

Preparation and properties of antibacterial activated carbon fiber

Won-Chun Oh[†], Bum-Soo Kim, Chang-Sung Lim* and Won-Cheoul Jang**

Department of Chemistry, Institute of Advance Materials, Hanseo University, Seosan 356-706, Korea

*Department of Materials Engineering, Institute of Advanced Materials, Hanseo University, Seosan 356-706, Korea

**Department of Chemistry, College of Natural Sciences, Chungnam 330-714, Korea

(Received November 9, 2001)

(Accepted May 22, 2002)

Abstract The study on the adsorption, the surface properties and the antibacterial effects of the metal-treated pitch based activated carbon fibers was carried out. From the adsorption studies on the series of metal-treated activated carbon fiber, the specific surface areas of the metal treated activated carbon fiber obtained from BET equation were in the range of 113.2~1574 m²/g for the Ag-ACFs. And that of Cu treated ACF are distributed to 688.2~887.8 m²/g. And, the specific surface areas of the Ni-treated pitch based ACFs were in the range of 692.6~895.2 m²/g. From the α_s -method, 0.06~1.1 cm³/g of the micropore volumes were obtained from Ag-ACFs. And, 0.1~0.2 cm³/g and 0.2~0.6 cm³/g of the micropore volumes were obtained from Cu and Ni-ACFs, respectively. And, from the SEM morphology results, it was observed that the surface of activated carbon fiber are partially blocked and coated by metal after the treatment. Finally, from the antibacterial effects of metal-treated activated carbon fiber against *E. coli*, the areas of antibacterial effect become larger with the increase in mole ratio of metal treated. And, from the antibacterial effects using Shake flask method against *E. coli*, the percentage of the effects was 92.5~100 % and the antibacterial effect was increased with the increase in mole concentration of metal treated.

Key words Adsorption, Activated carbon fiber, BET, SEM, Micropore, Antibacterial effects

항균성 탄소섬유의 제조와 특성

오원춘[†], 김범수, 임창성*, 장원철**

한서대학교 화학과, 신소재연구소, 서산, 356-706

*한서대학교 재료공학과, 신소재연구소, 서산, 356-706

**단국대학교, 첨단과학부 화학전공, 충남, 330-714

(2001년 11월 9일 접수)

(2002년 5월 22일 심사완료)

요약 피치계 탄소섬유로부터 활성탄소섬유를 제조한 후, 이에 대하여 금속을 처리하여 금속-ACFs를 제조하였다. 제조된 금속-ACFs에 대하여 흡착 및 표면특성을 통하여 물리화학적 특성을 제시하였다. BET식으로부터 금속이 처리된 활성탄소섬유의 비표면적을 구한 결과 Ag-ACF의 경우 136.2~1585 m²/g의 범위에, Cu가 처리된 활성탄소섬유에 경우 698.2~896.2 m²/g의 범위에, Ni-ACF의 경우 685.2~898.2 m²/g의 범위에 분포하였다. 또한 α_s -법을 사용하여 구한 미세 동공부피는 Ag-ACF에 대하여 0.07~1.2 cm³/g, Cu-ACF에 대하여 0.2~0.3 cm³/g, Ni-ACF에 대하여 0.3~0.7 cm³/g, 의 범위에 분포함을 알 수 있었다. 이와 관련하여 SEM 분석을 통하여 표면성상에 대하여 연구한 결과, 처리된 금속은 섬유표면 주위를 부분적으로 또는 전 범위에 걸쳐서 피복되어 있음이 관찰되었다. 최종적으로 Shake 플라스크법에 의거하여 대장균(*E. coli*)에 대한 금속-ACFs의 항균특성에 대한 결과로부터 금속의 양이 증가함에 따라 항균효과가 크게 증가함을 알 수 있었다.

1. 서론

활성탄이 국내에서 제당 산업과 같은 표백의 기능으로 사용된 이래 이들과 같은 다공성 탄소질의 사용량이 증

가하고 있다. 이러한 다공성 탄소 재료들은 높은 흡착성을 가진다는 장점을 가지고 있고 동공의 크기, 형상, 이들의 분포 및 비표면적등의 물리적 인자에 의하여 결정된다. 활성탄소섬유(Activated Carbon Fiber, ACF)는 입상 활성탄과는 달리 섬유상으로 제조된 다공성 탄소의 일종으로 미세 동공의 발달 및 넓은 비표면적을 가지는 특성을 가지고 있다. 따라서 활성탄소섬유는 최근 10년 동안 많은 연구가 이루어 졌으며, 그 용도 또한 날로 증

[†]Corresponding author

Tel: +82-41-660-1337

Fax: +82-41-688-3352

E-mail: wc_oh@hanseo.ac.kr

카하고 있는 추세이다. 이는 기존의 활성탄소와는 달리 섬유상으로 되어 있다는 특징을 이용하여 부직포 또는 직물형태로 제조가 가능하므로 더 많은 주목을 받고 있다. 또한 활성탄소에 기능성을 부과하였을 경우, 이들의 응용가능성은 더욱 커질 것으로 예상된다. 이러한 용도의 활성탄소섬유는 입상활성탄소와는 달리 섬유상으로 되어 있다는 점을 이용하여 부직포 또는 직물형태로 제조가 가능하기도 하지만, 다른 섬유제품과 같이 혼합하여 사용하였을 경우 양자의 특성을 배가 시켜주기도 한다. 이와 관련하여 음용수의 정화, 환경오염의 방지 및 오염된 환경의 정화 등의 용도는 증가하고 있는 추세이다[1, 2]. 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[3, 4, 5]. 한편 은과 같은 금속을 처리한 활성탄소는 기존의 특성에 항균성이 부가되어 응용성이 제시되었으며[6], 최근에 이와 같은 금속이나 금속염 및 금속산화물을 활성탄에 처리하여 만든 금속-활성탄이 항균작용을 가진다는 사실이 밝혀져 이들에 대한 기능성의 연구가 활발히 진행되고 있다[4, 7]. 한편 은과 같은 금속을 처리한 활성탄소는 기존의 특성에 항균성이 부가되어 응용성이 제시되었으며[8], 최근에 이와 같은 금속이나 금속염 및 금속산화물을 활성탄에 처리하여 만든 금속-활성탄이 항균작용을 가진다는 사실이 밝혀져 이들에 대한 기능성의 연구가 활발히 진행되고 있다[6, 7]. 지금까지 연구된 바에 의하면, 금속-활성탄 및 활성탄소섬유가 정수 및 항균기능 측면에서 주로 연구가 진행되어 왔다. 이와 관련하여 정수와 항균작용을 하는 다공성 물질은 표면의 특성과 세공의 특성에 영향을 받으므로 이들에 대한 구체적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 피치계 탄소섬유로부터 제조된 활성탄소섬유(Activated Carbon Fiber, ACF)에 금속질화물 혹

은 금속 염화물을 처리하여 금속-ACFs를 제조하였다. 또한 금속-ACFs에 대하여 비표면적 및 동공분석을 통하여 물리화학적 특성을 제시하였다. 이와 관련하여 SEM 분석을 통하여 표면성상에 대하여 연구하였고, 최종적으로 대장균(*Escherichia coli*, *E. coli*)에 대한 금속-ACFs의 항균특성 및 그에 응용성에 대하여 제시하고자 한다.

2. 실험

2.1. ACF의 제조

상업용 피치계 섬유로부터 KOH와 K_2CO_3 를 사용한 화학적 활성법을 이용하여 환원 분위기 하에서 900~950°C의 활성화 온도에서 원료 ACF를 제조하였다. 상업용 일반 탄소섬유는 균일하게 사이징 처리되어 있으므로 활성화 전에 450~500°C의 온도에서 1차 탄화처리 후 사용하였다. 활성화 전에 1M의 인산에 30분간 처리하였다. 1M의 KOH와 K_2CO_3 의 각각의 50:50 수용액에 피치계 탄소섬유를 2시간 동안 저어주면서 침적시킨 후 활성화에 임하였다. 이 제법은 일반적인 방법으로 문헌[9]을 참고로 하여 변형하였다. 제조된 원료 ACF에 대한 비표면적, 물리적 특성 및 원소분석에 대한 결과를 Table 1에 정리하였다.

2.2. 금속-ACFs의 제조

특급시약인 $AgNO_3$, $Cu(NO_3)_2$ 및 $Ni(NO_3)_2$ 를 1차 증류수에 녹여서 해당농도의 금속염 수용액을 제조하였다. 여기에 약 5g의 준비된 칩형(Chop type)의 ACF를 10ml의 금속염 수용액에 넣고 거품이 일지 않을 때까지 마그네틱 스테러를 사용하여 1시간 동안 저어준 후에 실온에서 24시간 동안 방치하였다. 이 과정을 거친 후

Table 1
Characteristics of the starting activated carbon fiber

	S_{BET} (m^2/g)	Specific pore volume (cm^3/g)	Average pore radius (Å)	Volatiale matter (%)	Ash content (%)	Carbon content (%)
Non-treated ACF	2051	0.21	26.3	2.240	0.250	95.69

Table 2
Comparison of metal salt contents for metal-ACFs after drying

Sample	Metal salt contents (%)	Sample	Metal salt contents (%)	Sample	Metal salt contents (%)
$Ag_{0.1}$ -ACF	1.24	$Cu_{0.09}$ -ACF	1.23	$Ni_{0.1}$ -ACF	1.18
$Ag_{0.3}$ -ACF	1.73	$Cu_{0.1}$ -ACF	1.22	$Ni_{0.2}$ -ACF	1.22
$Ag_{0.5}$ -ACF	2.54	$Cu_{0.2}$ -ACF	1.38	$Ni_{0.4}$ -ACF	1.68
$Ag_{0.7}$ -ACF	3.05	$Cu_{0.3}$ -ACF	1.75	$Ni_{0.6}$ -ACF	1.69
		$Cu_{0.4}$ -ACF	2.03	$Ni_{0.8}$ -ACF	1.82
				$Ni_{1.0}$ -ACF	2.43

약 0.1 torr의 압력으로 감압하여 공기 및 기포를 제거하였다. ACF가 침적된 이들 용액에서 ACF를 제외한 나머지 용액을 제거한 후 약 105°C에서 48시간 비산화성 분위기에서 건조하였다. 이와 같이 만들어진 각각의 시료에 대하여 몰농도에 의존하여 명명하였다. 전식 분석의 결과로 건조된 시료 중에 잔존하고 있는 금속염의 함량 %는 Table 2에 나타내었다.

2.3. 측정 및 분석

각각 금속-활성탄소섬유의 비표면적 측정은 부피 측정 방법을 사용한 저온 질소 흡착 방법인 Sibata P-850(Sibata, Japan) 흡착 장치 및 Digisorb 2500(Micrometrics Instruments Co., U.S.A)를 이용하여 흡착 등온곡선을 얻었으며, 이를 가지고 비표면적을 구하였다. 이때 흡착질로는 99.9999%의 질소가스(일본 산소(주), Japan)를 사용하였으며, 모든 종류의 흡착제는 측정하기 전에 250°C에서 3시간 동안 고진공에서 탈기시킨 후에 측정에 임하였다. 제조된 금속-활성탄소섬유의 표면 상태 및 구조를 관찰하기 위해 주사 전자현미경(Topcon sm-300, Japan)을 사용하였다. 항균 실험을 위하여 박테리아로서 대장균의 일종인 *E. coli*를 사용하였다. 배양된 *E. coli*를 멸균된 배지에 도포하여 각각의 몰수에 따라 제조된 금속-활성탄소섬유를 일정 양으로 플라스크 안에 떨어뜨렸다. 이와 같이 만들어진 배지를 24시간 동안 항온 항습기 내에 보관하여 *E. coli*가 활성을 잃게 되고 이때 발견되는 박테리아 수를 측정하여 금속-활성탄소섬유의 박테리아 저항성을 판독하였다. 시험법은 문헌자료를 참고로 하여 실행하였다[10-12].

3. 결과 및 고찰

3.1. 비표면적

등온흡착곡선으로부터 구한 BET 비표면적 값(S_{BET})을 Table 3에 비교하여 나타내었다. S_{BET} 값은 동공이 채워지는 메카니즘으로 설명되기 때문에 미세 동공에 의하여

Table 3
Comparison of SBET for Metal-ACFs

Sample	S_{BET} (m ² /g)	Sample	S_{BET} (m ² /g)	Sample	S_{BET} (m ² /g)
Ag _{0.1} -ACF	1585	Cu _{0.09} -ACF	896.2	Ni _{0.1} -ACF	898.9
Ag _{0.3} -ACF	845.6	Cu _{0.1} -ACF	842.3	Ni _{0.2} -ACF	859.5
Ag _{0.5} -ACF	333.4	Cu _{0.2} -ACF	772.1	Ni _{0.4} -ACF	792.1
Ag _{0.7} -ACF	136.2	Cu _{0.3} -ACF	785.1	Ni _{0.6} -ACF	735.3
		Cu _{0.4} -ACF	698.2	Ni _{0.8} -ACF	783.6
				Ni _{1.0} -ACF	685.8

형성된 등온흡착곡선으로부터 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_{BET} 값은 136.2~1585 m²/g의 범위에 분포함을 알 수 있다. S_{BET} 값은 처리된 Ag, Cu 및 Ni와 같은 금속의 농도가 증가함에 따라 급격한 감소를 보이고 있고, 이는 동공을 blocking하는 효과가 나타남을 간접적으로 나타내주고 있다. 미세 동공부피(micropore volume)는 micropore window 현상을 구체화하여 주고 있다. 본 연구에서 사용한 처리하지 않은 활성탄소섬유의 BET 비표면적 값이 2051 m²/g으로 다소 높은 것을 사용하였지만, 구리 처리 후에 활성탄소섬유의 BET 비표면적 값들은 698.2~896.2 m²/g의 범위에 분포하였다. 이와 같은 결과와 함께 BET식은 미세동공을 가지는 다공성 물질에서는 잘 적용되지 않으므로 미세동공을 가지는 금속처리된 활성탄소섬유에서도 잘 적용되지 않는 것으로 여겨진다. 일반적으로 BET식은 mesopore 이상의 영역에서 잘 적용된다고 보고하고 있다[13, 14]. Micropore를 가지는 흡착제는 낮은 상대압력에서 동공충족이 일어나고 이들의 외부 표면에서 다분자층 흡착이 일어난다고 할 수 있다. BET 식에 의한 비표면적 값들은 비교를 위한 참고자료로 사용될 수 있을 뿐 이를 구체화하기 위하여 α_s -법을 도입하여 동공의 크기를 계산할 수 있다. 다공성 물질을 특성화하는데는 동공의 부피나 동공의 크기가 중요한 자료로 사용될 수 있다. 흡착등온곡선으로부터 주어진 상대압력에서의 흡착량은 상대압력이 0.40 일때의 흡착량으로 나눈 값을 기준으로 하여 α_s 라고 하고 이 값의 변화에 따른 흡착량의 비로 하여 동공부피를 계산할 수 있다. Ni_{0.1}-ACF, Ni_{0.2}-ACF, Ni_{0.4}-ACF 및 Ni_{0.6}-ACF의 경우 Point B를 형성하는 상대압력 이하에서 S_{BET} 값은 큰 의미를 가지고 있다고 할 수 있다. S_{BET} 값은 ACFs가 가지는 동공의 구조, 표면형상 즉 파임 구조 또는 갈라짐, 쌓임 구조의 메카니즘으로 설명되어지고 이들 메카니즘에 질소가 흡착될 때 어떤 형태로 흡착되어지는가에 따라 현저하게 달라진다. 즉, 특정 상대 압력 범위에서 단분자층에 흡착되는지 다분자층으로 흡착층이 형성되는지 또는 질소분자가 포화 상태로 채워지는지에 대해서도 영향을 준다고 할 수 있다. S_{BET} 값은 Ni 처리된 피치계 ACFs의 경우 685.2~898.2 m²/g의 범위에 분포하였다. S_{BET} 값은 처리된 Ni의 농도가 증가함에 따라 감소함을 보이고 있으나, 그 감소량은 크게 줄어들지 않고 있다. 이러한 사실은 처리된 Ni가 ACFs 자체에 영향을 주어 표면구조를 변화시켜주는 것임을 알 수 있다. 뿐만 아니라 섬유 표면에 형성된 Ni 화합물 및 결정체가 S_{BET} 값에 영향을 주어 이들에 변화를 저하시키지 않는 요인으로 작용한 것으로 예상된다. 이러한 현상은 표

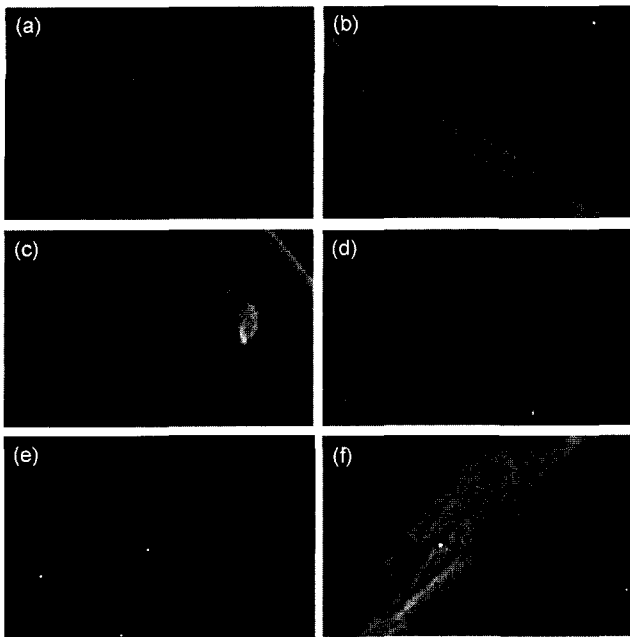


Fig. 1. SEM morphology of typical metal-treated activated carbon fibers (a) $Ag_{0.1}$ -ACF ($\times 2500$), (b) $Ag_{0.7}$ -ACF ($\times 2000$), (c) $Cu_{0.09}$ -ACF ($\times 1500$), (d) $Cu_{0.4}$ -ACF ($\times 2000$) (e) $Ni_{0.1}$ -ACF ($\times 2000$) and (f) $Ni_{1.0}$ -ACF ($\times 2500$).

면구조와 관련하여 좀더 자세한 논의가 필요하다.

3.2. 표면구조와 미세동공의 분석

등온곡선으로부터 얻어진 흡착된 부피와 S_{BET} 값의 결과와 관련하여 Ag가 처리된 ACFs의 표면 양상을 알아보기 위하여 전자주사 현미경(SEM)을 사용하여 각각의 시료에 대하여 표면상태를 고찰하였다. 이들의 결과의 대표적인 $Ag_{0.1}$ -ACF와 $Ag_{0.7}$ -ACF에 대한 표면구조를 Fig. 1(a) 및 (b)에 나타내었다. 처리된 Ag는 ACF의 표면에 적당히 또는 골고루 분포함을 알 수 있다. $Ag_{0.1}$ -ACF의 경우, 표면의 부분적으로 Ag의 존재를 확인할 수 있다. 이러한 현상은 Ag 화합물들은 스스로 뭉침 현상을 일으키는 성질이 있는 것으로 여겨지며, 이러한 성질은 섬유 표면에 부분적인 뭉침 효과를 유발하는 것으로 나타났다. 또한 $Ag_{0.7}$ -ACF의 경우, 섬유 전체에 골고루 피복하고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 사실은 앞에서 제시한 미세 동공 주변의 표면 blocking 효과를 더욱 더 구체화하여 주고 있다. 이러한 사실은 물리적인 계산법에 의하여 입증하기 위하여 α_s -법을 도입하여 미세 동공부피와 평균동공반경을 구하였으며, 이들 결과에 대하여 역시 Fig. 2(a)와 Fig. 3(a)에 제시하였다. 미세 동공을 가지는 흡착제는 낮은 상대압력에서 동공충족이 일어나고 이들의 외부 표면에서는 다분자층 흡착이 일어난다고 할 수 있다. 등온흡착곡선으로부터 상대압력이 0.40일 때의 흡착량으로 나눈 값을 기준으로 하여 α_s 라고 하고 이 값의 변화

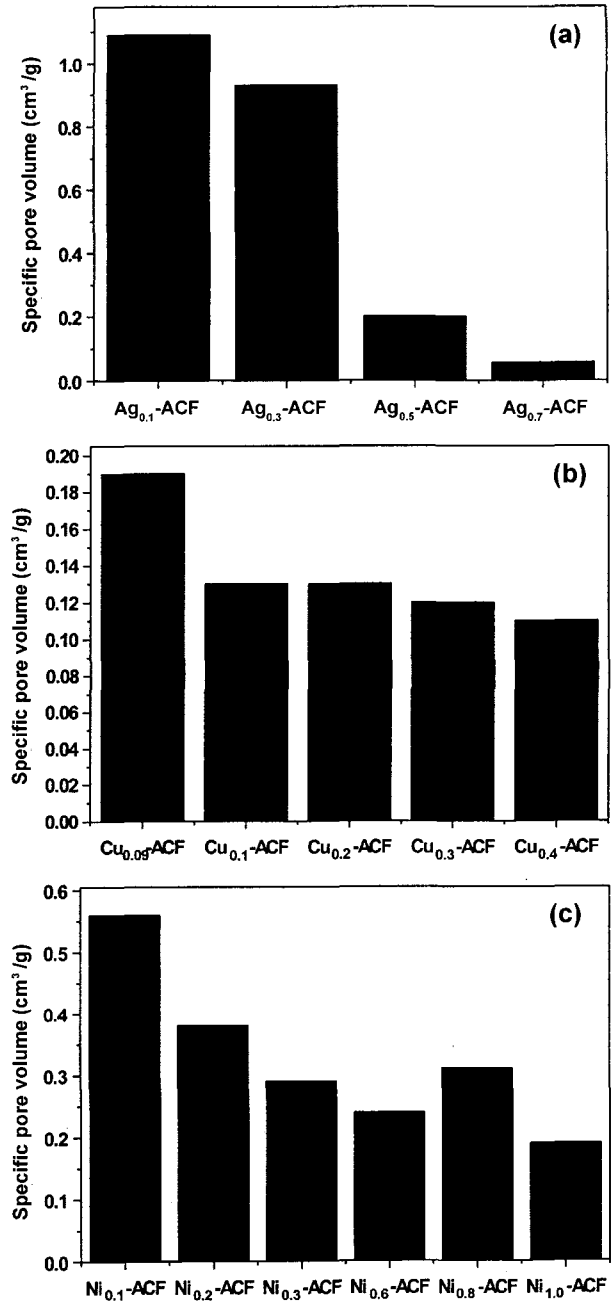


Fig. 2. Specific pore volume distribution for the metal treated ACFs.

에 따른 흡착량의 비로 하여 동공부피를 계산하였다. 제시된 바에 의하면 단위 질량당 미세 동공부피는 0.07~1.2 cm³/g의 범위에 분포하였고, 평균동공 반경은 9.8~21.9 Å의 범위에 다양한 동공 크기분포를 하고 있음을 알 수 있다. 특히 $Ag_{0.3}$ -ACF의 경우 예상보다 큰 동공 반경을 가지고 있으나 역시 미세 동공 영역에 분포함을 알 수 있다. 결과에 의하면 미세 동공을 가지는 Ag-ACFs는 중간영역 이상의 동공을 가지는 흡착제와는 달리 동공충족이나 흡착량의 비와 같은 요소들을 충분히 고려해야 할 것으로 여겨진다. Ag의 농도가 증가함에

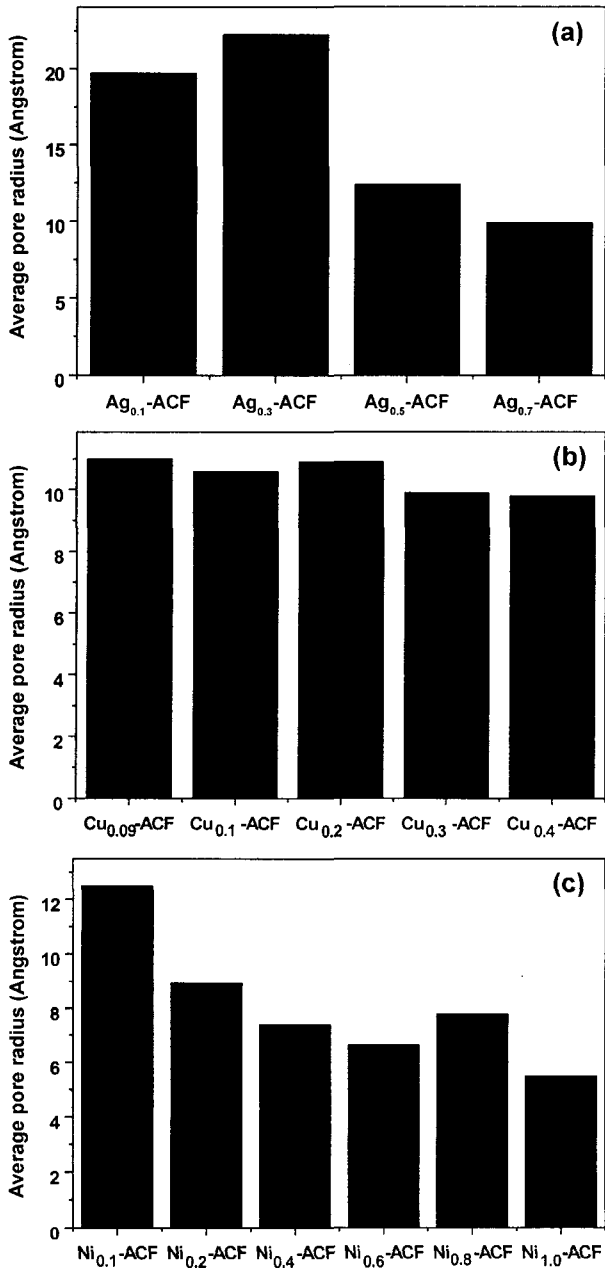


Fig. 3. Specific pore volume distribution for the metal treated ACFs.

따라 미세 동공 부피가 감소하는 현상은 처리된 Ag가 동공주변 혹은 동공표면을 덮어버리는 현상을 초래한 것이라 할 수 있다. 동공크기분포의 결과를 비교해 볼 때 동공부피가 상당히 줄어들긴 하였으나 전체적인 동공 크기의 분포는 대부분이 25 Å 이하의 범위에 존재함을 알 수 있다. 대표적인 Cu가 처리된 활성탄소섬유의 표면구조를 Fig. 1(c) 및 (d)에 나타내었다. 처리된 구리는 활성탄소 섬유의 표면에 뭉쳐진 형태로 불균일하게 분포하고 있음을 알 수 있다. 또한 이들은 앞에서 예상한 바와 같이 미세 동공내에 분포하는 것이 아니라 동공의 주변

에 분포하고 있음을 간접적으로 알 수 있다. 역시 α_s -법을 도입하여 미세 동공부피와 평균동공반경을 구하였으며, 이들 결과에 대하여 Fig. 2(b)와 Fig. 3(b)에 제시하였다. Ni가 처리된 피치계 ACFs의 표면구조를 대표적인 $Ni_{0.1}$ -ACF과 $Ni_{1.0}$ -ACF에 대하여 Fig. 1(e) 및 (f)에 나타내었다. 예상한 바와 같이 ACFs의 표면에 많은 Ni 화합물 및 결정체가 다양한 형태로 형성되어 있음을 알 수 있다. 이러한 Ni-ACFs는 흡착등은 곡선의 형태를 변화시켜 줄 수 있다. 또한 이와 같은 사실은 ACFs 동공구조에 Ni 화합물 및 결정체가 영향을 주고 있음을 나타내고 있다. ACFs와 같이 미세 동공을 가지는 물질은 낮은 상대 압력에서 동공응축이 일어나고 그후에 외부 표면에서 비다공성 흡착제와 같이 다분자층 흡착이 일어난다. 일반적으로 이때 t의 값은 상대압력이 0.4일 때의 흡착량을 나타낸 것이며 Gragg 등[15]과 Mikhael 등[16]이 정리한 α_s -법으로 정의된다. 이 방법에 의하여 미세 동공 분석을 시행한 결과, 평균동공반경은 5.5~12.8 Å의 범위에 분포하였다. 역시 미세 동공부피와 평균동공반경을 구하였으며, 이들 결과에 대하여 Fig. 2(c)와 Fig. 3(c)에 제시하였다. 이들 결과로부터 Ni가 처리된 피치계 ACFs의 동공분포는 미세 동공의 범위에 분포하고 있음을 알 수 있었다. 또한 처리된 Ni의 농도를 증가시키면 흡착된 물수의 증가와 함께 단위 질량 당 미세 동공 부피와 평균동공 반경은 감수함을 나타내었다. 따라서 이들 결과로부터 얻은 중요한 사실은 처리된 Ni 양의 적정성에 따른 미세 동공을 최대한 유지시켜주어 흡착특성을 보존해 주어야 한다는 것이다. 세가지 금속의 경우, blocking의 효과를 금속의 특성에 따라 다르게 나타남을 알 수 있다. 이들 사실과 관련하여 결과적으로 같은 양의 금속을 처리할지라도 비표면적, 동공부피 및 평균기공의 크기가 다르게 나타남을 알 수 있다. 또한 표면에 존재하는 금속염의 형태는 서로 각각 다른 형태를 나타내고 있다. Ag의 경우 덴드라이트 형상을 가지는 반면, Cu의 경우 서릿발 유사모형을 형성하고, Ni의 경우 결정성의 금속화합물이 형성되고 있음을 알 수 있었다.

따라서, 세가지 금속의 blocking의 효과는 사용된 금속의 특성에 따라 결정된다고 할 수 있다. 전술한 바와 같이 이들이 ACF 표면 위에서 어떤 형태의 혹은 어떤 구조의 화합물을 형성하느냐에 따라서 blocking 효과가 결정된다고 할 수 있다.

3.3. 금속-ACFs의 항균특성

활성탄소섬유의 경우, 항균성은 거의 없으나 균균 친화성을 가지고 있으며[17], 균이 오염된 것을 그대로 사용하였을 경우 2차 오염의 여지가 있다. 항균특성을 알아보기 위하여 박테리아로써 대장균균의 일종인 *E. coli*

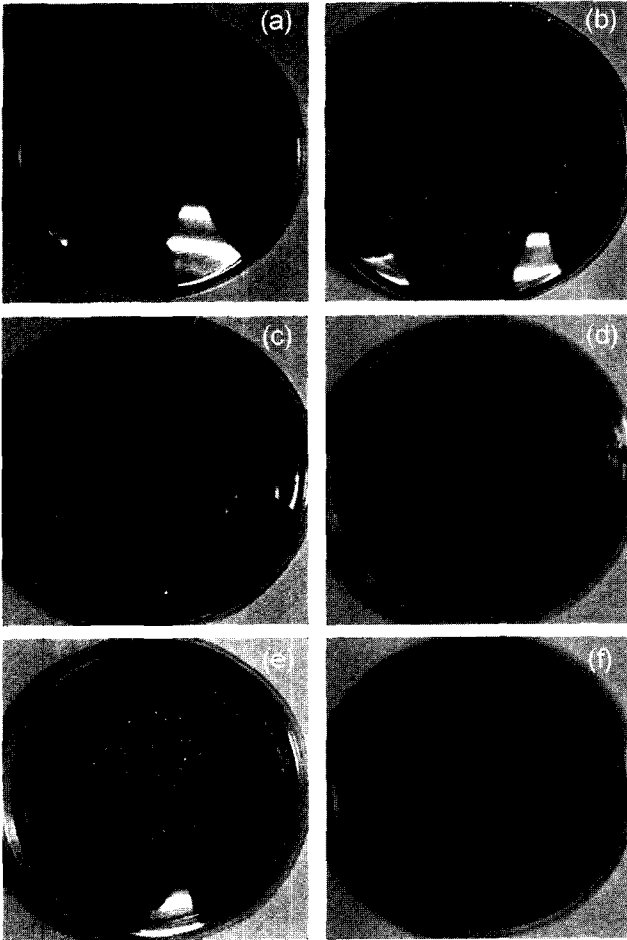


Fig. 4. Antibacterial properties of typical metal-treated activated carbon fibers (a) $Ag_{0.1}$ -ACF, (b) $Ag_{0.5}$ -ACF, (c) $Cu_{0.09}$ -ACF, (d) $Cu_{0.4}$ -ACF, (e) $Ni_{0.1}$ -ACF and (f) $Ni_{0.5}$ -ACF.

를 멸균된 배지에 도포하여 각각의 금속-ACFs를 처리하였다. 이들 결과로부터 *E. coli*는 처리된 금속에 의하여 생육을 억제 받아서 항균특성을 나타내었다. 항균특성의 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 뭉쳐진 검은 부분들은 대장균균을 나타내고 있으며, 금속의 농도가 증가할수록 이들이 감소하는 것을 볼 수 있다. 미세한 Ag 입자나 Ag이온은 강한 항균 작용을 나타낸다는 사실은 이미 보고되어 있다[18]. 특히 Oya[19]의 경우 포도산구균의 일종인 *Staphylococcus aureus*를 사용하여 단순히 항균 활성과 비활성의 정도만 제시하였다. 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, 미약하지만 중금속 화합물이 이에 해당된다. 이러한 금속들의 특징적인 현상을 “oligodynamic action”이라고 한다[20]. 정량된 균의 수를 비이커에 준비하여 금속 처리된 피치

계 ACFs를 24시간 동안 작용시킨 후 균의 수를 세어 본 결과, 처리농도가 $Ag_{0.5}$ -ACF, $Cu_{0.3}$ -ACF 및 $Ni_{0.8}$ -ACF의 이상의 농도에서는 살아 있는 *E. coli*는 하나도 발견되지 않았으므로 100%의 항균 효과가 있음을 알 수 있었고, 이들 농도이하의 경우 92.5~98.7%의 범위에 *E. coli* 치사율을 보였다. 이들 결과로부터 본 연구에서 사용한 Ag를 포함한 금속 입자들 또는 이온들도 강한 항균성을 나타내고 있으며, 그 농도를 증가시키면 항균성이 증가함을 알 수 있었다. 따라서 금속을 처리한 항균성 탄소섬유는 수질 및 대기분야에서 항균 정화계에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 피치계 탄소섬유로부터 활성탄소섬유를 제조한 후, 이에 대하여 금속을 처리하여 금속-ACFs를 제조하였다. 뿐만 아니라 제조된 금속-ACFs에 대하여 흡착 및 표면특성을 통하여 물리화학적 특성을 제시하였다. BET식으로부터 금속이 처리된 활성탄소섬유의 비표면적을 구한 결과 Ag-ACF의 경우 136.2~1585 m^2/g 의 범위에, Cu가 처리된 활성탄소섬유에 경우 698.2~896.2 m^2/g 의 범위에, Ni-ACF의 경우 685.2~898.2 m^2/g 의 범위에 분포하였다. 또한 α_s -법을 사용하여 구한 미세 동공부피는 Ag-ACF에 대하여 0.07~1.2 cm^3/g , Cu-ACF에 대하여 0.2~0.3 cm^3/g , Ni-ACF에 대하여 0.3~0.7 cm^3/g 의 범위에 분포함을 알 수 있었다. 이와 관련하여 SEM 분석을 통하여 표면성상에 대하여 연구한 결과, 처리된 금속은 섬유표면 주위를 부분적으로 또는 전 범위에 걸쳐서 피복되어 있음이 관찰되었다. 최종적으로 대장균(*E. coli*)에 대한 금속-ACFs의 항균특성에 대한 결과로부터 금속의 양이 증가함에 따라 항균효과가 크게 증가함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] P. Rebstein and H.F. Stoeckli, “The Physical and Chemical Characterization of a Sulphur-impregnated Active Carbon, by Combined Adsorption and Immersion Technique”, *Carbon* 17 (1979) 465.
- [2] H. Chua, P.H.F. Yu and L.Y. Ho, “Coupling of Waste Water Treatment with Storage Polymer Production”, *App. Biochem. and Biotech.* 63 (1997) 627.
- [3] N.D. Parkyns and D.F. Quinn, *Porosity in Carbons*, London (1995) 302.
- [4] M.S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, K. Sugihara, I.L. Spain and H.A. Goldberg, *Graphite fibers and filaments*, Springer-Verag (1988) 34.
- [5] H. Tamai, T. Kakii, Y. Hirota, T. Kumamoto and H.

- Yasuda, "Synthesis of Extremely Large Mesoporous Activated Carbon and its Unique Adsorption for Giant Molecules", *Chem. Mater.* 8 (1996) 454.
- [6] Y.V. Basova, I. Tomizuka and A.V. Palchik, "Preparation and Catalytic Properties of Activated Carbons Modified with Encapsulated Metal Complexes", *Proceeding of international symposium of carbon* (1998) 508.
- [7] C. Morin, A. Camper, W. Jones, D. Gatel and J. Goldman, "Colonization and Disinfection of Biofilms Having Coliform-colonized Carbon Fines", *App. and Environ. Microbiology* 62(12) (1996) 4428.
- [8] Toho Rayon Co Ltd, Catalogue on the Activated carbon fiber "Finegrad".
- [9] J.W. Patrick, *Porosity in Carbon : Characterization and Applications*, Edward Arnold (1995) 223.
- [10] J.A. Scott and A.M. Karanjkar, "Adsorption Isotherm and Diffusion Coefficients for Metals Biosorbed by Biofilm Coated Granular Activated Carbon", *Biotechnol Letters* 17 (1995) 1267.
- [11] J.A. Scott and A.M. Karanjkar and D.L. Rowe, "Biofilm Covered Granular Activated Carbon for Decontamination of Streams Containing Heavy Metals and Organic Chemicals", *Min. Eng.* 8 (1995) 221.
- [12] W.C. Oh, B.S. Kim, Y.S. Lee, J.G. Kim, M.S. Kim and S.H. Cho, "Adsorption and Surface Properties of Metal Ion Treated Activated Carbon Fiber", *24th Biennial conf. on Carbon, Extended Abstracts, U.S.A.* (1999) 342.
- [13] W.C. Oh, B.S. Kim, Y.S. Lee, J.G. Kim, M.K. Kim and Y.S. Ko, "Adsorption and Surface Properties of Metal Treated Activated Carbon", *Analytical Science & Technology* 11 (1998) 4.
- [14] J.G. Kim, W.C. Oh and M.K. Kim, "A Study on the Characterization of Surface and Pore for Ag-impregnated Activated Carbon", *J. of Industrial and Eng. Chem.* 9 (1998) 5
- [15] J. Gragg and K.S.W. Sing, *Adsorption, Surface area and Porosity*, Academic press (1982) 94.
- [16] R.S. Mikhael and E. Robens, *Microstructure and Thermal analysis of Solid Surface*, John Wiley & Sons (1983) 57.
- [17] J.A. Scott and A.M. Karanjkar, "Enhanced Activated Carbon Surfaces from Heat-fixation of Biosorbed Metals", *Trans. Inst. Chem. Eng.* 74B (1996) 2665.
- [18] W.C. Oh, C.S. Lim, K.H. Orr, J.G. Kim, M.K. Kim and Y.S. Ko, "Preparation and characterization of antibacterial activated carbon, *Proceeding of '97 Industrial crystallization symposium* (1997) 99.
- [19] A. Oya, T. Wakahara and S. Yoshida, "Preparation of Pitch-based Antibacterial Activated Carbon Fiber", *Carbon* 31(8) (1991) 1243.
- [20] Y.H. Kim and K.J. Ham, *Sterilization, Korean Medical Books* (1993) p204.