

마이크로파 조사에 따른 금속이 담지 된 활성탄의 특성 연구

김성욱 · 김정배 · 최성우

계명대학교 환경대학

(2007년 12월 7일 접수; 2009년 3월 31일 수정; 2009년 5월 9일 채택)

A Study on the Characteristics of Activated Carbons Supported Metal by Microwave Irradiation

Sung-Wook Kim, Jung-Bae Kim and Sung-Woo Choi

Faculty of Environmental Science and Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

(Manuscript received 7 December, 2007; revised 31 March, 2009; accepted 9 May, 2009)

Abstract

In this study, the characteristics of granular activated carbon (GAC) supported metal was investigated in an area influenced by flame discharge and temperature variation during irradiating microwave. The modified GAC was formulated by impregnating metal hydroxides of nickel (Ni/GAC), barium (Ba/GAC), copper (Cu/GAC), zinc (Zn/GAC), cobalt (Co/GAC) and lanthanum (La/GAC). Ba/GAC was selected as it showed lack of spark discharge and temperature increasing aspects. Comparison of adsorption and desorption amount of GAC and Ba/GAC showed that adsorption and desorption rate of the GAC were higher than those of Ba/GAC. The results show that the presence of barium can decrease adsorption/desorption rate because of plugging pore of GAC. Toluene regeneration rate of Ba/GAC was better than that of GAC due to barium loading. Finally, GAC with barium can be controled a rapid increasing temperature and spark discharge, increased the regeneration rate of toluene during desorption by irradiating microwave.

Key Words : Granular activated carbon (GAC), Modified GAC, Microwave, Adsorption, Desorption, B.E.T, SEM

1. 서 론

대기오염 물질 중 휘발성 유기 화합물(volatile organic compounds : VOCs)은 산업 및 이동 오염원에서 대기 중으로 배출되어 인체에 유해하며 광화학 반응을 일으키는 전구물질로 알려져 있다¹⁾. VOCs

관리를 위해 배출방지 대책 및 처리기술과 더불어 VOCs를 효율적으로 회수할 수 있는 공정 또는 장치의 개발에 대한 활발한 연구가 진행 중이다. 일반적으로 VOCs를 회수하는 방법에는 응축법, 흡수법, 흡착법 등이 있으나 공정 배기가스로부터 저농도의 VOCs를 회수하기 위해서는 흡착법이 다른 방법에 비해 효율적인 것으로 보고되고 있다²⁾. 하지만 흡착법의 경우 흡착제의 높은 비용으로 인해 제한적으로 사용하고 있으며, 사용된 활성탄은 경제적이고 환경적인 이유로 사용된 후 폐기처분 되지 않고 여

Corresponding Author : Sung-Woo Choi, Department of Environmental Science and Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone: +82-53-580-5245
E-mail: swchoi@kmu.ac.kr

러 차례 재생하여 사용하고 있다³⁾. 또한 재생된 활성탄은 VOCs를 처리하기 위해 반복적인 열을 가하게 되므로 활성탄의 표면세공구조나 표면기공이 크게 변화되어 흡착력이 현저하게 떨어질 수 있으며, 파과 된 활성탄을 재생하는데 있어 화석연료를 이용함에 따라 2차 오염물질 및 수질 처리 비용 등이 발생함으로 이를 해결하기 위해 많은 방법들이 연구되고 있다⁴⁾. 그 중 하나로 최근 마이크로파의 특성인 부피가열, 선택가열 및 급속가열을 이용, 유기합성 또는 마이크로웨이브 플라즈마를 이용한 유해가스 처리 등의 환경에 대한 응용이 진행되고 있다⁵⁾. 또한 흡착제에 마이크로파를 조사하여 재생공정과 분해공정을 응용한 연구 결과가 많이 보고되고 있다⁶⁾. 마이크로파가 물질에 조사되었을 때 물질의 종류와 온도에 따라 투과, 흡수, 반사가 일어나는 정도가 차이가 있는데 높은 전기전도도 특성이 있는 금속 재료들은 마이크로파를 대부분 반사하므로 쉽게 가열되지 않으며 Al_2O_3 , MgO , SiO_2 및 실리카계 유리 등과 같은 세라믹 재료들은 상온에서 마이크로파를 투과시키기도 하며 임계온도 이상의 고온에서는 이들의 손실정점값이 기하급수적으로 증가하므로 마이크로파와 coupling하여 효과적으로 흡수, 가열되거나 열점에 의한 thermal runaway 현상이 발생하기도 한다⁷⁾. 또한 극성 고분자나 물과 같은 극성 재료, Co_2O_3 , MnO_2 , NiO , Fe_2O_3 등과 같은 전도체 또는 자성체 재료들은 마이크로파를 잘 흡수하여 가열된다고 보고되고 있다^{8,9)}.

탄소물질은 물과 더불어 전자파를 잘 흡수하여 발열하는 대표적인 물질로 일컬어진다¹⁰⁾. 마이크로파를 활성탄에 조사하면, 강한 불꽃방전과 더불어 급격한 온도상승이 일어나는데 이는 활성탄의 내구력을 감소시켜 재사용 횟수를 줄이고 활성탄에 흡착된 인화점이 낮은 VOCs에 의해 화재 발생의 위험성을 제기할 수 있다. 또한 피흡착질의 분해에 따른 2차적인 오염물질이 발생할 수도 있다.

본 연구에서는 마이크로파 조사시 발생하는 입상 활성탄(granular activated carbon, GAC)의 불꽃방전과 급격히 상승하는 온도를 제어하기 위해 일반 GAC에 각종 중금속을 함침시킨 개질화된 GAC를 제조하고 그 특성을 평가하였다. 그리고 개질화된 GAC의 표면특성을 분석하고 불꽃방전, 승온실험

및 비표면적을 파악하였다. 또한 일반 GAC와 개질화된 GAC에 제조 공정 중 가장 많이 사용되는 틀루엔을 흡착시켰으며, 마이크로파를 이용하여 탈착 실험을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 마이크로파 가열 시스템

마이크로파 가열 시스템은 Fig. 1에 나타내었으며, 2,450 MHz, 최대출력 1.2 kW의 마그네트론이 장착된 마이크로 발진관을 사용하였다. 마이크로파는 발진관으로부터 도파관을 통하여 도입되며, 도파관 중간에 반응기를 설치하였다. 마이크로파 가열 시스템의 도파관은 알루미늄을 사용하였다. 3-stub tuner를 설치하여 발진관에서 나오는 마이크로파 부하를 조절하도록 하였으며, directional coupler를 이용해 입사파를 power monitoring system에 나타내도록 하였다. 반응기는 유전손실이 아주 작은 석영제 흡착관으로 내경 8 mm의 U자관을 사용하였으며 반사되는 마이크로파는 도파관 끝 부분에 석영재료의 관을 설치하여 물을 흘려보내 흡수시켜 외부로 배출되도록 하였다. 개질화된 GAC의 마이크로파 출력에 따른 온도 측정은 U자 반응기에 GAC 0.5 g을 충전하여 온도 변화를 측정하였으며, K-type의 온도계를 사용하였다.

2.2. 마이크로파에 적용 가능한 흡착제 제조

개질화를 위한 GAC는 일본 다케다 제품을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 일반 GAC는 구형의 형태를 가지며 내구성이 뛰어나고 개질화 조건에 적합하여 선정하였다. 개질화된 GAC는 nickel, barium, copper, cobalt, lanthanum, zinc의 금속 수화물을 활성탄에 함침 시켜 제조하였다. 개질화하기 전 GAC는 표면과 기공에 있는 불순물을 없애주기 위해 10% 염산에 24 시간 담근 후 세척하고 110°C에서 3 시간 동안 건조하여 사용하였다. 이렇게 건조된 활성탄은 각종 금속 수화물과 함께 vacuum evaporator에 함침시켜 금속이 담지된 활성탄을 제조하였다. 일반 GAC와 개질화된 활성탄의 비표면적 분석을 위해 Quantachrome Co.(U.S.A)의 NOVA 1000을 이용하여 BET(Brunauer, Emmett, Teller)실험과 SEM (Scanning Electron Microscope)분석을 실시하였다.

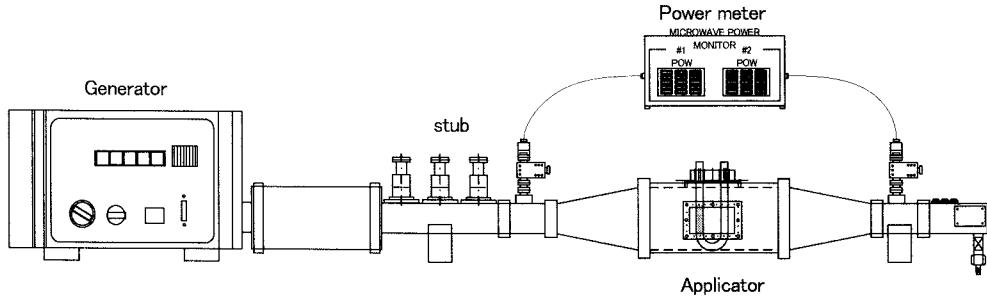


Fig. 1. The scheme of microwave apparatus.

2.3. 불꽃방전 및 흡·탈착 실험

휘발성 유기화합물 중 톨루엔의 경우 인화점 4℃, 위험한계 1.2~7.1%, 휘발성 100% 등의 특성을 가져 화재 위험성이 매우 강한 물질이다. 이러한 톨루엔이 흡착된 GAC에 마이크로파를 조사하게 되면 불꽃방전에 의해 화재가 발생 할 수 있으며, 또한 순간적인 방전 온도가 약 5,000~10,000℃가 되므로¹¹⁾ 활성탄이 탄화되어 고유의 흡착력 및 내구성에 영향을 미칠 것으로 사료 된다. 본 연구에서 사용한 불꽃방전과 흡·탈착 실험을 위한 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 불꽃방전 실험은 마이크로파 가열 시스템에 photo sensor module H5784-03 방전센서(Humamatsu Co., Japan)와 digital real time oscilloscope(Humamatsu Co., Japan)를 부착하여 불꽃방전을 확인하였다.

흡착물질로는 주로 제조공정에서 사용되는 유기

용매 중 대표적인 물질인 톨루엔(Duksan CO., 99.5%)으로 선정하였고, 시약은 전처리 없이 사용하였다.

흡·탈착 반응기는 일반적인 연속식 흡착장치에 마이크로파 조사장치를 부착한 형태이며 질량유량 조절기로 가스유량을 조절하였다. 톨루엔의 농도는 일정한 온도(60℃)를 유지하는 saturator를 이용하고, 톨루엔이 들어 있는 병에 질소가스 50 mL/min을 유입시켜 기화시키는 방법을 이용하였다. 또한 기화되어 나오는 톨루엔은 150 mL/min으로 흐르는 질소가스와 잘 혼합되도록 혼합기로 이동시켰으며 질소가스와 잘 혼합된 톨루엔을 흡착 관으로 유입시켰다. 톨루엔이 기화되어 나오는 가스출구부터 GC-FID 까지 열선을 감아 110℃ 정도를 유지하여 톨루엔이 응축되지 않도록 하여 실험을 수행하였으며, 톨루엔의 농도 분석은 FID 검출기가 장착된 가스 크로마토그래프(Hewlett Packard model 6890 ser-

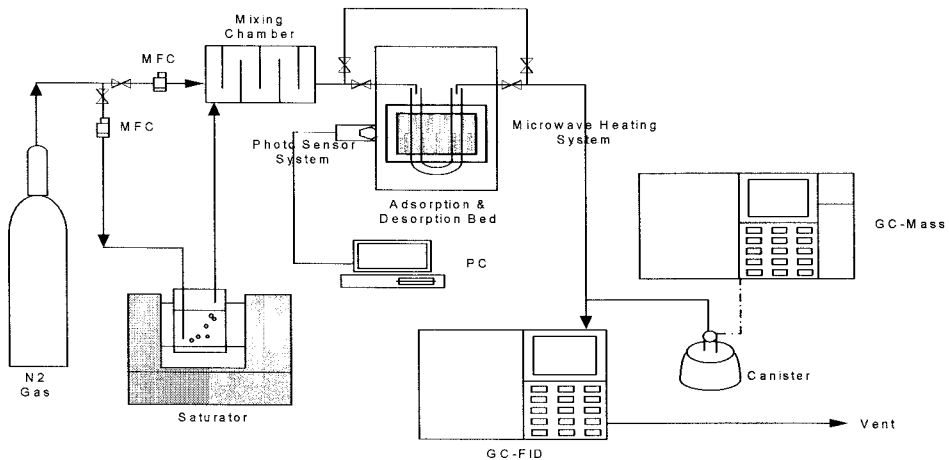


Fig. 2. Schematic diagram of the experimental apparatus.

ies II)를 이용하였다. 또한 활성탄에 흡착된 톨루엔이 탈착 시 발생하는 가스를 분석하기 위해 질소가스와 혼합된 톨루엔을 GC-FID로 유입되기 전에 canister로 포집하여 GC-Mass에서 정성 분석을 실행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. GAC 및 개질화된 GAC의 불꽃방전과 온도 특성

Table 1은 금속 수화물로 개질화된 GAC 중에서 함량이 가장 낮은 5 wt%를 함유한 금속수화물만을 선정하여 방전유무와 온도 특성을 나타낸 것이다.

니켈 수화물을 5 wt% 담지 한 GAC에 마이크로파를 5 분 동안 조사할 때 가장 온도가 낮게 나타났으며 아연 수화물을 5 wt%를 담지 한 GAC가 가장 온도가 높았음을 확인 할 수 있었다. 마이크로파 조사 시 온도가 낮게 상승하는 것은 온도 제어를 용이하게 하여 피흡착질의 분해를 막고 회수의 가능성을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 Ni/GAC의 경우 0.3~0.4 V의 아주 간헐적이고 미약한 불꽃방전이 연속하여 일어났으며, 이는 톨루엔이 흡착된 활성탄에 마이크로파 조사시 순간적인 방전으로 인해 화재와 같은 위험성을 제기할 수 있으므로 Ni/GAC 보다 온도는 조금 높으나 불꽃방전이 거의 없는 Ba/GAC를 선택하여 무게함량비에 따른 불꽃방전과 승온 실험을 하였다. 마이크로파 조사 시 GAC의 빠른 온도 상승과 불꽃방전은 GAC 자체의 특성이다. Jou¹¹⁾의 연구에 따르면 입자 표면의 그래파이트 구조들은 높은 주파수대의 마이크로파에 의해 "boiled off" 된 유리전자를 받아들이며 대전된 GAC 입자와 방전된 GAC 간의 전위적 증가가 스파크로 나타나게 된다고 보고하였다. 또한 이러한 불

꽃방전으로부터 생성된 자유전자는 반응기내에서 다른 분자의 이온화를 일으켜 입자 주위의 전계 집중으로부터 방전이 일어나 흡착질의 분해를 일으킬 수 있으며, 물과 더불어 매우 우수한 전자과 흡수체인 탄소성 물질은 마이크로파 발진관으로부터 발생하는 거의 모든 에너지를 흡수하여 기공내에 흡착된 가스로 전달됨과 동시에 기공 내부로부터 급격히 가열되는 현상을 일으킨다. 이러한 가열현상은 GAC의 산화를 유도하며 내구성의 손실을 가져와 재생 횟수를 저감시킬 수도 있으며 피흡착질의 높은 온도 상승에 따른 단순 분해에 의해 이산화탄소와 같은 2차 오염물질의 생성을 야기할 수 있다. 그러므로 마이크로파를 GAC에 적용하기 위해서는 전자과의 영향을 거의 받지 않는 물질을 활성탄에 담지하여 GAC 단독으로 사용할시 나타나는 급격한 온도 상승을 줄여주는 것이 중요한 인자라 할 수 있다.

GAC와 바륨의 함량에 따른 개질화된 GAC에 마이크로파를 조사하였을 경우의 방전효과를 Fig. 3에 나타내었다. 불꽃방전 실험은 GAC 및 개질화된 GAC을 0.5 g 사용하였으며, 마이크로파를 500 W로 3분 동안 조사하였을때 GAC에서 불꽃방전이 가장 두드러지게 나타난 시간을 선정(1 min ~ 1 min 20 sec)하여 나타내었고, 무게 함량에 따라 개질화된 Ba/GAC 또한 같은 시간대에 일어난 불꽃방전 세기를 나타내었다. Fig. 3에서 GAC는 0~8 V에 걸쳐 빈번하고 강한 불꽃방전효과가 나타났다. 그림에 나타나진 않았으나 마이크로파를 조사하는 3 분 동안 불꽃방전현상은 계속해서 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 함량에 따른 개질화된 GAC 중 바륨 함량이 5 wt%로 개질화된 GAC에서 0.1 V 미만의 불꽃방전현상만을 확인할 수 있었으며 바륨함량이 10, 15, 20, 25 wt%로 개질화된 GAC에서는 전혀 일

Table 1. Flame discharge and temperatures of the samples irradiated at the microwave power of 500 W

Samples	Irradiation time (min)	Final temperature (°C)	Flame discharge (V)
GAC	5	341	0.1~8.2
5 wt%-Ni/GAC	5	166	0~0.4
5 wt%-Ba/GAC	5	275	0~0.1
5 wt%-Cu/GAC	5	364	0~1.2
5 wt%-Co/GAC	5	385	0~1.3
5 wt%-La/GAC	5	424	0~1.4
5 wt%-Zn/GAC	5	461	0~3.5

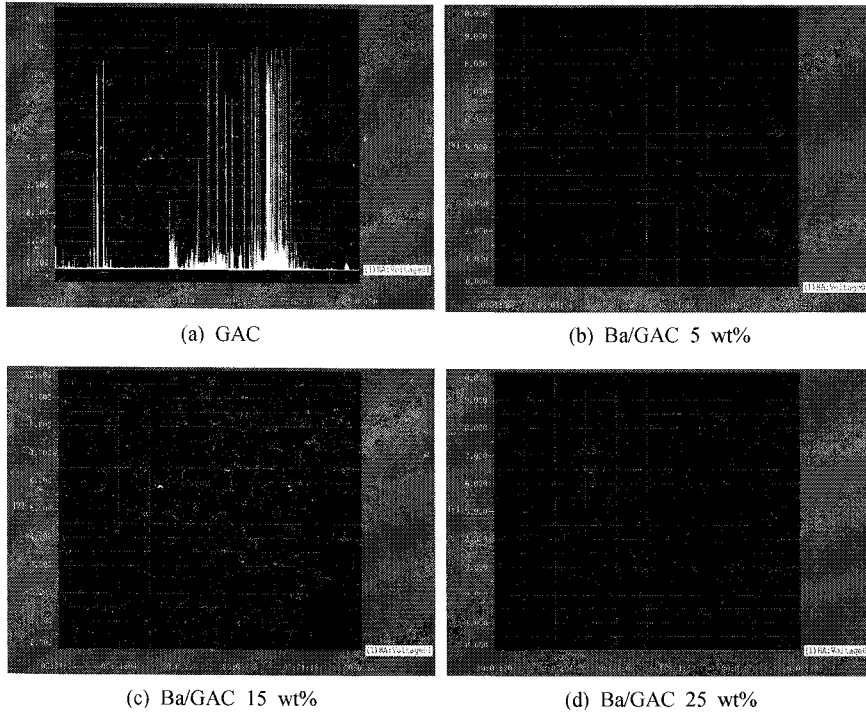


Fig. 3. Flame discharge curve under microwave irradiation (MW 500 W).

어나지 않는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 바륨수화물이 금속 물질로써 마이크로파를 반사하여 활성탄에서 전계의 집중을 막고 전자의 이동을 용이하게 하기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 이러한 성질을 가지고 있는 바륨수화물이 담지 된 GAC는 불꽃방전이 일어나지 않아 흡착질의 탄화 가능성을 감소시키고 그에 따른 재사용 횟수의 증가를 기대할 수 있으며 불꽃방전에 의한 급격한 온도상승을 막고 적절한 온도 조절로 흡착질에 흡착된 피 흡착질의 회수 또는 분해에 이용할 수 있을 것으로 사료된다. GAC와 개질화된 Ba/GAC에 마이크로파를 조사

하였을 경우 시간 변화에 따른 온도 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 마이크로파를 100 W로 조사하였을 경우, Ba/GAC에서 바륨의 함량이 5, 15, 25 wt%로 증가함에 따라 온도 상승률이 감소되는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 마이크로파를 300 W로 조사 하였을 경우, GAC는 150 sec에서 200℃를 넘어서는 반면에, 바륨수화물로 개질화 시킨 GAC는 5 분 조사 시에도 200℃를 넘어서지 않는 것을 확인하였다. 마이크로파를 500 W로 조사했을 때에는 100 W나 300 W로 조사하는 것에 비해 온도 상승률이 현저히 높음을 보였지만, 바륨의 함량에 따라 온도 상승이 감

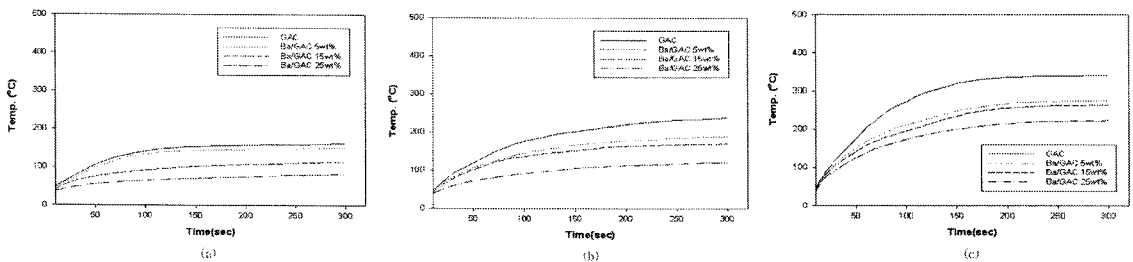


Fig. 4. Temperature variations of GAC and Ba/GAC by microwave irradiation.

소되는 차이를 더욱 뚜렷하게 확인 할 수 있었다. 따라서 온도제어 측면에서 GAC 단독 물질보다 Ba/GAC가 마이크로파 조사 가열시에 좀 더 유동적이며 효과적인 온도 조절을 할 수 있을 것이라 판단 되어진다.

3.2. GAC 및 개질화된 GAC의 표면 특성

다공성 물질의 세공 변화는 여러 가지 요인으로 부터 찾아볼 수 있다. 금속이 담지된 GAC의 특성은 담지된 금속에 의하여 표면 코팅등 현상을 초래하므로 GAC의 특성인 다공성을 줄이는 요소로 작용 할 수 있다^{12~14)}. 따라서 GAC와 표면개질된 Ba/GAC의 표면 현상을 SEM으로 파악하고 비표면적을 확

인함으로써 GAC와 개질화된 GAC을 비교 분석하였다.

Fig. 5는 Ba/GAC를 무게함량에 따라 표면 상태를 SEM(JSM-5410)을 이용하여 표면 배율을 달리하여 나타내었다. 바륨함량이 5 wt%, 15 wt%, 25 wt%로 개질화된 Ba/GAC를 배율 500 배와 5000 배로 나누어 구분하여 나타내었으며, 그 결과 500 배율에서는 바륨의 무게함량에 따른 차이를 크게 알 수 없었으나, 5000 배율에서는 GAC 표면에서 아주 뚜렷하게 물질이 덩어리지는 것을 확인할 수 있었고, 이는 바륨의 무게함량에 따라 GAC에 적절히 함침이 이루어진 것으로 판단 할 수 있었다.

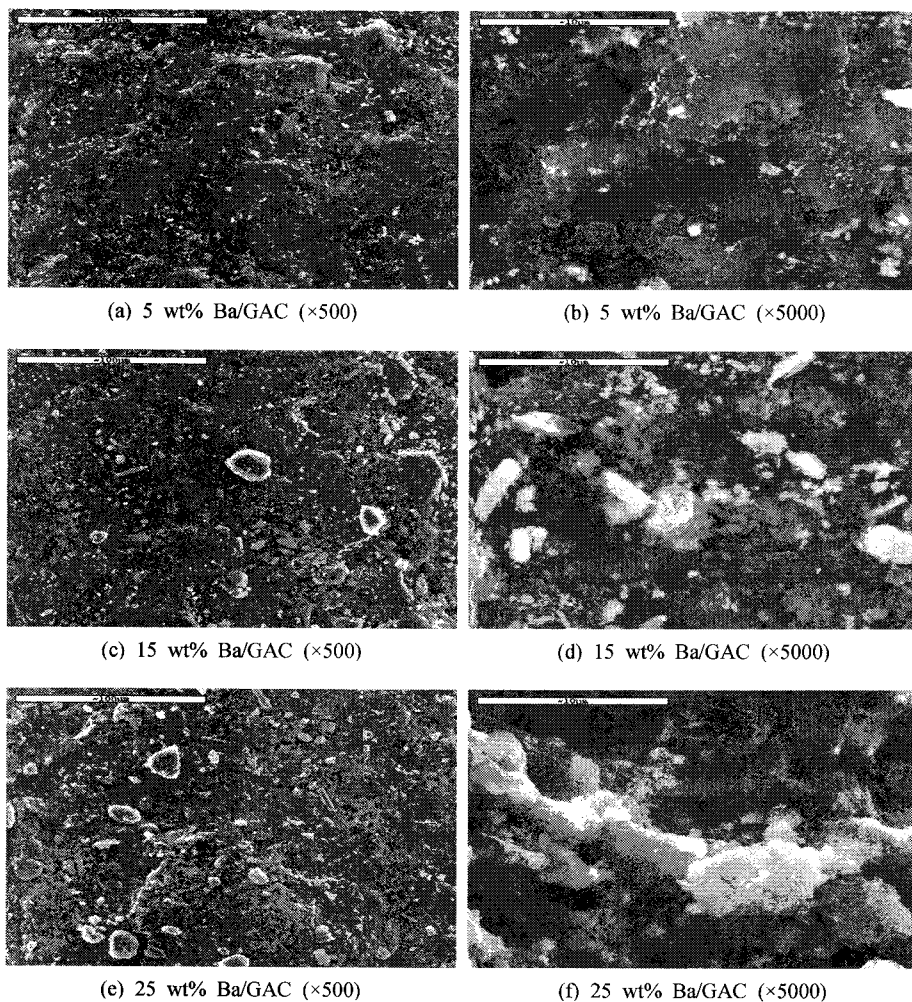


Fig. 5. SEM photographs of virgin GAC and barium hydroxide-loaded GAC.

Table 2. BET specific surface area of GAC and modified Ba/GAC

Properties	GAC	5 wt%-Ba/GAC	15 wt%-Ba/GAC	25 wt%-Ba/GAC
Specific surface area (m ² /g)	811.95	751.57	625.22	508.75
Total pore volume (mL/g)	0.46	0.41	0.35	0.28
Average pore radius (Å)	10.62	10.87	11.20	11.09

Table 2는 GAC 및 개질화된 Ba/GAC를 함량에 따라 비표면적을 측정된 B.E.T 결과를 나타내었다. GAC는 높은 비표면적을 가지고 있는 반면 개질화된 Ba/GAC는 함량이 높으면 높을수록 비표면적이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 SEM에서도 확인할 수 있었듯이 바륨 수화물을 GAC에 함침 함으로써 활성탄의 표면을 덮고 또는 세공을 막아서 비표면적이 줄어든 것으로 사료된다.

3.3. 톨루엔의 흡착 · 탈착실험

본 연구의 흡착 실험은 톨루엔을 이용하여 실시하였다. Fig. 6은 GAC와 개질화된 Ba/GAC를 무게 함량 비율로 나누어 톨루엔의 흡착 실험한 것을 나타내었으며 그림에서 볼 수 있듯이 일반 GAC는 거의 48 분 후에 파과점에 도달하였으며 개질화된 GAC는 35 분 정도에서 파과점에 도달하는 것을 확인할 수 있었다. 즉 Ba/GAC 보다 GAC는 시간에 따라 다소 높은 흡착율을 보인다는 것을 알 수 있었으며 Table 2에서 보여지는 비표면적 차이와 유사한 경향을 보인다는 것 또한 확인할 수 있었다. 이는 B.E.T 분석 결과에서 언급한 것과 같이 바륨수화물이 GAC 표면에 함침됨에 따라 표면과 세공을 덮어 비표면적은 감소하였고 그에 따라 톨루엔의 흡착량 또한 감소하였다고 판단된다.

Fig. 7은 GAC 및 개질화된 Ba/GAC에 대하여 톨루엔이 흡·탈착된 양을 전자저울을 이용하여 무게 변화로 측정된 것을 나타낸 그림이다. 탈착 시에 마이크로파 조사 조건은 100 W에서 5분 동안 조사하고 이를 3 회 반복하여 흡산한 탈착 양을 나타낸 것이다. 또한 5 wt%-Ba/GAC와 25 wt%-Ba/GAC는 마이크로파 조사 시 온도차가 커서 배제하고 유사한 승온을 갖는 10, 15, 20 wt%만 선택하여 실험하였다. 그림에서 보면 GAC는 높은 흡착율과 더불어 탈착율 또한 높았다. 반면 개질화된 Ba/GAC는 GAC 보다 낮은 탈착율을 보였으며 바륨의 무게함량이 높을수록 흡착율과 탈착율의 간격이 커지는 것을 확인할 수 있었다.

또한 탈착후 가스를 canister로 포집하여 GC-Mass로 정성 분석한 결과, 탈착에 따른 톨루엔의 검출은 GAC는 90% 미만인 반면 10 wt%-Ba/GAC는 96.93%, 15 wt%-Ba/GAC는 99.91%, 20 wt%-Ba/GAC는 99.96%로 바륨의 함량이 높을수록 톨루엔의 검출율이 높은 것을 확인할 수 있었다. GAC의 경우 마이크로파 조사 시 탈착량은 많았으나 검출되는 톨루엔의 비율은 낮았다. 이는 높은 열을 발생하는 불꽃방전과 흡착제 자체의 온도 상승에 따른 톨루엔의 분해로 인해 순수 톨루엔의 비율이 낮아진 것으로 사료된다. 반면에 바륨으로 개질된 GAC는 개질

된 후 가스를 canister로 포집하여 GC-Mass로 정성 분석한 결과, 탈착에 따른 톨루엔의 검출은 GAC는 90% 미만인 반면 10 wt%-Ba/GAC는 96.93%, 15 wt%-Ba/GAC는 99.91%, 20 wt%-Ba/GAC는 99.96%로 바륨의 함량이 높을수록 톨루엔의 검출율이 높은 것을 확인할 수 있었다. GAC의 경우 마이크로파 조사 시 탈착량은 많았으나 검출되는 톨루엔의 비율은 낮았다. 이는 높은 열을 발생하는 불꽃방전과 흡착제 자체의 온도 상승에 따른 톨루엔의 분해로 인해 순수 톨루엔의 비율이 낮아진 것으로 사료된다. 반면에 바륨으로 개질된 GAC는 개질

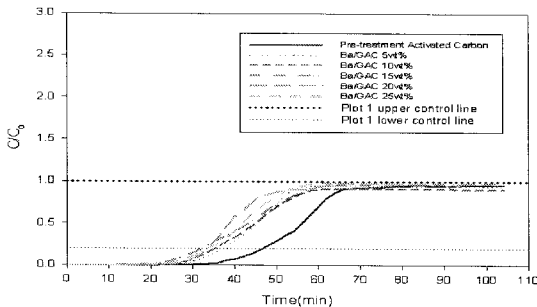


Fig. 6. Breakthrough curves of GAC and Ba/GAC.

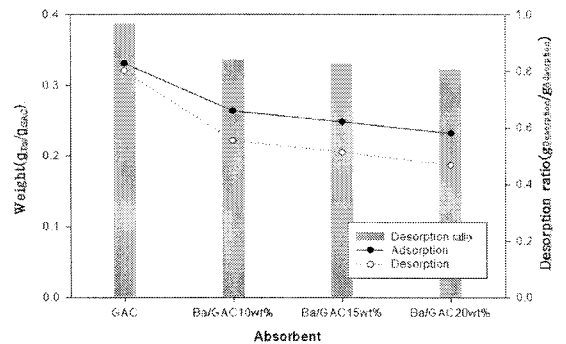


Fig. 7. Adsorption and desorption rate of GAC and Ba/GAC.

화 전의 GAC 보다 낮은 온도 상승으로 인해 약 18% 정도의 톨루엔을 흡착하고 있는 것으로 판단된다. 또한 개질화된 바륨의 함량이 높을수록 탈착 시 검출되는 톨루엔의 비율은 높아진 것을 확인 하였다. 이는 앞서 설명한 것과 같이 불꽃방전이 없고, 금속 특유의 마이크로파에 대한 특성으로 함량에 따른 Ba/GAC의 온도상승을 억제하여 나타난 결과라 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 활성탄(GAC)에 흡착 된 VOCs를 탈착하기 위해 마이크로파를 이용하였으며, 마이크로파 조사 시 불꽃방전이 발생하지 않으며 급격한 온도 상승을 막을 수 있는 여러 가지 금속 수화물을 선택하여 개질화된 활성탄을 제조 하였다. 그에 따라 B.E.T, SEM, 흡·탈착 실험과 탈착된 톨루엔의 GC-Mass 결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, GAC의 경우 0~8 V에 걸쳐 강한 불꽃방전이 발생한 반면 5 wt%의 바륨으로 개질화된 GAC는 0.1 V 미만의 불꽃방전을 확인할 수 있고, 10, 15, 20, 25 wt%의 바륨으로 개질화된 GAC는 불꽃 방전이 전혀 일어나지 않는 것을 확인할 수 있었다.

둘째, GAC, 개질화된 Ba/GAC에 마이크로파를 100 W, 300 W, 500 W의 출력으로 조사하였을 경우 바륨의 무게함량에 따라 온도 상승률이 감소되는 차이를 뚜렷하게 확인할 수 있었다.

셋째, GAC와 개질화된 Ba/GAC의 비표면적과 흡·탈착 실험을 한 결과, GAC 보다 개질화된 Ba/GAC가 비표면적과 흡착율이 조금 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 활성탄에 담지된 바륨이 활성탄 표면과 세공을 막아 생긴 현상이며 Ba의 무게함량이 높으면 높을수록 비표면적은 GAC에 비해 낮아짐을 확인하였다.

넷째, 톨루엔이 흡착된 일반 GAC와 바륨으로 개질된 GAC에 마이크로파를 조사시 온도 상승에 의한 톨루엔의 분해정도는 개질된 활성탄의 Ba 무게함량이 높을수록 분해정도가 낮은 것을 확인할 수 있었다. 이는 활성탄에 담지된 Ba가 온도를 낮추어 주고, 불꽃방전을 줄여 톨루엔의 분해가 줄어 든 것으로 판단되며 또한 마이크로파를 이용한 톨루엔의 재생과 분해라는 측면에서 효과적인 것으로 사료된

다. 추후 VOCs 중 이성분계 및 삼성분계의 혼합기체에 대한 흡·탈착 실험도 연구할 계획이다.

참 고 문 헌

- 1) Ruddy E. N., Carroll L. A., 1993, Selection the best VOC control strategy, Chem. Eng. Prog., 89(7), 28-35.
- 2) Kim H. S., Park Y. S., 2003, Binary component adsorption characteristics of benzene and toluene at the fixed-bed adsorption column with activated carbon, J. KSEE, 25, 977-983.
- 3) Sotelo J. L., Ovegero G., Delgado J. A., Martinez L., 2002, Comparison of adsorption equilibrium and kinetics of four chlorinated organics from water onto GAC, Water Res., 36, 599-608.
- 4) Chang Y. C., Carlisle C. T., 2001, Microwave process for volatile organic compound abatement, J. Air Waste Manage. Assoc., 51, 1628-1641.
- 5) Cho W. I., Baek Y. S., Kim Y. C., 2001, Manufacture of hydrogen and C2+ chemicals from methane using microwave plasma and catalyst, J. Kor. Inst. Gas, 5(1), 15-20.
- 6) Lee J. P., Kim D. S., Lee D. K., 2001, Decomposition of xylene gas by microwave, J. Ind. Sci. and Tech. Inst., 15(2), 59-64.
- 7) Berteaud A. J., Badot J. C., 1976, High temperature microwave heating in refractory materials, J. Microwave Power, 11, 315-320.
- 8) Tinga W. R., 1994, Fundamentals of microwave-material interactions and sintering, MRS Symp. Proc., 124, 33-44.
- 9) Ford J. D., Pei D. C. T., 1967, High temperature chemical processing, J. Microwave Power, 2, 61-64.
- 10) Kim D. S., Park H. C., Byeon K. H., 2002, A study on the optimization of microwave system for the preparation of activated carbon, Carbon Science, 3, 205-209.
- 11) Jou C. J. G., 1998, Application of granulated activated carbon packed-bed reactor in microwave radiation field to treat BTX, Chemosphere, 37(4), 685-698.
- 12) Oh W. C., Kim B. S., Lee Y. H., Kim J. G., Kim M. K., Ko Y. S., 1998, Adsorption and antibacterial properties of metal-treated activated carbon fiber, Analytical Science & Technology, 11(4), 131-135.
- 13) Kim J. G., Oh W. C., Kim M. K., 1998, A study on characterization of surface and pore for Ag-impregnated activated carbon, J. Kor. Ind. & Eng. Chem., 9(5), 729-733.
- 14) Oh W. C., Kim B. S., Lee Y. H., Kim J. G., Kim M. K., Ko Y. S., 1998, Adsorption and properties of metal treated activated carbon, Analytical Science & Technology, 11(4), 266-270.