



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년03월29일
(11) 등록번호 10-2379290
(24) 등록일자 2022년03월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B01D 59/26 (2006.01)

(52) CPC특허분류

B01D 59/26 (2013.01)

B01D 2253/204 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0121317

(22) 출원일자 2020년09월21일

심사청구일자 2020년09월21일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020190106582 A*

KR1020190080619 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

경상국립대학교산학협력단

경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

오현철

경상남도 진주시 새평거로 30, 114동 2602호(평거동, 엠코타운더프라하)

박재우

경상남도 진주시 진주대로 930번길 23, 302호(칠암동, 스타빌)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 무한

전체 청구항 수 : 총 7 항

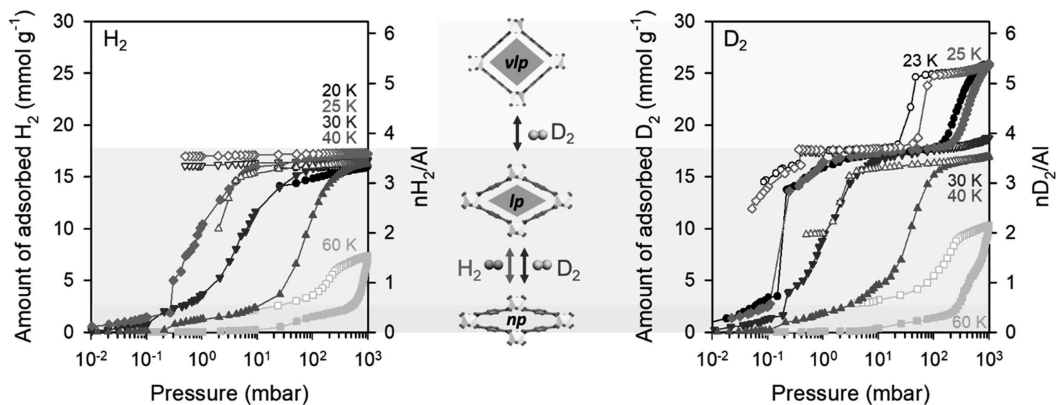
심사관 : 한상현

(54) 발명의 명칭 플렉시블 금속 유기 골격체를 이용한 동위원소 분리 방법

(57) 요약

본 발명은 플렉시블 금속 유기 골격체를 이용한 동위원소 분리 방법에 관한 것으로, 본 발명의 일 측면은, 다공성 플렉시블 금속 유기 골격체에 두 종류 이상의 동위원소 분자들을 주입하는 단계; 및 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기를 변화시켜 상기 동위원소 분자 중 일부 기체 분자를 선택적으로 포집하는 단계;를 포함하고, 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는, 상기 동위원소 분자 중 일부 기체 분자에 대해서만 선택적으로 변화하는 것인, 플렉시블 금속 유기 골격체를 이용한 동위원소 분리방법을 제공한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

문희리

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

김진영

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711112222
과제번호	2019R1A2C2005162
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	고효율 동위원소 분리추출을 위한 초고감도 양자나노다공성 소재 연구
기 여 율	1/3
과제수행기관명	경남과학기술대학교 산학협력단
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711117310
과제번호	2020M2D2A1A02069267
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	원자력기초연구지원사업(R&D)
연구과제명	삼중수소 제거 설비에 적용할 효율적 양자 흡착제 연구
기 여 율	1/3
과제수행기관명	경남과학기술대학교 산학협력단
연구기간	2020.04.17 ~ 2020.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711108248
과제번호	2020R1A2C3008908
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	동위원소 분리용 금속-유기 골격체 기반 시스템 개발
기 여 율	1/3
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

다공성 플렉시블 금속 유기 골격체에 두 종류 이상의 동위원소 분자들을 주입하는 단계; 및

상기 금속 유기 골격체의 기공 크기를 변화시켜 상기 동위원소 분자 중 일부 기체 분자를 선택적으로 포집하는 단계;를 포함하고,

상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는, 상기 동위원소 분자 중 일부 기체 분자에 대해서만 선택적으로 변화하는 것이고,

상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는, 외부 자극을 가하여 변화시키는 것이고,

상기 외부 자극은, 주입하는 동위원소 주위의 온도, 압력 또는 이 둘이고,

상기 동위원소 분자는 중수소와 수소이고,

상기 금속 유기 골격체를 20 K의 극저온 환경에 노출시켜 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기가 변하는 첫 번째 호흡 현상에서 수소 및 중수소를 침투시키고,

상기 금속 유기 골격체를 20 K 내지 25 K의 극저온 환경 및 800 mbar 내지 1000 mba의 압력 조건에 노출시켜 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기가 변하는 두 번째 호흡 현상에서 중소수만을 흡착하는 것인,

플렉시블 금속 유기 골격체를 이용한 동위원소 분리방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 금속 유기 골격체는,

외부 자극이 가해지면 구조가 변화되는 것인,

플렉시블 금속 유기 골격체를 이용한 동위원소 분리방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 금속 유기 골격체는,

Zn, Fe, Cu, Mg, V, Ni, Mn, Co, Ti, Zr, Cr, Mo 및 Al으로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인,

플렉시블 금속 유기 골격체를 이용한 동위원소 분리방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 금속 유기 골격체는,

MIL-53, MIL-47, MIL-88 및 MIL-101로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인,

플렉시블 금속 유기 골격체를 이용한 동위원소 분리방법.

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는,

상기 동위원소 분자들을 주입함에 따라 입구에서부터 중심부까지 확장되는 것인,

플렉시블 금속 유기 골격체를 이용한 동위원소 분리방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는,

최소일 때 0.25 nm 내지 0.60 nm이고, 최대일 때 0.70 nm 내지 2.00 nm 인 것인,

플렉시블 금속 유기 골격체를 이용한 동위원소 분리방법.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 선택적으로 포집되는 일부 기체 분자는, 중수소이고,

상기 금속 유기 골격체 1 중량부 당 0.032 중량부 이상 포집되는 것인,

플렉시블 금속 유기 골격체를 이용한 동위원소 분리 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 플렉시블 금속 유기 골격체를 이용한 동위원소 분리 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 플렉시블 금속 유기 골격체가 동위원소 분자 중 특정 기체 분자에만 선택적으로 반응하여 기공 크기를 변화시킴으로써, 동위원소 분자 중 특정 기체만을 선택적으로 흡착하여 분리할 수 있는, 동위원소 분리 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 동위원소의 존재가 발견된 후부터 존재되어 있는 동위원소 입자 중 일부만을 효과적으로 분리할 수 있는 다양한 시도가 있어왔다. 특히, 이러한 동위원소 분리에 대한 시도는 수소와 중수소의 동위원소에 대하여 시도되어 왔다.

[0004] 중수소는 수소의 동위원소로써 미래의 에너지라 불리는 인공 태양의 핵심 에너지원으로 사용되며, 다양한 산업과 과학 분야에 대체 불가능한 자원으로 꼽힌다. 그러나 수소 동위원소인 중수소는 수소와 물리적, 화학적 성질이 비슷해 다공성 물질을 이용해 수소 혼합물 중 중수소를 분리하는 것은 매우 까다롭다. 또한, 기존의 상업화된 분리 방법인 극저온 증류(cryogenic distillation) 분리 방법은 많은 에너지를 요구할 뿐만 아니라 낮은 분리 효율로 인해 효과적인 분리가 매우 어려운 상황이다.

[0005] 한편, 최근 효과적인 동위원소 분리를 위해 다공성 물질이 활발히 연구되고 있다. 일례로, 운동 양자체 효과(Kinetic Quantum Sieving Effect)를 이용하여, 즉, 물질 안에서 가벼운 동위원소보다 무거운 동위원소가 더 빠르게 확산되는 효과를 이용하여, 미세한 무게 차이를 통해 동위원소를 분리하는 연구가 진행되고 있다. 그러나 양자체 효과를 이용한 방법은 200 도 이하의 극저온 조건에서 수소와 중수소 등 동위원소 간의 확산 차이를 이용하여 분리하기 때문에 어느 한쪽만을 선택적으로 받아들이기에는 어려움이 있어 일반적으로 높은 선택도를 기대하기 어렵다.

[0006] 따라서, 적은 에너지로도 분리 가능하고, 간단하면서 높은 분리 효율로 동위원소를 분리할 수 있는 새로운 방식의 분리방법이 개발될 필요가 있다.

[0007] 진술한 배경기술은 발명자가 본원의 개시 내용을 도출하는 과정에서 보유하거나 습득한 것으로서, 반드시 본 출원 전에 일반 공중에 공개된 공지기술이라고 할 수는 없다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명의 목적은, 많은 에너지를 소모하지 않고, 간단하면서도 높은 분리 효율로 동위원소를 분리할 수 있는, 플렉시블 금속 유기 골격체를 사용한 동위원소의 분리 방법을 제공하는 것이다.

[0010] 그러나, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 것들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 해당 분야 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명의 일 측면은, 다공성 플렉시블 금속 유기 골격체에 두 종류 이상의 동위원소 분자들을 주입하는 단계; 및 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기를 변화시켜 상기 동위원소 분자 중 일부 기체 분자를 선택적으로 포집하는 단계;를 포함하고, 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는, 상기 동위원소 분자 중 일부 기체 분자에 대해서만 선택적으로 변화하는 것인, 플렉시블 금속 유기 골격체를 이용한 동위원소 분리방법을 제공한다.

[0013] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체는, 외부 자극이 가해지면 구조가 변화되는 것일 수 있다.

[0014] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체는, Zn, Fe, Cu, Mg, V, Ni, Mn, Co, Ti, Zr, Cr, Mo 및 Al으로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있다.

[0015] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체는, MIL-53, MIL-47, MIL-88 및 MIL-101로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있다.

[0016] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는, 외부 자극을 가하여 변화시키는 것일 수 있다.

[0017] 일 실시형태에 따르면, 상기 외부 자극은, 주입하는 동위원소 주위의 온도, 압력 또는 이 둘인 것일 수 있다.

[0018] 일 실시형태에 따르면, 상기 외부 자극은, 상기 금속 유기 골격체를 23 K 내지 25 K의 극저온 환경에 노출시키

는 것일 수 있다.

- [0019] 일 실시형태에 따르면, 상기 외부 자극은, 800 mbar 내지 1000 mbar의 압력 조건인 것일 수 있다.
- [0020] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는, 상기 동위원소 기체 분자들을 주입함에 따라 입구에서부터 중심부까지 확장되는 것일 수 있다.
- [0021] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는, 최소일 때 0.25 nm 내지 0.60 nm이고, 최대일 때 0.70 nm 내지 2.00 nm 인 것일 수 있다.
- [0022] 일 실시형태에 따르면, 상기 두 종류 이상의 동위원소 분자들은, 중수소와 수소; 헬륨의 동위 원소; 질소의 동위 원소; 산소의 동위 원소; 및 탄소의 동위원소; 로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상인 것일 수 있다.
- [0023] 일 실시형태에 따르면, 상기 선택적으로 포집되는 일부 기체 분자는, 상기 동위원소 분자들 중 무거운 분자인 것일 수 있다.
- [0024] 일 실시형태에 따르면, 상기 선택적으로 포집되는 일부 기체 분자는, 중수소이고, 상기 금속 유기 골격체 1 중량부 당 0.032 중량부 이상 포집되는 것일 수 있다.

발명의 효과

- [0026] 본 발명에 따른 동위원소 분리방법은, 금속 유기 골격체가 동위원소 분자 중 일부 분자에 대해서만 선택적으로 기공 크기가 변화하는 호흡 현상을 이용함으로써, 높은 에너지 소모 없이 간단한 방식으로 동위원소를 효율적으로 분리할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은, MIL-53(A1)에 대한 온도별 수소와 중수소의 흡착 및 이에 따른 기공 변화의 모식도를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 실시예들에는 다양한 변경이 가해질 수 있어서 특허출원의 권리 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 실시예들에 대한 모든 변경, 균등물 내지 대체물이 권리 범위에 포함되는 것으로 이해되어야 한다.
- [0030] 실시예에서 사용한 용어는 단지 설명을 목적으로 사용된 것으로, 한정하려는 의도로 해석되어서는 안된다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0031] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0032] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0033] 또한, 실시 예의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 제 1, 제 2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다. 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질이나 차례 또는 순서 등이 한정되지 않는다. 어떤 구성 요소가 다른 구성요소에 "연결", "결합" 또는 "접속" 된다고 기재된 경우, 그 구성 요소는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나 접속될 수 있지만, 각 구성 요소 사이에 또 다른 구성 요소가 "연결", "결합" 또는 "접속"될 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0034] 어느 하나의 실시 예에 포함된 구성요소와, 공통적인 기능을 포함하는 구성요소는, 다른 실시 예에서 동일한 명칭을 사용하여 설명하기로 한다. 반대되는 기재가 없는 이상, 어느 하나의 실시 예에 기재한 설명은 다른 실시

예에도 적용될 수 있으며, 중복되는 범위에서 구체적인 설명은 생략하기로 한다.

- [0036] 본 발명의 일 측면은, 다공성 플렉시블 금속 유기 골격체에 두 종류 이상의 동위원소 분자들을 주입하는 단계; 및 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기를 변화시켜 상기 동위원소 분자 중 일부 기체 분자를 선택적으로 포집하는 단계;를 포함하고, 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는, 상기 동위원소 분자 중 일부 기체 분자에 대해서만 선택적으로 변화하는 것인, 플렉시블 금속 유기 골격체를 이용한 동위원소 분리방법을 제공한다.
- [0037] 본원 발명에 따른 동위원소 분리방법은, 플렉시블 금속 유기 골격체가 동위원소 분자 중 일부 기체 분자만을 인식하여 일부 기체 분자에서만 기공 구조가 변화하는 선택적 호흡 현상을 이용함으로써, 특정 동위원소를 선택적으로 포집하여 분리해낼 수 있는 특징이 있다.
- [0039] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체는 플렉시블한 것일 수 있다.
- [0040] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체는, 외부 자극이 가해지면 구조가 변화되는 것일 수 있다.
- [0041] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체는, 외부 자극이 가해질 때, 기체의 종류에 따라 선택적으로 구조가 변화되는 것일 수 있다.
- [0042] 본 발명에 적용 가능한 플렉시블 금속 유기 골격체는, 유기 리간드와 금속 빌딩 블록으로 구성된 배위결합물 중, 외부 자극에 의해 기공 구조가 변할 수 있는 다공성 물질일 수 있다.
- [0043] 이 때, 금속 유기 골격체를 구성하는 성분, 즉, 유기 리간드와 금속 빌딩 블록의 조합에 따라, 외부 자극 또는 기체 분자의 종류에 의해 선택적으로 기공의 크기나 구조가 바뀔 수 있다.
- [0044] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체는, 미세 기공이 형성되어 있으면서 외부 자극에 의해 기공 크기가 변화하는 것일 수 있다.
- [0045] 또한, 상기 금속 유기 골격체는, 외부 자극에 의해 특정 기체 분자에 대해서만 선택적으로 기공 크기가 변화하는 것일 수 있다. 즉, 외부 자극에 의해 특정 기체 분자만을 인식하고, 특정 기체 분자에 대해서만 기공이 열리는 것일 수 있다.
- [0047] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체는, Zn, Fe, Cu, Mg, V, Ni, Mn, Co, Ti, Zr, Cr, Mo 및 Al으로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있다.
- [0048] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체는, MIL-53, MIL-47, MIL-88 및 MIL-101로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있다.
- [0050] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는, 외부 자극을 가하여 변화시키는 것일 수 있다.
- [0051] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는, 외부 자극을 가하여 단계적으로 변화시키는 것일 수 있다.
- [0052] 여기서, 상기 금속 유기 골격체는 다공성 물질로, 외부 자극에 의해 미세한 기공이 팽창되는 것일 수 있다.
- [0053] 일 실시형태에 따르면, 상기 외부 자극은, 주입하는 동위원소 주위의 온도, 압력 또는 이 둘인 것일 수 있다.
- [0054] 본 발명에 따른 동위원소 분리 방법은, 특정한 환경 하에서 플렉시블 금속 유기 골격체에 기체를 주입할 경우, 기체의 온도와 압력에 따라 기공 크기가 달라지는 현상을 이용한 것일 수 있다. 즉, 숨을 들이쉬고 내쉴 때 폐가 커지고 작아지는 것과 비슷하게 호흡 현상이라고 부르는 현상을 이용한 것일 수 있다.
- [0055] 특히, 본 발명에 따른 동위원소 분리 방법은, 특정한 환경 하에서 플렉시블 금속 유기 골격체에 기체를 주입할 경우, 기체의 종류에 따라 선택적으로 기공 크기가 변화하는 현상, 즉, 선택적인 호흡 현상을 이용한 것일 수 있다.
- [0057] 일 실시형태에 따르면, 상기 외부 자극은, 상기 금속 유기 골격체를 23 K 내지 25 K의 극저온 환경에 노출시키는 것일 수 있다.
- [0058] 일 실시형태에 따르면, 상기 외부 자극은, 상기 금속 유기 골격체를 20 K 극저온 환경에 노출시킨 후, 온도를 변화시켜 23 K 내지 25 K의 극저온 환경에 노출시키는 것일 수 있다.
- [0059] 일 실시형태에 따르면, 상기 외부 자극은, 800 mbar 내지 1000 mbar의 압력 조건인 것일 수 있다.
- [0060] 일 실시형태에 따르면, 상기 포집된 기체 분자는, 압력 조건을 변화시켜 상기 금속 유기 골격체로부터 분리되는

것일 수 있다.

- [0061] 일 실시형태에 따르면, 상기 포집된 기체 분자는, 압력 조건을 1 mbar 내지 100 mbar로 변화시켜 상기 금속 유기 골격체로부터 분리되는 것일 수 있다.
- [0063] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는, 상기 동위원소 기체 분자들을 주입함에 따라 입구에서부터 중심부까지 확장되는 것일 수 있다.
- [0065] 일 실시형태에 따르면, 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는, 최소일 때 0.25 nm 내지 0.60 nm이고, 최대일 때 0.70 nm 내지 2.00 nm 인 것일 수 있다.
- [0066] 일례로, 상기 금속 유기 골격체의 기공 크기는, 최소일 때 0.26 nm, 첫 번째 호흡 현상을 통해 확장되었을 때 0.67 nm, 두 번째 호흡 현상을 통해 확장되었을 때 0.86 nm일 수 있다.
- [0068] 일 실시형태에 따르면, 상기 두 종류 이상의 동위원소 분자들은, 중수소와 수소; 헬륨의 동위 원소; 질소의 동위 원소; 산소의 동위 원소; 및 탄소의 동위원소; 로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상인 것일 수 있다.
- [0069] 일례로, 상기 동위원소 분자들은 두 종류일 수 있고, 세 종류 이상의 동위원소 분자들의 혼합물일 수 있다. 상기 동위원소 분자들은, 동위원소 기체 분자일 수 있다.
- [0071] 일 실시형태에 따르면, 상기 선택적으로 포집되는 일부 기체 분자는, 상기 동위원소 분자들 중 무거운 분자인 것일 수 있다.
- [0073] 일 실시형태에 따르면, 상기 선택적으로 포집되는 일부 기체 분자는, 중수소이고, 상기 금속 유기 골격체 1 중량부 당 0.032 중량부 이상 포집되는 것일 수 있다.
- [0074] 본 발명에 따른 동위원소 분리 방법은, 종래 기술 대비 수소 및 중수소의 혼합물로부터 중수소의 분리량을 현저히 증가시킨 효과가 있다.
- [0075] 특히, 다공성 물질인 플렉시블 금속 유기 골격체의 운동 양자체 효과(Kinetic Quantum Sieving Effect)를 이용하는 방법과 비교하여, 중수소만을 선택적으로 흡착하여 분리시키는 효과가 있다.
- [0076] 여기서, 상기 운동 양자체 효과는, 극저온 환경에서 크기가 한정된 기공에서는 수소(H₂) 보다 중수소(D₂)가 더 빠르게 확산될 수 있다는 것으로, 중수소의 드브로이 파장이 수소보다 짧은 이유에서 기인하는 현상이다. 즉, 기공의 크기가 변화하면서 무거운 동위원소 분자가 금속 유기 골격체 내부로 더 빨리 확산되는 효과를 이용하는 것이다.
- [0077] 이와 비교하여, 본 발명에 따른 동위원소 분리 방법은, 동위원소 중 일부 기체 분자에만 반응하여 기공이 확장되는 유기 금속 골격체의 호흡 현상을 이용한 것으로, 특정 외부 조건을 가할 경우 유기 금속 골격체의 기공이 특정 기체 분자에서만 선택적으로 열리기 때문에 중수소의 흡착 및 분리량을 현저히 증가시킬 수 있으며, 별도의 분리 시스템이나 정제 또는 가공 공정 없이 중수소를 분리 및 농축할 수 있는 특징이 있다.
- [0079] 이하, 실시예 및 비교예에 의하여 본 발명을 더욱 상세히 설명하고자 한다.
- [0080] 단, 하기 실시예는 본 발명을 예시하기 위한 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.
- [0082] <실시예>
- [0083] 플렉시블한 금속 유기 골격체로 MIL-53(A1)을 사용하고, 금속 유기 골격체에 중수소와 수소 기체가 혼합된 기체 혼합물을 극저온 환경 (-253 ℃)에서 주입하였다. 이 후, 온도를 -248 ℃로 높이고 압력을 800 mbar 내지 1000 mbar로 0.5 시간 이상 유지하여 중수소만이 흡착되도록 하였다.
- [0084] 구체적으로, 금속 유기 골격체에 중수소와 수소 기체가 혼합된 기체 혼합물을 극저온 환경 (-253 ℃)에서 주입하면, MIL-53(A1)의 작은 기공(0.26 nm)이 기체를 만나는 순간부터 커져서 큰 기공(0.67 nm)으로 변하게 된다. 이는 첫번째 호흡 현상으로 수소와 중수소 모두 기공 확장과 동시에 침투가 가능해진다.
- [0085] 이 후, 온도를 -248 ℃로 높이고 압력을 800 mbar 내지 1000 mbar로 유지하면, 두번째 호흡 현상이 중수소에 의해서만 선택적으로 발생하여 또 한 번의 기공 확장(0.86 nm)이 발생하고 중수소만이 흡착된다.
- [0086] 이를 통해, 최종적으로 분리된 중수소의 양은 MIL-53(A1) 1 g 당 32 mg이었다.
- [0088] <실험예>

- [0089] MIL-53(A1) 금속 유기 골격체에 대한 중수소의 선택적인 포집 현상을 확인하기 위하여, 다양한 온도별 수소 및 중수소의 흡착 변화를 관찰하였다.
- [0091] 도 1은, MIL-53(A1)에 대한 온도별 수소와 중수소의 흡착 및 이에 따른 기공 변화의 모식도를 나타낸 것이다.
- [0092] 도 1을 참조하면, 30 K 내지 60 K의 온도 범위에서는 수소(H_2)와 중수소(D_2)가 유사한 흡착 특성을 나타내지만, 23 K 및 25 K의 극저온에서는 중수소의 흡착 현상만이 발생함을 확인할 수 있다.
- [0093] 구체적으로, 중수소는 첫번째 흡착 단계에서 17.9 mmol/g이 흡착되어 포화되고, 좁은 기공(np)에서 큰 기공(lp)으로 금속 유기 골격체의 구조적 변화를 동반한다. 이 후, 두번째 흡착 단계에서 추가적으로 7.9 mmol/g의 중수소가 MIL-53(A1)에 흡착된다.
- [0095] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기를 기초로 다양한 기술적 수정 및 변형을 적용할 수 있다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0096] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 청구범위의 범위에 속한다.

도면

도면1

