



## 환경산업연관분석을 이용한 농작물의 이산화탄소 배출량 변화와 생산량, 재배면적의 상관성 분석

### Analysis on Correlation between CO<sub>2</sub> Emissions and Production, Acreage of Crops using Environmental Input-Output Analysis

민슬기\* · 손영환\*\*† · 노수각\* · 박재성\* · 봉태호\*

Min, Seul-Gi · Son, Young-Hwan · Noh, Soo-Kack · Park, Jae-Sung · Bong, Tae-Ho

#### ABSTRACT

South Korea is under pressure to reduce CO<sub>2</sub> emissions because of expanding request for reducing CO<sub>2</sub> emissions. In many industry sectors, CO<sub>2</sub> emissions were analyzed to reduce CO<sub>2</sub> emissions. But little effort in researching agricultural sector has been undertaken because it is recognized as environmentally friendly industry. The object of this research is to estimate CO<sub>2</sub> emissions of crops and analysis on correlation between CO<sub>2</sub> emissions and production, acreage of crops. In this study, environmental input-output analysis was used to estimate CO<sub>2</sub> emissions of agricultural sector and spearman correlation coefficient was used to analysis on correlation between CO<sub>2</sub> emissions and statics like production and acreage. As a result, rice, barley, pulses and horticultural specialities had correlation with acreage and correlation coefficients of these crops were 0.800~0.933. Regression equations about CO<sub>2</sub> emissions and acreage of rice, barley, pulses and horticultural specialities was made and R<sup>2</sup> of these equations were 0.615~0.929. Using equations, CO<sub>2</sub> emissions of rice, barley, pulses and horticultural specialities can be estimated with acreage.

**Keywords:** Environmental input-output table; CO<sub>2</sub> emissions; Crop production; Crop acreage; Spearman correlation coefficient; Regression analysis

#### 1. 서 론

지구온난화 규제 및 방지에 대한 국제협약인 기후변화협약의 구체적 이행 방안으로 선진국의 온실가스 감축 목표치를 규정한 교토의정서가 1997년 채택되었다. 우리나라는 기후변화협약상 개발도상국으로 분류되어 온실가스 감축 의무이행 대상국에 포함되지 않았으나, 2010년 기준 세계 7위의 이산화탄소 배출 국가임을 감안할 때 (Hoeven, M. V., 2012) 향후 대상국 확대 협의를 통해 온실가스 감축 의무 국가에 포함될 것이 유력하다. 이에 따라 우리나라는 이산화탄소 등 온실가스 감축에 대한 대책을 마련하기 위한 이산화탄소 배출량 분석에 대한 필요성이 증가하고 있다 (Park, 2009; Jung et al., 2011).

대부분의 산업의 경우 이산화탄소 배출량에 대한 연구가 많이 진행되었으나 농업분야는 다른 산업분야와는 달리 친환경적 산업이라는 사회적 인식으로 인해 이산화탄소 배출량 분석에 대한 연구가 미미한 상태였으나 최근 시설재배 면적의 증가, 화학비료 및 농기계 사용의 증가 등 온실가스 배출 요인이 다양해짐에 따라 농작물분야의 이산화탄소 배출량 분석에 대한 필요성이 증가하고 있다.

이러한 필요성 증가로 인해 농업분야의 이산화탄소 배출량 분석은 보리, 유채, 콩, 벼 등 단일작물에 대해 개별적산법을 이용한 이산화탄소 배출량 분석이 진행되었으며 (Hong, 2010; So et al., 2010a; So et al., 2010b; Ryu et al., 2012), 특정 단일년도의 환경산업연관표를 작성하여 농업분야의 이산화탄소 배출량을 분석한 연구가 진행되었다 (Lee, 2008; Kim and Lee, 2009). 개별적산법은 산업연관표를 이용한 방법에 비해 전체 농작물 분야의 이산화탄소 배출량 추정이 어려워 산업수준의 이산화탄소 배출량 추정에는 산업연관분석이 많이 사용되고 있으나, 단일년도의 이산화탄소 배출량 분석으로는 농작물의 이산화탄소 배출량 변화 특성에 대한 분석이 불가능하며, 산업연관표가 작성되는 기간이 2~3년으로 상대적으로 길고 산업연관표가 작성되

\* 서울대학교 생태조경-지역시스템공학부 대학원

\*\* 서울대학교 조경-지역시스템공학과 조교수

† Corresponding author Tel.: +81-2-880-4585

Fax: +81-2-873-2087

E-mail: syh86@snu.ac.kr

2013년 9월 10일 투고

2013년 12월 17일 심사완료

2013년 12월 26일 게재확정

지 않은 년도 또한 존재하기 때문에 산업연관표가 작성되기 이전이나 산업연관표가 작성되지 않은 년도의 이산화탄소 배출량의 분석은 어려운 실정이다. 생산량이나 재배면적 같은 통계자료의 작성기간은 보통 1년으로 산업연관표 작성기간보다 상대적으로 짧아 통계자료를 통한 이산화탄소 배출량 추정이 가능하다면 농작물의 대략적인 이산화탄소 배출량을 간편하고 상대적으로 짧은 시간 안에 추정할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 농작물분야에 대한 이산화탄소 배출량을 년도별로 산출하여 변화를 분석하고, 작물별 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적과 같은 통계자료와의 상관성 분석을 통해 작물의 이산화탄소 배출 특성을 파악하여, 통계자료를 통한 이산화탄소 배출량의 추정 가능성을 확인하고자 하였다.

## II. 배경 이론

### 1. 산업연관표

산업연관표는 국민경제를 분석하기 위한 실증적 도구로서 한 국가 경제에서 각 산업들은 생산 활동을 위해 상호간에 재화와 서비스를 구입·판매하는 과정을 통해 직접 또는 간접적으로 서로 관계를 맺게 된다. 산업연관표는 보통 1년 동안의 국가 전체의 산업간 거래관계를 일정한 원칙에 따라 행렬형식으로 기록한 통계표이다. 산업연관분석이란 산업연관표를 바탕으로 하여 산업간 상호연관관계를 수량적으로 분석하는 방법으로 구조적 측면에서 산업간 연관관계를 파악할 수 있다는 장점을 가지고 있

다 (The Bank of Korea, 2011).

산업연관표의 세로방향은 각 산업부문이 재화 및 용역을 생산하기 위하여 지출한 생산비용의 구성이며, 이를 투입구조라고 한다. 가로방향은 각 산업부문의 생산물이 어떤 부문에 중간수요 또는 최종수요의 형태의 사용이며, 이를 배분구조라고 한다 (The Bank of Korea, 2011). 산업연관표의 기본 구조는 Fig. 1과 같다.

### 2. 환경산업연관분석

환경산업연관표란 산업연관표를 기본 틀로 하여 산업간의 투입과 산출관계에서 나타나는 재화와 용역의 흐름에 에너지의 흐름과 오염물질의 배출 경로를 표현한 것이며, 보통 기본거래표, 에너지투입량표, 에너지소비량표, 에너지소비열량표, 이산화탄소 배출량표의 순서로 작성된다 (Kim, 2011).

기본거래표는 산업연관표의 기본거래표를 연구목적에 맞게 재집계 하거나 그대로 사용한다. 에너지투입량표는 각 산업부문이 사용하는 에너지원의 종류에 초점을 맞춘 것으로, 이산화탄소 배출량을 산정하고자 하는 에너지원을 선정한 후, 각 산업에 투입되는 에너지량을 에너지원의 고유단위로 기재한다. 에너지소비량표는 실제로 연소에 쓰이지 않고 원료로 사용된 에너지원의 양을 고려, 제외한다. 에너지소비열량표는 각 에너지원의 고유단위로 기재되어 있는 에너지소비량을 에너지 연소시 발생하는 열량을 곱하여 환산한다. 환산 시 열량단위인 kcal을 사용할 수도 있고, 석유환산치인 TOE와 일의 단위인 Jule을 사용할 수도 있

			Purchasing sectors													
			Intermediate demand					Final demand				Import (Deduct)	Total production			
			1	...	j	...	n	W	Consume	Invest	Export			Y		
Producing sectors	Produced input	1	$X_{11}$	...	$X_{1j}$	...	$X_{1n}$	$W_1$	$C_1$	...	$I_1$	...	$E_1$	$Y_1$	$M_1$	$X_1$
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		i	$X_{i1}$	...	$X_{ij}$	...	$X_{in}$	$W_i$	$C_i$	...	$I_i$	...	$E_i$	$Y_i$	$M_i$	$X_i$
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		n	$X_{n1}$	...	$X_{nj}$	...	$X_{nn}$	$W_n$	$C_n$	...	$I_n$	...	$E_n$	$Y_n$	$M_n$	$X_n$
	U	$U_1$	...	$U_j$	...	$U_n$										
	Value input	Compensating of employees	$R_1$	...	$R_j$	...	$R_n$									
		Operating surplus	$S_1$	...	$S_j$	...	$S_n$									
		Consumption of fixed capital	$D_1$	...	$D_j$	...	$D_n$									
		Net production tax	$T_1$	...	$T_j$	...	$T_n$									
V	$V_1$	...	$V_j$	...	$V_n$											
Total Consumption			$X_1$	...	$X_j$	...	$X_n$									

Fig. 1 The basic structure of input-output table (Leontief, 1936)

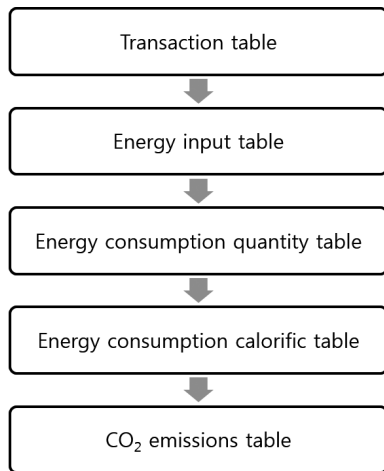


Fig. 2 The structure of environmental input-output table (Kim, 2011)

다. 이산화탄소배출량표는 각 산업부문에서 발생한 에너지소비열량을 이산화탄소 발생량으로 환산한 것으로, 각 에너지원의 탄소 함유량을 고려하여 산출하게 된다 (Sim, 2005; Kim, 2006).

### III. 분석 대상 및 방법

#### 1. 분석 대상

산업연관표의 통합중분류 중 농작물부문은 벼, 보리, 밀, 잡곡, 채소, 과일, 콩류, 감자류, 유지작물, 약용작물, 기타 식용작물, 섬유작물, 잎담배, 화훼작물, 천연고무, 종자 및 묘목, 기타 비식용작물 등 총 17개의 기본부문으로 구성되어 있다. 이 중 생산량과 재배면적에 대한 통계자료가 존재하는 벼, 보리, 밀, 잡곡, 채소, 과일, 콩류, 감자류, 유지작물, 약용작물, 화훼작물 등 11개의 부문에 대하여 년도별 이산화탄소 배출량 변화를 분석하였다.

#### 2. 분석 방법

농작물의 이산화탄소 배출량 변화를 분석하기 위하여 1995~2009년도 환경산업연관표를 작성하였다. 환경산업연관표의 기본거래표는 1995~2009년 중 산업연관표가 작성된 1995, 1998, 2000, 2003, 2005-2009년도 산업연관표의 기본거래표를 사용하였다 (The Bank of Korea, 1998b, 2001, 2003, 2007, 2008, 2009a, 2009b, 2011a, 2011b).

에너지투입량표 작성 시 에너지원은 무연탄, 유연탄, 천연가스(LNG), 연탄, 기타석탄제품, 휘발유, 제트유, 등유, 경유, 중유, 액화석유가스, 도시가스 등 총 12종을 선정하였다. 원유는 휘발유, 등유 등 다른 석유제품으로 정제되어 사용되므로 에너지원에

서 제외하였으며, 나프타의 경우 대부분 용제 및 석유화학제품의 원료로 사용되기 때문에 포함되지 않았다. 에너지원 사용량 추정 에 무연탄, 유연탄, 천연가스(LNG), 휘발유, 제트유, 등유, 경유, 중유, 액화석유가스, 도시가스는 에너지통계연보 (Korea Energy Economics Institute, 2011) 의 에너지원 별 소비물량을 참고하였고, 연탄의 경우 에너지통계연보 (Korea Energy Economics Institute, 2011)의 연탄 단가를 참고하였으며 산업연관표 내 연탄 총 사용액을 참고하여 사용 물량을 추정하였다. 기타석탄제품의 경우 철강보 (Korea Iron and Steel Association, 1996~2010)의 각 월호를 참고하여 코크스 물량을 산출한 후 기타석탄제품과 코크스의 생산액 비를 통해 전체 기타석탄제품의 물량을 산출하였다. 철강보에 통계자료가 없는 1995년도 기타석탄제품의 사용 물량의 경우 경제통계연보에 수록되어 있는 생산자물가지수를 이용하여 1998년의 기타석탄제품의 단가를 통하여 1995년도의 기타석탄제품의 단가를 추정, 물량을 산출하였다 (The Bank of Korea, 1998a). 또한 국내 총 에너지원 사용량을 통해 발생한 이산화탄소 배출량을 산출하기 위해 총 수요에서 재고와 수출량을 제외한 중간수요계와 민간소비지출, 정부소비지출만 고려하여 재고와 수출에 분배되는 이산화탄소 배출량을 제외하였다. 선정된 에너지원과 인용자료들은 Table 1에 정리하였다.

에너지소비물량표는 에너지원 중 다른 에너지원의 연료가 된 부분을 제외하였다. 연탄의 원료로 사용된 무연탄 물량과 기타석탄제품 중 코크스의 원료로 사용된 유연탄 물량, 도시가스의 원료로 사용된 천연가스 물량을 제외하여 실제로 연소된 에너지원의 소비물량을 산출하였다.

Table 1 References for total amount of energy consumption

Energy source	Code	References
Anthracite	030	Yearbook of energy statistics*
Bituminous coal	031	Yearbook of energy statistics*
Natural gas	033	Yearbook of energy statistics*
Coal briquettes	131	Yearbook of energy statistics*
Coke and other coal products	132	Korea iron and steel association bulletin** Economic Statistics Yearbook***
Gasoline	134	Yearbook of energy statistics*
Jet oil	135	Yearbook of energy statistics*
Kerosene	136	Yearbook of energy statistics*
Light oil	137	Yearbook of energy statistics*
Heavy oil	138	Yearbook of energy statistics*
Liquefied petroleum gas	139	Yearbook of energy statistics*
Manufactured gas supply	302	Yearbook of energy statistics*

\* Korea Energy Economics Institute, 2011

\*\* Korea Iron and Steel Association, 1996~2010

\*\*\* The Bank of Korea, 1998

에너지소비열량표는 에너지관리공단에서 작성한 에너지열량 환산기준 적용 매뉴얼 (Korea Energy Management Corporation, 2006)을 적용하였으며 각 에너지원 별 순 발열량을 사용하여 kcal 단위로 산출하였다. 무연탄의 경우 국내 무연탄 생산액과 수입 무연탄의 수입액 비율을 적용하여 발열량을 산정하였으며 등유의 경우 에너지열량 환산기준 적용 매뉴얼에 있는 실내등유와 보일러등유의 평균값을 사용하였다.

이산화탄소배출량표는 에너지소비열량표로 환산된 에너지원별 발열량을 IPCC의 탄소배출계수를 적용하여 에너지원 별 배출되는 탄소의 무게를 산출하고 (Eggleston, S. H., 2007), 이산화탄소의 분자량과 탄소의 원자량의 비인 44/12를 곱하여 이산화탄소 배출량을 산출하였다. 유연탄과 코크스의 경우 IPCC 탄소배출계수의 연료탄을 적용하였다. 선정된 에너지원별 에너지 열량 환산기준과 IPCC 탄소배출계수는 Table 2에 정리하였으며 서술한 환경산업연관표 작성 과정은 Fig. 3과 같다.

위와 같은 방법으로 작성된 환경산업연관표를 이용하여 이산화탄소 배출량을 분석하였고, 통계자료가 존재하는 기본부문의 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적과의 상관계수를 산출하였다. 통계자료는 농림수산물부가 작성한 농림수산물통계연보 (Ministry

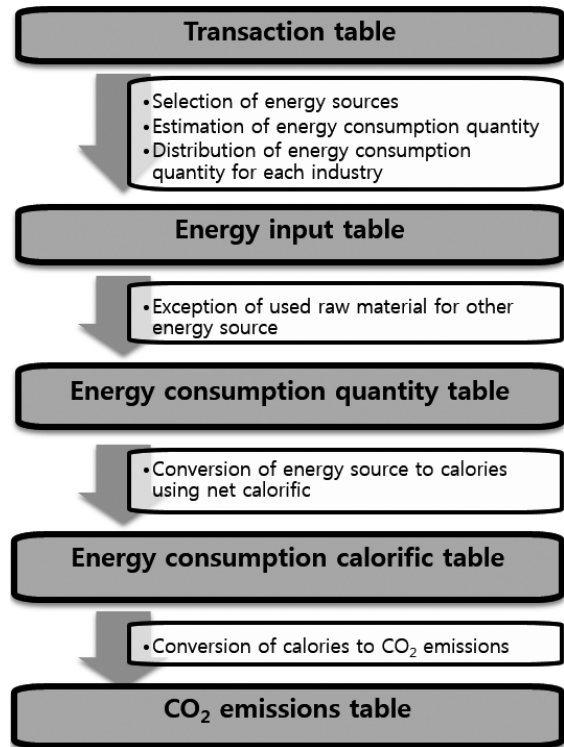


Fig. 3 The process of making environmental input-output table

Table 2 Energy calorific conversion standards application manual and IPCC carbon emissions factor

Energy source	Units	Gross calorific value (kcal)	Net calorific value (kcal)	Carbon emission factor* (ton-C/toe)	
Oil	Gasoline	ℓ	8,000	0.783	
	Indoor kerosene	ℓ	8,800	0.812	
	Boiler kerosene	ℓ	8,950		
	Light oil	ℓ	9,050	0.837	
	Bunker A	ℓ	9,300	0.875	
	Bunker B	ℓ	9,650		
	Bunker C	ℓ	9,900		
	Jet oil	ℓ	8,750	8,200	0.808
Gas	Propane	kg	12,050	11,050	0.713
	Butane	kg	11,850	10,900	0.713
	Natural gas	kg	13,000	11,750	0.630
	City gas (LNG)	Nm <sup>3</sup>	10,550	9,550	0.630
	City gas (LPG)	Nm <sup>3</sup>	15,000	13,800	0.713
Coal	Domestic anthracite	kg	4,650	4,600	1.100
	Imported anthracite	kg	6,550	6,400	
	Bituminous coal (Fuel)	kg	6,200	5,950	1.059**
	Cokes	kg	7,050	7,000	1.059**

\* IPCC Carbon emission factor (Eggleston, S. H., 2007)

\*\* Carbon emission factor of coking coal

for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2000, 2006, 2011), 농림수산물 주요통계 (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2010)를 사용하였으며, 상관계수는 표본수가 적은 경우 사용하는 비모수적 상관계수 추정 방법인 Spearman 상관계수 추정 방법을 사용하였다.

#### IV. 결과 및 고찰

##### 1. 농작물 부문의 이산화탄소 배출량 변화

1995~2009년도 산업연관표를 토대로 작성된 환경산업연관표의 통합중분류인 농작물 부문과 산업 전체의 이산화탄소 배출량을 산출하여 연도별 변화를 비교, 분석하였으며 결과는 Fig. 4와 같다.

전체 산업의 이산화탄소 배출량은 1995년 305,935,301톤에서 2009년 389,907,278톤으로 약 27 % 증가하였으며, 농작물 부문의 이산화탄소 배출량은 1995년 1,638,729톤에서 2003년 1,632,786톤으로 큰 변화를 보이지 않았으나 2005년 3,743,396톤으로 2배 가까이 증가하였고 2006년을 기점으로 다시 감소하고 있는 것으로 나타났다. 이는 최근 전체 산업에서 농산업의 비중이 점점 감소하는 것에 기인한다고 판단된다.

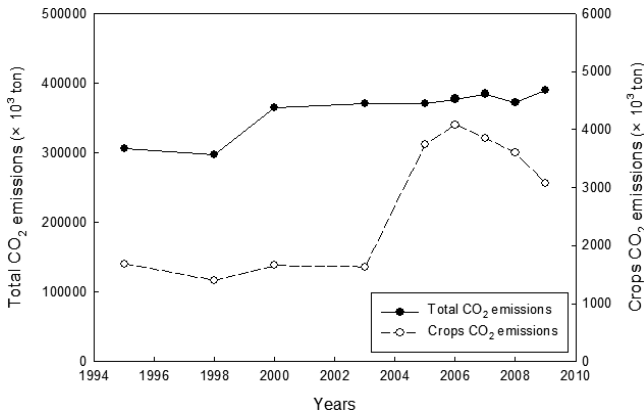


Fig. 4 Year series changes for CO<sub>2</sub> emissions of total industry and crops

## 2. 작물별 이산화탄소 배출량과 통계자료의 상관관계 분석

1995~2009년도 환경산업연관표의 농작물 부문에서 각 기본 부문별 생산량, 재배면적의 통계자료의 상관성을 분석하기 위해 Spearman 상관계수를 산출하였다. 농작물부문은 벼, 맥류 및 잡곡, 채소 및 과실, 기타 식용작물, 비식용작물 등 5가지 통합소분류로 구분된다.

### 가. 벼

통합소분류 중 벼 부문은 기본부문과 통합소분류 모두 하나의 작물로 구성되어 있다. 벼 부문의 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적의 그래프는 Fig. 5와 같다. Table 3은 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적에 대한 Spearman 상관계수이다.

벼 부문의 경우 이산화탄소 배출량과 재배면적은 시간이 지남에 따라 감소추세를 보이고 있지만 생산량은 년도에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 기후 등 외부 요인에 의해 생산량이 영향을 받은 결과라 판단된다.

이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적의 Spearman 상관분석 결과 이산화탄소 배출량과 재배면적의 상관계수가 0.917이며, 유의확률이 0.001로 유의수준  $p < 0.01$ 에서 강한 양의 상관관계가 나타났다. 이는 재배면적이 이산화탄소 배출량에 많은 영향을 주는 것으로 판단할 수 있다. 개별적산법을 통해 벼의 이산화탄소 배출량을 산출한 연구에서도 마찬가지로 이산화탄소 배출량 중 비료와 농약의 생산을 제외하면 이산화탄소 배출량이 가장 많은 부분은 농기계에 사용되는 경유임이 알려져 있으며 (Ryu et al., 2012), 농기계 사용량은 재배면적에 비례할 것으로 판단된다. 이를 통해 벼의 이산화탄소 배출량 변화에 가장 많은 영향을 미치는 요소는 재배면적이며, 재배면적을 통해 이산화탄소 배출량 추정이 가능할 것으로 판단된다.

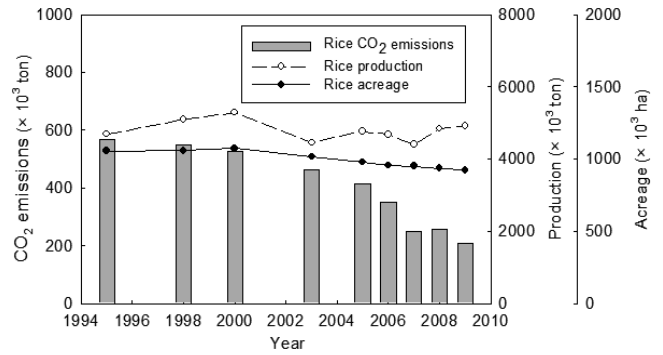


Fig. 5 Year series changes for CO<sub>2</sub> emissions, production and acreage of rice

Table 3 Spearman correlation coefficient between CO<sub>2</sub> emissions and production, acreage of rice (n=9)

		Correlation coefficient	Significance probability
Rice	Production	0.233	0.546
	Acreage	0.917	0.001**

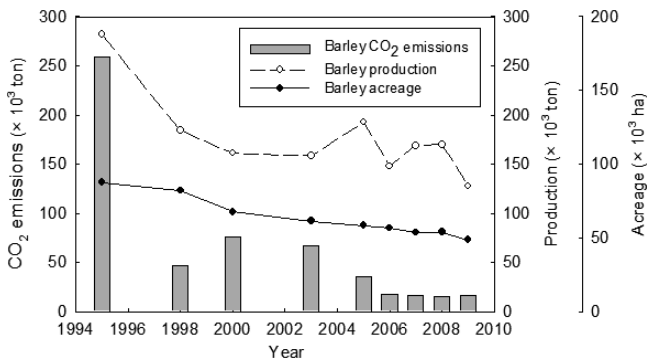
\*\* Highly significant at  $p < 0.01$

### 나. 맥류 및 잡곡

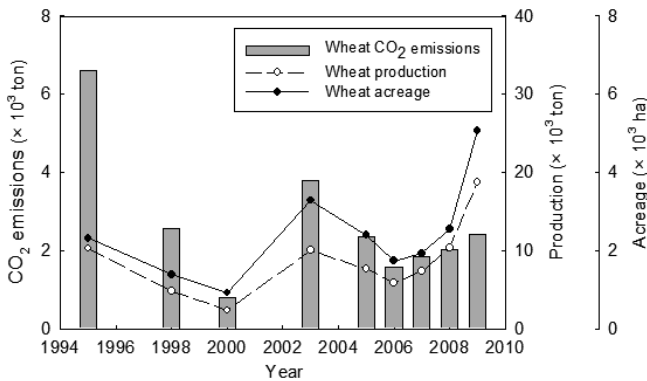
통합소분류 중 맥류 및 잡곡 부문은 보리, 밀, 잡곡으로 구분되며, 각 작물별 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적의 그래프는 Fig. 6과 같다. 보리, 밀 및 잡곡부문의 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적에 대한 Spearman 상관계수의 분석결과는 Table 4와 같다.

보리부문의 경우, 이산화탄소 배출량과 재배면적, 생산량이 시간이 지남에 따라 감소추세를 보이고 있는 것으로 나타나고 있으나, 밀 부문에서는 감소와 증가 추세가 반복되어 나타났다. 또한 잡곡부문에서는 이산화탄소 배출량이 감소추세를 보이고 있으나 생산량과 재배면적은 뚜렷한 추세를 보이지 않았다.

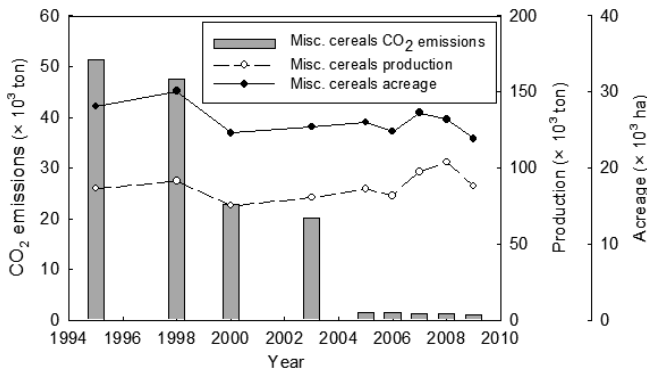
맥류 및 잡곡부문의 이산화탄소 배출량과 재배면적과의 Spearman 상관계수 분석 결과 보리 부문의 경우 재배면적과의 상관계수가 0.900, 유의확률이 0.001로 유의수준  $p < 0.01$ 에서 높은 상관관계를 나타내고 있다. 이는 벼와 마찬가지로 재배면적이 이산화탄소 배출량에 많은 영향을 주는 것으로 판단할 수 있으며, 농기계의 사용량과 재배면적이 비례한다고 추정할 수 있다. 밀과 잡곡부문의 경우 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적과의 명확한 상관관계가 나타나지 않았다. 밀의 경우 생산량과 재배면적은 최근 들어 급격한 증가세를 보이고 있으나 이산화탄소 배출량은 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다. 잡곡류의 경우 옥수수, 수수 등 여러 작물들의 재배 특성이 상이하고 기계화가 미진하여 생산량과 재배면적만으로는 이산화탄소 배출량 추정이 어렵다고 판단된다.



(a) Barley



(b) Wheat



(c) Misc. cereals

Fig. 6 Year series changes for CO<sub>2</sub> emissions, production and acreage of barley, wheat, and misc. cereals

다. 채소 및 과실

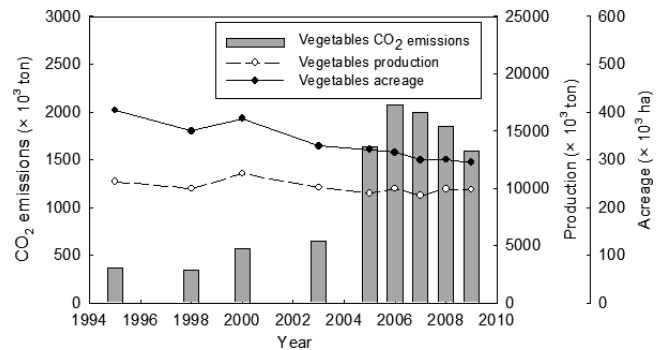
산업연관표상 통합소분류인 채소 및 과실류의 각 작물별 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적의 그래프는 Fig. 7과 같다. Table 5는 채소류와 과실류의 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적에 대한 Spearman 상관계수이다.

채소류와 과실류의 재배면적은 감소하는 추세이나 이산화탄소 배출량은 소폭 증가하는 추세를 보이는 것으로 나타났다. 채소류

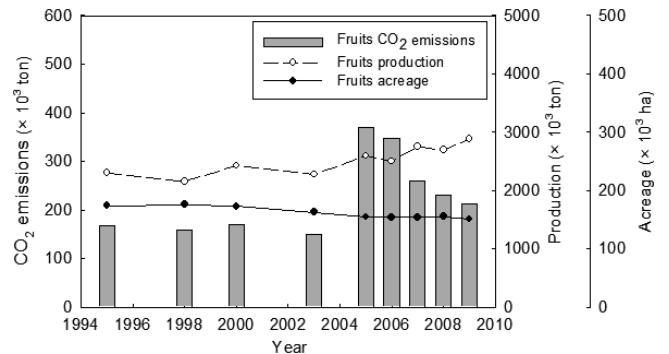
Table 4 Spearman correlation coefficient between CO<sub>2</sub> emissions and production, acreage of barley, wheat, and other cereals (n=9)

		Correlation coefficient	Significance probability
Barley	Production	0.367	0.332
	Acreage	0.900	0.001**
Wheat	Production	0.500	0.170
	Acreage	0.483	0.187
Other cereals	Production	-0.417	0.265
	Acreage	0.467	0.205

\*\* Highly significant at p < 0.01



(a) Vegetables



(b) Fruits

Fig. 7 Year series changes for CO<sub>2</sub> emissions, production and acreage of vegetables and fruits

Table 5 Spearman correlation coefficient between CO<sub>2</sub> emissions and production, acreage of vegetables and fruits (n=9)

		Correlation coefficient	Significance probability
Vegetables	Production	-0.533	0.139
	Acreage	-0.733	0.025*
Fruits	Production	0.683	0.042
	Acreage	-0.678	0.045*

\* Significant at p < 0.05

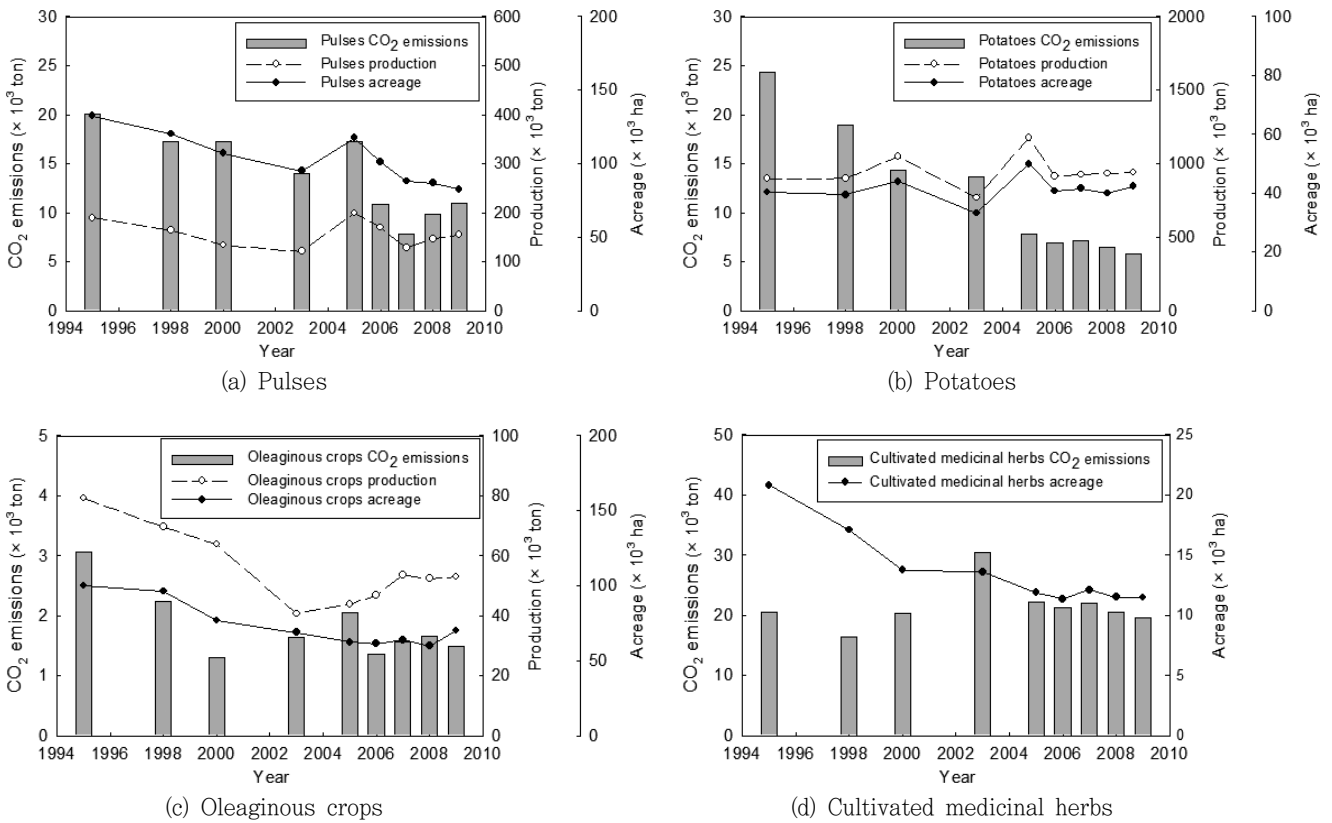


Fig. 8 Year series changes for CO<sub>2</sub> emissions, production and acreage of other edible crops

의 경우 재배면적과 생산량이 비슷한 추세로 감소하는 경향을 나타냈으나 과실류의 경우 재배면적의 감소에도 생산량은 오히려 증가하는 것으로 나타났다.

채소, 과실류의 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적의 Spearman 상관계수 중 재배면적과의 상관계수는 둘 다 유의수준  $p < 0.05$ 에서 부의 상관관계를 나타낸다. 하지만 채소류와 과일류는 그 품종과 생육특성이 다양하며 시설재배와 노지재배 등 재배방식도 다양하여 단순히 총 생산량과 재배면적으로는 이산화탄소 배출량을 추정하는 것은 어려울 것이라 판단된다.

#### 라. 기타 식용작물

기타 식용작물 부문은 콩류, 감자류, 유지작물, 약용작물 및 기타 식용작물 부문으로 구성되어 있으며, 통계자료가 존재하는 콩류, 감자류, 유지작물, 약용작물의 각 작물별 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적의 상관계수를 산출하였다. 약용작물의 경우 생산량 통계가 존재하지 않아 재배면적 통계만을 사용하였다. 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적의 그래프는 Fig. 8와 같으며, Table 6은 콩류, 감자류, 유지작물, 약용작물의 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적과의 상관계수를 나타냈다.

콩류의 경우 2003~2005년을 제외하면 재배면적과 이산화탄

Table 6 Spearman correlation coefficient between CO<sub>2</sub> emissions and production, acreage of other edible crops (n = 9)

		Correlation coefficient	Significance probability
Pulses	Production	0.433	0.244
	Acreage	0.833	0.005**
Potatoes	Production	-0.417	0.265
	Acreage	-0.233	0.546
Oleaginous crops	Production	0.250	0.516
	Acreage	0.283	0.460
Cultivated medicinal herbs	Acreage	-0.233	0.546

\*\* Highly significant at  $p < 0.01$

소 배출량은 감소 추세를 보이고 있고, 생산량은 최근 들어 증가하는 추세를 나타내고 있으며, 감자류와 유지작물의 경우 이산화탄소 배출량은 꾸준히 감소하고 있는 반면 생산량과 생산면적은 많은 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 약용작물의 경우 재배면적은 꾸준히 감소하고 있는 반면 이산화탄소 배출량은 년도별로 많은 차이를 보이지 않았다.

기타 식용작물의 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적의

Spearman 상관계수 분석 결과 콩류 부문은 이산화탄소 배출량과 재배면적과의 상관관계가 0.833, 유의확률이 0.005로 산출되어 유의수준  $p < 0.01$ 에서 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 개별적산법으로 콩의 이산화탄소 배출량을 산정한 경우 비료를 제외하고 육묘용 모판이 가장 많은 이산화탄소를 배출하는 것으로 알려져 있으며 (So et al., 2010a), 재배면적과 모판생산량은 비례할 것이라 판단된다. 따라서 콩류의 생산량 변화를 통해 이산화탄소 배출량을 추정할 수 있을 것으로 사료된다. 감자류와 유지작물, 약용작물의 경우 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적은 상관관계를 가지지 않는 것으로 나타났다. 이는 각 부문을 구성하고 있는 작물들의 종류가 다양하고 생육특성이 달라 전체적인 부문의 생산량이나 재배면적으로는 이산화탄소 배출량 추정이 어렵기 때문이라고 판단된다.

마. 비식용작물

비식용작물은 섬유작물, 잎담배, 화훼작물, 천연고무, 종자 및 묘목, 기타 비식용작물 등 6개의 기본부문으로 구성되어 있으나, 화훼작물부문의 재배면적 통계자료만 존재하기 때문에, 화훼작물의 이산화탄소 배출량과 재배면적의 그래프를 Fig. 9와 같이 작성하였고, 화훼작물의 이산화탄소 배출량과 재배면적의 Spearman 상관계수는 Table 7에 정리하였다.

화훼작물의 경우 2003년에서 2005년 재배면적과 이산화탄소 배출량이 급격히 증가한 것으로 나타났으며, 2005년 이후에는

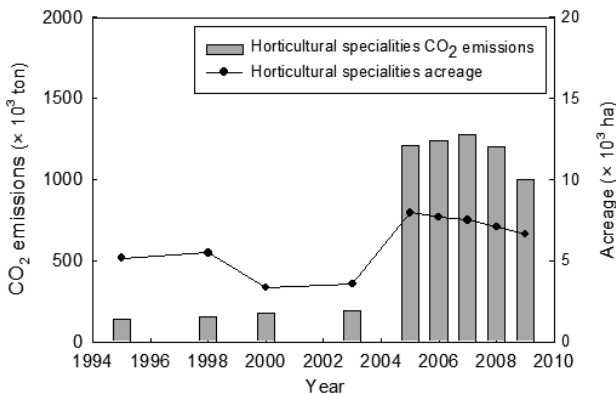


Fig. 9 Year series changes for CO<sub>2</sub> emissions and acreage of horticultural specialties

Table 7 Spearman correlation coefficient between CO<sub>2</sub> emissions and acreage of horticultural specialties (n = 9)

		Correlation coefficient	Significance probability
Horticultural specialties	Acreage	0.800	0.010*

\* Significant at  $p < 0.05$

화훼 재배면적이 감소하고 있는 것으로 나타났다.

이산화탄소 배출량과 재배면적과의 Spearman 상관계수는 0.800, 유의확률은 0.010으로 나타나 유의수준  $p < 0.05$ 에서 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 화훼작물을 재배하는 온실의 보온, 가온에서 가장 많은 에너지를 사용할 것이라 판단되며, 시설 재배면적에 따라 사용 에너지가 비례하여 증가할 것으로 판단된다. 따라서 화훼작물의 재배면적 변화를 통해 이산화탄소 배출량을 추정할 수 있을 것이다.

3. 벼, 보리, 콩류, 화훼작물의 이산화탄소 배출량 추정

농작물의 이산화탄소 배출량과 생산량, 재배면적의 상관관계를 추정한 결과 벼, 보리, 콩류, 화훼작물부문에서 상관관계가 존재하는 것으로 나타났으며 벼, 보리, 콩류와 화훼작물의 이산화탄소 배출량과 재배면적간의 선형 회귀분석을 실시하여 이산화탄소 배출량을 추정할 수 있는 회귀식을 작성하였다. 회귀식은 식 (1)의 형태로 나타낼 수 있으며, 계수 a, b의 값과 회귀식의 R<sup>2</sup> 값은 Table 8에 정리하였다.

$$CO_2\ emissions\ (ton) = a \times (Acreage\ (ha)) + b \quad (1)$$

Table 8 Parameters in regression equations of rice, barley, pulses and horticultural specialties for estimating CO<sub>2</sub> emissions

Crops	Regression equation		R <sup>2</sup>
	a	b	
Rice	2.323	- 1.911×10 <sup>6</sup>	0.929
Barley	4.577	- 2.286×10 <sup>5</sup>	0.615
Pulses	0.222	- 9.067×10 <sup>3</sup>	0.814
Horticultural specialties	280.479	- 9.631×10 <sup>5</sup>	0.819

회귀분석 결과 네 부문의 R<sup>2</sup> 값이 0.615~0.929으로 비교적 높은 상관성을 보였으며, 특히 벼 부문의 경우 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다. a 값이 클수록 단위재배면적당 이산화탄소 배출량이 큰 작물임을 추정할 수 있으며 화훼작물이 단위재배면적당 이산화탄소 배출량이 다른 작물에 비해 상당히 큰 것으로 판단된다. 이 식들을 통해 산업연관표가 작성되지 않는 년도에 대한 벼, 보리, 콩류와 화훼작물의 이산화탄소 배출량 추정이 가능할 것이라고 판단된다.

V. 요약 및 결론

본 연구에서는 농작물의 이산화탄소 배출량 변화를 분석하고 통계자료와의 연관성을 분석하기 위해 1995~2009년도 환경산



업연관표를 작성하고 생산량, 재배면적과 같은 통계자료를 활용하여 작물의 이산화탄소 배출 특성을 파악하고, 통계자료를 통한 이산화탄소 배출량의 추정 가능성을 확인하였다.

우리나라 총 산업의 이산화탄소 배출량은 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있으며, 농작물의 이산화탄소 배출량은 2003년 기점으로 크게 증가하였으나 2006년 이후부터 꾸준한 감소 추세를 보이고 있다. 이는 최근 전체 산업에서 농업분야의 비중이 감소하는 것으로 판단할 수 있다.

산업연관표의 통합중분류 중 농작물부문의 17개 기본부문 중 통계자료가 존재하는 11개 부문에 대하여 이산화탄소 배출량 변화를 분석하고 생산량, 재배면적 등 통계자료와의 상관계수를 산출하였다. 그 중 벼, 보리, 콩류, 화훼작물부문에 대해 재배면적과 이산화탄소 배출량의 상관성이 존재하는 것을 파악하였다. 벼부문과 보리부문, 콩류부문의 이산화탄소 배출량과 재배면적과의 상관계수는 각각 0.917, 0.900, 0.933으로 모두 유의수준  $p < 0.01$ 수준에서 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났고, 화훼부문의 경우 상관계수가 0.800로  $p < 0.05$ 수준에서 상관성을 보이는 것으로 나타났다.

상관성이 존재하는 벼, 보리, 콩류, 화훼작물의 이산화탄소 배출량과 재배면적에 대한 회귀분석을 통해 이산화탄소 배출량을 추정할 수 있는 회귀식을 작성하였으며,  $R^2$  값이 0.615~0.929로 산출되어 벼, 보리, 콩류, 화훼작물 부문의 재배면적을 통해 이산화탄소 배출량을 추정할 수 있을 것이라 판단한다.

본 연구를 통해 1995~2009년의 농작물의 이산화탄소 배출량 변화를 파악할 수 있었으며 상관분석과 회귀분석을 통해 벼, 보리, 콩류, 화훼작물의 이산화탄소 배출량과 재배면적에 대한 회귀식을 작성하였다. 이를 통해 향후 재배면적 변화율을 반영하였을 때, 미래 평가 시점의 이산화탄소 발생량 예측이 가능할 것이라 생각된다.

이 연구는 2013년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2012 R1A1A1010633)

## REFERENCES

1. Eggleston, S. H., 2007, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 1.17-1.18. Hayama, Kanagawa, Japan: Institute for Global Environmental Strategies.
2. Hoeven, M. V., 2012, CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion Statistics Highlights, 47-86, Paris, France: International Energy Agency.
3. Hong, S. G., 2010, Environmental Impact Assessment of Rapeseed and Barley Cultivation in Wintery Paddy Field Using Life Cycle Assessment. Ph.D. diss., Seoul, Korea: Korea University (in Korean).
4. Jung, Y. C., S. E. Kim, Y. J. Jang, T. H. Kim, and G. H. Kim, Application of Input-Output Table to Estimate of Amount of Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Emission Intensity in the Construction Materials -Focusing on Input-Output Tables Published in 2005, 2007-, 2011, *Journal of the Korea Institute of Building Construction* 11(3): 247-255 (in Korean).
5. Kim, C. S., and H. K. Lee, 2009, An Analysis of CO<sub>2</sub> Emission in Korean Agriculture Sector, *Journal of Rural Development* 32(1): 41-61 (in Korean).
6. Kim, Y. K., 2006, Study on Making and Analysis Environmental Input-Output Table, *National Accounts*, 24: 28-62. Seoul, Korea: The Bank of Korea (in Korean).
7. Kim, Y. K., 2011, CO<sub>2</sub> Emission Structure Analysis of Industrial Sector with Environmental Input-Output Table 2005, *Environmental and Resource Economics Review* 20(1): 1-31 (in Korean).
8. Korea Energy Economics Institute, 2011. Yearbook of Energy Statistics. Uiwang, Korea.
9. Korea Energy Management Corporation, 2006. Energy Calorific Conversion Standards Application Manual. Yongin, Korea
10. Korea Iron and Steel Association, 1996-2010. Korea Iron and Steel Association Bulletin. Seoul, Korea.
11. Lee, H. K., 2008, Environmental Input-Output Analysis for the Agricultural Sector. M. S. diss., Daegu, Korea: Kyungpook University (in Korean).
12. Leontief, W. W., 1936, Quantitative Input and Output Relations in the Economic System of the United States, *The Review of Economics and Statistics* 18(3): 105-125.
13. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2000, 2006, 2011. Food, Agriculture, Forestry and Fisheries Statistical Yearbook. Gwacheon, Korea.
14. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2010. Food, Agriculture, Forestry and Fisheries Major Statistical Yearbook. Gwacheon, Korea.

15. Park, C. G., 2009. An Analysis of CO<sub>2</sub> Emission Structure in Korean Industry Using Hybrid IO Table, *Journal of Environmental Policy* 8(1): 49-72 (in Korean).
16. Ryu, J. H., Y. R. Kwon, G. Y. Kim, J. S. Lee, K. H. Kim, and K. H. So, 2012, Life Cycle Assessment on Rice Production Systems: Comparison of Greenhouse Gases Emission on Conventional Without Agricultural Chemical and Organic Farming, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 45(6): 1157-1163 (in Korean).
17. Sim, S. Y., 2005, Making Energy Input-Output Table, 1-152. 05-01. Uiwang, Gyeonggi: Korea Energy Economics Institute (in Korean).
18. So, K. H., G. Z. Lee, K. Y. Kim, H. C. Jeong, J. A. Park, and D. B. Lee, 2010a, Estimation of Carbon Emission and LCA from Soybean Production System, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 43(6): 898-903 (in Korean).
19. So, K. H., J. A. Park, G. Z. Lee, K. M. Shim, J. H. Lee, and K. A. Roh, 2010b, Estimation of Carbon Emission and LCA from Rice Production System, *Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 43(5): 594-599 (in Korean).
20. The Bank of Korea, 1998a. Economic Statistics Yearbook 1998. Seoul, Korea.
21. The Bank of Korea, 1998b. 1995 Input-Output Tables. Seoul, Korea.
22. The Bank of Korea, 2001. 1998 Input-Output Tables. Seoul, Korea.
23. The Bank of Korea, 2003. 2000 Input-Output Tables. Seoul, Korea.
24. The Bank of Korea, 2007. 2003 Input-Output Tables. Seoul, Korea.
25. The Bank of Korea, 2008. 2005 Input-Output Tables. Seoul, Korea.
26. The Bank of Korea, 2009a. 2006 Input-Output Tables. Seoul, Korea.
27. The Bank of Korea, 2009b. 2007 Input-Output Tables. Seoul, Korea.
28. The Bank of Korea, 2011a. 2008 Input-Output Tables. Seoul, Korea.
29. The Bank of Korea, 2011b. 2009 Input-Output Tables. Seoul, Korea.