

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2013년 1월 31일 (31.01.2013)



(10) 국제공개번호
WO 2013/015663 A2

- (51) 국제특허분류:
B01J 19/08 (2006.01) C07C 9/04 (2006.01)
C01B 31/20 (2006.01) B01J 23/44 (2006.01)
C07C 1/12 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2012/006063
- (22) 국제출원일: 2012년 7월 30일 (30.07.2012)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2011-0075067 2011년 7월 28일 (28.07.2011) KR
- (71) 출원인 (US을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): **서강대학교산학협력단 (INDUSTRY-UNIVERSITY CO-OPERATION FOUNDATION SOGANG UNIVERSITY)** [KR/KR]; 121-742 서울시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교), Seoul (KR).
- (72) 발명자: **김**
- (75) 발명자/출원인 (US에 한하여): **윤경병 (YOON, Kyung Byung)** [KR/KR]; 110-847 서울시 종로구 평창동 345-123번지, Seoul (KR).
- (74) 대리인: **특허법인 엠에이피에스 (MAPS INTELLECTUAL PROPERTY LAW FIRM)**; 137-810 서울시 서초구 사평대로 343 4층 (반포동, 제일약품빌딩), Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

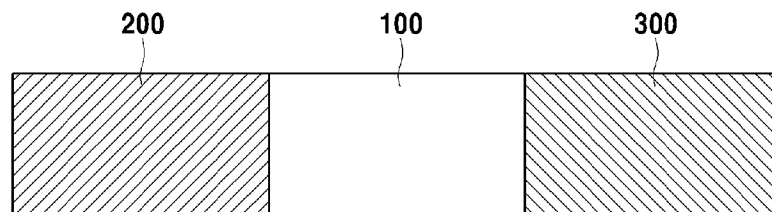
공개:

— 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

(54) Title: METHOD FOR REDUCING CARBON DIOXIDE BY USING SUNLIGHT AND HYDROGEN AND APPARATUS FOR SAME

(54) 발명의 명칭 : 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법 및 이를 위한 장치

[Fig. 1]



(57) Abstract: The present invention relates to a novel method for reducing carbon dioxide by using sunlight and hydrogen, and to an apparatus for same.

(57) 요약서: 본원은, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 신규 환원 방법 및 이를 위한 장치에 관한 것이다.



WO 2013/015663 A2

명세서

발명의 명칭: 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법 및 이를 위한 장치

기술분야

- [1] 본원은 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법 및 이를 위한 장치에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 광합성은 태양광을 에너지로 사용하여 이산화탄소와 물을 산소와 녹말로 전환하는 반응이다. 녹색식물과 광합성 박테리아 내에서는 이러한 광합성이 활발하게 일어나고 있다. 이러한 자연계의 광합성에 대응하여, 태양광을 에너지로 사용하여 이산화탄소와 물을 산소와 액체연료 등으로 전환시키는 반응을 인공광합성이라고 한다.
- [3] 화학적 측면에서 이산화탄소(CO_2)와 물(H_2O)은 위치 에너지가 매우 낮은 물질이고 연료와 산소는 위치 에너지가 상대적으로 높은 물질이다. 자연계의 식물들은 태양에너지(solar energy)를 이용하여 광합성 작용을 통해 이산화탄소와 물을 보다 위치 에너지가 높은 물질인 탄수화물과 산소(O_2)로 전환시킨다. 전환된 탄수화물과 산소를 다시 반응시키면 이는 다시 이산화탄소와 물로 전환되고 두 반응물질의 위치 에너지 차이만큼 열이 외부로 방출된다.
- [4] 한편, 인류는 화석연료의 연소를 통하여, 즉 화석연료를 산소와 반응시켜 이산화탄소와 물을 생성하는 반응을 통해 에너지를 얻고 있다. 이로 인하여 대기 중에 이산화탄소의 농도는 나날이 증가하고 있으며 지구온난화의 주된 원인으로 여겨지고 있다. 현재 급속도로 진행되고 있는 이러한 지구온난화는 지구 환경 문제의 중요 원인들 중 하나로 인식되고 있다.
- [5] 따라서 화석연료 대신에 태양에너지, 수력, 풍력, 조력, 지열, 및 바이오 연료 등의 재생에너지의 활용도를 높이기 위한 노력이 전세계적으로 진행되고 있다. 이중 가장 유망한 재생에너지는 태양에너지이다.
- [6] 종래 개발된 태양에너지 활용 방법은 태양열과 태양광을 전기에너지로 전환하는 방법이다. 그러나, 전 세계에서 생산되는 전력 중에서 태양에너지를 이용하여 생산되는 전력량은 무시할 정도로 적다. 더욱이 태양전지의 효율은 이미 거의 한계에 다다랐으며 태양전지의 생산단가는 증가추세에 있다. 따라서 태양광, 물, 및 이산화탄소를 이용하여 유용한 물질을 생산하는 인공광합성의 구현에 대한 필요성이 점점 증가하고 있다.
- [7] 그러나, 이러한 인공광합성에 대하여 지난 세기 내내 수 많은 과학자들이 많은 노력을 하였음에도 불구하고 아직 실험실 수준에서조차 구현되지 못하고 있다. 따라서, 이러한 인공광합성 연구의 성공은 지구환경의 개선 및 과학기술 발전에

현저한 기여를 할 것으로 예상된다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [8] 본원은, 금속, 금속 화합물, 및 광감응제(photosensitizer)를 함유하는 복합 촉매 존재 하에서 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법 및 이를 위한 장치를 제공하고자 한다.
- [9] 그러나, 본원이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제 해결 수단

- [10] 본원의 제 1 측면은, 반응기 내에 금속, 금속 화합물, 및 광감응제(photosensitizer)를 함유하는 복합 촉매를 로딩(loading)하고; 상기 반응기 내로 수소 기체와 이산화탄소 기체를 함유하는 기체를 주입하여 태양광 조사(irradiation) 하에서 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 반응시키는 것:을 포함하는, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법을 제공할 수 있다.
- [11] 본원의 제 2 측면은, 적어도 일면에 광투과부를 포함하는 반응기; 및, 상기 반응기에 연결된 수소 기체 공급부, 이산화탄소 기체 공급부, 및 생성물 배출부;를 포함하며, 상기 반응기 내에 로딩된 금속과, 금속 화합물, 및 광감응제(photosensitizer)를 함유하는 복합 촉매의 존재 하에서 상기 반응기 내로 상기 수소 기체 공급부를 통하여 수소 기체가 공급되고 상기 이산화탄소 기체 공급부를 통하여 이산화탄소 기체가 주입되고, 상기 광투과부를 통하여 태양광이 조사되어 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체가 반응되는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 반응 장치를 제공할 수 있다.

발명의 효과

- [12] 본원에 따른 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법 및 이를 위한 장치를 이용하여, 금속, 금속 화합물, 및 광감응제(photosensitizer)를 함유하는 복합 촉매 존재 하에서 수소와 이산화탄소를 원료로 사용하고 태양광을 에너지로 사용하여 이산화탄소를 환원시켜 탄화수소, 케톤류, 알데히드류, 및 알코올류 등의 액체 연료를 제조할 수 있다. 특히, 상기 수소와 이산화탄소에 물을 추가로 첨가함으로써 상기 이산화탄소의 환원 효율을 더욱 향상시킬 수 있다. 또한, 상기 복합 촉매는 저렴하고 흔한 원소들을 이용한 물질들을 포함하여 제조될 수 있다. 이에 따라, 본원에 따른 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법 및 이를 위한 장치를 이용하여 이산화탄소의 환원을 통한 연료 물질의 생산 공정의 효율을 향상시키고 실용화에 기여할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [13] 도 1은 본원의 일 구현예에 따른 금속, 금속 화합물, 및 광감응제를 함유하는

복합 촉매를 나타내는 모식도이다.

[14] 도 2는 금속 화합물을 포함하는 지지체의 표면에 금속 입자와 광감응제가 코팅되어 있는 형태를 가지는, 본원의 일 구현예에 따른 복합 촉매를 나타내는 모식도이다.

[15] 도 3은 금속 화합물을 포함하는 지지체의 표면에 금속 입자와 광감응제가 코팅되어 있는 형태를 가지는 본원의 일 구현예에 따른 복합 촉매를 나타내는 모식도이다.

[16] 도 4는 금속 화합물을 포함하는 지지체의 표면에 금속 입자와 음이온성 고분자 또는 양이온성 고분자에 혼합된 광감응제가 코팅되어 있는 형태를 가지는 본원의 일 구현예에 따른 복합 촉매를 나타내는 모식도이다.

[17] 도 5a 내지 도 5d는 본원의 일 실시예에 따른 복합 촉매에 의한 이산화탄소 환원 반응의 생성물 중 메탄 가스 생성 속도를 반응 조건별로 나타내는 그래프이다.

[18] 도 6은 본원의 일 실시예에 따른 복합 촉매에 의한 이산화탄소 환원 반응의 생성물 중 메탄 가스 생성 속도를 나타내는 그래프이다.

[19] 도 7은 본원의 일 실시예에 따른 복합 촉매에 의한 이산화탄소 환원 반응의 생성물 중 메탄 가스 생성 속도를 나타내는 그래프이다.

[20] 도 8은 본원의 일 실시예에 따른 복합 촉매에 의한 이산화탄소 환원 반응의 생성물 중 메탄 가스 생성 속도를 나타내는 그래프이다.

[21] 도 9는 본원의 일 실시예에 따른 복합 촉매에 의한 이산화탄소 환원 반응의 생성물 중 메탄 가스 생성 속도를 나타내는 그래프이다.

[22] 도 10은 본원의 일 실시예에 따른 복합 촉매에 의한 이산화탄소 환원 반응의 생성물 중 메탄 및 에탄의 생성 속도를 나타내는 그래프이다.

[23] 도 11은 본원의 일 실시예에 따른 복합 촉매에 의한 이산화탄소 환원 반응의 생성물 중 메탄, 에탄, 및 메탄올의 생성 속도를 나타내는 그래프이다.

[24] 도 12는 본원의 일 실시예에 따른 복합 촉매에 의한 이산화탄소 환원 반응의 생성물 중 메탄 가스 생성 속도를 나타내는 그래프이다.

[25] 도 13은 본원의 일 실시예에 따른 복합 촉매에 포함되는 염료의 종류에 따른 이산화탄소 환원 반응의 생성물 중 메탄 가스 생성 속도를 나타내는 그래프이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

[26] 이하, 본원이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 구현예 및 실시예를 상세히 설명한다.

[27] 그러나 본원은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 구현예 및 실시예에 한정되지 않는다.

[28] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 본 명세서에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가

- 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다. 또한, 본원 명세서 전체에서, "~ 하는 단계" 또는 "~의 단계"는 "~를 위한 단계"를 의미하지 않는다.
- [29] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부제가 다른 부제 “상에” 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부제가 다른 부제에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부제 사이에 또 다른 부제가 존재하는 경우도 포함한다.
- [30] 이하, 본원에 대하여 구현에 및 실시예와 도면을 참조하여 구체적으로 설명하도록 한다. 그러나, 본원이 이러한 구현에 및 실시예와 도면에 제한되는 것은 아니다.
- [31] 본원의 제 1 측면은, 반응기 내에 금속, 금속 화합물, 및 광감응제(photosensitizer)를 함유하는 복합 촉매를 로딩(loading)하고; 상기 반응기 내로 수소 기체와 이산화탄소 기체를 함유하는 기체를 주입하여 태양광 조사(irradiation) 하에서 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 반응시키는 것:을 포함하는, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법을 제공할 수 있다.
- [32] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 반응기 내로 주입되는 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 함유하는 상기 기체는 물(H_2O)을 추가로 함유하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [33] 본원의 일 구현예에 따르면, 도 1 및 도 2에서 볼 수 있는 바와 같이, 상기 복합 촉매는 금속이온을 포함하는 금속(200), 금속 화합물(100) 및 광감응제(300)를 포함하고 있으며, 좀더 구체적으로는, 금속 화합물(100)을 포함하는 지지체의 표면에 금속(200) 입자와 광감응제, 예를 들어, 링커를 포함하는 광감응제(310), 링커를 포함하지 않는 양이온성 광감응제(320), 또는 링커를 포함하지 않는 음이온성 광감응제(330)가 코팅되어 있을 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [34] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 복합 촉매는 도 3 및 도 4에서 개시된 것과 같은 형태를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [35] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 반응기 내로 주입되는 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 함유하는 상기 기체에 추가로 함유되는 상기 물의 함량은, 상기 반응기 내로 주입되는 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체의 총 부피를 기준으로 약 0 ppm 초과 내지 약 100 ppm 이하일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 반응기 내로 주입되는 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 함유하는 상기 기체에 추가로 함유되는 상기 물의 함량은, 상기 반응기 내로 주입되는 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체의 총 부피를 기준으로 약 0 ppm 초과 내지 약 100 ppm 이하, 약 10 ppm 이상 내지 약 100 ppm 이하, 약 20 ppm 이상 내지 약 100 ppm 이하, 약 30 ppm 이상 내지 약 100 ppm 이하, 약 40 ppm 이상 내지 약 100 ppm 이하, 약 50 ppm 이상 내지 약 100 ppm 이하, 약 60 ppm 이상 내지 약 100 ppm 이하, 약 70 ppm 이상 내지 약 100 ppm

이하, 약 80 ppm 이상 내지 약 100 ppm 이하, 약 90 ppm 이상 내지 약 100 ppm 이하, 약 0 ppm 초과 내지 약 90 ppm 이하, 약 0 ppm 초과 내지 약 80 ppm 이하, 약 0 ppm 초과 내지 약 70 ppm 이하, 약 0 ppm 초과 내지 약 60 ppm 이하, 약 0 ppm 초과 내지 약 50 ppm 이하, 약 0 ppm 초과 내지 약 40 ppm 이하, 약 0 ppm 초과 내지 약 30 ppm 이하, 약 0 ppm 초과 내지 약 20 ppm 이하, 또는 약 0 ppm 초과 내지 약 10 ppm 이하일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

- [36] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 반응기 내로 주입되는 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 함유하는 상기 기체에 추가로 함유되는 상기 물은, 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 상기 반응기 내로 주입하기 전에 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 물 속으로 버블링(bubbling)시켜 수득된 수분을 함유하는 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체의 혼합 가스에 포함된 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [37] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 반응기 내로 주입되는 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 함유하는 상기 기체에 추가로 함유되는 상기 물은, 상기 반응기 내로 물을 분사시켜 주입되거나 또는 수증기 형태로 주입되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [38] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 반응기 내로 주입되는 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체는 각각 독립적으로 공급되거나 미리 혼합되어 공급되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [39] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 수소 기체는 물 분해용 반응기로부터 상기 반응기 내로 공급되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [40] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 물 분해용 반응기는 물 분해용 광촉매를 포함하며 태양광 조사 하에서 물의 분해에 의하여 산소와 수소를 생성하며, 상기 생성된 산소는 제거되고 상기 생성된 수소는 상기 반응기 내로 공급되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [41] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 반응기의 온도는 상기 태양광의 조사에 의하여 형성된 온도일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 반응기의 온도는 약 25°C 내지 약 100°C일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 반응기의 온도는 약 25°C 내지 약 100°C, 약 30°C 내지 약 100°C, 약 40°C 내지 약 100°C, 약 50°C 내지 약 100°C, 약 60°C 내지 약 100°C, 약 70°C 내지 약 100°C, 약 75°C 내지 약 100°C, 약 80°C 내지 약 100°C, 약 90°C 내지 약 100°C, 약 25°C 내지 약 90°C, 약 25°C 내지 약 80°C, 약 25°C 내지 약 75°C, 약 25°C 내지 약 70°C, 약 25°C 내지 약 60°C, 약 25°C 내지 약 50°C, 약 25°C 내지 약 40°C, 약 25°C 내지 약 30°C, 약 30°C 내지 약 75°C, 또는, 약 50°C 내지 약 75°C일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [42] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 반응기의 온도는 상기 태양광의 조사에 의하여 형성된 온도에서 추가 가열 또는 냉각에 의하여 조절되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

- [43] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 반응기의 압력은 주입되는 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체에 의하여 형성된 압력일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 반응기의 압력은, 상압, 상압 미만, 또는 상압보다 높은 압력일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [44] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 반응기의 압력은 주입되는 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체에 의하여 형성된 압력에서 압력 조절기에 의하여 추가적으로 상승되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [45] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 복합 촉매는, 상기 금속 화합물을 포함하는 지지체의 표면에 상기 금속 입자와 상기 광감응제가 코팅되어 있는 형태를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [46] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 금속 입자는 나노미터 단위의 크기를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 금속 입자는 약 0.5 nm 내지 약 100 nm의 크기를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 금속 입자는 약 0.5 nm 내지 약 100 nm, 약 1 nm 내지 약 100 nm, 약 5 nm 내지 약 100 nm, 약 10 nm 내지 약 100 nm, 약 20 nm 내지 약 100 nm, 약 25 nm 내지 약 100 nm, 약 35 nm 내지 약 100 nm, 약 50 nm 내지 약 100 nm, 약 75 nm 내지 약 100 nm, 약 0.5 nm 내지 약 75 nm, 약 0.5 nm 내지 약 50 nm, 약 0.5 nm 내지 약 35 nm, 약 0.5 nm 내지 약 25 nm, 약 0.5 nm 내지 약 20 nm, 약 0.5 nm 내지 약 10 nm, 약 0.5 nm 내지 약 5 nm, 약 0.5 nm 내지 약 1 nm, 약 20 nm 내지 약 25 nm, 약 10 nm 내지 약 25 nm, 또는, 약 5 nm 내지 약 25 nm의 크기를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [47] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 금속은 Fe, Ru, Rh, Co, Ir, Os, Pt, Pd, Ni, Au, Ag, Cu, Co, Zn, Ti, V, Mn, Sn, In, Pb, Cd, Ga 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [48] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 금속 화합물을 포함하는 지지체는 나노미터 단위 내지 마이크로미터 단위 크기의 입자, 메조세공 구조체, 막대(rod), 파이버(fiber), 또는 튜브 형태를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [49] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 금속 화합물을 포함하는 지지체는 나노미터 단위의 기공(pore)을 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [50] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 금속 화합물은 금속산화물, 금속카바이드, 금속옥시카바이드 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [51] 예를 들어, 상기 금속산화물은 전이금속, 비전이금속 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 1종 이상의 금속을 함유하는 산화물을 포함하는 것이거나; 또는, 상기 금속산화물은 비금속 원소, 알칼리 금속, 알칼리토 금속 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 것에 의하여 도핑된 금속산화물을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기

금속산화물은 가시광, 자외선, 적외선 또는 이들의 조합을 포함하는 영역의 빛을 흡수하는 금속산화물일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 금속산화물의 비제한적 예로서 TiO_2 , ZnO , Ta_2O_5 , ZrO_2 , WO_3 , 철산화물, 망간산화물, 구리산화물, 코발트산화물, 니켈산화물, 크롬산화물, 폴리브덴산화물, 바나듐산화물, 인듐산화물, 납산화물, ZnCrO_4 , ZnFe_2O_4 , MnTiO_3 , CaTiO_3 , BaTiO_3 , SrTiO_3 , BiVO_4 , Pb_4Ti_3 , CdIn_2O_4 , Fe_2TiO_5 , CrNbO_4 , $\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$; 상기 금속 산화물이 N, P, As, C, Y, V, Mo, Cr, Cu, Al, Ta, B, Ru, Mn, Fe, Li, Nb, In, Pb, Ge, C, N, S, Sb 또는 이들의 조합으로 도핑된 것; 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함하는 것을 들 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

- [52] 예를 들어, 상기 금속 카바이드는 SiC 또는 전이금속의 카바이드를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 금속옥시카바이드는 SiOC 또는 전이금속의 옥시카바이드를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [53] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 광감응제는 가시광을 포함하는 영역의 빛을 흡수하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [54] 예를 들어, 상기 광감응제는 가시광을 포함하는 영역의 빛을 흡수하는 것으로서 $-\text{CO}_2\text{H}$, $-\text{PO}_3\text{H}$, $-\text{NH}_2$, 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 작용기를 함유하는 링커(linker)를 포함하는 화합물일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [55] 예를 들어, 상기 광감응제는 가시광을 포함하는 영역의 빛을 흡수하는 것으로서 상기 광감응제는 $-\text{CO}_2\text{H}$, $-\text{PO}_3\text{H}$, $-\text{NH}_2$, 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 작용기를 함유하는 링커(linker)를 포함하지 않는 화합물일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [56] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 광감응제는 가시광을 포함하는 영역의 빛을 흡수하는 것으로서 상기 광감응제는 $-\text{CO}_2\text{H}$, $-\text{PO}_3\text{H}$, $-\text{NH}_2$, 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 작용기를 함유하는 링커(linker)를 포함하지 않는 화합물인 경우 상기 광감응제는 양이온 또는 음이온 형태를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 이 경우, 상기 복합 촉매는 상기 금속산화물을 함유하는 지지체의 표면에 코팅된 상기 금속 입자와 상기 금속 입자 사이에 양이온성 고분자에 혼합된 음이온 형태의 상기 광감응제 또는 음이온성 고분자에 혼합된 양이온 형태의 상기 광감응제가 코팅되어 있는 형태를 가지는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 양이온성 고분자는, 폴리라이신(polylysine), 덴드리머(dendrimer), 선형 폴리에틸렌이민(polyethyleneimine), 가지형 폴리에틸렌이민, 키토산(chitosan), 다이에틸아미노에틸-덱스트란(DEAE-dextran), 및 폴리디메틸아미노에틸메타크릴레이트(pDMAEMA)로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 음이온성 고분자는 나피온, 폴리스타이렌 설프로네이트, 나트륨 카복시메틸 셀룰로즈,

나트륨 카복시메틸구아, 나트륨 알기네이트, 나트륨 폴리펙테이트, 및 폴리(나트륨-2-아크릴아미드-2-메틸프로판 설포-네이트) 로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

- [57] 도 4의 (a)에서 볼 수 있는 바와 같이, 복합 촉매는, 금속 화합물(100)을 포함하는 지지체의 표면에 금속(200) 입자와 음이온성 고분자(410)에 혼합된 링커를 포함하지 않는 양이온성 광감응제(320)가 코팅되어 형성될 수 있으며, 또한, 도 4의 (b)에서 볼 수 있는 바와 같이, 복합 촉매는, 금속 화합물(100)을 포함하는 지지체의 표면에 금속(200) 입자와 양이온성 고분자(420)에 혼합된 링커를 포함하지 않는 음이온성 광감응제(330)가 코팅되어 형성될 수 있다.
- [58] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 광감응제는 가시광을 포함하는 영역의 빛을 흡수하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 광감응제는 가시광을 흡수하는 염료, 금속황화물, 가시광을 흡수하는 금속산화물, 풀러렌, 그래핀옥사이드, 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [59] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 광감응제는 가시광을 포함하는 영역의 빛을 흡수하는 것으로서 CO_2H , $-\text{PO}_3\text{H}$, $-\text{NH}_2$ 또는 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 작용기를 함유하는 링커(linker)를 포함하지 않는 양이온성 또는 음이온성 화합물을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [60] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법에 의하여 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 반응시켜 탄화수소를 함유하는 생성물이 수득되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 탄화수소는, 메탄, 에탄, 프로판, 부탄, 펜탄, 헥산, 헵탄, 옥탄, 메탄올, 에탄올, 프로판올, 부탄올, 펜타놀, 헥사놀, 헵타놀, 옥타놀, 및 이들의 조합들로 이루어지는 군으로부터 선택되는 것을 함유하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [61] 본원의 제 2 측면은, 적어도 일면에 광투과부를 포함하는 반응기; 및, 상기 반응기에 연결된 수소 기체 공급부, 이산화탄소 기체 공급부, 및 생성물 배출부;를 포함하며, 상기 반응기 내에 로딩된 금속과, 금속 화합물, 및 광감응제(photosensitizer)를 함유하는 복합 촉매의 존재 하에서 상기 반응기 내로 상기 수소 기체 공급부를 통하여 수소 기체가 공급되고 상기 이산화탄소 기체 공급부를 통하여 이산화탄소 기체가 주입되고, 상기 광투과부를 통하여 태양광이 조사되어 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체가 반응되는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 반응 장치를 제공할 수 있다.
- [62] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 금속 화합물은 금속산화물, 금속카바이드, 금속옥시카바이드 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [63] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 반응 장치는, 상기 반응기에 연결된 물 공급부를 추가 포함하는 것일 수 있으나,

이에 제한되는 것은 아니다.

- [64] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 물 공급부는 물을 상기 반응기 내로 분사하거나 수증기 형태로 공급하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [65] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 수소 기체 공급부는 물 분해용 반응 장치에 연결되어 있는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [66] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 광투과부는 상기 반응기의 상면, 하면 및 측면 중 적어도 일면에 형성되는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [67] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 광투과부는 유리, 석영, 용융 실리카 또는 투명 플라스틱을 포함하여 형성된 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [68] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 물 분해용 반응 장치는 물 분해용 반응기 및 상기 물 분해용 반응기에 연결된 분리부를 포함하며, 상기 분리부는 산소 배출부와 수소 배출부를 포함하고 상기 수소 배출부는 상기 수소 기체 공급부에 연결된 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [69] 본원의 일 구현예에 따르면, 상기 물 분해용 반응기는 물의 산화반응용 광촉매를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 물의 산화반응용 광촉매는 지지체 입자 및 상기 지지체 입자의 표면에 담지된 물의 산화반응용 광촉매 입자를 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 물의 산화반응용 광촉매로서 당업계에서 공지된 것 및 빛 조사 하에서 물의 산화 활성을 가지는 촉매 물질들을 특별히 제한없이 사용할 수 있다. 예를 들어, 상기 물의 산화반응용 광촉매로서 당업계에서 공지된 것 및 빛 조사 하에서 물의 산화 활성을 가지는 촉매 물질들 중 가시 광선, 자외선, 적외선 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함하는 광 조사 하에서 물의 산화 활성을 가지는 촉매 물질을 사용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 일 구현예에 있어서, 상기 물의 산화반응용 광촉매로서 광활성 물질을 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 상기 광활성 물질이 반도체를 포함할 수 있으며, 상기 반도체는 그의 전도대의 전자가 상기 제 2 구조체로 전달되고, 그의 원자가 전자대의 정공이 물을 산화하고 산소를 발생할 수 있는 포텐셜(potential)을 가지고, 반응 중에 안정하다 라는 조건을 충족시킬 필요가 있다. 예를 들어, 상기 광활성 물질은 p-형 반도체를 포함할 수 있으며, 이러한 p-형 반도체의 비제한적 예로서, TiO_2 , ZnO , SrTiO_3 , Ta_2O_5 , ZrO_2 , WO_3 , BiVO_4 , Pb_4Ti_3 , CdIn_2O_4 , Fe_2TiO_5 , CrNbO_4 , $\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$, CdS , MoS_2 , CdTe , CdZnTe , ZnTe , HgTe , HgZnTe , HgSe , 및 이들의 조합 등을 들 수 있다. 또한, 상기 TiO_2 는 Y, V, Mo, Cr, Cu, Al, Ta, B, Ru, Mn, Fe, Li, Nb, In, Pb, Ge, C, N, S, Sb 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 것에 의하여 도핑될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 예시적 구현예에 있어서, 상기 물의 산화반응용 광촉매는 상기 광활성 물질에 추가하여 감광응성 물질을 추가 포함할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 광감응성 물질의 비제한적 예로서 당업계에서 공지된

유기 염료, 금속 착화합물 염료, 또는 양자점 등을 들 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[70] 이하, 본원에 대하여 실시예를 이용하여 좀더 구체적으로 설명하나, 본원이 이에 제한되는 것은 아니다.

[71] [실시예]

[72] TiO_2 아나타제 나노 입자 지지체 및 TiO_2 (P25, Degussa) 나노입자 지지체 각각에 1 wt%의 금속 (Ni, Pt, Pd, Cu, 또는 Ru)과 N719 Ru-염료가 로딩된 복합 촉매를 하기와 같이 제조한 후 이를 이용하여 이산화탄소 환원 실험을 수행하였다.

[73] 실시예 1. Pd (1 wt%)/N719 염료/ TiO_2 (아나타제) 복합 촉매 제조 및 CO_2 환원 실험

[74] 먼저, Aldrich에서 구입한 2 g의 TiO_2 아나타제 나노입자 (크기 < 25 nm)를 10 mL의 물에 분산시킨 후 0.0355 g의 PdCl_2 (0.02 g의 Pd 함유)을 첨가하였다. 상기 혼합 용액에 10 mL의 NH_4OH (28%) 수용액을 가한 후 3 시간 동안 교반한 후 상기 용액을 회전 증발기 (rotary evaporator)를 이용하여 용매로서 포함된 물을 증발시켰다. 이와 같이 수득되는 건조된 $\text{Pd}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2$ 가 도핑된 TiO_2 나노입자를 튜브형의 로(furnace)를 이용하여 350°C 에서 3 시간 동안 소성한 후 상온까지 냉각시켰다. 이에 의하여 수득된 PdO/TiO_2 을 0.5 g 취하여 5 mL의 아세토니트릴(acetonitrile) 용매에 1 mg의 N719 Ru-염료가 녹아있는 용액에 넣은 후 1 시간 동안 교반하였다. 이에 의하여 수득된 $\text{PdO}/\text{N719}/\text{TiO}_2$ 0.5 g을 반응기에 넣고 75°C 에서 분당 50 mL의 속도로 수소 기체를 통과시키면서 1 시간 동안 환원시켜 반응기 안에서 Pd(1 wt%)/N719/ TiO_2 를 포함하는 복합 촉매를 직접 제조하였다.

[75] 그 후 상기 반응기 내로 H_2 기체(4.5 mL/min)와 CO_2 기체 (1.5 mL/min)를 동시에 주입하면서 반응을 수행하였다. 상기 반응 시 광반응을 일으키기 위하여 $74 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 의 모사 태양광을 상기 반응기에 조사하였다. 상기 반응기에 물(습기 또는 스팀)를 추가로 주입할 경우 H_2/CO_2 혼합 기체를 물이 들어 있는 튜브 (버블러)를 통과시킨 후 상기 반응기 내로 주입하였다. 상기 물이 들어 있는 튜브 (버블러)의 온도는 30°C 로 일정하게 유지하였으며 상기 반응기 온도는 50°C 로 일정하게 유지하여 주었다. 상기 반응기로부터 생성물을 수득하고 상기 생성물 중 메탄 가스의 생성 속도를 기체 크로마토그래피-질량분석기(Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)로 측정하여 하기와 같은 결과를 수득하였으며, 반응 시간 및 반응 조건에 따른 메탄 가스 생성 속도의 변화를 도 5a 내지 도 5d의 그래프에 나타내었다. 상기 측정 결과에 따르면, 상기 염료 및/또는 스팀을 사용하지 않는 경우 생성물이 매우 적게 수득되었다:

[76] <생성물 중 메탄 가스 생성 속도>

[77] (1) Pd (1 wt%)/ TiO_2 (아나타제)/dry:

[78] 0.5 시간 후 $0.3 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

[79] 24 시간 후 $0.0 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

- [80] (2) Pd (1 wt%)/TiO₂(아나타제)/steam:
 [81] 0.5 시간 후 0.3 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [82] 24 시간 후 0.1 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [83] (3) Pd (1 wt%)/N719/TiO₂(아나타제)/dry:
 [84] 0.5 시간 후 (최대속도) 0.35 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [85] 10 시간 후 0.1 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [86] (4) Pd (1 wt%)/N719/TiO₂(아나타제)/steam:
 [87] 1 시간 후 (최대속도) 0.58 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [88] 10 시간 후 0.3 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [89] 실시에 2. Cu (1 wt%)/N719 염료/TiO₂(아나타제) 복합 촉매 제조 및 CO₂ 환원 실험

- [90] 0.0885 g의 Cu(OAC)₂ (0.02 g의 Cu 함유)를 사용한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 상기 Cu (1 wt%)/N719 염료/TiO₂ 복합 촉매를 제조한 후 이를 이용하여 CO₂ 환원 실험을 수행하였다. 반응시간에 따라 상기 반응기로부터 생성물을 수득하여 상기 생성물 중 메탄 가스의 생성 속도를 GC-MS로 측정하여 하기와 같은 결과를 수득하였으며, 반응 시간 및 반응 조건에 따른 메탄 가스 생성 속도의 변화를 도 5a 내지 도 5d의 그래프에 나타내었다. 상기 측정 결과에 따르면, 상기 염료 및/또는 스팀을 사용하지 않는 경우 생성물이 매우 적게 수득되었다:

- [91] <생성물 중 메탄 가스 생성 속도>
 [92] (1) Cu (1 wt%)/TiO₂(아나타제)/dry:
 [93] 1 시간 후: 0.001 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$ 이하
 [94] 24 시간 후 0.001 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$ 이하
 [95] (2) Cu (1 wt%)/TiO₂(아나타제)/steam:
 [96] 1 시간 후: 0.001 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$ 이하
 [97] 24 시간 후 0.001 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$ 이하
 [98] (3) Cu (1 wt%)/N719/TiO₂(아나타제)/dry:
 [99] 3 시간 후: (최대속도) 0.4 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [100] 7 시간 후: 0.05 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [101] (4) Cu (1 wt%)/N719/TiO₂(아나타제)/steam:
 [102] 5 시간 후 (최대속도) 0.6 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [103] 16 시간 후 0.4 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [104] 실시에 3. Ni (1 wt%)/N719 염료/TiO₂(아나타제) 복합 촉매 제조 및 CO₂ 환원 실험

- [105] 0.0883 g의 Ni(OAC)₂ (0.02 g의 Ni 함유)을 사용한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 상기 Ni (1 wt%)/N719 염료/TiO₂ 복합 촉매를 제조한 후 이를 이용하여 CO₂ 환원 실험을 수행하였다. 반응시간에 따라 상기 반응기로부터 생성물을 수득하여 상기 생성물 중 메탄 가스의 생성 속도를

GC-MS로 측정하여 하기와 같은 결과를 수득하였으며, 반응 시간 및 반응 조건에 따른 메탄 가스 생성 속도의 변화를 도 5a 내지 도 5d의 그래프에 나타내었다. 상기 측정 결과에 따르면, 상기 염료 및/또는 스팀을 사용하지 않는 경우 생성물이 매우 적게 수득되었다:

- [106] <생성물 중 메탄 가스 생성 속도>
- [107] (1) Ni (1 wt%)/TiO₂(아나타제)/dry:
- [108] 1 시간 후: 0.000 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [109] 10 시간 후 0.000 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [110] (2) Ni (1 wt%)/TiO₂(아나타제)/steam:
- [111] 1 시간 후: 0.002 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [112] 10시간 후 0.001 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [113] (3) Ni (1 wt%)/N719/TiO₂(아나타제)/dry:
- [114] 1 시간 후 (최대속도) 0.018 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [115] 10 시간 후: 0.007 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [116] (4) Ni (1 wt%)/N719/TiO₂(아나타제)/steam:
- [117] 1 시간 후 (최대속도) 0.02 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [118] 10 시간 후: 0.015 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [119] 실시에 4. Pt (1 wt%)/N719 염료/TiO₂(아나타제) 복합 촉매 제조 및 CO₂ 환원

실험

- [120] 0.0316 g의 Pt(NH₃)₄Cl₂ (0.02 g의 Pt 함유)를 사용한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 상기 Pt (1 wt%)/N719 염료/TiO₂ 복합 촉매를 제조한 후 이를 이용하여 CO₂ 환원 실험을 수행하였다. 반응시간에 따라 상기 반응기로부터 생성물을 수득하여 상기 생성물 중 메탄 가스의 생성 속도를 GC-MS로 측정하여 하기와 같은 결과를 수득하였으며, 반응 시간 및 반응 조건에 따른 메탄 가스 생성 속도의 변화를 도 5a 내지 도 5d의 그래프에 나타내었다. 상기 측정 결과에 따르면, 상기 염료 및/또는 스팀을 사용하지 않는 경우 생성물이 매우 적게 수득되었다:

- [121] <생성물 중 메탄 가스 생성 속도>
- [122] (1) Pt (1 wt%)/TiO₂(아나타제)/dry:
- [123] 1 시간 후: 0.000 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [124] 16 시간 후 0.000 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [125] (2) Pt (1 wt%)/TiO₂(아나타제)/steam:
- [126] 3 시간 후: 0.02 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [127] 16 시간 후 0.01 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [128] (3) Pt (1 wt%)/N719/TiO₂(아나타제)/dry:
- [129] 0.5 시간 후 (최대속도) 0.12 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [130] 16 시간 후: 0.04 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [131] (4) Pt (1 wt%)/N719/TiO₂(아나타제)/steam:

- [132] 1 시간 후 (최대속도) $0.2 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [133] 16 시간 후: $0.13 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [134] 실시에 5. Ru (1 wt%)/N719 염료/TiO₂(아나타제) 복합 촉매 제조 및 CO₂ 환원 실험
- [135] 0.041 g의 RuCl₃ (0.02 g의 Ru 함유)을 사용한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 상기 Ru (1 wt%)/N719 염료/TiO₂ 복합 촉매를 제조한 후 이를 이용하여 CO₂ 환원 실험을 수행하였다. 반응시간에 따라 상기 반응기로부터 생성물을 수득하여 상기 생성물 중 메탄 가스의 생성 속도를 GC-MS로 측정하여 하기와 같은 결과를 수득하였다. 상기 염료 및/또는 스팀을 사용하지 않는 경우 생성물이 매우 적게 수득되었다:
- [136] <생성물 중 메탄 가스 생성 속도>
- [137] (1) Ru (1 wt%)/TiO₂(아나타제)/dry:
- [138] 0.5 시간 후 $0.3 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [139] 24 시간 후 $0.2 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [140] (2) Ru (1 wt%)/TiO₂(아나타제)/steam:
- [141] 0.5 시간 후 $0.3 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [142] 24 시간 후 $0.3 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [143] (3) Ru (1 wt%)/N719/TiO₂(아나타제)/dry:
- [144] 0.5 시간 후(최대속도) $1.01 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [145] 10 시간 후 $0.82 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [146] (4) Ru (1 wt%)/N719/TiO₂(아나타제)/steam:
- [147] 1 시간 후 (최대속도) $1.28 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [148] 10 시간 후 $1.03 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [149] 실시에 6. Pd (1 wt%)/N719 염료/TiO₂(P25) 복합 촉매 제조 및 CO₂ 환원 실험
- [150] Aldrich에서 구입한 2 g의 TiO₂ (P25)를 사용한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 상기 Pd (1 wt%)/N719 염료/TiO₂(P25) 복합 촉매를 제조한 후 이를 이용하여 상기 CO₂ 환원 실험을 수행하였다. 반응시간에 따라 상기 반응기로부터 생성물을 수득하여 상기 생성물 중 메탄 가스의 생성 속도를 GC-MS로 측정하여 하기와 같은 결과를 수득하였으며, 반응 시간 및 반응 조건에 따른 메탄 가스 생성 속도의 변화를 도 6 내지 도 9의 그래프에 나타내었다. 상기 염료 및/또는 스팀을 사용하지 않는 경우 생성물이 매우 적게 수득되었다:
- [151] <생성물 중 메탄 가스 생성 속도>
- [152] (1) Pd (1 wt%)/TiO₂ (P25)/dry:
- [153] 1 시간 후 $0.003 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [154] 3 시간 후 $0.003 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [155] (2) Pd (1 wt%)/TiO₂ (P25)/steam:
- [156] 1 시간 후 $0.02 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [157] 5 시간 후 $0.015 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

- [158] (3) Pd (1 wt%)/N719/TiO₂ (P25)/dry:
 [159] 1 시간 후 (최대속도) 0.05 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [160] 6 시간 후 0.01 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [161] (4) Pd (1 wt%)/N719/TiO₂ (P25)/steam:
 [162] 1 시간 후 (최대속도) 0.35 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [163] 10 시간 후 0.1 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [164] 실시예 7. Cu (1 wt%)/N719 염료/TiO₂ (P25) 복합 촉매 제조 및 CO₂ 환원 실험
 [165] 0.0885 g의 Cu(OAC)₂ (0.02 g의 Cu 함유)를 사용하고 2 g의 TiO₂ (P25)를 사용한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 상기 Cu (1 wt%)/N719 염료/TiO₂ (P25) 복합 촉매를 제조한 후 이를 이용하여 CO₂ 환원 실험을 수행하였다. 반응시간에 따라 상기 반응기로부터 생성물을 수득하여 상기 생성물 중 메탄 가스의 생성 속도를 GC-MS로 측정하여 하기와 같은 결과를 수득하였으며, 반응 시간 및 반응 조건에 따른 메탄 가스 생성 속도의 변화를 도 6 내지 도 9의 그래프에 나타내었으며, 메탄 및 에탄의 생성 속도의 변화를 도 10의 그래프에 나타내었다. 상기 염료 및/또는 스팀을 사용하지 않는 경우 생성물이 매우 적게 수득되었다:
 [166] <생성물 중 메탄 가스 생성 속도>
 [167] (1) Cu (1 wt%)/TiO₂ (P25)/dry:
 [168] 1 시간 후: 0.005 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [169] 2 시간 후 0.003 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$ 이하
 [170] (2) Cu (1 wt%)/TiO₂ (P25)/steam:
 [171] 1 시간 후 0.01 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [172] 5 시간 후 0.005 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$ 이하
 [173] (3) Cu (1 wt%)/N719/TiO₂ (P25)/dry:
 [174] 1 시간 후: (최대속도) 0.15 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [175] 10 시간 후 0.04 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [176] (4) Cu (1 wt%)/N719/TiO₂ (P25)/steam:
 [177] (메탄)
 [178] 1 시간 후: (최대속도) 1.0 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [179] 10 시간 후: 0.6 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [180] (에탄)
 [181] 1 시간 후: (최대속도) 0.03 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [182] 10 시간 후: 0.02 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [183] (메탄올)
 [184] 1 시간 후: (최대속도) 0.01 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [185] 5 시간 후: 0.02 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
 [186] 실시예 8. Ni (1 wt%)/N719 염료/TiO₂ (P25) 복합 촉매 제조 및 CO₂ 환원 실험
 [187] 0.0883 g의 Ni(OAC)₂ (0.02 g의 Ni 함유)을 사용하고 2 g의 TiO₂ (P25)를 사용한

것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 상기 Ni (1 wt%)/N719
 염료/TiO₂ (P25)복합 촉매를 제조한 후 이를 이용하여 CO₂ 환원 실험을
 수행하였다. 반응시간에 따라 상기 반응기로부터 생성물을 수득하여 상기
 생성물 중 메탄 가스의 생성 속도를 GC-MS로 측정하여 하기와 같은 결과를
 수득하였으며, 반응 시간 및 반응 조건에 따른 메탄 가스 생성 속도의 변화를 도
 6 내지 도 9의 그래프에 나타내었다. 상기 염료 및/또는 스팀을 사용하지 않는
 경우 생성물이 매우 적게 수득되었다:

[188] <생성물 중 메탄 가스 생성 속도>

[189] (1) Ni (1 wt%)/TiO₂ (P25)/dry:

[190] 1 시간 후 0.003 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

[191] 3 시간 후 0.002 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

[192] (2) Ni (1 wt%)/TiO₂ (P25)/steam:

[193] 1 시간 후 0.005 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

[194] 5 시간 후 0.005 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

[195] (3) Ni (1 wt%)/N719/TiO₂ (P25)/dry:

[196] 1 시간 후 (최대속도) 0.02 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

[197] 10 시간 후: 0.005 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

[198] (4) Ni (1 wt%)/N719/TiO₂ (P25)/steam:

[199] 1 시간 후 (최대속도) 0.02 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

[200] 10 시간 후: 0.01 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

[201] 실시예 9. Pt (1 wt%)/N719 염료/TiO₂ (P25) 복합 촉매 제조 및 CO₂ 환원 실험

[202] 0.0316 g의 Pt(NH₃)₄Cl₂ (0.02 g의 Pt 함유)를 사용하고 2 g의 TiO₂ (P25)를 사용한
 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 상기 Pt (1 wt%)/N719
 염료/TiO₂ (P25)복합 촉매를 제조한 후 이를 이용하여 CO₂ 환원 실험을
 수행하였다. 반응시간에 따라 상기 반응기로부터 생성물을 수득하여 상기
 생성물 중 메탄 가스의 생성 속도를 GC-MS로 측정하여 하기와 같은 결과를
 수득하였으며, 반응 시간 및 반응 조건에 따른 메탄 가스 생성 속도의 변화를 도
 6 내지 도 9의 그래프에 나타내었다. 상기 염료 및/또는 스팀을 사용하지 않는
 경우 생성물이 매우 적게 수득되었다:

[203] <생성물 중 메탄 가스 생성 속도>

[204] (1) Pt (1 wt%)/TiO₂ (P25)/dry:

[205] 1 시간 후 0.002 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

[206] 16 시간 후 0.002 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

[207] (2) Pt (1 wt%)/TiO₂ (P25)/steam:

[208] 1 시간 후 0.002 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

[209] 5 시간 후 0.002 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

[210] (3) Pt (1 wt%)/N719/TiO₂ (P25)/dry:

[211] 1 시간 후 (최대속도) 0.11 $\mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$

- [212] 10 시간 후 $0.01 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [213] (4) Pt (1 wt%)/N719/TiO₂ (P25)/steam:
- [214] 1 시간 후 (최대속도) $0.1 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [215] 실시에 10. Ru (1 wt%)/N719 염료/TiO₂ (P25) 복합 촉매 제조 및 CO₂ 환원 실험
- [216] 0.041 g의 RuCl₃ (0.02 g의 Ru 함유)을 사용하고 2 g의 TiO₂ (P25)를 사용한 것을 제외하고는 상기 실시에 1과 동일한 방법으로 상기 Ru (1 wt%)/N719 염료/TiO₂ (P25)복합 촉매를 제조한 후 이를 이용하여 CO₂ 환원 실험을 수행하였다. 반응시간에 따라 상기 반응기로부터 생성물을 수득하여 상기 생성물 중 메탄 가스의 생성 속도를 GC-MS로 측정하여 하기와 같은 결과를 수득하였다. 상기 염료 및/또는 스팀을 사용하지 않는 경우 생성물이 매우 적게 수득되었다:
- [217] <생성물 중 메탄 가스 생성 속도>
- [218] (1) Ru (1 wt%)/TiO₂ (P25)/dry:
- [219] 0.5 시간 후 $0.3 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [220] 24 시간 후 $0.2 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [221] (2) Ru(1 wt%)/TiO₂ (P25)/steam:
- [222] 0.5 시간 후 $0.4 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [223] 24 시간 후 $0.3 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [224] (3) Ru (1 wt%)/N719/TiO₂ (P25)/dry:
- [225] 0.5 시간 후 (최대속도) $1.21 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [226] 10 시간 후 $0.95 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [227] (4) Ru (1 wt%)/N719/TiO₂ (P25)/steam:
- [228] 1 시간 후 (최대속도) $1.48 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [229] 10 시간 후 $1.23 \mu\text{mol}/(\text{cm}^2 \text{ h})$
- [230] 실시에 11. Cu (1 wt%)/Rutbpy(PO₃H₂) 염료/TiO₂ (P25) 복합 촉매 제조 및 CO₂ 환원 실험
- [231] Rutbpy(PO₃H₂) 염료를 사용한 것을 제외하고는 상기 실시에 7과 동일한 방법으로 상기 Cu (1 wt%)/Rutbpy(PO₃H₂) 염료/TiO₂ (P25)복합 촉매를 제조한 후 이를 이용하여 CO₂ 환원 실험을 수행하였다. 반응시간에 따라 상기 반응기로부터 생성물을 수득하여 상기 생성물 중 메탄, 에탄, 및 메탄올의 생성 속도를 GC-MS로 측정하여 하기와 같은 결과를 수득하였으며, 반응 시간에 따른 메탄, 에탄, 및 메탄올의 생성 속도의 변화를 도 11의 그래프에 나타내었다.
- [232] 실시에 12. Cu (1 wt%)/SnTCPP 염료/TiO₂ (P25) 복합 촉매 제조 및 CO₂ 환원 실험
- [233] SnTCPP 염료를 사용한 것을 제외하고는 상기 실시에 7과 동일한 방법으로 상기 Cu (1 wt%)/SnTCPP 염료/TiO₂ (P25)복합 촉매를 제조한 후 이를 이용하여 CO₂ 환원 실험을 수행하였다. 반응시간에 따라 상기 반응기로부터 생성물을 수득하여 상기 생성물 중 메탄 가스의 생성 속도를 GC-MS로 측정하여 하기와 같은 결과를 수득하였으며, 반응 시간에 따른 메탄 가스 생성 변화를 도 12의

그래프에 나타내었다.

- [234] 실시에 13. Pd (1 wt%)/염료/TiO₂(아나타제) 복합 촉매 제조 및 CO₂ 환원 실험
- [235] 염료로서 Rutbpy(PO₃H₂), SnTCPP (0.35 mg) 및 SnTCPP (1.0 mg)를 각각 사용한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 방법으로 상기 3 가지의 염료를 각각 포함하는 Pd (1 wt%)/염료/TiO₂(아나타제)복합 촉매를 제조한 후 이를 이용하여 각각 CO₂ 환원 실험을 수행하였다.
- [236] 반응시간에 따라 상기 반응기로부터 생성물을 수득하여 상기 생성물 중 메탄 가스의 생성 속도를 GC-MS로 측정하여 하기와 같은 결과를 수득하였으며, 반응 시간 및 상기 염료의 종류에 따른 메탄 가스 생성 변화률 도 13의 그래프에 나타내었다.
- [237] 전술한 본원의 설명은 예시를 위한 것이며, 본원이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본원의 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 구성요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성요소들도 결합된 형태로 실시될 수도 있다.
- [238] 본원의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위, 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본원의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.
- [239] 100: 금속 화합물
- [240] 200: 금속
- [241] 300: 광감응제
- [242] 310: 링커를 포함하는 광감응제
- [243] 320: 링커를 포함하지 않는 양이온성 광감응제
- [244] 330: 링커를 포함하지 않는 음이온성 광감응제
- [245] 410: 음이온성 고분자
- [246] 420: 양이온성 고분자

청구범위

- [청구항 1] 반응기 내에 금속, 금속 화합물, 및 광감응제(photosensitizer)를 함유하는 복합 촉매를 로딩(loading)하고;
상기 반응기 내로 수소 기체와 이산화탄소 기체를 함유하는 기체를 주입하여 태양광 조사(irradiation) 하에서 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 반응시키는 것;
을 포함하는, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법.
- [청구항 2] 제 1 항에 있어서,
상기 금속 화합물은 금속산화물, 금속카바이드, 금속옥시카바이드 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함하는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법.
- [청구항 3] 제 1 항에 있어서,
상기 반응기 내로 주입되는 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 함유하는 상기 기체는 물(H_2O)을 추가로 함유하는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법.
- [청구항 4] 제 3 항에 있어서,
상기 물은, 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 상기 반응기 내로 주입하기 전에 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 물 속으로 버블링(bubbling)시켜 수득된 수분을 함유하는 상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체의 혼합 가스에 포함된 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법.
- [청구항 5] 제 1 항에 있어서,
상기 수소 기체는 물 분해용 반응기로부터 상기 반응기 내로 공급되는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법.
- [청구항 6] 제 5 항에 있어서,
상기 물 분해용 반응기는 물 분해용 광촉매를 포함하며 태양광 조사 하에서 물의 분해에 의하여 산소와 수소를 생성하며, 상기 생성된 산소는 제거되고 상기 생성된 수소는 상기 반응기 내로 공급되는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법.
- [청구항 7] 제 1 항에 있어서,
상기 반응기의 온도는 상기 태양광의 조사에 의하여 형성된 온도인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법.
- [청구항 8] 제 1 항에 있어서,
상기 복합 촉매는, 상기 금속 화합물을 포함하는 지지체의 표면에 상기 금속 입자와 상기 광감응제가 코팅되어 있는 형태를 가지는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법.
- [청구항 9] 제 8 항에 있어서,

- 상기 지지체는 나노미터 단위 내지 마이크로미터 단위 크기의 입자, 메조세공 구조체, 막대(rod), 파이버(fiber), 또는 튜브 형태를 가지는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법.
- [청구항 10] 제 8 항에 있어서,
상기 지지체는 나노미터 단위의 기공(pore)을 가지는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법.
- [청구항 11] 제 2 항에 있어서,
상기 금속카바이드는 SiC 또는 전이금속의 카바이드를 포함하는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법.
- [청구항 12] 제 1 항에 있어서,
상기 광감응제는 $-CO_2H$, $-PO_3H$, $-NH_2$, 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 작용기를 함유하는 링커(linker)를 포함하는 화합물인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법.
- [청구항 13] 제 1 항에 있어서,
상기 광감응제는 $-CO_2H$, $-PO_3H$, $-NH_2$, 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 작용기를 함유하는 링커(linker)를 포함하지 않는 화합물인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법.
- [청구항 14] 제 1 항에 있어서,
상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체를 반응시켜 탄화수소를 함유하는 생성물이 수득되는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 방법.
- [청구항 15] 적어도 일면에 광투과부를 포함하는 반응기; 및,
상기 반응기에 연결된 수소 기체 공급부, 이산화탄소 기체 공급부, 및 생성물 배출부;를 포함하며,
상기 반응기 내에 로딩된 금속, 금속 화합물, 및
광감응제(photosensitizer)를 함유하는 복합 촉매의 존재 하에서
상기 반응기 내로 상기 수소 기체 공급부를 통하여 수소 기체가 공급되고 상기 이산화탄소 기체 공급부를 통하여 이산화탄소 기체가 주입되고, 상기 광투과부를 통하여 태양광이 조사되어
상기 수소 기체와 상기 이산화탄소 기체가 반응되는 것인,
태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 반응 장치.
- [청구항 16] 제 15 항에 있어서,
상기 금속 화합물은 금속산화물, 금속카바이드, 금속옥시카바이드 및 이들의 조합들로 이루어진 군에서 선택되는 것을 포함하는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 반응 장치.
- [청구항 17] 제 15 항에 있어서,

상기 반응기에 연결된 물 공급부를 추가 포함하는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 반응 장치.

[청구항 18]

제 15 항에 있어서,

상기 물 공급부는 물을 상기 반응기 내로 분사하거나 수증기 형태로 공급하는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 반응 장치.

[청구항 19]

제 15 항에 있어서,

상기 수소 기체 공급부는 물 분해용 반응 장치에 연결되어 있는 것인, 태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 반응 장치.

[청구항 20]

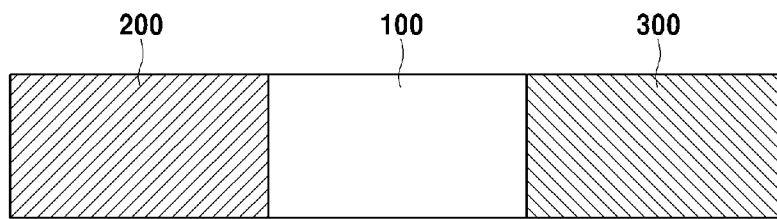
제 19 항에 있어서,

상기 물 분해용 반응 장치는 물 분해용 반응기 및 상기 물 분해용 반응기에 연결된 분리부를 포함하며,

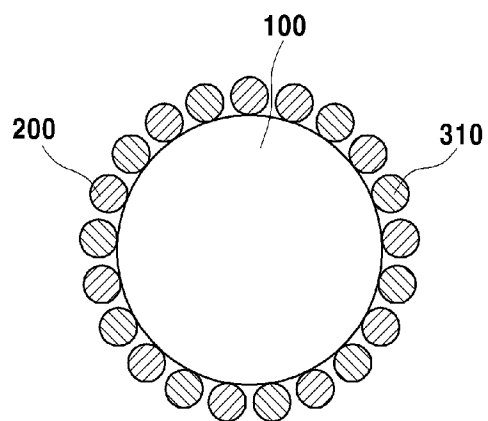
상기 분리부는 산소 배출부와 수소 배출부를 포함하고 상기 수소 배출부는 상기 수소 기체 공급부에 연결된 것인,

태양광 및 수소를 이용한 이산화탄소의 환원 반응 장치.

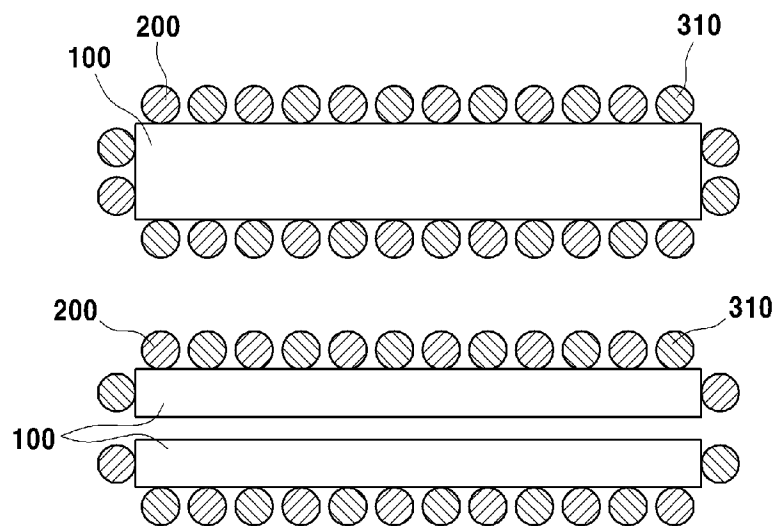
[Fig. 1]



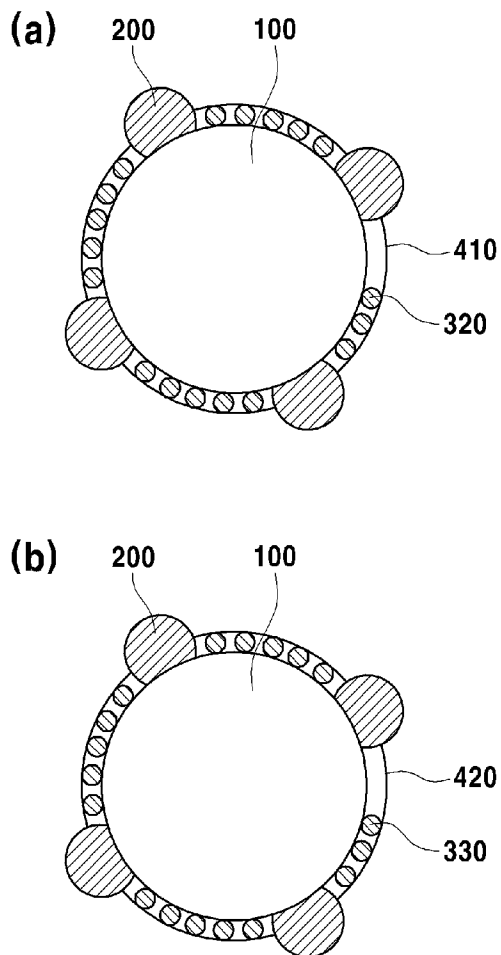
[Fig. 2]



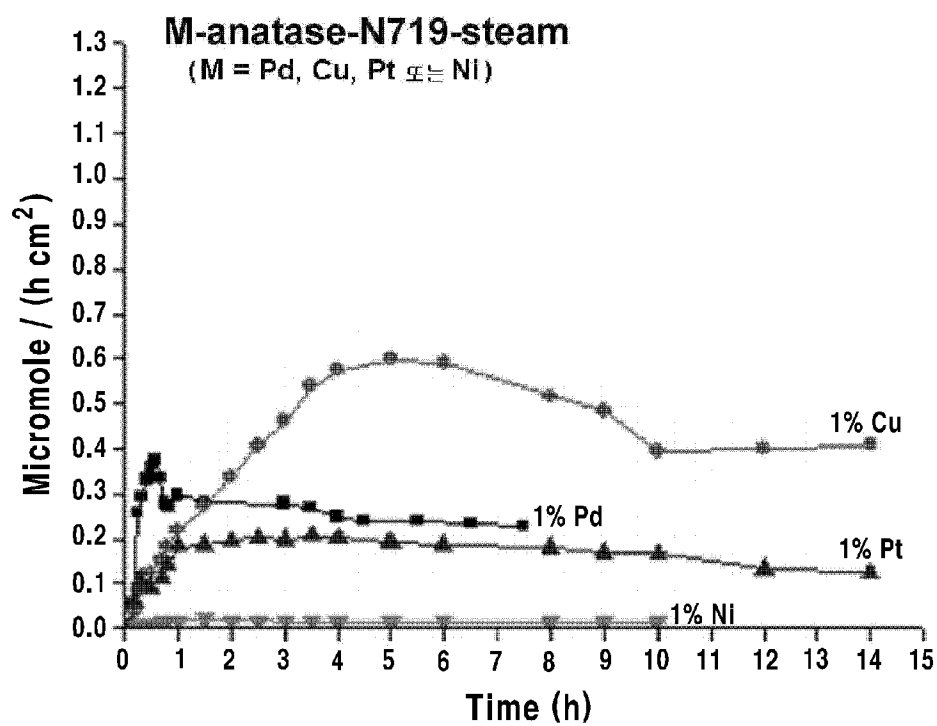
[Fig. 3]



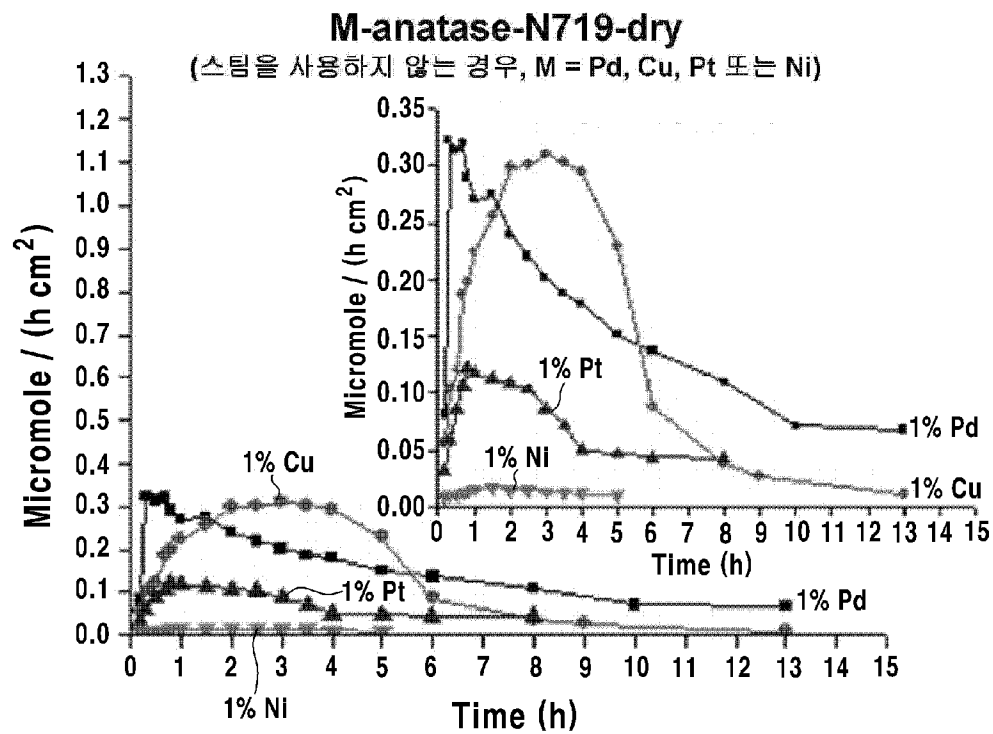
[Fig. 4]



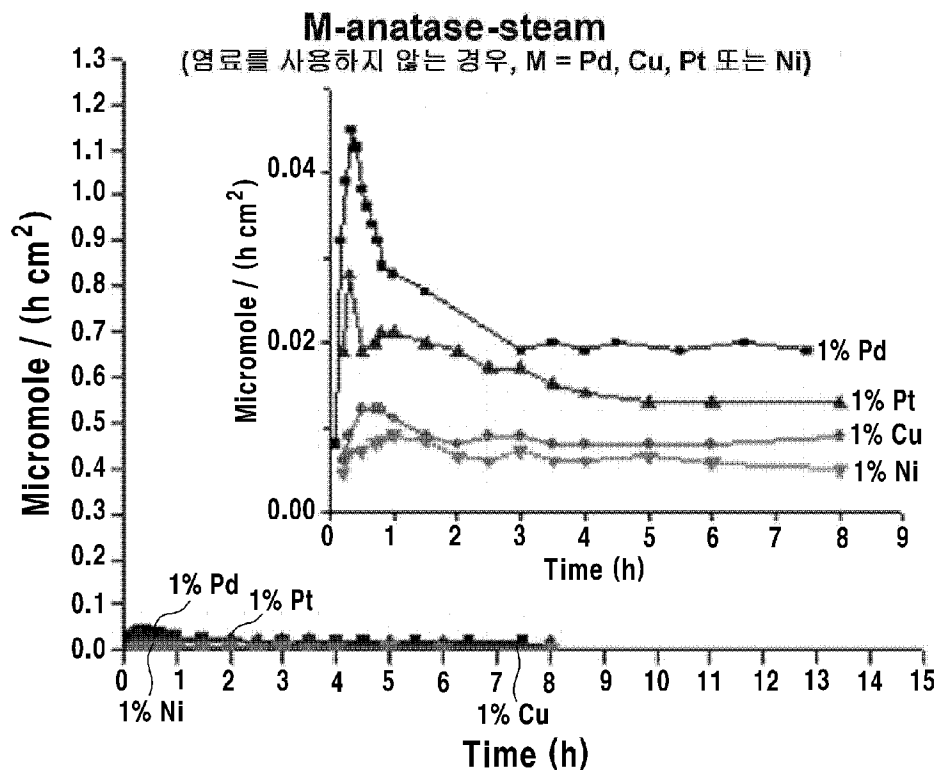
[Fig. 5a]



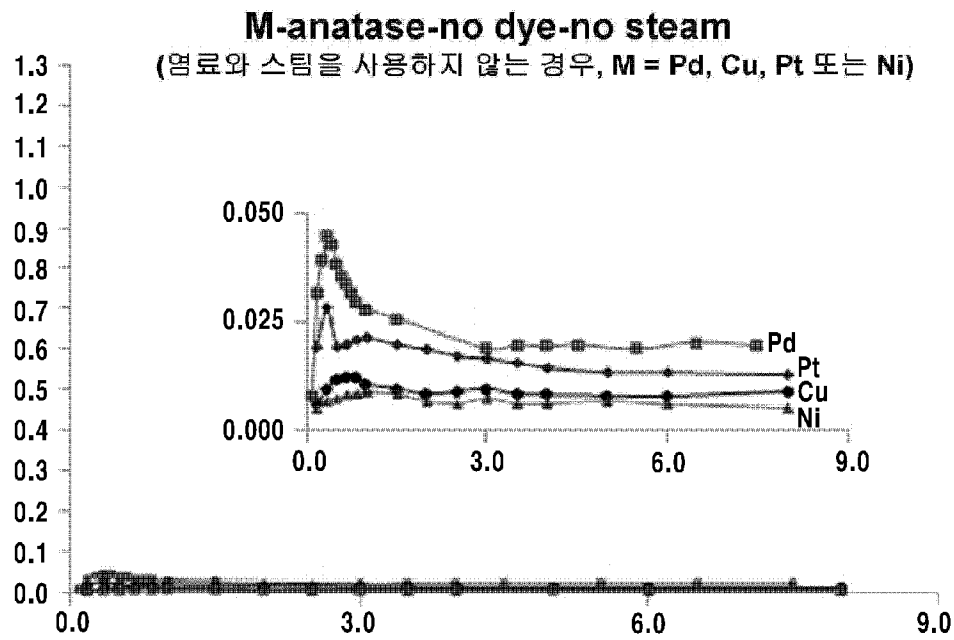
[Fig. 5b]



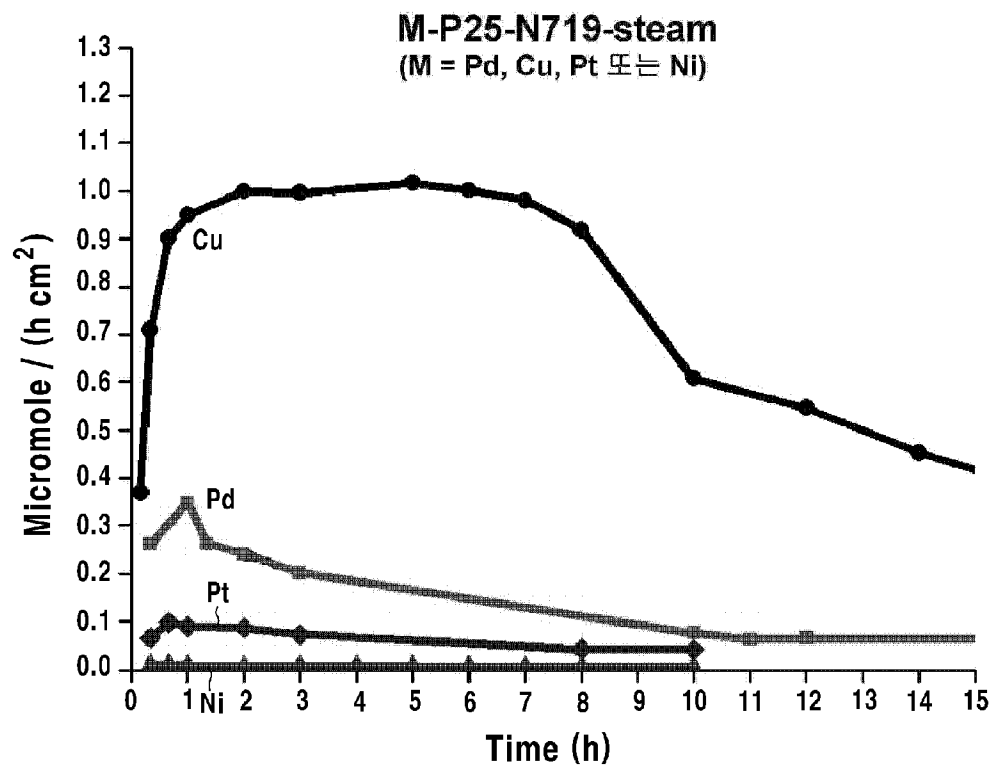
[Fig. 5c]



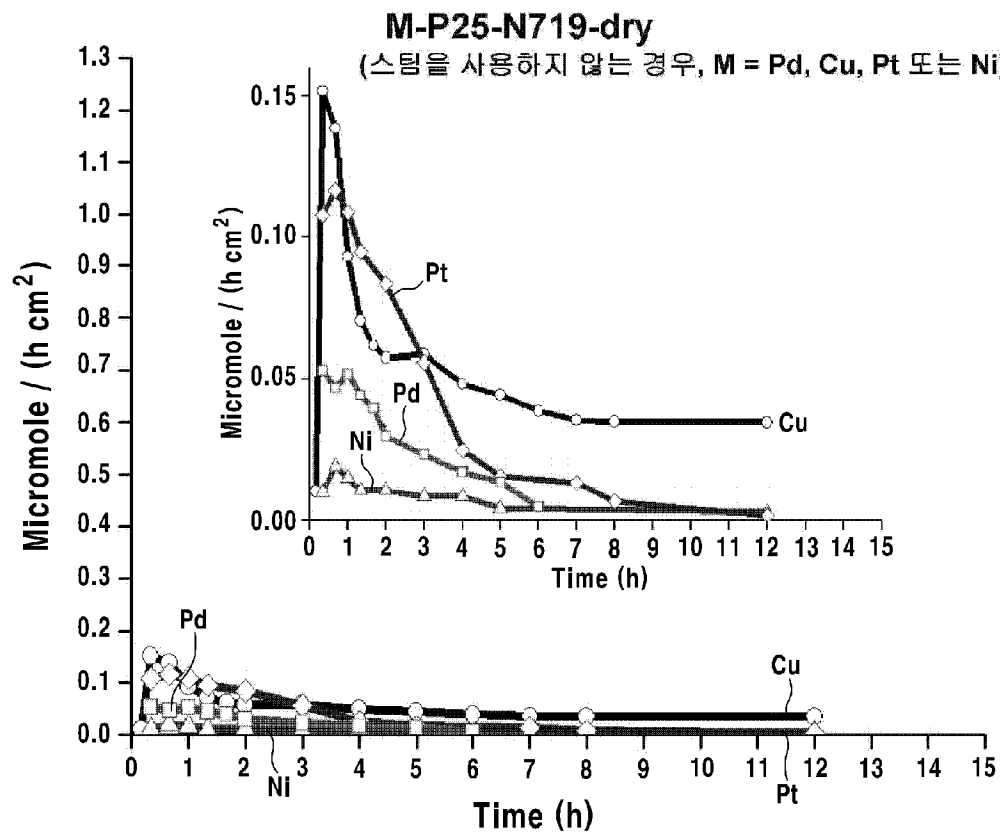
[Fig. 5d]



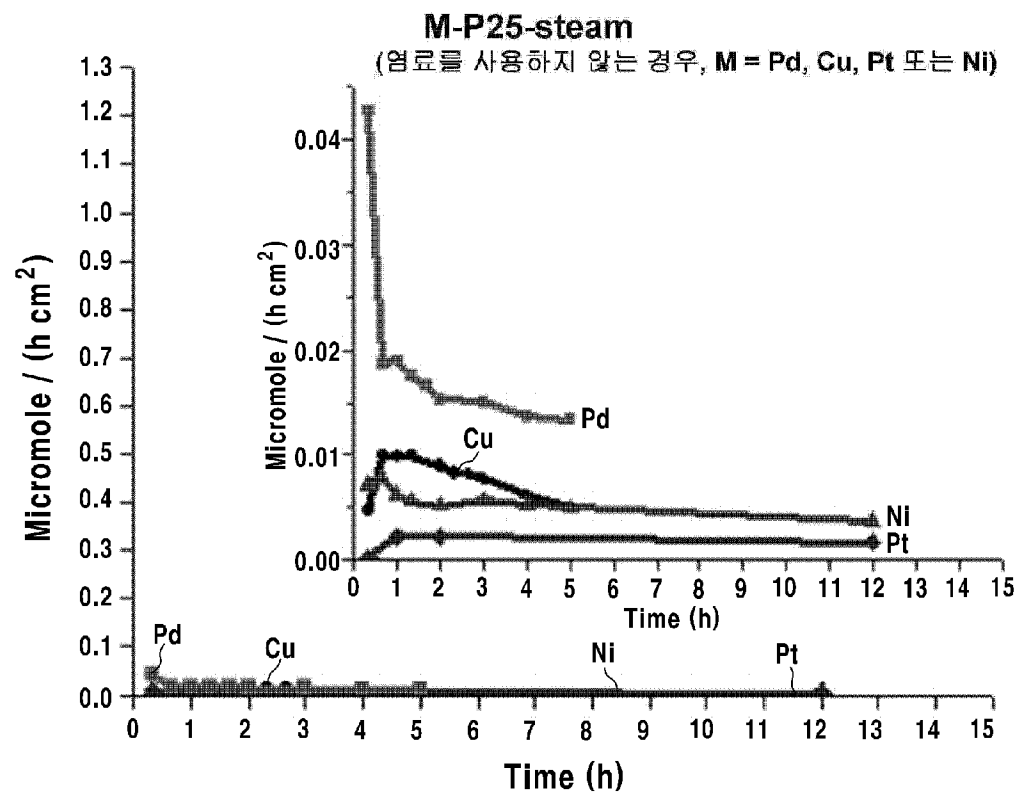
[Fig. 6]



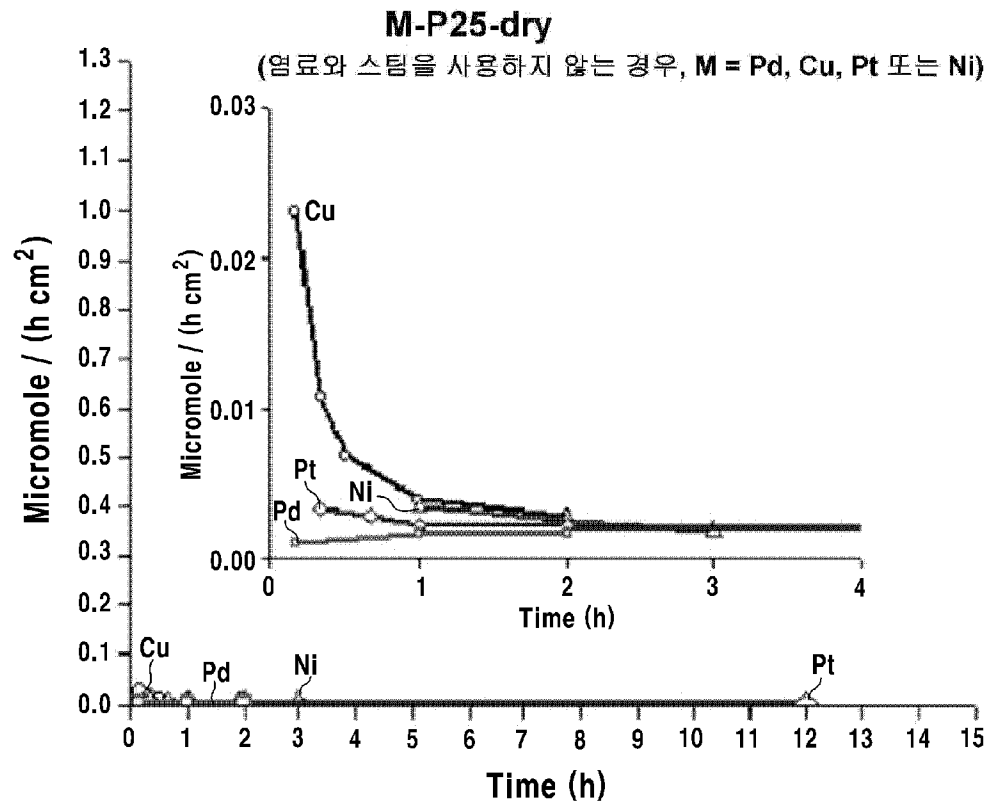
[Fig. 7]



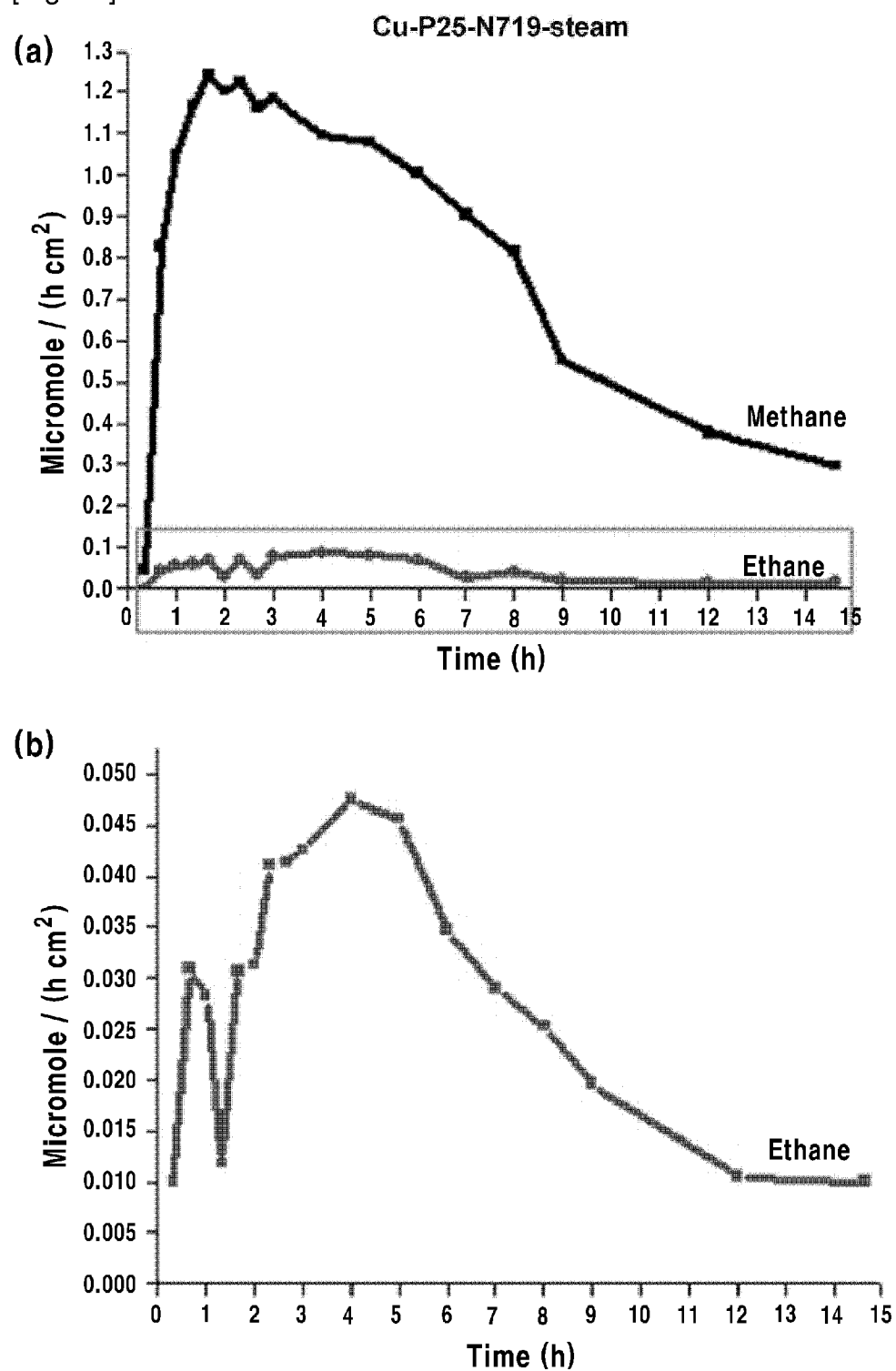
[Fig. 8]



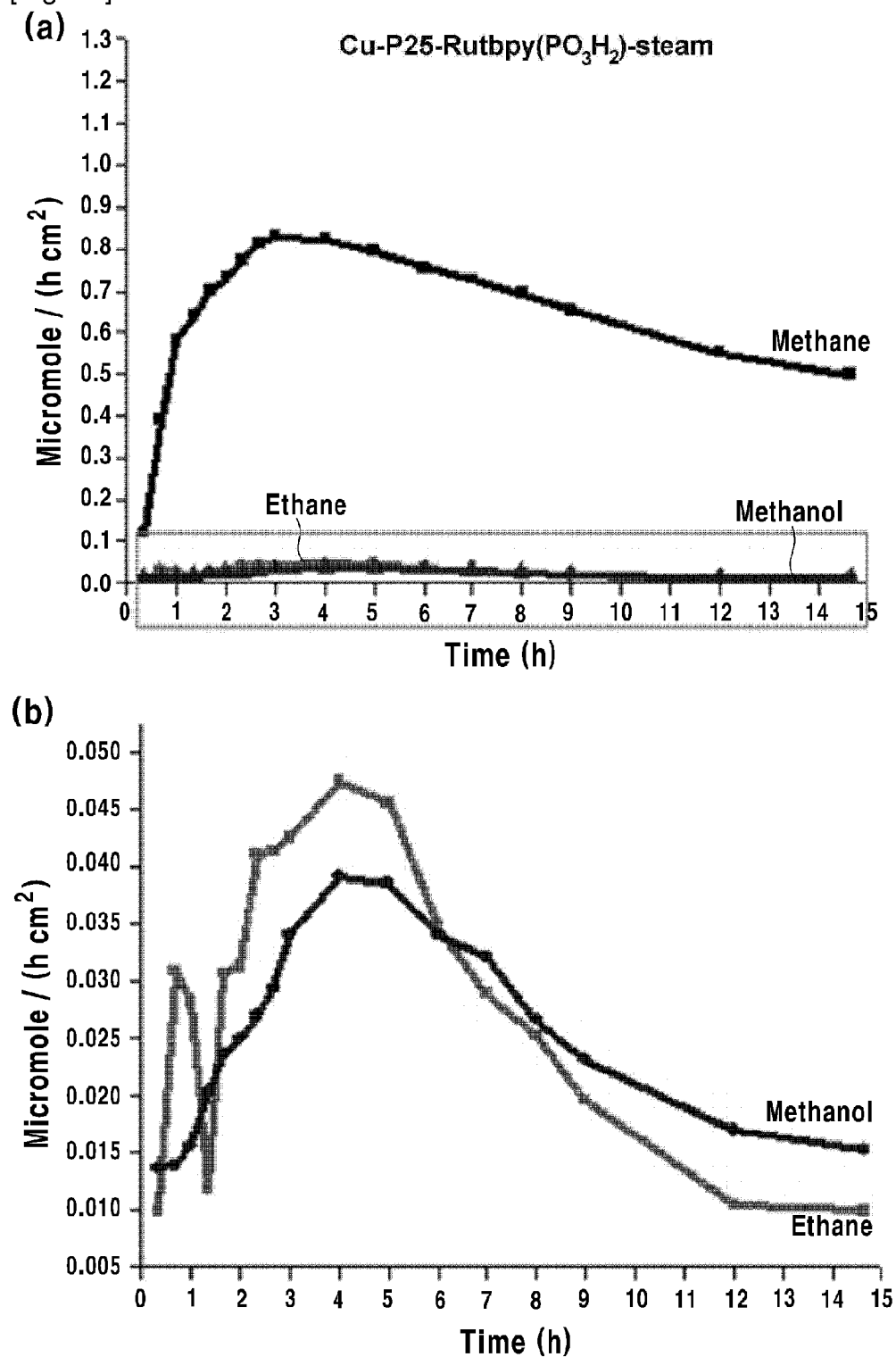
[Fig. 9]



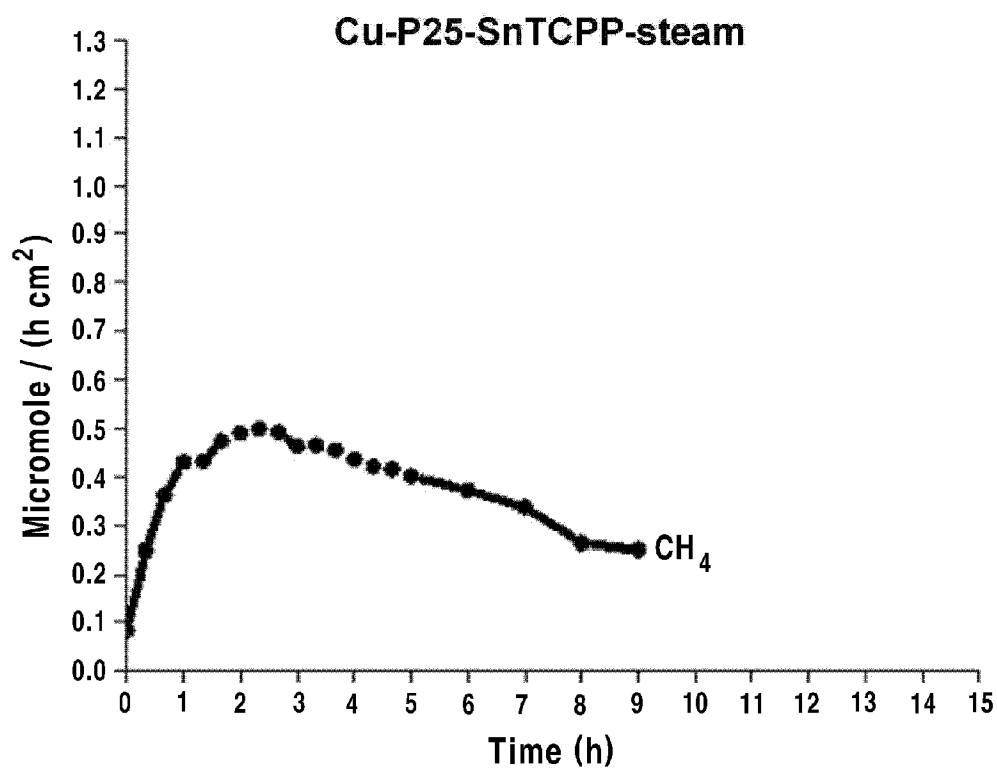
[Fig. 10]



[Fig. 11]



[Fig. 12]



[Fig. 13]

