



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0164171
(43) 공개일자 2022년12월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 5/00 (2006.01) B01D 53/04 (2006.01)
B01D 63/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B01D 5/009 (2013.01)
B01D 5/0057 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0072590
(22) 출원일자 2021년06월04일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
정원호
서울특별시 강북구 삼양로 658 (우이동, 성원아파트 2동) 504호
이종석
서울특별시 서초구 잠원로 150 (잠원동, 잠원한신아파트 6동) 807호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김병주

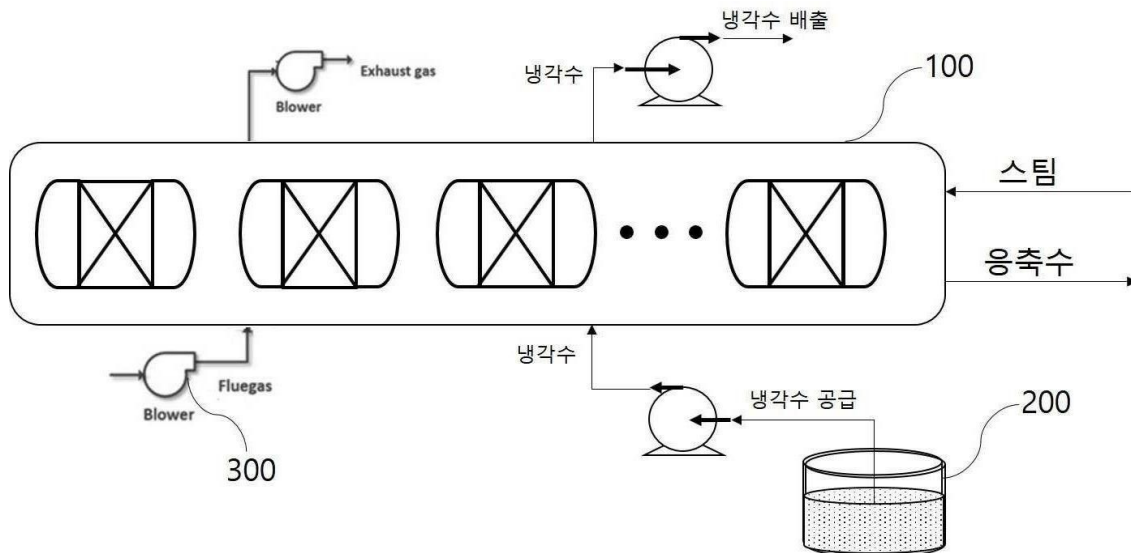
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 고속 썰멸 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치 및 이를 통한 물 회수 공정

(57) 요약

본 발명에 따른 고속 썰멸 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치는 수분을 흡착하며, 단면 가운데 공동을 가지는 중공섬유 형태의 중공사 흡착제 다발이 내부에 위치한 네 개 이상의 베드, 상기 네 개 이상의 베드 각각에 동작 시퀀스에 따라 설정된 냉각수를 상기 중공사 흡착제의 중공 내부로 공급하는 냉각수 공급부, 상기 네 개 이상의 베드 각각에 동작 시퀀스에 따라 설정된 수분이 포화된 가스를 공급하는 가스 공급부, 상기 네 개 이상의 베드 각각에 동작 시퀀스에 따라 설정된 스팀을 상기 중공사 흡착제의 중공 내부로 공급하는 스팀 공급부 및 상기 네 개 이상의 베드가 순차적으로 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계에서 작동하도록 상기 냉각수, 상기 수분이 포화된 가스 및 상기 스팀을 일정 시간간격으로 전환시키는 밸브 시스템을 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

B01D 5/0081 (2013.01)

B01D 5/0087 (2013.01)

B01D 53/0438 (2013.01)

B01D 53/0462 (2013.01)

B01D 63/04 (2013.01)

(72) 발명자

신주호

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동,
서강대학교)

이호준

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동,
서강대학교)

이진원

서울특별시 송파구 양재대로 1218 (방이동, 올림픽
선수기자촌아파트) 201동 1601호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711121940
과제번호	CRC-15-07-KIER
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	국가과학기술연구회
연구사업명	국가과학기술연구회연구운영비지원(R&D)(주요사업비)
연구과제명	초청정 고효율 연료다변화형 미래에너지 생산기술개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국에너지기술연구원
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711129486
과제번호	2015M3D3A1A01064929
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	기후변화대응기술개발(R&D)
연구과제명	C1 가스 전환 기술 공통시험 연구
기 여 율	1/2
과제수행기관명	서강대학교
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

수분을 흡착하며, 단면 가운데 공동을 가지는 중공섬유 형태의 중공사 흡착제 다발이 내부에 위치한 네 개 이상의 베드;

상기 네 개 이상의 베드 각각에 동작 시퀀스에 따라 설정된 냉각수를 상기 중공사 흡착제의 중공 내부로 공급하는 냉각수 공급부;

상기 네 개 이상의 베드 각각에 동작 시퀀스에 따라 설정된 수분이 포화된 가스를 공급하는 가스 공급부;

상기 네 개 이상의 베드 각각에 동작 시퀀스에 따라 설정된 스팀을 상기 중공사 흡착제의 중공 내부로 공급하는 스팀 공급부; 및

상기 네 개 이상의 베드가 순차적으로 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계에서 작동하도록 상기 냉각수, 상기 수분이 포화된 가스 및 상기 스팀을 일정 시간간격으로 전환시키는 밸브 시스템;

을 포함하는, 고속 써멀 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 중공사 흡착제는 제올라이트(Zeolite) 입자 및 폴리아미드이미드(Polyamide imide, PAI)를 포함하고, 중공 내벽에 상기 냉각수 및 상기 스팀이 상기 중공사 흡착제 내부로 침투하는 것을 차단하는 루멘층이 형성된, 고속 써멀 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 중공사 흡착제는 중공 내부를 통과하는 상기 냉각수 및 상기 스팀을 포함하는 열 유체와 열 에너지를 교환하여 냉각 또는 가열되는, 고속 써멀 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 중공사 흡착제 다발은 양 끝단이 경화형 수지로 밀봉되어 베드로 냉각수 및 스팀이 공급될 때 상기 중공사 흡착제 표면에 상기 냉각수 및 상기 스팀이 접촉하지 않도록 하는, 고속 써멀 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 네 개 이상의 베드는 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계의 동작 시퀀스를 순차적으로 반복 수행하되, 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계 모두는 동일한 하나의 동작 시퀀스에서 서로 다른 베드에서 동시에 수행되며,

상기 흡착 단계는 상기 가스 공급부로부터 공급된 수분이 포화된 가스를 상기 중공사 흡착제와 접촉시켜 수분이 포화된 가스에서 수분을 중공사 흡착제에 흡착시키고, 발생하는 흡착열을 중공 내부를 통과하는 냉각수를 통해 회수하여 가열 단계를 수행하는 베드로 전달하고,

상기 가열 단계는 이전 동작 시퀀스에서 상기 흡착 단계를 수행한 베드를 상기 냉각 단계를 수행한 베드에서 냉각수를 통해 회수된 통합열을 가지는 온수를 중공 내부로 공급하여 가열하며,

상기 탈착 단계는 이전 동작 시퀀스에서 상기 가열 단계를 수행한 베드를 중공 내부로 공급된 스팀으로 가열하

여 상기 증공사 흡착제에서 수분을 탈착시키고,

상기 냉각 단계는 상기 탈착 단계에서 가열된 베드를 증공 내부로 공급된 냉각수를 이용하여 냉각시키며 통합열을 회수하고, 회수된 통합열을 가지는 온수를 가열 단계를 수행하는 베드로 전달하는, 고속 썬벌 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

고속 썬벌 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치는 탈착 단계에서 스팀 형태로 물을 회수하는, 고속 썬벌 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

가스 공급부는 탈착 단계에서 블로워(blower) 또는 진공펌프(vacuum pump)를 통해 상기 네 개 이상의 베드 내부의 압력을 낮춰 탈착 온도를 낮추는, 고속 썬벌 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 네 개 이상의 베드는 수분이 포화된 가스와 증공사 흡착제가 평행으로 접촉하는, 고속 썬벌 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치.

청구항 9

제1항에 따른 물 회수 장치를 이용한 고속 썬벌 스윙 흡착을 이용한 물 회수 공정.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 고속 썬벌 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치 및 이를 통한 물 회수 공정에 관한 것으로, 보다 구체적으로 발전소나 화학 공장에서 주로 이용되는 냉각탑에서 가스에 포화된 물을 회수하는 장치 및 공정에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전 세계 에너지 소비에서 태양에너지 및 풍력 등과 같은 재생에너지의 비율은 2015년 기준 17.5%를 차지하고 있으며, 2030년에는 21%에 도달할 것으로 전망되어 점차 사용 대상과 범위가 증가하고 있는 실정이다. 이와 같은 재생에너지에 대한 연구와 함께 물의 재이용을 통해 한정된 수자원을 효율적으로 이용하기 위한 노력은 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 물 부족이 심각한 이스라엘, 쿠웨이트 등 일부 국가들은 연간 발생하는 하수처리수를 80% 이상 재이용하고 있으며, 물에 대한 수입의존도가 높은 싱가포르, 스페인 등도 높은 물 재이용 비율을 나타내고 있다. 우리나라 또한 중수도, 하수 처리수 재이용, 빗물 등의 물 재이용을 장려하고 있으나 2015년 기준 전체 물 사용량 372억 톤 중 재이용수 비중은 13억 톤으로 아쉬운 수준이다. 이와 같이 에너지 재생에 대한 관심으로 다양한 에너지 재생 방법이 연구 및 개발되고 있으나, 이에 비해 재생 가능한 자원으로서의 물의 재이용에 대한 인식은 부족한 실태이다.

[0003] 특히, 화력발전소와 같은 발전소, 산소 연료 연소 가스(oxy-fuel flue gas) 및 화학 공장 등과 같은 설비들은 냉각탑(Cooling Tower)에서 배출되는 가스에 포화되어 있는 물을 회수하는 장치를 구성하여 물을 재활용하고 있다. 이와 같이 사용되는 냉각탑에서 물을 회수하는 장치는 일반적으로 멤브레인 콘덴서(membrane condenser)를 이용하여 수분이 포화된 가스에서 수분을 응축시켜 물을 포집한다. 그러나 멤브레인 콘덴서는 용적이 큰 것에 비해 포집할 수 있는 물의 양이 상대적으로 적다. 즉, 물을 회수할 때 소모되는 비용이 물을 새로 공급하는 비용보다 커지는 단점이 발생할 수 있다. 따라서 종래의 멤브레인 콘덴서를 이용한 물 회수 장치와 비교하여 보다 적은 용적과 보다 낮은 비용으로 물을 회수할 수 있는 물 회수 장치가 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국등록특허 10-2161064호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위하여 안출된 발명으로, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 중공사(Hollow Fiber)에 H_2O 흡착제(H_2O sorbent)를 담지하여 물의 흡착량을 증가시켜 보다 적은 용적의 설계가 가능하고, 열통합 스킴(heat integration scheme) 구조를 통해 열 에너지 효율을 높이는 고속 써멀 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치 및 이를 통한 수분 회수 공정을 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명의 상기 및 다른 목적과 이점은 바람직한 실시 예를 설명한 하기의 설명으로부터 분명해질 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적은, 수분을 흡착하며, 단면 가운데 공동을 가지는 중공사 형태의 중공사 흡착제 다발이 내부에 위치한 네 개 이상의 베드, 상기 네 개 이상의 베드 각각에 동작 시퀀스에 따라 설정된 냉각수를 상기 중공사 흡착제의 중공 내부로 공급하는 냉각수 공급부, 상기 네 개 이상의 베드 각각에 동작 시퀀스에 따라 설정된 수분이 포화된 가스를 공급하는 가스 공급부, 상기 네 개 이상의 베드 각각에 동작 시퀀스에 따라 설정된 스팀을 상기 중공사 흡착제의 중공 내부로 공급하는 스팀 공급부 및 상기 네 개 이상의 베드가 순차적으로 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계에서 작동하도록 상기 냉각수, 상기 수분이 포화된 가스 및 상기 스팀을 일정 시간간격으로 전환시키는 밸브 시스템을 포함하는 고속 써멀 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치에 의해 달성된다.

[0008] 바람직하게는, 상기 중공사 흡착제는 제올라이트(Zeolite) 입자 및 폴리아미드이미드(Polyamide imide, PAI)를 포함하고, 중공 내벽에 상기 냉각수 및 상기 스팀이 상기 중공사 흡착제 내부로 침투하는 것을 차단하는 루멘층이 형성된 것일 수 있다.

[0009] 바람직하게는, 상기 중공사 흡착제는 중공 내부를 통과하는 상기 냉각수 및 상기 스팀을 포함하는 열 유체와 열 에너지를 교환하여 냉각 또는 가열되는 것일 수 있다.

[0010] 바람직하게는, 상기 중공사 흡착제 다발은 양 끝단이 경화형 수지로 밀봉되어 베드로 냉각수 및 스팀이 공급될 때 상기 중공사 흡착제 표면에 상기 냉각수 및 상기 스팀이 접촉하지 않도록 하는 것일 수 있다.

[0011] 바람직하게는, 상기 네 개 이상의 베드는 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계의 동작 시퀀스를 순차적으로 반복 수행하되, 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계 모두는 동일한 하나의 동작 시퀀스에서 서로 다른 베드에서 동시에 수행되며, 상기 흡착 단계는 상기 가스 공급부로부터 공급된 수분이 포화된 가스를 상기 중공사 흡착제와 접촉시켜 수분이 포화된 가스에서 수분을 중공사 흡착제에 흡착시키고, 발생하는 흡착열을 중공 내부를 통과하는 냉각수를 통해 회수하여 가열 단계를 수행하는 베드로 전달하고, 상기 가열 단계는 이전 동작 시퀀스에서 상기 흡착 단계를 수행한 베드를 상기 냉각 단계를 수행한 베드에서 냉각수를 통해 회수된 통합열을 가지는 온수를 중공 내부로 공급하여 가열하며, 상기 탈착 단계는 이전 동작 시퀀스에서 상기 가열 단계를 수행한 베드를 중공 내부로 공급된 스팀으로 가열하여 상기 중공사 흡착제에서 수분을 탈착시키고, 상기 냉각 단계는 상기 탈착 단계에서 가열된 베드를 중공 내부로 공급된 냉각수를 이용하여 냉각시키며 통합열을 회수하고, 회수된 통합열을 가지는 온수를 가열 단계를 수행하는 베드로 전달하는 것일 수 있다.

[0012] 바람직하게는, 고속 써멀 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치는 탈착 단계에서 스팀 형태로 물을 회수하는 것일 수 있다.

[0013] 바람직하게는, 가스 공급부는 탈착 단계에서 블로워(blower) 또는 진공펌프(vacuum pump)를 통해 상기 네 개 이상의 베드 내부의 압력을 낮춰 탈착 온도를 낮추는 것일 수 있다.

[0014] 바람직하게는, 상기 네 개 이상의 베드는 수분이 포화된 가스와 중공사 흡착제가 평행으로 접촉하는 것일 수 있다.

[0015] 또한, 상기 목적은 상술한 내용에 따른 물 회수 장치를 이용한 고속 썬드 스윙 흡착을 이용한 물 회수 공정에 의해 달성된다.

발명의 효과

[0016] 본 발명에 따른 높이는 고속 썬드 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치 및 이를 통한 수분 회수 공정은 중공섬유에 H₂O 흡착제를 담지한 구조를 통해 물의 흡착량을 증가시켜 물 흡착에 요구되는 용적을 줄이고, 흡착과 냉각 과정에서 열 에너지를 탈착 과정에서 재활용하는 열통합 스킴(heat integration scheme)를 통해 열 에너지를 회수하여 에너지 효율을 증가시킬 수 있다. 이를 통해 본 발명은 좁은 공간과 적은 에너지로 효율적으로 물을 회수할 수 있어, 물이 포화된 가스가 배출되는 어떠한 공정에도 적용될 수 있다.

[0017] 다만, 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬드 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치의 구성도이다.
 도 2는 도 1에 도시된 베드의 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계의 동작을 나타내는 구성도이다.
 도 3a 내지 도 3c는 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬드 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치의 동작 시퀀스 일례를 설명하는 도면이다.
 도 4a는 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬드 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치의 중공사 흡착제의 구성을 설명하는 도면이다.
 도 4b는 도 4a에 의해 제조된 중공사 흡착제의 단면도이다.
 도 4c는 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬드 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치의 중공사 흡착제의 SEM 촬영 사진을 나타내는 도면이다.
 도 4d는 베드 내에 위치한 중공사 흡착제 다발의 구성도이다.
 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬드 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치의 베드 구성도이다.
 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬드 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치의 중공사 흡착제의 물 흡착 등온선(isotherm)을 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면들을 참조하여 상세하게 설명한다. 본 명세서에서 사용되는 용어 및 단어들은 실시예에서의 기능을 고려하여 선택된 용어들로서, 그 용어의 의미는 발명의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서 후술하는 실시예에서 사용된 용어는, 본 명세서에 구체적으로 정의된 경우에는 그 정의에 따르며, 구체적인 정의가 없는 경우는 당업자들이 일반적으로 인식하는 의미로 해석되어야 할 것이다.

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬드 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치의 구성도이다.
 [0021] 도 2는 도 1에 도시된 베드의 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계의 동작을 나타내는 구성도이다.
 [0022] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬드 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치는 베드(100), 냉각수 공급부(200), 가스 공급부(300), 스팀 공급부(미도시) 및 밸브 시스템(미도시)을 포함한다.
 [0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬드 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치는 네 개 이상의 베드(100)를 포함한다.
 [0024] 각각의 베드(100)는 수분이 포화된 가스에서 수분을 흡착하고, 흡착된 수분이 탈착되는 중공사 흡착제 다발을 포함한다. 중공사 흡착제 다발은 단면 가운데 공동을 가지는 중공사 형태의 중공사 흡착제가 다발로 묶여 형성된 것으로, 제올라이트(Zeolite) 입자 및 폴리아미드이미드(Polyamide imide, PAI)를 포함하고, 중공 내벽에 상기 냉각수 및 상기 스팀이 상기 중공사 흡착제 내부로 침투하는 것을 차단하는 루멘층이 형성된 구조를 가진다.
 [0025] 제올라이트 입자 및 폴리아미드이미드로 형성된 중공사 흡착제는 베드 내부를 통과하는 수분이 포화된 가스와

표면이 접촉하여 수분을 흡착하며, 공정에서 발생하는 열을 회수하는 냉각수 및 중공사 흡착제에 열을 전달하는 스팀은 중공사 흡착제의 중공을 통과하여 열을 흡수 및 전달한다. 이때 냉각수 및 스팀은 중공사 흡착제의 중공 내벽에 형성된 루멘층에 의해 제올라이트 입자 및 폴리아미드이미드로 형성된 중공사 흡착제와 직접 접촉하지 않아 중공사 흡착제의 흡착 및 탈착을 방해하지 않는다.

[0026] 중래의 멤브레인 콘덴서는 포화된 가스를 냉각하여 멤브레인 표면에서 응결이 일어나도록 하여 가스에서 수분을 회수하기 때문에 가스를 냉각하기 위한 에너지 수요가 요구된다. 또한, 멤브레인 콘덴서는 투입된 가스가 멤브레인을 수직으로 통과하는 스키마(scheme)를 가지므로, 가스의 압력 강하(pressure drop)가 매우 크다. 즉, 기존에 사용되는 멤브레인 콘덴서에서 요구되는 총 에너지는 가스를 냉각하는 에너지와 가스를 블로잉(blowing)해주는 에너지의 합으로 나타낼 수 있으며, 멤브레인 콘덴서의 표면에서 물이 응축되면서 발생하는 잠열(응축열)은 모두 냉각수로 소실된다. 그러나 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬벌 스위그 흡착을 이용한 물 회수 장치는 응축열을 회수하여 재사용함으로써 에너지 효율을 높이는 구조를 가진다.

[0027] 베드(100)는 내부에 중공사 흡착제 다발이 위치하고, 중공사 흡착제 다발은 양 끝단이 경화형 수지로 밀봉되어 베드(100)로 냉각수 및 스팀이 공급될 때 상기 중공사 흡착제 표면에 상기 냉각수 및 상기 스팀이 접촉하지 않도록 하여 스팀과 냉각수를 포함하는 열유체는 루멘층이 형성된 중공을 통해서만 중공사 흡착제 다발을 통과한다. 흡착 단계에서 흡착열이 발생하여 중공사 흡착제의 온도가 올라가 수분의 흡착능을 저하시키므로 상기 구조를 통해 냉각수를 통과시켜 흡착 효율을 증가시킨다.

[0028] 냉각수 공급부(200)는 펌프 등을 이용하여 네 개 이상의 베드(100) 각각에 냉각수를 공급한다. 이때, 냉각수 공급부(200)는 밸브 시스템을 통한 밸브 조절을 통해 네 개 이상의 베드(100) 각각에 정해진 동작 시퀀스에 따라 냉각수를 공급한다. 이때, 냉각수 공급부(200)의 냉각수 공급 방법과 냉각수의 종류는 일반적으로 사용되는 방법이 적용될 수 있다.

[0029] 가스 공급부(300)는 네 개의 베드(100) 측면에 개별적으로 연결되며, 밸브 시스템을 통한 밸브 조절을 통해 네 개 이상의 베드(100) 각각에 정해진 동작 시퀀스에 따라 수분이 포화된 가스를 공급한다. 이때, 가스 공급부(300)의 가스 공급 방법은 이산화탄소 포집장치나 물 회수장치에서 일반적으로 사용되는 방법이 적용될 수 있다. 이와 같은 가스 공급부(300)는 블로워(blower) 또는 진공펌프(vacuum pump) 등을 통해 흡착 단계에서 네 개의 베드(100)에 가스를 공급하는 역할에 더하여, 탈착 단계에서 베드(100) 내부의 압력을 낮추는 역할을 수행할 수 있다. 가스 공급부(300)는 탈착 단계에서 블로워(blower) 또는 진공펌프(vacuum pump) 등을 통해 베드(100) 내부의 압력을 낮춰 탈착 온도를 낮춤으로써 공정의 에너지 소비량이 감소시키고, 중공사 흡착제의 변성률을 감소시킨다.

[0030] 스팀 공급부는 네 개 이상의 베드 각각에 동작 시퀀스에 따라 설정된 스팀을 상기 중공사 흡착제의 중공 내부로 공급한다. 이때 스팀 공급부를 통해 공급되는 스팀은 본 발명의 물 회수장치가 설치된 설비나 공장에서 공급되는 스팀을 사용하거나 별도로 외부에서 제공되는 스팀을 공급받아 사용할 수 있다. 본 발명에서 각각의 베드(100)에서 탈착 단계를 수행하기 위한 열원으로 공급되는 고온의 스팀은 밸브 시스템을 통한 밸브 조절을 통해 네 개의 베드(100) 중에서 동작 시퀀스에 따라 탈착 단계를 수행하는 베드에 고온의 스팀을 공급하여 탈착 반응이 일어나는 온도까지 가열한다. 바람직하게는 탈착 단계를 수행하는 베드의 온도를 상승시키기 위하여 고온의 스팀을 사용하지만, 이로 한정되는 것은 아니며 열원을 공급할 수 있는 다양한 방법이 사용될 수 있다. 이때, 베드(100)로 공급되는 고온의 스팀은 공급 과정에서는 스팀(steam) 형태로 공급되며 베드(100)를 가열한 후 응축액(condensate) 상태로 배출된다. 일례로서, 본 발명에서 사용되는 고온의 스팀은 발전소 설비에 본 발명이 설치되는 경우 발전소 설비를 통해 고온의 스팀을 공급받아 사용한 후 응축액을 다시 전달하여 순환되는 방식이 사용될 수 있다.

[0031] 본 발명에서는 하나의 베드를 사용하는 것이 아니라 네 개 이상의 베드(100)를 사용하며, 네 개 이상의 베드(100)는 동시에 동일한 동작과 공정을 수행하는 것이 아니라 개별적으로 서로 다른 공정 단계를 수행한다. 이때, 밸브 시스템은 순차적으로 흡착 단계(Adsorption), 가열 단계(Heating), 탈착 단계(Desorption) 및 냉각 단계(Cooling)에서 작동하도록 가스, 냉각수, 스팀 공급을 일정 시간 간격으로 전환시킨다.

[0032] 보다 구체적으로, 네 개 이상의 베드(100)는 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계의 동작 시퀀스를 순차적으로 반복 수행하되, 동일한 시퀀스에서 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계 모두는 반드시 하나 이상의 베드에서 동시에 수행된다. 즉, 본 발명에서 네 개 이상의 베드(100)는 동작 시퀀스에 따라 동일한 시퀀스에서 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계는 반드시 적어도 하나의 베드(100)에서 동시에 수행하며, 네 개 이상의 베드(100)는 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계를 순차적으로 수행함으로써,

결국 하나의 동작 시퀀스 내에서 서로 다른 베드에 의해 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계가 수행된다. 이를 통해, 본 발명에서는 동일한 동작 시퀀스를 기준으로 네 개 이상의 베드(100)는 동시에 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계 전부가 수행되며, 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계가 순차적으로 각각의 베드에서 반복 수행된다.

[0033] 본 발명에서 흡착 단계는 가스 공급부(300)로부터 공급된 수분이 포화된 가스를 베드(100)로 주입하여 베드(100) 내부에 위치한 중공사 흡착제 다발과 접촉시켜 가스에 포함된 수분을 중공사 흡착제에 흡착시키고, 동시에 중공사 흡착제의 중공을 통과하는 냉각수를 이용하여 흡착열을 회수하여 발생된 온수를 가열 단계를 수행하는 베드로 전달한다. 그리고 가열 단계는 이전 동작 시퀀스에서 흡착 단계를 수행한 베드를 흡착 단계에서 회수된 흡착열을 가지는 온수와 냉각 단계에서 회수된 통합열을 가지는 온수를 통해 가열한다.

[0034] 다음으로, 탈착 단계는 이전 동작 시퀀스에서 가열 단계를 수행한 베드를 공급된 고온의 스팀으로 가열하여 중공사 흡착제에서 수분을 탈착시키고, 냉각 단계는 탈착 단계에서 가열된 베드의 중공사 흡착제 중공을 통해 냉각수를 공급하여 통합열을 회수하고, 회수된 통합열을 가지는 온수를 가열 단계를 수행하는 베드로 전달한다. 탈착 단계 이후 냉각 단계의 냉각 과정에서 많은 양의 현열이 버려지게 되므로, 냉각 단계의 냉각수 양을 조절하고 온수를 만들어 내고, 이와 같이 만들어진 온수를 가열 단계를 수행하는 베드에 공급하여 열통합을 하게 된다. 이와 같이 열통합을 진행함으로써 공정의 열에너지가 감소하여 탈착 시 사용가능한 스팀을 생성해 낼 수 있다. 또한, 본 발명은 탈착 단계에서 공급된 고온의 스팀과 근접한 에너지를 가진 고온의 스팀 형태로 물이 회수되는 이점을 가진다.

[0035] 이와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬벌 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치는 서로 다른 네 개 이상의 베드(100) 각각이 상술한 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계의 서로 다른 단계를 동시에 수행하며, 이때, 흡착 단계를 수행하는 베드에서 발생된 흡착열을 냉각수를 통해 회수하여 가열 단계를 수행하는 베드로 전달하고, 탈착 이후 냉각 단계에서 회수된 통합열 또한 냉각수를 통해 회수하여 가열 단계를 수행하는 베드로 전달함으로써 가열 단계를 수행하는 베드의 온도를 높여 탈착 단계에서 추가로 공급해야 하는 에너지를 현저하게 줄일 수 있다.

[0036] 종래의 멤브레인 콘덴서는 가스의 온도가 높고 주입구 온도(inlet temperature)가 낮을수록 물 회수가 높아지므로, 가스의 온도를 높이고 주입구 온도를 낮추기 위한 에너지가 요구된다. 반면에, 상술한 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬벌 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치는 중공사 흡착제를 사용하여 가스에 포화된 수분을 직접 흡착시키며 중공 구조와 루멘층을 통해 열전달율을 높이고, 냉각수를 통해 흡착열과 통합열을 회수하여 재활용함으로써 상대적으로 낮은 에너지를 사용하여 높은 물 회수율을 확보할 수 있다.

[0037] 도 3a 내지 도 3c는 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬벌 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치의 동작 시퀀스 일례를 설명하는 도면으로, 도 3a는 하나의 동작 시퀀스에서 제1 내지 제4 베드의 동작 상태를 나타내며, 도 3b는 도 3a에 대한 전체 동작 시퀀스를 나타내고, 도 3c는 도 3b에 대한 간략 동작 시퀀스를 나타낸다.

[0038] 도 3a 내지 도 3c에서는 제1 내지 제4 베드(110 내지 140)의 총 4개의 베드를 사용한 고속 썬벌 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치를 예로 들어 동작 시퀀스를 설명한다. 다만, 베드의 개수는 4개로 한정되는 것은 아니며, 최소 4개 이상을 의미하는 것이다.

[0039] 또한, 도 3b에서 수평 방향의 화살표는 중공사 흡착제의 중공(bore side)으로 공급되는 것을 의미하고, 수직 방향의 화살표는 중공사 흡착제의 표면(shell side)으로 공급되는 것을 의미한다.

[0040] 하나의 동작 시퀀스에서, 제1 베드(110)는 흡착 단계를 수행하는 것으로, 수분이 포화된 가스를 제1 베드(110) 내부로 통과시켜 제1 베드(110) 내부에 위치한 중공사 흡착제와 접촉시켜 수분(물)을 흡착시키며, 동시에 중공사 흡착제 다발의 중공으로 냉각수(Cooling water, CW)를 통과시켜 흡착 단계에서 발생된 흡착열을 냉각수를 통해 회수하여 이때 생성된 온수를 가열 단계를 수행하는 제2 베드(120)로 전달한다.

[0041] 동일한 동작 시퀀스에서, 제2 베드(120)는 이전 동작 시퀀스에서 흡착 단계를 수행한 뒤 현재 동작 시퀀스에서 가열 단계를 수행하는 것으로, 제1 베드(110)로부터 흡착 단계에서 회수된 흡착열을 가지는 온수를 전달받고, 냉각 단계를 수행하는 제4 베드(140)에서 냉각수를 통해 회수된 통합열을 가지는 온수(HW)를 전달받아 가열된다.

[0042] 그리고 동일한 동작 시퀀스에서, 제3 베드(130)는 이전 동작 시퀀스에서 제1 가열 단계를 수행한 뒤 현재 동작 시퀀스에서 제2 가열 단계를 수행하는 것으로, 냉각 단계를 수행하는 제4 베드(140)로부터 전달된 냉각 단계에

서 회수된 통합열을 가지는 온수를 전달받아 제3 베드(130)를 가열한다.

- [0043] 이와 같이, 본 발명에서는 흡착 단계 이후 바로 탈착 단계로 진행하기 이전의 중간 과정으로 가열 단계를 수행하며, 가열 단계에서는 흡착 단계에서 발생된 흡착열과 탈착 단계에서 공급된 스팀에 의한 열을 냉각수를 통해 회수하는 열통합 구조를 통해 탈착 단계를 수행하기 이전에 베드를 예열함으로써, 탈착 단계에서 요구되는 열에너지를 감소시킬 수 있다.
- [0044] 또한, 동일한 동작 시퀀스에서, 제3 베드(130)는 이전 동작 시퀀스에서 가열 단계를 수행한 뒤 현재 동작 시퀀스에서 탈착 단계를 수행하는 것으로, 공급된 고온의 스팀에 의해 탈착 단계를 수행할 수 있는 온도로 가열되어 탈착 반응이 수행된다. 이때, 제3 베드(130)로 공급되는 스팀은 제3 베드(130)에 위치한 중공사 흡착제의 중공 내부를 통과함으로써 중공사 흡착제에 효과적으로 열을 전달하여 탈착 단계에서 요구되는 열에너지를 줄일 수 있다.
- [0045] 탈착 단계를 통해 제3 베드(130)는 중공사 흡착제에 흡착된 수분을 모두 탈착하여 다시 수분을 흡착할 수 있도록 재생된다. 탈착 단계를 통해 중공사 흡착제에서 탈착되어 회수된 수분은 스팀 형태를 가진다. 이와 같이 회수된 스팀은 탈착 단계를 수행하는 베드로 전달되어 탈착 단계를 수행하는 베드를 가열하는데 사용되거나 가열 단계를 수행하는 베드로 전달되어 베드를 가열하는데 사용될 수 있으며, 또는 증기 판매에 사용될 수 있다. 예를 들어, 가스의 수분이 40℃로 포화되어 있을 때는 40℃의 증기인데 탈착을 할 경우에는 110℃ 이상으로 온도가 올라가야 하므로 탈착된 수분은 100℃ 이상의 스팀 형태로 회수되기 때문에, 회수된 스팀을 상기와 같이 재사용하거나 판매할 수 있다.
- [0046] 또한, 동일한 동작 시퀀스에서 제4 베드(140)는 이전 동작 시퀀스에서 탈착 단계를 수행한 뒤 현재 동작 시퀀스에서 냉각 단계를 수행하는 것으로, 냉각수 공급부로부터 제공된 냉각수를 통해 탈착 단계에서 고온으로 가열된 베드를 냉각시키면서 통합열을 회수하여 통합열을 가지는 온수를 가열 단계를 수행하는 제3 베드(130)로 전달하여 재사용한다.
- [0047] 본 발명에서는 냉각 단계에서 베드를 냉각시키면서 탈착 단계에 의한 열에너지와 같은 통합열을 회수하여 가열 단계를 수행하는 베드에 공급하여 가열 단계에 사용함으로써 탈착 단계에서 요구되는 열에너지를 감소시킬 수 있다.
- [0048] 상술한 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계는 동일한 하나의 시퀀스에서 서로 다른 베드에서 동시에 수행된다. 그리고 도 3b에 도시된 바와 같이 하나의 시퀀스에서 흡착 단계, 가열 단계, 탈착 단계 및 냉각 단계가 서로 다른 베드에서 동시에 수행된 후, 다음 동작 시퀀스에서는 각 베드가 각각 다음 단계를 수행한다. 이 과정에서 각 단계에서 발생된 또는 제공된 에너지는 냉각수에 의해 회수되어 다른 단계를 수행하는 베드에 전달되어 활용됨으로써, 탈착 단계에서 요구되는 재생에너지를 줄일 수 있다.
- [0049] 도 4a는 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬드 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치의 중공사 흡착제의 구성을 설명하는 도면이고, 도 4b는 도 4a에 의해 제조된 중공사 흡착제의 단면도이며, 도 4c는 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬드 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치의 중공사 흡착제의 SEM 촬영 사진을 나타내는 도면이고, 도 4d는 베드 내에 위치한 중공사 흡착제 다발의 구성도이다. 이때, 도 4a 내지 도 4d에서, 중공사 흡착제(101) 및 루멘층(102)의 두께 비율은 설명의 편의를 위하여 과장된 것이다.
- [0050] 도 4a 내지 도 4d를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썬드 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치의 중공사 흡착제(101)는 제올라이트 입자를 폴리아미드이미드(PAI)에 담지한 후 스피닝(spinning)하여 중공사 흡착제(hollow fiber sorbent)를 생성한다. 이와 같은 제올라이트 및 폴리아미드이미드에 의해 형성된 중공사 흡착제(101)는 수분이 포화된 가스와 접촉하여, 가스로부터 수분을 흡착하여 회수한다. 또한, 본 발명에서 중공사 흡착제(101)는 중공의 내벽에 루멘층(102)이 형성된다.
- [0051] 도 4b에 도시된 중공사 흡착제는 드라이 젯(dry-jet) 및 웨트 퀀치(wet-quench) 공정을 사용하여 폴리아미드이미드에 제올라이트를 75중량% 만큼 혼합된 중공사 흡착제를 형성하고, 중공 내벽에 네오프렌(Neoprene®)을 전구체로 하고 가교 작용제(crosslinking agents)를 11:89의 중량비로 혼합하여 네오프렌을 교차 연결한 뒤, ISCO 시린지 펌프(Isco syringe pump, Model No. of 1000D)를 이용하여 중공사 흡착제의 중공에 주입하여 중공 내벽에 루멘층(102)을 형성하였다. 이때, 사용되는 가교 작용제는 TSR-633이 사용될 수 있다.
- [0052] 이와 같이 제조된 중공사 흡착제의 특성은 표 1과 같다.

표 1

[0053]

Specification	Value
$L_{f,exp}$ (m)	0.2 ~ 0.3
$L_{m,exp}$ (m)	0.2 ~ 0.3
$r_{iD,f}$ (mm)	0.1 ~ 0.3
$r_{oD,f}$ (mm)	0.2 ~ 0.6

[0054]

도 4b에 도시된 단면도를 통해 루멘층(102)을 확인할 수 있다. 루멘층(102)은 불투과성으로, 루멘층(102)은 중공사 흡착제(101)의 중공을 통과하는 냉각수 및 스팀과 같은 열유체가 제올라이트 및 폴리이미드이미드로 형성된 중공상 흡착제(101)와 직접 접촉하는 것을 방지한다. 또한, 루멘층(102)은 얇은 두께와 높은 열전도율을 가져 중공사 흡착제와 중공을 통과하는 열유체 사이의 열전달 효율을 증대시킨다.

[0055]

상기와 같이 제조된 중공사 흡착제(101)는 다수 개가 패킹(packaging)되어 베드 내부에 다발 형태로 위치하며, 가스와 접촉하여 가스에 포화된 수분을 흡착한다. 이때, 수분이 중공사 흡착제에 흡착되는 과정에서 흡착열이 발생하게 되는데 흡착열은 중공사 흡착제의 온도를 상승시켜 흡착 효율을 저하시킨다. 따라서 냉각수를 통해 중공사 흡착제의 온도를 낮춰주게 되는데, 본 발명의 중공사 흡착제는 내부에 열유체가 통과할 수 있는 중공을 가지며 루멘층에 의해 열유체가 중공사 흡착제와 직접 접촉하는 것을 방지하므로, 흡착 단계에서 중공사 흡착제의 중공에 직접 냉각수를 흘려 중공사 흡착제에서 발생하는 흡착열을 효과적으로 회수할 수 있다. 또한, 탈착 단계에서 중공사 증대시킨다 흡착제의 중공에 직접 스팀을 통과시켜 중공사 흡착제의 온도를 상대적으로 낮은 에너지를 이용하여 탈착에 필요한 온도로 높일 수 있다. 이와 같이 본 발명의 중공사 흡착제는 응축 방식이 아닌 흡착제를 이용하여 수분을 흡착하고 중공 구조를 통해 냉각수 및 스팀과의 열교환 효율이 높아 종래의 멤브레인 콘덴서에 비해 압력 강하가 적으며 흡착제에 의해 물의 흡착량이 향상되어 공정에 요구되는 공간이 대폭 감소된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 중공사 흡착제는 종래의 멤브레인 콘덴서에 비해 50% 정도의 에너지 요구량을 가진다.

[0056]

이와 같은 본 발명에 따른 중공사 흡착제의 모델은 수학식 1과 같다. 수학식 1은 시간에 따른 수분이 포화된 가스(feed gas)의 농도 프로파일(profile)로서, 차원은 2차원이며 시간과 z축(중공사 흡착제의 길이 방향)으로 수식이 전개된다.

[0057]

(수학식 1)

$$\frac{\partial C_{g,i}}{\partial t} + \frac{1}{L_f} \frac{\partial (u_g C_{g,i})}{\partial z} - D_{ax} \frac{1}{L_f} \frac{\partial^2 C_{g,i}}{\partial z^2} + S_i = 0$$

[0058]

[0059]

수학식 1에서 $C_{g,i}$ [mol/m³]는 가스상(gas phase)의 i 성분에 대한 농도를 나타내고, u_g [m/s]는 모듈 엠티 볼륨(module empty volume)을 흐르는 가스의 격자 틈새 속도(interstitial velocity)를 나타내고, D_{ax} [m²/s]는 가스상(gas phase)의 축 확산 계수(axial dispersion coefficient)를 나타내며, L_f [m]와 z represent는 각각 중공사 흡착제의 길이(fiber sorbent length)와 정규화된 축간거리(normalized axial distance)를 나타낸다. 그리고 S_i [mol/m³ · s]는 반응에 의한 가스 분자(gas molecules)의 농도 감소 속도를 나타내는 것으로 수학식 2 및 3에 의해 산출된다.

[0060]

수학식 2 및 3은 수학식 1에 필요한 반응속도 텀(term)으로, H₂O가 중공사 흡착제에 흡착되는 양을 정량적으로 표현한 것이다.

[0061]

(수학식 2)

$$S_{H_2O} = \frac{\partial q}{\partial t} \rho_f (1 - \varepsilon_f) \frac{r_{oD}^2 - r_{iD}^2}{r_{fs}^2 - r_{oD}^2}$$

[0062]

[0063] (수학식 3)

$$S_{N_2} = 0$$

[0064]

[0065] 수학식 2에서 N_2 는 중공사 흡착제와 반응하지 않기 때문에 그 값은 0이다. 또한, $q/\partial t$ [mol-H₂O/kg-sorbent · s]는 H₂O와 중공사 흡착제 사이의 반응속도를 나타내고, r [mm]는 중공사 흡착제의 반지름을 나타내며, subscript r_{od} , r_{id} , 및 r_{fs} 는 중공사 흡착제의 외경, 내경 및 Happel's free surface에 의한 직경을 나타낸다. 그리고 ρ_f [kg/m³] 및 ε_f 는 밀도와 중공사 흡착제의 다공성을 나타낸다. 이때, Happel's free surface 이론은 실린더 모양을 유체가 평행하게 흐를 때 생성되는 가상의 층(layer)의 두께를 계산하기 위해 이용된다.

[0066] 중공사 흡착제 및 중공(bore side)의 에너지 평형 방정식은 수학식 4 내지 6으로 표현된다. 수학식 4 내지 6은 수분이 포화된 가스 및 전열매체(heating medium)의 온도를 나타내는 것이다.

[0067] (수학식 4)

$$\rho_f c_{p,f} (1 - \varepsilon_f) \frac{\partial T_f}{\partial t} - \lambda_f \frac{1}{L_f^2} \frac{\partial^2 T_f}{\partial z^2} - \frac{\partial q}{\partial t} (-\Delta H_{CO_2}) (1 - \varepsilon_f) \rho_f - \kappa U_{hf} (T_h - T_f) \frac{2r_{id}}{(r_{od}^2 - r_{id}^2)} = 0$$

[0068]

[0069] (수학식 5)

$$\rho_g c_{p,g} \frac{\partial T_g}{\partial t} + \frac{1}{L_f} \frac{\partial (T_g u_g)}{\partial z} - \lambda_g \frac{1}{L_f^2} \frac{\partial^2 T_g}{\partial z^2} + h_g \frac{2r_{od}}{r_{fs}^2 - r_{od}^2} (T_g - T_f) = 0$$

[0070]

[0071] (수학식 6)

$$\rho_h c_{p,h} \frac{\partial T_h}{\partial t} + \rho_h c_{p,h} u_h \frac{1}{L_f} \frac{\partial T_h}{\partial z} - \frac{2U_{hf}}{r_{id}} (T_f - T_h) = 0$$

[0072]

[0073] 수학식 4 내지 6에서, T [K]는 온도를 나타내고, subscript f , g 및 h 는 중공에서의 중공사, 가스 및 전열매체(heating medium)를 나타내고, h [W/m² · °C] 및 λ [W/m² · °C]는 열전달 계수(heat transfer coefficient)와 축방향 열확산(axial thermal dispersion)을 나타낸다. 그리고 U_{hf} [W/m² · °C]는 전열매체와 중공사 흡착제 사이의 전체 열전달 계수(overall heat transfer coefficient)를 나타내며, $c_{p,i}$ 는 i component의 비열용량(specific heat capacity)을 나타내고, $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ 로 가정한다. 여기서 i component는 가스에 포함된 component를 i 로 표시한 것으로, i 는 H₂O를 의미한다. 또한, 수학식 4에서, κ 는 중공사 흡착제와 전열매체사이의 열전달(heat transfer)의 유효 계수(effectiveness factor)를 나타낸다. 그리고 중공사 흡착제의 r -그라디언트(r -gradient)의 부재가 κ 의 사용으로 보상된다.

[0074] 벌크 가스 상(bulk gas phase)의 모멘텀 밸런스(momentum balance)는 벌크 상의 가스가 흡착이 일어나면서 점점 소실되는 것을 가정하여 수학식 7과 같이 모델링하였다. 수학식 7은 수분이 포화된 가스의 선속도 변화를 나타내는 식이다.

[0075] (수학식 7)

$$\frac{\partial(\rho_g u_g)}{\partial t} = \frac{1}{L_f} \frac{\partial(\rho_g u_g u_g)}{\partial z} - \frac{1}{L_f} \frac{\partial P}{\partial z}$$

[0076]

[0077] 수학식 7은 가스상의 모멘텀 방정식으로, P [bar]는 가스상(gas phase)의 압력을 의미한다. 모듈(베드) 내부로 흐르는 가스의 공탐속도(superficial velocity)의 변화는 수학식 7을 이용하여 계산할 수 있다.

[0078] 상술한 수학식 1 내지 7은 중공사 흡착제를 나타내는 수학식으로, 이를 통해 도 3b 및 도 3c에 도시된 바와 같이 흡착(adsorption), 가열(heating), 탈착(desorption) 및 냉각(cooling)을 반복하는 사이클에 대한 온도 및 농도 프로파일을 획득할 수 있다.

[0079] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썰멸 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치의 베드 구성도이다.

[0080] 도 5를 참조하면, 베드 내부의 중공사 흡착제 표면(shell side)으로 물이 포화된 가스가 주입(Feed Gas)되고, 중공사 흡착제에 물이 흡착된다. 흡착이 종료된 후 탈착 단계로 넘어가서 중공사 흡착제 중공으로 열유체인 스팀이 주입되고 중공사 흡착제의 온도가 올라가면 탈착열에 의해 물의 탈착이 일어난다. 이때 중공사 흡착제와 가스는 평행으로 흘러 접촉하기 때문에 수직 방향으로 흐르는 멤브레인 콘덴서와 달리 압력 강하가 적게 발생한다. 또한 온도차이에 의한 물 회수 방식이 아닌 흡착제를 사용하는 것이기 때문에 별도의 쿨러를 필요로 하지 않는다.

[0081] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 고속 썰멸 스윙 흡착을 이용한 물 회수 장치의 중공사 흡착제의 물 흡착 등온선(isotherm)을 나타내는 도면이다.

[0082] 도 6의 등온선을 얻기 위한 실험장비로 Vapor sorption analyzer (TA instruments, VTI-SA+)를 사용하였으며, 고온에서의 등온선은 모델링을 통해 데이터를 보정하였으며, 키네틱 데이터(kinetic data)는 하기 수학적식을 이용하여 모델링하였고, 흡착 키네틱을 기반으로 탈착 키네틱 모델을 계산하였다.

[0083] 수학적식 8은 중공사 흡착제의 평형(equilibrium) 거동을 묘사하기 위해 사용된 토스 등온선 모델(Toth isotherm model)이다.

[0084] (수학적식 8)

$$\frac{q_{eq}}{q_m} = \frac{bp_{co_2}}{(1 + (bp_{co_2})^n)^{1/n}}$$

[0085]

[0086] 수학적식 8에서 q_{eq} [mol- H₂O /kg-sorbent]는 평형상태에서의 H₂O 흡수량(amount of H₂O adsorbed at equilibrium)을 나타내고, q_m [mol- H₂O/kg-sorbent]는 최대 H₂O 흡수량(the maximum amount of H₂O adsorbed)을 나타내며, b [bar⁻¹]는 친화상수(the affinity constant)를 나타내고, p_{H_2O} [bar]는 가스상의 H₂O 부분압력(the partial pressure of H₂O in the gas phase)을 나타내며, n 은 토스 등온선 파라미터(the Toth isotherm parameter)를 나타낸다.

[0087] 수학적식 8의 파라미터들은 수학적식 9 내지 11로 정의되며, 수학적식 9 내지 11은 모두 수학적식 8의 파라미터가 가지는 형태를 설명한 것이다.

[0088] (수학적식 9)

$$b = b_0 \exp\left(-\frac{\Delta H_0}{R_g T_0} \left(\frac{T_0}{T} - 1\right)\right)$$

[0089]

[0090] (수학적식 10)

$$q_m = q_{m0,1} \exp(\eta_1(1 - T/T_0))$$

[0091]

[0092] (수학적식 11)

$$n = A + B\left(1 - \frac{T_0}{T}\right)$$

[0093]

[0094] 수학적식 9 내지 11에서, ΔH_0 는 제로 로딩에서의 등량 흡착열(isosteric heat of adsorption at zero loading)을 나타내고, T_0 는 참조 온도(reference temperature)를 나타내며, b_0 는 참조온도의 친화상수(affinity constant at T_0)를 나타내고, $q_{m0,1}$, $q_{m0,2}$, η_1 , η_2 는 q_m 의 지수 인자(exponential factor of q_m)를 나타내며, A 및 B는 피팅 파라미터(fitting parameters)를 나타낸다.

[0095] 수학식 12는 중공사 흡착제의 흡착 키네틱 모델(adsorption kinetic model)을 나타낸다.

[0096] (수학식 12)

$$\frac{\partial q}{\partial t} = K_{ads} (q_{eq} - q)$$

[0097]

[0098] 수학식 12에서 $K_{ads} [s^{-1}]$ 는 흡착 시 중공사 흡착제와 H_2O 사이의 전체 물질 전달 계수(overall mass transfer coefficients between fiber sorbent and H_2O at adsorption)를 나타내고, s_a 는 키네틱 방정식의 레귤레이션 팩터(the regulation factor of the kinetic equation)를 의미한다.

[0099] 그리고 수학식 12로부터 중공사 흡착제의 탈착 키네틱 모델인 수학식 13이 주어진다.

[0100] (수학식 13)

$$\frac{\partial q}{\partial t} = K_{des} (q - q_{eq})$$

[0101]

[0102] 수학식 13에서 $K_{des} [s^{-1}]$ 는 탈착 시 중공사 흡착제와 H_2O 사이의 전체 물질 전달 계수(overall mass transfer coefficient between fiber sorbent and H_2O at desorption)를 나타낸다. 이때, LDF model이 탈착 키네틱 모델(desorption kinetic model)로써 사용되었다.

[0103] 여기서, 수학식 12 및 수학식 13은 H_2O 가 중공사 흡착제에 흡착 및 탈착되는 속도를 나타내는 수식으로, 수학식 12 및 13은 수학식 2 및 4에 대입된다.

[0104] 이상 바람직한 실시예를 들어 본 발명을 상세하게 설명하였으나, 본 발명은 전술한 실시예에 한정되지 않고, 본 발명의 기술적 사상의 범위 내에서 당분야에서 통상의 지식을 가진자에 의하여 여러 가지 변형이 가능하다.

부호의 설명

[0105]

100: 베드

101: 중공사 흡착제 120: 루멘층

110: 제1 베드 120: 제2 베드

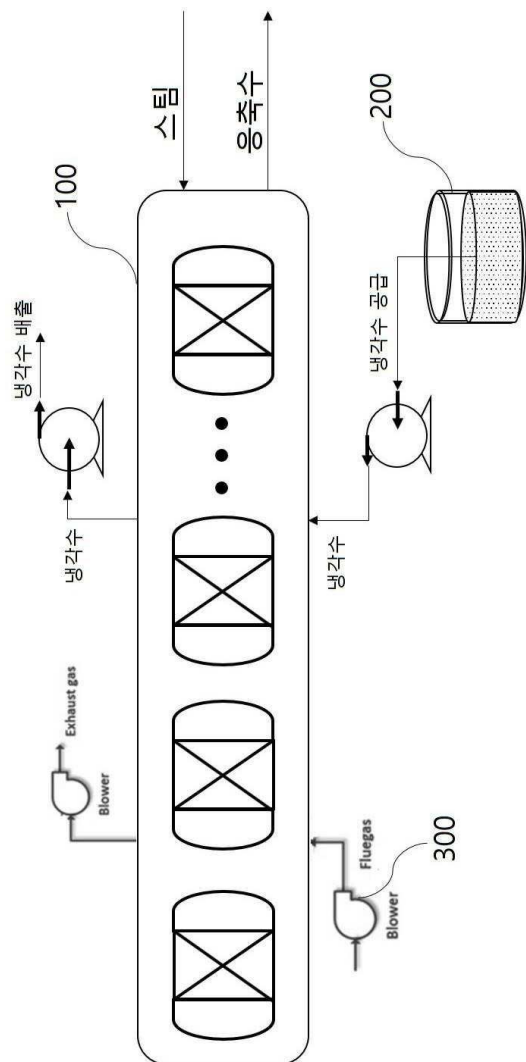
130: 제3 베드 140: 제4 베드

200: 냉각수 공급부

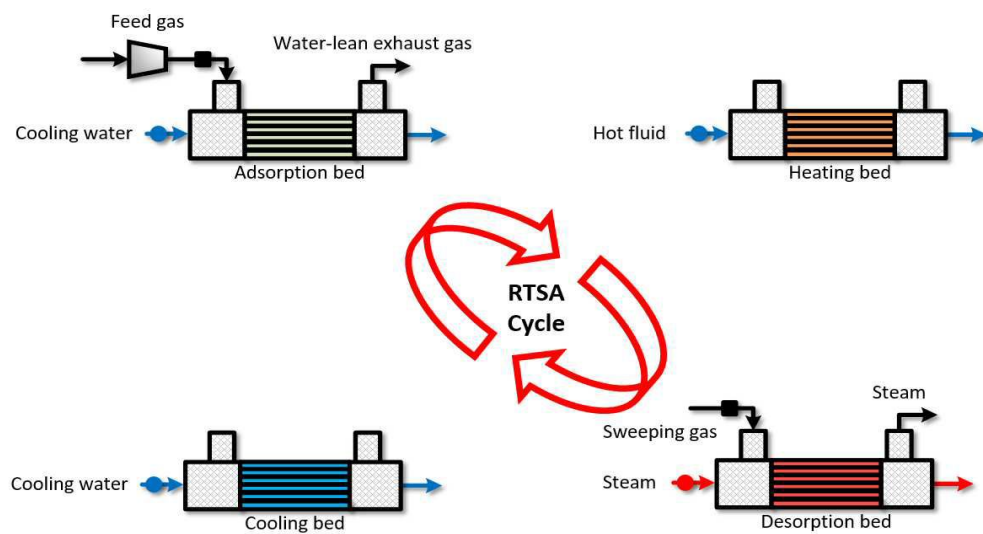
300: 가스 공급부

도면

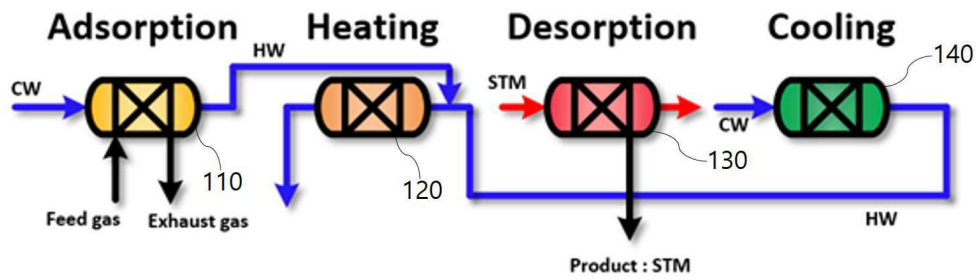
도면1



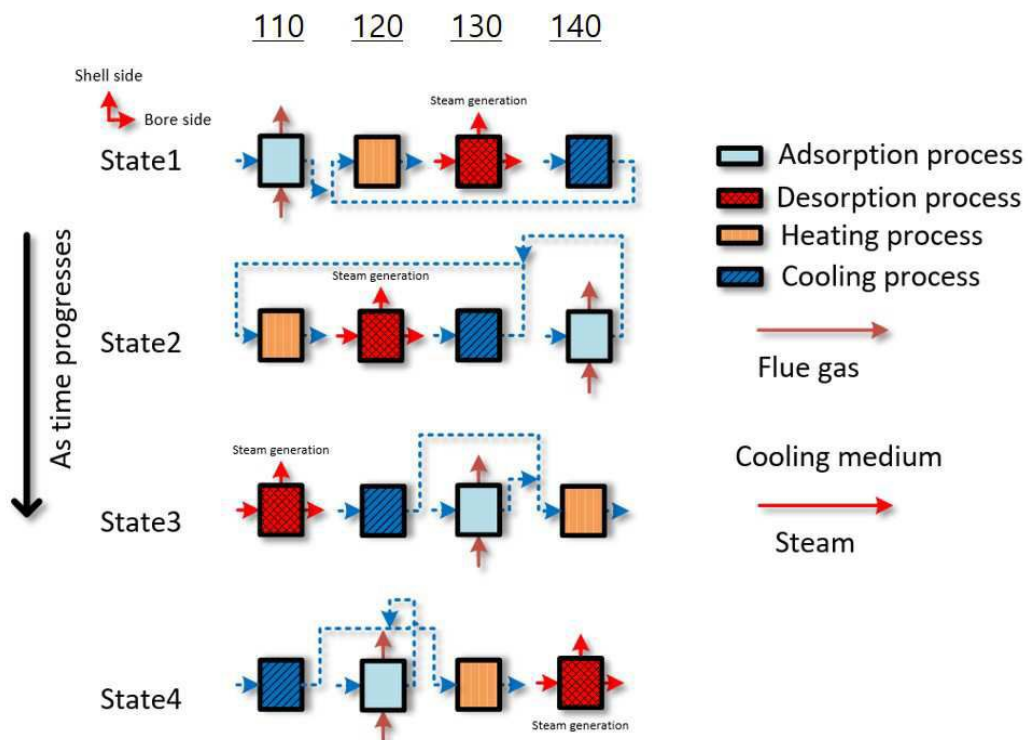
도면2



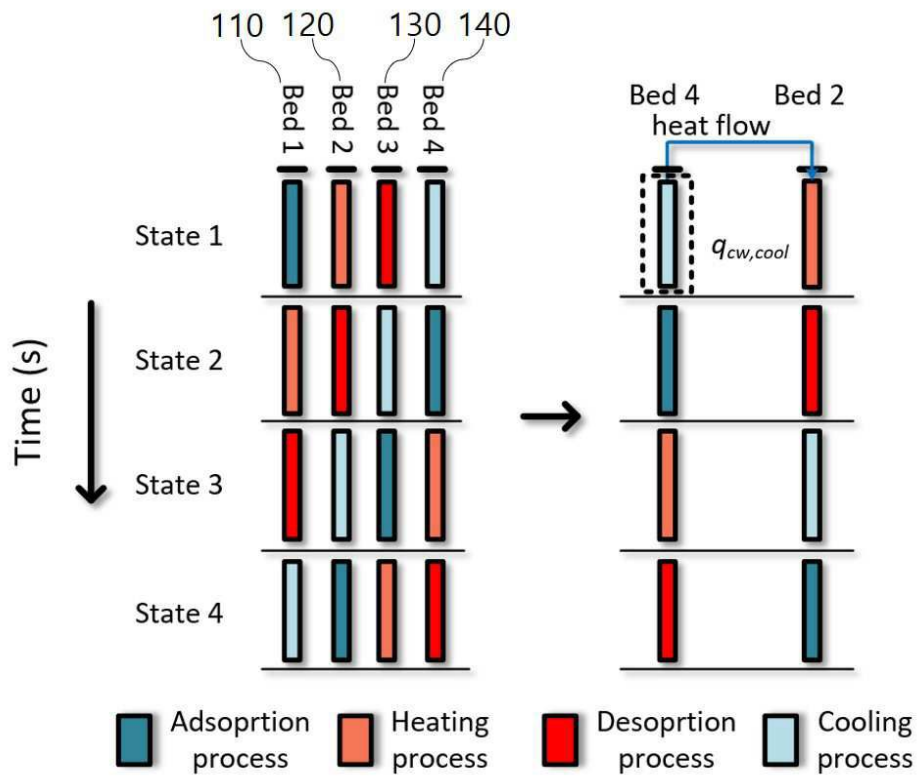
도면3a



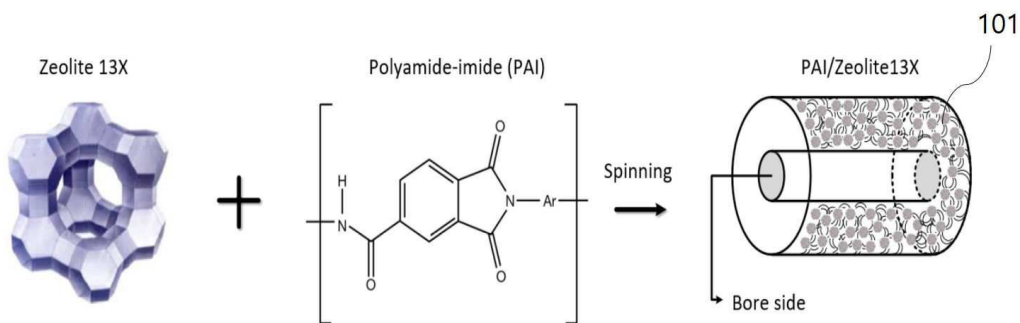
도면3b



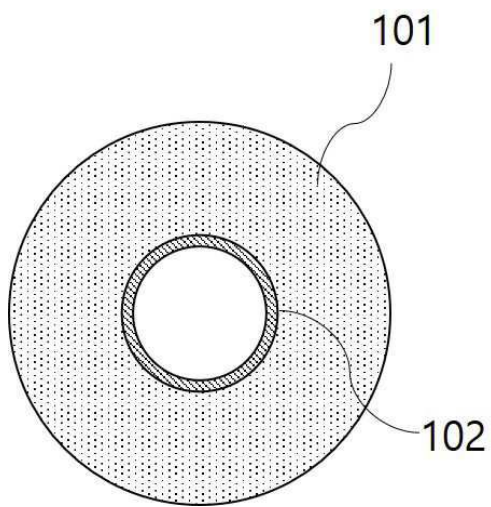
도면3c



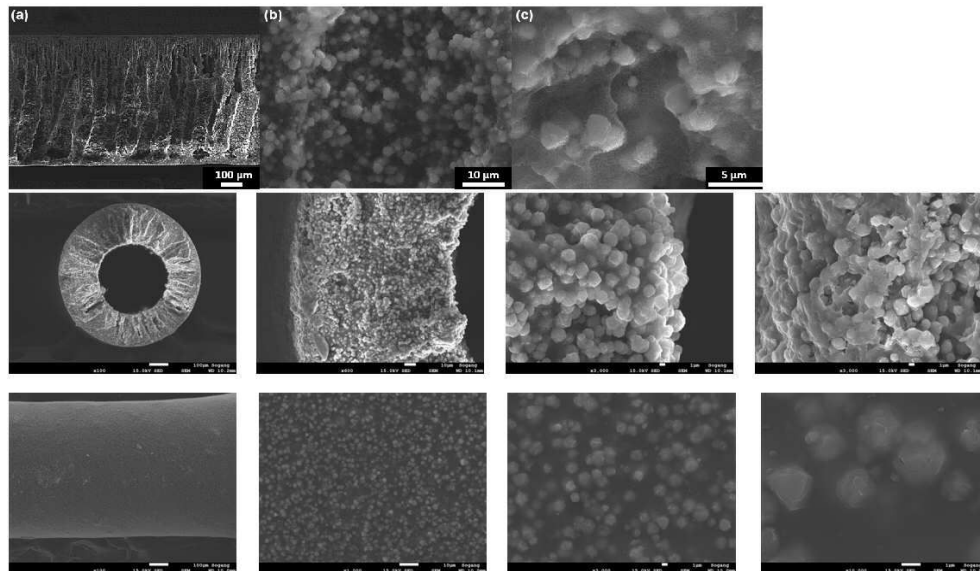
도면4a



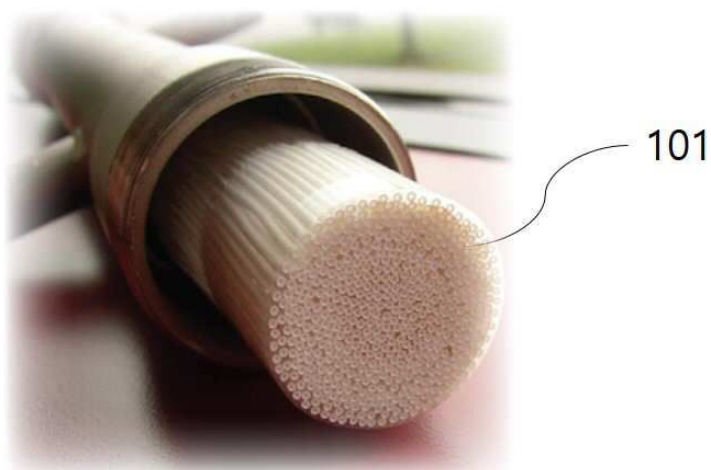
도면4b



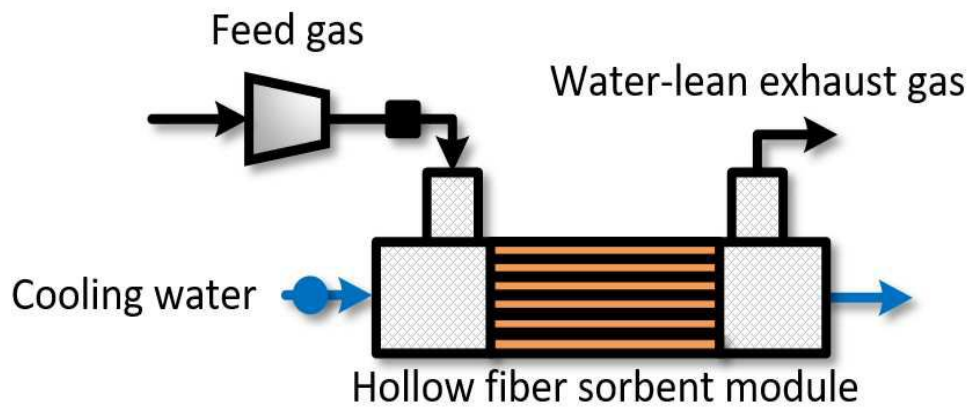
도면4c



도면4d



도면5



도면6

