

밀 영농부산물 소각에 따른 온실가스 배출계수 개발

송새눈* · 우지윤* · 김민욱** · 김승진*** · 노준영**** · 전의찬*****†

*세종대학교 기후환경융합학과 박사과정학생, **농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구사, ***㈜휴엔릭스 첨단기술연구소 대표, ****㈜휴엔릭스 첨단기술연구소 과장, *****세종대학교 기후환경융합학과 교수

Development of a greenhouse gas emission factor for open burning of wheat by product

Song, Saenun* · Woo, Jiyun* · Kim, Minwook** · Kim, Seungjin*** · Roh, JoonYoung**** and Jeon, Eui-Chan*****†

*Ph.D. Student, Department of Climate and Environment, Sejong University, Seoul, Korea

**Researcher, Climate Change Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, Korea

***President, 2Advanced Technology Research Institute, Huenrix, Seoul, Korea

****Manager, 2Advanced Technology Research Institute, Huenrix, Seoul, Korea

*****Professor, Department of Climate and Environment, Sejong University, Seoul, Korea

ABSTRACT

As of 2019, the greenhouse gas emissions from agricultural byproduct incineration amounted to 15.83 thousand tons CO₂eq. Only CH₄ and N₂O emissions are reported from agricultural byproduct incineration, with CO₂ not being considered carbon neutral. The emission coefficients used to estimate greenhouse gases in this sector rely on the 1996 IPCC GL (Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) values and incorporate oxidation rates and nitrogen content for specific crops. However, there is a need for improvement as emission coefficients are applied without considering crop-specific characteristics. This study focuses on wheat as the target crop, with samples collected during the harvest season in June. To simulate real open burning sites, experiments were conducted using an experimental chamber constructed based on EPA method 5G (Determination of particulate matter emissions from wood heaters - dilution tunnel sampling location) and EPA-600/R-96-128 (Evaluation of Emission from the Open Burning Of Land-Clearing Debris). Sample gases were collected in Tedlar bags using a lung sampler (EPA Method 18) and analyzed via GC-FID to determine the concentrations of CH₄ and N₂O. The emission coefficients developed in this study for wheat agricultural byproduct incineration can serve as foundational data for estimating greenhouse gas emissions in the agricultural sector, enhancing the reliability of national inventories.

Key words : Agricultural By-Products, Greenhouse Gases, CH₄, N₂O, Open Burning, Emission Factor

1. 서론

우리나라는 2020년 10월 국가 비전 실현을 위해 ‘2050 탄소중립’을 선언하고, 2021년 10월 2030 국가 온실가스 감축 목표(Nationally Determined Contributions, NDC) 상향안을 발표하였다. 우리나라 NDC는 2030년도까지 온실가스 배출량을 2018년도 배출량(722.6백만톤 CO₂eq.) 대비 40% (436.66백만톤 CO₂eq.) 감축하는 것을 목표로 하

고 있다. 농축수산 분야의 경우, 2018년 배출량(24.7백만톤 CO₂eq.) 대비 27.1%를 감축한 18백만톤 CO₂eq.을 달성해야 한다(Ministry concerned, 2023).

국내 농업 분야 온실가스 배출량은 2020년도 기준 21.1백만톤 CO₂eq.으로 국가 총 배출량의 3.2%를 차지하고 있으며, 전년도 대비 0.4% 증가하였다. 농업 분야 온실가스 배출원은 축산부문과 재배(경종) 부문으로 나뉘지며, 재배 부문 배출원은 벼재배, 농경지토양, 영농부산물 소각 등이

†Corresponding author : ecjeon@sejong.ac.kr (209, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, 05006, Korea. Tel. +82-2-3408-4353)

ORCID 송새눈 0000-0003-0167-339X

김승진 0009-0003-6558-2902

우지윤 0000-0002-9376-0206

노준영 0000-0002-3066-3230

김민욱 0000-0001-8262-5909

전의찬 0000-0003-2783-4550

있다. 농업활동에 따라 수확 후 영농부산물 발생하고, 그중 토양으로 환원하거나 가축의 사료로 사용하지 못하는 것들은 별도의 처리 없이 노지에서 소각되고 있으며, 이때 온실가스인 메탄(CH₄)과 아산화질소(N₂O)가 발생한다. 이러한 영농부산물 소각은 각 지자체 별로 규제 및 단속을 실시하고 있음에도 불구하고, 현장 소각은 지속적으로 이루어지고 있는 실정이다.

현재 영농부산물 소각부분의 경우, 벼, 보리, 밀, 콩, 고추, 마늘, 참깨, 양파 등 8개의 주요생산작물에 대하여 온실가스 배출량을 산정하고 있으며, 배출계수는 1996 IPCC 가이드라인(1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories)의 제시 범위에 따라 기본값을 적용하고 있다. 보다 정확한 온실가스 배출량을 산정하기 위해 국내 특성을 반영한 국가 고유 배출계수 개발이 필요하다.

본 연구에서는 인벤토리 신뢰성 향상을 위해 밀 영농부산물 소각에 따른 CH₄와 N₂O 배출계수 개발하였다. 소각현장을 모사하기 위해 EPA-600과 R-96-128을 참고하여 실험시스템을 구축하였고, 가스크로마토그래피법(Gas Chromatography, GC)으로 CH₄와 N₂O의 농도를 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1. 밀 영농부산물

밀은 제 2의 주곡으로 우리나라 밀 소비량은 전체 22,086,000 ton (1인당 35.7 kg)이며, 매해 증가하고 있는 추세이다. 농림축산식품부는 국산 밀의 자급률을 확보하고 생산량을 늘리기 위해 2021년도부터 ‘밀 산업육성 5개년 기본계획’을 시행하고 있으며, ‘전략작물직불제’, ‘밀 산업 육성법’ 등을 통해 밀 산업을 육성·지원하고 있다. 이러한 노력으로 우리나라 밀 재배면적은 2023년 기준 약 11,600 ha로 전년도(8,259 ha) 대비 40.5% 증가하였다(KOSTAT, 2024).

국립농업과학원(National Institute of Agricultural Sciences, 2013)에 따르면, 벼의 경우 수확 후 남은 부산물인 볏짚은 가공되어 축사에서 활용되거나 판매 및 경지에 환원되는 비율이 약 97.3%였고, 소각률은 0.42%로 낮았다. 밀은 대표적 이모작 작물로 경작지가 넓고 수확 직후 파종을 진행하기 때문에 소각률이 높다.

영농부산물 시료 수집은 작물생산량이 전라남도(39.68%) 다음으로 많은 전라북도(39.68%) 완주군에 위치하고 있는 국립식량과학원에서 수집하였다(Table 1). 대상시료는

Table 1. Current status of national wheat cultivation area and ratio

Region	Wheat	
	Area (ha)	Ratio
Seoul	0	0.00%
Busan	0	0.00%
Daegu	0	0.00%
Incheon	0	0.00%
Gwangji	892	10.80%
Daejeon	0	0.00%
Ulsan	0	0.00%
Sejong	0	0.00%
Gyeonggi-do	25	0.30%
Gangwon-do	7	0.08%
Chungcheongbuk-do	8	0.10%
Chungcheongnam-do	194	2.35%
Jeollabuk-do	2,852	34.54%
Jeollanam-do	3,277	39.68%
Gyeongsangbuk-do	139	1.68%
Gyeongsangnamdo-do	805	9.75%
Jeju-do	59	0.71%
Total	8,258	100%

표준재배법을 통해 재배된 금강밀이며, 농촌진흥청(2020)에서 제시하고 있는 밀 작물의 농작업일정을 참고하여 수확시기에 해당하는 6월에 시료를 수집하였다(Fig. 1).

2.2. 무게 및 수분량 측정

본 연구에서는 연소로의 크기 및 작물의 소각 시간을 고려하여 시료 무게는 0.5 ~ 1 kg로 설정하였고, 점화하여 전소될 때까지의 시간 동안 전량 포집하였다. 수분량 함유율은 Kern사의 High-Standard Moisture Analyzer (Germany)를 사용하여 소수점 첫째 자리까지 측정하였다. 현장 특성을 반영하기 위해 밀 영농부산물을 노지방치, 공동집하장

보관 후 수분 함유율을 측정하였다. 각 시료당 무작위 3곳의 평균 수분량을 측정하였으며, 3회 측정을 반복하였다.

2.3. 실험 장치 구성

소각실험 시스템은 실제 노천소각 현장을 모사하기 위해 EPA method 5G (Determination of particulate matter emissions from wood heaters (dilution tunnel sampling location))와 EPA-600/R-96-128 (Evaluation of Emission from the Open Burning Of Land-Clearing Debris) 등을 참고하여 구축하였으며, 소각시스템 장치 구성을 위해 고려한 조건은 Table 2와 같다(Yu et al., 2022).

Sep	Oct	Nov	Dec	Jen	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
	Seedling stage	Tillering stage	Resting stage	regrowth date	elongation stage	heading date	ripening stage	harvest stage			

Fig. 1. Wheat farming schedule



Fig. 2. Agricultural by-product incineration experimental procedure

Table 2. Conditions for incineration system considerations

Classification	Conditions
Combustion chamber size	Floor area 2.7 x 3.4 m, Height 1.9 ~ 2.2 m
Flow rate	43.6 ~ 45.5 m ³ /min
Effective air exchange rate	2.3 ~ 2.4 times/min
Combustion furnace	910 x 460 x 410 mm Fireproof bricks are used inside the combustion furnace
Internal conditions	The deflector shield is installed 0.9 to 1.2 m above the combustion furnace
	To provide cleanliness and inert conditions inside the combustion chamber, all internal surfaces are covered with Tedlar sheets (approximately 0.06 mm thick) and sealed with HVAC grade aluminum tape

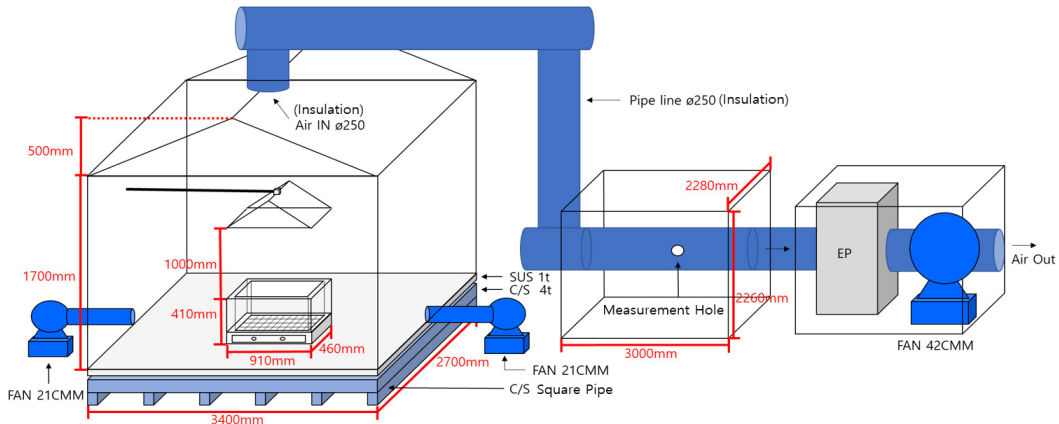


Fig. 3. Schematic diagram of incineration system

소각시스템은 연소동, 측정동, 처리동으로 이루어져 있고, 연소동에는 자동 점화하여 시료를 소각할 수 있는 연소로와 후드, 송풍기 등으로 구성하였고, 측정동에는 실험 장치의 전원 시스템, 유량 조절 장치 등을 구성하여 실험에 대한 통합제어시스템을 구성하였다. 처리동에는 전기 집진장치(EP, Electrostatic Precipitator)를 구성하여 소각 실험에서 나오는 대기오염물질 배출로 인한 주변 대기오염과 민원을 고려하여 실험을 진행하였다(Fig. 3).

2.4. 실험 조건 및 농도 측정

소각 시 배출가스의 유량 및 온·습도는 KIMO사의 CP Class 201 실시간 측정기를 이용하여 측정하였으며, 측정 위치는 배기관외의 굴곡 부분이나 단면 모양이 급격하게 변하는 부분을 피하여 배출가스의 흐름이 안정된 곳을 선정하여 측정하였다. 또한, 시료를 연소시키는 동안 노천 소각 현장 묘사를 위해 연소로의 송풍기를 설치하여 외부

공기가 유입되어 자연스러운 연소가 이루어질 수 있도록 하였다. 소각 가스 채취방법은 Fig. 4와 같이, 측정공에 프루브를 연결하여 질량 유량 제어기(Mass Flow Controller, MFC)를 사용하여 일정유량의 가스를 Tedlar bag (SKC, US)에 포집하는 방식으로 하였다(Jeon et al., 2019).

포집한 가스는 GC-FID (Gas Chromatography Flame Ionization Detector)를 사용하여 분석하였다. GC-FID의 컬럼은 스테인레스강 소재의 Porapack Q 80/100을 사용하였고 운반가스(N₂)와 H₂, Air의 유량은 각 25 ml/min, 30 ml/min, 300 ml/min으로 하였다. 오븐과 주입구, 검출기의 온도는 각 120℃, 70℃, 250℃로 설정하였다(Table 3).

신뢰도 있는 결과값을 얻기 위해 분석 전 표준시료로 검량선을 작성한 후 직선성 평가를 진행하였다. CH₄ 검량선 R² 값은 0.9998이었고, N₂O 검량선 R² 값은 1.000으로 우수한 직선성을 보였다(Fig. 5). 모든 가스 시료는 소각 실험 시 포집 직후 당일 분석을 원칙으로 하였다.

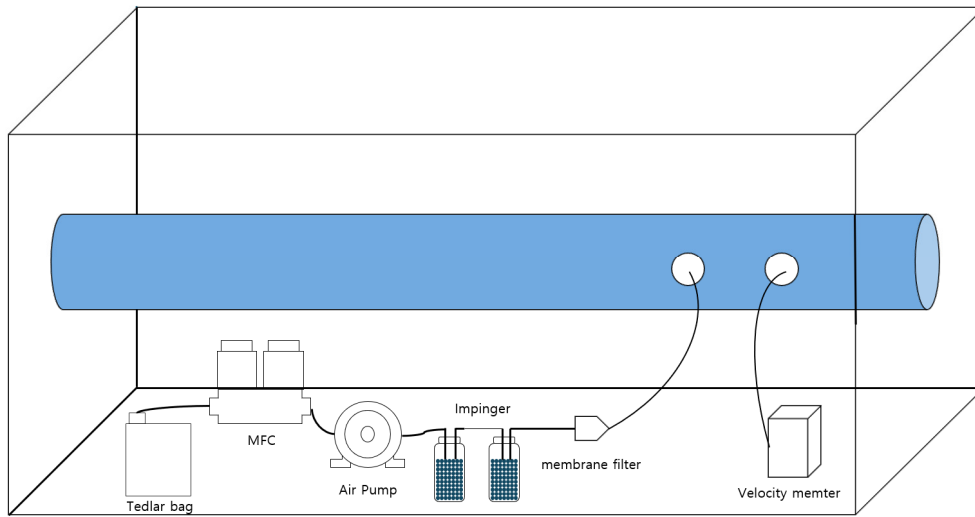


Fig. 4. Measurement schematic diagram of incineration gas in measurement place

Table 3. Gas chromatography analytical conditions

Column	Carrier gas	Gas flow velocity			Temperature		
		N ₂	H ₂	Air	Oven	Injector Port	Detector
Porapack Q 80/100	N ₂ (99.999%)	25 ml/min	30 ml/min	300 ml/min	70°C	120°C	250°C

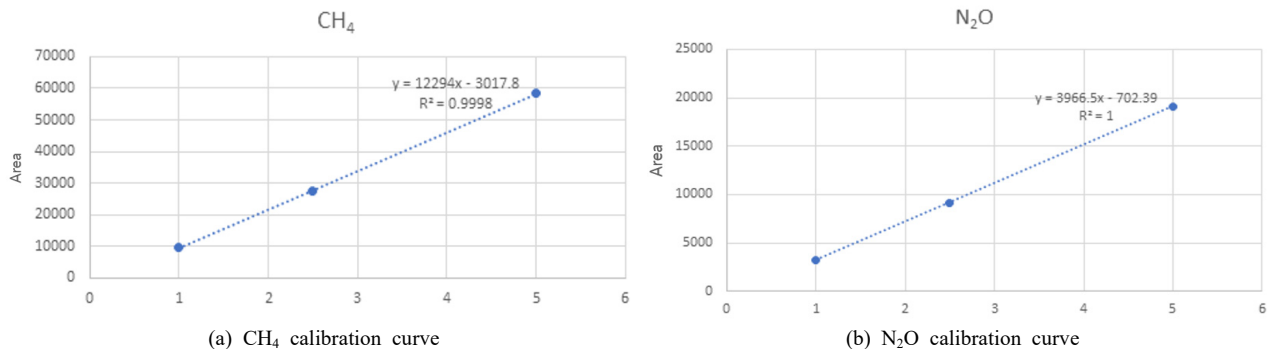


Fig. 5. CH₄ and N₂O calibration curve using standard samples

2.5. 배출계수 산정식

본 연구에서는 밀 영농부산물 소각에 따른 CH₄, N₂O 배출계수를 산정하기 위하여 식 (1), (2)와 같이 계산하였다. 여기서, C는 GC-FID로 분석한 시료 가스의 농도이며, 단위는 CH₄는 ppm, N₂O는 ppb이다. K는 CH₄의 분자량 16.043 kg, N₂O의 분자량 44.013 kg과 표준상태 기체의 1 kmol당 부피 22.4 m³를 의미한다. Q는 배출가스 유량

값으로 덕트 직경 길이와 유속을 이용하여 산정하였고, W는 실험에 사용된 소각 시료량이다.

$$Emission\ Factor\ CH_4 = [K \times C_{CH_4} \times Q_{min} \times 10^{-3}] / W \quad (1)$$

CH₄ EF : CH₄ 배출계수 (g/kg)

C_{CH₄} : CH₄ 농도 (ppm)

K : 16.043/22.4 (kg/m³)
 Q_{\min} : 배출유량 (Sm³/min)
 W : 소각량 (kg/min)

$$\text{Emission Factor } N_2O = [K \times (C_{N_2O} \times 10^{-3}) \times Q_{\min} \times 10^{-3}] / W \quad (2)$$

N_2O EF : N₂O 배출계수 (g/kg)
 C_{N_2O} : N₂O 농도 (ppb)
 K : 44.013/22.4 (kg/m³)
 Q_{\min} : 배출유량 (Sm³/min)
 W : 소각량 (kg/min)

3. 연구 결과

3.1. 연소조건 및 영농부산물 특성

밀 영농부산물 소각에 따른 온실가스 배출계수 개발을 위하여 20회의 실험을 진행하였으며, 배출유량은 평균 21.61 m³/min이었고, 평균 소각 시간은 15분이었다. 농업과학원(2013)에 따르면, 부산물의 수분 함유율이 30~40% 이하 수준에서는 소각 시 온실가스 발생량의 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 본 실험에서 밀 부산물 시료의 수분 함유율의 범위는 Table 4와 같이 5.77%~24.93% 이었고, 평균 수분 함유율은 11.7%으로 영농부산물 시료의 수분 함유율이 30%미만으로 온실가스 발생량에 큰 영향을 주지 않았을 것으로 판단된다.

Table 4. Experimental conditions for wheat incineration

Classification	No.	Flow rate (m ³ /min)	Incineration time (min)	Moisture Rate (%)	Incineration amount (kg)
Wheat	1	25.97	18	18.73	1
	2	27.15	19	13.67	1
	3	26.97	20	13.83	1
	4	26.09	15	10.33	1
	5	21.13	18	24.93	1
	6	20.86	14	16.23	1
	7	20.63	14	15.93	1
	8	20.43	17	14.60	1
	9	20.72	12	13.87	1
	10	20.23	11	10.13	1
	11	20.14	13	7.67	1
	12	20.27	13	8.60	1
	13	20.21	21	8.77	1
	14	19.91	21	8.83	1
	15	19.50	23	6.93	1
	16	20.42	9	10.00	0.5
	17	21.11	9	8.10	0.5
	18	18.60	12	9.13	0.5
	19	19.68	8	7.87	0.5
	20	22.08	10	5.77	0.5
	Mean	21.61	15	11.70	0.88
	SD	2.57	4.41	0.05	0.22

3.2. CH₄, N₂O 농도

20개의 시료를 GC로 측정된 결과, CH₄ 농도의 범위는 23.05 ~ 67.05 ppm으로 평균 농도는 46.41 ppm이며, 표준편차는 17.04 ppm으로 나타났다. N₂O 농도의 범위는 205.28 ~ 488.10 ppb으로 평균 농도는 383.84 ppb이었으며, 표준편차는 102.17 ppb으로 나타났다(Table 5).

3.3. 배출계수 산정 결과

밀 영농부산물 소각에 따른 CH₄와 N₂O 배출계수는 Table 6와 같으며, 배출계수의 범위는 CH₄의 경우 0.418 ~ 1.390 g/kg, N₂O의 경우 0.015 ~ 0.025 g/kg으로 나타났다. CH₄ 배출계수의 평균은 0.814 g/kg이며, 표준편차는 0.218 g/kg으로 나타났고, N₂O 배출계수의 평균은 0.019 g/kg이며, 표준편차는 0.002 g/kg으로 나타났다.

3.4. 배출계수 비교

본 연구에서 산정한 밀 영농부산물 소각에 따른 CH₄와 N₂O 배출계수는 각각 0.816 g/kg, 0.019 g/kg으로 나타났다. 현재 우리나라에서 사용하고 있는 1996 IPCC GL의 배출계수의 경우 단위 없이 상수값으로 제시하고 있어 본 연구의 배출계수와 비교할 수 없었으며, 2006 IPCC GL에서는 ‘식생 유형별 연소-농업잔재물’에서 5가지 물질(CO₂, CO, CH₄, N₂O, NO_x)에 대해 배출계수를 제시하고 있어 Table 7과 같이 비교하였다(IPCC (1996, 2000)). 본 연구의 배출계수와 2006 IPCC GL 배출계수를 비교하였을 때, CH₄는 0.816 g/kg과 2.7 g/kg으로 본 연구의 배출계수가 약 0.30배 낮았고, N₂O는 0.019 g/kg과 0.070 g/kg으로 약 0.27배 낮은 값을 나타냈다.

2022 국가온실가스 인벤토리 보고서(National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea, 2022)에 따르면, 밀 작물을 제외한 7가지 작물에 대해 탄소 함유율은 국립농업과

Table 5. Results of wheat incineration experiment concentration measurement

Classification	No.	CH ₄ (ppm)	N ₂ O (ppb)
Wheat	1	27.39	411.66
	2	23.05	393.77
	3	72.15	471.90
	4	22.43	429.28
	5	63.54	409.59
	6	67.05	488.10
	7	63.38	444.19
	8	57.08	473.46
	9	55.34	466.83
	10	42.56	478.14
	11	44.35	480.27
	12	59.05	452.08
	13	59.51	403.04
	14	66.52	383.54
	15	58.66	417.72
	16	28.45	224.38
	17	34.78	229.10
	18	32.70	205.28
	19	25.25	206.95
	20	24.92	207.51
	Mean	46.41	383.84
	SD	17.04	102.17

Table 6. CH₄ and N₂O emission factor for incineration of wheat by-products

Classification	No.	CH ₄ (g/kg)	N ₂ O (g/kg)
Wheat	1	0.509	0.021
	2	0.448	0.021
	3	1.394	0.025
	4	0.419	0.022
	5	0.962	0.017
	6	1.002	0.020
	7	0.937	0.018
	8	0.835	0.019
	9	0.821	0.019
	10	0.617	0.019
	11	0.640	0.019
	12	0.857	0.018
	13	0.861	0.016
	14	0.949	0.015
	15	0.819	0.016
	16	0.832	0.018
	17	1.052	0.019
	18	0.871	0.015
	19	0.712	0.016
	20	0.788	0.018
	Mean	0.816	0.019
	SD	0.218	0.002

Table 7. Comparison of this study with 2006 IPCC GL emission factors

Classification		this study (g/kg)	2006 GL (g/kg)
Wheat	CH ₄	0.816	2.700
	N ₂ O	0.019	0.070

Table 8. Carbon content and nitrogen content by crop type in agricultural residue burning

Crop	Carbon content	Nitrogen content
rice	0.3760	0.0056
barley	0.3465	0.0052
wheat	0.4853	0.0028
chili pepper	0.3785	0.0057
garlic	0.3415	0.0051
sesame	0.3715	0.0056
onion	0.3810	0.0057
soybean	0.4120	0.0062

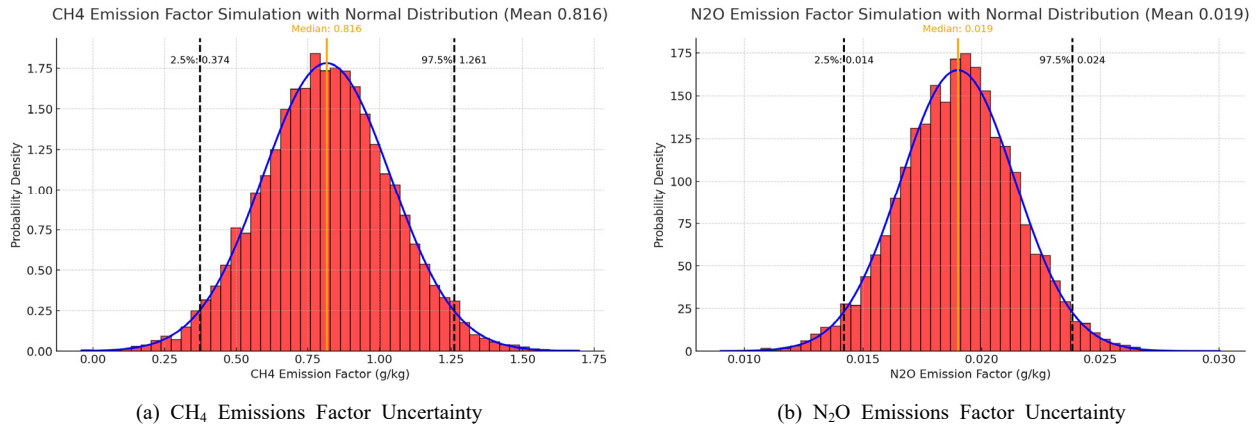


Fig. 6. Calculation results of uncertainty of emissions factor of CH₄ and N₂O

Table 9. Uncertainty range and comparison of emission coefficients

	Uncertainty (%)	
	This study	IPCC GPG 2000 agricultural residue burning
N ₂ O	-26.9 ~ +27.0	-20.0 ~ +20.0
CH ₄	-54.1 ~ +54.5	-20.0 ~ +20.0

학원(2008)의 작물종별 탄소 함유율을 적용하였고, 이를 1996 IPCC GL의 질소/탄소 함유비율에 적용한 값을 질소 함유율로 사용하고 있다. 밀 작물의 경우 IPCC GPG 2000 (Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories)의 탄소 및 질소 함유율을 사용하고 있다. 밀 작물의 탄소 함유율은 0.4853으로 영농부산물 소각 부문 8가지 배출원 작물 중 가장 높았고, 질소 함유율은 0.0028로 가장 낮았다(Table 8). 이와 같이 작물의 특성에 따라 탄소 및 질소 함유율이 다르며, 배출계수의 영향을 미치는 것으로 판단된다.

3.5. 불확도 산정

2006 IPCC GL에서는 tier 2 불확도 산정 방법으로 몬테카를로 시뮬레이션(monte carlo simulation)을 제시하고 있다. 몬테카를로 시뮬레이션은 무작위 추출된 난수들을 이용하여 함수값을 계산하는 방법이다. 본 연구에는 앞서 산정한 배출계수를 대상으로 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 온실가스 배출계수 불확도를 평가하였으며, 다음과 같은 4단계로 시뮬레이션을 진행하였다.

1단계 : 부문별 불확도(확률밀도함수, 불확도 범위) 입력

2단계 : 확률밀도함수로부터 변수값 선택

3단계 : 배출량 및 흡수량을 산출

4단계 : 결과에 대한 반복을 실행하고 감시

Table 9와 같이 CH₄ 배출계수의 중앙값은 0.816 g/kg이었으며, 하위 2.5%의 배출계수는 0.374 g/kg, 상위 97.5%의 배출계수는 1.261 g/kg로 나타났다. 95% 신뢰구간에서 불확도 범위는 -54.1% ~ +54.5%였고, 감마분포로 나타났다. N₂O 배출계수의 중앙값은 0.019 g/kg이었으며, 하위 2.5%의 배출계수는 0.013 g/kg, 상위 97.5%의 배출계수는 0.023 g/kg로 나타났다. 95% 신뢰구간에서 불확도 범위는 -26.9% ~ +27.0%였고, 감마분포로 나타났다(Fig. 6).

IPCC GPG 2000에 따르면, CH₄, N₂O 배출계수의 불확도는 약 ±20%이지만, 영농부산물 소각 분야 활동 데이터의 정확도가 낮고, 매년 연소되는 작물별 소각량의 차이가 있어 불확도 산정의 어려움이 있다고 하였다.

2006 IPCC GL에서는 영농부산물 소각 분야 CH₄, N₂O 배출계수에 대해 불확도 범위를 산정하지 않고 있기 때문에, 본 연구에서 산정한 배출계수와 2.5%, 95% 배출계수를 함께 제시한다면, 보다 신뢰성 있는 배출량을 산정할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

영농부산물물은 작물 수확 후 별도의 처리가 어렵기 때문에 노천에서 소각되며, 연소 시 CH_4 와 N_2O 가 발생한다. 현재 우리나라 농업 분야 작물 소각 부문 온실가스 배출계수는 1996 IPCC GL 기본값을 사용하고 있으며, 주요 작물 8개에 동일한 배출계수를 적용하고 있다. 정확한 온실가스 배출량 산정을 위해서는 작물 및 국가 고유특성을 반영한 배출계수 개발이 필요하다.

본 연구에서는 영농부산물 소각에 따른 CH_4 , N_2O 배출계수를 개발하기 위해 소각시스템 장치를 구축하고, 밀 영농부산물을 대상으로 실험을 진행하였다. 시료는 대표성을 확보하기 위해 밀 최대경작지인 전라도에서 시료를 수집하였으며, 농작업 일정을 참고하여 수확시기인 6월에 시료를 확보하였다. Tedlar bag으로 가스를 포집하였고, 가스시료를 GC-FID로 농도분석 하여 배출계수를 산정하였다.

영농부산물 소각에 따른 CH_4 농도는 평균 46.41 ppm, N_2O 의 평균 농도는 383.84 ppb로 나타났으며, 측정된 농도를 통해 배출계수를 산정한 결과, CH_4 배출계수는 평균 0.816 g/kg, N_2O 배출계수는 평균 0.019 g/kg으로 나타났다. 본 연구에서 산출된 배출계수는 2006 IPCC GL의 배출계수에 비하여 CH_4 의 경우 0.30배, N_2O 의 경우 0.27배로 작은 값을 보였다. 산정한 배출계수의 불확도는 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 분석하였다. CH_4 의 경우 95% 신뢰구간에서 하위 2.5%의 배출계수는 0.374 g/kg, 상위 97.5%의 배출계수는 1.261 g/kg로 나타났다. N_2O 의 경우 95% 신뢰구간에서 하위 2.5%의 배출계수는 0.013 g/kg, 상위 97.5%의 배출계수는 0.023 g/kg로 나타났다.

우리나라는 영농부산물 소각에 따른 온실가스 배출량을 작물생산량과 잔사/곡실비율, 건물비율, 잔사소각비율, 산화율, 탄소·질소 함유율, 배출계수, 환산계수의 곱으로 산정하고 있다. 배출계수는 1996 IPCC GL의 값을 적용하고 있으며, 단위가 없는 상수값이다. 본 연구에서 개발한 밀 영농부산물 소각에 따른 CH_4 , N_2O 배출계수의 단위는 g/kg이므로 배출량을 산정하기 위해서는 활동 데이터로 작물소각량 자료가 필요하다. 현재 국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람의 농업잔재물 소각 부문에서는 환경산업기술원(2014)과 Kim et al. (2016) 연구의 단위 면적당 작물 소각량을 사용하고 있으나, 맥류작물에서는 보리에 대해서만 작물 소각량 자료가 존재하므로 밀에 대한 활동도 자료의 구축도 필요하다. 단위당 작물 소각량은

모든 농경지에 대해 전수조사가 어렵기 때문에 Kim et al. (2016) 연구와 같이 심층 설문조사 방법을 사용하여 밀의 단위면적 당 작물 소각량을 산정한다면, 본 연구에서 개발한 배출계수를 활용하여 정확도 높은 국가 고유 배출량을 산정할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서 개발한 밀 영농부산물 소각에 따른 CH_4 , N_2O 배출계수는 농업 분야 온실가스 분야 배출량 산정의 기초자료로 활용될 수 있으리라 사료되며, 국가 인벤토리 신뢰성 향상의 도움이 될 것이라 판단된다. 향후 다른 대상 작물의 배출계수 개발 실험을 진행하여 본 실험과 비교할 필요성이 있다. 또한, 각 대상 작물의 배출계수에 대한 불확도 범위를 같이 제시한다면, 보다 정확한 온실가스 배출량을 산정하는데 기여할 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 「영농부산물 소각에 의한 미세먼지 배출특성 구명 및 배출계수 개발(과제번호: PJ014909)」과 환경부 「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었습니다.

References

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Chapter 4.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2000. Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Chapter 4. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies.
- Jeon YJ, Woo JY, Lee HS, Jeon EC. 2019. A comparative study of CH_4 emission factor of combined cycle power plant by sampling method (in Korean with English abstract). J Clim Change Res 10(3): 213-219. doi: 10.15531/KSCCR.2019.10.3.213
- Kim DY, Choi MA, Han YH, Park SK. 2016. A study on estimation of air pollutants emission from agricultural

- waste burning (in Korean with English abstract). J Korean Soc Atmos Environ 32(2): 167-175. doi: 10.5572/KOSAE.2016.32.2.167
- Korea Environmental Industry and Technology Institute. 2014. Improvement of Air Pollution Emission Data by Biomass Burning
- Ministry concerned. 2023. National Greenhouse gas Inventory Report of Korea
- National Institute of Agricultural Sciences. 2013. Development of emission factors and assessment of emission for methane at cropland in Korea. Jeonju, Korea: Rural Development Administration.
- Nongsaro. 2024. Wheat workschedule. [accessed 2024 May 10]. <https://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psb/psbl/workScheduleDtl.ps?menuId=PS00087&cntntsNo=30707&sKidofcomdySeCode=FC>
- Rural Development Administration. 2008. Research on carbon sinks in the agricultural sector related to the Climate Change Convention.
- Rural Development Administration. 2020. wheat - Agricultural Technology Guidelines 044.
- Statistics Korea (KOSTAT). 2024. Crop production survey. 2022, 2023 Wheat production (grain). https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1ET0232&con_n_path=I2
- Yu KB, Lee BT, Han KM, Kim HS, Yim HM, Song MK, Bae MS. 2022. Estimation of fuel loadings of domestic agricultural crop residues to determine the air pollutants emissions (in Korean with English abstract). J Korean Soc Atmos Environ 38(3): 451-469. doi: 10.5572/KOSAE.2022.38.3.451