

ORIGINAL ARTICLE

## 농경지 토양탄소량 결정모형 추정 및 요인별 영향력 계측

서정민, 조재환<sup>1)\*</sup>, 손병구<sup>2)</sup>, 강점순<sup>2)</sup>, 홍창오<sup>3)</sup>, 김운원<sup>4)</sup>, 박정호<sup>5)</sup>, 임우택<sup>6)</sup>, 진경호

부산대학교 바이오환경에너지학과, <sup>1)</sup>부산대학교 농업경제학과, <sup>2)</sup>부산대학교 원예생명과학과, <sup>3)</sup>부산대학교 생명환경화학과,  
<sup>4)</sup>인제대학교 해운대 백병원 외과학교실, <sup>5)</sup>경남과학기술대학교 환경공학과, <sup>6)</sup>안동대학교 응용화학과

### Estimation in a Model for Determining the Amount of Carbon in Soil and Measurement of the Influences of the Specific Factors

Jeong-Min Suh, Jae-Hwan Cho<sup>1)\*</sup>, Beung-Gu Son<sup>2)</sup>, Jum-Soon Kang<sup>2)</sup>, Chang-Oh Hong<sup>3)</sup>,  
Woon-Won Kim<sup>4)</sup>, Jeong-Ho Park<sup>5)</sup>, Woo-Taik Lim<sup>6)</sup>, Kyung-Ho Jin

*Department of Bio-Environmental Energy, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea*

<sup>1)</sup>*Department of Agricultural Economics, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea*

<sup>2)</sup>*Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea*

<sup>3)</sup>*Department of Life Science and Environmental Biochemistry, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea*

<sup>4)</sup>*Department of Surgery, University of Inje College of Medicine, Haeundae Paik Hospital, Busan 612-896, Korea*

<sup>5)</sup>*Department of Environmental Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Chinju 660-758, Korea*

<sup>6)</sup>*Department of Applied Chemistry, Andong National University, Andong 760-749, Korea*

#### Abstract

This study has been carried out to present the valuation system of soil carbon sequestration potentials of soil in accordance with the new climate change scenarios(RCP). For that, by analyzing variation of soil carbon of the each type of agricultural land use, it aims to develop technology to increase the amount of carbon emissions and sequestration. Among the factors which affects the estimation of determining the soil carbon model and influence power after the measurement on soil organic carbon, under the center of a causal relationship between the explanatory variables this study were investigated. Chemical fertilizers (NPK) decreased with increasing the amount of soil organic carbon and as with the first experimental results, when cultivating rice than pepper, the fact that soil organic carbon content increased has been found out. The higher the carbon dioxide concentration, the higher the amount of organic carbon in the soil and this result is reliable under a 10% significance level. On the other hand, soil organic carbon, humus carbon and hot water extractable carbon has been found out that was not affected the soils depth, sames as the result of the first year. The higher concentration of carbon dioxide, the higher carbon content of humus and hot water extractable carbon content. According to IPCC 2006 Guidelines and the new climate change scenario RCP 4.5 and the measurement results of the

Received 29 July, 2014; Revised 5 August, 2014;

Accepted 12 November, 2014

\*Corresponding author : Jae-Hwan Cho, Department of Agricultural Economics, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

Phone: +82-55-350-5575

E-mail: jhcholee@pusan.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

total amount of soil organic carbon to the crops due to abnormal climate weather, 1% increase in atmospheric carbon dioxide concentration was found to be small when compared to the growing rate of increasing 0.01058% of organic carbon in the soil.

**Key words** : Soil organic carbon, Climate change, RCP, Ordinary least square Method, Multiple regression model

## 1. 서론

유엔산하 정부간 기후변화협약체(IPCC) 4차 평가보고서(2007년)에 따르면 지난 100년 동안 지구의 평균기온은 0.75℃ 상승하였으며, 온실가스 감축노력에도 불구하고 향후 21세기 말(2070~2099년)에는 기온이 2.8℃ 상승할 것으로 전망하고 있다(IPCC, 2007).

전체 농업부문 온실가스 배출량 1,510만 CO<sub>2</sub> 톤 중 농경지는 논과 밭을 합한 배출량이 59.9%를 차지할 정도로 높은 비율을 보이고 있으며, 토심 1 m 깊이까지 분포하는 토양탄소량은 1,500 Pg으로 이는 각각 식생이 갖는 양의 3배, 대기가 갖는 양의 2배 정도이다(Lal, 1997; Lal, 2000; Schlesinger, 2000).

농경지에서 대기 중 CO<sub>2</sub>가 식물체를 매개로 토양 유기물로 저장하여 안정화 시키는 토양탄소격리(soil carbon sequestration)는 기후, 작부체계 및 수분조건 등에 영향을 받는다. 또한, 동일한 기후(Jastrow 등, 2007)에서 작부 및 수분 조건에서 토양 탄소격리량은 작물 잔사환원, 가축분퇴비나 녹비와 같은 유기질 비료 사용에 의해 직접적으로 증가시키거나 경운 등 보존적 토양 관리를 통한 토양탄소 무기화 속도 조절에 의해 CO<sub>2</sub> 배출을 억제하여 간접적으로 증가시킬 수 있다(Dalal 등, 2008; Ellert and Janzen, 2008; Lim 등, 2012).

토양은 대기의 이산화탄소를 제거하는 지구상에서 가장 방대한 저장고의 역할을 할 수 있다. 토양의 탄소량은 2,500 Gt으로 대기의 총 탄소량(760 Gt)의 3.3배, 생물체(560 Gt)의 4.5배로, 토양 탄소 저장량을 일부만 증가시켜도 대기 온실가스 농도 저감효과가 클 것으로 보고되고 있으며(Lal 등, 1997; Lal, 2000; Schlesinger, 2000), 토양의 탄소 축적(Soil carbon sequestration)은 바이오매스가 토양 내에서 부식화되는 과정을 통해 대기 중의 이산화탄소가 토양 유기탄소로 전환되는 과정으로 일컬어진다(Lal, 2007). 이러한 토양의 탄소격리능을 향상시키는 전략은 토양 내 탄소의 투입량을 유출

량보다 높게 유지하여 탄소의 수지를 높이는 것이다. 토양의 탄소 격리능을 향상시키기 위해서는 토양유기탄소의 분해, 침식, 용탈 등 토양으로 부터 탄소의 유실을 최소화하고 작물의 잔재를 토양으로 환원시키거나 무경운, 피복작물의 재배, 혹은 유기물 제재의 투입을 통해 토양의 탄소 투입량을 증가시켜야 한다(Nieder와 Benbi, 2008).

농업에서 탄소순환 기능의 효과적인 관리는 탄소흡수량의 증가 및 토양내의 장기체류는 대기중의 탄소저감에 기여하는 바가 매우 크다. 농경지나 녹지를 통해 토양에 탄소를 격리, 저장하는 방법은 온실가스를 감축할 수 있는 전략의 하나로 선진국에서는 이미 정책에 반영되고 있으나 아직까지 국내에서는 이에 대한 연구가 미흡하였다. 또한, 토양가치 평가체계 개발을 통한 토양탄소 격리의 잠재성 증진 방안이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

본 연구는 농경지 이용 형태별(논, 벼, 밭, 고추) 시공간적(년 단위) 실험설계로 토양탄소 변화량을 계측한 후 이를 기초로 농경지 토양탄소량 결정 모형 추정 및 요인별 영향력 계측을 통해 신 기후변화 시나리오(RCP)에 따른 토양가치 평가체계 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 실험 및 방법

### 2.1. 유기물 사용, 경운 및 멀칭유무 조건에서의 토양유기탄소

본 연구에서 유기물 사용, 경운 및 멀칭 유무 조건에서의 실험은 2012년 8월부터 12월까지 부산대학교 첨단온실에서 이루어졌으며, 작물은 벼(동진벼), 고추(녹광)를 사용하여 실험하였다. 농경지 이용형태별 토양유기탄소(soil organic carbon, SOC), 부식질(humic substances, HS) 및 열수 추출 가능한 탄소(hot water extractable organic carbon, HWEOC)의 변화량을 계측하기 위해서

유기물 사용, 경운 및 멀칭유무 조건을 요약하면 Table 1과 같다. 또한 SOC, HS, HWEOC의 기초통계량은 토심깊이, 유기물사용량 정도, 경운유무, 멀칭유무 등에 따라 각기 다르게 결정된다. 그리고 해당 작물이 벼 또는 고추에 따라 각기 다를 수 있다. 따라서 작물구분, 영농조건, 재배환경조건에 따른 실험설계 내용을 구분하기 위하여 기초통계량을 각각 구분하여 Table 2와 같이 산출하였다.

Table 2에서 유기물 사용, 경운 및 멀칭유무 실험설계 조합에 의해 계측된 관측치 수는 108개이며, 이때 SOC, HS, HWEOC의 기초통계량 단위는 g이다. 또한 토심깊이(DEPTH)에 해당하는 단위는 cm이며, 유기물 투입량(COMPOST)의 경우 Mg/ha이다. 또한 재배환경을 구분하는 더미변수(dummy variable)의 경우 경운유무(경운유 TILLAGE=1, 경운무 TILLAGE=0)이며, 멀칭유무(멀칭유 MULCHING=1, 무멀칭무 MULCHING=0)로 구분하였다. 또한 재배작물 구분은 벼 재배(CROP=1)와 고추 재배(CROP=0)로 구분하는 더미변수로 변환하였다.

Table 2에서 토양유기탄소량(SOC)의 표준편차는 부식질탄소량(HS)이나 열수추출가능탄소량(HWEOC)의 경우보다 큰 것으로 나타났다. 토심깊이(DEPTH) 최소값은 5 cm이며, 최대값은 25 cm이다. 유기물 사용량(COMPOST)의 경우 최소값이 0 Mg/ha이며, 최대값은 40 Mg/ha이다. 한편 경운이나 멀칭을 한 경우 더미변수값은 1이며, 벼 재배의 경우 더미변수값은 1이다.

2.2. 화학비료(NPK) 사용 및 신 기후변화시나리오 조건에서의 토양유기탄소

화학비료(NPK) 사용 및 신 기후변화시나리오(CO<sub>2</sub>) 조건은 Table. 3과 같으며, 앞서 실험한 유기물 사용, 경운 및 멀칭유무 실험과 같은 작물인 벼(동진벼)와 고추(녹광)를 사용하였다. 그리고 2013년 4월부터 12월까지 실험이 진행되었으며, 유기물 사용, 경운 및 멀칭 유무 실험과 달리 신 기후변화 시나리오(RCP 4.5 및 RCP 8.5)의 영향을 추가적으로 분석하기 위하여 실험설계 내용을 변경하였으며, 이때 경운과 멀칭 작업은 없는 것으로 상정하였다.

Table 1. Compost application rate, mulching and tillage conditions

Crops	Compost application rate (Mg/ha)	Mulching & Tillage	Soil depth (cm)
Rice	• N-P-K 110-30-30(kg/ha) + Compost 0	• Tillage, • No tillage	• 0-10 • 10-20 • 20-30
	• N-P-K 110-30-30(kg/ha) + Compost 6		
	• N-P-K 110-30-30(kg/ha) + Compost 12		
	• N-P-K 110-30-30(kg/ha) + Compost 24		
Hot pepper	• N-P-K 190-112-149(kg/ha) + Compost 0	• Mulching, • No mulching	• 0-10 • 10-20 • 20-30
	• N-P-K 190-112-149(kg/ha) + Compost 10		
	• N-P-K 190-112-149(kg/ha) + Compost 20		
	• N-P-K 190-112-149(kg/ha) + Compost 40		

Table 2. Compost application rate, mulching and tillage based on statistical data

Variable	N	MEAN	ST.DEV	VARIANCE	MINIMUM	MAXIMUM
SOC	108	15.627	0.9173	0.8414	13.190	17.830
HS	108	3.4356	0.4131	0.1707	2.1700	4.4600
HWEOC	108	0.4662	0.2011	0.0405	0.1400	1.4300
DEPTH	108	15.000	8.2031	67.290	5.0000	25.000
COMPOST	108	14.667	10.706	114.62	0.0000	40.000
TILLAGE	108	0.0834	0.2777	0.0772	0.0000	1.0000
MULCHING	108	0.0834	0.2777	0.0772	0.0000	1.0000
CROP	108	0.5000	0.5024	0.2524	0.0000	1.0000

Table 3. NPK application rate and climate change scenarios(RCP) conditions

Crops	N-P-K application rate (kg/ha)	Climate change scenarios (RCP)	Soil depth (cm)
Rice	• N-P-K 0-0-0 + Compost 12(Mg/ha)	• RCP 4.5 (CO <sub>2</sub> : 538 ppm) • RCP 8.5 (CO <sub>2</sub> : 936 ppm)	• 0-10
	• N-P-K 55-15-15 + Compost 12(Mg/ha)		• 10-20
	• N-P-K 110-30-30 + Compost 12(Mg/ha)		• 20-30
	• N-P-K 220-60-60 + Compost 12(Mg/ha)		
Hot pepper	• N-P-K 0-0-0 + Compost 20(Mg/ha)	• RCP 4.5 (CO <sub>2</sub> : 538 ppm) • RCP 8.5 (CO <sub>2</sub> : 936 ppm)	• 0-10
	• N-P-K 95-56-74.5 + Compost 20(Mg/ha)		• 10-20
	• N-P-K 190-112-149 + Compost 20(Mg/ha)		• 20-30
	• N-P-K 380-224-298 + Compost 40(Mg/ha)		

Table 4. NPK application rate and climate change scenarios(RCP) based on statistical data

Variable	N	MEAN	ST.DEV	VARIANCE	MINIMUM	MAXIMUM
<i>SOC</i>	108	8.5564	1.5567	2.4232	4.7200	13.240
<i>HS</i>	108	1.5892	0.4428	0.1960	0.6800	3.2300
<i>HWEOC</i>	108	0.0313	0.0108	0.0002	0.0200	0.0800
<i>DEPTH</i>	108	15.000	8.2030	67.29	5.0000	25.000
<i>CO<sub>2</sub></i>	108	485.67	212.61	45203.0	360.00	936.00
<i>NPK</i>	108	2.8867	1.8836	3.5476	0.0000	6.1900
<i>CROP</i>	108	0.5000	0.5024	0.2524	0.0000	1.0000

N-P-K 사용 및 신 기후변화시나리오(CO<sub>2</sub> 조건)에 따른 실험설계 조합에 의해 계측된 관측치 수는 108개이다. 이때 토양유기탄소량(SOC), 부식질탄소량(HS), 열수추출기능탄소량(HWEOC)의 기초통계량 단위는 g이다. 또한 토심깊이(DEPTH)에 해당하는 단위는 cm이며, 화학비료 사용량(NPK)의 경우 kg/ha이다. 또한 대기 중 이산화탄소농도(CO<sub>2</sub>)는 ppm이며, 작물 구분의 경우 벼 재배(CROP=1), 고추재배(CROP=0)로 구분된다.

Table 4에서 토양유기탄소량(SOC)의 표준편차는 부식질탄소량(HS)이나 열수추출기능탄소량(HW)의 경우보다 큰 것으로 나타났다. 토심깊이(DEPTH) 최소값은 5 cm이며, 최대값은 25 cm이다. 화학비료 투입용량(NPK)의 경우 최소값이 0 kg/ha이며, 최대값은 6.19 kg/ha이다. 한편 대기 중 이산화탄소농도(CO<sub>2</sub>)의 경우 최소값은 360 ppm이며, 최대값은 936 ppm이다.

### 3. 결과 및 고찰

실험설계자료를 기초로 토양유기탄소량(SOC)의 변

화요인을 규명하기 다중회귀모형을 선형으로 가정한 후, 이어서 토심깊이(DEPTH), 유기물 사용량(COMPOST), 경운유무(TILLAGE), 멀칭유무(MULCHING), 작물구분(CROP) 등에 의해서 토양유기탄소량(SOC)가 변화되는가를 검정할 수 있도록 모형을 설계하였다. 이어서 최소자승추정법(Ordinary Least Square Method, OLSM)으로 다중회귀모형의 파라메타를 추정된 후 t검정을 통하여 요인별 영향에 대한 유의성 여부를 판별하였다.

#### 3.1. 유기물 사용, 경운 및 멀칭유무 조건에 따른

##### 토양유기탄소량 결정모형 추정 결과

Table 5에서 통계적으로 유의한 파라메타 추정치(유의수준 10% 기준)를 중심으로 종속변수와 설명변수와의 인과관계를 살펴보면 유기물 사용량(COMPOST)이 증가할수록 토양유기탄소량이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 밭에 멀칭을 하는 경우(MULCHING=1), 그리고 고추보다 벼를 재배할 경우(CROP=1) 토양유기탄소량이 증가하는 것으로 검정되었다. 반면에 토양유기탄소량, 부식질탄소량, 열수추출기능탄소량은 토심깊이(DEPTH)나 경운유무(TILLAGE)에 전혀 영향을 받지

**Table 5.** Parameter estimates of Compost application rate, mulching and tillage

Variable	SOC		HS		HWEOC	
	Parameter	t-value	Parameter	t-value	Parameter	t-value
DEPTH	-0.0121	-1.261	-0.0034	-0.8558	-0.0039	-1.714
COMPOST	0.0301	3.843***	0.0089	2.778***	-0.0057	-3.043***
TILLAGE	-0.0735	-0.2473	-0.0018	-0.0144	-0.0515	-0.7343
MULCHING	1.1931	4.014***	0.2653	2.194**	-0.0961	-1.370
CROP	0.4364	2.418**	-0.3457	-4.712***	-0.0308	-0.7216
CONSTANT	15.055	64.06***	3.5068	36.71***	0.6345	11.44***
$R^2$	0.2511		0.3897		0.1317	

Note : \*, \*\* and \*\*\* indicate significance at the 10%, 5% and 1% level.

않는 것으로 검정되었다.

토양유기탄소량(SOC)의 변화요인 규명과는 별도로 부식질탄소량(HS)과 열수추출가능탄소량(HWEOC)의 변화요인을 추가적으로 규명한 결과에 의하면 유기물 투입량이 증가할수록 부식질탄소량이 증가하는 반면, 열수추출가능탄소량은 감소하는 것으로 검정되었다. 또한 멀칭(MULCHING=1)을 하는 경우, 부식질탄소량이 증가하는 반면 열수추출가능탄소량은 감소하는 것으로 검정되었다. 벼보다 고추를 재배할 경우(CROP=1) 부식질탄소량이 증가하는 것으로 검정되었다.

한편 모형의 설명력을 나타내는 결정계수( $R^2$ )는 토양유기탄소량(SOC), 부식질탄소량(HS), 열수추출가능탄소량(HWEOC)의 결정모형의 경우 0.25, 0.39, 0.13으로 나타났다. 하지만 횡단면자료 특성상 Table 5의 선형모형은 비교적 적합성을 갖는 것으로 판단된다.

### 3.2. 영농조건에 따른 토양유기탄소량 추정 결과

Table 6에서 통계적으로 유의한 파라메타 추정치(유의수준 10% 기준)를 중심으로 종속변수와 설명변수와의 인과관계를 살펴보면 화학비료 사용량(NPK)이 증가할수록 토양유기탄소량이 감소하며, 그리고 유기물 사용, 고추보다 벼를 재배할 경우 토양유기탄소량이 증가하는 것으로 검정되었다. 또한 대기 중 이산화탄소농도( $CO_2$ )가 높을수록 토양유기탄소량이 증가하는 것으로 나타났다. 반면에 토양유기탄소량은 유기물 사용, 토층깊이(DEPTH)에 전혀 영향을 받지 않는 것으로 검정되었다.

토양유기탄소량(SOC)의 변화요인 규명과는 별도로 부식질탄소량(HS)과 열수추출가능탄소량(HWEOC)의 변화요인을 추가적으로 규명한 결과에 의하면 대기 중 이산화탄소농도( $CO_2$ )가 높을수록 부식질탄소량과 열

**Table 6.** Parameter estimates of NPK application rate and climate change scenarios(RCP)

Variable	SOC		HS		HWEOC	
	Parameter	t-value	Parameter	t-value	Parameter	t-value
DEPTH	0.0079	0.45	-0.0035	-0.73	0.0001	0.97
$CO_2$	0.0013	1.85*	0.0005	2.71***	0.0001	3.17***
NPK	-0.1883	-2.45**	-0.0760	-3.50***	-0.0006	-1.11
CROP	0.6057	2.11**	0.1150	1.46	-0.0074	-3.94***
CONSTANT	8.0655	15.91***	1.5574	11.17***	0.0281	8.47***
$R^2$	0.1145		0.1713		0.2088	

Note : \*, \*\* and \*\*\* indicate significance at the 10%, 5% and 1% level.

Table 7. Soil organic carbon which is effected by farming conditions

Assume	Variable ( $X_i$ )	Estimated Coefficient	Soil organic carbon change(%)
Compost application rate 1% increase	COMPOST	0.0301	0.0023
Mulching	MLCHING	1.1931	0.0709
CROP	CROP	0.4364	0.0163
CO <sub>2</sub> 1% increase	CO <sub>2</sub>	0.0013	0.1058
NPK application rate 1% increase	NPK	-0.1883	-0.0130

수추출가능탄소량이 증가하는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 화학비료 사용량(NPK)이 증가할수록 부식질탄소량이 감소하며, 그리고 벼보다 고추를 재배할 경우 열수추출가능탄소량이 증가하는 것으로 검정되었다.

한편 모형의 설명력을 나타내는 결정계수( $R^2$ )는 토양유기탄소량(SOC), 부식질탄소량(HS), 열수추출가능탄소량(HW)의 결정모형의 경우 0.11, 0.17, 0.20으로 각각 나타났다. 그러나 횡단면자료 특성상 Table 6의 선형모형은 비교적 적합한 것으로 판단된다.

### 3.3. 영농 조건 및 환경에 따른 토양유기탄소량 변화율 계측

토양유기탄소량 결정모형 추정결과에서 통계적으로 유의한 파라메타 추정치(계수)와 개별 탄성치를 산출한 결과는 Table 7과 같다. 이에 따르면 유기물 투입량(COMPOST)이 1% 증가할 경우 토양유기탄소량은 0.0023% 증가하는 것으로 밝혀졌다. 또한 밭에 멀칭을 하지 않은 경우보다 멀칭을 하는 경우 토양유기탄소량은 0.0709% 증가하며, 밭작물(고추)보다 벼를 재배할 경우 토양유기탄소량은 0.0163% 증가하는 것으로 밝혀졌다.

또한, 화학비료 사용량이 1% 증가할 경우 토양유기탄소량은 0.013% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 RCP4.5(CO<sub>2</sub> 538 ppm), RCP 8.5(CO<sub>2</sub> 936 ppm)에 따른 토양유기탄소량 변화율 계측결과에 따르면 대기 중 이산화탄소농도가 1% 증가할 경우 토양유기탄소량은 0.1058% 증가하는 것으로 나타났다.

## 4. 결론

본 연구는 농경지 이용 형태별 작물(논; 벼, 밭; 고추)의 생육에서 유기물 투입량, 화학비료 투입량, 멀칭 유·무, 경운 유·무, 토양 깊이 및 신 기후변화시나리오에서의 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도에 따른 농경지 토양탄소 변화량을 다중회귀모형을 통해 추정하였다.

추정결과 밭작물인 고추보다 논작물인 벼를 재배할 경우 토양유기탄소량은 0.0163% 증가하는 것으로 나타났으며, 밭에 멀칭을 하지 않은 경우보다 멀칭을 하는 경우 토양유기탄소량은 0.0709% 증가하는 것으로 나타났다. 또한, IPCC 신기후기변화 시나리오 RCP4.5(CO<sub>2</sub> 538 ppm), RCP 8.5(CO<sub>2</sub> 936 ppm)에 따른 토양유기탄소량 변화율 추정결과 대기 중 CO<sub>2</sub>농도가 1% 증가할 경우 토양유기탄소량은 0.1058% 증가하는 것으로 나타났다.

그리고 유기물 투입량(COMPOST)이 1% 증가할 경우 토양유기탄소량은 0.0023% 증가하고, 화학비료(NPK) 투입량의 경우 1% 증가할 경우 토양유기탄소량은 0.013% 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 화학비료를 1% 줄이고 대신에 유기물 투입량을 1% 늘릴 경우 토양유기탄소량을 0.0153% 늘릴 수 있는 것으로 밝혀졌다.

한편, 토양 깊이와 경운유무에 따른 토양유기탄소 함량의 변화는 나타나지 않은 것으로 검정되었다. 이와 같은 추정결과는 실험설계기간이 단기간이며, 실내 온실 조건에서 실험포트(와그로 pot 1/2,000)에 한정해서 실험설계가 이루어졌기 때문으로 판단되며, 경운유무, 토층깊이 따른 유기탄소함량의 변화를 관찰하기 위해서

는 장기간의 연구와 농촌현지에서 실험설계가 필요한 것으로 판단된다.

향후 농촌 현장에 부합하는 쪽으로 실험설계를 확장 시키고, 그리고 장기간에 걸쳐서 실험설계 및 검정을 통하여 토양유기탄소의 결정요인 규명과 요인별 영향력을 평가할 필요가 있으며, 신기후변화 시나리오에 따라 작물 생육환경 변화, 그리고 이에 따른 비용·편익분석이 추가되어야 할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었습니다.

### 참고문헌

- Dalal, R. C., Allen, D. E., Livesley, S. J., Richards, G., 2008, Magnitude and biophysical regulators of methane emission and consumption in the Australian agricultural, forest, and submerged landscape: a review. *Plant Soil*, 309, 43-76.
- Ellert, B. H., Janzen, H. H., 2008, Nitrous oxide, carbon dioxide and methane emission from irrigated cropping systems as influenced legumes, manure, and fertilizer, *Canadian Journal of Soil Science*, 88, 207-217.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007, Fourth Assessment Report (AR4), Geneva, Switzerland.
- Jastrow, J. D., Amonette, E. J., Bailey, V. L., 2007, Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration, *Climatic Change*, 80, 5-23.
- Lal, R., 2000, Erosion effects on agronomic productivity, in: Laflen, J. M., Tian, J., Huang., C. H. (Eds), *Soil Erosion and Dryland Farming*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 229-246.
- Lal, R., Kimble, J. M., Follet, R., 1997, Land use and soil carbon pools in terrestrial ecosystems, in: Lal, R., Kimble, J. M., Follet, R. (Eds), *Management of Carbon Sequestration in Soils*, CRC Press, New York, USA.
- Lim, S. S., Choi, W. J., Lee, K. S., Ro, H.M., 2012b, Reduction in CO<sub>2</sub> emission from normal and saline soils amended with coal fly ash. *Journal of Soils and Sediments*, 12(9), 1299-1308.
- Nieder, R., Benbi, D. K., 2008, *Carbon and Nitrogen in the Terrestrial Environment*, Springer, USA, 430.
- Schlesinger, W. H., 2000, Carbon sequestration in soils: Some cautions amidst optimism, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 82, 121-127.