

산처리된 활성탄소섬유의 Propylamine의 흡착특성

양범호* · 김병구 · 이영택 · 김시몽 · 조시형
KT&G 중앙연구원
(2003년 11월 18일 접수)

Adsorption Characteristics of Propylamine on Acid Treated Activated Carbon Fiber

Burm Ho Yang*, Byeoung Ku Kim, Young Taek Lee, Si Mong Kim and Si Hyung Jo
KT&G Central Research Institute
(Received November 18, 2003)

ABSTRACT : In this work, Rayon-based activated carbon fiber(KF-1500) was treated by HNO_3 and H_2SO_4 with different conditions. Specific surface areas(SSA, S_{BET}) of the treated activated carbon fibers were decreased by acidic treatment but, total surface acidities and surface functional groups were increased. In spite of the decrease of SSA, propylamine(PPA) adsorption and removal ability by activated carbon fiber(ACF) were increased by nitric acid treatment compared with the raw-ACF(KF-1500) and coconut based activated carbon. However, acidic treated activated carbon fibers were available to removal for various amines and contaminants by adsorption.

Key words : adsorption, activated carbon fiber, acid treatment, propylamine

유기화합물 중 아민류는 산업의 발달에 따라 고무, 플라스틱, 수지 등의 고분자, 석유화학, 그리고 정밀화학공업 뿐만이 아니라 특히 의약 및 농약 등의 분야에 필수적으로 사용되는 물질로 그 사용량이 날로 증가하고 있다. 그러나 이런 아민류 화합물의 급격한 사용량 증가와 적용 산업의 발달에 따른 대기 및 수질오염에 대한 문제가 점점 더 심각하게 대두되고 있으며, 이의 발생원도 매우 광범위한 것으로 알려져 있다.

공기 중에 존재하는 아민류는 나쁜 냄새를 발생시키는 화합물로서 높은 독성을 갖고 있다고 알려져

으며, 이런 아민류와 암모니아 등은 여러 가지의 서로 다른 공업적 공정에서 발생하는 오염된 기체 내에 존재할 수 있다. 특히 수산업, 육류, 식품공업과 쓰레기처리 공정 등에서 폭넓게 발생할 수 있으며, 실내 공기오염에 많은 영향을 미치는 담배 연기 내에서도 여러 가지 형태의 아민류가 검출되고 있다(Akita *et al.*, 1996; Neurath *et al.*, 1964).

이런 아민류에 의한 공해문제를 해결하기 위해서는 대기와 수용액 중에 함유된 아민의 분리와 아민류 함유 폐수 및 오염된 대기의 처리 등에 관한 체계적이면서도 많은 연구가 필요하며, 현재에

*연락처 : 305-805 대전광역시 유성구 신성동 302번지, KT&G 중앙연구원

*Corresponding author : KT&G Central Research Institute, 302 Shinseong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-805, Korea

도 광범위한 연구가 진행되고 있다(Neurath *et al.*, 1964; Radeka *et al.*, 1984; 김 등, 1995).

활성탄소(Activated carbon)는 크게 활성탄소섬유와 활성탄 2종으로 구분할 수 있다. 활성탄은 유기물의 흡착제거에 대해서 다른 흡착제에 비하여 흡착능력(adsorption ability)이 뛰어나고 경제적인 면에서도 유리하다고 알려져 있다. 그러나 제한된 비표면적과 넓은 세공분포로 인하여 미량물질의 흡착분리나 다성분 혼합물의 선택적 흡착조작에는 한계가 있다. 또한 활성탄은 형태가 분말상 또는 입상이므로 흡착설비가 대형화하고 장치운전에 있어서도 편류현상(channeling)과 급격한 압력손실이 큰 부담이 되는 단점이 있다.

활성탄의 흡착과정은 크게 3단계로 흡착이 진행된다고 알려져 있다. 먼저 1단계에서는 피흡착질 분자들이 활성탄의 표면으로부터 멀리 떨어진 자유공간에서 활성탄의 외부표면으로 이동하는 단계이다. 2단계 흡착과정은 활성탄의 외부표면으로 이동해온 피흡착질 분자들이 활성탄의 대세공(macropore)을 통하여 중간세공(mesopore) 내로 확산되어 들어가는 단계이다. 마지막 3단계에서, 중간세공 내로 확산되어 들어온 피흡착질 분자들은 미세공(micropore) 영역에서 발생하는 흡착포텐셜(adsorption potential)의 증첩 등에 의한 미세공 내부에서의 급격한 충전(micropore filling)의 물리적 흡착이 이루어지게 되며, 피흡착질 분자의 일부는 내부 표면과 강하게 결합하여 화학적 흡착을 발생하게 된다.

이와같이 활성탄은 3단계의 과정으로 흡착이 일어나지만 셀룰로오스계, 아크릴계, 페놀수지계 및 피치계 탄소섬유 등을 활성화한 섬유상 흡착제인 활성탄소섬유(activated carbon fiber, ACF)는 대부분의 세공이 미세공으로 되어있고 활성탄소섬유의 표면에 노출되어 있어 활성탄의 흡착과정 중 1, 2 단계를 거치지 않고 3단계의 흡착과정이 일어나게 됨으로써 흡착능력이 우수하고, 특히, 흡착속도 면에서 활성탄보다 우수하다고 알려져 있다. 또한, 활성탄소섬유는 섬유직경이 매우 작아 외부유체와 접촉효율이 증대되며, 흡착탑에서의 흡착질의 투과 저항이 매우 적어 흡착컬럼 내의 압력강하가 낮은 장점이 있다.

본 논문에서는 기존의 활성탄에 비하여 흡착능력과 흡착속도가 우수하다고 알려져 있는 활성탄소섬유를 산처리 방법에 의하여 표면개질하였고, 아민류 중 propylamine(PPA)에 대한 흡착·제거능을 고찰함으로써 다양한 종류의 아민들에 대한 흡착·제거공정의 가능성 및 효율성을 살펴보고자 하였다.

실 험

본 실험에서는 레이온계 ACF(KF-1500, Toyobo 사, Japan)를 시료로 사용하였으며, 표면개질은 질산(HNO₃), 황산(H₂SO₄) 용액의 농도, 처리온도 및 시간을 달리하여 실험하였다. 제조된 시료는 3차 증류수를 사용하여 수회 세척 후 110℃의 건조기에서 24hr동안 건조하였다. 건조된 시료는 상온으로 냉각시킨 후, 밀봉하여 보관하였다.

이들 시료의 물리적 특성 변화는 질소흡착분석(ASAP-2010, Micromeritics®, USA)을 통하여 비표면적 및 세공크기분포 등을 분석하였다.

제조되어진 흡착제들에 대한 propylamine의 흡착특성은 자체 제작한 batch 형태의 기상흡착장치(Volumetric adsorption equipment, Fig. 1)를 사용하여 흡착실험을 수행하였다(Rouquerol *et al.*, 1999). 흡착 실험에 사용된 모든 시료들은 200℃의 온도에서 10⁻⁵ torr 이하의 진공으로 완전 탈기 후 실험을 진행하였다. 열중량 분석(SDT-2960, TA Instruments, USA)을 통하여 이들 산처리된 흡착제들에 대한 propylamine의 흡착상태를 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 기상흡착장치(Volumetric adsorption equipment)와 질소흡착장치(ASAP-2010)의 비교

Fig. 2는 본 실험에 사용된 기상흡착장치와 질소흡착장치(ASAP-2010)에 대한 실험적 오차를 확인하기 위하여, 각각의 장비를 사용하여 77K의 온도에서 코코넛 활성탄에 대한 질소흡착등온선들을 구한 후 이로부터 BET-plot을 실시하여 도시한 결과이다. 실험에 사용된 코코넛 활성탄[(주)한일

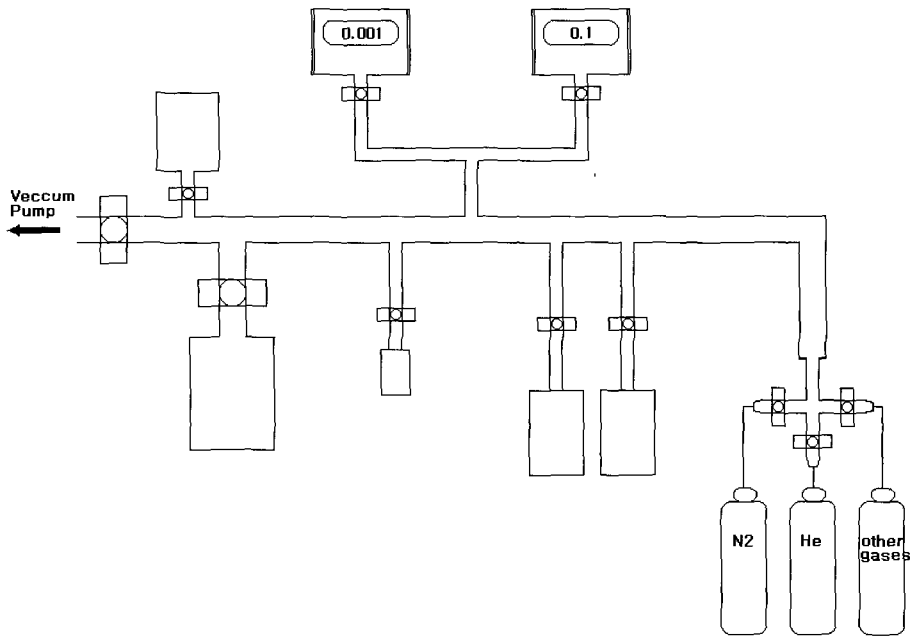


Fig. 1. Schematic show of volumetric adsorption equipment.

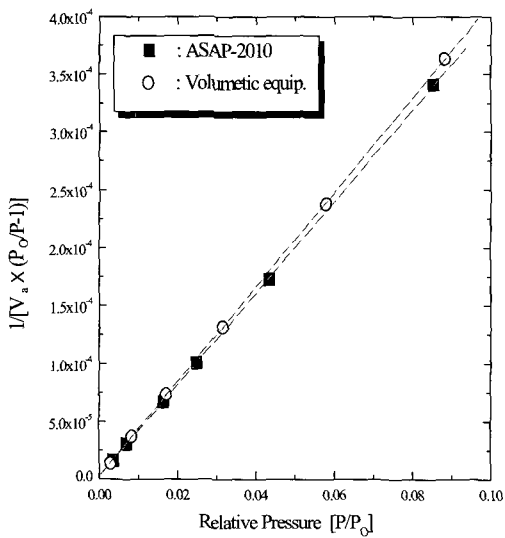


Fig. 2. BET-plot on coconut AC of ASAP-2010 and volumetric adsorption equipment at 77K.

그린텍은 비표면적이 1100 m²/g 정도가 되도록 제조된 것이다. 두 가지 장치를 사용하여 얻은 질소흡착등온선은 모두 Type I에 가까운 형태의 흡착등온선을 나타내었다. 그러나, 상대압력(relative pressure) 0.5~0.8 사이에서 약간의 이력현상(hysteresis)이 발생(Fig. 3)하였는데, 이로부터 코코넛 활성탄은 미세공(micropore) 뿐만이 아니라 중세공(mesopore)과 대세공(macropore)이 모두 발달한 세공구조를 가지는 것을 알 수 있었다. 따라서, 코코넛 활성탄은 질소(N₂)에 대한 Type IV의 흡착등온선을 갖는 것으로 판단된다.

코코넛 활성탄의 질소흡착등온선들로부터 계산된 비표면적(S_{BET})은 질소흡착장비(ASAP-2010)의 경우 1100 m²/g이었으며, 기상흡착장치의 경우 1070 m²/g으로서 서로와 같이 제공된 자료 약 3%의 오차를 보임으로써 매우 좋은 일치를 보였다. 이때 비표면적(S_{BET})은 상대압력 0.003~0.1 사이의 범위에서 얻어진 질소흡착량으로부터 계산하였다.

2. 산처리된 활성탄소섬유의 구조적 특성

Fig. 3은 표면이 산처리된 활성탄소섬유들의 물리적, 구조적 특성을 살펴보기 위하여 측정된 77K에서의 N₂ 흡·탈착등온선을 도시한 그림이며, Table 1에 비표면적(S_{BET}), 총세공부피(V_t) 및 평균세공지름(D_{pore}) 등을 나타내었다.

실험에 사용된 레이놀계 활성탄소섬유(KF-1500)는 낮은 상대압력에서 질소 분자를 신속히 흡착하고 곧이어 평형에 도달함으로써 전형적인 Type I의 형태를 나타내었다. 이 질소 흡착등온선에서 얻은 결과로부터 실험에 사용된 레이놀계 활성탄소섬유(KF-1500)의 비표면적(S_{BET})은 약 1420 m²/g 정도로서 이미 많은 세공이 산처리 전에 발달되어 있음을 알 수 있었으며, 원 시료의 표면에 존재하는 평균세공지름은 16.2 Å으로써 IUPAC에서 규정한 20 Å 이하의 미세공임을 확인하였다.

질산처리한 활성탄소섬유의 질소 흡착등온선은 원시료의 흡착등온선과 매우 유사하며, 흡·탈착곡선이 일치하는 Type I 형태의 흡착등온선을 나타내었다. 그러나 원시료의 질소흡착등온선보다 고평부(plateau)가 낮게 나타났다. 이로부터 질소 분자에 대한 흡착량이 감소하였음을 알 수 있으며 이는 Table 1의 질산처리된 시료의 비표면적(S_{BET}) 값이 1308 m²/g 정도로 감소된 것에서도 확인할 수 있다.

황산처리한 시료의 흡착등온선은 원시료와 질산처리된 시료의 질소흡착등온선과 유사하게 질소의 흡·탈착곡선이 일치하였으나, 상대압력(P/P₀)이 증가함에 따라 흡착등온선의 기울기가 점점 증가하는 형태를 나타내었다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 황산처리된 활성탄소섬유의 흡착등온선이 원시료보다 낮은 위치에 나타남으로써 황산처리에 의해 활성탄소섬유의 비표면적은 감소하고 세공크기 분포에 변화가 발생함을 추측할 수 있다. Table 1에 나타난 바와 같이 황산처리된 시료의 평균세공지름(D_{pore})은 17.7 Å 정도로서 코코넛 활성탄의 평균세공지름 보다 크게 나타났는데 이는 원시료에 존재하던 16.2 Å 정도의 미세공들이 황산처리에 의해서 전체적으로 확대된 것으로 추측된다.

이들 산화에 의해 표면처리된 시료들의 질소흡착분석에서 알 수 있듯이 활성탄소섬유의 표면에

존재하는 세공들의 대부분이 미세공(micropore)로 구성되었지만, 산화처리에 의해 비표면적이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 강산으로 활성탄과 활성탄소섬유를 처리한 이전의 연구 결과에서처럼 강산에 의한 세공 셀(cell)들이 파괴되어 비표면적이 감소된다는 것과 일치하는 결과이었다(Noh *et al.*, 1990; 심 등, 1998).

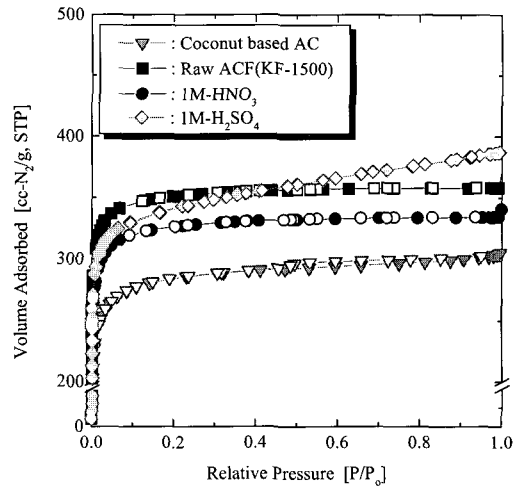


Fig. 3. Adsorption isotherm of N₂ on raw and acid treated ACFs. (closed : adsorbed, open : desorped)

Table 1. Textural properties on Raw-ACF and acid treated ACFs

	S _{BET} [m ² /g]	S _{micro} [m ² /g]	V _t [cm ³ /g]	D _{pore} [Å]
Raw-ACF	1423	1423	0.577	16.2
1M-HNO ₃ treated ACF at 100°C	1308	1306	0.527	16.1
1M-H ₂ SO ₄ treated ACF at 100°C	1351	1318	0.599	17.7
Coconut based AC	1100	1087	0.472	17.2

3. 산처리된 활성탄소섬유의 Propylamine 흡착

Fig. 4는 25°C에서 측정된 산처리된 활성탄소섬유들과 코코넛 활성탄에 대한 propylamine의 흡착등온선을 도시하였다. 그림에 나타난 바와 같이 산처리하지 않은 원시료와 산처리된 시료들에 대한 propylamine의 흡착은 이들 시료들의 질소흡착등온선과 매우 유사한 Type I 형태이었다. 그러나 코코넛 활성탄에 대한 흡착등온선은 상대압력(P/P₀) 0.5 ~ 0.8에서 증가하는 전형적인 Type IV의 형태를 나타내었다. 이는 코코넛 활성탄의 세공구조가 미세공(micropore) 뿐만이 아니라 상당량이 중세공(mesopore)나 대세공(macropore)으로 되어 있어 이들 세공에 흡착질인 propylamine이 모세관 응축(capillary condensation) 현상(Gregg *et al.*, 1982)에 의해 증진되는 것으로 판단된다. 이와는 달리 산처리된 활성탄소섬유와 처리되지 않은 원시료의 경우 대부분의 세공이 미세공으로 이루어져 있으므로 이들 시료들에 대한 propylamine의 흡착은 미세공 채움(micropore filling) 현상(Gregg *et al.*, 1982)에 의해서 상대압력(P/P₀) 0.1 이하의 영역에서 급격히 진행되며, 이후 완만한 형태의 고평부(plateau)를 형성함으로써 Type I 형태의 흡착등온선을 나타내는 것으로 판단된다.

또한 Fig. 4의 산처리된 활성탄소섬유들의 propylamine의 흡착결과에서는 처리하지 않은 활성탄소섬유에 비해 질산처리된 활성탄소섬유의 흡착량이 다소 증가한 것으로 나타났으며, 황산처리의 경우는 산처리되지 않은 활성탄소섬유와 비슷한 흡착량을 보이고 있다. 이는 산처리에 의해 활성탄소섬유의 표면에 생성된 산성관능기들에 의해 염기성인 propylamine의 흡착력이 증가한 것으로 판단된다.

이러한 실험 결과로부터, 산처리에 따른 propylamine의 흡착에 유효한 활성탄소섬유의 비표면적(S_{BET})이 감소되는 것에 의해 propylamine에 대한 산처리된 시료들의 흡착량 감소를 예측할 수 있다. 그러나, 질산 및 황산 처리된 시료들의 propylamine에 대한 흡착량이 산처리되지 않은 시료의 흡착량보다 크거나 비슷한 이러한 결과는 산처리에 의해서 propylamine의 흡착량이 증가된 것으로 판단할 수 있으며, 이로부터 propylamine의

흡착은 흡착제의 비표면적, 세공형상 및 흡착제들의 표면에 존재하는 관능기 등의 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는 것으로 추측된다.

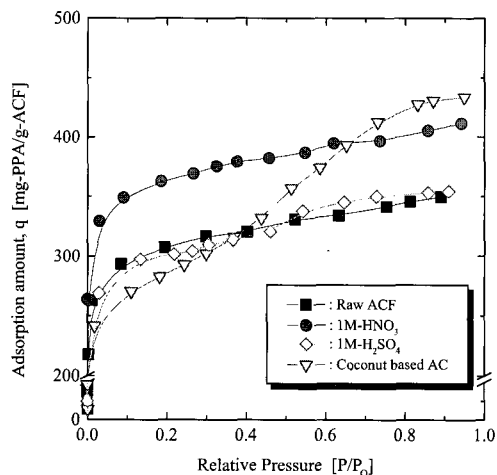


Fig. 4. Adsorption isotherm of propylamine(PPA) on raw ACF and acid treated ACFs at 373K, 1hr(Conc. = 1M).

4. 산처리된 활성탄소섬유에 대한 propylamine의 흡착등온식

산처리된 활성탄소섬유와 산처리되지 않은 원시료 및 코코넛 활성탄들에 대한 propylamine의 흡착등온식의 적용성을 검토하기 위하여 Fig. 4의 흡착등온 실험 데이터를 Freundlich식을 사용하여 curve fitting한 결과를 Fig. 5에 도시하였다.

Fig. 5에 나타난 바와 같이 propylamine에 사용된 모든 시료들의 fitting 결과는 Freundlich식과 잘 일치하였으며, 이로부터 Freundlich식의 인자들을 각각 구하여 Table 2에 제시하였다.

Table 2의 결과에서 Freundlich식의 첫 번째 parameter인 K값은 평형흡착량에 관계되며, 이 값이 클수록 평형흡착량은 증가하게 되고, Freundlich식의 두 번째 parameter인 n은 고체표면과 흡착질 분자의 친화력을 나타낸다고 알려져 있다(Furuya *et al.*, 1993). 또한 K*n은 흡착제에 대한 흡착질의 상대적 흡착용이성의 지표로 사용될 수 있다(Suzuki *et al.*, 1993).

Table 2에서 질산처리된 시료의 K값은 약 400 정도로써 산처리되지 않은 시료의 K값보다 약 14% 정도 증가한 것으로 나타났으며, 산처리되지 않은 시료에 비하여 이로부터 propylamine에 대한 흡착량이 크고 흡착에 유리하다는 것을 예측할 수 있는데 이는 Fig. 5의 결과와 잘 일치하고 있다. 또한 두 번째 parameter인 n값도 산처리되지 않은 시료에 비하여 13.57에서 16.01로 증가하였다. 이로부터 질산처리에 의해 활성탄소섬유에 대한 흡착질 propylamine의 친화력이 약 18% 정도 증가한 것으로 판단되며, Table 2에 나타난 바와 같이 질산처리된 시료의 K*n 값이 산처리되지 않은 시료의 값과 코코넛 활성탄의 값보다 증가함으로써

propylamine에 대한 상대적 흡착용이성이 크다는 사실을 알 수 있었다.

황산처리된 시료의 경우 K값에서는 산처리되지 않은 시료와 비슷하나 n값이 작아 propylamine에 대한 상대적 흡착용이성이 떨어지는 것으로 분석되었다. 이는 황산처리에 의해 약간의 산성관능기가 활성탄소섬유의 표면에 도입되지만 황산처리에 의해 세공크기가 변화함으로써 나타난 결과로 판단되며, 이러한 결과들은 propylamine에 대한 흡착이 흡착제의 비표면적, 세공형상 및 관능기의 량 등에 영향을 받는다는 추측에 부합한다.

코코넛 활성탄의 경우 K값이 질산처리한 시료와 비슷한 값을 갖지만 Freundlich식의 두 번째

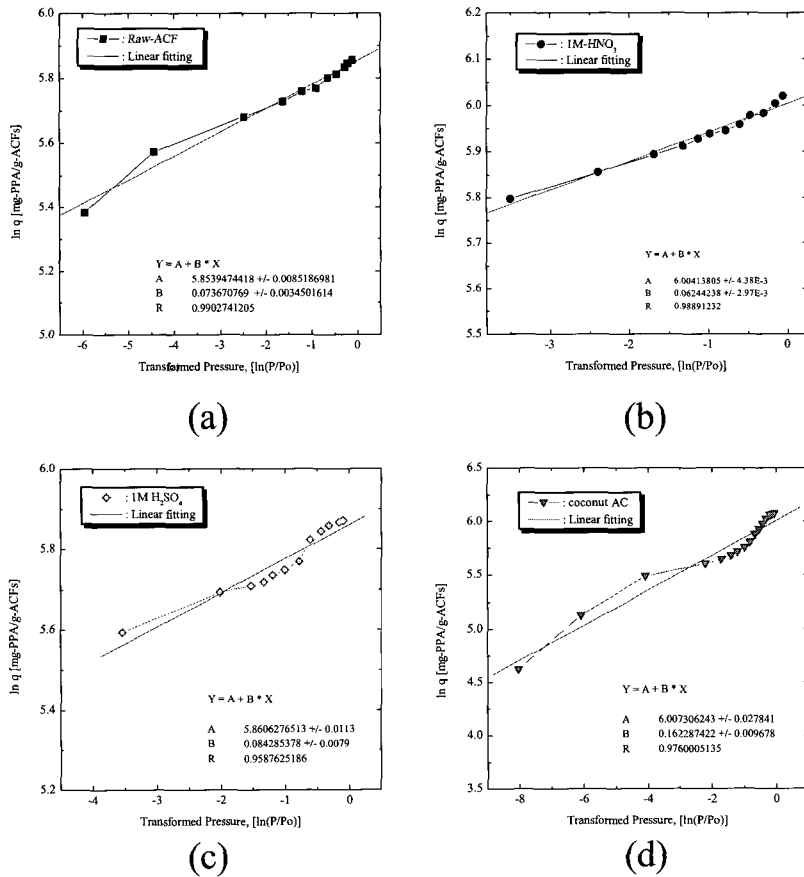


Fig. 5. Freundlich's fitting for PPA-adsorption isotherm on Raw-ACF(a), IM-HNO₃(b), IM-H₂SO₄(c) and coconut based AC(d).

parameter인 n값이 작은 것으로 나타났으며, 이에 따라 propylamine에 대한 상대적 흡착용이성이 본 실험에 사용된 시료 중 가장 낮은 것으로 분석되었다.

Table 2. Parameters of Freundlich adsorption isotherm equation of PPA on raw and acid treated ACFs

	K [mg-PPA /g-ACFs]	n	K*n
Raw ACF	348.61	13.57	4731.97
1M-HNO ₃ treated ACF at 100°C	405.10	16.01	6487.61
1M-H ₂ SO ₄ treated ACF at 100°C	350.94	11.86	4163.76
Coconut based AC	406.39	6.16	2504.12

5. Propylamine이 흡착된 산처리된 활성탄소섬유의 열중량 분석

Fig. 6에는 propylamine에 대한 흡착실험에서 propylamine에 대한 흡착량이 가장 큰 질산처리된 시료와 산처리되지 않은 원시료에 대한 열중량 분석 결과를 나타내었다.

일반적으로 활성탄과 같은 탄소계 흡착제의 표면은 활성화나 산화처리 공정들에서 산소, 산화성 기체 또는 산화물질들과 반응하여 국부적인 산화가 발생하여 다양한 형태의 산성관능기들이 발달한다고 알려져 있다.

표면 화학구조를 분석한 결과에 의하면 활성탄의 화학구조는 200°C 이하에서 안정한 것으로 알려져 있다. Bansal *et al.* (1998)의 활성탄에 대한 열분해 연구 결과에 의하면 온도 증가에 따라서 CO₂, CO, 수증기 등이 열분해 산물로 배출된다고 보고하였다.

Fig. 6의 propylamine이 흡착되지 않은 시료들의 경우, 100~200°C 구간에서 일어나는 무게 감소는 활성탄소섬유에 흡착된 미량의 수분이 탈착

되는 현상에 의해서 나타나는 것으로 판단된다. 300~500°C 구간과 500°C 이상의 온도 구간에서 일어나는 무게감소에 대해서 박 등(1997), Carrasco-Marín *et al.* (1997), Haydar *et al.* (2003)의 연구결과에 의하면, 300~500°C 구간에서 생기는 무게감소는 흡착제의 표면에 존재하는 산성관능기 중 carboxyl기와 phenol기가 열분해되어 CO₂로 탈착되며, 500°C 이상의 구간에서 나타나는 무게 감소는 고온에서도 안정한 표면관능기들이 열분해되어 탈착이 일어남으로 인해 무게 감소가 일어나는 것으로 보고하였다.

그러나, 각각의 온도구간에서 질산처리된 활성탄소섬유의 열중량 분석에 따른 무게 감소가 산처리되지 않은 활성탄소섬유의 경우보다 크게 나타났는데, 이는 산처리 과정 중에 활성탄소섬유의 표면에 발달된 다량의 산성관능기가 각각의 온도 구간에서 열분해됨으로써 나타나는 결과로 판단된다.

Propylamine이 흡착된 시료들에 대한 열중량 분석결과에서는 propylamine이 흡착되지 않은 시료들과는 달리 100~200°C 사이의 온도구간에서 급격한 무게 감소가 났다. 이는 시료들의 미세공에 물리적으로 흡착되어 있던 propylamine이 탈착됨으로써 나타나는 것으로 판단된다. 또한, 200 ~ 500°C 사이의 온도구간에서도 많은 량의 무게 감소가 발생하였는데, 이는 시료의 표면에 존재하는 표면관능기와 화학적으로 흡착된 propylamine과 표면관능기들이 열분해된 후 탈착되는 과정에 나타나는 무게 감소로 추측되며, 500°C 이후의 온도 구간에서 발생하는 무게 감소는 propylamine이 흡착되지 않은 시료의 경우와 같이 열적으로 안정한 표면관능기들이 열분해되어 CO로 방출되는 것으로 판단된다.

이와 같은 결과로부터 질산처리된 활성탄소섬유는 propylamine을 흡착할 경우 물리적 흡착과 더불어 표면에 다량으로 도입된 표면관능기와의 화학적 흡착등에 의해 흡착량이 증가할 뿐만 아니라 흡착능도 증가하며, 100°C 이하의 온도에서 비교적 안정하여 열적인 측면에서도 유리하다는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

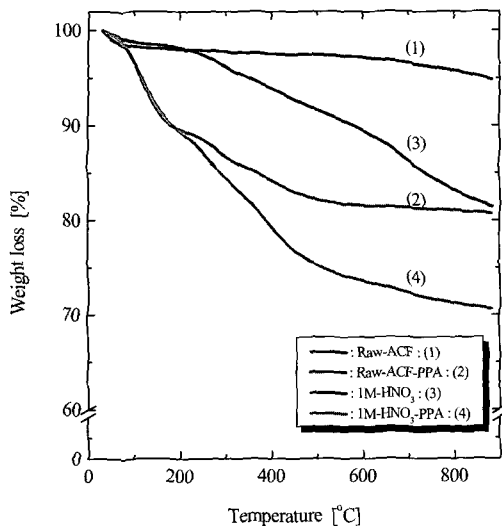


Fig. 6. TG-curves on raw, IM-HNO₃ treated ACF and PPA adsorbed ACFs at 25°C in N₂ atmosphere (N₂ flow rate : 100 cc/min.).

결론

레이놀계 활성탄소섭유의 표면은 질산 및 황산 용액의 농도, 처리온도 및 시간 등의 여러 조건에서 산처리 되었으며, 이에 따라 활성탄소섭유의 비표면적(S_{BET})은 감소하였다. 그러나 질산처리된 활성탄소섭유의 경우 비표면적의 감소와는 달리 propylamine의 흡착량은 증가하였다.

질산처리된 활성탄소섭유의 경우 코코넛 활성탄에 비해 상대적 흡착용이성이 매우 뛰어난 것으로 나타났다. 또한, 열적으로도 안정하여 100°C 이상의 온도에서 물리적으로 흡착된 propylamine이 대부분 탈착 되었으며, 200°C 이상의 온도에서 화학적으로 안정된 흡착물질들이 탈착 되었다.

이와 같은 결론으로부터 산처리에 의해 표면개질된 활성탄소섭유들은 대기 중에 저농도로 존재하는 다양한 아민류 및 오염물질들의 흡착·제거에 있어서 코코넛 활성탄보다 효과적으로 사용될 수 있으며, 특정 아민류에 대한 제거에 효과적인 응용이 가능할 것으로 판단된다.

김달한, 손진언, 이성식 (1995) 활성탄에 의한 헤테로고리화합물의 흡착에 미치는 관능기의 영향. 한국화학공학회지 33 : 669-674.

박근일, 이후근, 박영태, 문희 (1997) 인산침착 활성탄을 충전한 고정층에서 NH₃ 흡착특성 연구. 대한환경공학회지 19(9) : 1125-1134.

십재운, 유승근 (1998) 구리, 니켈의 흡착에 대한 활성탄소섭유 표면 처리의 영향. 한국화학공학회지 36(6) : 903-907.

Akita, S. and Takeuchi, H. (1996) Equilibrium Distribution of Aromatic Compounds between Aqueous Solution and Coacervate of Nonionic Surfactants. *Sep. Sci. Technol.* 31 : 401-412.

Bansal, R. C., Donnet, J. B. and Stoeckli, F. (1988) Active carbon. p. 30-35. Marcel Dekker INC., New York, USA.

Carasco-Marin, F., Mueden, A., Centeno, T.A., Stoeckli, F. and Moreno-Castilla, C. (1997) Water adsorption on activated carbon with different degrees of oxidation. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* 73(12) : 2211-2215

Françoise Rouquerol, Jean Rouquerol and Kenneth Sing (1999) Adsorption by Powders and Porous Solids. p. 51-92. Academic Press INC., New York, USA.

Furuya, E., Watanabe, N., Miura, Y., Morishita, S. and Noll, K. E. (1993) Studies on adsorption equilibria of pyridines and its derivatives onto high silica zeolite particles. *The third Korea-Japan Symp. Sep. Tech. October, Japan* pp. 25-27.

Gregg, S. J. and Sing, K. S. W. (1982) Adsorption, Surface Area and Porosity. 2nd ed. p. 111-247. Academic Press INC.,

- New York, USA.
- Haydar, S., Ferro-García, M. A., Rivera-Utrilla, J., and Joly, J. P. (2003) Adsorption of p-nitrophenol on an activated carbon with different oxidations. *Carbon* 41 : 387-395.
- Neurath, G., Pirmann, B. and Wichern, H. (1964) The question of the N-Nitrosocompounds in tobacco smoke. *Beitr. Tabakforsch.* 2: 311-319.
- Noh, J. S. and Schwarz, J. A. (1990) Effect of HNO₃ treatment on the surface acidity of activated carbons. *Carbon* 28(5) : 675-683.
- Radeka, K. H. (1984) *Ger. Patent* 212028.
- Suzuki, Y. and Takeuchi, Y. (1993) Correlation between physical properties of soluble organic compounds in water and those equilibrium constants in activated carbon adsorption. *日本水環境學會誌* 16 : 593-561