

CO₂ 흡착속도 및 활성탄의 표면분석 연구

우선향*, 김완수*, 유홍진*
*순천향대학교 에너지 환경공학과
e-mail : clean841014@naver.com

CO₂ Adsorption Rates and Surface Analysis of Activated Carbons

Sun-Hyang Woo*, Wan-Soo Kim*, Hong-Jin Yoo*
*Dept. of Energy & Environmental Engineering,
Soonchunhyang University

요 약

본 논문에서는 CO₂ 분리용 활성탄의 표면분석 및 흡착속도를 비교하였다. TGA 방법에 의한 흡착속도 데이터를 획득함으로써 분리장치 설계를 위한 기초자료를 획득하였고, 흡착온도에 따른 결과는 흡착온도가 낮을수록, 흡착량이 증가하고 흡착속도 또한 더 빠름을 알 수 있었다.

1. 서론

최근 우리나라의 경제성장이 빠르게 진행되어 감에 따라 에너지가 다량 소비되어 이산화탄소가 많이 배출되고 있다. 지구온난화의 주원인 물질이 되고 지금까지 매년 대기 중 이산화탄소의 배출량이 꾸준히 증가하고 있다. 이는 산업화의 진행으로 인해 화석연료의 사용이 늘게 되었기 때문이다. 2003년에는 1750년 산업혁명이 시작 되었을 때에 비해 대기 중 이산화탄소의 양이 31%가 증가하였다. 이는 지금까지 남극 빙하 속 이산화탄소의 양을 측정된 결과 65만년 동안 발생한 이산화탄소의 양보다 높은 수치이다. 따라서 온실효과에 대한 대책을 마련하려면 이산화탄소를 처리하는 공정에 대한 많은 연구가 필요하다.

PSA(Pressure Swing Adsorption)에 의한 기체 분리법은 조작이 간편한 저에너지 기술로 이산화탄소의 분리회수에 가장 적합하다. 또한 압력 및 사이클(Cycle)이 흡착속도에 미치는 영향을 고려하는데 기초를 둔 현대적 분리 기술이다. 하지만, 처리공정에 대한 설계 부분에 기초적인 아이디어가 그리 많지 않다. 이러한 아이디어들이 결합하고 작은 수정과 노력을 거쳐서 원하는 분리를 할 수 있게 된다. 이

산화탄소를 분리하는 공정의 성패는 적절한 흡착제의 선택이 가장 기초가 되는데, 흡착에 있어서 질량 분리매체는 흡착제이고 정제공정의 성능은 흡착제의 품질에 의해서 결정된다. 그러므로 적절한 활성탄을 선택하기 위해서는 각 활성탄의 표면특성의 차이 및 흡착속도를 규명하는 것이 우선이며, 이 분야가 본 연구의 주요 관심 대상이다.

따라서 본 연구는 연도배기가스와 유사한 조건(온도 및 압력)에서의 국내 및 국외에서 제조된 활성탄을 이용하여 이산화탄소의 TGA(열중량 분석기)방법에 의한 흡착속도 실험을 실시하였다. 또한 각 활성탄의 표면 특성을 관찰하기 위해서 SEM과 EDE X를 사용하여 측정 실험을 실시하였다.

2. 실험장치

2.1 흡착제 및 흡착질

활성탄에는 일반적으로 여러 가지 형태의 기공크기 분포가 발견된다. 기공 구조의 전체 입자에 대하여 열려있는 큰 기공에 여러 개의 작은 기공들이 가지를 이룬 것처럼 마치 모세관과 비슷한 모양으로 그려질 수 있다. 더 큰 기공들은 공급, 또는 수송용 기공, 더 작은 것들은 끝이 막혀있을 수도 있고, 흡착

기공이라고 부른다. Coconut 및 Coal Char로 제조되는 기상용 활성탄은 엄밀한 미세세공 구조 형성에 따른 높은 비표면적과 높은 강도를 가지고 있어 담배필터용, 자동차 케니스터용, 온도조절기용, 공기정화용, 악취제거용등에 유효하게 이용되며, 표면적과 세공분포를 조절하여 용도에 따라 생산 공급된다. 본 실험에 사용된 흡착제는 (주)삼천리의 기상용 활성탄(SGA-100, SGP-100, SGT, BPL)이 사용되었고, 흡착질은 순도 99.99%의 CO₂ 기체를 사용하여 실험을 실시하였다.

2.2 실험장치

2.2.1 SEM(Scanning Electron Microscope)

활성탄의 표면 촬영과 분석에 사용된 SEM(주사형 전자현미경)은 일본의 JEOL사의 JSM-5310이 사용되었다. SEM의 장치의 구성은 크게 본체와 전기계로 구성 되어있고 본체부에는 전자총에서 나온 전자선을 가늘게 접속하여 시료 위를 2차원적으로 주사시키면서 조사하는 전자광학계와 관찰 시료를 취급하는 시료 스테이지, 시료에서 나오는 신호를 감지하는 검출기가 있다. 전기계는 본체부를 제어하는 각종 전원 등과 신호를 증폭하는 처리계가 있다.

2.2.2 TGA 2050

흡착속도 실험에 사용된 실험장치로는 미국 TA Instruments사의 TGA 2050 열 중량 분석기가 사용되었으며, 초고순도 He이 purge gas로 사용되었다. TGA 2050은 고감도 저울, furnace, 기체주입장치, 실험데이터의 처리와 분석을 위한 컴퓨터로 구성되어 있다.

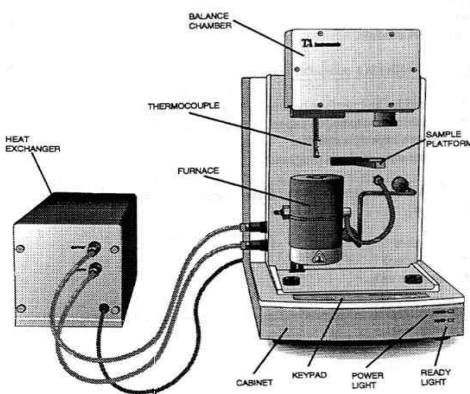


Figure 1. TGA 2050 module

3. 실험방법

3.1 SEM(표면분석)

3.1.1 시편 제작

시료채취 → 고정 → 전도염색 → 탈수 → 동결할단법 → 건조 → 시료대 부착 → 증착

3.1.2 준비 단계

- (1) 시료를 넣고 경체를 배기시킨다.
- (2) 상관찰 OK 램프가 켜지는 것을 확인하고 고압을 가해 필라멘트를 점화시킨다.
- (3) CRT상에 전자상을 내고 배율을 최저배로 맞춘다.
- (4) 관찰 모니터를 TV 화면 또는 rapid scan의 정지상으로 하고 필요한 조작을 한다.

3.2 열중량 분석법

TGA에 의한 흡착속도 실험은 다음과 같이 수행되었다. Furnace내의 sample pan에 SGP-100활성탄을 올려놓고 불순물 및 수분을 제거하기 위해서 He가스를 계속 흘려보내며 250℃에서 120분 동안 등온을 유지하며 소성 하였다. 그 다음 각각 70, 50, 30℃의 흡착실험 온도까지 냉각시킨 후, 등온 상태에서 CO₂ 기체를 공급하여 20~30분간 흡착시킨다. 다른 종류의 활성탄에 대한 CO₂흡착실험도 위와 같은 절차로 반복한다. 분당 흡착량은 흡착이 완료된 후 흡착제의 무게 증가량을 흡착시간의 비로 나타내었으며 다음과 같이 표현된다.

$$\text{분당 흡착량 (mgCO}_2\text{/min)} = \frac{\text{흡착후의 시료무게 증가량(mgCO}_2\text{)}}{\text{흡착시간(min)}}$$

4. 결과 및 고찰

4.1 활성탄의 표면분석(SEM)

활성탄의 표면분석은 각각의 활성탄(SGA-100, SGP-100, SGT, BPL)을 250℃에서 120분 소성시킨 후(Figure 2, Figure 3, Figure 4, Figure 5)촬영하였다.

Figure 2, 3, 4, 5은 각 활성탄들의 SEM 사진이며, 활성탄의 표면을 1500배 확대한 것이다. 위 결과 SGT 활성탄의 미세공들이 가장 많음을 알 수 있는데, 이는 각 활성탄의 비표면적이 SGT 활성탄이 가장 큰 것과 일치한다. 또한 EDEX에 의한 활성탄별 성분 분석결과 (Figure 2, Figure 3, Figure 4, Figure 5) 다른 활성탄에 비해서 SGT 활성탄의 구성성분 중 탄소와 산소의 비중이 가장 높게 나타났다.

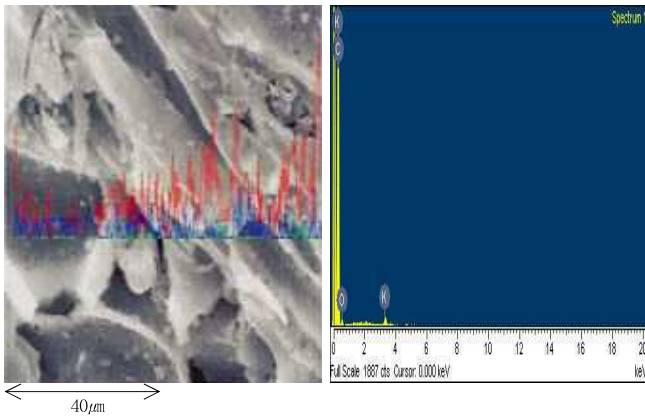


Figure 2. SGA 활성탄의 표면과 성분분석결과

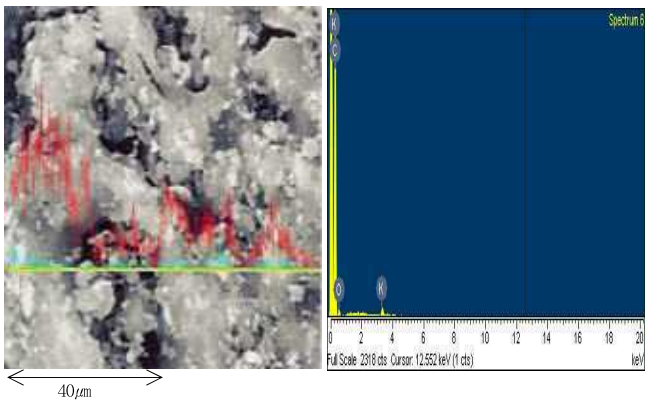


Figure 3. SGP 활성탄의 표면과 성분분석결과

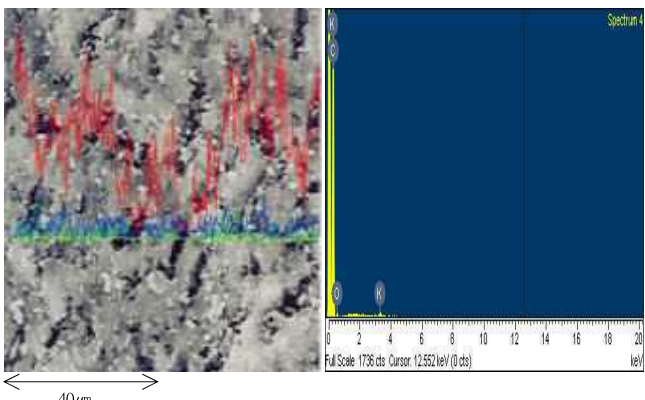


Figure 4. SGT 활성탄의 표면과 성분분석결과

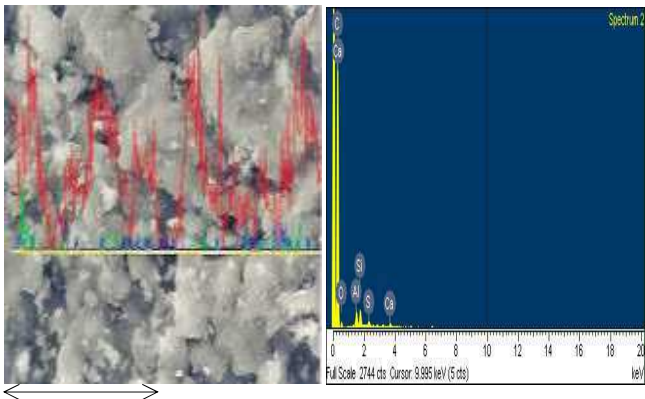


Figure 5. BPL 활성탄의 표면과 성분분석결과

활성탄의 성분 분석 결과, 소성 후 SGA-100 활성탄의 구성 성분은 C, O, K 및 Pd이며, Wt%는 각각 78.93%, 14.79%, 2.89%, 3.39%이다. 소성 후 SGP-100 활성탄의 구성 성분은 C, O, Al, Si, Ca 및 Pd이며, Wt%는 각각 81.92%, 9.65%, 1.18%, 2.30%, 1.19%, 3.76%이다. 소성 후 SGT 활성탄의 구성 성분은 C, O, K 및 Pd이며, Wt%는 각각 88.67%, 8.90%, 0.53%, 1.89%이다. 소성 후 BPL 활성탄의 구성 성분은 C, O, Al, Si 및 Pd이며, Wt%는 각각 83.18%, 12.93%, 0.64%, 0.65%, 2.60%이다.

4.2 열중량 분석에 의한 CO₂의 흡착속도

각각의 활성탄에 따른 이산화탄소의 흡착량을 비교한 Uptake curves이며 소성온도 250℃에서 2시간 소성한 후 30℃ 및 70℃에서 흡착속도를 측정하였다.

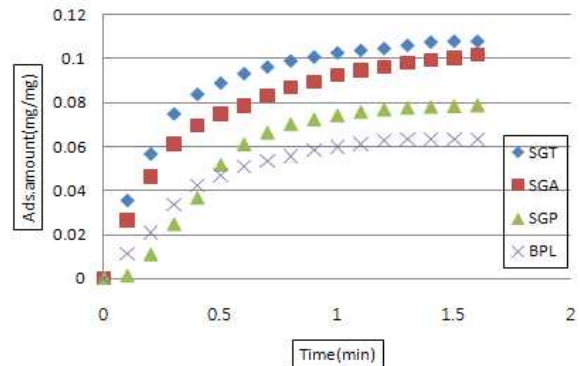


Figure 6. Uptake curves(at 30℃)

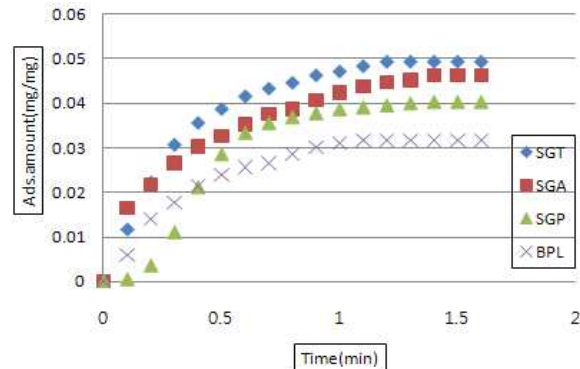


Figure 7. Uptake curves(at 70℃)

각각의 활성탄에 대한 이산화탄소의 흡착량을 비교하기 위하여 일정한 흡착량까지 도달하는 시간을 보면 30℃에서 흡착량이 0.06mg/mg이 되기까지 걸린 시간은 SGT 활성탄은 0.25분, SGA-100 활성탄은 0.3분, SGP-100 활성탄은 0.6분, BPL 활성탄은 1.0분이었다. 또한 70℃에서 흡착량이 0.03mg/mg이 되기까지 걸린 시간은 SGT 활성탄은 0.3분, SGA-100 활성탄은 0.4분, SGP-100 활성탄은 0.6분, BPL 활성탄은 0.9분이었다. 각각의 활성탄에 대한

흡착속도는 SGT가 가장 빨랐고, 그 다음으로는 SGA-100>SGP-100>BPL순이었다. 흡착 시작부터 0.4분까지 SGP-100 활성탄 보다 BPL 활성탄의 흡착속도가 더 빨랐지만 시간이 지날수록 SGP-100 활성탄의 흡착량이 증가하였고, 흡착속도 또한 증가하였다.

5. 결론

본 실험은 각각의 활성탄(SGT, SGA-100, SGP-100, BPL)에 CO₂ 및 N₂를 흡착시켜 흡착속도를 알아보았다. 흡착온도 30℃에서 각 활성탄의 흡착속도를 비교하기 위해 일정한 흡착량까지 도달하는 시간을 보면 흡착질이 이산화탄소의 경우 흡착량이 0.06mg/mg 활성탄이 되기까지 SGT 0.25분, SGA-100 활성탄은 0.3분, SGP-100 활성탄은 0.6분, BPL 활성탄은 1.0분으로 SGT 활성탄의 흡착속도가 가장 빠른 것으로 나타났다. 또 70℃에서 각 활성탄에 대해서 흡착속도를 비교하면, 0.03mg/mg 활성탄이 되기까지의 시간은 SGT 활성탄이 0.3분 SGA-100 활성탄이 0.4분, SGP-100 활성탄이 0.6분, BPL 활성탄은 0.9분으로 차이가 있었다.

이 결과 흡착온도가 낮을수록 흡착속도가 빠름을 알 수 있었으며, SGT 활성탄의 흡착능이 가장 좋은 것으로 나타났으며, 그 다음으로 SGA-100 활성탄, SGP-100 활성탄, BPL순으로 나타났다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 흡착온도가 낮을수록 흡착속도가 빠름을 알 수 있었으며, 흡착능이 좋음을 알 수 있었다.
- (2) SGT 활성탄의 흡착속도가 가장 빨랐으며, SGA-100 활성탄, SGP-100 활성탄, BPL순으로 나타났다.

참고문헌

[1] 유홍진, 김성은., : “ 활성탄 표면분석 및 CO₂와 N₂의 흡착속도에 관한 연구“. 순천향 산업기술연구소 2002

[2] 문기호, 나병기, 송형근, 서성섭, : “활성탄에 대한 CO₂-CO-H₂ 혼합기체의 흡착평형”, : KICHE,. Vol.33, No.5, pp621-632, 1995

[3] 김영주, : “고압에서의 H₂/CO 혼합물의 흡착평형에 관한 연구” 연세대학교 대학원 화학공학과, 1993

[4] 유경선, 신장원, 신성욱, 정중현, 송광섭, 서용석, 강순국, “열처리 활성탄의 메탄올 흡착특성 연구,” 화학공학회 Vol.41, No.4, pp. 491-496, 2003.

[5] 정병만, “수소혼합물의 흡착 평형과 흡착 동특성에 관한 연구,” 연세대학교 대학원, 2006.

[6] Ralph T. Yang, “흡착제 그 원리와 응용,” 지구문화

사, 2006.

[7] 김병호. “탄소계 흡착제와 제올라이트에서 흡착평형 특성 연구,” 경상대학교 일반대학원, 2006.

[8] Harry Marsh and Francisco Rodriguez-Reinoso, “Activated Carbon,” Elsevier, New York, 2006.