

## 항균성 탄소섬유의 제조와 그의 응용

오 원 춘\* · 김 범 수\* · 장 원 철\*\*

### The Preparation of Antibacterial Activated Carbon Fibers and Their Application

Won Chun Oh\*, Bum Soo Kim\*, Won Cheoul Jang\*\*

**요 약** 화학적 활성화법과 수증기 활성화법을 이용하여 활성탄소섬유를 제조한 결과 수증기 활성화법 보다 우수한 표면 특성을 얻을 수 있었으며, 이 결과를 이용하여 탄소재료의 새로운 응용분야 개척 차원에서 항균성 활성 탄소섬유를 제조하였다. 기능성이 부가된 활성 탄소섬유의 비표면적이 844.27-1575.6 cm<sup>2</sup>/g, 평균등공 반경이 10.6-12.9 Å의 범위에 존재하였다. 항균성 활성 탄소섬유의 흡착등온곡선의 유형이 전형적인 Type I을 나타냄을 알 수 있었으며, SEM을 이용하여 관찰한 모폴로지를 통하여 이들의 표면에 항균물질이 덮여있는 상태를 관찰하였다. 마지막으로 항균 활성 탄소섬유에 대장균의 일종인 *E. coli*를 처리하여 얻은 항균 활성의 결과를 보였다. 결론적으로, 활성 탄소섬유의 응용 분야 확대를 위하여 살균·탈취·방충 등의 기능성 부여가 가능함을 보여주었다.

**Abstract** Upon the preparation of activated carbon fiber(ACF) using chemical activation method and vapour activation method, the fiber obtained from the vapour activation method shows excellent surface properties. The preparation of antibacterial activated carbon fiber was tried to open the new areas in application of carbon materials. The BET specific surface area and the average pore radius of the antibacterial ACFs were in the range of 844.27~1575.6 m<sup>2</sup>/g and 10.6~12.9 Å, respectively. From the adsorption studies on the antibacterial ACFs, typical Type I isotherms were obtained. And, from the SEM morphology results, it was observed that the surface of ACFs was partially coated by antibacterial materials after the treatment. Finally, from the antibacterial effects of antibacterial ACFs against *E. coli*, excellent antibacterial activity was shown. Concerning the above results, antibacterial ACFs can have wide application in the areas of sterilization, anti-fragrant, anti-insects.

**Key Words :** Activated carbon fiber(ACF), Antibacterial activity

## 1. 서 론

활성탄소섬유(Activated Carbon Fiber, ACF)는 새로운 타입의 섬유상 흡착제에 근래에 와서 개발이 되었는데, 여러 분야에서 분리나 정제에 사용되고 있는 분말이나 입상 활성탄에 비하여 흡착능력이 우수하고 사용하기에 편리하다. 또한 재생성이 우수하여 비싼 가격임에도 불구하고 그 수요량이 날로 급증하고 있다. 활성탄소섬유가 고기능 흡착제인 것을 이용하여 정수기는 물론이고 농약제거장치, 위생용품, 개스의 회수장치 등 각종 분야에서 이용되고 있으며, 이와 더불어 현재 용도개발을 적극 추진하고 있지만 그 개발과 응용의 역사는 짧은 편이다[1-3]. 활성탄소섬유는 화학 및 석유 화학제품의 정제와 환경에 관련된 여러 가지 기능성 활성재료로서의 용도가 세 가지로 크게 분류된다. 이러한 용도의 활성탄소섬유는 입상활성탄소와는 달리 섬유상으로 되어 있다는 점을 이용하여 부직포 또는 직물형태로 제조가 가능하기도 하고 다른 섬유제품과 같이 혼합하여 사

용하였을 경우 양자의 특성을 배가 시켜주기도 한다. 금속이온의 흡착-탈착 현상은 금속 처리된 촉매 또는 흡착질로 용도가 증가하고 있고 응용성이 확대되고 있는 추세이다[3]. 또한 활성탄소섬유는 몇 가지 금속과의 현저한 반응성이 입증된 바 이들에 관한 연구가 확대되고 있는 추세이다[4]. 이러한 사실과 관련하여 활성탄소섬유의 정수 정화의 특성보다는 항균성을 가지는 이물질 금속의 흡착, 표면 특성 및 세공 특성과 관련하여 물리화학 및 생물학적인 연구가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 활성탄소섬유의 제조, 활성탄소섬유에의 기능성 부과 및 이들의 흡착특성과 표면특성에 대하여 논의하고, 또한 항균성 부과에 따른 활성탄소섬유에 대한 바이러스 특성을 파악하여 이들에 대한 응용범위를 제시하였다.

## 2. 실험

### 2.1. ACF의 제조

상업용 PAN(Poly Acrylo Nitrile)계 섬유로부터 NaOH와 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 사용한 화학적 활성화법을 이용하여

\*한서대학교 화학과, \*\*단국대학교 화학과

원료 분위기 하에서 700-900 °C의 활성화 온도에서 원료 ACF를 제조하였다. 또한 수증기 활성화법의 수증기 처리는 약 750 °C의 온도에서 수행하였으나, 이때 활성화를 위한 수증기의 압력은 0.4 내지 0.6 atm의 범위에서 실시하였다. 또한 이들의 활성화 조건은 탄화 수율을 높이기 위하여 비산화 조건인 질소분위기에서 수행하였다.

이들 제법은 일반적인 방법[5]을 참고로 하여 변형하였다. 제조과정은 Figure 1에 나타내었다. 상업용 활성탄 소섬유는 중국산(동아탄소섬유, 중국)과 일본산(KUREA, JAPAN)을 사용하여 비교하였다. 제조된 활성탄소섬유의 명명은 화학적 활성화법에 의하여 제조된 시료들은 활성화 온도조건에 따라 각각 C700, C800, C900으로 명명하였고, 수증기 활성화법으로 제조된 시료의 경우는 V750으로 명명하였으며, 중국산은 CHA, 일본산은 JPN으로 명명하였다.

### 2.2. 항균성-ACFs의 제조

항균성을 부여하기 위하여 원료 ACF에 여러 가지 종류의 금속 및 한방생약을 처리하였다. 금속처리를 위하여 시약급의 AgNO<sub>3</sub>, NiCl<sub>2</sub> 및 CuCl<sub>2</sub>를 1차 증류수에 녹여서 해당농도(0.1 M)의 각각의 수용액을 제조하였다. 또한 농결 건조된 대황, 승마, 물약 등을 포함한 한방생약(Medicinal Plants : M. plants) 역시 같은 방법으로 처리하였다. 여기에 약 5 g의 준비된 촛형(Chop type)의 ACF를 50 mL의 수용액에 넣고 거품이 일지 않을 때까지 마그네틱 스테러를 사용하여 1시간 동안 저어준 후에 실온에서 24시간 동안 방치하였다. 이 과정을 거친 후 약 0.1 torr의 압력으로 감압하여 공기 및 기포를 제거하였다. ACF가 침적된 이들 용액에서 상층액을 제거한 후 약 55-105 °C의 범위의 온도에서 48시간 비산화성 분위기에서 건조하였다. 이와 같이 제조된 각각의 시료에 대하여 Ag<sub>01</sub>-ACF, Ni<sub>01</sub>-ACF, Cu<sub>01</sub>-ACF 및 Mplant-ACF와 같이 하첨자에 몰농도를 표시하여 명명하였다.

### 2.3. 측정 및 분석

원료 및 각각의 ACFs에 대하여 물리적 흡착 특성을 측정하기 위하여 부피 측정 방법을 사용한 저온 질소 흡착 장치인 Digisorb 2500 (Micrometrics Instruments Co., U.S.A.)을 사용하였다. 이때 사용한 흡착질은 일본 산소(주)의 99.999 %의 질소기체를 사용하였고, 모든 종류의 흡착제는 흡착량을 측정하기 전에 250 °C에서 3 시간 동안, 1.0×10<sup>-5</sup> torr에서 탈기시킨 후 등은 흡착 곡선을 얻었다. 또한 각각 다른 농도로 제조된 항균성-ACF의 표면상태 및 표면구조를 JSM-5200 (JEOL, Japan) 전

자 현미경을 사용하여 관찰하였다. 항균성을 측정하기 위하여 박테리아로서 대장균의 일종인 *Escherichia coli* (*E. coli*, K114322E)를 사용하였다. 항온 항습기 내에서 37 °C에서 24시간 배양된 *E. coli*를 멸균된 배지에 도포하여 각각의 항균성-ACFs를 일정 간격으로 떨어뜨렸다. 이와 같이 만들어진 배지를 24시간 동안 항온 항습기 내에서 배양하여 *E. coli*가 생육을 억제 받아 형성된 clear zone의 직경을 측정하여 항균성-ACFs의 박테리아에 대한 항균성을 측정하는 Halo test법[6]을 사용하였다. 그러나 동결 건조된 생약을 처리한 경우에는, *E. coli*가 함유된 용액을 항균성-ACF의 얇은 층으로 충전된 column을 통과시키는 Bypass법을 사용하여 배지에 생존한 대장균의 수를 세어서 항균성을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 등은 흡착 곡선 및 비표면적

제조된 원료 ACF와 상업용 ACF에 대한 비표면적,

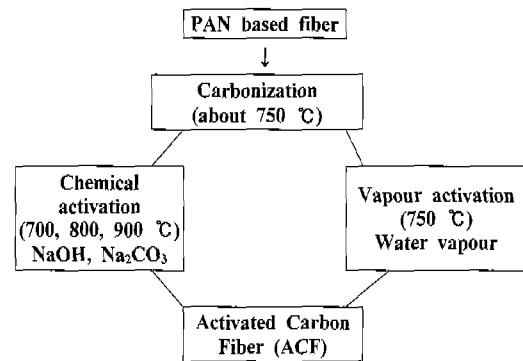


Figure 1. Preparation process of Activated carbon fiber.

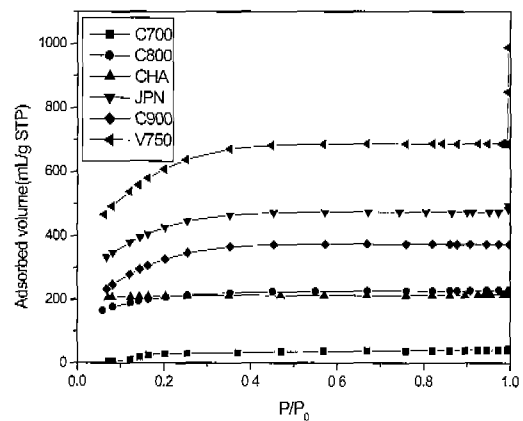


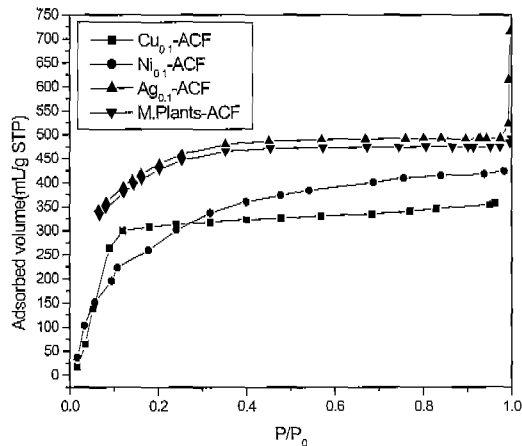
Figure 2. Adsorption isotherms of non-treated activated carbon fiber.

**Table 1.** Elemental analysis of starting non-treated activated carbon fiber

SAMPLE	S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> /g)	Elemental Analysis(%)					Volatile Matter (%)	Ash Content (%)
		C	H	N	O	S		
C700	133.49	96.4	0.25	0.67	0.23	0.00	1.87	0.58
C800	755.99	96.2	0.18	0.71	0.18	0.00	2.18	0.55
CHA	732.21	95.5	0.29	0.42	0.30	0.00	2.80	0.69
JPN	1352.9	96.8	0.19	0.55	0.28	0.00	1.69	0.49
C900	1520.3	96.6	0.23	0.76	0.25	0.00	1.65	0.51
V750	2420.2	96.1	0.24	0.75	0.26	0.00	2.06	0.59

**Table 2.** Pore analysis of antibacterial materials-treated activated carbon fiber

SAMPLE	S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> /g)	Specific micropore volume (cm <sup>3</sup> /g)	Average pore radius (Å)
Cu <sub>0.1</sub> -ACF	844.27	0.456	10.6
Ni <sub>0.1</sub> -ACF	895.24	0.561	12.5
Ag <sub>0.1</sub> -ACF	1574.1	1.09	13.7
M.Plants-ACF	1575.6	1.11	12.9



**Figure 3.** Adsorption isotherms of antibacterial materials-treated activated carbon fiber.

물리적 특성 및 원소분석에 대한 결과를 Table 1에 정리하였다. 또한 이들의 흡착등온곡선에 대한 특성은 Figure 2에 나타내었다. 얻어진 흡착등온곡선은 Brunauer 등[7,8]이 분류한 전형적인 Type I의 형태를 나타내었다. 이들 결과로부터 비표면적이 가장 높은 V750을 선택하여 항균물질들을 처리하였다. 항균 물질을 처리한 ACFs에 대하여 액체질소의 온도(77 K)에서 흡착등온곡선을 측정된 결과를 Figure 3에 나타내었다. 항균물질을 처리하여도 이들에 흡착등온곡선의 형태는 변하지 않는 특성을 나타내었다. 이러한 양상을 나타내는 것은 활성탄소섬유가 미세 동공을 가짐을 간접적으로 제시하

여 주고 있으며, 처리된 항균물질은 기본적으로 동공의 구조에는 영향을 주지 않고 있음을 나타내고 있다. 또한 각각의 항균성-ACFs와 원료 ACFs를 서로 비교해 보면 다소의 흡착량이 변화하는 경향성을 흡착등온곡선으로부터 알 수 있다. 이러한 사실은 처리한 항균물질에 의하여 표면특성이 미세하게나마 변화되었음을 암시한다고 할 수 있다. 이들 흡착등온곡선은 상대압력(P/P<sub>0</sub>) 값이 0.00~0.25 사이의 범위에서 급격하게 흡착량이 증가하는 양상을 보이고 있고, 0.25 이상의 상대압력에서는 거의 수평에 가까운 흡착특성을 보이고 있다. 또한 상대압력이 증가하여도 흡착된 부피 역시 크게 달라지지 않고 있음을 알 수 있다. 이러한 사실과 관련하여 흡착등온곡선으로부터 구한 BET 비표면적 값(S<sub>BET</sub>)을 Table 2에 비교하여 나타내었다. S<sub>BET</sub> 값은 동공이 채워지는 메카니즘으로 설명되기 때문에 미세 동공에 의하여 형성된 Type I의 흡착등온곡선으로부터 이들 값을 구한다는 것은 재고의 여지가 있으나, 단분자층 등가 표면적(monolayer equivalent area)을 비교해 볼 필요는 있다. 상대압력이 0.15 이하에서 4~5개의 point를 얻어 완성된 BET 곡선으로 구한 S<sub>BET</sub> 값은 844.27~1575.6 m<sup>2</sup>/g의 범위에 분포함을 알 수 있다.

**3.2. 표면구조와 미세동공의 분석**

등온곡선으로부터 얻어진 흡착된 부피와 S<sub>BET</sub> 값의 결과와 관련하여 항균물질을 처리하기전의 ACFs와 항균물질이 처리된 ACFs의 표면 양상을 알아보기 위하여 전자주사 현미경(SEM)을 사용하여 각각의 시료에 대하여 표면상태를 고찰하였다. 처리전의 이들의 결과에 대하여 대표적인 몇 가지를 Figure 4에 나타내었다. 중국산과 일본산의 경우 표면이 매끄러운 상태로 아주 미세 세공이 발달되어 있음을 추측 할 수 있고, 화학적 활성법으로 제조된 시료 가운데 비표면적이 가장 높은 값을 가지는 C900의 경우 표면에 미세 균열이 발달되어 있음을 알 수 있다. 반면에 수증기 환성법에 의하여 제조된 V750의 경우에는 미세 균열과 거대 균열이 함께 발달되어 있어 비표면적을 넓혀 주는 데 큰 역할을 하는 것으로 여겨진다. 측정된 이들의 비표면적 값은 844.27~1575.6 m<sup>2</sup>/g의 범위에 분포하였으며 Table 2에 제시



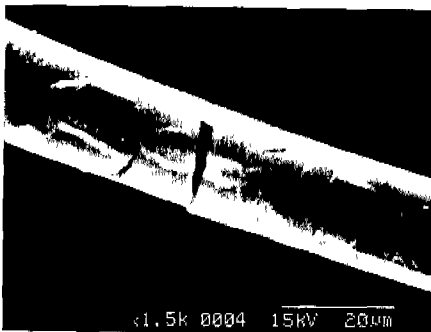
(a) CHA



(b) JPN

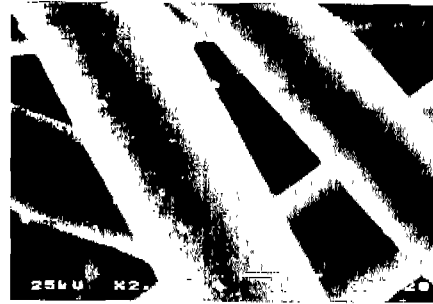


(c) C900



(d) V750

Figure 4. SEM micrographs of non-treated activated carbon fiber.



(a) CuO<sub>1</sub>-ACF



(b) NiO<sub>1</sub>-ACF



(c) AgO<sub>1</sub>-ACF



(d) M. plants-ACF

Figure 5. SEM micrographs of antibacterial materials-treated activated carbon fiber.

하였다. 이들 결과와 관련하여 화학적 활성법은 특정 영역의 동공을 가지는 활성 탄소섬유를 제조하는데 유용한 방법으로 사용 할 수 있을 것으로 생각되며, 수증기 활성법은 활성도가 잘 이루어지므로 높은 비표면적을 가지는 활성탄소섬유를 제조하는데 유용한 방법으로 여겨진다. 비표면적이 가장 높은 V750의 섬유에 항균활성 물질을 처리하여  $Cu_{0.1}$ -ACF,  $Ni_{0.1}$ -ACF,  $Ag_{0.1}$ -ACF 및 M.Plants-ACF에 대한 표면구조를 Figure 5에 나타내었다. 처리된 항균물질은 ACF의 표면에 균일하게 분포함을 알 수 있다. 특히,  $Ag_{0.1}$ -ACF의 경우, Ag가 표면에 부분적으로 존재함을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 Ag 화합물들은 스스로 뭉침 현상을 일으키는 성질이 있는 것으로 여겨지며, 이러한 성질은 섬유표면에 부분적인 뭉침 효과를 유발하는 것으로 나타났다. 그러나  $Ni_{0.1}$ -ACF,  $Cu_{0.1}$ -ACF 및 M.Plants-ACF의 경우, 섬유 전체에 균일하게 흡착되어 있음을 확인할 수 있다. 이러한 사실은 앞에서 제시한 미세 동공 주변의 표면 blocking 효과를 더욱 더 구체화하여 주고 있다. 이러한 사실을 물리적 계산법에 의하여 입증하기 위하여  $\alpha_s$ -법을 도입하여 미세 동공부피와 평균동공반경을 구하였으며, 이들 결과에 대하여 역시 Table 2에 제시하였다. 미세 동공을 가지는 흡착제는 낮은 상대압력에서 동공 응축이 일어나고 이들의 외부 표면에서는 다분자층 흡착이 일어난다고 할 수 있다. 흡착등온곡선으로부터 상대압력이 0.40 일때의 흡착량으로 나눈 값을 기준으로 하여  $\alpha_s$ 라고 하고 이 값의 변화에 따른 흡착량의 비로 하여 동공부피를 계산하였다. 제시된 바에 의하면 단위 질량당 미세 동공부피는  $0.456 \sim 1.11 \text{ cm}^3/\text{g}$ 의 범위에 분포하였고, 평균동공 반경은  $10.6 \sim 12.9 \text{ \AA}$ 의 범위에 다양한 동공 크기분포를 하고 있음을 알 수 있다. 특히  $Ag_{0.1}$ -ACF의 경우 예상보다 큰 동공 반경을 가지고 있으나 역시 미세 동공 영역에 분포함을 알 수 있다. 결과에 의하면 미세 동공을 가지는  $Ag_{0.1}$ -ACF는 중간영역 이상의 동공을 가지는 흡착제와는 달리 동공응축이나 흡착량의 비와 같은 요소들을 충분히 고려해야 할 것으로 여겨진다.

### 3.3. 항균특성 및 메카니즘

탄소소재는 항균 특성이 없으며, 금속을 처리한 이들의 연구가 활성탄에 대하여 선행보고 된 바가 있다 [9-12]. 그러나 활성탄소섬유는 그 비표면적 및 표면특성이 우수하고 다루기가 쉽고 그 응용성이 넓기 때문에 그 자체로도 선호되고 있다. 탄소의 가장자리에 존재하는 산성작용기의 분포에 따라 활성탄소섬유의 화학적 특성, 표면특성 및 항균 효과의 메카니즘에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 탄소에 존재하는 히드록실기, 카르복실기, 암모늄염과 같은 작용기들은 용액 내에서 금속

이온과 작용하여 이온 교환의 효과를 나타낸다[13]. 대부분의 박테리아는 단백질로 구성되어 있으며 간단한 세포 구성체이다. 이들 세포들은 탄소체의 가장자리에 붙어있는 금속 이온과 반응한다. 따라서 박테리아는 금속이온에 의해 세포가 파괴되거나 자기복제를 못하는 것으로 여겨진다. 모든 금속이 이러한 현상을 일으키는 것은 아니고, 단지 몇 종류의 중금속 화합물만이 이러한 효과를 나타내는 것으로 알려져 있으며, 금속들의 이러한 특징적인 현상을 "oligodynamic action"이라고 한다 [14]. 금속이 처리된 활성탄소섬유의 항균효과를 알아보기 위하여 대장균의 일종인 *E. coli*를 사용하였다. *E. coli*에 대한 항균 활성을 알아보기 위하여 24시간 동안 항온·항습 조건의 배지에서 배양한 후 이곳에 금속이 처리된 활성탄소섬유를 떨어트렸다. 이들 결과로부터, 처리된 금속의 종류에 따른 항균 활성의 특성을 Figure 5(a)와 (b)에 나타내었다. 또한 동결 건조된 한방생약을 처리한 활성탄소섬유의 경우 Bypass법에 의하여 세균의 수를 정량하여 항균성을 알아본 결과를 역시 Figure 5(c)에 나타내었다. Figure 5(c)에 나타난 바에 의하면 구슬과 같은 형태의 작은 수의 대장균 균을 관찰 할 수 있다. 이는 앞에서 제시한 금속의 항균 메카니즘과는 다른 메카니즘을 가지고 있을 것으로 추정되며, 이 부분에 대해서는 좀 더 상세한 연구가 이루어져야 할 것으로 여겨진다. 본 연구를 통하여 활성탄소섬유가 가지는 넓은 다공성 및 비표면적 특성과, 금속이나 한방생약에 의하여 항균 특성이 부과된 활성탄소섬유가 지금까지 알려진 다른 종류의 항균성 활성탄소보다 우수성을 나타냄을 확인할 수 있었다[9-12].

### 3.4. 항균성 활성탄소섬유의 응용

본 연구에 사용된 금속에 대한 항균성은 이미 입증되어 있으므로[14] 항균성 ACFs의 응용범위를 나눠 보면 위생 처리장, 산업 및 축산폐수처리장, 하수처리장, 식품 및 농수산물가공업체, 오수처리장, 유해 Gas가 발생되는 사업장 및 기타 악취가 발생하는 장소 등으로 대별하여 사용 할 수 있을 것으로 예상된다. 이들에 대하여 좀 더 그 용도와 범위를 상세하게 서술하면 세균·곰팡이 제거, 땀 냄새, 쓰레기, 화장실, 신발, 애완동물, 발효, 오물, 연기, 담배연기, 병원, 학원, 호텔, 상점, 창고, 전자제품(가습기, 세탁기, 냉장고, 에어컨 등), 지하실, 버스, 공장, 화학물질 등에서의 악취를 제거하는데 이용할 수 있다. ACFs는 앞의 3.3 절에서 제시한 바와 같이 미생물 살균과 같은 기능성 부여가 가능하므로, 미생물의 전자 전달계 및 호흡계 파괴를 할 수 있는 항균 물질의 다양화에 관한 연구가 활성화되어짐에 따라 그 응용범위가 더욱 확대 될 것으로 예상된다.

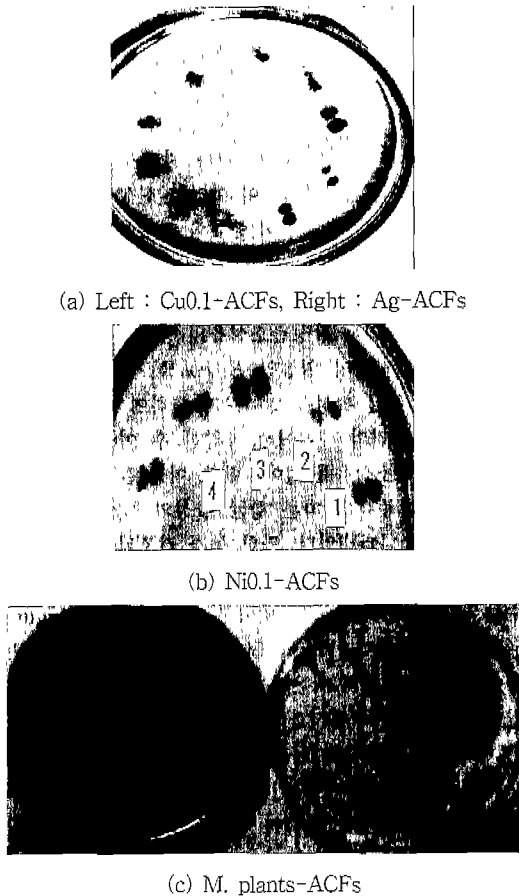


Figure 6. Photographs of antibacterial materials-treated activated carbon fiber for *E. coli*.

#### 4. 결 론

화학적 활성법과 수증기 활성법을 이용하여 우수한 표면 특성을 나타내는 활성탄소섬유를 제조하였으며, 탄소재료의 새로운 응용분야 개척의 차원에서 항균성 활성 탄소섬유를 제조하여 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기능성이 부과된 활성 탄소섬유의 비표면적이 844.27-1575.6 cm<sup>2</sup>/g, 평균동공 반경이 10.6-12.9 Å의 범위에 존재하였다.
- (2) 항균성 활성 탄소섬유의 흡착등온곡선이 전형적인 Type I의 유형을 나타냄을 알 수 있었다.
- (3) SEM 모폴로지를 통하여 항균성 기능 부과 전·후의 활성탄소섬유의 표면구조를 비교 분석하였다.
- (4) 항균 활성탄소섬유에 대장균의 일종인 *E. coli*를

처리하여 평가한 결과 우수한 항균 활성을 보였다.

(5) 이들 사실과 관련하여, 항균성 활성탄소섬유는 접촉면에 안전하며, 살균·탈취·방충 등의 기능 부여가 가능하므로 응용 범위가 크게 확대 될 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] R. M. Clark and B. W. Lykins, Jr., "Granular Activated Carbon", Lewis publishers, pp. 1-30, 1989.
- [2] N. D. Parkyns and D. F. Quinn, "Porosity in Carbons", London, p. 302, 1995.
- [3] M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, K. Sugihara, I. L. Spain and H. A. Goldberg, "Graphite fibers and filaments", Springer-Verag, pp. 34-45, 1988.
- [4] B. P. Puri, Surface Complex on Carbons. In : Walker PL, Thrower PA. editor. "Chemistry and physics of carbon Vol. 6", Marcel Dekker, pp. 191-282, 1970.
- [5] J. W. Patrick, "Porosity in Carbon: Characterization and Applications", Edward Arnold, p. 223, 1995.
- [6] A. Oya, T. Bense and F. Ohashi, Appl. Clay. Sci., Vol. 6, 311, 1992.
- [7] S. J. Cragg and K. S. W. Sing, "Adsorption, Surface area and Porosity", Academic press, Ch. 3, 1982.
- [8] R. C. Bansal, J. B. Donnet and F. Stoeckli, "Active Carbon", Marcel Dekker, p. 389, 1988.
- [9] W. C. Oh, B.S. Kim, Y. H. Lee, S. M. Kang, C. S. Lim, I. K. Kim, Y. S. Ko, "Extended abstracts : Science and Technology of carbon", Strasbourg in France, pp. 337-338, 1998.
- [10] 오원춘, 김번수, 이영훈, 김종규, 김명진, 고영신, "금속 처리된 활성탄소의 흡착과 항균 특성", 분석과학논문집, 제11권 4호, pp. 266-270, 1998.
- [11] 오원춘, 인창성, 오근호, 김종규, 김명진, 고영신, "Proceeding of '97 Industrial crystallization symposium", p. 99, 1997.
- [12] 김종규, 오원춘, 김명진, "우이 침착된 활성탄의 표면과 세공 특성에 관한 연구", 공업화학논문집, 제9권 5호, pp. 729-733, 1998.
- [13] J. Zawadzki, "Chemistry and physics of carbon", Vol. 21, P. A. Thrower, Marcel Dekker, p. 147, 1989.
- [14] 김용호, 함건주, "소독·멸균학", 한국의학서적, p. 204, 1993.