

碩 士 學 位 論 文

指導教授 朴杜用

Fan을 이용한 고유량 수동식
시료 채취기 개발에 관한 연구

Study on Development of a Fan-Passive Sampler to
Increase Sampling Rates

2004年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

安全保健經營學科

産業衛生工學專攻

朴 炳 戊

碩 士 學 位 論 文

指導教授 朴杜用

Fan을 이용한 고유량 수동식
시료 채취기 개발에 관한 연구

Study on Development of a Fan-Passive Sampler to
Increase Sampling Rates

위 論文을 産業衛生工學 碩士論文으로 提出함

2004年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

安全保健經營學科

産業衛生工學專攻

朴 炳 戊

朴炳戊의 産業衛生工學碩士學位論文을 認准함

2004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	4
II. 시험물질 및 연구방법	5
1. 시험물질선정	5
2. 가스발생장치를 이용한 공기시료 제조	6
3. 기류 제어를 위한 fan부착	8
4. 측정 및 분석	9
4.1 측정 시간	9
4.2 활성탄관 방법	9
4.3 확산식 시료채취기 방법	10
4.4 시료채취율의 계산	11
III. 연구결과	13
1. 연구대상의 일반현황	13
2. 각 물질별 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율	16
2.1 벤젠의 시료채취율	16
2.2 톨루엔의 시료채취율	19
2.3 오르소-크실렌의 시료채취율	22
2.4 혼합물질의 시료채취율	25

IV. 결 론	28
---------------	----

참고문헌	29
------------	----

Abstract	32
----------------	----

List of Tables

Table 1. Analytical Conditions of Benzene, Toluene and o-Xylene	10
Table 2. Sampling rates of benzene, toluene and o-xylene by two sampling methods	14
Table 3. Mean of sampling rates by the air velocity for benzene	17
Table 4. Mean of sampling rates by the air velocity for toluene	20
Table 5. Mean of sampling rates by the air velocity for o-xylene	23
Table 6. Mean of sampling rates by the air velocity for Benzene, Toluene, O-Xylene	28

List of Figures

Figure 1. Schematic of the experimental apparatus and system	7
Figure 2. Sampling rates of benzene, toluene and o-xylene by two sampling methods	15
Figure 3. Sampling rates of benzene by air velocity	18
Figure 4. Sampling rates of toluene by air velocity	21
Figure 5. Sampling rates of o-xylene by air velocity	24
Figure 6. Sampling rates of the sum of benzene, toluene, o-xylene by air velocity	27

I. 서 론

1. 연구배경

산업위생학은 작업환경에서 발생하는 각종 유해요인으로부터 근로자의 건강을 보호하기 위한 학문으로 유해요인의 예측(anticipation), 인식(recognition), 평가(evaluation) 및 관리(control)를 기본으로 하고 있다. 이 중에서 산업위생학의 방법론으로 가장 중요한 것은 평가과정이며, 평가과정은 보통 측정과 분석의 과학적인 방법을 이용해서 유해인자의 양적, 질적인 객관적 자료를 바탕으로 이루어진다. 이러한 평가는 유해인자의 중요성 그리고 상태를 결정하는 요인이기도 하다. 따라서 작업환경의 측정과 분석은 산업위생학분야에서 핵심적인 방법론이며, 정확한 측정과 분석은 학문적으로도 매우 중요할 뿐만 아니라 실무적으로도 매우 중요하다. 실제 산업위생학의 발달과정을 살펴보면 작업환경 측정과 분석방법의 발달과정에 크게 영향을 받음을 알 수 있다. 정확한 작업환경측정을 위해서 보통 측정기기나 분석기기의 정확도를 향상시키는 등 새로운 기기개발과 성능향상을 시키는 방법이 있으며, 측정과 분석시 순서 및 처리절차 등에 대한 방법 또는 절차상 개선, 그리고 정도관리(quality control)의 시행 등이 이루어져 왔다.

산업장에서 발생하는 화학적 요인 중에서 특히 유기용제는 그 사용이 광범위하고 작업과정 중에 가스나 증기의 형태로 공기중에 존재하므로, 호흡기를 통해 쉽게 인체에 흡수되어 많은 근로자들에게 건강상의 장애를 초래할 수 있다. 이들 유기용제들은 각 물질이 독특하게 가지고 있는 특이적인 독성작용 외에 대부분의 물질에서 중추신경계에

억제작용을 일으킨다^{1,2)}. 이러한 독성으로 인하여 유기용제로부터 근로자를 보호하기 위하여 각 나라에서는 노출기준을 제정하여 관리하고 있으며³⁾, 우리나라에서는 산업안전보건법규로 관리하고 있다⁴⁾.

작업환경 중 유기용제 채취방법에는 물질별로 다양한 공정시험법으로 제정되어 있다. 그 중에서 활성탄관 방법을 이용한 유기용제의 채취는 정확도와 정밀도가 우수하여 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서 추천하고 있다⁵⁾. 그러나 이 방법은 고가의 개인시료 채취기를 구매해야 하는 부담과 배터리 충전 및 시료채취 전·후 유량보정 등의 과정으로 인하여 많은 시간을 소비하게 되며, 이러한 과정들은 기술적인 부분이 따르므로 전문가가 취급해야 한다. 그리고 사업장에서 작업자에 개인시료 채취기를 착용 시켰을 때, 장시간 착용에 대한 부담 및 작업방해 등으로 근로자가 개인시료 채취기의 착용을 기피하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해서 개발된 것이 확산식 시료채취기이다. 확산식 시료채취기는 취급이 편리하고 간단하며, 작업에 방해가 되지 않아 전문가가 아니더라도 누구나 쉽게 자신이 경영하거나 일하는 작업환경을 모니터링할 수 있다^{3,6)}.

확산을 근거로 한 시료채취방법은 1920년대 후반에 개발되기 시작하였으며, 1973년 아황산가스를 채취하기 위해 Palma와 Gunison이 만든 확산식 시료채취기가 최초이다⁷⁾. 그 후 많은 연구자들이 확산식 시료채취기에 대한 연구가 진행되었으며, 적용가능성이 매우 높은 것으로 평가되었다. 이러한 연구결과를 바탕으로 미국 NIOSH와 몇몇의 나라에서는 일부 물질에 대해서 작업환경측정 분야에서 활성탄관 방법과 함께 공정시험법으로 채택하고 있다^{6,9)}. 우리나라의 경우에는 노동부에 작업환경측정에서 확산식 시료채취기의 사용이 가능한지에 대한 공개

질의에서 사용이 가능하다고 회신함으로서 법적인 작업환경측정에 사용할 수 있다¹⁰⁾.

확산식 시료채취기는 취급의 편리성과 간편성, 공기채취펌프의 불필요, 그리고 근로자의 작업에 방해가 되지 않는 등의 여러 가지 장점으로 주목을 받아왔다. 특히 사업장이나 근로자 스스로 작업환경을 모니터링 할 수 있는 장점은 향후 사업장 자율관리체제를 확립할 수 있는 기반을 조성한다는 측면에서 확산식 시료채취기는 매우 중요한 시사점을 가지고 있다. 그러나 확산식 시료채취기는 전통적인 활성탄관 방법을 대체하지 못하고 연구용이나 보조적인 측정방법으로만 사용되고 있다¹¹⁾. 확산식 시료채취기의 최대 단점은 활성탄관 방법에 비하여 정확도가 떨어진다는 점으로 지적되고 있다. 확산식 시료채취기의 부정확성은 낮은 시료채취율과 외부기류에 의한 시료채취율의 변동성에서 기인한다. 특히 외부기류가 거의 없는 경우 확산식 시료채취기의 시료채취율은 매우 낮아 사용이 거의 불가능하다.

따라서 본 연구에서는 시료채취율을 높이기 위한 방안으로 확산식 시료채취기에 소형 fan을 부착한 새로운 fan-확산식 시료채취기를 제작하여 그 가능성을 시험, 연구하였다.

2. 연구목적

확산식 시료채취기의 최소측정시간은 15분, 최대측정시간은 8시간이고 ppb수준의 농도에서 측정시간은 24시간 이상을 권고하고 있다¹⁴⁾. 확산식 시료채취기의 채취면을 가로지르는 기류의 속도가 너무 낮으면 공기중 오염물질의 확산이 제대로 일어나지 못한다. 확산식 시료채취기를 사용하기 위해서는 최소한의 기류가 있어야하고 그렇지 못한 경우는 확산식 시료채취기의 내부에서 결핍(starvation)현상이 일어난다. 따라서 확산식 시료채취기를 사용하기 위해서는 최소한 외부기류가 0.05~0.1 m/sec 정도가 되어야 한다¹⁶⁾. 이는 저농도에서는 포집시간을 늘려야 하고 기류가 없는 곳에서는 작업자의 움직임이 있어야 정확한 값을 얻을 수 있음을 나타낸다.

이에 본 연구에서는 확산식 시료채취기에 fan을 부착함으로써 STEL(Short Term Exposure Limits)을 기준으로한 단시간 분석시 정확한 값을 얻을 수 있는지 확인하고 시료채취율의 변화를 분석한다. 또한 향후 확산식 시료채취기의 개발이나 개선시 활용이 가능한 기초자료를 제공하고자 다음과 같은 목적으로 이루어졌다.

첫째, Fan을 부착한 확산식 시료채취기와 부착하지 않은 확산식 시료채취기를 활성탄관법과 비교하여 시료채취율을 분석한다.

둘째, 외부기류에 따른 평가대상물질의 시료채취율을 구한다.

셋째, 외부기류에 따른 fan이 부착된 확산식 시료채취기의 효율을 비교한다.

II. 시험물질 및 연구방법

1. 시험물질 선정

사업장에서는 매우 많은 종류의 화학물질이 사용되고 있다. 이 화학물질들은 작업장의 환경에 따라 단일성분으로 사용되기도 하지만 대부분은 작업조건에 맞게 복합화학물질로 사용되고 있다. 따라서 근로자들의 노출 경향은 단일물질 노출보다는 여러 가지의 화학물질이 혼합된 복합물질에 노출되고 있다고 판단되므로 본 연구에서도 복합물질을 대상으로 확산식 시료채취기의 기류제어 필터에 대한 기초자료를 얻고자 네 가지의 선정조건을 가지고 대상물질을 선정하였다.

대상물질의 선정요건은 1) 사업장에서 널리 사용되고, 2) 확산식 시료채취기의 성능시험에 비교적 많이 사용되는 물질이어야 하며, 3) 저농도에서의 시료채취율을 평가하기 위하여 노출기준이 낮은 물질, 4) 유해성이 높아 사용에 있어 매우 민감한 물질을 대상으로 하였다. 이러한 선정요건을 기준으로 벤젠, 톨루엔 그리고 오르소-크실렌을 선정하였으며, 선정된 대상물질을 연구목적에 맞게 일정비율로 혼합한 후 사용하였다.

대상물질의 STEL은 미국산업위생전문가협회(American Conference of Government Industrial Hygienists, ACGIH)의 노출기준에서 벤젠이 2.5 ppm 그리고 오르소-크실렌은 150 ppm으로 규정하고 있고 미국 국립 산업 안전 보건 연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서는 톨루엔을 150 ppm으로 규정하고 있다.

2. 가스발생장치를 이용한 공기시료 제조

실험실에서 확산식 시료채취기의 시료채취 효율을 평가하기 위해서는 공기 중 유기용제 농도, 기류 및 온습도가 일정하게 유지되어야만 한다. 이러한 실험을 위하여 Figure 1과 같은 장치를 설치하였다.

가스발생장치에서 일정한 공기 중 농도를 만드는 방법은 다음과 같은 과정을 통해서 이루어진다. 공기정화장치와 건조기가 부착된 Air Compressor에서 만들어진 시험용 공기(dry air)는 실리카겔 트랩과 Charcoal 트랩을 거쳐 유량조절기(0 - 50 L/min, Dwyer RMC-104)에서 약 30 L/min의 유량으로 공급되며, 이 시험용 공기에 습도를 50 ± 2 %가 유지되도록 조절하기 위해서 수욕조가 설치되어있는 습도조절 장치를 통과하여 유기용제와 공기가 혼합되는 혼합조로 이동하게 된다. 혼합조의 습도는 General Eastern사의 습도계(model 850)를 이용하여 측정하고, 이 신호를 받아 습도조절 장치의 수욕조 온도가 조절됨으로써 일정한 습도가 유지되도록 한다.

한편, 벤젠, 톨루엔, 오르소-크실렌이 혼합된 유기용제는 미량주사기 펌프(SageTM Pump model M365, Orion)에서 일정 유량으로 Mixing chamber 상부에 있는 알루미늄 가열판(flash evaporator, Aldrich #Z11737-4) 위로 공급된다. 유기용제 농도가 일정하게 유지되기 위해서는 가열판의 온도가 일정하게 유지되어야 하며 온도를 조절하기 위해서 전압조절기(Slide darks, Dealim Electric Ltd, Korea)를 사용하였다. 가열판에서 기화된 유기용제는 공기압축기로부터 공급된 시험용 공기와 함께 Mixing chamber (50cm × 40cm × 40cm)에서 골고루 혼합되며, 이 혼합된 공기는 Test chamber (50cm × 40cm × 40cm)

로 이동하여 유기용제 농도가 일정하게 유지되도록 설계되었다. 시료 채취는 Test chamber에서 이루어지며, 기류에 의한 시료채취 효율을 알아보기 위해 fan(SANYO DENKI, 109E1212H102, Japan)을 달아 전압조절기로 기류를 조절하였다. Test chamber의 기류와 습도는 열선 풍속계(Kanomax 24-6111, Kanomax, Japan)로 측정하였다.

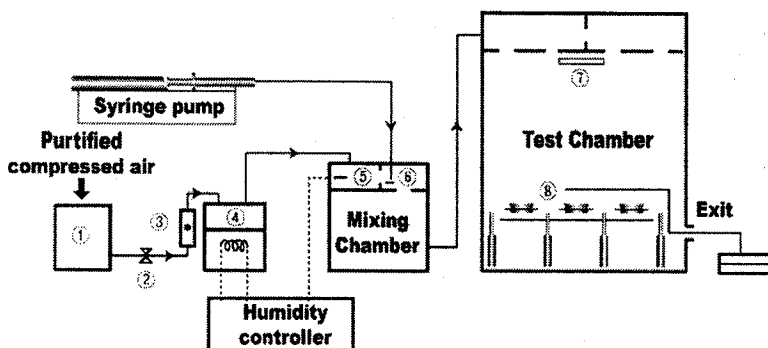


Figure 1. Schematic of the experimental apparatus and system.

① Compressed air filter and regulator panel ② Air flow regulator ③ Air flow meter ④ Humidity generator ⑤ Humidity sensor ⑥ Flash evaporator ⑦ Device to circulate air and control of air velocity ⑧ Test passive sampler and charcoal tubes.

3. 기류 제어를 위한 fan부착

확산식 시료채취기의 정확도 및 정밀도에 영향을 끼치는 가장 중요한 요인은 시료채취율이다. 이는 시료채취기 제조 업체에서 제공하는 매뉴얼을 통해서 일괄적으로 적용된다. 시료채취율과 관련된 요인들은 농도, 외부기류, 습도, 온도, 탈착율, 시료 채취 후 저장 안정성(재확산으로 인한 시료손실률) 등 다양하지만 습도, 온도, 탈착효율, 시료의 저장성은 연구대상 제품의 흡착제가 동일하기 때문에 문제가 되지 않으며 가장 중요한 요인 외부기류에 의한 영향이다.

본 연구에서는 현재 널리 사용되고 있는 확산식 시료채취기(Organic Vapor Monitor #3500 badge, 3M, USA)를 선정하여 외부기류의 변화를 주면서 소형 fan의 부착유무에 따른 시료채취율을 평가하였다. 확산식 시료채취기의 측정지점을 선정하고 fan을 고정시키고 외부기류를 생성하기 위하여 Test chamber내에 120 mm * 120 mm 크기의 DC 12V fan 4개를 연결하였고 가변저항을 연결하여 4개의 fan이 동일한 유속이 발생하도록 하였다. 자동전압조절기(ED laboratory, ED-200E TRIPLE OUTPUT DC POWER SUPPLY, Korea)의 전압을 조절하여 fan의 회전속도를 변화시켜 기류를 제어하였다. 확산식 시료채취기와 함께 사용할 fan은 효율이 좋고 일반 상용화된 가장 작은 것을 선택하였다. 소형 fan(IO DATA, 30 mm * 30 mm DC 5V, Japan)을 채취위치에 고정시켜 확산식 시료채취기를 삽입하여 측정할 수 있게 하였다.

4. 측정 및 분석

4.1 측정 시간

측정시간은 STEL의 기준인 15분을 정하였다. 확산식 시료채취기의 권고 측정시간은 30분~8시간이며 이는 농도에 따라 달리 주어야 한다. Fan 부착 유무의 시료채취율 차이를 보기 위하여 최소 측정시간인 15분을 정하였다.

4.2 활성탄관 방법

활성탄관을 이용한 방향족탄화수소류의 측정 및 분석은 NIOSH Method 1500의 방법에 준하여 시료를 채취하고 분석하였다(8). 시료 채취는 개인시료 채취기(GilAir sampler, Gilian Instrument Corp., U.S.A)에 활성탄관(226-01GWS, SKC Corp. U.S.A)을 연결하여 0.18 ~ 0.20 lpm의 유량으로 채취하였으며, 시료 채취 전·후에 비누거품유량계로 유량을 보정하였다. 시료의 분석은 활성탄관은 앞층과 뒤층을 분리한 후, 이황화탄소(Crown guaranteed reagents, Yakuri Pure Chemicals Co., LTD, Japan) 1ml로 탈착하였다. 탈착한 시료는 불꽃이온화 검출기가 부착된 가스크로마토그래피(Gas chromatography-Flame Ionization Detector(GC/FID), Model Agilent 6890N, Agilent Technologies, USA)로 분석하였다. 표준용액은 벤젠 0.75 - 64.13 $\mu\text{g}/\text{sample}$, 톨루엔 14.72 - 1262 $\mu\text{g}/\text{sample}$ 그리고 오르소-크실렌이 14.28 - 1283 $\mu\text{g}/\text{sample}$ 범위로 9 ~ 10개를 조제하여 검량선을 작성한 후 시료를 분석하였으며 분석조건은 Table 1과 같다. 활성탄관 방

법으로 측정된 농도는 확산식 시료채취기를 평가하기 위한 기준값으로 사용하였다.

Table 1. Analytical Conditions of Benzene, Toluene and o-Xylene

Variable	Conditions
GC	Agilent 6890N, U.S.A
Detector	Flame Ionization Detector
Injector	Capillary Split Mode
Column	DB-VRX(60m × 0.25mm × 1.4 μ m)
Carrier Gas	N ₂
Flow Rate	1.2 ml/min and 2.0 ml/min
Split Ratio	20 : 1
Injector Volume	1 μ l
Detector Temp.	220 °C
Injector Temp.	250 °C
Oven Temp.	60 °C

4.3 확산식 시료채취기 방법

확산식 시료채취기를 이용한 측정은 3M OVM #3500 badge을 이용하였고 5개의 측정 위치에 장착되어 있는 fan의 기류를 측정한후 시료를 채취하였다. 5개의 측정지점에 fan을 놓지 않은 확산식 시료채취도 병행하였다. 시료를 채취한 후 기류제어막을 제거하고 탈착용 뚜껑으로 바꾸어 끼운 후, 이황화탄소 2ml로 탈착하였다. 탈착된 시료는 활성탄과 동일한 방법으로 분석하였다^{8,14)}.

확산식 시료채취기는 활성탄관과 동일한 시간을 채취해도 시료채취량이 적고, 2 ml의 탈착용매로 시료를 탈착하기 때문에 매우 낮은 농도

의 물질을 분석해야한다. 이황화탄소의 경우 불순물로 미량의 벤젠이 함유되어있다. 이는 벤젠의 분석에 많은 오차를 유발할 수 있는 요인이 된다. 본 연구에서는 이러한 요인을 제거하기 위해서 벤젠의 함유량이 적은 회사의 제품을 이용했으며, Benzene(HPLC reagent, Sigma Chemical Co., USA), Toluene(HPLC reagent, Sigma Chemical Co., USA) 그리고 o-Xylene(HPLC reagent, Sigma Chemical Co., USA)은 특급시료를 사용하였다.

4.4 시료채취율의 계산

시료채취율의 계산방법은 이론적 방법, 실험을 통해 산정하는 방법, 현장 적용시험을 통하여 설정하는 방법, 화학적 유사성에 비추어 알고 있는 물질과 비슷하게 산정하는 방법 등 4가지의 방법이 사용되고 있다. 상용화된 대부분의 제품의 시료채취율은 제조회사의 실험실에서 실험한 결과를 바탕으로 산정한 것이다⁹⁾. 따라서 현장에서 발생하는 많은 영향을 고려하지 않은 결과이므로 현장결과와는 다소 차이를 보인다. 본 연구에서는 벤젠, 톨루엔 그리고 오르소-크실렌이 혼합된 물질을 외부기류별로 활성탄관 방법과 확산식 시료채취기 방법을 함께 측정하여 fan 부착 유무의 확산식 시료채취기의 시료채취율은 식 1을 이용하여 구하였다. Test chamber내의 농도는 charcoal tube로 측정된 값을 기준으로 하였다.

$$\text{Sampling Rate(cc/min)} = \frac{W_p}{C \times t} \times 1000 \quad \dots\dots\dots \text{식 1}$$

W_p = contaminant weight in passive sampler, μg

C = concentration of charcoal tube method, mg/m^3

t = Sampling time, min

Fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율의 효율을 평가하기 위하여 식 2를 이용하였다.

$$D(\%) = \frac{SR_p - SR_f}{SR_f} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{식2}$$

D : difference between sampling rate of passive sampler and sampling rate of fan-passive sampler, %

SR_p : sampling rate of passive sampler, cc/min

SR_f : sampling rate of fan-passive sampler, cc/min

III. 연구결과

1. 연구대상의 일반현황

외부기류의 영향을 평가하기 위해서 벤젠, 톨루엔 그리고 오르소-크실렌이 혼합된 시험물질을 Mixing chamber와 Test chamber를 거치면서 일정한 농도로 조제한 후, 확산식 시료채취기의 외부에 기류를 발생시켜 fan을 부착한 것과 부착하지 않은 조건에서 15분 동안 시료를 채취하고 평가하여 활성탄관법과 비교하였다. 이때 Mixing chamber 및 Test chamber내의 습도는 $50 \pm 2\%$ 이었으며 온도는 18°C 를 유지하였다.

본 연구에서 일정한 농도로 조제된 각 물질의 농도는 벤젠 5.96 ± 0.54 ppm, 톨루엔 50.69 ± 4.98 ppm, 오르소-크실렌 40.40 ± 5.40 ppm 이고 각 Chamber 내의 공기 유량은 27.35 ± 3 lpm 이었다. 실험에 사용된 fan의 확산식 시료채취기위치에서의 기류는 $1.00 \sim 4.39$ m/sec 였다. 소형 fan이 부착된 확산식 시료채취기의 포집량은 소형 fan의 기류가 1.00 m/sec 이상을 발생시켜도 일정함을 알 수 있었다. 외부기류는 120mm의 fan을 사용하였고 $0.00 \sim 0.94$ m/sec를 발생시켜 실험하였다. 시료채취율은 활성탄관 방법을 기준으로 구했고 연구대상물질의 시료채취율은 Table 2, Figure 2와 같다.

Fan을 부착한 확산식 시료채취기의 각 물질별 시료채취율 평균은 벤젠 36.78 cc/min, 톨루엔 32.99 cc/min, 오르소-크실렌 31.53 cc/min 이었고 fan을 부착하지 않은 확산식 시료채취기의 각 물질별 시료채취율

은 벤젠 34.53 cc/min, 톨루엔 31.23 cc/min, 오르소-크실렌 30.09 cc/min로서 각 물질별 Paired t-test 결과 두 측정방법간에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 이는 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율이 높은 것을 알 수 가 있었다.

Table 2. Sampling rates of benzene, toluene and o-xylene by two sampling methods (Mean, Range : cc/min)

Substance	Sampler Type	No. of Samples	Mean	SD	Range	SRf-SRp	T-test*
Benzene	Passive	83	34.53	3.23	28.22 ~ 41.21	2.25	-10.9283
	Fan Passive	83	36.78	3.01	29.42 ~ 42.84		
Toluene	Passive	83	31.23	3.90	22.91 ~ 39.61	1.76	-12.2312
	Fan Passive	83	32.99	3.53	22.95 ~ 40.53		
O-Xylene	Passive	83	30.09	3.90	22.98 ~ 39.06	1.44	-9.29446
	Fan Passive	83	31.53	3.25	23.49 ~ 39.31		

*Statistically significant at $p < 0.05$

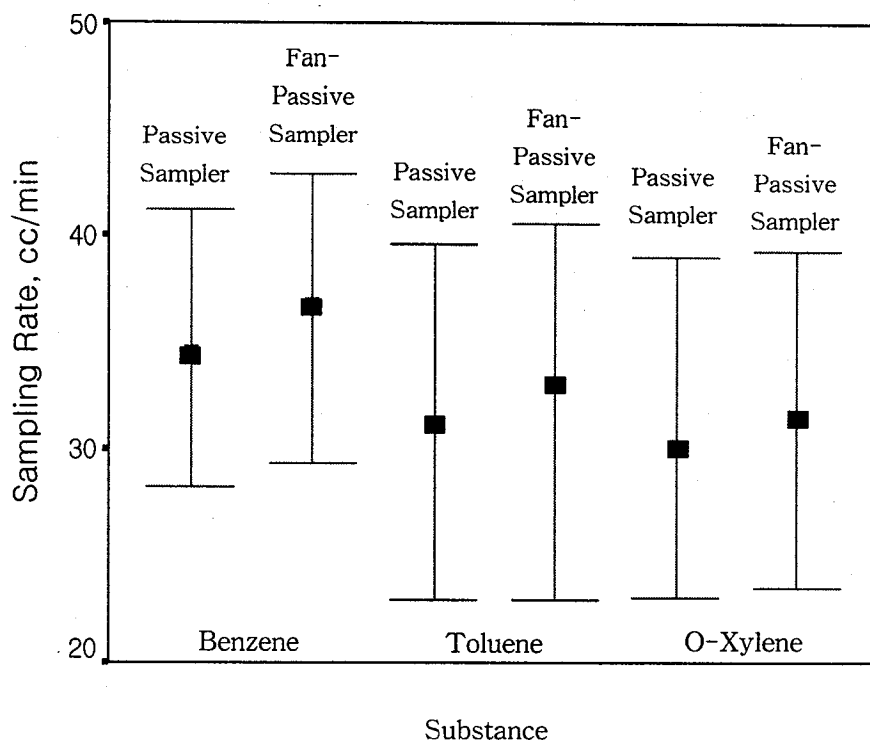


Figure 2. Sampling rates of benzene, toluene and o-xylene by two sampling methods.

2. 각 물질별 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율

외부기류에 따라 확산식 시료채취기의 시료채취율에 많은 영향을 주는 것을 Table 3, Table 4, Table 5에서 확인하였다. 따라서 외부기류별로 오염물질의 시료채취율을 활성탄관법을 기준으로 구한다음 fan 부착 유무에 따른 확산식 시료채취기의 효율을 살펴보았다. 회귀분석은 Exponential Rise to Max 방법을 사용하였다.

2.1 벤젠의 시료채취율

벤젠의 외부기류 범위별 시료채취율의 평균을 구한다음 fan을 부착한 확산식 시료채취기 효율을 구하였고 결과는 Table 3과 같다.

벤젠의 경우 외부기류가 0.05 m/sec 미만일 때에는 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율이 fan을 부착하지 않은 것보다 22 %가 높았다. 외부기류가 0.05~0.10 m/sec일 때에는 9 %, 0.11~0.15 m/sec 구간에서는 7 %로 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율이 높았다. 회귀분석 결과 외부기류가 0.23 m/sec 이상일 때 두 방법간의 차이는 일정하였다. 0.23 m/sec 이상일 때 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율은 그렇지 않은 것보다 약 5 % 정도 높았다. 전체적으로 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율은 외부기류가 변함에 따라 fan을 부착하지 않은 확산식 시료채취기의 시료채취율보다 높았다.

Table 3. Mean of sampling rates by the air velocity for Benzene

Range of Air velocity	No. of samples	Mean of SRp(SD)	Mean of SRf(SD)	SRp-SRf	(SRp-SRf)/ SRf*100
0.00~0.05	9	33.75 (2.39)	43.25 (5.74)	-9.51	-21.98
0.05~0.10	5	32.61 (2.86)	35.86 (1.15)	-3.24	-9.04
0.11~0.15	10	32.82 (2.10)	35.19 (2.56)	-2.38	-6.75
0.16~0.25	25	32.43 (3.02)	34.47 (3.25)	-2.04	-5.91
0.26~0.40	21	36.16 (2.80)	38.05 (2.55)	-1.88	-4.94
0.41~1.00	19	36.96 (2.49)	39.03 (2.66)	-2.07	-5.30

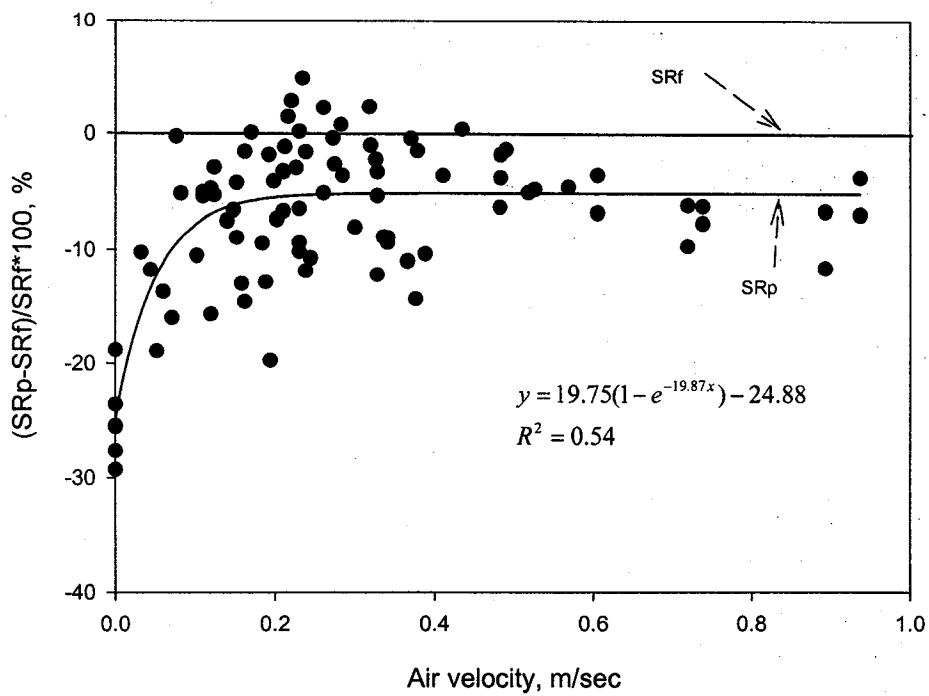


Figure 3. Sampling rates of benzene by air velocity.

2.2 톨루엔의 시료채취율

톨루엔의 외부기류 범위별 시료채취율의 평균을 구한다음 fan을 부착한 확산식 시료채취기 효율을 구하였고 결과는 Table 4와 같다.

톨루엔의 경우 외부기류가 0.05 m/sec 미만일때에는 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율이 fan을 부착하지 않은 것보다 21 %가 높았다. 외부기류가 0.05~0.10 m/sec일 때에는 9 %, 0.11~0.15 m/sec 구간에서는 6 %로 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율이 높았다. 회귀분석 결과 외부기류가 0.30 m/sec 이상일 때 두 방법간의 차이는 일정하였다. 0.30 m/sec 이상일 때 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율은 그렇지 않은 것보다 약 4 % 정도 높았다. 전체적으로 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율은 외부기류가 변함에 따라 fan을 부착하지 않은 확산식 시료채취기의 시료채취율보다 높았다.

Table 4. Mean of sampling rates by the air velocity for toluene

Range of Air velocity	No. of samples	Mean of SRp	Mean of SRf	SRp-SRf	(SRp-SRf)/SRf*100
0~0.05	9	29.23 (2.29)	36.81 (4.24)	-7.58	-20.60
0.05~0.10	5	28.73 (1.77)	31.55 (0.92)	-2.83	-8.96
0.11~0.15	10	28.90 (1.74)	30.66 (1.41)	-1.75	-5.72
0.16~0.25	25	29.24 (3.37)	31.22 (3.27)	-1.98	-6.33
0.26~0.40	21	32.24 (3.07)	33.68 (3.13)	-1.44	-4.29
0.41~1	19	35.35 (2.87)	36.42 (2.99)	-1.07	-2.92

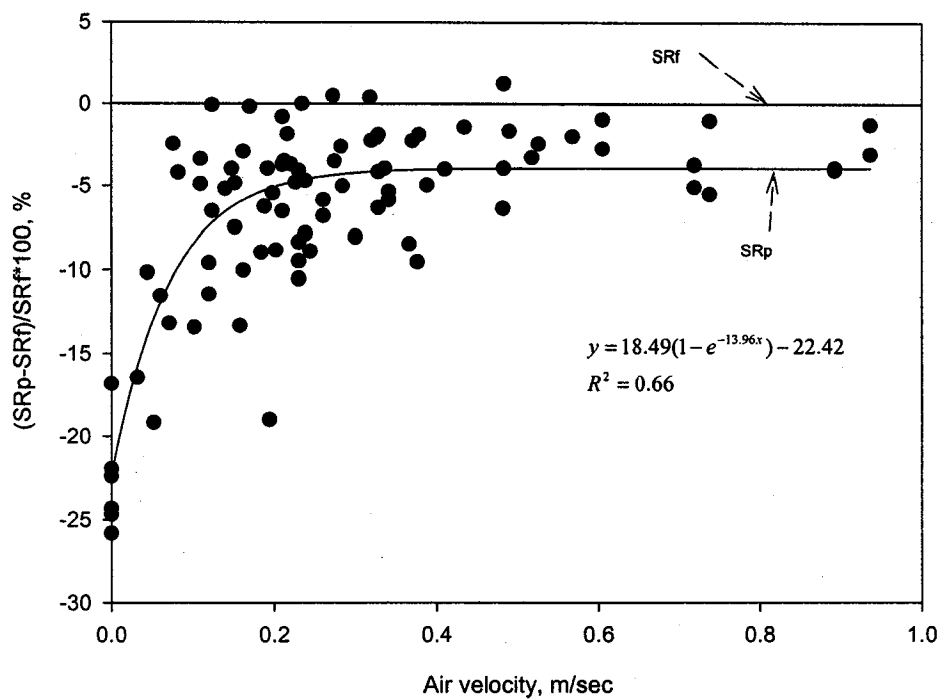


Figure 4. Sampling rates of toluene by air velocity.

2.3 오르소-크실렌의 시료채취율

오르소-크실렌의 외부기류 범위별 시료채취율의 평균을 구한다음 fan을 부착한 확산식 시료채취기 효율을 구하였고 결과는 Table 5와 같다.

오르소-크실렌의 경우 외부기류가 0.05 m/sec 미만일때에는 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율이 fan을 부착하지 않은 것보다 20 %가 높았다. 외부기류가 0.05~0.10 m/sec일 때에는 9 %, 0.11~0.15 m/sec 구간에서는 5 %로 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율이 높았다. 회귀분석 결과 외부기류가 0.35 m/sec 이상일 때 두 방법간의 차이는 일정하였다. 0.35 m/sec 이상일 때 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율은 그렇지 않은 것보다 약 3 % 정도 높았다. 전체적으로 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율은 외부기류가 변함에 따라 fan을 부착하지 않은 확산식 시료채취기의 시료채취율보다 높았다.

Table 5. Mean of sampling rates by the air velocity for o-xylene

Range of Air velocity	No. of samples	Mean of SRp	Mean of SRf	SRp-SRf	(SRp-SRf)/SRf*100
0~0.05	9	27.59 (1.95)	34.67 (3.71)	-7.07	-20.41
0.05~0.10	5	27.61 (1.89)	30.30 (1.17)	-2.69	-8.87
0.11~0.15	10	27.73 (2.01)	29.32 (1.59)	-1.59	-5.42
0.16~0.25	25	28.47 (3.69)	30.22 (3.21)	-1.75	-5.79
0.26~0.40	21	31.21 (3.29)	32.35 (3.22)	-1.14	-3.52
0.41~1.00	19	33.60 (3.10)	34.06 (2.77)	-0.46	-1.34

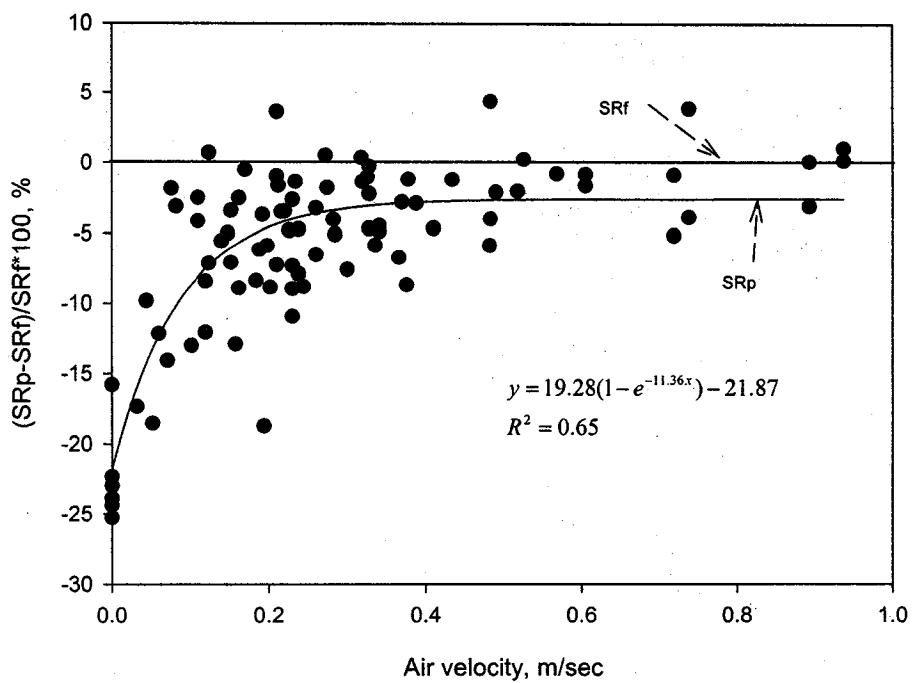


Figure 5. Sampling rates of o-xylene by air velocity.

2.4 혼합물질의 시료채취율

각 연구대상 물질의 시료채취율을 합한값의 평균을 구한 다음 fan을 부착한 확산식 시료채취기 효율을 구하였고 결과는 Table 6과 같다.

세가지 분석 물질의 시료채취율을 합한 값의 경우 외부기류가 0.05 m/sec 미만일 때에는 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율이 fan을 부착하지 않은 것보다 21 %가 높았다. 외부기류가 0.05~0.10 m/sec일 때에는 9 %, 0.11~0.15 m/sec 구간에서는 6 %로 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율이 높았다. 회귀분석 결과 외부기류가 0.28 m/sec 이상일 때 두 방법간의 차이는 일정하였다. 0.28 m/sec 이상일 때 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율은 그렇지 않은 것보다 약 4 % 정도 높았다. 전체적으로 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율은 외부기류가 변함에 따라 fan을 부착하지 않은 확산식 시료채취기의 시료채취율보다 높았다.

Table 6. Mean of sampling rates by the air velocity for Benzene,
Toluene, O-Xylene

Range of Air velocity	No. of samples	Mean of SRp	Mean of SRf	SRp-SRf	(SRp-SRf)/ SRf*100
0~0.05	9	90.57 (6.55)	114.73 (13.61)	-24.16	-21.06
0.05~0.10	5	88.95 (6.47)	97.71 (2.82)	-8.75	-8.96
0.11~0.15	10	89.45 (5.63)	95.16 (5.13)	-5.72	-6.01
0.16~0.25	25	90.14 (9.87)	95.91 (9.41)	-5.76	-6.01
0.26~0.40	21	99.61 (8.12)	104.08 (8.16)	-4.46	-4.29
0.41~1	19	105.92 (6.61)	109.51 (7.11)	-3.59	-3.28

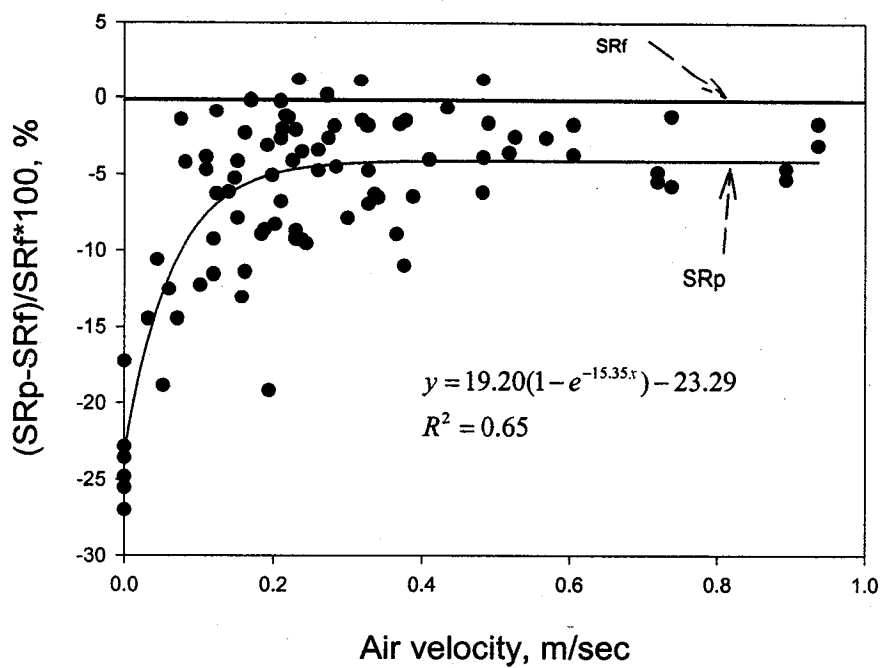


Figure 6. Sampling rates of the sum of benzene, toluene, o-xylene by air velocity.

IV. 결 론

확산식 시료채취기를 개발하는데 있어 외부기류의 제어 및 적절한 채취시간의 설정은 작업환경 측정의 정확도와 시료채취율을 높이는 데 중요한 요인이며 반드시 고려되어야 할 조건이다. 외부기류의 제어는 확산식 시료채취기에 소형 fan을 부착하여 강제기류를 생성시킴으로서 가능하며, 외부기류의 변화는 시료채취율 및 시료채취의 정밀도에 많은 영향을 준다. 본 연구에서는 방향족탄화수소류인 벤젠, 톨루엔 그리고 오르소-크실렌을 대상물질로 선정하여 현재 시판되고 있는 확산식 시료채취기에 소형 fan을 부착하여 외부기류에 따른 시료채취율을 비교 평가하여 다음과 같은 연구결과를 얻었다.

- 1) Fan을 부착한 확산식 시료채취기는 그렇지 않은 것보다 시료채취율이 전체적으로 높았고 외부기류가 적을 때에는 두 방법간의 시료채취율이 차이가 컸다.
- 2) 벤젠 0.23 m/sec, 톨루엔 0.30 m/sec, 오르소-크실렌 0.35 m/sec 이상의 외부기류에서는 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 시료채취율이 벤젠은 약 5 %, 톨루엔은 약 4 %, 오르소-크실렌 약 5 %로 일정하게 높았다.
- 3) 외부기류가 0.25 m/sec 이하에서 일반 확산식 시료채취기의 시료채취율은 급격히 떨어져 사용할 수 없었으나 fan을 부착한 확산식 시료채취기의 경우 시료채취율이 저하되지 않았다.

참고문헌

1. 조규상 : 산업보건학. 신광출판사, p.273, 1991
2. 이세훈 : 화학물질 폭로에 의한 중추신경 장애평가에 이용되는 현장조사방법. 한국의 산업의학, 29 : 45-90, 1990
3. M. Harper and C.J. Purnell : Diffusive Sampling-A Review, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 48(3) : 214-218, 1987
4. 노동부 : 산업안전보건법. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준 고시 제 2002-8호, 노동부, 2002.
5. NIOSH manual of sampling data sheet, DHEW(NIOSH) Publication No. 77-159, p6, March, 1977
6. 백남원 : 산업위생학 개론, 신광출판사, p.63, 98, 1995
7. Palms, E.D., Gunnison A.F. : Personal monitoring devices for gas contaminants. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 34: 78, 1973
8. National Institute of Occupational Safety and Health(NIOSH) : NIOSH Manual of Analytical Method. 4th ed., 1994
9. R. Pristas : Passive Badge for Compliance Monitoring Internationally. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 55(9): 841-844, 1994

10. 노동부 : 노동부 홈페이지, 질의회신란(www.mol.go.kr) - 2000. 8. 17일자 질의 및 2000. 8. 24일자 회신
11. 이나루, 박두용, 김성진, 이광용, 이진우, 정시정, 신철임, 전찬규, 배야성, 차정영, 조준희 : 저농도 광역화 오염물질 포집용 확산식 채취기의 개발에 관한 연구. 한국산업안전공단 산업안전보건연구원, 2001
12. NIOSH : A NIOSH Technical Report - Guidelines for Air Sampling and Analytical Method Development and Evaluation, 1995
13. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) : Threshold Limit Values(TLVs) for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices(BEIs), 2003
14. 3M Technical data bulletin #1028 - Organic Vapor Monitor Sampling and Analysis Guide, 1999
15. Lautenberger W.J., Kring EV, Morello JA. : A new personal badge monitor for organic vapors. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 41(10) : 737, 1973
16. 백남원, 박동욱, 윤충식, 신용철 : 작업환경측정 및 평가. 신평출판사, 289-312, 2002

17. 백남원, 공상휘, 박정임, 이영환 : 공기중 유기용제 측정에 있어서 수동식 시료채취기의 성능평가 및 한국산 수동식 시료채취기의 개발에 관한 연구 제2부 : 한국산 수동식 시료채취기의 개발, 한국산업위생학회지, 6(1): 97-108, 1996
18. 변상훈, 오세민, 이창하 : 공기중 유기용제 측정을 위한 활성탄섬유 확산포집기와 3M 확산 포집기의 시료채취효율에 대한 연구, 한국산업위생학회지, 7(1): 21-31, 1997

ABSTRACT

Study on Development of a Fan-Passive Sampler to Increase Sampling Rates

Park, Byung Moo

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

Director

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

It has been suffered from low sampling rates to use passive samplers in the industrial hygiene field especially for STEL measurement. In addition, passive samplers can be used only when air velocity exceeding 0.3 m/s due to starvations of organic molecules inside the samplers when the air velocity is below than 0.3 m/s. A new Fan-Passive Sampler was designed by attaching a small fan on the passive sampler. To test this concept, a small CPU fan was attached on the 3M badges (passive sampler). With this Fan-Passive Samplers, sampling rates were compared between the Fan-Passive samplers and original 3M badges in the test chamber where air velocity can be controlled. Experiments were conducted for benzene, toluene, and o-xylene.

The results are as follows:

- 1) For high air velocity conditions (>0.3 m/s), it was found that the sampling rate of the Fan-Passive sampler was around 5 % higher than that of 3M badges.

- 2) For low air velocity conditions (<0.3 m/s), the sampling rate for the Fan-Passive sampler was not decreased. However, the sampling rate of the original 3M badges was dramatically dropped. Thus, the original 3M badges are not suitable to collect samples under the condition of no air flow. However, it was possible to overcome this limitation by attaching a small fan on the 3M badges.
- 3) It was shown that the trend of sampling rate increases for benzene, toluene and o-xylene was same.