

피치계 활성화탄소섬유를 이용한 페이퍼 제조 및 흡착특성

김현석* · 김학용** · 정우영*†

Preparation of Paper from Pitch-based Activated Carbon Fibers and Adsorption Characteristics

Hyeon-Seok Kim*, Hak-Yong Kim**, Woo-Young Jung*†

ABSTRACT: In this work, we have prepared the filter papers with the pitch-based activated carbon fibers and the binder fibers using wet-laid process. The influence of the binder fiber on the porosity of the filter papers has been investigated by using nitrogen adsorption isotherms at 77 K and a scanning electron microscope (SEM). As a result, the specific surface area has increased with an decrease in the content of binder fiber. It has been shown that the optimum ratio of pitch-based activated carbon fibers and the binder fibers is 70:30, resulting in high porosity, excellent bonding strength, large specific surface area (650.4 m²/g) and high noxious gas removal efficiency (86.9%). In addition, it has been observed that the mean pore size distribution of the fiber papers has not been affected by the binder fiber.

초 록: 본 연구에서는 습식공정을 이용한 Pitch계 활성화탄소섬유와 바인더 섬유를 이용하여 필터 페이퍼를 제조하였다. 필터 페이퍼 내 바인더 섬유의 함량이 기공특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 77 K에서 질소 흡착 등온선과 주사 전자 현미경을 통해 흡착특성을 비교 분석하였다. Pitch계 활성화탄소섬유와 바인더 섬유와의 최적 비율은 70:30 비율로 가장 균일한 기공 및 결합력이 좋은 페이퍼의 모습을 보였으며, 바인더 섬유의 함량이 적을수록 높은 비표면적 값을 확인하였다. Pitch계 활성화탄소섬유와 바인더 섬유의 종류와는 상관없이 70:30 비율에서 최적의 페이퍼가 제조되었으며, 650.4 m²/g의 비표면적 값과 86.9%의 유해가스 제거율을 확인하였다. 또한 필터 페이퍼의 평균 기공 크기 분포는 바인더 섬유의 영향을 받지 않는 것으로 관찰되었다.

Key Words: 피치계 활성화탄소섬유(Pitch-based activated carbon fibers), 바인더 섬유(Binder fiber), 흡착(Adsorption), 필터(Filter), 습식공정(Wet-laid process)

1. 서 론

최근 대기오염은 80년대 이후 자동차의 증가와 산업의 고도화에 따른 각종 화학물질의 사용증가로 온실효과, 산성비, 기후변화, 오존층의 파괴 등의 문제를 유발하고 있다.

이런 문제를 해결하기 위해 흡착성능이 우수한 새로운 형태의 탄소섬유를 활용한 흡착제 연구가 활발히 진행되

고 있다. 기존 흡착제는 대부분 입상 활성탄소를 이용한 제품이 주를 이루고 있는데, 입상 활성탄소는 피흡착질이 흡착되기 위해 대기공(Macropore)이나 중기공(Mesopore)에서 확산 또는 모세관현상을 거쳐야 하기 때문에 흡착속도가 느리므로 이런 기존의 단점을 보완하기 위한 흡착제의 개발이 필요한 상황이다. 또한 미량물질의 흡착이나 다성분 혼합물의 선택적 흡착에는 한계가 있으며 형태가 분말

Received 16 August 2016, received in revised form 31 October 2016, accepted 31 October 2016

*Korea Institute of Convergence Textile(KICTEX)

*†Korea Institute of Convergence Textile(KICTEX), Corresponding author (E-mail: jwyinterface@kictex.re.kr)

**Department of BIN Convergence Technology, Chonbuk National University

상으로 취급이 어려우며, 재생이 불가능하다는 등의 문제점이 있다. 이와 같은 활성탄소의 단점을 보완하고 사용이 편리하게 개발된 새로운 흡착제가 활성탄소섬유(ACFs: Activated Carbon Fibers)이다[1-3].

또한 활성탄소와 활성탄소섬유의 흡착성은 기공구조에 의한 것으로 기공구조를 기술하는 데는 단위기공의 형상과 크기가 필요하지만, 보통은 기공크기와 그 분포, 비표면적 및 기공용량이 사용되고 있다[4].

활성탄소섬유는 표면 및 내부에 산화성 활성기체로 반응되어 작고 균일한 기공으로 흡착속도가 빠르고, 비표면적 값은 활성탄소보다 500 m²/g 이상으로 우수한 흡착특성을 가진다[5]. 또한 흡착특성뿐만 아니라 화학적 특성, 열적 특성, 뛰어난 전기적 특성의 물리적 특성이 우수하여 액상용 filter 재료로는 독특한 촉매작용으로 한 탈염소 효과로 정수부분에 사용되고, 대기중의 수분을 흡착하는 제습기로도 사용되고 있고, 기상용 filter 재료로는 은침착, 항균 및 공기정화용, NO_x, SO_x, 톨루엔 같은 유해가스를 제거하는 특수용도에 사용되고 있다[6]. 최근에는 탄화 및 수증기를 이용한 활성화 조건을 매개체로 여러 등급의 PAN계 ACF를 제조하고 있고, 기능성을 부과하기 위해 기존의 금속염을 침적하는 방법을 대체하여 안정화된 콜로이드 용액을 제조하고 이를 ACF에 침착하여 흡착성능을 향상시키는 연구가 진행되고 있다.

이처럼 활성탄소섬유는 개개인의 능력은 우수하지만 이들을 하나의 집합체로 패이퍼화시킬 때는 분진 날림 같은 현상으로 인해 흡착특성의 물성을 저하시키기 때문에 이를 해결할 수 있는 방안이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 습식초지기를 이용한 함량별 Pitch계 활성탄소섬유 패이퍼를 제조한 후 필터 소재로서 가능성을 확인하기 위하여 흡착특성(비표면적, 미세구조, 기공크기, VOCs 제거율, 평량 등)을 비교 연구하였다.

2. 실험

2.1 시료

흡착제의 기공은 일반적으로 IUPAC(International Union of Pure and Applied Chemistry) 규정에 의해서 크기 별 그룹으로 나뉘어지며 Table 1에 나타내었다[7].

Pitch계 활성탄소섬유는 AC-12-0900(BET-900), AC-12-1200(BET-1200), AC-12-1500(BET-1500)(AN SHAN sino

Table 1. Classification by the pore size

| Macropore | > 50 nm |
|----------------|------------|
| Mesopore | 2.0~50 nm |
| Micropore | < 2.0 nm |
| Ultramicropore | < 0.7 nm |
| Supermicropore | 0.7~2.0 nm |

Table 2. Characteristics of ACFs

| Type | Diameter (μm) | Outer surface area (m ² /g) | Micro pore diameter (Å) | Specific surface area (m ² /g) |
|------------|---------------|--|-------------------------|---|
| AC-12-0900 | 10~20 | 0.2~0.5 | 25 Max. | 800~1000 |
| AC-12-1200 | 10~20 | 0.3~0.6 | 25 Max. | 1100~1300 |
| AC-12-1500 | 10~20 | 0.4~0.7 | 25 Max. | 1400~1600 |

Table 3. Characteristics of binder fiber

| Type | Diameter (μm) | Denier | Cut length (mm) | Dissolving T in water (°C) |
|--------|---------------|--------|-----------------|----------------------------|
| VPB041 | 6 | 0.4 | 3 | 80 |
| VPB101 | 17 | 2.6 | 4 | 80 |
| VPB105 | 11 | 1.0 | 4 | 70 |

carb, China)을 사용하였으며, 바인더 섬유(Kuraray, Japan.)는 VPB-041 3 mm, VPB-101 4 mm, VPB-105 4 mm를 사용하였고 Table 2, 3에 그 특성을 나타내었다. 첨가제로는 물에 0.5%로 희석시킨 폴리아크릴아마이드(polyacrylamide)계 P-270H(Shinyoh, Korea) 보류제를 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 고해 및 분산

Pitch계 활성탄소섬유는 waring blender를 이용하여 외부표면적을 증가시키고, 외박을 제거함으로써 활성탄소섬유간의 수소결합을 유도하기 위해 교반기를 이용하여 700 rpm의 속도로 해리하였다. 교반 중인 슬러리에 compression of double layer(이중층의 압축)을 형성할 수 있는 바인더를 종류(VPB-401, VPB-101, VPB-105), 함량(10, 20, 30, 40%)별로 첨가한 후 교반하였다. 교반되어 나온 샘플을 스크린 필터를 이용하여 슬러리(slurry) 상태로 회수하였다.

2.2.2 패이퍼(paper) 형성

교반된 슬러리는 Fig. 1와 같은 습식 초지 장치의 head box에 투입하고 200 mesh 위에 균일하게 분산시켜 패이퍼 형

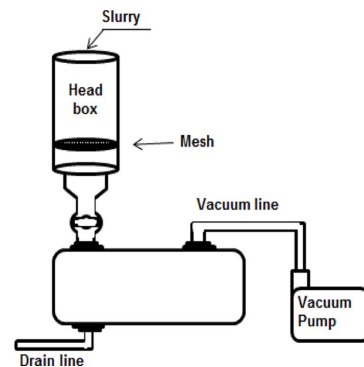


Fig. 1. Schematic diagram of wet-laid equipment

태로 제조한 후 vacuum pump를 사용하여 탈수를 진행하였다.

2.2.3 핫 프레싱(Hot pressing)

제조 후 페이지의 분진 날림 문제와 건조 및 응집성을 증가시키기 위해 에이치와이사의 핫프레스(hot press) 장비를 통해 150°C, 3 MPa 압력으로 300 sec동안 공정을 진행하였다.

2.3 활성탄소섬유 페이지 흡착특성 평가

2.3.1 비표면적과 미세구조 분석

제조된 활성탄소섬유 시트의 비표면적과 세공구조 및 기공부피 등을 알아보기 위하여 BET(ASAP 2010, Micromeritics)로 분석하였다. 먼저 시료들을 383 K에서 시료 내 잔류압력이 10⁻³ torr 이하로 될 때까지 6~7 h 동안 탈기시킨 후, 77 K에서 상대 압력의 증가에 따른 질소기체의 흡착량을 측정하였다. 이것을 BET(ASAP 2010, Micromeritics) 장비로 Isotherm Plot, t-Plot, BJH Distribution 등을 사용하여 BET surface area, 미세 기공부피, 기공크기 등을 관찰하였다.

또한 활성탄소섬유의 표면특성 및 미세구조를 관찰하기 위하여 SEM(S-3000N, HITACHI. Ltd.)를 이용하여 관찰하였다.

$$\frac{P/P_0}{V(1-P/P_0)} = 1/V_m C + ((C-1)/V_m) \times P/P_0 \quad (1)$$

P/P₀: Relative pressure

V: Volume of the adsorbated gas (at P/P₀)

V_m: Volume of adsorbate constituting a monolayer of surface coverage

C: BET constant

2.3.2 VOCs 제거율 분석

Pitch계 활성탄소섬유 페이지의 유해가스(톨루엔, C₆H₅CH₃)의 제거율을 확인하기 위해 KS R ISO 11155-2:2005을 이용하여 측정하였다. 전처리 공정으로 질량이 측정된 값의 2%로 안정화될 때까지 시험필터를 건조시킨다. 상대 습도 50%와 온도 23°C로 기후가 조절된 환경 속에서 깨끗한 미사용 필터를 14시간동안 전처리 후 스탠드 내에 시험필터를 놓고 전처리 된 깨끗한 공기 속에서 적어도 15분 동안 노출시킨다. 필터의 샘플크기는 300 × 300 mm이며, 정격 풍량은 3 m³/min로 측정하였다. 효율은 백분율로 계산되는 것으로 필터에 노출된 오염 물질의 양에 비교하여 필터에 제거된 또는 감소된 오염 물질의 양의 비율로 측정하였다.

2.3.3 Porosity 기공크기 분석

활성탄소섬유의 페이지의 기공사이즈 및 유입되는 양을 확인하기 위하여 a capillary flow porometer(Porous Materials

Inc., CFP-1500AE, USA) 장비를 이용하여 ASTM D 2734 방법으로 측정하였다. 다공성 물질의 가스투과도 및 기공크기 분포를 측정하는 장치로 일정한 표면장력을 가진 시험용액을 사용하여 시료를 완전히 적신 후, 샘플상부의 공기압을 변화시키면서 샘플을 통과하여 하부로 나오는 공기의 유량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Pitch계 활성탄소섬유 페이지 비표면적과 미세구조 분석결과

동일한 평량 50 g/m²에서 종류별 활성탄소섬유와 함량별 바인더 섬유와의 비교를 위해서 Table 4와 같은 조건으로 페이지를 제조한 후 표면구조를 비교하기 위해 SEM 분석을 실시하였고, 그 결과를 Fig. 2~4에 나타내었다. 전반적으로 활성탄소섬유의 함량이 증가할수록 페이지의 두께는 증가하였지만 SEM 결과에서 보여주듯이 바인더 섬유의 함량이 증가할수록 활성탄소섬유 페이지 표면에 도포되는 바인더의 양도 증가하여 각 시료의 기공특성에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

BET-900 활성탄소섬유를 이용한 페이지의 표면상태를 Fig. 2에 나타내었다. 70:30 비율로 제조된 페이지는 녹는점 이상의 용해된 성질로 일부 녹은 바인더 섬유로 인해 균일한 기공을 갖는 페이지가 제조되었고 더불어 활성탄소섬유의 결합력을 높여줄 것으로 판단된다.

BET-1200 활성탄소섬유를 이용한 페이지도 마찬가지로 Fig. 3와 같이 70:30 비율로 제조된 페이지가 바인더로 인해 일부 녹아 균일한 기공을 갖는 페이지가 제조된 것을 확인하였고, 80:20으로 제조된 페이지의 경우 Fig. 3(c)에 보여지듯이 활성탄소섬유 양에 비해 낮은 양의 바인더 섬유가 일부만 녹아 활성탄소섬유와의 결합력을 저하할 것으로 판단된다.

BET-1500 활성탄소섬유를 이용한 sheet 역시 앞선 900, 1200으로 제조한 페이지와 같이 70:30 비율로 제조된 페이지

Table 4. Manufacturing conditions of ACFs paper according to binder fiber content

| Sample (ACFs/PVA) | ACFs: PVA (%) | Thickness (mm) | Basic weight (g/m ²) |
|-------------------|---------------|----------------|----------------------------------|
| BET-900/VPB-105 | 60 : 40 | 0.35 | 50 |
| BET-900/VPB-105 | 70 : 30 | 0.36 | 50 |
| BET-900/VPB-105 | 80 : 20 | 0.40 | 50 |
| BET-1200/VPB-105 | 60 : 40 | 0.36 | 50 |
| BET-1200/VPB-105 | 70 : 30 | 0.38 | 50 |
| BET-1200/VPB-105 | 80 : 20 | 0.41 | 50 |
| BET-1500/VPB-105 | 60 : 40 | 0.35 | 50 |
| BET-1500/VPB-105 | 70 : 30 | 0.38 | 50 |
| BET-1500/VPB-105 | 80 : 20 | 0.40 | 50 |

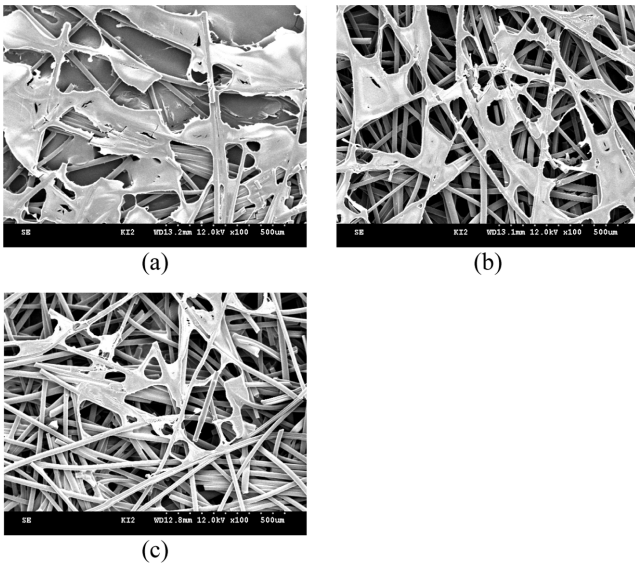


Fig. 2. SEM images on surface of ACFs paper (BET-900, 50 g/m²) x100; (a) 60:40, (b) 70:30, (c) 80:20

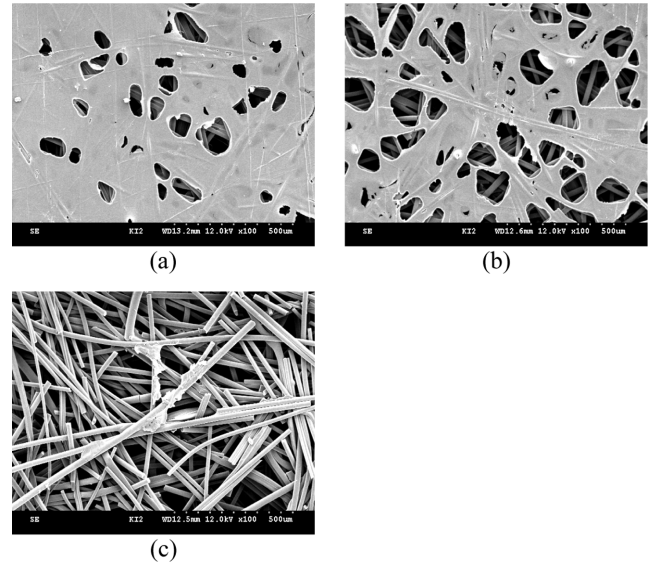


Fig. 4. SEM images on surface of ACFs paper (BET-1500, 50 g/m²) x100; (a) 60:40, (b) 70:30, (c) 80:20

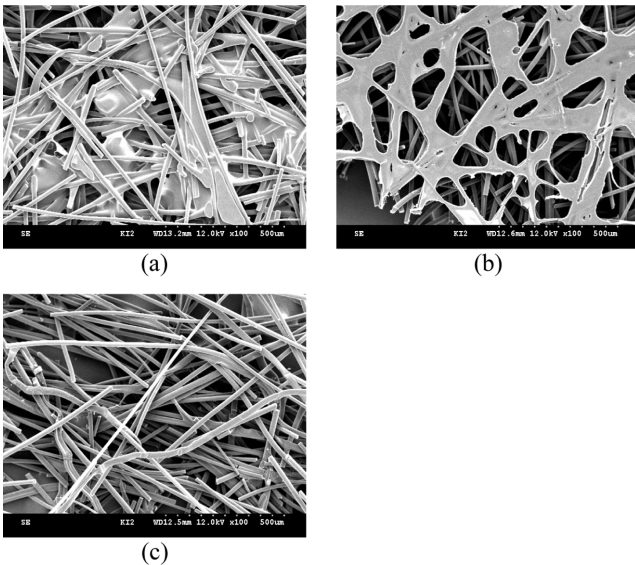


Fig. 3. SEM images on surface of ACFs paper (BET-1200, 50 g/m²) x100; (a) 60:40, (b) 70:30, (c) 80:20

퍼가 균일한 기공 크기를 갖는 페이퍼가 제조되는 것을 확인하였지만, 60:40의 경우 많은 바인더 함유가 녹는 현상으로 인해 기공을 막아버리는 모습을 Fig. 4에 나타내었다.

따라서 평량 50 g/m²에서 종류별 활성탄소함유와 함량별 바인더 함유와의 제조된 페이퍼를 비교한 결과 70:30 비율로 제조한 페이퍼가 가장 균일한 기공을 갖는 모습을 나타내었고, BET-1500으로 60:40 제조한 페이퍼는 높은 비표면적으로 인한 빠른 흡착속도를 가지고 있으며 물리적 흡착의 원인이 되는 반데르발스힘이 작용하여 표면에 바인더 함유가 다량 함유되어 오히려 활성탄소함유와의 결합력을 방

Table 5. Adsorption properties of ACFs paper as a function of Binder fiber content

| Sample | Thickness (mm) | Specific surface area (m ² /g) | Basic weight (g/m ²) | Total pore volume (cm ³ /g) |
|--------|----------------|---|----------------------------------|--|
| A | 0.19 | 639.9 | 50 | 0.2407 |
| B | 0.2 | 576.3 | 50 | 0.2049 |
| C | 0.21 | 641.3 | 50 | 0.3592 |
| D | 0.19 | 620.4 | 50 | 0.2426 |
| E | 0.2 | 650.4 | 50 | 0.2573 |
| F | 0.22 | 627.0 | 50 | 0.2501 |
| G | 0.23 | 523.9 | 50 | 0.2129 |
| H | 0.18 | 512.8 | 50 | 0.2059 |
| I | 0.19 | 532 | 50 | 0.2128 |

해하는 것으로 판단된다[8,9].

BET-900 활성탄소함유와 바인더(VPB-041, VPB-101, VPB-105) 종류별 페이퍼를 제조한 비표면적 물성을 Table 5에 나타내었다.

Sample A~C는 활성탄소함유(BET-900)와 종류별 바인더(VPB-041, VPB-101, VPB-105) 함유를 80:20으로 혼합하여 제조한 것으로 바인더 함유 VPB-105로 제조한 페이퍼가 비표면적 값이 641.3 m²/g으로 가장 높은 값을 나타내었고, 그에 따른 총 기공 부피와 기공크기가 가장 높은 것으로 나타났다.

Sample D~F는 활성탄소함유(BET-900)와 종류별 바인더(VPB-041, VPB-101, VPB-105) 함유를 70:30으로 혼합하여 제조, Sample G~I는 활성탄소함유(BET-900)와 종류별 바인더(VPB-041, VPB-101, VPB-105) 함유를 60:40으로 혼합하

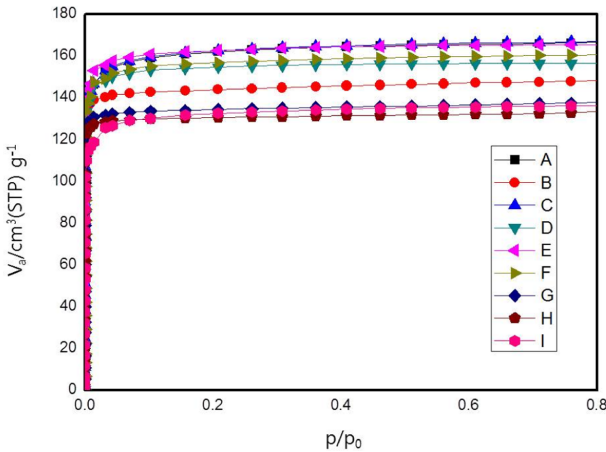


Fig. 5. Isotherm curves of the ACFs paper

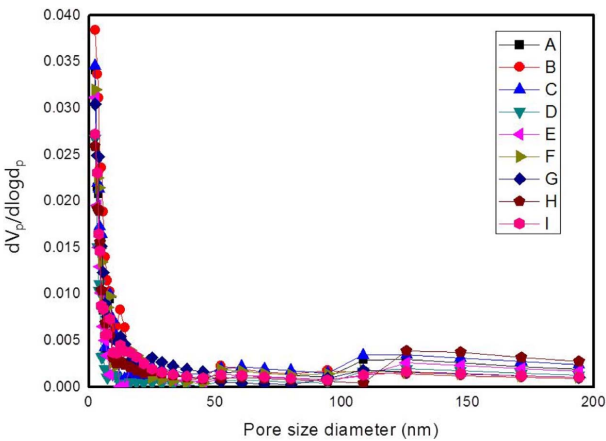


Fig. 6. Size distribution of the ACFs paper

여 제조한 것으로 비슷한 값을 나타냈지만 다량의 바인더 첨가로 인한 낮은 비표면적과 부피를 나타냈다. 이에 최소한의 바인더 첨가는 페이퍼 결합력을 향상시켜 비표면적 값도 또한 향상시킬 수 있지만 40% 이상 첨가할 시 물성을 저하시키는 요인으로 작용한다고 판단된다[10].

활성탄소첨유 페이퍼의 흡착등온곡선과 기공분포도를 Fig. 5, 6에 나타내었다. 저압에서의 흡착량이 큰 것으로 미루어 보아 미세공이 많이 존재하고 있으며, 이러한 형태의 흡착등온곡선은 낮은 압력 분위기에서도 흡착된 분자들에 의해 세공이 채워지는 미세공 채움 현상(micropore filling)이 일어나게 된다[11]. 동시에 0.05 이상의 상대압력 하에서는 흡착량 변화가 거의 없는 것으로 미루어 보아 중세공은 매우 적을 것으로 판단된다[12]. 기공분포도를 확인해보면 활성탄소첨유 표면에 형성되어 있는 대부분의 기공이 50 nm 이하로 분포하고 있는 것을 확인하였다.

3.2 Pitch계 활성탄소첨유 페이퍼 VOCs 제거율 분석결과
Pitch계 활성탄소첨유를 이용하여 페이퍼를 제조한 후 유

Table 6. VOCs removal efficiency of ACFs paper as a function of Binder fiber Content

| Sample | Thickness (mm) | VOCs removal efficiency (%) | Basic weight (g/m ²) |
|--------|----------------|-----------------------------|----------------------------------|
| A | 0.85 | 42.7 | 148 |
| B | 0.35 | 90.3 | 74 |
| C | 0.21 | 28.9 | 55 |
| D | 0.18 | 86.9 | 43 |
| E | 0.22 | 29 | 49 |
| F | 0.18 | 25.5 | 47 |

해가스(톨루엔) 제거율을 측정하였고, 이를 Table 6에 나타내었다.

Sample A와 B는 활성탄소첨유(BET-900)와 바인더 첨유(VPB-105)를 70:30으로 제조한 것으로, 평량 74 g/m²으로 제조한 페이퍼보다 평량 148 g/m²으로 높게 제조한 페이퍼가 VOCs 제거율이 낮은 것으로 나타났다. 이는 활성탄소첨유와 바인더 첨유의 과다한 양으로 인해 오히려 페이퍼 제조 시 유해가스를 제거하는데 방해하는 요인으로 적용되었다고 판단된다[13].

반면에 동일한 평량 50 g/m² 정도에서 제조한 페이퍼 Sample C~E를 보았을 때 70:30으로 제조한 D 샘플이 60:40(E), 50:50(C), 40:60(F)보다 월등히 높은 86.9% 제거율을 확인하였다. 이는 앞선 연구결과와 같이 활성탄소첨유의 양을 70% 비율일 때 가장 좋은 물성을 나타내는 것으로 판단된다.

3.3 Pitch계 활성탄소첨유 페이퍼 기공크기 분석결과

종류별 Pitch계 활성탄소첨유와 바인더 첨유를 이용하여 페이퍼를 제조한 후 Porosity를 측정하였고, 이를 Table 7에 나타내었다.

비표면적 값이 큰 활성탄소첨유로 제조한 페이퍼일수록 바인더 첨유 종류와 상관없이 평균 기공크기가 63.2 μm, 70.4 μm, 96.9 μm로 2~3배 정도 큰 것을 확인할 수 있었다. 또한 비표면적 1500 g/m²인 활성탄소첨유와 바인더 첨유 VPB-105으로 제조한 페이퍼에서 평균 100 μm의 기공크기를 갖는 페이퍼가 제조된 것을 확인할 수 있었다.

기본적으로 기공크기가 작을수록 여과속도가 낮아져 유해가스를 제거 할 수 있는 양이 줄어드는데 여과가 상당히 진행된 경우에는 필터 위에 입자가 고루 축적되어 유해가스를 제거할 수 있는 양이 비슷하다는 연구결과가 있다[14]. 따라서 제조된 페이퍼의 기공크기가 20 μm 이하 크기를 갖는 경우 다공성막을 추구하는 분야로 응용 가능하다고 판단되고, 20 μm 이상의 기공크기를 갖는 페이퍼의 경우 섬유질막(Fibrous membrane)이나 백필터(Bag filter) 분야에 응용 가능하다고 판단된다[15].

Table 7. Mechanical properties of ACFs paper as function of Binder fiber content

| ACF (BET) | Binder fiber | Content (ACF:Binder) | Thickness (μm) | Smallest detected pore diameter (μm) | Largest detected pore diameter (μm) | Mean flow pore diameter (μm) |
|-----------|--------------|----------------------|-----------------------------|---|--|---|
| 900 | VPB-041 | 70 : 30 | 200 | 3.85 | 96.5 | 24.2 |
| 1200 | VPB-041 | 70 : 30 | 300 | 1.38 | 172.1 | 38.7 |
| 1500 | VPB-041 | 70 : 30 | 300 | - | 219.9 | 63.2 |
| 900 | VPB-101 | 70 : 30 | 300 | 21.2 | 395.8 | 67.4 |
| 1200 | VPB-101 | 70 : 30 | 200 | 5.96 | 136.5 | 22.7 |
| 1500 | VPB-101 | 70 : 30 | 300 | 7.85 | 659.8 | 70.4 |
| 900 | VPB-105 | 70 : 30 | 300 | 27.6 | 263.9 | 48 |
| 1200 | VPB-105 | 70 : 30 | 300 | 15.4 | 164.9 | 96.9 |
| 1500 | VPB-105 | 70 : 30 | 300 | - | 359.9 | 63.6 |

4. 결 론

본 연구에서는 함량별 Pitch계 활성탄소섬유 페이퍼를 제조한 후 필터 소재로써 비표면적, VOCs 제거율, 기공크기 등 흡착특성을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Pitch계 활성탄소섬유와 바인더 섬유와의 최적 비율은 70:30 비율로 가장 균일한 기공 및 결합력이 좋은 페이퍼의 모습을 보였으며, 바인더 섬유의 함량이 적을수록 높은 비표면적 값을 확인하였다. Pitch계 활성탄소섬유와 바인더 섬유의 종류와는 상관없이 70:30 비율에서 최적의 페이퍼가 제조되었으며, 650.4 m^2/g 의 비표면적 값과 86.9%의 유해가스 제거율을 확인하였다. 또한 비표면적 값이 큰 활성탄소섬유로 제조한 페이퍼일수록 바인더 섬유 종류와 상관없이 평균 기공크기가 큰 것을 확인할 수 있었고, 비표면적 1500 g/m^2 활성탄소섬유와 바인더 섬유 VPB-105로 제조한 페이퍼에서 약 100 μm 의 기공크기를 갖는 것을 확인하였다. 기공 크기에 따라 섬유질막이나 백필터에 이용 가능하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 탄소밸리구축사업(R0003402)의 연구과제 지원으로 수행된 것이며, 지원에 대해 진심으로 감사 드립니다.

REFERENCES

1. J. B. Donnet, *Carbon Fibers*, ed Jean. Baptiste, 1, 250 Marcel Dekker, New York, 1998.
2. M. Suzuki, "Activated Carbon Fiber: Fundamentals and Applications", *Carbon*, Vol. 32, 1994, pp. 577-586.
3. M. Suzuki, *Adsorption Engineering*, ed. J. Y. Son, 1, 24, Hyung sul, Seoul, 2000.
4. Kang, S.J., Kim, K.J., Kim, M.S., Kim, B.J., Kim, S., Roh, J.S., Riu, D.H., Park, S.J., Seo, M.K., Shul, Y.G., An, K.H., Yang, K.S., Ryu, S.K., Lee, G.W., Lee, Y.S., Lee, J.M., Lee, C.H., Lim, S.Y., Lim, Y.S., Jung, D.H., Cho, K.Y., Cho, D.H., Chi, S.H., and Hong, I.P. "Handbook of Carbon Materials Applications", Daeyeong, Seoul, 2008, 619.
5. Ryu, Z., Zheng, J., Wang, M., and Zang, B., "Nitrogen Adsorption Studies of PAN-Based Activated Carbon Fibers Prepared by Different Activation Methods", *J. Colloid Interface Science*, Vol. 230, 2000, pp. 312-319.
6. Oh, W.C., and Park, C.S., "Electro-chemical Removal Effects for the Pollutants with K-ACFs", *J. Ceramic Processing Research*, Vol. 7, 2006, pp. 37-48.
7. Sing, K.S.W., Everett, D.H., Haul, R.A.W., Moscou, L., Pierotti, R.A., Rouqu erol, J., and T. Siemieniewska, "Reporting Physisorption Data for Gas/solid Systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity (Recommendations 1984)", *Pure Appl. Chem.*, Vol. 57, 1985, pp. 603-619.
8. Kim, M.I., and Lee, Y.-S., "Preparation of Gas Sensor from Pitch-based Activated Carbon Fibers and Its Toxic Gas Sensing Characteristics", *Applied Chemistry for Engineering*, Vol. 25, No. 2, April 2014, pp. 193-197.
9. Suzuki, M., *Adsorption Engineering*, ed. J. Y. Son, 1, 15, Hyung sul, Seoul, 2000.
10. Lee, J.-J., and Kim, Y.-C., "The Adsorption Characteristics by the Optimun Activation Process of PAN-based Carbon Fiber and SO₂ Adsorption Characteristics by the Impregnated Nanoparticles", *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, Vol. 17, No. 5, October 2006, pp. 532-538.
11. Moon, J., Park, J.A., Lee, S.J., Zyung, T., and Kim, I.D., "Pd-doped TiO₂ Nanofiber Networks for Gas Sensor Applications", *Sens. Actuators B*, Vol. 149, 2010, pp. 301-305.
12. Nan, D., Liu, J., and Ma, W., "Electrospun Phenolic Resinbased Carbon Ultrafine Fibers with Abundant Ultrasmall Micropores for CO₂ Adsorption", *Chem. Eng. J.*, Vol. 276, 2015, pp. 44-50.
13. Hwang, S.-H., Park, H.-S., Kim, D.-W., and Jo, Y.-M., "Preparation of Activated Carbon Fiber Adsorbent for Enhancement of CO₂ Capture Capacity", *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol. 31, No. 6, 2015, pp. 538-547.
14. Koo, Y.M., Kim, J., Kim, B.R., and Seo, D., "Removal of Suspended Solids from Stormwater Runoff Using a Fabric Filter System", *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, Vol. 37, No. 3, 2015, pp. 165-174.
15. Nimmo, J.R., *Porosity and Pore Size Distribution*, in Hillel, D., ed. *Encyclopedia of Soils in the Environment: London, Elsevier*, Vol. 3, 2004, pp. 295-303.