
- University of Wisconsin-Madison. 1990. *Urban Wetlands in the Yahara-Monona Watershed: Functional Classification and management Alternatives*. pp. 255.
- Yi, Gi-Chul, Tomlin, C.D. and Mitsch, W.J. 1989. Toward Dynamic Cartographic Modeling of Costal Wetlands. pp.175-180 in Mitsch, ed. *Wetlands of Ohio's Coastal Lake Erie: A Hierarchy of Systems*. Ohio Sea Grant Program, Columbus, Ohio. U.S.A.
- Yi, Gi-Chul, Risley, D., Koneff, M. and Davis, C. 1994. Creation, Value and Use of Ohio's GIS-based Wetlands Inventory. *Journal of Soil and Water Conservation*. 49(1):23-28. **KAGIS**