

碩士學位論文

PET병을 이용한 단시간동안 유기용제
채취방법의 개발에 관한 연구

2006年

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

柳 冠 豪

碩 士 學 位 論 文

指導教授 朴杜用

PET병을 이용한 단시간동안 유기용제
채취방법의 개발에 관한 연구

Development of a Short-term Sampling Method for
Organic Vapors with a PET Bottle to Replace the
Sampling Pump

2005年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

柳 冠 豪

碩 士 學 位 論 文

指導教授 朴杜用

PET병을 이용한 단시간동안 유기용제 채취방법의 개발에 관한 연구

Development of a Short-term Sampling Method for
Organic Vapors with a PET Bottle to Replace the
Sampling Pump

위 論文을 産業衛生工學 碩士學位論文으로 提出함

2005年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

柳 冠 豪

柳冠豪의 産業衛生工學碩士學位論文을 認准함

2005年 12月

심사위원장 (인)

심 사 위 원 (인)

심 사 위 원 (인)

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
I. 서 론	1
1. 연구배경	1
2. 연구목적	3
II. 대상물질 선정 및 연구방법	4
1. 대상물질 선정	4
2. 가스발생장치를 이용한 공기시료 제조	4
2.1 가스발생장치	4
2.2 공기시료제조	5
3. PET병 시료채취기의 제조	7
4. 측정 및 분석	10
4.1 측정시간	10
4.2 시료채취	10
4.2.1 펌프를 이용한 방법	10
4.2.2 PET병을 이용한 측정법	11
4.2.3 평가방법	11
III. 연구결과	12
1. PET병의 유량변화	12
2. 펌프와 PET병을 이용한 시료채취방법간의 농도 비교	23
2.1 연구대상의 일반적 사항	23
2.2 벤젠농도 0.5 ppm에서의 두 방법의 비교	24
2.3 벤젠농도 1.0 ppm에서의 두 방법의 비교	29
2.4 벤젠농도 2.0 ppm에서의 두 방법의 비교	34

3. 단시간 시료채취 시 검출한계와 채취공기량에 대한 고찰	39
4. 저농도에서 PET병으로 단시간 시료채취 가능성에 대한 고찰	41
 IV. 결 론	 42
 참고문헌	 43
 ABSTRACT	 45

List of Tables

Table 1. Analytical conditions of Benzene	11
Table 2. Flow rate of PET bottle outlet size 1.5 mm(Φ)	13
Table 3. Flow rate of PET bottle outlet size 2.0 mm(Φ)	15
Table 4. Flow rate of PET bottle outlet size 3.0 mm(Φ)	17
Table 5. Flow rate of PET bottle outlet size 4.0 mm(Φ)	19
Table 6. Flow rate of PET bottle outlet size 4.5 mm(Φ)	21
Table 7. Benzene concentrations by two sampling methods	23
Table 8. Benzene concentrations by two sampling methods at 0.5 ppm level	25
Table 9. Benzene concentrations by two sampling methods at 1.0 ppm level	30
Table 10. Benzene concentrations by two sampling methods at 2.0 ppm level	35

List of Figures

Figure 1. Schematic of the experimental apparatus and system	6
Figure 2. Schematic Design of PET bottle sampler	9
Figure 3. Flow rate of PET bottle outlet size 1.5 mm(φ)	14
Figure 4. Flow rate of PET bottle outlet size 2.0 mm(φ)	16
Figure 5. Flow rate of PET bottle outlet size 3.0 mm(φ)	18
Figure 6. Flow rate of PET bottle outlet size 4.0 mm(φ)	20
Figure 7. Flow rate of PET bottle outlet size 4.5 mm(φ)	22
Figure 8. Standard deviation of flow rate through each PET bottle outlet size	22
Figure 9. Normal distributions of benzene concentrations by two sampling methods at 0.5 ppm level	27
Figure 10. Log-normal distributions of benzene concentrations measured by two sampling methods at 0.5 ppm level	27
Figure 11. Comparison of benzene concentrations between PUMP method and PET bottle method at 0.5 ppm level	28

Figure 12. Differences of concentrations between PUMP method and PET bottle method at 0.5 ppm level	28
Figure 13. Benzene concentrations by two sampling methods at 1.0 ppm level	32
Figure 14. Log-normal distributions of benzene by two sampling methods at 1.0 ppm level	32
Figure 15. Comparison of benzene concentrations between PUMP method and PET bottle method at 1.0 ppm level	33
Figure 16. Differences of concentrations between PUMP method and PET bottle method at 1.0 ppm level	33
Figure 17. Benzene concentrations by two sampling methods at 2.0 ppm level	37
Figure 18. Log-normal distributions of benzene by two sampling methods at 2.0 ppm level	37
Figure 19. Comparison of benzene concentrations between PUMP method and PET bottle method at 2.0 ppm level	38
Figure 20. Differences of concentrations between PUMP method and PET bottle method at 2.0 ppm level	38
Figure 21. Standard curve of Benzene	40

I. 서 론

1. 연구배경

작업장에서 유기용제를 측정하는 방법에는 검지관법과 펌프를 이용한 활성탄법, 수동식 채취기(혹은 확산식 채취기)를 이용한 방법등이 있다. 작업환경측정방법은 우수한 정확도와 정밀도를 가져야하며 측정치와 작업자에게 불편을 주지 않고 경제적이어야 한다. 검지관법은 사용이 간편하다는 장점은 있지만 정확도와 정밀도가 떨어진다. 활성탄법은 정확도와 정밀도는 우수하고 저농도 측정이 유리하며 반드시 공기채취펌프를 사용하여야 한다. 따라서 초기 펌프 구입비용 부담이 있으며 작업자가 측정시간 내내 펌프를 착용해야 하며 측정전후 유량을 보정하고 사용 후 충전을 해야 하는 번거로움이 있다. 수동식 채취기는 구입비용이 활성탄관 보다 높고 오차가 크게 발생하며 채취유량이 낮아 시료채취량이 적어 분석하기 어려운 단점이 있다.^{1) 2)}

그러나 여러 단점에도 불구하고 수동식 채취기는 펌프가 필요하지 않는다는 점에서 간편하며 가볍고 사용하기 쉬어 국제적으로 널리 사용되어 왔다. 우리나라에서도 국산 수동식 시료채취기를 개발하기 위하여 외국의 대표적인 수동식 시료채취기를 평가하고(백남원 등 1996), 국산수동식 시료채취기를 제작하여 실험실(백남원 등 1996) 및 작업장(백남원 등 1998)에서 평가한 연구가 있다.

수동식 채취기는 사업장에 존재하는 자연적인 기류를 이용하여 확산과 투과라는 물리적인 과정에 의해 공기 중 가스상 오염물질을 채취하는 것으로³⁾ 사업장내에 기류가 0.18 m/sec이하일 경우 결핍현상으로 오염물질량이 예상치보다 적어질 수 있다. 하지만 대부분의 사업장내 0.25 ~ 0.38 m/sec의 기류가 발생하여 작업장에서 수동식 채취기 사용에 별 무리가 없을 것이라고 보고 있다.⁴⁾ 수동식 채취기는 펌프를

이용한 활성탄관법에 비해 시료채취유량이 낮은 단점이 있다. 이러한 단점은 특히 단시간 노출농도를 측정할 때 제한점으로 작용한다. 수동식 채취기의 공기채취유량은 활성탄관의 공기채취유량에 비하여 약 1/10에 불과하다. 수동식 채취기의 경우 한국산 수동식 채취기의 개발을 위해 저농도(≤ 5 ppm)에서 톨루엔과 노말헥산 및 트리클로로에틸렌의 sampling rate를 측정한 연구에 따르면 sampling rate의 수치가 톨루엔의 경우 평균 70.69 ml/min이고, 표준편차가 101.54, 노말헥산의 sampling rate는 평균 20.72 ml/min이고, 표준편차는 2.96을 나타냈으며, 트리클로로에틸렌의 경우 저농도에서 매우 불안하여 신뢰할 수 없다고 보고 있다.⁵⁾ 수동식 채취기는 물질에 따라 변동이 있으며 펌프에 비해 상당히 낮은 채취유량을 가지기 때문에 펌프를 이용한 방법에 비해 저농도의 15분간의 단시간 노출농도를 정확히 측정할 수 없고 sampling rate가 안정화되는데 30분 정도의 시간이 소요되는 제한점이 있다.⁶⁾

이런 단시간 저농도에서 수동식 채취기의 낮은 sampling rate를 해결하고자 수동식 채취기에 소형 Fan을 이용한 연구가 이루어졌으며, 연구에 의하면 외부기류가 0.25 m/sec 이하에서 소형 Fan을 부착한 수동식 채취기에 sampling rate는 떨어지지 않았고 벤젠 0.23 m/sec, 톨루엔 0.30 m/sec, 오르소-크실렌 0.35 m/sec 이상의 외부기류에서는 소형 Fan을 부착한 확산식 채취기의 시료채취율이 벤젠 약 5%, 톨루엔 약 4%, 오르소-크실렌이 약 5% 높다고 연구되었다.⁷⁾

수동식 채취기의 sampling rate가 낮아 단시간 저농도의 유기용제를 정확하게 측정하기가 어렵다고 판단됨에 따라 본 연구는 저농도의 유기용제를 단시간 동안 일정한 고유량으로 채취할 수 있는 시료채취기를 주위에서 쉽게 구할 수 있는 PET병을 이용 제작하여 저농도의 시료를 단시간 채취할 수 있는 가능성을 확인하고 평가하는데 있다.

2. 연구목적

작업장에서 자체적으로 근로자에 대한 노출이나 작업장내 환경의 지속적인 관리를 위한 단시간 측정을 하기 위해서는 펌프나 수동식 채취기를 이용하고 있다. 펌프는 무겁고 고가이며 충전을 해서 사용해야 하고 측정전후의 보정등 사용상의 불편한 점이 있어 수동식 채취기를 이용하는 측정이 많이 이루어지고 있다. 그러나 수동식 채취기는 저농도에서 단시간 채취시 펌프에 비해 시료를 채취하는 유량이 적어 정확하게 분석하기에는 어려움이 있다.

이런 문제점을 보완하고자 펌프를 이용하지 않고 펌프와 같이 일정한 고유량으로 채취할 수 있는 채취기를 개발하고자 주변에서 쉽게 구할 수 있는 PET병을 사용하여 PET병 내에 차지하고 있는 물의 부피가 외부로 배출되면 그 배출된 물의 부피만큼의 공기가 들어오는 원리를 이용 작업장에서 단시간 농도를 채취할 수 있는 채취기를 개발하고 펌프를 이용한 방법과 농도를 비교하고자 하였다.

이 연구의 세부적인 목적은 다음과 같다.

첫째, 활성탄관(charcoal tube)으로 유기용제 시료를 채취하기 위하여 PET병에서 물을 빼내는 방법으로 단시간(15 min) 동안 공기를 채취할 때 일정한 유량을 유지할 수 있는지 확인한다.

둘째, 농도를 알고있는 공기시료에 대하여 활성탄관과 펌프를 이용한 표준측정법과 PET병을 이용한 시료채취방법으로 단시간 농도를 측정하여 정확성을 평가한다.

II. 대상물질 선정 및 연구방법

1. 대상물질 선정

PET병을 이용한 시료채취법은 단시간(15분) 측정을 목적으로 개발되었다. 단시간동안 시료를 채취하면 확산식 시료채취기의 경우 채취되는 시료량이 너무 적어서 분석에 어려움이 있다. 특히 노출농도가 낮은 물질의 경우 이러한 단점이 크게 문제가 된다. 따라서 단시간 노출농도가 중요하며, 노출농도가 낮아 시료채취량이 적고 분석이 어려운 물질인 벤젠을 시험물질로 선정하였다.

시험물질로 사용한 벤젠은 HPLC reagent(Sigma Chemical Co., U. S. A)를 사용하였다. 벤젠의 단시간노출허용기준은 미국산업위생전문가협회(American Conference of Government Industrial Hygienists, ACGIH)에서 2.5 ppm으로 권고하고 있다.

2. 가스발생장치를 이용한 공기시료 제조

실험실에서 시료채취 후 평가하기 위해서는 공기 중 유기용제 농도, 기류 및 온습도가 일정하게 유지되어야 한다. 이러한 실험을 위하여 <Figure 1>과 같은 장치를 이용하였다.

2.1 가스발생장치

가스발생장치가 일정한 공기 중 농도를 만드는 방법은 다음과 같은 과정을 통해서 이루어진다. Air compressor에서 만들어진 공기는 유량조절기(0 ~ 50 ℓ/min, Dwyer RMC-104)에서 약 20 Lpm (Liters per minutes)의 유량으로 실리카겔 트랩을 거쳐 공급되며, 이 시험용 공기에 습도를 약 50%가 유지되도록 조절하기 위해서 수욕조가 설치되어있는 습도조절장치를 통과하여 유기용제와 공기가 혼합되는

mixing chamber로 이동하게 된다.

mixing chamber의 습도는 General Eastern사의 습도계(model 850)를 이용하여 측정하고, 이 신호를 받아 습도조절 장치의 수욕조의 온도가 조절됨으로서 일정한 습도가 유지되도록 한다.

2.2 공기시료제조

벤젠은 미량주사기펌프(SageTM Pump model M365, Orion)에서 일정 유량으로 mixing chamber 상부에 있는 알루미늄 가열관(flash evaporator, Aldrich #Z11737-4) 위로 공급된다. 벤젠 농도가 일정하게 유지되기 위해서는 가열관의 온도가 일정하게 유지되어야 하며 온도를 일정하게 조절하기 위해서 전압조절기(Slide dials, Dealim Electric Ltd, Korea)를 사용하였다. 가열관에서 기화된 유기용제는 Air compressor로부터 공급된 시험용 공기와 함께 mixing chamber (50 cm × 40 cm × 40 cm)에서 골고루 혼합된다.

이 혼합된 공기는 test chamber (50 cm × 40 cm × 40 cm)로 이동하여 유기용제 농도가 일정하게 유지되도록 설계되었다. 시료채취는 test chamber에서 이루어지며, test chamber의 기류와 습도는 열선풍속계(Kanomax 24-6111, Kanomax, Japan)로 측정하였다.

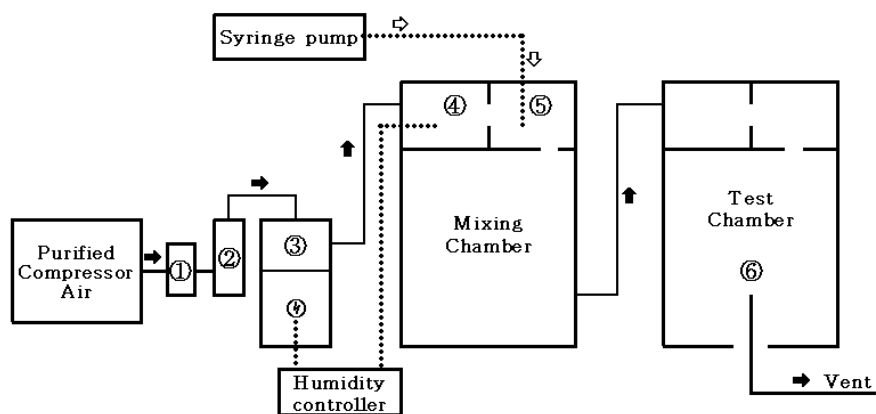


Figure 1. Schematic of the experimental apparatus and system.

- ① Air flow regulator ② Air flow meter ③ Humidity generator ④ Humidity sensor ⑤ Flash evaporator ⑥ Sampling area

3. PET병 시료채취기의 제조

일정한 유량으로 시료를 채취해야 시료의 농도변화와 상관없이 정확하게 유기용제를 채취할 수 있다. PET병을 이용 일정한 유량을 얻기 위해서는 물이 배출되는 속도를 일정하게 유지하면 되는데, 물이 배출되는 속도를 일정하게 유지하기 위해서는 시료채취 시간동안 동일한 압력을 받으면 된다.

압력은 단위면적당 받는 힘으로 정의되며 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{F}{A} \text{ 식 1}$$

P : 압력 (N/m²)

F : 힘 (kg · m/sec²)

A : 면적 (m²)

식 1은 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot v \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot A \cdot h \cdot g}{A} = \rho \cdot g \cdot h \text{ 식 2}$$

m : 질량 (kg)

g : 중력가속도 (m/sec²)

ρ : 밀도 (kg/ℓ)

v : 부피 (m³)

h : 높이 (m)

식 2에서 보면 압력은 밀도와 중력가속도 및 높이의 영향을 받는다. PET병에 들어가는 물질은 서로 다른 물질이 아니므로 밀도는 동일하고 PET병 높이에 따른 중력가속도의 차이가 거의 없으므로 높이만 일정하게 유지되면 PET병내에서는 동일한 압력을 받게 되고 일정한 유량을 얻을 수 있다.

이런 원리로 PET병뚜껑에 내경 3.5 mm, 외경 5.0 mm 유리관을 연결하고 일정한 높이를 유지하게 만들었으며, 사용된 PET병은 시중에 나와 있는 PET병 중 2.0 liters의 부피를 가지고 있는 PET병을 사용하였다.

PET병내 유리관이 바닥과 일정높이를 유지해야 채취시간동안 동일한 유량을 얻을 수 있다. 이 높이를 결정하기 위해 실험 시 유량을 선정해야 하는데, PET병의 부피가 2.0 liters이고 유리관이 PET병 바닥에서 어느 정도 높이에 위치하여 PET병의 부피 2.0 liters보다 적은 부피로 일정하게 15분간 측정을 해야 하므로 0.1 Lpm으로 유량을 선정하였다.

개인시료펌프(GilAir sampler, Gilan Instrument Corp., U. S. A)를 이용하여 0.1 Lpm의 유량에서 활성탄관(Anasorb Coconut Shell Charcoal 226-01, SKC Corp. U. S. A)의 압력을 측정한 결과 $4.09 \text{ cm H}_2\text{O} \pm 0.28$ 의 값을 가지므로 0.1 Lpm의 유량을 얻기 위해서는 PET병 바닥면에서 최소 4.09 cm의 높이를 유지해야 하며 이 연구에서는 여유를 고려하여 5 cm로 하였다. 제작된 PET병은 <Figure 2>와 같다.

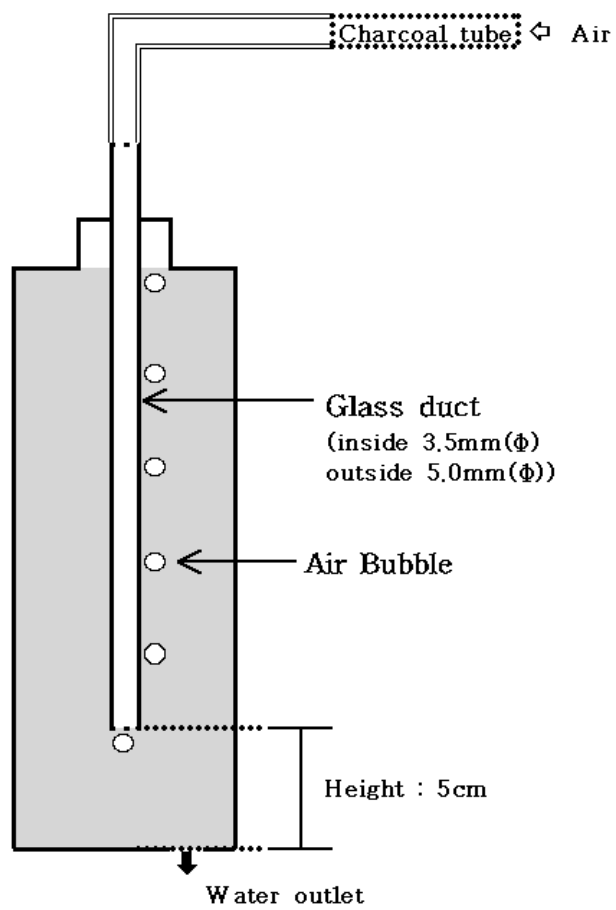


Figure 2. Schematic Design of PET bottle sampler.

4. 측정 및 분석

4.1 측정시간

측정시간은 단시간 저농도에서 PET병을 이용한 시료채취 가능여부와 펌프와 PET병으로 채취된 벤젠의 농도를 비교하기 위한 연구이므로 단시간 노출 시료 채취시간인 15분을 측정시간으로 정하였다.

4.2 시료채취

4.2.1 펌프를 이용한 방법

펌프에 활성탄관을 연결하고 벤젠을 채취 및 분석하기 위해 NIOSH Manual of Analytical Methods No. 1501의 방법에 준하여 실험을 하였다. 펌프를 이용한 시료채취는 펌프(GilAir sampler, Gilan Instrument Corp., U. S. A)에 활성탄관을 연결하여 0.10 ~ 0.16 Lpm의 유량으로 채취하였으며, 시료 채취 전후에 비누거품유량계(The mini - BUCK Calibrator, A. P. BUCK, Inc., U. S. A)로 유량을 보정하였다. 시료는 이황화탄소(Crown guaranteed reagents, Yakuri Pure Chemicals Co., LTD, Japan) 1ml로 탈착시켰다. 탈착한 시료는 불꽃이온화 검출기가 부착된 가스크로마토그래피(Gas Chromatography - Flame Ionization Detector (GC/FID), Model Agilent 6890N, Agilent Technologies, U. S. A)로 분석하였다.

표준용액은 1.9 ~ 29.8 $\mu\text{g}/\text{sample}$ 범위로 5개를 제조하여 검량선을 작성한 후 시료를 분석하였으며 분석조건은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Analytical conditions of Benzene

Variable	Conditions
Gas Chromatography (GC)	Agilent 6890N, U. S. A
Detector	Flame Ionization Detector (FID)
Injector	Capillary Split Mode
Column	Agilent HP-5, 5% Phenyl Methyl Siloxane (30 m × 0.32 mm × 0.25 μm)
Carrier Gas	Nitrogen (N ₂)
Flow Rate	1.3 ml/min
Split Ratio	10 : 1
Injector Volume	1 μl
Detector Temperature	200 °C
Injector Temperature	250 °C
Oven Temperature	60 °C

4.2.2 PET병을 이용한 측정법

PET병을 이용한 시료채취는 활성탄관을 이용하였고 공기채취펌프 대신에 PET병을 이용하였다. PET병으로 시료를 채취하는 경우, 총 공기량은 PET병의 부피로 확인이 가능하다. 시료의 분석은 표준분석법과 같다.

4.2.3 평가방법

펌프와 PET병을 이용하여 채취된 벤젠 농도의 상관성을 알아보기 위해 SPSS version 10.0 program을 이용하였다.

III. 연구결과

1. PET병의 유량변화

미국의 산업안전보건청(Occupational Safety & Health Administration, OSHA)에서는 유량의 변화율을 채취시 유량의 $\pm 5\%$ 내에서 변동하도록 권고하고 있다.⁸⁾ PET병에서 물이 나가는 배출구멍의 직경을 1.5 mm, 2.0 mm, 3.0 mm, 4.0 mm, 4.5 mm로 조절하고 15분 동안 각 분마다 유량을 확인하였으며, 각각의 배출구멍에 따라 동일한 PET병으로 반복하여 10회 측정된 결과 배출구멍에 따른 유량변화는 <Table 2~6>과 같다.

PET병의 배출구멍이 1.5 mm일 때 유량의 범위는 48.43 ~ 50.39 cc/min이며, 측정된 유량의 변이는 0.30으로서 변이계수는 1%미만이였다. 배출구멍이 2.0 mm일 때의 유량범위는 61.47 ~ 66.82 cc/min이었고, 변이는 0.48로 변이계수는 약 1%정도였다. 3.0 mm일 때 유량범위는 88.42 ~ 93.18 cc/min이며, 측정된 변이는 0.41로 변이계수는 1%미만이였으며, 배출구멍이 4.0 mm일 때는 유량범위는 90.16 ~ 96.32 cc/min이며, 변이는 0.44로서 변이계수는 1%미만이였다. 그리고 4.5 mm의 배출구멍에서 유량은 96.33 ~ 103.53 cc/min이며, 변이는 0.52로 변이계수는 1%미만이였다. 배출구멍에 따른 채취유량의 변화율은 OSHA에 권고하는 $\pm 5\%$ 내에서 변동하였다.

동일한 배출구멍에 따라 10회 반복하여 측정된 결과 유량의 변화율은 변이계수가 약 1%내로 반복측정시 차이가 없으나, PET병의 배출구멍이 커질수록 변이가 점점 커지는 경향을 나타냈다<Figure 8 참조>.

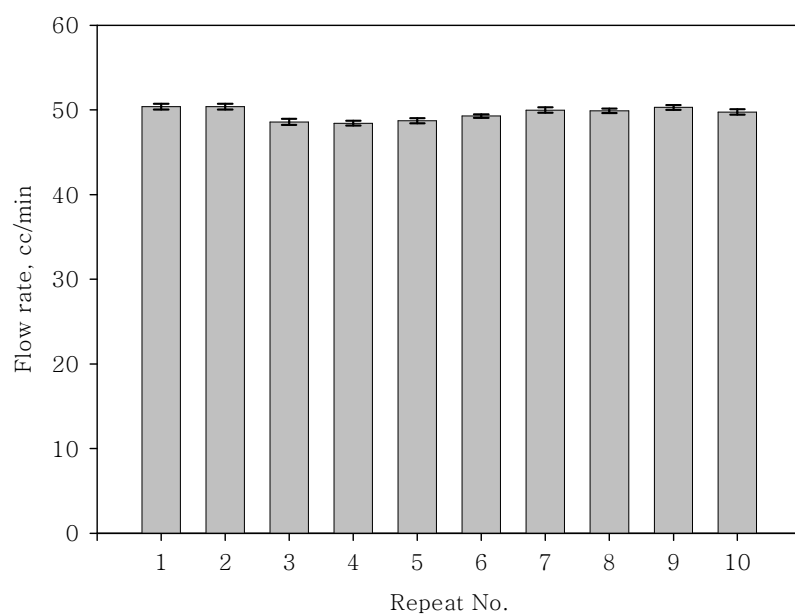


Figure 3. Flow rate of PET bottle outlet size 1.5 mm(φ).

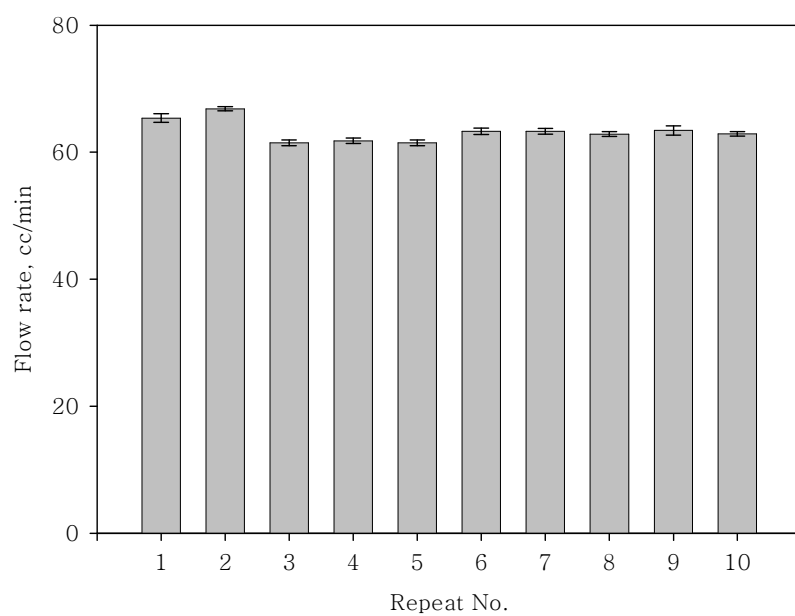


Figure 4. Flow rate of PET bottle outlet size 2.0 mm(φ).

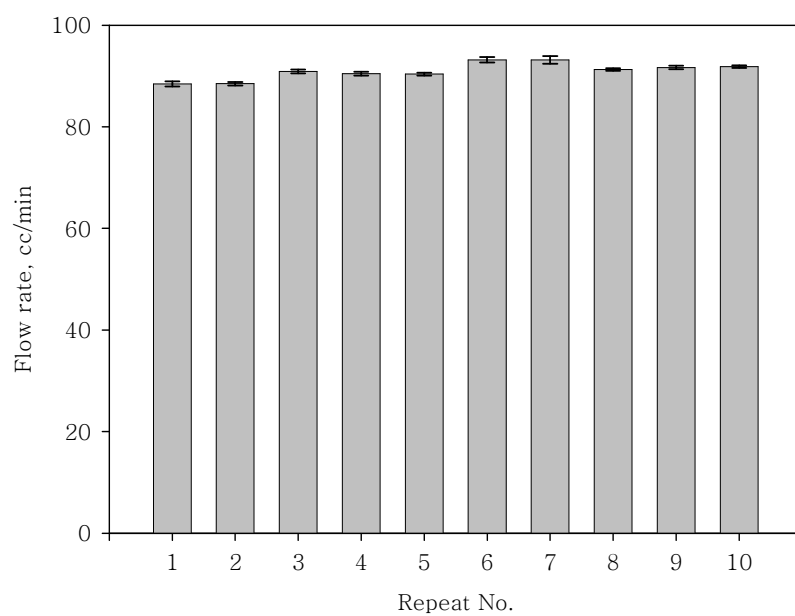


Figure 5. Flow rate of PET bottle outlet size 3.0 mm(φ).

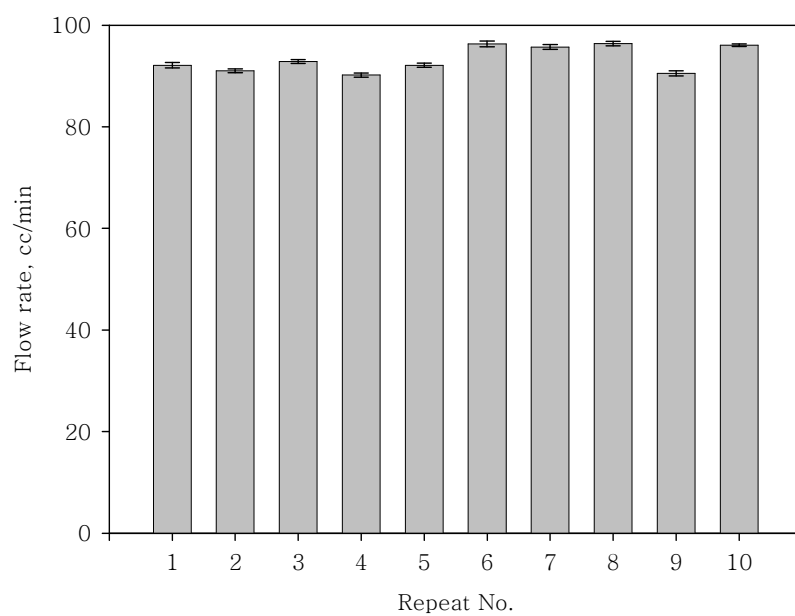


Figure 6. Flow rate of PET bottle outlet size 4.0 mm(φ).

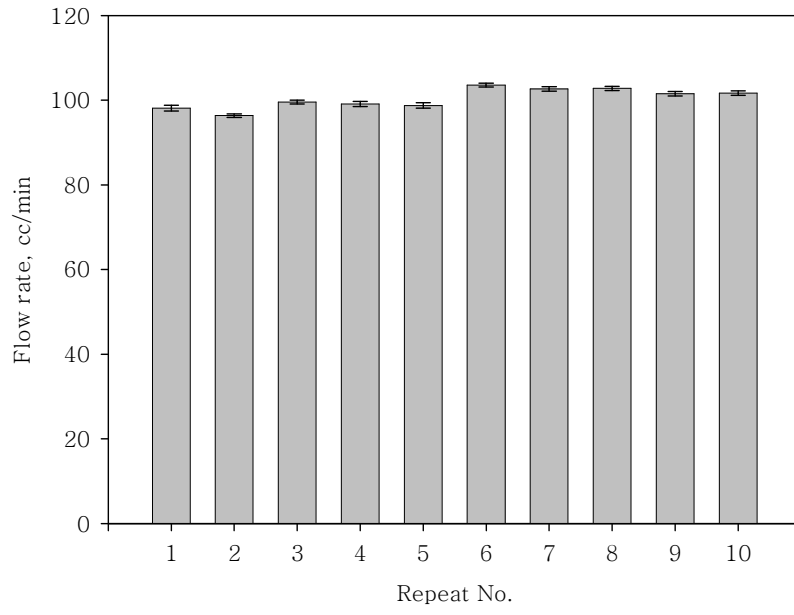


Figure 7. Flow rate of PET bottle outlet size 4.5 mm(φ).

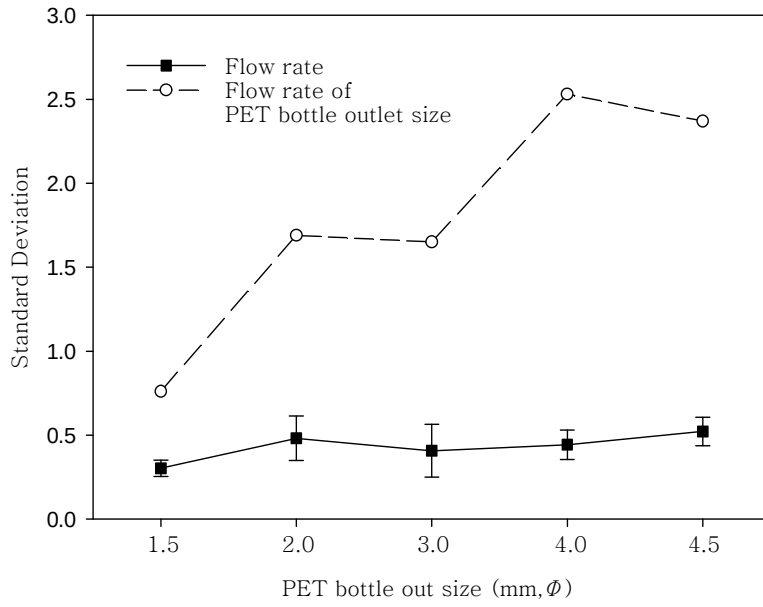


Figure 8. Standard deviation of flow rate through each PET bottle outlet size.

2. 펌프와 PET병을 이용한 시료채취방법간의 농도 비교

2.1 연구대상의 일반적 사항

저농도에서 펌프와 PET병을 이용한 시료채취방법을 평가하기 위해서 시험물질 벤젠을 일정한 농도로 mixing chamber와 test chamber를 거치게 한 후 sampling area에서 두 시료채취방법으로 동시에 각각 3개의 시료를 1개의 그룹으로 하여 15분간 측정하였다. 이때, chamber 내의 온도는 19.4 °C, 습도 50% ± 2, 유량은 21 Lpm ± 3의 상태를 유지하였다.

본 연구에서 일정한 농도로 제조된 벤젠의 농도는 0.48 ppm ± 0.03, 0.87 ppm ± 0.09, 1.87 ppm ± 0.21이었으며, 각 농도에 대해 펌프와 PET병을 이용하여 각 12개의 그룹으로 36개의 시료를 채취하였다.

각 방법으로 채취된 연구대상물질의 농도는 <Table 7>과 같다.

Table 7. Benzene concentrations by two sampling methods

Sampling methods	No. of samples	Range (ppm)	Mean (ppm)	SD
PUMP	35	0.41 ~ 0.54	0.48	0.03
PET bottle	35	0.42 ~ 0.49	0.47	0.02
PUMP	35	0.57 ~ 1.05	0.87	0.09
PET bottle	35	0.76 ~ 1.02	0.84	0.06
PUMP	36	1.59 ~ 2.47	1.87	0.21
PET bottle	36	1.65 ~ 2.47	1.82	0.18

2.2 벤젠농도 0.5 ppm에서의 두 방법의 비교

Chamber내의 벤젠 농도가 약 0.5 ppm일 때 펌프와 PET병을 이용하여 시료를 채취한 결과는 <Table 8>과 같다.

벤젠의 농도는 펌프와 PET병을 이용한 방법에서 각각 시료 35개에 대하여 펌프를 이용한 시료채취결과 평균 0.48 ppm에 표준편차는 0.03이었고 PET병을 이용한 방법은 평균 0.47 ppm, 표준편차 0.02로 나타났다. 각 방법에 3개의 활성탄관을 하나의 그룹으로 보고 실험한 결과 12개 그룹에서 두 방법 간의 농도는 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

벤젠농도 0.5 ppm에서 전체적인 농도를 비교해 볼 때, PET병을 이용한 방법이 펌프를 이용한 방법에 비해 2.5% 낮은 결과를 나타냈다.

Table 8. Benzene concentrations by two sampling methods at 0.5 ppm level

Group No.	Serial No.	Pump Method	PET Bottle Method	(E-U)/U×100 (%) [*]	t-value (p-value)
1	1	0.50	Failed	–	2.342 (0.101)
	2	0.51	0.47	–7.8	
	3	0.48	0.47	–2.1	
	Mean	0.50	0.47	–5.0	
	SD	0.01	0.00	4.1	
	CV (%)	2.62	0.05		
2	4	0.46	0.44	–4.3	–0.671 (0.539)
	5	0.45	0.47	4.4	
	6	0.46	0.49	6.5	
	Mean	0.46	0.47	2.2	
	SD	0.01	0.02	5.8	
	CV (%)	2.16	5.30		
3	7	0.48	0.44	–8.3	1.032 (0.360)
	8	0.47	0.42	–10.6	
	9	0.41	0.43	4.9	
	Mean	0.45	0.43	–4.7	
	SD	0.04	0.01	8.4	
	CV (%)	8.95	2.21		
4	10	0.50	0.43	–14.0	1.183 (0.302)
	11	0.46	0.46	0.0	
	12	0.44	0.44	0.0	
	Mean	0.47	0.44	–4.7	
	SD	0.03	0.01	8.1	
	CV (%)	5.87	2.69		
5	13	0.54	0.48	–11.1	0.559 (0.606)
	14	0.46	0.45	–2.2	
	15	0.45	0.47	4.4	
	Mean	0.49	0.47	–2.9	
	SD	0.05	0.01	7.8	
	CV (%)	9.98	2.44		
6	16	0.51	0.48	–5.9	0.802 (0.468)
	17	0.47	0.48	2.1	
	18	0.50	0.49	–2.0	
	Mean	0.49	0.49	–1.9	
	SD	0.02	0.01	4.0	
	CV (%)	4.05	1.22		
7	19	0.47	0.49	4.3	0.000 (1.000)
	20	0.51	0.49	–3.9	
	21	0.48	0.48	0.0	
	Mean	0.49	0.49	0.1	
	SD	0.02	0.01	4.1	
	CV (%)	4.38	1.87		

Table 8. Continued (Benzene concentration by two sampling methods at 0.5 ppm level)

Group No.	Serial No.	Pump Method	PET Bottle Method	(E-U)/U×100 (%) [*]	t-value (p-value)
8	22	0.51	0.46	-9.8	1.750 (0.222)
	23	0.47	0.46	-2.1	
	24	0.47	0.46	-2.1	
	Mean	0.48	0.46	-4.7	
	SD	0.02	0.00	4.4	
	CV (%)	4.15	0.55		
9	25	0.45	0.46	2.2	0.707 (0.519)
	26	0.48	0.46	-4.2	
	27	0.46	0.45	-2.2	
	Mean	0.46	0.46	-1.4	
	SD	0.02	0.01	3.3	
	CV (%)	3.80	1.34		
10	28	0.46	0.49	6.5	0.000 (1.000)
	29	0.50	0.49	-2.0	
	30	0.51	0.49	-3.9	
	Mean	0.49	0.49	0.2	
	SD	0.02	0.00	5.6	
	CV (%)	4.79	0.39		
11	31	0.47	0.45	-4.3	1.206 (0.294)
	32	0.49	0.48	-2.0	
	33	0.47	0.46	-2.1	
	Mean	0.48	0.46	-2.8	
	SD	0.01	0.01	1.3	
	CV (%)	2.00	3.03		
12	34	Failed	0.49	-	2.342 (0.101)
	35	0.52	0.49	-5.8	
	36	0.50	0.47	-6.0	
	Mean	0.51	0.48	-5.9	
	SD	0.02	0.01	0.2	
	CV (%)	3.81	2.60		
Total	Mean	0.48	0.47	-2.5	
	SD	0.03	0.02	5.1	
	CV (%)	5.47	4.24		

※ E : PET bottle method, ppm

U : PUMP method, ppm

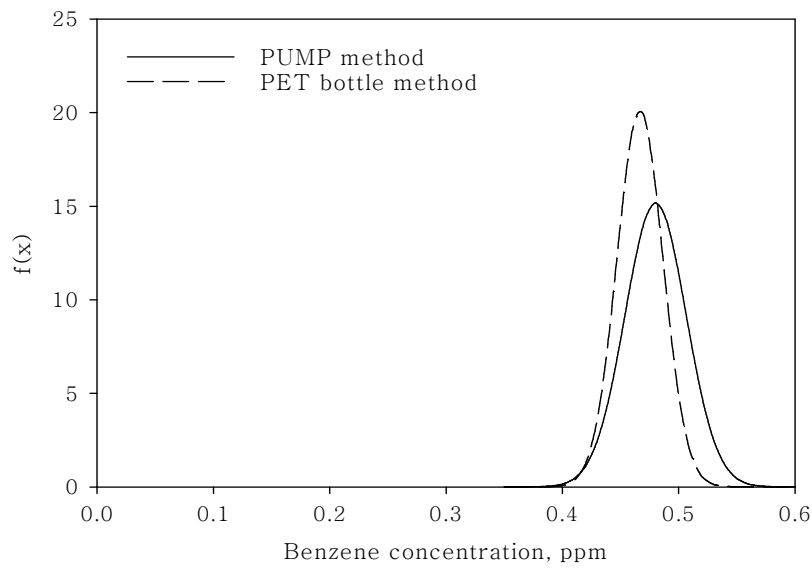


Figure 9. Normal distributions of benzene concentrations by two sampling methods at 0.5 ppm level.

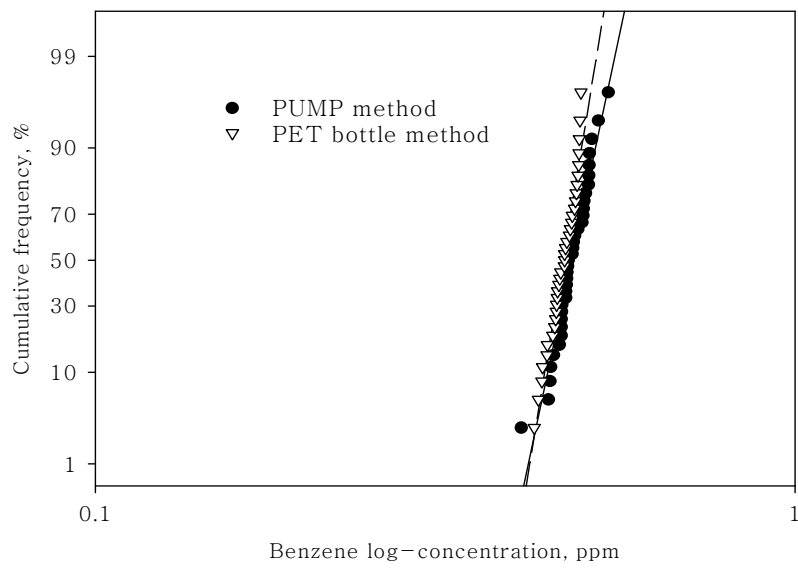


Figure 10. Log-normal distributions of benzene concentrations measured by two sampling methods at 0.5 ppm level.

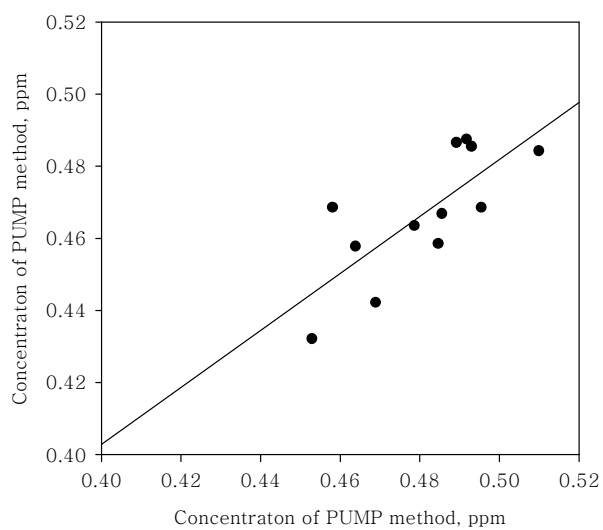


Figure 11. Comparison of benzene concentrations between PUMP method and PET bottle method at 0.5 ppm level ($r^2=0.574$).

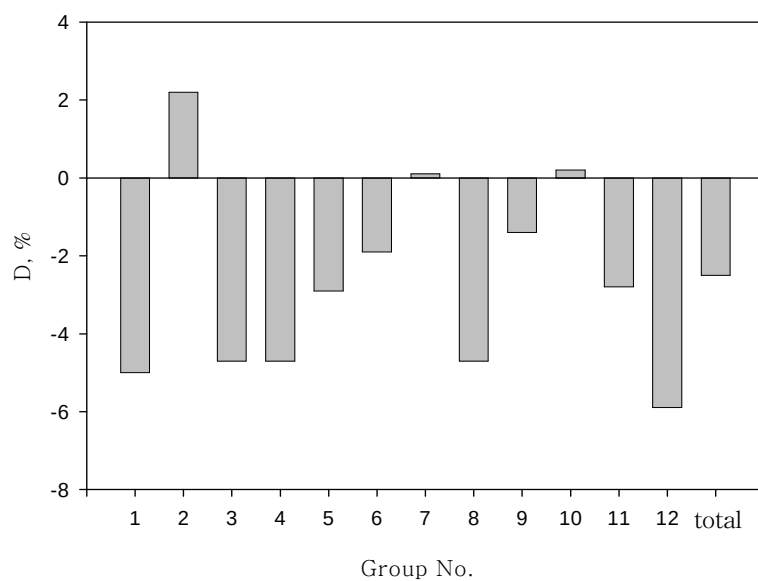


Figure 12. Differences of concentrations between PUMP method and PET bottle method at 0.5 ppm level, $D(\%) = (E-U)/U \times 100$.

2.3 벤젠농도 1.0 ppm에서의 두 방법의 비교

Chamber내의 벤젠 농도가 약 1.0 ppm일 때 펌프와 PET병을 이용하여 시료를 채취한 결과는 <Table 9>과 같다.

벤젠의 농도는 펌프와 PET병을 이용한 방법에서 각각 시료 35개에 대하여 펌프를 이용한 시료채취결과 평균 0.87 ppm에 표준편차는 0.09이었고 PET병을 이용한 방법은 평균 0.84 ppm 표준편차 0.06으로 나타났다. 각 방법에 3개의 활성탄관을 하나의 그룹으로 보고 실험한 결과 12개 그룹에서 두 방법 간의 농도는 통계적으로 유의한 차이가 한 그룹(Group 5)을 제외하고 없었다.

벤젠농도 1.0 ppm에서 전체적인 농도를 비교해 볼 때, PET병을 이용한 방법이 펌프를 이용한 방법에 비해 1.6% 낮은 결과를 나타냈다.

Table 9. Benzene concentrations by two sampling methods at 1.0 ppm level

Group No.	Serial No.	Pump Method	PET Bottle Method	(E-U)/U×100 (%) [*]	t-value (p-value)
1	1	1.03	0.92	-10.7	1.080 (0.341)
	2	0.93	1.02	9.7	
	3	1.05	0.90	-14.3	
	Mean	1.00	0.95	-5.1	
	SD	0.06	0.07	12.9	
	CV (%)	6.19	6.89		
2	4	1.05	0.86	-18.1	2.456 (0.070)
	5	0.94	0.91	-3.2	
	6	0.95	0.89	-6.3	
	Mean	0.98	0.89	-9.2	
	SD	0.06	0.02	7.9	
	CV (%)	6.45	2.58		
3	7	0.98	0.84	-14.3	2.335 (0.228)
	8	Failed	0.87	-	
	9	0.91	0.87	-4.4	
	Mean	0.95	0.86	-9.3	
	SD	0.05	0.02	7.0	
	CV (%)	5.47	1.83		
4	10	0.86	0.76	-11.6	1.753 (0.154)
	11	0.80	0.77	-3.8	
	12	0.78	0.78	0.0	
	Mean	0.82	0.77	-5.1	
	SD	0.04	0.01	5.9	
	CV (%)	4.78	1.53		
5	13	0.85	0.80	-5.9	3.024 [*] (0.039)
	14	0.83	0.82	-1.2	
	15	0.83	0.81	-2.4	
	Mean	0.84	0.81	-3.2	
	SD	0.01	0.01	2.4	
	CV (%)	1.55	1.02		
6	16	0.85	0.84	-1.2	1.109 (0.329)
	17	0.87	0.87	0.0	
	18	0.87	0.84	-3.4	
	Mean	0.86	0.85	-1.5	
	SD	0.01	0.01	1.8	
	CV (%)	1.32	1.74		
7	19	0.84	0.87	3.6	0.171 (0.872)
	20	0.90	0.88	-2.2	
	21	0.87	0.85	-2.3	
	Mean	0.87	0.87	-0.3	
	SD	0.03	0.01	3.4	
	CV (%)	3.27	1.43		

Table 9. Continued (Benzene concentrations by two sampling methods at 1.0 ppm level)

Group No.	Serial No.	Pump Method	PET Bottle Method	(E-U)/U×100 (%) [*]	t-value (p-value)
8	22	0.90	0.89	-1.1	1.113 (0.347)
	23	0.97	0.92	-5.2	
	24	0.94	Failed	-	
	Mean	0.94	0.91	-3.1	
	SD	0.03	0.03	2.9	
	CV (%)	3.38	2.80		
9	25	0.57	0.84	47.4	-0.872 (0.469)
	26	0.88	0.91	3.4	
	27	0.89	0.87	-2.2	
	Mean	0.78	0.87	16.2	
	SD	0.18	0.03	27.2	
	CV (%)	23.62	3.88		
10	28	0.82	0.77	-6.1	1.604 (0.184)
	29	0.79	0.78	-1.3	
	30	0.80	0.80	0.0	
	Mean	0.80	0.78	-2.5	
	SD	0.02	0.02	3.2	
	CV (%)	2.33	2.14		
11	31	0.75	0.79	5.3	-0.117 (0.912)
	32	0.81	0.78	-3.7	
	33	0.83	0.83	0.0	
	Mean	0.80	0.80	0.5	
	SD	0.04	0.02	4.5	
	CV (%)	5.13	3.10		
12	34	0.76	0.79	3.9	0.000 (1.000)
	35	0.81	0.79	-2.5	
	36	0.83	0.82	-1.2	
	Mean	0.80	0.80	0.1	
	SD	0.03	0.02	3.4	
	CV (%)	4.31	2.27		
Total	Mean	0.87	0.84	-1.6	
	SD	0.09	0.06	10.4	
	CV (%)	10.71	6.80		

※ E : PET bottle method, ppm

U : PUMP method, ppm

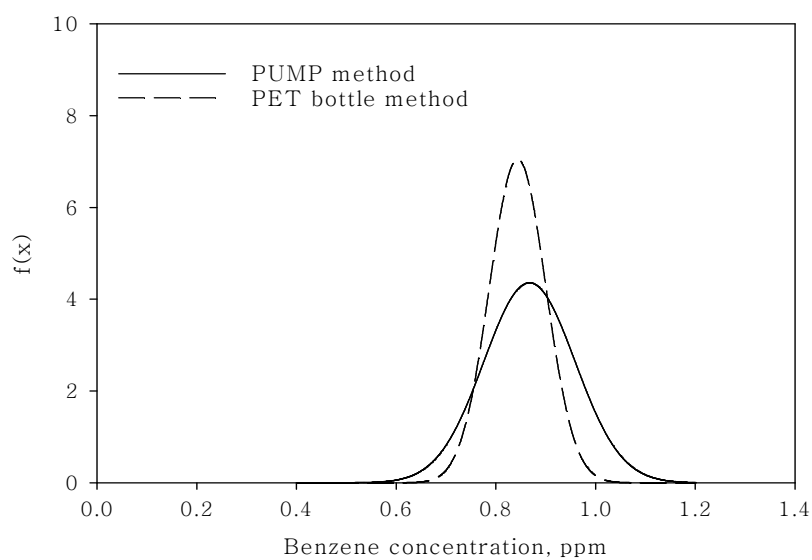


Figure 13. Benzene concentrations by two sampling methods at 1.0 ppm level.

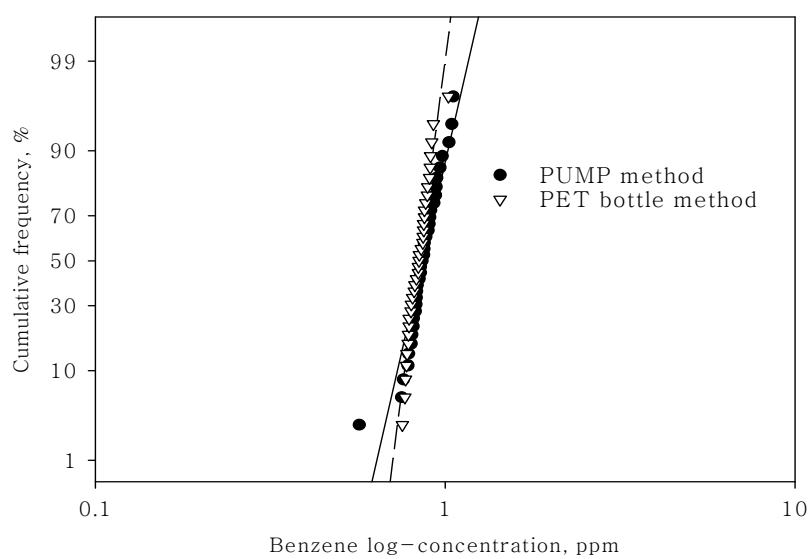


Figure 14. Log-normal distributions of benzene by two sampling methods at 1.0 ppm level.

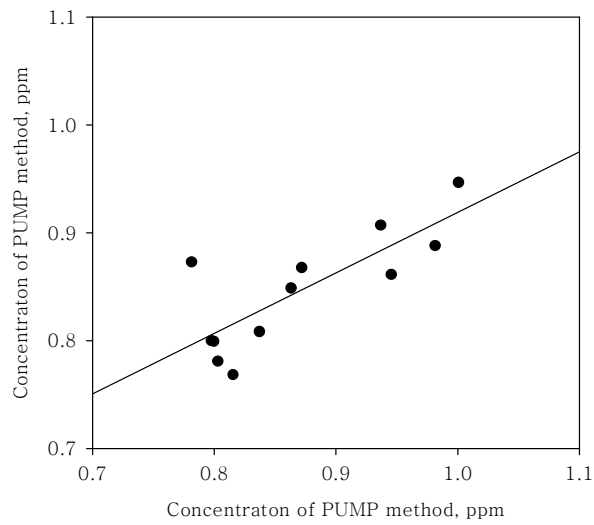


Figure 15. Comparison of benzene concentrations between PUMP method and PET bottle method at 1.0 ppm level ($r^2=0.801$).

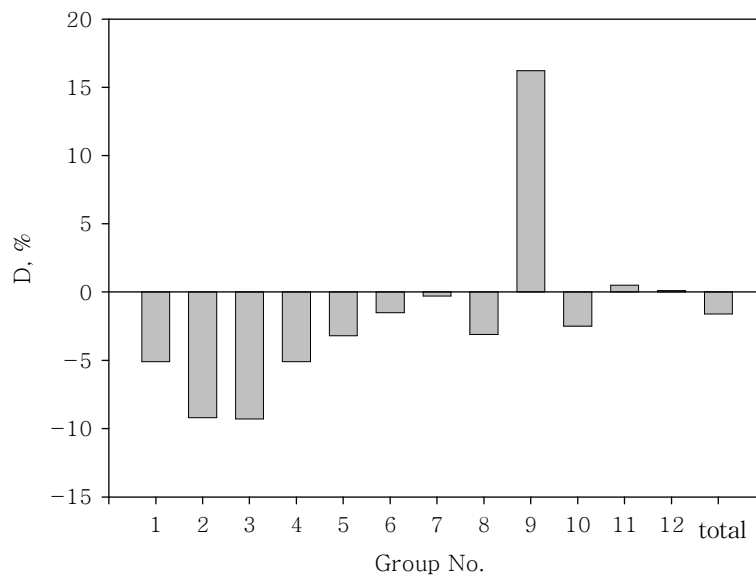


Figure 16. Differences of concentrations between PUMP method and PET bottle method at 1.0 ppm level, $D(\%) = (E-U)/U \times 100$.

2.4 벤젠농도 2.0 ppm에서의 두 방법의 비교

Chamber내의 벤젠 농도가 약 2.0 ppm일 때 펌프와 PET병을 이용하여 시료를 채취한 결과는 <Table 10>과 같다.

벤젠의 농도는 펌프와 PET병을 이용한 방법에서 각각 시료 36개에 대하여 펌프를 이용한 시료채취결과 평균 1.87 ppm에 표준편차는 0.21이었고 PET병을 이용한 방법은 평균 1.82 ppm 표준편차 0.18로 나타났다. 각 방법에 3개의 활성탄관을 하나의 그룹으로 보고 실험한 결과 12개 그룹에서 두 방법 간의 농도는 통계적으로 유의한 차이가 두 그룹(Group 7, 11)을 제외하고 없었다.

벤젠농도 2.0 ppm에서 전체적인 농도를 비교해 볼 때, PET병을 이용한 방법이 펌프를 이용한 방법에 비해 2.8% 낮은 결과를 나타냈다.

Table 10. Benzene concentrations by two sampling methods at 2.0 ppm level

Group No.	Serial No.	Pump Method	PET Bottle Method	(E-U)/U×100 (%) [*]	t-value (p-value)
1	1	2.45	2.47	0.8	0.748 (0.496)
	2	2.47	2.26	-8.5	
	3	2.18	2.00	-8.3	
	Mean	2.37	2.24	-5.3	
	SD	0.16	0.23	5.3	
	CV (%)	6.87	10.44		
2	4	2.23	1.97	-11.7	1.084 (0.339)
	5	1.98	2.02	2.0	
	6	1.98	1.91	-3.5	
	Mean	2.06	1.97	-4.4	
	SD	0.14	0.06	6.9	
	CV (%)	6.93	2.80		
3	7	2.06	1.96	-4.9	0.312 (0.770)
	8	2.18	2.07	-5.0	
	9	1.87	1.99	6.4	
	Mean	2.04	2.01	-1.2	
	SD	0.16	0.06	6.6	
	CV (%)	7.70	2.90		
4	10	2.08	1.85	-11.1	1.059 (0.389)
	11	1.87	1.90	1.6	
	12	1.87	1.84	-1.6	
	Mean	1.94	1.86	-3.7	
	SD	0.12	0.03	6.6	
	CV (%)	6.17	1.63		
5	13	1.91	1.75	-8.4	1.314 (0.259)
	14	1.82	1.79	-1.6	
	15	1.75	1.75	0.0	
	Mean	1.83	1.76	-3.3	
	SD	0.08	0.03	4.4	
	CV (%)	4.33	1.43		
6	16	1.98	1.78	-10.1	1.379 (0.240)
	17	1.79	1.77	-1.1	
	18	1.78	1.72	-3.4	
	Mean	1.85	1.76	-4.9	
	SD	0.11	0.03	4.7	
	CV (%)	5.97	1.87		
7	19	1.86	1.66	-10.8	3.913 [*] (0.017)
	20	1.79	1.72	-3.9	
	21	1.79	1.71	-4.5	
	Mean	1.81	1.70	-6.4	
	SD	0.04	0.03	3.8	
	CV (%)	2.13	1.92		

Table 10. Continued (Benzene concentrations by two sampling methods at 2.0 ppm level)

Group No.	Serial No.	Pump Method	PET Bottle Method	(E-U)/U×100 (%) [*]	t-value (p-value)
8	22	1.66	1.65	-0.6	0.722 (0.510)
	23	1.74	1.69	-2.9	
	24	1.67	1.67	0.0	
	Mean	1.69	1.67	-1.2	
	SD	0.04	0.02	1.5	
	CV (%)	2.53	1.29		
9	25	1.59	1.74	9.4	-0.042 (0.970)
	26	1.84	1.76	-4.3	
	27	1.81	1.75	-3.3	
	Mean	1.75	1.75	0.6	
	SD	0.14	0.01	7.7	
	CV (%)	8.01	0.73		
10	28	1.65	1.70	3.0	-0.171 (0.872)
	29	1.77	1.75	-1.1	
	30	1.74	1.73	-0.6	
	Mean	1.72	1.73	0.4	
	SD	0.06	0.02	2.3	
	CV (%)	3.63	1.41		
11	31	1.71	1.66	-2.9	3.889 [*] (0.018)
	32	1.72	1.69	-1.7	
	33	1.71	1.68	-1.8	
	Mean	1.71	1.68	-2.1	
	SD	0.00	0.02	0.7	
	CV (%)	0.14	1.04		
12	34	1.68	1.70	1.2	1.000 (0.374)
	35	1.77	1.73	-2.3	
	36	1.74	1.66	-4.6	
	Mean	1.73	1.70	-1.9	
	SD	0.04	0.04	2.9	
	CV (%)	2.56	2.33		
Total	Mean	1.87	1.82	-2.8	
	SD	0.21	0.18	4.6	
	CV (%)	11.30	9.93		

※ E : PET bottle method, ppm

U : PUMP method, ppm

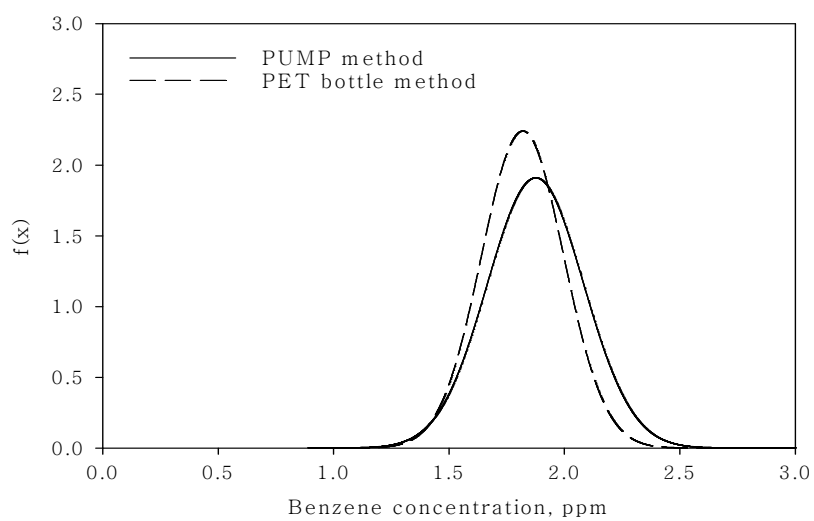


Figure 17. Benzene concentrations by two sampling methods at 2.0 ppm level.

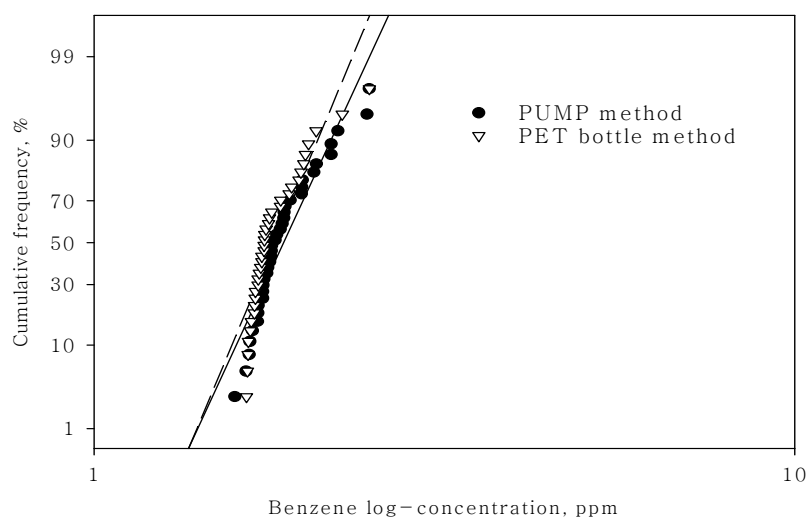


Figure 18. Log-normal distributions of benzene by two sampling methods at 2.0 ppm level.

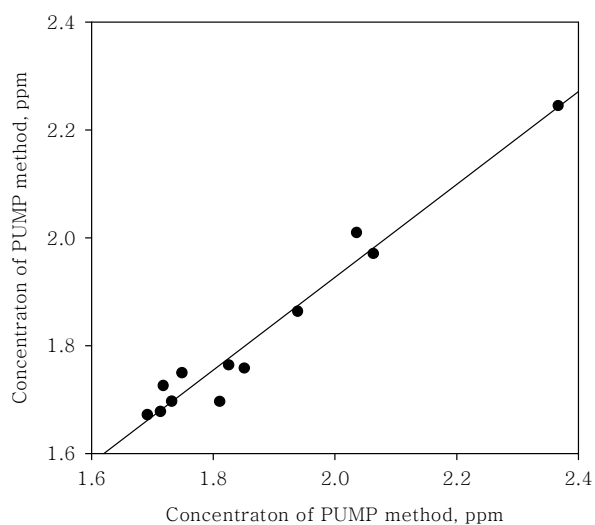


Figure 19. Comparison of benzene concentrations between PUMP method and PET bottle method at 2.0 ppm level ($r^2=0.962$).

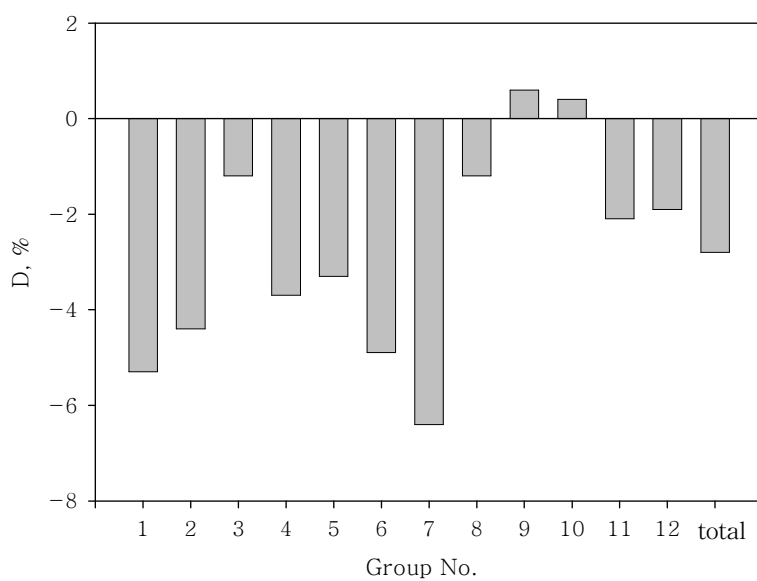


Figure 20. Differences of concentrations between PUMP method and PET bottle method at 2.0 ppm level, $D(\%) = (E-U)/U \times 100$.

3. 단시간 시료채취 시 검출한계와 채취공기량에 대한 고찰

일반적으로 작업장내의 유기용제의 농도를 측정하기 위해 공기채취펌프를 이용하여 유기용제를 채취하고 가스크로마토그래피로 분석을 하게 된다. 이때 작업장에서 채취해야 할 공기 용량은 공기 중에 존재하는 유해물질의 예측농도, 분석방법의 감도(Limit of Detection, LOD) 및 해당 물질의 노출기준에 의하여 결정되며, 노출기준의 1/10을 평가할 수 있도록 충분한 양의 공기시료를 채취하는 것이 적절하고, 부득이한 경우라도 최소한 노출기준의 1/2이하 농도를 측정할 수 있도록 해야 한다.⁹⁾

벤젠 STEL의 1/10을 평가하기 위해서는 벤젠 STEL값이 8 mg/m³이므로 1 m³의 공기부피에 0.8 mg의 벤젠양이 있게 채취를 해야 하며, 단시간(15분) 시료채취의 경우 개인시료펌프의 유량이 0.2 Lpm이므로 채취된 공기부피는 3 ℓ 이고 수동식채취기는 펌프보다 약 1/10인 0.02 ℓ/min의 sampling rate를 가지므로 0.3 ℓ의 채취된 공기부피를 가지게 된다. 각각 채취된 공기 중에 펌프의 경우 2.4 μg, 수동식 채취기의 경우 0.24 μg의 벤젠이 있으면 1/10수준으로 볼 수 있다.

그러나 본 연구의 GC분석상태에서 검량선을 제조하여 분석한 결과<Figure 18 참조> 벤젠의 양이 약 1.87 μg/1 ml CS₂ 이하에서는 GC가 검출하지 못하였다. 다시 말해 수동식 채취기가 노출기준의 1/10 만크의 양을 채취하였더라도 분석 시 활성탄을 탈착시키기 위한 탈착용액의 양을 활성탄관에 비해 많이 넣게 되어 활성탄관과 같은 값이라도 수동식 채취기의 양은 희석이 되어 시료의 양이 더 낮아지므로 GC로 정확한 분석이 어렵게 된다. 즉, 약 0.02 ℓ/min의 sampling rate를 가지는 수동식 채취기로는 단시간노출농도를 평가하는데 문제가 있을 것으로 생각된다.

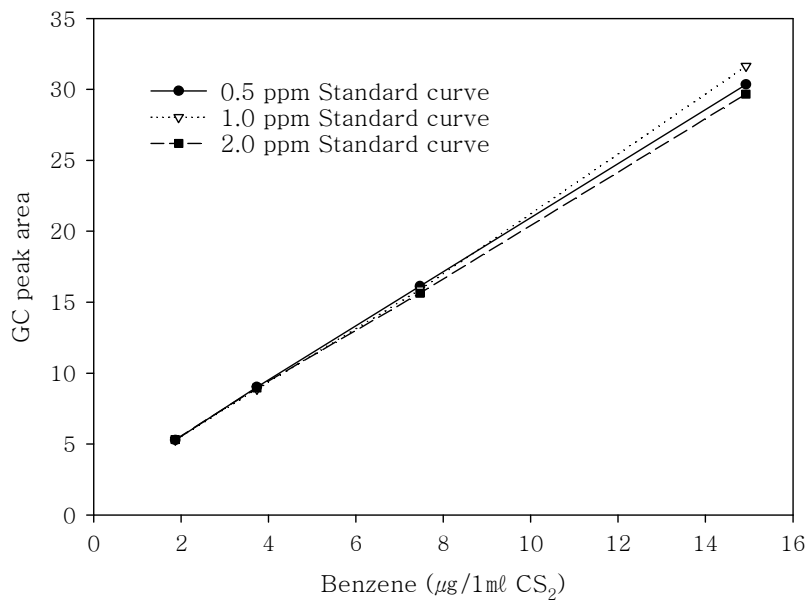


Figure 21. Standard curve of Benzene.

본 연구에서는 이런 문제점을 해결하고자 펌프와 같이 0.2 Lpm의 유량은 아니지만 PET병 시료채취기를 이용하면 0.1 Lpm의 유량으로 시료채취가 가능하고 유량을 수동식 채취기에 비해 5배 이상의 공기채취가 가능하고 많은 공기를 채취한 만큼 많은 양의 시료를 채취할 수 있게 되어 분석의 정확성을 높이는데 영향을 미칠 것으로 판단된다.

4. 저농도에서 PET병으로 단시간 시료채취 가능성에 대한 고찰

PET병을 이용한 단시간(15분)동안 유량을 측정한 결과 OSHA에서 권고하는 $\pm 5\%$ 내에서 유량변동이 있었으며, 연구대상물질인 벤젠을 가지고 펌프를 이용한 방법과 PET병을 이용한 방법 간의 단시간 저농도에서의 t-test결과 1.0 ppm에서 1개(Group 5), 2.0 ppm에서 2개의 그룹(Group 7, 11)을 제외하고 두 방법 간의 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 저농도의 시료를 PET병을 이용하여 채취하는 것이 가능하다고 판단된다.

그러나 PET병으로 채취한 농도는 펌프를 이용하여 채취한 농도에 비해 약 0.5 ppm에서 2.5%, 1.0 ppm에서 1.6%, 2.0 ppm에서 2.8% 낮게 측정되었으며, PET병을 이용하여 시료를 채취하는 동안 PET병에 외압을 가하거나 심한 진동이 있는 경우 유량의 변화가 OSHA에서 권고하는 $\pm 5\%$ 의 범위를 초과하는 것으로 나타났다.

따라서 PET병을 이용하여 단시간 저농도 시료채취는 가능하나 아직 개인시료채취보다는 지역시료채취에 적합하다고 판단된다.

IV. 결 론

수동식 채취기는 펌프를 사용하지 않는다는 점에서 펌프를 사용시 필요한 측정전후의 유량보정이나 사용 후 충전등 사용에 불편함이 적어 작업환경측정시 많이 사용되고 있다. 그러나 수동식 채취기는 단가가 활성탄에 비해 비싸고 낮은 sampling rate로 인해 저농도 시료를 단시간 동안 채취 후 분석시 가스크로마토그래피의 검출한계에 미치지 못하여 정확한 값을 얻는데 문제가 있다.

본 연구에서는 수동식 채취기처럼 펌프를 이용하지 않지만 고유량으로 단시간동안 측정할 수 있는 PET병 채취기를 제작해 벤젠을 대상으로 아래와 같은 결과를 얻었다.

1. PET병에 물이 배출되는 압력을 일정하게 받게 함으로써 OSHA에서 시료채취 시 권고하는 $\pm 5\%$ 내에서 각각의 배출구멍에 따라 일정하게 변동하는 0.04 ~ 103.5 cc/min의 유량을 얻을 수 있었다.

2. PET병을 이용하여 벤젠을 NIOSH 공정시험법으로 펌프와 단시간 시료채취를 비교해 본 결과 약 0.5 ppm, 1.0 ppm, 2.0 ppm에서 2.5%, 1.6%, 2.8% 낮게 측정되었으며, t-test결과 1.0 ppm에서 1개(Group 5), 2.0 ppm에서 2개의 그룹(Group 7, 11)을 제외한 대부분의 그룹에서 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

3. 시료채취 시 PET병에 외압을 가하거나 심한 진동이 있는 경우 유량의 변동이 커져 유량에 따른 농도의 변이가 발생하므로 개인시료 채취보다는 외부의 영향을 적게 받을 수 있는 지역시료채취에 적합할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 백남원 : 수동식 시료채취기의 사용현황, 산업보건, 11: 26-29, (2001)
- 2) 박미진, 윤충식, 백남원 : 확산식 포집기를 이용한 공기 중 유기용제 포집에 관한 연구, 한국산업위생학회지, 4(1): 208-223, (1994)
- 3) 백남원, 박동욱, 윤충식 : 작업환경측정 및 평가, 신평출판사, 224-245, (2001)
- 4) Lautenberger WJ, Kring EV, Morello JA : A new personal badge monitor for organic vapors, American Industrial Hygiene Association Journal 41(10): 737-747, (1980)
- 5) 백남원 윤충식 : 유기용제 측정을 위한 국산 수동식 시료채취기의 현장평가, 한국산업위생학회지, 8(1): 124-132, (1998)
- 6) Cassinelli, M.E. R.D. Hull, J.V. Crable, A.W. Teass : "Protocol for the Evaluation of Passive Monitors," In Diffusive sampling: An Alternative Approach to Workplace Air Monitoring. Berlin, R.H. Brown; K.J. Saunders; Royal Society of Chemistry, Burlington House, London, 190-202 (1987).
- 7) 박병무 : Fan을 이용한 고유량 수동식 시료채취기 개발에 관한 연구, 한성대학교, (2005)
- 8) Occupational Safety & Health Administration,
Method Evaluation Guidelines,
<http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/omeprotocol/index.html>

- 9) 백남원 : 산업위생학개론, 신광출판사, 91-102, (2000)
- 10) National Institute of Occupational Safety and Health(NIOSH) :
NIOSH Manual of Analytical Method, 4th ed., (1994)
- 11) 3M Technical Data Bulletin, Organic Vapor Monitor Sampling
and Analysis Guide, (2004)
- 12) 백남원, 박미진, 윤충식 : 공기중 유기용제 농도 측정에 있어서 수
동식 시료채취기의 성능평가 및 한국산 수동식 시료채취기의 개발에
관한 연구 제 1 부 : 외국산 수동식 시료채취기의 성능평가, 한국산업
위생학회지, 6(1): 109-124, (1996)
- 13) 백남원, 공상희, 박정임, 이영환 : 공기중 유기용제 농도 측정에 있
어서 수동식 시료채취기의 성능평가 및 한국산 수동식 시료채취기의
개발에 관한 연구 제 2 부 : 한국산 수동식 시료채취기의 개발, 한국산
업위생학회지, 6(1): 97-108, (1996)
- 14) 루이스 엡스타인, 폴 휴이트 : 재미있는 물리여행 ①역학-유체-열-
진동, 김영사: 185-188, (1998)
- 15) 국립중앙박물관 사이버교육관 함께하는 과학 실험 9. 매직 버틀 :
<http://www.science.go.kr/center/html/sci/experiment/sub09/index09.htm>

ABSTRACT

Development of a Short-term Sampling Method for Organic Vapors with a PET Bottle to Replace the Sampling Pump

Ryu, Gwan Ho

Division of Industrial Hygiene Engineering
Graduate School of Occupational Safety and Health
Hansung University

Director

Park, Doo Yong, Dr.P.H., CIH

Passive samplers are convenient for STEL measurements. However, they have an inherent limitation due to low sampling flow rate. Especially for low airborne concentrations such as benzene, small amount of sampled organic vapors plays a limiting factor for GC analysis. This limitation can be eliminated by use of sampling pumps which flow rate is around 0.2 Lpm. However, sampling pumps would be another limitation for self-monitoring in industries due to high cost and maintenance problem.

A PET bottle method was developed for charcoal sampling. It is possible to take air samples for 15 minutes by withdrawing water from the bottle like a spirometer.

A PET bottle sampler was evaluated the stability of flow rate for 15

minutes. Also, measurement accuracy was evaluated with the standard charcoal and sampling pump method in the chamber.

The results of this study were as follows:

1. Flow rates of PET bottle sampler were determined by water drain hole size. Flow rates were evaluated for each drain hole size of 1.5 mm, 2.0 mm, 3.0 mm, 4.0 mm, 4.5mm. Flow rates were maintained within $\pm 5\%$ variation.

2. In general, it was shown good agreements between standard charcoal-pump method and PET bottle sampler method for benzene measurement at 0.5 ppm, 1.0 ppm, 2.0 ppm for 15 minutes(STEL). T-test showed no difference for measurements results between two methods.

3. Internal variation of measurement by PET bottle sampling methods was smaller than that of standard charcoal method.

본 논문이 나오기까지 많은 충고와 도움을 주신 박두용교수님께 깊이 감사드립니다.

논문실험시 많은 도움을 준 신철임선생과 한성대학교 안전보건경영대학원생 김원기, 김병수, 김병년선생에게 감사드리며, 논문검색 및 자료제공에 도움을 준 순천향대 동기 류재혁 친구에게 감사하게 생각합니다.

마지막으로 2년동안 대학원 다니는데 힘이 되어준 우리 가족에게 감사드립니다.

Table 2. Flow rate of PET bottle outlet size 1.5 mm(Φ) (flow rate : cc/min)

No. of Repeat Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total		
0	49.71	49.69	47.94	47.94	48.15	48.80	49.30	49.28	49.73	49.18			
1	50.00	49.94	48.50	48.19	48.39	49.06	49.55	49.44	49.94	49.42			
2	50.00	50.15	48.31	48.17	48.27	49.18	49.65	49.55	49.85	49.44			
3	49.92	50.15	48.41	48.33	48.41	49.14	49.73	49.67	50.08	49.36			
4	50.23	50.19	47.68	48.33	48.39	49.10	49.75	49.81	50.06	49.38			
5	50.08	50.15	48.52	48.17	48.60	49.16	49.83	50.02	50.25	49.77			
6	50.29	50.17	48.43	48.43	48.66	49.22	50.08	49.92	50.21	49.44			
7	50.34	50.44	48.58	48.17	48.76	49.24	49.96	49.90	50.48	49.79			
8	50.78	50.63	48.64	48.37	48.86	49.22	50.02	50.02	50.72	49.90			
9	50.59	50.59	48.92	48.50	48.88	49.36	50.00	50.02	50.36	50.00			
10	50.89	50.80	48.94	48.62	48.98	49.42	50.29	50.13	50.42	50.06			
11	50.74	50.55	49.08	48.66	49.02	49.42	50.06	49.92	50.42	50.13			
12	50.65	50.57	48.86	48.66	48.84	49.34	50.02	50.00	50.57	49.90			
13	50.48	50.68	48.68	48.76	48.92	49.38	50.17	50.04	50.55	50.10			
14	50.57	50.83	48.80	48.94	49.20	49.57	50.57	50.02	50.57	50.17			
15	50.57	50.70	48.84	48.54	48.96	49.69	50.46	50.25	50.48	49.90	Mean	SD	
Mean	50.37	50.39	48.57	48.43	48.71	49.27	49.97	49.87	50.29	49.75	49.56	0.76	
SD	0.35	0.33	0.37	0.26	0.31	0.21	0.33	0.26	0.29	0.32			
CV (%)	0.69	0.66	0.76	0.55	0.63	0.43	0.66	0.53	0.57	0.65			

Table 3. Flow rate of PET bottle outlet size 2.0 mm(Φ) (flow rate : cc/min)

No. of Repeat Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total		
1	63.46	66.59	60.67	61.16	60.79	62.57	62.27	62.14	62.14	62.21			
2	64.59	66.45	61.16	61.41	60.98	62.99	62.63	62.40	61.92	62.40			
3	64.86	66.63	61.04	61.35	60.94	62.66	63.06	62.27	62.50	62.47			
4	65.15	66.78	60.91	61.54	61.13	63.09	63.06	62.63	62.60	62.43			
5	65.32	66.56	60.98	61.26	61.04	62.89	63.16	62.79	63.22	62.86			
6	65.32	66.48	61.41	61.63	61.19	62.99	63.03	62.76	63.73	62.86			
7	65.08	66.67	61.29	61.92	61.19	62.86	63.22	63.06	63.59	62.86			
8	65.40	67.00	61.57	61.95	61.35	63.12	63.09	62.83	63.69	62.93			
9	65.50	67.04	61.66	61.76	61.26	63.36	63.36	62.93	63.76	63.12			
10	65.47	66.96	61.54	61.66	61.89	63.16	63.29	62.86	63.90	62.96			
11	65.61	67.19	61.35	61.92	61.95	63.19	63.80	62.79	63.83	63.09			
12	65.65	67.49	61.54	62.05	61.86	63.32	63.32	63.12	63.95	63.22			
13	66.15	67.08	61.92	62.08	62.14	63.86	63.56	63.16	63.76	62.99			
14	66.33	67.23	61.95	62.05	61.98	64.10	63.69	63.22	64.24	63.32			
15	66.04	66.48	61.98	62.34	62.02	64.27	64.17	63.42	64.21	63.32			
16	65.68	66.45	62.53	62.73	61.92	64.00	63.76	63.32	63.93	63.42	Mean	SD	
Mean	65.35	66.82	61.47	61.80	61.48	63.28	63.28	62.86	63.44	62.91	63.27	1.69	
SD	0.68	0.33	0.48	0.41	0.47	0.52	0.46	0.37	0.73	0.36			
CV (%)	1.04	0.49	0.78	0.67	0.76	0.82	0.73	0.58	1.16	0.58			

Table 4. Flow rate of PET bottle outlet size 3.0 mm(Φ) (flow rate : cc/min)

No. of Repeat Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total		
0	87.78	88.63	90.84	90.09	90.50	92.66	91.32	91.39	91.05	91.88			
1	87.85	88.30	91.60	90.43	90.36	92.66	91.60	90.91	91.67	91.81			
2	88.56	88.76	90.77	90.50	90.23	93.02	92.88	91.32	91.25	91.74			
3	88.30	88.56	91.12	90.02	90.70	93.10	93.02	90.98	91.32	91.19			
4	87.98	88.17	90.16	90.29	90.16	92.24	92.95	91.53	92.10	91.81			
5	88.11	88.17	90.98	90.77	90.23	93.17	93.10	91.53	91.74	91.39			
6	87.66	87.98	91.05	89.96	90.43	92.88	93.82	91.05	91.19	91.81			
7	88.56	88.89	91.12	90.84	90.09	92.74	93.39	91.60	91.88	91.95			
8	88.50	88.24	90.91	91.12	90.63	93.68	93.75	91.32	91.32	92.17			
9	88.89	88.37	91.19	90.50	89.69	93.39	93.60	91.60	91.74	92.17			
10	89.49	88.56	91.05	90.84	90.98	93.53	93.53	91.32	91.95	91.88			
11	88.89	88.17	90.43	90.50	90.02	93.97	92.81	91.05	91.81	92.10			
12	88.04	89.29	91.39	90.09	90.50	93.75	93.46	91.05	92.17	91.88			
13	88.50	88.82	90.63	89.75	90.29	94.19	93.82	91.19	91.60	92.10			
14	88.95	88.50	90.77	90.70	90.43	92.66	93.60	91.19	91.95	91.88			
15	88.63	87.91	90.23	90.57	90.36	93.31	93.97	91.05	91.88	91.81	Mean	SD	
Mean	88.42	88.46	90.89	90.44	90.35	93.18	93.16	91.26	91.67	91.85	90.97	1.65	
SD	0.50	0.37	0.39	0.38	0.30	0.54	0.76	0.23	0.34	0.26			
CV (%)	0.56	0.41	0.43	0.42	0.33	0.58	0.81	0.25	0.37	0.28			

Table 5. Flow rate of PET bottle outlet size 4.0 mm(Φ) (flow rate : cc/min)

No. of Repeat Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	
0	91.74	90.57	91.95	90.16	91.81	95.77	95.16	96.39	92.17	95.85		
1	91.74	91.25	93.10	90.57	91.81	95.24	95.09	95.31	90.36	96.15		
2	92.81	90.63	92.10	90.36	91.25	95.77	95.09	96.77	90.09	96.46		
3	91.81	91.46	93.10	90.29	92.24	96.54	95.16	96.39	90.63	95.92		
4	92.52	91.46	93.10	89.69	92.38	95.62	95.69	95.54	90.43	96.39		
5	92.17	90.43	92.88	89.62	92.52	96.39	95.62	96.54	90.91	96.23		
6	92.38	90.57	93.10	89.42	91.74	96.85	95.47	96.31	90.16	95.85		
7	92.74	90.77	93.17	89.89	92.31	97.01	95.39	96.70	90.29	95.92		
8	92.95	90.91	93.24	90.02	91.81	96.62	95.47	95.85	90.70	95.77		
9	92.02	90.57	93.02	90.50	91.53	96.77	95.77	96.70	90.50	96.08		
10	91.95	91.46	92.66	90.70	92.31	96.00	96.23	96.39	90.63	96.23		
11	92.10	91.25	92.81	90.16	92.24	96.15	95.77	96.70	89.89	96.08		
12	91.12	91.39	92.45	90.84	91.88	97.17	96.39	95.85	90.43	95.69		
13	92.24	91.32	93.10	90.43	92.31	96.85	96.00	96.77	90.36	95.62		
14	91.05	91.39	92.59	90.36	92.74	96.54	96.23	96.85	90.63	96.39		
15	92.24	90.84	92.95	89.55	92.59	95.85	96.54	96.62	90.09	96.00	Mean	SD
Mean	92.10	91.02	92.83	90.16	92.09	96.32	95.69	96.35	90.52	96.04	93.31	2.53
SD	0.54	0.39	0.39	0.43	0.41	0.56	0.47	0.47	0.51	0.26		
CV (%)	0.59	0.43	0.41	0.47	0.45	0.59	0.50	0.49	0.57	0.27		

Table 6. Flow rate of PET bottle outlet size 4.5 mm(Φ) (Flow rate : cc/min)

No. of Repeat Time (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total		
0	97.64	96.77	99.34	98.36	98.93	102.74	102.13	102.92	101.78	102.04			
1	98.44	96.54	98.93	99.09	98.93	103.45	103.27	102.65	100.33	101.44			
2	98.12	95.85	99.42	98.44	97.40	102.92	102.74	103.00	101.35	102.30			
3	96.23	96.62	99.42	99.01	97.32	103.54	102.83	103.72	101.27	101.69			
4	98.12	96.39	99.59	98.68	98.44	103.45	102.04	103.09	101.35	101.01			
5	98.85	95.69	100.00	99.59	98.93	103.63	101.69	101.87	101.78	102.13			
6	97.88	95.54	98.60	99.26	99.01	103.63	103.18	103.18	101.95	102.30			
7	97.72	97.01	99.67	99.83	99.75	103.54	102.30	102.39	101.52	101.61			
8	99.26	96.54	100.00	98.44	98.12	103.54	102.48	103.27	101.27	100.84			
9	97.88	96.62	99.50	99.34	99.34	103.72	102.13	102.56	101.78	100.67			
10	97.72	96.77	99.92	99.17	99.01	103.54	103.18	102.39	101.44	101.69			
11	98.12	96.08	99.42	98.85	99.09	102.65	102.92	102.04	101.27	101.69			
12	98.20	96.23	98.77	99.92	98.68	103.99	103.18	103.00	100.76	101.69			
13	98.60	96.46	100.00	98.12	98.68	104.08	103.09	103.00	101.78	101.69			
14	97.72	96.15	99.67	99.59	98.77	104.35	102.21	102.39	102.83	102.30			
15	98.52	96.08	100.08	99.92	98.93	103.81	102.83	102.74	101.35	101.44	Mean	SD	
Mean	98.06	96.33	99.52	99.10	98.71	103.53	102.64	102.76	101.49	101.66	100.38	2.37	
SD	0.67	0.41	0.45	0.58	0.64	0.45	0.50	0.48	0.54	0.50			
CV (%)	0.68	0.43	0.45	0.59	0.64	0.44	0.49	0.47	0.54	0.49			