대한지리학회지 제40권 제3호 2005(296~309)

# 지표변화와 지리공간정보의 연관성 분석을 통한 공주지역 지표환경 변화 분석

장동호*

# Change Detection of land-surface Environment in Gongju Areas Using Spatial Relationships between Land-surface Change and Geo-spatial Information

Dong-Ho Jang*

**요약** : 본 연구는 공주지역의 지표변화를 분석하기 위해 우도비 기반의 베이지안 예측모델을 이용하여 지리공간 정보와 지표변화와의 연관성 및 미래의 지표변화를 탐지하였다. 지표변화 지역은 위성사진을 토지피복분류 한 후 선분류 후비교법을 이용하여 변화지역을 추출하였다. 지표변화와 관련이 있는 지리공간 정보는 GIS 환경에서 구축하였으며, 우도비를 이용하여 지표변화 예측도를 작성하였다. 분석결과, 도시지역 및 농업지역 지표변화에 가장 큰 영향을 미치는 주제도는 고도, 하계망, 인구밀도, 도로, 인구이동, 총사업체수, 지가 등이다. 또한 산림지역 지표변화에 영향을 미치는 주제도는 고도, 경사도, 인구밀도, 인구이동, 지가 등이다. 지표변화 분석결과, 도시지역은 금강을 중심으로 구도심과 신도심지역의 도시 확산이 이루어지고, 인터체인지 및 국도를 따라 시가화 지역이 확산 될 것으로 예측되었다. 농업지역은 금강의 소지류 및 인접지역과 연결되는 국도주변 지역이 변화가 일어날 확률이 높다. 산림지역은 대부분 남동쪽에 위치하고 있는데, 그 원인은 밤나무 재배단지가 본 지역에 넓게 나타나면서 산림훼손이 일어날 확률이 높은 것으로 예측되었다. 예측비율 곡선을 이용하여 검증한 결과, 지표변화가 일어날 확률이 가장 높은 상위 10%지역에서 도시지역은 80%, 농업지역은 55%, 산림지역은 40% 정도의 예측능력을 보였다. 따라서, 본 통합 모델은 산림지역 예측에는 부적합한 것으로 볼 수 있어서, 향후 새로운 주제도 선정 및 예측모델 등이 필요하다. 결론적으로 본 방법은 향후 토지피복 변화 연구를 위한 효과적인 방법 중의 하나로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 우도비, 베이지안, 지표변화, 예측도, 공주

**Abstract** : In this study, we investigated the change of future land-surface and relationships of land-surface change with geo-spatial information, using a Bayesian prediction model based on a likelihood ratio function, for analysing the land-surface change of the Gongju area. We classified the land-surface satellite images, and then extracted the changing area using a way of post classification comparison. Land-surface information related to the land-surface change is constructed in a GIS environment, and the map of land-surface change prediction is made using the likelihood ratio function. As the results of this study, the thematic maps which definitely influence land-surface change of rural or urban areas are elevation, water system, population density, roads, population moving, the number of establishments, land price, etc. Also, thematic maps which definitely influence the land-surface change of forests areas are elevation, slope, population density, population moving, land price, etc. As a result of land-surface change analysis, center proliferation of old and new downtown is composed near Gum-river, and the downtown area will spread around the local roads and interchange areas in the urban area. In case of agricultural areas, a small tributary of

* 공주대학교 국가지정연구실(National Research Laboratory, Kongju National University) hdjang@kis.kigam.re.kr

Gum-river or an area of local roads which are attached with adjacent areas showed the high probability of change. 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 capability of forest damage is very high. As a result of validation using a prediction rate curve, a capability of prediction of urban area is 80%, agriculture area is 55%, forest area is 40% in higher 10% of possibility which the land-surface change would occur. This integration model is unsatisfactory to predict the forest area in the study area and thus as a future work, it is necessary to apply new thematic maps or prediction models . In conclusion, we can expect that this way can be one of the most essential land-surface change studies in a few years.

Key Words : likelihood ratio, bayesian, land-surface change, prediction map, Gongju

## 1. 서론

지표변화는 지역 생태계의 구조와 기능을 변화시키는 중요한 요인으로 인식되고 있다(Ojima *et al.*, 1994). 최근 지표변화 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 지표변화 메커니즘을 이해하는 것이 필수적인데, 특히 자연 및 사회 · 경제적 요인이 지표변화에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다.

지표변화 분석은 지표경관을 토대로 한 새로운 환경조성을 이해하는데 필수적이다. 즉 지표변화에 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 지표변화에 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, 2002). 특히 사회구조가 복잡하고 제반 여건의 변화가 심한 상황에서는 많은 자료와 정보가 뒷받침되어야만 정확한 변화와 바람직한 지표변화를 분석할 수 있다.

이와 관련하여 지표 공간 및 환경변화를 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, 경제성 및 정확도가 입증되어 응용범위가 확산되고 있다. 또한 GIS 자료와의 결합을 통한 분석이 가능한 장점이 있기 때문에 지표변화 등의 분야에 대한 직접적인 응용이 가능하다. 원격탐사 영상과 더불어 최근 국가 지리정보체계 구축사업으로 지형도, 지질도, 토양도, 임상도 등의 다양한 지리정보의 이용이 빠르게 진행되고 있어서 GIS와 원격탐사 자료의 결합 즉, 다중소스(multi-source) 자료 혹은 다중센서(multi-sensor) 자료를 이용할 경우 다양한 자료로부터의 정보 추출을 통한 합리적인 의사결정이 가능해 진다(한국지질자원연구원, 2001). 그러나 현재 상업용/비상업용 GIS 및 원격탐사 S/W에서 제공하는 대부분의 모듈은 방대한 양의 다중 자료를 복합적으로 처리하는 데에는 한계가 있으며, 분석 기능이 취약한 상황이다. 이러한 배경에서 수학/통계적 기반의 자료처리 기법을 연구할 경우, 보다 객관적이고 합리적인 분석결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

지표변화의 원인은 그동안 자연적 변화보다는 인구증가, 지가, 도로와의 거리 등 사회 · 경제적 요인에 의해 변화되었다(Bryant, 1984; Johnson, 1974; 박미선, 1997). 외국의 경우, 지표변화 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 측면 뿐만 아니라 환경적 측면을 고려한 통계적 기반의

공간분석 시스템 연구가 활발하게 진행되었다(Heiko *et al.*, 1998; Batty *et al.*, 1999; Yan and Stuart, 2003). 이밖에 지표변화 연구는 토지변화, 지형, 위성자료를 이용한 지형의 분류나 변화 분석(Pain,1985; Stringer *et al.*, 1988), 도시 환경 연구(Howarth *et al.*, 1983; Toll, 1984) 등이 있다. 국내의 위성자료를 이용한 지표변화에 대한 연구(박성미, 1997; 서창완, 전성우, 1998; 양인태 외, 1999)는 매우 다양한 분야에서 적용되고 있다. 또한 GIS 기반 도시 확산과 관련된 연구들은 인간 활동과 연관지어 지표경관의 시 · 공간적인 변화분석뿐만 아니라 지표경관 예측 연구도 활발히 진행되고 있다(김경아, 1998; 김대식, 1999; 김훈희, 이진희, 2001). 그러나 지표변화 예측 및 지표변화와 각종 자연 · 사회 · 경제적 인자들과의 연관성 연구는 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 위성자료 기반으로 작성된 토지피복도를 각종 자연 및 사회 · 경제 주제도와 통합하여 지표변화를 분석하고자 한다. 지표변화 메커니즘에서 자연 및 사회 · 경제적 요인은 토지피복 변화에 관한 의사결정에 영향을 미쳐서 지표변화의 중요한 요인으로 작용한다. 따라서 사회 · 경제적 요인과 지표변화 사이의 관계를 연구함으로써 토지피복 변화에 미치는 영향을 분석하여 지표변화 예측의 기초 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 연구지역과 자료 및 연구방법

### 1) 연구지역과 자료

본 연구에서는 지표변화 분석을 위한 대상지역으로 공주시 지역을 선정하였다. 공주지역은 행정중심 복합도시 접경지역에서 가장 가까이 위치한 도시로서 최근 개발 계획에 따른 대단위 난 개발이 우려되는 지역이다. 특히 금강을 중심으로 강북지역에 해당하는 신관동, 금흥동, 장기면 지역은 도시 확산에 따라 토지이용 변화가 심하게 일어나고 있고, 향후 행정중심 복합도시 건설이 실질적으로 이루어지면, 가장 큰 지표변화가 일어날 지역이다. 또한 최근 들어 공주지역을 중심으로 대전-논산 간 고속도로, 당진-상주 간 고속도로, 공주-서천 간 고속도로가 완공 및 공사 중이어서 많은 지표변화가 일어나고 있다.

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 많으며, 다음으로 옥룡동, 중학동 순이다(공주시, 2004).

원격탐사 자료는 과거와 현재의 자료 및 정보를 주

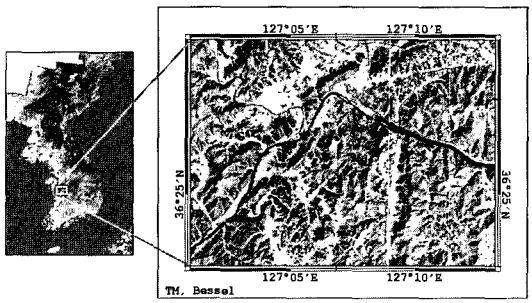



Figure 1. Study area
(Landsat ETM+ image of 2002. 9.16)

Table 1. Thematic maps used in analysis of land-surface changes.

| | Thematic Maps | Scale & Administrative Units |
|---|---|---|
| Natural Factors | Contour Map(DEM) | 1:25,000 |
| | Slope Map | 1:25,000 |
| | Drainage Map | 1:25,000 |
| | Landuse Map | 1:25,000 |
| Society economy Factors | Road Map | 1:25,000 |
| | Population density Map | Dong, Ri |
| | Migration Map | Dong, Myeon |
| | Establishments Map | Dong, Myeon |
| | Land prices Map | Dong, Ri |
| Landsat | 1988. 9.27. | Landsat TM |
| | 1998.10. 2. | Landsat TM |
| | 2002. 9.16. | Landsat ETM+ |

기적으로 용이하게 입수할 수 있으며, 자료의 형태가 격자(raster) 기반이기 때문에, GIS 자료와의 결합이 가능하다. 본 연구에서는 지표변화탐지를 위해 다중분광 밴드를 가지는 Landsat-5 TM과 Landsat-7 ETM+ 영상을 이용하여 토지피복도를 작성하였다. 사용된 위성영상은 1988년 9월27일, 1998년 10월 2일 자료이며, 2002년 9월 16일 영상은 지표변화 검증자료로 활용하였다. 공주시 행정구역 전체를 대상으로 하지 않고, 변화가 주로 일어난 지역인 구도심을 중심으로 격자형을 이루도록 하였으며, 565×446 화소이다.

또한 본 연구에서는 공주시 지역의 지표환경 변화 및 평가기법을 개발하기 위해 토지피복도와 더불어 지표변화와 관련된 자연환경 자료, 사회 · 경제 자료들을 사용하였다(Table 1). 세부적으로 나누어 보면, 자연환경 관련 주제도로는 표고분포도, 경사분포도, 하계망도, 토지이용도 등이며, 사회 · 경제환경 주제도로는 도로망도, 인구밀도도, 인구이동도, 총사업체분포도 등이다.

## 2) 연구방법

본 연구에서는 지표변화 분석을 위해 다음과 같은 연구방법에 의해 수행하였다(Fig. 2). 먼저 위성영상에서 각각의 변화정보를 추출하기 위하여, 영상분류 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 다시 선분류 후비교법(Post-Classification Comparison)을 수행하여 각 분류 항목별 변화지역을 추출하였다. 지표공간 정보 자료는 문헌조사, 현장조사 등을 통하여 자료를 획득하여 수치지도로 작성하였으며, 특히 지표 공간자료들 중, 사회 · 경제 주제도는 토지피복도와 비교하기 위하여 2002년도 통계자료들을 사용하여 작성하였다.

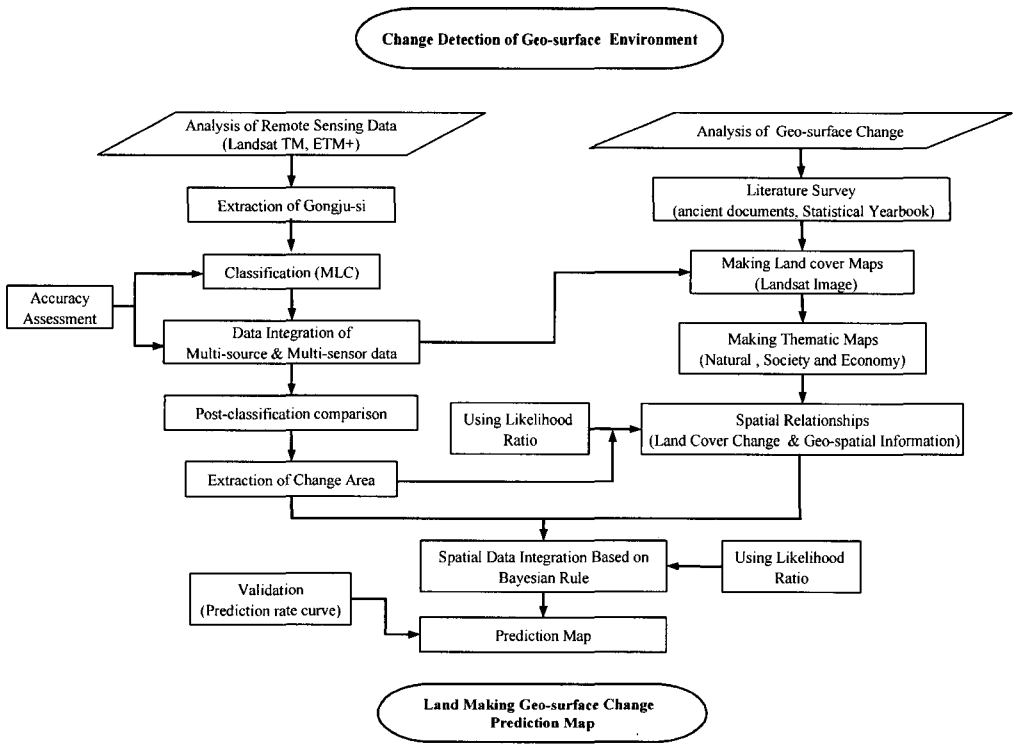



Figure 2. Flowchart for analysis of land-surface change in study area.

작성된 자연 및 사회 · 경제주제도는 토지피복 변화에 어떤 영향을 미치는지를 고찰하였다. 특히 각 분류항목 중 도시, 농경지, 산림 등을 대상으로 토지피복 변화와 관련이 있는 주제도를 선정하였는데, 여기서는 여러 공간자료의 확률론적 표현방법인 우도비함수(likelihood ratio function) 기반의 베이지안 예측 모델을 이용하였다. 최종적으로 예측비율곡선(prediction rate curve)을 작성하여 미래의 지표경관 변화와 관련된 정량적 정보를 추출하고자 하였다〈Fig. 2〉.

변화속성탐지 기법으로는 선 분류 후 비교법(post-classification comparison), 다중시기 직접 분류법(direct multi-data classification) 등이 있다. 본 연구에서는 서로 다른 시기의 영상을 토지피복 분류하고, 분류된 영상을 분류항목끼리 비교하고 변화양상, 변화면적 등을 분석하는 선분류 후비교법을 사용하였다. 작성된 토지피복도는 토지피복 유형 중 도심, 농경지, 산림 등 3개 항목을 선정하여 사라진 부분과 생성된 부분의 변화한 화소와 변화하지 않은 화소로 추출하여 토지피복 변화를 정량적으로 파악하였다.

본 연구에서는 이들 분류된 영상들을 통합할 수 있는 기술로써 GIS 공간통합 기법을 사용하였다. 특히 수학/통계적 배경에 기반을 둔 베이지안 모델(Bayesian Model)을 이용하여 자료통합을 수행하였다(김훈희, 이진희, 2001; 장동호 외, 2004). 본 모델은 산사태 취약성 분석, 광물자원탐사, 토지피복 변화 예측 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 특히 본 모델은 산사태 취약성 분석에서 매우 효과적인 공간통합 방법으로 활용되었다(박노욱 외, 2005). 본 연구와 관련된 토지피복 변화 예측 연구에는 Turner, et al.(1996)의 산림변화 예측과 관련된 연구가 있다. 그의 연구에 의하면, 도시확산에 따른 산림경관의 훼손 및 변화분석에 우도비 기반의 공간통합 모델이 유용하다고 지적하였다.

공간통합 모델의 예측 능력을 정량적으로 분석하기 위해서는 일종의 검증(validation)이 필요하다. 본 연구에서는 과거 지표변화 지역을 분할하여 계산하는 예측비율곡선(Chung and Fabbri, 1999)을 작성하였다. 예측비율곡선은 과거 지표변화 지역의 분할에 기반하여 계산하는데, 본 연구에서는 임의적 공간분할 방법을 통해 예측비율곡선을 작성하였다. 즉 과거 지표변화 지점을 임의 분할을 통해 두개의 그룹으로 나누어서 한 개의 그룹은 통합에, 나머지 그룹은 검증에 사용하였다.

### 3) 토지피복 변화 예측모델: 베이지안 모델

일반적으로 지표변화를 분석하기 위해서는 미래의 지표변화가 일어날 지역과 일어나지 않을 지역을 구분하는데 있다. 지표변화가 일어날 지역과 일어나지 않을 지역에서의 지형 · 사회 · 경제 자료들은 확률분포의 차이가 나타날 것이며, 이러한 차이는 확률의 비로 정량적으로 부각될 수 있다. 이러한 확률의 비를 정량적인 모델로 표현하는데 있어서 베이지안 이론은 이론적 배경을 제공할 수 있다.

베이지안 확률 이론은 적용 대상을 확률론적으로 표현하고, 단일 자료뿐만 아니라 지표변화와 같은 여러 자료를 함께 분석에 사용할 수 있다(Duda et al., 1976). 베이지안 이론에서는 일반적으로 초기 확률(a priori probability), 조건부 확률(conditional probability), 사후 확률(a posteriori probability) 등으로 표현이 되는데, 본 연구에서는 조건부 확률의 비로 정의되는 우도비(likelihood ratio)를 적용하였다. 우도비는 어떤 사건이 특정 속성에서 일어나지 않을 확률에 대한 일어날 확률의 비로 정의되며, 이러한 차이를 정량적으로 부각시킬 수 있는 장점이 있다.

먼저 지표변화에 영향을 받는 영역 M과 나머지 변화가 없는 영역 $\bar{M}$으로 구성된 전체 연구 영역 $A$에서 m 개의 픽셀 값 $(c_1,\cdots, c_m)$을 가진 지점 $c$를 검토할 수 있다. 픽셀이 각각 M과 $\bar{M}$에 속하는 $f\{c_1,\cdots, c_m \mid M\}$과 $f\{c_1,\cdots, c_m \mid \bar{M}\}$을 다변량 도수 분포 함수라고 가정하자. 그러면 $c$에서 우도비(Press, 1972)는 다음과 같이 정의된다.

$$\lambda(c_1,\cdots,c_m) = \frac{f\{c_1,\cdots,c_m \mid M\}}{f\{c_1,\cdots,c_m \mid \bar{M}\}} \quad (1)$$

우도비 함수는 식(1)에서와 같이 두 개의 다변량 분포 함수에 기반하고 있기 때문에 데이터를 단순화하거나, 두 개의 데이터 유형을 하나로 통합할 필요가 없다. 처음 k개의 레이어가 범주형 데이터에 해당하고 나머지 h 개의 레이어가 연속형 데이터라고 가정하여,

$f\{x_1,\cdots, x_k, y_1,\cdots, y_h|M\}$와 $f\{x_1,\cdots, x_k, y_1,\cdots, y_h|\bar{M}\}$는 각각 M과 $\bar{M}$의 다변량 도수 분포라고 하자. 여기서 처음 k 개의 값 $x_1,\cdots, x_k$는 범주 데이터 레이어에 해당하고, 다음 h 개의 값 $y_1,\cdots, y_h$은 연속 데이터 레이어를 나타낸다. 이때 식(1)에서 우도비 함수의 다변량 일반화인 우도비는 다음과 같다.

$$\lambda(x_1,\cdots,x_k,y_1,\cdots,y_h) = \frac{f\{x_1,\cdots,x_k,y_1,\cdots,y_h|M\}}{f\{x_1,\cdots,x_k,y_1,\cdots,y_h|\bar{M}\}} \quad (2)$$

다른 두 가지 유형의 데이터 레이어의 다변량 도수 분포 함수를 처리하기위해 다음과 같은 조건부 독립을 가정하였다.

$$f\{x_1,\cdots,x_k, y_1,\cdots, y_h|M\} = f\{x_1,\cdots, x_k \mid M\}\, f\{y_1,\cdots, y_h|M\}$$
$$f\{x_1,\cdots,x_k, y_1,\cdots, y_h \mid \bar{M}\} = f\{x_1,\cdots, x_k \mid \bar{M}\}\, f\{y_1,\cdots, y_h \mid \bar{M}\} \quad (3)$$

식(3)의 가정 아래 k+h(=m) 차원 다변량 도수 분포 함수 $f\{x_1,\cdots, x_k, y_1,\cdots, y_h|M\}$은 범주형 데이터에 대한 k 차원 다변량 불연속 분포 함수와 연속형 데이터에 대한 h 차원 다변량 연속 분포 함수의 곱으로 나타낸다. 이러한 가정은 $f\{x_1,\cdots, x_k, y_1,\cdots, y_h|M\}$에도 동일하게 적용된다. 이러한 조건부 독립의 가정 하에 베이지안 결합 규칙은 다음과 같이 두 우도비 함수의 곱으로 표현될 수 있다

$$\lambda(x_1,\cdots, x_k, y_1,\cdots,y_h) = \lambda(x_1,\cdots,x_k) \cdot \lambda(y_1,\cdots,y_h) \quad (4)$$

우도비 함수는 k 개의 다른 단일변량 우도비 함수의 곱으로 계산할 수 있는데, 여기서 각 단일변량 우도비 함수(univariate likelihood ratio function)는 다음과 같이 지표변화 지역과 관련된 각 단일 범주 데이터 레이어로 계산하였다.

$$\breve{\lambda}(x_i) = \frac{\#\text{ of land-surface change pixels within } x_i \textit{ category} \text{ within the } i^{th} \text{ layer}}{\#\text{ of non land-surface change pixels within } x_i \textit{ category} \text{ within the } i^{th} \text{ layer}} \quad (5)$$

본 연구에서는 h개의 픽셀 값$(y_1,\cdots, y_h)$을 가진 지점 y에 대한 연속형 데이터 레이어 $\lambda(y_1,\cdots, y_h)$의 우도비 함수를 다음과 같이 계산하였다. 여기서 각 $y_j$는 j번째 연속형 데이터 레이어 안의 지점 y에서 실제 값을 나타내고 각 과정에는 다른 가정이 필요하다.

$$\lambda(y_1,\cdots, y_h) = \lambda(y_1) \cdots \lambda(y_h). \quad (6)$$

k 차원 다변량 분포 함수를 생각하는 대신, 우도비 함수를 k 개의 다른 단일변량 우도비 함수의 곱으로 계산할 수 있는데, 여기서 각 단일 비율 함수는 다음과 같이 계산한다.

$$\ddot{\lambda}(y_j) = \frac{\ddot{f}\{y_j \mid M\}}{\ddot{f}\{y_j \mid \bar{M}\}} \quad (7)$$

여기서 $\ddot{f}\{y_j \mid M\}$와 $\ddot{f}\{y_j \mid \bar{M}\}$는 지표변화 발생의 분포와 관련된 j번째 연속형 데이터 레이어에서 계산된 두 개의 경험적인 분포 함수이다(Silverman, 1986). 따라서 조건부 독립 가정 아래 식(6)과 식(7)을 사용하면 다음 결과를 얻는다.

$$\ddot{\lambda}(x_1,\cdots, x_k) = \ddot{\lambda}(x_1) \cdots \ddot{\lambda}(x_k) \quad (8)$$

우도비는 [0, ∞)의 값을 가지게 되는데, 우도비가 1보다 클수록 그 속성에서 특정 사건의 발생 가능성이 높음을 의미하며, 1보다 작을수록 발생 가능성이 낮은 것을 의미한다.

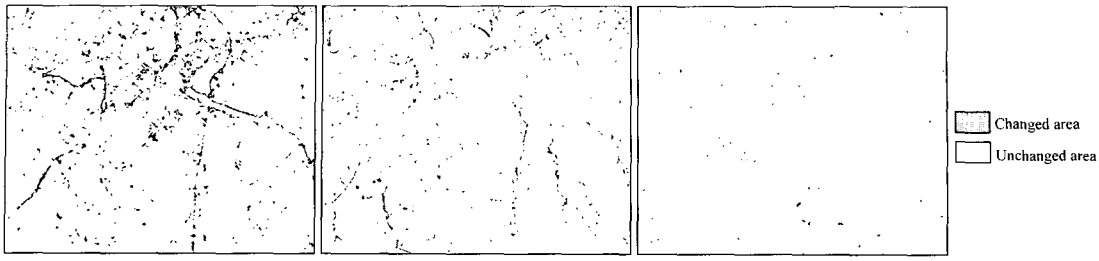
## 3. 토지피복 변화 분석

### 1) 토지피복도 작성 및 변화지역 추출

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

먼저, 본 연구에서는 최대우도분류법(MLC)을 이용하여 토지피복도를 작성하였는데, 분류정확도를 향상시키기 위해 다른 주제도 및 토지피복도와의 통합처리를 하였다. 분류 항목은 수역, 산림, 초지, 농업지역, 도시지역(인공구조물), 나지, 습지 등 총 7개 분류항목을 선정하였다. 위성자료는 1988년 자료와 1998년 Landsat TM 자료이며, 각각의 분류정확도는 85%이상이다(Jang and Chung, 2004b).

본 연구에서는 작성된 토지피복도를 선분류후비교법을 통하여 지표변화 지역을 추출하였다. 특히 각 분류 항목별 지표변화 지역 중 도시지역, 농업지역, 산림지역 등을 대상으로 변화지역을 추출하였다(Fig. 3).




(a) Urban districts (b) Agricultural districts (c) Forest districts

Figure 3. Land cover change detection using satellite image.

변화지역으로 추출된 화소는 도시지역, 농업지역, 산림지역이 각각 11,640, 4,341, 534개이다.

공주지역에서 1988년에서 1998년 사이 지표변화를 살펴보면 다음과 같다. 도시지역은 많은 면적이 확대되었으며, 산림 및 농업지역은 축소되었다. 특히 도시지역에서의 변화지역은 대부분 금강을 중심으로 강북지역인 신도심 지역에서 도시확산이 이루어졌으며, 구도심 주변의 농경지에서도 도시지역으로의 지표변화가 일어났다. 또한 주요 국도인 공주-논산간 국도, 공주-대전간 국도, 공주-천안간 국도의 확장 및 신설 등으로 새로운 인공구조물들의 변화가 있었다.

농업지역에서의 변화지역은 금강의 주요 지류인 유구천, 정안천, 도천천 등의 소지류와 도시지역과 연결되는 국도 주변지역에서 변화가 일어났다. 또한 금강 하도 내에 나지 및 습지들이 농업지역으로 변하였다. 이밖에 산림지역에서의 변화지역은 구릉지와 남동쪽의 산지지역들로, 본 지역은 밤나무 재배단지 조성의 결과로 보인다.

## 2) 지표변화 지역과 지리공간 정보와의 연관성분석

### (1) 표고분석도

고도자료는 지표변화 분석 시 중요한 인자로 작용하는데, 일반적으로 고도가 높고 산지가 많은 지역은 지표변화가 적다. 반대로 고도가 낮은 평야지역 및 구릉지 등은 개발사업 및 농지조성 등으로 지표변화가 지속적으로 일어날 수 있다. 공주는 지형 상으로 구릉성 침식분지를 형성하고 있고, 금강을 중심으로 소지류를 따라 주변에 좁지만 충적평야가 발달되어 있다. 산지는 해발고도 500m 이상 지역은 없지만, 연구지역 외곽을 중심으로 300~400m 정도의 산지들이 연속적으로 나타난다.

지형과 도시지역과의 연관성을 살펴보면, 연구지역의 고도가 높아지면서 우도비는 낮아지는 경향을 보인다(Fig. 4). 이러한 원인은 대부분의 도시지역이 고도 100m 이내 지역에 위치하기 때문이다. 우도비 1이상의 지역들은 고도 10~50m 이내 지역들이다.

농업지역과 고도자료와의 연관성은 시가화지역과 비슷한 형태를 취한다. 즉 연구지역의 고도가 높아지면서 우도비는 낮아지는 경향을 보인다. 이러한 원인은 전술한 바와 같이 대부분의 농업지역들이 고도 50m 이내 지역에 위치하기 때문이다.

산림지역과 고도자료와의 연관성은 도시지역 및 농업지역 분류항목과는 다른 분포형태로 나타난다. 우도비 1 이상의 지역은 2개 부분에서 나타나는데, 즉, 해발고도 30~50m의 구릉지와 100~200m 사이의 구릉성 산지 지역들이다. 특히 고도가 낮은 구릉지들은 대부분 도시지역의 확산에 따라 산림훼손이 진행된 결과

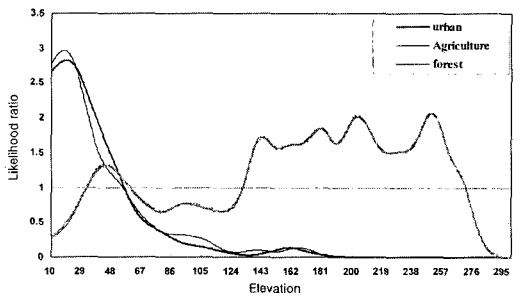



Figure 4. Likelihood ratio values of elevation.

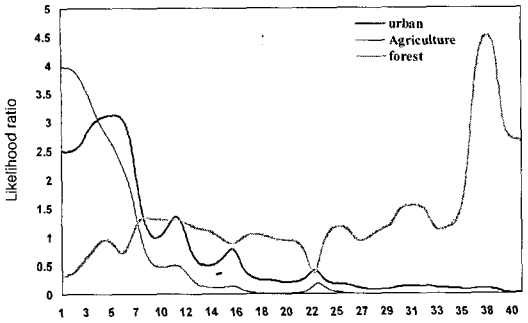



Figure 5. Likelihood ratio values of slope.

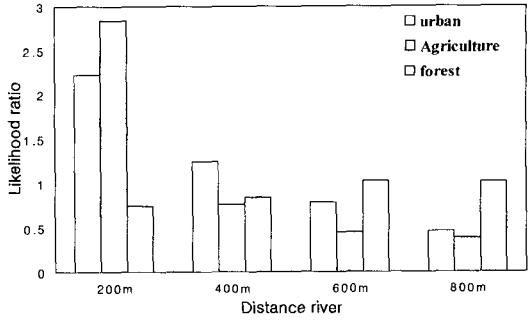



Figure 6. Likelihood ratio values of distance river.

로 보이며, 고도 100m 이상 지역들은 현지조사 결과 임도개설과 밤나무 재배단지 조성 등으로 인한 산림벌채 등의 일시적 현상으로 판단된다.

### (2) 경사도

공주지역은 경사도 10°이하인 지역이 80% 정도로 높으며, 30°이상인 지역이 거의 없어서 구릉성 평탄지를 이루고 있다. 경사도와 도시지역의 연관성을 살펴보면, 연구지역은 경사도가 높아지면서 우도비는 낮아지는 경향을 보인다. 이러한 원인은 대부분의 시가화 지역이 평탄지 지역에 위치하기 때문이다. 우도비 1이상은 경사 10 ° 이하 지역들이어서, 이들 지역에서 지표변화가 일어날 확률이 가장 높으며, 30° 이상의 산지에서는 지표변화가 거의 일어나지 않았다(Fig. 5)

농업지역과 경사도와의 연관성은 시가화지역과 비슷한 형태를 취한다. 그러나 우도비 1이상의 지역은 경사 7 ° 이하 지역으로 나타나서, 대부분의 평탄지들이 농경지로 이용되고 있음을 알 수 있다. 현지조사 결과 이들 지표변화 지역은 고속도로 건설 및 국도 확포장, 농공단지 조성 등으로 도시지역으로 변화한 지역들이 대부분이다.

산림지역과 경사도와의 연관성은 시가화 및 농업지역 분류항목과는 다른 분포형태로 나타난다. 경사 20° 이하 지역들은 대부분의 우도비가 1 이하로 나타났으며, 반면에 30°이상의 지역에서 우도비가 높게 나타났다. 따라서 산림지역의 지표변화는 경사도가 높은 지역들에서 유실수 조성에 따른 산림벌채 등에 기인한 것으로 판단된다.

### (3) 하계망도

본 연구에서는 수계로부터의 거리를 버퍼링(buffering)을 이용하여 자료를 구축하였다. 버퍼링은 각 화소가 하천으로부터 떨어져 있는 거리를 계산하여 그 화소값을 200m 간격으로 재분류하여 클래스를 지정하였다.

하계망과 도시지역과의 연관성을 살펴보면, 수계로부터의 거리가 멀어질수록 변화영역의 비율이 떨어짐을 알 수 있다. 수계와 가장 가까운 구간인 0~200m 구간은 우도비가 2.2로 가장 높으며, 800m 이상 지여에서는 0.4로 낮아진다. 따라서 하계망과 도시지역과의 지표변화와는 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다(Fig 6).

농업지역과 하계망과의 연관성은 도시지역과 비슷한 형태를 취한다. 그러나 우도비 1 이상의 지역은 200m 이내 지역에서만 나타나서, 대부분의 농업지역에서의 지표변화가 200m 이내에서 일어나고 있음을 알 수 있다. 200m 이내의 우도비는 2.8로 시가화지역의 200m 이내의 우도비보다 상대적으로 높게 나타났다.

산림지역과 하계망 자료와의 연관성은 도시 및 농업지역 분류항목과는 다른 분포형태로 나타난다. 대부분의 구간에서 우도비가 1 이하로 나타났으며, 특히, 수계와 가까울수록 토지피복 변화가 일어날 확률이 낮게 나타났다. 이상의 결과로 보아 수계와 산림의 지표변화와의 연관성은 크지 않은 것으로 판단된다.

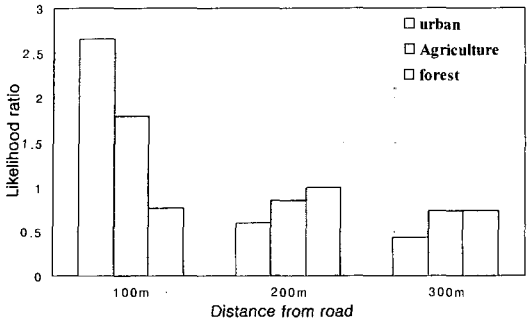



Figure 7. Likelihood ratio values of distance from road.

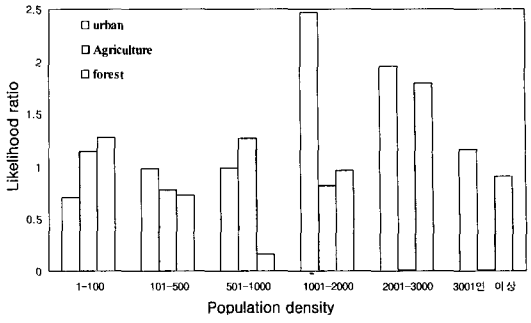



Figure 8. Likelihood ratio values of population density.

### (4) 도로망도

도로망은 도시지역에 포함되며, 인위적 지표환경 변화의 중요인자로 나타난다. 본 연구지역에서는 최근 들어 천안-논산 간 고속도로 개통 및 서천-공주 간 고속도로, 당진-상주 간 고속도로 공사가 활발하게 진행되고 있고, 국도확충 및 구도로 확포장에 따른 도로주변의 지표변화가 지속적으로 이루어지고 있다.

도로망과 도시지역과의 연관성을 살펴보면, 도로로부터의 거리가 멀어질수록 변화영역의 비율이 낮아짐을 알 수 있다. 도로와 가장 가까운 구간인 0~100m 구간은 우도비가 2.7로 가장 높으며, 300m 내에서는 0.4로 낮아진다. 따라서 도로망과 도시지역과의 지표변화와는 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다(Fig 7).

농업지역과 도로망과의 연관성은 시가화지역과 비슷한 형태를 취한다. 그러나 우도비 1이상의 지역은 100m 이내이고, 우도비 역시 1.8로 도시지역 보다는 낮은 확률로 나타난다. 그러나 전체적으로 도로망과 농업지역의 변화와는 연관성이 큰 것으로 판단된다.

산림지역과 도로망 자료와의 연관성은 도시 및 농업지역 분류항목과는 다른 분포형태로 나타난다. 대부분의 구간에서 우도비가 1 이하로 나타났으며, 도로망과의 거리와도 관련성이 낮은 것으로 나타난 결과로 보아, 도로와 산림의 지표변화와의 연관성은 크지 않은 것으로 판단된다.

### (5) 인구밀도도

인구는 인위적인 지표변화의 중요한 인자로서 인간의 생산활동의 변화에 따라 지표도 변화한다. 이러한 지표의 다양한 변화를 이해하기 위해서는 그 지역의 정확한 인구현황을 분석하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 여러 가지 인구요인 중 인구밀도를 지표변화의 중요인자로 선정하였다.

인구밀도와 도시지역과의 연관성을 살펴보면, 인구밀도가 높은 지역일수록 우도비가 높아져 지표변화가 일어날 확률이 높다. 그러나 인구 1,001~2,000사이(우도비 : 2.5)를 넘어서면, 우도비는 다시 낮아지는 경향을 보인다. 이들 지역은 현지조사 결과 대부분 인공구조물 등의 시가지가 이미 조성되어 있어서, 변화가 일어날 확률이 상대적으로 낮은 곳으로 판단된다(Fig. 8).

농업지역과 인구밀도와의 연관성은 도시지역과 전혀 다른 형태를 취한다. 즉, 가장 높은 우도비로 나타나는 지역은 501~1,000사이 지역이며, 다음으로 1~100사이 지역이다. 그러나 2,000 이상 지역에서는 우도비가 0에 가깝게 나타난다. 이러한 결과를 종합적으로 고찰하여 보면, 주로 인구밀도가 낮은 농업지역에서 지표변화가 일어날 확률이 높은 반면에, 인구밀도가 높은 지역은 상대적으로 경지의 비율이 낮아서, 우도비 자체가 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

산림지역과 인구밀도와의 연관성을 살펴보면, 인구밀도 500을 저점으로 우도비 값이 다르게 나타난다. 즉 우도비 1 이상인 지역은 2,001~3,000 지역과 1~100지역이다. 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.

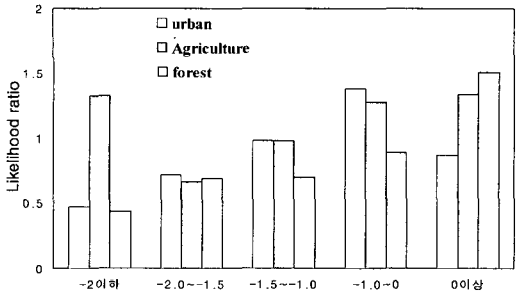



Figure 9. Likelihood ratio values of movement of population.

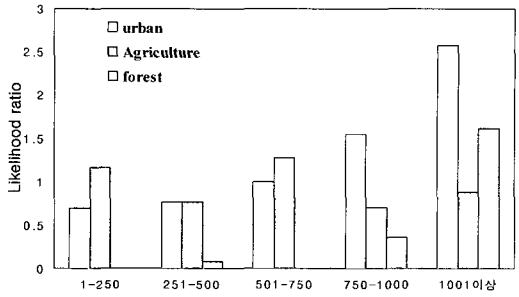



Figure 10. Likelihood ratio values of number of establishments.

(6) 인구이동

인구이동과 각 분류 항목별 변화 영역과의 관계를 우도비로 나타낸 것이 Fig. 9이다. 먼저 인구이동과 도시지역과의 연관성을 살펴보면, 인구감소지역이 우도비가 가장 높으며, -1~0 지역이 1이상의 가장 높은 우도비를 나타내고 있다. 그러나 인구증가 지역은 우도비가 1이하로 다시 낮아지는데, 이러한 원인은 이들 지역이 면 지역으로 상대적으로 시가지에서 떨어져 있기 때문이다(Fig. 9)

농업지역과 인구이동과의 연관성은 도시지역과 비슷한 형태를 취한다. 그러나 인구감소지역인 -2이하 지역이 가장 높은 우도비가 나타나는데, 이들 지역은 대부분이 농업지역으로 인구감소에 따른 농경지의 축소에 기인한 것으로 판단된다.

산림지역과 인구이동과의 연관성을 살펴보면, 인구가 증가하는 지역일수록 우도비가 가장 높다. 특히 0 이상 지역인 장기면 지역은 최근 들어 행정중심 복합도시 개발 계획이 있어서, 향후 산림지를 중심으로 난개발이 우려되는 지역이다.

(7) 총사업체수

특정지역의 인공구조물 및 대단위 개발에 따른 지표변화를 분석하기 위해서는 그 지역의 사업체 현황 및 업종별 특징 등을 살펴보아야 한다. 본 연구에서는 총사업체수를 분석하였다. 연구지역의 총사업체 수는 6,940개, 종사자수는 27,570명이며, 이중 신관동, 산성동, 중학동 등이 1,000개 이상의 사업체가 분포한다.

사업체수와 도시지역과의 연관성을 살펴보면, 사업체수가 많은 지역일수록 우도비가 가장 높으며, 1이상인 지역은 750~1,000, 1,000개 이상 지역들이다. 따라서 도시지역과 사업체수는 밀접한 연관성이 있다(Fig. 10).

농업지역과 사업체수와의 연관성은 도시지역과는 다른 양상을 보인다. 즉 사업체수 증가나 감소에 따라 우도비의 변화가 어떤 패턴을 나타내지 않아서 실제로 농경지 변화와 우도비와는 상관성이 크지 않는 것으로 판단된다.

산림지역과 사업체수와의 연관성을 살펴보면, 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 보여 진다. 즉 사업체 수가 증가할수록 산림지역이 변화할 확률이 높게 나타나며, 특히 1,000개 이상의 지역에서는 우도비가 1이상으로 나타났다.

(8) 지가

특정지역의 도시화 및 대단위 개발에 따른 지표 환경 변화를 분석하기 위해서는 그 지역의 지가 자료는 매우 중요한 요소가 될 수 있다. 특히, 도시의 확산, 산림훼손 등은 지가와 밀접한 관련이 있다.

지가와 도시지역과의 연관성을 살펴보면, 지가가 높을수록 우도비가 높으며, 평균지가가 10,000원 이상인 지역에서 우도비가 1이상 나타난다. 그러나 200,000 이상 지역에서는 오히려 우도비가 감소하는 경향을 보이는데, 이들 지역은 이미 도시화되어 시가화/건조지역의 지표경관 변화가 일어날 확률이 상대적으로 낮아진다고 볼 수 있다(Fig. 11).

농업지역과 지가와의 연관성은 시가화지역과는 다

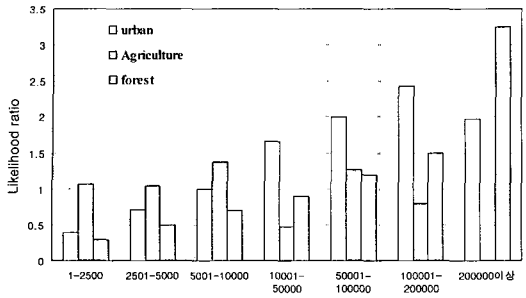
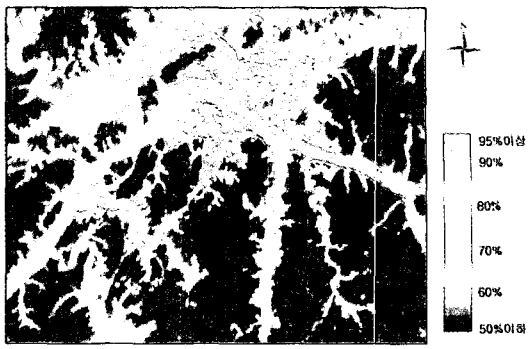
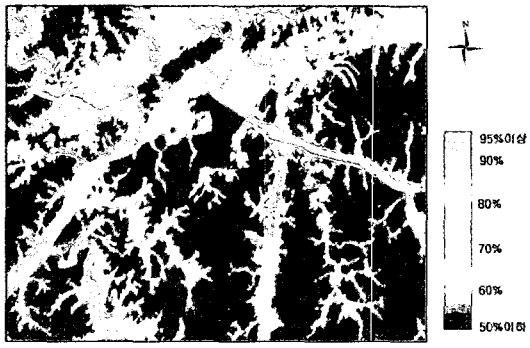


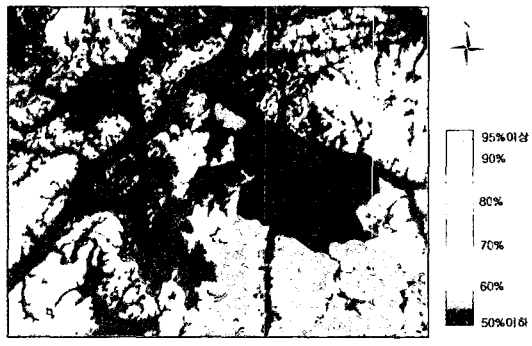

Figure 11. Likelihood ratio values of land prices.




(a) Urban districts




(b) Agricultural districts




(c) Forest districts

Figure 12. Land-surface change prediction maps for classification items using bayesian model.

른 양상을 보인다. 즉 증가나 감소에 따라 우도비의 변화가 어떤 패턴을 나타내지 않아서 실제로 농경지 변화와 우도비와는 상관성이 크지 않는 것으로 판단된다.

산림지역과 지가와의 연관성을 살펴보면, 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 보여 진다. 즉 지가가 증가할수록 산림지역이 변화할 확률이 높게 나타나며, 이러한 원인은 결과적으로 도시화의 매력이 높아 산림훼손율도 높아진다고 볼 수 있다.

## 4. GIS 공간통합을 이용한 지표변화 예측

### 1) 베이지안 모델을 이용한 지표변화 예측

본 연구에서는 각 자료별 지표변화와의 연관성을 분석한 후에 범주형 자료와 연속형 자료의 우도비를 이용하여 공간통합 하였다. 즉, 우도비 함수 기반의 베이지안 예측모델을 이용하여 공주지역의 지표변화를 예측하였으며, 결과는 Fig. 13과 같다.

분석결과, 도시지역에서의 변화예측 지역들은 공주시 중앙을 관통하는 금강을 중심으로 구도심과 신도심 지역의 도시 확산이 예측되며, 인터체인지 및 천안-논산간 국도, 공주-조치원간 국도, 공주-대전간 국도를 따라 시가화 지역이 확산 될 것으로 보인다. 특히 공주 남서쪽 검상공단 및 천안-논산 간 고속도로 인터체인지 주변 지역도 새롭게 시가화 지역을 형성될 것으로 예측된다. 이밖에 행정중심 복합도시 접경지에 해당하는 장기면 지역을 중심으로 새로운 시가화 지역이 만들어 질것으로 예측되었다.

농업지역 변화에 베이지안 모델을 적용한 결과, 가장 큰 변화는 조사지역의 북동쪽 지역에 해당하는 유구천 주변지역이다. 또한 정안천, 도천천 등 금강의 소지류 및 인접지역과 연결되는 국도주변 지역이 변화가 일어날 확률이 높다. 특히 금강 하도 내 및 이인면 운천리, 승근리 지역 역시 농업지역에서 도시지역으로

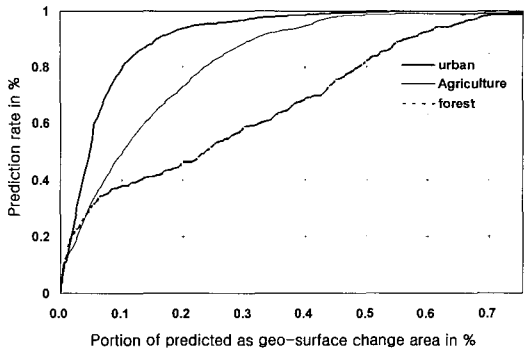



Figure 13. Prediction rate curves using likelihood ratio.

지표피복이 변화 될 확률이 높은 지역으로 나타났다. 이밖에 공주-논산 간 국도를 따라 도로확장 및 개설 등으로 농경지 감소가 예측되었다.

산림지역 변화예측 지역들은 대부분 남동쪽에 위치하고 있는데, 이러한 원인은 밤나무 재배단지와 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.

### 2) 주제도 통합에 따른 변화 예측지역 정확도 평가

본 연구에서는 지표변화 예측에 대한 정량적 해석을 위해 1998년 토지피복도에서 2002년 토지피복도를 연산 처리하여 획득된 변화지역과, 통합결과에서 예측된 상위 5% 지역을 가지고 예측비율곡선을 작성하였다 (Fig. 13). 본 곡선은 지표변화 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. 도시지역에서는 지표변화가 일어날 확률이 높은 상위 10%에서 80%까지 예측 능력을 보이고, 상위 20%에서는 97%까지 예측 결과를 설명할 수 있다. 또한 상위 50%에서는 지표변화의 100%가 포함된다.

농업지역에서는 도시지역에 비하여 예측 능력이 다소 떨어진다. 즉 지표변화가 일어날 확률이 높은 상위 10%에서 55% 정도를 설명 할 수 있으며, 상위 20%에서는 73% 정도의 지표변화 예측 결과를 설명하고 있다.

산림지역에서는 다른 분류 항목에 비하여 낮은 예측 설명력을 가지고 있다. 즉 상위10%에서 40% 정도를 설명하고, 20%에서도 50% 이하로 설명력을 가지고 있다. 따라서 본 통합 모델들은 산림지역 예측에 부적합한 것으로 볼 수 있어서, 향후 산림지역 변화에 영향을 줄 수 있는 주제도 선정 및 예측모델 등을 개발할 필요성이 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 공주지역을 대상으로 우도비 기반의 베이지안 예측모델을 이용하여 지리공간 정보와 지표변화와의 연관성 및 미래의 지표변화 예측을 분석하였다. 또한 예측비율곡선을 이용하여 모델의 정량적 분석을 시도하였다. 우선 위성사진을 토지피복분류 한 후 선분류 후비교법을 이용하여 지표변화 지역을 추출하였으며, 지표변화와 관련이 있는 지리공간 정보를 GIS 환경에서 구축하였다. 그리고 계산된 우도비를 이용하여 지표변화 예측도를 작성하였다.

지리공간정보 자료와 지표변화와의 연관성을 분석한 결과 가장 연관성이 높은 클래스를 추출할 수 있었다. 도시지역 지표변화에는 고도 10~50m 이내 지역, 경사도 10° 이하 지역, 수계로부터의 거리 100m 이내 지역, 인구밀도 1001~2000인 지역, 도로로부터 거리 100m 이내 지역, 인구이동은 인구감소 지역인 -1~0지역, 총사업체수 1001개 이상 지역, 지가 20만원 이상인 지역에서 지표변화가 일어날 가능성이 매우 높게 나타났다.

농업지역 지표변화에는 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 지표변화가 일어날 가능성이 매우 높다. 그러나 지가와 농업지역

지표변화와는 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 지표변화와는 관련성이 크지 않다.

지표변화 예측 결과 도시지역은 금강을 중심으로 구도심과 신도심지역의 도시 확산이 이루어지고, 인터체인지 및 국도를 따라 시가화 지역이 확산 될 것으로 예측되었다. 특히 신행정 수도 접경지인 장기면 지역을 중심으로 새로운 시가화 지역이 만들어 질것으로 예측되었다. 농업지역은 금강의 소지류 및 인접지역과 연결되는 국도주변 지역이 변화가 일어날 확률이 높다. 산림지역은 대부분 남동쪽에 위치하고 있는데, 이러한 원인은 밤나무 재배단지와 같은 유실수 재배단지가 본 지역에 넓게 나타나면서 산림훼손이 일어날 확률이 높은 것으로 예측되었다.

예측비율 곡선을 이용하여 검증한 결과, 지표변화가 일어날 확률이 가장 높은 상위 10%지역에서 도시지역은 80%, 농업지역은 55%, 산림지역은 40% 정도의 예측능력을 보였다. 따라서, 본 통합 모델은 산림지역 예측에는 부적합한 것으로 볼 수 있어서, 향후 새로운 주제도 선정 및 예측모델 등이 필요하다. 즉, 본 연구에서는 개발제한구역 또는 자연보호지역 등과 같은 인위적인 개발제한 구역의 지표변화와 관련된 법제적인 주제도를 사용하지 않았다. 향후 이러한 주제도들을 작성하여 사용한다면 보다 정확한 지표변화를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구결과는 향후 사례 지역뿐만 아니라 다른 지역의 지표변화 예측에도 적용이 가능하다. 또한 본 연구를 통해 다양한 공간정보를 이용한 각종 시설물의 변화 탐지, 토지이용 변화 파악, 연안환경 관측 등 국토의 효율적 관리 및 장기발전계획 수립 시에도 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 謝辭

본 연구는 한국과학기술 평가원(KISTEP)의 국가지정연구실 사업의 지원을 받아 수행 되었습니다 (#1020300000702j000000510).

## 文獻

공주시, 2004, 공주시 통계연보.

김경아, 1998, 수도권 자연보존 권역에서 토지이용 규제가 지피변화에 미치는 영향, 서울대학교 석사학위논문.

김대식, 1999, 지리정보시스템과 다기준 평가법을 이용한 농촌중심마을 모의 모형의 개발에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문.

김훈희 · 이진희, 2001, "토지이용변화와 확률모형 구축 및 적용에 관한 연구," 대한국토 · 도시계획학회지, 36(4), 1-17.

박노욱 · 지광훈 · Chang-Jo F. Chung · 권병두, 2005, "산사태 취약성 분석을 위한 GIS기반 확률론적 추정모델과 모수적 모델의 적용," 자원환경지질학회지, 38(1), 45-55.

박성미, 1997, 원격탐사 및 GIS 기법을 이용한 지표환경 분석 연구 : 하남지역의 응용사례, 서울대학교 석사학위 논문.

박미선, 1997, 수도권 준농림지역의 토지이용 특성에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.

서창완 · 전성우, 1998, "원격탐사와 GIS기법을 이용한 접경지역 토지피복연구," 한국환경영향평가학회지, 7(1), 11-22.

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

장동호 · 박노욱 · 지광훈 · 김만규 · 정창조, 2004, "GIS 기반 베이지안 예측모델을 이용한 보은지역의 산사태 취약성 분석," 한국지형학회지, 11(3), 13-23

장동호 · 지광훈 · 이현영, 2002, "퍼지논리연산을 이용한 안면도 지표환경 변화 예측," 대한지리학회지, 37(4), 371-384.

한국지질자원연구원, 2001, 공간정보를 이용한 지표환경 변화 탐지 및 통합 기술개발 : 대전시 사례연구.

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.

Bryant, C.R., 1984, The recent evolution of farming landscapes in urban centered regions, *Landscape in Urban Planning* 11, 307-326.

Chung, F.C. and Fabbri, A.G., 1999, Probability prediction models for landslide hazard mapping, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65(12), 1389-1399.

Duda, R.O., Hart, P. and Nilsson, N., 1976, Subjective Bayesian methods for rule-based inference systems. *Proceedings of the 1976 national Computer Conference*, 1075-1082.

Heiko, B., Paul, W.B. and Wolfgana K., 1998, Cellular automata models for vegetation dynamics, *Ecological Modelling*, 107, 113-125.

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

Jang, D.H. and Chung, F.C., 2004a, 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., 2004b, 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.

Johnson, J.H., 1974, *Suburban Grouth*, John Wiley & Sons, Inc.

Ojima, D.S., Galvin, K.A. and Turner, B.L., 1994, The global impact of landuse change, *BioScience*, 44(50), 300-304.

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.

Press, S. J., 1972, *Applied Multivariate Analysis*. Holt, Rinehart and Winston, INC., New York

Silverman, B.W., 1986, *Density Estimation for Statistics and Data Analysis, Chapman* & Hall.

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

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.

Toll, D.L., 1984, An evaluation of simulated thematic mapper data and Landsat MSS data for 1discriminating suburban and regional use and land cover, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 50(12), 1713-1724.

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 Xinsheng, Z., 2001, A dynamic modeling approach to simulating socioeconomic effects on landscape changes, *Ecological Modeling*, 140, 141-162.

교신 : 장동호, 314-701, 충남 공주시 공주대학교 국가지정연구실(이메일 : hdjang@kis.kigam.re.kr)

Correspondence: Dong-Ho Jang, National Research Laboratory, Kongju National University, Kongju Chungnam 314-701, Korea(hdjang@kis.kigam.re.kr)

최초투고일 05. 5. 20
최종접수일 05. 6. 9