

## Evaluating Feasibility of Soil Quality Assessment According to Soil Carbon Contents

Sung-Chul Kim, Young Kyu Hong, Sang Phil Lee,<sup>1</sup> Seung Min Oh,<sup>1</sup> Kyung Jae Lim,<sup>2</sup> and Jae E. Yang<sup>1,\*</sup>

Department of Bio Environmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Republic of Korea

<sup>1</sup>Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Regional Infrastructural Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Republic of Korea

\*Corresponding author: [yangjay@kangwon.ac.kr](mailto:yangjay@kangwon.ac.kr)

### ABSTRACT

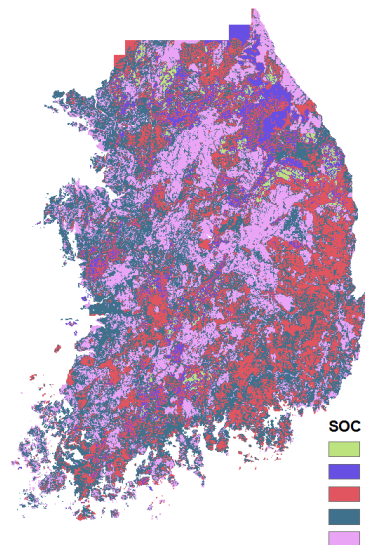
**Received:** June 13, 2016

**Revised:** March 6, 2017

**Accepted:** March 6, 2017

Soil was regarded as infinite resources but recently, soil is considered as invaluable resources that we need to protect and conserve. Main objective of this research was to evaluate soil value in terms of soil carbon contents. Soil was classified into forest, paddy, upland, and grass. Carbon contents in each soil was calculated based on soil chemical properties. Calculated soil carbon contents was ranged 15.31-108.86 mg kg<sup>-1</sup>. Based on soil carbon contents, soil value was assumed adapting economic concepts. Calculated total soil value based on soil carbon contents was about 18.46 trillion won. Among others, carbon contents in forest was the highest and value was assumed 11.95 trillion won followed by paddy field (3.7 trillion won).

**Keywords:** Soil function, Soil properties, Value, Carbon sequestration



Soil carbon contents calculation based on soil chemical properties



## Introduction

최근 환경의 중요성과 가치에 관한 관심이 증대됨에 따라 환경 또는 생태계의 기능에 따른 가치 평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Karen and Scott, 1994; Andrew et al., 2002; Curtis, 2004). 하지만 자연자산에 대한 경제적 가치를 평가하기 위해서는 생태학적, 경제학적, 그리고 과학적 특성을 이해하여야만 정확한 가치를 평가할 수 있다 (Glover et al., 2000; Dominati et al., 2010). 특히 토양안보 (Soil Security)에 대한 개념이 최근 대두되면서 식량안보 (Food Security), 수질안보 (Water Security), 에너지안보 (Energy Security) 등과 같이 전 세계적으로 복잡하면서 해결하기 어려운 문제로 인식 되고 있다 (McBratney et al., 2014).

자연자산의 가치는 크게 사용가치 (use value)와 비사용가치 (non-use value)로 구분할 수 있으며, 자연자산이 지니는 총 가치는 이 두 가지 가치의 합이 된다 (Wander and Nissen, 2003; Warkentin and Fletcher, 1997). 사용가치는 인류가 현재의 생산 및 소비 행위에 환경을 직접 연관시킴으로써 발생하는 가치이다. 예컨대 수질개선으로 어종이 늘어난 강에서 이전보다 더 많은 물고기를 낚음으로부터 발생하는 가치나 산 속의 맑은 공기에서 느껴지는 쾌적함과 결부된 가치가 그것이다. 비사용가치는 사용가치 이외의 가치를 통틀어서 지칭하는 것으로 훌륭한 경치, 야생 생태계와 같이 사람들이 직접 접촉하리라는 기대가 없어도 그것의 보존과 존재에 대해 만족을 얻는 사람들이 많이 있음으로 해서 야생기금과 같은 환경기금에 대한 자발적 기부금을 납부하는 것이 예이다.

현재는 직접적으로 이용되지 않고 있어서 사용가치는 없지만 미래에 이용가능성이 있는 경우 그 환경이 갖고 있는 가치를 선택가치라고 한다. 즉 현재는 사용하지 않는 어떤 환경재가 미래에 사용될 가능성이 있다고 판단되는 경우에 그 환경을 지금 훼손하게 되면 미래의 선택 폭이 감소하게 되고 따라서 그 만큼의 비용이 미래에 발생할 수도 있다는 의미이다. 이 선택가치는 환경의 개발과 관련된 의사 결정 단계에서 중요시되는 개념이다.

이러한 자연자산에 대한 가치를 평가하기 위해 경제적 가치를 종합한 평가방법이 적용되고 있으며 이를 위해서는 우선 토양의 질에 대한 평가가 우선되어야 한다 (Yoon, 2004; Wander and Bollero, 1999, Poggio et al., 2008; Monokrousos et al., 2006; Karlen et al., 2008).

따라서 본 연구에서는 표토의 다양한 기능 중 하나인 탄소저장 (Carbon storage) 기능에 따른 토양의 가치를 평가하기 위해 전국에 대한 토양 탄소의 양과 이에 대한 가치 평가의 프로토콜을 제시하였다.

## Materials and methods

**흙토람 DB 구축** 본 연구에서는 농촌진흥청 국립농업과학원에서 제공하는 토양환경정보 시스템 흙토람의 토양통 자료와 1: 25,000 토양도를 활용하여 전국 표토의 이화학적 특성을 분석하여 DB화 하였다 (Fig. 1). 전국 토양통은 하천범람지, 하해범람지, 저수지, 암석지, 광석지, 용암지를 제외한 313개의 토양통을 사용하였다. 전국에서 가장 큰 면적을 차지하는 토양통은 삼각통이며, 가장 작은 면적을 차지하는 토양통은 용수통이다.

**지질도 DB 구축** 본 연구에서는 한국지질자원연구원에서 제공 받은 1: 250,000 수치지질도를 활용하여 전국에 분포한 지질특성을 분석하고, GIS 기반 DB를 구축하였다. 전국의 지질도를 나타내는 지도는 총 260개의 지질부호로 구분되어 있다. 화강암 (Jgr)이 가장 많은 면적을, 역질 사암 (Kycs)이 가장 적은 면적을 차지하고 있다. 전국 지질도의 경우 shape file 형태로 제공되어 다양한 GIS 소프트웨어에서 활용할 수 있고, 흙토람 토양통 DB와 오버랩 (overlab)

시커 토포람 DB를 GIS화 할 수 있었다 (Fig. 2).

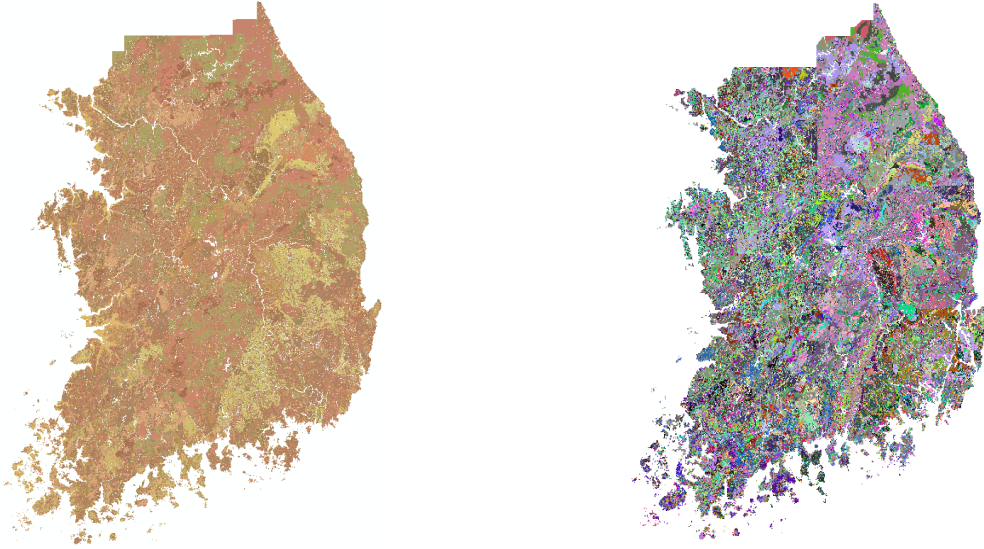


Fig. 1. Constructed GIS database of soil series in Korea. Fig. 2. Merged map between geologic and soil series map

**탄소저장 기능 지수화 및 평가 방법** 토양내 탄소의 저장 기능은 온실가스에 대한 대기과 토양의 탄소 균형 및 토양내 탄소량 변화에 따른 탄소 순환 과정에서의 총 탄소량 변화에 미치는 영향을 판단하는데 중요하다. 토양 유기탄소 (Soil Organic Carbon, SOC)는 토양질 평가의 주요 인자로 사용되며 환경 변화에 따른 생태계의 반응을 판단하는 주요 지표로 사용 된다 (Perie and Ouiment, 2007). 본 연구에서는 Eq. 1을 이용하여 토양의 탄소 함량을 산출하였다.

$$SOC_{hz} = \sum_z^{hz} SOC_i \times BD_i \times D_i \times \left(1 - \frac{SC_i}{100}\right) \quad (1)$$

where:  $BD_i$  = Soil density ( $\text{g cm}^{-3}$ )

$D_i$  = soil depth (cm)

$SC_i$  = gravel contents (Size > 2mm)

$SOC_i$  = contents of soil organic matter

$$BD_i = \frac{100}{\left(\frac{OM}{BD_{OM}}\right) + \left(\frac{100 - OM}{BD_{MM}}\right)}$$

OM = organic matter ( $\text{g kg}^{-1}$ )

$BD_{OM}$  = density of organic matter ( $0.244 \text{ g cm}^{-3}$ )

$BD_{mm}$  = Bulk density of mineral matter

$$BD_{MM} = 1.35 + 0.0045 \times S + 6 \times 10^{-5} (44.7 - S)^2 + 0.06 \times \log(D)$$

S = contents of sand (%)

D = soil depth

### Result and Discussion

**전국 표토 탄소저장 기능 평가** 본 연구에서는 표토 탄소저장 기능 평가를 위하여 토양 유기탄소 항목을 GIS 자료로 변환하여, 전국단위 탄소저장 기능 평가를 실시하였다. 토양 유기탄소를 5단계로 등급화하기 위하여 GIS 기능인 Natural Breaks를 사용하였다. Fig. 3은 전국 토양 유기탄소에 대한 결과로 0.02-108.86 g kg<sup>-1</sup>의 범위를 보였다. 토양 내 유기탄소의 함량에 따라 총 5단계로 등급을 산정하였으며 산정된 등급은 Table 1에 정리하였다. 토양 내 탄소의 양이 많을수록 탄소 저장 기능이 우수하다고 판단하여 1등급을 부여하였으며 토양 내 탄소의 양이 적은 경우 5등급으로 분류하였다. 토양 내 탄소의 저장 양에 따른 평가 결과 총 5등급 중 가장 많은 면적을 나타내는 등급은 4등급으로 전체 국토 면적의 약 46%인 45,940 Km<sup>2</sup>의 면적을 나타냈으며 5등급의 면적이 약 31,460 Km<sup>2</sup>으로 전체 국토 면적의 약 31%를 차지하는 것으로 조사되었다. 토양 내 탄소 저장이 많은 1등급과 2등급의 경우 면적이 각각 3,991 Km<sup>2</sup>, 561 Km<sup>2</sup>로 조사되어 전체 국토 면적의 약 4%와 0.5%인 것으로 조사되었다.

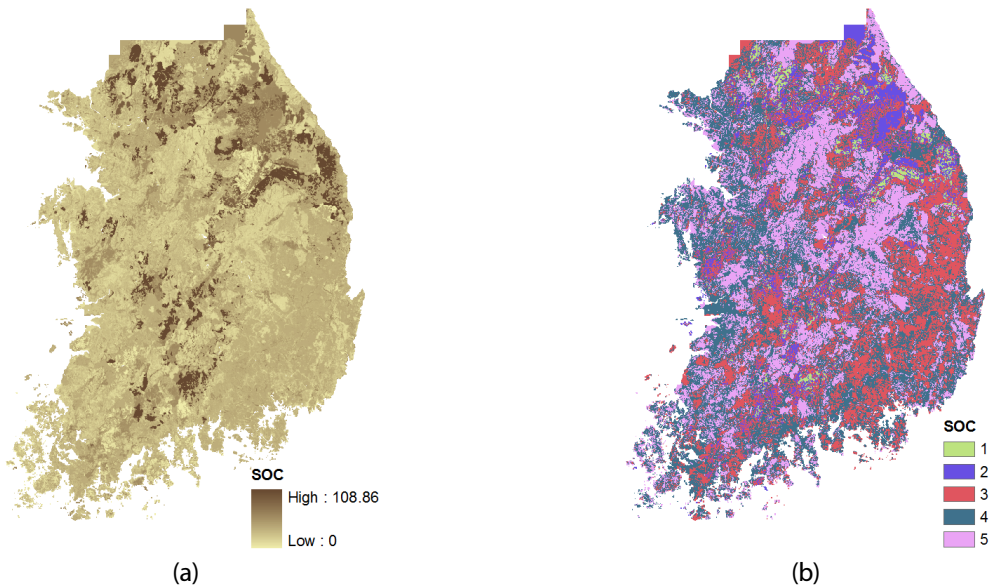


Fig. 3. GIS map of soil carbon contents in Korea (a) soil carbon contents, (b) rating of soil carbon contents.

Table 1. Range of soil carbon contents.

Ratings	SOM (g kg <sup>-1</sup> )
1	91.43 ~ 108.86
2	57.83 ~ 91.43
3	31.47 ~ 57.83
4	15.31 ~ 31.47
5	0.02 ~ 15.31

**탄소 저장 기능의 화폐적 가치** 표토의 탄소 저장 기능은 최근 기후 변화에 대한 관심이 높아지면서 주요 평가 인자로 간주되고 있다. 표토에서 탄소의 저장은 바이오매스 생산 측면뿐만 아니라 생태계 전체에 대한 관리의 주요 지표가 된다. 토지 이용에 따른 탄소의 저장 기능을 평가하기 위해 국립농업과학원의 연구결과를 참조하였다 (홍석영 외, 2010). 전국의 탄소 저장 기능은 토양통 단위로 구성된 데이터베이스를 이용하여 총 380개 토양통에 대해 용적밀도, 유기물함량, 자갈함량 등을 고려하여 산출하였다.

평가 결과 각 토지이용별 탄소의 단위 저장량은 초지가 8.82 kg m<sup>2</sup>로 가장 높았으며 다음으로는 논 (6.99) > 밭 (6.22) > 산림 (4.05) 순으로 높았다. 하지만 전체 탄소 저장량은 면적이 가장 넓은 산림이 약 2억 6천여톤으로 가장 많았으며 논이 8천여톤으로 높았다.

토지 이용에 따른 탄소의 저장량을 경제적 가치로 평가하기 위해 국제적으로 거래되고 있는 탄소 거래 가격을 기준으로 산출하였다.

$$\text{탄소저장 기능} = \text{총 저장량} \times \text{탄소 거래가격} (\$40.00, 2010\text{년 기준}) \times \text{환율} (1,150\text{원 } \$^{-1})$$

계산 결과 산림과 농경지에 저장되어 있는 탄소의 총 경제적 가치는 약 18조 4,608억원이며 이 중 산림이 약 11조 9,559억원으로 가장 높았고 다음으로 논 (3조 7천억 원) > 밭 (2조 2천억 원) > 초지 (1조 2천억 원)인 것으로 조사되었다 (Table 2).

**Table 2.** calculated soil value based on soil carbon contents.

	area (ha)	unit amount (kg m <sup>-2</sup> )	total amounts (thousand tons)	value (million won)
Forest	6,417,570	4.05	259,912	11,955,933
Paddy	1,161,990	6.99	81,223	3,736,263
Upland	775,886	6.22	48,260	2,219,965
Grass	135,230	8.82	11,927	548,655
Total			389,395	17,912,161

## Conclusion

토양이 가지는 다양한 기능 중 탄소 저장 기능은 기후 변화와 함께 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 토양의 기능에 대한 가치를 평가하기 위해서는 과학적 분석 뿐만 아니라 경제적 개념이 함께 적용되어야 한다. 본 연구에서는 토양 내 탄소저장에 대한 기능의 가치를 화폐의 가치로 환산하기 위해 토양 내 탄소의 저장 기능을 이용하여 경제적 가치로 평가하였다. 전국 토양을 대상으로 탄소 저장 기능에 대한 등급화를 실시한 결과 토양 탄소 저장이 낮은 4,5 등급이 전체 국토 면적의 약 46%와 31%를 차지하여 탄소 저장이 높은 1,2 등급 (약 3.9%와 0.5%)에 비해 국내 탄소 저장 기능은 저조한 것으로 평가되었다. 토양의 탄소 저장 기능에 대한 경제적 가치 평가 결과 국내 토양 내 탄소저장의 총 가치는 약 18조 4,608억원 정도로 산출되었으며 이 중 산림이 약 11조 9,559억원으로 가장 높았으며 논이 약 3조 7천억원인 것으로 조사되었다. 향후 토양이 제공하는 기능에 대한 가치 평가를 위해서는 기초적인 자료 DB가 필요하



며 이를 과학적으로 계산한 후 경제적 평가 방법을 적용하는 프로토콜 제시가 필요하다.

## Acknowledgements

This study was supported by research grants from the Korean Ministry of Environment (MOE) as the “Development of Korean Evaluation and Management System of Surface Soil Resources” in the GAIA Project (201400054003).

## References

- Andrews, S.S., D.L. Karlen, and J.P. Mitchell. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agri. Ecosys. Environ.* 90:25-45.
- Barrios, E., R.J. Delve, M. Bekunda, J. Mowo, J. Agunda, J. Ramisch, M.T. Trejo, and R.J. Thomas. 2006. Indicators of soil quality: A south-south development of a methodological guide for linking local and technical knowledge. *Geoderma*. 135:248-259.
- Curtis, I.A. 2004. Valuing ecosystem goods and services: a new approach using a surrogate market and the combination of a multiple criteria analysis and a Delphi panel to assign weights to the attributes. 2004. *Ecolog. Econom.* 50:163-194.
- Doran, J.W. and M.R. Zeiss. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Appi. Soil Ecol.* 15:3-11.
- Glover, J.D., J.P. Reganold, and P.K. Andrews. 2000. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agric. Ecosyst. Environ.* 80:29-45.
- Karlen, D.L and D.E. Scott. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In ‘Defining soil quality for a sustainable environment’ pp.53-72. SSSA Special Publishing, Madison.
- Karlen, D.L., M.D. Tomer, J. Neppel, and C.A. Cambardella. 2008. A preliminary watershed scale soil quality assessment in north central Iowa, USA. *Soil Till. Res.* 99:291-299.
- Monokrousos, N., E.M. Papatheodorou, J.D. Diamantopoulos, and G.P. Stamou. 2006. Soil quality variables in organically and conventionally cultivated field sites. *Soil Bio. Biochem.* 38, 1282-1289.
- Poggio L., B. Vrscaj, E. Hepperle, R. Schulin, F.A. Marsan. 2008. Introducing a method of human health risk evaluation for planning and soil quality management of heavy metal-polluted soils-An example from Grugliasco(Italy). *Landsc. Urban Plan.* 88:64-72.
- Wander M.R and G.A. Bollero 1999. Soil quality assessment of tillage impacts of Illinois. *J of Soil Sci. Soc. Ameri.* 63:961-971.
- Wander, M. and T. Nissen. 2004. Value of soil organic carbon in agricultural lands. *Mitig. Adap, Strate. Glob. Chane.* 9:417-431.
- Warkentin, B.P. and H.F. Fletcher. 1997. Soil quality for intensive agriculture. p. 594-598. In *Proc. Int. Sem. on Soil Environ. and Fert. Manage. in Intensive Agric. Soc. Sci. Soil and Manure*, Natl. Inst. of Agric. Sci., Tokyo, Japan.
- Yoon, J.H. 2004. Review and discussion on development of soil quality indicators. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 37:192-198.