(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0074108
(43) 공개일자 2024년05월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C25B 3/26 (2021.01) *C12M 1/00* (2006.01)
C12P 21/00 (2006.01) *C25B 1/04* (2022.01)
C25B 1/55 (2021.01) *C25B 11/043* (2021.01)
C25B 13/08 (2006.01) *C25B 15/08* (2006.01)
C25B 9/50 (2021.01)
(52) CPC특허분류
C25B 3/26 (2021.01)
C12M 21/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0155599
(22) 출원일자 2022년11월18일
심사청구일자 2022년11월18일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
장지욱
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
김용환
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 무한

전체 청구항 수 : 총 15 항

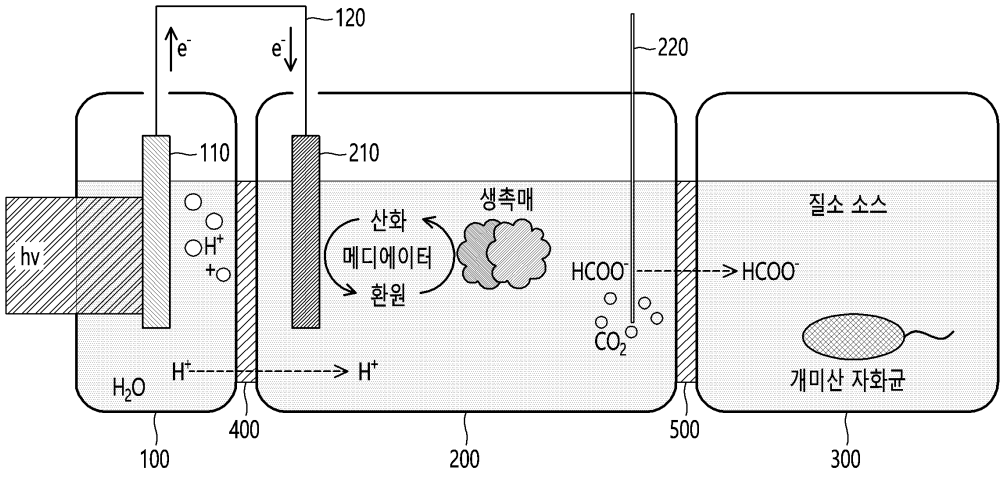
(54) 발명의 명칭 **태양광을 이용한 단백질 생산 시스템 및 태양광을 이용한 단백질 생산 방법**

(57) 요 약

태양광을 이용한 단백질 생산 시스템 및 태양광을 이용한 단백질 생산 방법을 개시한다. 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템은 광전기화학적 물분해를 위한 광전지부; 광전지부로부터 수소 이온 및 전자를 공급받고, 이산화탄소로부터 개미산을 생산하는 개미산 생산부; 및 개미산 기질 및 질소 소스 기질을 이용하여 단백질을 합성하는 단백질 합성부;를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도1

1



(52) CPC특허분류
C12P 21/00 (2013.01)
C25B 1/04 (2022.01)
C25B 1/55 (2021.01)
C25B 11/043 (2022.01)
C25B 13/08 (2013.01)
C25B 15/081 (2021.01)
C25B 9/50 (2022.01)
(72) 발명자
류정기
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
전병욱
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
이초연
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
신창환
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
고묘화
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415180860
과제번호 20019321
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국산업기술평가관리원
연구사업명 산업기술알키미스트프로젝트사업
연구과제명 생체모방 공기 태양단백질 생합성 시스템 개발
기 여 율 0.4/1
과제수행기관명 울산과학기술원
연구기간 2022.04.01 ~ 2022.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711158021
과제번호 2020R1A5A1019631
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 집단연구지원
연구과제명 미세플라스틱 대응 화공/바이오 융합 공정 연구센터
기 여 율 0.2/1
과제수행기관명 울산과학기술원
연구기간 2022.03.01 ~ 2023.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711158825
과제번호 2019M1A2A2065612
부처명 기획재정부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 기후변화대응기술개발
연구과제명 온사이트 수소충전소를 위한 광전기화학 수소생산기술 및 시스템 개발
기 여 율 0.4/1
과제수행기관명 울산과학기술원
연구기간 2022.01.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

광전기화학적 물분해를 위한 광전지부;

상기 광전지부로부터 수소 이온 및 전자를 공급받고, 이산화탄소로부터 개미산을 생산하는 개미산 생산부; 및

개미산 기질 및 질소 소스 기질을 이용하여 단백질을 합성하는 단백질 합성부;

를 포함하는,

태양광을 이용한 단백질 생산 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 광전지부 및 상기 개미산 생산부 사이에 불소계 분리막;

을 더 포함하는 것인,

태양광을 이용한 단백질 생산 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 불소계 분리막은 20 ㎛ 내지 200 ㎛ 두께를 가지며, 상기 불소계 분리막을 통해 물분해로 생성된 수소 이온이 이동하는 것인,

태양광을 이용한 단백질 생산 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 개미산 생산부 및 상기 단백질 합성부 사이에 음이온 교환막;

을 더 포함하고,

상기 음이온 교환막을 통해 상기 개미산이 상기 단백질 합성부로 이동하는 것인, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 광전지부는

태양광 조사에 의해 물분해하는 광촉매 전극;

을 포함하는 것인, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 광촉매 전극은, 태양광(hv) 조사 시 약 1 mA/cm^2 이상의 광전류를 생산하는 것인, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 개미산 생산부는 상기 광전지부와 연결된 환원 전극을 포함하고,

상기 환원 전극은 카본계 전극을 포함하는 것인, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 개미산 생산부는

이산화탄소 분해를 위한 생촉매; 및

환원 전극에서 전자를 생촉매로 전달하기 위한 전자전달 메디에이터(electron mediator);

를 포함하는 것인, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 메디에디터는 비올로젠계 화합물을 포함하고,

상기 생촉매는 환원효소(reductase)를 포함하는 것인, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 단백질 생산부는,

상기 개미산 기질 및 상기 질소 소스 기질로부터 단백질을 생산하는 개미산 자화균을 포함하고,

상기 개미산 자화균은 상기 단백질 생산부 내에서 배양되면서 단백질을 생산하는 것인, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 개미산은 용액상(solution phase)으로 공급되고,

상기 질소 소스는 용액상, 가스상 또는 이둘 모두로 공급되는 것인, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 질소 소스는 개미산에 대해 0.5 내지 15 몰비로 공급되는 것인, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템.

청구항 13

광전지에 태양광을 조사하여 광전기화학적 물분해하는 단계;

상기 물분해하는 단계에서 생성된 수소 이온(H^+) 및 전자를 공급받고, 생촉매의 존재 하에서 이산화탄소를 환원시켜 개미산을 생산하는 단계; 및

개미산 기질 및 질소 소스 기질을 이용하여 단백질을 합성하는 단계;

를 포함하는,

태양광을 이용한 단백질 생산 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 단백질 생산 방법은 제1항 내지 제12항 중 어느 한 항의 단백질 생산 시스템을 이용하는 것인, 태양광을 이용한 단백질 생산 방법.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 질소 소스 기질은 상기 개미산 기질에 대해 0.5 내지 15 몰비로 공급되고,

상기 개미산을 생산하는 단계에서 이산화탄소는 10 sccm 내지 100 sccm 도입 유량으로 공급되는 것인, 태양광을 이용한 단백질 생산 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시의 실시 예들에 따라, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템 및 태양광을 이용한 단백질 생산 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 동물성 단백질 생산 방식 중 축산 방식은 현재 소고기 1 kg을 생산하기 위해서는 99.8 kg의 이산화탄소가 발생하게되고, 25 kg의 먹이와 15,315 L의 물이 필요하다. 또한, 축산 방식에 의한 동물성 단백질은 항생제, 호르몬, 살충제, 재초제, 글루텐 등의 인체에 유해한 성분을 포함할 수 있다. 더욱이, 축산 방식은 축산 중에 발생되는 오염물의 처리 및 관리에 따른 비용 발생 및 환경 오염의 위험성이 높다.

[0003] 대체육 단백질 생산 방식은 식물 단백질이 대표적이다. 식물 단백질을 획득하기 위해서 많은 물과 토지 사용량, 맛 등의 문제를 가지고 있다. 또한, 식물 단백질은 시장확장성에 한계가 있고, 배양육은 아미노산, 당 등의 값비싼 먹이와 호르몬 사용 등의 문제로 인해 상용화가 어렵다.

[0004] 전술한 배경기술은 발명자가 본원의 개시 내용을 도출하는 과정에서 보유하거나 습득한 것으로서, 반드시 본 출원 전에 일반 공중에 공개된 공지기술이라고 할 수는 없다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 상기 언급된 문제점을 해결하기 위한 것으로, 본 개시의 실시 예들에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템은, 자연 광합성 시스템을 모방한 광촉매 및 생촉매를 활용한 이산화탄소 환원 시스템이고, 이는 외부 에너지 없이 태양에너지를 이용하는 친환경적이고, 고품질의 단백질 생산 방식을 구현할 수 있다.

[0006] 본 개시의 실시 예들에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산 방법은 본 개시의 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템을 이용하여, 고품질의 단백질 생산 방식을 구현할 수 있다.

[0007] 그러나, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 것들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 해당 분야 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템은 광전기화학적 물분해를 위한 광전지부; 상기 광전지부로부터 수소 이온 및 전자를 공급받고, 이산화탄소로부터 개미산을 생산하는 개미산 생산부; 및 개미산 기질 및 질소 소스 기질을 이용하여 단백질을 합성하는 단백질 합성부; 를 포함할 수 있다.

[0009] 일 실시 예에 따라, 광전지부 및 상기 개미산 생산부 사이에 불소계 분리막; 을 더 포함하는 것일 수 있다.

[0010] 일 실시 예에 따라, 상기 불소계 분리막은 나피온(상품명: Nafion, DuPont), 플레미온(상품명: Flemion), 고어(Gore), 아시플렉스 및 이들의 조합 중 적어도 하나 이상을 포함하는 것일 수 있다.

[0011] 일 실시 예에 따라, 상기 불소계 분리막은 20 ㎛ 내지 200 ㎛ 두께를 가지며, 상기 불소계 분리막을 통해 물분해로 생성된 수소 이온이 이동하는 것일 수 있다.

[0012] 일 실시 예에 따라, 상기 개미산 생산부 및 상기 단백질 합성부 사이에 음이온 교환막; 을 더 포함하고, 상기 음이온 교환막을 통해 상기 개미산이 상기 단백질 합성부로 이동하는 것일 수 있다.

[0013] 일 실시 예에 따라, 상기 광전지부는 태양광 조사에 의해 물분해하는 광촉매 전극; 을 포함하는 것일 수 있다.

[0014] 일 실시 예에 따라, 상기 광촉매는 반도체 물질을 포함하고, 상기 반도체 물질은 Ti, Sn, Zn, Mn, Mg, Ni, W, Co, Fe, Ba, In, Zr, Cu, Al, Bi, Pb, Ag, Cd, Y, Mo, Rh, Pd, Sb, Cs, La, V, Si, Al, Sr 및 이들의 조합 중 적어도 하나 이상을 포함하는 것일 수 있다.

[0015] 일 실시 예에 따라, 상기 광촉매 전극은, 태양광(hv) 조사 시 약 1 mA/cm^2 이상의 광전류를 생산하는 것일 수 있다.

[0016] 일 실시 예에 따라, 상기 개미산 생산부는 상기 광전지부와 연결된 환원 전극을 포함하고, 상기 환원 전극은 카본계 전극을 포함하는 것일 수 있다.

[0017] 일 실시 예에 따라, 상기 개미산 생산부는 이산화탄소 분해를 위한 생촉매; 및 환원 전극에서 전자를 생촉매로 전달하기 위한 전자전달 메디에이터(electron mediator); 를 포함하는 것일 수 있다.

[0018] 일 실시 예에 따라, 상기 메디에디터는 비올로젠계 화합물을 포함하고, 상기 생촉매는 환원효소(reductase)를 포함하는 것일 수 있다. 일 실시 예에 따라, 상기 비올로젠계 화합은 $[(C_5H_4NR)_2]^{2+}(X^-)_2$로 표시될 수 있다(여기서 R은 탄소수 1 내지 20의 알킬, 탄소수 2 내지 20의 알케닐 및 탄소수 6 내지 30의 아릴에서 선택될 수 있고, X^-는 음이온기이다.).

[0019] 일 실시 예에 따라, 상기 단백질 생산부는, 상기 개미산 기질 및 상기 질소 소스 기질로부터 단백질을 생산하는 개미산 자화균을 포함하고, 상기 개미산 자화균은 상기 단백질 생산부 내에서 배양되면서 단백질을 생산할 수 있다.

[0020] 일 실시 예에 따라, 상기 개미산은 용액상(solution phase)으로 공급되고, 상기 질소 소스는 용액상, 가스상 또는 이둘 모두로 공급되는 것일 수 있다.

[0021] 일 실시 예에 따라, 상기 단백질 생산부는, 질소 가스(N_2 gas), 질산, 아질산(NO_2), 산화질소(N_xO_y), 질산염(NO_3^-

), 염화 암모늄(NH_4Cl), 황산 암모늄($(NH_4)_2SO_4$), 암모늄 이온(NH_4^+), 암모니아(NH_3) 및 이들의 조합 중 적어도 하나 이상의 질소 소스를 공급하는 것일 수 있다.

[0022] 일 실시 예에 따라, 상기 질소 소스는 개미산에 대해 0.5 내지 15 몰비로 공급되는 것일 수 있다.

[0023] 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산 방법은, 광전지에 태양광을 조사하여 광전기화학적 물분해하는 단계; 상기 물분해하는 단계에서 생성된 수소 이온(H^+) 및 전자를 공급받고, 생촉매의 존재 하에서 이산화탄소를 환원시켜 개미산을 생산하는 단계; 및 개미산 기질 및 질소 소스 기질을 이용하여 단백질을 합성하는 단계; 를 포함할 수 있다.

[0024] 일 실시 예에 따라, 상기 단백질 생산 방법은 본 개시의 실시 예들에 따른 단백질 생산 시스템을 이용하는 것일 수 있다.

[0025] 일 실시 예에 따라, 상기 질소 소스 기질은 상기 개미산 기질에 대해 0.5 내지 15의 몰비(즉, 질소 소스 기질: 개미산 기질 소스의 몰비)로 공급되고, 상기 개미산을 생산하는 단계에서 이산화탄소는 10 sccm 내지 100 sccm 도입 유량으로 공급되는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0026] 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템은 태양광에 의한 단백질 생합성 시스템 및 공정을 제공할 수 있다. 또한, 자연 광합성 시스템을 모방하여 광촉매와 생촉매를 활용한 효율적인 이산화탄소 환원 시스템을 제공하고, 외부 에너지 주입 없이 태양에너지를 이용하여 친환경적이고 탄소중립적인 단백질 생산 방식을 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템의 구성을 나타낸 것이다.

도 2는 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산시스템에서 광촉매, 생촉매 및 개미산 자화균 융합 시스템을 통한 단백질 생산 공정의 모식도를 나타낸 것이다.

도 3은 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템 내에서 개미산 자화균의 개미산 단백질 전환 대사 경로를 나타낸 것이다.

도 4는 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템의 광전극에 의한 광전류 변화를 나타낸 것이다.

도 5는 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템의 개미산 전환효율을 나타낸 것이다.

도 6은 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템의 단백질 생산량을 나타낸 것이다.

도 7은 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템에서 생산된 단백질의 아미노산의 구성비율을 나타낸 것이다.

도 8은 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산 방법의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 용어들은 본 발명의 바람직한 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0029] 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.

[0030] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니

라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0031] 본 문서에서, "A 또는 B", "A 및 B 중 적어도 하나", "A 또는 B 중 적어도 하나", "A, B 또는 C", "A, B 및 C 중 적어도 하나", 및 "A, B, 또는 C 중 적어도 하나"와 같은 문구들 각각은 그 문구들 중 해당하는 문구에 함께 나열된 항목들 중 어느 하나, 또는 그들의 모든 가능한 조합을 포함할 수 있다. "제1", "제2", 또는 "첫째" 또는 "둘째"와 같은 용어들은 단순히 해당 구성요소를 다른 해당 구성요소와 구분하기 위해 사용될 수 있으며, 해당 구성요소들을 다른 측면(예: 중요성 또는 순서)에서 한정하지 않는다.

[0032] 이하, 본 개시의 태양광을 이용한 단백질 생산 시스템 및 태양광을 이용한 단백질 생산 방법에 대하여 실시예 및 도면을 참조하여 구체적으로 설명하도록 한다. 그러나, 본 발명이 이러한 실시예 및 도면에 제한되는 것은 아니다.

[0033] 도 1은 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)의 구성을 나타낸 것이다.

[0034] 일 실시 예에 따라, 도 1을 참조하면, 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)은 광전지부(100), 개미산 생산부(200) 및 단백질 합성부(300)를 포함할 수 있다. 일 실시 예에 따라, 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)은 자연 광합성 시스템을 모방하여 광전지 및 생촉매를 활용한 효율적인 이산화탄소 환원 시스템을 구현하고, 이산화탄소 환원 시스템은 외부 에너지 공급 없이(또는, 외부 에너지의 공급의 제한 또는 낮춤) 태양에너지를 이용하여 단백질 생산을 위한 탄소원 기질을 친환경적으로 제공할 수 있다.

[0035] 일 실시 예에 따라, 광전지부(100)는 반응 셀(예: 반응 용기) 및 광전기화학적 물분해를 위한 광전극을 포함할 수 있다. 광전지부(100)는 광전극(110)이 빛(예: 태양광)을 받으면 광전기화학적 물분해(예: 정공(h^+)에 의한 물분해)를 진행하고, 에너지(예: 전기 에너지)(예: 전자)를 생산할 수 있다. 예를 들어, 광전극(110)은 광전기화학적 물분해를 위한 산화전극이고, 물분해 공정에서 생성된 전자(e^-)는 환원전극(도 1의 환원 전극(210))으로 이동될 수 있다.

[0036] 일 실시 예에 따라, 광전극(110)은 기판(예: 반도체 기판, 금속 기판 또는 투명 전극) 및 광촉매를 포함하는 광촉매 전극일 수 있다. 어떤 예에서 광촉매는 빛(예: 태양광(hv))에 의해 물분해 및 에너지 생산이 가능한 것이라면 제한 없이 적용될 수 있다. 어떤 예에서 광촉매는 가전자대와 전도대로 구성되어 있으며 두 에너지 준위 사이의 차이가 밴드갭에 해당된다. 즉, 광촉매의 밴드갭 이상의 빛 에너지를 받게 되면 전자가 가전자대에서 전도대로 이동하게 되면서 가전자대에서는 정공(h^+), 전도대에서는 전자(e^-)가 만들어져 광촉매(예: 반도체)의 표면으로 이동할 수 있다. 이 때 정공(h^+)은 물을 산화시켜 산소를 만들고, 전자(e^-)는 환원전극(210)으로 전달될 수 있다. 어떤 예에서 광촉매는 유기물, 무기물 또는 이 둘을 포함할 수 있다. 어떤 예에서 광촉매는 반도체 물질을 포함하고, 상기 반도체 물질은 Ti, Sn, Zn, Mn, Mg, Ni, W, Co, Fe, Ba, In, Zr, Cu, Al, Bi, Pb, Ag, Cd, Y, Mo, Rh, Pd, Sb, Cs, La, V, Si, Al, Sr 및 이들의 조합 중 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다. 어떤 예에서 반도체 물질은 언급된 원소(예: 하나의 원소의 단일 구성 또는 2종 이상의 혼합 구성), 산화물, 합금, 탄화물, 금속간 화합물, 복합물(composite) 및 이들의 조합 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 예를 들어, 반도체 물질은, Si, Fe_2O_3, Fe_3O_4, $BiVO_4$, Bi_2WO_4, TiO_2, $SrTiO_3$, ZnO, CuO, Cu_2O, NiO, SnO_2, CoO, In_2O_3, WO_3, MgO, CaO, La_2O_3, Nd_2O_3, Y_2O_3, CeO_2, PbO, ZrO_2, Co_3O_4, Al_2O_3 및 이들의 조합 중 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다. 어떤 예에서 광전극은 실리콘(Si) p-n 접합시킨 광전극(예: 반도체 전극)일 수 있다.

[0037] 일 실시 예에 따라, 광전극(110)은 태양광(hv) 조사 시 약 1 mA/cm^2 이상; 약 3 mA/cm^2 이상; 약 5 mA/cm^2 이상; 약 8 mA/cm^2 이상; 약 9 mA/cm^2 이상; 또는 약 10 mA/cm^2 이상의 광전류를 생산할 수 있다.

[0038] 일 실시 예에 따라, 광전지부(100)는 태양광 조사에 의한 광전기화학적 물분해를 진행할 수 있으며, 태양광에 의한 물분해 효율을 높이기 위해서 투명 반응 셀을 포함하고, 반응 셀 내에 물분해를 위한 물 또는 수용액을 포함할 수 있다.

[0039] 일 실시 예에 따라, 개미산 생산부(200)는 반응 셀 내에 환원전극(210), 및 이산화탄소 공급부(220)를 포함하고, 물 또는 수용액 내에 메디에이터(mediator) 및 생촉매(Biocatalyst)를 포함할 수 있다. 개미산 생산부(200)는 광전지부(100)로부터 광촉매가 빛(예: 태양광)을 받으면 생성되는 에너지(예: 전자(e^-)) 및 수소 이온(H^+)를 공급받고, 이를 이용하여 이산화탄소를 환원 반응시켜 개미산을 생산할 수 있다. 어떤 예에서 광전지

부(100)에서 생성된 전자(e^-)를 환원전극(210)과 메디에이터가 함께 생촉매에 전달하고, 이를 이용하여 생촉매가 이산화탄소를 개미산(HCOOH 또는 $HCOO^-$)으로 환원시킬 수 있다.

[0040] 일 실시 예에 따라, 환원전극(210)은 반도체 물질, 카본계 물질 또는 이 둘을 포함하고, 상기 카본계 물질은, 카본 분말, 카본 페이퍼(carbon paper), 카본 섬유 (carbon fiber), 카본 천(carbon cloth), 카본 펠트(carbon felt), 글래시 카본(glassy carbon), CNT(carbon nanotube), CNT 페이퍼(carbon nanotube paper), 그래핀 및 이들의 조합 중 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다. 어떤 예에서 환원전극(210)은 카본 펠트(carbon felt) 또는 카본 천(carbon cloth)일 수 있다.

[0041] 일 실시 예에 따라, 이산화탄소 공급부(220)는 외부로부터 공급되는 이산화탄소를 반응 쉘 내에 퍼징하는 관(tube)을 포함할 수 있다. 이산화탄소 공급부(220)는 10 sccm 내지 100 sccm의 도입 유량(flow rate)으로 이산화탄소를 공급할 수 있다. 어떤 예에서 기재된 도입 유량을 적용할 경우에 개미산의 생산 효율을 향상시킬 수 있다.

[0042] 일 실시 예에 따라, 메디에이터(mediator)는 환원전극(210)에서 전달되는 전자에 의해 환원될 수 있다. 환원된 메디에이터는 생촉매(Biocatalyst)와 함께 이산화탄소를 환원시켜 개미산을 생산하고, 이전의 상태인 산화된 상태로 돌아갈 수 있다. 일 실시 예에 따라, 메디에이터(mediator)는 비올로젠계 화합물을 포함할 수 있다. 비올로젠계 화합물은 $[(C_5H_4NR)_2]^{2+}(X^-)_2$로 표시될 수 있으며, 여기서 R은 탄소수 1 내지 20의 알킬, 탄소수 2 내지 20의 알케닐 및 탄소수 6 내지 30의 아릴에서 선택될 수 있고, X^-는 음이온기이다. 비올로젠계 화합물은 할로겐염, 과염소산염, 또는 염소산염 등으로 포함될 수 있으며, X^-는 $-Cl^-$, $-Br^-$, $-F^-$, ClO_3^-, ClO_4^- 등일 수 있다. 예를 들어, 에틸 바이올로젠(Ethyl viologen, EV)(예: 에틸 비올로젠 디퍼클로레이트(Ethyl viologen diperchlorate; EV, EV^{2+}) 및 에틸비올로젠 디브로모(Ethyl viologen dibromide; EV, EV^{2+}), 1,1'-디벤질-4,4'-바이피리디늄 클로라이드(1,1'-dibenzyl-4,4'-bipyridinium dichloride; BV, BV^{2+}), 메틸 비올로젠(Methyl viologen, MV, MV^{2+})(예: 메틸 비올로젠 디클로라이드 하이드레이트(Methyl viologen dichloride hydrate; MV, MV^{2+})), N,N'-디메틸-4,4'-바이피리디늄은 메틸 비올로겐(Methyl viologen; MV^{2+}), 1,1'-디옥타데실-4,4'-바이피리디늄 디브로마이드(1,1'-dioctadecyl-4,4'-bipyridinium dibromide; DBDB) 등일 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

[0043] 일 실시 예에 따라, 생촉매는 환원된 메디에이터와 함께 이산화탄소를 환원시키며 개미산을 생산할 수 있다. 예를 들어, 생촉매는 이산화탄소(CO_2)를 바이오전기화학적 전환(예: electro-catalytic reduction)을 유도할 수 있는 환원효소(reductase)이며, *Methylobacterium extorquens* AM1에서 유래된 개미산 탈수소효소1 (MeFDH1, alpha단위체:GenBank accession, ACS42636.1; beta 단위체:GenBank accession, ACS42635.1; 생촉매)을 포함할 수 있다.

[0044] 일 실시 예에 따라, 개미산 생산부(200)는 0.1 g/L 내지 0.5 g/L; 0.1 g/L 내지 0.4 g/L; 0.1 g/L 내지 0.3 g/L; 또는 0.2 g/L 내지 0.3 g/L 농도의 생촉매 및 0.01 mol/L 내지 0.1 mol/L; 0.01 mol/L 내지 0.08 mol/L; 0.01 mol/L 내지 0.05 mol/L; 0.01 mol/L 내지 0.03 mol/L; 또는 0.01 mol/L 내지 0.02 mol/L;농도의 메디에이터를 포함하는 수용액을 포함할 수 있다. 어떤 예에서 바람직하게는 0.2 g/L 내지 0.3 g/L 농도의 생촉매 및 0.01 mol/L 내지 0.02 mol/L 농도의 메디에이터를 포함하는 수용액을 포함할 수 있다.

[0045] 일 실시 예에 따라, 생촉매와 메디에이터의 개미산 선택도 90 % 이상; 95 % 이상; 또는 약 100 %일 수 있다. 일 실시 예에 따라, 광전지부(100) 및 개미산 생산부(200)의 융합에 의한 태양광 개미산 전환효율은 약 4 % 이상; 약 5 % 이상; 약 5.5 % 이상; 또는 약 6 % 이상일 수 있다. 즉, 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)은 태양광 외에 외부 에너지의 추가 없이 태양광을 이용하여 단백질 생산을 위한 개미산 기질을 높은 생산 효율로 제공할 수 있다.

[0046] 일 실시 예에 따라, 광전지부(100) 및 개미산 생산부(200) 사이에 불소계 분리막(400)을 더 포함할 수 있다. 광전지부(100)에서 생성된 수소 이온은 불소계 분리막(400)을 통해 개미산 생산부(200)로 이동될 수 있다.

[0047] 일 실시 예에 따라, 불소계 분리막(400)은 나피온(상품명: Nafion, DuPont), 플레미온(상품명: Flemion), 고어(Gore), 아시플렉스(상품명:Aciplex), R-1030, 아시플렉스 A-192 (상품명: Aciplex A-192) 및 이들의 조합 중

적어도 하나 이상을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 어떤 예에서 과불소계 수소이온 교환막인 나피온(Nafion) 분리막일 수 있다.

[0048] 일 실시 예에 따라, 불소계 분리막(400)의 두께는 20 μm 내지 200 μm일 수 있다. 상기 두께 범위 내에 포함되면 광전지부(100)에서 생산된 수소 이온을 개미산 생산부(200)로 전달이 잘 이루어지고, 개미산 생산부(200)에서 개미산의 생산 효율을 향상시킬 수 있다.

[0049] 일 실시 예에 따라, 단백질 합성부(300)는 개미산 생산부(200)에서 생산된 개미산 및 질소 소스로부터 단백질을 생산할 수 있다. 단백질 합성부(300)는 반응 쉘 내에 질소 소스 및 개미산 자화균을 포함할 수 있다. 예를 들어, 개미산 자화균은 공급되는 개미산 및 질소 소스를 기질로 하여 배양되면서 단백질을 합성할 수 있다.

[0050] 일 실시 예에 따라, 개미산 자화균은 단백질 생산 미생물이고, 식품으로 안정성을 갖는 것이라면, 제한 없이 적용될 수 있다. 어떤 예에서 바람직하게는 단백질 생산 미생물로"*Methylobacterium extorquens* AM1"(제품: ATCC®Catalog No.14718™)을 이용할 수 있다. 이는 개미산과 질소 소스(예: 암모니아)가 공급되면 균이 성장하면서 단백질을 생산할 수 있다. 단백질 생산 미생물로 사용하는 *Methylobacterium extorquens*는 미국 FDA에서 GRAS(Generally Recognized As Safe)로 승인받은 균주로서 (AGRN No. 26) 식품으로의 안전성이 확보되었으며 어류 양식의 단백질원으로써 이용된 사례가 있다. 또한, 도 3에서 개미산을 탄소원으로 이용한 개미산 자화균의 단백질 합성은 기존 대장균에 메탄올자화균의 C1 화합물 대사 경로를 도입한 개량 연구(Nat. Microbiol. 2020, 5, 1459, Cell 2019, 179, 1255)에서의 낮은 역가(577시간 동안 OD600 = 11)와 세포 성장 속도(배가 시간 = 577시간)와 달리 개미산을 이미 C1 화합물 대사경로의 중간 대사체로 이용하고 있어 균주의 본래 성장 속도와 높은 역가를 유지할 수 있다. 일 실시 예에 따라, 단백질 합성부(300)는 도 1 및 도 2의 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)을 활용하여 태양광 및 생촉매를 이용한 이산화탄소로부터의 개미산을 생산하고, 이는 개미산 자화균의 단백질 전환 대사 경로에서 탄소원으로 활용될 수 있다. 도 3에서 개미산의 C1 패스웨이 이후에 세린 사이클(Serine Cycle), TCA 사이클, 에틸말로닐-CoA 패스웨이(Ethylmalonyl-CoA pathway) 및 PHB 사이클(Poly(hydroxyl butyrate) Cycle)이 적용되고, 각 사이클에서 글라이신(Glycine), 세린(Serine), PEP(Phosphoenolpyruvate), 옥살로아세트산(Oxaloacetate), 말산(Malate), 푸마르산(Fumarate), 석신산(Succinate), PHB(Poly(hydroxyl butyrate)) 및 아세토아세틸-CoA(Acetoacetyl-CoA)이 관여한다. 대사 경로를 통해 아미노산의 생합성(Biosynthesis of Amino acid)이 이루어지고, 센트럴 도그마(Central Dogma)를 통해 단백질을 획득할 수 있다.

[0051] 일 실시 예에서 개미산, 질소 소스 또는 이 둘은 용액상(solution phase), 가스상(gas phase) 또는 이 둘로 공급될 수 있다. 어떤 예에서 개미산 및 질소 소스는 용액상으로 공급될 수 있다. 어떤 예에서 질소 소스는 가스상으로 공급될 수 있다(도 1 및 도 2에서 질소 소스의 공급관은 도시하지 않음.). 어떤 예에서 질소 소스는 10 sccm 내지 100 sccm의 도입 유량(Mass Flow)으로 공급될 수 있다. 어떤 예에서 질소 소스는 0.02 mol/L 내지 0.04 mol/L 농도의 수용액으로 단백질 합성부(300)에 공급될 수 있다.

[0052] 일 실시 예에 따라, 질소 소스는 질소 가스(N_2 gas), 질산, 아질산(NO_2), 산화질소(N_xO_y), 질산염(NO_3^-), 염화 암모늄(NH_4Cl), 황산 암모늄($(NH_4)_2SO_4$), 암모늄 이온(NH_4^+), 암모니아(NH_3) 및 이들의 조합 중 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다. 어떤 예에서 산화질소(N_xO_y)는 일산화 질소(NO), 이산화 질소(NO_2), 일산화 이질소(N_2O), 삼산화 이질소(N_2O_3), 사산화 이질소(N_2O_4), 오산화 이질소(N_2O_5) 및 이들의 조합 중 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0053] 일 실시 예에 따라, 단백질 합성부(300)는 상온(Room temperature), 예를 들어, 약 25 ℃ 내지 약 30 ℃ 온도로 유지될 수 있다.

[0054] 일 실시 예에 따라, 단백질 합성부(300)에서 생산되는 단백질은 단백질 블럭, 단백질 물질 및 개미산 자화균 세포의 혼합체일 수 있다. 예를 들어, 단백질은 분말, 슬러리, 액상, 에멀젼 등의 형태일 수 있다.

[0055] 일 실시 예에 따라, 단백질 합성부(300)에서 생산되는 단백질은 필수 아미노산을 포함할 수 있다. 어떤 예에서 단백질은 8종 이상; 10종 이상; 16종 이상; 또는 20종 이상의 필소 아미노산을 포함할 수 있다. 예를 들어, 알라닌(Alanine), 아르기닌(Arginine), 아스파라긴(Asparagine), 아스파르트산(Aspartic acid), 시스테인(Cysteine), 글루탐산(Glutamic acid), 글루타민(Glutamine), 글리신(Glycine), 히스티딘(Histidine), 이소류신(Isoleucine), 류신(Leucine), 라이신(Lysine), 메티오닌(Methionine), 페닐알라닌(Phenylalanine), 프롤린

(Proline), 세린(Serine), 트레오닌(Threonine), 트립토판(Tryptophan), 티로신(Tyrosine) 및 발린(Valine) 중 8종 이상; 10종 이상; 16종 이상; 또는 20종을 포함할 수 있다. 어떤 예에서 필수 아미노산은 각각 생산된 단백질 중 0.001% 내지 100 % 미만; 0.01 % 내지 90 %; 0.1 % 내지 80 %; 0.1 % 내지 60 %; 0.1 % 내지 50 %; 0.1 % 내지 30 %; 0.1 % 내지 20 %; 또는 0.2 % 내지 15 %;일 수 있다.

[0056] 일 실시 예에 따라, 개미산 생산부(200) 및 단백질 합성부(300) 사이에 음이온 교환막(500)을 더 포함할 수 있다. 이는 개미산 생산부(200)에서 생성된 개미산(예: 개미산 이온)을 단백질 합성부(300)로 전달하기 위한 것으로, 본 기술분야에서 알려진 음이온 교환막을 이용할 수 있으며, 예를 들어, 양이온이 고정된 전하(예: NH_3^+, NRH^{2+}, NR_2H^+, NR_3^+, PR_3^+, SR_2^+ 등에서 선택될 수 있고, R는 지방족, 방향족 탄화수소 등)로 포함되고, 음이온만을 통과시킬 수 있는 막일 수 있다. 어떤 예에서 개미산은 음이온 교환막(500)(예:"Selemion™ Ion Exchange Membranes")을 통과하여 개미산 자화균에게 전달될 수 있다.

[0057] 일 실시 예에 따라, 음이온 교환막(500)의 두께는 90 μm 내지 300 μm 일 수 있다. 상기 두께 범위 내에 포함되면 개미산 생산부(200)에서 개미산을 효과적으로 단백질 합성부(300)으로 이동시킬 수 있다.

[0058] 도 2는 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)에서 광촉매 (예: 광전지부(100)의 광전극), 생촉매(예: 개미산 생산부(200)) 및 개미산 자화균 (예: 단백질 합성부(300)) 융합 시스템을 통한 단백질 생산 공정의 모식도이다. 도 2에서 광촉매에 의해 생성된 전자는 환원전극으로 이동하고, 환원전극으로부터 전달된 전자가 메디에이터(예: 에틸 바이올로젠 (Ethyl viologen, EV))를 환원(예: $2EV^{2+} \rightarrow 2EV^+$)시킨다. 생촉매(예: *Methylobacterium extorquens* AM1에서 유래된 개미산 탈수소효소1 (MeFDH1))는 환원된 메디에이터와 함께 이산화탄소를 환원시키며 개미산(예: $CO_2 + 2H^+ + 2EV^+ \rightarrow HCOO^- + H^+ + 2EV^{2+}$)을 생산할 수 있다. 이때 환원된 메디에이터는 기존 산화된 상태로 회복된다. 환원된 메디에이터(예: 에틸 바이올로젠 (Ethyl viologen, EV)) 및 생촉매의 개미산 선택도가 100 %이고, 추가적인 외부 에너지 공급 없이(예: 전압 공급 없이) 태양광과 함께 구동하였을 때 개미산을 합성할 수 있다.

[0059] 일 실시 예에 따라, 도 4를 참조하면, 도 4는 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)에서 실리콘(Si) p-n 접합시킨 광전극의 광전류의 생성을 나타낸 것이다. 도 4에서 실리콘(Si) p-n 접합시킨 광전극을 산화전극으로 이용하여 물을 산화시키고 (예: $2H_2O + 4h^+ \rightarrow O_2 + 4H^+$), 광전극은 약 9 mA/cm^2에 가까운 광전류를 생성할 수 있다. 이때 광원 AM(air mass) 1.5G 기준 스펙트럼 및 빛의 세기 100 mW/cm^2의 솔라 시뮬레이터를 이용하고, 광전극은 Ni foil/Si IBC 4 cells module photoanode 를 사용하였다.

[0060] 일 실시 예에 따라, 도 5는 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)(도 1 및 도 2의 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1))의 개미산 전환효율을 나타낸 것이다. 도 5에서 도 2의 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)을 이용하고 메디에이터(예: 에틸 바이올로젠 (Ethyl viologen, EV)) 및 생촉매(예: *Methylobacterium extorquens* AM1에서 유래된 개미산 탈수소효소1 (MeFDH1))를 적용할 경우에 태양광 개미산 전환효율은 약 5.5%인 것을 확인할 수 있다.

[0061] 일 실시 예에 따라, 도 6은 일 실시 예들에 의한 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)에 의한 단백질 생산 결과를 나타낸 것으로, 도 2의 시스템(1)을 통해 광촉매(예:p-n 접합 Si 전극), 메디에이터, 생촉매 및 개미산 자화균의 시스템적 융합을 통한 단백질 생산을 확인할 수 있다. 즉, 태양광과 생촉매를 이용한 이산화탄소로부터의 개미산 생산과 개미산 자화균을 통한 개미산-단백질 전환시킬 수 있다. 이는 값비싼 개미산은 외부에서 주입되지 않고 이산화탄소와 태양에너지를 통해 생산된 개미산을 이용하기 때문에 경제성을 개선시킬 수 있다. 이를 통해 하나의 시스템(예: 도 1 및 도 2의 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)을 통해 태양에너지, 이산화탄소 및 암모니아 소스의 공급으로 단백질을 연속적으로 생산할 수 있다.

[0062] 도 7은 실시 예들에 따른, 시스템(1)(예: 도 1 또는 도 2의 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1))을 이용하여 단백질 생산 결과를 나타낸 것으로, 단백질 합성부(300)에서 생장된 개미산 자화균"*Methylobacterium extorquens* AM1"의 단백질 중 16종 아미노산 조성(WT, mg/g)을 나타낸 것이다. 도 7의 단백질 조성은 알라닌(Alanine) 8,84, 아르기닌(Arginine) 8.1, 히스티딘(Histidine) 2.23, 글리신(Glycine) 6.55, 메티오닌(Methionine) 3.07, 페닐알라닌(Phenylalanine) 4.98, 세린(Serine) 4.09, 발린(Valine) 6.26, 프롤린(Proline) 4.13, 라이신(Lysine) 5.59, 이소류신(Isoleucine) 3.65, 티로신(Tyrosine) 2.9, 류신(Leucine)

7.68, 트레오닌(Threonine)5.52, 글루타민(Glutamine) 13.49 및 아스파라긴(Asparagine) 9.7일 수 있다. 즉, 도 1 및 도 3의 태양광, 이산화탄소, 암모니아를 이용한 단백질 생산의 결과로서, 생장된 개미산 자화균 단백질 아미노산 조성에서 필수 아미노산이 모두 포함된 것을 확인할 수 있다. 이는 사료용 단백질로 충분히 적용이 가능한 것일 수 있다.

[0063] 일 실시 예에 따라, 도 8은 태양광을 이용한 단백질 생산 방법의 흐름도이다. 일 실시 예에 따라, 태양광을 이용한 단백질 생산 방법은 본 개시의 실시 예들에 따른 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)(예: 도 1 또는 도 2의 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1))을 이용할 수 있다. 즉, 항산화 성분을 포함한 높은 함량의 단백질을 생산할 수 있으며 태양광과 이산화탄소를 통해 생산된 개미산을 탄소자원으로 활용하여 개미산 자화균을 배양함으로써, 단백질을 생산하는 신규한 단백질 전환 기술일 수 있다.

[0064] 일 실시 예에 따라, 태양광을 이용한 단백질 생산 방법은 광전지에 태양광을 조사하여 광전기화학적 물분해하는 단계(610); 물분해하는 단계(610)에서 생성된 수소 이온(H^+) 및 전자를 공급받고, 생촉매의 존재 하에서 이산화탄소를 환원시켜 개미산을 생산하는 단계(620); 및 개미산 기질 및 질소 소스 기질을 이용하여 단백질을 합성하는 단계(630); 을 포함할 수 있다. 이하, 도 1 내지 도 3을 참조하여 도 8의 제조방법을 설명한다.

[0065] 일 실시 예에 따라, 광전기화학적 물분해하는 단계(610)는 태양광 조사에 의해서 물분해 및 에너지를 생산하는 것으로, 어떤 예에서 도 1 및 도 2의 광전지부(100)의 광촉매 전극을 이용하고, 물분해에서 생성된 수소 이온(H^+) 및 전자는 개미산을 생산하는 단계(620)에 이용될 수 있다. 어떤 예에서 수소 이온은 불소계 전해질막을 통해 개미산을 생산하는 단계(620)가 진행되는 반응 쉘로 이동되고, 전자는 광촉매 전극과 연결된 환원 전극을 통해 개미산을 생산하는 단계(620)가 진행되는 반응 쉘로 이동될 수 있다. 일 실시 예에 따라, 광전기화학적 물분해하는 단계(610)는 태양광을 조사할 수 있다.

[0066] 일 실시 예에 따라, 개미산을 생산하는 단계(620)는 광전기화학적 물분해하는 단계(610)에서 전달 받은 전자는 메디에이터에 의해서 생효소로 전달되고 생효소는 수소 이온 및 이산화탄소를 이용하여 개미산을 생산할 수 있다. 예를 들어, 도 2를 참조하면, 환원전극을 통해 EV^{2+} 메디에이터는 환원되어 생촉매에게 전자를 전달하고, 생촉매는 이산화탄소를 개미산으로 환원시킬 수 있다. 메디에이터 및 생촉매는 도 1 및 도 2의 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)에 대한 설명에서 언급된 바와 같다.

[0067] 일 실시 예에 따라, 개미산을 생산하는 단계(620)에서 이산화탄소는 10 sccm 내지 100 sccm의 도입 유량(flow rate)으로 공급될 수 있다.

[0068] 일 실시 예에 따라, 단백질을 합성하는 단계(630)는 개미산을 생산하는 단계(620)에서 생산된 개미산을 전달 받고, 개미산 자화균은 전달된 개미산과 용액 상의 질소 소스(예: 암모니아)를 기질로 하여 성장함으로써, 도 3의 대사 경로를 통해 최종적으로 단백질을 생산할 수 있다. 일 실시 예에 따라, 개미산은 음이온 교환막을 통해 전달될 수 있다.

[0069] 일 실시 예에 따라, 질소 소스 기질은 개미산 기질에 대해 0.5 내지 15의 몰비(즉, 질소 소스 기질 : 개미산 기질의 몰비=0.5:1 내지 15:1)로 공급될 수 있다. 어떤 예에서 질소 소스는 0.02 mol/L 내지 0.04 mol/L 농도의 수용액으로 단백질 합성부(300)에 공급될 수 있다. 어떤 예에서 질소 소스는 10 sccm 내지 100 sccm의 도입 유량(Mass Flow)으로 공급될 수 있다.

[0070] 일 실시 예에 따라, 단백질을 합성하는 단계(630)에서 생산된 단백질은 필수 아미노산을 포함할 수 있다.

[0071] 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1) (예: 도 1 또는 도 2의 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)) 및 태양광을 이용한 단백질 생산 방법(예: 도 8의 제조방법)은, 축산업을 대체할 수 있는 단백질 공급 시스템일 수 있다. 이는 축산업을 대체함으로써, 기존 축산업에 이용되는 곡물 사용량, 물 사용량 및 이산화탄소량을 크게 줄일 수 있는 친환경적 단백질 생산 기술을 제공할 수 있다.

[0072] 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1) (예: 도 1 또는 도 2의 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)) 및 태양광을 이용한 단백질 생산 방법(예: 도 8의 제조방법)은 자연 광합성 시스템을 모방하여 광촉매와 생촉매를 활용한 효율적인 이산화탄소 환원 시스템을 제공하고, 이러한 이산화탄소 환원 시스템을 이용하여 외부 에너지 공급 없이 태양에너지를 이용하여 친환경적인 방법으로 단백질을 생산할 수 있다.

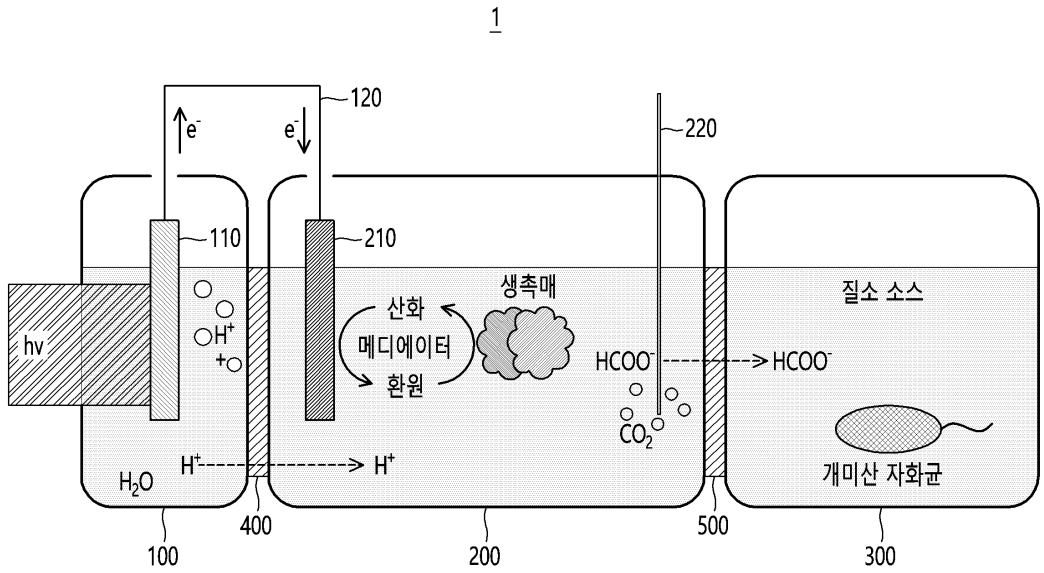
[0073] 일 실시 예에 따른, 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1) (예: 도 1 또는 도 2의 태양광을 이용한 단백질 생산시스템(1)) 및 태양광을 이용한 단백질 생산 방법(예: 도 8의 제조방법)은, 기존 육류, 식물유래 단백질, 배

양육과 비교하여 단백질 생산 공정에서 이산화탄소 발생량, 물 사용량, 먹이 필요량 등을 현저하게 낮출 수 있는 기술을 제공할 수 있다.

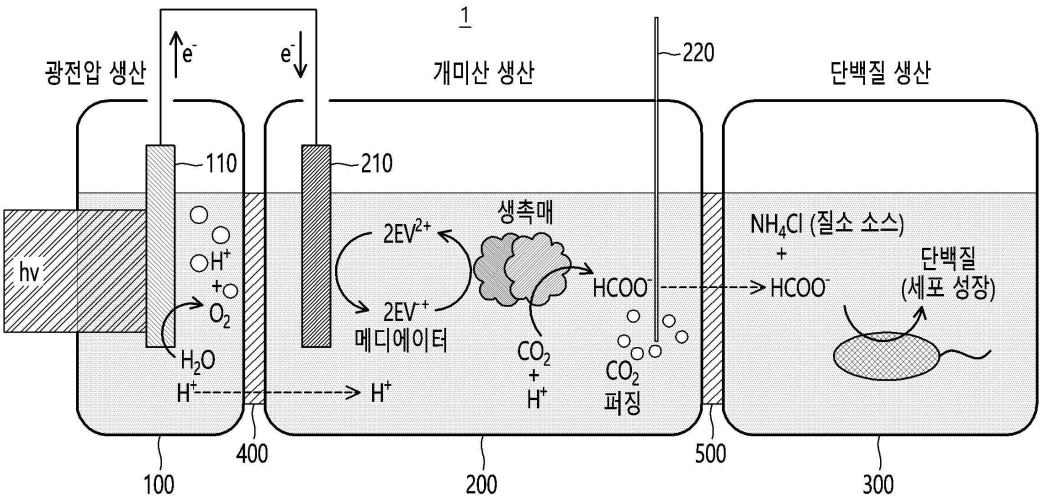
[0074] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다. 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

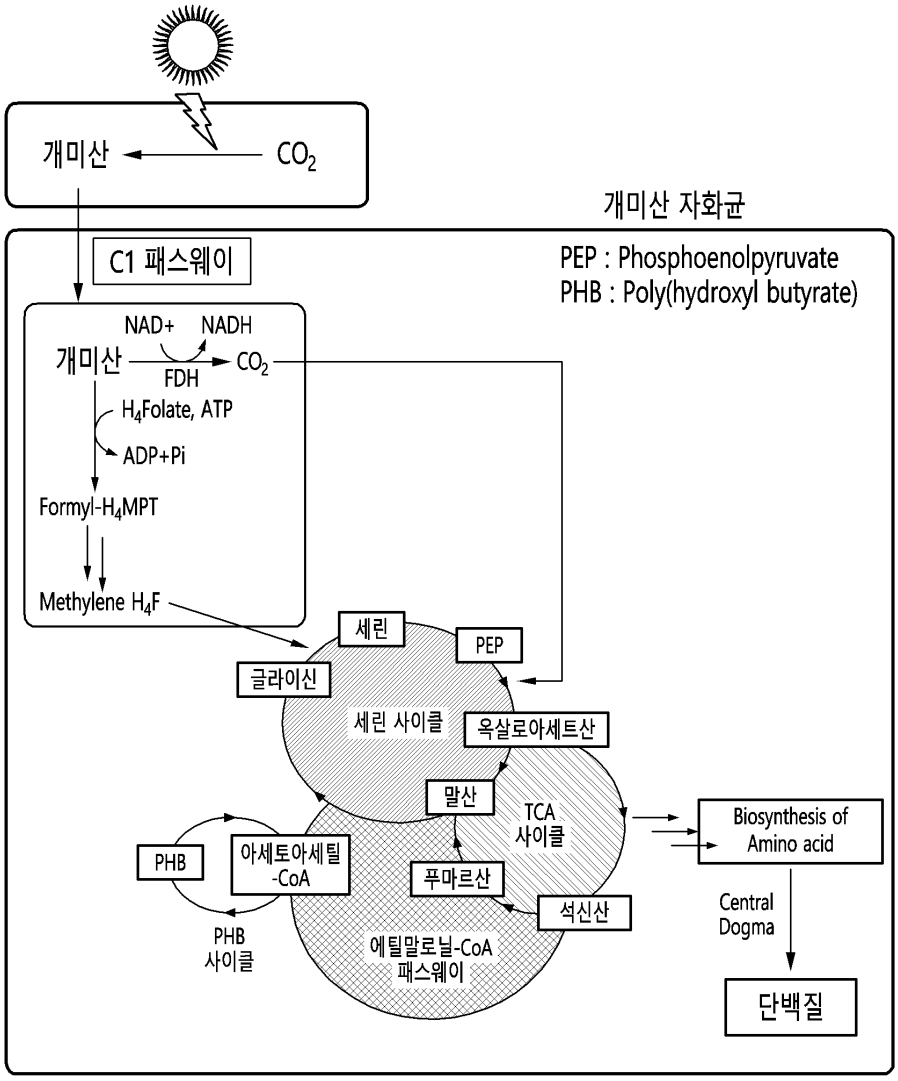
도면1



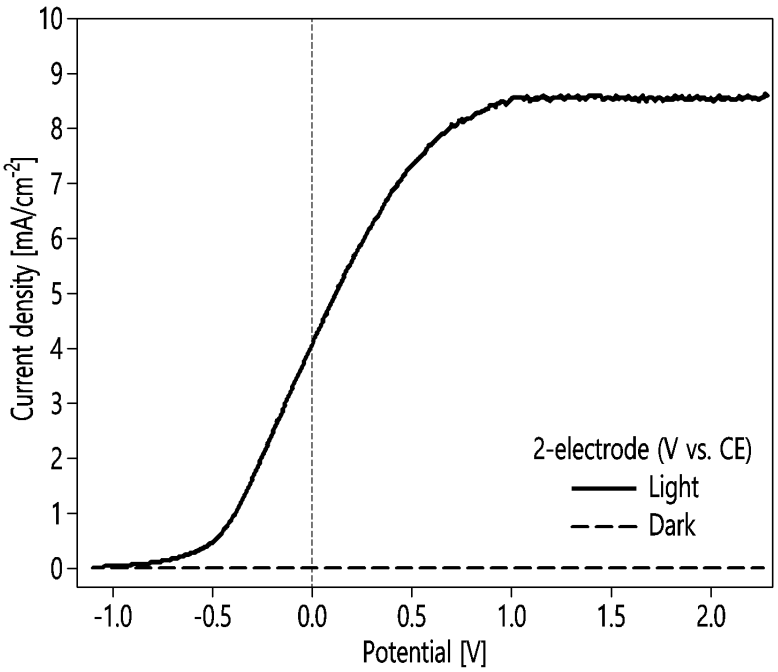
도면2



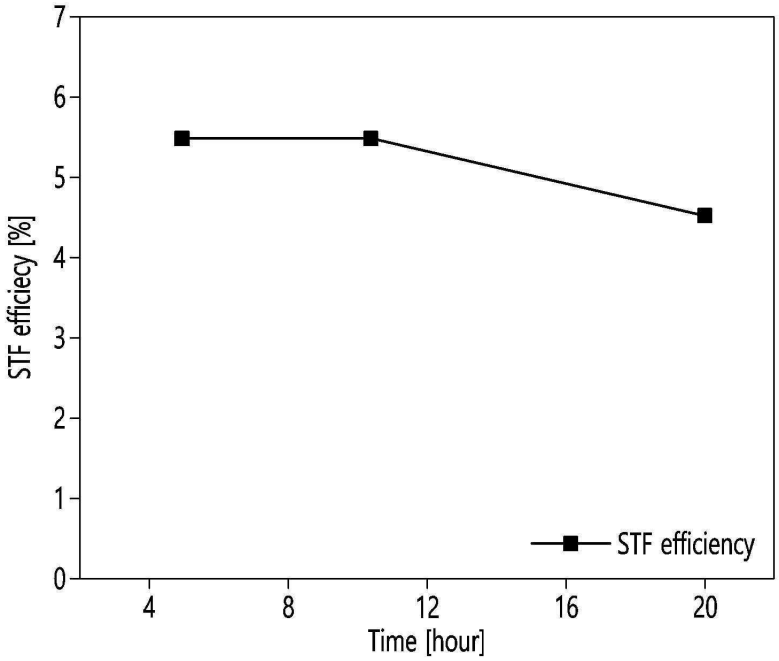
도면3


개미산
CO_2
개미산 자화균
C1 패스웨이
PEP : Phosphoenolpyruvate
PHB : Poly(hydroxyl butyrate)
NAD+
NADH
개미산
FDH
CO_2
H_4Folate, ATP
ADP+Pi
Formyl-H_4MPT
Methylene H_4F
세린
PEP
글라이신
세린 사이클
옥살로아세트산
말산
TCA 사이클
Biosynthesis of Amino acid
PHB
아세토아세틸-CoA
푸마르산
석신산
Central Dogma
PHB 사이클
에틸말로닐-CoA 패스웨이
단백질

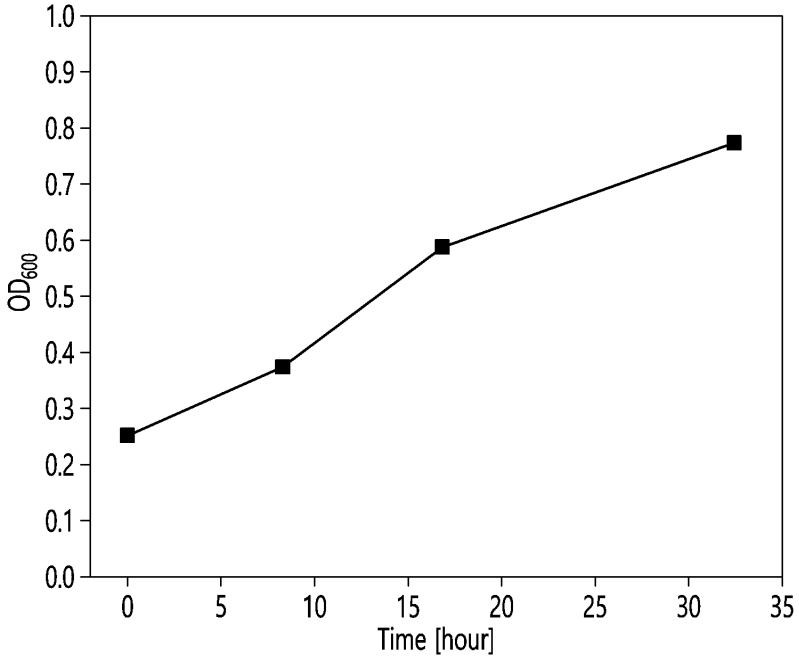
도면4


Current density [mA/cm-2]
Potential [V]
2-electrode (V vs. CE)
Light
Dark

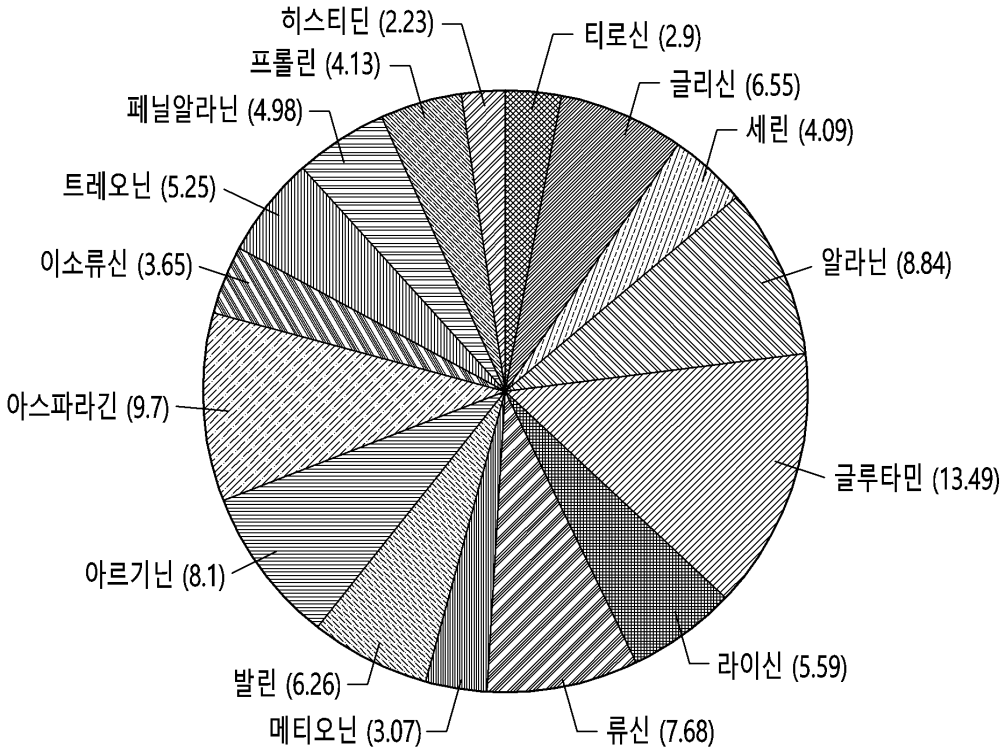
도면5


STF efficiecy [%]
Time [hour]
STF efficiency

도면6


1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
OD600
0
5
10
15
20
25
30
35
Time [hour]

도면7


히스티딘 (2.23)
티로신 (2.9)
프롤린 (4.13)
글리신 (6.55)
페닐알라닌 (4.98)
세린 (4.09)
트레오닌 (5.25)
알라닌 (8.84)
이소류신 (3.65)
아스파라긴 (9.7)
글루타민 (13.49)
아르기닌 (8.1)
라이신 (5.59)
발린 (6.26)
메티오닌 (3.07)
류신 (7.68)

도면8

