(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0074315
(43) 공개일자 2022년06월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 30/02 (2006.01) *B01D 53/14* (2006.01)
G01N 30/88 (2006.01) *G01N 5/04* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 30/02 (2013.01)
B01D 53/1475 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0162665
(22) 출원일자 2020년11월27일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
이광순
서울특별시 마포구 마포대로 143, 1202호(공덕동, 마포공덕파크팰리스 Ⅱ)
정원호
서울특별시 강북구 삼양로 658
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김병주

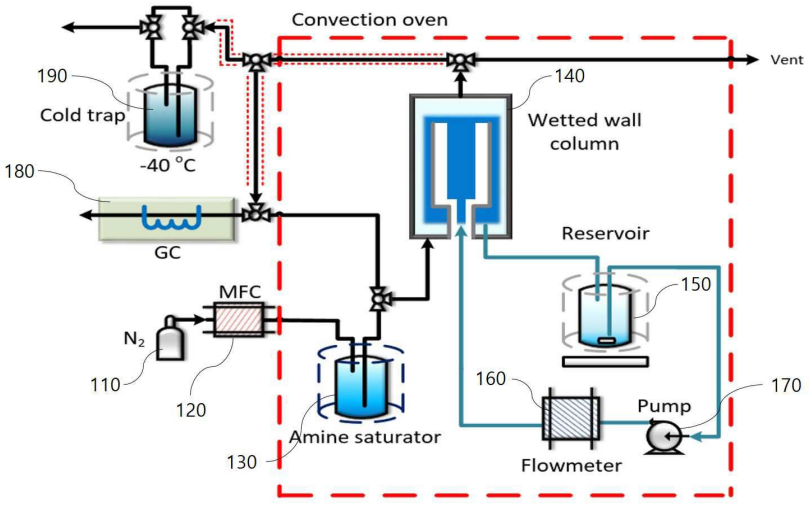
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치**

(57) 요 약

본 발명에 따른 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치는 아민과 비활성인 기체에 아민 흡수제를 포화시켜 아민과 수분이 포화된 기체를 생성하여 구비된 습식탑에 공급하며, 습식탑에 공급되는 기체의 아민과 수분의 몰 분율 및 무게를 측정하고, 습식벽에서 배출되는 기체의 아민과 수분의 몰 분율 및 무게를 측정하는 파라미터 측정부 및 파라미터 측정부에서 측정된 습식탑에 공급되는 기체의 몰 분율 및 무게와 습식벽에서 배출되는 기체의 몰 분율 및 무게에 기초하여 아민 흡수제와 물 사이의 총괄 물질전달계수를 산출하는 물질전달계수 산출부를 포함한다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
B01D 53/1493 (2013.01)
G01N 5/04 (2013.01)
G01N 2030/025 (2013.01)
G01N 2030/8886 (2013.01)
(72) 발명자
유정균
대전광역시 유성구 노은로 416, 503동 502호(하기동, 송림마을5단지아파트)
고현진
충청남도 태안군 태안읍 중앙로 215 진영리더스빌 C-301

명 세 서

청구범위

청구항 1

아민과 비활성인 기체에 아민 흡수제를 포화시켜 아민과 수분이 포화된 기체를 생성하여 구비된 습식탑에 공급하며, 습식탑에 공급되는 기체의 아민과 수분의 몰 분율 및 무게를 측정하고, 습식벽에서 배출되는 기체의 아민과 수분의 몰 분율 및 무게를 측정하는 파라미터 측정부; 및

상기 파라미터 측정부에서 측정된 습식탑에 공급되는 기체의 몰 분율 및 무게와 습식벽에서 배출되는 기체의 몰 분율 및 무게에 기초하여 아민 흡수제와 물 사이의 총괄 물질전달계수를 산출하는 물질전달계수 산출부;

를 포함하는, 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 파라미터 측정부는,

아민과 비활성인 기체를 공급하는 가스공급기;

상기 가스공급기로부터 공급된 아민과 비활성인 기체를 일정한 질량으로 조절하여 아민 포화기에 공급하는 MFC;

아민 흡수제를 구비하며, 상기 MFC로부터 공급된 아민과 비활성인 기체를 아민 흡수제와 접촉시켜 아민 및 수분을 포화시키고, 아민 및 수분이 포화된 기체를 기체 크로마토그래피와 콜드 트랩 또는 습식벽으로 전달하는 아민 포화기;

순수가 내부를 흐르며 얇은 필름을 형성하고, 상기 아민 포화기로부터 공급된 아민 및 수분이 포화된 기체를 얇은 필름 형태의 순수와 접촉시켜 농도차이에 의해 소정의 아민이 순수로 이동하도록 한 후 남은 잔량의 아민을 포함하는 기체를 기체 크로마토그래피와 콜드 트랩으로 전달하는 습식벽;

상기 아민 포화기 또는 상기 습식벽을 통해 공급된 기체에 포함된 아민과 수분 각각의 몰 분율을 측정하는 기체 크로마토그래피; 및

상기 아민 포화기 또는 상기 습식벽을 통해 공급된 기체에 포함된 아민과 수분을 냉각시켜 고체화한 후 아민 및 수분의 무게를 측정하는 콜드 트랩;

을 포함하는, 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 파라미터 측정부는,

상기 가스공급기로부터 공급된 아민과 비활성인 기체를 아민 포화기에서 아민 흡수제와 접촉 및 포화시켜 아민과 수분이 포화된 기체를 생성하고, 아민과 수분이 포화된 기체를 밸브 조절을 통해 기체 크로마토그래피 및 콜드 트랩으로 공급한 후, 기체 크로마토그래피를 통해 아민과 수분이 포화된 기체에서 포화된 아민과 수분 각각의 몰 분율과 비율을 측정하고, 콜드 트랩을 통해 아민과 수분이 포화된 기체에서 포화된 아민과 수분을 냉각시켜 고체화한 후 무게를 측정하여, 습식벽에 공급되는 기체의 아민과 물의 몰 분율 및 무게를 측정하는, 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 파라미터 측정부는,

상기 가스공급기로부터 공급된 아민과 비활성인 기체를 아민 포화기에서 아민 흡수제와 접촉 및 포화시켜 아민

과 수분이 포화된 기체를 생성하고, 아민과 수분이 포화된 기체를 밸브 조절을 통해 습식벽으로 공급한 후 습식벽 내부를 흐르며 얇은 필름 형태를 가지는 순수와 접촉시켜 아민과 수분이 포화된 기체에서 소정의 아민을 농도차이를 통해 순수로 물질 이동을 시킨 후 습식벽에서 배출하고, 습식벽에서 배출되는 기체를 기체 크로마토그래피 및 콜드 트랩으로 전달한 후, 기체 크로마토크래피를 통해 습식벽에서 배출되는 기체의 아민과 수분의 몰 분율을 측정하고, 콜드 트랩을 통해 습식벽에서 배출되는 기체의 아민과 수분을 냉각시켜 고체화한 후 무게를 측정하여, 습식벽에서 배출되는 기체의 아민과 물의 몰 분율 및 무게를 측정하는, 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 물질전달계수 산출부는 습식벽으로 공급되는 기체의 아민 및 수분의 몰 분율 및 무게와 비활성 기체의 유량을 통해 습식벽으로 공급되는 기체의 압력을 산출하고, 습식벽에서 배출되는 기체의 아민 및 수분의 몰 분율 및 무게와 비활성 기체의 유량을 통해 습식벽에서 배출되는 기체의 압력을 산출한 후, 수학식 1을 통해 순수의 아민 흡수량(n_{Am})을 산출하는, 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치.

(수학식 1)

$$n_{Am} = \frac{Q_G}{ART}\left(P_{in}^{sat} y_{Am,in} - P_{out}^{sat} y_{Am,out}\right)$$

수학식 1에서 A는 습식벽에서 순수와 아민의 물질전달면적이고, R은 비활성인 기체의 기체상수이고, T는 온도이고, Q_G는 MFC가 전달해준 비활성 기체의 입구 체적가스유량이고, P_{in}^{sat}는 습식벽으로 공급되는 기체의 압력이고, P_{out}^{sat}는 습식벽에서 배출되는 기체의 압력이고, $y_{Am,in}$은 습식탑으로 주입되는 기체의 아민 몰분율이고, $y_{Am,out}$는 습식탑에서 배출되는 기체의 아민 몰분율이다.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 물질전달계수 산출부는 수학식 2를 통해 총괄 물질전달계수(K_G)를 산출하는, 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치.

(수학식 2)

$$n_{Am}(t) = K_G(P_i - P_i^*)$$

수학식 2에서 $P_{Am,in}^*$은 습식벽으로 공급되는 순수의 주입구에서의 아민 증기압이며, $P_{Am,out}^*$은 습식벽에서 아민과 접촉하여 소정의 아민이 흡수된 순수의 배출구에서의 아민 증기압이다.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 물질전달계수 산출부는 수학식 5를 통해 아민 흡수제를 이용한 이산화탄소 포집장치의 수세척탑의 높이를 산출하는, 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치.

(수학식 5)

$$h = \underbrace{\frac{V}{K_G aSP}}_{H_{OG}} \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{dy}{y - y^*}$$

V는 증기의 몰 유량이고, K_G는 총괄 물질전달계수이고, a는 충전탑 단위 체적 대비 물질 전달 영역이고, S는 습식벽 단면적이고, P는 아민 증기압의 압력이고, y는 비활성 기체에 포화된 아민 증기압의 몰분율이고, y^*는 습식벽 내의 순수로 이동한 아민 증기압의 몰 분율이다.

청구항 8

제2항에 있어서,

상기 파라미터 측정부는,

순수를 펌프를 이용하여 상기 습식벽에 공급하는 급수기; 및

상기 급수기에서 상기 습식벽으로 공급되는 순수의 유량을 측정하는 유량계;

를 더 포함하는, 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 아민과 비활성인 기체는 헬륨 가스 또는 질소 가스인, 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치에 관한 것으로, 보다 구체적으로 이산화탄소 포집 장치에서 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수를 측정하기 위한 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 화석 연료는 현대 사회에서 에너지를 공급하는 용도로 가장 널리 사용되고 있다. 이와 같이 화석 연료는 에너지 공급에 큰 부분을 차지하고 있으나, 화석 연료 사용으로 인해 전세계적으로 이산화탄소 배출량이 증가하는 추세이다. 국제에너지 기구(IEA)는 지구온난화를 야기하는 온실가스의 주범인 이산화탄소 배출량을 감소시키기 위하여 블루맵(Bluemap) 2050 시나리오를 통해 이산화탄소 배출량을 줄이기 위한 전략을 구축하였다. 국제에너지기구(IEA)의 2050년의 이산화탄소 배출량 목표는 현재 이산화탄소 배출량의 절반 수준이며, 이산화탄소 감축을 위한 전략 중 이산화탄소 포집 및 처리 기술(CCS)이 약 20%의 큰 부분을 차지하고 있다.

[0003] CCS 기술은 크게 이산화탄소(CO_2)를 포집하고 압축하는 공정과, 이송하고 저장 및 처리하는 공정으로 나눌 수 있다. 모든 공정에 대해 활발한 연구가 진행되고 있지만, 이산화탄소 포집 및 압축 공정이 전체 CCS 비용의 70-80%를 차지하기 때문에 CCS의 경제성을 위하여 이산화탄소 포집 및 압축 공정에 대한 연구가 집중되고 있다.

[0004] 이산화탄소 포집 및 압축 공정에 대한 연구는 크게 신 흡수제 개발과 신 공정 개발을 통해 이루어지고 있다. 신 흡수제 개발은 암모니아 혹은 기존에 알려진 아민(Amine)들의 혼합 흡수제(e.g. MEA, MDEA, DEA, PZ, AMP, etc.)를 사용하는 수계 흡수제 또는 물을 사용하지 않는 비수계 흡수제에 대한 연구가 진행되고 있다. 또한, 신 공정 개발은 흡수탑의 중간냉각(Intercooling), 탈착탑의 린 증기 재압축(lean vapor recompression), 스플릿 공정(split process), 인터히트된 탈착탑(interheated stripper) 등 기존 공정에서 사용되지 않고 낭비되는 열을 최대한 공정에 회수하여 에너지 소비를 줄이는 신 공정 연구가 진행되고 있다. 그러나 하나의 흡수탑 또는 탈착탑의 관점에 국한되어 있는 신 공정 연구는 에너지 소비를 감소시키는데 한계가 있다.

[0005] 2013년도 산업계에서 발표된 바에 의하면 세계적 수준인 신 흡수제 및 공정은 탈착탑에서의 에너지 소비가 2.3-

2.5 GJ/ton-CO_2(기존 MEA 공정은 3.6-4.0 GJ/ton-CO_2)로 알려져 있고 학계에서는 2.0-2.3 GJ/ton-CO_2의 포집 공정이 가능하다고 발표되어 있다. 따라서, 세계적인 수준 이상의 공정을 개발하기 위해서는 혁신적인 흡수제뿐 아니라 혁신적인 개념의 공정 또한 개발되어야 한다.

[0006] 이와 같은 이산화탄소 포집장치의 포집방법 중 하나로 습식 공정을 이용한 이산화탄소 포집방법이 사용되고 있다. 그러나 습식 공정의 단점 중 하나는 흡수탑 상단으로 배출되는 아민(Amine)의 양이 많다는 것이다. 이와 같이 배출되는 아민은 대기중 산소와 반응하여 변성물을 만들어 낼 수 있으며, 아민이 대기중 산소와 반응하여 형성된 변성물은 인체에 유해하기 때문에, 아민의 배출을 막는 것이 습식 공정에서의 주요 쟁점 가운데 하나이다. 일반적으로 아민의 배출을 막는 방법은 수세척탑(water-wash column)을 설치하여 배가스에서 아민을 물로 녹여 회수하는 방법이 사용된다. 그러나 수세척탑 설계에 아민 증기(amine vapor)와 순수(pure water)의 물질전달계수(mass transfer coefficient)를 반영하지 않은 문제를 가진다. 따라서, 더 정교하고 아민 배출량을 줄일 수 있는 수세척탑을 설계하기 위해서는 아민 증기(amine vapor)와 순수(pure water)의 물질전달계수(mass transfer coefficient)를 정확하게 산출하기 위한 방법이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 10-0983677호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 상기와 같은 종래 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이산화탄소 포집 장치에서 아민의 배출을 방지하도록 하기 위한 수세척탑 설계를 위해 아민 증가와 물 사이의 물질전달계수를 측정할 수 있는 장치를 제공하는 것이다.

[0009] 본 발명의 상기 및 다른 목적과 이점은 바람직한 실시예를 설명한 하기의 설명으로부터 분명해질 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 목적은, 아민과 비활성인 기체에 아민 흡수제를 포화시켜 아민과 수분이 포화된 기체를 생성하여 구비된 습식탑에 공급하며, 습식탑에 공급되는 기체의 아민과 수분의 몰 분율 및 무게를 측정하고, 습식벽에서 배출되는 기체의 아민과 수분의 몰 분율 및 무게를 측정하는 파라미터 측정부 및 상기 파라미터 측정부에서 측정된 습식탑에 공급되는 기체의 몰 분율 및 무게와 습식벽에서 배출되는 기체의 몰 분율 및 무게에 기초하여 아민 흡수제와 물 사이의 총괄 물질전달계수를 산출하는 물질전달계수 산출부를 포함하는, 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치에 의해 달성된다.

[0011] 바람직하게는, 상기 파라미터 측정부는 아민과 비활성인 기체를 공급하는 가스공급기; 상기 가스공급기로부터 공급된 아민과 비활성인 기체를 일정한 질량으로 조절하여 아민 포화기에 공급하는 MFC; 아민 흡수제를 구비하며, 상기 MFC로부터 공급된 아민과 비활성인 기체를 아민 흡수제와 접촉시켜 아민 및 수분을 포화시키고, 아민 및 수분이 포화된 기체를 기체 크로마토그래피와 콜드 트랩 또는 습식벽으로 전달하는 아민 포화기; 순수가 내부를 흐르며 얇은 필름을 형성하고, 상기 아민 포화기로부터 공급된 아민 및 수분이 포화된 기체를 얇은 필름 형태의 순수와 접촉시켜 농도차이에 의해 소정의 아민이 순수로 이동하도록 한 후 남은 잔량의 아민을 포함하는 기체를 기체 크로마토그래피와 콜드 트랩으로 전달하는 습식벽; 상기 아민 포화기 또는 상기 습식벽을 통해 공급된 기체에 포함된 아민과 수분 각각의 몰 분율을 측정하는 기체 크로마토그래피; 및 상기 아민 포화기 또는 상기 습식벽을 통해 공급된 기체에 포함된 아민과 수분을 냉각시켜 고체화한 후 아민 및 수분의 무게를 측정하는 콜드 트랩;을 포함하는 것일 수 있다.

[0012] 바람직하게는, 상기 파라미터 측정부는 상기 가스공급기로부터 공급된 아민과 비활성인 기체를 아민 포화기에서 아민 흡수제와 접촉 및 포화시켜 아민과 수분이 포화된 기체를 생성하고, 아민과 수분이 포화된 기체를 밸브 조절을 통해 기체 크로마토그래피 및 콜드 트랩으로 공급한 후, 기체 크로마토그래피를 통해 아민과 수분이 포화된 기체에서 포화된 아민과 수분 각각의 몰 분율과 비율을 측정하고, 콜드 트랩을 통해 아민과 수분이 포화된

기체에서 포화된 아민과 수분을 냉각시켜 고체화한 후 무게를 측정하여, 습식벽에 공급되는 기체의 아민과 물의 몰 분율 및 무게를 측정하는 것일 수 있다.

[0013] 바람직하게는, 상기 파라미터 측정부는 상기 가스공급기로부터 공급된 아민과 비활성인 기체를 아민 포화기에서 아민 흡수제와 접촉 및 포화시켜 아민과 수분이 포화된 기체를 생성하고, 아민과 수분이 포화된 기체를 밸브 조절을 통해 습식벽으로 공급한 후 습식벽 내부를 흐르며 얇은 필름 형태를 가지는 순수와 접촉시켜 아민과 수분이 포화된 기체에서 소정의 아민을 농도차이를 통해 순수로 물질 이동을 시킨 후 습식벽에서 배출되며, 습식벽에서 배출되는 기체를 기체 크로마토그래피 및 콜드 트랩으로 전달한 후, 기체 크로마토크래피를 통해 습식벽에서 배출되는 기체의 아민과 수분의 몰 분율을 측정하고, 콜드 트랩을 통해 습식벽에서 배출되는 기체의 아민과 수분을 냉각시켜 고체화한 후 무게를 측정하여, 습식벽에서 배출되는 기체의 아민과 물의 몰 분율 및 무게를 측정하는 것일 수 있다.

[0014] 바람직하게는, 상기 물질전달계수 산출부는 습식벽으로 공급되는 기체의 아민 및 수분의 몰 분율 및 무게와 비활성 기체의 유량을 통해 습식벽으로 공급되는 기체의 압력을 산출하고, 습식벽에서 배출되는 기체의 아민 및 수분의 몰 분율 및 무게와 비활성 기체의 유량을 통해 습식벽에서 배출되는 기체의 압력을 산출한 후, 수학식 1을 통해 순수의 아민 흡수량(n_{Am})을 산출하는 것일 수 있다.

[0015] (수학식 1)

[0016]
$$n_{Am} = \frac{Q_G}{ART}\left(P_{in}^{sat} y_{Am,in} - P_{out}^{sat} y_{Am,out}\right)$$

[0017] 수학식 1에서 A는 습식벽에서 순수와 아민의 물질전달면적이고, R은 비활성인 기체의 기체상수이고, T는 온도이고, Q_G는 MFC가 전달해준 비활성 기체의 입구 체적가스유량이고, P_{in}^{sat}는 습식벽으로 공급되는 기체의 압력이고, P_{out}^{sat}는 습식벽에서 배출되는 기체의 압력이고, $y_{Am,in}$은 습식탑으로 주입되는 기체의 아민 몰분율이고, $y_{Am,out}$는 습식탑에서 배출되는 기체의 아민 몰분율이다.

[0018] 바람직하게는, 상기 물질전달계수 산출부는 수학식 2를 통해 총괄 물질전달계수를 산출하는 것일 수 있다.

[0019] (수학식 2)

[0020]
$$n_{Am} = K_G A \Delta P_{LM} = K_G A \frac{(P_{in}^{sat} y_{Am,in} - P_{Am,out}^{*}) - (P_{out}^{sat} y_{Am,out} - P_{Am,in}^{*})}{\ln\left(\frac{P_{in}^{sat} y_{Am,in} - P_{Am,out}^{*}}{P_{out}^{sat} y_{Am,out} - P_{Am,in}^{*}}\right)}$$

[0021] 수학식 2에서 $P_{Am,in}^{*}$은 습식벽으로 공급되는 순수의 주입구에서의 아민 증기압이며, $P_{Am,out}^{*}$은 습식벽에서 아민과 접촉하여 소정의 아민이 흡수된 후 순수의 배출구에서의 아민 증기압으로 증기압 모델로부터 산출된다.

[0022] 바람직하게는, 상기 물질전달계수 산출부는 수학식 5를 통해 아민 흡수제를 이용한 이산화탄소 포집장치의 수세척탑의 높이를 산출하는 것일 수 있다.

[0023] (수학식 5)

[0024]
$$h = \frac{V}{\underbrace{K_G a S P}_{H_{OG}}} \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{dy}{y - y^*}$$

[0025] V는 증기의 몰 유량이고, K_G는 총괄 물질전달계수이고, a는 충전탑 단위 체적 대비 물질 전달 영역이고, S는 습식벽 단면적이고, P는 아민 증기압의 압력이고, y는 비활성 기체에 포화된 아민 증기압의 몰분율이고, y^*는 습식벽 내의 순수로 이동한 아민 증기압의 몰 분율이다.

[0026] 바람직하게는, 상기 파라미터 측정부는 순수를 펌프를 이용하여 상기 습식벽에 공급하는 급수기; 및 상기 급수기에서 상기 습식벽으로 공급되는 순수의 유량을 측정하는 유량계;를 더 포함하는 것일 수 있다.

[0027] 바람직하게는, 상기 아민과 비활성인 기체는 헬륨 가스 또는 질소 가스인 것일 수 있다.

발명의 효과

[0028] 본 발명에 따른 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치 및 측정방법은 아민의 증발량과 아민 증기의 흡수량을 동시에 측정하여 아민증가와 물 사이의 물질전달계수를 산출함으로써, 수세척탑 설계 시 아민 배출을 막을 수 있다.

[0029] 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

[0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치의 구성도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치의 파라미터 측정부(100)의 세부 구성도이다.

도 3은 도 2에 도시된 파라미터 측정부(100)를 구성하는 아민 포화기(130)의 세부 구성도이다.

도 4는 파라미터 측정부의 제1 단계에서 콜드 트랩에 전달되는 비활성 기체 내의 아민과 수분의 함량 비율을 나타내는 도면이다.

도 5는 파라미터 측정부의 제1 단계에서 공급되는 아민 흡수제의 평형압을 나타내는 도면이다.

도 6은 파라미터 측정부의 제2 단계에서 습식벽에 아민과 수분이 포화된 기체를 공급하기 전과 후의 아민과 순수의 몰 유량을 비교한 도면이다.

도 7은 도 6의 결과로부터 도출한 총괄 물질전달계수를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 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.

[0032] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치의 구성도이다.

[0033] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치의 파라미터 측정부(100)의 세부 구성도이다.

[0034] 도 3은 도 2에 도시된 파라미터 측정부(100)를 구성하는 아민 포화기(130)의 세부 구성도이다.

[0035] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수 측정장치는 파라미터 측정부(100) 및 물질전달계수 산출부(200)를 포함한다.

[0036] 파라미터 측정부(100)는 물질전달계수 산출부(200)에서 아민 증기와 물 사이의 물질전달계수(총괄 물질전달계수)를 산출하기 위한 파라미터를 측정한다.

[0037] 이와 같은 파라미터 측정부(100)는 가스공급기(110), MFC(Mass Flow Controller, 120), 아민 포화기(130), 습식벽(Wetted wall column, 140), 급수기(Reservoir, 150), 유량계(Flowmeter, 160), 펌프(170), 기체 크로마토그래피(Gas Chromatography, 180) 및 콜드 트랩(190)을 포함한다.

[0038] 가스공급기(110)는 아민과 비활성인 기체를 MFC(120)에 공급한다. 아민과 비활성인 기체는 헬륨(He) 가스 및 질소(N_2) 가스 중에서 선택된 적어도 하나인 것이 바람직하다.

[0039] MFC(120)는 가스공급기(110)로부터 공급된 가스를 일정한 질량으로 조절하여 아민 포화기(130)에 공급한다.

[0040] 아민 포화기(130)는 내부에 이산화탄소 포집장치의 흡수제로 사용되는 아민 흡수제를 구비하며, MFC(120)를 통

해 가스공급기(110)로부터 공급된 아민과 비활성인 기체를 아민과 접촉시켜 아민 및 수분을 포화시킨다. 즉, 건조한 상태인 아민과 비활성인 기체는 아민 포화기(130) 내부에서 아민 흡수제와 접촉하여 아민과 수분이 포화된 기체를 생성한다. 그리고 아민 및 수분이 포화된 기체는 공급 파이프에 위치한 밸브의 설정에 따라 습식벽(140)으로 공급되거나, 기체 크로마토그래피(180) 및 콜드 트랩(190)으로 바로 전달될 수 있다.

[0041] 습식벽(140)은 급수기(150)로부터 공급된 순수가 습십벽(140) 내부를 흐르며 얇은 필름을 형성하고, 습식벽(140) 내에서 아민 포화기(130)로부터 공급된 아민 및 수분이 포화된 기체는 역류(counter-current)로 얇은 필름 형태의 순수와 만나 농도차이에 의해 물질 이동(mass transfer)이 이루어져 아민 및 수분이 포화된 기체에서 아민의 일부가 순수로 이동한다. 그리고 아민의 일부가 순수로 이동하여 잔량의 아민을 포함하는 기체는 습식벽(140)의 상부로 배출되어 기체 크로마토크래피(180) 및 콜드 트랩(190)으로 전달된다.

[0042] 급수기(150)는 순수를 펌프(170)를 통해 습식벽(140)으로 공급하며, 이때 습식벽(140)으로 공급되는 순수의 유량은 유량계(160)를 통해 측정된다.

[0043] 기체 크로마토그래피(180)는 공급된 기체에 포함된 아민과 수분 각각의 몰 분율(mole fraction)을 측정하여 이들 사이의 비율을 측정한다.

[0044] 그리고 콜드 트랩(190)은 공급된 기체에 포함된 아민과 수분을 냉각시켜 고체화하고, 고체화된 아민 및 수분의 무게를 측정한다.

[0045] 본 발명에서 파라미터 측정부(100)는 크게 두 가지 동작단계를 수행하게 된다. 제1 단계는 습식벽(140)에 공급되는 아민의 평형압(equilibrium pressure)을 측정하는 단계이다. 아민의 평형압을 측정하는 제1 단계에서는 MFC(120)를 통해 가스공급기(110)로부터 공급된 아민과 비활성인 기체를 아민 포화기(130)에서 아민 흡수제와 접촉 및 포화시켜 아민과 수분이 포화된 기체를 생성하고, 아민과 수분이 포화된 기체는 바로 밸브 조절을 통해 기체 크로마토크래피(180) 및 콜드 트랩(190)으로 공급한다. 그리고 기체 크로마토크래피(180)에서는 아민과 수분이 포화된 기체에서 포화된 아민과 수분 각각의 몰 분율을 측정하고, 콜드 트랩(190)에서는 아민과 수분이 포화된 기체에서 포화된 아민과 수분을 냉각시켜 고체화한 후 측정된 무게를 측정한다. 이는 습식벽(140)을 통과하지 않은 아민 흡수제의 평형압, 즉 습식벽(140)에 공급되는 아민 흡수제의 평형압을 측정하기 위함이다.

[0046] 이와 같이 제1 단계에서 아민의 평형압을 측정하는 이유는 본 발명에서 사용되는 아민은 순수한 아민 고유의 상태가 아닌 아민 흡수제를 사용하는 것이므로, 아민 흡수제의 종류에 따라 평형압이 달라지므로 이의 평형압을 측정하기 위한 것이다.

[0047] 제2 단계는 습식벽(140)을 통해 아민의 흡수량과 관련된 파라미터를 산출하는 단계이다. 가스공급기(110)로부터 공급된 아민과 비활성인 기체를 아민 포화기(130)에서 아민 흡수제와 접촉 및 포화시켜 아민과 수분이 포화된 기체를 생성하고, 아민과 수분이 포화된 기체는 바로 밸브 조절을 통해 습식벽(140)으로 공급된다. 그리고 습식벽(140) 내부를 흐르며 얇은 필름 형태를 가지는 순수(Pure Water)와 역류 형태로 접촉시켜 아민과 수분이 포화된 기체에서 아민 일부를 농도차이를 통해 순수로 물질 이동을 시킨다. 그리고 아민의 일부가 순수로 이동하여 잔량의 아민을 포함하는 기체는 습식벽(140)의 상부로 배출되어 기체 크로마토그래피(180) 및 콜드 트랩(190)으로 전달된다. 기체 크로마토크래피(180)는 잔량의 아민을 포함하는 기체에서 아민과 수분의 몰 분율을 측정하고, 콜드 트랩(190)은 잔량의 아민을 포함하는 기체에서 아민과 수분을 냉각시켜 고체화하여 측정된 무게를 측정한다.

[0048] 이와 같이, 파라미터 측정부(100)는 제1 단계를 통해 습식벽(140)으로 공급되는 아민 흡수제의 아민과 수분의 몰 분율 및 무게를 측정하고, 제2 단계를 통해 습식벽(140)에서 배출되는 아민 흡수제의 아민과 수분의 몰 분율 및 무게를 측정한다. 그리고 파라미터 측정부(100)는 제1 단계에 의해 측정된 습식벽(140)으로 공급되는 기체의 아민 및 수분의 몰 분율 및 무게를 물질전달계수 산출부(200)로 전달하고, 제2 단계에 의해 측정된 습식벽(140)에서 배출되는 기체의 아민 및 수분의 몰 분율 및 무게를 물질전달계수 산출부(200)로 전달한다. 또한, 상술한 제1 단계 및 제2 단계를 진행하는 전반에 걸쳐 파라미터 측정부(100)는 각 단계를 통과하는 기체의 압력을 함께 측정하여 물질전달계수 산출부(200)로 전달할 수 있다.

[0049] 물질전달계수 산출부(200)는 파라미터 측정부(100)로부터 수신된 제1 단계에 의해 측정된 습식벽(140)으로 공급되는 아민 및 수분의 몰 분율 및 무게와 MFC(120)를 통해 측정된 비활성 기체의 유량을 통해 습식벽(140)으로 공급되는 아민 및 수분이 포화된 기체의 압력을 산출하고, 제2 단계에 의해 측정된 습식벽(140)에서 배출되는 아민 및 수분의 몰 분율 및 무게와 MFC(120)를 통해 측정된 비활성 기체의 유량을 통해 습식벽(140)에서 배출되는 아민 및 수분이 포화된 기체의 압력을 산출한다. 그리고 물질전달계수 산출부(200)는 습식벽(140)으로 공급

되는 기체에 대한 아민 및 수분의 몰 분율 및 압력과 습식벽(140)에서 배출되는 기체에 대한 아민 및 수분의 몰 분율 및 압력에 기초하여 아민 흡수제와 물 사이의 총괄 물질전달계수를 산출한다.

[0050] 먼저, 물질전달계수 산출부(200)는 하기 수학식 1을 통해 순수의 아민 흡수량(n_{Am})[kmol/s·m^2]을 산출한다.

[0051] (수학식 1)

[0052] $$n_{Am} = \frac{Q_G}{ART}\left(P_{in}^{sat} y_{Am,in} - P_{out}^{sat} y_{Am,out}\right)$$

[0053] 수학식 1에서 A는 습식벽에서 순수와 아민의 물질전달면적(순수와 아민의 접촉면적)이고, R은 비활성 기체(아민과 비활성인 기체)의 기체상수(gas constant)이고, T는 온도이며, Q_G는 MFC(120)가 전달해준 비활성 기체의 입구 체적가스유량(inlet volumetric gas flow rate)이고, P_{in}^{sat}는 습식벽(140)으로 공급되는 기체의 압력이고, P_{out}^{sat}는 습식벽(140)에서 배출되는 기체의 압력이고, $y_{Am,in}$은 습식탑으로 주입되는 기체의 아민 몰분율(inlet amine molar fraction)이고, $y_{Am,out}$는 습식탑에서 배출되는 기체의 아민 몰분율(outlet amine molar fraction)이다.

[0054] 물질전달계수 산출부(200)는 수학식 1을 통해 순수의 아민 흡수량(n_{Am})을 산출한 후 수학식 2를 통해 총괄 물질전달계수(Overall mass transfer coefficient, K_G)를 산출한다.

[0055] (수학식 2)

[0056] $$n_{Am} = K_G A \Delta P_{LM} = K_G A \frac{(P_{in}^{sat} y_{Am,in} - P_{Am,out}^{*}) - (P_{out}^{sat} y_{Am,out} - P_{Am,in}^{*})}{\ln\left(\frac{P_{in}^{sat} y_{Am,in} - P_{Am,out}^{*}}{P_{out}^{sat} y_{Am,out} - P_{Am,in}^{*}}\right)}$$

[0057] 수학식 2에서 $P_{Am,in}^{*}$은 습식벽(140)으로 공급되는 순수의 주입구에서의 아민 증기압으로 실질적으로 0 또는 0에 가까운 값을 가지며, $P_{Am,out}^{*}$은 습식벽에서 아민과 접촉하여 소정의 아민이 흡수된 순수의 배출구에서의 아민 증기압으로 증기압 모델로부터 산출된다.

[0058] 또한, 물질전달계수 산출부(200)는 산출된 총괄 물질전달계수로부터 총괄 물질전달계수가 아닌 각각의 액체 물질전달계수(liquid mass transfer coefficient) 및 가스 물질전달계수(gas mass transfer coefficient)를 산출할 수 있다.

[0059] 물질전달계수 산출부(200)는 수학식 3을 통해 순수 물질전달계수 및 아민 물질전달계수를 산출할 수 있다.

[0060] (수학식 3)

[0061] $$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_G} + \frac{1}{H_A k_L}$$

[0062] 수학식 3에서 k_G는 가스(아민)의 국부 물질전달계수(local mass transfer coefficient for the gas)로서 [kmol/s·m^2·kPa] 단위를 가지고, k_L은 순수의 국부 물질전달계수(local mass transfer coefficient for the liquid)로서 [m/s] 단위를 가지며, H_A는 헨리 상수(henry's law constant)를 나타낸다. 이중 k_L은 수학식 4를 통해 이론적으로 계산된다.

[0063] (수학식 4)

$$k_L = \left(\frac{3^{1/3}2^{1/2}}{\pi^{1/2}}\right)\left(\frac{Q^{1/3}h^{1/2}W^{2/3}}{A}\right)\left(\frac{g\rho}{\mu}\right)^{1/6} D^{1/2}$$

[0064]

[0065] 수학식 4에서 Q[cm^3/s]는 액체 유량(flow rate of liquid)을 나타내고, h[cm]은 습식벽(140)의 높이(height of the column)를 나타내며, W[cm]은 습식벽(140)의 환경(circumstance of the column)을 나타내고, A[cm^2]는 습식벽 내에서 순수와 아민의 접촉면적(the gas-liquid contact area)을 나타내며, g[m/sec^2]는 중력가속도를 나타내며, ρ[g/cm^3]는 순수의 밀도를 나타내고, μ[cP]는 순수의 점성을 나타내며, D[m/s^2]는 아민이 순수로 전달될 때의 확산성(the diffusivity of gas into the liquid)을 나타낸다.

[0066] 이때, 수학식 4는 오직 η<0.01에서만 타당하며, η=Dτ/δ2; τ=h/us; us=ρgδ2; δ=$(3\mu Q/\rho gW)^{1/3}$를 만족한다. Dτ는 확산 계수(diffusion coefficient)를 나타내고, δ2는 기체의 선속도를 나타내며, 확산 계수와 기체의 선속도 비율인 η가 0.01 미만인 조건하에서 필름 형태의 순수(liquid film)은 무한층(infinite thickness)을 가진다고 여길 수 있다.

[0067] 또한, 물질전달계수 산출부(200)는 수학식 5를 통해 역류 접촉 하에서 이산화탄소 포집장치에 구비된 수세척탑(water wash column)의 높이(h)를 산출할 수 있다. 수세척탑은 아민 흡수제를 이용한 이산화탄소 포집장치에서 이산화탄소가 아민 흡수제에 의해 분리된 배기가스에서 아민을 물로 녹여 회수하여 아민의 배출을 방지하는 것이다. 이와 같은 수세척탑은 인체 유해성을 가지는 아민의 배출을 방지하기 위한 구조로서 본 발명에서는 상술한 수학식 1 및 2에 의해 산출된 총괄 물질전달계수를 이용하여 수세척탑의 높이를 결정할 수 있다.

[0068] (수학식 5)

$$h = \underbrace{\frac{V}{K_G aSP}}_{H_{OG}} \int_{y_{out}}^{y_{in}} \frac{dy}{y - y^*}$$

[0069]

[0070] 수학식 5에서 V[mol/s]는 증기의 몰 유량(molar flow rate of the vapor)을 나타내고, K_G[mol/sec/m2/kPa]는 총괄 물질전달계수(the overall gas phase mass transfer coefficient)를 나타내고, α[m^2/m^3]는 충전탑 단위 체적 대비 물질 전달 영역(the mass transfer area per unit volume of the packed bed)을 나타내며, S[m^2]는 습식벽 단면적(the cross-sectional area of the column)을 나타내고, P는 아민 증기압의 압력이고, y는 비활성 기체에 포화된 아민 증기압의 몰분율(비활성 기체가 가지는 평형압 몰 분율)을 나타내고, y^*는 습식벽 내의 순수로 이동한 아민 증기압의 몰 분율을 나타낸다. 이때, 기체 전달 유닛의 전고 HOG(overall height of a gas transfer unit, HTU)는 물진전달계수 및 기체 유량에 의존한다.

[0071] 도 4는 파라미터 측정부의 제1 단계에서 콜드 트랩에 전달되는 비활성 기체 내의 아민과 수분의 함량 비율을 나타내는 도면이다.

[0072] 도 4를 참조하면, 파라미터 측정부의 콜드 트랩에서 비활성 기체 내의 아민과 수분 각각의 함량 비율을 나타내는 그래프이다. 가스공급기(110) 및 MFC(120)로부터 공급된 비활성 기체가 아민 포화기(130)에서 수분 및 아민에 포화된 후 가스 크로마토그래피(180) 및 콜드 트랩(190)으로 전달되어 가스 크로마토그래피(180)에서 몰 분율(mole fraction)을 측정하고, 콜드 트랩(190)에서 압력(pressure)을 측정한다. 이와 같이 크로마토그래피(180) 및 콜드 트랩(190)에서 측정되는 몰 분율 및 압력을 각각 313.15 K(켈빈 온도) 및 423.15 K(켈빈 온도)에서 도 4와 같이 측정하였다. 이와 같이 컨벡션 오븐(Convection oven)을 통해 여러 온도에서의 데이터를 취득할 수 있다.

[0073] 도 5는 파라미터 측정부의 제1 단계에서 공급되는 아민 흡수제의 평형압을 나타내는 도면이다.

[0074] 도 5를 참조하면, 몰 분율을 측정하지 않고 여러 온도에 따른 압력을 측정한 것이다. 이를 통해 몰 분율이 고정된 상태에서 온도 변화에 대해 증기압의 변화를 측정할 수 있다.

[0075] 도 6은 파라미터 측정부의 제2 단계에서 습식벽에 아민과 수분이 포화된 기체를 공급하기 전과 후의 아민과 순수의 몰 유량을 비교한 도면이다.

[0076] 도 6을 참조하면, 좌측의 그래프는 아민의 몰 유량 변화량이고 우측의 그래프는 물의 몰 유량 변화량을 나타낸다. 습식벽(140) 내부에는 순수가 흐르기 때문에 아민과 수분이 포화된 기체가 습식벽(140)을 통과하면 아민과 수분이 포화된 기체에서 아민 증기가 순수로 흡수되며 동시에 순수에서 기체쪽으로 물이 증발되어 이동한다. 그 결과 도 6의 우측 그래프와 같이 수계 흡수제인 MEA(Mono-ethanol amine) 30wt%는 물의 물 분율이 90%로 이미 물의 증기압과 비슷하므로, 습식벽(140)을 지난 후 기체에 포화된 물의 양에 변화가 적지만, 비수계 흡수제인 WLS의 경우 물의 농도가 15wt% 미만으로 습식벽(140)을 지난 후 기체에 포화된 물의 양이 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

[0077] 도 7은 도 6의 결과로부터 도출한 총괄 물질전달계수를 나타내는 도면이다.

[0078] 도 7을 참조하면, 도 6의 결과로부터 상술한 수학식 1 및 2를 통해 산출된 총괄 물질전달계수를 나타낸다. 도 7에서 (a)는 수계 흡수제인 MEA(Mono-ethanol amine) 30wt%에 대한 총괄 물질전달계수를 나타내며, (b)는 저수계 흡수제에 대한 총괄 물질전달계수를 나타낸다. 이때, Experiments는 도 6의 결과로부터 산출된 총괄 물질전달계수이며, Bravo et al.은 총괄 물질전달계수를 계산하는 레퍼런스 모델(reference model)에 의해 산출된 총괄 물질전달계수를 나타낸다.

[0079] 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

[0080] 100: 파라미터 측정부

110: 가스공급기 120: MFC

130: 아민 포화기 140: 습식벽

150: 급수기 160: 유량계

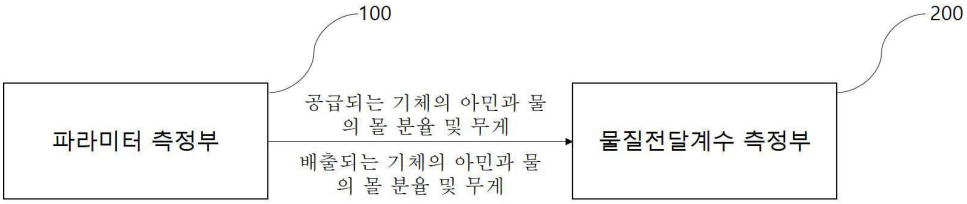
170: 펌프 180: 기체 크로마토그래피

190: 콜드 트랩

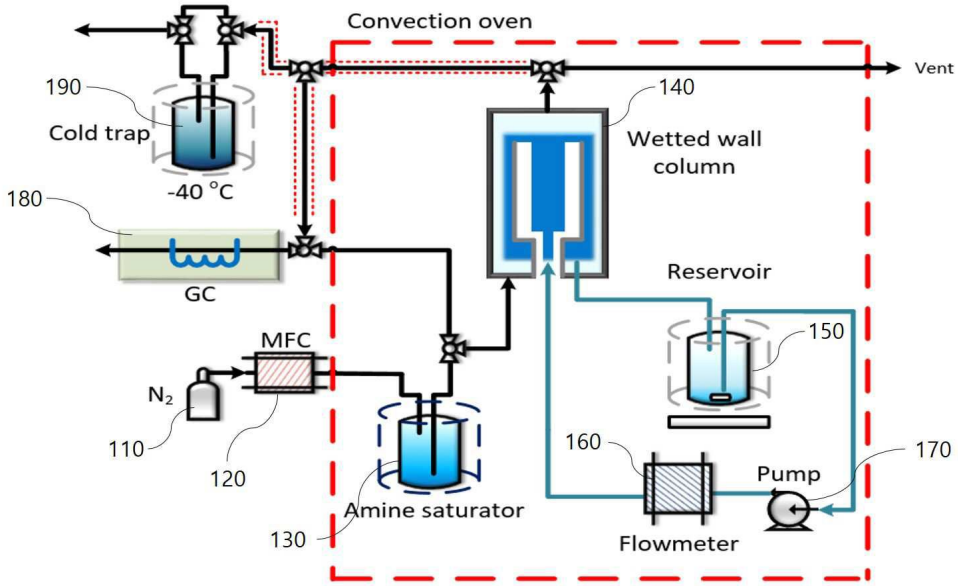
200: 물질전달계수 산출부

도면

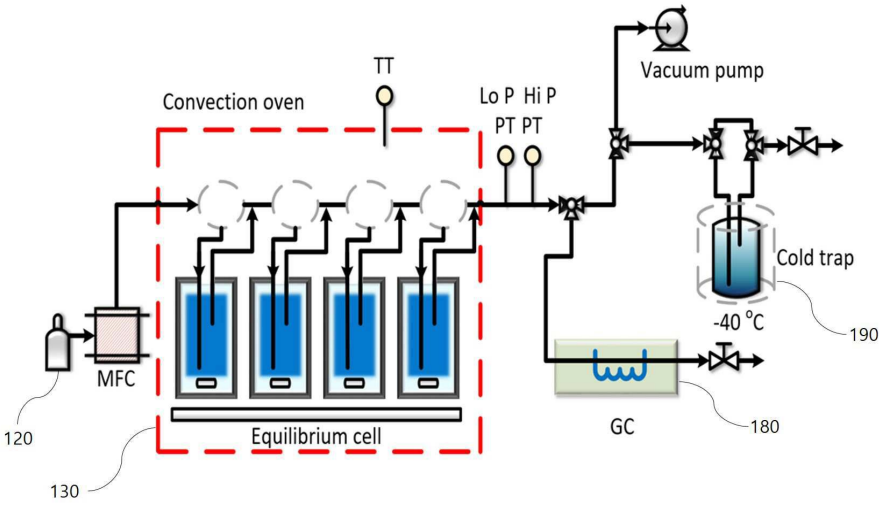
도면1



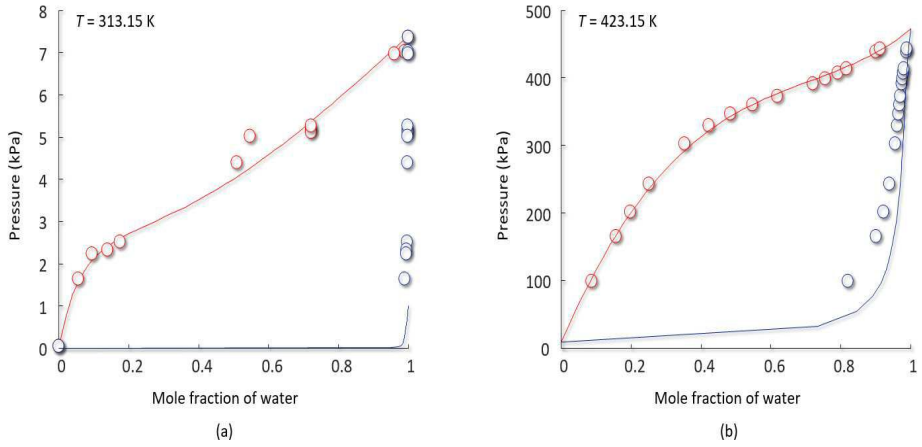
도면2


Convection oven
Vent
190
Cold trap
-40 °C
140
Wetted wall
column
180
GC
Reservoir
MFC
150
N_2
110
120
160
170
Pump
Amine saturator
130
Flowmeter

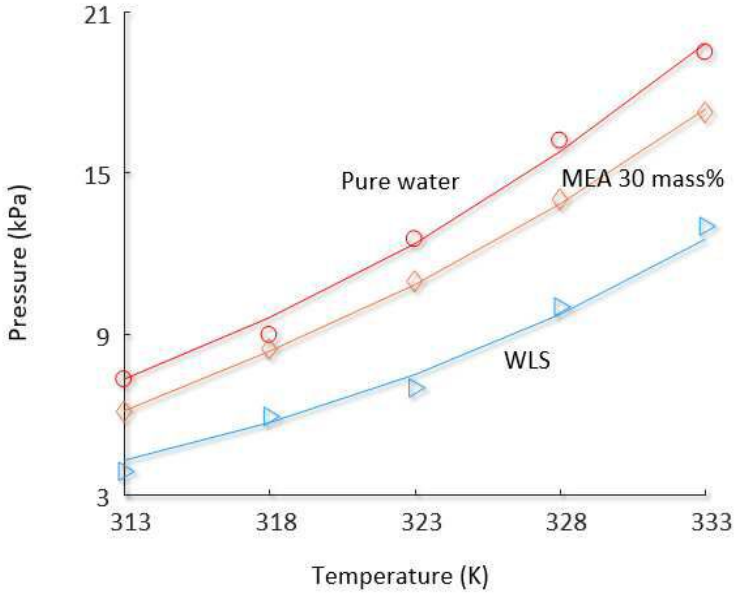
도면3


TT
Vacuum pump
Convection oven
Lo P Hi P
PT PT
Cold trap
-40 °C
190
MFC
120
Equilibrium cell
GC
180
130

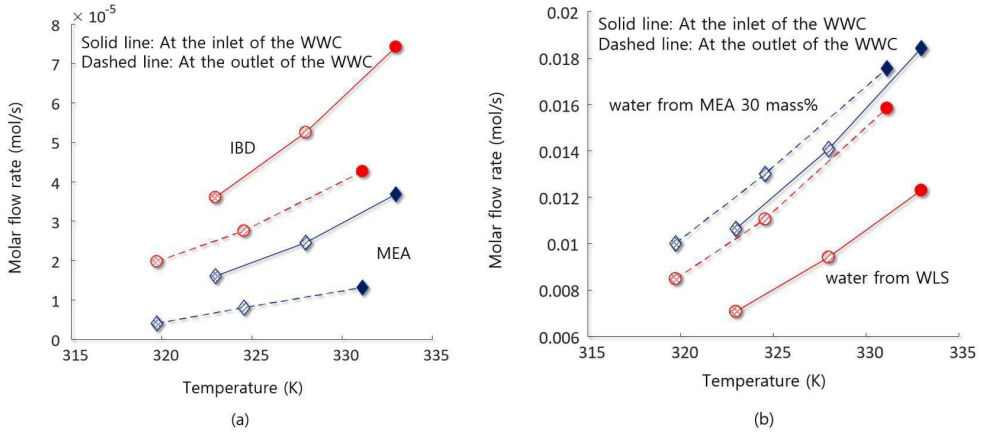
도면4


T = 313.15 K
Pressure (kPa)
Mole fraction of water
(a)
T = 423.15 K
Pressure (kPa)
Mole fraction of water
(b)

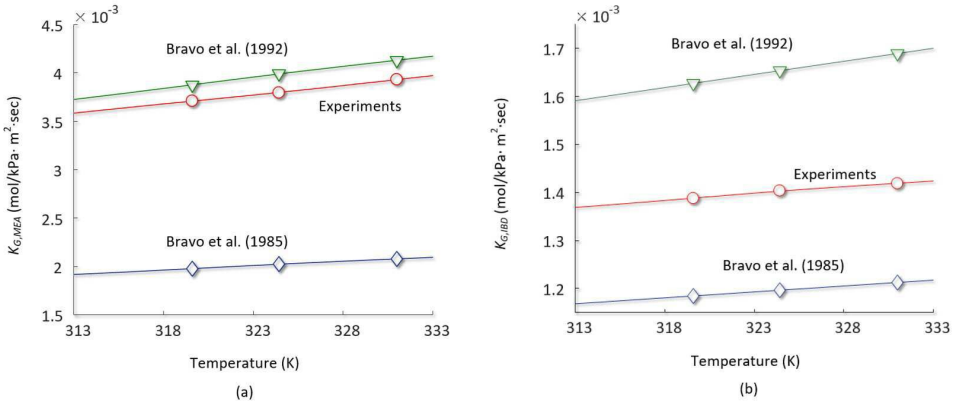
도면5


Pressure (kPa)
Pure water
MEA 30 mass%
WLS
Temperature (K)

도면6


Solid line: At the inlet of the WWC
Dashed line: At the outlet of the WWC
IBD
MEA
Molar flow rate (mol/s)
Temperature (K)
(a)
Solid line: At the inlet of the WWC
Dashed line: At the outlet of the WWC
water from MEA 30 mass%
water from WLS
Molar flow rate (mol/s)
Temperature (K)
(b)

도면7


× 10-3
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
Bravo et al. (1992)
Experiments
Bravo et al. (1985)
313
318
323
328
333
Temperature (K)
(a)
× 10-3
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
Bravo et al. (1992)
Experiments
Bravo et al. (1985)
313
318
323
328
333
Temperature (K)
(b)