

토지이용균형 모델을 이용한 기후변화에 따른 주거용 토지이용변화 - 제주 지역을 대상으로 -

유소민* · 이우균*** · Yoshiki Yamagata*** · 김지영** · 김문일** · 임철희**

*고려대학교 기후환경학과, **고려대학교 환경생태공학부, ***National Institute for Environment Studies

A Study of Future Residential Land Use Change considering Climate Change using Land Use Equilibrium Model in Jeju

Yoo, Somin*, Lee, Woo-Kyun***, Yoshiki Yamagata***, Kim, Jiyoung**,
Kim, Moon-II** and Lim, Chul-Hee**

*Dept. of Climate Environment, Korea University, Seoul, Korea

**Dept. of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, Korea

***Dept. of Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan

ABSTRACT

Climate change lead to environmental pollution caused by the radical economic growth and development of industry. The amount of damage from abnormal climate is increasing rapidly for this reason in Korea. In particular, the cities is a lot of carbon emission quantity from the radical growth. Thus the government present "low carbon green growth" for eco-friendly city planning. As one of the important factors effecting climate change, active researches on land use change is performed. In this study, we knew land use change of each scenarios using land use equilibrium model which is kind of predictive model of land use in Japan. First, we selected study area to Jeju Island. For this study, indicators for input data were selected and spatial data for input data were established using GIS program. Second, we established future scenarios based in 2040s. There are 2 future scenarios: dispersion scenario, compact scenario. Third, we compared with residential area of current and residential area for future scenarios. Results showed that residential area of the difference between current and dispersion scenario were 1,230 ha and residential area of the difference between current and compact scenario were 1,515 ha. Finally, for comparing carbon dioxide absorption volume between dispersion scenarios and compact scenarios, we calculated carbon dioxide absorption volume according to residential area decreased of each future scenarios. Results showed that carbon dioxide absorption volume in dispersion scenario was 477,878 ton and carbon dioxide absorption volume in compact scenario was 588,606 ton. Therefore, the study showed that land use equilibrium model is expected to put to use for future enhancement in creating data for climate change stabilization. And it is also expected to be utilized for city planning research in Korea.

Key words : *Climate Change, Land Use Equilibrium Model, Compact Scenario, Dispersion Scenario, Carbon Dioxide Absorption Volume*

1. 서 론

20세기 이후 급격한 경제 성장으로 과도한 토지이용변화가 이루어졌으며, 이는 기후 변화를 가속화시킬 뿐 아니라, 위험지역이 점차 확대되기도 한다. IPCC는 지속적인 배출로 인해 21

세기 말에는 지구 온도가 최대 4.8℃, 해수면은 최대 82 cm가 상승될 것으로 보고하였다(IPCC, 2013). 우리나라 역시 이산화탄소가 매년 2.3% 증가율을 보이고 있으며(Chungbuk Development Institute, 2010), 이로 인해 기후변화 영향에 의한 피해 역시 점차 증가하고 있다. 특히 도시는 급속한 발전으로 인해 열

† Corresponding author : E-mail: leewk@korea.ac.kr

Received October 8, 2014 / Revised January 21, 2015(1st), February 16, 2015(2nd) / Accepted March 2, 2015

섬 효과와 여러 환경오염, 에너지 효율 부작용을 보이고 있다 (Jang *et al.*, 2012). 우리나라에서는 도시가 소비하는 에너지가 전체에서 약 44%를 차지하고 있다고 보고하고 있다(Chungbuk Development Institute, 2010). 이로 인해 우리나라는 기후변화 적응 및 완화 대책 수립의 중요성을 인식되고, 이에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 이에 지난 정부는 에너지 및 탄소 저감과 친환경적 발전을 위한 ‘저탄소 녹색성장(low carbon green growth)’을 제시할 뿐 아니라, 도시에서의 기후변화에 대한 적응 정책 수립을 위한 연구를 촉구하고 있다.

토지이용변화는 기후변화의 영향을 완화시킬 수 있는 대표적인 환경인자 중 하나이다(U.S Environmental Protection Agency, 2009). 현재 기후변화에 영향을 미치는 이산화탄소 배출을 감소하고, 재난재해를 대응 및 대비할 수 있도록 적절한 토지이용을 고려하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 국내에서는 도시의 탄소배출 추정과 토지이용변화의 상호추이변화 분석에 대한 연구가 이루어졌다(Eo *et al.*, 2010). Lee and Park(2009)는 미래 토지이용변화에 따른 식생 및 토양의 이산화탄소 저감 잠재량을 분석하였고, Lee(2011)은 토지이용계획에 따른 교통부분의 탄소 배출 저감에 대한 연구를 수행하였다. 국외에서도 기후변화와 토지이용변화를 함께 고려한 연구가 활발히 진행되고 있다(Han, 2011). Civerolo K *et al.*(2007)는 토지이용변화 모델로 미래 도시 토지피복을 추정하여 토지이용에 따른 대기 중 오염물질 배출량 변화에 대한 연구를 수행하였고, 지리적 토지이용 모델을 이용하여 미래 도시 환경 시나리오를 개발하는 연구가 이루어지고 있다(Yoshiki *et al.*, 2013). 또한, 홍수지역과 토지이용 관계를 고려하여 홍수 완화 대책에 대한 경제적 평가를 수행하기도 한다(Akiyoshi, 2001). 그 밖에도 고도화된 연구를 위하여 토지이용변화 예측모델 개발(Veldkamp *et al.*, 2001)과 모델 지표 및 지수 개발 연구도 이루어지고 있는 실정이다.

특히 도시에서의 탄소배출은 경제적인 활동에 의한 것이기에 토지이용변화에 따른 탄소 저감 도시계획을 세우는 것은 큰 의미가 있다. 본 연구에서는 일본에서 토지이용연구에 활용되고 있는 토지이용균형 모델(land use equilibrium model)을 국내에 적용하여 연구를 실시하였다. 본 연구에서는 토지이용균형 모델을 이용하여 미래에 기후변화에 적합한 주거용 토지이용변화에 따른 이산화탄소 흡수량을 알아보았다. 연구 수행을 위해 먼저 대상지를 선정하고, 다음으로 자료 수집과 토지이용균형 모델을 이용해 시나리오를 구축하였다. 마지막으로, 시나리오 별 토지이용변화를 비교하고, 이에 따른 이산화탄소 흡수량을 산정하였다(Fig. 1). 이는 토지이용변화에 따른 이산화탄소 흡수량을 추정함으로써 기후변화에 대한 안전성을 확보하고, 완화할 수 있는 도시계획을 수립하는데 근거자료로 제시할 수 있

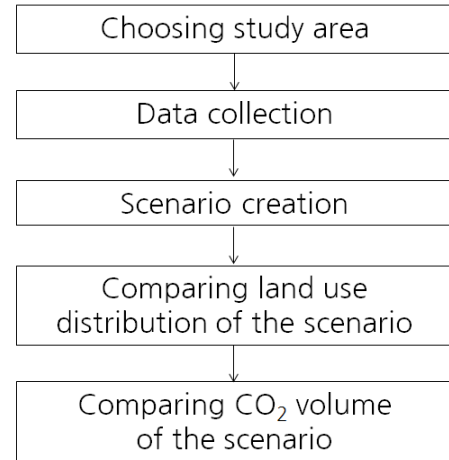


Fig. 1. Flow chark of the study.

다. 뿐만 아니라 기후변화에 따른 도시지역의 적합한 토지이용을 분석하는 모델을 개발하는데 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

2. 연구 자료 및 방법

2.1 연구 대상지 및 범위

연구 대상지는 제주도 지역으로, 위치는 북위 126°05′10″ ~ 126°58′37″ 이고, 동경 33°06′31″ ~ 33°35′55″ 사이 이다. 제주도는 국내에서 기후변화에 가장 영향을 많이 받는 곳으로, 지형은 한라산을 중심으로 이루어져 있으며, 해안선 길이가 419.95 km로써 우리나라 전체 해안선 길이 중 약 3.45%를 차지한다(NIMR, 2009). 또한 제주도는 국제자유도시로 지정된 이후, 지속적인 관광지 개발로 인하여 경제와 인구가 성장하고 있는 실정이다. 제주도의 인구 증가율은 약 30년간(1971~2000년) 전년 대비 약 1.2%이며, 전국 평균보다 높다. 이러한 인구 성장과 동시에 주택 용지 수요와 경제 성장, 자동차 이용률을 증가하고 있으며, 이는 기후변화를 가속화 시키는데 영향을 미치게 된다. 이에 제주도는 기후변화 적응 및 완화를 위한 토지이용변화에 대한 연구가 필요하다. 본 연구는 1 km 해상도의 격자(grid)를 기본단위로 실시하였고, 공간적 범위를 할당하기 위해 국토지리정보원에서 제공하는 우리나라 시도 행정계계를 기반으로 제주도 지역 만을 추출하여 레스터(raster) 구조로 변환하여 사용하였다.

2.2 자료 수집 및 구성

본 연구 수행을 위해 토지이용모델에 필요한 지표를 선정한

후, 그에 대한 자료를 수집하였다. 먼저, 지표는 주거지를 선택할 때 영향을 미치는 인자들로 선정하였다. 선정된 지표는 학교 밀도, 사무실 밀도, 경사, 고도, 면적, 위험지역, 상업지역으로 총 7개 지표이다. 자료를 수집할 때, 동일한 시점에서 가진 자료를 수집해야 하기에, 본 연구에서는 선정된 지표가 모두 가지고 있는 2010년 시점을 기준으로 자료를 수집하였다(Table 1). 면적은 읍면동구역 기반인 토지피복도를 사용하였으며, 공간연산을 통해 1 km 해상도를 갖는 래스터 형태로 구축하였다. 이 면적은 다른 자료들과 범위를 차이를 줄여 적절한 값을 가질 수 있도록 자연로그를 씌워 로그 값으로 산출하였다. 고도, 경사는 수치지형도를 사용하였으며, 면적과 같이 공간연산을 통해 1 km 해상도를 갖는 래스터 형태로 구축하였다. 학교밀도와 사무실 밀도 자료는 통계청에서 제공하는 읍면동단위로 구축된 통계자료를 사용하였으며, 밀도를 구하기 위해 앞서 구축한 읍면동 면적 값으로 나누었다. 위험 지역은 태풍으로 인한 침수지역을 의미한다. 이는 선행연구와 피해 사례 조사를 한 결과, 제주도 지역에서 기후변화로 인해 가장 많이 피해를 받는 항목 중의 하나가 침수 피해로써 이를 위험지역으로 선정하였다. 위험지역은 국가수자원관리정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 침수실적 자료를 사용하였다.

2.3 연구 방법

2.3.1 토지이용균형 모델

본 연구에서는 제주 지역 안에서 가지는 지리적, 경제적 특성에 따른 향후 주거용 토지이용변화를 알아보기 위해 일본에서 개발되어 도시 토지이용연구에 활용된 바 있는 토지이용균형 모델을 국내에 적용하였다(Nakamichi *et al.*, 2013; Yamagata, 2012). 기존에 수행되어진 토지이용연구는 연구 적용 대상지가 국한되는 한계가 있어(Park and Kim, 2010), 국내에서 개발한

토지이용모델은 모든 지역을 적용시키는 어려움이 있다. 반면, 토지이용균형 모델은 지리적 뿐 아니라 사회경제적 요인을 동시에 반영함으로써 어느 대상지든지 지역 별 특성 차이를 반영할 수 있는 장점을 지닌다. 또한 매크로 프로그램을 사용함으로써 다른 모델과 달리 산정과정이 간단하고, 적은 시간이 소요된다. 본 모델이 지니는 단점도 있다. 토지이용균형 모델은 자료를 고해상도로 구축하는데 오랜 시간이 소요된다. 뿐만 아니라 국내에서는 고해상도로 구축할 수 있는 자료 종류가 국한되어 있는 한계가 있다.

본 연구에서 적용된 토지이용균형 모델은 위성영상을 활용하거나, 생태계를 적용한 기존의 토지이용모델과 다르게 경제적 이론을 바탕으로 2가지 가정을 기반하고 있다(Yamagata, 2013). 첫째, 사회적 경제구조는 건물소유자, 토지소유자, 개발소유자 세 가지 유형으로 구성된다(Fig. 2). 건물소유자는 수입과 건물 임대로 인하여 간접적 효용을 가지고 있다. 이는 주거 위치 선택에 영향을 준다. 토지소유자는 토지 공급이 토지 시장과 토지 임대를 통하여 토지 수요와 관계를 갖는다. 개발소유자는 공급된 토지 면적이 건물 시장으로 통하여 건물 면적 수요에 영향을 미칠 뿐 아니라, 건물소유자에서 간접적 효용에 영향을 주는 건물 임대에도 영향을 준다. 두 번째로는 적합한 토지이용은 수요와 공급이 균형을 이룰 때 발생한다.

Fig 3은 경제적 개념을 반영한 토지 시장과 건물 시장에서의 주체 별 수요와 공급 곡선을 나타낸 것이며, 균형 점일 때 적합한 토지이용이 이루어진다고 보고 있다. 토지이용균형 모델을 통하여 미래에 기후변화에 적합한 주거용 토지 면적과 주거용 건물 면적 이용 변화를 볼 수 있다.

2.3.2 시나리오 구축

본 연구에서는 토지이용모델을 이용하여 시나리오 별 토지 이용분포 변화를 분석 및 비교하였다. 시나리오는 2040년을 기

Table 1. Variables for the land use equilibrium model

Variable	Description	Unit	Source
School density	Number of school/area	%	National Statistic
Office density	Number of office/area	%	National Statistic
Slope	Slope	°	Ministry of Environment
Elevation	Elevation	m	Ministry of Environment
Commercial	Commercial area	km ²	Ministry of Environment
Ln (area)	Natural logarithm of the area	-	Ministry of Environment
Risk area	Flooding damage area to hurricane	km ²	WAMIS

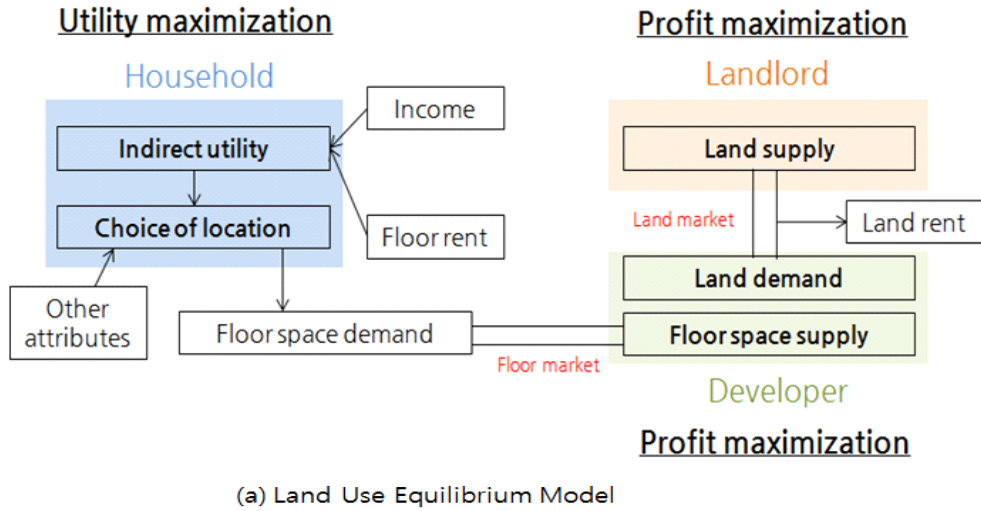


Fig. 2. Structure of the land use equilibrium model (Yamagata, 2013).

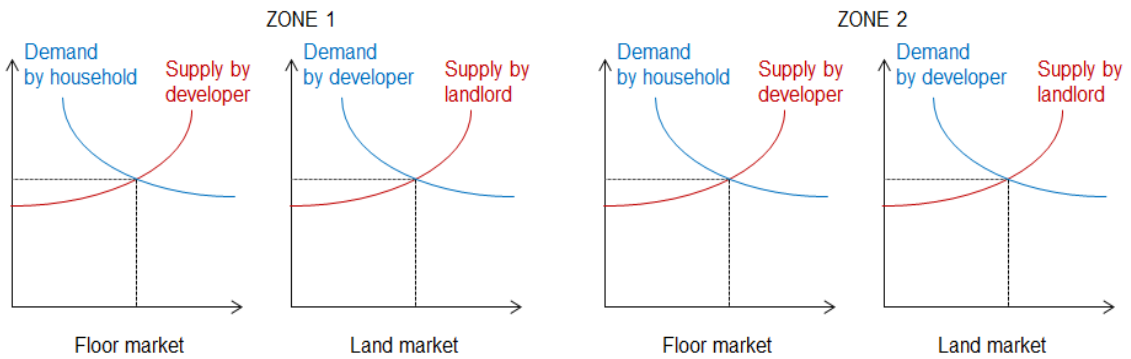


Fig. 3. Graph showing demand -supply balance.

준으로 2가지 유형으로 구축하였다. 토지이용균형 모델을 통해 시나리오를 구축하기 위해서는 미래 시점의 인구 증가율이 적용되어야 한다. 이에 본 연구에서는 국가통계청에서 추계인구 증가율이 2040년까지만 제공되어 시나리오 시점을 2040년으로 선정하였다. 첫 번째 시나리오는 분산 시나리오(dispersion scenario)이다. 이 시나리오는 외부의 영향을 받지 않은 상태인 BAU 시나리오이다. 즉, 미래의 인구 변화를 제외한 나머지 조건들은 현재(2010년)와 동일한 환경을 지니고 있다고 가정한 시나리오이다. 두 번째 시나리오는 압축 시나리오(compact scenario)이다. 이 시나리오는 기후변화에 따른 재난 피해에 대해 회복력을 줄 수 있도록 정책을 반영한 시나리오이다. 본 연구에서는 압축 시나리오에 ‘침수가 발생하는 지역에는 거주할 수 있는 면적을 50% 제한한다’라는 정책을 가정하고 이를 반영하였다. 분산 시나리오는 2040년일 때 인구 값을, 그 외 지표는 현재 값(2010년)을 그대로 반영하였다. 미래 인구 자료는 통계청에서 제시한 미

래추세 시나리오를 반영한 통계 자료를 사용하였다.

2.3.3 이산화탄소 흡수량 계산

본 연구에서는 미래 시나리오 별 이산화탄소 흡수량을 계산하기 위해 2가지 미래 시나리오와 현재의 총 주거용 토지이용면적이 얼마만큼 차이가 있는지를 알아보았다. 또한 줄어든 주거용 토지이용면적만큼 조립을 하였다고 가정을 세워 미래 시나리오 별 이산화탄소 흡수량을 계산하였다. 먼저, 현재와 미래 주거용 토지이용면적 차이를 계산하기 위해 현재와 시나리오 별 주거용 토지이용면적 총 합을 구하였다. 현재(2010년) 주거용 토지면적은 중분류 토지피복도를 사용하여 주거지역을 추출하였고, Calculate Geometry를 이용하여 구한 전체 주거지역 면적을 사용하였다. 2가지 미래 시나리오 별 전체 주거용 토지면적은 토지이용균형 모델 결과 값을 사용하였다. 다음으로 줄어든 면적만큼 산림을 조성한다는 가정을 세워 이산화탄소 흡수

량 계산방법으로는 식 (1)과 같이 계산하였다. 본 계산 방법은 탄소량 저장량에 이산화탄소 전환계수 44/12를 곱한 것으로 이는 기후변화협약에서 사용하기로 결정한 국제표준 방법에 의해 근거한 것이다(IPCC GPG, 2003).

$$\text{탄소순흡수량(CO}_2 \text{ 톤)} = \Delta V \times D \times BEF \times (1 + R) \times CF \times 44/12 \quad (1)$$

ΔV = 임목순생장량(m³)
 D = 목재기본밀도
 BEF = 바이오매스 확장 계수
 R = 뿌리 함량비
 CF = 탄소 전환 계수
 $44/12$ = 이산화탄소 전환 계수

3. 결과 및 고찰

3.1 주거용 토지이용 변화

토지이용균형 모델을 이용한 2040년을 기준으로 한 미래 시나리오 2가지 유형과 2010년을 기준으로 한 현재 토지이용 분포를 비교하였다. 토지이용균형 모델을 이용하여 도출된 결과는 Arc GIS 10.2 프로그램을 사용하여 지도를 작성하였다. 또한 시나리오 별 토지이용변화를 쉽게 알아보기 위해 등급 분류 기준을 통일하여 비교하였다. 먼저 현재와 두 가지 시나리오 별 주거용 건물 면적을 비교하였다. Fig. 4는 현재와 미래 시나리오 별 주거용 건물 면적 분포를 지도로 작성한 것이다. 주거용 건물 면적 분포변화는 전반적으로 현재에서 미래로 갈수록 면적

이 줄어드는 것으로 나타났다. 이를 좀 더 비교하기 쉽도록 현재와 시나리오 별 주거용 건물 면적을 그래프로 나타내었다(Fig. 5). Fig. 5를 보면, 아라동, 화북동, 외도동, 오라동 지역에서는 분산 시나리오보다 압축 시나리오에서의 주거용 건물 면적이 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 5인 침수지역을 나타내는 지도와 비교해 보면, 아라동, 화북동, 외도동, 오라동이 침수피해가 있는 지역으로써, 앞서 시나리오를 구축하는 과정에서 침수 지역에는 주거할 수 있는 면적을 50%로 제한한다는 정책을 반영한 것이 결과에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

다음으로 현재와 두 가지 시나리오 별 주거용 토지 면적을 비교하였다. Fig. 7을 보면 주거용 토지 면적도 현재보다 미래로 갈수록 줄어드는 것으로 나타났다. 특히, 미래 시나리오에서 전반적으로 분산 시나리오보다 압축 시나리오에서 주거용 토지 면적이 줄어드는 것으로 나타났다.

이를 좀 더 비교하기 쉽도록 주거용 토지비율을 계산하였다. Fig. 8은 2가지 미래시나리오의 주거용 토지비율을 나타낸 지도이며, 주거용 토지비율은 주거용 건물면적을 주거용 토지면적으로 나누어 계산하였다. 주거용 토지비율 값이 낮으면 토지이용 면적은 넓지만, 실질적으로 거주할 수 있는 건물면적은 적음으로써 거주하는 사람을 수용할 수 있는 수가 적다는 것을 의미한다. 반대로 주거용 토지비율 값이 높으면 토지이용 면적은 적지만 건물면적이 넓음으로써 건물에 거주하는 사람들을 수용하는 것이 높다는 것을 의미한다. 그 결과, 오라동과 예래동 지역은 분산 시나리오보다 압축 시나리오에서 주거용 토지비율이 높은 값을 가졌고, 외도동, 삼양동 지역은 압축 시나리오보다 분산 시나리오에서 주거용 토지비율이 높은 값을 가졌다. 현재

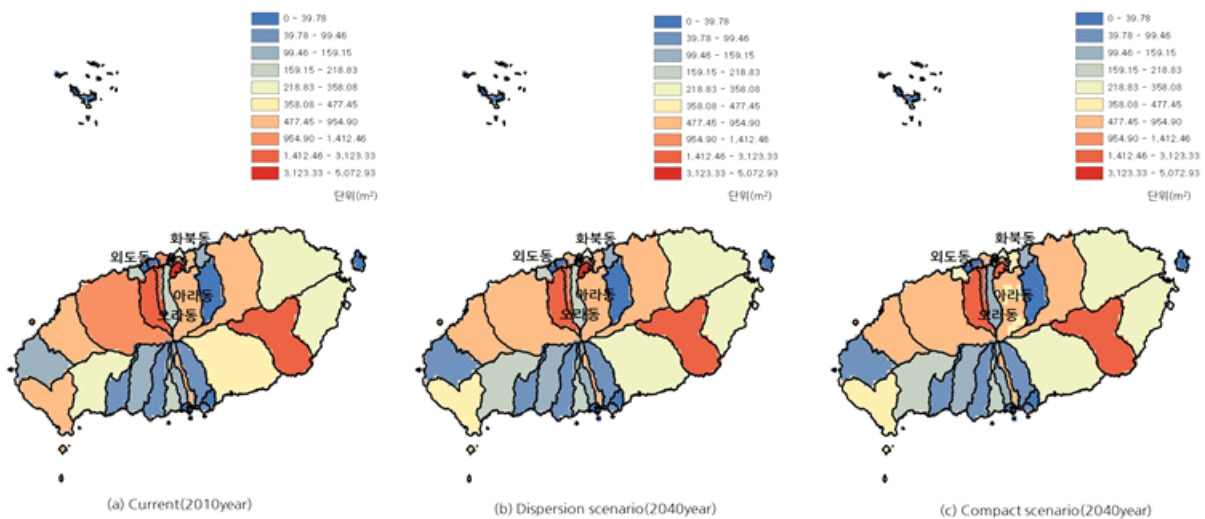


Fig. 4. Map showing residential floor area of current and future scenarios.

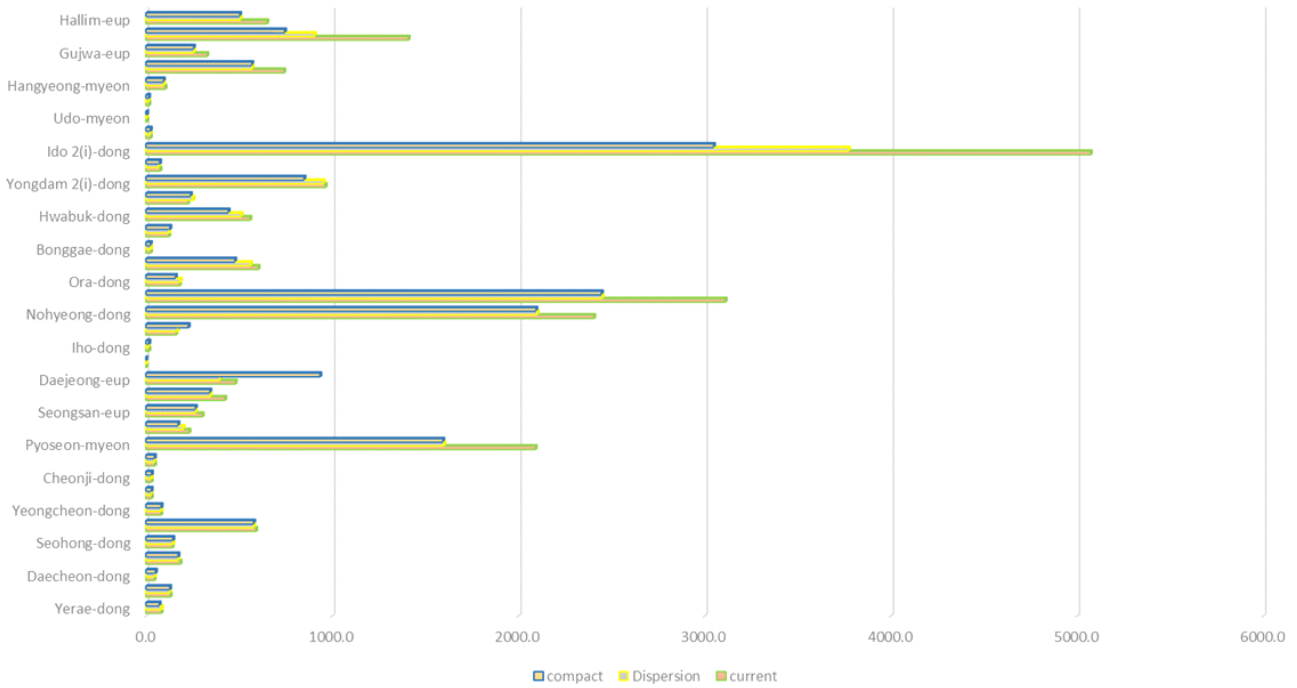


Fig. 5. Graph showing residential floor area change of current and future scenarios.

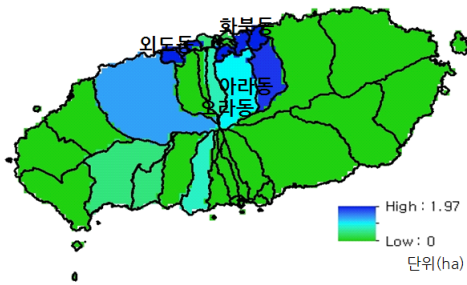


Fig. 6. Flooded area of current (2010 year).

제주도의 침수 피해 지도(Fig. 6)와 비교한 결과, 외도동과 삼양동 지역은 침수피해가 많은 지역이며, 반대로 오라동과 예래동 지역은 침수피해가 적은 지역임을 알 수 있었다. 이는 기후변화에 대응하는 외부 정책을 반영하였기에 침수피해가 큰 외도동, 삼양동 지역에서 거주하는 사람들이 침수피해면적이 낮은 오라동, 예래동 지역으로 이동하기 때문이 것으로 사료된다. 더 나아가 기후변화로 인한 위험지역에 거주하는 사람들이 이주함으로써 기후변화에 대한 안정성을 확보하는데 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

3.2 이산화탄소 흡수량 측정 결과

본 이산화탄소 흡수량을 계산하기 위해 연구에서는 토지이

용균형 모델을 이용한 결과를 통해 현재와 미래시나리오 별 전체 주거용 토지면적을 계산하였다. 현재(2010년)의 주거용 토지면적은 50,324,343 m²이며, 미래(2040년) 시나리오 중 분산 시나리오 총 주거용 토지면적은 38,014,625 m², 압축 시나리오는 35,167,861 m²이다. 또한 2가지 미래 시나리오 별 주거용 토지이용면적이 현재 주거용 토지이용면적과 차이를 비교하기 위해, 분산시나리오와 현재의 총 주거용 토지이용면적 차이와 압축 시나리오와 현재의 총 주거용 토지이용면적 차이를 각각 계산하였다. Fig. 9는 현재와 각 미래 시나리오 별 주거용 토지이용 면적 차이를 공간적 차이로 쉽게 보기 위해 지도로 작성하였다. 또한 분산 시나리오와 압축 시나리오가 현재와 면적 차이 결과를 비교하기 위해 등급 분류 기준을 통일하여 비교하였다. 그 결과, 현재와 미래시나리오 별 전체 면적 차이를 계산하여 단위를 m²에서 ha로 환산한 결과, 현재와 분산 시나리오는 약 1,230 ha, 현재와 압축 시나리오는 약 1,515 ha 차이로 나타났다.

다음으로 이산화탄소 흡수량을 계산하기 위해 본 연구에서는 주거용 토지면적이 줄어든 지역에 대해 조림을 한다고 가정하였고, 조림은 제주도에서 많이 식생하는 편백나무로 ha 당 3,000 본을 30년 식재하는 것으로 가정하였다. 이산화탄소 예상 흡수량은 앞에서 제시한 이산화탄소 흡수량 계산 방법(식 1)을 통해 시나리오 별 이산화탄소 흡수량을 계산하였다. 계산에 필요한 자료 입력 값은 Table 2와 같다. 그 결과, 분산 시나리오에서는

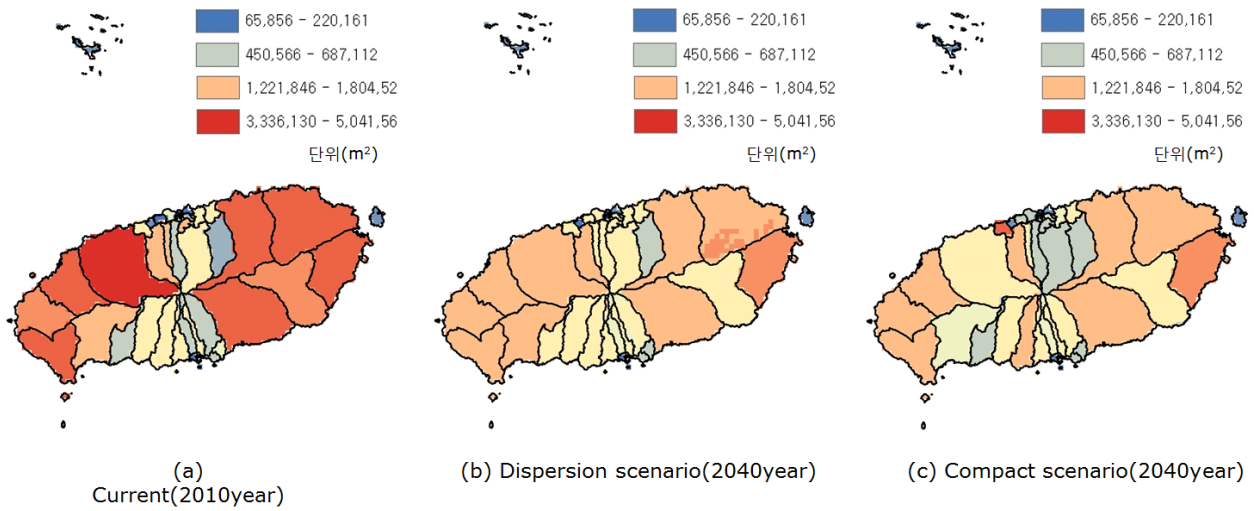


Fig. 7. Map showing residential land area of current and future scenarios.

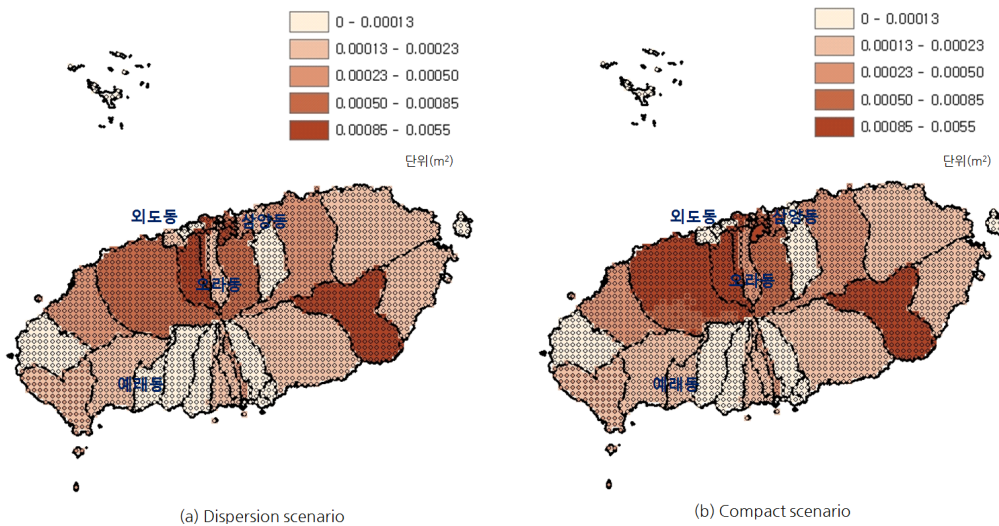


Fig. 8. Map showing residential ratio of future scenarios.

이산화탄소 흡수량이 477,878 ton, 압축 시나리오에서는 이산화탄소 흡수량이 588,606 ton으로 나타났다. 분산 시나리오보다 압축 시나리오에서 이산화탄소 흡수량이 더 큰 것으로 나타났다. 이는 미래 인구 변화를 제외한 나머지 지표들이 현재와 동일한 환경을 지닌 것보다 기후변화를 고려하여 현재와는 다른 조건을 반영한다면 지자체 기후변화 완화 정책을 수립하는데 도움이 될 것으로 보인다.

4. 의의 및 향후 연구

현재 토지이용변화 예측에 관한 연구는 기후변화에 대한 완

화 대책 자료로 사용되고 있으며, 우리나라에서는 친환경적이고 지속가능한 도시 계획이 이슈가 되고, 토지이용에 따른 도시의 탄소배출 저감 계획 수립에 대한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 기후변화 완화에 대한 대책을 수립하기 위해 토지이용변화 연구가 다양한 부문에서 이루어지고 있지만, 본 연구에서는 일본에서 개발되어 활용되고 있는 모델을 적용하여 제주지역의 미래 토지이용변화를 예측하였고, 이는 우리나라 도시 부문에서 기후변화 완화 및 적응을 위한 토지이용변화 연구에 사용되어질 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구 결과를 보면, 2가지 미래 시나리오의 주거비율(Fig. 8)은 분산시나리오에서 외도동과 삼양동의 주거용 비율이 높게

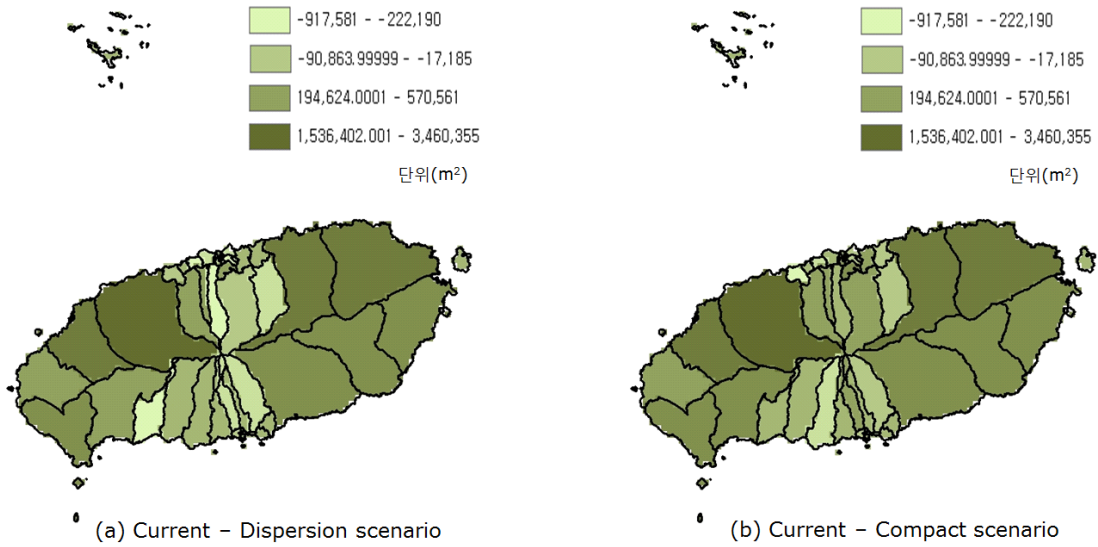


Fig. 9. Map showing differenced residential area of current and future scenarios.

Table 2. Coefficient of carbon dioxide absorption volume

Data	Input value	Source
V (m ³)	300	Korea Forest Research Institute, 2010
D	0.42	
BEF	1.39	
R	0.21	
CF	0.5	

나타났고, 오라동, 예래동의 주거용 토지이용 비율이 낮게 나타났다. 반면에 압축 시나리오에서는 분산시나리오와 반대로 오라동, 예래동 지역의 주거용 비율이 높게 나타나고, 외도동, 삼양동 지역의 주거용 토지이용 비율이 낮게 나타났다. 이는 외도동과 삼양동 지역이 침수피해가 가장 많이 일어나는 지역 중의 하나라서, 이 지역에서의 주거 면적이 줄어들고, 대신 침수피해가 적은 오라동, 예래동의 주거 면적이 넓어진 것을 말한다. 즉, 외도동과 삼양동에 거주하는 사람들이 오라동, 예래동으로 거주를 이주한다면 침수피해를 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 이는 기후변화에 대한 안정성을 확보하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단되며, 향후 재난재해 피해를 줄이기 위한 체계적인 도시 계획 대책 방안을 수립하는데 크게 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 또한 본 연구에서의 토지이용변화 연구방법으로 사회경제적인 지표뿐 아니라, 대상지역에서의 이상기후에 의해 가장 큰 피해를 갖는 부문을 지표로 선정함으로써 지역의 특성에 맞는 토지이용변화를 예측할 수 있으며, 이에 대한 구체적인 기

후변화 완화 대책을 결정하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구가 지닌 한계점도 있다. 본 연구에서는 제주지역을 1 km 해상도로 연구를 수행하였지만, 1 km 스케일의 자료를 수집하는 것에 대한 어려움이 있었다. 이로 인해 자료가 읍면동 단위로 구축됨으로 인하여 1 km 해상도별 토지이용변화 분포를 나타내지 못하였다. 향후 자료를 1 km 단위로 구축하고, 이를 반영함으로써 구체적인 토지이용변화 분포를 대책 수립에 반영할 수 있을 것으로 생각한다. 또한 우리나라의 실제적인 기후변화에 대한 정책제도를 반영한다면 좀 더 현실적인 토지이용변화에 대한 결과가 나타날 것으로 여겨진다. 마지막으로 향후 기후변화에 취약한 지역을 파악하고, 이를 고려한다면 기후변화에 대한 세부적인 완화대책을 마련하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

5. 결 론

본 연구에서는 2가지 미래 시나리오를 구축하고, 토지이용균형 모델을 이용하여 시나리오 별 주거용 토지이용면적 분포를 비교하였다. 또한 현재와 미래 시나리오 별 주거용 토지이용면적 차이를 알아보고, 시나리오 별 줄어드는 주거용 면적에 대한 이산화탄소 흡수량을 계산함으로써 기후변화 완화대책 수립을 위한 정책적 토지이용방안을 제시할 수 있었다.

본 연구에는 일본 토지이용균형 모델을 적용하여 연구한 결과, 현재보다 미래로 갈수록 주거용 토지이용면적이 줄어드는 것으로 나타났다. 분산 시나리오에서 전체 주거용 토지이용면적

은 38,014,625 m²이며, 현재보다 약 1,230 ha 면적만큼 줄어들었다. 압축 시나리오에서 전체 주거용 토지이용면적은 35,167,861 m²이며, 현재보다 약 1,515 ha 면적만큼 줄어들었다.

또한 기후변화 영향으로 인해 침수피해 지역의 토지이용을 50%로 제한한 정책을 반영한 압축 시나리오에서는 침수피해 지역이 큰 외도동과 삼양동 지역의 주거용 토지이용면적이 줄어드는 반면, 침수피해가 적은 오라동, 예래동 지역의 주거용 토지이용면적이 늘어났다.

또한 줄어든 면적만큼 조림을 하였다고 가정하여 이산화탄소 흡수량을 계산한 결과, 분산 시나리오에서는 477,878 ton 이산화탄소 흡수량이 생성되었고, 압축 시나리오에서는 588,606 ton 이산화탄소 흡수량이 생성되었다. 분산 시나리오보다 압축 시나리오에서의 이산화탄소 흡수량이 많은 것으로 나타났으며, 이는 대기 중의 이산화탄소를 줄여 기후변화 완화에 기여하며, 더 나아가 기후변화에 따른 재난재해 피해도 줄어들 것으로 여겨진다.

따라서 본 연구에서는 일본에서 개발된 토지이용균형 모델을 적용하였고, 이러한 시도는 향후 토지이용을 통한 기후변화 완화에 대한 정책 수립에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 농림수산식품 생명산업기술개발사업(312028-2)에 의해 이루어졌으며, 환경부 「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었습니다. 또한 본 연구는 2014 상반기 기후변화학회 학술대회 특별 세션에서 논문 발표 우수상인 환경공단 이사장 상을 받았습니다.

REFERENCES

- Akiyoshi T, Taka U. 2001. Evaluation of flood mitigation countermeasures considering the interdependence between flood risk and land use. Web Site of First Annual IASA-DPRI Meeting.
- Civerolo K, Hogrefe C, Lynn B, Rosenthal J, Ku J-Y, 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. *Atmos Environ* 41:1803-1818.
- Chungbuk Development Institute. 2010. A plan on a land use model for carbon-reduced new city.
- Eo JH, Kim KT, Jung GS, Yoo HH. 2010. Analysis of carbon emissions and land use change for low - carbon urban management - focused on Jinju. *The Korea Society For Geospatial Information System* 18(1):129-134.
- Han HJ. 2011. Development of future land use scenarios consistent with climate change storylines. Korea Environment Institute.
- IPCC AR5 WG I. 2013. Climate change 2013.
- IPCC GPG. 2003. Good practice guidance for land use, land use change and forestry.
- Jang MJ, Shin, YC, Choi, HS, Kim TH. 2012. The analysis of relationship between urban size and CO₂ emissions considering urban characteristics. *Korea Urban Management Association* 25(4):57-87.
- Korea Forest Research Institute. 2010. Carbon emission factor by major species for forest greenhouse gas inventory.
- Lee DK, Park C. 2009. The analysis of potential reduction of CO₂ emission in soil and vegetation due to land use change. *The Korea Society For Environmental Restoration and Re-vegetation Technology* 12(2):95-105.
- Lee SH. 2011. Space allocation simulator in early urban design stage to reduce carbon emissions : Focused on the prediction of the travel distance using land use and transportation plan. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society* 12(11):5321-5329.
- Nakamichi K, Yamagata Y, Seya H. 2013. CO₂ emissions evaluation considering introduction of EVs and PVs under land-use scenarios for climate change mitigation and adaptation - Focusing on the change of emission factor after the Tohoku Earthquake -. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 10:1025-1044.
- NIMR. 2009. The study on the regional characteristics of climate change in Jeju island. Seoul.
- Park JC, Kim JY. 2010. Urban planning measurements in pursuit of a low-carbon green city - Case analyses of basic planning elements and spatial urban structures in Korea and Japan. *Journal of the Korean Regional Development Association* 22(1):17-52.
- U. S. Environmental Protection Agency (EPA). 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.
- Veldkamp A, Kok K, de Koning GHJ, Verburg PH, Priess J, Bergsma AR. 2001. The need for multi-scale approaches in spatial specific land use change modelling. *Environmental Modeling and Assessment* 6:111-121.
- Yamagata Y. 2012. Towards climate risk resilient cities: Spatially explicit land-use scenarios. *Climate Change* 212-213.
- Yamagata Y, Seya H, Kumiko N. 2013a. Creation of future urban environmental scenarios using a geographically explicit land-use model: A case study of Tokyo. *Annals of GIS* 19(3):153-168.
- Yamagata Y, Seya H. 2013b. Simulating a future smart city: An integrated land use-energy model. *Applied Energy* 112: 1466-1474.