

## 온실가스 기기분석의 정도관리를 위한 고려사항 연구 - CH<sub>4</sub>과 CO<sub>2</sub>를 중심으로 -

### Some Insights into the Basic QA/QC for the Greenhouse Gas Analysis: Methane and Carbon Dioxide

정재학 · 임호수 · 김기현 · 배위섭 · 전의찬\*

세종대학교 지구환경과학과

(2006년 5월 2일 접수, 2006년 7월 20일 채택)

Jae-Hak Jeong, Ho-Soo Lim, Ki-Hyun Kim, Wisup Bae and Eui-Chan Jeon\*

*Department of Earth & Environmental Sciences, Sejong University*

(Received 2 May 2006, accepted 20 July 2006)

#### Abstract

In order to investigate the analytical uncertainties associated with sampling and analysis of major greenhouse gaseous pollutants (carbon dioxide and methane), we attempted to quantify their adsorptive loss due to the contact with the container wall (such as Tedlar bag and vial). Using the GC/FID method, some basic experimental parameters (such as reproducibility and method detection limit) have been evaluated as part of the essential QA/QC. The reproducibilities of carbon dioxide and methane were estimated as 2.02 and 0.2%, respectively. In addition, method detection limits were measured as 0.61 and 0.06 ng, respectively. A test of sample loss rate has also been made for Tedlar bag and vial by assessing the absolute amount of sample loss on the wall. By transferring the samples contained in Tedlar bag to various sizes of Tedlar bags, we measured differences in the absolute loss quantity due to such transfer. In addition, we also examined such loss mechanism as a function of elapsed time and light penetration rate for vial. As results, carbon dioxide and methane have shown about 2% of sample loss due to such contact. It is also noticed that the amount of loss with vial surface is lower than that of Tedlar bag. Therefore, field collection of greenhouse gases using various container types should be made more cautiously to minimize the possibility of sample loss and bias related to such loss.

**Key words :** CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, GC/FID, Tedlar bag, Vial, Sample loss rate Greenhouse gas

#### 1. 서 론

기후변화협약과 관련한 국제협상에서 객관적인 온

실가스의 배출자료를 확보하는 일은 이들의 저감대책을 수립하는데 가장 중요한 기초자료이다 (IPCC, 1996). 그러나 국내의 현실은 비교적 배출 비중이 큰 에너지 산업과 농업 분야를 제외하고는 이들에 대한 배출원 목록 (Emission Inventory) 에 대한 조사가 미흡한 실정이다 (에너지관리공단, 2005; 김득수 등,

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-3408-3968, E-mail : ecjeon@sejong.ac.kr

2000). 배출원 목록을 작성하기 위해서는 배출원에서 온실가스 시료를 채취하여 그 농도를 분석하여야 하는데 환경대기의 시료는 대부분 기체상으로 존재하므로 상대적으로 정확한 시료채취가 용이하지 않다(백성옥 등, 2004). 따라서, 이러한 성분들의 배출을 정확하게 추정하기 위해서는 기본적인 자료 확보의 단계에서 존재하는 불확실성을 최소화하는 것이 무엇보다 중요하다(IPCC, 1997).

안정한 물질인 온실가스의 경우는 시료채취의 편의를 도모하기 위해, 가스밀폐 주사기(Gas-tight syringe)를 사용하거나 펌프를 이용한 테들러 백(Tedlar bag)방식이 가장 보편적으로 이용되며(김경렬, 1999), Stop-cock이 부착된 유리용기(Vial)를 이용하여 시료를 채취하기도 한다(Komhyr et al., 1985).

테들러 백 및 유리용기와 같은 용기를 사용하여 시료를 채취하는 방식은 그 편리성에 비해, 측정절차와 관련된 오차 수준에 대한 정보가 아직까지 부족한 편이다. 본 연구에서는 테들러 백 방식 및 유리용기의 시료채취와 관련된 여러가지 기술적인 특성과 한계를 규명하기 위한 노력의 하나로 백방식과 유리용기방식의 유실율에 대한 평가를 시도하고자 하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 분석시스템

에너지 및 산업공정에서 배출되는 이산화탄소는 고농도(대개 % 단위)로 배출이 이루어진다. 반면 메탄의 경우, 주로 저농도(ppm 단위) 수준에서 배출이 이루어지고 있다. 이와 같은 성분별 농도수준을 감안하여, 온실가스의 분석은 비분산형 적외선 분석기(NDIR: Non-Dispersive Infra Red) 또는 가스크로마토그래프(GC: Gas Chromatograph) 방법 등이 이용되고 있다. 본 연구에서는 가스크로마토그래프 방식에 기초하여 테들러 백 채취와 관련된 여러 가지 오차요인들을 분석하고자 하였다.

온실가스의 분석에 대표적으로 이용되고 있는 GC 방식의 검출기는 FID(Flame Ionization Detector; 불꽃이온화검출기)와 ECD(Electron Capture Detector; 전자포획검출기)를 들 수 있다. FID의 경우, 이산화

탄소 및 메탄의 분석에 주로 활용된다. 반면 ECD의 경우, CFCs와 아산화질소 등의 검출에 주로 이용되고 있다. 이산화탄소는 그 자체의 형태로는 GC/FID에서 좋은 감도를 기대하기 어렵다. 따라서 Methanizer 등과 연계하여 이산화탄소를 메탄으로 환원시켜 주는 방식으로 ppmv 수준에서 정량적으로 분석하는 방법들이 1960년대 이후 널리 도입되고 있다. 반면, 메탄의 경우, GC/FID로 직접 정량할 수 있는 탄화수소 화합물의 대표적 성분이라는 사실이 선행연구를 통해 알려져 있다(김경렬, 1999).

이산화탄소의 경우, 메탄으로 환원시켜주는 방식의 하나에 해당하는 Methanizer방법을 GC/FID와 결합하는 방식으로 분석하였다. Methanizer의 원리를 살펴보면, 고온조건에서 Ni 촉매를 이용하여 수소와 반응시켜 이산화탄소를 메탄으로 환원시켜주는 기능을 한다. 특히 온도가 350°C 이상에서는 환원율이 100%로 정량적인 경향을 보인다(김경렬, 1999).

분석대상 시료 성분의 분리를 위해 Porapak-Q칼럼(1.8 m 길이의 Stainless steel, 3.175 mm 외경, Restek 사 제작)을 사용하였다. 오븐온도를 80°C로 유지하고, 운반기체의 유량을 30 mL/min의 조건을 유지하면서, 이산화탄소와 메탄을 분리, 분석하였다. 메탄을 검출하기 위해서는 250°C의 조건에서 불꽃이온검출기(FID)를 사용하였다. 반면, 이산화탄소는 350°C로 설정한 Methanizer(Donam Inc, Korea)를 이용하여, GC/FID로 검출하였다(전의찬 등, 2006). 그 외의 분석과 관련된 조건은 표 1에 제시하였다.

Table 1. Analytical conditions of GC-FID.

Classification		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
Column		Porapak Q 80/100	
Detector		FID (DS-6200, Donam INC)	
Carrier gas		N <sub>2</sub> (99.999%)	
Flow rate (mL/min)	Carrier (N <sub>2</sub> )	30	
	H <sub>2</sub>	30	
	Air	300	
Temperature conditions (°C)	Oven	80	80
	Injector	100	100
	Methanizer	350	-
	Detector	250	250
Detector range		2	0

**Table 2. Test of reproducibility and Method Detection Limit.**

(1) CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> working standard

Classification	CO <sub>2</sub> concentration		CH <sub>4</sub> concentration	
	%	mmol <sup>1)</sup>	ppm	nmol <sup>2)</sup>
Primary standard	90	18.40	498	9.51
Working standard <sup>3)</sup>	18	3.68	9.95	0.19

<sup>1)2)</sup>Total analysis amount in CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>

<sup>3)</sup>Primary standard and N<sub>2</sub> (99.999%) mixing (CO<sub>2</sub> : 5 times dilution, CH<sub>4</sub> : 50 times dilution)

(2) Results of reproducibility test

Injection volume <sup>1)</sup>	Result of reproducibility test			Statistical data		
	1	2	3	Mean	SE	RSE(%)
CO <sub>2</sub> 3.68 mmol	4.02	3.89	3.85	3.92	0.0506	2.02
CH <sub>4</sub> 0.19 nmol	0.21	0.21	0.21	0.21	0.0004	0.20

<sup>1)</sup>Result of reproducibility test is 500 µL injection volume working standard using GC-FID by step 1

(3) MDL

Classification		1	2	3	4	5	6	7	Mean	SD	MDL	
											ng	ppm
CO <sub>2</sub>	Peak area	6729	7759	6509	6070	6397	6183	8164	-	-	-	-
	Mass (ng)	1.70	1.96	1.65	1.53	1.62	1.56	2.06	1.73	0.20	0.61	5.70
CH <sub>4</sub>	Peak area	3233	4168	3606	3906	3325	3836	3907	-	-	-	-
	Mass (ng)	0.25	0.26	0.28	0.3	0.25	0.29	0.28	0.27	0.02	0.06	0.30

**2. 2 분석 재현성 및 검출한계 실험**

본 연구의 주 분석대상인 이산화탄소와 메탄의 재현성 및 검출한계를 비교하였다. 표 2를 살펴보면, 이산화탄소와 메탄의 원시료 (Primary Standard: PS)를 각각 5, 50배씩 희석한 작업용 표준시료 (Working Standard: WS)를 이용하여 실험을 진행하였다. 이들 WS, 500 µL를 GC에 주입할 경우, GC에 주입되는 이산화탄소와 메탄의 총량은 각각 3.68 µmol과 0.19 nmol에 해당한다. 이렇게 동일한 WS를 각각 3회씩 반복 분석하는 방식으로 재현성을 평가하였다. 또한, 검출한계 (MDL)를 추정하기 위해, 최소농도의 표준시료를 7회 반복 분석한 농도의 표준편차에 3을 곱한 값으로 계산하였다(최여진 등, 2005). 그 결과, 이산화탄소 및 메탄은 각각 0.61과 0.06 ng 수준에서 검출한계 값이 결정되었다. 재현성 실험의 경우, 3회 반복 분석하여 RSE값을 이용하여 정밀도를 산출한 결과를 표 2에 제시하였다.

**2. 3 시료 유실을 실험**

백샘플링 방식의 시료채취와 관련한 오차의 특성을 규명하기 위하여, 10 L 용량의 동일한 테들러 백 (SKC corp., US)을 이용하여 백과 백간에 시료를 이송하였다. 앞서 언급한 대로 이러한 실험은 이들 성분의 현장농도 수준대 (이산화탄소=%, 메탄=ppm)에서 백간에 단순히 시료를 이동한 데 따른 유실율을 평가하는 방식으로 진행하였다. 이를 위하여, 90% 농도의 이산화탄소 PS gas (Rigas corp., Korea) Cylinder에서 10 L 테들러 백으로 PS를 이송하였다. 그리고 이 PS시료를 가스밀폐 주사기 (500 µL, Hamilton 사 제작) 내부에서 적정수준으로 희석한 후 GC에 주입하는 방식으로 가장 기본이 되는 주검량선을 확보하였다. 실제 PS (50 µL)와 질소(450 µL)를 혼합한 최초 주입점에서 이산화탄소의 총량은 1.84 µmol에 해당한다(주입 부피량 500 µL). 이 점 외에 5개 농도를 추가하여서 검량선을 완성하였다. 원 시료의 희석을 위해 질소(99.999%)를 사용하였다. 메탄의 경우

**Table 3. A summary of dilution tactics for preparing CO<sub>2</sub> working standards.**

	CO <sub>2</sub> primary standard <sup>1)</sup> (μL)	N <sub>2</sub> mixing volume (μL)	CO <sub>2</sub> working standard concentration (%)	CO <sub>2</sub> working standard amount <sup>2)</sup> (μmol)	Peak area		
					Statistical data (Mean ± SD, Min ~ Max)		
					TB1	TB2	TB3
CO <sub>2</sub> working standard	50	450	9.00	1.84	219,550 ± 800 (218,690 ~ 220,280)	218,400 ± 480 (217,980 ~ 218,921)	216,450 ± 460 (216,070 ~ 216,960)
	60	440	10.80	2.21	260,370 ± 2,370 (257,680 ~ 262,180)	254,340 ± 2,520 (252,190 ~ 257,120)	268,680 ± 458 (268,190 ~ 269,100)
	70	430	12.60	2.58	326,700 ± 740 (325,870 ~ 327,300)	312,370 ± 14,270 (295,960 ~ 321,860)	324,250 ± 5,150 (320,820 ~ 3,301,710)
	80	420	14.40	2.95	383,720 ± 650 (382,980 ~ 384,190)	375,700 ± 3,710 (371,840 ~ 379,250)	366,650 ± 6,080 (359,710 ~ 371,060)
	90	410	16.20	3.31	427,160 ± 6,330 (420,080 ~ 432,280)	420,360 ± 650 (419,850 ~ 421,090)	409,010 ± 8,660 (402,170 ~ 418,750)
	100	400	18.00	3.68	487,540 ± 4,100 (482,975 ~ 490,890)	461,450 ± 1,640 (459,970 ~ 463,210)	447,720 ± 5,290 (441,720 ~ 451,730)

<sup>1)</sup>90% concentration using CO<sub>2</sub> primary standard gas

<sup>2)</sup>CO<sub>2</sub> total amount at 500 μL injection volume

**Table 4. A summary of dilution tactics for preparing CH<sub>4</sub> working standards.**

	CH <sub>4</sub> primary standard <sup>1)</sup> (μL)	N <sub>2</sub> mixing volume (μL)	CH <sub>4</sub> working standard concentration (ppm)	CH <sub>4</sub> working standard amount <sup>2)</sup> (nmol)	Peak area		
					Statistical data (Mean ± SD, Min ~ Max)		
					TB1	TB2	TB3
CH <sub>4</sub> working standard	10	490	9.95	0.19	591,550 ± 2,220 <sup>3)</sup> (589,090 ~ 593,410) <sup>4)</sup>	607,560 ± 65.2 (607,480 ~ 607,600)	604,690 ± 340 (604,300 ~ 604,920)
	30	470	29.9	0.56	1,630,420 ± 1,470 (1,629,300 ~ 1,632,090)	1,723,530 ± 21,270 (1,703,470 ~ 1,745,840)	1,654,460 ± 73.6 (1,654,370 ~ 1,654,510)
	50	450	49.80	0.93	2,644,340 ± 6,140 (2,639,810 ~ 2,652,930)	2,514,920 ± 6,140 (2,508,770 ~ 2,521,040)	2,433,040 ± 61.2 (2,432,990 ~ 2,433,110)
	70	430	69.80	1.31	3,635,360 ± 3,990 (3,632,240 ~ 3,639,850)	3,581,380 ± 2,410 (3,579,820 ~ 3,584,150)	3,551,040 ± 1,080 (3,549,940 ~ 3,552,100)

<sup>1)</sup>478 ppm concentration using CH<sub>4</sub> primary standard gas

<sup>2)</sup>CH<sub>4</sub> total amount at 500 μL injection volume

<sup>3)</sup>Mean ± Standard deviation

<sup>4)</sup>Min ~ Max data

에도, 498 ppm 농도의 PS gas (Rigas corp., Korea) Cylinder로부터 테들러백으로 직접 시료를 채취하여 검량선을 작성하였다. 표 4에 제시한 농도대에서 이산화탄소와 동일한 방법으로 희석시킨 후, GC에 주입하여 검량하였다. 검량선의 농도범위는 표 3에 제시한 바와 같이, 이산화탄소의 경우 최소 9에서 최고 18%의 농도대에서 조사하였다. 메탄의 경우 최소 9.95 ppm의 농도와 최고 69.8 ppm의 농도분포로 검

량을 실시하였다(표 4). 실제 테들러 백으로 시료를 채취하거나 보관하는데 따른 문제점을 확인하기 위해 10 L 용량의 테들러 백(TB)에 담긴 PS를 다음과 같이 작은 크기의 테들러 백으로 연속하여 옮겨주었다. 편의상 10 L 백을 TB1, 5 L 백을 TB2, 1 L 백을 TB3라 명명하였다. 그리고 TB1 → TB2 → TB3로 각각의 시료를 이송시킨 후, 3개의 테들러 백으로부터 확보하는 검량선들 간의 감도변화율을 기준으로 시

료의 유실율을 평가하고자 하였다.

### 2.4 시료 보관용기 및 차광에 따른 유실율 실험

본 연구에서는 변수의 영향에 한 방편으로 테들러 백 및 유리용기의 차광유무에 따른 시료의 유실율을 함께 살펴보았다. 실제 시료를 채취하면 햇빛이 존재하는 곳에 보관하기도 하지만, 대부분 실험실에 시료를 보관한다. 따라서 실험실 내에서 존재하는 시료보관의 불확실성에 대하여 살펴보기로 하였다. 본 연구에 사용된 테들러 백은 SKK사에서 제작한 1L 용량의 백을, 유리용기는 동경초자기기에서 제작한 SVF-15 용기(약 15 mL)를 사용하였다. 실험에 사용된 테들러 백은 얇은 테들러 필름으로 제작되었고, 유리용기는 경질유리로 제작되어 있다. 이 용기들은 시료채취에 사용하는 것과 동일한 재질 및 용량을 사용하였다. 테들러 백 및 유리용기는 일반적인 상태와(실험군) 차광을 시켜준(대조군) 2가지 형태로 분류하여 실험을 진행하였다. 실험에 사용한 형광등은 오스람 코리아에서 제작한 FLR32SSEX-W/A 모델이며 형광등으로부터 나오는 모든 빛의 총량은 2,910 lm이었다. 실험군의 샘플은 형광등 아래 위치하여 최대한 빛을 많이 흡수할 수 있도록 테들러 백은 전체 면이 빛에 노출되게 보관하였고, 유리용기의 경우 넓혀서 빛에 많은 부분이 노출되게 보관하였다. 또한 차광시킨 대조군 용기는 은박지로 만들어진 호일을 이용하여 빛을 차단한 후 검은색 봉투에서 보관하였다. 그리고 차광하지 않은 실험군과 동일한 조건에서 시간 경과에 따른 시료의 유실율을 살펴보았다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 검량 기울기를 통한 시료 유실율 실험의 특성

본 연구에서는 테들러 백과 같은 용기를 사용하여 분석대상 시료를 채취하거나 보관할 경우, 백 내부에서 이산화탄소나 메탄과 같은 온실가스의 시료손실이 어느 정도 수준으로 발생하는가를 연구하고자 하였다.

이산화탄소 및 메탄의 시료 유실율을 평가하고자 각각의 물질을 테들러 백 및 유리용기란 매개체를 통하여 보관하는 단계를 거친 후 분석하였다. 본 연

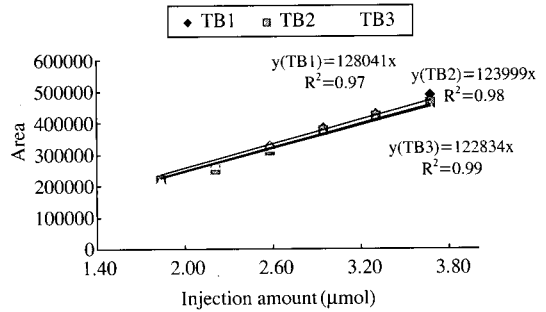


Fig. 1. Comparison of calibration curves for each tedlar bag obtained using three different CO<sub>2</sub> calibration.

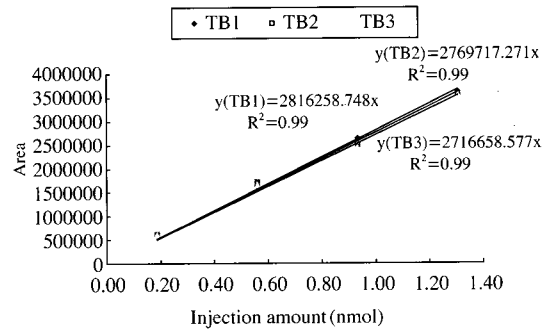


Fig. 2. Comparison of calibration curves for each tedlar bag obtained using three different CH<sub>4</sub> calibration.

구의 신뢰성을 높이기 위한 정도관리방법으로 분석기기의 재현성 및 검출한계 실험을 테들러 백을 대상으로 분석하였다. 그 결과 이산화탄소는 2.02%의 정밀도 및 5.7 ppm의 MDL값을 확인할 수 있었다. 메탄의 경우 0.2%의 정밀도 및 0.3 ppm의 MDL값을 확인할 수 있었다. 실험방법에서 언급한 것과 같이 2 단계로 테들러 백들 간에 시료를 이송시킨 후, 이러한 이송에 따른 시료의 유실율을 평가할 수 있는 검량선들의 경향성을 평가하였다. 그림 1과 2에 제시된 검량선에서 이산화탄소와 메탄의 검량기울기는 모두 강제적으로 좌표축의 0점을 통과시킨 것이다. 그러나 대부분의 회귀곡선에서 상관계수가 0.9 이상으로 검량결과는 양호한 편으로 나타났다. 그림 1에 제시한 이산화탄소의 검량선들을 비교하면, 다음과 같은 경향성을 볼 수 있다. 최초로 원시료를 받은 TB1을 기

**Table 5. The sample loss rate using calibration slopes in Tedlar bag.**

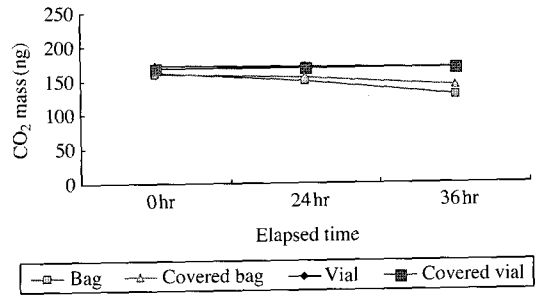
	TB1/TB1	TB2/TB1	TB3/TB1
CO <sub>2</sub>	100%	97%	96%
CH <sub>4</sub>	100%	98%	96%

준으로 TB2와 TB3의 기올기를 비교한 결과는 다음과 같다. 가장 먼저 TB2의 기올기와 비교한 결과, 약 97%의 회수율을 보였다. 그리고 TB3의 기올기와 비교하면 96%의 회수율이 나타났다. 메탄 역시 그림 2에서 살펴본 검량기올기의 경향성을 비교한 결과, 이산화탄소의 경향과 동일한 방식으로 회수율이 나타났다. 결론적으로 이산화탄소 및 메탄의 경우, Tedlar bag으로 측정 및 분석 시 Tedlar bag에 의한 유실율이 약 2% 정도일어날 수 있음을 알 수 있다. 이산화탄소와 메탄은 이론적으로 항상 동일한 농도로 확인되었으나, 실제 분석한 결과 TB1에서 TB2로 시료를 이송할 때 약 2%의 유실율이 확인되었다. 그리고 다시 TB3로 전송시 거의 동일한 유실율이 나타남을 확인할 수 있다(표 5). 이는 악취황 성분의 채취와 샘플백 내부의 유실율 비교의 선행연구(김기현 등, 2005)의 결과와 비교해서 살펴보면, 악취 황 성분의 시료회수율이 평균 87% 수준임을 감안할 때, 이산화탄소 및 메탄의 경우와는 상당히 뚜렷하게 구분이 된다는 것을 확인할 수 있다.

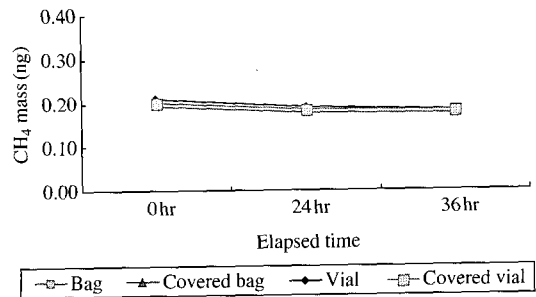
### 3.2 보관용기 및 차광의 유실율 특성

환경계에 존재하는 물질들은 대부분 동적인 평형 상태를 유지하고 있다. 일단 환경계로부터 시료가 채취되면, 채취 직전의 환경조건에서 조성된 평형상태로부터 이탈하게 된다. 따라서 시간이 지날수록 원래 환경시료는 채취 후, 가능한 빠르게 분석되어야 한다(백성욱 등, 2003). 또한 환경시료의 경우 날씨, 계절, 시간 등과 같이 시료채취와 분석을 복잡하게 할 수 있는(조절 불가능한) 변수들의 영향에 직접적으로 노출되어 있다(USEPA, 1996). 이러한 이론을 바탕으로 온실가스에 포함되는 메탄 및 이산화탄소의 시료가 보관용기에서 어떠한 변화를 나타내는지 살펴보기 위하여 테들러 백 및 유리용기에 일정시간 시료를 보관하면서 시료의 유실율을 살펴보았다.

이산화탄소의 시료를 보관방법 및 시간에 따라 분석한 결과, 1) 유리용기의 보관방법이 테들러 백 보



**Fig. 3. Loss of CO<sub>2</sub> by time pass in the sample bag and vial.**



**Fig. 4. Loss of CH<sub>4</sub> by time pass in the sample bag and vial.**

관방식에 비해 유실율이 낮게 나타남을 그림 3을 통해 알 수 있었다. 또한, 2) 테들러 백에서 차광을 하지 않을 경우 시간이 지날수록 시료의 유실율이 증가되는 것을 알 수 있었다. 차광을 하지 않은 백에서 약 15%의 유실율을 나타내었고, 차광을 시켜준 백은 약 8%의 유실율을 나타내었다. 반면, 3) 유리용기의 경우 차광유무에 관계없이 약 1%의 유실율을 나타내었다.

그림 4에 나타난 메탄의 경우 이산화탄소와 다르게 1) 24시간이 지난 후 백 방식의 시료를 분석한 결과 약 8%의 유실율을 나타내었다. 그러나 36시간이 경과한 후 분석한 결과 약 1%의 유실율을 나타내었다. 2) 유리용기의 시료를 24시간이 지난 후 분석한 결과 8%의 유실율을 나타내었고, 36시간 뒤 1%의 유실율을 나타내었다. 즉 메탄의 경우 용기에 관계없이 유실율이 일정하게 나타났음을 알 수 있었다. 3) 차광된 용기와 차광이 되지 않은 용기의 유실율을 살펴보면 차광시키지 않은 테들러 백에서 유실율이

발생한 것으로 나타났다. 그러나 유리용기는 유실율의 차이가 나타나지 않았다. 차광유무의 결과를 좀더 자세히 살펴보면, 이산화탄소의 경우 차광을 시켜준 상태의 유리용기가 유실율이 가장 낮게 나타났고, 메탄의 경우 차광을 시켜준 상태의 유리용기 및 테들러 백에서 유실율이 낮게 나타났다. 또한 메탄에 비해 이산화탄소가 유실율이 더 높게 나타남을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

온실가스 물질의 간접 채취방법 중 테들러 백 및 유리용기는 활용도가 높은 시료 채취방식이라고 할 수 있다. 테들러 백에 함유된 시료들을 여러 단계로 옮겨주고, 이들간의 시료 보전율을 비교하는 방법으로 유실율을 측정할 결과 약 2%의 유실율이 나타남을 알 수 있었다. 또한 테들러 백 및 유리용기의 차광유무 및 시간의 경과에 따른 유실율 실험을 진행하였다. 그 결과 이산화탄소 및 메탄 모두 차광을 시켜 보관하는 것이 차광을 하지 않은 것 보다 낮은 유실율이 나타남을 알 수 있었다. 이렇듯 테들러 백 및 유리용기의 사용과 관련한 정확한 오차 및 분석변수들을 파악하여 자료를 확보하면, 보다 더 신뢰성 있는 분석결과를 제시하는 것이 가능할 것이다. 온실가스의 채취단계 또는 보관단계의 특성들을 파악하면, 이들을 정확하게 계측하는데 필요한 오차의 허용한계를 줄여나가는 것이 가능하다. 특히 분석자체의 오차 외에도 시료들 간의 물리적 혹은 화학적 영향이나 간섭으로 인해 발생하는 여러 가지 오차를 이해하는 부분도 중요한 의미를 지닐 수 있다. 시료의 채취에 활용되는 여러 가지 채취 시스템의 특성을 정확하게 이해할 수 있다면, 각각의 분석대상물질에 대한 시료 채취 및 분석의 객관성을 확보하는 것이 보다 용이해질 수 있을 것이다. 따라서 이러한 백 방식을 적용하여 현장 시료를 채취할 경우, 각 물질의 유실특성을 명확하게 이해하고 사용하는 것이 중요할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- 김경렬 (1999) 지구온난화 기체의 측정, 대기오염물질의 측정기술, 한국대기환경학회, 한국환경분석학회, 159-163.
- 김기현, 최여진, 안지원 (2005) 악취황 성분의 채취와 샘플백 내부의 시료 유실율 비교: 검량선의 기울기를 이용한 평가, 한국분석과학회지, 18(4), 338-343.
- 김득수, 장영기, 전의찬 (2000) 플럭스챔버에 의한 매립지표면 메탄의 배출량 측정과 분석, 한국대기환경학회지, 16(5), 499-509.
- 백성욱, 김기현, 허귀석 (2004) 대기환경측정과 정도관리 (1) - 원리와 방법론, 한국대기환경학회지, 20(2), 237-249.
- 에너지관리공단 (2005) 온실가스 국가배출계수 마련을 위한 기반 연구.
- 전의찬, 사재환, 이성호, 정재학, 김기현, 배위섭 (2006) 에너지사용시설의 온실가스 배출 특성 연구-유연탄 화력발전소의 이산화탄소를 중심으로-, 한국대기환경학회지, 22(1), 107-116.
- 최여진, 전의찬, 김기현 (2005) 반월공단의 대기배출시설을 대상으로 한 악취성 황화합물의 측정과 배출특성에 대한 연구, 한국대기환경학회지, 21(5), 515-524
- Komhyr, W.D., R.H. Gammon, T.B. Harris, and L.S. Waterman (1985) Global Atmospheric CO<sub>2</sub> distribution & Variations from 1968 ~ 1982 NOAA/GMCC CO<sub>2</sub> Flask Sample Data Jour. of Geophy. Res., 90, 5567-5596.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (1996) Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2 Volumes: Volume 2, Workbook, Volume 3, Reference Manual, Inter-government Panel of Climate Change.
- United States Environmental Protection Agency (1996) EPA Guidance for Quality Assurance Project Plans. USEPA Quality Assurance Division, EPA QA/G-5.