

시계열 Landsat 영상과 CA-Markov기법을 이용한 미래 토지이용 변화 예측

Prediction of Future Land use Using Times Series Landsat Images Based on CA (Cellular Automata)-Markov Technique

이용준* · 박근애** · 김성준***

Lee, Yong jun · Park, Geun Ae · Kim, Seong Joon

* 건국대학교 일반대학원 사회환경시스템공학과 석사과정, dydwms@konkuk.ac.kr

** 건국대학교 일반대학원 지역건설환경공학과 박사과정, dolpin2000@konkuk.ac.kr

*** 건국대학교 생명환경과학대학 사회환경시스템공학과 교수, kimsj@konkuk.ac.kr

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the temporal land cover change by gradual urbanization of Gyeongang-cheon watershed. This study used the five land use of Landsat TM satellite images(1987, 1991, 2001, 2004) which were classified by maximum likelihood method. The five land use maps examine its accuracy by error matrix and administrative district statistics. This study analyze land use patterns in the past using time-series Landsat satellite images, and predict 2004 year land use using a CA-Markov combined CA(Cellular Automata) and Markov process, and examine its appropriateness. Finally, predict 2030, 2060 year land use maps by CA-Markov model were constructed from the classified images.

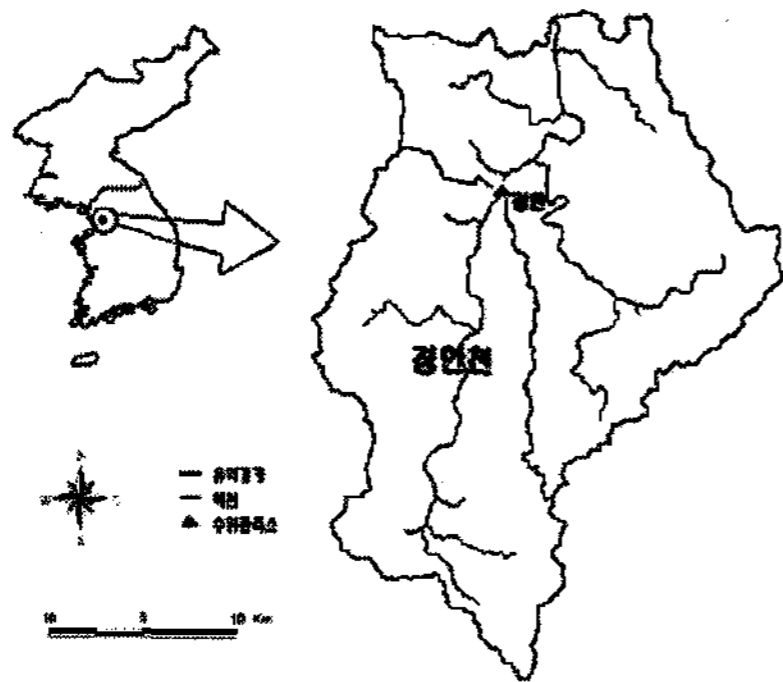
Key word : Cellular Automata, Markov process, land use change, Prediction

1. 서론

최근 하천유역은 지난 수십 년 동안 벌채, 개간 등에 의한 산림의 변화, 도시개발, 단지 및 주거지 조성등에 의한 토지이용의 변화, 논 내 비닐하우스 재배 등에 의한 물이용 형태의 변화 등 꾸준한 변화가 지속되어왔다. 이러한 하천유역의 변화는 강우시 유출의 변화와 직결되며 도시개발, 단지 및 주거지 조성은 이전의 지표면이 갖고 있었던 보수 및 유수 기능 등이 건물이나 아스팔트, 콘크리트 포장으로 피복되면서 현격하게 줄어들고, 산림지역의 꾸준한 개발 및 밭 개간으로 인한 토지이용의 변화에 따라 이들 지역에서 하천으로 유입되는 홍수 유출량이 이전보다 증대되고 유역 출구점까지의 도달시간은 단축됨으로써 첨두 유량이 증가하게 된다.

이와 같은 현상은 해당유역의 치수대책 및 하천정비계획에 직접적으로 영향을 미치게 되므로, 과거로부터 현재 그리고 미래 토지이용의 변화에 따른 하천유역의 유출특성 변화를 정량적으로 구명하여야만 효율적인 하천유역관리에 능동적으로 대처할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 미래 토지이용의 변화에 따른 하천유역의 유출변화 영향을 수자원 계획에 반영 할 수 있는 토대를 마련하는 일환으로 과거의 시계열 토지이용자료를 CA-Markov기법을 통하여 추정하고 타당성을 검토 하였다.

2. 대상유역 및 입력자료



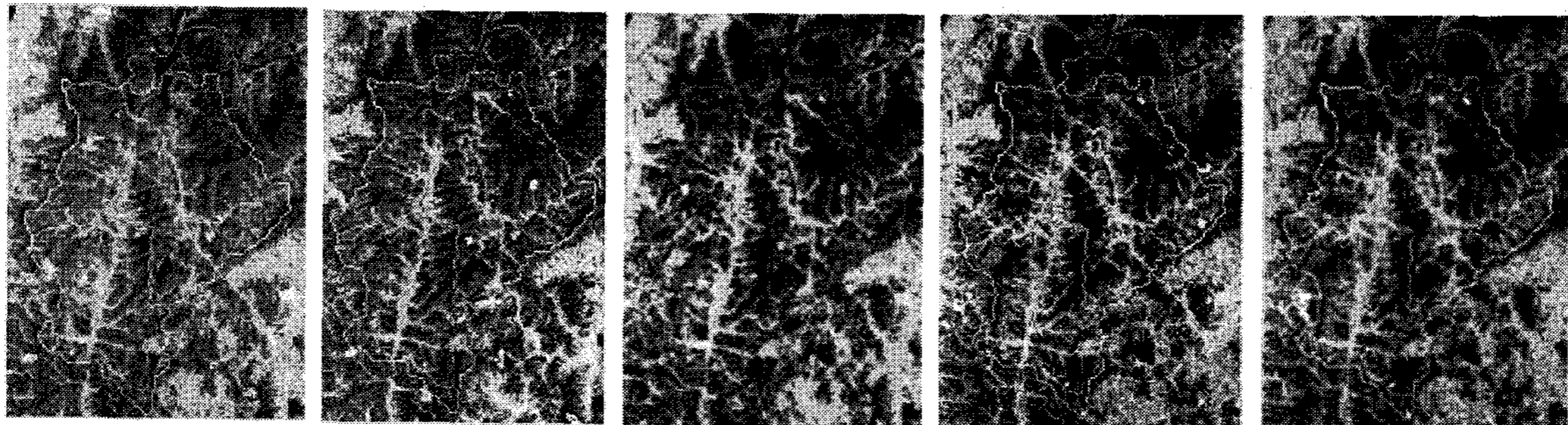
<그림 1> 대상구역

본 연구의 대상 구역은 경안천유역으로서(그림1.) 본 구역의 면적은 약 554Km²이고 유로 연장은 약 44Km²이며, 연 평균 강우량은 1200.5mm이고 연평균 기온은 10.9℃, 연평균 상대습도는 72%, 연평균 증발량은 1020.2mm로 우리나라의 평균적인 기후 특성을 나타내고 있다. 본 연구에서 사용된 위성영상은 Landsat 위성을 이용하였다(그림2.).

에 대하여 기준 통계치를 영상자료에서 찾아내어 알려준 뒤, 영상자료의 모든 지점에 대하여 각각의 분류 등급과 분류기법(Maximum Likelihood Classification: MLC)을 사용하여 토지피복분류를 실시하였다.

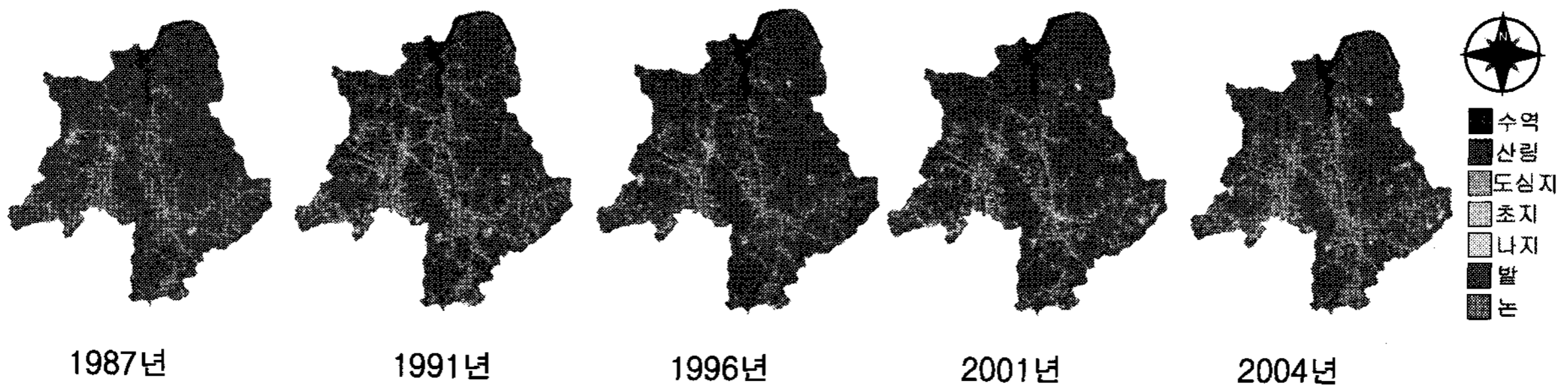
3. 분류결과의 정확도 검증

본 연구에서는 1987년, 1991년, 1996년, 2001년, 2004년 토지피복도의 분류정확도를 검증하기 위하여 1차적으로 위성영상 자료의 분류결과를 객관적이고 정확하게 평가하고자 하는 가장 일반적인 방법 중의 하나인 오차행렬(error matrix)을 이용하였다. 1987년, 1991년, 1996년, 2001년, 2004년도의 정확도는 각각 92.10%, 97.50%, 95.72%, 96.06%, 95.74% 으로 분석되었다. 분류결과의 정확도 평가의 2차적 방법으로 광주시의 행정구역별 지적통계자료와의 비교를 실시하였으며 그 결과 값을 아래와 같이 정리하였다(표1., 그림3.). 본 연구에서는



1987년 4월 18일 1991년 5월 31일 1996년 4월 10일 2001년 6월 3일 2004년 6월 3일

<그림 2> 토지피복분류에 사용된 위성영상



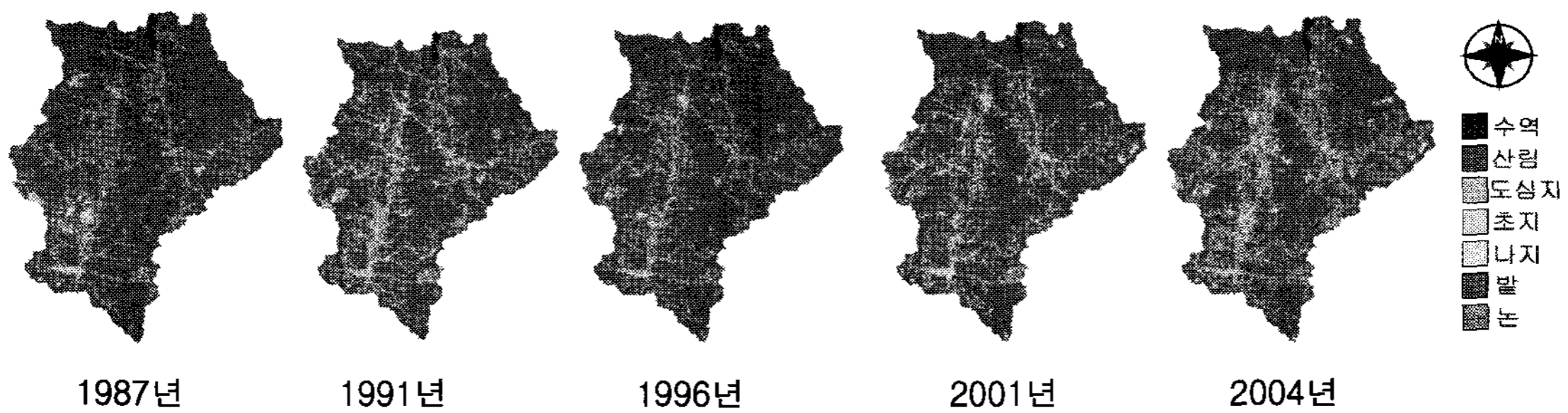
1987년 1991년 1996년 2001년 2004년

<그림 3> 대상유역을 중심으로 토지피복분류한 결과

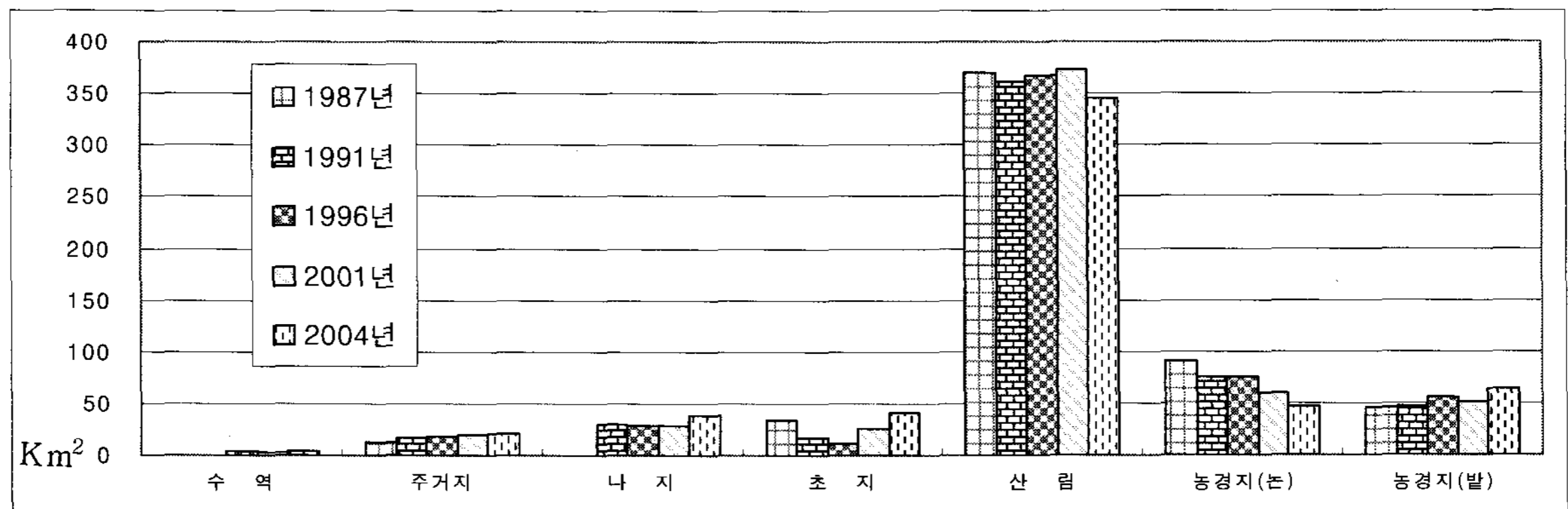
토지피복분류 기법은 분류하고자 하는 각 등급

표 1. 행정구역 지적통계에 의한 분류 정확도(광주시)

항 목	통계	1987년	1991년	1996년	2001년	2004년
		4월 18일	5월 31일	4월 10일	6월 3일	6월 3일
산림	본 연구(km ²)	300.21	312.12	298.78	302.36	280.21
	지적통계(km ²)	361.10	307.17	307.17	299.22	295.98
	상대오차(%)	0.45	1.57	-1.53	1.18	-3.25
논	본 연구(km ²)	58.80	48.11	48.12	34.16	34.25
	지적통계(km ²)	51.38	38.01	38.01	33.68	31.58
	상대오차(%)	3.81	2.40	2.40	0.16	0.66
밭	본 연구(km ²)	38.86	16.45	27.40	38.25	34.84
	지적통계(km ²)	51.57	39.47	39.47	33.39	31.31
	상대오차(%)	-0.87	-5.30	-2.75	1.18	0.86
도심지	본 연구(km ²)	11.73	10.26	10.26	11.64	22.83
	지적통계(km ²)	15.25	13.82	13.82	14.72	20.33
	상대오차(%)	-0.20	-0.81	-0.81	-0.69	0.61
본 연구 총 면적		429.16	429.16	429.16	429.16	429.16
지적통계 총 면적		519.55	431.71	431.71	431.95	431.78



<그림 4> 대상유역을 중심으로 토지피복분류한 결과



<그림 5> 토지피복별 면적의 변화

분석된 1987년, 1991년, 1996년, 2001년, 2004년 외에 예전에 구축된 1975년, 1980년의 토지피복분류 결과를 추가하여 분류항목의 경년별 추세를 알아보려고 하였으며 그 결과를 그림.4와 그림.5과 같이 정리 하였다.

4. CA-Mark 기본이론

4.1. Markov Chain

Markov Chain은 어떤 변수들이 가지고 있는 과거의 동적 특성을 분석함으로써 그 변수들의 미래에 있을 변화를 연속적으로 예측하기 위한 수학적 기법이다. Markov 분석은 바로 이전 단계의 시스템 상태에 의해서만 현재의 시스템 상태가 영향을 받고 그 이전의 상태에

의해서는 전혀 영향을 받지 않는 Markov Chain이라는 확률과정을 가정하고 있다. 시스템간의 이동확률을 의미하는 전이확률(transition Probability)로 구성되며 전이확률은 시스템이 특정 기간 동안 한 상태에서 다른 상태로 이동할 확률을 말한다.

시간적인 개념을 포함하는 임의의 사상의 행렬에 대하여 확률적 분석이 가능할 때 각 사상의 확률 변수열(X_t)를 확률과정(Stochastic Process)이라한다. 확률변수 $X_t(t = 1, 2, \dots)$ 는 어느 순간 t 에서 상태(state)의 집합(S_1, S_2, \dots, S_k) 중에 하나로 실현된다고 한다면, 상태 S_i 에서 S_j 로 옮겨가는 것을 단계(step)이라 부르고, S_i 에서 S_j 에 옮겨갈 확률 즉, 전이확률(transition probability) P_{ij} 가 그 직전의 상태 S_i 에만 관계되고 더 이전의 상태에는 관계가 없을 때 이런 확률 과정을 Markov Process라 한다.

$$\begin{aligned} P_{ij} &= P\{X_n = S_j \mid X_{n-1} = S_i\} \\ &= P\{X_n = S_j \mid X_{n-1} = S_j\} \end{aligned} \quad (1)$$

다음 추이 확률 P_{ij} 의 전이행렬(transition matrix)을 P 라 하면,

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1k} \\ P_{21} & & \dots & P_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{k1} & P_{k2} & \dots & P_{kk} \end{pmatrix} \quad (2)$$

인 정방행렬로 나타나며 여기서, $\sum_{j=0}^k P_{ij}=1$ ($0 \leq P_{ij} \leq 1$)로 수렴한다.

4.2. Cellular Automata

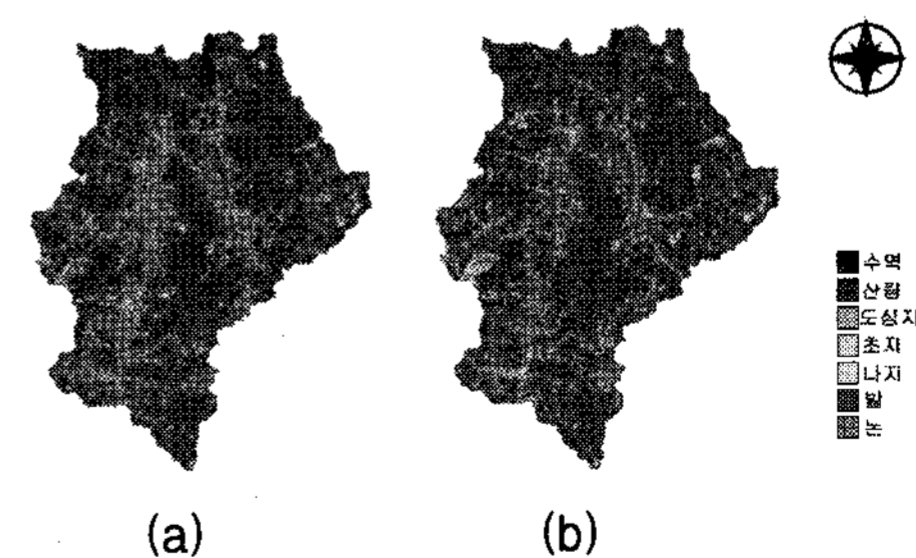
셀룰라 오토마타는 복잡계의 특성을 분석하거나 모의하기 위해 1963년 John von Neuman과 Stanislaw Ulam의해 'Celluar space'로 소개된 이론적 체계이다. 셀룰라 공간은 CA의 기본단위인 동일한 크기의 격자에 의해 구성되

는 무한한 크기의 다차원공간을 의미하며, 격자는 주로 삼각형, 사각형, 육각형의 형태를 띠고 있다. 주변의 둘러싸고 있는 셀들은 주변부(Neighborhood)로서 영상처리 분야에서 필터링(Filtering) 혹은 커널(Kernel)과 같은 개념으로 주변부의 구성에 따라 중심 셀의 상태를 변화시킨다. CA의 시간(Time)은 연속 변수가 아닌 이산적인 변수이다. 즉, 시간 t 에서 셀의 상태, 주변부의 상태, 변화 규칙을 적용하여 시간 $t+1$ 에서의 셀의 상태를 만들어 낸다. 또한 CA는 반복규칙(Iteration Rule)으로 매 반복시기마다 중심 셀이 주변부 셀들과의 관계를 통해 어떠한 형태로 변화할지를 기술해 놓은 것이다. 이러한 변화 규칙은 CA 시뮬레이터를 통하여 확산 모형에 적용하게 된다. 셀룰라 오토마타의 구동 원리는 한 셀의 상태가 변화 규칙을 통하여 주변부의 셀들의 영향을 통해 자신의 상태를 끊임없이 변화 하는 과정을 모형화 하는 것이라고 설명 할 수 있다.

5. CA-Markov 기법의 적용



<그림 6> CA-Markov기법의 검증 흐름도

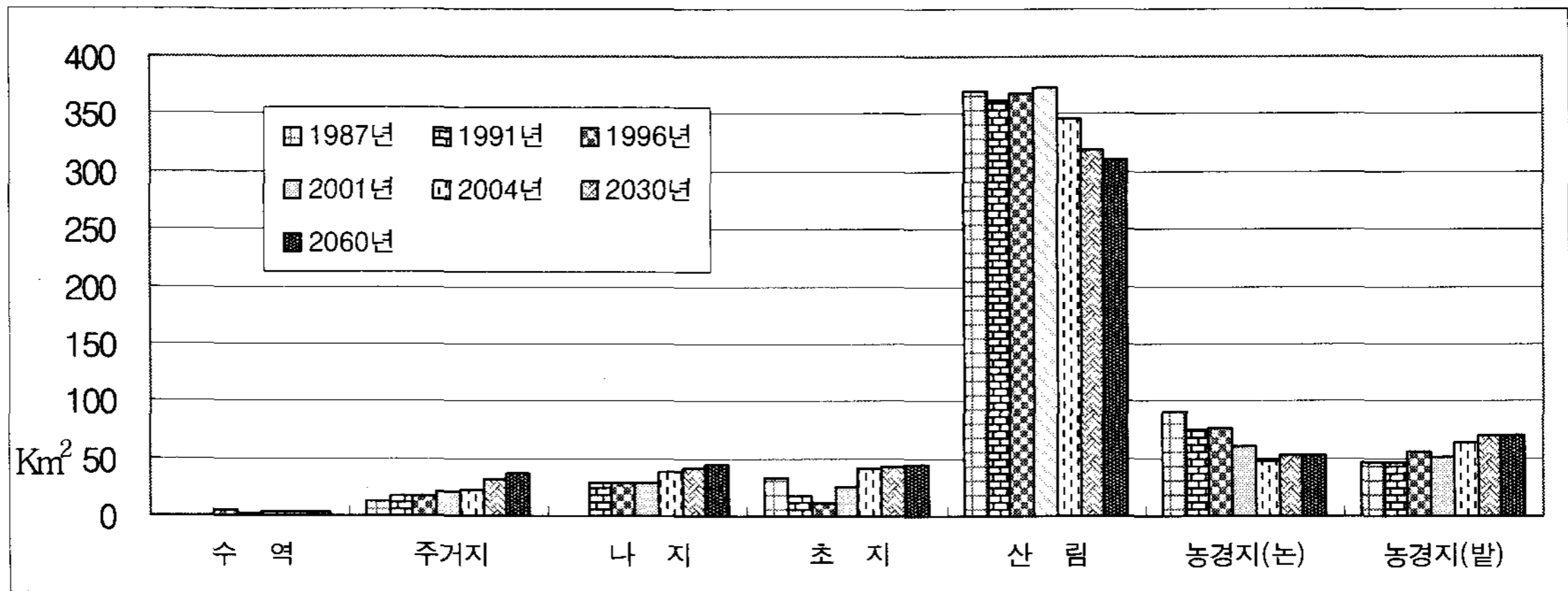


<그림 7> 검정대상 토지이용도

(a)CA-Markov 추정된 토지이용도
(b)실제 분류한 2004년도 토지이용도

표 2. 추정된 토지이용도와 실제 분류한 토지이용도의 면적비교

연도	수역	주거지	나지	초지	산림	농경지(논)	농경지(밭)
1987년	3.74	19.91	17.78	6.72	366.50	86.16	60.27
1991년	3.02	17.21	49.29	17.02	373.84	74.87	25.83
1996년	4.89	17.86	28.04	10.82	367.61	76.05	55.86
2001년	2.26	19.99	28.86	25.86	373.12	60.08	51.44
2004년	3.72	35.94	45.65	27.58	347.67	49.46	51.07
2030년	2.20	25.93	34.22	23.65	341.58	65.31	68.24
2060년	2.20	25.60	34.30	22.91	344.20	65.18	66.70



<그림 8> 시계열별 토지이용의 변화

CA-Markov기법에 대한 검증은 위해서 본 연구에서는 8,90년대의 시계열 토지이용도를 이용하여 최근 2004년도의 토지 이용을 예측하여 이를 실제 분류한 토지이용도와 비교 하여 보았다. 2004년도의 토지이용을 예측하기 위해서 1987년, 1996년도 토지이용도를 사용 하였다. 96년과 01년 토지 이용도를 선택한 것은 토지 이용의 변화 양상을 5년 단위로 모의하기 위하여 5년 단위에 가장 근접한 년도를 선택하였으며, 객관적이고 정확하게 평가 하고자 유역에 포함된 광주 행정구역별 지적통계자료를 사용하여 비교한 2001년도와 비교 하였다. 개괄적인 순서는 그림6.과 같다. 그림7.과 표3.는 1996년, 2001년도 토지이용도를 이용하여 추정 한 토지이용도와 실제 분류한 2004년도 토지이용도이다. 표에서 보는 바와 같이 CA-Markov 기법에 추정된 토지 이용도는 실제 2004년도 토지이용도와 유사함을 알 수 있었다. 하지만

도심지, 초지, 나지, 밭은 실제 분류한 토지이용도보다 각각 1.77Km², 3.72Km², 7.55Km², 5.66Km² 낮았으며, 논, 산림은 각각 1.10Km², 20.03Km² 많게 분류 되었다.

이는 90년대 이후에 많은 골프장의 건설 등으로 인한 오차라고 할 수 있다(표 3).

표 3. 토지피복분류결과와 CA-Markov 기법의 비교

	CA-Markov	2004년도	상대오차(%)
수역	1.5	3.6	-140
산림	365.7	345.7	5.46
주거지	20.0	21.7	- 8.5
초지	37.4	41.1	-9.8
나지	30.2	37.7	-24.8
논	48.4	47.3	2.27
밭	58.0	63.3	-9.1

6. CA-Markov 기법의 적용

본 연구에서는 CA-Markov 기법을 이용하여 2030년과 2060년의 토지이용을 예측하여 분석하였다. 표 2와 그림 8.는 2030년과 2060년의 토지이용별 면적을 나타낸 것이다. 분석 결과를 보면 산림의 경우는 1975년부터 지속적으로 감소하여 2030년, 2060년에는 약 340km²로 줄어드는 것으로 예측되었다. 주거지와 나지의 경우는 각각 25.60Km², 34.30Km²으로 예측되었다. 이는 도시화가 되면서 지속적으로 증가하는 경향을 나타내며, 초지 또한 골프장의 개발 등으로 인하여 22.91Km²으로 증가 하는 것으로 예측 되었다. 논과 밭의 경우에는 65.18Km², 66.70Km²으로 도시화가 지속 되면서 줄어드는 것으로 예측되었다.

6. 결 론

본 연구에서는 시계열의 위성영상을 이용하여 토지 이용도를 작성 하였으며 이를 통계연보의 지적 통계와 비교하여 정확도를 높였다. 또한 1996년도와 2001년도 토지 이용을 CA-Markov기법을 이용하여 04년도를 모의 하여 실제 토지이용 분류한 영상과 비교하여 보았다. 그 결과 분류항목의 변화 추세에 따라 미래의 토지 이용분류를 모의 할 수 있었다. 또한 이를 이용하여 2030년과 2060년의 토지 이용을 예측하고 분석하였다 향후 계획으로는

CA-Markov기법으로 작성된 토지이용도와 기온, 강우 패턴의 변화를 예측하여 하천유역의 유출특성 변화를 정량적으로 구명하여 효율적인 하천유역관리에 능동적으로 대처할 수 있도록 하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 지원하는 2006년도 IHP사업의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

< 참고 문헌 >

- 이준배 (2003) “농촌 하천유역 홍수예측을 위한 마르코프연쇄 모델 분석”, 충북대학교, 농업과학연구 Vol 20, pp.152-163
- 임혁진 (2005) “CA-Markov기법을 이용한 기후변화에 따른 소양강댐 유역의 수문영향분석”, 석사학위논문, 건국대학교