

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2016년 12월 29일 (29.12.2016)



(10) 국제공개번호
WO 2016/209049 A1

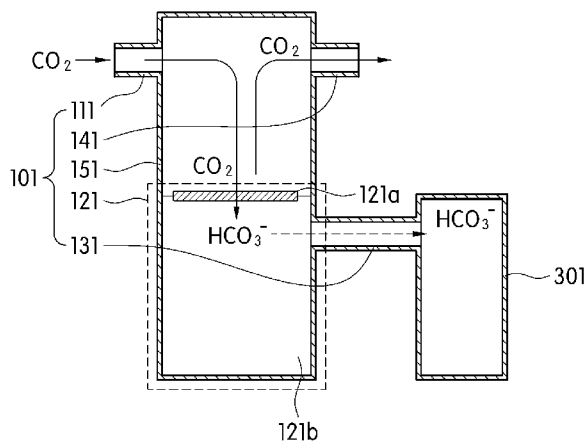
- (51) 국제특허분류:
B01D 53/62 (2006.01) B01D 53/34 (2006.01)
B01D 53/14 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2016/006808
- (22) 국제출원일: 2016년 6월 24일 (24.06.2016)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2015-0089971 2015년 6월 24일 (24.06.2015) KR
10-2016-0079587 2016년 6월 24일 (24.06.2016) KR
- (71) 출원인: 고려대학교 산학협력단 (KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION) [KR/KR]; 02841 서울시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동 5가), Seoul (KR).
- (72) 발명자: 김중배 (KIM, Jung Bae); 06215 서울시 강남구 역삼로 309, 101 동 1501 호 (역삼동, 래미안펜타벨아파트), Seoul (KR). 김한솔 (KIM, Han Sol); 16918 경기도 용인시 기흥구 연남로 15, 206 동 1701 호 (연남동, 동일하이빌 2차), Gyeonggi-do (KR). 홍성길 (HONG, Sung Gil); 02724 서울시 성북구 길음로 74, 506 동 1901 호 (래미안), Seoul (KR).

- (74) 대리인: 특허법인 이룸리온 (ERUUM & LEEON INTELLECTUAL PROPERTY LAW FIRM); 06575 서울시 서초구 사평대로 108, 3층(반포동), Seoul (KR).
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[다음 쪽 계속]

(54) Title: CARBON DIOXIDE CONVERSION REACTOR, SERIAL REACTOR FOR CARBON DIOXIDE CONVERSION AND CAPTURE COMPRISING SAME, AND CARBON DIOXIDE CONVERSION AND CAPTURE PROCESS USING SAME

(54) 발명의 명칭 : 이산화탄소 전환반응기, 이를 포함하는 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기 및 이를 이용한 이산화탄소 전환 및 포집공정



(57) Abstract: The present invention relates to a carbon dioxide conversion reactor and, more particularly, to a carbon dioxide conversion reactor, a serial reactor for carbon dioxide conversion and capture comprising same, and a carbon dioxide conversion and capture process using same, the carbon dioxide conversion reactor enabling a quick conversion process while converting carbon dioxide comprised in flue gas into an aqueous bicarbonate solution, which can be utilized in useful applications, thereby preventing an increase of back pressure caused by the supplied flue gas and significantly reducing the carbon dioxide in the flue gas at a high efficiency and conversion rate.

(57) 요약서:

[다음 쪽 계속]

WO 2016/209049 A1

**공개:**

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

— 청구범위 보정 기한 만료 전의 공개이며, 보정서를 접수하는 경우 그에 관하여 별도 공개함 (규칙 48.2(h))

본 발명은 이산화탄소 전환반응기에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 배가스에 포함된 이산화탄소를 유용한 응용에 활용이 가능한 중탄산수용액으로 전환시키는 동시에 빠른 전환공정을 가능하게 함으로써 공급되는 배가스로 인한 배압(back pressure)이 증가하는 것을 방지하고, 높은 효율 및 전환속도로 배가스내 이산화탄소를 현저히 저감시킬 수 있는 이산화탄소 전환반응기, 이를 포함하는 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기 및 이를 이용한 이산화탄소 전환 및 포집공정에 관한 것이다.

이산화탄소 전환반응기, 이를 포함하는 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기 및 이를 이용한
이산화탄소 전환 및 포집공정

기술분야

- [1] 본 발명은 이산화탄소 전환반응기에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 배가스에 포함된 이산화탄소를 유용한 응용에 활용이 가능한 중탄산수용액으로 전환시키는 동시에 빠른 전환공정을 가능하게 함으로써 공급되는 배가스로 인한 배압(back pressure)이 증가하는 것을 방지하고, 높은 효율 및 전환속도로 배가스 내 이산화탄소를 현저히 저감시킬 수 있는 이산화탄소 전환반응기, 이를 포함하는 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기 및 이를 이용한 이산화탄소 전환공정에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 전통적으로, 이산화탄소를 저감하기 위한 방법으로, 이산화탄소 포집 및 저장 기술이 제안되고 있다. 이산화탄소 포집 및 저장 기술은 발전소 등의 배출원에서 발생하는 이산화탄소가 대기로 나가기 전에 포집한 뒤, 수송을 하여 안정한 형태로 저장하는 기술을 의미한다. 이산화탄소 포집 단계는 흡착 및 탈착 과정으로 구성되는데, 첫 번째로 흡착 과정에서는 이산화탄소와 물리적 또는 화학적으로 강한 결합을 할 수 있는 흡수제를 이용하여 배가스로부터 이산화탄소를 포집하게 된다. 상기 탈착 과정에서는 이산화탄소와 결합하고 있는 흡수제에 외부적인 에너지를 가하여 흡수제를 재생하고 순수한 이산화탄소만을 추출하는 단계이다.
- [3] 그러나 대량의 이산화탄소를 안정적으로 저감하고, 포집되지 않고 배출되는 이산화탄소의 양을 줄이기 위해서는 필연적으로 이산화탄소와의 결합력이 강한 흡수제를 사용할 수밖에 없는데 포집된 이산화탄소를 탈착하는 공정은 현저히 많은 양의 에너지 소모가 필요하며, 많은 양의 에너지를 생산하는 과정은 이산화탄소 발생을 수반할 수 있기 때문에 이산화탄소의 저감을 위해 이산화탄소를 또 다시 발생시키는 순환구조가 형성되어 지구 전체 대기중의 이산화탄소 저감효과를 고려할 때 이산화탄소와 결합력이 강한 흡수제를 사용하는 것은 매우 바람직하지 못한 문제점이 있다.
- [4] 또한, 반대로 이산화탄소와의 결합력이 약한 흡수제를 사용하면 이산화탄소의 추출 및 흡수제의 재생에 소모되는 에너지가 줄어들어 유리하나, 빠른 유속으로 공급되는 배가스에서 이산화탄소를 목적하는 수준까지 빠른 속도로 포집하기 어려워짐에 따라서 이산화탄소가 제대로 포집되지 못하고 다시 방출되는 문제가 있다.
- [5] 나아가, 이와 같은 문제점을 포집기내의 이산화탄소 체류시간을 증가를 통해

해결하고자 할 경우 포집기의 규모확장이 필요한데, 이 경우 설비증가에 따른 공간적, 비용적 문제가 발생하다. 또한, 더욱 커진 포집기내로 공급된 이산화탄소의 유동성을 증가시키기 위해서는 더 강한 압력으로 배가스를 포집기에 공급시켜야 하나, 이 때 포집기에 걸리는 배압이 증가함에 따라서 포집공정이 불안정해지고, 설비가 손상 및/또는 파괴될 수 있는 문제가 있다.

- [6] 한편, 최근 대기중의 이산화탄소를 중탄산이온과 같은 유용한 부산물로 전환시켜 조류를 배양하는 등에 활용하는 기술들이 소개되고 있다. 그러나 대기중의 이산화탄소의 농도는 400ppm 정도로써, 대기중의 이산화탄소를 중탄산이온과 같은 유용한 부산물로 전환시켜 활용하기에는 이산화탄소의 양이 매우 적은 문제가 있다. 또한, 상술한 것과 같이 배가스를 통해 포집된 이산화탄소를 재생한 후 이를 전환시킬 경우 공급되는 이산화탄소의 양에 비해 전환효율이 상대적으로 낮기 때문에 공급된 상당수의 이산화탄소가 다시 대기중으로 방출되는 문제가 있다.

- [7] 따라서, 빠른 속도로 배출되는 배가스에 포함된 이산화탄소가 높은 효율로 포집되며, 배압의 급격한 증가가 방지되어 안정적으로 이산화탄소를 포집할 수 있는 동시에 다양한 분야로 응용될 수 있는 유용한 부산물을 함께 수득할 수 있는 시스템에 대한 개발이 시급한 실정이다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [8] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명이 해결하고자 하는 첫 번째 과제는, 배가스에 포함된 이산화탄소를 유용한 응용에 활용이 가능한 중탄산수용액으로 전환시키는 동시에 빠른 전환공정을 가능하게 함으로써 공급되는 배가스로 인한 배압(back pressure)이 증가하는 것을 방지하고, 높은 효율 및 전환속도로 배가스내 이산화탄소를 현저히 저감시킬 수 있는 이산화탄소 전환반응기 및 이를 이용한 이산화탄소 전환공정을 제공하는데 다른 목적이 있다.
- [9] 또한, 본 발명은 본 발명에 따른 이산화탄소 전환반응기를 통해 이산화탄소의 전환 및 저감을 달성하는 동시에 배압의 발생이 방지되어 안정적으로 이산화탄소를 포집 및 저감시킬 수 있는 이산화탄소 포집 및 전환용 직렬반응기를 제공하는 데 다른 목적이 있다.
- [10] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명이 해결하고자 하는 두 번째 과제는, 대기중으로 배출되는 배가스 내 포함된 이산화탄소의 농도를 현저히 저감시키는 동시에 저감과정에서 발생하는 산업상 유용한 부산물을 별도로 수집, 활용 가능하고, 이산화탄소 전환 및 포집공정의 부하를 현저히 감소시킬 수 있는 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기 및 이를 이용한 이산화탄소 전환 및 포집공정을 제공하는데 목적이 있다.

과제 해결 수단

- [11] 상술한 첫 번째 과제를 해결하기 위해 본 발명은, 이산화탄소를 포함하는 배가스가 공급되는 가스공급부; 공급된 상기 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응을 위하여 전환반응기의 일부분에 채워진 액체, 및 탄산무수화효소를 구비한 구조체를 포함하는 효소반응부; 및 상기 효소반응부에서 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스를 외부로 방출시키는 가스배출부;를 포함하는 이산화탄소 전환반응기를 제공한다.
- [12] 본 발명의 바람직한 일구현예에 따르면, 상기 효소반응부에서 전환 및 용해된 중탄산수용액을 배출시키기 위한 중탄산수용액 배출부를 더 포함할 수 있다.
- [13] 본 발명의 바람직한 다른 일구현예에 따르면, 상기 탄산무수화효소는 야생형(wild type) 탄산무수화효소 및 탄산무수화효소 변이체 중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 이때, 상기 야생형 탄산무수화효소는 α 형, β 형, γ 형, δ 형, ϵ 형 및 재조합 탄산무수화효소로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [14] 본 발명의 바람직한 또 다른 일구현예에 따르면, 상기 전환반응기에 공급되는 배가스로 인한 반응기 배압증가를 방지하기 위하여, 전환반응기 내부의 액체와 기체간 계면 상부에 가스공급부 및 가스배출구가 배치되며, 상기 구조체는 상기 계면에 위치하여 이산화탄소의 전환을 촉진할 수 있다. 이때, 상기 탄산무수화효소를 포함하는 몸체부 및 상기 몸체부에 결합되어 상기 몸체부가 계면에 위치하도록 하는 적어도 하나의 부유체를 더 포함할 수 있다. 또한, 상기 탄산무수화효소는 상기 몸체부 상에 결합되거나 수용될 수 있다. 또한, 상기 몸체부는 액체 및 이산화탄소가 탄산무수화효소와 접할 수 있도록 하는 유로를 포함할 수 있다.
- [15] 본 발명의 바람직한 다른 일구현예에 따르면, 상기 탄산무수화효소는 다수개가 비결합되어 응집된 효소집합체 및 다수개가 상호 결합된 효소가교결합복합체 중 어느 하나 이상의 형태로 구비될 수 있다.
- [16] 본 발명의 바람직한 또 다른 일구현예에 따르면, 상기 구조체는 몸체부를 더 포함하고, 상기 탄산무수화효소는 지지체를 더 구비하여 상기 지지체 상에 결합되거나 지지체 내부에 담지되며, 상기 지지체는 상기 몸체부 상에 결합되거나 수용될 수 있다. 이때 상기 지지체는 고분자 섬유, 전기전도성 고분자, 다공성 입자, 구형입자, 나노입자, 비드, 탄소나노튜브, 와이어, 필라, 그래핀, 풀러렌 및 폴리도파민으로 이루어진 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상을 포함될 수 있다.
- [17] 본 발명의 바람직한 또 다른 일구현예에 따르면, 상기 효소가교결합복합체는 표면에 제1작용기를 포함하는 제1지지체를 더 구비하며, 상기 제1작용기에 직접 결합하는 제1탄산무수화효소 및 상기 제1탄산무수화효소와 결합하고, 인접한 탄산무수화효소끼리 가교결합된 제2 탄산무수화효소 가교결합복합체를 포함할 수 있다. 또한, 상기 효소가교결합복합체는 표면에 제2작용기를 포함하고, 상기 제1탄산무수화효소 및 제2 탄산무수화효소 가교결합복합체 중 어느 하나

- 이상의 효소와 상기 제2작용기를 통해 결합하는 제2지지체를 더 포함할 수 있다.
- [18] 본 발명의 바람직한 다른 일구현예에 따르면, 상기 중탄산수용액 배출부와 연통되도록 중탄산수용액 저장소 및 중탄산수용액 활용소 중 어느 하나 이상을 더 포함할 수 있다.
- [19] 또한, 상술한 첫 번째 과제를 해결하기 위해 본 발명은, 이산화탄소를 포함하는 배가스가 공급되는 가스공급부; 공급된 상기 이산화탄소를 용해 및 전환시키기 위하여 전환반응기의 일부분에 채워진 액체를 포함하는 이산화탄소전환부; 및 상기 이산화탄소전환부에서 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스를 외부로 방출시키는 가스배출부;를 포함하는 이산화탄소 전환반응기를 제공한다.
- [20] 또한, 상술한 첫 번째 과제를 해결하기 위해 본 발명은, 본 발명은 이산화탄소를 포함하는 배가스가 공급되는 가스공급부; 공급된 상기 이산화탄소를 용해 및 전환시키기 위하여 전환반응기의 일부분에 채워진 액체 및 탄산무수화효소를 포함하는 이산화탄소전환부; 및 상기 이산화탄소전환부에서 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스를 외부로 방출시키는 가스배출부;를 포함하는 이산화탄소 전환반응기를 제공한다.
- [21] 나아가 상술한 첫 번째 과제를 해결하기 위해 본 발명은, (1) 본 발명에 따른 이산화탄소 전환반응기의 가스공급부로 배가스를 공급하는 단계; 및 (2) 공급된 배가스에 포함된 이산화탄소 중 일부는 중탄산이온으로 전환되고, 미반응된 나머지 이산화탄소를 포함하는 배가스는 가스배출구를 통해 배출되는 이산화탄소 전환공정을 제공한다.
- [22] 본 발명의 바람직한 일구현예에 따르면, 상기 (1) 단계는 전환반응기에 공급되는 배가스로 인한 반응기 배압증가를 방지하기 위하여, 배가스가 전환반응기의 액체 상부에서 공급되며, 공급된 배가스 내 이산화탄소는 전환반응기 내부의 액체와 기체간 계면에 위치하는 구조체에 구비된 탄산무수화효소를 통해 중탄산이온으로 전환반응이 촉진될 수 있다.
- [23] 또한, 본 발명은, 본 발명에 따른 전환반응기; 및 상기 전환반응기에 연통되고, 유입된 이산화탄소를 포집하는 포집반응기;를 포함하며, 이산화탄소를 포함하는 배가스는 전환반응기 또는 포집반응기로 공급되어 이산화탄소가 전환 또는 포집된 후, 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스가 포집반응기 또는 전환반응기로 유입되어 상기 미반응된 이산화탄소를 포집 또는 전환시키는 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기를 제공한다.
- [24] 본 발명의 바람직한 일구현예에 따르면, 상기 포집반응기는 이산화탄소 흡수제 또는 이산화탄소 분리막을 포함할 수 있다.
- [25] 본 발명의 바람직한 다른 일구현예에 따르면, 상기 포집반응기는 이산화탄소 흡수제와 이산화탄소 간 결합물 및 반응결합물 중 어느 하나 이상을 포함하는 포집물을 배출하는 이산화탄소 포집물 배출부, 및 상기 이산화탄소 포집물 배출부와 연통되어 배출된 포집물에서 이산화탄소를 분리 및 수집하는 이산화탄소 탈착기를 더 포함할 수 있다.

- [26] 상술한 두 번째 과제를 해결하기 위해 본 발명은, 공급된 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응을 위하여 전환반응기의 일부분에 채워진 액체, 및 탄산무수화효소를 구비한 효소반응부를 포함하는 전환반응기; 및 상기 전환반응기와 연통되고, 공급된 이산화탄소를 포집하는 포집반응기;를 포함하는 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기를 제공한다.
- [27] 본 발명의 바람직한 일구현예에 따르면, 이산화탄소를 포함하는 배가스는 상기 전환반응기 또는 포집반응기로 공급되어 이산화탄소가 전환 또는 포집된 후 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스가 포집반응기 또는 전환반응기로 공급되어 상기 미반응된 이산화탄소가 포집 또는 전환될 수 있다.
- [28] 본 발명의 바람직한 다른 일구현예에 따르면, 상기 전환반응기는 배가스가 공급되는 가스 공급부 및 효소반응부에서 미반응된 이산화탄소가 포함된 배가스를 배출하는 가스 배출부를 더 포함할 수 있다.
- [29] 본 발명의 바람직한 또 다른 일구현예에 따르면, 상기 탄산무수화효소는 야생형(wild type) 탄산무수화효소 및 탄산무수화효소 변이체 중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 이때, 상기 야생형 탄산무수화효소는 α 형, β 형, γ 형, δ 형, ϵ 형 및 재조합 탄산무수화효소로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [30] 본 발명의 바람직한 다른 일구현예에 따르면, 상기 탄산무수화효소는 다수개가 액체 상에 분산된 유리효소, 다수개가 비결합되어 응집된 효소집합체 및 다수개가 상호 결합된 효소가교결합복합체 중 어느 하나 이상의 형태로 포함될 수 있다. 이때, 상기 탄산무수화효소는 지지체를 더 구비하여 상기 지지체 상에 결합되거나 지지체 내부에 담지될 수 있다.
- [31] 본 발명의 바람직한 또 다른 일구현예에 따르면, 상기 효소가교결합복합체는 표면에 제1작용기를 포함하는 제1지지체를 더 구비하며, 상기 제1작용기에 직접 결합하는 제1탄산무수화효소 및 상기 제1탄산무수화효소와 결합하고, 인접한 탄산무수화효소끼리 가교결합된 제2 탄산무수화효소 가교결합복합체를 포함할 수 있다. 또한, 상기 효소가교결합복합체는 표면에 제2작용기를 포함하고, 상기 제1탄산무수화효소 및 제2 탄산무수화효소 가교결합복합체 중 어느 하나 이상의 효소와 상기 제2작용기를 통해 결합하는 제2지지체를 더 포함할 수 있다.
- [32] 본 발명의 바람직한 다른 일구현예에 따르면, 상기 전환반응기는 효소반응부에서 전환 및 용해된 중탄산수용액을 배출시키기 위한 중탄산수용액 배출부를 더 포함할 수 있다.
- [33] 본 발명의 바람직한 또 다른 일구현예에 따르면, 상기 포집반응기는 이산화탄소 흡수제 및 이산화탄소 분리막 중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [34] 본 발명의 바람직한 다른 일구현예에 따르면, 상기 중탄산수용액 배출부와 연통되도록 중탄산수용액 저장소 및 중탄산수용액 활용소 중 어느 하나 이상을 더 포함할 수 있다.
- [35] 본 발명의 바람직한 또 다른 일구현예에 따르면, 상기 포집반응기는

- 이산화탄소 흡수제와 이산화탄소 간 결합물 및 반응결합물 중 어느 하나 이상을 포함하는 포집물을 배출하는 이산화탄소 포집물 배출부를 더 포함할 수 있다.
- [36] 본 발명의 바람직한 다른 일구현예에 따르면, 상기 이산화탄소 포집물 배출부와 연통되어 배출된 포집물에서 이산화탄소를 분리 및 수집하는 이산화탄소 탈착기를 더 포함할 수 있다.
- [37] 또한, 상술한 두 번째 과제를 해결하기 위해 본 발명은, 공급된 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응을 위하여 전환반응기의 일부분에 채워진 액체를 포함하는 전환반응기; 및 상기 전환반응기와 연통되고, 공급된 이산화탄소를 포집하는 포집반응기;를 포함하는 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기를 제공한다.
- [38] 또한, 상술한 두 번째 과제를 해결하기 위해 본 발명은, (A) 이산화탄소를 포함하는 배가스를 본 발명에 따른 직렬반응기의 전환반응기에 공급하여 상기 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 단계; 및 (B) 공급된 상기 이산화탄소 중 미반응된 이산화탄소가 포함된 배가스를 포집반응기로 공급하여 이산화탄소를 포집하는 단계;를 포함하는 직렬반응기를 통한 이산화탄소 전환 및 포집공정을 제공한다.
- [39] 또한, 본 발명은 (a) 이산화탄소를 포함하는 배가스를 제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 따른 직렬반응기의 포집반응기에 공급하여 상기 이산화탄소를 포집하는 단계; 및 (b) 공급된 이산화탄소 중 미포집된 이산화탄소가 포함된 배가스를 전환반응기로 공급하여 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 단계;를 포함하는 직렬반응기를 통한 이산화탄소 전환 및 포집공정을 제공한다.
- [40] 본 발명의 바람직한 일구현예에 따르면, 전환된 상기 중탄산이온을 전환반응기에서 배출시켜 수집하는 단계; 및 포집된 이산화탄소를 탈착시켜 이산화탄소를 수집하는 단계;를 더 포함할 수 있다.
- [41] 이때, 포집된 이산화탄소를 분리시키는 공정은 70 ~ 130°C의 온도에서 수행될 수 있다.
- [42] 이하, 본 발명에서 사용한 용어에 대해 설명한다.
- [43] 본 발명에서 사용한 "A 상에"의 의미는 A의 표면에 직접 또는 B를 개재하여 간접적을 모두 포함하는 의미로 사용한다.

발명의 효과

- [44] 본 발명에 따른 이산화탄소 전환반응기는 배가스에 포함된 이산화탄소를 유용한 부산물로 전환시키는 동시에 빠른 전환공정을 가능하게 함으로써 공급되는 배가스로 인한 배압(back pressure)이 증가하는 것을 방지하고, 높은 효율 및 전환속도로 배가스내 이산화탄소를 현저히 저감시킬 수 있다. 또한, 이산화탄소 전환반응기를 통해 이산화탄소의 전환 및 저감을 달성하는 동시에 배압의 발생이 방지되어 안정적으로 이산화탄소를 포집 및 저감시킬 수 있는 직렬반응기로 응용될 수 있으며, 이산화탄소의 전환 및 포집을 통해 이산화탄소

저감공정의 상승 효과를 극대화하기에 적합하다. 본 발명의 일구현예에 따른 직렬반응기는 배출원에서 발생한 고농도의 이산화탄소를 일차적으로 매우 빠르게 전환하며, 이를 통해 배압증가가 방지된 채로 전환되지 않은 이산화탄소에 대해 포집공정을 수행함에 따라서 전환공정에서 열역학적 한계로 인해 미반응된 이산화탄소를 이산화탄소 포집공정을 통해 저감시킬 수 있고, 전환공정에서 1차로 저감되어 미반응된 이산화탄소만이 포집공정에 공급됨에 따라서 포집공정의 부하를 낮추는데 현저한 효과가 있다. 또한, 전환공정에서 1차로 이산화탄소가 저감됨에 따라서 이후의 포집공정에서 이산화탄소 결합력이 상대적으로 약한 흡수제를 사용하더라도 높은 수준의 이산화탄소 저감 효율을 유지할 수 있고, 이로 인하여 포집 후 흡수제의 재생 및 이산화탄소의 추출에 필요한 에너지 소모를 줄일 수 있다. 더불어 이산화탄소 저감 중에 발생한 부산물은 다양한 분야에 활용될 수 있어 이산화탄소의 저감을 통한 환경오염을 방지하는 동시에 부가가치 창출의 경제적 이익을 동시에 얻을 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [45] 도 1은 본 발명의 바람직한 일구현예에 따른 이산화탄소 전환반응기의 모식도이다.
- [46] 도 2 및 도 3은 본 발명의 바람직한 일구현예에 포함되는 탄산무수화효소집합체의 단면 모식도이다.
- [47] 도 4는 본 발명의 바람직한 일구현예에 포함되는 탄산무수화효소복합체를 구비한 구조체의 평면모식도이다.
- [48] 도 5는 본 발명의 바람직한 일구현예에 포함되는 구조체의 분해사시도이다.
- [49] 도 6 및 도 7은 본 발명의 바람직한 일구현예에 따른 직렬반응기에 대해 이산화탄소를 포함하는 배가스의 공급방향을 달리했을 때 이산화탄소의 전환 및 포집공정을 나타낸 직렬반응기의 모식도이다.
- [50] 도 7 및 도 8은 본 발명의 바람직한 일구현예에 따른 직렬반응기에 대해 이산화탄소를 포함하는 배가스의 공급방향을 달리했을 때 이산화탄소의 전환 및 포집공정을 나타낸 직렬반응기의 모식도이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [51] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 부가한다.
- [52]
- [53] 본 발명의 일구현예에 따른 이산화탄소 전환반응기(101)는 도 1에 도시된 것과

같이 공급된 이산화탄소가 체류하며, 효소반응부(121)를 내부에 구비할 수 있도록 내부가 빈 반응챔버(151), 상기 반응챔버(151)의 일측에 배치되어 이산화탄소를 포함하는 배가스를 내부로 공급하는 가스공급부(111), 공급된 배가스 중 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환, 이를 촉진시키는 효소반응부(121), 및 상기 효소반응부(121)에서 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스를 외부로 방출시키는 가스배출부(141)를 포함하고, 전환된 중탄산이온을 외부로 방출시키는 중탄산수용액 배출부(131) 및 상기 중탄산수용액 배출부(131)에 직접 연결되는 중탄산수용액 저장소(301)를 더 포함할 수 있다. 상기 전환반응기(101)는 배 가스에 포함된 고농도의 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 역할을 수행하며, 이와 같은 이산화탄소 전환공정은 다른 방식의 이산화탄소 저감 및/또는 전환공정에 비해서 친환경적이고, 이산화탄소를 산업상 이용가능한 중탄산이온으로 전환시켜 부가가치를 창출할 수 있어서 경제성 및 생산성에서 매우 유리하다. 또한, 탄산무수화효소는 이론상으로 1초당 백만개의 이산화탄소 분자를 중탄산이온으로 전환할 수 있음에 따라서 빠른 속도로 유입되는 이산화탄소의 전환에 매우 적합하고 이를 통해 반응기에 걸리는 배압의 상승을 더욱 방지할 수 있으며, 배 가스에서 분리되어 포집된 이산화탄소의 탈착과 같은 부가적 공정을 더 요구하지 않는 이점이 있다.

[54]

[55] 상기 전환반응기(101)의 각 구성을 배 가스가 최초 공급된 후 배출되기까지 순서에 따라 설명하면, 화력발전소와 같은 이산화탄소 발생원에서 방출된 배가스는 전환반응기(101)의 가스공급부(111)로 공급된다. 이때, 상기 가스공급부(111)는 상기 전환반응기(101) 내부의 액체(121b)와 기체간 계면 상부에 배치될 수 있다. 이를 통해 공급되는 이산화탄소를 포함하는 배가스는 후술하는 효소반응부(121)의 액체(121b)를 통과하여 가스배출구(141)로 배출되는 유체흐름을 가지지 않고, 상기 액체(121b)의 상부에서 공급되어 액체(121b)의 상부 통과 및 액체 상부의 위치하는 가스배출구(141)로 다시 배출되는 유체흐름을 가질 수 있다. 이와 같은 유체흐름을 갖도록 반응챔버(151)내 액체(121b)의 높이을 고려하여 가스공급부(111) 및 가스배출부(141)가 배치될 경우 공급되는 배가스가 보다 원활히 반응기 내부를 체류 및 통과할 수 있음에 따라서 액체를 통과하면서 발생하는 배가스 흐름의 저항 등으로 발생하는 배압의 증가를 현저히 감소시킬 수 있는 이점이 있다.

[56] 다음으로, 상기 가스공급부(111)로 공급된 배가스에 포함된 이산화탄소는 효소반응부(121)에 포함된 탄산무수화효소집합체를 포함하는 구조체(121a) 및 액체(121b)를 통해 중탄산이온으로 전환될 수 있고, 이를 통해 이산화탄소 저감효과를 가질 수 있다.

[57] 상기 액체(121b)는 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응을 매개 및/또는 반응물질로 기능하며, 전환되는 중탄산이온의 용해에 문제가 없는

용매(또는 용액)인 경우 제한 없이 사용될 수 있으며, 이에 대한 비제한적인 예로써, 상기 용매(또는 용액)는 물 및/또는 통상의 완충용액일 수 있고, 상기 완충용액에 대한 비제한적인 예로써,

2-아미노-2-하이드록시메틸-1,3-프로파네디올을 사용할 수 있다.

- [58] 상기 구조체(121a)는 이산화탄소를 중탄산로 전환을 촉진시키는 탄산무수화효소를 포함한다. 상기 구조체(121a)는 탄산무수화효소를 포함하여 상기 액체(121b)의 내부의 일부 영역에 배치되거나 내부에 균일하게 분산되도록 배치될 수 있다. 다만, 바람직하게는 배압의 감소를 위해 가스공급부의 위치를 액체(121b) 상부에 배치하고 배가스를 액체 상방에서 공급시킬 경우 탄산무수화효소를 통한 이산화탄소 전환속도 증가를 위하여 상기 구조체(121a)는 액체와 기체의 계면에 위치하는 것이 좋다.

- [59] 상기 탄산무수화효소는 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응을 촉진시키는 기능을 갖는 공지된 효소일 경우 제한 없이 사용될 수 있으며, 일례로, 야생형(wild type) 탄산무수화효소 및 탄산무수화효소 변이체 중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 이때, 상기 야생형 탄산무수화효소는 통상적으로 동물, 식물 등 자연적으로 생체내 존재하는 효소일 수 있음에 따라 α 형, β 형, γ 형, δ 형 및 ϵ 형으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상이거나 및/또는 생체내 존재하는 효소를 모방하거나 상기 효소를 인공적으로 제조합한 것, 또는 이들과 생체내 존재하는 탄산무수화효소가 병용된 것일 수 있다. 상기 인공적으로 제조합된 탄산무수화효소는 공지된 것일 수 있어 본 발명에서는 이에 대한 아미노산 서열을 특별히 한정하지 않는다. 또한, 상기 탄산무수화효소 변이체는 자연적으로 존재하는 탄산무수화효소의 아미노산 서열의 일부 또는 전부가 변형된 것으로써, 탄산무수화효소의 기본적 기능을 가지는 동시에 자연적으로 존재하는 탄산무수화효소가 갖추지 못하는 내열성 등의 물성을 유리하게 개선, 개량한 것일 수 있으며, 본 발명에서는 이에 대한 아미노산 서열을 특별히 한정하지 않는다.

- [60] 상기 탄산무수화효소는 다수개가 구조체 상에 분산된 유리효소, 다수개가 비결합되어 응집된 효소집합체 및 다수개가 상호 결합된 효소가교결합복합체 중 어느 하나 이상의 형태로 포함될 수 있다.

- [61] 또한, 상기 탄산무수화효소는 지지체를 구비하여 구조체에 포함될 수 있고, 또는 지지체 없이 구조체에 포함될 수 있다.

- [62] 먼저, 지지체를 구비하는 경우에 대해 설명하면, 상기 탄산무수화효소는 상기 지지체 상에 결합되거나 지지체 내부에 담지된 상태일 수 있다.

- [63] 상기 지지체는 탄산무수화효소를 결합시키거나 담지시키는 기능을 담당하고, 탄산무수화 효소를 집적시킬 수 있는 토대가 되며, 외력으로부터 탄산무수화효소를 보호하는 기능을 담당할 수 있다. 또한, 탄산무수화효소가 집합체를 이루거나 가교복합체의 형태일 경우 해당 형태를 안정적으로 유지하면서 구조체에 전체적으로 분산되어 분포될 수 있도록 하는 기능을

담당할 수 있다. 상기 지지체의 재질은 통상의 지지기능을 하고 효소활성을 억제, 저해하지 않는 경우라면 제한이 없고, 그 형상에도 비드상, 섬유상, 판상 등 특별한 제한이 없다. 일례로써, 상기 지지체는 고분자 섬유, 전기전도성 고분자, 다공성 입자, 구형입자, 나노입자, 비드, 탄소나노튜브, 와이어, 필라, 그래핀, 풀러렌 및 폴리도파민으로 이루어진 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상일 수 있다. 나아가, 그 크기에 있어서도 전환반응기의 구체적 구조, 형상에 따라 달리 설계될 수 있어 본 발명에서 이를 특별히 제한하지 않는다.

- [64] 상기 탄산무수화효소가 지지체상에 결합될 때, 상기 결합은 탄산무수화효소들의 물리적 결합(ex. 흡착) 및/또는 지지체상에 구비된 특정의 작용기를 통한 탄산무수화효소의 화학적 결합(ex. 이온결합, 공유결합 등)됨을 통해 고정될 수 있다. 또한, 폴리도파민(polydopamine), 폴리노레피네프린(polynorepinephrine)과 같이 카테콜(catechol)기를 기반으로 하는 접착성 물질접착성 물질에 의해 지지체상에 부착될 수도 있다. 상기 담지는 지지체가 다공성의 구조일 경우 내부에 포함된 기공이나 공동(cavity) 내부에 탄산무수화효소가 구비될 수 있고, 바람직하게는 집합체 또는 가교복합체를 형성하여 구비될 수 있다. 담지된 탄산무수화효소는 기공이나 공동의 지지체 내부 표면에 결합되거나 비결합 상태로 수용될 있으며, 본 발명에서는 이에 대한 제한하지 않는다.

- [65] 한편, 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응이 잘 일어나는 최적의 조건과, 탄산무수화효소의 효소활성이 유지되기 위한 최적 조건이 상이할 수 있고, 경우에 따라서 전환반응기 내의 환경이 탄산무수화효소의 효소활성이 유지되기 어려울 수 있다. 이에 효소반응부에 구비되는 탄산무수화효소는 효소가교결합복합체 형태일 수 있고, 구체적으로 도 2와 같이 효소가교결합복합체(1000)는 표면에 제1작용기(1001)를 포함하는 제1지지체(1010)를 더 구비하여 상기 제1작용기(1001)에 고정된 제1탄산무수화효소(1100) 및 상기 제1탄산무수화효소(1100)와 결합하고, 인접한 탄산무수화효소끼리 가교결합된 복수개의 제2탄산무수화효소가교결합복합체(1210,1211,1212,1213)를 포함하여 구현된 것일 수 있다.

- [66] 상기 지지체(1010) 표면에 구비된 작용기(1001)는 제1 탄산무수화 효소(1100)를 고정시킬 수 있는 작용기의 경우 제한 없이 사용될 수 있으며, 일례로, 카르복실기, 아민기, 이민기, 에폭시기, 하이드록시기, 알데히드기, 카르보닐기, 에스테르기, 메톡시기, 에톡시기, 페록시기, 에테르기, 아세탈기, 설파이드기, 포스페이트기 및 아이오드기로 이루어지는 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상일 수 있고, 바람직하게는 카르복실기 및 아민기 중 어느 하나 이상일 수 있다.

- [67] 탄산무수화효소가 도 2와 같은 구조의 탄산무수화효소가교결합복합체(1000)를 형성할 경우 탄산무수화효소 활성의 유지/발현에 부적할 수 있는 온도, pH 조건에서도 우수하게 효소활성을 오랜기간 안정적으로

발현할 수 있는 이점이 있다.

- [68] 상기 도 2와 같은 탄산무수화효소 가교결합복합체(1000)는 후술하는 실시예 1과 같은 방법에 의해 제조될 수 있고, 이때 석출화제를 투입하지 않고 가교결합제만을 투입하여 도 2와 같은 탄산무수화효소 가교결합복합체를 제조할 수 있으나, 석출화제를 투입할 경우 더욱 더 밀도 높게 탄산무수화효소가 집적된 탄산무수화효소 가교결합복합체를 제조할 수 있다. 다만, 상기 도 2와 같은 탄산무수화효소 가교결합복합체의 제조방법이 실시예 1에 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 발명자에 의한 대한민국 특허공개공보 제10-2011-0128182호, 10-2011-0128134호, 10-2013-0127916호 등에 개시된 제조방법이 참조로 삼입될 수 있다.
- [69] 한편, 더욱 우수한 효소활성을 발현하는 동시에 장기간 안정적으로 활성을 발현하기 위해서는 복합체에 결합된 효소의 양이 많은 동시에 외력 등에 의해서 효소가 복합체에서 떨어지지 않을 수 있는 우수한 결합력이 요구된다.
- [70] 이에 따라 더욱 바람직하게는 도 3에 도시된 것과 같이 상기 탄산무수화효소 가교결합복합체(2000)는 표면에 제1 작용기(2001)를 구비한 제1 지지체(2010) 이외에 표면에 제2 작용기(2301, 2302)를 구비한 제2 지지체(2300)를 더 포함하고,
- [71] 제1탄산무수화효소(2100) 및 제2 탄산무수화효소 가교결합복합체(2211, 2212, 2213)가 상기 제2작용기를 통해 제2지지체(2300)에 결합할 수 있다.
- [72] 제2 탄산무수화효소 가교복합체는 효소들끼리만 가교결합되는 것이 아니라 제2 지지체를 매개로 다시 공유결합됨에 따라 더욱 강한 결합력으로 효소간에 결합될 수 있고, 복수개로 포함되는 제2 지지체(2300) 각각이 효소가 군집을 이루어 공유결합될 수 있는 바인딩 포인트가 될 수 있음에 따라 더욱 많은 양의 효소가 군집을 이루어 복합체에 포함될 수 있어 현저히 향상된 효소활성 및 안정되게 오랜기간 효소활성을 발현시키는데 보다 유리할 수 있다. 상기 제2 지지체(2300)는 상술한 지지체(제1 지지체)에 대한 설명과 동일하고, 제1 지지체는 제2 지지체와 동일하거나 다른 재질일 수 있고, 형상, 크기도 동일 또는 상이할 수 있는 등 이에 대해서 본 발명에서 특별히 한정하지 않는다. 또한 상기 제2 작용기 역시 상술한 지지체에 대한 설명의 작용기와 동일하며, 제1 작용기는 제2 작용기와 동일하거나 상이할 수 있다. 한편, 도 3의 제2지지체(2300)는 자성을 띠는 지지체일 수 있으며 이 경우 전환반응기(100)에서 전환된 중탄산이온이 용해된 액체(120b)를 중탄산이온 배출구(130)를 통해 배출시킬 때 자성을 이용하여 탄산무수화효소복합체의 배출을 방지하거나 배출된 액체내 포함된 탄산무수화효소복합체의 분리 및 재활용을 가능하게 하는 이점이 있다.
- [73] 상기 도 3에 따른 탄산무수화효소 가교결합복합체(2000)는 후술하는 실시예 2에 따른 제조방법으로 제조될 수 있으나 도 3에 따른 탄산무수화효소복합체와 마찬가지로 석출화제 없이 가교결합제의 투입만으로 도 3과 같은 복합체의 구현도 가능하며, 다만, 석출화제의 투입으로 더욱 더 효소가 밀도

높게 집적된 복합체를 구현가능하고, 이를 통해 보다 향상된 물성을 발현할 수 있는 이점이 있다. 상기 도 3과 같은 탄산무수화효소 가교결합복합체의 제조방법은 실시예 2에 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 발명자에 의한 대한민국 특허공개공보 제10-2011-0128182호, 10-2011-0128134호, 10-2013-0127916호 등에 개시된 제조방법이 참조로 삽입될 수 있다.

[74] 상술한 지지체상 또는 지지체에 담지되는 탄산무수화효소는 상기 지지체가 구조체 상에 결합되거나 수용됨을 통해 효소반응부에 구비될 수 있다. 이때, 상기 결합은 물리적 및/또는 화학적 결합이나 접착물질을 개재한 결합일 수 있으며 본 발명은 이에 대해 특별히 한정하지 않는다.

[75] 또한, 상기 탄산무수화효소는 지지체 없이 구조체에 구비될 수 있는데, 이는 후술하는 구조체가 몸체부를 포함하는 경우 상기 탄산무수화효소는 상기 몸체부 상에 결합되거나 수용됨을 통해 포함될 수 있다. 상기 결합은 탄산무수화효소들의 물리적 결합(ex. 흡착) 및/또는 몸체부에 구비된 특징의 작용기를 통한 탄산무수화효소의 화학적 결합(ex. 이온결합, 공유결합 등)됨을 통해 고정될 수 있다. 또한, 폴리도파민(polydopamine), 폴리노레피네프린(polynorepinephrine)과 같이 카테콜(catechol)기를 기반으로 하는 접착성 물질접착성 물질에 의해 몸체부 상에 부착될 수도 있다. 상기 담지는 몸체부가 다공성의 구조일 경우 내부에 포함된 기공이나 공동(cavity) 내부에 탄산무수화효소가 구비될 수 있고, 바람직하게는 집합체 또는 가교복합체를 형성하여 구비될 수 있다. 담지된 탄산무수화효소는 기공이나 공동의 몸체부 내부 표면에 결합되거나 비결합 상태로 수용될 있으며, 본 발명에서는 이에 대한 제한하지 않는다.

[76]

[77] 한편, 공급되는 배가스의 양 및 빠른 공급속도를 고려했을 때, 반응챔버(151) 내의 액체(121b) 계면 상부에서 공급되어 통과 및 배출되는 유체흐름은 반응챔버(151)내 배가스 체류시간을 더욱 단축시킴에 따라서 배가스에 포함된 이산화탄소를 목적하는 수준으로 전환시키는데 소요되는 체류시간을 확보하지 못하게 하는 문제가 있을 수 있다. 즉, 배가스가 상기 액체(121b)를 통과하는 유체흐름이 전환반응기(101) 내부에 형성될 경우 액체 내부를 흐르는 유체저항으로 인해 배압이 발생 및 증가할 수 있기 때문에 상술한 것과 같이 가스공급부(111)를 상기 액체(121b)의 계면 상부에 배치시키는 것이 배압증가 방지측면에서 유리할 수 있으나, 이 경우 공급된 이산화탄소가 효소반응부와 접해서 전환반응이 일어나는 부분이 한정된 액체계면에 국한될 수밖에 없고, 반응기 내부에서의 체류시간도 매우 짧을 수밖에 없다. 이에 따라서 만일 이산화탄소의 전환을 촉진시키는 탄산무수화효소집합체가 액체의 계면에서 멀리 떨어져 반응챔버(151)의 하부에 위치하거나 액체 전체에 균일하게 분산된 경우 빠르게 통과하는 배가스내 이산화탄소를 목적하는 수준까지 전환시키기 어려울 수 있다. 또한, 이를 해결하고자 배가스의 체류시간을 증가시킬 경우 전환반응기에서의 배압이 증가하는 문제가 있을 수 있다.

- [78] 이에 본 발명의 바람직한 일구현예에 따르면, 탄산무수화효소를 구비하는 구조체(121a)는 도 1과 같이 액체-기체 계면상에 배치될 수 있고, 이를 통해 이산화탄소 전환반응이 일어나는 계면에서 더욱 활발히 전환반응이 촉진될 수 있으며, 종국적으로 이산화탄소 전환율의 증가, 이산화탄소 저감효율의 증가 및 배압발생이나 증가가 최소화 또는 방지될 수 있다.
- [79] 상기 구조체(121a)가 액체(121b)-기체 계면에 위치하기 위해서 구조체(121a)가 상기 계면 높이의 반응챔버(151) 측면에 고정될 수 있으나, 이 경우 상기 액체(121b)의 반응챔버(151) 높이를 항상 일정하게 유지시켜야 하는 어려움이 있음에 따라서 바람직하게는 상기 구조체(121a)는 액체 상에 부유하도록 설계될 수 있다.
- [80] 일례로써, 도 4에 도시된 것과 같이 구조체(1)는 탄산무수화효소가 교결합복합체(1000)를 포함하는 몸체부(10) 및 상기 몸체부(10)에 결합되어 상기 몸체부(10)가 액체(121b)상에 부유하도록 하는 적어도 하나의 부유부(31,35)를 포함하도록 구현될 수 있다.
- [81] 도 5를 참조하여 구체적으로 설명하면, 제1 몸체(11) 및 제2 몸체(21)는 상하방향으로 서로 나란하게 배열되며 각각은 격자 형태의 면상 구조체일 수 있다.
- [82] 이때, 상기 제2 몸체(21)는 액체의 표면에 인접하게 배치될 수 있다. 일례로, 제2 몸체(21)는 액체와 접하여 액체에 잠겨 있거나 액체 표면에 떠 있을 수 있다.
- [83] 도 5에서 제1 몸체(11) 및 제2 몸체(21)는 단일구조로 분리되어 서로 나란하게 배열되었지만 이에 한정되지 않고 제1 몸체 및 제2 몸체가 일체로 형성될 수 있다.
- [84] 한편, 본 발명의 일 실시예에서 상기 몸체부(10)의 양 단부에는 돌기부(15, 25)가 형성되어 부유부(31,35)에 결합될 수 있다. 다만 본 발명의 일 실시예에서 몸체부(10)의 돌기부(15, 25)는 부유부(31,35)의 결합홈(33a, 37b)에 삽입되어 끼움 결합되지만 이에 한정되지는 않는다.
- [85] 이때, 몸체부(10) 즉, 제1 몸체(11) 및 제2 몸체(21)는 아크릴로나이트릴-뷰타디엔-스티렌, 폴리티오펜, 폴리락틱산, 폴리비닐알콜, 폴리카프로락탐, 폴리카프로락톤, 폴리락틱-co-글리콜산, 폴리아크릴로니트릴, 폴리에스테르, 폴리에틸렌, 폴리에틸렌이민, 폴리프로필렌옥사이드, 폴리우레탄, 폴리글리콜산, 폴리에틸렌테레프탈레이트, 폴리메틸메타크릴레이트, 폴리스티렌, 폴리디메틸실록산, 폴리스티렌-co-무수말레산, 테플론, 콜라겐, 나일론, 셀룰로오스, 키토산, 유리, 금, 은, 알루미늄, 철, 구리 및 실리콘중 적어도 하나로 형성되어 탄산무수화효소가 교결합복합체(1000)가 직접 제1 몸체 및 제2 몸체에 결합될 수 있다.
- [86] 또한, 상기 부유부(31,35) 중 제1부유체(31)는 몸체부(10)의 일 단부 예를 들어 도 5를 참고하면 좌측 단부에 결합될 수 있고, 제2 부유체(35)는 몸체부의 타 단부 예를 들어 도 5를 참고하면 우측 단부에 결합될 수 있다.

- [87] 한편, 도 5에 도시된 바와 같이 본 발명의 일 실시예에서 제1 부유체(31) 및 제2 부유체(35)는 직육면체 형태로서 내부에 공기가 채워질 수 있도록 형성될 수 있다. 이를 통해 본 발명의 일 실시예에 따른 구조체(1)가 액체 상에 부유될 수 있다.
- [88] 다만 본 발명의 일 실시예에서 제1 부유체(31) 및 제2 부유체(35)는 액체 상에 위치할 수 있는 재질로 이루어진다면 어떠한 형태로 이루어질 수 있다.
- [89] 도 5를 참고하면, 본 발명의 일 실시예에서 제1 부유체(31) 및 제2 부유체(35) 각각에는 돌출부(33, 37)가 직육면체 형태로 형성될 수 있다.
- [90] 이때 돌출부(33, 37)는 제1 부유체(31)가 몸체부(10)와 결합되는 일면 예를 들어 우측면 또는 제2 부유체(35)가 몸체부(10)와 결합되는 좌측면에 형성될 수 있다.
- [91] 또한, 도 5를 참고하면, 돌출부(33, 37)에는 몸체부(10)의 돌기부(15, 25)가 삽입되어 끼움 결합되는 결합홈(33a, 37b)이 형성될 수 있다. 이때, 결합홈(33a, 37b)은 돌기부(15, 25)와 끼움 결합되도록 돌기부와 대응되게 형성될 수 있다.
- [92] 한편, 본 발명의 일 실시예에서 제1 부유체(31) 및 제2 부유체(35)는 아크릴로나이트릴-뷰타디엔-스티렌, 폴리티오펜, 폴리락틱산, 폴리비닐알콜, 폴리카프로락탐, 폴리카프로락톤, 폴리락틱-co-글리콜산, 폴리아크릴로니트릴, 폴리에스테르, 폴리에틸렌, 폴리에틸렌이민, 폴리프로필렌옥사이드, 폴리우레탄, 폴리글리콜산, 폴리에틸렌테레프탈레이트, 폴리메틸메타크릴레이트, 폴리스티렌, 폴리디메틸실록산, 폴리스티렌-co-무수말레산, 테플론, 콜라겐, 나일론, 셀룰로오스, 키토산, 유리, 금, 은, 알루미늄, 철, 구리 및 실리콘 중 적어도 하나로 형성될 수 있다.
- [93] 상기 탄산무수화효소 가교결합복합체(1000)는 도 4 및 도 5와 같이 몸체부(10)를 구성하는 제1몸체(11) 및 제2몸체(21) 사이에 수용되거나 몸체부(10) 상에 결합될 수 있다. 이때 결합은 몸체부(10)에 접착물질을 사용한 접착, 물리적 결합(ex. 흡착) 및/또는 몸체에 구비된 작용기를 통한 화학적 결합(ex. 이온결합, 공유결합 등)을 통해 몸체부(10)에 결합되거나 비결합 상태로 물리적 수용만 될 수 있다. 또한, 상기 탄산무수화효소 가교결합복합체(1000)에서 몸체부(10)에 결합되는 부분은 탄산무수화효소 및/또는 더 구비되는 지지체일 수 있다.
- [94] 또한, 몸체부(10)는 이산화탄소 및 액체가 상기 탄산무수화효소복합체(1000)에 접할 수 있도록 유입되게 하는 유로를 포함할 수 있고, 일례로, 도 4 및 도 5와 같이 몸체부는 메쉬 형상으로 다수개의 격자 내 유로가 형성될 수 있다.
- [95] 한편, 도 1과 같이 전환반응기(101)는 전환된 중탄산이온이 용해된 중탄산수용액을 중탄산수용액 배출부(130)를 통해 배출시킬 수 있으며, 배출된 중탄산이온은 전환반응기의 중탄산수용액 배출부(131)와 연통되는 별도의 중탄산수용액 저장소(301)에 수집되거나 및/또는 중탄산수용액 배출부(131)와 연통된 중탄산수용액 활용소에서 이용될 수 있다. 상기 중탄산수용액 활용소는 전환 및/또는 수집된 중탄산이온을 탄산염으로 합성, 이를 원료로 미생물 배양,

금속 양이온의 제거, 방사성 물질의 정화 등일 수 있으나 이에 한정되는 것은 아니다.

- [96] 또한, 본 발명의 다른 구현예에 따른 전환반응기는 상술한 도 1과 다르게 공급된 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응을 위하여 전환반응기의 일부분에 채워진 액체를 포함하여 구현된다. 구체적으로 전환반응기는 이산화탄소를 포함하는 배가스가 공급되는 가스공급부; 공급된 상기 이산화탄소를 용해 및 전환시키기 위하여 전환반응기의 일부분에 채워진 액체를 포함하는 이산화탄소전환부; 및 상기 이산화탄소전환부에서 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스를 외부로 방출시키는 가스배출부;를 포함하여 구현된다.
- [97] 또한, 본 발명의 또 다른 구현예에 따른 전환반응기는 탄산무수화효소를 더 구비하여 구현되며, 구체적으로 전환반응기는 이산화탄소를 포함하는 배가스가 공급되는 가스공급부; 공급된 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응을 위하여 전환반응기의 일부분에 채워진 액체, 및 탄산무수화효소를 구비한 효소반응부; 및 상기 효소반응부에서 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스를 외부로 방출시키는 가스배출부;를 포함하여 구현된다.
- [98]
- [99] 상술한 본 발명의 바람직한 일구현예에 의한 전환반응기를 통해 이산화탄소를 전환시키는 방법에 대해 설명하면, 이산화탄소 전환반응기(101)의 가스공급부(111)로 배가스를 공급하는 단계; 및 (2) 공급된 배가스에 포함된 이산화탄소 중 일부는 전환반응기 일부에 채워진 액체 또는 효소반응기(121)를 통해 중탄산이온으로 전환시키고, 미반응된 나머지 이산화탄소를 포함하는 배가스는 가스배출부(141)를 통해 배출될 수 있다.
- [100] 상기 (1) 단계 및 (2) 단계의 구체적인 설명은 상술한 전환반응기에서의 설명과 동일하여 생략한다. 상기 전환반응기에서의 (2) 단계는 바람직하게는 pH 7.5 ~ 8.5, 온도 25 ~ 45°C에서 수행함이 보다 유리할 수 있다.
- [101] 또한, 상기 (1) 단계는 전환반응기에 공급되는 배가스로 인한 반응기 배압증가를 방지하기 위하여, 배가스가 전환반응기의 액체 상부에서 공급되며, 공급된 배가스 내 이산화탄소는 전환반응기 내부의 액체와 기체간 계면에 위치하는 구조체에 구비된 탄산무수화효소를 통해 중탄산이온으로 전환반응이 촉진될 수 있다.
- [102]
- [103] 한편, 본 발명은 상술한 전환반응기를 포함하여 구현된 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기를 포함하며, 상기 직렬반응기가 포집반응기를 구비함에 따라서 더욱 상승된 이산화탄소 저감 효율 및 배압 증가 억제 효과를 달성할 수 있다.
- [104] 본 발명의 일구현예에 따른 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기는 도 6 및 도 7에 도시된 것과 같이 이산화탄소가 어느 일방에서 타방으로 흐를 수 있도록

서로 연통된 전환반응기(101) 및 포집반응기(201)를 포함하고, 상기 전환반응기(201)를 통해 전환된 중탄산이온을 수집하는 중탄산수용액 저장소(301) 및 포집반응기(201)에서 포집된 이산화탄소를 분리, 수집하기 위한 이산화탄소 탈착기(401)를 더 포함할 수 있다.

[105] 상기 직렬반응기에서의 이산화탄소 흐름 및 이에 따른 반응을 살펴보면, 도 6과 같은 이산화탄소의 유체흐름을 갖는 직렬반응기는 이산화탄소를 포함하는 배가스가 가스공급부(111)를 통해 전환반응기(101)로 공급된 후 액체 또는 효소반응부(121)를 거쳐 이산화탄소가 전환된 후, 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스가 전환반응기(101)의 가스배출구(141)을 통해 포집반응기(201)로 공급되어 미반응된 이산화탄소가 포집되고, 포집과정에서 미포집된 이산화탄소를 포함하는 배가스는 포집반응기(201)의 가스배출구(221)를 통해 배출될 수 있다.

[106] 또한, 도 7과 같은 이산화탄소의 유체흐름을 갖는 직렬반응기는 이산화탄소를 포함하는 배가스가 포집반응기(201)의 가스공급부(221)를 통해 공급된 후 이산화탄소가 포집되고, 미포집된 이산화탄소는 가스공급부(141)를 통해 전환반응기(101)로 공급된 후 효소반응부(121)를 거쳐 이산화탄소가 전환되고, 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스는 전환반응기(101)의 가스배출구(111)을 통해 배출될 수 있다.

[107] 도 6 및 도 7과 같은 공급된 배가스의 흐름을 갖는 직렬반응기를 통상의 이산화탄소 저장장치 또는 전환장치와 대비하면 공급되는 배가스의 빠른 유속 및 이에 따라 반응기에 걸리는 배압, 반응기 자체의 이산화탄소 전환/포집 능력 및 전환/포집 능력을 고려하여 목적하는 수준의 이산화탄소 전환 및 포집을 위해 필요한 반응기에서의 배가스 체류시간을 모두 종합적으로 고려했을 때, 반응기에 걸리는 배압을 현저히 감소시킬 수 있고, 이산화탄소의 저장 및 전환효율에 있어서 더욱 상승된 효과를 얻을 수 있다.

[108] 구체적으로 통상의 이산화탄소 저장장치는 이산화탄소를 흡수제나 분리막을 사용하여 저장하게 되는데, 상기 흡수제나 분리막은 그 자체의 효율상 배가스내 이산화탄소를 포집 하는데 있어서 일정한 시간을 요구하며, 이에 더해 분리막은 현재의 기술개발 수준상 이산화탄소와 그 이외의 질소 등의 기체를 서로 분리하기에 만족스러운 효율이 발현되지 않는 문제점이 있다. 이에 따라서 배가스에 포함된 이산화탄소의 전량을 포집시키기 위해서는 높은 포집효율을 갖는 흡수제나 분리막을 사용하는 것뿐만 아니라 반응기 내부에서 배가스를 일정시간 이상 체류시키는 것이 요구된다. 그러나 화력발전소 등에서 배출되는 배가스의 양 및 빠른 유속을 고려했을 때, 한정된 부피 및 제한된 포집효율을 갖는 반응기로 유입된 배가스는 이산화탄소가 전량 포집되기 위해서 필요한 정도의 반응기내 체류시간을 확보하기 어렵고, 충분히 반응기내에서 체류되지 못하고 반응기를 거쳐 배출된 배가스에는 미포집된 이산화탄소가 다량 포함되어 있을 수 있어서 이산화탄소의 저장효율이 좋지 못할 수 있다.

- [109] 이를 해결하고자 포집효율이 매우 높은 흡수제를 사용할 경우 포집된 이산화탄소의 분리공정에서 매우 큰 에너지가 소모되며, 이와 같은 에너지의 생산을 위해 이산화탄소가 오히려 발생/배출되는 문제가 있을 수 있다. 또한, 다른 방법으로 반응기내 이산화탄소의 체류시간을 충분히 확보시킬 경우 이산화탄소의 포집효율은 증가할 수 있으나, 매우 빠르게 배출되는 배가스의 양 및 유속을 고려했을 때 반응기에 걸리는 배압의 증가, 이로 인한 포집공정의 불안정화 및 반응기의 손상/파손을 초래할 수 있다.
- [110] 이에 따라서 본 발명은 본 발명에 따른 전환반응기(101) 및 포집반응기(201)를 직렬로 연결시키고, 공급된 배가스를 전환반응기(101) 또는 포집반응기(201)를 거쳐 포집반응기(201) 또는 전환반응기(101)로 유입되게 함으로써 이산화탄소의 저감효율을 매우 향상시킬 수 있는 것은 물론, 직렬반응기 전체에서 체류되는 배가스의 체류시간을 연장시킬 수 있는 반사적 효과를 얻고, 이를 통해 배출되는 배가스가 많은 양으로 빠르게 공급되더라도 목적하는 전환/저감 효율 및 반응기의 배압 증가 방지를 동시에 달성할 수 있으며, 이들 중 어느 하나만을 구비함에 따라서 발생하는 공정부하를 방지할 수 있다.
- [111] 나아가 공정부하 감소는 이산화탄소 전환 및/또는 포집 공정에서 사용되는 탄산무수화효소의 이산화탄소 전환력 및/또는 이산화탄소 흡수제의 포집력이 일정 정도 이상을 만족시켜야 한다는 제한에서 자유로울 수 있어서 반응기를 설치, 운영하는 비용절감 측면에서 매우 유리하다.
- [112] 더불어 상기 전환반응기(101)를 통한 이산화탄소의 전환공정은 배가스 내 이산화탄소의 저감뿐만 아니라 다양한 분야에 활용될 수 있는 부산물을 생산할 수 있어서 환경오염을 방지 및 부가가치 창출의 경제적 이익을 동시에 얻을 수 있다.
- [113] 또한, 도 6과 같이 전환반응기(101)를 통해 이산화탄소가 저감된 후 미반응된 이산화탄소에 대해 포집공정이 수행될 경우 배가스내 이산화탄소가 1차적으로 전환반응기(101)를 통해 저감됨에 따라서 포집반응기(201)는 이산화탄소와의 결합력이 비교적 약한 흡수제를 사용하더라도 직렬반응기를 통해 배출된 배가스에는 매우 낮은 농도의 이산화탄소만이 포함되어 높은 수준의 이산화탄소 저감 효율을 유지할 수 있고, 약한 흡수제에 결합된 이산화탄소를 분리시키는데 적은 에너지가 소요됨에 따라서 이산화탄소를 분리 위한 에너지 생성 및 이에 따른 이산화탄소의 추가배출 우려가 적다. 한편, 도 6과 같은 직렬반응기는 도 7과 같은 직렬반응기에 비해 포집반응기에서의 포집효율이 상대적으로 적게 구현되어도 목적하는 수준의 이산화탄소 전환 및 저감을 달성할 수 있는 동시에 포집된 이산화탄소의 분리에 적은 에너지가 소비될 수 있음에 따라서 경제적, 환경적 측면에서 유리할 수 있다.
- [114] 한편, 이들 중 어느 하나만을 복수개로 구비해 직렬로 연결시킬 경우 먼저, 여러 개의 포집반응기를 직렬로 연결 시, 배압의 발생은 저지시킬 수 있으나 포집된 이산화탄소의 분리에 소요되는 에너지가 그 만큼 더 증가하게 되며, 증가된

에너지 생산으로 인해 이산화탄소 발생 및 배출은 더 늘어나게 되는 문제가 있다. 또한, 후술하는 것과 같이 이산화탄소의 포집을 통한 저감공정 중에 유용한 부산물을 동시에 생산해내지 못하여 부가가치 창출을 통한 경제적 이익에 불리한 문제가 있다. 또한, 만일 여러 개의 전환반응기를 직렬로 연결 시, 전환반응기를 통한 이산화탄소 저감효율을 고려했을 때 구비해야 되는 전환반응기의 개수가 현저히 증가할 수 있고, 설비증가로 인한 규모 및 설비제조비용 상승이 문제될 수 있다. 또한, 이산화탄소의 전환반응이 가역반응일 경우 이산화탄소 저감 효율에 있어서 한계가 명확하다.

- [115] 다른 한편, 설비의 축소 및 전환/포집을 동시에 달성하기 위해 하나의 반응기에 이산화탄소 포집반응 및 전환반응을 일어나게 하는 것을 고려할 수 있고, 일례로, 하나의 반응기에 이산화탄소 흡수제 및 탄산무수화효소를 동시에 구비시킬 수 있으나 대부분의 흡수제 용액의 온도는 40 ~ 60°C이며, pH가 9 ~ 12 정도로 고온 및 강알칼리 환경으로써, 상기 탄산무수화효소가 장기간 활성을 유지하기에는 매우 가혹한 환경임에 따라서 효소활성이 빠르게 손실되어 오랜 기간 안정적으로 효소활성을 발현할 수 없고 잦은 효소의 교체가 요구되어 전환비용의 상승을 초래할 수 있다. 또한, 탄산무수화효소를 동시에 구비한다고 하더라도 배가스내 이산화탄소는 매우 고농도이어서 이산화탄소 포집공정이 매우 부하가 큼에 따라 포집되지 않고 배가스와 같이 배출되는 이산화탄소의 양이 증가하여 배가스내 이산화탄소의 양을 저감시키기 어려울 수 있다.
- [116] 도 6과 같은 배가스의 흐름을 기준으로 직렬반응기의 각 구성에 대해 이하 설명한다.
- [117] 이산화탄소를 포함하는 배가스는 먼저 전환반응기(101)로 공급되어 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환함을 통해 유용한 부산물의 생산과 동시에 이산화탄소를 저감시킬 수 있다. 상기 전환반응기(101)에 대한 설명은 상술한 것과 동일하여 생략한다. 상기 전환반응기(101)의 액체 또는 효소반응부(121)에서 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스는 가스 배출부(141)를 통해 포집반응기(201)로 공급될 수 있다.
- [118] 다음으로 상술한 전환반응기(101)와 직렬로 연결되는 포집반응기(201)에 대해 설명한다.
- [119] 상기 포집반응기(201)는 전환반응기(101)에서 미반응된 이산화탄소를 포집하는 역할을 담당한다. 상술한 전환반응기(101)의 가스배출부(141)를 통해 이산화탄소를 포함하는 배 가스가 포집반응기(201)의 반응챔버(231) 내부로 공급되면 공급된 이산화탄소가 반응기에서 포집되며, 미포집된 이산화탄소를 포함하는 배가스는 이후 포집반응기(201)의 가스배출구(221)를 통해 외부로 배출될 수 있다. 상기 포집반응기(201)는 이산화탄소 분리막 및/또는 이산화탄소를 흡수제를 통해 이산화탄소를 분리 포집할 수 있다.
- [120] 상기 이산화탄소 분리막은 통상의 이산화탄소 분리막일 수 있음에 따라 구체적인 재질, 구조 등에 당업계에 공지된 이산화탄소 분리막의 경우 제한 없이

사용될 수 있다. 이에 대한 비제한적인 예로써, 상기 이산화탄소 분리막의 소재는 유기고분자로서 CO_2/N_2 의 분리특성이 탁월한 6FDA계 폴리이미드, Cardo-type의 폴리이미드, 폴리술폰, 셀룰로오스 아세테이트 등일 수 있다. 또한, 구체적인 구조는 다공성의 스틸이나 세라믹지지체 상에 코팅되는 다공성 무기막을 포함하는 구조이거나 유리상의 고분자 또는 고무상의 고분자에 의한 투과선택성을 가지는 고분자막 구조일 수 있으나 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 그 메커니즘에 있어서, 분리막이 상기 다공성 무기막일 경우 분자량에 따른 Knudsen 확산, 표면 인력에 의한 표면확산, 모세관 응축, 분자의 크기에 따른 분자체 메커니즘으로 구분될 수 있으나 이에 제한되는 것은 아니며 목적에 따라 적절한 분리막을 선택하여 사용할 수 있다.

[121] 상기 이산화탄소 흡수제는 통상의 이산화탄소 흡수제일 수 있고, 구체적으로 건식흡수제 및 습식흡수제 중 어느 하나 이상을 포함할 수 있다. 상기 건식흡수제는 일예로써, 고체아민, 알칼리금속염, 알칼리토금속염, 제올라이트, 금속유기구조체 등을 포함할 수 있다. 또한, 상기 습식흡수제는 통상의 습식흡수제일 수 있고, 바람직하게는 아민계 수용액일 수 있으며, 모노에탄올아민, 디에탄올아민, 디메틸에탄올아민, 디에틸에탄올아민, 디메틸글리신, N-메틸디에탄올아민, 2-아미노-2메틸-1-프로판올, 2-아미노-2하이드록시메틸-1,3-프로파네디올, 파이프리딘, 파이프라진, 탄산칼륨, 탄산나트륨, 암모니아 및 탄산암모늄으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나를 포함할 수 있다.

[122] 본 발명의 바람직한 일구현예에 따르면, 상기 포집반응기는 이산화탄소 흡수제, 바람직하게는 습식흡수제를 포함할 경우 탄산무수화효소가 교결합복합체를 더 포함할 수 있다. 상기 포집반응기에 탄산무수화효소가 교결합복합체가 더 구비되는 경우 이산화탄소의 포집효율을 더욱 향상시킬 수 있고, 포집속도를 더욱 빠르게 할 수 있는 이점이 있다. 다만, 상기 포집반응기의 이산화탄소 포집 환경은 pH가 9 ~ 12의 알칼리 조건이며, 온도가 40 ~ 60°C일 수 있는데, 이와 같은 조건에서는 탄산무수화효소의 변성이 야기하여 효소활성이 현저히 저하될 수 있다. 따라서 안정적으로 장기간 우수한 효소활성 발현을 위하여 상기 탄산무수화효소는 전환반응기에 포함되는 탄산무수화효소와 상이할 수 있고, 바람직하게는 도 3 및/또는 도 4와 같이 탄산무수화효소간 가교결합 되어 집적된 탄산무수화효소가 교결합복합체가 유리할 수 있다.

[123] 상술한 전환반응기(101)에서 공급된 이산화탄소가 포집반응기(201)를 거치면서 포집된 이산화탄소 흡수제와 이산화탄소간 결합물 및 반응결합물 중 어느 하나 이상을 포함하는 포집물은 포집물 배출부를 통해 배출된 후에 이산화탄소를 분리 및 수집하는 이산화탄소 탈착기(401)로 공급되며, 전환반응기(101)에서 공급된 이산화탄소를 포함하는 배가스 중 포집된 이산화탄소를 제외한 잔량의 배가스는 배가스 배출부(221)를 통해 최종

대기중으로 배출되거나 전환반응기(101)의 가스 공급부(111)로 재공급되어 이산화탄소 저감 공정을 반복 수행할 수도 있다.

[124] 상기 탈착기(401)는 공급된 포집물 및 분리된 이산화탄소를 저장하는 챔버(421), 이산화탄소 분리과정에서 소요되는 에너지, 예를 들어 열을 발생시키는 에너지 공급부(411)를 포함할 수 있고, 분리된 이산화탄소를 배출시키는 이산화탄소 배출부(431)를 구비할 수 있다. 이때 가해지는 열은 40 ~ 60°C일 수 있으나 이에 제한되는 것은 아니며, 사용되는 이산화탄소의 흡수제 종류에 따라 변경될 수 있다.

[125] 한편, 상술한 본 발명에 따른 직렬반응기는 동일한 직렬반응기를 통해 도 6 및 도 7과 같이 상이한 배가스의 흐름을 생성하기 위하여 도 6과 같이 전환반응기(101)에서의 가스공급부(111)가 도 7에서는 가스배출부(111)로 기능하고, 포집반응기(201) 역시 도 6에서의 가스배출부(221)가 도 7에서는 가스공급부(221)로 기능하도록 공지된 방법 및 구성들을 채용하여 구현될 수 있다. 또는 도 6 및 도 7과 다르게 전환반응기 및 포집반응기 모두 직접 배가스가 유입될 수 있는 가스공급부를 각각 포함할 수 있으며, 각각의 가스공급부는 개폐식으로 구현될 수 있고, 어느 일방이 개방된 경우 다른 일방이 폐쇄되는 방식으로 이산화탄소 전환 및 포집공정이 이루어지게 할 수 있다. 즉, 공급되는 배가스의 양, 이산화탄소의 농도, 중탄산이온의 필요정도를 고려해서 배가스가 먼저 유입되는 반응기가 선택될 수 있으며, 이때 선택된 반응기로 배가스가 직접 유입되고, 나머지 선택되지 못한 반응기에 구비되는 가스공급부는 배가스의 직접유입을 막도록 닫혀진 상태일 수 있다. 또한, 이와 같은 각각에 구비된 가스공급부의 개방 또는 폐쇄는 배가스가 직렬반응기로 공급된 후 전환 및 포집공정이 일어나는 공정 중간에도 반응기 내부에 체류중인 배가스의 양을 고려하여 바뀔 수도 있다.

[126] 한편, 본 발명에 따른 다른 구현예에 의한 직렬반응기는 도 8 및 도 9에 도시된 것과 같이 이산화탄소가 어느 일방에서 타방으로 흐를 수 있도록 서로 연통된 전환반응기(100,100') 및 포집반응기(200,200')를 포함하고, 상기 전환반응기(100,100')를 통해 전환된 중탄산이온을 수집하는 중탄산이온 저장소(300,300') 및 포집반응기(200,200')에서 포집된 이산화탄소를 분리, 수집하기 위한 이산화탄소 탈착기(400,400')를 더 포함할 수 있다.

[127] 상기 직렬반응기에서의 이산화탄소 흐름 및 이에 따른 반응을 살펴보면, 도 8과 같은 직렬반응기에서 이산화탄소를 포함하는 배가스는 가스공급부(110)를 통해 전환반응기(100)로 공급된 후 효소반응부(120)를 거쳐 이산화탄소가 전환된 후 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스가 전환반응기(100)의 가스배출구(140)을 통해 포집반응기(200)로 공급되어 상기 미반응된 이산화탄소가 포집되고, 미포집된 이산화탄소를 포함하는 배가스는 포집반응기(200)의 가스배출구(220)를 통해 배출될 수 있다.

[128] 또한, 도 9와 같은 직렬반응기에서 이산화탄소를 포함하는 배가스는

포집반응기(200')의 가스공급부(220')를 통해 공급된 후 이산화탄소가 포집되고, 미포집된 이산화탄소는 가스공급부(110')를 통해 전환반응기(100')로 공급된 후 효소반응부(120')를 거쳐 이산화탄소가 전환되고, 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스는 전환반응기(100')의 가스배출구(140')을 통해 배출될 수 있다.

- [129] 상기 도 8과 같은 직렬반응기는 도 9와 같은 직렬반응기에 비해 포집반응기에서의 포집효율이 상대적으로 적게 구현되어도 목적하는 수준의 이산화탄소 전환 및 저감을 달성할 수 있는 동시에 포집된 이산화탄소의 분리에 적은 에너지가 소비될 수 있음에 따라서 경제적, 환경적 측면에서 유리할 수 있다.
- [130] 도 8 및 도 9와 같은 본 발명에 따른 다른 구현예에 의한 직렬반응기는 상술한 도 6과 같은 직렬반응기와 이산화탄소 전환반응기가 상이하고, 나머지 구성은 동일함에 따라서 이하 도 8 및 도 9에 따른 직렬반응기의 설명은 도 6에 따른 직렬반응기와 차이점 위주로 설명하고, 도 8을 기준으로 설명한다.
- [131] 먼저, 이산화탄소를 포함하는 배가스가 최초 공급되는 전환반응기(100)에 대해 설명한다. 상기 전환반응기(100)는 배가스에 포함된 고농도의 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 역할을 수행하며, 이와 같은 이산화탄소의 전환은 공급된 이산화탄소의 1차 저감 효과를 갖는다. 이와 같은 이산화탄소 전환공정은 다른 방식의 이산화탄소 저감 및/또는 전환공정에 비해서 친환경적이고, 이산화탄소를 산업상 이용가능한 중탄산이온으로 전환시켜 부가가치를 창출할 수 있어서 경제성 및 생산성에서 매우 유리하다. 또한, 탄산무수화효소는 이론상으로 1초당 백만개의 이산화탄소 분자를 중탄산이온으로 전환할 수 있음에 따라서 빠른 속도로 유입되는 이산화탄소의 전환에 매우 적합하고 이를 통해 반응기에 걸리는 배압의 상승을 더욱 방지할 수 있으며, 이산화탄소의 탈착과 같은 부가적 공정을 더 요구하지 않는 이점이 있다.
- [132] 공급된 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응을 위하여 전환반응기의 일부분에 채워진 액체 및 상기 전환반응을 촉진시키는 탄산무수화효소를 포함하는 효소반응부(120)를 구비하며, 상기 효소반응부(120)를 구비할 수 있도록 내부가 비어 있는 반응챔버(150), 이산화탄소를 포함하는 배가스가 공급되는 가스공급부(110), 상기 가스공급부(110)를 통해 전환반응기(100) 내부로 공급된 배가스 내 이산화탄소 중 미반응된 이산화탄소 및 배가스가 배출되는 가스배출구(140), 및 효소반응부(120)에서 전환된 중탄산이온이 용해된 수용액이 배출되는 중탄산수용액 배출부(130)를 포함할 수 있다.
- [133] 발생된 배가스는 가스공급부(110)를 통해 전환반응기(100) 내부로 공급되며, 공급된 배가스는 효소반응부(120)를 통과하게 된다.
- [134] 상기 효소반응부(120)는 배가스에 포함된 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시켜 배가스에 포함된 이산화탄소를 1차로 저감시키는 기능을 수행한다.

상기 효소반응부(120)는 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응을 촉진시킬 수 있는 촉매로써, 탄산무수화효소(120a)를 포함하고, 이와 같은 반응을 매개 및/또는 반응물로 역할하는 액체(120b)를 포함한다. 상기 탄산무수화효소(120a)는 다수개가 액체 상에 분산된 유리효소, 다수개가 비결합되어 응집된 효소집합체 및 다수개가 상호 결합된 효소가교결합복합체 중 어느 하나 이상의 형태로 포함될 수 있다. 또한, 상기 탄산무수화효소(120a)는 지지체를 더 구비하여 상기 지지체 상에 결합되거나 지지체 내부에 담지된 상태로 효소반응부(120)에 구비될 수 있다. 한편, 상기 액체(120b) 및 탄산무수화효소(120a)에 대한 구체적 설명은 상술한 것과 동일하여 생략한다.

- [135] 상술한 탄산무수화효소(120a)는 효소반응부(120)에 구비되어 공급되는 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 것을 촉진시킬 수 있고, 전환된 중탄산이온은 중탄산수용액 배출부(130)를 통해 배출되며, 배출된 중탄산이온수용액은 전환반응기의 중탄산수용액 배출부(130)와 연통되는 별도의 중탄산수용액 저장소(300)에 수집되거나 및/또는 중탄산수용액 배출부(130)와 연통된 중탄산이온의 활용소에서 이용될 수 있다. 상기 중탄산이온의 활용소는 전환 및/또는 수집된 중탄산이온을 탄산염으로 합성, 이를 원료로 미생물 배양, 금속 양이온의 제거, 방사성 물질의 정화 등일 수 있으나 이에 한정되는 것은 아니다.
- [136] 또한, 본 발명은 상술한 전환반응기가 도 1과 다르게 공급된 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응을 위하여 전환반응기의 일부분에 채워진 액체를 포함하여 형성될 수 있다.
- [137] 한편, 전환반응기(100)의 일부분에 채워진 액체 또는 이를 포함하는 효소반응부(120)에서 전환 가능한 이산화탄소 농도는 제한적일 수 있음에 따라 공급되는 배가스에 포함된 이산화탄소의 농도가 고농도일 경우 효소반응부(120)에서 미반응된 이산화탄소가 존재하며, 상기 미반응된 이산화탄소는 전환반응기(100)에 구비될 수 있는 가스 배출부(140)를 통해 포집반응기(200)로 공급될 수 있다.
- [138] 상기 포집반응기(200)에 대한 설명은 상술한 도 6에서의 포집반응기(201)에 대한 설명과 동일하여 생략한다.
- [139]
- [140] 한편, 본 발명에 따른 바람직한 다른 구현예에 의한 직렬반응기는 도 8 및 도 9와 다르게 전환반응기 및 포집반응기 중 어느 하나가 다른 일방을 거쳐 배가스가 유입되는 방식이 아니라, 전환반응기 및 포집반응기 모두 직접 배가스가 유입될 수 있는 가스공급부를 각각 포함할 수 있으며, 각각의 가스공급부는 개폐식으로 구현될 수 있고, 어느 일방이 개방된 경우 다른 일방이 폐쇄되는 방식으로 이산화탄소 전환 및 포집공정이 이루어지게 할 수 있다. 즉, 공급되는 배가스의 양, 이산화탄소의 농도, 중탄산이온의 필요정도를 고려해서 배가스가 먼저 유입되는 반응기가 선택될 수 있으며, 이때 선택된 반응기로

배가스가 직접 유입되고, 나머지 선택되지 못한 반응기에 구비되는 가스공급부는 배가스의 직접유입을 막도록 닫혀진 상태일 수 있다. 또한, 이와 같은 각각에 구비된 가스공급부의 개방 또는 폐쇄는 배가스가 직렬반응기로 공급된 후 전환 및 포집공정이 일어나는 공정 중간에도 반응기 내부에 체류중인 배가스의 양을 고려하여 바뀔 수도 있다.

[141]

[142] 이 상으로 설명한 본 발명에 따른 직렬반응기를 통해 배가스에 포함된 이산화탄소는 도 6 및 도 8과 같이 전환반응기로 배가스가 직접 공급될 경우, (A) 이산화탄소를 포함하는 배 가스를 상술한 본 발명의 일구현예에 따른 직렬반응기의 전환반응기에 공급하여 상기 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 단계; 및 (B) 공급된 상기 이산화탄소 중 미반응된 이산화탄소가 포함된 배 가스를 포집반응기로 공급하여 이산화탄소를 포집하는 단계;를 포함하여 이산화탄소가 전환 및 포집될 수 있다.

[143] 또한, 도 7 및 도 9와 같이 포집반응기로 배가스가 직접 공급될 경우, (a) 이산화탄소를 포함하는 배 가스를 본 발명의 일구현예에 따른 직렬반응기의 포집반응기에 공급하여 상기 이산화탄소를 포집하는 단계; 및 (b) 공급된 이산화탄소 중 미포집된 이산화탄소가 포함된 배 가스를 전환반응기로 공급하여 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 단계;를 포함하여 이산화탄소가 전환 및 포집될 수 있다.

[144] 이산화탄소의 전환 및 포집방법을 도 6과 같은 직렬반응기를 중심으로 설명하면, 상기 (A) 단계의 구체적인 설명은 상술한 전환반응기에서의 설명과 동일하여 생략한다. 전환반응기에서의 이산화탄소 전환 공정은 바람직하게는 pH 7.5 ~ 8.5, 온도 25 ~ 45°C에서 수행함이 보다 유리할 수 있다.

[145] 또한, 상기 (A) 단계는 전환반응기에 공급되는 배가스로 인한 반응기 배압증가를 방지하기 위하여, 배가스가 전환반응기의 액체 상부에서 공급되며, 공급된 배가스 내 이산화탄소는 전환반응기 내부의 액체와 기체간 계면에 위치하는 구조체에 구비된 탄산무수화효소를 통해 중탄산이온으로 전환반응이 촉진될 수 있다.

[146] 또한, 상기 (B) 단계의 구체적인 설명은 상술한 포집반응기에서의 설명과 동일하여 생략한다. 포집반응기에서의 이산화탄소 포집 공정은 바람직하게는 pH 9 ~ 12, 온도 40 ~ 60°C 보다 바람직하게는 45 ~ 55°C의 온도로 수행될 수 있다. 만일 40°C미만의 온도로 수행될 경우 목적하는 수준으로 이산화탄소를 저감시킬 수 없고, 60°C를 초과할 경우 이산화탄소의 용해도가 낮아져 기체상태로 배출되는 이산화탄소의 양이 현저히 늘어남에 따라 포집반응기에서 미반응되는 이산화탄소의 양이 현저히 늘어나는 문제점이 있을 수 있다.

[147] 본 발명의 바람직한 일구현예에 따르면, 상기 포집반응기에서 이산화탄소 흡수제로 이산화탄소를 포집시킨 후, 포집된 이산화탄소를 배출 및 이산화탄소 흡수제와 이산화탄소를 분리시켜 이산화탄소를 수집하는 단계;를 더 포함할 수

있고, 이산화탄소 분리, 수집 공정은 상술한 직렬반응기에 더 구비될 수 있는 탈착기(401)를 통해 수행될 수 있으나, 반드시 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 이산화탄소 탈착기는 통상의 이산화탄소 저감 장치에 응용되는 이산화탄소 탈착기일 수 있음에 따라 본 발명에서는 이를 특별히 한정하지 않으며, 이산화탄소를 분리시키기 위해 투입되는 열 등의 에너지 크기는 포집반응기에 구비되는 흡수제의 구체적 종류에 따라 상이하며, 흡수제 구체적 종류에 따라 분리시간도 상이할 수 있어 본 발명에서는 이에 대해 특별히 한정하지 않는다.

발명의 실시를 위한 형태

- [148] 하기의 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 구체적으로 설명하기로 하지만, 하기 실시예가 본 발명의 범위를 제한하는 것은 아니며, 이는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것으로 해석되어야 할 것이다.
- [149] <준비에 1> - 탄산탈수효소 가교결합복합체 1의 제조
- [150] 탄산무수화효소 가교결합복합체에 구비되는 지지체로서 고분자 나노섬유를 사용하였다. 고분자 나노섬유를 만들기 위한 고분자로 폴리스티렌(polystyrene, PS, MW = 950,400)과 폴리(스티렌-co-무수말레산)(poly(styrene-co-maleic anhydride), PSMA, MW = 224,000)을 사용하였고, 고분자를 녹이기 위한 유기용매는 테트라하이드로퓨란(Tetrahydrofuran, THF)과 아세톤(acetone)을 사용하였다. 이들 재료는 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA)에서 구입하였다. 고분자 나노섬유는 전기방사 방법을 이용하여 제조하였다. 전기방사의 전압 운용 조건은 7 kV이며, 시린지 펌프(syringe pump)를 이용해 유속은 0.1 ml/hr로 진행하였다.
- [151] 탄산무수화효소 가교결합복합체 제조를 위해 상기에서 제조한 고분자 나노섬유를 탄산무수화효소 용액(10 mg/ml, 50 mM 인산나트륨 버퍼(sodium phosphate buffer, pH 7.6))과 혼합하였다. 탄산무수화효소 용액과 나노섬유가 들어있는 용기를 30분간 200 rpm으로 혼합한 후, 탄산무수화효소와 고분자 나노섬유에 있는 제1 작용기인 무수말레인산과의 공유결합을 유도하기 위해 4 °C에서 2시간 동안 교반하였다.
- [152] 다음으로, 탄산무수화효소 가교결합복합체 형성을 위해 가교결합제로서 0.5%v/v의 글루타르알데하이드를 첨가하였으며, 석출화제로서 용액 속에 암모늄설페이트용액 농도가 45%w/v가 되도록 한 뒤, 가교결합복합체 형성이 용이하기 위해 4°C의 냉장고에서 14시간동안 반응시켰다. 그 뒤 탄산무수화효소 가교결합복합체를 포함하는 용액을 100mM Tris buffer pH 7.6를 이용해 30분 동안 200 rpm에서 교반시켜준 후 다시 100 mM PB를 이용하여 씻어주었다. 모든 처리가 끝난 효소고정화 물질들은 4 °C에서 보관하여 도 3과 같은 탄산무수화효소 가교결합복합체를 제조하였다.
- [153] <실시예1>
- [154] 준비예1에서 준비된 탄산무수화효소 가교결합복합체를 구비하는 구조체의

제조를 위하여 도 5와 같은 구조의 몸체부 및 부유부를 준비하였다. 구체적으로, 상기 몸체부의 재질은 ABS(acrylonitrile-butadiene-styrene) 폴리머를 사용하였고, 크기는 63 mm x 21 mm x 1 mm, 유로로 활용되는 격자는 6 mm x 6 mm 의 정사각형 모양으로 제조하였다. 이 때, 상기 몸체부는 동일한 구조의 제1몸체 및 제2몸체 2개가 수직 방향으로 적층되어, 적층 구조 사이에 준비예 1의 탄산무수화효소 가교결합복합체를 수용될 수 있도록 준비했다. 또한, 상기 부유부의 재질은 ABS(acrylonitrile-butadiene-styrene) 폴리머를 사용하였고, 크기는 21 mm x 10 mm x 3 mm의 직육면체 모양으로 제조하였다. 이 때, 부유부의 내부에 공기가 들어갈 수 있는 빈 공간을 만들어, 상기 몸체부와 결합 시 상기 몸체부가 상기 액체와 기체간 계면에 위치할 수 있도록 준비하였다

[155] 상기 적층된 2개의 몸체부 사이에 준비예1의 탄산무수화효소 가교결합 복합체를 하우스징 형태로 수용시켜 고정하고 몸체부 양 단에 부유부를 결합하여 구조체를 제조하였다. 이후 직경, 높이가 각각 9 cm, 22 cm 이고, 높이 10 cm에 위치하는 직경 0.3 cm인 가스공급부 및 상기 가스공급부에 대향하는 동일 직경의 가스배출부를 구비시킨 용기에 높이 5 cm 로 Tris-HCl (pH 8.0) 용액을 투입한 후 상기 용액의 계면에 상기 구조체를 위치시켜 이산화탄소 전환반응기를 제조하였다.

[156] <실시예 2>

[157] 실시예 1과 동일하게 실시하여 제조하되, 탄산무수화효소 가교결합복합체를 구비시키지 않은 구조체를 용액과 기체의 계면에 위치시켜 이산화탄소 전환반응기를 제조하였다.

[158] <실험예>

[159] 실시예에 따른 이산화탄소 전환반응기의 가스공급부를 통해 기체상태의 이산화탄소를 200 mL/min 속도 20분간 투입하여 이산화탄소 전환반응을 유도했다. 이후 반응용액 20 mL를 추출한 뒤, 670 mM 염화칼슘 용액 10 mL와 반응시켜 탄산염을 침전시켰고, 침전된 탄산염의 분리를 위해 15000 rpm에서 15분동안 원심분리를 진행한 뒤, 액상부를 제거하였다. 분리된 탄산염을 90°C 오븐에서 24시간 동안 건조시킨 뒤, 무게를 측정하여 하기 표 1에 나타내었다.

[160] [표1]

	실시예1	실시예2
전환된 탄산칼슘 무게(mg)	214	114

[161] 상기 표 1을 통해 확인할 수 있듯이, 탄산무수화효소 가교결합복합체 구비한 전환반응기가 탄산무수화효소 가교결합복합체를 구비하지 않는 실시예2보다 1.9배 큰 이산화탄소전환효율을 가진다는 것을 확인할 수 있다.

[162] 이상에서 본 발명의 일 실시예에 대하여 설명하였으나, 본 발명의 사상은 본 명세서에 제시되는 실시 예에 제한되지 아니하며, 본 발명의 사상을 이해하는

당업자는 동일한 사상의 범위 내에서, 구성요소의 부가, 변경, 삭제, 추가 등에 의해서 다른 실시 예를 용이하게 제안할 수 있을 것이나, 이 또한 본 발명의 사상범위 내에 든다고 할 것이다.

[163]

청구범위

- [청구항 1] 이산화탄소를 포함하는 배가스가 공급되는 가스공급부;
공급된 상기 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응을 위하여
전환반응기의 일부분에 채워진 액체, 및 탄산무수화효소를 구비한
구조체를 포함하는 효소반응부; 및
상기 효소반응부에서 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스를 외부로
방출시키는 가스배출부;를 포함하는 이산화탄소 전환반응기.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
상기 효소반응부에서 전환 및 용해된 중탄산수용액을 배출시키기 위한
중탄산수용액 배출부를 더 포함하는 이산화탄소 전환반응기.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
상기 탄산무수화효소는 야생형(wild type) 탄산무수화효소 및
탄산무수화효소 변이체 중 어느 하나 이상을 포함하는 이산화탄소 전환
및 포집용 직렬반응기.
- [청구항 4] 제1항에 있어서,
상기 전환반응기에 공급되는 배가스로 인한 반응기 배압증가를 방지하기
위하여, 전환반응기 내부의 액체와 기체간 계면 상부에 가스공급부 및
가스배출구가 배치되며, 상기 구조체는 상기 계면에 위치하여
이산화탄소의 전환을 촉진하는 이산화탄소 전환반응기.
- [청구항 5] 제4항에 있어서,
상기 구조체는 탄산무수화효소를 포함하는 몸체부 및 상기 몸체부에
결합되어 상기 몸체부가 계면에 위치하도록 하는 적어도 하나의
부유체를 더 포함하는 이산화탄소 전환반응기.
- [청구항 6] 제5항에 있어서,
상기 몸체부는 액체 및 이산화탄소가 탄산무수화효소와 접할 수 있도록
하는 유로를 포함하는 이산화탄소 전환반응기.
- [청구항 7] 제5항에 있어서,
상기 탄산무수화효소는 상기 몸체부 상에 결합되거나 수용되는
이산화탄소 전환반응기.
- [청구항 8] 제1항에 있어서,
상기 탄산무수화효소는 다수개가 비결합되어 응집된 효소집합체 및
다수개가 상호 결합된 효소가교결합복합체 중 어느 하나 이상의 형태로
구비되는 이산화탄소 전환반응기.
- [청구항 9] 제1항에 있어서,
상기 구조체는 몸체부를 더 포함하고,
상기 탄산무수화효소는 지지체를 더 구비하여 상기 지지체 상에
결합되거나 지지체 내부에 담지되며,

상기 지지체는 상기 몸체부 상에 결합되거나 수용되는 이산화탄소 전환반응기.

- [청구항 10] 제9항에 있어서,
상기 지지체는 고분자 섬유, 전기전도성 고분자, 다공성 입자, 구형입자, 나노입자, 비드, 탄소나노튜브, 와이어, 필라, 그래핀, 풀러렌 및 폴리도파민으로 이루어진 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상을 포함하는 이산화탄소 전환반응기.
- [청구항 11] 제8항에 있어서,
상기 효소가교결합복합체는 표면에 제1작용기를 포함하는 제1지지체를 더 구비하며,
상기 제1작용기에 직접 결합하는 제1탄산무수화효소 및 상기 제1탄산무수화효소와 결합하고, 인접한 탄산무수화효소끼리 가교결합된 제2 탄산무수화효소 가교결합복합체를 포함하는 이산화탄소 전환반응기.
- [청구항 12] 제11항에 있어서, 상기 효소가교결합복합체는
표면에 제2작용기를 포함하고, 상기 제1탄산무수화효소 및 제2탄산무수화효소 가교결합복합체 중 어느 하나 이상의 효소와 상기 제2작용기를 통해 결합하는 제2지지체를 더 포함하는 이산화탄소 전환반응기.
- [청구항 13] 제2항에 있어서,
상기 중탄산수용액 배출부와 연통되도록 중탄산수용액 저장소 및 중탄산수용액 활용소 중 어느 하나 이상을 더 포함하는 이산화탄소 전환반응기.
- [청구항 14] 이산화탄소를 포함하는 배가스가 공급되는 가스공급부;
공급된 상기 이산화탄소를 용해 및 전환시키기 위하여 전환반응기의 일부분에 채워진 액체를 포함하는 이산화탄소전환부; 및
상기 이산화탄소전환부에서 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스를 외부로 방출시키는 가스배출부;를 포함하는 이산화탄소 전환반응기.
- [청구항 15] 이산화탄소를 포함하는 배가스가 공급되는 가스공급부;
공급된 상기 이산화탄소를 전환시키기 위하여 전환반응기의 일부분에 채워진 액체 및 탄산무수화효소를 포함하는 효소반응부; 및
상기 효소반응부에서 미반응된 이산화탄소를 포함하는 배가스를 외부로 방출시키는 가스배출부;를 포함하는 이산화탄소 전환반응기.
- [청구항 16] (1) 제1항 내지 제15항 중 어느 한 항에 따른 이산화탄소 전환반응기의 가스공급부로 배가스를 공급하는 단계; 및
(2) 공급된 배가스에 포함된 이산화탄소 중 일부는 중탄산이온으로 전환되고, 미반응된 나머지 이산화탄소를 포함하는 배가스는 가스배출구를 통해 배출되는 이산화탄소 전환공정.

- [청구항 17] 제16항에 있어서,
상기 (1) 단계는 전환반응기에 공급되는 배가스로 인한 반응기
배압증가를 방지하기 위하여, 배가스가 전환반응기의 액체 상부에서
공급되며, 공급된 배가스 내 이산화탄소는 전환반응기 내부의 액체와
기체간 계면에 위치하는 구조체에 구비된 탄산무수화효소를 통해
중탄산이온으로 전환반응이 촉진되는 이산화탄소 전환공정.
- [청구항 18] 공급된 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응을 위한 제1항,
제14항 및 제15항 중 어느 한 항에 따른 전환반응기; 및
상기 전환반응기에 연통되고, 유입된 이산화탄소를 포집하는
포집반응기;를 포함하는 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기.
- [청구항 19] 제18항에 있어서,
상기 포집반응기는 이산화탄소 흡수제 및 이산화탄소 분리막 중 어느
하나 이상을 포함하는 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기.
- [청구항 20] 제18항에 있어서,
상기 포집반응기는 이산화탄소 흡수제와 이산화탄소 간 결합물 및
반응결합물 중 어느 하나 이상을 포함하는 포집물을 배출하는
이산화탄소 포집물 배출부, 및 상기 이산화탄소 포집물 배출구와
연통되어 배출된 포집물에서 이산화탄소를 분리 및 수집하는 이산화탄소
탈착기를 더 포함하는 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기.
- [청구항 21] 제18항에 있어서,
이산화탄소를 포함하는 배가스는 상기 전환반응기 또는 포집반응기로
공급되어 이산화탄소가 전환 또는 포집된 후, 미반응된 이산화탄소를
포함하는 배가스가 포집반응기 또는 전환반응기로 공급되어 상기
미반응된 이산화탄소가 포집 또는 전환되는 이산화탄소 전환 및 포집용
직렬반응기.
- [청구항 22] (A) 이산화탄소를 포함하는 배가스를 제1항, 제14항 및 제15항 중 어느 한
항에 따른 직렬반응기의 전환반응기에 공급하여 상기 이산화탄소를
중탄산이온으로 전환시키는 단계; 및
(B) 공급된 상기 이산화탄소 중 미반응된 이산화탄소가 포함된 배가스를
포집반응기로 공급하여 이산화탄소를 포집하는 단계;를 포함하는
직렬반응기를 통한 이산화탄소 전환 및 포집공정.
- [청구항 23] (a) 이산화탄소를 포함하는 배가스를 제1항, 제14항 및 제15항 중 어느 한
항에 따른 직렬반응기의 포집반응기에 공급하여 상기 이산화탄소를
포집하는 단계; 및
(b) 공급된 이산화탄소 중 미포집된 이산화탄소가 포함된 배가스를
전환반응기로 공급하여 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는
단계;를 포함하는 직렬반응기를 통한 이산화탄소 전환 및 포집공정.
- [청구항 24] 제22항에 있어서,

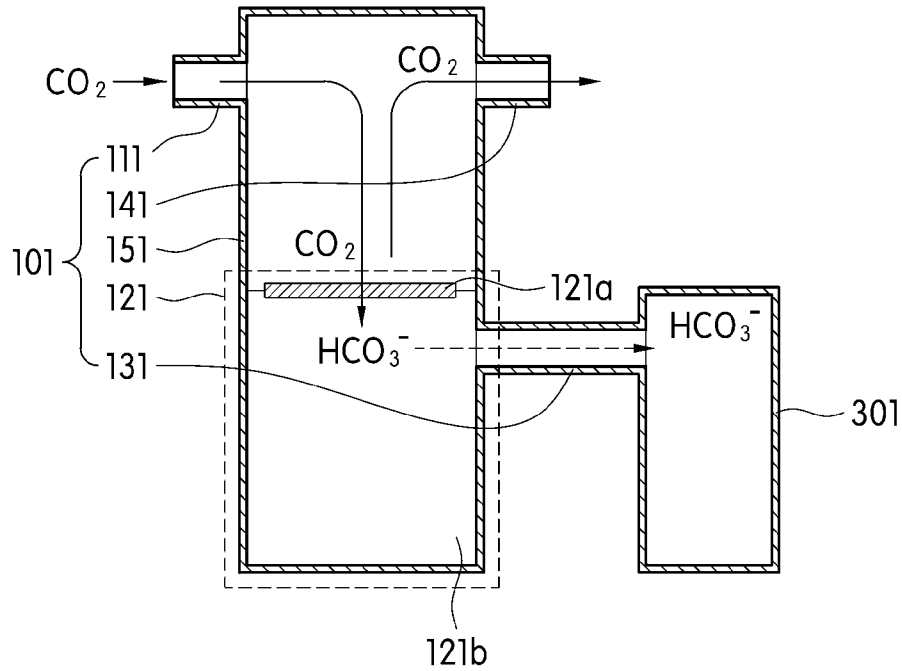
전환된 상기 중탄산이온을 전환반응기에서 배출시켜 수집하는 단계; 및
포집된 이산화탄소를 탈착시켜 이산화탄소를 수집하는 단계;를 더
포함하는 직렬반응기를 통한 이산화탄소 전환 및 포집공정.

[청구항 25]

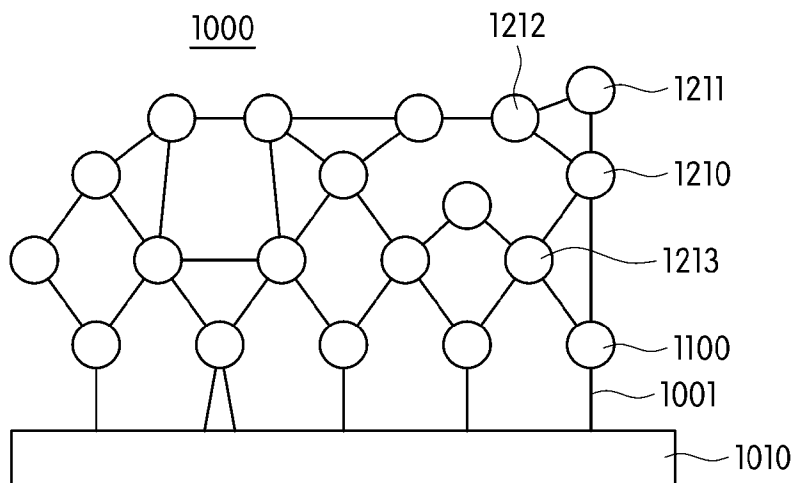
제23항에 있어서,

전환된 상기 중탄산이온을 전환반응기에서 배출시켜 수집하는 단계; 및
포집된 이산화탄소를 탈착시켜 이산화탄소를 수집하는 단계;를 더
포함하는 직렬반응기를 통한 이산화탄소 전환 및 포집공정.

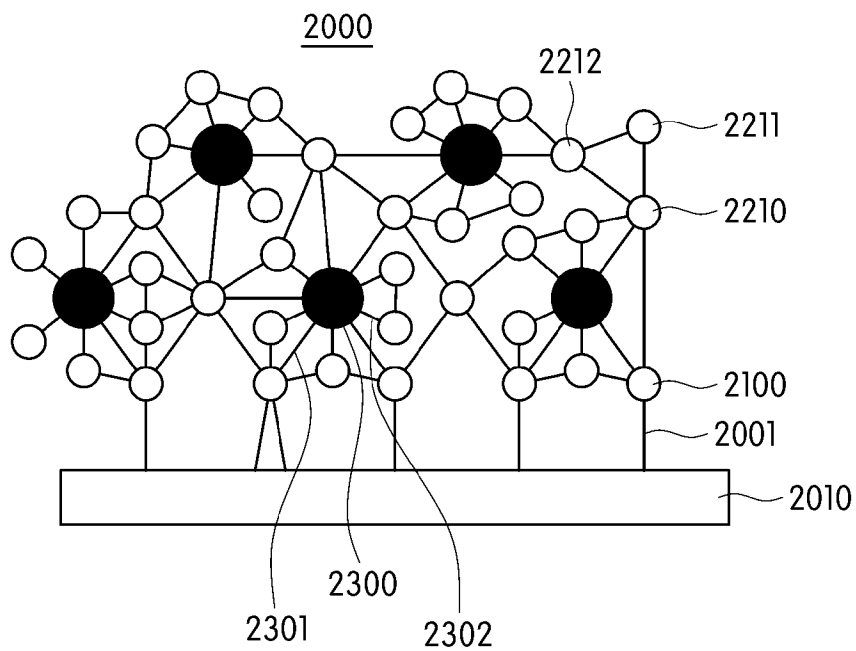
[도1]



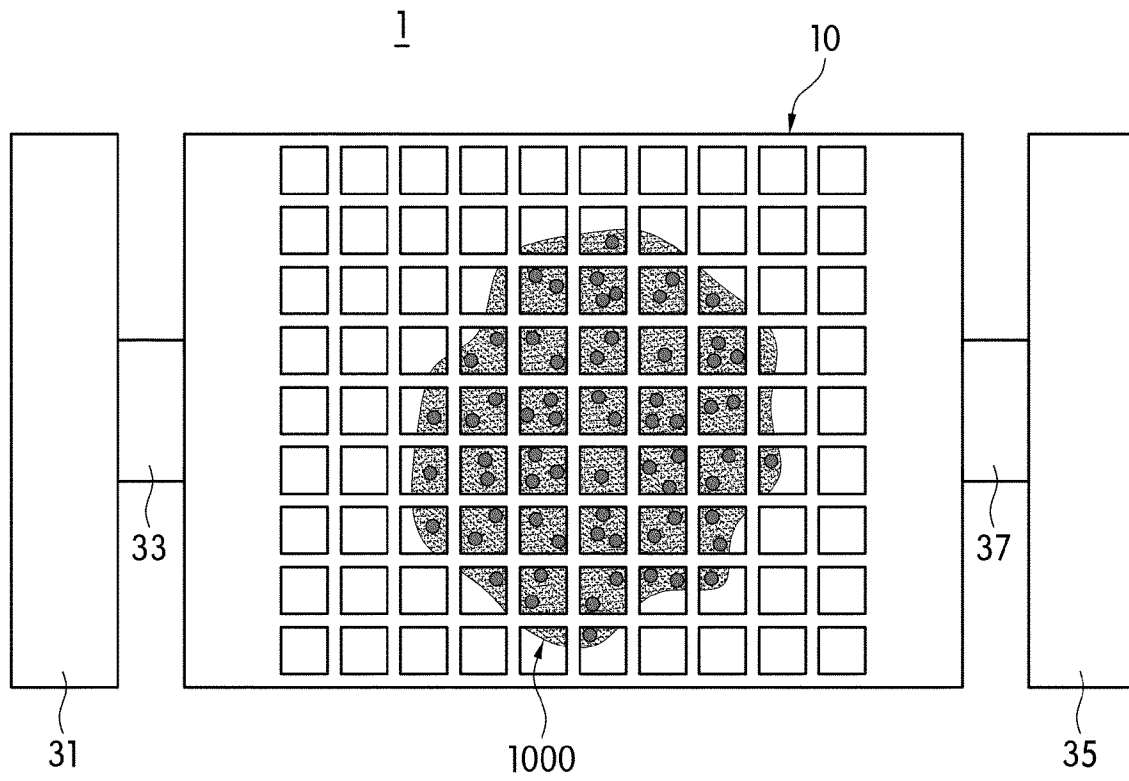
[도2]



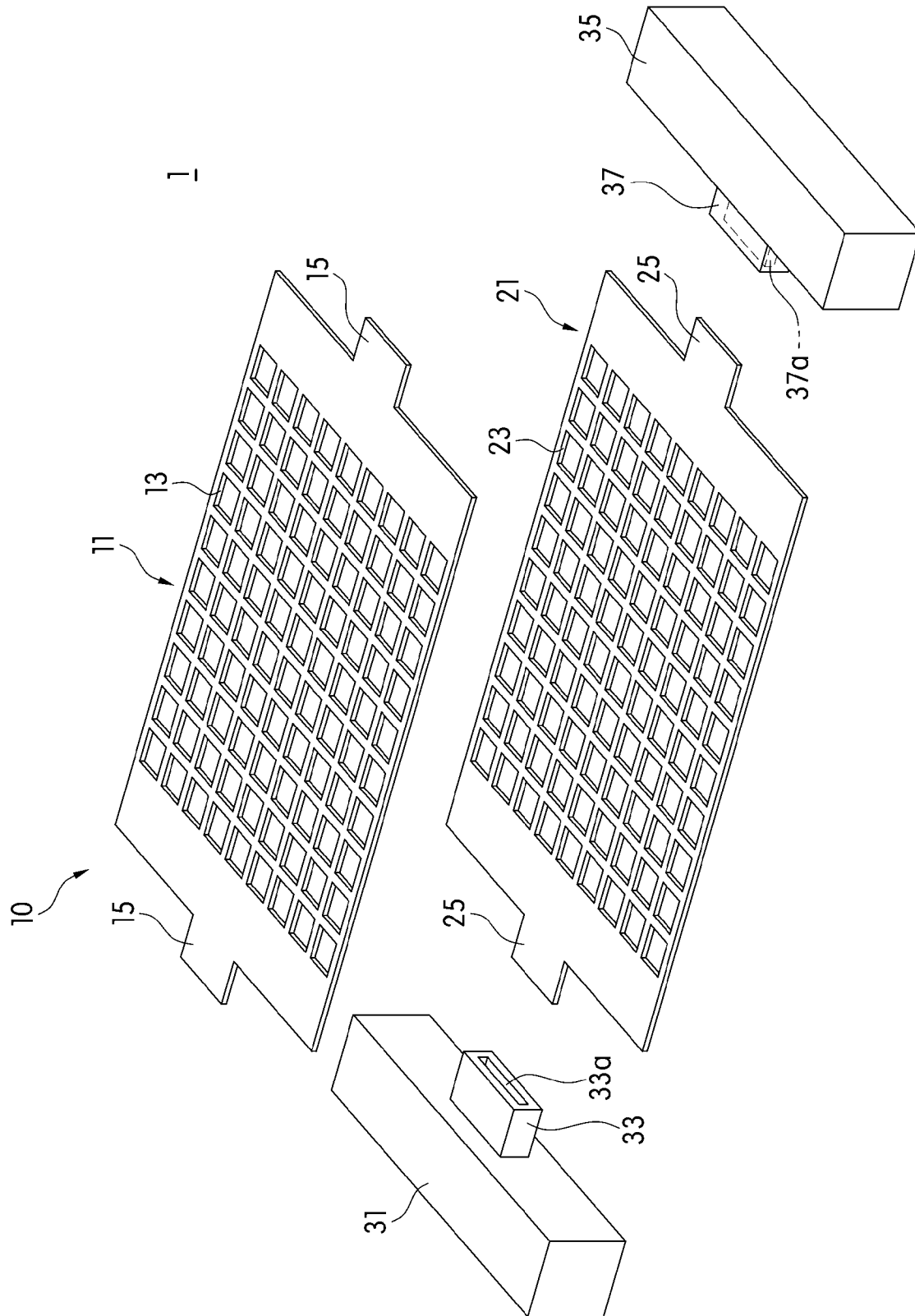
[도3]



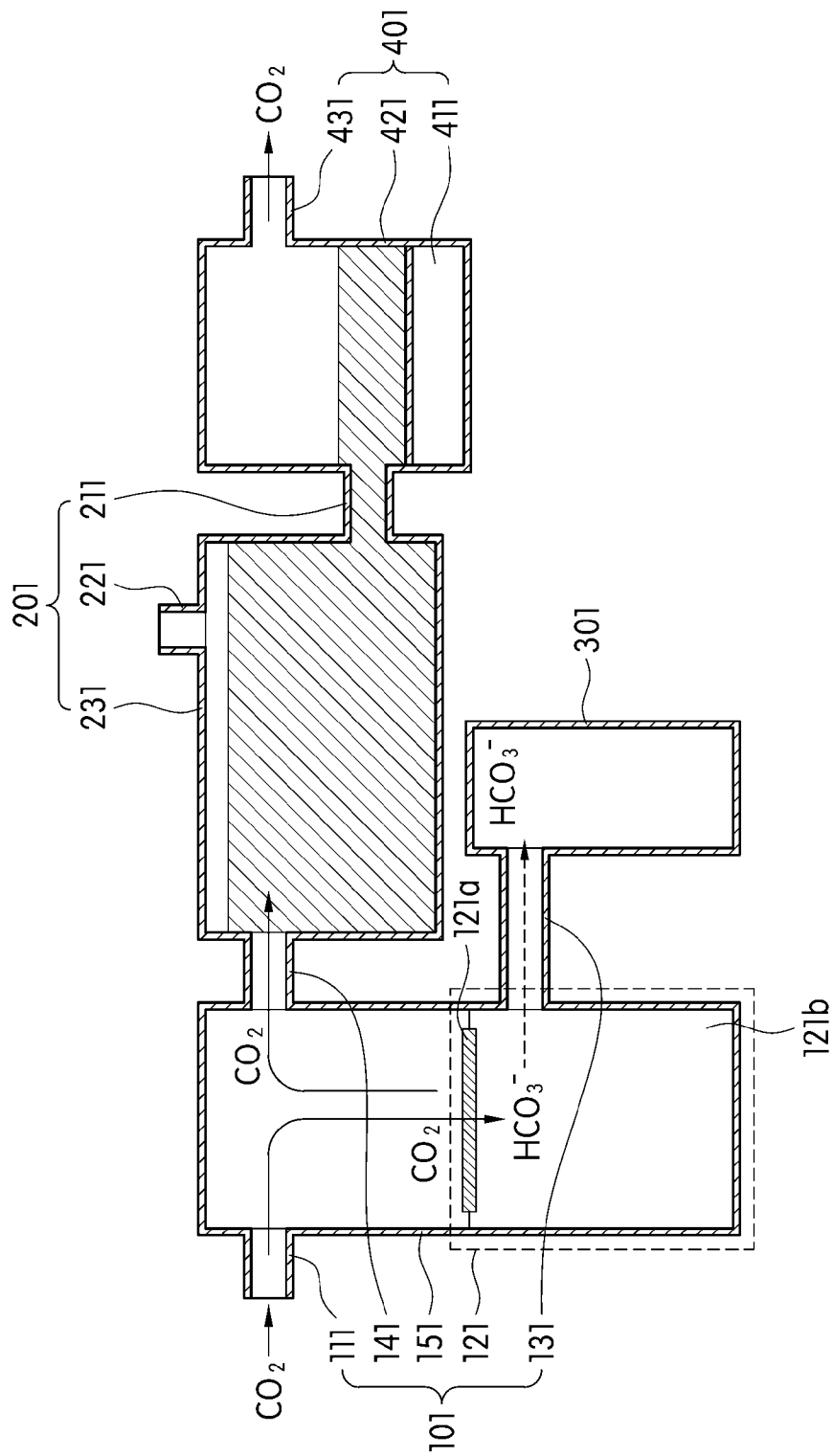
[도4]



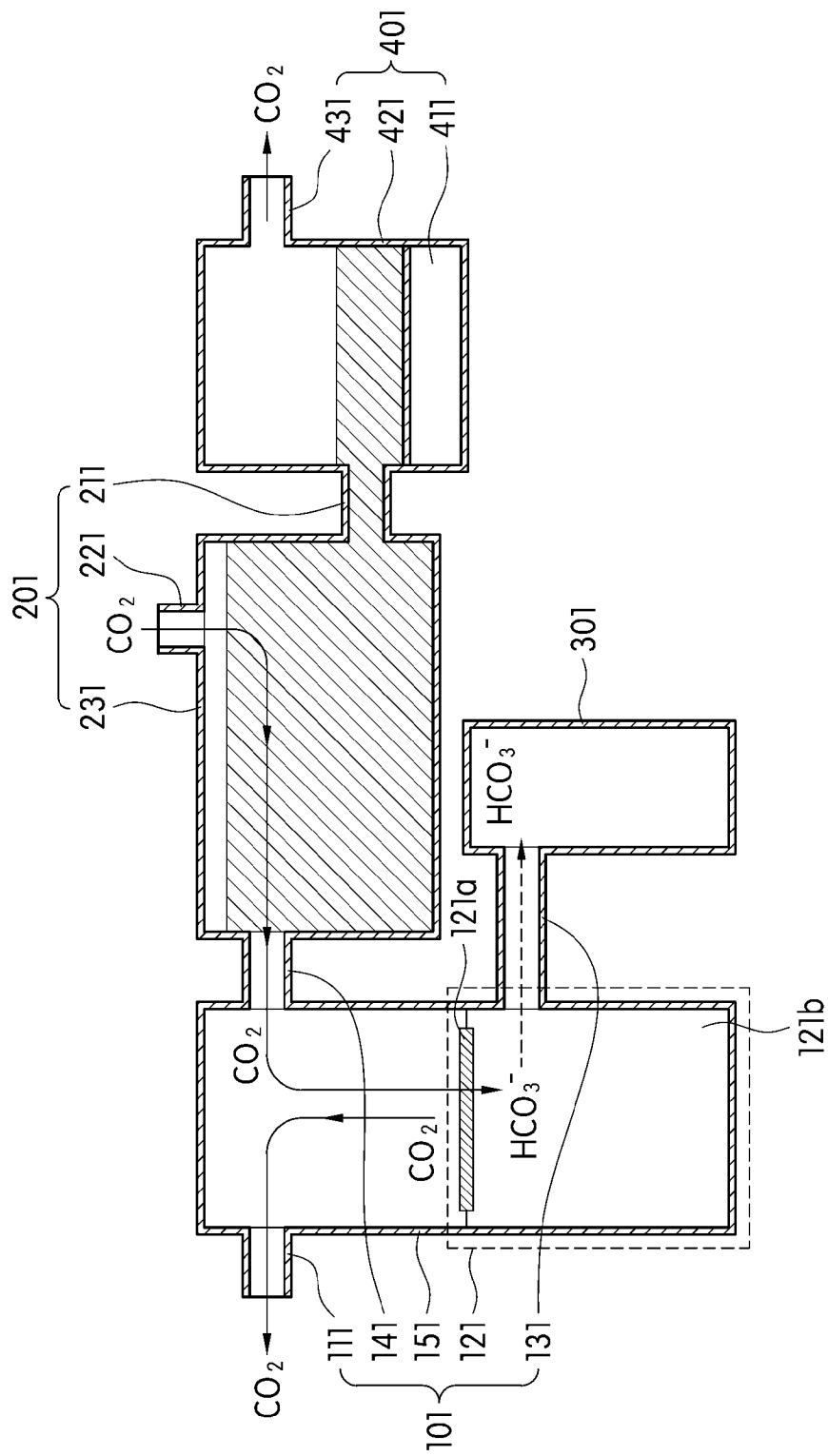
[도5]



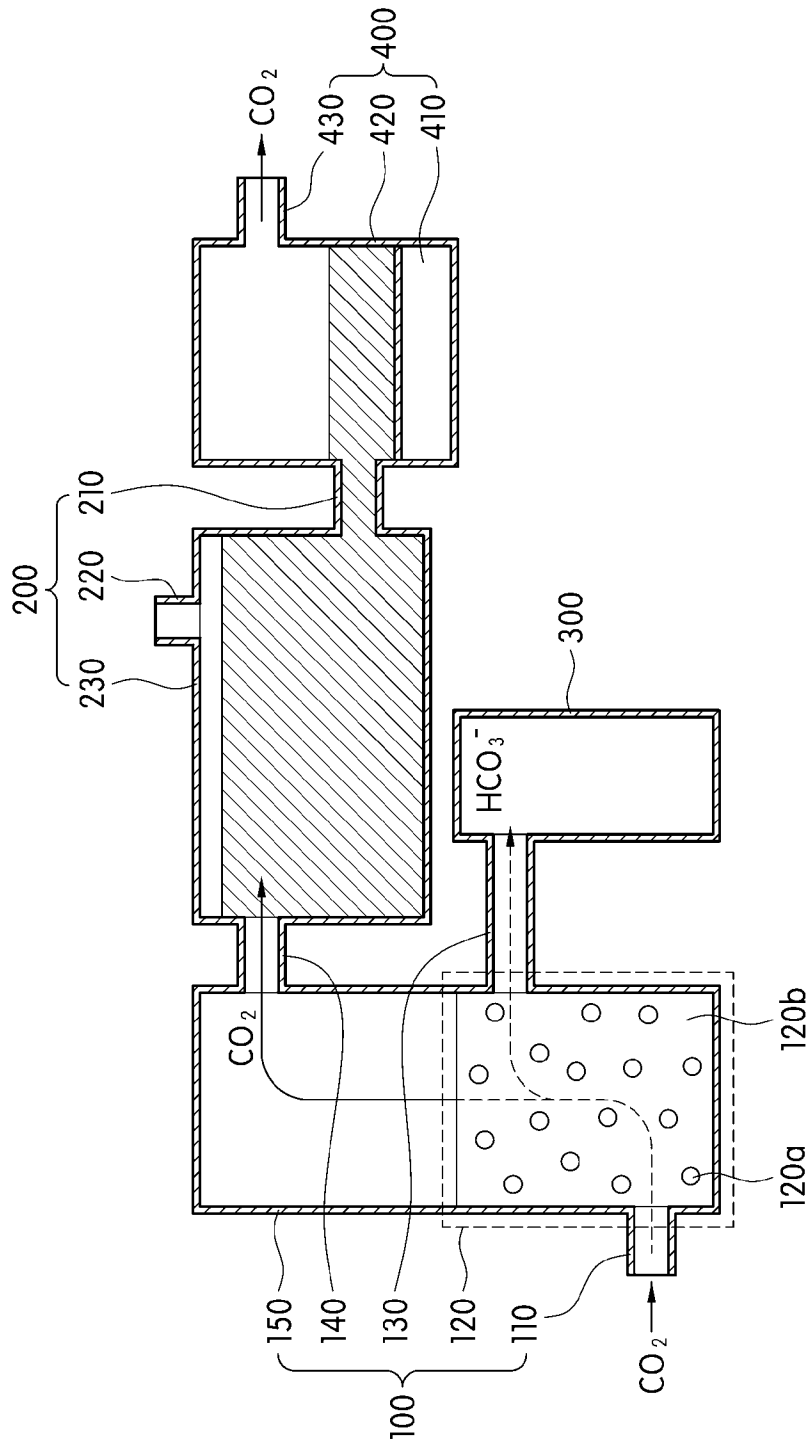
[도6]



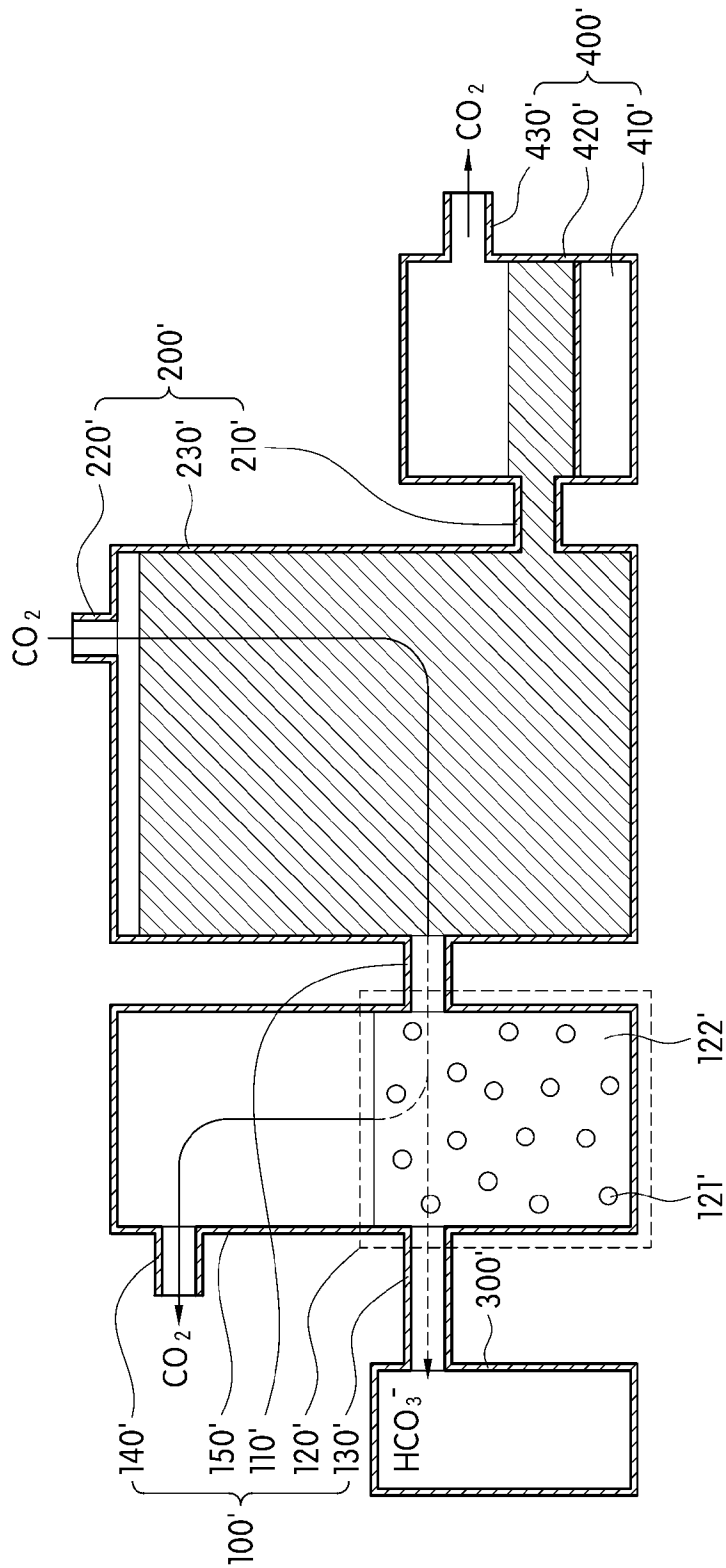
[도7]



[도8]



[도9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2016/006808**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER*****B01D 53/62(2006.01)i, B01D 53/14(2006.01)i, B01D 53/34(2006.01)i***

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B01D 53/62; C12N 11/00; B01D 53/00; B01J 19/00; B01D 53/14; B01J 8/04; C12M 1/40; B01D 53/34

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: carbon dioxide, carbonic anhydrase(carbonic anhydrase), bicarbonate, surface

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KR 10-2011-0087273 A (AKERMIN, INC.) 02 August 2011 See paragraphs [0008]-[0009], [0042]-[0044], [0083], [0233]; and claims 4, 24.	1-17
Y		18-25
Y	JP 2014-213275 A (IHI CORP.) 17 November 2014 See paragraphs [0021]-[0022]; and claim 11.	18-25
A	JP 2002-508702 A (SYSTEMES ENVIROBIO INC.) 19 March 2002 See page 6, lines 17-22; page 8, lines 1-34; and figures 1-2.	1-25
A	US 2013-0171720 A1 (MCKENNA, Robert et al.) 04 July 2013 See paragraphs [0022]-[0023]; claims 1, 6; and figure 1.	1-25
A	KR 10-2011-0117350 A (KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH) 27 October 2011 See paragraphs [0014]-[0017], [0020]; claim 1; and figure 3.	1-25

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search

19 OCTOBER 2016 (19.10.2016)

Date of mailing of the international search report

20 OCTOBER 2016 (20.10.2016)

Name and mailing address of the ISA/KR



Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Seonsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. 82-42-472-7140

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2016/006808

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-2011-0087273 A	02/08/2011	CN 102232004 A	02/11/2011
		EP 2362809 A2	07/09/2011
		JP 2012-504047 A	16/02/2012
		US 2010-0086983 A1	08/04/2010
		US 2011-300623 A1	08/12/2011
		US 2012-220025 A1	30/08/2012
		US 2015-010453 A1	08/01/2015
		US 7998714 B2	16/08/2011
		US 8178332 B2	15/05/2012
		WO 2010-037109 A2	01/04/2010
JP 2014-213275 A	17/11/2014	WO 2014-175337 A1	30/10/2014
JP 2002-508702 A	19/03/2002	EP 0991462 A1	12/04/2000
		EP 0991462 B1	23/04/2003
		US 6524843 B1	25/02/2003
		WO 98-55210 A1	10/12/1998
US 2013-0171720 A1	04/07/2013	US 8871485 B2	28/10/2014
		WO 2011-163323 A2	29/12/2011
KR 10-2011-0117350 A	27/10/2011	KR 10-1179452 B1	07/09/2012

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))**B01D 53/62(2006.01)i, B01D 53/14(2006.01)i, B01D 53/34(2006.01)i****B. 조사된 분야**

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

B01D 53/62; C12N 11/00; B01D 53/00; B01J 19/00; B01D 53/14; B01J 8/04; C12M 1/40

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 이산화탄소, 탄산무수화효소(carbonic anhydrase), 중탄산, 계면

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	KR 10-2011-0087273 A (아커민 인코퍼레이티드) 2011.08.02 단락 [0008]-[0009], [0042]-[0044], [0083], [0233]; 및 청구항 4, 24 참조.	1-17
Y		18-25
Y	JP 2014-213275 A (IHI CORP.) 2014.11.17 단락 [0021]-[0022]; 및 청구항 11 참조.	18-25
A	JP 2002-508702 A (SYSTEMES ENVIROBIO INC.) 2002.03.19 페이지 6, 라인 17-22; 페이지 8, 라인 1-34; 및 도면 1-2 참조.	1-25
A	US 2013-0171720 A1 (MCKENNA, ROBERT 등) 2013.07.04 단락 [0022]-[0023]; 청구항 1, 6; 및 도면 1 참조.	1-25
A	KR 10-2011-0117350 A (한국에너지기술연구원) 2011.10.27 단락 [0014]-[0017], [0020]; 청구항 1; 및 도면 3 참조.	1-25

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

국제조사의 실제 완료일

2016년 10월 19일 (19.10.2016)

국제조사보고서 발송일

2016년 10월 20일 (20.10.2016)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소

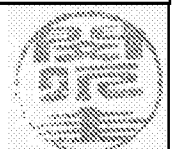
대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관

민인규

전화번호 +82-42-481-3326



국제조사보고서에서
인용된 특허문헌

공개일

대응특허문헌

공개일

KR 10-2011-0087273 A	2011/08/02	CN 102232004 A	2011/11/02
		EP 2362809 A2	2011/09/07
		JP 2012-504047 A	2012/02/16
		US 2010-0086983 A1	2010/04/08
		US 2011-300623 A1	2011/12/08
		US 2012-220025 A1	2012/08/30
		US 2015-010453 A1	2015/01/08
		US 7998714 B2	2011/08/16
		US 8178332 B2	2012/05/15
		WO 2010-037109 A2	2010/04/01
JP 2014-213275 A	2014/11/17	WO 2014-175337 A1	2014/10/30
JP 2002-508702 A	2002/03/19	EP 0991462 A1	2000/04/12
		EP 0991462 B1	2003/04/23
		US 6524843 B1	2003/02/25
		WO 98-55210 A1	1998/12/10
US 2013-0171720 A1	2013/07/04	US 8871485 B2	2014/10/28
		WO 2011-163323 A2	2011/12/29
KR 10-2011-0117350 A	2011/10/27	KR 10-1179452 B1	2012/09/07