

## 저농도 CO<sub>2</sub> 포집을 위한 복합흡착제 제조

조영민\* · 김호경\* · 박영구†

\*경희대학교 환경·응용화학대학, 강원대학교 환경방재공학과†  
(2008년 3월 30일 접수 ; 2008년 4월 31일 채택)

### Preparation of composite adsorbent for low level CO<sub>2</sub>

Young-Min Jo\* · Ho-Kyoung Kim\* · Young-Koo Park†

\*Department of Environmental Science and Engineering, Kyunghee University,  
Yongin 446-701, Korea

†Department of Environmental Disaster Prevention Engineering, Kangwon National University,  
Samcheok 245-711, Korea

(Received March 30, 2008 ; Accepted April 31, 2008)

**Abstract :** Adsorption is one of the most efficient method for the separation of low level carbon dioxide. In order to enhance the adsorption capacity, a few additives such as alkali hydroxides were combined with the zeolitic sorbents. As a result of the experimental examination by applying the CO<sub>2</sub> flow of 3000 ppm, the composite sorbent showed the improved quality to a certain degree and the added binder was also found to contribute to better adsorption.

Keywords : indoor air quality, CO<sub>2</sub> adsorption, zeolitic sorbent, alkali hydroxide

### 1. 서 론

삶의 질 향상에 따른 주거환경 개선에 대한 요구가 증가하고 있는 가운데, 현대인은 80% 이상의 시간을 실내에서 지내고 있다. 2006년, 환경부는 다중이용시설에서의 공기질에 관한 가이드라인(실내공기질관리법 시행규칙, 환경부)을 발표하면서 다중이용 시설에 대한 실내 이산화탄소 농도의 관리 기준을 제시하였다. 이러한 법적 규제 및 시민들의 요구는 에너지 비용의 꾸준한 상승으로 인한 대형 건물의 밀폐성이 강화되고, 순환공기량의 증가로 인하여 지속적으로 확대될 것이다. 이에 따라 실내 공기

질을 안정화시키고, 개선시키기 위한 다양한 기술이나 방법이 모색되고 있다. 그 가운데 상온·상압에서도 효과적으로 이산화탄소를 선택적으로 흡착·분리할 수 있는 물질이 국내외에서 개발되기 시작하고 있다. 현재 개발되어 있는 건식 흡착 물질들은 효율과 선택성면에서 기초적인 상태이므로, 본 연구에서는 이산화탄소에 대한 상온·상압에서의 선택적 흡착 효율을 향상시킨 물질을 개발하여 기술적 우위를 점하고자 한다.

흡착법은 에너지 소비가 적고 흡착제를 회수하여 다시 사용할 수 있기 때문에 경제적인 이산화탄소 분리 기술로 평가되고 있다. 이러한 흡착공정 개발에 있어 흡착제는 공정성능을 좌우하는 중요한 요소로서, 우수한 성능을 가진

† 주저자 (e-mail : ygpark@kangwon.ac.kr)

흡착제의 개발 및 연구가 많이 보고되고 있다. 일반 실내공기중 이산화탄소 농도 조절을 위한 상온·상압에서 작용할 수 있는 흡착제에는 대표적으로 소석회(소석회)가 있으나 이는 화학적 흡착공정인 바, 재생이 불가능 하고 흡착효율의 변화가 심하여 자주 교체하여 주어야 하는 단점이 있고, 흡수용량이 소석회의 5배 이상 되는 수산화리튬은 가격이 매우 높아 사용되는 범위가 극히 제한적이라는 단점이 있다[1],[2],[3].

이에 이러한 단점들을 보완하고자 본 연구에서는 고체입상형태의 X-type 제올라이트를 담지체로 하여 소석회 및 수산화리튬의 혼합을 통해 이산화탄소의 흡착 효율을 개선하고자 하였다. 또한 산업현장에서 발생하는 이산화탄소보다 실내 생활공간에서 발생하는 이산화탄소는 상대적으로 저농도 이므로 단시간 집중 처리를 위해 물리적 및 화학적 흡착을 유도하였다. 육각기둥형태의 단위격자로 구성되어있는 X-type 제올라이트는 자체적으로 흡착능력을 가지고 있을 뿐 아니라 양이온의 이온교환 방법을 통한 흡착방법 등에 대한 많은 연구가 이루어지고 있는 물질로서 본 연구에서는 담지체로 사용되었다[4],[5].

시험용 이산화탄소 흡착제는 X-type 상용 제올라이트에 수산화물(소석회, 수산화리튬)을 담지하여 제조하였다. 입상 형성시 텍스트린과 벤토나이트를 바인더로 사용함으로써 분말의 성형성을 향상시켰다. 동시에 바인더는 열처리 과정에서 흡착제 입자 내부에 미세한 세공의 형성을 촉진한다. 특히 유기성 텍스트린(10.7 w/w%)은 열처리에 의한 공극률의 향상을 유도하였다. Fig. 1 과 같은 입상형태(평균직경: 5 mm, 밀도: 2.3 g/cm<sup>3</sup>)로 제조된 흡착제는 갑작스런 온도 변화에 의한 크랙(crack)의 생성을 방지하기 위해 상온에서 24시간 자연건조 시킨 후, 전기로에서 400~700℃의 온도로 열처리하였다.

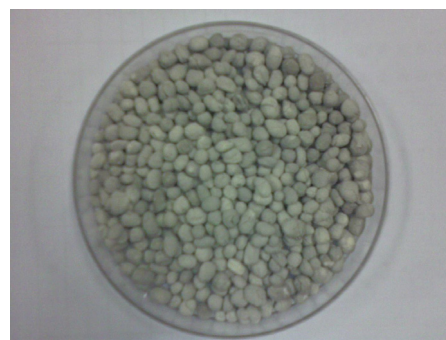


Fig. 1. Pellet type test sorbents prepared in this work.

## 2. 실험방법

### 2.1 흡착제 제조

Table 1. Recipe of sorbent combination.

Sample ID	Mixing ratio (w/w%)				Heat treatment temperature
	Zeolite	Ca(OH) <sub>2</sub>	Li(OH) <sub>2</sub>	Bentonite	
HK-1	47	35	-	18	400℃
HK-2	47	35	-	18	700℃
HK-3	82	-	18	-	400℃
HK-4	82	18	-	-	400℃
HK-5	50	40	10	-	400℃
HK-6	90	5	5	-	400℃
HK-7	65	35	-	-	400℃
HK-8	90	10	-	-	400℃
HK-9	65	-	35	-	400℃
HK-10	90	-	10	-	400℃
HK-11	60	35	-	5	400℃
HK-12	55	35	-	10	400℃
HK-13	47	35	-	18	500℃

## 2.2 실험장치 및 방법

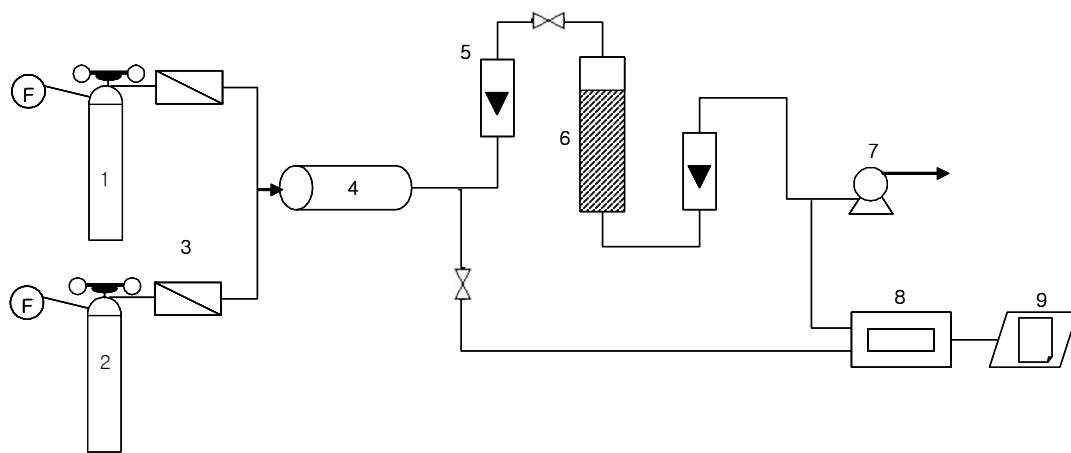
Fig. 2 는 본 연구에서 사용한 실험장치의 개략도이다. 실내환경의 이산화탄소 흡착제거 능력을 관찰하기 위하여 입상 형태의 흡착제를 직경 36 mm, 길이 190 mm 인 원통형반응기(6)에 45 cc 가량 충전 시켰다. 시험용 가스는 순수 CO<sub>2</sub> 가스(1)를 질소가스(2)로 정량 희석하여 농도를 조절하였고, 혼합된 가스를 Mass Flow Controller(MKP, TSC-110,120)(3)를 이용하여 2 l/min 의 유량으로 반응기에 지속적으로 공급하였다. 반응기 입·출구에서의 CO<sub>2</sub> 농도측정은 비분산적외선(NDIR)방식의 검출센서(Senseair, aSENSE<sup>TM</sup>-D)(8)를 이용하여 ppm 단위로 실시간 측정하였고, Data logger(Senseair, -LON)(9)를 on-line 설치하여 미세 단위로 저장하여 농도변화를 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 흡착제 시료의 기초 특성분석

Table 2 는 제조한 시료의 비표면적을 BET(Quantachrome, Autosorb-1C) 장비를 이용하여 측정한 결과이다. 고체 흡착제의 흡착성능에 영향을 미치는 가장 큰 요소는 입자의 비

표면적이다[6],[7]. 측정결과 순수 제올라이트가 가장 큰 비표면적 값을 보여주었으며, 흡착성능 개선을 위한 보조제가 첨가될수록 표면적은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 첨가물들이 제올라이트 공극이나 미세 유로를 차단하기 때문인 것으로 사료된다. 시료 HK-1과 HK-2를 보면 400℃에서 소성시킨 시료에 비하여 700℃에서 소성시킨 시료의 비표면적이 10배 이상 낮음을 알 수 있었다. 이는 Fig. 3 을 참고하면, 400℃에서 열처리한 시료(HK-1)와 700℃에서 열처리한 시료(HK-2)의 표면 구조의 차이를 통해 추측 할 수 있듯이 700℃로 열처리시 무기 분말 및 혼합된 흡착제 결정구조의 붕괴 및 미세 입자간의 용융현상으로 비표면적의 차이를 보이는 것으로 사료된다. 한편 소석회는 낮은 용해도로 1 L의 물에 0.82 g 정도만 용해되고, 수산화리튬은 용해도가 109 g/L 로 소석회 보다 훨씬 크다. 즉, 비표면적 측정결과에서 나타나듯이 용해도가 높은 수산화리튬이 첨가된 시료의 비표면적은 첨가되지 않은 시료들보다 상대적으로 비표면적이 낮은 것을 알 수 있다.(예, HK-7 : HK-9) 이는 용해된 수산화리튬이 제조된 흡착제 사이의 열린 공극을 폐쇄하고 있는 것으로 추정된다.

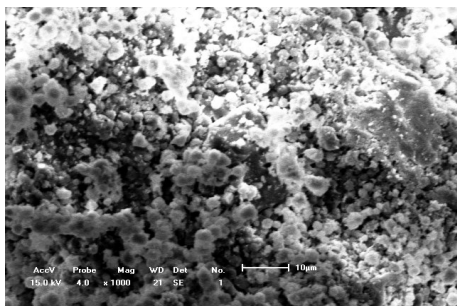


1. CO<sub>2</sub> gas cylinder 2. N<sub>2</sub> gas cylinder 3. MFC 4. Gas mixer 5. Flowmeter  
6. Acrylic-reactor 7. Air blower 8. CO<sub>2</sub> analyzer 9. Data logger

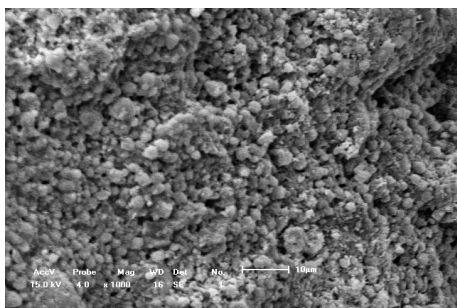
Fig. 2. Schematic of experimental set-up.

Table 2. BET specific surface area of adsorbent.

Sample ID	Specific surface area (m <sup>2</sup> /g)
X-type Zeolite	395.73
HK-1	203.61
HK-2	17.79
HK-3	37.46
HK-4	335.28
HK-5	15.95
HK-6	40.04
HK-7	41.18
HK-8	57.95
HK-9	14.99
HK-10	27.32
HK-11	35.04
HK-12	43.68
HK-13	67.38



(a) HK-1



(b) HK-2

Fig. 3. SEM images of sorbent samples(×1000).

Fig. 4 는 동일한 성분비의 시료에 대하여 각기 다른 열처리 온도에 따른 화학 결정상의 변화를 XRD(Rigaku Inst., JP/D/M AX-2500H)를 이용하여 분석한 결과이다. 열처리 온도 400℃(HK-1), 500℃(HK-13)의 결과는 Faujasite-Na 결정이 많이 존재하지만, 700℃(HK-2)에서는 급격히 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 이는 고온의 열처리에 의해 Faujasite-Na 결정이 소멸되어 비정질의 물질로 변화되는 것으로 사료된다. Faujasite-Na는 X-type zeolite의 대표적인 결정 구조로서 (Na<sub>2</sub>,Ca,Mg)<sub>3.5</sub>[Al<sub>7</sub>Si<sub>17</sub>O<sub>48</sub>]·32H<sub>2</sub>O의 구조식을 가지며, CO<sub>2</sub> 흡착에 우수한 성능을 나타내는 것으로 보고되고 있다[8]. 그러므로 Faujasite-Na의 함유량이 클수록 흡착효율이 향상될 것으로 기대된다.

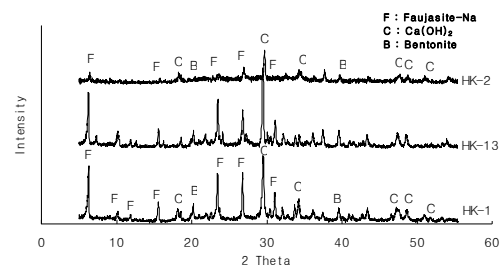


Fig. 4. XRD patterns of Ca(OH)<sub>2</sub> impregnated adsorbents with different heat treatment temperature.

### 3.2 열처리 온도에 따른 흡착효율 관찰

일반적으로 무기흡착제에 대한 열처리는 복합성분의 물성을 안정화시키고, 구형 입상형태의 강도를 유지하기 위하여 실시한다. 아울러 본 연구에서는 열처리 온도가 CO<sub>2</sub> 흡착효율에 미치는 영향을 확인하였다. 최적의 열처리 온도를 설정하기 위한 실험으로 동일한 혼합비를 가지고 있는 시료를 대상으로 온도를 각 400℃, 500℃, 700℃로 열처리시켜 관찰하였다. 그 결과 Fig. 5 에 나타내었듯이 400℃, 500℃로 열처리시켰을 경우 700℃ 열처리 시료보다 상대적으로 흡착효율이 우수함을 확인하였다. 이는 XRD 분석에서 고찰하였듯이 700℃에서 열처리한 시료가 400℃ 및 500℃에서 열처리시킨 시료에 비해 표면성질 및 시료를 구성하고 있는 물질의 변화가 있었기 때문이라 사료된다. 즉, 화학적 흡착을 유도하기 위한 첨가물이 고온의

열처리 과정을 거치면서 물성변화가 일어나 흡착능력 개선에 기여하지 못하고, 비표면적 감소가 물리적 흡착의 잠재적 가능성을 감소시키는 결과로 나타났다. 실제로 Fig. 4 를 참고하면 700°C로 열처리한 시료는 400°C에서 열처리시킨 시료와 비교 하였을 때, Ca(OH)<sub>2</sub>의 양이 상대적으로 감소하였음을 발견할 수 있다. 본 연구에서 사용한 Ca(OH)<sub>2</sub>의 열특성을 확인하기 위하여 TGA와 DTA를 실시한 결과, Fig. 6 에서 볼 수 있듯이 800°C까지 분당 2°C씩 상승시키며 시료의 중량변화를 관찰한 결과 380°C부근부터 급격한 질량손실이 있음을 알 수 있었다. 선행 연구 결과에서도 600°C 이하의 온도에서 CO<sub>2</sub> 존재시 CO<sub>2</sub>를 흡착하여 CaCO<sub>3</sub>가 생성되고, 700°C 이상에서는 온도상승으로 CaCO<sub>3</sub>가 열분해 되어 CO<sub>2</sub>가 탈착 되는 현상이 보고된 바 있다[9],[10],[11].

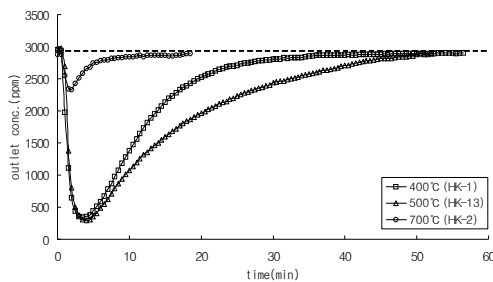


Fig. 5. Effect of heat treatment temperature on CO<sub>2</sub> adsorption.

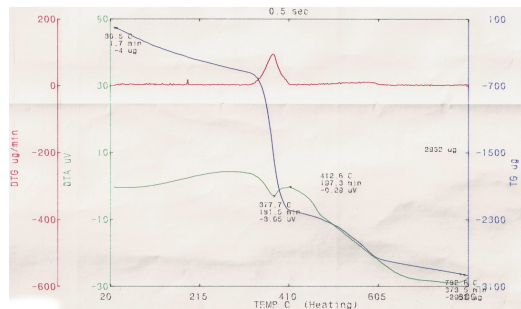


Fig. 6. TGA analysis of Ca(OH)<sub>2</sub>.

### 3.3 이산화탄소 흡착성능 고찰

연속식 흡착반응기에서 3000 ppm의 이산화탄소를 포함한 가스를 유입시키면서 각 조건별로 제조한 흡착제의 흡착성능을 확인하였다. 가

스 유입 초기에는 반응기로 부더의 유출농도가 급격히 감소하지만 흡착제 특성에 따라 서서히 증가하는 형태를 보인다. 실험은 실내공기중의 이산화탄소 기준 농도인 2000 ppm 까지 도달하는 시간을 관찰하였고, 실험 시간에 대한 각 흡착제의 흡착능을 평가하였다. 소석회 첨가된 시료 HK-4와 HK-7을 비교한 결과 소석회의 혼합량이 너무 많으면 오히려 흡착효율이 떨어지는 것을 확인하였고, 이를 검증하기 위해 HK-4 보다 적은 양의 소석회를 포함하고 있는 시료 HK-8을 제조하여 실험해본 결과 HK-7 시료보다 흡착효율이 우수하게 나타났다. 결국 흡착활성화를 촉진하기 위하여 첨가하는 수산화물은 적정량이 공급되었을때, 비표면적의 감소를 억제하고, 흡착효율을 일정 수준 이상으로 유지할 수 있음을 알 수 있다.

첨가제로서의 수산화리튬의 영향은 몇 가지 무게비율에 따라 준비한 시험용 시료 [HK-3(18%), HK-9(35%), HK-10(10%)]를 적용하여 관찰하였다. 상온에서의 흡착효율의 시험결과, 혼합비율이 82:18(HK-3) 일 때 효율이 가장 높고, 동시에 가장 오랜 시간동안 낮은 이산화탄소의 배출 농도를 유지하는 것으로 나타났다. 특히 수산화리튬을 적정량 이상으로 첨가하게 되면 수분의 생성이 지나치게 증가하고, 수분막이 모세관 현상에 의해 미세공을 폐쇄하는 경향이 있다[12]. 그러므로 수산화리튬을 적정비율로 유지하는 것이 수산화리튬을 첨가한 흡착제를 제조하는 과정에 있어서 중요한 사항이며, 아울러 생성되는 수분을 반응기에서 동시에 제거하는 방법도 연구해야할 필요성이 있다고 판단된다.

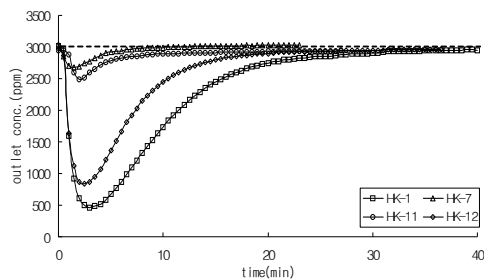
한편 제올라이트에 소석회와 수산화리튬을 동시에 담지(HK-5, HK-6)하여 CO<sub>2</sub> 가스의 흡착효율을 관찰하였다. 실험 결과로부터 담지체로 사용된 제올라이트의 양과 비례하여 소석회와 수산화리튬 분말이 많이 함유되어 있는 시료의 흡착효율이 더 좋은 것을 알 수 있었다.

무기 바인더로 첨가한 벤토나이트는 분말상 원료의 응집과 성형뿐만 아니라 흡착 성능에도 영향을 주는 것으로 나타났다. 벤토나이트의 첨가량에 따라 CO<sub>2</sub> 흡착효율에 차이가 발생하였다. Fig. 7 에서 볼 수 있듯이 동일한 조건에서 제조한 경우 벤토나이트를 전혀 포함하고 있지 않은 시료(HK-7)의 흡착효율이 가장 낮았고, 많이 포함하고 있는 순(HK-1 > HK-12 >

Table 3. Adsorption capacity of CO<sub>2</sub> for each sample.(C<sub>i</sub>: 3000 ppm)

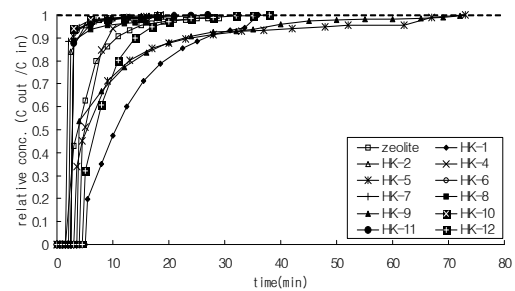
Inlet concentration	3000 ppm	
Sample ID	Minimum concentration (ppm)	Time crossover-2000ppm (min)
HK-1	382	17
HK-2	2332	-
HK-3	1114	30
HK-4	910	6
HK-5	1232	8
HK-6	2770	-
HK-7	2671	-
HK-8	2603	-
HK-9	1570	8
HK-10	2729	-
HK-11	2491	-
HK-12	838	8
HK-13	290	21

HK-11)으로 시료의 흡착효율이 증가하는 것을 알 수 있다. 황토성분으로 알려진 벤토나이트가 이산화탄소의 흡착반응에 일정부분 기여하고 있다고 추측할 수 있다. 앞서 관찰한 비표면적 차이에 의한 영향이라고 추정되지만 본 연구에서는 벤토나이트의 흡착영향에 관한 정확한 메카니즘은 규명하지 못하였다.

Fig. 7. Effect of bentonite on CO<sub>2</sub> adsorption.

본 연구에서 제조한 시료의 총괄적 평가를 위하여 CO<sub>2</sub> 흡착 파과곡선을 관찰하였다. Fig. 8에서 보듯이 제조한 시료 중 가장 흡착효율이

좋은 시료는 제올라이트에 소석회 35%, 벤토나이트 분말이 18%를 혼합한 HK-1이었다.

Fig. 8. Breakthrough curves of CO<sub>2</sub> adsorption with sorbent type.

각 시료의 기초 흡착량을 확인하기 위하여 Table 4 에 초기 30분 동안의 최대 CO<sub>2</sub> 흡착량을 계산하였다. 최초 30분 동안의 흡착량은 가장 오랜 시간동안 흡착능력이 유지되었던 시료 HK-3이 가장 높았으나, 흡착효율이 우수한 시료 HK-1 역시 초기 흡착능도가 월등한 것으로 나타났다.

Table 4. Adsorption capacity for initial 30 minutes.

Sample ID	Adsorption capacity for initial 30 mins (mmol CO <sub>2</sub> / g Adsorbent)
X-type zeolite	0.044
HK-1	0.099
HK-2	0.006
HK-3	0.108
HK-4	0.033
HK-5	0.056
HK-6	0.004
HK-7	0.006
HK-8	0.008
HK-9	0.056
HK-10	0.004
HK-11	0.007
HK-12	0.046
HK-13	0.097

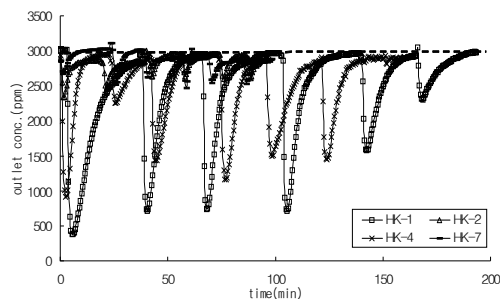


Fig. 9. Repeated regeneration of adsorbents.

Fig. 9 는 흡착제의 재생능력을 판단하기 위하여 CO<sub>2</sub> 흡착실험을 거친 흡착제를 100°C의 vacuum oven에서 1시간동안 가열한 후 반복하여 6회씩 재흡착 실험을 실시한 결과이다. HK-1과 HK-2는 재생이 반복될수록 흡착효율이 지속적으로 감소하는 반면, HK-4와 HK-7은 절대효율은 HK-1에 비해 상대적으로 낮지만 일정한 효율을 꾸준히 유지하는 것으로 나타났다. HK-4 와 HK-7 시료는 흡착제 성분

중 벤토나이트가 포함되지 않은 시료로서 제올라이트에 소석회만을 담지시킨 것이다. 한편, 이러한 결과는 흡착되는 가스의 절대량이 상대적으로 적기 때문에 가열재생의 효과가 우수하고, 일정량의 CO<sub>2</sub>를 반복해서 흡착할 수 있는 표면상태가 유지된다고도 볼 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 실내공기중의 이산화탄소를 제어하기 위한 기술로서 상용 제올라이트에 소석회 또는 수산화리튬을 혼합하여 흡착·포집 성능을 향상시키고자 하였다. 이러한 기능성 물질의 첨가로 인하여 물리적 흡착 외에 화학적 반응을 통한 흡착제거 성능을 관찰하였으며, 제올라이트 47%(w/w%), 소석회 35%(w/w%) 및 보조 바인더로 사용된 벤토나이트 18%(w/w%)가 혼합된 시료(HK-1)가 가장 좋은 효율을 보여주었다. 또한 벤토나이트가 포함되지 않은 시료보다 적정비율로 포함되어 있는 시료의 흡착 효율이 뛰어난 것을 확인하였다. 그리고 단시간에 최대의 흡착효율을 갖는 흡착제로 사용되기 위해서는 HK-1이 가장 적합하나, 장시간동안 사용하기 위한 흡착제는 산화리튬이 포함된 시료인 HK-3이 적합한 것으로 판단된다. 이러한 성분개량을 통하여 CO<sub>2</sub> 흡착 용량을 향상시킬 수 있으며, 보다 다양한 성분을 조합하여 실내 조건별 흡착반응기를 구성할 수 있을 것으로 믿는다.

#### 감사의 글

본 연구는 2007년도 강원대학교 기성회계 교수장기연수 지원에 의하여 수행되었으며, 저자(박영구)는 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. G. Montes-Hernandez, F. Renard, N. Geoffroy, L. Charlet, J. Pironon, Calcite precipitation from CO<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O - Ca(OH)<sub>2</sub> slurry under high pressure of CO<sub>2</sub>, *Journal of Crystal Growth*, **308**, 228

- (2007).
2. Ju Yeol LEE, Young Koo PARK, Joon Seok PARK, Seung Ho KIM, Jae Churl KO, Young Min JO, Ambient adsorption of CO<sub>2</sub> using inorganic sorbent, *Journal of Korean Oil Chemists' Society*, **24**, 92 (2007).
  3. Ik Sang SEUNG, Dong Wun KIM, Jae Chul SIM, Clinical Study of the Duration of CO<sub>2</sub> Absorption of ROK- and USA-produced Soda Lime and Their Re-use Time after Being Exhausted, *Korean Journal of Anesthesiology*, **40**, 455 (2001).
  4. Zhonglin Zhao, Xingyu Cui, Jinghong Ma, Ruifeng Li, Adsorption of carbon dioxide on alkali-modified zeolite 13X adsorbents, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, **1**, 355 (2007).
  5. Ralph T. Yang (Soon Haeng JO trans.), "Adsorbent - Fundamentals and Applications", p. 175, JIGU PUBLISHING Co. (2006).
  6. João Pires, Maria Bestilleiro, Moisés Pinto, Antonio Gil, Selective adsorption of carbon dioxide, methane and ethane by porous clays heterostructures, *Separation and Purification Technology*, **61**, 161 (2008).
  7. Won-Jin Son, Jung-Sik Choi, Wha-Seung Ahn, Adsorptive removal of carbon dioxide using polyethyleneimine-loaded mesoporous silica materials, *Microporous and Mesoporous Materials*, article in press, (2008)
  8. Churl Hee CHO, Jeong Gu YEO, Young Soo AHN, Moom Hee HAN, Yong Ha KIM, Sang Hoon HYUN, Secondary Growth of Sodium Type Faujasite Zeolite Layers on a Porous  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Tube and the CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Separation, *Membrane Journal*, **17**, 254 (2007).
  9. Seol Woo SIN, Jin Myung SIN, Jand Jin PARK, Ho Hee LEE, Thermal Analysis of Calcium Oxide and Carbon Dioxide by using TGA instrument, *Journal of Korea Society of Waste Management - Spring Research Council*, 298 (2006).
  10. Gil Soo KIM, Il Hyun BAEK, Bu Ung KIM, Tae Jong LEE, CaO Manufacture for CO<sub>2</sub> Adsorption at a High Temperature, *Journal of the Korean Institute of Gas*, **5**, 27 (2001).
  11. H. Keith, S.C. Wong, Measurement of soil CO<sub>2</sub> efflux using soda lime absorption: both quantitative and reliable, *Soil Biology & Biochemistry*, **38**, 1121 (2006).
  12. Jae Uk HAN, Dae Jung KIM, Min KANG, Jin Won KIM, Ji Man KIM, Jae Eui YIE, Study of CO<sub>2</sub> Adsorption Characteristics on Acid Treated and LiOH Impregnated Activated Carbons, *Journal of the Korean Industrial and Engineering Chemistry*, **16**, 312 (2005).