

토지이용변화에 따른 식생 및 토양의 이산화탄소 저감잠재량 분석*

이동근¹⁾ · 박 찬²⁾

¹⁾ 서울대학교 조경·지역시스템공학부 · ²⁾ 서울대학교 대학원

The Analysis of Potential Reduction of CO₂ Emission in Soil and Vegetation due to Land use Change*

Lee, Dong-Kun¹⁾ and Park, Chan²⁾

¹⁾ Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University

²⁾ Graduate School, Seoul National University

ABSTRACT

Land Use Changes (LUCs) have effects on greenhouse gas emissions and carbon stocks in soil and vegetation. Therefore, predictions for LUC are very important for achieving quantitative targets of CO₂ reduction rates. Some research exists on carbon fluxes and carbon cycles to estimate carbon stocks in terrestrial ecosystems in Korea. However, these researches have limitations in terms of helping us understand future potential reductions of CO₂ that reflect the influence of LUC. The aim of this study is to analyze the reduction levels of CO₂ emissions while considering LUC scenarios that effect carbon fluxes for LCS basic study in the year 2030. In this study, a common approach to model the effects of LUC on carbon stocks is the use of CA-Markov technical process with LUC patterns in the past. Potential reduction of CO₂ is calculated by change of land use that contains different soil organic carbon, each land use type, and biomass in vegetation. An IPCC analytical method of natural carbon sink and coefficient results from previous study in Korea is used as a calculation method for potential reduction of CO₂. As a result, 12,419 KtC will be reduced annually, which is 8.3% percent of 2005 CO₂ emissions in Korea. This will result in 3,226 hundred million won of economic efficiency. In

* 본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(07첨단도시 A01)에 의해 수행되었습니다.

Corresponding author : Park, Chan, Graduate School, Seoul National University,

Tel : +82-2-880-4885, E-mail : momo7@snu.ac.kr

Received : 1 April, 2009. Accepted : 19 April, 2009.

conclusion, conservation of natural carbon sinks is necessary even if the amount of potential reduction change is little.

Key Words : *Climate Change, Land Use Change, Carbon Sequestration, Biomass, Kyoto Protocol.*

I. 서 론

18세기 산업혁명 이후 대기 중 이산화탄소 농도가 높아짐에 따라 지구온난화로 인한 홍수, 가뭄, 사막화, 생태계 혼란, 이상 기후 등의 기후변화 문제가 발생하고 있다(IPCC, 1991). 최근에 발표된 IPCC 제4차 평가보고서(IPCC, 2007)에 의하면 대기 중 이산화탄소 농도는 산업혁명 이전 280ppm에서 2005년 379ppm으로 약 35% 증가하였으며, 지난 1세기 동안 지구 평균기온이 0.74℃ 상승하였다. IPCC는 이러한 이산화탄소의 농도 상승은 자연적인 현상이 아니라 인간의 활동에 의한 문제라고 규정하고 온실가스 증가에 따른 기후변화의 위협에서 벗어나기 위하여 1992년 브라질 리우에서 지구온난화 방지를 위한 온실가스 배출 규제를 담은 '기후변화에 관한 유엔 기본협약(United Nations Framework Convention on Climate Change)'을 체결하였다(UNFCCC, 1992).

기후변화에 관한 유엔 기본협약에도 불구하고 전지구적으로 도시개발 등의 토지이용변화로 인하여 매년 1.6기가 탄소톤의 탄소가 대기 중으로 배출되고 있으며(IPCC, 2000) 지난 1세기 동안 인간에 의해서 증가된 대기 중 이산화탄소 양의 35%가 도시의 건설이나 도로건설 등의 개발에 따른 토지이용변화에 의해 발생된다고 추정되고 있다(Turner et al., 2007). 토지이용변화는 식생 및 토양이 저장하고 있는 이산화탄소를 대기 중으로 배출시켜 대기 중 온실가스를 증가시키는 주요 요인으로 인식되고 있으며 생물종다양성, 수문인자 등을 변화시켜 생태계에 심각한 영향을 주고 있다(Turner, 1994; Foley et al., 2005). IPCC는 토지 이용 · 토지이용변화 · 산림(Land Use · Land Use

Change · Forest : LULUCF) 부문의 이산화탄소 저감량을 기후변화 협약 감축실적으로 인정하여 토지이용변화로 인한 이산화탄소의 배출량을 줄이고 자연생태계를 보호하기 위한 노력을 기울이고 있다(IPCC, 2000; UNFCCC, 2003). IPCC (2000)와 Schulp et al.(2008)은 토지이용변화의 경우 정책적으로 토지이용을 규제 등을 통해 조절할 수 있기 때문에 현재 식생 및 토양이 저장하고 있는 이산화탄소량 및 미래 토지이용 변화에 따른 저감잠재량 변화에 대한 현황파악이 중요하다고 제시하였다.

우리나라의 경우 다른 토지이용에 비해 산림이 차지하는 면적이 크기 때문에 대기 중 존재하는 이산화탄소를 흡수 · 저장할 수 있는 식생과 토양의 저감잠재량과 변화양상을 규명하는 것은 국가적인 정책수립에 있어서 상당히 중요한 의미를 갖는다(정진현 등, 1998; 이경학 등, 2001). 이경학 등(2001)과 국립산림과학원(2006) 등 일부 국내연구에서 식생 및 토양에 의한 이산화탄소 흡수 · 배출량을 파악하는 연구가 시도되어 의미 있는 결과를 도출하였다. 하지만 국내의 경우 토지이용변화에 따른 미래 변화양상을 파악하는 연구는 그 중요성에도 불구하고 상대적으로 미흡한 실정이다(안소은 · 한기주, 2004).

따라서 본 연구의 목적은 미래 토지이용변화에 따른 식생 및 토양의 이산화탄소 저감잠재량을 분석하는 것이다.

II. 연구의 방법

본 연구에서는 미래 토지이용변화에 따른 한국의 이산화탄소 저감잠재량 변화를 분석하기 위하여 토지이용변화 예측 모델링을 실시하고 그에

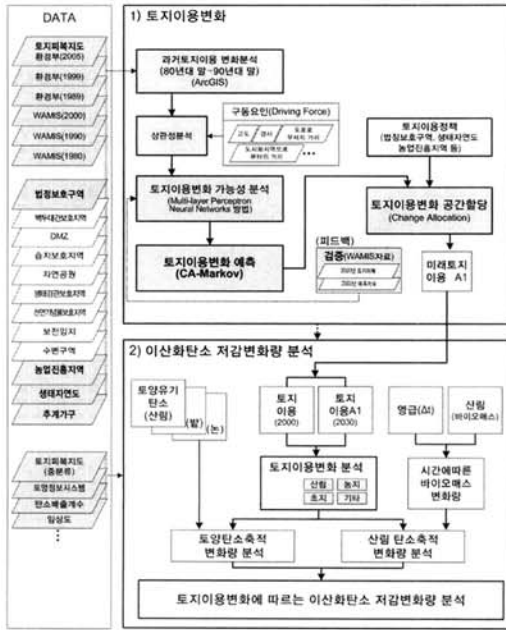


그림 1. 연구의 방법.

다른 식생 및 토양의 이산화탄소 흡수·배출량 변화를 분석하였다. 토지이용변화 모델링은 과거의 토지이용변화 패턴에 대한 분석과 구동요인과의 상관성 분석을 통해 미래 구동요인의 변화에 따른 토지이용변화 양상을 예측하였다. 이산화탄

소 저감잠재량의 변화량 분석은 IPCC 가이드라인에서 제시하는 방법론을 활용하여 식생 및 토양의 흡수·배출 변화량을 시·공간적으로 분석하였다(그림 1).

1. 토지이용변화 모델링

토지이용변화 모델링을 위해 환경부에서 구축한 1989년과 1999년 대분류 토지피복지도를 바탕으로 과거 변화양상 및 변화량을 파악하고 고도, 경사, 도로로부터의 거리, 도시화지역으로부터의 거리, 제한적 요인 등과 상관성 분석을 실시하였다. 상관성 분석은 통계적으로 다양한 변수들간의 독립성과 상관성의 근소한 차이를 파악하는데 있어 유용하게 사용되는 통계방법인 Cramer's V 분석방법을 활용하였다(Rees, 2008). 과거 토지이용변화에 대한 전이행렬 규칙과 구동요인과의 상관성분석 결과를 토대로 다양한 토지이용의 변화가능성을 종합적으로 검토하기 위하여 다층퍼셉트론인식론모델링 기법을 활용하여 각 토지이용별 미래 변화가능성 지도를 구축하였다(Mas et al., 2004). 최종적으로 과거 토지이용의 변화된 경향을 잘 반영하는 Markov기법과 시계열 공간자료

표 1. 토지이용변화 모델링에 사용된 제한/인센티브 요인.

구분	변수	모델에 사용된 형태	
제한적 요인	사회적 요인	추계가구(2000~2030)	밀도(%)
	생태자연도	등급별 변화 가능성 제한	
	백두대간보호지역	변화 가능성 제한	
	생태·경관보호지역	변화 가능성 제한	
	자연공원	변화 가능성 제한	
	야생동·식물보호구역	변화 가능성 제한	
	천연기념물보호구역	변화 가능성 제한	
	산림유전자원보호림	변화 가능성 제한	
	DMZ일원	변화 가능성 제한	
	보전임지(공익용 산지)	변화 가능성 제한	
습지보호지역	변화 가능성 제한		
수변구역	변화 가능성 제한		
농업진흥지역	변화 가능성 제한		

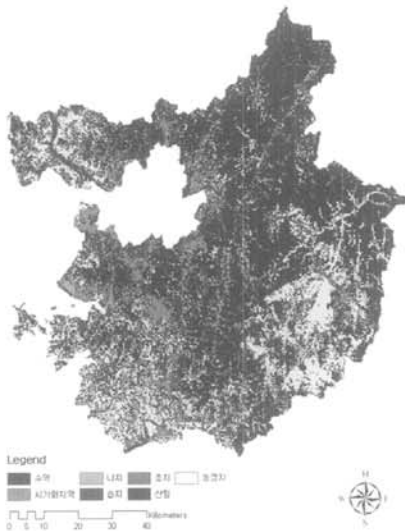


그림 2. 2000년 예측결과.

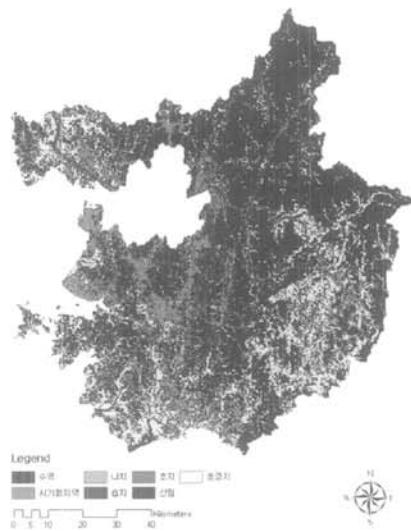


그림 3. 2000년 토지피복.
(출처 : www.wamis.go.kr)

의 변화양상을 인접한 격자의 거리, 방향 등을 고려하여 주변 격자의 상태를 지속적으로 변화시키는 Cellular Automata 기법이 결합된 CA-Markov 기법을 적용하여 토지이용변화의 복잡한 특성과 형태를 고려하여 2030년을 예측하였다(이용준 · 김성준, 2007; 안소라 등, 2008; Fang et al., 2005; Schulp et al., 2008). 토지이용변화 모델링에 있어서 미래 토지이용변화 가능성을 제한할 수 있는 법적보호구역과 농업진흥구역 등 표 1의 요소를 모델링에 반영하였다. 토지이용변화 예측 모형은 과거의 통계적 성장 패턴과 일치되어야 하고 추정치가 현실을 반영할 수 있어야 하기 때문에 기 구축되어 있는 토지피복자료와 예측된 토지피복자료를 비교·분석하여 모델의 유용성을 검토하였다. 본 연구에서 토지이용변화 모델링은 ArcGIS 9.2, IDRISI 15.0을 사용하였으며, 토지이용변화에 대한 GIS분석은 100m×100m 그리드 단위로 분석하였다.

2. 토지이용변화 모델링의 타당성 검토

토지이용변화모델의 타당성을 검토하기 위하여 Cross table 방법을 통해 변화면적을 비교하였다. 모델의 예측 및 정확성 계산을 위한 자료의

표 2. 모델링을 통한 예측자료와 실제자료의 면적비교
(단위 : km²)

<면적>	예측	실제	예측/실제
수역	153	132	1.159
시가화지역	658	635	1.036
나지	162	199	0.817
습지	34	48	0.716
초지	257	429	0.600
산림	4,216	4,139	1.019
농경지	2,383	2,283	1.044

일관성을 유지하기 위하여 국가수자원관리종합정보시스템에서 구축한 1980년, 1990년 토지피복 자료를 활용하여 모델링을 수행하고 예측된 2000년도 자료와 기 구축된 2000년도 자료를 비교하였다. Cross table 방법을 이용한 전체 공간적 일치도 분석결과 70.6%가 나타났다(표 2). 예측된 면적과 실제 면적을 비교한 결과 나지나 초지 등은 오차가 많이 발생하였으나 시가화지역, 산림, 농경지 등은 실제와 예측 값의 차이가 적은 것으로 나타났다. 국가 토지이용계획을 반영하지 못해 일산, 성남 등의 신도시에서 모델링 결과가 실제와 상이하였다(그림 2, 3). 하지만 본 연구에

서는 현재 변화양상을 기반으로 미래 변화를 예측하는 것이 목적이기 때문에 본 모델링 결과를 바탕으로 미래 이산화탄소 저감잠재량을 분석하는 것은 타당성이 있는 것으로 파악되었다.

3. 이산화탄소 저감잠재량 변화 분석

이산화탄소 저감잠재량 변화량은 IPCC 가이드라인에서 제시하는 방법론을 활용하여 식생 및 토양의 흡수·배출 변화량을 시·공간적으로 분석하였다. 이산화소 흡수·배출량 변화는 식생의 영급변화와 토지이용변화에 따른 식생의 바이오매스의 변화와 토양탄소의 변화를 고려하여 산출하였고, 이를 위해 2005년과 2030년의 토지이용의 공간적 변화를 파악한 후 토지이용변화에 의해 발생한 누적탄소 흡수·배출량을 추정하였다(그림 1).

이산화탄소 흡수량은 토지이용변화가 없이 산림으로 유지되는 지역 식생의 임상별 성장과 산림으로 토지이용이 변환되는 지역의 식생의 임상별 성장에 따른 바이오매스 증가량을 산출하여 이산화탄소 흡수량을 산출하였다. 임상에 따른 성장률은 국립산림과학원(2006)에서 제시하는 임상별 연간성장량 자료를 근거로 하여 침엽수림, 활엽수림, 혼효림별로 계산하였다. 식생으로 인한 이산화탄소 흡수량은 임상별 성장에 따른 바이오매스 증가와 전건(全乾)비중, 바이오매스 확장계수, 탄소 전환인자를 곱하여 산출하였으며 임업연구원(1996)에 제시된 산출계수를 적용하

였다. 본 연구에서는 연구결과의 불확실성을 줄이기 위하여 바이오매스에 의한 이산화탄소 축적량 산출시 시가화지역 내의 식생 및 가로수는 반영하지 않았고, 식생의 성장에 따른 이산화탄소 흡수·배출량이 달라질 수 있기 때문에 토지이용변화는 매년 동일하게 일어나는 것으로 가정하였다. 산림으로의 변화가 예측된 지역은 모두 조림된 것으로 가정하고 5년생 침엽수림이 식재되어 조림된 지역의 임령은 평균적으로 15년이 되는 것으로 가정하였다. 산림에서 타용도로 토지이용변화가 일어날 경우 식생이 모두 벌채되고 이로 인하여 이산화탄소가 배출되는 것으로 간주하였으며, 잔가지나 뿌리 등의 요소는 전체 바이오매스의 60%만 썩는 것으로 가정하였다. 임상별로 썩는 바이오매스는 이경학 등(2001)의 자료를 활용하였다. 토지이용변화에 따른 흡수·배출량은 2005년과 2030년의 토지이용면적에 따른 토양탄소 변화량을 파악하는 방법론을 적용하고 토지이용별 토양탄소량은 이경학 등(2001)의 토지이용에 따르는 토양탄소량을 사용하여 산출하였다. 토지이용유형은 크게 산림, 논, 밭, 초지, 기타로 구분하여 계산하였다.

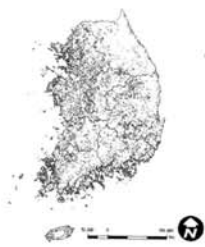
III. 결과 및 고찰

1. 토지이용변화 분석 및 상관성 분석

1989년과 1999년 사이의 토지이용변화를 분석

표 3. 과거 토지이용 변화량 분석결과(1989년, 1999년).

분류항목	1989		1999		증감율 (%)
	면적(km ²)	비율(%)	면적(km ²)	비율(%)	
시가화지역	2,133	2.1	3,456	3.4	62.0
나지	1,293	1.3	1,679	1.7	29.9
습지	625	0.6	399	0.4	-36.3
초지	3,797	3.8	4,377	4.4	15.3
산림지역	66,976	66.8	66,876	66.7	-0.1
농업지역	23,783	23.7	21,818	21.8	-8.3
수역	1,690	1.7	1,690	1.7	-
합계	100,297	100.0	100,297	100.0	



<변화발생지역>

한 결과 전체 국토면적 중 41.1%의 토지에서 토지이용변화가 발생하였다(표 3, 그림 4a). 각 토지이용별 최종 면적을 비교한 순 변화는 21.0%가량 발생한 것으로 파악되었다. 이 중 시가화지역 면적은 농경지와 산림이 시가화지역으로 전환되어 1989년 대비 1,314km²가 늘어났다(그림 4c). 총 8,631km²의 농경지가 산림, 초지, 시가화지역 등으로 전환되었다(그림 4a). 하지만 산림 및 초지 일부부지역의 개간과 함께 일부 나지나 시가화지역이 농경지로 전환되면서 최종적으로 2,024km² 면적의 농경지가 줄어드는 것으로 나타났다(그림 4a, 4d). 산림의 경우 시가화지역, 초지, 농경지

등으로 전환되면서 6,687km²의 면적이 줄어들었고, 일부 농경지와 초지의 재산림화로 인하여 6,587km²의 면적이 늘어나 결과적으로 100km² 순감소를 보였다(그림 4e). 산림은 농경지와 초지로 전환되는 비율이 높았으며, 개발로 인해서 727km²의 면적이 시가화지역 및 나지로 전환되었다(그림 4e). 초지의 경우 565km²의 순 증가를 보였으며 이는 산림과 농경지가 초지로 전환된 결과로 파악되었다(그림 4f).

토지이용의 미래 변화양상을 파악하기 위해 토지이용변화가 일어난 지역과 구동요인과의 Cramer's V 상관성 분석결과 구동요인으로 선정된 고도, 경

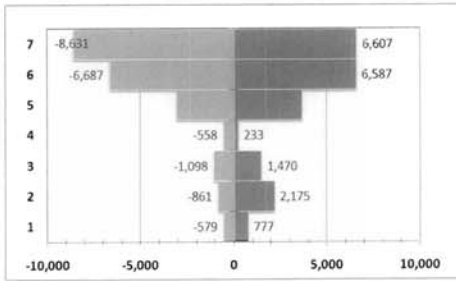


그림 4a. 각 토지이용별 변화량.

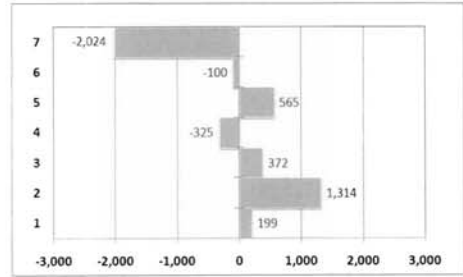


그림 4b. 각 토지이용별 순변화량.

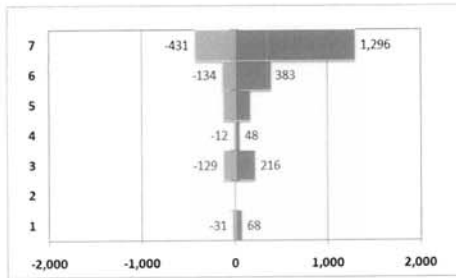


그림 4c. 시가화지역 변화양상.

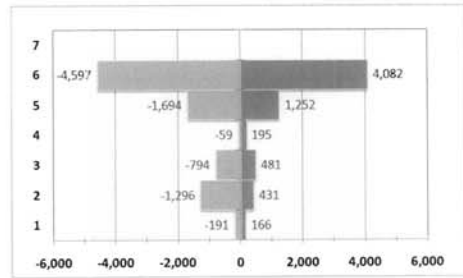


그림 4d. 농경지 변화양상.

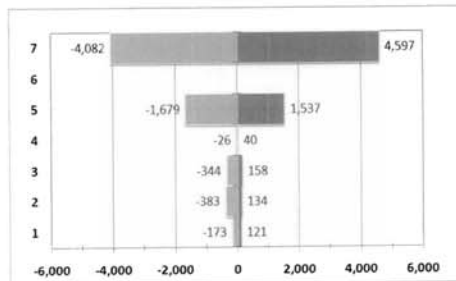


그림 4e. 산림 변화양상.

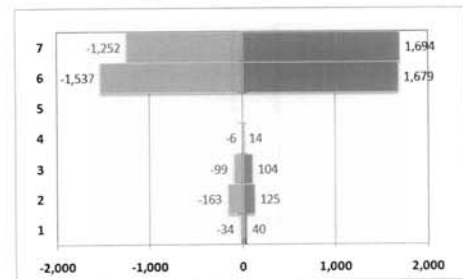


그림 4f. 초지 변화양상.

※ 1 : 수변구역, 2 : 시가화건조지역, 3 : 나지, 4 : 습지, 5 : 초지, 6 : 산림, 7 : 농경지(단위 : km²)

그림 4. 토지이용별 변화량 및 변화양상.

표 4. 대상지와 구동요인과의 상관성.

	고도	경사	도로로부터의 거리	도시화지역으로부터의 거리	제한구역과의 상관성
전체	0.111*	0.119*	0.057*	0.106*	0.194*
시가화건조지역	0.199*	0.216*	0.112*	0.063*	0.367*
나지	0.229*	0.214*	0.125*	0.436*	0.400*
습지	0.125*	0.121*	0.067*	0.155*	0.393*
초지	0.152*	0.083*	0.091*	0.039*	0.161*
산림지역	0.114*	0.128*	0.060*	0.092*	0.465*
농업지역	0.620*	0.686*	0.289*	0.493*	0.705*

*P<0.001

사, 도로로부터의 거리, 도시화지역으로부터의 거리 등의 변수는 토지이용변화와 상관성이 있는 것으로 파악되었다. 특히 농경지의 변화는 고도와 경사, 도시화의 지역으로부터의 거리와 밀접한 관계를 보였다(표 4).

2. 미래 토지이용변화 예측

도시화가 지속되면서 시가화지역은 1989년 시가화면적에서 110%가 증가한 7,264km²가 되었다. 그에 반해 농업지역과 산림지역은 도시화에 따른 개발로 인하여 면적이 줄어들었다. 산림면적은 2.2% 줄어들었으며, 산림, 농경지, 초지, 나지 등이 모두 시가화지역으로 전환되는 것으로 나타났다(표 5). 토지이용변화 지도 분석결과 낮

은 평야지대를 중심으로 도시화가 진행되고 일부 농업진흥지역 등의 토지이용변화 규제지역도 시가화지역으로 전환되는 것을 파악할 수 있었다. 서울, 부산, 대구 등의 대도시를 위주로 인근 지역이 많이 개발되었으며 특히 대도시와 가깝고 낮은 평야지대가 많은 경기북부와 남부, 충청남도, 전라북도를 위주로 도시화가 진행되었다. 또한 서울-부산을 잇는 고속도로 주변지역을 중심으로 도시화가 심화되었다(그림 5).

3. 미래 토지이용변화에 따른 이산화탄소 저감잠재량 분석

산림식생의 성장으로 인한 바이오매스 증가와 총 탄소량은 표 6과 같다. 식생의 총 탄소량을 추

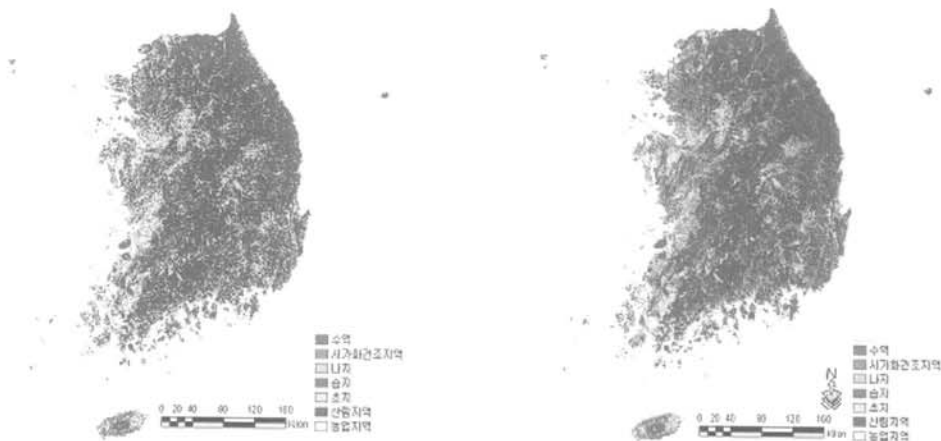


그림 5. 토지이용변화 예측결과(좌 : 1999년 현재, 우 : 2030년).

표 5. 1999년과 2030년의 토지이용 비교결과.

분류항목	1999년		2030년(A1)		증감율 (%)
	면적(km ²)	비율(%)	면적(km ²)	비율(%)	
시가화건조지역	3,456	3.4	7,264	7.2	110.2
나지	1,679	1.7	1,444	1.4	-14.0
습지	398	0.4	413	0.4	3.8
초지	4,377	4.4	4,068	4.1	-7.1
산림지역	66,881	66.7	65,417	65.2	-2.2
농업지역	21,817	21.8	19,949	19.9	-8.6
수역	1,689	1.7	1,742	1.7	3.1
합계	100,297	100.0	100,297	100.0	-

정한 결과 침엽수림으로 인한 탄소 저감잠재량이 높은 것으로 나타났다. 하지만 누적 입목축적량 대비 총 탄소량을 감안하면, 활엽수림이 탄소저감에는 더 효율적인 것으로 나타났다. 식생성장으로 인한 총 탄소흡수량을 1년간 저감잠재량으로 환산하여 2005년 우리나라 이산화탄소배출량 161백만 탄소톤¹⁾의 8.3%에 해당한다.

토지이용변화로 인한 토양탄소의 변화로 인하여 44천 탄소톤이 흡수되는 것으로 나타났다. 또한 2030년도에는 총 581,573 탄소 톤의 탄소가 토양 내에 저감되어 있는 것으로 나타났다(표 8).

2006년부터 2030년까지의 25년간 이산화탄소 저감잠재량은 표 9와 같다. 미래 LULUCF 부문의 누적 탄소 저감잠재량은 3억 탄소톤이 넘었

표 6. 입목축적량 및 총 탄소저감량(25년간).

구 분	침엽수림	활엽수림	혼효림	소계
면적(천ha)	2,831	1,701	1,683	6,215
누적 입목 축적량(천m ³)	358,973	139,608	177,121	675,702
총 탄소흡수량(천탄소톤)	139,293	96,061	94,925	330,279

토지이용변화에 따라 수반되는 산림벌채로 인하여 발생하는 탄소배출량은 표 7과 같다. 토지이용변화로 인한 벌채면적은 침엽수림 지역이 가장 많았고, 이에 따른 총 탄소배출량은 34,608천 탄소톤이었다. 또한 산림이 농경지로 전환되면서 가지나 뿌리 등 잔존 바이오매스에 의해 많은 양의 이산화탄소가 배출되는 것으로 파악되었다. 잔존 바이오매스에 의한 배출량은 25년간 총 7,689천 탄소톤으로 전체 탄소 저감잠재량의 2%로 추정되었다.

다. 이는 현재 금융시장에서 거래되고 있는 탄소 거래 가격인 1톤당 17유로²⁾(2008월 11월 평균가격)로 추산하여 25년으로 나누면, 매년 3,226억 원 정도의 경제성³⁾을 지니고 있는 것으로 나타났다. 하지만 토지이용변화로 인해 25년간 총 19,802천 탄소톤의 탄소가 배출되는 것으로 파악되었다.

2) <http://www.pointcarbon.com>(환율을 적용하여 17 유로를 28,000원으로 계산함).

3) 조림비용 산출방법의 복잡성으로 인하여 조림에 의해 저감되는 양을 제외하고 경제성을 검토함.

1) <http://www.gihoo.or.kr>

표 7. 산림벌채로 인한 탄소 누적배출량(25년간).

구 분	침엽수림	활엽수림	혼효림	소계
벌채면적(천ha)	303	82	129	514
식생 성장량(천m ³)	21,537	3,550	7,367	32,454
누적 바이오매스량(천m ³)	44,750	10,154	19,137	74,041
총 탄소배출량(천탄소톤)	17,365	6,987	10,256	34,608

표 8. 산림벌채로 인한 탄소 누적배출량(25년간).

토지이용	2005년 (천ha)	2030년 (천ha)	2005년 탄소량 (천탄소톤)	2030년 탄소량 (천탄소톤)	순증감 (천탄소톤)
논	1,452	1,127	87,867	68,192	-19,675
밭	1,108	860	50,851	39,465	-11,386
산림	6,215	6,517	422,014	442,480	20,466
초지	187	405	8,588	18,612	10,024
기타	1,062	1,115	12,209	12,824	615
계				581,573	44

표 9. 25년간 이산화탄소 저감잠재량(누적총량).

구 분	흡수원		배출원		토양에 의한 탄소 흡수량	토지이용 변화에 따른 CO ₂ 배출량	토지이용 변화에 따른 CO ₂ 순변화량	총 계 (1년)
	식생 성장	신규 조림	산림 벌채	잔존 바이오매스				
저감잠재량 (천탄소톤)	330,279	22,450	-34,607	-7,689	44	-42,252	-19,802	310,477 (12,419)

IV. 결 론

본 연구에서는 우리나라의 저탄소사회 구현을 위한 저감목표 산정 및 전략수립을 위해서 생물종 다양성, 탄소순환에 영향을 미치는 토지이용변화를 고려한 자연흡수원의 저감잠재량을 분석하였다.

우리나라 식생 및 토양은 국가적 차원에서 살펴볼 때 상당한 많은 양의 이산화탄소를 저감하고 있는 것으로 나타났다. 토지이용변화에 따른 이산화탄소 저감잠재량 분석결과 LULUCF부문의 이산화탄소 저감잠재량은 우리나라 2005년 이산화탄소 배출량의 8.3% 정도인 12,419천 탄소톤으로 나타났으며, 이는 3,226억 원의 경제적

가치를 지니고 있는 것으로 분석되었다. 하지만 토지이용변화로 식생 및 토양에 저감된 19,802천 탄소톤의 이산화탄소가 25년간 공기 중으로 배출되는 것으로 나타났다. 토지이용변화로 인한 식생 및 토양의 이산화탄소 저감잠재량 변화는 전체 흡수량에 비해서 다소 적은 편이지만 토지이용변화의 잠재적 손실을 감안한다면 IPCC에서 권고하듯이 토지이용변화를 최소화하고, 토양 및 산림식생의 보호하고, 관리방안을 모색해야 한다. 즉, 토지이용측면에 있어서는 과거의 개발 패러다임에서 벗어나 경제성장 중심의 개발패턴에서 나타났던 도시화 지역의 외연확장이 아닌 도시화 지역의 공간효율성을 높이는 방안으로 재개발하여 가용용지를 늘려나가는 전략이 필요하다

고 판단된다. 또한 장기적인 시각에서 이산화탄소 저감잠재량을 높이기 위해서 도시성장관리와 함께 국가차원의 토지이용변화를 조정할 수 있는 방안이 마련되어야 한다고 생각된다.

본 연구는 토지이용변화로 인한 이산화탄소 저감잠재량의 변화를 분석한 연구로, 도출된 연구결과는 매우 의미 있다고 사료된다. 그러나 토지이용변화 예측의 불확실성을 줄이고 보다 정확한 연구결과를 위해서는 토지이용변화 모델링에 우리나라의 경제성장의 양상 및 향후 국가개발계획이 반영되어야 할 것으로 보인다. 또한 토지이용변화 분석의 정확도를 높이기 위해서는 분석을 위해 사용된 데이터의 분류기준 및 경계의 구분이 명확하여야 할 것이다.

인 용 문 헌

국립산림과학원. 2006. 기후변화협약 대응 산림 부문 이산화탄소 통계 체계 구축.

산업자원부. 2002. 기후변화협약 및 교토의정서 대응전략 연구, 에너지경제연구원.

안소라 · 이용준 · 박근애 · 김성준(2008) 미래토지이용 및 기후변화에 따른 하천유역의 유출 특성 분석, 대한토목학회지 28(2) : 215-224.

안소은 · 한기주. 2004. 탄소고정을 위한 토지이용모델 활용방안에 관한 연구, 한국환경정책 · 평가연구원.

이경학 · 손영모 · 김영수. 2001. 임업 및 토지이용부문의 온실가스 흡수 및 배출 현황, 임산에너지 20(1) : 53-61.

이용준 · 김성준(2007) 미래 토지이용변화 예측을 위한 개선된 CA-Markov 기법의 제안 및 적용, 한국토목학회논문집 27(6) : 809-817.

임업연구원. 1996. 한국사람과 이산화탄소, 임업연구원 연구자료 126호.

정진현 · 김춘식 · 이원규. 1998. 지역별, 임분별 산림토양내 탄소량 추정, 산림과학논문집 57 : 178-183.

Fang, S., Gertner, G. G., Sun, Z., and Anderson, A. A. 2005. The impact of interactions in spatial simulation of the dynamics of urban sprawl, *Landscape and Urban Planning*, 73 (4) : 294-306.

Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., and Snyder, P. K. 2005. Global consequences of land use, *Science*, 309(5734) : 570-574.

IPCC. 1991. The First Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC. 2000. Land Use, Land-Use Change and Forestry, A Special Report of the IPCC. Cambridge University Press, 377.

IPCC. 2007. IPCC Fourth Assessment Report : Climate Change 2007.

Mas, J. F., Puig, H., Palacio, J. L., and Sosa-Lo'pez, A. Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks, *Environmental Modelling & Software*, 19 : 461-471.

Rees, W. G. 2008. Comparing the spatial content of thematic maps *International Journal of Remote Sensing*, 29(13) : 3833-3844.

Schulp, C. J. E., Nabuurs, G. J., and Verburg, P. H. 2008. Future carbon sequestration in Europe : Effects of land use change, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127(3-4) : 251-264.

Turner II, B. L. 1994. Local faces, global flows : the role of land use and land cover in global environmental change, *Land Degradation and Rehabilitation*, 5(2) : 71-78.

Turner II, B. L., Lambin, E. F., and Reenberg, A.

2007. Land change science special feature : the emergence of land change science for global environmental change and sustainability, Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(52) : 20666-20671.

UNFCCC. 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change, Article2, [http : // unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf)
[http : //www.gihoo.or.kr](http://www.gihoo.or.kr)
[http : //www.pointcarbon.com](http://www.pointcarbon.com)