

## 공기 중 유기용제 농도수준이 방독마스크 정화통의 활성탄 흡착용량에 미치는 영향

박두용<sup>†</sup>

한성대학교 기계시스템공학과  
(2010. 12. 21. 접수/2011. 1. 10. 수정/2011. 1. 13. 채택)

## Effect of Airborne Organic Vapor Concentration Levels on the Adsorption Capacity of Charcoal in the Cartridges of Air Purifying Respirators

Park Dooyong<sup>†</sup>

Department of Mechanical Systems Engineering, Hansung University  
(Received December 21, 2010/Revised January 10, 2011/Accepted January 13, 2011)

### ABSTRACT

The adsorption capacity of charcoal is a function of the airborne concentration of the target chemical. To evaluate the adsorption capacity of charcoal packed in the cartridges of air purifying respirators, breakthrough tests were conducted with carbon tetrachloride for three commercial cartridges (3M models #7251, #6000 and AX) at 25, 50, 100, 250 and 500 ppm. Adsorption capacities were calculated using a mass transfer balance equation derived from the curve fitting to the breakthrough curves obtained experimentally. Carbon micropore volumes were estimated by iteration to fit the Dubinin/Radushkevich (D/R) adsorption isotherm. They were 0.6566, 0.5727 and 0.3087 g/cc for #7251, #6000 and the AX cartridge, respectively. Above 100 ppm (at high challenge concentrations), #7251 and #6000 showed higher adsorption capacities. However, as the challenge concentration decreased, the adsorption capacities of #7251 and #6000 sharply dropped. On the other hand, the adsorption capacity of the AX cartridge showed little change with the decrease of the challenge concentration. Thus, the AX showed a higher adsorption capacity than #7251 and #6000 at the 5-50 ppm level. It is concluded that service-life tests of cartridges and adsorption capacity tests of charcoal should be conducted at challenge concentration levels reflecting actual working environmental conditions. Alternatively, it is recommended to use the D/R adsorption isotherm to extrapolate adsorption capacity at low concentration levels from the high concentration levels at which breakthrough tests are conducted, at a minimum of two different concentration levels.

**Keywords:** charcoal adsorption capacity, adsorption isotherm, breakthrough, service life of air purifying respirator

### I. 서 론

유기용제를 취급하는 근로자들에게 있어서 방독마스크는 현실적으로 가장 중요한 보호수단 중의 하나이다. 유기용제용 방독마스크의 성능이나 수명은 정화통에 충전되어 있는 활성탄의 흡착용량에 의해 결정된다. 그 동안 학계 및 산업계에서는 정화통의 수명예측과 더불어 정화통의 수명을 연장하기 위한 연구와 기

술개발 시도가 꾸준히 이루어져 왔다.<sup>1-10)</sup>

이들 연구에 의하면 주어진 작업환경이나 조건에서 정화통의 수명을 결정하는 요인은 활성탄의 특성, 정화통의 크기, 즉 활성탄의 양뿐인 것으로 알려져 있다. 따라서 정화통의 크기 즉, 활성탄의 양이 정해지면 정화통의 모양과는 무관하게 정화통의 수명은 일정하다. 따라서 정화통의 모양을 달리함으로써 정화통의 수명을 연장하는 것은 불가능하며, 정화통의 수명은 활성탄의 흡착용량에 비례한다. 따라서 정화통의 활성탄 양을 늘리지 않고 정화통의 수명을 늘리거나 성능을 향상시키기 위해서는 활성탄의 흡착용량을 늘려야 한다.

일반적으로 활성탄의 흡착용량은 미세기공의 크기와

<sup>†</sup>Corresponding author : Department of Mechanical Systems Engineering, Hansung University  
Tel: 82-2-760-4325, Fax: 82-2-760-4329  
E-mail : dooyong@hansung.ac.kr

구조에 따라 결정된다. 그런데 문제는 활성탄의 흡착용량이 공기 중 유기용제 농도에 따라 달라진다는 점이다. 일반적으로는 미세기공이 큰 활성탄이 더 높은 흡착용량을 보인다. 그러나 이것은 이론적으로나 실험적으로 공기 중 유기용제 농도가 높은 경우에는 그러하다. 만약 공기 중 유기용제 농도가 낮은 경우에는 미세기공이 크면 유기용제가 잘 흡착되지 않고 빠져 나갈 수 있다. 따라서 낮은 농도수준에서는 활성탄의 미세기공의 크기가 큰 것이 작은 것보다 흡착용량이 더 낮아질 수도 있다.

정화통의 수명이나 활성탄의 흡착용량은 유기용제에 대한 파괴시험을 통하여 실측이 가능하다. 지금까지 이와 같은 실험방법으로 정화통 수명이나 흡착용량에 대한 연구는 다양하게 이루어져 왔다. 그러나 지금까지의 실험적 연구는 대부분 실제 작업환경에서 일반적으로 나타나는 농도수준보다 적게는 수십 배에서 많게는 수백 배 높은 수준의 단일농도 이루어졌다.<sup>1,4,6-12)</sup> 따라서 실제 보호구를 사용하는 작업환경의 농도수준에서 정화통의 수명이나 활성탄의 흡착용량을 정확하게 평가하지 못한 것으로 보인다.

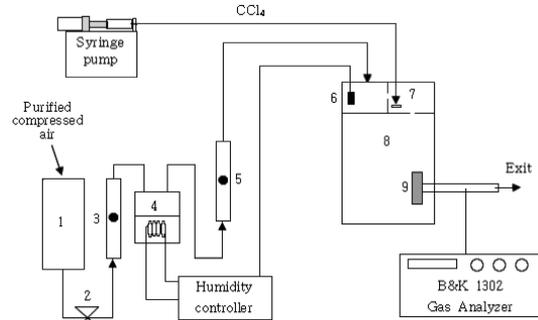
낮은 농도에서 활성탄의 흡착용량을 평가하는 것은 보호구뿐만 아니라 유기용제용 수동식 시료채취기 (passive sampler)의 연구나 사용에서도 중요한 의미가 있다. 일반적으로 대기 중 휘발성유기화합물(VOCs)의 농도수준은 작업환경보다 훨씬 낮은 ppb 수준이다.<sup>13-15)</sup> 이와 같이 낮은 농도수준도 활성탄에 유기용제가 제대로 흡착되는지 또는 시료채취율이 유지되는지 여부 등은 바로 공기 중 유기용제 농도변화에 따른 활성탄의 흡착용량 변화율을 통해 알아 볼 수 있기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 여러 단계의 공기 중 유기용제의 농도수준에서 활성탄의 흡착용량을 평가하여 공기 중 농도수준이 활성탄의 흡착용량에 미치는 영향을 알아보고자 수행되었다.

## II. 연구방법

### 1. 파괴실험방법

활성탄의 성능을 시험하기 위한 파괴시험장치는 Fig. 1과 같이 정화된 공기를 공급하는 장치와 습도를 유지하기 위한 수욕조(water bath), 유기용제를 일정하게 공급하는 장치와 공기시료제조를 위한 혼합 챔버로 구성되어 있다. 외부의 공기를 압축시켜 공기정화장치와 건조기를 거쳐 공기가 공급되면 2개의 유량조절기(주 유량조절기: 0-200 l/min, Dwyer RMC-104, 보조 유량조절기: 0-75 l/min, Gilmont F-1500, USA)에서



**Fig. 1.** The schematic of the experimental apparatus and system. 1. Compressed air filter and regulator panel, 2. Valve to adjust main air flow, 3. Rotameter, 4. Humidity generator, 5. Rotameter, 6. RH probe, 7. Flash evaporator, 8. Test chamber, 9. Tested cartridge.

유량을  $32 \pm 1$  l/min로 조절하여 시험장치로 공급한다. 실제 유량은 파괴실험의 전후에 가스유량계(Dry Gas Meter, American Meter Company, model DTM-325, USA)를 사용하여 실측하였다. 이 시험공기는 수욕조를 거쳐 습도가  $50 \pm 5\%$ 가 유지되도록 한 후 혼합조로 공급된다. 혼합조의 습도는 General Eastern사의 습도계(model 850, USA)를 이용하여 측정된 신호를 받아 자동조절장치(LEF model 2003)에 의하여 수욕조의 온도가 조절된다.

한편, 유기용제는 미량주사기 펌프(Harvard Apparatus model 22, USA)에서 일정 유량으로 혼합조 내의 알루미늄 열판위(flash evaporator, Aldrich #Z11737-4)로 공급된다. 알루미늄 가열판의 온도는 유기용제가 일정하게 증발되도록 조절하여 혼합조 내의 유기용제 농도가 일정하게 유지되도록 한다. 혼합조는 3개의 챔버가 연속적으로 연결되어 유기용제 증기가 완전히 혼합되도록 설계되었다. 마지막 혼합조에 정화통을 장착하고 정화통을 거친 공기는 외부로 배출된다. 이 때 배출구에서의 파괴농도는 Bruel & Kjaer사의 B&K 1302(UA0980 광학필터 장착)를 이용하여 측정하였다. B&K 1302 가스분석기는 사용 전 각 유기용제에 대하여 3단계의 농도수준의 시료를 이용하여 보정하였다.

### 2. 시험물질 및 재료

유기용제가 활성탄에 흡착되는 기본원리는 물질의 종류에 상관없이 동일하다. 물질에 따라 흡착용량은 다르지만 공기 중 농도가 높아지면 흡착용량이 증가하고 농도가 낮아지면 흡착용량이 낮아진다. 문제는 공기 중 농도수준이 변화할 때 흡착용량의 변화율이 달라진다는 점이다. 따라서 높은 농도에서 높은 흡착용량이 나

타났다고 해서 낮은 농도에서도 흡착용량이 우수할 것이라는 가정은 옳바르지 않을 수 있다는 점이다. 이를 실험적으로 증명하기 위해 본 연구에서는 시험대상물질로 비교적 활성탄의 흡착용량이 커서 낮은 농도에서도 파괴시험이 용이한 사염화탄소(carbon tetrachloride)를 선택하였다.

시험농도수준은 사염화탄소의 작업장 노출기준인 5 ppm의 5배~100배 수준인 25 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 250 ppm 및 500 ppm 수준이었으며, 각 농도수준에서 3번씩 반복실험을 실시하였다.

본 연구에서 사용한 정화통은 3M사의 제품으로 일반적인 유기용제용 2개 제품(Model #7251 및 #6000)과 저분자량 및 고휘발성 유기용제용으로 개발된 1개 제품(Model #7168, 일명 AX, 이하 'AX 정화통'이라 함)이었다. 3M #7251 및 #6000은 현재 우리나라에서 시판되고 있는 일반적인 유기용제용 정화통과 유사한 제품이며, AX 정화통은 유럽의 정화통 기준(CEN European Respirator Standards)에서 설정한 저분자량 유기용제용 정화통이다.<sup>16)</sup>

### 3. 파괴곡선식과 활성탄의 흡착용량의 계산

활성탄에 유기용제가 함유된 시험공기가 통과하면 처음에는 활성탄의 미세기공에서 유기용제가 흡착되어 오염된 공기가 모두 정화된다. 따라서 일정시간동안은 정화통 뒤로 빠져나오는 공기에서 유기용제가 검출되지 않는다. 그러나 시간이 경과함에 따라 활성탄의 미세기공은 모두 포화되기 시작하면 서서히 오염된 공기가 빠져나오는 파괴(breakthrough) 현상이 나타난다. 시간별 파괴농도는 처음에 서서히 증가하다가 시험농도의 50%까지는 점점 파괴농도 증가속도가 커진다. 이후 포화농도에 이르기까지 파괴농도 증가속도는 다시 서서히 줄어들어 파괴곡선은 'S' 자형 모양을 나타낸다.

파괴곡선은 다음과 같은 흡착평형식(mass transfer balance equation)을 따르는 것으로 알려져 있다.<sup>11,17,18)</sup> 실험에서 얻은 파괴곡선도로부터 curve fitting program (Jandel Scientific사의 SigmaPlot)을 이용하여 흡착용량( $W_e$ )과 흡착율 계수( $k_v$ )를 산출하였다.

$$t_b = \left( \frac{W_e W}{C_o Q} \right) - \left( \frac{W_e \rho_\beta}{k_v C_o} \right) \ln \left( \frac{C_o - C_x}{C_x} \right)$$

$t_b$  : 파괴시간(breakthrough time, min)

$W_e$  : 활성탄 1 g당 흡착용량(equilibrium adsorption capacity, g/g carbon)

$W$  : 활성탄량(weight of carbon adsorbent, g)

$C_o$  : 시험농도(challenge concentration, g/cc)

$Q$  : 유량(air flow rate, ml/min)

$\rho_\beta$  : 정화통의 활성탄 밀도(bulk density of the packed bed, g/cc(0.43 cc/g))

$k_v$  : 흡착율 계수(adsorption rate coefficient, min<sup>-1</sup>)

$C_x$  : 파괴농도(exit concentration, g/cc)

### 4. 흡착등온곡선식

활성탄의 흡착용량은 공기 중 유기용제의 농도(본 연구에서는 시험농도)에 따라 달라진다. 실험한 농도의 활성탄 흡착용량으로부터 저농도수준에서의 흡착용량을 추정하기 위해서는 공기 중 농도와 흡착용량과의 관계를 나타내는 수식모델이 필요하다. 본 연구에서 일반적으로 ppm 수준의 농도에서 가장 적합하다고 알려진 Dubinin/Radushkevich(D/R) 흡착등온곡선식(adsorption isotherm equation)을 적용하였다.<sup>19)</sup>

$$W_e = W_o d_L \exp \left[ -b W_o P_e^{-1.8} R^2 T^2 \left( \ln \left\{ \frac{P}{P_{sat}} \right\} \right)^2 \right]$$

$W_e$  : 흡착용량, g/g C

$W_o$  : carbon micropore volume, cc/g

$d_L$  : Liquid density of adsorbate, g/cc

$P$  : partial pressure at  $C_x$

$P_{sat}$  : saturation vapor pressure at T(°K)

$R$  : ideal gas constant

$P_e$  : molar polarization

## III. 결과 및 고찰

### 1. 시험농도에서의 흡착용량( $W_e$ )

파괴실험을 통하여 각 시험농도수준에서 정화통 활성탄의 흡착용량( $W_e$ )과 흡착율 계수( $k_v$ )를 산출한 결과는 Table 1과 같다. 시험농도 수준은 실험설계상 목표로 한 농도수준이고, 실제 실험농도는 실험을 하는 동안 실측한 실제농도이다. 흡착용량을 계산할 때에는 실측한 실제 실험이 이루어진 실측 농도를 사용해야 하므로 실험이 진행되는 동안 시험농도를 실측하였다. 고농도인 500 ppm 수준에서는 #7251 정화통의 흡착용량이 활성탄 1 g당 약 0.60 g으로 #6000 정화통(약 0.55 g)이나 AX 정화통(약 0.41 g)보다 큰 것으로 나타났다. 이러한 경향은 일반적으로 정화통의 성능시험이 이루어지는 250 ppm 수준에서도 #7251 정화통의 흡착용량이 약 0.52 g으로 약 0.48 g의 #6000이나 약 0.38 g의 흡착용량을 보인 AX 정화통보다 큰 것으로 나타났다. 그런데 시험농도수준이 100 ppm으로 내려가면 각 정화통의 흡착용량은 #7251이 약 0.41 g, #6000이 약

**Table 1.** The equilibrium adsorption capacity ( $W_e$ ) and adsorption rate coefficient ( $k_v$ ) values for carbon tetrachloride

Challenge Concentration (ppm)		Adsorption capacity, $W_e$ (g/gC)	Adsorption rate coefficient, $k_v$ ( $\text{min}^{-1}$ )
Level	Actual		
<b>Cartridge 3M #7251</b>			
25	28	0.264	5411.2
	27	0.251	5078.1
	24	0.235	4689.8
50	52	0.325	4877.6
	48	0.335	5329.3
	49	0.332	4725.2
100	105	0.410	5120.0
	106	0.421	4812.7
	102	0.388	4399.6
250	255	0.521	5199.5
	256	0.511	5458.7
	260	0.531	5574.3
500	504	0.599	5325.4
	512	0.604	5108.2
	508	0.591	5726.1
<b>Cartridge 3M #6000</b>			
25	24	0.270	3714.2
	27	0.251	3564.0
	28	0.267	3974.1
50	45	0.308	3775.8
	46	0.319	3876.5
	52	0.321	3406.8
100	106	0.393	3765.9
	102	0.389	3850.1
	101	0.388	3635.4
250	251	0.477	3559.4
	248	0.482	3947.5
	258	0.491	3624.6
500	505	0.549	3997.2
	487	0.537	3496.7
	511	0.548	3578.1
<b>Cartridge 3M AX</b>			
25	22	0.318	2374.1
	29	0.309	2256.3
	26	0.311	2008.4
50	55	0.340	2641.2
	51	0.333	2158.4
	47	0.345	2099.8
100	101	0.361	2845.1
	111	0.357	2270.5
	96	0.352	2524.6
250	247	0.386	2053.7
	253	0.379	2186.2
	260	0.392	2225.7
500	504	0.406	2144.7
	489	0.411	1945.6
	508	0.408	2412.3

0.39 g, 그리고 AX가 0.36 g으로 비슷해지기 시작한다.

한편 우리나라와 미국산업위생전문가협회(ACGIH)에서 설정하고 있는 사염화탄소의 작업환경 중 노출기준은 5 ppm이다.<sup>20,21)</sup> 미국 OSHA에서는 직결식 반면형 방독마스크의 경우 사용가능한 최대농도수준(maximum use concentration; MUC)을 산출하기 위한 설정된 보호계수(assigned protection factor: APF)를 10으로 설정하고 있다.<sup>22,23)</sup> 따라서 직결식 반면형 방독마스크의 경우 사용가능한 최대농도수준(MUC)은 직업적 노출기준(OEL)에 설정된 보호계수(APF)를 곱한 값인 50 ppm이다.

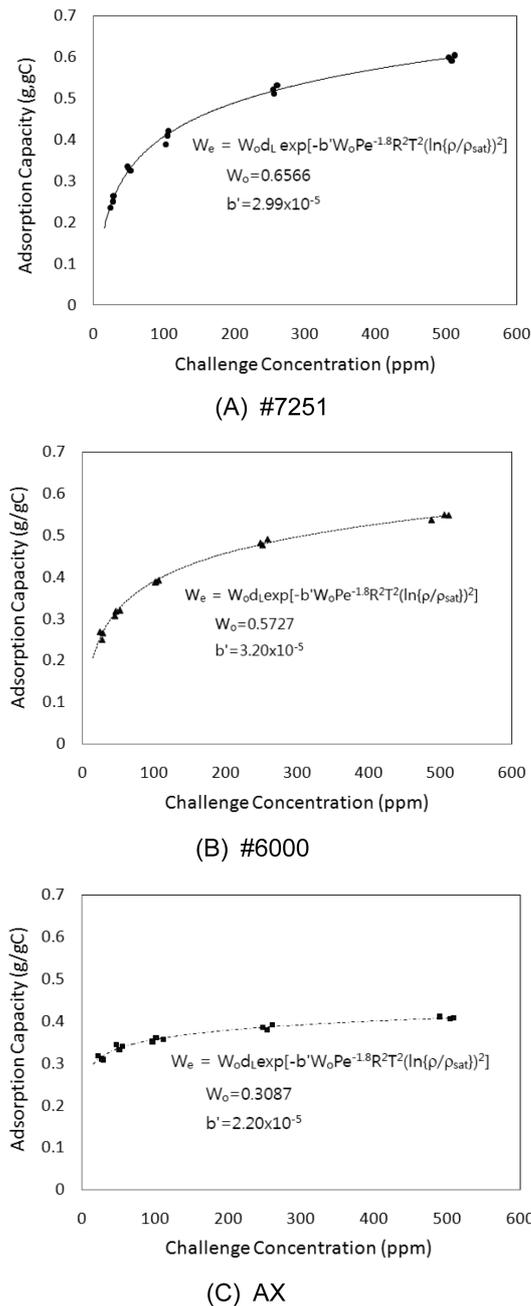
본 실험결과 사염화탄소 농도가 50 ppm인 수준에서는 #7251이 약 0.33 g, #6000은 약 0.32 g, AX는 0.34 g으로 거의 차이가 없었다. 이보다 낮은 25 ppm에서는 #7251이 약 0.24 g, #6000은 약 0.26 g, AX는 0.31 g으로 높은 수준에서 가장 낮은 흡착용량을 보였던 AX 정화통이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이것은 기존의 고농도 수준에서 평가한 것과는 완전히 다른 결과였다.

2008년도 안전인증제도로 바뀌기 전까지는 직결식 소형 방독마스크의 정화통 성능시험에 300 ppm의 사염화탄소가 사용되었다. 사염화탄소 300 ppm은 노출기준 5 ppm의 60배 수준으로 실제 직결식 소형 방독마스크를 사용하는 작업환경조건을 제대로 반영하지 못한다. 뿐만 아니라 본 실험결과, 300 ppm에서의 시험결과는 실제 사용조건인 5-50 ppm와 다를 수도 있다는 것이 확인되었다.

현재 우리나라 보호구 의무안전인증 고시에 따른 유기용제용 정화통의 성능시험은 일반적으로 사업장에서 널리 사용하는 직결식 소형의 경우 1,000 ppm의 시클로헥산을 이용하도록 되어 있다.<sup>24)</sup> 시클로헥산의 노출기준은 200 ppm이므로 시험농도 1,000 ppm은 실제 방독마스크의 사용환경을 반영하고 있는 것으로 보인다.<sup>17)</sup> 그러나 일반적으로 시클로헥산 1,000 ppm은 상당히 높은 농도이기 때문에 이 시험결과 이보다 훨씬 낮은 노출기준의 유기용제에 대해서도 유효한지에 대해서는 여전히 검증이 필요할 것이라 여겨진다.

**2. 흡착등온곡선식과 시험농도별 흡착용량**

Fig. 2는 실험을 통하여 얻은 시험농도와 활성탄의 흡착용량간 관계를 그림으로 나타낸 것이다. 활성탄의 흡착용량은 시험농도가 낮아짐에 따라 감소하는 경향이 나타나는 것을 볼 수 있는데, 흡착용량이 감소하는 경향이 가장 큰 것은 #7251 정화통이었다. #6000 정화통도 비슷한 경향을 보였다. #7251 및 #6000 정화통은



**Fig. 2.** Adsorption isotherms for the tested cartridge #7251, #6000 and AX.

공기 시험농도 100 ppm 이하에서 흡착용량이 크게 감소하는 것으로 나타났다. 반면 AX 정화통은 시험농도 수준이 낮아짐에도 불구하고 흡착용량의 감소폭은 크지 않았다. 따라서 250 ppm 이상의 고농도 수준에서

**Table 2.** Estimated carbon micropore volum ( $W_0$ ) and  $b'$  parameter

Tested Cartridge	$W_0$	$b'$
#7251	0.6566	$2.99 \times 10^{-5}$
#6000	0.5727	$3.20 \times 10^{-5}$
AX	0.3087	$2.20 \times 10^{-5}$

흡착용량은 다른 정화통보다 크게 낮았으나 50 ppm 이하의 수준에서는 오히려 흡착용량이 다른 정화통보다 큰 것으로 나타났다.

시험농도와 흡착용량간의 관계를 파악하기 위하여 본 연구에서는 정화통의 활성탄 흡착용량을 평가하는데 가장 적합하다고 알려진 Dubinin/Radushkevich(D/R) 흡착등온곡선식(adsorption isotherm equation)을 적용하였다. 시험농도와 흡착용량의 실험결과를 D/R식을 적용하여 iteration을 통하여 산출된 미세기공의 부피( $W_0$ )는 Table 2에서 보는 바와 같이 #7251, #6000 및 AX 정화통에 대하여 각각 0.6566, 0.5727 및 0.3087 cc/g으로 나타났다. 즉 #7251 정화통 활성탄의 미세기공 부피( $W_0$ )는 AX 정화통 활성탄보다 2배 이상 큰 것으로 나타났다. 이것은 AX 정화통이 활성탄의 미세기공 크기가 작은 특성을 지니고 있다는 것을 의미하며, 저분자량의 유기용제용으로 개발되었다는 사실에 잘 부합된다.

일반적으로 #7251과 같이 미세기공의 부피가 큰 활성탄은 미세기공이 잘 발달되어 유기용제를 흡착할 수 있는 용량이 크다는 것을 의미한다. 반면 AX 정화통처럼 활성탄의 미세기공 부피가 작다는 것은 미세기공이 더 좁다는 것을 의미한다. 따라서 유기용제를 흡착할 수 있는 절대표면적과 절대공간이 #7251이나 #6000 정화통보다 작을 수밖에 없다. 공기 중 유기용제 농도가 충분히 높은 경우에는 #7251이나 #6000 정화통의 활성탄이 높은 흡착용량을 보이지만 공기 중 유기용제 농도가 낮아지면 크고 넓은 미세기공은 유기용제를 흡착하기에 불리해진다. 왜냐하면 흡착에 의해 미세기공에 유기용제 분자가 포획되기 위해서는 미세기공 내에서 유기용제가 액화될 정도로 충분히 많은 분자가 들어와야 하는데 농도가 낮으면 상대적으로 적은 수의 분자가 들어오게 되므로 상대적으로 넓은 미세기공에서 액화되지 않고 다시 공기 중으로 빠져 나갈 수 있기 때문이다. 그러나 AX 정화통의 활성탄처럼 미세기공이 좁은 경우에는 확산에 의해 밀려들어온 분자는 기체운동을 할 수 있는 공간이 부족하고 상대적으로 적은 분자가 들어와도 밀도가 높아 액화되기 쉽다. 따라서 AX 정화통은 낮은 농도에서도 유기용제의 흡착이 잘 일어

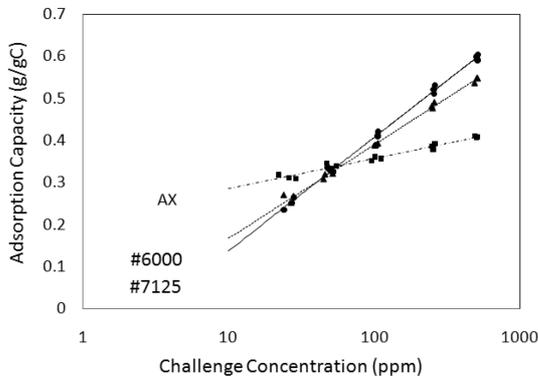


Fig. 3. Comparison of the adsorption isotherms for the cartridge #7251, #6000 and AX for carbon tetrachloride.

나는 특성을 보인다. 반면 높은 농도에서는 미세기공 자체가 작기 때문에 흡착용량이 작게 나타나는 것이다.

한편 #7251, #6000 및 AX 정화통에 대한 D/R 등온곡선식의 b' 매개변수를 추정할 수 있다. 실험결과를 가지고 iteration을 통하여 산출한 b' 매개변수는 각각  $2.99 \times 10^{-5}$ ,  $3.20 \times 10^{-5}$  및  $2.20 \times 10^{-5}$ 로 나타났다. 이와 같이 미세기공의 부피( $W_0$ )와 b' 매개변수가 산출되면 Fig. 3과 같이 저농도수준까지 외삽(extrapolation)이 가능해진다. 물론 저농도에서 실험을 하면 더 정확한 결과를 얻을 수 있겠지만 저농도수준에서 실험을 수행하기는 매우 어렵고 비용과 노력이 많이 드는 단점이 있다. 낮은 농도에서 파괴실험은 연속해서 수십 시간이 소요되는데 실험이 진행되는 동안 일정한 온습도와 유량조건을 유지하면서 낮은 농도의 시험농도를 지속적으로 유지하기가 매우 어렵기 때문이다.

Fig. 3을 보면 시험농도와 정화통의 흡착용량간 관계를 한 눈에 파악할 수 있다. 실험에 사용된 정화통은 모두 직결식 소형 방독마스크용 정화통이다. 따라서 사업화탄소의 경우 사용환경은 노출기준인 5 ppm을 초과할 때부터 약 10X의 농도에 이르는 50 ppm까지이다. 따라서 이러한 사용조건에서는 AX 정화통이 #7251 및 #6000 정화통보다 훨씬 높은 흡착용량을 보인다. 이러한 특성은 농도수준이 낮아질수록 더욱 커져서 약 10 ppm 수준에서는 AX 정화통이 #7251 및 #6000 정화통보다 약 2배 더 높은 성능을 보이는 것으로 나타났다.

#### IV. 결 론

세 가지 유기용제용 정화통(3M사 model #7251,

#6000 및 AX)을 대상으로 사업화탄소에 대하여 여러 농도수준에서 파괴실험을 실시하였다. 실험에 얻은 파괴곡선에 흡착평형평형 모델식을 적용하여 시험농도별 흡착용량을 계산하였으며, 이 자료를 가지고 Dubinin/Radushkevich(D/R) 흡착등온곡선식 모델을 적용하여 미세기공의 부피( $W_0$ )와 b' 매개변수를 추정하였다. #7251, #6000 및 AX 정화통의 미세기공의 부피( $W_0$ )는 각각 0.6566, 0.5727 및 0.3087 cc/g으로 AX 정화통이 가장 작은 것으로 나타났다.

시험농도 100 ppm 이상의 고농도수준에서는 미세기공의 부피가 큰 #7251 및 #6000의 흡착용량이 AX 정화통보다 큰 것으로 나타났으나 50 ppm 이하의 낮은 농도에서는 반대로 AX 정화통의 흡착용량이 #7251 및 #6000보다 더 높게 나타났다. 특히 노출기준의 2배 수준인 10 ppm에서는 AX 정화통의 흡착능력이 #7251 및 #6000보다 2배 정도 더 높은 것으로 나타났다.

따라서 정화통의 성능이나 활성탄의 흡착용량을 평가하기 위한 실험은 실제 사용환경과 유사한 농도수준에서 이루어지는 것이 바람직하다. 현실적으로 낮은 농도에서 실험은 비용과 시간이 많이 소요될 수 있으므로 고농도 수준에서 실험을 하되 2, 3개의 다른 농도수준에서 실험을 하고 등온흡착곡선식을 이용하여 저농도 수준에서의 흡착용량을 추정하도록 하는 것이 바람직하다.

#### 감사의 글

이 논문은 한성대학교 교내연구비 지원과제로 작성되었음.

#### 참고문헌

1. Cohen, H. J., Briggs, D. E. and Garrison, R. P. : Development of a field method for evaluating the service life of organic vapor cartridges-Part III : Results of laboratory testing using binary mixtures. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **52**(1), 34-43, 1991.
2. Nelson, G. O. and Harder, C. A. : Respirator cartridge efficiency studies : IV. Effects of steady-state and pulsation flow. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **33**, 797-805, 1972.
3. Nelson, G. O. and Harder, C. A. : Respirator cartridge efficiency studies : V. Effects of solvent vapor. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **35**, 391-410, 1974.
4. Nelson, G. O. and Harder, C. A. : Respirator cartridge efficiency studies : VI. Effects of concentration. *American Industrial Hygiene Association Journal*,

- 37, 205-216, 1976.
5. Nelson, G. O., Correia, A. N. and Harder, C. A. : Respirator cartridge efficiency studies : VII. Effects of relative humidity and temperature. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **37**, 280-288, 1976.
  6. Moyer, E. S. : Review of influential factors affecting the performance of organic vapor air-purifying respirator cartridges. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **44**(1), 45-51, 1983.
  7. Yoon, Y. H. and Nelson, J. H. : Application of gas adsorption kinetics - I. A Theoretical model for respirator cartridge service life. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **45**(8), 509-516, 1984.
  8. Yoon, Y. H. and Nelson, J. H. : Application of gas adsorption kinetics - II. A theoretical model for respirator cartridge service life and its practical applications. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **45**(8), 517-524, 1984.
  9. Yoon, Y. H. and Nelson, J. H. : A theoretical study of the effect of humidity on respirator cartridge service life. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **49**(7), 325-332, 1988.
  10. Yoon, Y. H. and Nelson, J. H. : Effects of relative humidity and contaminant concentration on respirator cartridges for binary acetone/m-Xylene system. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **52**(2), 65-74, 1991.
  11. Jonas, L. A. and Rehrmann, J. A. : Predictive equations in gas adsorption kinetics. *Carbon*, **11**, 59-64, 1973.
  12. Wood, G. O. : Estimating service lives of organic vapor cartridges. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **55**(1), 11-15, 1994.
  13. Lee, C. W., Jeon, H. J., Hong, E. J., Yu, S. D., Kim, D. S. and Son, B. S. : A study on the correlation and concentration in volatile organic compounds (Benzene, Toluene, Xylene) levels according to the indoor/outdoor and the type of residents' house in industrial area. *Journal of Environmental Health Sciences*, **36**(5), 351-359, 2010.
  14. Park, S. E., Kim, H. W., Sim, S. H., Lee, S. H. and Koo, J. W. : Concentrations of VOCs and formaldehyde in newly constructed apartment buildings before and after residence. *Journal of Environmental Health Sciences*, **33**(2), 98-103, 2007.
  15. Jung, S. W., Yang, W. H. and Son, B. S. : Health risk assessment by potential exposure of NO<sub>2</sub> and VOCs in apartments. *Journal of Environmental Health Sciences*, **33**(4), 242-249, 2007.
  16. European Committee for Standardization (CEN) : CEN European Respirator Standards, CEN 1990.
  17. Wood, G. O. and Moyer, E. S. : A review and comparison of adsorption isotherm equations used to correlate and predict organic vapor cartridge capacities. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **52**, 235-242, 1991.
  18. McBain, J. W. : The sorption of gases and vapors by solids. London: Routledge, 1932.
  19. Dubinin, M. M. : Physical adsorption of gases and vapors in micropores. *Progress Surface Membrane Science*, **9**, 1-70, 1975.
  20. Ministry of Employment and Labor : Exposure Limit of Chemicals and Physical Agents, Notice of Ministry of Employment and Labor 2010-44, 2010.
  21. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) : 2010 TLVs and BEIs, ACGIH, 2010.
  22. USA : "Occupational Safety and Health Standards" Code of Federal Regulations. Title 29, Chapter XVII, Part 1910, Subpart Z. 1999.
  23. American National Standards Institute: American National Standard Practices for Respiratory Protection (ANZI Z88.2-1992). New York: American National Standards Institute, Inc. 1992.
  24. Ministry of Employment and Labor : Notice of Safety Certification for Personal Protective Equipments, Notice of Ministry of Employment and Labor 2008-77, 2008.