



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0142676  
(43) 공개일자 2017년12월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B01J 20/18 (2006.01) B01D 53/02 (2006.01)  
B01J 20/28 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
B01J 20/186 (2013.01)  
B01D 53/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0076539

(22) 출원일자 2016년06월20일

심사청구일자 2016년06월20일

(71) 출원인

울산대학교 산학협력단

울산광역시 남구 대학로 93(무거동)

(72) 발명자

이병규

울산광역시 남구 문수로335번길 27, 102동 1604호  
(옥동, 롯데인벤스로얄아파트)

팜티호영

울산광역시 남구 대학로 93 (무거동)

(74) 대리인

특허법인다나

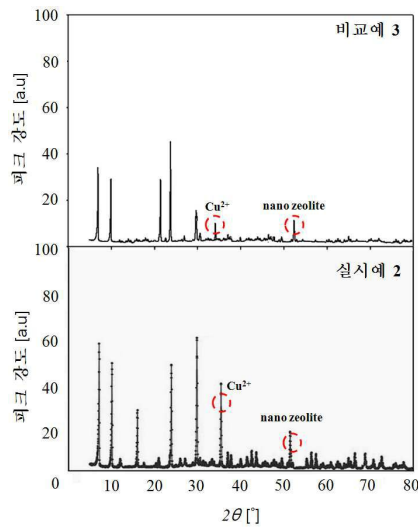
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 이산화탄소 흡착제 및 이를 이용한 이산화탄소의 제거방법

**(57) 요약**

본 발명은 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 담지된 나노 제올라이트를 포함하는 이산화탄소 흡착제 및 이를 이용한 이산화탄소의 제거방법에 관한 것이다. 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제는 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 특정 함량으로 담지된 나노 제올라이트를 포함하여 평균 BET 비표면적이 이산화탄소를 흡착하기에 최적화됨으로써 이산화탄소에 대한 흡착능이 우수할 뿐만 아니라 100°C 이하의 비교적 낮은 온도에서 이산화탄소를 높은 선택성으로 흡착할 수 있으므로 이산화탄소의 분리 및/또는 제거가 요구되는 다양한 분야에서 유용하게 사용될 수 있다.

**대표도 - 도1**



(52) CPC특허분류

*B01J 20/0237* (2013.01)

*B01J 20/28007* (2013.01)

*B01J 20/28064* (2013.01)

*B01D 2253/108* (2013.01)

*B01D 2257/504* (2013.01)

*Y02C 10/08* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 담지된 나노 제올라이트를 포함하는 이산화탄소 흡착제.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

구리 이온의 함량은 0.1 중량% 내지 5 중량%인 것을 특징으로 하는 이산화탄소 흡착제.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

흡착제는 하기 식 1을 만족하는 이산화탄소 흡착제:

[식 1]

$$P_{\text{Cu}} / P_{\text{Al}} \geq 1$$

식 1에서,

$P_{\text{Cu}}$ 는 X선 회절 분석 시  $2\theta$ 로 나타내는  $35.5 \pm 1^\circ$  범위에 존재하는 피크 중 세기가 가장 강한 피크의 강도를 나타내고,

$P_{\text{Al}}$ 은 X선 회절 분석 시  $2\theta$ 로 나타내는  $52 \pm 1^\circ$  범위에 존재하는 피크 중 세기가 가장 강한 피크의 강도를 나타낸다.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

흡착제의 평균 입도는 10nm 내지 200nm인 이산화탄소 흡착제.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

흡착제의 평균 BET 비표면적은  $700 \text{ m}^2/\text{g}$  내지  $1,000 \text{ m}^2/\text{g}$ 인 이산화탄소 흡착제.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

나노 제올라이트는 3가 철 이온( $\text{Fe}^{3+}$ )이 더 담지된 것을 특징으로 하는 이산화탄소 흡착제.

**청구항 7**

제1항에 있어서,

흡착제의 이산화탄소 흡착용량은 25±1℃에서 2 mmol/g 내지 7 mmol/g인 것을 특징으로 하는 이산화탄소 흡착제.

**청구항 8**

제1항에 있어서,

흡착제의 흡착열은 50 KJ/CO<sub>2</sub> mol 내지 60 KJ/CO<sub>2</sub> mol인 것을 특징으로 하는 이산화탄소 흡착제.

**청구항 9**

제1항에 있어서,

흡착제의 이산화탄소에 대한 선택성 평가 시 하기 식 2를 만족하는 이산화탄소 흡착제:

[식 2]

$$20 \leq (X_{CO_2}/X_{N_2})/(Y_{CO_2}/Y_{N_2}) \leq 50$$

식 2에서,

X<sub>CO<sub>2</sub></sub>는 흡착제에 흡착된 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 몰분율을 나타내고,

X<sub>N<sub>2</sub></sub>는 흡착제에 흡착된 질소(N<sub>2</sub>)의 몰분율을 나타내며,

Y<sub>CO<sub>2</sub></sub>는 반응기에 주입된 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 몰분율을 나타내고,

Y<sub>N<sub>2</sub></sub>는 반응기에 주입된 질소(N<sub>2</sub>)의 몰분율을 나타낸다.

**청구항 10**

2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)이 담지된 나노 제올라이트를 포함하는 이산화탄소 흡착제에 흡착시켜 이산화탄소를 제거하는 단계를 포함하는 이산화탄소의 제거방법.

**청구항 11**

제10항에 있어서,

흡착 온도는 0 내지 100℃인 것을 특징으로 하는 이산화탄소의 제거방법.

**청구항 12**

제10항에 있어서,

흡착 압력이 1±0.5 atm인 것을 특징으로 하는 이산화탄소의 제거방법.

**청구항 13**

제10항에 있어서,

이산화탄소 흡착제의 사용량은 0.1 g 내지 2 g인 것을 특징으로 하는 이산화탄소의 제거방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 2가 구리 이온( $Cu^{2+}$ )이 특정 함량으로 담지된 나노 제올라이트를 포함하는 이산화탄소 흡착제 및 이를 이용한 이산화탄소의 제거방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0003] 대기 중 온실가스의 농도가 급증하면서 지구 표면 온도가 빠른 속도로 높아지고 있으며, 이에 따라 지구의 평균 표면 온도가 지난 100년간 0.74℃ 상승한 것으로 나타났다. 이러한 온도 변화는 해수면 상승과 이상기후 현상 등을 일으키고 있을 뿐만 아니라 생태계의 파괴를 초래하고 있어 그 문제가 심각한 실정이다. 온실가스에는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소화불화탄소류, 과불화탄소류, 오존, 수증기 등이 있다. 이 중 다른 산업 가스는 산업시설에서 배출 정도를 통제할 수 있으며, 포집 후 다른 물질로 전환 분해시킬 수 있으나 이산화탄소는 화학적으로 안정한 물질이므로 다른 물질로 전환하기 위해서는 보다 많은 에너지가 요구되며, 그 과정에서 보다 많은 이산화탄소가 배출되는 현상이 발생된다. 또한, 전체 온실가스 배출량 중 이산화탄소는 약 80%를 차지하고 있어 온실가스를 줄이는 것은 곧 이산화탄소의 발생량을 낮추는 것이라고 해도 과언이 아니다.

[0004] 이산화탄소는 주로 석유, 석탄과 같은 화석연료의 연소에 의해 배출되고 있는 가운데, 화석연료의 연소로 인한 이산화탄소 배출을 억제하고자 하는 노력과 함께 배출된 이산화탄소를 대기로부터 포집하기 위한 기술들이 연구되고 있다. 하나의 예로서, 특허문헌 1은 공기로부터 이산화탄소를 물리적으로 또는 화학적으로 포획하고 제거하는 포획용제를 사용하여 주변 공기로부터 이산화탄소를 효과적으로 추출하기 위한 방법을 개시하고 있다. 또한, 특허문헌 2는 수산화나트륨이나 수산화칼륨과 같은 강 알칼리성 수산화 용제, 또는 나트륨 또는 칼륨 탄산염수와 같은 탄산염 용제를 포함하는 이산화탄소 흡착제를 개시하고 있다.

[0005] 그러나, 현재까지 개발된 기술들은 이산화탄소 분리 및/또는 흡착 효율이 낮고, 일반 대기과 같이 이산화탄소 외에 질소( $N_2$ ), 산소( $O_2$ ) 등의 가스가 높은 농도로 존재할 경우 이산화탄소만을 선택적으로 제거하기 어려운 한계가 있다.

[0006] 따라서, 이산화탄소의 분리 및/또는 흡착 과정에서 이산화탄소가 배출되지 않고, 이산화탄소에 대한 흡착능이 뛰어난 뿐만 아니라 질소( $N_2$ ) 등의 가스가 공존하는 혼합가스로부터 이산화탄소( $CO_2$ )만을 선택적으로 분리 및/또는 흡착시킬 수 있는 기술의 개발이 절실히 요구되고 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0008] (특허문헌 0001) 국제공개공보 제2006-036396호  
 (특허문헌 0002) 국제공개공보 제2007-016271호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0009] 본 발명의 목적은 이산화탄소의 분리 및/또는 흡착 과정에서 이산화탄소가 배출되지 않고, 이산화탄소( $CO_2$ )를 흡착시키는 효율이 뛰어난 뿐만 아니라 100℃ 이하의 비교적 낮은 온도에서 이산화탄소( $CO_2$ )에 대한 높은 선택성을

갖는 이산화탄소 흡착제를 제공하는데 있다.

[0010] 본 발명의 다른 목적은 상기 흡착제를 이용한 이산화탄소의 제거방법을 제공하는데 있다.

### 과제의 해결 수단

[0012] 이에, 본 발명은 일실시예에서, 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 담지된 나노 제올라이트를 포함하는 이산화탄소 흡착제를 제공한다.

[0014] 또한, 본 발명은 일실시예에서, 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 담지된 나노 제올라이트를 포함하는 상기 이산화탄소 흡착제에 흡착시켜 이산화탄소를 제거하는 단계를 포함하는 이산화탄소의 제거방법을 제공한다.

### 발명의 효과

[0016] 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제는 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 특정 함량으로 담지된 나노 제올라이트를 포함하여 평균 BET 비표면적이 이산화탄소를 흡착하기에 최적화됨으로써 이산화탄소에 대한 흡착능이 우수할 뿐만 아니라 100°C 이하의 비교적 낮은 온도에서 이산화탄소를 높은 선택성으로 흡착할 수 있으므로 이산화탄소의 분리 및/또는 제거가 요구되는 다양한 분야에서 유용하게 사용될 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제의 X선 회절 분석 결과를 도시한 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 본 발명은 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 담지된 나노 제올라이트를 포함하는 이산화탄소 흡착제 및 이를 이용한 이산화탄소의 제거방법에 관한 것이다.

[0020] 대기 중 온실가스의 농도가 급증하면서 지구 표면 온도가 빠른 속도로 높아지고 있다. 이러한 온도 변화는 해수면 상승과 이상기후 현상 등을 일으키고 있을 뿐만 아니라 생태계의 파괴를 초래하고 있어 그 문제가 심각한 실정이다. 온실가스에는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소화불화탄소류, 과불화탄소류, 오존, 수증기 등이 있다. 이 중 가장 높은 비중을 차지하는 이산화탄소는 주로 석유, 석탄과 같은 화석연료의 연소에 의해 배출되고 있는 가운데, 화석연료의 연소로 인한 이산화탄소 배출을 억제하고자 하는 노력과 함께 배출된 이산화탄소를 대기로부터 포집하기 위한 기술들이 연구되고 있다. 그러나, 현재까지 개발된 기술들은 이산화탄소의 분리 및/또는 흡착 과정에서 높은 에너지가 요구되므로 이산화탄소의 배출이 발생되고 이산화탄소 분리 및/또는 흡착 효율이 낮을 뿐만 아니라 일반 대기와 같이 이산화탄소 외에 질소( $\text{N}_2$ ), 산소( $\text{O}_2$ ) 등의 가스가 높은 농도로 존재할 경우 이산화탄소만을 선택적으로 제거하기 어려운 한계가 있다.

[0021] 이에, 본 발명은 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 담지된 나노 제올라이트를 포함하는 이산화탄소 흡착제 및 이를 이용한 이산화탄소의 제거방법을 제공한다.

[0022] 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제는 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 특정 함량으로 담지된 나노 제올라이트를 포함하여 평균 BET 비표면적이 이산화탄소를 흡착하기에 최적화됨으로써 이산화탄소에 대한 흡착능이 우수할 뿐만 아니라 100°C 이하의 비교적 낮은 온도에서 이산화탄소를 높은 선택성으로 흡착할 수 있으므로 이산화탄소의 분리 및/또는 제거가 요구되는 다양한 분야에서 유용하게 사용될 수 있다.

- [0024] 이하, 본 발명을 보다 상세히 설명한다.
- [0026] 본 발명은 일실시예에서, 이산화탄소를 제거하기 위한 이산화탄소 흡착제를 제공한다.
- [0027] 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제는 2가의 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 담지된 나노 제올라이트를 포함하고, 상기 나노 제올라이트는 규소 산화물( $\text{SiO}_2$ )과 알루미늄 산화물( $\text{AlO}_3$ )이 3차원적으로 산소(O) 원자를 공유하면서 네트워크를 형성하는 구조를 갖는다. 이때 상기 나노 제올라이트는 내·외부에 수 나노미터(nm) 수준의 채널과 기공을 포함하고, 입자 표면과 내·외부에 형성된 기공 및 채널의 표면에는 2가의 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 담지된 형태를 갖는다. 여기서 "담지"란 나노 제올라이트에 포함된 나트륨 이온( $\text{Na}^+$ )이 2가 구리 이온으로 치환된 후, 치환된 구리 이온이 나노 제올라이트의 산소 음이온 및/또는 수산화기( $\text{OH}^-$ )와 결합하여 나노 제올라이트 표면에서 양전하를 나타내는 것을 의미한다. 이와 같이 제올라이트의 표면에서 양전하를 나타내는 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )은 위치적으로 이산화탄소와 복합화가 용이하다. 또한, 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 담지된 나노 제올라이트는 각각 약  $182.25 \pm 0.05$  nm 및  $2.33 \pm 0.05$  Fm<sup>2</sup>의 높은 이온강도(ionic strength)와 전자분극(electronic polarizability)을 나타내므로 다른 전이금속 이온이 담지된 나노 제올라이트와 대비하여 이산화탄소에 대한 흡착 성능이 우수한 이점이 있다.
- [0028] 또한, 상기 나노 제올라이트는 나노 크기의 입자 형태를 갖고, 상기 입자의 평균 입도는 나노 제올라이트를 포함하는 이산화탄소 흡착제와 동일할 수 있다. 상기 이산화탄소 흡착제는 500nm 이하, 400nm 이하, 300nm 이하, 200nm 이하의 평균 입도를 가질 수 있고, 보다 구체적으로는 10 내지 200 nm, 20 내지 150 nm, 50 내지 150 nm, 50 내지 100 nm, 90 내지 150 nm, 120 내지 150 nm, 90 내지 110 nm, 80 내지 120 nm, 80 내지 110 nm 또는 90 내지 100 nm의 평균 입도를 가질 수 있다. 또한, 평균 입도분포는 평균 입도가 80 내지 110 nm인 이산화탄소 흡착제가 전체 이산화탄소 흡착제의 약 80%이고, 평균 입도가 90 내지 100 nm인 이산화탄소 흡착제가 전체 이산화탄소 흡착제의 약 90%일 수 있다. 본 발명은 이산화탄소 흡착제의 평균 입도를 상기 범위로 조절함으로써 낮은 입도로 인한 결정성 저하를 방지하면서 평균 BET 표면적을 극대화할 수 있다.
- [0029] 아울러, 상기 나노 제올라이트에 담지된 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )의 함량은 대기 중에 존재하는 이산화탄소를 흡착시키는 효율을 감안하여 0.1 중량% 내지 5 중량%로 조절될 수 있으며, 구체적으로는 0.1 중량% 내지 4 중량%; 0.2 중량% 내지 1.0 중량%; 0.4 중량% 내지 0.6 중량%; 1.0 중량% 내지 1.5 중량%; 1.1 중량% 내지 1.3 중량%; 1.5 중량% 내지 2.5 중량%; 1.9 중량% 내지 2.1 중량%; 0.4 중량% 내지 1.3 중량%; 1.0 중량% 내지 2.2 중량%; 0.2 중량% 내지 2.5 중량%; 또는 0.4 중량% 내지 2.2 중량%로 조절될 수 있다.
- [0030] 이와 더불어, 상기 이산화탄소 흡착제는 상기 함량 범위의 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 담지된 나노 제올라이트를 포함하여 X선 회절 분석 시 하기 식 1을 만족할 수 있다:
- [0031] [식 1]
- [0032] 
$$P_{\text{Cu}} / P_{\text{Al}} \geq 1$$
- [0033] 식 1에서,
- [0034]  $P_{\text{Cu}}$ 는 X선 회절 분석 시  $2\theta$ 로 나타내는  $35.5 \pm 1^\circ$  범위에 존재하는 피크 중 세기가 가장 강한 피크의 강도를 나타내고,
- [0035]  $P_{\text{Al}}$ 은 X선 회절 분석 시  $2\theta$ 로 나타내는  $52 \pm 1^\circ$  범위에 존재하는 피크 중 세기가 가장 강한 피크의 강도를 나타낸다.
- [0036] 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제는 X선 회절 분석 시 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 담지된 나노 제올라이트를 포함하여  $2\theta$ 로 나타내는  $7 \pm 0.5^\circ$ ,  $9 \pm 0.5^\circ$ ,  $24 \pm 1^\circ$ ,  $29 \pm 1^\circ$  및  $52 \pm 1^\circ$  범위에서 나노 제올라이트를 나타내는 피크가 확인될 수 있고, 동시에  $2\theta$ 로 나타내는  $35.5 \pm 1^\circ$  범위에서 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )을 나타내는 피크가 확인될 수 있다. 여기서, 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )을 나타내는  $2\theta = 35.5 \pm 1^\circ$  범위의 피크와 나노 제올라이트를 나타내는  $2\theta = 52 \pm 0.5^\circ$  범위의 피크의 강도 비율은 나노 제올라이트에 담지된 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )의 함량에 따라 달라질

수 있다. 구체적으로, 본 발명의 이산화탄소 흡착제와 같이 나노 제올라이트에 담지된 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )의 함량이 0.1 중량% 내지 5 중량%인 경우  $2\theta=35.5\pm 1^\circ$  범위의 피크와  $2\theta=52\pm 1^\circ$  범위의 피크의 강도 비율은 1 이상일 수 있고, 구체적으로는 1.1 이상, 1.5 이상 또는 2.0 이상일 수 있다.

[0037] 본 발명은 나노 제올라이트에 담지된 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )의 함량을 상기 범위로 조절함으로써 나노 제올라이트의 평균 BET 비표면적을 최적화하여 이를 포함하는 흡착제의 이산화탄소에 대한 흡착율과 선택성을 향상시킬 수 있다. 여기서, 상기 나노 제올라이트의 평균 BET 비표면적은 이산화탄소 흡착제의 평균 BET 비표면적과 동일할 수 있다.

[0038] 하나의 예로서, 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제의 평균 BET 비표면적은  $700\text{m}^2/\text{g}$  이상일 수 있으며, 구체적으로는  $800\text{m}^2/\text{g}$  이상, 보다 구체적으로는 700 내지  $1000\text{m}^2/\text{g}$ , 800 내지  $1000\text{m}^2/\text{g}$ , 850 내지  $1000\text{m}^2/\text{g}$ , 850 내지  $980\text{m}^2/\text{g}$ , 860 내지  $900\text{m}^2/\text{g}$ , 865 내지  $885\text{m}^2/\text{g}$ , 900 내지  $940\text{m}^2/\text{g}$ , 950 내지  $990\text{m}^2/\text{g}$ , 865 내지  $920\text{m}^2/\text{g}$ , 910 내지  $980\text{m}^2/\text{g}$ , 또는 865 내지  $980\text{m}^2/\text{g}$ 일 수 있다.

[0039] 다른 하나의 예로서, 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제는 평균 BET 비표면적이 상기 범위로 최적화되어 이산화탄소 흡착 용량이  $25\pm 1^\circ\text{C}$ 에서  $2\text{mmol}/\text{g}$  내지  $7\text{mmol}/\text{g}$ 일 수 있으며, 이때 이산화탄소 흡착제의 흡착열은  $50\text{KJ}/\text{CO}_2\text{mol}$  내지  $60\text{KJ}/\text{CO}_2\text{mol}$ 일 수 있다. 보다 구체적으로, 이산화탄소 흡착제의 이산화탄소 흡착 용량은  $25\pm 1^\circ\text{C}$ 에서  $4\text{mmol}/\text{g}$  내지  $6\text{mmol}/\text{g}$ ;  $2\text{mmol}/\text{g}$  내지  $5\text{mmol}/\text{g}$ ;  $3\text{mmol}/\text{g}$  내지  $7\text{mmol}/\text{g}$ ;  $4\text{mmol}/\text{g}$  내지  $7\text{mmol}/\text{g}$ ;  $5\text{mmol}/\text{g}$  내지  $7\text{mmol}/\text{g}$ ;  $6\text{mmol}/\text{g}$  내지  $7\text{mmol}/\text{g}$ ;  $5.0\text{mmol}/\text{g}$  내지  $5.2\text{mmol}/\text{g}$ ;  $5.7\text{mmol}/\text{g}$  내지  $6.0\text{mmol}/\text{g}$ ;  $6.5\text{mmol}/\text{g}$  내지  $6.7\text{mmol}/\text{g}$  또는  $5.1\text{mmol}/\text{g}$  내지  $6.6\text{mmol}/\text{g}$ 일 수 있고, 이때 이산화탄소 흡착제의 흡착열은  $50\text{KJ}/\text{CO}_2\text{mol}$  내지  $55\text{KJ}/\text{CO}_2\text{mol}$ ;  $53\text{KJ}/\text{CO}_2\text{mol}$  내지  $58\text{KJ}/\text{CO}_2\text{mol}$ ;  $55\text{KJ}/\text{CO}_2\text{mol}$  내지  $60\text{KJ}/\text{CO}_2\text{mol}$ ; 또는  $53\text{KJ}/\text{CO}_2\text{mol}$  내지  $55\text{KJ}/\text{CO}_2\text{mol}$ 일 수 있다. 여기서, "흡착열"이란 이산화탄소 흡착제와 이산화탄소가 반응할 때 요구되는 반응 에너지의 크기를 말하며, 상기 에너지의 크기가 클 경우 흡착제에 흡착된 이산화탄소의 탈착이 어렵고 그 크기가 작을 경우에는 이산화탄소에 대한 선택성이 낮고 이산화탄소의 흡착 시 많은 양의 흡착제가 요구될 수 있다. 그러나, 본 발명은 이산화탄소 흡착제의 흡착열을 상기 범위로 조절함으로써 흡착제의 소량 사용이 가능하고, 이산화탄소에 대한 선택성이 높을 뿐만 아니라 이산화탄소를 흡착한 후에도 흡착제를 재생하여 재사용할 수 있는 이점이 있다.

[0040] 또 다른 하나의 예로서, 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제는 이산화탄소에 대한 선택성이 우수하여 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )와 질소( $\text{N}_2$ )를 포함하는 혼합가스를 이용한 이산화탄소에 대한 선택성을 평가할 경우 하기 식 2를 만족할 수 있다:

[0041] [식 2]

[0042] 
$$20 \leq (X_{\text{CO}_2}/X_{\text{N}_2})/(Y_{\text{CO}_2}/Y_{\text{N}_2}) \leq 50$$

[0043] 식 2에서,

[0044]  $X_{\text{CO}_2}$ 는 흡착제에 흡착된 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )의 몰분율을 나타내고,

[0045]  $X_{\text{N}_2}$ 는 흡착제에 흡착된 질소( $\text{N}_2$ )의 몰분율을 나타내며,

[0046]  $Y_{\text{CO}_2}$ 는 반응기에 주입된 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )의 몰분율을 나타내고,

[0047]  $Y_{\text{N}_2}$ 는 반응기에 주입된 질소( $\text{N}_2$ )의 몰분율을 나타낸다.

[0048] 상기 이산화탄소 흡착제는 혼합 가스에 질소( $\text{N}_2$ )와 함께 혼합된 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )를 선택적으로 흡착할 수 있으므로 이산화탄소( $\text{CO}_2$ ) 흡착 전후의 이산화탄소( $\text{CO}_2$ ) 및 질소( $\text{N}_2$ )의 몰분율 비율을 나타내는 식 2를 만족할 수 있다.

[0049] 이때, 상기 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )와 질소( $\text{N}_2$ )의 몰분율 비율은 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )에 대한 선택성 평가 시 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )와 질소( $\text{N}_2$ )가 반응기에 주입되는 각 가스의 분압과 흡착 온도에 영향을 받을 수 있다. 구체적으로, 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )와 질소( $\text{N}_2$ )의 분압이 각각  $0.5\text{atm}$ 인 경우, 흡착 전·후의 이산화탄소( $\text{CO}_2$ ) 및 질소( $\text{N}_2$ )의 몰분율 비율은 40 내지 50일 수 있고, 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )와 질소( $\text{N}_2$ )의 분압이 각각  $1\text{atm}$ 인 경우, 상기 몰분율 비율은 25



내지 30일 수 있다. 또한, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 흡착 시 온도가 20±2℃ 또는 40±2℃인 경우, 흡착 전·후의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 및 질소(N<sub>2</sub>)의 물분율 비율은 25 내지 45일 수 있다.

[0050] 하나의 예로서, 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 흡착 시 온도가 20±2℃이고, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 질소(N<sub>2</sub>)가 반응기에 주입되는 각 가스의 분압이 각각 0.5 atm인 경우 흡착 전·후의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 및 질소(N<sub>2</sub>)의 물분율 비율이 42 내지 45일 수 있다.

[0051] 한편, 상기 이산화탄소 흡착제에 포함된 나노 제올라이트는 2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)과 함께 3가 철 이온(Fe<sup>3+</sup>)이 더 담지된 형태를 가질 수 있다. 일반적으로 전이금속은 원자가 전자를 4s 오비탈과 3d 오비탈에 순차적으로 채워 지는데, 0가 전이금속의 전자배치에 있어서 홀전자를 포함하는 오비탈의 수가 많을수록 보다 많은 이산화탄소와 복합화(complexation)될 수 있다. 예를 들면, 철(Fe)의 경우, 철(Fe)은 3d<sup>6</sup>4s<sup>2</sup>의 전자배치를 가져 홀전자를 포함하는 오비탈의 수가 4이므로 홀전자를 포함하는 오비탈의 수가 1 내지 3인 다른 전이금속과 대비하여 이산화탄소에 대한 흡착 성능이 우수하다. 아울러, 상기 철(Fe) 이온은 전하량이 클수록 이산화탄소에 대한 흡착력이 크므로 산화수가 3가인 철 이온(Fe<sup>3+</sup>)인 것이 바람직하다.

[0053] 또한, 본 발명은 일실시예에서, 2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)이 담지된 나노 제올라이트를 포함하는 이산화탄소 흡착제에 흡착시켜 이산화탄소를 제거하는 단계를 포함하는 이산화탄소의 제거방법을 제공한다.

[0054] 본 발명에 따른 이산화탄소 제거방법은 반응기에 2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)이 담지된 나노 제올라이트를 포함하는 이산화탄소 흡착제를 도입하고 이산화탄소 흡착제가 도입된 반응기에 이산화탄소를 함유하는 가스를 주입하여 상기 흡착제에 이산화탄소를 흡착시킴으로써 가스 내의 이산화탄소를 제거할 수 있다. 본 발명은 앞서 설명한 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제를 이용함으로써 100℃ 이하의 비교적 낮은 온도에서 이산화탄소를 높은 선택성으로 제거할 수 있을 뿐만 아니라 이산화탄소에 대한 흡착 효율이 우수한 이점이 있다.

[0055] 이때, 이산화탄소 흡착 시 흡착 온도는 특별히 제한되는 것은 아니나, 이산화탄소의 흡착물을 고려하여 0℃ 내지 100℃일 수 있으며, 바람직하게는 5℃ 내지 80℃; 5℃ 내지 70℃; 10℃ 내지 60℃; 10℃ 내지 50℃; 또는 15℃ 내지 45℃일 수 있다.

[0056] 또한, 이산화탄소를 함유하는 가스를 반응기에 주입할 때 반응기 내부에서 발생하는 이산화탄소의 흡착 압력은 1±0.5 atm일 수 있으며, 보다 구체적으로는 0.7 내지 1.3 atm 또는 0.9 내지 1.1 atm일 수 있다.

[0057] 나아가, 이산화탄소 흡착제의 사용량은 25±1℃, 총 압력 1 atm 조건에서 이산화탄소를 0.5±0.1 L/min의 속도로 30±1분간 반응기(360π cm<sup>3</sup>)에 공급할 경우 0.1 내지 2 g일 수 있으며, 바람직하게는 상기 흡착제의 이산화탄소 흡착 용량을 감안하여 0.2 내지 1.8 g, 0.7 내지 1.8 g, 0.9 내지 1.8 g 0.3 내지 1.5 g, 0.5 내지 1.5 g, 0.8 내지 1.5 g, 또는 0.7 내지 1.2 g으로 사용할 수 있다.

[0059] 이하, 본 발명을 실시예 및 실험예에 의해 보다 상세히 설명한다.

[0060] 단, 하기 실시예 및 실험예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기 실시예 및 실험예에 한정되는 것은 아니다.

[0062] **실시예 1 내지 3.**

[0063] NaOH(0.7 g)과 소듐 알루미늄네이트(NaAlO<sub>2</sub>, 0.294 g)를 증류수(120 mL)에 용해시킨 혼합용액을 200℃에서 5시간 동안 숙성시킨 후, 실리카졸(13.2 g)을 적가하고 상온에서 24시간 동안 교반하였다. 그 후 균일한 혼합물을 180℃에서 24시간 동안 가열하고, 고체 생성물을 원심분리한 다음 증류수로 pH가 4에 도달할 때까지 세척하였다. 세척된 고체 생성물을 건조하여 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>가 용해된 용액에 첨가하여 1시간 동안 교반하여 2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)이 도핑된 나노 제올라이트를 얻었다. 이때, 상기 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 용액의 농도 및 제올라이트에 담지된 2가 구리 이온

(Cu<sup>2+</sup>)의 함량은 하기 표 1과 같다.

**표 1**

[0064]

	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 용액의 농도	Cu <sup>2+</sup> 함량
실시예 1	1 M	0.52±0.1 중량%
실시예 2	2 M	1.25±0.1 중량%
실시예 3	3 M	2.01±0.1 중량%

[0067]

**비교예 1.**

[0068]

NaOH(0.7 g)과 소듐 알루미늄네이트(NaAlO<sub>2</sub>, 0.294 g)를 증류수(120 mL)에 용해시킨 혼합용액을 200℃에서 5시간 동안 숙성시킨 후, 실리카졸(13.2 g)을 적가하고 상온에서 24시간 동안 교반하였다. 그 후 균일한 혼합물을 180℃에서 24시간 동안 가열하고, 고체 생성물을 원심 분리한 다음 증류수로 pH가 4에 도달할 때까지 세척하고 건조하여 제올라이트를 제조하였다.

[0070]

**비교예 2.**

[0071]

실시예 1에서 나노 제올라이트 대신에 평균 입도가 2±1 $\mu$ m인 제올라이트를 사용한 것을 제외하고 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 수행하여 2가 구리 이온이 담지된 제올라이트를 얻었다.

[0073]

**비교예 3.**

[0074]

실시예 1에서 1M 농도의 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 용액을 사용하는 대신에 0.5M 농도의 Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 용액을 사용하는 것을 제외하고 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 수행하여 2가 구리 이온이 담지된 제올라이트를 얻었다. 이때, 제올라이트에 담지된 2가 구리 이온의 함량은 0.52±0.1 중량% 미만이다.

[0076]

**실험예 1.**

[0077]

본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제의 성분과 표면 특성을 확인하기 위하여 하기와 같은 실험을 수행하였다.

[0078]

먼저, 실시예 2와 비교예 3에서 얻은 제올라이트를 대상으로 X선 회절(XRD)을 분석하였다. 이때, 제올라이트의 X선 회절은 Bruker 사(독일)의 D8(CuK $\alpha$  radiation, 40 kV, 30 mA)을 사용하여 측정하였으며, 1.5406 Å 파장을 0.02° /sec의 속도로 주사하여 2 $\theta$ 에서 5-80° 범위로 X선 회절 패턴을 얻었다.

[0079]

또한, 실시예 1 내지 3과 비교예 1에서 얻은 제올라이트를 대상으로 주사전자현미경(SEM, Hitachi S-4700, Japan) 분석을 수행하여 제올라이트의 평균 입도를 측정하였다.

[0080]

아울러, 상기 제올라이트를 100±5℃에서 탈기한 후 질소(N<sub>2</sub>) 가스 및 BET 분석기(ASAP 2020, Micromeritics Instrument Co., Norcross, GA, USA)를 이용하여 제올라이트의 평균 BET 비표면적을 측정하였다. 측정된 결과는 표 2와 도 1에 나타내었다.

**표 2**

[0081]

	평균 입도	평균 BET 비표면적 [m <sup>2</sup> /g]
실시예 1	80~110 nm	871±2
실시예 2	80~110 nm	918±2
실시예 3	80~110 nm	976±2
비교예 1	80~110 nm	698.19±2
비교예 2	2±1 $\mu$ m	25±2
비교예 3	80~110 nm	860±2

[0083] 먼저, 주사전자현미경 분석 결과, 실시예 1 내지 3의 제올라이트는 나노미터 수준의 입자인 것으로 확인되었고, 상기 입자의 평균 입도는 표 2에 나타난 바와 같이 약 80 내지 110nm, 구체적으로는 90 내지 100nm인 것으로 확인되었다. 또한, 상기 제올라이트는 평균 BET 비표면적이 약 700 내지 1000 m<sup>2</sup>/g인 것으로 확인되었으며, 특히 제올라이트에 담지된 2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)의 함량이 많은 실시예 3의 제올라이트는 평균 BET 비표면적이 약 976 ± 2 m<sup>2</sup>/g으로 현저히 높은 것으로 나타났다.

[0084] 반면, 2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)이 담지되지 않은 비교예 1의 제올라이트는 평균 입도는 실시예 1 내지 3의 제올라이트와 동일하나 평균 BET 비표면적이 700 m<sup>2</sup>/g 미만으로 현저히 낮았으며, 2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)이 담지되었어도 그 함량이 낮은 비교예 3의 제올라이트 역시 평균 BET 비표면적은 약 870 m<sup>2</sup>/g 미만으로 실시예 3의 제올라이트 과 비교하여 높지 않은 것으로 확인되었다.

[0085] 이로부터, 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제는 2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)이 특정 함량으로 담지되어 평균 BET 비표면적이 현저히 높은 나노 제올라이트를 포함하는 것을 알 수 있다.

[0087] 또한, 도 1을 살펴보면, 실시예 2 및 비교예 3의 제올라이트는 X선 회절 분석 시 2θ로 나타내는 7±0.5°, 9±0.5°, 24±0.5°, 29±0.5° 및 52±0.5° 범위에서 제올라이트를 나타내는 피크와 2θ로 나타내는 35.5±0.5° 범위에서 2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)을 나타내는 피크가 확인되었다. 또한, 2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)을 나타내는 2θ=35.5±0.5° 범위의 피크와 제올라이트를 나타내는 2θ=52±0.5° 범위의 피크의 강도는 제올라이트에 담지된 2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)의 함량에 따라 달라지는 것으로 나타났다. 구체적으로, 실시예 2의 제올라이트는 제올라이트에 담지된 2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)의 함량이 높아 2θ=35.5±0.5° 범위의 피크와 2θ=52±0.5° 범위의 피크의 강도 비율은 약 2.2±0.1인데 반해 담지된 2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)의 함량이 낮은 비교예 3의 제올라이트는 상기 피크의 강도 비율이 약 0.75±0.1인 것으로 확인되었다.

[0088] 이로부터, 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제는 2가 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)의 함량이 높아 식 1을 2.0 이상으로 만족하는 나노 제올라이트를 포함하는 것을 알 수 있다.

[0090] **실험예 2.**

[0091] 본 발명에 따른 이산화탄소의 제거방법의 이산화탄소 제거 조건을 최적화하기 위하여 하기와 같은 실험을 수행하였다.

[0093] **가. 이산화탄소 흡착제의 사용량 평가**

[0094] 먼저, 반응기(직경: 3cm, 높이: 40cm) 안에 실시예 3에서 얻은 제올라이트를 각각 0.1 내지 2g씩 투입하고, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 반응기 내에 30분 동안 공급하면서 이산화탄소 분석기(Series 9610-Alpha Omega Instruments)를 이용하여 나노 제올라이트를 거쳐 반응기 외부로 빠져 나오는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 농도를 측정하였다. 이때, 상기 이산화탄소는 반응기의 내부 압력이 1 atm을 유지하도록 0.5±0.1 L/min의 속도로 반응기에 주입하였다. 또한, 이산화탄소의 주입 시 반응기의 온도는 25±1°C로 조절하였으며, 측정된 결과로부터 제올라이트 사용량에 따른 이산화탄소의 제거율을 도출하였다. 그 결과는 표 3에 나타내었다.

**표 3**

제올라이트 사용량 [g]	CO <sub>2</sub> 제거률 [%]
0.1	14.03±0.05
0.3	39.86±0.05
0.5	67.83±0.05

0.7	82.04±0.05
0.9	98.19±0.05
1	98.40±0.05
1.2	98.61±0.05
1.5	98.84±0.05
1.7	98.95±0.05
1.8	99.08±0.05
2.0	99.10±0.05

[0097] 표 3을 살펴보면, 실시예 3에서 얻은 제올라이트의 사용량이 많을수록 이산화탄소의 제거율이 증가하는 것으로 나타났으며, 제올라이트의 사용량이 0.9 g 이상이 되면 이산화탄소의 제거율이 약 98% 이상으로 일정해지는 것으로 확인되었다. 이는 대기 중 및/또는 특정 가스 중에 존재하는 이산화탄소를 약 95% 이상 제거하기 위해서는 25±1℃, 총 압력 1 atm 조건에서 이산화탄소를 0.5±0.1 L/min의 속도로 30±1분간 반응기(부피: 360 π cm<sup>3</sup>)에 공급할 경우 제올라이트가 약 0.9 g 이상이 요구됨을 나타내는 것이다.

[0098] 이러한 결과로부터, 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제의 사용량은 상온 상압에서 1±0.1 g이 요구됨을 알 수 있다.

[0100] **나. 온도 조건에 따른 이산화탄소 흡착용량 평가**

[0101] 반응기 안에 실시예 3에서 얻은 제올라이트(1 g)를 투입하고, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 반응기(직경: 3cm, 높이: 40cm) 내에 30분간 공급하면서 이산화탄소 분석기(Series 9610-Alpha Omega Instruments)를 이용하여 나노 제올라이트를 거쳐 반응기 외부로 빠져 나오는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 농도를 측정하였다. 이때, 상기 이산화탄소는 반응기의 내부 압력이 1 atm을 유지하도록 0.5±0.1 L/min의 속도로 반응기에 주입하였다. 또한, 이산화탄소의 주입 시 반응기의 온도는 각각 20±2℃ 내지 50±2℃로 조절하였으며, 측정된 결과로부터 흡착 시 온도에 따른 이산화탄소의 제거율을 도출하였다. 그 결과는 표 4에 나타내었다.

**표 4**

[0102]

흡착 온도	CO <sub>2</sub> 제거율 [%]
20±2℃	98.55±0.1
30±2℃	96.59±0.1
40±2℃	92.44±0.1
50±2℃	88.51±0.1

[0104] 표 4를 살펴보면, 실시예 3에서 얻은 제올라이트는 흡착 온도가 50±2℃에서 20±2℃로 낮아짐에 따라 이산화탄소의 제거율이 증가하고, 흡착 온도가 30±2℃ 이하의 상온이 되면 이산화탄소의 제거율이 약 95% 이상이 되는 것으로 나타났다. 이는 이산화탄소가 상기 제올라이트에 흡착하는 반응이 발열반응임을 나타내는 것이므로 흡착 온도가 낮을수록 이산화탄소의 제거율이 높아짐을 의미한다.

[0105] 이러한 결과로부터, 이산화탄소의 흡착온도는 0℃ 내지 50℃ 범위에서 85% 이상의 이산화탄소를 제거할 수 있고 특히 상온 범위에서 약 95% 이상의 이산화탄소를 제거할 수 있음을 알 수 있다.

[0107] **다. 이산화탄소에 대한 흡착 선택성 평가**

[0108] 이산화탄소에 대한 흡착 선택성을 평가하기 위하여, 반응기 안에 실시예 3에서 얻은 제올라이트(1 g)를 투입하고, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 질소(N<sub>2</sub>)의 혼합가스(1:1 분압 비율)를 반응기(직경: 3cm, 높이: 40cm) 내에 30분간 공급하면서 이산화탄소 분석기(Series 9610-Alpha Omega Instruments)를 이용하여 나노 제올라이트를 거쳐 반응

기 외부로 빠져 나오는 혼합가스의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 농도를 측정하였다. 이때, 상기 혼합가스는 반응기의 내부 압력이 1atm을 유지하도록 0.4±0.1 L/min의 속도로 반응기에 주입하고, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 질소(N<sub>2</sub>)의 혼합비율은 하기 표 4에 나타난 바와 같이 제어하였다. 또한, 혼합가스의 주입 시 반응기의 온도는 20±2℃, 40±2℃ 또는 50±2℃로 각각 조절하였으며, 각 온도 별로 측정된 결과로부터 온도에 따른 혼합가스 내 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 질소(N<sub>2</sub>)의 몰분율을 도출하였다. 하기 식 3을 이용하여 도출된 몰분율로부터 이산화탄소에 대한 선택성을 도출하였다. 그 결과는 표 5에 나타내었다:

[0109] [식 3]  
 [0110]  $(X_{CO_2}/X_{N_2})/(Y_{CO_2}/Y_{N_2})$

- [0111] 식 3에서,  
 [0112] X<sub>CO<sub>2</sub></sub>는 제올라이트에 흡착된 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 몰분율을 나타내고,  
 [0113] X<sub>N<sub>2</sub></sub>는 제올라이트에 흡착된 질소(N<sub>2</sub>)의 몰분율을 나타내며,  
 [0114] Y<sub>CO<sub>2</sub></sub>는 반응기에 주입된 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 몰분율을 나타내고,  
 [0115] Y<sub>N<sub>2</sub></sub>는 반응기에 주입된 질소(N<sub>2</sub>)의 몰분율을 나타낸다.

표 5

흡착온도	주입된 가스의 몰분율		흡착용량 [mmol/g]		선택성
	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	
20±2℃	0.5	0.5	3.5±0.1	0.08±0.05	43.75±0.1
	1.0	1.0	4.8±0.1	0.18±0.05	26.66±0.1
	1.6	1.6	5.6±0.1	0.31±0.05	18.06±0.1
40±2℃	0.5	0.5	3.6±0.1	0.08±0.05	45.00±0.1
	1.0	1.0	3.9±0.1	0.15±0.05	26.00±0.1
	1.6	1.6	4.3±0.1	0.28±0.05	15.36±0.1
50±2℃	0.5	0.5	1.95±0.1	0.1±0.05	19.50±0.1
	1.0	1.0	2.14±0.1	0.16±0.05	13.38±0.1
	1.6	1.6	2.4±0.1	0.22±0.05	10.91±0.1

[0118] 표 5를 살펴보면, 실시예 3에서 얻은 제올라이트는 흡착온도가 50±2℃에서 20±2℃로 낮아짐에 따라 이산화탄소에 대한 선택성이 높아지는 것으로 나타났다. 또한, 상기 제올라이트는 혼합가스에 포함된 이산화탄소와 질소의 몰분율 합이 1인 경우 이산화탄소에 대한 선택성이 높고, 1을 초과하는 경우 선택성을 낮아지나 이산화탄소에 대한 흡착용량이 증가하는 것으로 나타났다.

[0119] 이러한 결과로부터 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제는 20±2℃의 상온에서 이산화탄소의 분압은 0.5 atm이고 총 흡착 압력이 1 atm인 경우 이산화탄소에 대한 흡착용량은 3.5±0.1 mmol/g이고, 선택성은 43.75±0.1인 것을 알 수 있다.

[0121] **실험예 3.**

[0122] 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제의 이산화탄소 흡착성능을 평가하기 위하여 하기와 같은 실험을 수행하였다.

[0123] 반응기 안에 실시예 1에서 얻은 제올라이트(1 g)를 투입하고, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 반응기(직경: 3cm, 높이: 40cm) 내에 30분간 공급한 후 이산화탄소 분석기(Series 9610-Alpha Omega Instruments)를 이용하여 제올라이트를 거쳐 반응기 외부로 빠져 나오는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 농도를 측정하였다. 이때, 상기 이산화탄소는 반응기의 내부 압력이 1 atm을 유지하도록 0.5±0.1 L/min의 속도로 반응기에 주입하였다. 또한, 이산화탄소의 주입 시 반응기의 온도는 25±1℃로 조절하였으며, 측정된 결과로부터 나노 제올라이트 단위 질량당 이산화탄소 흡착용

량을 도출하였다.

[0124] 이와 동일한 방법으로 실시예 2 및 3과 비교예 1 내지 3에서 얻은 제올라이트의 단위 질량당 이산화탄소 흡착용량을 측정하였으며, 그 결과는 하기 표 6에 나타내었다.

표 6

	이산화탄소 흡착용량
실시예 1	5.17±0.1 mmol/g (227.48±0.1 mg/g)
실시예 2	5.84±0.1 mmol/g (256.96±0.1 mg/g)
실시예 3	6.58±0.1 mmol/g (298.58±0.1 mg/g)
비교예 1	4.01±0.1 mmol/g (176.44±0.1 mg/g)
비교예 2	1.13±0.1 mmol/g (49.72±0.1 mg/g)
비교예 3	4.84±0.1 mmol/g (212.96±0.1 mg/g)

[0127] 표 6을 살펴보면, 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 특정 함량으로 담지된 실시예 1 내지 3의 제올라이트는 25±1℃에서 제올라이트 단위 g당 5 mmol 내지 7 mmol의 이산화탄소(약 220 mg 내지 308 mg)를 흡착하는 것으로 나타났다. 특히 담지된 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )의 함량이 높은 실시예 3의 제올라이트는 제올라이트 단위 g당 약 6.58±0.1 mmol(약 298.58±0.1 mg)의 이산화탄소를 흡착하는 것으로 확인되었다.

[0128] 이에 반해, 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 담지되지 않거나 평균 입도가 큰 일반 제올라이트에 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 담지된 비교예 1 및 2의 제올라이트는 단위 g당 이산화탄소의 흡착량이 현저히 낮은 것으로 확인되었다. 또한, 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 나노미터 크기의 제올라이트에 담지되나 그 양이 적은 비교예 3의 제올라이트의 경우 실시예 1 내지 3의 제올라이트와 대비하여 단위 g당 이산화탄소의 흡착량이 낮은 것으로 나타났다.

[0129] 이러한 결과로부터 2가 구리 이온( $\text{Cu}^{2+}$ )이 특정 함량으로 담지된 나노 제올라이트를 포함하는 이산화탄소 흡착제는 상온에서 이산화탄소를 효과적으로 흡착하여 제거할 수 있음을 알 수 있다.

[0131] **실험예 4.**

[0132] 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제의 흡착열을 확인하기 위하여 하기 식 4를 이용하여 20℃, 1 atm에서의 실시예 3에서 얻은 제올라이트의 흡착열을 도출하였다:

[0133] [식 4]

[0134]  $\ln P = Q/RT + C$

[0135] 식 4에 있어서,

[0136] P는 총 흡착 압력을 나타내고 단위는 kPa이며,

[0137] Q는 흡착열을 나타내고 단위는 kJ/mol이며,

[0138] R은 기체상수이고,

[0139] T는 흡착온도이며,

[0140] C는 이산화탄소의 흡착용량을 나타낸다.

[0142] 상기 식 4로부터 도출된 실시예 3에서 얻은 제올라이트의 흡착열은 20℃, 1 atm에서 54.2±0.1 kJ/mol인 것으로 확인되었다. 흡착열은 이산화탄소의 물리·화학적 흡착을 결정하는 중요한 파라미터로서, 상기 흡착열에 따라 이산화탄소에 대한 선택성 및 재생 여부가 결정될 수 있다. 본 발명에 따른 이산화탄소 흡착제는 상기와 같이 약 53 kJ/mol 내지 56 kJ/mol의 흡착열을 가져 이산화탄소에 대한 선택성이 우수할 뿐만 아니라 이산화탄소의 탈착이 용이하여 재생 가능성을 알 수 있다.

도면

도면1

