

## 농업용 난방기의 사용 연식에 따른 이산화탄소 배출농도 비교

김나은<sup>1</sup> · 김대현<sup>2</sup> · 김연중<sup>3</sup> · 김현태<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>경상국립대학교 대학원 스마트팜학과(스마트팜연구소) 대학원생, <sup>2</sup>강원대학교 바이오시스템공학과 교수,  
<sup>3</sup>한국농촌경제연구원 농산업혁신연구부 연구원, <sup>4</sup>경상국립대학교 대학원 스마트팜학과(스마트팜연구소) 교수

## Comparison of Carbon Dioxide Emission Concentration according to the Age of Agricultural Heating Machine

Na-Eun Kim<sup>1</sup>, Dae-Hyun Kim<sup>2</sup>, Yean-Jung Kim<sup>3</sup>, and Hyeon-Tae Kim<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, Department of Smartfarm, Graduate School of Gyeongsang National University(Institute of Smart Farm), Jinju 52828, Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Bio-Systems Engineering, Kangwon National University, ChunCheon 24341, Korea

<sup>3</sup>Researcher, Department of Agroindustry Innovation Research, Korean Rural Economic Institute, Naju 58321, Korea

<sup>4</sup>Professor, Department of Smartfarm, Graduate School of Gyeongsang National University(Institute of Smart Farm), Jinju 52828, Korea

**Abstract.** This study was carried out to collect gas emitted from agricultural heaters using kerosene and to identify the emission concentration of carbon dioxide according to the age of agricultural heating machine. As a result of the linear regression analysis, the carbon dioxide emissions according to the year of agricultural heating machine are  $R^2 = 0.84$ , which follows  $y = 26.99x + 721.98$ . Distributed analysis was classified into three groups according to the age of agricultural heating machine. As a result of the distributed analysis, it was  $2.196 \times 10^{-13}$ , which was smaller than the 0.05 probability set for the analysis, which means that there is a difference in at least one group. As a result, the age of the agriculture machine was divided into three groups and the difference between groups was tested. A statistical analysis result was derived that there was a difference in the emission concentration of carbon dioxide according to the age of agricultural heating machine. It is thought that it can be used to investigate greenhouse gas emissions by investigating the amount of carbon dioxide generated by agricultural heaters in the agricultural field of Korea.

**Additional key words:** ANOVA, chromatography, gas collection, greenhouse gas, regression analysis

### 서론

세계적으로 산업혁명 이후로 발생하는 온실가스의 양은 지속적으로 증가하고 있다(Koo 등, 2005). 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)에서는 20세기 전반까지 자연적인 활동으로 지구온난화를 유발했다고 볼 수 있지만 20세기 후반부터는 인류 활동으로 인한 지구온난화의 비율이 크다고 발표하였다. 산업혁명으로 인한 발전에서 화석연료는 주된 에너지원이었으며 특히 화석이 연소 되어 발생하는 이산화탄소가 지구온난화의 주원인으로 주목하고 있다(Gang과 Jung, 2022). 1985년 세계기상기구(WMO)와 국제연합환경계획(UNEP)이 지구온난화의 주범이 이산화탄소라는 것을 공식 선언하였다. 그러나 이산화

탄소의 주요 배출 원인인 화석연료는 앞으로도 주요 에너지원으로 큰 역할을 할 것으로 예상하며, 지구온난화 또한 더욱 가속화될 것으로 전망된다.

지구온난화가 지속됨에 따라 오존층의 파괴로 인한 햇빛은 해수면 상승과 홍수, 폭염, 가뭄 등 이상기후 현상과 연관된다. 이러한 기후위기에 대응하기 위하여 1992년 6월 유엔기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)을 체결하여 국가 온실가스 인벤토리 작성을 권고하고 있다(Jeong 등, 2019). 우리나라는 2010부터 저탄소 녹색성장 기본법으로 인해 온실가스 인벤토리 보고서를 작성하고 있다(Jeong 등, 2016). 온실가스 인벤토리 작성은 배출량 감축을 위해 효율적인 대책 방안을 수립하는 것에 기초자료가 되며, 국가별 온실가스의 배출량 추세와 주요한 배출원을 파악할 때 도움이 된다(Kang 등, 2019). IPCC는 온실가스 인벤토리 작성의 중요성을 고려하여 각 국가의 특성을 반영할 수 있는 국가별 고유 배출계수 개발을 권고하고 있다.

\*Corresponding author: bioani@gnu.ac.kr

Received March 6, 2023; Revised May 17, 2023;

Accepted June 5, 2023

국가 고유 배출계수가 개발되어 있지 않은 상황에서도 IPCC의 가이드라인을 참고하여 기본 배출계수를 사용하여 온실가스의 배출량 산정에 활용할 수 있다.

그러나 국가 고유 배출계수 개발을 하는 이유로는 각 국가의 연소기술, 운영 기술, 운영 조건, 연식 등 세부사항을 고려하여 현실이 반영된 정확한 온실가스 배출량 파악이 가능하기 때문이다. 이러한 이유로 인해 우리나라 또한 정확한 온실가스 배출량 산정을 위하여 많은 연구가 이루어졌으며(Kim 등, 2013; Song 등, 2007), IPCC의 파리협정에 따라 국가 전체적으로 감축해야 하는 탄소 감축 목표치가 설정되었다. 이를 각 산업 부문으로 할당하고 있으며 대부분으로는 에너지, 산업공정과 제품사용, 농림·산림 및 기타 토지 이용, 그리고 폐기물로 나뉜다. 그중 농업용 난방기는 에너지 부문에 할당되어 있으며, 고정형 연료 연소 활동에 해당된다. 에너지 부문은 선진국에서 온실가스 배출이 75% 이상이 배출되며, 에너지 부문의 고정형 기기에서 연소된 연료로부터 발생하는 배출은 약 70%를 차지한다고 보고되었다(IPCC, 2006).

농업용 난방기는 시설재배를 하는 농가에서는 작물의 원활한 생육을 위해 특히 겨울철 온도 유지를 위해 선택이 아닌 필수로 이용되고 있으므로, 농가에서는 중요한 역할을 하는 농업용 기계이다. 우리나라의 시설재배 온실에서 온도를 조절하기 위해 온수 보일러, 온수난방, 태양열 복합 등 여러 방법이 사용되고 있다. 그러나 농가에 지상부 난방을 통해 작물을 재배하는 농가는 전체 16,859곳 중에서 13,259곳이 온풍난방을 사용하고 있다(KOSIS, 2021a). 이러한 농업용 난방기가 농가에서 대부분 화석연료를 사용하고 있으며, 온실재배에 활용되는 난방기의 화석연료로 경유를 활용하는 농가는 4,391곳, 중유는 1,723곳, 등유는 7,039곳, 기타 630곳으로 조사되었다(KOSIS, 2021b). 화석연료를 사용하는 농업용 난방기의 경우 연소 활동을 통해 많은 이산화탄소 가스가 배출된다. 이산화탄소의 배출량은 온실가스 인벤토리에서 에너지 부문 배출의 95%를 차지한다고 보고되었다(IPCC, 2006). 화석연료를 사용하고 있는 농업용 난방기의 경우 이산화탄소의 발생량을 조사할 필요가 있으며, 용도별 발생량과 에너지원을 정확하게 조사할 필요가 있다. 이처럼 현재 에너지 부문의 농업 기기에서 온실가스가 얼마나 발생하고 있는지에 대한 조사가 필요하다. 그러나 농업용 난방기에 대한 온실가스 배출에 관한 연구는 거의 이루어지지 않은 상황이다.

따라서 본 연구에서 농업용 난방기에서 배출되는 가스를 포집하고 농업용 난방기의 사용 연식에 따른 이산화탄소의 배출 농도를 파악하여 농업 분야의 고정형 농기계인 농업용 난방기의 이산화탄소 발생량을 파악하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 대상 설정

본 연구는 경남 진주시 금곡면(35°10'40"N, 128°18'63"E) 과수곡면(35°16'24"N, 127°96'17"E)에 위치한 딸기 플라스틱 하우스에서 사용되고 있던 농업용 난방기들(Table 1)을 대상으로 수행되었다. 이 난방기들의 연료는 등유였다.

난방기의 사용 연식에 따른 이산화탄소 배출농도의 차이를 비교하기 위하여 난방기를 사용 연식에 따라 신규 기기, 일반 기기, 노후 기기로 나누었다. 농업용 난방기 사용 농가의 현장 조사에 따라 5년을 초과하여 사용한 기기와 10년 이하로 사용한 기기가 일반적이므로 5년 이하의 신규 기기, 5년 초과 - 10년 이하의 일반 기기, 그리고 10년 초과와 노후 기기로 분류하였다.

### 2. 가스 포집 방법

본 연구에서는 간헐 포집 방법을 활용하여 농업용 난방기에서 배출되는 가스를 포집하였다. 간헐 포집 방법은 미국 환경보호국에 명시되어 있는 US EPA Method 18의 방법이며(Jeon 등, 2019), 가스 포집기(가스 포집기 10, Sant, Anyangm, Korea; Table 2) 내부에 테트라백을 연결한 후 음압 펌프를 통해 가스 포집기의 내부를 진공 상태로 만들어 외부의 가스를 포집하였다. 배기구에서 배출되는 각종 먼지와 분진을 걸러내기 위하여 가스 포집기 외부에 필터(Model 9933-05, Parker Balston, USA)를 사용하여 가스 포집을 진행하였다. 본 연구에서 사용된 가스 포집기의 기본 연결 튜브는 연결 튜브로써 농업용 난방기에서 배출되는 배기가스의 높은 온도에 맞지 않는 성격으로 SUS 튜브(스테인리스 튜브)로 교체하여 실험을 진행하였으며, 가스 포집기 내부에 연결된 포집 용기는 모든

**Table 1.** Specifications of the agricultural heating machine.

Heating capacity	Burner nozzle injection pressure	Blower motor power consumption
180,000 kcal/hr	10–11 kg/cm <sup>3</sup>	450 W

**Table 2.** Specifications of the gas collecting machine.

Item	Specification
Size	517 × 433 × 220 mm
Weight	5.0 kg
Collection capacity	1–10 L
Internal battery	8.4 V / 2.9 Ah
Gas temperature range	0–40°C
Gas pressure range	1 ± 0.2 atm

기체에 우수한 차단성이 있는 화학적으로 안정성이 있는 테트라백을 선택하였다(Hong 등, 2016; Kim 등, 2021).

농업용 난방기의 배출가스는 온실의 외부로 연결되어있는 배기구에 밀착하여 바로 앞에서 포집하였다(Fig. 1). 농업용 난방기에서 이산화탄소가 배출되고 있는 배기구는 약 1m인 길이의 덕트에 연결되어 외부의 공기 중으로 배출되고 있는 구조였다. 본 실험 기기에서의 가스 포집 기간은 2021년 11월 1일에서 2022년 2월 30일까지 4개월이었다.

대상 기기에서 포집이 완료된 시료는 모두 3일 내로 CO<sub>2</sub> 농도가 분석되었다(Hong 등, 2016). Fig. 1과 같은 방법으로 농업용 난방기에서 포집한 배출가스의 시료는 신규 기기, 일반 기기 및 노후 기기의 각 그룹에서 24개씩 포집하여 총 72개였다.

### 3. 가스 분석 방법

#### 3.1 가스크로마토그래피 분석방법

본 연구에서 채취한 가스 시료는 Fig. 2와 같은 미량분석용인 가스크로마토그래피(7890B, Agilent technologies Inc., Santa Clara, CA, USA)를 사용하여 시료 내부 이산화탄소의 농도를 측정하였다. 가스크로마토그래피 분석 전 먼저 농도 측정을 위한 표준가스(DO14974, Rigas, Korea)를 주입해준 후 가스크로마토그래피의 분석이 시작되면 기기의 오븐의 온도는 80°C를 2분 동안 유지하였다. 그 후 130°C의 온도까지 15°C/min의 속도로 온도가 상승되었고, 오븐의 온도가 150°C에서 3분 동안 유지되면 Post run(후처리)를 통하여 200°C의

온도에서 2분간 유지되었다. 최종적으로 250°C가 되면 온도가 떨어지게 되는데 그 과정을 통해 표준가스의 고유 분석값이 도출되었고, 그 후 똑같은 방법으로 수집된 시료를 주입하면 표준가스의 분석값과 비교하여 시료의 농도 값이 도출되었다.

표준가스의 농도를 활용하여 포집된 시료의 농도 값은 식 (1)과 같이 산정되었다.

$$X_{standard} : X_{sample} = Y_{standard} : Y_{sample} \quad (1)$$

가스크로마토그래피의 분석 조건인 디텍터로 PDHID가 사용되었으며(Table 3), 기기 내부의 운반 가스는 유량 60mL/min의 헬륨(He)이 사용되었다. 기기의 오븐 온도와 PDHID 디텍터의 온도는 각각 80°C와 350°C로 설정되었다. 그리고 한 번의 시료를 주입할 때의 양(loop)은 0.5mL이었다.

#### 3.2 통계적 분석방법

본 연구에서 포집된 가스의 농도가 농업용 난방기의 사용 연식에 따라 어떠한 변화를 일으키는지 검증하기 위하여 선형회귀 분석을 수행하였다. 선형회귀 분석은 다수의 독립변수 x에 대응되는 종속변수 y'와 가장 비슷한 y 값을 도출해주는 선형함수 f(x)를 찾는 방법이다(Lee 등, 2022). 이는 식 (2)와 같이 분석 대상의 데이터가 직선의 관계가 있다고 가정을 두는 분석이다.

$$y = \alpha x + \beta \quad (2)$$

본 연구에서는 독립변수인 x는 농업용 난방기의 사용 연식이고 종속변수 y는 농업용 난방기의 배출구에서 배출되는 이산화탄소 농도였다. 위의 선형회귀 분석법을 통해 기기의 사



Fig. 1. Schematic diagram of gas collection process.



Fig. 2. Gas chromatography machine.

Table 3. Components of gas chromatography machine.

Item	Specification	
Detector	PDHID	
Target ingredient	CO <sub>2</sub>	
Column	Packing material	Carbogen
	Materials	UltiMetal
	O.D. × length	1/8 × 1.83 m
Carrier gas	He	
Flow rate	Carrier	60 mL/min
	Oven	80°C
Temperature	Detector	350°C
	Loop	2 mL

용 연식과 배출되는 가스의 농도의 상관관계를 도출하였다.

그리고 기기의 사용 연식에 따라 신규 기기, 일반 기기 및 노후화된 기기로 3개의 집단으로 나누어 기기의 사용 연식에 따른 이산화탄소의 배출농도가 각 집단 간 평균의 차이가 있는지 분석을 수행하였다. 3개의 집단 간의 평균 차이를 검정하기 위하여 분산분석(ANOVA, analysis of variance)을 수행하였다. 분산분석은 식 (3)과 같이 집단 내 변동( $S_1$ )의 제곱에서 집단 간 변동( $S_2$ )의 제곱을 나눈 값이 분산분석을 수행하였을 때 산출되는 통계값(F)이다(Lee, 2015).

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (3)$$

분산분석을 수행한 결과값은 적어도 하나의 그룹에서의 차이가 나타나는지에 대한 결과값이며, 세 개의 집단 간 어떠한 그룹에서 차이가 있는지 검증하기 위하여 제 1종 오류가 일어날 가능성이 가장 낮은 Scheffe의 방법으로 사후분석을 수행하였다(Lee, 2015). 이러한 통계적인 분석방법은 IBM SPSS Statistics 27(IBM Corp., USA)인 상용 통계 프로그램을 활용하여 분석을 수행하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 가스 분석 결과

시료의 농도를 산정하기 전에 표준가스의 농도를 산정한 결과 표준가스의 이산화탄소 농도는 506ppm이었다. 산정된 표준가스의 농도를 바탕으로 시료의 농도를 산정하였다. 신규 기기(사용 연식 5년 이하)의 시료 평균 농도는 806.625ppm, 표준편차는 59.483으로 산정되었으며, 최소농도는 705.562ppm 그리고 최고농도는 989.421ppm으로 산정되었다(Fig. 3). 가장 일반적으로 사용되고 있는 일반 기기(연식 5년 초과 10년 이하)의 시료 평균 농도는 949.833ppm, 표준편차는 60.034로 산정되었으며, 최소농도는 847.769ppm 그리고 최고농도는 1041.925ppm으로 산정되었다. 노후 기기(11년 이상) 시료의 평균 농도는 1036.968ppm, 표준편차 82.967로 산정되었으며, 최소농도는 982.157ppm 그리고 최고농도는 1147.514ppm으로 산정되었다(Fig. 3).

### 2. 통계 분석 결과

Fig. 3을 통해 기기의 사용 연식에 따라 이산화탄소 배출농도의 변화를 확인할 수 있으며, 기기의 사용 연식에 따라 이산화탄소의 배출농도에 차이가 있음을 확인할 수 있다. 이에 따른 결과를 바탕으로 이산화탄소 배출농도의 변화를 정량적으

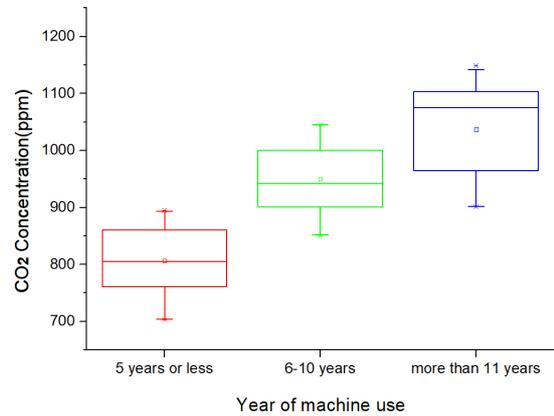


Fig. 3. Box plot of CO<sub>2</sub> concentration according to the age of the agricultural heating machine.

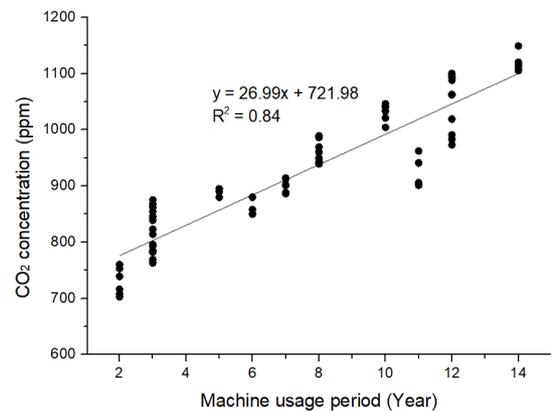


Fig. 4. CO<sub>2</sub> concentration over the age of the agriculture heating machine.

로 확인하기 위하여 선형 회귀분석을 실시하였다. 선형 회귀 분석을 실시한 결과로 Fig. 4와 같이  $y = 26.99x + 721.98$ 의 식이 도출되었으며, 이 식의 결정계수(coefficient of determination,  $R^2$ )는 0.84로 나타났다.

이를 농업용 난방기의 사용 연식에 따라 세 그룹으로 나누어 그룹별 차이를 검정하기 위하여 분산분석을 수행하였다(Heo, 2006). 이산화탄소의 배출농도에 차이가 있는지 검정하기 위하여 0.05의 유의수준을 정하여 분석을 수행하였다(Lee, 2015). 0.05의 유의수준은 기각시켜야 할 대립가설을 채택하는 오류인 제 1종 오류가 일어날 확률이 0.05라는 뜻이다. ANOVA를 수행하기 전 기본가정을 확인하기 위하여 동질성 검정을 수행하였다. 동질성 검정의 결과는 Table 4와 같이 나타났다.

Table 4에서 동질성의 검정결과로 평균을 기준으로 한 유의확률이 0.976으로 가설검정을 수행할 때의 유의확률의 0.05

보다 큰 값이 나타났다. 변수들의 분산이 같다는 결과로 볼 수 있으며 분산분석의 기본 가정인 변수들의 분산이 같다고 판단할 수 있다. 이는 중앙값 및 절삭 평균으로 동질성 검정을 수행하여도 0.959 및 0.977의 값이 나타났다. 독립변수에 따른 종속 변수의 분산은 각 그룹마다 등분산을 이루며, 분산분석의 기본 가정사항에 만족한다고 판단되어 Table 5와 같이 분산분석(ANOVA)을 수행하였다. 분산분석의 결과 분석 수행할 때 설정한 유의확률 0.05보다 작은  $2.1961 \times 10^{-13}$ 으로 나타났으며, 이는 적어도 하나의 그룹에서의 차이점이 나타난다는 것을 의미한다.

분산분석을 수행한 후 어떠한 그룹에서의 차이가 있는지 확인하기 위하여 사후분석의 결과로 Table 6과 같이 나타났다. 신규(5년 이하) 기기 그룹과 비교하여 일반(5년 초과 10년 이하) 기기 그룹과의 차이 검정에서 유의확률이  $3.0513 \times 10^{-9}$ 로 두 그룹 간의 차이가 있다고 나타났다. 또한, 신규 기기 그룹과 노후(10년 초과) 기기 그룹과의 차이 검정에서 유의확률이  $4.3692 \times 10^{-17}$ 로 두 그룹 간의 차이가 있다고 나타났다. 그리고 일반 기기 그룹과 노후 기기의 그룹 비교 결과 0.000183으로 나타나 두 그룹 간의 차이가 있다는 결과가 도출되었다.

단순한 기술 평균의 차이로는 기기의 사용 연식이 오래될수록 배출되는 이산화탄소의 농도가 높아진다는 것을 알 수 있

다. 그리고 선형 회귀분석의 결과를 통해 기기의 연식이 노후화하면서 배출가스의 이산화탄소 농도 또한 증가한다는 것을 정량적으로 알 수 있었다. 이산화탄소의 농도가 증가하면서 기기가 어느 정도의 노후화에 따라 더 이상 증가하지 않는 그 시점을 찾기 위해 표본의 증가를 통해 방대한 양의 데이터 셋을 구축하여 선형회귀 분석보다 더 고도화된 비선형회귀 분석을 실시한다면 데이터의 해석력을 높일 수 있다고 판단되며 (Kim과 Seo, 2015), 데이터 변수의 개수가 늘어난다면, SVR (support vector regression) 기반의 회귀분석 및 머신러닝 등 여러 분석방법을 실시하여 농업용 난방기의 이산화탄소 데이터가 온실가스 발생량 파악에 더욱 활용도가 높아질 것으로 판단된다(Kim 등, 2016).

또한, 본 연구에서는 농업용 난방기의 기본적인 배출농도의 차이를 분석하고자 기기의 제작사와 상관없이 농업용 난방기의 기기 연식만을 고려하여 배출가스 데이터를 수집하였다. 기기의 연소 방식에는 제작사에 따라 연소 방식에 차이가 미미하게 있었을 것으로 판단되며(Kil 등, 2023; Bae와 Park, 2022), 이산화탄소의 배출농도에 영향이 있었을 것으로 사료된다. 추후 연구에서는 더욱 세분화된 데이터의 수집 방식을 따라 더욱 높은 정확도를 가진 결과값을 도출할 수 있다고 판단된다.

**Table 4.** Test of homogeneity of variances.

Test	Degree of freedom 1	Degree of freedom 2	Significance probability
Average	2	69	0.976
Median	2	69	0.959
Cutting average	2	69	0.977

**Table 5.** ANOVA of groups by age of the agricultural machine.

Target	Degree of freedom	F value	Significance probability
Between groups	2	45.802	$2.1961 \times 10^{-13}$
Within group	69	-	-
Total	71	-	-

**Table 6.** Multiple comparisons of result according to Scheffe test.

Group 1 (year)	Group 2 (year)	Mean difference	Significance probability	95% confidence interval	
				Lower limit	Upper limit
≤5	5 < x ≤ 10	-143.208	$3.0513 \times 10^{-9}$	-192.512	-93.904
	> 10	-230.333	$4.3692 \times 10^{-17}$	-279.637	-181.029
5 < x ≤ 10	≤5	143.208	$3.0513 \times 10^{-9}$	93.904	192.512
	> 10	-87.125	0.000183	-136.429	-37.821
> 10	≤5	230.333	$4.3692 \times 10^{-17}$	181.029	279.637
	5 < x ≤ 10	87.125	0.000183	37.821	136.429

이처럼 본 연구를 통하여 농업용 난방기의 연식이 증가할수록 배출되는 이산화탄소의 농도가 증가한다는 결과를 알 수 있다. 현재 농업 분야의 고정형 농기계에서 사용되는 배출계수는 국가 에너지의 통계에서 비롯된 연료 소비량을 바탕으로 나온 기본 배출계수이다. 그러나 이 값은 연소기술 및 연료 소비에 대하여 모든 농업 분야의 배출계수를 대표하지 못하기 때문에 기본 배출계수로는 설명할 수 없는 한계가 있다. 그러므로 본 연구를 통해 기계들의 고유한 성격을 배출계수로 설명할 수 있다면 우리나라의 온실가스 발생량을 효과적으로 산정할 수 있을 것으로 판단되며, 추후 연구로 버너의 청소 및 노즐 점검을 통한 노후화 기기의 이산화탄소 감소 방안에 대한 연구로의 연계가 될 것으로 판단된다. 이처럼 우리나라의 농업 분야에서 용도별 온실가스 발생량을 조사하기 위하여 고정형 농기계인 농업용 난방기의 이산화탄소 발생량을 정확히 파악할 필요가 있다고 사료된다. 이에 따라 본 연구의 결과는 농업 분야의 고정형 농기계의 온실가스 배출량 조사에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 적 요

본 연구는 등유를 사용하는 농업용 난방기에서 배출되는 가스를 포집하고, 농업용 난방기의 사용 연식에 따른 이산화탄소의 배출농도를 파악하고자 수행되었다. 선형 회귀분석의 결과로 농업용 난방기의 연식에 따른 이산화탄소의 배출량은  $R^2 = 0.84$ 로  $y = 26.99x + 721.98$ 의 식을 따른다고 나타났다. 농업용 난방기의 사용 연식에 따라 세 그룹으로 분류하여 분산분석을 수행하였다. 분산분석을 수행한 결과, 분석을 위해 설정한 유의확률 0.05보다 작은  $2.1961 \times 10^{-13}$ 으로 나타났으며 이는 적어도 한 그룹에서 차이가 나타난다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 농업용 난방기의 기본적인 배출농도의 차이를 분석하고자 기기의 제작사와 상관없이 농업용 난방기의 기기 연식만을 고려하여 배출가스 데이터를 수집하였다. 기기의 연소 방식에는 제작사에 따라 연소 방식에 차이가 미미하게 있었을 것으로 판단되며 데이터 변수의 개수가 늘어난다면, SVR(support vector regression) 기반의 선형회귀 분석 등을 실시하여 농업용 난방기의 이산화탄소 데이터가 온실가스 발생량 파악에 더욱 활용도가 높아질 것으로 판단된다. 추후 연구에서는 더욱 세분화된 데이터의 수집 방식을 따라 더욱 높은 정확도를 가진 결과값을 도출할 수 있다고 판단된다. 이처럼 우리나라의 농업 분야에서 용도별 온실가스 발생량을 조사하기 위하여 고정형 농기계인 농업용 난방기의 이산화탄소 발생량을 정확히 파악하여 온실가스 배출량 조사에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

**추가 주제어:** 가스 포집, 분산분석, 온실가스, 크로마토그래피, 회귀분석

## 사 사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(421040-04), 본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(연구과제명: 농업에너지 부문 온실가스 국가고유 배출계수 개발, 연구과제번호: PJ015098)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## Literature Cited

- Bae J.T., and J.S. Park 2022, Numerical study on the performance and emission characteristics of small compression ignition engine fueled with diesel-ammonia blend. *Trans Korean Soc Automot Eng* 30:723-729. (in Korean) doi:10.7467/KSAE.2022.30.9.723
- Gang S.G., and J.W. Jung 2022, Increase of CO<sub>2</sub> injection ratio using surfactants based on the micromodel experiment. *J Korean Geo-Environ Soc* 23:55-61. (in Korean) doi:10.14481/jkges.2022.23.12.55
- Heo S.J. 2006, [Statistics] Analysis of variance (ANOVA). *Exam Res* 33:329-331. (in Korean)
- Hong Y.J., C.S. Cho, S.M. Kang, H.K. Yun, and E.C. Jeon 2016, Temporal variability of CH<sub>4</sub> gas concentration collected in sampling bag. *J Clim Chang Res* 7:477-484. (in Korean) doi:10.15531/KSCCR.2016.7.4.477
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2006, 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory. 2: Energy.
- Jeon Y.J., J.Y. Woo, H.S. Lee, and E.C. Jeon 2019, A comparative study of CH<sub>4</sub> emission factor of combined cycle power plant by sampling method. *J Clim Chang Res* 10:213-219. (in Korean) doi:10.15531/KSCCR.2019.10.3.213
- Jeong H.K., Y.J. Kim, and H.J. Lee 2016, Strategy for vitalizing low-carbon emission agriculture adapted to new climate regime. Policy Research Report, Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea, pp 17-25. (in Korean)
- Jeong J.H., J.Y. Roh, H.S. Lee, and E.C. Jeon 2019, Development of non-CO<sub>2</sub> emission factor of wood chip fired fluidized bed combustion. *J Clim Chang Res* 10:221-226. (in Korean) doi:10.15531/KSCCR.2019.10.3.221
- Kang S.M., J.Y. Roh, C.S. Cho, H.S. Lee, and E.C. Jeon 2019, Analysis of factors for emission change in the waste incineration sector caused by change of guidance in the greenhouse gas emissions estimate method. *J Clim Chang Res* 10:35-46. (in Korean) doi:10.15531/KSCCR.2019.10.1.35

- Kil K.H., M.H. Lee, and J.D. Chung 2023, A study on the performance, exhaust emissions and corrosion characteristics of marine engines by the application of bio-fuel oils. *Trans Korean Soc Mech Eng B* 47:35-43. (in Korean) doi:10.3795/KSME-B.2023.47.1.035
- Kim D.Y., and K.S. Seo 2015, Comparison of linear and nonlinear regressions and elements analysis for wind speed prediction. *J Korean Inst Intell Sys* 25:477-482. (in Korean) doi:10.5391/JKIIS.2015.25.5.477
- Kim H.J., M.J. Yeo, Y.P. Kim, G.W. Jang, W.G. Shin, M.H. Lee, and H.W. Choi 2013, Comparison of the CO<sub>2</sub> emission estimation methods in a LNG power plant based on the mass balance approach. *J Clim Chang Res* 4:235-244. (in Korean)
- Kim J.B., S.C. Oh, and K.S. Seo 2016, Comparison of MLR and SVR based linear and nonlinear regressions: compensation for wind speed prediction. *Trans Korean Inst Electr Eng* 65:851-856. (in Korean) doi:10.5370/KIEE.2016.65.5.851
- Kim N.E., S.W. Hwang, B.E. Moon, K.M. Choi, Y.J. Kim, D.C. Seo, and H.T. Kim 2021, Comparison of carbon dioxide emission according to the year of use of the grain dryer. *J Agric Life Sci* 55:113-120. (in Korean) doi:10.14397/jals.2021.55.4.113
- Koo G.S., H.J. Baek, W.T. Kwon, and K.O. Boo 2005, Vertical distribution of temperature changes in future projections under IPCC SRES A2 and B2 scenarios. *Asia-Pac J Atmos Sci* 41:1077-1088. (in Korean)
- Korean Statistical Information Service (KOSIS) 2021a, Facility greenhouse heating method. <http://kosis.kr/>. Accessed 10 November 2022 (in Korean)
- Korean Statistical Information Service (KOSIS) 2021b, Heating status among facility vegetable greenhouse status. <http://kosis.kr/>. Accessed 10 November 2022 (in Korean)
- Lee H.J., S.J. Kim, R.Y. Park, S.S. Lee, H.H. Cho, and Y.G. Won 2022, Efficiency improvement of the hearing test procedure using linear regression. *J Digit Contents Soc* 23:2489-2496. (in Korean) doi:10.9728/dcs.2022.23.12.2489
- Lee K.J. 2015, A Graphical representation of the results from post-hoc analyses. *J Korean Data Anal Soc* 17:739-748. (in Korean)
- Song H.D., J.H. Hong, Y.S. Um, S.B. Lee, D.G. Kim, and J.S. Kim 2007, A study on the estimation of emission factors for greenhouse gas (CO<sub>2</sub>) in cement industry. *J Korean Soc Atmos Environ* 23:158-168. (in Korean) doi:10.5572/KOSAE.2007.23.2.158