

퍼지논리연산을 이용한 안면도 지표환경 변화 예측

장동호* · 지광훈** · 이현영***

Prediction of the Land-surface Environment Changes in the Anmyeon-do Using Fuzzy Logic Operation

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

요약 : 지역개발의 결과인 지표환경의 변화를 예측하는 일은 지속 가능한 환경을 보전하기 위한 수단으로서 대단히 중요하다. 본 연구에서는 다중분광영상 자료를 이용한 퍼지논리연산을 통하여 안면도의 최근 20년(1981~2000) 간의 지표경관 변화를 예측하고 실제 변화된 내용과 비교 검토하였다. 안면도에 대한 문헌, 지도 및 현지 답사한 결과에 의하면, 1980년대 이전에 주로 해안간척과 황무지개간, 초지 조성 등으로 토지이용 형태가 변화되어 왔다. 그러나 1980년대 중반 이후부터는 해수욕장 주변과 준농림지역을 중심으로 민박시설과 점포 등이 무질서하게 들어섰으며, 1990년대에는 관광지 개발 및 도시지역의 확장으로 농경지는 증가하였으나 해안지역과 취약 지역의 산림이 심각하게 훼손되었다. 퍼지논리연산을 이용하여 지표환경 변화를 통합하여 예측한 결과와 2000년 위성영상에서 얻은 안면도의 지표환경은 비교적 정확하게 일치하였다. 안면도 지역에서 대규모 토지피복 변화가 일어날 가능성이 높은 지역들은 해안과 가까운 평지에 위치한 지역으로 예측되었는데 실제로 이 지역은 현재 대규모 개발이 진행 중이어서 연안환경 악화의 우려를 자아내고 있다. 따라서 본 방법은 향후 지표환경 변화 연구를 위한 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 원격탐사, GIS, 환경변화, 퍼지논리, 변화추출, 안면도

Abstract : It is very important to predict the environmental changes in the land-surface as a way of prevention of sustainable nature. This study investigated the difference between the predicted and actual data of *Anmyeon-do* from 1981 to 2000 through a fuzzy logic operation using multi-spectral image. According to literature survey, maps, and ground truth data, the types of land-use have changed due primarily to shore reclamation or wild land and grassland fostering before the eighties. After the mid-eighties, however, a number of private residents and commercial stores quickly have spreaded throughout beach resorts and quasi-agricultural and forest areas. Moreover, shore and community regions were severely damaged in the nineties with increased farmland, due to the development of tour places and expansion of city area. The predicted result of the environmental changes in the land-surface using the fuzzy logic operation was almost similar to the state of *Anmyeon-do* obtained through the satellite image. Particularly, the flat lands near the shore was predicted to change slightly. This area is largely under development, thereby raising concerns on the shore environment. Thus, this method is applicable to conducting research on the change in the land-surface.

Key Words : remote sensing, GIS, environment changes, fuzzy logic, change detection, *Anmyeon-do*.

1. 서론

지표환경은 자연재해 또는 생태계의 상호작용

등 자연적인 요인과 인간 활동에 의해 끊임없이 변화하고 있다. 인간은 환경의 변인 제공자인 동시에 그 환경 속에서 적응하여 살아야만 하므로 삶의 터전인 지표환경을 잘 이해하고 분석하는 것

* 한국지질자원연구원, Post-Doc(Post-Doc., Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources)

** 한국지질자원연구원, 책임연구원(Senior Research, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources)

*** 건국대학교 지리학과 교수(Professor, Department of Geography, Konkuk University)

이 대단히 중요하다. 따라서 지표공간을 토대로 한 새로운 환경 조성을 이해하는데 있어서 지표환경에 대한 정보를 수집·관리·분석하여 현재의 자연적, 인공적 환경을 정확히 기술하고 과거로부터 변화 추이를 알아내는 것이 필요하다. 또한 각종 환경 및 국토 개발 계획 등 정책 수립과 수행이 성공적으로 이루어지기 위해서는 방대한 정보를 수집하고 처리, 분석이 필요하다. 특히 사회구조가 복잡하고 제반 여건의 변화가 심한 상황에서는 많은 자료와 정보가 뒷받침되어야만 정확한 지표환경 변화를 이해하고 바람직한 정책을 수립하고 수행할 수 있다. 그리고 현대사회는 인구증가와 산업화에 따른 자원의 고갈, 생태계 파괴 등 많은 문제에 직면하고 있어서 이에 대한 연구가 시급하다.

오늘날 지역개발 계획에 있어서 지표환경 변화 문제는 가장 중요한 인자이다. 지표환경의 현황을 파악하고 미래의 지표환경 변화를 예측하는 것은 토지이용 계획 수립의 핵심이라고 할 수 있으며, 지표환경 변화는 여러 가지 제 현상들이 복합적으로 연계되어 나타난다. 따라서 이러한 제 현상을 보다 바르게 이해하기 위해서는 정확한 토지피복 현황을 파악해야 한다. 그러나 현재로서는 토지이용 실태를 반영하는 정확한 자료를 취득하는 일이 용이하지 않다. 지표경관 변화 분석은 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 못하는 문제점을 안고 있다(국토개발연구원, 1998). 반면에 원격탐사의 장점인 광역성, 동시성, 주기성, 경제성 등을 이용하고, GIS의 대용량 자료처리 및 공간분석의 장점을 이용하여 지표환경 변화를 연구한다면 의사결정 보조자료로서 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

따라서 원격탐사 자료나 GIS 공간분석 기법 등을 이용하면, 이러한 지표환경 변화에 관한 정보를 쉽게 획득할 수 있다. 또한 위성자료를 이용한 토지피복도의 작성은 넓은 지역의 지표 대상물에

대한 각종 정보를 동시에 수집할 수 있고, 주기적인 관찰을 통하여 지표환경 변화정보를 획득할 수 있다.

위성 자료를 이용한 지표환경 분석은 지형의 분류나 변화 분석(Pain, 1985; Stringer *et al.*, 1988), 토지 피복 분류 및 변화 탐지(Singh 1989; Jensen, 1998), 도시 환경 연구(Toll, 1984; Howarth and Boasson, 1983)에 초점을 두고 있다. 지표 피복에서는 피복도 및 토지이용 뿐 아니라 알고리즘 개발(Foody *et al.*, 1992; Van Deusen, 1995)과 정확도 개선을 위한 연구(Gong and Howarth, 1990; Janssen *et al.*, 1990; Franklin and Wilson, 1992)가 병행되고 있으며, 변화탐지에서도 정확도 검증을 수행하여 그 결과에 대한 신뢰성을 제시하고 있다(Jensen *et al.*, 1993; Schriever and Congalton, 1995). 우리나라에서는 지표토지피복 변화 분석(조명희, 1995; 양인태 외, 1999), 지표 피복도의 분류 정확도 검증(Chen, 1997; 김천, 1996) 등이 있으며, 지표 피복도의 결과에 대해 서로 상이한 알고리즘으로 분류 결과를 비교한 연구도 수행된 바 있다(박원규 외, 1997; 이기원 외, 1996). 그러나 기준 알고리즘의 정확도에 대한 검증이 선행되지 않은 관계로 정확도를 향상시킨 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해 어느 정도 정량적으로 향상이 됐는지 판단할 수가 없는 한계가 있다. 또한 지표환경 변화 연구들은 통계적 유의미성을 갖는 예측(prediction)이기 보다는 지표환경변화 지역만을 분석하였다(Ross and Christopher, 1998).

본 연구에서는 연안지역 개발에 따른 지표경관 변화 정도를 다중시기 다중분광밴드 위성자료를 사용하여 추출하고, 안면도 연안지역 토지피복의 변화형태를 예측하기 위하여 GIS 공간통합 분석기법인 퍼지논리연산(fuzzy logic operation) 기법을 사용하였다. 퍼지논리연산은 주로 산사태 예측(Chung and Fabbri, 1999) 및 광물자원 탐사(Lee and Chi, 1995) 등에 활용되는 공간예측 기법으로, 작성된 예측도들은 시간과 공간에 대해서 적용될 수 있다(Chung and Fabbri, 2001). 따라서 본 연구에서는 연구지역의 지표환경 변화에 대한 예측결과와 현장자료의 비교·검증을 통하여 시간적·공간적 적용가능성을 확인하고자 하였다.

2. 연구지역과 자료 및 연구방법

1) 연구지역과 자료

일찍부터 간척사업이 진행되었던 연구지역인 안면도는 1983~1985년 사이에 완료된 서산 A·B지구 간척사업 등으로 해안선 및 연안지역의 환경이 빠르게 변화하고 있다. 행정구역으로는 홍성군 서부면·갈산면, 서산시 부석면, 태안군 남면·안면읍, 고남면을 포함하고, 동경 126°16'04"에서 126°29'01", 북위 36°20'43"에서 36° 37'30" 범위에 위치하고 있다(Fig. 1).

안면도는 동서가 좁고 남북이 긴 섬으로, 섬의 서쪽 연안은 해안국립공원으로서 백사장 삼봉 안면 갯개 방포 꽃지 바람아래 등 다수의 해수욕장이 산재한다. 반면 섬의 동쪽에는 수심 25m 이내의 천혜성 내만인 천수만이 위치하며, 썰물 때 넓은 갯벌이 형성된다. 특히 본 섬은 최근 간척사업 및 관광지 개발로 인한 연안환경의 변화가 심하게 일어나고 있다.

본 연구에서는 Landsat TM(Thematic Mapper) 자료를 근간으로 사용하였으며, TM 자료를 구할

Table 1. Remotely sensed imageries used.

Acquisition Date	Platform	Sensor	Acquisition Time	tidal height(cm)
1981. 09. 5.	Landsat-2	MSS	10 : 29	336
1986. 04.15.	Landsat-5	TM	10 : 36	386
1992. 06. 2.	Landsat-5	TM	10 : 34	58
1996. 09. 1.	Landsat-5	TM	10 : 31	236
2000. 03.20.	Landsat-7	ETM+	10 : 30	30

수 없는 경우에는 Landsat MSS(Multispectral Scanner)와 ETM+(Enhanced Thematic Mapper-Plus)으로 보완하였다. 사용된 영상은 1981년 9월 5일부터 2000년 3월20일 까지 서로 다른 시기의 5개 영상이다(Table 1).

2) 연구방법

지표환경 변화는 다음과 같은 연구방법에 의해 수행하였다(Fig. 2). 우선 각 시기별 토지피복도는 최대 우도법 (MLC: maximum likelihood classification)을 사용하여 작성하였다. 작성된 토지 피복도로부터 선분류 후비교법(post-classification

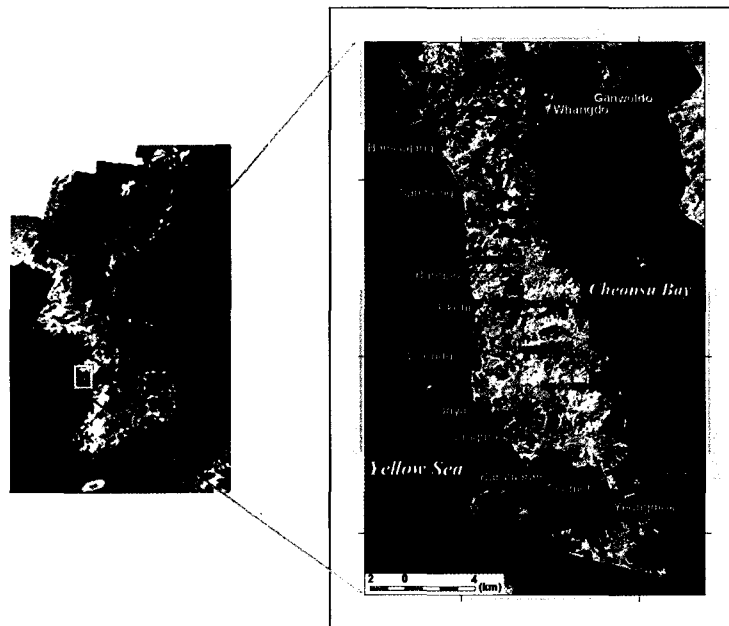


Fig. 1. False color composite image of Landsat TM band 5/4/3 acquired on 1 September 1996 in the study area.

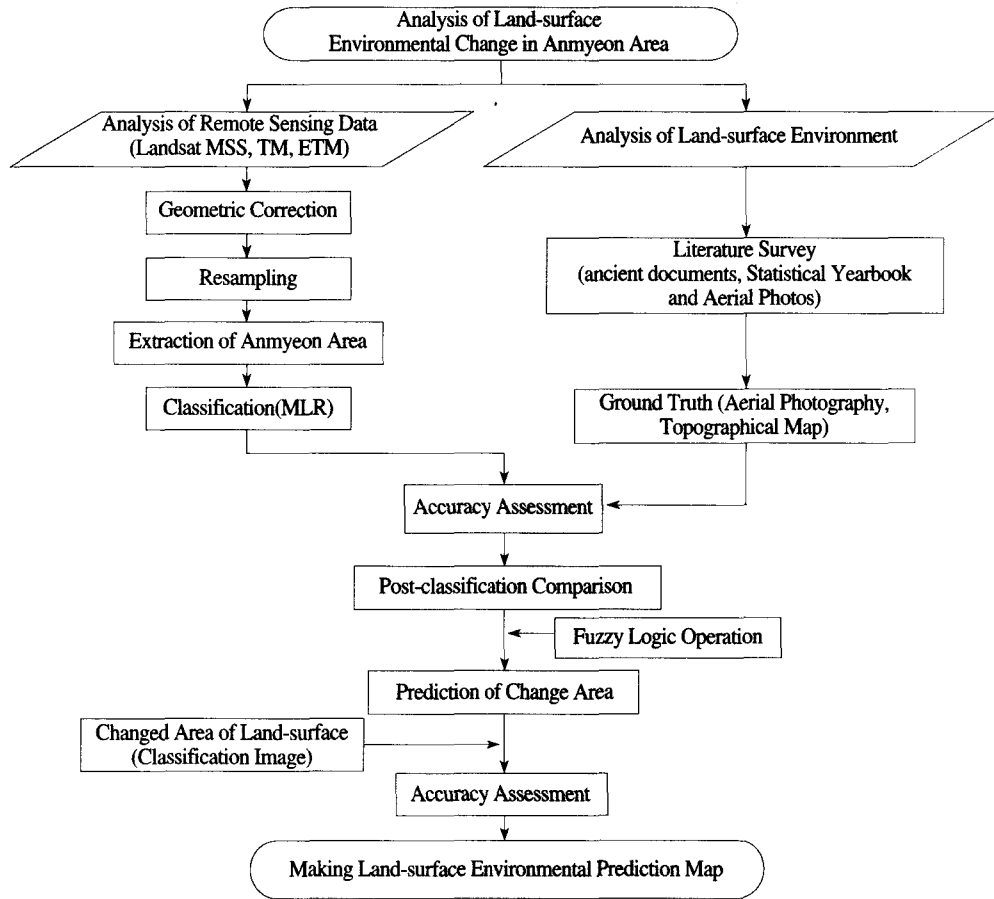


Fig. 2. Flow chart of the study.

comparison)을 이용하여 변화 정보를 추출한 후 퍼지논리연산(fuzzy logic operation)을 적용하여 다중시기 정보들을 통합하였다. 통합된 자료를 2000년도 위성영상에서 획득된 토지피복도와 비교·검증을 수행함으로써 정확도를 평가하였다.

위성영상 자료의 기하학적보정에는 1:25,000 지형도를 사용하였으며, 2000년 3월 20일 영상과 영상대 지도 방법으로 정합시켰다. 이밖에 Landsat MSS 및 TM 영상은 ETM+영상에 영상대 영상 정합을 수행하였다. 각 Landsat 영상의 시료치(RMS error)는 0.5 화소 이하이며, 재배열(resampling) 방법으로는 최근린법(nearest neighborhood)을 적용하였다.

지표환경 변화 분석을 위한 변화탐지 방법으로는 영상의 토지피복 분류, 다중시기 영상분류, 차연산, 주성분분석, 변화벡터분석 등이 사용되는데

(Singh 1989; Jensen, 1998), 본 연구에서는 가장 보편적인 방법으로서 활용되고 있는 차연산 기법을 사용하였다. 그러나 연구지역은 해양과 간석지가 많은 부분을 차지하고 있어서 위성자료의 DN 값에 의한 차연산분석 만으로는 정확도가 떨어졌다. 차연산 분석은 변화 발생에 대한 정보만을 제공하므로 변화 발생 지역의 실제 토지 피복 변화를 분석하기 위하여 선분류 후비교법을 수행하였다.

선분류 후비교법을 이용하여 서로 다른 시기의 영상에서 토지피복을 분류하고, 분류된 영상을 가지고 분류항목끼리 비교하여 변화양상과 변화면적 등을 분석하였다. 여기에서 생성된 영상은 토지 피복 유형 가운데 사라진 부분과 생성된 부분의 변화한 화소와 변화하지 않은 화소로 생성되므로 토지피복의 변화를 정량적으로 파악할 수 있다. 따라

서 변화된 화소의 경우 특정 토지 피복 유형에서 다른 특정 토지 피복 유형으로 변화된 정보를 얻을 수 있다. 그러나 선분류 후비교법은 차연산과는 달리 사용되는 영상의 획득 시기에 크게 좌우되지 않는 장점이 있으나, 분류정확도가 높지 않을 경우 변화탐지의 신뢰도가 떨어질 수 있는 위험이 있으므로 최대한 분류정확도를 향상시킨 후 변화탐지를 수행하였다.

본 연구에서는 이들 분류된 영상들을 통합할 수 있는 기술로써 GIS 공간통합 기법을 사용하였다. 일반적으로 GIS 기반 공간자료의 통합은 1980년대부터 많은 연구가 진행되어 왔는데, 주로 지질학적 응용으로 산사태 예측이나 광물부존가능 지역 예측을 위해 Bayesian model(Rostirolla *et al.*, 1998), Certainty factor model(Chi *et al.*, 1997), Weight of evidence model(Bonham-Carter *et al.*, 1988), Logistic regression model(Carrara *et al.*, 1995), Fuzzy model(Wright and Bonham-Carter, 1996) 등이 주로 사용되었다. 이중 퍼지 모델은 1965년에 Zadeh에 의해 소개되었으며, 명확하게 정의된 경계를 갖지 않는 집합을 도입한 이론으로 기존의 확률 및 통계적 배경에 크게 구애받지 않는 장점이 있다. 특히 지리학에서 다루는 공간정보 자료들은 부정확하고 불확실한 정보를 포함하고 있기 때문에, 퍼지 이론은 이러한 공간상의 불확실성을 해결 할 수 있는 하나의 대안으로서 사용될 수 있다. 원격탐사 분야에서는 무감독분류 방법으로 퍼지 K-Means 방법이 주로 이용되어 왔는데, 다중 센서 자료의 통합 및 변화탐지에 퍼지 이론을 적용한 사례연구는 있으나(Solaiman *et al.*, 1999, 이기원 외, 1996) 다중 시기 변화 영상의 통합을 통한 예측에 아직 까지 적용사례가 없다. 따라서 본 연구에서는 최종적으로 다중시기 변화탐지 영상의 통합을 통한 변화 예측을 분석하기 위해 퍼지논리연산을 사용하였다.

기본적으로 지표환경 변화를 예측하기 위해서는 먼저 지표환경변화의 특징이 각 주제도에 의해 그 속성이 정의될 수 있어야 한다. 또한 미래의 지표환경 변화는 이미 변화된 지표환경변화와 동일한 조건하에서 일어날것이라는 가정이 필요하다. 본 연구에서는 다중시기별 변화 영상을 퍼지 귀속함수(membership function)로 표현한 후, 퍼지논리연

산을 적용하여 변화의 정보들을 하나의 영상으로 통합하였다. 통합된 변화정보는 변화의 퍼지논리에 소속되는 정도를 나타내는 "1"과 "0" 사이의 값을 취하여 변화의 정도를 구분하였다(Wright and Bonham-Carter, 1996). 여기서 선분류 후비교법에 의해 구해진 주제도에서 지표환경변화가 많이 발생한다면, 이 속성의 귀속함수는 1에 가깝게 정의할 수 있으며, 반대의 경우에는 0에 가깝게 정의할 수 있다.

일반적으로 지표환경 변화 통합에 적용 가능한 연산자로는 min 연산자, max 연산자가 대표적인 것으로 알려져 있으며, 이 두 연산자는 각각 논리적으로 AND와 OR의 의미를 갖는다. 실제 계산 과정은 다음과 같다.

$$\mu_{AND}(x) = \text{MIN}\{\mu_1(x), \mu_2(x), \mu_3(x), \dots\} \quad (1)$$

$$\mu_{OR}(x) = \text{MAX}\{\mu_1(x), \mu_2(x), \mu_3(x), \dots\} \quad (2)$$

퍼지 min 연산자는 모든 퍼지 귀속함수가 목적 사건에 관련되었을 때 주로 사용되며, 최소값을 되돌려준다. 반면에 퍼지 max 연산자는 최대값을 제한하고자 할 때 사용되며, 최대값을 돌려준다. 이러한 귀속함수를 통합하기 위한 또 다른 유용한 연산자로는 퍼지 algebraic product, sum 연산자와 r 연산자를 이용하기도 한다(Zimmerman, 1996; Choi *et al.* 2000).

$$\mu_{\text{product}}(x) = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (3)$$

$$\mu_{\text{sum}}(x) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad (4)$$

$$\mu_r(x) = (1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i))^r \times (\prod_{i=1}^n \mu_i)^{1-r} \quad (5)$$

퍼지 algebraic product 연산자는 퍼지 귀속함수들 중 최소값과 같거나 작은 값을 갖는다. 반면 퍼지 algebraic sum 연산자는 최대값과 같거나 큰 값을 갖는다. r 연산자는 0에서 1사이의 매개변수로 그 결과 값은 퍼지 algebraic product 연산자와 퍼지 algebraic sum 연산자의 사이 값을 갖는다. 본 연구에서는 다양한 퍼지 연산자를 적용하여 변화 예측 결과를 비교·분석하였다.

3. 선분류 후비교법을 이용한 안면도 지역의 지표환경 변화

1) 토지피복 분류 및 정확도 평가

연구지역의 토지피복도를 작성하기 위해 식별 가능한 총 12가지(해양, 간석지, 사빈, 저수지, 성립지, 미성립지, 초지, 담, 전, 염전 및 습지, 촌락 및 도로, 나대지) 등급으로 나누어 표본추출을 하였다. 서로 이질적인 분광특성을 가진 화소들은 주어진 매개변수에 따라 유사한 분광특성만을 가진 화소로 자동표본추출 해주는 Region Growing 기법으로 트레이닝 표본을 선정하였다.

트레이닝 작업을 완료한 후 모수적 결정규칙 중 어떤 화소가 어떤 분류항목에 포함될 개연성에 기초한 방법인 최대우도법을 이용하여 토지피복의 감독분류를 행하였다. Fig 3에서 보여주는 바와 같이 1981년부터 2000년 영상의 토지피복은 농경지는 증가하였고 해양과 산림은 크게 감소하였다. 1981년에는 산림(성립지, 미성립지)이 127.17km²로 전체 면적에서 21.35%를 차지하고 있어 해양 다음으로 가장 넓은 면적을 차지하였으나 2000년에는 10%이상 감소한 전체면적의 45.74km²(9.06%)이다.

해양 및 간석지는 조석의 영향으로 그 면적을 정확히 산출하는 것이 쉽지 않다. 동일한 조석 조건을 가진 자료를 중첩 비교하는 것이 이상적이나,

이는 자료의 축적이 충분하지 못한 현재로서는 어려운 일이다. 따라서 본 연구에서는 조위가 비슷한 영상을 비교(1992년, 2000년)하였는데, 그 결과 연구지역은 연안 개발과 간척사업에 따라 간석지의 면적이 크게 축소되었다. 경지(논, 밭) 면적은 간척사업에 따른 농경지 조성 및 일부 산림지역에 소규모 개간이 이루어지면서 토지피복 변화가 일어나 증가하였다. 사빈은 약간 증가하였는데, 이는 조석의 영향에 기인한 것도 있지만 안면도의 해안사구에 피복되어 있는 송림들이 규사채광 및 해안도로 건설 등으로 지표에 노출되었기 때문인 것으로 판단된다. 이밖에 인공구조물 및 나대지의 면적 역시 증가하였다.

분류의 정확도를 검증하기 위해 분류 오차 행렬(error matrix)을 만들었다. 분류 오차는 객관적으로 타당하여야 하는데, 훈련집단(training set)으로 사용한 영역을 그대로 분류 오차표 생성에 사용하면 전체 정확도가 과대 평가되는 경향이 있다. 또한 검증 자료 표본 추출 시 분석가의 주관에 관여해도 정확도가 과장되는 경향이 있어 본 연구에서는 무작위 추출방법을 이용하였다(Congalton, 1991).

최대우도법에 사용한 검증 자료의 화소 수는 각 연도별로 총 519개이다. 2000년의 경우는 해양 95개, 간석지 54개, 사빈 22개, 인공호(저수지) 34개, 성립지 74개, 미성립지 43개, 논 75개, 염전(습지) 25개, 밭 38개, 초지 14개, 인공구조물 24개, 나대지

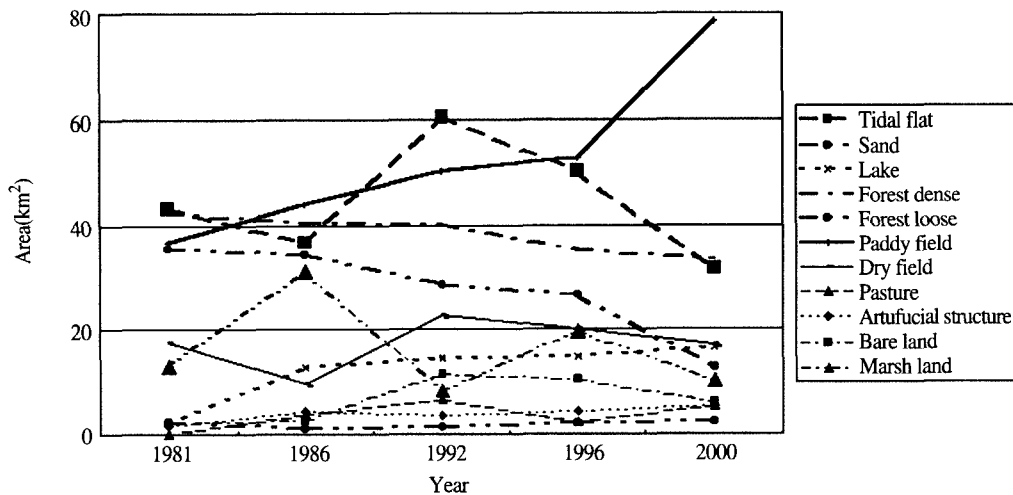


Fig. 3. Area changes of each class(1981~2000).

Table 2. Accuracy assessment.

Class	Year	user's accuracy(%)					producer's accuracy(%)				
		1981	1986	1992	1996	2000	1981	1986	1992	1996	2000
Ocean		94	96	97	98	98	95	92	98	96	98
Tidal flat		84	94	94	95	96	88	92	92	94	98
Sand		65	75	75	83	85	76	82	85	90	90
Lake		84	90	93	94	96	86	90	91	95	96
Forest dense		95	92	94	95	95	98	94	96	94	98
Forest loose		90	91	93	93	93	88	92	92	95	95
Paddy field		82	86	94	90	95	85	82	96	96	98
Dry field		82	85	85	87	87	76	79	80	82	83
Pasture		86	84	88	90	92	87	81	92	88	85
Artificial structure		80	85	92	91	92	96	94	96	97	98
Bare land		78	82	82	85	84	82	90	88	86	86
Marsh land (saltpan)		78	85	86	88	90	69	82	83	92	95
overall accuracy(%)											
Year		1981	1986	1992	1996	2000					
accuracy		85.3	88.3	91.1	92.4	93.6					

21개 화소를 사용하였다. 전체적으로 연구지역에 골고루 분포하고 균일한 지역 분광특성을 갖는 지역을 선택하였다. 다른 연도의 검증화소들은 2000년도에 사용된 화소의 지리적 위치를 그대로 사용하였다.

전체 정확도는 2000년 영상에서는 93.6%로 상당히 정확하였으며, 1981년 영상의 경우에는 85.3%로 가장 낮은 정확도를 보였다(Table 2). 이는 1981년 영상이 Landsat MSS 영상이기 때문에 다른 영상에 비해 낮은 공간해상도를 재배열하였기 때문이다. 그러나 대부분의 영상들이 85% 이상의 정확도를 보여 전체적으로 혼련 지역으로 선택한 지역이 바르게 선택되었음을 의미한다. 그러나 생산자 정확도와 사용자 정확도를 보면 사빈 클래스와 밭, 나대지에 대한 정확도가 다른 클래스에 비해 낮음을 알 수 있다. 이는 사빈 클래스와 밭, 나대지 클래스가 혼련 지역을 선택함에 있어 상대적으로 오류가 있음을 의미한다. 즉 모래와 나대지의 분광 특성이 비슷하고, 밭의 경우에는 규모가 작고 주변 녹지와 나대지가 혼재되어 있어서 분광 특성을 추출하는데 어려움이 있었기 때문이다.

사용자 및 생산자 정확도도 전체적으로 비슷한 비율로 비교적 높은 신뢰성을 보여주고 있다. 사용

자 정확도에서는 해양, 성립지의 정확도가 높고, 사빈과 염전 및 나대지가 가장 낮다. 생산자 정확도에서도 해양, 성립지, 인공 구조물 등이 정확도가 높고, 밭, 초지 등이 낮은 정확도를 보인다. 특히 1981년 영상에서 염전이 69%로 가장 낮은 정확도를 보이는데 이는 간석지와 염전지역의 분광 반사율의 차이가 적어 오류가 많이 발생한 것으로 보인다.

2) 변화탐지 분석

토지피복 변화를 탐지하기 위해서는 전술한 바와 같이 선분류 후비교법을 사용하였다. 먼저 최대우도분류법에 의한 일정시점의 토지피복도를 작성하고, 2개 시점간의 토지피복 분류에 그대로 확대 적용하여 그 결과를 변화 행렬표로 만들어 분석하였다(Table 3).

1981~1986년 사이의 각 클래스별 토지피복 분류를 보면, 가장 큰 변화가 일어난 클래스는 나대지(94.4%), 모래(74.3%), 염전·습지(62.9%) 순이다. 해양은 6.9%의 변화율을 보이고 있으며, 그중 가장 크게 변화된 클래스는 염전·습지(2.8%)와 인공호(2.3%) 등이다. 이러한 원인은 서산 A·B 방조제 공사이후 대규모 인공호(부남호, 간월호)가 만들어

Table 3. Land cover change matrix in Anmyeon-do(1981-2000).

(Unit: %)

Year	1986														
	class	Ocean	Tidal flat	Sand	Lake	Forest dense	Forest loose	Paddy Rice	Marsh land	Dry field	Pasture	Artificial structure	Bare beach	Total	
1986	Ocean	93.1	1.8	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	0.1	0.1	100.0	
	Tidal flat	8.6	63.0	0.9	0.9	0.0	0.0	3.6	21.0	0.3	0.0	0.8	0.9	100.0	
	Sand	0.0	4.5	25.7	0.0	1.5	10.1	0.9	4.3	5.6	1.8	3.8	41.8	100.0	
	Lake	0.0	1.7	0.0	85.0	0.0	0.0	3.2	6.7	3.0	0.0	0.3	0.0	100.0	
	Forest dense	0.0	0.0	0.0	1.1	89.0	6.8	1.3	0.0	0.3	1.2	0.2	0.2	100.0	
	Forest loose	0.0	0.0	0.0	0.8	7.5	85.8	0.9	0.7	0.4	3.2	0.4	0.3	100.0	
	Paddy field	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	94.0	1.5	0.3	1.1	2.6	0.4	100.0	
	Marsh land	0.1	16.9	0.1	6.0	0.0	0.0	35.5	37.1	2.7	0.0	1.1	0.7	100.0	
	Dry field	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	3.1	7.4	27.3	47.4	8.7	3.4	2.0	100.0	
	Pasture	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	
	Artificial structure	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95.4	4.6	100.0	
	Bare land	0.5	0.6	0.2	0.9	3.1	6.7	50.3	15.3	3.5	3.4	10.0	5.6	100.0	
	1992														
	1992	Ocean	92.7	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
		Tidal flat	0.9	90.6	0.8	0.3	0.0	0.0	2.7	3.6	0.6	0.0	0.1	0.4	100.0
Sand		0.0	2.3	78.5	2.4	0.0	0.0	0.6	1.4	8.3	0.0	4.3	2.2	100.0	
Lake		0.0	0.0	0.0	81.3	0.0	0.0	14.1	2.0	1.6	0.0	0.0	0.8	100.0	
Forest dense		0.0	0.0	0.0	0.0	72.2	19.3	0.3	0.0	4.2	1.7	0.1	2.0	100.0	
Forest loose		0.0	0.0	0.0	0.1	31.6	60.4	0.1	0.0	4.0	1.9	0.1	1.8	100.0	
Paddy field		0.0	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	83.4	0.2	12.0	0.0	0.1	3.8	100.0	
Marsh land		0.0	0.5	0.1	11.7	0.0	0.0	30.0	19.7	25.0	0.2	0.0	12.8	100.0	
Dry field		0.0	0.4	0.1	0.5	0.0	0.2	2.1	0.5	58.6	20.6	0.3	16.7	100.0	
Pasture		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	0.0	2.2	79.9	0.3	6.5	100.0	
Artificial structure		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	7.6	0.0	72.8	16.5	100.0	
Bare land		0.0	0.0	0.5	3.0	1.3	5.9	22.6	0.7	2.0	1.7	3.5	58.8	100.0	
1996															
1996		Ocean	99.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
		Tidal flat	16.3	81.2	1.5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	100.0
	Sand	0.1	2.2	71.2	0.0	0.0	0.0	0.3	6.2	3.3	0.0	9.3	7.4	100.0	
	Lake	0.0	0.1	0.0	94.1	0.0	0.0	1.9	2.0	1.0	0.0	0.4	0.0	100.0	
	Forest dense	0.0	0.0	0.0	0.0	86.4	11.9	0.0	0.0	1.3	0.0	0.4	0.0	100.0	
	Forest loose	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	75.9	0.0	0.0	11.7	0.1	0.0	11.3	100.0	
	Paddy field	0.0	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	94.5	3.1	0.2	0.0	1.6	0.0	100.0	
	Marsh land	0.0	0.1	0.0	5.8	0.0	0.0	0.6	90.8	2.6	0.0	0.0	0.0	100.0	
	Dry field	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.2	18.7	3.9	60.8	0.6	2.1	13.1	100.0	
	Pasture	0.0	0.0	0.1	0.0	2.1	0.4	0.0	45.7	16.3	34.3	0.0	1.1	100.0	
	Artificial structure	3.1	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74.9	16.1	100.0	
	Bare land	0.0	3.0	2.3	1.7	0.0	0.0	5.3	54.7	0.3	0.1	1.4	31.2	100.0	
	2000														
	2000	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	

지고, 방조제 및 일부 안면도 간척지역 안쪽에서 습지 또는 염전 형태의 토지이용 양상이 나타나기 때문이다. 간척지는 37.0%의 변화율을 보이며, 그 중 염전·습지로의 변화가 21.0%로 가장 크며, 해양으로는 8.6% 변화였다. 이것은 조석의 영향에 기인한 것으로 생각된다. 모래·사빈은 주로 나대지(41.8%)로 변화하였고, 인공호는 염전·습지(6.7%)로의 변화가 크다. 성립지에서는 미성립지(6.8%), 미성립지에서는 성립지(7.5%), 초지(3.2%)로, 논에서는 인공구조물(2.6%), 그리고 염전·습지에서는 논(35.5%), 간척지(16.9%)로의 변화가 크다. 이밖에도 인공구조물에서는 나대지(4.6%)로, 나대지는 논(50.3%), 염전·습지(15.3%)로의 변화가 크다.

1986~1992년 사이의 각 클래스별 토지피복 분류를 분석하여 보면, 가장 큰 변화가 일어난 클래스는 염전·습지(80.3%), 밭(41.4%), 나대지(41.2%) 등이다. 이중 밭의 변화율이 높게 나타나는데, 계절적 요인에 따른 분류오차 때문이다. 해양은 7.3%의 변화율을 보이고 있으며, 그중 가장 변화가 큰 클래스는 간척지(7.2%)이다. 이러한 원인은 조위에 영향으로 간척지가 간조시에 수면위로 노출되었기 때문이다. 간척지는 9.6%의 변화율을 보여 전년(1981~1986)에 비하여 감소율이 크게 떨어졌다. 모래·사빈에서는 밭(8.3%)과 인공구조물(4.3%)로의 변화가 가장 크며, 이러한 원인은 관광지 개발사업 및 특화작물 재배지 확대에 따른 것으로 판단된다. 이 시기에 인공호는 논(14.1%)으로의 변화가 크며, 성립지에서는 미성립지(19.3%)로, 논에서는 밭(12.0%)으로, 그리고 염전·습지는 논(30.0%)과 밭(25.0%)으로의 변화가 크다. 이밖에도 인공구조물은 나대지(16.5%)로, 나대지는 논(22.6%)으로의 변화가 가장 크다.

1992~1996년 사이의 각 클래스별 토지피복 분류를 분석에 의하면, 가장 큰 변화가 일어난 클래스는 나대지(68.8%), 초지(65.7%), 밭(39.2%) 등이다. 이중 초지의 변화율이 높는데, 이것은 축산업의 쇠퇴 및 계절적 요인에 기인한다. 해양(0.2%)은 간척사업이 이루어지지 않아 조위에 따른 변화를 제외하고는 큰 변화가 없으나, 간척지는 18.8%의 변화율로 전년(1981~1986)에 비하여 감소율이 상승하였다. 이는 조위 변화에 따른 해수면 상승이 원인일 것이다. 인공호는 이 시기에 염전·습지로

변화(2.5%)하였지만 그 변화율이 크지 않으며 성립지는 미성립지(11.9%)로, 미성립지는 밭(11.7%)과 나대지(11.3%)로의 변화하여 산림지역이 경작지와 관광지 개발사업으로 심각하게 훼손되었다. 이밖에도 논은 염전·습지(3.1%), 그리고 염전·습지는 인공호(5.8%)로 변화하였다.

1996~2000년 사이의 각 클래스별 토지피복 분류를 보면, 가장 큰 변화가 일어난 클래스는 염전·습지(66.1%), 간척지(65.7%), 밭(39.2%) 등이다. 이중 염전·습지는 농경지로의 전환에 따른 변화가 가장 크고, 간척지는 조위의 영향으로 해양으로의 변화율이 상대적으로 높으며, 안면도 동쪽해안을 따라 소규모의 간척사업이 진행된 곳에서는 농경지로의 변화도 나타낸다. 해양, 논, 인공구조물 등에는 큰 변화가 없다. 모래·사빈은 간척지(12.8%) 또는 해양(7.8%)으로의 변화가 크며, 성립지와 미성립지는 경지로의 전환비율이 높다. 염전·습지 및 나대지는 각각 38.1%, 19.5%로 논으로의 변화가 가장 크다.

이상의 결과를 종합하면 안면도 지역의 지표환경 변화는 1980년대 이전에는 주로 해안간척과 개간, 초지 조성 등에 의해 이루어졌다. 1980년대 중반 이후부터는 해수욕장 주변지역과 준농림지역에 민박시설과 점포 입지 증가에 따른 토지이용 변화가 진행되었다. 즉, 지방도로 649호선과 관광지 또는 마을을 연결하는 도로와 만나는 교차로 주변에 가촌이 발달하면서 도시적 토지이용으로 변화되었다. 산림의 경우, 지역개발이 진행됨에 따라 미성립지가 지속적으로 감소되었다. 그러나 국립공원, 자연환경보전지역, 산림법 상의 조수보호구역, 천연보호림, 휴양림 등이 중첩되어 규제가 강한 지역의 미성립지역은 개발이 제한됨으로써 산림이 성장하여 성립지로 변화하였으나 전반적으로 성립지를 포함한 산림의 면적이 감소하였다.

4. 퍼지논리연산을 이용한 안면도 지역의 지표환경 변화 예측

1) 토지피복도를 이용한 지표환경 변화 예측

본 연구에서는 퍼지 귀속함수는 각 클래스별 토

Table 4. Fuzzy membership values assigned to each class in land cover maps.

Class	Landsat	1981. 9. 5.	1986. 4.15.	1992. 6. 2.	1996. 9. 1.
Ocean	1	0.069	0.073	0.002	0.013
Tidal flat	2	0.370	0.096	0.188	0.461
Sand	3	0.743	0.215	0.288	0.286
Lake	4	0.150	0.187	0.059	0.043
Forest dense	5	0.110	0.275	0.136	0.049
Forest loose	6	0.142	0.396	0.241	0.254
Paddy field	7	0.060	0.166	0.055	0.001
Marsh land	8	0.629	0.803	0.092	0.661
Dry field	9	0.521	0.414	0.392	0.246
Pasture	10	0.001	0.201	0.657	0.102
Artificial structure	11	0.046	0.272	0.251	0.001
Bare land	12	0.944	0.412	0.688	0.319

지피복 비율변화 값으로 부여하여(Table 4), 퍼지 논리연산 기법으로 지표환경 변화의 정보들을 하나의 영상으로 통합하였다. 통합결과는 각 시기별 비교를 위하여 순위별로 자료를 재분류한 후 모든 클래스가 등면적으로 표현되도록 도시하였다.

Fig 4(a)는 안면도의 토지피복 변화 분석에서 퍼지 min 연산자의 예측을 나타낸 것이다. 일반적으로 min 연산자는 모든 토지피복도에서 공통적으로 적용되는 가장 작은 값을 취하기 때문에 낮은 값이 나온다. 상위 5%의 변화 지역들을 살펴보면 천수만 지역은 비교적 변화가 크지 않다. 그러나 두산, 삼부염전의 주변에서 변화가 크데, 이들 지역은 농경지로 변화할 확률이 높다. 서쪽 해안에서는 삼봉과 꽃지해수욕장 주변에 높은 변화를 나타내는데, 이들 지역은 최근에 관광지 개발계획이 수립되어 개발사업이 진행 중에 있다. 또한 변화율이 높은 영목과 섬웃섬 지역의 변화는 사주 및 해안사구의 훼손에 기인한다. 이밖에 현재 자연녹지 지역인 안면읍은 도시계획구역으로 시가지 확대 및 재개발이 이루어지고 있어서 변화율이 높게 나타나고 있다.

Fig. 4(b)는 퍼지 max 연산자의 예측 기법으로 변화도를 작성한 것이다. max의 경우 토지피복도가 있을 때 OR 연산자로서 가장 큰 값을 취하기 때문에 가장 정확한 결과를 얻을 수 있었다. 상위 5%의 변화 지역에는 백사장·삼봉·꽃지해수욕장, 안면읍(도시계획구역), 병술만, 야쿠르트목장, 섬웃

섬, 영목, 장곰, 두산목장, 창기리, 삼부염전주변, 황도 등이 포함된다. 또한 천수만 동쪽 해안의 홍성군 궁리지역과 남면 신은리(삼화염전) 등도 높은 변화율을 보인다. 궁리지역은 관광지 개발계획이 수립된 지역이고, 남면 신은리(삼화염전)는 간석지에서 염전과 양식장으로 변모하고, 최근에는 농경지로 변하면서 변화율이 95% 이상 높은 값으로 나타났다. 백사장해수욕장, 병술만 주변에는 관광지 개발에 따른 대규모 공사로 토지피복 변화가 심하게 일어나고 있다.

Fig. 4(c)는 퍼지 algebraic sum 연산자의 예측 기법으로 변화도를 작성한 것이다. 상위 5%의 변화 지역에 천수만 동쪽 해안에서는 홍성군 궁리지역과 간월도 주변이 포함된다. 대부분이 신은리, 백사장, 삼봉, 꽃지, 병술만, 영목, 섬웃섬, 영목항 등 해안지역을 따라 높은 변화율을 보이거나 안면읍과 승언저수지, 창기초등학교 남측, 야쿠르트목장, 두산목장 주변 등 일부 내륙에서도 높은 변화영역이 나타난다.

이상의 결과를 종합적으로 고찰해보면, 안면도 지역에서 대규모 토지피복 변화가 일어날 가능성이 높은 지역들은 해안과 이에 가까운 평지에 위치한 14개 지역에 집중적으로 분포해 있다. 서쪽 해안에서는 백사장, 삼봉, 꽃지, 병술만, 영목, 섬웃섬, 영목항 등이며, 동쪽에서는 황도, 삼부염전, 창기리, 두산목장, 야쿠르트목장, 장곰 주변이고 내륙의 안면읍, 승언저수지, 고남초등학교 주변 지역들

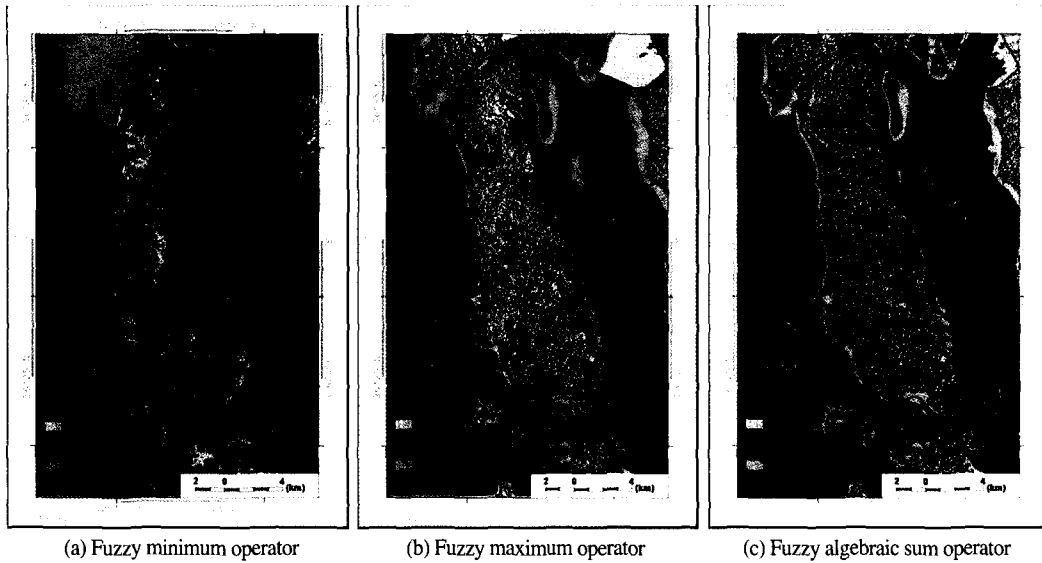


Fig. 4. Prediction maps using various fuzzy operators.

이다. 이와 같이 변화율이 높은 지역은 경사도 5% 이하, 표고 15m 이하의 구릉성 평탄지이다. 대부분이 해양과 인접해 있으므로 대규모 개발에 따른 연안환경 악화의 위험성이 높다.

2) 지표피복 변화 기법의 정확도 평가

본 연구에서는 변화영역 추출의 정확도 산출하기 위해 변화된 영역과 변화되지 않은 영역의 구분이 명확한 몇 개의 화소를 2000년도 위성영상에서 작성된 토지피복도와 비교하였다. 변화된 지역

이란 추출된 변화된 영역 가운데 중 상위 10% 지역으로 정하였다. 먼저 분류오차 행렬을 이용하였는데, 표본은 무작위 추출로 사용자의 주관을 배제하였다.

Table 5는 사용자 정확도 및 각 클래스별 생산자 정확도와 전체 정확도를 계산한 표이다. 전체 정확도를 살펴보면 퍼지 max 예측도가 91.80%로 매우 높은 값을 보인다. 반면, 퍼지 algebraic sum 예측도는 85.70%, 그리고 퍼지 min 예측도는 76.33%로 정확도가 낮게 나타났다. 특히 사용자 정확도는 퍼지

Table 5. Error matrices and accuracy assessment of prediction maps.

Error Matrix					Accuracy(%)			
		reference data		total		change	no-change	average
		change	no-change					
fuzzy min	change	457	127	584	producer's	72.20	80.37	76.29
	no-change	176	520	696	user's	78.25	74.71	76.48
total		633	647	1280	overall	76.33		
fuzzy max	change	570	42	612	producer's	90.05	93.51	91.78
	no-change	63	605	668	user's	93.14	90.57	91.86
total		633	647	1280	overall	91.80		
fuzzy sum	change	507	57	564	producer's	80.09	91.19	85.64
	no-change	126	590	716	user's	89.89	82.40	86.15
total		633	647	1280	overall	85.70		

예측도에서 변화되지 않은 지역에서 낮은 정확도를 보이는데, 이것은 변화된 영역중에서 상위 10%만 분류오차 행렬에 사용하였기 때문이다.

사용자 및 생산자 정확도도 전체적으로 비슷한 비율로 비교적 높은 신뢰성을 보여주고 있는데, 특히 퍼지 max 예측도는 90% 이상이다. 즉, max 연산자의 경우 여러 자료가 있을 때 OR 연산자로 가장 큰 값을 취하기 때문이며, min이 가장 작게 나온 것은 AND 연산자로 모든 주제도에서 공통적인 값만 취하기 때문에 낮은 값이 나온 것이다.

이상의 변화예측도 검증결과, 위성자료를 이용한 퍼지논리연산은 지표환경 변화 예측에 유용함을 확인 할 수 있었다. 특히 안면도 지역과 같이 토지피복 변화가 자연환경 요인 및 관광지 개발 사업에 의해 큰 영향을 받는 연안지역에서는 이러한 방법이 유용할 것으로 생각된다.

5. 결 론

다중시기 위성영상을 선분류 후비교 기법으로 안면도 지표환경 변화 분석한 후 퍼지논리연산을 적용하여 미래의 지표환경 변화를 예측하였다. 그리고 2000년도 위성영상 및 현장 검증자료와 분석결과의 비교에 의하면 80%이상의 정확도를 보였다.

지표환경 변화 예측 결과에 의하면 안면도 지역에서 대규모 토지피복 변화가 일어날 가능성이 높은 지역은 해안과 해안에서 가까운 구릉지에 위치한 지역이었다. 즉, 안면도의 서안에서는 백사장, 삼봉, 꽃지, 병술만, 열목, 섬웃섬, 영목항 등이고, 동안에서는 황도, 삼부염전, 창기리, 두산목장, 야쿠르트목장, 장곰 주변이다. 섬의 내륙에서는 안면읍, 승언저수지, 고남초등학교 주변 역시 변화 가능성이 큰 지역으로 예측되었다. 해안에 인접해 있는 구릉성 평탄지 또한 큰 변화가 일어날 지역으로 예측되었는데, 이 지역에서는 현재 대규모 개발이 진행중이다.

개발사업에 의한 지표환경변화의 분석·예측에 본 연구의 결과를 활용하면 연안환경 악화의 위험성을 제어할 수 있는 지속적인 환경보전을 위한 대책을 수립하는 데 의사결정 보조자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 개발지역의 입지선

정이나 지역연구의 기초자료로도 활용될 수 있을 것이다. 본 논문에서 제안된 방법론의 적용 가능성 평가를 위해 추후 다양한 특성을 가지는 지역에 대한 적용 연구와 다른 통합기법과의 비교 분석이 수행되어야 할 것으로 생각된다.

文 獻

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, 이흥규, 1997, "혼련 데이터로부터 자동 생성된 퍼지멤버함수와 규칙을 이용한 위성 영상 분류," 대한원격탐사학회지, 13(3), 231-249.

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

이기원, 박성미, 지광훈, 1996, "Landsat자료를 이용한 도시환경 변화추출에서의 주성분분석과 퍼지집합연산의 응용," 대한원격탐사학회지, 12(3), 257-270.

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

Bonham-Carter, G. F., Agterberg, F. P. and Wright, D. F., 1988, Integration of geological data sets for gold exploration in Nova Scotia, *Photo. eng. Remote Sensing*, 54(11), 1585-1592.

Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F. and Reichenbach, P., 1995, GIS technology in mapping landslide hazard, in geographical information system in assessing natural hazards, Kluwer Academic Publisher, 135-175.

Chen, Xiuwan, 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*.

- Chi, K. H., Seo, J. Y. and Han, J. K., 1997, Study on the quantitative evaluation of mineral resource potentiality using remote sensing and spatial geoscience data(II), KR-97(T)-1.
- Choi, S. W., Moon, W. I. and Choi, S. G., 2000, Fuzzy logic fusion of W-Mo exploration data from Seobyong-ri, Korea, *Geosciences Journal*, 4(2), 43-52.
- Chung, F. C. and Fabbri, A. G., 1999, Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping, *Photo. eng. and Remote Sensing*, 65(12), 1389-1399.
- Chung, F. C. and Fabbri, A. G., 2001, Validation of spatial probabilistic prediction models for landslide hazard mapping, Submitted to *Natural Hazard* for publication.
- Congalton, R. G., 1991, A review of assessing the accuracy of classifications of remote sensing data, *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46.
- 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.
- Franklin, S. E. and Wilson, B. A., 1992, A three-stage classifier for remote sensing of mountain environment, *Photo. Eng. and Remote Sensing*, 58(4), 449-454.
- 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.
- Howarth, P. J. and Boasson, E., 1983, Landsat digital enhancement for change detection in urban environment, *Remote Sensing of Environment*, 13, 149-160.
- Janssen, L. L. F., Jaarsma, M. N. and van der Linden, E. T. M., 1990, Integration topographic data with remote sensing for land-cover classification, *Photo. Eng. and Remote Sensing*, 56(11), 1503-1506.
- Jensen, J. R., 1998, *Introductory digital image processing*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, News Jersey.
- Jensen, J. R., Cowen, D. J., Althausen, J. D., Narumalani, S. and Weatherbee, O., 1993, An evaluation of the coast watch change detection protocol in South Carolina, *Photo. Eng. and Remote Sensing*, 59(6), 1039-1046.
- Lee, K. and Chi, K. H., 1995, Theoretical background for data-driven integration of raster-based geological information, *Jour. of the Korean Society of Geo-spatial Information Systems*, 3, 115-121.
- 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 Christopher, D. E., 1998, *Remote sensing change detection -environmental monitoring methods and applications*, Ann Arbor Press.
- Rostirolla, S. P., Soares, P. C. and Chang, H. K., 1998, Bayesian and multivariate methods applied to favorability quantification in Reconvavo Basin and Ribeira Belt, Brazil, *Nonrenewable Resources*, 7(1), 7-23.
- Schriever, J. R. and Congalton, R. G., 1995, Evaluation seasonal variability as an aid to cover-type mapping from landsat thematic mapper data in the Northeast, *Photo. Eng. and Remote Sensing*, 61(3), 321-327.
- Singh, A., 1989, Digital change detection techniques using remotely sensed data, *I. J. Remote Sensing*, 10, 989-1003.
- Solaiman, B., Pierce, L. E., Ulaby, F. T., 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., Groves, J. E. and Olmsted, C., 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.
- Wright, D. F. and Bonham-Carter, G. F., 1996, VHMS favorability mapping with GIS-based integration modes, Chisel lake-anderson lake area, Geological survey of Canada, 426, 339-401.
- Zadeh, L. A., 1965, Fuzzy sets, information and control, 8, 338-353.
- Zimmermann, H. J., 1996, Fuzzy set theory and its applications, Their Edition, Kluwer Academic Publisher, 37.

원 고 접 수 일 2002. 9. 4

최종원고접수일 2002. 11. 15