

유기용제 측정용 흡착관 개발을 위한 AC 및 ACF의 흡착특성

원정일 · 김기환* · 신창섭**
충북과학대학 환경생명과학과
(주) Korea ACF*
충북대학교 공과대학 안전공학과**

Desorption characteristics of Activated Carbon and Activated Carbon Fiber by Development of Sorbent Tube for Measurement of Organic Solvent

Jung-Il Won · Ki-Hwan Kim* · Chang-Sub Shin**
*Department of Environmental Engineering, Chungbuk scientific collage, 360-807,
Korea ACF Co., Ltd., Wolsan Industrial Complex, Yeongi, Chungnam, 339-820*,
Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, 361-763***

Abstract

Charcoal tube/CS₂ method are more popularly used than any other in the measurement of the working environment for the exposure evaluation of organic solvent, but it is some weak points that the lower accuracy can be obtained on the polar materials and within the range of the low concentration. Thus solvent desorption method has been developed to make accuracy higher and to overcome some weak points. However, because of high price of adsorption tube for thermal desorption and the short of study on its application to the working environment, it is not popularly used in the domestic industrial hygiene fields.

This dissertation aims to develop thermal desorption and adsorption tubes for measuring organic solvents in the working environment, by comparing and analyzing breakthrough condition and adsorption capacity with ACF.

Specific surface area of ACF used in this study is wider than the one of AC and micropore of ACF related with adsorption has been developed, and adsorption velocity and adsorption amount are very excellent by linking a pore of surface and an inside well into micropore.

1. Result of analysis on physical characteristics of adsorbent, the specific surface area of ACF was 1.3 times higher than that of AC. Distribution ratio of micropore related to adsorption was 94% on ACF and AC. Result of SEM, micropore of the AC is opened to the surface. In contrast, ACF shows that extremely fast adsorption speed. Because of micropore are exposed on the surface and penetrate through each other.

2. Breakthrough characteristics of adsorbents was not different from slope of breakthrough curve. The effluent concentration reaches 10% of initial concentration($C_{out}/C_{in}=0.1$, break point) of ACF was 30~316min longer than that of AC. Therefore, the adsorption capacities of ACF was 1.1~4.6 times higher than that of AC. ACF can be used as a proper adsorbent for measurement of organic solvent.

I. 서 론

유기용제란 탄소를 함유하고 있는 유기화합물로써 피 용해 물질의 성질은 변화시키지 않고 다른 물질을 용해시킬 수 있는 물질을 총칭하는 것으로 급속한 경제성장에 따른 산업구조의 고도화 및 다양화로 인하여 많은 사업장에서 광범위하게 사용되는 물질중의 하나이며, 종류도 매우 다양해져 400여종 이상이 되고 사용량도 매년 10%이상 증가하고 있다¹⁾.

사업장에서 사용되고 있는 유기용제는 지방족, 방향족 또는 할로겐화 탄화수소 등의 비극성 유기용제와 알콜류, 케톤류, 에스테르류 등의 극성 유기용제가 사용목적에 따라 단독 또는 2종 이상이 혼합되어 사용되고 있으며, 휘발성이 매우 크고 유지를 녹이고 스며드는 성질이 있어 이를 취급하는 근로자의 호흡기를 통해 흡입되거나 피부로 흡수되어 건강장해를 일으키기 쉽다²⁾.

유기용제에 의한 건강장해를 예방하기 위해서는 유기용제의 사용 실태 파악과 정확한 작업환경측정 및 평가를 통한 작업환경관리가 산업위생학적 견지에서 매우 중요하다고 생각된다³⁾.

산업안전보건법에서는 유기용제 취급 근로자의 건강보호를 위해 정기적으로 작업환경측정을 해야 할 12개의 유기용제 업무 및 54종의 유기용제 종류를 정하고 있으며, 이러한 법적 규정에 의해 대부분의 사업장은 6개월에 1회 이상 측정을 하고 있다⁴⁾. 유기용제 폭로평가를 위한 작업환경 측정에는 유기용제 특성에 적합한 고체흡착관/용매탈착법을 사용하고 있으며, 특정 유기용제를 제외한 대부분의 유기용제에 대해서는 활성탄관/이황화탄소법을 가장 많이 사용하고 있으며 전세계적으로 유기용제 측정 및 분석에 이용되고 있는 미국 국립 산업안전보건연구원(National Institute for Occu-

pational Safety and Health, NIOSH)의 방법에서도 유기용제의 노출평가에 정확성과 정밀도가 높아 이 방법을 추천하고 있다⁵⁾.

그러나, 유기용제 취급사업장의 혼합 유기용제 폭로 평가를 위해 사용되고 있는 활성탄관/이황화탄소법은 작업환경 중 비극성 유기용제의 경우에는 높은 탈착 효율을 보이지만 알콜류, 케톤류 등의 극성 유기용제는 탈착 효율이 급격하게 감소되며, 증기압이 낮고 반응성이 있는 아민류, 페놀류, 알데하이드류에는 탈착 효율이 40 - 50%로 매우 낮으며, 강한 흡착력과 흡착상에서의 반응으로 인한 손실로 ppb수준의 농도 범위에서 탈착효율이 낮은 단점이 있다⁶⁾. 또한 유기용제를 탈착시키는 전처리 과정에서 인체에 유해한 고가의 용매를 사용하고, 노동 집약적이며 수동적인 시료 전처리 업무로 인한 측정 오차가 발생하며, 측정시료를 탈착 용매로 희석시킴에 따른 검출한계가 저하^{7,8)} 되어 벤젠 등 노출기준이 낮아지고 있는 물질의 저 농도 검출에 영향을 미치고 있을 뿐만 아니라, 황과 석유 계 탄화수소로부터 유도된 이황화탄소(CS_2)는 제품의 종류에 따라 차이가 있지만, 불순물로 1.0-50.0 $\mu g/ml$ 의 벤젠을 함유하고 있어 탈착용매로 CS_2 를 사용할 경우 벤젠의 정량을 과대평가 할 수 있다고 보고하고 있다⁹⁾.

이와 같이 활성탄관/이황화탄소법의 많은 단점으로 인해 혼합 유기용제에 대한 근로자 폭로 평가를 정확히 측정하는데는 제한점으로 작용하고 있다.

최근 미국, 영국 등 선진국을 중심으로 유기용제 측정의 정확성을 높이고, 종래의 유기용제 측정에 사용되는 활성탄관/이황화탄소법을 보완한 열 탈착용 다공성 흡착제의 개발과 활용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 국내 산업위생분야에서는 고체흡착관/열탈착법에 대한 연구가 미흡하고, 상

용화된 열 탈착용 고체 흡착관의 가격이 고가이며, 측정 대상 유기용제의 범위가 흡착관 종류별로 제한되어 있어 미지의 혼합 유기용제가 발생하는 작업환경에서의 유기용제 측정에는 문제점으로 제기되고 있어 널리 사용되지 못하고 있다.

유기용제 측정에 대한 새로운 열탈착용 고체흡착제의 사용가능 여부를 평가하기 위해서는 흡착용량 결정, 탈착효율 결정, blank 및 시료 보존성의 확인에 대한 조건을 갖추어야 된다¹⁰⁾. 작업장에서 특정 유기용제의 증기 농도를 측정하기 위하여 고체흡착제를 사용 할 경우 제일 먼저 흡착제의 흡착용량을 결정해야 하며, 유기용제를 손실 없이 채취하는 흡착용량은 시료채취 유량 및 시간, 흡착제의 양, 비표면적, 유기용제의 공기중 농도, 유기용제의 휘발성에 의해 영향을 받는다^{11),12)}.

흡착용량에 대한 연구는 그 동안 몇몇 연구자들에 의하여 경험적으로 설명되어 왔는데 Yoon과 James^{13),14),15),16)}가 가스 흡착력의 원리를 이용하여 고체입자에 단일물질의 가스와 증기가 흡착되고 파과되는 현상과 공기 중에 두 종류의 유기용제가 혼합되어 있는 상태인 2성분 계(binary system)에 노출된 정화통의 파과특성을 나타내는 식을 만들었다.

그러나 흡착특성에 관한 대부분의 실험적 연구 대상이 비교적 가스나 증기의 농도가 높은 화학공정, 정화통의 흡착용량, 대기오염 배출구의 공기정화 장치 등이었으므로 흡착제의 파과용량에 대한 실험적 연구도 작업환경 수준보다 매우 높은 농도 조건 및 단일 또는 특정물질로 제한된 2성분을 대상으로 이루어졌으며, 이러한 조건에서의 흡착특성은 낮은 농도 및 다양한 성분이 혼합되어 있는 조건에서의 흡착특성과는 상당히 다른 양상을 보일 수 있다.

따라서 열탈착용 고체흡착제로 상용화되지 않았으나 가격이 매우 저렴하고 흡착제로 널리 이용되고 있는 활성탄(Activated Carbon, AC)과 활성탄보다 표면기공 분포의 특성에 따라 탈착이 쉽게 이루어지고, 비표면적이 커 흡착능력이 우수하면서 안정성과 재생성이 좋은 장점을 갖고 있는 활성탄소섬유(Activated Carbon Fiber, ACF)를 이용하여 작업환경 상태의 조건에서 흡착특성에 대해 실험

하고자 하였다.

본 연구의 목적은 유기용제 취급 사업장의 작업 환경에서 사용빈도가 높은 유기용제를 대상으로 작업환경 농도 수준에서 AC 및 ACF가 충전된 흡착관의 파과현상과 흡착특성을 비교 분석하여 흡착능력을 평가함으로써 작업환경에서 발생하는 유기용제 측정에 있어 정확성을 향상시킬 수 있는 활성탄소섬유(ACF)를 이용한 새로운 열탈착용 흡착관을 개발하고자 하였다.

II. 실험장치 및 방법

2.1 흡착제의 물리적 특성 측정

유기용제 측정용 열탈착 흡착제 개발을 위해 사용된 활성탄소섬유(ACF)와 활성탄(AC)의 물리적 특성을 비교하기 위해 비표면적 및 기공분석 장치(Surface area and pore characterization system, Model ASAP2010, Micromeritics)를 이용하여 흡착제의 비표면적 및 기공분포 등 흡착특성을 분석하고, 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM, Model S-2500, Hitachi)으로 표면상태를 촬영하여 흡착제의 외벽과 내벽의 연결상태를 측정하였다.

2.2 열탈착용 흡착관 제작

흡착관은 길이 90 mm, 외경 6.3 mm, 내경 5.0 mm 인 stainless steel (Perkin Elmer, UK)관을 사용하여, 사용 전에 150℃의 진공 오븐에서 4시간 열처리하였으며, 활성탄 및 활성탄소 섬유의 충전량은 150 mg으로 작업환경측정에서 사용되고 있는 활성탄관과 동일하게 하였다.

또한 흡착관 제작은 Fig. 1과 같은 절차로 수행하였고, 제작된 흡착관은 열탈착 분석기의 자동 시료 주입구에 장착한 후 300℃에서 2시간 전처리(conditioning)를 실시하여 흡착제내의 불순물을 제거하였다.

2.3 대상 유기용제의 선정

본 연구에서 열탈착용 흡착제로 AC 및 ACF를 적용하기 위해 사용한 유기용제의 선정은 전국에

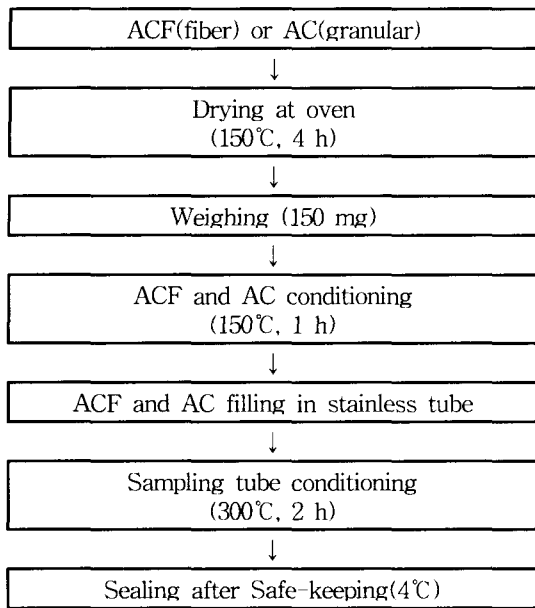


Fig. 1. Preparation procedure for sampling tube using ACF and AC.

소재하고 있는 작업환경 측정기관 75개소에서 '98 년도에 실시한 유기용제 취급사업장의 작업환경측 정결과 공기 중 혼합 유기용제의 검출빈도가 높은 유기용제로 염소화 탄화수소인 트리클로로에틸렌 (Trichloroethylene, TCE),과 지방족 탄화수소인

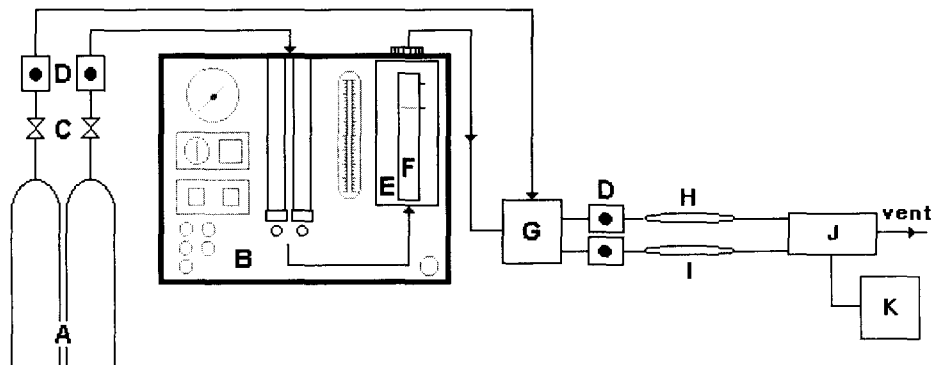
n-헥산(n-Hexane), 케톤류인 메틸이소부틸케톤 (methyl isobutyl ketone, MIBK)을 선정하였으며, 노출기준이 낮고 독성이 매우 강해 발암성이나 생 식기능 장애를 유발하는 것으로 알려진 물질로 방 향족 탄화수소인 벤젠(Benzene), 글리콜 에테르류 인 메틸 셀로솔브 아세테이트(methyl cellosolve acetate, EGMEA)를 선정하였다.

또한 검출빈도는 낮지만 고전적 측정방법인 활 성탄관/이황화탄소법으로 탈착효율이 낮다고 알려 진 알콜류인 메틸알콜(methyl alcohol, MeOH)등 6 종의 유기용제를 사용하였다.

2.4 기지농도(Assault Concentration) 제조 및 실험

흡착특성을 실험하기 위해 본 연구에서는 많은 양의 유기용제 증기를 지속적으로 공급해 줄 수 있는 동적 방법(dynamic system)을 사용하였으며, 실험장치는 Fig. 2와 같다.

표준가스발생기(Permeater Gastec, Model PD-1B-2, Japan)에서 실험대상 유기용제의 증기를 발 생시켰으며, 희석가스로는 질소를 사용하였고, 표 준가스발생기의 농도는 식(1)에 의해 구한다.



- A : Cylinder
- B : Calibration gas generator
- C : Needle valve
- D : Flow meter
- E : Constant temperature bath
- F : Permeation tube
- G : Mixing chamber
- H : AC sampling tube
- I : ACF sampling tube
- J : Sampling port
- K : Gas Chromatography

Fig. 2. Schematic diagram of laboratory exposure chamber.

$$C = \frac{K \times D_r \times 10^3}{F_r} \quad (1)$$

여기서 C는 증기의 농도, Dr은 확산속도, Fr은 회석가스 유량(ml/min)을 나타내며, K는 식(2)에 의해 정하는 것으로 액체 중량을 용적으로 변환하기 위한 계수이다.

$$K = \frac{22.4}{M} \times \frac{(273 + t^*)}{273} \times \frac{P}{760} \quad (2)$$

t^* : 실온(°C), M: 분자량(g), P: 기압(mmHg)

확산 튜브를 바꿈으로써 유기용제 농도를 조절하였고, 혼합 장치 내에서 만들어진 농도가 균일하게 혼합 되도록 하였으며, 농도가 일정하게 유지되는지를 확인하기 위하여 혼합장치에서 가스실린지(gas tight syringe #1705, Hamilton Co., USA)로 30 μ l의 기체를 뽑아 GC에 주입하여 일정 농도가 유지되는지를 확인 한 후 200 ml/min의 유량으로 실험대상 물질을 온도 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 및 습도 $40 \pm 1\%$ 가 유지된 sampling tube(AC 및 ACF)쪽으로 흘려주면서 흡착을 시켰으며 sampling port에서 배출되는 농도를 확인하고, 모든 실험은 3회씩 반복 실시하며, 그 산술평균값을 실험농도로 사용한다.

III. 실험결과 및 고찰

3.1 흡착제의 선정 및 특성

유기용제 측정용 열탈착 흡착제 개발을 위해 사용된 활성탄소섬유(ACF)는 비표면적이 비교적 크고, 세공직경이 작으며, 구성원소 중에 많은 탄소를 함유하여 휘발성 탄화수소류의 흡착에 가장 효율성이 높은 것으로 알려져 있어 여러 연구자들이 악취처리 장치 개발의 흡착제로 사용한 바 있는 일본 Toyobo사 제품(KF-1500)의 셀룰로즈계(Cellulose 또는 Viscose rayon)이며, 활성탄(AC)은 산업위생분야에서 작업장의 공기 중 유기용제 측정에 널리 사용되는 SKC사 제품(Anasorb CSC, USA)의 입상 활성탄을 사용하였다.

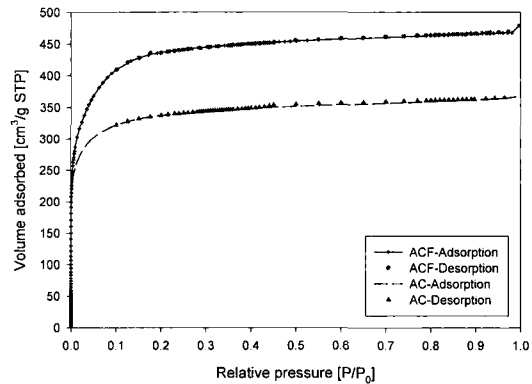
비표면적 및 기공분석 장치(Surface area and pore characterization system, Model ASAP2010,

Table 1. Pore Characteristic of adsorbents.

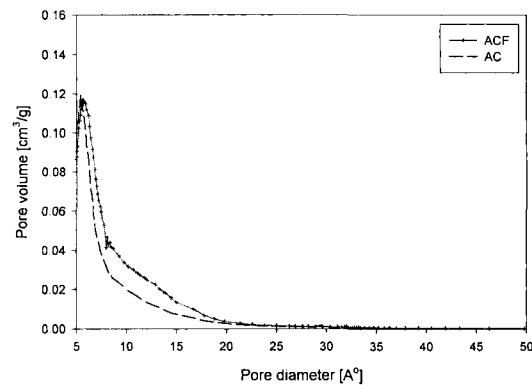
Sample	Average pore diameter (Å)	Micropore volume (cc/g)	Total pore volume (cc/g)*	BET surface area (m ² /g)
AC	17.0	0.442	0.469	1127
ACF	16.8	0.575	0.614	1459

* total pore volume was measured at P/P₀=0.99

Micromeritics)를 이용하여 두 흡착제간의 비표면적 및 기공분포 등 흡착특성을 분석하여 Table 1에 나타낸 결과, 비표면적은 ACF가 AC보다 1.3배 큰 것을 알 수 있었으며, 기공분포에서 두 흡착제의 평균기공 직경은 약 17Å으로 차이가 없어 전체 기공분포에서 차지하고 있는 미세기공의 비율



(a)



(b)

Fig. 3. (a) Ar adsorption-desorption isotherms and (b) Pore size distributions calculated using Horvath-Kawazoe method from for adsorption isotherm for ACF and AC.

은 AC 및 ACF가 94%로 두 흡착제 모두 미세기공이 발달하였음을 알 수 있었다.

Fig. 3에서 (a)는 알곤(Ar) 흡착법을 이용한 흡착-탈착 등온선을 나타내 것으로 AC, ACF는 상대압력에 따른 흡착량의 곡선이 Satterfield가 보고한 다섯 종류의 흡착 등온선¹⁷⁾에서 흡·탈착 과정이 동일한 등온선을 같은 I type으로 나타냈으며, (b)는 Horvath-Kawazoe방법을 이용하여 기공분포를 나타낸 것으로 두 흡착제 모두 20Å이하의 미세기공(micropore)이 발달되어 있는 것으로 나타났다. 특히 AC에서 미세기공이 많이 분포되어 있는 것은 회사 별로 제조된 AC의 기공분포가 다르며, 미세기공이 발달되어 있는 활성탄일수록 그리고 표면적이 넓을수록 VOCs의 흡착능이 우수하다고 보고^{18),19)}한 것과 같이 본 실험에 사용한 활성탄이 작업환경측정용으로 흡착속도, 흡착유효 면적 및 흡착용량을

크게 하기 위한 목적으로 개발되었기 때문으로 생각된다. 활성탄소섬유와 활성탄의 표면상태를 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM, Model S-2500, Hitachi)으로 촬영한 결과는 Fig. 4(a) 활성탄의 입상 형태, (b) 표면의 도입공, (c) 도입공의 공벽에 있는 기공, (d)는 공벽에 있는 기공내부를 나타내었으며, Fig. 5(a) 활성탄소 섬유 형태, (b)와 (c) 표면의 구조, (d) 단면구조, (e) 표면과 단면의 연결구조를 나타내었다.

Fig. 4에서 보는바와 같이 AC는 입자 형태의 구조를 갖고 있으며, 도입공의 공벽에 미세기공이 개구되어 있는 것으로 생각되는 반면, Fig. 5에서의 ACF는 섬유상의 가닥구조를 갖고 있으며, 표면의 도입공과 내벽이 미세기공 만으로 연결되어 있어 기상흡착의 경우 대단히 신속한 세공내 흡착(intraparticle adsorption)을 보이고 있는 것을 알

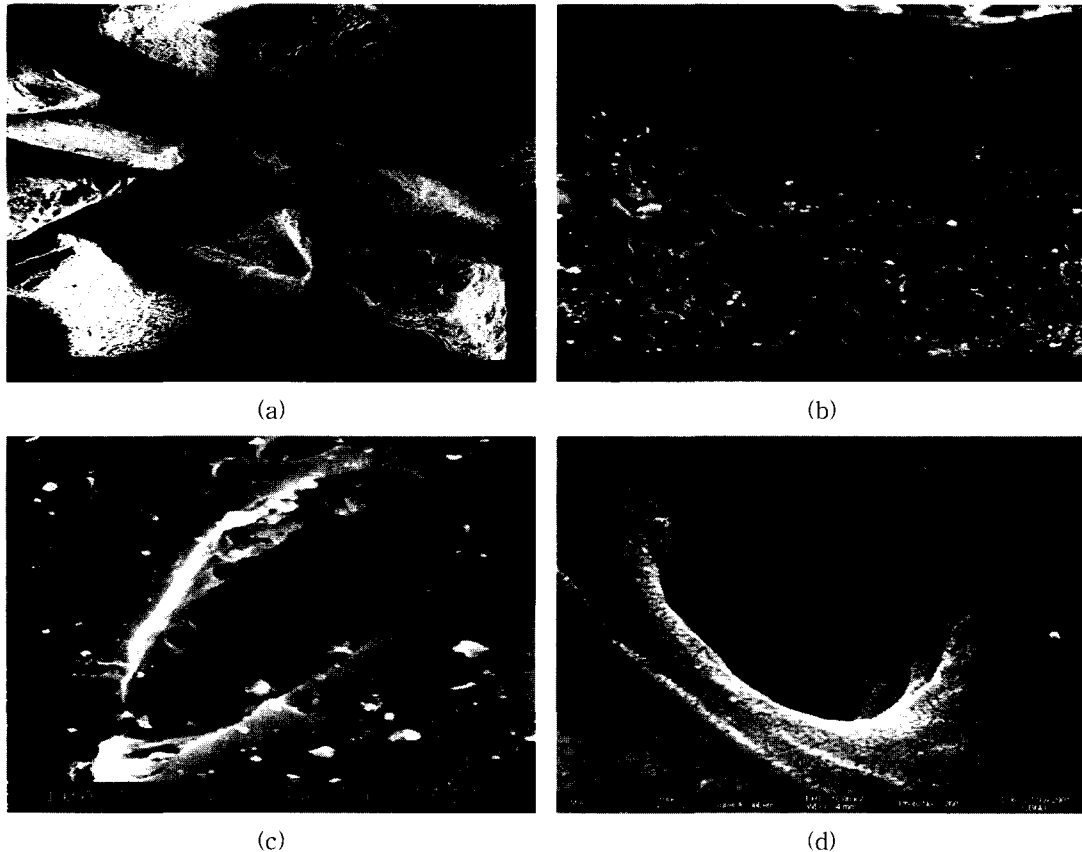


Fig. 4. Scanning electron micrographs of activated carbon at the magnification of (a) 60, (b) 1,000, (c) 6,000, and (d) 55,000.

수 있다.

3.2 흡착제 종류별 파과특성

작업장에서 발생되는 유기용제를 측정하기 위해

고체 흡착관을 사용할 경우 흡착제의 흡착용량을 결정해야 하며, 이러한 흡착용량은 흡착제의 종류 및 양, 비표면적, 유기용제의 공기 중 농도 등에 의해 영향을 받는다.

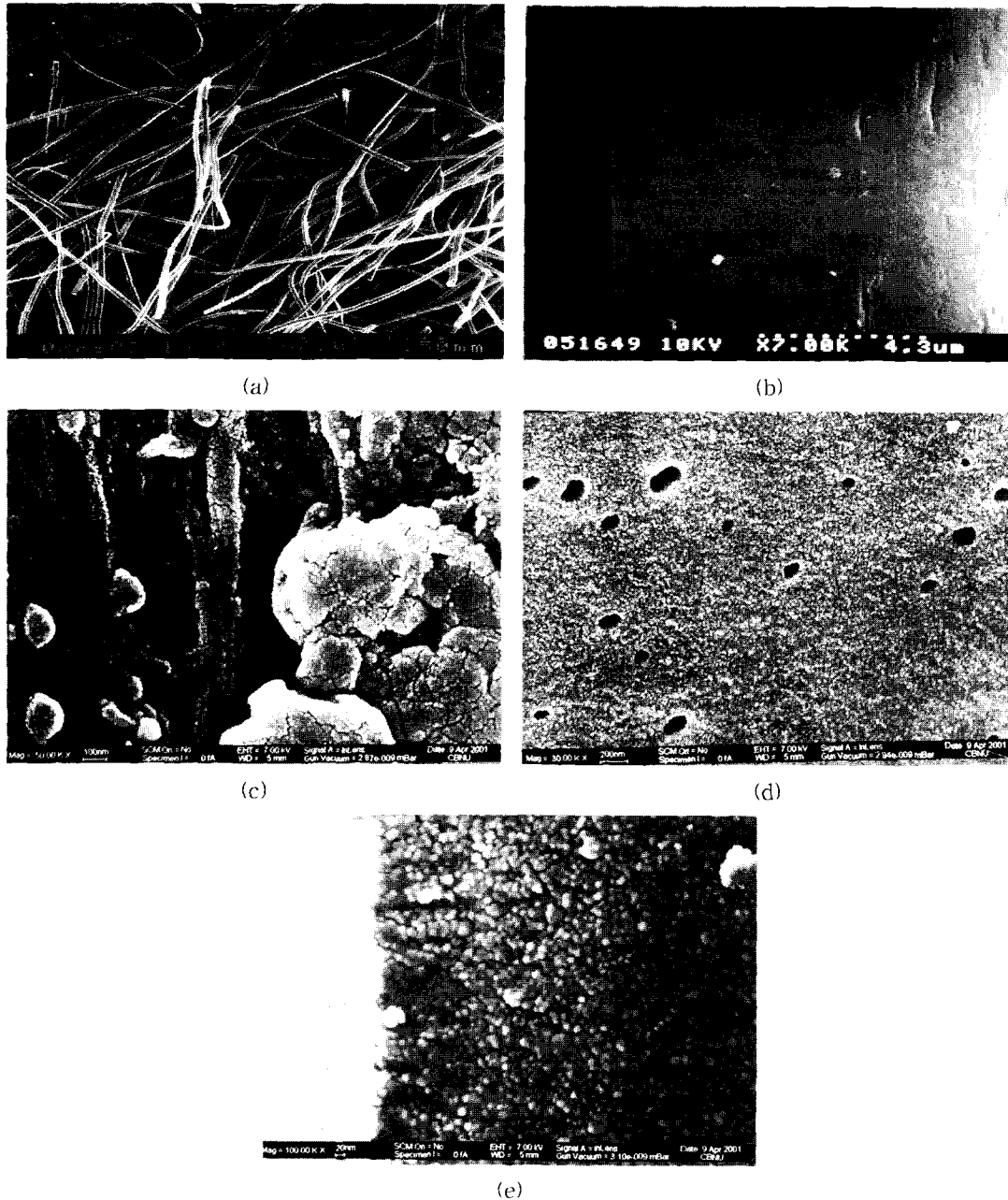


Fig. 5. Scanning electron micrographs of activated carbon fiber at the magnification of (a) 60, (b) 2,000, (c) 5,000, (d) 30,000, and (e) 100,000.

따라서 공기 중 유기용제 측정용 흡착제로써 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 활성탄(AC)과 본

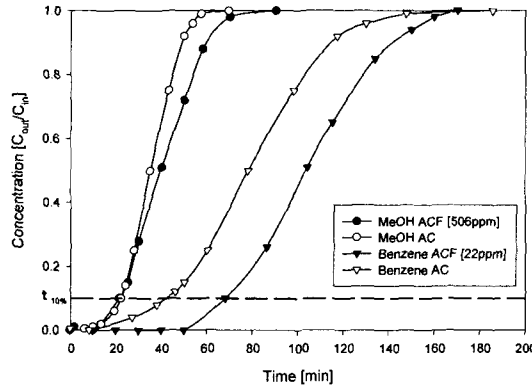


Fig. 6. Breakthrough curves of methanol and benzene on ACF and AC.

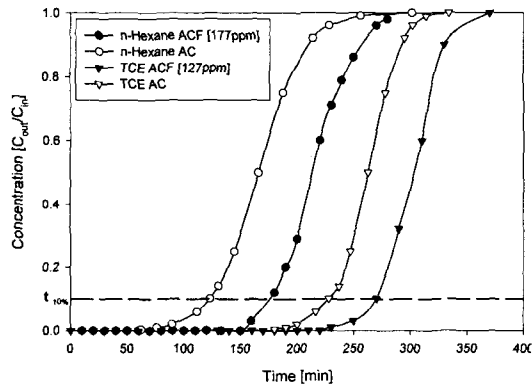


Fig. 7. Breakthrough curves of n-Hexane and TCE on ACF and AC.

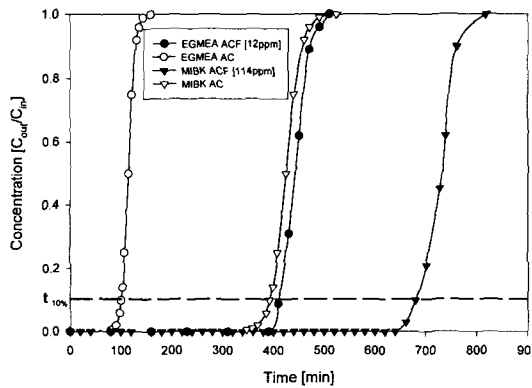


Fig. 8. Breakthrough curves of EGMEA and MIBK on ACF and AC.

연구를 통해 유기용제 측정용 흡착제로 개발하기 위한 활성탄소섬유(ACF)와 파과특성을 비교하기 위해 대상 유기용제를 작업환경에서 발생하는 농도인 노출기준 (TLV)의 2~3배 수준에서 파과곡선을 평가하여, 그 결과를 Fig. 6에서 Fig. 8까지 각각 나타내었다.

Fig에서 보는 바와 같이 모든 대상 유기용제에 대한 AC 및 ACF의 파과곡선 기울기는 차이가 거의 없었다. 이에 대해 신창섭등²⁰⁾이 acetone, methanol, *n*-metoxyethanol의 제거효율을 위한 흡착특성을 실험한 결과와 김우식²¹⁾이 MEK, toluene, *n*-hexane에 대한 흡착탑에서 파과 실험을 한 결과 AC에는 mesopore와 macropore가 존재하여 세공에서의 확산 이동이 흡착시간을 길게 하는 반면에 ACF는 표면세공이 대부분 20 Å이하의 미세기공으로 이루어져 있고, 표면에 밀집되어 있는 세공특성에 의하여 세공에서의 확산저항이 없기 때문에 ACF의 파과곡선이 AC의 파과곡선 보다 기울기가 가파르다고 보고한 것과는 다른 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 이전의 연구자가 사용한 입상활성탄(AC)의 기공이 대기공, 중기공, 미세기공으로 분포되어 있는 반면, 본 연구에 사용한 AC는 흡착제의 선정 및 특성에서 제시한 것과 같이 작업환경측정 목적으로 개발되어 흡착에 관여하는 미세기공이 발달하였으며, 실험에 사용한 흡착제의 양과 대상물질의 농도를 작업환경 중에서 발생하는 낮은 농도의 조건을 유지하는 과정 등에서 발생한 차이로 생각된다.

또한, 10% 파과시간에 대한 결과를 Table 2에 나타내었으며, 파과점($C_{out}/C_{in} = 0.1$)에 도달하는 시간은 AC가 충전된 흡착관 보다 ACF가 충전된 흡착관에서 MeOH를 제외하고는 *n*-Hexane의 경우 57분, Benzene은 31분, TCE는 30분, MIBK는 290분, EGMEA는 316분정도 더 길었으며, 특히 MIBK, EGMEA의 파과시간에 대한 차이가 매우 큰 것을 알 수 있었는데, 이는 흡착에 관여하는 흡착제의 기공 크기가 8 Å~20 Å사이의 미세기공(micropore)에서 대부분 이루어지는데 본 실험에 사용한 활성탄의 미세기공 부피가 0.442 cm³/g인 반면 활성탄소섬유는 20 Å이하의 미세기공이 0.575 cm³/g으로 분포되어 미세기공의 구성분포와

Table 2. 10% Breakthrough times of various solvents on AC and ACF.

Solvents	Concentration (ppm)	10 % Breakthrough time [min]		
		ACF	AC	Difference
<i>n</i> -Hexane	170	176.7	120.0	57
MeOH	506	17.1	18.0	-0.9
Benzene	22	70.0	39.2	31
TCE	127	270.0	240.0	30
MIBK	114	680.0	390.0	290
EGMEA	12	410.9	95.0	316

비표면적이 커 많은 흡착량을 갖는 특성에 의한 결과로 판단된다.

이로써, MIBK와 같은 케톤류와 EGMEA와 같은 글리콜에테르류를 측정할 경우 흡착제로 AC보다 ACF를 사용하는 것이 더욱 효율이 있음을 알 수 있었다.

Yoon 등이 제시한 흡착모델식을 이용하여 구한 AC 및 ACF의 흡착용량을 비교한 결과를 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 10% 파과시간에 따른 흡착량은 AC보다 ACF에서 *n*-Hexane의 경우 1.5배, MeOH는 0.9배, Benzene은 1.5배, TCE는 1.1배, MIBK는 1.7배, EGMEA는 4.6배로 MeOH를 제외하고는 흡착량이 1.1~4.6배로 흡착용량이 우수하게 나타났다.

Fig. 10은 AC 및 ACF가 포집 할 수 있는 최대 능력인 100% 파과시간 동안의 흡착량을 측정한 결과로 MeOH의 경우 ACF가 AC보다 흡착량이

1.2배로 증가하여 흡착초기 보다는 흡착이 진행되면서 흡착량이 증가하는 경향을 보이는 것을 알 수 있었으며, 나머지 물질은 10% 파과시간 동안에 흡착된 양과 같은 결과를 얻었다.

이러한 결과는 흡착제와 흡착물질간의 상호작용 그리고 흡착물질의 물리적 성질에 기인한 것으로 공기중의 유기용제 증기를 흡착할 경우 흡착량은 흡착제의 종류, 흡착질의 분자량, 관능기의 종류 및 위치에 따라 크게 변화되는 것과 같이²²⁾ 세공구조의 차이보다는 실험에 사용한 흡착제의 비표면적 차이에 의한 결과로 설명 할 수 있다.

또한 흡착질의 분자량 크기를 보면, MeOH는 분자량이 32.04, Benzene은 78.1, *n*-Hexane은 86.2, MIBK는 100.2, EGMEA는 118.1, TCE는 131.4순으로 MeOH의 경우 세공확산 저항에 따른 ACF와 AC간에 흡착특성의 차이가 적게 나타나고 있으나, EGMEA는 분자량이 크고, 분자구조가 복잡하여

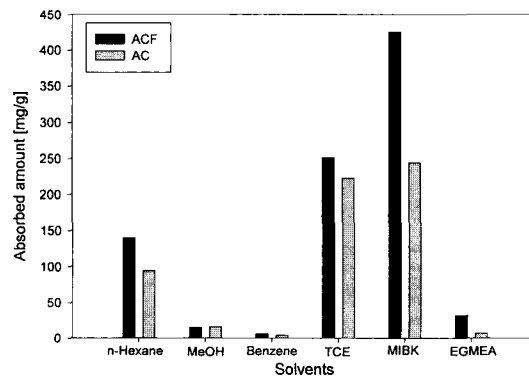


Fig. 9. Adsorbed amounts of solvents at 10% breakthrough time on ACF and AC.

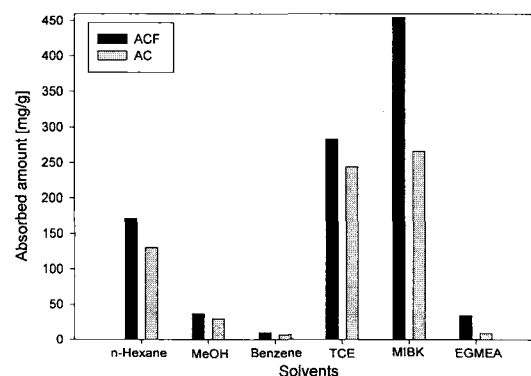


Fig. 10. Adsorbed amounts of solvents at 100% breakthrough time on ACF and AC.

AC의 경우 내부 확산저항이 크게 나타나 ACF와 큰 차이를 나타내고 있는 것으로 판단된다.

이상의 결과로 보아 AC보다 ACF에서 대상 유기용제의 파과시간과 흡착용량이 우수한 것을 알 수 있었다.

IV. 결 론

유기용제를 포집하기 위해 사용하는 고체 흡착제의 흡착특성은 낮은 농도수준 및 다양한 성분이 혼합되어 발생하는 작업환경에서는 상당히 다른 양상을 보일 수 있다. 따라서 본 연구에서는 작업 환경 조건에 맞는 대상 유기용제 및 농도 수준 등을 설정하여 유기용제 측정에 널리 사용되고 있는 활성탄(AC)과 새로운 흡착제로 연구되고 있는 활성탄소섬유(ACF)에 대한 흡착특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 흡착제의 물리적 특성을 분석한 결과 비표면적은 ACF가 AC보다 1.3배 컷으며, 흡착에 관여하는 미세기 공의 분포비율은 두 흡착제 모두 94%로 미세기공이 발달하였음을 알 수 있었다. 또한 표면상태를 측정 한 결과 AC는 도입공의 공벽에 미세기공이 개구되어 있는 반면, ACF는 표면의 도입공과 내벽이 미세기 공만으로 연결되어 있어 기상흡착의 경우 대단히 신속한 세공 내의 흡착을 보이는 것을 알 수 있었다.
2. 흡착제의 파과특성은 AC보다 ACF에서 파과곡선의 기울기는 차이가 없었으나, 파과점($C_{out}/C_{in}=0.1$)에 도달하는 시간인 10% 파과시간은 ACF가 30~316분 정도 길었고, 흡착용량도 1.1~4.6배 많아 AC보다 ACF가 흡착제로 이용효율이 우수한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Organic Solvent research, "Euro review research in Health and Safety at work", EU, ISSN 1024 3240, 1996.
2. 이세훈, 산업보건학(서울, 수문사), 1991.

3. 백남원, 윤충식, 정희명, "우리나라에서 사용되는 일부 신나의 구성 성분에 관한 연구", 한국 산업위생학회지, Vol. 8, pp. 105-114, 1998.
4. 노동부, 산업안전보건법, 1998.
5. NIOSH Manual of sampling data sheet, DHEW(NIOSH) Publication, 1977.
6. Rothweiler, H., Wager, P. A. and Schlatter, C., "Comparison of Tenax and Carbotrap for sampling and analysis of volatile organic compounds in air", Atmos. Environ., 25B, pp. 231-235, 1991.
7. 박정근, "열 탈착법을 이용한 유기용제 측정분석의 고찰", 안전보건, p. 69-71, 1998.
8. Rainer, A., Rosenberg, H. E. and Grasserbauer, M., "Development and application of a thermal desorption method for the analysis of polar volatile organic compounds in workplace air", Journal of chromatography A, Vol. 809, pp. 47-63, 1998.
9. Verma, D. K., "Measurement of benzene in the workplace and Its evolution process, overview, history and post methods", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol. 60, pp. 38-47, 1999.
10. 有害大氣 汚染物質 測定の 實際, (財)日本 環境衛生 センター, p. 120-123, 1997.
11. 백남원, 박동욱, 윤충식, 작업환경측정 및 평가, 신광출판사, p. 178-186, 1997.
12. Lin, S. H. and Hsu, F. M., "Liquid-Phase adsorption of organic compounds by granular activated carbon and activated carbon fibers", Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 34, pp. 2110-2116, 1995.
13. Yoon, Y. H. and Nelson, J. H., "Application of gas adsorption kinetics- I. A theoretical model for respirator cartridge service life", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol. 45, pp. 509-518, 1984.
14. 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", Am. Ind. Hyg.

- Assoc. J., Vol. 45, pp. 517-524, 1984.
15. Yoon, Y. H. and Nelson, J. H., "Contaminant breakthrough : A theoretical study of charcoal sampling tube", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol. 51, No. 6, pp. 319-325, 1990.
 16. Yoon, Y. H. and Nelson, J. H., "Breakthrough time and adsorption capacity of respirator cartridge", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol. 53, pp. 303-316, 1992
 17. 전학제, 촉매개론(서울, 도서출판 한림원), 1995.
 18. Pro-Tech Information, 프로테크 코리아, p. 24-28, 2001.
 19. Leonard, A. J., Sonsone, E. B. and Farric, T. S., "Prediction of activated carbon Performance for binary vapor mixtures", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol. 44, No. 10, pp. 716-719, 1983.
 20. 신창섭, 김기환, 원정일, "PCB제조 공정에서 발생하는 VOC를 처리하기 위한 흡착제의 흡착특성", 한국대 기환경학회지, 제17권, 제1호, pp. 67-74, 2001.
 21. 김우식, "휘발성 유기용제로 흡착된 활성탄섬유의 재생과 용제 회수에 관한 연구", 특정연구보고서, 연세대학교 화학공학과, pp. 23-29, 1997.
 22. Swearingen, P. M. and Weaver, S. C., "Respirator cartridge study using organic-vapor mixtures", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol. 49, No. 2, pp. 70-74, 1988.
 23. Yoon, Y. H., Nelson, J. H. and Lara, J., "A theoretical interpretation of the service life of respirator cartridges for the binary acetone/m-xylene system", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol. 52, No. 2, pp. 65-74, 1991.
 24. Yoon, Y. H., Nelson, J. H. and Lara, J., "A theoretical model for respirator cartridge service life for binary system : Application to acetone/styrene mixtures", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol. 53, No. 8, pp. 493-502, 1992.
 25. Trout, D., Breyesse, P. N., Hall, T., Corn, M. and Risby, Y., "Determination of organic vapor respirator cartridge variability in terms of degree of activation of the carbon and cartridge packing density", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol. 47, pp. 491-496, 1986.
 26. Guenier, J. P. and Muller, J., "Sampling of gaseous pollutants on activated charcoal with 900mg tube", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol. 28, pp. 61-75, 1984.
 27. Cohen, H. J., Zellers, E. T. and Garrison, R. P., "Development of a evaluating the service lives of organic vapor cartridges : Result so laboratory testing using carbon tetrachloride. Part II: humidity effects", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol. 51, pp. 575-580, 1992.
 28. Fraust C. L. and Hermann, E. R., "Charcoal sampling tubes for organic vapor analysis by Gas Chromatography", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol. 27, pp. 68-74, 1966.
 29. Cohen, H. J., Briggs, D. E. and Garrison, R. P., "Development of a field method for evaluation the service lives of organic vapor cartridges Part III : Results of laboratory testing using binary organic vapor mixtures", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol. 52, No. 1, pp. 34-43, 1991.