(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0001046
(43) 공개일자 2018년01월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C12M 1/40 (2006.01) *B01D 53/62* (2006.01)
C12M 1/12 (2006.01) *C12N 11/00* (2006.01)
C12N 9/88 (2006.01) *C12N 9/96* (2006.01)
C12P 3/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C12M 21/18 (2013.01)
B01D 53/62 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0079587
(22) 출원일자 2016년06월24일
심사청구일자 2016년06월24일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
김중배
서울특별시 강남구 역삼로 309, 101동 1501호 (역삼동, 래미안펜타빌아파트)
홍성길
서울특별시 성북구 길음로 74 래미안 506동 1901호
김한솔
경기도 용인시 기흥구 언남로 15, 206동 1701호 (언남동,동일하이빌2차)
(74) 대리인
특허법인이룸리온

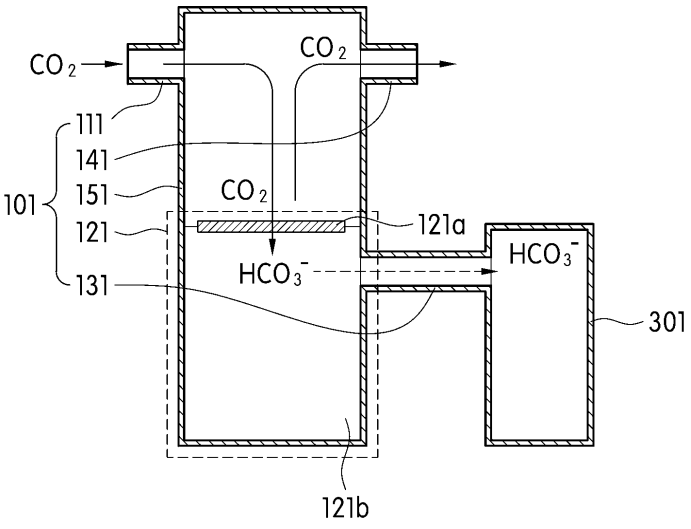
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 **이산화탄소 전환반응기, 이를 포함하는 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기 및 이를 이용한 이산화탄소 전환공정**

(57) 요 약

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 전환공정에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C12M 25/00 (2013.01)
C12N 11/00 (2013.01)
C12N 9/88 (2013.01)
C12N 9/96 (2013.01)
C12P 3/00 (2013.01)
C12Y 402/01001 (2013.01)
Y02C 10/04 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 20142020200980
부처명 산업통상자원부
연구관리전문기관 한국에너지기술평가원
연구사업명 나노바이오촉매 기반 고효율 이산화탄소 전환 및 활용 기술개발
연구과제명 에너지기술개발사업
기 여 율 1/1
주관기관 고려대학교
연구기간 2015.10.01 ~ 2016.09.30

명 세 서

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, 플러렌 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 제2 탄산무수화효소 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

(1) 제1항 내지 제14항 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 16

제15항에 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 17

제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 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 직렬반응기.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 포집반응기는 이산화탄소 흡수제 및 이산화탄소 분리막 중 어느 하나 이상을 포함하는 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기.

청구항 19

제17항에 있어서,

상기 포집반응기는 이산화탄소 흡수제와 이산화탄소 간 결합물 및 반응결합물 중 어느 하나 이상을 포함하는 포집물을 배출하는 이산화탄소 포집물 배출부, 및 상기 이산화탄소 포집무 배출구와 연통되어 배출된 포집물에서 이산화탄소를 분리 및 수집하는 이산화탄소 탈착기를 더 포함하는 이산화탄소 전환 및 포집용 직렬반응기.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 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.

배 경 기 술

[0002] 지구온난화의 원인인 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. 대량의 이산화탄소를 안정적으로 저감하기 위해서는 이산화탄소와 강하게 결합하는 흡수제를 쓰는 것이 바람직하나, 흡착된 이산화탄소를 재생하는 과정에서 소모되는 에너지가 증가하는 문제가 있다. 또한 재생 에너지를 낮추기 위해 이산화탄소와의 결합력이 약한 흡수제를 사용하게 되면, 이산화탄소의 저감 효율이 제한되는 실정이다.

[0003] 한편, 포집된 이산화탄소는 영구 또는 반영구적으로 격리하도록 저장될 수 있고, 일예로, 지중저장, 해양저장 및 지표저장 등이 있는데, 상기 지중저장은 단순 격리 및 저장하는 방법과 저장과 동시에 이산화탄소를 재이용하는 방법으로 구분될 수 있다. 단순 격리 및 저장하는 방법은 폐유전 및 가스전, 대염수층(지하 800m 이상의 지하수층)등에 저장하는 방법이 제안되고 있고, 이산화탄소를 재이용하는 방법에는 EOR(Enhanced Oil Recovery: 석유회수증진법) 방법과 ECBMR(Enhanced Coal Bed Methane Recovery: 석탄층 메탄회수증진법) 방법이 제안되고 있는데 이와 같은 지중저장에 따른 이산화탄소의 재이용에는 오랜기간이 소요되며, 지중저장을 위한 굴착에 막대한 비용이 소요되는 문제가 있다. 또한, 상기 해양저장은 해양에 방출하는 방법으로써, 해저 3000m 이하에 분

사함을 통하여 이산화탄소를 하이드레이트(水化) 형태로 저장시키는 방법이다. 그러나 해양저장은 생태계 훼손 문제와 해양의 산성화 등의 안정성 문제로 현재 국제법상 금지되어 있다. 나아가 지표저장법은 마그네슘이나 칼륨과 같은 이산화탄소를 첨가가능 광물에 반응시켜 화학적으로 저장하는 방법이다. 그러나 당해 방법은 느린 속도에 의한 과다한 처리비용과 완료 후 생성된 물질을 처리하는 비용 등 2차 문제가 발생하여 대부분 연구가 미비한 실정이다.

[0004] 이에 최근에는 화학적 및/또는 생물학적으로 이산화탄소를 전환하는 방법들이 제안되고 있으나, 제안된 방법들은 전환효율, 전환량, 전환속도가 매우 낮은 문제가 있고, 이에 전환공정에서 배가스의 체류시간을 증가시켜야 되는 불가피한 문제가 있으며, 이 경우 반대로 반응기에 배압이 현저히 증가하여 전환공정 자체를 불안정하게 만들며, 반응기의 손상/파손의 문제가 있다.

[0005] 이에 이산화탄소의 전환속도를 현저히 향상시켜 반응기로 공급되는 배가스로 인한 배압의 증가를 방지하고 전환효율이 우수함에 따라서 이산화탄소의 전환에 따른 저감효과까지 발현될 수 있는 이산화탄소 전환방법에 대한 개발이 시급한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제2015-0006253호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명은 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 목적이 있다.

[0008] 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.

과제의 해결 수단

[0009] 상술한 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.

[0010] 본 발명의 바람직한 일구현예에 따르면, 상기 효소반응부에서 전환 및 용해된 중탄산수용액을 배출시키기 위한 중탄산수용액 배출부를 더 포함할 수 있다.

[0011] 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 α형, β형, γ형, δ형, ε형 및 재조합 탄산무수화효소로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0012] 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.

[0013] 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.

[0014] 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.

[0015] 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.

[0016] 본 발명의 바람직한 다른 일구현예에 따르면, 상기 중탄산수용액 배출부와 연통되도록 중탄산수용액 저장소 및 중탄산수용액 활용소 중 어느 하나 이상을 더 포함할 수 있다.

[0017] 또한, 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.

[0019] 또한, 상술한 과제를 해결하기 위하여 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.

[0020] 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.

[0021] 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.

[0022] 본 발명의 바람직한 일구현예에 따르면, 상기 포집반응기는 이산화탄소 흡수제 또는 이산화탄소 분리막을 포함할 수 있다.

[0023] 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 배출구와 연통되어 배출된 포집물에서 이산화탄소를 분리 및 수집하는 이산화탄소 탈착기를 더 포함할 수 있다.

[0024] 이하, 본 발명에서 사용한 용어에 대해 설명한다.

[0025] 본 발명에서 사용한 "A 상에"의 의미는 A의 표면에 직접 또는 B를 개재하여 간접적을 모두 포함하는 의미로 사용한다.

발명의 효과

[0026] 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, 이를 이산화탄소 배출이 많은 발전소 등의 설비에 직접 연결시켜 적용이 가능하고 이를 통해 생성되는 부산물은 높은 부가가치를 창출할 수 있는 각종 산업전반에 응용될 수 있

다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 바람직한 일구현예에 따른 이산화탄소 전환반응기의 모식도이다.

도 2 및 도 3은 본 발명의 바람직한 일구현예에 포함되는 탄산무수화효소집합체의 단면 모식도이다.

도 4는 본 발명의 바람직한 일구현예에 포함되는 탄산무수화효소복합체를 구비한 구조체의 평면모식도이다.

도 5는 본 발명의 바람직한 일구현예에 포함되는 구조체의 분해사시도이다.

도 6 및 도 7은 본 발명의 바람직한 일구현예에 따른 직렬반응기에 대해 이산화탄소를 포함하는 배가스의 공급 방향을 달리했을 때 이산화탄소의 전환 및 포집공정을 나타낸 직렬반응기의 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 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.

[0030] 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 촉진 시키는 효소반응부(121), 및 상기 효소반응부(121)에서 미반응된 이산산화탄소를 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.

[0032] 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.

[0033] 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.

[0034] 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-프로파네디올을을 사용할 수 있다.

[0035] 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.

[0036] 상기 탄산무수화효소는 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응을 촉진시키는 기능을 갖는 공지된 효소일 경우 제한 없이 사용될 수 있으며, 일예로, 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 α형, β형, γ형, δ형 및 ε형으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상이거나 및/또는 생체내 존재하는 효소를 모방하거나 상기 효소를 인공적으로 재조합한 것, 또는 이들과 생체내 존재하는 탄산무수화효소가 병용된 것일 수 있다. 상기 인공적으로 재조합된 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.

[0037] 상기 탄산무수화효소는 다수개가 구조체 상에 분산된 유리효소, 다수개가 비결합되어 응집된 효소집합체 및 다수개가 상호 결합된 효소가교결합복합체 중 어느 하나 이상의 형태로 포함될 수 있다.

[0038] 또한, 상기 탄산무수화효소는 지지체를 구비하여 구조체에 포함될 수 있고, 또는 지지체 없이 구조체에 포함될 수 있다.

[0039] 먼저, 지지체를 구비하는 경우에 대해 설명하면, 상기 탄산무수화효소는 상기 지지체 상에 결합되거나 지지체 내부에 담지된 상태일 수 있다.

[0040] 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. 일예로써, 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.

[0041] 상기 탄산무수화효소가 지지체상에 결합될 때, 상기 결합은 탄산무수화 효소들의 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.

[0042] 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 제2탄산무수화효소 가교결합복합체(1210,1211,1212,1213)를 포함하여 구현된 것일 수 있다.

[0043] 상기 지지체(1010) 표면에 구비된 작용기(1001)는 제1 탄산무수화 효소(1100)를 고정시킬 수 있는 작용기의 경우 제한 없이 사용될 수 있으며, 일예로, 카르복실기, 아민기, 이민기, 에폭시기, 하이드록시기, 알데히드기, 카르보닐기, 에스터기, 메톡시기, 에톡시기, 페록시기, 에테르기, 아세탈기, 설파이드기, 포스페이트기 및 아이

오드기로 이루어지는 군으로부터 선택되는 어느 하나 이상일 수 있고, 바람직하게는 카르복실기 및 아민기 중 어느 하나 이상일 수 있다.

[0044] 탄산무수화효소가 도 2와 같은 구조의 탄산무수화효소 가교결합복합체(1000)를 형성할 경우 탄산무수화효소 활성의 유지/발현에 부적할 수 있는 온도, pH 조건에서도 우수하게 효소활성을 오랜기간 안정적으로 발현할 수 있는 이점이 있다.

[0045] 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 도2와 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 삽입될 수 있다.

[0046] 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.

[0047] 이에 따라 더욱 바람직하게는 도3에 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,

[0048] 제1탄산무수화효소(2100) 및 제2 탄산무수화효소 가교결합복합체(2211,2212,2213)가 상기 제2작용기를 통해 제2 지지체(2300)에 결합할 수 있다.

[0049] 제2 탄산무수화효소 가교복합체는 효소들끼리만 가교결합되는 것이 아니라 제2 지지체를 매개로 다시 공유결합됨에 따라 더욱 강한 결합력으로 효소간에 결착될 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.

[0050] 상기 도 3에 따른 탄산무수화효소 가교결합복합체(2000)는 후술하는 실시예2에 따른 제조방법으로 제조될 수 있으나 도3에 따른 탄산무수화 효소복합체와 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.

[0051] 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.

[0052] 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 탄산무수화 효소들의 물리적 결합(ex. 흡착) 및/또는 몸체부에 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 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 발

명에서는 이에 대한 제한하지 않는다.

[0054] 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.

[0055] 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.

[0056] 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.

[0057] 일예로써, 도 4에 도시된 것과 같이 구조체(1)는 탄산무수화효소 가교결합복합체(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.

[0058] 도 5를 참조하여 구체적으로 설명하면, 제1 몸체(11) 및 제2 몸체(21)는 상하방향으로 서로 나란하게 배열되며 각각은 격자 형태의 면상 구조체일 수 있다.

[0059] 이때, 상기 제2 몸체(21)는 액체의 표면에 인접하게 배치될 수 있다. 일예로, 제2 몸체(21)는 액체와 접하여 액체에 잠겨 있거나 액체 표면에 떠 있을 수 있다.

[0060] 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.

[0061] 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.

[0062] 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, 셀룰로우즈, 키토산, 유리, 금, 은, 알루미늄, 철, 구리 및 실리콘중 적어도 하나로 형성되어 탄산무수화효소 가교결합복합체(1000)가 직접 제1 몸체 및 제2 몸체에 결합될 수 있다.

[0063] 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.

[0064] 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 부유 될 수 있다.

[0065] 다만 본 발명의 일 실시예에서 제1 부유체(31) 및 제2 부유체(35)는 액체 상에 위치할 수 있는 재질로 이루어진

다면 어떠한 형태로 이루어질 수 있다.

[0066] 도 5를 참고하면, 본 발명의 일 실시예에서 제1 부유체(31) 및 제2 부유체(35) 각각에는 돌출부(33, 37)가 직육면체 형태로 형성될 수 있다.

[0067] 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.

[0068] 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.

[0069] 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, 셀룰로우즈, 키토산, 유리, 금, 은, 알루미늄, 철, 구리 및 실리콘 중 적어도 하나로 형성될 수 있다.

[0070] 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.

[0071] 또한, 몸체부(10)는 이산화탄소 및 액체가 상기 탄산무수화효소복합체(1000)에 접할 수 있도록 유입되게 하는 유로를 포함할 수 있고, 일예로, 도 4 및 도 5와 같이 몸체부는 메쉬 형상으로 다수개의 격자 내 유로가 형성될 수 있다.

[0072] 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.

[0073] 또한, 본 발명은 상술한 전환반응기가 도 1과 다르게 공급된 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 반응을 위하여 전환반응기의 일부분에 채워진 액체를 포함하여 형성될 수 있다.

[0074] 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.

[0075] 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℃에서 수행함이 보다 유리할 수 있다.

[0076] 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.

[0078] 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.

[0079] 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.

[0080] 상기 직렬반응기에서의 이산화탄소 흐름 및 이에 따른 반응을 살펴보면, 도 6과 같은 이산화탄소의 유체흐름을 갖는 직렬반응기는 이산화탄소를 포함하는 배 가스가 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.

[0081] 또한, 도 7과 같은 이산화탄소의 유체흐름을 갖는 직렬반응기는 이산화탄소를 포함하는 배 가스가 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.

[0082] 도 6 및 도 7과 같은 공급된 배가스의 흐름을 갖는 직렬반응기를 통상의 이산화탄소 저감장치 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 저감 및 전환효율에 있어서 더욱 상승된 효과를 얻을 수 있다.

[0083] 구체적으로 통상의 이산화탄소 저감장치는 이산화탄소를 흡수제나 분리막을 사용하여 저감하게 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 저감효율이 좋지 못할 수 있다.

[0084] 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.

[0085] 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.

[0086] 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.

[0087] 더불어 상기 전환반응기(101)를 통한 이산화탄소의 전환공정은 배가스 내 이산화탄소의 저감뿐만 아니라 다양한 분양에 활용될 수 있는 부산물을 생산할 수 있어서 환경오염을 방지 및 부가가치 창출의 경제적 이익을 동시에 얻을 수 있다.

[0088] 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 포집반응기에

서의 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.

[0090] 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.

[0091] 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℃이며, 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.

[0093] 도 6과 같은 배가스의 흐름을 기준으로 직렬반응기의 각 구성에 대해 이하 설명한다.

[0094] 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.

[0096] 다음으로 상술한 전환반응기(101)와 직렬로 연결되는 포집반응기(201)에 대해 설명한다.

[0097] 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.

[0098] 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_2의 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.

[0099] 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, 디메틸글

리신, N-메틸디에탄올아민, 2-아미노-2메틸-1-프로판올, 2-아미노-2하이드록시메틸-1,3-프로파네디올, 파이페리딘, 파이페라진, 탄산칼륨, 탄산나트륨, 암모니아 및 탄산암모늄으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나를 포함할 수 있다.

[0100] 본 발명의 바람직한 일구현예에 따르면, 상기 포집반응기는 이산화탄소 흡수제, 바람직하게는 습식흡수제를 포함할 경우 탄산무수화효소 가교결합복합체를 더 포함할 수 있다. 상기 포집반응기에 탄산무수화효소 가교결합복합체가 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℃일 수 있는데, 이와 같은 조건에서는 탄산무수화효소의 변성을 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 탄산무수화효소 가교결합복합체가 유리할 수 있다.

[0101] 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.

[0102] 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℃일 수 있으나 이에 제한되는 것은 아니며, 사용되는 이산화탄소의 흡수제 종류에 따라 변경될 수 있다.

[0103] 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.

[0105] 이상으로 설명한 본 발명에 따른 직렬반응기를 통해 배가스에 포함된 이산화탄소는 도 6과 같이 전환반응기로 배가스가 직접 공급될 경우, (ⅰ) 이산화탄소를 포함하는 배 가스를 상술한 본 발명의 일구현예에 따른 직렬반응기의 전환반응기에 공급하여 상기 이산화탄소를 중탄산이온으로 전환시키는 단계; 및 (ii) 공급된 상기 이산화탄소 중 미반응된 이산화탄소가 포함된 배 가스를 포집반응기로 공급하여 이산화탄소를 포집하는 단계;를 포함하여 이산화탄소가 전환 및 포집될 수 있다.

[0106] 또한, 도 7와 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.

[0107] 이산화탄소의 전환 및 포집방법을 도 6과 같은 직렬반응기를 중심으로 설명하면, 상기 (ⅰ) 단계의 구체적인 설명은 상술한 전환반응기에서의 설명과 동일하여 생략한다. 전환반응기에서의 이산화탄소 전환 공정은 바람직하게는 pH 7.5 ~ 8.5, 온도 25 ~ 45℃에서 수행함이 보다 유리할 수 있다.

[0108] 또한, 상기 (ⅰ) 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.

[0109] 또한, 상기 (ii) 단계의 구체적인 설명은 상술한 포집반응기에서의 설명과 동일하여 생략한다. 포집반응기에서의 이산화탄소 포집 공정은 바람직하게는 pH 9 ~ 12, 온도 40 ~ 60℃ 보다 바람직하게는 45 ~ 55℃의 온도로 수행될 수 있다. 만일 40℃미만의 온도로 수행될 경우 목적하는 수준으로 이산화탄소를 저감시킬 수 없고, 60℃를 초과할 경우 이산화탄소의 용해도가 낮아져 기체상태로 배출되는 이산화탄소의 양이 현저히 늘어남에 따라 포집반응기에서 미반응되는 이산화탄소의 양이 현저히 늘어나는 문제점이 있을 수 있다.

[0110] 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.

[0112] 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.

[0114] <준비예 1> - 탄산탈수효소 가교결합복합체 1의 제조

[0115] 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.

[0116] 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 ℃에서 2시간 동안 교반하였다.

[0117] 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℃의 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 ℃에서 보관하여 도 3과 같은 탄산무수화효소 가교결합복합체를 제조하였다.

[0119] <실시예1>

[0120] 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

[0121] 상기 적층된 2개의 몸체부 사이에 준비예1의 탄산무수화효소 가교결합 복합체를 하우징 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 구비시

킨 용기에 높이 5 cm 로 Tris-HCl (pH 8.0) 용액을 투입한 후 상기 용액의 계면에 상기 구조체를 위치시켜 이산화탄소 전환반응기를 제조하였다.

[0122] <실시예 2>

[0123] 실시예 1과 동일하게 실시하여 제조하되, 탄산무수화효소 가교결합복합체를 구비시키지 않은 구조체를 용액과 기체의 계면에 위치시켜 이산화탄소 전환반응기를 제조하였다.

[0125] <실험예>

[0126] 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 ℃ 오븐에서 24시간 동안 건조시킨 뒤, 무게를 측정하여 하기 표 1에 나타내었다.

표 1

[0127]

	실시예1	실시예2
전환된 탄산칼슘 무게(mg)	214	114

[0128] 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.

[0130] 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.

부호의 설명

[0132] 1 : 부유 구조체 10 : 몸체부

11 : 제1 몸체 13, 23 : 개구

15, 25 : 돌기부 21 : 제2 몸체

30 : 부유부 31 : 제1 부유체

33, 37 : 돌출부 33a, 37a : 결합홈

35 : 제2 부유체 101: 전환반응기

111: 가스공급부 121: 효소반응부

121a: 구조체 121b: 액체

131: 중탄산수용액 배출부 141: 가스배출부

151: 반응챔버 201: 포집반응기

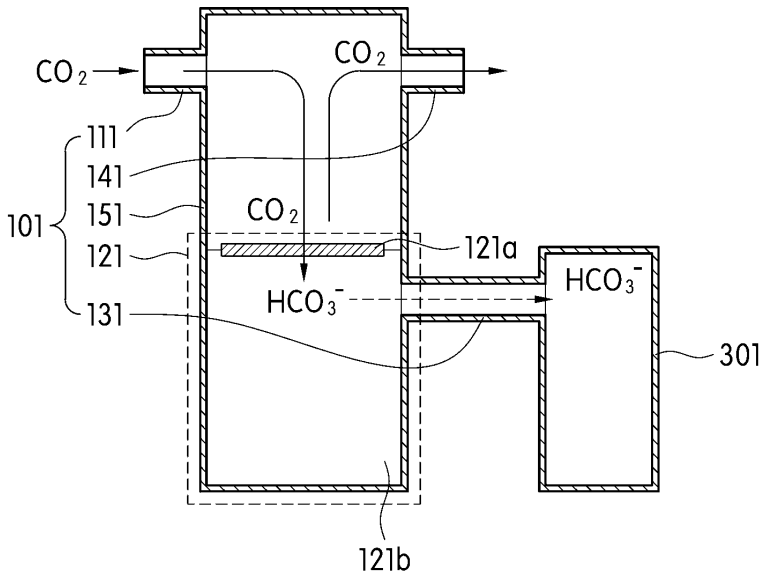
211: 이산화탄소 포집물 배출부 221: 가스공급부

231: 반응챔버 301: 중탄산수용액 저장소

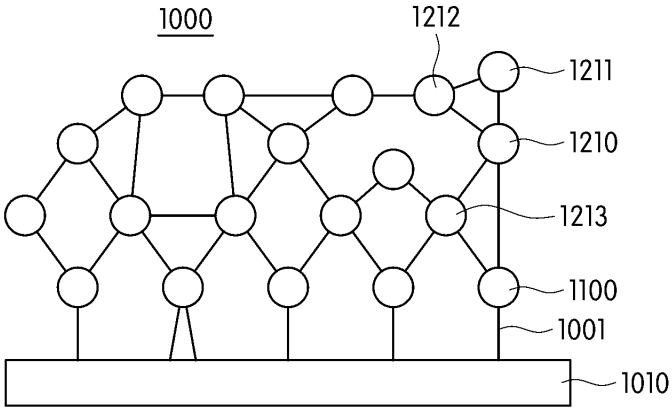
401: 탈착기

도면

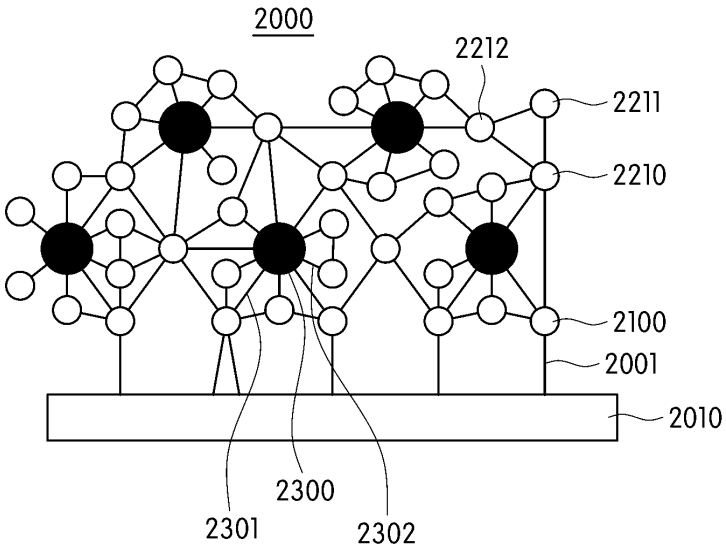
도면1


CO2
CO2
111
141
101
151
CO2
121
121a
HCO3-
HCO3-
131
301
121b

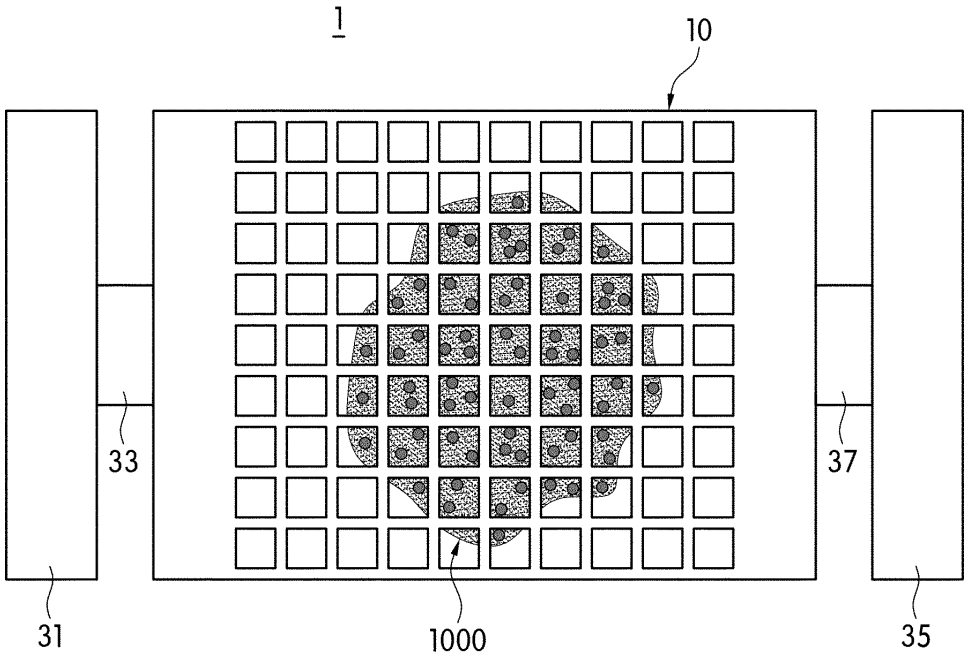
도면2


1000
1212
1211
1210
1213
1100
1001
1010

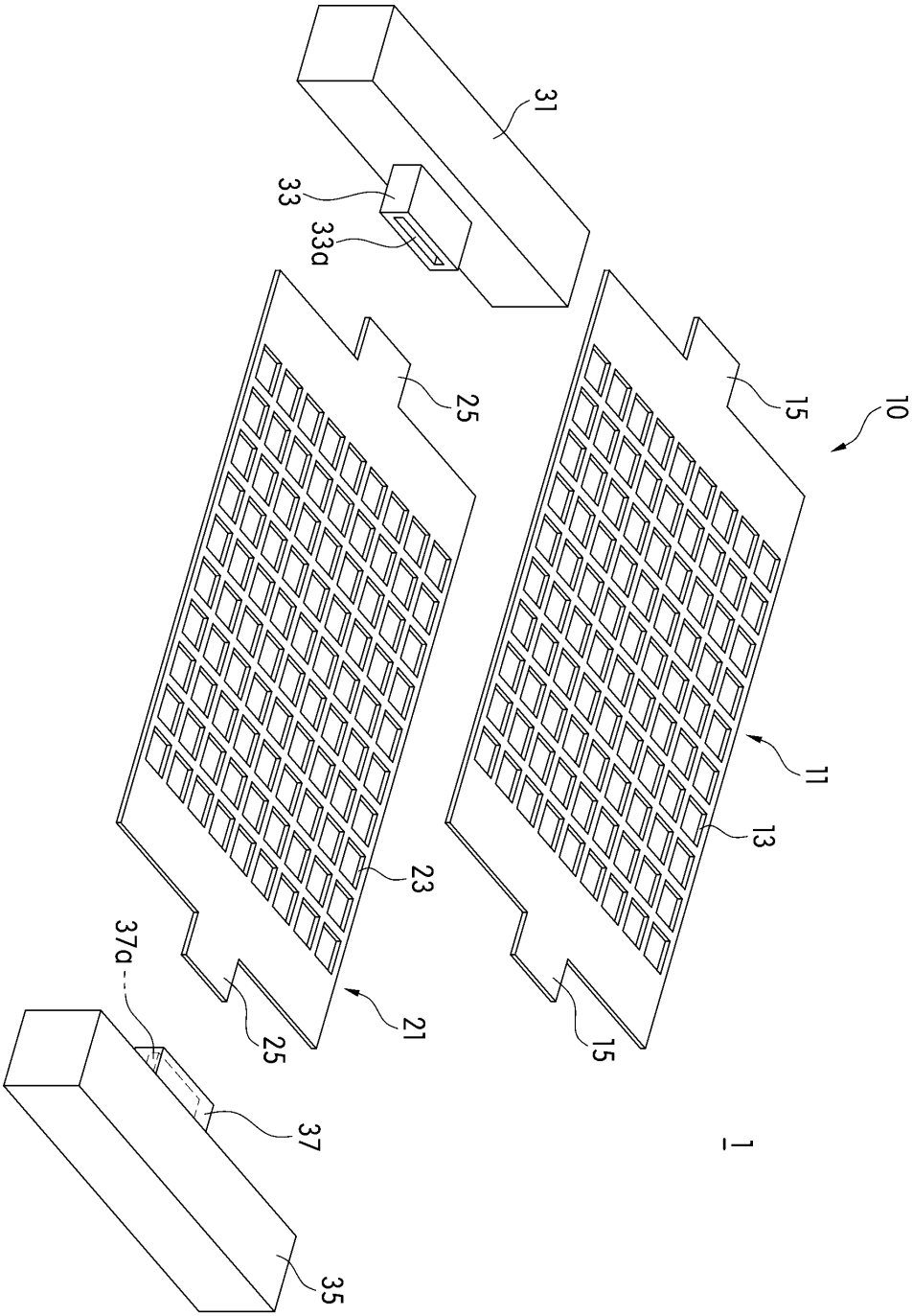
도면3


2000
2212
2211
2210
2100
2001
2010
2300
2301
2302

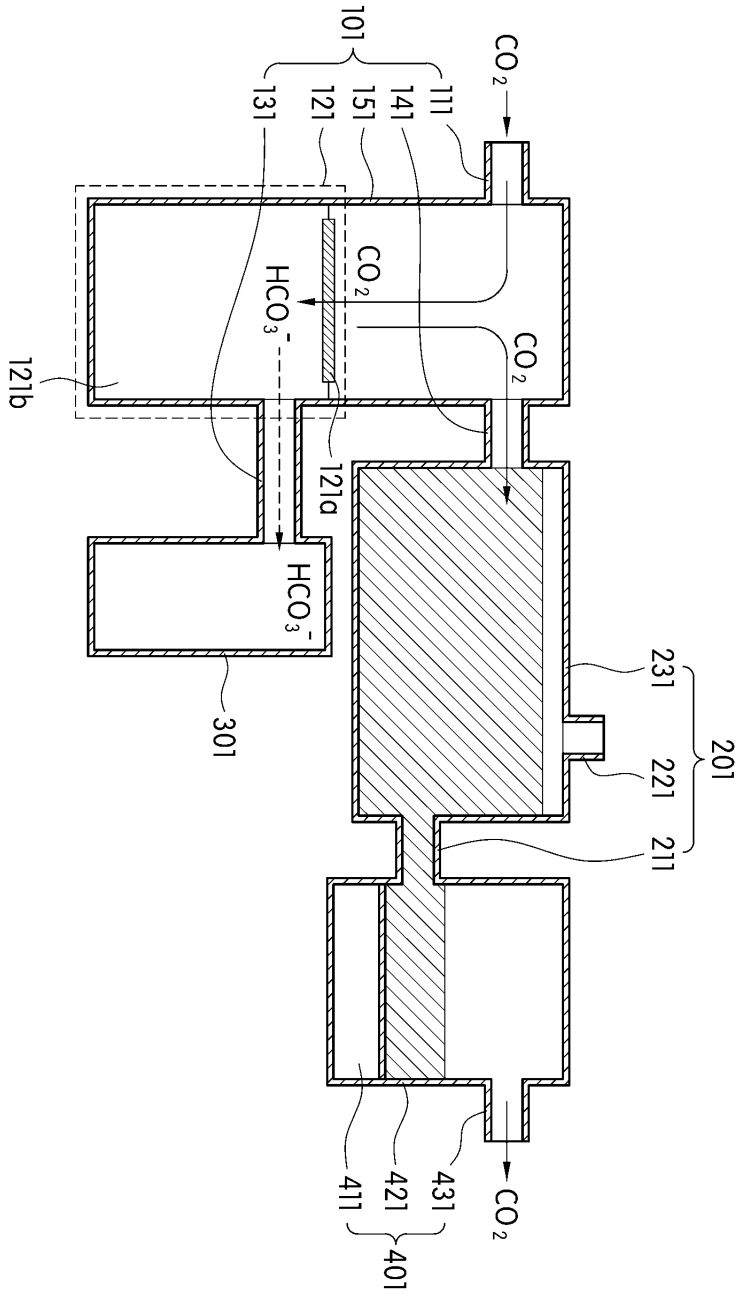
도면4


1
10
33
37
31
1000
35

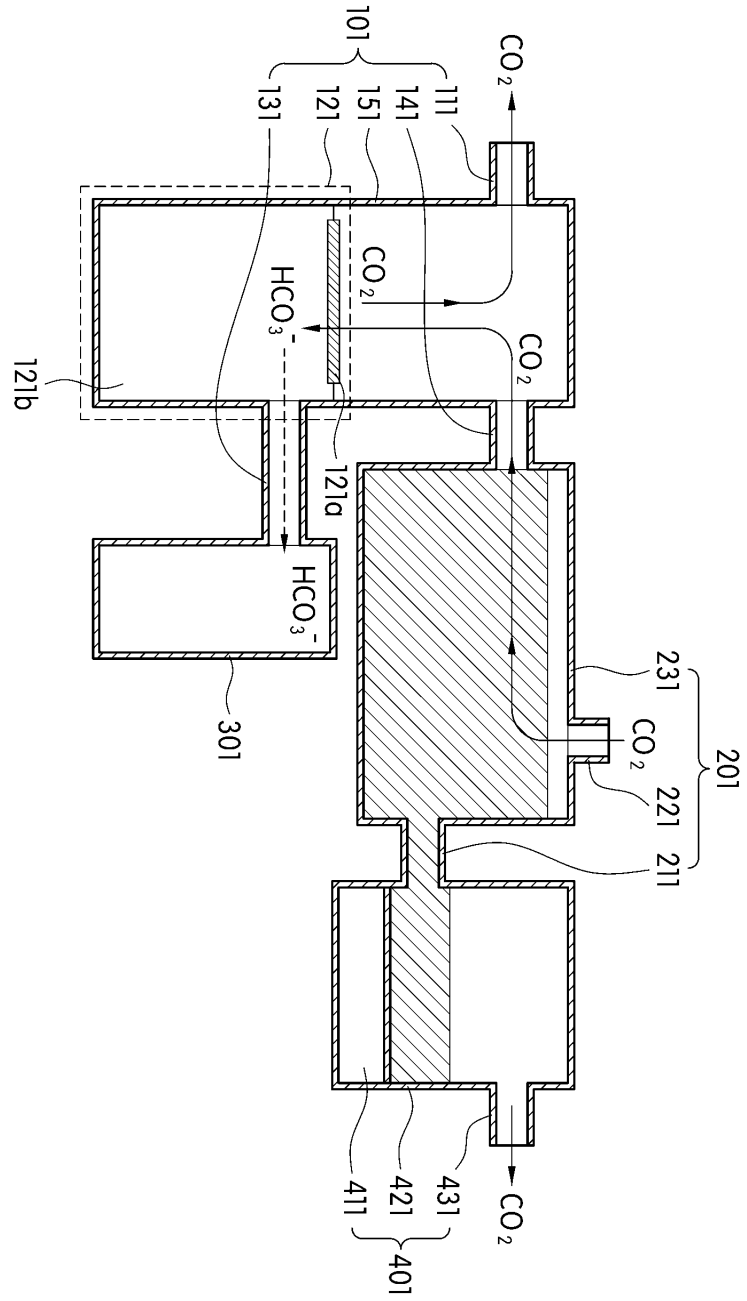
도면5



도면6


101
111
131
121
151
141
CO_2
HCO_3^-
CO_2
CO_2
121b
121a
HCO_3^-
301
231
221
211
201
411
421
431
401
CO_2

도면7


101
111
131
121
151
141
CO_2
HCO_3^-
121b
121a
301
231
201
221
211
411
421
431
401