(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0073736
(43) 공개일자 2021년06월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C25B 1/26 (2021.01) *C25B 1/02* (2021.01)
C25B 1/22 (2021.01) *C25B 15/02* (2021.01)
C25B 15/08 (2006.01) *C25B 9/70* (2021.01)
(52) CPC특허분류
C25B 1/26 (2021.01)
C25B 1/02 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2019-0164271
(22) 출원일자 2019년12월11일
심사청구일자 2019년12월11일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
박이슬
부산광역시 남구 용소로 45(대연동, 부경대학교 화학공학과)
이민규
부산광역시 해운대구 세실로 80, 104동 2002호(좌동, 해운대케이씨씨스위첸)
(74) 대리인
남건필, 박종수, 김정연, 차상윤

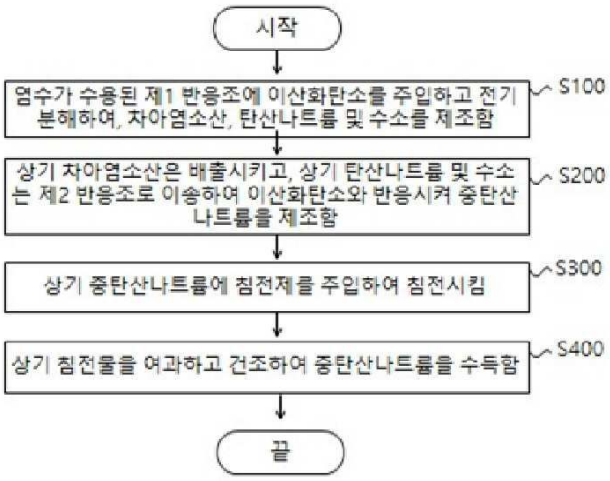
전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 발명의 명칭 **염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법 및 시스템**

(57) 요 약

본 발명은 이산화탄소를 다른 유용한 화합물로 전환하기 위하여, 염수와 이산화탄소를 함께 전기분해하는 이산화탄소 전환 방법 및 상기 방법을 수행하기 위한 시스템에 대한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C25B 1/22 (2021.01)
C25B 15/02 (2021.01)
C25B 15/08 (2021.01)
C25B 9/70 (2021.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711094347
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 기후변화대응기술개발(R&D)
연구과제명 이산화탄소 전환 대응 하이포아염소산 생산 산화 촉매 개발
기 여 율 1/1
과제수행기관명 부경대학교
연구기간 2019.04.15 ~ 2020.02.14

명 세 서

청구범위

청구항 1

염수가 수용된 제1 반응조에 이산화탄소를 주입하고 전기분해하여 차아염소산(HClO), 탄산나트륨(Na_2CO_3) 및 수소(H_2)를 생성하는 것을 포함하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

염수의 양 및 전기분해 파워 중 적어도 하나를 조절하여 pH를 조절하는 것을 특징으로 하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

전기분해의 환원조는 pH 10 내지 15이고,

상기 환원조에서의 환원 반응에 의해 수소 및 탄산나트륨이 생성되는 것을 특징으로 하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

산화조에서의 산화 반응에 의해 상기 차아염소산이 생성되는 것을 특징으로 하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 생성된 차아염소산을 배출하여 수득하는 것을 더 포함하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 탄산나트륨 용액, 수소 및 이산화탄소를 제2 반응조로 이송하고,

이산화탄소와 상기 탄산나트륨 용액을 반응시켜 중탄산나트륨($NaHCO_3$) 용액, 수소 및 이산화탄소를 생성하고,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 중탄산나트륨 용액의 생성은 pH 6 내지 8에서 수행되는 것을 특징으로 하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 탄산나트륨 용액과 반응되는 이산화탄소는,

상기 제1 반응조로부터 이송된 가스에 포함된 이산화탄소 및 상기 제2 반응조에 별도로 주입된 이산화탄소 중 적어도 하나인 것을 특징으로 하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 중탄산나트륨 용액의 상부로 침전제를 주입하여 상기 중탄산나트륨을 석출시켜 상기 용액의 상층에 중탄산나트륨 석출물을 형성하는 것을 포함하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 침전제는 아세톤, 헥산(hexane) 또는 메탄올인 것을 특징으로 하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법.

청구항 11

제6항에 있어서,

제2 반응조에서 생성된 상기 수소 및 이산화탄소는 상기 제2 반응조의 상부에 있는 배출구로 배출되고, 수소와 이산화탄소로 분리하여 수득하는 것을 포함하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 중탄산나트륨 석출물이 용액의 상층에 형성되면 제3 반응조로 이송하고 상기 중탄산나트륨과 상기 침전제로 분리하여 상기 중탄산나트륨을 수득하는 것을 특징으로 하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 분리된 침전제는 상기 제2 반응조로 이송하여 재사용하는 것을 특징으로 하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법.

청구항 14

이산화탄소를 주입하는 제1 주입구;

염수가 주입되는 제2 주입구; 및

산화전극, 환원전극, 전기공급부 및 분리막을 포함하는 전기분해장치;를 포함하는 제1 반응조를 포함하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 산화전극이 있는 산화조 부근에 형성되어 상기 제1 반응조에서 생성되는 차아염소산을 배출하는 제1 배출구를 더 포함하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 시스템.

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 제1 주입구는 상기 환원 전극이 있는 환원조에 형성되고,

상기 제1 주입구의 말단을 상기 염수에 잠기도록 하여 직접 이산화탄소를 주입하는 것을 특징으로 하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 시스템.

청구항 17

제14항에 있어서,

제2 반응조;

상기 환원조 부근에 형성되고 상기 제1 반응조와 제2 반응조를 연통하여 상기 탄산나트륨 용액을 이송시키기 위한 제1 연결관; 및

상기 제1 반응조의 상부와 제2 반응조의 상부를 연통하여 수소 및 이산화탄소를 이송시키기 위한 제2 연결관;을 더 포함하고,

상기 제2 반응조는,

상기 제2 반응조의 상부에 형성되어 이산화탄소를 주입하는 제3 주입구; 및

상기 제2 반응조의 상부에 형성되어 침전제를 주입하는 제4 주입구;를 포함하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 시스템.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 제2 반응조의 상부에 형성되어 수소 및 이산화탄소를 배출하기 위한 제2 배출구를 더 포함하는 것을 특징으로 하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 시스템.

청구항 19

제17항에 있어서,

상기 제2 연결관의 말단 및 상기 제3 주입구의 말단은 상기 제2 반응조의 용액에 잠기도록 하여 직접 기체를 주입하는 것을 특징으로 하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 시스템.

청구항 20

제17항에 있어서,

상기 제2 반응조와 제3 반응조를 연통하여 상기 제2 반응조에서 석출물을 이송시키는 제3 연결관; 및

제3 반응조;를 더 포함하고,

상기 제3 반응조는,

상기 제3 반응조의 하부에 형성되어 상기 석출물에서 분리된 고체의 중탄산나트륨을 배출하는 제3 배출구; 및

상기 석출물에서 분리된 상기 침전제를 상기 제2 반응조로 이송시키기 위한 제4 연결관을 포함하는 제3 반응조;를 포함하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 시스템.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 제4 연결관은 상기 제3 반응조의 상부에 형성되고, 상기 제2 반응조와 연통되는 것을 특징으로 하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 시스템.

청구항 22

이산화탄소를 주입하기 위한 제1 주입구와 염수를 주입하기 위한 제2 주입구 및 상기 주입된 이산화탄소와 염수를 전기분해하기 위한 전기분해장치를 포함하는 제1 반응조;

상기 제1 반응조에서 생성된 탄산나트륨 용액을 이송시키기 위한 제1 연결관;

상기 제1 반응조에서 생성된 기체를 이송시키기 위한 제2 연결관;

상기 제1 연결관 및 상기 제2 연결관을 통해 상기 제1 반응조와 연통되고, 이산화탄소를 주입하기 위한 제3 주입구 및 침전제를 주입하기 위한 제4 주입구를 포함하는 제2 반응조;

상기 제2 반응조에서 중탄산나트륨 석출물을 이송시키기 위한 제3 연결관; 및

상기 제3 연결관을 통해 상기 제2 반응조와 연통되고, 상기 제2반응조에서 이송된 중탄산나트륨 석출물에서 석출된 고체의 중탄산나트륨을 배출하기 위한 제3 배출구 및 상기 고체의 중탄산나트륨과 분리된 침전제를 상기 제2 반응조로 이송하기 위한 제4 연결관을 포함하는 제3 반응조;를 포함하는,

염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 염수 전기분해를 이용하여 이산화탄소를 전환하는 방법 및 그 방법을 수행하기 위한 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 산업이 발전함에 따라 온실가스의 배출이 증가하여 기후가 변화하는데 중대한 영향을 미치고 있다. 이런 온실가스 중에 가장 큰 비중은 차지하는 것이 이산화탄소이고, 세계적으로 이산화탄소 감축을 위해 이산화탄소를 제거하고 더 나아가 전환시켜 자원화하고자 하는 연구들이 활발히 진행되고 있다.

[0003] 대표적인 이산화탄소 제거방법은 염기성 용액을 이용하여 이산화탄소를 흡수시키는 방법이 있는데, 이 방법은 염기성 용액을 만들기 위한 염이 추가로 요구된다.

[0004] 또 다른 방법으로는 담수화 과정에서 발생되는 농축 NaCl 염수(~1M)를 Chlor-Alkali 공정에 활용하여 염소산화물과 NaOH를 발생시키는 방법이 있다. 이 방법을 이용하여 Chlor-Alkali 공정으로부터 생성된 NaOH와 CO_2를 반응시켜 Na_2CO_3나 $NaHCO_3$로 전환하는 연구들이 보고되었으나, 고농도의 NaCl(~6M), NaOH 투입을 기반으로 반응이 진행된다. 그러나 담수화에서 발생된 염수의 농도는 Chlor-Alkli 공정에서 사용되는 NaCl의 농도보다 매우 작아서 생성물의 양이 적기 때문에 석출이 어려워 수득 과정이 복잡해지는 단점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은 이산화탄소를 다른 유용한 화합물로 전환하기 위하여, 염수와 이산화탄소를 함께 전기분해 하

는 이산화탄소 전환 방법 및 상기 방법을 수행하기 위한 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명은 이산화탄소를 유용한 화합물로 전환하기 위한 방법이다.

[0007] 본 방법은 염수가 수용된 제1 반응조에 이산화탄소를 주입하고 전기분해하여 차아염소산(HClO), 탄산나트륨(Na_2CO_3) 및 수소(H_2)를 생성하는 것을 포함하는 방법일 수 있다.

[0008] 상기 전기분해는 염수의 양 또는 전기분해 파워 중 적어도 어느 하나를 조절하여 원하는 pH로 조절하면서 수행된다. 염수를 많이 주입하면 전기분해 시 OH^-가 증가하여 pH가 증가하고, 전기분해 파워를 높이면 산화·환원 반응이 더 활발하게 일어나 OH^-가 증가하여 pH가 증가한다. 반대로 pH를 낮추기 위해서는 염수 양을 줄이거나 전기분해 파워를 낮출 수 있다.

[0009] 상기 이산화탄소는 염기성에서 잘 녹기 때문에 상기 제1 반응조는 염기성으로 유지되며, 상기와 같은 방법으로 pH는 약 10 내지 15로 조절되며 바람직하게는 약 pH 11 내지 12로 조절된다. 상기 제1 반응조는 분리막에 의하여 환원 전극이 있는 환원조와 산화 전극이 있는 산화조로 분리될 수 있다. 상기 환원 반응은 전기분해의 환원조에서 일어나고, 따라서 상기 이산화탄소는 환원조에서 주로 반응하여 탄산나트륨을 생성한다. 상기 탄산나트륨은 수용액 상태로 존재한다.

[0010] 상기 차아염소산은 전기분해의 산화조에서 산화반응에 의하여 생성된다. 상기 차아염소산은 생성 후 배출구를 통해 상기 제1 반응조 밖으로 배출되어 수득된다.

[0011] 제1 반응조에는 수소 및 이산화탄소 기체가 존재하는데, 수소는 전기분해에 의해 생성된 생성물이고, 이산화탄소는 상기 제1 반응조에 주입된 이산화탄소가 사용되고 남은 것일 수 있다.

[0012] 본 발명의 방법은 상기 제1 반응조에서 상기 탄산나트륨 용액, 수소 및 이산화탄소는 각각의 연결관을 통하여 제2 반응조로 이송되고, 상기 제2 반응조에서 상기 탄산나트륨 용액과 이산화탄소를 반응시키는 것을 더 포함할 수 있다.

[0013] 상기 탄산나트륨 용액과 반응하는 이산화탄소는 별도로 제2 반응조에 주입되는 이산화탄소일수 있다. 상기 탄산나트륨 용액은 상기 이산화탄소와 반응하여 중탄산나트륨($NaHCO_3$)을 생성한다. 상기 중탄산나트륨 생성은 pH 6 내지 8을 유지하면서 수행된다. 상기의 pH는 이산화탄소와 탄산나트륨이 반응하여 중탄산나트륨을 형성하기 위한 적정 pH이다. 상기 중탄산나트륨은 물에 대한 용해도가 높아 용액 상태로 존재한다.

[0014] 상기 제2 반응조에서는 수소 기체 및 이산화탄소 기체가 존재한다. 이 기체들은 상기 제1 반응조에서 이송되거나 새로 주입된 기체일 수도 있고, 상기 제2 반응조에서의 반응에 의해 생성된 기체일 수 있다. 상기 수소 및 이산화탄소 기체들은 상기 제2 반응조에 있는 배출구를 통해 배출되고, 수소와 이산화탄소로 각각 분리되어 수득될 수 있다.

[0015] 본 발명은 상기 제2 반응조에서 상기 중탄산나트륨 용액이 형성되면 상기 제2 반응조에 침전제를 투입하면 석출반응에 의해 중탄산나트륨 석출물을 형성시키는 것을 더 포함할 수 있다.

[0016] 상기 침전제는 상기 중탄산나트륨에 대한 용해도가 거의 0에 가까운 물질로, 아세톤, 헥산(hexane) 또는 메탄올일 수 있다. 상기 석출반응이 일어난 직후의 상기 중탄산나트륨 석출물은 상기 침전제와 혼합되어 용액의 상층에 떠있는 상태로 형성된다.

[0017] 본 발명은 상기 중탄산나트륨 석출물이 용액의 상층에 형성되면 제3 반응조로 이송하고 중탄산나트륨을 수득하는 것을 더 포함할 수 있다. 상기 중탄산나트륨 석출물은 상기 제3 반응조로 이동된 후 교반하는 과정을 더 거칠 수 있다. 상기 중탄산나트륨 석출물을 일정 시간 그대로 두면 고체의 중탄산나트륨과 상기 침전제로 분리된다. 상기 고체의 중탄산나트륨은 가라앉고 상기 침전제는 상기 중탄산나트륨의 위에 상층액을 형성한다. 이와 같은 분리가 일어나면 상기 중탄산나트륨은 상기 제3 반응조 밖으로 배출하여 여과 및 건조하여 중탄산나트륨을 수득할 수 있다. 상기 침전제는 상기 제2 반응조로 이송하여 중탄산나트륨 석출반응에 재사용될 수 있다.

[0019] 또한 본 발명은 이산화탄소를 전환하기 위하여 다음과 같은 시스템을 개시한다.

[0020] 본 시스템은 이산화탄소를 주입하는 제1 주입구, 염수가 주입되는 제2 주입구 및 산화전극(애노드), 환원전극(캐소드), 전기공급부 및 분리막을 포함하는 전기분해장치를 포함하는 제1 반응조를 포함할 수 있다. 상기 제1 반응조는 상기 분리막에 의하여 산화 전극이 있는 산화조와 환원 전극이 있는 환원조로 분리될 수 있다. 상기 제1 반응조는, 상기 산화조 부근에 형성되어 상기 산화조에서 생성되는 차아염소산을 배출하는 제1 배출구를 더 포함할 수 있다. 상기 차아염소산은 산화 전극에서의 산화반응에 의하여 생성되기 때문에 상기 산화조 부근에 상기 제1 배출구가 형성되는 것이 상기 차아염소산을 배출하는데 용이하다.

[0021] 상기 제1 주입구는 상기 환원조 부근에 형성된다. 상기 환원 전극에서는 OH^-가 생성되어 이산화탄소가 염수에 더 잘 녹을 수 있는 염기성 pH를 갖는다. 상기 제1 주입구의 말단은 상기 염수에 잠기도록 형성된다. 이와 같은 구조에 의해 상기 제1 주입구를 통한 이산화탄소는 상기 염수에 직접 주입될 수 있고, 이는 이산화탄소와 염수가 잘 섞일 수 있도록 해준다. 상기 이산화탄소와 염수의 반응에 의하여 탄산나트륨, 수소 및 이산화탄소가 생성될 수 있다.

[0022] 또한 본 발명의 시스템은 상기 제1 반응조에서 탄산나트륨 용액, 수소 및 이산화탄소를 이동시켜 수용하고, 상기 탄산나트륨 용액과 이산화탄소를 반응시키는 제2 반응조를 더 포함할 수 있다. 상기 제2 반응조는 상기 제2 반응조의 상부에 형성되어 이산화탄소를 주입하는 제2 주입구 및 상기 제2 반응조의 상부에 형성되어 침전제를 주입하는 제3 주입구를 포함한다. 상기 제2 반응조는, 상기 제2 반응조의 상부에 형성되어 수소 및 이산화탄소를 배출하기 위한 제2 배출구를 더 포함할 수 있다.

[0023] 상기 제1 반응조와 상기 제2 반응조는 제1 연결관 및 제2 연결관으로 연통된다. 상기 제1 연결관은 상기 제1 반응조의 캐소드 쪽에 형성되고, 상기 제1 반응조에서 상기 제2 반응조로 상기 탄산나트륨 용액을 이송시키기 위한 것이다. 상기 탄산나트륨 용액은 상기 캐소드 쪽에서 형성되기 쉽기 때문에, 상기 제1 연결관이 상기 캐소드 쪽에 형성되는 것이 유리하다. 상기 제2 연결관은 상기 제1 반응조의 상부와 상기 제2 반응조의 상부를 연통하고, 상기 제1 반응조에서의 기체를 상기 제2 반응조로 이송시키기 위한 것이다. 상기 제2 연결관은 기체를 이송시키기 위한 것이므로, 상기 제1 반응조의 상부와 상기 제2 반응조의 상부를 연통하는 것이 유리하다. 상기 제2 연결관을 통해 이송되는 기체는 수소 및 이산화탄소일 수 있다.

[0024] 상기 제3 주입구는 외부에서 상기 제2 반응조에 이산화탄소를 주입하기 위한 것이다. 상기 제3 주입구는 개별적으로 형성될 수도 있으나, 상기 제2 연결관에 연결되어 형성될 수도 있다. 상기 제2 연결관과 상기 제3 주입구의 말단은 상기 제2 반응조의 용액에 잠기도록 형성되며, 이는 상기 제2 반응조의 용액에 직접 기체를 주입하기 위한 것이다.

[0025] 상기 제1 연결관으로 이송된 상기 탄산나트륨 용액은 상기 제2 반응조에 주입된 이산화탄소와 반응하여 중탄나트륨, 수소 및 이산화탄소를 생성할 수 있다. 상기 중탄산나트륨은 물에 잘 용해되어 용액 상태로 존재한다.

[0026] 상기 중탄산나트륨이 생성되면 상기 제4 주입구를 통해 침전제를 주입한다. 상기 침전제는 상기 중탄산나트륨을 거의 용해시키지 못하는 물질로, 메탄올, 헥산 또는 아세톤이 주입될 수 있다. 상기 침전제를 투입하면 상기 제2 반응조의 용액 상층에 중탄산나트륨 석출물이 형성된다. 상기 중탄산나트륨 석출물이 용액의 상층에 형성되는 것이 용이하도록, 상기 제4 주입구는 상기 제2 반응조의 상부에 형성되어 용액의 상부로 상기 침전제를 주입할 수 있다.

[0027] 본 발명의 시스템에서 상기 제2 반응조는, 상기 제2 반응조에서 용액 상층의 석출물을 이송시키는 제3 연결관에 의하여 제3 반응조와 연통되는 것을 더 포함할 수 있다. 상기 제3 연결관은 상기 제2 반응조의 용액 상층에 있는 석출물을 이송시키기 위한 것이므로, 상기 제2 반응조의 중단 이상의 높이에 형성될 수 있으며 상기 제3 반응조의 상부에 연통된다.

[0028] 상기 제3 반응조는, 상기 제3 반응조의 하부에 형성되어 고체의 중탄산나트륨을 배출하는 제3 배출구 및 상기 석출물에서 분리된 상기 침전제를 상기 제2 반응조로 이송시키기 위한 제4 연결관을 포함할 수 있다. 또한 상기 제3 반응조는 상기 중탄산나트륨 석출물을 교반할 수 있는 교반기를 더 포함할 수 있다.

[0029] 상기 중탄산나트륨 석출물은 시간이 지나면 고체의 중탄산나트륨과 그 상층에 형성되는 침전제로 분리된다. 상기 고체의 중탄산나트륨은 상기 제3 배출구를 통해 시스템 밖으로 배출되며, 여과 및 건조를 통하여 고체 중탄산나트륨을 수득한다. 상기 고체의 중탄산나트륨은 상기 제3 배출구를 통해 시스템 밖으로 배출되고, 여과 및 건조하여 중탄산나트륨이 수득된다. 상기 고체의 중탄산나트륨은 상기 침전제 밑으로 가라앉기 때문에 상기 제3 배출구는 상기 제3 반응조의 하부에 형성되는 것이 배출에 유리하다.

[0030] 상기 침전제는 상기 제4 연결관을 통해 상기 제2 반응조로 이송되어 다시 중탄산나트륨을 석출시키는데 재사용된다. 상기 제4 연결관은 상기 제3 반응조에서 상층에 형성되는 침전제를 이송시키기 위한 것으로, 상기 제3 반응조의 중단 이상의 높이에 형성되는 것이 이송시키기 더 유리하다.

발명의 효과

[0031] 본 발명의 방법에 따르면, 염수에 대한 이산화탄소의 용해도를 조절하여 많은 양의 이산화탄소를 용해시킬 수 있다. 또한 용해되는 이산화탄소의 양이 증가하므로 더 많은 양의 유용한 화합물로 전환될 수 있으며, 용해도 차이를 이용해 상기 전환된 화합물을 용이하게 수득할 수 있다.

[0032] 또한 본 발명의 시스템에 의하면, 상기의 이산화탄소 전환 방법을 용이하게 수행할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 본 발명의 이산화탄소 전환 방법의 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 이산화탄소 전환 시스템의 일 실시예이다.

도 3은 실시예에서 각 반응조의 pH 변화이다.

도 4는 중탄산나트륨이 석출되는 과정을 나타낸 것이다.

도 5는 실시예의 제1 반응조에서 생성된 차아염소산에 대한 그래프이다.

도 6은 실시예의 제1 반응조에서 생성된 중탄산나트륨에 대한 XRD 결과이다.

도 7은 전기분해장치의 파워가 pH 상승에 영향을 알아보기 위한 실험 결과이다.

도 8은 case 1에서 각 반응조의 pH 변화이다.

도 9는 case 2에서 각 반응조의 pH 변화이다.

도 10은 pH에 따라 석출물의 수율을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 상세히 설명한다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0035] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로서 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0036] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0038] 본 발명은 염수 전기분해를 이용하여 이산화탄소를 다른 유용한 화합물로 전환하는 방법 및 이를 수행하기 위한 시스템을 개시한다.

[0040] 도 1은 본 발명에 의한 염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 방법을 나타내는 흐름도이다. 상기 방법은 염수가 수용된 제1 반응조에 이산화탄소를 주입하고 전기분해하여 차아염소산(HClO), 탄산나트륨(Na_2CO_3) 및 수소

(H_2)를 생성하고, 상기 차아염소산은 배출시키고, 탄산나트륨 용액, 수소 및 이산화탄소는 제2 반응조로 이송하여 상기 탄산나트륨 용액을 이산화탄소와 반응시켜 중탄산나트륨 용액, 수소 및 이산화탄소를 생성하고, 상기 수소 및 이산화탄소는 배출하고 상기 중탄산나트륨 용액을 석출반응 시켜 중탄산나트륨을 수득하는 과정을 포함한다.

[0041] 상기 제1 반응조에서 상기 이산화탄소는 외부로부터 상기 염수에 직접 주입될 수 있다. 상기 제1 반응조는 상기 염수의 양과 전기분해 파워를 조절하여 이산화탄소와 염수가 반응하기 적당한 pH를 유지할 수 있다. 상기 전기분해 파워는 상기 전기분해장치에 인가되는 전류로 조절할 수 있다. 상기 pH는 전기분해의 환원반응에 의하여 생성되는 OH^-로 조절된다. 상기 제1 반응조의 pH는 약 10 내지 15로 유지될 수 있고 바람직하게는 pH 11 내지 12로 유지될 수 있다. 상기 pH는 이산화탄소가 염수에 잘 녹을 수 있는 pH이기도 하다. 따라서 상기 이산화탄소와 염수의 반응은 주로 환원 반응이 일어나는 환원조에서 일어나며, 탄산나트륨이 생성된다. 상기 탄산나트륨은 화학식 1의 반응에 의해 생성되며 수용액 상태로 존재할 수 있다. 또한 상기 환원조에서는 기체 생성물로 수소가 생성될 수 있다.

[0042] [화학식 1]

[0043] $CO_2(g) + 2NaOH(aq) \rightarrow Na_2CO_3(aq) + H_2O(l)$

[0044] 상기 차아염소산은 전기분해의 산화조에서 산화반응에 의해 생성되며, 생성된 후 상기 제1 반응조의 밖으로 배출되어 수득된다.

[0045] 상기 제1 생성물 중 상기 탄산나트륨 용액과 수소 기체 생성물 및 이산화탄소는 제2 반응조로 이송된다. 상기 이산화탄소는 제1 반응조에서 반응하고 남은 이산화탄소일 수 있다. 상기 탄산나트륨 용액은, 상기 제2 반응조에 별도로 더 주입된 이산화탄소 및 상기 제1 반응조에서 이송된 이산화탄소와 각각 또는 모두와 반응하여 중탄산나트륨을 생성한다. 상기 중탄산나트륨은 물에 잘 용해되어 중탄산나트륨 용액으로 존재한다. 상기 제2 반응조는 상기 중탄산나트륨이 생성되기에 알맞은 pH를 유지할 수 있으며, 약 pH 8 이하로 유지될 수 있고 바람직하게는 pH 6 내지 8로 유지될 수 있다. 상기 반응에 의하여 수소 및 이산화탄소도 생성될 수 있다. 상기 수소 및 이산화탄소는 제2 반응조 밖으로 배출 및 분리되어 수득될 수 있다. 상기 중탄산나트륨은 화학식 2의 반응을 거쳐 생성된다.

[0046] [화학식 2]

[0047] $CO_2(g) + Na_2CO_3(aq) + H_2O(l) \rightarrow 2NaHCO_3(aq)$

[0048] 상기 중탄산나트륨 용액의 상부에 침전제를 주입하면 석출반응이 일어나 상기 중탄산나트륨 석출물이 형성된다. 상기 침전제는 상기 중탄산나트륨에 대한 용해도가 작은 물질일 수 있으며, 바람직하게는 메탄올, 헥산(hexane) 또는 아세톤일 수 있다. 상기 침전제를 주입하면 상기 중탄산나트륨 석출물이 용액의 상층에 존재하게 된다.

[0049] 상기 중탄산나트륨 석출물이 용액의 상층에 존재할 때, 상기 석출물을 제3 반응조로 이송시킨다. 상기 석출물은 시간이 지나면 고체의 중탄산나트륨은 가라앉고 상기 침전제는 상기 고체의 중탄산나트륨의 상층에 존재한다. 상기 고체의 중탄산나트륨은 상기 제3 반응조 밖으로 배출하여 여과 및 건조하여 중탄산나트륨을 수득할 수 있다. 상기 중탄산나트륨 석출물은 상기 제3 반응조로 이송된 후 교반 과정을 거친 후 여과 및 건조하여 상기 고체의 중탄산나트륨으로 수득될 수 있다. 상기 침전제는 상기 제2 반응조로 이송시켜 다시 중탄산나트륨을 석출시키는데 재사용될 수 있다.

[0050] 본 발명에서와 같이 제1 반응조와 제2 반응조를 분리하여 각각 다른 pH에서 이산화탄소를 반응시키면, 높은 pH를 유지하는 제1 반응조는 탄산나트륨이 생성되고, 그보다 낮은 pH를 유지하는 제2 반응조에서는 중탄산나트륨이 생성되게 된다. 이와 같은 구조로 인해 용해도가 높은 탄산나트륨은 제1 반응조에서 수용액 상태로 유지되고, 중탄산나트륨이 되기 전에 석출되는 문제를 해결할 수 있다.

[0052] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 시스템(100)을 도시한다. 상기 시스템(100)은 제1 반응조, 제2 반응조, 제3 반응조 및 각 반응조들을 연통하는 연결관을 포함한다.

[0053] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소 전환 시스템(100)에서 상기 제1 반응조는 전기분해장치를 구비하고 염수가 수용되는 제1 반응조(110), 상기 제1 반응조의 일측의 하부와 제2 반응조의 일측의 하부

를 연통되도록 연결하는 제1 연결관(120), 상기 제1 반응조의 상부와 제2 반응조의 상부가 연통되도록 연결하는 제2 연결관(130) 및 제2 반응조(140)를 포함한다.

[0054] 상기 제1 반응조(110)에서는, 상기 제1 반응조(110)로 주입되는 이산화탄소와 염수를 전기분해하여 제1 생성물을 생성한다. 이를 위해 상기 제1 반응조(110)는 이산화탄소가 주입되는 제1 주입구(111), 염수가 주입되는 제2 주입구(112), 전기분해장치(113) 및 상기 제1 반응조(110)에서 생성된 제1 생성물 중 일부를 시스템(100)외부로 배출하는 제1 배출구(114)를 포함한다.

[0055] 제1 주입구(111)는 제1 반응조(110)에서 염수의 수면 아래까지 연결되어 있어 염수에 직접 이산화탄소를 주입한다. 제2 주입구(112)는 제1 반응조(110)의 높이에 따라 고르게 염수를 주입할 수 있도록 형성되어 있다. 제2 주입구(112)는 제1 반응조(110)의 바닥에서 위까지 연결되어 있으며, 염수가 제1 반응조(110)로 이동할 수 있도록 기공이 형성되어 있다. 제1 주입구(111)로 주입된 이산화탄소와 제2 주입구(112)로 주입된 염수는 전기분해장치(113)를 작동하여 반응시킨다. 이 때 제1 반응조(110) 내의 pH는 약 10 내지 15로 유지되고, 바람직하게는 약 pH 11 내지 12로 유지된다. 이 pH는 이산화탄소가 염기성 용액에서 잘 흡수되는 성질을 이용하여 염수에 이산화탄소의 흡수율을 높이긴 위해 적정한 pH이다. 전기분해장치(113)는 산화 전극(애노드), 환원 전극(캐소드), 전기공급부 및 분리막을 포함하고, 전기공급부에서 전기를 공급받아 산화 전극, 환원 전극에서 염수 및 이산화탄소의 전기분해가 일어난다.

[0056] 제2 주입구(112)를 통해 제1 반응조(110)로 들어간 염수는 분리막을 통과하여 Cl^-는 산화조에, Na^+는 환원조에 주로 존재하게 된다.

[0057] 전기분해장치를 가동하면 산화 전극이 있는 산화조에서는 Cl^-가 반응하여 차아염소산(HClO)이 생성된다. 차아염소산은 제1 배출구(114)를 통해 시스템 밖으로 배출될 수 있다.

[0058] 환원 전극이 있는 환원조에서는 물(H_2O)이 분해되어 생성된 OH^-가 염수의 Na^+와 만나 NaOH를 형성한다. 환원조에서 생성되는 OH^-는 환원조의 pH를 염기성으로 유지하도록 한다. 상기 pH는 약 10 내지 15이고 바람직하게는 약 11 내지 12이다. 이는 이산화탄소가 염수에 잘 녹을 수 있는 pH이다. NaOH는 제1 주입구(111)로 주입되는 이산화탄소와 만나 탄산나트륨(Na_2CO_3)을 형성하며, 반응식은 화학식 1과 같다.

[0059] [화학식 1]

[0060] $CO_2(g) + 2NaOH(aq) \rightarrow Na_2CO_3(aq) + H_2O(l)$

[0061] 제1 주입구(111)는 화학식 2의 반응이 용이하게 일어나도록 NaOH가 생성되는 환원 전극과 가깝게 위치할 수 있다. 또한 제1 주입구(111)는 이산화탄소가 염수와 잘 반응하게 하기 위하여 말단이 염수에 잠기도록 형성되어, 이산화탄소를 염수에 직접 주입한다. 상기 제조된 탄산나트륨은 용액 상태이며, 제1 연결관(120)을 통해 제2 반응조(140)로 이송된다. 염수와 이산화탄소의 전기분해반응에서는 차아염소산과 탄산나트륨 이외에도 기체가 생성될 수 있고 이는 기체 형태로 제2 연결관(130)을 통해 제2 반응조(140)로 이송되고, 상기 기체는 수소일 수 있다. 또한 상기 제1 반응조(110)에서 반응하고 남은 이산화탄소가 제2 연결관(130)을 통해 제2 반응조(140)로 이송될 수 있다.

[0062] 제2 반응조(140)는 제1 반응조(110)에서 이송된 탄산나트륨 용액, 수소 및 이산화탄소에 제3 주입구(141)에서 이산화탄소를 투입하여 반응시킨다. 제3 주입구(141)는 제1 주입구(111)과 마찬가지로 용액에 잠기도록 형성되어 있어 용액에 직접 이산화탄소를 주입한다. 본 시스템(100)에서는 제2 연결관(130)과 제3 주입구(141)가 합쳐진 모습으로 도시되었지만, 제2 연결관과 제3 주입구는 개별적으로 형성될 수도 있다.

[0063] 탄산나트륨 용액은 제2 연결관(130)으로 이송된 이산화탄소 또는 제3 주입구(141)로 주입된 이산화탄소와 반응하거나 둘 모두와 반응하여 중탄산나트륨($NaHCO_3$)을 제조하며, 이 과정은 화학식 2와 같이 나타낼 수 있다. 제2 반응조(140)는 이산화탄소와 탄산나트륨이 반응하기에 적정한 pH 8 이하로 유지될 수 있으며, 바람직하게는 pH 6 내지 8로 유지된다.

[0064] [화학식 2]

[0065] $CO_2(g) + Na_2CO_3(aq) + H_2O(l) \rightarrow 2NaHCO_3(aq)$

[0066] 중탄산나트륨 이외에도 제2 반응조(140)에서는 기체가 생성될 수 있으며, 기체 생성물은 제2 배출구(143)를 통

해 배출하여 수득한다. 상기 제2 배출구(143)로 배출되는 기체는 이산화탄소 및 수소이다.

[0067] 상기와 같은 시스템 구조는 제1 반응조(110) 및 제2 반응조(140)에 모두 이산화탄소를 주입하고, 이산화탄소가 각 반응조의 용액과 반응하기 좋은 pH를 유지시킴으로써 이산화탄소를 많이 흡수시켜 유용한 화합물로 전환시킬 수 있다.

[0068] 제2 반응조(140)에서 제조된 중탄산나트륨은 용액 상태로 존재한다. 제4 주입구(143)을 통해 제2 반응조(140)에 침전제를 넣으면 중탄산나트륨이 석출되어 중탄산나트륨 석출물이 용액의 상층에 형성된다. 침전제로는 메탄올, 헥산 또는 아세톤을 이용할 수 있는데, 중탄산나트륨은 물에서는 용해되지만 아세톤, 헥산 또는 메탄올에서의 용해도는 0에 가깝기 때문이다.

[0069] 상기 중탄산나트륨 석출물은 가라앉기 전에 제3 연결관(150)을 통해 제3 반응조(160)로 이송시킨다. 제2 반응조(140)에서 석출물이 가라앉기 전에 제3 반응조(160)로 이송시켜야 하기 때문에, 제3 연결관(150)은 제2 반응조(140)의 중단 이상의 높이에 형성되며 제3 반응조(160)의 상부에 연결된다.

[0070] 제3 반응조(160)로 옮겨진 상기 중탄산나트륨 석출물은 침전제와 혼합되어 있는 상태이나 시간이 지나면 고체의 중탄산나트륨이 가라앉고 침전제가 상층에 형성된다. 제3 반응조(160)는, 도면에 도시하지는 않았지만 상기 중탄산나트륨 석출물과 상기 침전제를 교반할 수 있는 교반 장치를 더 포함할 수 있다.

[0071] 가라앉은 고체의 중탄산나트륨은 제3 배출구(161)를 통해 시스템 밖으로 배출된 뒤 수득한다. 제3 배출구(161)는 가라앉은 고체의 중탄산나트륨을 수득하기 위한 것으로 제3 반응조(160)의 하부에 존재한다.

[0072] 상기 고체의 중탄산나트륨의 위에 층을 형성하는 상기 침전제는 제4 연결관(162)을 통해 제2 반응조(140)로 옮겨 석출반응에 재사용된다. 제4 연결관(162)은 상기 고체의 중탄산나트륨 상층에 형성되는 침전제를 이동시키기 위한 것으로 제3 반응조(160)의 중단 이상의 높이에 형성된다.

[0074] 실시예 1

[0076] 본 발명의 염수 전기분해를 이용한 이산화탄소 전환 시스템(100)을 사용하여 이산화탄소를 다른 유용 화합물로 전환하는 실험을 수행하였다. 반응 조건은 다음과 같이 설정하였다.

[0077] 1) 제1 반응조(전해조)

[0078] 환원전극으로는 백금전극을 사용하고, 산화전극으로는 DSA 전극(Dimensionally Stable Anodes)을 사용하였다. 제1 반응조는 분리막(Nafion 사용)으로 환원조와 산화조가 분리되도록 구성되었다. 환원조에서 0.1M NaOH를 전해질로 하여 300mL를 공급하고, 산화조에서는 1M NaCl과 포스페이트 버퍼용액(PBS buffer)를 혼합한 용액을 전해질로 하여 250mL를 공급하였다. 환원조에는 이산화탄소(15%)를 50mL/분의 속도로 공급하였다. 상기 전기분해 장치의 전류는 40mA로 공급되었다.

[0079] 2) 제2 반응조(이산화탄소 2차 흡수조)

[0080] ①제1 반응조의 환원조에서 생성된 탄산나트륨 용액, 수소, 이산화탄소 등을 제2 반응조로 이동시킨 후 반응시켰다. 제2 반응조에 이산화탄소(15%)를 300mL/분의 속도로 용액의 pH가 8이 될 때까지 공급하였다.

[0081] ②이 후 제2 반응조에 아세톤을 투입하여 중탄산나트륨을 석출시켰다. 아세톤은 제2 반응조의 용액부피:아세톤의 부피가 1:3이 되도록 투입하였다.

[0082] 3) 제3 반응조(석출조)

[0083] 제2 반응조에서 아세톤을 투입하여 생성되는 석출물을 제3 반응조로 이동시킨 후, 제3 반응조에서 1시간 동안 교반하였다. 이 후 가라앉은 중탄산나트륨 석출물을 수득하여 -40℃에서 18시간 건조시켜 중탄산나트륨 분말을 수득하였다.

[0085] 도 3은 상기 실시예의 제1 반응조 및 제2 반응조에서 반응의 진행에 따른 pH 변화에 대한 것이다. 제1 반응조에서 pH가 약간 떨어지긴 하지만 차이가 크지 않은데, 이는 전류의 공급하여 발생하는 OH-가 이산화탄소가 흡수되는 과정에서 떨어지는 pH를 보완해 주기 때문이다. 제2 반응조에서는 이산화탄소를 지속적으로 공급하여 pH가

약 8까지 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

[0086] 도 4는 상기 중탄산나트륨이 아세톤에 의해 석출되는 것을 보여주는 이미지이다. 상기 이미지는 석출되는 모습을 확인하기 위하여 실험실에서 수행되었다. 도 4(1)는 NaOH 1M 수용액에 CO_2를 투입시켜 20분간 purging하여 제조한 중탄산나트륨 용액이다. CO_2와의 반응이 진행되면서 pH는 8에 이르게 되면 아세톤을 주입하여 중탄산나트륨의 석출반응을 진행하였다. 도 4(2)는 (1)의 용액에 아세톤을 주입하여 중탄산나트륨이 석출반응이 진행되는 것을 나타낸다. 석출반응은 아세톤이 주입되는 즉시 일어나며, 반응의 초기에는 석출된 중탄산나트륨이 용액의 상부에 형성된다. 도 4(3)는 석출반응이 시작되고 약 10분이 지난 후의 모습으로, (2)에서의 석출물이 바닥으로 가라앉은 것을 보여준다. 이 모습은 본 발명의 이산화탄소 전환 시스템에서, 제3 연결관(150), 제4 연결관(162) 및 제3 배출구(161)가 각각 반응조에서 형성되는 높이를 결정하는 요인이 된다.

[0087] 도 5는 상기 제1 반응조의 산화조에서 차아염소산(HClO)의 발생 농도를 확인할 수 있는 그래프이다. 상기 산화조에서 염소 산화에 의하여 차아염소산이 발생하고, 그 농도가 시간에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있다. 약 1시간 정도부터는 약 40 내지 50mg/L의 차아염소산이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

[0088] 도 6은 제2 반응조에서 이산화탄소와 반응시켜 중탄산나트륨($NaHCO_3$)이 생성된 것을 확인할 수 있는 XRD 결과이다. 붉은색 그래프는 실시예에서 수득한 중탄산나트륨 분말에 대한 XRD 결과이며, 중탄산나트륨의 표준 피크인 파란색 그래프와 비교했을 때 동일 성분임을 확인할 수 있다. 탄산나트륨은 약 pH 8 이하에서 거의 대부분 중탄산나트륨으로 전환되기 때문에, 도 6에서 나타나는 중탄산나트륨 피크는 제1 반응조에서 탄산나트륨이 생성된 것을 의미한다.

[0089] 도 7은 제1 반응조에서 전기분해 파워로 pH를 상승시킬 수 있는지에 대한 실험 결과이다. 이산화탄소는 100mL/분으로 공급되었고, 전기분해 파워는 40mA 전류로 공급하였다. 이산화탄소만 공급한 경우와 이산화탄소와 함께 전류를 공급한 경우를 비교하여 보면, 전류를 인가한 경우에는 시간이 지나도 더 높은 pH를 유지하는 것을 확인할 수 있다. 이는 전류를 가함으로써 생성되는 OH^- 이온에 의한 것이다. 따라서 전기분해 파워를 높임으로써 이산화탄소가 잘 용해되는 pH를 유지하여 더 높은 효율을 낼 수 있다.

[0091] 비교예 1 - 제2 반응조의 조건 변경

[0093] 실시예에서 제2 반응조에는 이산화탄소를 주입하지 않고, 나머지는 동일하게 하여 중탄산나트륨의 생성량을 비교하기 위한 실험을 수행하였다. 비교예 1에서 제2 반응조는 중탄산나트륨 수득을 위하여 6M의 HCl을 사용하여 pH를 8로 유지하였다. 실험 각각 2시간 동안 진행하였다. 표 1은 실시예와 비교예 1에서 최종적으로 생성되는 중탄산나트륨의 양을 비교한 것이다.

표 1

[0094]

	실시예	비교예 1
$NaHCO_3$ 생성량(g)	0.2626	0.0462

[0095] 두 경우 모두 제2 반응조의 pH를 8로 유지하였지만, 중탄산나트륨의 생성량은 실시예가 약 5배 이상 많은 것을 확인할 수 있다.

[0097] 비교예 2 - 제1 반응조의 조건 변경

[0099] 실시예의 제1 반응조에서의 조건을 변화시키면서 실시예와의 효율을 비교하기 위한 실험을 수행하였다. ①case 1은 제1 반응조의 전류를 40mA로 2시간 동안 인가하고, 이후에는 전류를 공급하지 않고 이산화탄소만 50mL/분으로 2시간동안 공급하였고, 나머지 조건은 실시예와 동일하게 하였다. ②case 2는 제1 반응조에 전류를 인가하지 않고 이산화탄소만 50mL/분으로 2시간동안 공급하였고, 나머지 조건은 실시예와 동일하게 하였다. 표 2는 실시예, case 1 및 case 2에서의 중탄산나트륨의 생성량을 비교한 것이다.

표 2

[0100]

	실시예 (전류+CO_2)	Case 1 (전류→CO_2)	Case 2 (CO_2 만)
$NaHCO_3$ 생성량(g)	0.2626	0.2382	0.2094

[0101] 도 8은 case 1에서의 시간에 따른 pH 변화이고, 도 9는 case 2에서의 시간에 따른 pH 변화이다. 도 8 및 도 9 모두 이산화탄소만 공급되는 경우에는 시간이 갈수록 pH가 떨어지고, 실시예(도 3)보다 더 낮은 pH까지 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 표 2에서는 여전히 실시예에서의 중탄산나트륨 생성량이 가장 많은 것을 확인할 수 있다. 또한 전류를 전혀 공급하지 않은 case 2와 비교하였을 때, case 1에서의 중탄산나트륨의 생성량이 향상된 것을 확인할 수 있다. 이는 제1 반응조에 전류를 공급함으로써 생성되는 OH^- 이온이 반응조 용액의 pH를 염기성으로 유지시키고, 이 후 전류 공급 없이 이산화탄소가 공급되더라도 이산화탄소가 더 잘 흡수될 수 있기 때문이다. 기존의 이산화탄소 흡수 방법과 같은 case 1 및 case 2의 경우에는 제2 반응조를 2개 이상 구비하여 이산화탄소를 더 흡수시켜야 원하는 수율의 중탄산나트륨을 제조할 수 있다. 그러나 실시예처럼 제1 반응조에 전류와 이산화탄소를 함께 공급할 경우, 제1 반응조에서 탄산나트륨이 충분히 생성될 수 있기 때문에 제2 반응조를 1개만 구비하여도 원하는 수율의 중탄산나트륨을 제조할 수 있다.

[0103] 실시예 2

[0105] 제1 반응조에서 전류와 이산화탄소를 함께 공급하면서 pH에 탄산나트륨 및 중탄산나트륨의 생성량을 비교하였다. 각 임의의 pH는 실험을 위하여 NaOH를 첨가하여 인위적으로 유지시켰다. 이산화탄소는 100mL/분으로 2시간 동안 공급하였다. 이 후 아세톤을 투입하여 석출시켰다. 표 3은 pH에 따른 석출량을 나타낸 것이다. 도 10은 pH에 따라 석출된 양을 그래프로 나타낸 것이다.

표 3

[0106]

CO_2 흡수 용액의 pH	pH 6	pH 8	pH 10	pH 12	pH 12 (석출 전 pH 8로 조정)
석출량(g)	0	0.885	1.608	1.7	1.758

[0107] 도 10과 표 3을 종합해 보면, pH가 10 이하로 떨어지면 석출양이 급격히 감소하였으며, 이는 pH 10 이하에서 이산화탄소의 흡수가 급격히 감소하는 것을 의미한다. 또한 상기 석출된 물질은 탄산나트륨 및 중탄산나트륨이 혼재되어 있으나, 성상과 관계없이 이산화탄소의 흡수량이 많으면 석출량 또한 증가하는 것을 확인할 수 있다. pH 12 용액은 아세톤으로 석출시키기 전에 pH를 8로 조절하여 중탄산나트륨이 석출되도록 유도하였는데, pH를 적정하지 않았을 때와 비교하여 석출량의 차이가 작은 것으로 보아 결정상과 이산화탄소의 흡수는 관계가 없는 것을 확인할 수 있다. 따라서 염기성 pH를 유지하는 것이 이산화탄소의 흡수를 증가시키고, 중탄산나트륨 생성 수율을 증가시키는데 중요한 요인이라는 것을 확인할 수 있다.

[0109] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

[0110]

100 제1 반응조 111 제1 주입구

112 제2 주입구 113 전기분해장치

114 제1 배출구 120 제1 연결관

130 제2 연결관 140 제2 반응조

141 제3 주입구 142 제4 주입구

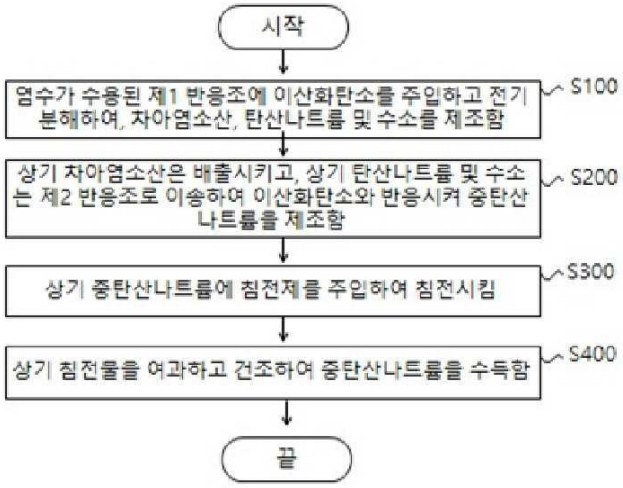
143 제2 배출구 150 제3 연결관

160 제3 반응조 161 제3 배출구

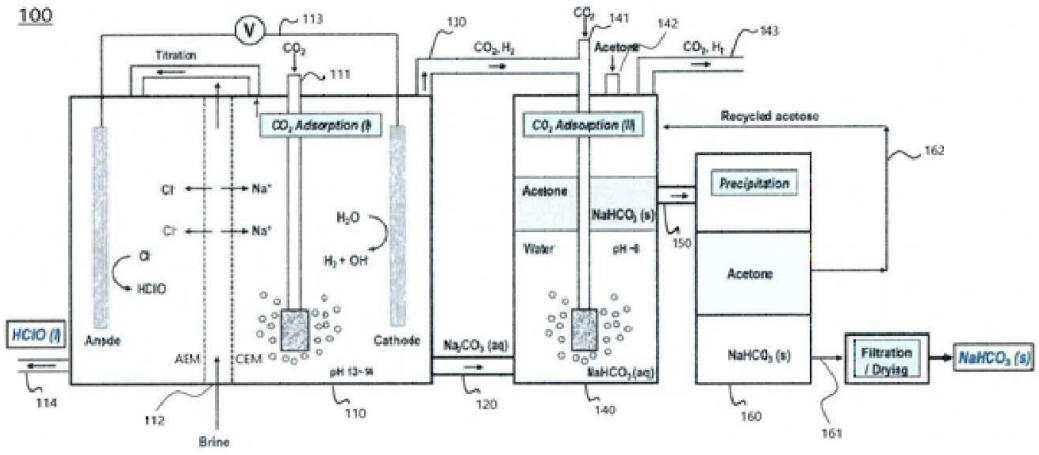
162 제4 연결관

도면

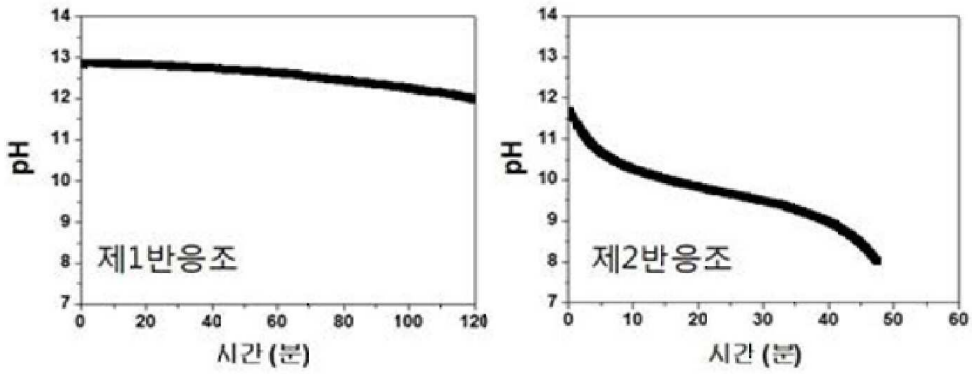
도면1



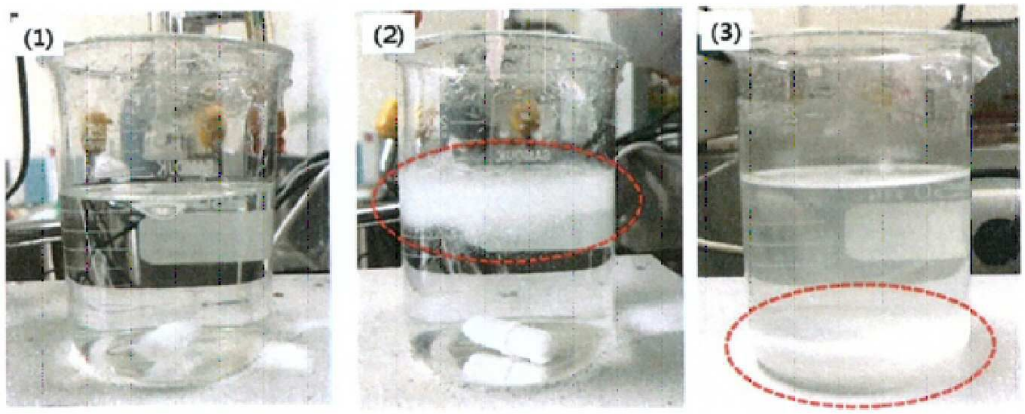
도면2



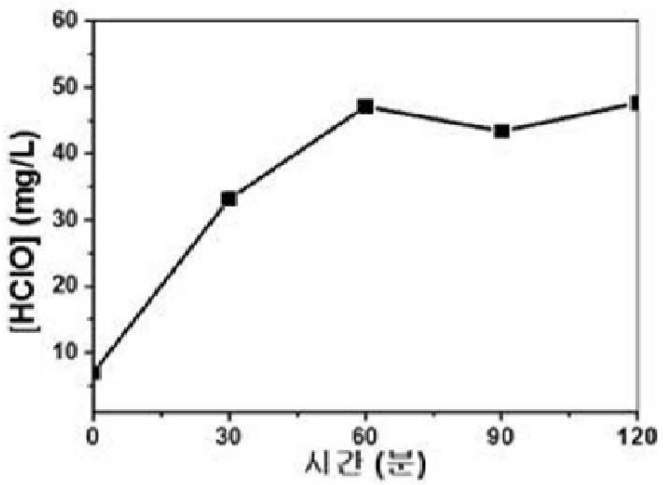
도면3



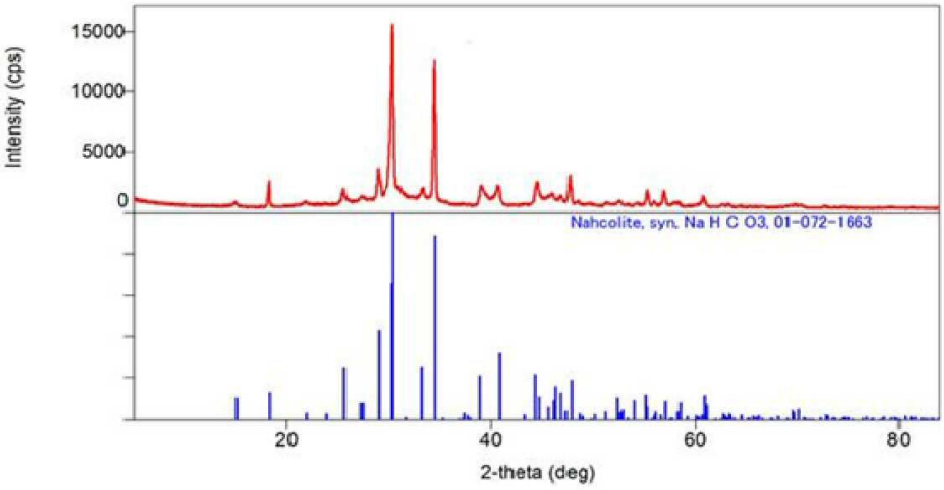
도면4



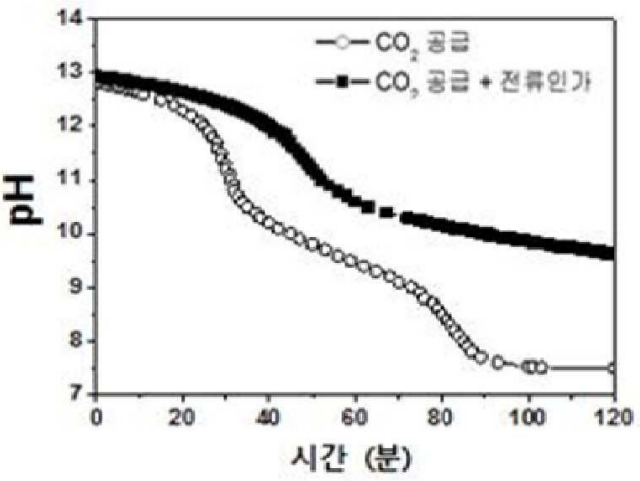
도면5



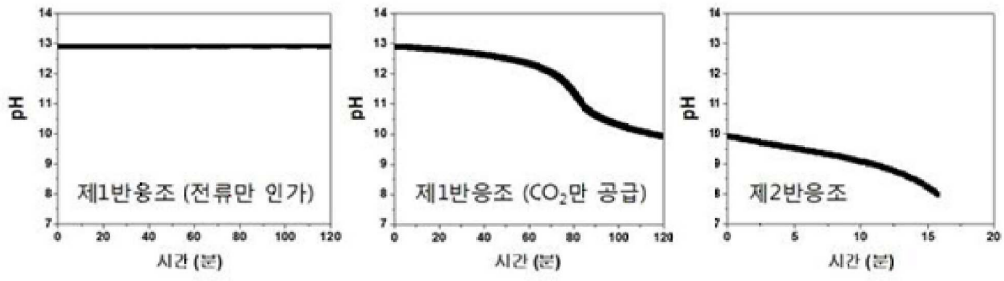
도면6


Intensity (cps)
15000
10000
5000
0
Nahcolite, syn. Na H C O3, 01-072-1663
20
40
60
80
2-theta (deg)

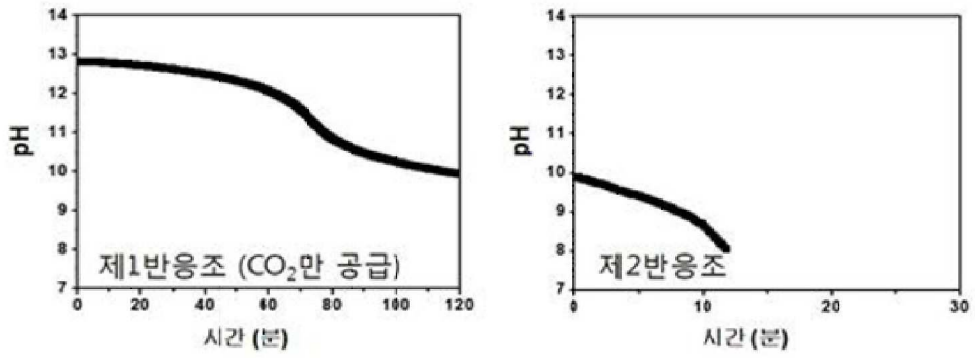
도면7


CO2 공급
CO2 공급 + 전류인가
pH
시간 (분)

도면8


제1반응조 (전류만 인가)
제1반응조 (CO2만 공급)
제2반응조
pH
시간 (분)

도면9



도면10

