



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0159713  
(43) 공개일자 2024년11월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B01J 19/24 (2006.01) B01J 19/00 (2018.01)  
B01J 8/18 (2006.01) C01B 3/26 (2006.01)  
C01B 32/15 (2017.01) C01B 32/16 (2017.01)  
C07C 9/04 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
B01J 19/2425 (2013.01)  
B01J 19/002 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0055715  
(22) 출원일자 2023년04월27일  
심사청구일자 2023년04월27일

(71) 출원인  
한국생산기술연구원  
충청남도 천안시 서북구 입장면 양대기로길 89

(72) 발명자  
김정필  
전라북도 전주시 덕진구 붓대3길 29, 117동 1403호

양정훈  
전라북도 전주시 완산구 구룡1길 13-9, 201호

오은채  
전라북도 전주시 완산구 서곡로 8, 104동 501호

(74) 대리인  
한상수

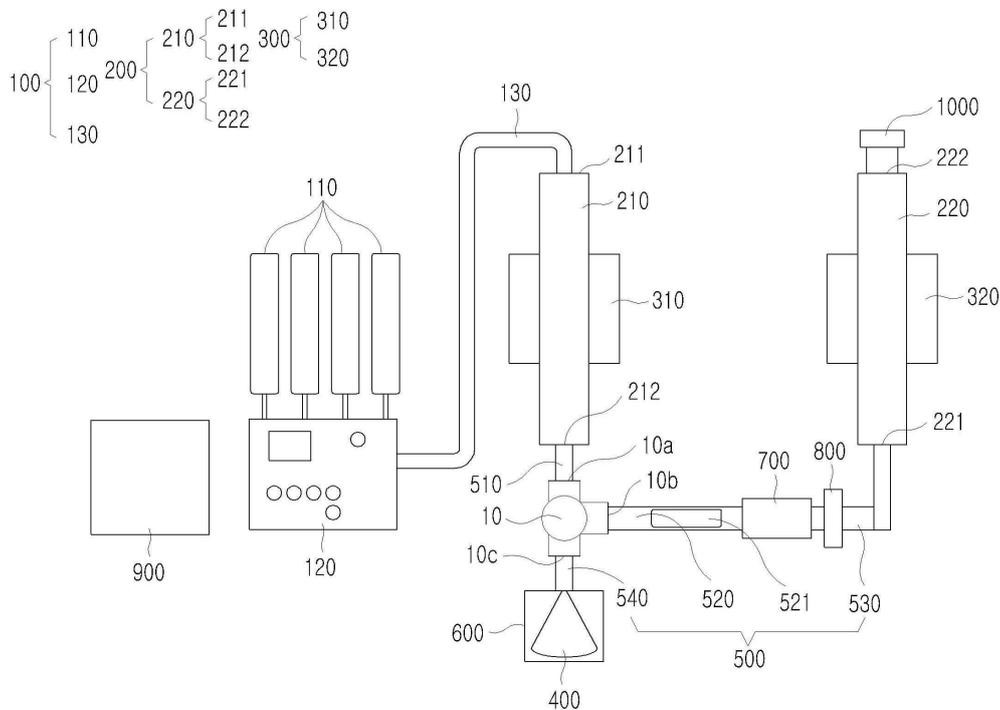
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템 및 이를 이용한 생산방법

(57) 요약

본 발명은 가스공급부, 내부공간을 구비하는 중공의 기둥형상으로 형성되며 가스공급부와 연결되어 가스를 공급 받고 가스로부터 1차반응생성물을 생성하는 전단반응부 및 전단반응부의 횡방향으로 이격되어 전단반응부와 평행하게 배치되는 중공의 기둥형상으로 형성되며 전단반응부와 연결되어 1차반응생성물을 공급받는 후단반응부를 구 (뒷면에 계속)

대표도



비하는 반응모듈, 전단반응부의 하부에 위치하고, 전단반응부에서 1차반응생성물을 생성할 시 생성되는 수분을 포집하는 수분포집부 및 전단반응부와 후단반응부를 연결하여 1차반응생성물의 이송을 위한 유로를 제공하는 1차반응생성물이송부를 포함하며, 지면을 기준으로 전단반응부와 후단반응부는 서로 병렬식으로 배치되어, 전단반응부에서 배출된 1차반응생성물은 1차반응생성물이송부로 유동하고 전단반응부에서 배출된 수분은 수분포집부로 유동하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템을 제공한다.

(52) CPC특허분류

*B01J 8/1827* (2013.01)

*B01J 8/1836* (2013.01)

*C01B 3/26* (2013.01)

*C01B 32/15* (2017.08)

*C01B 32/16* (2017.08)

*C07C 9/04* (2013.01)

*B01J 2219/00038* (2013.01)

*B01J 2219/00045* (2013.01)

*C01B 2210/0015* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	230006
과제번호	EM230006
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국생산기술연구원
연구사업명	한국생산기술연구원연구운영비지원(주요사업비)
연구과제명	온실가스 전환 고품질 나노탄소 제조 및 에너지 저장 소재 적용
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국생산기술연구원
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

가스공급부;

내부공간을 구비하는 중공의 기둥형상으로 형성되며 상기 가스공급부와 연결되어 가스를 공급받고 상기 가스로부터 1차반응생성물을 생성하는 전단반응부 및 상기 전단반응부의 횡방향으로 이격되어 상기 전단반응부와 평행하게 배치되는 중공의 기둥형상으로 형성되며 상기 전단반응부와 연결되어 상기 1차반응생성물을 공급받는 후단반응부를 구비하는 반응모듈;

상기 전단반응부의 하부에 위치하고, 상기 전단반응부에서 상기 1차반응생성물을 생성할 시 생성되는 수분을 포집하는 수분포집부; 및

상기 전단반응부와 상기 후단반응부를 연결하여 상기 1차반응생성물의 이송을 위한 유로를 제공하는 1차반응생성물이송부;를 포함하며,

지면을 기준으로 상기 전단반응부와 상기 후단반응부는 서로 병렬식으로 배치되어, 상기 전단반응부에서 배출된 상기 1차반응생성물은 상기 1차반응생성물이송부로 유동하고 상기 전단반응부에서 배출된 수분은 상기 수분포집부로 유동하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 1차반응생성물이송부는,

일단이 상기 전단반응부와 연결되어 상기 1차반응생성물에 유로를 제공하는 제1기체이송배관; 및

일단이 상기 제1기체이송배관의 타단과 연결되고, 타단이 상기 후단반응부와 연결되는 제2기체이송배관;을 구비하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템.

#### 청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 전단반응부와 상기 수분포집부 및 상기 제1기체이송배관 각각과 연결되고, 상기 전단반응부와 상기 제1기체이송배관의 연결 또는 상기 수분포집부와 상기 전단반응부의 연결을 제어하는 밸브를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템.

#### 청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 제1기체이송배관은,

내부에 수분흡착체가 형성되는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템.

#### 청구항 5

제 2 항에 있어서,

상기 제1기체이송배관과 상기 제2기체이송배관의 사이에 위치하여 상기 제1기체이송배관 및 상기 제2기체이송배관과 연결되는 기체혼합부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템.

#### 청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 기체혼합부는, 상기 기체혼합부를 통과하는 상기 1차반응생성물을 교반하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템.

#### 청구항 7

제 2 항에 있어서,

상기 제2기체이송배관의 적어도 일부와 결합되고, 상기 제2기체이송배관을 통과하는 상기 1차반응생성물의 유량을 조절하는 유량조절부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템.

#### 청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 전단반응부의 외측면과 열적으로 접촉하도록 형성되어 상기 전단반응부를 가열하는 전단가열부; 및  
상기 후단반응부의 외측면과 열적으로 접촉하도록 형성되어 상기 후단반응부를 가열하는 후단가열부;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템.

#### 청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 전단가열부는, 상기 전단반응부의 온도를 300℃ 내지 350℃로 가열하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템.

#### 청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 후단가열부는, 상기 후단반응부의 온도를 700℃ 내지 1000℃로 가열하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템.

#### 청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 수분포집부를 둘러싸도록 배치되어 상기 수분포집부를 냉각시키는 냉각부;를 더 포함하는 것을 특징으로

하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템.

### 청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 가스공급부는,

가스가 저장되는 복수 개의 가스탱크;

상기 복수 개의 가스탱크와 연결되어 상기 복수 개의 가스탱크로부터 배출되는 가스의 유량을 측정 및 제어하는 유량제어기; 및

일단이 상기 유량제어기와 연결되고 타단이 상기 전단반응부와 연결되어 상기 가스탱크로부터 배출된 가스에 유로를 제공하는 가스공급관;을 구비하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템.

### 청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 가스는 이산화탄소 및 수소가 혼합된 가스인 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템.

### 청구항 14

제 8 항에 있어서,

상기 가스공급부로부터 상기 전단반응부로 전달되는 가스 종류 또는 가스량을 제어하고, 상기 전단가열부와 상기 후단가열부 각각의 온도를 제어하는 제어부;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템.

### 청구항 15

제 5 항의 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템을 이용한 나노탄소소재 및 수소 생산방법에 있어서,

상기 가스공급부에 의해 이산화탄소 및 수소가 혼합된 가스가 상기 전단반응부로 주입되는 제1단계;

상기 전단반응부 내부에 형성되는 1차촉매와 상기 가스가 반응하여 상기 전단반응부의 내부에서 1차반응생성물이 생성되는 제2단계;

상기 1차반응생성물 중 기체인 생성기체는 상기 제1기체이송배관을 통과하여 상기 기체혼합부로 이송되고, 상기 1차반응생성물 중 액체인 생성액체는 상기 1차반응생성물이송부에 결합되는 밸브에 의해 상기 수분포집부로 이송되는 제3단계;

상기 생성기체 내 각 물질이 상기 기체혼합부에서 교환되는 제4단계;

상기 기체혼합부를 통과한 상기 1차반응생성물이 상기 제2기체이송배관을 통과하여 상기 후단반응부로 이송되는 제5단계;

상기 후단반응부 내부에 형성되는 2차촉매와 상기 1차반응생성물이 반응하여 나노탄소소재 및 수소가 생성되는 제6단계; 및

상기 수소가 상기 후단반응부의 상단으로 배출되는 제7단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노탄소소재 및 수소 생산방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템 및 이를 이용한 생산방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 이산화탄소로부터 메탄을 생산하는 공정과 메탄으로부터 나노탄소소재를 생산하는 공정인 2단계의 공정으로 이루어지고, 반응로의 배열이 병렬식으로 형성되는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템 및 이를 이용한 생산방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0003] 화석연료 사용으로 인한 이산화탄소 농도의 급격한 증가는 지구 온난화로 인한 여러 가지 환경문제를 일으키고 있으며, 이산화탄소의 처리 및 감축은 국가적으로 시급한 상황에 있다.

[0004] 그로 인해 전세계적으로 탄소중립정책을 시행하고 있으며, 그 중에 기술개발이 시급한 분야는 이산화탄소 전환 분야이다.

[0005] 이에 따라, 전세계적으로 매년 R&D 투자비용, 논문, 특허 등이 점진적으로 증가 추세를 보이고 있으며, '이산화탄소 포집/활용 기술혁신 로드맵'에 따르면 이산화탄소 화학전환 분야 중 탄소소재 전환 및 이차전지 소재 활용 분야는 차세대 기술로 명시되어 있다.

[0006] 따라서, 대기 중으로 이산화탄소의 방출량을 감소시키는 향상된 방법을 발명하고 개발하는 것이 중요하다.

[0007] 또한, 이차전지의 수요가 확대됨에 따라 이차전지의 가격경쟁력을 확보하는 것이 중요하기 때문에 차세대 이차전지 소재로 활용되는 고비용의 나노탄소소재의 원가를 낮출 기술이 필요하며, 기술 및 장비 개발 시 국내외 고부가가치의 시장을 창출할 수 있다.

[0008] 현재 광화학, 생화학, 전기화학 및 금속 촉매를 사용하는 방법 등에 따른 이산화탄소 환원 방법에 대해 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0009] 한편, 이러한 이산화탄소 환원 반응으로 탄소나노튜브(CNT: Carbon nanotube)를 포함한 여러 나노탄소소재의 생산이 가능하다.

[0010] 여기서, 탄소나노튜브는 그래펜 시트를 통상으로 감은 구조를 갖고, 애스펙트비가 매우 큰 1차원 구조를 갖는 재료이다.

[0011] 탄소나노튜브는 기계적으로 훌륭한 강도와 유연성, 반도체적 금속적 도전성을 갖고, 또한 화학적으로도 매우 안정적인 성질을 갖는 것으로 알려져 있다.

[0012] 탄소나노튜브의 제조 방법은 아크 방전법, 레이저 증발법, 화학 기상증착법(이하, CVD (Chemical Vapor Deposition) 법이라고 한다.) 등이 보고되어 있다.

[0013] 특히 CVD 법은 대량 합성, 연속 합성, 고순도화에 적합한 합성 방법으로서 주목받고 있는 합성법이다.

[0014] 특히, 단층 탄소나노튜브(이하, 「SWCNT」라고 한다.)는 감는 방법이나 그 직경에 따라 금속적 성질, 반도체적 성질을 나타내는 것이 확인되어 있고,

[0015] 전기 전자 소자 등에 대한 응용이 기대되고 있다. SWCNT의 합성에는, 나노튜브를 성장시키는 촉매 CVD 법이 주류가 되어 있다.

[0016] 이 촉매 CVD 법은 금속의 나노 입자를 촉매로 한다. 그리고, 기체의 탄소원을 공급하면서, 고온에서 탄소원을 열분해하고, 촉매 금속의 나노 입자로부터 나노 튜브를 성장시킨다.

[0017] 대한민국 공개특허 제 10-2022-0111299호(발명의 명칭: 단일벽 탄소 나노튜브 막과 그 제조 방법 및 제조 장치)에서는, 단일벽 탄소 나노튜브를 제조하는 방법으로서, 혼합 구역에 담체 일산화탄소 및 촉매 전구체를 제 1 입구를 통해 상기 촉매 전구체의 반응 온도 미만의 온도로 공급하는 것; 혼합 구역에 가열된 일산화탄소를 제 2

입구를 통해 공급하여 상기 가열된 일산화탄소가 상기 담체 일산화탄소 및 촉매와 혼합되어 에어로졸을 형성하게 하는 것; 반응 챔버 내에서 상기 에어로졸을 반응시켜 단일벽 탄소 나노튜브(SWCNT), 일산화탄소, 및 이산화탄소를 포함하는 복합 에어로졸을 형성하는 것; 및 기판을 상기 복합 에어로졸에 노출시켜 상기 기판의 표면에 SWCNT 막을 퇴적시키는 것을 포함하는, 단일벽 탄소 나노튜브의 제조 방법이 개시되어 있다.

[0019] (특허문헌 1) 대한민국 공개특허 제 10-2022-0111299호(2022.08.09)

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0021] 상기와 같은 문제를 해결하기 위한 본 발명의 목적은 가스공급부로부터 이산화탄소와 수소과 혼합된 가스를 공급받아 메탄을 생산하는 전단반응부 및 전단반응부로부터 메탄을 공급받아 나노탄소소재를 생산하는 후단반응부를 구비하며, 수분포집부 및 수분흡착체를 구비하여 전단반응부에서 생성되는 수분을 포집 및 흡착하고 전단반응부와 후단반응부로 공정단계를 세분화함에 따라 고품질의 나노탄소소재를 생산 가능한 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템 및 이를 이용한 생산방법을 제공하는 것이다.

[0022] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0024] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 구성은, 가스공급부; 내부공간을 구비하는 중공의 기둥형상으로 형성되며 상기 가스공급부와 연결되어 가스를 공급받고 상기 가스로부터 1차반응생성물을 생성하는 전단반응부 및 상기 전단반응부의 횡방향으로 이격되어 상기 전단반응부와 평행하게 배치되는 중공의 기둥형상으로 형성되며 상기 전단반응부와 연결되어 상기 1차반응생성물을 공급받는 후단반응부를 구비하는 반응모듈; 상기 전단반응부의 하부에 위치하고, 상기 전단반응부에서 상기 1차반응생성물을 생성할 시 생성되는 수분을 포집하는 수분포집부; 및 상기 전단반응부와 상기 후단반응부를 연결하여 상기 1차반응생성물의 이송을 위한 유로를 제공하는 1차반응생성물이송부;를 포함하며, 지면을 기준으로 상기 전단반응부와 상기 후단반응부는 서로 병렬식으로 배치되어, 상기 전단반응부에서 배출된 상기 1차반응생성물은 상기 1차반응생성물이송부로 유동하고 상기 전단반응부에서 배출된 수분은 상기 수분포집부로 유동하는 것을 특징으로 하는 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템을 제공한다.

[0025] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 1차반응생성물이송부는, 일단이 상기 전단반응부와 연결되어 상기 1차반응생성물에 유로를 제공하는 제1기체이송배관; 및 일단이 상기 제1기체이송배관의 타단과 연결되고, 타단이 후단반응부와 연결되는 제2기체이송배관;을 구비할 수 있다.

[0026] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 전단반응부와 상기 수분포집부 및 상기 제1기체이송배관 각각과 연결되고, 상기 전단반응부와 상기 제1기체이송배관의 연결 또는 상기 수분포집부와 상기 전단반응부의 연결을 제어하는 밸브를 더 포함할 수 있다.

[0027] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 제1기체이송배관은, 내부에 수분흡착체가 형성될 수 있다.

[0028] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 제1기체이송배관과 상기 제2기체이송배관의 사이에 위치하여 상기 제1기체이송배관 및 상기 제2기체이송배관과 연결되는 기체혼합부를 더 포함할 수 있다.

[0029] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 기체혼합부는, 상기 기체혼합부를 통과하는 상기 1차반응생성물을 교반할 수 있다.

[0030] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 제2기체이송배관의 적어도 일부와 결합되고, 상기 제2기체이송배관을 통과하는 상기 1차반응생성물의 유량을 조절하는 유량조절부를 더 포함할 수 있다.

[0031] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 전단반응부의 외측면과 열적으로 접촉하도록 형성되어 상기 전단반응부를 가

열하는 전단가열부; 및 상기 후단반응부의 외측면과 열적으로 접촉하도록 형성되어 상기 후단반응부를 가열하는 후단가열부;를 더 포함할 수 있다.

- [0032] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 전단가열부는, 상기 전단반응부의 온도를 300℃ 내지 350℃로 가열할 수 있다.
- [0033] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 후단가열부는, 상기 후단반응부의 온도를 700℃ 내지 1000℃로 가열할 수 있다.
- [0034] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 수분포집부를 둘러싸도록 배치되어 상기 수분포집부를 냉각시키는 냉각부;를 더 포함할 수 있다.
- [0035] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 가스공급부는, 가스가 저장되는 복수 개의 가스탱크; 상기 복수 개의 가스탱크와 연결되어 상기 복수 개의 가스탱크로부터 배출되는 가스의 유량을 측정 및 제어하는 유량제어기; 및 일단이 상기 유량제어기와 연결되고 타단이 상기 전단반응부와 연결되어 상기 가스탱크로부터 배출된 가스에 유로를 제공하는 가스공급관;을 구비할 수 있다.
- [0036] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 가스는 이산화탄소 및 수소가 혼합된 가스일 수 있다.
- [0037] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 가스공급부로부터 상기 전단반응부로 전달되는 가스 종류 또는 가스량을 제어하고, 상기 전단가열부와 상기 후단가열부 각각의 온도를 제어하는 제어부;를 더 포함할 수 있다.
- [0038] 또한, 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 구성은, 상기 가스공급부에 의해 이산화탄소 및 수소가 혼합된 가스가 상기 전단반응부로 주입되는 제1단계; 상기 전단반응부 내부에 형성되는 1차촉매와 상기 가스가 반응하여 상기 전단반응부의 내부에서 1차반응생성물이 생성되는 제2단계; 상기 1차반응생성물 중 기체인 생성기체는 상기 제1기체이송배관을 통과하여 상기 기체혼합부로 이송되고, 상기 1차반응생성물 중 액체인 생성액체는 상기 1차반응생성물이송부에 결합되는 밸브에 의해 상기 수분포집부로 이송되는 제3단계; 상기 생성기체 내 각 물질이 상기 기체혼합부에서 교반되는 제4단계; 상기 기체혼합부를 통과한 상기 1차반응생성물이 상기 제2기체이송배관을 통과하여 상기 후단반응부로 이송되는 제5단계; 상기 후단반응부 내부에 형성되는 2차촉매와 상기 1차반응생성물이 반응하여 나노탄소소재 및 수소가 생성되는 제6단계; 및 상기 수소가 상기 후단반응부의 상단으로 배출되는 제7단계;를 포함한다.

**발명의 효과**

- [0040] 상기와 같은 구성에 따르는 본 발명의 효과는, 가스공급부로부터 이산화탄소와 수소가 혼합된 가스를 공급받아 메탄을 생산하는 전단반응부 및 전단반응부로부터 메탄을 공급받아 나노탄소소재를 생산하는 후단반응부를 구비하며, 수분포집부 및 수분흡착체를 구비하여 전단반응부에서 생성되는 수분을 포집 및 흡착하고 전단반응부와 후단반응부로 공정단계를 세분화함에 따라 고품질의 나노탄소소재를 생산 가능함으로써, 환경적 이슈인 온실가스 저감이라는 탄소중립분야에 과학적, 실용적 기술을 기여할 수 있고 이산화탄소로부터 전환될 수 있는 여러 화학물질 중에 가격이 높은 나노탄소소재의 상용화를 가능하게 할 수 있다.
- [0041] 본 발명의 효과는 상기한 효과로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 상세한 설명 또는 특허청구범위에 기재된 발명의 구성으로부터 추론 가능한 모든 효과를 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

**도면의 간단한 설명**

- [0043] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상 증착 시스템의 모식도이다.
- 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상 증착 시스템에 구비되는 전단반응부 및 후단반응부에서 발생하는 반응을 나타내는 이미지이다.
- 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상 증착 시스템에서 생산된 탄소나노튜브를 100,000배 확대한 SEM 이미지이다.
- 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상

증착 시스템에서 생산된 탄소나노튜브를 200,000배 확대한 SEM 이미지이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상 증착 시스템에서 생산된 탄소나노튜브를 640,000배 확대한 TEM 이미지이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상 증착 시스템에서 생산된 탄소나노튜브를 800,000배 확대한 TEM 이미지이다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상 증착 시스템에서 생산된 탄소나노튜브의 Raman스펙트럼이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0044] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명을 설명하기로 한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 따라서 여기에서 설명하는 실시예로 한정되는 것은 아니다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0045] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결(접속, 접촉, 결합)"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 부재를 사이에 두고 "간접적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 구비할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0046] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0047] 이하 첨부된 도면을 참고하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명하기로 한다.
- [0049] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상 증착 시스템의 모식도이다.
- [0050] 도 1을 참조하면, 본 발명의 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상 증착 시스템은 밸브(10), 가스공급부(100), 반응모듈(200), 가열모듈(300), 수분포집부(400), 1차반응생성물이송부(500), 냉각부(600), 기체혼합부(700), 유량조절부(800), 제어부(900) 및 펌프(1000)를 포함한다.
- [0051] 밸브(10)는, 후술되는 전단반응부(210)와 수분포집부(400) 및 제1기체이송배관(520) 각각과 연결되고, 전단반응부(210)와 제1기체이송배관(520)의 연결 또는 수분포집부(400)와 전단반응부(210) 연결을 제어할 수 있다.
- [0052] 구체적으로, 밸브(10)는 T자 형상으로 형성되어 밸브상부(10a), 밸브측부(10b) 및 밸브하부(10c)가 형성되는 각각의 위치에 관통하는 홀이 구비되는 삼방밸브로 구성될 수 있고, 밸브(10)에 홀이 형성되는 밸브상부(10a), 밸브측부(10b) 및 밸브하부(10c) 각각은 후술되는 유체이송배관(510), 제1기체이송배관(520) 및 액체이송배관(540) 각각과 결합될 수 있다.
- [0053] 더 구체적으로, 밸브상부(10a)에 유체이송배관(510)이 결합되고, 밸브측부(10b)에 제1기체이송배관(520)이 결합되며, 밸브하부(10c)에 액체이송배관(540)이 결합될 수 있다.
- [0054] 가스공급부(100)는, 가스탱크(110), 유량제어기(120) 및 가스공급관(130)을 구비한다.
- [0055] 가스탱크(110)는 복수 개로 구성되고, 가스가 저장될 수 있다.
- [0056] 상기한 복수 개의 가스탱크(110) 각각에 저장되는 가스는 서로 다른 가스가 저장될 수 있다.
- [0057] 여기서, 복수 개의 가스탱크(110) 각각에 저장되는 가스는 각각 이산화탄소, 수소 등으로 구성될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 일산화탄소, 아세틸렌 등의 다양한 탄화가스도 구성될 수도 있다.
- [0058] 유량제어기(120)는 복수 개의 가스탱크(110)와 연결되어 복수 개의 가스탱크(110)로부터 배출되는 가스의 유량

을 측정 및 제어할 수 있다.

- [0059] 상기한 유량제어기(120)는 후술되는 제어부(900)에 의해 복수 개의 가스탱크(110)에서 배출되는 가스의 종류 또는 가스량을 조절할 수 있다.
- [0060] 그로 인해, 유량제어기(120)가 가스탱크(110)에서 배출되는 각각의 가스의 양을 각각 다르게 조절하여 각각의 가스가 혼합되는 비율을 조절할 수 있다.
- [0061] 가스공급관(130)은 일단이 유량제어기(120)와 연결되고 타단이 후술되는 전단반응부(210)와 연결되어 가스탱크(110)로부터 배출된 가스에 유로를 제공할 수 있다.
- [0062] 여기서, 가스공급관(130)의 타단은 전단반응부(210)의 상단에 형성되는 가스유입구(211)와 연결될 수 있다.
- [0063] 여기서, 가스탱크(110)에서 배출되는 가스는 가스공급관(130)을 통해 전단반응부(210) 내부로 공급될 수 있다.
- [0064] 이때, 가스탱크(110)에서 배출되는 가스는 이산화탄소 및 수소가 혼합된 가스일 수 있다.
- [0065] 반응모듈(200)은 전단반응부(210) 및 후단반응부(220)를 구비한다.
- [0066] 전단반응부(210)는 내부공간을 구비하는 중공의 기둥형상으로 형성되며 가스공급부(100)와 연결되어 가스를 공급받고, 가스로부터 1차반응생성물을 생성한다.
- [0067] 구체적으로, 전단반응부(210)의 상단에 가스유입구(211)가 형성되어 가스유입구(211)와 가스공급관(130)이 연결되며, 전단반응부(210)의 하단에 1차반응생성물배출구(212)가 형성되어 1차반응생성물배출구(212)와 후술되는 1차반응생성물이송부(500)가 연결된다.
- [0068] 또한, 전단반응부(210)의 내부에는 메쉬 구조로 형성되는 지지체가 구비되어 1차촉매(a)가 도포될 수 있으며, 전단반응부(210)에 공급되는 가스와 1차촉매(a)가 반응하여 1차반응생성물이 생성된다.
- [0069] 더 구체적으로, 가스탱크(110)에서 배출되는 가스는 가스공급관(130)을 통과하여 가스유입구(211)를 통해 전단반응부(210)로 공급되고, 전단반응부(210)로 공급된 가스와 전단반응부(210)의 내부에 형성되는 1차촉매(a)가 반응하여 1차반응생성물인 생성기체 및 생성액체가 생성된다.
- [0070] 이때, 생성된 생성기체 및 생성액체는 1차반응생성물배출구(212)를 통해 1차반응생성물이송부(500)로 이송되는데, 생성기체는 1차반응생성물이송부(500)에 구비되는 제1기체이송배관(520)을 통과하고, 생성액체는 1차반응생성물이송부(500)에 구비되는 액체이송배관(540)을 통과한다.
- [0071] 여기서, 생성기체는 메탄을 포함하는 기체일 수 있고, 생성액체는 물(이하, 수분이라고 함)일 수 있다. 이하 동일하다.
- [0072] 상기와 같은 과정에서, 전단반응부(210)의 온도가 300℃ 내지 350℃인 경우에, 최종적으로 결정성이 높은 나노탄소소재(c)가 생산될 수 있다.
- [0073] 이에 따라, 전단반응부(210)의 온도는 300℃ 내지 350℃로 유지되는 것이 바람직하다.
- [0074] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템에 구비되는 전단반응부(210) 및 후단반응부(220)에서 발생하는 반응을 나타내는 이미지이다.
- [0075] 구체적으로, 도 2에서, a는 1차촉매(a), b는 2차촉매(b), c는 나노탄소소재(c)를 의미한다.
- [0076] 그리고, 도 2를 참조하면, 전단반응부(210)에서 가스와 1차촉매(a)가 반응하여 발생하는 화학반응은 하기의 [수식 1]과 같다.
- [0077] [수식 1]
- [0078]  $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$
- [0079] (여기서, CO<sub>2</sub> : 이산화탄소, H<sub>2</sub> : 수소, CH<sub>4</sub> : 메탄, H<sub>2</sub>O : 수분)
- [0081] 한편, 상기한 1차촉매(a)는 금속 및 금속산화물 촉매를 활용하며, 전이 금속이 주로 사용되어, 철, 코발트, 니켈, 몰리브덴으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나 이상의 물질로 구성될 수 있으나, 이에 한정되는 것은

아니며, 반응생성물의 생산의 효율성을 고려하여 다양한 전이 금속으로 구성될 수도 있다.

- [0082] 또한, 상기한 지지체는, 규소, 알루미늄, 지르코늄, 마그네슘으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나 이상의 원소를 포함하는 산화물계, 질화물계, 탄화 규소계 등의 세라믹스로 구성될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 내열성, 내부식성, 내약품성, 기계적 강도 특성 등을 고려하여 텅스텐, 몰리브덴, 티타늄, 철, 코발트, 니켈 중에서 선택되는 어느 하나 이상의 원소를 포함하는 금속 또는 합금으로 구성될 수도 있다. 이와 동일하다.
- [0083] 다시 도 1을 참조하면, 후단반응부(220)는 전단반응부(210)의 횡방향으로 이격되어 전단반응부(210)와 평행하게 배치되는 중공의 기둥형상으로 형성되며 전단반응부(210)와 연결되어 1차반응생성물을 공급받는다.
- [0084] 이러한 후단반응부(220)는 전단반응부(210)에서 공급받은 1차반응생성물로부터 2차반응생성물을 생성한다.
- [0085] 상기한 후단반응부(220)는, 후단반응부(220)의 하단에 1차반응생성물유입구(221)가 형성되어 1차반응생성물유입구(221)와 후술되는 제2기체이송배관(530)이 연결되며, 후단반응부(220)의 상단에 2차반응생성물배출구(222)가 형성된다.
- [0086] 또한, 후단반응부(220)의 내부에는 메쉬 구조로 형성되는 지지체가 구비되어 2차촉매(b)가 도포될 수 있으며, 후단반응부(220)에 공급되는 1차반응생성물과 2차촉매(b)가 반응하여 2차반응생성물이 생성된다.
- [0087] 구체적으로, 전단반응부(210)에서 생성되는 1차반응생성물 중에서 생성액체는 액체이송배관(540)을 통과하여 후술되는 수분포집부(400)에 포집되고, 생성기체는 제1기체이송배관(520), 기체혼합부(700), 제2기체이송배관(530)을 순서대로 통과하여 1차반응생성물유입구(221)를 통해 후단반응부(220)로 공급되는데, 후단반응부(220)로 공급된 생성기체와 후단반응부(220)의 내부에 형성되는 2차촉매(b)가 반응하여 2차반응생성물인 나노탄소소재(c) 및 수소가 생성된다.
- [0088] 여기서, 생성기체가 제1기체이송배관(520)을 통과할 시, 제1기체이송배관(520) 내부에 형성되는 수분흡착체(521)에 의해 생성기체에 남아있는 수분이 흡착되어 제거될 수 있다.
- [0089] 그리고, 후단반응부(220)에서 생성된 수소는 2차반응생성물배출구(222)를 통해 후단반응부(220)의 외부로 배출된다.
- [0090] 상기와 같은 과정에서, 후단반응부(220)의 온도가 700℃ 내지 1000℃인 경우에, 최종적으로 결정성이 높은 나노탄소소재(c)가 생산될 수 있다.
- [0091] 이에 따라, 후단반응부(220)의 온도는 700℃ 내지 1000℃로 유지되는 것이 바람직하다.
- [0092] 또한, 지면을 기준으로 전단반응부(210)와 후단반응부(220)는 서로 병렬식으로 배치되어, 전단반응부(210)에서 배출된 1차반응생성물은 1차반응생성물이송부(500)로 유동하고, 전단반응부(210)에서 배출된 수분은 수분포집부(400)로 유동할 수 있다.
- [0093] 아울러, 도 2를 참조하면, 후단반응부(220)에서 생성기체와 2차촉매(b)가 반응하여 발생하는 화학반응은 하기의 [수식 2]와 같다.
- [0094] [수식 2]
- [0095]  $CH_4 \rightarrow C + 2H_2$
- [0096] (여기서,  $CH_4$  : 메탄, C : 나노탄소소재,  $H_2$  : 수소)
- [0098] 한편, 상기한 2차촉매(b)는 금속 및 금속산화물 촉매를 활용하며, 전이 금속이 주로 사용되어, 철, 코발트, 니켈, 몰리브덴으로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나 이상의 물질로 구성될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 반응생성물의 생산의 효율성을 고려하여 다양한 전이 금속으로 구성될 수도 있다.
- [0099] 여기서, 후단반응부(220)에서 생성되는 나노탄소소재(c)는 2차촉매(b)의 종류에 따라 탄소나노튜브, 그래핀, 풀러렌 등의 나노미터(nanometer) 크기의 다양한 탄소 동소체가 생산될 수 있다.
- [0100] 다른 한편, 이산화탄소는 화학적으로 안정적인 구조를 가지고 있어 이산화탄소를 한 단계의 공정만으로 직접적으로 나노탄소소재(c)로 전환할 경우 고품질의 나노탄소소재(c)를 제조하기가 어렵다.

- [0101] 상기와 같은 문제를 해결하기 위해, 본 발명의 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템은 이산화탄소로부터 메탄을 생성하는 전단반응부(210)와 메탄으로부터 나노탄소소재(c)를 생성하는 후단반응부(220)로 구성하여 2단계의 공정으로 이루어져 있어, 공정단계를 세분화하여 고품질의 나노탄소소재(c)를 제조할 수 있다.
- [0102] 도 1을 참조하면, 가열모듈(300)은 전단가열부(310) 및 후단가열부(320)를 구비한다.
- [0103] 전단가열부(310)는 전단반응부(210)의 외측면과 열적으로 접촉하도록 형성되어 전단반응부(210)를 가열한다.
- [0104] 상기한 전단가열부(310)는, 전단반응부(210)의 온도를 300℃ 내지 350℃로 가열할 수 있다.
- [0105] 후단가열부(320)는 후단반응부(220)의 외측면과 열적으로 접촉하도록 형성되어 후단반응부(220)를 가열한다.
- [0106] 상기한 후단가열부(320)는, 후단반응부(220)의 온도를 700℃ 내지 1000℃로 가열할 수 있다.
- [0107] 전술한 전단가열부(310) 및 후단가열부(320) 각각은 마이크로웨이브 방사(microwave irradiation)에 의한 가열, 전자기 유도 가열(inductive heating), 고주파 가열(radiofrequency heating, RF 가열), 레이저를 이용한 가열 중에서 선택되는 어느 하나 이상의 가열 방식을 이용하여 전단반응부(210) 및 후단반응부(220) 각각을 가열할 수 있다.
- [0108] 수분포집부(400)는 전단반응부(210)의 하부에 위치하고, 전단반응부(210)에서 1차반응생성물을 생성할 시 생성되는 수분을 포집한다.
- [0109] 상기한 수분포집부(400)는 내부공간을 구비하도록 형성되고, 후술되는 액체이송배관(540)과 연결되어, 전단반응부(210)에서 생성되는 수분이 액체이송배관(540)을 통해 수분포집부(400)에 포집될 수 있다.
- [0110] 여기서, 전단반응부(210)에서 생성되는 다량의 수분이 후단반응부(220)로 이동되면, 나노탄소소재(c)의 성장을 방해할 수 있다.
- [0111] 상기 문제를 해결하기 위해, 수분포집부(400)가 전단반응부(210)에서 생성되는 수분을 포집함으로써 다량의 수분이 후단반응부(220)로 이동되는 것을 차단할 수 있다.
- [0112] 1차반응생성물이송부(500)는 전단반응부(210)와 후단반응부(220)를 연결하여 1차반응생성물의 이송을 위한 유로를 제공한다.
- [0113] 이러한 1차반응생성물이송부(500)는 유체이송배관(510), 제1기체이송배관(520), 제2기체이송배관(530) 및 액체이송배관(540)을 구비할 수 있다.
- [0114] 유체이송배관(510)은 전단반응부(210)의 길이방향측과 평행하도록 형성되며, 일단이 전단반응부(210)와 결합되고 타단이 밸브(10)와 결합된다.
- [0115] 구체적으로, 유체이송배관(510)은 타단이 밸브상부(10a)와 결합되어 제1기체이송배관(520) 또는 액체이송배관(540)과 연결될 수 있다.
- [0116] 그로 인해, 전단반응부(210)와 제1기체이송배관(520)이 연결되도록 하거나 전단반응부(210)와 액체이송배관(540)이 연결되도록 할 수 있다.
- [0117] 이에 따라, 전단반응부(210)에서 생성되는 1차반응생성물은 유체이송배관(510)을 통과하며, 유체이송배관(510)을 통과한 1차반응생성물 중 생성기체는 제1기체이송배관(520)으로 이송될 수 있고, 유체이송배관(510)을 통과한 1차반응생성물 중 생성액체는 액체이송배관(540)으로 이송될 수 있다.
- [0118] 제1기체이송배관(520)은 전단반응부(210)의 길이방향측과 수직하도록 형성된다.
- [0119] 상기한 제1기체이송배관(520)은 일단이 전단반응부(210)와 연결되어 1차반응생성물에 유로를 제공할 수 있다.
- [0120] 구체적으로, 제1기체이송배관(520)은 일단이 밸브측부(10b)와 결합되어 유체이송배관(510) 및 전단반응부(210)와 연결되고, 타단이 제2기체이송배관(530)과 연결된다.
- [0121] 이에 따라, 전단반응부(210)에서 생성되는 1차반응생성물 중 생성기체가 유체이송배관(510) 및 제1기체이송배관(520)을 통과하여 제2기체이송배관(530)으로 이송될 수 있다.
- [0122] 이러한 제1기체이송배관(520)은, 내부에 수분흡착체(521)가 형성될 수 있다.

- [0123] 상기한 수분흡착체(521)는, 내부공간을 구비하고, 내측면에 수분을 흡착하는 흡착제가 형성되어 수분흡착체(521)를 통과하는 1차반응생성물에 남아있는 수분을 흡착할 수 있다.
- [0124] 상기와 같이, 수분흡착체(521)가 1차반응생성물에 남아있는 수분을 흡착하여 제거함으로써, 1차반응생성물이 후단반응부(220)에서 2차촉매와 반응할 시, 나노탄소소재(c)의 생성에서 수분에 의한 영향을 최소화할 수 있다.
- [0125] 여기서, 수분흡착체(521)의 내측면에 형성되는 흡착제는 실리카겔, 알루미늄겔, 모레큐레시브겔, 활성탄, 규조토, 제올라이트, 벤토나이트 중에서 선택되는 어느 하나 이상의 물질로 구성될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 수분 흡수 능력, 사용기간 및 사용환경 등을 고려하여 다양한 수분흡착체가 사용될 수 있다.
- [0126] 제2기체이송배관(530)은 전단반응부(210)의 길이방향측과 수직하도록 형성된다.
- [0127] 상기한 제2기체이송배관(530)은 일단이 제1기체이송배관(520)의 타단과 연결되고, 타단이 후단반응부(220)와 연결될 수 있다.
- [0128] 여기서, 제2기체이송배관(530)의 타단은 후단반응부(220)의 하단에 형성되는 1차반응생성물유입구(221)와 연결될 수 있다.
- [0129] 액체이송배관(540)은 전단반응부(210)의 길이방향측과 평행하도록 형성되며, 일단이 밸브(10)와 결합되고 타단이 수분포집부(400)와 결합된다.
- [0130] 구체적으로, 액체이송배관(540)은 일단이 밸브하부(10c)와 결합되어 유체이송배관(510) 및 전단반응부(210)와 연결될 수 있다.
- [0131] 이에 따라, 전단반응부(210)에서 생성되는 수분이 유체이송배관(510) 및 액체이송배관(540)을 통과하여 수분포집부(400)에 포집될 수 있다.
- [0132] 그리고, 수분이 수분포집부(400)로 이송된 후 밸브하부(10c)를 폐쇄할 시 수분포집부(400)로 이송된 수분이 전단반응부(210)에서 1차반응생성물을 생성하는 과정 및 후단반응부(220)에서 2차반응생성물을 생성하는 과정에 영향을 미치는 것을 방지할 수 있다.
- [0133] 한편, 전술한 밸브(10)는 제1기체이송배관(520)과 결합되는 밸브측부(10b) 또는 액체이송배관(540)과 결합되는 밸브하부(10c)를 개방 또는 폐쇄시킬 수 있다.
- [0134] 이때의 밸브(10)의 동작을 설명하면, 밸브(10)가 밸브측부(10b)를 개방시킬 시 밸브하부(10c)가 폐쇄되고, 밸브(10)가 밸브측부(10b)를 폐쇄시킬 시 밸브하부(10c)가 개방될 수 있다.
- [0135] 이에 따라, 밸브측부(10b)가 개방되고 밸브하부(10c)가 폐쇄되는 경우에는 전단반응부(210)에서 생성되는 1차반응생성물 중 기체인 생성기체가 제1기체이송배관(520)으로 이송되고, 밸브측부(10b)가 폐쇄되고 밸브하부(10c)가 개방되는 경우에는 전단반응부(210)에서 생성되는 1차반응생성물 중 액체인 생성액체가 액체이송배관(540)으로 이송된다.
- [0136] 냉각부(600)는 수분포집부(400)를 둘러싸도록 배치되어 수분포집부(400)를 냉각시킬 수 있다.
- [0137] 상기한 냉각부(600)는 수분포집부(400)를 냉각시킴으로써, 수분포집부(400)의 내부에 존재하는 수분이 증발하여 1차촉매(a) 및 2차촉매(b)에 도달하는 것을 방지하고, 나노탄소소재(c)의 생성에 영향을 미치는 것을 방지할 수 있다.
- [0138] 기체혼합부(700)는 제1기체이송배관(520)과 제2기체이송배관(530)의 사이에 위치하여 제1기체이송배관(520) 및 제2기체이송배관(530)과 연결된다.
- [0139] 상기한 기체혼합부(700)는, 기체혼합부(700)를 통과하는 1차반응생성물을 교반할 수 있다.
- [0140] 구체적으로, 기체혼합부(700)는 내부에 임펠러를 구비하여 기체혼합부(700) 내부로 공급된 1차반응생성물을 균일하게 섞어주는 역할을 한다.
- [0141] 상기한 기체혼합부(700)는 교반장치로 구성될 수 있고, 혼합기 내부의 오리피스 플레이트와 피스톤의 상호 작용에 의해 가스 공급 유량을 조절하여 혼합하는 기계식 혼합 밸브 또는 전자식 밸브가 장착된 가스 혼합기로 구성될 수도 있다.
- [0142] 전술한 기체혼합부(700)에 의해 균일하게 섞인 1차반응생성물이 제2기체이송배관(530)을 통해 후단반응부(220)로 이송되어 2차반응생성물 중 하나인 나노탄소소재(c)를 생성할 시, 교반되지 않은 1차반응생성물을 이용하여

나노탄소소재(c)를 생성하는 경우보다 더 균일한 형태로 형성되는 나노탄소소재(c)를 생산할 수 있다.

- [0143] 본 발명의 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템에서는 기체 혼합부(700)가 임펠러를 구비하는 교반장치 또는 기계식 혼합 밸브 또는 전자식 밸브가 장착된 가스 혼합기로 구성된다고 설명하고 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 교반시간, 회전수, 소요동력 등을 고려하여 다양한 교반장치로 구성될 수 있다.
- [0144] 유량조절부(800)는 제2기체이송배관(530)의 적어도 일부와 결합되고, 제2기체이송배관(530)을 통과하는 1차반응 생성물의 유량을 조절할 수 있다.
- [0145] 구체적으로, 유량조절부(800)는 제2기체이송배관(530)을 통해 후단반응부(220)로 이송되는 1차반응 생성물의 유량을 조절함으로써, 후단반응부(220)에서 2차반응 생성물이 생성되는 시간, 후단반응부(220)에서 생성 가능한 2차반응 생성물의 생성량 등을 고려하여 후단반응부(220)에 적절한 양의 1차반응 생성물이 공급될 수 있도록 한다.
- [0146] 이러한 유량조절부(800)는 유량 변화에 의한 압력차를 일정하게 유지하여 유량을 조절할 수 있는 자동 조절 밸브인 유량 조절 밸브 또는 가스 유량계 등으로 구성될 수 있다.
- [0147] 제어부(900)는 가스공급부(100)로부터 전단반응부(210)로 전달되는 가스 종류 또는 가스량을 제어하고, 전단가열부(310)와 후단가열부(320) 각각의 온도를 제어한다.
- [0148] 구체적으로, 제어부(900)는 가스공급부(100)에서 전단반응부(210)로 가스를 공급할 시, 유량제어기(120)를 제어하여 가스탱크(110)에서 배출되는 가스의 종류 또는 가스탱크(110)에서 배출되는 각각의 가스의 양을 제어할 수 있고, 가스탱크(110)에서 배출되는 가스의 종류 및 가스량을 동시에 제어할 수도 있다.
- [0149] 이에 따라, 제어부(900)는 각각의 가스의 공급 비율을 기설정된 비율에 맞게 공급되도록 제어할 수 있다.
- [0150] 예시적으로, 제어부(800)는 가스공급부(100)에서 가스를 공급할 시, 이산화탄소 및 수소의 공급 비율을 기설정된 비율에 맞게 공급되도록 제어할 수 있다.
- [0151] 한편, 전단반응부(210)가 300℃ 내지 350℃의 온도일 때와 후단반응부(220)가 700℃ 내지 1000℃의 온도일 때, 결정성이 높은 나노탄소소재(c)가 용이하게 생산될 수 있다.
- [0152] 상기와 같은 이유로, 제어부(900)는 전단반응부(210)의 온도에 영향을 미치는 전단가열부(310)의 가열 온도를 300℃ 내지 350℃로 유지시키도록 제어하는데, 전단가열부(310)의 가열 온도가 300℃ 이하일 경우 전단가열부(310)의 가열 온도를 상승시키고, 전단가열부(310)의 가열 온도가 350℃ 이상일 경우 전단가열부(310)의 가열 온도를 하강시킨다.
- [0153] 그리고, 제어부(900)는 후단반응부(220)의 온도에 영향을 미치는 후단가열부(320)의 가열 온도를 700℃ 내지 1000℃로 유지시키도록 제어하는데, 후단가열부(320)의 가열 온도가 700℃ 이하일 경우 후단가열부(320)의 가열 온도를 상승시키고, 후단가열부(320)의 가열 온도가 1000℃ 이상일 경우 후단가열부(320)의 가열 온도를 하강시킨다.
- [0154] 아울러, 제어부(900)는 기설정된 유량으로 1차반응 생성물이 이송되도록 유량조절부(800)를 제어할 수도 있다.
- [0155] 여기서, 제어부(900)는 후단반응부(220)에서 2차반응 생성물이 생성되는 시간 또는 후단반응부(220)에서 생성 가능한 2차반응 생성물의 생성량을 고려하여 유량조절부(800)를 제어할 수 있다.
- [0156] 구체적으로, 제어부(900)는 후단반응부(220)에서 2차반응 생성물이 생성되는 시간이 느리거나 후단반응부(220)에서 생성 가능한 2차반응 생성물의 생성량이 적어서 공급되는 1차반응 생성물이 후단반응부(220)에 남아있을 경우 1차반응 생성물의 유량을 감소시키도록 유량조절부(800)를 제어한다.
- [0157] 또한, 제어부(900)는 후단반응부(220)에서 2차반응 생성물이 생성되는 시간이 빠르거나 후단반응부(220)에서 생성 가능한 2차반응 생성물의 생성량이 많아서 공급되는 1차반응 생성물이 부족할 경우 1차반응 생성물의 유량을 증가시키도록 유량조절부(800)를 제어할 수 있다.
- [0158] 펌프(1000)는 후단반응부(220)의 상단에 연결될 수 있다.
- [0159] 구체적으로, 펌프(1000)는 후단반응부(220)의 상단에 형성되는 2차반응 생성물배출구(222)와 연결되어 흡입함으로써, 가스공급부(100)에서 공급되는 가스가 전단반응부(210)로 용이하게 이송되도록 하고, 전단반응부(210)에서 생성되는 1차반응 생성물이 후단반응부(220)로 용이하게 이송되도록 할 수 있다.

- [0161] 이하, 본 발명의 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템을 이용한 나노탄소소재 및 수소 생산방법에 대해서 설명하기로 한다.
- [0162] 먼저, 제 1단계에서, 가스공급부(100)에 의해 이산화탄소 및 수소가 혼합된 가스가 전단반응부(210)로 주입될 수 있다.
- [0163] 여기서, 이산화탄소 및 수소가 혼합되는 비율은 전단반응부(210)에서의 반응온도, 전단반응부(210)에서의 반응속도 및 전단반응부(210) 내에 구비되는 1차촉매의 종류에 따라 적절하게 바뀔 수 있다.
- [0164] 상기된 제1단계 수행 후 제2단계에서, 전단반응부(210) 내부에 형성되는 1차촉매(a)와 가스가 반응하여 전단반응부(210)의 내부에서 1차반응생성물이 생성될 수 있다.
- [0165] 상기된 제2단계 수행 후 제3단계에서, 1차반응생성물 중 기체인 생성기체는 제1기체이송배관(520)을 통과하여 기체혼합부(700)로 이송되고, 1차반응생성물 중 액체인 생성액체는 1차반응생성물이송부(500)에 결합되는 밸브(10)에 의해 수분포집부(400)로 이송될 수 있다.
- [0166] 여기서, 생성기체는 메탄이 포함되는 기체일 수 있고, 생성액체는 물일 수 있다.
- [0167] 또한, 생성기체가 제1기체이송배관(520)을 통과할 시, 제1기체이송배관(520) 내부에 형성되는 수분흡착체(521)에 의해 생성기체에 남아있는 수분이 흡착되어 제거될 수 있다.
- [0168] 아울러, 수분포집부(400)는 냉각부(600)에 의해 냉각되어 수분포집부(400)에 포집된 생성액체가 증발되는 것을 방지할 수 있다.
- [0169] 상기된 제3단계 수행 후 제4단계에서, 생성기체 내 각 물질이 기체혼합부(700)에서 교반될 수 있다.
- [0170] 상기된 제4단계 수행 후 제5단계에서, 기체혼합부(700)를 통과한 1차반응생성물이 제2기체이송배관(530)을 통과하여 후단반응부(220)로 이송될 수 있다.
- [0171] 여기서, 제2기체이송배관(530)과 결합되는 유량조절부(800)에 의해 제2기체이송배관(530)을 통과하는 1차반응생성물의 유량이 조절될 수 있다.
- [0172] 상기된 제5단계 수행 후 제6단계에서, 후단반응부(220) 내부에 형성되는 2차촉매(b)와 1차반응생성물이 반응하여 나노탄소소재(c) 및 수소가 생성될 수 있다.
- [0173] 상기된 제6단계 수행 후 제7단계에서, 수소가 후단반응부(220)의 상단으로 배출될 수 있다.
- [0175] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템에서 생산된 탄소나노튜브를 100,000배 확대한 SEM 이미지이다.
- [0176] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템에서 생산된 탄소나노튜브를 200,000배 확대한 SEM 이미지이다.
- [0177] 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템에서 생산된 탄소나노튜브를 640,000배 확대한 TEM 이미지이다.
- [0178] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템에서 생산된 탄소나노튜브를 800,000배 확대한 TEM 이미지이다.
- [0179] 도 3 내지 도 6을 참조하면, 본 발명의 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템을 이용하여 생산할 수 있는 다양한 탄소 동소체 중 하나인 탄소나노튜브의 형태를 여러 배율로 확대한 모습을 확인할 수 있다.
- [0180] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템에서 생산된 탄소나노튜브의 Raman스펙트럼이다.
- [0181] 도 7을 참조하면, 본 발명의 이산화탄소로부터 나노탄소소재 및 수소를 생산하는 병렬식 구조의 화학기상증착 시스템에서 생산된 탄소나노튜브는 약  $1600\text{ cm}^{-1}$  peak에서 가장 빛의 강도가 센 것을 알 수 있다.

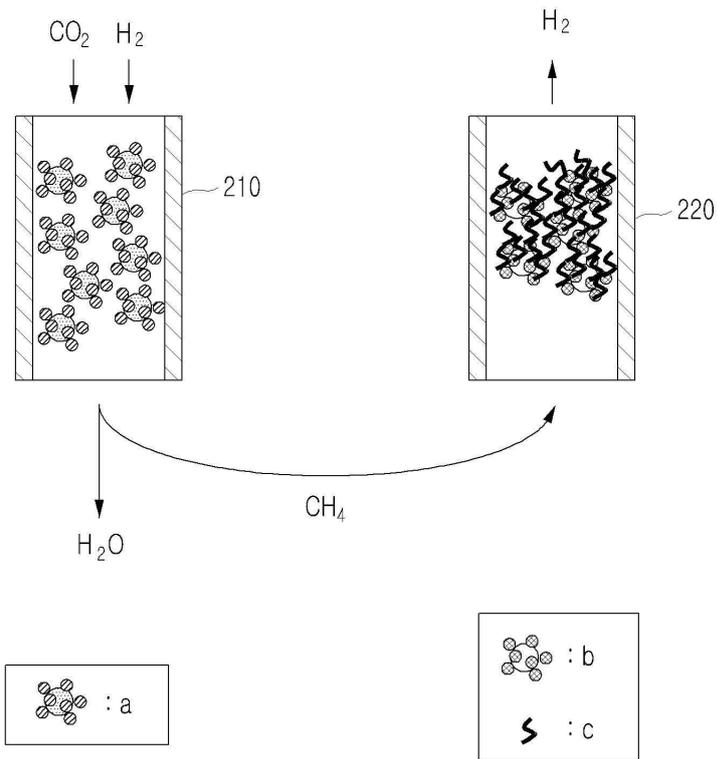
- [0182] 여기서, Raman스펙트럼은, 사용되는 입사광의 진동수가 물질의 전자흡수띠에 접근 또는 일치했을 때 라만선 강도가 현저하게 커지는 현상인 라만 효과에 의한 산란광의 연속적인 데이터를 의미한다.
- [0184] 진술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.
- [0185] 본 발명의 범위는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

**부호의 설명**

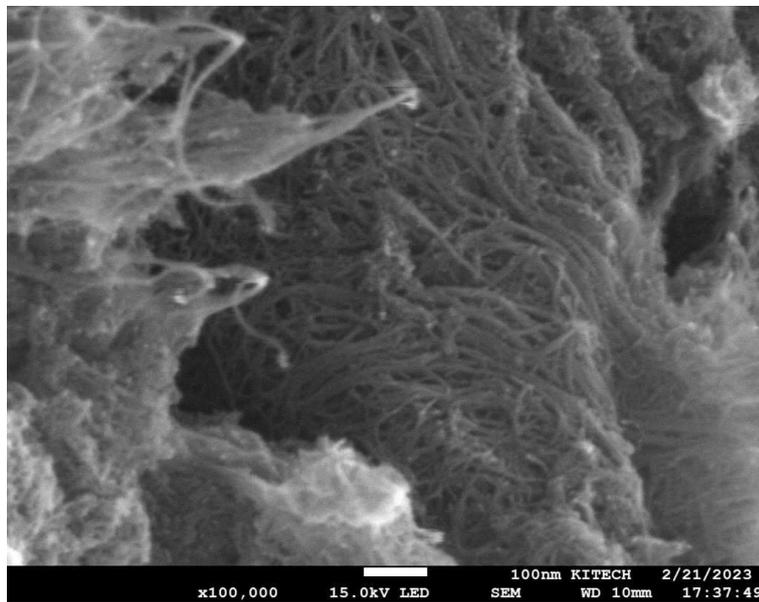
- [0187] 10: 밸브
- 10a: 밸브상부
- 10b: 밸브측부
- 10c: 밸브하부
- 100: 가스공급부
- 110: 가스탱크
- 120: 유량제어기
- 130: 가스공급관
- 200: 반응모듈
- 210: 전단반응부
- 211: 가스유입구
- 212: 1차반응생성물배출구
- 220: 후단반응부
- 221: 1차반응생성물유입구
- 222: 2차반응생성물배출구
- 300: 가열모듈
- 310: 전단가열부
- 320: 후단가열부
- 400: 수분포집부
- 500: 1차반응생성물이송부
- 510: 유체이송배관
- 520: 제1기체이송배관
- 521: 수분흡착체
- 530: 제2기체이송배관
- 540: 액체이송배관



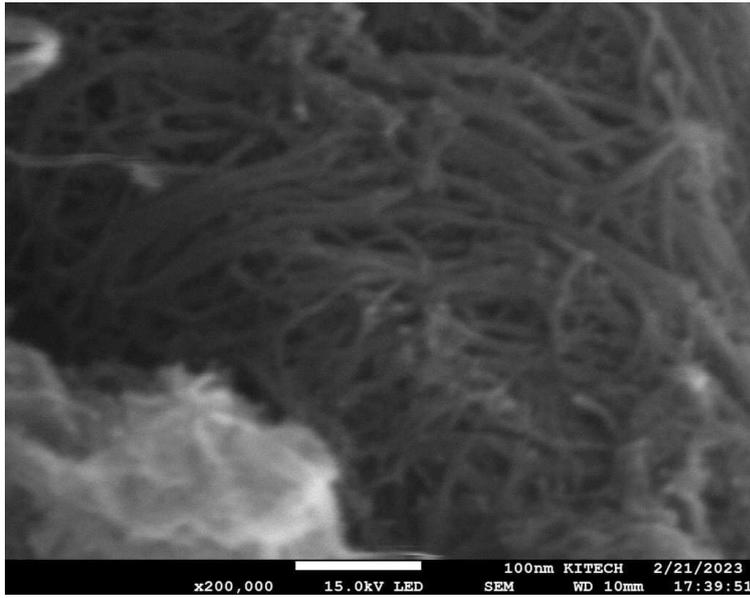
도면2



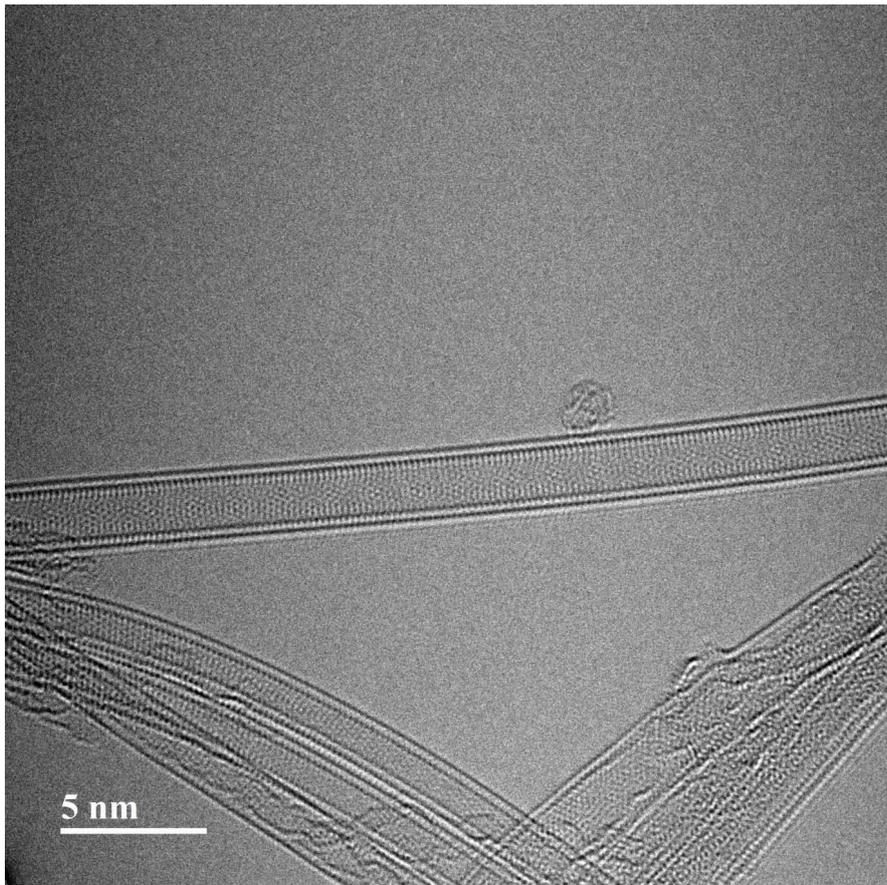
도면3



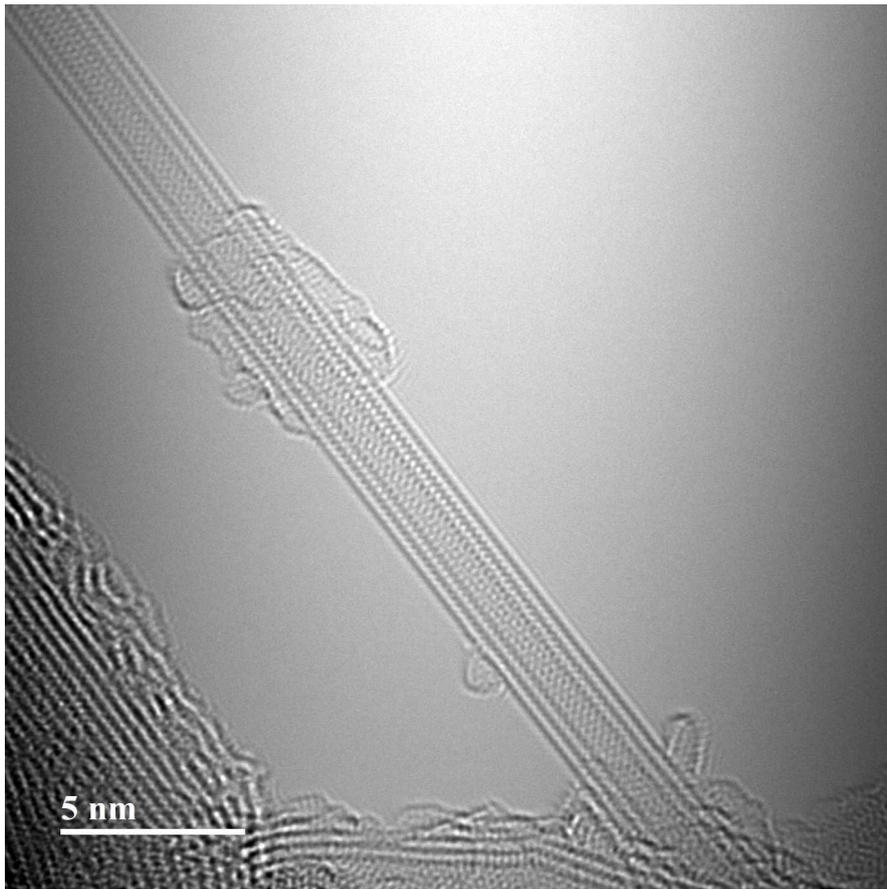
도면4



도면5



도면6



도면7

