

온실가스 시료 보관시간에 따른 CH₄ 농도 변화

홍윤정* · 조창상* · 강성민** · 윤현기** · 전의찬****

*세종대학교 기후변화센터, **세종대학교 환경에너지융합학과, ***세종대학교 환경에너지공간융합학과

Temporal Variability of CH₄ Gas Concentration Collected in Sampling Bag

Hong, Yoonjung*, Cho, Changsang*, Kang, Seongmin**, Yun, Hyun-Ki** and Jeon, Eui-Chan****†

*Climate Change Research Center, Sejong University

**Dept. of Environment Energy, Sejong University

***Dept. of Environment Energy and Geoinformation, Sejong University.

ABSTRACT

In general, CH₄ concentrations generated in combustion facilities are known to be ppm units. In most cases, CH₄ samples are collected in Tedlar bags and transported to laboratories for analysis. Considering this fact, in the present study, an attempt was made to find out how long samples can be stored in cases where they are kept in bags and transported as a preliminary study for sampling. According to the results of the experiment using simulated gases (1 ppm, 5 ppm, 10 ppm) in Tedlar bag, CH₄ was safe up to 240 hr which is the full time. In the case of simulated gases are containing 4 kind gases (N₂, CO₂, CH₄, and N₂O). Field samples (samples of obtained by collecting combustion facilities' exhaust gases) are known to contain highly reactive substances (for example NO_x, SO_x, and VOCs) and may affect each other. In the present study, one site sample was secured from each of a bituminous coal combustion facility and an LNG combustion facility and whether the concentrations of CH₄ gas would change over time (24 hr, 96 hr, 144 hr, 192 hr) was checked. Since site samples could not be analyzed on the day of collection, an experiment was started 24 hr after the time point of sampling to analyze the samples. As with the results of analysis of the simulated gas (240 hr), the results of analysis using the site sample indicated that it could be stored for the full study period 192 hr. Therefore, it was judged that if 192 hr would be taken after sampling before the sample would be analyzed, the concentration value should be reliable.

Key words: Greenhouse Gas, CH₄ Gas, Temporal Variability

1. 연구 배경 및 목적

기후변화문제는 현재 전 지구의 당면하고 심각한 환경문제로 인식되고 있으며, 기후변화현상 완화를 위한 온실가스 감축은 시급한 상황이다(UNEP, 2014; IPCC, 2007). 우리나라의 온실가스 배출통계 수준은 Annex I 국가에 비해 낮으며, 특히 Non-CO₂에 대한 연구는 미비한 상황이다. Non-CO₂ 중 CH₄의 배출 농도는 ppm 단위로 CO₂에 비해 적은 수준이나, 온난화지수(Global Warming Potential; GWP)가 CO₂와 비교하여 각각 21배로 알려져 기후변화에 미치는 영향은 무시할 수 없다(IPCC, 2006). 이에 따라, 온실가스 배출량의 신뢰도를 향상시

키기 위해서는 CH₄의 정확한 온실가스 배출량 산정과 관련된 연구가 필요하다.

CH₄는 안정한 물질로 시료채취의 편의성을 위해, 가스밀폐 주사기나 Tedlar bag을 이용한 방식, Stop-Cock을 이용한 방식을 사용하여 시료를 채취하고, 실험실에서 농도를 분석하게 된다. CH₄의 농도 분석은 일반적으로 Tedlar bag을 사용하여 시료를 포집, 운반하여 분석할 때까지 보관하게 된다. Bag을 이용한 시료포집 후 유실물에 대한 연구는 휘발성 유기화합물(VOC; Volatile Organic Compounds)를 중심으로 진행이 되어왔으나(김기현 등, 2005a; Oh 2004; 봉춘근 등, 2002), 온실가스를 대상으로 연구한 사례는 상대적으로 적다(조창상 등,

† Corresponding author: ecjeon@sejong.ac.kr

Received October 10, 2016 / Revised October 26, 2016 / Accepted November 16, 2016

2011; Schulz et al, 2004). 특히, CH₄를 대상으로 한 연구결과는 표준가스를 사용하여 실험한 결과(정재학 등, 2006)가 확인되는 상황이다(에너지관리공단, 2013; 한국표준과학연구원, 2010). 기존연구의 결과에 따르면, CO₂는 매우 안정적인 물질로 Tedlar bag을 이용하여 표준가스를 보관할 경우, 15일까지 5% 이하의 농도 변화를 보이는 것으로 확인되었으며, CH₄의 경우는 36 hr까지 안정적인 것으로 확인되었다.

그러나 표준가스를 이용한 실험결과를 현장시료에 그대로 적용할 경우, 결과가 달라질 수 있는 단점이 있다. 현장시료의 경우는 반응성이 큰 VOCs 물질들을 포함한 다양한 물질이 공존할 가능성이 있어, 채취 직전의 조건에서 조성된 동적인 평형상태로부터 이탈할 수 있다(USEPA, 1996; 백성욱 등, 2003). 따라서 기존의 연구를 확장하여, 표준시료 농도를 다양화하고 현장시료 결과를 포함한 실질적인 Tedlar bag의 안정성을 평가하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 Non-CO₂ 중 하나인 CH₄를 대상으로, Tedlar bag안에서 어느 시점까지 보관 가능하고, 그 농도 값을 신뢰할 수 있는지를 표준가스와 현장시료를 사용하여 통계적 기법을 통하여 확인하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 시료의 준비

대기환경 시료는 일반적으로 Tedlar bag이 다양한 화학종에 반응하지 않는 특징으로 인해 사용되고 있다. 본 연구에서는 먼저, Tedlar bag을 사용하여 시료를 채취시, 보관 시간에 따른 CH₄의 농도 안정성을 표준가스를 이용하여 확인하고자 하였다. CH₄를 대상으로 한 본 연구에서는 CH₄가 10 ppm로 들어있는 Primary STD(RIGAS, KOREA)를 사용하여 표준가스를 제조하였다. 표준가스는 99.999% N₂로 희석하여 1 ppm, 5 ppm, 10ppm의 농도로 제조하여 사용하였으며, 제조한 시점부터 보관시간이 0 hr, 24 hr, 72 hr, 144 hr, 240 hr일 때 CH₄의 농도를 분석하여 결과를 도출하였다. 모든 분석은 분석 일에 표준가스를 사용하여 검량선을 작성하여 농도 값을 환산한 결과 값을 사용하여 평가에 사용하였다. 표준가스를 사용한 실험은 대상 물질의 농도 제어가 가능한 장점이 있으나, 실제 포집한 시료에서는 타 성분들이 같이 존재하여 서로 영향을 미칠 가능성이 있다. 이를 보완하기 위하여 본 연구에서는 유연탄 연소시설, LNG 연소시설의 현장시료를 각각 1개씩을 확보하여 시간(24 hr, 96 hr, 144 hr, 192 hr)에 따라 CH₄의 농도 변화를 확인하였다. 현장시료의 경우, 채취한 당일 분석이 불가능하여 시료 채취 시점으로부터 24 hr 후에 실험을 시작하

여 분석하였다.

2.2 현장시료의 채취 방법

대기오염물질 분석을 위한 시료 포집방법에 주로 사용되는 EPA Method 18(US EPA, 2001) 방법인 간헐포집 방법은 연소시설에서 배출되는 온실가스 시료채취 방법에서도 가장 많이 사용되는 방법이다. 간헐포집 방법은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 펌프를 이용하여 bag이 연결된 시료채취기를 진공으로 만들어 시료를 채취하는 방식으로, 시료가 펌프를 통과하지 않아 시료손실의 가능성을 낮춘 장점이 있다. 간헐포집 방법의 경우, 비교적 장비가 단순하고, 짧은 시간에 시료를 포집할 수 있어 순간적인 농도 분석이 가능하다. 연소시설의 배기가스는 높은 유속(10 m/sec 이상)과 고온(100℃ 이상)이므로 시료채취관 및 시료채취용 배관은 스테인레스강을 사용하였으며, 시료는 입상무수염화칼슘(Duksan, Korea)을 채 흡수병이 포함된 전처리 장치를 통과하도록 하였다(이시형, 2009; 전의찬, 2007).

2.3 기기분석 방법

시료의 분석은 GC-FID를 사용하였으며, Stainless steel 길이 1 m, 외경 3.175 mm의 Porapak Q 80/100 mesh 컬럼을 사용하였으며, 기기의 설정조건은 Table 1과 같다.

분석을 검량선의 작성은 시료 분석일에 제조한 STD를 사용하여 3번 반복 분석한 결과의 평균값으로 도출하였다. 검량선은 0.1 ppm, 1 ppm, 5 ppm, 10 ppm의 작업용 표준시료를 사용하여 작성하였으며, 검량선의 R² 값은 0.9998로 우수한 매우 직선성을 나타내었다. 분석을 위한 QA/QC는 재현성 평

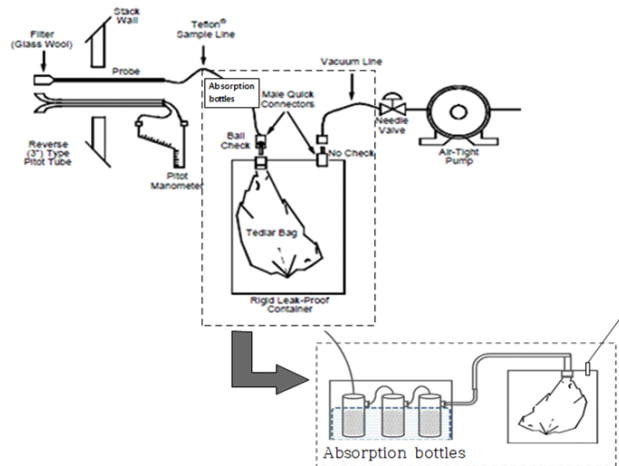


Fig. 1. Schematic of lung sampler.

Table 1. Analytical conditions of GC-FID

Classification		GC/FID
Column		Porapak Q 80/100 mesh
Carrier gas		N ₂ (99.999%)
Flow	Column	30 mL/min
	H ₂	30 mL/min
	Air	300 mL/min
Temperature	Oven	80°C
	Injector	100°C
	Detector	250°C

가(RSE)와 최소검출한계로 제시하였다. 먼저, 기기의 재현성은 표준가스를 3번 반복 분석하여 상대표준오차를 계산하였다(Relative Standard Error; RSE). CH₄의 재현성을 확인한 결과, 상대표준오차가 0.61%로 ISO 11564:1998에서 제시하는 재현성 범위 3% 이내인 것으로 판단되었다. 최소검출한계는 미국 EPA 방법을 사용하였으며, 본 연구에서는 1 ppm의 표준가스를 이용하여 7번 반복 분석한 결과, Table 2와 같이 16.1 ppb로 확인되었다.

3. 연구 결과

3.1 시료보관 기간에 따른 모사시료의 Tedlar bag 내 CH₄의 안정성 평가

Table 3. CH₄ concentration of similar gas in accordance with the storage time (1 ppm)

(unit: ppm)

Classification	Storage hours					Concentration variability	
	0 ^a	24	72	144	240 ^b	DC [*]	DF (%) ^{**}
1	1.04	0.99	1.02	0.99	1.00	0.04	3.85
2	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	0.01	0.97
3	1.03	1.01	1.00	1.02	1.05	0.02	1.94
Mean	1.04	1.01	1.02	1.01	1.02	0.02	1.92
SE	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	-	-
RSE (%)	0.24	1.17	0.86	0.88	1.58	-	-

^a Initial concentration.

^b Measured concentration after 240 hours.

^{*} Difference in concentration (ppm) = |a-b|.

^{**} Difference factor in concentration (%) = ((|a-b|)/a)×100.

Table 2. Derivation of detection limits of CH₄ in this study method

Order	CH ₄
	Peak area
1	11,856
2	11,827
3	11,702
4	11,727
5	11,792
6	11,745
7	11,790
Mean	11,777
S.D.	55
S.D.×3.14	173
MDL	16.1 ppb

시간 경과에 따른 표준가스 bag을 반복 측정 분석한 CH₄의 농도는, 표준가스의 농도가 1 ppm의 경우 Table 3과 같이 240 hr 동안, 평균 0.02 ppm의 농도 변화가 있었으며, 1.92%의 농도 변화율(DF)이 발생하였다. 3회 반복분석한 CH₄의 RSE는 0.24~1.58% 범위를 보였으며, 2% 미만으로 큰 차이를 보이지 않았다.

표준가스의 농도가 5 ppm일 경우에는 Table 4와 같이 240 hr 동안 평균 0.03 ppm의 차이가 발생하여, 0.61%의 농도 변

Table 4. CH₄ concentration of similar gas in accordance with the storage time (5 ppm) (unit: ppm)

Classification	Storage hours					Concentration variability	
	0 ^a	24	72	144	240 ^b	DC*	DF (%)**
1	4.91	4.89	4.92	4.88	4.88	0.03	0.61
2	4.96	4.94	4.94	4.91	4.92	0.04	0.81
3	4.93	4.94	4.95	4.92	4.93	0.00	0.00
Mean	4.94	4.92	4.94	4.91	4.91	0.03	0.61
SE	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	-	-
RSE (%)	0.30	0.32	0.19	0.23	0.32	-	-

^a Initial concentration.

^b Measured concentration after 240 hours.

* Difference in concentration (ppm) = |a-b|.

** Difference factor in concentration (%) = ((|a-b|)/a)×100.

화율이 확인되었다. 이러한 농도 변화율은 1 ppm의 농도 변화율인 1.92%보다 작게 나타났다. RSE의 결과도 5 ppm은 0.19~0.32% 범위로 나타나, 1 ppm의 0.24~1.58%보다 작은 수치를 기록하였다.

동일 기간 동안 표준가스 농도 10 ppm을 분석한 경우의 결과는 Table 5와 같다. 240 hr 동안 평균 농도의 차이는 0.05 ppm가 발생하고, 0.50%의 농도 변화율이 나타나, 농도 변화율은 5 ppm의 표준가스 변화율인 0.61%와 비슷한 수준으로 나타났다. RSE의 결과는 0.04~0.20% 범위로, 1 ppm의 0.24~1.58%나 5 ppm의 0.19~0.32%보다 작아, 표준가스의 농도가 클수록 RSE는 양호하게 나타났다.

이러한 표준가스를 이용한 시간 경과에 따른 CH₄ 농도 변화는 Fig. 2에서 보는 것과 같이 표준가스의 초기 CH₄ 농도와 관계없이 240 hr동안 5% 이내로 안정한 것으로 판단할 수 있다. 이러한 결과는 Tedlar bag를 차광하여 36 hr 동안 보관결과, 농도변화가 발생하지 않았던 기존의 연구결과에 부합하는 것으로, 표준가스 CH₄의 농도는 Tedlar bag 안에서 안정성이 높은 것으로 확인되었다.

3.2 시료보관 기간에 따른 현장식료의 Tedlar bag 내 CH₄의 안정성 평가

현장시료를 이용하여 bag 안에서 시간 경과에 따른 CH₄ 농

Table 5. CH₄ concentration of similar gas in accordance with the storage time (10 ppm) (unit: ppm)

Classification	Storage hours					Concentration variability	
	0 ^a	24	72	144	240 ^b	DC*	DF (%)**
1	10.03	9.98	10.06	10.00	10.04	0.01	0.10
2	10.03	10.04	10.10	10.03	10.09	0.06	0.60
3	10.02	10.04	10.10	10.03	10.11	0.09	0.90
Mean	10.03	10.02	10.09	10.02	10.08	0.05	0.50
SE	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	-	-
RSE (%)	0.04	0.18	0.13	0.11	0.20	-	-

^a Initial concentration.

^b Measured concentration after 240 hours.

* Difference in concentration (ppm) = |a-b|.

** Difference factor in concentration (%) = ((|a-b|)/a)×100.

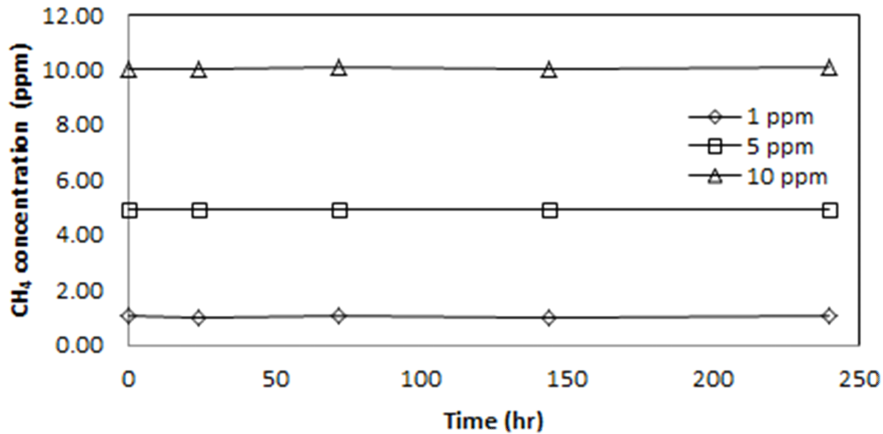


Fig. 2. Changed of CH₄ concentration of similar gas sample in Tedlar bag as time passed.

도 변화는 표준가스의 실험방법과 같이 유연탄 연소시설 및 LNG 연소시설의 배출농도를 3회 반복 분석하여 결과를 나타내었다.

시간에 따른 LNG 연소시설의 CH₄ 농도 변화는 Table 6에서 보는 것과 같이, 초기농도의 평균은 2.01 ppm, 192 hr 경과 후의 평균 농도도 2.01 ppm으로 차이가 없는 것으로 나타났다. LNG 연소시설의 RSE 값은 0.14~1.32% 범위를 보여 2% 미만으로 분석 값들이 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 1 ppm의 표준가스 RSE(0.24~1.58%)와 비슷한 것으로 판단되었다.

CH₄의 초기 평균 농도가 0.33 ppm으로 LNG 연소시설보다 농도가 낮았던 유연탄 연소시설의 경우는 Table 7과 같이 192 hr 경과 후 평균 농도가 0.35 ppm으로 0.02 ppm의 차이

가 발생하고, 농도변화는 6.06%로 미미하였다. 유연탄 연소시설의 RSE 값은 0.50~1.65%로 범위를 보여 LNG 연소시설이나 1 ppm 표준가스의 RSE와 비슷한 수준을 나타냈다.

결과를 시간 경과에 따른 그래프로 확인하면, Fig. 3에서 보는 것과 같이 LNG 연소시설의 평균 농도는 약 2.00 ppm, 유연탄 연소시설의 평균 농도는 약 0.33 ppm으로 약 6배의 차이가 나타나, 사용연료에 따라 농도 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 시간 경과에 따른 현장시료의 CH₄ 농도 변동폭은 Fig. 3에서 보는 것과 같이 크지 않고, 192 hr 동안 농도 변화는 거의 없는 것으로 보인다. 그러나 이번 분석은 낮은 농도의 시료를 대상으로 한 것으로, 이 결과만으로 두 연소시설에서 포집한 시료의 안정성을 평가하기는 어렵다.

본 연구에서는 현장시료별로 시간에 따른 CH₄ 농도의 변

Table 6. CH₄ concentration of LNG combustion facility sample in accordance with the storage time (unit: ppm)

Classification	Storage hours				Concentration variability	
	24 ^a	96	144	192 ^b	DC*	DF (%)**
1	1.99	1.99	1.97	1.96	0.02	1.26
2	2.07	1.99	1.99	2.03	0.04	1.93
3	1.98	2.00	1.98	2.03	0.04	2.17
Mean	2.01	1.99	1.98	2.01	0.00	0.00
SE	0.03	0.00	0.01	0.02	-	-
RSE (%)	1.32	0.14	0.35	1.10	-	-

^a Initial concentration.

^b Measured concentration after 192 hours.

* Difference in concentration (ppm) = |a-b|.

** Difference factor in concentration (%) = ((|a-b|)/a)×100.

Table 7. CH₄ concentration of bituminous coal combustion facility sample in accordance with the storage time (unit: ppm)

Classification	Storage hours				Concentration variability	
	24 ^a	96	144	192 ^b	DC*	DF (%)**
1	0.32	0.32	0.34	0.35	0.03	9.37
2	0.33	0.33	0.34	0.35	0.02	6.06
3	0.33	0.34	0.34	0.34	0.01	3.03
Mean	0.33	0.33	0.34	0.35	0.02	6.06
SE	0.00	0.01	0.00	0.00	-	-
RSE (%)	0.52	1.65	0.50	0.76	-	-

^a Initial concentration.

^b Measured concentration after 192 hours.

* Difference in concentration (ppm) = |a-b|.

** Difference factor in concentration (%) = ((|a-b|)/a)×100.

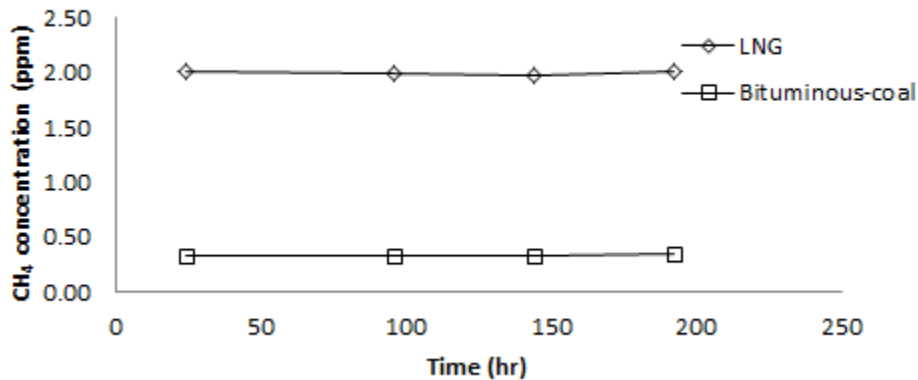


Fig. 3. Changed of CH₄ concentration of field sample in Tedlar bag as time passed.

화를 확인하기 위하여 ‘반복측정분석(Repeated Measures ANOVA)’을 사용하여 검정하였다. 실험결과와 반복측정분석을 실시하기 위하여 CH₄를 대상으로 ‘구형성검정’을 실시하였다. ‘구형성검정’ 결과는 Table 8과 같이, 유의수준 값이 0.333으로 0.05보다 큰 것으로 나타나, 현장시료의 CH₄ 농도는 구형성 가정을 만족하는 것으로 판단하였다.

따라서 CH₄ 농도의 변화 검정은 ‘개체 내 효과검정’을 실시하여 시간에 따른 농도 변화를 확인하였다. ‘개체 내 효과검정’에 사용되는 귀무가설과 대립가설은 아래와 같다.

귀무가설(H₀): 시간의 흐름에 따라 농도의 변화가 없다.

대립가설(H₁): 시간의 흐름에 따라 농도의 변화가 있다

구형을 만족한 CH₄의 시간 경과에 따른 농도 변화를 ‘개체

Table 8. Result of "Mauchly's test of Sphericity" for CH₄ concentration as storage hr (in 192 hr)

Within subjects effect	Mauchly's W	df ^a	Sig. ^b
Time (hr)	0.110	5	0.333

^a Degree of freedom.

^b Significance probability.

내 효과검정’으로 확인한 결과, Table 9에서 보는 것과 같이 유의확률(P) 값이 모든 검정 방법에서 0.05 이상으로 ‘시간에 따른 농도 변화가 없다’는 귀무가설을 기각할 수 없었다. 또한 ‘시간과 현장시료의 종류에 따른 농도 변화가 없다’는 귀무가설도 기각할 수 없었다. 결과적으로 시간과 현장시료의 종류에 따른 상호작용은 없으며, 시간과 현장시료에 따른 bag

Table 9. Result of "Tests of Within-Subjects Effects" for CH₄ concentration as storage hr (in 192 hr)

	Source	Type III sum of squares	df	Mean square	F ^a	Sig.
Time (hr)	Sphericity assumed	0.001	3	0.000	1.124	0.378
	Greenhouse-geisser	0.001	1.928	0.001	1.124	0.371
	Huynh-feldt	0.001	3.000	0.000	1.124	0.378
	Lower-bound	0.001	1.000	0.001	1.124	0.349
Time (hr)* group	Sphericity assumed	0.002	3	0.001	1.436	0.281
	Greenhouse-geisser	0.002	1.928	0.001	1.436	0.294
	Huynh-feldt	0.002	3.000	0.001	1.436	0.281
	Lower-bound	0.002	1.000	0.002	1.436	0.297

^a Exact statistic.

안의 농도변화는 없는 것으로 판단되었다.

4. 결 론

연소시설 등의 현장에서 저농도로 존재하는 CH₄는 분석을 위하여 시료를 포집용 bag에 채취하고 운반하여 실험실에서 분석하기 때문에, 포집용 bag 안에서 CH₄의 안정성 평가는 필수적이다. 선행연구에 따르면, 현장인 연소시설의 굴뚝에서 발생하는 CH₄의 농도는 사용하는 원료나 발전소의 종류에 따라 그 농도 차이가 있으며, CH₄의 평균 농도는 B-C유는 1.05 ppm, 유연탄은 0.74 ppm, 무연탄은 1.93 ppm으로 낮았다(이시형 등, 2009; 이시형 등, 2011; 조창상, 2016). 그러나 기존의 bag 안에서 CH₄ 안정성 연구는 표준가스를 희석하여 1~100 ppm을 기준으로 진행되어 현장인 연소시설의 배출구 농도와 차이가 있는 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서 표준가스(1 ppm, 5 ppm, 10 ppm)를 이용한 실험을 진행하였으며, 그 결과 초기농도와 관계없이 최대 240 hr까지 농도변화율이 5% 이내로 매우 안정적인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Tedlar bag를 차광하여 36 hr 동안 보관한 결과, 농도변화가 발생하지 않았던 상대적으로 고농도인 기존의 연구결과에도 부합하는 것으로, 표준가스 CH₄의 농도는 Tedlar bag 안에서 안정성이 높은 것으로 확인되었다. 또한, 표준가스를 이용한 실험결과를 현장시료에 그대로 적용할 경우, 결과가 달라질 수 있는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여, LNG 연소시설 및 유연탄 연소시설의 굴뚝에서 채취한 현장시료를 통해 검증한 결과, 현장시료의 종류에 관계없이 CH₄는 실험 설계 최대 시간인 192 hr까지 안정적인 것으로 나타났다. 즉, CH₄의 농도는 Tedlar bag 안에서 매우 안정적인 것으로 판단되었다.

본 연구는 CH₄를 포함한 현장시료의 다양성을 확보하지 못한 점과 연구기간의 폭을 좀 더 넓히지 못한 한계점을 포함하고 있어, 그 결과를 그대로 활용하기는 어렵다. 그러나 본 연구의 결과는 Tedlar bag을 이용한 CH₄의 시료 채취 및 분석을 진행할 경우, 시료의 최대 보관기간 등을 결정하는데 활용할 것으로 판단되며, 분석 결과 값의 객관성을 높여 줄 수 있는 기초자료가 될 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 환경부 “기후변화대응 환경기술개발사업(2016-001300004)”으로 지원받아 진행하였습니다.

REFERENCES

Baek SO, Park SK. 2004. Measurement of environmental tobacco smoke in the air of offices in urban areas. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 20(6): 715-727 (in Korean with English abstract).

Bong CK, Kim DS, Kim YD. 2002. An evaluation of the durability of volatile organic compounds for different sampling method. *Journal of Center for Environmental Studies* 11:33-41 (in Korean with English abstract).

Cho CS, Lee SH, Lim KK, Yoo JH, Sa JH, Jeon BG, Jeon EC. 2011. Evaluation for loss rate of carbon dioxide by sample storage method. *Journal of Climate Change Research* 2(4):309-316 (in Korean with English abstract).

Cho CS. 2016. A study on non-CO₂ forecasting models and

- the effect of air pollution prevention facility on non-CO₂ emissions concentration. Sejong University (in Korean with English abstract).
- IPCC. 2006. The 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. volume 2: Energy, chapter 2: Stationary Combustion.
- Jeon EC, Myeong SJ, Jeong JH, Lee SH, Sa JW, Roh GH, Kim KH, Bae WS. 2007. Development of emission factors for greenhouse gas (CO₂) from anthracite fired power plants in Korea. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 23(4):440-448 (in Korean with English abstract).
- Jeong JH, Lim HS, Kim KH, Bae WS, Jeon EC. 2006. Some insights into the basic QA/QC for the greenhouse gas analysis: Methane and carbon dioxide. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 22(5):712-718 (in Korean with English abstract).
- Kim KH, Choi YJ, Ahn JW. 2005. Reduced sulfur gas loss in the bag sampling procedure - Comparison by calibration slope values. *Analytical Science & Technology* 18(4):338-343 (in Korean with English abstract).
- Korea Energy Agency. 2013. Development report of the emission factor of greenhouse gas of the country 2-step (in Korean).
- Korea Research Institute of Standards and Science. 2010. A study report on the greenhouse gas emissions calculation method of the industrial field (in Korean).
- Lee SH. 2009. Development of GHG country-specific emission factors for combined cycle power plants in Korea. Sejong University (in Korean with English abstract).
- Lee SH, Kim JS, Lee SH, Sa JH, Kin 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* 25(6): 562-570 (in Korean with English abstract).
- 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* 27(1):41-49 (in Korean with English abstract).
- Sewon OH. 2004. Aerosol losses in a 100L. Tedlar Bag *KOSAE* 20(E2):61-68.
- UNEP. 2014. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.
- USEPA. 1996. Guidance on Use of Modeled Results to Demonstrate Attainment of the Ozone NAAQS, EPA-454/B-95-007.