

도시성장 시나리오와 CLUE-s 모형을 이용한 우리나라의 토지이용 변화 예측*

이용관¹ · 조영현² · 김성준^{1*}

Prediction of Land-Use Change based on Urban Growth Scenario in South Korea using CLUE-s Model*

Yong-Gwan LEE¹ · Young-Hyun CHO² · Seong-Joon KIM^{1*}

요 약

본 연구는 도시성장 시나리오와 CLUE-s 모형을 이용해 한반도의 시공간적인 미래 토지이용 변화를 예측하였다. 이를 위한 CLUE-s 모형의 입력 자료로 2008년 환경부 토지이용도와 국가수자원관리종합시스템(WAMIS)에서 1980년부터 2011년까지 5년 간격의 토지이용 통계 자료를 구축하였다. 토지이용 항목은 총 6개(수역, 시가지, 논, 밭, 산림, 초지)로 분류하였으며, 다양한 토지 변화요소(Driving Factor)와 특별토지이용 정책 자료로 환경부의 국토환경성평가 지도를 적용하였다. 시나리오 예측 결과는 각 도별로 2008년의 토지피복 통계와 비교를 통해 검증하였다. 시가지를 대상으로 한 실측값과의 오차율은 경기도(9.47%), 강원도(9.96%), 충청북도(10.63%), 충청남도(7.53%), 전라북도(9.48%), 전라남도(6.92%), 경상북도(2.50%), 경상남도(8.09%)로 나타났다. 이러한 오차의 원인은 미래 도시성장을 수학적으로 예측하기 위해 모형 내에서 조정된 성장률과 국가 정책으로 인한 실제 성장률의 차이로 인한 것으로 판단된다. 2100년의 미래 토지이용 변화 예측 결과 시가지는 2008년에 비해 28.24% 상승할 것으로 예측되었으며 논, 밭, 산림은 각각 8.27%, 6.72%, 1.66% 감소할 것으로 예측되었다.

주요어 : 도시성장 시나리오, 토지이용, 토지이용 변화 예측, CLUE-s

ABSTRACT

In this study, we used the CLUE-s model to predict the future land-use change based on the urban growth scenario in South Korea. The land-use maps of six classes (water, urban, rice paddy, upland crop, forest, and grass) for the year 2008 were obtained from

2016년 5월 5일 접수 Received on May 5, 2016 / 2016년 9월 1일 수정 Revised on September 1, 2016 / 2016년 9월 7일 심사완료 Accepted on September 7, 2016

* 본 연구는 한국기상산업진흥원 "기상See-At기술개발" 사업의 연구비지원으로 수행한 '정량적 수문기상인자 추정 기술 개발을 통한 수문순환 모델 적용 체계 구축 [KMIPA 2016-1020]' 과제의 성과임.

1 건국대학교 사회환경시스템공학과 Department of Civil & Environmental System Engineering, Konkuk University

2 한국수자원공사 수문기상협력센터 Hydrometeorological Cooperation Center, K-water

* Corresponding Author E-Mail : kimsj@konkuk.ac.kr

the Ministry of Environment (MOE), and the land-use data for 5-year intervals between 1980 and 2010 were obtained from the Water Resources Management Information System (WAMIS), South Korea. For predicting the future land-use change, the MOE environmental conservation value assessment map (ECVAM) was considered for identifying the development-restricted areas, and various driving factors as location characteristics were prepared for the model. The predicted results were verified by comparing them with the land-use statistics of urban areas in each province for the year 2008. The prediction error rates were 9.47% in Gyeonggi, 9.96% in Gangwon, 10.63% in Chungbuk, 7.53% in Chungnam, 9.48% in Jeonbuk, 6.92% in Jeonnam, 2.50% in Gyeongbuk, and 8.09% in Gyeongnam. The sources of error might come from the gaps between the development of political decisions in reality with spatio-temporal variation and the mathematical model for urban growth rate in CLUE-s model for future scenarios. Based on the land-use scenario in 2008, the land-use predictions for the year 2100 showed that the urban area increased by 28.24%, and the rice paddy, upland crop, and forest areas decreased by 8.27, 6.72, and 1.66%, respectively, in South Korea.

KEYWORDS : *Urban Growth Scenario, Land Use, Land Use Prediction, CLUE-s*

서론

도시의 인구 증가와 이로 인한 도시의 확장은 산림 및 농경지의 감소를 비롯한 많은 문제를 야기한다. 산림 및 농경지의 감소는 우수의 불투수지역 확대와 우수기능을 저하시키며, 물순환 체계 왜곡에 따른 하천 유출량의 변화와 함께 비점원오염에 의한 수질악화 등의 원인이 된다. 이는 해당구역의 치수대책 및 하천정비 계획에 직접적인 영향을 미치게 되므로, 과거로부터 현재 그리고 미래 토지이용의 변화에 따른 하천 구역의 유출특성 변화를 정량적으로 구명하여야만 효율적이고 능동적으로 하천구역 관리를 할 수 있게 된다(Lee and Kim, 2007; Park *et al.*, 2008).

그러나 토지의 변화는 토지이용정책 및 도시 정책에 직접적인 영향을 받을 뿐만 아니라 다양한 사회 경제적 요소, 인구분포, 인구밀도 등 여러 가지 요인에 영향을 받을 수 있기 때문에 (Oh *et al.*, 2011) 여러 복합적인 영향을 고려하지 않고 단순한 모델이나 이론을 이용하여 미래 토지 이용 변화를 예측하기는 어렵고(Lee

et al., 2011), 과거 면적 증감 경향으로만 미래 토지이용 예측을 할 경우 불확실성이 높아질 수 있다(Ryu *et al.*, 2014).

현재 토지 이용 변화에 대해 공간적으로 예측 할 수 있는 방법으로는 Cellular Automata (CA) 기법 (Yun and Park, 2008), Markov Chain 기법, CA와 Markov Chain이 결합된 기법, CLUE-s (Conversation of Land Use Change and its Effects at Small regional extent)모형을 이용한 기법이 있다. 이 중 Markov 기법은 GIS 데이터를 연산하여 현재 토지이용의 변화된 경향을 잘 예측하는 장점이 있지만 시간이 변화하더라도 전이 확률이 항상 일정하고 모든 위치에 동일하게 적용되는 단점이 있으며(Kim and Lee, 2007), CA 기법 또한 시계열 자료의 변화양상을 공통적으로 적용시켜 인접격자의 상태를 지속적으로 변화시키기 때문에 다양한 토지 이용정책이나 사회 경제적 요인을 반영하기에는 한계가 있다(Oh *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2013). 반면 CLUE-s 모형을 이용한 기법은 CA 및 Markov 기법과 달리 환경변화, 토지이용정책 및 사회 경제적 변화를 반영하여 토지이용변화를 예측할 수 있

으며(Verburg *et al.*, 2002), 전 세계적으로 다양한 토지이용 예측 분야에 활용되고 있다(Ryu *et al.*, 2014).

국내에서는 Kim *et al.*(2008)이 CLUE-s 모형과 시계열 Landsat 영상을 이용해 토지피복 변화 예측 연구를 수행하였고, 2001년 영상과의 감독 분류 결과와 비교를 통해 93.69%의 정확도를 보였다. Ryu *et al.*(2014)는 진위A 단위유역을 대상으로 오염총량관리제의 시공간적 미래 토지 이용 변화에 대한 분석을 CLUE-s 모형을 이용해 수행하였고, 토지이용정책 및 토지변화요소 반영이 시공간적 미래 토지이용 변화뿐만 아니라 토지계 발생부하량 산정에도 큰 영향을 줄 수 있음을 보였다. 또한 Han *et al.*(2015)은 안양천 유역을 대상으로 Dyna-CLUE 모형을 이용해 기후 및 토지이용변화를 고려한 미래 홍수 유출을 분석하였으며, Park *et al.*(2011)과 Ahn *et al.*(2015)은 충주댐 유역과 안성천 상류 유역에서 각각 SWAT 모형과 CLUE-s 모형을 이용해 기후변화 시나리오와 토지이용 변화 시나리오에 따른 수문학적 영향 평가를 수행하였다.

CLUE-s 모형을 활용한 기존의 선행 토지이용 변화 연구들은 소규모 및 중규모 유역을 대상으로 수행되었으며 과거 토지이용변화 면적을 기준으로 선행외삽을 실시하여 추정하였으나, 이는 미래의 토지이용 정책반영을 고려하지 않은 연구로 국한되어왔다. 본 연구에서는 우리나라를 대상으로 도시성장 시나리오를 적용하여 미래의 토지이용변화를 예측하고자 한다.

재료 및 방법

1. 도시성장 시나리오

도시화율은 전체 인구 중 도시에 거주하는 인구의 비중으로 나타낼 수 있으며 도시가 되어가는 정도(도시화)를 판단할 수 있는 지표가 된다. 도시화율의 증감을 통해 한 나라의 도시화가 어떻게 전개되고 있는지 가늠해볼 수 있으며, 각 시기별 도시화율을 이으면 그 나라의

도시화의 흐름을 파악할 수 있다. 도시화의 흐름은 대개 처음에는 서서히 진행하다 도시화를 촉진하는 요인에 의해 갑자기 가속적으로 전개되고 어느 단계를 지나면 둔화되거나 감소하게 된다. 때문에 도시화 곡선은 도시화가 낮은 단계에서 높은 단계로 이르기까지 하나의 로지스틱(logistic) 커브인 S자 형태를 나타낸다(Kwon, 2002).

우리나라의 경우 근대적 산업화와 농촌으로부터의 인구유출을 지표로 볼 때 일제 강점기 하부터 도시화가 시작되었다고 볼 수 있으나, 이는 산업화와 인과관계를 갖지 않은 외형적·양적 도시화에 불과하며 공간적 모습살이 변화를 수반하는 진정한 도시화는 경제개발이 본격화되는 1960년대에 들어오면서 가능하게 되었다. 1961년 군사정부가 경제개발을 추진하면서 우리의 도시화는 급속하게 전개되어 도시화율이 1960년 28.0%에서 1970년 41.2%, 1980년 57.3%, 1990년 74.4%, 2000년 79.7%로 상승했다. 1960년에 도약(take off)을 시작한 도시화는 약 한 세대(30년) 후인 1990년에 이르러 서구 도시화의 종착단계라 할 수 있는 75%에 이르렀다(Cho, 2003). 2014년 도시계획현황 통계를 살펴보면, 2014년 말 기준 우리나라 전체 인구 5,132만여 명 중 도시지역에 거주하는 인구비율은 전년(91.58%)보다 0.08%(210,538명) 증가한 91.66%(4,705만여명)로 조사되었다(그림 1). 또한 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한 용도지역상 전국토의 면적은 106,102.2km²로, 그 중 도시면적은 17,576.8 km²로서 전체 면적의 약 16.58%를 차지하는 것으로 조사되었다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015).

이처럼 도시개발로 인해 도시 인구와 도시면적이 증가함에 따라 농지면적 및 이용량은 줄어들 것으로 전망된다. Kim *et al.*(2013)의 우리나라의 농지이용전망에 따르면 경지면적은 2012년 168.9만ha로 추정되며, 2013년에는 전년대비 0.5% 감소한 168.0만ha에 이를 것으로 전망되고 경지면적은 향후 도시개발 등에 따른 농지 전용 등의 영향으로 지속적으로 감

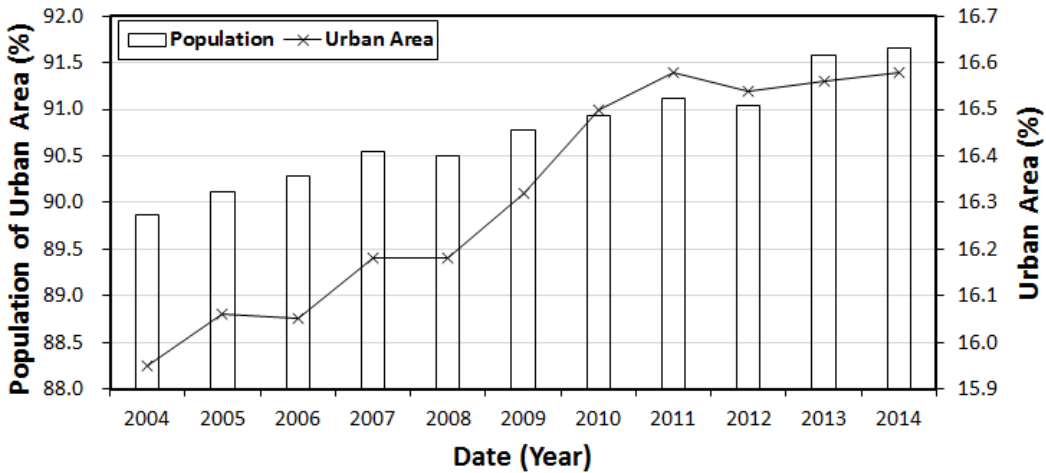


FIGURE 1. Statistics of population and area at urban area

소하여 2022년에는 2012년보다 9.1만ha 감소한 159.8만ha 수준으로 전망하였다.

본 연구에서는 이 같은 도시 면적 증가 추세와 농지면적 감소 전망에 따라 도시성장 시나리오 및 토지 이용 변화 시나리오를 작성하고 이를 통해 미래의 각 토지 이용 면적의 변화를 예측하였다.

2. CLUE-s 모형

CLUE(Conversion of Land Use and its Effects modeling framework, Veldkamp and Fresco, 1996; Verburg *et al.*, 1999) 모형은 토지이용 간 동적 모델링과 토지이용과 토지이용의 변화요소(driving factor) 간 경험적 정량화를 이용한 토지이용 변화를 모의하기 위해 개발되었으며 연구지역의 스케일을 대륙 또는 국가 정도 수준을 고려할 수 있게 설정되었고 미중부, 에콰도르, 중국 및 인도네시아의 자바 등에 적용되어 토지이용변화 분석을 모의하였다. 하지만 CLUE 모형은 작은 스케일의 지역 단위에 바로 적용을 못하는 제한점이 있기 때문에 이를 해결하기 위해 네덜란드 Wageningen 대학에서 기존의 CLUE 모형을 개선한 CLUE-s (Conversion of Land Use and its Effects at Small regional extent)모형을 개발하였다

(Verburg *et al.*, 2002).

CLUE-s 모형은 비공간적 모듈과 공간적 모듈로 구성되어 있으며 비 공간적 모듈은 총괄적으로 모든 토지이용 유형에 대한 지역의 변화를 계산하고 공간적 모듈에서 이를 레스터자료로 기반 시스템을 사용하여 연구지역 내 다른 위치로 토지이용 유형을 할당하는 구조를 지닌다. 하지만 CLUE-s 모형은 비공간적 모듈을 제외한 공간적 모듈만 사용자 인터페이스(User-Interface)로 제공하기 때문에 비공간적 모듈에 필요한 자료와 결과는 사용자가 직접 엑셀이나 SPSS와 같은 통계 프로그램을 이용하여 작성하여야 한다(Ryu *et al.*, 2014).

CLUE-s 모형의 구동을 위해 필요한 자료는 총 5가지로 토지이용 지도 (land use map), 특별토지이용정책 (spatial policies and restriction), 토지이용요구 자료 (land use requirements), 지역 특성 자료 (location characteristics), 토지이용변화 매개변수 자료 (land use type specific conversion setting)로 구분된다(그림 2).

CLUE-s 모형에 적용하기 위한 토지이용 지도는 2008년 환경부 토지이용도를 활용하였고 토지이용요구 자료 산정을 위한 토지이용 통계 자료를 국가 수자원관리 종합정보시스템(Water Management Information System, WAMIS)

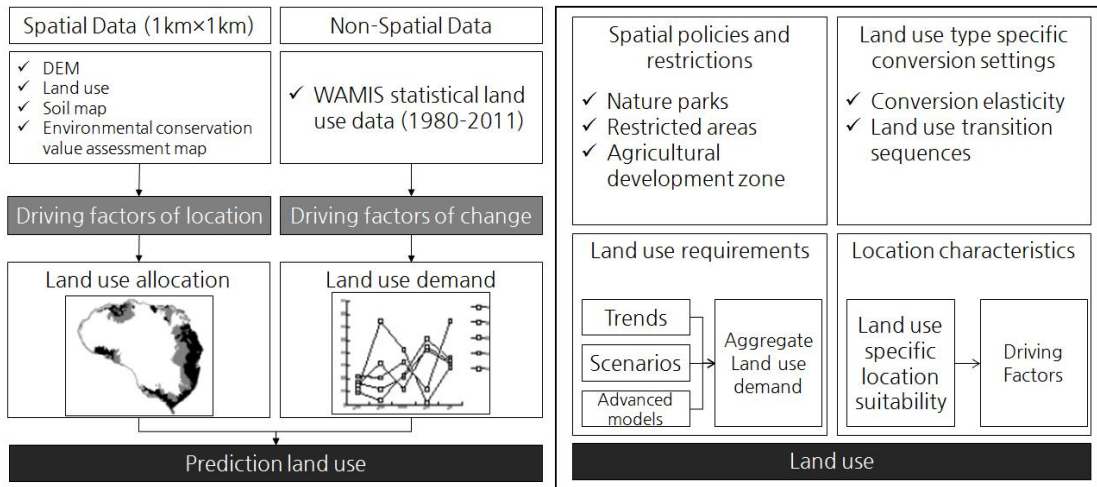


FIGURE 2. Flow chart of this study

에서 1980년부터 2011년까지 구축하였다. 토지이용 항목 분류는 23개의 중분류 토지피복종류를 모두 적용시킬 경우 모형의 구동이 되지 않는 한계가 있기 때문에 7개의 대분류 항목(시가지, 농업지역, 산림, 초지, 습지, 나지, 수역)에서 나지를 시가지로, 습지는 수역으로 통합하고 농업지역은 논, 밭을 구분하여 6개의 항목(수역, 시가지, 논, 밭, 산림, 초지)으로 재분류하였다. 나지는 잠정적인 개발지역으로 판단하여 시가지로 분류하였으며, 전체 토지 이용항목에서 차지하고 있는 비중이 0.5% 이하로 매우 작기 때문에 이러한 재분류가 전체적인 결과에 미치는 영향은 매우 적을 것으로 판단하였다. WAMIS의 토지이용 통계자료는 총 8개 항목(시가지, 농업지역, 논, 밭, 산림, 초지, 습지, 나지, 수역)으로 구성되어 있으며, 환경부 토지이용도와 동일하게 6개의 항목으로 재분류하였다. 재분류한 토지이용 통계자료를 활용하여 각 토지이용 항목의 과거 변화 양상을 파악하고, 도시성장 시나리오를 고려하여 미래 토지이용 변화 시나리오 작성 후 이를 바탕으로 2008년의 토지이용도를 모의하였다. 모의결과는 2008년 환경부 토지이용도와 비교를 통해 검증하고, 이를 통해 2100년까지의 토지이용 변화를 모의하였다.

또한 CLUE-s 모형은 지역 특성 자료로 다양한 토지변화요소를 통해 토지이용 면적 변화에 영향을 줄 수 있는 다양한 요소를 고려한다. CLUE-s 모형을 활용한 선행논문의 경우 총 7가지의 토지변화요소를 고려하였으나 (Ryu *et al.*, 2014), 본 연구에서는 총 9가지(DEM, 경사(slope), 경사향(aspect), 수문학적 토양그룹, 토양 깊이, 토양 타입, 하천으로부터의 거리, 도시로부터의 거리, 국도/지방도로부터의 거리)의 토지 변화요소를 생성한 후(그림 3a~3i) SPSS 통계프로그램을 이용해 각 토지이용 항목의 영향에 대한 회귀분석을 실시하고, 다중공선성 및 상관관계 체크 후 *p* 값이 0.05 미만에 해당하는 유효한 값들을 CLUE-s 모형의 입력 자료로 활용하였다.

특별토지이용정책 자료로는 환경부의 국토환경성평가 지도를 이용하였다(그림 3j). 국토환경성평가 지도는 법령상 보전용도지역 57개 항목(상수원보호구역, 자연환경보전지역, 습지보호구역 등)과 환경·생태적 가치 관련 8개 항목(종다양성, 생태자연도, 희귀성 등)을 모두 중첩하여 토지 보전가치를 1~5등급으로 평가한 것이다. 1등급에 가까울수록 토지의 보전가치가 높아 개발이 불가능하고, 5등급에 가까울수록 개발이 가능한 토지라 볼 수 있다. 토지이

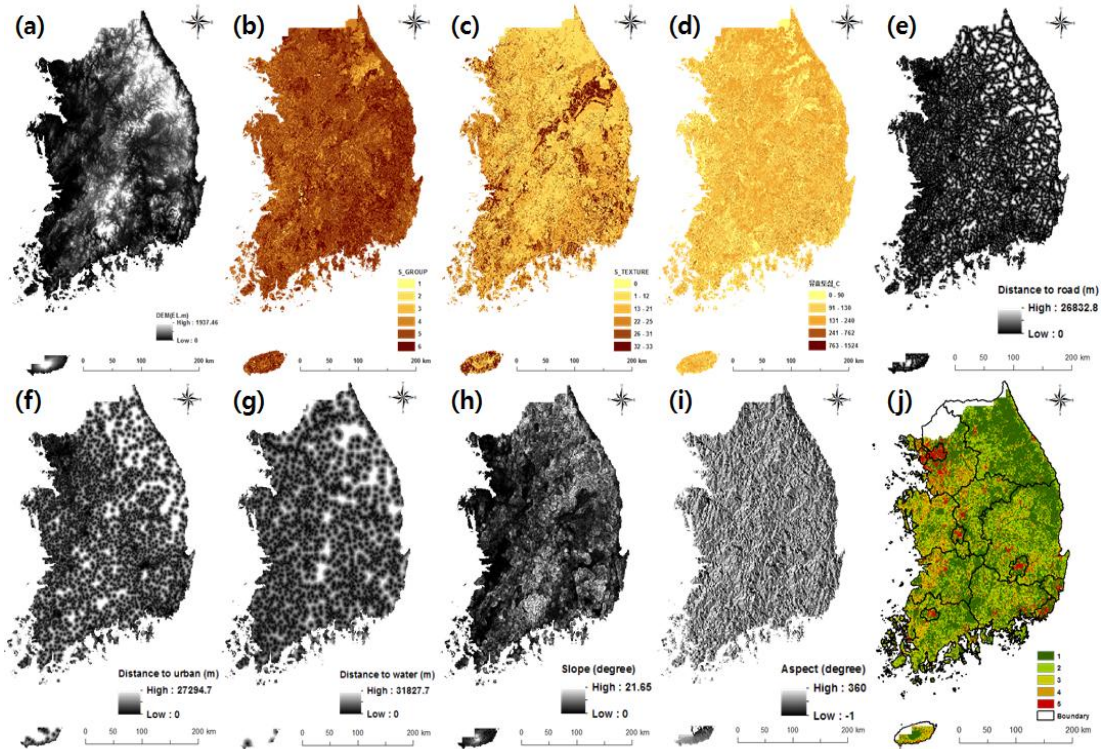


FIGURE 3. Driving factors of CLUE-s model and spatial policies and restriction data; (a) DEM, (b) hydrological soil group, (c) soil texture, (d) available soil depth, (e) distance to road, (f) distance to urban, (g) distance to water, (h) slope, (i) aspect, and (j) spatial policies and restriction data

용변화를 고려할 때, 법적인 경제력은 약하지만 현실적으로 반드시 검토해야 하는 요소로 볼 수 있다(Kim *et al.*, 2011). 본 연구에서는 국토환경성평가지도의 1~3등급 지역을 제한 지역으로 설정하고 4~5등급에 해당하는 지역을 변화 가능 지역으로 적용하였다.

토지이용 변화 매개변수 자료 중 제일 민감한 부분이 변환탄성 계수(conversion elasticity)와 변환행렬(conversion matrix)이다. 변환탄성 계수는 각 토지이용별로 변환될 수 있는 확률을 수치화 시킨 것으로 0에서 1사이의 값을 지닌다. 0의 변환탄성 계수는 한 장소에서 현재 토지이용이 제거되고 동시에 다른 장소에서 이 토지이용이 할당될 수 있음을 의미하며 1은 한 개 셀 중 한 개 토지이용에 대해 동시에 다른 토지이용이 전혀 추가가 되거나 제거 되지 않

음을 의미한다. 또한 0과 1사이의 값은 토지이용 변화가 허용되지만 높은 값일수록 1의 의미와 가까워짐을 나타낸다. 변환행렬은 각 토지간 변화될 수 있는 가능성을 0과 1로 구분한 것으로서 0일 경우 토지이용 간 변화가 되지 않고, 1일 경우는 변화가 가능한 것임을 의미하며, 사용자가 현재 토지이용현황의 특성을 파악하여 결정하여야 한다. 본 연구에서는 시가지의 경우 다른 토지이용으로 변화할 가능성이 거의 존재하지 않을 것이라 판단하여 변환행렬을 모두 0으로 설정하였고, 기타 항목에 대해서는 표 1과 같이 설정하여 적용하였다. 변환탄성 계수의 경우 변환행렬과 마찬가지로 시가지는 1로 설정하고, 다른 토지이용 항목의 경우 변환 가능성을 고려하여 표 2와 같이 적용하였다.

TABLE 1. Default values of conversion matrix

	Water	Urban	Paddy	Upland	Forest	Grass
Water	1	0	0	0	0	1
Urban	0	1	0	0	0	0
Paddy	0	1	1	1	0	1
Upland	0	1	1	1	1	1
Forest	0	1	1	1	1	1
Grass	1	1	1	1	1	1

TABLE 2. Default values of conversion elasticity

	Water	Urban	Paddy	Upland	Forest	Grass
Value	0.8	1.0	0.5	0.5	0.2	0.3

결과 및 고찰

1. 도시성장 시나리오 검증

본 연구에서는 미래 토지이용 변화 예측을 위해 WAMIS로부터 구축한 과거 토지이용 통계자료를 기반으로 미래 토지이용 변화 시나리오를 산정하였다. 그러나 과거 우리나라의 도시화는 경제개발의 영향으로 1990년대까지 급속하게 전개되었으며, 이러한 추세를 바탕으로 미래 토지이용 변화를 예측할 경우 급속한 토지이용 변화를 예측하게 된다. Statistics Korea (2011)에 따르면, 총인구는 2010년 현재 4,941만 명에서 2030년 5,216만 명까지 성장하고 이후 감소하여 2060년 4,396만 명(1992년 수준)에 이를 것으로 전망되었다. 따라서 현재 도시성장 추세는 2030년까지는 지속되나 그 이후론 성장률이 현저하게 감소할 것으로 추정되며, 이를 반영하여 미래 도시성장 시나리오를 작성하였다.

도시성장 시나리오에 따른 우리나라의 도시화는 현재 중착단계에 이르렀으며 이미 전 인구의 91.58%가 도시지역에 거주하고 있다. 여기에 인구 증가 추세를 고려할 때, 향후 도시의 성장은 2030년경까지 로지스틱 커브 곡선의 상층부에 해당하는 더딘 성장 추세를 보일 것으로 예측된다. 이에 따라 도시성장 예측 회귀식은 자연로그를 바탕으로 하여 산정하였다. 또한 시가지를 제외한 다른 토지 이용 항목에 해

당하는 지역은 이러한 시가지의 변화에 맞춰 자연로그의 식으로 회귀식을 작성하였다.

CLUE-s 모형은 우리나라 전체를 대상으로 토지이용 변화를 모의할 경우 계산 범위가 넓어 모의가 안 될 뿐만 아니라, 전체를 통합하여 모의할 경우 각 지역별 특성을 고려할 수 없기 때문에 각 도별로 토지이용 변화에 대한 회귀식을 산정하였다. 이 때 우리나라 6대 광역시와 1개의 특별시, 1개의 특별자치시는 위치한 지역에 따라 인근의 행정구역으로 포함시켜 모의하도록 하였다.

그림 4는 본 연구에서 작성한 미래 도시성장 시나리오를 행정 구역별로 나타낸 것이다. 그래프에서 점선과 실선은 각각 과거 토지이용 변화가 그대로 미래까지 이어질 경우와 도시성장에 따라 조정된 시나리오를 나타낸다. 그래프에서 알 수 있듯이, 과거 추세가 이어지는 경우에는 2100년(그래프에서 121년)까지 도시성장이 지속될 것으로 예측되나, 조정된 경우는 2030년(그래프에서 51년) 이후로 성장이 거의 없거나 줄어드는 모습을 보인다.

표 3은 각 행정구역별로 토지이용 항목에 따라 작성한 토지이용변화 회귀식을 결정계수(coefficient of determination, R^2)와 함께 나타낸 것이다. 산정된 미래 토지이용 변화 시나리오는 실제 통계 값과 0.62~0.99의 상관성을 보였으며, 전 지역에서 도시성장에 따라 논, 밭,

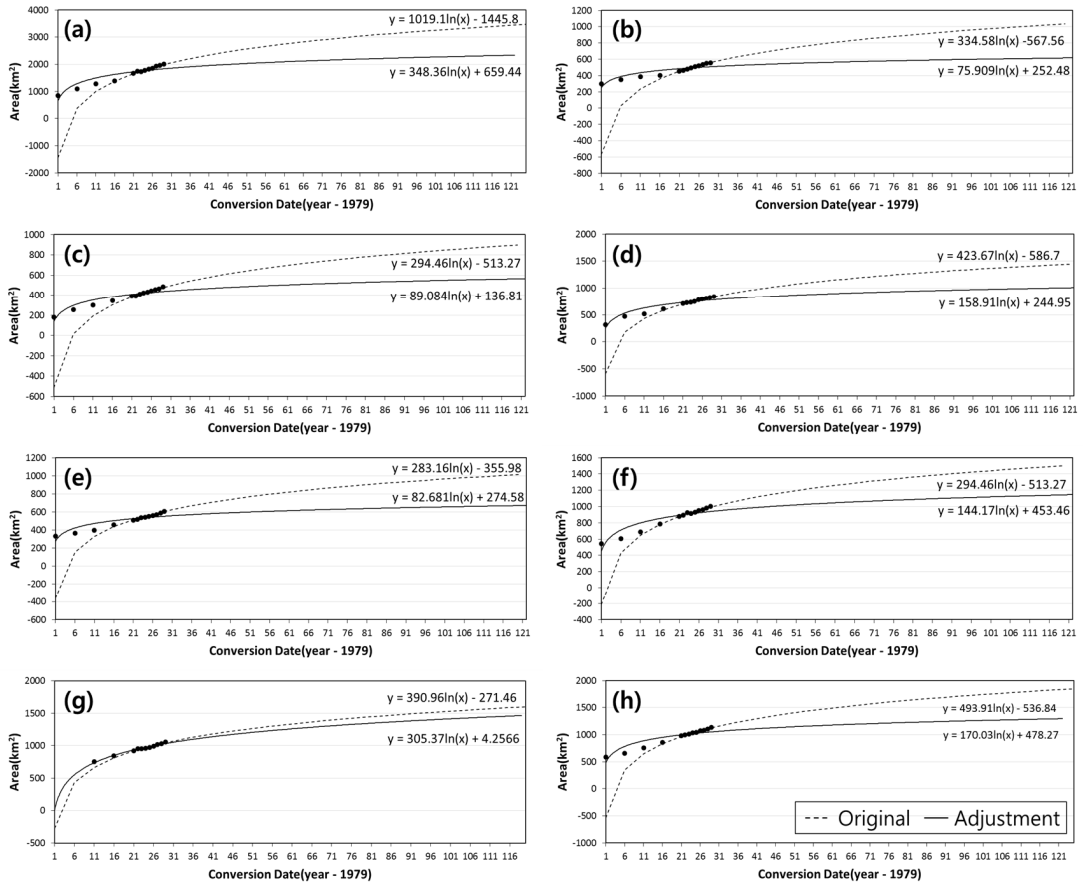


FIGURE 4. Regression equation and graph of land use change of urban area based on urban growth scenario: (a) Seoul · Gyeonggi-do, (b) Gangwon, (c) Chungcheongbuk-do, (d) Chungcheongnam-do, (e) Jeollabuk-do, (f) Jeollanam-do, (g) Gyeongsangbuk-do, and (i) Gyeongsangnam-do

혹은 산림이 감소할 것으로 예측되었다. 강원도 지역의 경우 과거 통계 자료가 꾸준히 산림이 증가하는 모습을 보여 왔기 때문에 다른 지역은 감소할 것으로 예측되는 것과 달리 미래 산림 변화도 증가추세로 지속될 것으로 예측되었다. 또한 전 지역에서 논밭은 감소하는 모습을 보이는데 전라남도의 논 지역은 증가하는 양상으로 예측되었다. 이는 우리나라의 대표적인 평야지대가 위치하여 벼농사가 집중되고 있는 지역의 특성으로 인한 것으로 판단된다. 또한 전 지역에서 수역도 증가할 것으로 예측되었는데 이는 과거부터 이·치수를 위한 저수지, 댐 등 수자원의 개발에 따른 것으로 판단된다. 또한 모든 지역에서 초지가

증가하는 양상을 보이는데 이는 최근에 증가하고 있는 골프장의 영향으로 인한 것으로 판단된다. Jung and Bang (2014)에 따르면 2012년 국내의 골프장은 2000년도에 비해 회원제 골프장 수는 두 배가 되었으며 퍼블릭 골프장은 5배가 넘고, 군 골프장도 8배 이상 증가한 것으로 조사되었다. 골프장 수는 IMF나 경제불황에도 불구하고 지속적으로 증가되어 왔으며, 본 연구에서의 결과는 이러한 추세를 반영하고 있는 것으로 보인다. 그러나 모든 지역에서 초지의 면적은 53.5 ~ 159.4km²로 작은 양을 차지하고 있어 전체 토지이용 면적에는 큰 영향을 미치지 않은 것으로 보인다(표 4).

TABLE 3. Regression equation of land use change based on urban growth scenario

Area[a]	Regression equation of land use change[b] (R ²)					
	Water	Urban	Paddy	Upland crop	Forest	Grass
SG	Y = 36.489lnX + 670.56 (0.79)	Y = 346.36lnX + 659.44 (0.86)	Y = -429.9lnX + 3045.6 (0.99)	Y = -88.4lnX + 1398.8 (0.84)	Y = -187.6lnX + 6738.4 (0.83)	Y = 40.637lnX + 5.6706 (0.84)
GW	Y = 11.069lnX + 599.96 (0.62)	Y = 75.909lnX + 252.48 (0.79)	Y = 0.5284lnX + 611.77 (0.83)	Y = -73.14lnX + 1301.8 (0.97)	Y = 171.23lnX + 13045 (0.76)	Y = 14.841lnX + 32.731 (0.69)
CN	Y = 18.43lnX + 406.11 (0.78)	Y = 89.084lnX + 136.81 (0.87)	Y = -53.01lnX + 867.78 (0.94)	Y = -42.87lnX + 867.74 (0.80)	Y = -127lnX + 5453.8 (0.99)	Y = 15.891lnX - 1.6396 (0.91)
CS	Y = 77.048lnX + 437.84 (0.94)	Y = 158.91lnX + 244.95 (0.88)	Y = -52.58lnX + 1098.1 (0.82)	Y = -47.46lnX + 1073.4 (0.82)	Y = -61.81lnX + 4979.6 (0.87)	Y = 17.338lnX + 21.278 (0.87)
JN	Y = 17.944lnX + 515.12 (0.84)	Y = 82.681lnX + 274.58 (0.78)	Y = -21.71lnX + 1682.7 (0.69)	Y = -26.92lnX + 763.08 (0.67)	Y = -55.04lnX + 4770 (0.87)	Y = 31.998lnX - 45.836 (0.90)
JS	Y = 59.507lnX + 489.49 (0.81)	Y = 144.17lnX + 453.46 (0.83)	Y = 23.467lnX + 2106.3 (0.93)	Y = -43.53lnX + 1405.1 (0.86)	Y = -64.54lnX + 7522.7 (0.90)	Y = 21.139lnX + 40.897 (0.86)
GN	Y = 46.086lnX + 999.25 (0.93)	Y = 305.37lnX + 4.2566 (0.98)	Y = -65.55lnX + 2167.2 (0.89)	Y = -43.96lnX + 1632.4 (0.88)	Y = -52.17lnX + 14382 (0.92)	Y = 17.034lnX + 63.629 (0.88)
GS	Y = 21.877lnX + 613.67 (0.74)	Y = 170.03lnX + 478.27 (0.81)	Y = -73.42lnX + 1831.5 (0.73)	Y = -31.03lnX + 851.38 (0.90)	Y = -211.8lnX + 8430.7 (0.84)	Y = 12.661lnX + 57.636 (0.88)

[a] Area: SG(Seoul-Gyeonggi-do), GW(Gangwon), CN(Chungcheongbuk-do), CS(Chungcheongnam-do), JN(Jeollabuk-do), JS(Jeollanam-do), GN(Gyeongsangbuk-do), GS(Gyeongsangnam-do)

[b] Y = area (km²), X = Year - 1979

TABLE 4. Validation of regression equation based on land use data at 2008

Area[a]	Water			Urban			Paddy			Upland crop			Forest			Grass			Total		
	Obs. (km ²)	Sim. (km ²)	Err. (%)	Obs. (km ²)	Sim. (km ²)	Err. (%)	Obs. (km ²)	Sim. (km ²)	Err. (%)	Obs. (km ²)	Sim. (km ²)	Err. (%)	Obs. (km ²)	Sim. (km ²)	Err. (%)	Obs. (km ²)	Sim. (km ²)	Err. (%)	Obs. (km ²)	Sim. (km ²)	Err. (%)
SG	786.9	793.4	0.82	2006.0	1832.5	9.47	1607.0	1598.0	0.56	1085.7	1101.1	1.40	6069.6	6106.7	0.61	159.4	142.5	11.85	11555.2	11574.2	0.16
GW	645.3	637.2	1.27	558.7	508.1	9.96	602.3	613.6	1.83	1057.2	1055.5	0.16	13661.1	13621.6	0.29	78.5	82.71	5.08	16524.6	16518.7	0.04
CN	467.8	468.2	0.08	483.2	436.8	10.63	678.5	689.3	1.56	717.3	723.4	0.84	5023.6	5026.2	0.05	53.5	51.87	3.14	7370.4	7395.6	0.34
CS	687.3	697.3	1.43	838.8	780.1	7.53	904.5	921.1	1.80	899.8	913.6	1.51	4740.0	4771.5	0.66	87.6	79.7	9.97	8070.4	8163.1	1.14
JN	580.2	575.5	0.81	605.4	553.0	9.48	1595.7	1609.6	0.86	654.0	672.4	2.74	4567.7	4584.7	0.37	62.6	61.9	1.11	8003.0	8057.1	0.67
JS	706.6	689.9	2.43	1003.9	938.9	6.92	2186.6	2185.3	0.06	1243.2	1258.5	1.22	7280.8	7305.4	0.34	113.1	112.1	0.91	12421.1	12490.1	0.55
GN	1149.7	1154.4	0.41	1058.3	1032.5	2.50	1913.2	1946.5	1.71	1465.6	1484.4	1.26	14179.7	14206.3	0.19	128.9	121.0	6.54	19766.5	19945.1	0.90
GS	703.2	687.3	2.31	1135.8	1050.8	8.09	1526.8	1584.3	3.63	734.5	746.9	1.66	8131.0	7717.5	5.36	103.0	100.3	2.72	12231.3	11887.1	2.90
Total	5727.0	5703.2	1.20	7690.1	7132.7	8.07	11014.6	11147.7	1.50	7857.3	7955.8	1.35	63653.5	63339.9	0.98	786.6	752.1	5.17	95942.5	96031.0	0.84

[a] Area: SG(Seoul-Gyeonggi-do), GW(Gangwon), CN(Chungcheongbuk-do), CS(Chungcheongnam-do), JN(Jeollabuk-do), JS(Jeollanam-do), GN(Gyeongsangbuk-do), GS(Gyeongsangnam-do)

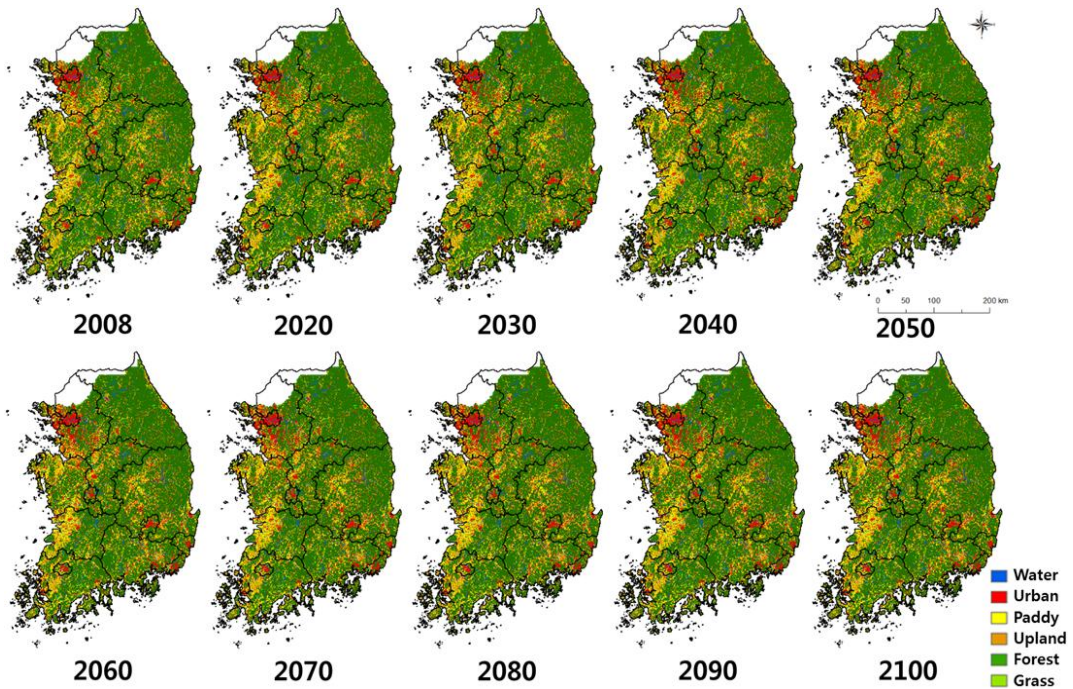


FIGURE 5. Land use change prediction

본 연구에서는 시나리오 검증을 위해 2008년의 환경부 토지이용도와 비교를 통한 오차 분석을 실시하였다. 이를 통해 과거 통계자료를 기반으로 하여 도시성장 시나리오를 적용한 본 연구의 미래 토지이용 변화에 관한 회귀식의 모의 정확도를 확인해보고자 하였다. 표 4는 미래 토지이용 변화 회귀식을 통해 2008년의 각 토지이용 면적을 산정하고 각각의 면적, 실제 통계자료 및 오차율을 나타낸 것이다. 시가지를 대상으로 각 지역의 오차율을 산정한 결과 서울경기(9.47%), 강원도(9.96%), 충청북도(10.63%), 충청남도(7.53%), 전라북도(9.48%), 전라남도(6.92%), 경상북도(2.50%), 경상남도(8.09%)의 오차율을 보였다. 대체적으로 5% 이하의 오차를 보이고 있는 다른 토지이용 항목에 비해 시가지의 오차율은 다소 높은 모습을 보인다. 우리나라의 경우, 과거 시가지의 급격한 상승(도시의 성장)으로 인해 과거 토지 이용 통계를 그대로 미래 시나리오에 적용시킬 경우

2100년의 토지이용 예측 시 기하급수적인 도시의 성장을 예측하게 될 뿐만 아니라 모형 구동 시 계산 오류가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 도시성장 시나리오를 고려하여 시가지 성장 곡선을 조정하였고 이에 따라 오차율이 다른 토지 이용 항목에 비해 크게 산정된 것으로 판단된다(그림 5). 초지의 경우 오차율이 서울·경기(11.85%), 충청남도(9.97%) 등 오차율이 높게 산정되고 있으나, 이는 작은 면적으로 인해 상대적으로 오차가 크게 나타나는 것으로 판단된다. 이를 제외한 다른 토지이용 항목은 모두 5% 이하의 오차율을 보이며, 산정한 토지이용 회귀식이 적절하게 토지이용을 예측하고 있음을 보였다.

2. 미래 토지이용 변화 분석

앞서 산정한 회귀식을 바탕으로 2100년까지의 각 토지이용 항목의 면적변화를 산정하고 산정한 면적을 토지이용 요구 자료로 CLUE-s

TABLE 5. Prediction of land use change from 2008 to 2100

Unit: km²(change rate in contrast to past ten years, %)

Year	Water	Urban	Paddy	Upland	Forest	Grass	Total	
Observed	2008	2,726	6,890	12,988	9,907	57,920	1,719	92,150
Predicted	2020	2,754 (1.03)	7,355 (6.75)	12,734 (-1.96)	9,755 (-1.53)	57,696 (-0.39)	1,856 (7.97)	92,150
	2030	2,787 (1.20)	7,660 (4.15)	12,571 (-1.28)	9,653 (-1.05)	57,537 (-0.28)	1,942 (4.63)	92,150
	2040	2,809 (0.79)	7,901 (3.15)	12,447 (-0.99)	9,566 (-0.90)	57,412 (-0.22)	2,015 (3.76)	92,150
	2050	2,831 (0.78)	8,107 (2.61)	12,322 (-1.00)	9,490 (-0.79)	57,324 (-0.15)	2,076 (3.03)	92,150
	2060	2,854 (0.81)	8,294 (2.31)	12,220 (-0.83)	9,427 (-0.66)	57,226 (-0.17)	2,129 (2.55)	92,150
	2070	2,867 (0.46)	8,448 (1.86)	12,125 (-0.78)	9,381 (-0.49)	57,154 (-0.13)	2,175 (2.16)	92,150
	2080	2,878 (0.38)	8,595 (1.74)	12,052 (-0.60)	9,320 (-0.65)	57,080 (-0.13)	2,225 (2.30)	92,150
	2090	2,897 (0.66)	8,725 (1.51)	11,977 (-0.62)	9,284 (-0.39)	57,009 (-0.12)	2,258 (1.48)	92,150
	2100	2,908 (0.38)	8,836 (1.27)	11,914 (-0.53)	9,241 (-0.46)	56,958 (-0.09)	2,293 (1.55)	92,150
	Change rate between 2008 and 2100 (%)		(6.68)	(28.24)	(-8.27)	(-6.72)	(-1.66)	(33.39)

모형에 적용하여 한반도의 미래 토지이용 변화를 예측하였다(표 5). CLUE-s 모형은 기준 자료를 바탕으로 토지이용 요구 자료의 면적 변화에 따라 면적 변화를 예측하며, 본 연구에서는 1km×1km 공간해상도로 작성한 2008년 토지이용도를 기준자료로 적용하였다. 따라서 표 5의 면적변화는 기준 자료의 각 항목으로부터 토지이용 변화 회귀식을 적용하여 미래 토지이용 면적을 예측한 결과를 나타내는 것으로 전체 면적(92,150.0km²)에서 WAMIS 토지이용 통계자료(95,942.5km²)와 차이가 있다.

전국의 시가지 면적은 2008년 6,890km²에서 2020년에 6.75% 상승하여 7,355km²를 나타내며, 이후 도시성장 시나리오에 따라 도시성장률이 점차 감소하며 2100년에는 2090년보다 1.27% 상승한 8,836km²를 차지할 것으로 예측되었다. 도시성장에 따라 논, 밭, 산림의 면적은 꾸준히 감소하는 모습을 보인다. 전국의 논 면적은 2020년에 12,734km²로 감소하고 2100년에는 2008년보다 8.27% 감소한 11,914km²일 것으로 예측되었다. 밭 면적은 2020년에 1.53% 감소한 이후 감소율이 작아지는 모습을 보인다 2100년에는 9,241km²일 것으로 예측되었다. 산림의 경우 감소율이 가장 작으며 2020년에

0.4%에서 2100년에는 2090년에 비해 0.09% 감소하여 56,958km²의 면적을 나타낼 것으로 예측하였다. 수역의 경우 향후 계속 증가하다 2100년에는 2008년보다 6.68% 상승한 2,908 km²를 나타낼 것으로 예측되었으나, 수역은 국가 정책의 영향을 많이 받으므로 다른 토지이용 항목에 비해 불확실성이 더 클 것으로 판단된다. 초지는 도시성장 시나리오에 따른 면적 변화가 가장 큰 항목으로 2100년에는 2008년에 비해 33.39% 상승한 2,293km²의 면적을 나타낼 것으로 예측되었다. 그러나 초지의 경우 전체 면적에 대한 비율은 2008년에 1.87% 에서 2100년에 2.49%로 총 0.62% 상승함으로써 다른 토지 이용항목에 비해 상대적으로 작은 면적 변화를 보이는 것으로 나타났다.

도시성장 시나리오에 따른 미래 토지이용 변화를 그림 5에 나타내었다. 토지이용 항목은 국토환경성평가 지도에 따라 제한지역에 해당하는 1~3등급 지역의 변화는 거의 없으며 4~5 등급에 해당하는 지역 내에서 시가지가 성장하는 모습을 보이고 있다. 10년 단위의 토지이용도에서 해가 거듭 될수록 붉은 점이 늘어나는 모습을 보이며 2100년에는 경기지역에 시가지가 넓어진 것을 육안으로 확인할 수 있다.

결론

본 연구는 도시성장 시나리오와 CLUE-s 모형을 이용해 한반도의 시공간적인 토지이용 변화를 예측하였다. CLUE-s 모형은 환경변화, 토지이용정책 및 사회 경제적 변화를 반영하여 토지이용 변화를 예측할 수 있으며, 본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 로지스틱 커브의 형태를 띠는 도시성장 시나리오에 따르면 우리나라는 급속한 경제 발전을 통해 1990년에 도시화의 종착단계인 75%에 이르렀으며, 2014년 말 기준 우리나라 전체 인구 5,132만여 명 중 도시지역에 거주하는 인구 비율은 91.66%(4,705만여 명)로 조사되었다. 이에 따라 농지 면적도 꾸준히 감소할 것으로 전망된다.

둘째, CLUE-s 모형의 입력 자료로 2008년 환경부 토지이용도를 활용하였으며, WAMIS의 1980년부터 2011년까지의 토지이용 통계자료를 이용해 회귀식을 산정하였다. 이 때 모형의 한계로 토지이용 항목은 총 6개(수역, 시가지, 논, 밭, 산림, 초지)로 재분류하였으며, 다양한 토지변화요소를 고려할 수 있도록 하였다. 또한 환경부의 국토환경성평가 지도를 활용해 특별토지이용정책 자료로 활용할 수 있도록 하였다.

셋째, WAMIS 통계 자료와 도시성장 시나리오를 바탕으로 행정구역별로 토지이용 변화 회귀식을 산정하고 회귀식을 통해 산정한 결과와 2008년 토지이용 자료를 비교하여 검증을 시도하였다. 산정결과 시가지의 오차율은 서울경기(9.47%), 강원도(9.96%), 충청북도(10.63%), 충청남도(7.53%), 전라북도(9.48%), 전라남도(6.92%), 경상북도(2.50%), 경상남도(8.09%)로 나타났으며, 다른 토지 이용항목에 비해 높은 오차율을 보였다. 이는 과거 시가지의 급격한 토지이용에 따라 회귀식 작성 시 나타날 수 있는 급격한 성장 시나리오를 방지하기 위해 조정된 기울기에 의한 것으로 판단된다. 다른 토지 이용항목은 5% 이하의 오차율을 보였다.

넷째, 산정한 회귀식을 CLUE-s 모형에 적용해 미래 토지이용 변화를 예측한 결과, 2020년

의 시가지는 2008년(6,890km²)에 비해 6.75% 상승한 7,355km²를 나타낼 것으로 보이며 2100년에는 28.24% 상승한 8,836km²를 차지할 것으로 예측되었다. 도시성장에 따라 2100년의 논, 밭, 산림은 각각 8.27%, 6.72%, 1.66% 감소되어 11,914km², 9,241km², 56,958 km²로 예측되었다.

다섯째, 수역은 2008년보다 6.68% 상승한 2,908km²가 될 것으로 예측되었으나, 수자원의 경우 국가 정책에 영향을 많이 받기 때문에 예측에 불확실성이 있다. 초지의 경우 가장 큰 상승률을 보이며 2100년에 33.39% 증가할 것으로 예측되었으나, 전체면적 대비 비율은 0.62%로 상대적으로 작은 변화인 것으로 나타났다.

본 연구는 도시성장 시나리오와 특별토지이용정책 자료, 과거 통계 자료 등 다양한 요소를 고려해 미래의 토지이용 변화를 정량적으로 예측하였으며, 이 결과는 추후 기후 변화 시나리오 및 건전화 예측 등 미래의 기후 예측 연구 시 기초 입력 자료로써 활용될 수 있을 것으로 판단된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Ahn, S.R., C.H. Jang, J.W. Lee and S.J. Kim. 2015. Assessment of climate and land use change impacts on watershed hydrology for an urbanizing watershed. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 35(3):567-577 (안소라, 장철희, 이준우, 김성준. 2015. 기후변화와 토지이용변화가 도시화 진행 유역수문에 미치는 영향 평가. *대한토목학회논문집* 35(3):567-577).
- Cho, M.R. 2003. Trend and prospect of urbanization in Korea: reflections on Korean cities. *Economy and Society* 60: 10-39 (조명래. 2003. [특집] 도시화의 흐름과 전망-한국 도시의 과거, 현재, 미래. *경제와 사회* 60:10-39).
- Han, W.S., S.J. Jeong, and B.S. Kim. 2015.

- The analysis method of future flooding discharge considering climate and land-use change using Dyna-CLUE. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 15(6):361-371 (한우석, 정세진, 김병식. 2015. Dyna-CLUE를 이용한 기후 및 토지 이용변화를 고려한 미래 홍수 유출 분석 방법. *한국방재학회논문집* 15(6):361-371).
- Jung, M.H. and I.B. Bang. 2014. Present condition of and prospect for domestic golf course industry. *Korean Journal of Golf Studies* 8(1):47-55 (정문현, 방인백. 2014. 국내 골프장 산업의 현황과 전망. *한국골프학회지* 8(1):47-55).
- Kim, D.J., E.S. Im, and S.J. Kim. 2011. Land use change prediction based on urban policy scenarios. *Korea Research Institute for Human Settlements*. pp. 21-22 (김대중, 임은선, 김상조. 2011. 도시정책 시나리오에 따른 토지이용변화 예측 연구. *국토연구원*. pp.21-22).
- Kim, M.H., S.H. Han, J.S. Joh, and T.W. Kim. 2013. KREI outlook of the agricultural economy. *Korea rural economic institute*. p. 31 (김명환, 한석호, 조재성, 김태우. 2013. 2013년 상반기 KREI 농업경제전망. *한국농촌경제연구원*. p.31).
- Kim, S.J. and Y.J. Lee. 2007. The effect of spatial scale and resolution in the prediction of future land use using CA-Markov technique. *Journal of Korean Association of Geographic Information* 10(2):57-69 (김성준, 이용준. 2007. 면적 규모 및 공간해상도가 CA-Markov 기법에 의한 미래 토지이용 예측결과에 미치는 영향. *한국지리정보학회지* 10(2):57-69).
- Kim, W.S., K.H. Yun, J. Heo, and S. Jayakumar. 2008. The expectation of the land use and land cover using CLUE-S model and Landsat images. *The Korean Society for Geospatial Information System* 16(1):33-41 (김우선, 윤공현, 허준, 자야쿠마. 2008. CLUE-S 모델과 시계열 Landsat 자료를 이용한 토지 피복 변화 예측. *한국지형공간정보학회지* 16(1):33-41).
- Kwon, Y.W. 2002. Interpreting the city; an urban geographical approach. *Parkyoungsa*. South Korea, pp.143-144 (권용우. 2002. 도시의 이해. *박영사*. 대한민국, 143-144쪽).
- Lee, D.K., D.H. Ryu, H.G. Kim, and S.H. Lee. 2011. 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. *Journal of Korean Environmental Restoration Technology* 14(6):119-130 (이동근, 류대호, 김호걸, 이상혁. 2011. Dyna-CLUE 모델을 이용한 양평·여주 지역의 토지이용 변화 예측 및 평가. *한국환경복원녹화기술학회지* 14(6):119-130).
- Lee, Y.J. and S.Y. Kim 2007. A modified CA-Markov technique for prediction of future land use change. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 27(6D):809-817 (이용준, 김성준. 2007. 미래 토지이용변화 예측을 위한 개선된 CA-Markov 기법의 제안 및 적용. *대한토목학회 논문집* 27(6D):809-817).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2015. 2014 Statistics of urban planning. p.12 (국토교통부. 2015. 2014 도시계획 현황 통계 발표. *도시정책과*. 12쪽).
- Oh, Y.G., J.Y. Choi., S.H. Yoo, and S.H. Lee. 2011. Prediction of land-cover change based on climate change scenarios and regional characteristics using cluster analysis. *Journal of the Korean Society of*

- Agricultural Engineers 53(6):31-41 (오윤경, 최진용, 유승환, 이상현. 2011. 기후변화 시나리오에 따른 미래 토지피복변화 예측 및 군집분석을 이용한 지역 특성 분석. 한국농공학회논문집 53(6): 31-41).
- Park, J.H., S.H. No, and G.S. Lee. 2013. Outlook analysis of future discharge according to land cover change using CA-Markov technique based on GIS. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 16(3): 25-39 (박진혁, 노선희, 이근상. 2013. GIS 기반 CA-Markov 기법을 이용한 토지피복 변화에 따른 미래 유출량 전망 분석. 한국지리정보학회지 16(3):25-39).
- Park, J.Y., M.J. Park, H.K. Joh, H.J. Shin, H.J. Kwon, R. Srinivasan and S.J. Kim. 2011. Assessment of MIROC3.2 hires climate and CLUE-s land use change Impacts on watershed hydrology using SWAT. Transactions of the ASABE, 54 (5):1713-1724.
- Park, J.Y., M.S. Lee, Y.J. Lee and S.J. Kim. 2008. The analysis of future land use change impact on hydrology and water quality using SWAT model. Journal of the Korean Society of Civil Engineers 28(2B):187-197 (박종윤, 이미선, 이용준, 김성준. 2008. SWAT 모형을 이용한 미래 토지이용변화가 수문-수질에 미치는 영향 분석. 대한토목학회논문집 28 (2B):187-197).
- Ryu, J.C., K.H. Ahn, M.D. Han, H.S. Hwang, J.W. Choi, Y.S. Kim and K.J. Lim. 2014. Evaluation and application of CLUE-S model for spatio-temporal analysis of future land use change in total water pollution load management system. Journal of Korean Society on Water Environment 30(4):418-428 (류지철, 안기홍, 한미덕, 황하선, 최재완, 김영석, 임경재. 2014. 오염총량관리제의 시공간적 미래 토지이용 변화분석을 위한 CLUE-S 모델의 적용 및 평가. 한국물환경학회지 30(4):418-428).
- Statistics Korea. 2011. Population projections for Korea: 2010-2060 (based on the 2010 Census). p.28 (통계청. 2011. 장래인구추계: 2010-2060 (2010 인구주택총조사 기준). p.28).
- Veldkamp, A. and L.O. Fresco. 1996. CLUE-CR: an integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. Ecological modeling 91:231-248.
- Verburg, P.H., G.H.J. De Koning, K. Kok, A. Veldkamp, J. Bouma. 1999. A spatial explicit allocation procedure for modeling the pattern of land use change based upon actual land use. Ecological modeling 116(1):45-61.
- Verburg, P.H., W. Soepboer, A. Veldkamp, R. Limpiada. V. Espaldon, and S.S. Mastura. 2002. Modeling the spatial dynamic of regional land use: the CLUE-S model. Environmental Management 30(3):391-405.
- Yun, J.M. and J.M. Park. 2008. Research about growth model's automation. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 11(1):1-9 (윤정미, 박정우. 2008. 도시성장모형의 시뮬레이션 자동화에 관한 연구. 한국지리정보학회지 11(1): 1-9). 