(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0116097
(43) 공개일자 2024년07월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C12P 7/54 (2006.01) *C12N 1/20* (2006.01)
C12R 1/145 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C12P 7/54 (2013.01)
C12N 1/20 (2021.05)
(21) 출원번호 10-2023-0008636
(22) 출원일자 2023년01월20일
심사청구일자 2024년01월03일

(71) 출원인
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
오병근
서울특별시 마포구 모래내로9길 3, 106동 1506호
이진원
서울특별시 송파구 양재대로 1218 (방이동, 올림픽선수기자촌아파트) 201동 1601호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인에스알비

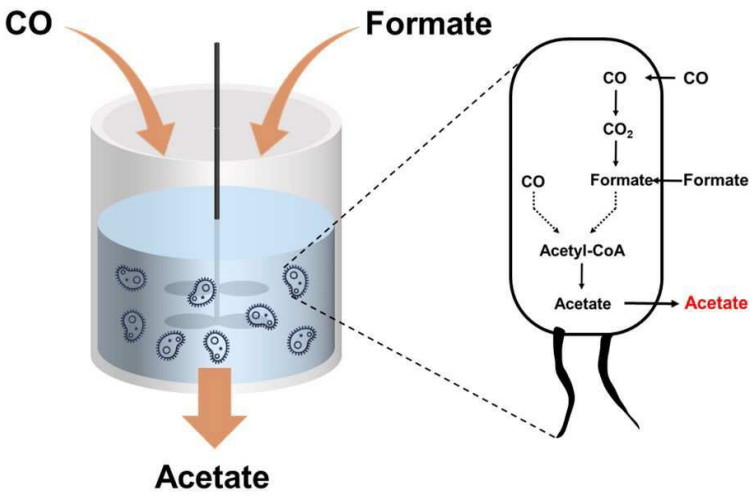
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **포르메이트 및 아세토젠을 이용한 아세테이트 생산방법 및 생산장치**

(57) 요 약

본 발명은 포르메이트 및 아세토젠을 이용한 아세테이트 생산방법 및 생산장치에 관한 것으로, 탄소원과 포르메이트를 포함하는 원료 및 상기 포르메이트를 흡수하는 아세토젠을 포함하는 반응 시스템을 이용하여, 상기 아세토젠의 배양 산물로 생성되는 아세테이트를 수득하는 아세테이트 생산방법 및 생산장치에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C12R 2001/145 (2021.05)
(72) 발명자
나정걸
서울특별시 마포구 백범로 28 서강제2빌딩 702호
조숙형
경기도 고양시 덕양구 화신로 340, 707동 304호
김태환
서울특별시 은평구 가좌로6길 17, 1층
윤지웅
서울시 마포구 숭문2길 8-2 1층
이장섭
서울특별시 마포구 백범로 35 신수동 서강대학교 곤자가국제학사 B동 1253호
신정협
서울특별시 마포구 숭문4길 20 (염리명강빌2차), 301호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711153913
과제번호 202332004
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 C1가스리파이너리사업
연구과제명 C1 가스 전환 기술 공통시험 연구
기 여 율 1/2
과제수행기관명 서강대학교
연구기간 2023.01.01 ~ 2023.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415180675
과제번호 202343001
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국에너지기술평가원
연구사업명 에너지인력양성사업(RCMS)
연구과제명 녹색성장을 위한 CCUS 전문
기 여 율 1/2
과제수행기관명 서강대학교
연구기간 2023.01.01 ~ 2023.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

탄소원과 포르메이트(formate)를 포함하는 원료 및 상기 포르메이트를 흡수하는 아세토젠을 포함하는 반응 시스템을 이용하여, 상기 아세토젠의 배양 산물로 생성되는 아세테이트를 수득하는 아세테이트 생산방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 아세토젠은 클로스트리디움 오토에타노게눔(*Clostridium autoethanogenum*) JA1-1을 포함하는 것인 아세테이트 생산방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 포르메이트는, 상기 원료 내에서 0 초과 40 mM 이하의 농도를 갖는 것인 아세테이트 생산방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 탄소원은 일산화탄소를 포함하는 것인 아세테이트 생산방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 원료는 수소 가스를 더 포함하는 것인 아세테이트 생산방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 원료는 포르메이트, 일산화탄소 및 수소 가스를 포함하는 것인 아세테이트 생산방법.

청구항 7

탄소원과 포르메이트를 포함하는 원료 및 상기 포르메이트를 흡수하는 아세토젠을 포함하는 반응 시스템을 구비하고,

상기 아세토젠의 배양 산물로 아세테이트를 생성시키는 아세테이트 생산장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 아세토젠은 클로스트리디움 오토에타노게눔(*Clostridium autoethanogenum*) JA1-1을 포함하고,

상기 포르메이트는, 상기 원료 내에서 0 초과 40 mM 이하의 농도를 갖는 것인 아세테이트 생산장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 포르메이트 및 아세토젠을 이용한 아세테이트 생산방법 및 생산장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 포르메이트를 기질로 흡수할 수 있는 아세토젠을 포함하는 반응 시스템을 이용하여, 아세토젠의 배

양 산물로 생성되는 아세테이트를 수득할 수 있는 아세테이트 생산방법 및 생산장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 탄소자원화 기술은 화석연료 등에서 발생하는 일산화탄소, 이산화탄소, 메탄, 천연가스 등을 원료로 활용하여 자원화하는 기술로, 온실가스 감축, 에너지 자급화 등의 효과가 있어, 환경보호 및 녹색성장을 위한 측면에서 최근 크게 주목을 받고 있다.

[0003] 폐가스 또는 합성가스는 폐기물, 석탄, 코크스, 저급 탄화수소가스, 나프타, 중유 등 다양한 탄소 기반 원료의 가스화 공정을 통해 얻어지는 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO_2), 수소(H_2) 등으로 구성된 혼합가스를 의미한다.

합성가스 또는 당을 탄소 및 에너지원으로 사용하여 혐기적 대사를 통해 아세트산을 생성하는 미생물군을 "아세토젠(Acetogen)"이라 일컬으며, 아세토젠은 폐가스를 탄소 및 에너지원으로 사용하여 주산물인 아세트산 이외에 부티르산과 같은 유기산 및 에탄올, 부탄올과 같은 바이오알코올 등의 생산 가능성을 가지는 것으로 알려져 있다.

[0004] 한편, 포름산염을 나타내는 포르메이트(formate)는 $HCOO^-$ 이온을 포함하는 염으로, 선행 연구에 따르면 미생물 균주인 클로스트리디움 오토에타노게눔(*Clostridium autoethanogenum*) JA1-1의 경우 포르메이트를 중간 산물로 가지는 대사 경로(pathway)를 가지고 있으나, 포르메이트를 기질로써 흡수(uptake)하고 사용할 수는 없는 것으로 보고된 바 있다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0005] (비특허문헌 0001) Jamal Abrini, Henry Naveau, Edmond-Jacques Nyns, Archives of Microbiology(1994) 161:345-351

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명자들은 다양한 연구 결과, 선행 연구에서는 포르메이트를 기질로써 흡수할 수 없다고 알려진 아세토젠이, 포르메이트를 기질로 흡수할 수 있다는 점을 새롭게 확인한 것으로, 이러한 아세토젠 및 탄소원과 포르메이트를 포함하는 원료를 포함하는 반응 시스템을 활용한 아세테이트 생산방법을 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 과제는 전술한 반응 시스템을 구비하는 아세테이트 생산장치를 제공하는 것이다.

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제에 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 측면에 따른 아세테이트 생산방법은, 탄소원과 포르메이트(formate)를 포함하는 원료 및 상기 포르메이트를 흡수하는 아세토젠을 포함하는 반응 시스템을 이용하여, 상기 아세토젠의 배양 산물로 생성되는 아세테이트를 수득한다.

[0010] 여기서, 상기 아세토젠은 클로스트리디움 오토에타노게눔(Clostridium autoethanogenum) JA1-1을 포함하는 것일 수 있다.

[0011] 그리고, 상기 포르메이트는, 상기 원료 내에서 0 초과 40 mM 이하의 농도를 갖는 것일 수 있다.

[0012] 그리고, 상기 탄소원은 일산화탄소를 포함하는 것일 수 있다.

[0013] 또한, 상기 원료는 수소 가스를 더 포함하는 것일 수 있다.

[0014] 그리고, 상기 원료는 포르메이트, 일산화탄소 및 수소 가스를 포함하는 것일 수 있다.

[0015] 한편, 본 발명의 다른 측면에 따른 아세테이트 생산장치는, 탄소원과 포르메이트를 포함하는 원료 및 상기 포르메이트를 흡수하는 아세토젠을 포함하는 반응 시스템을 구비하고, 상기 아세토젠의 배양 산물로 아세테이트를 생성시킨다.

[0016] 이때, 상기 아세토젠은 클로스트리디움 오토에타노게눔(Clostridium autoethanogenum) JA1-1을 포함하고, 상기 포르메이트는, 상기 원료 내에서 0 초과 40 mM 이하의 농도를 갖는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0017] 본 발명은 포르메이트를 기질로써 흡수할 수 없다고 알려진 아세토젠이, 포르메이트를 기질로 흡수할 수 있다는 점을 새롭게 확인한 것으로, 이러한 아세토젠 및 탄소원과 포르메이트를 포함하는 원료를 포함하는 반응 시스템을 활용하여 고부가가치의 아세테이트를 생산할 수 있다.

[0018] 또한, 다양한 복합 기질 공급 조건에서도 아세테이트의 생산 가능성을 확인하였으며, 이로써 다양한 조건에서 아세테이트를 생산할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따라, 탄소원과 포르메이트(formate)를 포함하는 원료 및 포르메이트를 흡수하는 아세토젠을 포함하는 반응 시스템을 이용하여 아세테이트를 생산하는 방법을 나타내는 모식도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따라, 일산화탄소와 포름산을 원료로 하여, 포름산의 농도를 0 내지 40 mM 사이에서 변경시키면서, 시간에 따른 아세토젠의 최고 생장 농도(OD_{600})를 측정하여 나타낸 그래프이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따라, 일산화탄소와 포름산을 원료로 하여, 포름산의 농도를 0 내지 40 mM 사이에서 변경시키면서, 시간에 따른 생성물의 pH를 측정하여 나타낸 그래프이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라, 일산화탄소와 포름산을 원료로 하여, 포름산의 농도를 0 내지 40 mM 사이에서 변경시키면서, 시간에 따른 생성물 내에서의 포름산의 농도를 측정하여 나타낸 그래프이다.

도 5a 내지 도 5c는 본 발명의 일 실시예에 따라, 원료 내에 포름산의 농도가 10 mM인 경우, 시간에 따른 최고 생장 농도, 배양 배지 내에서의 pH 및 각 원료들과 아세테이트의 농도를 측정하여 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예에 대하여 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 또한, 본 명세서에서 특별히 정의되지 않은 용어들에 대해서는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상적으로 사용되는 의미를 갖는 것으로 이해되어야 할 것이다.

[0021] 본 발명에 따른 아세테이트 생산방법은, 탄소원과 포르메이트(formate)를 포함하는 원료 및 상기 포르메이트를 흡수하는 아세토젠을 포함하는 반응 시스템을 이용하여, 상기 아세토젠의 배양 산물로 생성되는 아세테이트를 수득하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 기존에 보고된 연구 결과에 따르면, 아세토젠의 하나인 클로스트리디움 오토에타노게눔(*Clostridium autoethanogenum*) JA1-1의 경우 포르메이트를 중간 산물로 가지는 대사 경로(pathway)를 가지고 있으나, 포르메이트를 흡수(uptake)하지 못하여, 기질로써 사용할 수 없는 것으로 알려져 있었다.

[0023] 그러나, 본 발명자들은 본 기술에 대한 심도 있는 연구 결과, 도 1에 나타낸 바와 같이 상기 아세토젠이 포르메이트를 기질로써 흡수하여, 아세테이트를 생산할 수 있다는 점을 확인하였다.

[0024] 상기 아세토젠은 바람직하게는, 클로스트리디움 오토에타노게눔(*Clostridium autoethanogenum*) JA1-1을 포함하는 것일 수 있다.

[0025] 본 명세서에서 사용되는 용어 "배양"은 미생물을 적당히 조절된 환경 조건에서 생육시키는 것을 의미한다. 본 출원의 배양과정은 당업계에 알려진 적당한 배지와 배양조건에 따라 이루어질 수 있다. 이러한 배양 과정은 선택되는 균주에 따라 당업자가 용이하게 조정하여 사용할 수 있다. 구체적으로 배양은 회분식, 연속식 및/또는 유가식일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

[0026] 본 발명에 따른 미생물은 미생물의 배양에 사용되는 배지라면 특별한 제한 없이 어느 것이나 사용할 수 있으나,

탄소원, 질소원, 인원, 무기화합물 등을 함유한 통상의 배지 내에서 호기성 또는 혐기성 조건 하에서 온도, pH 등을 조절하면서 배양할 수 있다. 상기 배지는 미생물을 배양하기 위해 필요로 하는 영양물질을 주성분으로 혼합한 물질을 의미하며, 생존 및 발육에 불가결한 물을 비롯하여 영양물질 및 발육인자 등을 공급한다. 구체적으로, 본 출원의 미생물의 배양에 사용되는 배지 및 기타 배양 조건은 통상의 미생물의 배양에 사용되는 배지라면 특별한 제한 없이 어느 것이나 사용할 수 있다.

[0027] 본 발명에서 사용될 수 있는 탄소원으로는 글루코오스, 사카로오스, 락토오스, 프럭토스, 수크로오스, 말토오스 등과 같은 탄수화물; 만니톨, 소르비톨 등과 같은 당 알코올, 피루브산, 락트산, 시트르산 등과 같은 유기산; 글루탐산, 메티오닌, 리신 등과 같은 아미노산 등이 포함될 수 있다. 또한, 전분 가수분해물, 당밀, 블랙스트랩 당밀, 쌀겨, 카사버, 사탕수수 찌꺼기 및 옥수수 침지액 같은 천연의 유기 영양원을 사용할 수 있으며, 구체적으로는 글루코오스 및 살균된 전처리 당밀(즉, 환원당으로 전환된 당밀) 등과 같은 탄수화물이 사용될 수 있으며, 그 외의 적정량의 탄소원을 제한 없이 다양하게 이용할 수 있다. 이들 탄소원은 단독으로 사용되거나 2 종 이상이 조합되어 사용될 수 있으며, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0028] 상기 원료는 아세토젠을 포함하는 배양 배지와 가스 기질을 포함할 수 있고, 본 발명에 따른 포르메이트는 상기 원료 중, 배양 배지 내에 존재하는 것일 수 있다.

[0029] 한편, 본 발명에 따른 포르메이트는, 상기 원료 내에서 0 초과 40 mM 이하의 농도를 갖는 것일 수 있다. 상기 포르메이트의 농도가 상기 수치범위를 만족하게 되면, 상기 아세토젠이 포르메이트에 의해 생장 저해를 받지 않으면서 공급된 포르메이트를 기질로 적절하게 흡수할 수 있다. 더욱 구체적으로는, 원료 내에서의 상기 포르메이트의 농도는 2 내지 40 mM, 4 내지 40 mM, 6 내지 20 mM 정도일 수 있다.

[0030] 본 발명에 따른 원료는, 수소 가스를 더 포함할 수 있다. 이때, 상기 수소 가스는 원료 중 가스 기질 내에서 0 초과 100 중량% 이하의 농도 범위로 포함될 수 있다. 즉, 상기 원료의 가스 기질 중 탄소원으로 공급될 수 있는 일산화탄소를 제외한 나머지 가스가 수소 가스일 수 있다.

[0031] 본 발명에 따른 원료는 포르메이트, 일산화탄소 및 수소 가스를 포함하는 것일 수 있다.

[0032] 이 경우, 상기 포르메이트의 아세토젠을 포함한 배양 배지 내에서의 농도는 2 내지 40 mM, 더욱 구체적으로는 4 내지 20 mM일 수 있고, 상기 일산화탄소의 가스 기질 내에서의 함량은 10 내지 30 몰%, 더욱 구체적으로는 15 내지 25 몰%일 수 있으며, 상기 수소 가스의 함량은 1 내지 20 몰%, 더욱 구체적으로는 5 내지 15 몰%일 수 있다. 또한, 이 조건에서의 반응 시스템 내의 초기 pH는 6 내지 7, 더욱 구체적으로는 6.7 내지 6.8 정도일 수 있고, 반응 진행 5일 경과 후의 OD_{600} 값은 0.6 내지 1.0, 더욱 구체적으로는 0.8 정도일 수 있다.

[0033] 참고로, 통상의 기술자는 OD_{600}을 측정하고, 반응 시스템 내에서의 아세토젠 등의 성장 속도를 결정하기 위해 관련 기술분야에 공지된 임의의 방법을 사용할 수 있다. 예를 들면, Koch 1994가 사용될 수 있다. 가장 통상적인 것은 현탁액 중 균주의 광학 밀도(OD)에 의존하며 분광광도계를 사용하는 탁도 측정이다. OD는 UV 분광계를 사용하여 600 nm에서 측정될 수 있다.

[0035] 한편, 본 발명에 따른 아세테이트 생산장치는, 탄소원과 포르메이트를 포함하는 원료 및 상기 포르메이트를 흡수하는 아세토젠을 포함하는 반응 시스템을 구비하고, 상기 아세토젠의 배양 산물로 아세테이트를 생성시키는 것을 특징으로 한다.

[0036] 이때, 전술한 바와 같이, 상기 아세토젠은 클로스트리디움 오토에타노게눔(Clostridium autoethanogenum) JA1-1을 포함하고, 상기 포르메이트는, 상기 원료 내에서 0 초과 40 mM 이하의 농도를 갖는 것일 수 있다.

[0038] 이하, 본 발명을 하기의 실시예에 의하여 더욱 상세히 설명한다. 그러나 이들 실시예는 본 발명을 예시하기 위한 것일 뿐이며, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의하여 한정되는 것은 아니다.

[0040] **실시예 1. 일산화탄소와 포름산(초기 농도 변화)을 원료로 하는 아세테이트 생산**

[0041] 일산화탄소와 포름산을 포함하는 원료를 이용하여, 클로스트리디움 오토에타노게눔(*Clostridium autoethanogenum*) JA1-1을 배양시켰다. 여기서, 상기 일산화탄소는 원료 성분 중, 가스 기질(Syngas) 내에 포함

되었고, 상기 포름산은 상기 원료 성분 중, 배양 배지 내에 포함되었다. 이때, 상기 균주가 흡수할 수 있는 포름산의 최적의 농도를 확인하기 위하여, 원료 내에서의 포름산의 초기 농도를 0 내지 40 mM까지 변화(0, 2 mM, 4 mM, 6 mM, 8 mM, 10 mM, 20 mM, 40 mM)시키면서 실험을 진행하였다. 하기 표 1은 실험 조건을 정리하여 나타낸 것이다.

표 1

[0042]

Temperature	37 ℃
Agitation speed	0 rpm
Syngas composition	CO 20%, CO_2 20%, H_2 10%, N_2 50%, 2.6 bar
반응 시스템	Fermentation in 125-mL serum vial

[0043] 상기 125-mL serum vial 중, 아세토젠을 포함한 배양 배지는 25 mL을 차지하며, 배양 배지를 제외한 나머지 공간(Head space)에는 가스 기질(Syngas)이 상기 표 1에 기재된 성분 및 압력으로 공급되었으며, 고무 캡을 통해 상기 vial을 밀봉한 후 배양을 시작하였다.

[0044] 한편, 상기 배양 배지 조성(pH 7.0)은 하기 표 2에 나타내었고, 배양 배지 조성 중, Vitamin solution과 Trace element solution은 각각 표 3 및 표 4에 나타내었다.

표 2

[0045]

Components	함량
NH_4Cl	1.0 g/l
K_2HPO_4	0.33 g/l
$MgCl_2$	0.52 g/l
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0.1 g/l
KCl	0.33 g/l
Yeast extract	5 g/l
NaCl	1.0 g/l
$NaHCO_3$	1.0 g/l
Cystein-HCl	0.5 g/l
Na_2S9H_2O	0.5 g/l
Resazurin	1.0 mg
1,000X Vitamin solution (Balch *et al.*, 1979)	1 ml
100X Trace element solution (DSM141)	10 ml

표 3

[0046]

Components of 100X trace element sol.	함량
Nitrilotriacetic acid	1.5 g/l
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	3.0 g/l
$MnSO_4 \cdot H_2O$	0.5 g/l
NaCl	1.0 g/l
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0.1 g/l
$CoSO_4 \cdot 7H_2O$	0.18 g/l
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0.10 g/l
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.18 g/l
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.01 g/l
$KAI(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	0.02 g/l
H_3BO_3	0.01 g/l
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0.01 g/l
$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	0.03 g/l

$Na_2SeO_3 \cdot 5H_2O$	0.3 mg
$Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$	0.4 mg
First dissolve nitrilotriacetic acid and adjust pH to 6.5 with KOH, then add minerals. Final pH 7.0 (with KOH).	

표 4

[0047]

Components of 1,000 X vitamin sol.	함량(mg/l)
Biotin	20
Folic acid	20
Pyridoxine-HCl	100
Thiamine-HCl	50
Riboflavin	50
Nicotinic acid	50
D-Ca-pantothenate	50
p-Aminobenzoic acid	50
Vitamin B_{12}	10
Lipoic acid	50

[0048] 도 2 내지 도 4를 참고하면, 원료 내의 포름산 농도가 2 내지 40 mM 사이인 경우, 상기 아세토젠이 포름산을 기질로서 흡수하여 생장하였다는 점을 확인할 수 있었다. 또한, 본 실시예와 같은 조건에서 4~5일이 경과된 이후에는 공급된 포름산이 모두 흡수되었다는 점을 확인할 수 있었다.

[0050] **실시예 2. 일산화탄소와 포름산(초기 농도 10 mM)을 원료로 하는 아세테이트 생산**

[0051] 전술한 실시예 1 중에서, 원료 내에서의 포름산의 초기 농도가 10 mM인 경우에 대하여, OD_{600}, pH, 배양 배지 내에서의 아세테이트와 포름산의 농도 및 CO와 H_2의 농도를 측정하였다.

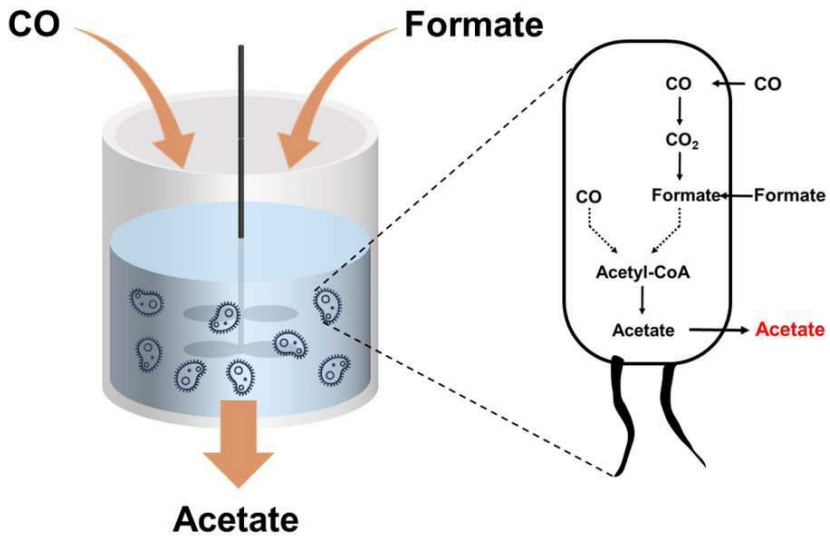
[0052] 도 5a 내지 도 5c를 참고하면, 배양 이후 5일이 경과되었을 때, 배양 배지 내에서의 OD_{600} 값은 최대 값을 나타내었고, 그 이후로는 거의 동일하게 유지되었으며, 그 값은 0.8 정도로 측정되었다. pH 값도 5일이 경과된 이후 4.5 내지 5.0 사이에서 거의 동일하게 유지되었다.

[0053] 또한, 아세테이트 및 포름산의 농도와 관련하여, 배양 이후 5일이 경과된 이후부터는 배양 배지 내에서의 농도가 거의 동일하게 유지되었고, 아세테이트의 농도는 2.5 g/L 정도로 측정되었다.

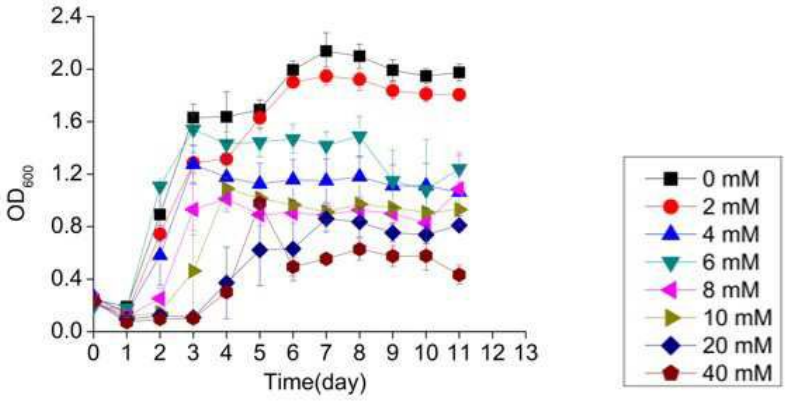
[0054] 위의 결과들을 참고하면, 본 실험 조건에서는 배양 시작 후 5일이 경과되면 포름산을 기질로 흡수하는 반응은 거의 종결되는 것을 확인할 수 있다.

도면

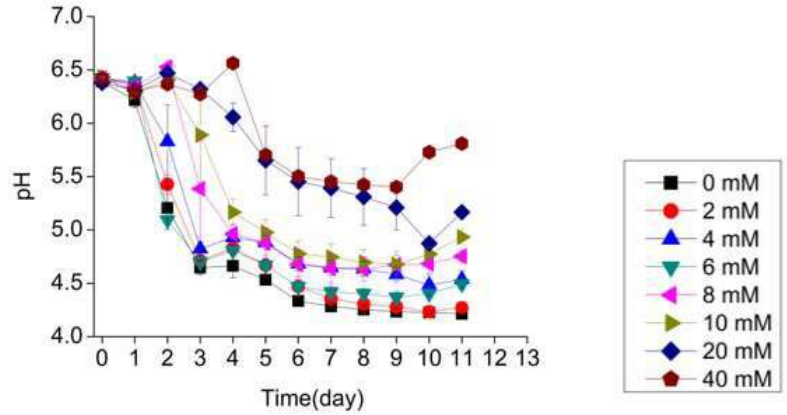
도면1



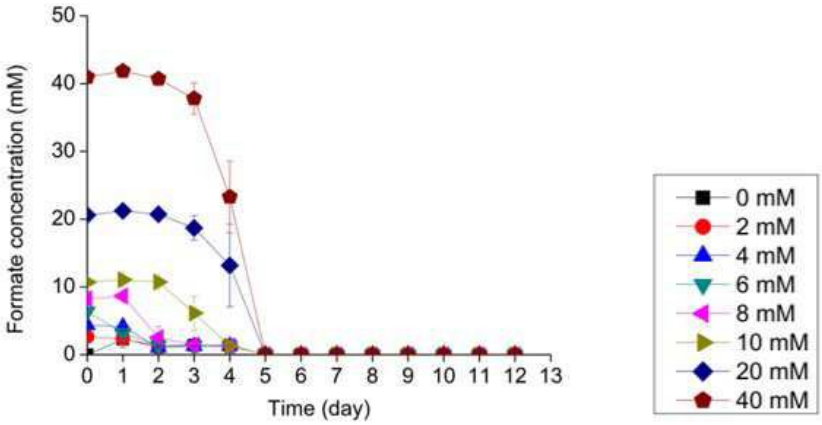
도면2



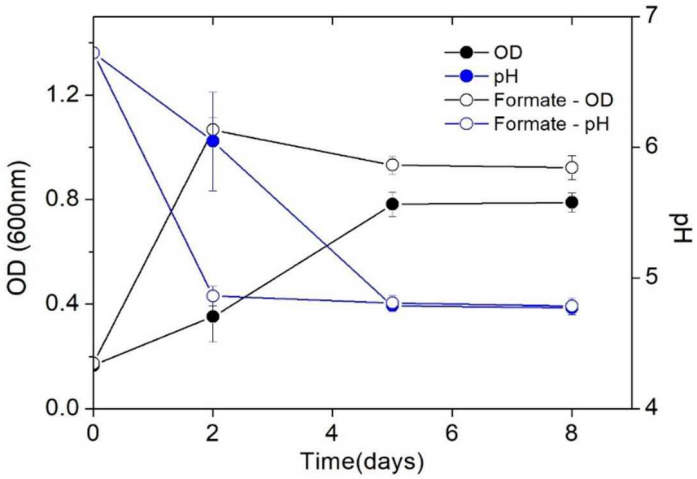
도면3



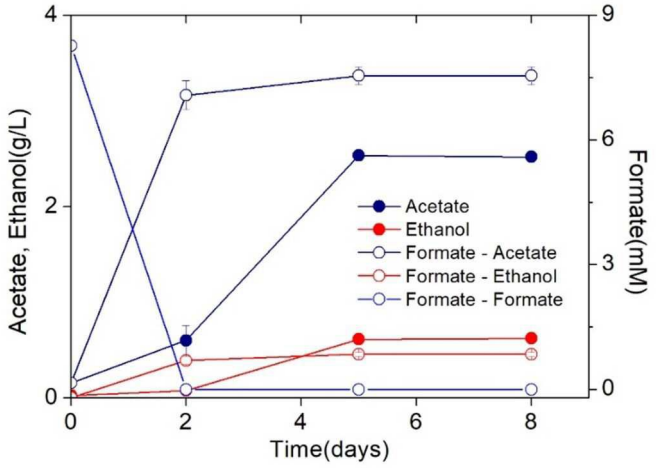
도면4



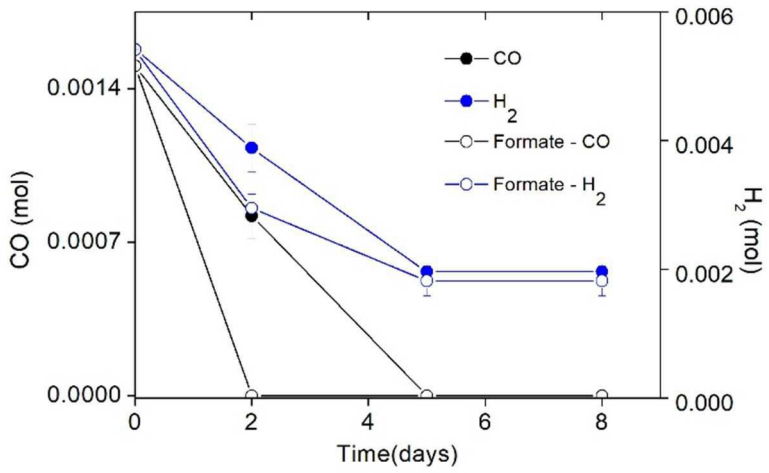
도면5a



도면5b



도면5c


CO
H2
Formate - CO
Formate - H2
CO (mol)
H2 (mol)
Time(days)
0.0000
0.0007
0.0014
0.000
0.002
0.004
0.006
0
2
4
6
8