



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년05월02일
(11) 등록번호 10-1390664
(24) 등록일자 2014년04월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01D 53/14 (2006.01) B01D 53/62 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0026024
(22) 출원일자 2013년03월12일
심사청구일자 2013년03월12일
(56) 선행기술조사문헌
KR101147370 B1
KR1020060072210 A
KR1020040106203 A

(73) 특허권자
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스
내 (서천동, 경희대학교)
(72) 발명자
강용태
서울 서초구 서초대로65길 13-10, 104동 905호 (서초동, 서초래미안아파트)
이스라엘 토레스 피네다
경기 수원시 영통구 매영로415번길 53, B02호 (영통동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
교영갑, 권정기, 임상엽

전체 청구항 수 : 총 16 항

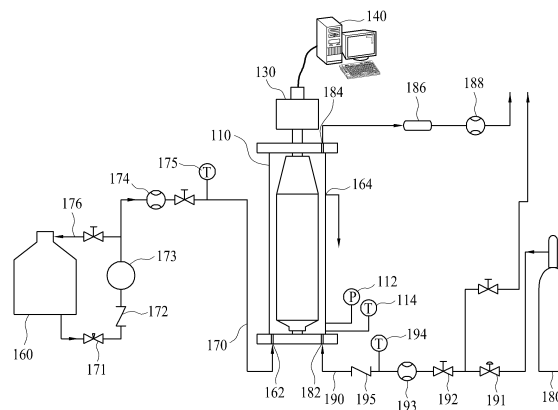
심사관 : 이근완

(54) 발명의 명칭 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치

(57) 요약

본 발명은 흡수제와 가스의 혼합된 상태의 액체에 테일러 유동을 일으켜 가스의 흡수율은 향상시키는 가스 흡수장치에 관한 것으로서, 본 발명의 일 형태에 따르면, 원형단면의 내부공간을 가지며 상하방향으로 길이방향을 가지는 챔버, 상기 챔버의 내부공간에 상기 챔버와 동일한 길이방향을 가지며 상기 챔버와 동심상에 회전가능하게 설치되고 상기 챔버의 내주면과의 사이에 흡수제 및 가스가 유동되는 혼합공간을 형성하는 인너 실린더, 상기 인너 실린더를 회전시키는 모터 및 상기 모터의 회전을 제어하는 제어부를 포함하여 이루어지며, 상기 챔버는 상기 혼합공간에 흡수제가 공급되는 흡수제 주입구 및 공급된 흡수제가 배출되는 흡수제 배출구, 상기 혼합공간에 가스가 공급되는 가스 주입구 및 공급된 가스가 배출되는 가스 배출구가 형성된 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치가 개시된다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

이재원

경기 수원시 영통구 덕영대로1681번길 15, 101호
(영통동)

김재형

광주 북구 서하로194번길 15, 206동 803호 (오치동, 오치주공아파트)

특허청구의 범위

청구항 1

원형단면의 내부공간을 가지며, 상하방향으로 길이방향을 가지는 챔버;

상기 챔버의 내부공간에 상기 챔버와 동일한 길이방향을 가지며 상기 챔버와 동심상에 회전가능하게 설치되고, 상기 챔버의 내주면과의 사이에 흡수제 및 가스가 유동되는 혼합공간을 형성하는 인너 실린더;

상기 인너 실린더를 회전시키는 모터; 및

상기 모터의 회전을 제어하는 제어부를 포함하여 이루어지며,

상기 챔버는 상기 혼합공간에 흡수제가 공급되는 흡수제 주입구 및 공급된 흡수제가 배출되는 흡수제 배출구, 상기 혼합공간에 가스가 공급되는 가스 주입구 및 공급된 가스가 배출되는 가스 배출구가 형성된 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 혼합공간에 공급된 흡수제와 가스는 같은 방향으로 흐르는 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 흡수제 주입구 및 가스 주입구는 상기 챔버의 하부측에 형성되며, 상기 흡수제 배출구와 가스 배출구는 상기 챔버의 상부측에 형성되는 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 혼합공간에 공급된 흡수제와 가스는 서로 대향된 방향으로 흐르는 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 흡수제 배출구와 가스 주입구는 상기 챔버의 하부측에 형성되며, 상기 흡수제 주입구와 가스 배출구는 상기 챔버의 하부측에 형성되는 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 챔버의 내주면과 인너 실린더의 외주면과의 간격은 상기 챔버의 반지름과 인너 실린더의 반지름의 합의 0.2배 이하인 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 챔버의 반지름에 대한 인너 실린더의 반지름의 비는 0.5~0.975인 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 챔버의 내주면과 인너 실린더의 외주면과의 사이의 혼합공간의 둘레에 걸쳐 흡수제와 가스의 유동의 층을 구획하며, 흡수제 및 가스가 다음 층으로 통과할 수 있는 개구부가 형성된 트레이가 상기 챔버의 길이방향으로

일정간격 복수개 구비되는 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 개구부는 상기 트레이의 챔버의 내주면과 접한 부분 또는 인너 실린더의 외주면을 향하는 측면의 어느 일 부분에 형성된 슬릿으로 이루어지는 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 트레이는 상측에 설치된 트레이와 하측에 설치된 트레이의 상기 개구부가 형성된 부분이 서로 엇갈리도록 배치되는 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 트레이가 형성된 간격은 상기 챔버의 내주면과 인너 실린더의 외주면의 간격의 2배인 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 인너 실린더의 각속도(ω_{cr})가 식 1의 값 이상이 되도록 제어하는 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치.

$$\text{식 1} = \sqrt{\frac{\pi^4 v^2 (r_i + r_o)}{2S d^3 r_i^2 [1 - \mu r_o^2 / r_i^2] (1 - \mu)}}$$

(단, v 는 흡수제의 동적 점성도이며, d 는 챔버의 반지름과 인너 실린더의 반지름의 차이이고, μ 는 인너 실린더의 각속도에 대한 챔버의 각속도의 비이고, r_o 는 챔버의 중심으로부터 내주면까지의 반지름이고, r_i 는 인

너 실린더의 중심으로부터 외주면까지의 반지름이며, S 는 식 2의 값을 가지며, η 는 챔버의 반지름에 대한 인너 실린더의 반지름의 비이며, 식 2는 다음과 같이 표현된다.

$$\text{식 2} = 0.0571 \left[\frac{1 + \mu}{1 - \mu} + 0.652 \left(1 - \frac{1}{\eta} \right) \right] + 0.00056 \left[\frac{1 + \mu}{1 - \mu} + 0.652 \left(1 - \frac{1}{\eta} \right) \right]^{-1}$$

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 제어부는,

챔버의 반지름에 대한 인너 실린더의 반지름의 비가 0.7과 0.9 사이일 때, 상기 인너 실린더의 각속도가 인너 실린더의 반지름 분의 0.006 이상이 되도록 제어하는 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치.

청구항 14

흡수제를 혼합공간에 주입하는 흡수제 주입단계;

가스를 혼합공간에 주입하는 가스 주입단계;

인너 실린더가 임계회전 각속도(ω_{cr})이상으로 회전 되도록 제어하는 회전단계;

를 포함하는 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치의 제어방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 인너 실린더의 임계회전 각속도(ω_{cr})는 식 1을 만족하는 것을 특징으로 하는 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치의 제어방법.

$$\text{식 1} = \sqrt{\frac{\pi^4 v^2 (r_i + r_o)}{2 S d^3 r_i^2 [1 - \mu r_o^2 / r_i^2] (1 - \mu)}}$$

(단, v 는 흡수체의 동적 점성도이며, d 는 챔버의 반지름과 인너 실린더의 반지름의 차이이고, μ 는 인너 실린더의 각속도에 대한 챔버의 각속도의 비이고, r_o 는 챔버의 중심으로부터 내주면까지의 반지름이고, r_i 는 인

너 실린더의 중심으로부터 외주면까지의 반지름이며, S 는 식 2의 값을 가지며, η 는 챔버의 반지름에 대한 인너 실린더의 반지름의 비이며, 식 2는 다음과 같이 표현된다.

$$\text{식 2} = 0.0571 \left[\frac{1 + \mu}{1 - \mu} + 0.652 \left(1 - \frac{1}{\eta} \right) \right] + 0.00056 \left[\frac{1 + \mu}{1 - \mu} + 0.652 \left(1 - \frac{1}{\eta} \right) \right]^{-1}$$

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 인너 실린더의 임계회전 각속도(ω_{cr})는 챔버의 반지름에 대한 인너 실린더의 반지름의 비가 0.7과 0.9사이 일 때, 상기 인너 실린더의 각속도가 상기 인너 실린더의 반지름 분의 0.661인 것을 특징으로 하는 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치의 제어방법.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 가스 흡수장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 흡수체와 가스의 혼합된 상태의 액체에 테일러 유동을 일으켜 가스의 흡수율은 향상시키는 가스 흡수장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 이산화탄소는 화학연료의 소비과정에서 필연적으로 배출되는 온실가스 중 하나로, 지구온난화 문제가 세계적인 관심사로 대두되면서 그 배출량 조절을 위한 기술이 요구되고 있으며, 기존의 산업설비에서 배출되는 이산화탄소를 포집하여 배출량을 줄이면서 포집된 이산화탄소를 다시 이용하려는 연구도 활발히 진행되고 있다.

[0003] 현재 제철소, 화학공장, 발전소, 대형 보일러의 배기가스 및 천연가스로부터 이산화탄소를 분리하는 방법으로는 흡수법, 흡착법, 막분리법 등이 쓰이고 있다. 특히 흡수법은 8 ~ 20 부피% 내외의 낮은 이산화탄소 배출농도 조건에서도 높은 이산화탄소 제거 효율을 가지면서 대유량의 배기가스 처리가 가능하므로, 흡착법이나 막분리법 등과 같은 타 회수 기술에 비하여 경제성이나 공정 적용 용이성이 높은 것으로 평가 받고 있다.

[0004] 대표적인 흡수법인 렉티솔(Rectisol) 공정은 물리적 흡수제인 메탄올을 이용하여 이산화탄소를 포집하는 공정으로 최근에 관련 연구들이 진행되고 있다.

[0005] 하지만, 종래의 기술들은 헨리의 용해도 법칙을 적용하여 이산화탄소를 포집하는 원리를 취하고 있는데, 상기

헨리의 용해도 법칙은 일정 부피의 액체 용매에 녹는 기체의 양은 압력에 비례하고 온도에 반비례한다.

[0006] 따라서, 원하는 효율만큼의 이산화 탄소를 제거하기 위해서는 흡수용액인 메탄올의 온도를 낮춰야 하며 이를 위해서는 막대한 냉각 시스템이 추가로 설치되어야 해 설치 및 유지 운용에 따른 비용이 증대되며, 고장의 빈도도 잦았고, 냉각 시스템의 운용에 소요되는 에너지 또한 막대한 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-0836709호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 상기한 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 흡수용액을 냉각하거나 가압하지 않고도 이산화탄소의 흡수율을 향상시킬 수 있는 가스 흡수장치를 제공하는 것이 과제이다.

[0009] 본 발명의 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않는 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기한 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 형태에 따르면, 원형단면의 내부공간을 가지며 상하방향으로 길이방향을 가지는 챔버, 상기 챔버의 내부공간에 상기 챔버와 동일한 길이방향을 가지며 상기 챔버와 동심상에 회전 가능하게 설치되고 상기 챔버의 내주면과의 사이에 흡수제 및 가스가 유동되는 혼합공간을 형성하는 인너 실린더, 상기 인너 실린더를 회전시키는 모터 및 상기 모터의 회전을 제어하는 제어부를 포함하여 이루어지며, 상기 챔버는 상기 혼합공간에 흡수제가 공급되는 흡수제 주입구 및 공급된 흡수제가 배출되는 흡수제 배출구, 상기 혼합공간에 가스가 공급되는 가스 주입구 및 공급된 가스가 배출되는 가스 배출구가 형성된 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치가 개시된다.

[0011] 상기 혼합공간에 공급된 흡수제와 가스는 같은 방향으로 흐를 수 있다.

[0012] 상기 흡수제 주입구 및 가스 주입구는 상기 챔버의 하부측에 형성되며, 상기 흡수제 배출구와 가스 배출구는 상기 챔버의 상부측에 형성될 수 있다.

[0013] 또는, 상기 혼합공간에 공급된 흡수제와 가스는 서로 대향된 방향으로 흐를 수 있다.

[0014] 상기 흡수제 배출구와 가스 주입구는 상기 챔버의 하부측에 형성되며, 상기 흡수제 주입구와 가스 배출구는 상기 챔버의 하부측에 형성될 수 있다.

[0015] 상기 챔버의 내주면과 인너 실린더의 외주면과의 간격은 상기 챔버의 반지름과 인너 실린더의 반지름의 합의 0.2배 이하일 수 있다.

[0016] 상기 챔버의 반지름에 대한 인너 실린더의 반지름의 비는 0.5~0.975 범위일 수 있다.

[0017] 그리고, 상기 챔버의 내주면과 인너 실린더의 외주면과의 사이의 혼합공간의 둘레에 걸쳐 흡수제와 가스의 유동의 층을 구획하며, 흡수제 및 가스가 다음 층으로 통과할 수 있는 개구부가 형성된 트레이가 상기 챔버의 길이방향으로 일정간격 복수개 구비될 수 있다.

[0018] 상기 개구부는 상기 트레이의 챔버의 내주면과 접한 부분 또는 인너 실린더의 외주면을 향하는 측면의 어느 일부분에 형성된 슬릿으로 이루어질 수 있다.

[0019] 상기 트레이는 상측에 설치된 트레이와 하측에 설치된 트레이의 상기 개구부가 형성된 부분이 서로 엇갈리도록 배치될 수 있다.

[0020] 상기 트레이가 형성된 간격은 상기 챔버의 내주면과 인너 실린더의 외주면의 간격의 2배일 수 있다.

[0021] 상기 제어부는, 상기 인너 실린더의 각속도(ω_{cr})가 식 1의 값 이상이 되도록 제어할 수 있으며, 상기 식 1

$$= \sqrt{\frac{\pi^4 v^2 (r_i + r_o)}{2Sd^3 r_i^2 [1 - \mu r_o^2 / r_i^2] (1 - \mu)}} \quad \text{일 수 있다.}$$

[0022] (단, v 는 흡수제의 동적 점성도이며, d 는 챔버의 반지름과 인너 실린더의 반지름의 차이이고, μ 는 인너 실린더의 각속도에 대한 챔버의 각속도의 비이고, r_o 는 챔버의 중심으로부터 내주면까지의 반지름이고, r_i 는 인너 실린더의 중심으로부터 외주면까지의 반지름이며, S 는 식 2의 값을 가지며, η 는 챔버의 반지름에 대한 인너 실린더의 반지름의 비이며, 식 2는 다음과 같이 표현된다.

$$\text{식 2} = 0.0571 \left[\frac{1 + \mu}{1 - \mu} + 0.652 \left(1 - \frac{1}{\eta} \right) \right] + 0.00056 \left[\frac{1 + \mu}{1 - \mu} + 0.652 \left(1 - \frac{1}{\eta} \right) \right]^{-1}$$

[0023]

[0024] 또는 상기 제어부는, 챔버의 반지름에 대한 인너 실린더의 반지름의 비가 0.7과 0.9 사이일 때, 상기 인너 실린더의 각속도가 인너 실린더의 반지름 분의 0.006 이상이 되도록 제어할 수 있다.

[0025] 한편, 본 발명의 다른 형태에 따르면, 흡수제를 혼합공간에 주입하는 흡수제 주입단계, 가스를 혼합공간에 주입하는 가스 주입단계, 인너 실린더가 임계회전 각속도(ω_{cr})이상으로 회전 되도록 제어하는 회전단계를 포함하는 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치의 제어방법이 개시된다.

[0026] 상기 인너 실린더의 임계회전 각속도(ω_{cr})는 식 1을 만족하는 것일 수 있으며, 상기 식 1은

$$= \sqrt{\frac{\pi^4 v^2 (r_i + r_o)}{2Sd^3 r_i^2 [1 - \mu r_o^2 / r_i^2] (1 - \mu)}} \quad \text{일 수 있다.}$$

[0027] (단, v 는 흡수제의 동적 점성도이며, d 는 챔버의 반지름과 인너 실린더의 반지름의 차이이고, μ 는 인너 실린더의 각속도에 대한 챔버의 각속도의 비이고, r_o 는 챔버의 중심으로부터 내주면까지의 반지름이고, r_i 는 인너 실린더의 중심으로부터 외주면까지의 반지름이며, S 는 식 2의 값을 가지며, η 는 챔버의 반지름에 대한 인너 실린더의 반지름의 비이며, 식 2는 다음과 같이 표현된다.

$$\text{식 2} = 0.0571 \left[\frac{1 + \mu}{1 - \mu} + 0.652 \left(1 - \frac{1}{\eta} \right) \right] + 0.00056 \left[\frac{1 + \mu}{1 - \mu} + 0.652 \left(1 - \frac{1}{\eta} \right) \right]^{-1}$$

[0028]

[0029] 또는, 상기 인너 실린더의 임계회전 각속도(ω_{cr})는 챔버의 반지름에 대한 인너 실린더의 반지름의 비가 0.7과 0.9사이일 때, 상기 인너 실린더의 각속도가 상기 인너 실린더의 반지름 분의 0.661일 수 있다.

발명의 효과

[0030] 본 발명의 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치는 챔버 내 메탄올과 이산화탄소가 테일러 유동을 일으키도록 유도하여 이산화탄소의 흡수율을 현저히 향상시키므로, 물리적 흡수제인 메탄올의 냉각 또는 압축을 위한 별도의 장치 없이도 이산화탄소의 흡수효율을 높일 수 있으므로, 냉각 시스템 또는 압축시스템이 필요치 않아 가스 흡수장치의 부피를 줄일 수 있으며, 설치비용 및 유지 운용에 소요되는 비용을 절감할 수 있는 효과가 있다.

[0031] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 청구범위의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0032] 아래에서 설명하는 본 출원의 바람직한 실시예의 상세한 설명뿐만 아니라 위에서 설명한 요약은 첨부된 도면과 관련해서 읽을 때에 더 잘 이해될 수 있을 것이다. 본 발명을 예시하기 위한 목적으로 도면에는 바람직한 실시예들이 도시되어 있다. 그러나, 본 출원은 도시된 정확한 배치와 수단에 한정되는 것이 아님을 이해해야 한다.
- 도 1은 본 발명의 제1실시예에 따른 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치의 구성을 개략적으로 도시한 도면;
- 도 2는 도 1의 챔버 및 인너 실린더를 도시한 단면도;
- 도 3은 도 2의 혼합공간에서 유동되는 흡수제가 테일러 쿠에테 유동을 일으킬 때의 모습을 촬영한 사진으로서,
- 도 3a는 레이놀드수가 604.73이고, 인너 실린더의 회전수가 5.40 rpm 일 때를 촬영한 사진;
- 도 3b는 레이놀드수가 3446.98이고, 인너 실린더의 회전수가 30.78 rpm일 때를 촬영한 사진;
- 도 4는 도 2이 혼합공간에 흡수제가 테일러 쿠에테 유동을 일으키면서 유동할 때 이산화탄소의 가스 주입량이 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2, 3 LPM일 때 주입된 이산화탄소의 흐름을 각각 관측한 사진;
- 도 5는 본 발명의 제2실시예에 따른 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치의 구성을 개략적으로 도시한 도면;
- 도 6은 제1실시예의 평행류일 때의 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치를 통해 흡수된 이산화탄소의 흡수율과 제2실시예의 대향류일 때의 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치를 통해 흡수된 이산화탄소의 흡수율을 실험 측정하여 비교한 그래프;
- 도 7은 본 발명의 제3실시예에 따른 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치의 구성을 개략적으로 도시한 도면;
- 도 8은 본 발명의 제4실시예에 따른 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치의 혼합공간을 형성하는 챔버 및 인너 실린더를 도시한 단면도;
- 도 9는 도 8의 트레이를 도시한 평면도로서,
- 도 8a는 개구부가 인너 실린더의 외주면을 향하는 측에 형성된 예를 도시한 평면도;
- 도 8b는 개구부가 챔버의 내주면과 접하는 측에 형성된 예를 도시한 평면도;
- 도 10은 본 발명의 제4실시예에 따른 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치의 혼합공간에서의 흡수제와 이산화탄소의 흐름을 인너 실린더의 회전수별(0, 14, 56, 112 rpm)로 관측한 사진; 및
- 도 11은 본 발명의 제4실시예에 따른 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치에서 흡수장치에서 평행류일 때 흡수된 이산화탄소의 흡수율과 대향류일 때 흡수된 이산화탄소의 흡수율을 실험 측정하여 비교한 그래프 이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0033] 이하 본 발명의 목적이 구체적으로 실현될 수 있는 본 발명의 여러가지 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 설명한다. 본 실시예들을 설명함에 있어서, 동일 구성에 대해서는 동일 명칭 및 동일 부호가 사용되며 이에 따른 부가적인 설명은 생략하기로 한다.
- [0034] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치를 도시한 도면이다.
- [0035] 본 실시예에 따른 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치는 챔버(110)와 인너 실린더(120), 모터(130) 및 제어부(140)를 포함하여 이루어질 수 있다.
- [0036] 상기 챔버(110)는 도 2에 도시된 바와 같이, 원형단면의 내부공간을 가지며, 상하방향으로 상기 원형단면의 중심축의 길이방향을 가지도록 이루어질 수 있다.
- [0037] 그리고, 상기 인너 실린더(120)는, 상기 챔버(110)의 내부공간에 배치되며, 원형단면을 가지고, 상기 챔버(110)와 동일한 길이방향을 가지며, 상기 챔버(110)와 동심상에서 회전 가능하게 설치되어, 상기 인너 실린더(120)의 외주면과 챔버(110)의 내주면과의 사이에 후술하는 흡수제 및 가스가 혼합되면서 유동되는 혼합공간(150)을 형성하도록 이루어질 수 있다.
- [0038] 즉, 상기 챔버(110)는 고정된 상태이며, 상기 인너 실린더(120)는 상기 챔버(110) 내에서 회전하도록 이루어질 수 있다.

- [0039] 그리고, 상기 모터(130)는 도 1에 도시된 바와 같이, 상기 챔버(110) 내부에 회전가능하게 구비된 인너 실린더(120)를 회전시키도록 이루어지며, 회전수의 조절이 용이하도록 스텝핑모터 등으로 이루어질 수 있다.
- [0040] 그리고, 상기 제어부(140)는 상기 혼합공간(150) 내부의 흡수제와 가스의 유동이 상기 인너 실린더(120)의 회전에 의해 테일러-쿠에테 유동을 일으키도록 상기 모터(130)의 회전을 제어하는 구성요소이다.
- [0041] 상기와 같은 제어부(140)는 별도의 PC 등으로 이루어지거나 또는 장치 상에 일체화된 마이컴 등으로 이루어질 수 있다.
- [0042] 상기 흡수제는 이산화탄소등의 가스를 흡수하는 용액으로서, 본 실시예에서는 메탄올(CH_3OH)를 사용하는 것을 예로 들기로 한다. 물론, 본 발명에서 상기 흡수제는 메탄올로서 한정되는 것은 아니며, 다른 물질도 가능하다.
- [0043] 또한, 본 실시예에서 흡수되어야 하는 가스는 이산화탄소를 포함한 가스일 수 있다.
- [0044] 따라서, 도 1에 도시된 바와 같이, 상기 메탄올을 저장하는 흡수제 저장부(160)와 이산화탄소가 포함된 가스를 저장하는 가스 저장부(180)가 구비될 수 있다. 물론, 상기 가스 저장부(180)는 반드시 탱크와 같은 보관용기로 이루어질 필요는 없으며, 내연기관(미도시) 등의 배기가스가 배출되는 통로로 이루어질 수도 있다.
- [0045] 그리고, 상기 흡수제 저장부(160)로부터 흡수제인 메탄올을 상기 혼합공간까지 안내하는 흡수제 공급경로(170)가 구비된다.
- [0046] 그리고, 상기 흡수제 공급경로(170)상에는 상기 흡수제 공급경로(170)를 개폐하는 개폐밸브(171) 및 흡수제의 흐름방향을 제어하는 체크밸브(172)와, 흡수제를 유동시키는 압력을 발생시키는 펌프(173), 흡수제의 유량을 측정하는 유량측정기(174) 및 흡수제의 온도를 측정하는 온도센서(175) 등이 설치될 수 있다.
- [0047] 또한, 공급중이던 흡수제를 회수하기 위한 바이패스 경로(176)가 구비될 수 있다.
- [0048] 그리고, 상기 가스 저장부(180)로부터 상기 이산화탄소를 포함한 가스를 상기 혼합공간까지 안내하는 가스 공급경로(190)가 구비된다.
- [0049] 상기 가스 공급경로(190)상에는 흐르는 가스의 압력을 균일하게 유지시키는 레귤레이터(191) 및 가스 공급경로를 개폐하는 개폐밸브(192) 및 가스의 흐름방향을 제어하는 체크밸브(195)와 가스의 유량 및 온도를 측정하는 유량측정기(193) 및 온도센서(194)가 구비될 수 있다.
- [0050] 또한, 상기 가스 공급경로(190)로부터 공급되는 가스를 상기 혼합공간이 아닌 다른 곳으로 우회시키는 바이패스 경로가 구비될 수 있다.
- [0051] 그리고, 상기 챔버(110)에는 상기 혼합공간(150)에 흡수제가 공급되는 흡수제 주입구(162) 및 가스가 주입되는 가스 주입구(182)가 형성될 수 있으며, 또한, 상기 흡수제가 가스 중 이산화탄소를 흡수한 후 배출되는 흡수제 배출구(164)와, 상기 혼합공간(150)에 공급되어 상기 흡수제에 흡수된 나머지 가스가 배출되는 가스 배출구(184)가 구비될 수 있다.
- [0052] 상기 흡수제 배출구(164)를 통해 배출된 흡수제는 따로 모아서 별도의 공정을 거쳐 재사용할 수도 있다. 또한, 상기 가스 배출구(184)를 통해 배출되는 가스는 실리카 겔 등의 흡습제(186)를 거쳐 제습된 후에 배출되는 가스의 양을 측정하는 유량 측정기(188)를 거친 후 배출될 수 있다.
- [0053] 또한, 상기 챔버(110)의 내부에는 상기 혼합공간(150) 내의 흡수제의 온도 및 압력을 측정하는 온도센서(114) 및 압력센서(112)가 구비될 수 있다.
- [0054] 한편, 본 실시예에서 상기 혼합공간(150)에 공급된 흡수제 및 가스는 서로 같은 방향으로 흐르는 평행류를 형성하도록 이루어질 수 있다.
- [0055] 따라서, 상기 혼합공간(150) 내에서 상기 흡수제와 가스가 평행류를 형성하기 위해, 상기 흡수제 주입구(162) 및 가스 주입구(182)는 상기 챔버의 하부측에 형성되며, 상기 흡수제 배출구(164)와 가스 배출구(184)는 상기 챔버의 상부측에 형성될 수 있다.
- [0056] 즉, 상기 챔버(110) 하측에 형성된 흡수제 주입구(162)를 통해 주입된 메탄올은 상기 챔버(110)의 상측에 형성된 흡수제 배출구(164)로 배출되며, 상기 챔버(110) 하측에 형성된 가스 주입구(182)를 통해 주입된 기체상태의 이산화탄소는 액체상태의 흡수제 속에서 밀도의 차이 및 유동의 힘으로 인해 상부측으로 부상하면서 이산화탄소가 흡수제에 흡수된 후에 상기 가스 배출구(184)로 배출될 수 있다.

[0057] 이 때, 상기 모터(130)에 의해 인너 실린더(120)가 회전하면서, 상기 혼합공간(150)에 있던 액체상태의 흡수제가 상기 인너 실린더(120)의 회전을 따라 같이 회전되면서 유동될 수 있다.

[0058] 이 때, 상기 제어부(140)는 상기 혼합공간(150)에서 유동되는 액체상태의 흡수제가 테일러-쿠에테 유동(Taylor-Coutte Vortex)을 일으키는 속도로 상기 인너 실린더(120)의 회전을 제어할 수 있다.

[0059] 도 3은 상기 제어부(140)가 상기 인너 실린더(120)의 회전을 제어하여 상기 혼합공간(150)에서 유동되는 흡수제가 테일러 쿠에테 유동을 일으킬 때의 모습을 촬영한 사진으로서, 관측의 용이를 위하여 액체상태의 흡수제 내부에 금속 파우더를 첨가하여 관측한 사진이다. 도 3a는 상기 인너 실린더가 5.40rpm(revolution per minute)이며, 레이놀드수(Re)가 604.73일 때 관측한 사진이며, 도 3b는 상기 인너 실린더가 30.78rpm(revolution per minute)이며, 레이놀드수(Re)가 3446.98일 때 관측한 사진이다.

[0060] 또한, 도 4는 상기 흡수공간에 흡수제가 테일러 쿠에테 유동을 일으키면서 유동할 때 이산화탄소의 주입량(gas flow rate, liter per minutes, LPM)에 따라 주입된 이산화탄소의 흐름을 관측한 사진으로서, 주입된 이산화탄소가 테일러 쿠에테 유동의 영향으로 사선으로 흐르는 것을 확인 할 수 있다.

[0061] 테일러 쿠에테 유동은 서로 다른 속도로 회전하는 동심원통 사이에서 레이놀드 수의 증가에 따른 원심 불안정성의 증가로 생기는 테일러 와류에 의해 유동의 형태가 불안정해지면서 발생하는 유동으로서, 상기 혼합공간 내의 흡수제와 가스가 테일러-쿠에테 유동을 일으키면서 유동하게 되면 상기 흡수제와 가스가 혼합되는 효과가 높아지면서 이산화탄소의 흡수율이 향상될 수 있다.

[0062] 한편, 상기 챔버(110)의 내주면과 인너 실린더(120)의 외주면과의 간격(d)가 너무 작으면, 상기 액체상태의 흡수제가 회전하면서 생기는 마찰력 및 이러한 마찰력에 의해 흡수제의 유동이 느려지므로 이산화탄소의 흡수에는 역효과가 일어나며, 반대로 챔버(110)의 내주면과 인너 실린더(120)의 외주면과의 간격(d)가 너무 크면 전술한 테일러-쿠에테 유동이 잘 발생하지 않는 문제점이 발생할 수 있다.

[0063] 따라서, 본 출원인은 다수회의 실험을 통해 상기 챔버(110)의 내주면과 인너 실린더(120)의 외주면과의 간격(d)가 상기 챔버의 반지름(r_o)과 인너 실린더의 반지름(r_i)의 합의 0.2배 이하($d \leq 0.2(r_o + r_i)$)이거나 또는 상기 챔버의 반지름(r_o)에 대한 인너 실린더의 반지름(r_i)의 비(r_i/r_o)가 0.5~0.975인 상태에서 테일러-쿠에테 유동이 원활하게 발생하는 결과를 도출하였으며, 본 실시예에서는 상기 챔버(110)의 내주면과 실린더(120)의 외주면과의 간격(d) 또는 챔버(110)의 반지름에 대한 인너 실린더(120)의 반지름의 비(r_i/r_o)가 전술한 범위 내인 것을 예로 들어 설명하기로 한다.

[0064] 한편, 상기 테일러 쿠에테 유동이 발생하는 상기 인너 실린더(120)의 임계각속도(ω_{cr})는 다음 식 1과 같이 계산될 수 있다.

$$\text{식1} = \sqrt{\frac{\pi^4 v^2 (r_i + r_o)}{2 S d^3 r_i^2 [1 - \mu r_o^2 / r_i^2] (1 - \mu)}}$$

[0066] 이 때, v 는 흡수제의 동적 점성도이며, d 는 챔버의 반지름과 인너 실린더의 반지름의 차이(즉, 챔버의 내주면과 인너 실린더의 외주면간의 간격)고, μ 는 인너 실린더의 각속도에 대한 챔버의 각속도의 비(ω_o/ω_i : ω_o 는 챔버의 각속도이고, ω_i 는 인너 실린더의 각속도)이고, r_o 는 챔버의 중심으로부터 내주면까지의 반지름이고, r_i 는 인너 실린더의 중심으로부터 외주면까지의 반지름이다.

[0067] 또한, 상기 S는 수정함수(Correction Function)으로서, 다음 식 2와 같이 계산될 수 있다.

$$\text{식2} = 0.0571 \left[\frac{1 + \mu}{1 - \mu} + 0.652 \left(1 - \frac{1}{\eta} \right) \right] + 0.00056 \left[\frac{1 + \mu}{1 - \mu} + 0.652 \left(1 - \frac{1}{\eta} \right) \right]^{-1}$$

[0068]

- [0069] 이 때, η 는 챔버의 반지름에 대한 인너 실린더의 반지름의 비(r_i/r_o)이다.
- [0070] 따라서, 상기 제어부(140)가 상기 인너 실린더(120)의 회전 각속도가 전술한 식 1 이상이 되도록 상기 모터(130)를 제어할 수 있다.
- [0071] 본 실시예에서, 상기 챔버(110)는 회전하지 아니하고 고정되므로, 상기 챔버(110)의 각속도(ω_o)는 0이 될 수 있다.
- [0072] 또는, 상기 제어부(140)는 챔버의 반지름(r_o)에 대한 인너 실린더(r_i)의 반지름의 비(η)가 0.7과 0.9 사이일 때, 상기 인너 실린더의 각속도(ω_i)가 인너 실린더의 반지름 분의 0.006 이상이 되도록($0.661/r_i$) 상기 모터(130)를 제어할 수 있다.
- [0073] 상기와 같이 제어부(140)에서 상기 혼합공간 내의 흡수제의 유동이 테일러-쿠에테 유동을 일으키도록 상기 모터(130)를 제어하면 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 흡수제와 가스의 혼합효과가 높아지면서 흡수율을 향상시킬 수 있다.
- [0074] 이하, 본 발명의 제2실시예에 대해서 설명하기로 한다. 본 실시예의 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치는 전술한 제1실시예의 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치와 유사하며, 흡수제 주입구 및 흡수제 배출구의 위치 및 흡수제와 가스가 흐르는 방향이 다르므로, 본 실시예의 설명에서는 이 부분을 중심으로 설명하기로 한다.
- [0075] 전술한 실시예에서 상기 혼합공간(150)에 공급된 흡수제와 가스는 서로 같은 방향으로 흐르는 평행류를 형성하나, 본 실시예의 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치에 따르면 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 혼합공간(150)에 공급된 흡수제 및 가스는 서로 대향된 방향으로 흐르는 대향류를 형성하도록 이루어질 수 있다.
- [0076] 따라서, 상기 혼합공간 내에서 상기 흡수제와 가스가 대향류를 형성하기 위해, 상기 흡수제 배출구(165) 및 가스 주입구(182)는 상기 챔버(110)의 하부측에 형성되며, 상기 흡수제 주입구(163)와 가스 배출구(184)는 상기 챔버(110)의 상부측에 형성될 수 있다.
- [0077] 즉, 상기 흡수제는 챔버(110)의 상측으로 주입되어 하측으로 배출되며, 상기 가스는 챔버(110)의 하측으로 주입되어 상측으로 배출될 수 있다. 상기 흡수제와 가스가 서로 대향된 방향으로 흐르면서 상기 흡수제가 테일러-쿠에테 유동을 일으키므로 상기 가스는 상기 흡수제와 보다 잘 혼합될 수 있어 이산화탄소의 흡수율이 향상될 수 있다.
- [0078] 즉, 상기 챔버(110) 하측에 형성된 흡수제 주입구(163)를 통해 주입된 메탄올이 상기 챔버(110)의 상측에 형성된 흡수제 배출구(165)로 배출되며, 상기 챔버(110) 하측에 형성된 가스 주입구(182)를 통해 주입된 기체상태의 이산화탄소는 액체상태의 흡수제 속에서 밀도의 차이 및 유동의 힘으로 인해 상부측으로 부상하면서 이산화탄소가 흡수제에 흡수된 후에 상기 가스 배출구(184)로 배출될 수 있다.
- [0079] 이 때, 상기 모터(130)에 의해 인너 실린더(120)가 회전하면서, 상기 혼합공간(150)에 있던 액체상태의 흡수제가 상기 인너 실린더(120)의 회전을 따라 같이 회전되면서 유동될 수 있다.
- [0080] 그 외 본 실시예의 설명에서 설명하지 아니한 구성요소는 전술한 실시예와 동일하므로 자세한 설명을 생략하기로 한다.
- [0081] 도 6은 전술한 제1실시예의 평행류일 때의 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치를 통해 흡수된 이산화탄소의 흡수율과 제2실시예의 대향류일 때의 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치를 통해 흡수된 이산화탄소의 흡수율을 실험 측정하여 비교한 그래프이다.
- [0082] 그리고, 아래의 표 1은 본 실험의 조건 표이다.

표 1

챔버의 반지름	r_o	76.6 mm
이너 실린더의 반지름	r_i	57.5 mm

챔버의 높이	H	350.0 mm
챔버의 내주면과 인너 실린더의 외주면과의 간격	d	19.1 mm
반지름 비	$n = r_i/r_o$	0.750
챔버의 내주면과 인너 실린더의 외주면과의 간격에 대한 챔버 높이의 비	H/d	18.3
인너 실린더의 분당회전수		0, 14, 56, 112 RPM
가스 종류		Carbon dioxide (CO ₂)
가스의 순도		99.999%
가스의 유량	$\dot{m}_{in}$	0.062 ± 0.005 g/s
가스의 압력		102 ± 0.2 kPa
가스의 온도		14 ± 2 ° C
흡수제의 종류		Methanol
흡수제의 유량	$\dot{m}_L$	6.3 ± 0.3 g/s
흡수제의 온도		17 ± 2 ° C

[0084] 표 1. 흡수율을 구하기 위한 실험 조건표

[0085] 실험은 다음과 같이 진행되었다. 흡수제와 가스를 항온조를 이용하여 일정 온도로 유지시키고, 먼저 흡수제를 일정 유량으로 공급하면서 인너 실린더(120)를 상기 모터(130)를 이용하여 테일러 쿠에테 유동이 일어나는 속도 이상으로 회전시킨다. 본 실험에서는 비교를 위하여 0, 14, 56, 112 rpm으로 회전시켰다. 그리고, 가스 저장소로부터 일정한 압력과 유량의 이산화탄소를 상기 혼합공간으로 지속적으로 공급되도록 한 후에 각각의 회전에 따라 흡수율이 평형을 이룰 때까지 흡수율을 측정하였다.

[0086] 흡수율은 공급된 가스의 양($\dot{m}_{in}$)에 흡수되지 못하고 배출되는 가스의 양($\dot{m}_{out}$)을 차감하여 산출하였다. 흡수율을 구하는 식은 아래와 같다.

$$\dot{m}_{abs} = \frac{\int \dot{m}_{in} dt - \int \dot{m}_{out} dt}{\Delta t}$$

[0087]

[0088] 본 발명의 제3실시예의 테일러-쿠에테 유동을 이용한 가스 흡수장치에 따르면, 작업자가 상황 및 조건에 따라 평행류와 대향류를 선택할 수 있도록 이루어질 수 있다.

[0089] 도 7은 본 실시예의 테일러-쿠에테 유동을 이용한 가스 흡수장치를 도시한 도면이다. 전술한 제1실시예 및 제2 실시예와 비교하여 상기 챔버(110)의 상측과 하측에 흡수제 주입구(162, 163)와 흡수제 배출구(164, 165)가 모두 형성되며, 상기 흡수제 공급경로(170)가 분기되어 상기 챔버(110)의 상측과 하측에 형성된 흡수제 주입구(162, 163)와 연통되도록 이루어지는 점이 차이가 있다.

[0090] 그리고, 상기 흡수제 공급경로(170)의 분기된 지점에는 삼방밸브(177)가 설치되어 상기 챔버(110)의 상측에 형성된 흡수제 주입구(183)를 통해 흡수제를 주입하는 경로 또는 상기 챔버의 하측에 형성된 흡수제 주입구(182)를 통해 흡수제를 주입하는 경로를 선택하도록 이루어질 수 있다.

[0091] 따라서, 평행류를 선택할 때에는 상기 챔버(110)의 하측에 형성된 흡수제 주입구(182)를 통해 흡수제를 공급하도록 삼방밸브(177)를 조절하며, 대향류를 선택할 때에는 상기 챔버(110)의 상측에 형성된 흡수제 주입구(183)를 통해 흡수제를 공급하도록 삼방밸브(177)를 조절할 수 있다.

[0092] 한편, 도 8에 도시된 본 발명의 제4실시예에 따른 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치에 따르면, 전술한 제1 실시예 내지 제3실시예에 따른 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치의 챔버(110)와 인너 실린더(120) 사이에 형성된 혼합공간(150)에 트레이(152)가 더 구비되어 이루어질 수 있다.

- [0093] 상기 트레이(152)는 상기 테일러-쿠에테 유동이 일어나는 흡수제와 가스의 유동의 층을 구획하여 결과적으로 흡수제와 가스의 유동 경로의 길이를 증대시킴으로써 흡수율을 증가시키도록 이루어지는 구성요소이다.
- [0094] 상기 트레이(152)는 도 9a 및 도 9b에 도시된 바와 같이, 상기 챔버(110)의 내주면과 인너 실린더(120)의 외주면 사이에 링의 형태로 형성된 혼합공간(150)의 둘레에 걸쳐 구비되어 상기 테일러-쿠에테 유동이 일어나는 흡수제와 가스의 유동의 층을 구획하도록 상기 챔버(110)의 내주면 및 인너 실린더(120)의 외주면과 접하도록 링의 형태로 이루어질 수 있다. 물론, 상기 트레이(152)가 회전하는 인너 실린더(120)와 접촉하면 마찰이 발생할 수 있으므로 상기 트레이(152)의 인너 실린더(120)측 측면은 상기 인너 실린더(120)의 외주면에 매우 근접한 위치까지 연장될 수 있다.
- [0095] 따라서, 상기 트레이(152)가 상기 혼합공간(150)에 상기 챔버(110)의 길이방향으로 일정간격으로 복수개 위치되면 상기 테일러-쿠에테 유동이 일어나는 흡수제와 가스의 유동의 층을 구획할 수 있다.
- [0096] 이 때, 상기 트레이(152)가 설치되는 간격(gap)은 상기 챔버(110)의 내주면과 인너 실린더(120)의 외주면의 간격의 2배일 수 있다.
- [0097] 그리고, 상기 트레이(152)의 챔버(110) 내주면과 접한 부분 또는 상기 인너 실린더(120)의 외주면을 향하는 측면에는 상기 흡수제 및 가스가 통과할 수 있는 개구부(155)가 형성될 수 있다.
- [0098] 상기 개구부(155)는 도 9a에 도시된 바와 같이, 상기 트레이(152)의 챔버(110)의 내주면과 접한 부분 또는 도 9b에 도시된 바와 같이, 상기 인너 실린더(120)의 외주면을 향하는 측면의 어느 일부분에 형성된 슬릿으로 이루어질 수 있다.
- [0099] 또한, 상기 트레이(152)는 상측에 설치된 트레이(152)와 하측에 설치된 트레이(152)의 상기 개구부(155)가 형성된 위치가 서로 엇갈리도록 위상차를 가지도록 형성될 수 있다.
- [0100] 따라서, 상기 트레이(152)에 의해 상기 혼합공간(150) 내부에서 일어나는 상기 테일러-쿠에테 유동의 흡수제와 가스의 유동의 층이 구획되며, 상기 흡수제와 가스의 유동이 상기 트레이(152)의 개구부(155)를 통해 다음 층으로 유입되므로, 결과적으로 흡수제와 가스의 유동 경로의 길이를 증대시킴으로써 흡수제와 가스의 접촉시간을 증대시켜 흡수율을 증가시킬 수 있다.
- [0101] 물론, 본 실시예에서 설명하지 아니한 구성요소는 전술한 제1,2,3실시예와 동일하므로 자세한 설명을 생략하기로 한다.
- [0102] 도 10은 본 실시예에 따른 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치의 혼합공간에 흡수제와 이산화탄소를 주입하면서 상기 인너 실린더(120)를 회전시켰을 때 상기 흡수제와 이산화탄소의 흐름을 상기 인너 실린더(120)의 회전수 별로 관찰한 사진으로서, 상기 이산화탄소가 트레이(152)를 따라 흐르면서 상기 인너 실린더의 회전수가 높아질수록 작은 크기의 알갱이를 형성하는 모습을 확인할 수 있다.
- [0103] 도 11은 본 실시예의 테일러 유동을 이용한 가스 흡수장치에서 평행류일 때 흡수된 이산화탄소의 흡수율과 대향류일 때 흡수된 이산화탄소의 흡수율을 실험 측정하여 비교한 그래프로써, 실험조건은 전술한 표 1의 조건과 같으며, 상기 트레이는 36mm 간격으로 8개가 설치된 상태에서 측정하였다.
- [0104] 도 11의 그래프에서 볼 수 있는 바와 같이, 상기 흡수제와 가스가 평행류일 때 상기 인너 실린더(120)의 회전수가 증가함에 따라 상기 이산화탄소의 흡수율이 증가하고 있으며, 상기 흡수제와 가스가 대향류일 때에도 상기 인너 실린더(120)의 회전속도가 증가함에 따라 흡수율도 증가하며, 모든 실시예 중에 가장 높은 흡수율을 나타내었다.
- [0105] 이하, 전술한 실시예들의 테일러 쿠에테 유동을 이용한 가스 흡수장치의 제어방법의 일 실시예에 대해서 기술하기로 한다.
- [0106] 본 실시예에 따른 테일러 쿠에테 유동을 이용한 가스 흡수장치의 제어방법은 흡수제 주입단계와 가스 주입단계 및 회전단계를 포함하여 이루어질 수 있다.
- [0107] 상기 흡수제 주입단계는 상기 흡수제 주입경로(170) 및 흡수제 주입구(162, 163)를 통해 메탄올 등의 흡수제를 상기 혼합공간(150)에 주입하는 단계이다. 또한, 본 단계에서 상기 혼합제와 이산화탄소가 서로 평행류인지 또는 대향류인지를 결정할 수 있다.
- [0108] 그리고, 이산화탄소 등 상기 혼합제에 흡수시킬 가스를 상기 가스 공급경로(190) 및 가스 주입구(182)를 통해

상기 혼합공간(150)에 주입하는 단계이다.

[0109] 상기 흡수제 및 가스의 주입이 진행되면서, 상기 회전단계가 수행될 수 있다.

[0110] 상기 회전단계는 상기 인너 실린더(120)가 상기 혼합공간(150) 내부에 공급된 흡수제 및 가스가 테일러-쿠에테 유동을 일으키는 임계회전 각속도(ω_{cr}) 이상으로 회전 되도록 제어하는 단계일 수 있다.

[0111] 상기 인너 실린더(120)의 회전은 상기 제어부(140)에 의해 제어되는 상기 모터(130)를 통해 이루어지며, 상기 제어부(140)에는 임계회전 각속도(ω_{cr})를 산출하기 위한 각종 데이터가 입력될 수 있다.

[0112] 또한, 상기 임계회전 각속도(ω_{cr})는 전술한 식 1 및 2에 의해 계산되거나 또는, 상기 인너 실린더(120)의 반지름의 비가 0.7과 0.9사이일 때, 상기 인너 실린더의 반지름 분의 0.661(즉, $0.661/r_i$)으로 계산될 수 있다.

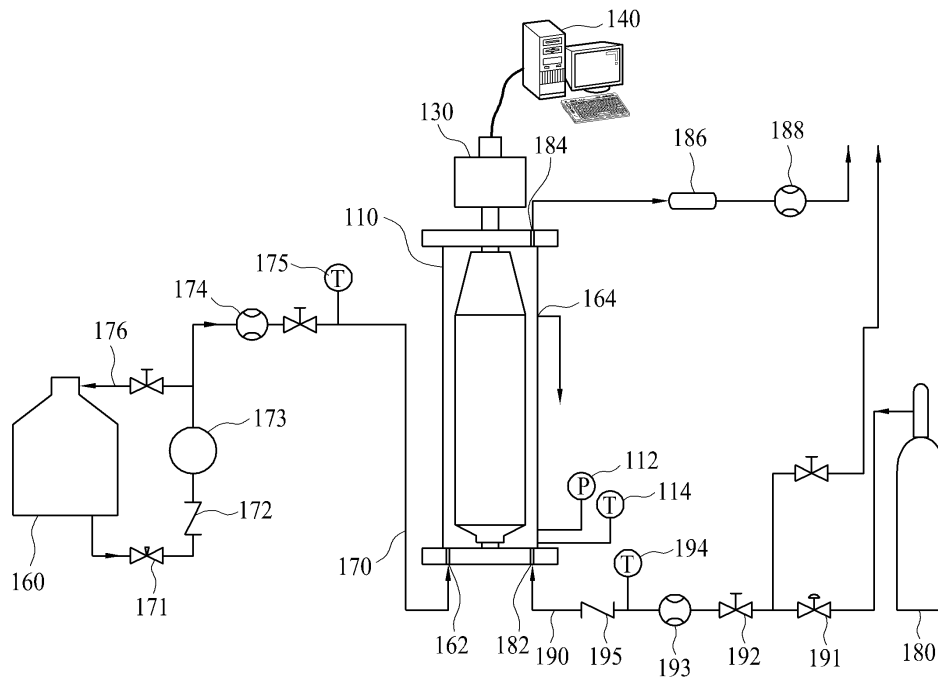
[0113] 이상과 같이 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 살펴보았으며, 앞서 설명된 실시예 이외에도 본 발명이 그 취지나 범주에서 벗어남이 없이 다른 특정 형태로 구체화 될 수 있다는 사실은 해당 기술에 통상의 지식을 가진 이들에게는 자명한 것이다. 그러므로, 상술된 실시예는 제한적인 것이 아니라 예시적인 것으로 여겨져야 하고, 이에 따라 본 발명은 상술한 설명에 한정되지 않고 첨부된 청구항의 범주 및 그 동등 범위 내에서 변경될 수도 있다.

부호의 설명

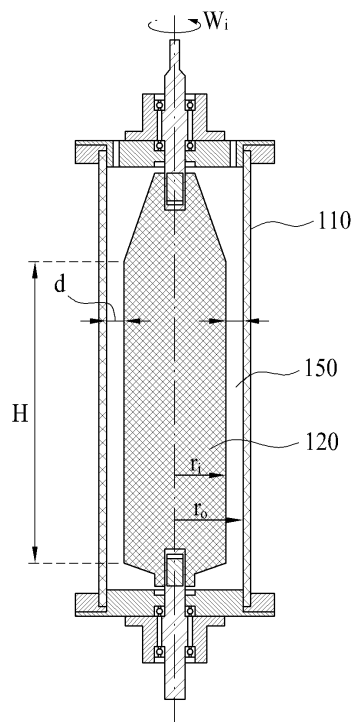
[0114]	110: 챔버	120: 인너 실린더
	130: 모터	140: 제어부
	150: 혼합공간	160: 흡수제 저장부
	162, 163: 흡수제 주입구	164, 165: 흡수제 배출구
	170: 흡수제 공급경로	180: 가스 저장부
	182, 184: 가스 주입구	185: 가스 배출구
	190: 가스 공급경로	

도면

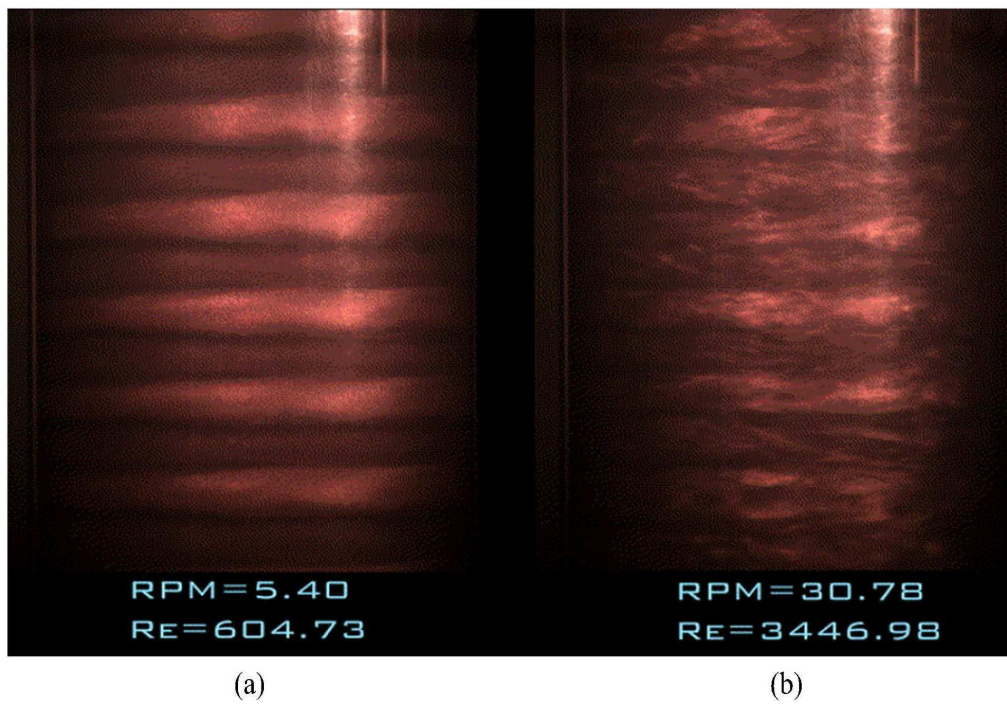
도면1



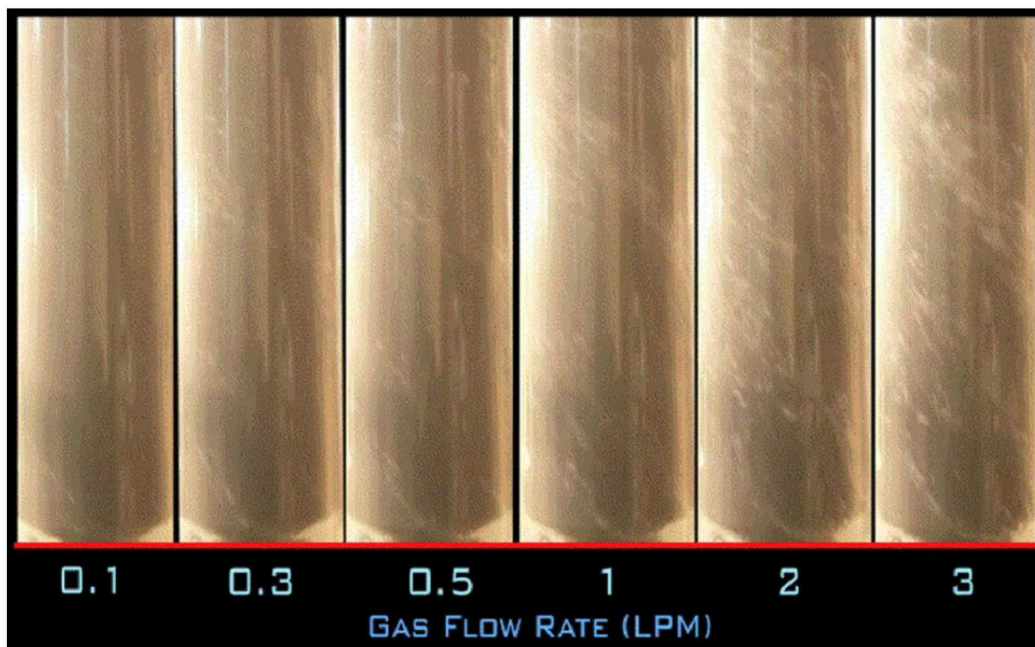
도면2



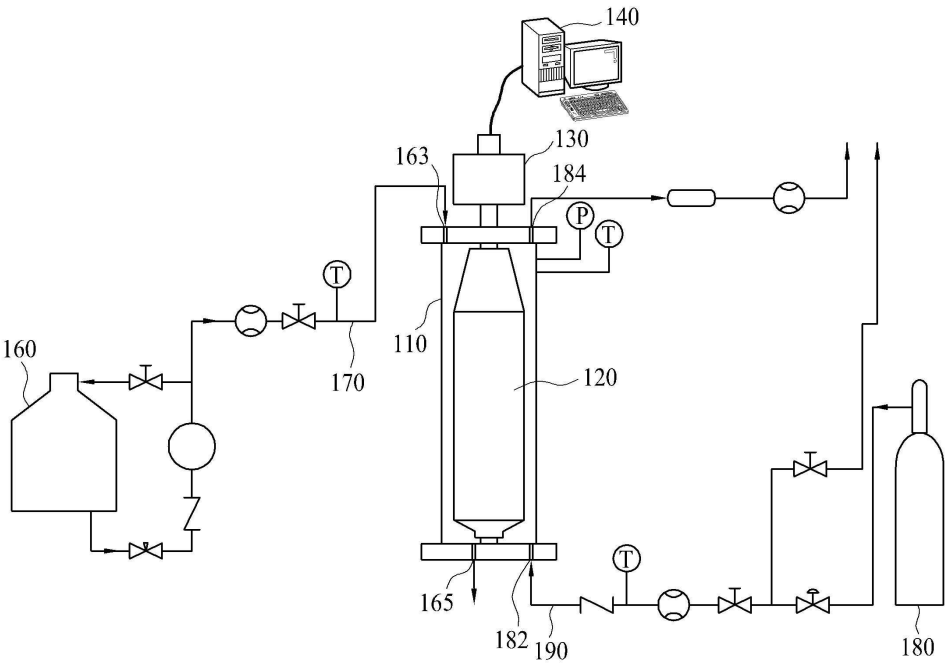
도면3



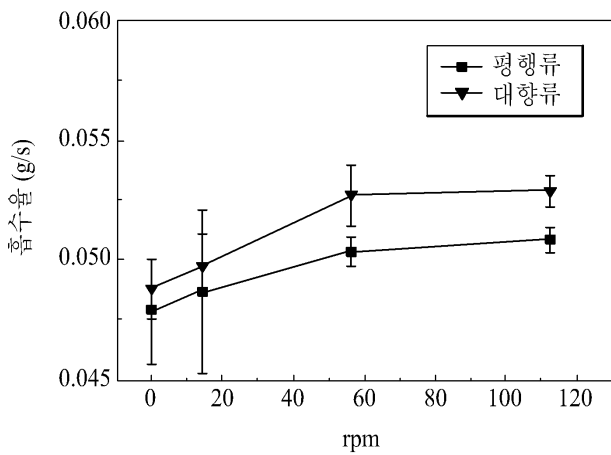
도면4



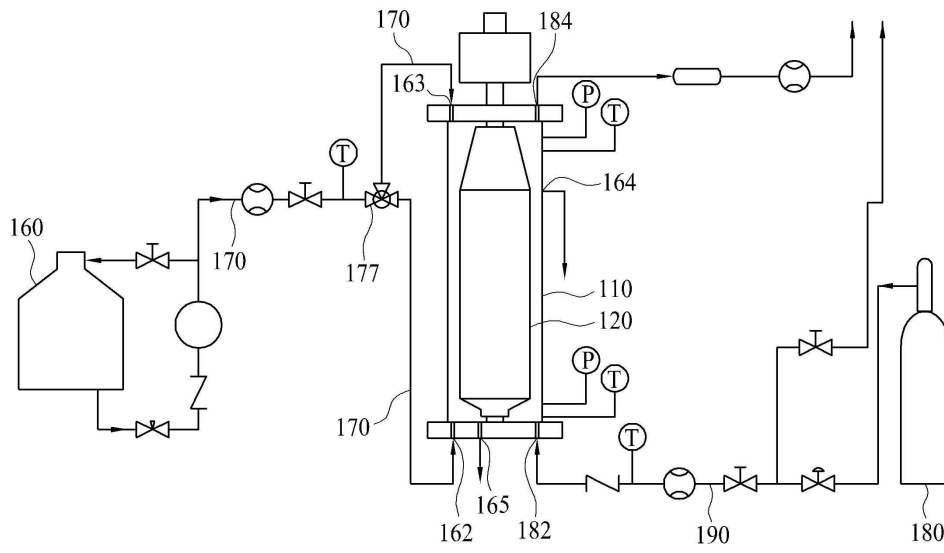
도면5



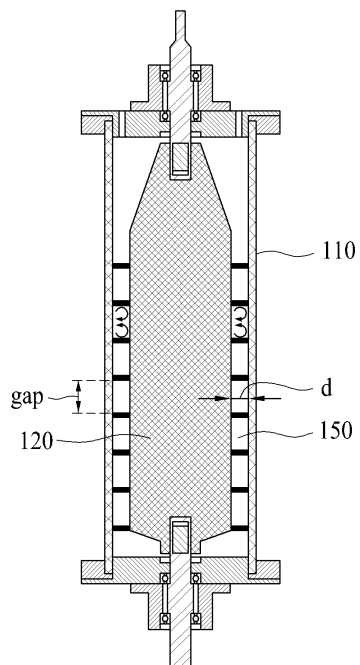
도면6



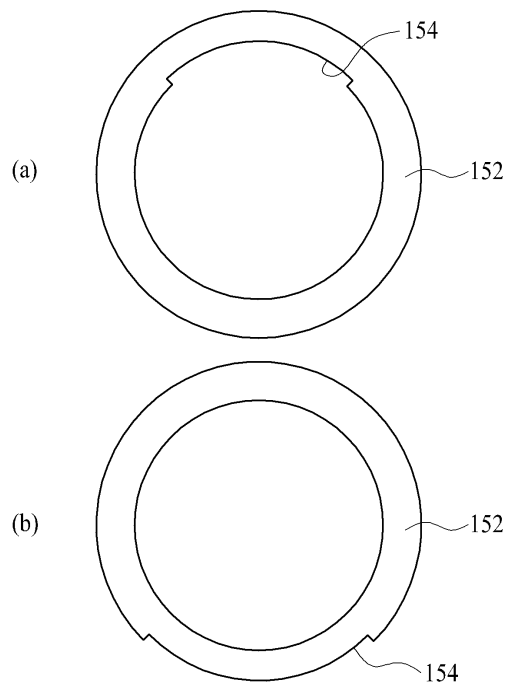
도면7



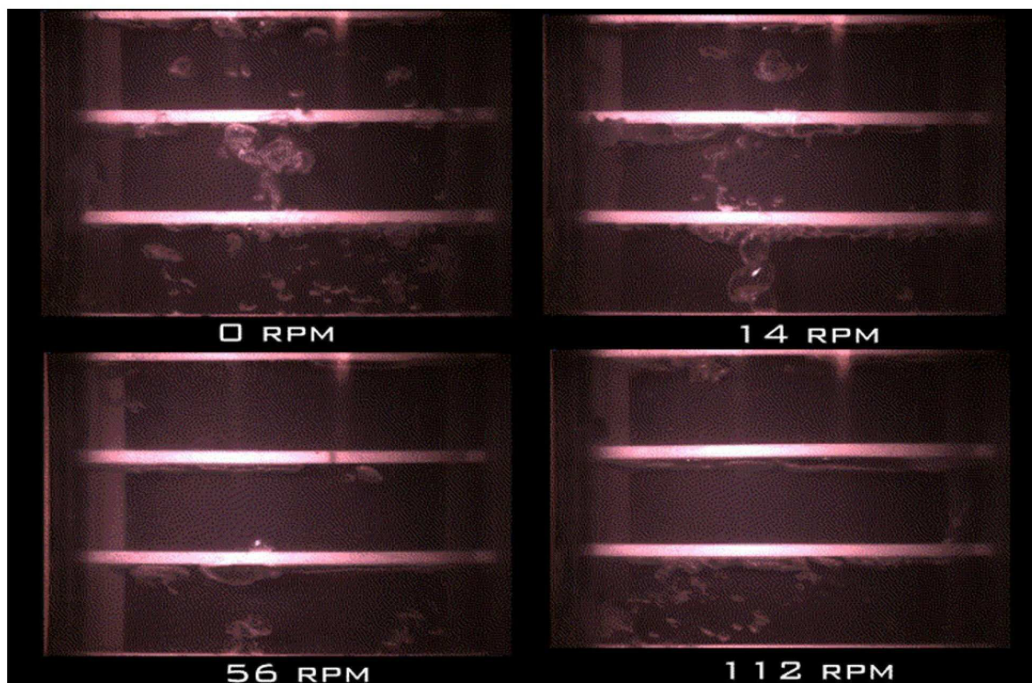
도면8



도면9



도면10



도면11

