

## 국내에서 유통되는 활성탄을 이용한 벤젠, 톨루엔, 아세톤 및 노말 헥산의 등온흡착용량 평가 연구

이나루\* · 이광용 · 박두용<sup>1</sup>

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원, <sup>1</sup>한성대학교

## Research on the Adsorption Capacity for Benzene, Toluene, Acetone and N-hexane of Activated Carbon Acquired from the Domestic Market

Naroo Lee\* · Gwangyong Yi · Dooyong Park<sup>1</sup>

Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency,  
<sup>1</sup>Hansung University

### ABSTRACT

**Objectives:** To develop domestic charcoal tubes with good adsorption capacity, breakthrough experiments were performed on four types of activated charcoal.

**Materials:** The adsorption capacity and the adsorption rate were determined using a modified Wheeler equation after the breakthrough experiment. For four types of charcoal (J, K, S and SKC Inc. 226-01), 100 mg were used in the breakthrough experiment. The test was done on benzene, toluene, n-hexane, and acetone in a dynamic chamber.

**Results:** K charcoal had the greatest surface area and the highest micropore volume. J charcoal had a similar surface area and micropore volume to SKC charcoal. S charcoal had the lowest surface area and micropore volume. J charcoal had the highest adsorption capacity at 101, 252 and 609 ppm of benzene. The gap in benzene adsorption capacity among the types of charcoal was the least at 609 ppm and the greatest at 101 ppm. J charcoal showed the highest adsorption capacity at 54, 106, 228 and 508 ppm of toluene. J charcoal and SKC charcoal had a similar adsorption capacity for acetone. J charcoal had the highest adsorption capacity for n-hexane.

In the experiment featuring 10% breakthrough volume, 10% breakthrough occurred at 18 liters at 2065.9 mg/m<sup>3</sup> for J charcoal and at 20 liters at 1771.2 mg/m<sup>3</sup> for K charcoal.

It was difficult to judge adsorption capacity by surface area and micropore volume of charcoal. J charcoal, which was similar to SKC charcoal in surface area and micropore volume, showed good adsorption capacity at common workplace concentrations.

**Conclusions:** The adsorption capacity of J and K charcoal was superior compared with SKC charcoal. J and K charcoal can be considered appropriate for use as sampling media based on this result.

**Key words :** Adsorption isotherm equation, breakthrough, charcoal tube, Wheeler equation

### I. 서 론

활성탄은 유기증기를 흡착시킬 때 널리 사용되는 흡착제이며, 산업보건에서는 공기 중 시료채취용 매체와 유기용제용 호흡보호구 카트리지로 사용된다.

공기 시료채취용 매체 및 호흡보호구 카트리지 용도로 활성탄을 사용할 때 활성탄이 얼마나 오랫동안 유기증기를 흡착시킬 수 있는지가 중요하다. 활성탄의 수명은 활성탄을 포함하는 용기 모양, 흡착 동역학, 증기에 대한 탄소 능력에 따라 달라진다. 탄소

\*Corresponding author: Naroo Lee, Tel:043-869-0343, E mail: naroollee@gmail.com Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency, #339-30 Exporo, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-380, Republic of Korea  
Received: March 28, 2014, Revised: June 5, 2014, Accepted: June 10, 2014

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

능력은 흡착 등온식에 따라 바뀌는데 이상적으로는 증기 특성, 탄소 특성, 환경 조건, 용기의 모양을 결합하면 탄소 능력을 알 수 있다. 탄소 능력을 추정하기 위해 Dubinin/Radushkevich(DR) equation 등 여러 흡착 등온 공식들이 개발되어 있다(Wood, 1992).

흡착 등온 공식들을 사용하여 탄소 능력을 평가하기 위해서는 탄소의 특성 값을 알아야 하므로 오히려 실험으로 탄소 능력을 평가 하는 것이 용이하다. 작업환경측정에 사용하는 활성탄관이나 호흡보호구에 사용하는 카트리지에서 파과가 일어나면 활성탄의 유용성이 없어지므로 파과 실험을 통해 탄소 흡착능력을 평가한다(Wood and Moyer, 1989a; Wood and Ackley, 1989b).

파과시간과 유효흡착용량과의 관계는 오래 전부터 연구되어 왔다. 특히 호흡보호구의 카트리지를 대상으로 파과 실험을 한 후 파과시간과 유효흡착용량과의 관계를 모델로 만들어 설명하려는 노력들이 있었다. Yoon과 Nelson은 Wheeler 공식을 변형시켜 새로운 모델을 제시하기도 하였다(Yoon and Nelson, 1984a; Yoon and Nelson, 1984b). 활성탄의 파과시간을 추정하기 위해서는 여러 식 중 Wheer-Jonas (Reaction kinetic) equation이 가장 유용하다고 알려져 있다(Lodewyckx 등, 2004). Wheer-Jonas equation을 이용하면 파과시간의 두 값을 이용하여 흡착용량을 계산할 수 있다.

국내에서 유기증기용 공기 시료채취용 매체로 활성탄을 가장 많이 사용하나 전량 수입하여 사용하고 있다. 유기증기용 공기 시료채취매체로서 수동식 시료채취기에 관한 연구는 1990년대 중반부터 이루어지고 있으나 활성탄섬유를 사용한 변상훈의 연구(Byeon 등, 1996)를 제외하고는 수동식 시료채취기의 모양에 관한 연구가 주된 것으로 흡착제는 기존의 SKC활성탄을 이용하였다(Park 등, 1994). 수동식 시료채취기의 흡착을 담당하는 활성탄 자체에 대한 연구는 이루어지지 않았다.

공기 시료채취매체로서 사용되는 활성탄은 야자각으로 만들어진 활성탄을 가장 많이 사용한다. 야자각(Coconut shell) 활성탄은 단위면적당 흡착용량이 뛰어나 다양한 용도로 사용되고 있다. 활성탄의 흡착능력은 세공이 얼마나 발달되어 있느냐에 따라 달라지며, 활성탄 제조기술에 따라 활성탄 단위량 당 흡착

용량이 달라진다. 활성탄에는 다양한 직경의 세공들이 발달되어 있는데 흡착시키려는 물질의 상태에 따라 세공 분포를 다르게 제조한다.

활성탄은 공기 시료채취용 매체뿐 아니라 유기가스용 호흡보호구 카트리지로 광범위하게 사용되므로 향후 국내의 호흡보호구 개발 및 카트리지 사용시간을 예측하기 위해서도 활성탄에 대한 기초연구가 매우 필요하다.

본 연구에서는 국내에서 유통되고 있는 야자각으로 만들어진 활성탄으로 작업장 공기 농도에 대한 흡착 능력을 평가하여 국내 시료채취용 매체 개발 가능성을 평가하였다.

시중에 판매되는 여러 종류의 활성탄을 대상으로 흡착성능을 평가하기 위해 기준에 사용하는 활성탄들의 흡착성능을 비교하였다. 각 유기용제에 대한 10 % 파과시간과 50 % 파과시간을 실험적으로 구하여 등온흡착용량과 흡착속도계수를 결정하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험에 사용한 활성탄 특성

국내에 시판 중인 3 종류의 입자상 활성탄 ( J, K, S활성탄)과 현재 작업환경측정 활성탄관으로 사용되고 있는 활성탄 (SKC Cat. No. 226-16-02 GWS, 20-40 mesh)을 사용하여 파과 실험을 하였다. 각 활성탄의 비표면적 (BET 측정기, ASAP 2420), 평균 기공 크기, 미세공 부피를 측정한 결과는 Table 1과 같았다. K활성탄의 비표면적이 1648 m<sup>2</sup>/g으로 가장 컸으며, S활성탄의 비표면적이 653 m<sup>2</sup>/g로 가장 적었다. J활성탄의 비표면적은 1218 m<sup>2</sup>/g로 SKC 활성탄 비표면적이 유사하였다. 미세공의 부피는 SKC활성탄이 0.4458 cm<sup>3</sup>/g으로 J활성탄과 유사하였고, K활성탄의 미세공 부피가 0.5560 cm<sup>3</sup>/g로 가장 컸다.

SKC활성탄과 S활성탄은 이미 20-40 mesh 크기여서 특별히 가공을 하지 않았으나, K활성탄 (10-20 mesh)과 J활성탄 (8-30 mesh)은 20-40 mesh 크기의 제품이 없어, 가정용 핸드블랜더(MR4050MCA, Braun)로 활성탄을 파쇄시켜 시험용 체(Fisher, USA)로 분리한 후 20-35 mesh의 활성탄을 선별하여 사용하였다. 활성탄관의 규격을 동일하게 하기 위해 직경 4 mm, 길이 7 cm의 유리관을 제작하여, 4종류의 활성탄

**Table 1.** Brunauer Emmett Teller (BET) surface area, micropore volume and pore size of four charcoals

Test charcoals	BET Surface area(m <sup>2</sup> /g)	Micropore volume(cm <sup>3</sup> /g)	Pore size(nm)
J	1218	0.4361	177
K	1648	0.5560	181
S	653	0.1356	490
SKC	1257	0.4458	174

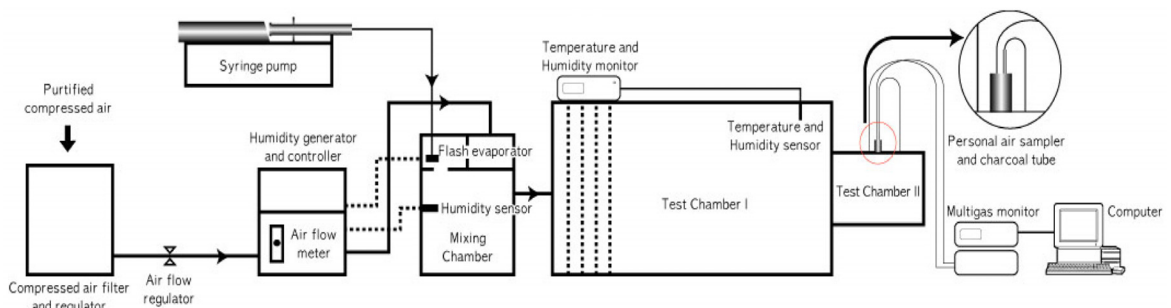
100±0.5 mg씩 유리관에 넣었다. 유리섬유로 유리관 앞, 뒤를 밀봉하여 활성탄관을 만들었다.

## 2. 실험 대상 유기용제

실험 대상 물질은 노출기준, 분자량, 증기압, 비중 등을 고려하여 벤젠, 톨루엔, 아세톤, 노말헥산을 선정하였다. 벤젠은 흡착용량을 계산하는 흡착 모델 등에서 증기의 상대적 친화력 계수( $\beta$ )를 계산할 때 기준 물질( $\beta=1$ )로 사용되며 벤젠의 흡착곡선이 특징적인 곡선이 되기 때문에 선정하였고(Wood, 2001), 끓는점, 증기압, 물질의 구조를 고려하여 특성에서 차이가 나타나는 톨루엔, 아세톤, 노말헥산을 선정하였다. 대상 물질의 노출기준 및 물리적 특성은 Table 2와 같다. 실험 농도는 각 물질별로 동일하게 하려고 하였으나 물질별 오차가 있었다. 재현성을 확인하기 위해 각 물질에서 농도별로 3회씩 시험하였다.

## 3. 파과실험 장치

파과실험은 온·습도 조절시스템이 갖추어진 표준 증기발생챔버에서 이루어졌다(Figure 1). 0.01  $\mu$ m 이상의 분진을 제거할 수 있는 공기정화장치와 건조기가 부착된 에어콤프레셔(Jun-Air 8000-150BD3)로 만들어진 건조 공기(dry air)가 유량조절기가 부착되어 있는 온·습도 조절시스템을 통과하여 혼합챔버로 이동된다. 온·습도 조절시스템은 초음파 방식의 습도조절 장치를 이용하였고, 습도센서(Model 850, General Eastern)로 일정 습도를 유지하도록 피드백이 이루어졌다. 미량주사기 펌프(Sage™ Pump model M365, Orion)로 유기용제를 일정한 유량으로 혼합 챔버 내부의 알루미늄 가열판 위로 공급하여 실험 대상 농도를 만들었다. 혼합 챔버에서 일정한 농도로 제조된 유기용제는 시험 챔버 I과 II에서 평형을 유지하게 된다. 이때 혼합 챔버의 습·온도가 시험 챔

**Figure 1.** Diagram of vapor generation test system**Table 2.** Characteristics of test organic vapor

Test substance	Exposure limit(ppm)	Molecular weight (g/mole)	Density	Boiling point (°C)	Vapor pressure (mmHg at 20°C)
Acetone	500	58.08	0.791	56	266
Benzene	1	78.11	0.8765	80	75.0
N-hexane	50	86.18	0.6603	69	124.0
Toluene	50	92.14	0.8669	111	22.0

버 I, II와 다를 수 있기 때문에 시험 챔버 I의 내부에서 온·습도(Grimm, Model 1.108, Germany)를 실시간으로 측정하였고, 온도 22 ~ 28 °C, 상대습도는 50 ~ 65 %를 유지하도록 하였다. 시료채취는 시험 챔버 II에서 이루어졌으며, 실시간 농도 및 연구대상 활성탄의 파과농도는 다채널가스모니터(Multi-gas monitor : Innova, model 1312, Denmark)를 이용하여 측정하였다. 시험 챔버 II의 6개 시료채취포트 중 4개 포트에는 4종의 활성탄관을 설치하였고, 1개 포트에서는 다채널가스모니터가 설치되었다. 시료채취시 개인시료채취펌프 사용하였으며 통과 유량은 약 0.5 Liter/min이었다. 파과농도를 실시간으로 측정하여 각 물질별로 파과곡선을 그렸다.

#### 4. 등온흡착용량 및 흡착율 평가

파과시간( $t_b$ )별 파과농도( $C_x$ )에 대하여 Wheeler equation을 만족시키는 흡착용량( $W_e$ )과 흡착율계수( $K_v$ ) 값을 구하기 위하여 SigmaPlot (SigmaPlot for Windows, versions 7.101) curve fitting 기능을 이용하여 10 % 파과시간 및 50 % 파과시간을 계산하였다. 두 값을 이용하여 Wheeler equation으로부터 각 활성탄의 흡착용량과 흡착율 계수를 구하였다.

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

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

Equation1 . Modified Wheeler Equation

$t_b$  : Breakthrough time (min)

$C_x$  : Exit concentration (g/cm<sup>3</sup>)

$C_o$  : Inlet concentration (g/cm<sup>3</sup>)

$Q$  : Volumetric flow rate (cm<sup>3</sup>/min)

$W$  : Wweight of carbon adsorbent (g)

$W_e$  : Equilibrium adsorption capacity (g/g carbon)

$\rho_\beta$  : Bulk density of the packed bed (g/cm<sup>3</sup>)

$k_v$  : Adsorption rate coefficient (min<sup>-1</sup>)

#### 5. 10 % 파과 용량 실험

작업환경측정 과정의 파과용량을 확인하기 위해 0.2 Liter/min으로 K 활성탄은 톨루엔 2065 mg/m<sup>3</sup>, 농도에서 L 활성탄은 톨루엔 1771 mg/m<sup>3</sup>에서 시료채취를 하였다.

Table 3. Breakthrough time of benzene by types of test charcoals

Test Concentration (ppm)	101		252		609	
Breakthrough time (min)	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>
Test charcoal						
J	74.7 (2.7)	106.4 (3.6)	38.0 (1.2)	53.3 (0.4)	20.6 (1.4)	29.3 (0.7)
K	61.3 (3.0)	74.1 (2.9)	37.3 (2.4)	45.8 (2.4)	23.8 (0.4)	29.5 (0.1)
S	14.4 (1.1)	24.4 (1.4)	7.5 (1.8)	13.3 (1.3)	4.3 (0.8)	7.8 (0.9)
SKC	72.6 (3.8)	96.2 (1.7)	37.4 (6.9)	51.0 (6.0)	20.8 (0.7)	28.4 (0.9)

( ) : standard deviation

Table 4. Equilibrium adsorption capacity and adsorption rate coefficient of benzene by test charcoals

Test concentration (ppm)	Equilibrium adsorption capacity(g/g Carbon)				Adsorption rate coefficient (min <sup>-1</sup> )			
	J	K	S	SKC	J	K	S	SKC
101	0.1720	0.1192	0.0393	0.1553	589593599	341940534	812505382	484830769
252	0.2144	0.1796	0.0530	0.2012	91215633	60622877	140894221	87915111
609	0.2872	0.2836	0.0759	0.2756	16015364	10741943	24512776	14595087

**Table 5.** Breakthrough time of toluene by types of test charcoals

Test Concentration (ppm)	54		106		228		508	
Breakthrough time (min)	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>
Test charcoal								
J	230.1 (16.8)	270.7 (11.7)	118.5 (6.5)	145.0 (12.2)	66.0 (3.3)	78.1 (2.3)	25.6 (1.3)	32.8 (0.8)
K	198.7 (17.6)	237.7 (12.0)	113.8 (7.4)	139.1 (8.1)	66.1 (3.5)	78.2 (2.5)	36.3 (3.7)	44.2 (3.4)
S	41.5 (3.2)	62.6 (2.4)	28.8 (6.3)	42.1 (7.3)	13.6 (0.3)	21.1 (0.3)	6.0 (0.5)	10.6 (0.7)
SKC	195.8 (29.1)	239.9 (22.2)	126.1 (3.2)	151.6 (5.4)	55.3 (3.3)	67.8 (2.3)	23.7 (1.9)	31.9 (1.0)

( ): standard deviation

**Table 6.** Equilibrium adsorption capacity and adsorption rate coefficient of toluene by test charcoals

Test concentration (ppm)	Equilibrium adsorption capacity(g/g Carbon)				Adsorption rate coefficient (min <sup>-1</sup> )			
	J	K	S	SKC	J	K	S	SKC
54	0.2771	0.2359	0.0610	0.2380	744470833	838930238	1748239393	951687010
106	0.2919	0.2758	0.0849	0.3011	233593975	237722993	411014416	218278976
228	0.3310	0.3331	0.0900	0.2875	43633888	43444909	99533879	51950465
503	0.3083	0.4151	0.1012	0.2998	12742002	10406170	24595602	14793434

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 벤젠의 흡착능력

벤젠 101, 252, 600 ppm에서 10 %파과와 50 %파과가 일어난 결과는 Table 3과 같고, 등온흡착용량 결과는 Table 4와 같다. 벤젠 101 ppm에서는 J활성탄의 흡착용량이 제일 높았고, K활성탄, SKC활성탄 순이었다. 252 ppm, 609 ppm에서는 J활성탄의 흡착용량이 제일 높았으나 K활성탄과 SKC활성탄 흡착용량과의 차이가 101 ppm에서 보다 감소하였다. J활성탄의 흡착용량은 3농도 모두에서 SKC활성탄보다 높게 나타났다.

일반적으로 활성탄의 비표면적이 클수록 높은 농도에서 흡착용량이 커진다. 활성탄의 특성을 보면 K활성탄의 비표면적이 SKC활성탄, J활성탄에 비해 크다. 본 실험 결과, 벤젠 609ppm에서는 K활성탄의 흡착용량이 SKC활성탄, J활성탄의 흡착용량이 유사하였다. 그러나 벤젠의 낮은 농도인 101ppm에서는 K활성탄의 흡착용량이 오히려 다른 활성탄의 흡착용

량에 비해 적었다.

#### 2. 톨루엔의 흡착능력

톨루엔 54, 106, 228, 508 ppm에서 10 %파과와 50 %파과가 일어난 결과는 Table 5와 같고, 등온흡착용량 결과는 Table 6과 같다. J 활성탄의 흡착용량이 제일 높았으나 SKC 활성탄의 흡착용량과 거의 차이가 없었다. 톨루엔의 농도가 높아짐에 따라 흡착용량이 증가하였으나 그 차이는 벤젠의 흡착용량만큼 크지 않았다. S활성탄의 흡착용량은 다른 활성탄에 비해 현저히 낮게 나타났다.

톨루엔 실험 결과에서도 역시 503 ppm에서는 비표면적이 큰 K활성탄의 흡착용량이 가장 컸으나 100 ppm에서는 J, K, SKC 활성탄의 흡착용량이 유사하고, 54 ppm에서는 K활성탄의 흡착용량이 오히려 가장 적었다.

#### 3. 아세톤의 흡착능력

아세톤 57, 97, 160, 577 ppm에서 10 %파과와 50

**Table 7.** Breakthrough time of acetone by type of test charcoals

Test Concentration (ppm)	57		97		160		577	
Breakthrough time (min)	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>
Test charcoal								
J	45.4 (2.9)	67.9 (2.0)	37.2 (4.3)	50.6 (3.3)	26.9 (4.5)	36.5 (3.6)	12.5 (0.7)	16.2 (1.0)
K	31.3 (4.9)	45.9 (3.5)	27.7 (3.5)	36.7 (2.9)	19.6 (1.4)	26.8 (1.6)	8.3 (0.2)	12.4 (0.2)
S	5.6 (1.7)	17.4 (2.0)	7.2 (1.3)	14.7 (1.2)	5.5 (1.9)	10.8 (2.3)	2.6 (0.6)	4.4 (0.5)
SKC	48.5 (5.1)	68.7 (3.6)	38.2 (0.9)	50.4 (1.3)	28.7 (0.5)	36.7 (0.3)	11.3 (0.9)	15.2 (0.2)

( ): standard deviation

**Table 8.** Equilibrium adsorption capacity and adsorption rate coefficient of acetone by test charcoals

Test concentration (ppm)	Equilibrium adsorption capacity(g/g Carbon)				Adsorption rate coefficient (min <sup>-1</sup> )			
	J	K	S	SKC	J	K	S	SKC
57	0.0474	0.0319	0.0120	0.0475	3600516118	3484000827	7455187123	3237039576
96	0.0599	0.0431	0.0173	0.0598	1010762727	954935695	1969260939	926712892
160	0.0726	0.0534	0.0216	0.0726	365270466	366752892	681837888	299810343
577	0.1099	0.0845	0.0301	0.1031	24710609	36613076	44572241	27716136

**Table 9.** Breakthrough time of n-hexane by test charcoal

Test Concentration (ppm)	69		90		175		477	
Breakthrough time (min)	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>	BT <sub>10</sub>	BT <sub>50</sub>
Test charcoal								
J	119.9 (6.7)	154.4 (3.6)	93.3 (2.6)	127.9 (0.3)	50.0 (1.7)	66.7 (0.8)	24.0 (4.0)	31.0 (2.2)
K	100.0 (9.8)	132.1 (5.6)	70.0 (6.3)	102.2 (5.5)	52.5 (1.8)	65.3 (0.8)	26.8 (3.1)	32.6 (2.7)
S	15.7 (2.1)	26.4 (2.3)	16.2 (3.1)	25.1 (2.2)	8.5 (1.2)	14.7 (1.2)	7.1 (2.6)	10.0 (2.3)
SKC	112.6 (6.3)	145.8 (6.8)	89.1 (0.5)	117.8 (3.5)	53.5 (3.2)	67.3 (4.3)	22.6 (0.4)	28.0 (0.5)

**Table 10.** Equilibrium adsorption capacity and adsorption rate coefficient of n-hexane by test charcoals

Test concentration (ppm)	Equilibrium adsorption capacity(g/g Carbon)				Adsorption rate coefficient (min <sup>-1</sup> )			
	J	K	S	SKC	J	K	S	SKC
67	0.1965	0.1553	0.0292	0.1683	790082569	862707270	1440471195	812929986
86	0.2027	0.1513	0.0364	0.1735	563918937	656204743	750416400	506194908
166	0.2054	0.1852	0.0419	0.1938	135693147	106877180	231628978	111526289
477	0.2417	0.2537	0.0766	0.2138	16741051	13251703	22575574	14087213

**Table 11.** Breakthrough volume of toluene on K and J charcoals

Type of charcoal	Flow rate (Liter/min)	Breakthrough volume(L)	Test concentration(mg/m <sup>3</sup> )
J	0.2	17.7	1771.2
K	0.2	20.1	2065.9

%파과가 일어난 결과는 Table 7과 같고, 등온흡착용량 결과는 Table 8과 같다. 아세톤에서는 4농도 모두에서 J활성탄의 흡착용량이 SKC활성탄과 거의 유사하게 나타났으며, K활성탄의 흡착용량은 약간 낮게 나타났다. 아세톤의 농도가 증가함에 따라 흡착용량이 증가하였으나 유사한 농도의 톨루엔의 흡착용량에 비해서는 흡착용량이 낮게 나타났다.

아세톤에서는 실험대상 농도에서 비표면적의 차이가 흡착용량에 영향을 미치지 않았다. 577 ppm과 57 ppm에서 K활성탄의 흡착용량이 J활성탄 및 SKC활성탄보다 적었다.

#### 4. 노말헥산의 흡착능력

노말헥산 69, 90, 175, 477 ppm에서 10 %파과와 50 %파과가 일어난 결과는 Table 9과 같고, 등온흡착용량 결과는 Table 10과 같다. 노말헥산에서 J활성탄의 흡착용량이 SKC활성탄과 K활성탄의 흡착용량보다 높게 나타났다. 노말헥산의 흡착용량은 유사한 농도의 톨루엔의 흡착용량보다는 낮았으며, 아세톤의 흡착용량보다 높게 나타났다.

노말헥산의 438 ppm에서는 K 활성탄의 흡착용량이 SKC, J 활성탄보다 컸지만, 166 ppm에서는 K, J, SKC 활성탄의 흡착용량이 유사하고 67 ppm에서는 K 활성탄의 흡착용량이 SKC, J 활성탄보다 적다.

#### 5. 10% 파과용량 실험

10 % 파과가 K 활성탄관에서는 20 L, J 활성탄관에서는 18 L에서 일어났다(Table 11). 참고로 미국 국립산업안전보건 연구원 시료채취 및 분석 매뉴얼에서 나와 있는 톨루엔의 파과용량은 12 L이다.

#### 6. 고찰

활성탄의 유용성은 유기용제에 대한 활성탄의 파과시간에 달려있다. 활성탄에 주입되는 유기용제가 활성탄에 흡착되지 못하고 빠져나오는 양을 시간에 따라 평가하는 파과곡선은 유기용제에 대한 활성탄

의 성능을 나타낸다. 파과곡선을 나타내기 위해서는 활성탄의 양을 변화시키거나 파과분율을 변화시켜 등온흡착용량(We)과 흡착율계수(kv)을 구하여야 한다. 등온흡착용량과 흡착율계수를 파과시간으로부터 계산할 때 사용한 변형된 Wheeler 공식을 보면 다른 값들은 일정한 값을 갖는 반면, 등온흡착용량(We)는 흡착제 종류, 흡착하고자 하는 증기의 종류, 온도, 농도 등의 정보를 이용하며, 등온흡착용량(We)와 흡착율계수(kv)는 농도의 함수이다. 다른 변수들이 일정할 때 등온흡착용량(We)은 농도에 비례한다. 등온흡착의 특성으로 인해 증기 농도가 2배 증가하더라도 파과시간은 2배보다 적게 감소한다.

본 연구결과, 벤젠, 톨루엔, 아세톤, 노말 헥산 4가지 물질 모두 각 활성탄에서 농도가 높아짐에 따라 등온흡착용량이 증가하였다. 약 50 ppm 톨루엔의 등온흡착용량은 S활성탄을 제외하고 0.2 g/g Carbon을 초과하였다. 톨루엔의 흡착용량이 가장 크고, 아세톤의 흡착용량이 실험 물질 중에서는 가장 낮았다. Dubinin/Radushkevich의 흡착용량 계산식에서 흡착용량에 영향을 주는 유기용제와 관련된 변수는 세공에서의 응축된 액체의 밀도, 상대적 증기압, 친화도 계수이다. Wood 논문에서 보고된 친화도 계수 값을 보면 벤젠이 1.00 이고, 톨루엔이 1.28, 헥산이 1.29, 아세톤이 0.88이다(Wood, 1992). 흡착용량은 친화도 계수와 반비례 관계를 보이니 유기용제의 다른 특성도 흡착용량에 영향을 미치는 변수이므로 친화도 계수만으로 흡착용량을 설명하기는 어려울 것이다. 본 연구결과에서도 톨루엔과 헥산은 친화도 계수가 유사하지만 톨루엔의 흡착용량이 헥산의 흡착용량보다 크게 나타났다.

아세톤의 흡착용량은 본 연구 결과에서 J활성탄의 흡착용량이 577 ppm에서 0.1099 g/g Carbon으로 나타났다는데 활성탄의 종류는 알 수 없지만 Wood의 논문에서도 1045 ppm에서 0.134 g/g Carbon으로 유사하게 나타났다.

일반적으로 활성탄의 비표면적이 커질수록 성능이

좋아질 뿐 아니라, 그 제조 가격도 올라간다. 그러나 작업환경의 유해물질을 포집하기 위해서는 활성탄의 비표면적이 큰 것 보다 오히려 적정한 수준의 활성탄 비표면적이 더 유용한 것으로 연구 결과에서 나타났다. 작업환경에서 대상이 되는 유해물질의 농도는 100 ppm이상의 고농도보다는 저농도 경우가 더 많다. 벤젠의 609 ppm에서는 활성탄의 비표면적인 가장 큰 K활성탄의 흡착용량이 0.2836 g/g Carbon으로 가장 컸으나, 101 ppm과 252 ppm에서는 오히려 J활성탄의 흡착용량이 K활성탄의 흡착용량보다 컸다. 톨루엔과 헥산에서도 같은 현상이 나타났다. 아세톤의 577ppm에서는 K활성탄의 흡착용량이 J활성탄과 SKC활성탄의 흡착용량보다 더 적어 아세톤을 흡착하는 경우 비표면적이 큰 활성탄이 유용하지 않았다.

본 연구 결과 작업환경 측정에 사용하기 위한 용도로 비표면적이 큰 비싼 활성탄의 유용성이 떨어진 것으로 나타난다. 오히려 비표면적값이 SKC활성탄보다 약간 적은 J활성탄이 더 유용한 것으로 보인다.

본 연구에서는 실험장치의 한계로 인해 벤젠의 경우 노출기준보다 높은 농도에서 실험이 수행되었다. 실험이 실제로 사용되는 유기용제 농도 수준에서 이루어졌다면 좋았겠지만 본 연구의 목적은 시장에 유통된 활성탄의 흡착능력을 기준에 사용하고 있는 활성탄의 흡착능력과 비교하는 것이므로 노출기준보다 고농도로 실험이 수행되었다 하더라도 결과 활용에는 문제가 없을 것이다.

#### IV. 결 론

본 연구는 국내에서 유통되고 있는 야자각으로 만들어진 활성탄으로 작업장 공기 농도에 대한 흡착능력을 평가하였다. 현재 작업환경측정 매체로 사용하고 있는 SKC활성탄과 국내에 유통되고 있는 활성탄 3종의 흡착능력을 비교하였다. 활성탄 3종은 BET 비표면적이 서로 차이를 보였다. 벤젠, 톨루엔, 노말헥산, 아세톤을 이용하여 실험한 결과 500 ppm과 같은 고농도에서는 비표면적이 큰 K활성탄의 흡착용량이 컸으나, 낮은 농도로 갈수록 K활성탄의 비표면적보다는 적고, SKC활성탄의 비표면적과 유사한 비표면적을 가진 J활성탄의 흡착용량이 더 커졌다.

결론적으로 K활성탄과 J활성탄의 흡착용량은 SKC

활성탄의 흡착용량과 비교하였을 때 노출기준농도에서 흡착용량이 더 높거나 유사하게 나타났다. 실험 농도가 낮을수록 J활성탄의 흡착용량이 더 커졌고, 농도가 높을수록 K활성탄의 흡착용량이 더 좋았다.

본 연구 결과를 통해 K 활성탄과 J 활성탄의 시료채취용 공기 매체용으로 사용될 수 있음을 알 수 있었다. 또한 작업장 공기 중 농도는 다른 분야의 유해물질 농도보다 낮아 활성탄의 비표면적이나 미세공부피값으로 흡착용량을 예측하기는 어려웠다. 오히려 상용되고 있는 SKC 활성탄관의 비표면적과 미세공부피값이 유사한 J활성탄이 더 공기시료채취용으로 유용하였다

#### References

- Byeon SH, Park CJ, O SM, Lee CH. The sampling efficiencies of volatile organic compounds to the diffusive monitor with activated carbon filter Korea Ind Hyg Assoc J 1996;6(2):187-201 In Korean
- Park MJ, Yoon CS, Paik NW. A study on organic solvent measurement using diffusive sampler 1994;4(2): 208-223 In Korean
- Lodewyckx R, Wood GO, Ryu SK. The weeler-Jonas equation: a versatile tool for the prediction of carbon bed breakthrough times. Carbon 2004;42:1351-1355
- Wood GO, Moyer ES. A review of the wheeler equation and comparison of its applications to organic vapor respirator cartridge breakthrough data Am Ind Hyg Assoc J 1989a;50(8): 400-407
- Wood GO, Ackley MW. A testing protocol for organic vapor respirator canisters and cartridge Am Ind Hyg Assoc J 1989b;50(12):651-654
- Wood GO. Activated carbon adsorption capacities for vapors Carbon 1992;30(4):593-599
- Wood GO. Estimating service lives of organic vapor cartridges Am Ind Hyg Assoc J 1994;55(1):11-15
- Wood, GO. Affinity coefficients of the Polanyi/Dubinin adsorption isotherm equations A review with compilations and correlations Carbon 2001;39: 343-356
- Yoon YH, Nelson JH. Application of gas adsorption kinetics I. A theoretical model for respirator cartridge service life Am Ind Hyg Assoc J 1984;45(8):509-516
- Yoon YH, Nelson JH. Application of gas adsorption kinetics II. A theoretical model for respirator cartridge service life and It's practical applications Am Ind Hyg Assoc J 1984;45(8):517-524