

연구논문

퍼지 논리와 지리공간정보를 이용한 공주지역 토지피복 변화 예측

장 동 호*

공주대학교 국가지정연구실

(2005년 9월 13일 접수, 2005년 10월 31일 승인)

Prediction of Land-cover Change in the Gongju Areas using Fuzzy Logic and Geo-spatial Information

Dong-Ho Jang

National Research Laboratory, Kongju National University

(Manuscript received 13 September 2005; accepted 31 October 2005)

Abstract

In this study, we tried to predict the change of future land-cover and relationships between land-cover change and geo-spatial information in the Gongju area by using fuzzy logic operation. Quantitative evaluation of prediction models was carried out using a prediction rate curve using . Based on the analysis of correlations between the geo-spatial information and land-cover change, the class with the highest correlation was extracted. Fuzzy operations were used to predict land-cover change and determine the land-cover prediction maps that were the most suitable. It was predicted that in urban areas, the urban expansion of old and new towns would occur centering on the Gem-river, and that urbanization of areas along the interchange and national roads would also expand. Among agricultural areas, areas adjacent to national roads connected to small tributaries of the Gem-river and neighboring areas would likely experience changes. Most of the forest areas are located in southeast and from this result we can guess why the wide chestnut-tree cultivation complex is located in these areas and the possibility of forest damage is very high. As a result of validation using the prediction rate curve, it was indicated that among fuzzy operators, the maximum fuzzy operator was the most suitable for analyzing land-cover change in urban and agricultural areas. Other fuzzy operators resulted in the similar prediction capabilities. However, in the prediction rate curve of

integrated models for land-cover prediction in the forest areas, most fuzzy operators resulted in poorer prediction capabilities. Thus, it is necessary to apply new thematic maps or prediction models in connection with the effective prediction of changes in the forest areas.

Key Words: land-cover change, fuzzy operation, prediction map, prediction rate curve, Gongju

1. 서론

토지피복 자료는 지표경관을 토대로 한 새로운 환경 조성을 이해하는데 필수적이다. 즉, 토지피복 변화에 대한 정보를 관리 및 분석하여 현재의 자연적, 인공적 환경을 정확히 기술하고 과거로부터 변화 추이를 알아내는 것은, 그를 토대로 한 새로운 환경 조성을 위하여 중요하다. 이러한 의미에서 토지피복 변화에 대한 연구가 필요하고, 각종 환경 및 국토 개발 계획의 정책 수립과 수행이 성공적으로 이루어지기 위해서 자원, 지형, 환경 및 사회·경제 통계자료 등 여러 가지 방대한 양의 정보를 수집하고 처리·분석하는 일이 필요하다(장동호 외, 2002). 특히 사회구조가 복잡하고 제반 여건의 변화가 심한 상황에서는 많은 자료와 정보가 뒷받침되어야만 정확한 변화와 바람직한 토지피복 변화 예측을 분석할 수 있다.

최근 토지피복 자료는 국토계획 및 지역단위 계획을 수립하기 위한 기초 자료로 이용되며, 급속히 감소하는 자원과 환경문제를 해결하는데 필요한 자료로서 중요한 역할을 하고 있다. 따라서 토지의 통합적 관리를 위해서는 토지피복 변화 메커니즘을 이해하는 것이 필수적인데, 특히 자연 및 사회·경제적 요인이 토지피복 변화에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다(국토개발연구원, 1998).

토지피복 변화 메커니즘에서 특히 사회 경제적 요인은 토지이용에 관한 의사결정에 영향을 미침으로써 토지피복 변화의 중요한 요인으로 작용하게 된다. 사회경제적 요인과 토지피복 변화 사이의 관계에 대한 연구는 아직 부족하지만 그 필요성에 대한 인식은 점점 높아지고 있다. 따라서 이러한 사회경제적 요인이 토지피복 변화에 미치는 영향을 분석함으로써 미래의 토지피복 변화 예측이 가능할 것이다.

이와 관련하여 지표 공간 및 토지피복 변화를 정확히 이해하기 위해서는 광범위하고 많은 양의 자료 처리가 필요하다. 또한 지구 표면을 조사하여 획득할 수 있는 전체적인 정보가 요구되어 지며, 이러한 목적의 효율적인 조사를 위해서 원격탐사 및 GIS 기술이 필요하다. 원격탐사는 과거와 현재 환경에 대한 자료 및 정보를 주기적으로 용이하게 입수할 수 있으며, GIS 자료와의 결합을 통한 분석이 가능한 장점이 있기 때문에 토지피복 변화 등의 분야에 대한 직접적인 응용이 가능하다. GIS는 기본적으로 컴퓨터를 이용한 기술적 측면이 중요한 요소이지만, 여러 변수가 복합적으로 작용하여 공간적으로 나타나는 지리적 현상의 특성을 고려하면 GIS의 적용범위는 확대될 수 있다. 특히 GIS의 여러 지리학적 응용방안 중에서 레이어 개념을 도입한 공간자료 통합은 중요한 과제로 인식되고 있으며, 이러한 동향은 자연과학과 GIS를 연계시키려는 주요 동향 중 하나로 간주될 수 있다(Bonham-Carter, 1994).

현재까지 격자형 자료처리를 위해 개발된 대부분의 GIS 툴에서 제공하는 자료통합모듈은 부울집합론에 근거한 이진수 화상처리기법에 근간을 두고 있다. 따라서 이러한 연산을 지리공간 자료에 곧바로 적용할 경우에는 통합 결과로 제시되는 결정보조정보의 배경이 충분치 못하거나, 또한 경우에 따라서는 심각한 해석상의 오류를 야기하여 예측될 수 있는 결과와 큰 차이를 보일 수 있다(박노옥, 1999). 이러한 배경에서 수학적/통계적 기반의 자료처리 기법을 연구할 경우, 보다 객관적이고 합리적인 분석결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 현재 개발된 공간통합 방법론으로는 베이지안 조건부 확률 모델, Weight of Evidence, 로지스틱 회귀분석 등의 확률론적 방법(Bonham-Carter *et al.*, 1988; Chung and

Fabbri, 1999), Dempster-Shafer 이론(Moon, 1990), 퍼지 이론(An *et al.*, 1991; Choi *et al.*, 2000; Carranza and Hale, 2001) 등 다양하다.

외국의 경우, 토지피복 변화 연구는 국토환경 분석 및 개발의 가장 기본적인 연구가 되고 있으며, GIS와 인공위성 자료의 활용이 확대되면서 사회·경제적 측면에서 다양한 연구들이 이루어졌다(Batty and Yichun, 1994; Yeqiao and Xinsheng, 2001; Takeshi and Tetsuya, 2004). 또한 최근 들어 사회·경제적 측면뿐만 아니라 환경·생태적 측면을 고려한 통계적 기반의 공간분석 시스템 연구가 활발하게 진행되었다(Heiko *et al.*, 1998; Batty *et al.*, 1999; Yan and Stuart, 2003). 국내의 위성자료를 이용한 토지피복 변화에 대한 연구(박병욱, 1996; 박성미, 1997; 서창완, 전성우, 1998; 김홍규 외, 1999; 장동호, 김만규, 2003; 전형섭 외, 2003)는 매우 다양한 분야에서 적용되고 있다. 특히, GIS 기반 도시 확산과 관련된 연구들은 인간 활동과 연관지어 토지 피복의 시·공간적인 변화분석 뿐만 아니라 토지피복 예측 연구도 활발히 진행되고 있다(김경아, 1998; 김대식, 1999; 김훈희, 이진희, 2001, 장동호 외, 2002, 장동호, 2005). 그러나 토지피복 변화 예측 및 토지피복 변화와 각종 지리적 인자들과의 연관성 연

구는 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 위성자료 기반으로 작성된 토지 피복 변화 지역을 각종 자연 및 사회·경제 주제도와 통합하여 토지피복 변화를 예측하였다. 특히 토지피복 예측을 위한 공간통합 방법으로 자료 유도형 퍼지 이론을 제안하였다. 또한 사회·경제적 요인과 토지 피복 변화 사이의 관계를 연구함으로써 토지피복 변화에 미치는 영향을 분석하여 토지피복 변화 예측의 기초 자료로 활용하고자 하였다.

II. 연구지역과 자료 및 연구방법

1. 연구지역과 자료

본 연구에서는 토지피복 변화 예측을 위해 공주시 지역을 사례지역으로 선정하였다. 공주시역은 행정 중심 복합도시 접경지역에서 가장 가까이 위치한 도시로서 최근 개발 계획에 따른 대단위 난 개발이 우려되는 지역이다. 연구지역의 수리적 위치는 동경 127° 01' 54" ~ 127° 13' 14", 북위 36° 22' 42" ~ 36° 29' 57" 에 해당된다(Fig. 1). 연구지역의 전체면적은 226.79km²이고, 인구는 88,212명이다. 공주시의 가장 넓은 면적을 차지하는 동은 금학동이며, 다음으로 옥룡동, 신관동 순이다. 인구는 신관동이 가장 많으

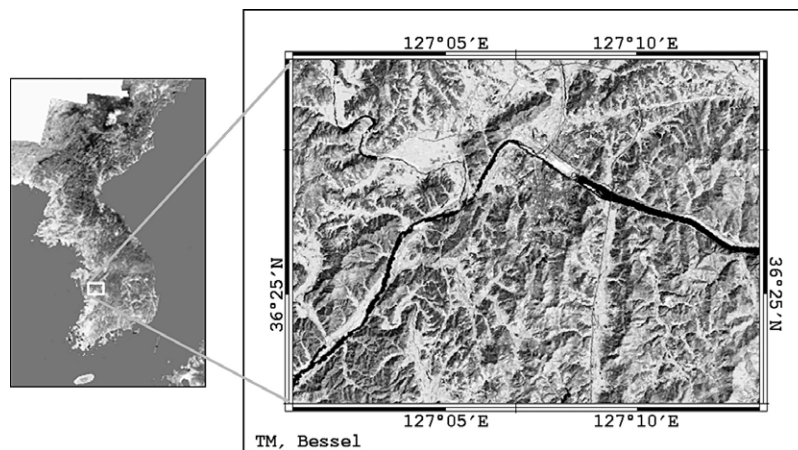


Fig. 1. Study area(Landsat ETM+ image of 2002. 9.16)

며, 다음으로 옥룡동, 중학동 순이다(공주시, 2004).

원격탐사 자료는 과거와 현재의 자료 및 정보를 주기적으로 용이하게 입수할 수 있으며, 자료의 형태가 격자 기반이기 때문에, GIS 자료와의 결합이 가능하다. 본 연구에서는 토지피복 변화 예측을 위해 다중분광밴드를 가지는 Landsat-5 TM과 Landsat-7 ETM+ 영상을 이용하여 토지피복도를 작성하였다. 사용된 위성영상은 1988년 9월27일, 1998년 10월 2일 자료이며, 2002년 9월 16일 영상은 토지피복 예측의 검증자료로 활용하였다. 공주시 행정구역 전체를 대상으로 하지 않고, 변화가 주로 일어난 지역인 구도심을 중심으로 격자형을 이루도록 하였으며, 565×446 화소이다.

토지피복 변화 예측과 관련된 지리 공간자료는 표고분포도, 경사분포도, 하계망도, 토지이용도, 도로망도, 인구밀도도, 인구이동도, 총사업체분포도 등을 사용하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 토지피복 변화 예측을 위해 다음과 같은 연구방법에 의해 수행하였다(Fig. 2). 먼저 위성 영상에서 각각의 변화정보를 추출하기 위하여, 영상 분류 기법인 최대우도법(MLC: Maximum likelihood classification) 기법을 이용하여 토지피복도를 작성하였다. 특히 분류기법을 향상하기 위하여 다중시기/다중소스 자료 통합을 통하여 토지피복도의 분류정확도를 향상시켰다(Jang and Chung, 2004a, Jang and Chung, 2004b).

분류된 두시기의 토지피복도는 선분류 후비교법(Post-Classification Comparison)을 수행하여 각 분류 항목별 변화지역을 추출하였다. 작성된 자연 및 사회·경제 주제도는 토지피복 변화에 어떤 영향을 미치는지를 우도비(likelihood ratio)를 계산하여 고찰하였으며, 특히 각 분류항목 중 도시, 농경지, 산림 등을 대상으로 토지피복 예측과 관련이 있는 주제도

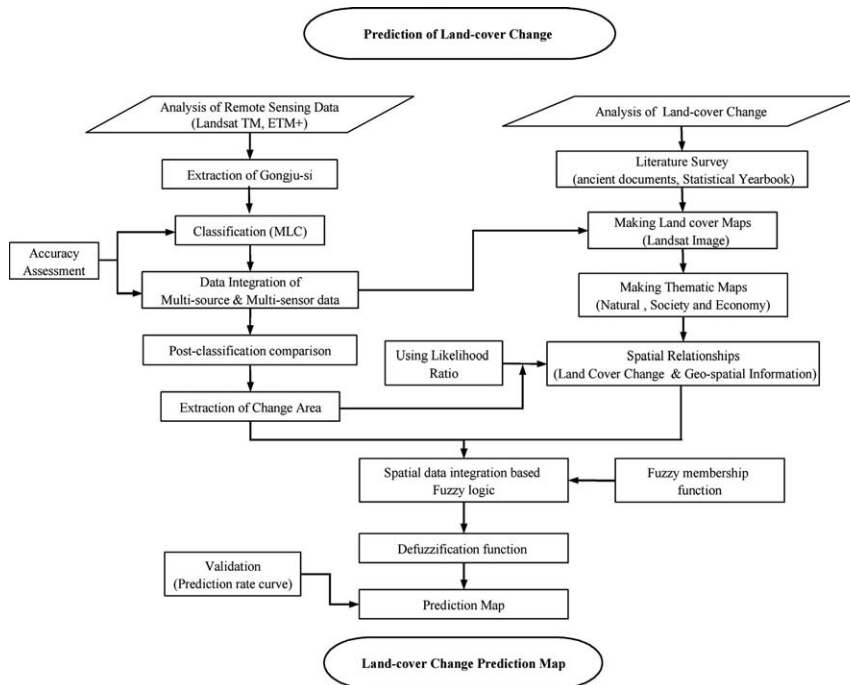


Fig. 2. Flowchart for prediction of land-cover change in study area.

를 선정하였다. 토지피복 변화 예측을 위한 공간자료 통합방법으로는 퍼지이론을 적용하였으며, 최종적으로 예측비율곡선(prediction rate curve)을 작성하여 미래의 토지피복 변화 예측과 관련된 정량적 정보를 추출하고자 하였다.

III. 토지피복 변화 예측을 위한 퍼지 공간통합론

1. 퍼지이론

지리공간자료는 위치에 대한 불확실성과 매개변수나 기준치에 관련된 의사결정규칙의 불확실성을 가지고 있기 때문에 공간분석 시 엄격한 경계의 설정이 어렵다. 반면 퍼지이론은 집합의 경계 값 설정에 있어서 유연성을 가지며, 집합에의 포함을 정도로 나타냄으로써 부분적인 소속이 가능하다(Zadeh, 1965). 따라서 불확실성을 가진 공간자료의 분석에 퍼지 이론은 효과적으로 적용될 수 있으며 정보의 손실을 최소화 할 수 있는 장점이 있다(Banai, 1993). 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; 이기원 외, 1996), 지리공간자료와 위성자료의 통합을 통한 토지피복 변화 예측 연구는 미흡한 수준이다(장동호 외, 2002).

일반적인 공간 통합은 자료 표현과 자료 통합의 2 단계로 이루어진다(Moon, 1998). 기존 퍼지 이론을 이용한 공간 통합에서는 퍼지 소속함수로 표현되는 가능성 값을 직접적으로 해석에 사용하였다. 그러나 자료 통합에 사용한 연산자의 특성에 따라 가능성 값의 비교나, 다른 이론적 배경을 가지는 공간통합의 결과와 직접적인 비교가 힘든 경우가 있을 수 있다. 또한 토지피복 변화 예측과 관련된 공간통합에서 중요한 것은 통합 결과의 상대적인 유의미성과 미래에 대한 예측 능력의 비교인데, 기존 연구에서는 이러한

과정이 생략되어 있었다(박노옥 외, 2003).

따라서 본 연구에서는 공간통합을 퍼지 소속함수를 이용한 자료 표현(fuzzy membership function representation), 퍼지 연산자를 이용한 자료 통합(fuzzy integration), 비퍼지화(defuzzification), 검증(validation) 등의 4단계로 토지피복 변화 예측을 시도하였다.

2. 우도비를 이용한 퍼지 소속함수 표현

퍼지 이론에서는 퍼지소속함수(fuzzy membership function)를 이용하여 자료를 표현한다. 격자 형태의 지리공간자료가 n 개 있을 때, GIS의 기본적인 전처리 과정을 거친 연구 지역 내의 각각의 자료는 $E_k(k=1, \dots, n)$ 로 나타낼 수 있다. 통합 목적을 T_p 로 정의하면, 통합 목적에는 연구지역 내에 토지피복 변화지역을 찾아내는 것들이 해당된다. 지리공간자료 E_k 를 통합 목적에 맞도록 표현하기 위해서, E_k 를 구성하는 각각의 속성값 또는 실제 관측값은 다음과 같은 수학적 mapping을 통해 표현된다.

$$d_k: E_k \rightarrow [0, 1] \quad (1)$$

본 연구에서는 지리공간자료를 퍼지 소속함수로 표현하기 위하여 통합목적과 지리공간자료와의 통계적 특성에 근거한 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 2단계의 자료 표현 과정을 거치게 되는데, 첫 번째 단계에서 통합목적과 지리공간자료와의 통계적 상관관계 추출을 위해 우도비를 계산하고, 두 번째 단계에서 우도비를 퍼지 소속함수로 변형하였다.

우도비의 이론적 배경과 계산 과정은 지표변화와 지리공간정보의 연관성 분석에서 이미 언급하였다(장동호, 2005). 일반적으로 우도비는 어떤 사건이 특정 속성에서 일어나지 않을 확률에 대한 일어날 확률의 비로 정의되며, 이러한 차이를 정량적으로 부각시킬 수 있는 장점이 있다.

우도비는 $[0, \infty]$ 의 값을 가지게 되는데, 우도비가 1보다 클수록 그 속성에서 특정 사건의 발생 가능성이 높음을 의미하며, 1보다 작을수록 발생 가능성이 낮

은 것을 의미한다. 퍼지 소속함수는 $[0, 1]$ 의 값을 가져야 하기 때문에 우도비를 퍼지 소속함수로의 변환 과정이 필요하다. 이를 위해 로지스틱 타입의 변형식을 이용하여 우도비를 최종적으로 퍼지 소속함수로 변환하였다. 여기서 μ_k 와 λ_k 는 E_k 의 퍼지 소속함수와 우도비를 각각 나타낸다.

$$\mu_k = \lambda_k / (1 + \lambda_k) \quad (2)$$

3. 퍼지 연산자를 이용한 통합

각각의 지리공간자료 E_k 에 대해서 통합목표에 대한 퍼지 소속함수가 결정이 되면, 이들을 하나의 퍼지 소속함수로 통합하기 위해 퍼지 연산자를 이용하게 된다. 퍼지 소속함수를 통합하기 위한 여러 퍼지 연산자 중에서 토지피복 변화 예측의 통합에 실제 적용 가능한 연산자로는 최대(max), 최소(min), 산술합(algebraic sum), 산술곱(algebraic product), γ 연산자 등이 있다(An et al., 1991; Moon, 1998; Choi et al., 2000). 실제 계산과정은 다음과 같다.

$$\mu_{\text{Max}} = \text{Max}\{\mu_{E_1}, \mu_{E_2}, \dots, \mu_{E_n}\} \quad (3)$$

$$\mu_{\text{Min}} = \text{Min}\{\mu_{E_1}, \mu_{E_2}, \dots, \mu_{E_n}\} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{Sum}} = 1 - \prod_{k=1}^n (1 - \mu_{E_k}) \quad (5)$$

$$\mu_{\text{Product}} = \prod_{k=1}^n \mu_{E_k} \quad (6)$$

$$\mu_{\gamma} = (1 - \prod_{k=1}^n (1 - \mu_{E_k}))^{\gamma} \times \prod_{k=1}^n (\mu_{E_k})^{1-\gamma} \quad (0 \leq \gamma \leq 1) \quad (7)$$

최대 연산자 max와 최소 연산자 min은 각각 논리적으로 OR과 AND의 의미를 갖으며, 각각 최대값과 최소값을 가지는 하나의 E_k 의 소속함수 값만이 영향을 미치게 된다. 최대 연산자와 최소 연산자가 하나의 퍼지 소속함수에 의해서 통합 결과가 영향을 받는다면, 산술합, 산술곱, 연산자들은 주어진 자료의 모든 값들이 영향을 주게 된다. 산술합 연산자는 최대값과 같거나 큰 결과 값을 통합된 결과로 넘겨주며, 반대로 산술곱 γ 연산자는 최소값과 같거나 작은 결과 값을 통합된 결과로 넘겨주게 된다. 반면 γ 연산자는

0에서 1사이의 값을 가지는 γ 값에 따라 산술합과 산술곱의 결과를 절충하는 결과를 보여준다. 만약 하나의 자료가 높은 소속함수 값을 가지고, 다른 자료는 낮은 소속함수값을 가질 때 보상효과가 나타나서 가장 높은 값과 낮은 값 사이의 값을 보여준다. γ 값이 1일 경우에는 산술합 연산자로, γ 값이 0일 경우에는 산술곱 연산자로 각각 호환된다(박노옥 외, 2003). 본 연구에서는 max, min, algebraic sum, γ 연산자를 적용하여 토지피복 변화 예측을 시도하였다.

4. 비퍼지화

퍼지 연산자를 이용하여 결합된 최종 퍼지 소속함수는 통합 목적에 대한 목표 명제(T_p)에 대한 가능성을 $[0, 1]$ 의 범위에서 나타낸다. 최종 결과의 해석에서 중요한 것은 상대적인 값의 차이이며, 만약 특정 위치에서의 최종 퍼지 소속함수 값이 다른 위치보다 크다면 이는 통합목적에 대한 가능성이 높음을 의미한다. 또한 다양한 연산자의 결과를 비교할 때, 최종 통합 결과 값의 절대적인 비교는 의미가 없을 수 있다. 즉, 산술합 연산자와 산술곱 연산자를 이용한 결과를 비교할 때, 산술합 연산자를 이용한 결과 값이 1보다 작은 값들의 곱들로 표현되는 산술곱 연산자 결과 값보다 보통 크기 때문에 산술합 결과가 통합목적에 대한 가능성이 높다고 말할 수는 없다. 따라서 상대적인 값의 비교를 위해 퍼지 소속함수 값을 다른 함수 값으로의 변환이 필요하며, 이러한 과정을 비퍼지화라고 한다(박노옥 외, 2003).

본 연구에서는 비퍼지화를 위해 통합목적에 대한 상대적 가능성을 표현하기 위해 순위를 이용한 등면적 표현을 이용하였다. 즉, 모든 화소를 퍼지 소속함수를 내림차순으로 분류하여 순위를 결정하였다. 또한 순위 값을 연구지역의 전체 화소수로 나누어줌으로써 0과 1 사이의 값을 가지도록 정규화를 수행한다. 만약 0.9의 값을 가지는 화소는 연구지역에서 상위 10%(90%-100%)에 위치함을 의미한다. 이러한 비퍼지화 과정을 거친 퍼지 통합결과에서 개개 클래스는 같은 수의 화소수를 가지게 된다. 따라서 퍼지

통합 결과에서 가장 높은 순위 값을 가지는 클래스는 상대적으로 연구지역에서 가장 높은 퍼지 소속함수 값을 나타내면서 동시에 같은 면적을 포함하기 때문에, 개별 클래스 사이의 상대적 비교가 가능한 동시에, 똑같은 비퍼지화 과정을 거친 다른 연산자를 사용한 통합결과와의 상대적 비교도 가능하다.

5. 검증

토지피복 변화 예측 결과는 어떤 통합 방법론을 사용하더라도 최종 해석을 위해 검증이 필요하다. 즉, 검증은 통합 방법론의 적합성을 평가하는 과정이라고 볼 수 있으며, 최종 목표는 아직 발견되지 않은 미래의 사건에 대한 유의미한 정보를 얻고자 하는 일종의 예측이다. 따라서 검증은 통합 방법을 적용하는데 사용하지 않은 통합목적 대상과의 비교를 수행해야 한다(Chung and Fabbri, 2003).

본 연구에서는 미래의 토지피복 변화지역과 관련된 정보를 얻을 수 없기 때문에, 지리공간자료 통합에 사용되지 않은 1998년에서 2002년 사이의 토지피복 변화 정보를 활용하여 예측비율곡선을 작성하였다. 일반적으로 예측비율곡선에서 x축 값은 전체 연구지역의 전체면적에 대한 모델작성을 통해 계산된 특정 결과 값까지의 면적의 비율을, y축 값은 0%부터 특정 x 값까지에 포함된 토지피복 변화 수의 전체에 대한 누적 비율을 의미한다. 이러한 검증과정을 통해 미래의 토지피복 변화 예측 가능성에 대한 정보를 부가적으로 얻을 수 있다.

IV. 토지피복 변화 예측

1. 토지피복도 작성 및 지리공간자료의 퍼지소속함수 산정

토지피복도 분류 항목은 수역, 산림, 초지, 농업지역, 도시지역(인공구조물), 나지, 습지 등 총 7개 항목을 선정하였다. 위성자료는 1988년과 1998년 Landsat TM 자료이며, 각각의 분류정확도는 85%

이상이다(Jang and Chung, 2004b). 작성된 토지피복도는 선분류후비교법을 통하여 토지피복 변화지역을 추출하였다. 특히 각 분류 항목별 토지피복 변화지역 중 도시지역, 농업지역, 산림지역 등을 대상으로 변화지역을 추출하였다(장동호, 2005). 변화지역으로 추출된 화소는 도시지역, 농업지역, 산림지역이 각각 11,640, 4,341, 534개이다.

공간자료 통합에서는 퍼지 이론을 적용하기 위해 다음 2가지 가정을 하였다. 첫째, 미래에 발생할 토지피복 변화는 연구대상지역에서 발생한 과거 토지피복 변화와 동일하다. 둘째, 통합에 사용하는 공간자료는 과거나 미래의 토지피복 변화가 발생할 특성을 충분히 반영한다. 과거에 발생한 토지피복 변화와 지리공간자료와의 통계적 특성 추출을 위해 범주형 자료와 연속형 자료에 대해서 우도비를 계산한 다음, 퍼지 소속함수로의 변환을 수행하였다.

Fig. 3은 지리공간정보자료와 토지피복변화와의 퍼지소속함수 값을 나타낸 것이다. 고도와 도시지역의 토지피복 변화를 분석한 결과, 연구지역의 고도가 높아지면서 퍼지소속함수 값은 낮아지는 경향을 보인다. 이러한 원인은 대부분의 도시지역이 고도 100m 이내 지역에 위치하기 때문이다. 농업지역은 시가지지역과 비슷한 형태를 취하지만, 산림지역은 도시지역 및 농업지역 분류항목과는 다른 분포형태로 나타난다. 즉, 퍼지소속함수값 0.5 이상의 지역은 2개 부분에서 나타나는데, 즉, 해발고도 30~50m의 구릉지와 130~260m 사이의 구릉성 산지 지역들이다. 특히 고도가 낮은 구릉지들은 대부분 도시지역의 확산에 따라 산림훼손이 진행된 결과로 보이며, 고도 130m 이상 지역들은 현지조사 결과 임도개설과 밤나무 재배단지 조성 등으로 인한 산림벌채 등의 일시적 현상으로 판단된다(Fig. 3(a)).

경사도와 토지피복 변화와의 연관성을 분석한 결과, 도시지역은 경사도가 높아지면서 퍼지소속함수 값은 낮아지는 경향을 보인다. 이러한 원인은 대부분의 시가지 지역이 평탄지 지역에 위치하기 때문이다. 농업지역은 시가지지역과 비슷한 형태를 취하지만,

퍼지소속함수 값이 0.5이상의 지역은 경사 7°이하 지역으로 나타나서, 대부분의 평탄지들이 농경지로 이용되고 있음을 알 수 있다. 산림지역은 경사 25°이하 지역들이 퍼지소속함수 값이 0.6 이하로 나타났으며, 반면에 30°이상의 지역에서는 퍼지소속함수값이 높게 나타났다(Fig. 3(b)).

하계망과 도시지역과의 연관성을 살펴보면, 하천으로부터의 거리가 멀어질수록 변화영역의 비율이 떨어짐을 알 수 있다. 하천과 가장 가까운 구간인 0~200m 구간은 퍼지소속함수 값이 0.7로 가장 높으며, 800m 이상 지역에서는 0.3으로 낮아진다. 농업지역은 도시지역과 비슷한 형태를 취하지만, 퍼지소속함수 값 0.7이상의 지역은 200m 이내 지역에서만 나타난다. 산림지역은 대부분의 구간에서 퍼지소속함수 값이 0.5 이하로 나타났으며, 특히, 수계와 가까울수록 토지피복 변화가 일어날 확률이 낮게 나타났다(Fig. 3(c)).

도로망과 도시지역과의 연관성을 살펴보면, 도로로부터의 거리가 멀어질수록 변화영역의 비율이 낮아짐을 알 수 있다. 도로와 가장 가까운 구간인 0~100m 구간은 퍼지소속함수 값이 0.7로 가장 높으며, 300m 내에서는 0.3으로 낮아진다. 농업지역은 시가지지역과 비슷한 형태를 취하지만, 산림지역에서는 다른 분포형태로 나타난다. 즉, 대부분의 구간에서 퍼지소속함수 값이 0.5이하로 나타나서 도로와 산림의 토지피복 변화와의 연관성은 크지 않은 것으로 판단된다(Fig. 3(d)).

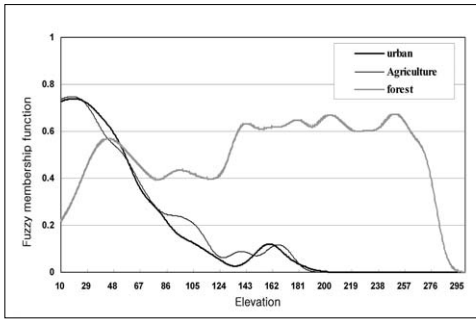
인구밀도와 도시지역과의 연관성을 살펴보면, 인구밀도가 높은 지역일수록 퍼지소속함수 값이 높게 나타나 토지피복 변화가 일어날 확률이 높다. 그러나 인구밀도 3,000인을 넘어서면 퍼지소속함수 값이 다시 낮아지는 경향을 보인다. 이들 지역은 현지조사 결과 대부분 인공구조물 등의 시가지가 이미 조성되어 있어서, 변화가 일어날 확률이 상대적으로 낮은 곳으로 판단된다. 농업지역은 도시지역과 전혀 다른 형태를 취하는데, 즉 가장 높은 퍼지소속함수 값은 501~1,000사이 지역이며, 다음으로 1~100사이 지

역이다. 산림지역은 인구밀도 500을 정점으로 퍼지소속함수 값이 다르게 나타난다. 즉 퍼지소속함수 값이 0.5 이상인 지역은 2,001~3,000 지역과 1~100 지역이다. 먼저 1~100지역은 인구밀도가 낮은 지역으로 유실수 재배를 위한 각종 벌목사업이 진행되면서 산림지역의 지표변화가 일어난 지역이며, 2,001~3,000 사이는 도심지 주변부에 해당되는 지역으로 도시확산에 따른 산림경관 축소에 기인한다(Fig. 3(e)).

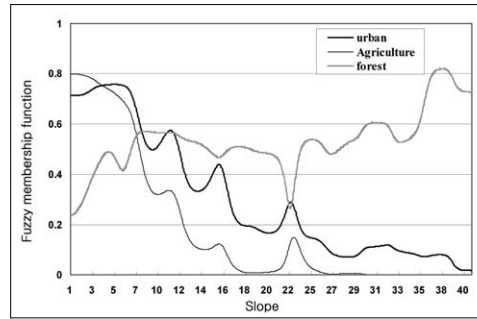
인구이동과 도시지역과의 연관성을 살펴보면, 인구이동 감소지역이 퍼지소속함수 값이 가장 높으며, -1~0 지역이 0.5이상의 가장 높은 퍼지소속함수 값을 나타내고 있다. 농업지역은 도시지역과 비슷한 형태를 취하지만, 인구이동 감소지역인 -2이하 지역이 높은 퍼지소속함수 값을 나타낸다. 이러한 원인은 이들 지역은 대부분이 농업지역으로 인구감소에 따른 농경지의 축소에 기인한 것으로 판단된다. 산림지역은 인구이동이 증가하는 지역일수록 우도비가 가장 높다(Fig. 3(f)).

총 사업체수와 도시지역과의 연관성을 살펴보면, 사업체수가 많은 지역일수록 퍼지소속함수 값이 가장 높으며, 0.5이상인 지역은 750~1,000, 1,000개 이상 지역들이다. 농업지역은 총 사업체수 증가나 감소에 따라 퍼지소속함수 값의 변화가 어떤 패턴을 나타내지 않아서 실제로 농경지 변화와 우도비와는 상관성이 크지 않은 것으로 판단된다. 이와는 반대로, 산림지역은 토지피복 변화와 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 보여진다. 즉 총 사업체 수가 증가할수록 산림지역이 변화할 확률이 높게 나타나며, 특히 1,000개 이상의 지역에서는 퍼지소속함수 값이 0.6 이상으로 나타났다(Fig. 3(g)).

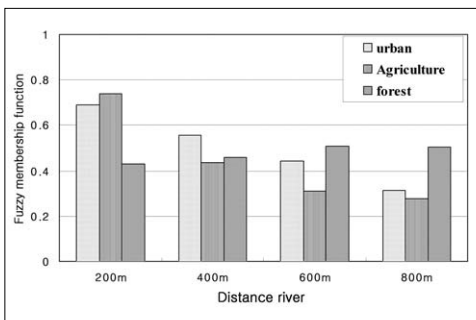
지가와 도시지역과의 연관성을 살펴보면, 지가가 높을수록 퍼지소속함수 값이 높으며, 평균지가가 10,000원 이상인 지역에서 퍼지소속함수 값이 0.6이상 나타난다. 농업지역은 퍼지소속함수 값의 증가나 감소에 따라 어떤 변화도 일어나지 않아, 실제로 농경지 변화와 퍼지소속함수 값과는 상관성이 크지 않



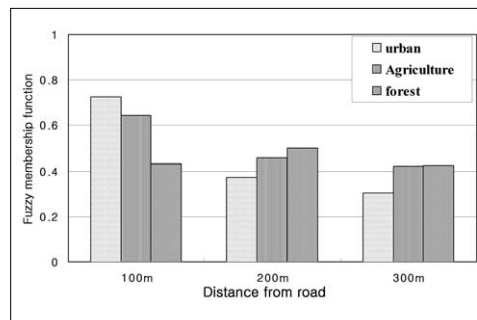
(a) elevation



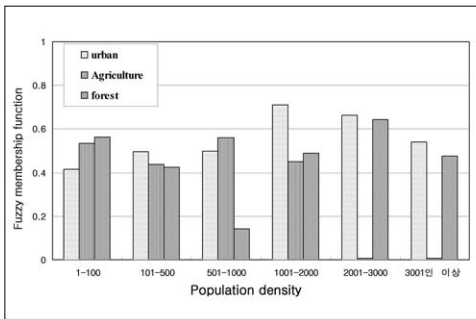
(b) slope



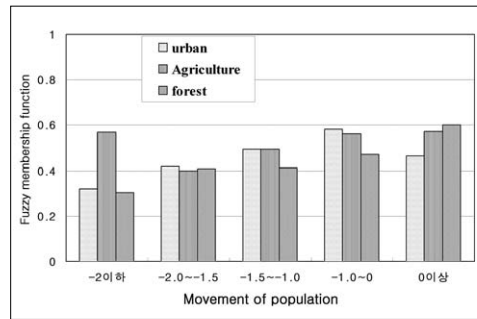
(c) distance river



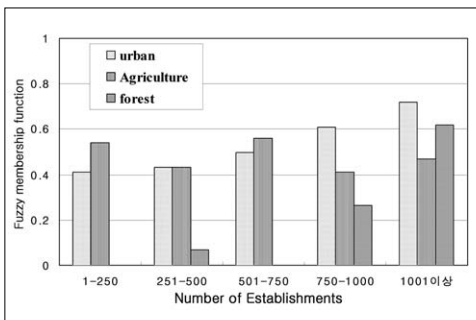
(d) distance from road



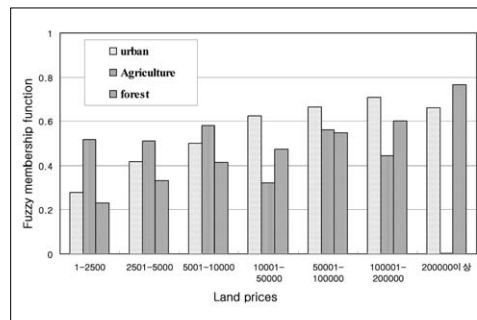
(e) population density



(f) movement of population



(g) number of establishments



(h) land prices

Fig. 3. Fuzzy membership function of geo-spatial data.

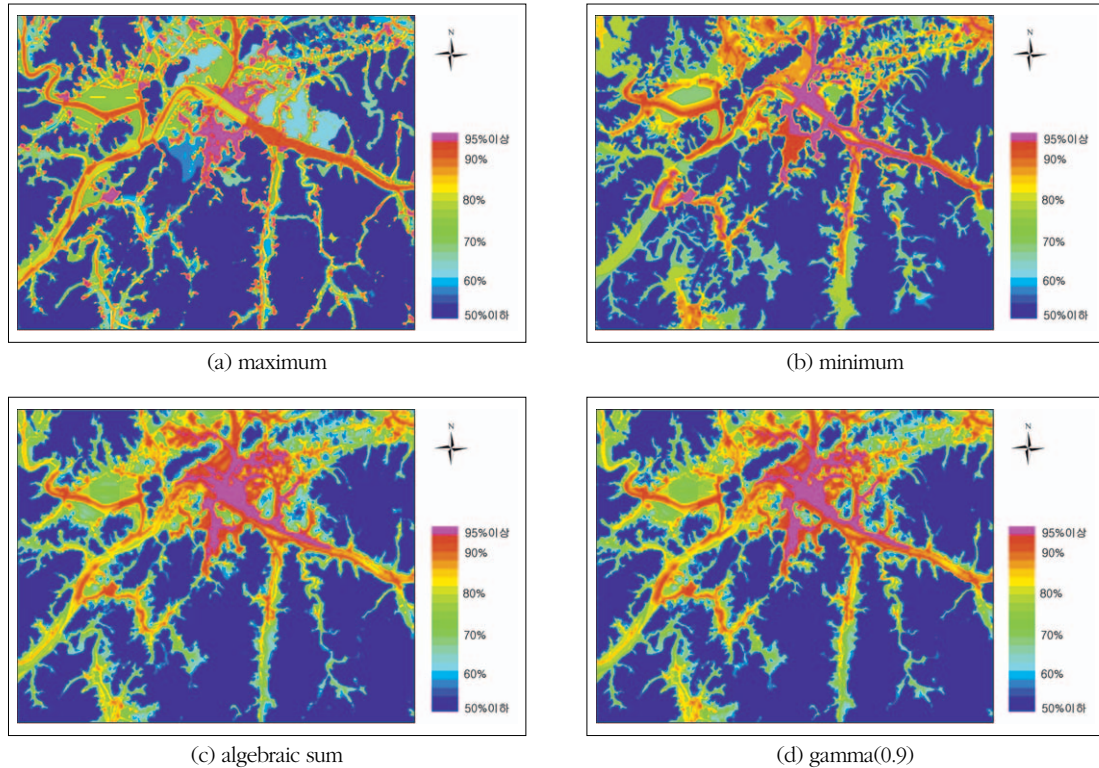


Fig. 4. Land-cover change prediction maps for urban items using fuzzy logic.

는 것으로 판단된다. 산림지역은 지가가 증가할수록 토지피복 변화가 일어날 확률이 높게 나타나며, 이러한 원인은 결과적으로 도시화의 매력이 높아 산림훼손율도 높아진다고 볼 수 있다(Fig. 3(h)).

2. 퍼지이론을 이용한 토지피복 변화 예측

본 연구에서는 각 자료별 토지피복 변화와의 연관성을 분석한 후에, 도시지역, 농업지역, 산림지역을 대상으로 퍼지 연산자를 이용하여 자료 통합을 시도하였다. 전체 자료 통합에는 최대 연산자, 최소 연산자, 산술합 연산자, 연산자를 각각 사용하여 통합 결과의 양상을 비교하였다. 연산자의 경우 토지피복 변화 예측에 가장 효과적인 0.9를 사용하였다(장동호 외, 2002).

Fig. 5는 비퍼지화 과정을 거친 도시지역의 토지피복 변화 예측도이다. 그 결과, 기존의 토지피복 변

화가 일어난 지역과 비교하여 보면 대부분의 토지피복 예측도들이 부합되고 있음을 알 수 있다. 먼저 Fig. 4(a)는 최대연산자를 이용하여 토지피복 변화를 예측하였다. 상위 5%의 토지피복 변화예측 지역들을 살펴보면, 공주 구도심과 신도심을 중심으로 시가화 지역이 확산되고, 검상 농공단지 주변과 공주시 북쪽 지역에 해당하는 의당면 및 장기면 지역을 중심으로 높은 토지피복 변화 예측지역이 나타났다. 최소연산자를 이용한 변화영역을 보면, 주로 신도심 지역인 신관동을 중심으로 공주-대전 국도 및 공주-천안 국도 주변을 따라 도시가 확산되고 있으며, 공주 남서쪽 검상공단 및 천안-논산 간 고속도로 인터체인지 주변 지역도 새롭게 시가화 지역을 형성될 것으로 예측된다. 또한 신행정 복합도시 접경지에 해당하는 장기면 지역을 중심으로 새로운 시가화 지역이 만들어질 것으로 예측되었다(Fig. 4(b)). 산술합 연산자와 연

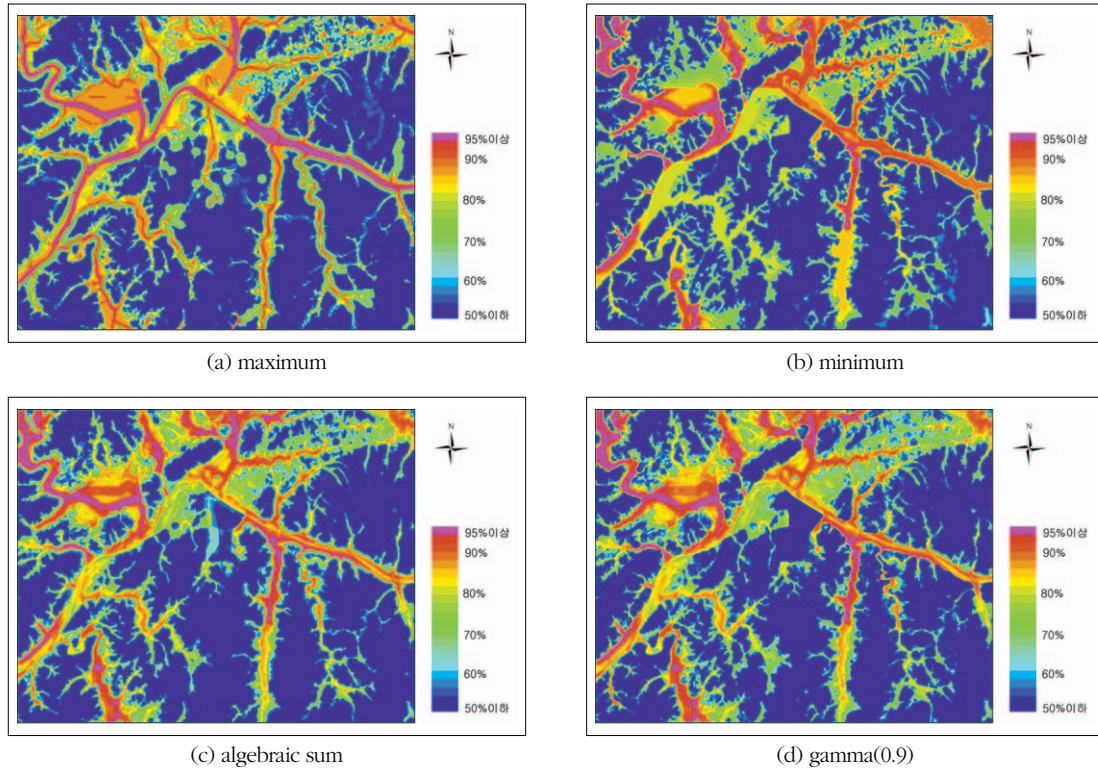


Fig. 5. Land-cover change prediction maps for agriculture items using fuzzy logic.

산지는 동일한 토지피복 변화 지역을 예측하였다. 즉, 공주시 중앙을 관통하는 금강을 중심으로 구도심과 신도심지역의 도시 확산이 예측된다. 또한 천안-논산 국도, 공주-조치원 국도, 공주-대전 국도를 따라 시가화 지역이 확산 될 것으로 예측된다(Fig. 4(c), (d)).

Fig. 5는 농업지역에 퍼지연산을 적용한 결과이다. 그 결과 토지피복 변화 예측이 대부분의 퍼지연산자에서 부합되고 있음을 알 수 있다. 먼저, 최대연산자를 이용하여 토지피복 변화 예측지역을 분석한 결과, 대부분의 변화 지역이 하도 내 및 국도 주변지역들이다. 특히 대전-공주 국도 및 천안-공주 국도 변을 따라 농업지역의 토지피복 변화 확률이 높게 나타났다(Fig. 5(a)). 최소연산자를 이용한 토지피복 변화 예측지역은 금강 하도 내 및 이인면 운천리, 송근리 등의 평야지역들이다. 또한 공주-논산 국도를 따

라 농경지 감소가 예측되었다(Fig. 5(b)). 이밖에 산술합 연산자와 연산자는 유사한 토지피복 예측지역을 추출하였는데, 가장 큰 변화는 조사지역의 북동쪽 지역에 해당하는 유구천 주변지역이다. 또한 정안천, 도천천 등 금강의 소지류 및 인접지역과 연결되는 국도주변 지역이 변화가 일어날 확률이 높게 나타났다(Fig. 5(c)(d)).

Fig. 6은 산림지역 변화에 퍼지연산을 적용한 결과이다. 최대연산자를 이용한 토지피복 변화 예측결과, 다른 연산자를 이용한 예측 결과와 다른 형태를 보인다. 특히 상위 5% 지역이 나타나지 않으며, 변화 확률이 비교적 낮게 나타났다(Fig. 6(a)). 최소연산자는 연산자 및 산술합 연산자와 유사한 예측결과를 보이는데, 대부분 남동쪽에서 토지피복 변화가 일어날 확률이 높게 나타났다. 이러한 원인은 유실수 재배단지가 본 지역에 넓게 나타나면서 산림훼손이 일어날

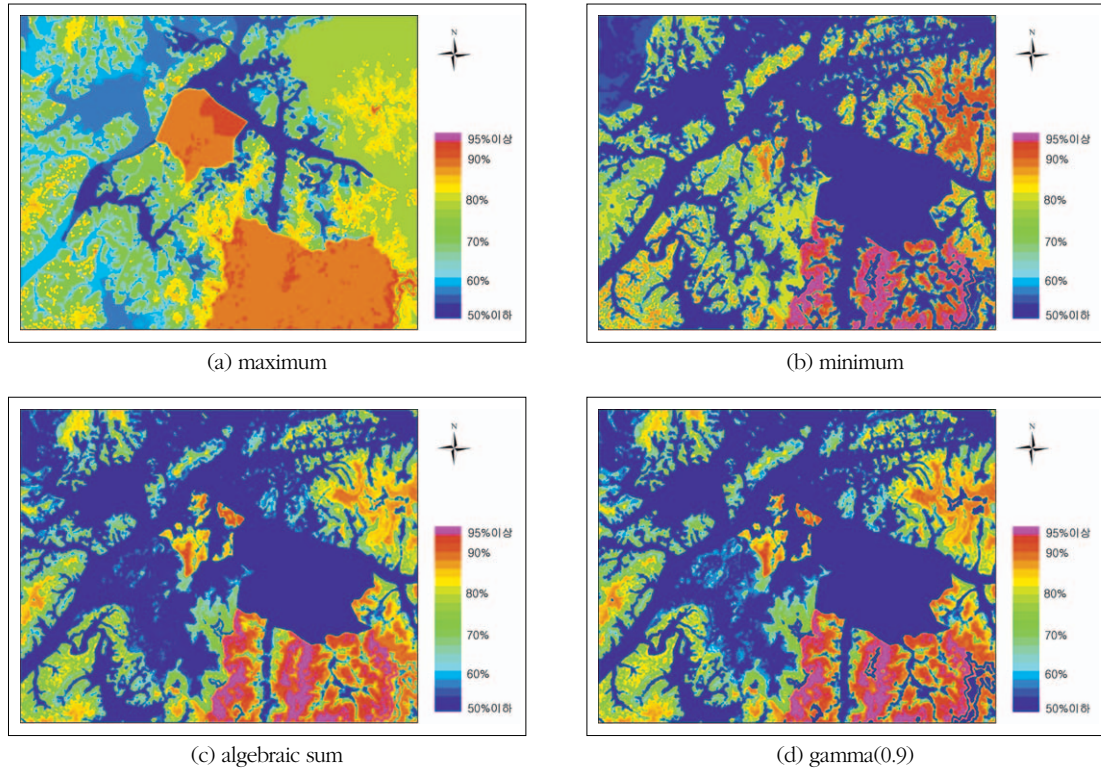


Fig. 6. Land-cover change prediction maps for forest items using fuzzy logic.

확률이 높은 것으로 예측되었다(Fig. 6(b)(c)(d)).

3. 주제도 통합에 따른 변화 예측지역 정확도 평가

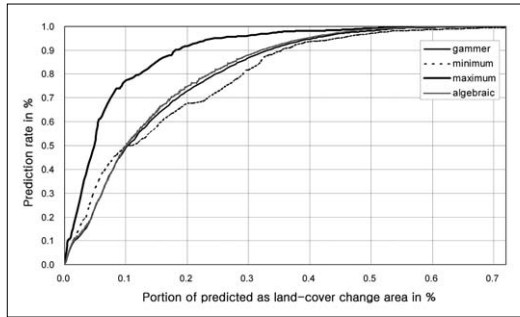
본 연구에서는 토지피복 변화 예측에 대한 정량적 해석을 위해 1998년 토지피복도에서 2002년 토지피복도를 연산 처리하여 획득된 변화지역과, 통합결과에서 예측된 상위 5% 지역을 가지고 예측비율곡선을 작성하였다(Fig. 7). 본 곡선은 토지피복 변화 지역의 예측이 잘된 결과 일수록 곡선의 기울기가 가파르고 곡선의 모양이 좌상으로 치우친 모양을 하게 된다.

각 분류 항목별 지표변화 예측결과, 가장 정확한 예측비율 항목은 도시지역이며, 다음으로 농업지역 및 산림지역 순이다. 먼저, 도시지역 토지피복 변화 예측에서 가장 정확한 예측 모델은 최대연산자로, 본 예측 모델은 상위 10%에서 75%까지 예측 능력을 보이고, 상위 20%에서는 92%까지 예측 결과를 설명할

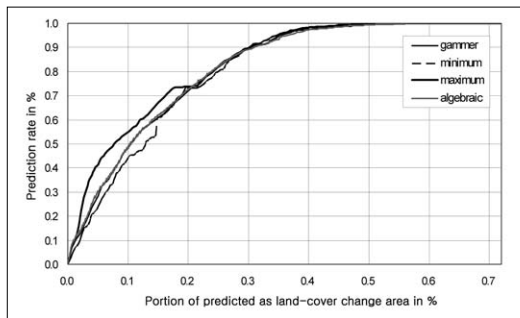
수 있다. 이밖에 나머지 통합 모델들도 상위 10%에서 50% 정도를 설명할 수 있고, 20%에서는 대부분의 모델들이 70% 이상을 설명할 수 있다(Fig. 7(a)).

Fig. 7(b)는 농업지역 토지피복 변화예측에 대한 통합 모델의 예측비율곡선을 나타낸 것이다. 대부분의 모델들이 비슷한 결과로 나타나지만, 그중에서 최대연산자가 상대적으로 상위 10% 지역에서 55% 정도를 설명할 수 있어서 농업지역 예측에 가장 정확한 예측 모델로 볼 수 있다. 이밖에 나머지 통합 모델들도 상위 20%에서 70% 이상을 설명할 수 있다.

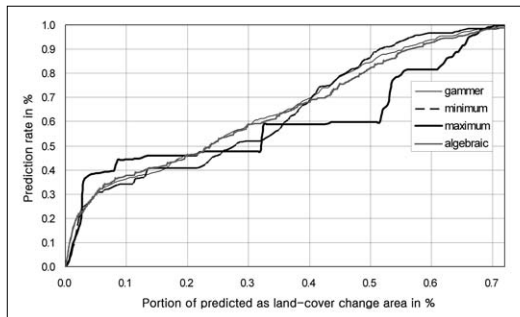
Fig. 7(c)는 산림지역 토지피복 변화예측에 대한 통합 모델의 예측비율곡선을 나타낸 것이다. 대부분의 예측 모델들이 낮은 설명력을 가지는데, 즉 상위 10%에서 40% 정도를 설명하고, 20%에서도 50% 이하로 설명력을 가지고 있다. 따라서 본 통합 모델들은 산림지역 예측에 부적합한 것으로 볼 수 있어서,



(a) Urban districts



(b) Agricultural districts



(c) Forest districts

Fig. 7. Prediction rate curves using Fuzzy logic.

향후 산림지역 변화에 영향을 줄 수 있는 주제도 선정 및 예측모델 등을 개발할 필요성이 있다.

V. 결론

본 연구에서는 공주지역을 대상으로 퍼지연산자를 이용하여 지리공간 정보와 토지피복 변화와의 연관성 및 미래의 토지피복 변화 예측을 분석하였다.

또한 예측비율곡선을 이용하여 모델의 정량적 분석을 시도하였다. 그 결과, 지리공간정보 자료와 토지피복 변화와의 연관성 분석을 통해 가장 연관성이 높은 클래스를 추출할 수 있었다. 도시지역 토지피복 변화 분석에서는 고도, 경사도가 증가하면 퍼지 소속함수 값이 낮아지며, 하계망 및 도로망 역시 거리가 멀어질수록 변화영역의 비율이 낮아진다. 이밖에 인구밀도와 총사업체수, 지가 등은 밀도가 높은 지역일수록 퍼지소속함수 값이 높게 나타나 토지피복 변화가 일어날 확률이 높다.

농업지역 토지피복 변화 분석에는 고도 50m 이내 지역, 경사도 7° 이하 지역, 수계로부터의 거리 200m 이내 지역, 도로로부터 거리 100m 이내 지역, 인구밀도 501~1000인 지역, 인구이동은 인구감소 지역인 -2 이하 지역, 총사업체수 501~1000개 지역이 토지피복 변화가 일어날 가능성이 매우 높다. 그러나 지가와 농업지역 지표변화와의 관련성이 크지 않다.

산림지역 지표변화에는 고도 30~50m 지역과 100~200m 지역, 경사도 30° 이상 지역, 인구밀도 2,001~3,000인 지역, 인구이동은 인구증가 지역인 0 이상 지역, 총사업체수 1,000개 지역, 지가 20만원 이상인 지역에서 지표변화가 일어날 가능성이 매우 높게 나타났다. 이밖에 수계 및 도로와의 거리 등은 산림지역 지표변화와의 관련성이 크지 않다.

퍼지 연산자를 이용하여 토지피복 변화를 예측한 결과, 대부분의 토지피복 예측도들이 부합되고 있음을 알 수 있다. 도시지역에서의 토지피복 변화예측 지역들은 공주시 중앙을 관통하는 금강을 중심으로 구도심과 신도심지역의 도시 확산이 예측되며, 인터체인지 및 국도 변을 따라 시가화 지역이 확산 될 것으로 예측되었다. 이밖에 행정중심 복합도시 접경지에 해당하는 장기면 지역을 중심으로 새로운 시가화 지역이 만들어 질것으로 예측되었다.

농업지역의 토지피복 변화 예측 지역들은 조사지역의 북동쪽 지역에 해당하는 유구천 주변지역에서 가장 큰 변화가 일어날 것으로 보였다. 또한 금강의 소지류 및 인접지역과 연결되는 국도주변 지역이 변

화가 일어날 확률이 높다. 특히 금강 하도 내 및 주변의 평야지역은 도시지역으로 토지피복 변화가 일어날 확률이 높은 지역으로 나타났다.

산림지역 토지피복 변화예측 지역들은 대부분 남동쪽에 위치하고 있는데, 이러한 원인은 밤나무 재배단지과 같은 유실수 재배단지가 본 지역에 넓게 나타나면서 산림훼손이 일어날 확률이 높은 것으로 예측되었다. 또한 일부 공주시 도심지 주변지역의 구릉지들이 대단위 주택개발 사업에 따라 산림에서 도시지역으로의 전환이 예측된다. 그러나 이들 지역을 제외한 다른 지역들은 비교적 낮은 변화 예측 확률 값으로 나타났다.

예측비용 곡선을 이용하여 검증한 결과, 도시지역의 토지피복 변화 예측에서는 최대연산자가 상위 10%에서 80% 이상의 설명력을 가지고 있고, 산림지역의 토지피복 변화 예측에서도 55%이상의 설명력을 가지고 있어서 비교적 정확한 연산자이다. 이밖에도 다른 연산자 역시 비교적 정확한 예측을 하였다. 그러나 산림지역 토지피복 변화예측에 대한 통합 모델의 예측비용곡선에서는 대부분의 연산자들이 상위 10%에서 40% 정도를 설명하고 있어서 부적절한 연산자인 것으로 볼 수 있다. 향후 산림지역 변화에 영향을 줄 수 있는 주제도 선정 및 예측모델 등을 개발할 필요성이 있다.

이상의 검증 결과를 보면, 퍼지논리연산자는 자연 및 인문·사회 주제도를 통합한 각 분류 항목별 토지피복 변화 예측에 비교적 정확한 분석을 할 수 있다. 특히 최대연산자는 가장 정확한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 산림지 예측에서는 대부분의 모델들이 해석력이 떨어져 향후 다른 통합기법 및 주제도 선정이 필요하다. 이러한 연구는 토지피복도 활용에 유용하게 활용될 수 있으며, 국토의 효율적 관리 및 장기발전계획 수립 시에도 유용한 자료로 활용될 수 있다.

사 사

본 연구는 한국과학기술 평가원(KISTEP)의 국가

지정연구실 사업의 지원을 받아 수행 되었습니다 (#1020300000702j000000510).

참고문헌

- 공주시, 2004, 공주시 통계연보.
- 국토개발연구원, 1998, 토지이용계획을 위한 GIS 활용방안 연구.
- 김경아, 1998, 수도권 자연보존 권역에서 토지이용규제가 지피변화에 미치는 영향, 서울대학교 석사학위논문.
- 김대식, 1999, 지리정보시스템과 다기준 평가법을 이용한 농촌중심마을 모의 모형의 개발에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문.
- 김홍규, 양인태, 윤영훈, 조홍묵, 1999, 퍼지감독분류 결과를 이용한 토지피복 변화탐지 기법, 대한토목학회논문집, 19(6), 499-502.
- 김훈희, 이진희, 2001, 토지이용변화와 확률모형 구축 및 적용에 관한 연구, 대한국토·도시계획학회지, 36(4), 1-17.
- 박노옥 1999, 다중 지구과학 자료 공간 통합 정보의 분석, 서울대학교 석사학위 논문.
- 박노옥, 지광훈, Chang-Jo F. Chung, 권병두, 2003, 퍼지이론을 이용한 GIS 기반 자료유도형 지질자료 통합의 이론과 응용, 자원환경지질, 36(3), 243-255.
- 박병욱, 1996, Landsat TM 자료를 이용한 광주시 환경변화 분석, 지형공간정보학회지, 4(1), 31-41.
- 박성미, 1997, 원격탐사 및 GIS 기법을 이용한 지표환경 분석 연구 : 하남지역의 응용사례, 서울대학교 석사학위 논문.
- 서창완, 전성우, 1998, 원격탐사와 GIS기법을 이용한 접경지역 토지피복연구, 한국환경영향평가학회지, 7(1), 11-22.
- 이기원, 박성미, 지광훈, 1996, Landsat자료를 이한 도시환경 변화추출에서의 주성분분석과 퍼

- 지집합연산의 응용, 대한원격탐사학회지, 12(3), 257-270
- 장동호, 2005, 지표변화와 지리공간정보와의 연관성 분석을 통한 공주지역 지표환경 변화 분석, 대한지리학회지, 40(2), 63-77.
- 장동호, 김만규, 2003, IKONOS 영상자료를 이용한 토지피복도 개선, 한국GIS학회지, 11(2), 101-117.
- 장동호, 지광훈, 이현영, 2002, 퍼지논리연산을 이용한 안면도 지표환경 변화 예측, 대한지리학회지, 37(4), 371-384.
- 전형섭, 임승현, 조기성, 2003, 토지피복 변화탐지를 위한 위성영상의 적용에 관한 연구, 공학연구, 34, 105-113.
- An, P., Moon, W.M. and Rencz, A., 1991, Application of fuzzy set theory to integrated mineral exploration, *Canadian Journal of Exploration Geophysics*, 27, 1-11.
- Banai, R., 1993, Fuzziness in geographical information systems: contribution from the analytical hierarchy process. *International Journal of Geographical Information Systems*, 7, 315-329.
- Batty, M. and Yichun, X, 1994, Modeling inside GIS: Part2. Selecting and calibrating urban models using Arc/Info, *International Journal of Geographical Information Systems*, 8(5), 429-450.
- Batty, M., Yichun, X. and Zhanli, S, 1999, Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata, *Computers, Environment and Urban Systems*, 23, 205-233.
- Bonham-Carter, G. F., 1994, Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS, Pergamon press, Kidlington, 398.
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P. and Wright, D.F., 1988, Integration of geological data sets for gold exploration in Nova Scotia, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 54, 1585-1592.
- Carranza, E.J.M. and Hale, M., 2001, Geologically-constrained fuzzy mapping of gold mineralization potential, Baguio district, Philippines, *Natural Resources Research*, 10, 125-136.
- Choi, S.-W., Moon, W.M. and Choi, S.-G., 2000, Fuzzy logic fusion of W-Mo exploration data from Seobyeg-ri, Korea, *Geosciences Journal*, 4, 43-52.
- Chung, F. C. and Fabbri, A. G., 2003, Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*, 30, 451-472.
- Chung, F.C. and Fabbri, A.G., 1999, Probability prediction models for landslide hazard mapping, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65(12), 1389-1399.
- Heiko, B., Paul, W.B. and Wolfgana K., 1998, Cellular automata models for vegetation dynamics, *Ecological Modelling*, 107, 113-125.
- Jang, D.H. and Chung, F.C.(a), 2004, Updating land cover classification using integration of multi-spectral and temporal remotely sensed data, *Journal of the Korean Geographical Society*, 39(5), 786-803.
- Jang, D.H. and Chung, F.C.(b), 2004, Integration of multi-spectral remote sensing images and GIS thematic data for supervised land cover classification, *Korean Journal of Remote Sensing*, 20(5), 315-327.

- Moon, W.M., 1990, Integration of geophysical and geological data using evidential belief function, *Geoscience and Remote Sensing*, 28, 711-720.
- Moon, W.M., 1998, Integration and fusion of geological exploration data: a theoretical reivew of fuzzy logic approach, *Geosciences Journal*, 2, 175-183.
- Solaiman, B., Pierce, L.E. and Ulaby, F.T., 1999, Multisensor data fusion using fuzzy concepts: application to land-cover classification using ERS-1/JERS-1 SAR composites,. *Geoscience and Remote Sensing*, 37(3), 1316 -1329
- Takeshi, A. and Tetsuya, A., 2004, Empirical analysis for estimating land use transition potential functions-case in the Tokyo metropolitan region, *Computer, Environment and Urban Systems*, 28(1), 65-84.
- Yan, L. and Stuart, R.P., 2003, Modelling urban development with cellular automata incorporating fuzzy-set approaches, *Computers, Environment and Urban Systems*, 27(6), 637-658.
- Yeqiao, W. and Xincheng, Z., 2001, A dynamic modeling approach to simulating socio-economic effects on landscape changes, *Ecological Modeling*, 140, 141-162.
- Zadeh, L.A., 1965, Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.