

Dyna-CLUE 모델을 이용한 양평·여주 지역의 토지이용 변화 예측 및 평가*

이동근¹⁾·류대호²⁾·김호걸²⁾·이상혁³⁾

¹⁾ 서울대학교 조경·지역시스템공학부²⁾ 서울대학교 대학원³⁾ 호서대학교 벤처전문대학원

Analyzing the Future Land Use Change and its Effects for the Region of Yangpyeong-gun and Yeosu-gun in Korea with the Dyna-CLUE Model*

Lee, DongKun¹⁾·Ryu, DaeHo²⁾·Kim, HoGul²⁾ and Lee, SangHouk³⁾

¹⁾ Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University,

²⁾ Graduate School, Seoul National University,

³⁾ Department of Health Venture Hoseo graduate School of Venture.

ABSTRACT

Land-use changes have made considerable impacts on humans and nature such as biodiversity and ecosystem services. It is recognized as important elements for land use planning and regional natural resources conservation to identify the major causes of land use changes and to predict a process of changes and effects. This study, by using a spatially explicit Dyna-CLUE model, analyzed correlations between driving factors, quantified location characteristics of different land use types using logistic regression analysis and examined future land use changes and its effects in Yangpyeong and Yeosu region. We expected land use changes based on the three scenarios with different future land demands and simulated future changes for spatial variations of land use for the 20 years. The outcomes shows that larger change was found in agricultural areas than forest areas, based on the change in built-up areas. The changes in forest areas, which were mainly occurred in edge area, were expected to affect a large impact on its ecotone. It was found to be the importance of the management of forest edge

* 본 연구는 환경부 2011년도 차세대에코이노베이션기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

First author : Lee, DongKun, Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University,

Tel : +82-2-880-4875, E-mail : dkleee7@snu.ac.kr

Corresponding author : Ryu, DaeHo, Graduate School, Seoul National University,

Tel : +82-2-880-4885, E-mail : dhryu@snu.ac.kr

Received : 12 December, 2011. **Revised** : 20 December, 2011. **Accepted** : 22 December, 2011.

and the necessity of the environmentally sound and sustainable development in order to conserve natural resources of the region.

Key Words : *Modelling, Driving Factor, Forest Edge, Environmental Resources.*

I. 서 론

도시화는 전 세계를 통해 자연경관을 심하게 변형시켜 결과적으로 광범위한 규모로 생태계의 구조, 기능, 동력에 여러 돌이킬 수 없는 영향을 주었다(Luck and Wu, 2002). 세계는 점차 자연환경을 파괴하지 않고 경제성장을 지속하며 삶의 질을 향상시키고자 노력하여 왔으나, 이러한 노력으로 인한 계획과 개발들이 실제로 미래의 토지이용과 토지피복을 어떻게 변화시켜 지역이나 도시의 성장에 영향과 효과를 미치는지에 대한 의문이 항상 제기되어 왔다.

토지이용 및 토지피복의 변화는 도시화 진행, 농경지 개간, 산림훼손, 간척사업 등과 같은 많은 변수들에 기인하여 지속적으로 일어난다. 인간의 활동이 반영되는 토지이용 및 토지피복의 변화는 생물종다양성, 이산화탄소 배출, 탄소의 순환에도 영향을 미친다(Turner, 1994). 토지이용변화의 주요 원인을 파악하고 변화의 과정과 추세를 추정하는 것은 토지이용계획, 지역의 자원이용 및 환경관리 등에 있어 매우 중요하다. 그러나 토지이용의 변화는 지역의 생태계 순환 과정부터 전 지구적인 대기 및 물의 순환과도 관련되어 국가, 지역별로 상이하고 시계열적으로 다양하게 나타날 뿐 아니라 복잡한 성격을 띠어 일반적인 이론 모형 제시가 어렵다. 따라서 토지이용변화의 과정, 추세 및 구동요인과 그 생태적 결과를 이해하기 위한 다양한 연구가 진행되어 왔다(김성준·이용준, 2007; 박찬, 2009).

본 연구의 목적은 통계적 공간분석 도구인 Dyna-CLUE 모델을 이용하여 양평, 여주지역의 토지이용 정책을 고려한 시나리오별 미래 토지이용 변화 패턴을 분석하고 그 지역의 자연환경에

미치는 영향을 분석하여 정책수립을 위한 기초자료를 제공하는 것이다. 예측을 위해서 토지이용변화와 구동요인(driving factor)의 상관성을 분석하고 미래의 토지변화 수요가 바뀌는 시나리오별 변화가 예측결과에 미치는 영향을 검토한 후, 이를 근거로 미래의 토지이용 및 토지피복의 변화와 그 영향을 알아보았다.

II. 관련 연구 동향

1. 토지이용변화 시나리오와 구동요인

시나리오 기반의 토지이용변화 모델링은 이상적인 행동규약이나 사회변화를 반영할 수 있기 때문에 미래에 대한 생태학적, 경제학적, 사회학적인 시나리오나 정책조건 하에서 미래 토지이용 변화 양상을 살펴볼 수 있다(Turner et al., 2007). 이를 통하여 인구증가율의 변화, 경제의 변화, 사회구조의 변화 및 정책의 변화 등을 반영한다. 또한 정책목표를 시나리오에 반영하기 위하여 거시경제 변화의 모델을 기반으로 시나리오를 설정하여 분석하는 것도 가능하다. 유럽의 경우 미래 토지이용변화를 파악하고 이에 따른 기후변화의 영향 및 저탄소사회 구현 가능성을 검토하기 위하여 국가 단위의 토지이용변화 시나리오 설정 및 그에 따른 토지이용변화를 분석하는 연구가 이루어지고 있다. 유럽의 많은 토지이용 변화 시나리오 오는 IPCC의 기후변화 시나리오인 SRES 시나리오를 바탕으로 사회·경제적 여건(인구, 경제, 사회구조, 토지이용변화)을 분석하고 이를 기초로 시나리오를 설정하고 있다(Rounsevell et al., 2006; Sculp et al., 2008).

미래 예측을 위한 토지이용변화 모델링은 사회·경제적 요소의 변화에 따른 시·공간적 변

화를 살펴보기 위한 연구로써 통계기법을 활용하여 토지이용의 공간적 패턴과 구동요인(driving factor)과의 관계를 파악하는 것을 기초로 한다(Verburg et al., 2002). 이러한 토지이용변화 구동요인에 관한 연구동향을 살펴보면, 국내에서는 윤정섭과 황희연(1987)이 도시중심부의 토지이용변화 과정을 로지스틱 성장곡선(logistic growth curve)을 이용하여 변화추세를 예측하였다. 임창호와 최대식(2002)은 토지이용변화의 확률을 결정하기 위해서 다항로짓모형을 이용하였으며 도시화지역으로부터 거리, 고도, 경사, 인구밀도, 개발제한구역 등 공간데이터와의 상관관계를 고려하였다. 이동근 등(2010)은 한반도 전체의 토지피복변화 예측을 위한 구동요인을 분석하여 고도, 도로로부터 거리, 시가지지역으로부터 거리가 토지피복에 미치는 영향을 구분하였다. 오윤경 등(2010)은 해당지역의 DEM, 경사, 향, 도시부터 거리, 도로부터 거리, 및 토양특성 자료를 구동요인으로 선정하여 로지스틱 회귀분석과 ROC 곡선 검정법을 통해 적합성을 살펴보고 토지피복변화 예측을 위한 CLUE 모델 확률지도를 생성하였다.

토지이용변화 모델링에 사용된 구동요인은 연구에 따라서 조금씩 다르게 사용되었으나 대체적으로 인구밀도(가구, 수), 고도, 경사, 향, 도로부터 거리, 시가지로부터 거리, 토양특성, 토지이용규제지역, 도시성장 패턴, 하천으로부터 거리 등이 사용되었다.

2. 토지이용변화 모델링에 관한 연구

토지이용변화 모델링에 관한 최근 연구동향을 살펴보면, Cellular Automata(CA) 모델이 많이 이용되고 있다. 최대식(2003)은 공간밀도가 결합된 CA 모델을 통해 도시성장 과정과 토지이용규제를 반영한 모델링 결과를 활용하여 토지이용에 관한 정책 평가가 가능한 모델을 제시하였다. 김성준과 이용준(2007)은 Landsat 영상으로 CA-Markov 방법론을 활용하여 미래 토지이용의 예

측시 면적규모 및 공간해상도가 예측결과에 미치는 영향을 고려하기 위해 미래의 토지이용변화를 예측하였다. 조대현(2008)은 Cellular Automata 기반의 도시 모델링 방법론을 확장하여 개발밀도를 고려한 도시 토지이용변화 모델을 개발하고 그 타당성을 평가하였다. 박찬(2009)은 CA-Markov 기법을 적용하여 미래의 토지이용변화를 중심으로 이산화탄소 저감재량을 분석하였다.

Markov Chain 모델은 수치영상 또는 격자 기반의 GIS 데이터로부터 쉽게 계산되며 현재 토지이용의 변화된 경향을 잘 반영하는 장점이 있지만 시간이 변하더라도 전이 확률(transition probability)이 항상 일정하고 모든 위치에 동일하게 적용되는 단점이 있다(이용준·김성준, 2007). 또한 비선형 동적 모형인 CA기법은 시계열 자료의 변화양상을 공통적으로 적용시켜 인접격자의 상태를 지속적으로 변화시키기 때문에 실제의 토지이용 정책이나 사회·경제적 요인에 의한 토지피복 변화의 경향을 반영하기 어렵다(오윤경 등, 2010).

한편, 이와 같은 단점들을 보완할 수 있는 모형으로 CLUE(Conversion of Land Use and its Effects) 모델이 제안되었다(Verburg et al., 2002). CLUE 모델은 환경변화와 사회·경제적 변화의 반영이 가능한 토지이용변화 예측 모델로서 사회·경제적 시나리오를 반영한 토지이용변화 예측 연구 수행이 가능하다. 국내에서는 김우선 등(2008)이 CLUE-S 모델을 이용하여 토지이용변화를 야기하는 상관요인을 찾고 이를 이용하여 1987년부터 2010년까지 토지이용을 시뮬레이션하였으며, 오윤경(2011)은 CLUE 모델을 활용하여 미래의 토지이용변화를 고려한 농경지 및 산림에서의 온실가스 배출량을 평가하였다.

III. 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

연구 대상지는 경기도 동부에 위치하며 수도

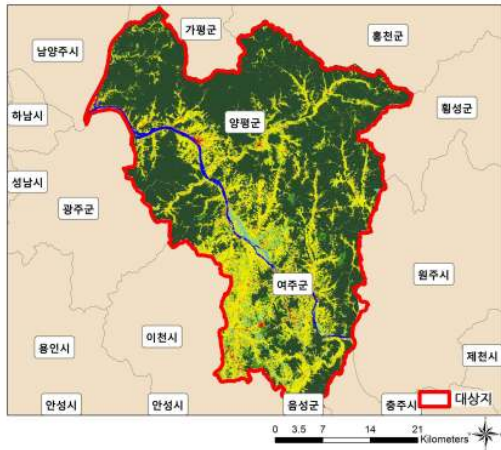


그림 1. 연구대상지.

권 타지역에 비하여 비교적 개발이 덜 이루어진 양평군과 여주군을 대상으로 하였다(그림 1). 대상지의 면적은 약 1,486km²로 남에서 북으로 남한강이 유하하고 있으며 북측은 북한강과 연결되어 있다. 대상지는 수도권지역의 물공급을 위한 상수원보호구역, 수질보전 특별대책구역, 기타 수변구역, 개발제한구역 및 군사시설보호구역 등 강한 개발행위 규제로 타 지역에 비해 비교적 자연환경 보전이 잘 이루어져 왔으나, 지역발전을 바라는 주민들의 개발수요 증가로 인한 갈등이 지속되어온 곳이다. 이 지역은 토지이용 정책에 따른 자연자원의 영향이 타 지역보다 클 것으로 예상되어 대상지역으로 선정하였다.

2. 연구방법 및 분석자료

연구대상지의 토지피복지도를 생성하고 토지피복분류를 재구분하여 연도별 토지이용면적을 산출하였다. 산출된 자료를 이용하여 시나리오에 따른 미래의 토지이용변화 추세를 예측하고 구동요인을 분석하였다. 토지이용간 위치적 특성과 변화 구동요인 사이의 상관관계를 살펴보고 각 토지이용별 위치 특성을 정량화하기 위하여 로지스틱 회귀분석을 수행하였다. 로지스틱 회귀분석은 예측변수의 값이 독립변수들에 의해 결정되는 특성이나 결과가 있는지 여부를 예측하려는 상황

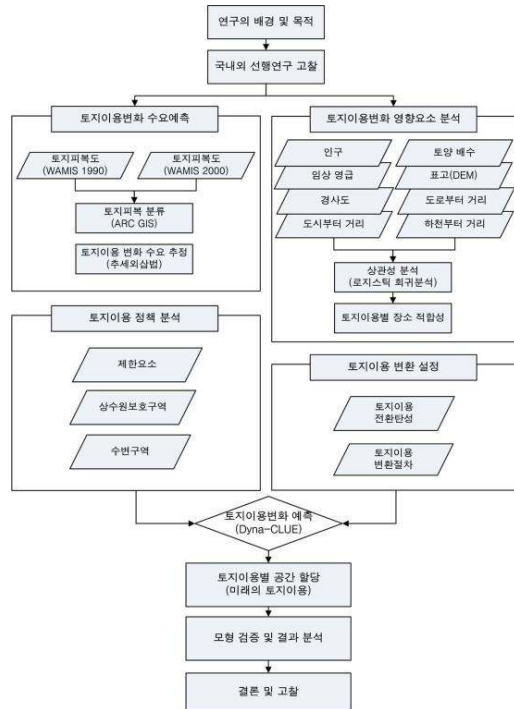


그림 2. 연구흐름도.

에서 유용하며, 종속변수가 이분형인 모형에 적합한 분석이다. 본 연구에서는 토지이용변화와 관련이 있을 것이라 추정되는 8가지 구동요인을 선정하여 GIS 자료를 중심으로 변수를 산출하였다. 특정 토지이용에 포함되는 변수는 단계적인 변수 선택 방법인 전진선택법(forward selection method)을 사용하여 회귀식을 도출하였다.

산출된 입력자료를 활용하여 Dyna-CLUE 모형을 이용하여 변화를 공간적으로 할당하는 절차를 수행하였다. 연구의 전체 흐름은 그림 2와 같다.

대상지역의 분석 자료는 수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 지형공간 자료를 이용하였다. WAMIS에서 제공하는 토지피복도는 Landsat 영상을 이용하여 분석된 자료로 공간 해상도 30m×30m의 1990년과 2000년 토지피복도에서 시가지지역, 농업지역(논, 밭), 산림지역, 수역과 습지, 기타(나지, 초지)의 5가지로 재분류하여 토지피복의 변화를 살펴보았다.

3. Dyna-CLUE 모델

CLUE 모델은 네델란드 Wageningen 대학에서 개발한 모델로 토지이용 변화의 동적 모델링과 함께 토지이용과 변환요인 사이의 경험적 정량화된 관계를 사용하여 토지이용의 변화를 시뮬레이션하기 위해 개발 되었다(Verburg et al., 2002). 모델은 비공간적 분석과 공간적 분석으로 구분되며, 비공간적 분석은 토지이용변화를 유도하는 구동요인과 토지이용과의 상관성을 분석하고 공간적 분석에서는 토지이용 변화를 공간적으로 할당한다.

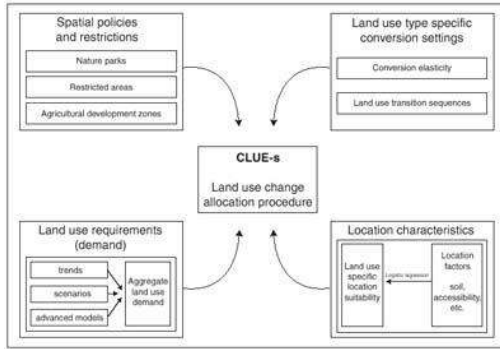


그림 3. CLUE 모델의 개요(Verburg et al., 2002).

CLUE 모델은 4개의 모듈로 구성되어 있다(그림 3). 첫 번째 공간 정책 및 제한사항 모듈은 토지이용 변화가 정책이나 제도를 통해 제한된 영역을 나타내며, 특정 공간 정책에 의한 토지이용 변화 제한사항을 규정한다. 두 번째 토지이용 유형 특정 변환 설정은 개별 토지이용의 시간적 동적변환과정을 나타내며 전환탄성과 토지이용 변환행렬로 토지이용 변환과정을 특성화한다. 세 번째 토지이용 변화 요구(수요) 모듈은 사례연구 및 시나리오에 의존하며 시뮬레이션을 제한한다. 네 번째 입지특성 모듈은 다양한 구동요인으로부터 정량화한 토지이용의 위치 적합성을 특성치로 하여 토지변화를 공간적으로 표현한다. 각 토지이용은 가장 높은 선호 유형으로 변경되며 확률로 계산된다. 이러한 사회경제적 구동요인은 다

음의 logit 모델로 정의된다.

$$\text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_n X_{n,i} \quad (1)$$

여기서 P_i 는 장소 i 의 토지이용이 변화될 확률이고 X 는 구동요인이다. 계수 β 는 실제 토지이용 패턴을 사용하여 로지스틱 회귀분석을 통해 추정된다. 모든 입력자료가 제공되면 CLUE 모델은 제한사항과 위치 적합성을 고려하여 토지이용 변화를 계산하고 공간적으로 할당한다.

할당 절차는 각 장소에 대해 시간(t)에 가장 높은 전환률($P_{tot,i,t,lu}$)로 토지이용 및 토지피복 유형(lu)을 할당한다. 전환률은 위치적합성($P_{loc,i,t,lu}$), 근린적합성($P_{nh,i,t,lu}$), 전환탄성($elas_{lu}$) 및 경쟁우위($comp_{i,lu}$) 값의 합으로 계산된다.

$$P_{tot,i,t,lu} = P_{loc,i,t,lu} + P_{nh,i,t,lu} + elas_{lu} + comp_{i,lu} \quad (2)$$

여기서 전환탄성은 한 토지이용이 다른 토지이용으로 전환되는 비용의 측정을 나타내며 토지이용이 시간 t 에서 변경되는 지역에 적용된다. 경쟁우위는 반복계산 동안 모든 토지이용 유형에 대해 반복적으로 결정된다. 할당 면적이 수요면적보다 작으면 반복절차 동안 값이 증가하고 할당 면적이 수요를 초과하면 값은 감소한다. 장소 적합성과 근린적합성은 셀룰라 오토마타 모델과 비슷한 근린 상호작용의 동적 분석, 경험적 방법 및 전문적인 지식에 의해 결정할 수 있다.

4. 토지이용변화 시나리오

토지이용변화 시나리오는 인구증가율 변화, 경제 변화, 사회구조 변화 및 정책 변화 등을 반영하여 미래 토지이용변화 양상을 파악할 수 있게 해준다. 분석을 위하여 양평, 여주지역에 가능한 성장정책으로 3개의 토지이용변화 시나리오를 고려하였다. 서로 다른 3개의 시나리오는 2020년까지의 사회 경제적 변화를 고려하여 토지이용 수요가 과거의 추세에 비하여 증가 또는 감소되

는 것으로 가정하였다.

1) 시나리오 1 : 1990년-2000년까지 10년간 토지이용변화 추세를 미래까지 그대로 유지

2) 시나리오 2 : 지역의 개발요구 증대에 따라 개발수요가 증가하고 토지이용변화가 활발해지는 시나리오로 1)에 비해 토지이용 수요 변화가 10% 더 증가하는 것으로 가정

3) 시나리오 3 : 수원보호구역 및 수질보전 특별대책지역 등 사회적 개발억제요인을 반영하여 토지이용변화가 줄어드는 것으로 시나리오로 1)에 비해 토지이용 수요의 변화 증가율을 약 80%로 가정

IV. 결과 및 고찰

1. 토지이용 변화 분석

기초자료 제공을 위해 분석에 이용한 수자원 종합관리시스템(WAMIS)의 토지피복도를 기준으로 1990년에서 2000년까지의 토지이용변화를 분석한 결과 전체 면적에서 농경지와 산림지역은 약 3%가 감소하였고, 시가화지역과 기타지역(나지, 초지)은 약 77%와 49% 증가한 것으로 파악되었다(표 1).

표 2는 1990년도의 토지피복이 2000년도에 어떻게 변화되었는지 분석한 것으로 가로축이 1990년의 면적과 세로축이 2000년의 면적을 나타낸다.

표 1. 과거 토지피복 변화(WAMIS).

분류항목	1990년		2000년		증감율 (%)
	면적(ha)	비율%	면적(ha)	비율%	
시가화지역	1,091	0.73	1,929	1.30	76.87
농업지역	41,393	27.85	40,126	27.00	-3.06
산림지역	96,355	64.84	93,319	62.79	-3.15
수역,습지	2,436	1.64	2,310	1.55	-5.21
기타(나지,초지)	7,341	4.94	10,932	7.36	48.91
합계	148,616	100	148,616	100	

표 2. 1990년-2000년의 토지피복별 변화(WAMIS).

2000	시가화 지역	농업 지역	산림 지역	수역 습지	기타	계
시가화	665	282	59	26	59	1,091
농업지역	1,051	33,868	3,062	94	3,318	41,393
산림지역	87	3,853	89,176	41	3,196	96,355
수역,습지	44	141	96	2,136	19	2,436
기타	82	1,980	926	13	4,340	7,341
계	1,929	40,126	93,319	2,310	10,932	148,616

표 3. 시나리오별 토지이용 면적변화(단위 : ha).

년도	시나리오	시가화 지역	농업 지역	산림 지역	수역	기타
2000	-	1,929.3	40,125.9	93,318.9	2,309.8	10,932.4
2010	1	2,767.8	38,859.2	90,283.1	2,309.8	14,396.4
	2	2,851.7	38,732.5	89,979.6	2,309.8	14,742.8
	3	2,600.1	39,112.5	90,890.3	2,309.8	13,703.6
2020	1	3,606.3	37,592.5	87,247.3	2,309.8	17,860.4
	2	3,774.0	37,339.1	86,640.2	2,309.8	18,553.2
	3	3,270.9	38,099.2	88,461.7	2,309.8	16,474.8

산출된 결과를 기준으로 증감율을 산출하고 추세외삽법을 적용하여 시나리오별로 2020년까지의 토지이용면적 변화를 추정하였다(표 3).

2. 구동요인에 따른 회귀분석

토지이용간 위치적 특성과 변화 구동요인간 상관관계를 살펴보고, 각 토지이용별 위치 특성을 정량화하기 위하여 8가지 구동요인(그림 4)을 선정하여 이분형 로지스틱 회귀분석을 실시하였다. 유의수준(p) 0.05 이하를 가정하여 토지이용의 회귀식을 추정한 결과는 표 4와 같다.

구동요인에 대한 회귀분석 결과 농업지역과 산림지역의 결정요인 중 가장 큰 상관관계를 갖는 요인은 임상, 경사도, 표고로 나타났으며 서로 역의 관계를 갖고 있는 것으로 나타났다.

표 4. 농업과 산림지역의 회귀분석 결과.

구분	Factors	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
농업지역	Sc1gr2	-1.1461	0.003	185,359.9	1	0.000	0.318
	Sc1gr3	-0.0039	0.000	7,210.754	1	0.000	0.996
	Sc1gr4	-0.0145	0.000	5,446.284	1	0.000	0.986
	Sc1gr5	-0.0001	0.000	905.688	1	0.000	1.000
	Sc1gr6	-0.0008	0.000	7,273.735	1	0.000	0.999
	Const.	1.2774	0.006	53,123.185	1	0.000	3.587
Nagelkerke R Square = 0.513							
산림지역	Sc1gr1	-0.0081	0.001	29.959	1	0.000	0.992
	Sc1gr2	1.3339	0.003	273341.6	1	0.000	3.796
	Sc1gr3	0.0054	0.000	12965.362	1	0.000	1.005
	Sc1gr4	0.0218	0.000	11508.118	1	0.000	1.022
	Sc1gr5	0.0002	0.000	2642.312	1	0.000	1.000
	Sc1gr6	0.0015	0.000	20821.954	1	0.000	1.002
	Const.	-2.8515	0.008	139254.387	1	0.000	0.058
Nagelkerke R Square = 0.683							

표 4에서 산림지역의 분석결과를 회귀식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = -2.8515 - 0.0081X_{1,i} + 1.3339X_{2,i} + 0.0054X_{3,i} + 0.0218X_{4,i} + 0.0002X_{6,i} + 0.0015X_{7,i} \quad (3)$$

3. 미래 토지이용변화 예측

1) 시나리오 1

시나리오 1에서는 시가지지역은 면적이 2000년 대비 186% 증가한 3,606ha가 되었고, 농업지역은 6.3%인 2,534ha가 감소하여 37,593ha, 산림

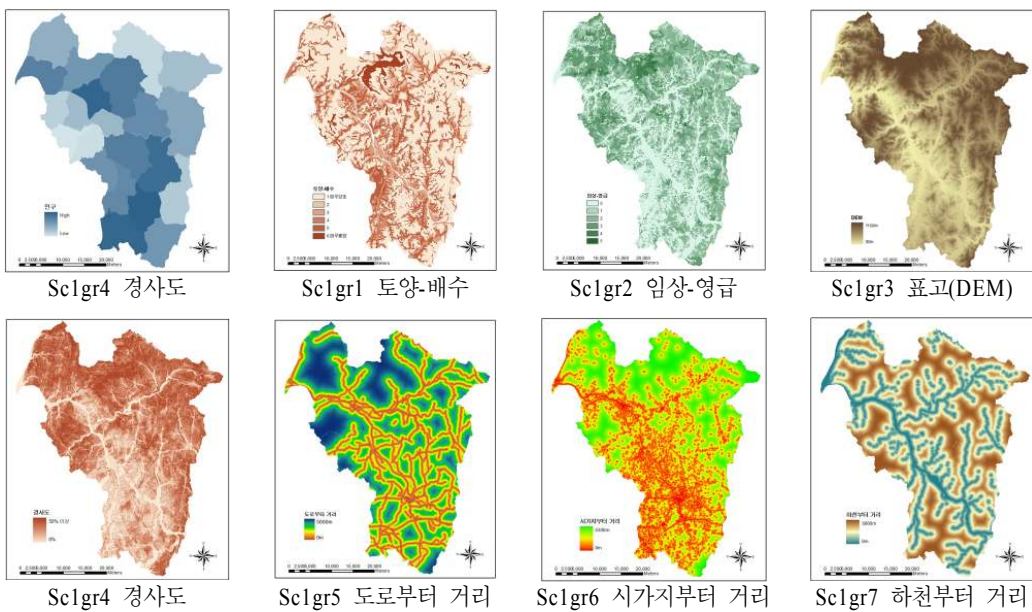


그림 4. 구동요인과 제한사항.

표 5. 시나리오 1의 토지이용 변화.

토지 이용	2000 면적	2020 면적	면적증감	토지이용 변화 발생 면적(ha)					
				계	시가화	농업	산림	수역	기타
시가화지역	1,929	3,606	1,677						
농업지역	40,126	37,593	2,533	5,521	573	-	2,560	44	2,344
산림지역	93,319	87,247	6,072	9,115	1,074	3,182	-	0	4,859

지역은 6.5%인 6,072ha가 감소하여 87,247ha가 되었다. 시뮬레이션 결과 농업지역은 면적감소량 2,534ha의 240%인 5,521ha의 면적에서 토지이용변화가 발생하였고 산림지역은 면적감소량 6,072ha의 150%인 9,115ha의 면적에서 변화가 발생하였다. 농업지역은 시가화지역으로 573ha가 변경되었고 휴경지역이 늘어남에 따라 산림지역으로 2,560ha, 초지·나지등 기타지역으로 2,343ha가 변경되었다(표 5). 시가화 지역의 변화는 개발가능지를 따라 산포적으로 나타났다.

2) 시나리오 2

시나리오 2에서는 시가화지역은 2000년 대비 196% 증가한 3,774ha가 되었고, 농업지역의 면적은 6.9%인 2,787ha가 감소하여 37,339ha, 산림지역은 7.2%인 6,679ha가 감소하여 86,640ha가 되었다. 시뮬레이션 결과 농업지역은 면적감소량 2,787ha의 181%인 5,041ha의 면적에서 토지이용변화가 발생하였고 산림지역은 면적감소량 6,072ha의 154%인 9,333ha의 면적에서 변화가 발생하였다. 시나리오 1의 결과에 비해 면적 감소량 대비 토지이용변화 발생비율이 농업지역은

많이 줄어들었고 산림지역은 근소하게 증가한 것으로 나타났다.

이것은 시나리오 2가 시나리오 1에 비해 시가화지역 증가로 인하여 산림지역에서 더 큰 영향을 받는 것을 나타낸다. 시나리오 2에서 농업지역은 시가화지역으로 144ha가 변경되었고 휴경지역이 늘어남에 따라 산림지역으로 2,069ha, 초지·나지등 기타지역으로 2,771ha가 변경되었다(표 6).

3) 시나리오 3

시나리오 3은 시가화지역은 면적이 2000년 대비 170% 증가한 3,271ha가 되었고, 농업지역은 5.1%인 2,027ha가 감소하여 38,099ha, 산림지역은 5.2%인 4,857ha가 감소하여 88,462ha가 되었다. 시뮬레이션 결과 농업지역은 면적감소량 2,027ha의 148%인 2,991ha의 면적에서 토지이용변화가 발생하였고 산림지역은 면적감소량 4,857ha의 136%인 6,609ha의 면적에서 변화가 발생하였다. 시나리오 1의 결과에 비해 면적 감소량 대비 토지이용변화 발생비율이 농업지역과 산림지역 모두에서 감소한 것으로 나타났다. 시

표 6. 시나리오 2의 토지이용 변화.

토지 이용	2000년 면적	2020년 면적	면적증감	토지이용 변화 발생 면적(ha)					
				계	시가화	농업	산림	수역	기타
시가화지역	1,929	3,774	1,845						
농업지역	40,126	37,339	2,787	5,041	144	-	2,069	58	2,771
산림지역	93,319	86,640	6,679	9,333	1,692	2,318	-	0	5,333

표 7. 시나리오 3의 토지이용 변화.

토지 이용	2000년 면적	2020년 면적	면적증감	토지이용 변화 발생 면적(ha)					
				계	시가화	농업	산림	수역	기타
시가화지역	1,929	3,271	1,342						
농업지역	40,126	38,099	2,027	2,991	0	-	1,157	59	1,775
산림지역	93,319	88,462	4,857	6,609	1,336	1,257	-	0	4,017

나리오 1에서 농업지역은 5,521ha, 산림지역은 9,115ha의 토지이용 변화가 발생하는 것에 비해 시나리오 3에서는 농업지역 2,991ha, 산림지역 6,609ha로 줄어들었다. 이것은 시나리오 3이 시나리오 1에 비해 개발수요 억제로 인하여 산림지역과 농업지역의 변화 발생율이 감소한 것을 나타낸다(표 7).

4. 종합

양평, 여주지역의 미래 토지이용 변화 예측 결과 모든 시나리오에서 농업지역이 산림지역에 비해 면적감소량 대비 토지이용 변화 발생율이 크게 산정되어 농업지역이 변화에 더욱 취약한 것으로 나타났다.

시나리오에 따른 토지이용의 변화가 농업지역과 산림지역에 미치는 영향을 구체적으로 알아보기 위해 용문지역의 공간적 변화를 살펴보면 모든 시나리오에서 토지이용 변화는 주로 산림지역 하단부에서 발생하며 미래의 토지이용변화가 산림의 경계부인 주연부에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다(그림 5).

산림 주연부(forest edge)란 기본적으로 서로 다른 서식지 형태(habitat type) 사이의 추이대(ecotone) 또는 민감한 천이지대로서 산림내부보다 종수, 개체수, 종다양성, 물질생산량 등이 많거나 높은 특성을 갖으며 산림내부와 다른 종구성을 나타낸다. 산림 주연부 식생은 산림내부의 생태계를 보호하고 안정시키며, 야생동물에 먹이와 서식처를 제공하는 등의 기능을 갖는다.

이 지역의 미래 토지이용 변화가 육상생태계

에 중요한 위치를 차지하고 있는 산림 주연부의 변화를 가져옴에 따라 환경에 미치는 영향이 클 것으로 예상된다. 따라서 이 지역의 산림 생태계와 자연자원을 보호하기 위해서는 주연부 식생의 복구 및 관리 등이 중요하며 계획적인 개발을 통하여 체계적인 관리가 필요하다.

세계적으로 극적인 비율로 도시화 및 토지이용의 변화가 진행됨에 따라 가치 있는 환경자원에 대한 토지이용 정책의 잠재적 영향을 신속히 파악하는 도구가 필요해졌다. 지역 모델링 평가를 통하여 본 연구에서는 산림 주연부에 대한 인간의 영향을 저감시킬 수 있는 가능성을 알아 보았다.

미래의 토지이용을 모델링하는 많은 이론들은 모델로서의 한계를 지니고 있다. 실제 토지이용 변화는 국가적 차원의 정책, 당시의 경제상황, 개인의 행동 패턴 등 너무나 많은 요소들이 개입되어 있다(정재준, 2006). 본 연구에 적용한 CLUE 모델도 이런 현실적인 고려요소 중 정책을 고려한 시나리오와 구동요인 분석 등 일부를 고려하였을 뿐이다. 따라서 예측된 결과 역시 토지이용이 반드시 그렇게 변화하는 것이 아니고 그렇게 변화할 수 있을 것이라는 하나의 예측에 불과하다.

예측의 가장 기본적인 목적은 미래의 상황을 미리 파악함으로써 현재의 의사결정에 대한 타당성을 제공하는 것이다. 토지이용 변화에 따라 자연자원에 대한 정책의 잠재적 영향을 신속히 파악하는 것이 중요하며, 본 연구에서 제시한 지역 모델링 평가는 토지이용 정책의 영향을 평

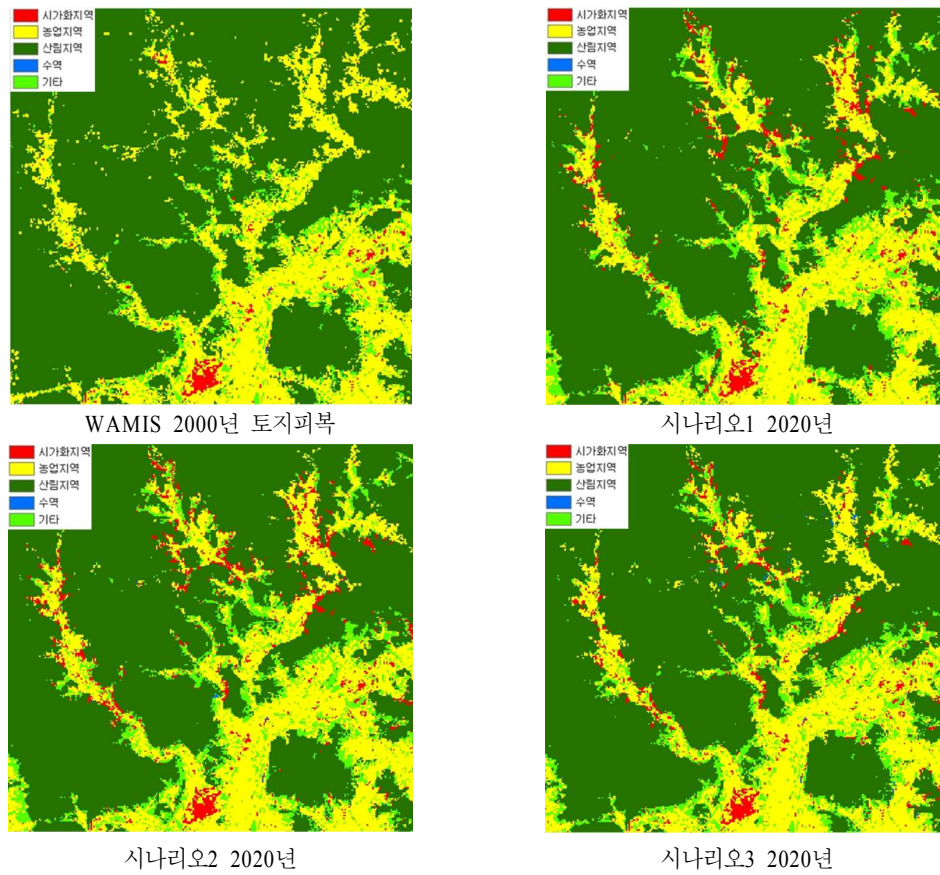


그림 5. 양평 용문지역의 모델링 결과와 주연부의 변화.

가하고 대안을 마련할 수 있는 중요한 도구가 될 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 환경변화와 사회·경제적 변화 등을 반영하여 토지이용 변화를 파악할 수 있는 Dyna-CLUE 모델을 이용하여 양평 여주지역의 미래 토지이용 변화를 예측하였다. 이를 위하여 로지스틱 회귀분석으로 토지이용과 구동요인의 상관성을 분석하고 각 토지이용별 위치특성을 정량화하였다. 미래의 토지이용 정책을 고려한 3개의 시나리오 변화가 미래의 토지이용 및 토지피복에 어떠한 공간적 변화를 주는지 20년간의 토지이용에 대해 모의하

고 가까운 미래의 토지이용 형태를 예상해 보았다. 또한 면적 시나리오와 주요 변수들의 변화를 통해 연구 지역의 면적 변화들을 관찰할 수 있었다.

연구 결과 연구 대상지는 환경보전 정책에 따라 개발을 억제하는 시나리오에서 가장 적은 토지이용의 변화가 발생하여 환경에 미치는 영향을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 모든 시나리오에서 시가화 지역의 변화에 따라 산림지역보다 농업지역에서의 변화가 큰 것으로 나타났고, 특히 산림지역의 변화는 주로 경계부인 주연부에서 발생하였다. 육상생태계에 중요한 위치를 차지하고 있는 주연부의 변화는 그 지역의 자연자원에 많은 영향을 미칠 것으로 예상된다. 연구의 결과를 통하여 이 지역의 산림 생태계와 자연자원을 보

호하기 위해서는 농지와 산지 주연부 식생의 복구 및 관리가 중요하다는 것을 알게 되었으며, 잘 보전된 자연환경을 지속적이고 체계적으로 관리하기 위해서는 시가화 지역이 무분별하게 확산되는 것을 방지하고 기존 시가지를 중심으로 계획적인 개발이 가능하도록 정책의 방향을 설정하는 것이 중요하다.

본 연구는 대상지역의 시나리오에 따른 미래 토지이용 변화 모델링을 실시하여 산지 주연부 관리의 중요성을 제시하는 계기를 마련하였지만, 시나리오에 대한 지역 정책 검증 절차를 거치지 않은 한계를 지니고 있다. 향후에 이러한 토지이용 모델링을 위해서는 국가적·지역적으로 다양한 정책 시나리오를 개발하고 검증하여 이를 통한 환경자원에 대한 토지이용 관련 정책의 잠재적 영향을 파악하는 연구가 실시되어야 한다.

인 용 문 헌

- 김성준·이용준. 2007. 면적규모 및 공간해상도가 CA-Markov 기법에 의한 미래 토지이용 예측결과에 미치는 영향. 한국지리정보학회지 10(2) : 57-69.
- 김우선·윤공현·허준·자야쿠마. 2008. CLUE - S 모델과 시계열 Landsat 자료를 이용한 토지피복 변화예측. 한국지형공간정보학회지 16(1) : 33-41.
- 박찬. 2009. 저탄소사회 구현을 위한 이산화탄소 저감 잠재량 분석-토지이용변화를 중심으로-. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 오윤경·최진용·배승중·유승환·이상현. 2010. 토지피복변화 예측을 위한 CLUE 모델의 확률지도 생성. 농촌계획 16(2) : 47-55.
- 오윤경. 2011. 기후변화에 따른 토지이용변화를 고려한 농경지 및 산림에서의 온실가스 배출량 평가. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 윤정섭·황희연. 1987. 청주시 중심부의 토지이용 변화과정에 대한 도시생태적 해석. 국토계획 22(1) : 1121-1148.
- 이동근·김재욱·박찬. 2010. 토지피복 변화를 반영한 미래의 산림식생 분포 예측에 관한 연구. 환경영향평가학회지 19(2) : 117-125.
- 이용준·김성준. 2007. 미래 토지이용변화 예측을 위한 개선된 CA-Markov 기법의 제안 및 적용. 대한토목학회논문집 27(6D) : 809-817.
- 임창호·최대식. 2002. 셀룰로오토마타 모형을 이용한 미시적 토지 이용변화 예측. 국토계획 37(4) : 229-239.
- 정재준. 2006. 도시성장 모델. 도시해석. 김인. 박수진 편. 서울 : 푸른길. 582-593.
- 조대현. 2008. 개발밀도를 고려한 셀룰라 오토마타 기반의 도시 토지이용 변화 모델링. 대한지리학회지 43(1) : 117-133.
- 최대식. 2003. 토지이용규제정책 평가를 위한 밀도결합형 CA모형의 개발 : 수도권 개발제한 구역을 중심으로. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- Luck, M., and Wu, J. 2002. A gradient analysis of urban landscape pattern : A case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona. USA. Landscape Ecology 17(4) : 327-339.
- Rounsevell, M. D. A., et al. 2006. A coherent set of future land use change scenarios for Europe. Agriculture Ecosystem and Environment. 114(1) : 57-68.
- Schulp, C. J. E. Nabuurs, G. J., and Verburg, P. H. 2008. Future carbon sequestration in Europe : Effects of land use change, Agriculture. Ecosystems and Environment. 127 (3-4) : 251-264.
- Turner II, B. L. 1994. Local faces, global flows : the role of land use and land cover in global environmental change. Land Degradation and Rehabilitation. 5(2) : 71-78.

-
- Turner II, B. L., Lambin, E. F., and Reenberg, A. 2007. Land change science special feature : the emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104(52) : 20666-20671.
- Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., and Mastura, S. A. 2002. Modeling the spatial dynamics of regional land use : The CLUE-S model, *Environmental Management*. 30(3) : 391-405.