

## 수치고도모델을 이용한 내륙습지 관리권역 설정

김병선\* · 구자용\*\*

### Establishing Management District for Inland Wetlands Using Digital Elevation Model

Byung-Sun, Kim\* · Cha-Yong Ku\*\*

#### 요 약

습지는 육상과 수상생태계의 전이지대로 다양한 생물의 서식처이며 생물자원의 보고로서 인간은 물론 육상의 생물들에게도 매우 가치있는 지리적 공간이다. 본 연구에서는 내륙습지를 대상으로 수치고도모델과 GIS 분석기법을 이용하여 효율적인 습지 관리권역 설정 방법을 연구하였다. 수치고도모델을 이용하여 소하천 유역단위로 관리권역을 설정하기 위한 방법으로 BurnDEM기법을 사용하였다. 또한 내륙습지 분포도를 18개의 소하천 유역으로 분류한 유역도와 중첩하여, 내륙습지의 관리권역의 효율성을 평가하였다. 이러한 소하천 유역 관리권역 설정 기법은, 앞으로 진행될 국가 내륙습지 데이터베이스 구축 사업에 활용될 수 있다.

주요어 : 수치고도모델, BurnDEM, 내륙습지, 수문분석, 소하천 유역

**ABSTRACT** : Wetlands are a transitional zone between aquatic and terrestrial ecosystems, and a habit for the various biospheres. The main purpose of this study is to suggest a new technique that establishes the management districts of inland wetlands. To establish management districts of sub-watershed units, this study used the BurnDEM techniques. The management district resulted from this study are assessed its effectivity using an overlap of inland wetland map and sub-watershed maps classified by 18 sub-watershed. The result of this study could be applied to build a national inland wetland database.

**Keyword** : digital elevation model, BurnDEM, inland wetlands, hydrology analysis, sub-watershed

\*상명대학교 대학원 석사과정 졸업  
\*\*상명대학교 사회과학부 지리학전공 조교수

## 1. 서 론

### 1.1 연구목적

습지는 지구상에 존재하는 가장 중요한 자연생태계 중에 하나이며 생태학적, 경제학적 가치가 매우 높은 공간임에도 불구하고 개발논리에 밀려 파괴 및 훼손되어 왔다. 미국의 경우, 지난 200년간 농업, 광업, 산림개발 및 도시화에 의해 전체 습지의 약 50% 가량이 이미 사라졌다. 습지 훼손에 따른 경제적, 생태적 손실을 발견하고 습지의 가치를 재인식한 미국의 연방정부는 습지와 관련된 기존의 다양한 법규에 의해 습지 보전의 역할을 강조하였다. 또한 효율적이고 체계적인 관리를 위해 국가습지목록(NWI: National Wetland Inventory)사업을 실시하여 미국전역을 대상으로 진행되고 있다.

최근 들어 국내에서도 습지의 중요성에 대한 다양한 연구결과가 보고되면서 습지 보전과 관리방안으로 환경부에서 지구환경금융(GEF: Global Enviromental Fund)의 지원을 받아 유엔개발계획(UNDP)과 공동으로 UNDP-GEF 국가습지보전사업을 시작했으며, 현재 사업의 첫 번째 단계로 국가적 차원의 습지목록을 구축하고 있다. 이러한 습지목록의 기본적인 틀은 습지가 공간적으로 어디에 어떻게 분포하고 있으며 그 보존상태를 등급화 하여 GIS 데이터베이스로 전산화 시키는데 그 목적이 있다. 그러나 이런 목적을 달성하기에는 몇 가지 문제점이 있다. 우선 학문적으로 통일된 정의가 없는 습지지형을 어

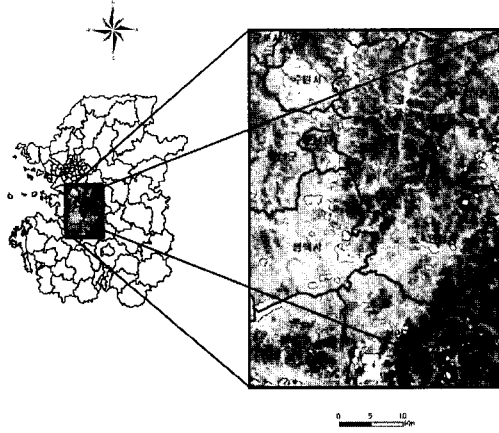
떻게 판단하고 분류해야 하는가? 그리고 습지를 평가하고 관리하기 위한 공간적인 권역은 어떠한 기준으로 설정해야 하는가? 와 같은 근본적인 문제점들이 남아있다.

이에 본 연구는 우리나라에 폭 넓게 분포하고 있는 내륙습지를 대상으로 습지목록을 구축할 때 나타나는 문제점을 해결하기 위해 습지관리 권역을 설정하는 기법을 모색하는 것을 목적으로 한다. 구체적으로는 내륙습지의 관리를 위하여 소하천 유역단위로 권역을 설정하는 대안을 제시하고, 이를 구현하기 위하여 수치고도모델(DEM; Digital Elevation Model)을 이용한 유역분류방법(watershed algorithm)에 대하여 연구한다. 본 연구에서 제시한 유역분류방법에 의해 설정된 소유역 단위는 향후 우리나라 내륙습지 관리권역의 기본적인 공간단위로 활용될 수 있을 것이다.

### 1.2 연구지역과 사용시스템

본 연구에서는 연구지역으로 안성천유역을 선택하였다. 안성천유역은 전반적으로 평탄하고 해발고도가 낮은 저평야지대를 이루고 있으며, 서해로 유입되는 안성천을 비롯해 진위천, 청룡천, 입장천, 황구지천 등 비교적 큰 하천과 많은 소하천이 합류하는 지역으로서 하천이 넓고 지형 기복이 낮아 내륙습지가 분포하기 적합한 지형 조건을 갖추고 있다[그림 1].

본 연구를 수행하기 위해 <표 1>과 같은 시스템을 사용하였다. GIS공간분석 기능을 활용하기 위한 분석도구로는 ESRI사의 ARCGIS 9.0을 사용하였다. 또한 벡터자료를 접목시킨 수치고도모델인 AgreeBurn DEM을



[그림 1] 연구지역

구축하기 위해 ARC/INFO Workstation의 매크로언어인 'AML(Arc Macro Language)'을 사용하였다.

<표 1> 사용시스템

시스템	사용 용도
ArcGIS 9.0	수문분석(Hydrology analysis) 유역경계설정 (Watershed delineation)
ARC/INFO Workstation	AML을 이용한 AgreeBurn DEM구축

물과 육지간의 경계면에 위치한 공간이라 정의할 수 있다. 하천의 기능적 측면이 강조된 정의로는 (1)모든 습지생성의 근원이 되는 습지 수문학(hydrology) (2)협기적 상태를 발생시키는 습성 토양 (3)습지를 간접적으로 시사하는 습생성 식생 등을 동시에 고려하며, 세 가지의 요소 가운데 하나를 만족하는 것을 습지로 규정하기도 한다. 우리나라의 내륙습지는 습지유형에 따라 <표 2>와 같이 분류할 수 있다.

## 2. 내륙습지 관리권역

### 2.1 내륙습지의 정의

내륙습지(Inland Wetland)는 하천습지(Riparian Wetland)라고도 하며, 일정기간 또는 정기적으로 범람의 영향을 받은 수역(body of water)과 인접해 있는 공간 또는 인간이 가장 활발하게 활동하고 생활하는

### 2.2 내륙습지 관리권역의 필요성

폭넓은 의미를 갖는 내륙습지는 지형·지질학적인 측면에서 보았을 때 우리나라에 기본적으로 매우 넓게 분포하고 있다. 그러나 내륙습지의 많은 부분은 인간의 활동으로 인해 인조경관으로 변형되거나 또는 훼손된 상태이다. 따라서 육상생태계의 다양성을 유지하고 국가습지의 효율적인 보전을 위해서는 현재까지 남아있는 내륙습지에 대한 체계적인 관리가 요구된

<표 2> 우리나라 내륙습지의 유형

습지유형	정 의	특징 및 세부지형
하도 습지	하도의 중간 중간에 형성된 퇴적층으로, 주기적인 침수와 노출을 반복하는 지형과 이와 생태적으로 인접한 수역을 포함	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 다양한 패치(patch)형태</li> <li>· 바(bar),포인트-바,하중도</li> <li>· 우리나라 대부분이 자연형 내륙습지</li> <li>· 수생식물이 정착한 수심 2m 이하의 수역은 하도 습지에 포함</li> </ul>
배후 습지	하도 양안에 형성된 충적지형으로 하천의 범람시 일정기간 수몰되는 범람원 상의 퇴적지형	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 엄밀한 의미에서 가장 넓은 내륙습지</li> <li>· 지질/퇴적학적으로는 제4기 충적층</li> <li>· 우리나라에서는 현재 대부분 농경지로 개간되어 이용되고 있음</li> </ul>
구하도 습지	과거 하천의 유로와 하천쟁탈, 유로변경, 해수면 변동 등의 원인으로 현재는 호수와 같은 형태를 띤 지형	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 외견상 호수나 저지대의 형태</li> <li>· 하상에 뿌리를 내리고 있는 수생식물서식, 늪지와 유사한 형태 또는 늪지자체(예: 우포, 정양지, 박실지)</li> </ul>

출처 : 박의준, 2004, 6.

다. 내륙습지가 다른 형태의 습지보다도 관리와 복원이 우선시 되어야 하는 이유는 내륙습지가 경관생태학적(landscape ecology)으로도 그 역할이 매우 중요하기 때문이다. 내륙습지의 역할은 네 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 생태적 마찰, 스폰지효과 및 높은 증발산율을 통한 하류 범람을 최소화한다. 둘째, 범람 기간 동안 퇴적물을 흡수하여 하류의 퇴적을 조절한다. 셋째, 물고기와 기타 하천 생물에 중요한 토양유기물의 원천이다. 넷째, 많은 희귀종 또는 특이한 종을 위한 서식지를 제공한다. 또한 경관생태학적으로 내륙습지는 자주 변화하는 수위와 습도가 높은 토양, 오랜 기간 동안 쌓인 퇴적물로 덮인 비옥한 토양은 높은 지대에서 서식하는 동물들에게 먹이를 제공하며 하천통로로 이동할 수 있는 발판을 제공해 준다.

이러한 내륙습지 관리의 필요성에 따라 내륙습지목록을 구축한 후 이를 체계적이

고 효율적으로 관리하기 위해서는 습지를 중심으로 한 습지관리권역이 설정 되어야 한다. 우리나라 정부에서도 1999년 2월 8일 습지보존법을 공포한 이후 몇몇 습지를 습지보호지역으로 지정했지만 활성화되지는 않고 있다. 습지보존법이 원활하게 진행되기 위해서는 습지의 관리권역설정과 관련된 구체적인 사례연구가 습지관련 제반 학문의 이론적 기반 하에 실증적으로 제시되어야 한다. 그러나 현재까지 이런 연구가 많이 이루어지고 있지 않고 있는 실정이다. 습지자원의 보존과 관리를 위한 계획 지역의 공간적 범위를 설정하기 위해서는 행정구역 외에도 유역 또는 생태권역의 구분이 중요하다. 이를 위해서는 전체습지에 대한 정확한 정보와 판단이 뒷받침 되어야 하고, 그러기 위해서는 습지의 기능에 따른 구분에 근거해 계획을 수립하여야 한다. 그러나 국내에는 기후, 식생, 수계 등을 고려한 종합적인 습지 생태권역에 대한

구체적인 권역이 설정되어 있지 않다. 또한 개별 습지의 기능에 대한 파악이 되지 못한 채, 개별 습지의 보존 및 관리만 초점이 맞추어져 있다. 이러한 상황에서 하나의 대안은 내륙습지를 수계에 따른 집수역 경계(watershed boundaries)를 기본적인 관리 단위로 설정하는 것이다. 유역단위를 기본으로 행정구역과 유역의 공간범위를 중첩(overlay)하면 행정구역별 습지에 관한 계획을 수립할 수 있는 계획상의 공간 범위를 설정할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 내륙습지의 관리권역의 기본단위로 행정구역보다는 소유역 경계를 이용하는 것이 효과적이다.

정하는 일련의 분석기법을 수문분석(Hydrology Analysis)라 한다. 3차원 지형상에서 비가 내려 지표유출이 일어날 때 물은 지표면의 경사와 사면방향을 따라 흐르게 되며, 이러한 물의 양의 누적에 따라 하천이 형성되고 하계망이 형성된다. 이러한 원리를 GIS 환경에서 구현한다면 다양한 지형의 특성을 분석할 수 있다. 전통적으로 지형도에서 고도와 경사도, 사면방향을 추출하여 유로를 추적하고 유량을 계산하기 위해서는 많은 시간과 비용이 소요된다. 그러나 수치고도모델을 GIS 기법에 이용하면 하천유로와 유량을 빠르고 정확하게 계산할 수 있다.

### 3. 내륙습지 관리권역 설정기법

#### 1) 하천유로 추적방법

#### 3.1 수문분석을 이용한 소유역 설정

수치고도모델에서는 곡면의 한 점과 최하점 사이의 최단거리가 가장 급한 하향선이라는 카우치(Cauchy)의 원리를 이용하여 하천의 유로를 추출할 수 있다. 수치고도모델로부터 하천의 유로를 결정하는 과정은 [그림 2]와 같다. 수치고도모델로부터 하천이 흘러가는 방향을 4방향이나 8방향으로 정하고, 각 방향에 번호를 부여한다. 그리고 하천이 흘러나가는 출구를 0

공간상에 나타나는 연속적인 기복의 변화를 수치적으로 표현하는 방법을 수치고도모델(DEM: Digital Elevation Model)이라 한다. 수치고도모델을 이용하여 지표유출이 일어났을 경우 물의 흐름을 누적계산하여 하천유로를 설정하고 유역경계를 설



(a)

(b)

[그림 2] 하천 유로의 추적원리

으로 지정한 후, 가장 낮은 고도를 가지는 격자의 방향을 표현한다. 이러한 방향을 화살표로 연결하면 유로가 형성된다.

하천의 유량은 유로가 지나가는 격자의 수와 면적을 통해 추정한다. 각 격자마다 동일한 지표유출이 나타나면, 하천의 방향을 따라 유출량은 누적되어 결국 하천의 출구에서는 최종적인 유출량을 계산할 수 있다. 누적된 유량이 많은 격자에서 하천의 하도가 형성된다고 할 수 있다.

## 2) 유역경계설정 기법(Watershed algorithm)

GIS의 수문분석과정에서 생성된 하천으로부터 하천유역(Watershed, basin, catchment area)을 설정할 수 있다. 하천유역이란 주어진 유출 점(pour point)를 통과해서 흐르는데 기여하는 영역을 말한다. 즉 비가 내렸을 때 같은 하천으로 물이 흘러드는 구역을 칭한다. 하나의 유역을 데이터베이스에서 구분하기 위해서는 유역의 분수계(divide)를 구성하는 경계선을 찾아야 한다. Watershed 기법은 공간자료를 다루는 GIS뿐만 아니라 그 외 영상처리 분야에서도 영상을 분할하는 하나의 방법으로 다양하게 적용되고 있다. 구체적인 유역경계 설정방법은 다음과 같다.

유역의 출구에서부터 3×3 윈도우를 씌우고, 어떤 격자의 사면방향이 윈도우 중심점을 향하고 있다면 그 격자를 중심점보다 상류지역인 것으로 간주한다. 유역의 출구에서부터 반복적으로 이러한 방법을 적용한다. 이미 유역내에 있다고 확인된 격자에 윈도우 중심을 설정하고 8개의 이웃격자를 순차적으로 검사하여 만약 이웃한 격

자가 이미 유역내에 있다는 것이 확인된 것이라면 그것은 무시된다. 이러한 방식으로 상류로 이동하며 능선 또는 DEM의 가장자리에 도달할 때까지 수치고도모델을 탐색하면서 하천유역을 설정한다.

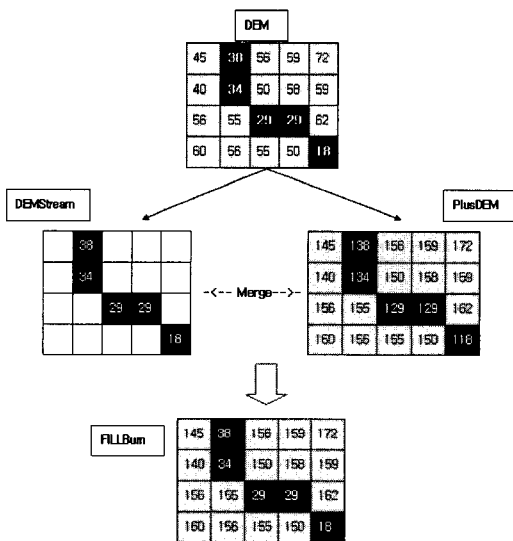
## 3.2 BURNDDEM을 이용한 소유역 설정

GIS의 수문분석은 수치고도모델상에서 지표유출이 일어났을 때 발생하는 수문학적 특성을 이용하여 하계망과 유역분지를 작성하는 기법이다. 그러나 이 기법을 실제 지형자료에 적용하였을 경우, 하계망과 일치하지 않는 문제가 발생한다. 특히 지형의 기복이 없는 완경사지역일 경우 수문분석을 통하여 추출한 하계망과 실제의 하계망간에는 큰 차이가 발생한다. 이는 수치고도모델상에서 이론적인 누적흐름이 실제의 흐름과 일치하지 않기 때문이다. 이러한 DEM상의 오류를 해결하기 위해 이용되는 기법이 BurnDEM이다. BurnDEM은 'Burning in the streams'이라 하여 기존 DEM의 한계를 극복하기 위해 벡터형태의 하계망 자료를 래스터형태의 DEM에 접목시키는 새로운 방법이다. 즉, 하계망 자료와 DEM을 결합하여, 하천이 지나가는 지점의 고도값을 강제적으로 조정하여 수문분석의 결과 나타나는 하계망이 벡터형 하계망 자료와 일치하도록 조정하는 기법이다. 이와 같은 BurnDEM 알고리즘 중에서 가장 대표적인 것이 FillBurn과 AgreeBurn이다.

### 1) FillBurn

BurnDEM방법 중 FillBurn은 Saunders와

Madiment가 제안한 방법이다. FillBurn의 기본원리는 [그림 3]과 같다. FillBurn을 구축하기 위해서는 벡터형태의 수치지도 하도망자료를 래스터 형태로 전환해야 한다. 이 때 전환된 래스터 자료의 크기는 연구지역의 DEM과 같은 크기를 유지해야 한다. 래스터로 전환된 하계망자료에 대해 수치고도모델의 값을 일대일 대응시켜 고도값을 지닌 하천(DEMStream)으로 만든다. 그리고 DEM자료에 일정 값을 더한 DEMPlus를 만들고 DEMStream과 융합하면 FillBurnDEM이 완성된다.

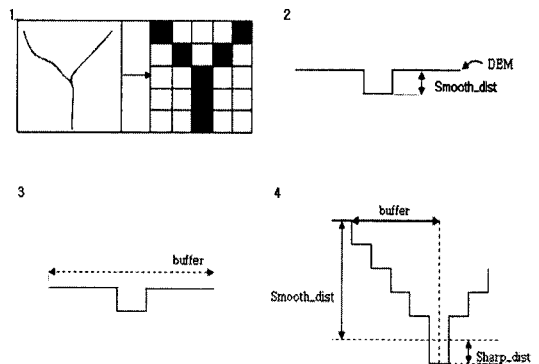


[그림 3] FillBurn의 원리

## 2) AgreeBurn

AgreeBurn은 Hellweger에 의해 제안된 방법으로 FillBurn방법과는 달리 유클리드 거리(Euclidean distance)와 지도대수합수가 첨가되어 더욱 복잡한 연산 과정으로 의해 DEM을 처리하는 기법이다. 구체적인

처리절차는 [그림 4]와 같이 4단계로 구성되어 있다. 1단계에서는 입력된 벡터하천자료를 격자하천자료로 변환한다. 2단계에서는 변환된 격자하천을 이용하여 변수로 입력한 깊이(smooth distance)만큼 트렌치(trench)를 형성한다. 3단계는 트렌치 양 옆으로 버퍼를 설정한 후, 4단계에서 설정된 버퍼내의 고도값이 완만한 경사를 가지도록 단면을 구성한다. 그러면 Fillburn과는 달리 하천을 중심으로 버퍼 크기만큼 완경사 형태를 띠는 DEM이 구축된다.



[그림 4] AgreeBurn의 원리

본 연구에서는 AgreeBurn 알고리즘을 ArcGIS의 매크로 언어인 ArcAml로 구현하였다. 작성된 코드의 중심부분은 다음과 같다. 1단계에서 하계망이 지나가는 DEM부분을 추출한 후, 2단계에서 깊이(smooth distance)만큼의 트렌치를 형성한다. 3단계에서 버퍼거리를 설정하고 각 버퍼마다의 고도값을 계산한다. 4단계에서는 최종적으로 버퍼마다 계산된 고도값을 DEM에 적용하여 완경사를 가지면서 하천 중심부는 오목하게 파인 DEM을 작성한다.

```

① vectgrid = linegrid ( %vectcov%,##,30,# )
② smogrid = int ( setnull ( isnull ( vectgrid ), ( %oelevgrid% + %smoothdist% ) ) )
   vectdist = eucdistance( smogrid, #, vectallo, #, # )
③ bufgrid1 = con ( ( vectdist > ( %buffer% - ( %cellsize% / 2 ) ) ), 1, 0)
   bufgrid2 = int ( setnull ( bufgrid1 = 0, %oelevgrid% ) )
   bufdist = eucdistance( bufgrid2, #, bufallo, #, # )
   smoelev = vectallo + ( ( bufallo - vectallo ) / ( bufdist + vectdist ) ) * vectdist
④ shagrid = int ( setnull ( isnull ( vectgrid ), ( smoelev + %sharpdist% ) ) )
   elevgrid = con ( isnull ( vectgrid ), smoelev, shagrid )
    
```

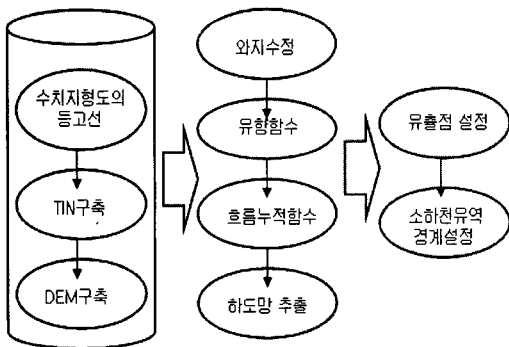
#### 4. 내륙습지 관리권역의 설정기법

##### 1) 수치고도모델작성

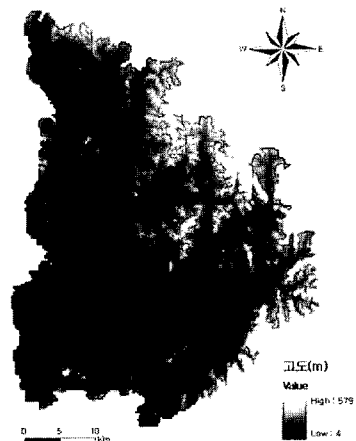
##### 4.1 소하천 유역단위 경계설정과 평가

안성천 유역을 대상으로 수치고도모델을 구축하기 위해 1/25,000수치지형도에서 등고선을 나타내는 레이어(주곡선: 7111, 계곡선: 7114)을 추출하여 Shape파일로 전환하였다. 벡터형태의 등고선 자료를 래스터 형태의 DEM으로 만들기 위해서 TIN생성 모듈을 사용하였고, TIN to Raster 변환과정을 거쳐 격자간격 30m의 DEM을 생성한 결과는 [그림 6]과 같다.

소하천 유역단위로 관리권역을 설정하는 방법은 [그림 5]와 같다. 먼저 연구지역의 수치지형도부터 고도값을 지닌 자료인 등고선레이어를 추출하여 TIN내삽법을 통해 DEM을 구축하고, ARCGIS 9.0의 수문분석도구를 이용하여 DEM의 전처리 과정을 거쳐 하도망을 추출한다. 그리고 최종적으로 소하천단위로 유출점을 지정하여 소하천유역 단위의 경계를 설정한다.



[그림 5] 소하천 유역단위 경계설정 흐름도



[그림 6] 안성천유역 수치고도모델



## 2) 유역분지추출

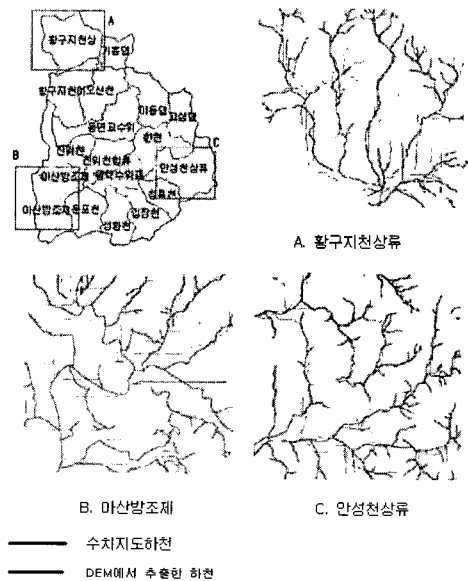
유역경계를 설정하기 위해서는 연구지역의 수문학적 특성을 추출해야 한다. 이를 위해 ArcGIS 9.0에서 제공하는 ArcToolBox의 공간분석(Spatial Analysis) 도구 중 수문분석(Hydrology Analysis)을 이용하였다. 수문분석의 유향합수(Flowdirection)를 사용하여 연구지역 하천 흐름의 방향을 결정하였고, 흐름누적합수(Flowaccumulation)를 사용하여 각각의 하향경사(downstream)셀로 들어오는 누적된 모든 셀의 가중치로 누적된 물의 이동을 계산하였다. 누적된 물의 양이 많은 셀은 하천으로 판정할 수 있다. 본 연구에서는 하천망추출 및 유역경계 추출을 위한 임계값을 6001)으로 적용하였다.

## 3) 정확도평가

추출된 유역을 객관적으로 평가하기 위해 본 연구에서는 WAMIS(Water Management Information System, <http://wamis.kowaco.or.kr>)<sup>2)</sup>에서 제공하는 수자원 단위 지도를 활용하였다. 수자원단위지도는 국가 표준 공통유역도로 사용하기 위해 자연경관과 함께 인공구조물(제방, 도로 등) 및 수자원관련 시설물등 여러 가지의 정보를 복합적으로 고려하여 제작한 유역도이다. 따라서 수자원 단위지도는 비교적 상세하게 유역경계

가 설정된 지도라 할 수 있다. 본 연구에서는 수자원단위지도를 대상으로 각 유역별 면적과 둘레를 측정하고 이를 추출된 유역경계와 비교하였다. 그리고 1:25,000 수치지도를 사용하여 DEM에서 추출된 하계망의 정확도를 시각적으로 분석, 평가하였다.

### ① 하도망 추출 및 비교



[그림 7] 하도망비교분석

[그림 7]과 같이 A, B, C 세 지역을 1:25,000 수치지형도에서 추출된 하계망과 비교한 결과 본 연구지역의 경우 경사가

- 1) 흐름누적합수는 고도값이 높은 셀로부터 각 셀로 흘러 들어오는 물의 양을 계산한다. 이와 같은 방법은 강우유출모델 등에서 주로 사용된다. 본 연구에서는 흐름누적합수를 통해 생성된 흐름누적자료에 대해 연구자가 임의로 입력한 임계값을 적용하여 임계값을 중심으로 이진화된 결과를 얻을 수 있다. 즉 임계값 보다 크거나 같은 값을 가진 셀들을 추출하여 하천의 유로방향을 확인할 수 있다. 임계값을 설정하기 위해서는 수치지형도의 하천레이어와 주어진 임계값에 의해 추출된 하계망도를 비교하여 적당한 값을 입력해야 한다.
- 2) 수자원종합관리시스템(WAMIS)은 한국수자원공사 주관으로 '99. 12월말 시스템 구축을 완료하여 현재 인터넷으로 서비스를 제공 중이며 수문/기상, 유역, 하천, 댐, 지하수, 이수정보, 수도, 환경/생태, 자연재해, 지형공간 등의 항목으로 구성되어 있다(<http://wamis.kowaco.or.kr>).

낮고 저평야지역으로 평가되는 B지역(아산방조제)에서 하도망의 불일치가 높은 것으로 나타났다.

② 유역경계 및 면적 비교

GIS분석도구를 이용하여 유역경계를 설정하는 방법에는 모든 하천분기점 마다 유역을 구분하는 기법과 하계망도를 분석하여 하천의 집수지점(Pour Point)을 연구자가 직접 입력함으로써 유역을 설정하는 방법이 있는데, 전자의 경우 사용하기 편리하다는 장점이 있지만, 지형의 특성을 충분히 반영하지 못하기 때문에 현실적이지 않다. 그러므로 본 연구에서는 집수지

점을 이용한 유역설정 방법을 채택하였다.

유역경계 및 면적을 비교한 결과는 <표 3>과 같다. 전반적으로 저 평야 지역에서의 오차가 상대적으로 크며, 특히 진위천 합류점 유역과 아산방조제상류 유역에서의 오차가 심각한 것으로 판단된다. 이것은 흐름방향도를 보면 알 수 있는데 저지대인 경우 방향이 평면으로 계산되는 경우가 많아 유역경계 추출에는 부적합한 하계망이 형성되기 때문인 것으로 판단된다.

3) 소결

연구지역을 대상으로 하계망 및 소유역 경계의 정확도를 측정해본 결과, 저평야

<표 3> 수자원단위지도와 DEM에서 추출된 면적과 둘레 비교

유역	수자원단위지도		DEM			
	면적(km <sup>2</sup> )	둘레(km)	면적(km <sup>2</sup> )	둘레(km)	오차	
					면적	둘레
안성천상류	147.30	74.37	126.3	63.7	21	10.67
고삼댐	67.47	44.28	61.38	40	6.09	4.28
한천	89.71	61.38	90.08	55.69	-0.37	5.69
청룡천	60.50	38.55	57.19	36.80	3.31	1.75
입장천	80.16	53.34	76.89	48.50	3.27	4.84
성환천	80.45	49.49	86.94	50.99	-6.49	-1.5
평택수위표	65.91	52.25	60.96	59.08	4.95	-6.83
이동댐	95.53	55.97	93.54	54.28	1.99	1.69
기흥댐	52.53	37.02	17.50	22.07	35.03	14.95
오산천	98.32	57.53	117.64	60.31	-19.3	-2.78
황구지천상류	148.02	61.62	133.37	60.70	14.65	0.92
황구지천하류	116.21	65.74	76.53	59.37	39.68	6.37
동연교수위표	142.08	81.14	139.30	72.30	2.78	8.84
진위천	81.58	65.13	78.81	51.54	2.77	13.59
둔포천	85.55	42.33	76.72	48.02	8.83	-5.69
아산방조제	96.46	53.16	87.96	50.03	8.5	3.13
진위천합류점	79.40	49.89	226.48	150.22	-75.6	-57.97
아산방조제상류	71.48	42.36				

지역에서 실제와 상당한 왜곡이 나타나는 것으로 밝혀졌다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 하계망에서 오류가 발생하는 원인으로 환경사 지역일수록 실제 하천의 위치와 다른 곳이 하천으로 인식되거나 직각 또는 수평으로 하천이 형성된다. 또한 하천이 연결되지 않고 끊어지는 현상이 나타나는데 이것은 보편적인 DEM의 문제로 해석된다. 둘째, 유역을 설정하는데 있어서도 저지대인 경우는 방향이 평면으로 계산되는 경우가 나타나고 있다. 이에 따라 유역이 정밀하게 분류되지 않는 문제가 있다.

#### 4.2 BURNDDEM을 이용한 유역분지설정과 평가

환경사지역에서 발생하는 이러한 DEM 상의 오류를 해결하기 위해 이용되는 기법이 BurnDEM이다. BurnDEM을 이용하여 수치고도모델을 하계망과 일치하도록 조정된 후 수문분석 기법을 이용하여 소유역경계를 추출하였다.

##### 1) BurnDEM의 적용결과

BurnDEM 기법을 안성천 지역의 자료에 적용하였다. BurnDEM의 효과를 평가하기 위하여 앞서 수문분석에 사용하였던 지역의 DEM을 이용하였으며, 이 지역의 하계망 자료는 1:25,000 수치지형도에서 추출하였다. FillBurn의 구현을 위하여 DEM에

하계망 자료를 결합한 후, 임의의 고도값으로 100을 부여하여 조정된 DEM을 작성하였다. AgreeBurn의 구현을 위해서는 본 연구에서 작성한 ArcAml 코드를 ArcGIS에서 작동시켜 DEM과 하계망 자료와 함께 버퍼크기(buffer\_size)<sup>3)</sup>와 깊이(smooth distance)를 각각 50과 10으로 부여하여 DEM을 조정하였다. 이와같이 고도값이 조정된 DEM을 이용하여 수문분석을 실시하여 하계망과 유역경계를 추출하고 이를 상호 비교하였다.

##### 2) BurnDEM의 효과분석

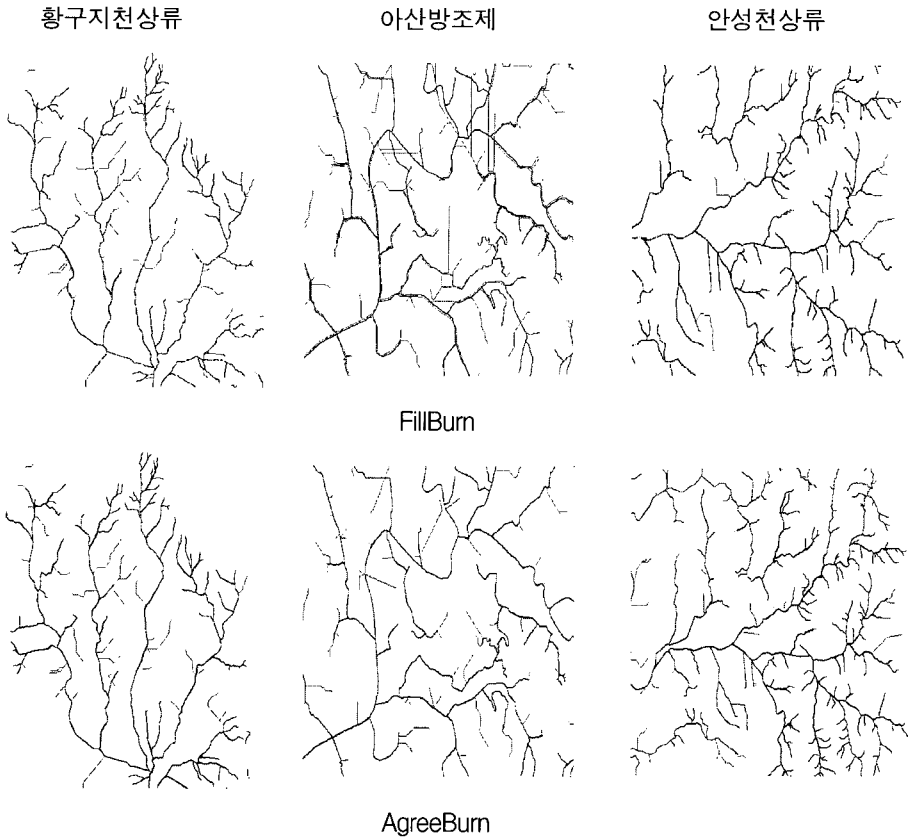
###### ① 하계망의 시각적 분석

기존의 수치지도 하계망과 BurnDEM을 이용하여 추출한 하계망을 비교해 본 결과는 [그림8]과 같다. 그림과 같이 BurnDEM을 활용하여 추출한 하계망에서는 [그림 7]에서 나타났던 저평야 지대의 하천유로 왜곡현상이 나타나지 않고 있다. 즉 저평야지대에서 하천을 직각 또는 평행으로 인식했던 하계망 왜곡현상이 거의 나타나지 않고 있다. 그러나 아산방조제 지역의 경우 FillBurn 기법의 결과가 하계망 자료와 일치하지 않는 결과를 보이고 있다.

###### ② 유역면적 및 둘레분석

수자원단위지도의 유역도와 DEM, FillBurn,

3) DEM을 이용하여 하천망 생성시 AgreeBurn기법을 사용할 경우 대상유역의 하천망과 유사한 하천망을 추출하기 위해서는 본 논문에서 제시한 buffer\_size의 적정 값을 결정해야한다. 이를 위하여 AgreeBurn을 적용하지 않은 DEM으로부터 추출된 하천망과 벡터 형태의 하천망을 중첩시켜 두 하천망이 일치하지 않는 부분의 거리 차이 보다 약간 큰값을 buffer로 설정할 수 있다(Department of Civil Engineering, University of Texas, <http://www.ce.utexas.edu>).



[그림 8] BurnDEM 하계망 분석

AgreeBurn으로 제작된 유역도의 모습을 비교해 보면 [그림 9]와 같다. 기존의 DEM의 경우 진위천합류점을 비롯한 아산방조제유역과 같은 저평야 지역이 수자원단위지도의 유역경계와 많은 차이를 나타내고 있다. 반면 FillBurn과 AgreeBurn으로 추출된 유역의 경계는 유역별로 약간의 차이는 있으나 수자원단위지도의 유역경계와 대부분 일치하고 있다.

수자원단위지도를 기준으로 FillBurn, AgreeBurn으로 구현된 각 유역별 면적과 둘레의 수치를 비교한 결과, FillBurn, AgreeBurn

모두 기존 DEM으로 구현된 유역도보다 오차의 크기가 적게 나타났다. 또한 FillBurn과 AgreeBurn간의 평균오차를 비교했을 때 <표 4>와 같이 AgreeBurn이 FillBurn에 비해 면적과 둘레에 있어서 평균 오차의 크기가 더 적게 나타났다.

<표 4> BurnDEM의 평균면적 오차비교

구 분	면적(km <sup>2</sup> )	둘레(km)
AgreeBurn	4.27	5.1
FillBurn	8.97	5.82



수자원단위지도



DEM으로 구축된 유역도



AgreeBurn으로 구축된 유역도



FillBurn으로 구축된 유역도

[그림 9] 유역분지 설정 결과

### 3) 소결

BurnDEM방법을 이용하여 하계망 및 소하천유역경계설정을 구현해 본 결과 하계망 정확도에 있어서 수치지도상의 하천과 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 정량적인 방법을 통해 소하천유역경계설정의 정확도를 평가해본 결과 역시 기존 DEM을 이용한 방법에 비

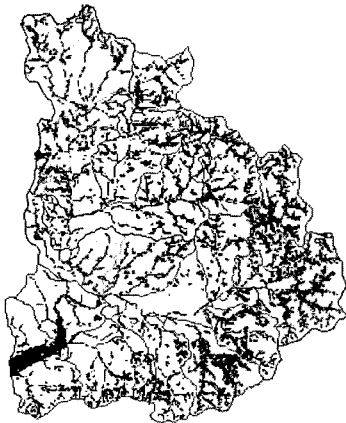
해 오차가 확연히 감소한 것으로 나타났다. 그리고 Fillburn과 AgreeBurn간의 정확도는 하계망의 경우 저지대에서 발생하는 왜곡이 AgreeBurn이 FillBurn에 비해 좀 더 정확하게 나타났다. 또한 소유역경계설정 과정에서는 AgreeBurn이 유역경계설정 과정에서 더욱 용이하였으며 오차의 크기도 적게 나타났다는 것을 확인할 수 있었다.

### 4.3 내륙습지 관리권역 설정기법의 평가

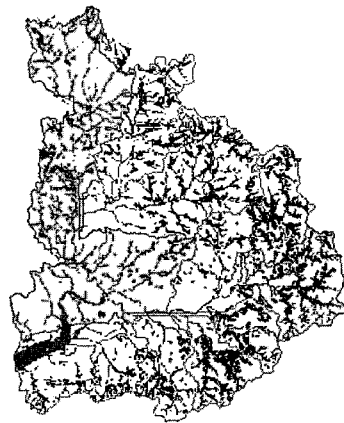
#### 1) 유역경계 설정기법의 비교평가

안성천 유역의 내륙습지를 대상으로 GIS의 수문분석을 활용하여 3가지의 소하천 유역별 관리권역을 설정하고 이를 수자원 단위지도 자료와 비교평가하였다. 먼저 수자원 단위지도에 내륙습지 분포를 중첩하여 각 권역에서 관리될 수 있는 내륙습지

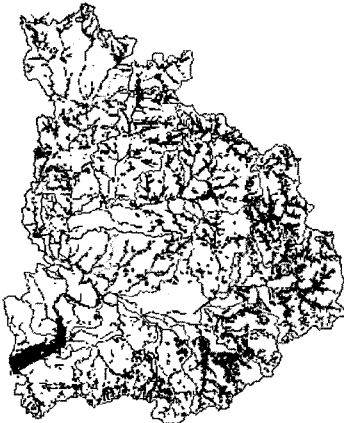
의 분포를 파악하고, 이를 본 연구에서 설정한 3가지의 유역경계 설정기법(기존의 DEM을 활용한 유역경계 설정, FillBurn을 이용한 유역경계 설정, AgreeBurn을 이용한 유역경계 설정)을 통해 파악된 권역별 내륙습지의 분포결과와 비교하였다. 내륙습지와 관리권역을 중첩한 결과는 [그림 10]과 같다. 그림에서 내륙습지의 관리권역은 유역경계의 설정에 따라 다른 권역으로 포함될 수 있다.



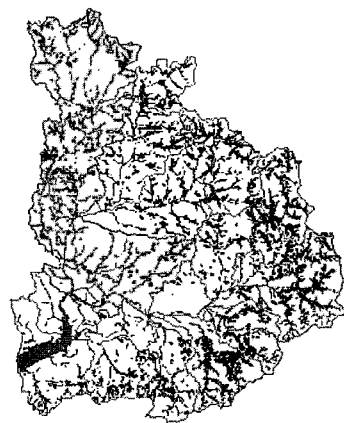
수자원단위지도



DEM으로 구축된 유역도



AgreeBurn으로 구축된 유역도



FillBurn으로 구축된 유역도

[그림 10] 내륙습지관리권역도 설정 결과

<표 5> 소하천유역별 내륙습지의 면적

(단위 : km<sup>2</sup>)

유역명	수자원단위지도	DEM	AgreeBurn	FillBurn
안성천상류	7.8	7.1	7.9	7.7
고삼댐	4.9	4.3	5.1	4.2
한천	4.9	5.3	5.2	5.7
침룡천	3.3	3.3	3.4	3.4
입장천	5.8	5.6	5.5	5.6
성관천	3.1	3	3.1	3
평택수위표	0.6	1.6	0.3	0.3
이동댐	5	4.7	5.5	4.7
기흥댐	1.8	0.5	1.7	1.7
오산천	3.2	4.5	3.5	3.3
황구지천상류	2	1.3	1.9	2
황구지천하류	3.1	2.4	3	3
동연교수위표	4.6	4.7	4.3	4.4
진위천	0.5	1.1	0.5	0.8
둔포천	1.1	1.2	1.2	1.4
아산방조제	1.4	1.4	1.4	1.4
진위천합류점	1.7	2.6	1.7	1.9
아산방조제상류	0.8		0.8	0.5

각 유역별 내륙습지의 면적은 <표 5>와 같다. 수자원단위지도를 기준으로 안성천 유역의 내륙습지 면적은 총 55.4km<sup>2</sup>이며, 이중 안성천유역을 비롯한 입장천, 이동댐유역 등이 5km<sup>2</sup> 이상의 내륙습지가 분포하고 있는 유역으로 비교적 넓은 지역을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

관리권역별로 할당된 내륙습지가 수자원 단위지도와 어느정도 차이가 있는가를 파악하기 위하여 수자원단위지도와의 면적의 차이를 계산한 결과는 <표 6>과 같다. 표에서와 같이 AgreeBurn기법을 사용하여 구축된 유역도의 평균오차가 가장 낮게 나타났다.

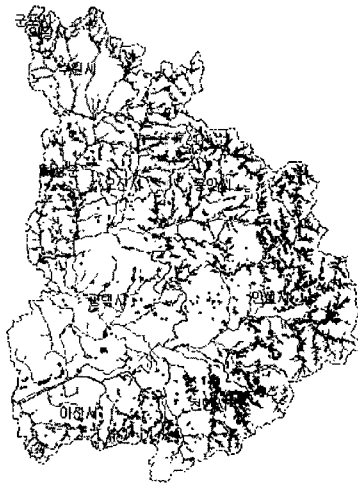
<표 6> 유역설정기법에 따른 내륙습지면적의 평균오차

(단위 : km<sup>2</sup>)

구축방법	DEM	AgreeBurn	FillBurn
평균오차	0.5	0.14	0.22

## 2) 내륙습지 관리권역으로서 유역경계와 행정구역의 비교

내륙습지 관리의 효율성을 비교하기 위하여 행정구역별 내륙습지 분포를 파악하였다. [그림 11]은 소하천 유역별 내륙습지의 분포도와 행정구역도를 중첩시킨 결과이다. 행정구역별로 내륙습지가 차지하고 있는 면적을 산출한 결과 10km<sup>2</sup>이상 내륙습지가 분포하고 있는 지역은 안성시와 용인시 단 두 지역 밖에 없었으며, 전반적으로 안성시에 내륙습지가 편중되어 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 특정 구역에 내륙습지가 편중되어 분포하여 있을 경우 효율적인 관리가 이루어질 수 없다. 따라서 효율적으로 내륙습지를 관리하기 위해서는 행정구역단위 보다는 지형적 특성을 고려한 소하천 유역단위로 관리하는 것이 타당하다.



행정구역	면적
화성군	5.5
군포시	0.04
의왕시	0.3
오산시	0.8
용인시	10
안성시	21.7
천안시	9.1
아산시	1.6
평택시	4.4
수원시	1.4

(단위 : km<sup>2</sup>)

[그림 11] 행정구역별 내륙습지 분포결과

## 5. 결 론

본 논문에서는 우리나라의 습지보전사업에서 우선시 되고 있는 습지추출과 습지관리 권역설정에 대한 대안을 제시하기 위해 안성천유역의 내륙습지를 대상으로 습지목록 구축 가능성을 연구하였다. 내륙습지를 대상으로 관리권역을 설정하기 위한 방안으로 기존의 행정구역이 아닌 소하천 유역 단위로 한 관리권역을 제안하였다. 이를 위하여 GIS 공간분석기법 중 수문분석기법을 사용하여 정확도 높은 소하천 유역경계 설정 기법을 연구하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 내륙습지의 효과적인 관리를 위해서는 습지의 기능에 따른 관리권역으로 소하천 유역경계를 이용하는 것이 효과적이다. 내륙습지의 관리권역에 이용되던

기존의 행정구역은 인간의 생활공간의 경계이므로 자연과 생태계 단위의 공간경계 설정이 필요하다. 수계에 따른 집수역은 생태계에서 같은 자원을 공유하는 공간이므로 그 경계가 내륙습지 관리의 기본권역으로 활용할 수 있다. 둘째, 내륙습지 관리권역 설정을 위하여 기존의 DEM을 활용한 수문분석 기법보다는 BurnDEM을 적용하여 보정된 DEM을 활용한 결과가 더욱 우수하게 나타났다. 특히 BurnDEM 중에서 AgreeBurn이 FillBurn에 비해 유역 경계설정이 용이하였으며 오차의 크기도 적게 나타나고 있다. 셋째, 내륙습지를 행정구역과 소하천 유역도와 각각 중첩하여 비교한 결과, 내륙습지의 분포가 소하천 단위의 유역도에서 특정지역에 편중되지 않고 골고루 분포하고 있었다. 따라서 내륙습지의 효율적 관리를 위해서는 행정구역 단위 외에 지형적 특성을 고려한 소하



천 유역단위로 관리해야 한다.

본 연구에서 구현한 소하천 유역 관리 권역 설정 기법은, 앞으로 진행될 국가 내륙습지 데이터베이스 구축 사업에 활용될 수 있다. 또한 소하천 유역별 내륙습지 분포 자료를 근거로 습지의 기능에 따른 구분(functional criteria)에 대한 연구도 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- 국립환경연구원, 2003, 전국내륙습지 자연환경 조사서.
- 김귀곤 · 구분학, 2001, “우리나라 습지 유형별 분류특성에 관한 연구,” 한국환경복원선화학회지, 4(2), 11~25.
- 김종원 · 이울경, 2002, 하천습지의 관리기본계획에 대한 생태학적 접근, 한국생태학회 2002년 심포지엄 강연집.
- 김화환, 2000, 수치고도모형의 정확도 향상방안에 관한 연구, 서울대학교 지리학과 석사학위 논문.
- 박수영 · 김귀곤 · 윤성윤 · 이기철 · 배덕효 · 김형수, 2000, 습지학원론, 은혜기획.
- 박의준, 2004, 국가하천습지 인벤토리 구축을 위한 경계설정방안, 국립환경연구원.
- 손명원 · 전영권, 2003, “낙동강 하류 연안 자연습지의 자연지리적 특성,” 한국지역지리학회지, 9(1), 66~76.
- 유근배 편, 1990, 지리정보론, 상조사.
- 이근상 · 전형섭 · 임승현 · 조기성, 2002, “GIS기반에서 Voronoi Diagram을 이용한 하천인식 DEM생성에 관한 연구,” 한국지리정보학회, 10(3), 439~453.
- 이기철 · 임병선 · 우창호 · 양효식, 1996, “지리정보체계와 원격탐사에 의한 연안습지목록 개발에 관하여,” 한국지형공간정보학회논문집, 4(2), 149~159.
- 정인균 · 김성준, 2003, “효과적인 유역 및 하도망 추출을 위한 DEM전처리 방법의 비교,” 대한토목학회지, 23(3), 394~400.
- 홍선기 · 김동엽 편, 2002, 지역 및 경관생태학, 성균관대학교출판부.
- 황철수 · 구자용, 1999, “국가 수치지형도를 이용한 DEM생성,” 대한지리학회지, 34(3), 319~336.
- Burrough, P.A., McDonnel, R.A., 1998, *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford.
- Lyon, John Grimson, 1993, *Practical Handbook for Wetland Identification and Delineation*, Lewis Publishers.
- Lyon, J. G and J. McCarthy eds, 1995, *Wetland and Environmental Applications of GIS*, Lewis Publishers, Boca Raton, USA.
- Rees, W.G., 2000, “The accuracy of Digital Elevation Models interpolated to higher resolutions,” *International Journal of Remote Sensing*, 21(1), 7~20.
- Ross S. Lunetta and Mary E. Balogh, 1999, “Application of Multi-Temporal Landsat 5TM Imagery for Wetland Identification,” *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65(11), 1303~1310.
- Sagar, B.S.D., Murthy, M.B.R., 2003, “Morphological approach to extract ridge and valley connectivity networks from Digital Elevation Models,” *International Journal of Remote Sensing*, 24(23), 573~581.
- Saunders, W.K., 1999, “Preparation of DEMs for Use in Environmental Modeling Analysis,” *Proceeding of ESRI User Conference*, July 24-30, 1999 San Diego, California(<http://gis.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap802/p802.htm>).
- William J. Misch and James G. Gosselink, 1986, *Wetlands*, Van Nostrand Reinhold.