



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0113291

(43) 공개일자 2015년10월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C08B 1/00 (2006.01) *C12P 7/10* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0036143

(22) 출원일자 2014년03월27일

심사청구일자 2014년03월27일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

김경현

서울 서초구 서초중앙로 200, 18동 805호 (서초동, 삼풍아파트)

김현경

서울 관악구 장군봉9길 19, 101호 (봉천동)

정영훈

서울특별시 성북구 안암로145 고려대학교 생명과학대학

(74) 대리인

특허법인다나

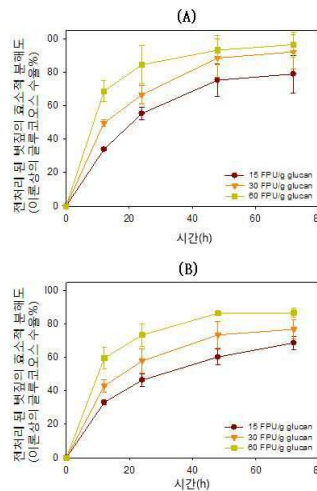
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 펜톤 화합물을 촉매로 이용한 리그노셀룰로오스의 화학적 전처리법

(57) 요약

본 발명은 펜톤 화합물을 촉매로 이용한 리그노셀룰로오스의 화학적 전처리법에 관한 것으로, 펜톤 화합물을 이용하여 상온에서 벗질 섬유소를 효과적으로 분해하여 효소당화과정에서 글루코오스의 수율을 높이고, 전체 공정 비용을 현저히 줄일 수 있다.

대표도 - 도5



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013072597

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기후변화대응기초·원천기술개발사업

연구과제명 섬유소 기반 산업화용 바이오에너지 생산을 위한 전처리 당화 기술

기 여 율 1/1

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2013.11.01 ~ 2014.10.31

명세서

청구범위

청구항 1

0.03 내지 0.05 mol/L 농도의 철염, 1.2 내지 3 mol/L 농도의 과산화수소의 펜톤 용액을 2 내지 15%(w/v)의 벚짚과 상온에서 0.17 내지 24시간 동안 반응시키는 단계를 포함하는 목질계 바이오매스의 전처리 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

철염은 FeCl_3 , Fe_2O_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, FePO_4 , FeSO_4 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, FeCO_3 및 FeCl_2 로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상인 목질계 바이오매스의 전처리 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

벚짚은 펜톤 용액 대비 5 내지 12%(w/v)으로 반응시키는 목질계 바이오매스의 전처리 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

반응은 pH 5 내지 7의 범위에서 수행되는 목질계 바이오매스의 전처리 방법.

청구항 5

0.03 내지 0.05 mol/L 농도의 철염, 1.2 내지 3 mol/L 농도의 과산화수소의 펜톤 용액을 2 내지 15%(w/v)의 벚짚과 상온에서 0.17 내지 24시간 동안 반응시켜 얻은 고형물에 대해 효소적 당화를 실시하는 단계를 포함하는 목질계 바이오매스의 당화 효율 개선 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

철염은 FeCl_3 , Fe_2O_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, FePO_4 , FeSO_4 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, FeCO_3 및 FeCl_2 로 이루어진 군에서 목질계 바이오매스의 당화 효율 개선 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

벚짚은 펜톤 용액 대비 5 내지 12%(w/v)으로 반응시키는 목질계 바이오매스의 당화 효율 개선 방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

반응은 pH 5 내지 7의 범위에서 수행되는 목질계 바이오매스의 당화 효율 개선 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 펜톤 반응을 통해 벚짚 섬유소 리그노셀룰로오스를 화학적으로 전처리하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

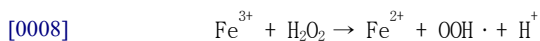
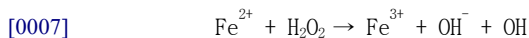
[0002] 화석연료는 고갈위기에 따른 가격 증가와 지구 온난화 문제를 일으킨다는 점에 미래의 에너지원으로 적합하지 않다. 이에 따라 재생 가능한 에너지가 앞으로 주요 에너지원으로 사용될 필요성이 국제적으로 대두되고 있다. 태양, 풍력, 수력, 수소에너지 등과 더불어 목질 및 농업 부산물을 이용한 바이오매스는 자연계에 풍부한 자원으로 경제성을 갖춘 미래 에너지원으로 각광받고 있다. 바이오매스를 이용한 에탄올은 미국 등의 국가에서 실제 자동차 연료로 사용되고 있으며 시장의 요구에 상응하여 바이오매스를 효율적이고 친환경적인 공정으로 연료화하기 위한 꾸준한 노력이 이어지고 있다.

[0003] 리그노셀룰로오스계 바이오매스는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 그리고 리그닌으로 구성되어 있다. 이 중 셀룰로오스는 30~40%를 차지하며 분해되어 발효균주의 영양원인 포도당으로 전환될 수 있다. 그러나 섬유소의 복잡한 구조와 셀룰로오스 특유의 결정구조를 둘러싼 헤미셀룰로오스와 리그닌으로 인해 발효균주가 탄소원으로 셀룰로오스를 이용하기 어렵다. 이러한 문제로 리그노셀룰로오스계 바이오매스를 에너지 및 화학 소재로 전환하기 위한 효율적인 바이오리파이너리 공정이 필요하다. 특히, 효율적인 당화에 앞서 물리적, 화학적 전처리 공정은 셀룰로오스를 둘러싸고 있는 헤미셀룰로오스와 리그닌 분해를 위해 필수적이다.

[0004] 고온의 조건에서 산 또는 알칼리를 이용하여 바이오매스를 처리하는 전처리 공정에 있어서, 산 촉매는 환경에 유해할 뿐 아니라 고온의 전처리 방식으로 인해 과량의 과분해 산물을 생성한다. 뿐만 아니라 고온에 내구성이 강한 고가의 설비가 필요하며 공정상에 많은 양의 에너지가 투입된다.

[0005] 또한, 펜톤 반응을 이용한 전처리 공정은 하기 반응식 1과 같이, 펜톤 화합물을 구성하는 제2철이온(Fe^{3+})이 제1철이온(Fe^{2+})으로 환원되면서, 과산화수소(H_2O_2)와 반응하면서 라디칼을 생성하고, 생성된 라디칼은 바이오매스를 구성하는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌에 산화적 분해반응을 일으키며 결정 구조를 무너뜨려 효소가 접근하기 용이한 상태로 바꾸는 원리를 이용하는 것이다.

[0006] [반응식 1]



[0009] 기존의 펜톤 반응은 주로 생물학적 전처리 방법으로(곰팡이 등) 이용이 되어 왔기에, 반응 시간이 길고(수일 소요됨), 전처리 효율이 낮아 경제성이 낮다. 또한, 화학적 펜톤 반응을 이용하여 바이오매스를 전처리 한 경우, 펜톤 반응을 수행하는 데 필요한 촉매의 적정 농도가 최적화 되어야 하는 어려움이 있다. 아울러, 기존에는 2%의 바이오매스 고체 로딩량을 이용하여 고온에서 전처리를 수행하였으나, 당화율이 낮은 단점이 있다. 높은 고체 로딩량은 최종 산물의 생산에 있어 전체 공정에 경제성을 부여하는 데 필수적인 요소이므로 매우 중요하다.

[0010] 따라서, 본 발명자들은 상대적으로 높은 고체 로딩량을 확보하면서 당화율을 개선하는 펜톤 화합물의 농도, 반응 조건 등을 확립함으로써 본 발명을 완성하였다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 대한민국 특허 제10-1055623호
(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 제2012-0016119호
(특허문헌 0003) 미국 공개특허 제2010-0190973호

비특허문헌

- [0012] (비특허문헌 0001) Prateek Jain et al Bioresource Technology 103, pp.219-226(2011.10.05)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 본 발명의 목적은 벚짚 섬유소인 리그노셀룰로오스를 펜톤 화합물을 이용하여 상온에서 전처리하는 개선된 전처리 방법을 제공하는 것이다.
- [0014] 본 발명의 다른 목적은 상기 개선된 전처리 방법을 이용하여 벚짚 섬유소의 당화효율을 개선하는 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0015] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 0.03 내지 0.05 mol/L 농도의 철염, 1.2 내지 3 mol/L 농도의 과산화수소의 펜톤 용액을 2 내지 15%(w/v)의 벚짚과 상온에서 0.17 내지 24시간 동안 반응시키는 단계를 포함하는 목질계 바이오매스의 전처리 방법을 제공한다.
- [0016] 본 발명은 또한 0.03 내지 0.05 mol/L 농도의 철염, 1.2 내지 3 mol/L 농도의 과산화수소의 펜톤 용액을 2 내지 15%(w/v)의 벚짚과 상온에서 0.17 내지 24시간 동안 반응시켜 얻은 고형물에 대해 효소적 당화를 실시하는 단계를 포함하는 목질계 바이오매스의 당화 효율 개선 방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0017] 본 발명은 최적 농도의 펜톤 화합물을 이용하여 상온에서 상대적으로 높은 로딩량의 벚짚 섬유소를 비교적 단시간 내에 효과적으로 분해하여 효소당화공정에서 글루코오스의 수율을 높이고, 전체 공정 비용을 현저히 줄일 수 있다. 따라서, 본 발명은 바이오매스를 고부가가치 에너지 및 화학섬유소재로 이용될 수 있는 글루코오스로 전환하여 화석연료를 대체하는 바이오 에너지 및 소재 개발에 유용하다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 펜톤 용액과 바이오매스의 반응 모식도이다.
- 도 2는 본 발명의 펜톤 용액의 농도에 따른 벚짚의 전처리 효과를 나타낸 것이다.
- 도 3은 본 발명의 염화제이철과 과산화수소를 단독으로 처리한 벚짚의 당화 효과를 나타낸 것으로, (A)는 10%(w/v) 벚짚을, (B)는 2% 벚짚과 EFB를 사용한 결과이다.
- 도 4는 본 발명의 전처리 시간에 따른 벚짚의 당화율을 나타낸 것이다.
- 도 5는 본 발명의 반응 시간 및 효소 투입량에 따른 당화율을 나타낸 것이다.
- 도 6은 본 발명의 벚짚과 펜톤 용액의 반응 시간 동안 총 철 이온 중 제1철 이온의 비율 변화를 나타낸 것이다.

도 7은 본 발명의 펜톤 용액과 벚짚의 반응 중 과산화수소의 농도 변화를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 일반적으로 재생가능한 임산폐자원인 바이오매스를 이용하는데 가장 비용이 많이 드는 공정은 화학적 전처리이다. 특히, 기존의 전처리 공정은 고온 고압의 조건에서 진행됨으로 인해, 환경 오염의 유발인자를 제공할 뿐 아니라, 전체 공정의 효율성을 떨어뜨린다.
- [0020] 본 발명자들은 화석 연료의 대체 에너지로서 목질계 바이오매스를 바이오 연료로 전환하기 위한 환경 친화적인 전처리 공정을 제시하기 위해, 펜톤 화합물을 촉매로 이용함으로써 산, 알칼리, 유기용매 등의 기존 전처리 기술에 비하여 환경에 유해성이 적으며 상온에서 전처리할 수 있는 방식을 제안하여 공정 에너지를 줄였다. 이뿐 아니라 높은 당화율을 나타내는 처리 조건을 구하고, 이때의 촉매 반응 기작을 확인함으로써 본 발명을 완성하였다.
- [0021] 따라서, 본 발명은 0.03 내지 0.05 mol/L 농도의 철염, 1.2 내지 3 mol/L 농도의 과산화수소의 펜톤 용액을 2 내지 15%(w/v)의 벚짚과 상온에서 0.17 내지 24시간 동안 반응시키는 단계를 포함하는 목질계 바이오매스의 전처리 방법을 제공한다.
- [0022] 본 발명의 목질계 바이오매스의 전처리 방법은 도 1의 반응 모식도에 따라 벚짚 섬유소인 리그노셀룰로오스를 분해하는 것을 특징으로 한다.
- [0023] 도 1에 나타난 바와 같이, 펜톤 화합물은 유기물에 산화반응을 일으키면서 분해한다. 유기물인 바이오매스와 반응이 일어나는 동안 펜톤 화합물을 구성하는 제2철이온(Fe^{3+})은 제1철이온(Fe^{2+})으로 환원된다. 환원된 제1철이온은 과산화수소(H_2O_2)와 반응하면서 라디칼을 생성한다. 이때 생성되는 라디칼은 바이오매스를 구성하는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌에 산화적 분해반응을 일으키며 결정구조를 무너뜨려 효소가 접근하기 용이한 상태로 바꾼다. 이 원리를 벚짚 섬유소에 적용 시, 효과가 있는 조건을 찾기 위하여 철염과 과산화수소의 농도를 다양하게 조합하여 우수한 당화 효율을 나타내는 최적 조건을 찾고, 반응시간에 따라 철 이온의 형태와 과산화수소의 농도를 측정하여 반응 원리를 규명하였다.
- [0024] 본 발명의 목질계 바이오매스의 전처리 방법은 0.03 내지 0.05 mol/L 농도의 철염과 1.2 내지 3 mol/L 농도의 과산화수소의 펜톤 용액을 2 내지 15%(w/v)의 벚짚과 상온에서 0.17 내지 24시간 동안 반응시켜 벚짚 섬유소를 효과적으로 분해할 수 있다. 상기 과정은 기존의 펜톤 반응을 이용한 전처리 공정과 비교하여 상대적으로 높은 고체 로딩량을 제공하며, 상온에서 24시간 이내에 반응을 시켜 우수한 당화 효율을 나타내므로 경제적 측면에서 공정시간이 짧고 생산단가를 감축하는 효과가 있다.
- [0025] 전처리를 위한 벚짚은 건조된 벚짚으로, 회전식 밀을 이용하여 수 mm 이하의 크기로 분쇄한 것일 수 있으나, 이에 특별히 제한하는 것은 아니다.
- [0026] 상기 철염은 FeCl_3 , Fe_2O_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, FePO_4 등의 3가 철염(제2철이온); 또는 FeSO_4 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, FeCO_3 , FeCl_2 등의 2가 철염(제1철이온)을 사용할 수 있다.
- [0027] 상기 벚짚은 펜톤 용액 대비 2 내지 15%(w/v), 보다 구체적으로 5 내지 12%(w/v)으로 반응시킬 수 있다. 고체 로딩량이 15%를 초과할 경우 물질 및 열 전달에 있어 어려움이 있어 당화 효율이 낮게 될 수 있고, 2% 미만인 경우 낮은 로딩량으로 인해 최종 산물의 농도가 감소할 수 있다.
- [0028] 펜톤 반응은 pH 5 내지 7의 범위에서 수행할 수 있다. 펜톤 반응의 pH는 철염의 농도에 달려 있다. 예컨대, 철염의 농도가 0.03-0.05 mol/L의 범위일 경우 pH는 5 내지 7일 수 있다. 철염의 농도가 상기 범위를 초과할 경우에는 pH 2 내지 3에서 반응이 수행될 수 있다. 본 발명은 철염의 농도가 0.03-0.05 mol/L의 범위에서 펜톤 반응을 진행하기 때문에 반응 pH는 약산성을 나타내어 이후 당화 및 발효 공정 전에 수행하는 중화 공정을 별도로 수행할 필요가 없어 전체 공정을 단축하고, 생산 단가를 줄일 수 있는 효과가 있다.
- [0029] 본 발명은 또한 0.03 내지 0.05 mol/L 농도의 철염, 1.2 내지 3 mol/L 농도의 과산화수소의 펜톤 용액을 2 내지 15%(w/v)의 벚짚과 상온에서 0.17 내지 24시간 동안 반응시켜 얻은 고형물에 대해 효소적 당화를 실시하는 단계를 포함하는 목질계 바이오매스의 당화 효율 개선 방법에 관한 것이다.

- [0030] 본 발명의 목질계 바이오매스의 당화 효율 개선 방법은 본 발명에 따라 전처리 된 볏짚의 고형물에 대해 효소적 당화를 실시하는 것을 특징으로 한다. 상술한 바와 같이 전처리 반응물의 pH가 약산성 범위에 있어 효소적 당화 전에 별도의 중화 과정을 거칠 필요가 없어 고형물에 대해 바로 효소적 당화를 실시할 수 있다.
- [0031] 상기 전처리 과정에서 얻은 고형물은 효소 가수분해 처리를 통해 환원당을 생산한다.
- [0032] 상기 효소 가수분해에 사용되는 효소는 셀룰라제(cellulase), α -아밀라제(amyase), 글루코아밀라제(glucoamylase), 엔도글루카나제(endoglucanase), 자일라나제(xylanase), 베타-글루코시다제, α -아가라제(agarase), β -아가라제 I, β -아가라제 II, β -갈락토시다제(galactosidase), 네오아가로바이오스(neoagarobiose) 가수분해효소, 네오아가로테트라오스(neoagarotetraose) 가수분해효소, 네오아가로헥사오스(neoagarohexaose) 가수분해효소, α -네오아가로바이오스 하이드롤라제(neoagrobiose hydrolase) 또는 이들의 혼합물 또는 복합체 등을 들 수 있으나, 이에 특별히 제한하는 것은 아니다.
- [0033] 효소적 가수분해 반응은 pH 4 내지 8, 25 내지 50℃의 온도에서 72 내지 96시간 동안 실시할 수 있으나, 이에 특별히 제한하는 것은 아니다.
- [0034] 이하, 본 발명을 실시예에 의해 상세히 설명한다. 단, 하기 실시예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.
- [0035] **<실시예 1> 펜톤 용액의 농도에 따른 볏짚의 전처리 효과**
- [0036] 펜톤 용액의 농도에 따른 볏짚의 전처리 효과를 확인하기 위해, 펜톤 용액은 염화제이철과 과산화수소를 1:10부터 1:100까지의 비율로 섞어 제조되었다. 본 발명에서 원료로 이용된 목질계 바이오매스는 건조된 볏짚으로, 회 전식밀을 이용하여 1mm 크기로 분쇄하였다. 분쇄한 볏짚은 특정 농도로 희석한 펜톤 용액과 1:10 비율로 섞어 반응하였다. 전처리 반응은 5g의 볏짚과 물, 염화제이철을 넣은 500mL-삼각플라스크에서 과산화수소의 투입과 동시에 진행되었으며 10%(w/v) 볏짚을 기질로 24시간 동안 200rpm으로 회전하는 교반식 배양기에서 상온의 조건에서 실시되었다. 24시간 동안 펜톤 용액으로 처리한 볏짚 슬러리는 막 필터를 이용하여 고형물과 액체로 분리하고 고형물을 위상 과정을 거쳐 중화한 후 건조시켰다. 고형물은 1g의 글루칸 기준 60FPU의 Accellerase 1000을 이용하여 당화하였으며 당화는 180rpm의 교반 속도로 pH4.8, 50℃의 온도 조건에서 48시간 동안 실시하였다.
- [0037] 도 2에 나타난 바와 같이, 0.03M, 0.05M의 염화제이철과 2.25M, 2.5M의 과산화수소의 농도와 비율의 조합에서 우수한 당화 효과를 나타내었다.
- [0038] **<실시예 2> 펜톤 용액의 단일 화합물을 이용한 전처리 효과**
- [0039] 펜톤 용액의 단일 화합물을 이용한 전처리 효과를 확인하기 위해, 아무것도 처리하지 않은 볏짚과, 24시간 동안 0.05M의 염화제이철을 단독 처리한 10%(w/v) 볏짚, 2.5M의 과산화수소를 단독 처리한 10%(w/v) 볏짚, 0.05M 염화제이철과 2.5M의 과산화수소를 모두 처리한 10%(w/v) 볏짚, 0.05M 염화제이철과 2.5M의 과산화수소를 모두 처리한 2%(w/v) 볏짚과 EFB의 고형분은 위상 및 건조 후 1g의 글루칸 함량 기준으로 60FPU의 Accellerase 1000을 이용하여 48시간 동안 당화하였다.
- [0040] 도 3A에 나타난 바와 같이, 0.05M 염화제이철과 2.5M의 과산화수소를 모두 처리한 볏짚의 당화율이 각각 처리한 경우에 비해 우수한 당화율을 나타내었다.
- [0041] 또한, 2%(w/v) 볏짚과 EFB를 처리한 경우에도 60% 이상의 당화율을 나타내었다(도 3B).
- [0042] **<실시예 3> 펜톤 반응의 전처리 시간에 따른 당화 효과**
- [0043] 펜톤 반응의 전처리 시간에 따른 당화 효과를 확인하기 위해, 0.03M, 0.05M의 염화제이철과 2.25M, 2.5M의 과산화수소를 이용하여 0.17시간부터 24시간까지 상온에서 펜톤 용액으로 처리한 후에 위상 및 건조 후 1g의 글루칸 함량 기준으로 60FPU의 Accellerase 1000을 이용하여 48시간 동안 당화하였다.
- [0044] 도 4에 나타난 바와 같이, 0.03M의 염화제이철과 2.25M의 과산화수소를 처리한 경우 전처리 시간이 증가할수록

당화율이 증가하는 양상을 나타내었고, 0.05M의 염화제이철과 2.5M의 과산화수소를 처리한 경우 전처리 4시간 이후에는 당화율의 증가를 나타내지는 않았다.

<실시예 4> 전처리한 고형물의 효소적 당화

전처리한 고형물의 효소적 당화를 확인하기 위해, 전처리 후 건조된 벚짚은 1% 글루칸 함량을 기준으로 효소 반응에 사용하였다. 전처리 조건은 벚짚에 0.03M, 0.05M의 염화제이철과 2.25M, 2.5M의 과산화수소를 상온에서 24시간 반응하였다. 당화를 위해, 셀룰로오스 분해 효소로 Accellerase 1000을 이용하였으며 고형물의 1g의 글루칸 함량 기준에 따라 15, 30, 60 filter paper unit(FPU)으로 조절하여 투입하였다. 효소 반응은 pH4.8, 온도는 50℃에서 180rpm의 속도로 교반하며 72시간까지 진행하였다.

도 5에 나타난 바와 같이, 0.03M의 염화제이철과 2.25M의 과산화수소의 펜톤 용액(A)과 0.05M의 염화제이철과 2.5M의 과산화수소의 펜톤 용액(B)으로 전처리한 고형물은 효소 투입량과 반응시간이 증가할수록 당화율 역시 증가하였다.

<실시예 5> 반응 시간에 따른 철 이온의 분석

반응 시간에 따른 철 이온을 분석하였다. 이를 위해, 철 이온은 제1철 이온과 선택적으로 반응하여 안정한 복합체를 형성하는 Ferrozine 시약을 이용하여 측정하였다. 0.1mL의 펜톤 반응 샘플(0.05M의 염화제이철과 2.5M의 과산화수소의 펜톤 용액 사용함)은 희석하여 1M Tris 버퍼용액 중의 10mM의 Ferrozine 시약과 반응하였다. 대조군으로 벚짚 또는 과산화수소를 제외하여 진행하였다. Ferrozine 시약과 반응한 제1철 이온 복합체는 분광광도계를 이용하여 562nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다. 펜톤 반응이 진행되는 동안 벚짚은 제2철이온을 제1철이온으로 환원시키면서 라디칼을 지속적으로 생산하는 펜톤 반응을 순환시키는 역할을 한다. 따라서 벚짚과의 반응에 시간에 따른 염화제이철의 환원으로 라디칼이 생성을 유추할 수 있다.

도 6에 나타난 바와 같이, 벚짚을 펜톤 용액으로 전처리하는 시간이 증가할 수록 총 철 이온 중 제1철 이온의 비율이 증가함을 알 수 있었다.

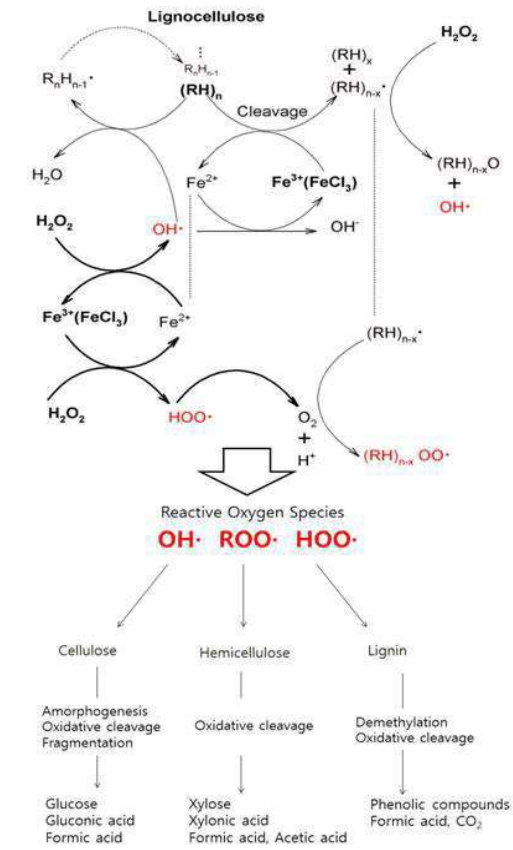
<실시예 6> 반응 시간에 따른 과산화수소의 분석

반응 시간에 따른 과산화수소를 분석하였다. 과산화수소는 펜톤 반응을 개시하는 역할을 하며 빠르게 라디칼의 형태로 전환된다. 정량 결과, 본 반응은 10분만에 과산화수소가 모두 소모됨으로써 종료되었다. 펜톤 반응 중의 과산화수소는 titanium oxalate 방법으로 정량하였다. 0.2% 황산 수용액 중의 Titanium oxalate는 0.128M의 농도로 1mL 취하여 총 반응 부피 20mL 중의 0.1mL의 펜톤 반응 수용액(0.05M의 염화제이철과 2.5M의 과산화수소의 펜톤 용액 사용함)을 10%의 벚짚과 반응시킴과 상온에서 반응하였다. 수용액은 오렌지색의 복합체를 형성할 때까지 5분간 정지반응 후 분광광도계를 이용하여 390nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다.

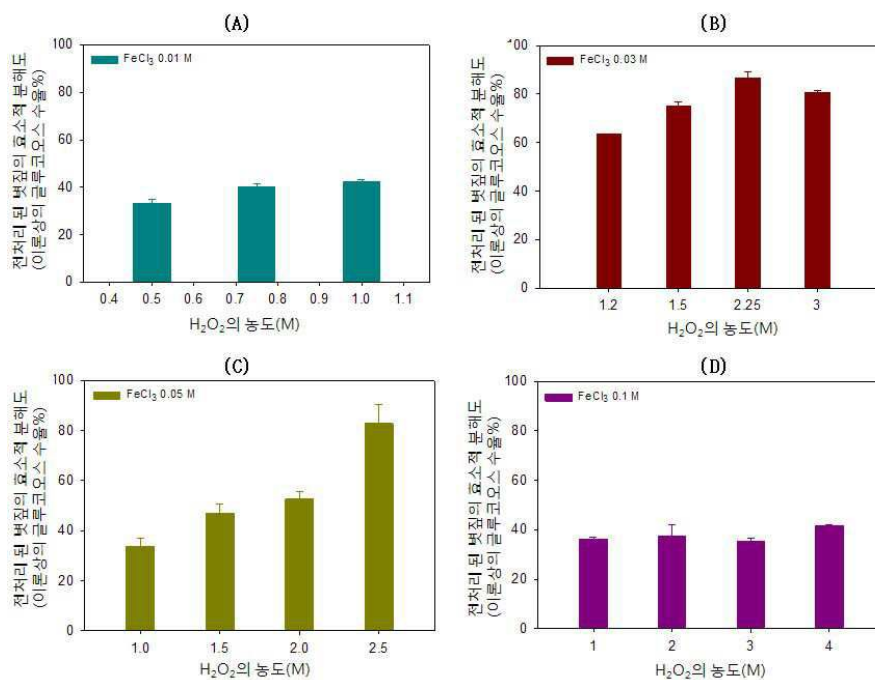
도 7에 나타난 바와 같이, 펜톤 용액과 벚짚의 반응시간이 증가할수록 과산화수소의 농도는 감소함을 알 수 있었다.

도면

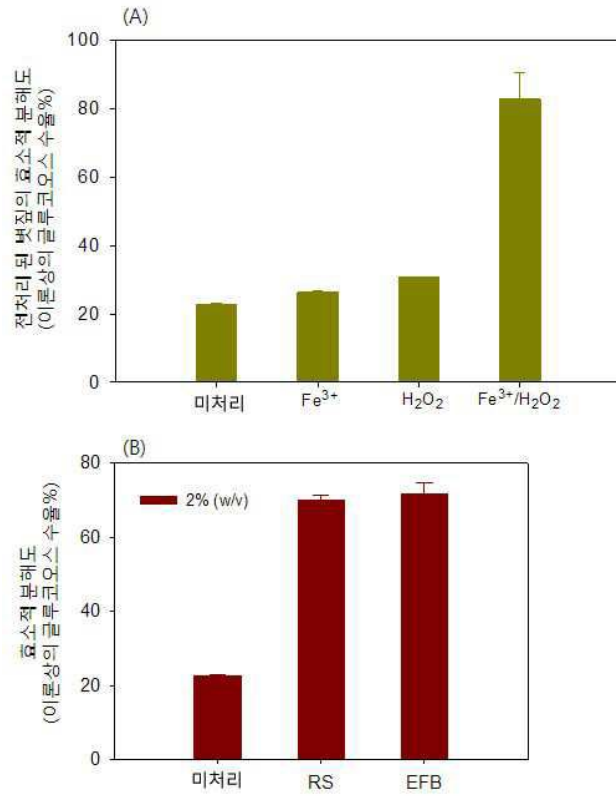
도면1



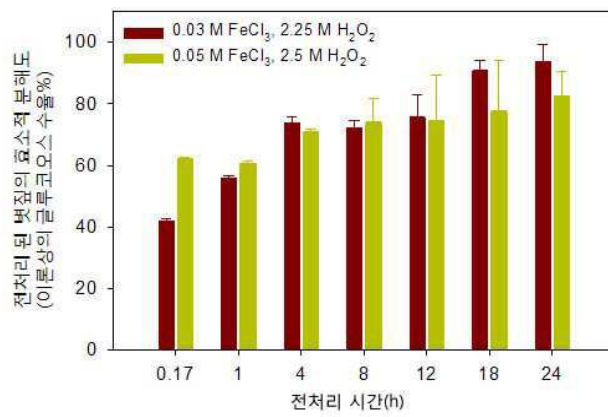
도면2



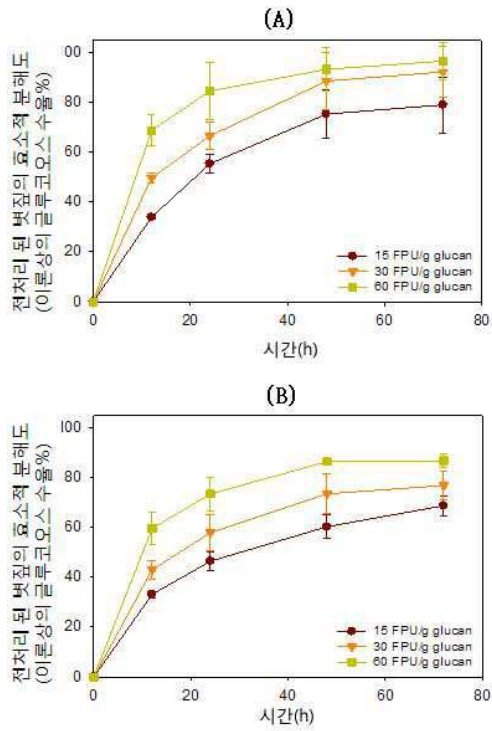
도면3



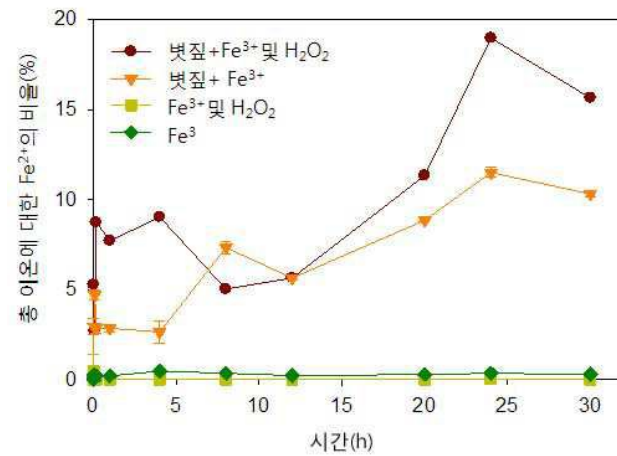
도면4



도면5



도면6



도면7

