

# 다중시기 식생지수를 이용한 하천변 습지의 판별기법 조사

Identification of riparian vegetation using multi-temporal Vegetation Indices

김상욱\*, 박종화

서울대학교 협동과정 조경학 박사과정 수료\*, 서울대학교 환경대학원

Sang-Wook Kim, Chong-Hwa Park

Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University

## 1. 연구 배경 및 목적

우리나라의 경우 소하천이 발달되어 있어, 하천주변의 습지가 발달되어 있으나, 농경지 개발과 골재채취 등 인간의 활동에 의한 파괴가 급속히 이루어지고 있다. 하천주변 습지의 상태를 파악하는 것은 매우 시급한 일이지만, 습지에 대한 구성요소나 쉽게 판별할 수 있는 방안에 대한 내용은 부족한 것이 현실이다(구본학 2002; 전성우 등 2000; 경남 발전연구원 등 2000). 현재 환경부에서는 융합된 영상을 이용하여 내륙 및 연안습지를 분류하는 등 관련된 연구 및 조사가 이루어지고 있지만, 이러한 분류 결과는 습지가 지닌 수문, 식생, 토양의 특성을 골고루 반영하고 있지 못하는 것이 사실이며, 계절별로 변화하는 습지의 현상파악, 경계설정 및 목록화를 위해서는 다중시기의 다중분광자료를 이용하는 것이 보다 효과적일 수 있다.

본 연구의 목적은 저해상도 위성영상 자료를 이용하여 하천변 습지를 판별하는 방법론을 제시하는데 있다. 하천변 습지는 보다 체계화된 하천유역관리의 차원에서 접근되어야 하며, 이러한 광역의 하천유역 습지의 목록화를 위해서는 원격탐사기법의 응용이 필수적이다. 이에 본 연구에서는 다양한 식생 및 관련 지수들을 이용하여 습지를 보다 정확하게 판별하기 위하여 다음과 같은 세부

목표를 갖는다. 첫째 전형적인 하천변 습지지역을 선정하고, 현장답사 및 고해상도 위성영상을 이용하여 정밀한 토지피복도를 작성한다. 둘째 Landsat 영상을 이용하여 습지 및 주변지역 토지피복의 다중시기에 대하여 다양한 식생 및 관련 지수값의 반사특성을 조사하고, 식생, 토양 및 수문조건 각각에 대한 독특한 반사특성값을 나타내는 몇몇 지수들을 선정한다. 이를 위해서 봄·가을의 두 영상에 대하여 다양한 토지피복에 대하여 단면선을 설정하고, 단면선에 걸리는 100개 지점의 지수별 반사특성을 비교·분석해본다. 이를 통해 다중 시기 별로 하천형 습지가 지닌 수문, 식생 및 토양의 특성을 가장 잘 반영하는 식생 및 관련 지수들을 찾아낸다. 셋째 계절 별로 선정된 지수들을 조합하여 대상지역에 대하여 무감독분류를 수행하고, 하천형 습지로 분류된 클러스터들의 정확도를 검증해 보며, 이 결과를 바탕으로, 저해상도 다중분광 위성영상을 이용하여 습지를 판별하기에 적합한 계절을 알아보며, 또한 하천형 습지 판별에 적합한 식생 및 관련 지수들을 선정해보기로 한다.

## 2. 연구의 범위

연구의 공간적 범위는 내륙습지 가운데에서도 하천변 습지로서, 본 연구를 위한 대상지로 경안천 하구의 하천변

습지를 선정하였다. 행정구역상 경기도 광주시 퇴촌면 정지리에 위치하고 있으며(이하 정지습지), 팔당호의 초입에 위치하고 있다. 정지습지는 유역하구에 나타나는 하천변 습지의 일반적인 모습을 보여주고 있으며, 비점오염원으로부터 수도권 상수원을 보호하고, 주요 동식물의 서식처를 제공하는 등 그 환경적 역할이 매우 크다고 할 것이다.

정지습지의 면적은 개방수면을 제외한 습지의 면적은 292,000㎡ 정도이며, 토지피복의 특성을 구분학(2001)의 분류기법에 따라 분류하면 '하천변계절성교목습지', '하천변영구성개방수면', '하천변계절성수생식물습지', '하천변수변교목식생대', '하천변 수변초본습지', '소택형계절성수생식물습지' 및 '인공습지(논)'로 구분이 가능하다. 정지습지에 식물상으로는 정수식물로는 애기부들(*Typha angustata*), 줄(*Zizania latifolia*) 등이 우점을 이루고 있으며, 부엽식물로는 마름(*Trapa japonica*), '하천변계절성교목습지'에는 이태리포플러(*Populus euramericana*), 용버들(*Salix matsudana*) 등이 우점을 이룬다.

본 연구는 하천변 습지의 생물계절주기에 따른 특성변화를 파악하는 것을 그 목적으로 하고 있다. 연구 대상지에 대한 조사에 있어 현장답사의 시간적 범위는 2002년 7월 15일 이후 현재에 이르고 있으며, 분광특성을 조사하기 위한 위성영상자료는 1999년 이후의 계절별 영상을 이용하고 있다.

### 3. 선행연구 및 사례고찰

#### 3.1 하천변 습지의 정의

FWS((Cowardin의 분류 1979)의 공식적 습지의 정의를 보게되면, 습지는 수환경과 육지환경 사이의 전이지역으로 지하수위가 지표면 근처까지 유지되

거나, 지표가 얇은 물에 덮이며, 생태학적 관점에서 다음의 3가지 요소를 갖추고 있다.

- 습지수문 : 범람 및 토양침윤 등에 의해 지표 또는 뿌리근처에 물이 존재
- 습지식생 : 수생 및 습생식물과 같이 습윤조건에 적응된 식생이 있음
- 습지도양 : 무기염류로 구성되어 짙은 회색이나 검은색을 보이는, 육지권역과 구별되는 독특한 토양이 있음

이에 본 연구에서의 하천변 습지의 정의 또한 광의의 관점에서의 습지의 정의를 그대로 따르며(구분학 2002, 이호혜미 2000; 습지보전법 1999; Kusler 등 1996; Pearsell 과 Mullamoottil 1996), 판별의 기준은 대상지역에 대한 자료가 확보될 경우 우선, 습지 식생을 검토하고, 다음단계로 수문을 검토하며 마지막으로 습지도양의 변수를 조사하는 미 공병단(1996) 기준을 따르기로 한다.

#### 3.2 식생지수를 이용한 습지 판별

일반적으로 식생지수는 광역에 이르는 식생의 활력도를 파악하는데 가장 효과적인 자료로 활용되고 있는데, 습지의 판별에 있어 범용적으로 이용되는 식생지수로는 NDVI, TVI 및 GVI 등을 들 수 있다(구분학과 김귀곤 2001; 전성우 등2000, Sunil Narumalani 등 1999, 이기철 등 1997). 또한 수문 및 토양특성을 보다 정확히 반영하기 위하여 SBI, WI, II, VSWI, KVI, VCR, SDI 등의 지수를 이용하기도 하며((NIES 1999; Narumalani 1999; Stella 등 1998; Todd and Hoffer 1998; Hirano 등 1995; Hardisky 1983). 토양배경이나, 대기의 영향을 줄이기 위한 지수인 SAVI, SARVI, EVI 등이 개발되

어 이용되고 있다 (Huete 1996; Kaufman과 Tanre 1996; Huete 1988). 또한 다중분광영상 및 식생지수를 이용한 습지의 판별에 부가하여 보다 정확도를 높이기 위하여 다중시기 영상을 이용한 방법이 이용되고 있다(전성우 등 2000; Lunetta 등 1999; Jensen 등 1997).

## 4. 습지판별 방법론

### 4.1 영상 취득 및 처리

본 연구에서는 대기보정으로 영상의 path radiance값을 저감시키기 위하여 haze compensation (Lillesand와 Kiefer 2000) 방법을 이용하였다. 또한 지형효과 저감을 위한 방사보정의 경우 본 연구의 대상인 습지의 경우 일반적으로 평탄지에 위치하고 있기 때문에 생략하기로 한다. 본 연구를 위하여 이용된 영상은 다음의 표 1과 같다. 기하보정을 위한 투영방법 및 Datum을 결정하는데 있어서 본 연구에서는 UTM52 지역을 그리고 타원체는 WGS84를 그 기준으로 하였다.

표 1. 연구에 이용된 위성영상자료

Sensor	영상촬영일
Landsat-ETM+(116/34)	'00. 09. 04
Landsat-TM (116/34)	'99. 05. 21
SPOT 5 (305-275)	'02. 11. 16

영상좌표와 지도좌표간의 좌표 변환식은 1차 다항식을, resampling 방법은 원화소값에 변화를 주지 않는 bilinear interpolation을 사용하였다. 기하 보정시 평균제곱근 오차는  $\pm 0.5$ 화소 이내가 되도록 하였다. 다중 시기의 영상을 이용해야 하므로, 가장 최근의 위성영상만을 위의 방법으로 기하보정 한 후 나머지 영상은 이미지 대 이미지 기하보정

을 수행하였다.

### 4.2 습지판별 방법론

#### 4.2.1 생물계절주기와 습지판별

일반적으로 하천변 습지는 인공습지인 논과 접하고 있는 경우가 많으며, 본 연구의 대상지 또한 그러하다. 습지의 정수식물의 경우 다년생 초본으로 4월이면 잎이 나오고 5월이면 어느 정도 아지의 수가 증가하게된다. 하지만 논인 경우 5월까지 이앙을 위해 물이 대어져 있어서 식생지수값이 매우 낮게 나타나며, 6~8월에 이르러야 생체량이 급격히 증가하여 높은 식생지수값을 보이게 된다. 본 연구에서는 5월 및 9월 영상을 이용하고자 하는데, 이 시기의 습지의 판별지표 특성은 첫째, 습지식생의 경우 주변에 비하여 그 활력도가 매우 높게 나타나며, 수문의 경우 지표 또는 뿌리 근처에 물이 존재하며, 토양 또한 습윤하며 어두운 색을 띠는 특성을 보이게 된다.

또한 위성영상을 이용하여 산림이나 습지 등의 토지피복분류함에 있어 보다 다양한 자료를 조합함으로써 보다 향상된 결과를 가져올 수 있으며 (Apisit 등 2000; Bauer 등 1994), 이에 본 연구에서도 이러한 각각의 특성에 대하여 식생 및 관련지수를 선정하여 조합한다면 보다 정확히 습지를 판별할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4.2.2 단면선의 설정

특정 토지피복을 분류해내기 위해서는 그 토지피복이 주변과 대별되는 독특한 반사특성을 찾아내야 한다 (Mladenoff 와 Host 1994). 5월과 9월의 식생 및 관련 지수를 이용하여 습지, 산림, 논 및 개방수면의 반사특성을 조사하고, 각각의 지수에 대하여 하천변 수생식물습지의 식생지수값이 주변의

토지피복들과 비교하여 상대적으로 높은지 또는 낮은지를 파악하기 위하여, 대상지의 일정구간에 대하여 단면선을 선정하기로 한다. 단면선의 100개 지점의 토지피복별 식생 및 관련 지수값들의 상이한 반사특성을 식생, 수문, 토양 각각에 대하여 알아보기로 한다 (그림 1).

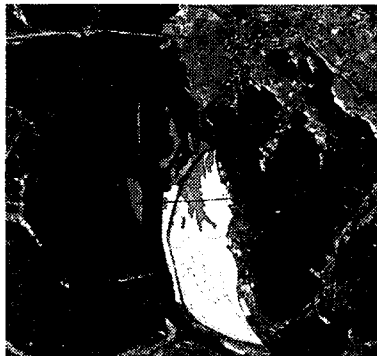


그림 1. 토지피복도와 단면선

#### 4.3 반사특성 파악 위한 식생지수

현재 다양한 식생지수들이 계속적으로 개발되고 있지만, 여전히 많은 한계점들을 지니고 있으며(Huete 등 1992), 식생지수에 있어 대기, 태양고도, 토양배경 등은 지표면 특성에 따라 많은 영향을 미치고 있다(Qi 등 1993). 특히 토양배경의 차이에 따른 영향을 줄이는 과정이 대기변화의 민감성을 증가시킬 수도 있다 (Leprieur 등 1994; Qi 등 1994b).

이에 본 연구를 위해서는 일반적으로 이용되는 식생 및 관련지수 대부분을 조사의 대상으로 삼고자 한다. 본 연구를 위해 이용된 식생지수로는 범용적으로 이용되는 NDVI, TVI, 통계적 식생지수인 GVI, PCA, 토양선식생지수인 PVI, MODIS 영상자료에 기반을 둔 개선된 식생지수들인 SAVI, ARVI, SARVI, EVI 등을 선정하였다. 또한 수문 및 토양특

성을 반영하기 위한 지수로는 SBI, WI, II 등을 이용하기로 한다.

## 5. 결과

### 5.1 봄(5월) 영상 식생지수값 분석

전체적으로 산림의 식생지수값은 거의 최고값에 가까운 것으로 나타나 식생의 활착이 안정기에 들었음을 알 수 있으며, 습지의 정수식물과 벼의 생물계절주기의 차이로 인하여 습지지역은 식생활력도가 높게, 논외의 경우 낮게 나타나고 있다. 소택형계절성수생식생습지 및 인공습지인 논 지역의 경우 얇은 물을 이루고 있어 상대적으로 낮은 값을 보이고 있으며, '하천영구개방수면'을 이루고 있는 경안천 수부의 경우 가장 낮은 값을 보이고 있다. 하천변 습지와 주변의 토지피복을 구분하기에 가장 알맞은 식생지수는 습지, 논 및 산림간의 반사값의 차이가 가장 큰 것부터 나열하게 되면, ARVI>PVI>TVI의 순이다.

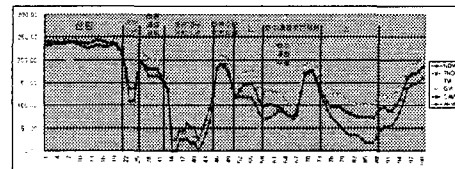


그림 2 정지습지 식생지수 분광반사특성 ('99. 05. 21)

그림 3은 습지의 판별과 관련된 기타 지수들의 분광특성을 도시한 것이다. II 및 WI의 경우 식생지수와 서로 반대되는 분광값의 분포를 보여주고 있는데, '하천영구개방수면', '논' 및 '호수계절수생' 지역 모두 매우 높은 값을 보여주고 있다. 지수별로 살펴보면 WI는 '논'과 '하천영구개방수면'의 반사값이 거의 비슷하게 높게 나타나고 있으며, 습지의 경우 '소택계절수생'은 높게, '하천수변

초본식생'은 '산림'지역과 비슷하게 그리고 '하천계절교목'은 상당히 낮은 반사특성을 보이고 있어 같은 습지라고 하더라도 우점종의 특성에 따라 반사특성의 차이가 큼을 보여주고 있다. SBI의 경우 NDVI와 비슷한 분포곡선을 그리지만, 물이 차 있거나 습윤한 토지피복의 경우 그 값이 NDVI에 비해 낮게 나타나고 있다.

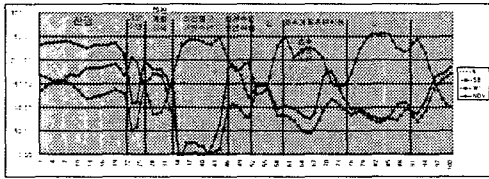


그림 3 정지습지 습지관련지수 분광반사특성 ('99. 05. 21)

## 5.2 가을(9월) 영상 식생지수값 분석

5월에 비하여 9월의 분광반사특성 가운데 두드러진 점은 논·식생활력도가 매우 높아졌다는 점이다. 반면에 '하천수변초본식생' 및 '소택계절초본식생'지역은 상대적으로 그 값이 낮게 나타나고 있다. 논에 비하여 습지와 산림지역에서는 각각의 값에 차이를 보이고 있다. 여러 식생지수 가운데에서 토지피복 특성별로 그 값의 차이가 가장 큰 식생지수는 위성체 반사값 GVI로 나타나고 있다. 기타지수들 가운데 WI는 경우 NDVI값과 서로 반대의 경향을 보여주고 있다. 즉 물이 차있는 곳의 지수값은 매우 높은 반면, 식생이 생육되는 토지피복의 경우 그 값이 낮게 나타나고 있다. 하지만 '하천수변초본식생'과 '소택계절초본식생'습지의 경우 논·식생의 반사값보다 높게 나타나고 있는데, 이는 습지의 경우 지속적으로 침수되어 있으나, 논·식생의 관개에 의해 습윤한 토양상태를 보이고 있기 때문이다. SBI의 경우 논보다 산림지역의 값이 낮게 나타나는데,

이는 임상이 잘 발달된 산림의 SBI 값이 낮게 나타나는 특성에 기인한다고 하겠다.

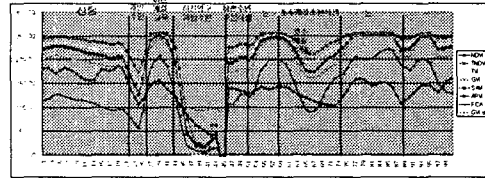


그림 4 정지습지 식생지수 분광반사특성 ('00. 09. 04)

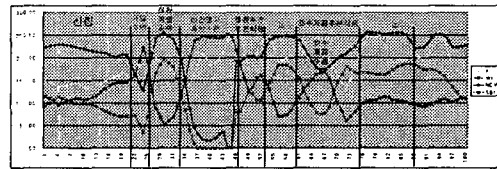


그림 5 정지습지 습지관련지수 분광반사특성 ('00. 09. 04)

## 5.3 하천변습지 판별지수의 선정

위의 그래프들에서 식생 및 관련지수들의 반사특성을 바탕으로 5월 및 9월 각각의 대표적인 식생 및 관련지수를 다음과 같이 선정하였다. (표 2, 3)

표 2. 하천변 습지 판별을 위한 식생 및 관련지수의 선정 (5월)

습지 인자	선정 지수	습지	논	산림
식생	ARVI, SAVI, PVI	↑	↓	↑
수문	WI	↔	↑	↔
토양	SBI	↓	↓	↔

표 3. 하천변 습지 판별을 위한 식생 및 관련지수의 선정 (9월)

습지 인자	선정 지수	습지	논	산림
식생	TVI, GVI at, SAVI	↔	↑	↑
수문	WI	↑	↓	↓
토양	SBI	↔	↑	↔

습지, 논, 산림 각각에 대하여 식생, 수문, 토양의 반사특성이 계절별로 서로 차이를 보이고 있으며, 각각의 지수들 가운데 가장 대별되는 반사특성을 지닌 5가지 지수를 선정하였다.

#### 5.4 선정된 식생 및 관련 지수를 이용한 하천변습지 분류

선정된 지수들을 조합하여 무감독분류(ISODATA)를 수행하였다. 각각 20개 클러스터로 무감독분류한 결과, 5월 영상의 경우 하천변 습지로 분류된 클러스터들이 논과는 확실히 구분이 되었지만, 산림의 일부지역과 같게 분류되는 결과가 나타났다. 반면에 9월 영상의 5가지 식생 및 관련지수(표 3) 조합의 경우 3개 클러스터가 하천변 습지로 분류되었다(그림 6).

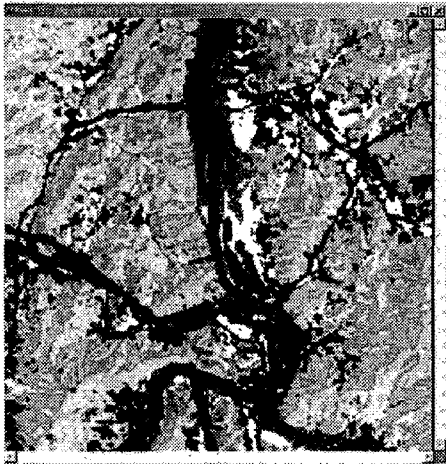


그림 6 하천변 습지 분류결과('9월)

SPOT 5 위성과 현지답사결과를 바탕으로 제작한 정지습지 도면과 위의 분류결과를 비교하여 에러 매트릭스를 작성한 결과, 사용자 정확도는 73.7%이며, 전체 정확도는 93.7%로 나타났다. 전체정확도가 높게 나타난 것은 습지가 아닌 지역이 습지로 분류된 경우의 수

가 매우 적음을 의미한다. 다만, 실제로 습지인 지역을 분류해내는데 있어, 어느 정도의 오차가 발생되고 있다.

## 6. 결론 및 제언

연구결과를 정리해보면, 산림, 논, 습지 등의 토지피복이 다양하게 나타나는 하천변의 경우 하천변 습지를 판별하는데 있어 봄 영상보다는 가을영상을 이용하는 것이 바람직하며, 대기효과, 토양배경 오차를 줄인 식생, 토양 및 수문 지수를 함께 이용하는 것이 분류정확도를 높일 수 있을 것으로 파악된다.

하지만, 연구방법론에 있어 식생지수의 이용 및 선정에 있어서의 객관성의 결여, 이용된 토양 및 수문 관련 지수의 부족, 식물계절주기를 반영할 수 있는 보다 다양한 시기의 영상의 고려미비 등은 향후 충분한 검토와 연구가 있어야 할 부분이라 할 것이다.

### 참고문헌

- C. Huang, B. Wylie, L. Yang, C. Homer and G. Zylstra, 2002, Derivation of a tasseled cap transformation, based on Lnadat 7 at-satellite reflectance, USGS.
- D. J. Mladenoff and George E. Host, Challenges in Developing and Applying Remote Sensing to Ecosystem Management, V. Alaric Sampled(ed)(1994), Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management, Island Press, p226.
- Kaufman and Tanre, 1992. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. IEEE Trans. Geosci. Rem. Sen. 30(2):261-270.
- 전성우, 박종화, 1997, 자연환경부문의 원격탐사기법 도입방안에 관한 연구, pp25-37.