Korean Journal of Remote Sensing, Vol.18, No.6, 2002, pp.305~317

퍼지논리연산을 이용한 토지피복환경 변화분석: 안면도 사례연구

장동호* · 지광훈* · 이현영**

한국지질자원연구원 국가지질자원정보센터*, 건국대학교 지리학과**

Change Detection of Land Cover Environment using Fuzzy Logic Operation : A Case Study of Anmyeon-do

Dong-Ho Jang*, Kwang-Hoon Chi* and Hyoun-Young Lee**

National Geoscience Information Center, KIGAM*, Dept. of Geography, Konkuk University**

Abstract : The purpose of this study is to analyze the land cover environmental changes in the Anmyeon-do. Especially, it centers on the changes in the land cover environment through methods of GIS and remote sensing. The land cover environmental change areas were detected from remote sensing data, and geographic data sets related to land cover environment change were built as a spatial database in GIS. Fuzzy logic was applied for data representation and integration of thematic maps. In the natural, social, and economic environment variables, the altitude, population density, and the national land use planning showed higher fuzzy membership values, respectively. After integrating all thematic maps using fuzzy logic operation, it is possible to predict the change quantitatively. In the study area, a region where land cover change will be likely to occur is the one on a plain near the shoreline. In particular, the hills of less than 5% slope and less than 15m altitude, adjacent to the ocean, were quite vulnerable to the aggravation of coastal environment on account of current, large-scale development. In conclusions, it is expected that the generalized scheme used in this study is regarded as one of effective methodologies for land cover environmental change detection from geographic data.

Key Words : Land Cover, Remote Sensing, GIS, Environment Changes, Fuzzy Logic, Anmyeon-do.

요약 : 본 연구에서는 안면도의 토지피복변화 분석을 위해 원격탐사 및 GIS 기법을 이용하여 지표경관의 변화를 탐지하였다. 변화지역 추출은 위성영상과 현장답사를 통하여 확인하였고, 지표경관 변화와 관련된 GIS 기반의 다양한 공간정보를 구축하였다. 공간통합 방법으로 퍼지논리연산을 사용하였다. 분석결과 자연 및 인문·사회에 관한 주제도들 중 토지피복 변화에 가장 큰 영향을 미치는 주제도는 표고분석도, 인구밀도도, 국토이용계획도 등이다. 퍼지논리연산을 이용하여 토지피복 변화를 통합 분석한 결과 정확한 변화를 예측할 수 있었다. 즉, 안면도 지역에서 대규모 토지피복 변화가 일어날 가능성이 높은 지역들은 해안과 가까운 평지에 위치한 지역이 높은 확률로 변화하였다. 특히 경사도 5%이하, 표고 15m 이하의 구릉지로 해양과 인접해 있는 지역은 현재 진행 중인 대규모 개발에 따른 연안환경 악화의 위험성이 높으므로 이에 대한 대책강구가 시급하다. 결론적으로 본 방법은 향후 토지피복 변화 연구를 위한 효과적인 방법 중의 하나로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

2002년 10월 29일 접수 : 2002년 11월 30일 수리.

1. 서 론

삶의 터전인 지표경관을 잘 이해하고 분석하는 것은 인간 생활에 기본이 되는 중요한 일이다. 따라서 지표경관에 대한 정보를 관리 및 분석하여 현재의 자연적, 인공적 환경을 정확히 기술하고 과거로부터 변화 추이를 알아내는 것은 지표공간을 토대로 한 새로운 환경 조성을 위하여 중요하다. 이러한 의미에서 지표경관에 대한 연구가 필요하고, 각종 환경 및 국토 개발 계획의 정책 수립과 수행이 성공적으로 이루어지기 위해서는 방대한 양의 정보를 수집하고 처리, 분석하는 일이 필요하다. 특히 사회구조가 복잡하고 제반 여건의 변화가 심한 상황에서는 많은 자료와 정보가 뒷받침되어야만 정확한 변화와 바람직한 지표경관을 분석할 수 있다.

토지피복 변화에 관한 연구는 국토계획이나 지역계획을 수립하는데 있어서 필수적인 기초 자료이다. 그러나 현재로서는 토지이용 실태를 그대로 반영하고 있는 정확한 자료를 취득하는 일이 쉬운 일만은 아니다. 특히 최근의 인구증가와 산업화에 따른 자원의 고갈과 생태계 파괴 등 많은 문제에 직면하고 있어서 이에 대한 연구가 시급하다. 현재 대부분의 지표경관 변화 분석들은 수작업 위주의 형식적 자료분석에 그치고 있을 뿐만 아니라, 수집된 공간자료를 통계 등 문자 중심으로 분석하고 있으므로 공간적 맥락에서 이해하기 힘들다. 또한 자료의 양이 방대하여 종합적인 분석이 어렵기 때문에 계획과정에 필요한 의사결정을 효과적으로 지원하기 위한 공간정보가 제대로 제공되지 못하고 있다는 문제점을 안고 있다(국토개발연구원, 1998).

이러한 배경에서 그 동안 토지피복 분석을 위한 많은 연구들이 이루어져 왔다. 외국의 경우, 토지피복 변화 연구는 국토환경분석 및 개발의 가장 기본적인 연구가 되고 있으며, 이에는 토지이용, 지형, 위성자료를 이용한 지형의 분류나 변화 분석(Pain, 1985; Stringer *et al.*, 1988), 도시 환경 연구(Howarth *et al.*, 1983; Toll, 1984) 등이 있다. 특히 지표 피복도 자체에 대한 연구뿐만 아니라 알고리즘 개발(Foody *et al.*, 1992; Van Deusen, 1995) 및 분류정확도 향상 연구(Gong and Howarth, 1990; Janssen *et al.*, 1990; Franklin and Wilson, 1992)가 있어 왔다.

국내의 토지피복 변화에 대한 연구들은 위성자료를 이용한 지표 토지피복 변화 분석(조명희, 1995; 양인태 외, 1999), 지표 피복도의 분류 정확도 검증(Chen, 1997; 김천, 1996) 등이 있다. 또한 지표 피복도의 결과에 대해 서로 상이한 알고리즘으로 분류 결과를 비교한 경우도 있었다(박원규 외, 1997; 이기원 외, 1996). 그러나 대부분의 연구들이 다중시기 위성자료만을 사용하여 분석함으로써, 토지피복 변화에 영향을 주는 각종 자연 및 인문·사회지표와 관련된 공간정보에 대한 연구는 부족한 실정이다(Ross and Christopher, 1998).

따라서 본 연구에서는 지표경관 분석을 위해 위성영상 자료이외에 부가적으로 자연 및 인문·사회 주제도를 함께 사용하여 토지피복 변화 분석에 이용하였다. 지표공간 자료의 통합 방법으로는 퍼지논리연산(Fuzzy Logic Operation)을 사용하여 안면도 지역의 토지피복의 변화형태를 분석하고자 하였다. 또한 예측결과를 인공위성 영상자료와 현장자료를 통하여 비교 검증하여 연구결과의 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 연구지역 및 자료, 방법

1) 연구지역 및 자료

본 연구지역인 안면도는 일찍부터 간척사업이 진행되었으며, 1983~1985년 사이에 완료된 서산 A·B지구 간척사업으로 해안선 및 연안지역이 빠른 속도로 변화하고 있다. 행정구역상 태안군 남면·안면읍, 고남면에 해당되며, 지리적 좌표는 동경 126° 16′ 04″에서 126° 29′ 01″, 북위 36° 20′ 43″에서 36° 37′ 30″ 범위에 걸쳐 자리하고 있다(Fig. 1).

안면도는 동서가 좁고 남북이 긴 섬이다. 섬의

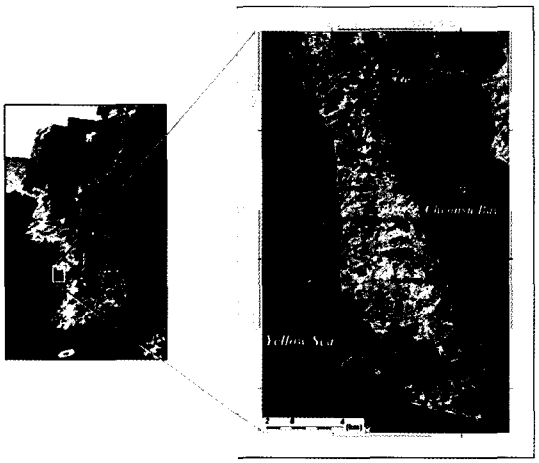


Fig. 1. Study area (Landsat TM image of 1996. 9. 1).

Table 1. Thematic maps used in land surface environmental changes.

Thematic Maps		Remarks
Natural Factors	Contour Map	1:25,000
	Slope Map	1:25,000
	Drainage Map	1:25,000
	Forest density Map	1:25,000
Human · Society Factors	Road Map	1:25,000
	Population density Map	1:25,000
	Establishments Map	1:25,000
	Tourism resources Map	1:25,000
Legal Factors	National land use planning Map	1:25,000
	Forest use planning Map	1:25,000
	Farmland use planning Map	1:25,000
Landsat	1996. 9. 1.	Landsat TM
	2000. 6. 20.	Landsat ETM+

서쪽은 해안국립공원으로 지정되어 있으며, 다수의 해수욕장이 산재한다. 반면 섬의 동쪽은 천혜성 내만인 천수만이 위치하며, 간조시 넓은 갯벌이 형성되고 있다. 특히 본 섬은 최근 간척사업 및 관광지 개발로 인한 연안환경 변화가 심하게 일어나고 있는 지역이다.

본 연구에서는 안면도 지역의 토지피복 변화를 분석하기 위해서 Landsat TM 및 ETM+영상과 토지피복 관련 자연환경 자료와 사회 · 인문 자료를 통합 분석하였다. 토지피복 변화 지역은 1996년 및 2000년 위성영상으로 추출하였으며, 토지피복 변화 분석 주제도는 자연환경, 사회 · 경제환경 및 법규와 관련된 자료들을 이용하였다(Table 1).

세부적으로 나누어 보면, 자연환경 관련 주제도로는 표고분포도, 경사분포도, 수계망도, 토지이용도, 임상밀도도 등이며, 사회 · 경제환경 주제도로는 도로망도, 인구밀도도, 총사업체분포도, 인문 · 자연관광자원분포도 등이다. 법제 관련 주제도로는 국토이용계획도, 농지이용계획도, 산림이용계획도 등이다.

2) 연구방법

토지피복 변화 분석은 다음과 같은 연구방법에 의해 수행하였다(Fig. 2). 먼저 위성영상에서 각각의 변화정보를 추출하기 위하여, 영상 분류기법인 최대우도법(MLC: Maximum likelihood classification) 기법을 이용하여 토지피복도를 작성하였다. 작성된 토지피복도로부터 선분류 후비교법(Post-Classification Comparison)을 수행하여 서로 다른 시기의 영상을 토지피복 분류하여 변화지역을 추출하였다. 지표공간 정보 자료는 문헌조사, 현장조사 등을 통하여 자료를 획득하여 수치지도로 작성하였다. 특히 지표공간 자료들 중, 인문 · 사회 주제도는 토지피복도와 비교하기 위하여 1996년도 통계자료들을 사용하였으며, 법제 및 자연자료는 1990년 이후에 만들어진 주제도들을 이용하였다. 작성된 자연 및 인문 · 사회 주제도는 변화예측에 어떤 영향을 미치는지를 고찰하였으며, 또한 퍼지논리연산을 적용하여 다양한 공간정보들을 하나로 통합하였다. 통합된 자료는 위성영상에서 획득된 변화지역과 비교 · 검증을 수행하여 정확도를 평가하였다.

퍼지이론은 지표공간에서 다루는 공간정보 자료들은 부정확하고 불확실한 정보를 포함하고 있기 때문에(Zadeh, 1965), 이러한 공간상의 불확실성을 해결 할 수 있는 하나의 대안으로서 사용될 수 있다. 원격탐사 분야에서는 무감독분류 방법으로 퍼지 K-Means 방법이 주로 이용되어 왔는데, 다중센서 자료의 통합 및 변화탐지에 퍼지 이론을 적용한 사례연구는 있으나(Solaiman *et al.*, 1999, 이기

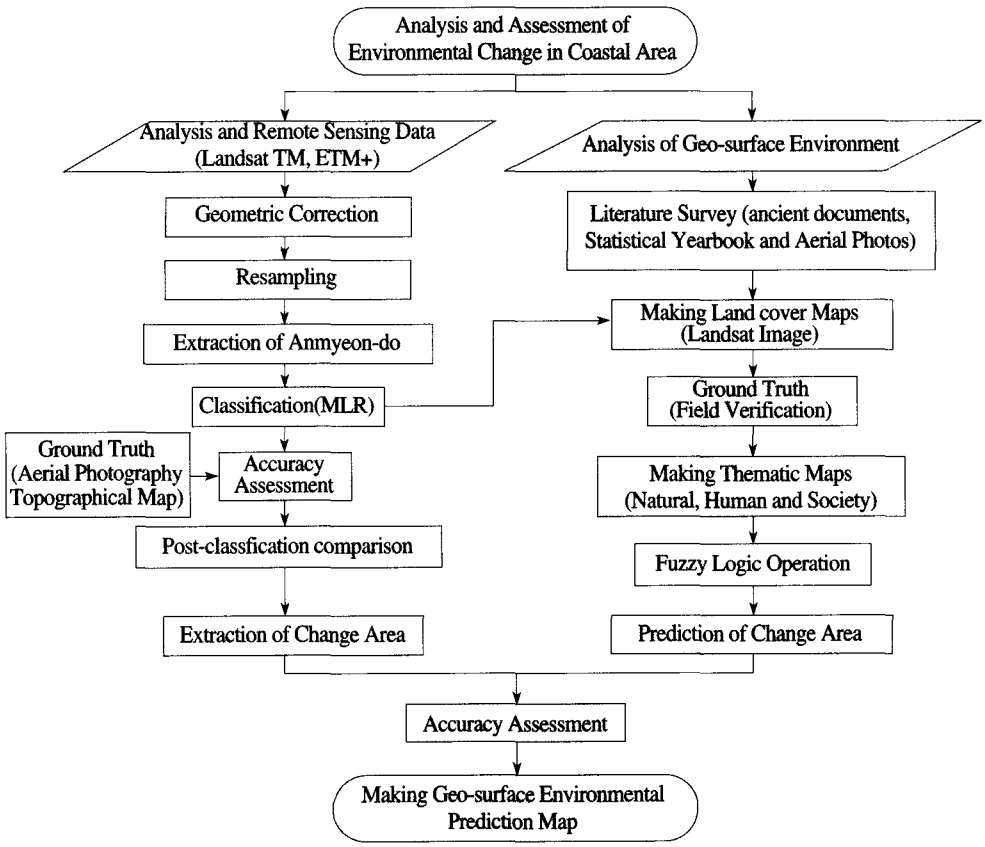


Fig. 2. Procedure for analysis of land cover environmental change in Anmyeon-do.

원 외, 1996), 지표공간 자료들의 통합에는 아직까지 적용사례가 없다. 따라서 본 연구에서는 최종적으로 지표공간 자료의 통합을 통한 토지피복 변화를 분석하기 위해 퍼지논리연산을 사용하였다.

퍼지논리는 전문가의 전문적인 지식에 기반하여 통합에 사용되는 매개변수를 정하는 지식유도 방법으로, 통합목표에 대한 GIS 공간상의 정보가 거의 없거나 불확실한 경우에 사용될 수 있다 (Bonham-Carter, 1994). 본 연구에서는 전문가의 주관에 의해 퍼지 귀속함수(membership function)를 결정하지 않고, 기존의 토지피복 변화에 대한 정보를 이용하여 퍼지 귀속함수를 결정하였다. 그러나 공간통합에 사용된 주제도들은 자연, 인문·사회, 법제 등 상이한 자료를 사용하였기 때문에 정확하게 정량화하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 자료의 형태를 서열척도(ordinal scale)로 구분하여 귀속함수를 결정하였다. 즉 각각의 주제도들은 토지피복변화에 영향을 줄 수 있는 정도에 따라 서열화하여 통합하였다. 통합된 변화정보는 변화의 퍼지논리에 소속되는 정도를 나타내는 가능성(possibility value) "0"과 "1" 사이의 값을 취하여, 변화된 지역과 변화되지 않은 지역을 구분 지어준다.

일반적으로 토지피복 변화 통합에 적용 가능한 연산자로는 min 연산자, max 연산자가 대표적인 것으로 알려져 있으며, 이 두 연산자는 각각 논리적으로 AND와 OR의 의미를 갖는다. Fuzzy AND 연산자는 모든 fuzzy membership이 목적 사건에 관련되었을 때 주로 사용되며, 최소값을 되돌려준다. 반면에 fuzzy OR 연산자는 최대값을 제한하고

자 할 때 사용되며, 최대값을 돌려준다. 이러한 귀속함수를 통합하기 위한 또 다른 유용한 연산자로는 fuzzy algebraic product, sum 연산자와 r 연산자를 이용하기도 한다(Zimmerman, 1996; Choi *et al.*, 2000).

본 연구에서는 변화정보의 통합문제를 해결하고, 토지피복 변화 예측을 위하여 다양한 퍼지 연산자를 적용하여 변화 예측 결과를 비교·분석하였다.

3. 안면도 지역의 토지피복 변화 분석

1) 토지피복도 작성 및 변화지역 추출

기존의 토지피복 변화지역을 파악하는 것은 이후에 있을 자료통합에 있어서 필수적인 자료일 뿐만 아니라, 여러 방법에 의해 나온 결과를 최종적으로 검증하기 위해서도 필요하다. 본 연구에서는 이러한 토지피복 변화지역을 파악하는데 있어서 기존의 위성영상을 이용한 지표피복 변화 영역을 변화지역으로 선정하였다.

먼저, 본 연구에서는 토지피복에 대한 분류를 수행하기 위해서 최대우도분류법(MLC)을 이용하여 토지피복도를 작성하였다. 특히 식별 가능한 토지피복 변화정보를 총 12가지(해양, 간석지, 사빈, 저수지, 성림지, 미성림지, 초지, 답, 전, 염전 및 습지, 촌락 및 도로, 나대지)로 나누어 표본추출을 하였으며, 서로 이질적인 분광특성을 가진 화소들을 주어진 매개변수에 따라 유사한 분광특성만을 가진 화소로 자동표본추출 해주는 기법(Region Growing)을 이용하여 훈련 집단을 선정하였다. 훈련 집단 선정 후 모수적 결정규칙 중 어떤 화소가 어떤 분류항목에 포함될 개연성에 기초한 방법인 최대우도법을 이용하여 토지피복의 감독분류를 행하였다.

분류된 영상은 선분류 후비교법을 이용하여 변화탐지를 실시하였는데, 먼저 일정시점의 토지피복도를 작성하고, 2개 시점간의 토지피복 분류에 그대로 확대 적용하여 그 결과를 변화 행렬표로 만들어 토지피복 변화 지역을 추출하였다(Table 2). 추출된 화소는 13,984개이며, 그 결과는 Fig. 3과 같다.

Table 2에서 보듯이, 1996~2000년 사이에 가장 큰 변화가 일어난 클래스는 염전·습지(66.1%), 간석지(65.7%), 밭(39.2%) 등이다. 이중 염전·습지는 농경지로의 전환에 따른 변화가 가장 크며, 간석지는 조위의 영향으로 해양으로의 변화율이 상대적으로 높고, 일부 안면도 동쪽해안을 따라

Table 2. Land cover ratio change of each in Anmyeon-do(1996-2000).

Unit : %

Year	2000												
	class	Ocean	Tidal flat	Sand	Lake	Forest dense	Forest loose	Paddy Rice	Marsh land	Dry field	Pasture	Artificial structure	Bare beach	Total
1996	Ocean	98.7	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	Tidal flat	31.3	53.9	0.2	0.2	0.0	0.0	13.2	1.1	0.0	0.0	0.1	0.0	100.0
	Sand	7.8	12.8	71.4	0.2	0.0	0.0	4.7	0.9	0.0	0.5	0.2	1.5	100.0
	Lake	0.0	0.0	0.0	95.7	0.0	0.0	0.9	3.0	0.0	0.0	0.0	0.4	100.0
	Forest dense	0.0	0.0	0.0	0.0	95.1	2.5	0.0	0.0	0.0	2.3	0.1	0.1	100.0
	Forest loose	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	74.6	6.5	0.7	4.6	7.6	0.5	1.1	100.0
	Paddy field	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	Marsh land	15.9	0.5	1.3	9.1	0.0	0.0	38.1	33.9	0.0	0.0	0.3	0.9	100.0
	dry field	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	20.8	1.5	75.4	0.5	0.5	0.6	100.0
	Pasture	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	2.8	0.0	89.8	0.4	0.2	100.0
	Artificial Structure	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	100.0
	Bare land	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	19.5	0.2	6.1	0.4	4.8	68.1	100.0

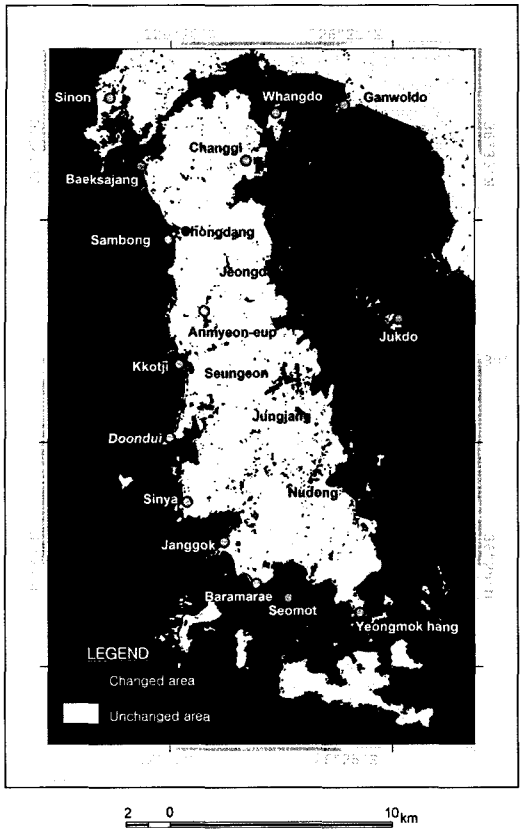


Fig. 3. Land cover change detection using satellite image.

소규모의 간척사업이 진행되어 농경지로의 변화도 나타난다. 해양, 논 및 인공구조물 등은 큰 변화가 없으며, 모래·사빈은 간석지(12.8%), 해양(7.8%)으로의 변화가 크며, 성림지와 미성림지는 경지로의 전환비율이 높다. 염전·습지 및 나대지는 각각 38.1%, 19.5%로 논으로의 변화가 가장 크다.

Fig. 3은 영상정보를 이용한 토지피복 변화지역을 나타낸 것으로, 안면도에서는 해수욕장 주변지역과 준농림지역을 중심으로 토지이용 변화가 진행되고 있다. 또한 지방도와 관광지를 연결하는 도로 교차로 주변을 따라 도시적 토지이용으로 변화되고 있다. 산림의 경우, 지역개발이 진행 중인 지역을 중심으로 미성림지의 감소가 지속적으로 진행되었다. 그러나 국립공원지역, 자연환경보전지역 내의 산림지 지역은 개발이 제한됨으로써 산림이 성장하여 성림지로 변화하였다.

2) 주제도 작성과 지표경관 변화분석

(1) 자연환경인자

지형은 토지피복 변화 분석 시 중요한 인자로 작용하는데, 일반적으로 고도가 높고 산지가 많은 지역은 토지피복 변화가 적다. 반대로 고도가 낮은 평야지역 및 간석지 등은 개발사업 및 농지 조성 등으로 토지피복 변화가 지속적으로 일어날 수 있다.

Fig. 4(a)는 토지피복 변화 영역과 재분류된 표고분포도와의 관계를 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이 6~10m 사이의 표고에서 12.08%로 가장 높게 나타나며, 1~5m는 9.05%, 11~20m는 4.11%를 차지하고 있다. 따라서 1~20m 사이에서 토지피복 변화가 일어날 확률이 가장 높으며, 60m 이상의 산지에서는 전혀 토지피복 변화가 일어나지 않았다.

Fig. 4(b)는 경사 분포별 토지피복 변화 비율을 나타낸 그림이다. 가장 많은 변화가 일어난 영역은 1~5°사이로 전체 비율에서 8.59%를 차지하며, 다음으로 0°는 6.88%, 6~10°는 3.68%로 나타났다. 따라서 10°이하지역에서 토지피복 변화가 일어날 확률이 가장 높으며, 30°이상의 산지에서는 토지피복 변화가 거의 일어나지 않았다.

Fig. 4(c)는 수계로부터의 거리와 토지피복 변화 영역과의 관계는 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 수계로부터의 거리가 멀어질수록 변화영역의 비율이 떨어짐을 알 수 있다. 수계와 가장 가까운 구간인 0~200m 구간은 8.3%로 가장 높으며, 하천으로부터 멀어질수록 비율이 낮아진다. 따라서 토지피복 변화 분석 자료로서 수계망은 변화영역과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

본 지역의 임상밀도와 토지피복 변화 영역과의 관계는 Fig 4(d)와 같다. 그림에서 보듯이 임상밀도와 변화영역과의 비율은 밀도가 가장 낮은 소(loose)에서 5.06%로 가장 높으며, 다음으로 중(moderate)에서 2.17%로 나타났다. 주로 임상의 밀도가 낮은 지역에서 토지피복 변화가 일어날 확률이 높은 것으로 나타났는데, 이는 안면도 지역

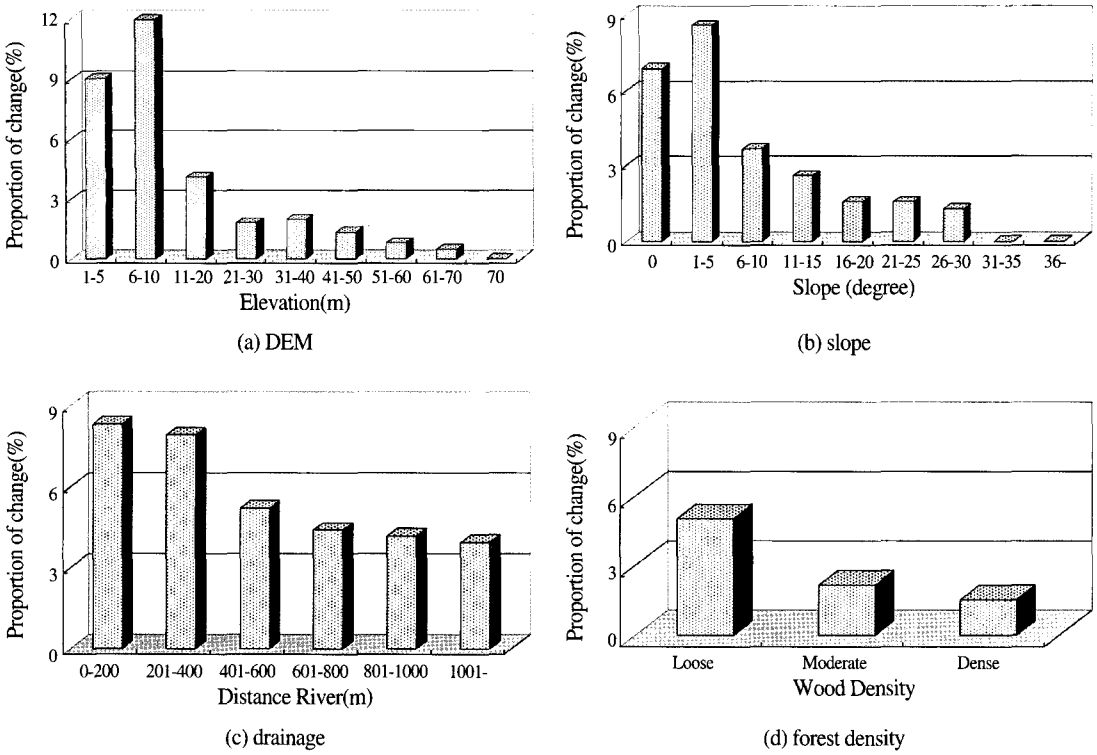


Fig. 4. Analysis of land cover change with respect to natural factors.

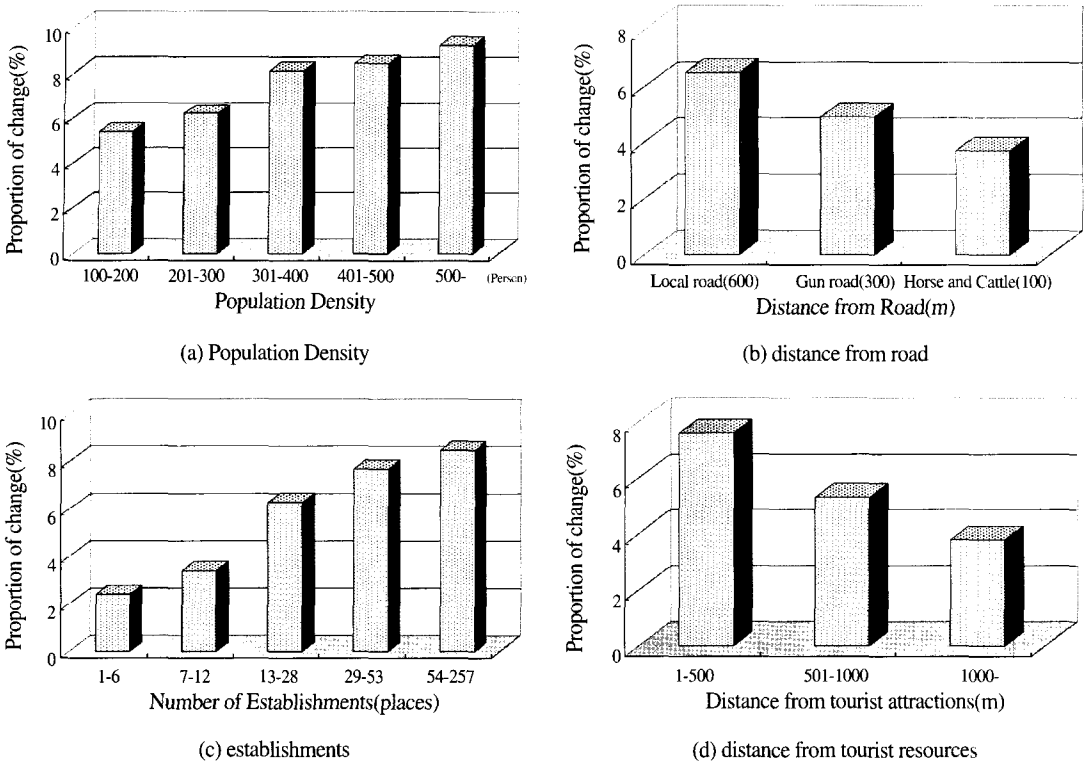
의 산림경관이 미성림지를 중심으로 훼손이 심각하게 일어나고 있음을 의미한다.

(2) 인문 · 사회인자

인구는 인위적인 토지피복 변화의 중요한 인자로서 인간의 생산활동의 변화에 따라 토지피복도 변화한다. 이러한 토지피복의 다양한 변화를 이해하기 위해서는 그 지역의 정확한 인구현황을 분석하여야 한다. Fig. 5(a)는 인구밀도와 토지피복 변화 영역과의 관계는 나타낸 것이다. 그 결과 500명 이상이 가장 높은 토지피복 변화가 일어났는데, 그 비율은 9.2% 정도이다. 다음으로 400~500명 사이가 8.4%, 300~400명 사이가 8.1%로 나타났다. 따라서 인구밀도가 높은 지역일수록 토지피복 변화가 일어날 확률이 높다고 볼 수 있다.

도로망은 인공구조물에 포함되며, 인위적 토지피복 변화의 중요인자로 나타난다. Fig. 5(b)는 도로망과 토지피복 변화 영역과의 관계를 나타낸 것이다. 그 결과 지방도에서 6.5%로 가장 높은 토지피복 변화가 일어났으며, 다음으로 군도가 4.9%, 우마차로가 3.7%로 나타났다. 따라서 안면도 지역과 같이 교통이 불편한 지역에서는 중심도로에서 멀어질수록 토지피복 변화가 일어날 확률이 낮다.

특정지역의 인공구조물 및 관광지 개발에 따른 지표 환경 변화를 분석하기 위해서는 그 지역의 사업체 현황 및 업종별 특징 등을 살펴보아야 한다. Fig. 5(c)는 총사업체 수와 토지피복 변화 영역과의 관계를 나타낸 것이다. 그 결과 총사업체 수가 가장 많은 곳일수록 토지피복 변화가 일어날 확률이 높음을 알 수 있다. 따라서 이러한 사업체 현황 관련 주제도들도 토지피복 변화의 중요인자로 활용될 수 있을 것으로 생각된다. 특정 관광자원 분포 지역은 관광지 개발에 따라 다양한 지표 환경 변화가 일어날것으로 판단된다. 특히 안면도와 같이 자연관광자원이 풍부한 지역에서는 이를



(a) Population Density

(b) distance from road

(c) establishments

(d) distance from tourist resources

Fig. 5. Analysis of land cover change with respect to human and society Factors.

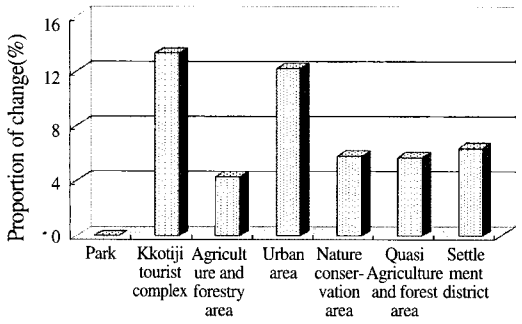
개발하려고 다양한 사업들이 진행되어 이에 따른 토지피복 변화가 지속적으로 일어날 것이다. Fig. 5(d)는 관광자원 분포도와 토지피복 변화 영역과의 관계를 나타낸 것이다. 그 결과 관광지로부터 거리가 가까울수록 토지피복 변화가 일어날 확률이 높음을 알 수 있다. 따라서 이러한 관광자원 분포도는 토지피복 변화의 중요인자로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

(3) 법제관련 인자

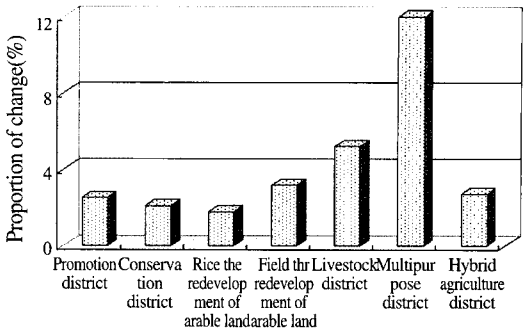
국토이용 계획도는 토지의 효율적 관리 및 향후 지표경관 변화의 중요한 인자이다. Fig. 6(a)는 국토이용계획 분포도와 토지피복 변화 영역과의 관계를 나타낸 것이다. 그 결과 공원 및 자연환경 보존지역, 농림지역 등은 비교적 변화확률이 낮은 반면, 꽃지관광단지 및 도시지역은 12% 이상의 토지피복 변화가 일어날 확률이 있음을 보여주고 있다. 따라서 이러한 국토이용계획 분석도는 토지피복 변화의 중요인자로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

농지이용 계획도는 국토이용계획도와 더불어 토지의 효율적 관리 및 지표경관 변화의 중요한 인자이다. Fig. 6(b)는 농지이용계획 분포도와 토지피복 변화 영역과의 관계를 나타낸 것이다. 그 결과 다목적 구역이 12.0%로 토지피복 변화가 일어날 확률이 가장 높음을 보여주고 있다. 이밖에도 축산구역이 5.2%로 비교적 높은 비율로 나타나는데, 이는 축산산업의 쇠퇴에 따른 토지이용변화가 일어날 수 있다는 것을 의미한다. 낮은 변화 영역으로는 답경지 정리(1.8%), 보호구역(2.1%) 등으로 나타났다. 따라서 이러한 농지이용계획은 농지와 관련된 토지이용 변화 연구 시 매우 중요한 인자로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

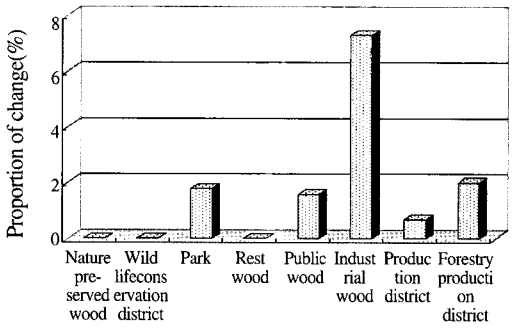
산림이용 계획도는 산지에서의 토지피복 변화 연구 시 중요한 인자이다. Fig. 6(c)는 산림이용계



(a) national land use planning



(b) farmland use planning



(c) forest use planning

Fig. 6. Analysis of land cover change with respect to legal factors.

획 분포도와 토지피복 변화 영역과의 관계를 나타낸 것이다. 그 결과 법적으로 규제되는 보존임지 지역인 천연보호림, 조수보호구역, 공원, 휴양림 등은 전혀 변화가 없거나 1%미만에 불과하다. 다만 토지피복 변화가 일어날 가능성이 있는 비지정 지역인 산업용지와 임업생산용지 등이 각각 7.3%, 2.0% 등으로 나타났다. 따라서 이러한 산림이용계획은 산림과 관련된 토지이용 변화 연구에 활용될 수 있다.

4. 안면도 지역의 토지피복 변화 예측

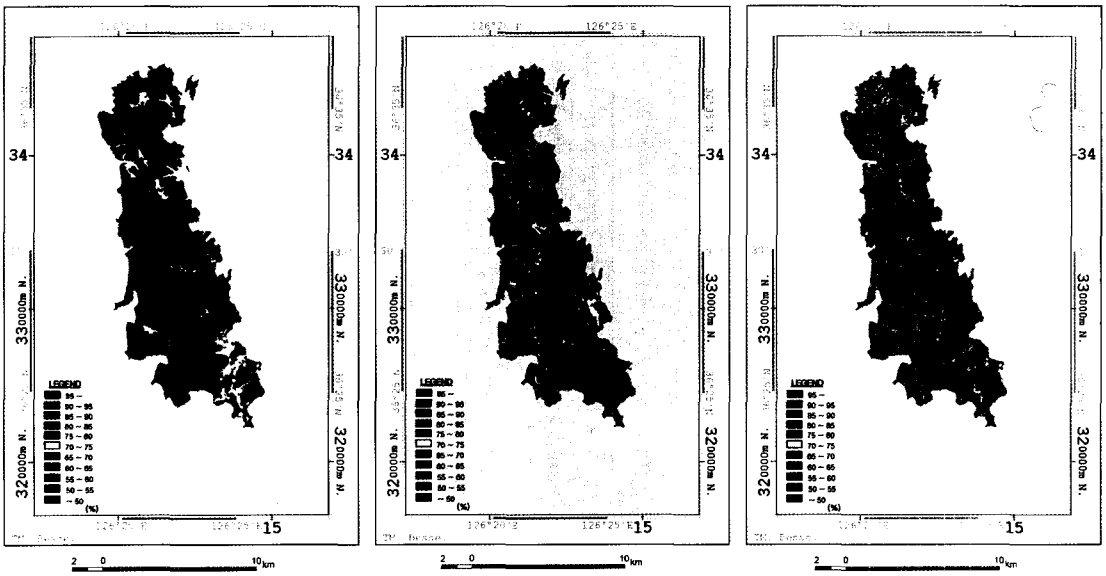
1) GIS를 이용한 자료통합 및 토지피복 변화 분석

본 연구에서는 총 11개의 자연 및 인문·사회 주제도를 작성하여 토지피복 변화를 예측하였다. 통합에 사용된 방법은 퍼지논리연산이며, 퍼지 귀속함수는 토지피복 변화 영역과 주제도와의 관계 분석에서 얻은 자연, 인문·사회, 법제 등의 각각의 확률 값을 이용하였다. 즉 영역별 주제도에서 가장 낮은 값과 가장 높은 값의 비율을 0과 1사이로 백분율한 후 전체 변화면적에서 차지하는 비율로 환산하였다. 이렇게 만들어진 퍼지 귀속함수는 퍼지연산을 이용하여 통합할 수 있으며, 공간적으로 동일한 지역의 특징을 나타내는 각각의 주제도상의 퍼지 귀속함수들을 통합하는 것이다.

Table 3은 각 주제도별 공간통합에 사용된 클래스와 퍼지 귀속함수를 나타낸 것이다. 자연환경에서는 표고분포도가 가장 높은 퍼지 귀속함수 값이 나타나며, 임상밀도도가 가장 낮다. 사회경제 주제도에서는 전체적으로 높은 퍼지 귀속함수 값을 나타내는데, 그 중에서도 인구밀도도가 가장 높다. 법제에서는 국토이용계획도가 가장 높은 값이 나

Table 3. Fuzzy membership values assigned to each class in thematic map.

Type / Class	natural environment				human · society environment				planning		
	contour	slope	drainage	forest dense	road	population dense	establish-ment	tourism resources	national land use planning	forest use planning	farmland use planning
1	0.819	0.688	0.439	0.735	0.224	0.322	0.240	0.768	0.002	0.001	0.256
2	0.905	0.859	0.830	0.506	0.371	0.542	0.344	0.553	0.931	0.001	0.214
3	0.411	0.368	0.791	0.217	0.491	0.623	0.631	0.386	0.135	0.182	0.183
4	0.280	0.259	0.518	0.033	0.651	0.810	0.773		0.824	0.003	0.325
5	0.199	0.159	0.417			0.848	0.853		0.288	0.164	0.525
6	0.135	0.157	0.392						0.176	0.734	0.968
7	0.079	0.128							0.340	0.007	0.272
8	0.049	0.002								0.214	
9	0.001	0.001									



(a) Fuzzy minimum operator (b) Fuzzy maximum operator (c) Fuzzy algebraic operator

Fig. 7. Prediction maps based on various fuzzy operators.

타난다.

Fig. 7은 퍼지논리연산의 결과이다. 여기서는 상위 5%별로 재분류하여 변화 영역을 분석하였다. 그 결과 기존의 토지피복 변화가 일어난 지역과 비교하여 보면 대부분의 퍼지논리연산을 통한 예측도와 양상이 부합되고 있음을 알 수 있다.

먼저 Fig. 7(a)의 fuzzy minimum operation을 이용한 변화영역을 보면 주로 서쪽 해안지역에서 변화 가능성이 높게 나타남을 알 수 있다. 반면에 동쪽 해안에서는 변화 가능성이 낮게 나타났으며, 일부 내륙의 초지를 중심으로 높은 토지피복 변화 가능성이 나타난다. Fig. 7(b)는 fuzzy maximum operation을 이용하여 변화 영역을 분석하였다. 서쪽해안에서는 해수욕장을 중심으로 토지피복 변화가 일어날 가능성이 높으며, 특히 동쪽 중앙의 꽃지해수욕장 중심으로 토지피복 변화가 심하게 일어날 것으로 분석된다. 이밖에 동쪽해안에서는 대규모 염전지역을 중심으로 높은 변화 가능성을

보였다. 이밖에 Fig. 7(c)는 fuzzy algebraic sum operation을 이용하여 변화 영역을 추출한 결과인데, 대부분의 변화지역이 fuzzy minimum operation 결과와 비슷한 분포패턴을 나타낸다. 다만 일부 남쪽 해안지대를 따라 국지적인 토지피복 변화가 분석된다.

이상의 결과를 종합적으로 고찰해보면, 안면도 지역에서 대규모 토지피복 변화가 일어날 가능성이 높은 지역들은 해안과 가까운 평지에 위치한 14개 지역에 집중적으로 분포해 있다. 서쪽 해안에서는 백사장, 삼봉, 꽃지, 병술만, 열목, 섬옷섬, 영목항 등이며, 동쪽에서는 황도, 삼부염전, 창기리, 두산목장, 야쿠르트목장, 장곰주변이다. 이밖에 내륙에서는 안면읍, 승언저수지, 고남초등학교 주변 지역들이다. 이들 변화율이 높은 지역들은 경사도 5%이하, 표고 15m 이하의 구릉성 평탄지로 구성되어 있으며, 대부분이 해양과 인접해 있어 대규모 개발에 따른 연안환경 악화의 위험성이 높다. 그 중에서도 안면읍 지역은 도시계획구역으로 현재 자연녹지지역으로 개발이 어렵지만 시가지를 중심으로 시가지 확대 및 재개발이 이루어지고 있어서 변화 가능성이 높게 나타나는 것으로 생각된다. 또한 백사장·꽃지해수욕장에 이르는 지역에서는 관광지 개발에 따른 대규모 공사로 토지피복 변화가 심하게 일어날 것으로 분석된다.

2) 지표피복 변화 기법의 정확도 평가

본 연구에서는 변화영역 추출의 정확도 산출을 위해 변화영역과 변화되지 않은 영역의 구분이 명확한 몇 개의 화소를 2000년도 위성영상에서 작성된 토지피복도와 비교하였다. 특히 추출된 변화영역 결과 중 상위 10% 지역을 변화지역으로 구분하여 정확도를 평가하였다. 먼저 분류오차 행렬을 이용하여 정확도 검증을 하였는데, 검증자료 표본 추출시 무작위 추출을 하여 사용자의 주관을 배제하였다.

Table 4는 사용자 정확도 및 각 클래스별 생산자 정확도와 전체 정확도를 계산한 표이다. 전체 정확도를 살펴보면 fuzzy maximum prediction map이 93.77%로 매우 정확함을 알 수 있으며, fuzzy algebraic sum prediction map은 79.38% 그리고 fuzzy minimum prediction map은 73.89%로 가장 낮은 정확도를 보이고 있다. 특히 대부분의 fuzzy prediction map에서 변화된 지역에서 낮은 정확도를 보이는데, 이것은 위성영상을 통합한 토지피복 변화 추출과는 정 반대되는 결과이다(장동호,

Table 4. Error matrices and accuracy assessment results of prediction images.

Error Matrix				Accuracy(%)			
fuzzy min	reference data		total		change	no-change	average
	change	no-change					
change	180	84	264	producer's	66.18	79.10	72.64
no-change	92	318	410	user's	68.18	77.56	72.87
total	272	402	674	overall	73.89		
fuzzy max	reference data		total		change	no-change	average
	change	no-change					
change	221	17	238	producer's	89.84	96.03	92.94
no-change	25	411	436	user's	92.86	94.27	93.57
total	246	428	674	overall	91.80		
fuzzy algebraic sum	reference data		total		change	no-change	average
	change	no-change					
change	197	64	261	producer's	72.43	84.08	78.26
no-change	75	338	413	user's	75.48	81.84	78.66
total	272	402	674	overall	79.38		

2002). 그러나 사용자 및 생산자 정확도는 전체적으로 비슷한 비율로 신뢰성을 보여주며, 특히 fuzzy maximum prediction map은 90% 이상의 비교적 높은 값을 나타냈다.

5. 토의 및 결론

본 연구에서는 안면도를 사례로 하여 원격탐사와 GIS 기법을 이용한 토지피복 변화를 고찰하였다. 특히 토지피복 변화에 영향을 주는 자연, 인문·사회 및 법제에 관한 주제도를 하나의 영상으로 통합하기 위해서 퍼지논리연산 기법을 사용하였다.

주제도 분석결과, 지형은 6~10m 사이에서 가장 높은 변화율(12.08%)을 보이고, 경사도는 1~5° 사이에서 높은 변화율(8.59%)이 나타났다. 수계로부터의 거리와 토지피복 변화 영역과의 관계는 수계와 가장 가까운 구간인 0~200m 구간이 가장 높으며(8.3%), 임상밀도와 토지피복 변화 영역과의 관계는 소에서 가장 높다(5.06%).

인구밀도는 500명 이상이 가장 높은 토지피복 변화가 일어났는데(9.2%), 인구밀도가 높은 지역일수록 토지피복 변화가 일어날 가능성이 높다고 볼 수 있다. 도로망은 지방도(6.5%)가 가장 높은 토지피복 변화가 일어났으며, 사업체 현황에서는 총사업체수가 가장 많은 곳일수록 토지피복 변화가 일어날 가능성이 높음을 알 수 있다. 관광자원은 관광지로부터 거리가 가까울수록 토지피복 변화가 일어날 가능성이 높다.

국토이용 계획에서는 꽃지관광단지 및 도시지역이 10% 이상의 토지피복 변화가 일어날 가능성이 있으며, 농지이용 계획도에서는 다목적 구역(12.0%)이 변화가 일어날 가능성이 가장 높았다. 산림이용 계획도에서는 비지정지역인 산업용지(7.3%)가 가장 높은 변화 가능성이 나타났다.

안면도 지역에서 대규모 토지피복 변화가 일어날 가능성이 높은 지역들은 해안과 해안에서 가까운 평지에 위치한 지역들이다. 특히 해안에 인접해 있는 경사도 5%이하, 표고 15m 이하의 구릉성 평탄지가 변화가 클 지형으로 예측되었는데 이 지역은 현재 대규모 관광지 개발이 진행 중인 지역이다.

퍼지논리연산은 자연 및 인문·사회 주제도를 통합한 토지피복 변화분석에 비교적 정확한 분석을 할 수 있다. 추후 육상영역의 토지피복 변화분석에서는 각 토지피복 분류 항목별 변화분석도 가능할 것이며, 토지피복 클래스별 주제도를 함께 사용한다면 위성영상의 변화탐지에서 나타나지 않는 변화지역도 추출할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 최근 개발 사업이 진행되고 자연환경의 변화에 따라 토지피복 변화가 일어날 지역에서는 토지피복 변화 예측에 퍼지논리연산 방법이 적절하다고 판단되었다. 그러나 본 연구의 결과를 모든 일반적인 사례에 적용하기에는 아직 문제점을 내포하고 있다. 보다 바람직한 토지피복 변화에 대한 연구와 변화예측 모델을 구축하기 위해서는 각 지역의 환경적 특성을 고려한 알고리즘의 개발이 절실하게 요청된다. 그리고 이러한 연구를 위해서는 보다 다양한 특성을 갖는 지역에서 지속적인 연구와 그에 대한 평가가 필요하다.

참고문헌

국토개발연구원, 1998. 토지이용 계획을 위한 GIS 활용방안 연구.

김 천, 1996. Fuyo-1 OPS 자료를 이용한 낙동강 하류지역의 환경계측 시고, 대한원격탐사학회지, 12(2): 169-198.

박원규, 이홍규, 1997. 훈련 데이터로부터 자동 생성된 퍼지멤버함수와 규칙을 이용한 위성영상 분류, 대한원격탐사학회지, 13(3): 231-249.

양인태, 김홍규, 신계종, 1999. 퍼지집합이론을 이용한 Landsat TM 영상의 감독분류 정확도 향상, 대한토목학회논문집, 19(3): 445-455.

이기원, 박성미, 지광훈, 1996. Landsat자료를 이용

한 도시환경 변화추출에서의 주성분분석과 퍼지집합연산의 응용, 대한원격탐사학회지, 12(3): 257-270.

장동호, 2002. 지표환경변화 평가 개선을 위한 원격탐사와 GIS 기법 연구- 안면도와 천수만 지역을 중심으로-, 건국대학교 박사학위논문.

조명희, 1995. 원격탐사자료와 GIS를 이용한 라오스 남칸유역분지의 토지이용평가 및 미작적지 분석, 대한원격탐사학회지, 11(1): 1-17.

Bonham-Carter, G. F., 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*, Pergamon.

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.

Choi, S. W., W. I. Moon and S. G. Choi, 2000. Fuzzy logic fusion of mo exploration data from seobyeong-ri Korea, *Geosciences Journal*, 4(2): 43-52.

Foody, G. M., N. A. Campbell, N. M. Trodd and T. F. Wood, 1992. Derivation and applications of probabilistic measures of class membership from the maximum-likelihood classification, *Photo. Eng. and Remote Sensing*, 58(9): 1335-1341.

Franklin, S. E. and B. A. Wilson, 1992. A three-stage classifier for remote sensing of mountain environment, *Photo. Eng. and Remote Sensing*, 58(4): 449-454.

Gong, P. and P. J. Howarth, 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.

Howarth, P. J. and E. Boasson, 1983. Landsat digital enhancement for change detection in urban environment, *Remote Sensing of Environment*, 13: 149-160.

Janssen, L. L. F., M. N. Jaarsma and E. T. M. van der Linden, 1990. Integration topographic data with remote sensing for land-cover classification, *Photo. Eng. and Remote Sensing*, 56(11): 1503-1506.

Pain, C. F, 1985. Mapping of landforms from Landsat imagery: an example from eastern new south wales, Australia, *Remote Sensing of environment*, 17(1): 35-46.

Ross, S. L. and D. E. Christopher, 1998. *Remote sensing change detection-environmental monitoring methods and applications*, Ann Arbor Press.

Solaiman, B., L. E. Pierce and F. T. Ulaby, 1999. Multisensor data fusion using fuzzy concepts: application to land-cover classification using ERS-1/JERS-1 SAR composites, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, 37(3): 1316 - 1326

Stringer, W. J., J. E. Groves and C. Olmsted, 1988. Landsat determined geographic change, *Photo. Eng. and Remote Sensing*, 54(3): 347-351.

Toll, D. L., 1984. An evaluation of simulated thematic mapper data and Landsat MSS data for discriminating suburban and regional use and land cover, *Photo. Eng. and Remote Sensing*, 54(3): 347-351.

Van Deusen, P. C., 1995. Modified Highest Confidence First Classification, *Photo. Eng. and Remote Sensing*, 61(4): 419-425.

Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8: 338-353.

Zimmermann, H. J., 1996. *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Third Edition, Kluwer Academic Publisher.