

Calculation of GHGs Emission from LULUCF-Cropland Sector in South Korea

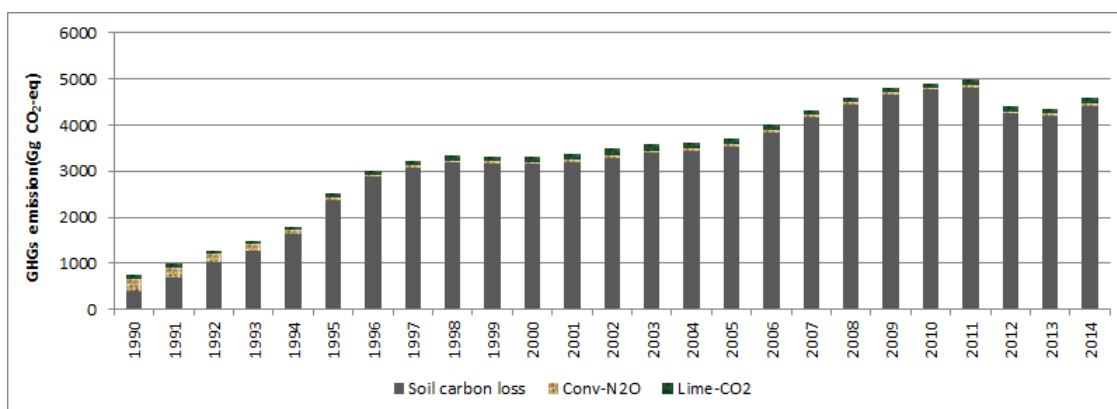
Seong-Jin Park*, Chang-Hoon Lee, Myung-Sook Kim, Sun-Gang Yun, Yoo-Hak Kim, and Byong-Gu Ko

Soil & Fertilizer Division, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Rep. of Korea

(Received: December 14 2016, Revised: December 23 2016, Accepted: December 26 2016)

The land use, land-use change, and forestry (LULUCF) is one of the greenhouse gas inventory sectors that cover emission and removals of greenhouse gases resulting from land use such as agricultural activities and land use change. Particularly, LULUCF-Cropland sector consists of carbon stock changes in soil, N₂O emissions from disturbance associated with land use conversion to cropland, and CO₂ emission from agricultural lime application. In this paper, we conducted the study to calculate the greenhouse gases emission of LULUCF-Cropland sector in South Korea from 1990 to 2014. The emission by carbon stock changes, conversion to cropland and lime application in 2014 was 4424, 32, and 125 Gg CO₂-eq, respectively. Total emission from the LULUCF-Cropland sector in 2014 was 4,582 Gg CO₂-eq, increased by 508% since 1990 and decreased by 0.7% compared to the previous year. Total emission from this sector showed that the largest sink was the soil carbon and its increase trend in total emission in recent years was largely due to loss of cropland area.

Key words: LULUCF, Soil Organic Carbon, Cropland, GHGs emission



Trends in GHG emission from LULUCF-Cropland sector in South Korea.

*Corresponding author: Phone: +82632382452, Fax: +82632383822, E-mail: archha98@korea.kr

§Acknowledgement: This study was supported by research project of National Institute of Agricultural Science (PJ00934801), Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

지구 온난화의 주범인 온실가스를 줄이려는 관심이 커지고 있다. 2015년 파리에서 열린 UN기후변화협약에서 파리협정문이 결의되었고 전세계의 모든 국가가 온실가스 감축의무를 가지게 되었다. 우리나라는 중국, 미국 등에 이어 전세계 7위의 온실가스 다배출국에 해당 (GIR, 2015)되며 이에 따른 감축량 설정을 위해 현재의 배출량 산정에 힘쓰고 있다.

우리 정부는 온실가스 저감 계획 수립 및 관리를 위해 저탄소 녹색성장 기본법 시행령 및 온실가스 총괄관리규정을 두고 5개 부문 (에너지, 산업, 농축산, LULUCF, 폐기물)로 나누어 산정하도록 하고 있다. 그 중 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 (LULUCF, Land use, Land use change and Forestry) 분야는 토지이용의 변화에 따라 발생하는 모든 인위적인 온실가스 배출량과 흡수량을 동시에 산정한다. 전국을 토지이용에 따라 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타토지로 나누며 발생하는 배출가스로는 CO₂, N₂O가 있고 그 중 CO₂의 비중이 절대적이다 (IPCC, 2003).

온실가스 배출량 산정 방법은 국제적으로 공용되고 있는 IPCC 산정지침을 따르고 있다. IPCC는 1996년 가이드라인을 발표하는데 이어 2003년 LULUCF분야의 산정을 위한 우수실행지침 (IPCC GPG-LULUCF)을 제공하고 있으며 산정 수준을 1~3단계 (Tier 1~3)으로 나누고 국가별 수준에 따라 산정하도록 권고하고 있다. IPCC 지침을 적용하기 위해서는 지침의 정확한 이해뿐 아니라 때론 의사결정을 위해 주관적인 판단이 필요한 부분이 있다. 이에 우리나라는 국무조정실 국가온실가스 종합 정보센터를 주축으로 IPCC 산정지침을 국내에 적용시키기위한 국가공통의 의사결정과 국내실정에 맞는 MRV (산정, 보고, 검증)지침을 작성하여 그에 따르도록 하고 있다.

국내 LULUCF 분야의 과거 연구 자료로는 산림지와 관련된 연구 (Lee et al., 2001)와 농업 활동에 의한 온실가스 배출량에 관한 연구 (Jeong et al., 2011)가 있으나, 토지이용분야의 농경지에 관한 연구 자료는 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 국제기준인 IPCC GPG-LULUCF 및 국내 MRV 지침을 토대로 산정에 필요한 '활동자료'를 작성하고 LULUCF-Cropland 부분의 온실가스 배출량을 산정하고자 하였다.

Materials and Method

LULUCF-Cropland 분야의 온실가스 배출량 산정을 위해 IPCC 우수실행지침에 따라 면적변화량을 파악하기위한 활동 자료를 작성하고, 「농경지로 유지된 농경지」와 「타토지에서 전용된 농경지」에서의 '토양탄소축적 변화량에 따른 CO₂발생', '농경지 석회사용에 따른 CO₂발생', '농경지 전용에 따른 N₂O 발생'으로 나누어 산정하였다. 총합은 GWP (Global Warming Potential)의 전환값 (N₂O의 CO₂ 전환계수 : x 310)을 이용해

CO₂-eq 단위로 나타내었다.

면적 활동자료 산정지침에 따라 토지이용변화에 따른 온실가스 배출량 산정을 위해 논, 밭, 과수원으로 토지이용을 나누고 다시 토양형별로 작성하였다. 국내 농경지 면적과 관련된 통계 중 시계열의 완전성과 비교적 상세한 정보를 제공하는 통계청의 '농업면적조사 (1970~2014)' 자료를 이용하였다 (KSIS, 2016). 단, '농업면적조사'에는 논, 밭의 면적 자료만 제공해주므로 과수원 면적을 산정을 위해 '농업면적조사 논, 밭 - 뽕밭, 기타수원지, 기타작물'과 '농업면적조사 논, 밭 - 시설작물 과수재배면적' 부분을 분리시켜 과수원 면적을 산정하였다 (GIR, 2016). 토양형에 따른 분류는 국내 농경지 토양의 특성을 가장 잘 나타내고 있는 농촌진흥청의 '한국 토양 분류 및 해설 (2011)' 자료를 활용하였다.

토양탄소 축적 변화량에 따른 CO₂ 발생 '농경지로 유지된 농경지'와 '전용된 농경지'의 탄소 축적 변화량은 우리나라의 경우 유기토양에 대한 보고가 매우 적어 무기토양 부분만 산정하였다 (GIR, 2016).

IPCC의 Approach 1 방법에 따라 '농경지로 유지된 농경지'의 면적산정방법은 '해당년도면적'과 '20년 전의 농경지 면적' 중에 적은 면적을 '농경지로 유지된 농경지 면적'으로 하였다. '전용된 농경지면적'은 '20년 전의 농경지 면적'과 비교하여 증가분은 '타토지에서 전용된 농경지'로 감소분은 '타토지로 전용된 농경지' 면적으로 구분하였다. 토양탄소 축적변화량에 영향을 주는 기본축적계수 (SOC_{ref})와 축적변화계수 (F_{LU} : 토지이용, F_{MG} : 경운관리, F_I : 유기물사용)은 IPCC에서 제공하는 기본값을 적용하였으며 산정식은 다음 (Eq. 1)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Annual change in organic carbon stocks in mineral soils} \\ \Delta C_{\text{Mineral}} = [(SOC_0 - SOC_{0-T}) \times A] / T \quad (\text{Eq. 1}) \\ SOC = SOC_{\text{REF}} \times F_{\text{LU}} \times F_{\text{MG}} \times F_{\text{I}} \end{aligned}$$

where, $\Delta C_{\text{Mineral}}$: annual change in carbon stocks in mineral soils (tonnes C/year)

SOC₀ : soil organic carbon stock in the last year of an inventory time period (tonnes C/ha)

SOC_{0-T} : soil organic carbon stock at the beginning of the inventory time period (tonnes C/ha)

T : number of years over a single inventory time period (year, default: 20 year)

A : land area being estimated (ha)

SOC_{REF} : the reference carbon stock (tonnes C/ha)

F_{LU} : stock change factor for land-use systems

F_{MG} : stock change factor for management regime

F_1 : stock change factor for input of organic matter

농경지전용에 따른 N_2O , 석회사용에 따른 CO_2 질소의 배출계수는 IPCC 기본값인 0.0125이고, C/N률은 15를 이용하여 계산하였다. N_2O 에서 CO_2 로의 변환은 GWP값 310을 곱하여 구하였다. 석회사용에 따른 이산화탄소 배출량 산정을 위해 석회종류별 사용량 자료가 필요하나 실제 조사된 자료가 없어 '비료사업 통계요람 (2015)' 자료의 연간 석회공급량 자료로 대체하였다 (NACF, 2015). 석회석 ($CaCO_3$)과 백운석 ($CaMg(CO_3)_2$)의 배출계수는 역시 IPCC 기본값인 0.12와 0.13이다.

Results and Discussion

면적 활동자료 작성 IPCC가 제시한 토양형구분에 따라 우리나라 토양형을 분류하여 각각의 면적을 산정한 결과는 Table 1과 같다.

IPCC는 활동자료 작성 시 토양유기탄소 축적계수 적용을 위해 6개의 토양형을 제공하고 각 나라의 실정에 맞게 선택하여 적용하길 권하고 있다. 이를 우리나라에 접목시키려면 6가지 토양형에 대한 이해가 필요하다. HAC (고활성 점토)형은 2:1형 실리카 점토광물이 다수 분포하는 중간정도의 풍화된 토양을 말하며 미국 농무부 분류기준에 따라 Mollisols, Vertisols, High-base status Alfisols, Aridisols, Inceptisols

Table 1. Activity data on LULUCF-Cropland area, 1990~2014 (ha).

Soil type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
P ^{**} LAC	1,283,904	1,272,871	1,251,003	1,234,453	1,204,003	1,141,240	1,113,035	1,106,434	1,102,717
P ^{**} SANDY	57,421	56,927	55,949	55,209	53,847	51,040	49,779	49,484	49,317
P ^{**} VOLCANIC	886	788	474	234	209	206	205	205	205
U ^{**} LAC	543,520	531,347	526,601	521,088	519,008	524,867	518,121	502,384	492,942
U ^{**} SANDY	35,383	34,590	34,281	33,922	33,787	34,168	33,729	32,705	32,090
U ^{**} VOLCANIC	32,854	31,976	30,948	30,538	33,021	31,734	30,181	30,272	30,672
O ^{**} LAC	127,466	134,036	140,904	148,512	157,439	168,733	166,245	167,672	167,866
O ^{**} SANDY	6,330	6,656	6,997	7,375	7,819	8,379	8,256	8,327	8,336
O ^{**} VOLCANIC	21,048	21,686	22,776	23,483	23,573	24,889	25,929	26,040	25,935
Soil type	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
P ^{**} LAC	1,099,033	1,095,875	1,093,661	1,085,609	1,073,968	1,062,503	1,052,287	1,027,382	1,015,780
P ^{**} SANDY	49,153	49,012	48,913	48,552	48,032	47,519	47,062	45,948	45,429
P ^{**} VOLCANIC	195	195	194	194	194	171	171	101	101
U ^{**} LAC	486,690	481,560	476,903	473,468	469,341	471,786	471,537	474,839	463,517
U ^{**} SANDY	31,683	31,349	31,046	30,822	30,554	30,713	30,697	30,912	30,175
U ^{**} VOLCANIC	32,536	32,857	32,980	31,345	32,411	35,388	35,575	34,731	33,712
O ^{**} LAC	165,443	163,636	158,770	157,197	157,761	156,395	156,254	155,786	161,456
O ^{**} SANDY	8,216	8,126	7,885	7,807	7,835	7,767	7,760	7,736	8,018
O ^{**} VOLCANIC	25,976	26,155	25,791	27,628	25,898	23,392	22,696	23,035	23,391
Soil type	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
P ^{**} LAC	991,200	958,895	935,287	912,825	919,431	917,165	880,909		
P ^{**} SANDY	44,330	42,885	41,829	40,825	41,120	41,019	39,397		
P ^{**} VOLCANIC	84	58	33	33	33	32	19		
U ^{**} LAC	460,062	461,806	458,185	462,286	485,276	468,529	459,237		
U ^{**} SANDY	29,950	30,063	29,827	30,094	31,591	30,501	29,896		
U ^{**} VOLCANIC	33,561	35,936	35,674	35,190	37,464	39,027	40,723		
O ^{**} LAC	168,207	174,975	181,885	183,850	182,141	182,313	182,328		
O ^{**} SANDY	8,353	8,689	9,033	9,130	9,045	9,054	9,055		
O ^{**} VOLCANIC	23,048	23,491	23,548	23,807	23,880	23,796	23,615		

P^{**} : Paddy area, U^{**} : Upland area, O^{**} : Orchard area

이 해당된다. LAC형 토양은 1:1형 점토광물, 비경정질 철, 산화 알루미늄이 다수 분포하는 고도로 풍화된 토양이며 Ultisols, Oxisols, acidic Alfisols을 포함한다 (Jobbagy and Jackson, 2000). Sandy (사질)형은 모래가 70% 초과하고 점토가 8% 미만인 토양, Spodic (스포딕)형 회백토화가 많이 진행된 토양, Volcanic (화산토)형은 allophane이 다수 분포하는 화산지역 토양, Wetland (습지토)형은 주기적인 침수와 혐기상태로 배수가 제한된 토양을 뜻한다. 농촌진흥청의 ‘한국 토양분류 및 해설 (2011)’에 따르면 우리나라는 HAC형에 해당하는 Inceptisols과 Molisols, 그리고 Alfisol을 가지고 있고 LAC형에 해당되는 Ultisol을 포함하고 있다 (농촌진흥청, 2011). 그러나 모든 Inceptisol, Molisol이 고활성 점토를 가지는 것은 아니며 IPCC에서 제시한 HAC형 난온대의 기본토양유기탄소 (SOCref)의 함량 88 ton C ha⁻¹은 Lee et al. (2006)이 제시한 우리나라 농경지토양의 유기탄소함량인 63 ton C ha⁻¹보다 훨씬 높다는 점에서 토양목을 이용한 분류를 그대로 적용시키기 어려운 점이 있다. 따라서 점토 함량도 정의에 따라 토양형을 구분하였다. 우리나라의 경우 대부분 화강암, 혹은 화강편마암을 모재로 하는 카올린 계열로 점토활성도가 0.3이하의 저활성 점토로 구성되어 있다는 점 (Zhang et al., 2010)에서 HAC형 토양은 없고 LAC형 토양만 존재한다고 판단하였다. Sandy형 토양은 모래함량 기준에 따라 우리나라의 ‘한국토양분류 및 해설’ 자료의 사토와 사력질토가 해당된다 (Table 2).

Spodic형 토양, Wetland형 토양은 우리나라에 존재하지 않거나 그 면적이 매우 적어 토양형 분류에 포함시키지 않았으며 제주도 지역의 농경지는 모두 Volcanic 형 토양으로 간

주하였다. Sandy형 토양에 해당하는 31개의 토양통 중에 제주도에 존재하는 7개를 제외한 24개의 토양통의 면적을 대상으로 면적 비율을 계산한 결과 Sandy 형 토양의 비율은 논, 밭, 과수원에서 각각 4.3, 6.1, 4.7%를 차지하였다. LAC형 토양은 Sandy형 토양을 제외한 나머지 95.7, 93.9, 95.3%로 하였다.

1990년 대비 2014년의 우리나라 전체 농경지토양 면적변화는 2109 Kha (1990년)에서 1665 Kha (2014년)으로 약 27% 감소하였고 토지이용별로는 논, 밭에서 46%, 15%가 감소하고 과수원에서만 28% 증가한 결과를 나타내었다.

토양탄소 축적변화량 산정 기후대 선정은 평균온도와 강우량대비 증발산량을 고려하여 난온대 습윤(Warm Temperate, Moist)으로 정하였고 LAC, Sandy, Volcanic 토양에 대한 기본탄소축적량 (SOCref) 계수를 적용하였다 (GIR, 2016). 토양탄소의 축적 변화계수 중 토지이용형태별 축적량 변화계수 (F_{LU})는 장기 경작, 논벼, 휴경으로 구분하고 있으며 장기 경작은 우리나라의 기후대 (온대 습윤)에 따라 밭과 과수원을 대상으로 0.71을 적용하고 논벼에 대해서는 기후대에 관계없이 1.1을 적용하였다. 경운방법별 축적량변화계수 (F_{MG})는 전면, 감소, 무경운의 3단계로 나누고 있으나 경운정도에 대한 통계자료는 매우 빈약하다. 다만, 우리나라의 대부분이 기계경운을 하고 있어 전면 경운에 가깝다는 판단하에 1.0을 적용하였다. 유기물 투입형태별 축적량변화계수 (F_I)는 식량작물 중 곡물류에 대해 보충유기물을 투입하는 중간 값인 1.0을 적용하였다. 토양탄소 축적량 산정에 적용된 계수를 Table 3

Table 2. Sandy soil series and portion of area in South Korea.

Sandy soil series	Portion (%)
Geumcheon, Nagdong, Myeogji, Beagsu, Bicheon, Sadu, Sindab, Yeompo,	4.3 in Paddy
Except Jeju Jangchoen, Togyae, Hasa, Haeri, Hwabong, Gapo, Namgye, Daebon, Dosan, Suam,	6.1 in Upland
Ibseok, Pungcheon, Haggog, Haengsan, Hongcheon, Hwangryong	4.7 in Orchard

<Taxonomical classification of Korean soil, 2011>

Table 3. Removal/emission factor for calculation of LULUCF-Cropland from GPG-LULUCF.

Factor value type	Level	Factor value
Soil	Low Activity Clay	63 C ha ⁻¹
	Sandy	34 C ha ⁻¹
	Volcanic	80 C ha ⁻¹
Soil organic carbon	Paddy Rice	0.71
	Long-term Cultivate	1.1
Land-use	Full	1.0
	Medium	1.0
Tillage		1.0
Input		1.0
N ₂ O from land converted to cropland		0.0125 kg N ₂ O-N/kg
Lime	Limestone	0.13 t C t ⁻¹
	Dolomite	0.12 t C t ⁻¹

<GPG-LULUCF, 3.76, 3.77 Table 3.3.3, 3.3.4>

에 나타내었다.

‘농경지에서 유지된 농경지’의 토양탄소 축적변화량은 20년전의 토양과 비교하여 기본토양탄소 축적계수가 동일하고 탄소축적 변화계수 또한 같은 값을 적용하므로 축적변화량은 ‘0’로 계산되어진다. ‘농경지 전용에 의한 토양탄소 축적변화량’은 타토지에서 농경지로 유입된 면적과 농경지에서 타토지로 전용된 면적변화에 따라 산정되며 그 결과는 Fig. 1과 같다.

토양탄소 축적변화량은 산정기간 중 시작년도인 1990년부터 2011년까지 꾸준히 감소하다가 소폭 상승하였으나 전반적으로 감소추세를 보였다. 2014년 토지이용변화에 의한 토양탄소 축적변화량은 -1206.6 Gg C 으로 감소하였으며 각 산정년도의 토양탄소 축적변화량은 IPCC 산정지침에 따라 20년전의 탄소축적량과 비교한 변화량이다. 따라서 산정년도와 비교년도 (-20년)의 농경지 면적 차이가 줄어들고 있는 밭토양의 경우 밭 면적이 꾸준히 감소했음에도 토양탄소 축적량이 증가하는 것을 볼 수 있다. 논외의 경우 농경지 면적은 감소하는 추세이고 산정년도와 비교년도의 면적차는 증가하여 토양탄소 축적변화량이 감소하고 있는 것을 볼 수 있다. 과수원의 면적 변화는 유일하게 양의 값 (흡수)을 나타내며 탄소

축적 변화 값의 크기는 상대적으로 미비하였다. 농경지의 토양탄소 축적변화량이 계속 음의 값, 즉 배출 값으로 나타나는 것은 LULUCF-Cropland 분야의 측면에서 봤을 때 탄소 저장고인 농경지의 면적이 줄어들어 따라 토양탄소를 손실시키고 있다는 것을 의미한다.

온실가스 배출량 LULUCF-Cropland 의 온실가스 배출량은 토양탄소 축적변화량에 의한 CO₂, 농경지 전용에 따른 N₂O, 석회사용에 따른 CO₂ 발생량의 합으로 연간 변화 추이는 다음과 같다 (Fig. 2)

온실가스 배출량 변화를 살펴보면 1990년부터 1997년까지 급격히 상승하다가 이후 완만한 상승을 보였다. 2011년도에는 총 발생량이 5000 Gg C로 최고치를 나타낸 이후 감소 추세를 보였다. 농경지 면적이 감소함에도 배출량이 감소하는 원인은 농경지분야의 온실가스 배출량은 토양탄소축적 변화량에 가장 큰 영향을 받기 때문이다. 토양탄소 발생원별 온실가스 배출량 비율은 산정기간 평균의 값을 기준으로 토양탄소 축적량 손실에 의한 온실가스 배출량이 약 95%를 차지하고 석회사용에 따른 배출량이 약 3%, 농경지 전용에 의한 배출량이 약 2%였다 (Fig. 3). 따라서 LULUCF 농경지 분야의

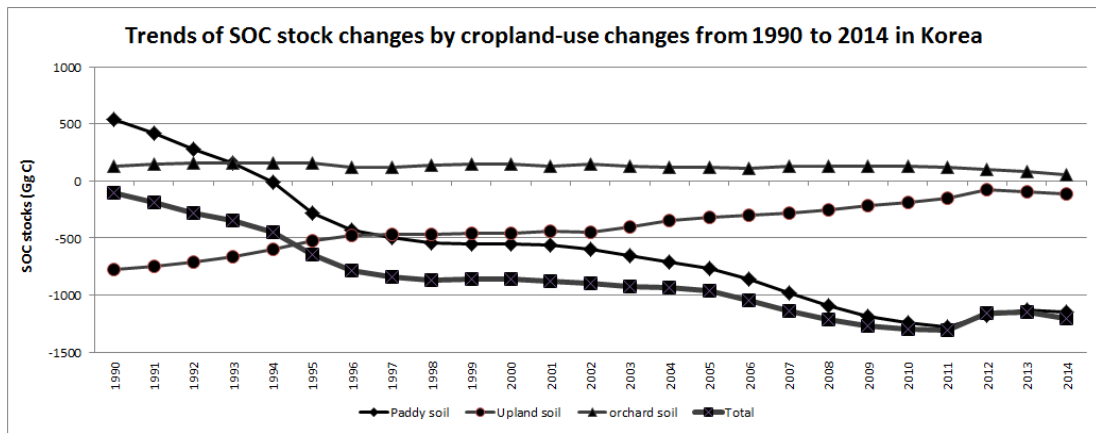


Fig. 1. Trends of SOC stock changes by land-use changes from 1990 to 2014 in South Korea.

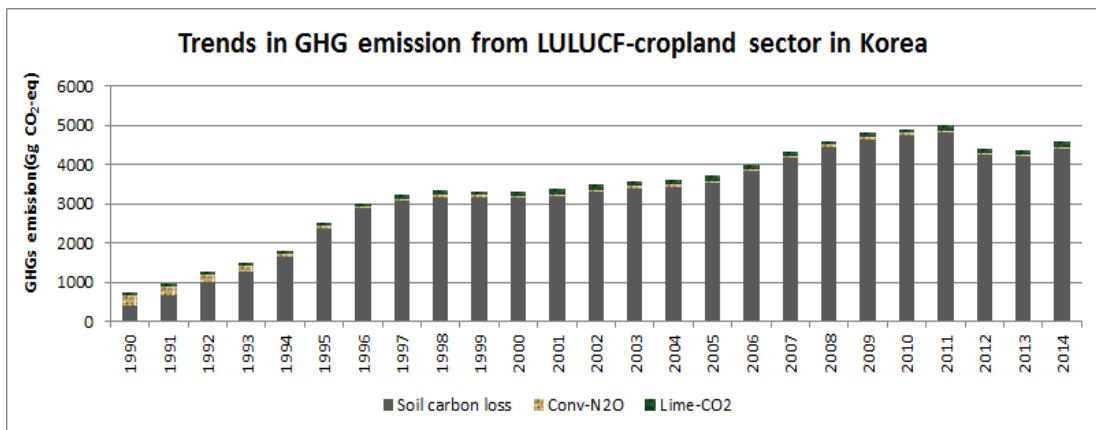


Fig. 2. Trends in GHG emission from LULUCF-Cropland sector in South Korea.

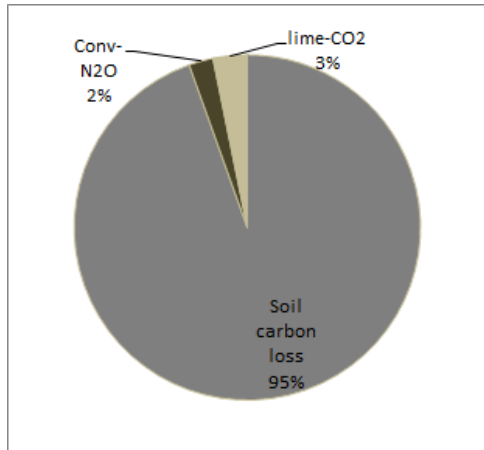


Fig. 3. Source (%) of emission by LULUCF-Cropland.

온실가스 배출량 추이는 토양탄소 축적변화량 추이와 매우 흡사한 결과를 나타내었다.

Conclusion

IPCC 2003 GPG 및 국가온실가스 종합정보센터의 MRV 지침에 따라 1990년부터 2014년까지의 LULUCF-Cropland 부문의 온실가스 배출량을 산정하였다. 1990년 745 Gg CO₂-eq였던 배출량은 꾸준히 증가하다가 2011년 5000 Gg CO₂-eq로 최고치를 기록하고 이후 2014년 4582 Gg CO₂-eq로 약간 감소하였다. 배출원별 비율은 95%이상이 토양탄소 배출에 기인한 것으로 나타났으며 석회사용에 따른 CO₂ 발생과 전용된 농경지의 N₂O 배출량은 상대적으로 미비하였다.

Annex 1 국가의 경우 LULUCF의 온실가스 배출량을 Tier 2, Tier 3 수준으로 산정하여 UNFCCC에 보고하고 있다. 일본은 IPCC 우수실행지침을 기준으로 토양목별로 자국 고유의 SOCref 값을 적용하여 Tier 2수준의 토양탄소축적변화량을 산정하고 있으며 지상·지하 바이오매스와 고사목, 과수에서의 낙엽층을 토양탄소 저장고로 산정에 포함시키고 있다 (GIO, 2015). 또한 호주는 공간정보에 기초한 자료 (spatially referenced data)와 탄소순환 생태계 모형 (Full carbon accounting model)을 이용하여 배출흡수량을 산정하고 있으며 부분적으로 Tier 3 방법을 적용시키고 있다.

본 연구에서 Tier 1수준으로 산정을 하였으나 아직 여러 한계를 가지고 있다. 먼저 활동자료 작성에서의 문제는 면적 변화 이력을 알지 못하고 단순히 변화된 값에 의존하여 산정한다는 점이다. 또한 LULUCF 산정은 산림지와 습지 (국립산림과학원), 농경지 (국립농업과학원), 초지 (국립축산과학원), 정주지 (국토연구원)에서 각각 산정하고 있으나 면적변화에

대한 공통된 국가통계를 이용하지 못하여 전국단위의 토지 이용 변화에 관한 면적 산출이 불가하다는 것이다. 배출계수 적용에 있어서도 우리나라의 고유계수를 적용하지 못하고 IPCC의 기본값만을 적용하였다는 한계를 가진다.

이러한 단점들을 해결하고 산정수준을 고도화하기 위해 위성, 항공 영상을 활용한 GIS (Geographic Information System) 기반의 활동자료 매트릭스 구축이 필요하다. 또한 토양탄소 기본축적계수 (SOCref)와 축적변화계수의 국내 고유계수 개발이 우선시 되어야 할 것이다.

위와 같은 산정 고도화 방법을 차근히 준비해 나간다면 LULUCF 농경지분야의 온실가스 발생량을 정확히 파악하고 적절한 국가정책을 세우는 초석이 될 수 있을 것이다.

References

- Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea (GIR). 2015. National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea.
- Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea (GIR). 2016. Guidelines of Measurement, Report and Verification of National Greenhouse Gas Inventory, Korea.
- Greenhouse Gas inventory office of Japan (GIO). 2015. National Greenhouse Gas Inventory Report of Japan.
- IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land use, Land Use Change and Forestry.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Jeong, H.C., G.Y. Kim, D.B. Lee, K.M. Shim, and K.K. Kang. 2011. Assessment of greenhouse gases emission of agronomic sector between 1996 and 2006 IPCC guideline. Korean J. Soil Sci. Fert., 44(6):1214-1219.
- Jobbagy, E.G. and R.B. Jackson. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecological Applications, 19(2):423-436.
- Korean Statistical Information Service. 2016. Investigation of agricultural area of Korea (1970-2014), <http://Kosis.kr/>
- Lee, K.H., Y.M. Son, and Y.S. Kim. 2001. Greenhouse Gas Inventory in Land-use Change and Forestry in Korea.
- National agricultural cooperatives federation. 2015. Statistical Manual of Fertilizer Business.
- Rural development administration of Korea. 2011. Taxonomical Classification of Korean Soils.
- Zhang, Y.S., Y.K. Sonn, C.W. Park, and B.K. Hyun. 2010. The relation between CEC, clay, content and clay activity classes in soil with different clay minerals, Korean J. Soil Sci. Fert. 43(6):837-843.