

도농도시의 효율적 개발을 위한 토지이용변화예측 Forecast of Land use Change for Efficient Development of Urban-Agricultural city

김세근* · 한승희**
Kim, Se Kun · Han, Seung Hee

要 旨

본 연구는 LANDSAT TM영상을 이용하여 도농중심도시인 김제시의 토지이용변화를 분석하고 미래 변화예측을 시도한 것이다. 감독분류 시 새로운 시도로 훈련영역 선정 시 HSB(Hue, Saturation, Brightness) 변환영상을 이용함으로써 약 5% 이상의 분류정확도 향상을 가져왔다. 분류결과와 해당지역의 구역 별 인구, DEM, 도로망, 수계 등 GIS데이터를 고려하여 셀룰라오토마타 알고리즘을 발전시킨 Markov Chain 기법으로 토지이용변화예측을 실시하였다. 토지변화비율을 비교 분석한 결과 지형적인 특성이 토지이용의 변화에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 또한 2030년 후의 토지이용변화 예측 결과 김제시 전체에서 산약지의 21.67%가 농경지로 13.11%는 시가지로 변화될 것으로 예측되었다. 주된 변화는 도심 중심부에 위치한 규모가 작은 산약지인 것으로 예측 되었다. 연구결과 미래의 토지이용변화를 예측함으로써 식량자원의 확보를 위한 도농도시의 토지이용계획에 도움이 될 것으로 확신한다.

핵심용어 : 토지이용변화, 변화탐지, 셀룰라오토마타 변화예측, 감독분류, HSB영상변환

Abstract

This study attempts to analyze changes in land use patterns in a compound urban and agricultural city Kimje-si, using LANDSAT TM imagery and to forecast future changes accordingly. As a new approach to supervised classification, HSB(Hue, Saturation, Brightness)-transformed images were used to select training zones, and in doing so classification accuracy increased by more than 5 percent. Land use changes were forecasted by using a cellular automaton algorithm developed by applying Markov Chain techniques, and by taking into account classification results and GIS data, such as population of the pertinent region by area, DEMs, road networks, water systems. Upon comparing the results of the forecast of the land use changes, it appears that geographical features had the greatest influence on the changes. Moreover, a forecast of post-2030 land use change patterns demonstrates that 21.67 percent of mountain lands in Kimje-si is likely to be farmland, and 13.11 percent is likely to become city areas. The major changes are likely to occur in small mountain lands located in the heart of the city. Based on the study result, it seems certain that forecasting future land use changes can help plan land use in a compound urban and agricultural city to procure food resources.

Keywords : Aerial Photo, Geospatial Information System, Database, LIDAR, Satellite Image

1. 서 론

기상이변과 도시화에 따른 농지의 감소로 인해 식량의 생산량이 감소하고 있으며 세계 강대국들은 미래에 식량을 무기화 할 수도 있는 가능성을 시사하고 있다. 2006년 통계청의 발표에 의하면 2005년 농림어업 총조사 결과 전국의 농가인구가 1990년에 비해 절반이하

로 줄어들었으며 도시화로 인해 농업용지도 해마다 감소하고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 현재의 토지이용이 과거에 비해 각 도시유형별로 어떤 형태로 변화해 오고 있는지를 파악하고 이를 개발 계획에 반영해야 할 것이다. 그러나 지금까지의 토지이용에 관한 연구는 대부분 대도시 중심의 도시성장 예측에 초점을 맞추고 있으며, 토지피복분류 또는 토지이용

2012년 5월 11일 접수, 2012년 6월 25일 채택

* 정희원 · 공주대학교 대학원 공간정보공학과 석사과정(workwithme@naver.com)

** 교신저자 · 정희원 · 공주대학교 건설환경공학부 교수·재해위성정보연구소(shhan@kongju.ac.kr)

의 변화를 예측하는 모델 연구에 편중되고 있어 실제 농지의 규모 변화와 향후 예측에 대해서는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 개선된 위성영상처리 기법을 이용하여 토지이용분류를 수행하였으며 오토마타기법을 수정한 Markov chain(Markov, 1960)기법에 다양한 인자를 고려하여 변화예측을 시도하고자 한다.

이형동(2005)은 택지개발지구에 위성영상자료를 이용하여 토지피복분류를 실시한 뒤, 참조자료를 활용하여 토지이용 분류를 4개의 다른 시기 영상과 GIS의 공간분석기능을 이용, 공간통계 분석 등을 수행하였다. 그러나 단순 토지이용현황 자료만을 사용함으로 다양한 변화요인을 반영하지 못하였다.

또한 김성준, 정인균(2006)은 토지이용 변화 예측 연구에서 셀룰라오토마타의 구성요소인 셀)과 셀공간, 상태, 이웃, 변화규칙, 시간에 대해 다양한 경영시스템을 모형화하는 수학적 기법을 시도하였으나 토지 이용형태를 분류할 때, 이미 분류가 된 분류체계를 사용하였다.

강철원(2006)은 도시화 과정 및 발전방향에서 인구 지표, 토지이용지표, 농촌요소의 감퇴지표, 도시요소의 증대지표를 도시화의 측정요소로 정의하였다. 연구에서 토지이용변화를 분석하고, 토지 지목 상 시가화 지역의 면적을 1980년부터 5년 주기로 산출하여 수도권 의 시가화 현상을 분석하였다.

이상과 같이 대부분의 토지이용분류 및 변화예측이 도시에 집중되어 있으며 분류방법 역시, 일반적인 방법에 국한되어 있다. 또한 예측모델개발 시 객관적 다양한 요소를 고려한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 도농도시로서 토지이용 변화가 빈번한 김제지역을 대상으로 보다 객관적인 방법으로 토지이용 변화예측을 수행하였다. 연구에서 변화예측 입력요소로서 가장 중요한 토지피복분류 정확도를 높일 수 있는 방안을 모색하고 수정된 변화예측기법을 적용하여 토지이용 변화양상을 모델링하고자 한다. 결과적으로 미래의 토지이용변화를 예측함으로써 식량자원의 확보를 위한 국가정책 결정에 도움을 주고자 한다.

2. 연구방법

토지이용변화 예측 대상지는 김제시로 인구10만명의 도농복합도시이며 새만금을 배후로 하고 있고 현재 활발한 토지이용변화가 일어나고 있다. 동남쪽이 높고 서북쪽이 낮아 토지기복의 변화가 있으므로 DEM이 변화예측에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 만경강과 동진강을 끼고 있는 곡창지대로서 전체토지의 41%가 평야



Figure 1. Study area(Kimje-si)

지대이다. 따라서 본 연구의 목적에 부합한 지역이라 생각되며 위성영상 또한 1974년부터 2006년까지 장기간에 걸쳐 확보가 가능하였기 때문에 연구지역으로 선정하였다(Figure 1).

또한 동일지역에 대한 토지이용의 변화분석 시 인구, 도로망(고속국도, 국도), 수계, 수치표고자료 데이터를 준비하여 GIS의 공간분석 기능을 활용한 요소들 간의 영향과 상호작용을 파악함으로써 보다 정확한 예측이 가능하도록 하였다.

연구의 전체적인 과정은 Figure 2에서 보는 바와 같이 1974년부터 2006년까지의 LANDSAT영상을 이용하여 연도별 토지이용분류를 실시한다. 분류클래스는 국토해양부의 국토모니터링 분류체계를 기준으로 정하였다. 분류정확도를 높이기 위해 기존의 영상에서 감독 분류를 위해 훈련영역을 선정하는 방법과 HSB 변환영상을 이용하여 선정하는 방법을 사용하여 각각 수행하고 통계청 데이터와 비교하여 정확성을 확인하고자 한다.

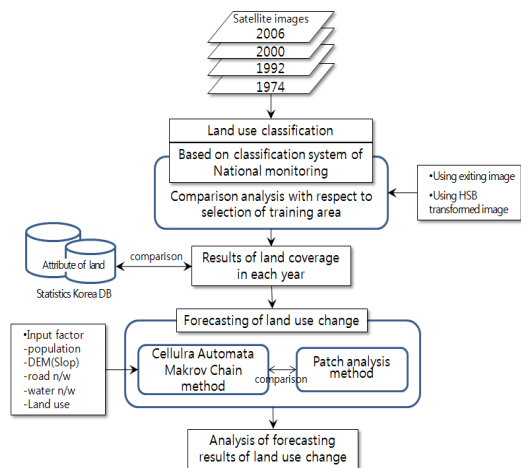


Figure 2. Work flow in this study

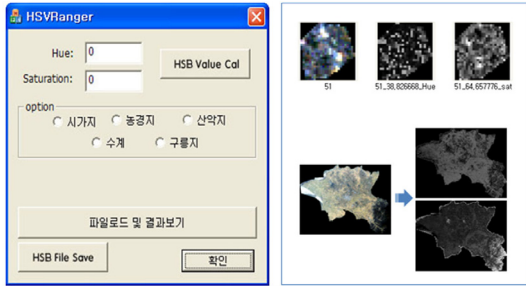
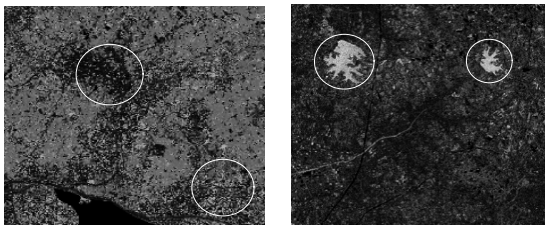


Figure 4. Dialog box for HSB transformation using OpenCV



(a) Hue image(1992) (b) Sat image(1992)

Figure 5. Difference between general Hue image and Sat image

RGB영상을 HSB영상으로 변환하기 위해 Figure 3에 보인 것과 같이 수평면 상 칼라를 의미하는 Hue각도 120°를 경계로 프로그램을 작성하였다. OpenCV에서 영상변환을 위한 기하학적 분류를 Table 2에 보였다.

Table 2. HSB classification with respect to direction for HSB transformation

$0^\circ \leq H \leq 120^\circ$ (H : Red~Green)
$BI = (1 - S) / 3$
$RI = [1 + (S \cos(H)) / \cos(60^\circ - H)] / 3$
$GI = 1 - (R + B)$
$120^\circ \leq H \leq 240^\circ$ (H : Green ~ Blue)
$H = H - 120^\circ$
$RI = (1 - S) / 3$
$GI = [1 + (S \cos(H)) / \cos(60^\circ - H)] / 3$
$BI = 1 - (R + B)$
$240^\circ \leq H \leq 360^\circ$ (H : Blue ~ Red)
$H = H - 240^\circ$
$GI = (1 - S) / 3$
$BI = [1 + (S \cos(H)) / \cos(60^\circ - H)] / 3$
$RI = 1 - (R + B)$
RI:Red, GI:Green, BI:Blue intensity

Table 3. Min. and Max. value of Hue & Sat. in each class

	range	city	forest	water	farm land
hue	min	29.86	34.96	42.69	37.75
	max	38.83	74.42	57.52	78.33
sat	min	46.57	66.54	54.50	52.21
	max	64.66	83.00	86.54	67.14

3, 2, 1밴드인 RGB영상을 이용하여 Hue영상, Sat영상으로 제작한 뒤 2007년 국토지리정보원에서 실시한 국토모니터링 성과를 참조하여 시가지, 농경지, 수계, 산악지로 클래스별 Hue 값과 Sat값을 구분하였다. 개발한 프로그램을 이용하여 각 클래스별로 변환한 후에 클래스별 Hue값과 Sat값의 최대 최소값을 비교한 결과 Table 3과 같았다.

Table 3에서 산악지와 농경지의 경우 Hue는 각각 최소34.96~최대74.42, 최소37.75~최대 78.33로 영역이 중복되게 되어 정확한 훈련지역의 선정이 어렵다. 그러나 Sat영상을 이용하면 산악지는 최소66.54~최대 83.00, 농경지는 최소52.21~최대67.14로써 영역이 중복되지 않으므로 정확히 구별하여 선정 할 수 있다. 영상변환 후 스크린 디지털이징방법으로 훈련영역을 설정하였다. 각 클래스 별로 25개 까지 훈련영역을 설정하였으며 클래스별 Hue값과 Sat값을 추출하여 각 클래스별 범위를 산출하였다. 이렇게 산출된 범위를 이용하여 감독분류를 실시한 결과는 Figure 6 및 Table 4와 같다.

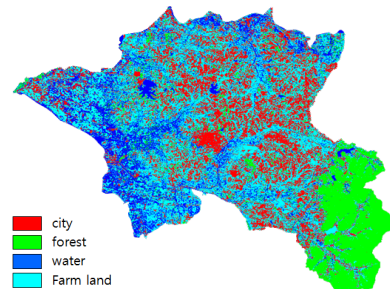


Figure 6. Result of supervised classification using HSB image

Table 4. Result of supervised classification

class	cplor	the # of pixels	ratio
city	Red	85,805	15.6%
forest	Green	22,720	4.1%
water	Blue	138,379	25.2%
farm land	Cyan	301,709	55.0%

3.3.2 분류정확도 평가

위성영상을 이용한 분류정확도에 대한 평가는 오차 행렬에 의해 어느 정도 표준화되어 왔다. 대부분의 분류결과는 분류 오차 측정에 대하여 오차 행렬을 사용하였으며, 이 기법은 클래스의 전체 또는 개개의 정확도를 평가하는데 필요한 정보를 제공하는 반면, 오차분석에 필요한 자료 추출비용이 많이 소요된다.

본 연구에서 실시한 토지이용분류에 대한 정확도를 평가하기 위해 전체 정확도(overall accuracy), 생산자 정확도(producer's accuracy), 사용자 정확도(user's accuracy) 그리고 kappa 계수를 산정하였다.

1974년 부터 약 30년간 김제지역에 대한 토지피복을 감독분류한 결과 Table 5와 같이 전체적인 분류정확도는 평균 80%이상 양호하게 얻어졌으며, kappa 계수 또한 2000년도를 제외하고 0.6이상으로 양호하게 얻어졌다. 결과적으로 기존 감독분류방식 보다 약 3-5%정도의 전체 분류정확도의 향상을 확인할 수 있었다.

분석결과와 정확성을 객관적으로 평가하기위해 통계청 데이터와 비교하여 확인해 보았다. 통계청에서는 1974년도의 데이터는 서비스되지 않고 있어, 1992년, 2000년, 2006년 데이터만 확인이 가능하였다. 통계청 데이터의 면적과 연구대상지역의 면적이 차이가 발생하였는데 이는 1974년 당시 해안면적과 2006년의 사

Table 5. Classification accuracy and Kappa coefficient

year	existing method		HSB method	
	Overall Accuracy	Kappa	Overall Accuracy	Kappa
1974	74.65%	0.6172	80.89%	0.7136
1992	73.97%	0.6361	81.40%	0.6335
2000	78.07%	0.6841	76.58%	0.5396
2006	91.54%	0.8688	93.31%	0.8395

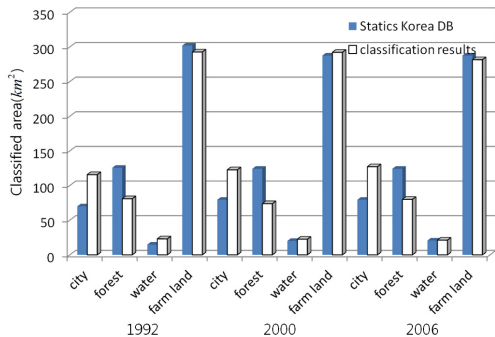


Figure 7. Results comparison of classification result and Statistics Korea data

이에 해안선의 침식 또는 불명확성으로 인한 것으로 추정된다. 본 연구에서 갯벌로 인한 감독분류 오류를 최소화하기 위해 갯벌면적을 제외하여 511.52km²에 대해 분류를 수행하였다. 그 결과는 Figure 7과 같은데 농경지와 하천은 매우 근접하게 얻어졌으며 산악지와 시가지는 다소 차이가 있는데 이 두 지역은 변화가 가장 많은 지역으로 영상을 통한 토지피복과 실제 토지이용 간의 차이로 인한 것으로 판단된다.

3.4 토지이용변화 예측

얻어진 연도 별 토지이용분류는 변화예측을 위한 중요한 입력자료가 되며 이외에도 추가적인 인자를 동시에 고려하였다. 도농 도시성장을 예측하기 위해 대부분 셀룰라오토마타 알고리즘을 이용하여 왔으나 본 연구에서는 셀룰라오토마타 이론을 발전시킨 Markov chain 방법을 적용하였다. Markov chain 방법은 특정 셀이 매 시간마다 상태를 바꾸거나 현 상태를 유지하는 상태의 변화 즉, 전이를 이용한 이론으로 이를 확장한 것이다. “과거와 현재 상태가 주어졌을 때의 미래 상태의 조건부 확률 분포가 과거 상태와는 독립적으로, 현재 상태에 의해서만 결정된다”라는 가정에서 시작된 이론이다.

본 연구에서는 토지이용변화를 예측하기 위해 시계열 자료로 감독분류 결과를 입력하여 우선 토지이용변화량을 분석하였다. 토지이용변화량 분석은 기본 지표값으로 사용되며, 토지이용변화량 분석 후 사용자가 지정한 김제시 지역의 2006년 통계청 발표 각 동별 인구, 같은 해에 제작된 1/5,000 수치지도의 등고선 자료를 이용한 DEM자료, 고속국도, 국도, 수계레이어를 별도

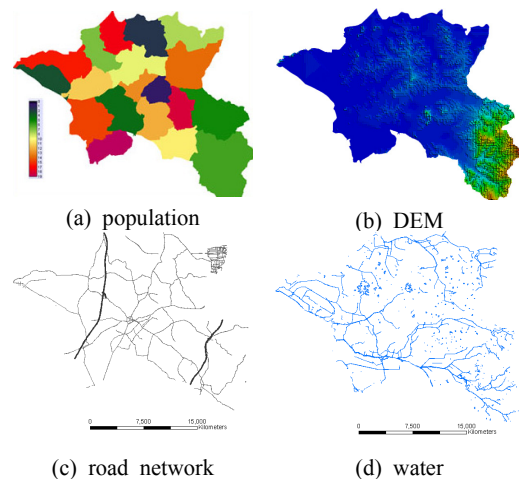


Figure 8. Consideration factor for forecasting of land use change

의 레이어로 분류하여 고려인자로 사용하였다. 면단위 행정구역 별 인구는 쉐이프 파일형식으로 GIS 속성자료로 구축하였고 이를 심볼로지(symbology)색상으로 변환하여 입력하였다. DEM은 위성영상의 해상도와 함께 구축하여 래스터데이터로 입력하였으며 도로망은 고속국도와 국도, 수계는 수치지도에서 레이어 추출 후 벡터형식의 데이터로 고려하였다.

고려인자의 가중치는 기존의 연구결과를 바탕으로 전체를 1로 보고 상대적으로 경사도 0.7, 토지이용변화율 0.2, 고속국도, 국도, 하천 및 인구를 0.1로 결정하였다(박소영, 2010). 고려인자를 고려하여 1992년부터 2006년까지 분석한 토지이용변화 결과는 Figure 9와 같다. Figure 9는 HSB변환영상으로 감독분류를 실시하여 얻은 토지피복 데이터를 기본으로 분석한 것이며 각 클래스별로 화소값을 이용하여 변화된 것을 표현하였다. 토지이용변화 현황을 확대(enlargement)와 감소(attrition), 신설(creation), 분리(dissection)로 나뉜 확인한 결과 수계는 대체적으로 분리될 것으로 파악되며, 신설에측부분은 토지이용 변화가 실제로 일어날 곳을 의미하는 것으로 작은 산악지가 많이 분포된 지역이다. 연두색 부분(attrition)은 변화가 적게 예측되는 곳으로 토지이용분석 결과 농경지와 산악지가 주를 이룬 곳이다.

Table 6은 1992년부터 2006년까지 토지피복의 변화 비율 데이터를 이용하여 각 클래스별로 2030년대의 테

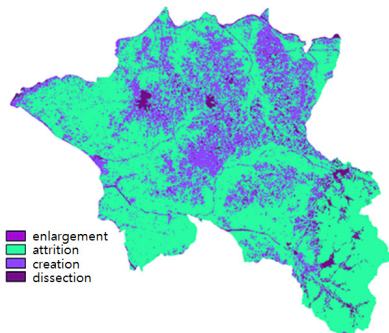


Figure 9. Aspect of land use change

Table 6. The number of pixels for change possibility

change item \ class	city	forest	water	farm land
city	138,107	0	0	0
forest	11,199	51,216	4,475	18,510
water	0	1,170	21,225	0
farm land	0	0	0	301,044

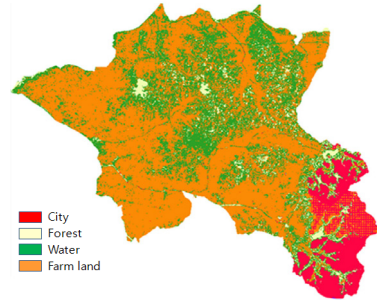


Figure 10. Forecasting result for Land use change in 2030(Kimje-si)

Table 7. Probability of land use changein each class

class \ change item	city	forest	water	farm land
forest	13.1%	59.7%	5.2%	21.6%
water	23.8%	5.2%	6.3%	63.3%
farm land	26.7%	6.7%	3.5%	62.8%

이터로 변화될 가능성이 있는 화소수를 표현한 것이다.

Table 6의 결과에 의하면 김제시 중앙부에 위치한 낮은 산악지가 수계나 시가지, 농경지로 변화될 가능성이 큰 것으로 나타났다. 다음 Figure 10은 2030년대의 김제시지역의 토지이용변화를 예측한 것이다.

각 클래스별로 1992년 토지이용 결과와 2006년 토지이용 결과의 교차 집계결과로, 모든 클래스에서 토지이용클래스로 변경 되거나 변경 가능성을 내포하고 있는 화소 중 두 가지 특성을 모두 갖고 있는 화소들의 비율은 Table 7과 같다. 표에서 산악지가 불변일 확률 약60%, 농경지로 변화할 확률은 약 22%가 된다는 의미이다. 시가지는 타 용도로 변화하는 확률이 매우 낮으므로 제외시켰다.

3.5 토지이용변화 비율

2006년 대비 2030년의 토지이용변화 비율을 분석한 결과는 Figure 11과 같다.

토지이용변화 비율 분석결과 농경지 부분은 변화율이 저조할 것으로 예측 되었으며, 고도가 높은 산이 분포한 곳은 변화 가능성이 있는 셀들이 많이 보이지 않았다. 김제시 중앙부에 위치한 농경지 지역으로 갈수록 여러 가지 색상이 혼재하여 분포하는 것으로 보여, 변화 가능성이 높을 것으로 예측되었다.

분석 결과 2006년까지의 토지피복 현황과 비슷하게 농경지와 산악지는 줄고, 시가지가 지속적으로 증가될

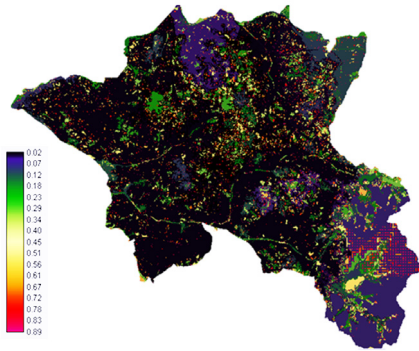


Figure 11. The ratio of land use change

것으로 분석되었다. 변화유형은 도시 중심부에 위치한 작은 산악지가 시가지나 농경지로 변화될 가능성이 큰 것으로 분석되었고, 산악지와 같이 경사도가 높은 지역의 변화율은 낮게 나오는 것으로 확인 되었다. 도심 중심부에 위치한 규모가 작은 산악지의 21.67%는 농경지로 변화하고 13.11%는 시가지로 변화될 것으로 예측 되었다. 김제시 지역은 새만금방조제 개발로 인해 많은 변화요소를 갖고 있다. 따라서, 지속적인 변화모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

도농도시의 효율적 개발을 위한 토지이용변화예측 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 변화예측 고려인자로 토지이용도를 사용하기 위해 HSB 변환영상을 이용하여 혼련영역을 선정하고, 감독분류를 실시한 결과 기존방법보다 약5%정도의 분류정확도 향상 효과가 있었다.
2. 2030년 김제시의 토지이용변화에 가장 큰 영향을 미치는 요소를 분석하기 위해 토지이용 예상 값을 이용하여 분석한 결과 지형적인 특성이 토지이용의 변화에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 판단 되었다.
3. Markov-Chain 기법에 의한 토지이용변화예측의 정확도를 높이기 위해 경사도, 도로망, 토지이용 분석결과를 물론 고속국도, 국도, 수계, 인구밀도 등의 지표값을 추가로 적용하였으며 그 결과 2030년 김제시는 산악지의 21.67%는 농경지로 13.11%는 시가지로 토지이용변화가 발생할 것으로 예측 되었다.

참고문헌

1. 강철원, 2006, 도시화 과정 및 발전방향, 경기도청, pp.6-8.
2. 김근남, 2005, 고해상도 위성영상을 이용한 토지피복 분류정확도 향상에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교.
3. 김성준, 정인균, 2006, 셀룰라 오토마타와 Markov Chain 모델을 이용한 토지이용 변화 예측, 한국관개배수회지 제13권, 1호, pp.110-117.
4. 김태경, 2008, 도시성장관리모형구축을위한기초연구, 정책연구 2008-66.
5. 박소영, 2010, 도시성장 예측을 위한 CLUE 모형구축 및 적용에 관한 연구, 박사학위논문, 부경대학교
6. 사공호상, 2002, 원격탐사와 GIS 연계활용방안 연구, 국토연구원 연구보고서, 2002-54.
7. 이현직, 유지호, 김상연, 2011, 디지털항공사진영상을 이용한 객체기반 토지피복분류, 한국지형공간정보학회지, 제19권, 1호, pp.105-113.
8. 이형동, 2005, 택지개발에 따른 토지이용 변화분석, 대한지리학회, 대한지리학회 춘계학술대회논문집, pp. 27-28.
9. 전형섭, 조기성, 2000, 토지피복분류에 있어 신경망과 최대우도분류기의 비교, 한국지형공간정보학회지, 제8권, 2호, pp.23-33.
10. 정재준, 한동엽, 김용일, 이재원, 2001, 셀룰라 오토마타를 이용한 수도권의 도시성장 예측, 한국GIS학회지, 제9권, 3호, pp.397-412.
11. 조대현, 2008, 개발밀도를 고려한 셀룰러 오토마타 기반의 도시 토지이용 변화 모델링, 대한지리학회지, 제 43권, 1호, pp.117-133.
12. 조성희, 2004, 공간 연관규칙의 추출과 적용, 석사학위 논문, 인하대학교.
13. 조우석, 2005, 국토모니터링작업규정 연구, 국토모니터링보고서, pp.180-194.
14. Andrey Andreevich Markov, 1960. The Theory of Algorithms, American Mathematical Society Translations, series 2, 15, pp.1-14.
15. Jacek Malczewski, 2004, GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview, Progress in Planning 62, pp.3-5.
16. Yu, J. Y. Chen J.P. Wu, 2009, Cellular automata and GIS based landuse suitability, 18th World IMACS / MODSIM.