

습지의 역할 및 수문학적 관리방안

배 덕 효 (세종대학교 토목공학과 부교수)

최 지 혜 (창원대학교 토목공학과 대학원)

1. 머리말

습지는 지구상에 존재하는 중요한 자연생태계 중의 하나이다. 하지만 국내의 상황에서 보면 습지는 아직도 모기들이 서식하는 쓸모 없는 공지로 인식되는 측면이 강하고, 농지, 도시용지, 공업단지 등의 토지자원 확보와 근시안적인 하천개발 등 각종 개발 위주의 정책과 행위에 의해 급격하게 훼손되고 파괴되어 왔다.

국내의 상황과 유사하게 세계의 많은 습지는 습지의 가치가 채 인식되기 전 급속도로 훼손 또는 상실되었다. 습지의 경제적, 문화적 및 생태적 가치를 인식한 선진국을 중심으로 국제적으로 중요한 습지를 보호하고자 하는 협약이 1970년대에 체결되었다. 일명 람사협약(Ramsar Convention)이라고 알려져 있는 이 조약의 정식명칭은 '물새 서식지로서 국제적으로 중요한 습지에 관한 협약'으로 1971년 2월 이란의 람사에서 채택되었다. 이 협약에 가입한 체결국들은 최소한 하나 이상의 자국 습지를 람사지역으로 등록하여야 하고, 3년마다 열리는 세계습지대회에서 자국의 습지보전 현황과 대책을 보고하고 습지보전을 위한 기술 및 정보교류 및 국제적 협력을 도모하도록 규정되어 있다. 현재 이 협약에는 117개국이 가입되어 있는데, 우리 나라도 강원도 인제군 서화면 대암산의 약 106ha에 달하는 용늪과 854ha 규모의 경남 창원군 우포늪을 람사 지역으로 등록하였다.

이와 같이 습지보존을 위한 노력은 전세계적으로 이루어지고 있으며 습지가 단순히 버려진 땅이 아니라 다양한 역할을 한다는 것을 인식하고 있다. 습지에 지금과 같은 생물이 살고 있는 것이 하나의 자연현상

에 의한 결과라면 이러한 생태가 형성된 원인에는 지형, 지질, 수질 등 여러 가지 요인이 있지만 일차적인 요인은 물이 존재하기 때문이다. 이와 같이 습지에 존재하는 다양한 생물의 이해 및 효율적인 보전을 위해서는 물의 거동특성을 정확히 규명할 필요가 있다.

따라서 본고에서는 습지에 대한 이해를 돕고 습지 관리의 기초가 되는 수문자료의 체계적인 관리방안을 제시하고자 한다. 2장에서는 습지의 정의와 종류 및 현황에 대해 기술하고, 3장에서는 습지의 다양한 역할을 소개하고자 한다. 특히 4장에서는 습지 생태계에 중요한 영향을 미치는 수문학적 요소를 기술하고, 5장에서는 이들 요소의 체계적인 관리를 위한 지리정보 시스템 및 원격탐사 활용실태를 제시하고자 한다.

2. 습지의 개요

2.1 습지의 정의

습지의 정의는 매우 다양하고, 지역의 특성 및 분류의 목적에 따라 달라질 수 있다. 또한 습지에 대한 개념과 정의 또한 생태학, 수문학, 지질학, 식물학, 사회학, 경제학, 정치학을 전공하는 사람에 따라 달라질 수 있다.

먼저 일반적으로 정의되는 습지는 육상생태계(terrestrial ecosystem)와 수생생태계(aquatic ecosystem) 사이의 전이대(ecotone)로서 양 생태계의 가장자리(edge)에 위치해 있는 공간이다. 육지와 물은 여러 방식으로 결합되어 있기 때문에 어디서부터 습지가 시작되고 끝나는 지를 결정하는 것은 매우 어렵다. 따라서 모든 목적에 부합되는 습지에 대한 정

확한 하나의 정의는 없다. 그러나 일반적으로 습지란 일년중 일정기간 동안 얇은 물에 잠겨 토양이 물로 포화되어 있는 땅을 말한다. 이 습지는 육상생물계와 수생생물계를 잇는 연결통로(corridor)의 역할을 하고 있다. 특히 식물 종의 경우 습지는 습지식물과 육상식물이 다양하게 배치되어 양 식물간의 입계서식지를 제공해 주고 있다. 따라서 습지는 육상과 수중생물계의 성격과 두 계의 상호작용에 의한 완충지대로서의 성격을 모두 가지고 있어 종다양성 측면에서 중요한 역할을 하고 있다.

또한 람사협약에서 정의한 습지는 물이 환경 및 그 환경과 연관된 동식물을 통제하는 주요한 요인으로 작용하는 지역으로 정의하고 있다. 다시 말하면 육지의 표면 또는 그 근처에 지하수면이 있거나 육지가 얇은 물로 덮여있는 지역이다. 또한 람사협약 조항 1.1에 따르면 물이 고여있거나, 흐르고, 담수, 또는 간조시 염수를 포함해서 물의 깊이가 6m를 넘지 않는 해양에 해당되는 자연적이든 인공적이든, 지속적이든 일시적이든 관계없이 소택지(marsh), 이탄지(peatland), 늪 또는 물이 있는 지역으로 정의하고 있다. 또한 조항 2.1에 의한 습지는 강 또는 해안지역이 인접한 습지와 만나는 지역과 간조시 6m 이상의 해양 또는 섬이 습지내에 있는 경우도 포함된다. 이러한 정의에 의해서 람사협약이 적용되는 지역은 다양한 유형의 서식지가 있는데 강과 호수, 해안의 석호, 홍수림, 이탄지 뿐만이 아니라 산호초까지 포함된다. 그 외에도 양어장, 농경지, 저수지, 염전, 자갈채취장, 하수관계 이용농장 그리고 운하와 같은 인공적인 습지도 포함된다.

이와 같이 습지에 대한 정의나 범위는 습지가 갖는 역동적인 변화 상으로 인해 다소 불분명하지만 영구적으로 습한 지역과 건조한 환경 사이를 이행하며 일정기간 물이 우세하고 호수와 달리 수심이 얕으며 식생을 가진다는 공통적인 특성을 갖는다.

2.2 습지의 분류

습지를 나타내는 용어는 나라별, 지역별로 매우 다를 수 있는데, 크게 육지에 속해 있는 내륙성 또는 내

수면 습지와 해양에 속해 있는 해안성 또는 연안습지로 구분할 수 있다. 내륙성 습지는 지형적인 원인에 의해 우기에 침수되어 형성되거나 강 유역의 범람하는 토양이 침적되어 만들어지고, 강바닥이 주위보다 높아 강우량이 적을 때 바깥으로 드러남으로써 형성되며, 화산의 폭발, 빙산의 이동 등 조산운동의 결과로 고지대에 형성되는 것들이 있다. 한편 해안성 습지는 강에 의해 실려온 토양 침전물이 유속이 느려짐에 따라 강 하류 또는 큰 강의 어귀 또는 하구역(estuary)에 넓게 침적되어 이루어지나, 해수에 의해 육지가 침식되어 이루어진 것들로 삼각주 지역이나 해안 갯벌이 대표적이다.

또한 습지는 식물군락의 종류 조성, 토탄 퇴적물의 양과 구성 식물, 지하수와와의 관계, pH나 토양의 부양도 등에 의하여 고층습지, 중간습지, 저층습지 등으로 구분된다. 강원도 대암산 용늪과 개마고원, 백두산 남동 기슭의 삼지연, 원지, 대택 부근이 대표적인 고층습지에 속한다. 중간습지는 지하수의 영향을 받으며 고층습지와 저층습지의 중간에 위치해 중위 토탄습지라고도 부른다. 저층습지는 저지에서 산지에 걸쳐있는 소택지 등에 발달되어 있으며, 갈대와 각종 습지 식물이 자라고 있다. 우리나라에서는 현재 저지의 습지는 대부분 논으로 개간되거나 택지 등으로 개발되어 거의 찾아보기가 어려운 실정이다. 안산시와 수원시, 화성군의 3개 행정구역에 걸쳐 있는 칠보산의 습지는 중간습원과 저층습원을 모두 포함하고 있으며 울산 정족산의 무제치늪과 창녕의 우포늪도 중간과 저층습지가 분포하며 생물의 분포를 약간 달리하고 있다.

2.3 습지의 현황

우리 나라는 해안의 골목이 심해 연안습지의 대국이며, 총면적은 2,815km²(서해안 2,230 km² 남해안 485km²)로 남한 전체면적의 3%를 차지한다. 내륙습지는 강하구를 제외하고 12곳(총면적 111km²)이다. 국제적으로 보호할 가치가 있어 세계자연기금이나 세계자연보호연맹(IUCN)목록에 올라있는 국내 습지는 모두 21곳이며 전체면적은 173 km²이다. 우리 나라

습지는 서해안 일대에 넓게 형성된 갯벌과 내륙호수, 강어귀, 자연늪 등 크게 4가지로 구성되어 있다. 이러한 습지는 철새들의 서식지로서 주요한 역할을 하는데 국내에 분포하고 있는 내륙습지의 경우 북부권(경기, 강원도 등지)의 100여 개소, 중부권(충남북, 전북, 경북)의 60여 개소, 남부권(전남, 경남, 제주)의 160여 개소가 있고(박수영 등, 2000), 또한 환경부에 보고된 국내의 내륙습지는 표 1과 같다.

3. 습지의 역할

최근 습지가 다른 생태계에 비하여 그 중요성이 부각되고 있는 이유는 다음과 같은 습지가 제공할 수 있는 여러 가지 기능에 의해 인류사회에 유익한 보전적 가치가 점차 알려져 가고 있기 때문이다.

(1) 다양한 서식 환경 제공

습지내 풍부한 플랑크톤이나 유기성 분해물질은 수서 곤충이나 어패류에게 먹이를 제공하고 수서 곤충이나 어패류는 온갖 물새나 양서류, 소형 포유동물의 먹이가 된다. 이들은 뱀, 악어 등의 파충류나 물소, 사슴, 야생말 등의 동물들을 불러들여 거대한 생태적 단계를 이룬다. 습지는 지구상 그 어느 지역보다 생물학적 생산성이 높은 곳이며 지구 생명의 신비와 질서를 잘 간직하고 있는 곳이다.

표 1. 환경부에 보고된 국내의 내륙습지

도명	습지명
강원도	용늪, 화절령 습지
경 남	우포늪, 주남저수지, 왕동재 습지, 도마 간척지, 단조늪
경 북	달성습지
전 남	수어천 하구, 섬진강 하구, 상동 저수지, 금호호, 구천암호, 관산리 담수호
제주도	수영막 - 물영아리, 뱀디늪, 1,100 고지, 송물곶, 빌레왓, 동수막, 물장로리, 사라오름, 검은오름, 허도리, 용수리 저수지, 성산포, 소백록담
충 남	금강호, 간월호, 부남호, 대호 담수호, 삼교호, 역치방죽
대 구	달성습지, 금호강 습지
인 천	임진강 및 한강하구 습지

(2) 생산력의 보고

지구상에 있는 습지 생태계의 생산력은 평균 3000g/m²·yr 이상으로 알려져 있고, 이는 열대우림 생태계와 비슷하다. 해양 생태계 중에서 1차 생산력의 연평균 생산율을 보면 하구역이나 해조숲-산호초 생태계의 생산력이 대륙붕이나 용승해역보다 4배 정도 높고, 외해역보다는 거의 10배 이상 차이가 나서, 습지 생태계는 대륙붕보다 약 10배, 외해역보다는 거의 30배 이상 높은 생산력을 보인다(홍재상, 1999).

(3) 수문학 및 수리학적 기능

습지의 토양은 단위 부피당 보유할 수 있는 물의 양이 많고 자연적으로 형성된 배수관개로가 복잡하며 조직적이어서 우기나 가뭄에 훌륭한 자연 댐의 역할을 한다. 우기나 홍수 때의 과다한 수분은 습지토양 속에 저장되었다가 건기에 지속적으로 주위에 공급함으로써 수분을 조절한다. 이때 토양은 표면유출수를 효과적으로 흡수함으로써 토양 침식을 방지하기도 한다.

(4) 기후조절 기능

전 세계의 약 6%를 차지하는 습지는 거시적인 기후조절 측면에서는 대기 중으로의 탄소의 유입을 차단하여 지구온난화의 주범인 이산화탄소의 양을 적절히 조절해주며, 미시적 측면에서는 한 지역의 대기온도 및 습도 등을 조절하는 국지적 기후조절 기능을 가진다.

(5) 수질오염물질 제거

습지에 서식하는 동식물, 미생물과 습지를 구성하는 토양 등은 주변으로부터 흘러나오는 각종 오염된 물을 흡수하여 오염물질을 정화시키고 깨끗한 물을 흘려보낸다. 습지의 이러한 자정능력은 습지가 인간을 포함한 모든 생물에게 매우 중요한 역할이다.

(6) 경제적 가치

습지가 제공해 주는 경제적인 가치는 정확히

평가할 수 없는 단계이지만, 양적으로는 수자원의 확보와 적정 유지에 기여해 수자원 개발 및 관리와 관련된 비용을 절감시켜 주고, 어업 및 수산업의 산실로서 전세계 어획고의 2/3 이상이 해안과 내륙습지의 이용과 관련되어 있어 막대한 수입원이 되며, 그 외에도 지역에 따라서 농업, 목재 생산, 이탄과 식물자원 등의 에너지 자원, 야생동물 자원, 교통수단, 휴양 및 생태관광 기회제공 등으로 매우 높은 경제적 가치가 있다.

(7) 경관적 가치

습지는 물과 함께 다른 경관과 시각적으로 구분할 수 있는 독특한 경관 형태를 지어내고, 지역의 문화적 가치와 함께 생명력이 넘치는 역동적인 공간으로 인류사회의 내면적 경관적 가치와 관련되어 중요한 역할을 하고 있다. 이러한 내용을 기반으로 자연교육 및 체험장소로 활용되어 진다.

4. 습지의 수문특성

호수가 시간이 흘러 습지가 되고 습지는 다시 소택지로 변해 마지막에는 지에서 초원으로 변한다. 습지는 경지정리, 공간건설, 연발활용, 양어장 조성 등의 과정에서 파괴된 것도 많지만 자연적으로 오랜 세월을 거쳐 사라진다. 이와 같이 호수에서 육지로 변해가는 중간과정이 습지라면 습지의 소멸에 대한 수문학적 인자는 물수지의 불균형과 유사의 퇴적문제를 지적할 수 있다. 물수지의 불균형은 저수지로 유입되는 물의 양보다 유출되는 양이 많기 때문에 저수지가 점차 말라가는 것이고, 유사의 퇴적문제는 홍수시 상류로부터 유입되는 유수에 포함된 유사가 습지에 도달하게 되면 통수단면이 급격히 증가되면서 유속 및 난류효과가 갑자기 감소하게 되어 습지에 퇴적되게 되므로 저류공간은 점차 줄어들게 되는 현상이다.

습지의 퇴사는 수질을 정화시키는데 중요한 역할(Botto와 Patrick, 1978; Kuenzler, 1990)을 하는 반면 습지를 오염시키는 원인이 되기도 한다(Baker, 1992; USEPA, 1995). 즉 과잉 침전된 유사는 수중 먹이사슬 형태와 수질개선과 관련된 습지의 기능을

변화시키며 극단적인 경우 침식에 의한 유사가 습지 전체를 덮어버림으로써 습지의 기능을 완전히 마비시키는 경우가 발생할 수도 있다.

따라서 습지에 존재하는 다양한 생물의 이해 및 효율적인 보전을 위해서는 물의 거동특성을 정확히 규명할 필요가 있으며, 특히 생물종의 생성 및 소멸, 수질악화 등은 비교적 단기간에 관찰이 가능하지만, 습지의 수문특성 변화는 장기간에 걸쳐 서서히 그 영향이 나타나므로 습지의 수문특성 변화 요인을 규명하는 데는 많은 주의가 필요하며 습지의 수문관리에 필요한 사항을 기술하면 다음과 같다.

(1) 유역관리

습지의 수문거동을 파악하기 위해서는 유역 내 유출에 영향을 미치는 모든 요소들을 파악할 필요가 있으며, 습지가 포함된 유역의 물 관리가 이루어져야 한다. 유역은 통상 지표면 분수계를 경계로 하며, 강수의 유출과정은 유역의 성질에 지배된다. 이러한 유역의 성질을 지배하는 요소는 유역면적, 유로연장, 유역형상, 지세, 지질, 지표면의 피복상태, 하도배열 상태 등 여러 요소에 의존하므로 지형도 및 하천도 등을 이용하여 이들 상태를 파악해야 한다(이원환, 1989).

하천 및 유역의 지형학적 연구는 20세기초까지도 그 특성을 서술적 입장에서 관찰하여 정성적으로 설명하는데 지나지 않았으나 미국의 Horton(1945)이 유역의 지형 특성을 양적으로 분석할 수 있는 방법을 제안하면서 하천지형학이 정량적으로 발전할 수 있는 계기가 되었으며 특히 GIS와 원격탐사 기술의 발달로 보다 정확한 정량적인 분석이 가능하게 되었다.

(2) 수문자료 관리

수문자료는 유역내의 기상 및 유출특성을 규명하는데 기초자료가 될 뿐 아니라 습지 생물의 분포 특성을 이해하는데 매우 중요한 자료이다. 습지에 다양한 생태계가 조성된 데에는 분명 습지의 연중 수온변화, 수량변화 등과 매우 밀접한 관련성이 있을 것이다. 따라서 향후 습지 생태계 연구를 보다 체계적으로 수행하기 위해서는 장기간의 수문자료 관측 및 분석이 필요

표 2. 유역특성 조사

조사내용	조사항목
유역형상조사	유역도축척, 표고, 표고별 면적, 유역면적, 유역평균경사, 유역의 방향성, 유역형상, 평균표고, 하천 밀도, 형상계수
하천형태조사	하천명, 유로연장, 하상경사, 하천지형태, 하상계수, 하천사행특성, 좌우안 제방의 높이, 길이, 표고
토양 및 토질조사	유역토질의 종류 및 비율, 토양형에 따른 토양부호
주요시설물조사	댐, 공장, 도로, 유수지, 배수문, 취수문, 배수관, 배수암거, 관정양수장, 보 등
지표상황조사	토지이용형태, 계조사
습지의 기하학적 형상조사	면적, 수위, 유량, 하상재료, 하천유출입량, 주요시설

표 3. 수리·수문 조사

조사내용	조사항목
강수량조사	관측소 위치, 조사계기, 일·월·년평균 강수량
수위조사	관측소 위치, 조사계기, 일평균 수위, 영점표고 등
유량조사	관측소 위치, 조사방법, 일평균 유량 등
지하수조사	조사방법, 지하수위, 침투량, 증발량 등
유사조사	하천 및 습지내 유사량 산정(유사량, 하상재료, 산정방법 등)
내수조사	지형조사, 배수계통, 배수시설 등
용수이용현황조사	생활·공업·농업용수의 취수위치, 취수량, 취수설비 등
빈도별 홍수량산정	홍수량 산정지점, 산정방법, 빈도별 홍수량

하다. 표 2와 3은 환경부에서 조사하는 습지의 유역특성 및 수리·수문 조사 항목을 나타낸 것이다.

(3) 이수관리

유역내 존재하는 습지의 물 관리를 위해서는 습지 상류부의 이수현황을 파악하고 관리할 필요가 있다. 이수관리는 생활용수, 공업용수, 농업용수 및 하천유지용수 등으로 나눌 수 있다. 과거 농경사회에서는 이수관리가 크게 문제되지 않았으나 1970년대 이후 고도의 산업화가 진전되면서 용수 수요량이 급속하게 증가되었고 제한적인 수량을 효율적으로 사용할 수 있는 방안이 요구되었다. 과거에는 자연상태에 존재하는 물을 필요에 따라 이용하게 되었으나, 지금은 유역별, 행정구역별로 미래의 용수수요량을 예측하여 계획 하에 용수를 이용하는 것처럼 습지의 용수확보

를 위한 노력이 요구됨에 따라 습지 주변의 이수현황 파악이 요구된다.

(4) 하천환경(치수관리) 및 수공구조물

지금까지 우리나라 대부분의 하천에 축조된 구조물은 이수 및 치수관리를 위한 구조물이며 이들 시설물 등은 대부분 경제성과 시공성 등의 이유로 콘크리트 구조물로 되어 있어, 이들 시설물이 습지가 위치한 유역의 상·하류부에 존재한다면 이들 시설물이 습지 생태계에 미치는 영향에 관한 문제는 향후 많은 연구가 필요할 것이다. 따라서 성공적인 하천개수사업이 되기 위해서는 유지관리에 대한 충분한 배려는 물론 하천환경적 역기능을 최소화할 수 있도록

하천의 자연환경이나 친수성, 하천경관의 확보를 위한 배려, 지역주민의 참여 등과 같은 종합적인 요소가 감안되어야 한다. 이러한 관점에서 자연형 하천계획은 효율적인 습지관리를 위한 기본이 된다.

5. 지리정보시스템과 원격탐사의 활용

습지의 수문학적 특성은 습지의 깊이, 길이, 폭, 지표면적, 유역의 구성요소, 주변 지표면의 피복상태, 풍향, 기후, 유입량과 유출량, 그리고 다른 요소들에 의하여 다양하게 변한다. 이와 같은 다양한 요소의 영향을 받는 습지의 효율적인 보전을 위해서는 습지의 수량, 수질, 자연생태계와 관련된 모든 자료들을 관리할 수 있는 데이터베이스 구축이 요구된다. 데이터베이스 구축에 필요한 자료에는 시계열 자료와 비시계

열 자료로 구분할 수 있는데, 비시계열 자료는 유역도, 하천수계도, 하천단면, 토양도, 토지이용상태, 식생 및 피복상태 등 자료의 시간적 변동이 거의 없거나 혹은 매우 작은 자료를 말하며, 시계열 자료는 기온, 바람, 강수량, 증발량, 수위, 유량, 수질 등 시간에 따라 자료의 특성이 변하는 자료를 말한다. 이와 같은 자료들을 효율적으로 관리하기 위해서 GIS와 원격탐사 기술이 이용될 수 있다.

GIS(Geographic Information System)는 컴퓨터 하드웨어(hardware), 소프트웨어(software), 지형자료 및 인적자원의 집합체로서 각종 형태의 지형자료로부터 다양한 정보를 효율적으로 추출, 저장, 갱신, 조작, 분석하고 그 결과를 영상으로 보여주어 시각적 효과를 높일 수 있다(ESRI, 1991). GIS 기술은 60년대에 시작되었고, 수자원 분야는 70년대에 들어와서야 적용되기 시작하였다(Males와 Grayman, 1992).

먼저 유역의 분수계와 하천망을 획득하기 위해 ESRI에서 개발한 Arc/Info의 GRID 모듈을 사용할 수 있다. GRID는 지표면(surface) 모델링에서 TIN과 함께 유용한 연산을 수행할 수 있는 모듈로서 GRID의 수문학적 분석 툴은 지표면의 물리적인 특징을 나타내는 방법을 제공한다. DEM 자료를 입력으로 사용하면 유역의 배수시스템을 표현하여 그 시스템에 대한 특징을 양적으로 나타낼 수 있다. 이러한 방법으로 DEM 자료를 사용하여 작성되는 분수계(watershed)와 하천망은 습지의 보존 및 관리에 중요한 입력자료로 사용될 것이다.

DEM의 생성은 여러 경로를 통하여 생성할 수 있다. 일반적으로 가장 보편화된 방법으로는 실제 수치지형도를 독취하여 생성할 수 있으며, 국가적으로 작성된 NGIS 자료의 등고선 및 표고점 데이터를 활용할 수도 있고, 항공촬영 및 위성영상 등을 이용하여 작성된 DEM을 이용할 수도 있다. 이러한 자료를 이용하여 Arc/Info의 GRID에서 이용할 수 있는 DEM의 추출이 가능하다. 추출된 DEM으로부터 sink를 처리하고 흐름방향과 누적된 흐름을 계산한 후에는 실질적인 수문학적 분석이 이루어진다. 분수계의 생성에서는

BASIN과 WATERSHED 함수가 사용된다. BASIN 함수는 대상 GRID 자료에서 계산 가능한 모든 분수계를 작성할 수 있다는 장점이 있고 WATERSHED 함수는 사용자가 필요로 하는 유역의 최종 출구점을 지정할 수 있다는 측면에서 보다 간단하고 명료하게 사용할 수 있다. 한편, 하천망의 생성에서는 STREAMLINK 및 STREAMORDER 함수를 사용할 수 있다. STREAMLINK는 분류 및 지류로 구성된 하천망을 구분할 수 있는 기능을 가지고 있으며, STREAMORDER 함수는 Strahler와 Shreve 이론에 근거하여 하천차수를 생성할 수 있는 함수이다.

한편 원격탐사는 멀리 떨어져 있는 대상물을 관측하는 기술로 측정하고자하는 목표물에 직접 접촉하지 않고 목표물에서 복사되어 나오는 전자파를 감지하여 그 물리적 성질을 측정하는 것으로 원격탐사의 수문 분석에 있어 강우예측, 증발산, 토양수분함량, 지하수 및 수질 등의 광범위한 영역에서 이용 가능하며(Engman과 Gurney, 1991), 특히 1980년대부터 인공위성과 컴퓨터의 발달에 힘입어 미국 오하이오주 자연자원부(Ohio Dept. of Natural Resources)에서는 미국의 Landsat TM 자료에 의한 원격탐사기법과 GIS를 연결하여 1990년부터 3년간 오하이오주 전 지역의 습지목록(OWI, Ohio Wetland Inventory)을 완성하여 습지생태계 데이터베이스 구축의 기반기술을 획득함과 동시에 정보수집과 처리의 효율성을 크게 증가시켰다(Yi 등, 1994). 습지의 목록화 작업과 관련해서 초창기에는 Landsat MSS 자료가 이용되었지만, 해상력의 차이와 다양한 밴드에 의한 분석 능력 등의 이점에 의해 TM 자료를 이용한 사례가 대부분이며, 습지와 관련해 여러 분석이 가능한 TM 파장대와 주요 응용분야는 표 4와 같다.

이렇게 제작된 목록은 지리정보시스템(GIS)의 기초가 되는 데이터베이스가 되어 습지생태계 데이터베이스의 기초가 되는데, 이러한 방법과 유사하게 개발한 국외의 여러 나라에서는 원격탐사(remote sensing)기술에 의한 습지 현황조사에 박차를 가하고 있으며, 습지에 관한 각종 데이터베이스를 GIS로 구축하여 습지의 현황을 통계적이고 체계적으로 제공하

표 4. Landsat TM의 관측파장영역 및 주요 응용분야

밴드	파장영역(μm)		주요응용분야
1	0.45~0.52	blue	연안수의 mapping 토양과 식물의 구별, 활엽수와 침엽수의 구분
2	0.53~0.62	green	식물의 활력도 조사, 작황상태조사
3	0.63~0.69	red	엽록소에 따른 식물의 종류 결정
4	0.76~0.90	근적외	biomass 조사 육역과 수역의 대비 강조
5	1.55~1.75	중간적외	식물, 토양의 수분축적 능력 구름의 구분
6	10.4~12.5	열적외	식물의 heat stress 측정 온도의 mapping
7	2.08~2.35	중간적외	열수작용의 mapping 암석분포, 온천수, 변질지역 등의 지질학적 mapping

여 주고 있으며, 습지가 제공하는 여러 생태적 기능들에 대한 자료를 체계적으로 구축·저장하고 있다.

이와 같이 원격탐사 기술의 발달로 습지목록 데이터를 얻을 수 있고, 토지피복상태에 따른 습지의 분류도 가능하게 되었으며, 수중습지 및 신생습지의 발견도 가능하며, 원격탐사자료의 다중분광해석을 이용해 상세한 자료의 해석이 가능하게 되었다(Lyon과 McCarthy, 1995). 또한 지구상의 식생상태를 객관적으로 파악하기 위해 NOAA에 탑재되어 있는 AVHRR이 유효하며 AVHRR의 채널 1(가시영역)과 채널 2(근적외영역)의 자료를 이용하여 가장 일반적으로 사용되어지는 식생지수인 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)는 가시영역과 근적외영역의 두 영상으로부터 차이를 구하여 식생의 반사특성을 강조하고, 이를 두 영상의 합으로 나누어 일반화한 것이다. 일반적으로 다양한 지표 구성 물질 중 구름, 물, 눈 등과 같이 수분을 포함하는 경우에는 가시광선이 근적외선보다 반사값이 크기 때문에 NDVI 값이 음수가 되며, 암석, 마른 토양 등은 두 파장대에서 반사특성이 거의 같기 때문에 NDVI 값은 0에 가깝게 나타난다. 녹색 식물인 경우에는 가시광선 영역의 반사율이 근적외선 영역보다 적으며, 따라서 NDVI 값이 양수가 된다. 식생이 존재하는 대부분의 영역은 식생이 갖는 수분 상태를 고려하지 않는다면 보통 0.1~0.6 사이의 값을 갖는 것이 일반적이다. 또한 이렇게 구축된 식생분류 자료는 식생의 변화상태

도 알아낼 수 있을 뿐 아니라, 식생분류 자료를 갱신하는데도 유효하게 이용된다(김영석 등, 1998).

또한 원격탐사는 습지의 퇴사에 문제가 되는 유사량도 관측이 가능하며, Landsat MSS 데이터를 이용하여 광범위한 지역의 유사량을 감지하는 연구가 활발히 진행 중이다(Yarger 등, 1974; Ritchie 등,


1976; Munday와 Alfoldi, 1979; Arauvachapum과 LeBlond, 1981; Whitlock 등, 1981). 그리고 Landsat 위성자료를 이용하여 식생 면적에 따른 표면적의 영향을 고려하여 증발산과 습지의 물수지를 산정하는 데 유용하게 이용되었다(Gervin과 Shih, 1981).

이렇게 GIS와 원격탐사로 어떠한 습지가 어떤 생물들의 주 서식처가 되는지, 어떠한 수생식물의 분포가 어떻게 수질정화에 기여하는지, 어떠한 습지가 수량의 변화에 어떻게 영향을 주는지 등 여러 기능들에 대한 각종 자료들을 좌표계와 속성자료에 근거한 데이터베이스로 구축해 어떤 지역을 보존해야 할지 또는 어떻게 관리할지에 대한 종합적인 계획 및 평가를 할 수 있는 방안으로 삼고 있다.

6. 맺음말

최근 습지가 다른 생태계에 비하여 그 중요성이 부각되고 있는 이유는 습지가 제공하는 다양한 기능 때문이다. 습지에 지금과 같은 생물이 살고 있는 것이 하나의 자연현상에 의한 결과라면 이러한 생태가 형성된 원인에는 지형, 지질, 수질 등 여러 가지 요인이 있지만 일차적인 요인은 물이 존재하기 때문이므로 습지의 효율적인 보전 및 관리를 위해서는 물의 거동 특성을 정확히 규명하여야 한다는 것은 재론의 여지가 없다. 이를 위해 본고에서는 습지의 일반적인 역할

및 수문학적 특성을 기술하였으며, 최근 관심이 고조되고 있는 GIS 및 원격탐사의 습지관리 활용실태를 제공하였다. 습지의 효율적인 보존 및 관리를 위해서

습지와 관련된 다양한 학문의 접목 및 종합적인 관리가 요구된다. 

〈참고 문헌〉

김영섭, 서애숙, 조명희. (1998) 원격탐사개론, 동화기술.
 박수영, 윤성윤, 이기철, 김귀곤, 배덕호, 김형수. (2000) 습지학원론, 은혜기획
 이원환. (1989) 수문학, 문운당.
 홍재상. (1999) 해양습지 생태계의 이해와 환경영향평가. (사)한국습지보전연구회. 습지보전을 위한 환경영향평가.
 환경부. (2000) 전국 내륙습지조사 지침.
 Aravachapum, S. and LeBlond, P. H. (1981) "Turbidity of coastal water determined from Landsat", Remote Sensing Environ. 11, 113-32.
 Baker, L. A. (1992) "Introduction to nonpoint source pollution in the United States and Prospects for Wetland Use", Ecological Engineering, Vol. 1, pp. 1-26.
 Botto, J. G. and Patrick, W. H. (1978) "Role of Wetlands in their Removal of Suspended Sediments" In Wetland Function and Values: The State of Our Understanding, Ed. P. E. Greeson, J. R. Clark, and J. E. Clark, 479-489. Minneapolis, MN: American Water Resources Association, Proceedings of National Symposia on Wetlands.
 Engman, E. T. and Gurney, R. J. (1991) Remote Sensing in Hydrology. Chapman and Hall.
 ESRI(Environmental Systems Research Institute, Inc.). (1991) Understanding GIS: The Arc/Info Method, Redlands, CA.
 Gervin, J. C. and Shih, S. F. (1981) "Improvements in lake volume predictions using Landsat data", Satellite Hydrology, American Water Resources Association, Minneapolis, MN, pp. 479-84.
 Horton, R. E. (1945) "Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology", Bull. Geol. Soc. Am., Vol. 56, pp. 275-370.
 Kuenzler, E. J. (1990) "Wetlands as Sediment and Nutrient Traps for Lakes" in Enhancing the State' Lake and Wetland Management Program, Ed. J. Taggart, 105-112. Chicago: U.S Environmental Protection Agency, North American Lake Management Society, Northeastern Illinois Planning Commission, Proceedings of a National Conference.
 Lyon, J. G. and McCarthy, J. (1995) Wetland and Environmental Applications of GIS, Lewis Publishers.
 Males, R. M. and Gray, W. M. (1992) "Past, Present, and Future of Geographic Information Systems in Water Resources", Water Resources Updates, 87, 5-11.
 Munday, J. C. Jr and Alfoldi, T. T. (1979) "Landsat test of diffuse reflectance models for aquatic suspended soils measurements", Remote Sensing Environ. 9, 169-93.
 Ritchie, J. C., Schiebe, F. R. and McHenry, J.R. (1976) "Remote Sensing of suspended sediments in surface water", Photogram. Eng. Remote Sensing 42, 1539-45.
 USEPA. (1995) National Water Quality Inventory: 1994 Report to Congress. EPA Report 841-R-95-005. Washington DC.
 Whitlock, C. H., Witte, W. G., Talay, T. A., Morris,

W. D., Usry, J. W. and Pool, L. R. (1981)
Research for reliable quantification of water
sediment concentration from multispectral scanner
remote sensing data. AgRISTARS Rep.
CP-71-040789NASA/ JSC 17134.

Yarger, H. L., McCauley, J. R., James, G. W. and
Magnuson, L. M. (1974) Quantitative water

quality with ERTS-1. Proc. 3rd Earth Resources
Technology Satellite Symp., NASA SP-351, pp.
1637-51.

Yi, G. C., Risley, D., Koneff, M. and Davis, C.
(1994) "Creatin, Value and Use of Ohio's
GIS-based Wetlands Inventory". Journal of Soil
and Water Conservation, 49(1) 23-28.