

기후변화시나리오의 사회경제발전 양상을 고려한 행정구역별 도시성장 예측

Urban Growth Prediction each Administrative District Considering Social Economic Development Aspect of Climate Change Scenario

김진수* · 박소영**
Kim, Jin Soo · Park, So Young

요 旨

토지이용과 피복 변화는 기후변화 영향을 증폭시키거나 완화시킬 뿐만 아니라, 기후변화와 함께 환경 변화에 영향을 주는 대표적인 인자들이다. 따라서 기후변화시나리오와 일관된 토지이용 및 피복 변화 시나리오를 사용하는 것은 신뢰성 있는 기후변화 영향평가를 위해 매우 중요하다. 본 연구의 목적은 IPCC의 5차 평가보고서에 제시된 RCP 시나리오의 사회경제 시나리오를 고려한 미래 도시성장을 예측 및 분석하는 것이다. 이를 위해 RCP 4.5와 8.5 시나리오의 스토리라인을 기반으로 토지이용 및 피복 변화 시나리오를 설정하였다. 시나리오별 도시성장률은 지난 25년 간 1인당 도시면적과 GDP를 이용한 이중로그모델에 의해 도출되었다. 또한, 정부에서 제공된 미래 인구 및 GDP에 의해 미래 도시 수요량이 추정되었다. 이렇게 추정된 수요량은 로지스틱 회귀분석에 의해 작성된 도시성장확률지도에 의해 공간적으로 배분되었다. 그 결과, 도시성장확률지도의 예측 정확도는 89.3~90.3%로 높게 나타났고, RCP 4.5의 예측 정확도가 RCP 8.5 보다 높게 나타났다. 또한, 2020년부터 2050년까지 도시지역은 꾸준한 증가세를 보였고, RCP 8.5 시나리오의 도시면적 증가율이 RCP 4.5 시나리오보다 더 높게 나타났다. 도시지역의 면적 증가는 주로 농지면적 훼손에 의해 발생하는 것으로 예측되었다. 특히, RCP 4.5 시나리오보다 RCP 8.5 시나리오에서 농지뿐만 아니라 산지면적 훼손이 더욱 증가되는 것으로 예측되었다. 이러한 농지와 산지의 면적 감소는 지방도시에 비하여 광역도시에서 더 높게 나타났다. 본 연구의 결과는 향후 기후 및 토지이용 및 피복 변화의 복합적인 쌍방향 영향을 정량적으로 밝힐 수 있는 기초 자료로 활용될 수 있을 것이라 판단된다.

핵심용어 : 토지이용 및 피복 변화, RCP 시나리오, 로지스틱 회귀분석, 도시성장확률지도

Abstract

Land-use/cover changes not only amplify or alleviate influence of climate changes but also they are representative factors to affect environmental change along with climate changes. Thus, the use of land-use/cover changes scenario, consistent climate change scenario is very important to evaluate reliable influences by climate change. The purpose for this study is to predict and analyze the future urban growth considering social and economic scenario from RCP scenario suggested by the 5th evaluation report of IPCC. This study sets land-use/cover changes scenario based on storyline from RCP 4.5 and 8.5 scenario. Urban growth rate for each scenario is calculated by urban area per person and GDP for the last 25 years and regression formula based on double logarithmic model. In addition, the urban demand is predicted by the future population and GDP suggested by the government. This predicted demand is spatially distributed by the urban growth probability map made by logistic regression. As a result, the accuracy of urban growth probability map is appeared to be 89.3~90.3% high and the prediction accuracy for RCP 4.5 showed higher value than that of RCP 8.5. Urban areas from 2020 to 2050 showed consistent growth while the rate of increasing urban areas for RCP 8.5 scenario showed higher value than that of RCP 4.5 scenario. Increase of urban areas is predicted by the fact that farmlands are damaged. Especially RCP 8.5 scenario indicated more increase not only farmland but also forest than RCP 4.5 scenario. In addition, the decrease of farmland and forest showed higher level from metropolitan cities than province cities. The results of this study is believed to be used for basic data to clarify complex two-way effects quantitatively for future climate change, land-use/cover changes.

Keywords : Land-use/cover Change, Representative Concentration Pathway, Logistic Regression, Urban Growth Probability Map

2013년 3월 5일 접수, 2013년 5월 6일 수정, 2013년 6월 3일 채택

* 정회원 · 부경대학교 공간정보연구소 전임연구원(Member, Research Associate, Pukyong National University, pknu9680@gmail.com)

** 교신저자 · 정회원 · 부경대학교 공간정보연구소 전임연구원(Corresponding Author, Member, Research Associate, Pukyong National University, 100yac@gmail.com)

1. 서론

LUCC(land-use/cover changes)는 시공간적 규모에서 기후변화, 야생동물의 서식처, 생물종 다양성, 자연자원의 파괴 등과 같은 환경 변화에 많은 영향을 미친다(Steffen et al., 2004). 이로 인해 LUCC는 IGBP(International Geosphere Biosphere Programme)와 IHDP(International Human Dimensions Program on Global Environmental Change)의 주요 핵심 프로젝트의 하나로 연구가 진행되어왔다. 특히, 도시지역의 생태계는 인간 활동에 의해 더 많은 영향을 받을 뿐만 아니라 전 세계 인구의 약 절반에 해당하는 인구의 삶과 밀접한 연관이 있기 때문에 도시지역의 LUCC에 대한 연구는 더 많은 관심이 기울어져왔다(Stow and Chen, 2002).

최근 들어 이러한 LUCC는 기후변화의 영향을 증폭시키거나 완화시킬 수 있다는 인식이 팽배해짐에 따라 이들의 상호작용에 의한 영향평가가 많이 이루어지고 있다. 이를 통해 LUCC와 기후변화 간 상호작용으로 수증생태계, 수질, 대기질에 심각한 문제를 발생시킬 수 있다고 보여지고 있다.

그러므로, 신뢰성 있는 기후변화 영향평가를 위해서는 기후인자의 변화에 의한 영향뿐만 아니라, 비기후적 인자, 특히 LUCC가 미치는 영향, 그리고 이들 두 인자 간 쌍방향 상호작용에 의한 복합 영향도 함께 고려해주어야 한다(KEI, 2011).

최근 국외연구는 수자원(Tu, 2009), 수질(Ward et al., 2009), 대기질(Civeroloet et al., 2007), 건강 부문(Rosenthal et al., 2007) 등 다양한 분야에서 LUCC와 기후변화 인자를 함께 고려한 기후변화 영향평가 연구가 활발하게 진행되고 있다.

국내연구는 건강(Yoo et al., 2012), 산림(Kim et al., 2012), 농업(Kim et al., 2012), 해양(Ju et al., 2012) 등 다양한 분야에서 기후인자를 고려한 기후변화 영향평가 연구가 주를 이루고 있다. 일부 LUCC와 기후변화에 따른 하천 유역의 유출 및 수질 특성을 분석하는 연구(Lee et al., 2010; Ahn et al., 2008)를 통해 LUCC와 기후인자를 함께 고려한 기후변화 영향평가 연구가 이루어졌다.

그러나, 국내 기후변화 연구의 대부분은 토지이용이 변하지 않는다는 비현실적인 가정을 하거나, 기후변화 시나리오에서 사용한 사회발전 형태와는 아무런 일관성 없이 현 상태 유지에 의한 토지이용변화 시나리오를 사용하는 것이 대부분이다(KEI, 2011).

최근 들어 이러한 문제점을 개선하기 위하여 KEI

(2011)은 IPCC(intergovernmental panel on climate change) 4차 평가보고서에서 사용된 SRES(special report on emission scenario)의 사회경제 시나리오를 이용하여 LUCC 시나리오를 설정하고 미래 도시성장을 예측한 바 있다.

그러나 본 논문은 기후변화시나리오의 사회경제시나리오 중 경제부분에 대한 발전 형태는 고려하지 않고 있다. 또한, IPCC는 2012~2014년에 발간 예정인 5차 평가보고서를 통해 RCP (representative concentration pathway)라 불리는 새로운 기후변화시나리오를 개발 중에 있다. 따라서 새로운 기후변화시나리오에 따른 LUCC의 영향을 분석하고 예측할 필요가 있다.

본 연구는 기후변화시나리오의 사회경제 시나리오와 일관성 있는 LUCC 시나리오를 도출한 후, 이를 도시성장모형에 적용하여 향후 도시성장을 예측하고 그 결과를 분석하고자 한다.

2. 연구지역

본 연구의 공간적 범위는 제주도를 포함한 대한민국 전역으로 일부 섬 지역은 제외되었다. 연구지역은 33°~38°N과 126°~132°E에 위치하고 있으며, 총 면적은 100,512 km²이다(Fig. 1).

대한민국 전역을 대상으로 선정함으로써 첫째, 전국 단위의 대규모 개발사업에 따른 난개발에 대한 대책 마련에 도움을 줄 수 있으며, 둘째, 대도시별 도시공간 구조에 따른 효과적인 도시계획을 수립할 수 있고, 셋째, 대한민국 전역에 대한 연구가 전무하므로 본 연구에서 도출되는 시사점이 다른 도시성장 연구의 기초자

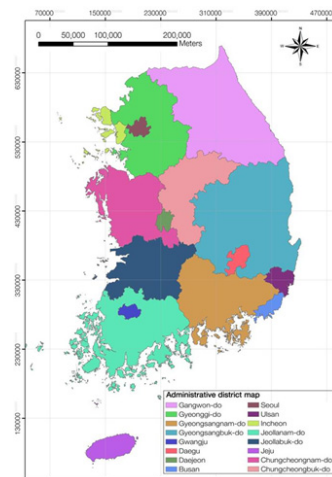


Figure 1. The study area

료가 될 수 있다.

본 연구의 시간적 범위는 2000년을 기준 년도로 하여 2010~2050년을 예측 년도로 하였다. 시작시점을 1990년으로 설정한 이유는 1990년을 전·후로 대한민국의 도시화가 구조적으로 크게 변화하였기 때문이다. 또한, 예측시점을 2050년까지로 설정한 이유는 2060년 이후의 미래 인구 및 GDP에 대한 자료 취득이 불가능하기 때문이다.

3. 연구방법

3.1 도시성장모형의 개요

도시성장모형은 비공간적 분석과 공간적 분석으로 구분된다. 비공간적 분석은 대한민국 전체에 대한 미래 도시 수요량을 추정한다. 공간적 분석은 도시성장 확률지도를 이용하여 미래 도시지역의 면적을 공간적으로 배분시켜준다.

도시성장모형을 적용하기 위하여 첫째, 2000년 수역지역의 면적은 미래에도 그대로 유지되고, 둘째, 2000년 도시지역은 미래에 비도시지역으로 전환될 수 없다고 가정하였다.

또한, 미래 토지피복지도는 IPCC의 5차 평가보고서에 제시된 사회경제시나리오의 스토리라인을 기반으로 작성하였다. 5차 평가보고서의 RCP 시나리오는 RCP 8.5, 2.6, 4.5, 6.0으로 구성된다. 본 연구는 기후변화시나리오의 사회경제시나리오에 따른 토지피복 변화를 비교하기 위하여 상반되는 시나리오인 RCP 4.5와 8.5 시나리오를 선정하여 각각 시나리오 1과 시나리오 2로 설정하였다.

RCP 4.5의 스토리라인은 인구 증가율이 감소하고, 지속적인 경제 성장이 이루어지며, 환경보호에 가치를 두기 위한 강력한 토지이용규제가 이루어진다. 반면, RCP 8.5 시나리오의 스토리라인은 인구 증가로 인해 미래 도시면적에 대한 수요량이 높아지고, 상대적으로 낮은 경제성장이 이루어지며, 환경보전 보다는 개발중심적 사회가 된다는 것이다 (van Vuuren et al, 2011).

3.2 미래 도시 수요량 추정

본 연구는 RCP 시나리오에서 제시하고 있는 인구 및 GDP(gross domestic product)의 정성적인 부분을 정량화하기 위하여 van Vuuren et al. (2011)의 연구에서 제시된 방법을 이용하였다. van Vuuren et al. (2011)은 시나리오별 인구 및 GDP의 진행경로를 UN 인구수와 GDP 시나리오의 90 백분위수 범위를 이용하였다. 따라서 본 연구는 대한민국에 적합한 진행경

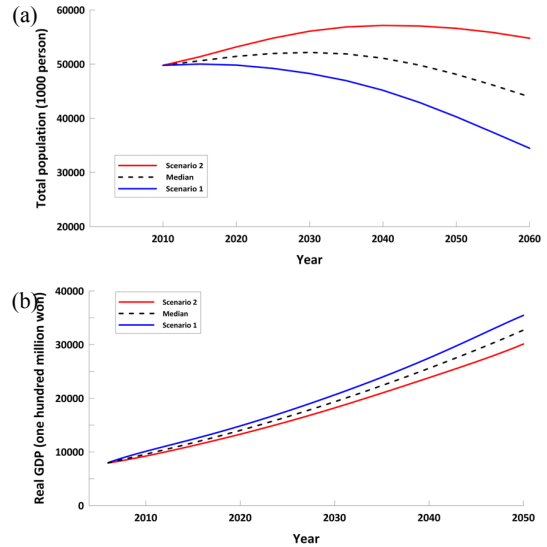


Figure 2. Population projection (a) and real gross domestic product (b) for each scenarios

로 설정을 위하여 통계청에서 제시된 장래인구의 저위값과 고위값 (KISIS, 2011)이 RCP 4.5와 8.5의 인구수 진행경로로 선정되었다 (Fig. 2a). 또한, 국회예산정책처에서 출판된 한국의 실질 GDP 장기 예측자료 (2007-2050)의 고위값과 저위값 (NABO, 2007)이 RCP 4.5와 8.5의 GDP 진행경로로 선정되었다 (Fig. 2b).

미래 도시 수요량은 과거 (1975~2000) 인구수와 GDP를 이용하여 정립된 회귀식에 RCP 시나리오별 인구수와 GDP를 대입하여 추정되었다. 회귀식은 1인당 도시면적을 종속변수로 하고 실질 GDP를 설명변수로 하는 선형, 준로그, 역준로그, 이중로그 모델을 적용하여 정립되었다 (Table 1). 이 중 본 연구는 회귀식의 설명력이 가장 높고 (0.995), RMSE(root mean square error)가 가장 낮게 (0.034) 나타난 이중로그 모델에 의한 회귀식 (Eq. 1)을 이용하여 미래 도시 수요량을 추정하였다.

Table 1. Model summary

Model	R2	RMSE	Slope	Intercept
Linear	0.989	2.582	1.1E-05	20.855
Semi-logarithmic	0.939	0.116	2.1E-07	3.312
Inversed semi-logarithmic	0.977	3.777	31.733	-411.594
Double logarithmic	0.995	0.034	0.601	-4.903

$$y = e^{(0.601 \times \ln(x) - 4.903)} \quad (1)$$

3.3 공간데이터베이스 작성

도시성장 관련 인자는 어떤 토지가 도시적 용도로 전환되는 요인으로 작용되고 물리적, 제도적, 사회경제적 특성 등으로 다양하게 구분된다. Allen and Lu (2003)은 경사, 토지피복, 간선도로와의 거리, 도로밀도, 인구밀도, 기존 시가지와의 거리, 보호구역 여부 등으로 도시성장 관련 인자를 구분하고 있고, Landis and Zhang (1997)은 고용자수 및 고용자증가율, 농경지보호정책의 강도 등을 추가로 제시하고 있다.

따라서 본 연구는 도시성장 관련 인자를 물리적 요인, 접근성 요인, 사회경제적 요인, 정책적 요인으로 구분하여 설정하였다(Table 2). 각각의 도시성장 관련 인자는 ArcGIS 9.3 (ESRI Inc., 2009), ERDAS Imagin 9.2 (Leica Geosystems Geospatial Imaging, 2008) 를 이용하여 30m×30m의 공간해상도를 가지는 래스터 형식으로 구축되었다 (Fig. 3).

물리적 요인은 고도, 경사도, 경사향, 토지피복이 포함된다. 이들 자료는 환경부의 수치고도모델 (digital elevation model, DEM)과 토지피복지도를 이용하여 생성되었다. 접근성 요인은 도로와의 거리, 기존 도시와의 거리가 포함된다. 도로와의 거리는 국토해양부 도로망도의 고속도로를 제외한 주요 도로를 선택하여 유클리디안 거리(euclidean distance)를 산정하였다. 기존 도시와의 거리는 1990년과 2000년 토지피복지도

로부터 도시인 지역을 추출한 후 중첩되는 지역을 선택하여 유클리디안 거리를 산정하였다.

사회경제적 요인은 각종 통계자료를 시군구별로 정리한 후 행정구역도와 통합하여 공간자료로 구축하였다. 인구밀도는 인구주택총조사 자료를 이용하여 시군구별 면적에 대한 인구수의 비율로

계산되었다. 고용자수는 전국사업체조사보고서의 종사자수를 이용하였다. 상하수도 분포율은 환경부의 상하수도통계 자료를 이용하여 상수도 분포율과 하수도 분포율의 평균으로 계산되었다. 또한, 도로밀도는 국토해양부의 도로망도를 이용하여 시군구별 단위면적(km²) 당 도로연장 (km)으로 산정하였다.

정책적 요인은 환경부 국토환경성평가지도의 환경생태적보전지역과 법적보전지역이 포함된다. 국토환경성평가지도는 토지가 지닌 물리적, 환경적 가치를 과학적으로 평가하여 전국을 5개 등급으로 구분한 평가지도이다. 본 지도는 1등급에 가까울수록 상대적으로 환경적 가치가 높음을 의미한다 (KME, 2008).

3.4 도시성장확률지도 작성

시나리오별 도시성장확률지도는 토지이용규제 항목인 환경생태적평가지도와 법적평가지도의 적용 유무에 따라 로지스틱 회귀분석을 실시하여 작성되었다.

로지스틱 회귀분석은 단지 두 개의 값(도시성장 발생 또는 미발생) 만을 가지는 종속변수와 다양한 값을 갖는 독립변수들 사이의 관련성을 분석하는 통계기법

Table 2. Source, factor and scale of spatial and statistical data in the study area

Classification	Main data sets	Map produced	Data type	Scale	Date	Source
Physical factors	DEM	Elevation	Grid	1:5000	2001	KME ¹⁾
		Slope	Grid	1:5000	2001	KME
		Aspect	Grid	1:5000	2001	KME
	Land cover map	Land-use/cover	Grid	1:50000	1990, 2000, 2010	KME
Accessibility factors	Road map	Distance to road	Grid	1:25000	2008	KMLTM ²⁾
	Land cover map	Distance to existing urban areas	Grid	1:50000	1990, 2000	-
Socio-economic factors	Statistic data	Population density	Polygon	30×30	2000	-
		Employee	Polygon	30×30	2000	-
		Supply rate of waterworks and sewerage	Polygon	30×30	2000	-
	Road map	Road density	Polygon	30×30	2000	-
Policy factors	Environmental conservation value assessment map	Environmental protection zone	Grid	1:25000	2008	KME
		Legal restriction zone	Grid	1:25000	2008	KME

Note : 1) Korea Ministry of Environment

2) Korea Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs

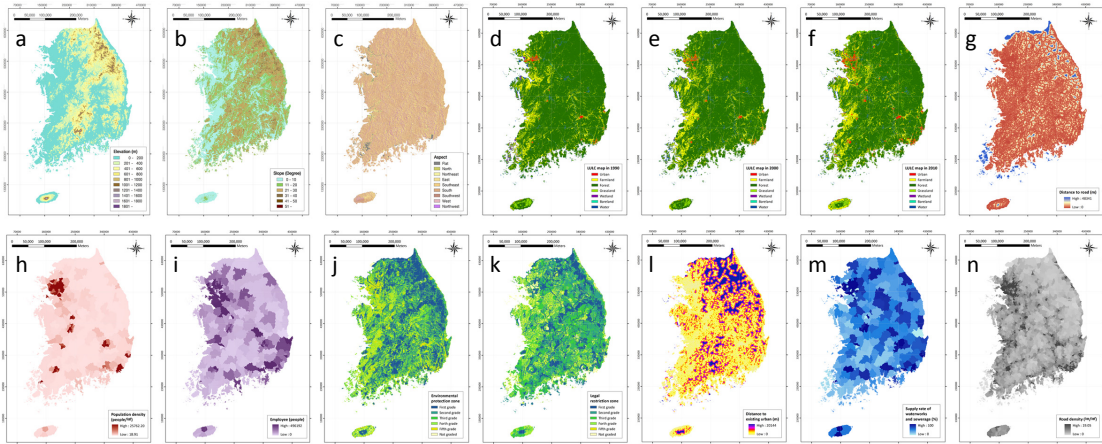


Figure 3. Independent variables applied in the logistic regression procedure: (a) elevation, (b) slope, (c) aspect, (d) land-cover map in 1990, (e) land-cover map in 2000, (f) land-cover map in 2010, (g) distance to road, (h) distance to existing urban areas, (i) population density, (j) employee, (k) supply rate of waterworks and sewerage, (l) road density, (m) environmental protection zone, (n) legal restriction zone

으로 도시성장과 관련된 여러 요인들을 이용하여 향후 발생 가능한 도시 성장을 예측하려는 시도에 적용 가능한 통계적 분석방법이다 (Quan et al., 2011). 본 연구는 로지스틱 회귀모형의 기본적인 모형인 다음 식을 이용하여 도시성장 발생 확률을 계산하였다.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \alpha + \sum \beta_i X_i \quad (2)$$

여기서 괄호 안의 부분을 logit이라 부르고, X_i 는 독립변수, α 와 β_i 의 회귀계수이다.

본 연구의 경우 종속변수 1은 1990년과 2000년 사이에 비도시에서 도시로 변화된 지역, 0은 1990년 도시인 지역과 1990년과 2000년 사이에 도시로 변화하지 않은 지역이다. 독립변수는 앞서 작성된 12개의 도시성장관련 인자이다.

회귀계수는 IBM SPSS Statistics 20(IBM SPSS Inc., 2011)으로 단계별 전진선택법에 의해 분석되었다. 이를 위해 비독립변수는 계통적랜덤 샘플링 방법에 의해 동일한 개수로 추출되었고, 이는 연구지역 전체 셀의 약 4.3% (4,846,042개)에 해당된다.

분석결과, 공차한계(tolerance)는 0.1 보다 크고, 분산팽창계수(variance inflation factor, VIF)는 10보다 작게 나타나 독립변수 간 다중공성선은 없는 것으로 나타났다. 또한, 시나리오 1의 분석결과는 Eq. 2, 시나리오 2의 분석결과는 Eq. 3과 같이 나타났다. 시나리오별 각 인자의 중요도와 기여도 순서는 대체로 비슷

하게 나타났다. 그러나, 시나리오 1의 경우 환경생태적보전지역과 법적보전지역이 다른 변수에 비하여 높은 기여도를 보였다.

$$\begin{aligned} y = & -1.014 - 3.2E-04(Elc) - 0.036(Slo) - 0.001(Asp) \\ & - 0.043(Farm) - 0.770(Fore) - 0.213(Gras) + 0.284(Wet) \\ & + 0.974(Bare) - 5.1E-05(Dist_{road}) - 0.001(Dist_{urban}) \\ & + 7.5E-05(Pop) - 1.0E-06(Empl) + 0.005(Sew) \\ & + 0.270(Road_{den}) + 0.398(Env) + 0.142(Law) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} y = & +0.854 - 0.001(Elc) - 0.055(Slo) - 0.001(Asp) + 0.402(Farm) \\ & - 0.629(Fore) + 0.218(Gras) + 0.557(Wet) + 1.301(Bare) \\ & - 4.3E-05(Dist_{road}) - 0.001(Dist_{urban}) + 6.3E-05(Pop) \\ & - 4.6E-07(Empl) + 0.004(Sew) + 0.338(Road_{den}) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 Elc는 고도, Slo는 경사도, Asp는 경사향, Farm는 농지, Fore는 산지, Gras는 초지, Wet는 습지, Bare는 나지, Distroad는 도로와의 거리, Disturban는 기존 도시와의 거리, Pop는 인구밀도, Empl는 고용자수, Sew는 상하수도 보급률, Roadden는 도로밀도, Env는 환경생태적보전지역, Law는 법적보전지역이다.

연구지역 전체에 대한 시나리오별 도시성장확률값은 Fig. 4와 같고, ROC(receiver operating characteristic) 곡선을 이용하여 정확도를 평가하였다.

ROC 곡선은 보통최소자승회귀에 대하여 예측정확도를 평가하는 방법으로 R-squared 통계값과 유사한 의미를 가진다 (Chawla et al., 2001).

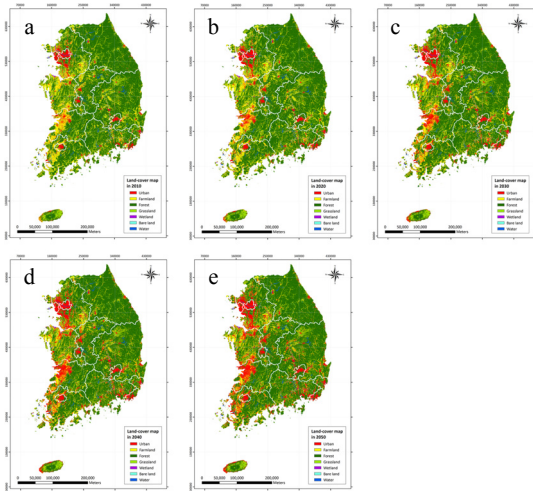


Figure 4. Future land-cover map for the scenario 1.
 (a) 2010, (b) 2020, (c) 2030, (d) 2040,
 (e) 2050

Table 3. The area under the relative operating characteristic curve for each scenario

	AUC	S.E. ¹⁾	Sig. ²⁾	C.I.	
				Lower	Upper
Scenario 1	0.903	0.002	0.000	0.899	0.908
Scenario 2	0.893	0.002	0.000	0.888	0.898

Note : 1) Standard error, Under the nonparametric assumption
 2) Asymptotic significance, Null hypothesis : true area = 0.5
 3) Asymptotic 95% confidence internal

ROC 곡선의 통계값은 ROC 곡선 아래의 면적(area under the ROC curve, AUC)으로 계산된다. AUC는 0.5~1.0 범위의 값을 가지고, 1.0에 가까워질수록 예측 정확도가 높음을 의미한다. 일반적으로 예측정확도는 AUC 값이 0.7 이상일 때 좋음, 0.9 이상일 때 매우 좋음으로 평가된다 (Lin et al., 2011).

연구지역에 대한 ROC 곡선은 Table 3과 같다. 시나리오 1과 2의 AUC 값은 각각 0.903, 0.893으로 나타났다. 이를 통해 예측정확도는 90.3%, 89.3%인 것을 알 수 있고, 시나리오 1이 시나리오 2에 비하여 정확도가 높았다.

4. 결과 및 고찰

4.1 시나리오 1

2020년 도시지역의 면적은 2010년 (6,333 km²) 대비 16.2%가 증가한 7,361 km²로 나타났고, 2030년 37.6% (8,712 km²), 2040년 52.8% (9,677 km²), 2050년 58.8% (10,060 km²)로 꾸준한 증가세를 보였다. 전년 대비 면적증가율은 2030년까지 약 10% 이상으로 나타났으나, 2030년을 기점으로 감소하기 시작하여 2050년은 전년 대비 4.0%가 증가하였다. 이를 통해 시나리오 1은 2030년 이후 도시성장이 다소 둔화되는 것을 알 수 있다.

도시지역의 공간적 분포를 살펴보면, 전체 면적의 약 20%가 경기도에 분포하고 있고, 전라북도, 전라남도, 경상남도, 서울특별시 순으로 분포율이 높게 나타났다(Fig. 4). 2020년과 2050년 도시지역에 대한 2010년 면적 대비 증가율의 차이는 서울특별시를 포함한 광역도시가 2.1~22.8%p, 경기도를 포함한 지방도시가

Table 4. The rate of increase as compared with 2010, in the case of scenario 1

(unit : %)

		Urban				Farmland				Forest			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Metro-politan	Seoul	1.1	2.2	2.9	3.2	-14.4	-26.0	-33.2	-35.7	-2.7	-5.7	-7.6	-8.3
	Busan	6.0	12.5	16.4	17.9	-7.3	-15.6	-20.5	-22.4	-0.5	-1.1	-1.6	-1.8
	Daegu	7.4	15.4	20.1	21.8	-11.9	-25.8	-33.5	-36.3	-0.7	-1.5	-2.0	-2.2
	Incheon	8.4	18.0	24.0	26.2	-6.6	-14.6	-19.6	-21.4	-0.9	-1.9	-2.5	-2.8
	Gwangju	6.9	14.0	19.0	21.0	-9.5	-19.5	-26.8	-29.7	-1.0	-2.1	-2.8	-3.1
	Daejeon	6.0	12.3	16.1	17.6	-8.3	-16.0	-20.5	-22.1	-0.9	-2.0	-2.8	-3.1
Pro-vince	Ulsan	9.5	21.6	29.4	32.3	-5.6	-13.1	-17.9	-19.6	-0.2	-0.6	-0.8	-0.9
	Gyeonggi	14.5	31.7	43.2	47.7	-4.6	-10.2	-13.9	-15.3	-0.4	-0.8	-1.1	-1.3
	Gangwon	11.5	27.0	37.7	42.0	-1.3	-3.0	-4.3	-4.8	0.0	-0.1	-0.1	-0.1
	Chungcheongbuk	19.5	47.2	67.6	75.8	-2.7	-6.6	-9.5	-10.6	-0.1	-0.3	-0.5	-0.5
	Chungcheongnam	25.2	59.6	84.4	94.2	-3.1	-7.3	-10.4	-11.6	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
	Jeollabuk	21.5	48.0	67.6	75.7	-5.9	-13.3	-18.8	-21.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
	Jeollanam	26.0	64.2	92.5	103.8	-3.3	-8.2	-11.9	-13.4	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
	Gyeongsangbuk	21.9	54.9	79.2	88.9	-2.8	-7.2	-10.4	-11.7	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
	Gyeongsangnam	20.4	46.9	65.5	72.8	-3.7	-8.6	-12.1	-13.5	-0.1	-0.3	-0.5	-0.5
	Jeju	20.5	46.3	66.1	74.2	-6.2	-13.6	-19.1	-21.3	-1.1	-2.5	-3.6	-4.1

30.5~77.7%p로 나타났다. 도시지역의 면적 증가로 인한 농지의 면적 감소율은 광역도시가 -13.8~24.3%p, 지방도시는 -3.5~15.1%p로 나타났다. 산지의 감소율은 광역도시가 -0.7~5.6%p, 지방도시가 -0.1~3.0%p로 나타났다(Table 4).

4.2 시나리오 2

시나리오 2의 도시지역 면적은 시나리오 1과 마찬가지로 증가하는 경향을 보였다. 그러나, 시나리오 2의 경우 시나리오 1에 비하여 2010년 면적 대비 증가율이 적게는 16.1%, 많게는 102.2%로 더 높게 나타났다.

도시지역의 공간적 분포도 시나리오 1과 대체로 비슷하게 나타났다(Fig. 5). 2020년과 2050년 도시지역에 대한 2010년 면적 대비 증가율의 차이는 광역도시가 4.5~41.9%p, 지방도시가 56.0~ 172.5%p로 나타났다. 또한, 도시지역의 면적 증가로 인한 농지의 면적 감소율은 광역도시가 -23.3~36.6%p, 지방도시가 -6.6~30.9%p로 나타났다.

산지의 감소율은 광역도시가 -1.4~13.2%p, 지방도시가 -0.2~5.5%p로 나타났다(Table 5).

4.3 시나리오 1과 2의 비교

시나리오별 도시성장은 도시지역의 면적이 점차 증가함에 따라 농지와 산지의 면적은 감소되는 것으로 나타났다. 특히, 시나리오 2의 면적 감소율은 시나리오 1에 비하여 높게 나타났다(Fig. 6).

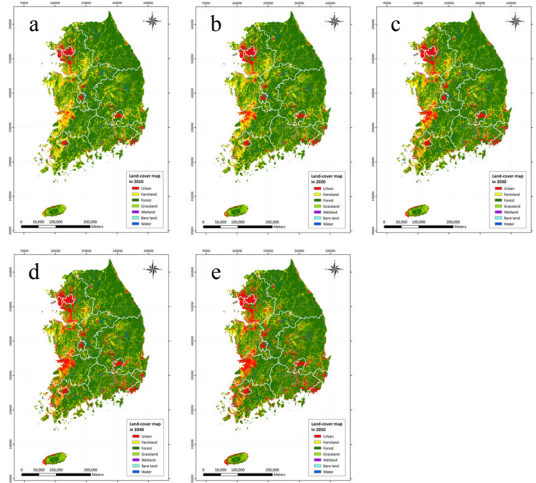


Figure 5. Future land-cover map for the scenario 2. (a) 2010, (b) 2020, (c) 2030, (d) 2040, (e) 2050

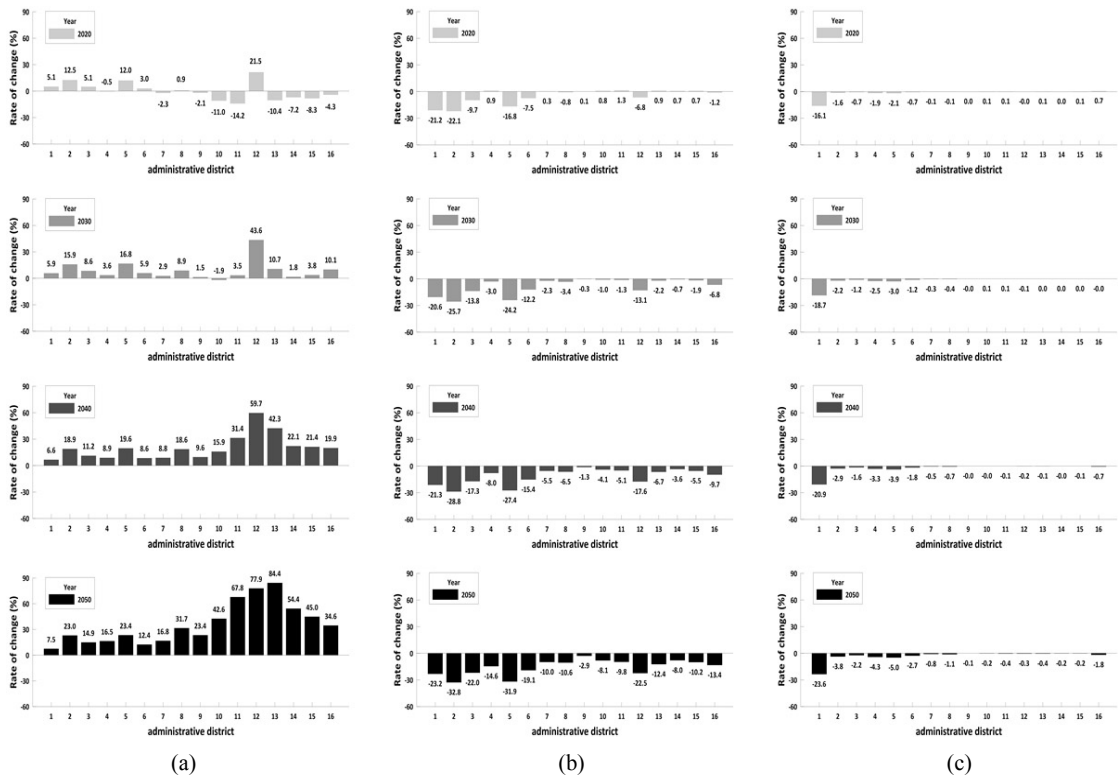
도시지역의 경우 전체적으로 시나리오 2의 2010년 면적 대비 증가율은 시나리오 1에 비하여 약 2배 높았다. 지방도시의 도시성장률은 광역도시에 비하여 시나리오 1은 약 3배 높게 나타난 반면, 시나리오 2는 약 4배 높게 나타났다. 2020년에서 2050년까지의 시나리오별 차이는 전라남도가 94.8%p로 가장 높았고, 서울 특별시가 2.4%p로 가장 낮았다.

또한, 농지의 2010년 면적 대비 감소율은 시나리오

Table 5. The rate of increase as compared with 2010, in the case of scenario 2

(unit : %)

		Urban				Farmland				Forest			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Metro-politan	Seoul	6.2	8.1	9.5	10.7	-35.6	-46.6	-54.5	-58.9	-18.8	-24.4	-28.5	-31.9
	Busan	18.5	28.4	35.3	40.8	-29.4	-41.4	-49.4	-55.2	-2.0	-3.3	-4.5	-5.6
	Daegu	12.5	24.0	31.3	36.7	-21.6	-39.6	-50.7	-58.3	-1.4	-2.6	-3.5	-4.4
	Incheon	8.0	21.6	32.9	42.7	-5.8	-17.6	-27.5	-36.1	-2.7	-4.4	-5.8	-7.1
	Gwangju	18.8	30.9	38.6	44.3	-26.3	-43.6	-54.2	-61.6	-3.1	-5.1	-6.7	-8.0
	Daejeon	9.1	18.2	24.7	30.0	-15.8	-28.2	-35.9	-41.3	-1.6	-3.2	-4.6	-5.8
	Ulsan	7.2	24.5	38.2	49.1	-5.4	-15.4	-23.4	-29.6	-0.4	-0.9	-1.3	-1.7
Pro-vince	Gyeonggi	15.4	40.6	61.8	79.3	-5.4	-13.6	-20.4	-25.9	-0.5	-1.2	-1.8	-2.3
	Gangwon	9.4	28.5	47.3	65.3	-1.1	-3.3	-5.6	-7.7	0.0	-0.1	-0.1	-0.2
	Chungcheongbuk	8.6	45.3	83.6	118.4	-1.9	-7.6	-13.5	-18.8	-0.1	-0.2	-0.5	-0.7
	Chungcheongnam	11.0	63.1	115.8	162.1	-1.8	-8.6	-15.5	-21.4	-0.1	-0.3	-0.7	-1.0
	Jeollabuk	43.0	91.6	127.3	153.5	-12.7	-26.4	-36.4	-43.6	-0.1	-0.3	-0.5	-0.7
	Jeollanam	15.6	74.9	134.8	188.1	-2.4	-10.4	-18.6	-25.8	-0.1	-0.4	-0.7	-1.1
	Gyeongsangbuk	14.7	56.7	101.3	143.3	-2.2	-7.9	-14.0	-19.7	0.0	-0.2	-0.4	-0.6
	Gyeongsangnam	12.1	50.6	86.8	117.8	-3.0	-10.5	-17.6	-23.7	-0.1	-0.3	-0.5	-0.8
	Jeju	16.2	56.4	86.0	108.8	-7.4	-20.4	-28.8	-34.7	-0.4	-2.5	-4.4	-5.9



Note : 1. Seoul, 2. Busan, 3. Daegu, 4. Incheon, 5. Gwangju, 6. Daejeon, 7. Ulsan, 8. Gyeonggi, 9. Gangwon, 10. Chungcheongbuk, 11. Chungcheongnam, 12. Jeollabuk, 13. Jeollanam, 14. Gyeongsangbuk, 15. Gyeongsangnam, 16. Jeju

Figure 6. Variations between scenario 1 and scenario 2. (a) urban; (b) farmland; (c) forest

2가 시나리오 1에 비하여 높게 나타났고, 광역도시의 면적 감소율이 지방도시에 비하여 높게 나타났다. 2020년에서 2050년까지의 시나리오별 차이는 전라북도가 -15.8%p로 가장 높았고, 서울특별시가 -2.0%p로 낮았다.

산지의 2010년 면적 대비 감소율도 시나리오 2가 시나리오 1에 비하여 높게 나타났고, 광역도시의 면적 감소율이 지방도시에 비하여 높게 나타났다. 그러나, 농지의 경우 지방도시의 면적 감소율이 광역도시에 비해 1.5~2.0배 증가하였으나, 산지는 1.8~2.4배 증가하였다. 2020년부터 2050년까지의 시나리오별 차이는 서울특별시가 -7.5%로 가장 높았고, 강원도가 -1.0%p로 가장 낮았다.

5. 결론

본 연구의 목적은 기후변화시나리오의 사회경제시

나리오를 고려하여 도시성장모형을 구축하고, 기후변화시나리오에 따른 향후 도시성장을 예측하기 위함이다. 이를 위해 본 연구는 기후변화시나리오의 사회경제시나리오를 고려한 시나리오를 설정하였고, 시나리오별 미래 도시 수요량을 추정하였으며, 미래 도시 수요량의 공간적 배분을 위한 도시성장확률지도를 작성하였다.

분석결과, 도시지역은 2010년부터 2050년까지 꾸준한 면적 증가를 보였다. 그러나, 시나리오 2가 시나리오 1에 비하여 2010년 대비 도시지역의 면적 증가율이 약 2배 높게 나타났다. 특히, 지방도시의 도시성장률이 광역도시에 비하여 더 높게 나타남에 따라 시나리오 2는 주로 지방도시를 중심으로 성장하는 것을 알 수 있다.

도시지역의 면적 증가는 농지와 산지의 면적 감소를 야기시켰고, 산지보다 농지의 면적 감소율이 높게 나타나 농지의 훼손에 의해 도시성장이 이루어짐을 알

수 있다. 특히, 행정구역별 면적 변화량을 살펴본 결과 광역도시가 지방도시에 비하여 높은 면적 감소율을 보임에 따라 대도시 농지가 잠식되어 감을 알 수 있다.

또한, 산지의 경우는 시나리오 2가 시나리오 1에 비해 많은 면적 감소를 보임에 따라 시나리오 2에 의한 도시성장은 농지뿐만 아니라 산지의 훼손에 의해 이루어짐을 알 수 있다. 이로 인해 환경생태적, 법적 보전지역의 훼손이 우려될 것으로 판단된다.

본 연구는 기후변화시나리오의 스토리라인을 고려한 시나리오를 설정하여 미래 도시성장을 예측함으로써 향후 LUCC와 기후인자를 함께 고려한 기후변화 영향평가 연구에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 본 연구에서 구축한 도시성장모형은 특정 기간(1990-2000)의 도시개발 여건이 미래에도 유지된다는 가정 하에 분석한 것으로 예측력에 한계가 있고, 비도시지역 상호 간의 변화는 고려되지 않았다. 또한, 본 연구는 과거 자료를 바탕으로 미래 도시 수요량을 추정함에 따라 다소 과대 추정되는 경향을 보였다.

본 연구의 한계점을 해결하기 위해서는 다양한 도시성장모형을 적용하여 비교, 분석한 후 연구대상지역 내에 적합한 도시성장모형을 구축하고, 다른 도시성장모형과의 결합을 통해 비도시지역 상호 간의 변화가 고려되어야 할 것으로 판단된다. 또한 최근 경제상황을 반영한 미래 도시 수요량 산정이 고려된다면 보다 실제에 가까운 미래 도시성장을 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

References

1. Aguilar A.G., Ward P.M., Smith Sr. C.B., 2003, Globalization, regional development, and mega-city expansion in Latin America: analyzing Mexico City's peri-urban hinterland, *Cities* Vol. 20, pp. 3-21.
2. Allen J., Lu K., 2003, Modeling and prediction of future urban growth in the Charleston region of South Carolina : a GIS-based integrated approach, *Conservation Ecology* Vol. 8, [online] URL: <http://www.consecol.org/vol8/iss2/art2/>
3. Ahn S.R., Lee Y.J., Park G.A., Kim S.J., 2008, Analysis of future land use and climate change impact on stream discharge, *Korean Society of Civil Engineers B* Vol. 28, No. 2, 215-224. (in Korean)
4. Chawla S., Shekhar S., Wu W.L., Ozesmi U., 2001, Modeling spatial dependencies for mining geospatial data. In: H. Miller and H. Han, eds. *Geographic data mining and knowledge discovery*. London: Taylor and Francis, pp. 131-159.
5. Civerolo K., Hogrefe C., Lynn B., Resenthal J., Ku JY, Solecki W., Cox J., Small C., Rosenzweig C., Goldberg R., Knowlton K., Kinney P., 2007, Estimating the effects of increased urbanization on surface meteorology and ozone concentrations in the New York City metropolitan region, *Atmospheric Environment* Vol. 41, pp. 1803-1818.
6. EPA (U. S. Environmental Protection Agency) 2009, *Land-Use Scenarios : National-Scale Housing-Density Scenarios Consistent with Climate Change Storylines*. Global Change Research Program, National Center for Environmental Assessment, Washington, DC; EPA/600/R-08/076F, Available from : National Technical Information Service, Springfield, VA.
7. IGBP (International Geosphere-Biosphere Program, Committee on Global Change), 1988, *Toward an Understanding of Global Change*, National Academy Press, Washington, DC.
8. Ju S.J., Kim S.J., 2012, Assessment of the impact of climate change on marine ecosystem in the south sea of Korea, *Ocean and Polar Research* Vol. 34, No. 2, pp. 197-199. (in Korean)
9. KEI(Korea Environment Institute), 2011, *Development of Future Land Use Scenarios Consistent with Climate Change Storylines*. Korea Environment Institute, Seoul, South Korea. (in Korean)
10. Kim D.H., Kim E.G., Park S.B., Kim H.G., Kim H.H., 2012, Article : analysis of the effect of climate change on the site index of *Larix Leptolepis*, *Journal of Korean Forest Society* Vol. 101, No. 1, pp. 53-61. (in Korean)
11. Kim S.H., Cho J.G., Ham J.H., Do K.R., 2012, Changes of cultivation area of major fruit crops from the RCP 8.5 scenario in Korea, *Korea Journal of Horticultural Science & technology* Vol. 30, No. S2, pp. 108-109. (in Korean)
12. KME(Korea Ministry of Environment), 2005, *White paper of environmental conservation value assessment map*. (in Korean) (in Korean)
13. KSIS(Korean Statistical Information Service), 2012, <http://kosis.kr> (Accessed 25 October, 2012)
14. Lee D.K., Sung S.Y., Jung H.C., 2010, Estimating the effect of climate change and land use change on surface runoff change - case study of 2020 Gwasheon city master plan, *Journal of Korea*

- Planners Association Vol. 45, No. 5, pp. 241-248. (in Korean)
15. Landis J.D., Zang M., 1997, Modeling Land Use Change : The Next Generation of the California Urban Future Model. Submitted to the Land Use Modeling Workshop, USGS EROS Data Center, Sioux Falls, South Dakota, USA, 5-6 June.
 16. Lin Y.P., Cheng B.Y., Chu H.J., Chang T.K., Yu H.L., 2011, Assessing how heavy metal pollution and human activity are related by using logistic regression and kriging methods. *Geoderma* Vol. 163, pp. 275-282.
 17. López, E., Bocco, G., Mendoza, M., Duhau, E., 2001, Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: a case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 55, pp. 271-285.
 18. Messerli B., 1997, Geography in a rapidly changing world. *IGU Bulletin* Vol. 47, No. 1, pp. 65-75.
 19. NABO(National Assembly Budget Office), 2012, Long-term financial outlook and analysis from 2012 to 2060, p. 18. (in Korean)
 20. Quan H.C., Lee B.G., Lee C.S., Ko J.W., 2011, The landslide probability analysis using logistic regression analysis and artificial neural network methods in Jeju, *Journal of The Korean Society for Geo-Spatial Information System* Vol. 19, No. 3, pp. 33-40.
 21. Rosenthal J.K., 2007, Links between the built environment, climate and population health: interdisciplinary environmental change research in New York city, *Annals Academy of Medicine Singapore* Vol. 36, pp. 834-846.
 22. Shoshany M., Goldshleger N., 2002, Land-use and population density changes in Israel—1950 to 1990: analysis of regional and local trends. *Land Use Policy* Vol. 19, No. 2, pp. 123-133.
 23. Steffen W.L., Sanderson A., Tyson P.D., Jager J., Matson P.A., Moore B., Oldfield F., Richardson L., Schellinguber H.J., Turner B.L., Wasson R.J. (eds) 2004, *Global Changes and the Earth System: A Planet under Pressure*. Springer Verlag. Heidelberg.
 24. Stow D.A., Chen D.M., 2002, Sensitivity of multitemporal NOAA AVHRR data of an urbanizing region to land-use/land cover changes and misregistration. *Remote Sensing of Environment* Vol. 80, pp. 297-307.
 25. van Vuuren, Edmonds D.P., Kainuma J., Riahi M., Thomson K., Hibbard A.K., Hurtt G.C., Kram T., Krey V., Lamarque J.F., Masui T., Meinshausen M., Nakicenovic N., Smith S.J., Rose S.K., 2011, The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* Vol. 109, pp. 5-31.
 26. Ward P.J., 2009, The impact of land use and climate change on late Holocene and future suspended sediment yield of the Meuse catchment, *Geomorphology* Vol. 103, No. 3, pp. 389-400.
 27. Xiao J., Shen Y., Ge J., Tateishia R., Tanga C., Liang Y., Huang Z., 2006, Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape and Urban Planning* Vol. 75, pp. 69-80.
 28. Yoo S.J., Lee W.K., Oh S.H., Btun J.Y., 2012, Vulnerability assessment for public health to climate change using spatio-temporal information based on GIS, *Korea Spatial Information Society* Vol. 20, No. 2, pp. 13-24. (in Korean)