

碩 士 學 位 論 文

指導教授 朴杜用

확산식 시료채취기에서 기류제어막  
공극 크기에 따른 시료채취율의  
변화특성에 관한 연구

Characteristics of the sampling rates depending on the  
pore size of the windscreen for the passive samplers

2003年 8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

李 光 鏞

碩 士 學 位 論 文

指導教授 朴杜用

확산식 시료채취기에서 기류제어막  
공극 크기에 따른 시료채취율의  
변화특성에 관한 연구

Characteristics of the sampling rates depending on the  
pore size of the windscreen for the passive samplers

위 論文을 産業衛生工學 碩士論文으로 提出함

2003年 8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

李 光 鏞

李 光鏞의 産業衛生工學碩士學位論文을 認定함

2003年 8月

심사위원장 \_\_\_\_\_(인)

심 사 위 원 \_\_\_\_\_(인)

심 사 위 원 \_\_\_\_\_(인)

I appreciate favorable help to teachers, friends,  
coworkers and family.

# 목 차

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| List of Tables .....                | i         |
| List of Figures .....               | ii        |
| <br>                                |           |
| <b>I. 서 론 .....</b>                 | <b>1</b>  |
| 1. 연구배경 및 필요성 .....                 | 1         |
| 2. 연구목적 .....                       | 4         |
| <br>                                |           |
| <b>II. 재료 및 연구 방법 .....</b>         | <b>5</b>  |
| 1. 대상물질 .....                       | 5         |
| 2. 가스발생장치를 이용한 시료 제조 .....          | 6         |
| 3. 기류제어막 .....                      | 8         |
| 4. 측정 및 분석 .....                    | 9         |
| 4.1 활성탄관 방법 .....                   | 9         |
| 4.2 확산식 시료채취기 방법 .....              | 9         |
| 5. 시료채취율 .....                      | 11        |
| <br>                                |           |
| <b>III. 결과 및 고찰 .....</b>           | <b>13</b> |
| 1. 기류가 시료채취에 미치는 영향 .....           | 13        |
| 2. 기류제어막 공극 크기에 따른 시료채취율 및 변이 ..... | 19        |
| 2.1 기류제어막의 시료채취율 .....              | 19        |
| 2.2 기류제어막 시료채취율의 변이 .....           | 20        |
| 2.3 기류제어막 공극 크기에 따른 시료농도 및 변이 ..... | 22        |

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| 3. 시료채취의 정확도 평가 .....            | 24     |
| 3.1 시료채취의 정확도 평가를 위한 시료채취율 ..... | 24     |
| 3.2 대상물질의 정확도 평가 .....           | 27     |
| 3.2.1 벤젠의 정확도 평가 .....           | 27     |
| 3.2.2 톨루엔의 정확도 평가 .....          | 29     |
| 3.2.3 오르소-크실렌의 정확도 평가 .....      | 30     |
| <br>IV. 결    론 .....             | <br>31 |
| <br>참고문헌 .....                   | <br>33 |

## List of Tables

|                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Table 1. Analytical conditions of benzene, toluene and o-xylene .....                                                                                | 10 |
| Table 2. Sampling rates by the pore size of the passive sampler<br>windscreen for benzene, toluene and o-xylene .....                                | 15 |
| Table 3. Sampling rates by the pore size of the windscreen for<br>benzene, toluene and o-xylene while > 0.3m/s air velocity                          | 19 |
| Table 4. Calculated concentration using the sampling rates<br>experimentally obtained, and variation of the calculated<br>concentration levels ..... | 23 |
| Table 5. Comparison of sampling rates by the pore size of 11, 20,<br>60 $\mu\text{m}$ and 3M windscreen .....                                        | 25 |
| Table 6. Comparison of the sampling rates with the 3M badges for<br>the benzene, toluene and o-xylene .....                                          | 25 |
| Table 7. Comparison of benzene concentrations and their RSDs of<br>recommended pore size filters with the results of charcoal<br>tubes .....         | 28 |
| Table 8. Comparison of toluene concentrations and their RSDs of<br>recommended pore size filters with the results of charcoal<br>tubes .....         | 29 |
| Table 9. Comparison of o-xylene concentrations and their RSDs of<br>recommended pore size filters with the results of charcoal<br>tubes .....        | 30 |

## List of Figures

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1. Schematic of the experimental apparatus and system .....                       | 7  |
| Figure 2. Sampling rates of the benzene by the pore size of the<br>windscreen .....      | 16 |
| Figure 3. Sampling rates of the toluene by the pore size of the<br>windscreen .....      | 17 |
| Figure 4. Sampling rates of the o-xylene by the pore size of the<br>windscreen .....     | 18 |
| Figure 5. $S_r(\text{RSD})$ of sampling rate by the pore size of the<br>windscreen ..... | 21 |
| Figure 6. $S_r(\text{RSD})$ of sampling rate by the pore size of the<br>windscreen ..... | 26 |



# I. 서 론

## 1. 연구배경 및 필요성

유기용제는 탄소를 함유하고 있는 유기화합물로서 피용해물질의 성질은 변화시키지 않으면서 다른 물질을 용해시킬 수 있는 물질로 화학적 성질과 상태에 따라 지방족 탄화수소류, 방향족 탄화수소류, 할로젠화 탄화수소류, 알콜류, 에스테르류, 알데히드류, 케톤류, 글리콜류, 에스테르 등으로 분류되며, 화학산업 및 기타 산업현장에서 광범위하게 사용될 뿐만 아니라 일상생활에서도 쉽게 사용되고 있다. 또한, 유기용제의 특성상 상온조건에서 휘발성이 크기 때문에 공기 중에 증기의 형태로 존재하며 근로자의 호흡기를 통하여 체내로 흡수되고 피부와 접촉할 때 피부를 통해 인체에 들어와 많은 근로자들에게 건강상의 장해를 초래할 수 있다. 인체에 흡수된 유기용제는 지방과 친화력이 있어서 지방조직에 쉽게 축적될 수 있고 신경조직을 포함한 인체의 주요장기에 쉽게 침범한다. 이들 유기용제들은 각 물질이 독특하게 가지고 있는 특이적인 독성작용 외에 대부분의 물질에서 중추신경계에 억제작용을 일으킨다<sup>1, 2)</sup>. 이러한 독성으로 인하여 유기용제 증기로부터 근로자를 보호하기 위하여 각 나라에서는 노출기준을 제정하여 관리하고 있으며<sup>3)</sup>, 우리나라에서는 산업안전보건법규로 관리하고 있다<sup>4)</sup>.

공기 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 있다<sup>5)</sup>. 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<sup>3, 6)</sup>.

확산을 근거로 한 시료채취방법은 1920년대 후반에 개발되기 시작하였으며, 1973년 아황산가스를 채취하기 위해 Palma와 Gunison이 만든 확산식 시료채취기가 최초이다<sup>7)</sup>. 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<sup>8, 9)</sup>. 우리나라의 경우에는 노동부에 작업환경측정에서 확산식 시료채취기의 사용이 가능한지에 대한 공개질의에서 사용이 가능하다고 회신함으로써 법적인 작업환경측정에 사용할 수 있다<sup>10)</sup>.

확산식 시료채취기는 취급의 편리성과 간편성, 공기채취펌프의 불필요, 그리고 근로자의 작업에 방해가 되지 않는 등의 여러 가지 장점으로 주목을 받아왔다. 특히 사업장이나 근로자 스스로 작업환경을 모니터링할 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 있

다<sup>11)</sup>. 확산식 시료채취기의 최대 단점은 활성탄관 방법에 비하여 정확도가 떨어진다는 점으로 지적되고 있다. 확산식 시료채취기의 부정확도는 시료채취율에 기인하며 시료채취율에 가장 큰 영향을 미치는 요소 중에 하나가 바로 기류제어막(windscreen)이다.

## 2. 연구목적

기류제어막은 외부기류에 의한 시료채취율의 영향을 제어하여 일정한 시료채취율을 유지하도록 하는 역할을 하도록 한다. 기류제어막으로는 일정한 공극을 가지는 nylon filter 등이 사용되고 있다. 공극의 크기가 작으면 외부기류의 영향을 억제하는 특성은 월등하지만 시료채취율을 감소시켜 분석의 부정확도를 증가시킨다. 따라서 기류제어막은 안정한 시료채취율을 유지시키면서 시료채취율은 최대한 크게 유지하는 점에서 최적화가 이루어진다. 본 연구에서는 이러한 기류제어막의 특성을 파악하여 향후 확산식 시료채취기의 개발이나 개선시 활용이 가능하도록 기초자료를 제공하고자 다음과 같은 목적으로 이루어졌다.

첫째, 실험실 조건에서 기류제어막 공극(pore size)의 크기에 따라 외부기류가 시료채취에 미치는 영향을 평가한다.

둘째, 시료채취율의 변이계수가 NIOSH의 개인시료 채취기의 오차(pump error) 권고기준<sup>12)</sup>인 5 % 미만의 기류제어 막을 선정한다.

셋째, 기류제어막에 따른 평가대상물질의 시료채취율(sampling rate)을 구한다.

넷째, 기류제어막 공극의 크기가 다른 확산식 시료채취기와 활성탄관 방법과 비교하여 측정의 정확도를 검증한다.

## II. 재료 및 연구방법

### 1. 대상물질

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 우리나라 노출기준은 벤젠이 10 ppm, 톨루엔 100 ppm 그리고 오르소-크실렌은 100 ppm으로 규정하고 있다<sup>4)</sup>. 그러나 벤젠의 노출기준은 2003년 7월부터 1 ppm으로 낮아지며, 미국산업위생전문가 협의회(American Conference of Government Industrial Hygienists, ACGIH)의 노출기준(Threshold Limit Values, TLVs)에서는 벤젠 0.5 ppm, 톨루엔 50 ppm 오르소-크실렌은 100 ppm으로 권고하고 있다<sup>13)</sup>.

## 2. 가스발생장치를 이용한 시료 제조

실험실에서 확산식 시료채취기의 시료채취 효율 및 기류제어 막의 성능을 평가하기 위해서는 공기 중 유기용제 농도 및 기류가 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 유량조절기(0 - 50 L/min, Dwyer RMC-104)에서 약 37 L/min의 유량으로 공급되며, 이 시험용 공기에 습도를  $50 \pm 2\%$ 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 수욕조의 온도가 조절됨으로서 일정한 습도가 유지되도록 한다.

한편, 벤젠, 톨루엔, 오르소-크실렌이 혼합된 유기용제는 미량주사기 펌프(Sege<sup>TM</sup> 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 공기 함께 mixing chamber (30cm × 40cm × 40cm)에서 골고루 혼합되며, 이 혼합된 공기는 test chamber (60cm × 60cm × 70cm)로 이동하여 유기용제 농도가 일정하게 유지되도록 설계되었다. 시료채취는 test chamber에서 이루어지며, 기류에 의한 시료채취 효율을 알아보기 위해 팬(WSES, A2V12C38TST-1, Taiwan)을 달아 전압조절기로 기류를 0.3m/sec(0.17 - 0.51 m/sec)로 조절하였다. test

chamber의 기류와 습도측정은 열선풍속계(Kanomax 24-6111, Kanomax, Japan)로 평가하였다.

Test chamber에서 유기용제 농도는 실시간 모니터링 장비인 Photoacoustic Multigas Monitor(Model 1312, Annova, Denmark)에 장착된 UA0987 필터(중심과장  $3.4\ \mu\text{m}$ , LOD : 0.04 ppm)를 이용해서 실시간으로 확인하였다. 실험에 필요한 유기용제 농도 Multigas Monitor에서 실시간으로 검출된 결과를 확인한 후 시험용 공기와 가열판의 온도 그리고 유기용제 주입량을 조절하여 일정한 농도로 만들었다.

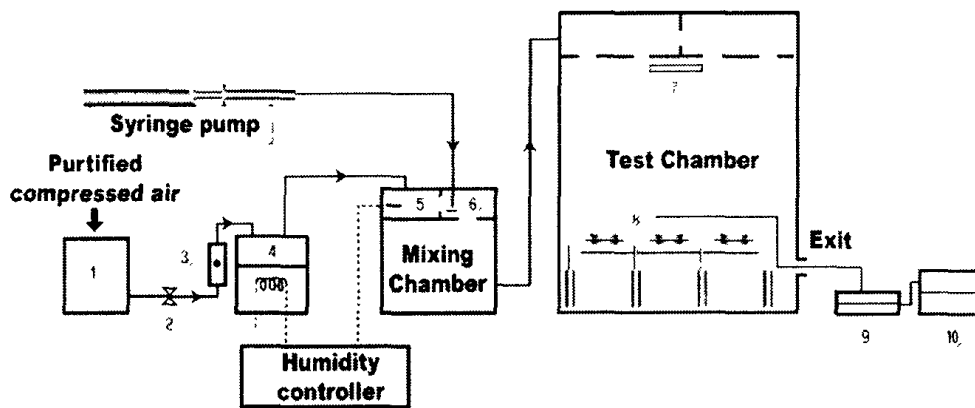


Figure 1. Schematic of the experimental apparatus and system.

- 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 ⑨ Multigas monitor ⑩ Computer

### 3. 기류제어 막

확산식 시료채취기의 정확도 및 정밀도와 관련된 가장 중요한 요인은 시료채취율이다. 시료채취율과 관련된 요인들을 살펴보면 시료 농도, 외부기류, 습도, 온도, 탈착율, 시료 채취 후의 저장의 안정성(재 확산으로 인한 시료손실률) 등 다양하지만 습도, 온도, 탈착율, 시료 저장성 부분은 연구대상 제품의 흡착제가 동일하기 때문에 문제가 되지 않으며 시료채취율과 밀접한 관계를 가지는 것 중 가장 중요한 요인은 외부기류에 의한 영향일 것이다. 따라서 외부기류의 영향을 최소화시켜야 시료채취 효율도 높아질 수 있다. 외부기류에 의한 영향을 최소화시키고 정확한 평가를 하는데 기류제어 막의 역할은 매우 중요하며, 기류제어 막 공극의 크기에 따라 시료채취율과 농도변이에 많은 차이가 있으리라 판단된다. 따라서 본 연구에서는 현재 시판되고 있는 확산식 시료채취기(Organic Vapor Monitor #3500 badge, 3M, USA)에 현재 사용되고 있는 기류제어 필터를 제거한 후, 11  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$ , 60  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 140  $\mu\text{m}$  그리고 180  $\mu\text{m}$ 의 공극 크기를 갖는 나일론 필터(100 Nylon net filters, Millipore, USA)를 기류제어 막으로 장착하여 평가하였으며, 기류제어 막의 최종 평가기준은 변이계수가 NIOSH에서 개인시료 채취기 오차(pump error)로 제시하는 5 %이하의 기류제어 막을 대상으로 평가하였다<sup>14)</sup>. 현재 시판중인 3M사 OVM #3500 badge 기류제어 막의 공극의 크기에 대한 정확한 자료는 얻을 수 없었다



## 4. 측정 및 분석

### 4.1 활성탄 방법

활성탄관을 이용한 방향족탄화수소류의 측정 및 분석은 NIOSH Method 1500의 방법에 준하여 시료를 채취하고 분석하였다<sup>8)</sup>. 시료 채취는 개인시료 채취기(GilAir sampler, Gilian Instrument Corp., U.S.A)에 활성탄관(226-01GWS, SKC Corp. U.S.A)을 연결하여 0.14 ~ 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 0.42 - 870  $\mu\text{g}/\text{sample}$ , 톨루엔 0.42 - 1730  $\mu\text{g}/\text{sample}$  그리고 오르소-크실렌이 0.43 - 1760  $\mu\text{g}/\text{sample}$  범위로 10 ~ 14개를 조제하여 검량선을 작성한 후 시료를 분석하였으며 분석조건은 Table 1과 같다. 활성탄관 방법으로 측정된 농도는 확산식 시료채취기를 평가하기 위한 기준값으로 사용하였다.

### 4.2 확산식 시료채취기 방법

확산식 시료채취기를 이용한 측정은 3M OVM #3500 badge에 장착되어 있는 기류제어 막을 연구대상 기류제어 막으로 교환한 후, 시료를 채취하였다. 시료를 채취한 후 기류제어 막을 제거하고 탈착용 뚜껑으로 바꾸어 끼운 후, 이황화탄소 2ml로 탈착하였다. 탈착된 시료는 활성탄과 동일한 방법으로 분석하였다<sup>8, 14)</sup>.

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

농도의 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.

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 $\mu$ m) |
| Carrier Gas     | N <sub>2</sub>                     |
| Flow Rate       | 1.2 ml/min and 2.0 ml/min          |
| Split Ratio     | 25 : 1                             |
| Injector Volume | 1 $\mu$ l                          |
| Detector Temp.  | 220 °C                             |
| Injector Temp.  | 250 °C                             |
| Oven Temp.      | 100 °C                             |

## 5. 시료채취율

시료채취율의 산정방법은 1) 이론적 방법, 2) 실험을 통해 산정하는 방법, 3) 현장 적용시험을 통하여 설정하는 방법, 4) 화학적 유사성에 비추어 알고있는 물질과 비슷하게 산정하는 방법 등 4가지의 방법이 사용되고 있다. 상용화된 대부분의 제품의 시료채취율은 제조회사의 실험실에서 실험한 결과를 바탕으로 산정한 것이다<sup>9)</sup>. 따라서 현장에서 발생하는 많은 영향을 고려하지 않은 결과이므로 현장결과와는 다소 차이를 보인다. 본 연구에서는 벤젠, 톨루엔 그리고 오르소-크실렌이 혼합된 혼합물질을 기류제어 막 공극의 크기별로 활성탄관 방법과 함께 측정하여 시료채취율을 구하였다. 기류제어 막 공극의 크기에 따른 정밀도 평가는 시료채취율 및 시료 농도의 변이계수를 구하여 평가하였으며, 정확도 평가는 확산식 시료채취기의 기류제어 막 공극 크기에 따라 측정된 대상물질의 농도와 활성탄관 방법으로 측정된 대상물질의 농도를 분산분석을 통하여 비교 평가하였다.

시료채취율 및 변이계수는 아래의 공식을 이용하여 다음과 같이 구하였다.

$$\text{Sampling Rate (cc/min)} = \frac{W_p \times PFR}{W_c} \times 1000 \quad \text{----- 식 1}$$

$W_p$  = contaminant weight in passive sampler,  $\mu\text{g}$  or  $\text{mg}$

$W_c$  = contaminant weight in charcoal tube,  $\mu\text{g}$  or  $\text{mg}$ )

$PFR$  = flow rate of personal air sampler, liter per minute(lpm)

$$S_r (\%) = \frac{Std\ Dev}{Mean} \times 100 \quad \text{----- 식 2}$$

$S_r$  = the relative standard deviation(RSD), with is defined as the mean divided by the standard deviation

*Mean* = arithmetic mean or average, defined as the sum of the observations divided by the number of observations( $n$ ).

*Std Dev* = The positive square root of the variance, which in turn is defined as the sum of squares of the deviations of the observations from the mean( $\bar{X}$ ) divided by one less than the number of observations( $n-1$ ), the degrees of freedom.

$$Standard\ Deviation = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

### Ⅲ. 연구결과 및 고찰

#### 1. 기류가 시료채취에 미치는 영향

기류제어 막은 확산식 시료채취기에 적용되는 확산과 투과이론 중 투과이론에 근거를 두고 있으며 일정한 기류가 존재하지 않는 곳에서 시료를 채취할 때 확산에 의해 시료가 채취되고 나면 표면의 농도가 없어지거나 감소하는 결핍(starvation)현상이 발생하게 된다<sup>14, 16)</sup>. 이러한 결핍현상을 발생시키지 않고 시료를 채취하기 위해서 현재 시판되고 있는 제품은 제조사에 따라 다르지만 일반적으로 0.05 ~ 0.1 m/sec의 기류가 요구되고 있다<sup>16)</sup>. 이 정도의 기류는 대부분의 사업장에서 발생되고 있으며, 시료채취자의 움직임에도 원하는 기류를 만족시켜준다. 이처럼 기류에 의한 영향을 받는 확산식 시료채취기의 시료채취율을 높이기 위해서는 적절한 흡착제의 선정 및 채취기의 구조적 형태 등과 함께 기류제어 막 공극의 크기가 중요한 요인이다. 이 장에서는 공극의 크기가 다른 기류제어 막을 사용할 때 외부기류가 시료채취율에 어떤 영향을 주는지를 확인하고자 한다.

외부기류의 영향을 평가하기 위해서 벤젠, 톨루엔 그리고 오르소-크실렌이 혼합된 시험물질을 mixing chamber와 test chamber를 거치면서 일정한 농도로 조제한 후, 확산식 시료채취기의 외부에 기류를 발생시키지 않은 조건과 기류를 발생시킨 조건에서 60분 동안 시료를 채취하여 평가하였다. 이때 mixing chamber 및 test chamber내의 습도는  $50 \pm 2$  %이었으며 온도는 18 °C이었다.

외부기류가 발생하지 않는 조건에서 기류제어 막의 종류에 따른 시료채취율을 평가하기 위해서 test chamber의 공기 중 벤젠의 농도를 0.46 ppm, 톨루엔 13.39 ppm 그리고 오르소-크실렌 11.78 ppm으로 만들어 기류를 발생시키지 않고 평가하였다. 시료채취율은 활성탄관 방

법을 기준으로 하여 시료채취율을 구했다. 연구대상 기류제어 막 공극의 크기에 따른 시료채취율은 Table 2와 Figure 2, 3, 4와 같다.

기류가 발생하지 않는 조건에서의 연구결과를 보면 벤젠의 시료채취율은  $25.9 \pm 3.0 \sim 27.9 \pm 2.3$  cc/min의 범위로 기류제어 막 공극의 크기에 관계없이 일정한 시료채취율을 보여주고 있으며, 톨루엔과 오르소-크실렌의 시료채취율은  $21.5 \pm 3.0 \sim 24.4 \pm 3.2$  cc/min과  $19.1 \pm 3.3 \sim 21.0 \pm 3.2$  cc/min으로 역시 비슷한 경향을 보였다.

외부기류에 의한 영향은 test chamber의 공기 중 벤젠 농도를 0.70 ppm, 톨루엔 19.04 ppm 그리고 오르소-크실렌 16.57 ppm을 만든 후, 소형 팬을 이용하여 평균 0.3m/sec(0.17 - 0.51 m/sec)의 기류를 발생시켜 평가하였으며, 시료채취율은 활성탄관 방법을 기준으로 구했다. Table 2와 Figure 2의 연구결과에서 보듯이 벤젠의 시료채취율은 11  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$  그리고 60  $\mu\text{m}$ 에서  $34.8 \pm 1.8$  cc/min,  $35.8 \pm 2.1$  cc/min 및  $38.1 \pm 3.2$  cc/min으로 대체로 일정한 시료채취율을 보여주었으나 100  $\mu\text{m}$ , 140  $\mu\text{m}$  그리고 180  $\mu\text{m}$ 에서는  $47.4 \pm 7.4$  cc/min,  $59.9 \pm 7.7$  cc/min 및  $71.9 \pm 12.1$  cc/min으로 시료채취율이 증가하였다. 이러한 결과는 벤젠 뿐만이 아니라 톨루엔과 오르소-크실렌에서도 동일하게 100  $\mu\text{m}$ 의 기류제어 막을 기준으로 시료채취율이 증가하였다(Figure 3, Figure 4).

이러한 결과를 볼 때, 확산식 시료채취기 외부에서 발생된 기류는 측정하고자 하는 대상물질의 확산에 영향을 주어 시료채취율을 변화시키며, 기류제어 막 공극의 크기에 따라 외부기류에 의한 시료채취율이 달라졌다.

Table 2. Sampling rates by the pore size of the passive sampler windscreen for benzene, toluene and o-xylene(cc/min)

| Filter,<br>Pore Size( $\mu\text{m}$ ) | Air Velocity,<br>m/sec | No. of<br>Samples | Analyte         |                 |                 |
|---------------------------------------|------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                       |                        |                   | Benzene         | Toluene         | o-Xylene        |
| 11                                    | < 0.01                 | 4                 | 25.9 $\pm$ 3.0* | 22.1 $\pm$ 1.8  | 21.0 $\pm$ 1.1  |
|                                       | 0.3                    | 15                | 34.8 $\pm$ 1.8  | 29.9 $\pm$ 1.6  | 26.8 $\pm$ 1.5  |
| 20                                    | < 0.01                 | 4                 | 26.9 $\pm$ 2.6  | 22.6 $\pm$ 2.8  | 20.5 $\pm$ 1.5  |
|                                       | 0.3                    | 15                | 35.8 $\pm$ 2.1  | 30.7 $\pm$ 1.8  | 27.8 $\pm$ 1.7  |
| 60                                    | < 0.01                 | 4                 | 26.4 $\pm$ 0.6  | 22.9 $\pm$ 3.1  | 19.7 $\pm$ 1.6  |
|                                       | 0.3                    | 15                | 38.1 $\pm$ 3.2  | 32.8 $\pm$ 2.6  | 29.9 $\pm$ 2.3  |
| 100                                   | < 0.01                 | 4                 | 27.6 $\pm$ 1.3  | 21.5 $\pm$ 3.0  | 19.7 $\pm$ 2.4  |
|                                       | 0.3                    | 15                | 47.4 $\pm$ 7.4  | 40.9 $\pm$ 6.8  | 37.9 $\pm$ 6.6  |
| 140                                   | < 0.01                 | 4                 | 26.5 $\pm$ 2.3  | 22.8 $\pm$ 3.0  | 19.1 $\pm$ 3.3  |
|                                       | 0.3                    | 15                | 59.9 $\pm$ 7.7  | 52.6 $\pm$ 7.5  | 49.4 $\pm$ 6.5  |
| 180                                   | < 0.01                 | 4                 | 27.9 $\pm$ 2.3  | 24.4 $\pm$ 3.2  | 21.0 $\pm$ 3.2  |
|                                       | 0.3                    | 15                | 71.9 $\pm$ 12.1 | 63.6 $\pm$ 11.0 | 59.2 $\pm$ 10.5 |
| 3M                                    | < 0.01                 | 4                 | 24.8 $\pm$ 1.4  | 22.1 $\pm$ 2.2  | 18.9 $\pm$ 1.5  |
|                                       | 0.3                    | 15                | 33.2 $\pm$ 1.8  | 28.4 $\pm$ 1.6  | 26.2 $\pm$ 1.4  |

\* Mean  $\pm$  SD

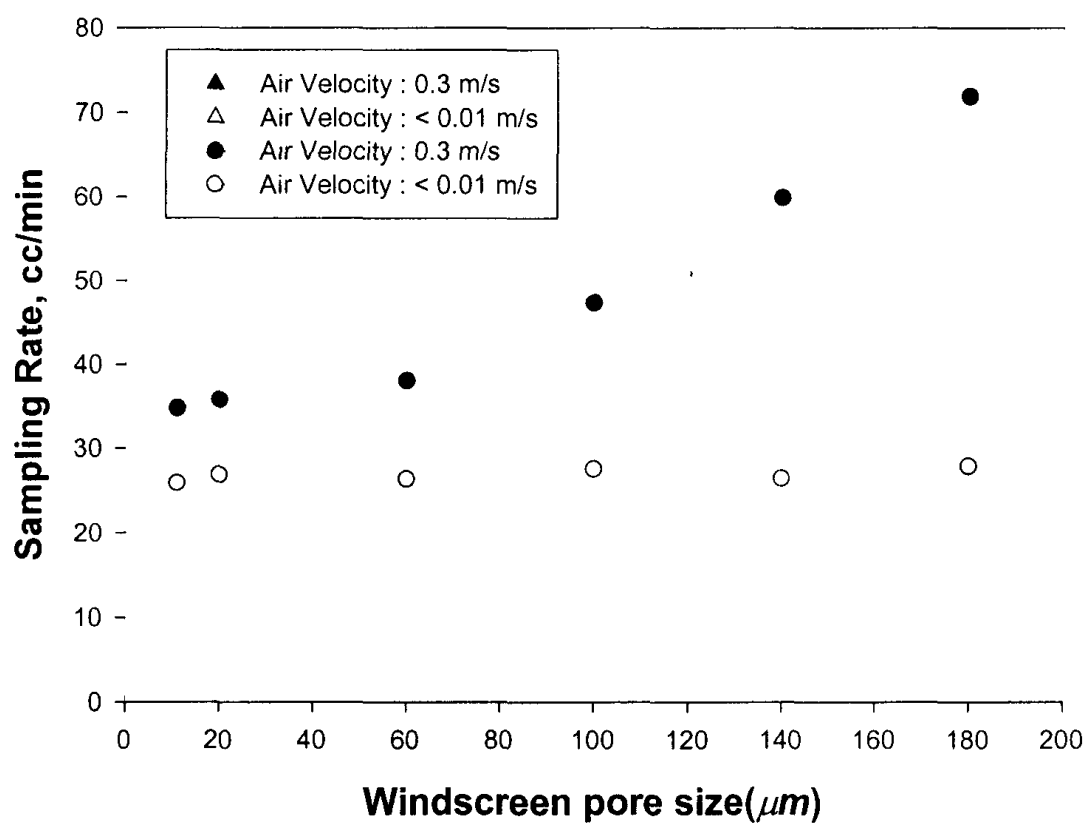


Figure 2. Sampling rates of the benzene by the pore size of the windscreen.



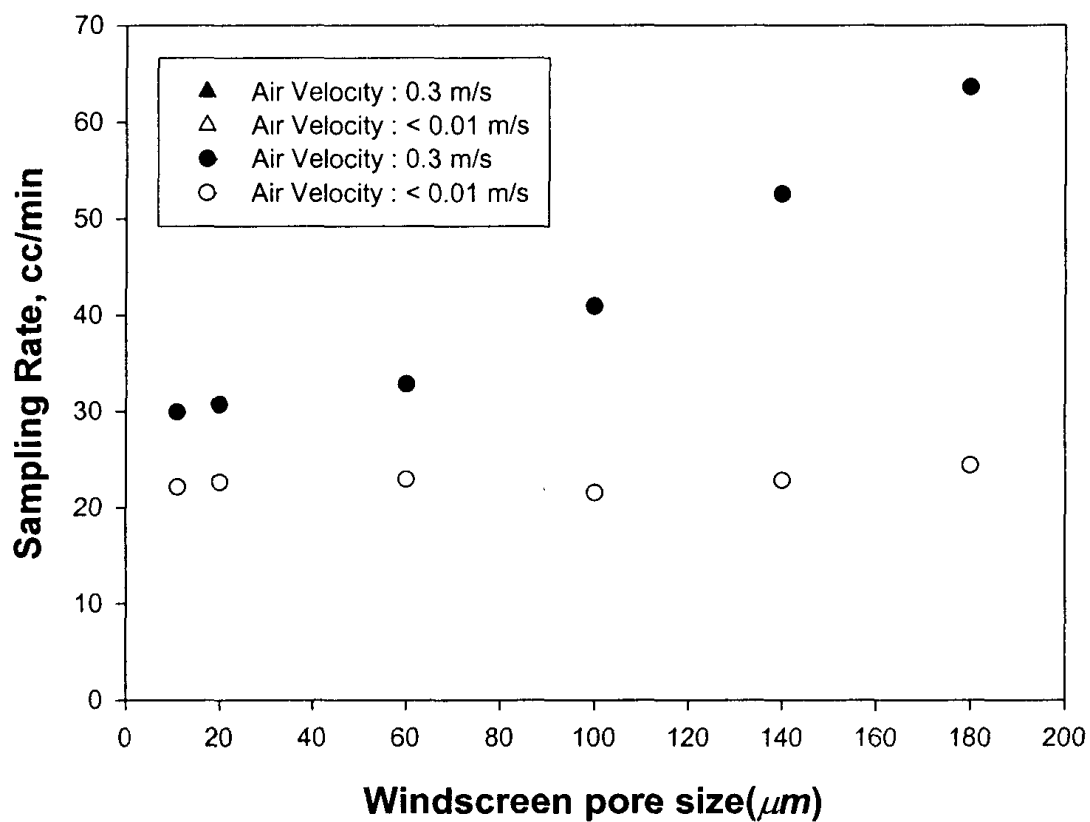


Figure 3. Sampling rates of the toluene by the pore size of the windscreen.

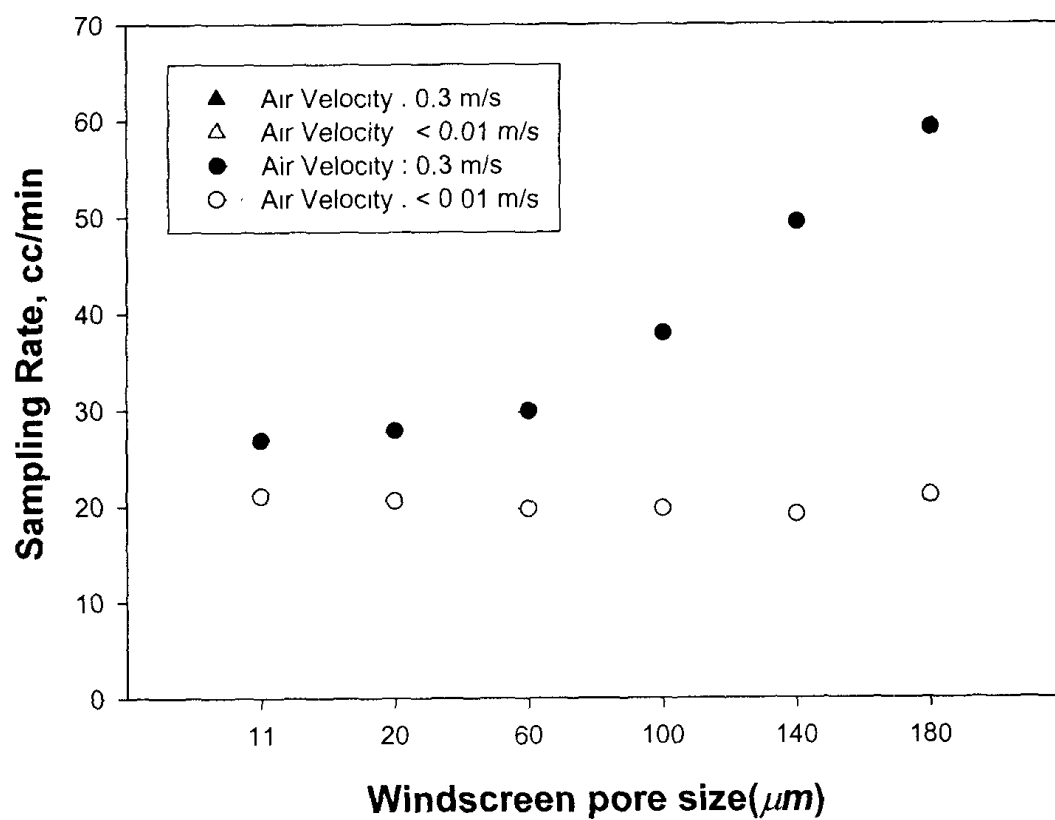


Figure 4. Sampling rates of the o-xylene by the pore size of the windscreen.

## 2. 기류제어막 공극 크기에 따른 시료채취율 및 변이

시료를 채취할 때 외부기류 제어는 시료채취기의 전면에서 기류제어막을 통해서 가능하며, 기류가 존재하는 조건에서 기류제어막 공극의 크기가 시료채취율에 많은 영향을 주는 것을 Table 2와 Figure 2, 3, 4에서 확인하였다. 따라서 기류제어막 종류별로 오염물질의 농도를 계산하기 위해서는 각 필터에 사용할 수 있는 시료채취율을 구하여 적용해야 한다.

### 2.1 기류제어막의 시료채취율

벤젠의 시료채취율은 시료채취량이 충분하여 정밀도가 우수한 60분의 자료를 시료채취율을 이용해서 구하였으며, 톨루엔과 오르소-크실렌은 30분과 60분간 채취한 결과를 활성탄관 방법과 비교하여 구한 결과 Table 3과 같은 결과를 얻었다.

Table 3. Sampling rates by the pore size of the windscreen for benzene, toluene, o-xylene while > 0.3 m/s air velocity(cc/min)

| Substance | No of Samples | Windscreen pore size |            |            |             |             |             |      |
|-----------|---------------|----------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------|
|           |               | 11 $\mu$ m           | 20 $\mu$ m | 60 $\mu$ m | 100 $\mu$ m | 140 $\mu$ m | 180 $\mu$ m | 3M   |
| Benzene   | 15            | 34.8                 | 35.8       | 38.1       | 47.4        | 59.9        | 71.9        | 33.2 |
| Toluene   | 30            | 31.2                 | 32.0       | 35.2       | 38.5        | 44.4        | 53.7        | 30.3 |
| o-Xylene  | 30            | 29.0                 | 29.6       | 32.9       | 36.1        | 42.1        | 50.9        | 28.8 |

벤젠의 경우 11  $\mu$ m에서 시료채취율이 34.8 cc/min이었으나 180  $\mu$ m에서는 71.9 cc/min으로 기류제어 막 공극의 크기가 클수록 많은 양의 시료를 채취하는 것을 알 수 있다. 톨루엔의 시료채취율은 31.2cc/min과

53.7 cc/min이었으며 오르소-크실렌은 29.0 cc/min과 50.9 cc/min로 벤젠과 동일한 결과를 보여주고 있다. 현재 시판중인 3M사 제품의 경우, 벤젠의 시료채취율은 33.2 cc/min, 톨루엔 30.3 cc/min 그리고 오르소-크실렌은 28.8 cc/min으로 제조사에서 제시한 벤젠이 35.5 cc/min, 톨루엔 31.4 cc/min 그리고 오르소-크실렌이 27.3 cc/min과 비슷하였다.

## 2.2 기류제어막 시료채취율의 변이

Figure 5는 연구대상 기류제어막을 이용해서 시료채취율을 구하였을 때 기류제어막내의 변이계수를 나타낸 그림이다. 실험결과 기류제어막 공극의 크기가 클수록 시료채취율은 높게 평가되었으나, 시료채취율 변이계수 역시 기류제어막 공극의 크기가 큰 막에서 높은 결과를 나타냈다. 공극 크기가 큰 기류제어막 시료채취율이 높고 변이계수가 큰 이유는 기류의 영향으로 인하여 많은 양의 평가대상 물질이 확산에 의해 기류제어 막 안으로 유입되어 흡착제에 흡착되므로 시료채취율은 높아지는 반면 기류제어 막 안으로 들어온 물질이 쉽게 역확산이 일어나 외부로 빠져나감으로서 시료채취율의 변이가 크게 나타난 것이라 판단된다. 연구결과, 100  $\mu\text{m}$  이하의 기류제어 막에서는 변이계수가 낮아 시료채취율의 정밀도가 높으나 100  $\mu\text{m}$  이상의 기류제어 막에서는 시료채취율의 정밀도가 낮아 시료채취가 일정하지 못한 것을 알 수 있다.

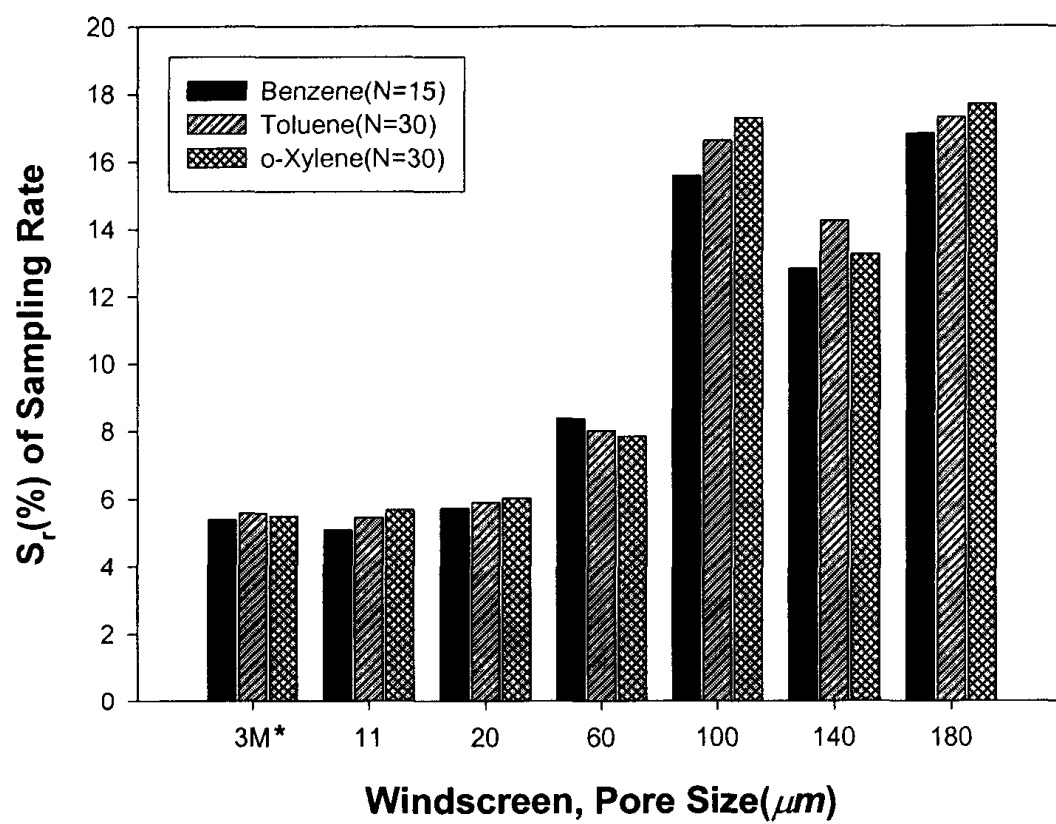


Figure. 5.  $S_r$ (RSD) of sampling rate by the pore size of the windscreen(\* unknown).

### 2.3 기류제어막 공극 크기에 따른 시료농도 및 변이

Table 4은 기류제어막 공극 크기에 따른 벤젠, 톨루엔 그리고 오르소-크실렌을 60분간 평가한 결과이다. 벤젠, 톨루엔 그리고 오르소-크실렌의 농도는 연구대상 물질 및 기류제어막 공극의 크기에 따른 시료채취율을 적용하여 산출한 결과이다. 동일한 조건에서 측정한 결과를 필터에 따른 시료채취율을 적용하였기 때문에 기류제어막간의 농도가 유사한 결과를 보여준다. 시료채취의 정밀도를 나타내는 변이계수는 벤젠의 경우 11  $\mu\text{m}$  기류제어막에서 1.7 %에서 180  $\mu\text{m}$ 에서는 19.1 %, 톨루엔은 1.2 %에서 19.5 % 그리고 오르소-크실렌은 2.4 %에서 20.0 %로 막의 크기가 클수록 변이계수도 커지는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로 볼 때 100  $\mu\text{m}$  이상의 기류제어막에서는 시료채취율의 변이계수 뿐만 아니라 시료채취 농도의 변이계수도 높게 나타나 시료를 채취할 때 기류제어막으로 사용하기에는 효율적이지 못한 것으로 평가된다.

Table 4. Calculated concentration using the sampling rates experimentally obtained, and variation of the calculated concentration levels(ppm)

| Filter,<br>Pore Size( $\mu\text{m}$ ) | No of<br>Samples | Analyte           |                  |                  |
|---------------------------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
|                                       |                  | Benzene           | Toluene          | o-Xylene         |
| 11 $\mu\text{m}$                      | 3                | $0.69 \pm 0.01^*$ | $18.23 \pm 0.21$ | $16.53 \pm 0.40$ |
|                                       |                  | 1.7**             | 1.2              | 2.4              |
| 20 $\mu\text{m}$                      | 3                | $0.69 \pm 0.02$   | $18.24 \pm 0.53$ | $16.51 \pm 0.56$ |
|                                       |                  | 3.5               | 2.9              | 3.4              |
| 60 $\mu\text{m}$                      | 3                | $0.69 \pm 0.06$   | $17.71 \pm 1.25$ | $16.50 \pm 1.13$ |
|                                       |                  | 8.1               | 7.1              | 6.8              |
| 100 $\mu\text{m}$                     | 3                | $0.69 \pm 0.12$   | $20.16 \pm 3.75$ | $16.52 \pm 3.22$ |
|                                       |                  | 17.5              | 18.6             | 19.5             |
| 140 $\mu\text{m}$                     | 3                | $0.69 \pm 0.10$   | $22.49 \pm 3.51$ | $16.53 \pm 2.37$ |
|                                       |                  | 14.0              | 15.6             | 14.4             |
| 180 $\mu\text{m}$                     | 3                | $0.69 \pm 0.13$   | $22.50 \pm 4.38$ | $16.52 \pm 3.30$ |
|                                       |                  | 19.1              | 19.5             | 20.0             |
| 3M                                    | 3                | $0.69 \pm 0.02$   | $17.82 \pm 0.32$ | $16.54 \pm 0.29$ |
|                                       |                  | 2.7               | 1.8              | 1.7              |

\* Mean  $\pm$  SD

\*\* Sr(%) = the relative standard deviation(RSD)

### 3. 시료채취의 정확도 평가

외부기류를 효율적으로 제어하고 시료채취율을 향상시키기 위하여 연구대상 6종의 기류제어막 중 시료채취율 및 시료채취 농도의 변이계수가 낮아 시료채취의 정밀도가 우수할 것으로 판단되는 11  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$  및 60  $\mu\text{m}$  막을 3M OVM #3500 badge와 함께 채취시간과 공기 중 농도에 따라 측정하여 대상물질의 시료채취율을 구하여 기류제어막 공극 크기에 따른 정밀도를 구하고 시료 농도의 정확도를 평가하였다.

#### 3.1 시료채취의 정확도 평가를 위한 시료채취율

시료채취율의 정밀도를 높이기 위하여 4종의 기류제어막을 대상으로 시료채취 시간과 공기 중 농도를 달리하여 평가한 결과 Table 5와 Figure 6의 결과를 얻었다. 시료채취율은 기류제어막 공극의 크기가 클수록 효율이 높은 것으로 평가되었고 11  $\mu\text{m}$  와 20  $\mu\text{m}$  기류제어막에서는 변이계수가 안정하여 NIOSH에서 제시하는 개인시료 채취기의 오차범위 5 %를 초과하지 않았으나 60  $\mu\text{m}$  기류제어막에서는 개인시료 채취기 오차범위인 5 %를 초과하여 재현성 있는 측정이 어려울 것으로 판단된다.

Table 6은 연구대상 기류제어막과 3M사에서 제시하는 시료채취율간의 차이를 보여준다. 벤젠의 경우 3.7 ~ 31.5 %, 톨루엔 3.8 ~ 21.0 % 그리고 오르소-크실렌이 11.4 ~ 30.8 %로 3M에서 제시한 값보다 높았다. 3M OVM #3500 badge의 경우 벤젠이 35.4 cc/min으로 제시된 시료채취율인 35.5 cc/min과 비슷하게 나왔으며 톨루엔은 제시된 값보다 6 % 정도 낮게 그리고 오르소-크실렌은 8 % 높은 시료채취율을 얻었다.

Table 5. Comparison of Sampling rates by the pore size of 11, 20, 60  $\mu\text{m}$  and 3M(cc/min)



| Substance | No of Samples | Windscreen pore size |                |                              |                |
|-----------|---------------|----------------------|----------------|------------------------------|----------------|
|           |               | 11 $\mu$ m           | 20 $\mu$ m     | 60 $\mu$ m                   | 3M             |
| Benzene   | 105           | 36.8 $\pm$ 1.6*      | 38.2 $\pm$ 2.1 | 46.7 $\pm$ 4.0 <sup>†</sup>  | 35.4 $\pm$ 1.3 |
|           |               | 4.2**                | 5.5            | 8.6                          | 3.7            |
| Toluene   | 190           | 32.5 $\pm$ 1.1       | 33.0 $\pm$ 1.2 | 38.0 $\pm$ 4.7 <sup>†#</sup> | 31.2 $\pm$ 0.8 |
|           |               | 3.4                  | 3.7            | 12.4                         | 2.5            |
| o-Xylene  | 190           | 30.4 $\pm$ 1.1       | 31.0 $\pm$ 1.2 | 35.7 $\pm$ 4.8 <sup>†#</sup> | 29.5 $\pm$ 0.9 |
|           |               | 3.5                  | 3.8            | 13.4                         | 3.1            |

\* Mean $\pm$ SD, \*\* Sr(%) = the relative standard deviation(RSD)

<sup>†</sup> N=20, <sup>†#</sup> N=45

Table 6. Comparison of the sampling rates with the 3M badges for the benzene, toluene and o-Xylene

| Substance | SR <sub>g</sub> <sup>*</sup> ,<br>ml/min | Type of<br>Filters, $\mu$ m | SR <sub>c</sub> <sup>#</sup> (Mean),<br>ml/min | (SR <sub>c</sub> -SR <sub>g</sub> )/SR <sub>g</sub><br>$\times$ 100, % |
|-----------|------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
|           |                                          |                             |                                                |                                                                        |
| Benzene   | 35.5                                     | 11                          | 36.8                                           | 3.7 <sup>(a)</sup>                                                     |
|           |                                          | 20                          | 38.2                                           | 7.6                                                                    |
|           |                                          | 60                          | 46.7                                           | 31.5                                                                   |
|           |                                          | 3M                          | 35.4                                           | -0.3                                                                   |
| Toluene   | 31.4                                     | 11                          | 32.6                                           | 3.8                                                                    |
|           |                                          | 20                          | 33.0                                           | 5.1                                                                    |
|           |                                          | 60                          | 38.0                                           | 21.0                                                                   |
|           |                                          | 3M                          | 31.2                                           | -0.6                                                                   |
| o-Xylene  | 27.3                                     | 11                          | 30.4                                           | 11.4                                                                   |
|           |                                          | 20                          | 31.0                                           | 13.6                                                                   |
|           |                                          | 60                          | 35.7                                           | 30.8                                                                   |
|           |                                          | 3M                          | 29.5                                           | 8.1                                                                    |

\* SR<sub>g</sub>: Sampling Rate given by the manufacturer

<sup>#</sup> SR<sub>c</sub>: Sampling Rate calculated in this study based on the reference value(measured by charcoal tube method in the test chamber)

<sup>(a)</sup> Square root mean

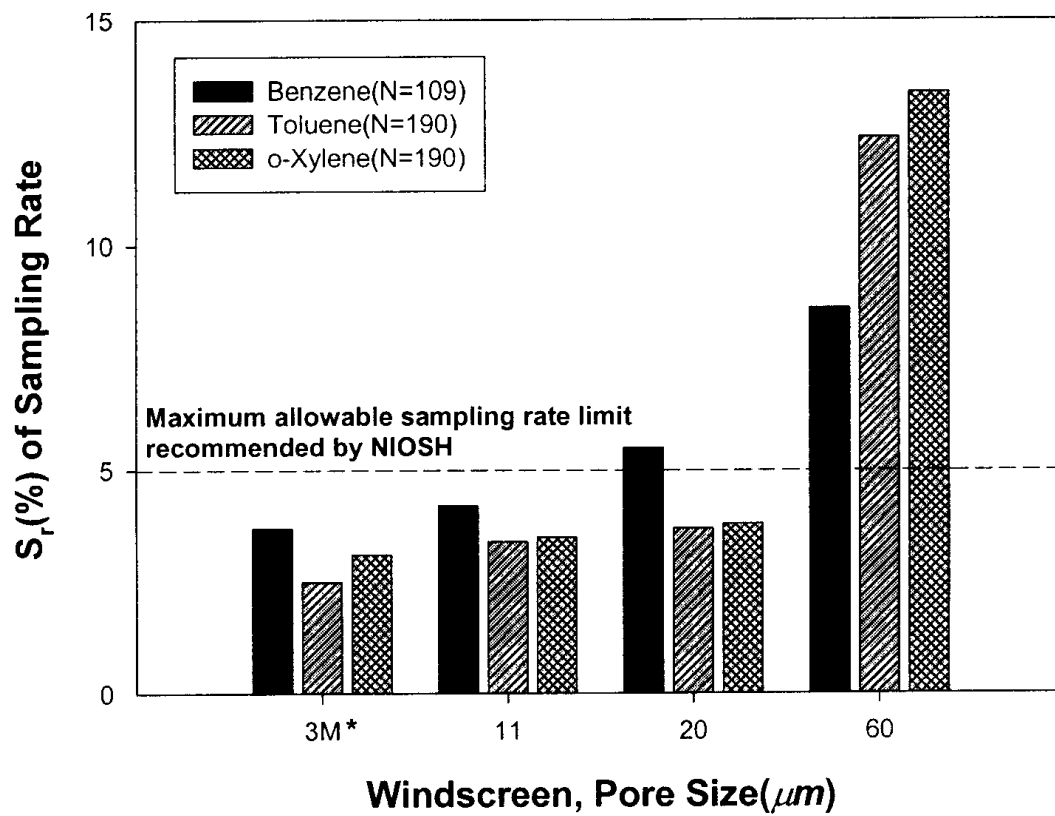


Figure 6. S<sub>r</sub>(RSD) of sampling rate by the pore size of the windscreen.

### 3.2 대상물질의 정확도 평가

확산식 시료채취기와 활성탄관을 동일한 공기 중 농도 및 습도

를 가진 환경에서 시료를 채취하여 기류제어막 공극 크기에 따른 시료 채취량의 정확도를 평가하였다. 정확도 평가에 사용된 기류제어막은 NIOSH에서 제시하는 개인시료 채취기의 오차범위인 5 % 이하의 시료 채취율 변이계수를 가지는 11  $\mu\text{m}$ 와 20  $\mu\text{m}$ 를 대상으로 3M OVM #3500 badge와 활성탄관 방법을 동시에 측정하여 연구대상 물질의 정확도를 평가하였다.

### 3.2.1 벤젠의 정확도 평가

Table 7은 벤젠의 정확도 평가를 위한 시료채취 결과이다. 시료의 농도는 미국의 ACGIH TLV 0.5 ppm과 우리나라 노동부 노출기준의 범위인 1 ppm을 기준으로 하여 공기 중 벤젠의 농도를 0.53 ~ 1.35 ppm 범위에서 평가하였다. 벤젠의 농도가 가장 낮은 0.53 ppm 범위에서는 11  $\mu\text{m}$ 의 기류제어막과 3M OVM #3500 badge의 변이계수가 상대적으로 높게 나타났으나, 다른 결과에서는 변이가 안정하여 정밀하게 시료가 채취되었음을 알 수 있다. 11  $\mu\text{m}$  기류제어막은 0.58 ~ 1.29 ppm으로 활성탄관 방법과 0.02 ~ 0.06 ppm의 차이가 낮다. 20  $\mu\text{m}$  막은 0.56 ~ 1.28 ppm으로 두 시료간의 차이는 0.01 ~ 0.06 ppm이었다. 3M OVM #3500 badge는 0.55 ~ 1.31 ppm으로 농도의 차는 0.01 ~ 0.04 ppm이었다. 그러나 분산분석 결과 활성탄관 방법과 연구대상 필터간의 유의한 차이는 없었다( $p>0.05$ ). 11  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$ 의 필터와 현재시판 중인 3M OVM #3500 badge간에도 역시 유의한 차이를 보이지 않았다( $p>0.05$ ).

Table 7. Comparison of benzene concentrations and their RSDs of recommended pore size filters with the results of charcoal tubes(ppm)

| Level | No. of Samples | Windscreen pore size         |                  |                 |                 |
|-------|----------------|------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|
|       |                | Charcoal                     | 11 $\mu$ m       | 20 $\mu$ m      | 3M              |
| 1     | 5              | 0.53 $\pm$ 0.01 <sup>#</sup> | 0.58 $\pm$ 0.07* | 0.56 $\pm$ 0.02 | 0.55 $\pm$ 0.04 |
|       |                | 2.3                          | 11.5**           | 3.1             | 6.9             |
| 2     | 5              | 0.64 $\pm$ 0.01              | 0.66 $\pm$ 0.02  | 0.65 $\pm$ 0.01 | 0.66 $\pm$ 0.02 |
|       |                | 2.1                          | 2.7              | 1.9             | 3.8             |
| 3     | 6              | 0.75 $\pm$ 0.02              | 0.71 $\pm$ 0.02  | 0.71 $\pm$ 0.02 | 0.73 $\pm$ 0.02 |
|       |                | 2.4                          | 3.3              | 3.4             | 2.3             |
| 4     | 6              | 0.85 $\pm$ 0.01              | 0.83 $\pm$ 0.03  | 0.82 $\pm$ 0.02 | 0.83 $\pm$ 0.01 |
|       |                | 0.8                          | 3.4              | 2.7             | 1.4             |
| 5     | 6              | 0.93 $\pm$ 0.01              | 0.91 $\pm$ 0.01  | 0.89 $\pm$ 0.03 | 0.92 $\pm$ 0.01 |
|       |                | 0.5                          | 1.5              | 3.0             | 1.0             |
| 6     | 6              | 1.35 $\pm$ 0.02              | 1.29 $\pm$ 0.04  | 1.28 $\pm$ 0.04 | 1.31 $\pm$ 0.04 |
|       |                | 1.8                          | 2.9              | 2.9             | 3.4             |

\* Mean  $\pm$  SD

\*\* Sr(%) = the relative standard deviation(RSD)

<sup>#</sup> N = 4

### 3.2.2 톨루엔의 정확도 평가

Table 8은 톨루엔의 정확도 평가를 위한 시료채취 결과이다. 시료의 농도는 ACGIH 노출기준 50 ppm의 0.5배 범위에서 평가하였다. test chamber내의 톨루엔 농도는 13.88 ~ 33.72 ppm이었으며 높은 농도에서 시료를 채취함으로써 시료 채취량의 변이가 매우 작았다. 톨루엔의 채취량을 활성탄관 방법과 비교해보면 활성탄관 방법의 시료채취량은 13.88 ~ 33.72 ppm이었고, 11  $\mu\text{m}$  기류제어막은 13.99 ~ 33.35 ppm, 20  $\mu\text{m}$  막은 14.09 ~ 32.81 ppm 그리고 3M OVM #3500 badge는 13.89 ~ 33.5 ppm으로 활성탄관 방법과 비교하였을 때 차이를 보이지 않았다. 또한 3M사의 제품과 연구대상 기류제어막을 비교해도 차이가 없었다.

Table 8. Comparison of toluene concentrations and their RSDs of recommended pore size filters with the results of charcoal tubes(ppm)

| Level | No. of Samples | Windscreen pore size          |                               |                  |                  |
|-------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|
|       |                | Charcoal                      | 11 $\mu\text{m}$              | 20 $\mu\text{m}$ | 3M               |
| 1     | 5              | 13.88 $\pm$ 0.25 <sup>#</sup> | 13.99 $\pm$ 0.34 <sup>*</sup> | 14.09 $\pm$ 0.38 | 13.89 $\pm$ 0.19 |
|       |                | 1.8                           | 2.4 <sup>**</sup>             | 2.7              | 1.4              |
| 2     | 5              | 16.32 $\pm$ 0.48              | 16.76 $\pm$ 0.13              | 16.70 $\pm$ 0.41 | 16.34 $\pm$ 0.21 |
|       |                | 3.0                           | 0.7                           | 2.5              | 1.3              |
| 3     | 5              | 16.92 $\pm$ 0.46              | 16.99 $\pm$ 0.21              | 17.14 $\pm$ 0.43 | 17.03 $\pm$ 0.25 |
|       |                | 2.7                           | 1.2                           | 2.5              | 1.5              |
| 4     | 6              | 20.07 $\pm$ 0.50              | 19.72 $\pm$ 0.53              | 19.70 $\pm$ 0.60 | 19.90 $\pm$ 0.46 |
|       |                | 2.4                           | 2.7                           | 3.4              | 2.3              |
| 5     | 6              | 22.64 $\pm$ 0.17              | 22.10 $\pm$ 0.67              | 22.09 $\pm$ 0.55 | 22.38 $\pm$ 0.40 |
|       |                | 0.74                          | 3.1                           | 2.5              | 1.8              |
| 6     | 6              | 25.61 $\pm$ 0.16              | 25.26 $\pm$ 0.59              | 24.99 $\pm$ 0.65 | 25.51 $\pm$ 0.32 |
|       |                | 0.6                           | 2.3                           | 2.6              | 1.2              |
| 7     | 6              | 33.72 $\pm$ 0.60              | 33.35 $\pm$ 0.60              | 32.81 $\pm$ 0.89 | 33.5 $\pm$ 0.47  |
|       |                | 1.8                           | 1.8                           | 2.7              | 1.4              |

\* Mean  $\pm$  SD

\*\* Sr(%) = the relative standard deviation(RSD)

<sup>#</sup> N = 4

### 3.2.3 오르소-크실렌의 정확도 평가

Table 9은 오르소-크실렌의 정확도 평가를 위한 시료채취 결과이다. 시료의 농도는 톨루엔과 비슷한 농도 수준으로 만들어 평가하였다. test chamber내의 오르소-크실렌 농도는 11.97 ~ 27.79 ppm으로 톨루엔의 경우와 같이 높은 농도에서 시료를 채취함으로써 시료 채취량의 변이가 매우 작았다. 오르소-크실렌의 채취량을 활성탄 관 방법과 연구대상 기류제어막을 비교해보면 두 방법 간의 차이를 보이지 않았으며, 3M의 제품과 연구대상 기류제어막간에도 차이를 보이지 않았다.

Table 9. Comparison of o-xylene concentrations and their RSDs of recommended pore size filters with the results of charcoal tubes(ppm)

| Level | No. of Samples | Windscreen pore size          |                               |                  |                  |
|-------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|
|       |                | Charcoal                      | 11 $\mu$ m                    | 20 $\mu$ m       | 3M               |
| 1     | 5              | 11.97 $\pm$ 0.22 <sup>#</sup> | 11.98 $\pm$ 0.27 <sup>*</sup> | 11.91 $\pm$ 0.32 | 11.88 $\pm$ 0.18 |
|       |                | 1.8                           | 2.3 <sup>**</sup>             | 2.7              | 1.6              |
| 2     | 5              | 14.65 $\pm$ 0.45              | 14.60 $\pm$ 0.11              | 14.57 $\pm$ 0.37 | 14.15 $\pm$ 0.24 |
|       |                | 3.1                           | 0.7                           | 2.5              | 1.7              |
| 3     | 5              | 15.10 $\pm$ 0.58              | 14.98 $\pm$ 0.11              | 15.17 $\pm$ 0.36 | 14.91 $\pm$ 0.14 |
|       |                | 3.9                           | 0.7                           | 2.4              | 0.9              |
| 4     | 6              | 18.21 $\pm$ 0.39              | 18.53 $\pm$ 0.45              | 18.42 $\pm$ 0.52 | 18.62 $\pm$ 0.44 |
|       |                | 2.1                           | 2.4                           | 2.8              | 2.4              |
| 5     | 6              | 20.41 $\pm$ 0.24              | 20.20 $\pm$ 0.68              | 20.22 $\pm$ 0.53 | 20.36 $\pm$ 0.18 |
|       |                | 1.2                           | 3.4                           | 2.6              | 0.89             |
| 6     | 6              | 23.53 $\pm$ 0.11              | 22.66 $\pm$ 0.51              | 22.50 $\pm$ 0.54 | 22.91 $\pm$ 0.34 |
|       |                | 0.5                           | 2.3                           | 2.6              | 1.5              |
| 7     | 6              | 27.79 $\pm$ 0.52              | 28.22 $\pm$ 0.85              | 27.88 $\pm$ 0.94 | 28.63 $\pm$ 0.32 |
|       |                | 1.9                           | 3.0                           | 2.7              | 1.1              |

\* Mean  $\pm$  SD

\*\* Sr(%) = the relative standard deviation(RSD)

# N = 4

## IV. 결론

확산식 시료채취기를 개발하는데 있어 외부기류의 제어 및 적절한 이용은 작업환경 측정의 정확도와 시료채취율을 높이는데 중요한 요인이며 반드시 고려되어야 할 조건이다. 외부기류의 제어는 기류제어막을 이용함으로써 가능하며, 필터 공극의 크기는 시료채취율 및 시료채취의 정밀도에 많은 영향을 준다. 본 연구에서는 방향족탄화수소류인 벤젠, 톨루엔 그리고 오르소-크실렌을 대상물질로 선정하여 현재 시판되고 있는 확산식 시료채취기에 필터를 제거한 후, 11  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$ , 60  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 140  $\mu\text{m}$  그리고 180  $\mu\text{m}$ 의 공극의 크기를 갖는 나일론 필터의 성능을 평가하여 다음과 같은 연구결과를 얻었다.

1) 외부기류가 발생하지 않을 때, 확산식 시료채취기의 모양이 일정하고 공기 중 대상물질의 농도가 일정하다면 기류제어막 공극의 크기와는 관계없이 채취시간에 따라 일정하게 채취되었다.

2) 외부기류가 발생할 때, 외부기류의 영향으로 공극의 크기가 큰 기류제어막에서 시료채취율이 높았다.

3) NIOSH의 펌프오차의 권고 기준인 5 % 미만의 시료채취율을 가지는 기류제어막은 11  $\mu\text{m}$ 와 20  $\mu\text{m}$ 이다.

4) 11  $\mu\text{m}$  기류제어막의 시료채취율은 벤젠이 36.8 cc/min, 톨루엔 32.6 cc/min, 그리고 오르소-크실렌이 30.4 cc/min이었다.

5) 20  $\mu\text{m}$  기류제어막의 시료채취율은 벤젠이 38.2 cc/min, 톨루엔

33.0 cc/min, 그리고 오르소-크실렌이 31.0 cc/min이었다.

6) 3M OVM #3500 badge의 시료채취율은 벤젠이 35.4 cc/min, 톨루엔 31.2 cc/min, 그리고 오르소-크실렌이 29.5 cc/min이었다. 이는 3M사에서 제시한 벤젠 35.5 cc/min, 톨루엔 31.4 cc/min, 그리고 오르소-크실렌이 27.3 cc/min과 유사하게 평가되었다.

7) 11  $\mu\text{m}$ 와 20  $\mu\text{m}$  기류제어막에 평가대상물질에 맞는 시료채취율을 적용하여 측정하면 활성탄관을 이용한 측정방법과 차이가 없었다 ( $p>0.05$ ).



## 참고문헌

1. 조규상 : 산업보건학, 신광출판사, p.273, 1991
2. 이세훈 : 화학물질 폭로에 의한 중추신경 장애평가에 이용되는 현  
장조사방법. 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 고  
시 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](http://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. 3.
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. 10. 1
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. 박동욱, 윤충식, 백남원 : 작업환경측정. 한국방송통신대학교 출판부, pp.77-81, 2002. 2

Abstract

**Characteristics of the sampling rates depending  
on the pore size of the windscreen for the  
passive samplers**

Yi, Gwang Yong

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

Director

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

Windscreen of the passive sampler plays critical role to obtain constant sampling rates. To minimize the variation of the sampling rates, smaller pore size of the windscreen would show better performance. However, it is desirable to collect a large amount of the target analytes as much as possible. It can be achievable to increase the sampling rate. In the viewpoint of the sampling rate, thus, larger pore size of the windscreen is preferable. Therefore, there is a tradeoff between the sampling rate and variation.

Several filters having different pore sizes ( 11  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$ , 60  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 140  $\mu\text{m}$  and 180  $\mu\text{m}$ ) were tested in this study to investigate the relationship between the increase of the sampling rate and variation. Tested filters were replaced with the windscreen of the 3M OVM #3500 badge. Those tested passive samplers installed with various windscreens were tested in the chamber against benzene, toluene, and o-xylene.

1. Same level of sampling rates were shown for all the filters with no apparent air movement in the chamber during sampling period.
2. Both the random variation and magnitude of the sampling rates were increased as the pore size of the windscreen increased. Passive samplers installed the windscreen of the pore size of 11 and 20  $\mu\text{m}$  showed less than 5% sampling rate error that is the recommended maximum sampling rates error by the NIOSH.

3. Sampling rates with the windscreen of the pore size of 11  $\mu\text{m}$  were 36.8 cc/min for benzene, 32.6 cc/min for toluene, and 30.4 cc/min for o-xylene respectively.

4. Sampling rates with the windscreen of the pore size of 20  $\mu\text{m}$  were 38.2 cc/min for benzene, 33.0 cc/min for toluene, and 31.0 cc/min for o-xylene respectively.

5. Sampling rates for 3M OVM #3500 badge were 35.4 cc/min for benzene, 31.2 cc/min for toluene, and 29.5 cc/min for o-xylene respectively. These values were similar to the sampling rates provided by 3M(35.5 cc/min, for benzene, 31.4 cc/min for toluene, and 27.3 cc/min for o-xylene).