



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0128563  
(43) 공개일자 2022년09월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C12P 7/46 (2006.01) C12M 1/00 (2006.01)  
C12N 1/20 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
C12P 7/46 (2013.01)  
C12M 23/02 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2021-0032906  
(22) 출원일자 2021년03월12일  
심사청구일자 2021년03월12일

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
김상현  
서울특별시 마포구 구룡길 19, C403호 (상암동, 상암 한화 오벨리스크)  
정주형  
서울특별시 서초구 효령로 237, 101동 801호  
암라디나레쉬쿠마  
서울특별시 서대문구 봉원사2길 34, 305호  
(74) 대리인  
특허법인태동

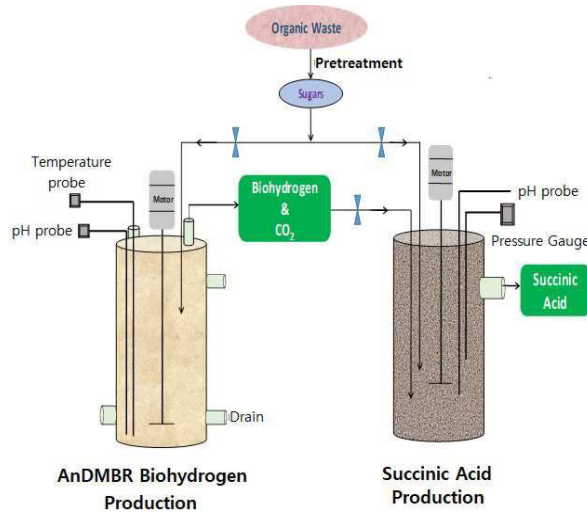
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 이산화탄소 및 수소가스를 이용한 숙신산 생산방법

(57) 요약

본 발명은 숙신산을 제조하는 방법에 관한 것으로, 더욱 구체적으로는 바이오 공정과 이산화탄소 및 수소를 이용한 고율 숙신산을 제조하는 방법에 관한 것이다. 본 발명은 동적막 생물반응기에서 이산화탄소와 수소를 이용하여 숙신산을 생산함으로써 숙신산 생산 미생물의 대사효율을 높이면서, 훨씬 개선된 고율의 숙신산을 생산할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류  
*C12N 1/20* (2021.05)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711107851
과제번호	2019M3E6A1103839
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	원천기술개발사업
연구과제명	국내 미활용 바이오매스를 이용한 수익창출형 그린수소 생산 시스템 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2020.03.01 ~ 2020.12.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

1차 반응조에 당을 넣고 수소 생산성 혐기성 미생물을 접종하여 혐기 발효를 수행하는 단계 (a);

상기 단계 (a) 후, 혐기 발효를 통해 생산된 수소 및 이산화탄소를 1차 반응조로부터 포집한 후, 2차 반응조로 전달하는 단계 (b); 및

상기 단계 (b) 후, 수소 및 이산화탄소가 공급된 2차 반응조에서 숙신산 생산 미생물을 사용하여 숙신산을 생산하는 단계 (c);를 포함하는 것을 특징으로 하는 바이오 숙신산의 생산방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 당은,

포도당인 것을 특징으로 하는 바이오 숙신산의 생산방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 수소 생산성 혐기성 미생물은,

클로스트리디움 부티리쿰(*Clostridium butylicum*), 클로스트리디움 티로부티리쿰(*Clostridium tyrobutyricum*), 클로스트리디움 아세토부티리쿰(*Clostridium acetobutylicum*), 클로스트리디움 프리디카니스(*Clostridium fridicarnis*), 클로스트리디움 빈센티(*Clostridium vincentii*) 중 선택되는 어느 하나인 것을 특징으로 하는 바이오 숙신산의 생산방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 숙신산 생산 미생물은,

액티노바실러스 숙시노게네스(*Actinobacillus succinogenes*), 언애로바이오스피릴럼 숙시니시프로듀센스(*Anaerobiospirillum succiniciproducens*), 만헤이미아 숙시니시프로듀센스(*Mannheimia succiniciproducens*), 바스피아 숙시니시프로듀센스(*Basfia succiniciproducens*)로 구성된 그룹으로부터 선택되는 어느 하나 이상인 것을 특징으로 하는 바이오 숙신산의 생산방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 단계 (c)는,

탄산마그네슘(MgCO<sub>3</sub>)을 제2반응조에 추가로 첨가하는 것을 특징으로 하는 바이오 숙신산의 생산방법.

### 발명의 설명

## 기술분야

[0001] 본 발명은 숙신산을 생산하는 방법에 관한 것으로, 더욱 구체적으로는 바이오 공정과 이산화탄소 및 수소를 이용한 고율 숙신산을 생산하는 방법에 관한 것이다.

## 배경기술

[0002] 숙신산(succinic acid)은 무색 무취의 결정성 고체로 처음 호박을 건류하여 얻었기에 호박산이라고도 부른다. 숙신산은 천연으로는 호박 속에 그 유도체가 함유되어 있으며, 이 밖에 테레빈유, 부족유, 지의류, 균류 등에 분포하고 있으며, 생체 내에서는 산화, 환원과정에서 중요한 위치를 차지하고 있다.

[0003] 숙신산은 생명체의 기본 대사물질로서 TCA회로의 일원인 유기산으로 카르복실산의 일종이다. TCA 회로에서  $\alpha$ -케토글루타르산의 탈탄산에 의하여 활성 숙신산(숙신일 조효소 A)이 생긴후, 다시 숙신산으로 전환된다. 숙신산은 화학 중간체, 의약품, 래커 제조 및 향수 에스테르 제조에 사용되며, 격리제, 완충액 및 중화제로서 식품에 사용된다. 숙신산을 산업적으로 적용하는 범위가 광범위함에 따라 이를 효율적으로 생산하기 위한 수요가 증가하고 있다.

[0004] 종래에 숙신산을 생산하기 위해서 화학적 방법 또는 미생물을 이용한 생물학적 방법 등을 사용해왔으나, 화학적 방법을 이용할 시 유해 물질들을 다량 배출한다는 환경적인 문제와, 경제적으로 비용이 높다는 단점이 있다. 이에 따라 환경친화적인 생물학적인 방법을 사용하는 것에 대한 수요가 증가하고 있으며, 숙신산 생산 미생물의 대사 효율을 높이면서 숙신산을 대량으로 생산할 수 있는 제조 방법에 대한 기술이 필요하다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1618852호(등록일자: 2016.04.29)에는, 숙신산 생산능이 있는 악티노바실러스 숙시노게네스(*Actinobacillus succinogenes*)를 배양할 시 배양 초기 이산화탄소를 집중 폭기하여 숙신산을 고농도로 생산하는 방법에 대해 기재되어 있다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 혐기적 미생물 반응조를 이용한 공정과 이산화탄소, 바이오수소와 숙신산 생산 미생물을 이용하여 대량의 숙신산을 제조하는 방법을 개발하여 제공하고자 한다.

### 과제의 해결 수단

[0007] 본 발명은 1차 반응조에 당을 넣고 수소 생산성 혐기성 미생물을 접종하여 혐기 발효를 수행하는 단계 (a); 상기 단계 (a) 후, 혐기 발효를 통해 생산된 수소 및 이산화탄소를 1차 반응조로부터 포집한 후, 2차 반응조로 전달하는 단계 (b); 및 상기 단계 (b) 후, 수소 및 이산화탄소가 공급된 2차 반응조에서 숙신산 생산 미생물을 사용하여 숙신산을 생산하는 단계 (c);를 포함하는 것을 특징으로 하는 바이오 숙신산의 생산방법을 제공한다.

[0008] 한편, 본 발명에 있어서, 상기 당은, 바람직하게 포도당인 것일 수 있다.

[0009] 한편, 본 발명에 있어서, 상기 수소 생산성 혐기성 미생물은, 일례로 클로스트리디움 부티리쿰(*Clostridium butylicum*), 클로스트리디움 티로부티리쿰(*Clostridium tyrobutyricum*), 클로스트리디움 아세토부티리쿰(*Clostridium acetobutylicum*), 클로스트리디움 프리디카니스(*Clostridium fridicarnis*), 클로스트리디움 빈센티(*Clostridium vincentii*) 중 선택되는 어느 하나인 것일 수 있다.

[0010] 한편, 본 발명에 있어서, 상기 숙신산 생산 미생물은, 일례로 액티노바실러스 숙시노게네스(*Actinobacillus succinogenes*), 언애로바이오스피릴럼 숙시니시프로듀센스(*Anaerobiospirillum succiniciproducens*), 만헤이미아 숙시니시프로듀센스(*Mannheimia succiniciproducens*), 바스피아 숙시니시프로듀센스(*Basfia succiniciproducens*)로 구성된 그룹으로부터 선택되는 어느 하나 이상인 것일 수 있다.

[0011] 한편, 본 발명에 있어서, 상기 단계 (c)는, 바람직하게 탄산마그네슘(MgCO<sub>3</sub>)을 제2반응조에 추가로 첨가하는 것일 수 있다.

**발명의 효과**

[0012] 본 발명은 동적막 생물반응기에서 이산화탄소와 수소를 이용하여 숙신산을 생산함으로써 숙신산 생산 미생물의 대사효율을 높이면서, 훨씬 개선된 고율의 숙신산을 생산할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0013] 도 1은 동적막 생물반응기(DMBR) 공정과 이산화탄소 및 수소를 이용한 숙신산 제조 과정에 대한 모식도이다.
- 도 2는 일반적인 숙신산이 제조되는 기작(왼쪽)과, 본 발명의 이산화탄소 및 수소로부터 숙신산이 제조되는 기작(오른쪽)에 대한 세부 모식도이다.
- 도 3은 바이오가스과 글루코스의 비율 및 탄산마그네슘의 첨가 여부를 달리한 숙신산 생성량에 대한 결과 그래프이다.
- 도 4는 바이오가스과 글루코스의 비율 및 탄산마그네슘의 첨가 여부를 달리한 글루코스 이용률에 대한 결과 그래프이다.
- 도 5는 바이오가스과 글루코스의 비율 및 탄산마그네슘의 첨가 여부를 달리한 숙신산 생산효율에 대한 결과 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0014] 숙신산은 생명체의 기본 대사물질로서 TCA회로의 일원인 유기산으로 카르복실산의 일종이며, 산업적으로 적용하는 범위가 광범위함에 따라 이를 효율적으로 생산하기 위한 수요가 증가하고 있다. 종래에 숙신산을 생산하기 위해서 화학적 방법 또는 미생물을 이용한 생물학적 방법 등을 사용해왔으나, 화학적 방법을 이용할 시 유해 물질들을 다량 배출한다는 환경적인 문제와, 경제적으로 비용이 높다는 단점이 있다. 이에 따라 환경친화적인 생물학적인 방법을 사용하는 것에 대한 수요가 증가하고 있으며, 숙신산 생산 미생물의 대사 효율을 높이면서 숙신산을 대량으로 생산할 수 있는 제조 방법에 대한 기술이 필요하다.

[0015] 이에 본 발명은 1차 반응조에 당을 넣고 수소 생산성 혐기성 미생물을 접종하여 혐기 발효를 수행하는 단계 (a); 상기 단계 (a) 후, 혐기 발효를 통해 생산된 수소 및 이산화탄소를 1차 반응조로부터 포집한 후, 2차 반응조로 전달하는 단계 (b); 및 상기 단계 (b) 후, 수소 및 이산화탄소가 공급된 2차 반응조에서 숙신산 생산 미생물을 사용하여 숙신산을 생산하는 단계 (c);를 포함하는 것을 특징으로 하는 바이오 숙신산의 생산방법을 제공한다.

[0016] 일반적으로 숙신산을 제조하기 위해서는 탄소원, 이산화탄소 및 수소(H<sup>+</sup>)이온이 필요하며, 이때 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 숙신산 생산에 핵심적인 역할로써 3개의 탄소 포스포에놀피루베이트(phosphoenolpyruvate)를 4개의 탄소 옥살로아세트레이트(carbon oxaloacetate)로 변환한다. 이론적으로 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)의 존재하에 포도당 1몰당 1.71몰의 숙신산이 생성될 수 있다(C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>+6/7CO<sub>2</sub>→12/7C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub>(succinic acid)+6/7H<sub>2</sub>O [ΔGH° =-173kJ=mol]).

[0017] 본 발명에서는 숙신산 생성공정의 효율을 높이기 위해 수소(H<sub>2</sub>)를 공급하였으며, 수소는 세포 산화 환원 전위를 감소시켜 전자공여체로써 작용하고 NADPH 재순환을 개선하는 역할을 한다. 수소를 공급하게 됨으로써 숙신산 수율이 포도당 1몰당 2몰로 증가하였다(C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>+2CO<sub>2</sub>+4[H]→2C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub>(succinic acid)+2H<sub>2</sub>O [ΔGH° =-317kJ=mol]). 따라서 본 발명에서는 이산화탄소만을 사용하는 것이 아닌, 이산화탄소와 수소를 함께 사용함으로써 숙신산 수율을 높이고, 숙신산 생산 미생물의 대사 효율을 높이는 제조방법을 제공한다.

[0018] 한편, 본 발명에서는 수소 생산 혐기적 미생물을 이용하여 효율적으로 생산된 바이오 수소를 사용한다. 이때, 바이오 수소는 별도의 막 소재 구비 없이 다공성 지지체에 형성된 다이아믹 생물막을 포함하는 반응조 내부에서 생성된 것이다.

- [0019] 이하, 상기 본 발명의 바이오 숙신산의 생산방법에 대해 각 단계별로 세분화하여 구체적으로 설명하고자 한다.
- [0021] <단계 (a): 1차 반응조에 당을 넣고 수소 생산성 혐기성 미생물을 접종하여 혐기 발효를 수행하는 단계>
- [0022] 본 단계는 1차 반응조에 당을 넣고 수소 생산성 혐기성 미생물을 접종하여 혐기 발효를 수행하는 단계이다.
- [0023] 본 단계에서는 기질로서 당을 사용하고, 미생물 군집체의 형성 촉진 및 형상 유지를 위한 성분을 첨가하되, 어느 것에든 제한되어 있지는 않으나, 바람직하게는 활성탄, 실리카, 칼슘, 소듐 알지네이트, 키토산 등을 첨가하는 것이 좋다.
- [0024] 본 단계에서 사용하는 당은 유기물을 전처리하여 수득된 당을 사용하고, 바람직하게는 포도당(글루코스)이면 좋다. 또한, 상기 유기물은, 하수슬러지, 음식물 쓰레기, 농산물 쓰레기, 축산물 쓰레기 등의 생물학적 폐기물로부터 유래한 폐수일 수 있다.
- [0025] 본 단계에서 사용하는 수소 생산성 혐기성 미생물은, 1차 반응조에 식중 슬러지(미생물 군집체)로 투입된 후 90℃ 정도의 열처리로 메탄 생성균을 포함하는 기타 잡균들은 살균을 하여 제거되고, 내열성이 우수한 수소 생산성 혐기성 미생물만이 활성균으로 존재한다. 바람직하게는 클로스트리디아 속(Genus clostridia)인 것이 좋으며, 일례로 로스트리디움 부티리킴(*Clostridium butylicum*), 클로스트리디움 티로부티리킴(*Clostridium tyrobutyricum*), 클로스트리디움 아세토부티리킴(*Clostridium acetobutylicum*), 클로스트리디움 프리디카니스(*Clostridium fridicarnis*), 클로스트리디움 빈센티(*Clostridium vincentii*) 등이 포함되어 있다.
- [0026] 본 단계에서는 별도의 막 소재 구비 없이 다공성 지지체에 형성된 다이나믹 생물막을 사용함으로써(대한민국 등록특허 제10-1888166호), 수소 생산성 혐기적 미생물을 사용하여 혐기 발효로부터 수소와 이산화탄소를 분리한다.
- [0028] <단계 (b): 혐기 발효를 통해 생산된 수소 및 이산화탄소를 1차 반응조로부터 포집한 후, 2차 반응조로 전달하는 단계>
- [0029] 본 단계는 상기 단계 (a)의 혐기 발효를 통해 생산된 수소 및 이산화탄소를 1차 반응조로부터 포집한 후, 2차 반응조로 전달하는 단계이다.
- [0030] 본 단계에서는 1차 반응조로부터 분리된 수소 및 이산화탄소를 포집하며, 이때, 포집의 방법은 당 업계에서 공지된 사항이라면 어느 것에든 제한되어 있지 않는다. 포집된 수소 및 이산화탄소를 이송관 등을 통해 2차 반응조로 전달한다.
- [0032] <단계 (c): 수소 및 이산화탄소가 공급된 2차 반응조에서 숙신산 생산 미생물을 사용하여 숙신산을 생산하는 단계>
- [0033] 본 단계는 상기 단계 (b)로부터 전달된 수소 및 이산화탄소와 숙신산 생산 미생물을 사용하여 숙신산을 생산하는 단계이다.
- [0034] 본 단계에서 사용하는 숙신산 생산 미생물은, 숙신산을 생성하는 미생물이라면 어느 것에든 제한되어 있지는 않으나, 일례로 액티노바실러스 숙시노게네스(*Actinobacillus succinogenes*), 언애로바이오스피릴럼 숙시니시프로듀센스(*Anaerobiospirillum succiniciproducens*), 만헤이미아 숙시니시프로듀센스(*Mannheimia succiniciproducens*), 바스피아 숙시니시프로듀센스(*Basfia succiniciproducens*)일 수 있다.
- [0035] 본 단계에서 상기 단계 (b)로부터 전달된 수소 및 이산화탄소와, 기질로 당(일례로서, 포도당)을 사용하는 것이 바람직하며, 더욱 바람직하게는 탄산마그네슘( $MgCO_3$ )을 추가로 첨가하는 것이 좋다. 또한, 본 발명에서는 상기 수소 및 이산화탄소에 포도당을 1:1~2의 비율로 함유하되, 탄산마그네슘( $MgCO_3$ )을 첨가하여 숙신산 생성의 최적 효율을 얻을 수 있다.
- [0036] 한편, 본 단계에서 바람직하게 pH 7~8, 온도 35~39℃ 조건에서 반응을 수행하는 것이 좋으며, 상기 조건에서 수행함으로써 기질인 포도당과, 수소 및 이산화탄소를 이용하여 숙신산 생성 미생물의 최적 대사 효율로 숙신산의 수율을 높일 수 있다.

- [0038] 이하, 본 발명의 구성을 하기 실시예 또는 실험예를 통해 구체적으로 설명하고자 한다. 다만, 본 발명의 권리범위가 하기 실시예 또는 실험예에만 한정되는 것은 아니고, 그와 등가의 기술적 사상의 변형까지를 포함한다.
- [0040] [실시예 1: DMBR 공정에서 생산된 이산화탄소 및 수소를 이용한 숙신산 제조 및 최적조건 확립]
- [0041] 본 실시예에서는 동적막 생물반응기(DMBR) 공정에서 생산된 이산화탄소 및 수소를 이용하여 숙신산을 제조하고 이의 최적 생산조건을 확립하고자 하였다.
- [0042] 숙신산 제조과정에 대한 모식도는 도 1과 같았으며, 상세 조건은 아래에 기재하였다.
- [0043] <제1반응조>
- [0044] 유기물을 전처리하여 수득된 글루코스(glucose)를 기질로 사용하여 20g/L를 제1반응조에 투입하고, 충북 청주의 A 양조장 폐수로부터 수득된 혐기성 슬러지인 소위 '식중 슬러지(미생물 군집체)'를 접종균으로 사용하였다. 미생물 군집체의 형성 촉진 및 형상 유지를 위해 활성탄 2% w/v, 실리카 1% w/w, 칼슘 2% w/v, 소듐 알지네이트 2% w/v, 키토산 1% w/w 를 추가적으로 제1반응조에 첨가하였다.
- [0045] 작업액량은 6 L로 하고, 식중 슬러지는 10% w/v로 투입하였다. 반응온도 35℃, pH 55 ~65를 유지하였다. 수리학적 체류시간(HRT)는 12 ~ 2h로 조정하였다. 다공성 지지체로는 공극 크기 444 μm의 폴리에스터 스크린 메쉬망을 사용하였으며, 상기 다공성 지지체의 형상 유지를 위해 내부에 스테인레스 구조체를 설치하였다.
- [0046] 식중 슬러지는 일종의 미생물 군집체인데, 여기에는 다양한 균이 존재한다. 본 실시예에서는 90℃ 정도로 열처리하여 메탄 생성 균을 포함하는 기타 잡균들은 살균을 하여 제거하였고, 그 결과 내열성의 특징을 갖는 클로스트리디움 부티리컴(*Clostridium butylicum*), 클로스트리디움 티로부티리컴(*Clostridium tyrobutyricum*), 클로스트리디움 아세토부티리컴(*Clostridium acetobutylicum*), 클로스트리디움 프리디카니스(*Clostridium fridicarnis*), 클로스트리디움 빈센티(*Clostridium vincentii*) 등이 활성균으로 존재하게 하였다.
- [0047] 상기와 같은 혐기 발효로부터 수소 및 이산화탄소를 생산하였다. 이하, 구체적인 내용은 관련 특허(대한민국 등록특허 제10-1888166호)에 제시되어 있으므로 이 특허를 참조할 수 있다.
- [0049] <제2반응조>
- [0050] - 미생물: 액티노바실러스 숙시노게네스(*Actinobacillus succinogenes*), 언애로바이오스피릴럼 숙시니시프로듀센스(*Anaerobiospirillum succiniciproducens*), 만헤이미아 숙시니시프로듀센스(*Mannheimia succiniciproducens*), 바스피아 숙시니시프로듀센스(*Basfia succiniciproducens*)로 구성된 미생물 군집체
- [0051] - 기질: 글루코스(glucose) (30g/L, Liquid)
- [0052] - 보조기질 (환원제): 제1반응조에서 생산된 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 49%, 수소(H<sub>2</sub>) 51%.
- [0053] - pH : 7.3
- [0054] - 온도 : 37℃
- [0055] - 반응기 유형 : 배치 반응기(Batch reactor)
- [0056] - 작업량(working volume) : 150 mL
- [0057] - 변수 : 글루코스(glucose) 30 g/L, 수소 및 이산화탄소 (51%:49%), MgCO<sub>3</sub>
- [0059] 또한, 각 과정에 대한 세부 모식도는 도 2와 같았다.
- [0060] 숙신산(succinic acid) 생산 경로는 글루코스(glucose)에서 포스포에놀 피루베이트(phosphoenol pyruvate)로 진행된 다음 옥살로아세테이트(oxaloacetate), 말레이트(malate), 푸마레이트(fumarate)로 전환되고 최종산물인 숙신산으로 전환된다. 이 생산 경로 동안, 1몰의 숙신산 생산을 위해 2몰의 NADH를 필요로 하며, 당에서 숙신산



으로 가는 경로(포스포에놀 피루베이트 경로 1몰, 퓨마레이트 경로 1몰)에서 2몰의 NADH를 소비한다. NADH는 숙신산 생산의 제한 인자로 작용하며, 최대 숙신산의 이론적 생산량은 CO<sub>2</sub> 존재 하에서 글루코스 1몰당 숙신산 1.71몰이다(도 2의 왼쪽 그림). 하지만, 외부에서 수소가스를 공급한다면, 수소가 NADH를 대신하여 전자공여체로 작용할 수 있어 포스포에놀 피루베이트 경로와 퓨마레이트 경로를 촉진하여 이론적 수율은 최대 2몰까지 증가할 수 있다(도 2의 오른쪽 그림). 한편, MgCO<sub>3</sub>의 첨가는 탄산(CO<sub>2</sub>)의 공급을 통해 포스포에놀 피루베이트에서 옥살로아세테이트의 경로를 촉진시킬 수 있다. 또한, Mg<sup>2+</sup>는 세포 내 대사를 위한 세포 안팎의 물질 전달에 대한 지원을 제공한다. 따라서, 숙신산의 생산경로를 촉진시킬 수 있다.

[0061] 상기 공정을 사용하되, 표 1과 같이 바이오가스(이산화탄소/수소) 및 글루코스에 대한 비율 및 탄산마그네슘(MgCO<sub>3</sub>) 첨가 여부(15 g/L)를 달리하여 숙신산의 생산량을 확인하였다.

표 1

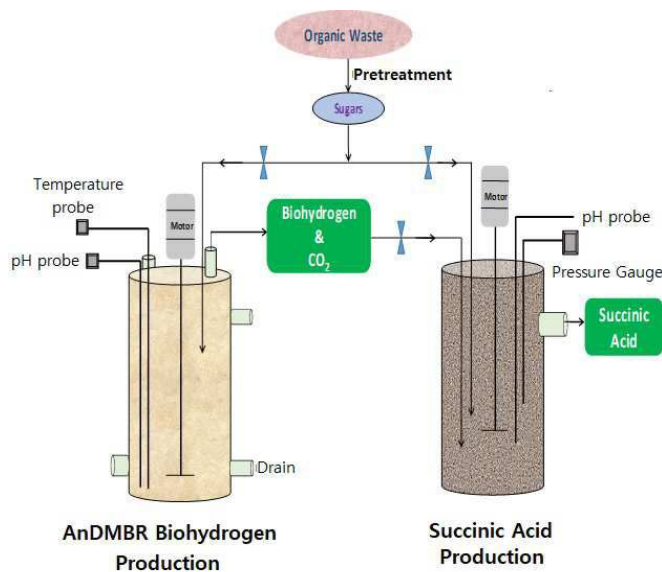
Condition	글루코스(Liquid)-바이오가스 비율(양)
Biogas1	1:1(75mL 글루코스(Liquid):75mL 바이오가스)
Biogas1+MgCO <sub>3</sub> 15 g/L	1:1(75mL 글루코스(Liquid):75mL 바이오가스)
Biogas2	1:2(50mL 글루코스(Liquid):100mL 바이오가스)
Biogas2+MgCO <sub>3</sub> 15 g/L	1:2(50mL 글루코스(Liquid):100mL 바이오가스)
Control	1:0(75mL 글루코스(Liquid):0mL 바이오가스) 단, MgCO <sub>3</sub> (15 g/L) 첨가함

[0064] 그 결과, 도 3과 같이 글루코스와 바이오가스를 1:2의 비율로 사용한 "Biogas2+MgCO<sub>3</sub>" 군에서 숙신산의 생산량이 가장 뛰어난 것을 확인할 수 있었다.

[0065] 다음으로, 각 조건에서 시간에 따른 글루코스의 이용률과 숙신산의 생산효율을 확인하였다. 그 결과, 도 4와 같이 시간에 따라 글루코스와 바이오가스를 1:2의 비율로 사용한 "Biogas2+MgCO<sub>3</sub>" 군에서 이산화탄소의 소비량이 증가하였고, 도 5와 같이 시간에 따라 숙신산의 생산효율이 뛰어난 것을 확인함에 따라 상기 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

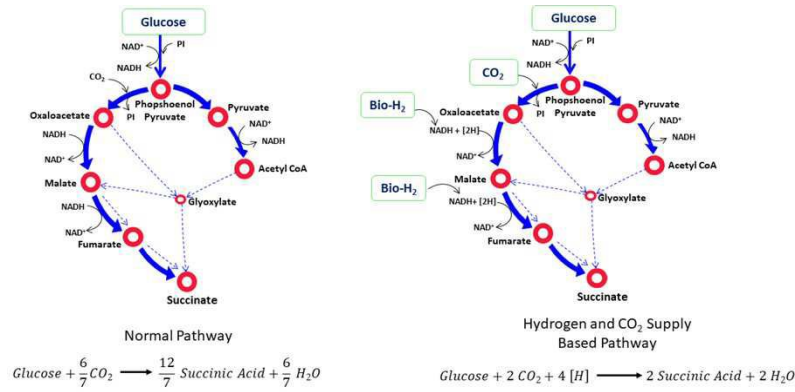
도면

도면1

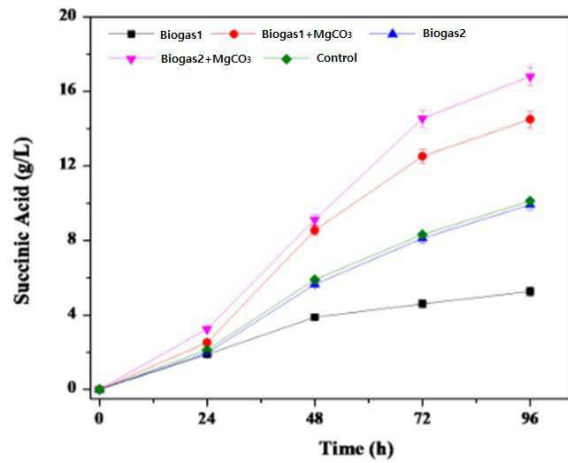




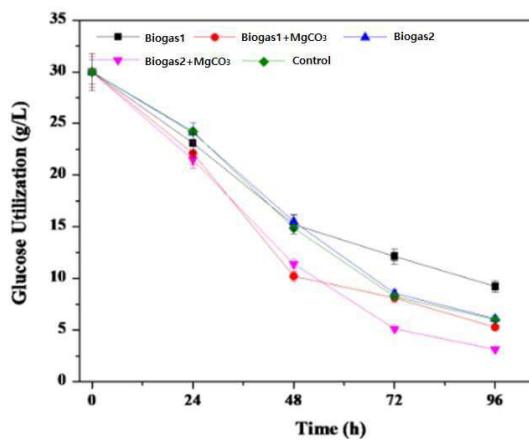
도면2



도면3



도면4



도면5

