생태계 용역가치를 이용한 대한민국 생태계의 기능적 변화 예측 및 분석

김진수¹ · 박소영^{2*}

A Prediction and Analysis for Functional Change of Ecosystem in South Korea

Jin-Soo KIM¹ · So-Young PARK^{2*}

요 약

급속한 경제성장과 산업화는 오픈스페이스의 감소, 환경 훼손, 교통체증, 무분별한 도시성장 등 심각한 도시문제를 야기시키고 있으며, 국토의 효율적인 보전 및 관리가 되지 않아 다양한 사회 갈등이 야기되었다. 이로 인해 많은 학자와 정부는 친환경적인 계획을 수립하여 관리함으로써 지속가능한 발전을 실현하고자 노력하고 있다. 이러한 배경 하에 본 연구는 대한민국을 대상으로 미래 토지피복 변화에 따른 생태계의 기능적 변화를 분석하고자 한다. 이를 위해 통계청의 추계 인구수와 로지스틱 회귀분석을 이용한 도시성장확률지도를 작성하여 2010~2060년의 토지피복 변화를 예측하였고, Costanza의 계수를 이용하여 생태계 용역가치를 분석하였다. 분석결과 시나리오 1의 생태계 용역가치는 6,783~7,092백만 USD로 나타났고, 시나리오 2는 시나리오 1에 비하여 2.9~7.6백만 USD가 감소한 6,775~7,089백만 USD로 나타났다. 이 같은 결과는 시나리오 2의 경우 개발관점에서 도시가 성장함에 따라 상대적으로 보전가치가 높은 농업지역과 습지 지역의 많은 면적이 훼손되어 생태계 용역가치가 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 지속가능한 개발을 위해서는 친환경적이고 체계적인 도시개발을 통해 환경적 보호가 이루어져야 함을 알 수 있다. 또한, 환경정책수행에 따른 환경적 가치를 정량적으로 분석함으로써 정책입안자 및 도시개발자들에게 판단기준을 제시해줄 수 있을 것으로 판단된다. 향후 정확한 도시성장 수요량을 산정하고, 이를 바탕으로 도시성장예측모델링을 수행하여 보다 정밀한 도시성장예측 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

주요어 : 토지피복 변화, 로지스틱 회귀분석, 도시성장확률지도, 생태계 용역가치

2013년 4월 28일 접수 Received on April 28, 2013 / 2013년 6월 19일 수정 Revised on June 19, 2013 / 2013년 6월 21일 심사완료 Accepted on June 21, 2013

1 ㈜젠이십일 ZEN21 Inc.

2 부경대학교 공간정보시스템공학과 Department of Spatial Information Engineering, Pukyong National University

* Corresponding Author E-mail : 100yac@gmail.com

ABSTRACT

Rapid industrialization and economic growth have led to serious problems including reduced open space, environmental degradation, traffic congestion, and urban sprawl. These problems have been exacerbated by the absence of effective conservation and governance, and have resulted in various social conflicts. In response to these challenges, many scholar and government hope to achieve sustainable development through the establishment and management of environment-friendly planning. For this purpose, we would like to analyze functional change for ecosystem by future land-use/cover changes in South Korea. Toward this goal, we predicted land-use/cover changes from 2010 to 2060 using the future population of Statistics Korea and urban growth probability map created by logistic regression analysis and analyzed ecosystem service value using costanza's coefficient. In the case of scenario 1, ecosystem service value represented 6,783~7,092 million USD. In the case of scenario 2, ecosystem represented 6,775~7,089 million USD, 2.9~7.6 million USD decreased compared by scenario 1. This was the result of area reduction for farmland and wetland which have high environmental value relatively according to urban growth by development point of view. The results of this analysis indicate that environmentally sustainable systems and urban development must be applied to achieve sustainable development and environmental protection. Quantitative analysis of environmental values in accordance with environmental policy can help inform the decisions of policy makers and urban developers. Furthermore, forecasting urban growth based on future demand will provide more precise predictive analysis.

KEYWORDS : *Land-Use/Cover Change, Logistic Regression, Urban Growth Probability Map, Ecosystem Service Value*

서론

대한민국은 1970년대 이후 급속한 산업화를 통해 급격하게 팽창하였다. 그 과정에서 각종 개발사업이 국토에 대한 체계적이고 종합적인 공간계획과 국가균형 발전 및 지속가능한 개발에 있어서 중요하게 고려되어야 할 요소(환경, 생태, 자연 등)들이 간과된 채 추진되어 왔다. 이로 인해 심각한 국토환경의 훼손 및 환경오염을 초래하였고, 생물 서식처의 변형과 파편화로 인한 생물 종다양성은 급격하게 감소하는 추세에 있다(Lee *et al.*, 2004; You *et al.*, 2005). 이는 도시개발 사

업을 시행하는 데 있어 환경 친화적인 국토개발과 그에 따른 생태계의 정확한 평가나 진단이 이루어지지 않았기 때문이라 할 수 있다.

1990년대에 들어서면서 “지속가능한 발전” 개념의 확산과 환경문제의 심각성에 대한 인식이 보편적으로 확대되면서, 국토이용관리의 차원에서 개발이 이루어지기 전에 치밀한 계획 하에 친환경적으로 국토관리를 하여야 하는 필요성이 대두되었다. 이러한 배경 하에 정부와 학자들은 친환경적인 계획을 통한 국토의 효율적 균형적 개발을 꾀하고자 많은 노력과 연구를 하고 있다. 또한, 생태계의 구조적, 기능적 변화를 정량적으로 해석하기 위한 많은 시도가 이루어졌다. 대표적인 시도는

Costanza *et al.*(1997)의 연구로 생태계의 재화와 용역 등 기능적인 측면에 주안점을 둔 생태계 용역가치 (ecosystem service system, ESV)를 개발하여 생태계 용역을 경제적인 가치로 평가하고자 하였다. 즉, ESV는 지난 수십 년간 다양한 범위에서 생태계 용역의 가치를 산정하기 위해 이루어진 연구들의 총합체라 할 수 있다(Choi *et al.*, 2005).

이후 생태계 용역의 가치 변화를 분석하기 위하여 Costanza *et al.*(1997)의 ESV는 많은 연구에 이용되어왔다. Kreuter *et al.*(2001)는 Texas의 SanAntonio 지역을 대상으로 도시성장에 따른 ESV의 변화를 분석하였다. Zhao *et al.*(2004)은 중국의 Chongming island에 적용하여 습지지역의 변화에 따른 생태계 용역가치를 연 단위로 분석하였다. 국내에서도 Choi *et al.*(2005)과 Jung and Lee(2009)은 대구광역권의 생태계 용역가치 변화를 분석한 바 있다. 또한, 전 지구적 단위로 산정된 Costanza *et al.*(1997)의 ESV 계수를 지역적 단위에 최적화하기 위한 연구도 진행되었다. Xie *et al.*(2003)은 여러 분야의 전문가를 대상으로 Costanza *et al.*(1997)의 ESV 계수를 이용하여 중국지역에 적합한 ESV 계수를 도출하였다. Tianhong *et al.*(2008)은 중국의 Shenzhen 지역에 적용 가능한 ESV 계수를 개발하여, 지역적 수준에서의 생태계 용역가치 평가에 대한 적용 가능성을 평가하였고 그 변화를 시계열적으로 분석하였다.

그러나, 대부분의 연구는 단일 연도 또는 과거부터 현재까지의 ESV를 평가하여 비교 및 분석하고 있고, 미래의 토지피복 변화에 따른 ESV에 대한 연구는 이루어지고 있지 않은 실정이다. 또한, 국내 연구의 경우 대한민국 전체를 대상으로 ESV를 평가하고 예측하고자 하는 연구는 미비한 실정이다. 토지피복이 생태 환경적으로 미치는 영향을 고려하여 볼 때, 미래의 토지피복 변화에 따른 ESV의 정량적인 분석이 이루어져야 할 필요성이 있다.

따라서 본 연구는 대한민국 전역을 대상으로 2010년부터 2060년까지 환경보전적 관점과 개발적 관점에서 도시성장이 이루어졌을 경우 토지피복은 어떻게 변화하고, 이로 인해 환경적 가치는 어떻게 변화하는지를 분석하고자 한다. 이러한 연구는 국토전체에 대한 종합적인 환경정보를 바탕으로 환경정책 수행에 따른 환경적 가치를 정량적으로 분석함으로써 국토 이용 관리를 차별화하는 사전예방적, 친환경적 국토환경관리정책 수립에 있어 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 제주도를 포함한 대한민국 전역으로 울릉도와 독도를 포함한 일부 섬 지역은 제외되었다. 연구지역은 34°~37°N와 124°~130°E에 위치하고 있으며, 총 면적은 99,828km²이다(그림 1). 또한, 시간적 범위는 2020년부터 2060년까지를 예측년도로 설정하였고, 기준년도는 2010년으로 설정하였다.

대한민국은 대륙성 몬순기후로 국토가 작음에 비해 동서남북의 기후가 다양하다. 계절적 변화 또한 뚜렷하여 여름철에는 고온다습하고 집중호우가 내리며, 겨울철에는 춥고 매우 건조하다. 연평균기온(1971~2000년 평년값 기준)은 중부산간지방을 제외하고 대체로 10~16℃이며, 가장 무더운 8월에는 27℃, 가장 추운 1월에는 -7℃에 이른다(Meteorological Administration website, 2013).

1970년대 이후로 대한민국은 급격한 산업화, 경제성장, 도시화를 겪었다. 지난 30년 동안 도시지역의 면적 증가로 인하여 농업지역, 산림지역, 습지지역의 면적은 급격하게 줄어들었다. 대한민국의 GDP(Gross Domestic Product)는 1970년에 2,775십억 원이었으나, 2010년에 1,173,274십억 원으로 증가하였다. 또한, 대한민국의 인구밀도는 1970년 328명/km²에 불과하

FIGURE 1. Study area

였으나, 2010년 495명/km²으로 증가하였다.

따라서 본 연구지역은 급속한 도시성장으로 인한 생태계 용역(ecosystem service, ES)의 변화를 평가하는데 적합하다고 판단된다.

2. 토지피복 분류

본 연구는 환경부에서 작성한 1980년대, 1990년대, 2000년대 토지피복지도를 이용하였다. 1980년대와 1990년대 토지피복지도는 각각 1987~1989년과 1997~1999년에 촬영된 Landsat TM 영상, 2000년대 토지피복지도는 2008~2010년에 촬영된 Landsat 7 영상을 이용하여 감도/무감도 분류기법에 의해 제작되었다(Ministry of Environment,

2006). 본 연구에서 사용된 토지피복지도는 대분류 토지피복지도로 도시, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역 등 7개의 항목으로 분류되어 있다(표 1).

3. 생태계 용역가치 분석

Costanza *et al.*(1997, 1998)은 ESV를 산정하기 위한 모형을 구축하였고, ES의 개념을 생태계의 여러 가지 특성 중 음식 등과 같은 생태계 재화(ecosystem goods)와 삶에 직·간접적으로 이익을 가져다주는 대기정화 등의 생태계 용역을 합친 것으로 정의하고 있다. 또한, ESV는 현재 도시의 소비생활을 유지하기 위해 사용하고 있는 토지를 경제적 단위로

TABLE 1. Land-use and land-cover category

Categories	Definition
Build up	Land used for residential, industrial, commercial, recreational, public, transportation ends
Farmland	Paddy field, glebe field, greenhouse, orchard, other farmland
Forest	Broadleaf forests, coniferous forests, mixed forests
Grassland	Natural grassland, golf course, other grassland
Wetland	Inland wetlands, coastal wetlands
Bare land	Mine areas, other bare land
Waters	Rivers, sea

TABLE 2. Equivalent weight factor of ecosystem services per hectare

(unit : USD · ha⁻¹ · y⁻¹)

LULC categories	Equivalent biome	ESV coefficient
Build up	Urban	0
Farmland	Cropland	92
Forest	Forest	969
Grassland	Grass/rangelands	232
Wetland	Wetlands	14,785
Bare land	—	—
Waters	Lakes/rivers	8,498
Total		24,576

Source : Costanza *et al.*(1997, 1998).

환산한 값으로 이는 우리가 연간 생태계로부터 빌리고 있는 토지의 실질적인 경제적 가치에 해당된다(Jung and Lee, 2009).

ESV 산출을 위한 모형에서 토지피복 항목별 ha당 연간가치(value per ha)는 Daily (1997)의 저서에서 제공된 생태계 재화와 용역에 관한 정의와 측정방식 그리고 가치부여를 참조하여 연료·광물 등의 재생 불가능한 항목을 제외한 재생 가능한 생태계 용역을 17개 항목으로 분류하여 산정한 후 합산하여 생태계 용역에 화폐단위 (\$)의 가치를 부여하고 있다(Choi *et al.*, 2005).

연구지역에 대한 ESV의 산출은 각 토지피복 항목에 적합한 생물대의 연간가치(표 2)와 면적을 곱한 후 합산하는 과정에 의해 계산된다(식 1).

$$ESV = \sum_k \sum_f A_k \times VC_k \quad (1)$$

여기서, ESV는 토지피복 항목 k 에 대한 생태계 용역가치, f 는 생태계 용역함수에 대한 가치, A_k 는 토지피복 항목 k 에 대한 면적(ha), VC_k 는 ES를 합산하여 산출된 토지피복 항목별 ha당 연간가치 (\$/ha/yr)를 뜻한다(Tianhong *et al.*, 2008).

본 연구에서 ESV의 산출은 표 2에서 보는 바와 같이 수역의 연간가치 값이 매우 높기 때문에 토지피복의 작은 변화만으로도 ESV의 변화에 지나치게 큰 영향을 미칠 수 있다. 따

라서 본 연구는 Choi *et al.*(2005)의 연구와 마찬가지로 수역을 제외시킨 후 ESV를 계산하였다.

4. 미래 도시면적 산정

인구와 도시영역 사이의 관계를 모형화한 상대성장 이론에 따르면 양자의 관계를 식 (2)와 같이 정의할 수 있다(Jung *et al.*, 2002).

$$\text{도시면적} = a \times (\text{도시인구})^b \quad (2)$$

도시성장 예측모형에서 외부입력요소인 예측시점의 도시 셀 수는 추정된 미래 인구를 이용하여 결정하였다. 먼저, 통계청에서 제공하는 대상지역의 과거인구(도시영역영상이 존재하는 시기의 인구)와 미래인구를 조사하였다. 그 후 과거시점에 대한 토지피복지도로부터 산출된 도시지역의 면적과 인구를 이용하여 회귀분석을 실시하고, 이를 토대로 양자간의 관계식을 도출하였다(그림 2).

도출된 관계식은 연도별로 작성된 토지피복지도가 얼마 되지 않아 회귀분석 결과 R^2 값이 0.99로 매우 높게 나타났으나, 신뢰성은 다소 떨어진다. 그러나, 본 연구의 대상지역은 대한민국 전역으로 기 구축된 토지피복지도 외에 추가자료를 생성하기에는 현실적으로 어려움이 있다.

본 연구는 도출된 관계식에 통계청에서 산

FIGURE 2. Deduction of correlations between population and urban area

출한 미래인구를 입력하여 2060년까지의 미래 도시면적을 예측하였다. 통계청은 인구변동요인(출산, 사망, 국제이동) 추세에 대한 가정이 지속된다는 가정 하에 2010년 인구주택총조사 결과를 기초로 코호트요인법(cohort components method)에 의해 2060년까지 향후 50년 간의 인구규모 및 성·연령별 구조

를 추계하고 있다(Statistics Korea, 2011). 본 연구는 통계청의 미래인구 중 고위수준의 값을 이용하였다. 이는 중위수준과 저위수준의 경우 2010년보다 인구가 줄어듦(그림 3)에 따라 본 연구에서 살펴보고자 하는 인구 성장에 따른 도시성장 예측에는 적합하지 않다고 판단하였다.

FIGURE 3. Assumption and future population of each projection scenario

Source : National Assembly Budget Office (2012).

5. 도시성장확률지도 작성

본 연구는 정량적으로 산정된 미래 도시면적을 바탕으로 어디를 도시지역으로 할당할 것인지를 정하기 위하여 로지스틱 회귀분석을 이용하여 작성된 도시성장확률지도를 이용하였다. 즉, 도시성장확률지도는 로지스틱 회귀분석에 의하여 계산된 도시로 성장할 확률값을 각 셀별로 계산하여 지도화한 것이다. 따라서 셀 값이 클수록 도시로 성장할 확률이 크다는 것을 뜻한다.

회귀분석은 한 개의 종속변수와 여러 개의 독립변수 간의 상호관련성을 분석할 때 가장 널리 사용되는 방법으로(Lee *et al.*, 2006) 분석력과 적응성이 뛰어난 특성을 가지고 있다. 일반적인 회귀분석식은 식 (3)과 같다.

$$E(Y|X) = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (3)$$

여기서 b_0 는 절편이며, $b_1, b_2, \dots, b_n$ 은 각 독립변수에 대한 회귀계수이다. $E(Y|X)$ 는 각 독립변수 X 가 특정 값을 취할 때 Y 의 기댓값 또는 예측값이 된다. $E(Y|X)$ 는 각 독립변수의 값에 따라 어떤 값이라도 취할 수 있으므로 이론적으로는 $-\infty \sim +\infty$ 의 값을 가진다(Yeon, 2011; Lee and Kim, 2012).

일반적인 회귀분석법은 독립변수들에 의해서 종속변수의 변화가 직선적으로 변한다고 가정하기 때문에 도시성장과 같이 종속변수가 도시성장의 발생유무로 표시되는 이항적인 사건을 다루는 데는 적합하지 않다. 이에 반하여 로지스틱 회귀분석은 종속변수와 독립변수와의 관계를 비선형이라 가정하고 로지스틱 회귀계수를 추정하며, 독립변수가 선형식으로 표현되기 보다는 S자 형태를 따르는 곡선에 가깝게 된다. 따라서 로지스틱 회귀분석은 두 개의 값만을 가지는 종속변수와 독립변수들의 관련성을 분석할 수 있으며, 로지스틱 함수를 이용하여 독립변수와 종속변수의 관계를 설명한다. 이 함수를 사용함으로써 종속변수의 값

이 아무리 크더라도 예측된 확률값은 0과 1 사이의 값을 가지게 된다. 로지스틱 함수를 수식으로 표현하면 식 (4)와 같다(Lee *et al.*, 2006; Lee and Kim, 2012).

$$E(Y|X) = \frac{\exp(b_0 + b_1X)}{1 + \exp(b_0 + b_1X)} \quad (4)$$

본 연구에서는 종속변수로 도시성장의 발생 유무를 독립변수로 도시성장 관련 영향 인자로 적용하여 종속변수와 독립변수의 관계를 추정하였다. 도시성장 관련 영향 인자는 대상 지역의 특성 및 개발 여건에 영향을 미치는 물리적·제도적 요인, 사회경제적 특성 등 다양하게 구분된다. Kim *et al.*(2007)의 연구에 따르면 이러한 도시성장 관련 영향 인자는 주로 물리적 요인, 접근성 요인, 사회경제적 요인, 정책적 요인 등으로 구분될 수 있다. 이에 본 연구는 물리적 요인으로 고도, 경사도, 경사향, 토지피복, 접근성 요인으로 도로와의 거리, 기존 도시와의 거리, 사회경제적 요인으로 인구밀도, 고용자수, 상하수도 보급률, 도로밀도, 토지피복, 정책적 요인으로 환경생태적 보전지역, 법제적 보전지역으로 구분하였고, ArcGIS 10.0을 이용하여 공간데이터베이스로 구축하였다. 또한, 본 연구는 국토환경성 평가지도의 환경보전지역과 법제적보전지역을 독립변수에 포함한 경우와 포함하지 않은 경우로 구분하여 도시성장확률지도를 작성함으로써 보전지역의 고려 유무에 따른 미래 도시성장의 차이를 비교하였다.

결 과

본 연구는 미래 토지피복 변화에 따른 ESV의 분석 결과를 시나리오 1과 2로 나누어 살펴보고자 한다. 여기서 시나리오 1은 통계청 인구성장 시나리오의 고위수준으로 인구가 성장하고, 환경보전지역의 고려를 통한 도시성장이 이루어지는 경우이다. 반면, 시나리오 2는 시나리오 1과 마찬가지로 고위수준으로 인

구가 성장하되 환경보전지역의 고려 없이 도시성장이 이루어지는 경우이다. 본 연구는 시나리오를 이상과 같이 구분함으로써 똑같은 미래 도시면적 하에서 환경보전 및 개발 관점에서 도시성장이 이루어졌을 경우 ESV가 어떠한 차이를 보이는지에 대하여 살펴보고자 한다.

1. 시나리오 1

시나리오 1에 의해 예측된 토지피복지도는 그림 4와 같다. 대한민국은 주로 서쪽지역을 중심으로 도시가 성장하는 것으로 예측되었고, 도시성장은 농업지역의 잠식에 의해 나타났다.

대한민국의 전체 ESV는 2010년 7,092백만 USD 였으나, 2020년 ESV는 6,980백만 USD로 2010년 대비 1.6%가 감소하여 연평균 감소율은 0.2%로 나타났다. 2030년 ESV는 2010년 대비 3.5%(연평균 감소율 0.2%), 2040년 ESV는 2010년 대비 4.4%(연평균 감소율 0.1%) 감소하였다. 2020년부터 2040년까지 도시지역의 면적 증가로 ESV는 지속적으로 감소하는 추세를 보였다. 그러나, 2050년과 2060년에는 6,816백만 USD와 6,916백만 USD로 각각 2010년 대비 3.9%, 2.5% 감소하여 감소추세가 다소 완화되는 경향을 보였다. 이 같은 추세는 2040년에 비하여 인구수가 감소함에 따라 미래 도시면적이 감소하여 나타난 결과이다(표 3).

2020년부터 2060년까지의 ESV 감소추세는 도시성장에 의한 것으로 2010년 603,846ha 에

서 2020년에는 2010년 대비 57.1% 증가한 948,893ha로 나타났고, 2030년에는 1,346,078ha(122.9%), 2040년에는 1,528,619ha(153.1%), 2050년에는 1,432,954ha(137.3%), 2060년에는 1,150,233ha(90.5%)로 나타났다. 이러한 도시지역의 면적 증가는 다른 토지피복 항목의 면적 감소를 초래하였다. 농업지역은 2010년 2,007,695ha에서 지속적으로 면적이 감소하여 적게는 12.7% 많게는 34.1%가 감소하여 토지피복 항목 중 나지 다음으로 가장 많은 면적이 감소하는 것으로 나타났다. 산림지역은 전체 면적의 약 70%를 차지하고 있는 주요 항목으로 도시성장으로 인한 지속적인 면적 감소를 보이고 있다. 그러나 면적 감소율은 0.5~1.7%로 다른 항목에 비하여 다소 낮게 나타났다. 도시성장으로 인해 초지와 나지의 면적도 감소하는 것으로 나타났고, 2010년 면적 대비 감소율은 각각 7.3~18.8%와 19.2~38.4%이다. 또한, 습지지역은 2010년 면적이 25,922ha로 전체 면적에서 불과 0.3%를 차지하고 있다. 그러나, 면적 감소율은 12.2~30.9%로 상대적으로 많이 감소한 것으로 나타났다(표 4).

토지피복 항목별 면적 변화에 상응하여 ESV의 2010년 대비 감소율도 감소하는 것으로 나타났다. 농업지역은 2020년 161백만 USD로 2010년 보다 23.5백만 USD가 감소하였고, 이후로도 37.3~63.0백만 USD가 감소한 것으로 나타났다. 습지는 많은 면적 감소로 인하여 적게는 46.7백만 USD에서 많게

FIGURE 4. Distribution of land cover by scenario 1. (a) 2010; (b) 2020; (c) 2030; (d) 2040; (e) 2050; (f) 2060

TABLE 3. Ecosystem service value by scenario 1

		Urban	Farmland	Forest	Grassland	Wetland	Bare land	Water	Total
ESV (106\$/yr)	2010	0	185	6,433	92	383	0	0	7,092
	2020	0	161	6,397	85	337	0	0	6,980
	2030	0	134	6,348	78	286	0	0	6,846
	2040	0	122	6,321	74	265	0	0	6,783
	2050	0	128	6,336	76	276	0	0	6,816
	2060	0	147	6,373	81	310	0	0	6,912
%yr (%)	2020-2010	-	-1.4	-0.1	-0.8	-1.3	-	-	-0.2
	2030-2010	-	-1.6	-0.1	-0.8	-1.4	-	-	-0.2
	2040-2010	-	-1.4	-0.1	-0.7	-1.2	-	-	-0.1
	2050-2010	-	-0.9	0.0	-0.5	-0.8	-	-	-0.1
	2060-2010	-	-0.4	0.0	-0.2	-0.4	-	-	-0.1

TABLE 4. Area changes of land cover by scenario 1

	2010	2020	2030	2040	2050	2060
Urban	603,846	948,893 (57.1)	1,346,078 (122.9)	1,528,619 (153.1)	1,432,954 (137.3)	1,150,233 (90.5)
Farmland	2,007,695	1,752,438 (-12.7)	1,456,578 (-27.5)	1,322,804 (-34.1)	1,392,400 (-30.6)	1,602,775 (-20.2)
Forest	6,638,389	6,602,114 (-0.5)	6,551,063 (-1.3)	6,523,730 (-1.7)	6,538,502 (-1.5)	6,577,123 (-0.9)
Grassland	394,822	365,977 (-7.3)	334,825 (-15.2)	320,699 (-18.8)	328,187 (-16.9)	349,821 (-11.4)
Wetland	25,922	22,766 (-12.2)	19,362 (-25.3)	17,920 (-30.9)	18,668 (-28.0)	20,976 (-19.1)
Bare land	112,132	90,619 (-19.2)	74,901 (-33.2)	69,035 (-38.4)	72,097 (-35.7)	81,877 (-27.0)
Waters	260,076	260,076	260,076	260,076	260,076	260,076
Total	10,042,883	10,042,883	10,042,883	10,042,883	10,042,883	10,042,883

¹⁾ Change rate compared by 2010.

는 119.3백만 USD가 감소하는 것으로 나타났다. 특히 습지의 경우 연간가치가 다른 항목에 비하여 매우 높아(표 2 참고) 적은 면적 감소에도 ESV의 변화량이 큰 폭으로 변화하는 것으로 나타났다. 산림지역 또한 습지와 마찬가지로 높은 연간가치 값을 가지는 항목으로 다른 항목에 비하여 1% 전후의 낮은 면적 변화율을 가짐에도 불구하고 ESV는 35.2~111.1백만 USD가 감소하여 습지 다음으로 높은 감소량을 보였다. 초지는 2020년부터 2050년까지 2010년 대비 6.7~17.2백만 USD가 감소하여 다른 항목에 비하여 다소 낮은 감소량을 보였다.

2. 시나리오 2

시나리오 2에 의해 예측된 토지피복지도는 그림 5와 같다. 시나리오 1과 같이 주로 서쪽

지역을 중심으로 도시가 성장하는 것을 알 수 있고, 시나리오 1에 비해서 농업지역의 감소가 두드러지게 나타나고 있다.

시나리오 2에 의해 산정된 ESV는 전체적으로 시나리오 1에 의해 산정된 ESV에 비하여 낮게 나타났다. 2010년 ESV는 7,089백만 USD이고, 2020년에는 6,975백만 USD로 감소하여 1.6%의 감소율을 보였다. 2020년 이후의 ESV 변화는 시나리오 1과 비슷한 경향을 보였다. 2030년에는 2010년 대비 3.5%가 감소한 6,841백만 USD로 나타났고, 2040년에는 4.4%가 감소한 6,775백만 USD, 2050년에는 3.9%가 감소한 6,810백만 USD, 2060년에는 2.6%가 감소한 6,908백만 USD로 나타났다. 또한, 2020년부터 2040년까지 연평균 증가율은 0.2%로 동일하게 나타났고, 이후 2050년부터는 0.1%로 다소 감소하였다

FIGURE 5. Distribution of land cover by scenario 2. (a) 2010; (b) 2020; (c) 2030; (d) 2040; (e) 2050; (f) 2060

(표 5).

2020년부터 2060년까지의 ESV 감소추세는 시나리오 1과 마찬가지로 도시성장에 의한 것으로 도시지역의 면적 증가량 및 증가율은 동일하고, 도시지역을 제외한 토지피복 항목별 면적 변화는 다소 상이하게 나타났다. 농업지역은 2010년 2,004,099ha에서 2020년에는 12.7% 감소한 1,752,438ha로 나타났고, 2040년에는 1,322,804ha로 34.1% 감소한 것으로 나타났다. 농업지역과 마찬가지로 습지지역과 나지지역은 2010년 대비 많은 면적이 감소한 것으로 나타났고, 면적 감소율은 각각 14.3~35.0%, 17.3~37.7%였다. 또한, 초지지역은 2010년 면적 대비 5.7~16.1% 감소한 것으로 나타났다(표 6).

토지피복 항목별 면적 변화에 따른 ESV의 변화를 살펴보면, 습지지역은 2020년 330백만 USD로 2010년 보다 55백만 USD가 감소

하였다. 이후로도 ESV는 2010년 대비 83.4~134.8백만 USD가 감소하여 시나리오 1과 마찬가지로 토지피복 항목 중 가장 많은 감소를 보였다. 습지지역 다음으로 높은 감소를 보인 항목은 산림지역으로 29.8~99.9백만 USD가 감소한 것으로 나타났다. 농업지역 또한 24.6~64.8백만 USD가 감소하여 ESV의 많은 감소를 보였다. 반면, 초지지역은 2020년부터 2060년까지 감소량이 5.3~14.9백만 USD로 나타나 다른 항목에 비하여 다소 적게 감소한 것으로 나타났다.

3. 시나리오 1과 시나리오 2의 비교

전체적으로 시나리오 2에 의해 산정된 ESV는 시나리오 1에 의해 산정된 ESV 보다 낮게 나타났다. 2010년부터 2040년까지 인구수 증가로 인한 도시지역의 면적 증가로 시나리오별

TABLE 5. Ecosystem service value by scenario 2

		Urban	Farmland	Forest	Grassland	Wetland	Bare land	Water	Total
ESV (10 ⁶ \$/yr)	2010	0	184	6,428	92	385	0	0	7,089
	2020	0	160	6,398	87	330	0	0	6,975
	2030	0	132	6,354	81	274	0	0	6,841
	2040	0	120	6,328	77	250	0	0	6,775
	2050	0	126	6,342	79	263	0	0	6,810
	2060	0	145	6,378	84	301	0	0	6,908
% / yr (%)	2020-2010	—	-1.4	0.0	-0.6	-1.5	—	—	-0.2
	2030-2010	—	-1.7	-0.1	-0.7	-1.7	—	—	-0.2
	2040-2010	—	-1.4	-0.1	-0.6	-1.4	—	—	-0.2
	2050-2010	—	-0.9	0.0	-0.4	-1.0	—	—	-0.1
	2060-2010	—	-0.5	0.0	-0.2	-0.5	—	—	-0.1

TABLE 6. Area changes of land cover by scenario 2

(unit : ha (%¹⁾))

	2010	2020	2030	2040	2050	2060
Urban	603,846	948,893 (57.1)	1,346,078 (122.9)	1,528,619 (153.1)	1,432,954 (137.3)	1,150,233 (90.5)
Farmland	2,007,695	1,752,438 (-13.3)	1,456,578 (-28.5)	1,322,804 (-35.1)	1,392,400 (-31.7)	1,602,775 (-21.1)
Forest	6,638,389	6,602,114 (-0.5)	6,551,063 (-1.1)	6,523,730 (-1.6)	6,538,502 (-1.3)	6,577,123 (-0.8)
Grassland	394,822	365,977 (-5.7)	334,825 (-12.6)	320,699 (-16.1)	328,187 (-14.2)	349,821 (-9.1)
Wetland	25,922	22,766 (-14.3)	19,362 (-28.7)	17,920 (-35.0)	18,668 (-31.8)	20,976 (-21.7)
Bare land	112,132	90,619 (-17.3)	74,901 (-31.9)	69,035 (-37.7)	72,097 (-34.7)	81,877 (-25.1)
Waters	260,076	260,076 -	260,076 -	260,076 -	260,076 -	260,076 -
Total	10,042,883	10,042,883 -	10,042,883 -	10,042,883 -	10,042,883 -	10,042,883 -

¹⁾ Change rate compared by 2010.

ESV 차이는 2.9~7.6백만 USD로 점차 증가하는 것으로 나타났다. 2040년 이후로는 전년대비 인구수 감소로 인해 도시지역의 면적이 감소함에 따라 ESV의 차이도 2050년에는 6.0백만 USD, 2060년에는 3.6백만 USD로 감소하였다. 이는 시나리오 2의 경우 보전지역의 고려 없이 도시가 성장함에 따라 시나리오 1과 비교하여 상이한 토지피복 항목별 면적으로 인해 나타난 결과이다(표 7).

시나리오 2는 도시지역의 면적은 동일하나 초지지역과 나지지역을 제외한 대부분의 항목에서 시나리오 1에 비하여 면적이 감소하는 것으로 나타났다. 토지피복 항목 중 가장 많은 면적 차이를 보이는 항목은 농업지역으로 시나리오 1 보다 2010년에 3,597ha, 2020년에 15,780ha의 면적이 감소하였고, 2020년 이후부터는 약 20,000ha의 면적이 감소하는 것으로 나타났다. 농업지역과 마찬가지로 습지지역은 시나리오 1에 비하여 많은 면적이 감소한 항목으로 2010년에는 99ha가 증가하였으나, 2020년에는 468ha, 2030년에는

806ha가 감소하기 시작하여 이후 면적 감소량은 점차 증가하는 것으로 나타났다. 반면, 산림지역, 초지지역 그리고 나지지역의 경우 시나리오 2의 면적이 시나리오 1에 비하여 증가하는 것으로 나타났다. 시나리오 2의 2010년 산림지역 면적은 시나리오 1보다 4,854ha가 감소하였으나, 2020년부터 2060년까지는 적게는 706ha, 많게는 6,810ha의 면적이 증가하였다. 또한, 초지지역은 2020년부터 2060년까지 시나리오 2의 면적이 시나리오 1에 비하여 2,979~13,077ha 증가하였고, 나지지역은 4,185~6,583ha 증가하였다(표 8).

이상에서 살펴본 바와 같이, 시나리오 2의 전체 ESV 감소는 농업지역과 습지지역의 면적 감소에 의한 것으로 농업지역은 시나리오 1에 비하여 2010년부터 2060년까지 0.3~2.2백만 USD가 감소하였고, 습지지역은 2010년 다소 증가하였으나 2020년부터 2060년까지 6.9~15.0백만 USD가 감소하는 것으로 나타났다. 반면, 상대적으로 면적이 증가하는 것으로 나타난 산림지역은 2010년 이

TABLE 7. Deviation of ESV between scenario 1 and scenario 2

(unit : 10⁶\$/yr)

	Urban	Farmland	Forest	Grassland	Wetland	Bare land	Water	Total
2010		-0.3	-4.7	0.7	1.5	0.0	0.0	-2.9
2020		-1.5	0.7	2.1	-6.9	0.0	0.0	-5.6
2030		-2.2	6.3	3.0	-11.9	0.0	0.0	-4.8
2040		-2.1	6.5	3.0	-15.0	0.0	0.0	-7.6
2050		-2.2	6.6	3.0	-13.5	0.0	0.0	-6.0
2060		-2.0	4.6	2.7	-8.8	0.0	0.0	-3.6

TABLE 8. Deviation of area changes between scenario 1 and scenario 2

(unit : ha (%¹⁾))

	2010	2020	2030	2040	2050	2060
Urban	-	-	-	-	-	-
Farmland	-3,597	-15,780 (-0.6)	-23,577 (-1.0)	-22,981 (-1.0)	-23,536 (-1.0)	-21,830 (-0.9)
Forest	-4,854	706 (0.1)	6,496 (0.2)	6,735 (0.2)	6,810 (0.2)	4,703 (0.1)
Grassland	2,979	8,960 (1.6)	12,753 (2.6)	13,077 (2.7)	12,999 (2.6)	11,605 (2.3)
Wetland	99	-468 (-2.1)	-806 (-3.4)	-1,016 (-4.2)	-912 (-3.8)	-595 (-2.6)
Bare land	5,373	6,583 (1.9)	5,134 (1.3)	4,185 (0.7)	4,640 (1.0)	6,118 (1.9)
Waters	-	-	-	-	-	-
Total	-	-	-	-	-	-

¹⁾ Change rate compared by 2010.

후로는 0.7~6.6백만 USD, 초지지역은 0.7~3.0백만 USD가 증가하였다.

토의 및 결론

본 연구는 통계청에서 제시한 추계 인구자료 및 로지스틱 회귀분석에 의한 도시성장확률지도를 이용하여 미래 토지피복지도를 작성하였고, 환경보전 및 개발 관점에서 도시성장이 이루어졌을 경우 미래 토지피복 변화에 따른 ESV 변화를 살펴보았다. 전체적으로 시나리오별 ESV는 2010년부터 2040년까지 인구수 증가로 인한 도시지역의 면적 증가로 감소하는 경향을 보였고, 2040년 이후는 인구수 감소로 인한 도시지역의 면적 감소로 증가하는 경향을 보였다.

2010년부터 2060년까지의 시나리오별 ESV를 살펴보면, 시나리오 1은 6,783~7,092백만 USD로 나타났고, 시나리오 2는 시나리오 1에 비하여 2.9~7.6백만 USD가 감소한 6,775~7,089백만 USD로 나타났다. 시나리오별 ESV의 차이는 시나리오별 도시지역의 면적은 동일하나 도시성장확률지도에 의하여 도시지역을 제외한 토지피복 항목별 면적이 상이하야 나타난 결과이다. 특히, 시나리오 2의 ESV 감소는 농업지역과 습지지역의 면적 감소로 인한 것이다. 시나리오 2의 경우 농업지역과 습지지역이 시나리오 1에 비하여 각각 3,597~23,577ha, 468~1,016ha의 면적이 감소하였고, 이로 인해 농업지역의 ESV는

0.3~2.2백만 USD, 습지지역은 6.9~15.0백만 USD가 감소하였다.

이 같은 결과는 시나리오의 특성에 의한 것으로 시나리오 2는 개발 관점에서 도시성장이 이루어진 경우이다. 본 연구는 이를 반영하기 위하여 국토환경성평가지도의 환경보전지역과 법제적보전지역의 고려 유무로 구분하였다. 국토환경성평가지도는 토지가 지닌 물리적, 환경적 가치를 과학적으로 평가하여 환경적 가치에 따라 1~5등급으로 구분하여 나타낸 지도로 1등급에 가까울수록 상대적으로 환경적 가치가 높은 것을 뜻한다(Ministry of Environment, 2008). 따라서 대한민국은 농업지역과 습지지역의 경우 상대적으로 높은 등급을 가지고 있고, 시나리오 2의 경우 이를 반영하지 않음에 따라 많은 면적이 훼손된 것으로 판단된다. 더욱이 이 같은 결과는 환경보전지역과 법제적보전지역의 고려를 통한 환경보전 관점에서 도시성장이 이루어지면 ESV가 향상됨을 알 수 있다.

본 연구는 미래 토지피복지도를 예측하여 미래 환경적 가치를 정량적으로 평가한 데 의의가 있다. 그러나 토지피복 항목별 ESV 계수는 전 지구를 대상으로 평가된 것으로 지역적 특성을 고려하지 않고 있다. 이로 인해 중국의 경우 Costanza *et al.*(1997)의 연구를 바탕으로 중국 지역에 적합화된 ESV 계수를 산정하였고, 중국지역에 대한 연구는 대부분 이를 이용하고 있다(Xie *et al.*, 1997). 대한

민국의 경우에도 지역적 특성을 고려한 적합화된 ESV 계수를 개발하는 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서 환경적 가치를 평가하기 위해 적용된 ESV 계수는 생태계의 기능적인 측면에 초점이 맞추어져 있고, 이를 고려하기 위한 변수로 토지피복 항목별 면적에만 의존하고 있다. 따라서 토지피복지도에 대한 정확도가 떨어진다면 산출된 환경적 가치 또한 신빙성이 떨어진다. 이러한 관점에서 본 연구의 정확도를 향상시키기 위해서는 미래 도시면적과 도시성장모형에 관한 한계점이 향상되어야 할 것으로 판단된다.

먼저, 본 연구는 인구수에 따른 미래 도시면적을 추정함에 따라 인구수가 감소할 경우 도시면적 또한 감소하였고, 미래 도시면적이 다소 과대 추정되는 경향을 보였다. 이는 향후 수요예측모형과 같은 정량적인 방법을 이용하여 향후 대한민국의 도시지역에 대한 수요량이 산정되어야 할 것으로 판단된다. 다음으로 실세계에 가까운 예측을 위해서는 도시성장모형의 불확실성을 최소화시켜야 한다. 이를 위해서는 다양한 방법에 의해 도시성장모형을 구축하고 결과를 비교 분석하여 대한민국에 최적화된 도시성장모형이 구축되어야 한다. 향후 이러한 한계점에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고, 개선될 때 본 연구의 정확도는 더욱 향상될 것이라 판단된다.

본 연구의 결과를 통해 지속가능한 개발을 위해서는 친환경적인 개발계획을 수립하고, 도시개발 사업 시행 시 환경적 영향에 대한 사전 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구는 향후 도시개발정책 수립 또는 의사결정 시 객관적인 평가의 기틀뿐만 아니라 유용한 판단기준으로서 활용되어질 수 있을 것으로 판단된다. **KAGIS**

참고문헌

Choi, W.Y., S.G. Jung, J.H. Oh and J.H.

You. 2005. The structural and functional analysis of landscape changes in Daegu metropolitan sphere using landscape indices & ecosystem service value. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 8(4): 102-113 (최원영, 정성관, 오정학, 유주한. 2005. 경관지수와 생태계용역가치를 활용한 대구광역시권 경관의 구조적·기능적 변화 분석. *한국지리정보학회지* 8(4):102-113).

Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton and M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.

Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton and M. van den Belt. 1998. Auditing the earth: the value of the world's ecosystem services and natural capital. *Environment* 40(2):26-27.

Daily, G.D. 1997. *Nature's Services : Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington DC., 412pp.

Jung, J.J., C.M. Kim and Y.I. Kim. 2002. Developments of cellular automata model for the urban growth. *Korea Planners Association* 37(1): 27-43 (정재준, 이창무, 김용일. 2002. 도시성장 분석 및 예측을 위한 셀룰라오토마타 모델 개발. *국토계획* 37(1):27-43).

Jung, S.G. and W.S. Lee. 2009. An assessment of environmental carrying capacity and ecosystem service value in

- the Daegu metropolitan area. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 12(4):18-33 (정성관, 이우성. 2009. 대구광역권의 환경용량 및 생태계용역가치 평가. *한국지리정보학회지* 12(4):18-33).
- Kim, J., G. Hwang, C. Yeo and H. Chung. 2007. Modeling future urban growth and its application: the integrated approach. *Journal of Korea Planners Association* 42(2):31-48 (김재익, 황국웅, 여창환, 정현욱. 2007. 도시성장모형의 개발과 활용 : 통합적 접근방법. *국토계획* 42(2):31-48).
- Kreuter, U.P., H.G. Harris, M.D. Matlock and R.E. Lacey. 2001. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. *Ecological Economics* 39:333-346.
- Lee, D.G., S.U. Jeon and S.M. Lee. 2004. Theoretical review of environment-oriented land suitability analysis and setting of EOLSA criteria and classification system. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 7(1):116-127 (이동근, 전성우, 이상문. 2004. 토지환경성 평가의 이론 및 기준 · 지도작성에 관한 연구. *한국환경복원기술학회지* 7(1):116-127).
- Lee, H.G. and G.H. Kim. 2012. Landslide risk assessment in Inje using logistic regression model. *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography* 30(3):313-321 (이환길, 김기홍. 2012. 로지스틱 회귀분석을 이용한 인제군 산사태지역의 위험도 평가. *한국측량학회지* 30(3):313-321).
- Lee, Y.J, G.A. Park and S.J. Kim. 2006. Analysis of landslide hazard area using logistic regression analysis and AHP (analytical hierarchy process) approach. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 26(5D):861-867 (이용준, 박근애, 김성준. 2006. 로지스틱 회귀분석 및 AHP 기법을 이용한 산사태 위험지역 분석. *대한토목학회논문집* 26(5D):861-867).
- Meteorological Administration website. 2013. <http://www.kma.go.kr>.
- Ministry of Environment. 2008. White paper for the environmental conservation value assessment map (2001~2008) (환경부. 2008. 국토환경성평가지도 백서 (2001년~2008년)).
- National Assembly Budget Office. 2012. Long-term financial outlook and analysis from 2012 to 2060. pp.18 (국회예산정책처. 2012. 2012~2060년 장기 재정전망 및 분석).
- Statistics Korea. 2011. Population projections: 2010~2060 (통계청. 2011. 장래인구추계: 2010~2060).
- Tianhong, L., L. Wenkai and Q. Zhenghan. 2008. Variations in ecosystem service value in response to land use changes in Shenzhen. *Ecological Economics* 69(7): 1427-1435.
- Xie, G.D., C.X. Lu and Y.F. Leng. 2003. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau. *Journal of Natural Resources* 18:189-196.
- Yeon, Y.K. 2011. Evaluation and analysis of Gwangwon-do landslide susceptibility using logistic regression. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 14(4):116-127 (연영광. 2011. 로지스틱 회귀분석 기법을 이용한 강원도 산사태 취약성 평가 및 분석. *한국*

- 지리정보학회지 14(4):116-127).
- You, J.H., K.H. Park and S.G. Jung. 2005. A study on importance of assessment factors and indicators of natural ecosystems for environmentally friendly land conservation. *Journal of Environmental Impact Assessment* 14(4):165-177 (유주한, 박경훈, 정성관. 2005. 환경친화적 국토보전을 위한 자연생태계 평가요인 및 평가지표의 중요도에 관한 연구. *환경영향평가* 14(4):165-177).
- Zhao, B., U. Kreuter, B. Li, Z. Ma, J.N. Chen. 2004. Nakagoshi. An ecosystem service value assessment of land-use change on Chongming island, China. *Land Use Policy* 21:139-148.