

## 선택적 가스분리를 위한 활성탄소섬유의 분자체 특성 연구

박병배 · 김도수 · 박영성\*

충남대학교 화학공학과, 대전대학교 환경공학과\*  
(2000년 7월 31일 접수)

### Studies on Molecular Sieve Characteristics of Activated Carbon Fibers for Selective Gas Separation

Byung-Bae Park, Do-Su Kim and Yeong-Seong Park\*

Department of Chemical Engineering, Chungnam National University, Taejeon, 305-764, Korea

\*Department of Environmental Engineering, Taejeon University, Taejeon, 300-716, Korea

(Received July 31, 2000)

#### 초 록

선택적 가스분리를 위한 분자체탄소(Molecular Sieve Carbon:MSC)로서의 활용을 위해 제조된 활성탄소섬유의 흡착능과 분자체특성이 다양한 분자크기를 갖는 가스 흡착실험을 통해 조사되었다. 각 활성화 조건별 세공크기분포와 세공발달 전개과정을 유추하므로써, 세공크기분포의 조절이 가능하게 되었으며 활성탄소섬유의 분자체 탄소로서 활용을 용이하게 할수 있었다. 800, 850°C의 온도로 수증기에 의해 활성화한 활성탄소섬유의 경우 burn-off가 각각 50, 40% 정도를 가진 활성탄소섬유가 비교적 작은 분자크기(0.3~0.4 nm)의 흡착질에 대한 분자체 특성을 나타냈다. 또한, 다양한 분자크기의 흡착질을 포함하는 혼합가스의 유속과 흡착온도의 조절로서 원하는 흡착질의 선택적 분리를 위해 활성탄소섬유가 갖는 분자체 특성 향상을 보였다.

#### ABSTRACT

The adsorption capacity and molecular sieve properties of the activated carbon fibers which were prepared as Molecular Sieve Carbon(MSC) for selective gas separation were investigated by gas adsorption of various gas molecular dimensions. By advising of pore size distribution and pore evolution steps according to activating conditions, the pore size could be controlled and the result was utilized for applying activated carbon fibers as molecular sieve carbon. The activated carbon fibers which were activated at 800, 850°C and possessed 50, 40% burn-off had good properties as molecular sieve carbon for separation of small size adsorbates(0.3 ~ 0.4 nm). The activated carbon fibers showed good properties as molecular sieve carbon for separation of optional size adsorbates by controlling the flow rate and adsorption temperature of mixing gas of various size adsorbates.

**Key words :** Molecular sieve carbon, Adsorption, Activated carbon fiber, Selective gas separation

#### 1. 서 론

흡착제를 이용한 흡착분리공정은 특정 성분에 대해서 선택성과 흡착효율이 높고, 실온에서도 조작이 가능하기 때문에 장치를 소형화할 수 있고, 유지비가 저렴하다는 장점을 가지고 있다.

분자체 탄소(Molecular Sieve Carbon:MSC)는 흡착제의 새로운 형태이며, 10 Å정도 균일한 미세공을 가진 물질이다. 분자체 탄소는 분자체 특성을 가지는데 즉, 흡착제의 세공 크기보다 더 작은 분자 직경을 가진 흡착분자만이 분자체 탄소의 내부 표면으로 접근할수 있게 되는 것이다. 이 독특한 특성을 이용하여 분자체 탄소는 대기 및 수질오염물질의 제거,<sup>1-4)</sup> 휘발성 용매의 회수,<sup>5,6)</sup> 혼합물의 분리 및 정제<sup>7,8)</sup> 등에 광범위하게 적용되고 있다.

이중 분자체탄소로서의 응용을 위한 활성탄소에는 종래의 활성탄과 활성탄소섬유를 들수 있는데, 실제적인 관점에서 선택적 분자흡착제로서 활성탄소섬유의 사용은 그들의 우수한 특성때문에 활성탄소보다 많은 장점을 보인다.<sup>9,10)</sup> 활성탄소섬유는 활성탄이 광범위한 세공 분포를 지니고 있는 반면 10~20 Å의 균일한 미세공이 잘 발달되어 있어 비표면적이 크며, 흡·탈착 속도가 뛰어나다. 또한, 통기성이 뛰어나 많은 량의 배기가스를 처리할 수 있고 인장 강도가 높은 섬유상이기 때문에 mat, seat 등의 다양한 형태로 가공할 수 있어 응용성이 매우 크고 분말 또는 조립의 충전으로부터 일어나는 문제점을 피할수 있다. 이런 모든 특성들은 흡착의 효율성을 증대시키고 환경오염제거에 사용되는 재생장치의 크기와 설계의 단순화를 가져올 수 있을 것이다.

기공구조와 표면특성의 변화를 갖는 활성탄소섬유가 특정 성분의 선택적 흡착을 위한 분자체 탄소로의 활용에 있어, 이를 결정하는 여러 인자가 있는데 흡착능력, 선택성, 기공 크기분포 등이다. 이를 제어하기 위해서는 제조공정상의 제어 뿐만이 아니라 흡착공정변수의 조절이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 각 특성별로 제조된 활성탄소섬유를 가지고 서로 분자크기가 다른 여러 흡착질의 흡착을 통하여, 활성탄소섬유의 세공특성과 함께 분자체특성을 알아보았으며, 흡착공정상의 여러 변수에 따른 영향을 제시하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 탄소섬유의 활성화

제조된 탄소섬유를 Fig. 1의 평형관상조에 실험당 원료 5 g씩을 넣고, 승온속도를 5°C/min으로 고정시켜 활성화 온도 800, 850, 900°C에서 활성제인 증기의 공급속도를 20 ml/hr(약자 1), 38 ml/hr(약자 3), 58 ml/hr(약자 5)로 조절하면서 반응시간(hr)에 따라 활성화 하여 활성탄소섬유를 제조하였다. 증기의 공급은 물의 공급량으로 조절하였으며, carrier gas로는 2.0 l/min 유속의 질소를 이용하였다.

### 2.2. 활성탄소섬유의 용매흡착특성

활성탄소섬유의 흡착질에 대한 흡착성능을 알아보기 위해 분자크기가 다른 흡착질에 대한 기상흡착실험을 KS M

1802 방법에 기초하여 이를 보완, 실행하여 보았다.<sup>11)</sup> 흡착의 대상이 되는 흡착질은 염화메틸렌, 메탄올, 벤젠, 사염화탄소를 사용하였으며, 이들에 대한 물성치를 Table 1에 나타내었다.

기상흡착장치의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 항온조를 소정의 흡착온도로 조정한 후, 질소가스를 액체상태의 흡착질에 통과시켜 기체상태로 발생시키고 spiral관을 통한 회석용 질소가 혼합하여 혼합가스를 제조한다. 0.5~2 l/min 범위의 일정유속으로 흡착 columb내의 basket에 담긴 활성탄소섬유 시료에 1/n로 희석된 혼합가스를 통과하고 시료의 증량으로부터 평형흡착성능을 구한다. 여기서, n은 흡착질 포화농도의 회석배수이며 1/10, 1/100, 1/1000의 희석비율에서 실행하였다.

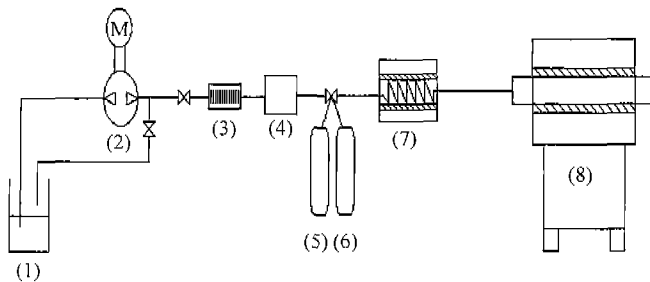


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus for activation (1) water bath (2) peristaltic pump (3) flow meter (4) steam generator (5) N<sub>2</sub> (6) CO<sub>2</sub> (7) heater (8) activation furnace.

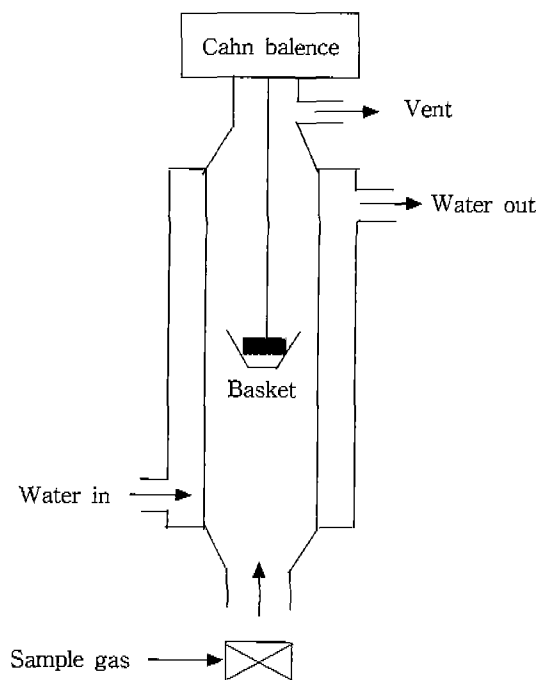
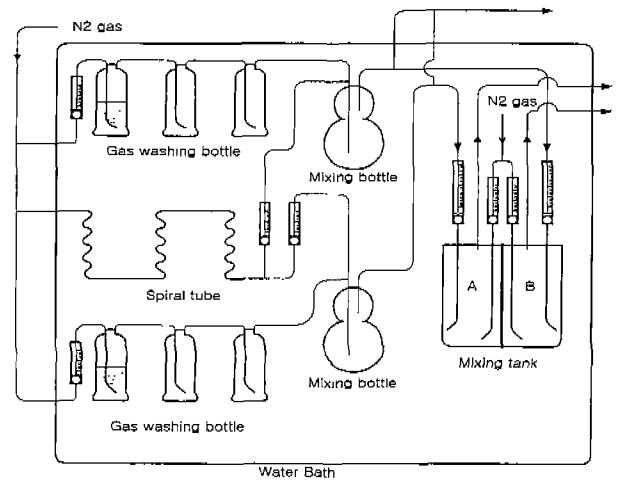


Fig. 2. Schematic diagram of adsorption apparatus.

Table 1. Properties of Adsorbates for Gas Adsorption

|                                 | Molecular weight (g) | Vapor pressure at 300K (kPa) | Boiling point (°C) | Critical size (nm) |
|---------------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> | 84.93                | 61.95                        | 40~41              | 0.33               |
| CH <sub>3</sub> OH              | 32.04                | 18.7                         | 64.7               | 0.44               |
| C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>   | 78.11                | 13.816                       | 80.5               | 0.585              |
| CCl <sub>4</sub>                | 153.82               | 16.5                         | 76.8               | 0.69               |

3. 결과 및 고찰

3.1. 제조된 흡착제의 기상흡착특성

활성화실험을 통해 활성화온도, 증기의 흐름속도와 활성화 시간에 따라 각각 제조된 활성탄소섬유의 흡착 특성치를 Table 2에 나타내었다. Burn-off에 따라 대체적으로 세공부피와 비표면적이 증가하였으며 활성화 온도와 증기흐름속도에 따라 흡착특성치들은 크게 달라짐을 알 수 있었다.

제조된 활성탄소섬유의 분자크기가 서로 다른 여러흡착질에 대한 기상흡착성능을 알아보기 위해, 850°C에서 활성화된 활성탄소섬유들을 시료로 하여 흡착질과 질소의 혼합가스를 1/10의 희석비율, 2 l/min의 흐름속도로 흘렸을 때의 평형흡착량을 Fig. 3에 나타내었다.

우선, 본 실험에 사용된 유기용매 흡착질에 대해 다른 연구자에 의해 제조된 분자체탄소와의 흡착량을 비교해보았다. 흡착조건이나 원료물질이 다르고 분자체탄소가 선택적분리를 목적으로 하기때문에 절대 비교를 할수 없지만, Ahmadpour등<sup>12)</sup>이 제조한 Ajax 활성탄소의 벤젠에 대한 최대흡착량은 5~6 mmol/g, Garrido등<sup>13)</sup>이 제조한 almond shell로 부터의 활성탄소의 벤젠 흡착량은 2~7 mmol/g, Tamon등<sup>14)</sup>이 측정한 Calgon사의 활성탄소(CAL)의 메탄올 흡착량은 약 1~4 mmol/g정도였다. 이는 본 실험에서 제조된 활성탄소섬유가 Fig. 3에서 보이는 각 유기용매흡착질의 흡착량과 비교해 볼때 1/10의 농도로 희석된 것을 감안하면

Table 2. Adsorptive Properties of Activated Carbon Fibers

| Activating temp.(°C) | Flow rate of steam (ml/hr) | Activating time (hr) | Burn-off (wt %) | Pore volume (cc/g) | Specific surface area (m <sup>2</sup> /g) |
|----------------------|----------------------------|----------------------|-----------------|--------------------|---|
| 800                  | 20                         | 1                    | 25.9            | 0.357              | 865                                       |
|                      |                            | 2                    | 48.9            | 0.611              | 1411                                      |
|                      |                            | 3                    | 69.0            | 0.884              | 1890                                      |
|                      | 38                         | 1                    | 41.4            | 0.527              | 1344                                      |
|                      | 58                         | 0.5                  | 44.1            | 0.532              | 1357                                      |
| 850                  | 20                         | 0.5                  | 31.5            | 0.421              | 1031                                      |
|                      |                            | 1                    | 37.8            | 0.502              | 1265                                      |
|                      |                            | 2                    | 58.4            | 0.624              | 1435                                      |
|                      | 3                          | 72.1                 | 0.864           | 1815               |   |
|                      | 38                         | 0.5                  | 41.5            | 0.520              | 1315                                      |
| 58                   | 0.5                        | 49.9                 | 0.541           | 1395               |   |
| 900                  | 20                         | 0.5                  | 47.0            | 0.513              | 1300                                      |
|                      |                            | 1                    | 68.0            | 0.806              | 1659                                      |
|                      | 38                         | 0.5                  | 71.4            | 0.814              | 1611                                      |
| 58                   | 0.5                        | 77.2                 | 0.821           | 1644               |   |

상당히 큰 흡착성능을 보임을 알수 있었다.

활성탄소섬유의 각 흡착질에 대한 흡착량을 보면, 초기의 짧은 흡착시간에 큰 흡착량의 증가를 보였으며 평형흡착에

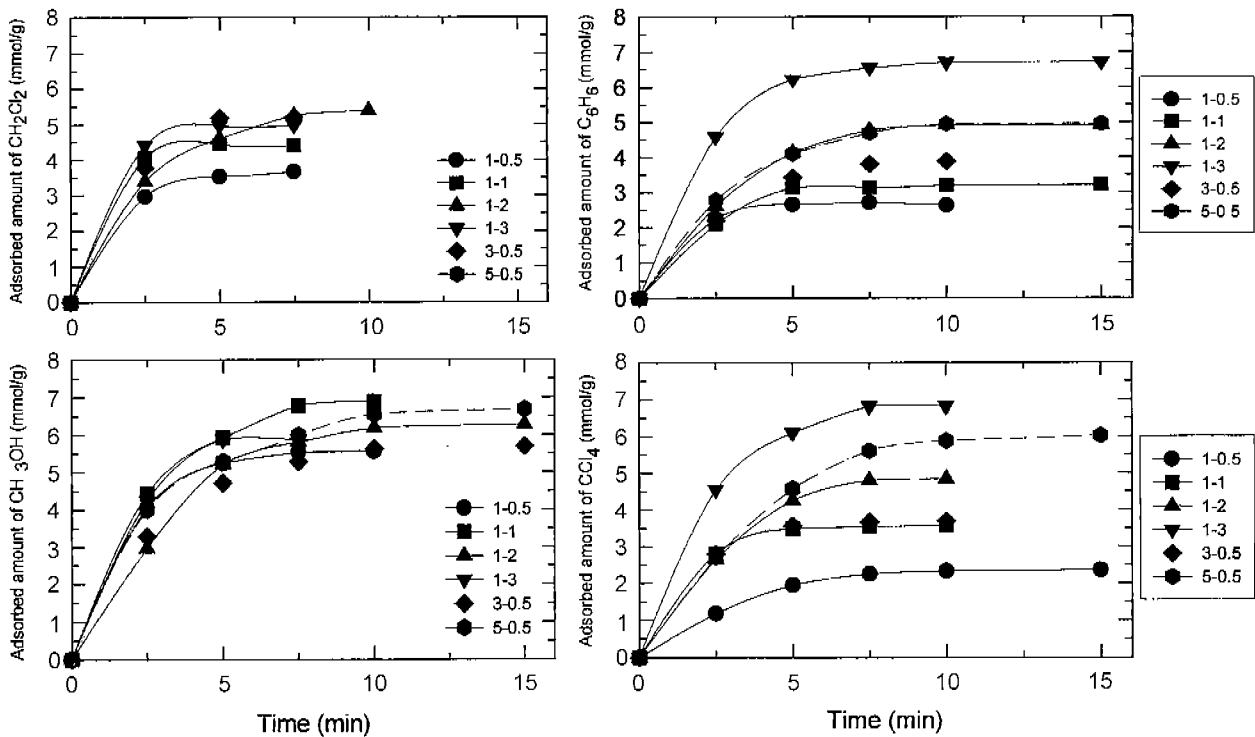


Fig. 3. Adsorbed amounts of CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>OH, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> and CCl<sub>4</sub> according to time over carbon fibers activated at 850°C. dilute ratio(1/n)=1/10, flow rate of adsorbates=2.0 l/min adsorption temp.=20°C.

도달하였다. burn-off의 증가에 따라 평형흡착시간과 흡착량이 모든 흡착질에 대해 증가하였으며,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ 와 같은 비교적 분자 반경이 작은 흡착질의 경우가  $\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $\text{CCl}_4$  보다 빠른 파과시간을 보였다.

또한,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ 와  $\text{CH}_3\text{OH}$ 의 흡착양상은 다양한 burn-off를 갖는 각 활성탄소섬유가 거의 고른 흡착량을 보인 반면  $\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $\text{CCl}_4$ 의 경우는 burn-off에 따라 흡착량의 큰 차이를 보였다. 즉  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ 와  $\text{CH}_3\text{OH}$ 의 경우는 burn-off 증가에도 흡착량이 오히려 감소하기도 하지만,  $\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $\text{CCl}_4$ 의 경우는 대체적으로 burn-off의 증가에 따라 흡착량이 비례하여 증가하였다. 이는 흡착질의 분자크기와 세공경에 의한 상관관계 즉, burn-off의 진행에 따른 초기 미세공발달과 이후의 미세공 합체로 인한 더 큰 세공의 발달과 연관된 결과로 보인다.

같은 조건에서 처리된 활성탄소섬유의 흡착질별 흡착량은 대체로  $\text{CH}_3\text{OH}$ 에 대한 흡착량이 다른 흡착질에 비해 컸으며, 60% 이상의 큰 burn-off를 갖는 경우는  $\text{CCl}_4$ 에 대해 가장 큰 흡착량을 보였다. 이는 활성탄소섬유가 갖는 기공 구조에 따른 차이에 의해 기인한 것으로 생각된다.<sup>13,15)</sup>

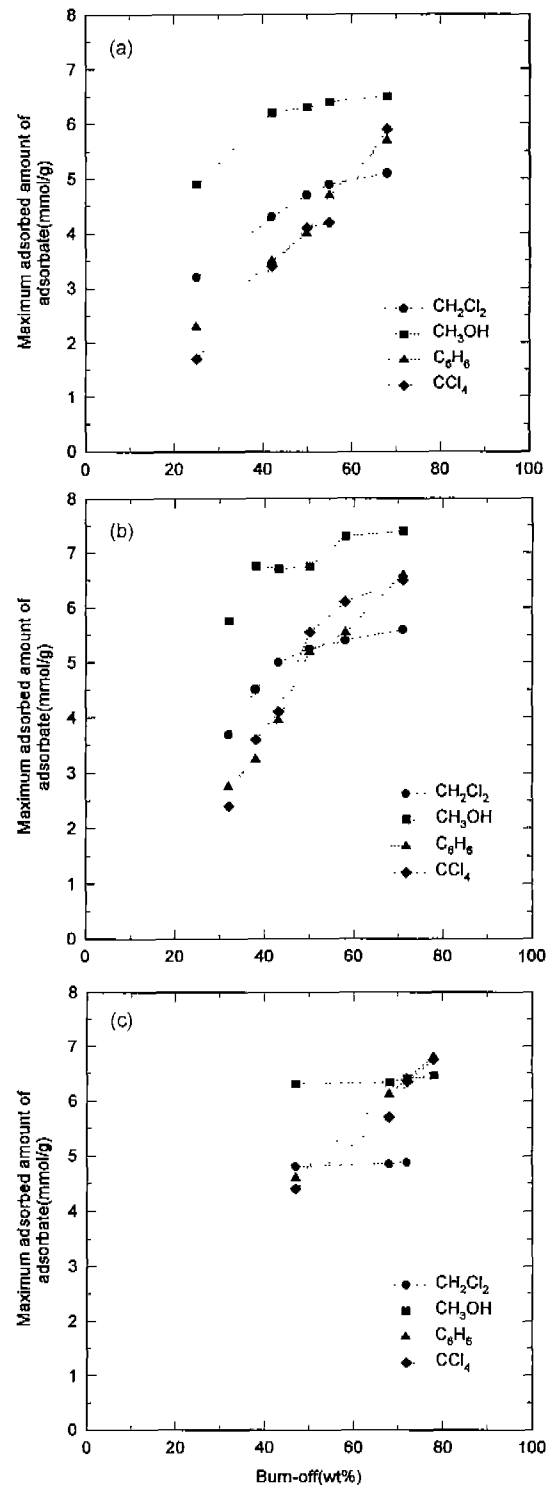
증기공급속도에 대한 흡착량의 영향을 알아보면, 공급속도를 증가하여 제조된 활성탄소섬유(3-0.5, 5-0.5)가 서로 비슷한 burn-off를 가진 낮은 공급속도에서 제조된 시료(1-1)에 비해 거의 비슷한 흡착량을 보였는데, 따라서 증기공급속도에 따른 흡착량 증가는 보이지 않았다. 이는 800°C와 900°C에서 제조된 활성탄소섬유에서도 같은 경향을 나타내었다.

Fig. 4에는 활성탄소섬유의 각 활성화 온도별 burn-off에 따른 흡착질에 대한 최대 흡착량의 관계를 나타내 보았다. 800°C에서 활성화된 활성탄소섬유는 활성화가 진행되어 burn-off가 높을수록 대체로 큰 최대 흡착량을 보였다. 하지만  $\text{C}_6\text{H}_6$ 와  $\text{CCl}_4$ 의 경우는 burn-off에 대해 최대 흡착량이 비례하여 증가하는 반면  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ 와  $\text{CH}_3\text{OH}$ 의 경우는 burn-off가 50% 이하에서는 비례하지만 그 이상의 burn-off에서는 거의 증가하지 않음을 볼 수 있었다.

따라서 이는 비교적 분자크기가 작은 흡착질의 흡착을 통한 분리에서 800°C의 온도로 활성화한 활성탄소섬유의 경우 burn-off가 50% 이상의 값에서는 분자크기가 작은 흡착질에 대한 더 이상의 특성을 나타내지 않음과 50% burn-off이하에서  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ 와 특히  $\text{CH}_3\text{OH}$ 의 큰 최대 흡착량을 이용하여 이들의 선택적 분리를 가능하게 하는 분자체특성을 보임을 알 수 있었다.

위와 같은 경향은 850°C에서 활성화한 활성탄소섬유의 최대흡착량 값에서 더욱 뚜렷하게 나타나는데, 850°C의 반응 온도에서의 활성탄소섬유는  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ 와  $\text{CH}_3\text{OH}$ 에 대해 burn-off 40% 이상에서 거의 흡착특성의 향상을 보이지 않으며 800°C 활성화온도에서 제조된 활성탄소섬유보다 더 큰 최대흡착량을 보였다.

또한 900°C의 높은 온도에서 제조된 활성탄소섬유의 경



**Fig. 4.** Maximum adsorbed amounts of adsorbate vs. burn-off of carbon fibers activated at 800°C, 850°C and 900°C in dilute ratio(1/n)=1/10, flow rate of adsorbates=2.0 l/min adsorption temp.=20°C (a) 800°C, (b) 850°C (c) 900°C.

우는 짧은 시간에도 큰 burn-off 값을 나타내는데, burn-off의 변화에서도  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ 와  $\text{CH}_3\text{OH}$ 의 최대흡착량은 같았으며

C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>과 CCl<sub>4</sub>의 경우는 역시 burn-off에 따라 비례하여 최대흡착량을 보였다. 한편 900°C에서 제조된 활성탄소섬유의 최대흡착량은 850°C에서 제조된 활성탄소섬유보다 더 작은 값을 가짐으로서 비교적 작은 분자크기의 흡착질에 대한 분자체 특성을 나타내기 위해서는 일정온도(850°C)에서 제조되고 40% 정도의 burn-off를 갖는 활성탄소섬유가 더 적당하리라 생각된다.

3.2. 흡착분자크기와 세공경의 관계

미세공에서 흡착의 주요인자는 기공크기 자체뿐만이 아니라 흡착질 분자에 대한 기공의 크기비가 중요하다. 즉, 미세공 크기분포가 중요한데 평균세공크기보다 더 작은 반경을 가진 분자들은 미세공 부피안으로 빠르게 분산되나 더 큰 분자의 흡착은 제한을 받는 것이다. 또한 세공경에 대한 흡착질의 흡착은 Sing등<sup>15-17)</sup>이 주장한 미세공 채움 현상을 기초로 한다. 주요 미세공 채움은 세공경에 의해 제한되며 첫 번째 미세공 채움은 세공경이 흡착질 분자크기만 할 때이고 두 번째 미세공 채움은 2배~5배 정도의 범위에서 일어 난다는 것이다.

활성화온도와 시간에 따라 제조된 활성탄소섬유의 각 흡착질의 분자크기에 따른 흡착거동을 흡착시간의 경과에 따

라 알아 보았는데, Fig. 5에는 850°C의 활성화온도에서 증기공급속도를 일정하게 하고 활성화시간을 증가시켰을 때와 증기공급속도를 크게 했을 때 제조된 활성탄소섬유의 흡착량을 흡착질 분자크기별로 나타내 보았다.

1-1과 1-2의 조건으로 처리된 활성탄소섬유의 흡착량은 burn-off가 37.8%에서 58.4%로 증가에도 불구하고 CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>은 약간 증가하고 CH<sub>3</sub>OH에 대한 흡착량 값의 변화가 거의 없으며 C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, CCl<sub>4</sub>에 대한 흡착량은 크게 증가한다.

burn-off의 증가로 세공수가 많아 졌음에도 흡착량이 변하지 않았다는 것은 CH<sub>3</sub>OH(0.44 nm)을 선택적으로 흡착하는 세공크기를 가진 세공들이 전체세공중 차지하는 비율이 오히려 적어졌음을 의미하며, 반면에 C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>의 큰 흡착량 증가는 이를 선택흡착하는 크기 세공들의 높은 비율을 나타낸다.

burn-off가 다르면서도 각 세공크기의 비율이 비슷한 것은 최초 미세공의 생성된 후 어느 정도 미세공이 생성되면 활성제인 증기가 일정크기 미세공만 집중적으로 공격하여 세공확대를 가져오며 이때 또한 새로운 미세공이 생성되어지므로 생성되는 미세공수와 세공확대되는 세공수가 거의 같게 된다. 즉 활성화 반응이 진행되면서 일정크기의 미세공이 계속적으로 만들어 지는 것이 아니라 일정크기가 되면 세공의 확대와 함께 그 크기의 세공이 또한 다시 생성되는 단계를 거치게 된다.<sup>8,12)</sup> 하지만 이것은 활성화 조건의 변화에 따라 다양한 세공크기 분율을 보일수 있다.

850°C에서 1-1의 조건으로 활성화된 활성탄소섬유가 작은 미세공의 발달로 인해 비교적 크기가 작은 흡착질에 대한 큰 흡착량과 함께 분자크기가 큰 흡착질과의 혼합물로부터 선택적 분리를 위한 분자체 특성을 잘 나타낼 것이라 생각된다. 1-2로 처리된 경우는 두 번째 크기(0.44 nm)의 세공경 분율의 감소를 보이며 세공의 확대를 볼수 있었다.

850°C에서 증기흐름속도에 따른 영향을 알아보기 위해 흐름속도를 38과 58 ml/hr로 증가시켜 각각 0.5시간 처리된 활성탄소섬유의 흡착질 크기별 흡착량을 보면 burn-off가 각각 41.5%, 49.9%를 가지고 있는데, 1-1로 처리된 활성탄소섬유와 비교하여 3-0.5로 처리된 활성탄소섬유에서 CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>는 거의 같은 흡착량을 갖고 CH<sub>3</sub>OH는 더 적은 양을 보이며 C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, CCl<sub>4</sub>의 경우는 거의 같은 흡착량을 보인 반면, 5-0.5로 처리된 활성탄소섬유는 CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>와 CH<sub>3</sub>OH는 거의 같은 흡착량을 보이고 C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>는 증가하고 CCl<sub>4</sub>는 큰 증가를 보였다. 따라서 증기흐름속도가 38 ml/hr 경우는 세공확대가 크지 않지만 58 ml/hr에서는 큰 세공확대를 볼수있었다.

900°C의 활성화온도에서 일정 증기공급속도에서의 활성화시간과 증기공급속도의 증가에 따른 흡착질 크기별 흡착량을 Fig. 6에 나타내었다. 1-0.5로 처리된 활성탄소섬유에 비해 1-1로 처리된 활성탄소섬유에서 C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, CCl<sub>4</sub>에 대한 큰 흡착량의 증가를 볼수 있었으며 또한 증기공급속도의 증가에 따라 C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, CCl<sub>4</sub>에 대해 매우 큰 흡착량의 증가와 세공확대를 보였다.

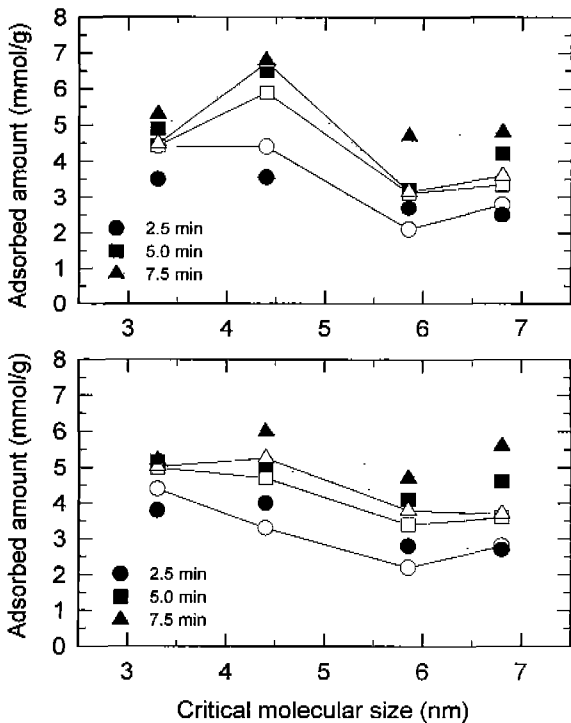
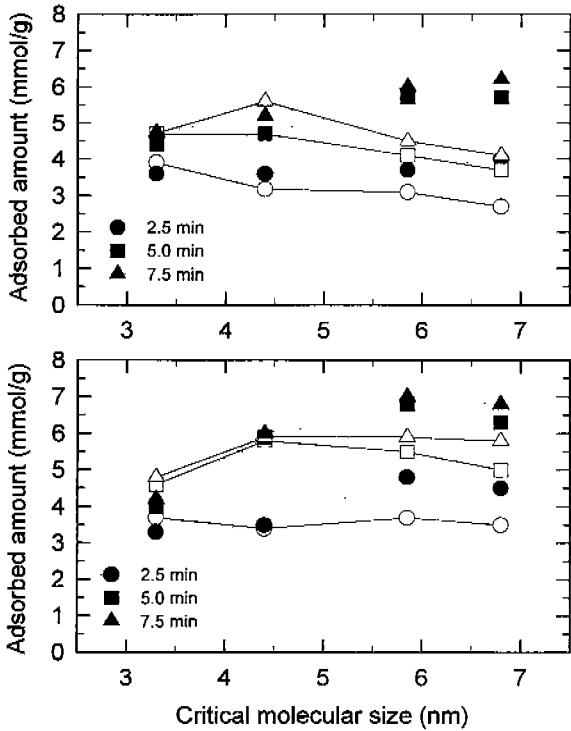


Fig. 5. Adsorbed amounts vs. critical molecular size according to adsorption time over carbon fibers activated at 850°C. [symbol blank:1-1(20 ml/hr-1 hr), solid:1-2(20 ml/hr-2 hr)] [symbol blank:3-0.5(38 ml/hr-0.5 hr), solid:5-0.5(58 ml/hr-0.5 hr)] dilute ratio(1/n)=1/10, flow rate of adsorbates-2.0 l/min adsorption temp.=20°C.



**Fig. 6.** Adsorbed amounts vs. critical molecular size according to adsorption time over carbon fibers activated at 900°C. [symbol blank:1-0.5(20 ml/hr-1 hr), solid:1-2(20 ml/hr-2 hr)] [symbol blank:3-0.5(38 ml/hr-0.5 hr), solid:5-0.5(58 ml/hr-0.5 hr)] dilute ratio(1/n)=1/10, flow rate of adsorbates-2.0 l/min adsorption temp.=20°C.

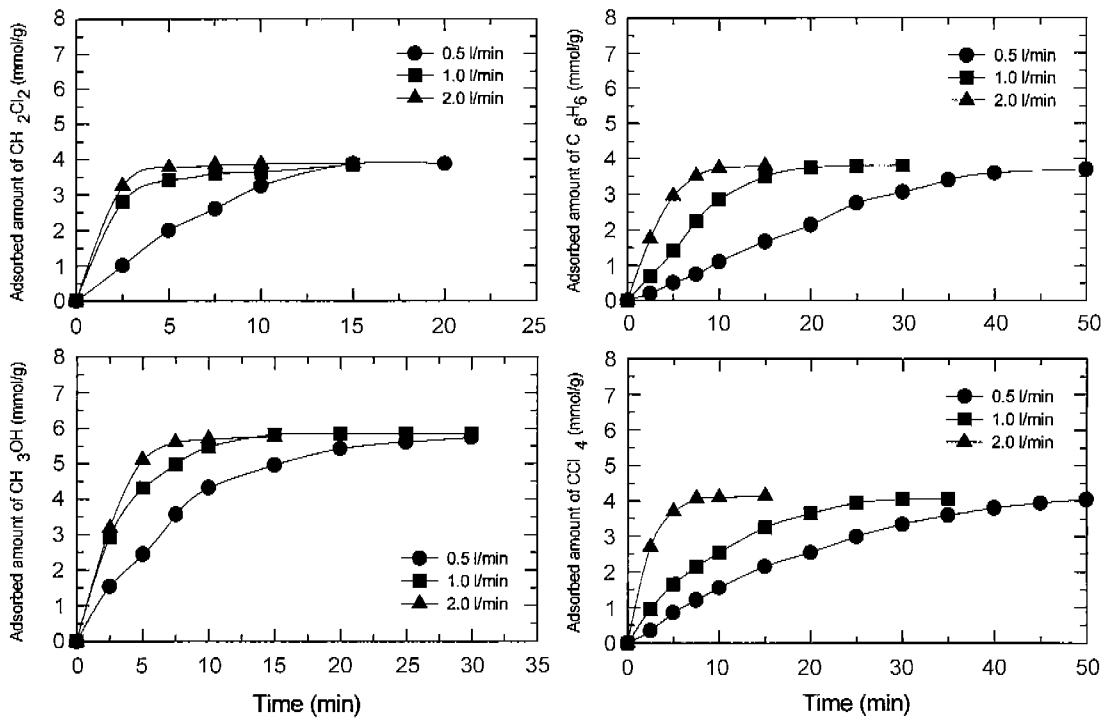
**3.3. 기체분리를 위한 공정변수의 영향**

실제 기체분리를 위한 분자체탄소로 활성탄소섬유의 활용을 위해 앞의 결과에서 나타난 활성탄소섬유 자체가 갖는 세공구조나 세공분포를 조절하여야 하며, 분리를 위한 여러 공정변수에 대한 영향을 검토하는 것이 필요하다. 따라서, 각 흡착질에 대한 흐름속도, 농도, 흡착반응온도에 따른 영향을 알아보았다. 각 조건별로 제조된 활성탄소섬유들은 흐름속도, 농도, 흡착반응온도에 따라 흡착량의 차이는 보이지 않으나 흡착량 변화는 같은 경향을 나타내었다.

Fig. 7에는 흐름속도를 0.5~2.0 l/min으로 변화하였을 때 800°C에서 1-2로 처리된 활성탄소섬유에서의 각 흡착질에 대한 평형흡착곡선을 나타내 보았다. 흡착질을 포함하는 혼합가스의 흐름속도가 작을수록 평형흡착시간은 길게 나타났다.

특히, 분자크기가 작은 흡착질일수록 흐름속도에 대해 평형흡착시간은 짧게 나타난 반면 분자크기가 클수록 길게 나타났다. 이는 기공에서의 흡, 탈착속도와 관련된 것인데 분자크기가 작은 흡착질의 경우 흐름속도에 대해 미세공으로의 분산에 큰 영향을 받지 않으며 작은 흐름속도가 흡착 후 탈착을 감소시킬수 있으나, 분자크기가 큰 흡착질의 경우 흐름속도가 줄게되면 세공내로의 분산속도를 감소시켜 평형흡착시간이 길어지는 것이다.

따라서 혼합가스중 선택적 가스분리를 위한 분자체탄소 효과에 있어 큰 분자크기의 흡착질에 대해 흐름속도를 작게 하면 평형흡착시간이 길어짐에 따라 분자크기가 작은 흡착



**Fig. 7.** Adsorbed amounts of CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>OH, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> and CCl<sub>4</sub> according to flow rates over activated carbon fiber. dilute ratio(1/n)=1/10, adsorption temp.=20°C.

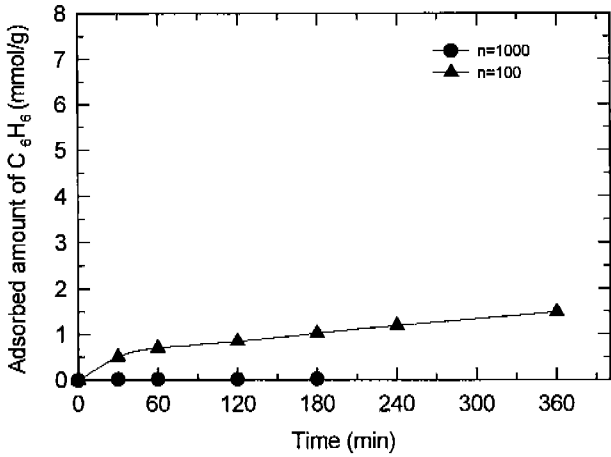


Fig. 8. Adsorbed amounts of C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> according to dilute ratio(1/n) over activated carbon. fiber flow rate of C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>=2.0 l/min, adsorption temp.=20°C.

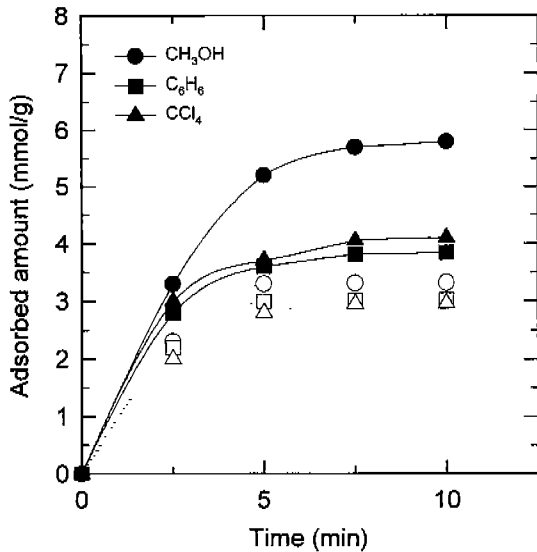


Fig. 9. Adsorbed amounts of adsorbate according to adsorption temperature over activated carbon fiber. [symbol blank:50°C, solid:20°C] dilute ratio(1/n)=1/10, flow rate of adsorbates=2.0 l/min.

질에 대한 분자체특성을 나타낼 수 있을 것이라 생각된다.

850°C에서 1-2로 처리된 활성탄소섬유에서 흡착질을 포함하는 혼합가스의 흐름속도를 2.0 l/min로 하였을 때 농도에 따른 흡착평형곡선을 Fig. 8에 나타냈는데, 농도를 감소시켰을 경우에도 장시간의 흡착을 할 경우 어느 정도의 흡착이 일어날 것이라 예상했지만 흡착질 농도의 감소에 대해 큰 흡착량 감소를 보였으며 희석배율을 1/1000으로 한 경우 장시간의 흡착을 통해서도 거의 흡착이 일어나지 않았다.

흡착온도에 대한 영향을 알아보기위해 850°C에서 3-0.5로 처리된 활성탄소섬유와 흐름속도를 2.0 l/min로 한 경우 흡착온도를 50°C로 올려 흡착량을 알아본 것이 Fig. 9이다.

CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>의 경우는 끓는점이 50°C이하인 관계로 생략하였다. C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>과 CCl<sub>4</sub>에 대한 흡착량은 흡착온도의 상승에 따라 약간 감소하였으나 CH<sub>3</sub>OH의 경우는 큰 흡착량 감소를 보였는데 이는 흡착온도의 상승이 세공 내에서의 CH<sub>3</sub>OH 분자의 활발한 운동으로 인한 흡착감소와 탈착의 상승을 가져온 때문으로 생각된다.

따라서 흡착온도의 상승은 분자크기가 큰 흡착질의 경우 흡착량의 변화가 크지 않는 반면, 분자크기가 작은 흡착질은 뚜렷한 흡착량 감소를 보이므로 흡착온도를 높임으로서 분자크기가 큰 흡착질의 선택적 분리를 위한 활성탄소섬유가 갖는 분자체특성을 향상시킬수 있을 것이다.

위의 결과들을 토대로 활성화와 조건별로 제조된 활성탄소섬유는 흡착제로서뿐만 아니라 분자체 탄소로서의 큰 특성을 가지고 있으며, 여러 가스 혼합물상의 특정분자에 대한 선택적 흡착성능을 이용하여 용매회수나 선택적 분리 등의 용도에 대한 분자체탄소로서 여러 분야에서 활용될 수 있리라 생각된다.

#### 4. 결 론

제조된 활성탄소섬유들을 분자체탄소(MSC)로 활용하기 위해 다양한 분자크기를 갖는 흡착질의 흡착능 실험을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각 활성화 조건별 제조된 활성탄소섬유는 각각 다른 세공크기분포와 세공발달 전개과정을 보였으며, 분자체 탄소로서 활용가능한 특성을 보이는 것을 확인할 수 있었다.
2. 800, 850°C의 온도로 수증기에 의해 활성화한 활성탄소섬유의 경우 burn-off가 각각 50, 40% 정도를 가진 활성탄소섬유가 비교적 작은 분자크기(0.3~0.4 nm)의 흡착질에 대한 분자체 특성을 나타냈다.
3. 가스 흡착시 다양한 분자크기의 흡착질을 포함하는 혼합가스의 흐름속도와 흡착온도에 따라 흡착질의 흡착량과 흡착평형시간의 변화로 인해 분자체특성에 영향을미침을 알 수 있었다.

#### REFERENCES

1. J. N. Amor, "Carbon Molecular Sieves for Air Separation," *Separation Technology*, Vansant, E.F.(Ed.), Elsevier Science, Netherlands, pp. 163-200 (1994).
2. S. Sircar, T. C. Golden and M. B. Rao, "Activated Carbon for Gas Separation and Storage," *Carbon*, **34**(1), 1-12 (1996).
3. G. G. Jayson, J. A. Sangster, G. Thompson and M. C. Wilkinson, "Adsorption and Electrosorption of Mercury(II) Acetate onto Activated Charcoal Cloth from Aqueous Solution," *Carbon*, **31**(3), 487-492 (1993).
4. G. Macchi, M. Pagano, M. Santori and G. Tiravanti, "Battery Industrial Wastewater: Pb Removal and Produced

- Sludge," *Wat. Res.*, **27**(10), 1511-1518 (1993).
5. J. Prakash, N. Nirmalakhandan and R. E. Speece, "Prediction of Activated Carbon Adsorption Isotherms for Organic Vapors," *Environ. Sci. Technol.*, **28**(8), 1403-1409 (1994).
  6. N. Nirmalakhandan and R. E. Speece, "Prediction of Activated Carbon Adsorption Capacities for Organic Vapors Using Quantitative Structure-activity Relationship Methods," *Environ. Sci. Technol.*, **27**(8), 1512-1516 (1993).
  7. J. J. Freeman, J. B. Tomlinson, K. S. W. Sing and C. R. Theocharis, "Adsorption of Nitrogen and Water Vapour by Activated Kevlar Chars," *Carbon*, **31**(6), 865-870 (1993).
  8. Y. Kawabuchi, S. Kawano and I. Mochida, "Molecular Sieving Selectivity of Active Carbons and Active Carbon Fibers Improved by Chemical Vapour Deposition of Benzene," *Carbon*, **34**(6), 711-717 (1996).
  9. K. S. W. Sing, "The Use of Gas Adsorption for the Characterization of Porous Solids," *Colloids and Surfaces*, **38**, 113-124 (1989).
  10. H. K. Chagger, F. E. Ndaji, M. L. Sykes and K. M. Thomas, "Kinetics of Adsorption and Diffusional Characteristics of Carbon Molecular Sieves," *Carbon*, **33**(10), 1405-1411 (1995).
  11. KS M 1082 (1987).
  12. A. Ahmadpour and D. D. Do, "Characterization of Modified Activated Carbons: Equilibria and Dynamics Studies," *Carbon*, **33**(10), 1393-1398 (1995).
  13. J. Garrido, J. M. Martin-Martinez, M. Molina-Sabio, F. Rodriguz-Reinoso and R. Torregrosa, "Adsorption of Hydrocarbons on CO<sub>2</sub>-reacted Activated Carbons," *Carbon*, **24**(4), 469-475 (1986).
  14. H. Tamon and M. Okazaki, "Influence of Acidic Surface Oxides of Activated Carbon on Gas Adsorption Characteristics," *Carbon*, **34**(6), 741-746 (1996).
  15. S. J. Gregg and K. S. W. Sing, Adsorption, surface area and porosity, Academic press, London, pp. 195-246 (1982).
  16. P. J. M. Carrott, R. A. Roberts and K. S. W. Sing, "Adsorption of Nitrogen by Porous and Non-porous Carbons," *Carbon*, **25**(1), 59-68 (1987).
  17. D. Atkinson, P. J. M. Carrott, Y. Grillet, J. Rouquerol and K. S. W. Sing, Fundamentals of adsorption, Engineering Foundation, New York, pp.89-117 (1987).