

연구논문

SLEUTH 모델을 이용한 청주시 토지이용변화 예측

박인혁 · 하성룡

충북대학교 공과대학 도시공학과

(2013년 1월 15일 접수, 2013년 2월 2일 승인)

Land Use Change Prediction of Cheongju using SLEUTH Model

In-Hyeok Park · Sung-Ryong Ha

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University

(Manuscript received 15 January 2013; accepted 2 February 2013)

Abstract

By IPCC climate change scenario, the socioeconomic actions such as the land use change are closely associated with the climate change as an up zoning action of urban development to increase green gas emission to atmosphere. Prediction of the land use change with rational quality can provide better data for understanding of the climate change in future. This study aims to predict land use change of Cheongju in future and SLEUTH model is used to anticipate with the status quo condition, in which the pattern of land use change in future follows the chronological tendency of land use change during last 25 years. From 40 years prediction since 2000 year, the area urbanized compared with 2000 year increases up to 87.8% in 2040 year. The ratios of the area urbanized from agricultural area and natural area in 2040 are decreased to 53.1% and 15.3%, respectively.

Keywords : Land Use Change, SLEUTH, Climate Change, Land Cover

1. 서론

IPCC(2000) 시나리오에 의하면 토지이용변화는 대기 중 온실 가스를 증가시키는 주요 요인으로서 장래 기후변화와도 밀접한 관련이 있는 것으로 제안하고 있다. 특히 유럽의 경우, 토지이용 변화 시나리오는 IPCC의 기후변화 시나리오인 SRES 시나

리오를 바탕으로 사회·경제적 여건(인구, 경제, 사회구조, 토지이용변화)을 분석하고 이를 기초로 시나리오를 설정하고 있다(Rounsevell *et al.*, 2006).

토지이용변화 예측에 관한 연구로 이용준(2007) 등은 안성천 유역에 토지이용도와 개선된 CA - Markov 기법을 적용해 2090년까지의 미래 토지이용도를 예측했다. 김현수(2010) 등은 수도권지역의

1975~2000년의 5년 단위 토지피복도와 도시성장 모형을 이용하여 2030년까지의 수도권 지역 도시 성장을 예측과 그 결과를 기반으로 수도권 지역의 기후변화를 예측하였다. Turner(2006) 등은 시나리오 기반의 토지이용변화 모델링 방법을 제안하였으며, 제안된 방법을 사용하여 미래에 대한 생태학적, 경제학적, 사회학적인 시나리오나 정책조건 하에서 미래 토지이용 변화 양상을 분석하였다.

본 연구는 IPCC 5차 보고서의 기후변화 시나리오 중 RCP 8.5 시나리오를 토지이용변화에 적용하기 위한 사전 연구로, 청주시를 대상으로 토지이용 변화율이 현 상태를 유지할 때(Status quo) 장래 토지이용변화를 예측하는데 그 목적이 있다.

RCP 8.5 시나리오는 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우(BAU)의 시나리오로 2100년에 복사강제력이 8.5 W/m²를 초과하는 고농도 시나리오이며, 기존의 SRES A2와 A1FI 사이의 복사강제력 값을 갖고 있다.

II. 연구의 대상지역 및 방법

1. 연구대상지역 개황

연구 대상지는 충청북도 청주시를 선정하였다. 청주시는 153.45km² 면적의 전형적인 지방 중소도시로 2개의 행정구와 30개의 법정동으로 구성되어 있다. 인구는 2012년 기준 672,849명에 달하며 1970년도부터 매년 3%이상의 인구성장률을 보인다. 청주시는 과거부터 지속적인 도시 확산 및 토지이용 변화를 보이고 있어 미래 토지피복변화를 모의하는데 적합한 것으로 판단된다.

2. 모형의 개요 및 연구절차

(1) 모형의 개요

본 연구에서 활용한 도시성장 및 토지이용변화 예측 모형은 SLEUTH(Slope Land use Excluded Urban Transportation Hill shade) 모형으로, 미국 캘리포니아 산타바바라 주립대학의 Clarke 교수

가 개발한 도시성장 모델(Clarke Cellular Automaton Urban Growth Model)을 개선한 모형이다. SLEUTH는 도시영역성장 모의를 위한 UGM 모형(Urban Growth Model)과 토지이용변화 예측을 위한 Deltatron 모형으로 구성된다. UGM과 Deltatron 모형에서 미래 예측을 위한 연산은 공히 셀룰라 오토마타(Cellular Automata)기법을 활용한다(Dietzel & Clarke, 2006). 셀룰라 오토마타는 2차원 grid 기반의 셀룰라 공간(cellular space), 셀 상태(states), 인접 셀(neighborhood), 천이규칙(transition rule), 시간(time)으로 구성되며 특정 시점에서 임의 셀의 상태변화는 인접 셀의 상태 값, 그리고 천이규칙에 의해 이루어진다(윤정미 등, 2008).

SLEUTH 모형 중 UGM의 입력 자료는 경사도, 개발제한구역도, 도시영역도, 도로망도, 음영기복도 등이며 자연적 성장, 신 중심지형 성장, 도시 주변 성장, 도로유발 성장의 4가지 유형을 통해 도시의 성장을 모의한다. 한편, Deltatron 모형은 UGM의 도시성장 예측 결과를 토대로 도시 격자 이외의 토지이용의 변화를 모의하는 모형이다. Deltatron의 입력 자료는 UGM의 도시성장 매개변수와 초기조건으로 활용될 기준년도 토지이용도이다. Deltatron의 연산은 대상지를 임의의 상태 값을 갖는 격자로 구분하고, 시간 경과에 따른 각 격자의 토지이용 상태 값을 확률적 변화에 의해 결정하는 구조를 지닌다.

(2) 연구의 절차

본 연구에서는 대상지의 과거 토지이용자료와 수치지도, 표고모델 등의 자료를 입력 자료 형태인 래스터(Raster) 데이터로 변환 후, 각 자료의 시기별 일관성 등을 분석하고 자료의 오류를 수정하였다. 수정 자료 중 도시영역도, 음영기복도, 도로망도, 경사도 등을 도시영역성장 모델에 입력하여 장래 도시영역을 모의하였다. 기준년도 토지이용을 초기조건과 모델매개변수를 입력 후 대상지역의 장래 토지이용변화를 예측하였다. Figure 1은 연구절차를 나타낸다.

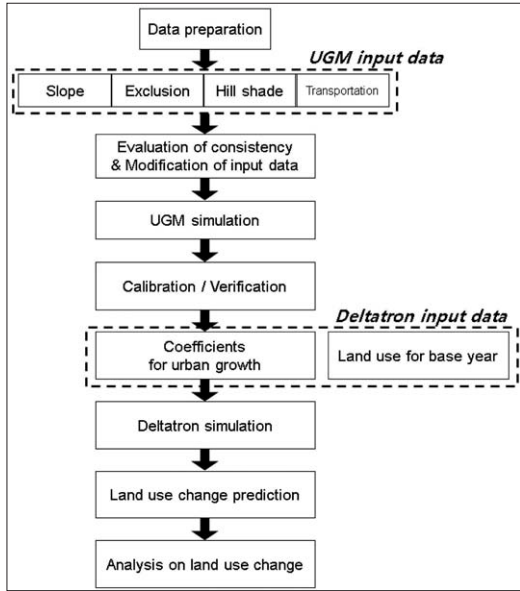


Figure 1. Process of the study

3. 모형 입력 자료의 구축

(1) UGM 입력 자료의 구축

UGM 모형은 도시영역성장을 예측하기 위해 도시영역도(4개 이상 시계열), 도로망도(3개 이상), 각각 개의 도로망도와 음영기복도를 필요로 한다.

우선, 도시영역도는 국토해양부의 수자원정보시스템(WAMIS; WATER Management Information System)에서 1975년~2000년까지 5년 단위 청주시 토지피복도를 구득하여 산출하였다. 추출한 영

역은 청주시 전체와 청원군 일부가 포함되는 지역으로 격자의 수는 569×532로 설정하였다(해상도 30m×30m). Figure 2는 WAMIS에서 추출한 원본 도시영역을 나타낸다. 그러나 Figure 2에서 알 수 있는 것과 같이 도시영역의 시간적인 변화가 일정하게 증가하는 것이 아닌 시간변화에 따라 도시영역의 면적이 증감하고 있는 것으로 나타났다. 특히 1985년의 도시 중심부는 1975년의 도시중심에 비하여 비대해 졌으나, 도시 외곽의 경우, 1975년도에는 넓은 영역에 걸쳐 정적으로 퍼져있던 도시 지역이 10년 뒤인 1985년도에는 사라진 것으로 나타났다. 한편 1990년 이후엔 비교적 도시의 확장 현상이 잘 반영되어 있으나, 2000년의 경우 도시중심부의 영역이 1995년에 비해 밀도가 낮은 것으로 나타났다. 이는 자료의 정도가 낮은 것에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 Figure 2의 원시자료를 UGM 모형의 입력 자료로 사용하기에는 부적합한 것으로 판단하고, 대상지역의 가장 최근자료인 2000년 도시영역을 기준으로 최근 년도 촬영된 영상 대비 과거년도자료의 자료 오류를 제거하는 방법으로 시계열 도시영역도를 수정하였다(Figure 3). 원본 도시영역과 수정된 도시영역의 차이는 Figure 4와 같다. 원본 도시영역에 비해 수정 도시영역은 1990년까지 완만하게 증가하다가 1995년을 기점으로 급격하게 성장하는 것을 알 수 있다. UGM 모형의 또 다른 입력 자료인 개발제한구역도는 “2015 청주시 도

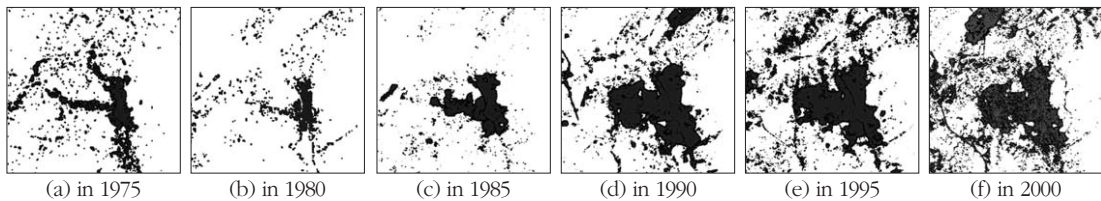


Figure 2. Original images of the land urbanized in Cheongju from 1975 to 2000 year

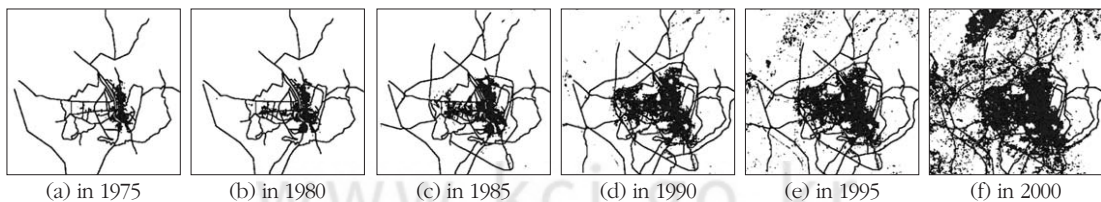


Figure 3. Revised images of the land urbanized in Cheongju area from 1975 to 2000 year

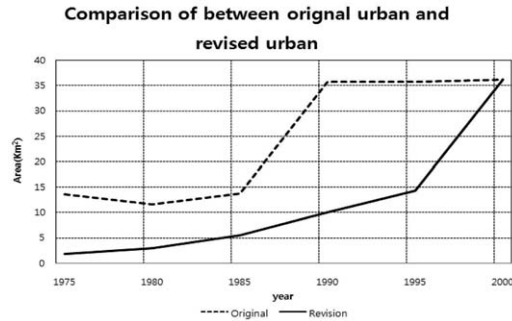
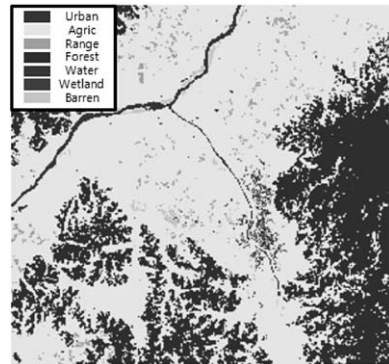


Figure 4. Comparison of between original urban image and revised urban image

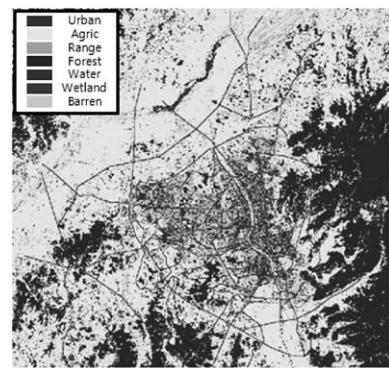
시관리계획(2008)”에서 제시한 결과를 사용하였다. 개발제한구역은 현재 청주시의 북동쪽에 위치한 우암산(EL. 343m) 일대와 무심천 수변공간과 일부 도시 내 공원 녹지 등이 포함되어 있다. 한편, 대상 지역의 경사도 분석결과, 최저 0%에서 최고 120%의 분포를 보이며 평균경사는 약 10%로 나타났다. 또한 청주시의 음영기복도는 WAMIS에서 제공하는 DEM (Digital Elevation Model) 자료를 토대로 GIS프로그램을 활용하여 구축하였다. 마지막으로 대상지역의 도로망은 과거 도시 기본계획 자료를 확보 후, 디지털라이징을 통해 구축하였다. 1975년에 대상지의 간선도로는 이미 건설이 완료되었으며 이후 우회도로 건설 및 택지개발에 의한 접근로 등의 중소도로 위주로 도로망이 확장되었다

(2) Deltatron 입력 자료의 구축

전술한 바와 같이 Deltatron의 입력 자료는 UGM 모형의 도시성장 매개변수와 2개 이상 기준 년도의 토지이용도를 필요로 한다. UGM의 입력 단계에서 수정한 도시영역을 고려하여 대상지역의 토지이용도를 수정하였으며, 토지이용변화가 상대적으로 명확한 1995년 자료와 모의 시작 년인 1975년도의 토지이용자료를 입력 자료로 활용하였다 (Figure 5). 이상과 같이 SLEUTH 모형 구동을 5개의 도시영역도와 4장의 도로망도 2장의 토지피복도와 각 1장의 개발제한구역도, 경사도, 음영기복도의 입력 자료를 구축하였다. 구축된 입력 자료 중 1975년부터 1995년까지의 자료는 모델의 입력 자



(a) in 1975



(b) in 1995

Figure 5. Revised land use map in Cheongju

료로 사용하였고 2000년 자료는 모델의 적합성 평가를 위한 검정 자료로 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 모형의 보정 및 검정

(I) SLEUTH 모형의 성장계수

SLEUTH 모형은 도시성장 및 토지이용변화를 예측함에 있어 자연적 성장, 신 중심지 주도형 성장, 도시주변 성장, 도로유발 성장의 4가지 성장 유형을 갖는다. 각 성장유형은 5가지 성장 계수를 이용하며, 그 계수는 분산(Dispersion), 확산(Spread), 증식(Breed), 경사(Slope), 도로 인력(Road gravity)이다. 각 매개변수는 1~100 사이의 상수 값을 가지며 총 3단계(Coarse, Fine, Final)에 걸쳐 보정을 수행 후 최종 매개변수 값을 도출한다.

Table 1. The results of Brute Force Calibration

Process	Diffusion			Breed			Spread			Slope			Road Gravity		
	start	end	step	start	end	step	start	end	step	start	end	step	start	end	step
Coarse	1	100	25	1	100	25	1	100	25	1	100	25	1	100	25
Fine	10	40	5	34	65	5	1	30	5	1	30	5	35	65	5
Final	4	14	1	34	44	1	20	30	1	49	59	1	54	64	1
Results	4			34			29			55			6		

먼저, 분산 계수는 자연적 성장과 도로 유발성장에 관여하는 변수로, 자연적 성장에서는 임의의 선택된 격자의 도시화 횟수를 제한하는 역할을 한다. 한편 도로 유발성장에서는 도로로부터 몇 격자 또는 단계로 이동할 것인가를 결정하는 계수로 사용된다. 확산계수는 도시주변 성장에 영향을 미치는 계수로 새로운 도시격자 주변에 새로운 도시가 발생할 확률을 결정하는 계수이다. 증식계수는 신 중심지 주도형 성장과 도로유발 성장에 영향을 미치는 계수로, 신 중심지형 성장에서는 자연적 성장에서 도시화된 격자가 신 중심지가 될 확률을 결정하고 도로 유발성장에서는 도시 격자 주변에 도로를 찾는 횟수를 결정하는 계수이다. 경사계수는 네 가지 모든 성장유형에 모두 영향을 미치는 계수로, 모든 성장유형에서 격자의 도시화 가능성 여부를 판단하는 계수이다. 마지막으로 도로인력계수는 도로 유발 성장에서 도시화된 격자 주변 도로의 검색 범위를 결정하는 계수이다.

(2) 모형의 보정

SLEUTH 모형의 보정은 전술한 5가지의 계수를 결정하는 과정으로, 통상적으로 SLEUTH 모형 내에 자체적인 보정 모듈을 활용하는 것이 일반적이다. 그러나 대상지역이 넓거나 고해상도의 예측을 수행할 경우 분석대상 격자가 많아지면 보정에 소요되는 시간이 급격히 증가하게 된다. 이에 Dietzel와 Clarke (2006)은 보정에 소요되는 시간을 줄이기 위해 대상지의 해상도를 Coares, Fine, Final로 조절하여 보정을 시행하는 방법(Brute force calibration)을 제안하였다. 그러나 한혜진(2011)은 동일한 지역에 서로 다른 해상도의 입력 자료를 활용하여 Coares 보정을 수행한 결과, 서로 다른 매

개변수가 산출되는 결과를 얻었다. 이에 본 연구에서는 모형의 보정에 Brute force 보정기법을 사용하되 전 보정과정에서 원해상도의 자료를 이용하여 보정을 수행하였으며 그 결과는 Table 1과 같다. Coarse 보정은 매개변수 값의 전체 범위를 사용하여 4단계(step: 25)로 수행하였으며, Coarse 보정 후 도시 둘레(Perimeter) 일치도, 도시 격자수 일치도, 클러스터 일치도와 전체 일치도를 검토하여 다음 단계의 보정의 범위를 결정하고 보정을 수행하였다. 보정 결과, 분산계수는 4, 확산계수는 34, 증식계수는 29, 경사계수는 55, 도로 인력계수는 60으로 산출되었다.

(3) 모형의 검정

매개변수의 검정을 위해 SLEUTH 모형에 의해 산출된 1995년 토지이용과 실제 토지이용을 비교하였다. Table 2는 토지이용항목별 일치/불일치 격자수를 나타낸다. 검정 결과, 도시지역과 논/밭 지역은 비교적 높은 일치도(70% 이상)를 보였으나, 초지 및 습지, 나지는 격자수가 적고 넓은 지역에 분산되어 있어서 낮은 일치도(10% 이내)를 보였다.

Table 2. Summary of verification results(in 2000)

Type	Matched	Unmatched	Consistency	Classification
	No. of cell		%	
Urban	23,456	13,293	71.64	Urbanized
Barren	422	3,701	12.87	
Agric	65,661	-23,989	73.24	Agricultural
Range	173	3,879	7.181	
Forest	28,761	8,931	75.59	Natural
Water	285	97	77.65	
Wetland	6	8	3.37	

2. 토지이용항목별 예측 결과 검토

SLEUTH를 통해 예측된 토지이용항목 중 Table 2와 같이 도시와 나지를 도시화 지역으로, 농지와 초지를 농경지역으로, 산림, 수역, 습지를 자연지역으로 중분류하여 중분류 항목에 대해 모의결과의 변화율을 분석하였다.

도시화 지역은 Figure 6과 같이 지속적인 증가를 보였으며 그 증가율은 97%에 달한다. SLEUTH 모형 구동 조건을 전술한 바와 같이 현 상태 유지(Status quo) 시나리오를 사용하였기 때문에 도시화 지역의 증가율은 과거(1975~2000)와 유사한 양상을 보였다. 도시화 지역 중 가장 높은 성장률을 보인 지역은 청주시 오근장동으로 2000년 19%에서 2040년 68.3%로 성장하였으며 성안동은 2000년 98.4%에서 2040년 96.1% 반대로 도시화 지역이 감소하였다.

농경지역은 Figure 6과 같이 지속적으로 감소하였으며 그 감소율은 54%에 달했다. 농경지역의 경우 실측값과 예측 값의 차이가 크게 나타났는데, 이는 SLEUTH 모형의 특성상 도시성장을 먼저 모의하고 그 계수를 이용하여 토지이용을 모의하기 때문으로 판단된다. 농경지역 중 가장 큰 성장률을 보인 지역은 청주시 모충동으로 2000년 농지 비율이 3.1%에서 2040년 농지 비율이 5.3%로 가장 높은

성장률을 보였다. 반면 농경지역이 가장 많이 감소한 지역은 청주시 오근장동으로 2000년 농지 비율이 69.4%에서 2040년 농지 비율이 26.3%로 약 40%이상 감소하는 것으로 나타났다.

자연지역은 농경지역과 같이 지속적인 감소를 보였으며 그 감소율은 약 17%로 나타났다(Figure 6). 자연지역 중 가장 높은 성장률을 보인 지역은 청주시 금천동으로 2000년 3.4%에서 2040년 10.1%로 증가하였다. 이는 해당지역의 주변에 수역(명암저수지) 등이 존재하고 산지(우암산)와 공원지역과 같은 개발제한구역이 존재하기 때문인 것으로 판단된다.

반면, 자연지역의 감소가 가장 큰 지역은 청주시 수곡2동으로 2000년 자연지역 면적 비율이 39.8%에서 2040년 17.9%로 가장 높은 감소율을 보였다. 자연지역의 경우, 다른 토지이용항목에 비해 그 변동 폭이 적은 것으로 나타났는데 이는 전술한 바와 같이 개발제한구역과 경사도 등에 영향을 받아 다른 토지이용으로의 천이가 어려웠기 때문인 것으로 판단된다.

대상지역의 중분류 항목별 면적 및 직전 5년 대비 면적 증감률을 산출하면 Table 3과 같고 도시화 결과는 Figure 7과 같다. 도시화 지역의 면적은 2000년부터 2015년 까지 증폭성장(Boom) 단계로 폭발적인 성장을 보이지만 2020년 이후 증가율이

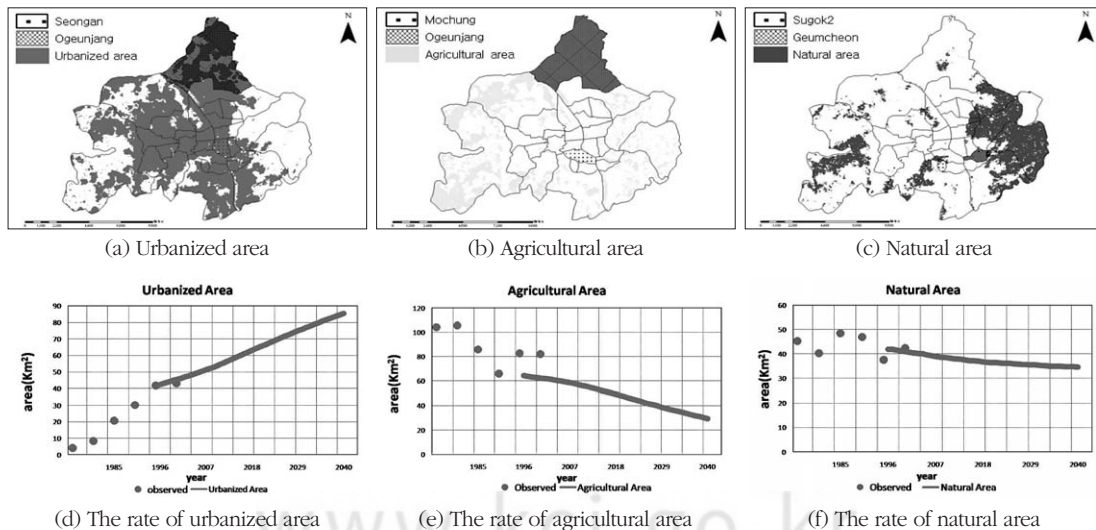
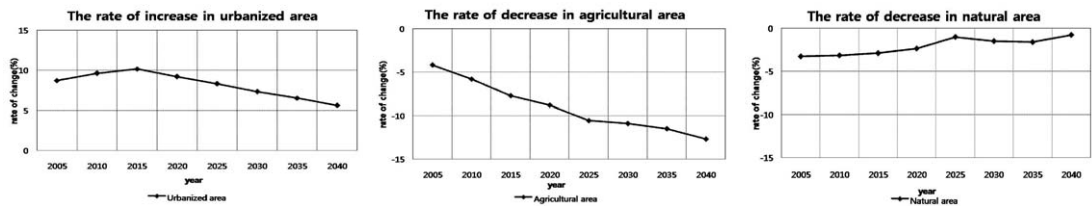


Figure 6. Prediction results in 2040 & chronological change of land use in Cheongju

Table 3. Summary of predicted area & diversification rate for middle classification land use by 5years

Type / Year	2000 ^{a)}	2005 ^{b)}	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	
Urbanized	area(ha)	4,545.63	4,942.8	5,419.26	5,970.96	6,521.49	7,065.63	7,585.92	8,082.63	8,538.66
	rate(%) ¹⁾	8.94	8.74	9.64	10.18	9.22	8.34	7.36	6.55	5.64
Agricultural	area(ha)	6,249.96	5,989.59	5,642.28	5,207.4	4,749.03	4,247.37	3,785.4	3,350.34	2,925.54
	rate(%) ¹⁾	-24.54	-4.17	-5.8	-7.71	-8.8	-10.56	-10.88	-11.49	-12.68
Natural	area(ha)	4,094.19	3,960.54	3,835.71	3,725.19	3,638.16	3,601.8	3,548.16	3,491.28	3,464.46
	rate(%) ¹⁾	8.89	-3.26	-3.15	-2.88	-2.34	-1	-1.49	-1.6	-0.77

1) rate(%) = (area for target year(ha)-area before 5years(ha))/area before 5years(ha) × 100
 e. g. rate for 2005 = (4,942.8b)-4,545.63a)/4545.63a) = 8.74%



(a) The rate of increase for urbanized area (b) The rate of decrease for agricultural area (c) The rate of decrease for natural area

Figure 7. The rate of land use change in Cheongju by 5years

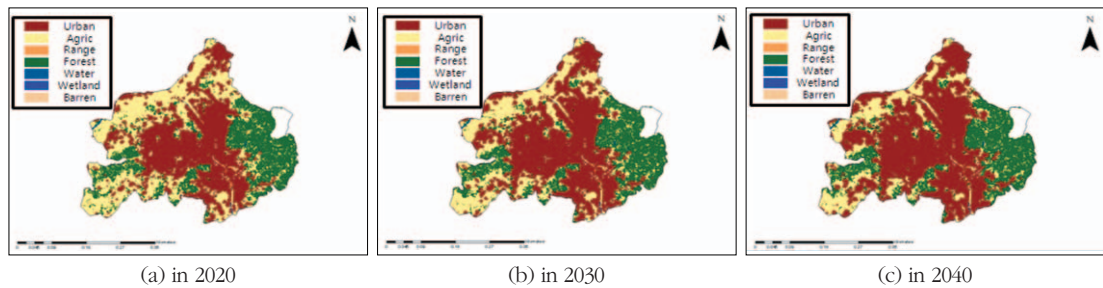


Figure 8. Prediction maps of land use of Cheongju in future(from 2020 to 2040)

점차 둔화되는 것으로 나타났다. 이는 2015년까지 개발여지가 있는 지역의 도시화가 급속히 진행되고, 이후 도로를 따라 성장하는 SLEUTH의 성장유형에 기인하는 것으로 판단된다.

농경지역의 경우, 2040년까지 선형적인 감소양상이 나타나는 것으로 분석되었다. 농경지역의 대부분은 도시화지역으로 토지이용항목이 변경되었으며 다른 토지이용항목과 달리 농경지역이 도시화지역으로의 천이가 용이한 것은 경사도 및 도로와의 접근성이 다른 토지이용항목에 비해 높기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 자연지역의 경우 2000년에 일시적으로 면적이 상승하는 것으로 분석되었는데 이는 기존 입력 자료가 가지는 오차에 기인하는 것으로 판단되

며, 2000년 이후 일정하게 면적이 감소하는 추세를 보였다. 다만 자연지역은 다른 토지이용과는 달리 감소율이 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 전술한 바와 같이 개발제한구역 및 경사도 등의 영향에 따른 것으로 판단된다.

세분류 항목별 토지이용변화 예측결과는 Figure 8와 같으며 전술한 토지이용의 변화 특성이 잘 반영된 것으로 판단된다. 시가화 지역은 대상지의 북쪽 방향으로 확산되는 양상을 보이며, 남서쪽의 농경지는 2040년 이후에도 농경지역으로 잔존하는 것으로 나타났다. 대상지의 동쪽에 위치한 자연지역은 개발제한구역으로 인해 면적 감소는 거의 없는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 연구는 RCP 8.5 기후변화 시나리오를 토지이용변화에 적용하기 위한 사전 연구로, 대상지역의 토지이용변화율이 현 상태를 유지조건(Status quo)을 만족 할 때 2040년까지의 토지이용변화를 예측하였다.

이를 위해 셀룰라 오토마타 기반의 SLEUTH 모형을 활용하였으며, 토지이용변화가 뚜렷하게 발생하고 있는 청주시를 대상지로 선정하였다. 청주시의 1975년~2000년까지의 토지이용자료와 도시 기본계획 자료 등을 일관성 검토 후 입력 자료로 활용하였다. 분석결과, 2040년 도시화지역은 2000년 대비 약 87% 증가하였으며 농경지역은 약 53%, 자연지역은 약 15% 감소하는 것으로 나타났다. 도시화 지역은 2015년까지 증폭성장을 보였으며, 농경지역의 대부분은 도시화지역으로 천이되는 것으로 나타났다. 자연지역의 경우, 개발제한구역과 경사도 등의 영향으로 증감률이 다른 토지이용항목에 비해 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 이 결과는 향후 IPCC 5차 평가보고서의 정성적인 미래 발전 방향을 정량화, 세부화, 지역화하여 인문사회적 요소가 고려된 청주권의 토지피복변화 모의에 기초 자료로 활용될 수 있다.

사 사

이 논문은 2012년도 정부[교육과학기술부]의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 [No.2011-0028914]

참고문헌

- 김현수 · 정주희 · 오인보 · 김유근, 2010, 도시성장 모델을 적용한 수도권 미래 기후변화 예측, 한국대기환경학회지, 26(4), 367-379.
- 윤정미 · 박정우, 2008, 도시성장모형의 시뮬레이션 자동화에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 11(1), 1-9.
- 이용준 · 김성준, 2007 미래 토지이용 변화 예측을 위한 개선된 CA-Markov 기법의 제안 및 적용.
- 한혜진, 2011, 기후변화 시나리오를 고려한 토지이용예측 모델 개발, 한국환경정책 · 평가연구원. 연구보고서.
- 청주시, 2008, 2015 청주 도시 관리계획, 청주시.
- Dietzel, C., and Clarke, K. C. 2006. Decreasing Computational Time of Urban Cellular Automata Through Model Portability, Geoinformatica, 10, 197-211.
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), 2000, Special report on emissions scenarios, Cambridge: Cambridge University Press.
- 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.
- Turner II, B. L. 2006. Local faces, global flows: the role of land use and land cover in global environmental change, Land Degradation and Rehabilitation, 5(2), 71-78.