



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0046508
(43) 공개일자 2017년05월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 33/00 (2006.01) B01J 20/22 (2006.01)
C07C 211/03 (2006.01) C07C 211/05 (2006.01)
G01N 33/26 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 33/00 (2013.01)
B01J 20/22 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0146941

(22) 출원일자 2015년10월21일

심사청구일자 2015년10월21일

(71) 출원인

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

이광순

서울특별시 마포구 마포대로 143, 1202호 (공덕동)

김희용

서울특별시 양천구 목동서로 340, 928동 405호 (신정동, 목동신시가지아파트9단지)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김병주

전체 청구항 수 : 총 11 항

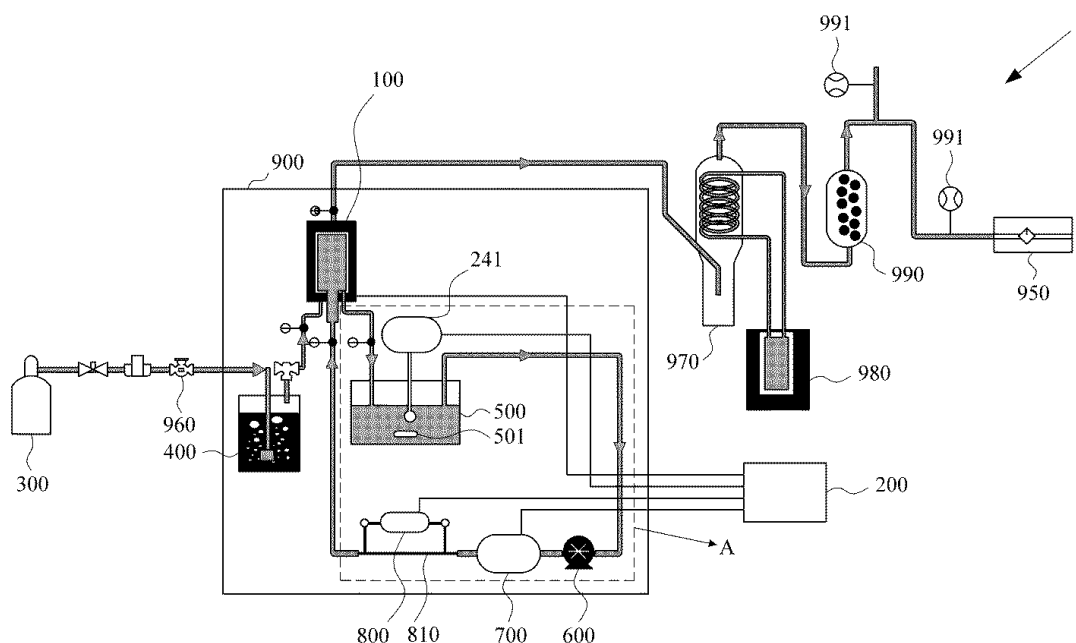
(54) 발명의 명칭 누벽탑을 이용하는 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치 및 이를 이용한 이산화탄소 흡수제 물성 산출 방법

(57) 요약

본 발명은 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치 및 이산화탄소 흡수제 물성 산출 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는, 적은 양의 이산화탄소 흡수제를 이용하여 이산화탄소 흡수에 적합하게 이용할 수 있는 이산화탄소 흡수제를 찾을 수 있는 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치 및 이산화탄소 흡수제 물성 산출 방법에 관한 것이다. 이

(뒷면에 계속)

대표도



를 위해 이산화탄소 흡수제 물질 산출 장치는 이산화탄소 흡수제 용액이 이산화탄소 함유 기체 내의 상기 이산화탄소를 흡수하도록 상기 이산화탄소 흡수제 용액과 상기 이산화탄소 함유 기체를 접촉시키는 누벽탑(wetted wall column); 및 상기 이산화탄소 흡수제의 물성을 산출하는 산출부;를 포함하되, 상기 산출부는, 상기 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 흡수 및 탈거속도를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 흡수 및 탈거속도 산출부; 상기 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 로딩시의 점도를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 점도 산출부; 상기 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 흡수열 산출부; 및 상기 이산화탄소 흡수제 용액의 pH를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 pH 산출부; 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

C07C 211/03 (2013.01)

C07C 211/05 (2013.01)

G01N 33/004 (2013.01)

G01N 33/26 (2013.01)

(72) 발명자

김정환

경기도 고양시 일산서구 탄중로 501, 503동 1104호
(일산동, 일산5차동문아파트)

김자엽

서울특별시 마포구 신수로11길 31, 3층 (신수동)

황성준

인천광역시 계양구 당미길 43, 104동 903호 (동양동, 휴먼빌아파트)

이미영

서울특별시 은평구 은평터널로 121-6, 101동 1406호 (신사동, 이랜드타운아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711027266

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기후변화대응기술개발

연구과제명 CO2 포집 공정 시뮬레이션 및 공정 최적화

기 여 율 1/1

주관기관 서강대학교

연구기간 2015.06.01 ~ 2016.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

이산화탄소 흡수제 용액이 이산화탄소 함유 기체 내의 상기 이산화탄소를 흡수하도록 상기 이산화탄소 흡수제 용액과 상기 이산화탄소 함유 기체를 접촉시키는 누벽탑(wetted wall column); 및

상기 이산화탄소 흡수제의 물성을 산출하는 산출부;를 포함하되,

상기 산출부는,

상기 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 흡수 및 탈거속도를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 흡수 및 탈거속도 산출부;

상기 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 로딩시의 점도를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 점도 산출부;

상기 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 흡수열 산출부; 및

상기 이산화탄소 흡수제 용액의 pH를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 pH 산출부; 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는, 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 누벽탑은,

상기 이산화탄소 흡수제 용액이 공급되는 튜브 1;

상기 튜브 1보다 직경이 크고, 상기 튜브 1의 외부에 위치하는 튜브 2; 및

상기 튜브 1과 상기 튜브 2 사이에 설치되는 단열재;를 구비하는 것을 특징으로 하는, 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 흡수 및 탈거속도 산출부는,

상기 누벽탑 통과 전후의 상기 이산화탄소 농도 차를 통해 이산화탄소가 흡수되는 이산화탄소 전달 플럭스(flux)를 계산하는 이산화탄소 전달 플럭스(flux) 계산부;

상기 계산된 이산화탄소 전달 플럭스를 시간에 대해 적분하여 기체에서 액체로 흡수된 상기 이산화탄소의 양을 계산하는 이산화탄소 양 계산부;

최초 공급된 상기 이산화탄소 흡수제 용액의 무게를 이용하여 이산화탄소 로딩/loading 값을 계산하는 이산화탄소 로딩 계산부;

상기 계산된 이산화탄소 로딩 값과 상기 이산화탄소 흡수제의 VLE 데이터를 이용하여 이산화탄소 분압을 계산하는 이산화탄소 분압 계산부; 및

상기 이산화탄소 전달 플럭스 계산부, 상기 이산화탄소 양 계산부, 상기 이산화탄소 로딩 계산부 및 상기 이산화탄소 분압 계산부의 계산값을 통해 총괄물질 전달계수를 계산하는 총괄물질 전달계수 계산부;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 점도 산출부는,

상기 이산화탄소 흡수제 용액이 상기 누벽탑에 공급되기 전 소정의 구간을 통과할 때 발생하는 압력차를 계산하는 압력차 계산부;

상기 이산화탄소 흡수제 용액의 유량을 계산하는 유량 계산부; 및

상기 압력차 계산부 및 상기 유량 계산부의 계산값을 통해 이산화탄소 로딩시의 점도를 계산하는 이산화탄소 로딩시 점도 계산부;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 흡수열 산출부는,

상기 누벽탑으로 공급되는 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하는 공급에너지 계산부;

상기 누벽탑에서 방출되는 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하는 방출에너지 계산부; 및

상기 공급에너지 계산부 및 상기 방출에너지 계산부의 계산값을 통해 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 계산하는 흡수열 계산부;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 pH 산출부는 pH 미터에서 측정된 값으로부터 이산화탄소 로딩시 pH를 산출하는 것을 특징으로 하는, 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치.

청구항 7

이산화탄소 흡수제 용액이 이산화탄소 함유 기체 내의 상기 이산화탄소를 흡수하도록 상기 이산화탄소 흡수제 용액과 상기 이산화탄소 함유 기체를 누벽탑(wetted wall column)에서 접촉시키는 단계; 및

상기 이산화탄소 흡수제의 물성을 산출하는 단계;를 포함하되,

상기 산출하는 단계는,

상기 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 흡수 및 탈거속도를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 흡수 및 탈거속도 산출단계;

상기 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 로딩시의 점도를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 점도 산출단계;

상기 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 흡수열 산출단계; 및

상기 이산화탄소 흡수제 용액의 pH를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 pH 산출단계; 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는, 이산화탄소 흡수제 물성 산출 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 흡수 및 탈거속도 산출단계는,

상기 누벽탑 통과 전후의 상기 이산화탄소 농도 차를 통해 이산화탄소가 흡수되는 이산화탄소 전달 플럭스(flux)를 계산하는 이산화탄소 전달 플럭스(flux) 계산단계;

상기 계산된 이산화탄소 전달 플럭스를 시간에 대해 적분하여 기체에서 액체로 흡수된 상기 이산화탄소의 양을 계산하는 이산화탄소 양 계산단계;

최초 공급된 상기 이산화탄소 흡수제 용액의 무게를 이용하여 이산화탄소 로딩(loading) 값을 계산하는 이산화탄소 로딩 계산단계;

상기 계산된 이산화탄소 로딩 값과 상기 이산화탄소 흡수제의 VLE 데이터를 이용하여 이산화탄소 분압을 계산하는 이산화탄소 분압 계산단계; 및

상기 이산화탄소 전달 플럭스 계산단계, 상기 이산화탄소 양 계산단계, 상기 이산화탄소 로딩 계산단계 및 상기 이산화탄소 분압 계산단계의 계산값을 통해 총괄물질 전달계수를 계산하는 총괄물질 전달계수 계산단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 이산화탄소 흡수제 물성 산출 방법.

청구항 9

제7항에 있어서, 상기 점도 산출단계는,

상기 이산화탄소 흡수제 용액이 상기 누벽탑에 공급되기 전 소정의 구간을 통과할 때 발생하는 압력차를 계산하는 압력차 계산단계;

상기 이산화탄소 흡수제 용액의 유량을 계산하는 유량 계산단계; 및

상기 압력차 계산단계 및 상기 유량 계산단계의 계산값을 통해 이산화탄소 로딩시의 점도를 산출하는 이산화탄소 로딩시 점도 계산단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 이산화탄소 흡수제 물성 산출 방법.

청구항 10

제7항에 있어서, 상기 흡수열 산출단계는,

상기 누벽탑으로 공급되는 상기 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하는 공급에너지 계산단계;

상기 누벽탑에서 방출되는 상기 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하는 방출에너지 계산단계; 및

상기 공급에너지 계산단계 및 상기 방출에너지 계산단계의 계산값을 통해 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 계산하는 흡수열 계산단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 이산화탄소 흡수제 물성 산출 방법.

청구항 11

제7항에 있어서,

상기 pH 산출단계는 pH 미터에서 측정된 값으로부터 이산화탄소 로딩시 pH를 산출하는 것을 특징으로 하는, 이산화탄소 흡수제 물성 산출 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치 및 이산화탄소 흡수제 물성 산출 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는, 적은 양의 이산화탄소 흡수제를 이용하여 이산화탄소 흡수에 적합하게 이용할 수 있는 이산화탄소 흡수제를 찾을 수 있는 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치 및 이산화탄소 흡수제 물성 산출 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 습식 포집 공정은 많은 양의 CO₂를 배출하는 주요 배출원 중 하나인 발전소의 배가스에 포함되어 있는 CO₂를 처리하는 가장 유망한 기술이다. 현재 습식 포집 기술의 연구는 포집시 비용이 적게 드는 흡수제 개발 연구와 흡수탑의 중간냉각(intercooling), 탈거탑의 탈거 기체 재압축(lean vapor recompression)과 같은 공정 개선 연구에 집중되고 있다.

[0003] 이 중 흡수제 개발 연구는 공정의 운전비용을 낮추기 위해 포집시 낮은 에너지 요구량과 장치비를 줄이기 위해 높은 흡수속도를 갖는 흡수제를 찾는 것이다. 이를 위해 흡수탑과 탈거탑 상황에서의 흡수제의 물성연구가 필요하다. 즉, CO₂가 로딩된 상태의 흡수제에 대한 기액평형(VLE)이나 반응열 같은 열역학적 물성과 흡수속도나 점도와 같은 전달 물성을 실험을 통해 도출하는 과정이 필요하다.

[0004] 위의 흡수제 물성 중 흡수속도를 측정하는 방법 중 하나로 누벽탑(Wetted wall column, WWC)이 널리 사용되고 있다. 이것은 관 외벽으로 액체를 흐르게 하여 일정한 표면적을 만들고, 그것의 바깥쪽으로 CO₂가 포함된 기체를 흐르게 하여 일정한 표면적에서 기체와 액체가 접촉을 하여 물질전달이 일어나게 하여 흡수속도를 측정하는 장치이다.

[0005] 현재 많은 연구그룹에서 로딩된 흡수제의 흡수속도를 측정하기 위해 사용하는 물성 산출 장치는 도 1과 같다. 액체는 용액 저장소(Solution reservoir)에 과량의 흡수제를 넣고 펌프(pump)를 통해 WWC 안으로 도입하여 전체적으로 순환시킨다. 기체는 CO₂와 N₂ 혼합 기체의 CO₂ 농도를 바꾸어가며(0~20%, CO₂ 분압으로 0~20kPa) 질량유량계(Mass flow controller, MFC)로 유량을 조절하여 WWC 안으로 도입하고, WWC 통과 후 물 제거 과정을 거친

다음 CO₂ 센서(sensor)를 통해 농도를 측정한다. WWC 안에서 기체의 CO₂가 흡수나 탈거되는 것은 WWC로 공급되는 가스(Gas in)와 WWC에서 방출되는 가스(Gas out)의 농도차이로 계산할 수 있다. 이 때, 과량의 흡수제를 사용하기 때문에 WWC 안에서 흡수, 탈거됨에 따라 생기는 흡수제의 로딩변화는 무시한다. 데이터 분석은 도 2(그림 2)와 같이 WWC로 도입되는 기체의 CO₂ 농도를 다르게 하여 여러 점의 실험결과를 모아 데이터 분석을 하여 흡수 속도라 할 수 있는 물질전달계수를 구한다.

[0006] 흡수제의 흡수속도는 흡수제의 로딩과 온도의 함수이다. 따라서 여러 로딩과 온도에서 실험이 필요하다. 보통 하나의 온도에서 서로 다른 5개의 로딩 상태의 흡수속도가 필요하다. 1번의 실험을 위해 흡수제의 필요량은 0.6~3L 정도이고, 2개의 온도조건에서 한다면 10번의 실험이 필요하므로 6~30L의 용액을 사용하게 되어 매우 많은 양의 흡수제를 필요로 한다. 또한, 하나의 실험 조건에 대해 대략 6 포인트(point)의 WWC로 공급되는 가스(Gas in)의 CO₂ 농도를 바꾸어가며 실험을 하기 때문에, 많은 시간과 인력이 필요할 뿐만 아니라 특정 로딩값에서의 흡수속도만을 구할 수 있었다.

[0007] 이에 종래의 방법과 다르게 이산화탄소 흡수제 용액의 양을 줄이고, WWC로 공급되는 가스(Gas in)의 농도를 하나로 고정시켜 계속 흘려주면서 연속적으로 WWC에서 방출되는 가스(Gas out)의 농도를 측정하였다. 이러한 방법으로 흡수제가 흡수 혹은 탈거됨에 따라 변화하는 CO₂의 농도를 통해 용액의 로딩을 실시간으로 파악할 수 있다. 하지만 이러한 방법은 각각 이산화탄소가 로딩이 되지 않은 흡수제 용액의 흡수속도와 이산화탄소가 로딩된 흡수제 용액의 탈거속도만을 분석하여, 실제 흡수탑 거동에 필요한 이산화탄소가 로딩된 상태의 흡수속도는 알 수 없었다.

[0008] 위의 내용과 같이 기존의 WWC를 이용한 물성 산출 장치 및 방법은 로딩된 흡수제의 흡수속도를 측정하기 위해서는 많은 양의 흡수제와 시간, 인력이 필요하고, 흡수제의 양을 줄이면 로딩된 상태의 흡수속도는 알 수 없어 실제 흡수탑 상태인 로딩상황의 흡수제 물성을 파악하는 데에는 한계가 있다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0009] (비특허문헌 0001) Graeme Puxty, Robert Rowland, Moetaz Attalla, 2009, Comparison of the rate of CO₂ absorption into aqueous ammonia and monoethanolamine.
- (비특허문헌 0002) Trine G. Anundsen, Lars E.Oi, and Dag A.Eimer, 2009, Density and viscosity of Monoethanolamine + Water + Carbon dioxide form (25 to 80) °C.
- (비특허문헌 0003) Inna Kim and Hallvard F.Svendsen, 2007, Heat of absorption of carbon dioxide(CO₂) in monoethanolamine(MEA) and 2-(Aminoethyl)ethanolamine(AEEA) solutions.
- (비특허문헌 0004) Young Eun Kim, Jin Ah Lim, Soon Kwan Jeong, Yeo Il Yoon, Shin Tae Bae, and Sung Chan Nam, 2013, Comparison of Carbon dioxide absorption in aqueous MEA, DEA, TEA, and AMP solutions.
- (비특허문헌 0005) Fang-Yuan Jou, Fredrick D.Otto, and Alan E.Mather, 1994, Vapor-Liquid Equilibrium of carbon dioxide in aqueous mixtures of monoethanolamine and methyl-diethanolamine.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출한 것으로서, 본 발명의 목적은 적은 양의 흡수제를 사용하면서도, 연속적으로 변화하는 이산화탄소 로딩에서의 흡수제의 이산화탄소 흡수 및 탈거속도, 점도, 흡수열 및 pH와 같은 물성을 정확하게 산출할 수 있는 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치 및 이산화탄소 흡수제 물성 산출 방법을 제공하는데 있다.

[0011] 본 발명의 상기 및 다른 목적과 이점은 바람직한 실시예를 설명한 하기의 설명으로부터 분명해질 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상기 목적은, 이산화탄소 흡수제 용액이 이산화탄소 함유 기체 내의 이산화탄소를 흡수하도록 이산화탄소 흡수제 용액과 이산화탄소 함유 기체를 접촉시키는 누벽탑(wetted wall column); 및 이산화탄소 흡수제의 물성을 산출하는 산출부;를 포함하되, 산출부는, 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 흡수 및 탈거속도를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 흡수 및 탈거속도 산출부; 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 로딩시의 점도를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 점도 산출부; 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 흡수열 산출부; 및 이산화탄소 흡수제 용액의 pH를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 pH 산출부; 중 적어도 어느 하나를 포함하는 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치를 통해 달성할 수 있다.
- [0013] 바람직하게, 누벽탑은, 이산화탄소 흡수제 용액이 공급되는 튜브 1; 튜브 1보다 직경이 크고, 상기 튜브 1의 외부에 위치하는 튜브 2; 및 튜브 1과 튜브 2 사이에 설치되는 단열재;를 구비할 수 있다.
- [0014] 바람직하게, 흡수 및 탈거속도 산출부는, 누벽탑 통과 전후의 이산화탄소 농도 차를 통해 이산화탄소가 흡수되는 이산화탄소 전달 플럭스(flux)를 계산하는 이산화탄소 전달 플럭스(flux) 계산부; 계산된 이산화탄소 전달 플럭스를 시간에 대해 적분하여 기체에서 액체로 흡수된 상기 이산화탄소의 양을 계산하는 이산화탄소 양 계산부; 최초 공급된 상기 이산화탄소 흡수제 용액의 무게를 이용하여 이산화탄소 로딩(loading) 값을 계산하는 이산화탄소 로딩 계산부; 계산된 이산화탄소 로딩 값과 이산화탄소 흡수제의 VLE 데이터를 이용하여 이산화탄소 분압을 계산하는 이산화탄소 분압 계산부; 및 이산화탄소 전달 플럭스 계산부, 이산화탄소 양 계산부, 이산화탄소 로딩 계산부 및 이산화탄소 분압 계산부의 계산값을 통해 총괄물질 전달계수를 계산하는 총괄물질 전달계수 계산부;를 포함할 수 있다.
- [0015] 바람직하게, 점도 산출부는, 이산화탄소 흡수제 용액이 누벽탑에 공급되기 전 소정의 구간을 통과할 때 발생하는 압력차를 계산하는 압력차 계산부; 이산화탄소 흡수제 용액의 유량을 계산하는 유량 계산부; 및 압력차 계산부 및 유량 계산부의 계산값을 통해 이산화탄소 로딩시의 점도를 계산하는 이산화탄소 로딩시 점도 계산부;를 포함할 수 있다.
- [0016] 바람직하게, 흡수열 산출부는, 누벽탑으로 공급되는 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하는 공급에너지 계산부; 누벽탑에서 방출되는 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하는 방출에너지 계산부; 및 공급에너지 계산부 및 방출에너지 계산부의 계산값을 통해 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 계산하는 흡수열 계산부;를 포함할 수 있다.
- [0017] 바람직하게, pH 산출부는 pH 미터에서 측정된 값으로부터 이산화탄소 로딩시 pH를 산출할 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 목적은, 이산화탄소 흡수제 용액이 이산화탄소 함유 기체 내의 이산화탄소를 흡수하도록 이산화탄소 흡수제 용액과 이산화탄소 함유 기체를 누벽탑(wetted wall column)에서 접촉시키는 단계; 및 이산화탄소 흡수제의 물성을 산출하는 단계;를 포함하되, 산출하는 단계는, 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 흡수 및 탈거속도를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 흡수 및 탈거속도 산출단계; 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 로딩시의 점도를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 점도 산출단계; 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 흡수열 산출단계; 및 이산화탄소 흡수제 용액의 pH를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 pH 산출단계; 중 적어도 어느 하나를 포함하는 이산화탄소 흡수제 물성 산출 방법에 의해 달성될 수 있다.
- [0019] 바람직하게, 흡수 및 탈거속도 산출단계는, 누벽탑 통과 전후의 이산화탄소 농도 차를 통해 이산화탄소가 흡수되는 이산화탄소 전달 플럭스(flux)를 계산하는 이산화탄소 전달 플럭스(flux) 계산단계; 계산된 이산화탄소 전달 플럭스를 시간에 대해 적분하여 기체에서 액체로 흡수된 이산화탄소의 양을 계산하는 이산화탄소 양 계산단계; 최초 공급된 이산화탄소 흡수제 용액의 무게를 이용하여 이산화탄소 로딩(loading) 값을 계산하는 이산화탄소 로딩 계산단계; 계산된 이산화탄소 로딩 값과 이산화탄소 흡수제의 VLE 데이터를 이용하여 이산화탄소 분압을 계산하는 이산화탄소 분압 계산단계; 및 이산화탄소 전달 플럭스 계산단계, 이산화탄소 양 계산단계, 이산화탄소 로딩 계산단계 및 이산화탄소 분압 계산단계의 계산값을 통해 총괄물질 전달계수를 계산하는 총괄물질 전달계수 계산단계;를 포함할 수 있다.
- [0020] 바람직하게, 점도 산출단계는 이산화탄소 흡수제 용액이 누벽탑에 공급되기 전 소정의 구간을 통과할 때 발생하는 압력차를 계산하는 압력차 계산단계; 이산화탄소 흡수제 용액의 유량을 계산하는 유량 계산단계; 및 압력차 계산단계 및 유량 계산단계의 계산값을 통해 이산화탄소 로딩시의 점도를 산출하는 이산화탄소 로딩시 점도 계산단계;를 포함할 수 있다.
- [0021] 바람직하게, 흡수열 산출단계는, 누벽탑으로 공급되는 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하는 공

급에너지 계산단계; 누벽탑에서 방출되는 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하는 방출에너지 계산단계; 및 공급에너지 계산단계 및 방출에너지 계산단계의 계산값을 통해 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 계산하는 흡수열 계산단계;를 포함할 수 있다.

[0022] 바람직하게, pH 산출단계는 pH 미터에서 측정된 값으로부터 이산화탄소 로딩시 pH를 산출할 수 있다.

발명의 효과

[0023] 본 발명에 따르면, 적은 양의 흡수제를 이용하면서도 짧은 시간과 노력만으로 연속적으로 변화하는 로딩에서 이산화탄소 흡수제의 이산화탄소 흡수 및 탈거속도, 점도, 흡수열 및 pH와 같은 물성을 산출함으로써 이산화탄소 흡수에 적합한 흡수제를 찾을 수 있는 효과를 가진다.

[0024] 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

[0025] 도 1은 종래의 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치의 일 예를 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 2는 종래의 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치의 실제 데이터 및 누벽탑 상부 및 하부에서 log mean 함수에 의해 기체 및 액체 사이에 산출된 플렉스를 나타낸 그래프이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치를 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치의 누벽탑을 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 5는 도 3의 A부분을 확대한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치의 흡수 및 탈거속도 산출부를 개략적으로 나타낸 블록도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치의 점도 산출부를 개략적으로 나타낸 블록도이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치의 흡수열 산출부를 개략적으로 나타낸 블록도이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치의 흡수 및 탈거속도 산출부의 기초 데이터(raw data)를 나타낸 그래프(MEA 30wt%)이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치의 이산화탄소 분압 계산부에 사용하는 VLE 데이터를 나타낸 그래프(MEA 30wt%, 40℃)이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치를 통해 산출한 흡수속도 데이터를 나타낸 그래프(MEA 30wt%, 40℃)이다.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치를 통해 산출한 흡수속도 데이터를 나타낸 그래프(MEA 30wt%, 60℃)이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치를 통해 산출한 점도 데이터를 나타낸 그래프(MEA 30wt%, 40℃)이다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치를 통해 산출한 흡수열 데이터를 나타낸 그래프(MEA 30wt%, 40℃)이다.

도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치를 통해 산출한 pH 데이터를 나타낸 그래프(MEA 30wt%, 40℃)이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 전술한, 그리고 추가적인 양상들은 첨부된 도면을 참조하여 설명하는 실시예들을 통해 구체화된다. 각 실시예들

의 구성 요소들은 다른 언급이나 상호간에 모순이 없는 한 실시예 내에서 다양한 조합이 가능한 것으로 이해된다. 나아가 제안된 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.

[0027] 도면에서 제안된 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다. 그리고, 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 명세서에서 기술한 "부"란, "하드웨어 또는 소프트웨어의 시스템을 변경이나 플러그인 가능하도록 구성한 블록"을 의미하는 것으로서, 즉 하드웨어나 소프트웨어에 있어 특정 기능을 수행하는 하나의 단위 또는 블록을 의미한다.

[0028] 본 명세서에서 흡수제로 모노에탄올아민(MEA)을 사용했고, 이를 중심으로 본 발명에 대해서 설명하나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치를 개략적으로 도시한 도 3으로부터 알 수 있듯이, 본 발명의 일 양상에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치(1)는 이산화탄소 흡수제 용액이 이산화탄소 함유 기체 내의 이산화탄소를 흡수하도록 이산화탄소 흡수제 용액과 이산화탄소 함유 기체를 접촉시키는 누벽탑(wetted wall column, WWC)(100); 및 이산화탄소 흡수제의 물성을 산출하는 산출부(200);를 포함하되, 산출부(200)는 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 흡수 및 탈거속도를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 흡수 및 탈거속도 산출부(210); 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 로딩시의 점도를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 점도 산출부(220); 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 흡수열 산출부(230); 및 상기 이산화탄소 흡수제 용액의 pH를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 pH 산출부(240); 중 적어도 어느 하나를 포함한다.

[0030] 바람직하게는, 이산화탄소 함유 기체를 수분 포화기(water saturator)로 공급하는 기체공급장치(300), 물과 이산화탄소 함유 기체를 혼합하는 수분 포화기(water saturator)(400), 이산화탄소 흡수제를 포함하는 흡수제 용액을 저장하는 액체 저장소(liquid reservoir)(500), 액체 저장소(500)에 저장된 흡수제 용액을 일정한 유량으로 방출하는 펌프(600), 펌프(600)에서 공급되는 흡수제 용액의 유량을 측정하는 액체 유량계(liquid flowmeter)(700), 펌프(600)에서 공급되는 흡수제 용액이 이동하는 관으로서, 소정의 구간에서 직경이 작은 이송관, 이송관의 직경이 작은 소정의 구간 전후에서 유량의 강하된 압력을 측정하는 차압계(800), 수분 포화기(400), 액체 저장소(500), 누벽탑 등 전체 장치의 온도를 일정하게 유지하는 오븐(oven)(900) 및 누벽탑에서 배출되는 이산화탄소의 농도를 측정하는 이산화탄소 센서(950)를 더 포함할 수 있다.

[0031] 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치의 누벽탑(100)을 개략적으로 도시한 도 4로부터 알 수 있듯이, 누벽탑(100)은 이산화탄소 흡수제 용액이 누벽탑(100) 안으로 공급되는 튜브 1(110), 튜브 1(110)보다 직경이 크고, 튜브 1(110)의 외부에 위치하는 튜브 2(120) 및 튜브 1(110)과 튜브 2(120) 사이에 설치되는 단열재(130)를 구비할 수 있다.

[0032] 튜브 1(110)은 SUS(steel use stainless) 재질로 이루어질 수 있고, 펌프(600)에 의해 수송된 이산화탄소 흡수제 용액이 누벽탑(100) 안으로 공급되는 통로이다. 튜브 2(120)는 SUS(steel use stainless) 재질로 이루어질 수 있고, 튜브 1(110)을 통하여 공급된 이산화탄소 흡수제 용액이 튜브 2(120)를 통과한 후, 튜브 외벽을 따라 누벽탑(100) 하부로 흘러내리게 된다. 이 때, 이산화탄소 함유 기체는 누벽탑(100) 하부에 구비되어 있는 기공(gas hole)(160)을 통해 누벽탑(100) 내부로 공급되고, 누벽탑(100) 상부로 올라가면서 튜브 2(120)의 외벽을 따라 흘러내리는 이산화탄소 흡수제 용액과 접촉하게 된다. 이산화탄소 흡수제 용액은 이산화탄소 함유 기체와 접촉하여 기체 상태의 이산화탄소를 흡수한다. 바람직하게, 튜브 1(110)의 직경은 1/4 inch, 튜브 2(120)의 직경은 1/2 inch일 수 있다.

[0033] 단열재(130)는 튜브 1(110)과 튜브 2(120) 사이에 설치되어 튜브 2(120) 외부와 내부를 단열하는 역할을 한다. 이는 이산화탄소 흡수제의 흡수열을 산출하기 위함이다. 즉, 이산화탄소 흡수제의 흡수열을 산출하기 위해서는 누벽탑(100) 내의 컨트롤 볼륨(140)에서 열손실이 없어야 하는데, 열전달은 주로 흡수제 용액이 접촉하는 튜브 2(120)에서 발생하므로, 튜브 2(120) 외부와 내부를 단열시키기 위해 열전달계수가 작고, 흡수제와의 반응성이 없는 테프론을 사용한다. 본 발명은 단열재로 테프론을 사용한 것을 예로 들어 설명하지만, 테프론과 같이 열전달계수가 작고, 흡수제와의 반응성이 없다면 다른 단열재를 사용하는 것도 가능하다. 후술하겠지만, 열손실이 없도록 설정한 후, 에너지 방정식을 통해 이산화탄소 흡수제의 흡수열을 산출할 수 있다.

[0034] 도 3을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 장치의 작동 흐름에 대해서 간략하게 설명하면, 우선, 오븐(900)을 이용하여 전체 시스템의 온도를 항온으로 유지시킨다. 액체 저장소(Liquid reservoir)에 120ml의 흡수제(모노에탄올아민, MEA)를 넣어 제조한 이산화탄소 흡수제 용액은 맥동이 없는 정량 펌프(600)를 사용하여 누벽탑(100)을 통과시키며 순환시킨다. 누벽탑(100) 안의 액체는 1/2 inch SUS 튜브(튜브 2) 안을 통과하여 튜브 밖으로 젖은 벽을 이루며 위에서 아래로 떨어진다. 기체는 N₂, CO₂ 혼합기체를 사용하는 데, CO₂의 농도를 15%(%CO₂ in)로 고정시키고 질량유량계(MFC)(960)로 유량을 제어하며 흘려준다. 누벽탑(100) 공급 전 수분 포화기(Water saturator)에서 물을 포화시키고 누벽탑(100) 하단으로 도입된다. 누벽탑(100) 안에서 위에서 아래로 떨어지는 액체와 아래에서 위로 흐르는 기체는 일정한 표면적을 이루며 접촉하여 CO₂의 흡수가 일어난다. 누벽탑(100) 후단에는 기체 안의 물을 제거하기 위해 냉각기(Condenser)와 염화칼슘 컬럼을 지나게 하고, 이산화탄소 센서(950)에서 농도를 측정하는데, 이 때, 이산화탄소 센서의 적정유량을 맞추기 위해(1SLM), 가스를 이산화탄소로 도입하기 전에 방출시킨다(%CO₂ out).

[0035] 상술한 작동 흐름에 따라 적은 양의 이산화탄소 흡수제로 필요한 데이터를 수집하고, 이러한 데이터로부터 이산화탄소 흡수제의 물성인 이산화탄소 흡수 및 탈거속도, 점도, 흡수열 및 pH와 같은 물성을 빠르게 산출할 수 있다. 즉, 종래에는 많은 양의 이산화탄소 흡수제를 사용하더라도 특정 로딩값에서의 흡수제 물성만을 구할 수 있었으나, 본 발명에 의하면 적은 양을 가지고도 전체 로딩 범위에서 이산화탄소 흡수제의 물성을 산출할 수 있다. 이하 각각의 물성을 산출하는 산출부에 대해 구체적으로 설명한다.

[0036] 일 실시예에 있어서, 이산화탄소 흡수제의 물성을 산출하는 산출부(200)는 산출하고자 하는 물성에 따라 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 흡수 및 탈거속도를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 흡수 및 탈거속도 산출부(210); 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 로딩시의 점도를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 점도 산출부(220); 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 흡수열 산출부(230); 및 상기 이산화탄소 흡수제 용액의 pH를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 pH 산출부(240); 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0037] 도 6은 흡수 및 탈거속도 산출부를 개략적으로 나타낸 블록도이고, 이를 참조하여 흡수 및 탈거속도 산출부를 설명한다. 일 실시예에 있어서, 흡수 및 탈거속도 산출부(210)는 적은 양의 이산화탄소 흡수제를 사용하면서도 연속적으로 변화하는 이산화탄소 로딩에서의 이산화탄소 흡수 및 탈거속도를 산출하는 것으로서, 누벽탑(100) 통과 전후의 이산화탄소 농도 차를 통해 이산화탄소가 흡수되는 이산화탄소 전달 플럭스(flux)를 계산하는 이산화탄소 전달 플럭스(flux) 계산부(211); 계산된 이산화탄소 전달 플럭스를 시간에 대해 적분하여 기체에서 액체로 흡수된 상기 이산화탄소의 양을 계산하는 이산화탄소 양 계산부(212); 최초 공급된 상기 이산화탄소 흡수제 용액의 무게를 이용하여 이산화탄소 로딩(loading) 값을 계산하는 이산화탄소 로딩 계산부(213); 계산된 이산화탄소 로딩 값과 이산화탄소 흡수제의 VLE 데이터를 이용하여 이산화탄소 분압을 계산하는 이산화탄소 분압 계산부(214); 및 이산화탄소 전달 플럭스 계산부, 이산화탄소 양 계산부, 이산화탄소 로딩 계산부 및 이산화탄소 분압 계산부의 계산값을 통해 총괄물질 전달계수를 계산하는 총괄물질 전달계수 계산부(215);를 포함할 수 있다. 총괄물질 전달계수(K_G)는 흡수 및 탈거속도를 판단하는 척도로서, 총괄물질 전달계수가 크다는 것은 흡수 및 탈거속도가 빠르다는 것을 의미하고, 반대로 총괄물질 전달계수가 작다는 것은 흡수 및 탈거속도가 느리다는 것을 의미한다. 즉, 본 발명은 이산화탄소 흡수제의 총괄물질 전달계수를 측정함으로써 이산화탄소 흡수 및 탈거속도를 산출할 수 있다.

[0038] 기초 데이터(raw data)는 방출되는 가스(Gas out)의 이산화탄소 농도이다(도 9 참조). 시간이 지남에 따라 흡수제가 점점 로딩이 되어가기 때문에 흡수 및 탈거속도가 줄어들어 방출되는 가스(Gas out)의 이산화탄소 농도는 점점 증가한다.

[0039] 이산화탄소 전달 플럭스(flux) 계산부(211)는 누벽탑(100) 전 후 기체의 이산화탄소 농도 차이를 측정하고, 이상기체 상태방정식을 이용하여 하기 수학식 1에 따라 계산할 수 있다.

[0040] (수학식 1)

$$\dot{n}_{CO_2}(t) = \frac{PQ_{gas}}{ART} \left(\frac{\%CO_2^{in} - \%CO_2^{out}(t)}{100 - \%CO_2^{out}(t)} \right)$$

[0042] 여기에서, $\dot{n}_{CO_2}$ 는 이산화탄소 전달 플럭스(flux), P는 압력, Q_{gas}는 가스 유량, A는 기-액 접촉면적, R은 기체

상수, T는 온도, $\%CO_2^{in}$ 은 누벽탑에 공급되는 CO_2 농도, $\%CO_2^{out}$ 은 누벽탑에서 방출되는 CO_2 농도를 의미한다.

[0043] 이산화탄소 양 계산부(212)는 계산된 이산화탄소 전달 플럭스(flux)를 하기 수학적식 2에 따라 시간에 대해 적분하여 특정 시간까지의 기체에서 액체로 흡수된 이산화탄소의 양을 계산할 수 있다. 즉, 기초 데이터의 샘플링 타임(sampling time)은 1초이기 때문에, 하기 수학적식 2의 시간에 대한 연속함수의 적분꼴을 매 샘플링 타임마다 기록되는 데이터를 이용하여 수치적으로 계산할 수 있다.

[0044] (수학적식 2)

$$N_{CO_2}(t) = A \int_0^t \dot{n}_{CO_2}(\tau) d\tau$$

$$= \int_0^t \frac{PQ_{gas}}{RT} \left(\frac{\%CO_2^{in} - \%CO_2^{out}(\tau)}{100 - \%CO_2^{out}(\tau)} \right) d\tau = \frac{PQ_{gas}}{RT} \sum_{k=1}^m \left(\frac{\%CO_2^{in} - \%CO_2^{out}(k)}{100 - \%CO_2^{out}(k)} \right) h$$

[0047] 여기에서, $N_{CO_2}(t)$ 는 이산화탄소 흡수량, k는 k번째 데이터, h는 샘플링 타임(sampling time), m은 t시간까지 데이터(data) 개수이고, $t=m \cdot h$ 를 의미한다. 그 외 수학적식 1과 중복되는 내용은 생략한다.

[0048] 이산화탄소 로딩 계산부는 최초 공급된 흡수제 용액의 무게를 이용하여 하기 수학적식 3에 따라 특정 시간까지의 이산화탄소 로딩 값을 계산할 수 있다.

[0049] (수학적식 3)

$$ldg(t) = \frac{N_{CO_2}(t)}{n_{Amins}}$$

[0051] 여기에서, $ldg(t)$ 는 이산화탄소 로딩 값, n_{Amins} 은 흡수제의 아민 몰 수를 의미하고, 그 외 수학적식 1 및 2와 중복되는 내용은 생략한다.

[0052] 이산화탄소 분압 계산부(214)는 이산화탄소가 흡수되고 있는 흡수제에 대하여 매 순간 유사 평형 상태로 가정하고, 수학적식 3에 의해 계산된 이산화탄소 로딩 값과 해당 실험 온도에서 흡수제의 VLE 데이터(도 10 참조)를 통해서 하기 수학적식 4를 수립하여 이산화탄소 분압을 계산할 수 있다.

[0053] (수학적식 4)

$$P_{CO_2}^*(t) = f_{VLE}(ldg(t), T)$$

[0055] 여기에서, $P_{CO_2}^*(t)$ 는 이산화탄소를 흡수한 흡수제의 평형 이산화탄소 분압을 의미하고, 그 외 수학적식 1 내지 3과 중복되는 내용은 생략한다.

[0056] 총괄물질 전달계수 계산부(215)는 상술한 수학적식 1 내지 4에 의해 계산된 값들 및 주어진 데이터를 통해서 하기 수학적식 5에 따라 총괄물질 전달계수를 계산하고, 이를 통해 흡수제의 흡수 및 탈거속도를 알 수 있다.

[0057] (수학적식 5)

$$\dot{n}_{CO_2}(t) = K_G \left(P_{CO_2}^{in} - P_{CO_2}^*(t) \right)_{LM} = \frac{PQ_{gas}}{ART} \left(\frac{\%CO_2^{in} - \%CO_2^{out}(t)}{100 - \%CO_2^{out}(t)} \right)$$

$$\therefore K_G(t) = \frac{N_{CO_2}(t)}{\left(P_{CO_2}^{in} - P_{CO_2}^*(t) \right)_{LM}}$$

[0060] 여기에서, K_G 는 총괄물질 전달계수, $P_{CO_2}^{in}$ 은 WWC로 공급되는 이산화탄소 분압, LM은 log mean을 의미하고, 그 외 수학적식 1 내지 4와 중복되는 내용은 생략한다.

[0061] 도 11(MEA 40℃) 및 도 12(MEA 60℃)는 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치의 흡수 및 탈거속도 산출부로부터 산출된 흡수속도와, 종래에 다량의 흡수제를 사용하여 흡수속도를 계산한 값(puxty,

2009)을 비교한 그래프이다. 도 11 및 도 12를 통해 알 수 있듯이, 본 발명은 적은 양의 흡수제만을 사용하고도 종래의 값과 5% 내의 오차를 갖는 결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 연속적인 로딩에서의 흡수속도를 산출할 수 있었고, 이를 통해 많은 시간, 인력, 비용을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

[0062] 도 7은 점도 산출부를 개략적으로 나타낸 블럭도이고, 이를 참조하여 점도 산출부를 설명한다. 일 실시예에 있어서, 점도 산출부(220)는 연속적으로 변화하는 이산화탄소 로딩시의 점도를 산출하는 것으로서, 이산화탄소 흡수제 용액이 누벽탑에 공급되기 전 소정의 구간을 통과할 때 발생하는 압력차를 계산하는 압력차 계산부(221); 이산화탄소 흡수제 용액의 유량을 계산하는 유량 계산부(222); 및 압력차 계산부와 유량 계산부의 계산값을 통해 이산화탄소 로딩시의 점도를 계산하는 이산화탄소 로딩시 점도 계산부(223);를 포함할 수 있다.

[0063] 도 3의 A 부분을 확대하여 도시한 도 5를 참조하여 보다 구체적으로 설명한다. 이송관(810)은 WWC로 공급되는 흡수제 용액이 통과하는 관으로서, 관의 다른 부분에 비해 직경이 절반정도로 작은 관일 수 있다.

[0064] 압력차 계산부(221)는 이산화탄소 흡수제 용액이 누벽탑에 공급되기 전 소정의 구간을 통과할 때 발생하는 압력차를 계산하는 것으로서, 구체적으로, 맥동이 없는 정량 펌프(600)를 사용하여 일정한 유량으로 순환하는 흡수제 용액을 이송관(812)에 통과시키고, 이 때, 발생하는 압력강하를 이송관(812) 전후에 설치된 차압계(800)로 측정된 후, 이를 통해 압력차를 계산한다.

[0065] 유량 계산부(222)는 이송관(810) 전에 설치된 액체 유량계(700)로 측정된 후, 이를 통해 흡수제 용액의 유량을 계산한다.

[0066] 압력차 및 유량은 이송관에서 유체가 층류로 속도 분포를 갖게 하기 위해 흡수제 용액을 차압계(800) 전단에서 층류로 완전 발달된 흐름(fully developed)이 되도록 소정의 길이(예를 들어, 10cm)를 갖는 이송관(811)을 먼저 지나게 하고, 그 후 상대적으로 긴 길이(예를 들어, 15cm)의 이송관(812)을 지날 때 발생하는 압력과 유량을 측정한다.

[0067] 이산화탄소 로딩시 점도 계산부(223)는 압력차 계산부 및 유량 계산부의 계산값을 통해 이산화탄소 로딩시의 점도를 계산한다. 층류 유동에서 유체의 점도, 압력강하, 유량의 관계는 Hagen-poiseuille 식에 의해 하기 수학식 6과 같다.

[0068] (수학식 6)

[0069]
$$\Delta P \propto Q_{Liquid}, \quad \Delta P \propto \mu$$

[0070] 여기에서, ΔP 는 이송관에서의 압력강하 값, Q_{Liquid} 는 흡수제 용액의 유량, μ 는 점도를 의미한다.

[0071] 압력강하에 대해 유량과 점도는 모두 선형관계를 갖고 있기 때문에, 이를 이용하여 알고 있는 점도의 용액에 대해 이송관(810)을 통과시켜 그 때의 유량과 압력차이를 측정하여 하기 수학식 7과 같은 점도, 압력강하, 유량의 1차 선형관계식(calibration)을 구한다.

[0072] (수학식 7)

[0073]
$$\mu = f_{viscosity}(\Delta P, Q_{Liquid})$$

[0074] 수학식 7의 선형관계식을 이용하여 샘플링 시간마다 측정되는 흡수제 유량과 압력강하를 이용하여 해당시간에서 점도를 구하여 동일시간대의 이산화탄소 로딩시 점도를 산출할 수 있다.

[0075] 도 13은 이산화탄소를 흡수시킨 용액을 0.01cP의 오차를 갖는 점도계로 측정한 종래의 결과(Anundsen)와 본 발명에 의해 산출된 점도를 비교한 그래프로서, 그 값의 오차가 10% 내외에 불과하여 비교적 정확하게 측정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

[0076] 도 8은 흡수열 산출부를 개략적으로 나타낸 블럭도이고, 이를 참조하여 흡수열 산출부를 설명한다. 일 실시예에 있어서, 흡수열 산출부(230)는 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 것으로서 누벽탑으로 공급되는 상기 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하는 공급에너지 계산부(231); 누벽탑에서 방출되는 상기 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하는 방출에너지 계산부(232); 및 공급에너지 계산부와 방출에너지 계산부의 계산값을 통해 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 계산하는 흡수열 계산부(233);를 포함할 수 있다.

[0077] 흡수열 산출부(230)에 의해 흡수열을 산출할 때에는 누벽탑 내부의 컨트롤 볼륨(140)에서 바깥으로 열손실이 없

어야 한다. 열전달은 주로 흡수제 용액과 장치 사이에서 발생하므로 흡수제 용액과 접촉하는 장치의 면을 단열시킬 필요가 있다. 도면 3을 참조하면, 흡수제 용액이 접촉하는 부분은 튜브 2(120)의 바깥쪽과 안쪽이다. 따라서, 튜브 2(120)의 안과 밖을 단열시키기 위해 열전달계수가 작고 흡수제와의 반응성이 없는 테프론(PTFE)을 설치한다.

[0078] 상기와 같이 단열 시스템을 구축한 후 누벽탑(100) 내부의 컨트롤 볼륨(140)을 기준으로 하기 수학적 8과 같은 에너지 균형 방정식을 수립할 수 있다.

[0079] (수학적 8)

$$[0080] \quad (Inlet\ Energy) - (Outlet\ Energy) + (Generated\ Energy) = 0$$

$$[0081] \quad (\dot{m}_{li} C_{p,li} (T_A(t) - T_R) + \dot{m}_{gi} C_{p,gi} (T_C(t) - T_R)$$

$$[0082] \quad - ((\dot{m}_{lo} C_{p,lo} (T_B(t) - T_R) + \dot{m}_{go} C_{p,go} (T_D(t) - T_R) + \dot{n}_{CO_2}(t) \Delta H_{abs}(t)) = 0$$

[0083] $\dot{m}_{li}$ 는 WWC로 공급되는 흡수제 용액의 유량(g/sec), $C_{p,li}$ 는 WWC로 공급되는 흡수제 용액의 열용량(J/g), $T_A(t)$ 는 WWC로 공급되는 흡수제 용액의 온도(K), $\dot{m}_{gi}$ 는 WWC로 공급되는 기체의 유량(g/sec), $C_{p,gi}$ 는 WWC로 공급되는 기체의 열용량(J/g), $T_C(t)$ 는 WWC로 공급되는 기체의 온도(K), $\dot{m}_{lo}$ 는 WWC에서 방출되는 흡수제 용액의 유량(g/sec), $C_{p,lo}$ 는 WWC에서 방출되는 흡수제 용액의 열용량(J/g), $T_B(t)$ 는 WWC에서 방출되는 흡수제 용액의 온도(K), $\dot{m}_{go}$ 는 WWC에서 방출되는 기체의 유량(g/sec), $C_{p,go}$ 는 WWC에서 방출되는 기체의 열용량(J/g), $T_D(t)$ 는 WWC에서 방출되는 기체의 온도(K), T_R 은 기준 온도(K), $\Delta H_{abs}(t)$ 는 단위 몰당 CO₂ 흡수열을 의미한다.

[0084] 상기 수학적 8과 주어진 데이터 또는 측정값으로부터, 공급에너지 계산부는 공급되는 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하고, 방출에너지 계산부는 방출되는 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하며, 이를 통해 흡수열 계산부는 $\Delta H_{abs}(t)$ 를 계산할 수 있다.

[0085] 도 14는 MEA 40℃의 조건에서 DRC(Differential reactor calorimetry)(KIER, Inna Kim) 또는 열역학적 식(Jou)을 통해 구한 종래의 결과와 본 발명에 의해 산출된 흡수열을 비교한 그래프로서, 그 값의 오차가 10% 내외에 불과하여 비교적 정확하게 측정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

[0086] 일 실시예에 있어서, pH 산출부(240)는 pH 미터(241)를 통해 측정한 값으로부터 이산화탄소 흡수제 용액의 pH를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출할 수 있다. 보다 구체적으로, pH 미터(241)를 액체 저장소(500)에 설치하고, 샘플링 시간마다 pH를 측정하고, 이를 통해 이산화탄소 로딩시 pH를 산출할 수 있다. 도 15는 본 발명을 이용하여 측정한 pH를 나타낸 것이다.

[0088] 본 발명의 다른 양상에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 방법(S1)은 이산화탄소 흡수제 용액이 이산화탄소 함유 기체 내의 이산화탄소를 흡수하도록 이산화탄소 흡수제 용액과 이산화탄소 함유 기체를 누벽탑(wetted wall column)에서 접촉시키는 단계(S100); 및 이산화탄소 흡수제의 물성을 산출하는 단계(S200);를 포함하되, 산출하는 단계(S200)는, 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 흡수 및 탈거속도를 산출하는 흡수 및 탈거속도 산출단계(S210); 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 로딩시의 점도를 산출하는 점도 산출단계(S220); 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 산출하는 흡수열 산출단계(S230); 및 이산화탄소 흡수제 용액의 pH를 산출하는 pH 산출단계(S240); 중 적어도 어느 하나를 포함한다.

[0089] 이하, 각 단계에 대해 구체적으로 설명하되, 본 명세서에서 이미 기술하여 중복되는 부분에 있어서는 생략하도록 한다.

[0090] 일 실시예에 있어서, 이산화탄소 흡수제의 물성을 산출하는 산출단계(S200)는 산출하고자 하는 물성에 따라 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 흡수 및 탈거속도를 산출하는 흡수 및 탈거속도 산출단계(S210); 이산화탄소 흡수제 용액의 이산화탄소 로딩시의 점도를 산출하는 점도 산출단계(S220); 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 산출하는 흡수열 산출단계(S230); 및 상기 이산화탄소 흡수제 용액의 pH를 산출하는 pH 산출단계(S240);

중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0091] 일 실시예에 있어서, 흡수 및 탈거속도 산출단계(S210)는 적은 양의 이산화탄소 흡수제를 사용하여 이산화탄소 흡수 및 탈거속도를 산출하는 것으로서, 누벽탑 통과 전후의 이산화탄소 농도 차를 통해 이산화탄소가 흡수되는 이산화탄소 전달 플럭스(flux)를 계산하는 이산화탄소 전달 플럭스(flux) 계산단계(S211); 계산된 이산화탄소 전달 플럭스를 시간에 대해 적분하여 기체에서 액체로 흡수된 상기 이산화탄소의 양을 계산하는 이산화탄소 양 계산단계(S212); 최초 공급된 상기 이산화탄소 흡수제 용액의 무게를 이용하여 이산화탄소 로딩(loading) 값을 계산하는 이산화탄소 로딩 계산단계(S213); 계산된 이산화탄소 로딩 값과 이산화탄소 흡수제의 VLE 데이터를 이용하여 이산화탄소 분압을 계산하는 이산화탄소 분압 계산단계(S214); 및 이산화탄소 전달 플럭스 계산단계, 이산화탄소 양 계산단계, 이산화탄소 로딩 계산단계 및 이산화탄소 분압 계산단계의 계산값을 통해 총괄물질 전달 계수를 계산하는 총괄물질 전달계수 계산단계(S215);를 포함할 수 있다. 총괄물질 전달계수(K_G)는 흡수 및 탈거 속도를 판단하는 척도로서, 총괄물질 전달계수가 크다는 것은 흡수 및 탈거속도가 빠르다는 것을 의미하고, 반대로 총괄물질 전달계수가 작다는 것은 흡수 및 탈거속도가 느리다는 것을 의미한다. 즉, 본 발명은 이산화탄소 흡수제의 총괄물질 전달계수를 측정함으로써 이산화탄소 흡수 및 탈거속도를 산출할 수 있다.

[0092] 기초 데이터(raw data)는 방출되는 가스(Gas out)의 이산화탄소 농도이다(도 9 참조). 시간이 지남에 따라 흡수제가 점점 로딩이 되어가기 때문에 흡수속도가 줄어들어 방출되는 가스(Gas out)의 이산화탄소 농도는 점점 증가한다.

[0093] 이산화탄소 전달 플럭스(flux) 계산단계(S211)는 누벽탑 전 후 기체의 이산화탄소 농도 차이를 측정하고, 이상기체 상태방정식을 이용하여 하기 수학식 1에 따라 계산할 수 있다.

[0094] (수학식 1)

$$\dot{n}_{CO_2}(t) = \frac{PQ_{gas}}{ART} \left(\frac{\%CO_2^{in} - \%CO_2^{out}(t)}{100 - \%CO_2^{out}(t)} \right)$$

[0096] 여기에서, $\dot{n}_{CO_2}$ 는 이산화탄소 전달 플럭스(flux), P는 압력, Q_{gas} 는 가스 유량, A는 기-액 접촉면적, R은 기체 상수, T는 온도, $\%CO_2^{in}$ 은 누벽탑에 공급되는 CO_2 농도, $\%CO_2^{out}$ 은 누벽탑에서 방출되는 CO_2 농도를 의미한다.

[0097] 이산화탄소 양 계산단계(S212)는 계산된 이산화탄소 전달 플럭스(flux)를 하기 수학식 2에 따라 시간에 대해 적분하여 특정 시간까지의 기체에서 액체로 흡수된 이산화탄소의 양을 계산할 수 있다. 즉, 기초 데이터의 샘플링 타임(sampling time)은 1초이기 때문에, 하기 수학식 2의 시간에 대한 연속함수의 적분꼴을 매 샘플링 타임마다 기록되는 데이터를 이용하여 수치적으로 계산할 수 있다.

[0098] (수학식 2)

$$N_{CO_2}(t) = A \int_0^t \dot{n}_{CO_2}(\tau) d\tau$$

$$= \int_0^t \frac{PQ_{gas}}{RT} \left(\frac{\%CO_2^{in} - \%CO_2^{out}(\tau)}{100 - \%CO_2^{out}(\tau)} \right) d\tau = \frac{PQ_{gas}}{RT} \sum_{k=1}^m \left(\frac{\%CO_2^{in} - \%CO_2^{out}(k)}{100 - \%CO_2^{out}(k)} \right) h$$

[0101] 여기에서, $N_{CO_2}(t)$ 는 이산화탄소 흡수량, k는 k번째 데이터, h는 샘플링 타임(sampling time), m은 t시간까지 데이터(data) 개수이고, $t=m \cdot h$ 를 의미한다. 그 외 수학식 1과 중복되는 내용은 생략한다.

[0102] 이산화탄소 로딩 계산단계(S213)는 최초 공급된 흡수제 용액의 무게를 이용하여 하기 수학식 3에 따라 특정 시간까지의 이산화탄소 로딩 값을 계산할 수 있다.

[0103] (수학식 3)

$$ldg(t) = \frac{N_{CO_2}(t)}{n_{Amine}}$$

[0105] 여기에서, $ldg(t)$ 는 이산화탄소 로딩 값, n_{Amine} 은 흡수제의 아민 몰 수를 의미하고, 그 외 수학식 1 및 2와 중

복되는 내용은 생략한다.

[0106] 이산화탄소 분압 계산단계(S214)는 이산화탄소가 흡수되고 있는 흡수제에 대하여 매 순간 유사 평형 상태로 가정하고, 수학적 식 3에 의해 계산된 이산화탄소 로딩 값과 해당 실험 온도에서 흡수제의 VLE 데이터(도 10 참조)를 통해서 하기 수학적 식 4를 수립하여 이산화탄소 분압을 계산할 수 있다.

[0107] (수학적 식 4)

$$P_{CO_2}^*(t) = f_{VLE}(ldg(t), T)$$

[0109] 여기에서, $P_{CO_2}^*(t)$ 는 이산화탄소를 흡수한 흡수제의 평형 이산화탄소 분압을 의미하고, 그 외 수학적 식 1 내지 3과 중복되는 내용은 생략한다.

[0110] 총괄물질 전달계수 계산단계(S215)는 상술한 수학적 식 1 내지 4에 의해 계산된 값들 및 주어진 데이터를 통해서 하기 수학적 식 5에 따라 총괄물질 전달계수를 계산하고, 이를 통해 흡수제의 흡수 및 탈거속도를 알 수 있다.

[0111] (수학적 식 5)

$$\dot{n}_{CO_2}(t) = K_G (P_{CO_2}^{in} - P_{CO_2}^*(t))_{LM} = \frac{PQ_{gas}}{ART} \left(\frac{\%CO_2^{in} - \%CO_2^{out}(t)}{100 - \%CO_2^{out}(t)} \right)$$

$$\therefore K_G(t) = \frac{N_{CO_2}(t)}{(P_{CO_2}^{in} - P_{CO_2}^*(t))_{LM}}$$

[0114] 여기에서, K_G 는 총괄물질 전달계수, $P_{CO_2}^{in}$ 은 WWC로 공급되는 이산화탄소 분압, LM은 log mean을 의미하고, 그 외 수학적 식 1 내지 4와 중복되는 내용은 생략한다.

[0115] 도 11(MEA 40℃) 및 도 12(MEA 60℃)는 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치의 흡수 및 탈거속도 산출단계로부터 산출된 흡수속도와, 종래에 다량의 흡수제를 사용하여 흡수속도를 계산한 값(puxty, 2009)을 비교한 그래프이다. 도 11 및 도 12를 통해 알 수 있듯이, 본 발명은 적은 양의 흡수제만을 사용하고도 종래의 값과 5% 내의 오차를 갖는 결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 연속적인 로딩에서의 흡수속도를 산출할 수 있었고, 이를 통해 많은 시간, 인력, 비용을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

[0116] 일 실시예에 있어서, 점도 산출단계(S220)는 연속적으로 변화하는 이산화탄소 로딩시의 점도를 산출하는 단계로서, 이산화탄소 흡수제 용액이 누벽탑에 공급되기 전 소정의 구간을 통과할 때 발생하는 압력차를 계산하는 압력차 계산단계(S221); 이산화탄소 흡수제 용액의 유량을 계산하는 유량 계산단계(S222); 및 압력차 계산단계와 유량 계산단계의 계산값을 통해 이산화탄소 로딩시의 점도를 계산하는 이산화탄소 로딩시 점도 계산단계(S223);를 포함할 수 있다.

[0117] 압력차 계산단계(S221)는 이산화탄소 흡수제 용액이 누벽탑에 공급되기 전 소정의 구간을 통과할 때 발생하는 압력차를 계산하는 것으로서, 구체적으로, 맥동이 없는 정량 펌프(600)를 사용하여 일정한 유량으로 순환하는 흡수제 용액을 이송관(812)에 통과시키고, 이 때, 발생하는 압력강하를 이송관(812) 전후에 설치된 차압계(800)로 측정된 후, 이를 통해 압력차를 계산한다.

[0118] 유량 계산단계(S222)는 이송관(810) 전에 설치된 액체 유량계(700)로 측정된 후, 이를 통해 흡수제 용액의 유량을 계산한다.

[0119] 압력차 및 유량은 이송관에서 유체가 층류로 속도 분포를 갖게 하기 위해 흡수제 용액을 차압계(800) 전단에서 층류로 완전 발달된 흐름(fully developed)이 되도록 소정의 길이(예를 들어, 10cm)를 갖는 이송관(811)을 먼저 지나게 하고, 그 후 상대적으로 긴 길이(예를 들어, 15cm)의 이송관(812)을 지날 때 발생하는 압력과 유량을 측정한다.

[0120] 이산화탄소 로딩시 점도 계산단계(S223)는 압력차 계산단계 및 유량 계산단계의 계산값을 통해 이산화탄소 로딩시의 점도를 계산한다. 층류 유동에서 유체의 점도, 압력강하, 유량의 관계는 Hagen-poiseuille 식에 의해 하기 수학적 식 6과 같다.

[0121] (수학식 6)

$$[0122] \quad \Delta P \propto Q_{Liquid}, \quad \Delta P \propto \mu$$

[0123] 여기서, ΔP 는 이송관에서의 압력강하 값, Q_{Liquid} 는 흡수제 용액의 유량, μ 는 점도를 의미한다.

[0124] 압력강하에 대해 유량과 점도는 모두 선형관계를 갖고 있기 때문에, 이를 이용하여 알고 있는 점도의 용액에 대해 이송관(810)을 통과시켜 그 때의 유량과 압력차이를 측정하여 하기 수학식 7과 같은 점도, 압력강하, 유량의 1차 선형관계식(calibration)을 구한다.

[0125] (수학식 7)

$$[0126] \quad \mu = f_{viscosity}(\Delta P, Q_{Liquid})$$

[0127] 수학식 7의 선형관계식을 이용하여 샘플링 시간마다 측정되는 흡수제 유량과 압력강하를 이용하여 해당시간에서 점도를 구하여 동일시간대의 이산화탄소 로딩시 점도를 산출할 수 있다.

[0128] 도 13은 이산화탄소를 흡수시킨 용액을 0.01cP의 오차를 갖는 점도계로 측정한 종래의 결과(Anundsen)와 본 발명에 의해 산출된 점도를 비교한 그래프로써, 그 값의 오차가 10% 내외에 불과하여 비교적 정확하게 측정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

[0129] 일 실시예에 있어서, 흡수열 산출단계(S230)는 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출하는 단계로서, 누벽탑으로 공급되는 상기 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하는 공급에너지 계산단계(S231); 누벽탑에서 방출되는 상기 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하는 방출에너지 계산단계(S232); 및 공급에너지 계산단계와 방출에너지 계산단계의 계산값을 통해 이산화탄소 흡수제 용액의 흡수열을 계산하는 흡수열 계산단계(S233);를 포함할 수 있다.

[0130] 흡수열 산출단계에 의해 흡수열을 산출할 때에는 누벽탑 내부의 컨트롤 볼륨(140)에서 바깥으로 열손실이 없어야 한다. 열전달은 주로 흡수제 용액과 장치 사이에서 발생하므로 흡수제 용액과 접촉하는 장치의 면을 단열시킬 필요가 있다. 도면 3을 참조하면, 흡수제 용액이 접촉하는 부분은 튜브 2(120)의 바깥쪽과 안쪽이다. 따라서, 튜브 2(120)의 안과 밖을 단열시키기 위해 열전달계수가 작고 흡수제와의 반응성이 없는 테프론(PTFE)을 설치한다.

[0131] 상기와 같이 단열 시스템을 구축한 후 누벽탑 내부의 컨트롤 볼륨(140)을 기준으로 하기 수학식 8과 같은 에너지 균형 방정식을 수립할 수 있다.

[0132] (수학식 8)

$$[0133] \quad (Inlet\ Energy) - (Outlet\ Energy) + (Generated\ Energy) = 0$$

$$[0134] \quad (\dot{m}_{li} C_{p,li}(T_A(t) - T_R) + \dot{m}_{gi} C_{p,gi}(T_C(t) - T_R)$$

$$[0135] \quad -((\dot{m}_{lo} C_{p,lo}(T_B(t) - T_R) + \dot{m}_{go} C_{p,go}(T_D(t) - T_R) + \dot{n}_{CO_2}(t) \Delta H_{abs}(t)) = 0$$

[0136] $\dot{m}_{li}$ 는 WWC로 공급되는 흡수제 용액의 유량(g/sec), $C_{p,li}$ 는 WWC로 공급되는 흡수제 용액의 열용량(J/g), $T_A(t)$ 는 WWC로 공급되는 흡수제 용액의 온도(K), $\dot{m}_{gi}$ 는 WWC로 공급되는 기체의 유량(g/sec), $C_{p,gi}$ 는 WWC로 공급되는 기체의 열용량(J/g), $T_C(t)$ 는 WWC로 공급되는 기체의 온도(K), $\dot{m}_{lo}$ 는 WWC에서 방출되는 흡수제 용액의 유량(g/sec), $C_{p,lo}$ 는 WWC에서 방출되는 흡수제 용액의 열용량(J/g), $T_B(t)$ 는 WWC에서 방출되는 흡수제 용액의 온도(K), $\dot{m}_{go}$ 는 WWC에서 방출되는 기체의 유량(g/sec), $C_{p,go}$ 는 WWC에서 방출되는 기체의 열용량(J/g), $T_D(t)$ 는 WWC에서 방출되는 기체의 온도(K), T_R 은 기준 온도(K), $\Delta H_{abs}(t)$ 는 단위 몰당 CO₂ 흡수열을 의미한다.

[0137] 상기 수학식 8과 주어진 데이터 또는 측정값으로부터, 공급에너지 계산단계에서 공급되는 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피를 계산하고, 방출에너지 계산단계에서 방출되는 이산화탄소 흡수제 용액 및 기체의 엔탈피

를 계산하며, 이를 통해 흡수열 계산단계에서 $\Delta H_{abs}(t)$ 를 계산할 수 있다.

[0138] 도 14는 MEA 40℃의 조건에서 DRC(Differential reactor calorimetry)(KIER, Inna Kim) 또는 열역학적 식(Jou)을 통해 구한 종래의 결과와 본 발명에 의해 산출된 흡수열을 비교한 그래프로서, 그 값의 오차가 10% 내외에 불과하여 비교적 정확하게 측정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

[0139] 일 실시예에 있어서, pH 산출단계(S240)는 pH 미터(241)에서 측정된 값으로부터 이산화탄소 흡수제 용액의 pH를 연속적으로 변화하는 로딩에서 산출할 수 있다. 보다 구체적으로, pH 미터(241)를 액체 저장소(500)에 설치하고, 샘플링 시간마다 pH를 측정하고, 이를 통해 이산화탄소 로딩시 pH를 산출할 수 있다. 도 15는 본 발명을 이용하여 측정한 pH를 나타낸 것이다.

[0141] 본 명세서에서는 본 발명자들이 수행한 다양한 실시예 가운데 몇 개의 예만을 들어 설명하는 것이나 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정하거나 제한되지 않고, 당업자에 의해 변형되어 다양하게 실시될 수 있음은 물론이다.

부호의 설명

[0142] 1 : 이산화탄소 흡수제 물성 산출 장치

100 : 누벽압, 110 : 튜브 1, 120 : 튜브 2, 130: 단열재, 140 : 컨트롤 볼륨, 150 : 열전쌍(thermocouple), 160 : 기공

200 : 산출부

210 : 흡수 및 탈거속도 산출부, 211 : 이산화탄소 전달 플럭스(flux) 계산부, 212 : 이산화탄소 양 계산부, 213 : 이산화탄소 로딩 계산부, 214 : 이산화탄소 분압 계산부, 215 : 총괄물질 전달계수 계산부

220 : 점도 산출부, 221 : 압력차 계산부, 222 : 유량 계산부, 223 : 점도 계산부

230 : 흡수열 산출부, 231 : 공급에너지 계산부, 232 : 방출에너지 계산부, 233 : 흡수열 계산부

240 : pH 산출부, 241 : pH 미터

300 : 기체공급장치

400 : 수분 포화기

500 : 액체 저장소

501 : 마그네틱 스틸러

600 : 펌프

700 : 액체 유량계

800 : 차압계, 810~812 : 이송관

900 : 오븐

950 : 이산화탄소 센서

960 : 질량유량계(MFC)

970 : 물 제거 용기(water knock out)

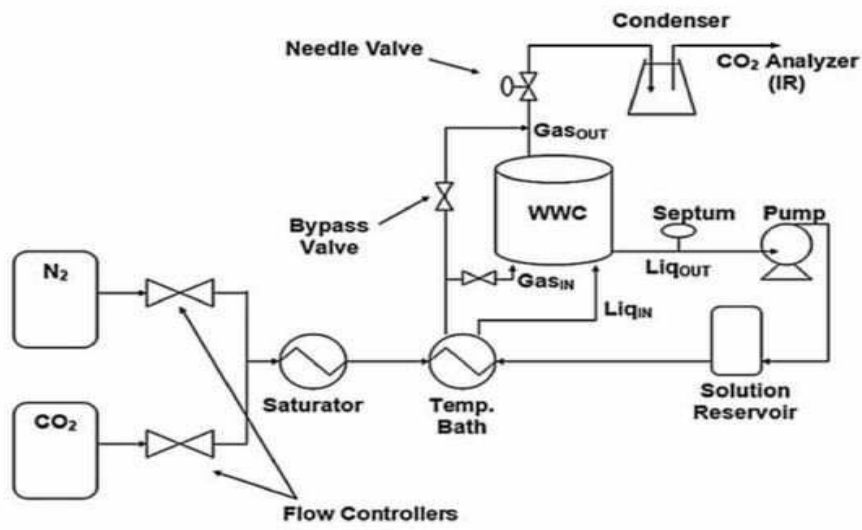
980 : 저온 항온수조(cooling bath)

990 : 건조탑(desiccant column)

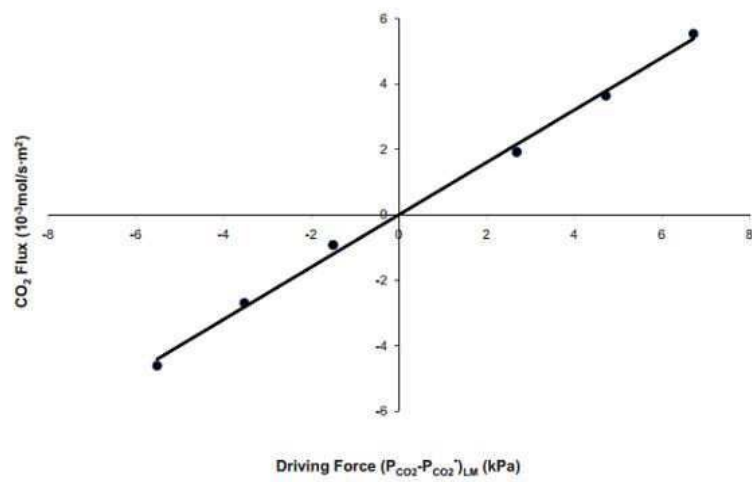
991 : 유량계(flowmeter)

도면

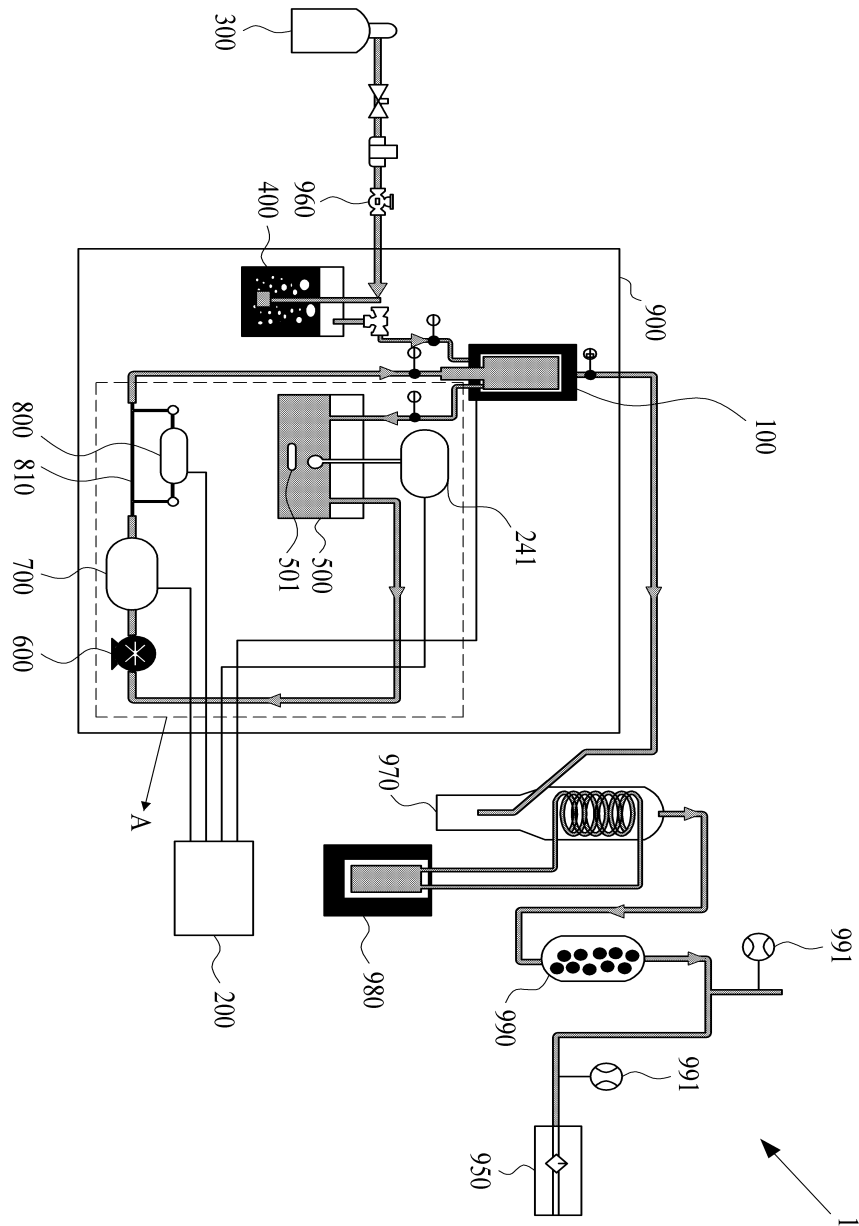
도면1



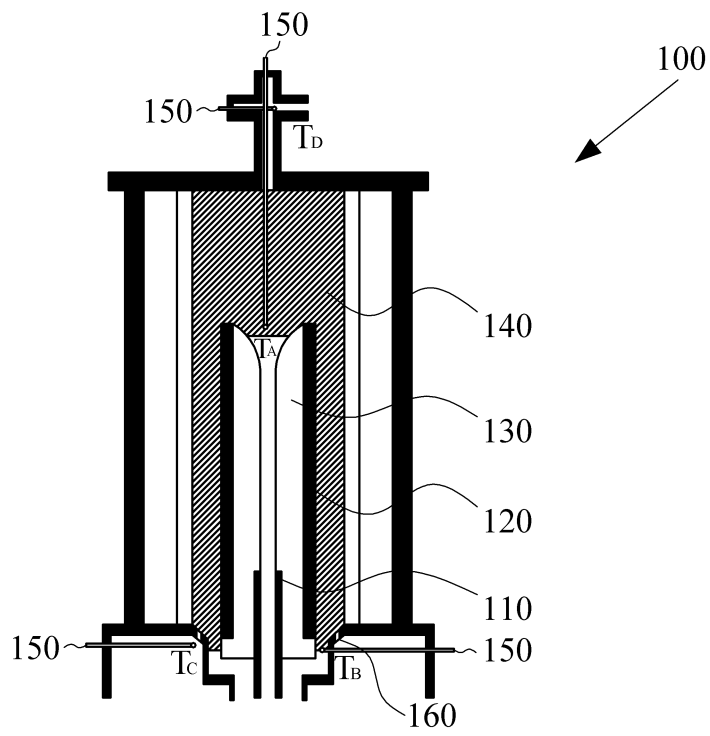
도면2



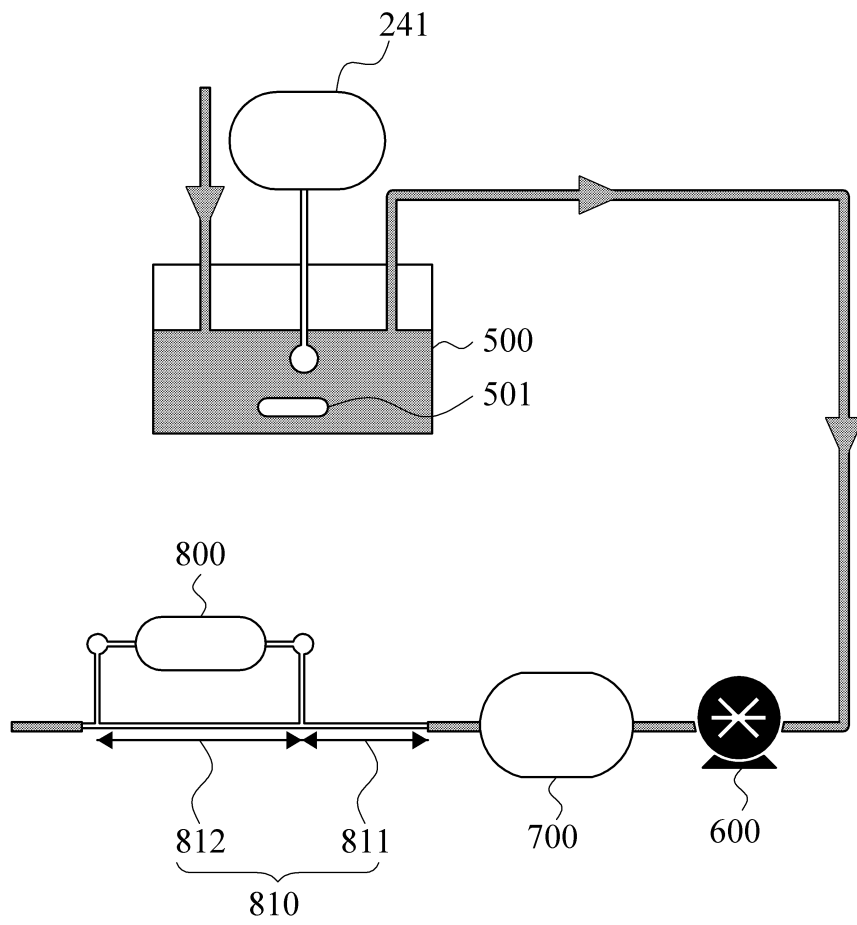
도면3



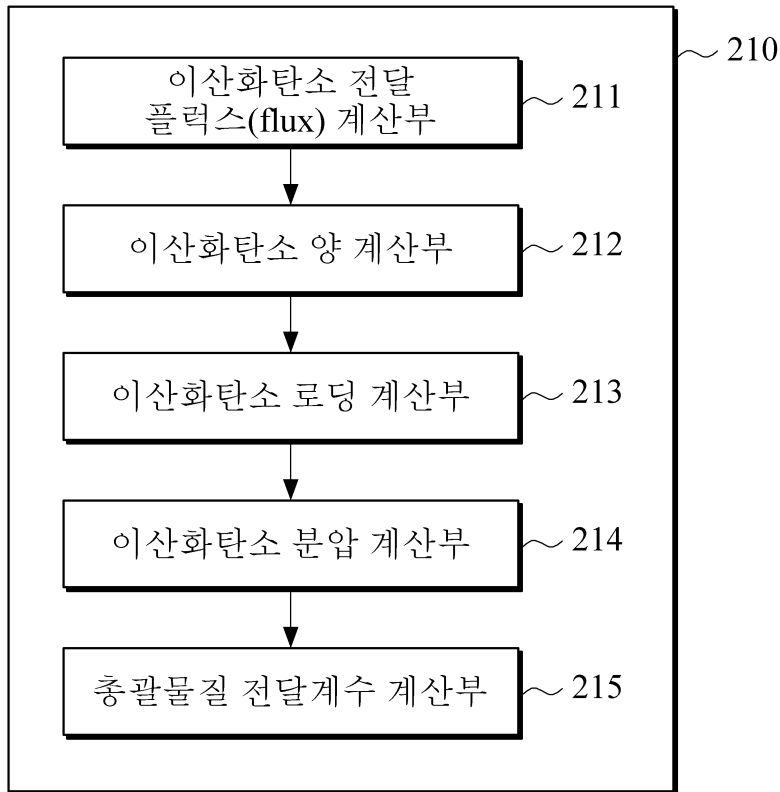
도면4



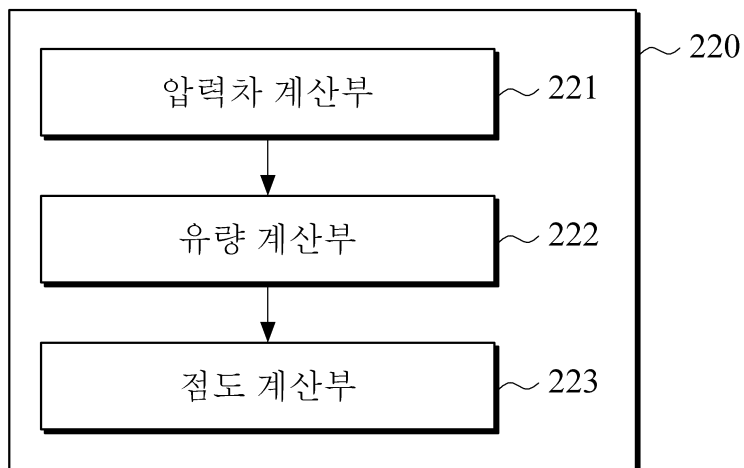
도면5



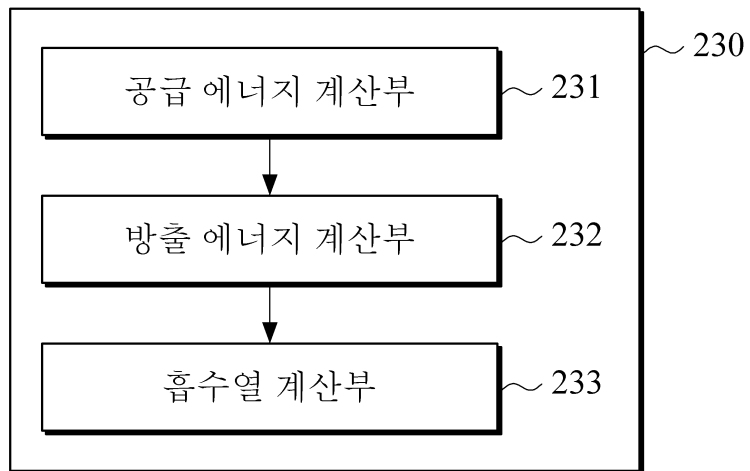
도면6



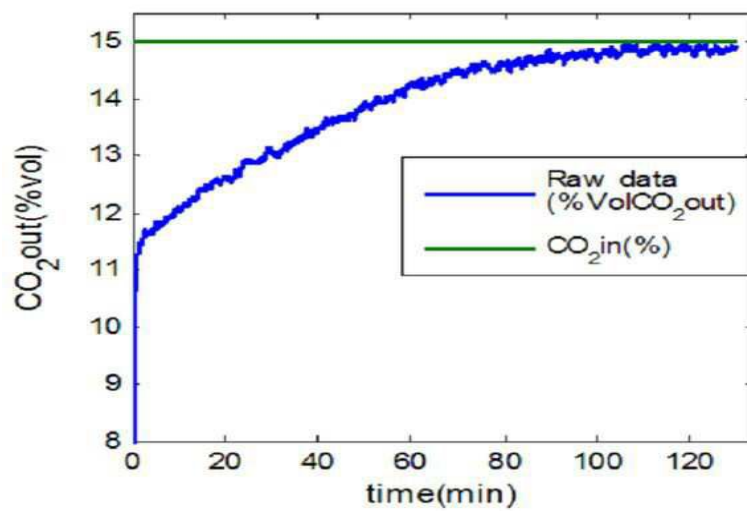
도면7



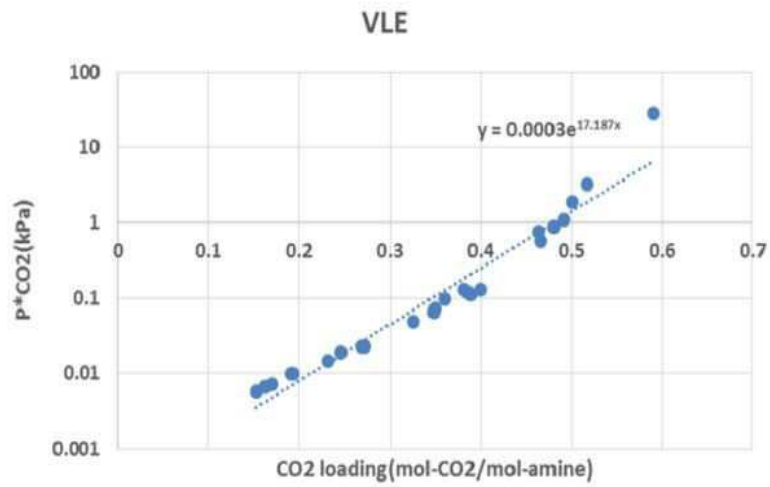
도면8



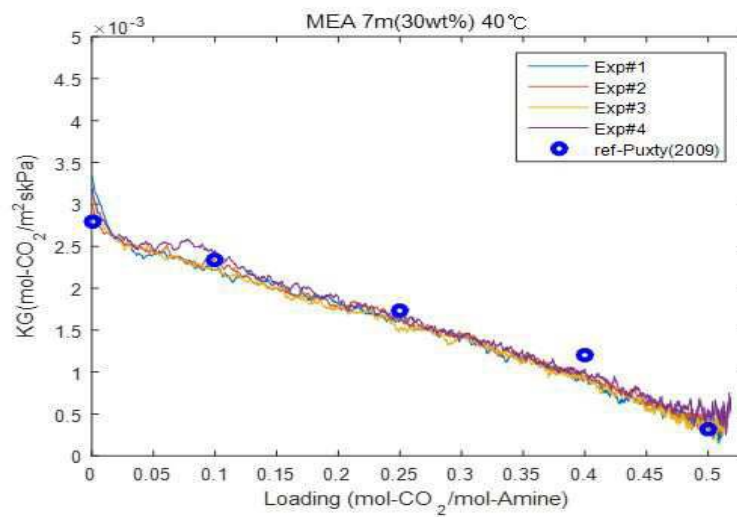
도면9



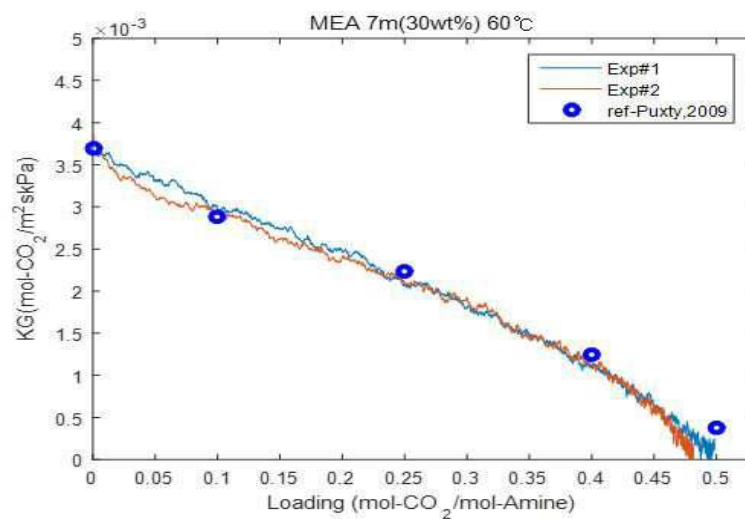
도면10



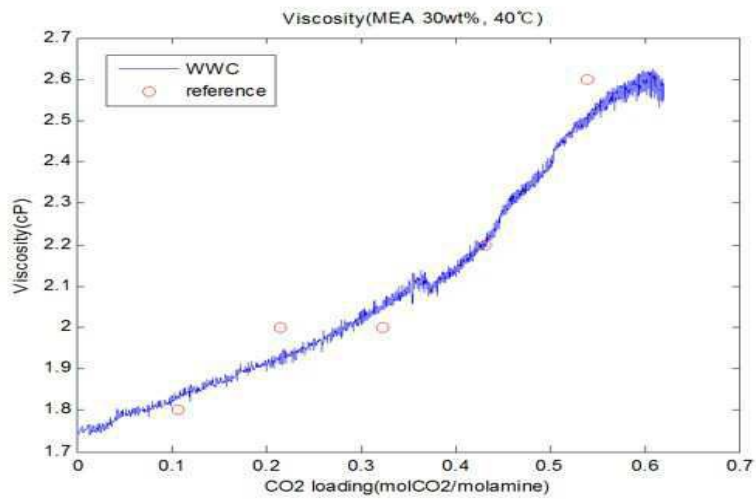
도면11



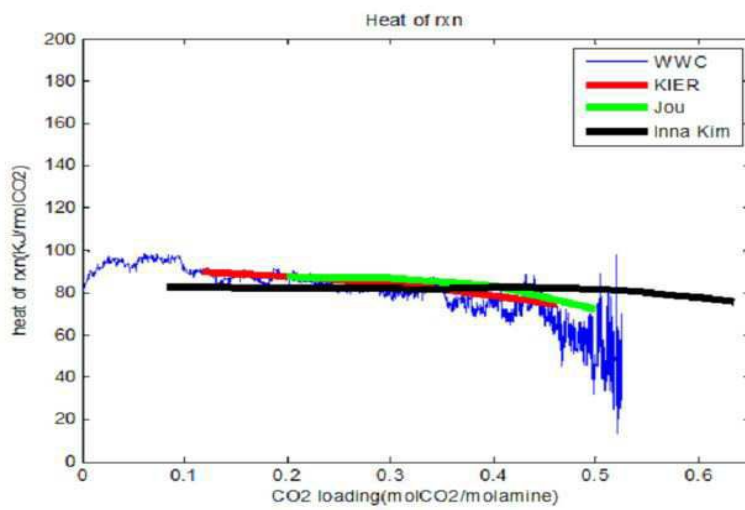
도면12



도면13



도면14



도면15

