

IKONOS 영상자료를 이용한 토지피복도 개선¹⁾

장동호 · 김만규*

Improving of land-cover map using IKONOS image data

Dong-Ho Jang, Man-Kyu Kim*

요 약

고해상도 위성영상분석은 국지적 규모의 토지피복 변화 및 대기 상태의 모니터링을 위한 효과적인 기술로 인식되어 왔다. 본 연구에서는 고해상도 영상인 IKONOS 영상과 기존에 작성된 토지이용도를 이용하여 국지적 규모의 토지피복도를 새로 작성하였다. 토지피복 분류기법으로는 퍼지분류 기법을 사용하였으며, 소속함수의 결합방법으로 minimum 연산자를 이용하였다. 분리도 분석에서는 모든 밴드에서 분리도가 높지 않은데, 원인은 계절적 영향에 따른 분광반사율의 차이 때문이다. 토지피복도 작성 결과 육상에서는 침엽수림과 경지가, 해양에서는 간석지 및 해빈의 변화가 가장 크다. 분류의 전체정확도는 95.0%, kappa 계수는 0.94%로 나타나 높은 분류정확도를 보였다. 분류항목별 정확도에서는 대부분의 분류항목이 90% 이상의 분류정확도를 보였다. 그러나 혼합림과 하천 및 저수지 등은 낮은 분류정확도를 보였다. 이들 원인은 농경지 담수로 인하여 수역으로 분류항목이 변하거나 유사한 분광패턴으로 분류항목이 혼재된 결과이다. 이들 분류항목의 분류정확도를 높이기 위해서는 계절적 요인을 반드시 고려하여야 할 것이다. 결론적으로 IKONOS 영상은 토지이용도 작성 및 수정이 가능하며, 추후 GIS 공간자료와 통합하여 토지피복도를 작성한다면 보다 정확한 의사결정 보조 자료로서 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : IKONOS, 토지이용도, GIS 공간자료, 퍼지분류, 분류정확도

ABSTRACT : High resolution satellite image analysis has been recognized as an effective

1) 이 연구는 한국과학기술평가원(KISTEP)의 국가지정연구실(NRL)사업의 지원을 받아 수행되었음. This work has been supported by National Research Laboratory grant from KISTEP(#m1020300000702j000000510).

* 과학기술부 국가지정 공주대학교 유해조류대발생 예방연구실, 지리학과
National Research Laboratory for the Harmful Algal Blooming Control, Dept. of geography, Kongju nat'l univ.

technique for monitoring local land-cover and atmospheric changes. In this study, a new high resolution map for land-cover was generated using both high-resolution IKONOS image and conventional land-use mapping. Fuzzy classification method was applied to classify land-cover, with minimum operator used as a tool for joint membership functions. In separateness analysis, the values were not great for all bands due to discrepancies in spectral reflectance by seasonal variation. The land-cover map generated in this study revealed that conifer forests and farm land in the ground and tidal flat and beach in the ocean were highly changeable. The kappa coefficient was 0.94% and the overall accuracy of classification was 95.0%, thus suggesting a overall high classification accuracy. Accuracy of classification in each class was generally over 90%, whereas low classification accuracy was obtained for classes of mixed forest, river and reservoir. This may be a result of the changes in classification, e.g. reclassification of paddy field as water area after water storage or mixed use of several classification class due to similar spectral patterns. Seasonal factors should be considered to achieve higher accuracy in classification class. In conclusion, firstly, IKONOS image are used to generated a new improved high resolution land-cover map. Secondly, IKONOS image could serve as useful complementary data for decision making when combined with GIS spatial data to produce land-use map.

Keywords : IKONOS, land-cover map, GIS, fuzzy classification, classification accuracy

1. 서 론

지표는 자연적인 요인과 인간 활동에 따라 끊임없이 변화하므로 이를 이해하고 분석하는 것은 지리학의 주요한 연구대상이 된다. 최근 들어 지표는 인구증가와 산업화에 따른 생태계 변화와 파괴 그리고 새로운 평형에의 도달 등 더욱 많은 변화를 나타내기 때문에, 새로운 변화에 대한 파악은 늘 필요한 일이 되었다. 이러한 의미에서 각종 개발계획 및 생태계 조절 내지 바람직한 방향으로의 생태계 유도를 위한 연구와 정책 수립을 위해서

는 보다 정확한 현장자료와 토지피복에 대한 연구가 필요하다.

토지피복분류는 국토계획이나 지역계획을 수립하는데 있어서 필수적인 기초 자료이다. 그러나 토지피복 실태를 그대로 반영하고 있는 정확한 자료를 취득하는 일이 쉽지 않다. 대부분의 토지피복도 작성은 항공사진 및 측량작업 위주로 이루어지고 있어서 비용, 주기성, 자료의 확보 등의 문제점을 안고 있다. 반면에 위성영상은 고유의 장점인 광역성, 동시성, 주기성, 경제성 등을 가지고 있고, 특히 고해상도 위성영상은 기존의 항공사진이 갖고 있는 특성도 가지고 있어서 지도제작에

아주 유용하게 활용될 수 있다(여화수 외, 1997).

고해상도 위성영상은 국지적 규모의 토지피복변화 및 대기상태의 모니터링을 위한 효과적인 기술로 인식되어 왔다. 특히 지표환경 모니터링을 위한 토지피복도 작성은 그 중 중요한 부분을 차지하여 이에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. 최근에는 다양한 자료 획득 기술의 발전으로 인해 고해상도 위성영상과 광학센서영상, GIS 공간자료 등을 이용한 통합 분석이 가능해짐에 따라 이러한 자료들을 이용한 토지피복도 작성에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

외국의 경우, 토지피복연구는 국토환경 분석 및 개발의 가장 기본적인 연구가 되고 있다(Brown et al, 1998; Stefanov et al, 2001; Tapiador and Casanova, 2003). 특히 지표 피복도 자체에 대한 연구뿐만 아니라 알고리즘 개발(Foody et al., 1992; Van Deusen, 1995, Stuckens et al, 2000; Zhang and Foody, 2001) 및 분류정확도 향상 연구(Gong and Howarth, 1990; Congalton and Green, 1993; Shao et al, 2001; Foody, 2002)가 있어 왔다. 최근 들어서는 고해상도 자료의 보급에 따른 객체기반 영상분류기법이 도입되었고(Lobo et al, 1998; Benz and Pottier, 2001; Geneletti and Gorte, 2003), 영상자료에 기초한 토지피복도의 카테고리 지도화 작업이 진행되었다(Zhang and Stuart, 2001, Hagen, 2003). 이밖에도 5m 이하의 고해상도 위성영상을 이용한 토지피복분류 및 알고리즘개발 등의 연구가 진행되었다(Key et al, 2001; Fraser, et al, 2002; Hochberg and Atkinson, 2003).

국내의 토지피복변화에 대한 연구들은 위성자료를 이용한 토지피복분류 및 기법 개발(이상구, 1999; 이상훈, 2001, 박노옥 외 2003), 변화분석(양인태 외, 1999; 성정창, 2000), 지표 피복도의 분류정확도 검증(Chen, 1997; 하성룡 외, 2002) 등이 있다. 또한 외국의 사례연구와 마찬가지로 객체기반 및 자료통합을 통한 영상분류(Park, et al, 2001; 이기원, 2002)와 고해상도 영상자료를 이용한 토지피복분류 연구(정기현 외, 2001)가 수행되었다.

이들 연구들은 분광정보 및 공간정보 등으로 토지피복분류를 수행하거나, 멀티센서(multi-sensor) 자료의 통합을 통한 토지피복분류 기법개발 및 정확도검증 등이 주된 연구였다. 최근 들어 자료획득 기술의 발달로 고해상도의 원격탐사 영상과 GIS 산출 주제도 등을 함께 사용할 수 있게 됨에 따라 멀티소스(multi-source) 자료를 동시에 분석 할 수 있는 새로운 분석 기법이 필요하게 되었다. 또한 기존 연구에 사용된 영상들은 중·저 공간해상도를 가지고 있어서 광역적 토지피복도는 작성할 수 있었으나, 국지적 규모의 토지이용도는 작성할 수 없었다. 이에 따라 국가 수치지도의 기본이 되는 국립지리원 발행 1:25,000 및 1:5,000 토지이용도 작성 및 수정이 불가능한 형편이었다.

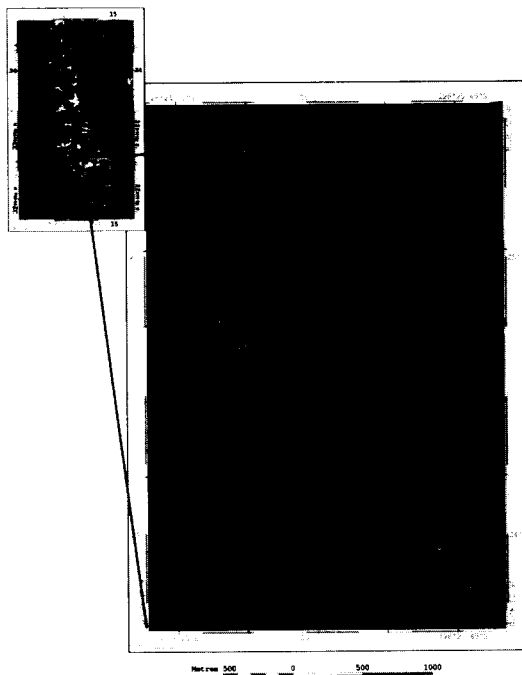
본 연구에서는 고해상도 영상인 IKONOS 자료를 사용하여 국지적인 규모의 토지피복도를 작성하고자 한다. 특히 기존의 항공사진을 이용하여 작성한 1:25,000 토지이용도를 분광정보 자료와 함께 통합하여 새로운 토지피복도를 작성하였다. 또한 새롭게 작성된 토지피복도를 기존의 작성된

토지이용도와 비교 분석하여, 자연경관의 변화 및 토지피복변화 상황을 분석하고, 이를 통하여 IKONOS 영상의 토지피복도 개선 가능성을 검토하였다.

2. 연구지역과 자료 및 연구방법

2.1 연구지역과 자료

연구지역은 안면도 최남단지역으로 행정구역으로는 태안군 고남면 고남리 지역이다. 면적은 2.5×3.5km이다. 지리적 좌표는 동경 126°24' 14"에서 126°25'57", 북위 36°23' 40"에서 36°25' 33" 범위에 위치하고 있다[그림 1].



[그림 1] 연구지역의 IKONOS 영상(2002, 3. 9.)

<표 1> IKONOS 영상의 특징

Scanner	Band	Spectral Range(μm)	Resolution (m)
panchromatic		0.45 - 0.90	1
multi-spectral	Blue	0.45 - 0.52	4
	Green	0.51 - 0.60	4
	Red	0.63 - 0.70	4
	Near IR	0.76 - 0.85	4
quantization	11bit		
orbit	98.1°		
Altitude	681km		

본 연구지역은 완경사의 구릉지로 구성되어 있으며, 산림이 양호하고 논·밭이 많은 것이 특징이다. 연구지역의 해안은 대부분 간석지를 간척한 해성층적평야와 표고 50m 미만의 구릉지로 형성되어 있다. 산림은 소나무, 낙엽송 등의 침엽수림이 많고, 초지가 조성되어 있는 곳도 있다.

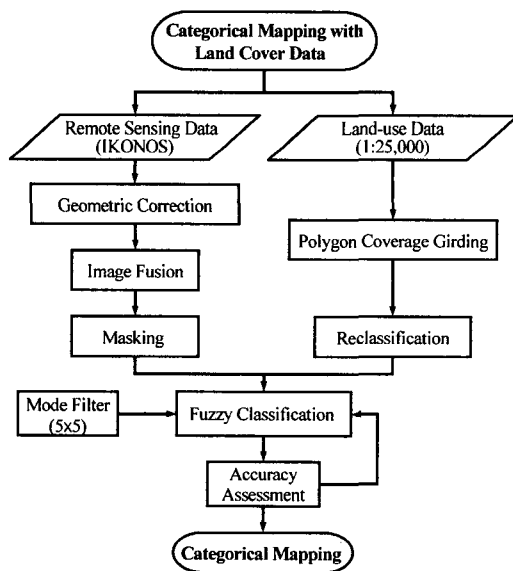
연구에 사용된 자료는 국립지리원 발행 1:25,000 수치 토지이용도(1998년 항공촬영 및 현지조사)와 IKONOS 위성영상이다. IKONOS 영상은 고해상도의 민간용 상업위성(Space Imaging, Inc)으로 주사 시기는 2002년 3월9일이다. 공간해상도는 4m의 다중분광영상(multispectral imagery)과 1m의 범색성영상(panchromatic imagery)으로 되어 있다<표 1>. 본 연구에서는 방사보정 및 기하보정 단계를 거친 GeoTIFF 형식의 영상을 원 영상으로 사용하였다.

2.2 연구방법

위성영상 자료는 광역적인 규모뿐만 아니라 국지적인 규모의 토지피복 변화 분

석에 효과적이다. 최근 들어 고해상도의 원격탐사 자료 획득이 용이해지고 다양한 공간자료의 수집가능성이 확대되고 있고, 이러한 자료들을 통합한 토지피복도 작성 및 수정이 가능하고 필요하게 되었다. 본 연구에서는 토지피복도 제작 및 개선을 위해 기존의 항공사진에 의해 제작된 토지이용도와 IKONOS 영상을 이용하여 다음과 같은 연구방법에 의해 토지피복도를 작성하였다[그림 2].

우선 수치 토지이용도(1998)는 IKONOS 영상과 자료통합을 위해 원 자료를 그리드 자료로 변환하였다. 다음으로 변환된 자료로부터 연구지역을 추출하고, 위성영상분류와 동일한 클래스로 재분류(reclassification)하였다. 이렇게 재분류된 토지이용도는 2002년 IKONOS 영상과 통합하여 새로운 토지피복도를 작성에 이용하였다.



[그림 2] 연구흐름도

(1) 전처리

IKONOS 영상과 같은 고해상도 위성영상을 이용한 토지피복도 제작 시에는 위치정확도가 매우 중요하다. 이를 위해 위성영상 자료처리과정에서 기하학적 보정을 제일 먼저 실시하였다. 고해상도 위성영상의 기하학적 보정 방법으로는 지형의 기복변위로 인한 오차를 제거할 수 있는 정사보정 방법을 사용한다. 그러나 연구지역에는 정사보정을 위한 공간해상도 1m의 수치표고모델(DEM) 자료를 획득할 수 없고, 현지 측량 자료가 없다. 이에 따라, 본 연구에서는 1:5,000 수치지형도에서 지상기준점 선정을 통한 다항식 보정 방법(3차식)을 이용하였다. 이 보정 방법은 연구지역이 해발고도가 40m를 넘지 않는 전형적인 평야지역이고, 1:25,000 토지피복도를 작성한다는 측면에서 정확도가 약간 떨어지지만 보정방법으로 사용하였다.

변환식은 지도좌표와 영상좌표를 이용하여 Affine 변환식으로 좌표 변환하였다. 이 식에서 계수는 지상기준점의 지도좌표와 변환 후의 지도좌표와의 오차자승법의 에러가 최소가 될 때까지 결정되는 최소자승법에 의해 구해지는데, 그 오차가 1화소(1m) 이내가 되도록 하였으며, 실제 평균제곱근오차가 0.884픽셀이었다.

이상과 같은 과정에 의해 출력된 영상은 원래의 입력된 영상과 일치하지 않는데, 이는 출력하고자 하는 지도좌표계의 위치에 대응하는 영상 좌표에는 원래의 입력 영상 자료가 없는 것이 많기 때문이다. 따라서 출력할 영상의 범위, 화소간격

등을 결정하기 위한 기하학적 보정의 최종단계인 재배열(resampling) 과정이 요구된다. 본 연구에서는 고유의 자료 값을 이용하여야 하므로 화소값의 변화가 가장 적은 최근린법(nearest neighborhood)을 적용하였다.

(2) 영상융합 및 마스킹처리

본 연구에서는 IKONOS 영상에서 연구지역을 추출한 후, IHS(intensity-hue-saturation) 방법을 사용하여 영상융합(image fusion)을 실시하였다. IHS 방법은 가장 널리 사용되는 영상융합 방법으로 본 연구에서는 4m 해상도의 다중분광 영상 중 Band 2, 3, 4를 이용하여 IHS 색채모델로 변환하였다. 이 중 명암에 해당하는 영상을 1m 해상도의 범색성 영상으로 대체하였고, 이를 RGB 모델로 역 변환하여 1m 해상도를 갖는 세 Band의 다중분광영상을 작성하였다.

본 연구에서는 이렇게 제작된 다중분광 영상자료로 토지피복분류를 수행하기 위해 육역과 수역을 분리하는 마스킹(masking)처리를 행하였다. 마스킹처리에 사용된 영상은 IKONOS의 panchromatic 영상이며, 선구조 추출(lineament extraction) 방법을 이용하였다. 본 방법은 PCI Geomatics사가 제공하는 선구조 추출 모듈을 이용하였는데, 이러한 마스킹처리는 연안지역에서의 분류의 정확도를 높일 수 있다.

(3) 퍼지분류기법

위성영상을 이용한 토지피복 분류방법

에는 화소의 여러 밴드에서 화소 값을 기준으로 분광적 특성을 이용한 분류방법, 근접한 화소의 화소 값을 고려하는 공간적 상관성에 기초한 분류방법, 다음으로 화소의 시간에 따른 변화형태를 이용한 시간적 분류방법이 있다(Lillesand and Kiefer, 1994).

본 연구지역은 다양한 토지피복 패턴이 나타나서 분광적 특성만을 이용하여 토지피복분류를 수행할 경우 많은 분류오차를 포함할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 토지이용도에 IKONOS 영상의 통합을 통하여 토지피복도의 분류정확도를 개선하고자 하였다. 특히 고해상도 원격탐사 영상의 분류기법으로는 분광정보와 토지이용도의 통합에 기초한 퍼지분류 기법을 이용하였다.

퍼지이론은 퍼지집합, 퍼지논리, 퍼지척도의 세 측면을 기본으로 성립된다. 퍼지집합은 어떤 집합에 속하는가 속하지 않는가를 0과 1로 나타내는 기존의 논리체계와는 달리 어느 정도 속하는가 아니면 속하지 않는가 하는 애매한 논리체계를 0과 1 사이의 소속정도로 표현되어 처리한다. 이러한 처리방식은 공간적 불확실성을 모사할 수 있으며 GIS 자료와 공간통합분석을 위해 활용될 수 있는 장점이 있다. 또한 퍼지분류 방법은 위성영상을 이용한 토지피복 분류와 같이 유사한 분광 특성으로 인한 분류항목 사이의 모호함이 자주 발생하는 연구에 있어서, 다른 방식의 확률통계적 이론과는 달리, 이 모호성에 크게 구애받지 않고 해결 할 수 있는 가능성이 크다는 장점이 있다.

퍼지이론을 이용한 감독분류의 처음단

계는 각 표본들에 대한 퍼지소속함수 (fuzzy membership functions)를 계산하는 것이다. 본 연구에서는 먼저 분광정보를 포함한 퍼지소속함수를 정의하기 위해 분리도 분석(separateness analysis)을 실시하였다. 분리도분석 결과는 사용 밴드별로 분류 항목간의 분광특성이 유사한 정도를 보여주며, 퍼지소속함수로 표현 된다. 각 화소의 퍼지소속함수는 여러 분류 항목에 걸쳐져 있어서 유용하게 사용될 수 있다. 전통적인 분류에서는 하나의 분류 항목으로 할당함으로써 분류의 신뢰성에 영향을 미치지만, 퍼지 분류에서는 각 화소를 하나의 항목으로 할당하는 것이 아니라 소속함수로 할당하여 하나의 화소를 세분화하여 분류할 수 있게 된다. 예를 들어 3개의 클래스(삼림, 습지, 물)를 분류하였다면 각각의 소속함수 값은 0.05, 0.65, 0.30으로 나타낼 수 있는데, 소속함수 값은 1이 된다(Jensen, 1996).

일반적으로 퍼지소속함수는 벨형, 계단형, 선형 및 확률밀도함수(probability density function) 방법 등 다양하게 표현할 수 있다. 본 연구에서는 퍼지소속함수를 훈련 집단으로부터 작성되는 확률밀도함수로서 작성하였으며, 계산식은 다음과 같다(Dubois and Prade, 1988).

$$\mu_{c_m} = \sum_{x' \in \Omega_n} \min(p_{c_m}(x), p_{c_m}(x'))$$

여기서 C_m 은 특정 클래스이며, p_{C_m} 은 확률밀도함수, 그리고 Ω_n 은 모든 분광밴드를 의미한다. 다음으로 퍼지소속함수의 결합방법으로는 퍼지 결합연산자를 이용하였다. 퍼지 결합 연산자로는 minimum(AND),

maximum(OR), algebraic product, algebraic sum 등의 연산자가 있는데, 본 연구에서는 다음과 같은 min 연산자를 이용하였다.

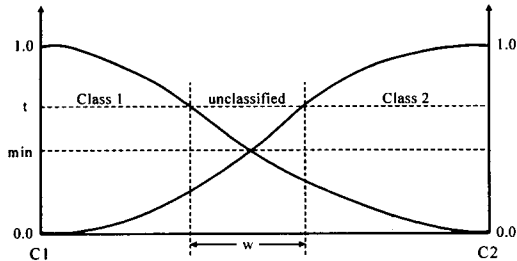
$$\mu_{AND}(x) = MIN\{\mu_1(x), \mu_2(x), \mu_3(x), \dots\}$$

일반적으로 min 연산자는 각 데이터의 최소 값을 결과 값으로 하여 주어진 조건을 모두 만족하는 값을 얻기 위해 사용되는 것으로서, 사용된 퍼지소속함수의 최소 값을 되돌려 준다. 이러한 min 연산자는 분광정보와 공간적 상관성을 고려한 토지피복 분류에 유용하게 사용될 수 있다(박노욱·지광훈, 2003).

본 연구에서는 퍼지소속함수를 이용하여 토지피복 분류 시 5x5 윈도우의 모드 필터(mode filter)를 사용하여 인접 화소 값을 고려한 새로운 퍼지소속함수를 계산하였다. 즉 각각의 화소에 대해서 특정 크기로 정의된 주변 영역에 대해 필터링을 수행하였다. 이러한 필터링 기법은 기존에 제작된 1:25,000 토지이용도와 통합을 수행할 수 있게 하며, 토지피복 분류 시 인접화소 까지를 고려할 수 있는 장점이 있다.

다음으로 본 연구에서는 각 화소에 대하여 계산된 공간적 퍼지소속함수 값을 이용하여 분류 항목을 할당하게 하였다. 특히 임계 값을 선정하여 각 화소마다 분류 항목 사이의 차이가 크지 않은 화소에 대해서는 미분류(unclassified)를 수행하였다. 이러한 미분류 된 클래스는 각 클래스의 중심에서 먼 경계부분과 각 화소에서 분류 항목 사이의 퍼지소속함수 값의 차이가 크지 않은 화소에 해당된다[그림 3].

본 연구에서는 일정한 임계 값을 주어 조건을 만족할 경우에만 분류 항목을 할당하게 하였다.



[그림 3] 퍼지소속함수를 이용한 미분류 수행과정(Zhang and Stuart, 2001)

이들 미분류된 화소들에 대하여는, 본 연구의 목적이 분류기법의 향상이 아니라 기존에 작성된 토지이용도의 수정이 목적이므로, 항공사진을 기초로 작성된 기존 토지이용도의 값을 할당하였다. 즉 미분류된 화소를 다른 확률 통계적론 기법을 사용하여 분류하는 것 보다 기존의 자료를 활용하는 것이 본 연구에 있어서는 보다 유용할 것으로 판단한 것이다. 특히 토지피복도의 카테고리 지도화 작업을 통한 토지이용도 제작을 위해서는 기존에 제작된 토지이용도를 이용하여 수정하는 것이 바람직하다. 작성된 토지피복도는 논, 밭, 주거지, 나대지, 도로, 하천 및 호소, 갯벌, 모래, 염전, 초지, 파식대, 침엽수림, 혼합림, 해양 등 총 14개의 클래스이다.

(4) 분류정확도 검증

작성된 토지이용도에 대한 분류정확도 검증은 통계적 신뢰성을 유지하기 위해 무작위 추출법(simple random sampling)을

사용하였다. 이 방법은 각 분류 클래스의 수를 충분히 획득할 수 있으며 타당한 분류 오차행렬(error matrix)을 만드는 것으로 인정되었다(Congalton, 1991). 본 연구에서는 무작위 추출법을 이용하여 총 300개 지점을 획득한 후, 현장조사를 실시하여 각 지점에 대한 분류항목을 설정하였다. 이렇게 추출된 자료는 IKONOS 영상에서 획득된 토지피복분류도와 분류정확도를 평가하였다.

마지막으로 1998년 토지이용도와 2002년 IKONOS 영상에서 얻어진 토지피복도를 비교하여 변화지역을 분석하였다. 이를 통하여 IKONOS 영상의 토지피복도 작성 및 수정 가능성을 검토하였다.

3. 토지피복 분류 및 개선

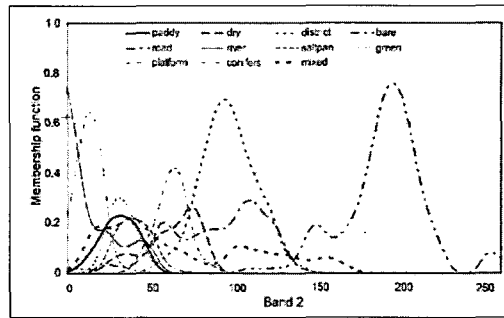
3.1 훈련지역 영상에 대한 퍼지소속함수

이 연구에서는 퍼지분류기법을 적용하여 IKONOS 영상의 토지피복 분류를 수행하였다. 특히 토지피복정보는 수치 토지이용도의 분류항목에 맞추어, 분광특성 식별이 가능한 총 14가지 분류항목으로 나누어 훈련지역(training sites)에 적용하였다.

훈련지역에 대한 퍼지소속함수는 확률밀도함수를 기반으로 작성하였다. [그림 4]는 마스킹 처리 된 후의 육상부분의 퍼지소속함수를 표현한 것으로 하나의 화소 내에 여러 가지 분류 항목을 가지고 있으며, 분류 항목 사이에 화소 값의 분포가 중첩되어 있다. 따라서 일반적으로 사용되는 분류 기법인 최대우도분류법(maximum likelihood

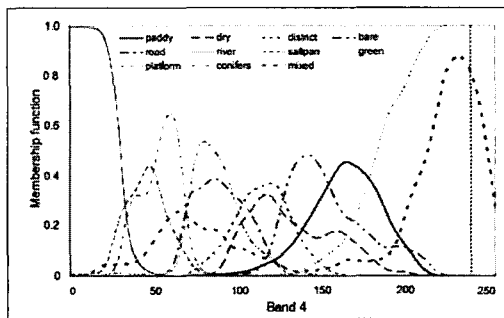
classification)으로는 정확한 분류를 수행 할 수가 없다. 즉 정규분포에 기초한 MLC는 화소 내의 모호성으로 인하여 단일 분류항목으로 화소를 결정 할 경우 오류를 범할 수 있어서 본 연구에서는 퍼지분류기법을 사용하였다.

[그림 4]의 퍼지소속함수를 보면 영상 융합된 파장대역 중 근적외선에 해당하는 밴드4가 상대적으로 분류항목간의 분리도가 높으며, 나머지 밴드3과 밴드2는 분류항목의 중첩부분이 많다. 전체적으로는 연구지역에서 분류항목 별 분리도가 높지 않으며, 이러한 원인은 촬영시기(2002. 3. 9)가 식생발달과 농사철이 아니라는 계절적 이유에 따른 분광정보의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

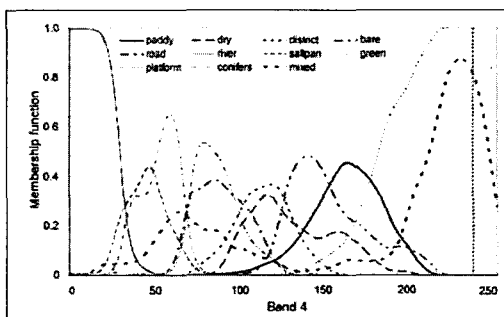


(c)

[그림 4] 퍼지소속함수 값
(a) 밴드4, (b) 밴드3 (c) 밴드2



(a)



(b)

각 밴드의 퍼지소속함수를 살펴보면 다음과 같다. 밴드4에서는 반사율이 가장 낮은 분류항목으로 하천 및 호소, 염전, 파식대, 침엽수림의 순서로 나타났다. 침엽수림과 나대지 지역은 유사한 소속함수 값을 보이며, 또한 밭과 거주지 및 염전과 파식대가 유사한 양상을 보인다. 그러나 하천 및 호소, 도로, 논, 초지, 혼합림 등은 비교적 구별이 되는 양상이다.

밴드3에서는 반사율이 가장 낮은 항목으로 하천 및 호소, 침엽수림, 논, 초지, 염전의 순서이며, 특히 혼합림의 경우 반사율 값이 전 구간에서 나타난다. 이러한 원인은 훈련지역 선정에 문제가 있을 수도 있지만, 3월 초의 계절적 요인과 혼합림 지역에 포함된 다양한 토지특성에 따른 것으로 판단된다. 퍼지소속함수 값은 논과 초지가 유사한 값을 보이며, 나대지와 파식대가 혼재되어 나타난다. 그러나 침엽수림, 염전, 거주지, 도로 등은 대체로 분류 항목별 토지피복이 구분된다.

밴드2는 밴드3과 유사한 퍼지소속함수 값을 나타낸다. 먼저 반사율이 가장 낮은

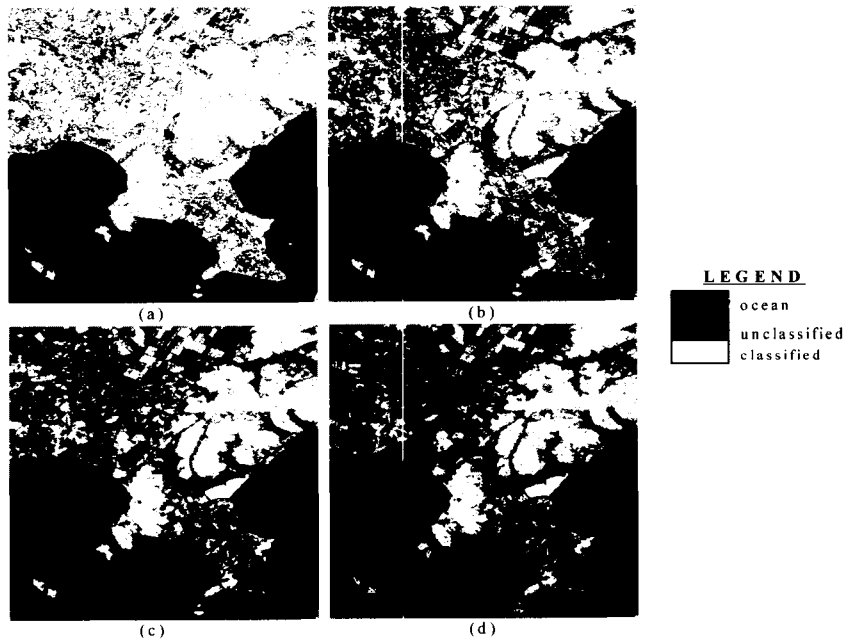
항목으로는 하천 및 호소, 침엽수림, 염전, 논, 초지의 순서이다. 혼합림의 경우는 밴드3과 마찬가지로 반사율 값이 전 구간에서 나타났다. 퍼지소속함수 값은 논과 초지 및 염전 등이 넓은 범위에 걸쳐 유사한 값을 보이지만, 파식대는 전체적으로 구별이 된다.

3.2 퍼지영상분류 및 토지이용도와 비교분석

본 연구에서는 퍼지소속함수로 표현된 밴드4, 밴드3, 밴드2의 결합방법으로 minimum 연산자를 이용하였다. 특히 분류과정에서 퍼지소속함수에 임계값을 선정하여 각 화소마다 분류 항목 사이의 차이가 크지 않은 화소에 대해서는 미분류를 수행하였다. 퍼

지소속함수에 주어진 임계 값은 0.2, 0.4, 0.6, 0.8이며, [그림 5]는 육상영역에서의 임계 값 변화에 따른 IKONOS 영상의 미분류된 클래스를 나타낸 것이다. 여기서 분류된 항목들은 분광반사율에 기초한 분류로는 구분이 가능한 화소이며, 미분류된 화소들은 분류 항목들이 혼재되어 분류할 수 없는 화소들이다.

먼저 마스킹 처리된 육상부분에서는 임계값이 0.2인 경우 대략 28%정도의 화소가 분류되지 않았으며, 0.4일 때는 52%가 미분류 되었다. 이밖에 임계값 0.6과 0.8은 각각 65%, 72%로 미분류 되었다. 미분류된 화소들을 토지이용도와 비교한 결과 대부분 논, 밭, 거주지, 나대지, 도로 등이며, 상대적으로 초지 및 산림은 분류가 잘되었다. 해양부분에서는 임계값 0.2인

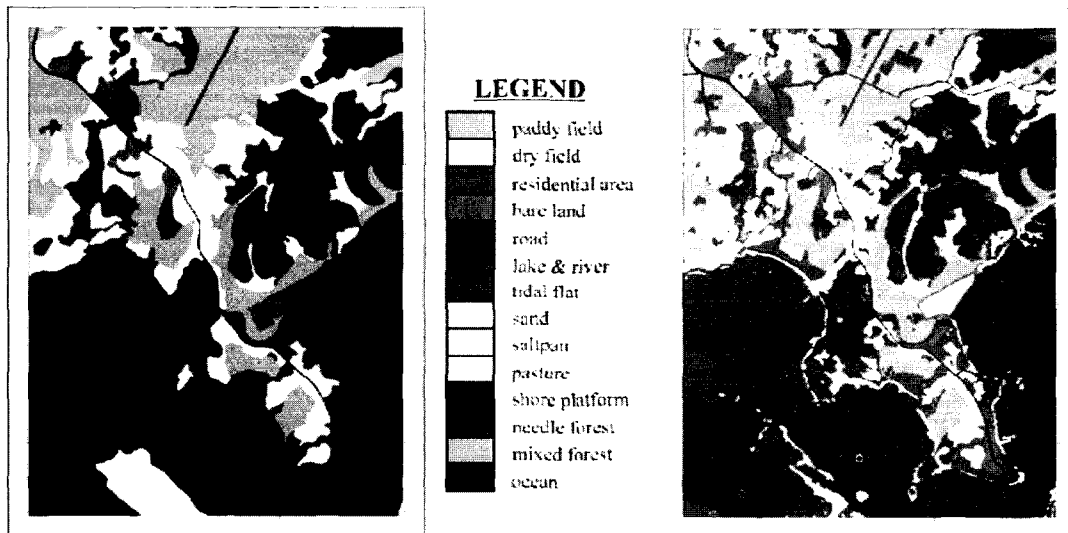


[그림 5] 미분류 영상
(a) 0.2 (b) 0.4 (c) 0.6 (d) 0.8

경우 0%로 미분류된 화소가 없으며, 0.4 일 때는 1% 정도, 0.6과 0.8은 각각 2% 미분류 되었다. 미분류된 화소들은 대부분 간석지와 해양의 경계부분에서 나타났으며 모래 및 해양은 정확한 분류가 이루어졌다. 따라서 해양부분은 미분류된 화소가 거의 없을 정도로 분광반사율만으로도 분류가 가능하다. 그러나 육상부분은 임계값이 0.4에서 50% 이상이 미분류될 정도로 분류항목들이 혼재되어 있다. 본 연구에서는 육상부분의 미분류 화소를 임계값 0.4를 기준으로 미분류 하였고, 각 화소들을 토지이용도와 중첩하여 새로운 토지이용도를 작성하였다[그림 5].

[그림 6]에서 보는 것처럼 1998년 토지이용도와 2002년 IKONOS 영상에 기초한 토지피복도는 전체적으로 비슷한 분포특징을 나타내고 있다. 육상에서 침엽수림

과 경지가 가장 변화가 심하며, 해양에서는 간석지 및 해빈의 증가가 크다. 특히 기존의 해양에서는 1998년도 토지이용도에서 발견되지 않았던 해빈이 대규모로 파악되며, 1998년 토지이용도의 해빈은 간석지로 분류되는 것이 많았다. 또한 토지피복도에서 미분류된 상태였던 남서쪽에는 간석지들이 대규모로 파악되었다. 육상에서는 도로의 면적이 확대되었으며 침엽수림의 면적은 축소되었다. 이러한 원인은 1:25,000 토지이용도에서는 분류되지 않았던 지역들이 고해상도 IKONOS 영상에서 분류된 것으로 판단된다. 또한 논과 밭의 경작지들은 감소하였는데, 특히 논인 경우 하천 및 저수지 등의 수계로 분류된 경우가 많다. 이것은 2002년 분류에 사용된 IKONOS 영상이 3월 영상이어서 경작을 위해 논에 물이 담수된 결



(a) 토지이용도(1998)

(b) IKONOS를 이용한 토지피복분류도(2002)

[그림 6] 토지이용도 및 토지피복분류도

과 수계로 분류된 것으로 판단된다.

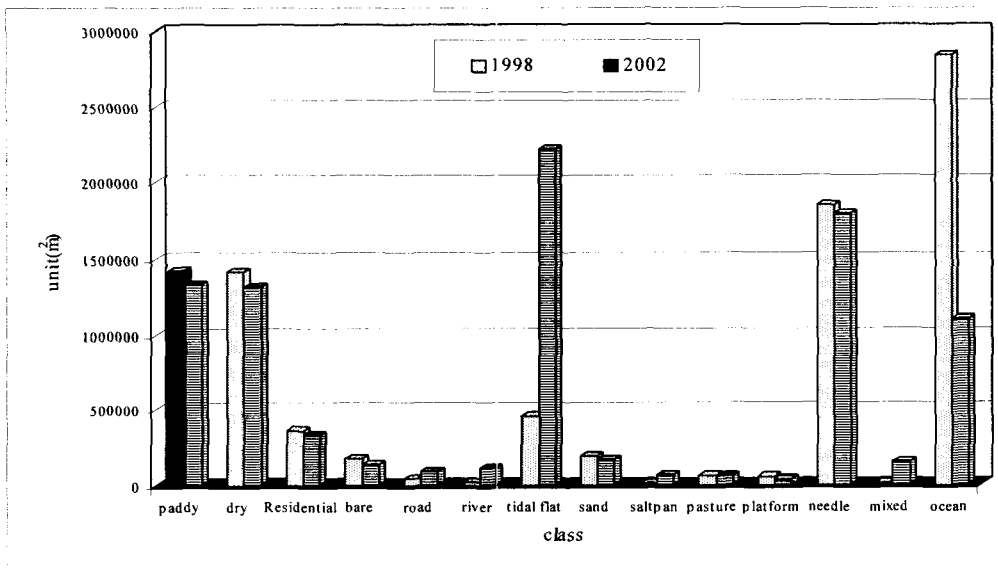
각각의 토지피복 분류 항목별 변화량을 분석하여 보면 [그림 7]과 같다. 1998년에 2002년 사이에 가장 큰 변화를 보이는 분류항목은 해양 및 간석지이다. 일반적으로 해양 및 간석지는 조석의 영향으로 그 면적을 정확히 산출하기 어렵다. 동일한 조석을 가진 자료를 중첩 비교하는 것이 이상적이지만 조석자료의 불충분으로 현재로서는 불가능하였다. 따라서 본 연구에서는 단순히 변화 형태만 비교하였는데, 해양의 비율은 31.8%에서 11.3%로 감소하였고, 반면에 간석지는 5.1%에서 24.8% 증가하였다.

식생은 침엽수림이 1998년에 1.85km²로 전체 면적에서 20.7%를 차지하고 있어 해양 다음으로 가장 우세한 토지이용을 보인다. 2002년에는 1.79km²로 전체면적에서 20.1%로 약간 감소하였다. 혼합림은 1998

년에 0.01km²로 전체 면적에서 0.1%를 차지하여 가장 작은 면적을 분류항목이었다. 그러나 2002년에는 0.16km²로 전체면적에서 1.8%로 증가하였다. 이러한 원인은 산림 증가가 원인이 아니라 기존에 농경지 및 주거지 등으로 분류되었던 지역들이 재분류된 결과로 판단한다.

본 연구지역의 경지(논, 밭)면적은 1998년에 2.85km²(31.88%)에서 2000년에는 2.65km²(29.7%)로 약간 감소하였다. 이는 일부 산림지역을 중심으로 소규모 개간이 이루어지면서 과수원 및 밭으로의 토지피복 변화가 일어났지만, 반대로 경지의 일부분이 거주지 및 나대지로의 변화가 일어났기 때문이다.

저수지 및 하천 등의 수계는 면적이 증가하였는데, 1998년에는 0.02km²(0.1%)에서 2000년에는 0.11km²(1.3%)로 변화하였다. 이는 전술한바와 같이 수계의 증가가 아니라



[그림 7] 각 분류항목별 변화지역(1998~2002)

담수된 논 등에 대한 분류오차에 때문이다. 거주지, 나대지, 모래, 초지, 파식대 등은 면적이 약간 감소하였으며, 도로와 염전 등은 반대로 약간 증가하였다.

3.3 변화탐지 정확도 평가

본 연구에서는 분류의 정확도 검증을 위해 분류 오차 행렬을 이용하여 정확도 검증을 하였다. 분류 오차는 객관적으로 타당하게 생성해야 하는데, 훈련집단으로 사용한 영역을 그대로 분류 오차표 생성에 사용하면 전체 정확도가 과대평가된다. 따라서 본 연구에서는 훈련 집단과 독립적으로 작성한 검증 집단을 분류 결

과와 비교하였다.

피지분류에 사용한 검증 자료의 화소 수는 총 300개 화소를 사용하였다. 분류 항목별로는 논 66개, 밭 55개, 거주지 13개, 나대지 7개, 도로 10개, 하천 및 저수지 9개, 간석지 30개, 사빈 6개, 염전 9개, 초지 5개, 파식대 8개, 침엽수림 65개, 혼합림 3개, 해양 14개 화소를 사용하였다.

<표 2>를 보면 전체 정확도는 95.0%, Kappa 계수는 0.94%로 매우 높은 분류정확도를 나타낸다. 특히 해양, 파식대, 초지 등은 사용자 및 생산자 정확도가 100%이다. 이밖에도 논, 밭, 주거지, 간석지, 침엽수림 등의 분류 항목은 90% 이상의 생산자와 사용자 정확도를 보인다. 반면에 혼

<표 2> 분류정확도 평가(%)

Class	paddy field	dry field	Residential area	bare land	road	lake river	tidal flat	sand	saltpan	pasture	shore platform	needle forest	mixed forest	ocean	Total	User's Accuracy
paddy field	63	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	66	95.5
dry field	0	54	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	55	98.2
Residential area	0	0	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	92.3
bare land	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	85.7
road	0	1	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	90.0
lake river	3	0	0	0	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0	9	55.6
tidal flat	0	0	0	0	0	0	29	1	0	0	0	0	0	0	30	96.7
sand	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6	100.0
saltpan	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	9	88.9
pasture	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	100.0
shore platform	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	8	100.0
needle forest	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	0	0	65	98.5
mixed forest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	3	66.7
ocean	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	14	100.0
total	67	57	12	7	11	6	29	7	9	5	8	66	2	14	300	-
Producer's Accuracy	94.0	94.7	100.0	85.7	81.8	83.3	100.0	85.7	88.9	100.0	100.0	96.9	100.0	100.0	Overall Accuracy : 95.0%	

Overall Kappa Statistic : 0.94%

합림과 하천 및 저수지 등은 상대적으로 다른 클래스에 비해 정확도가 낮게 나타난다. 이러한 원인은 계절적 요인으로 인한 분류 항목의 오류가 많이 발생하였음을 의미한다. 즉 하천 및 저수지는 농경지의 담수로 인하여 분광반사율이 비슷하며, 혼합림 지역은 잎이 발달하기 전에 촬영된 영상인 관계로 침엽수림 지역과 분류되기 힘들었던 결과이다. 추후 이들 분류 항목의 분류정확도를 높이기 위해서는 계절적 요인을 반드시 고려하여야 할 것이며, 연속된 시계열 영상 취득이 필요하다.

4. 결 론

고해상도 위성영상은 국지적 규모의 토지피복 변화 및 대기 상태의 모니터링을 위한 효과적인 기술로 인식되어 왔다. 특히 토지이용도 작성은 다양한 자료 획득 기술의 발전으로 인하여 고해상도 영상과 광학센서 영상, GIS 공간자료 등을 이용한 통합 분석 연구가 진행되고 있다. 이러한 측면에서 본 연구에서는 고해상도 영상인 IKONOS 영상과 기존에 작성된 토지이용도를 이용하여 국지적 규모의 토지피복도도를 작성하였다. 분류기법으로는 퍼지분류 기법을 사용하여 분광정보의 모호성을 해결하고자 하였다.

분리도 분석에서는 영상 융합된 밴드4가 상대적으로 분류 항목간의 분리도가 높지만, 나머지 밴드3과 밴드2는 분류항목의 중첩부분이 많다. 전체적으로도 분리도가 높지 않은데, 그 원인은 계절적 영향에 따른 분광정보의 차이에 기인한

것으로 판단된다. 가장 분류가 잘된 항목으로는 하천 및 호소, 도로, 논, 초지, 거주지, 해빈, 간석지, 해양 등이다. 임계 값 변화에 의한 미분류 클래스 분석에서는 초지, 산림, 간석지, 사빈, 해양 등을 대상으로 정교한 분류를 수행할 수 있었다.

토지이용도와 IKONOS 영상에 기초한 토지피복도 작성 결과, 육상에서는 침엽수림과 경지의 변화가, 해양에서는 간석지 및 해빈의 변화가 가장 크다. 특히 기존의 해양에서는 1998년도 토지이용도에서 발견되지 않았던 해빈이 대규모로 파악되며, 1998년 토지이용도의 해빈은 간석지로 분류되는 것이 많았다.

분류정확도 분석결과 전체 정확도는 95.0%, Kappa 계수는 0.94%로 나타나 매우 높은 분류정확도를 보였다. 분류항목별 정확도에서는 대부분의 분류 항목이 90% 이상의 분류정확도를 보였다. 그러나 혼합림과 하천 및 저수지 등은 많은 오류가 발생하였다. 이들 원인은 농경지 담수로 인하여 분류 항목이 하천 및 저수지로 분류된 결과이며, 잎이 발달하기 이전에 촬영된 영상으로 분류된 혼합림 지역은 침엽수림 지역과 혼재되어 분류된 상태이다. 추후 이들 분류 항목의 분류정확도를 높이기 위해서는 다시기 영상을 취득하여 이러한 계절적 요인을 고려하여야 할 것이다.

이상의 분석결과 IKONOS 영상은 국지적 규모의 세밀한 토지이용도 작성 및 수정에 유용하게 활용될 수 있으며, 추후 GIS 공간자료와 통합하여 토지이용도를 작성한다면 보다 정확한 자료로서 관련연구 및 정책결정과 실무처리를 위하여 크게 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구에 도움을 주신 e-HD.com(주)에 고마운 마음을 전합니다.

참고문헌

- 박노옥 · 지광훈, 2003, 공간적 상관성의 반복적 결합을 이용한 원격탐사 화상 분류, 대한원격탐사학회, 한국지형공간정보학회, 개방형 지리정보시스템학회, 한국 GIS학회 2003 공동 춘계 학술대회 논문집, 9-14.
- 성정창, 2000, 다중시기 NDVI 변화 패턴과 토지 피복상태의 변화에 관한 연구, 한국지리정보학회, 3(3), 20-31.
- 양인태 · 김홍규 · 신계중, 1999, 다시기 원격탐사 영상의 퍼지감독분류 결과를 이용한 토지피복 변화탐지 기법의 개발, 대한토목학회, 19(4), 687-694.
- 여희수 · 박경환 · 박병욱, 1997, 원격탐사의 동향과 고해상도 위성영상의 활용, 한국GIS학회, 5(1), 89-98.
- 이기원, 2002, Landsat 7 ETM+와 KOMPSAT EOC 영상자료를 이용한 다중분해능 영상 분류결과와 토지이용현황 주제도 대비분석, 한국GIS학회, 10(2), 331-363.
- 이상구, 1999, 뉴로-퍼지 알고리즘을 이용한 원격탐사 화상의 지표면 패턴 분류시스템 구현, 한국퍼지및지능시스템학회, 9(5), 472-479.
- 이상훈, 2001, 공간지역확장과 계층집단연결 기법을 이용한 무감독 영상분류, 대한원격탐사학회, 17(1), 57-69.
- 정기현 · 이우균 · 이준학 · 김권혁 · 이승호, 2001, 고해상도 IKONOS 위성영상을 이용한 임상분류, 대한원격탐사학회, 17(3), 275-284.
- 하성룡 · 박상영 · 박대회 · 경천구, 2002, 훈련지역의 취득방법 및 규모에 따른 JERS-1 위성영상의 토지피복 분류정확도 평가, 한국지리정보학회, 5(1), 27-36.
- Benz, U. and Pottier, E., 2001. Object based analysis of polarimetric SAR data in alpha-entropy-anisotropy decomposition using fuzzy classification by eCognition, *IGARSS 2001 proceeding*, CDROM.
- Brown, D. G., Lusch, D. P. and Duda, K. A., 1998, Supervised classification of types of glaciated landscapes using digital elevation data, *Geomorphology* 21(3-4), 233-250.
- Chen, X., 1997, Analysis on land cover change and it's impacts on sustainable development based on remote sensing and GIS: A case study in Ansan. Korea, *ETRI*.
- Congalton, R. G., 1991, A review of assessing the accuracy of classifications of remote sensing data, *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46.
- Congalton, R. G. and Green, K., 1993. A practical look at the sources of confusion in error matrix generation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 59(5), 641-644.
- Dubois, D. and Prade, H., 1988, Possibility theory, an approach to the computerized processing of uncertainty, Plenum.
- Gong, P. and Howarth, P. J., 1990, The use of structural information for improving land-cover classification accuracies at the rural-urban fringe, *Photo. Eng. and Remote Sensing*, 56(1), 67-73.
- Foody, G. M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment* 80, 185- 201
- Foody, G. M., Campbell, N. A., Trodd, N. M. and Wood, T. F., 1992, Derivation and

- applications of probabilistic measures of class membership from the maximum-likelihood classification, *Photo. Eng. and Remote Sensing*, 58(9), 1335-1341.
- Fraser, C. S., Baltsavias, E. and Gruen, A., 2002, Processing of IKONOS imagery for submetre 3D positioning and building extraction, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 56, 177- 194.
- Geneletti, D and Gorte, B. G. H., 2003. A method for object-oriented land cover classification combining Landsat TM data and aerial photographs. *International Journal of Remote Sensing* 24(6),1273-1286.
- Hagen, A., 2003, Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps, *International Journal of geographical information science*, 17(3), 235-249.
- Hochberg, E. J. and Atkinson, M. J., 2003, Capabilities of remote sensors to classify coral, algae, and sand as pure and mixed spectra, *Remote Sensing of Environment*, 85, 174-189.
- Jensen, J. R., 1996, *Introductory Digital Image Processing* 2nd Edition, Prentice Hall.
- Key, T., Warner, W. A., McGraw, J. B. and Fajvan, M. A., 2001, A Comparison of multispectral and multitemporal information in high spatial resolution imagery for classification of individual tree species in a temperate hardwood forest, *Remote Sensing of Environment*, 75, 100-112.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W., 1994, *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, Inc.
- Liu, X. H., Skidmore, A. K. and Oosten, H. V., 2002, Integration of classification methods for improvement of land-cover map accuracy, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 56, 257- 268.
- Lobo, A., Moloney, K. and Chiariello, N., 1998, Fine-scale mapping of a grassland from digitized aerial photography: an approach using image segmentation and discriminant analysis, *International Journal of Remote Sensing*, 19(1), 65-84.
- Park, N. W., Chi, K. H. and Kwon, B. D., 2001, Application of object-based multiresolution segmentation to classification of remote sensing data, *International Symposium on Remote Sensing*, p.43-48.
- Shao, G., Liu, D. and Zhao, G., 2001. Relationships of image classification accuracy and variation of landscape statistics. *Canadian Journal of Remote Sensing* 27(1), 33- 43.
- Solaiman, B., L.E. Leland, F.T. Ulaby, 1999. Multisensor data fusion using fuzzy concepts: application to land-cover classification using ERS-1/JERS-1 SAR composites, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 37(3): 1316-1326.
- Stefanova, W. L., Ramsey, M. S. and Christensen, P. R., 2001, Monitoring urban land cover change: An expert system approach to land cover classification of semiarid to arid urban centers, *Remote Sensing of Environment*, 77, 173- 185
- Stuckens, J., Coppin, P. R., and Bauer, M. E., 2000. Integrating contextual information with per-pixel classification for improved land cover classification. *Remote Sensing of Environment* 71, 282-296.
- Tapiador, F. J. and Casanova, J. L., 2003, Land use mapping methodology using remote sensing for the regional planning directives in Segovia, Spain, *Landscape and Urban Planning* 62, 103-115.
- Van Deusen, P. C., 1995, Modified highest confidence first classification, *Photo. Eng.*

- and Remote Sensing*, 61(4), 419-425.
- Zhang, J. and Stuart, N., 2001, Fuzzy methods for categorical mapping with image-based land cover data, *International Journal of geographical information science*, 15(2), 175-195.
- Zhang, J. and Foody, G. M., 2001. Fully-fuzzy supervised classification of sub-urban land cover from remotely sensed imagery: statistical and artificial neural network approaches. *International Journal of Remote Sensing* 22(4), 615-628