



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년05월22일  
(11) 등록번호 10-2535849  
(24) 등록일자 2023년05월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C10J 3/66 (2006.01) C01B 3/26 (2006.01)  
C10J 1/207 (2012.01)  
(52) CPC특허분류  
C10J 3/66 (2013.01)  
C01B 3/26 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2020-0058789  
(22) 출원일자 2020년05월18일  
심사청구일자 2020년05월18일  
(65) 공개번호 10-2021-0142227  
(43) 공개일자 2021년11월25일  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2016155702 A\*  
Mohamad A. Nahil et al. "Novel bi-functional Ni-Mg-Al-CaO catalyst for catalytic gasification of biomass ~". RSC Advances. Vol.3, pp. 5583-5590 (2013.02.08) 1부.\*  
Sang-Ryong Lee et al. "Strategic use of CO2 for co-pyrolysis of swine manure and coal for energy recovery and waste disposal". Journal of CO2 Utilization. Vol.22, pp. 110-116 (2017.09.30.) 1부.\*  
Gyung-Goo Choi et al. "Total utilization of waste tire rubber through pyrolysis to obtain oils and CO2 activation of pyrolysis char". Fuel Processing Technology. Vol.123, pp. 57-64 (2014.02.23.) 1부.\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
세종대학교산학협력단  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)  
(72) 발명자  
권일한  
서울특별시 송파구 잠실로 62 트리지움, 334동 101호  
이태우  
서울특별시 관악구 관악로 285 성현동아아파트, 104동 2106호  
정성엽  
서울특별시 성북구 길음로 16 길음뉴타운, 608동 201호  
(74) 대리인  
특허법인임엔정

전체 청구항 수 : 총 9 항

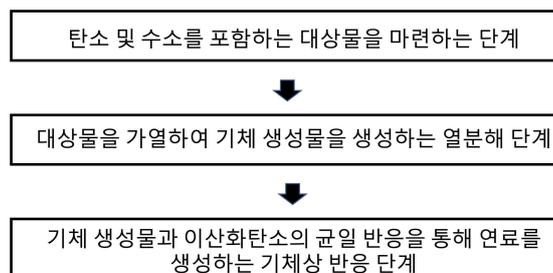
심사관 : 조민환

(54) 발명의 명칭 이산화탄소의 연료화 방법

(57) 요약

본 발명은 탄소 및 수소를 포함하는 물질 중 어느 하나를 대상으로 하여 이산화탄소를 이용가능한 형태의 기체인 수소, 메탄, 및 일산화탄소로 변환하는 방법으로서, 상기 대상물을 가열하여 기체 생성물을 생성하는 열분해 단계; 및 상기 기체 생성물을 이산화탄소 분위기 하에서 300 내지 900 °C의 온도로 가열하여 수소, 메탄, 일산화탄소 또는 탄화수소를 생성하는 기체상 반응 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소의 연료화 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

- C10J 1/207 (2013.01)
- C01B 2203/1041 (2013.01)
- C01B 2203/1211 (2013.01)
- C01B 2203/1614 (2013.01)
- C01B 2203/1661 (2013.01)
- C10J 2300/0946 (2013.01)
- C10J 2300/0986 (2013.01)
- C10J 2300/1207 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711098044
과제번호	20191009
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원(R&D)
연구과제명	탄소순환형 폐자원 전환 기초연구실
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교 산학협력단
연구기간	2019.09.01 ~ 2022.02.28
공지에외적용	: 있음

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

탄소 및 수소를 포함하는 물질 중 어느 하나를 대상으로 하여 이산화탄소를 이용 가능한 형태의 기체인 수소, 메탄, 및 일산화탄소로 변환하는 방법으로서,

상기 대상물을 가열하여 기체 생성물을 생성하는 열분해 단계; 및

상기 기체 생성물을 이산화탄소 분위기 하에서 350 내지 500 °C의 온도로 가열하여 수소, 메탄, 일산화탄소 또는 탄화수소를 생성하는 기체상 반응 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소의 연료화 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 대상물은 저질탄, 유기성 폐기물, 및 폐플라스틱 중 선택되는 적어도 어느 하나인 것을 특징으로 하는 이산화탄소의 연료화 방법.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 유기성 폐기물은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 및 리그닌으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나 또는 이들의 혼합물인 것을 특징으로 하는 이산화탄소의 연료화 방법.

#### 청구항 4

제2항에 있어서,

상기 폐플라스틱은 방향족 화합물로 이루어진 고분자 폐기물인 것을 특징으로 하는 이산화탄소의 연료화 방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 열분해 단계 온도를 승온하면서 수행함으로써 결합력의 세기가 약한 순서부터 순차적으로 열분해되어 기체 생성물이 생성되는 것을 특징으로 하는 이산화탄소의 연료화 방법.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 기체상 반응 단계는 등온 조건에서 수행함으로써 발생한 휘발성 기체 화합물과 이산화탄소 간의 기체상 반응하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소의 연료화 방법.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 기체상 반응 단계는 스틸 슬래그의 존재 하에 수행되며, 상기 스틸 슬래그가 열분해시 촉매로 작용하여 일산화탄소의 생산량이 증가하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소의 연료화 방법.

**청구항 8**

제1항에 있어서,

상기 열분해 단계는 제1스테이지에서 수행되고, 상기 기체상 반응 단계는 제2스테이지에서 수행되며, 상기 제1스테이지에서 생성된 기체 생성물이 상기 제2스테이지로 유입되어 반응하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소의 연료화 방법.

**청구항 9**

제1항에 있어서,

상기 열분해 단계 및 상기 기체상 반응 단계는 하나의 스테이지에서 수행되며, 상기 열분해 단계에서 먼저 기체상 반응 온도까지 승온하면서 열분해를 수행한 후에, 기체상 반응 온도에서 등온조건으로 열분해가 수행되는 것을 특징으로 하는 이산화탄소의 연료화 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 이산화탄소의 연료화 방법에 관한 것으로서, 구체적으로 열화학공정에 기반하여 이산화탄소를 활용하여 탄소 및 수소를 포함하는 대상물을 수소, 메탄 및 일산화탄소로 전환할 수 있는 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0003] 종래 열화학공정은 주로 화학 · 에너지 산업에서 에너지 밀도가 높은 화석연료(석탄, 석유, 천연가스 등)를 중심으로 에너지 · 화학물질 확보를 목적으로 수행되었다. 하지만 최근 과도한 화석연료의 사용으로부터 심각한 환경적 · 사회적 문제가 대두되었다.

[0004] 특히, 탄화물질의 열화학공정 중 배출되는 이산화탄소와 같은 온실가스와 휘발성 화합물, 방향족 화합물 등과 같은 탄소계 유해물질은 대기 중에 누적되어 지구온난화 뿐만 아니라 미세먼지와 같은 대기 오염을 가속화하는 주된 원인이다.

[0005] 따라서 이러한 환경적 부담을 줄이기 위해서 다양한 산업에서 발생하는 이산화탄소의 직접활용이 필요한 실정이다. 동시에 이산화탄소의 활용시에 탄소계 유해물질의 발생을 방지할 수 있어야 한다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 본 발명은 이산화탄소와 탄소 및 수소를 포함하는 대상물을 이용가능한 형태인 수소, 메탄 및 일산화탄소로 연료화할 수 있는 방안을 제공하는 것에 그 목적이 있다. 동시에 본 발명은 이산화탄소를 활용하여 대상물을 높은 효율로 수소, 메탄 및 일산화탄소로 전환하되, 그 과정에서 휘발성 화합물, 방향족 화합물 등과 같은 탄소계 유해물질의 발생을 방지하여 친환경적인 이산화탄소의 연료화 방법을 제공하고자 한다.

[0008] 한편, 본 발명의 명시되지 않은 또 다른 목적들은 하기의 상세한 설명 및 그 효과로부터 용이하게 추론할 수 있는 범위 내에서 추가적으로 고려될 것이다.

**과제의 해결 수단**

- [0010] 위와 같은 과제를 달성하기 위해 본 발명의 일 예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법은 탄소 및 수소를 포함하는 물질 중 어느 하나를 대상으로 하여 이산화탄소를 활용 하에 이용가능한 형태의 기체인 수소, 메탄, 및 일산화탄소로 변환하는 방법이며, 구체적으로는 상기 대상물을 이산화탄소 분위기 하에서 승온 가열하여 기체 생성물로 전환하는 열분해 단계; 및 상기 기체 생성물을 이산화탄소 분위기 하에서 300 내지 900 °C의 온도로 가열하여 수소, 메탄 및 일산화탄소를 생성하는 기체상 반응 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0011] 일 실시예에 있어서, 상기 대상물은 저질탄, 유기성 폐기물, 및 폐플라스틱 중 선택되는 적어도 어느 하나인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0012] 일 실시예에 있어서, 상기 유기성 폐기물은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 및 리그닌으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나 또는 이들의 혼합물인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0013] 일 실시예에 있어서, 상기 폐플라스틱은 폴리스티렌 등을 포함한 방향족 화합물로 이루어진 고분자 폐기물인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0014] 일 실시예에 있어서, 상기 열분해 단계 온도를 승온하면서 수행함으로써 결합력의 세기가 약한 순서부터 순차적으로 기체 생성물이 생성되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0015] 일 실시예에 있어서, 상기 기체상 반응 단계는 등온 조건에서 수행함으로써 발생한 휘발성 기체 화합물 등과 이산화탄소 간의 동일상 반응(기체상 반응)하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0016] 일 실시예에 있어서, 상기 기체상 반응 단계는 스틸 슬래그의 존재 하에 수행되며, 상기 스틸 슬래그가 열분해시 촉매로 작용하여 일산화탄소의 생산량이 증가하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0017] 일 실시예에 있어서, 상기 열분해 단계는 제1스테이지에서 수행되고, 상기 기체상 반응 단계는 제2스테이지에서 수행되며, 상기 제1스테이지에서 생성된 기체 생성물이 상기 제2스테이지로 유입되어 반응하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0018] 일 실시예에 있어서, 상기 열분해 단계 및 상기 기체상 반응 단계는 하나의 반응기에서 수행되되, 상기 열분해 단계에서 먼저 기체상 반응 온도까지 승온하면서 기체생성물을 만든 후에, 기체상 반응 온도에서 등온조건으로 반응이 수행되는 것을 특징으로 할 수 있다.

**발명의 효과**

- [0020] 본 발명의 일 예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법은 탄소 및 수소를 포함하는 물질 중 어느 하나를 대상으로 하여 이산화탄소 활용 하에 이용가능한 형태의 기체인 수소, 메탄, 및 일산화탄소로 변환하며, 동시에 휘발성 화합물, 방향족 화합물 등과 같은 탄소계 유해물질의 발생을 방지하여 친환경적이라는 장점이 있다.
- [0021] 또한, 본 발명의 일 예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법은 제철소에 발생하는 폐부산물인 스틸슬래그를 촉매로 이용하여, 이산화탄소의 열분해 시에 발생하는 일산화탄소의 양을 현저히 증가시킬 수 있다는 장점이 있다.
- [0022] 한편, 여기에서 명시적으로 언급되지 않은 효과라 하더라도, 본 발명의 기술적 특징에 의해 기대되는 이하의 명세서에서 기재된 효과 및 그 잠정적인 효과는 본 발명의 명세서에 기재된 것과 같이 취급됨을 첨언한다.

**도면의 간단한 설명**

- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법에 있어 이산화탄소의 활용이 탄소 관리 측면에서의 중요성을 나타내기 위한 참고도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법의 개략적 플로우 차트이다.
- 도 3은 이산화탄소를 활용한 고형 탄화물질의 열화학공정을 통한 합성가스(수소와 일산화탄소)의 생성 증대와 합성가스의 활용을 통한 연료 및 화학물질의 합성을 설명하기 위한 참고도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법의 반응 과정을 개략적으로 도시한 것으로서, 열분해 과정에서 이산화탄소와 반응을 통해 탄소를 손실함으로써 휘발성 화합물의 방향성(aromaticity)을 낮추는 과정을 나타내는 것이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법이 수행되는 다양한 형태의 반응기를 설명하기 위한 개략적 모식도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법이 반응기 내에서 수행되는 과정을 설명하기 위한 개략적 모식도이다.

도 7은 질소와 이산화탄소 조건에서 폴리스티렌의 하나의 스테이지에서 연료화하여 발생한 합성가스의 생성 변화 그래프를 나타낸다.

도 8은 질소와 이산화탄소 조건에서 폴리스티렌의 2단 스테이지 연료화로부터 발생한 합성가스 생성 변화 그래프를 나타낸다.

도 9는 질소와 이산화탄소 조건에서 제 2반응기의 등온 온도에 따른 폴리스티렌의 2단 스테이지 연료화로부터 발생한 오일의 화학적 조성 변화를 나타낸다.

도 10은 질소와 이산화탄소 조건에서 폴리스티렌의 촉매 2단 스테이지 연료화로부터 발생한 합성가스의 생성 변화 그래프를 나타낸다.

첨부된 도면은 본 발명의 기술사상에 대한 이해를 위하여 참조로서 예시된 것임을 밝히며, 그것에 의해 본 발명의 권리범위가 제한되지는 아니한다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0025] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 다양한 실시예가 안내하는 본 발명의 구성과 그 구성으로부터 비롯되는 효과에 대해 살펴본다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지기능에 대하여 이 분야의 기술자에게 자명한 사항으로서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0026] 고형 탄화물질(저질탄이나 유기성 폐기물, 폐플라스틱 등과 같은 저질 탄화수소나 화석연료 등 탄소를 함유한 고체상 물질)을 열분해에 의해 처리하는 방법은 에너지 소비적이며, 휘발성 화합물이나 방향족 화합물과 같은 탄소계 유해물질을 발생시켜 환경오염의 원인이 된다.
- [0027] 구체적으로 살펴보면, 도 1에서 알 수 있듯이, 열분해와 같은 열화학 공정을 통한 화학물질 및 에너지 회수과정의 각 단위공정에서 다량의 이산화탄소가 배출되는 것을 확인할 수 있다. 각 단위공정에서의 이산화탄소의 배출은 온실가스의 증가와 동시에 화학물질 및 에너지 회수를 위한 가용탄소의 감소를 의미한다. 본 발명에서는 이산화탄소를 단순히 대기오염 물질로 접근하여 각 단위공정에서 이산화탄소를 감소시키는 방안을 제공하는 것을 목적으로 하는 것이 아니라, 이산화탄소에 대해 탄소원료로서 접근하여 열분해와 같은 열화학 공정으로 접근하여 친환경적이며 동시에 경제적 효과를 수득하는 것을 목적으로 한다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법은 공정 중의 이산화탄소의 직접활용을 통한 궁극적인 탄소 관리를 실현코자 하는 것이다.
- [0028] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법의 개략적 플로우 차트이며, 도 3은 이산화탄소를 활용한 고형 탄화물질의 열화학공정을 통한 합성가스(수소와 일산화탄소)의 생성 증대와 합성가스의 활용을 통한 연료 및 화학물질의 합성을 설명하기 위한 참고도이다.
- [0029] 도 2 및 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법은 탄소 및 수소를 포함하는 물질 중 어느 하나를 대상으로 하여 열분해 단계 및 기체상 반응 단계를 포함하여 수행된다.
- [0030] 종래 열화학공정은 탄화물질로부터 연료 · 화학물질 · 에너지를 생산하기 위한 기반 공정에 해당한다. 특히, 열분해 공정은 산소가 없는(oxygen-free) 질소 혹은 아르곤과 같은 기체 조건에서 수행되어 탄화물질의 원자간 결합을 끊는 열적 분해를 야기시킨다. 이와 같은 열분해 과정에서 생성되는 기체 액체, 고체 생성물은 중간생성물로서 또는 직접적으로 연료로 활용이 가능하다. 특히 열분해 공정은 탈수소화를 동반하고, 이 과정에서 생성된 부생수소는 높은 에너지 함량을 갖고 있다.
- [0031] 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법은 질소 혹은 아르곤과 같은 기체 조건 대신 이산화탄소 조건 하에서 열분해를 수행하는 것을 특징으로 한다. 열분해를 이산화탄소 조건 아래에서 수행하게 되면 종래 열화학공정과 달리 일산화탄소가 생성된다.
- [0032] 특히, 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법은 대상물에 대해 먼저 열분해 단계를 수행하여, 열분해가 대상물을 기체생성물로 전환시킴에 따라 발생한 휘발성 기체 화합물 등과 이산화탄소 간의 기체상 반응을 유도한다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법은 열분해 단계를 동일 상간의 반응으로 유도하여 상대적으로 빠른 반응 속도를 확보하였다.
- [0033] 이와 같은 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법은 열화학공정 과정에서 배출되는 이산화탄소

를 탄소원으로 직접 활용하여 에너지원으로 활용 가능한 일산화탄소를 회수 가능하다는 점에서 의미가 있다. 즉, 대상물이 탄소와 수소로 구성되어 있음을 고려하면, 이산화탄소 조건에서 열화학공정을 통한 수소(H<sub>2</sub>)와 일산화탄소(CO)의 생성은 직접 에너지원으로 활용 가능한 원료를 확보할 수 있다는 의의가 있으며, 동시에 수소와 일산화탄소의 비율의 조절과 추가적인 합성과정을 통해 연료·화학물질의 합성을 위한 단위 물질로서 활용 가능하다는 의의가 있다.

[0034] 더욱이 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법은 대상물로부터 발생하는 기체 생성물 중 하나인 휘발성 화합물의 방향성(aromaticity)을 낮출 수 있다. 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법을 이용하여 기체생성물에 포함된 휘발성 화합물이 이산화탄소와의 반응을 통해 탄소를 손실함으로써 휘발성 화합물의 방향성(aromaticity)을 낮추는 과정을 설명하기 위한 것이다. 즉, 도 4는 열분해 단계에서 발생한 기체 생성물 중 하나인 휘발성 화합물과 이산화탄소 간의 기체상 반응을 통한 일산화탄소 생성에 따라 휘발성 화합물로부터 탄소를 소비하게 된다. 이에 따라 휘발성 화합물의 방향족 화합물로의 성장 억제를 야기함으로써 방향성(aromaticity)이 감소하게 된다.

[0035] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법이 수행되는 다양한 형태의 반응기를 설명하기 위한 개략적 모식도이며, 도 6은 촉매 2단 스테이지 연료화 방법을 구체적으로 도시한 것이다. 도 5 및 6과 함께 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법의 구체적인 조건에 대해 살펴보도록 한다.

[0036] 도 5를 참조하면 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법은 2단 스테이지 연료화 방법으로 설계가 가능하다. 특히, 촉매를 이용할 경우에는 합성가스 생성물 중에 일산화탄소의 생성량이 크게 증가되는 효과가 있다.

[0037] 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법은 탄소 및 수소를 포함하는 물질 중 어느 하나를 대상으로 하며, 대상물을 열분해하는 단계 및 기체상 반응을 하는 단계를 포함하여 수행된다.

[0038] 대상물은 저질탄, 유기성 폐기물 및 폐플라스틱 중 선택되는 적어도 어느 하나인 것을 특징으로 한다. 이러한 저질탄, 유기성 폐기물 및 폐플라스틱은 에너지 밀도가 낮다는 단점이 있으나, 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법을 통해 에너지 밀도를 높은 형태로 변환하여 사용 가능하다는 장점이 있다.

[0039] 저질탄은 화력이 약하고 질이 좋지 않은 석탄을 의미한다. 본 발명은 고질탄을 대상으로 하는 것도 가능하나 이는 경제적으로 큰 의미가 없다. 저질탄은 발열량이 작으면서 환경오염물질 발생이 높은 되는 문제가 있는데, 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법은 환경오염물질의 발생을 최소화하면서, 이산화탄소를 저질탄과 함께 열분해/기체상 반응을 하여 연료나 고부가가치 화학물질의 원료로 이용가능한 수소, 메탄, 일산화탄소와 같은 물질을 생성할 수 있다. 유기성 폐기물로는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 및 리그닌으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나 또는 이들의 혼합물을 이용할 수 있다. 폐플라스틱으로는 고분자 화합물을 이용할 수 있다.

[0040] 열분해 단계는 상온으로부터 온도를 점차 상승시키면서 수행될 수 있다. 대상물을 상온으로부터 목표하는 온도까지 일정한 속도로 승온시킬 경우 대상물에 포함되어 있는 화합물의 결합력에 따라 결합력이 약한 순서부터 순차적으로 기체 생성물로 전환된다. 열분해 단계는 상온에서 900 °C 이하의 어느 목표하는 온도까지 승온될 수 있으며, 승온 속도는 분당 5 ~ 50°C로 승온이 수행될 수 있다. 열분해 단계에서도 이산화탄소 조건으로 수행되었으며, 이는 열분해 단계에서 생성된 기체 생성물이 이산화탄소 조건에서 연속적으로 기체상 반응에 참여하도록 제어하기 위한 것이다.

[0041] 기체상 반응 단계는 일정 온도에서 등온조건으로 수행될 수 있다. 여기서 일정 온도란 열분해 단계에서 목표하는 온도와 다를 수 있다. 기체상 반응 단계가 수행되는 온도는 300 ~ 900 °C의 온도일 수 있으며, 바람직하게는 350~500 °C의 온도에서 수행될 수 있다. 기체상 반응에서는 300 °C에서부터 수소나, 메탄, 일산화탄소, 또는 탄화수소기체 등의 생성물이 생성되기 시작하며, 900 °C 이상에서는 투입되는 에너지가 과도하여 비 경제적이다.

[0042] 2단 스테이지 연료화 방법의 경우에는 제1스테이지에서 열분해 단계가 수행되고, 열분해 단계에서 결합력에 따라 순차적으로 생성되는 기체 생성물이 제2스테이지로 이동하여 제2스테이지에서 기체상 반응을 하게 된다. 촉매 2단 스테이지 연료화 방법의 경우 촉매를 도 6과 같이 고정층(fixed-bed reactor)로 충전할 수 있다. 도 6과 같이 촉매를 이용할 경우, 제2스테이지로 유입된 기체 생성물의 열분해가 향상되어 합성가스(특히, 일산화탄소)의 양이 현저히 증가하고 유해 화학물질이 저감된다. 촉매로는 철강 폐기물인 스틸 슬래그를 이용할 수 있다.

- [0043] 이와 같은 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화탄소의 연료화 방법은 이산화탄소가 열분해/기체상 반응의 매개체이자 원료라는 점에서 특이점이 있다. 즉, 이산화탄소가 대상물로부터 탄소를 공급받아 일산화탄소를 생성하고, 대상물은 탄소를 잃어버림으로써 방향성이 낮아져 휘발성화합물 등의 오염물질의 발생이 저감되는 것이다. 또한, 온실가스의 저감이라는 측면에서 이산화탄소의 적극적 소비가 가능하다는 장점이 있다.
- [0045] **실시예**
- [0047] 이산화탄소의 연료화 방법을 구현하기 위해서 대기압 상태로 반응기 내에 질량유량계를 이용하여 질소 또는 이산화탄소를 주입하였다. 반응기 내에는 대상물을 배치하였다. 반응기는 하나의 스테이지로 구성된 것과, 2개의 스테이지로 구성된 것을 필요에 따라 이용하였다. 실험실 규모의 실험 진행을 위해 회분식으로 실험을 진행하였으나, 대상물의 공급을 연속적으로 조절하는 것도 가능하다.
- [0048] 먼저, 하나의 스테이지에서 대상물을 각각 질소 및 이산화탄소 분위기에서 온도를 달리하여 열분해하여 연료화하였다. 대상물로는 화학구조 중에 산소가 포함되지 아니한 폴리스티렌을 이용하였다. 회수되는 에너지원으로는 수소(H<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 일산화탄소(CO)를 측정하였으며, 그 결과를 도 7에 표시하였다.
- [0049] 다만, 도 7을 참조하면, 하나의 스테이지만을 이용한 경우 질소나 이산화탄소 조건의 경우 차이가 없이 생성되는 에너지원의 양이 소수점 3자리 수준으로 매우 작은 것을 알 수 있으며, 생성되는 일산화탄소의 양도 매우 적은 것을 알 수 있다.
- [0050] 다음으로 2단 스테이지를 이용하여 대상물을 제1스테이지에서 열분해 한 뒤 제2스테이지에서 700 °C에서 기체상 반응을 하는 실험을 진행하였다. 대상물로는 폴리스티렌을 이용하였다. 2단 스테이지로는 질량유량계를 이용하여 질소 또는 이산화탄소가 주입되었다. 회수되는 에너지원으로는 수소(H<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 일산화탄소(CO)를 측정하였으며, 그 결과를 도 8에 표시하였다.
- [0051] 도 7과 도 8을 참조하면, 제2 스테이지의 존재 하에서 휘발성 화합물의 추가적인 열분해 과정에 의한 합성 가스 발생이 현저히 증가하는 것(도8)을 그렇지 않은 경우(도7)에 비해 확인 가능하다. 이는 열분해 단계를 통해 생성된 기체 생성물과 이산화탄소가 동일 상간의 반응(기체상 반응)으로 반응성이 증가된 것에 기인한다.
- [0052] 특히, 이산화탄소를 주입한 경우 질소를 주입한 경우와 달리 일산화탄소가 생성되는 것을 관측할 수 있다. 폴리스티렌에 산소가 포함되어 있지 않다는 것을 고려해보면, 도 7에서 확인할 수 있는 일산화탄소의 증가는 이산화탄소 주입에 따라 이산화탄소와 기체생성물의 반응에 의한 결과임을 알 수 있다.
- [0053] 도 9는 대상물로 폴리스티렌을 이용하고, 질소 또는 이산화탄소 조건에서 2단 스테이지 연료화 방법에 따라 처리하여 얻은 오일의 화학적 조성을 나타낸 것이다.
- [0054] 폴리스티렌의 열적 분해에 의해 방출된 휘발성 화합물과 이산화탄소 간의 기체상 반응에 따른 오일의 화학적 조성 변화를 알아보기 위하여 열분해가 수행되는 제 2스테이지의 온도를 400, 500, 600, 700, 800도로 구분하여 실시하였다. 해당 온도는 폴리스티렌의 열적 안정도를 고려하여 정한 것이다.
- [0055] 도 9를 참조하면, 회수된 오일의 화학적 성분은 monomer(styrene), dimer, trimer, 2-ring, 3-ring, 4-ring으로 구성된다. 이는 폴리스티렌이 방향성을 띠는 대표적인 고분자 화합물의 특성을 고려하여 스티렌의 개수로 구분되었고, 제 2스테이지의 온도가 증가함에 따라 탈수소화에 따른 방향족 화합물의 증가가 나타나는 점을 고려하여 벤젠고리의 개수에 따라 구분하였다.
- [0056] 온도 증가에 따라 스티렌 성분으로부터 방향족 화합물이 증가하는 경향을 보여준다. 하지만, 질소 조건에 비해 이산화탄소 조건에서 상대적으로 방향족 화합물이 저감되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 온도가 높아짐에 따라 기체상 반응이 강화되어 이산화탄소에 의한 방향족 화합물 저감 효과가 증가하는 것을 알 수 있다. 800 °C에서는 약 10%정도 방향족 화합물의 양이 저감된다.
- [0057] 다음으로 2단 스테이지를 이용하여 대상물을 제1스테이지에서 열분해 한 뒤 제2스테이지에서 700 °C에서 스틸슬래그 촉매 하에 기체상 반응을 하는 실험을 진행하였다. 스틸슬래그는 제2스테이지의 중간에 충전되는 형태로 배치되었다. 대상물로는 폴리스티렌을 이용하였다. 2단 스테이지로는 질량유량계를 이용하여 질소 또는 이산화탄소가 주입되었다. 회수되는 에너지원으로는 수소(H<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 일산화탄소(CO) 및 탄화수소(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 기체를 측정하였으며, 그 결과를 도 10에 표시하였다.
- [0058] 도 8과 도 10을 비교해보면, 수소, 메탄, 일산화탄소 등 모든 기체 생성물이 약 2배 가량 증가함을 알 수 있으

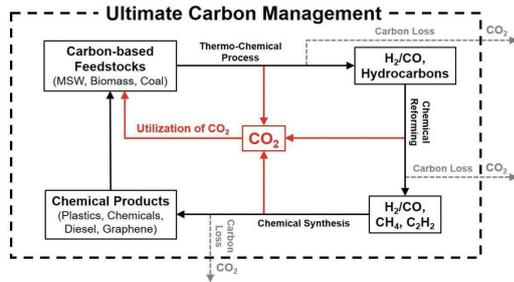
며, 이산화탄소 조건에서 발생되는 일산화탄소의 양은 거의 20~40배 가량 증가한 것을 확인할 수 있다.

[0059]

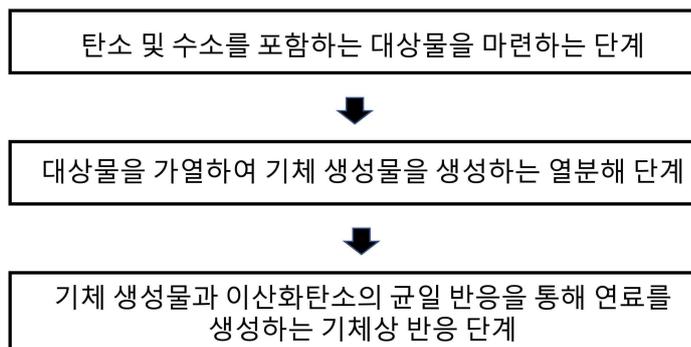
본 발명의 보호범위가 이상에서 명시적으로 설명한 실시예의 기재와 표현에 제한되는 것은 아니다. 또한, 본 발명이 속하는 기술분야에서 자명한 변경이나 치환으로 말미암아 본 발명이 보호범위가 제한될 수도 없음을 다시 한 번 첨언한다.

도면

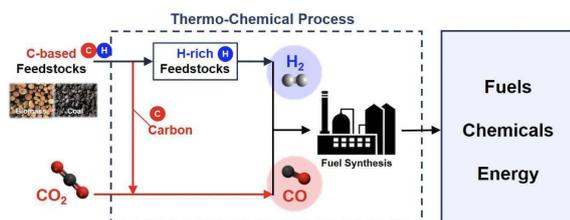
도면1



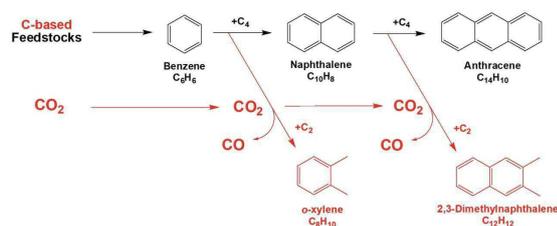
도면2



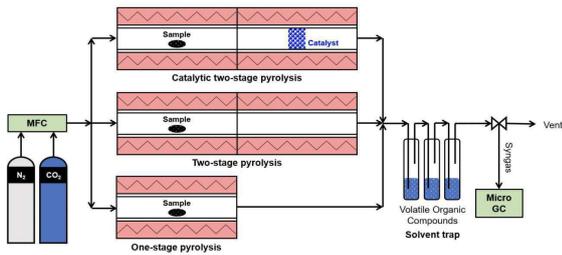
도면3



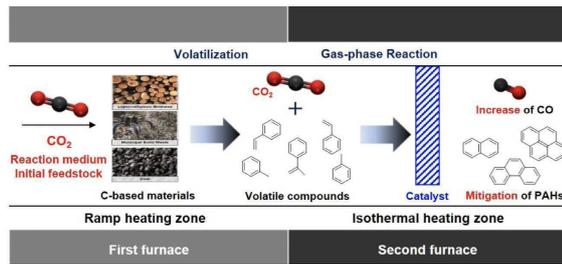
도면4



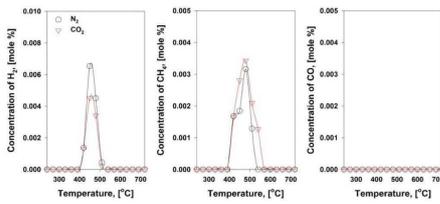
도면5



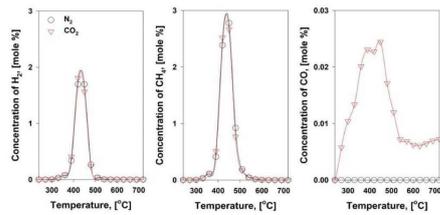
도면6



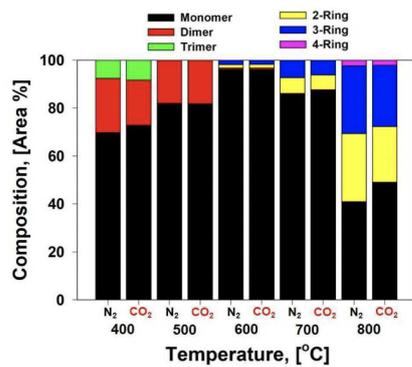
도면7



도면8



도면9



도면10

