

(71) 출원인
한국생산기술연구원
충청남도 천안시 서북구 입장면 양대기로길 89

(72) 발명자
이은도
대전광역시 유성구 대덕대로 596, 604호 (도룡동, 로알밸리)

김휘동
충청남도 천안시 서북구 봉정로 365, 102동 1903호 (두정동, 대우1차아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인
특허법인한얼

전체 청구항 수 : 총 12 항

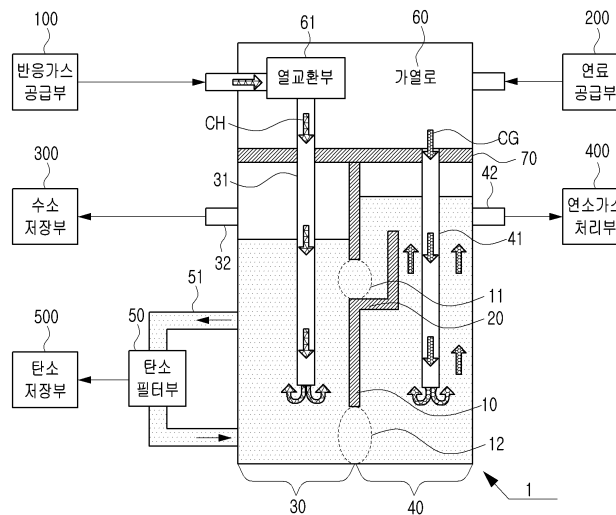
(54) 발명의 명칭 수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 수소 생산 설비에서 수소 생성을 위한 메탄 열분해 반응에 사용되는 액체금속을 열분해 반응로 내부에 형성된 수두차를 이용하여 순환시키는 기술에 관한 것으로,

용융된 액체금속을 수용하는 반응로; 상기 반응로 내부를 분할하여 제1격실 및 제2격실로 구획하는 격막; 상기 격막의 상부와 하부에 각각 천공 형성되어 상기 제1격실과 제2격실을 연통하는 유입구 및 유출구; 상기 유입구의 하부 위치에서 상기 격막의 제2격실측 일면 상에 설치되고, 양단에 단차를 형성하는 단차벽; 상기 제1격실에 수용된 액체금속 내부로 반응가스를 주입하는 반응가스 주입관; 및 상기 제2격실에 수용된 액체금속 내부로 연소가스를 주입하는 연소가스 주입관을 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B01J 8/0496 (2013.01)
C01B 2203/049 (2013.01)
C01B 2203/0833 (2013.01)
C01B 2203/1241 (2013.01)

(72) 발명자

이영재

충청남도 천안시 서북구 한들3로 100 107동 1703호(백석동, 백석마을아이파크아파트)

김성일

세종특별자치시 국책연구원1로 15 912동 607호(소담동, 새샘마을9단지)

박근용

충청남도 천안시 동남구 중앙로 255-74(신부동) E동 407호 스타힐스

박중현

경기도 화성시 병점동로 23(병점동, 구봉마을우남퍼스트빌1차아파트) 103동 804호

가야트리 잉그

충청남도 천안시 서북구 입장면 양대기로길 89

교유진

충청북도 청주시 상당구 무농정로 103(용암동, 용암동 삼일 무지개 아파트) 102동 203호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711201878
과제번호	CAP22022-000
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	국가과학기술연구회
연구사업명	국가과학기술연구회연구운영비지원(주요사업비)
연구과제명	청록수소 기반 자기유체역학(MHD)-수소 가스터빈 복합발전 기술 개발
과제수행기관명	한국생산기술연구원
연구기간	2023.06.01 ~ 2024.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

용융된 액체금속을 수용하는 반응로;
상기 반응로 내부를 분할하여 제1격실 및 제2격실로 구획하는 격막;
상기 격막의 상부와 하부에 각각 천공 형성되어 상기 제1격실과 제2격실을 연통하는 유입구 및 유출구;
상기 유입구의 하부 위치에서 상기 격막의 제2격실측 일면 상에 설치되고, 양단에 단차를 형성하는 단차벽;
상기 제1격실에 수용된 액체금속 내부로 반응가스를 주입하는 반응가스 주입관; 및
상기 제2격실에 수용된 액체금속 내부로 연소가스를 주입하는 연소가스 주입관;
을 포함하는,
수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 제2격실에 주입된 연소가스는, 상기 제2격실 내의 액체금속 수위를 상승시키고,
상기 단차벽을 초과하여 상승한 제2격실 내의 액체금속은, 상기 유입구를 통해 제1격실로 유입되며,
상기 제2격실에서 유입된 액체금속과 상기 제1격실에 기 수용된 액체금속의 수두차에 의하여, 상기 제1격실 내부의 액체금속이 상기 유출구를 통해 상기 제2격실로 이동하여 액체금속이 순환하는,
수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,
연료를 수용하는 공간을 형성하고, 연료를 연소시켜 열과 연소가스를 생성하며, 생성된 연소가스를 상기 연소가스 주입관으로 이송하는 가열로; 및
상기 가열로 내부에 배치되고, 일단으로 유입된 반응가스를 상기 반응가스 주입관으로 이송하되, 상기 가열로와 열교환을 통하여 반응가스를 가열하는 열교환부;
를 더 포함하는,
수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서,
상기 반응로의 내부를 상하로 분할하는 제2격막을 더 포함하고,
상기 가열로는 상기 제2격막의 상부에 배치되고,
상기 제1격실 및 제2격실은 상기 제2격막의 하부에 배치되는,

수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 단차벽은,

상기 격막으로부터 상기 제2격실 측으로 수평 연장 후, 상방향 소정구간 절곡 연장하여 양단에 단차를 형성하는,

수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 반응가스의 열분해 반응으로 상기 제1격실의 액체금속 내에 생성된 고상의 탄소를 필터링하는 탄소필터부를 더 포함하는,

수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제1격실로부터 분기된 전단부와 상기 제1격실로 연결된 후단부를 포함하는 이송관으로 이루어진 탄소회수로를 더 포함하고,

상기 탄소필터부는 상기 탄소회수로 상에 배치되는,

수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 반응가스 주입관의 전단에 메탄을 공급하는 메탄공급부;

상기 제1격실에 부설되고, 상기 액체금속에 의해 메탄이 열분해되어 생성된 수소를 배출하는 수소배출구; 및

상기 수소배출구에서 배출된 고순도의 수소를 저장하는 수소저장부;

를 더 포함하는,

수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 제2격실에 부설되고, 상기 제2격실에 주입된 연소가스를 외부로 배출하는 연소가스배출구;

를 더 포함하는,

수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템.

청구항 10

제 1 항에 있어서,
상기 단차벽의 상단부는,
상기 유입구의 상단부 보다 높이 위치되는,
수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템.

청구항 11

격막으로 분할되며 유입구와 유출구로 서로 연통된 제1격실과 제2격실, 및 양단에 단차를 형성하고 상기 격막의 제2격실측 일면 상에 설치된 단차벽을 포함하는 열분해 반응로 내의 액체금속의 순환 방법에 있어서,
상기 반응로 내에 액체금속을 수용하는 단계;
반응가스를 상기 반응로에 주입하는 단계;
연료를 연소하여 상기 반응가스를 가열하고 연소가스를 생성하는 단계;
상기 제1격실의 액체금속 내에 가열된 반응가스를 주입하고, 상기 반응가스와 액체금속의 열분해 반응으로 기상의 수소와 고상의 탄소가 생성되는 단계;
상기 제2격의 액체금속 내에 상기 연소가스를 주입하는 단계;
상기 제2격실 내의 액체금속의 수위가 주입된 연소가스에 의하여 상승하는 단계;
상기 단차벽을 초과 상승한 상기 제2격실 내의 액체금속이 유입구를 통하여 상기 제1격실로 유입되는 단계; 및
상기 제2격실에서 유입된 액체금속과 상기 제1격실 내에 기 수용된 액체금속의 수두차에 의하여, 상기 제1격실 내부의 액체금속이 유출구를 통해 상기 제2격실로 이동하는 단계;
를 포함하는,
수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,
고상의 탄소를 포함한 액체금속이 상기 제1격실에서 분기된 탄소회수로 유입되는 단계;
상기 액체금속이 상기 탄소회수로 상에 부설된 탄소필터부를 통과하며 상기 액체금속으로부터 고상의 탄소가 분리되어 회수되는 단계; 및
상기 탄소필터부를 통과한 액체금속이 상기 제1격실로 재유입되는 단계;
를 더 포함하는,
수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 방법.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 수소 생산 설비에서 수소 생성을 위한 메탄 열분해 반응에 사용되는 액체금속을 열분해 반응로 내부에 형성된 수두차를 이용하여 순환시키는 기술에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 반응로 내부의 공간을 격막으

[0001]

로 양분하고, 분리된 양측 격실에 수용된 액체금속 사이의 수두차를 형성하며, 형성된 수두차를 이용하여 상기 열분해 반응로 내부에 수용된 액체금속을 순환하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 일반적으로, 수소는 그 생산 방법에 따라 화석 연료에서 생산되는 그레이수소(Grey Hydrogen), 수전해를 이용하여 생산되는 그린수소(Green Hydrogen), 화석연료 개질 과정에서 발생하는 이산화탄소를 포집 및 제거한 블루수소(Blue Hydrogen), 및 최근 연구되고 있는 메탄 열분해를 통해 생성되는 청록수소(Turquoise Hydrogen) 등으로 구분될 수 있다.
- [0004] 그 중 청록수소는 천연가스(메탄, CH_4)를 고온 반응로에 주입해 수소와 고체탄소로 분해하는 열분해 기술로 생산한 수소를 말한다. 상기 청록수소는 그린수소와 블루수소의 중간단계로 볼 수 있으며, 천연가스를 열분해하여 수소를 생산하는 과정에서 탄소를 기체상태가 아닌 고체상태로 분리해낸다는 특징이 있다. 따라서, 생산과정에서 전력을 적게 소모하고, 수소생산 공정에서 포집된 고상의 탄소는 타이어의 원료로 사용되는 카본블랙(Carbon Black)이나 이차전지의 음극재로 사용되는 인조흑연의 원료로 활용가능한 장점을 가진다. 따라서, 종래의 블루수소 기술에서 이산화탄소 형태로 포집된 부산물을 저장하는 별도 공간(암반지층 등) 등을 요구하지 않는 장점을 가진다.
- [0005] 청록수소 생산을 위한 메탄의 열분해 반응을 위하여 액체금속을 활용하는 기술 중 하나로서, 1) 한국공개특허 제10-2018-0117951 "액체금속을 이용한 메탄 열분해 및 고순도 수소, 일산화탄소 생산 장치 및 방법"은 메탄의 열분해를 위하여 용융된 액체금속을 이용하는 기술을 기재한다. 이 과정에서 용융된 액체금속은 밸브의 개폐에 의하여 공급이 제어되며, 이송관을 통하여 이루어지는 용융 액체금속의 이송은 열교환부를 통하여 유량이 능동적으로 제어되는 구조를 개시한다.
- [0006] 또한, 반응로 내에서 액체금속을 순환하는 기술 중 하나로서, 2) 한국등록특허 제10-2598843 "액체금속을 이용한 암모니아 분해 및 수소 생산 시스템"은 액체금속과 암모니아를 반응시켜 수소와 질소로 분해시키고, 이때 생성된 폐열을 회수하여 상기 액체금속과 열교환함으로써, 암모니아 분해를 위하여 폐열을 반응열로 활용 하는 기술을 기재하고, 폐열 회수를 위하여 반응로에서 액체금속을 열교환기로 능동적으로 공급하여 순환시키는 기술을 기재한다.
- [0007] 그러나, 전술한 기술을 포함한 반응로 내의 액체금속을 순환시키는 종래의 기술들은, 혼합을 증진시키도록 주로 반경방향 또는 횡방향으로 액체금속을 순환하는 방법이 주로 활용되었으며, 필요에 따라 액체금속을 상부로 이송시키기 위하여 기계적 펌프를 이용한 기술이 개발된 바 있으나, 고온으로 용융된 액체금속을 다루고 있으므로, 내구성 측면에서 장기적인 사용이 어려운 문제가 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 1) 한국공개특허 제10-2018-0117951 "액체금속을 이용한 메탄 열분해 및 고순도 수소, 일산화탄소 생산 장치 및 방법"
- (특허문헌 0002) 2) 한국등록특허 제10-2598843 "액체금속을 이용한 암모니아 분해 및 수소 생산 시스템"

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은 상기와 같은 문제를 해결하기 위하여 창안된 것으로서,
- [0011] 천연가스를 액체금속으로 열분해하여 청록수소를 생성하는 기술에 있어서, 고순도의 청록수소를 연속으로 생성하기 위하여 열분해 반응로 내에서 액체금속을 순환하는 것을 1차적인 목적으로 하고,

- [0012] 또한, 청록수소 생성 시, 열분해 반응을 촉진하기 위하여 반응가스를 가열하기 위하여 가열로에서 생성되는 부산물로서의 연소가스와, 열분해 반응시 생성되는 고상의 탄소를 활용하는 것을 부가적인 목적으로 하며,
- [0013] 또한, 청록수소 생성을 위한 열분해 반응로 내에서 액체금속을 순환하기 위하여 구비되는 펌프와 같은 동력수단의 내구성 문제를 해결하여 저 비용의 지속성을 갖는 청록수소 생성 시스템을 구축하는 것을 최종적인 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0015] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명은,
- [0016] 용융된 액체금속을 수용하는 반응로; 상기 반응로 내부를 분할하여 제1격실 및 제2격실로 구획하는 격막; 상기 격막의 상부와 하부에 각각 천공 형성되어 상기 제1격실과 제2격실을 연통하는 유입구 및 유출구; 상기 유입구의 하부 위치에서 상기 격막의 제2격실측 일면 상에 설치되고, 양단에 단차를 형성하는 단차벽; 상기 제1격실에 수용된 액체금속 내부로 반응가스를 주입하는 반응가스 주입관; 및 상기 제2격실에 수용된 액체금속 내부로 연소가스를 주입하는 연소가스 주입관을 포함한다.
- [0017] 또한, 일 실시예에서, 상기 제2격실에 주입된 연소가스는, 상기 제2격실 내의 액체금속 수위를 상승시키고, 상기 단차벽을 초과하여 상승한 제2격실 내의 액체금속은, 상기 유입구를 통해 제1격실로 유입되며, 상기 제2격실에서 유입된 액체금속과 상기 제1격실에 기 수용된 액체금속의 수두차에 의하여, 상기 제1격실 내부의 액체금속이 상기 유출구를 통해 상기 제2격실로 이동하여 액체금속이 순환한다.
- [0018] 또한, 일 실시예에서, 연료를 수용하는 공간을 형성하고, 연료를 연소시켜 열과 연소가스를 생성하며, 생성된 연소가스를 상기 연소가스 주입관으로 이송하는 가열로; 및 상기 가열로 내부에 배치되고, 일단으로 유입된 반응가스를 상기 반응가스 주입관으로 이송하되, 상기 가열로와 열교환을 통하여 반응가스를 가열하는 열교환부를 더 포함한다.
- [0019] 또한, 일 실시예에서, 상기 반응로의 내부를 상하로 분할하는 제2격막을 더 포함하고, 상기 가열로는 상기 제2격막의 상부에 배치되고, 상기 제1격실 및 제2격실은 상기 제2격막의 하부에 배치된다.
- [0020] 또한, 일 실시예에서, 상기 단차벽은, 상기 격막으로부터 상기 제2격실 측으로 수평 연장 후, 상방향 소정구간 절곡 연장하여 양단에 단차를 형성한다.
- [0021] 또한, 일 실시예에서, 상기 반응가스의 열분해 반응으로 상기 제1격실의 액체금속 내에 생성된 고상의 탄소를 필터링하는 탄소필터부를 더 포함한다.
- [0022] 또한, 일 실시예에서, 상기 제1격실로부터 분기된 전단부와 상기 제1격실로 연결된 후단부를 포함하는 이송관으로 이루어진 탄소회수로를 더 포함하고, 상기 탄소필터부는 상기 탄소회수로 상에 배치된다.
- [0023] 또한, 일 실시예에서, 상기 반응가스 주입관의 전단에 메탄을 공급하는 메탄공급부; 상기 제1격실에 부설되고, 상기 액체금속에 의해 메탄이 열분해되어 생성된 수소를 배출하는 수소배출구; 및 상기 수소배출구에서 배출된 고순도의 수소를 저장하는 수소저장부를 더 포함한다.
- [0024] 또한, 일 실시예에서, 상기 제2격실에 부설되고, 상기 제2격실에 주입된 연소가스를 외부로 배출하는 연소가스 배출구를 더 포함한다.
- [0025] 또한, 일 실시예에서, 상기 단차벽의 상단부는, 상기 유입구의 상단부 보다 높이 위치된다.
- [0026] 한편, 격막으로 분할되되 유입구와 유출구로 서로 연통된 제1격실과 제2격실, 및 양단에 단차를 형성하고 상기 격막의 제2격실측 일면 상에 설치된 단차벽을 포함하는 열분해 반응로 내의 액체금속의 순환 방법에 있어서, 상기 반응로 내에 액체금속을 수용하는 단계; 반응가스를 상기 반응로에 주입하는 단계; 연료를 연소하여 상기 반응가스를 가열하고 연소가스를 생성하는 단계; 상기 제1격실의 액체금속 내에 가열된 반응가스를 주입하고, 상기 반응가스와 액체금속의 열분해 반응으로 기상의 수소와 고상의 탄소가 생성되는 단계; 상기 제2격의 액체금속 내에 상기 연소가스를 주입하는 단계; 상기 제2격실 내의 액체금속의 수위가 주입된 연소가스에 의하여 상승하는 단계; 상기 단차벽을 초과 상승한 상기 제2격실 내의 액체금속이 유입구를 통하여 상기 제1격실로 유입되는 단계; 및 상기 제2격실에서 유입된 액체금속과 상기 제1격실 내에 기 수용된 액체금속의 수두차에 의하여, 상기 제1격실 내부의 액체금속이 유출구를 통해 상기 제2격실로 이동하는 단계를 포함한다.

[0027] 또한, 일 실시예에서, 고상의 탄소를 포함한 액체금속이 상기 제1격실에서 분기된 탄소회수수로 유입되는 단계; 상기 액체금속이 상기 탄소회수수로 상에 부설된 탄소필터부를 통과하며 상기 액체금속으로부터 고상의 탄소가 분리되어 회수되는 단계; 및 상기 탄소필터부를 통과한 액체금속이 상기 제1격실로 재유입되는 단계를 더 포함한다.

발명의 효과

[0029] 상기와 같은 구성을 통하여 본 발명은 이하의 장점을 제공한다.

[0030] 1) 천연가스의 열분해 반응로의 내부를 양분하고, 열분해 반응 중에 양분된 격실간에 액체금속을 순환시킴으로써, 고순도의 청록수소를 연속으로 생성하는 효과가 있다.

[0031] 2) 또한, 반응가스의 가열시 가열로에서 생성되는 연소가스를 반응로 내의 액체금속 순환에 활용하고, 또한, 열분해 반응시 생성되는 고상의 탄소를 필터링하여 회수하여 활용 가능하도록 저장함으로써, 청록수소 생성시 부가 생성되는 부산물들을 활용할 수 있는 효과가 있다.

[0032] 3) 또한, 반응로 내의 액체금속 순환에 있어, 연소가스와 단차벽을 이용하여 분할된 양측 격실 내의 수두차를 형성하고, 수두압을 이용하여 액체금속을 순환시킴으로써, 종래 기술에서 펌프와 같은 동력수단의 내구성 문제를 해결하여 저 비용의 지속성을 갖는 청록수소 생성 시스템을 구축 가능한 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템을 나타내는 단면도이다.

도 2는 제1격실 내에 주입된 반응가스와 액체금속의 열분해 반응이 일어나는 과정을 도시한다.

도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 방법을 나타내는 순서도이다.

도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템 및 방법에서 액체금속 순환 과정의 제1격실 및 제2격실의 수두차를 단계적으로 도시한 개념도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있는 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 다만, 본 발명의 바람직한 실시예에 대한 동작 원리를 상세하게 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다. 이는 불필요한 설명을 생략함으로써 본 발명의 핵심을 흐리지 않고 더욱 명확히 전달하기 위함이다.

[0036] 또한 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 하나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태로 한정하려는 것은 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0037] 이하에서, "액체금속(liquid metal)"은 녹는 점 이상으로 가열되어 고온에서 유동성을 가지는 액상의 용융 금속 또는 합금을 의미하는 것으로 이해되어야 한다.

[0038] 이하에서, "메탄(methane)"은 탄소와 수소로 이루어진 간단한 구조의 화합물이며, 순수한 메탄(CH_4)이거나, 또는, 천연가스의 주 성분으로서 메탄을 포함하는 천연가스를 모두 의미하는 것으로 이해되어야 한다.

[0039] 이하에서, "수두(水頭, waterhead)"는 물의 위치, 속도 및 압력 에너지로서 3가지 형태의 물의 에너지를 높이 단위로 환산한 것을 의미하며, "수두차(水頭差, differential head)"는 높이 단위로 환산한 물의 에너지 차이를 의미하는 것으로 이해되어야 한다.

- [0041] 본 발명은 수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템과 상기 시스템을 통한 액체금속 순환 방법에 관한 것으로,
- [0042] 용융된 액체금속을 수용하는 반응로, 상기 반응로 내부를 분할하여 제1격실 및 제2격실로 구획하는 격막, 상기 격막의 상부와 하부에 각각 천공 형성되어 상기 제1격실과 제2격실을 연통하는 유입구 및 유출구, 상기 유입구의 하부 위치에서 상기 격막의 제2격실측 일면 상에 설치되고, 양단에 단차를 형성하는 단차벽, 상기 제1격실에 수용된 액체금속 내부로 반응가스를 주입하는 반응가스 주입관, 및 상기 제2격실에 수용된 액체금속 내부로 연소가스를 주입하는 연소가스 주입관을 포함한다.
- [0043] 상기와 같은 구성을 통하여 상기 제2격실에 주입된 연소가스는 상기 제2격실 내의 액체금속 수위를 상승시키고, 상기 단차벽을 초과하여 상승한 제2격실 내의 액체금속은 상기 유입구를 통해 제1격실로 유입되며, 상기 제2격실에서 유입된 액체금속과 상기 제1격실에 기 수용된 액체금속의 수두차에 의하여, 상기 제1격실 내부의 액체금속이 상기 유출구를 통해 상기 제2격실로 이동하여 상기 반응로 내의 액체금속의 순환이 이루어진다.
- [0044] 특히, 본 발명은 열분해 반응을 위한 반응 가스의 가열시 부산물로서 생성된 폐 연소가스를 상기 열분해 반응로 내의 제1격실과 제2격실 사이의 수두차를 형성하는데 활용하고, 이를 통하여 상기 열분해 반응로 내에서 부가적인 동력 수단 없이도 액체금속의 순환 구조를 구성하고 있으며, 결과적으로, 액체금속의 순환 구조를 단순화하여 지속적이고 경제적인 열분해 반응 시스템을 구성할 수 있다.
- [0046] 이하, 도면을 참조로 하여 상기와 같은 특징을 갖는 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 기술하도록 한다.
- [0047] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템을 나타내는 단면도이다.
- [0048] 진술한 바와 같이, 본 발명은 반응로 내에 수용된 액체금속을 순환하는 기술에 관한 것으로, 열분해 반응을 위하여 반응가스를 가열할 때 생성된 폐 연소가스를 활용하여 상기 반응로 내에 수두차를 형성함으로써 열분해 반응로 내에 수용된 액체금속을 순환시키는 기술에 관한 것이다.
- [0049] 본 발명은 천연가스에 포함된 메탄을 반응로 내에서 액체금속을 통하여 열분해하여 고순도 수소를 생성하는 청록수소 생성 기술에 적용 가능한 발명이며, 이하, 본 발명을 기술함에 있어 청록수소 생성 기술에 적용된 실시예를 기준으로 발명을 기술한다.
- [0050] 따라서, 상기 반응가스는 메탄(Methane, CH_4)을 주 성분으로 하는 천연가스가 될 수 있다. 그러나, 이와 같은 반응가스의 구성은 본 발명의 바람직한 실시예에 불과하며, 본 명세서를 통하여 기술된 발명의 기술사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 필요에 따라 기타의 다른 성분을 포함하는 반응가스가 선택되어 사용될 수 있는 것으로 이해되어야 한다.
- [0051] 액체금속(liquid metal)은 상온에서 액체 상태로 존재하는 금속 또는 합금이거나, 또는, 고온으로 가열되어 용융된 금속 또는 합금을 의미하나, 본 실시예에서는 반응가스인 메탄의 열분해 반응을 위한 목적으로 사용되므로, 녹는 점 이상의 고온으로 가열되어 고온에서 유동성을 가지는 액상의 용융 금속 또는 합금을 의미한다.
- [0052] 본 발명의 바람직한 실시예에서, 상기 액체금속의 주 성분은 메탄 열분해 반응을 위한 용융된 주석(Sn)을 포함하거나, 또는 주석 합금을 포함하여 이루어질 수 있다. 그러나, 본 발명의 액체금속은 상기한 주석으로 한정되는 것은 아니며, 필요에 따라, 다른 금속 또는 합금을 포함하는 액체금속으로 대체될 수 있다.
- [0054] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템은 반응가스의 열분해를 위하여 고온의 용융된 액체금속을 수용한 반응로(1)와, 상기 반응로(1)의 내부를 분할하여 제1격실(30)과 제2격실(40)로 구획하는 격막(10), 및 상기 격막(10)의 일면 상에 설치되고 양단에 단차를 형성하는 단차벽(20)을 포함한다.
- [0056] 본 발명의 바람직한 실시예에서, 상기 반응로(1)는 폐쇄된 수용 공간을 구성하고, 그 내부에 고온으로 용융된

액체금속을 수용한다. 특히, 상기 반응로(1)는 그 내부에서 반응가스(CH)와 액체금속의 열분해 반응이 일어나고, 따라서 고온 고압이 형성된다. 따라서, 상기 반응로(1)는 후술할 다양한 주입구 또는 배출구를 제외하고 고온 고압의 열분해 반응을 수용할 수 있는 폐쇄구조를 가진다.

[0057] 상기 반응로(1)의 내부 수용 공간은 격막(10)에 의하여 제1격실(30)과 제2격실(40)로 분할되어 구획된다. 보다 상세하게는, 상기 격막(10)은 상기 반응로(1)의 내부에서 세로로 배치되며, 다시말해서, 상기 반응로(1)의 상부에서 하부로 연장하는 구성을 가진다. 따라서, 상기 격막(10)에 의하여 상기 반응로(1)의 내부는 일측의 제1격실(30)과 타측의 제2격실(40)로 양분되어 구획될 수 있다.

[0058] 한편, 상기 격막(10)에 의하여 상기 제1격실(30)과 상기 제2격실(40)은 서로 분리된 공간을 형성하나, 상기 반응로(1) 내부에 수용된 액체금속은 일정한 반응이 일어나도록 상기 반응로(1) 내에서 순환되어야 한다. 따라서, 상기 제1격실(30)과 제2격실(40)은 서로 연통되어야 하며, 이를 위하여 상기 격막(10)에 유입구(11)와 유출구(12)가 형성된다.

[0059] 보다 상세하게는, 상기 격막(10)은 상기 제1격실(30)과 상기 제2격실(40)을 연통하도록 일측에서부터 타측으로 관통하도록 천공 형성된 유입구(11)와 유출구(12)를 더 포함한다. 바람직하게는, 상기 유입구(11)는 상기 격막(10)의 상부에 형성되고, 상기 유출구(12)는 상기 격막(10)의 하부에 형성되며, 따라서, 상기 유입구(11)를 통하여 상기 제2격실(40)로부터 액체금속이 제1격실(30)로 유입되고, 상기 유출구(12)를 통하여 상기 제1격실(30)로부터 액체금속이 제2격실(40)로 유출되어 액체금속이 순환될 수 있다.

[0060] 상기 유입구(11) 및 유출구(12)의 형상 또는 구성은, 상기 제1격실(30)과 제2격실(40)을 연통하여 액체금속을 통과시킬 수 있는 범위 내에서 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 상기 유입구(11) 및 유출구(12)의 형상은 원형, 일자형, 직사각형 등의 어떠한 형태로도 이루어질 수 있다.

[0062] 본 발명의 바람직한 실시예에서, 상기 제1격실(30)은 반응가스와 액체금속의 열분해 반응을 위하여 마련된 공간으로, 이를 위하여 상기 제1격실(30) 내에 수용된 액체금속의 내부(액체금속의 수면 아래)로 가열된 반응가스로서 메탄이 주입되어 액체금속과 열분해 반응이 유도된다.

[0063] 상기 제1격실(30)에 반응가스를 주입하기 위한 구성으로 반응가스 주입관(31)이 상기 제1격실(30) 내에 배치된다. 바람직하게는, 상기 반응 가스 주입관의 토출구(후단)는 상기 액체금속의 수면 아래에 위치되어, 상기 반응가스 주입관(31)으로부터 토출되는 반응가스가 상기 액체금속의 내부(수면 아래)로 공급되어 직접적인 열분해 반응이 일어나도록 구성된다.

[0064] 본 발명의 이와같은 구성은 상기 반응가스의 밀도가 상기 액체금속의 밀도 보다 매우 낮기 때문에 상기 제1격실(30)로 주입된 반응가스와 액체금속이 경계면 상에서 간접적으로 반응하는 것이 아니라, 상기 액체금속 내부에 반응가스가 토출되도록 함으로써 직접적인 열분해 반응이 일어나도록 유도하여 반응을 촉진하기 위한 구성이다.

[0065] 본 발명의 바람직한 실시예에서, 상기 반응가스 주입관(31)의 전단은 후술할 가열로(60) 내의 열교환부(61)와 연결되어 상기 열교환부(61)를 통과하며 가열된 반응가스가 유입되도록 구성된다. 또한, 본 발명의 바람직한 실시예에서, 상기 반응가스 주입관(31)은 상기 제1격실(30)의 상부로부터 하방으로 수직 연장하여 그 하단부에 형성된 토출구는 상기 제1격실(30) 내부에 수용된 액체금속 수면 아래에 위치하도록 배치된다.

[0066] 본 발명의 바람직한 실시예의 구성을 도시하고 있는 도 1에서 상기 반응가스 주입관(31)은 하나의 구성요소로 이루어진 것으로 도시되었으나, 이에 한정하는 것은 아니며, 필요에 따라 둘 이상의 구성요소로 이루어진 복수의 반응가스 주입관(31)이 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 소정의 간격으로 나란히 배치된 복수의 반응가스 주입관(31)이 구성되고, 이를 통하여 상기 제1격실(30)의 액체금속 내부의 다수의 포인트에서 반응가스의 토출이 이루어짐으로써 열분해 반응이 고속으로 진행되도록 구성될 수 있다.

[0068] 진술한 구조를 통하여 상기 제1격실(30) 내부에서 상기 액체금속 내부에 토출된 가열된 반응 가스는 상기 액체금속과 반응하며, 이 과정에서 열분해 반응을 통한 고순도의 기상(氣相, gas)의 수소(H)와 고상(固狀, Solid)의 탄소(C)가 생성된다.

[0069] 이와 같은 액체금속을 통한 메탄의 열분해 반응은 이하의 반응식을 따른다.

- [0070] $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2$
- [0072] 도 2는 상기와 같이 제1격실 내에 주입된 반응가스(CH)가 액체금속(M) 내에서 토출되어 열분해 반응이 일어나는 과정을 도시한다.
- [0073] 상기와 같이 제1격실(30) 내에서 상기 액체금속(M) 내부로 주입된 반응가스(CH)는 열분해 반응에 의하여 기상의 수소(H)와 고상의 탄소(C)로 열분해된다. 이 과정에서 생성된 기상의 수소(H)는 상기 액체금속(M)과의 밀도 차이에 의하여 상기 제1격실(30) 상부로 이동하여 모이고, 상기 제1격실(30) 상부에 구성된 수소배출구(32)를 통하여 배출되어 고순도의 청록수소로서 수소 저장부(300)에 포집되어 저장될 수 있다.
- [0074] 반면, 상기와 같이 열분해 반응으로 생성된 고상의 탄소(C)는 상기 액체금속(M) 내부에 미세 크기로 분산된 상태로 잔존한다. 이와 같은 고상의 탄소(C)는 후술할 탄소필터부(50)를 통하여 필터링되어 회수될 수 있다.
- [0076] 한편, 상기 제2격실(40)은 상기 반응로(1) 내부에 수용된 액체금속의 순환을 위한 에너지를 생성하는 공간으로, 상기 제2격실(40)과 상기 제1격실(30)에 수용된 액체금속간에 형성된 수두차로 의한 수두압을 통하여 액체금속의 순환 에너지가 형성된다.
- [0077] 상기 제2격실(40)과 상기 제1격실(30)의 수두차를 형성하기 위한 구성으로, 후술할 가열로(60)에서 상기 반응가스를 가열하기 위하여 연료를 연소하여 생성된 연소가스가 활용되어 상기 제2격실(40)에 주입된다.
- [0078] 상기 연소가스(combustion gas)는 상기 가열로(60) 내에서 상기 반응가스를 가열하기 위하여 연료(fuel)를 연소할 때 생성되는 부산물로, 일반적으로는 폐 연소가스로서 특별히 활용되지는 않으나, 본 발명에서는 상기 연소가스가 갖는 고열 및 저밀도의 특성을 활용하여 상기 제2격실(40) 내의 액체금속의 수위를 상승시켜 수두차를 형성하는 데 활용된다. 다시말해서, 상기 가열로(60) 내에서 연료가 연소되어 생성된 고열의 연소가스는 상기 제2격실(40) 내부에 수용된 액체금속에 비하여 매우 낮은 저밀도를 가지며, 상기 제2격실(40) 내부에 수용된 액체금속 내부로 주입되어 상기 액체금속의 수위를 상승시키는 기능을 한다.
- [0079] 상기 제2격실(40)에 연소가스를 주입하기 위한 구성으로 연소가스 주입관(41)이 상기 제2격실(40) 내에 배치된다. 바람직하게는, 상기 연소가스 주입관(41)의 토출구(후단)는 상기 액체금속의 수면 아래에 위치되어, 상기 연소가스 주입관(41)으로부터 토출되는 연소가스가 상기 액체금속의 내부(수면 아래)로 공급되도록 구성된다.
- [0080] 본 발명의 바람직한 실시예에서, 상기 반응가스 주입관(31)의 전단은 상기 가열로(60)와 연결되고, 상기 가열로(60)에서 연료 연소에 의하여 생성된 연소가스가 상기 반응가스 주입관(31)의 전단을 통하여 유입될 수 있도록 구성된다.
- [0081] 상기 연소가스 주입관(41)은 상기 제2격실(40)의 상부로부터 하방으로 수직 연장하며, 그 하단부에 형성된 토출구는 상기 제2격실(40) 내부에 수용된 액체금속 수면 아래에 위치하도록 배치된다.
- [0082] 본 발명의 바람직한 실시예의 구성을 도시하고 있는 도 1에서 상기 연소가스 주입관(41) 역시 하나의 구성요소로 이루어진 것으로 도시되었으나, 이에 한정하는 것은 아니며, 필요에 따라 둘 이상의 구성요소로 이루어진 복수의 연소가스 주입관(41)이 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 소정의 간격으로 나란히 배치된 복수의 연소가스 주입관(41)이 구성되고, 이를 통하여 상기 제2격실(40)의 액체금속 내부의 다수의 포인트에서 동시에 연소가스의 토출이 이루어짐으로써 액체금속의 수위를 빠르게 상승시킬 수 있다.
- [0083] 상기와 같은 구성을 통하여 상기 가열로(60)에서 생성된 연소가스가 상기 제2격실(40)의 액체금속 내부로 토출되고, 고온의 저밀도로 이루어진 연소가스는 상기 액체금속과의 밀도차로 인하여 상기 제2격실(40) 상부로 상승한다. 결과적으로, 상기 연소가스의 상승은 액체금속을 함께 상승시키고, 이에 따라 상기 제2격실(40) 내부의 액체금속의 수위가 전체적으로 상승한다.
- [0084] 상기와 같이 제2격실(40) 내부의 액체금속을 상승시키는데 사용된 연소가스는 상기 제2격실(40)의 상부로 이동하여 모이고, 상기 제2격실(40) 상부에 부설된 연소가스배출구(42)를 통하여 상기 제2격실(40)의 외부로 배출 및 포집되어 연소가스를 처리하기 위한 별도 구성의 연소가스 처리부(400)로 이송된다.
- [0086] 한편, 상기 단차벽(20)은 상기 제2격실(40) 내의 액체금속의 수위와 상기 제1격실(30) 내의 액체금속의 수두차

를 형성하는 구성요소이다. 보다 상세하게는, 상기 단차벽(20)은 상기 제1격실(30)측의 일단과 상기 제2격실(40)측의 타단이 서로 다른 높이로 이루어지도록 그 양단에 단차를 형성하고, 상기 제2격실(40) 내에서 상승하는 액체금속의 수위가 상기 제1격실(30)로 흘러넘치는 임계 수위(critical water level)를 높여 양측의 수두차에 의한 수두압을 형성하기 위하여 구비된다.

[0087] 상기 단차벽(20)은 상기 유입구(11)의 하부 위치에서 상기 격막(10)의 제2격실(40)측 일면 상에 설치된다. 본 발명의 바람직한 실시예에서, 상기 단차벽(20)은 상기 유입구(11)의 하부 위치에서 상기 격막(10)으로부터 상기 제2격실(40) 측으로 수평 연장 후 소정구간 상방향 절곡 연장되어 그 양단에 단차를 형성한다. 더 바람직하게는, 상기 단차벽(20)의 상단부는 상기 유입구(11)의 상단부보다 높이 연장 형성된다. 따라서, 상기 단차벽(20)은 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 단면이 좌우 반전된 'ㄴ' 형상으로 이루어지며, 이러한 형상으로 양측의 단차를 형성하고, 단차로 인한 상기 단차벽(20) 양측의 수두차를 형성할 수 있다.

[0088] 그러나, 상기 단차벽(20)의 구성은 이에 한정하는 것은 아니며, 양단의 단차를 형성하는 다양한 형상으로 이루어질 수도 있다. 일 실시예에서, 상기 단차벽은 단면이 '/' 형상으로 이루어진 경사면(미도시)으로도 이루어질 수 있다. 이 실시예에서, 상기 단차벽은 상기 유입구의 하부에서 상기 격막으로부터 상기 제2격실 측으로 사선 방향으로 소정구간 연장하는 경사면으로 이루어질 수 있다. 다른 실시예에서, 상기 단차벽은 상기 유입구의 하부에서 상기 격막으로부터 상기 제2격실 측으로 상승하는 곡면(미도시)으로 이루어질 수도 있다.

[0089] 한편, 상기 단차벽(20)은 상기 유입구(11)의 형상 및 길이에 대응하는 형상 및 길이를 가질 수 있다. 일 실시예에서, 상기 유입구의 일단에서 타단의 길이가 소정의 길이를 갖는 일자형으로 이루어지면, 상기 단차벽 역시, 그 일단에서 타단의 길이가 상기 유입구의 형상 및 길이에 대응하는 길이로 이루어진 일자형 형상으로 이루어질 수 있다.

[0091] 가열로(60)는 상기 반응로(1) 내부로 주입되는 반응가스를 가열하는 장치로서, 연료를 수용하는 폐쇄공간을 형성하고, 그 내부에서 연료를 연소시켜 열과 연소가스를 생성하며, 발생한 열을 이용하여 반응가스를 가열하는 구성요소이다. 상기 가열로(60)는 연료 공급을 위하여 연료를 저장하는 시설을 포함하고 상기 가열로(60)에 저장된 연료를 공급하도록 구성된 연료 공급부(200)와 연결되어 상기 연료 공급부(200)를 통한 연료공급이 이루어질 수 있다.

[0092] 상기 가열로(60) 내에서 연료의 연소에 의하여 생성된 열은 상기 반응가스를 가열하는데 이용되고, 연료의 연소에 따라 부가 생성된 고온의 연소가스는 상기 연소가스 주입관(41)으로 이송되어 상기 제2격실(40)로 주입된다.

[0094] 상기 반응가스의 가열은 상기 가열로(60) 내부에 구성된 열교환부(61)를 통하여 이루어진다. 상기 열교환부(61)는 상기 가열로(60) 내부의 소정의 공간에 구비되고, 그 전단으로부터 반응가스를 공급받아 후단으로 이송하며, 동시에 상기 가열로(60) 내부에서 생성된 열과 상기 반응가스를 열교환하여 상기 반응가스를 가열한다. 이를 위하여 상기 열교환부(61)의 전단은 반응가스의 공급을 위하여 반응가스를 저장하는 시설을 포함하고, 상기 열교환부(61)에 저장된 반응가스를 공급하도록 구성된 반응가스 공급부(100)와 연결되어 상기 반응가스 공급부(100)로부터 반응가스의 공급이 이루어질 수 있다.

[0095] 본 발명의 바람직한 실시예에서, 상기 열교환부(61)는 상기 반응가스를 이송함과 동시에 열교환을 통한 가열이 가능하도록 열전도율이 높은 소재로 이루어진 이송관으로 구성될 수 있으며, 더 바람직하게는, 상기 가열로(60) 내부에 생성된 열과의 접촉면을 증대시키기 위하여 다수회 굴곡 또는 만곡되어 표면적이 최대화된 이송관을 포함하여 이루어질 수 있다. 그러나, 이에 한정하는 것은 아니며, 반응가스를 소정의 경로를 통하여 이송함과 동시에 그외부의 열과 열교환하여 이송중인 반응가스를 가열할 수 있는 공지의 어떠한 열교환 수단으로도 대체될 수 있다.

[0096] 상기 열교환부(61)를 통하여 가열된 반응가스는 상기 제1격실(30) 내부에 구성된 반응가스 주입관(31)으로 이송하여 상기 제1격실(30) 내부로 주입된다.

[0098] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 바람직한 실시예의 가열로(60)는 상기 반응로(1)의 내부에 구성된다. 이를 위하여 상기 반응로(1) 내부를 상하로 분할하여 구획하는 제2격막(70)이 더 포함된다. 상기 제2격막(70)은 상기 반응로(1)의 상부 내측면에서 일측으로부터 타측으로 수평으로 연장 형성되며, 이러한 구성을 통하여 상기 가열

로(60)의 내부를 상하로 분할한다. 상기 제2격막(70)을 통하여 상하로 분할된 반응로(1)의 내부 구조를 통하여, 상기 반응로(1)의 내측 상부에 상기 가열로(60)가 배치될 수 있으며, 상기 반응로(1)의 내측 하부에 상기 제1격실(30) 및 제2격실(40)이 배치될 수 있다. 이러한 구성을 통하여 상기 가열로(60)는 상기 반응로(1)와 일체로 구성될 수 있다.

[0099] 일 실시예에서, 상기 가열로(미도시)는 상기 반응로의 외부에 구성될 수 있다. 이 실시예에서, 상기 가열로는 상기 반응로와는 분리되어 별도 구성된 장치가 될 수 있다. 이 실시예의 가열로는 단지 열분해 반응로와 분리되어 이격된 상태로 구성될 뿐 그 이외의 구성은 전술한 실시예의 구성을 따른다. 다시말해서, 이 실시예의 가열로 내에서 연료의 연소를 통하여 생성된 열은 열교환부를 통과하는 반응가스를 가열하여 가열된 반응가스를 생성하여 추가 구성된 이송관을 통하여 반응가스 주입관으로 이송되고, 연료의 연소에 의하여 가열로 내에서 생성된 연소가스 역시 추가 구성된 이송관을 통하여 상기 연소가스 주입관으로 이송되도록 구성될 수 있다.

[0101] 한편, 본 발명은 상기 제1격실(30) 내에서 열분해 반응을 통하여 생성된 고상의 탄소를 필터링하여 회수하는 탄소회수로(51)를 더 포함한다. 도 2는 고상의 탄소를 포함하고 탄소회수로(51)를 경유하여 순환하는 액체금속을 도시한다.

[0102] 상기 탄소회수로(51)는 상기 제1격실(30) 내에 수용된 액체금속(M)의 필터링을 위하여 상기 제1격실(30)로부터 액체금속(M)을 수용하고 소정의 경로로 순환시킨 후 상기 제1격실(30)로 재유입시키는 폐쇄경로를 형성한다.

[0103] 보다 상세하게는, 상기 탄소회수로(51)는 상기 반응가스(CH)와 액체금속(M)의 열분해 반응에 의하여 생성된 고상의 탄소(C)를 포함하는 액체금속(M)을 상기 제1격실(30)로부터 수용한다. 상기 탄소회수로(51)는 상기 제1격실(30)의 일측으로부터 분기된 전단과 상기 제1격실(30)로 연결된 후단을 포함하고, 상기 전단을 통하여 상기 제1격실(30)로부터 고상의 탄소(C)를 포함한 액체금속(M)을 수용하고, 수용된 액체금속(M)을 소정의 경로 내에서 이송시키며, 상기 후단부를 통하여 이송된 액체금속(M)을 상기 제1격실(30) 내부로 재유입시킨다.

[0104] 본 발명의 바람직한 실시예에서, 상기 탄소회수로(51)를 구성하는 이송관은 고온으로 용융된 액체금속을 수용 가능한 소재(예를 들어, 스테인리스 스틸, 또는, 세라믹 등)로 구성된다. 또한, 본 발명의 바람직한 실시예에서, 상기 탄소회수로(51)는 하나의 이송관을 포함하는 구성을 기준으로 설명하였으나, 이에 한정하는 것은 아니며, 필요에 따라 둘 이상의 복수의 이송관을 포함하는 탄소회수로(51)가 구성될 수 있다.

[0105] 본 발명의 바람직한 실시예에서, 상기 탄소회수로(51)의 전단은 상기 제1격실(30) 내에 생성된 기상의 수소(H)가 상기 탄소회수로로 유입되지 않도록 상기 제1격실(30) 내부에 수용된 액체금속(M)의 수위보다 아래에 위치될 수 있다. 그러나, 이에 한정하는 것은 아니다.

[0106] 상기 탄소회수로(51)를 경유하는 액체금속(M)은 상기 제1격실(30) 내에서 수두차에 의하여 발생한 액체금속(M)의 흐름을 통하여 상기 탄소회수로(51)의 전단으로 유입되어 후단으로 이송된다. 따라서, 본 발명의 탄소회수로(51)는 액체금속(M)의 유입과 이송을 위한 별도의 구동수단을 요구하지는 않는다.

[0107] 일 실시예에서, 후술할 탄소필터부를 통한 탄소의 필터링 과정을 용이하게 하기 위하여 상기 탄소회수로 내에서 액체금속의 이송을 위한 부가적인 구동수단(펌프 등)이 구비될 수 있다.

[0109] 상기 탄소필터부(50)는 상기 탄소회수로(51)를 순환하는 액체금속(M)을 필터링하여 상기 반응가스로의 열분해 과정에서 생성되어 액체금속(M) 내에 분산되어 존재하는 고상의 탄소(C)와 액체금속(M)을 분리한다.

[0110] 이를 위하여 상기 탄소필터부(50)는 고상의 탄소(C)는 필터링하고, 액상의 액체금속(M)을 통과시키는 멤브레인, 또는 필터 등을 포함할 수 있다. 상기 탄소필터부(50)의 소재는 고온의 용융된 액체금속(M)을 필터링 가능한 어떠한 소재로도 이루어질 수 있다.

[0111] 반응가스(CH)의 열분해 과정에서 생성된 고상의 탄소(C)를 포함하는 상기 제1격실(30) 내의 액체금속(M)은, 상기 탄소회수로(51) 및 탄소필터부(50)를 통과하며 필터링 과정을 거쳐 순수한 액체금속(M)으로 여과되어 상기 제1격실(30) 내부로 환원된다. 따라서, 액체금속(M)을 통한 열분해 반응이 일정하게 지속될 수 있다. 또한, 이 과정에서 상기 탄소필터부(50)에 필터링되어 축적된 고상의 탄소(C)는 별도로 회수되어 탄소 저장부(500)에 저장되고, 이후, 탄소(C)를 활용한 제품의 생산(타이어 등)을 위하여 사용될 수 있다.

- [0113] 이하, 전술한 구성을 갖는 본 발명의 수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템 및 방법을 통한 액체금속의 순환 방법을 기술한다.
- [0114] 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 방법을 나타내는 순서도이다. 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템 및 방법에서 액체금속 순환 과정의 제1격실(30) 및 제2격실(40)의 수두차를 단계적으로 도시한 개념도이다.
- [0116] 1) 반응로 내에 액체금속을 수용하고 대기하는 단계(S001)
- [0117] 본 발명의 수두차를 이용한 열분해 반응로의 액체금속 순환 시스템 및 방법 방법을 실시하기에 앞서, 상기 반응로(1) 내부에는 반응가스와의 열분해 반응을 위하여 고온으로 용융된 액체금속이 사전 설정된 수위로 수용된 상태를 전제로 실시된다. 이 단계에서 상기 반응로(1) 내부에 수용된 액체금속은 도 4의 (a)와 같이, 상기 유입구(11)와 상기 유출구(12)를 통하여 서로 연통된 상기 제1격실(30)과 상기 제2격실(40) 내에서 평형 상태를 이루고 동일한 수면 높이를 가진다.
- [0119] 2) 반응가스 주입단계(S002)
- [0120] 반응가스 공급부(100)에 구비된 반응가스가 열분해 반응을 위하여 상기 반응로(1) 내부로 주입된다. 이 단계에서 상기 반응가스는 상기 반응로(1)의 전단에 구비된 가열로(60)를 통과하며, 가열로(60) 내에 구비된 열교환부(61)에서 이후 단계를 통하여 가열되어 상기 반응로(1) 내부의 제1격실(30)로 주입된다.
- [0122] 3) 반응가스 가열 및 연소가스 생성단계(S003)
- [0123] 상기 단계에서 열교환부(61)를 통과하는 반응가스의 가열을 위하여 상기 가열로(60)에 연료가 주입되고, 상기 연료가 상기 가열로(60) 내에서 연소되어 발열이 이루어진다. 이 단계에서, 상기 가열로(60)의 내부에서 연료의 연소에 따라 고온의 열과 연소가스가 생성되는데, 연료의 연소에 의하여 생성된 고온의 열은 상기 열교환기에 전달되고, 연료의 연소에 의하여 생성된 연소가스는 이하의 단계에서 상기 제2격실(40) 내부로 주입된다.
- [0125] 4) 반응가스의 열분해 단계(S004)
- [0126] 상기 단계들을 통하여 가열로(60)에서 가열되어 제1격실(30) 내부로 주입된 반응가스와 상기 제1격실(30) 내부에 수용된 액체금속이 열분해 반응하여 고순도의 기상의 수소(청록수소)와 고상의 탄소가 생성된다.
- [0127] 이 단계에서, 상기 반응가스 주입관(31)을 통하여 상기 제1격실(30) 내부에 수용된 액체금속(M) 내부로 토출된 가열된 반응가스(CH)는 상기 액체금속과 직접 열분해 반응을 일으켜 기상의 수소(H)와 고상의 탄소(C)를 생성한다. 이때 생성된 기상의 수소는 상기 액체금속의 밀도차에 따라 상기 제1격실(30) 상부로 이동하여 모이고, 고상의 탄소는 상기 액체금속 내부에 남아 제1격실(30) 내부에 분산되어 분포된다.
- [0128] 이때, 상기 제1격실(30) 상부로 이동한 고순도의 수소는 수소배출구(32)를 통하여 배출되어 포집되고, 수소 저장부(300)로 이송되어 청록수소로서 저장된다.
- [0130] 5) 연소가스 주입단계(S005)
- [0131] 상기 단계(S003)를 통하여 가열로(60) 내에서 생성된 연소가스는 상기 연소가스 주입관(41)을 따라 상기 제2격실(40) 내부로 주입되고, 상기 연소가스 주입관(41)의 하단부를 통하여 토출되어 액체금속 내부로 주입된다. 이 단계에서, 상기 가열로(60)의 연소에 의하여 생성된 고온 저밀도의 연소가스는 상기 제2격실(40) 내에 수용된 액체금속 내부에서 토출되며, 상기 제2격실(40) 내부에 수용된 액체금속과의 반응을 일으키지 않고, 상기 액체금속과의 밀도차에 의하여 상기 제2격실(40)의 상부로 이동한다.
- [0133] 6) 제2격실 내부에 주입된 연소가스에 의하여 액체금속의 수위가 상승하기 시작하는 단계(S006)

- [0134] 상기 단계(S005)를 통하여 상기 제2격실(40) 내부에 수용된 액체금속 내부로 주입된 연소가스는 상기 제2격실(40) 상부로 이동함과 동시에 상기 액체금속의 수위를 상승시킨다.
- [0135] 이 단계에서, 상기 제2격실(40) 내의 액체금속 내부로 주입된 연소가스는 연료의 연소에 의하여 생성된 고온 저밀도의 연소가스이며, 상기 액체금속과 반응을 일으키지는 않는다. 따라서, 상기 연소가스는 상기 연소가스 주입구의 하단부로부터 토출됨과 동시에 상기 제2격실(40)의 상부로 이동하고, 이에 따라, 상기 제2격실(40) 내부의 액체금속의 상방향 이동을 유도한다. 결과적으로, 상기 제2격실(40) 내부에 주입된 연소가스에 의하여 상기 제2격실(40) 내부에 수용된 액체금속의 수위는 상승하며, 이 과정은 상기 단차벽(20)의 높이를 초과하기 전까지 지속적인 연소가스의 유입에 의하여 계속된다.
- [0136] 도 4의 (b)는 상기 단계(S006)에서 반응로(1) 내부의 제2격실(40)에서 소정구간 상승한 액체금속의 수위를 도시하고 있다.
- [0138] 7) 제2격실의 액체금속이 단차벽을 초과하여 제1격실로 유입되는 단계(S007)
- [0139] 상기 단계(S006)를 통하여 제2격실(40) 내부에 수용된 액체금속의 수위가 상기 단차벽(20)의 높이를 초과하여 상승하게 되면, 초과 상승한 액체금속은 상기 단차벽(20)을 넘어 상기 유입구(11) 방향으로 흐르고, 상기 유입구(11)를 통과하여 제1격실(30)로 유입된다.
- [0140] 이 단계에서, 상기 제2격실(40)에 수용된 액체금속과 상기 제1격실(30)에 수용된 액체금속은 수두차가 존재한다. 다시말해서, 상기 제2격실(40)로부터 단차벽(20)을 넘어 상기 제1격실(30)로 유입되는 액체금속은 상기 제1격실(30) 내부에 수용된 액체금속과 비교하여 단차벽(20) 상단부 높이 만큼의 상대적인 수두차를 가지고, 따라서, 상대적으로 높은 수두압을 가진다. 결과적으로, 상기 제2격실(40)로부터 상기 제1격실(30)로 유입되는 액체금속의 수두압은 상기 제1격실(30) 내에 기 수용된 액체금속의 하방 이동을 유도한다.
- [0141] 도 4의 (c)는 상기 단계(S007)의 반응로(1) 내부의 액체금속의 수위를 도시하고 있다.
- [0143] 8) 제1격실 내부에 기 수용된 액체금속이 유출구를 통과하여 제2격실로 유입되는 단계(S008)
- [0144] 상기 단계(S007)에서 상기 제2격실(40)로부터 제1격실(30)로 유입되는 액체금속의 수두차에 의하여 상기 제1격실(30) 내부에 기 수용된 액체금속은 하방으로 이동하고, 이에 따라, 상기 제1격실(30) 하부의 액체금속은 상기 격막(10)의 하부에 형성된 유출구(12)를 통과하여 상기 제2격실(40)로 유입된다.
- [0145] 이와 같은 액체금속의 흐름은 상기 단계(S001 내지 S008)의 반복을 통하여 지속적으로 이루어지며, 상기 반응로(1) 내부의 액체금속의 순환 흐름을 만들어낸다.
- [0146] 도 4의 (d)는 상기 단계(S008)의 반응로(1) 내부에서 제1격실(30)과 제2격실(40)을 순환하고 있는 액체금속의 흐름을 도시한다.
- [0148] 9) 고상의 탄소를 포함한 액체금속이 탄소회수로로 유입되어 순환하는 단계(S009)
- [0149] 한편, 상기 단계(S004)의 반응가스와 액체금속의 열분해 반응으로 인하여 생성된 고상의 탄소는 상기 액체금속 내에 분산되어 존재하며, 이와 같이, 고상의 탄소를 포함하는 액체금속은 필터링을 위한 분기된 경로를 형성하는 탄소회수로(51)로 유입된다.
- [0150] 이 단계에서, 상기 탄소회수로(51)의 전단부는 상기 제1격실(30)의 일측으로부터 분기된 경로의 입구로서, 상기 제1격실(30)로부터 고상의 탄소를 포함하는 액체금속을 수용하여 순환시킨다.
- [0151] 또한, 상기 탄소회수로(51)를 통한 액체금속의 유입은 상기 단계(S007)에서 인가된 수두압에 의한 에너지를 통하여 이루어질 수 있다. 다시말해서, 상기 단계(S005 내지 S008)들을 통한 상기 반응로(1) 내부의 액체금속이 순환하는 흐름은 상기 제1격실(30)로부터 분기된 탄소회수로(51)의 전단부로 액체금속이 유입되는 결과를 도출할 수 있다.

- [0153] 10) 탄소회수로를 순환하는 액체금속이 탄소필터부에서 필터링되는 단계(S010)
- [0154] 상기 단계(S009)를 통하여 탄소회수로(51)를 순환하는 액체금속은 탄소필터부(50)를 통과하며 필터링된다.
- [0155] 이 단계에서, 고상의 탄소를 포함하는 액체금속은 상기 탄소회수로(51) 상에 부설된 탄소필터부(50)를 통과하며 필터링된다. 따라서, 액체금속에 포함된 고상의 탄소는 상기 탄소필터부(50)에 필터링되어 잔존하고, 이 과정을 통하여 상기 탄소필터부(50)에 잔존하는 고상의 탄소는 회수되어 탄소 저장부(500)로 이동 저장된다.
- [0157] 11) 고상의 탄소가 필터링되어 제거된 액체금속이 상기 제1격실로 재유입되는 단계(S011)
- [0158] 상기 단계(S010)를 통하여 탄소필터부(50)에서 고상의 탄소는 필터링되어 제거되며 순수한 액체금속만 통과하여 상기 탄소회수로(51)의 후단부를 통하여 상기 제1격실(30)로 재유입되고, 열분해 반응에 재 사용된다.
- [0160] 결과적으로, 상기 단계 (S009) 내지 단계 (S011)를 통하여 상기 제1격실(30) 내부에서 반응가스와 열분해 반응을 통하여 생성된 고상의 탄소가 지속적으로 회수될 수 있으며, 또한, 탄소의 필터링을 통한 액체금속의 순도가 지속적으로 유지될 수 있으므로, 반응가스와의 일정한 열분해 반응이 이루어질 수 있다.
- [0162] 이상과 같은 구성을 통하여 본 발명은, 천연가스의 열분해 반응로(1)의 내부를 양분하고, 열분해 반응 중에 양분된 격실간에 액체금속을 순환시킴으로써, 고순도의 청록수소를 연속으로 생성 가능하고, 또한, 가열로(60)에서 생성되는 연소가스를 반응로(1) 내의 액체금속 순환에 활용하고, 또한, 열분해 반응시 생성되는 고상의 탄소를 필터링하여 회수하여 활용 가능하도록 저장함으로써, 청록수소 생성시 부가 생성되는 부산물들을 활용할 수 있으며, 또한, 반응로(1) 내의 액체금속 순환에 있어, 연소가스와 단차벽(20)을 이용하여 분할된 양측 격실 내의 수두차를 형성하고, 수두압을 이용하여 액체금속을 순환시킴으로써, 종래 기술의 펌프와 같은 동력수단의 내구성 문제를 해결하여 저 비용의 지속성을 갖는 청록수소 생성 시스템을 구축할 수 있다.
- [0164] 본 명세서에 기재된 본 발명의 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 바람직한 실시예에 관한 것으로, 발명의 기술적 사상을 모두 포괄하는 것은 아니며, 출원시점에서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다. 따라서, 본 발명은 상술한 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 본 발명의 청구범위 기재의 권리범위에 속한다.

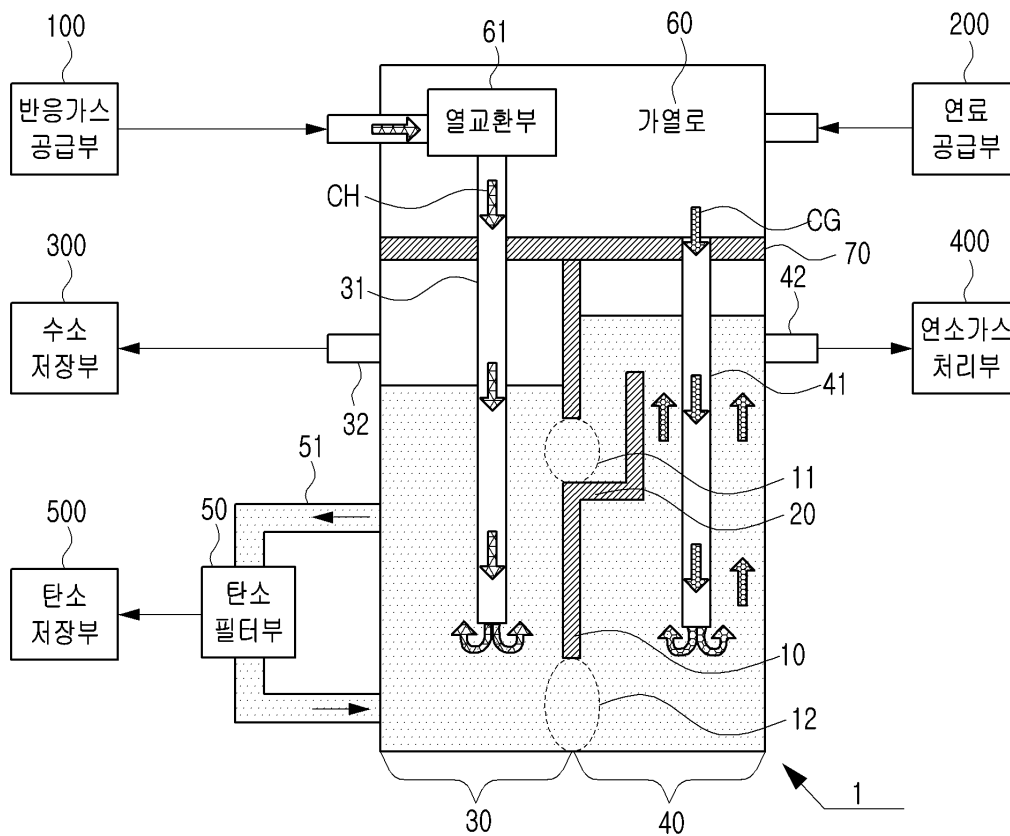
부호의 설명

- [0166] 1: 반응로
- 10: 격막
- 11: 유입구
- 12: 유출구
- 20: 단차벽
- 30: 제1격실
- 31: 반응가스 주입관
- 32: 수소배출구
- 40: 제2격실
- 41: 연소가스 주입관
- 42: 연소가스배출구

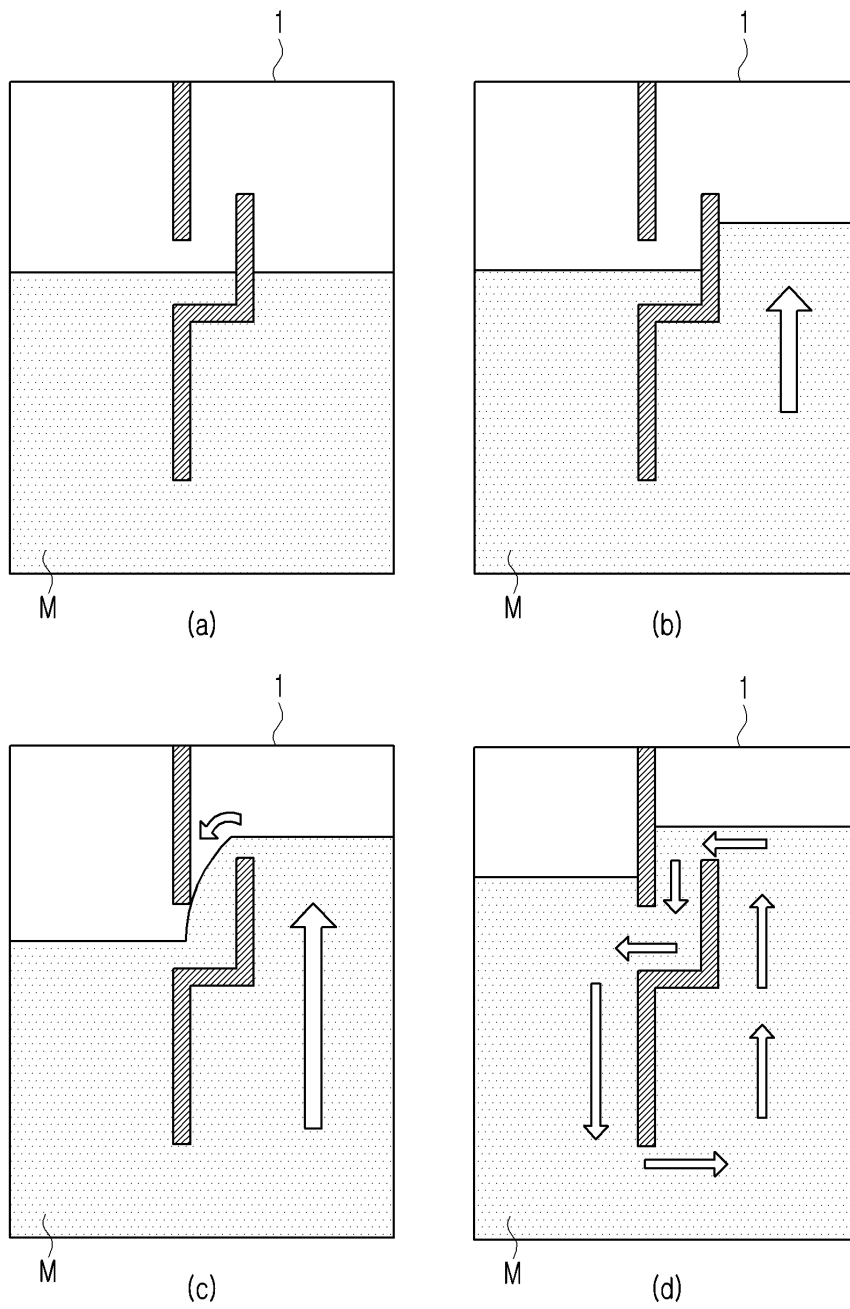
- 50: 탄소필터부
- 51: 탄소회수로
- 60: 가열로
- 61: 열교환부
- 70: 제2격막
- 100: 반응가스 공급부
- 200: 연료 공급부
- 300: 수소 저장부
- 400: 연소가스 처리부
- 500: 탄소 저장부
- M: 액체금속
- CH: 반응가스
- C: 탄소
- H: 수소
- CG: 연소가스

도면

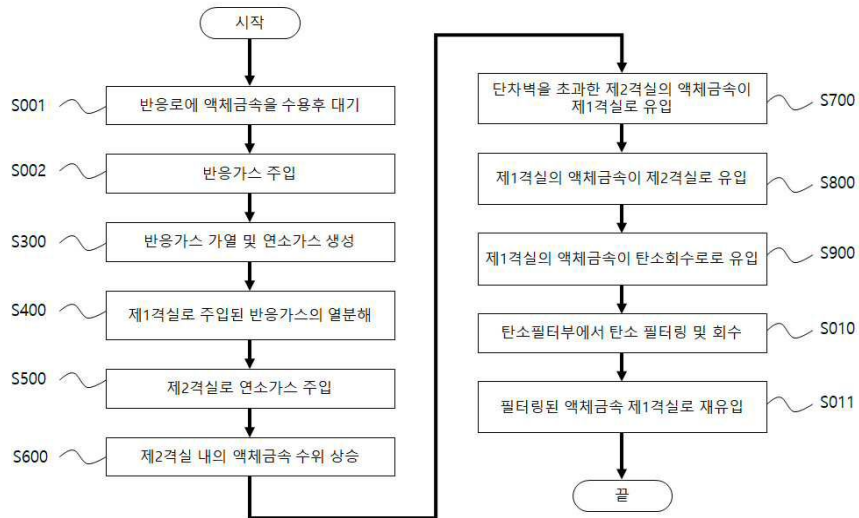
도면1



도면2



도면3



도면4

