



시료채취 방법에 따른 복합화력발전소의 CH₄ 배출계수 비교 연구

전영재* · 우지윤** · 이화수*** · 전의찬****†

*한국시멘트협회 기술환경팀 연구원, **세종대학교 기후변화협동과정 석사과정 학생,
동아대학교 화학공학과 교수, *세종대학교 환경에너지공간융합학과 교수

A Comparative Study of CH₄ Emission Factor of Combined Cycle Power Plant by Sampling Method

Jeon, Young-jae*, Woo, Jiyun**, Lee, Hwa Soo*** and Jeon, Eui-chan****†

*Researcher, Korea cement association, Seoul, Republic of Korea
**M.S. Student, Cooperate Course for Climate Change, Sejong University, Seoul, Republic of Korea
***Professor, Dept. of Chemical Industry, Dong-Eui Institute of Technology, Busan, Republic of Korea
****Professor, Dept. of Environment, Energy & Geoinformatics, Sejong University, Seoul, Republic of Korea

ABSTRACT

According to Korea's National Inventory Report (NIR), the CH₄ emission factor of public electricity and heat production was applied to the 1996 IPCC G/L fuel-specific boiler technology. There is no combined cycle power plant category in the natural gas boiler technology. Non-CO₂ emission factors of combined cycle power plants and LNG combustion facilities have been studied in the past using intermittent collection methods. However, calculating an emission factor based on concentration of CH₄, which changes across facilities and operating conditions, using this intermittent collection method will not sufficiently reflect the process characteristics and emission characteristics of the combined cycle power plant. Therefore, in this study, the CH₄ emission factor based on exhaust gas analysis for a combined cycle power plant was estimated by three sampling methods (Intermittent collection, Continuous collection, Continuous measurement). Also, CH₄ emission factors were compared according to sampling method.

Key words: Combined cycle power plant, CH₄ Emission factor, Kruskal-Wallis test, Intermittent collection, Continuous collection, Continuous measurement

1. 서 론

2015년 유엔기후변화협약 제21차 당사국총회에서 채택된 ‘파리협정’에 따라 모든 당사국은 2023년부터 5년마다 국제 이행점검을 받아야하며 이에 대응하기 위해서는 신뢰성이 높은 국가온실가스배출계수에 의한 배출량 산정이 필요하다. 이에 따라 국가 온실가스 통계총괄관리계획에서는 국가 온실가스 인벤토리의 정확성 확보와 관리시스템의 고도화가 필요함을 강조하고 있다.

2016년 기준 우리나라의 온실가스 총배출량은 694.1 백만 톤 CO₂eq이며, 에너지 분야가 총배출량의 87.1%를 차지하고 있다 (온실가스종합정보센터, 2018). 이 중 발전, 정유산업 등

을 통칭하는 에너지산업 부문은 에너지분야 온실가스 배출량의 약 43.7%에 해당하며 지속적으로 증가하는 추세이다. 복합화력발전은 천연가스를 연료로 사용하여 온실가스 및 대기 오염물질의 배출이 적고 발전효율이 높아 최근 설비용량이 크게 증가하고 있으나, 1996 IPCC G/L에는 복합화력발전의 CH₄ 배출계수 항목이 없다. Lee et al. (2009)는 연료분석 데이터와 굴뚝자동연속측정기를 통한 CO₂ 배출계수를 개발하였고, Jang et al. (2003) and Lee (2009)는 복합화력발전소와 LNG 연소시설의 Non-CO₂ 배출계수를 개발하였다. 하지만 이들 연구에서 Non-CO₂는 연소시설에서 그 농도가 매우 낮고, CH₄의 경우, 연소방법과 연소시설 관리, 운전조건 등에 따라 그 농도가 변하기 쉬우므로 시료채취 방법에 따라 배출

† Corresponding author: ecjeon@sejong.ac.kr (209, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, 05006, Republic of Korea, 82-2-3408-4353)
Received June 10, 2019 / Revised July 24, 2019 1st, August 16, 2019 2nd / Accepted August 26, 2019

계수 차이가 있을 수 있어 추가 연구가 필요하다.

본 연구에서는 복합화력발전소에 적용가능한 3가지 시료 채취 방법을 통해 배기가스 시료를 채취하고 각 방법별 배출 계수를 산정하였다. 그리고 통계적 검정방법을 이용해 해당 배출계수들을 분석하였고, 복합화력발전소의 CH₄ 배출계수 개발에 적합한 시료채취 방법을 도출하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구 대상시설 선정

연구 대상시설로는 LNG를 사용하는 복합화력발전소를 선정하였다. 대상시설에서는 80 MW급 가스터빈 4기와 160 MW급 스팀터빈 1기로 이루어진 1호기와 286 MW급 가스터빈 2기, 295.9 MW급 스팀터빈 1기로 이루어진 2호기를 가동 중에 있으며, 안정적인 시료채취를 위하여 24시간 가동하고 있는 2호기를 선정하였다.

2.2 시료채취 및 분석방법

2.2.1 시료채취 방법

본 연구에서는 간헐포집과 연속포집을 이용하여 시료를 측정하였고, 연속측정 방법을 이용하여 시료를 측정하였다.

간헐포집에 사용되는 방법은 EPA Method 18 (US EPA, 2001) 방법으로, Lung sampler (ACEN, KOREA) 내부에 Tedlar bag (SKC, US)을 연결하고 Lung sampler의 음압 펌프를 이용해 내부를 진공으로 만들어 시료를 채취하는 방법이다.

연속포집에 사용되는 방법은 미국 폐기물 소각시설에서 사용되는 배기가스 포집방법 (MFF: Madatory Reporting Rule, ASTM D 6866-08)으로, 포집하려는 배기가스의 농도가 균질하지 않을 때 주로 사용된다. 24시간에 걸쳐 연속적으로 포집하기 때문에 배기가스의 24시간 평균 농도를 얻을 수 있다.

연속측정 방법은 이동이 가능한 CH₄ 연속측정장비

(Synspec BV, Netherlands)를 이용하여 CH₄의 농도를 측정하는 것이다. 본 장비는 최소 0.05 ppm ~ 최대 100 ppm의 CH₄ 측정범위를 가지는 연속형 GC-FID로 측정주기는 3분이며 측정된 값을 실시간으로 화면에서 확인할 수 있다.

2.2.2 시료 중 CH₄ 농도 분석방법

CH₄ 배출계수의 산정을 위해 간헐포집과 연속포집으로 얻은 배기가스 시료는 실험실에서 가스크로마토그래피로 농도를 분석하였다. 연속측정의 경우, 시료채취 기간 동안 현장에 설치해 대상시설에서 발생하는 배기가스의 CH₄ 농도 데이터를 얻었다.

CH₄ 농도는 Varian CP-3800을 사용하여 분석하였다. 디텍터는 GC-FID (Flame Ionization Detector, FID)를 사용하였으며, 컬럼은 스테인레스강 재질의 길이 1 m, 외경 3.175 mm인 Porapack Q 80/100 mesh 컬럼을 사용하였다. 운반가스 (N₂)와 H₂, Air의 유량은 각각 25 ml/min, 30 ml/min, 300 ml/min으로 설정하였다. 오븐과 시료 주입구, 검출기의 온도는 각각 70°C, 120°C, 250°C로 설정하였다.

CH₄의 정량분석을 위해 0.01 ppm, 0.1 ppm, 1 ppm, 5 ppm의 표준시료를 제조하여 검량선을 작성하였다. 작성 결과, Fig 1에서 보는 바와 같이 검량선의 R² 값은 1.0000으로 매우 우수한 직선성을 나타내었다.

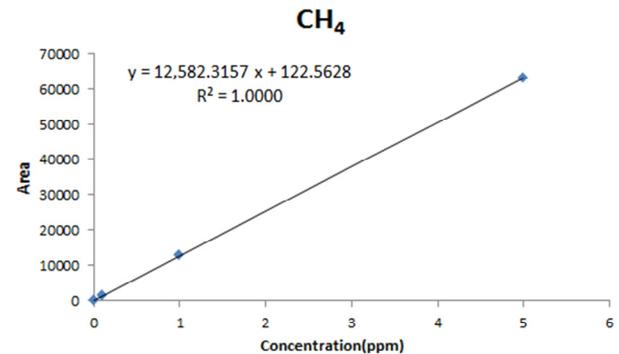


Fig. 1. Calibration curve with CH₄ standard.

Table 1. Sampling methods

| | |
|-------------------------|--|
| Intermittent collection | Lung Sampler의 음압펌프를 이용하여 순간적인 압력차를 이용해 내부의 Tedlar bag에 시료를 채취하는 방법 |
| Continuous collection | 일반적으로 가스의 배출이 균질하지 않은 곳에서 사용하게 되며, 24시간 연속으로 시료를 Tedlar bag에 채취하여 평균농도를 구하는 방법 |
| Continuous measurement | 대표성 검증 등과 같은 연구에 충분한 측정값을 제공할 수 있는 채취 방법으로 3분 간격으로 연속하여 농도를 측정하는 방법 |

배기가스 분석의 재현성을 확인하기 위해서는 1 ppm의 CH₄ 표준가스를 5회 반복분석하였으며, 그 결과는 Table 2와 같이 상대표준편차 (RSD) 값이 0.54%로 우수한 반복성을 보였다.

2.3 CH₄ 배출계수 산정방법

고정배출원에서 연료연소로 인한 CH₄ 발생은 발전설비의 관리 및 운전조건에 따라 달라지기 때문에 계산을 통해 배출계수 값을 산정하는데는 한계가 있다. 따라서 배출원의 CH₄ 농도를 직접 측정해 산정하여야 한다.

본 연구에서는 식 (1)과 같이 측정된 CH₄ 농도와 계산된

연소 배기가스량 및 이론 공기량을 이용한 식으로부터 CH₄ 배출계수를 산정하였다.

$$EF = \left[C_{CH_4} \times \{G_0 + (m - 1) \times A_0\} \times \frac{16}{22.4} \right] / NCV \quad (1)$$

EF : 배출계수 (kgCH₄/TJ)

C_{CH₄} : 배기가스 중 CH₄ 농도 (ppm)

G₀ : 이론 건조배기가스량 (Nm³/고유단위)

m : 공기비 (실제 공기량/이론 공기량)

A₀ : 이론 연소용 공기량 (Nm³/고유단위)

NCV : 연료의 순발열량 (MJ/고유단위)

Table 2. Result of reproducibility test using CH₄ standard gas (1 ppm)

| No. of sampling | CH ₄ |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| | Analyzed of concentration (ppm) |
| 1st | 1.01 |
| 2nd | 1.02 |
| 3rd | 1.01 |
| 4th | 1.01 |
| 5th | 1.02 |
| Mean | 1.01 |
| Standard deviation (SD) | 0.00 |
| Relative standard deviation (RSD, %) | 0.54 |

3. 결과 및 고찰

3.1 시료채취 방법별 CH₄ 농도 분석 결과

간헐포집 방법의 경우, 3일에 걸쳐 포집을 실시하였고 30 분 간격으로 3분씩 포집하여 하루에 7개의 시료를 확보하였다. 포집된 시료는 GC-FID를 이용해 3회 반복 분석하여 평균값을 농도로 제시하였으며, 그 값은 Table 3에 나타내었다. 분석 결과, CH₄ 배출농도는 0.0221 ppm ~ 0.0992 ppm의 분포를 보였고, 평균농도는 2일차 시료채취 결과가 0.0333 ppm으로 가장 낮고 1일차 시료채취 결과가 0.0506 ppm으로 가장 높았다.

연속포집 방법의 경우, 3일에 걸쳐 주·야간으로 나누어 주간은 3개, 야간은 2개의 시료를 확보하였다. 포집된 시료는 GC-FID를 이용해 3회 반복 분석하여 평균값을 농도로 제시

Table 3. CH₄ concentration by intermittent collection

(Unit: ppm)

| No. of sampling | Day 1 | Day 2 | Day 3 |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| 1st sample | 0.0620 | 0.0360 | 0.0436 |
| 2nd sample | 0.0237 | 0.0374 | 0.0992 |
| 3rd sample | 0.0608 | 0.0222 | 0.0221 |
| 4th sample | 0.0579 | 0.0473 | 0.0492 |
| 5th sample | 0.0521 | 0.0338 | 0.0221 |
| 6th sample | 0.0632 | 0.0268 | 0.0203 |
| 7th sample | 0.0345 | 0.0295 | 0.0813 |
| Mean | 0.0506 | 0.0333 | 0.0483 |
| Standard deviation (SD) | 0.0143 | 0.0076 | 0.0289 |
| Relative standard deviation (RSD, %) | 28.26 | 22.72 | 59.95 |

Table 4. CH₄ concentration collection by continuous collection

(Unit: ppm)

| Type of sample | Day 1 | Day 2 | Day 3 |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| Daytime sample | 0.0530 | 0.0299 | 0.0364 |
| Nighttime sample | 0.0499 | 0.0445 | - |
| Mean | | 0.0417 | |
| Standard deviation (SD) | | 0.0085 | |
| Relative standard deviation (RSD, %) | | 19.98 | |

Table 5. CH₄ concentration by continuous measurement

(Unit: ppm)

| Category | Day 1 | Day 2 | Day 3 |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| Mean | 0.0470 | 0.0426 | 0.0457 |
| Maximum | 0.2051 | 0.2013 | 0.1121 |
| Minimum | 0.0144 | 0.0084 | 0.0020 |
| Standard deviation (SD) | 0.0289 | 0.0325 | 0.0253 |
| Relative standard deviation (RSD, %) | 61.52 | 76.29 | 55.32 |

하였으며, 그 값은 Table 4에 나타내었다. 분석 결과, CH₄ 배출농도는 0.0299 ppm ~ 0.0530 ppm의 분포를 보였고 평균 농도는 0.047 ppm으로 나타났다. 상대표준편차는 19.98%로 산정되었는데, 이는 타 시료채취 방법보다 낮은 수준으로 주·야간의 평균농도를 나타내는 연속포집의 특성 때문으로 판단된다.

연속측정 방법의 경우, 3일에 걸쳐 시료채취 측정구에 CH₄ 연속측정기기를 설치하여 분석을 실시하였으며, 그 결과는 Table 5에 나타내었다. 분석 결과, CH₄ 배출농도는 0.0020 ppm ~ 0.2051 ppm의 분포를 보였고 평균농도는 1일차 시료채취 결과가 0.0470 ppm으로 가장 높게 나타났다. 상대표준편차는 타 시료채취 방법에 비하여 높게 산정되었는데, 이는 공정특성과 운전여건에 따라 큰 변동폭을 보이는 CH₄의 특성을 연속측정 방법이 타 시료채취 방법에 비해 잘 반영했기 때문으로 판단된다.

각 시료채취 방법별 얻어진 CH₄ 농도를 Fig 2에 나타내었다. 연속포집은 시료채취 시간동안 평균농도를 선으로 나타냈으며, 연속측정은 3분 간격으로 측정결과와 30분 평균값을 나타내었다.

3.2 시료채취 방법에 따른 CH₄ 배출계수 산정

간헐포집 방법으로 채취한 시료의 CH₄ 배출계수를 산정한 결과, 총 21개의 배출계수 데이터를 확보하였으며 그 값은

Table 6에 나타내었다. 산정된 값은 0.0100 kg/TJ ~ 0.0450 kg/TJ의 분포를 보였고, CH₄ 배출계수 평균값은 0.0200 kg/TJ으로 나타났다.

연속포집 방법으로 채취한 시료의 CH₄ 배출계수를 산정한 결과, 총 5개의 배출계수 데이터를 확보하였으며 그 값은 Table 7에 나타내었다. Table 7에서 보는 바와 같이 CH₄ 배출계수는 0.0137 kg/TJ ~ 0.0241 kg/TJ의 분포를 보였고, 평균은 0.0197 kg/TJ로 산정되었다.

연속측정 방법으로 채취한 시료의 CH₄ 배출계수를 산정한 결과, 3일에 걸쳐 총 866개의 데이터를 확보하였으며 그 값은 Table 8과 같다. Table 8에서 보는 바와 같이 CH₄ 배출계수는 최대 0.0208 kg/TJ, 최소 0.0009 kg/TJ, 평균은 0.0208 kg/TJ로 나타났다.

시료채취 방법별로 산정된 CH₄ 배출계수의 평균값은 Table 9에 나타냈으며, 그 값은 방법별로 크게 차이를 보이지 않았다. 하지만 단순히 평균값으로 비교하는 것은 공정특성이나 운전여건에 따라 크게 변화하는 CH₄ 배출계수를 온전히 반영한 결과라 할 수 없기 때문에 통계적 비교기법을 활용하여 비교분석하였다.

3.3 시료채취 방법에 따른 CH₄ 배출계수 비교

각 시료채취 방법 별 산정된 CH₄ 배출계수를 통계적 비교기법을 사용해 비교하기 전에 정규성 검정을 실시하였으며,

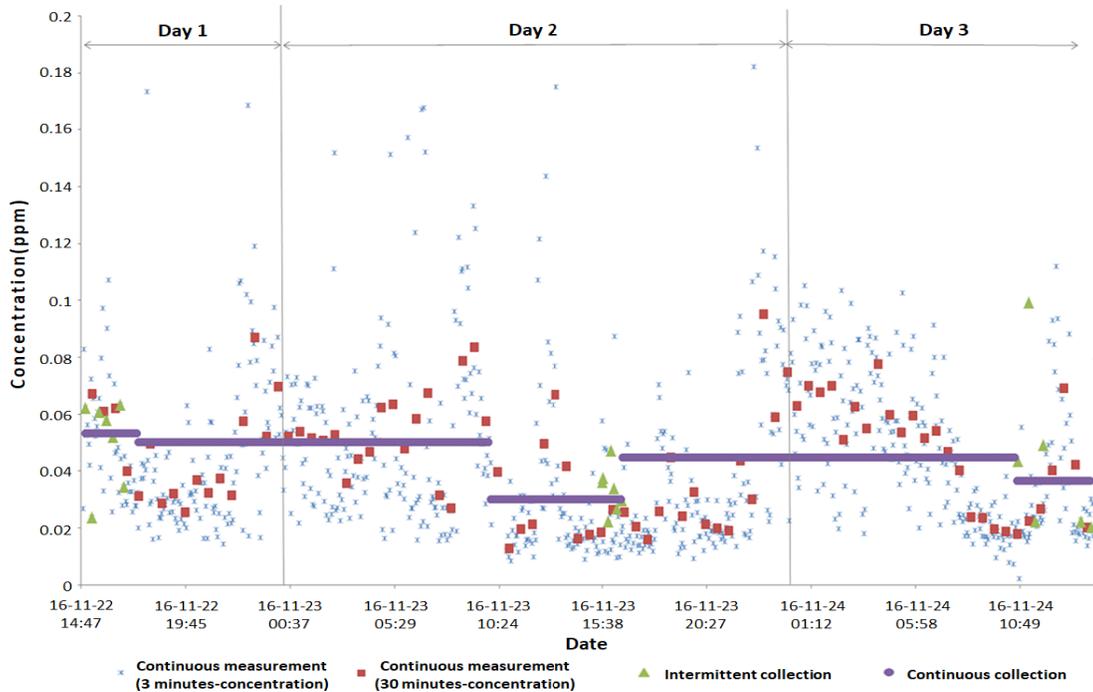


Fig. 2. Result of CH₄ concentration analysis.(Intermittent collection, Continuous collection, Continuous measurement).

Table 6. CH₄ emission factor calculated by intermittent collection (Unit: kgCH₄/TJ)

| Day for Intermittent collection | 1st | 2nd | 3rd | 4rd | 5th | 6th | 7th | Mean |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Day 1 | 0.0282 | 0.0108 | 0.0276 | 0.0263 | 0.0236 | 0.0287 | 0.0157 | 0.0230 |
| Day 2 | 0.0165 | 0.0171 | 0.0101 | 0.0216 | 0.0154 | 0.0122 | 0.0135 | 0.0152 |
| Day 3 | 0.0197 | 0.0450 | 0.0100 | 0.0227 | 0.0100 | 0.0092 | 0.0370 | 0.0219 |
| Result | | | | | | | | 0.0200 |

Table 7. CH₄ emission factor calculated by continuous collection (Unit: kgCH₄/TJ)

| Samples by Continous collection | Emission factor |
|---------------------------------|-----------------|
| Day 1 - daytime | 0.0241 |
| Day 1 - nighttime | 0.0234 |
| Day 2 - daytime | 0.0137 |
| Day 2 - nighttime | 0.0206 |
| Day 3 - daytime | 0.0166 |
| Mean | 0.0197 |

이에는 일반적으로 많이 사용되는 통계 도구 SPSS 18을 사용하였다. SPSS 18은 통계 패키지의 한 종류로서 정규성 검

정에서 Kolmogorov-Smirnov 와 Shapiro-Wilk의 유의확률을 제공하고 있다. 정규성은 유의수준 0.05에서 검정하였으며, ‘표본은 정규분포를 따른다’는 귀무가설과 ‘그렇지않다’는 대립가설을 기준으로 SPSS 18을 이용하여 확인하였고 그 결과는 Table 10에 나타내었다.

표본의 수가 작은 (n<30) 간헐포집 (21개)과 연속포집 (5개)의 경우, Shapiro-Wilk의 결과를 고려하였고, 표본의 수가 많은 (n≥30) 연속측정 (866개)의 경우, Kolmogorov-Smirnov의 결과를 고려하였다. 그 결과, 간헐포집과 연속측정은 유의확률이 각각 0.05보다 작은 0.047과 0.000으로 나타나 정규분포를 따르지 않는 것으로 검정되었으며, 연속포집은 유의확률이 0.05보다 큰 0.520으로 나타나 정규분포를 따르는 것으로 검정되었다. 분산분석을 실시할 때, 한 집단이라도 정규

Table 8. CH₄ emission factor calculated by continuous measurement(Unit: kgCH₄/TJ)

| Day for Continuous measurement | Mean | Maximum | Minimum |
|--------------------------------|--------|---------|---------|
| Day 1 | 0.0216 | 0.0933 | 0.0066 |
| Day 2 | 0.0100 | 0.0963 | 0.0039 |
| Day 3 | 0.0214 | 0.0538 | 0.0009 |
| Mean | 0.0208 | 0.0963 | 0.0009 |

Table 9. CH₄ emission factor by sampling methods(Unit: kgCH₄/TJ)

| Day for sampling methods | Intermittent collection | Continuous collection | Continuous measurement |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|
| Day 1 | 0.0230 | 0.0236 | 0.0216 |
| Day 2 | 0.0152 | 0.0199 | 0.0200 |
| Day 3 | 0.0219 | 0.0192 | 0.0214 |
| Mean | 0.0200 | 0.0209 | 0.0210 |

Table 10. Normality test of CH₄ emission factor by sampling methods

| Category | Statistic | Degree of freedom | Significance probability |
|-------------------------|-----------|-------------------|--------------------------|
| Intermittent collection | 0.963 | 21 | 0.047 |
| Continuous collection | 0.794 | 5 | 0.520 |
| Continuous measurement | 0.124 | 866 | 0.000 |

성을 따르지 않으면 비모수검정법을 사용해야 하므로 본 연구는 Kruskal-Wallis test를 이용해 각 시료채취 방법별 산정된 CH₄ 배출계수를 비교분석하였다.

앞서 정규성 검정과 마찬가지로 Kruskal-Wallis test도 유의수준 0.05에서 검정하였으며, ‘시료채취 방법에 따른 CH₄ 배출계수는 같다’는 귀무가설과 ‘그렇지 않다’는 대립가설을 기준으로 SPSS 18을 이용하여 확인하였다. 그 결과, Monte Carlo 유의확률은 0.768로 유의수준 0.05보다 크기 때문에 귀무가설을 기각하지 못하는 것으로 검정되었다. 따라서 시료채취 방법에 따른 CH₄ 배출계수는 같으며, 복합화력발전소에서 각 시료채취 방법에 따라 산정된 CH₄ 배출계수는 95% 신뢰구간에서 차이가 없는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 복합화력발전소의 CH₄ 배출계수를 간헐포집과 연속포집, 연속측정의 3가지 시료채취 방법을 통하여 산정하고 통계적 기법을 사용해 그 값들을 비교분석하였다. 시료채취는 3일에 걸쳐 간헐포집 21개, 연속포집 5개, 연소측

정 866개의 데이터를 수집하였으며, 각 방법 별 CH₄ 농도는 간헐포집 시료가 0.0221 ppm ~ 0.0992 ppm, 연속포집 시료가 0.0299 ppm ~ 0.0530 ppm, 연속측정 시료가 0.0020 ppm ~ 0.2051 ppm으로 분석되었다. 연속측정을 통한 CH₄ 농도의 분포가 가장 넓었으며, 이는 타 시료채취 방법보다 공정특성과 운전여건에 따라 변하는 CH₄ 농도 특성을 가장 잘 반영했기 때문인 것으로 판단된다.

시료채취 방법별 산정된 CH₄ 배출계수는 간헐포집 시료가 0.0100 kg/TJ ~ 0.0450 kg/TJ, 연속포집 시료가 0.0137 kg/TJ ~ 0.0241 kg/TJ, 연속측정 시료가 0.0009 kg/TJ ~ 0.0963 kg/TJ의 분포를 보였다.

산정된 배출계수의 집단 간 차이를 알아보기 위해서는 통계적 방법을 사용하였다. SPSS 18을 사용하여 정규성을 검정한 결과, 간헐포집과 연속측정을 통한 배출계수 집단이 정규성을 따르지 않는 것으로 검정되어 비모수 방법인 Kruskal-Wallis test를 사용해 각 집단 간 차이를 검정하였다. 이 결과, Monte Carlo 유의확률이 0.768로 유의수준 0.05보다 크기 때문에 ‘시료채취 방법에 따른 CH₄ 배출계수는 같다’라는 귀무가설을 기각하지 못하는 것으로 검정되었다. 따라서

95% 신뢰구간에서 복합화력발전소의 3가지 시료채취 방법을 통해 산정한 CH₄ 배출계수 간에는 차이가 없는 것으로 나타났다.

따라서 복합화력발전소의 CH₄ 배출계수의 산정을 위한 시료채취 방법으로는 간헐포집, 연속포집, 연속측정 3가지 방법을 모두 사용할 수 있는 것을 알 수 있다. 다만 CH₄ 농도의 변화폭이 큰 특성을 고려하면 시간적 대표성과 경제성을 고려했을 때, 연속포집 방법이 가장 적합한 것으로 판단된다.

우리나라에서 온실가스인벤토리보고서 작성에 사용하고 있는 1996 IPCC G/L에는 복합화력발전소의 CH₄ 배출계수가 없으므로 보다 정확한 배출량을 산정하기 위해서는 우리나라의 특성을 반영한 복합화력발전소의 CH₄ 배출계수 개발이 필요하다. 본 연구결과는 국가 온실가스 인벤토리의 신뢰도를 높이는 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 “기후변화특성화대학원사업”의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Greenhouse Gas Inventory and Research Center (GIR). 2018. National greenhouse gas inventory report of Korea. Seoul, Korea: Greenhouse Gas Inventory and Research Center. National report.

Jang YK, Kim K, Choi SJ, Song KB, Kim HJ, Hong YS, Jeong MS. 2003. Estimation of Emission and Factors of the Greenhouse Gases from LNG Combustion Facilities. Proceeding of the Meeting of KOSAE; 2003 Nov 6~Nov 8; Univ. of Jeju. Jeju, Korea: Korean Society for Atmospheric Environment p.219-220.

Lee HS, Lim JH. 2011, SPSS 18.0 Manual. JypHyunJae, Korea.

Lee SH. 2009. Development of GHG Country-specific Emission Factors for Combined Cycle Power Plants in Korea. Dissertaion, Sejong University.

Lee SH, Kim JS, Lee SH, Sa JH, Kim KH, Jeon EC. 2009. Development of Greenhouse Gas (CH₄ and N₂O) Emission Factors for Anthracite Fired Power Plants in Korea, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 24, No. 6. p.562~570.

Lee SH, Kim JS, Kim OH, Lee JW, Lee SH, Jeon EC. 2011. Development of Non-CO₂ Greenhouse Gas Emission Factors for the B-C Oil Fired Boiler Power Plants, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment. Vol. 27, No. 1. p.41-49.

Lee SH, Yoon SK, Kim JS, Jeon EC. 2007. A Study for Determining of Non-CO₂ GHGs Emission Factors of the Combined Cycle Power Plant. Proceeding of the Meeting of KOSAE; 2007 Oct 25~Oct 27; Korea National University of Education. Cheongju, Korea: Korean Society for Atmospheric Environment. p.384-386.