

CLUE 모형과 기후변화 시나리오를 이용한 토지피복 변화 예측

Land Cover Change Prediction Based on Climate Change Scenarios using CLUE Model

오윤경*, 최진용**, 이상현***

Yun Gyeong Oh, Jin Yong Choi, Sang Hyun Lee

요 지

최근 IPCC에서는 제 4차 평가보고서를 통해 대기 속 이산화탄소 농도가 산업혁명 이전에 비해 2005년 기준 약 35% 증가하였으며, 지난 1세기 동안 지구 평균기온이 0.74°C 증가하였다고 발표하였다. 이러한 기후변화로 인해 야기된 홍수, 가뭄, 사막화, 생태계 혼란 등의 심각한 환경문제를 해결하고자 UN에서는 1992년 세계 환경 개발에 관한 리우 데 자네이로 정상회의에서 기후변화에 관한 기본협약을 체결하여 국제적인 대책을 마련하기 위해 노력하고 있다. 이 중 토지이용변화에 관한 연구는 기후변화를 야기하는 주요한 요인에 관한 연구로서 온실가스 증가와 생물종다양성, 수문학적인 변화 등을 파악하는 데 활용되고 있다. 따라서 기후변화에 대응하고 지속가능한 개발 정책을 수립하기 위해서는 다양한 경제학적, 사회학적인 시나리오 조건에서 미래의 토지이용변화 양상을 살펴볼 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 토지이용변화에 영향을 미치는 사회·경제적 요인과 과거의 토지이용변화 패턴을 고려하여 토지이용변화를 모델링 할 수 있는 CLUE(The Conversion of Land Use and its Effects) 모델을 이용하여 SRES(Special Report on Emissions Scenarios) 시나리오에 기초한 토지피복 변화를 살펴보고자 한다. 이는 향후 기후변화를 최소화하기 위한 개발전략 수립에 있어서 정책방향을 결정하는 데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 기후변화 시나리오, SRES, CLUE 모델, 토지피복변화

1. Introduction

토지이용 및 토지피복 변화는 인간 활동에 따른 결과를 반영하며 자연환경의 변화와도 밀접한 관련이 있다. 즉, 토지의 형태와 특성은 지역의 생태계의 순환 과정부터 전 지구적으로는 대기 및 물 순환과도 연관이 있고 정책 및 사회·경제적인 여건에도 영향을 받기 때문에 매우 복잡하고 다양한 요인으로 이루어진다(김우선 등, 2008; 이규성 등, 2009). 특히, 토지이용변화는 대기 중 온실 가스를 증가시키는 주요 요인으로서 기후변화와도 밀접한 관련이 있기 때문에 IPCC에서는 토지이용·토지이용변화·산림에 의한 이산화탄소 저감량을 의무저감량으로 고려하고 있다(IPCC, 2000; UNFCCC, 2003). 이에 본 연구에서는 토지이용변화를 모델링 도구인 CLUE(The Conversion of Land Use and its Effects) 모델을 이용하여 SRES(Special Report on Emissions Scenarios) 시나리오에 기초한 토지피복 변화를 살펴보고자 한다. 이는 향후 기후변화를 최소화 하기 위한 개발전략 수립에 있어서 정책방향을 결정하는 데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

* 서울대학교 농업생명과학연구원 · E-mail : yungyeong.oh@gmail.com
** 정회원 · 서울대학교 생태조경지역시스템공학부 농업생명과학연구원 · E-mail : iamchoi@snu.ac.kr
*** 서울대학교 생태조경지역시스템공학부 · E-mail : yalgary0@snu.ac.kr

2. Material and Method

2.1 Study Area

연구 대상지는 Fig. 1과 같이 서울에 인접한 경기도 일부지역으로서 도시확산 및 토지이용 변화가 급격히 진행되고 있는 용인시, 이천시, 안성시를 대상으로 하였다. 대상 지역으로 선정된 3개 시의 토지피복은 WAMIS (Water Management Information System)에서 제공하는 1985년, 1990년, 2000년의 토지피복도를 이용하였다. 이 토지피복도는 Landsat 영상을 이용하여 분석된 토지피복도로서, 수역, 시가화지역, 나지, 습지, 초지, 산림, 논, 밭 등 8가지로 분류되어 있다. 본 연구에서는 수역과 습지, 시가화지역과 나지, 초지와 밭을 통합하여 5가지로 분류하여 토지피복변화를 살펴보았다.



Fig. 1 Study Area.

2.2 Method

2.2.1 Flow of Analysis.

본 연구의 수행 과정은 Fig. 2와 같다. 먼저 중분류 토지피복지도와 행정경계도를 이용하여 연구 대상지의 토지피복지도를 생성하고, 토지피복분류를 수역 및 습지, 시가화건조지역, 산림지역, 논지역, 초지 및 밭으로 재구분하여 각각의 토지이용도를 입력자료로 활용하였다. 이와 함께 Table 1. 과 같이 해당 지역의 DEM, 경사, 향, 도시로부터의 거리, 국도 및 지방도와의 거리, 토양특성 자료 등을 토지변화 예측을 위한 구동요인으로 선정하여 자료를 구축하였다. 토지이용 특성과 구동요인 사이의 상관관계를 살펴보기 위해 회귀분석을 수행하고, CLUE 모델에 회귀식을 적용하여 생성된 Probability Map을 이용하여 기후변화시나리오별 토지피복변화를 살펴보았다.

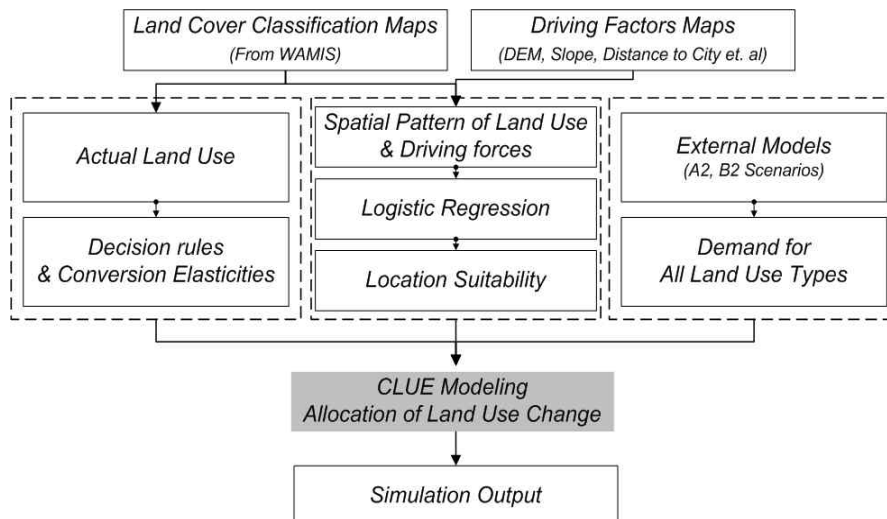


Fig. 2 Flowchart of Analysis.

Table 1. Data Table

Land cover classification map		Driving factors maps	
Code	Land cover type	File names	Location factors
0	Water and wetlands	sclgr0	100m DEM(altitude)
1	Urban and built-up	sclgr1	Distance to city
		sclgr2	Aspect
		sclgr3	Slope
2	Forest	sclgr4	Distance from the national roads
		sclgr5	Distance from the national roads and local roads
3	Paddy	sclgr6	Soil drainage class
		sclgr7	Land use in the soil map
4	Upland and grassland	sclgr8	Soil name
		sclgr9	Soil type class
		sclgr10	Soil depth

2.2.2 CLUE Model

CLUE 모델은 네덜란드의 Wageningen 대학에서 개발한 모델로 각 토지피복분류간 경쟁관계의 동적모델링을 통하여 토지이용과 구동요인의 관계를 정량화하고 이를 이용하여 토지이용변화를 모의하는 프로그램이다. 이 모델은 Fig. 2와 같이 비공간적 분석과 공간적 분석으로 나누어 수행된다. 비공간적 분석에서는 토지이용변화를 유도하는 구동요인과 토지이용과의 상관성을 다변량 분석을 통해 파악하고 총 변화면적을 산정하고, 공간적 분석 모듈에서는 대상지역의 Raster 자료로부터 토지이용변화 위치를 배분하게 된다.

이를 구체적으로 살펴보면 Fig. 3의 모식도와 같이 4가지 모듈로 구분하여 설명할 수 있다. 첫 번째 모듈은 공간정책과 제약조건들을 반영하는 부분으로 국립공원이나 개발제한구역, 농업지역 등을 변화제한조건으로 규정하게 되며, 다음으로 토지이용별로 변화특성을 설정하는 모듈에서는 변화가능성을 나타내는 전이 특성 값과 각 토지분류 사이의 상호 변화가능성을 나타내는 행렬식을 구성한다. 세 번째로는 과거의 토지이용변화 패턴과 토지이용변화 총량이나 인구변화 등을 반영한 시나리오를 바탕으로 토지이용변화 요구량을 설정하고, 마지막으로 다양한 구동요인으로부터 정량화한 토지이용의 위치 적합성을 특성치로 하여 토지변화를 공간적으로 표현하는 모듈로 구성된다.

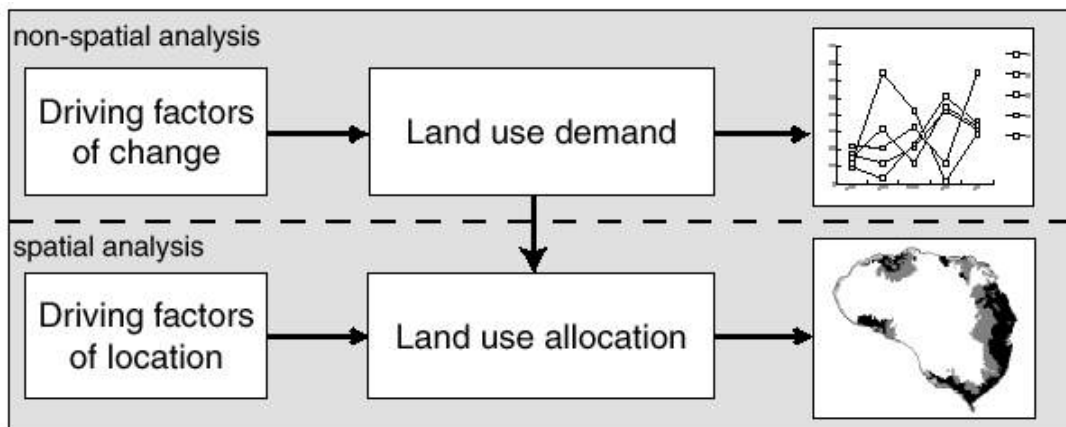


Fig. 3 Model Structure (Verburg et al., 1999; 2002).

2.2.3 SRES(Special Report on Emissions Scenarios)

SRES 시나리오는 기존의 배출시나리오의 검토, 서술적 시나리오 작성, 정량적 시나리오 작성, 인터넷에 의한 공표와 의견 청취, 정량적 시나리오의 개량 등 5 단계를 걸쳐 작성되었다. 그 결과, 경제지향과 환경지향으로 구분되는 A-B축과 전지구적 범위와 지역적 범위로 구분되는 1-2축을 기준으로 A1, A2, B1, B2 등 4개의 서술적 시나리오를 작성하였으며, 1998년부터 시나리오의 정량화를 시작하여 4개의 시나리오마다 각각 추가 시나리오를 작성하여 총 40개의 배출시나리오가 마련하였다(한국환경정책평가연구원, 2004). 본 연구에서는 여러 연구에서 활용된 바 있는 다원화 사회 시나리오(A2)와 지역 공존형 사회를 지향하는 시나리오(B2)를 바탕으로 토지피복변화 총량을 설정하여 각각의 변화예상 지역을 살펴보았다.

3. Results

3.1 Probability Map

토지피복변화 모델링을 위해 토지변화와 관련이 있을 것이라 추정되는 11가지 구동요인을 독립변수로 하여, 로지스틱 회귀분석을 통해 토지피복별 회귀식을 도출하였다. 모델 적용시, 각각의 토지피복에 관한 회귀식을 동시에 입력하여 Probability Map을 생성하고, 이를 회귀분석의 입력자료로 활용한 실제의 토지피복도와 비교하여 ROC curve 검정을 수행한 다음 토지피복변화 모델링을 수행한다. 5가지 분류 중, 산림과 관련 있는 구동요인을 정량화하여 추정된 회귀식은 아래와 같다. 산림의 회귀분석한 결과를 CLUE를 통해 생성한 Probability Map과 토지피복도와 비교한 결과, ROC 수치가 87.5 % 로 나타났으며 이를 도시하면 Fig. 4, Fig. 5 와 같다. Probability Map에서 진하게 나타난 곳이 토지피복도의 산림지역의 분포와 유사하게 나타남을 확인할 수 있다.

$$\text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = -4.0838 + 0.0132X_{1,i} - 0.0001X_{2,i} - 0.0014X_{3,i} - 0.1401X_{6,i} + 0.5827X_{7,i} + 0.0463X_{8,i} + 0.2205X_{9,i} - 0.928X_{10,i}$$

where, P_i : the probability of a gridcell on location i , X : location factor(sclgr)

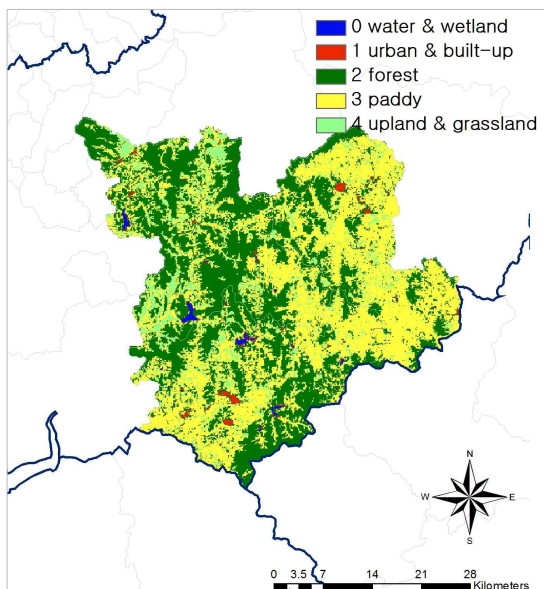


Fig. 4 Land Cover Classification Map.

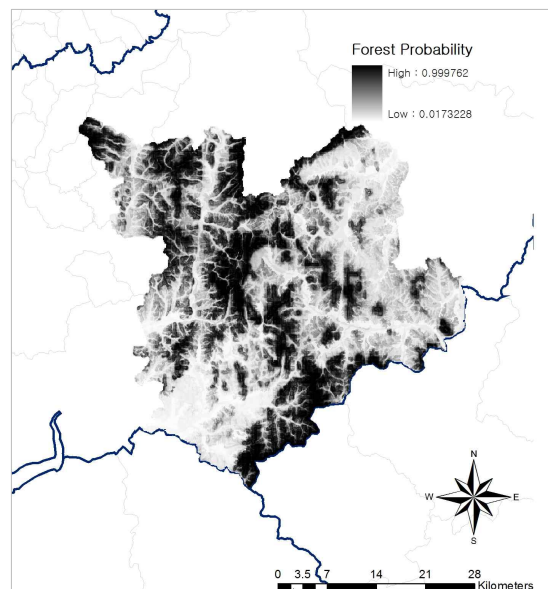


Fig. 5 Probability Map (CLUE).

3.2 A2 Scenario & B2 Scenario

본 연구에서 선정된 두가지 서술적 시나리오와 문헌조사를 통해 토지피복변화의 정량적 시나리오의 기준을 설정하였다. A2 시나리오는 B2 시나리오에 비해 상대적으로 경제성장을 중시하는 시나리오로서 토지피복의 변화율을 과거추세의 20%가 증가하는 것으로 설정하고, 이에 비해 B2는 점진적인 성장을 지향하는 시나리오로서 과거에 비해 -20% 변화하는 것으로 시나리오를 작성하여 2030년의 토지피복변화를 다음과 같이 모델링하였다.

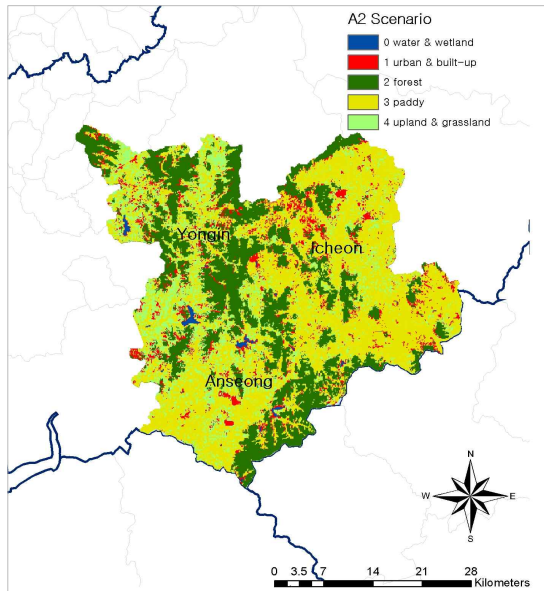


Fig. 6 Land Cover Classification Map(2030).
(A2 Scenario)

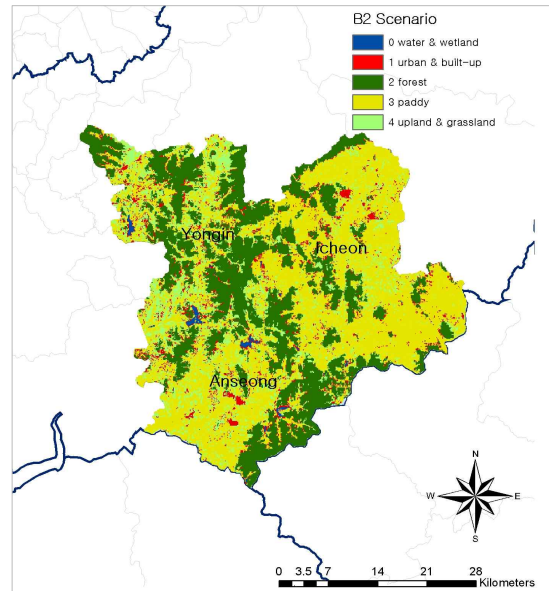


Fig. 7 Land Cover Classification Map(2030).
(B2 Scenario)

Reference

1. 김우선, 윤공현, 허준, 자야쿠마, 2008, CLUE-S 모델과 시계열 Landsat 자료를 이용한 토지피복 변화 예측, 한국지형공간정보학회, Vol. 16(1), 33~41pp
2. 이규성, 윤여상, 김선화, 신정일, 윤정숙, 강성진, 2009, 한반도 토지이용 및 토지피복 모니터링을 위한 현안 분석, 1999, 경상북도 4개 도시의 녹지파편화 현상 비교, 대한원격탐사학회, Vol. 25(1), 71~83pp
3. 한국환경정책평가연구원, 2004, 기후변화영향평가모형 개발, RE-10
4. IPCC(2000) Land Use, Land-Use Change and Forestry, A Special Report of the IPCC. Cambridge University Press, 377.
5. UNFCCC(2003) Land use, land-use change and forestry: definitions and modalities for including afforestation and reforestation activities under Article 12 of the Kyoto Protocol. Submissions from Parties, FCCC/SBSTA/2003/MISC, Bonn.
6. Verburg, P. H., De Konong, G. H. J., Kok, K., Veldkamp, A. and Bouma, J.(1999) A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual and use, Ecological Modelling, 116(1): 45-61.
7. Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V. and Mastura, S. S. A., 2002, Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model, Environmental Management, Vol. 30(3), 391-405pp.