

Na₂CO₃ 및 KIO₃ 침착 왕겨활성탄의 H₂S 흡착특성

김준석 · 김명수

명지대학교 공과대학 화학공학과
(2002년 5월 24일 접수 ; 2002년 7월 16일 채택)

H₂S Adsorption Capacity of Na₂CO₃ and KIO₃ Impregnated Activated Carbon

Jun-Suk Kim · Myung-Soo Kim

*Department of Chemical Engineering, Myongji University, Yongin 449-728, Korea
(Received May 24, 2002 ; Accepted July 16, 2002)*

Abstract : Activated carbons with high surface area of 2,600 m²/g and high pore volume of 1.2 cc/g could be prepared by KOH activation of rice hulls at a KOH:char ratio of 4:1 and 850°C. In order to increase the adsorption capacity of hydrogen sulfide, which is one of the major malodorous component in the waste water treatment process, various contents of Na₂CO₃ and KIO₃ were impregnated to the rice-hull activated carbon. The impregnated activated carbon with 5 wt.% of Na₂CO₃ showed improved H₂S adsorption capacity of 75 mg/g which is twice of that for the activated carbon without impregnation and the impregnated activated carbon with 2.4 wt.% of KIO₃ showed even higher H₂S adsorption capacity of 97 mg/g. The improvement of H₂S adsorption capacity by the introduction of those chemicals could be due to the H₂S oxidation and chemical reaction with impregnated materials in addition to the physical adsorption of activated carbon.

Keywords : *impregnated activated carbon, hydrogen sulfide, adsorption capacity.*

1. 서 론

국내의 하·폐수처리장, 분뇨처리장 등 환경기초시설 건설 시 탈취대책이 전무하여 여기에서 발생하는 악취가 사회전반에 걸쳐 주요한 공해문제로 대두되고 있으며[1], 악취발생문제로 인하여 하수종말처리장을 혐오시설로 규정함에 따른 하수종말처리장 설치 및 규모확장에 대한 지역주민의 반발의 증대가 예상되어, 탈취기술의 상용화가 절실한 실정이다. 하지만 탈취기술의 국내 개발수준은 연구 차원에서만 진행되어 악취공해문제 해결을 위한 적절한 탈취대책을

제공하지 못하고, 시범적으로 하수처리장에 설치된 약액세정, 활성탄 등의 탈취방법이 이용되고 있지만 운용여건의 한계로 인해 탈취기능이 거의 상실되어 있다. 국내 환경기초시설 중 하수종말처리장의 주요 악취물질로는 황화수소와 암모니아로 보고되고 있다.

활성탄은 다양한 세공구조를 가진 탄소재료로 오래 전부터 대표적인 흡착제로 사용되어 왔으며[2], 날로 심각해지는 수질 및 대기오염을 해결하기 위하여 활성탄의 수요는 최근 급속히 증가하고 있다. 국내의 활성탄 소비량은 약 5만 톤/년이며, 약 3만 톤 정도는 국내에서 제조하

고 나머지는 외국에서 수입하고 있다. 또한 국내에서 생산되는 활성탄 원료의 대부분이 외국에서 수입되는 아자겍질이며, 수입되는 제품의 원료는 리그나이트(lignite), 역청탄(bituminous) 등으로 이 또한 국내에 부존되어 있지 않다. 따라서 국내에 부존량이 풍부하며 값이 싼 원료를 이용한 활성탄 제조기술의 확립이 절실히 필요한 실정이다.

활성탄은 비표면적이 크고 세공구조가 미세하게 발달되어 있고, 표면의 화학적 특성이 소수성이기 때문에 수증기에 대한 흡착 친화도가 낮으며, 저농도 가스에 대해 흡착의 친화도가 높기 때문에 공기 중의 유해가스를 제거하는데 유리하다. 하지만 일반활성탄의 표면은 비극성이며 흡착력이 본질적으로 단순히 반데르발스 힘에 의한 물리흡착이 대부분이기 때문에 황화수소나 암모니아 같이 비점이 낮은 성분에 대해서는 충분한 흡착성을 갖지 못한다. 따라서 활성탄 표면을 화학적으로 개질하거나 화학약품을 첨착시켜 특정 성분에 대한 선택적 흡착성을 가지는 악취가스 제거용 활성탄이 많이 이용되고 있다[3]. 활성탄에 대한 흡착 친화도가 낮은 가스의 경우에는 화학적 첨착물을 첨가한 첨착활성탄을 사용함으로써 탈취효과도 증대시키고 탈취조작 운전시간의 연장으로 인한 경제적인 탈취조작이 가능하다[4].

첨착활성탄의 유해 가스 흡착은 물리적 및 화학적 흡착이 동시에 일어나며, 이의 총괄치가 전체 흡착량으로 표시된다. 보통 화학흡착량은 첨착물질이 어느 정도 증가할수록 증가하나 물리흡착 성능이 상대적으로 감소한다. 따라서 첨착활성탄은 그 용도에 따라 첨착물질의 양 및 종류가 결정되며 기본적으로 지지체인 활성탄의 물리적 성질에도 크게 관여된다. 일반적으로 첨착활성탄에 사용되는 활성탄의 물성은 다음 조건을 만족시켜야 한다[5,6].

- 1) 미세 세공이 잘 발달된 기상용 활성탄일 것 (micropore 70% 이상)
- 2) 비표면적이 클 것 ($1,000\text{m}^2/\text{g}$ 이상)
- 3) 기계적 강도가 클 것
- 4) 불순물을 함유하지 않은 순수한 상태일 것

흡착속도와 흡착탑을 설계하기 위해서는 일반적으로 파과곡선을 이용하는데, 대상 기체의 농도가 ppm 또는 ppb 정도이기 때문에 탈취조작에서 파과곡선을 측정하는 것은 실험실 조건

에서도 긴 시간을 요구하게 된다. 이러한 이유로 탈취기술의 개발은 진전되지 않았고, 흡착탑을 설계하기 위한 자료는 일부 있으나 실제 흡착탑 설계에 유용한 동적 흡착거동 자료는 거의 없다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 국내 자원이 풍부한 왕겨를 이용하여 높은 비표면적과 미세세공을 가지는 고성능의 활성탄을 제조하였다. 대표적 악취가스 성분인 황화수소를 제거하는데 있어서 활성탄의 흡착성능을 향상시키기 위하여 산성기체 흡착에 이용되는 물질 중 Na_2CO_3 및 KIO_3 를 활성탄에 첨착시켰다. 첨착시약의 종류와 첨착함량에 따른 황화수소 흡착 특성을 비교·분석하였다.

2. 실험

2.1. 실험 재료

왕겨활성탄을 제조하기 위하여 사용한 KOH는 순도 85%의 Junsei chemical사의 것을 사용하였다. 제조된 왕겨활성탄과 물성을 비교하기 위하여 석탄계 및 야자계 상업용 활성탄은 Kuraray chemical사의 활성탄을 사용하였다. 첨착시약은 순도 99%의 Duksan pharmaceutical사의 Na_2CO_3 와 Daejung chemical & metals사의 순도 99.5%의 KIO_3 을 사용하였다. 실험에 사용된 황화수소는 제이씨가스에서 제조된 것으로, 황화수소 함량이 1,000 ppm이고 balance로 N_2 를 혼합한 가스를 사용하였다.

2.2. 왕겨활성탄 및 첨착활성탄의 제조

경기도 용인 지방의 정미소에서 제공한 왕겨를 증류수로 여러 번 세척한 후, oven에 넣어 110°C 에서 24 시간 동안 건조시켰다. 건조된 왕겨를 세라믹 boat에 담아 관형 전기로 안에서 질소를 $100\text{ml}/\text{min}$ 으로 흘려주면서 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 승온하여 700°C 에서 2 시간 탄화시켰다. 탄화된 왕겨의 일정 중량비(char:KOH=1:4)에 해당하는 수산화칼륨을 증류수에 녹인 용액과 탄화왕겨를 혼합하여 침적시키고, 공기 중에서 충분한 시간 동안 방치시켜 얻어진 반고상의 물질을 세라믹 boat에 담아 관형 전기로 안에 넣고, 질소 분위기에서 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로 승온하여 850°C 에서 3 시간 활성화하였다. 활성화된 시료에 잔존하는 KOH를 제거하기 위하여 100°C 증류

수로 여러 번 세척하고, 110 °C oven에 넣어 24 시간 동안 건조시켜 제조하였다[7-9].

황화수소의 흡착량을 증가시키기 위한 침착 물질로 Na₂CO₃, KIO₃를 선정하였고, incipient wetness법을 이용하여 함침시켰다. 왕겨활성탄 7 g에 2.4, 5, 7.3 및 10 wt%에 해당하는 시약을 증류수에 녹여 침착용액 50ml를 만들고, 침착용액을 활성탄이 충분히 젖을 수 있도록 첨가한 후, 상온에서 증류수를 증발시켜 침착물질을 활성탄에 침착시켰다. 얻어진 시료를 110 °C oven에서 24 시간 건조하여 침착활성탄을 제조하였다[10].

제조된 활성탄의 비표면적 및 세공구조는 Quantachrome사의 automated adsorption apparatus (Autosorb-1)를 이용하여 77 K에서의 N₂ 흡착자료로부터 구해졌다. 비표면적은 P/P₀를 0.075, 0.1, 0.125로 잡고 BET식으로 구하였으며, 평균 세공직경(average pore diameter)과 세공분포(pore size distribution)는 Dubinin Astakhov (DA)식에 의해 계산되었다. 또한 중간세공과 거대세공의 용적 및 분포는 Barrett, Joyner 및 Hallenda (BJH)방법으로 계산되었다[11]. SEM (Hitachi, 3500N)을 통하여 활성탄의 표면구조를 관찰하였으며, EDX (Horiba-EMAX)를 통하여 활성탄 표면의 성분을 분석하였다.

2.3. 황화수소 흡착제거 실험

침착활성탄의 황화수소 흡착특성을 비교·분석하기 위하여 내경 15 mm, 외경 17 mm, 길이 600 mm의 반응기에 충전물(활성탄)을 0.5~0.7 g, bed 길이를 20~22 mm정도로 충전하고,

1,000 ppm 황화수소를 44.7 ml/min의 유량으로 반응기에 일정하게 주입하였다[12]. 충전물을 통과한 황화수소의 농도는 (주) Donam Instrument의 GC(Gas Chromatography)의 TCD (Thermal Conductivity Detector)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

기상 흡착에 많이 쓰이는 야자계활성탄의 비표면적이 약 1,000 m²/g이고 micro-pore volume이 0.45 cc/g인데 반해, 왕겨를 원료로 KOH 활성화를 통하여 비표면적이 2,600 m²/g이고 micro-pore volume이 1.2 cc/g인 왕겨활성탄을 얻을 수 있었다. 흡착질이 기체인 경우 활성탄은 micro-pore가 잘 발달되어야 하는데 이에 부합하는 활성탄을 제조하였다.

Table 1에서 제조된 왕겨활성탄과 상업용 활성탄인 야자계활성탄 및 석탄계활성탄의 비표면적 및 세공구조 분석 결과를 비교하였다. 또한 Fig. 1은 흡착등온선을 비교한 것으로, 모두 Type 1을 나타내어[13] 세 가지 활성탄 모두 micro-porous한 물질임을 확인 할 수 있었다. Fig. 2은 BJH method를 이용하여 세공크기에 따른 세공부피의 누적량을 나타낸 그래프이다. Table 1과 Fig. 1과 2를 통해서 왕겨활성탄의 비표면적과 미세세공부피가 가장 우수하다는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 KOH 약품 첨가에 의해 KOH의 K가 탄소와 K₂O와 같은 중간화합물을 쉽게 형성하여 침입이 용이하고 고온에서 급속 K원자로 환원되면서 산소 또는 이산화탄

Table 1. Properties of Three Activated Carbons

| Sample | BET (m ² /g) | Pore diameter (Å) | Pore volume (cc/g) | |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------|-----------|
| | | | ~20 Å | 20~2000 Å |
| Coal base activated carbon | 864 | 20.7 | 0.39 | 0.12 |
| Coconut activated carbon | 1,033 | 20.7 | 0.45 | 0.10 |
| Rice Hull activated carbon | 2,684 | 16.9 | 1.13 | 0.20 |

소로 방출되어 가스화 반응을 일으키며, 또한 금속 칼륨 증기로 되어 탄소 층의 간격을 넓혀줌으로서 세공구조의 발달에 유리하기 때문으로 설명할 수 있었다.

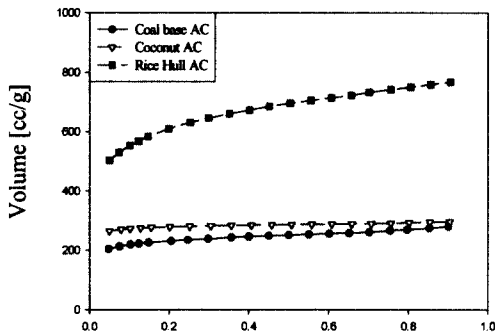


Fig. 1. Nitrogen adsorption isotherm of activated carbons at 77K.

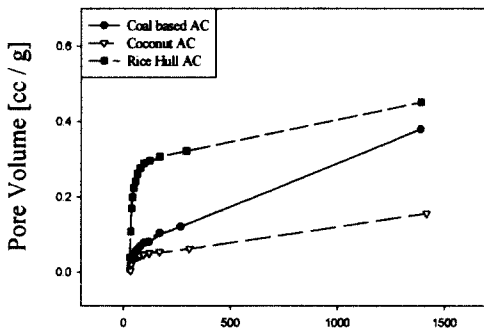


Fig. 2. Accumulated pore volume of activated carbons [BJH Method].

Fig. 3은 세 가지 활성탄의 황화수소 흡착능을 비교한 그래프이다. 약품 처리를 하지 않은 활성탄의 흡착능은 반데르 발스 힘에 의한 물리 흡착이 대부분이다. 따라서 황화수소 흡착량은 비표면적에 비례하는 경향을 보여, 왕겨활성탄이 가장 우수한 흡착능을 나타냈다[14,15].

앞에서 가장 뛰어난 황화수소 흡착능을 보인

왕겨활성탄에 화학약품을 첨착시킨 첨착활성탄에서 첨착물질과 첨착물질의 농도에 따른 물성과 황화수소 흡착에 따른 흡착능을 비교·분석하였다. Table 2에서는 왕겨활성탄과 Na_2CO_3 첨착활성탄의 비표면적(m^2/g), 세공크기, H_2S 흡착량(mg/g)을 비교하였으며, Table 3은 왕겨활성탄과 KIO_3 첨착활성탄의 비표면적(m^2/g), 세공크기, H_2S 흡착량(mg/g)을 비교하였다. 두 Table에서 보듯이 첨착물질의 함량이 2.4~10 wt.%로 변화함에 따라 비표면적은 10~21%, 미세세공부피는 6~16%의 감소하였다. 이는 첨착물질에 의한 pore filling 현상때문이라고 판단되며[16], 세공이 20 Å 이상의 비교적 큰 세공보다 미세세공의 감소가 많이 일어난 것은 첨착물질이 미세세공에 첨착되는 것으로 생각되어진다. Fig. 4는 왕겨활성탄과 Na_2CO_3 및 KIO_3 첨착활성탄의 첨착 함량변화에 따른 비표면적의 감소를 나타냈으며, Fig. 5는 왕겨활성탄과 Na_2CO_3 및 KIO_3 첨착활성탄의 첨착 함량변화에 따른 미세세공부피의 감소를 그래프로 나타낸 것이다. Na_2CO_3 첨착활성탄이 KIO_3 첨착활성탄보다 함량에 따라 더 많은 비표면적과 미세세공의 감소를 보였다. 이는 Na_2CO_3 의 분자량(105.99)이 KIO_3 의 분자량(214)이 보다 작아서, 단위 질량당 분자수가 2 배로 많아 Na_2CO_3 시약이 활성탄의 미세세공을 더 막는 것으로 판단된다.

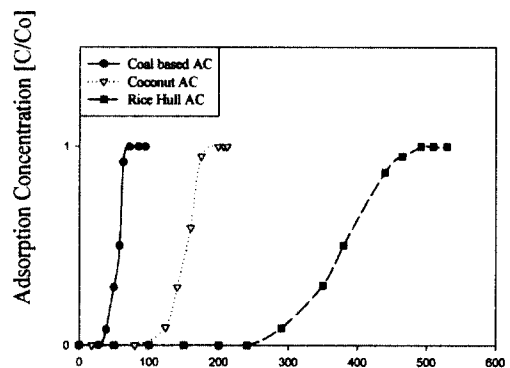


Fig. 3. H_2S breakthrough curves of three activated carbons.

Table 2. Effect of Na₂CO₃ Content on Adsorption Properties of Impregnated Activated Carbons

| Property | | Sample | Normal activated carbon | Na ₂ CO ₃ content of impregnated activated carbon | | | |
|---|-------------|--------|-------------------------|---|-------|-------|-------|
| | | | | 2.4% | 5.0% | 7.3% | 10.0% |
| BET Surface area (m ² /g) | | | 2,684 | 2,413 | 2,334 | 2,258 | 2,122 |
| H ₂ S adsorption capacity (mg/g) | | | 36.39 | 45.77 | 75.18 | 56.21 | 65.21 |
| Pore diameter (Å) | | | 16.85 | 16.84 | 16.87 | 17.10 | 16.86 |
| Pore volume (cc/g) | ~20 (Å) | | 1.131 | 1.016 | 0.973 | 0.965 | 0.894 |
| | 20~2000 (Å) | | 0.198 | 0.202 | 0.201 | 0.198 | 0.199 |

Table 3. Effect of KIO₃ Content on Adsorption Properties of Impregnated Activated Carbons

| Property | | Sample | Normal activated carbon | KIO ₃ content of impregnated activated carbon | | | |
|---|-------------|--------|-------------------------|--|-------|-------|-------|
| | | | | 2.4% | 5.0% | 7.3% | 10.0% |
| BET Surface area (m ² /g) | | | 2,684 | 2,513 | 2,451 | 2,346 | 2,240 |
| H ₂ S adsorption capacity (mg/g) | | | 36.39 | 96.99 | 81.98 | 89.97 | 89.30 |
| Pore diameter (Å) | | | 16.85 | 16.94 | 16.88 | 16.82 | 17.09 |
| Pore volume (cc/g) | ~20 (Å) | | 1.131 | 1.065 | 1.035 | 1.010 | 0.957 |
| | 20~2000 (Å) | | 0.198 | 0.200 | 0.198 | 0.198 | 0.191 |

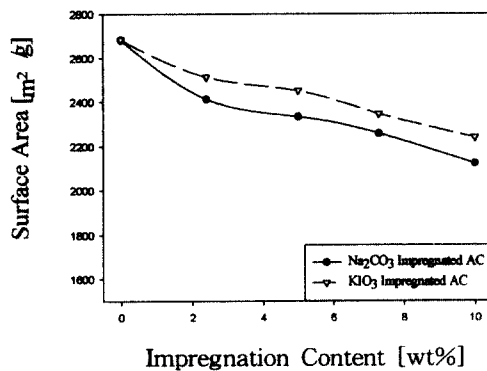


Fig. 4. Specific surface area of samples as a function of impregnation content.

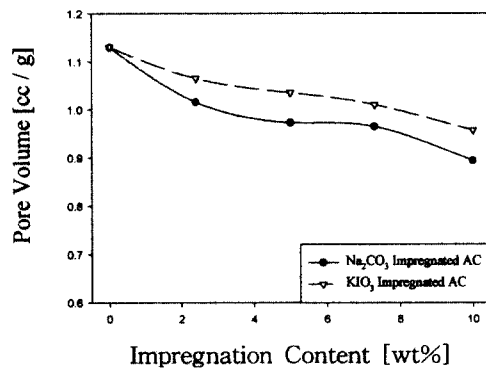
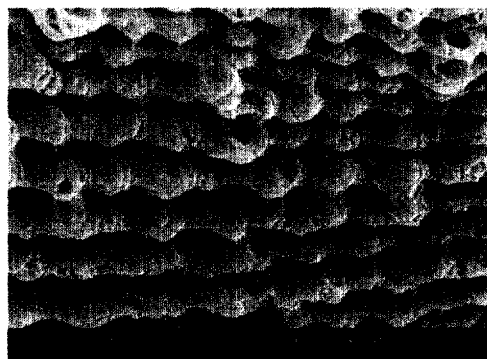
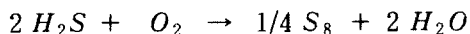


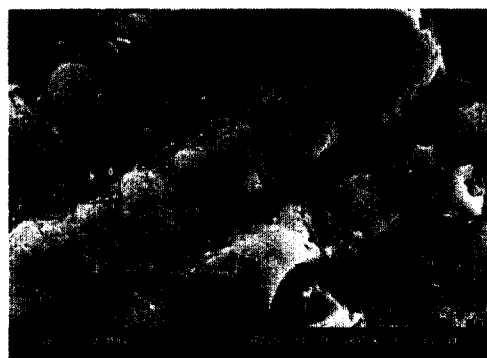
Fig. 5. Micropore volume of samples as a function of impregnation content.

Fig. 6의 a), b), c)는 왕겨활성탄, Na_2CO_3 및 KIO_3 침착활성탄의 표면구조를 SEM 사진으로 관찰한 것이다. SEM 사진을 통하여서는 침착물질이 micro-pore에 침착되었기 때문에 이에 따른 표면의 변화를 관찰할 수 없었다. 따라서 왕겨활성탄 표면이나 micro-pore에 시약의 침착을 확인하기 위하여 EDX분석을 하였다. Fig. 7의 a), b) 및 c)는 왕겨활성탄, Na_2CO_3 및 KIO_3 침착활성탄의 표면의 구성성분의 EDX 분석결과를 각각 나타낸 것이다. Na_2CO_3 시약의 침착은 원소 Na의 peak로, KIO_3 시약의 침착은 원소 I의 peak로써 확인할 수 있었다. 여기서 Pt의 peak는 SEM과 EDX 분석시 시료의 진도성을 높이고 전자가 시료 표면에 끌고루 분포할 수 있도록 시료 표면을 백금으로 코팅하게 되는데, 코팅물질이 나타난 것이다.

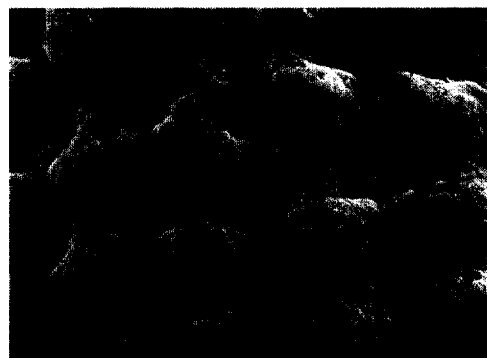
왕겨활성탄과 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{KIO}_3$ 침착활성탄의 황화수소 흡착능을 비교한 실험을 통하여 비표면적과 세공부피의 감소에도 불구하고 비침착활성탄보다 침착활성탄의 황화수소 흡착능이 뛰어나다는 것을 확인하였다. 이는 일반활성탄에서 나타나는 물리적인 흡착보다는 침착된 시약과 황화수소간의 화학반응이 전체 흡착반응을 지배하기 때문이다[17]. Fig. 8은 왕겨활성탄과 Na_2CO_3 침착활성탄의 흡착능을 비교한 것이고, Fig. 9는 KIO_3 침착활성탄의 흡착능을 비교한 그래프이다. Na_2CO_3 침착활성탄의 경우 왕겨활성탄의 황화수소 흡착능보다 21~52%의 증가를 보였으며, KIO_3 침착활성탄의 경우에는 57~62%의 황화수소 흡착량의 증가를 보였다. 이러한 황화수소 흡착능의 증가를 보이는 것은 비침착활성탄에서 일어나는 탄소-탄소간의 반데르발스 힘에 의한 물리 흡착외에 침착물질의 첨가에 따른 침착활성탄의 황화수소에 대한 다양한 반응 메카니즘이 존재하기 때문이다[18]. 일반적인 황화수소는 저온에서는 반응하지 않고 200℃ 이상의 고온에서 산소와 반응하기 시작하는데 활성탄의 존재하에서는 활성탄이 촉매로 작용하여 황화수소와 O_2 와의 반응이 저온에서도 일어나 황화수소를 산화시키게 된다. 다음 식은 황화수소의 산화를 나타낸 것이다.



a) Normal activated carbon (×500).

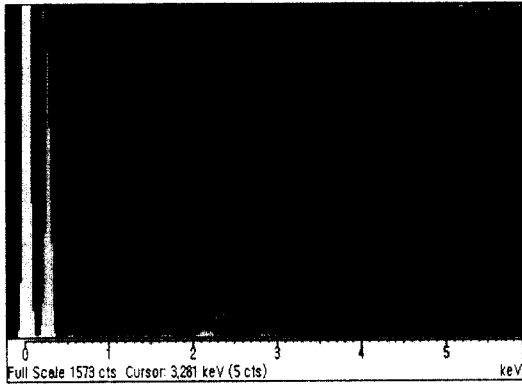


b) Na_2CO_3 impregnated activated carbon (×500).

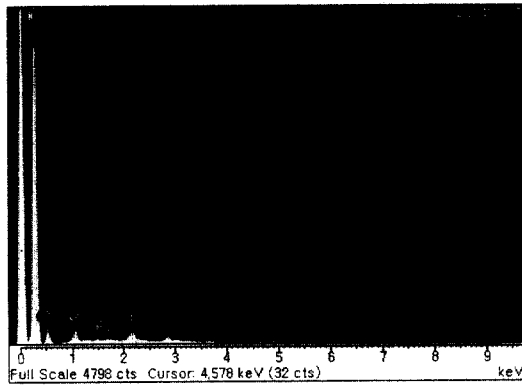


c) KIO_3 impregnated activated carbon (×500).

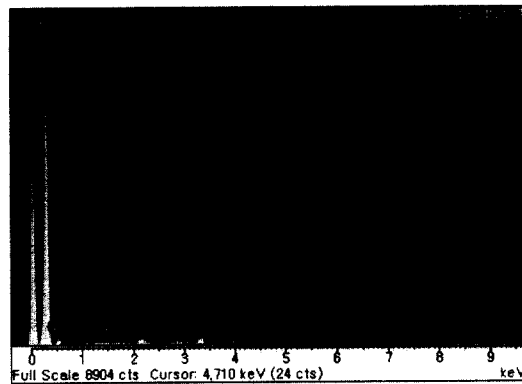
Fig. 6. SEM Micrographs of various activated carbons.



a) Normal activated carbon (×500).



b) Na₂CO₃ impregnated activated carbon (×500).



c) KIO₃ impregnated activated carbon (×500).

Fig. 7. EDX analysis of various activated carbons.

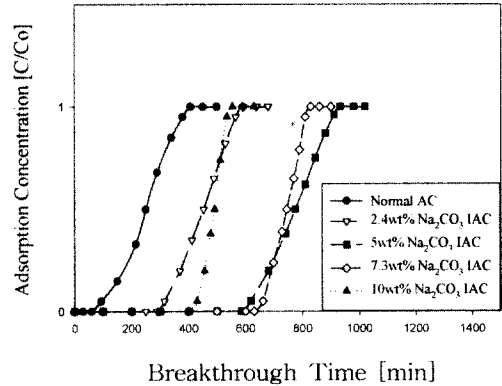


Fig. 8. Effect of Na₂CO₃ impregnation content on H₂S breakthrough curve.

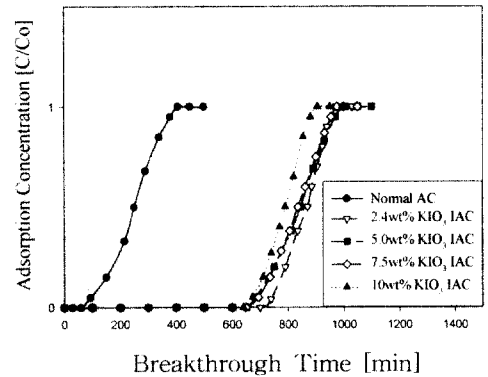
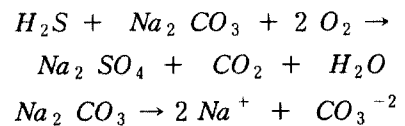
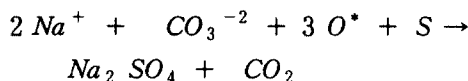
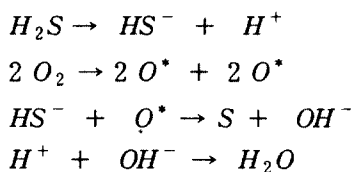


Fig. 9. Effect of KIO₃ impregnation content on H₂S breakthrough curve.

그리고 침착물질의 존재하에서는 황화수소 가스가 침착활성탄의 외부표면에 접촉하여 내부표면으로 빠르게 확산될 때 황화수소를 제거하게 된다. 그리고 가장 중요한 반응 메카니즘이라고 할 수 있는 침착물질과 H₂S와의 화학반응이다 [19]. 다음은 Na₂CO₃와 황화수소와의 화학반응을 나타낸 것이다.





윗 식에서 알 수 있듯이 반응물인 H_2S 와 Na_2CO_3 는 산소와 반응하여 Na_2SO_4 , CO_2 및 H_2O 를 생성하며 일부는 부반응에 의해 원소 황으로 활성탄 표면에 흡착된다. 이러한 다양한 반응 메카니즘으로 인하여 비침착활성탄에 침착물질을 첨가함으로써 활성탄의 흡착성능을 향상시킬 수 있음을 살펴 볼 수 있었다.

또한 Table 2와 3, Fig. 14와 15를 통하여 침착물질의 함량에 따라 황화수소 흡착량에 차이를 나타내었다. Na_2CO_3 침착활성탄은 침착물질의 함량이 2.4, 5, 7.3 및 10 wt.%일 때 각각 45.8, 75.2, 56.2 및 65.2 mg/g의 흡착량을 보였으며, KIO_3 침착활성탄은 각각 97, 82, 90 및 89.3 mg/g의 흡착량을 나타내었다. Na_2CO_3 침착활성탄의 경우에는 5 wt.%일 때 75.2 mg/g으로 가장 뛰어나고, KIO_3 침착활성탄은 2.4 wt.%일 때 97.0 mg/g으로 가장 우수하였다. 침착 함량이 높을수록 더 높은 흡착량을 보일 것으로 예측되었지만, 5 wt.%, 2.4 wt.%와 같이 흡착능을 향상시키는 침착물질의 최적 농도가 존재함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 왕겨를 원료로 KOH 약품 활성화화를 통하여 고성능의 활성탄을 제조하였고, 황화수소 흡착성능을 향상시키기 위하여 Na_2CO_3 , KIO_3 를 첨가시켜 침착활성탄을 제조하고 흡착성능을 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. KOH:char의 비를 4:1로 하고 850 °C에서 3시간 동안 활성화하는 방법으로 비표면적이 2,600 m^2/g 이고 미세세공부피가 1.2 cc/g인 고성능의 활성탄을 제조하였다.

2. 제조된 왕겨활성탄의 황화수소 흡착능을 향상시키기 위하여 Na_2CO_3 와 KIO_3 를 첨가한 침착활성탄을 제조하였으며, 침착시약의 함량이 증가함에 따라 비표면적은 10~21%, 미세세공 부피는 6~16%의 감소를 보였다. 이는 침착물질이 활성탄의 세공을 막는 pore filling 현상 때문이라고 판단되었다.

3. 제조된 침착활성탄의 표면구조를 관찰한 SEM 사진을 통해서 특별한 세공구조의 변화를 관찰할 수 없었으며, EDX를 통하여 침착물질을 확인하였다.

4. Na_2CO_3 침착활성탄의 황화수소 흡착성능은 왕겨활성탄의 황화수소 흡착능보다 21~52%의 증가를 보였으며, KIO_3 침착활성탄의 경우에는 57~62%의 황화수소 흡착량 증가를 보였다. 이는 황화수소의 산화, 침착물질과 H_2S 와의 화학반응 등의 다양한 반응메카니즘 때문이라고 판단되었다.

5. Na_2CO_3 침착활성탄은 45.8~75.2 mg/g의 황화수소 흡착능을 보였으며, KIO_3 침착활성탄은 82~97 mg/g의 황화수소 흡착능을 나타냈다. Na_2CO_3 침착활성탄의 경우에는 침착량이 5 wt.%일 때 75.2 mg/g으로 가장 뛰어나고, KIO_3 침착활성탄은 2.4 wt.%일 때 97.0 mg/g으로 가장 우수하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 명지대학교 천연 신기능성 소재 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. 정희성, 이송호, "환경기초시설 설치·운영 업무의 정부간 분담 방향", 한국환경기술개발원 연구보고서, 서울 (1995).
2. F. Adib, A. Bagreev, and T. J. Bandosz, *Interface Sci.* **214**, 407 (1999).
3. G. I. Park, H. K. Lee, Y. T. Park, and H. Moon, *J. of KSEE*, **19**(9), 1125 (1997).
4. 오승배, "인산(H_3PO_4) 침착활성탄에 의한 암모니아 가스 흡착효과", 충북대학교 석사학위논문 (1996).

5. 한국화학연구소, “첨착활성탄소의 제조와 활용에 관한 연구(II)”, 과학기술처, 서울 (1988).
6. 박성원, “트리에칠렌디아민-첨착활성탄에 의한 메칠아요다이드의 흡·탈착 특성 연구”, 한국과학기술원 박사학위논문, 대전 (1994).
7. K. Gergova and S. Eser, *Carbon*, **34**(7), 879 (1996).
8. 김명수, 홍종철, *화학공학회*, **36**(6), 913 (1998).
9. 홍종철, “왕겨로부터 고비표면적의 활성탄 제조 및 흡착특성”, 명지대학교 석사학위논문 (1998).
10. A. A. Malik, P. R. Meddings, A. Patel, and K. M. Thomas, *Carbon*, **34**(4), 439 (1996).
11. S. Lowell and J. E. Shields, “Powder Surface Area and Porosity”, 3rd ed. Chapman & Hall (1991).
12. K. H. Kim and C. S. Shin, *Carbon*, **2**(2), 109 (2001).
13. C. N. Satterfield, “Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice”, 2nd ed., McGraw-Hill, Singapore (1991).
14. A. Bagreev and T. J. Bandosz, *Ind. Eng. Chem. Res.* **41**, 672 (2002).
15. A. Bagreev, H. Rahman, and T. J. Bandosz, *Environ. Sci. Technol.*, **34**, 4587 (2000).
16. 심재운, 고경열, 김선영, 양범호, 유승곤, *화학공학의 이론과 응용*, **3**, 2097 (1997).
17. M. P. Cal, B. W. Strickler, and A. A. Lizzio, *Carbon*, **38**, 1757 (2000).
18. J. Masuda, J. Fukuyama, and S. Fujh, *Chemosphere*, **39**(10), 1611~1616 (1999).
19. 조기철, “Na₂CO₃ 첨착활성탄을 이용한 H₂S 제거에 관한 연구”, 부산대학교 석사학위논문 (1999).