

## 공기 중 유기용제 측정을 위한 흡착제 성능평가에 관한 연구

변상훈, 박천재, 오세민, 이창하\*  
한국산업안전공단 산업보건연구원  
연세대학교 화학공학과\*

### A study on the sampling efficiencies of volatile organic compounds(VOCs) mixture by diffusive monitor using activated carbon fiber

Sang Hoon Byeon, Chun Jae Park, Se Min Ohe, Chang Ha Lee\*  
Industrial Hygiene Research Institute, Korea Industrial Safety Cooperation  
\*Yonsei University, Chemical Engineering

#### I. 서론

유기용제는 잉크, 페인트, 접착제, 표면코팅제의 희석용제 및 열매나 씨로부터 오일이나 지방, 의약품등의 추출용으로도 쓰이며 세척제, 화학반응제등 산업 현장에 광범위하게 사용되고 있다(Luigi Parmeggiani, 1983).

작업장에서 근로자의 호흡영역에 폭로되는 유기용제의 농도를 측정함에 있어 여러 가지 방법이 사용된다. 그 중에서 활성탄관법은 유기용제의 개인폭로수준 측정시 정확성과 정밀도가 높아 현재 가장 많이 사용되고 있다. 활성탄관법은 펌프와 튜브를 연결해 일정한 유량으로 공기를 빨아들여 활성탄등을 이용한 흡착관에 유기용제가 흡착되는 원리를 이용한 것이다. 따라서 장시간동안 유량을 일정하게 유지할 수 있는 고가의 펌프가 필요하다. 그리고 배터리의 충전과 사용전·후의 유량보정이 필요하며 기술적으로 잘 훈련된 사람이 필요하다. 또한 작업환경측정시 단위 작업장에서 펌프의 중량과 튜브의 거주장스러움으로 인하여 작업에 지장을 주거나, 근로자들이 착용을 기피하기도 하며, 측정할 수 있는 사람의 수도 제한적이다. 이에 비해 최근에 소개되고 있는 확산포집기는 펌프와 튜브가 필요 없어 작업에 지장을 주지 않을 뿐만 아니라 사용이 간편하고, 측정자의 특별한 훈련이나 별도의 교육을 필요로 하지 않기 때문에 작업환경 측정분야에서 주목을 받고 있다(Feigley & Chastain, 1982).

본 연구에서는 활성탄소섬유(KF-1500)를 이용하여 산업계에서 많이 사용하고 있는 유기용제에 대한 공기 중 시료포집속도, 시간에 따른 농도변화 등의 기본적인 성능에 대한 연구를 수행하고, 이를 통하여 활성탄소섬유를 이용한 확산포집기의 공기중 유기용제 농도측정에 대한 적용 타당성을 알아보려고 하였다.

#### II. 연구방법

### 1. 실험 재료 및 방법

본 연구에 사용한 활성탄소섬유(Activated Carbon Fiber, ACF)는 일본 Toyobo사의 제품(KF-1500)으로 셀룰로오스계이며 활성탄소섬유로 만든 펠트를 직경이 32 mm인 원형으로 만든 다음 사용하기 전에 진공오븐에서 150°C, 12시간 정도 열처리한 후 홀더에 넣어 시험용 시료포집기를 제작하였다. 또한 기류에 의한 영향을 제거하기 위하여 약 0.5 µm 직경의 기공을 가진 테프론 재질의 막을 사용하였다. 시험용으로 사용한 유기용제는 방향족 탄화수소인 톨루엔(Aldrich, HPLC grade), 케톤계인 Methyl isobutyl ketone(Junsei, Extra Pure, 이하 MIBK), 할로겐화 화합물인 Perchloroethylene(ALDRICH, HPLC grade, 이하 PCE)을 사용하였다. 실험실에서 표준가스발생기(Permeator PD-1B, Gastec, Japan)를 이용하여 일정한 농도의 유기용제 가스를 발생시킨 다음 습도조절장치에서 나온 공기와 희석하여 혼합챔버에서 골고루 섞은 다음 폭로챔버로 보내고 배기구를 통하여 나가게 되도록 하였다. 기준농도를 알기 위하여 사용한 활성탄관은 SKC 제품(U.S.A)으로 20/40 mesh(Lot 120)의 야자껍질로 만든 활성탄으로 되었으며 앞부분은 100 mg, 그리고 뒷부분은 50 mg으로 채워져 있다. 여기에 연결하여 사용한 펌프는 SKC사(U.S.A)의 모델 No. 222를 사용하였다. 시료분석은 가스 크로마토그래프(HP-5890A, USA)로 분석하였으며 분석오차를 최소화하기 위하여 벤젠을 내부표준물질로 사용하여 보정하였다.

## III. 실험결과 및 토론

### 1. 시료포집속도결정

본 연구에서는 공기중 유기용제에 대한 시료포집속도는 표준가스 발생기에 의해 알고 있는 유기용제의 농도를 활성탄소섬유를 이용한 포집기로 포집하여 결정하였다(Feigley, C.E 등, 1988). 농도에 따른 시료포집속도는 농도의 변화에 상관없이 거의 일정한 경향을 보여주었다. 그림 1은 실험적으로 구한 시료포집속도를 유기용제의 확산계수의 함수로써 나타낸 것이다. 그림 1에서 볼 수 있는 것과 같이 확산계수가 증가함에 따라 약간씩 시료포집속도가 증가하는 형태로 나타났으나, 그 기울기는 낮았다. 위의 실험에서 구한 시료포집속도의 평균은 41.9 ml/min이었고 표준편차는 2.6 ml/min 그리고 변이계수(CV)는 0.06으로 나타나 각각의 시료포집속도와 비교적 큰 차이를 보이지 않았다. 이론적으로 각 유기용제의 시료포집속도를 Hirschfelder(Perry, 1984) 확산계수(D)와 연관시켜 구하여 본 결과 평균이 55.74 ml/min, 표준편차 7.06 ml/min 그리고 변이계수(CV)가 0.11로 실험적으로 구한 시료포집속도에 비해 계산에 의한 시료 포집속도는 약 33% 정도 높게 나왔으며 이것은 공기 흐름속에서 시료 포집기면에 확산 경계층의 생성(L을 증가시킴) 및 바람차단막(A를 감소 시킴)의 영향 그리고 흡착제 위 표면의 포화(L을 증가시키고 A를 감소 시킴)의 영향으로 추정된다.

### 2. 시간에 따른 흡착농도 변화

본 연구에서는 MIBK, 톨루엔, PCE의 발생농도를 2 x STD의 농도, 온도는 24 ± 2 °C, 습도 80 ± 5%에서 15분에서 8시간까지 폭로시킨 다음 시간에 따른 흡

착량을 분석하여 농도변화 및 시료포집속도의 변화를 보았다. 본 연구에서는 시간에 따른 흡착량을 분석하여 본 결과 그림 2와 같이 나타낼 수 있었다.  $24 \pm 2$  °C,  $50 \pm 5$  %RH와  $80 \pm 5$  %RH에서 구한 시료포집속도를 통계적으로 비교하여 본 결과 MIBK는 95 % 신뢰수준에서 다르다고 할 수 있었으며, 톨루엔과 PCE는 95 % 신뢰수준에서 습도변화에 따른 시료포집속도가 다르지 않았다.

### 3. 기류의 영향

본 연구에서 챔버속의 기류를 0.00 m/sec로 하였을 경우에 활성탄관으로 측정 한 챔버의 농도를 기준으로 하였을때 MIBK는 기준농도의 54.19 %, 톨루엔은 60.43 %, PCE는 59.30 %로 낮게 나타났으며 챔버속의 기류를 0.02 m/sec로 하였을 경우는 MIBK는 기준농도의 66.63 %, 톨루엔은 72.62 % 그리고 PCE는 72.18 %로 시료포집속도가 기류를 0.00 m/sec로 하였을 경우에 비해 약간 증가하였으나 활성탄관법으로 측정한 농도보다 낮게 나왔으며 기류를 0.2 m/sec로 하였을 경우는 MIBK, 톨루엔, PCE가 각각 102.48 %, 112.09 %, 109.93 %로 시료가 제대로 포집됨을 알 수 있었으며, 챔버 속의 기류를 0.6 m/sec로 하였을 경우 활성탄관 농도에 비해 MIBK는 99.53 %, 톨루엔은 105.98 %, PCE는 105.27 %로 활성탄관법으로 측정한 농도와 비슷하게 나타났다. 이것을 그림으로 나타내어 본 결과 그림 3과 같이 기류속도가 낮아짐에 따라 시료포집농도가 기준농도보다 떨어지며 유기용제 종류에 상관없이 비슷하게 낮은 시료포집이 되었고 기류가 흐르지 않을수록 시료의 포집량은 적었으며, 이러한 현상은 고갈(starvation)현상이 일어나는 것으로 기류가 거의 흐르지 않을때 시료포집기 표면위에 대류(convection)와 관련한 외부저항의 증가에 기인한 것으로 여겨진다.

## VI. 결론

1. 실험실 챔버 온도  $24 \pm 2$  °C, 상대습도  $55 \pm 5$  % 조건에서 농도를 변화시켜 가면서 케톤계, 방향족 탄화수소계, 할로겐계 화합물등 11종의 유기용제에 대하여 시료포집속도를 측정하여 본 결과 평균적으로 42 ml/min (37-46 ml/min)으로 나타났으며 확산계수(D)를 이용하여 계산한 시료포집속도는 실험적으로 구한 시료포집속도보다 약 33 % 정도 높게 나타났다.

2. 시험용 확산포집기를 이용하여  $24 \pm 2$  °C, 상대습도  $80 \pm 5$  % 조건에서 15분에서 8시간까지의 시간에 따른 농도 변화를 실험하여 본 결과 처음에는 시료포집속도가 높게 나타났으며, 시간이 경과함에 따라 포집효율이 점차로 감소하는 것으로 나타났다.  $24 \pm 2$  °C, 상대습도  $50 \pm 5$  %와  $80 \pm 5$  %에서 구한 시료포집속도를 통계적으로 비교하여 본 결과 MIBK는 95 % 신뢰수준에서 다르다고 할 수 있었으며, 톨루엔과 PCE는 95 % 신뢰수준에서 습도변화에 따른 시료포집속도가 다르지 않았다.

3. 기류를 변화시켜가면서 챔버속의 농도를 측정하여 본 결과 기류를 0.00 m/sec로 하였을 경우에는 기준 농도에 비해 40-46 % 정도 낮게 나타났으며 0.02 m/sec일 경우에는 27-34 %정도 낮게 나왔으나 0.2 m/sec 이상에서는 기준농도와 비슷하게 나왔다.

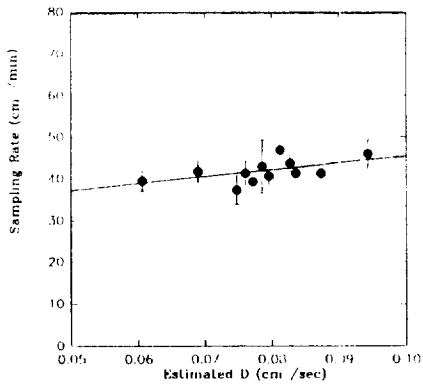


Fig 1. Experimental sampling rates vs. estimated diffusion coefficients

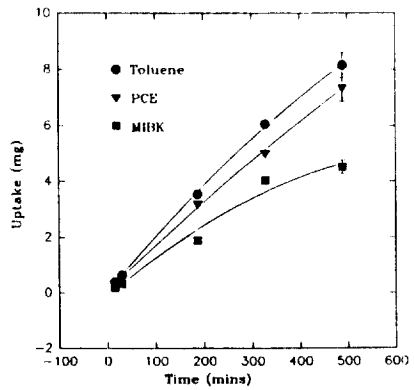


Fig 2. Uptake to ACF monitor with time

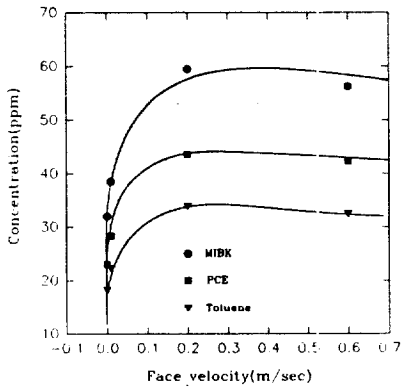


Fig 3. Concentration measured of different face velocities

참고문헌

Feigley, C.E. and Chastain, J.B.: An experimental comparison of three diffusion samplers exposed to concentration profiles of organic vapors. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 43:227-234(1982).  
 Luigi Parmeggiani : Solvents, industrial, Encyclopaedia of occupational health and safety, 1983: 2085-2088  
 Perry, R.H., Green, D.W. and Maloney, J.O. : Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6th New York McGraw Hill Book Co., 1984