

토지피복변화에 따른 행정구역별 토양 탄소 변화량 산정

Calculation of Soil Carbon Changes by Administrative District with Regard to Land Cover Changes

추 인 교¹⁾ · 성 연 정²⁾ · 쉬크샤 바스톨라²⁾ · 정 영 훈[†]

Inkkyo Choo · Yeonjeong Seong · Bastola Shiksha · Younghun Jung

Received: February 8th, 2021; Revised: February 18th, 2021; Accepted: February 25th, 2021

ABSTRACT : This study aimed to calculate the amount of change in soil carbon due to changes in land cover. Among the various soil carbon models, the InVEST Carbon Storage and Sequestration module was used. LULC is one of the leading factors affecting soil carbon. Therefore, this study compared the total amount of soil carbon due to changes in LULC in 2000 and 2010 across the Republic of Korea, and calculated the changes in each administrative district (city). Changes in LULC in Korea were mainly due to the increase in developed and dry areas and the decrease in grassland, indicating changes in soil carbon. The total amount of soil carbon changes in South Korea has been reduced by 11.48 (millions) in 10 years. The amount of soil carbon by administrative region decreased in most cities and provinces, but Jeju Island, in exception, showed an increase in soil carbon. Among the cities and provinces except Jeju Island, Seoul showed the smallest decrease, with a decrease of 0.033 (million t). On the contrary, the largest number of attempts to decrease was to Gyeongsangbuk-do, which saw a total decrease of 2.893 (million t). Jeju Island is the only soil carbon-increasing area with an increase of 0.547 (millions) and the agricultural area has increased 2.1 times in 10 years. In the case of soil carbon, the construction of ground observation data at the national unit is insufficient, and verification will need to be carried out through linked analysis using multiple models in the future.

Keywords : LULC, Soil carbon, InVEST, Carbon storage

요 지 : 본 연구는 토지피복의 변화에 따른 토양 탄소의 변화량을 산정하고자 하였다. 다양한 토양탄소 모형 가운데 InVEST Carbon Storage and Sequestration 모듈을 사용하였다. 토지피복은 토양 탄소에 영향을 주는 대표적인 인자 중 하나이다. 따라서 본 연구에서는 대한민국 전역을 대상으로 2000년과 2010년의 토지피복 변화에 따른 토양 탄소의 총량을 비교하였으며, 각 행정구역별(시도)의 변화량을 산정하였다. 대한민국의 토지피복 변화는 주로 시가 및 건조지역의 증가와 초지의 감소 등으로 나타났으며, 이로 인한 토양 탄소의 변화를 나타냈다. 대한민국의 총 토양 탄소 변화량은 10년 사이 11.48(million t) 감소한 것으로 나타났다. 행정구역별 토양탄소량은 대부분의 시도에서 감소를 나타냈으나, 예외적으로 제주도는 토양탄소량이 증가한 것으로 나타났다. 제주도를 제외한 시도 중 감소량이 제일 적은 시도는 서울로 나타났으며, 감소량은 0.033(million t)으로 나타났다. 반대로 가장 많은 감소량을 보인 시도는 경북으로 총 2.893(million t)이 감소하였다. 제주도는 유일한 총 토양 탄소 증가 지역으로 0.547(million t)이 증가하였으며, 10년 사이 농업지역이 2.1배 증가함을 보였다. 토양탄소의 경우 전국단위의 실측 자료 구축이 부족함을 보이며, 추후 다중 모형을 이용하여 연계분석을 통해 검증을 진행해야 할 것이다.

주요어 : 토지피복, 토양 탄소, InVEST, 탄소저장

1. 서 론

최근 지구 온난화로 인한 전 세계적 기후변화에 대해 심각성을 인지하고 이를 해결하기 위한 의견이 나오고 있다. 이에 선진국과 개도국 모두 참여한 파리협정에서 지구 평균 온도 상승을 2°C 보다 아래로 유지하고, 나아가 1.5°C로 억제하기 위함을 목표로 협정이 발효되었다. 이와 관련하여 스웨덴, 영국, 프랑스, 덴마크, 뉴질랜드, 헝가리 등 6개국은

탄소중립을 이미 법제화 하였으며, 중국, 일본 등 주요국들도 탄소중립 목표를 선언하였다(Ministry of Culture, Sports and Tourism, 2020). 국내에서도 2020년 탄소중립을 처음 선언하였으며 2050 탄소중립 추진전략 발표와 2050 장기저탄소발전전략(LEDS), 2030 국가온실가스감축목표(NDC)의 정부안이 확정되었다(Ministry of Culture, Sports and Tourism, 2020). 국외의 사례로 호주의 경우 장기 기후 계획 개발, 온실가스 배출량 규제 및 보고 등 탄소배출권 방법론을 결

1) Graduate Student, Department of Advanced Science and Technology Convergence, Kyungpook National University

2) Ph.D Student, Department of Advanced Science and Technology Convergence, Kyungpook National University

† Assistant Professor, Department of Disaster Prevention and Environmental Engineering, Kyungpook National University (Corresponding Author : y.jung@knu.ac.kr)

정하고 지침서를 다루어 기후변화에 대응할 수 있도록 정책을 수립하였다(Australian Government Department of the Environment and Energy, 2018).

일반적으로 토양 탄소는 토양 내에 고체 또는 수용액 속에 유기물·무기물 형태로 저장된 탄소를 의미한다. 토양 유기 탄소는 느린 속도로 분해되면서 장기간 토양 속에 존재하며 지표면 위 토양 탄소의 저장과 대기 CO₂와의 관계를 조절하는 중요한 역할을 하며, 지구 온난화로 인한 기후변화 및 생물다양성과 긴밀한 연관이 있다(김동엽 & 이창환, 2005). 기후변화는 토양 탄소의 저장과 토양 유기 탄소의 분해에 영향을 미치는 중요 요인이며(Wiesmeier et al., 2019), 그로 인해 기후변화에 따른 산림생태계의 변화 양상 및 탄소흡수량 변화 등을 보다 정밀하게 예측하여 지구온난화현상을 저감시키는 노력이 필요하다(Kwon et al., 2012). 이렇듯 토양 탄소는 탄소 배출 저감 등에 중요한 요인으로 작용하고, 토양 내 탄소 저장량을 산정하여 탄소 배출 저감 대책 및 기후변화 대비에 하나의 지표로 사용되어왔다.

토양 탄소는 토양의 속성과 이용에 따라 저장량이 달라질 수 있다. 특히, 인간의 활동으로 인하여 변화하는 토지피복은 토양 탄소 저장량의 변동성에 영향을 주는 주요한 원인 가운데 하나이다. 일반적으로 농업지역에서 산림지역으로 변하는 경우 토양 탄소의 저장량은 높아지며(Son & Lee, 2001), 토지피복도에서 바이오매스의 형태로 탄소를 저장할 수 있는 수목과 고사목 등을 다수 포함하고 있는 산림이 중요 역할을 할 수 있다. 그러나 최근 국내에서는 도시 개발, 하천 사업 등의 많은 개발로 인한 환경변화가 이루어지고 그로 인한 토지피복의 변화가 급진적으로 진행되고 있다(Roh et al., 2016). 그 중 주거지 및 시가지의 증가로 인해 산림지역 또는 초지 등이 감소함으로써 토양 탄소의 손실이 발생할 것이고, 손실은 곧 탄소 배출에 연관되어 지구온난화를 가속할 것이다. 따라서 개발에 앞서 체계적인 계획을 통해 토양 탄소의 손실을 최소화해야 할 필요가 있다.

전 세계적으로 토양 탄소 산정에 관한 연구는 오랫동안 활발히 진행되고 있다. 영국을 대상으로 RothC 모델과 LUC (Land use change)를 이용하여 1990년과 2000년 사이 6488kt C의 토양 탄소 플럭스를 산정하였으며(Falloon et al., 2006), 중국의 경우 기후, 토양 및 식생 데이터를 기반으로한 CEVSA 기후변화모델을 사용하여 중국의 식생 및 토양 탄소 저장량을 추정하였으며, 북부와 남부를 비교하여 기후변화와의 연관성도 나타내었다(LI et al., 2004). 또한 네팔의 Bagmati 유역을 대상으로 InVEST Carbon 모듈을 사용하여 1990년과 2010년의 토양 탄소 저장량을 산정하고 비교한 연구가

있다(Bastola et al., 2019). 국내에서는 위성영상, DEM 자료 등을 이용한 회귀 크리깅 기법을 이용하여 지상부 바이오매스의 탄소저장량을 추정하는 사례가 있으며(Park et al., 2012), 토양정보 DB와 경험식 공식을 이용하여 각 토양통의 유기 탄소 저장량을 산정하고 정밀토양도에 적용하여 우리나라의 토양 유기 탄소의 저장량을 산정하였다(Lee et al., 2019). 또한 도시공원 일몰제에 따른 탄소 고정량의 변화를 평가하기 위해 서울의 종로구를 대상으로 InVEST Carbon 모듈을 이용하여 탄소고정량과 경제적 가치 환산을 산정하였다(Choi & Lee, 2020). 이렇듯 국내외적으로 토양탄소에 대한 연구는 과거에서부터 계속 진행되어왔으며, 현재에도 활발하게 연구되는 분야 중 하나이다.

따라서 본 연구는 대한민국 행정구역별 토지피복의 변화로 인한 토양 탄소의 변화량을 산정하여 비교하고자 수행되었다. 본 연구의 목표는 개발 정도에 따른 토지피복변화가 토양 탄소 변화량에 미치는 영향을 정량화하는 것이다. 이를 위해서 다른 모델과 비교하여 상대적으로 구동이 간단한 InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) 모델의 Carbon Storage and Sequestration 모듈을 사용하여 2000년도와 2010년의 토지피복변화에 대한 행정구역별 토양탄소량을 산정하고 각 산정된 값을 비교하였다.

2. 연구방법

2.1 대상지역

토지피복변화에 따른 토양 탄소 변화량을 산정하기 위한 대상지역으로 대한민국 전역을 선정하였다(Fig. 1). 최근 대한민국 전역에서 빈번하게 개발이 이루어지기에 시도 단위의 행정구역별로 토지피복 및 이용의 변화에 따른 토양 탄소 변화량을 비교하였다.

2.2 InVEST를 이용한 토양탄소 산정

InVEST는 다양한 시나리오를 바탕으로 비교적 간단하게 다양한 생태계 서비스를 정량화할 수 있는 모델이다(Tallis & Polasky, 2009; Bastola et al., 2020). 본 연구에서는 생태계 서비스 가운데 하나인 토양탄소의 변화량을 산정하기 위해 InVEST 모델을 사용했다. InVEST 모델은 Natural Capital Project에서 개발한 오픈 소스 소프트웨어 모델로, 해당 모델에는 탄소의 저장 및 격리, 연간 물 생산량, 파동 에너지 생산, 작물 생산량 등 여러 모듈이 포함되어있다. 이 중 InVEST

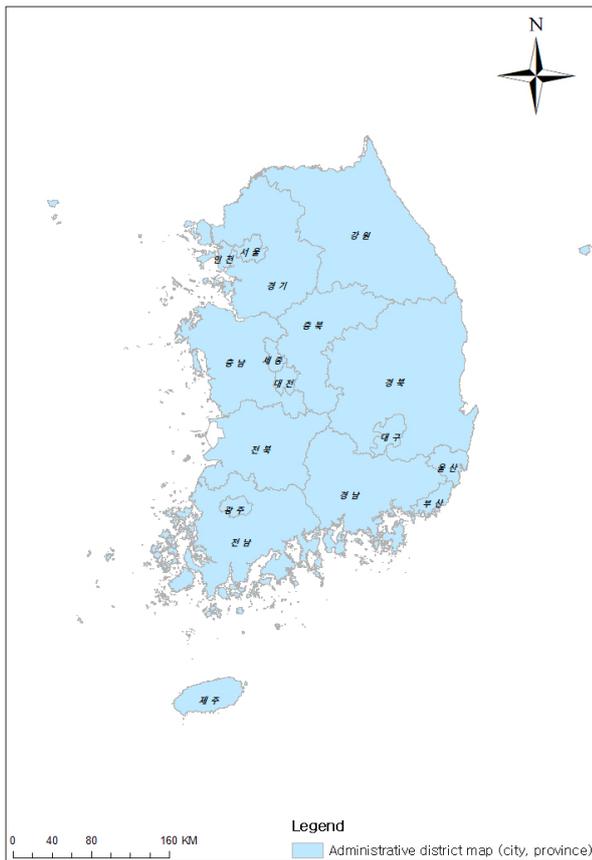


Fig. 1. Study area

Carbon Storage and Sequestration 모듈은 지상부 바이오매스(C_{above}), 지하부 바이오매스(C_{below}), 토양(C_{soil}), 고사목(C_{dead}) 등 4개의 탄소 풀의 크기와 LULC(Land use land cover)의 분류 및 범례에 따라 풀에 저장된 탄소의 양 또는 격리된 탄소의 양을 각 래스터파일의 픽셀별로 추정하는 모듈로, 둘 이상의 토지피복도를 활용하면 토지피복의 시간 변화에 따른 탄소저장량의 변화량을 추정할 수 있다. 모듈의 출력은 픽셀 당 탄소 Mg으로 산정되며, 경제데이터를 활용하면 시간에 따라 격리된 탄소의 시장가치를 산정할 수 있다. 토지피복의 범례별 주어진 셀의 탄소 저장량 계산식은 Eq. (1)과 같다.

$$C_{m,i,j} = A*(C_{a_{m,i,j}} + C_{b_{m,i,j}} + C_{s_{m,i,j}} + C_{d_{m,i,j}}) \quad (1)$$

A는 그리스 셀의 면적(m^2)을 의미하며, 각각의 항(C)은 4개의 탄소 풀 유형, m은 토지이용 유형, ij는 그리스 셀을 의미한다(Sharp et al., 2018).

2.3 자료

InVEST모델로 토양탄소를 산정하기 위하여 구동 기간의 토지피복 래스터파일과 탄소 풀 파일이 입력자료로 요구

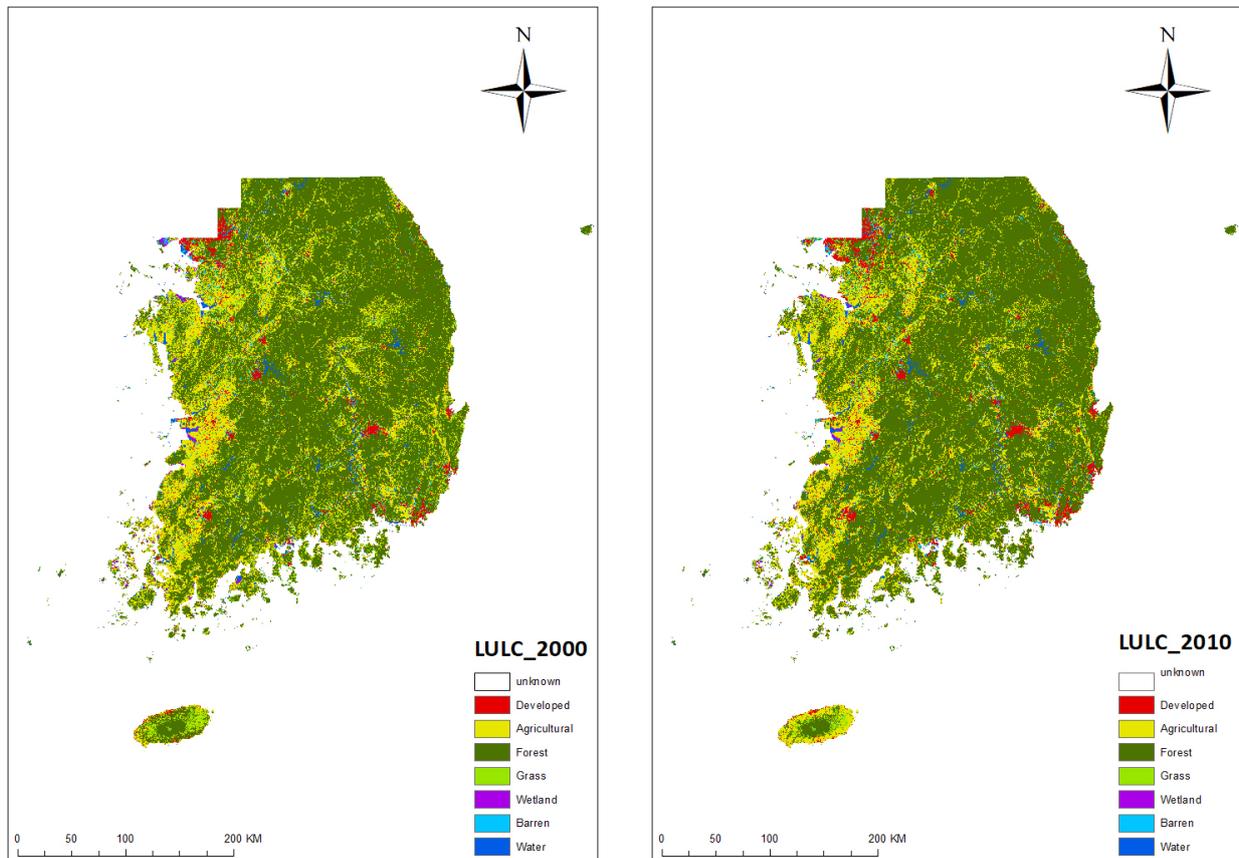


Fig. 2. Land use and land cover for 2000 and 2010

된다. 토지피복 래스터 파일의 경우 환경부의 환경공간정보 서비스에서 해상도 30M, 1:50000 도곽단위로 구축된 전국 대분류 2000년도와 2010년도의 토지피복지도를 사용하였다. 환경공간정보서비스에서 제공하는 토지피복도는 서울, 인천, 경기도, 강원도의 일부 북부 지역은 접경지역으로 해당되어 제공하지 않지만, 각 시간별 자료의 통일성을 위해 사용하였고(Fig. 2), 탄소 풀 자료(Table 1)는 한국환경정책 평가원(KED)에서 제공받아 사용하였다(김충기 외, 2018; Lee et al., 2016). 각각의 토지피복도를 비교하면, 가장 많은 증가율을 보인 부분은 시가 및 건조지역으로 2000년에 비해 746,333m² 증가로 총 22.04%가 증가하였다. 반대로 가장 많은 감소율을 보인 부분은 초지로 2000년에 비해 1,548,700m² 증가로 총 34.99%가 감소함을 나타낸다(Table 2).

Table 1. Carbon pool data (Mg/ha)

LULC_Name	C_above	C_below	C_soil	C_dead
Unknown	0	0	0	0
Developed	0	0	0	0
Agricultural	0	0	66.05	0
Forest	53.59	17.36	47.22	11.79
Grass	0.33	0.89	88.2	0.2
Wetland	0	0	88	11
Barren	0	0.33	0.33	0
Water	0	0	0	0

Table 2. Change LULC (m²)

LULC_Name	Area_2000	Area_2010	Change	% Change
Unknown	231,231,825	231,221,899	-9,926	-0.3
Developed	3,448,249	4,215,949	767,700	20.3
Agricultural	22,633,646	21,192,671	-1,440,975	-38.1
Forest	67,698,240	70,253,635	2,555,395	67.6
Grass	4,473,561	2,916,469	-1,557,092	-41.2
Wetland	841,439	774,670	-66,769	-1.8
Barren	1,699,616	1,683,886	-15,730	-0.4
Water	45,919,400	45,686,797	-232,603	-6.2
Total	377,945,976	377,945,976		

3. 연구결과

3.1 대한민국 토양탄소 비교

본 연구는 2000년도와 2010년도의 대한민국 토지피복변화에 따른 토양탄소의 변화량을 InVEST Carbon Storage and Sequestration 모듈을 이용하여 비교하였다. 토양탄소를 산정 시 시가 및 건조지역과 수역은 제외하였으며 농업, 산림, 초지, 습지(수변식생), 나지 총 5가지의 범례로 산정하

였다. 각 년도 별의 총 토양탄소량은 2000년의 경우 459.35 (million t), 2010년의 경우 447.87(million t)으로 추정이 되었으며, 총 토양탄소 변화량은 11.48(million t) 감소된 것으로 나타난다. 총 변화량에서 가장 큰 감소량을 보인 범례는 초지로 총 12.29(million t)이 감소하였으며, 이어서 농업지역은 8.82(million t), 습지는 1.04(million t) 감소를 보였다. 이는 앞서 소개한 토지피복도의 영향이 있음을 보여주며 각 범례별 토지피복의 변화량에 따라 토양탄소 저장량의 감소를 나타낸다. 반대로 산림지역의 경우 토지피복의 증가와 함께 토양탄소의 저장량 또한 증가하였으며, 증가량은 10.67 (million t)으로 나타났다(Fig. 3, Table 3).

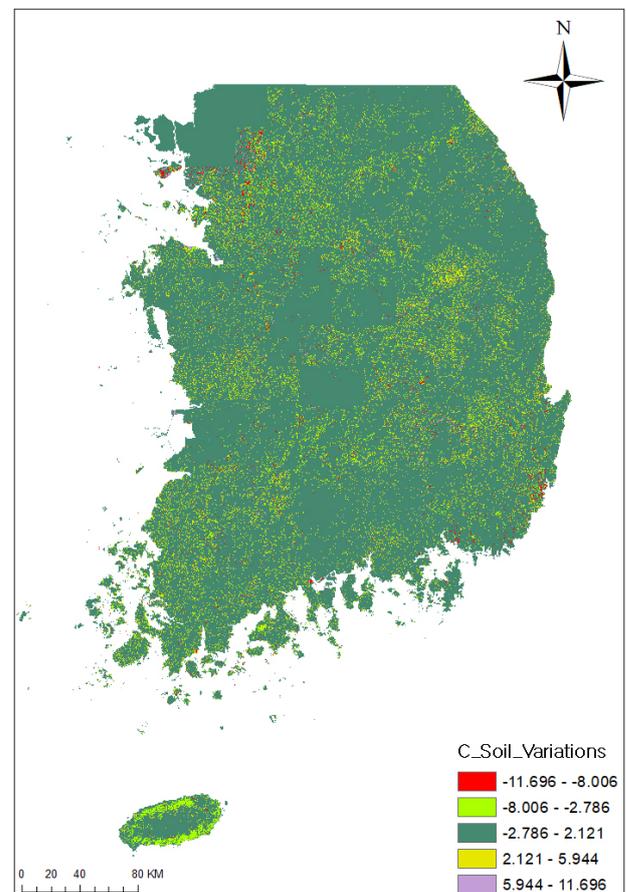


Fig. 3. Carbon value between 2000 and 2010 (mg/pixel)

Table 3. Change carbon value in 2000 and 2010 (million t C)

LULC_Name	2000_Carbon	2010_Carbon	Gap
Agricultural	133.69	124.87	-8.82
Forest	287.21	297.88	+10.67
Grass	35.14	22.85	-12.29
Wetland	0.05	0.05	0.00
Barren	3.26	2.22	-1.04
Total	459.35	447.87	-11.48

3.2 행정구역별 변화량 비교

대한민국 전역에 대해 비교를 진행한 뒤 각 시도별 토양탄소 변화량을 비교하였다(Fig. 4, Table 4). 서울의 경우 절반 이상의 토지피복이 시가 및 건조지역으로 되어있으며, 토지피복의 변화 또한 타시도에 비해 비교적 적게 나타났다. 그 결과 토양탄소량의 변화는 전체 시도 중 가장 적은 양인 0.033(million t) 감소로 나타났으며, 산림의 감소가 주요인으로 나타났다. 부산과 대구의 경우 각각 0.247(million t), 0.077(million t) 감소로 나타났다. 이 두 지역은 서울지역과는 다른 양상으로 산림지역의 토양탄소량은 증가하나, 농업지역과 초지의 토양탄소량이 감소함을 보였다. 인천지역은 다른 광역시도와는 다르게 습지(수변식생)의 감소가 두드러지게 나타났으며, 총 변화량은 0.119(million t) 감소로 나타났다. 대전과 광주의 변화는 앞선 인천과는 반대로 습지의 변화는 나타나지 않았으며, 농업지역과 초지의 감소가 주를 이루면서 각각 0.049(million t), 0.141(million t) 감소가 나타났다. 울산과 세종 또한 다른 시도와 비슷한 양상으로 변화하였으며, 각각 0.55(million t), 0.118(million t) 감소를 나타냈다. 강원, 충북, 충남의 경우 주로 초지보다 농업지역이 감소하였으며, 각 토양탄소 변화량은 0.866(million t), 0.629(million t), 1.201(million t) 감소로 나타났다. 경기지역의 토양탄소 변화량은 앞선 세 지역과는 다르게 산림지역에서의 감소와 초지에서의 증가를 보였으며, 총 토양탄소의 변화량은 0.906(million t) 감소로 나타났다. 이어서 경북과 경남, 전북지역은 주로 초지에서의 토양탄소량이 감소하

였으며, 이 중 경북지역은 전체 시도 중 제일 큰 감소량인 2.893(million t)을 나타냈다. 전남지역의 토양탄소량 변화는 타 시도와 유사하게 농업지역과 초지에서의 감소가 나타

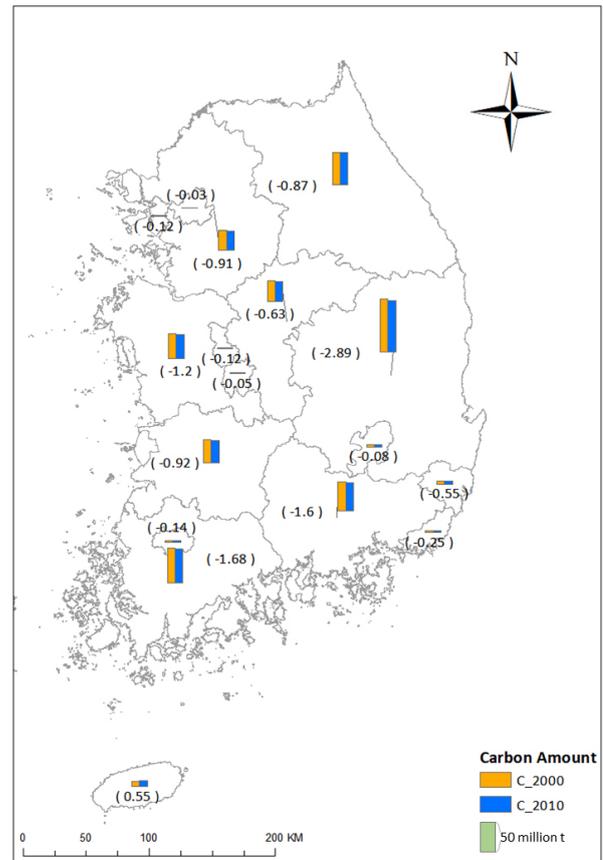


Fig. 4. Carbon amount 2000 and 2010 by administrative district

Table 4. Carbon change in city (million t C)

City	Agricultural			Forest			Grass			Wetland			Barren			Total		
	2000	2010	Gap	2000	2010	Gap	2000	2010	Gap	2000	2010	Gap	2000	2010	Gap	2000	2010	Gap
Seoul	0.043	0.033	-0.010	0.527	0.504	-0.023	0.258	0.259	0.001	0.002	0.001	-0.001	0.001	0.001	0.000	0.831	0.798	-0.033
Busan	0.847	0.752	-0.095	1.715	1.786	0.071	0.534	0.312	-0.222	0.033	0.031	-0.002	0.001	0.001	0.000	3.130	2.883	-0.247
Daegu	0.769	0.671	-0.098	2.529	2.658	0.129	0.252	0.144	-0.108	0.002	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000	3.553	3.476	-0.077
Incheon	0.230	0.195	-0.035	0.517	0.502	-0.015	0.182	0.343	0.161	0.338	0.109	-0.229	0.001	0.002	0.001	1.270	1.151	-0.119
Gwangju	1.071	0.919	-0.152	0.952	0.999	0.047	0.157	0.121	-0.036	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	2.181	2.040	-0.141
Daejeon	0.331	0.288	-0.043	1.566	1.588	0.022	0.276	0.247	-0.029	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	2.173	2.124	-0.049
Ulsan	1.146	0.873	-0.274	3.172	3.471	0.299	0.834	0.266	-0.568	0.017	0.009	-0.008	0.001	0.001	0.000	5.170	4.620	-0.550
Sejong	0.861	0.743	-0.118	1.202	1.315	0.113	0.381	0.269	-0.112	0.002	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	2.447	2.329	-0.118
Gyeonggi	13.947	12.998	-0.949	18.411	18.260	-0.151	3.230	3.496	0.266	0.297	0.224	-0.073	0.008	0.007	-0.001	35.892	34.986	-0.906
Gangwon	7.640	6.311	-1.329	49.517	50.700	1.183	1.761	1.042	-0.719	0.001	0.001	0.000	0.003	0.003	0.000	58.923	58.057	-0.866
Chungbuk	8.265	7.555	-0.710	26.009	26.466	0.457	2.562	2.186	-0.376	0.006	0.006	0.000	0.003	0.003	0.000	36.845	36.216	-0.629
Chungnam	21.956	20.253	-1.703	18.033	19.703	1.670	3.658	2.545	-1.113	0.478	0.422	-0.056	0.006	0.006	0.000	44.130	42.929	-1.201
Jeonbuk	16.456	15.963	-0.493	21.441	22.243	0.802	3.124	1.959	-1.165	0.525	0.463	-0.062	0.004	0.005	0.001	41.550	40.633	-0.917
Jeonnam	25.121	23.530	-1.591	33.377	35.372	1.995	3.117	1.678	-1.439	1.382	0.734	-0.648	0.006	0.006	0.000	63.003	61.320	-1.683
Gyeongbuk	19.737	16.973	-2.764	68.024	71.957	3.933	7.830	3.717	-4.113	0.068	0.120	0.052	0.006	0.006	0.000	95.666	92.773	-2.893
Gyeongnam	12.696	11.419	-1.277	35.340	37.299	1.959	4.143	1.872	-2.271	0.109	0.098	-0.011	0.005	0.005	0.000	52.293	50.693	-1.600
Jeju	2.572	5.391	2.819	4.885	3.063	-1.822	2.840	2.390	-0.450	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	10.298	10.845	0.547

나지만, 차이점으로 습지의 감소가 비교적 크게 나타났고, 총 토양탄소의 변화량은 1.683(million t)으로 경북지역을 이어서 두 번째로 큰 감소량을 보였다.

행정구역 시도별 토양탄소 산정 시 유일하게 증가된 시도는 제주로 타 시도의 변화량과는 다르게 농업지역과 시가 및 건조지역에서 증가를 나타냈다. 제주지역의 농업지역은 2000년과 2010년 사이 약 2.10배가 증가함을 보였으며, 그 결과 토양탄소량의 변화는 0.55(million t) 증가로 나타났다.

3.3 토의

InVEST Carbon Storage and Sequestration 모듈의 한계점으로는 크게 3가지를 말하고 있다. 첫째로 InVEST Carbon Storage and Sequestration 모듈은 모든 토지피복 범례 중 해당 토지피복 범례 내에서 측정된 스토리지 레벨의 평균과 동일한 고정 스토리지 레벨에 있다고 가정한다. 이러한 가정하에 시간경과에 따른 탄소 저장량의 유일한 변화는 토지피복 범례에서 다른 범례로 변동하기 때문이다. 따라서 범례가 변하지 않는 픽셀은 시간이 지남에 따라 격리 값이 0이 되어버린다. 이로 인해 토지피복의 변화와 토양 탄소 변화량의 상관성에 영향이 있을 것으로 보여진다. 두 번째는 Carbon Pool 사이의 이동하는 탄소는 추정할 수 없다. 예를 들어 C_above에 저장된 탄소는 별목 시 C_dead로 이동이 된다. 하지만 해당 모듈 내에서는 풀 사이의 이동이 아닌 대기로 빠져나간다고 가정하기 때문에 이에 생기는 오차 또한 존재할 것이다. 마지막으로 각 토지피복 범례에 저장된 추정치에 의존도가 높다. 물론 Carbon Pool을 이용하여 이를 어느 정도 보완을 할 수 있지만, 그에 따른 Carbon Pool을 설명하는 데이터가 뒤따라서 필요하게 된다(Sharp et al., 2018). 이렇듯 대한민국 전역의 토지피복의 변화에 대해 토양탄소량의 변화량을 분석하였지만, 이러한 모듈의 한계점이 존재하므로 각각의 분석값에 대한 오차가 발생할 수 있을 것으로 판단된다.

이 외의 한계점으로는 토지피복도의 한계도 존재한다. 환경공간정보서비스에서 제공하는 토지피복도의 경우 어느 특정 시점의 제작년도로 발간되더라도 각 지역별 구축 시점이 조금씩은 차이가 존재할 수 있다. 또한, 앞서 말한 접경 지역으로 인한 토지피복의 손실이 존재하기 때문에 접경 지역 부근의 행정구역별 토양탄소 비교량에 대해서는 정확도가 떨어질 수 있다. 따라서 추후에는 위성영상과 같은 단 시간내에 넓은 지역을 포함할 수 있는 자료를 이용하여 토지피복도 생산하고 이를 바탕으로 토양탄소를 산정하는 것이 필요하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 InVEST Carbon Storage and Sequestration 모듈을 이용하여 2000년도와 2010년도의 토지피복 변화에 따른 토양탄소 변화량을 추정하였다. 대한민국 토양탄소량의 총량 중 60% 이상은 산림에 저장되었다. 대한민국의 토지피복은 초지가 가장 많은 감소를 보였고, 반대로 시가 및 건조지역과 산림지역에서 가장 많은 증가를 보였다. 이러한 결과로 국내 토양탄소 총량은 2000년과 2010년 각 459.35(million t), 447.87(million t)으로 총 11.48(million t)이 감소하였다. 이러한 감소량은 대한민국의 최근 도시화 및 개발로 인해 나타난 토지피복 변화에서 초지 및 농업지역이 감소함으로써 나타난 추정값으로 평가된다. 또한 행정구역별로 나타내었을 경우 17개 시도 중에서 제주를 제외한 모든 시도에서 토양탄소량이 감소함을 보였으며, 각 행정구역의 토지피복을 살펴보면 광역시의 경우 농업지역의 급격한 감소가 나타났고 그로 인해 토양탄소의 감소로 이어짐을 확인할 수 있다. 그러나 제주 지역은 예외로 농업지역의 급격한 증가를 나타내며 행정구역별 토양탄소 변화량 중 유일한 증가 지역으로 나타났다. 하지만 본 연구에서의 분석결과는 실측 자료와의 검증은 수행하지 못하였다. 토양탄소의 경우 전국단위의 실측 자료 구축이 현재 부재한 실정으로 인해 실측자료와의 검증은 추후 수행할 수 있을 것으로 보이며, 이는 다른 모듈 및 모형의 결과와 함께 연계분석을 통해 검증을 진행해야 할 것이다.

본 연구에서 사용한 토지피복도는 명확한 한계점을 나타내고 있다. 첫째로 대부분류 토지피복도의 경우 같은 시점이 라 하여도 각 도엽별에는 시점의 차이가 존재하므로, 해당 연도의 실제 토지피복과 구축된 토지피복도는 오차가 발생할 것으로 생각한다. 둘째로 접경지역으로 인한 토지피복도 미구축 지역은 추정을 할 수 없는 지역이 존재한다. 이렇듯 토지피복도의 한계점이 두드러지기에, 추후 토지피복도의 접경지역 구축이 필요하다고 판단된다. 또한, 본 연구는 국가 탄소중립정책과 국토개발의 연관성에 기초적인 자료로 활용될 것으로 예상된다.

감사의 글

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다(No. 2020R111A3052159).

References

1. 김동엽, 이창환 (2005), 토양탄소의 저장과 지구온난화 방지, Report 2005-12, 한국과학기술정보연구원, pp. 3~8.
2. 김충기, 황상일, 안소은, 이현우, 윤정호, 명수정, 홍현정, 김윤정, 이지민, 천정윤, 박운선, 김시진, 이현규, 김강선, 김도균 (2018), 생태계서비스 평가 및 지도구축 시범사업I, 환경부.
3. Australian Government Department of the Environment and Energy (2018), Carbon Credits (Carbon Farming Initiative – Measurement of Soil Carbon Sequestration in Agricultural Systems) Methodology Determination 2018, Authorised Version F2018L00089.
4. Bastola, S., Lim, K. J., Yang, J. E., Shin, Y. C. and Jung, Y. H. (2019), Landuse and landcover change and the impacts on soil carbon storage on the Bagmati Basin of Nepal, Journal of Korean Geo-Environmental Society, Vol. 20, No. 12, pp. 33~39.
5. Bastola, S., Lee, S. H., Shin, Y. C. and Jung, Y. H. (2020), An assessment of environmental impacts on the ecosystem services: study on the bagmati basin of Nepal, Sustainability, Vol. 12, No. 19, 8186.
6. Choi, J. Y. and Lee, S. D. (2020), Change of carbon fixation and economic assessment according to the implementation of the sunset provision, Ecology and Resilient Infrastructure, Vol. 7, No. 2, pp. 126~133 (In Korean).
7. Falloon, P., Smith, P., Bradley, R. I., Milne, R., Tomlinson, R., Viner, D., Livermore, M. and Brown, T. (2006), RothCUC – a dynamic modelling system for estimating changes in soil C form mineral soils at 1-km resolution in the UK.
8. Kwon, S. S., Choi, S. H. and Lee, S. D. (2012), Estimation of spatial-temporal net primary productivity and soil carbon storage change in the capital area of South Korea under climate change, Environmental Impact Assessment, Vol. 21, No. 5, pp. 757~765.
9. LI, K., Wang, S. and Cao, M. (2004), Vegetation and soil carbon storage in China, Science in China Ser. D Earth Sciences 2004, Vol. 47, No. 1, pp. 49~57.
10. Lee, C. H., Kwak, S. Y., Kim, C. K., Bae, H. J., Suh, Y. W., Ahn, S. E., Kang, W. M., Kim, G. E. and Shin, J. W. (2016), An integrated approach to environmental valuation, 2016-00, Korea Environment Institute, pp. 22~51 (In Korean).
11. Lee, T. H., Kim, S. W., Shin, Y. C., Jung, Y. H., Lim, K. J., Yang, J. E. and Jang, W. S. (2019), Development of soil organic carbon storage estimation model using soil characteristics, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 61, No. 6, pp. 1~8 (In Korean).
12. Ministry of Culture, Sports and Tourism. (2020), 2050 Net-zero, <https://www.korea.kr/special/policyCurationView.do?newsId=148881562#7>
13. Park, H. J., Shin, H. S., Roh, Y. H., Kim, K. M. and Park, K. H. (2012), Estimating forest carbon stocks in danyang using kriging methods for aboveground biomass, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, Vol. 15, No. 1, pp. 16~33 (In Korean).
14. Roh, Y. H., Kim, C. K. and Hong, H. J. (2016), Time-series changes to ecosystem regulating services in Jeju : focusing on estimating carbon sequestration and evaluating economic feasibility, Journal of Environmental Policy and Administration, Vol. 24, No. 2, pp. 29~44 (In Korean).
15. Sharp, R., Tallis, H. T., Ricketts, T., Guerry, A. D., Wood, S. A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C. K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M., Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A. L., Rogers, L., Bierbower, W., Denu, D. and Douglass, J. (2018), InVEST +VERSION+ User's Guide, The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
16. Son, Y. W. and Lee, S. H. (2001), Relationship between land-use change and soil carbon and nitrogen, Journal of Korean Society of Forest Science, Vol. 90, No. 3, pp. 242~248 (In Korean).
17. Tallis, H. and Polasky, S. (2009), Mapping and valuing ecosystem services as an approach for conservation and natural-resource management, Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 1162, No. 1, pp. 265~283.
18. Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobbey, E., Lang, B., von Lützw, M., Marin-Spiotta, E., van Wesemael, B., Rabot, E., Ließ, M., Garcia-Franco, N., Wollschläger, U., Vogel, H. J. and Kögel-Knabner, I. (2019), Soil organic carbon storage as a key function of soils – A review of drivers and indicators at various scales, Journal of Geoderma, Vol. 333, No. 1, pp. 149~162.