

한국청정기술학회 2023년도

추계총회 및 학술대회 초록집

2023 THE KOREAN SOCIETY OF CLEAN TECHNOLOGY FALL CONFERENCE

2023. 9. 20(수) ~ 9. 22(금)

모나 용평리조트 타워콘도

주 최 : 한국청정기술학회

후 원 : 공주대학교 자원재활용연구센터,

경남정보대학교 에너지신산업 혁신공유대학사업단,

경남정보대학교 이차전지 혁신융합대학사업단,

미래초음파기술, (주)에스알디글로벌, (주)전진엔텍,

제우스유화공업(주), (주)태양인더스트리, 한국생산기술연구원 울산본부,

(주)화인테크놀로지



한국청정기술학회
The Korean Society of Clean Technology



국립 **공주대학교**

공주대학교 자원재활용연구센터

충남 천안시 서북구 천안대로 1223-24
공주대학교(천안캠퍼스) 화학공학부

경남정보대학교

이차전지 혁신융합대학사업단



사업비전 : 이차전지 산업을 선도하는 **자율·창의 중심의 융합형** 첨단 인재 양성

사업목표 : 개방과 협업을 통한 **지자체-대학의 협력 체계** 구축으로 국가 수준의 이차전지 **핵심 인재 양성**

이차전지 특화 교과 : 이차전지 특화 교육을 통한 산업체 수요에 맞는 **높은 수준의 전문인력 양성**

장학금 제도 : 이차전지 특성화 기준에 맞춘 **자체 장학금 제도** 운영
최대 100만원 지원

산업체 연계 사업 운영 : EcoPro, **이차전지 산업체와 연계**
현장중심 전문가 발굴을 위한 상호 교류 활성화

대학-지자체 협력 프로세스



산업체간 자원 교류 활성화



이차전지 특화 표준교과 운영

이론 교과목 : 배터리속 소재 이야기, 이차전지 기초화학, 이차전지 공정기술 개론, 이차전지 안전의 이해, 이차전지와 인공지능, 이차전지 전산해석개론
실습 교과목 : 이차전지 공정실�험실습

초음파기술의 파ioni어 .. 미래 초음파기술

1997년 설립한 이래 20여년간 Sonochemistry 분야를 개척하고 있는 미래초음파기술은 전자·화학·바이오·환경분야의 파트너입니다.

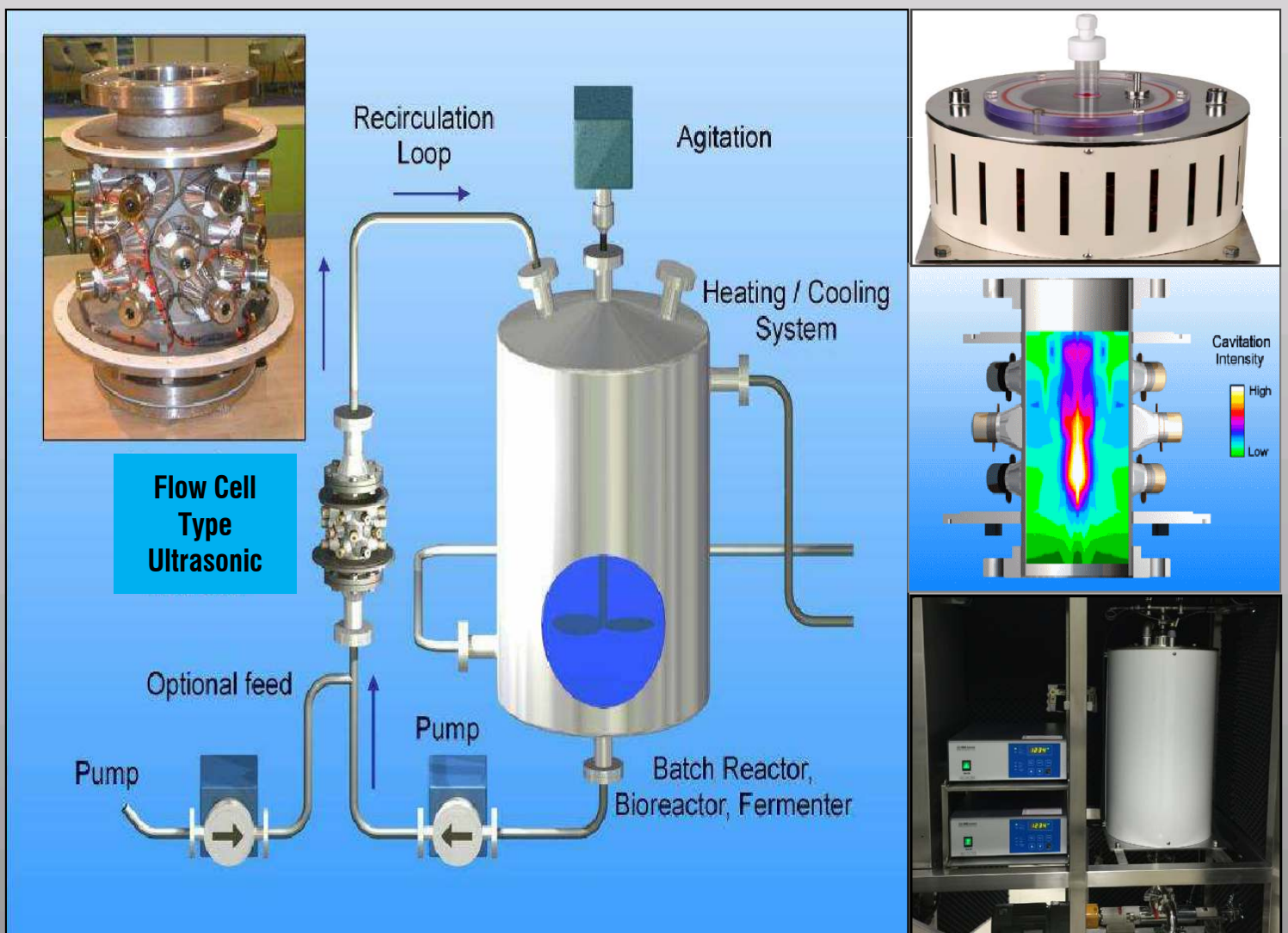
Sonochemistry : New Opportunities for Green Chemistry

Main Product

- Flow Cell Type Ultrasonic
- Large scale Sonotrode Ultrasonic
- In line type Ultrasonic Treatment System
- Batch type Ultrasonic Treatment System

Application

- Bio-Diesel • Extraction • Homogenizing • Mixing • Dispersion



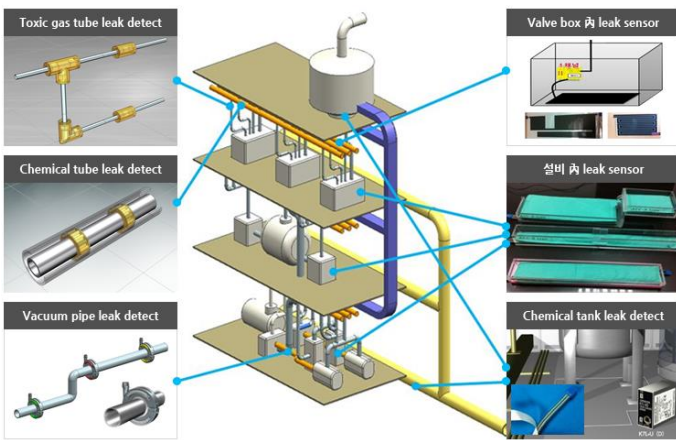
MIRAE ULTRASONIC TECH. CO.

14502 경기도 부천시 원미구 평천로 655 부천테크노 파크 402동 1101호

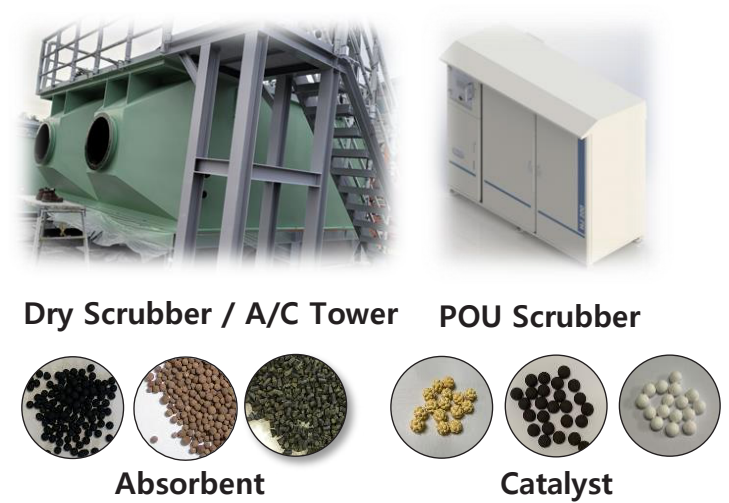
T 032-234-6661 / F 032-234-6663 <http://www.msonic.co.kr>



DEVICE BUSINESS



ENVIRONMENT BUSINESS



MAJOR PRODUCTS

01. Absorbent

❖ 흡착제

반도체 공정 및 특수 환경에서 배출되는 유기, 산, 알칼리 가스는 흡착제를 이용하여 처리가 가능합니다. 물리 또는 화학 흡착 방식으로 부산물 없이 유해가스를 제거할 수 있습니다. 공정이 간단하기 때문에 공간이 확보된 경우 설비 설치가 용이합니다.

02. Catalyst

❖ 촉매

환경안전에 규제되는 VOCs, PFCs, NOx 등의 가스는 촉매를 이용하여 처리가 가능합니다. 열 분해, 가수 분해, SCR 분해 등 다양한 방식으로 가스를 분해하여 처리할 수 있습니다. 설치 공간이 좁고 장기간 제거 해야 하는 곳에 설비 설치가 가능합니다.

03. Scrubber

❖ 스크러버 시스템

흡착제 또는 촉매가 포함된 장비로 사용자가 원하는 규격에 따라 맞춤형 제작이 가능한 시스템입니다. 처리 용량 및 목적에 따라 설비 장비를 필터, 스크러버, 열교환 냉각방식 스크러버 등으로 선택하여 설비 설치가 가능합니다.

현재 많은 산업현장에서는 인체에 유해한 GAS, CHEMICAL 등, 유해물질의 노출이 예상되고 있으며, 누수 및 노출 시 이에 대한 신속한 대처가 요구 되어지고 있습니다. 이러한 유독성 물질의 누수, 누출에 대한 사전 예지, 신속한 차단, 확산사고 예방을 목표로 새로운 아이디어와 제품으로 산업현장에 도움 드리하고자 합니다.

주식회사 에스알디글로벌 대표이사 *C.E.O Youngmin. Kim*



☎ Head Office

Tel. 032 837 5178 / Fax. 032 837 5179, 인천광역시 연수구 송도동 214, 송도스마트밸리 E동 201호

☎ FAB and R&D

Tel. 031 366 2464 / Fax. 031 366 2465, 경기도 화성시 양감면 정문리 188

※ Web Site <http://www.saramdle.net/>

SRD GLOBAL



화학과 에너지에 환경의 가치를 더하다!

도전과 혁신으로 가치를 창출하는 기업_ (주)전진엔텍

- ✔ 화학 공정 SYSTEM ▶ 물질전달, 열전달
- ✔ 클린 대기 환경 제어 SYSTEM ▶ SOx, CO2, 탈취, VRU
- ✔ 해양플랜트 FPSO ▶ Separator, Filtration
- ✔ 급속 개폐 장치 ▶ Quick Opening Closure
- ✔ LNG SYSTEM ▶ Bunkering, Separating, Filtering

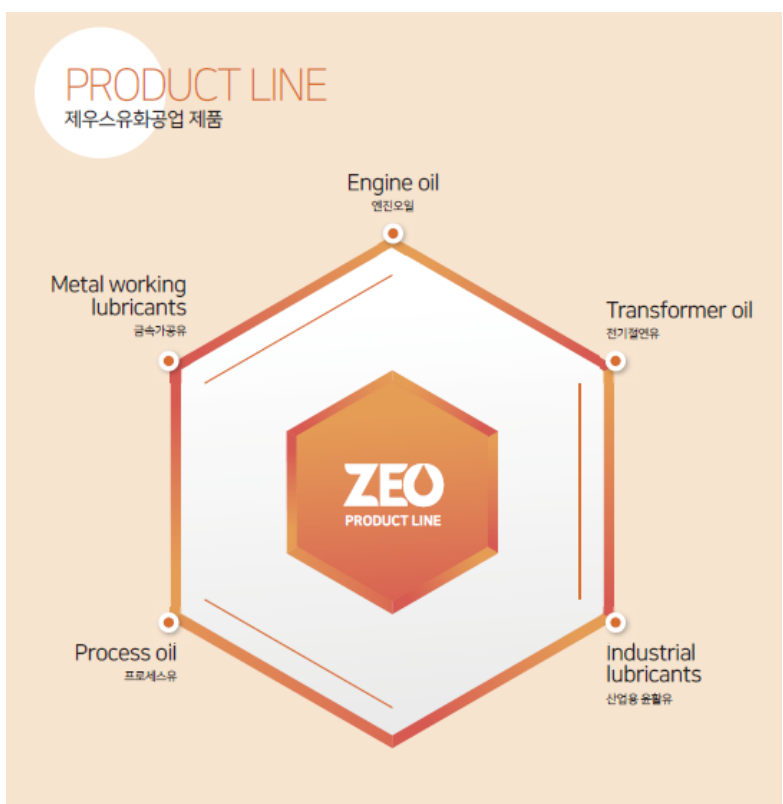


JCONJIN

PREMIUM LUBRICANTS



Having accumulated know-how and technology more than 35 years.



본사 및 부산공장
Head office &
Busan factory

부산광역시 사상구 낙동대로 943번길 105 (감전동)
TEL:(051)315-8182~4 FAX:(051)326-2118
<http://www.zeusoil.co.kr>
sales100@zeolub.com

울산공장
Onsan factory

울산광역시 울주군 온산읍 당월로 402
TEL:(052)239-8006 FAX:(052)239-8007

화성공장
Hwasung factory

경기도 화성시 서신면 전곡리 1105-5번지 (전곡산업단지 내)
TEL:(031)366-8168 FAX:(032)714-3917 (031)357-6386



(주)태양인더스트리

 **현대미포조선** 협력업체

울산광역시 남구 처용로 800

TEL. 052-258-9362

FAX. 052-258-9364

에너지신산업 혁신공유대학 경남정보대학교 사업단



혁신공유대학이란?

- 4차 산업혁명시대가 본격화됨에 따라 에너지신산업 신기술 혁신 인재를 양성합니다.
- 전공에 관계없이 자유롭게 교육과정에 참여하여 마이크로디그리 학위 취득 및 학점 인정이 가능합니다.
- 에너지신산업 분야 7개 대학 간 컨소시엄을 구축하여 교원, 교육컨텐츠, 기자재 등의 자원을 공유 및 공동 활용합니다.

에너지신산업이란?

기후변화 대응, 미래 에너지 개발, 에너지 안보, 수요 관리 등 에너지 분야의 주요 현안을 효과적으로 해결하기 위한 '문제 해결형 산업'

디지털 신기술 인재양성 혁신공유대학사업 경남정보대학교 에너지신산업 사업단 비전 및 목표

사업비전	2030 에너지신산업을 주도하는 창의 융합형 글로벌 인재 양성		
사업목표	에너지신산업 기반 맞춤형/리더형 융합 인재 양성		
협력전략	대학간 융합 인재 교육프로그램 융합 · 우수 대학간 교육프로그램 융합 제시 · 에너지 신산업 기반 강화를 위한 융합인재 양성	분야별 협력대학 공유플랫폼 구축 · 역량별 맞춤형 인재 양성 프로그램 체계 구축 · 지역간 협력-공유 기반 교육플랫폼 개발	학사제도 개편/디지털 네트워크 연계 · 학제간 경계를 허무는 학사제도 개편 · 현장기반 중심의 디지털 네트워크 연계 구축
KIT 사업목표	전문대학형 혁신공유대학 운영 모델		
세부목표	융합공유를 기반으로 한 혁신 공유 교육 플랫폼 구축	에너지신산업 Hub LMS 구축	유연한 학사관리 선도적 구축
세부내용	미래수소 에너지/배터리 교육 센터 운영	에너지신산업 인력양성	공유대학 학사운영

미래형 Hybrid 5T 스마트 강의실

Hybrid K.I.T.
Hybrid Korea Intelligent T room

- 온·오프라인 양방향 소통 강의 / 회의
- 강의자용 녹장시스템
- VR / AR 체험 / 실습
- 에듀테인먼트

에너지신산업 혁신공유대학 교육과정 안내

분야	에너지 생산	에너지 저장/변환	에너지 수송/관리	에너지 경영
내용	신에너지 재생에너지	기계적 에너지저장 전기/화학 에너지저장 에너지변환시스템	에너지 회로(EMS) 전력관리/에너지관리	에너지 환경/재활용 에너지 자원경제/정책/안전
초급	신에너지공학개론 재생에너지공학개론 수소연료전지개론	에너지저장공학개론 에너지소재개론 전기화학에너지저장 이론 및 실험	전기에너지개론	에너지와 기술의 경제학 에너지환경기술 에너지와 기후변화
중급	에너지반응공학 에너지생산소재공학 바이오폐기물에너지공학	에너지저장소재설계 거대에너지저장 제로에너지시스템	차세대전력전자 및 전기기기 화학에너지수송 Si기반 에너지관리	에너지 통계 빅데이터분석 에너지기후변화정책 Si기반 에너지안전공학
고급	태양에너지공학 지열에너지공학 풍력에너지공학 수소에너지공학	전기차배터리공학 차세대에너지공학 연료전지 히트펌프	무선에너지전달 Si기반 시스템최적화 스마트그리드	에너지사업 타당성평가 에너지신사업 이슈연구

7개 대학의
에너지신기술 교과목을
소속, 학과, 학년에
관계없이 누구나
수강할 수 있습니다.



한국청정기술학회 2023년도

추계총회 및 학술대회 초록집

2023 THE KOREAN SOCIETY OF CLEAN TECHNOLOGY FALL CONFERENCE

2023. 9. 20(수) ~ 9. 22(금)

모나 용평리조트 타워콘도

주 최 : 한국청정기술학회

후 원 : 공주대학교 자원재활용연구센터,

경남정보대학교 에너지신산업 혁신공유대학사업단,

경남정보대학교 이차전지 혁신융합대학사업단,

미래초음파기술, (주)에스알디글로벌, (주)전진엔텍,

제우스유화공업(주), (주)태양인더스트리, 한국생산기술연구원 울산본부,

(주)화인테크놀로지



한국청정기술학회

KSCT The Korean Society of Clean Technology

국가의 미래를 위해 나아갈 길, 청정기술

(사)한국청정기술학회

문서번호 청정기술 2023-37 (2023.07.19)

수신 청정기술 전문가 및 소속기관

참조

제목 한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회 개최

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 한국청정기술학회에서 2023년도 추계 총회 및 학술대회를 아래와 같이 개최하오니 귀 기관의 소속 전문가가 참석할 수 있도록 협조하여 주시길 바랍니다.

- 아 래 -

가. 행사명: 한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

나. 행사일시: 2023년 9월 20일(수) ~ 22일(금)

다. 장소: 모나 용평리조트 타워콘도

라. 등록비:

	정회원	학생회원
사전등록(9월 8일(금) 마감)	160,000원	80,000원
온라인/현장등록(9월 8일(금) 이후)	180,000원	100,000원

(사)한국청정기술학회장



인사말



존경하는 한국청정기술학회 회원 여러분!

안녕하세요?

한국청정기술학회 회장 전종기입니다.

무더운 여름이 언제 지나가려나 마냥 기다리던 게 엊그제 같은데 어느덧 가을에 접어들어 시원한 바람이 우리를 반겨주고 있습니다.

우리 학회의 2023년도 추계 총회 및 학술대회가 9월 20일(수)부터 22일(금)까지 강원도 평창군에 위치한 모나 용평리조트 타워콘도에서 개최됩니다.

학회 초청 강연으로 한국화학연구원의 채호정 박사의 발표가 있을 것입니다. 회원 여러분께서 많이 참석하시어 '탄소중립'과 관련된 최신 이슈 및 연구 동향을 파악하는 시간을 보내시길 바랍니다. 이번 추계 학술대회에서 재생가능연료 및 소재, 청정융합, 청정용매, 오염저감, 청정소재 및 공정, 온실가스, 탈질-탈황, 청정수소, 청정일반 분야 등의 부문별 구두발표 38편과 포스터발표 121편을 합하여 총 159편(특별세션 등 포함 총 177편)의 학술 발표가 진행될 예정이며, 더불어 2개의 특별세션 발표가 준비되어 있습니다. 많은 회원께서 참석하셔서 학술교류와 만남의 장을 만들어 주시길 바랍니다.

또한, 금번 추계학술대회에서 '청정기술 개발을 위한 공정 경제성 평가 기법 및 탄소 배출량 평가 기법'을 주제로 튜토리얼 프로그램을 준비하였습니다. 최근에 우리나라의 산업체와 학계에서 핫이슈로 부상하고 있는 '탄소중립'과 관련한 최신 기술을 습득하는 기회가 될 것으로 예상됩니다.

마지막으로 추계학술대회를 위해 수고해주신, 수석부회장님, 총무, 학술, 재무 이사님을 비롯한 이사님들과 분과위원장님들께 감사드리고, 학술대회를 위해 후원해 주신 여러 기관, 기업과 물심양면으로 도움을 주신 분들께 머리 숙여 감사드립니다.

2023년 9월 20일

한국청정기술학회장 **전종기**

2023년도 추계 총회 및 학술대회 진행표

9월 20일(수)	사파이어홀	9월 20일(수)	크리스탈홀
15:00 ~ 15:50	등록	13:40 ~ 17:40	Tutorial: 청정기술 개발을 위한 공정 경제성 평가 기법 및 탄소 배출량 평가 기법
15:50 ~ 16:00	개회식(노현석 총무이사)		
16:00 ~ 16:50	초청강연 (KRICT 채호정 박사)		
16:50 ~ 17:00	휴식		
17:00 ~ 18:00	평의원회 (운영위원회)		
18:00 ~	저녁만찬(루비룸)		

9월 21일(목)	에메랄드홀	사파이어홀	크리스탈홀	오팔홀
08:30 ~ 09:30	등록			
09:30 ~ 12:00	청정융합 09:30~11:50	청정소재 및 공정 09:30~11:20	재생가능연료 및 소재 09:30~11:00	오염저감 09:40~10:20
				청정수소 10:30~11:50
12:00 ~ 13:00	점심(하반)			
13:00 ~ 17:30	에메랄드홀	사파이어홀	크리스탈홀	
	통합 포스터발표 13:00~14:50	특별세션 I (탄소중립 엔지니어링 공정시스템 기술) 13:00~15:20	특별세션 II (한국생산기술연구원 친환경재료공정연구그룹의 청정 기술 개발 동향) 13:00~16:20	
	휴식			
	에메랄드홀	사파이어홀	크리스탈홀	
	청정용매 15:10~17:00	온실가스 15:30~17:10		청정일반 15:10~17:00
17:30 ~ 18:00	총회, 시상, 경품추첨(에메랄드홀)			

9월 22일(금)	에메랄드홀
08:30 ~ 09:30	등록
09:30 ~ 12:00	산학연 워크숍

모나 용평리조트 타워콘도 발표장 안내



- 사전 및 현장등록처: 크리스탈홀 로비
- 총회, 경품 추첨, 시상: 에메랄드홀
- 평의원회, 초청강연: 사파이어홀
- Tutorial: 크리스탈홀
- 구두발표: 에메랄드홀, 사파이어홀, 크리스탈홀, 오팔홀
- 포스터발표: 에메랄드홀
- 홍보전시회: 크리스탈홀 로비
- 평의원 만찬: 하반내 루비룸
- 목요일 점심 장소: 하반
- 커피 제공: 사파이어홀 입구
- ※ 발표장내 wifi 사용 가능

경품추첨 행사



■ 참여방법

- 학술대회 개최 기간에 경품응모권 제출

■ 추첨 및 경품지급

- 추첨: 2023년 9월 21일(목), 17:30 총회 장소(에메랄드홀)
- 갤럭시탭S7 64GB: 1대
- 에어팟 3세대: 2개
- 도서상품권 10만원권 5매, 5만원권 10매

모나 용평리조트 타워콘도 오시는 길



초청강연

- 일시 2023년 9월 20일(수) 13:50~16:50
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 사파이어홀

chair: 노현석 총무이사(연세대학교)

13:50(10') 개회사
전종기 회장(한국청정기술학회, 공주대학교)

16:00(50') 석유화학산업 탄소중립 실현을 위한 메탄 및 CO₂ 전환 연구 사업
채호정 박사(한국화학연구원)

연사소개



□ 주요경력

- 2007~현재 한국화학연구원 책임연구원/센터장
- 2023~현재 한국공업화학회 대전충남세종 부지부장
- 2018~2019 한국화학공학회 산학연관 이사
- 2016~2018 한국공업화학회 재무이사
- 2015~2016 산업부 제철부생가스 워킹그룹위원장
- 2013 RICE Univ. Visiting Scholar
- 2006~2007 LG화학 차장
- 2001~2006 삼성정밀화학 책임연구원

□ 학 력

POSTECH 화학공학과 박사

Tutorial: 청정기술 개발을 위한 공정 경제성 평가 기법 및 탄소 배출량 평가 기법

- 일시 2023년 9월 20일(수) 13:40~17:40
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 크리스탈홀

chair: 이인규 교수(부산대학교)

- 13:40('20) 등 록
- 14:00('50) 기술-경제성 평가(TEA) I: 기초 이론
Techno-Economic Analysis
박진우 교수(동국대학교)
- 14:50('50) 기술-경제성 평가(TEA) II: 소프트웨어 활용 실습 시연
Techno-Economic Analysis
박진우 교수(동국대학교)
- 15:40('20) 휴 식
- 16:00('50) 탄소 배출량 평가: 공정레벨에서의 탄소 기여도 평가
Process-level Carbon Contribution Analysis
이인규 교수(부산대학교)
- 16:50('50) 탄소-기술-경제성 평가(CTEA): 방법 및 사례
Carbon-Techno-Economic Analysis
이인규 교수(부산대학교)

■ 등록비(교재포함)

구 분	정(종신)회원	학생회원	비회원
사전등록 (9월 8일(금) 마감)	140,000원	80,000원	160,000원
현장등록 및 온라인등록 (9월 8일(금) 이후)	160,000원	100,000원	200,000원

구두발표: 청정융합

- 일시 2023년 9월 21일(목) 09:30~11:50
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀
- Organizer 장민 교수(광운대학교)

chair: 김중래 교수(부산대학교)

- 09:30('35) CT-A1 (Invited Lecture) 광/전기화학 촉매의 실시간 분석
김우열 (한국에너지공과대학교)
- 10:05('15) CT-A2 Catalyst development for PFOA removal in air jet-plasma catalysis system
Choong Choe Earn, 장민 (광운대학교)
- 10:20('15) CT-A3 Effective conversion of post-consumer polyethylene terephthalate using deep eutectic solvents
하건수, 김광호 (한국과학기술연구원)
- 10:35('15) CT-A4 Polyaniline-modified cathode electrode enhances acetate production from CO₂ in microbial electrosynthesis
김은서, 김민수, 공다솔, 김중래 (부산대학교)
- 10:50('15) CT-A5 Photo-plasma catalyst system development and mechanism investigation for simultaneous iron and manganese removal in aqueous phase
윤소연, Choong Choe Earn, 장민 (광운대학교)
- 11:05('15) CT-A6 Membrane-based sustainable technology for molybdenum recovery from industrial wastewater
Ramesh Kumar, Chengjia Liu, 조순호, 전병훈 (한양대학교)
- 11:20('15) CT-A7 Toxicity assessment of heavy metal induced water contamination based on simplified oxygen consumption measurements using nitrifying bacteria bioassay
Shahzad Suleman¹, 강우창¹, Anup Gurung¹, Syed Ejaz Hussain Mehdi¹, Sharma Aparna¹, 장민¹, 오상은² (¹광운대학교, ²강원대학교)
- 11:35('15) CT-A8 Artificial neural network modeling of divalent manganese oxidation kinetics during chlorination: Role of arsenic(III)
Ziqiao Liao¹, 안용태^{1,2}, 전병훈¹ (¹한양대학교, ²경기대학교)

구두발표: 청정용매

- 일시 2023년 9월 21일(목) 15:10~17:00
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀
- Organizer 제정호 교수(부산대학교)

chair: 이홍식 박사(한국생산기술연구원)

- 15:10(30) CT-B1 Understanding Surfactant-free microemulsions based on the Kirkwood-Buff theory and dielectric behaviors
윤태준, 서승민, 유동호, 송승완 (충남대학교)
- 15:40(20) CT-B2 Effect of reaction conditions on the catalytic activity of Pd/C catalysts for phenol hydrogenation
박하윤^{1,2}, 김예은^{1,3}, 제정호², 이만식¹
(¹한국생산기술연구원, ²부산대학교, ³고려대학교)
- 16:00(20) CT-B3 친환경 공용용매를 이용한 하이드록시 벤조산의 탈카르복실화 연구
오다해^{1,2}, 최정규¹, 김광호² (¹고려대학교, ²한국과학기술연구원)
- 16:20(40) CT-B4 (Invited Lecture) 효율적인 대기오염물질 저감을 위한 페로브스카이트 구조 촉매 개발
전유권¹, Rasika Mane¹, 김희수¹, 한경원¹, 김형진¹, 이찬민²
(¹연세대학교 미래캠퍼스, ²한국생산기술연구원)

구두발표: 청정소재 및 공정

- 일시 2023년 9월 21일(목) 09:30~11:20
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 사파이어홀
- Organizer 김성탁 교수(충남대학교)

chair: 김성탁 교수(충남대학교)

- 09:30('30) CT-C1 (Invited Lecture) 곤충 지질을 사용한 수첨바이오연료 제조 가능성 연구
장정희¹, 한기보¹, 이지은¹, 장현성¹, 양영철², 박영규²
(¹고등기술연구원, ²한국유용곤충연구소)
- 10:00('20) CT-C2 Solid dispersion of CNT agglomerates in the gas-solid fluidized beds
허승준, 이동현 (성균관대학교)
- 10:20('20) CT-C3 FER 촉매의 DME 카보닐화 반응을 통한 MA 합성을 위한 순환유동층 반응기 설계
남지영, 성우창, 이동현 (성균관대학교)
- 10:40('20) CT-C4 CPF simulation을 이용한 고온 고압 유동층 반응기 내 수력학적 특성 연구
성우창, 김준영, 이동현 (성균관대학교)
- 11:00('20) CT-C5 Selectively edge oxidized graphene to achieve highly dispersible graphene flakes with pristine graphene properties
이용현, 최창호 (경상대학교)

특별세션 I: 탄소중립 엔지니어링 공정시스템 기술

- 일시 2023년 9월 21일(목) 13:00~15:20
- 장소 모나 옹평리조트 타워콘도 사파이어홀
- Organizer 이인규 교수(부산대학교)

프로그램

chair: 김정환 교수(연세대학교), 이인규 교수(부산대학교)

- 13:00(20') CT-D1 탄소중립을 위한 CCUS 및 리튬석출로의 담수화 폐수의 활용
조성현^{1*}, 임종훈^{2,3} (¹전북대학교, ²연세대학교, ³한국생산기술연구원)
- 13:20(20') CT-D2 플라스틱 폐기물 선별 최적화 모델: 경제적 요인과 환경적 요인의 통합성 평가
안유찬 (계명대학교)
- 13:40(20') CT-D3 멤브레인 컨택터를 이용한 이산화탄소 포집 공정 모델링 및 시뮬레이션
구보람 (전남대학교)
- 14:00(20') coffee break
- 14:20(20') CT-D4 등온 흡착선 알고리즘을 이용한 분자 및 공정 시뮬레이션 연결 및 이를 활용한 바이오가스 업그레이딩 압력 스윙 흡착공정에서의 흡착제 선별 방법 개발
가성빈 (울산대학교)
- 14:40(20') CT-D5 소금간수를 이용한 이산화탄소 및 대기오염물질 회수공정 개발
조형태^{1*}, 김정환², 이재원¹, 유엽^{1,2}, 임종훈^{1,2} (¹한국생산기술연구원, ²연세대학교)
- 15:00(20') CT-D6 수소환원제철 공정의 직렬 유동 환원로 상세 모델링 및 최적화
손상환, 이희원 (부산대학교)

구두발표: 온실가스

- 일시 2023년 9월 21일(목) 15:30~17:10
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 사파이어홀
- Organizer 박정훈 교수(동국대학교)

chair: 박정훈 교수(동국대학교)

- 15:30('20) CT-E1 탄소중립을 위한 바이오가스 내 이산화탄소 흡착을 통한 메탄 고순도화 VPSA (Vacuum Pressure Swing Adsorption) 시스템 설계 및 연구
신재철, 이재명, 이민주, 김신동 (이앤켐솔루션)
- 15:50('20) CT-E2 탄소중립연료(e-Fuel) 생산을 위한 피셔-트롭시 합성 촉매기술 개발
윤민혜, 임근배, 김광영, 천동현 (한국에너지기술연구원)
- 16:10('20) CT-E3 탄소중립을 위한 청정수소 생산용 Pd/Al₂O₃ 복합분리막 기술 개발
정창훈 (하이젠에너지)
- 16:30('20) CT-E4 암모니아 기반 청정수소 생산기술 개발 동향
정운호, 구기영, 박용하 (한국에너지기술연구원)
- 16:50('20) CT-E5 Ni계 담지 촉매를 이용한 메탄-이산화탄소 온실가스 전환 반응 연구
주지봉 (건국대학교)

구두발표: 재생가능연료 및 소재

- 일시 2023년 9월 21일(목) 09:30~11:00
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 크리스탈홀
- Organizer 유준 교수(부경대학교)

chair: 유준 교수(부경대학교)

- 09:30('30) CT-F1 (Invited Lecture) 비유지, 비알코올 유래 촉매화학적 바이오항공유 생산 기술
하정명 (한국과학기술연구원)
- 10:00('15) CT-F2 Deoxygenation of dimethyl terephthalate (DMT) under atmospheric pressure over single-metal catalyst supported by γ -Al₂O₃
Syarif Hidayat¹, Thuan Anh Vo¹, 전재락¹, 김진수², 김승수¹
(¹강원대학교, ²경희대학교)
- 10:15('15) CT-F3 Development of Pd supported on bead-type carbon catalysts for furfural hydrogenation
김강민^{1,2}, 김예은^{1,3}, 제정호², 이만식¹
(¹한국생산기술연구원, ²부산대학교, ³고려대학교)
- 10:30('15) CT-F4 Modulating the polymerization degree of TMPS using Argon Jet plasma for high electrolytic production of H₂O₂
Reneesha, Choong Choe Earn, 장민 (광운대학교)
- 10:45('15) CT-F5 Ni/Zr_xCe_yO₂ 촉매를 활용한 커피찌꺼기 스팀 가스화를 통한 수소 생산
심지민, 심하늘, Yasin Khani, Behzad Valizadeh, 박영권 (서울시립대학교)

특별세션 II: 한국생산기술연구원 친환경재료공정연구그룹의 청정 기술 개발 동향

- 일시 2023년 9월 21일(목) 13:00~16:20
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 크리스탈홀
- Organizer 김수한 박사(한국생산기술연구원)

chair: 송호준 박사(한국생산기술연구원)

- | | | |
|------------|-------|---|
| 13:00('25) | CT-G1 | Non-thermal Plasma application for VOC removal
김수한 (한국생산기술연구원) |
| 13:25('25) | CT-G2 | Advancing Sustainable Hydrogen Production: Synergistic Integration of Oxy-fuel Combustion and Water Electrolysis for Blue Hydrogen Generation
이재원 ¹ , 윤승관 ¹ , 조형태 ¹ , 김정환 ² (¹ 한국생산기술연구원, ² 연세대학교) |
| 13:50('20) | CT-G3 | Development of wrinkled silica-based catalysts by controlling the surface properties for furfural hydrogenation
김예은 ^{1,2} , 이관영 ² , 이만식 ¹ (¹ 한국생산기술연구원, ² 고려대학교) |
| 14:10('20) | CT-G4 | Development of Alkali-modified FAU zeolite as highly selective adsorbent to separate unreacted trace amounts of NH ₃ in ammonia decomposition for hydrogen production
류혁상 ^{1,2} , 제정호 ² , 임동하 ¹ (¹ 한국생산기술연구원, ² 부산대학교) |
| 14:30('10) | | Coffee break |

chair: 김수한 박사(한국생산기술연구원)

- | | | |
|------------|-------|--|
| 14:40('25) | CT-G5 | 이산화탄소 흡식 흡수제 개발 및 신공정 적용
송호준, 박현식, 황선엽, 강조홍, 김광휘, 임현지, 손주희, 김지은 (한국생산기술연구원) |
| 15:05('25) | CT-G6 | 광물탄산화를 위한 산업부산물 내 Ca source 활용 가능성 확인
박현식 ¹ , 김희준 ^{1,2} , 정성민 ^{1,3} , 강조홍 ^{1,2} , 황선엽 ¹ , 송호준 ¹
(¹ 한국생산기술연구원, ² 연세대학교, ³ 인제대학교) |
| 15:30('25) | CT-G7 | Development of High Ion Conductivity & Air-Stability Solid Electrolyte Manufacturing Technology for Electric Vehicles
김태호, 최영준, 황윤지, 손민규, 김선이 (한국생산기술연구원) |
| 15:55('25) | CT-G8 | Antibacterial Composite Materials Made with Cu ₂ O Nanoparticles
이시우, 박정연, 장태중, 류영복 (한국생산기술연구원) |

구두발표: 오염저감

- 일시 2023년 9월 21일(목) 09:40~10:20
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 오피스홀
- Organizer 이태호 교수(송실대학교)

chair: 이태호 교수(송실대학교)

- 09:40('20) CT-H1 Role of CeO₂ in promoting the spillover in CO oxidation reaction over platinum nanoparticle-supported CeO₂ catalyst
Eunwon Lee, Jaeha Lee, Sungha Hwang, 김도희 (서울대학교)
- 10:00('20) CT-H2 Demineralization of micropollutants by PMS activation through electro-assisted dielectric barrier discharge (DBD) plasma
NURHASLINA BINTI ABD RAHMAN, Choong Choe Earn, 장민 (광운대학교)

구두발표: 청정수소

- 일시 2023년 9월 21일(목) 10:30~11:50
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 오피스홀
- Organizer 고창현 교수(전남대학교)

chair: 고창현 교수(전남대학교)

- 10:30('20) CT-I1 (Invited Lecture) Potential CO adsorbents based on Heteroatom-doped Materials for Effective Trace CO Removal
이광복, May Zaw Win, 박지혜, Wathone Oo (충남대학교)
- 10:50('20) CT-I2 고온수성가스전이반응을 위한 CuFe₂O₄ 촉매의 제조방법 최적화
전이정, 유지민, 심재오 (원광대학교)
- 11:10('20) CT-I3 Clean hydrogen production from the single-stage water-gas shift reaction over bimetallic Pt-Co-CeO₂ catalysts synthesized by direct chemical reduction method
한중훈, 안선용, 노현석 (연세대학교 미래캠퍼스)
- 11:30('20) CT-I4 촉매메탄직접분해를 통한 수소생산기술 동향
고창현 (전남대학교)

구두발표: 청정일반

- 일시 2023년 9월 21일(목) 15:10~17:00
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 오픈홀
- Organizer 조강희 교수(인하대학교)

chair: 조강희 교수(인하대학교)

- 15:10('20) CT-J1 탄소중립 달성을 위한 청정 암모니아 합성 기술
주형국 (단국대학교)
- 15:30('20) CT-J2 가압 조건에서의 암모니아-공기 연소특성 및 질소산화물 제어
이민정¹, 정우남², 김남수², 곽영태² (¹서울과학기술대학교, ²한국에너지기술연구원)
- 15:50('10) Coffee break
- 16:00('20) CT-J3 메탄 건식 개질 반응을 위한 나노 Ni 결정 담지 마그네슘실리케이트 MWW 촉매 개발 연구
권성준, 박민범 (인천대학교)
- 16:20('20) CT-J4 Effect of Alumina Binder on Impregnation of Platinum-Yttrium Catalyst into Hierarchical MFI Zeolite Pellet for Propane Dehydrogenation
김정철 (기초과학연구원)
- 16:40('20) CT-J5 Water repellent fluorine or methyl functionalized MOFs for CO₂ capture under humid conditions
이수경 (한국화학연구원)

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

포스터발표: 재생가능연료 및 소재

- 일시 2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀
- Organizer 장원준 교수(아주대학교)

- PA-1 Forecasting Solar Power Curtailment with Deep Learning
KHAHZADKELARIJANI SAEIDEH, 유준 (부경대학교)
- PA-2 Thermogravimetric characteristics and kinetics of cattle manure
전재락¹, 황인준¹, Vo Anh Thuan¹, 김진수², 김승수¹ (¹강원대학교, ²경희대학교)
- PA-3 NaOH/ γ -Al₂O₃ 촉매를 이용한 바이오디젤 제조
이승희¹, 심민석¹, 김예희¹, 김영빈¹, Rajendra Joshi², 전종기¹
(¹국립공주대학교, ²Kathmandu University)
- PA-4 네팔산 Jatropha seed로부터 바이오디젤 제조 공정 실증
심민석¹, 이승희¹, 김예희¹, Rajendra Joshi², 전종기¹
(¹국립공주대학교, ²Kathmandu University)
- PA-5 Vanillin hydrodeoxygenation over bifunctional Ru/HZSM-5 catalysts implemented in a biphasic system
박재현¹, 김형주¹, 양승도¹, 임용현¹, 하정명², 김도희¹ (¹서울대학교, ²한국과학기술연구원)
- PA-6 Silica material 지지체에 담지된 전이금속 촉매를 이용한 다환식 방향족 탄화수소 수소화 반응
황서연¹, 원세연¹, 오승교¹, 한기보², 정병훈³, 전종기¹
(¹국립공주대학교, ²고등기술연구원, ³국방과학연구소)
- PA-7 Efficacy of formic acid treatment against Spent coffee grounds as Pd catalysts support
송혜진¹, 김예은¹, 김판성¹, 제정호², 이만식¹ (¹한국생산기술연구원, ²부산대학교)
- PA-8 Effect of leaching processes on the leaching of lithium from anhydrite
천동환¹, 김예은¹, 제정호², 이만식¹ (¹한국생산기술연구원, ²부산대학교)
- PA-9 다공성 무기나노입자 코팅층을 보유한 셀룰로오스 유래 리튬이차전지 분리막 기술
김혜연¹, 이채은¹, 조재민², 박철환², 구본욱³, 황진연¹, 김광호¹
(¹한국과학기술연구원, ²광운대학교, ³경북대학교)
- PA-10 Stabilization of aqueous Zn metal anode by hydrophilic PVA and PVP layer
전민혁, 이예나, 조준희, 이지원, 전필립, 엄지현 (국립공주대학교)

- PA-11 **친수성 PEG 코팅 층에 의한 수계 아연 금속 음극의 안정화**
조준희, 김영은, 전민혁, 이지원, 김진현, 엄지현 (국립공주대학교)
- PA-12 **도파민을 활용한 수계 아연 금속 음극의 안정화**
조준희, 이예나, 김영은, 김태현, 이지원, 전민혁, 김보은, 엄지현 (국립공주대학교)
- PA-13 **수계 아연 전지의 균일한 아연 증착에 대한 전극의 시드 효과**
이지원, 최인혁, 전민혁, 조준희, 전필립, 엄지현 (국립공주대학교)
- PA-14 **3D 개방형 구조 설계를 이용한 수계 아연 전지의 덴드라이트 억제 효과**
이지원, 최인혁, 김태현, 전민혁, 조준희, 김보은, 엄지현 (국립공주대학교)
- PA-15 **Advancing Lithium-Ion Battery Materials: Aluminium nanoparticle-assisted seaweed based separator**
이광세¹, 박찬우² (¹경남정보대학교, ²한국원자력연구원)
- PA-16 **선박용 Bunker C Oil을 사용하여 제조한 에멀전 연료유의 안정성 연구**
허광선, 정은혁 (경남정보대학교)
- PA-17 **선박용 Bunker C Oil으로 에멀전 연료유의 제조**
허광선, 정은혁 (경남정보대학교)

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회 포스터발표: 청정융합

- **일시** 2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
- **장소** 모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀
- **Organizer** 장원준 교수(아주대학교)

- PB-1 **SnS₂ modified gC₃N₄ for high photocatalytic H₂O₂ production without photoexcited holes sacrificing reagent**
홍광표, 홍유경, Choong Choe Earn, 장민 (광운대학교)
- PB-2 **Ion-exchange resin-based inorganic contaminants removal towards upgradation of bio-oil for marine fuel applications**
조순호, LIAO ZHIAO, Ramesh Kumar, 전병훈 (한양대학교)
- PB-3 **Comparison of lettuce-based aquaponics and hydroponic systems for overall and plant growth, nutrient efficiency, and environmental impacts**
오상은, Syed Ejz Hussain Mehdi, Sharma Aparna, 강우창, Suleman Shahzad, Anup Gurung (강원대학교)

- PB-4 Start-up Performance of Iron-wool in Microbial Electrolysis Cell (MEC) for Hydrogenotrophic Denitrification (HD)
오상은, Sharma Aparna, Syed Ejaz Hussain Mehdi, Suleman Shahzad (강원대학교)
- PB-5 Utilization of Green Ammonia as an Alternate Fuel in Naphtha Cracker: Economic and Environmental Assessments
Fitriasari Eprilliantan, 유준 (부경대학교)
- PB-6 Techno-economic and life cycle assessments of ethylene production using methane byproduct as alternate fuel
Wan Nurauni Afiqah Binti Wan Hamdan, 유준 (부경대학교)
- PB-7 Microbially Influenced Corrosion (MIC) for enhancement of 1,3-propanediol bioproduction from glycerol using *Klebsiella pneumoniae* L17
공다슬, 김중래 (부산대학교)
- PB-8 Selective enrichment of CO₂ electrophs for biogas-upgrading of CH₄ by intermittent applied potential-induced microbial electrosynthesis cell
김민수, Shuwei Li, 공다슬, 김은서, 김중래 (부산대학교)
- PB-9 Highly Efficient Photocatalytic Degradation of GenX (hexafluoropropylene oxide dimer acid, HFPO-DA) Using Copper-Modified Tin Titanate and Mechanistic Insight
장석범, Choong Choe Earn, 장민 (광운대학교)
- PB-10 Simultaneous removal of various micropollutants in wastewater using sono-plasma process
유희진, WONG KIEN TIEK, 장민 (광운대학교)
- PB-11 Efficient Plasma-catalytic Degradation of GenX in Water using Argon Jet Plasma with Ru-doped CeBiO₃
류백하, Choong Choe Earn, 장민 (광운대학교)
- PB-12 Formate-induced NADH regeneration for improved conversion of glycerol to 1,3-propanediol in *Klebsiella oxytoca*
박은주, 김민수, 김중래 (부산대학교)
- PB-13 Response of electroactive microbial community by light-driven photo microbial fuel cell (PMFC)
박원경, 김민수, Shuwei Li, 김중래 (부산대학교)
- PB-14 Manufacture of artificial aggregate using alkaline activator, hot-press and waste stone sludge
설길홍, Kung-Won Choi, Ju-Hyeok Kwon, Deok-Won Kim, 전병훈 (한양대학교)

- PB-15 점토 광물에 대한 초임계 CO₂ 흡착 및 점토광물-염수-CO₂ 반응을 활용한 친환경 공정 개발 연구
전필립 (국립공주대학교)
- PB-16 Feasibility of atotrophic denitrification using desulfurized waste as an electron donor
오상은¹, Anup Gurung¹, 김승규² (¹강원대학교, ²이앤켴솔루션)
- PB-17 Photocatalytic nitrogen fixation using Ru-doped BaCeO₃
홍유경, 홍광표, Choong Choe Earn, 장민 (광운대학교)

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회 포스터발표: 청정용매

- 일시 2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀
- Organizer 장원준 교수(아주대학교)

- PC-1 수소화 바이오디젤 생산을 위한 연속식 수열반응 장치 개발
이흥식, 권도희, 김성현 (한국생산기술연구원)
- PC-2 초임계이산화탄소 추출 및 분획을 통한 천연 유래 향산화물질의 농축
이흥식, 이승은, 임지선 (한국생산기술연구원)

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회 포스터발표: 오염저감

- 일시 2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀
- Organizer 장원준 교수(아주대학교)

- PD-1 Enhancing Fuel Cell Performance and Humidity Stability of MEA for PEMFCs through Surface Patterned Membrane
손민규, 최영준, 황윤지, 김선이, 김태효 (한국생산기술연구원)
- PD-2 γ -Al₂O₃ 촉매를 이용한 아산화질소 (N₂O)의 직접촉매분해기술에 있어서 산소와 수분이 미치는 영향에 관한 연구
이은한^{1,2}, 변세기¹, 서두원¹, 황효정¹, 백주은¹, 정의순³, 김한성², 이신근¹
(¹한국에너지기술연구원, ²연세대학교, ³유니셈)

- PD-3 Red mud 촉매를 이용한 HFC-134a 가수분해에 관한 연구
곽인현¹, 이은한¹, 김중배², 백일현¹, 이신근¹, 남성찬¹ (¹한국에너지기술연구원, ²고려대학교)
- PD-4 Recycling Technology of Waste solder paste
구수진 (한국폴리텍대학)
- PD-5 Degradation of Pharmaceutical Active Compounds with Simultaneous Ammonification through Combine DBD plasma-electrolysis
WONG KIEN TIEK, 장민 (광운대학교)
- PD-6 Visible light-driven photocatalytic ozonation mediated by LaFeO₃ perovskite towards Ibuprofen demineralization
MISHRA NIRMALENDU SEKHAR, 장민 (광운대학교)
- PD-7 Reaction Engineering for Indoor Photocatalytic NOx Removal
이태균, Tamal Tahsin Khan, Young-Si Jun (전남대학교)
- PD-8 폐플라스틱 열분해유 오염 물질 저감을 위한 소재 평가
노성준¹, 신웅철², 이창하³, 전필립¹ (¹국립공주대학교, ²HD현대오일뱅크, ³연세대학교)

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회 포스터발표: 청정소재 및 공정

- 일시 2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀
- Organizer 장원준 교수(아주대학교)

- PE-1 Reaction kinetics study on toluene oxidation by nonthermal plasma
이동준^{1,2}, 김수한¹ (¹한국생산기술연구원, ²부산대학교)
- PE-2 에너지 효율적인 염색공정을 위한 스텐터 공정에서의 열 회수 시스템 설계
김정현, 문하늘, 이인규 (부산대학교)
- PE-3 ASU와 Allam Cycle을 통합한 LNG 공급망 설계
김윤건¹, 김도희², 이인규³, 박진우² (¹국립공주대학교, ²동국대학교, ³부산대학교)
- PE-4 Enhancing Ionic Conductivity and Air Stability of the Argyrodite Solid Electrolytes for All-Solid-State Batteries through Various Doping
최영준, 황윤지, 손민규, 김선이, 김태호 (한국생산기술연구원)
- PE-5 폐 폴리프로필렌 열분해로부터 저비점 및 고비점 오일 동시 생산 연구
구본진, 김종수, 김순호, 윤주형, 최수현, 정수화 (한국생산기술연구원)

- PE-6 Enhanced Air Stability and Li Metal Compatibility of Sn-Doped Argyrodite Solid Electrolyte for All-Solid-State Batteries
황윤지, 최영준, 손민규, 김선이, 김태호 (한국생산기술연구원)
- PE-7 Modifying property of Alumina Beads for Ni/Al₂O₃ Catalyst in Dry Reforming of Methane to Enhance Catalytic Performance
황성범, 유은주, 최동섭, 김상빈, 김나연, 주지봉 (건국대학교)
- PE-8 Effects of Operating Parameters and Feed Gas Compositions on the Dry Reforming of Methane over the Ni/Al₂O₃ Catalyst
유은주, 최동섭, 김지율, 김나연, 황성범, 주지봉 (건국대학교)
- PE-9 The effect of preparation method on the catalytic activity of V₂O₅/TiO₂ catalyst for low-temperature NH₃-SCR
Siranuysh Badalyan, 윤재량, Anush.N.Mnoyan, 이규복 (충남대학교)
- PE-10 High yield production of two-dimensional MXene via Hydrothermal-Assisted Etching and Water Intercalation
심수인, 최창호 (경상대학교)
- PE-11 Selectively oxidizing the graphene edge enables exfoliation of graphite into graphene with high dispersibility and properties
김규리, 이용현, 최창호 (경상대학교)
- PE-12 고온-고압 조건에서 연속식 반응기에서 다양한 탄화수소 화합물의 분해반응 특성
한기보, 장정희, 이지은, 장현성 (고등기술연구원)

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회 포스터발표: 온실가스

- 일시 2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀
- Organizer 장원준 교수(아주대학교)

- PF-1 탄소-기술-경제성 평가 모델을 활용한 습식 이산화탄소 포집 공정의 비용 최적화
박시환, 서주영, 오시은, 이인규 (부산대학교)
- PF-2 수소생산 공정의 온실가스 배출량 분석 연구
안희경, 장소정 (한국생산기술연구원)

- PF-3 **아미노산이 함유된 Monoethanolamine 기반 수용액의 CO₂ 용해도 및 물성 측정**
정기철^{1,2}, 김광휘^{1,3}, 임현지^{1,3}, 오진명^{1,2}, 박현식¹, 강조홍^{1,3}, 박진원³, 송호준¹
 (¹한국생산기술연구원, ²울산대학교, ³연세대학교)
- PF-4 **CO₂ Absorption-Desorption Capacity of Single and Blended Aqueous Amine and Amine Blending Strategy**
김지은^{1,2}, 강조홍¹, 황선엽¹, 박현식¹, 박진원², 송호준¹ (¹한국생산기술연구원, ²연세대학교)
- PF-5 **CO₂-unloaded/loaded IPAЕ 용액의 온도, 조성과 CO₂ 함유량에 따른 밀도, 점도 측정 및 상관관계식 유도**
백경민^{1,2}, 김지은^{1,3}, 강조홍¹, 박현식¹, 송호준¹ (한국생산기술연구원, ²동국대학교, ³연세대학교)
- PF-6 **메탄 건식 개질용 Ni/SiO₂ 촉매: 분무 열분해 합성법에 따른 니켈의 고분산 효과와 촉매 성능에 대한 연구**
구본준, Anush.N.Mnoyan, 이규복 (충남대학교)
- PF-7 **Effect of Pd precursors on the catalytic properties of Pd/CeO₂ catalysts for CH₄ and CO oxidation**
장규현, 유상범, Eunwon Lee, 김도희 (서울대학교)
- PF-8 **구슬 형태 철계 흡착제의 이산화탄소 흡착 기작 조사**
김상빈, 김지율, 주지봉 (건국대학교)
- PF-9 **Effect of hydrophobic coated polymeric HFMCs and AAS for CO₂ capture**
이희준, 김수한 (한국생산기술연구원)
- PF-10 **이산화탄소 기반 폴리올의 고효율 분리 공정 개발**
이혜성¹, 김진호¹, 이다혜¹, 김지현¹, 류재홍¹, 강석환¹, 김준우²
 (¹고등기술연구원, ²포항산업과학연구원)
- PF-11 **아민 함침된 흡착제의 이산화탄소 흡착 특성**
강조홍, 최민주, 황선엽, 박현식, 송호준 (한국생산기술연구원)
- PF-12 **직접수성탄산화 실증플랜트에서 석회석을 이용한 탄소 포집 특성**
박동규, 최창식 (고등기술연구원)

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회 포스터발표: 탈질-탈황

- 일시 2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀
- Organizer 장원준 교수(아주대학교)

- PG-1 배가스 내 저농도 SO₂ 장기간 제거를 위한 습식 흡수 공정에서의 최적의 첨가제에 관한 연구
김상빈, 김지율, 황성범, 주지봉 (건국대학교)
- PG-2 Experimental Study on NO_x Removal Performance of Selective Catalytic Reduction using Metallic Monolith with Various Cell Density
김민겸^{1,2}, 우민호¹, 김희수¹, 제정호², 임동하¹ (한국생산기술연구원, ²부산대학교)
- PG-3 친환경 부식 억제제가 첨가된 KITSSOL의 SO₂ 흡수 성능 및 탄소강 부식 억제 개선
김광휘^{1,2}, 임현지^{1,2}, 박현식¹, 강조홍^{1,2}, 박진원², 송호준¹ (한국생산기술연구원, ²연세대학교)
- PG-4 Development of Double-layered SCR Catalyst Coated on Metallic Monolith, Exhibiting Excellent Resistance to H₂O and SO₂ from Marine Engine Exhaust Gas
이소현, 김혜진, 김희수, 임동하 (한국생산기술연구원)
- PG-5 오존 분해용 Mn-Cu계 촉매의 표면반응 특성 연구
양도훈¹, 권병찬¹, 김민규¹, 박노국¹, 강도형², 공종선³, 공성욱³
(¹영남대학교, ²서울과학기술대학교, ³(주)인우코퍼레이션)
- PG-6 폐플라스틱 열분해유내 함유된 염소성분 제거
강석환¹, 김현지¹, 김진호¹, 이수철², 장치승³ (¹고등기술연구원, ²경북대학교, ³(주)대한실업)

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회 포스터발표: 청정수소

- 일시 2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀
- Organizer 장원준 교수(아주대학교)

- PH-1 다른 종류의 저가 촉매를 이용한 목재-플라스틱 합성물의 촉매가스화를 통한 수소 생산
심지민, 서지현, 심하늘, 박영권 (서울시립대학교)
- PH-2 Autothermal Reforming-전기분해를 이용한 청정수소 생산 하이브리드 시스템 설계
조서연, 노원준, 이인규 (부산대학교)

- PH-3 고순도 수소 생산을 위한 고온수성가스전이반응용 Cu/CeO₂-MgO 촉매
김창현, 윤은수, 유지민, 심재오 (원광대학교)
- PH-4 다양한 담체를 활용한 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응용 Ru계 촉매 개발
김민주, 공지현, 전경원, 장원준 (아주대학교)
- PH-5 담체 및 조촉매 첨가에 따른 Ni계 촉매의 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응 성능 평가
공지현, 김민주, 전경원, 장원준 (아주대학교)
- PH-6 메탄 분해에 의한 수소 생산을 위한 액체 금속 기포탑 반응기의 설계
박동규, 김효식, 류재홍 (고등기술연구원)

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회 포스터발표: 청정일반

- 일시 2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
- 장소 모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀
- Organizer 장원준 교수(아주대학교)

- PI-1 산화세륨(CeO₂) 나노입자의 표면개질 및 분산효과 연구
황재연, 장학룡, 신민창, 김시은, 박정훈 (동국대학교)
- PI-2 전이금속 실리사이드 코팅된 실리콘/결정성 탄소 복합 마이크로스피어 합성 및 리튬 이차전지 음극소재로의 적용
김정연, 조중상 (충북대학교)
- PI-3 Effect of solvent polarity levels on ultrasound-negative pressure cavitation methanol-water fractional precipitation of (+)-dihydromyricetin
김채연, 오현지, 엄지현, 엄명현, 김진현 (국립공주대학교)
- PI-4 Chromatography-free purification of (+)-dihydromyricetin by three-step tandem cavitation fractional precipitation
오현지, 엄지현, 엄명현, 김진현 (국립공주대학교)
- PI-5 A non-chromatographic method for the purification of paclitaxel from *Taxus chinensis*
강다연, 전필립, 엄명현, 김진현 (국립공주대학교)
- PI-6 Effect of ultrasound and negative pressure cavitation on the adsorption efficiency of paclitaxel from cell-free culture supernatants of *Taxus chinensis* onto Diaion HP-20
강예지, 강다연, 전필립, 엄명현, 김진현 (국립공주대학교)

- PI-7 Adsorption isotherm, kinetic and thermodynamic studies for the negative pressure-assisted adsorption of paclitaxel from cell-free culture supernatants of *Taxus chinensis* using Diaion HP-20
윤상민, 강다연, 전필립, 엄명헌, 김진현 (국립공주대학교)
- PI-8 Effect of the NiO particle size on the activity of Mo/HZSM-5 catalyst physically mixed with NiO in methane dehydroaromatization
노장언, 류혜원, 남기훈, 임용현, 김도희 (서울대학교)
- PI-9 가시광 광촉매($ZnIn_2S_4$)의 pH 조건에 따른 과산화수소 생산량 비교
신혁진, 김영훈 (광운대학교)
- PI-10 도로변 바닥면지 내 함유된 TWP, CB, 중금속 함량의 입자 크기별 비교
신혁진¹, 이민규¹, 정우석¹, 권정택², 이재웅², 김영훈¹ (¹광운대학교, ²국립환경과학원)
- PI-11 Hollow-CuS를 함유한 PDMS 스폰지를 이용한 광열 물증발
류현정, 김영훈 (광운대학교)
- PI-12 광전환형 초소수성/초친수성 스테인리스스틸 메쉬를 이용한 유수분리
정소희, 김영훈 (광운대학교)
- PI-13 Cryo-milling 기법을 이용한 환경노출평가용 타이어 마모입자 제조
정소희¹, 류현정¹, 현민승¹, 권정택², 이재웅², 김영훈¹ (¹광운대학교, ²국립환경과학원)
- PI-14 친수성/소수성 PDMS 스폰지를 이용한 광열 물증발
홍재환, 김영훈 (광운대학교)
- PI-15 전과정평가를 이용한 페마스크의 환경영향평가
홍재환, 정소희, 류현정, 김영훈 (광운대학교)
- PI-16 4-NP 환원을 위한 CuS 기반 광열광촉매 메쉬의 제조
이민규, 김영훈 (광운대학교)
- PI-17 매질흐름법을 이용한 페마스크의 환경노출평가
이민규, 신혁진, 김영훈 (광운대학교)
- PI-18 광열효과를 지닌 Hollow AuNPs를 함유한 PNIPAM 필름 제조 및 살균 평가
현민승, 박민, 김영훈 (광운대학교)
- PI-19 The Effect of Various Solvents on Process for the Synthesis Precipitated Calcium Carbonate Using Oyster Shell
윤유정^{1,2}, 박시정¹, 김양도², 류영복¹ (¹한국생산기술연구원, ²부산대학교)

- PI-20 The Morphology Change of Precipitated Calcium Carbonate synthesis from Oyster Shells Depends on the Type and Concentration of the Eluent Used
박시정^{1,2}, 윤유정^{1,3}, 류영복¹ (¹한국생산기술연구원, ²울산대학교, ³부산대학교)
- PI-21 Cu₂O Nanocubes with Capping Agents: Synthesis, Antimicrobial activity, and Dispersion Stability in Nonpolar and Polar Solvent
박정연^{1,2}, 이시우¹, 김양도², 류영복¹ (¹한국생산기술연구원, ²부산대학교)
- PI-22 흐름식반응기를 이용한 액체연료의 분해 특성 연구
신민철, 황재연, 장학룡, 고민영, 한성우, 박정훈 (동국대학교)
- PI-23 마이크로 패터닝과 광열효과를 이용한 소수성 PDMS 제조
정우석, 김민성, 김영훈 (광운대학교)
- PI-24 N 도핑된 C 층이 코팅된 다공성 구조 MoSe₂ 및 탄소 복합 마이크로스피어 합성: 소듐 및 포타슘 이차전지 음극 소재의 적용
백건우, 조중상 (충북대학교)
- PI-25 질소-도핑 흑연질 탄소 매트릭스로 구성된 다공성 탄소나노섬유의 설계 및 포타슘 이차전지 음극소재 특성 평가
이재섭, 조중상 (충북대학교)
- PI-26 Rationally designed functional interlayers comprising N-doped graphitic carbon-coated CoSe₂ nanocrystals entangled in conductive and porous three-dimensional rGO-CNT microspheres for Li-S batteries
Saroja Rakesh, 조중상 (충북대학교)
- PI-27 Design and Synthesis of Three-Dimensional Porous TiO₂ Microsphere Compositd with N-Doped Graphitic Carbon as Anode Material of Lithium-Ion Battery
가혜선, 조중상 (충북대학교)
- PI-28 Enhancing Cu₂O Nanoparticle Dispersion in PP Films and Masterbatches for Improved Antibacterial Performance
장태종^{1,2}, 이시우¹, 김양도², 류영복¹ (¹한국생산기술연구원, ²부산대학교)
- PI-29 유기물 첨가제를 분무 열분해 공정에 활용하여 합성된 마이크로스피어의 합성기전 규명 및 리튬 이차전지 음극소재 성능평가
정도원, 조중상 (충북대학교)
- PI-30 극성 전이금속 황화물 나노촉매를 포함하는 중공형 메조다공성 탄소 나노구조체 합성 및 리튬-황 전지 인터레이어로서의 적용
조성우, 조중상 (충북대학교)

- PI-31 탄소나노튜브를 성장시킨 실리콘/전이금속 화합물 복합 마이크로스피어 합성 및 리튬 이차전지 음극소재로의 적용
안현선, 조중상 (충북대학교)
- PI-32 Polycyclic aromatic hydrocarbons로부터 BTXE와 C₁₀-C₁₃ aromatics의 제조에 Desilicated 촉매가 미치는 영향
박영서¹, 홍수연¹, 한기보², 정병훈³, 전종기¹
(¹국립공주대학교, ²고등기술연구원, ³국방과학연구소)
- PI-33 Enhancement of adsorption-based heat storage of zeolite-type water adsorbent
조강희 (인하대학교)
- PI-34 흑연질 탄소로 코팅된 금속셀레늄화물을 포함하는 그래핀-탄소나노튜브 복합 다공성 3차원 구조체 합성 및 리튬-황 전지 인터레이어로의 적용
최현호, 조중상 (충북대학교)
- PI-35 폐수의 질소 제거를 위한 PVA Core-Shell 미생물 담체의 개발
심재훈¹, 설지우², 남지수¹, 권인택¹ (¹(주)엔케이앤씨, ²(주)로터스 E&T)
- PI-36 전이금속산화물/탄소 복합 다공성 마이크로스피어의 합성 및 리튬-황 배터리의 인터레이어로의 적용
오건희, 조중상 (충북대학교)
- PI-37 폐플라스틱 열분해 생성 왁스의 촉매열분해에 관한 연구
홍재민, 임현지, 심하늘, 박영권 (서울시립대학교)
- PI-38 Decomposition of Hydroxylammonium Nitrate Solution using Metal Oxide Coated on Metalfoam Catalyst
원세연, 유달산, 전종기 (국립공주대학교)
- PI-39 Synthesis of Biodiesel from Nepalese Jatropha Oil using Dolomite Bead Catalysts
김예희¹, 심민석¹, 이승희¹, Rajendra Joshi², 전종기¹
(¹국립공주대학교, ²Kathmandu University)
- PI-40 Trickle bed reactor에서 백금/알루미나 bead 촉매를 이용한 1-methylnaphthalene 수소화 반응
홍수연¹, 오승교¹, 한기보², 정병훈³, 전종기¹
(¹국립공주대학교, ²고등기술연구원, ³국방과학연구소)
- PI-41 폐플라스틱 재활용을 위한 국내·외 정책 동향 분석
강태진¹, 김효식¹, 김현지¹, 이예지², 이수출², 강석환¹ (¹고등기술연구원, ²경북대학교)

홍보전시회 참여 업체

영인크로매스(주)	홈페이지	https://kor.youngincm.com/
	전화	031-428-8700
	업체 소개 및 전시품목	<ul style="list-style-type: none"> - 업체 소개: 1989년 국내 최초로 HPLC(고성능 액체 크로마토그래프)를 개발하여 GC, GC/MS, HPLC, UHPLC를 개발 및 생산하는 정밀 분석기기 전문기업. 30여년의 기술 축적을 통해 세계 50여 국가에 국산 분석 기기와 기술을 수출하여 첨단 분석기기 회사로서의 위상을 한층 높였으며, 크로마토그래프를 기반으로 다양한 전문 분석시스템을 제작하여 고객 맞춤형 응용 솔루션을 제공하고 있음. - 전시품목: HPLC, GC, GC/MS

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

초청강연

2023년 9월 20일(수) 16:00~16:50
모나 용평리조트 타워콘도 사파이어홀

석유화학산업 탄소중립 실현을 위한 메탄 및 CO₂ 전환 연구 사업

채호정
한국화학연구원

Introduction of CH₄ & CO₂ Direct Conversion Project for Carbon Neutrality in the Petrochemical Industry

Ho-Jeong Chae
Korea Research Institute of Chemical Technology

탄소중립은 기후변화 문제라는 환경적 이슈만의 문제가 아니라 글로벌 무역의 큰 장벽으로 비즈니스 영역까지 확대되어 더 이상 선택 사항이 아니라 필수 요건으로 자리 잡았다고 볼 수 있습니다. 따라서 다양한 산업에서 탄소중립에 대한 요구가 커지고 정부에서는 4대 탄소 다배출 산업(철강, 시멘트, 석유화학 및 반도체/디스플레이 산업)에 대하여 탄소중립 예타사업을 준비하여 이번에 산업부 주관 탄소중립 그린드 콘소시움을 구성하고 각 분야별 탄소중립 사업을 출범하였습니다.

석유화학 분야에서는 탄소 배출이 가장 큰 NCC 공정을 전기화하는 과제와 이에 따라 발생하는 부생 메탄을 경질올레핀이나 BTX 등의 석유화학 기초원료로 전환하는 연구를 추진할 예정입니다. 특히, 이번 사업은 기존에 잘 알려진 메탄이나 CO₂의 간접 전환이 아닌 직접 전환 기술로 “메탄 직접 전환을 통한 에틸렌 제조 촉매 및 공정 기술”, “메탄 직접 전환을 통한 BTX 제조 촉매 및 공정 기술”, “저온 플라즈마 기반 메탄직접 전환을 통한 에틸렌+ 제조 촉매 및 공정 기술”, “CO_x 활용 방향족 화합물 제조 촉매 및 공정 기술” 등과 같은 네 개의 세부과제로 이루어져 있으며, 본 발표에서 이와 관련된 연구 사업에 대해서 소개하도록 하겠습니다.

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

청정융합

(구두발표)

2023년 9월 21일(목) 09:30~11:50
모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀

광/전기화학 촉매의 실시간 분석

김우열

한국에너지공과대학교, 환경기후기술연구소

wkim@kentech.ac.kr

촉매 표면에서 주요 중간체를 직접 관찰하는 것은 CO₂ 환원 및 O₂ 환원 반응을 포함한 다양한 광/전기 촉매 과정에서 큰 난제 중 하나입니다. 반응 메커니즘을 합리적으로 이해하기 위해 전기화학적 특성화, 컴퓨터 시뮬레이션 및 운영 중 스펙트로스코피와 같은 상보적인 도구를 활용한 통합 연구가 필수적입니다. 다양한 운영 중 스펙트로스코피 방법 중 시간 분해 감쇠 총 반사-표면 증강 적외선 흡수 스펙트로스코피(ATR-SEIRAS)는 다양한 전기화학 반응을 탐구하기에 특히 적합합니다. 이는 고표면 감도 덕분에 계면 과정을 실시간으로 관찰할 수 있는 능력에 기인합니다. 더욱이, 시간 분해 분석을 통해 중간체의 운동적 행동을 토대로 반응 중 중간체의 운동적 관련성 및 원료 및 생성물과의 관계를 밝힐 수 있습니다. 마지막으로, 운영 중 스펙트로스코피 연구와 물질 특성화를 결합하여 중간체의 행동과 촉매 조건 간의 상관 관계를 파악하는데 기여합니다. 이 문맥에서 다양한 광/전기 촉매 시나리오에서 동위원소 레이블된 생성물과 중요 중간체를 포착하는 현장 시간 분해 FT-IR(또는 ATR 모드) 분광학적 기법의 응용을 소개합니다.

PFOA 제거를 위해 제트형 대기-플라즈마-촉매 시스템 개발

중초은^{1,2}, 장민^{1,2*}

¹플라즈마바이오과학연구센터, ²광운대학교 공과대학 환경공학과

*e-mail : minjang@kw.ac.kr

Catalyst development for PFOA removal in air jet-plasma catalysis system

Choe Earn Choong^{1,2}, Min Jang^{1,2*}

¹Plasma Bioscience Research Center (PBRC), ²Kwangwoon University

Perfluorooctanoic acid (PFOA) has attracted enormous attention and has been used extensively in fire-fighting foams, water-resistant products, and paint. Importantly, PFOA is highly persistent with chemical and biological resistant properties, and it was found in different environmental media, including soil, water bodies, wildlife, and human beings [1]. Up to date, the available water treatment technologies via adsorption or oxidation were ineffective for PFOA removal. Pseudo-photocatalysis driven by a UV-VIS range of light sources produced from air-jet plasma is a new approach toward improving reactive oxygen species (ROS) formation for water remediation. Herein, a lanthanum cobalt metal oxide-based catalyst was prepared via the sol-gel method and further doped with a different ratio of cerium oxide (La-Co-Ce) for PFOA removal in an air-jet plasma system. As a result, the combination of catalyst and air-jet plasma system significantly improved the PFOA removal performance, and the synergy between the air-jet plasma and catalysts was obtained. In addition, the doping of cerium oxide on lanthanum cobalt oxide significantly improved the reactive species formation, photocurrent density production under a UVA light source, charge transfer properties, and conductivity. This is attributed to the formation of surface defects in the cerium oxide and lanthanum cobalt oxide interface. In addition, the scavenger experiments showed that the hydroxyl radical and hydrated electrons play an essential role in PFOA removal in air-jet plasma catalysis. In addition, the intermediate species of PFOA were traced using LC/MS/MS. Hence, this work provides new insight into the developments of plasma catalysts applied in the air-jet plasma system for water remediation.

Keywords: PFOA, plasma-catalysis, photocatalysts, jet plasma

Reference

- [1] Mededovic Thagard, S., Stratton, G.R., Dai, F., Bellona, C.L., Holsen, T.M., Bohl, D.G., Paek, E., Dickenson, E.R.V., Plasma-based water treatment: development of a general mechanistic model to estimate the treatability of different types of contaminants, *Journal of Physics D: Applied Physics* 50, 014003(2016).

Effective conversion of post-consumer polyethylene terephthalate using deep eutectic solvents

Geon-Soo Ha, Kwang Ho Kim*

(kwanghokim@kist.re.kr[†])

Clean Energy Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 02792, Republic of Korea

To achieve a sustainable and circular economy, developing effective plastic recycling methods is essential. Here, an efficient glycolysis strategy for post-consumer polyethylene terephthalate (PET) using a deep eutectic solvent (DES) as a highly active catalyst to produce terephthalate (BHET) was developed under mild conditions. The ChCl-Zn(OAc)_2 -containing solvent system afforded a complete PET conversion, producing BHET at a high selectivity (91.6%) under optimal conditions. The degradation mechanism of PET and its interaction with DESs were systematically investigated using density functional theory-based calculations. Furthermore, an intuitive machine learning model with reasonable accuracy was developed to predict the PET conversion and BHET selectivity for different DES compositions. Our findings demonstrate that the DES-catalyzed glycolysis of post-consumer PET could enable the development of a sustainable chemical recycling process, providing insights to identify the new design of DESs for plastic decomposition.

Keywords: Polyethylene terephthalate; Glycolysis; Deep eutectic solvent; Bis(2-hydroxyethyl) terephthalate; Density functional theory.

Polyaniline-modified cathode electrode enhances acetate production from CO₂ in microbial electrosynthesis

Eunseo kim¹, Minsoo Kim¹, Da Seul Kong¹, and Jung Rae Kim¹ *

*Jung Rae Kim (j.kim@pusan.ac.kr)

School of Chemical Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Korea.

Microbial electrosynthesis (MES) for CO₂ conversion and utilization has recently been spotlighted as a technology for the production of high-value chemicals (i.e., acetate) [1]. Electron uptake of microorganisms through extracellular electron transport system and cathode material is crucial in MES's acetate production from CO₂ [2]. Here, we developed a polyaniline (PANI) electrodeposited graphite felt (GF) electrode for enhancing acetate production in MES. The high biocompatibility and high conductivity of PANI promote biofilm formation by increasing the interfacial interaction between the cathode and electroactive microorganisms. The electrochemical properties of PANI/GF were analyzed through cyclic voltammetry (CV). The physicochemical properties of PANI/GF are analyzed by Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM), SEM-EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectrometry), Raman spectroscopy, Total protein assay method using BCA. In the last cycle of a total of 3 cycles, the PANI/GF produced higher acetate production (61.8 g/m²cat/day) than the unmodified GF (41.6 g/m²cat/day). The specific capacitance (C_p) that the PANI/GF (0.018 Fg⁻¹) was 8.7 times higher than that of the unmodified GF (0.002 Fg⁻¹). These results indicated that PANI/GF electrodes enhance the microbes-electrode interaction, extracellular electron transfer, and performance of MES. Physicochemical and electrochemical analyzes compared to unmodified GF showed that PANI/GF electrodes promoted the formation and enrichment of electroactive biofilms. These results demonstrate that PANI/GF is a promising cathode material for MES.

References

1. Li, Shuwei, et al. "Bioelectrosynthetic conversion of CO₂ using different redox mediators: electron and carbon balances in a bioelectrochemical system." *Energies* 13.10 (2020): 2572
2. Kim, Minsoo, et al. "Polydopamine/polypyrrole-modified graphite felt enhances biocompatibility for electroactive bacteria and power density of microbial fuel cell." *Chemosphere* 313 (2023): 137388.

수중 철·망간 동시제거를 위한 광-플라즈마 촉매 결합공정 개발 및 제거기작 규명

윤소연^{1,2}, 종초은^{1,2}, 장 민^{1,2*}
¹광운대학교 환경공학과, ²플라즈마바이오 연구센터

Photo-plasma catalyst system development and mechanism investigation for simultaneous iron and manganese removal in aqueous phase

So Yeon Yoon^{1,2}, Choe Earn Choong^{1,2}, and Min Jang^{1,2*}
¹Kwangwoon University, ²Plasma Bioscience Research Center

Generally, heavy metals such as iron (Fe) and Manganese (Mn) are naturally present in water sources, including groundwater. However, Fe(II) and Mn(II) can cause color and metallic taste in water sources, even in trace amounts ($> 0.1 \text{ mg L}^{-1}$). Moreover, consuming high levels of Mn(II) contaminated water can cause chronic poisoning, liver damage, and neurological damage, such as Parkinson's disease. Moreover, the aqueous Mn(II) co-present with Fe(II) is considered difficult to remove. Hence, efficient technology for removing Fe(II) and Mn(II) is needed. Conventional technologies such as oxidation using chlorine (Cl_2), ozone (O_3), or potassium permanganate (KMnO_4) have been applied for the removal of Fe(II) and Mn(II) [1]. However, these technologies have the limitations like high operation costs and energy consumption. Thus, the development of energy-efficient technology for heavy metal removal is required. In this study, a photo-plasma catalyst system was developed to enhance simultaneous Fe(II) and Mn(II) removal. The introduction of LED and granular cerium (Ce) mixed oxide catalyst effectively improved Mn(II) removal from 10% to 97%. Moreover, the photo-plasma catalyst system enhanced Mn(II) removal performance for the long term since the light-response property of the catalyst led to a higher generation of reactive oxygen species (ROS). Scavenger experiments were conducted to investigate ROS's contribution toward Fe(II) and Mn(II) removal in a photo-plasma catalyst system. Moreover, the physicochemical properties of granular mixed oxide catalysts were examined via characterization such as photocurrent, electrochemical impedance spectroscopy (EIS), Mott-Schottky (MS), ultraviolet-visible diffuse reflectance spectrophotometry (UV VIS-DRS), and electron spin resonance (ESR) analysis. Further, the applicable potential of the photo-plasma catalyst system was also evaluated by continuous experiments using synthetic acid mine drainage (AMD), which contained high concentrations of Fe(II) and Mn(II).

참고문헌

1. Therdkiattikul, N., Ratpukdi, T., Kidkhunthod, P., Chanlek, N., and Siripattanakul-Ratpukdi, S. "Manganese-contaminated groundwater treatment by novel bacterial isolates: kinetic study and mechanism analysis using synchrotron-based techniques," Scientific reports., 10(1), 13391 (2020).
2. Choo, K. H., Lee, H., and Choi, S. J., "Iron and manganese removal and membrane fouling during UF in conjunction with prechlorination for drinking water treatment," J. Membr. Sci., 267(1-2), 18-26 (2005).

Membrane-based sustainable technology for molybdenum recovery from industrial wastewater

Ramesh Kumar^a, Chengjia Liu^a, Soon-Ho Cho^a, Byong-Hun Jeon^{a,*}

^aDepartment of Earth Resources & Environmental Engineering, Hanyang University, 222-Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, Republic of Korea

Many industrial manufacturing processes inevitably generate various types of wastewater from different sources enriched with precious metals; however, most of the resources are not recovered without a specifically designed treatment system due to technical and economic limitations. Technological developments for the resource retrieval (e.g., water, energy, and valuable metals) from industrial or domestic wastes need a paradigm shift by replacing the present 3-R concept, i.e., Recycle, Reuse, and Recovery with a new P-R-R concept, i.e., Partition-Release-Recover using a membrane-based hybrid system. Membrane separation technology is an emerging technique that has the potential to be environmentally friendly, economically feasible, technologically advanced, operationally flexible, and capable of waste valorization. A membrane-assisted hybrid system has been proposed to separate and recover molybdenum from potential industrial wastewater. A crossflow membrane (hollow fiber) module of ultrafiltration and nanofiltration (NF) membranes was used to reduce the total dissolved solids concentration and retain the molybdenum (>95%) from wastewater. The system was operated in a concentrated mode to increase the molybdenum concentration from 1.2 g/L to 10 g/L while reducing >90% of the initial volume (250 L) using the VNF-1 NF membrane. The concentrated molybdenum solution was recovered as high-purity ammonium molybdate precipitates using ammonium salt in acidic conditions, which was subsequently converted into industrial useful molybdenum trioxide compound by thermal decomposition (500 °C). The membrane-based system promotes the circular economy by regenerating and reusing valuable resources from industrial wastewater.

Keywords: Wastewater, Waste resources, Membrane-based hybrid system, Molybdenum recovery, Circular economy

Acknowledgments

The authors acknowledge the National Research Foundation (NRF) of the Republic of Korea under the Creative and Challenging Research Program (2021R1I1A1A01060846).

* Corresponding author: bhjeon@hanyang.ac.kr (B.-H. Jeon)

First author: rameshibt@hanyang.ac.kr (R. Kumar)

References

- [1] Kumar R, Liu C, Ha G-S, Kim KH, Chakraborty S, Tripathy SK, Park Y-K, Khan MA, Yadav KK, Cabral-Pinto MMS, Jeon B-H. "A novel membrane-integrated sustainable technology for downstream recovery of molybdenum from industrial wastewater". *Resour. Conser. Recyc.*, **196**, 107035 (2023).
- [2] Cho B-G, Cho Y-J, Lee J-c, Yoo K. Korea's metal resources recycling research project – valuable recycling. *Geosystem Eng.*, **22**, 48-58 (2019).
- [3] Batstone DJ, Hülsen T, Mehta CM, Keller J. Platforms for energy and nutrient recovery from domestic wastewater: A review. *Chemosphere*, **140**, 2-11 (2015).
- [4] Kumar R, Liu C, Ha G-S, Park Y-K, Ali Khan M, Jang M, Kim S-H, Amin MA, Gacem A, Jeon B-H. Downstream recovery of Li and value-added metals (Ni, Co, and Mn) from leach liquor of spent lithium-ion batteries using a membrane-integrated hybrid system. *Chem. Eng. J.*, **447**, 137507 (2022).

Toxicity assessment of heavy metal induced water contamination based on simplified oxygen consumption measurements using nitrifying bacteria bioassay

Suleman Shahzad¹, Woo-Chang Kang¹, Anup Gurung¹, Syed Ejaz Hussain Mehdi¹,
Aparna Sharma¹, Min Jang², Sang-Eun Oh¹ *

¹Department of Food Biotechnology and Environmental Sciences, Kangwon National University, 1
Gangwondaehakgil, Chuncheon-si, Gangwon state, Republic of Korea

²Department of Environmental Engineering Kwangwoon University, Kwangwoon-ro, Nowon-gu, Seoul,
Republic of Korea

The high sensitivity of nitrifying bacteria (NB) to inhibition by various toxicants has positioned it as an alternative bioassay for water toxicity assessment. The technique is based on inhibition of oxygen consumption resulting from the inhibition of nitrification in the presence of toxicants. Oxygen Consumption by nitrifying bacteria was used as the endpoint for toxicity assessment. Measurement of oxygen consumption was obtained using the lubricant glass syringe methodology and used as a proxy for toxicity detection. The concentration of heavy metals causing a 50% decrease in the oxygen consumption activity of NB was 3.68 mg/L Ag⁺, 4.88 mg/L As³⁺, 24.30 mg/L Cd²⁺, 1.2 mg/L Cr⁶⁺, 2.56 mg/L Cu²⁺, 1.97 mg/L Hg²⁺, and 19.74 mg/L Pb²⁺. The decreasing order of inhibitory effect on the NB bioassay was Cr⁶⁺; Hg²⁺, Cu²⁺, Ag⁺, As³⁺, Ni²⁺, Pb²⁺ and Cd²⁺ respectively. Because of its simplicity, short processing time, and the highly reproducible data obtained, the compared to conventional nitrification assays, the developed procedure can be adapted for field toxicity testing and can replace contention nitrification assays that demand complex instrumentation and test procedures.

References

1. Lan, T., Suter, H., Liu, R., Yuan, S., and Chen, D., "Effects of nitrification inhibitors on gross N nitrification rate, ammonia oxidizers, and N₂O production under different temperatures in two pasture soils," *Envir. Sci. & Poll. Res.*, **25**, 28344-28354 (2018).
2. Papirio, S., Zou, G., Ylinen, A., di Capua, F., Pirozzi, F., and Puhakka, J.A., "Effect of arsenic on nitrification of simulated mining water," *Bio. Tech.*, **16**(4), 149-154 (2014).
3. Hu, Z., Chandran, K., Grasso, D., and Smets, B.F., "Effect of Nickel and Cadmium Speciation on Nitrification Inhibition," *Envir. Sci. & Tech.*, **36**(10), 3074-3078 (2002).

Artificial neural network modeling of divalent manganese oxidation kinetics during chlorination: Role of arsenic(III)

Ziqiao Liao¹, Yongtae Ahn^{1,2}, Byonghun Jeon^{1*}

¹Department of Earth Resources and Environmental Engineering, Hanyang University, 222-Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, Republic of Korea

²Department of Civil & Energy System Engineering, Kyonggi University, Suwon 16227, Republic of Korea

Abstract

This study investigated the coexistence and contamination of manganese (Mn(II)) and arsenic (As(III)) in groundwater and examined their oxidation behavior under different pH, bicarbonate concentrations, and NaClO oxidant conditions. The results showed the reduction of As(III) could be achieved within one minute with a high oxidation rate of 99.7%. The removal of As(III) was preferred over Mn(II). The oxidation reaction between As(III) and NaClO leads to the release of H⁺ ions thus a decrease in the removal efficiency of Mn(II). Moreover, the kinetic studies revealed that the oxidation reaction between Mn(II) and NaClO followed first-order kinetics, with R^2 values greater than 0.950. The training and validation data sets yielded R^2 values of 0.995 and 0.992, respectively. Moreover, the ANN model highlights the importance of pH and NaClO concentration in influencing the oxidation rate of Mn(II).

References

1. Lee, D., Ahn, Y., Cho, D.-W., Basak, B., Jeon, B.-H., Choi, J. Evaluation of pyrite/sodium hypochlorite for activating purification of arsenic from fractured-bedrock groundwater. *Environmental Pollution* 317, 120681 (2023).
2. Hao, O.J., Davis, A.P., Chang, P.H. Kinetics of manganese (II) oxidation with chlorine. *Journal of Environmental Engineering* 117, 359-374 (1991).

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

청정용매

(구두발표)

2023년 9월 21일(목) 15:10~17:00
모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀

Understanding Surfactant-free microemulsions based on the Kirkwood-Buff theory and dielectric behaviors

Seungmin Seo, Dongho Yoo, Seung-Wan Song, Tae Jun Yoon*
*Chungnam National University, 99, Daehak-ro, Yuseong-gu,
Daejeon, Republic of Korea, 34134*

Surfactant-free microemulsion, also known as detergent-less microemulsion, is a class of fluid mixtures that spontaneously form micro-heterogeneous structures [1]. Since it does not require excessive surfactants, the surfactant-free microemulsion has excellent potential to be used as a green solvent for chemical reactions and separations. However, understanding how such a heterogeneous mesoscale structure evolves is still elusive [2]. In this talk, we combine theoretical and experimental methods for the characterization of the surfactant-free microemulsions to explore the thermophysical properties and local structural characteristics of hydrotrope-containing systems, which contain water, 2-propanol (hydrotrope), and n-hexane (oil) [3]. We measured volumetric and dielectric properties to elucidate the relationship between the structural features and the mechanical/dielectric responses. Then, the obtained experimental data and thermodynamic models were used to calculate the Kirkwood-Buff integrals.

Both experimental measurements and theoretical calculations suggest that 2-propanol, a hydrotrope that is fully miscible with both water and hexane, plays a vital role as an amphiphilic molecule (hydrotrope) in stimulating the formation of inhomogeneous domains in these binary and ternary systems. Specifically, the Kirkwood-Buff integrals between 2-propanol aggregates, 2-propanol/water aggregates, and 2-propanol/n-hexane aggregates work as order parameters for understanding the microheterogeneity in this ternary system. The dielectric constant is also found to help detect where the micro-heterogeneous structure forms. It works as a sensitive order parameter to characterize the solvation behavior of water and 2-propanol in the microemulsion domain. All these results suggest that both the Kirkwood-Buff theory and dielectric behavior can be utilized as a reliable theoretical method to understand when and where the surfactant-free microemulsion is formed in other hydrotrope-containing systems, which are both academically and industrially important.

References

1. Hou, Wanguo, and Jie Xu. "Surfactant-free microemulsions." *Curr. Opin. Colloid Interface* 25 (2016): 67-74.
2. Keiser, Bruce A., et al. "Detergentless water/oil microemulsions composed of hexane, water, and 2-propanol. 2. Nuclear magnetic resonance studies, effect of added sodium chloride." *J. Phys. Chem.* 83.10 (1979): 1276-1280.
3. Smith, Garland D., Colleen E. Donelan, and Roland E. Barden. "Oil-continuous microemulsions composed of hexane, water, and 2-propanol." *J. Colloid Interface Sci.* 60.3 (1977): 488-496.

Effect of reaction conditions on the catalytic activity of Pd/C catalysts for phenol hydrogenation

Hayoon Park^{1,2}, Ye Eun Kim^{1,3}, Jungo Jae² and Man Sig Lee^{1*}

¹Ulsan Division, Korea Institute of Industrial Technology

²School of Chemical Engineering, Pusan National University

³Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University

It is important to produce fuels and chemicals from lignocellulose which is a biomass. Phenol is a material produced from lignin in lignocellulose. Hydrogenation of phenol produces cyclohexanone and cyclohexanol. They are industrially very important materials because they are used as raw materials in the synthesis of nylon 6 and nylon 66. Among various noble metal catalysts, Pd/C is known to be the most active for hydrogenation of phenol. Phenol hydrogenation mainly takes place between phenol chemisorbed on the carbon support and hydrogen activated on the Pd metal. Also hydrogenation of phenol requires harsh conditions because the reaction is difficult under mild conditions. Therefore, it is important to proceed with the reaction under relatively mild conditions. In this study, the catalytic activity was evaluated with commercial 5 wt% Pd/C catalysts for phenol hydrogenation under various reaction conditions. After the reaction, the catalysts were recovered and reused. The Pd/C catalysts were characterized through FE-SEM, TGA, N₂-physisorption, XRD, FT-IR, and CO-chemisorption. As a result, it was confirmed that the catalyst properties and conditions such as solvent, hydrogen pressure, reaction time, and reaction temperature affect the catalytic activity.

References

1. Ji Sun Kim et al., "Effect of Preparation Method for Pd/C Catalysts on Pd/C Characterization and their Catalytic Activity", *Appl. Chem. Eng.* **26**(5), 575-580 (2015)
2. Yong Wang et al., "Highly Selective Hydrogenation of Phenol and Derivates over a Pd@Carbon Nitride Catalyst in Aqueous Media.", *J. Am. Chem. Soc.* **133**(8), 2362-2365 (2011)

친환경 공융용매를 이용한 하이드록시 벤조산의 탈카르복실화 연구

오다해^{1,2}, 최정규¹, 김광호^{2*}¹고려대학교 화공생명공학과, ²한국과학기술연구원 청정에너지연구센터

Decarboxylation of Hydroxybenzoic Acids using Biocompatible Deep Eutectic Solvents

Da Hae Oh^{1,2}, Jungkyu Choi¹, Kwang Ho Kim^{2*}¹Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University, ²Clean Energy Research Center, Korea Institute of Science and Technology

공융용매(Deep eutectic solvent)는 친환경성, 낮은 증기압 등의 특성을 가지고 있으며, 두 종류 이상의 성분이 일정한 비율로 혼합되어 각 성분보다 더 낮은 녹는점을 갖는 혼합물이다. 최근에는 독성 유기용매를 대체할 수 있는 친환경 용매로 여러 반응에서 촉매 및 반응 매개체로 활용되고 있다. 탈카르복실화는 유기합성, 의약품, 바이오매스의 탈기능화 등 광범위한 분야에서 중요한 역할을 하는 반응이다. 본 연구에서는 친환경 용매인 choline chloride-urea(ChCl-urea) 공융용매를 이용하여 metal-free 탈카르복실화 반응을 진행하였다. 다양한 반응 조건에서 4-하이드록시 벤조산으로부터 페놀을 생산하기 위한 최적의 반응 조건을 탐색하였고, 아울러 DFT(density functional theory) 기반의 모델링을 통한 탈카르복실화 반응의 메커니즘을 분석하였다. 또한, 공융용매의 재사용에 따른 촉매 및 용매 매질로써의 탈카르복실화 성능 유지에 대한 연구를 수행하였다.

효율적인 대기오염물질 저감을 위한 페로브스카이트 구조 촉매 개발

Rasika Mane¹, 김희수¹, 한경원¹, 김형진¹, 이찬민², 전유권^{1*}
 연세대학교 환경에너지공학부¹ 한국생산기술연구원 청정기술연구소²

Development of Perovskite Structured Catalysts for Efficient Air Pollutants Removal

Rasika Mane¹, Heesu Kim¹, Kyungwon Han¹, Hyungjin Kim¹,
 Chanmin Lee², Yukwon Jeon^{1*}

¹Yonsei University, Department of Environment and Energy,

²Research Institute of Clean Manufacturing System, Korea Institute of Industrial Technology

Air pollution is widely known to cause social problems (e.g. health problems, agricultural damage, economic effect) [1]. The removal techniques of air pollutants have been advancing forward rapidly due to the fast development of related technologies. Among them, catalytic converter of the air pollutants such as CO, NOx, particulate matter (PM) and hydrocarbons is nowadays used, especially in the transportation field, due to its high removal performance [2]. At present, the main solution to deal with this problem is that the use of the Diesel Particulate Filter (DPF) to remove these pollutants periodically. However, these only be burnt off by oxidization at over 600 °C. Under typical engine operating conditions, the use of oxidative catalysts in DPF not only reduces the soot emission but also other exhaust gases. Therefore, it is on progress to explore effective catalyst materials, meeting the strict exhaust gas regulations.

Perovskite structured materials (ABO₃) are widely considered as materials in a wide range of fields. Perovskite oxides have recently been exploited as catalysts because of their high intrinsic activity and thermal stability with great coke/sulfur resistance [3]. As catalysis taking place on the surface, metals have been generally loaded on to the surface of a carefully designed support. Therefore, it is important to design an appropriate perovskite structure from the variations of A and B to fit these cations well into the lattice. By tailoring the perovskites, the activity can be tuned by a substitution of active metals as cations into the B site of the perovskite frameworks, and exsolution as nanoparticles onto the surface [4-5]. These novel catalyst features provide great distribution and unique morphology, which affects catalytic performance. In addition, the strong metal-support interaction helps to prevent metal sintering under certain reaction conditions for the various catalytic applications.

참고문헌

1. Koo, J.H., Kim, J., Lee, Y.G., Park, S.S., Lee, H., Cho, Y., Kim, J., Choi, K., Lee, T., "The implication of the air quality pattern in South Korea after the COVID-19 outbreak" *Sci. Rep.*, **10**, 22462 (2020).
2. Dey, S., Mehta, N.S., "Automobile pollution control using catalysis" *Res., Environ. Sustain.*, **2**, 100006 (2020).
3. Hwang, J., Rao, R.R., Giordano, L., Katayama, Y., Yu, Y., Shao-Horn, Y., "Perovskites in catalysis and electrocatalysis" *Science*, **358**, 761-756 (2017).
4. Jeon, Y., Kwon, O., Lee, C., Lee, C., Myung, J., Park, S., Irvine, J., Shul, Y., "Positional influence of Ru on Perovskite structured catalysts for efficient H₂ production process by heavy-hydrocarbon source" *Appl. Catal. A-Gen.*, **582**, 117111 (2019).
5. Kothari, M., Jeon, Y., Miller, D.N., Pascui, A.E., Kilmartin, J., Wails, D., Ramos, S., Chadwick, A., Irvine, J., "Platinum incorporation into titanate perovskites to deliver emergent active and stable platinum nanoparticles" *Nat. Chem.*, **13**, 677-682 (2021).

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

청정소재 및 공정

(구두발표)

2023년 9월 21일(목) 09:30~11:20
모나 용평리조트 타워콘도 사파이어홀

곤충 지질을 사용한 수첨바이오연료 제조 가능성 연구

장정희*, 한기보, 이지은, 장현성, 양영철¹, 박영규¹
고등기술연구원, ¹한국유용곤충연구소

A Study on the Possibility of Using Insect Lipids to Produce Hydrotreated Bio-fuels

Jung Hee Jang*, Gi Bo Han, Ji Eun Lee, Hyun Sung Jang,
Yang Yeongcheol¹, Park Yeonggyu¹
Institute for Advanced Engineering, Korea Beneficial Insects Lab.

최근 심각해지는 기후변화에 대응하기 위하여 정부에서는 현재 3.5%에 머물러 있는 신재생연료 혼합비율(Renewable Fuel Standard, RFS)을 2030년까지 8%로 상향하기로 결정하였다. 국내에서 생산되는 신재생연료를 제조하는데 사용되는 1세대 바이오매스는 대부분 수입에 의존하고 있으며, 정부의 RFS 향상에 따라 국산 바이오매스에 대한 발굴이 필요하다. 국내에서 단백질을 생산하기 위한 목적으로 사육되는 곤충은 음식물 부산물 및 축산 분뇨 등을 활용하여 사육할 수 있는 장점이 있다. 또한 사육과정에서 물과 사료가 적게 사용되어 경제성이 높다. 최근 단백질을 회수하는 과정에서 부산물로 생산되는 지질을 활용하여 국내 바이오디젤 품질 기준인 KS M 2965을 만족하는 바이오디젤을 제조하는 연구가 진행되었으며, 그 결과 바이오디젤(FAME)의 사용 가능성을 확인하였다. 그러나 현재 생산되는 1세대 바이오디젤은 기존 경유와 분자 구조의 차이로 인한 낮은 발열량, 열적 불안정성, 높은 점성 등의 문제점이 있어, 기존 경유를 완전히 대체하기에 부적합하다. 이를 극복하기 위한 기술로서 수소를 첨가하여 기존 석유계 연료와 유사한 탄화수소 조성을 가지는 연료에 대한 연구가 진행되고 있다. 곤충은 먹이, 사육온도, 발육단계를 조절함에 따라 지질의 함량 및 조성이 조절될 수 있으며, 건조 및 추출방식에 따라 회수가 가능한 지질의 함량이 변화된다. 본 연구에서는 다양한 곤충의 사육 및 추출조건에 따른 지질의 특성을 조사하였으며, 그 결과 사육조건의 조절을 통하여 지질의 함량을 최대화할 수 있는 사육인자를 확인하였다. 또한, 추출된 곤충지질을 원료로 하여 수첨촉매공정에 적용하여 수첨바이오연료로의 전환가능성을 평가하였다.

참고문헌

1. Park J et al., "Biodiesel production from the black soldier fly larvae grown on food waste and its fuel property characterization as a potential transportation fuel", Environmental Engineering Research, 27(3), 200704 (2021)
2. Nam J et al., "Current Status and Future Prospects of the Insect Industry as an Alternative Protein Source for Animal Feed", Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition 2022; 51(5): 395-402

Solid dispersion of CNT agglomerates in the gas-solid fluidized beds

허승준¹, 이동현^{1*}
¹성균관대학교

본 연구에서는 기체-고체 유동층에서 온도측정을 통한 CNT 응집체들의 axial 방향의 고체분산계수를 측정하였다. CNT 응집체는 평균입도 242 μ m, particle density 160 kg/m³ 이며 Geldart A 입자와 유사한 거동을 보이는 agglomerates와 평균입도 365 μ m, particle density 249 kg/m³ 이며 Geldart B 입자와 유사한 거동을 보이는 agglomerates 2종(CNT-N, CNT-L)을 사용하였다. 비교를 위하여 particle density가 2,500 kg/m³ 이며 각각의 평균입도가 55 μ m, 112 μ m인 glass beads 입자 2종(GB-55, GB-112)을 사용하였다. 실험은 내경이 0.10 m, 높이가 1.0 m 인 cylindrical 아크릴 column에서 초기 층높이 0.22 m 로 진행되었다. 분산판으로부터 0.07 cm 높이에 resistance heater가 삽입된 horizontal tube를 삽입 후 power supply를 통해 열을 일정하게 공급하였다. Steady-state에 도달한 후 tube로부터 0.01, 0.11 m 위에 설치된 thermocouple의 온도를 측정하여 axial 방향의 고체분산계수를 계산하였다. Glass bead 입자에서 고체분산계수는 공탑속도가 u_{mb} 를 초과하여 bubble이 발생하는 bubbling regime으로 전환 후 급격하게 상승하였다. Glass beads의 homogeneous regime에서는 입자들의 움직임이 없으므로 고체분산계수가 낮은 값을 유지하였다. 반면 CNT응집체의 homogeneous regime에서는 공탑속도가 증가함에 따라 고체분산계수가 증가하였고, 따라서 bed 내의 입자들이 움직임을 가지며 공탑속도가 증가할수록 움직임이 더 활발해짐을 확인하였다.

참고문헌

1. Lee, G. S., and Kim, S. D., "Axial mixing of solids in turbulent fluidized beds", The Chemical Engineering Journal., 44(1), 1-9 (1990).

FER 촉매의 DME 카보닐화 반응을 통한 MA 합성을 위한 순환유동층 반응기 설계

남지영, 성우창, 이동현*
성균관대학교

Design of circulating fluidized bed reactor for DME carbonylation to MA using FER catalyst

Ji Young Nam, Woo Chang Sung, Dong Hyun Lee*
School of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University

화석연료의 사용 및 고갈로 인해, 지구온난화에 대한 문제와 대체연료에 대한 연구가 주목받고 있다. C1-탄소 연료를 통한 에탄올 생산은 CCUS (Carbon Capture Utilization and Storage) 기술 중 하나로, 대기 중 CO₂ 배출량 감소에 기여한다. 에탄올은 휘발유와 혼합하여 연료로 사용될 뿐만 아니라, 다양한 분야에 사용되어 2019년까지 평균 3.8% 성장률로 1,150억 L의 규모에 이른다 (Lin et al.[1]). 합성가스로부터의 에탄올을 직접 합성하는 방법은 오랫동안 연구되어왔으나, 낮은 전환율 및 선택도로 인해 선호되지 않는다. 이 문제를 해결하기 위해 합성가스로부터 중간체로 DME (Dimethyl Ether)와 MA(Methyl Acetate)를 활용하는 메커니즘이 제안되었다 (Wang et al. [2], Jung and Bae [3]). 메커니즘 중 DME carbonylation to MA ($\text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOCH}_3$)은 zeolite-based ferrierite 촉매가 사용되고, 높은 온도에서 촉매의 비활성화가 빠르게 진행되는 문제가 있다. 본 연구에서는 장기운전을 위해 순환유동층을 통해 합성반응과 촉매 재생을 동시에 진행하는 공정을 연구하였다. 반응기 설계를 위한 촉매의 반응 및 재생실험은 유동층 반응기 (I.D.=1 inch)에서 수행하였다. 반응 속도 상수는 고정층 반응기(I.D.=3/8 inch)에서 온도, 압력, SV(space velocity), 그리고 CO의 분압을 변수로 실험한 결과값을 토대로 계산하였다. FER 촉매의 순환유동층에서의 수력학적 특성에 대한 연구는 L-valve 순환 유동층 (bubbling bed I.D.=0.08m, riser I.D.=0.009m, riser height: 2.6m)에서 수행하였다. 본 연구를 통해 FER 촉매의 최적 반응 및 재생 공정조건을 확보하고 고온-가압 순환 유동층 반응기를 설계하고자 한다.

1. Liu, G., Yang, G., Peng, X., Wu, J., and Tsubaki, N., "Recent advances in the routes and catalysts for ethanol synthesis from syngas," *Chemical Society Reviews* **51**, 5606–5659 (2022).
2. Wang, C. et al., "Direct Conversion of Syngas to Ethanol within Zeolite Crystals," *Chem* **6**, 646–657 (2020).
3. Hyun Seung Jung, J. W. B., "Effects of metal oxide promoters on Cu-ZnO-Al₂O₃ for one step DME conversion to ethanol by carbonylation and successive hydrogenation.," *Catalysis Today* **424**, 114302 (2023).

CPFD simulation을 이용한 고온 고압 유동층 반응기 내 수력학적 특성 연구

성우창¹, 김준영¹, 이동현^{1*}
¹성균관대학교

Hydrodynamics of pressurized fluidized bed reactor using CPFD simulation

Woo Chang Sung¹, Jun Young Kim¹, Dong Hyun Lee^{1*}
¹Sungkyunkwan University

본 연구에서는 고온 고압 유동층 반응기 내부의 수력학적 특성을 Computational particle fluid dynamics (CPFD) simulation을 이용하여 분석하였다. 유동층 반응기에서는 Dimethyl ether (DME) carbonylation to methyl acetate (MA) 반응을 수행하였고, DME carbonylation to MA 반응의 반응속도식은 선행연구의 결과를 이용하였다. CPFD simulation의 타당성 검증을 위해 mesh size independent test를 수행한 결과 105300개 이상의 cell (각 cell의 크기는 1.4 mm × 1.4 mm × 1.8 mm)에서 결과값이 수렴하였다. CPFD simulation을 통해 얻어진 DME conversion 결과와 실험을 통해 얻어진 DME conversion 결과를 비교했을 때, 5% 이내의 오차를 보였다. 또한 CPFD simulation을 이용해 계산된 유동층의 층 높이와 correlation을 이용하여 예측한 층높이도 유사한 결과가 얻어졌다. 공간속도의 증가에 따라 유동층 내 bubble이 더 많이 생성됨을 simulation을 통해 확인할 수 있었다. 또한 입자의 축방향에 따른 움직임을 분석한 결과 공간속도의 증가에 따라 입자는 중심부에서 더 빠르게 상승하고, 벽쪽에서 하강하는 움직임이 커짐을 확인하였다. 반면 gas는 back mixing이 발생하지 않아 중심부와 벽 모두 공간속도에 상관없이 상승하는 흐름임을 확인하였다.

참고문헌

1. Kim, S. W., Jung, H. S., Lee, W. B., Bae, J. W., and Park, M. J., "Process modeling of syngas conversion to ethanol and acetic acid via the production of dimethyl ether and its carbonylation." Korean Journal of Chemical Engineering, **39**(12), 3204-3213 (2022).
2. Geldart, D., "Expansion of Gas Fluidized Beds." Ind Eng Chem Res., **43**, 5802-5809 (2004)

Selectively edge oxidized graphene to achieve highly dispersible graphene flakes with pristine graphene properties

Yonghyun Lee, and Chang-Ho Choi^{1*}

¹*Department of Chemical Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea*

Graphene possesses exceptional properties including high electron mobility and remarkable mechanical, chemical, and thermal characteristics. Therefore, graphene has garnered numerous interest for various applications in industrial sectors. However, the application of graphene into the industrial domain remains challenge due to its non-dispersibility to solvents and difficulty of achieving scalable graphene production. Herein, we propose a selective edge-oxidizing (SEO) approach of graphene to enhance the dispersibility of graphene in various solvents while retaining the graphene properties. The remarkable dispersibility and properties of the SEO-graphene is demonstrated by preparing a highly concentrated aqueous dispenser printing ink (103 g/L) without any additive. Additionally, the SEO-graphene can be directly dispersed into an epoxy resin and PEDOT:PSS solution, resulting in the fabrication of reinforced epoxy resin and highly transparent and conductive film, respectively. Notably, the resulting graphene films are dried at room temperature. The SEO-graphene will promote the industrial applications of graphene, unlocking its wide utilizations in various fields.

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

특별세션 I:

탄소중립 엔지니어링
공정시스템 기술
(구두발표)

2023년 9월 21일(목) 13:00~15:20
모나 용평리조트 타워콘도 사파이어홀

탄소중립을 위한 CCUS 및 리튬석출로의 담수화 폐수의 활용

임중훈¹, 조성현*²한국생산기술연구원 친환경재료공정연구그룹, ¹연세대학교 화학생명공학과,²전북대학교 청정에너지연구센터

Utilization of Desalination Wastewater to CCUS and Lithium Extraction for Carbon Neutrality

Jonghun Lim¹, Sunghyun Cho*²Green Materials & Processes R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology, ¹Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University,²School of Chemical Engineering, Clean Energy Research Center, Jeonbuk National University

최근 이산화탄소에 의한 지구 온난화 문제와 기후변화가 전 세계적으로 큰 관심을 받고 있다. 이에 대응하여 화학플랜트 등에서 배출되는 이산화탄소의 저감에 대한 움직임이 가속화되고 있으며, 자동차 산업은 내연기관 자동차 생산을 줄이고 전기차 개발 및 생산을 통해 이산화탄소 배출을 감소시키려는 노력을 보이고 있다. 특히 '탄소 중립' 목표를 추구하는 영향으로 전기차의 채택이 급증하고 있어, 자동차 배터리에 사용되는 리튬 수요가 급격히 증가하고 있다. 리튬 수요 증가에 따라서 글로벌 공급은 수요를 따라가기 어려워져 리튬 가격이 크게 상승하고 있는 추세이다. 이러한 상황에서 해수 내에 있는 리튬에 관한 관심이 커지고 있으며, 최근에는 해수에서 비용을 크게 들이지 않고 리튬을 추출할 수 있는 방법이 제안된 적 있다. 본 연구에서는 해수로부터 리튬을 추출하면서 해수 내 낮은 리튬 농도로 인한 비효율성을 해소하기 위해 해수 담수화 폐수를 활용하는 방법을 사용하였다. 또한, 천연가스 발전소에서 포집하고 활용되는 이산화탄소를 활용하여 리튬 추출 장치에 미치는 칼슘 및 마그네슘 이온의 부정적인 영향을 줄였다. 나아가, 이산화탄소 포집 및 리튬 추출 과정에서 생성되는 수소를 공동 발전에 활용하여, 근본적으로 이산화탄소 배출을 감소시키고, 이로 인해 이산화탄소 저감 비용을 줄일 수 있었다.

참고문헌

1. Cho, S. et al, "Novel process design of desalination wastewater recovery for CO₂ and SOX utilization", *Chem. Eng. J.*, 433, 133602 (2022)
2. Choi, W. et al, "Performance prediction and evaluation of CO₂ utilization with conjoined electrolysis and carbonation using desalinated rejected seawater brine", *Desalination*, 50, 115068 (2021)
3. Lee, H. et al, "Novel lithium production process using desalination wastewater and waste heat from natural gas combined cycle", *Energy Convers Manag*, 292, 117396 (2023)
4. Lim, J. et al, "Novel carbon-neutral hydrogen production process of steam methane reforming integrated with desalination wastewater-based CO₂ utilization", *Desalination*, 548, 116284 (2023)
5. Li, Z. et al, "Continuous electrical pumping membrane process for seawater lithium mining", *Energy Environ Sci*, 14, 3152-3159 (2021)
6. Cho, S. et al, "Multi-objective optimization of explosive waste treatment process considering environment via Bayesian active learning", *Eng Appl Artif Intell*, 117, 105463 (2023)

플라스틱 폐기물 선별 최적화 모델: 경제적 요인과 환경적 요인의 통합성 평가

안유찬¹

¹ 계명대학교 화공·신소재공학부 화학공학전공

Optimization Model for Plastic Waste Sorting: Evaluating the Integration of Economic and Environmental Factors

Yuchan Ahn¹

Keimyung University, Department of Chemical and New Material Engineering

플라스틱 폐기물은 우리의 일상생활과 산업 모두에 중대한 문제를 야기한다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 우리는 효율적인 플라스틱 폐기물 선별 과정이 필요하다. 효율적인 플라스틱 선별 과정은 효과적인 폐기물의 재활용으로 이어질 수 있다. 국내 플라스틱 재활용시장에 기여하기 위해 이러한 선별 과정에 관한 연구가 크게 기여할 가능성이 있다. 본 연구에서는 플라스틱 폐기물 선별 모델에 대한 두 가지 대안 모델을 제안한다. 수익성을 극대화하기 위해 목적함수로 총 영업이익 : GOP(Gross Overall Profit)를 고려한다^[1]. 폐플라스틱 선별 공정에서 필요한 기계의 수는 GOP를 최적화하는 데 결정적인 역할을 한다. 따라서, 우리는 선별효율을 유지하며 GOP를 최적화하기 위해 재분류 과정을 도입하여 기계의 수를 줄이는 접근법을 고안했습니다^[2]. 기본 모델과 비교하여 대안 모델 1은 기계의 수를 5개 감소시키고 대안 모델 2는 9개 감소시킵니다. 이러한 접근법은 각 모델에서 GOP를 14% 및 36% 증가시켰다. 이 두 가지 대안 모델은 재분류 공정의 추가로 인해 공정의 운영시간이 증가하여 CO₂ 배출량이 2% 및 4% 소폭 증가하는 반면, 플라스틱 폐기물 관리의 경제적 측면을 효과적으로 개선합니다.

1. Nakatani, J. et al., "Variability-based optimal design for robust plastic recycling systems." *Resour. Conserv. Recycl.*, **116**, 53-60.(2017).
2. Lim, Jonghun, et al. "Optimal strategy to sort plastic waste considering economic feasibility to increase recycling efficiency." *Process Saf. Environ. Protect.*, **165**, 420-430.(2022)
3. Gradus, Raymond HJM, et al. "A cost-effectiveness analysis for incineration or recycling of Dutch household plastic waste." *Ecol. Econ.* **135**, 22-28.(2017)
4. Brander, Matthew, et al. "Technical Paper| Electricity-specific emission factors for grid electricity." *Ecometrica*, Emissionfactors.com, (2011).

멤브레인 컨택터를 이용한 이산화탄소 포집 공정 모델링 및 시뮬레이션

구보람¹

¹전남대학교 화학공학부

Analysis of membrane contactor based CO₂ capture using various solvents via predictive modelling and simulation

Boram Gu¹

¹School of Chemical Engineering, Chonnam National University

Gas-liquid membrane contactors for carbon capture are anticipated to yield lowered initial expenses and energy usage when contrasted with traditional absorption techniques¹. This can be attributed to the increased contact surface per unit volume and enhanced mass transfer inherent in hollow fibre membrane contactors. These benefits enable the exploration of a broad range of solvents². Additionally, their internal configuration must be meticulously crafted to facilitate effective interaction between gas and liquid phases, promoting efficient mass transfer at the interface. This investigation involves the development of a predictive model for CO₂ capture using membrane contactors, encompassing both module-level mass transfer and absorption, as well as process-level absorption efficiency. This model facilitates the examination of how diverse solvents and operational parameters influence absorption effectiveness across different contactor designs. Notably, the findings underscore that the design of the contactor itself and the rates of solvent flow play a pivotal role in governing mass transfer, while heightened solvent concentration correlates with increased extent of absorption.

참고문헌

1. Lee, Y., Park, Y.J., Lee, J., Bae, T.H., “Recent advances and emerging applications of membrane contactors”, *Chem. Eng. J.* 461 (2023).
2. Shirazian, S., Taghvaie, A., Id, N., Heydarinasab, A., Ghadiri, M., “Theoretical investigations on the effect of absorbent type on carbon dioxide capture in hollow-fiber membrane contactors”, *PlosOne* (2020).

등온 흡착선 알고리즘을 이용한 분자 및 공정 시뮬레이션 연결 및 이를 활용한 바이오가스 업그레이딩 압력 스윙 흡착공정에서의 흡착제 선별 방법 개발

가성빈¹

¹울산대학교 화학공학부

Advanced Method for Adsorbent Selection in Biogas Upgrading Pressure Swing Adsorption Processes with Novel Isotherm Fitting Algorithm Bridging Molecular and Process Simulations

Seongbin Ga¹

¹School of Chemical Engineering, University of Ulsan

This work introduces a novel method for adsorbent selection, geared towards identifying the most suitable adsorbents for the pressure swing adsorption (PSA) process used in biogas upgrading. The method incorporates a unique algorithm for isotherm fitting, tailored for both molecular and process simulations. By addressing the computational challenges inherent in adsorbent selection, this algorithm efficiently narrows down the most effective adsorbents from a vast pool of candidates. When integrated with PSA process simulations, our approach delivers a practical evaluation, offering quantitative metrics for assessing the efficacy of different adsorbents within a PSA framework for biogas enhancement. To demonstrate the utility of our proposed technique, we employed the Computation-Ready, Experimental Metal-Organic Frameworks (CoRE MOF) database, selecting the top 10 metal-organic frameworks (MOFs) from a pool of over 10,000. Notably, our innovative algorithm facilitated a 65.5% reduction in computational resources solely for the derivation of the adsorption isotherm curves, which subsequently informed our biogas upgrading PSA process simulations. Beyond its immediate application, we anticipate that our method will significantly benefit not only the optimization of biogas production as a viable alternative energy source but also the adsorbent selection processes across various research domains.

참고문헌

1. Yousef, A. M., El-Maghlany, W. M., Eldrainy, Y. A., and A. Attia, "Assessment of the energy consumption of the biogas upgrading process with pressure swing adsorption using novel adsorbents," *J. Clean. Prod.*, 101, 251-261, (2015)
2. Demir, H., Cramer, C. J., and Siepmann, J. I., "computational screening of metal-organic frameworks for biogas purification," *Mol. Syst. Des. Eng.*, 4(6), 1125-1135, (2019)
3. Ga, S., An, N., Joo, C., and Kim, J., "pyAPEP: an all-in-one software package for the automated preparation of adsorption process simulations," 108830, *Comput. Phys. Commun.*, (2023)
4. Ga, S., Jang, H., and Lee, J. H., "New performance indicators for adsorbent evaluation derived from a reduced order model of an idealized PSA process for CO₂ capture," *Comput. Chem. Eng.*, 102, 188-212, (2017)

소금간수를 이용한 이산화탄소 및 대기오염물질 회수공정 개발

조형태^{1,*}, 김정환², 이재원¹, 유엽^{1,2}, 임종훈^{1,2}

¹한국생산기술연구원 친환경재료공정연구그룹

²연세대학교 화공생명공학과

Development of CO₂ and air pollutants recovery process using seawater bittern

Hyungtae Cho^{1,*}, Junghwan Kim², Jaewon Lee¹, Yup Yoo^{1,2}, Jonghun Lim^{1,2}

¹Green Materials and Processes R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology, Republic of Korea

²Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University, Republic of Korea

In salt production, a large amount of seawater is wasted causing the environmental problem. However, since the seawater bittern mainly composed of valuable metal ions such as K⁺ and Mg²⁺ which can react with sulfate and carbonate ions and thus it can be used to capture the air pollutants. In this work, we developed a seawater bittern recovery process using a novel microbubble scrubber (MBS) for air pollutants utilization. To design the proposed system, a process model is developed based on the experimental results for the employed MBS. The suggested process comprises the following four procedures: (1) metal ion separation for KOH and Mg(OH)₂ production, (2) CO₂ capture using the produced KOH, (3) SO_x and NO_x capture using the MBS, and (4) sulfurization and carbonation using the generated Mg(OH)₂. Moreover, the MBS maintains a high mass transfer efficiency environment by generating microbubbles, making emissions more readily react with alkaline components. As a results, the suggested process can achieve high capture efficiency of air pollutants. In addition, the MBS can simplify the complex and cost-intensive processes such as scrubbers and absorbers by simultaneously reducing air pollutants, it can increase the overall economic feasibility.

References

1. Yoo, Y. et al, "Seawater bittern recovery system for CO₂, SO_x and NO_x removal using microbubble scrubber", *Desalination*, **558**, 116612 (2023).
2. Lim, J. H. et al, "Design of novel seawater bittern recovery process for CO₂ and SO_x utilization", *Desalination*, **540**, 115995 (2022).
3. Yoo, Y. et al, "Method for measuring bubble size under low-light conditions for mass transfer enhancement in industrial-scale systems", *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, **140**, 106525 (2023).

수소환원제철 공정의 직렬 유동 환원로 상세 모델링 및 최적화

이희원¹, 손상환^{1*}¹부산대학교, 화공생명공학부

Fundamental modeling and optimization of series fluidized bed furnaces in hydrogen reduction steelmaking process

Hui Won Lee¹, Sang Hwan Son^{1*}¹Pusan National University, School of Chemical and Biomolecular Engineering

철강 산업은 전세계 이산화탄소 배출량의 7%를 차지하는 탄소다배출 산업으로, 이 중 약 70%의 이산화탄소는 코크스로 철광석을 환원하여 용선을 제조하는 과정에서 발생한다. 최근 코크스 대신 수소를 원료로 사용하여 철 생산과정에서의 이산화탄소 발생을 획기적으로 저감할 수 있는 수소환원제철 기술 개발이 전세계적으로 대두되고 있다. 수소환원제철 분야에서는 철광석을 별도의 가공없이 원료로 사용할 수 있는 FBR(Fluidized Bed Reactor) 형태의 반응기가 주로 연구되고 있으며, 최근에는 환원율을 제고하기 위한 목적으로 직렬 연결된 수소환원 유동로가 제안되고 있다. 본 연구에서는 수소환원 반응이 일어나는 직렬 다단 FBR을 대상으로 기초 모델링 및 최적화를 진행하여 수소환원제철 공정의 상용화에 필수적인 기반 기술을 제안하고자 한다.

참고문헌

1. Tsay, Q. T., Ray, W. H., and Szekeley, J., "The modeling of hematite reduction with hydrogen plus carbon monoxide mixtures: Part I. The behavior of single pellets," *AIChE Journal*, **22**(6), 1064-1072 (1976).
2. Kunii, D., and Levenspiel, O., *Fluidization Engineering*, 1st ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, (1991).
3. Wenzel, M., Rihko-Struckmann, L., and Sundmacher, K., "Continuous production of CO from CO₂ by RWGS chemical looping in fixed and fluidized bed reactors," *Chemical Engineering Journal*, **336**, 278-296 (2018).
4. Spreitzer, D., and Schenk, J., "Iron ore reduction by hydrogen using a laboratory scale fluidized bed reactor: Kinetic investigation—Experimental setup and method for determination," *Metallurgical and Materials Transactions B*, **50**, 2471-2484 (2019).
5. Spreitzer, D., and Schenk, J., "Reduction of iron oxides with hydrogen—a review," *Steel Research International*, **90**(10), 1900108 (2019).
6. Heidari, A., Niknahad, N., Iljana, M., and Fabritius, T., "A review on the kinetics of iron ore reduction by hydrogen," *Materials*, **14**(24), 7540 (2021).

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

온실가스

(구두발표)

2023년 9월 21일(목) 15:30~17:10
모나 용평리조트 타워콘도 사파이어홀

탄소중립을 위한 바이오가스 내 이산화탄소 흡착을 통한 메탄 고순도화 VPSA (Vacuum Pressure Swing Adsorption) 시스템 설계 및 연구

신재철, 이재명, 이민주, 김신동
(주)이앤켐솔루션

Design and study of methane high purity VPSA (Vacuum Pressure Swing Adsorption) system through carbon dioxide adsorption in biogas for carbon neutrality

JaeChul Shin, Jae Myung Lee, Minju Lee, Shin Dong Kim
E&Chem Solution Corp.

1. 본문

재생에너지 중 하나인 바이오가스는 메탄이 60% 이상, 이산화탄소가 30% 이상 함유되어 있다. 이를 발전, 연소, 도시가스 생산 및 최근에는 그린수소 생산 등 다양한 방식으로 활용할 수 있다. 국내외 2050년 까지의 탄소중립 목표에 따라 각 분야에서 이산화탄소 배출을 최대한 억제해야 한다. 이런 정책에 부응하기 위해 바이오가스에 함유된 메탄과 이산화탄소의 외부 배출을 줄여 탄소 네거티브한 방향으로 활용하려는 노력이 필요하다.

메탄은 바이오가스를 고질화하는 과정에서 일부 외부로 배출되거나, 연소, 발전 및 수소 개질 과정에서 주로 이산화탄소로 전환되어 배출된다. 따라서 바이오가스 고질화 공정에서 메탄 슬립을 최소화하는 한편 이산화탄소의 배출을 줄이기 위하여 이산화탄소 포집과 저장 기술이 필요하다.

본 연구에서는 메탄 65%, 이산화탄소 35%로 이루어진 혼합 가스를 사용하여, 수산화철 기반의 흡착제를 활용하여 연속적으로 이산화탄소를 분리하고 메탄의 순도를 99% 이상으로 높이는 공정을 설계하고 분석했다. 이를 위해 4개의 컬럼을 사용하여 흡착과 탈착을 교대로 운전할 수 있는 VPSA 시스템을 사용하여 이산화탄소의 흡착 및 탈착을 수행하였다. 이 과정에서 초기 이산화탄소 흡착능이 약 20 mg(CO₂)/g(Adsorbent) 측정되었고, 이후에도 10 mg/g 내외의 흡착능을 유지했다. 또한 VPSA 장치에서는 압력, 유량 및 진공에 의한 탈착 시간을 4개의 컬럼이 연속운전이 가능하도록 조건을 맞추었다. 압력은 높을수록 흡착효율이 좋지만 에너지효율을 대비하여 저압(2 barG미만) 조건을, 유량은 공간속도를 고려하여 30 ~ 60 hr⁻¹, 탈착은 고진공 펌프를 활용하여 두 컬럼 흡착시간 만큼 설정하여 연속운전 조건을 만들었다. 이러한 결과를 토대로 추가 연구 및 결과를 확보한다면 상용화 가능할 것으로 예상된다.

* 키워드 : 이산화탄소 흡착 및 분리, 바이오가스, VPSA(Vacuum pressure swing adsorption), 탄소중립

2. 사사

이 연구는 중소벤처기업부 그린뉴딜 R&D(S3215134) 과제의 지원을 받아 수행하였습니다.

3. 참고문헌

1. George N. Nikolaidis, Eustathios S. Kikkinides, and Michael C. Georgiadis . Model-Based Approach for the Evaluation of Materials and Processes for Post-Combustion Carbon Dioxide Capture from Flue Gas by PSA/VSA Processes. Industrial & Engineering Chemistry Research 55 (3), 635-646, (2016).

탄소중립연료(e-Fuel) 생산을 위한 피셔-트롭시 합성 촉매기술 개발

윤민혜, 임근배, 김광영, 천동현*
한국에너지기술연구원 탄소전환연구실

Development of Fischer-Tropsch synthesis catalyst technology for the production of carbon neutral fuels (e-fuels)

Min Hye Youn, Geun Bae Rhim, Kwang Young Kim, Dong Hyun Chun*
Carbon Conversion Research Laboratory, Korea Institute of Energy Research

2050 탄소중립을 위한 국제사회의 본격적 대응이 시행됨에 따라 전기화로 대체가 어려운 일부 수송용 선박, 항공분야의 탄소중립을 위해 탄소중립연료(e-Fuel)의 중요성이 부각되고 있다. 탄소중립연료(e-Fuel)란, 재생에너지로부터 생산된 그린수소와 이산화탄소 및 질소로부터 합성된 연료를 의미하며, 특히 기존 내연기관에 바로 적용 가능한 탄화수소계 친환경 연료생산기술은 정유 및 석유화학산업에 중요한 탄소중립 방안으로 인식되고 있다. e-Fuel은 생산방식에 따라 메탄올 또는 합성가스를 경유하거나 이산화탄소의 직접수소화를 통해 생산되기도 한다. 본 연구에서는 이산화탄소와 수소로부터 합성가스를 경유하여 피셔-트롭시 합성반응을 통해 e-Fuel을 생산하는 촉매공정을 중심으로 최근 기술동향을 살펴보고 현재 개발 중인 기술을 소개하고자 한다.

참고문헌

1. G.-G. Andres et al, "Unravelling the potential of Sustainable Aviation Fuels to decarbonise the aviation sector", *Energy Environ. Sci.*, 15, 3291-3309 (2022)
2. D. Deviana et al., "Unravelling acidity-selectivity relationship in the bifunctional process of Fischer-Tropsch synthesis and catalytic cracking," *Chem. Eng. J.*, 455, 140646 (2023)
3. D.H. Chun et al., "Brief review of precipitated iron-based catalysts for low-temperature fischer-tropsch synthesis", *Top. Catal.* 63, 793-809, (2020)

탄소중립을 위한 청정수소 생산용 Pd/Al₂O₃ 복합분리막 기술 개발

정창훈^{1*}
¹(주)하이젠에너지

Development of Pd/Al₂O₃ composite membrane technology for clean hydrogen production for carbon neutrality

Chang Hoon Jung^{1*}
¹Hygen Energy
 Misa-daero, Hanam-si, Gyeonggi-do, Korea

2023년, 전 세계적으로 기후변화 및 대기오염 등 환경문제가 심각한 이슈로 일어나고 있다. 이 원인을 화석 연료로 인한 온실가스 변화로 추측되고 있다. 따라서 화석 연료를 대체할 친환경 에너지의 필요성이 증가하고 있다. 수소에너지는 다른 에너지를 전환하면서 온실가스 배출이 없는 청정에너지원으로 주목받고 있다. 이에 대한민국 정부는 수소 경제 활성화 로드맵 및 수소법을 제정하며 수소 경제를 실현하기 위해 노력하고 있다. 해당 수소 경제를 실현하기 위해서는 수소생산기술 및 생산한 수소의 고순도화를 위한 정제 공정이 필요하다.

현재, 수소의 종류는 생산방식에 따라 그레이 수소, 블루 수소, 그린 수소로 나뉘게 된다. 그레이 수소는 기존 메탄 등 하이드로카본 물질을 개질하여 수소를 발생시키는 공정으로 개질 과정에서 온실가스 발생하게 된다. 블루 수소는 그레이 수소에서 CCUS 기술 등을 통해 온실가스 발생을 최소화하는 기술이다. 그린 수소는 물이나 바닷물을 전기분해하여 수소를 얻는 방식으로 온실가스가 발생하지 않게 된다. 수소생산기술은 장기적으로는 수전해 및 해수전해기술로 넘어가겠지만, 현재 우리나라에서는 수요량 및 부지의 한계로 인해 약 32% 정도의 수소를 해외에서 도입함과 동시에 블루 수소도 그린 수소와 비슷한 비중으로 수소를 생산할 것으로 내다보고 있다.

보통 블루 수소를 생산할 때 사용되는 방법은 수증기 메탄 개질법(Steam Methane Reforming, SMR) 및 수성가스전환법(Water Gas Shift, WGS)을 통해 수소를 생산하게 된다. 해당 공정을 통한 수소의 순도는 약 75~80% 수준이며 불순물로는 이산화탄소, 일산화탄소, 산소, 수증기 등이 생긴다. 운송용으로 사용하는 수소를 사용하기 위해서는 고순도의 수소가 요구되기 때문에 불순물을 정제하는 과정이 필요하다.

보통 학계에서는 분리막, 금속 하이드라이드, 심냉법, TSA 등의 여러 가지 방법을 도입하려고 하게 된다. 그 중, 팔라듐 등의 전이금속을 활용한 분리막은 대체로 높은 선택도를 보이며, 회수율이 높은 장점이 있다. 다수의 국내 연구진들은 다공성 스테인리스 스틸 혹은 탈탄류, 바나듐과 같은 금속물질에 팔라듐을 증착 혹은 도금하여 팔라듐 복합분리막 기술을 개발하였다. 그러나 다공성 스테인리스 스틸을 이용하는 금속 지지체는 비싼 재료비 및 가공 비용으로 인해 양산 및 산업화하기에는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 경제성을 갖춘 수소 분리막 기술이 필요하다.

본 연구에서는 가격이 저렴한 알루미늄 중공사막 지지체를 팔라듐 도금법을 활용하여 수소 복합분리막을 제작하였다. 알루미늄 중공사막은 상전이 공정을 활용하여 공극의 크기 혹은 모양을 제어할 수 있으며 조도가 균일한 막을 형성할 수 있다. 제조된 중공사막으로 수소투과 실험을 수행하여 수소투과도, 순도, 회수율 등의 성능을 확인하였다. 성능 평가에 사용된 가스는 천연가스 개질을 모사한 80%의 수소와 20%의 이산화탄소의 조성을 활용하였다. 성능 평가 중 투과되는 수소의 유량은 Bubble Flow Meter를 활용하였고, 그 외 가스의 농도는 ABB를 통해 각각 실시간으로 분석하였다.

암모니아 기반 청정수소 생산기술 개발 동향

정운호*, 구기영, 박용하
한국에너지기술연구원

Development trend of ammonia-based clean hydrogen production technology

Unho Jung*, Kee Young Koo, Yongha Park
Korea Institute of Energy Research

정부는 “수소경제 활성화 로드맵(2019)”와 “제 1차 수소경제 이행 기본계획(2021)”을 발표하며 미래 수소경제로의 방향성과 구체적인 목표를 제시하였다. 탄소배출을 줄이고 궁극적으로는 탄소배출이 없는 사회로의 전환을 의미한다. 이러한 수소경제로의 성공적인 전환을 위해서는 수소의 생산과 공급에 대한 문제가 해결되어야 한다. 국내 청정수소 공급을 해결하기 위한 대안으로 해외에서 값싸게 생산된 수소를 대량으로 이송하는 방안이 논의되고 있다. 수소의 대량 이송을 위한 수소캐리어로는 액화수소, 액상유기화합물, 암모니아 등이 많은 관심을 받고 있다. 이 중에서 암모니아는 상온에서 쉽게 액화되며 단위 부피당 수소저장량이 121 kg/m^3 으로 액화수소 70.8 kg/m^3 보다 크다는 장점이 있으며 이미 국제인 수출입 및 지역 분배가 선박 및 트럭으로 이루어지고 있는 상황이기 때문에 다른 수소캐리어에 비해 빠른 상용화가 가능할 것으로 예상된다. 이러한 암모니아 수소캐리어를 분해하여 수소를 생산하기 위해서는 암모니아의 촉매분해 공정과 분해가스를 정제하는 공정이 필요하다. 최근 전 세계적으로 많은 기관에서 암모니아를 이용한 수소생산과 이를 활용하는 기술에 대해 연구개발을 수행하고 있다. 이러한 암모니아 기반 청정수소 생산기술의 개발은 국내 수소경제의 활성화 뿐만 아니라 전 세계적인 탄소중립에도 큰 기여를 할 것으로 예상된다.

Ni계 담지 촉매를 이용한 메탄-이산화탄소 온실가스 전환 반응 연구

주지봉¹

¹ 건국대학교 화학공학과

Study on catalytic conversion of CH₄ and CO₂ as greenhouse gases by using Ni-based catalysts

Ji Bong Joo¹

¹Department of Chemical Engineering, Konkuk University

산업혁명 이후 지속된 인류의 화석연료 사용으로 인하여, 대기 중 온실가스 농도는 지속적으로 높아지고 있으며, 그로 인한 수많은 기후 문제가 발생하고 있다. 특히 산업화 이전에 기후의 평균온도가 1도 이상 높아진 상황이며, 이로 인한 국지적 홍수, 태풍, 가뭄, 산불 등 많은 자연재해 현상들이 이전에 비해 빈번하게 나타나고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 한 가지 방법으로 온실가스인 이산화탄소 및 메탄의 발생량을 감소시키고, 온실가스가 배출하지 않는 수소 에너지를 확보하는 것이 중요하다. 개질기술은 온실가스인 메탄으로부터 합성가스를 생산하고, 후단 공정을 통해 수소를 확보할 수 있는 반응 기술이다. 특히 개질 반응물로 메탄 및 이산화탄소를 사용하는 건식메탄 개질 반응공정의 경우 온실가스인 두 가스로부터 수소를 얻을 수 있어, 온실가스 감축과 수소에너지원 확보의 두가지 목적을 달성을 할 수 있다. 이러한 이유로 건식메탄 개질 반응 촉매 및 공정 관련 연구가 최근 매우 활발히 이루어지고 있다. 이러한 메탄 개질 반응공정의 대표적인 촉매로 니켈 기반 담지 촉매가 사용되고 있다. 니켈 담지 촉매는 안정성과 비용적 장점이 뛰어나 개질반응의 대표적인 촉매이며, 이러한 니켈 담지 촉매의 활성과 내구성을 높이고자 하는 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 본 발표에서는 니켈 기반 담지촉매를 이용하여 메탄 및 이산화탄소 전환 반응에 대한 연구결과를 소개하고자 한다. 특히 습식 메탄 개질반응에서 기공성이 향상된 담지체 사용시 나타나는 촉매 반응특성 변화 및 메탄 건식 개질 반응에서 반응 조건 별 반응성능 변화, 메탄 직접 분해에서 니켈 촉매의 반응 특성을 살펴보고자 한다.

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

재생가능연료 및 소재

(구두발표)

2023년 9월 21일(목) 09:30~11:00
모나 용평리조트 타워콘도 크리스탈홀

비유지, 비알코올 유래 촉매화학적 바이오항공유 생산 기술

하정명

한국과학기술연구원 청정에너지연구센터

Production of Bio-aviation Fuels Not Prepared from Lipids and Alcohols

Jeong-Myeong Ha

Clean Energy Research Center, Korea Institute of Science and Technology

온실가스 감축을 위한 화석연료 규제는 항공유에도 미치고 있다. 온실가스 감축을 위한 바이오항공유는 유지나 바이오에탄올로부터 생산되는 파라핀계 연료가 주로 상업적으로 활용되고 있으나, 향후 예상되는 지속가능 항공유의 수요를 고려하면 더 많은 항공유 생산 원료 및 생산 기술이 필요하다. 특히, 식용 바이오매스에서 유래하는 유지와 바이오에탄올이 아닌 비식용 바이오매스로부터 유래하는 바이오항공유 생산 기술은 향후 원료 수급에서 더 유리할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 바이오항공유 생산을 위한 다양한 바이오매스 원료를 확인하고, 특히 유지, 바이오에탄올로부터 생산 가능한 파라핀계 연료를 벗어나서 기존 석유계 항공유와 유사한 나프텐계 항공유를 생산할 수 있는 화학공정기술에 대해 살펴보고자 한다. 생산 기술에 적용할 촉매와 반응 방법, 반응기술에 대해 다양한 분석 결과를 바탕으로 토의하며, 비유지, 비알코올 유래 바이오항공유 생산의 기술적인 어려움과 한계, 앞으로 나아갈 바에 대해 토의하고자 한다.

Deoxygenation of dimethyl terephthalate (DMT) under atmospheric pressure over single-metal catalyst supported by γ -Al₂O₃

Syarif Hidayat¹, Thuan Anh Vo¹, Jae-Rak Jeon¹, Jinsoo Kim^{2*}, Seung-Soo Kim^{1*}

¹Department of Chemical Engineering, Kangwon National University, 346 Joongang-ro, Samcheok, Gangwon-do 25913, Korea.

²Department of Chemical Engineering (Integrated Engineering), Kyung Hee University, 1732 Deogyong-daero, Yongin, Gyeonggi-do 17104, Korea.

Deoxygenation of dimethyl terephthalate (DMT) model compounds as part of a waste fiber treatment has proceeded with tetralin as a hydrogen donor solvent for deoxygenation into hydrocarbons. The process employs a highly efficient and stable γ -Al₂O₃ supported metallic catalyst. A series of metallic catalysts (M = Ni, Co, Fe, and Cu) were prepared by the incipient wetness impregnation method. The reactions for the deoxygenation of model compounds were examined in both fixed-bed reactor (FBR) and microtubing reactors (MTR) to gain insights into the reaction mechanism and product attributes during the deoxygenation of DMT. The deoxygenation at 400 °C and 0.1 MPa performed in both FBR and MTR, 20 wt.% Ni/ γ -Al₂O₃ gave higher DMT conversion (> 90%) and benzene yield (32.51 %) in MTR and 20 wt.% Fe/ γ -Al₂O₃ gave higher DMT conversion (90%) and hexamethyl benzene yield (34.47 %) in FBR. The experimental results revealed that under conditions of 400 °C and 0.1 MPa, 20 wt.% Fe/ γ -Al₂O₃, 20 wt.% Ni/ γ -Al₂O₃, 20 wt.% Co/ γ -Al₂O₃, and 20 wt.% Cu/ γ -Al₂O₃ promoted the selectivity liquid phase comprising aromatic hydrocarbon compounds (benzene, toluene, ethylbenzene, p-xylene, and hexamethyl benzene) as well as oxygenated compounds (methyl ester benzoic acid and 2-propylphenyl ester-benzoic acid) in FBR. The application of 20 wt.% Fe/ γ -Al₂O₃, 20 wt.% Co/ γ -Al₂O₃, and 20 wt.% Cu/ γ -Al₂O₃ at 400 °C and 0.1 MPa in the MTR resulted in the primary formation of aromatic compounds (benzene and toluene), along with oxygenated compounds (methyl ester benzoic acid and 2-propylphenyl ester-benzoic acid). Conversely, the use of 20 wt.% Ni/ γ -Al₂O₃ predominantly facilitated the production of aromatic hydrocarbons as the main products, with no detection of oxygenated compounds.

Reference

1. Q.K. Tran, H.V. Ly, B. Kwon, S.S. Kim, J. Kim., "Catalytic hydrodeoxygenation of guaiacol as a model compound of woody bio-oil over Fe/AC and Ni/ γ -Al₂O₃ catalysts," *Renew. Energy*. **173**, 886–895 (2021).
2. Q.K. Tran, S. Han, H.V. Ly, S.S. Kim, J. Kim., "Hydrodeoxygenation of a bio-oil model compound derived from woody biomass using spray-pyrolysis-derived spherical γ -Al₂O₃-SiO₂ catalysts," *J. Ind. Eng. Chem.* **92** 243–251 (2020).
3. Z. Gao, B. Ma, S. Chen, J. Tian, C. Zhao., "Converting waste PET plastics into automobile fuels and antifreeze components," *Nat. Commun.* **131** 1–9 (2022).

Development of Pd supported on bead-type carbon catalysts for furfural hydrogenation

Gangmin Kim^{1,2}, Ye Eun Kim^{1,3}, Jung-ho Jae², Man Sig Lee^{1*}

¹ Ulsan Division, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)

² School of Chemical Engineering, Pusan National University

³ Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University

In the industrial application, researchers have shown an increasing interest in shaping catalyst-powder into pellet or bead forms. Shaping of catalysts is primarily used due to its feasible separation, handling, and recovery, resulting reduction of the volumetric ratio of catalyst in the industrial scale. In this study, bead-type supports were prepared by alginate gelation process. Various carbon materials including activated carbon (AC), carbon black (CB), carbon nanotube (CNT) and carbon nanofiber (CNF) were used as supports to investigate the effect of carbon materials for bead-type Pd/C catalyst. The catalysts were prepared by chemical reduction method. The physicochemical properties and stability of bead-type Pd/C catalysts were investigated and catalytic activity was evaluated via hydrogenation of furfural (FF). The results showed that the physical and structural properties of carbon highly affected the physicochemical properties of bead-type Pd/C catalysts. The Pd/CB-AB catalyst showed the highest catalytic activity with FF conversion of 99% and tetrahydrofurfuryl alcohol (THFAL) selectivity of 92%. CB supported bead-type catalysts showed the high exposure amount of carbon on the catalyst surface, attributed to its fine particle size. (Ying Ma et al. [1]) This property enhanced active site of Pd metal, leading to the higher metal dispersion. In addition, the larger pore volume enhanced catalytic activity through facilitating the mass transfer. We suggested that the type of carbon support affected the physicochemical properties of bead-type Pd/C catalyst.

References

1. Ying Ma, Lu Feng, Z. Guo, J. Deng, C.P. Huu, and Y. Liu, "Palladium supported on calcium decorated", *Front. Chem.*, **7**, 751 (2019)
2. X. Qiao, L. Niu, H. Zhang, X. Wen, Y. Cao, and G. Bai, "Controllable fabrication of a novel porous," *Appl. Catal.*, **218**(5), 721-730 (2017)

Argon Jet 플라즈마 이용 카본 펠트 표면 Trimethoxyphenylsilane의 중합도 조절을 통한 고효율 H₂O₂ 전해 생산

레니샤^{1,2}, 종초은^{1,2}, 장 민^{*1,2}

광운대학교 공과대학 환경공학과¹, 플라즈마바이오효과학연구센터²

*e-mail : minjang@kw.ac.kr

Modulating the polymerization degree of TMPS using Argon Jet plasma for high electrolytic production of H₂O₂

Reneesha Valiyaveettil Basheer^{1,2}, Choong Choe Earn^{1,2}, and Min Jang^{*1,2}

¹Kwangwoon University, ²Plasma Bioscience Research Center (PBRC)

The global need for H₂O₂ is increasing rapidly, and it reached about 5.5 billion in the year 2022 due to the unlimited uses of H₂O₂, including the textile industry, paper bleaching, organic/inorganic chemical synthesis, disinfectant, and water treatment processes [12]. The anthraquinone process is energy-consuming and has a high CO₂ footprint. As the global need is more focused on green energy, process like electrolysis is necessary. With varying degrees of polymerization of poly-TMPS, we have tried to make a carbon felt (CF) electrode containing a silane group initiated by polymerization through Argon jet plasma from the Trimethoxyphenylsilane (TMPS). The optimized condition for the TMPS loaded CF produced an H₂O₂ concentration of 271.6 mg L⁻¹ h⁻¹ and obtained stable production of H₂O₂ at about 18477.83 mg L⁻¹ for five continuous cycles within 6 hours. Various characterization tests, including electrochemical tests, were conducted to further investigate the performance of optimized loading of TMPS on CF for electrolytic H₂O₂ production.

Keywords: Electrolysis, H₂O₂ Production, Plasma treatment, Polymerization

Reference

1. Sun, Y., L. Han, and P. Strasser, "A comparative perspective of electrochemical and photochemical approaches for catalytic H₂O₂ production". Chem. Soc. Rev. **49**(18), 6605-6631 (2020).
2. Lu, Z., et al., "High-efficiency oxygen reduction to hydrogen peroxide catalysed by oxidized carbon materials". Nat. Catal., **1**(2), 156-162 (2018).

Ni/Zr_xCe_yO₂ 촉매를 활용한 커피찌꺼기 스팀 가스화를 통한 수소 생산

심하늘, 심지민, Yasin Khani, Behzad Valizadeh, 박영권*
서울시립대 환경공학부

Production of Hydrogen from Spent Coffee from Steam Gasification using Ni/Zr_xCe_yO₂

Haneul Shim, Jimin Sim, Yasin Khani, Behzad Valizadeh, Young-Kwon Park*
School of Environmental Engineering, University of Seoul

본 연구에서는 수소가 풍부한 합성 가스 생산을 위해 커피 찌꺼기에 스팀 가스화 공정을 적용하였다. 가스 수율과 수소 생성량을 향상시키기 위해 Ni/Zr_xCe_yO₂(x, y = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8) 촉매와 monolithic 반응기를 사용하였다. 실험 결과, 니켈이 담지된 금속 산화물 촉매가 Ni-Al₂O₃ 촉매보다 더 높은 가스 수율과 수소 수율을 얻음으로써 더 성능이 뛰어남을 확인하였다. 적용한 촉매들 중, 특히 Ni/Zr_{0.6}Ce_{0.4}O₂에서 가스 수율이 86.32 wt.%, 수소 수율이 56 vol.%로 가장 높은 효율을 나타내었다. 이는 촉매 상에 니켈이 고르게 분산되었고, 산소 이동성이 향상되었다. 또한, 이 연구는 monolith 반응기가 전형적인 고정층 반응기에 비해 많은 장점을 가짐을 보였다.

환경부에 지원 및 한국환경산업기술원에서 주관하는 탈플라스틱특성화대학원의 사업비로 집행하였음

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

특별세션 II:

한국생산기술연구원
친환경재료공정연구그룹의
청정 기술 개발 동향
(구두발표)

2023년 9월 21일(목) 13:00~16:20
모나 용평리조트 타워콘도 크리스탈홀

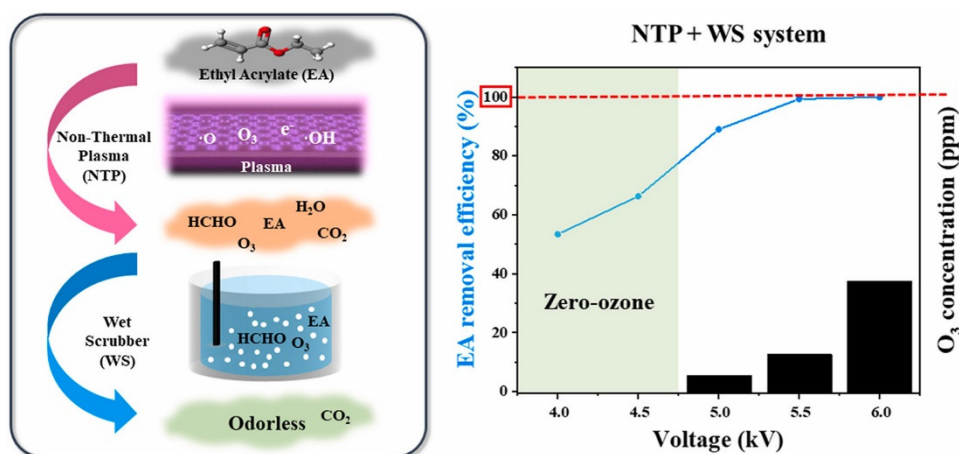
Non-thermal plasma application for VOC removal

Suhan Kim*

Green Materials & Processes R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology

Odorous volatile organic compounds (VOCs) deteriorate the quality of life and affect human health. In this study, a process was developed to remove an odorous VOC using a combined non-thermal plasma (NTP) and wet scrubber (WS) system. The low removal efficiency of WSs and the large amount of ozone generated by NTP were resolved. Compared to the decomposition effects when using a WS and NTP separately, the NTP + WS system improved the removal efficiency of ethyl acrylate (EA) and significantly reduced ozone emissions.

The maximum EA removal efficiency was 99.9%. Additionally, an EA removal efficiency of over 53.4% and a 100% ozone removal efficiency were achieved even at discharge voltages lower than 4.5 kV. Ozone catalysis was confirmed to occur in the NTP + WS system. Furthermore, we verified the removal of by-products such as residual ozone and formaldehyde, which is a representative organic intermediate of EA. This study demonstrates that the NTP + WS system is a green technology for removing odorous VOCs.



References

1. M.-R. Kim, W. Jeon and S. Kim, "Non-thermal plasma coupled with a wet scrubber for removing odorous VOC", *Chemosphere*, 332, 138870 (2023).

Advancing Sustainable Hydrogen Production: Synergistic Integration of Oxy-fuel Combustion and Water Electrolysis for Blue Hydrogen Generation

Seungwan Yun^{1,2}, Hyungtae Cho¹, Junghwan Kim² and Jaewon Lee^{1*}
¹*Korea Institute of Industrial Technology*, ²*Yonsei university*

Blue hydrogen is attracting attention as an intermediate stage towards achieving environmentally sustainable green hydrogen production. However, conventional blue hydrogen production processes entail energy-intensive operations for carbon capture and storage, resulting in suboptimal process efficiency. In parallel, prevalent hydrogen production routes, namely steam methane reforming (SMR) and electrolysis, yield surplus waste heat and byproduct oxygen, respectively. To address these challenges, this study introduces an oxy-fuel combustion-centered blue hydrogen production strategy, seamlessly integrating fossil fuel-derived hydrogen synthesis with electrolytic processes. The proposed strategies encompass SMR coupled with solid oxide electrolysis cell (SOEC) and SMR combined with proton exchange membrane electrolysis cell (PEMEC), SMR, SOEC, and PEMEC serving as benchmarks for comparative analysis.

Within the proposed frameworks, the oxygen generated by the electrolyzer is harnessed for oxy-fuel combustion within the SMR process, leading to a flue gas primarily composed of CO₂ and H₂O, thereby facilitating facile CO₂ separation through condensation. Additionally, capitalizing on the residual heat generated during SMR, a sophisticated heat recovery mechanism is implemented, channeling waste heat to elevate the temperature of feed water for the electrolyzer. This synergistic integration significantly enhances the overall process efficiency. A comprehensive evaluation encompassing techno-economic analysis, sensitivity assessments, and life cycle greenhouse gas (GHG) analyses was undertaken to gauge the viability and efficacy of the proposed approaches.

Outcome measures underscored that the SMR+SOEC configuration exhibited unparalleled thermal efficiency (85.2%) and exergy efficiency (80.5%), surpassing the performance metrics of the standalone SMR process (78.4% and 70.4% for thermal and exergy efficiencies, respectively). Furthermore, the SMR+SOEC variant demonstrated the most favorable levelized cost of hydrogen (LCOH) at 6.21 USD/kgH₂. Remarkably, the SMR+SOEC configuration also exhibited the lowest life cycle GHG emissions, solidifying its environmental merit. In summation, the proposed SMR+SOEC concept emerges as a promising technological stride, poised to facilitate the transition from gray to green hydrogen domains.

Development of wrinkled silica-based catalysts by controlling the surface properties for furfural hydrogenation

Ye Eun Kim^{1,2}, Kwan-Young Lee² and Man Sig Lee^{1*}

¹Ulsan Division, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)

²Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University

The mesoporous silica, including MCM-41, KIT-6, and SBA-15, is evident in various applications such as the drug delivery, catalysis, and CO₂ adsorption, dye-sensitized solar cells. Among these, wrinkled silica (KCC-1) has remarkably have been gained a great interest due to accessibility to the inner surfaces, high porosities, and uniquely ordered branched structures. Although several syntheses of wrinkled silica using the sol-gel method have been reported, these mainly focus on controlling the morphologies and surface properties by using different templates, co-solvents, reaction temperatures, and times. In this study, we developed the controllable synthesis of wrinkled silica by varying the amounts of templates and co-solvents, aiming to achieve precise control over its morphological features. Moreover, we have modulated the surface properties by introducing and regulating the specific functional groups and dopants. With the developed wrinkled silica, a series of Pd/KCC-1 catalysts were prepared and the catalytic activity was evaluated through furfural hydrogenation under mild temperature. Our results highlight that these morphology and surface properties of supports have an important role in catalysis.

References

1. Jimenez-Gomez, C.P., Cecilia, J.A., Alba-Rubio, A.C., Cassidy, A., Moreno-Tost, R., Garcia-Sancho, C., Maireless-Torres, P., “Tailoring the selectivity of Cu-based catalysts in the furfural hydrogenation reaction: Influence of the morphology of the silica support”, *Fuel*, **319**, 123827 (2022).
2. Hao, P., Peng, B., Shan, B.-Q., Yang, T.-Q., Zhang, K., “Comprehensive understanding of the synthesis and formation mechanism of dendritic mesoporous silica nanospheres”, *Nanoscale Adv.*, **2**, 1792 (2020).

Development of Alkali-modified FAU zeolite as highly selective adsorbent to separate unreacted trace amounts of NH₃ in ammonia decomposition for hydrogen production

Hyeok-Sang Ryu^{1,2}, Jung-Ho Jae² and Dong-Ha Lim¹ *

Green Materials & Process R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology, Ulsan, Korea¹

Division of Chemical and Biomolecular Engineering, Pusan National University, Korea²

Recently, as efforts to achieve the carbon neutral goal of net greenhouse gas emissions zero by 2050 are accelerating globally, hydrogen energy is emerging as the key to realizing a carbon neutral society. Hydrogen has a high energy density and can store a lot of energy in a small volume, but due to the limitations of hydrogen liquefaction technology, ammonia has recently been imported as a representative hydrogen carrier [1]. In particular, ammonia decomposition is an environmentally friendly hydrogen production process in which nitrogen and hydrogen are produced [2]. However, residual ammonia in the product gas through ammonia decomposition must be removed to finally produce high-purity hydrogen.

In this study, unreacted residual ammonia is selectively separated through a high-performance selective adsorbent to simplify the separation process. An alkali-modified FAU zeolite as adsorbent was synthesized to selectively adsorb a small amount of unreacted ammonia, and the prepared adsorbent was characterized and evaluated for adsorption and desorption performance. And the performance of synthesized adsorbent, such as regeneration, mass transfer and breakthrough curve, was evaluated by a lab-scale R-PSA device, and the feasibility of commercial PSA was confirmed by bench-scale swing adsorption including a pressure equilibration step.

Acknowledgement

This work was supported by Regional Specialized Industry Development Program (S3364846) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea) and Development and demonstration of on-board marine debris disposal modules program of Korea institute of Marine Science & Technology Promotion (KIMST) funded by the Ministry of Oceans and Fisheries (KIMST-20220494).

References

1. Wijayanta, A. T., Oda, T., Purnomo, C. W., Kashiwagi, T., and Aziz, M., "Liquid hydrogen, methylcyclohexane, and ammonia as potential hydrogen storage: Comparison review," *Int. J. Hydrogen Energy*, **44**, 15026-15044 (2019).
2. Choi, J., Lee, S.-C., Lee, J., Kim, G.-M., and Lim, D.-H., "Optimization for Ammonia Decomposition over Ruthenium Alumina Catalyst Coated on Metallic Monolith using Response Surface Methodology," *Clean Technol.*, **28**(3), 218-226 (2022).

이산화탄소 습식 흡수제 개발 및 신공정 적용

송호준*, 박현식, 황선엽, 강조흥, 김광휘, 임현지, 손주희, 김지은
한국생산기술연구원

Development of CO₂ Absorbents and Thier Application to Novel Process

Hojun Song, Hyun Sic Park, Sun Yup Hwang, Jo Hong Kang, Kwanghwi Kim,
Hyunji Lim, Juhee Son, Jieun Kim
Green Materials & Processes R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology

탄소중립 핵심기술로서 이산화탄소 포집, 활용 및 저장 (CCUS) 기술이 각광을 받고 있다. CO₂ 포집기술 중 상용화에 근접한 방법으로서 아민 수용액 등을 이용한 습식흡수법이 존재한다. CO₂ 습식흡수법은 공정통합, 공정최적화 이전에 고효율의 CO₂ 흡수제를 개발하는 것이 선행되어야 한다. 특히 CO₂ 흡수제를 재생하기 위한 열에너지를 낮추고, 산소, 열, 철 이온에 의한 흡수제 내열화도를 높이는 등의 전략이 필요하다. 본 연구에서는 고효율 CO₂ 흡수제 개발을 위하여 대표적 2세대 CO₂ 포집제인 혼합 아민 흡수제를 개발하는 과정과 개발한 CO₂ 흡수제 기반의 공정설계를 위한 정확한 물성치의 측정 사례를 소개하고자 한다. 습식흡수법의 상용화시 대형의 설치 부지를 필요로 하므로, 설치 면적과 부피를 절감할 수 있는 막 접촉기 (membrane contactor) 기반의 CO₂ 포집기술도 더불어 소개하고자 한다. 막접촉기를 사용할 경우 기존 형태인 흡수탑 형태인 충전탑, 분무탑 대비 부피를 절반 이하로 절감할 수 있을 것으로 전망되며, 본 연구에서는 막접촉기에 적합한 낮은 막 기공 젖음 특성을 가짐과 동시에 낮은 흡수제 재생열을 갖는 CO₂ 흡수제를 개발하였다.

참고문헌

1. Kim, K., Lim, H., Kim, J., Kang, J. H., Park, H. S., Park, J., and Song, H., "Density, Dynamic Viscosity, Surface Tension, Vapor Pressure, Heat Capacity, and Thermal Conductivity of Aqueous 2-(Isopropylamino)ethanol Solutions at Temperatures from (298.15 to 353.15) K," *J. Chem. Eng. Data*, **68**, 1872-1880 (2023).
2. Lim, H., Kim, K., Park, H. S., Kang, J. H., Park, J., and Song, H., "Carbon Dioxide Capture in Aqueous Potassium Serinate and Piperazine Solution using Bubbling Reactor for Membrane Contactor Applications," *J. Ind. Eng. Chem.*, **122**, 200-209 (2023).
3. Kim, K., Lim, H., Park, H. S., Kang, J. H., Park, J., and Song, H., "Effect of Amino Acid Additives in Ammonia Solution on SO₂ Absorption and Ammonia Escape using Bubbling Reactor for Membrane Contactor Applications," *Process Saf. Environ. Prot.*, **165**, 694-703 (2022).

광물탄산화를 위한 산업부산물 내 Ca source 활용 가능성 확인

박현식^{1*}, 김희준^{1,2}, 정성민^{1,3}, 강조홍^{1,2}, 황선엽¹, 송호준¹
¹한국생산기술연구원, ²연세대학교, ³인제대학교

A Study on the Possibility of Using Ca Source in Industrial By-products for Mineral Carbonation

Hyun Sic Park^{1*}, Heejun Kim^{1,2}, Sungmin Jung^{1,3}, Jo Hong Kang^{1,2},
 Sun Yup Hwang¹, Hojun Song¹

¹Korea Institute of Industrial Technology, ²Yonsei University, ³Inje University

광물탄산화는 이산화탄소 자원화 기술 중 초기 상용화가 가능한 기술군 중 하나로, 탄소중립 실현을 위해 주목받고 있는 기술이다. 기술은 크게 탄산염화 과정에서 금속양이온의 추출을 통해 고순도의 탄산염을 생성하는 간접탄산화와 추출 과정 없이 이산화탄소와 바로 반응시켜 저순도의 탄산염을 생성하는 직접탄산화로 분류된다. 두 공정에서 생성되는 탄산염은 저순도의 경우 건설소재로의 활용을 통해 이산화탄소를 대량 격리가 가능하며, 고순도의 경우 기존의 제품을 대체하여 고부가가치의 화학소재로 활용이 가능하다. 한국생산기술연구원 울산본부에서는 본 기술의 조기 상용화를 위해 소각장에서 발생하는 배가스 중 이산화탄소를 산업부산물 중 하나인 제철슬래그를 활용하여 탄산칼슘 생산 및 2차 제품에 적용하는 실증 연구를 총괄주관기관으로써 울산 내 기업/기관을 도와 공동으로 수행 중이다. 본 연구의 성공적 수행을 위해서는 Ca source의 확보와 원활한 공급이 필요하다. 국내 슬래그 발생량은 연간 약 1천만톤 규모이나 아쉽게도 본 기술에 적용 가능한 슬래그의 형태는 제한적이다. 직접탄산화를 통해 건설소재 제품 적용 시 일부 슬래그의 경우 철질(Fe_2O_3) 성분은 제품의 강도에 악영향을 주어 적용 가능성이 낮다. 또한, 슬래그 내 포함된 실리카(SiO_2) 성분은 간접탄산화를 위한 추출 과정에서 겔화 현상으로 인해 추출효율을 떨어뜨리게 된다. 본 연구에서는 광물탄산화 기술 중 간접탄산화를 통한 고순도의 탄산칼슘 생산 연구에 적용을 위한 산업부산물 내 Ca source 활용 가능성을 파악하였다. 국내, 특히 울산에서 수급이 용이한 산업부산물들을 선별하였으며, 연구를 통해 Ca 이온을 추출하기 위한 최적의 추출제 및 탄산화 조건을 제시함으로써 기술 적용 가능성을 확인하였다.

참고문헌

1. Wang, Junya, et al., "A review of the Application of Steel Slag in CO₂ Fixation," *Chem. Bio. Eng. Reviews.*, 8(3), 189-199 (2021).
2. Kim, Injun, et al., "Two-step mineral carbonation using seawater-based industrial wastewater: an eco-friendly carbon capture, utilization, and storage process," *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22, 333-347 (2020).
3. Kodama, Satoshi, et al., "Development of a new pH-swing CO₂ mineralization process with recyclable reaction solution," *Energy*, 33(5), 776-784 (2008).
4. Bang, Jun-Hwan, et al. "CO₂ mineralization using brine discharged from a seawater desalination plant." *Minerals* 7(11), 207. (2017).

Development of High Ion Conductivity & Air-Stability Solid Electrolyte Manufacturing Technology for Electric Vehicles

Yeong Jun Choi¹, Yun Ji Hwang¹, Mingyu Son¹, Sun-I Kim¹ and Tachyo Kim^{1,*}

¹*Green Materials and Processes R & D Group, Korea Institute of Industrial Technology,
Ulsan 44413, Republic of Korea*

Lithium-ion batteries (LIBs) have many advantages due to their high potential for providing efficient energy storage and environmental sustainability. However, the most of LIBs pose a risk of ignition and explosion because of flammable organic liquid electrolyte. All-solid-state batteries with solid electrolyte (SE) without flammable components have emerged as a next-generation alternative battery and solution for this issue. Among SEs, $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{Cl}$ solid electrolytes with argyrodite structures are attracting attention due to their ability to synthesize materials of various compositions through element substitution. Nevertheless, It has to overcome the limit of SEs such as low ionic conductivity compared to liquid electrolytes and the generation of toxic gases by reacting with moisture in the air. In this study, we have demonstrated the argyrodite solid electrolytes with enhancing ionic conductivity and air stability by doping with Al, Sb, and O triple dopants.

The $\text{Li}_{5.4}\text{Al}_{0.1}\text{P}_{0.94}\text{Sb}_{0.06}\text{S}_{4.55}\text{O}_{0.15}\text{Cl}_{1.3}$ electrolyte showed excellent air/moisture durability and high ionic conductivity. Especially, Al atom can be enhanced the ionic conductivity ability, and the strong Sb-S and P-O bonds improved the air stability. These findings represent significant progress in developing safe and high-performance all-solid-state batteries.

Antibacterial composite materials made with Cu₂O nanoparticles

Siwoo Lee, Jeong Yeon Park , Tae Jong Jang and Youngbok Ryu*

*Green Materials & Process Group, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH),
Ulsan 44413, Republic of Korea*

A lot of research has been done on copper-based nanoparticles due to their excellent antimicrobial activity. The antibacterial composite materials used in this investigation were made with Cu₂O nanoparticles. In order to enhance dispersion of Cu₂O nanoparticles in the polymer matrix, various capping agents that prevent aggregation have been applied to their surfaces. The composite nanoweb was created via electrospinning, and twin-screwed compounders were also used to create the masterbatch and their film. Because of the polarity of the polymer used in each method, the suitable capping agent differed. In electrospinning using the polar polymer Polyvinylidene fluoride, the PVP sample displayed the best dispersion stability. PEG exhibited the maximum dispersion stability in the film, which was made from the non-polar polymer polypropylene. To compare the antibacterial activity of composite materials, the colony-forming unit (CFU) was counted and evaluated by using dry medium film method.

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

오염저감

(구두발표)

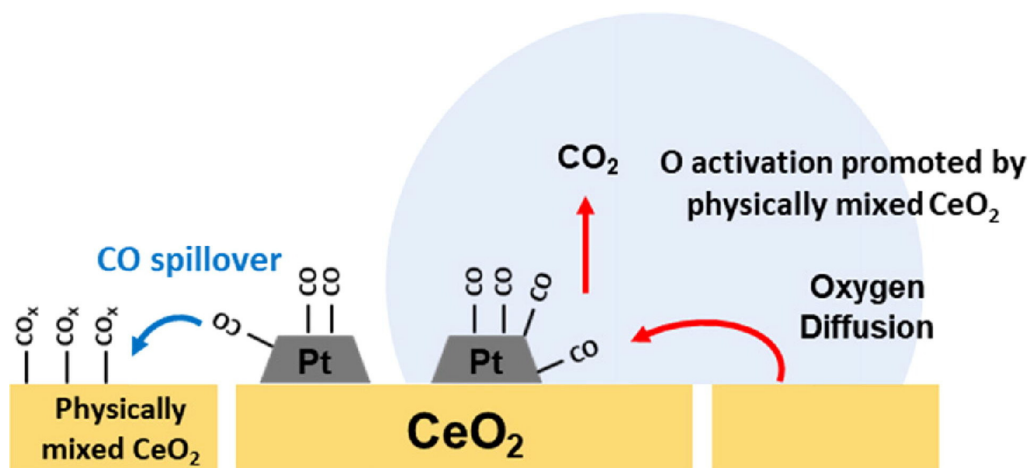
2023년 9월 21일(목) 09:40~10:20
모나 용평리조트 타워콘도 오편홀

Role of CeO₂ in promoting the spillover in CO oxidation reaction over platinum nanoparticle-supported CeO₂ catalyst

Eunwon Lee, Jaeha Lee, Sungha Hwang and Do Heui Kim*

School of Chemical and Biological Engineering, Institute of Chemical Processes, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

CeO₂ has been extensively studied as a support material for platinum group metals because of the high catalytic activity of CeO₂-supported catalysts in oxidation reactions. In particular, it has been reported that the Pt/CeO₂ catalyst exhibits high CO oxidation activity after reductive treatment, thereby lowering the temperature of 50% CO conversion to 150 °C or less. Such high activity of Pt/CeO₂ has been attributed to the formation of active sites at the interface between the Pt nanoparticles (NP) and CeO₂ surface. In this study, we attempt to deepen our understanding of the catalytic activity of Pt/CeO₂ by studying the spillover of CO and O species at the interface. Combined kinetics and in situ CO-diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy studies reveal that CO spills over from Pt NPs to the CeO₂ surface; this contributes to circumventing Pt poisoning by CO at low temperatures. Moreover, the CO oxidation activity of the Pt/CeO₂ catalyst was considerably enhanced by simply mixing CeO₂ particles with the Pt/CeO₂ catalyst. This is explained by the formation of more reactive O atoms on the CeO₂ surface after the reductive treatment. This study demonstrates that understanding the dynamic mobility of reactants is vital for discerning catalyst activity and designing more reactive catalysts.



유전장벽방전(DBD) 플라즈마-전기분해 공정을 통한 PMS 활성화에 의한 미량 오염 물질 탈염

누하슬리나^{1,2}, 종초은^{1,2}, 장 민^{1,2*}

광운대학교 공과대학 환경공학과¹, 플라즈마바이오효과학연구센터²

*e-mail : minjang@kw.ac.kr

Demineralization of micropollutants by PMS activation through electro-assisted dielectric barrier discharge (DBD) plasma

Nurhaslina Abd Rahman^{1,2}, Choe Earn Choong^{1,2}, Min Jang^{1,2*}

¹Kwangwoon University, ²Plasma Bioscience Research Center (PBRC)

Peroxymonosulfate (PMS) is a strong oxidizing agent ($E^0 = 2.5\text{--}3.1$ V) that needs to be activated to enhance its ability to demineralize pollutants by generating reactive species. Various activation methods, such as heating, ultraviolet, activated carbon, electrolysis, and plasma, can greatly improve the decomposition of PMS to produce free radicals [1]. In this study, we focused on investigating the PMS activation by electro-assisted DBD plasma for demineralizing clofibric acid (CA), a pharmaceutical compound, in the aqueous phase. The electrode was prepared with conventional carbon felt (CF) coated by LaCeO_x (namely CF- LaCeO_x) and $\text{LaCeO}_x\text{-Ni}$ (namely CF- $\text{LaCeO}_x\text{-Ni}$) through co-precipitation method followed by calcination. The CA removal kinetic rate constant (k) is $\text{CF-}\text{LaCeO}_x\text{-Ni} > \text{CF-}\text{LaCeO}_x > \text{CF}$. Especially, CF- $\text{LaCeO}_x\text{-Ni}$ shows the best performance in electrocatalysis ($k=0.06$ min^{-1}) and electro-DBD plasma-catalysis ($k=0.47$ min^{-1}) for CA removal. Since electrocatalysis, plasma, and electro-plasma alone cannot demineralize the CA, CF- $\text{LaCeO}_x\text{-Ni}$ was chosen to carry out the PMS additions experiments to demineralize CA. Kinetic, scavenging tests and ESR analyses have been conducted to investigate the PMS activation mechanism. Moreover, SEM, XRD, and XPS were performed to investigate the catalyst characterization. The synergistic factor of electro-plasma-PMS was 3.87. The scavenger experimental results revealed with a sequence of $\bullet\text{OH}$ ($k=0.02$ min^{-1}) $>$ $^1\text{O}_2$ ($k=0.05$ min^{-1}) $>$ $\bullet\text{O}_2^-$ ($k=0.07$ min^{-1}) $>$ e^- ($k=0.09$ min^{-1}) $>$ H_2O_2 ($k=0.12$ min^{-1}) for CA abatement. The results showed that the electrocatalytic DBD plasma-enhanced PMS activation might be an effective approach for wastewater treatment.

Keywords: Clofibric acid, pharmaceutical micropollutant, electro DBD-plasma, demineralization, PMS

Reference

- [1] Long, L., et al., A novel strategy for promoting PMS activation: Enhanced utilization of side reactions. Separation and Purification Technology, 2022. 297: p. 121432.

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

청정수소

(구두발표)

2023년 9월 21일(목) 10:30~11:50
모나 용평리조트 타워콘도 오편홀

Potential CO adsorbents based on Heteroatom-doped Materials for Effective Trace CO Removal

May Zaw Win¹, Ji Hye Park², Wathone Oo¹, Kwang Bok Yi^{2*}

¹Graduate School of Energy Science and Technology, Chungnam National University

²Department of Chemical Engineering Education, Chungnam National University

*cosy32@cnu.ac.kr

The development of efficient carbon monoxide (CO) adsorbents from abundant carbon sources remains constrained, highlighting the need for uncomplicated methodologies to enhance the crucial CO adsorption properties of CuCl with improved oxidation resistance. In this study, the doping effects of heteroatoms, namely nitrogen and boron, were explored on the fabrication of functional carbon-based supports through a straightforward pyrolysis, using chitosan, urea, boric acid, and KOH as precursors materials. The benefits of employing N-doped carbon support for impregnating CuCl were defined as the enhanced dispersion and immobilization of Cu¹⁺ ions. This, in turn, resulted in high CO adsorption uptake ~33 cm³/g at 100 kPa, with 87% retention of adsorption stability after a 30-day air exposure. Unexpectedly, surface basicity arising from N-doping effect contributed to a low CO/CO₂ selectivity of 1.1 at 100 kPa, even at 30 wt% Cu¹⁺-impregnation. To address this, we introduced a new potential application of B, N co-doped carbon as CO₂-repelling support to prepare CO adsorbent with higher CO/CO₂ selectivity, preventing the excessive use of costly CuCl. With the constant 30 wt% Cu¹⁺-impregnation, additional loading of B as 5 wt% on N-doped carbon support enhanced CO/CO₂ selectivity, from 1.1 to 2.6 at 100 kPa. This improvement originated from the repulsion between acidic B species and CO₂. Notably, the influence of this co-doping was most pronounced at a low adsorption-pressure~0.4 kPa, resulting in a remarkable CO/CO₂ selectivity rise to a maximum of 79. This observation underlined the usefulness of B, N co-doping in creating practical CO adsorbents for the effective removal of trace CO (1-3%) present in reformat streams to produce clean H₂ fuel.

References

- [1] Ma, X., Albertsma, J., Gabriels, D., Horst, R., "Carbon monoxide separation: past, present and future," Chem. Soc. Rev., (2023)
- [2] Relvas, F., Whitley, R.D., Silva, C., Mendes, A., "Single-stage pressure swing adsorption for producing fuel cell grade hydrogen," Ind. Eng. Chem. Res., 57 5106-5118 (2018).

고온수성가스전이반응을 위한 CuFe_2O_4 촉매의 제조방법 최적화

전이정, 유지민, 심재오*
원광대학교

Optimization of the preparation method to CuFe_2O_4 catalysts in the high temperature water-gas shift reaction

I-Jeong Jeon, Ji-Min Yu, Jae-Oh Shim*
Wonkwang University

초록

고온수성가스전이(HT-WGS) 반응에서 사용되는 상용촉매는 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ 촉매이며, Fe의 경우 복잡한 환원 단계($\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}^0$)를 가지는 특징이 있다. WGS 반응의 활성종인 Fe_3O_4 는 Fe_2O_3 이 환원된 형태로, 본 연구에서는 반응의 활성을 높이기 위해 Fe_2O_3 에서 Fe_3O_4 로의 환원이 용이하도록 Cu를 첨가하여 촉매를 합성하였다. 또한, 공침법(Co-precipitation), 전기방사법(Electrospinning), 증발법(Dehydration), 졸겔법(Sol-gel), 수열합성법(Hydrothermal)을 촉매 합성에 적용하여 고순도 수소 생산을 위한 가장 최적화된 제조방법을 탐색하고자 하였다. 다양한 방법으로 제조된 CuFe_2O_4 촉매는 XRD, H_2 -TPR, XPS 분석을 통해 물리화학적 특성을 파악하였다. 연구 결과, 전기방사법으로 제조한 CuFe_2O_4 촉매가 HT-WGS 반응에서 가장 높은 활성과 안정성을 보였다.

Clean hydrogen production from the single-stage water-gas shift reaction over bimetallic Pt-Co-CeO₂ catalysts synthesized by direct chemical reduction method

Jong-Hoon Han¹, Seon-Yong Ahn¹ and Hyun-Seog Roh^{1,*}
Yonsei University¹

The single-stage water-gas shift reaction (single-stage WGS) has been carried out at gas hourly space velocity (GHSV) of 36,050 mL/g•h over CeO₂ supported bimetallic Pt-Co catalysts. The synthetic procedure was varied to achieve highly dispersed dual active sites consisting of Pt and Co, enhancing the intrinsic catalytic activity of these dual active sites in the single-stage WGS. The Pt-Co dual active sites were supported on CeO₂ through both a co-impregnation method (Pt-Co/CeO₂) and a direct chemical reduction method using NaBH₄ as the reducing agent (Pt-Co-CeO₂). Furthermore, the Co loading was optimized to maximize the synergistic effect of Pt and Co in the catalyst synthesized by the direct chemical reduction method. The 2Pt-3Co-CeO₂ - DCR catalyst, synthesized by the direct chemical reduction method with optimized synthesis parameters (i.e., Pt/Co ratio = 0.67 and addition of surfactant), showed the highest CO conversion and CO₂ selectivity. This result is mainly due to the SMSI resulting from the enhanced synergistic effect between Pt and Co. The influence of the synthetic procedure on catalytic performance has been investigated through various characterization techniques and correlated with the catalytic activity results in the single-stage WGS.

촉매메탄직접분해를 통한 수소생산기술 동향

고창현*
전남대학교

Trend of catalytic methane decomposition for hydrogen production

Chang Hyun Ko*
Chonnam National University

화석연료에 의존한 에너지 생산은 대기 중 온실가스 농도 증가와 그로인한 전세계적인 기후 위기를 야기하였다. 이를 위한 해결책으로 주 에너지원을 수소에너지로 전환하는 것이 주목받고 있다. 수소에너지를 이용한 발전은 온실가스를 발생시키지 않지만, 탄화수소의 개질만이 유일하게 상용화된 수소 생산 공정이라는 단점이 존재한다. 때문에, 온실가스 없는 수소 생산에 대한 연구 투자는 필수적이다. 그 방법 중 하나인 메탄직접분해는 메탄을 분해하여 2 양론비의 수소 분자를 생산하고 1 양론비의 탄소를 고상으로 고정시켜 온실가스를 배출하지 않는다. 메탄은 촉매가 존재하지 않는 조건에서 1000 °C 이상의 매우 높은 온도에서 분해되기 때문에 촉매를 이용하여 더 낮은 온도에서 반응을 진행시키는 것이 요구된다. 촉매메탄직접분해는 촉매 비활성화, 고상 탄소생성물의 분리 등 해결해야할 문제점이 매우 많기 때문에 여러 종류의 촉매를 이용한 연구가 진행 중이다. 대표적으로, 촉매메탄직접분해는 고상의 탄소 생성이 필연적이기 때문에 일반적인 담지 촉매를 이용할 경우 수 시간 내에 탄소 침적으로 인한 촉매 비활성화가 발생한다. 침적된 탄소를 효과적으로 분리하기 위한 방법으로 molten metal catalyst가 제안되었다 [1]. 이 촉매는 반응 온도에서 액상으로 존재하는 metal alloy를 이용하여 촉매와 고상 탄소의 분리를 쉽게 하였다. 그러나, molten metal catalyst를 이용한 촉매 공정은 수소 생산성이 낮은 단점이 존재하였다. 때문에 담지 촉매를 재생하여 사용하는 방법이 제안되었다. 재생 시 이산화탄소와 산소를 사용하여 고상의 탄소를 산화시키는 방법이 제안되어 연구가 되어왔으나 [2], 이런 방법은 고상의 탄소를 회수할 수 없어 추가적인 경제적 이득을 얻을 수 없고 결국 이산화탄소와 같은 온실가스를 발생시키기 때문에 지양되어야한다. 최근에는 기계적인 방법을 이용하여 탄소를 촉매에서 분리하는 방법이 제안되었으며 [3], 침적된 탄소를 촉매에서 분리하지 않고 고상으로 안정화시키는 그 자체에 의의를 두는 연구도 진행되고 있다 [4]. 탄소 촉매를 이용한 촉매메탄직접분해가 그것인데, 매우 높은 비표면적을 가진 탄소물질을 이용하여 메탄을 분해시키는 방법이다. 이러한 다양한 촉매들과 최신 기술 동향을 정리해서 향후 촉매메탄직접분해를 위해서 촉매가 개발되어야 할 방향을 공유하고자 한다.

참고문헌

1. D.C. Upham, V. Agarwal, A. Khechfe, Z.R. Snodgrass, M.J. Gordon, H. Metiu, E.W. McFarland, "Catalytic molten metals for the direct conversion of methane to hydrogen and separable carbon", Science, 358, 917-921 (2017).
2. Z. Sun, T. Cai, C.K. Russell, J.K. Johnson, R.-P. Ye, W. Xiang, X. Chen, M. Fan, Z. Sun, "Highly efficient methane decomposition to H₂ and CO₂ reduction to CO via redox looping of Ca₂FexAl_{12-x}O₅ supported Ni_yFe_{3-y}O₄ nanoparticles", Applied Catalysis B: Environmental, 271, 118938 (2020).
3. K.R. Parmar, K. Pant, S. Roy, "Blue hydrogen and carbon nanotube production via direct catalytic decomposition of methane in fluidized bed reactor: Capture and extraction of carbon in the form of CNTs", Energy Conversion and Management, 232, 113893 (2021).
4. Y. Shen, A.C. Lua, "A trimodal porous carbon as an effective catalyst for hydrogen production by methane decomposition", Journal of colloid and interface science, 462, 48-55 (2016).

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

청정일반

(구두발표)

2023년 9월 21일(목) 15:10~17:00
모나 용평리조트 타워콘도 오픈홀

탄소중립 달성을 위한 청정 암모니아 합성 기술

주형국*

단국대학교 과학기술대학 에너지공학과

현재 인류는 기후 변화에서 기후 위기의 시대를 체감하고 있으며, 세계적으로 기후 극복을 위해서 화석 연료의 비중을 대폭 감소하고 청정한 무탄소 에너지 경제로 넘어가는 에너지 대전환의 기점에 직면해 있다. 이러한 기후변화 대응을 위해서는 탄소중립이 실현가능한 에너지원을 확보하고 이를 활용할 수 있는 기술을 빠르게는 2030년부터 시작해야 한다. 하지만 궁극의 무탄소 친환경 에너지원인 재생에너지(태양광, 풍력, 조력 등)는 지역적 편재성과 시간(계절)에 따른 가변성 문제를 반드시 해결해야 한다. 이상적으로 수소는 가장 유용한 재생에너지의 저장물질이지만, 수소의 이송 및 저장에 있어서 아직까지는 탄소중립 시대를 준비하기에는 기술적으로 어려운 난제가 많이 있는 실정이다. 에너지 전환시점의 대안으로 청정 암모니아는 액체 재생에너지 저장물질로 미국, 일본, 호주, 한국 등의 나라에서 그 가능성에 대해 정책적, 기술적으로 도입을 추진하고 있다. 암모니아는 액체상태로 쉽게 전환이 가능하기 때문에 대규모 및 장거리 저장/이송에 가장 적합한 수소저장물질로 인정되고 있으며, 암모니아를 직접 무탄소 연료로 활용하기 위한 다양한 시스템도 연구되고 있다. 본 발표에서는 최신의 청정 암모니아 합성 기술에 대한 소개와 탄소중립 달성을 위한 암모니아 기술의 해결해야 할 다양한 도전과제에 대해서 논의하고자 한다.

가압 조건에서의 암모니아-공기 연소특성 및 질소산화물 제어

이민정^{1*}, 정우남², 김남수², 곽영태²
¹서울과학기술대학교, ²한국에너지기술연구원

Ammonia-air combustion characteristics and nitrogen oxide control under pressurized conditions

Min Jung Lee¹, Woonam Jung², Namsu Kim², Young Tae Ghuak²
¹Seoul National University of Science and Technology, ²Korea Institute of Energy Research

초록

2022년 국가 온실가스 인벤토리 보고서에 따르면 발전, 산업, 수송 등 에너지 부문에서 발생하는 온실가스는 전체 배출량의 87%를 차지하며, 대부분이 연료 연소에 의해 발생한다. 이에 따라 기후위기에 대한 인식과 온실가스 감축의 필요성이 절실히 대두되고 있으며, 많은 국가가 인류의 생존과 지속 가능한 에너지 이용을 위해 파리협정 이후 탄소 중립을 선언하고 있다. 한국은 최근 '수소 경제 활성화 로드맵'과 '수소경제 추진 기본계획' 두 가지 계획을 발표했다. 이에 따라 정부는 수소 경제 활성화를 위해 수소 관련 산업 지원에 나서고 있으며, 최근 10차 전력 수급계획을 통해 수소와 암모니아를 각각 천연가스(NG) 및 석탄 연료에 혼합하여 무탄소 발전을 추진하겠다고 밝혔다. 하지만 현재 기술개발의 한계에 의해 가스터빈 발전에는 수소를, 석탄 보일러 발전에는 암모니아를 적용하는 것이 일반적이지만, 앞으로는 암모니아 혼소 및 전소 가스터빈 기술에 관한 관심이 증대될 것으로 판단된다.

암모니아는 액체상태의 기존 수소보다 에너지 저장 밀도(4.3kWh/L, 5.25kWh/kg)가 높고 보다 온화한 조건(상온, 8.5bar 또는 -33°C, 대기압)에서 액화되는 장점이 있으며, 기존에 상용화된 암모니아의 저장 및 운송 인프라를 활용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 암모니아의 경우 이론 혼합비 조건에서의 층류 연소 속도가 기존 메탄의 1/4 수준으로 매우 낮아 화염 안정성 확보에 어려움이 있다. 또한, 연료 자체에 포함된 질소 원자는 고온의 화염대를 통과하여 쉽게 질소산화물(NOx)의 형태로 전환 된다. 따라서 암모니아를 가스터빈의 연료로 사용하기 위해서는 화염 안정성 확보 및 질소산화물 억제와 관련된 연소 한계를 극복할 필요가 있으며, 암모니아 연소와 관련된 대부분 연구가 이러한 한계를 극복하기 위한 기술을 개발하고 있다.

본 연구에서는 예혼합 암모니아-공기 연소기 설계 개념을 소개하고, 암모니아 화염 안정성에 대해 논의할 예정이다. 또한, 연료-다단 방식[1]을 통해 NOx 배출량을 줄이는 새로운 접근방식과 그 효과에 대한 실험 결과를 발표할 예정이다. 최대 4.0bar의 가압 환경에서 화염 안정화 특성과 NOx, N2O 및 NH3 동시 측정 결과를 소개하고자 한다.

Keywords

암모니아 연소, 암모니아 가스터빈, NOx 제어, 가압 연소, 화염 안정성

감사의 글

본 연구는 한국에너지기술연구원의 기본사업(C2-2425)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

참고문헌

1. Lee T, Guahk YT, Kim N, Lee H, Lee MJ., "Stability and emission characteristics of ammonia-air flames in a lean-lean fuel staging tangential injection combustor", Combust Flame, 248, 112593 (2023)

메탄 건식 개질 반응을 위한 나노 Ni 결정 담지 마그네슘실리케이트 MWW 촉매 개발 연구

권성준, 박민범*

에너지화학공학과, 인천대학교, 인천 22012, 대한민국

Nickel nanoparticles supported on magnesium silicate MWW molecular sieve as efficient catalyst for dry reforming of methane

Sungjoon Kweon, Min Bum Park*

Department of Energy and Chemical Engineering, Incheon National University, Incheon 22012, Korea

탄소 배출 감소를 위한 메탄 건식 개질 반응(DRM, $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{H}_2 + 2\text{CO}$)에 적용 가능한 촉매 개발 전략들 중 염기성 지지체를 활용한 Ni 촉매 개발은 코크 형성 억제 및 Ni 종과 강한 support-metal interaction을 가질 수 있어 활발히 연구되고 있다[1]. 본 연구에서는 다양한 구조의 마그네슘실리케이트(Mg-DML- x ($x = 100-180$ °C))를 모로실리케이트 MWW 전구체와 질산 마그네슘 수용액의 혼합모액의 단일단계 수열 전환을 통해 합성하였다. 100 °C 에서 180 °C까지 수열 온도가 상승하며 Mg-DML의 결정구조는 3차원의 tectosilicate로부터 층간 박리된 2차원 MWW 구조 및 2차원의 무결정 phyllosilicate로 변화하였고, Ni을 담지한 후에도 Mg에 대한 X-ray 피크는 관찰되지 않아 촉매 내 Mg 종이 이분하게 분산되어 있음을 알 수 있었다(Figure 1(a)). 동시에 구조 내 붕소 원소(B)가 Mg으로 치환되어 촉매 내 Mg 원소의 양은 연속적으로 증가하였고, Mg 종의 화학적 상태를 분석하기 위해 분석한 Mg 2p XPS에서 Mg-DML-80-160은 골격구조 내 Mg가 주를 이룬 반면, Mg-DML-180은 MgO가 주요한 촉매 내 Mg 원소임을 확인할 수 있었다(Figure 1(b)). 이러한 물리화학적 특성 차이로 인해 CO_2 -TPD에서 Mg-DML-160이 가장 큰 염기성을 보였으며(Figure 1(c)), 그로 인해 Ni/Mg-DML-160은 가장 강한 support-metal interaction 및 가장 높은 Ni 종의 분산도를 보였다. 위와 같은 뛰어난 물리화학적 특성으로 인해 Ni/Mg-DML-160은 메탄 건식 개질 반응(DRM)에서 본 연구에 적용한 촉매들 중 가장 뛰어난 촉매 활성 및 안정성을 보였다(Figure 1(d)). 더욱이 Ni/Mg-DML-160은 같은 온도(700 °C)에서 100 시간 동안 뛰어난 활성 및 안정성 또한 보였는데, 이는 촉매 내 강한 support-metal interaction으로 인해 100 시간 동안 10 nm 미만의 크기를 유지한 Ni 종 때문임을 STEM-EDS를 통해 밝힐 수 있었다. 따라서 본 연구의 종합적인 결과들을 통해 구조 내 Mg원소로 인해 생성되는 Lewis 염기성과 2 차원 MWW 구조의 시너지 효과를 가진 촉매 지지체가 DRM 반응에 뛰어난 지지체로 이용될 수 있음을 제시하였다.

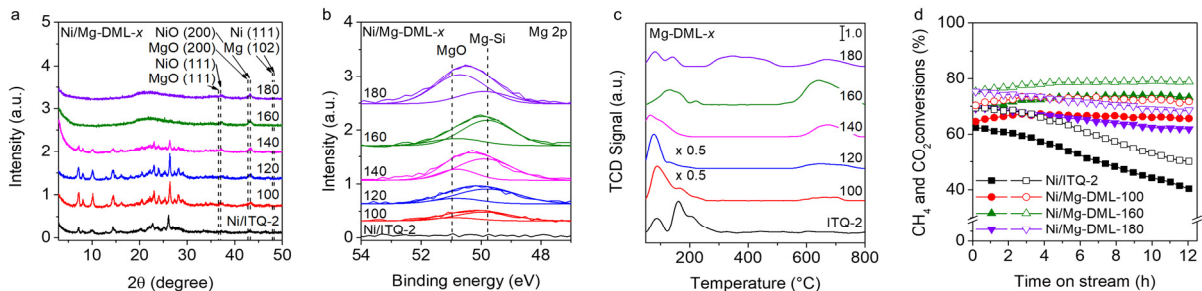


Figure 1. (a) Powder XRD patterns, (b) Mg 2p XPS spectra of Ni/Mg-DML- x ($x = 100-180$ °C) and Ni/ITQ-2, (c) CO_2 -TPD profiles of Mg-DML- x ($x = 100-180$ °C) and ITQ-2, and (d) CH_4 (closed) and CO_2 (open) conversions of Ni/ITQ-2 and Ni/Mg-DML-100, 160, and 180 in DRM reaction as a function of time on stream at 700 °C and $60,000 \text{ cm}^3 \text{ g}_{\text{cat}}^{-1} \text{ h}^{-1}$ GHSV.

참고문헌

1. Huo, M., Li, L., Zhao, X., Zhang, Y., Li, J., "Synthesis of Ni-based catalysts supported on nitrogen-incorporated SBA-16 and their catalytic performance in the reforming of methane with carbon dioxide," *J. Fuel. Chem. Technol.*, **45**(2), 172-181 (2017).

Effect of Alumina Binder on Impregnation of Platinum-Yttrium Catalyst into Hierarchical MFI Zeolite Pellet for Propane Dehydrogenation

Jeong-Chul Kim^{1*}

¹Center for Nanomaterials and Chemical Reactions, Institute for Basic Science (IBS), Daejeon

Catalytic dehydrogenation of propane to propylene is one of the most important petrochemical processes. In the propane dehydrogenation (PDH) reaction, platinum-yttrium (PtY) nanoparticles supported on a siliceous form of mesoporous MFI zeolite were recently found to exhibit excellent PDH catalytic performance [1]. The key strategy in the synthesis was to use zeolites with plenty of silanol nests on the mesopore wall, which allowed the yttrium to exist as single atomic species that can be easily reduced into a metallic state. The resulting PtY/zeolite catalyst exhibited high catalytic activity and propylene selectivity with a dramatic improvement in catalyst durability, due to the intermetallic L1₂ structure.

For the industrial implementation of zeolite-supported PtY alloy catalysts, it is essential to shape the powder catalysts into industrially-relevant forms to avoid pressure drop in industrial reactors. The shaping of zeolite catalysts can be achieved by high-pressure pelletization using inorganic binders, which are added to increase the mechanical strength of the zeolite. Careful optimization of the pelletization process is considered necessary to minimize the detrimental variation in catalytic properties. However, research on the effects of different pelletization parameters has rarely been reported.

In the present work, we investigated the effects of pelletization on the catalytic performance of mesoporous MFI zeolite supported with bimetallic PtY alloy catalyst in the PDH reaction [2]. The catalytic performance was analyzed in terms of surface acidity and metal location in PtY/zeolite pellets with different binders (pseudoboehmite, hydrotalcite, and fumed silica). The results were discussed in comparison with the catalytic performance of the unshaped catalyst.

References

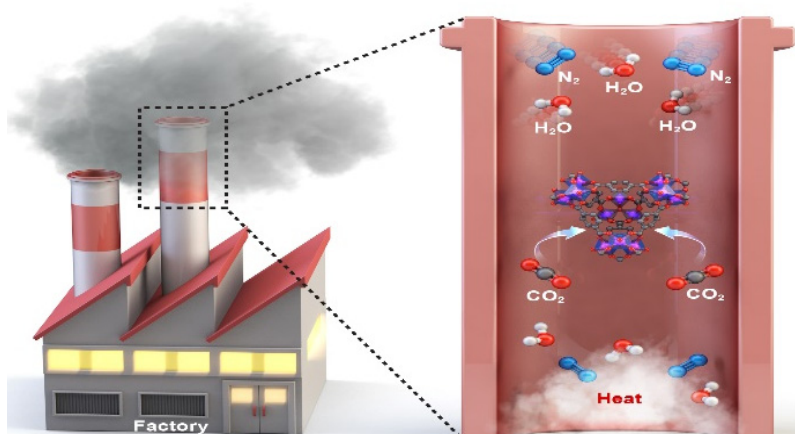
1. Ryoo, R., Kim, J., Jo, C., Han, S. W., Kim, J.-C., Park, H., Han, J., Shin, H. S., and Shin, J. W., "Rare-earth -platinum alloy nanoparticles in mesoporous zeolite for catalysis", *Nature*, **585**, 221-224 (2020).
2. Kim, J.-C., Lee, J., Han, S. W., Park, H., Park, H., Park, J. Y., and Ryoo, R., "Influence of catalyst pelletization on propane dehydrogenation over hierarchical MFI zeolite supported with platinum-yttrium nanoparticles", *Micropor. Mesopor. Mater.*, **357**, 112610 (2023).

Water repellent fluorine or methyl functionalized MOFs for CO₂ capture under humid conditions

Su-Kyung Lee*

Research Group of Nanocatalysts, Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT),
141 Gajeong-ro, Yuseong, Daejeon 305-600, Republic of Korea

The selective capture of CO₂ in humid conditions on Metal-Organic Frameworks (MOFs) is challenging due to competitive adsorption of H₂O and CO₂ on the active sites.¹ Herein, water repellent moiety, fluorine or methyl groups are introduced on MOFs. Three strategy to carry out this were applied. Firstly, amine and fluorine co-functionalized MIL-101(Cr) was synthesized and evaluated for use as CO₂ adsorbent to overcome this issue. MIL-101(Cr)-NH₂-F0.5 was prepared using a mixed-ligand strategy, and contains 2.9% nitrogen and 0.5% fluorine while maintaining the MIL-101(Cr) structure. Secondly, equimolar methyl and nitro functionalized CAU-10 was synthesized, and evaluated as CO₂ adsorbent. Finally, microporous fluorinated carbons derived from Zn-perfluoro MOF are prepared, and their adsorption performance in high humidity is presented. How these CO₂ adsorbents work under humid condition is presented.



References

1. Li, G., Xiao, P., Webley, P., Zhang, J., Singe, R., Marshall, M., "Capture of CO₂ from high humidity flue gas by vacuum swing adsorption with zeolite 13X," *Adsorp.*, 14, 415-422 (2008).

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

재생가능연료 및 소재

(포스터발표)

2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀

Forecasting Solar Power Curtailment with Deep Learning

Saeideh Khakzadkelarijani and J. Jay Liu^{1*}

¹*Department of Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea*

Renewable energy production has rapidly increased due to the escalating demand for clean and sustainable energy in recent years. However, the rapid spread of Renewable energy sources (RES) has resulted in an oversupply or excess of renewable energy in power systems, causing an independent system operator (ISO) to curtail RES generation to maintain the security of power systems. These curtailments cause huge green energy losses. Therefore, forecasting the curtailment of RES helps more accurate planning and operation of power systems to utilize RES more effectively. This study aims to forecast solar power curtailment by training historical data using Long-Short Term Memory (LSTM). The LSTM is a recurrent neural network (RNN) architecture commonly used in deep learning. As it captures long-term dependencies, it is ideal for sequence forecasting tasks, such as solar power curtailment forecasting. This problem is a multivariate forecast problem with eight features and one target. The features are the power generation of wind, solar, other renewables (i.e., geothermal, biomass, biogas and small hydropower), large hydropower, thermal, nuclear units, imported power, and load demands. The target is Solar power curtailment. The methodology involves data preparation, creating input-output sequences, train-test split, training the model, evaluating its performance, tuning hyperparameters, and deploying the model for prediction.

Thermogravimetric characteristics and kinetics of cattle manure

Jae-Rak Jeon¹, In-Jun Hwang¹, Thuan Anh Vo¹, Jinsoo Kim^{2*}, Seung-Soo Kim^{1*}

¹Department of Chemical Engineering, Kangwon National University, 346 Joongang-ro, Samcheok, Gangwon-do 25913, Korea

²Department of Chemical Engineering (Integrated Engineering), Kyung Hee University, 1732 Deogyong-daero, Yongin, Gyeonggi-do 17104, Korea

Cattle manure (CM) is considered biomass resource, but it contains pathogens or viruses that can have a harmful effect on humans or animals to be used as fertilizer. Thermalgravimetric characteristics of CM was carried out before and after the acid washing to see the effect of inorganic materials on pyrolysis. The original CM exhibited rapid decomposition between 250 and 400 °C, while the acid-washed CMs decomposed mainly between 250 and 450 °C. These temperatures ranges are attributed of decomposition such as hemicellulose, cellulose, and lignin, which are the main components of cattle manure biomass. The pyrolysis kinetics of CM was carried out in a micro-tubing reactor, and reaction rate constants were calculated by the comparison of experimental data and kinetic model. In the case of raw CM, a gas formation from B (Liquid) to C (Gas) occurred mainly in 375 ~ 425 °C, however, the main reaction pathway was the oil formation from A (Biomass) to B (Liquid) in an acid-washed CM. CO and CO₂ were the main products in gas, and liquid products were mainly phenol compounds such as phenol, 2-methoxy phenol, and 4-ethyl-2-methoxy phenol.

Reference

1. Park, J. W., Heo, J., Ly, H. V., Kim, J., Lim, H., and Kim, S.-S., "Fast pyrolysis of acid-washed oil palm empty fruit bunch for bio-oil production in a bubbling fluidized-bed reactor," *Energy*, **179**, 517-527 (2019).
2. Ly, H. V., Kim, S.-S., Kim, J., Choi, J. H., and Woo, H. C., "Effect of acid washing on pyrolysis of *Cladophora socialis* alga in microtubing reactor," *Energy Convers. Manag.*, **106**, 260-267 (2015).
3. Ly, H. V., Choi, J. H., Woo, H. C., Kim, S.-S., and Kim, J., "Upgrading bio-oil by catalytic fast pyrolysis of acid-washed *Saccharina japonica* alga in a fluidized-bed reactor," *Renew. Energ.*, **133**, 11-22 (2019).

NaOH/ γ -Al₂O₃ 촉매를 이용한 바이오디젤 제조

이승희¹, 심민석¹, 김예희¹, 김영빈¹, Rajendra Joshi³, 전종기^{1,2,*}

¹공주대학교 화학공학부

²공주대학교 자원재활용연구센터

³Dept. of Chemical Science and Engineering, School of Engineering, Kathmandu University

Synthesis of biodiesel using NaOH/ γ -Al₂O₃ catalysts

Seunghee Lee¹, Minseok Sim¹, Yehee Kim¹, Young Bin Kim¹, Rajendra Joshi³ and Jong-Ki Jeon^{1,2,*}

¹Dept. of Chemical Engineering, Kongju National University

²Resource Recycling Research Center, Kongju National University

³Dept. of Chemical Science and Engineering, School of Engineering, Kathmandu University

본 연구에서는 비식용성이며 식물성 열매인 *jatropha*를 추출한 오일을 2단계의 공정을 거쳐 바이오디젤을 제조하기 위한 실험을 진행하였다. *Jatropha* 오일 내에 다량 함유된 유리지방산으로 인해 산가가 높기 때문에 바이오디젤 제조를 위한 전이에스테르화 반응에 직접 적용하기 어렵다. 따라서 고체산 촉매인 Amberlyst-15 촉매를 사용하여 *jatropha* 오일의 산가를 대폭 낮춘 오일을 전이에스테르화 반응용 원료로 사용하였다. 바이오디젤과 고부가 생산 원료인 글리세롤이 생성되는 전이 에스테르화 반응에서는 NaOH를 Inicpient Wetness Impregnation 방법으로 γ -Al₂O₃에 담지한 촉매를 사용하였다. 제조한 촉매는 Bruanuer Emmett Teller (BET), Temperature-programmed desorption (CO₂-TPD), X-ray diffraction (XRD)로 분석을 통해 특성을 알아보았다. *Jatropha* oil의 전이 에스테르화 반응에서 촉매 제조 시 사용되는 NaOH의 담지량, 촉매의 사용량, 반응온도, 교반속도 등의 반응 조건을 최적화하였다.

네팔산 *Jatropha seed*로부터 바이오디젤 제조 공정 실증

심민석¹, 이승희¹, 김예희¹, Rajendra Joshi³, 전종기^{1,2,*}

¹공주대학교 화학공학부

²공주대학교 자원재활용연구센터

³Dept. of Chemical Science and Engineering, School of Engineering, Kathmandu University

Demonstration of biodiesel manufacturing process from Nepalese *Jatropha seed*

Minseok Sim¹, Seunghee Lee¹, Yehee Kim¹, Rajendra Joshi³, Jong-Ki Jeon^{1,2,*}

¹Dept. of Chemical Engineering, Kongju National University

²Resource Recycling Research Center, Kongju National University

³Dept. of Chemical Science and Engineering, School of Engineering, Kathmandu University

*Jatropha Curcas*는 식품으로서의 가치가 없으므로 다른 공급 원료와 비교하여 사회에 대한 식량 공급에 영향을 미치지 않는다. 또한, 유분 함량이 47.25% 정도로 높기 때문에 바이오디젤 생산을 위한 유망한 원료이다. 유가와 온실가스의 배출량이 상승하고 있는 현 상황에서 신재생 연료의무혼합 제도를 전 세계적으로 도입하기 위해 바이오디젤로 전환하는 연구가 활발히 진행되고 있다. *Jatropha oil*에는 유리지방산(free fatty acid, FFA)의 함량이 높아 전이에스테르화 반응 시 사용되는 염기 촉매와 유리지방산의 반응으로 염을 생성하여 촉매의 활성을 감소시킨다. 본 연구에 사용된 *Jatropha oil*은 네팔의 카트만두 현지의 공급업체로부터 *Jatropha* 씨앗을 얻어 오일 압축기를 이용하여 추출하였으며, FFA 함량의 감소를 위해 반응용 촉매로서 고체 산 촉매인 Amberlyst-15를 사용하여 1단계 공정인 에스테르화 반응을 진행하였다. 고체 산 촉매의 사용으로 산가를 낮춘 *Jatropha oil*과 염기 촉매인 dolomite bead 촉매를 사용한 2단계 공정인 전이에스테르화 반응을 진행하여 바이오디젤을 제조하였다. 반응 실험은 모두 batch reactor를 사용하여 진행하였고, 전이에스테르화 반응 후 생성물인 바이오디젤은 Gas Chromatography (GC)를 통해 전환율을 분석하였다. 이후 제조한 바이오디젤을 소규모 발전기에 적용하여 가동 여부를 확인하였다.

Vanillin hydrodeoxygenation over bifunctional Ru/HZSM-5 catalysts implemented in a biphasic system

Hyungjoo Kim¹, Seungdo Yang¹, Yong Hyun Lim¹, Jeong-Myeong Ha²,
Jae Hyun Park¹, and Do Heui Kim^{1*}

¹*School of Chemical and Biological Engineering, Institute of Chemical Process, Seoul National University, 1, Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, 08826, Republic of Korea,*

²*Clean Energy Research Center, Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul 02792, Republic of Korea*

Efforts have been made throughout the years to both reduce the costs for treatment of increasing biowaste and find an alternative green energy source at the same time through the production of bio-oil. However, to utilize bio-oil, an oxygen removal process called hydrodeoxygenation (HDO) is required to obtain fuel-range hydrocarbons. In order to simplify the process, HDO of the model phenolic monomer vanillin was chosen to investigate the deoxygenation behavior of various oxygen-containing functional groups widely seen in the diverse mixture of oxygen-rich hydrocarbons present in bio-oil. Complete HDO of vanillin to yield cycloalkanes was performed in a n-octane/water biphasic system using bifunctional Ru loaded HZSM-5 catalysts of different properties. A range of metal loadings (0.1, 0.5, 1, 3, and 5 wt.%) and SiO₂/Al₂O₃ ratios (SiO₂/Al₂O₃=23, 300) were implemented in the catalysts for comparison alongside varying reaction conditions. Both the reaction pathway and product distribution were influenced by the metal/acid balance of the catalysts. Higher metal/acid ratio promoted Caryl-C cleavage reaction, resulting in an increase in cyclohexane yield. Synergetic effect of metal and acid sites was observed in the bifunctional catalyst, attaining as high as 40-fold increase of metal efficiency in the ring hydrogenation reaction, compared to catalyst solely relying on metal sites. The effect of solvent composition was also evaluated, revealing that the presence of water promoted the overall HDO reaction. By balancing metal/acid and introducing an appropriate solvent system, an efficient catalytic system with minimized carbon loss and improved metal efficiency for vanillin HDO was obtained.

Silica material 지지체에 담지된 전이금속 촉매를 이용한 다환식 방향족 탄화수소 수소화 반응

황서연¹, 원세연¹, 오승교¹, 한기보², 정병훈³, 전종기^{1*}

¹공주대학교

²고등기술연구원

³국방과학연구소

Hydrogenation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons over Transition Metal Catalysts supported on Silica material Catalysts

Seoyeon Hwang¹, Seyeon Won¹, Seung Kyo Oh¹, Gi Bo Han²,

Byunghun Jeong³, Jong-Ki Jeon^{1*}

¹Kongju National University

²Institute for Advanced Engineering

³Agency for Defense Development

석유화학공정에서 부생되는 잔사유는 나프탈렌, 안트라센 등 방향족 화합물을 대량 포함하고 있으며, 열 중합을 통하여 탄소 육각망을 쉽게 형성할 수 있기 때문에 탄소섬유, 코크스, 인조흑연 등 탄소 재료의 전구체로서 많이 활용되고 있다. 이러한 석유계 잔사유 중 Pyrolysis Fuel Oil(PFO)은 적은 불순물과 고함량의 방향족 화합물, 저렴한 가격으로 운송 연료, 니들 코크스, BTX와 같은 부가가치 화학물질, 고강도 탄소 섬유 등 고부가가치 탄소 물질의 잠재적 원천을 갖고 있다. PFO는 1-ring부터 5-ring까지 다환식 방향족 탄화수소(Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)로 이루어져 있다. 전이금속이 담지된 촉매를 활용하여 PAHs의 수소화를 진행하는 연구들이 활발히 이루어졌다. 금속지지 촉매는 불균일 수소화 반응과 같은 촉매 분야에 널리 사용되는 것으로 잘 알려져 있다. 지지체 종류의 영향을 알아보기 위해 Silica 성분으로 이루어진 4가지 다른 지지체들에 Pt를 1wt% 담지하여 PFO 수소화 반응실험에 미치는 영향을 확인해왔다. 또한 BET, NH₃-TPD, H₂-TPR 등을 통해 촉매 특성을 분석하였다. 본 연구에서는 trickle-bed reactor 반응기를 통해 촉매의 방향족 화합물의 수소화 능력을 평가하였다.

Efficacy of formic acid treatment against Spent coffee grounds as Pd catalysts support

Hye Jin Song^{1,2}, Ye Eun Kim^{1,3}, Panseong Kim¹, Jung-ho Jae², Man Sig Lee^{1,*}

¹Ulsan Division, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)

²School of Chemical Engineering, Pusan National University

³Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University

Spent Coffee Grounds (SCGs) consist of 50% polysaccharides, 20% lignin, and 20% protein and other nitrogenous compounds. In addition, there are phenolic compounds comprising chlorogenic acid, protocatechuic acid, melanoidin and tannins. Due to the high carbon content of SCGs, studies on the application of SCGs to biochar or activated carbon have recently been reported. In order to obtain carbon with a high yield, removal of nitrogenous compounds such as proteins and melanoidins other than carbon from SCGs to prevent tar or ash formation is required. Formic acid exhibits high solubility in lignin and protein[1, 2]. Herein, we studied the removal of residual impurities and modification of SCGs with various concentration of formic acid solution. SCGs treated with formic acid were converted into activated carbon through a pyrolysis process in an air atmosphere. Then, a series of Pd/SCGs catalyst was synthesized through a chemical reduction method using the treated SCGs. The activity of the prepared catalysts was evaluated by furfural hydrogenation and compared to that of a commercial Pd/C catalyst. As a result, the Pd/SCGs catalyst showed similar activity to commercial catalysts, confirming the possibility of using SCGs as a catalyst support. The SCGs studied showed high surface area composed of micropores, which is a promising option for the raw material of activated carbon.

1. Qiao, H., et al., "In-depth investigation of formic acid pretreatment for various biomasses: Chemical properties, structural features, and enzymatic hydrolysis." *Bioresource Technology*, 374, 128747, (2023).
2. Hirano, A., et al., "The solubility of N-acetyl amino acid amides in organic acid and alcohol solutions: Mechanistic insight into structural protein solubilization." *Int. J. Biol. Macromol.*, 178, 607-615, (2021).

Effect of leaching processes on the leaching of lithium from anhydrite

Dong Hwan Cheon^{1,2}, Ye Eun Kim^{1,3}, Jung Ho Jae², Man Sig Lee^{1*}

¹*Ulsan division, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)*

²*School of Chemical Engineering, Pusan National University*

³*Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University*

Nowadays, the rapid growth of the electric vehicle market has further accelerated the demand for lithium used in lithium ion batteries (LIBs). [1] Lithium is mainly stored in lithium deposits such as ore, brine, and sea water. [2] While ore remains the predominant source due to its higher lithium concentration (32-65 ppm) compared to brine and seawater (0.17-0.2 ppm), the effective extraction is still challenging.[3] In this study, the effect of different leaching processes on the extraction of lithium from ore comprising anhydrite and lithium was investigated. Initially, the effects of roasting with Na_2SO_4 and Na_2CO_3 were investigated. Then, the extraction was conducted in water leaching using a magnetic stirrer, autoclave, and high shear mixer. To confirm extraction efficiency of lithium, ICP-MS, UV-Vis, XRD, and XRF were conducted. As a result, it was observed that the roasting of ore with Na_2CO_3 was more efficient compared to Na_2SO_4 . This enhancement in lithium leaching efficiency was attributed to a substitution reaction, wherein the formation of Li_2CO_3 led to a higher solubility. This led to a higher lithium leaching efficiency.

References

1. Yang, Y. et al., "A process for combination of recycling lithium and regenerating graphite from spent lithium-ion battery", *Waste Manage.*, **85**, 529-537 (2019)
2. Ming et al., "Lithium extraction from hard rock lithium ores (spodumene, lepidolite, zinnwaldite, petalite): Technology, resources, environment and cost", *China Geol.*, **6**(1), 137-153 (2023)
3. Murodjon, et al., "Lithium recovery from brines including seawater, salt lake brine, underground water and geothermal water" *Thermodynamics and Energy Engineering*, 90371 (2020)

다공성 무기나노입자 코팅층을 보유한 셀룰로오스 유래 리튬이차전지 분리막 기술

김혜연¹, 이채은², 조재민³, 박철환³, 구본욱⁴, 황진연^{2*}, 김광호^{1*}
 한국과학기술연구원 청정에너지연구센터,¹ 한국과학기술연구원 에너지저장연구센터,²
 광운대학교 화학공학과,³ 경북대학교 임산공학전공⁴

이차전지 산업은 에너지 저장 분야에서 급속한 발전을 이루어내면서, 이에 따른 생산 과정에서의 환경적 영향에 대한 검토가 필요한 시점에 도달하였다. 급증하는 전기차 수요와 함께 향후 배출될 폐배터리 및 폐기물 처리에 대한 대처방안과 탄소배출 저감을 위한 소재 개발 및 공정 개선에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다[1]. 이차전지 생산에서 지속 가능한 친환경 공정의 중요성은 더욱 강조되고 있으며 환경 보호와 에너지 효율성을 동시에 실현하는 중요한 전략이 될 것이다.

특히 생물 유래 생분해성 고분자 소재들은 이차전지의 바인더·분리막·분리막 코팅 소재·고분자 전해질 등의 기능성 소재로 적용될 수 있다. 그 중 셀룰로오스 유래 소재는 고성능·고내열성·친환경 소재로 평가되었으며[2-3], 제지 산업의 인프라를 활용한 대량 생산을 통하여 수요를 충족시킬 수 있다는 장점이 있다. 이러한 생분해성 생물 소재 유래 소재들은 친환경 수계공정을 가능하게 하며 기존의 소재를 대체할만한 우수한 전기화학적 성능을 보일 수 있지만, 수분에 의한 전지 성능 열화의 원인이 될 수 있다 [4]. 알칼리 금속의 수분과의 반응성을 고려하였을 때 셀룰로오스 유래 소재의 이차전지 내에서의 전기화학적 안정성 개선에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 상용 세라믹 코팅 분리막을 모사하여 다공성 무기나노입자를 셀룰로오스 분리막 표면에 균일하게 코팅한 이차전지 분리막을 개발하고 그 성능에 대하여 연구하였다. 다공성 구조를 갖는 세라믹-셀룰로오스 나노섬유 복합소재는 셀룰로오스와 세라믹 나노입자를 안정적으로 결합시키고 세라믹 나노입자의 물리적 탈리를 방지하였다. 이러한 복합소재와 셀룰로오스 나노섬유 현탁액을 순차적으로 진공 여과하여 바인더 없이 세라믹 코팅층을 균일하게 셀룰로오스 분리막 위에 코팅하여 bilayer, trilayer 분리막을 개발하였다. 특히 trilayer 분리막은 리튬이차전지 내에서 상용 폴리올레핀 분리막에 상응하는 우수한 충방전 효율을 보였다. 세라믹 코팅층은 셀룰로오스와 리튬 금속의 접촉에 의한 부반응을 효과적으로 방지하며 전기화학적 성능을 개선시키는 역할을 하였다. 본 연구를 통하여 셀룰로오스 유래 이차전지 분리막을 상용분리막과 유사한 세라믹 코팅 분리막 개발과 전기화학적 성능 향상을 실현하였다. 이를 통해 셀룰로오스의 화학적 처리 및 표면 개질 기술이 전기화학적 특성을 조절할 수 있으며 친환경 이차전지 소재 개발을 위한 필수 기술임을 제시하였다.

참고문헌

1. Bauer, C., Burkhardt, S., Dasgupta, NP., Ellingsen, LA., Gaines, LL., Hao, H., Hischer, R., Hu, L., Huang, Y., Janek, J., Liang, C., "Charging sustainable batteries," *Nat. Sustain.*, 5(3), 176-178 (2022).
2. Wang, Z., Lee, YH., Kim, SW., Seo, JY., Lee, SY., Nyholm, L., "Why cellulose-based electrochemical energy storage devices?," *Adv. Mater.*, 33(28), 2000892 (2021).
3. Chen, C., & Hu, L., "Nanocellulose toward advanced energy storage devices: structure and electrochemistry," *Acc. Chem. Res.*, 51(12), 3154-3165 (2018).
4. Kim, H., Mattinen, U., Guccini, V., Liu, H., Salazar-Alvarez, G., Lindström, RW., Lindbergh, G., Cornell, A., "Feasibility of chemically modified cellulose nanofiber membranes as lithium-ion battery separators", *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 12(37), 41211-22 (2020).

Stabilization of aqueous Zn metal anode by hydrophilic PVA and PVP layer

Minhyeok Jeon¹, Yena Lee¹, Junhee Cho¹, Jiwon Lee¹, Pil Rip Jeon¹, Ji Hyun Um^{1*}

¹Department of Chemical Engineering, Kongju National University

Aqueous Zn batteries have been attracting attention due to their high safety and low cost. However, several issues on the Zn metal anode, such as inhomogeneous Zn deposition and dissolution leading to dendrite formation, including corrosion and hydrogen evolution, impede the development of aqueous Zn batteries. Surface modification to have hydrophilic nature is known as one of the ways to increase the stability and lifespan of Zn anode[1,2]. In this study, to improve the stability and efficiency of Zn metal anode, we design the surface layer composed of poly vinyl alcohol (PVA) and poly vinyl pyrrolidone (PVP) with rich hydrogen groups. The PVP is further intended for the strong adhesion of organic layer toward Zn metal[3]. The effects of hydrophilic mixed layer of PVA and PVP on the dendrite formation, corrosion, and hydrogen evolution are discussed.

References

1. Zhang, L. et al., "Additive engineering for a hydrophilic/zincophilic polymeric layer towards dendrite-free zinc anode," *Mater. Today Energy*, **29**, 101130 (2022).
2. Chen, X. et al., "Polyvinyl alcohol coating induced preferred crystallographic orientation in aqueous zinc battery anodes," *Nano Energy*, **98**, 107269 (2022).
3. Koczur, K. et al., "Polyvinylpyrrolidone (PVP) in nanoparticles synthesis," *Dalton Trans.*, **44**, 17883-17905 (2015).

친수성 PEG 코팅 층에 의한 수계 아연 금속 음극의 안정화

조준희¹, 김영은¹, 전민혁¹, 이지원¹, 김진현¹, 엄지현^{1*}

¹공주대학교 화학공학부

Stabilization of aqueous Zn metal anode by hydrophilic PEG coating layer

Junhee Cho¹, Youngeun Kim¹, Minhyeok Jeon¹, Jiwon Lee¹, Jin-Hyun Kim¹, Ji Hyun Um^{1*}

¹Department of Chemical Engineering, Kongju National University

수계 아연 전지는 높은 안전성과 낮은 비용을 갖는 이점뿐만 아니라 낮은 표준산화환원 전위(-0.76 V)와 높은 이론용량(820 mAh g, 5855 mAh cm⁻³)으로 인해 차세대 전지로 크게 주목받고 있다[1,2]. 하지만 물을 전해질로 사용하는 수계 아연 전지는 물 분해 반응으로 인해 수소 발생이 불가피하며, 이로부터 반복되는 충/방전 시 셀의 내부 압력이 높아지게 되고 이는 전지의 안정성을 위협하는 요소가 되고 있다. 이에 수소와의 반응을 막기 위해 아연 금속 전극 표면에 코팅 층을 도입함으로써 물로부터 아연 전극을 보호하고 부식을 방지하는 연구가 활발히 이루어지고 있다[3]. 본 연구에서는 한 분자당 2개의 -OH 기가 발달된 친수성 고분자 polyethylene glycol(PEG)을 코팅 층으로 사용하여 수소 발생을 억제하고자 하였다. 이와 함께 친수성 고분자 층을 도입함으로써 금속 아연 이온을 고정시키고 이들의 자유 이동을 막아 이온을 효과적으로 분산/증착함으로써 불균일한 아연 증착에 따른 덴드라이트 성장을 완화시키고자 하였으며, 디자인된 PEG/Zn의 계면 효과를 다양한 분석을 통해 고찰하였다[4].

참고문헌

1. Liu, Z. et al., "Voltage issue of aqueous rechargeable metal-ion batteries," *Chem. Soc. Rev.*, **49**, 180–232 (2020).
2. Niu, B. et al., "Robust Zn anode enabled by a hydrophilic adhesive coating for long-life zinc-ion hybrid supercapacitors," *J. Chem. Eng.*, **442**, 136217 (2022).
3. Hieu, L. T. et al., "Zn anode with flexible β -PVDF coating for aqueous Zn-ion batteries with long cycle life," *J. Chem. Eng.*, **411**, 128584 (2021).
4. Huyan, X. et al., "Polyethylene glycol coating on zinc powder surface: Applications in dendrite-free zinc anodes with enhanced utilization rate," *Appl. Surf. Sci.*, **614**, 156209 (2023).

도파민을 활용한 수계 아연 금속 음극의 안정화

조준희¹, 이예나¹, 김영은¹, 김태현¹, 이지원¹, 전민혁¹, 김보은¹, 엄지현^{1*}
¹공주대학교 화학공학부

Stabilization of aqueous Zn metal anode using dopamine

Junhee Cho¹, Yena Lee¹, Youngeun Kim¹, Taehyeon Kim¹, Jiwon Lee¹, Minhyeok Jeon¹,
 Boeun Kim¹, Ji Hyun Um^{1*}
¹Department of Chemical Engineering, Kongju National University

수계 아연 전지는 기존 에너지 저장 시스템의 용량과 효율 문제를 해결할 수 있는 가능성과 함께, 유기 전해질이 아닌 물을 전해질로 사용한다는 점에서 현재 주목받고 있는 전지이다. 그러나 충/방전 시 금속 전극 표면의 어느 한 부분에서 비정상적으로 생성되는 결정상 **dendrite**로 인해 가역적인 전기화학 반응이 크게 제한되고 있다. 본 연구에서는 강한 접착력에 대한 특성과 함께 -OH 그룹과 -NH 그룹이 풍부한 **dopamine**을 코팅 층으로 활용하여, ZnO 및 ZnN의 배위결합 형성을 통해 균일한 Zn 이온의 분포를 유도하고 **dendrite** 형성을 억제하고자 한다[1,2]. 도파민의 농도와 중합시간 조절에 따른 도파민 층의 두께를 최적화하여 전지 수명의 안정성 향상을 검증하고, 사이클 수명의 지속성과 장기화에 대한 연구 방향을 제시한다.

참고문헌

1. Lei, C. et al., "Dopamine as the coating agent and carbon precursor for the fabrication of N-doped carbon coated Fe₃O₄ composites as superior lithium ion anodes," *Nanoscale*, **5**, 1168 (2013).
2. Liu, Y. et al., "A functionalized separator enables dendrite-free Zn anode via metal-polydopamine coordination chemistry," *InfoMat.*, **5**, e12374 (2023).

수계 아연 전지의 균일한 아연 증착에 대한 전극의 시드 효과

이지원¹, 최인혁¹, 전민혁¹, 조준희¹, 전필립¹, 엄지현^{1*}¹공주대학교 화학공학부Seed effect of electrodes for uniform Zn deposition
in aqueous zinc batteriesJiwon Lee¹, Inhyuk Choi¹, Minhyeok Jeon¹, Junhee Cho¹, Pil Rip Jeon¹, Ji hyun Um^{1*}¹Department of Chemical Engineering, Kongju National University

수계 아연 전지는 친환경적이고 안전한 특성과 저비용으로 인하여 에너지 저장 시스템 분야에서 유망한 배터리 기술로 주목받고 있다. 그러나 수계 아연 전지의 금속 아연 음극에서는 반복되는 충/방전 시 아연 이온의 불균일한 증착과 용해로 인해 결정 수지상(dendrite, 덴드라이트)이 성장되는 문제와 이로부터 전지의 쿨롱 효율 저하와 내부 단락이 유발될 수 있는 문제를 안고 있다[1]. 이에 많은 연구에서는 덴드라이트 성장의 시초가 되는 핵생성(nucleation)을 조절하여 균일한 증착을 유도하고자 선택적 결정핵 생성을 위한 전극의 시드(seed) 디자인이 활발히 보고되고 있다[2]. 본 연구에서는 아연과 친화도(zincophilicity)가 우수한 주석(Sn)을 시드로 도입함으로써 핵생성 에너지 장벽을 낮추고 균일한 아연 증착 효과를 확인하였으며, 시드의 역할에 대해 고찰하였다.

참고문헌

1. Xue, T. and Fan, H. J., "From aqueous Zn-ion battery to Zn-MnO₂ flow battery: A brief story," J. Energy Chem., 54, 194-201 (2021).
2. Cui, M. W. et al., "Quasi-isolated Au particles as heterogeneous seeds to guide uniform Zn deposition for aqueous zinc-ion batteries," Adv. Energy Mater., 2, 6490-6496 (2019).

3D 개방형 구조 설계를 이용한 수계 아연 전지의 덴드라이트 억제 효과

이지원¹, 최인혁¹, 김태현¹, 전민혁¹, 조준희¹, 김보은¹, 엄지현^{1*}
¹공주대학교 화학공학부

Dendrite suppression effect in aqueous zinc batteries using 3D open structure design

Jiwon Lee¹, Inhyuk Choi¹, Taehyeon Kim¹, Minhyeok Jeon¹, Junhee Cho¹,
 Boeun Kim¹, Ji Hyun Um^{1*}
¹Department of Chemical Engineering, Kongju National University

수계 아연 전지에서 덴드라이트(dendrite)의 형성은 비가역 용량 증가와 쿨롱 효율을 감소시켜 성능 저하와 안정성 문제를 유발하는 주요 요인 중 하나이다. 3차원(3-dimensional, 3D) 구조의 집전체에 의한 개방형 구조는 면적 당 전류밀도를 낮추고 가둘 수 있는 구조로 인하여 균일한 아연 증착을 유도하여 안정한 수명 특성과 우수한 쿨롱 효율을 얻는데 유리한 구조로 알려져 있다[1]. 또한, 많은 연구에서 아연과 친화도(zincophilicity)가 우수한 물질을 도입하여 덴드라이트 형성 억제에 대한 연구들이 보고되고 있다[2]. 본 연구에서는 아연과 친화도가 우수한 은(Ag)을 3D 다공성 구리 폼(Cu foam)에 도입하는 설계를 활용하여 덴드라이트 형성을 억제하고 아연 전극의 안정성을 향상시키는 것을 확인하였으며, 3D 구조 설계가 전지 성능에 미치는 효과에 대해 고찰하였다.

참고문헌

1. Kang, Z. et al., "3D porous copper skeleton supported zinc anode toward high capacity and long cycle life zinc ion batteries," *Chem. Eng.*, **7**, 3364-3371 (2019).
2. Lu, Q. et al., "Uniform Zn deposition achieved by Ag coating for improved aqueous zinc-ion batterie," *ACS Appl. Mater. Interfaces.*, **13**, 16869-16875 (2021).

Advancing Lithium-Ion Battery Materials: Aluminium nanoparticle-assisted seaweed based separator

Chan Woo Park¹, and Kwang Se Lee² *

¹*Decontamination & Decommissioning Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Daedeok-daero 989-111, Yuseong-gu, Daejeon, South Korea*

²*Kyungnam College of Information & Technology, Department of Advanced Materials & Chemical Engineering, 45 Jurye-ro, Sasang-gu, Busan, South Korea*

Abstract

Battery separators are paramount components influencing battery performance and safety. This study introduces an innovative approach by cellulose nanofibril (CNF) separators from red algae. Comparative evaluations were conducted to assess the electrochemical performance, thermal stability, and morphology of the produced separator in relation to a commercial polyethylene (PE) separator. Over 600 cycles, it exhibited an impressive capacity retention of 80%. Enhanced by hydroxyl groups, its exceptional hydrophilic nature contributed to outstanding wettability and ionic conductivity. The incorporation of Al₂O₃ further bolstered the CNF separator's physical properties, rendering it resilient to heat while maintaining dimensional stability. Most notably, the CNF separator outperformed the commercial PE separator in terms of electrochemical performance.

References

1. Xu, J., Xiao, X., Zeng, S., Cai, M., and Verbrugge, M.W., "Multifunctional Lithium-Ion-Exchanged Zeolite-Coated Separator for Lithium-Ion Batteries", *ACS Appl. Energy Mater.*, 1 7237–7243 (2018)
2. Sheng, J., Tong, S., He, Z., and Yang, R., "Recent developments of cellulose materials for lithium-ion battery separators", *Cellulose.*, 24, 4103–4122 (2017)

선박용 Bunker C Oil을 사용하여 제조한 에멀전 연료유의 안정성 연구

정은혁, 허광선
경남정보대학교

A study on Stability of Emulsion Fuel Oil Manufactured Using Bunker C Oil for Marine Engines

Eunhyuk Chung, Kwangsun Huh*
Kyungnam College of Information and Technology

지구 온난화의 원인으로 되고 있는 온실가스 배출증가로 인류는 기후변화에 따른 폭염, 이상기후 및 미세 먼지 프레임에 벗어나지 못하고 있다. 세계 경제는 2020년을 기점으로 저탄소 경제체제에서 무탄소 경제체제로 급격히 변화하고 있는 가운데 친환경 선박에 대한 요구가 날로 높아지고 있으며, 국제해사기구인 IMO에서도 선박의 배출가스에 대하여 강도 높은 규제를 하고 있다. IMO가 제시한 2030 온실가스 감축목표 40% 달성은 현존하는 기술로는 불가능하기 때문에 이를 달성하기 위해서는 2030년 이전에 연료전지나 대체연료를 개발해 상용화가 필요하다. 본 연구에서는 선박용 병커C에 유화제를 사용하여 교반속도, 물과 유화제의 농도비를 변화시켜 W/O 에멀전 연료유를 제조하였다. 제조한 에멀전 연료에 대하여 안정성 평가를 한 결과 유화제의 비율이 높을수록, 교반시간 길수록 안정성이 우수하였다.

선박용 Bunker C Oil으로 에멀전 연료유의 제조

정은혁, 허광선
경남정보대학교

Manufacture of Emulsion Fuel Oil with Bunker C Oil for Marine Engines

Eunhyuk Chung, Kwangsun Huh*
Kyungnam College of Information and Technology

지구 온난화의 원인으로 되고 있는 온실가스 배출증가로 인류는 기후변화에 따른 폭염, 이상기후 및 미세 먼지 프레임에 벗어나지 못하고 있다. 세계 경제는 2020년을 기점으로 저탄소 경제체제에서 무탄소 경제 체제로 급격히 변화하고 있는 가운데 친환경 선박에 대한 요구가 날로 높아지고 있으며, 국제해사기구인 IMO에서도 선박의 배출가스에 대하여 강도 높은 규제를 하고 있다. 대기오염 배출 규제 상황에서 자동차의 경우는 수소차 또는 전기자동차의 생산 및 소비가 증가하고 있으며, 선박 및 보일러에 사용되는 연료도 저유황유 및 친환경 연료로 바뀌어 가고 있다. 본 연구에서는 벙커 C (bunker C) 연료 오일을 사용하여 유화제의 농도, 교반속도 및 시간 변화에 따라 에멀전 연료를 제조하여 입도를 분석하였다. 제조한 에멀전 연료유의 교반속도 및 시간, 유화제의 농도에 따라 영향이 있으며, 교반속도 및 시간이 증가함에 따라 에멀전 입도의 크기는 감소하였다.

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

청정융합

(포스터발표)

2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀

SnS₂로 도핑된 gC₃N₄ 광촉매 이용 광여기 양공 희생제 없는 과산화수소 고효율 생성

홍광표¹, 홍유경¹, 종초은^{1,2*}, 장민^{1,2}
 광운대학교 환경공학과¹, 플라즈마바이오과학센터²

SnS₂ modified gC₃N₄ for high photocatalytic H₂O₂ production without photoexcited holes sacrificing reagent

Hong Kwangpyo¹, Hong YuKyung¹, Choong Choe Earn^{1,2*}, Jang Min^{1,2}
 Kwangwoon University Environmental Engineering¹, Kwangwoon University Plasma Bioscience Center^{1,2}

To date, hydrogen peroxide (H₂O₂) is one of the most widely used chemicals in industries, including disinfectants for sterilizing bacteria, fuel cells, rockets, and water treatment fields. However, the current H₂O₂ production method is the anthraquinone process, which requires high temperatures and pressures, contributing a huge portion of greenhouse gas emissions. Herein, the graphitic carbon nitride (gCN) modified with 1%, 2%, and 4% (w/w) of SnS₂ were prepared via a facile hydrothermal process. As a result, gCN, gCN-SnS₂-1%, gCN-SnS₂-2%, and gCN-SnS₂-4% achieved up to 36.7, 162.4, 365.6, and 198.2 mg/L/g/hr of H₂O₂ production without sacrificing reagent, respectively. Interestingly, gCN-SnS₂-2% achieved the highest 365.6 mg/L/g/hr of H₂O₂, indicating a high concentration of H₂O₂ can be produced without the addition scavenger. Moreover, the insignificant difference in H₂O₂ production performance in 5 reusability tests using gCN-SnS₂-2% indicates the photocatalyst's high stability. The prepared photocatalysts' functional group and band structure were measured through FTIR, UV-vis, and photoelectrochemical (PEC) analysis. The FTIR results showed that gCN-SnS₂-2% has the highest triazine unit peaks (810 cm⁻¹), indicating that a higher degree of exfoliation of aromatic C-N or C=N functional groups enhanced the photocatalytic H₂O₂ production. Compared to other prepared photocatalysts, gCN-SnS₂-2% had the lowest band gap energy (2.725 eV), resulting in a higher photo-excited electron production. Hence, the GCN modified with SnS₂ can significantly improve the H₂O₂ photocatalytic production without scarifying reagents. This study demonstrated a clean approach for H₂O₂ production for water treatment and energy source application.

1. Liping Yang, and Guohui Dong, "Two channel photocatalytic production of H₂O₂ over g-C₃N₄ nanosheets modified with perylene imides", journal of Catalysis, 352, 274-281 (2017).
2. Hyeseong Kim. (2021). Photocatalytic property of nanorod-shaped carbon nitride and its application for the removal of micropollutants in aqueous phase. (MS thesis). Kwangwoon university, Seoul

Ion-exchange resin-based inorganic contaminants removal towards upgradation of bio-oil for marine fuel applications

Soon-Ho Cho, Liao Ziqiao, Ramesh Kumar, Byong-Hun Jeon*

Department of Earth Resources & Environmental Engineering, Hanyang University, 222-Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, Republic of Korea

Bio-oil obtained after fast pyrolysis of waste biomass requires pretreatment to remove inorganic contaminants before its upgradation. The bio-oil presents several challenges, such as high suspended solids, high concentration of inorganic contaminants, and high density. The impurities and solids can cause catalyst deactivation during the upgradation process of hydrodeoxygenation. Furthermore, the solids may aggregate over time, forming sludge that accelerates oil degradation and deposit on the engine, ultimately shortening the engine's lifespan. Hence, a pretreatment step is required before advancing bio-oil into marine fuels. An ion-exchange resin (IEX) can remove metal ions and efficiently improve bio-oil properties, such as viscosity, acidity, oxygen content, water content, and heating value. The experimental investigation was carried out to remove major cations *viz.* Fe, Al, Si, Na, K, Mg, and Ca from bio-oil from fast pyrolysis of coffee-bean waste. The effect of acid (HCl) was assessed for the removal of cations. Interestingly, acidifying the bio-oil could enhance the exchangeability of Fe and Al ions up to 92% and 96% using IEX, respectively. The new findings can help treat bio-oil efficiently for better oil quality, leading to char reduction during hydrodeoxygenation.

Keywords: Coffee-bean waste, Bio-oil, Pretreatment, Ion-exchange resin, Biofuels

* Corresponding author: bhjeon@hanyang.ac.kr (B.-H. Jeon)

First author: soonho97@hanyang.ac.kr (S.H. Cho)

References

1. R. Kumar, V. Strezov, H. Weldekidan, J. He, S. Singn, T. Kan, B. Dastjerdi, "Lignocellulose biomass pyrolysis for bio-oil production: A review of biomass pre-treatment methods for production of drop-in fuels," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 123, 109763 (2020)

Comparison of lettuce-based aquaponics and hydroponic systems for overall and plant growth, nutrient efficiency, and environmental impacts

Sang-Eun Oh^{1*}, Syed Ejaz Hussain Mehdi¹, Sharma Aparna¹, Woo-Chang Kang¹,
Suleman Shahzad¹, Anup Gurung¹

¹Department of Biological Environment, Kangwon National University, 1 Gangwondaehakgil, Chuncheon-si, Gangwon State, Republic of Korea

Aquaponics (AP) is an integrated system connecting aquaculture (AC) and hydroponic (HP) systems in a zero-discharge recirculating system to enhance the productivity and sustainability of soilless crop production. The study demonstrated the performance of the AP system in comparison with the controlled HP to evaluate the overall performance of lettuce plants and Koi fish growth. In this study, no supplemental fertilizer and physical parameters adjusting chemicals were added to the AP system. The AP system produced 50% of the fish mass in 35 days of the experiment. With a stocking density of 50kg/m³, fish feed 1% of fish weight, and HLR of 2.16 m/day, the FCR, SGR, and PER recorded were 0.70, 1.14%/day, and 3.96 gm, respectively. Overall, plant growth was better in the HP system than in the AP. The AP system lettuce plants showed Fe deficiency during 2nd week of the study. Plant analysis for nutrient accumulation showed that Na, Cu, Mn, Ca, and Zn were higher in AP plants than in HP plants. However, P, K, Mo, and B were significantly higher in the HP plants, and these nutrients might cause hindrance to the improved plant growth in AP plants. Fe was supplemented in the AP system after its deficiency was identified. In conclusion, AP system performance was good in terms of fish growth and crop cultivation, but when compared with HP system plants, some more sustainable practices need to be identified, especially for Fe deficiency.

References

1. Atique, F., Lindholm-Lehto, P., and Pirhonen, J., "Is Aquaponics Beneficial in Terms of Fish and Plant Growth and Water Quality in Comparison to Separate Recirculating Aquaculture and Hydroponic Systems?," *Water*, **14**(9), 1447 (2022).
2. Colt, J., Schuur, A. M., Weaver, D., and Semmens, K., "Engineering design of aquaponics systems," *Rev. in Fish. Sci. & Aqua.*, **30**(1), 33-80 (2022).
3. Yang, T., and Kim, H.-J., "Characterizing nutrient composition and concentration in tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems," *Water*, **12**(5), 1259 (2020).

Start-up Performance of Iron-wool in Microbial Electrolysis Cell (MEC) for Hydrogenotrophic Denitrification (HD)

Sang-Eun Oh^{1*}, Sharma Aparna¹, Syed Ejaz Hussain Mehdi¹, Suleman Shahzad¹

¹Department of Food Biotechnology and Environment, Kangwon National University, 1 Gangwondaehakgil, Chuncheon-si, Gangwon State, Republic of Korea.

Microbial electrolysis cells (MECs) are one of the most promising innovations amongst bio-electrochemical systems for biohydrogen production. This study mainly focuses on denitrification by using iron wool as electrode material in a cathode chamber and carbon cloth in the anode of MEC. PEM was used as a separator. The anaerobic condition was maintained in both chambers by spiking nitrogen gas (3 mL/min). MEC-1 was set up without any bacteria as control with 0.8 V external power. For MEC-2, 3, and 4, both the chambers were inoculated with anaerobic sludge containing 50 ppm NO₃⁻-N in phosphate buffer solution (PBS) and external power 0.5, 0.8, and 1.0 V respectively. In anode chambers of all MECs, 100 mM acetate was added to the buffer solution to initiate the reaction. All the NO₃⁻-N was removed after operation of 5 days in MEC-2, 3, and 4. It was observed that with an external voltage of 0.8 V (MEC-3) removal rate of NO₃⁻-N was comparatively higher in the cathode chamber. Hence, it was concluded that iron wool is a good alternative in MEC as it helps enhance the denitrification rate.

References

1. Fan, X., Zhou, Y., Jin, X., Song, R. Bin, Li, Z., and Zhang, Q., "Carbon material-based anodes in the microbial fuel cells," *Carbon Energy*, **3**, 449–472 (2021).
2. Pang, Y. and Wang, J., "Various electron donors for biological nitrate removal: a review," *Sci. Total Environ.* **794**, 148699 (2021).

Utilization of Green Ammonia as an Alternate Fuel in Naphtha Cracker: Economic and Environmental Assessments

Eprillia Intan Fitriasaki and J. Jay Liu*

Department of Chemical Engineering, Pukyong National University

Ethylene is an intermediate chemical that is widely produced in the petrochemical industry. Naphtha cracking is the most commonly used process to produce ethylene. Ren et al. found that the naphtha cracking process requires a highly intense energy input of around 26-31 GJ/ton of ethylene, with approximately 65% of the total process energy being consumed in the naphtha cracking furnace [1]. In the conventional process, the energy requirement is met through the combustion of methane byproducts and natural gas, resulting in the generation of carbon emissions. To address this environmental concern, this study proposes the use of green ammonia, a carbon-free fuel, as an alternative to the naphtha cracking furnace to reduce carbon emissions in the petrochemical industry. A comprehensive techno-economic and life cycle assessment is conducted to determine the economic and environmental feasibility of the proposed process. To mitigate NO_x emissions generated during the combustion of ammonia, a scrubber will be installed. The proposed process is simulated using Aspen Plus software to obtain mass and energy balance, as well as equipment sizes. The results of the process simulation are used as input for economic and environmental assessments. The capital and operational costs of the proposed process are then compared with those of the conventional naphtha cracking process. As a result of the life cycle assessment, the carbon emissions produced by the proposed process are compared with the carbon emissions from conventional naphtha cracking processes.

References

1. Ren, T., Patel, M., and Blok, K., "Olefins from conventional and heavy feedstocks: Energy use in steam cracking and alternative processes", *Energy*, **31**, 425-451 (2006).

Techno-Economic and Life Cycle Assessments of Ethylene Production Using Methane Byproduct as Alternate Fuel

Wan Nurauni Afiqah Binti Wan Hamdan and J. Jay Liu ^{1*}

¹*Department of Chemical Engineering, Pukyong National University*

The temperature of the earth has increased considerably due to the increased level of greenhouse gases. This leads to global warming and climate change. One of the main greenhouse gases that are responsible for increasing the greenhouse effect is carbon dioxide. Due to this, it is needed to reduce carbon dioxide emissions to limit the increase in global temperature. Nowadays, ethylene has become one of the most extensively used chemical products in the world as it serves as a precursor for a wide range of products and materials. However, the process of cracking naphtha to ethylene also generates a large amount of carbon dioxide. This work uses methane generated from the naphtha cracking center as a fuel source for ethylene production. By converting methane into useful energy, the process prevents the direct emission of methane, thereby reducing its impact on the greenhouse effect. Then, carbon capture is used to capture the carbon dioxide produced in the process. The process is modeled in ASPEN Plus software with a capacity of 1 million tons of ethylene per year. The capital and operational expenditure will be calculated based on the process modeling results. The life cycle impact analysis will also be performed based on the mass and energy balance obtained from the process modeling. In comparison with the conventional process, it is expected that carbon dioxide emissions can be reduced.

Microbially Influenced Corrosion (MIC) for enhancement of 1,3-propanediol bioproduction from glycerol using *Klebsiella pneumoniae* L17

Da Seul Kong^a, and Jung Rae Kim^{a*}

^aSchool of Chemical Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Korea

Fax: +82-(51)-510-3943 E-mail address: j.kim@pusan.ac.kr

Iron-oxidizing bacteria (IOB) can get energy from iron oxidation, but can use organic matter (glycerol etc.) to make biomass. In previous studies, we presented ZVI (zero-valent iron)-supported 1,3-PDO production by shifting metabolic pathway in *Klebsiella pneumoniae* L17. ZVI (Zero-Valent Iron) can provide reducing equivalent for 1,3-PDO synthesis from glycerol as an electron donor. When ZVI donates electrons, the reducing energy increases and activates the reductive pathway, causing metabolic changes. In this study, the effect of ZVI on the metabolic change of bacteria was investigated. It was confirmed that the NADH ratio was shifted to 21:6 (with ZVI: without ZVI). To quantitatively measure the expression level of a specific protein with qPCR, we designed primer for dhaB, dhaD, glpK and rpoD genes. The increase of glycerol dehydratase (DhaB) was confirmed in ZVI. Therefore, When ZVI was applied, it was confirmed that the reductive pathway was activated by providing reductive energy. These results indicate that ZVI modulate the biotransformation of electroactive strains such as *K. pneumoniae* L17, and enhance the conversion of glycerol into a value-added platform chemical.

References

1. D. S. Kong, C. Kim, Y. E. Song, J. Baek, H. S. Im and J. R. Kim (2021) Zero-valent iron driven bioconversion of glycerol to 1, 3-propanediol using *Klebsiella pneumoniae* L17. *Process Biochemistry*. 106: 158-162.
2. D. S. Kong, M. Kim, S. Li, S. Mutyala, M. Jang, C. Kim and J. R. Kim (2023) Bioconversion of Glycerol to 1, 3-Propanediol Using *Klebsiella pneumoniae* L17 with the Microbially Influenced Corrosion of Zero-Valent Iron. *Fermentation*. 9: 233.
3. D. S. Kong, E. J. Park, S. Mutyala, M. Kim, Y. Cho, S. E. Oh, C. Kim and J. R. Kim (2021) Bioconversion of Crude Glycerol into 1, 3-Propanediol (1, 3-PDO) with Bioelectrochemical System and Zero-Valent Iron Using *Klebsiella pneumoniae* L17. *Energies*. 14: 6806.

Selective enrichment of CO₂ electrophs for biogas-upgrading of CH₄ by intermittent applied potential-induced microbial electrosynthesis cell

Minsoo Kim¹, Shuwei Li¹, Da Seul Kong¹, Eunseo Kim¹, Jung Rae Kim^{1*}

¹*School of Chemical Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Republic of Korea*

As the development of a platform utilizing biogas (e.g., CH₄, CO₂) generated from anaerobic digestion tanks progresses, the need for a biogas upgrading process is emerging. In addition, with the advent of power generation systems using renewable energy, there is a lot of interest in developing strategies that can efficiently utilize intermittent excess power. Among them, microbial electrosynthesis can use this power to capture CO₂ and produce valuable compounds such as methane for energy storage. Selective stabilization of electroactive bacteria using inorganic sources such as carbon dioxide rather than organic materials as carbon sources takes a lot of time. Rapid, selective stabilization of these electroactive communities is required to introduce a microbial electrosynthesis cell into an industrial field. Here we present a simple but effective approach based on the selective cultivation of CO₂ electrophs by supplying an intermittently applied potential. This culture was successfully upgraded to 97% biomethane using CO₂ contained in biogas. Also, a methane conversion rate shows 8.34 L/m² cat/day. With this technology, the selective stabilization of CO₂-utilizing electrorophic bacteria was accomplished significantly faster than in other studies. Electrochemical analysis, FE-SEM, confocal laser scanning microscopy, and community analysis of cathodes suggested the potential involvement of biogas upgrading in MES. An intermittent applied potential strategy supply method enables immediate start-up and reproducible biomethane conversion profiles of upgrading bioelectric synthesis of biogas from anaerobic digesters.

References

구리를 도핑한 티탄산주석 이용 GenX의 고효율 광촉매 분해 및 기작 이해

장석범^{1,2}, 종초은^{1,2}, 장민^{1,2*}
¹광운대학교 환경공학과, ²플라즈마 연구센터

Highly Efficient Photocatalytic Degradation of GenX (hexafluoropropylene oxide dimer acid, HFPO-DA) Using Copper-Modified Tin Titanate and Mechanistic Insights

Seok Byum Jang¹, Choe Earn Choong^{1,2}, and Min Jang^{1,2*}
¹Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University, ²Kwangwoon University PBRC

In this study, copper was deposited onto SnTiO₃ synthesized via the sol-gel method (Cu/SnTiO₃). Preliminarily, an optimal perovskite material was identified through GenX (HFPO-DA) batch experiments conducted under UV-C lamp irradiation with an aeration rate of 2 LPM. Consequently, among three different perovskite types (NiTiO₃, SrTiO₃, SnTiO₃), SnTiO₃ demonstrated the highest GenX removal efficiency. Further enhancement of SnTiO₃ was achieved through the photo-deposition of copper metal(2% w/w). Optimal experimental conditions yielded a 91.4% GenX removal efficiency over a 6-hour batch experiment. The characterization of Cu/SnTiO₃ was confirmed through spectroscopic analyses, including X-ray diffraction (XRD), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), and solid-state electron paramagnetic resonance (EPR). Additionally, comprehensive photo-electrochemical analyses, including UV-visible diffuse reflectance spectroscopy (UV-vis DRS), photocurrent measurements, Mott-Schottky (MS) analysis, and electron spin resonance (ESR) spectroscopy, were systematically conducted to elucidate the photocatalytic performance of Cu/SnTiO₃, unveiling its underlying reactive oxygen species (ROS) production mechanism.

References

1. N. Chowdhury, S. Prabakar, H. Choi, Dependency of the photocatalytic and photochemical decomposition of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) on their chain lengths, functional groups, and structural properties, *Water Science and Technology*, 2021. **84**: p. 3738-3754.

초음파-플라즈마 공정을 통한 폐수내 다양한 미량오염물질의 동시제거

유혜진^{1,2}, 황건덕^{1,2}, 장민^{1,2*}
¹광운대학교 환경공학과, ²플라즈마바이오 연구센터

Simultaneous removal of various micropollutants in wastewater using sono-plasma process

Hye Jin Yoo^{1,2}, Kien Tiek Wong^{1,2}, Min Jang^{1,2*}
¹Kwangwoon University, ²Plasma Bioscience Research Center

In wastewater, various kinds of micropollutants differ in hydrophobicity(K_{ow}), ozone resistance, and pK_a . Regarding wastewater treatment, the synergistic effect of ultrasound and plasma can lead to the efficient degradation of various contaminants, including persistent organic pollutants, dyes, and pharmaceuticals. In this study, the combined effect of non-thermal DBD plasma with ultrasound treatment, and their synergism on the degradation of micropollutants [sulfamethoxazole(SMX), atrazine(ATZ), acetaminophen(ACT)] were observed with an initial concentration of 1 mg L^{-1} in an aqueous solution. Sole sonolysis [optimal condition: US frequency (72 kHz), US power (50%), with mixing] or plasma system had low removal efficiencies for these pollutants. In a sono-plasma system, the hydrophilic micropollutants (SMX and ACT) and hydrophobic one (ATZ) were all degraded with an enhanced removal efficiency. Sono-plasma system, which is a peroxozone process, involves the combination of two powerful oxidants, ozone(O_3) and hydrogen peroxide(H_2O_2), and generates highly reactive hydroxyl radical($\cdot OH$). A strong synergistic effect(>1) between two systems was obtained since the degradation efficiency of sono-plasma is greater than the summated efficiencies for both ultrasound and plasma. The results indicated that combining ultrasound irradiation and non-thermal DBD plasma significantly influences high degradation efficiency for micropollutants without their characteristics.

참고문헌

1. Baekha Ryu, Kien Tiek Wong, Choe Earn Choong, Jung-Rae Kim, Hyunook Kim, Sang-Hyoun Kim, Byong-Hun Jeon, Yeomin Yoon, Shane A. Snyder, Min Jang, "Degradation synergism between sonolysis and photocatalysis for organic pollutants with different hydrophobicity: A perspective of mechanism and application for high mineralization efficiency," *J. Hazard. Mater.* 416 125787 (2021).

아르곤 제트 플라즈마와 Ru-CeBiO₃를 이용한 수중 GenX의 효율적인 분해

류백하^{1,2}, 종초은^{1,2}, 장민^{*1,2}
¹광운대학교 환경공학과, ²플라즈마바이오 연구센터

Efficient Plasma-catalytic Degradation of GenX in Water using Argon Jet Plasma with Ru-doped CeBiO₃

Baekha Ryu^{1,2}, Choong Choe Earn^{1,2}, and Min Jang^{*1,2}
¹Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University,
²Plasma Bioscience Research Center, Kwangwoon University
 *e-mail : minjang@kw.ac.kr

GenX, the ammonium salt of hexafluoropropylene oxide dimer acid (HFPO-DA), was developed to replace perfluorooctanoic acid (PFOA). However, GenX has been of concern due to its toxicity to organisms and recalcitrant property and its widespread distribution on water systems worldwide. Here, we applied argon-jet plasma to degrade GenX, with cerium bismuth oxide (CeBiO₃) and various amounts of ruthenium (Ru) doped CeBiO₃ as plasma catalysts. It is found that 0.1% Ru-doped CeBiO₃ achieved 74% degradation of GenX in 30 min, showing 1.4 times improvement compared to sole plasma (53%). The contributions of radical oxidative species (ROS), including electron (e⁻) and hydroxyl radical (·OH), have been revealed by scavenging and electron paramagnetic resonance (EPR) tests. Various physicochemical and photoelectrochemical (PEC) analyses were conducted for materials characterization.

참고문헌

1. Zhu, Y., Ji, H., He, K., Blaney, L., Xu, T., and Zhao, D., "Photocatalytic degradation of GenX in water using a new adsorptive photocatalyst". *Water Res.*, 220, 118650 (2022).

Formate-induced NADH regeneration for improved conversion of glycerol to 1,3-propanediol in *Klebsiella oxytoca*

Eun Joo Park¹, Minsoo Kim¹, Jung Rae Kim^{1*}

¹School of Chemical Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Republic of Korea

1,3-Propanediol (PDO) is a value-added chemical widely used in cosmetics, foods, lubricants, adhesives, and pharmaceuticals. It is also a monomer in polymers used to manufacture plastics and fibers. *Klebsiella oxytoca* is a facultative microbe that can produce 1,3-PDO through the fermentation of glycerol metabolism. NADH is a key factor for the production of 1,3-PDO as a coenzyme in that pathway. Recently, (bio)electrochemically produced formate from CO₂ as a substrate has been highlighted as an aspect of being environmentally friendly. And formate is known to be involved in NADH regeneration for enhancing target product formation. In this study, the anaerobic glycerol fermentation of *K. oxytoca* with various concentrations of formate as co-substrates was examined. An increase in glycerol consumption (from 58.7 to 92.6%) and 1,3-PDO production (from 172.51mM to 251.02mM) was observed when using a 50mM of formate in 500mM glycerol condition. These results presented that without genetic modification of bacterial strain, the addition of formate can be an alternative strategy to enhance 1,3-PDO production.

Keywords

Formate utilization, Glycerol fermentation, 1,3-Propanediol, *Klebsiella oxytoca*, Co-substrate, NADH regeneration

Response of electroactive microbial community by light-driven photo microbial fuel cell (PMFC)

Won Gyeong Park¹, Minsoo Kim¹, Shuwei Li¹, Jung Rae Kim^{1*}

¹*School of Chemical Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Republic of Korea*

MFC (Microbial fuel cell) converts chemical energy directly to electrical energy via electrochemically active bacteria. Depending on the presence of light, the microbial community shifted. In this study, we compared the effects of light-driven MFCs and without (e.g., Dark condition) MFCs. Light-driven MFC shows a two times shorter bioelectricity production cycle than dark-condition MFC, which means decomposing the organic matter was faster. And light-driven MFC analyte pH increased to 7.8 from 6.8, while it was maintained in the dark condition of MFCs (pH 6.85~6.95). Additionally, different from dark condition MFCs, light-driven MFC anode chamber effluent gas volume was changed. It seems to be uptake effluent gas (Mainly CO₂ and CH₄ gas) by electroactive photosynthetic consortia. From FE-SEM results, light-driven MFC anode morphology shows an aggregation of electroactive consortia each other rather than attachment to the electrode. It seems like interspecies electron transfer (IET) each other. On the other hand, the dark condition of MFC anode morphology shows dense electroactive bacteria attached to the anode surface widely. From this, we assumed that light-driven MFCs electroactive consortia could uptake effluent gas such as CO₂ using IET and possibly produce bioelectricity without emits of CO₂. These results support that light-driven MFCs can be applied to CO₂-negative bioelectricity systems.

Manufacture of artificial aggregate using alkaline activator, hot-press and waste stone sludge

Kil-Hong Seol, Kung-Won Choi, Ju-Hyeok Kwon, Deok-Won Kim, Byong-Hun Jeon*
*Department of Earth Resources and Environmental Engineering, Hanyang University,
Seoul 04763, South Korea*

Depletion of natural aggregate resources leads to an increase in aggregate prices, which results in low-quality aggregate utilization. An experimental investigation was carried out for manufacturing artificial aggregates from waste stone sludge. It was estimated that more than 80% of domestic waste stone sludge is being sent to landfills [1]. Compared to conventional research on artificial aggregates made from fly ash, research on waste stone sludge is insufficient. Furthermore, it has been found that the chemical composition and characteristics of waste stone sludge are comparable with fly ash. The chemical composition of dry waste stone sludge consisted of SiO₂, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, Na₂O, K₂O, and SO₃. The reaction between the raw material and the alkaline activator through hot pressing depends on the particle size and properties of the raw material. The optimal silicate modulus (SiO₂/Na₂O) ratio of the alkaline activator were optimized to be in-between 1 to 1.5 during the hardening process [2]. In artificial aggregate production using hot-pressing, the strength varies depending on the amount of alkaline activator. The efficiency was evaluated by analyzing the alkaline activator/binder (A/b) ratio. The strength values were increased after determining the optimal A/b ratio value based on the density of the raw materials and additional substances. The marketable aggregates with high strength were produced by optimizing the mixing ratio according to the density and amount of the raw material and adjusting the A/b ratio. Recycling the waste stone sludge into commercial artificial aggregates enables the viable replacement of stone and sand and offers sustainable and eco-friendly solid waste management.

Keywords: Aggregates, Waste stone sludge, Alkaline activator, Hot-press, Solid waste management

References

1. Lee J, Cheong YW, Ji S, Lee D*. Evaluation of Some Stone Dust and Sludge Generated in the Aggregate Production Process and Research Trends for Its Use. *Economic and Environmental Geology*. 54:605-613 (2021).
2. Van Jaarsveld JGS, Van Deventer JSJ. Effect of the alkali metal activator on the properties of fly ash-based geopolymers. *Ind Eng Chem Res*. 38:3932–3941 (1999).

점토 광물에 대한 초임계 CO₂ 흡착 및 점토광물-염수-CO₂ 반응을 활용한 친환경 공정 개발 연구

전필립*
공주대학교

초임계 이산화탄소를 활용한 친환경 공정 설계를 위해서는 기초 실험 데이터가 필수적이다 [1, 2]. 초임계 이산화탄소의 점토 광물 흡착량 측정을 통해 지중 저장소의 용량 추정 뿐만 아니라 점토 광물 팽창을 활용하여 박리 공정에 활용 가능합니다. 지층에 주입된 초임계 이산화탄소는 공극 내 염수에 용해되는데, 고압 조건으로 인해 염수의 pH가 3까지 낮아집니다. 이를 통해 다양한 이온 용출 반응 및 광물화 반응을 유도할 수 있습니다. 본 연구에서는 3종의 점토 광물(ilite, montmorillonite, sepiolite)에 대해 이산화탄소 흡착을 측정 했으며, 비표면적이 넓은 2종의 점토 광물에 대해 점토광물-염수-CO₂ 반응을 측정했습니다.

측정된 초과 흡착 등온선은 초임계 압력 근처에서 최대값이었고, 임계 밀도 이상에서 포화됐습니다. montmorillonite는 탈착 과정에서 positive hysteresis를 나타냈습니다 [1]. 이산화탄소 흡착 속도는 압력과 관련성이 낮았습니다. Sepiolite-염수-CO₂ 실험에서는 CO₂ 용해로 인해 염수의 pH가 낮아질수록 용출 속도가 증가했습니다 [2]. Sepilite의 경우 모든 온도 압력 조건에서 점토 광물 내 이온 용출이 균일하게 일어났습니다 (congruent dissolution). Montmorillonite의 경우 모든 압력 조건에서 edge plane의 이온 용출이 활발하게 일어나는 불균일한 용출이 발생했습니다. 이러한 이온 용출 현상으로 염수 내 이온 양이 증가했으며, 증진된 salt-out 효과로 CO₂ 용해도는 감소했습니다. 이온 용출 반응으로 인한 CO₂ 용해도 감소량을 계산하기 위해 염수 내 이온 및 실리카 농도의 영향을 평가했습니다. 초임계 흡착 및 흡수 실험 후 점토 광물 내 비 가역적인 구조 변화가 발생했습니다. 이러한 결과들을 활용하여 자연에 존재하는 feedstock (암석 등)으로부터 이온 용출을 촉진하고, 증가된 양이온을 통해 안전한 광물 탄산화 촉진에 기여할 수 있습니다 [2].

참고문헌

1. Jeon, P. R., Kim, D. W., and Lee, C. H., "Dissolution and reaction in a CO₂-brine-clay mineral particle system under geological CO₂ sequestration from subcritical to supercritical conditions," *Chem. Eng. J.*, 347, 1-11 (2018)
2. Jeon, P. R., Choi, J., Yun, T. S., and Lee, C. H., "Sorptions equilibrium and kinetics of CO₂ on clay minerals from subcritical to supercritical conditions: CO₂ sequestration at nanoscale interfaces," *Chem. Eng. J.*, 255, 705-715 (2014)

Feasibility of autotrophic denitrification using desulfurized waste as an electron donor

Sang Eun Oh^{1*}, Anup Gurung¹, Seunggyu Kim²

¹Department of Food Biotechnology and Environmental Sciences, Kangwon National University, 1 Gangwondaehakgil, Chuncheon-si, Gangwon State, Republic of Korea

²Environment and Chemistry Solution Corporation, 1 Yongjeonggyeongje-ro, Pocheon-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

Ferric hydroxide [Fe(OH)₃] is commonly used in biogas plants to adsorb hydrogen sulfide (H₂S), thereby generating a great amount of iron-rich pellets as desulfurized waste (DSW) that is challenging and costly to dispose of. This study investigated the possibilities of using DSW as an electron donor for autotrophic denitrification (ADN). Batch and lab-scale up-flow column tests were conducted. Both the batch and column test results confirmed the possibility of using DSW as an electron donor for ADN. DSW-based ADN resulted in a favorable nitrate removal rate, achieving 100% nitrogen removal efficiency in 5 days of batch culture. Similarly, DSW-based denitrification exhibited a 100% nitrate removal when operated at empty bed contact times of 16 and 8 h. Alkalinity production and a more stable pH than usual were observed throughout the entire column experimental period, indicating that using a pH buffer reagent would not be necessary for DSW-based denitrification. Therefore, the results obtained in this study demonstrated that DSW could effectively replace elemental sulfur as an electron donor in ADN for treating nitrate-rich wastewater.

References

1. Carboni, M.F., Florentino, A.P., Costa, R.B., Zhan, X., and Lens, P.N.L., "Enrichment of Autotrophic Denitrifiers From Anaerobic Sludge Using Sulfurous Electron Donors," *Front. Microbiol.* 12, 678323 (2021).
2. Pang, Y., Hu, L., and Wang, J., "Mixotrophic denitrification using pyrite and biodegradable polymer composite as electron donors," *Bioresour. Technol.* 351, 127011 (2022).

Ru을 도핑한 BaCeO₃ 이용한 광촉매 질소 고정

홍유경¹, 홍광표¹, 종초은^{1,2*}, 장민^{1,2}
 광운대학교 환경공학과¹, 플라즈마 연구센터²

Photocatalytic nitrogen fixation using Ru-doped BaCeO₃

Hong YuKyung¹, Hong Kwangpyo¹, Choe Earn Choong^{1,2*}, Jang Min^{1,2}
 Kwangwoon University Environmental Engineering¹, Kwangwoon University PBRC²

Ammonia is the most produced chemical raw material in the world, produced by the Haber-Bosch method. However, the Haber-Bosch method required high energy consumption for ammonia production. Hence, a greener process requires for ammonia production. This study prepared barium cerium oxides (BaCeO₃, BC), a photocatalyst doped with 0.1, 0.25, 0.5, 1% (w/w) of Ru, for photocatalytic nitrogen fixation. Ammonium production efficiency was studied with different parameters, including different light sources (400, 440, 525, 660 nm) and the presence or absence of sacrificing agent, respectively. BC-0.5% had the highest ammonium production performance, 44.31 mg L⁻¹ h⁻¹ g⁻¹, while BC achieved the ammonium production rate of 0.7 mg L⁻¹ h⁻¹ g⁻¹, indicating that the ammonium production rate increases in the absence of sacrificial reagent with the addition of Ru modification. Three reusability experiments were conducted using BC-0.5% to evaluate the stability of the photocatalyst. According to UV-VIS analysis, Ru modification BC reduced the bandgap energy. To understand the high ammonium production mechanism, liquid FTIR and photocurrent measurements were also conducted for photocatalysts. As a result, Ru doping improves the charge carrier separation and enhances the nitrogen fixation performance. This study demonstrates a green method for ammonium production using BaCeO₃ doped with Ru.

참고문헌

1. Zheng Li, Guizhou Gu, Shaozheng Hu, Xiong Zou, Guang Wu, Promotion of activation ability of N vacancies to N₂ molecules on sulfur-doped graphitic carbon nitride with outstanding photocatalytic nitrogen fixation ability, Chinese Journal of Catalysis 40(2019) 1178-1186

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

청정용매

(포스터발표)

2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀

수소화 바이오디젤 생산을 위한 연속식 수열반응 장치 개발

이홍식^{1*}, 권도희^{1,2}, 김성현^{1,3}¹한국생산기술연구원, ²홍익대학교, ³한국기술교육대학교

Development of continuous hydrothermal reactor for production of hydrogenated biodiesel

Hong-shik Lee^{1*}, Do Hui Kwon^{1,2}, Sung Hyun Kim^{1,3}¹Korea Institute of Industrial Technology, ²Hongik University, ³Korea University of Technology & Education

바이오디젤은 기존 석유 기반 인프라에 즉시 적용이 가능한 장점을 지니고 있어 세계적으로 가장 널리 보급되고 있는 바이오연료이다. 그러나 바이오디젤은 경유와는 달리 에스테르 결합을 지니고 있기 때문에 저온유동성, 산화안정성 등에 문제가 있어 완전한 석유의 대체연료라고 하기에는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해 바이오디젤을 수소화하여 산소를 제거하고 파라핀 형태로 전환한 수소화 바이오디젤에 대한 연구가 최근 들어 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 무촉매 조건에서 수소화가 가능한 수열반응에 의한 수소화 바이오디젤 제조 공정 개발을 진행하였다. 특히 본 반응을 연속식 반응기에서 구현하기 위한 중요 인자를 도출하고 이를 최적화하기 위한 연구를 중점적으로 진행하였다. 실험실 규모의 연속 시스템을 이용하여 반응기의 형태, 반응온도 및 압력, 체류시간 등이 반응 거동에 미치는 영향을 조사하였다. 전반적으로 회분식 실험 결과에 비해서는 낮은 수율을 보였으며, 반응물 간의 교반이 큰 영향을 주는 것으로 나타나 이에 대한 개선 방안이 필요할 것으로 사료된다.

초임계이산화탄소 추출 및 분획을 통한 천연 유래 항산화물질의 농축

이홍식^{1*}, 이승은^{1,2}, 임지선^{1,3}
¹한국생산기술연구원, ²서울시립대학교, ³홍익대학교

Concentration of natural antioxidant via supercritical CO₂ extraction and fractionation

Hong-shik Lee^{1*}, Seung Eun Lee^{1,2}, Ji Sun Lim^{1,3}
¹Korea Institute of Industrial Technology, ²University of Seoul, ³Hongik University

최근 들어 친환경, 건강에 대한 관심도가 높아지면서 천연 유래의 효능 성분, 특히 항산화물질에 대한 수요가 증가하고 있다. 대표적인 항산화물질 중 폴리페놀, 플라보노이드는 대체적으로 극성을 지니고 있어 에탄올과 물 등에 의한 극성 용매에 의한 추출 방식으로 주로 수득되었다. 그러나 이러한 용매 추출 방식은 추출 시간이 오래 걸리고, 추출 온도가 높아 열에 민감한 성분의 추출에는 적합하지 않아 이를 대체할 수 있는 추출 공정의 개발이 요구되고 있다. 본 연구에서는 초임계 이산화탄소 및 공용매를 사용하여 천연물에 포함된 항산화물질을 추출하고, 동시에 초임계 분획을 통해 이를 농축하는 공정의 개발을 진행하였다. 각 원료 및 공용매의 조성에 따른 추출물의 수율 및 조성의 변화에 대해 분석하여 상관 관계를 파악하였고, 이를 농축할 수 있는 공정에 대한 조사를 진행하였다. 초임계 추출 후 단계적인 감압을 통해 추출물을 즉시 분획 가능성을 확인하였고, 각 분획 단계별로 성분 조성이 유의미한 차이를 보이며 분리되는 것을 확인하였다.

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

오염저감

(포스터발표)

2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀

Enhancing Fuel Cell Performance and Humidity Stability of MEA for PEMFCs through Surface Patterned Membrane

Mingyu Son¹, Yeong Jun Choi¹, Yun Ji Hwang¹, Sun-I Kim¹ and Taehyo Kim^{1*}

¹*Green Materials and Processes R & D Group, Korea Institute of Industrial Technology, Ulsan 44413, Republic of Korea*

Fuel cells are spotlighted as one of the eco-friendly alternative energies instead of fossil fuels due to various advantages such as high energy density and zero carbon emission. In particular, polymer electrolyte fuel cells (PEMFCs) are the most promising type of fuel cell for commercial vehicles, construction machinery, and other applications that require to the high-power performance. To achieve high power performance, the PEMFCs continuously needed to control humidity and temperature through an external humidifier, ensuring efficient proton movement. This highlights the necessary for the development of high-output fuel cells and low-humidity membrane electrolyte assemblies (MEAs).

One approach to enhance the performance of high-power fuel cells and develop low-humidity MEAs is to improve three-phase interfaces within the membrane using surface patterning. The surface patterned membrane can improve catalytic activity and moisture management. The three-dimensional (3D) structure of the interface between the PEM and the catalyst layer (CL) is also an important factor for improving the performance of PEMFCs. We have fabricated a 3D structure MEA by transferring a cylindrical pattern on a PDMS substrate. A simple method was used to pattern PEMs at the micrometer scale, and the significantly enlarged interfacial area can overcome the limits of catalyst utilization. As a result, the patterned MEAs exhibited enhanced electrochemical performance in polarization curves under fully humidified conditions compared to flat interfaces. In addition, the patterned MEA showed better performance compared to the conventional flat MEA at 60% and 15% relative humidity. These studies represent significant progress in developing fuel cells with more stable and high performance for future energy applications.

γ -Al₂O₃ 촉매를 이용한 아산화질소(N₂O)의 직접촉매분해기술에 있어서 산소와 수분이 미치는 영향에 관한 연구

이은한^{1,2}, 변세기¹, 서두원¹, 황효정¹, 백주은¹, 정의순³, 김한성^{2**}, 이신근^{1*}

¹한국에너지기술연구원 수소융합소재연구실, 34129 대전광역시 유성구 가정로 152

²연세대학교 화학생명공학과, 03772 서울특별시 서대문구 연세로 50

³유니셈, 18510 경기도 화성시 장지남길 10-7

A study on the effects of oxygen and water on the direct catalytic decomposition of nitrous oxide (N₂O) using γ -Al₂O₃ catalyst

Eun-Han Lee^{1,2}, Segi Byun¹, Doo-Won Seo¹, Hyo-Jung Hwang¹, Jueun Beak¹,
Eui-Soon Jeong³, Hansung Kim^{2**}, Shin-Kun Ryi^{1*}

¹Hydrogen Convergence Materials Laboratory, Korea Institute Energy of Research (KIER), 152 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34129, Republic of Korea

²Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University, 50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 03772, Republic of Korea

³UNISEM, 10-7, Jangjinam-gil, Hwaseong-si, Gyeonggi-do 18510, Republic of Korea

Abstract

N₂O는 지구온난화지수가 CO₂ 대비 310으로 높으며, 대기중 수명이 120년으로 매우 높은 온실가스이다. 최근 반도체, 디스플레이 및 태양광 산업 성장에 따라 N₂O 배출량이 늘어나고 있다. 특히, 반도체와 디스플레이 산업은 우리나라의 주력 산업으로 규모와 생산량이 갈수록 커지고 반도체 업계의 지속적인 신규 공장 투자에 따라 N₂O 배출량 또한 비례해서 증가할 것으로 예측한다. 따라서 N₂O 저감을 위한 내부 규제 및 N₂O 분해 기술이 필요하다. 본 연구는 반도체 및 디스플레이 등 전자 산업시설에서 배출되는 N₂O 저감을 위하여 직접촉매분해를 위한 γ -Al₂O₃ 촉매에 관한 것이다. 실험에 사용한 γ -Al₂O₃ 촉매는 boehmite 분말을 사용하여 소형 압출기로 압출 성형하여 제조하였다. N₂O 분해 반응은 압출 성형한 촉매를 분쇄 후 직경 약 5 mm 크기로 선별하여 Inconel 600 소재의 반응기에 20 mL 장입하여 수행하였다. N₂O 농도는 약 1%가 되도록 공급하였으며, 온도는 550-750 °C, 압력은 상압, GHSV는 1800-2000 h⁻¹에서 촉매반응 특성을 확인하였다. 분위기 가스로는 질소, 공기 그리고 공기+수분을 공급하여 산소의 영향 및 스팀의 영향을 확인하였다. 촉매 내구성은 질소 분위기에서 수행하였는데, 700 °C에서 350시간 동안 연속 운전을 통해 확인하였다. 실험 결과 γ -Al₂O₃ 촉매는 700 °C에서 N₂O의 완전분해가 가능하였으며, 공급측에 O₂가 존재하는 경우 N₂O와 경쟁흡착을 하여 촉매의 성능 저하가 발생하였고, H₂O가 추가로 공급된 경우 경쟁흡착뿐만 아니라 촉매 활성 부위의 산화로 N₂O 분해 성능이 가장 저하하는 것을 확인하였다. 350시간 연속 운전 결과 촉매의 열화가 없었고 고온에서 γ -Al₂O₃ 촉매의 내구성이 우수함을 확인하였다. 따라서 boehmite 분말로 제조한 γ -Al₂O₃ 촉매는 N₂O 분해 특성에 우수한 것으로 확인하였으며, 향후 반도체 및 디스플레이 등 전자 산업에 적용하여 N₂O 배출량을 저감할 수 있을 것으로 판단한다.

본 연구는 산업통상자원부, 한국산업기술진흥원의 월드클래스플러스사업(P0017165)을 통하여 수행하였습니다.

Red mud 촉매를 이용한 HFC-134a 가수분해에 관한 연구

곽인현, 이은한, 김중배^{1,****}, 백일현^{***}, 남성찬^{**}, 이신근^{*}
한국에너지기술연구원, ¹고려대학교

A study on HFC-134a decomposition using red mud

In-Heon Kwak, Eun-Han Lee, Jung-Bae Kim^{1,****}, Il-Hyun Baek^{***}, Sung-Chan Nam^{**}, Shin-Kun Ryi^{*}
Korea Institute of Energy Research (KIER), ¹Korea University

에어컨 냉매의 원료인 HFC-134a는 지구 온난화 지수가 CO₂ 대비 1300배이며, 대기 중에서 14년 동안 체류하는 7대 온실가스 중 하나로 교토의정서 규제 대상에 포함되었다. 따라서 HFC-134a 저감을 위한 연구가 필요하다. 본 연구는 HFC-134a 가수분해를 위한 red mud 촉매에 관한 것이다. 실험에 사용한 red mud 촉매는 알루미늄 제련과정(Bayer process)에서 배출되는 폐기물이며 초기 슬러리 상태의 red mud를 건조 후 1축프레스로 압축 성형하여 제조하였다. 소성 red mud 촉매의 경우 압축 성형 후 600 °C에서 5시간 동안 열처리를 진행하여 제조하였다. HFC-134a 농도는 약 1%가 되도록 공급하였으며 압력은 상압, 온도는 550–700 °C, GHSV는 1967 h⁻¹에서 촉매 반응 특성을 확인하였다. 분위기 가스로 공기를 공급하였고 가수분해 반응을 진행하기 위해서 스팀의 농도는 약 7.5%가 되도록 공급하였다. 촉매 내구성 실험은 공기 분위기에서 수행하였는데, 650 °C에서 약 66시간 동안 연속 운전을 진행하였다. 분해 반응 결과 온도가 증가함에 따라 분해율도 동시에 증가하는 것을 확인하였고 소성한 후의 촉매가 전환율이 향상되는 것을 확인하였다. 또한, 촉매 내구성 실험 결과 66시간동안 촉매의 성능 저하는 나타나지 않았다. 따라서 폐기물을 재활용하여 제조한 red mud 촉매는 HFC-134a 분해 특성이 우수할 뿐만 아니라 내구성 또한 우수하기 때문에 폐냉매 처리시 배출되는 HFC-134a를 분해하는 공정에서 촉매로써 사용할 수 있을 것으로 기대한다.

폐 솔더페이스트 재활용 방법

구수진
한국폴리텍대학

Recycling Technology of Waste solder paste

Su-Jin Koo
Korea Polytechnic

Abstract IC 패키징 분야는 급속하게 소형화 및 경박단소화를 통한 고집적화가 진행되고 있으며, 사용되고 있는 솔더페이스트의 경우 Sn, Ag, Cu, Ni, In 등 고가/고품위의 금속재료가 주성분이다. 전자전기공정의 솔더링공정 중에 잔류하게 되어 남는 솔더페이스트는 금속재료와 플럭스 및 첨가제의 혼합물로서 Sn, Cu, Ag 등 고가의 금속재료 약 90%와 플럭스 10%로 구성되어 있다.

전자전기공정에서 사용 후 회수되는 솔더페이스트의 경우 솔더링 작업 후 용기에 다시 담거나 사용 후 남게 된 상태로 회수되어 폐 솔더페이스트로 폐기되고 있다. 사용 후 폐기되는 폐 솔더페이스트내 금속성분이 80~90%로 높고, 향후 IC 패키징 공정의 급속한 확장이 예상됨에 따라 폐 솔더페이스트의 회수물량 또한 크게 늘어날 것으로 예상되어 금속재료를 회수하는 필요성은 증가하고 있다.

현재 폐 솔더페이스트를 재활용 방식은 용기 내에 포함되어 있는 폐 솔더페이스트를 용해로에 투입하여 가연물을 연소시킨 후, 남은 금속성분을 회수하고 있다. 이와 같은 처리방식은 플럭스 또는 플라스틱 용기의 연소에 의한 공해 물질 발생은 물론, 플라스틱 재질의 용기에 폐 솔더페이스트가 담겨 있는 경우가 많은데, 이 경우 공해 물질 발생의 위험성은 더욱 큰 것으로 알려지고 있다. 재활용 과정에서 다량의 공해 물질을 발생시키기 때문에 이와 같은 방법은 사용이 곤란하다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 친환경적이고 경제적으로 폐 솔더페이스트를 처리하는 방법을 소개하고자 한다. 용기에 담겨있는 폐 솔더페이스트를 알카리용액을 사용하여 플럭스 성분을 제거하고 용기 및 금속성분을 회수하고 재활용 과정에서 발생 되는 폐 알카리폐수는 폐수처리공정에서의 중화제로 재사용하는 것이 특징이다.

참고문헌

1. Min-seuk Kim et al., "Electrochemical Behavior of Tin and Silver during the Electrocycling of Pb-free Solder (Sn-Ag-Cu) Waste", Resources Recycling, 31(4), 61-72 (2022)
2. U. Jadhva et al., "Acetic acid mediated leaching of metals from lead-free solders, Bioresources & Bioprocess, 4(1), 1-20 (2017)

DBD 플라즈마-전기분해를 통한 제약 활성 화합물 분해와 함께 암모니아 동시 생산

황건덕^{1,2}, 장 민^{1,2*}
광운대학교 환경공학과¹, 플라즈마 연구센터²

Degradation of Pharmaceutical Active Compounds with Simultaneous Ammonification through Combine DBD plasma-electrolysis

Kientiek Wong^{1,2} and Min Jang^{*1,2}

¹Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University, ² Plasma Bioscience Research Center,
Kwangwoon University
*e-mail: minjang@kw.ac.kr

Abstract

It is estimated that 30–90% of antibiotics are excreted from the body, in parent compounds or main metabolites, along with animal feces or urine. High concentrations of antibiotics in livestock manure can enter the soil and water environment in various ways, thus causing pollution to the ecological environment. This causes severe problems to food safety, human health, and the environment, promoting antimicrobial resistance (AMR) problems. Atmospheric non-thermal dielectric barrier discharge (DBD) plasma has gained considerable attention due to its cost-efficiency, environmental friendliness, and simplicity [1]. However, certain deficiencies restrict its broad application. This study analyzed the degradation efficiency of DBD plasma by coupling it with two-cell electrolysis systems. Pharmaceutically active compounds (PhACs) were oxidized with plasma in the anodic chamber, while NO_3^- was ammonified into NH_3 in the cathodic chamber. Combine plasma with electrolysis (e-plasma) to speed O_3 decomposition into $\cdot\text{OH}$ (2.8 eV vs. RHE), strong oxidation species, and simultaneously increase the concentration of O_3 introduced into the water phase. Results revealed that $\cdot\text{OH}$ was the primary reactive oxygen species (ROS) responsible for PhAC degradation. Air discharge plasma at 2 L min^{-1} had the highest degradation efficiency for all the PhACs because of the chain reaction between the ROS and RNS to generate a higher $\cdot\text{OH}$ concentration. The E-plasma system has great potential for water remediation, and the production of NH_3 as a value-added by-product considerably improves its practicality. Additionally, the produced NH_3 is of great importance in agriculture and energy-related industries.

References

1. Kan, H., *et al.*, High frequency discharge plasma induced plasticizer elimination in water: Removal performance and residual toxicity. *J. Hazard. Mater.*, 2020. **383**: p. 121185.

가시광선 기반 LaFeO₃ 페로브스카이트 광촉매-오존 공정을 통한 이부프로펜의 탈염

미쉬라¹, 장 민^{1,2}

광운대학교 환경공학과¹, 플라즈마 연구센터²

Visible light-driven photocatalytic ozonation mediated by LaFeO₃ perovskite towards Ibuprofen demineralization

Nirmalendu S. Mishra¹, Min Jang^{1,2}

Kwangwoon University, Department of Environmental Engineering¹, Kwangwoon University PBRC²

Abstract

Emerging contaminants such as pharmaceuticals such as ibuprofen (IB), azithromycin (AZ), sulfamethoxazole (SMX), etc., in aqueous media, are difficult to remove by conventional water treatment technologies. This concern on the availability of safe and clean drinking water necessitates a suitable technology for the restoration of the drinking water quality in a sustainable manner. Thus, we look forward to various advanced oxidation processes such as photocatalysis, ozonation, sonolysis, Fenton-based reactions, etc., which could be aptly applied to eliminate these compounds from their aqueous environment. This study was focused on IB demineralization, which belongs to the class of non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) and is widely reported in a wide-ranging concentration in surface and groundwater. The demineralization was achieved through the synergy developed between photocatalysis and ozonation techniques. The visible-light-driven photocatalytic ozonation was mediated through LaFeO₃, which is a visible-light active photocatalyst with a bandgap gap of ~2.0 eV. The synergistic combination of ozonation and photocatalysis increased the demineralization efficiency of the system, and 99.98 % TOC removal could be achieved in 2 hr under visible light-assisted photo-ozonation. This can be ascribed to the photoexcited electrons on the LaFeO₃ surface, which react with adsorbed oxygen and ozone molecules, decreasing the overall recombination tendency of the charge carriers and enhancing reactive oxygen species generation.

* Corresponding author: Tel: +82-010-4687-6338, E-mail: minjang@kw.ac.kr (Min Jang)

Reaction Engineering for Indoor Photocatalytic NO_x Removal

Tae-Gyu Lee¹, Tamal Tahsin Khan^{1, 2}, and Young-Si Jun*^{1, 3}

¹Department of Chemical Engineering, Chonnam National University,
77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 61186, Korea

²Department of Material Science and Engineering, Chonnam National University,
77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 61186, Korea

³School of Chemical Engineering, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 61186, Korea

Increasing demand for a clean environment and public health reinforces regulations to mitigate environmental pollution. Nitrogen oxides (NO_x) are one of the most critical air pollutants generating a large portion (>75%) of fine particulate matter (PM_{2.5}), which severely affects human health, through the reaction with ozone and ammonia in the atmosphere. For atmospheric or indoor NO_x removal (1 ppm), photocatalytic process is advantageous because it only needs a photocatalyst and the light for the reactions, providing cost-effectiveness and simplicity. In this study, reaction engineering is investigated to improve indoor photocatalytic NO_x removal process using two different photocatalysts, commercial TiO₂, P25, and graphitic carbon nitride (g-CN). Scavenger tests of reactive oxygen species ([•]OH, [•]O₂⁻, ¹O₂, and H₂O₂) demonstrate that the transfer of [•]O₂⁻ or its derivatives from g-CN to TiO₂ substantially improve the photocatalytic water oxidation process on the surface of TiO₂. As a result, the mixture of TiO₂ and g-CN shows a maximum removal of NO of 50.4% and 68.0% under fluorescence and UV lamp, respectively, which is higher than those of the pure TiO₂ (32.8% and 58.9%) and g-CN (12.2% and 24.3%). In addition, it is comparable to that of TiO₂-g-CN heterojunction, removing the complexity to design or investigate electronic band alignment, bending, *etc.*

Keywords: Photocatalytic NO_x removal, reaction engineering, reactive oxygen species, mass-transfer

폐플라스틱 열분해유내 유기염소 제거를 위한 소재의 성능 평가

노성준¹, 신용철², 이창하³, 전필립^{1,*}

¹공주대학교 화학공학부, ²HD현대오일뱅크 중앙기술연구원, ³연세대학교 화공생명공학과

플라스틱은 현대 사회에서 다양한 용도로 널리 사용되고 있다. 그러나 사용이 끝난 플라스틱 처리는 간단한 소각만으로는 불가능하다. 소각시 다양한 오염 물질이 생성되며 CO₂가 배출되기 때문이다. 따라서 친환경 적으로 폐플라스틱을 재활용하기 위한 기술이 필요하다. 폐플라스틱 열분해를 통해 연료유를 얻을 수 있는 방법은 환경 문제와 에너지 문제를 해결하는 장점이 있다. 촉매를 사용한 폐플라스틱 열분해유화는 열분해에 필요한 온도를 낮추고 고체 잔여물 생성을 줄이는 이점이 있다. 그러나 폐플라스틱에 포함된 염소가 촉매 열분해 과정에서 다양한 끓는점 분포의 유기 염소 화합물을 생성하는 문제가 있다. 이러한 유기 염소 화합물들은 단순 증류를 통해 제거하기 어려우며 열분해유의 활용과 부식 문제에 다양한 어려움을 초래한다. 따라서 열분해유 내의 염소 함량을 규제 농도 이하로 낮추기 위해 유기 염소 화합물을 선택적으로 제거하는 기술이 필요하다. 이에 본 연구에서는 폐플라스틱 열분해유에서 유기 염소 화합물을 선택적으로 제거하는 효율적인 소재를 평가하고자 한다. 이를 위해 대량으로 공급 가능한 소재를 대상으로 연구를 진행했다. 연구를 통해 최적의 소재를 선정하고 유기 염소 제거 성능을 향상시킬 방향과 지속적인 소재 개발 방향을 설정할 수 있다.

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

청정소재 및 공정

(포스터발표)

2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀

Reaction kinetics study on toluene oxidation by nonthermal plasma

Dong Ju Lee^{1,2}, Suhan Kim^{1*}

¹ Korea Institute of Industrial Technology, ² Pusan University

* Corresponding author: suhankim@kitech.re.kr

A plasma technology has been investigated as an efficient method for eliminating indoor volatile organic compounds (VOCs) from the air without the need for filter replacement. In this study, the VOCs removal system using non-thermal plasma is proposed, and the oxidation reaction of toluene by the developed dielectric barrier discharge (DBD) plasma module was examined. Additionally, the study delves into the kinetics of the reaction between the reactive species generated by the plasma and toluene. The intensity of the plasma generated at the electrode surface is quantified using intensified CCD (iCCD) technology. The various reactive species, including reactive oxygen species (ROs) and reactive nitrogen species (RNs), produced by the plasma are analyzed through the application of an Optical Electro Spectroscopy (OES) device. Ozone levels are assessed using an ozone analyzer. To gauge the efficiency of the plasma system in oxidizing toluene, experiments were conducted in a 300-liter sealed acryl chamber containing 100 parts per million (ppm) of toluene, with air circulating through the plasma electrode.

Keyword: VOCs, plasma,

에너지 효율적인 염색공정을 위한 스텐터 공정에서의 열 회수 시스템 설계

김정현¹, 문하늘¹, 이인규^{1,*}
¹부산대학교 응용화학공학부
^{*}inkyu.lee@pusan.ac.kr

Design of Heat Recovery Systems in Stenter Process for Energy Efficient Dyeing Process

Jeongheon Kim¹, Haneul Mun¹, Inkyu Lee^{1,*}
¹School of Chemical Engineering, Pusan National University
^{*}inkyu.lee@pusan.ac.kr

염색공정에 사용되는 Stenter는 공기를 가열하여, 섬유를 열처리 및 건조하는 장치이다[1]. 열처리와 건조를 마친 후, 가열된 공기는 Scrubber와 같은 장치를 통해 오염물질을 처리하여 대기로 방출된다[2]. 해당 과정에서 가열된 공기의 열에너지가 외부로 다량 손실된다. 따라서 이를 회수하여 활용하게 된다면 염색 공정에서 에너지 효율을 높일 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 Stenter에 유입되는 공기를 예열하는 Case 1, 전단 공정에 필요한 고온수를 생산하는 Case 2, 마지막으로 Organic rankine cycle을 통해 전력을 생산하는 Case 3의 세 가지 열 회수 공정을 설계하였으며, 각 공정의 폐열 회수 능력을 에너지, 엑서지 및 경제성 관점에서 비교하였다. 에너지, 엑서지 및 경제성 평가를 통해, 모든 Case가 기존 공정 대비 우수한 결과를 나타냄을 확인하였으며, 특히 Case 1이 에너지 소모량, 엑서지 파괴량 및 연간 비용이 기존대비 각각 60.7%, 46.0%, 60.5% 감소한 결과를 보여, 세 Case 중 가장 좋은 결과를 나타내었다.

참고문헌

1. Santos R.M. et al, "Study of Drying and Consumption of Natural Gas in a Textile Stenter of Direct Heating.," *Drying Technology*, 33, 37-54 (2015)
2. Chavan RB., "Indian textile industry-Environmental issues.," *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 26, 11-21 (2001)

ASU와 Allam Cycle을 통합한 LNG 공급망 설계

김윤건, 김도희¹, 이인규², 박진우^{1*}
 공주대학교, ¹동국대학교, ²부산대학교

본 연구에서는 기존의 SMR(Single mixed refrigerant)과 Allam cycle을 Export terminal에서 통합하고, Import terminal에는 LNG 재기화 공정과 ASU(Air separation unit)를 통합한 새로운 공정을 설계 및 제안하였다. 기존의 SMR 공정에서는 높은 에너지 소비로 운영비용이 상당하고, LNG 재기화 공정에서는 냉열 손실이 발생한다. 새롭게 제안된 공정에서는 Export terminal의 Allam cycle에서 생산된 전력을 SMR 공정에 공급하여 운영비용을 절감하고, 연소 과정에서 발생한 CO₂를 포집하여 저장 및 활용한다. 더불어, Import terminal에서는 LNG의 냉열을 회수하여 ASU의 운영비용을 감소시킨다. 새롭게 제안한 공정의 에너지 및 엑서지 분석을 수행하였으며, 기존 공정들과의 경제성 비교를 하였다. 그 결과, 천연가스 액화에 필요한 전력은 Allam cycle에서 생성된 전력으로 모두 충족하였고, 공정의 엑서지 효율은 약 65%를 달성하였다. 경제성 분석에서는 Export terminal에서 총 비용이 기존 공정에 비해 약 3.44억 달러가 감소하였으며, Import terminal 역시 유의미한 결과를 얻었다. 이러한 연구는 LNG 공급망 비용 절감에 기여하며, 더욱 혁신적인 LNG 공급망 개발에 새로운 가능성을 열어갈 것으로 기대된다.

Enhancing Ionic Conductivity and Air Stability of the Argyrodite Solid Electrolytes for All-Solid-State Batteries through Various Doping

Yeong Jun Choi¹, Yun Ji Hwang¹, Mingyu Son¹, Sun-I Kim¹ and Taehyo Kim^{1*}

¹Green Materials and Processes R & D Group, Korea Institute of Industrial Technology,
Ulsan 44413, Republic of Korea

Lithium-ion batteries (LIBs) have many advantages due to their high potential for providing efficient energy storage and environmental sustainability. However, most LIBs pose a risk of ignition and explosion because of flammable organic liquid electrolytes. All-solid-state batteries with solid electrolytes without flammable components have emerged as a next-generation alternative battery and solution for this issue. Among solid electrolytes, $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{Cl}$ solid electrolytes with argyrodite structures are attracting attention due to their ability to synthesize materials of various compositions through element substitution. Nevertheless, It has to overcome the limit of solid electrolytes such as low ionic conductivity compared to liquid electrolytes, and the generation of toxic gases by reacting with moisture in the air. In this study, we have demonstrated the argyrodite solid electrolytes enhancing ionic conductivity and air stability by doping with Al, Sb, and O triple dopants. The $\text{Li}_{5.4}\text{Al}_{0.1}\text{P}_{0.94}\text{Sb}_{0.06}\text{S}_{4.55}\text{O}_{0.15}\text{Cl}_{1.3}$ electrolyte showed excellent air/moisture durability and high ionic conductivity. Especially, the Al atom can be enhanced the ionic conductivity ability, and the strong Sb-S and P-O bonds improved air stability. These findings represent significant progress in developing safe and high-performance all-solid-state batteries.

폐 폴리프로필렌 열분해로부터 저비점 및 고비점 오일 동시 생산 연구

구본진, 김종수, 김순호, 윤주형, 최수현, 정수화*
한국생산기술연구원 탄소중립산업기술연구부문

A study on the simultaneous production of low and high boiling oils from waste polypropylene pyrolysis

BonJin Koo, JongSu Kim, SoonHo Kim, JooHyeong Yoon, SooHyeon Choi, SooHwa Jeong*
Carbon Neutral Technology R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology

최근 기술개발과 함께 다양한 방법을 통한 물질소비의 증대로 인하여 다량의 폐기물이 발생하면서 환경 오염 문제가 대두되고 있다. 특히 폐플라스틱은 자연 상태에서 완전히 분해되는데 500년 이상 걸려, 다음 세대에 많은 부담을 안기는 주요 원인이 되었다. 현재 폐플라스틱 열화학적 전환 기술을 통하여 에너지화 또는 원료화 하는 기술들이 국내 대기업을 중심으로 많은 관심을 받고 있다. 열화학적 전환 기술은 주로 열분해, 가스화 그리고 해중합 기술로 나눌 수 있다. 이중 폐플라스틱 열분해 기술은 순환경제 및 탄소중립 실현을 위한 핵심기술 중 하나로 열분해를 통해 생성된 액상생성물은 다양한 고부가가치 원료 생산에 활용할 수 있다. 폴리올레핀류 플라스틱의 경우 비교적 저온에서 열분해를 진행하였을 때 고비점 왁스가 생산되며, 약 550 °C 이상에서는 저비점 오일이 주로 생산되는 특징이 있다.

본 연구에서는 유동층 시스템을 이용하여 폐 폴리프로필렌을 열분해하여 저비점 및 고비점 생성물을 동시에 생산하는 연구를 진행하였다. 본 실험에서는 펠릿 형태의 원료를 사용하였고, 원료의 특성을 확인하기 위하여 공업분석 및 원소분석, 무기물 분석과 함께 열분해 실험 시작 전 시료의 열적 분해 특성을 파악하기 위한 TGA (Thermogravimetric analysis) 분석을 진행하였다.

유동층 내부 온도는 약 520 °C, 유동화 속도는 최소 유동화속도 4배, 원료 투입량은 2.0 kg/hr로 열분해 실험 조건을 설정하였고, 약 150분 동안 운전하였다. 열분해를 통하여 약 60% 이상의 오일 수율을 확인하였다. 또한 액상 생성물의 특성은 GC-MSD 및 SIMDIS를 통하여 분석하였다.

Key words

폐플라스틱, 열분해, 폐 폴리프로필렌, 유동층 시스템, 고비점, 저비점

사 사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 (혁신도전형) 플라즈마활용 폐유기물 고부가가치 기초 원료화 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(2022003650002)

Enhanced Air Stability and Li Metal Compatibility of Sn-Doped Argyrodite Solid Electrolyte for All-Solid-State Batteries

Yun Ji Hwnag¹, Yeong Jun Choi¹, Mingyu Son¹, Sun-I Kim¹ and Taehyo Kim^{1, *}

¹*Green Materials and Processes R & D Group, Korea Institute of Industrial Technology, Ulsan 44413, Republic of Korea*

The lithium-ion batteries (LIBs) have become common secondary batteries for mobile electronic devices such as cameras, laptops, and mobile phones. In addition, LIBs have been dominant power sources for electric vehicles (EVs) and energy storage systems in recent years. However, conventional LIBs have many issues such as ignition and explosion due to flammable organic liquid electrolytes. All-solid-state batteries (ASSBs) which can be applied as alternatives in the issue of LIBs, are attracting much attention due to their promise of improved safety, energy density, and cycle life than traditional LIBs. Nevertheless, solid electrolytes (SEs) have still a fatal disadvantage of low ionic conductivity compared to liquid electrolytes. Especially, there are electrochemical and air stability issues due to the characteristics of sulfide solid electrolytes, such as a weak P-S bond and a high reactivity of S. In this study, we have demonstrated air stability against atmospheric moisture and interfacial compatibility between Li metal and SEs by doping Sn from argyrodite structure $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{Cl}$. The optimized $\text{Li}_{6.15}\text{P}_{0.85}\text{Sn}_{0.15}\text{S}_5\text{Cl}$ shows maintained high ionic conductivity of $1.84 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ and the best retention of ionic conductivity after exposure to moisture. This work can suggest the challenges and future research directions on ASSBs.

Modifying property of Alumina Beads for Ni/Al₂O₃ Catalyst in Dry Reforming of Methane to Enhance Catalytic Performance

Sung beom Hwang, Eunju Yoo¹, Dong Seop Choi¹, Sang Bin Kim¹, Nayeon Kim¹, Ji Bong Joo^{1*}
¹Department of Chemical Engineering, Konkuk University, 05029, Korea

<Abstract>

Investigations on carbon capture, utilization, and storage (CCUS) strategy has been expanding since environment and resource depletion issues induced by carbon emission are accelerating to the extreme. Dry reforming of methane (DRM) is a chemical reforming method producing synthesis gas (synthesis gas) from the reaction of methane and carbon dioxide. Despite the advantages of consuming greenhouse gas and producing syngas, research to commercialization of DRM is still ongoing due to the high energy cost and catalyst deactivation. However, palletization in the commercialization process to minimize the pressure drop in the reactor changes the property of the catalyst making gaps between lab scale research and use in industry. Therefore, to eliminate the differences that occurs while palletizing, this work introduced commercial alumina bead as supporting material to initially minimize the pressure drop in the reactor. The effect of property modification by acid treatment on commercial alumina bead support was further investigated to enhance catalytic performance. XRD, BET, H₂-TPR and NH₃-TPD analysis were conducted to evaluate the characteristics of supporting bead and catalyst. The catalyst activity performance was evaluated by measuring reaction product gases with GC.

References

1. Maria A. Goula. et al., " Nickel on alumina catalysts for the production of hydrogen rich mixtures via the biogas dry reforming reaction: Influence of the synthesis method," *Int J Hydrog Energy.*, **40**(30), 9183-9200 (2015).
2. Hale Akansu. et al., " Nickel-based alumina supported catalysts for dry reforming of biogas in the absence and the presence of H₂S: Effect of manganese incorporation," *Catal. Today.*, **397-399**, 37-49 (2022).

Effects of Operating Parameters and Feed Gas Compositions on the Dry Reforming of Methane over the Ni/Al₂O₃ Catalyst

Eunju Yoo, Dong Seop Choi, Jiyull Kim, Na Yeon Kim, Sung Beom Hwang, Ji Bong Joo*
Konkuk University

In response to the global climate change caused by greenhouse gases, there is a continuous effort to secure sustainable and environmentally friendly energy sources. Biogas is a renewable energy source generated through anaerobic digestion of organic waste such as sewage sludge, food waste, and livestock manure, allowing for a consistent supply. Dry reforming is a method that can utilize biogas without the need for a separation process of methane and carbon dioxide after biogas purification, producing synthesis gas without additional carbon emissions by utilizing greenhouse gases, methane, and carbon dioxide. Moreover, synthesis gas can be diversely used for valuable chemicals and hydrogen production. Nickel-based catalysts are commonly used in both lab-scale and practical processes in the methane reformation processes due to high catalytic activity and wide availability. The dry-reforming process is a highly endothermic reaction and usually carried out at elevated reaction temperatures, which often induce the agglomeration of nickel particles (sintering), leading to the loss of the number of active sites and deactivation of the catalyst. In addition, the aggregated Ni particles can accelerate the formation of carbon (coking), resulting in an overall performance drop of the DRM unit. By controlling the operating parameters, it is possible to reduce carbon deposition and increase hydrogen yield while suppressing undesirable side reactions. In this study, we applied the Ni/Al₂O₃ catalyst to the dry-reforming reaction and investigated the effects of operating conditions such as temperature, WHSV and the CO₂/CH₄ ratio on the DRM reaction. The reaction activity and deactivation behavior of the Ni/Al₂O₃ catalyst are systemically studied. In addition, the relationship between operation conditions and the tendency of side reactions is investigated.

References

1. Yoo, E., Choi, D.S., Kim, J., Kim, Y.H., Kim, N.Y., and Joo, J.B., "Effects of Operating Parameters and Feed Gas Compositions on the Dry Reforming of Methane over the Ni/Al₂O₃ Catalyst," *Catalysts*, 13, 602 (2023).

The effect of preparation method on the catalytic activity of V_2O_5/TiO_2 catalyst for low-temperature NH_3 -SCR

Siranuysh Badalyan, Jae-Rang Youn, Anush Mnoyan, Kyubock Lee*
 Graduate School of Energy Science and Technology, Chungnam National University,
 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34134, Republic of Korea
 *E-mail: kyubock.lee@cnu.ac.kr

Selective catalytic reduction of NO_x by NH_3 (NH_3 -SCR) is an effective and advanced technique for reducing NO_x emission from stationary sources [1]. Nowadays, lowering the operating temperature range of the catalyst is another urgent task [2]. Because of their high activity, V_2O_5/TiO_2 catalysts have been widely applied in the SCR field. However, their narrow and high SCR reaction temperature range limits their practical applications.

To improve the low-temperature performance of V_2O_5/TiO_2 catalysts, we adopted the deposition-precipitation modification method for commercial G5 TiO_2 catalysts. We studied 5 wt.% V loaded G5 catalysts modified by two loading methods: 1) well-established wet-impregnation (WI) method and 2) adopted and developed deposition-precipitation (DP) method. Our results show that the catalyst made by the DP method (V_2O_5/TiO_2 -DP) has high performance at low temperatures and shows 75.6 % of NO conversion already at 160°C. The V_2O_5/TiO_2 -WI catalyst exhibits a 60% NO conversion at the same temperature (Figure 1).

To study the mechanism of NO_x adsorption on the surface of catalysts, we performed a systematic in situ experimental investigation by FT-IR spectroscopy. XRD, TEM, and SEM were used to investigate the morphology and structure of samples. V oxidation states were studied by XPS. To understand better the difference of the acidic species on the surfaces of the catalysts and their influence on the NH_3 adsorption NH_3 TPD was performed.

References

1. L. Han et al. Chem. Rev. 2019, 119, 19, 10916–10976
2. Z. Fang, S. Zhang, A. Wang, Y. Guo, Y. Guo, L. Wang, W. Zhan. Journal of Rare Earths, 2023
3. Lanza, L. Zheng, R. Matarrese, L. Lietti, J.-D. Grunwaldt, S. Alcorn Clave, J. Collier, A. Beretta. Chemical Engineering Journal 416 (2021) 128933

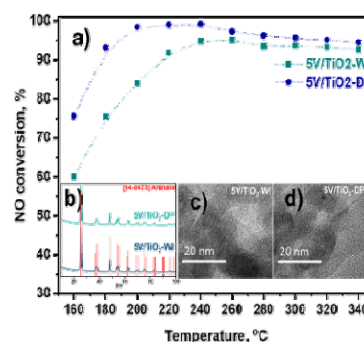


Figure 1. a) SCR test results. b) XRD revealed only the TiO_2 -anatase phase in the catalysts. c) and d) TEM images of V_2O_5/TiO_2 -WI and V_2O_5/TiO_2 -DP respectively.

High yield production of two-dimensional MXene via Hydrothermal-Assisted Etching and Water Intercalation

Suin Shim and Chang-Ho Choi¹ *

¹*Department of Chemical Engineering, Gyeongsang National University*

Ti₃C₂T_x (MXene) offers intriguing electrical and mechanical properties and has proven outstanding performance in various applications such as batteries, supercapacitors, sensors, EMI shielding, and water purification. To synthesize MXene, hydrofluoric (HF) acid etching process has been widely used. However, the corrosiveness and toxicity of HF hinder the scalable production of MXenes. Additionally, typical yield of MXene is lower than 20%, and increasing the yield remains a major challenge for facilitating the practical applications of MXene in various research fields. In this work, hydrothermal etching and water intercalation processes are proposed to improve the yield of MXene. A hydrothermal etching process based on modifying the in-situ HF method results in the production of multilayer MXene with almost 100% etching efficiency. Subsequently, the multilayer MXene are subject to a water intercalation process, where water molecules can intercalate between the interlayers of multilayer MXene. This process enables the exfoliation of multilayer MXene into single or few layer-MXene flakes without the need for additives, resulting in the production yield of MXene with 60 %. This study provides a facile protocol to synthesize MXene in high yield and environmentally friendly manner, promoting the potential applications of MXene.

Selectively oxidizing the graphene edge enables exfoliation of graphite into graphene with high dispersibility and properties

Gyuri Kim¹, Yonghyun Lee¹, and Chang-Ho Choi¹ *

¹*Department of Chemical Engineering, Gyeongsang National University*

Graphene, a two-dimensional carbon nanostructure composed of a single atomic layer arranged in a honeycomb lattice structure, can be produced from graphite through exfoliation processes. Despite its outstanding mechanical, electrical, and thermal properties, the industrial applications of graphene are limited. Although liquid-phase exfoliation is considered a widely used approach for graphene production, prolonged exfoliation time and low production yield constrain the scalable graphene production. The poor dispersibility of graphene in various solvents is also a significant challenge for the industrial applications of graphene. Herein, we suggest a novel exfoliation method of selectively oxidizing the graphene edge to produce graphene with high dispersibility and properties. It was found that selectively oxidizing the edge of graphene results in the increase of interspacing distance of graphene, facilitating the exfoliation through mild sonication treatments. Additionally, oxygen-containing functional groups at the graphene edge improves the dispersibility of graphene to various solvents. This approach offers streamlined processes for graphene production with high solvent affinities, significantly contributing to the advancement of graphene-related technologies.

고온-고압 조건에서 연속식 반응기에서 다양한 탄화수소 화합물의 분해반응 특성

한기보, 장정희, 이지은, 장현성
고등기술연구원

Characteristics of Decomposition Reaction of Various Hydrocarbons Using Continuous Reactor Under High Temperature-Pressure Condition

Gi Bo Han*, Jung Hee Jang, Ji Eun Lee, Hyun Sung Jang
Institute for Advanced Engineering

탄화수소류 화합물의 종류 및 조성에 따라 적용될 수 있는 연료로서의 물성이 달라지며, 이에 따라 연료종류가 달라진다. 육지에서 적용되는 다양한 내연기관에 적용될 수 있는 연료와는 달리 항공유에는 노말파라핀, 이소파라핀 및 사이클로파라핀 등의 파라핀계 탄화수소류 화합물이 주로 포함되며, 요구되는 항공유로서의 물성 및 해당 규격에 따라 방향족 화합물이 일부 포함될 수 있다. 아울러, 이들 파라핀계 탄화수소류 화합물에 해당하는 연료성분의 종류 및 조성에 따라 연료물성이 좌우된다. 이러한 연료성분에 따른 연료물성에 따라 열적 안정성이 달라질 수 있다. 이들 연료성분에 대한 열적 안정성은 연료성분 및 이들의 조성에 따라 달라지며, 연료가 적용되는 환경에 따라 달라진다. 본 연구에서는 항공유에 포함되는 연료성분인 선형 및 가지형, 그리고 고리형 파라핀 연료성분에 대한 열적 안정성에 대응하는 특성을 고온-고압 조건에서의 분해반응 특성을 통해 조사하였다.

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

온실가스

(포스터발표)

2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀

탄소-기술-경제성 평가 모델을 활용한 습식 이산화탄소 포집 공정의 비용 최적화

박시환, 서주영, 오시은, 이인규*
부산대학교

아민 용매 기반의 습식 이산화탄소 포집 공정은 공정 간 통합이 상대적으로 용이하여 석유화학 산업의 탄소 배출 저감에 기여할 수 있을 것으로 기대되고 있다 [1]. 하지만, 용매 재생을 위해 많은 양의 Steam을 필요로 하며, 이는 운전 비용에서 큰 비중을 차지한다 [2]. 포집공정에서 처리되지 못한 이산화탄소는 대기중으로 배출하며, 탄소세가 부과됨에 따라 추가 비용이 발생하게 된다. 본 연구에서는 CTEA (Carbon-techno-economic analysis) 모델을 개발하여 공정 자체의 비용과 탄소 배출 비용을 함께 고려해서 공정 비용의 최적화를 수행하고자 한다. 탄소 다배출 공정 중 하나인 천연가스 복합발전 플랜트의 배기가스를 처리하는 이산화탄소 포집 공정을 대상으로 선정하였으며, 탄소세 시나리오에 따른 CTEA 모델 기반 최적화를 수행하였다. 그 결과, 탄소세가 높아질수록 이산화탄소 배출 비용을 줄이기 위해 더 많은 에너지 및 공정 운전 비용을 투입하는 경향을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. Parvareh, F. et al. "Integration of solar energy in coal-fired power plants retrofitted with carbon capture: A review," *Renew. Sustain. Energy. Rev.*, 38, 1029-44 (2014)
2. Meng, F. et al., "Research progress of aqueous amine solution for CO₂ capture: A review," *Renew. Sustain. Energy. Rev.*, 168, 112902 (2022).

수소생산 공정의 온실가스 배출량 분석 연구

안희경, 장소정
한국생산기술연구원

A study on Analysis of Greenhouse Gas Emissions from Hydrogen Production

Heekyung An, Sojeong Jang
Korea Institute of Industrial Technology

2023년 4월 산업통상자원부에 의해 청정수소 인증 기준이 온실가스 배출량 4 kg CO₂ eq./kg H₂ 이하로 제시되었다. 수소는 생산방식에 따라서 그레이, 블루, 청록, 그린으로 대별된다. 그레이 수소는 천연가스에 포함되어 있는 메탄과 물을 반응시켜 수소와 이산화탄소를 생성하는 방식이며, 그레이 수소 방식에 이산화탄소 포집 공정을 연계한 것이 블루수소 방식이다[1]. 청록수소는 천연가스로 부티의 메탄을 열분해하여 수소와 탄소를 분리하는 방식으로 이산화탄소를 직접적으로 배출하지 않는다. 그린수소는 재생에너지를 활용하여 물을 수소와 산소로 분해하는 방식이다[2]. 본 연구에서는 국내 등록 수소생산기술 특허 조사를 통해 최신 수소기술 동향을 분석하였으며, LCA 기법을 활용하여 청록수소와 블루수소의 온실가스 배출량을 산출하였다. 국내에 등록된 수소생산 기술 특허는 222개로, 2006년부터 2022년까지 지속적인 증가 추세를 보였으며, 최근 수소기술 개발은 청록수소와 그린수소를 중심으로 개발되고 있음을 파악하였다. 청록수소의 탄소중립 효과는 주로 블루수소와 비교되는데, 두 가지 수소생산 공정의 온실가스 배출량을 분석한 결과, 청록수소는 공정에서 발생하는 탄소 부산물의 재자원화를 고려하지 않을 경우, 블루수소에 비해 온실가스 배출량이 근소하게 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 청록수소의 저탄소 에너지 가치를 향상시키기 위해서는 생산 효율을 높이는 촉매 기술 개발과 함께 탄소 부산물의 재자원화 연구가 필요할 것으로 사료된다.

사사

본 논문은 한국생산기술연구원 기본사업[산업계 탄소중립을 위한 청정수소 생산-저장 및 탄소저감 모니터링 시스템 실용화 기술개발]의 지원으로 수행한 연구입니다.

참고문헌

1. Massarweh, O., Al-khuzaei, M., Al-Shafi, M., Bicer, U., and Abushaikha, A. S., "Blue Hydrogen Production from Natural Gas Reservoir: A review of Application and Feasibility," *J CO₂ Util*, 70, 102438 (2023).
2. Hermesmann, M., and Muller, T. E., "Green, Turquoise, Blue, or Grey? Environmentally friendly Hydrogen Production in Transforming Energy Systems," *Prog Energy Combust Sci*, 90, 100996 (2022).

아미노산이 함유된 Monoethanolamine 기반 수용액의 CO₂ 용해도 및 물성 측정

정기철^{1,2}, 김광휘^{1,3}, 임현지^{1,3}, 오진명^{1,2}, 박현식¹, 강조홍^{1,3}, 박진원³, 송호준^{1,*}
¹한국생산기술연구원, ²울산대학교, ³연세대학교

Measurement of CO₂ solubility and physical properties of monoethanolamine solution with amino acids

Gicheol Jeong^{1,2}, Kwanghwi Kim^{1,3}, Hyunji Lim^{1,3}, Jinmyeong Oh^{1,2}, Hyun Sic Park¹,
Jo Hong Kang^{1,3}, Jinwon Park³, Hojun Song^{1,*}
¹Korea Institute of Industrial Technology, ²Ulsan University, ³Yonsei University

산업화 이후 화석연료 사용량의 지속적인 증가에 따라 온실가스의 배출량도 함께 증가하고 있으며, 이로 인해 발생하는 이상기온현상, 각종 자연재해 등이 전 세계적 문제로 대두되고 있다. 이에 대응하기 위해 대표적인 온실가스인 이산화탄소를 포집하는 기술이 주목받고 있으며, 기술의 핵심이 되는 흡수제 개발에 대한 연구가 활발하게 이뤄지고 있다. 현재 상용화된 흡수제인 monoethanolamine (MEA)의 경우 높은 부식성으로 인해 설비의 부식을 일으킬 수 있으며 휘발성으로 인해 포집 중 증발되어 소실되는 등의 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 단점을 보완할 CO₂ 흡수제로써 MEA에 아미노산이 결합된 형태인 아민-아미노산 염 흡수제에 대한 연구를 진행하였다. 아미노산은 독성이 없어 친환경적이고, 아민계 흡수제보다 상대적으로 휘발성이 낮아 경제적으로도 가치가 있는 흡수제로 쓰일 수 있다. 개발된 흡수제의 다양한 CO₂ 농도 조건에서의 CO₂ 용해도를 측정하여 흡수 특성을 평가하였으며 최적 조합의 아민-아미노산 염 흡수제에 대한 다양한 온도 및 흡수제 농도에서의 물성(밀도, 점도 그리고 증기압)을 측정하였다.

참고문헌

- Hartono *, A., Aronu, U. E., and Svendsen, H. F. "Liquid Speciation Study in Amine Amino Acid Salts for CO₂ Absorbent with 13C-NMR" Energy Procedia 4 (2011) 209-215
- Arlinda F. Ciftja, Ardi Hartono and Hallvard F. Svendsen* "Selection of Amine Amino Acids Salt Systems for CO₂ Capture" Energy Procedia 37 (2013) 1597-1604
- Arlinda F. Ciftja, Ardi Hartono, Hallvard F. Svendsen* "Amine neutralized amino acid as CO₂ absorbents: A quantitative ¹³C-NMR study" International Journal of Greenhouse Gas Control 27 (2014) 169-177

CO₂ Absorption-Desorption Capacity of Single and Blended Aqueous Amine and Amine Blending Strategy

Jieun Kim^{1,2}, Jo Hong Kang², Sun Yup Hwang², Hyun Sic Park², Jinwon Park¹ and Hojun Song^{2*}
¹Yonsei University, ²Korea Institute of Industrial Technology

Chemical CO₂ absorption using aqueous amine absorbents is the most effective for capturing carbon dioxide from post-combustion flue gas [1]. To overcome the high regeneration energy consumption of MEA(monoethanolamine), a commercial absorbent, blended amine absorbent has been proposed [2]. In this study, the absorption and desorption capacity of each single amine was evaluated, and the best performing amines were selected for the blended amine experiment. Blended amine absorbents took two strategies: mixing tertiary amines with multi amines to improve the absorption capacity of tertiary amines, and mixing sterically hindered amines with other amines to further improve the absorption and desorption performance. The capacity of the absorbents was investigated using CO₂ screening apparatus under 15% CO₂ (N₂ balance), 313 K (absorption) and 353 K (desorption). The results were compared to a commercial absorbent, MEA, using absorption and desorption performance indicators.

References

1. Rochelle, G. T., "Amine scrubbing for CO₂ capture," *Science*, **325**(5948), 1652-1654 (2009).
2. Nwaoha, C., Saiwan, C., Supap, T., Idem, R., Tontiwachwuthikul, P., Rongwong, W., Al-Marri, M. J., and Benamor, A., "Carbon dioxide (CO₂) capture performance of aqueous tri-solvent blends containing 2-amino-2-methyl-1-propanol (AMP) and methyldiethanolamine (MDEA) promoted by diethylenetriamine (DETA)," *International Journal of Greenhouse Gas Control*, **53**, 292-304 (2016).

CO₂-unloaded/loaded IPAE 용액의 온도, 조성과 CO₂ 함유량에 따른 밀도, 점도 측정 및 상관관계식 유도

백경민^{1,2}, 김지은^{1,3}, 강조홍¹, 박현식¹, 송호준^{1*}
¹한국생산기술연구원, ²동국대학교, ³연세대학교

Density, viscosity of CO₂-unloaded/loaded IPAE solutions and correlations as a function of temperature, composition and CO₂ loading

Gyeongmin Baek^{1,2}, Jieun Kim^{1,3}, Jo Hong Kang¹, Hyun Sic Park¹, Hojun Song^{1*}
¹Korea Institute of Industrial Technology, ²Dongguk University, ³Yonsei University

2-(Isopropylamino)ethanol (IPAE)는 입체장애를 가져 상용 흡수제인 monoethanolamine (MEA)와 같은 재생 에너지 소모량이 높은 화학적 흡수제의 단점을 극복할 수 있는 효과적인 아민계 CO₂ 흡수제이다[1]. 본 연구에서는 CO₂-unloaded, CO₂-loaded 상태의 30, 40, 50 wt% IPAE 수용액을 298.15-333.15 K, 상압 조건에서 밀도와 점도를 측정하여 상관관계식을 유도하고 CO₂ 확산계수, 점도 활성화 에너지 및 열팽창 계수를 도출했다. CO₂-loaded IPAE 용액은 CO₂ screening 장비를 이용하여 15 vol% CO₂ (N₂ balance), 313 K 조건에서 흡수시켜 제조하였다. 제조한 흡수제의 농도와 CO₂ loading은 0.1 N H₂SO₄ 용액을 이용한 적정법과 TIC 분석을 통해 확인하였다. Zhang et al.[2]의 밀도 상관관계식과 Weiland et al.[3]의 점도 상관관계식, Cao et al.[4]의 열팽창 계수 식을 이용하여 도출한 결과 측정값과 계산값의 AAD는 각각 0.465 %, 2.592 %, 0.16 %였다. 본 연구는 IPAE를 CO₂ 흡수제로 사용하는 연구자들의 공정 설계 데이터로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Chowdhury, F. A., Okabe, H., Yamada, H., Onoda, M., & Fujioka, Y., "Synthesis and selection of hindered new amine absorbents for CO₂ capture," Energy Procedia, Volume 4, 201-208 (2011).
2. Zhang, J., Fennell, P. S., & Trusler, J. M., "Density and Viscosity of Partially Carbonated Aqueous Tertiary Alkanolamine Solutions at Temperatures between (298.15 and 353.15 K)," J. Chem. Eng. Data 2015, 60, 8, 2392-2399 (2015).
3. Weiland, R. H., Dingman, J. C., Cronin, D. B., & Browning, G. J., "Density and Viscosity of Some Partially Carbonated Aqueous Alkanolamine Solutions and Their Blends," J. Chem. Eng. Data 1998, 43, 378-382 (1998).
4. Cao, M., Han, C., Wang, S., Yu, J., Zhou, X., Yang, F., & Chen, Y., "Investigation of density, viscosity and derived thermodynamic properties of CO₂-free and CO₂-loaded poly(ethylene imine) aqueous systems at different temperatures and 0.1 MPa," Journal of Molecular Liquids, 377, 121523, 2-3 (2023).

메탄 건식 개질용 Ni/SiO₂ 촉매의 안정한 촉매 성능: 분무 열분해 합성법에 따른 니켈의 고분산 효과와 촉매 성능에 대한 연구

구본준, Anush.N.Mnoyan, 이규복*
충남대학교 에너지과학기술대학원

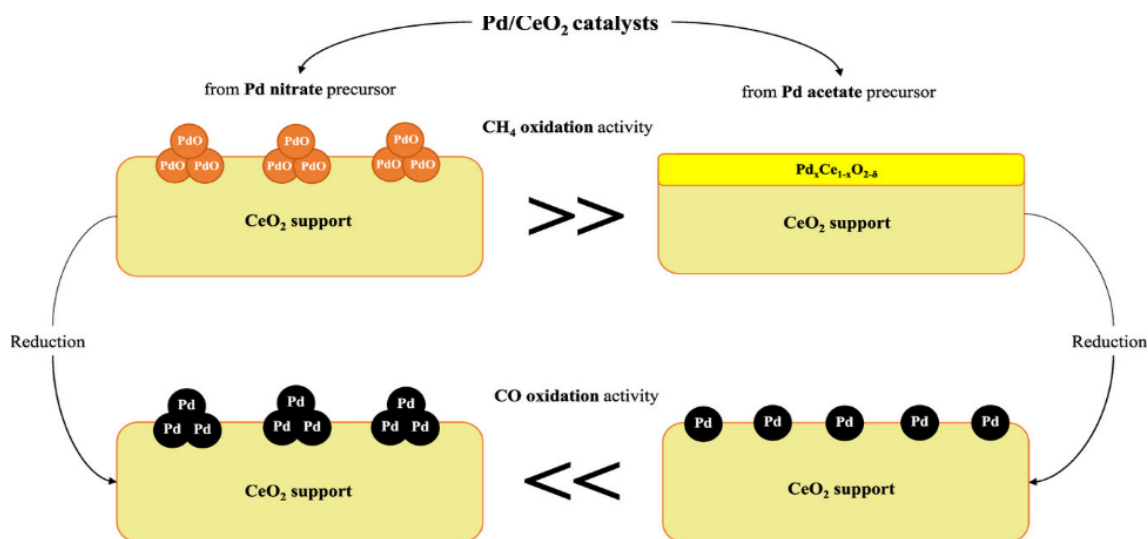
메탄 건식 개질 (DRM) 공정에서 니켈 금속은 C-H 결합 분해 능력이 우수하여 귀금속에 필적하는 활성 성능과 합리적인 비용으로 개질 촉매로서 지금까지 가장 많이 선택되어 왔다. DRM에서 니켈 기반 촉매를 사용하는 데 있어 한 가지 주요 문제점은 메탄 분해 및 부두아르 반응경로를 통한 탄소 형성 반응에도 적극적이어서 촉매 활성의 손실과 결국 촉매 수명 단축으로 이어질 수 있다. 활성 금속 나노입자 크기를 감소시키고 분산도를 높이는 방법은 반응 활성을 가속화함과 동시에 탄소 형성을 억제할 수 있다. Ni 표면의 탄소 침착은 Ni 양상불을 필요로 하는 것으로 알려져 있으며, 큰 Ni 입자는 코크스 침착을 더 심하게 유발한다. 따라서 비표면적이 넓은 지지체에 니켈 금속의 분산을 촉진하고 나노입자 크기를 줄이기 위해 다양한 방법이 적용되었다. 여기에는 **impregnation**, **precipitation** 및 원자층 증착과 같이 다양한 금속 로딩 방법을 취했지만 모두 다단계 공정이다. 본 연구에서는 합성 공정을 단순화할 뿐만 아니라 구성요소의 분산도를 높이기 위한 방법의 하나로 분무 열분해 합성 방법이 도입하였다. 분무 열분해법은 매우 제한된 수의 준비 단계를 포함하고, 또한 성분이 균일한 고체 상태의 준안정 상태로 '동결'할 수 있게 해줌으로서 일반적인 침전 방법으로는 거의 달성할 수 없는 분산도와 균일도를 가지도록 하였다. 분무 열분해법 의해 제조된 Ni/SiO₂ 촉매는 다른 방법으로 제조된 Ni/SiO₂ 촉매에 비해 더 균일하게 분산된 니켈 입자와 작은 크기를 보였다. 니켈 특성에서 비롯된 안정적이고 높은 활성의 촉매 성능을 나타내고 탄소 침착에 대한 저항성이 더 강해짐을 XRD, TEM, 라만, XPS, H₂-pulse chemisorption, DRM reactor 등 다양한 분석을 통해 확인하였다.

Effect of Pd precursors on the catalytic properties of Pd/CeO₂ catalysts for CH₄ and CO oxidation

Sangbeom Yoo, Eunwon Lee, Gyuhyun Jang, Do Heui Kim*

School of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University, Republic of Korea.

It is widely reported that the state of Pd in Pd/CeO₂ catalysts can be adjusted by various methods. Compared to the numerous studies on the ceria morphology and catalyst preparation methods, the role of Pd precursors on the properties and activities of Pd/CeO₂ remains largely unexplored. Herein, the Pd/CeO₂ catalysts using different Pd precursors (palladium nitrate and acetate) were applied to the catalytic oxidation of CH₄ and CO. Various characterizations revealed that the Pd species in Pd/CeO₂(N) are agglomerated in an oval shape, forming the PdO nanoparticles on the surface of CeO₂ support which led to the greater methane oxidation activity than the other. On the other hand, Pd species in Pd/CeO₂(A) are inserted into the defect sites of the CeO₂ support, inducing the formation of Pd_xCe_{1-x}O_{2-δ} which led to the greater CO oxidation activity. Our study described that Pd precursors play a critical role affecting the catalytic activities and properties of catalysts, mainly altering the Pd state and location.



구슬 형태 철계 흡착제의 이산화탄소 흡착 기작 조사

김지율, 김상빈, 주지봉*
 건국대학교

An investigation of CO₂ adsorption mechanism on bead shaped iron based adsorbents.

Jiyull Kim, Sang Bin Kim, Ji Bong Joo*
 Konkuk University

화석연료를 연소하는 발전소 및 제철소에서 부산물로 발생하는 이산화탄소는 지구상에서 가장 많이 존재하는 온실가스로 대기중에서 복사열을 흡수 및 재방출하여 지구온난화를 유발하는 가스이다. 대기중 이산화탄소 농도의 증가는 지구의 평균기온 상승으로 인한 해양의 산성화 같은 문제 뿐만 아니라 식량 부족, 생태계 파괴 등 심각한 피해를 일으키고 있다. 전지구적 기후변화 문제 해결과 인류의 삶의 안정적이고 지속적 영위를 위해서 이산화탄소를 저감 및 제거는 필수적이다. 이산화탄소 제거 기술에는 흡착법, 막분리법, 흡수법 등이 있다. 그 중 흡착법은 타 공정 대비 초기 투자 비용이 저렴하고 공정이 간단하며 경제적이며 재사용에 필요한 에너지가 적다는 장점으로 각광받고 있다. 본 연구에서는 이산화탄소 흡착을 위해서 광산폐수를 업사이클링 한 철 기반 흡착제를 이용하였고, 실험실 규모의 CO₂ 흡착 장치를 구축하여 다양한 공정 변수 별 흡착 효율을 확인하였다.

1. Ktzas et al. "Removal of dyes from aqueous solutions with untreated coffee residues as potential low-cost adsorbents: Equilibrium, reuse and thermodynamic approach" *Chem. Eng. J.*, **180-190**, 148-159 (2012).
2. Huang et al. "Activated carbons prepared by the KOH activation of a hydrochar from garlic peel and their CO₂ adsorption performance" *New carbon materials.*, **34(3)**, 247-257 (2019).
3. Tiwari et al. "Adsorption of CO₂ on KOH activated N-enriched carvon derived from urea formaldehyde resin : kinetics, isotherm and thermodynamic studies", *Appl. Surf. Sci.*, **439**, 760-771 (2018).

Effect of hydrophobic coated polymeric HFMCs and AAS for CO₂ capture

Hee Jun Lee and Suhan. Kim*
Korea Institute of Industrial Technology

Hollow fiber membrane contactors (HFMCs) are one of the most effective methods for capturing carbon dioxide, owing to their superior surface area that interfaces between the absorbent liquid and the exhaust gases. Due to the corrosive nature of CO₂ absorbents, HFMCs often exhibit a wetting phenomenon. The primary causes of this phenomenon are the inherent wettability of polymeric HFMCs and the presence of highly corrosive absorbents.

In this study, a perfluoroether (PFE) grafted silane (KY-164, Shin-Etsu) coating was applied to the layers of hollow fiber membranes to mitigate membrane wetting by enhancing membrane surface tension. As the CO₂ absorbent, a 2.5 M solution of amino acid salt (AAS) containing 1.5 M Potassium serinate and 1.0 M Piperazine (PSZ) was used. In comparison to the commonly used monoethanolamine (MEA), PSZ is anticipated to diminish wetting phenomena due to its low corrosiveness and high surface tension. The practical effects of hydrophobic-coated polymeric HFMCs and the application of AAS on CO₂ removal efficiency were observed through a comparison with MEA and AAS solutions.

References

1. Hyunji Lim et al, "Carbon dioxide capture in aqueous potassium serinate and piperazine solution using bubbling reactor for membrane contactor applications," *J. Industrial and Engineering Chemistry*. 122, 200–209 (2023).
2. João Gomes et al, "Choosing amine-based absorbents for CO₂ capture". *Environ Technol*. 36, 19-25. (2015).
3. Jian-Gang Lu et al, "Wetting mechanism in mass transfer process of hydrophobic membrane gas absorption" *J. Membr. Sci.*. 9, 180- 190 (2008).

이산화탄소 기반 폴리올의 고효율 분리 공정 개발

이혜성¹, 김진호¹, 이다혜¹, 김지현¹, 류재홍¹, 강석환^{1*}, 김준우²

¹고등기술연구원, 경기도 용인시 처인구 백암면 고안로51번길 175-28

²포항산업과학연구원, 전남 광양시 금호로 187-12

Development of high efficient separation process for CO₂-based polyol

Hyesung Lee¹, Jin-ho Kim¹, Da-Hye Lee¹, Ji hyeon Kim¹, Jae-Hong Ryu¹,
Suk-Hwan Kang^{1*}, Joon-Woo Kim²

¹IAE, 175-28 Goan-ro 51beon-gil, Baegam-myeon, Yongin-si, Gyeonggi-do, 17180, Korea

²RIST, 87-12 Geumho-ro, Gwangyang-si, Jeollanam-do, 57801, Korea

기후위기 대응을 위해 전세계적으로 탄소중립에 대한 논의가 활발히 이루어지는 가운데, 우리나라는 2023년 4월에 온실가스 감축목표와 연도별 이행방안 등이 담긴 ‘제1차 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획(안)’이 통과되었다. 기본계획(안)에 따르면 2030년까지 2018년 대비 온실가스의 40%를 감축해야 하며, CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage) 부문을 통해 약 1,100만 톤의 이산화탄소를 제거해야한다. 특히 CCU(Carbon Capture and Utilization) 중 수요가 지속적으로 증가하고 있는 폴리우레탄 제조 기술은 가장 현실적인 기술로 평가되고 있는 실정이다. 기존 폴리우레탄의 제조는 유독성물질인 포스겐 및 이소시아네이트를 이용해 합성하지만, NIPU(Non-Isocyanate Polyurethane) 제조 기술은 유독성물질 뿐만 아니라 화석연료를 사용하지 않고 이산화탄소를 활용하므로 친환경적인 CCU 기술이다.

본 연구에서는 NIPU 제조 과정에서 생성되는 CO₂ 폴리올과 프로필렌 카보네이트(PC; Propylene Carbonate)를 효율적으로 분리하기 위한 공정을 도출하기 위해 액상펌프, 미세기포펌프, 미세기포펌프+친/소수성 필터를 이용해 PC의 제거율 및 분리시간을 확인하였다. 그 결과, 미세기포펌프+친/소수성 필터를 활용한 분리 공정이 제거효율(2회 98.4%) 및 분리시간 면에서 가장 좋은 효율을 보였다. 따라서 파일럿 급 이상에서 효율적인 분리를 위해서는 미세기포펌프+친/소수성 필터 방법이 적합할 것으로 보이나, 추후 미세기포펌프의 용량, 친/소수성 필터의 유지보수, LCA 관점에서 재검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Key words : CCU, Polyol, Propylene Carbonate, Separation

사사

본 연구는 산업통상자원부 스팀 생산 설비 연소 중 CO₂ 포집·활용기술개발사업(R&D)의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다(과제번호:20208401010080).

아민 함침된 흡착제의 이산화탄소 흡착 특성

강조홍^{1,2}, 최민주³, 박현식¹, 황선엽¹, 송호준¹

¹한국생산기술연구원, ²연세대학교, ³동국대학교

Adsorption Characteristic of Carbon Dioxide on Amine-impregnated Adsorbent

Jo Hong Kang^{1,2}, Min Ju Choi³, Hyun Sic Park¹, Sun-Yup Hwang¹, Hojun Song¹

¹Korea Institute of Industrial Technology, ²Yonsei University, ³Dongguk University

지구온난화로 인한 문제 해결을 위해 다양한 기술들이 개발되고 있으며, 그 중에서도 대표적으로 탄소 포집·저장(CCS)기술이 주목받고 있다. 탄소 포집 기술은 다양한 배출원에서 발생한 이산화탄소를 포획하여 분리하는 기술을 의미하며, 포집 기술 중에는 고체 흡착제를 이용하여 이산화탄소를 선택적으로 포집 및 분리하는 기술이 있다. 알루미늄실리케이트(Aluminum Silicat)는 다공성 무기흡착제로서 높은 비표면적과 열화학적 안정성을 가지고 있어 공업, 식품, 환경 등 다양한 분야에서 사용되는 대표적인 흡착제이다. 본 연구에서는 알루미늄실리케이트에 아민 밀도가 높고 1·2·3차 아민을 모두 함유하고 있는 폴리에틸렌이민(polyethyleneimine, PEI)을 함침하여 CO₂/N₂ 혼합물에서 CO₂만을 선택적으로 포집·분리하는 흡착제를 개발하였다. 새롭게 개발된 흡착제는 CO₂와 강한 상호작용을 통해 기존 흡착제보다 높은 CO₂ 흡착성능과 선택성을 보이며, 또한 높은 비표면적과 큰 공극률을 가지고 있어 재생에 용이하다. 이러한 연구 결과는 탄소 포집 기술의 개발과 지속 가능한 환경보호에 기여할 것으로 기대되며, 발전소, 천연가스, 철강 등 다양한 CO₂ 배출원에서의 응용 가능성을 제시한다.

참고문헌

1. Kang et al. "Extraordinarily selective adsorption of CO₂ over N₂ in a polyethyleneimine-impregnated NU-1000 material," *Microporous and Mesoporous Mater.*, 281, 84-91 (2019).
2. Lin et al. "Polyethyleneimine incorporated metal-organic frameworks adsorbent for highly selective CO₂ capture," *Scientific reports*, 3(1), 1859 (2013).
3. Darunte, Lalit A., et al. "Direct air capture of CO₂ using amine functionalized MIL-101 (Cr)," *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 4(10), 5761-5768, (2016).
4. Choi, Woosung, et al. "Epoxide-functionalization of polyethyleneimine for synthesis of stable carbon dioxide adsorbent in temperature swing adsorption," *Nature communications*, 7(1), 12640, (2016).
5. Miller D.C. et al., "Toward Transformational Carbon Capture Systems," *AIChE Journal*, 62, 2-10 (2016)

직접수성탄산화 실증플랜트에서 석회석을 이용한 탄소포집 특성

박동균, 최창식*
고등기술연구원, 청정에너지전환센터

Characteristics of Carbon Capture using Limestone in a Demo-Scale Direct Aqueous Carbonation Plant

Dong Kyoo Park, Changsik Choi*
Clean Energy Conversion Research Center, Institute for Advanced Engineering

Abstract

지난 몇 세기 동안 인류는 화석연료의 사용을 통해 단기간에 상당한 기술적 진보를 이루었지만, 화석연료 사용의 증가로 인한 지구의 오염은 더 이상 방치할 수 없는 상황에 이르렀다. 그중 가장 눈에 띄는 것은 기후변화다. 기후 변화로 인해 인류가 지구적 위기에 직면해 있으며, 이 문제를 해결하기 위해 많은 과학자들이 에너지 시스템의 저탄소 전환과 더불어 배출된 CO₂의 포집, 활용할 수 있는 기술을 강조하고 있다. 최근 이산화탄소의 고부가가치 제품 생산 등 유용한 자원으로 재사용하기 위한 이산화탄소 포집, 활용 및 저장(Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS) 기술 개발에 대한 다양한 노력이 진행 중에 있으며, 이는 발전소, 철강, 시멘트, 석유화학 등 산업 전반에서 배출되는 CO₂를 포집 및 처리하는 기술로써 CO₂ 배출 완화를 넘어 배출된 CO₂를 제거하는 탄소 네거티브 개념의 기술이다. 이 중 광물탄산화 기술은 Ca/Mg 등을 포함하는 금속 산화물 또는 규산염 광물을 이산화탄소와 반응하여 탄산염의 형태로 전환하여 이산화탄소를 열역학적으로 안정적인 형태로 반영구적 격리, 저장이 가능하다. 광물탄산화 기술은 크게 직접 탄산화 및 간접 탄산화 기술로 구분할 수 있으며, 직접 탄산화 반응은 고온, 고압의 건식 반응과 원료물질을 물과 혼합하여 반응하는 수성 반응 방식으로 다시 구분할 수 있다.

본 연구에서는 CO₂ 포집량 기준 일일 5톤 규모의 직접수성탄산화 실증플랜트를 건설하였으며, 연소 배기가스의 이산화탄소 포집 특성을 조사하였다. 대상 연소시설은 울산광역시에 위치한 생활폐기물 연소 시설로 하였으며, 연소가스 중 이산화탄소를 포집하기 위한 탄산화 반응의 원료로 석회석을 선정하였다. 탄산화 시스템은 수직 2단 2열로 구성된 4개의 반응기로 구성되며, 반응 전 원료 물질인 석회석의 용해조와 이산화탄소의 탄산화 반응으로 생성된 포집물의 탈수 및 건조 과정을 포함한다.

실증 시험 결과, 가스유입 송풍기를 통해 연소가스 공급 유량은 평균 1,500~1,800 Nm³/hr로 제어되었으며, 평균 이산화탄소 공급 농도는 10~15%로 나타났다. 이러한 조건에서 배기가스 내 이산화탄소 농도는 평균 3%까지 낮게 유지할 수 있었으며, 이산화탄소 포집효율은 80%에 이른다. 본 연구 결과는 이산화탄소 포집, 광물탄산화 기술 개발 및 최적화를 위한 주요 자료로 활용할 예정이며, 탄산화 반응 결과 이산화탄소전환 탄산칼슘의 건설소재 이용 등을 위한 기술 개발 자료로 활용할 예정이다.

사사

본 연구는 2021년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [P0016558].

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

탈질-탈황

(포스터발표)

2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀

배가스 내 저농도 SO₂ 장기간 제거를 위한 습식 흡수 공정에서의 최적의 첨가제에 관한 연구

김상빈, 김지율, 황성범, 주지봉*
건국대학교

A study on ideal additives in wet absorption process for long-term removal of low-concentration SO₂ in flue gas

Sang Bin Kim, Jiyull Kim, Sung Beom Hwang, Ji Bong Joo
Konkuk University

화석연료를 연소하여 에너지원으로 하는 발전소와 다양한 산업 공정 등의 고정 배출원 및 자동차, 항공기와 선박의 배기가스에서 발생하는 미세먼지로 인한 대기오염이 심각해짐에 따라, 미세먼지를 저감하기 위한 연구가 진행되고 있다. 최근 CCUS에 대한 관심이 높아짐에 따라 배가스에서 배출되는 CO₂를 추가 포집 공정 없이 직접 활용하여 고부가가치의 화합물을 제조하는 연구 또한 진행되고 있다. 이를 위해서는 배가스 내 존재하는 SO₂를 제거하여 공정에 사용되는 촉매의 피독 현상을 방지하여야 하기 때문에 SO₂의 제거는 필수적이다. SO₂ 제거 기술에는 습식 흡수법, 건식 흡수법, 반건식 흡수법 등이 있다. 그 중 탄산칼슘을 기반으로 하는 습식 흡수법은 타 공정 대비 간단한 공정으로 최고의 흡수 효율을 가지기 때문에 대부분의 탈황 공정에 적용되고 있다. 본 연구에서는 실험실 규모의 흡수 장치를 구축하고 WFGD 공정에 적용되는 다양한 첨가제의 스크리닝을 통하여 조건 별 최적의 흡수 성능을 가지는 첨가제에 관해 확인하였다.

참고문헌

1. Ji Eun Jeong, Chang-Yong Lee, "The simultaneous removal of sulfur dioxide and nitrogen dioxide by the limestone slurry with addition of organic acid additives," *Korean J. Chem. Eng.*, **38**, 2064-2071 (2021).
2. Lina Lv, Jianbin Yang, Zhigang Shen, Yanbo Zhou & Jun Lu, "Selecting organic desulphurization additives in flue desulphurization process", *Energy Sources.*, **38**, 2649-2655 (2016)

Experimental Study on NO_x Removal Performance of Selective Catalytic Reduction using Metallic Monolith with Various Cell Density

Min Kyum Kim^{1,2}, Mino Woo¹, Hee Soo Kim¹, Jung ho Jae², and Dong-Ha Lim^{1,*}
Green Materials & Process R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology, Ulsan, Korea¹
Division of Chemical and Biomolecular Engineering, Pusan National University, Korea²

Since combustion-generated nitrogen oxides (NO_x) emissions (e.g. from steel industry and power plants) adversely affects human and environment, reduction of NO_x emissions matters urgently [1]. The selective catalytic reduction (SCR) technique is mainly used to reduce NO_x emissions where ceramic monolith is typically used as catalyst substrates. While ceramic monolith have lower mechanical strength and is difficult to maintain and repair [2], the metallic monolith, composed of a thin metal foil formed in a flat and a corrugate structure inside the metal cell, has superior thermal conductivity and mechanical stability. In this study, a VMo/TiO₂ catalyst was prepared and coated on the surface of metallic monoliths with five different cell densities (100 ~ 500 cpsi). In order to investigate the denitrification characteristics according to the cell density of the metallic monolith, NO_x conversion performance was experimentally evaluated using a bench-scale flue gas denitrification test apparatus. Inlet gas composition mimics the exhaust gas in the steel industry (NO_x 300 ppm, NH₃ 300 ppm, SO₂ 100 ppm, 15 vol% O₂, 5 vol% H₂O, N₂ Balance, SV 5,000 h⁻¹). The NO_x conversion performance did not monotonically increase with increasing the cell density of the monolith channel. With increasing cell density, specific surface area increases which is favorable for catalytic conversion, while the retention time dramatically decrease due to the narrowed flow path. The findings of this study indicate that the non-monotonic behavior depending on cell density was attributed to the trade-off relationship.

Acknowledgement

This study has been conducted with the support of the Korea Institute of Industrial Technology as “Development of the super clean modular platform technology based on AI for eco-friendly ship to respond to IMO 2020/2050 regulations” (KITECH EH-22-0014).

References

1. Forzatti, P., “Present Status and Perspectives in De-NO_x Scr Catalysis,” *Appl. Catal. A:Gen.*, 222(1-2), 221-236 (2001)
2. Jeong, et al., “Optimum Synthesis Conditions of Coating Slurry for Metallic Structured De-NO_x Catalyst by Coating Process on Ship Exhaust Gas,” *Clean Technol.*, 24(2), 127 (2018)

친환경 부식 억제제가 첨가된 KITSSOL의 SO₂ 흡수 성능 및 탄소강 부식 억제 개선

김광휘^{1,2}, 임현지^{1,2}, 박현식¹, 강조홍^{1,2}, 박진원², 송호준^{1,*}
¹한국생산기술연구원, ²연세대학교

Enhanced SO₂ absorption performance and corrosion inhibition of carbon steel in KITSSOL with green corrosion inhibitors

Kwanghwi Kim^{1,2}, Hyunji Lim^{1,2}, Hyun Sic Park¹, Jo Hong Kang^{1,2}, Jinwon Park², Hojun Song^{1,*}
¹Korea Institute of Industrial Technology, ²Yonsei University

초미세먼지 발생과 산성비, 스모그 등 심각한 환경 문제를 야기하는 대기오염물질인 SO₂를 제거하기 위한 배연탈황 공정에서는 강산성 환경에 부식을 방지하기 위해 주로 스테인레스강을 사용하고 있다. 하지만, 그것의 높은 가격 때문에 상당한 투자비가 요구된다. 따라서, 배연탈황 설비의 일부를 기계적 강도가 우수하며 스테인레스강보다 약 6배 저렴한 탄소강으로 대체한다면 투자비를 획기적으로 절감할 수 있다. 그러나, 탄소강은 스테인레스강보다 부식에 취약한 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 한국생산기술연구원에서 개발한 액상 탈황 흡수제 KITSSOL에 4가지 친환경 부식 억제제를 첨가하여 SO₂ 흡수 성능 및 탄소강의 부식 억제 평가를 통해 배연탈황 공정에서의 탄소강 사용의 타당성을 조사하였다. 또한, 부식 억제 거동을 이해하기 위해 SEM/EDS 와 XRD 분석을 수행하였다. 이 연구는 탈황과 같은 가혹한 환경 조건에서 탄소강을 효과적으로 사용할 수 있는 가능성을 입증하였다.

참고문헌

1. Xiang, Y., Huang, H., Long, Z., Li, C., & Yan, W. Role of residual 2-amino-2-methyl-1-propanol and piperazine in the corrosion of X80 steel within an impure supercritical CO₂ environment as relevant to CCUS. *International Journal of Greenhouse Gas Control* (2019) 82, 127-137.
2. Kim, K., Lim, H., Park, H. S., Kang, J. H., Park, J., & Song, H. Effect of amino acid additives in ammonia solution on SO₂ absorption and ammonia escape using bubbling reactor for membrane contactor applications. *Process Safety and Environmental Protection* (2022) 165, 694-703.
3. Krzemień, A., Więkol-Ryk, A., Smoliński, A., Koteras, A., & Więclaw-Solny, L. Assessing the risk of corrosion in amine-based CO₂ capture process. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* (2016) 43, 189-197.

Development of Double-layered SCR Catalyst Coated on Metallic Monolith, Exhibiting Excellent Resistance to H₂O and SO₂ from Marine Engine Exhaust Gas

So Hyeon Lee, Hyejin Kim, Hee Soo Kim, and Dong-Ha Lim*

Green Materials & Processes R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology, Ulsan, Korea

The selective catalytic reduction (SCR) technique has long been used to reduce NO_x emissions in power plants, steel industry, and automotive exhaust [1-2]. The vanadium-based V₂O₅-WO₃/TiO₂ catalysts are most commonly used in such SCR systems. The V₂O₅-WO₃/TiO₂ catalyst exhibits excellent SO₂ resistibility and denitrification efficiency at temperatures ranging from 300 °C to 400 °C, while catalytic activity is degraded due to the ammonium bisulfate formed by presence of H₂O and SO₂ at temperatures below 240 °C [2]. Therefore, it is necessary to develop a vanadium-based SCR catalyst that has not only high denitrification efficiency for a process in which H₂O and SO₂ are present, but also good durability to respond to high pressure drops. In this study, Mn, Mo, and Ce as secondary metals were added to the vanadium-based SCR catalyst to improve the resistibility in the presence of H₂O and SO₂. The catalyst was synthesized by incipient wetness impregnation method. The as-prepared double-layered SCR catalyst was coated on the metallic monolith, and its NO_x conversion performance was experimentally evaluated by a lab-scale micro-reactor system. Our results show excellent denitrification performance under the model gas composition targeting marine engine exhaust gas.

Acknowledgement

This research was financially supported by the Ministry of Trade, Industry and Energy, Korea, under the “Regional Innovation Cluster Development Program(R&D)(P0025345)” supervised by the Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT).

References

1. Lee, C.-H., Choi, H., Kim, M., Seo, B., Kang, C., and Lim, D.-H., "an Optimization study on a Low-temperature De-NO_x Catalyst Coated on Metallic Monolith for Steel Plant Applications," *Clean Technol.*, **27(4)**, 332-340 (2021).
2. Jeong, H., Jung, K., Hwang, S., and Lim, D.-H., “A New Feature of Metallic Foam Structured Catalyst Prepared by Slurry Coating for Selective Catalytic Reduction of Nitrogen Oxide with Ammonia,” *Nanosci. Nanotechnol. Lett.*, **10**, 1257-1261 (2018).

오존 분해용 Mn-Cu계 촉매의 표면반응 특성 연구

양도훈, 권병찬, 김민규, 박노국*, 강도형¹, 공종선², 공성욱²
 영남대학교, ¹서울과학기술대학교, ²(주)인우에코

A Study on Surface Reaction Characteristics of Mn-Cu-Based Catalysts for Ozone Decomposition

Dohoon Yang, Byung Chan Kwon, Minkyu Kim, No-Kuk Park*, Dohyung Kang¹,
 Jong Sun Kong², Seong Wook Kong²
 Yeungnam University, ¹Seoul National University of Science & Technology, ²Inwoo Eco Corp.

오존은 강한 산화력을 가져서 상온에서 미세먼지를 유발하는 VOCs를 제거할 수 있기 때문에 에너지 비용이 저렴한 저온 산화공정으로 이용되고 있다. 그러나 오존 산화공정은 O₃-slip에 의한 2차 오염을 유발할 수 있으며, 장기간 노출되었을 때 작업자에게 위해를 끼칠 수 있다. 그러므로 오존 산화공정의 후단에는 반드시 미반응 오존을 제거하기 위한 공정이 요구된다. 본 연구에서는 VOCs 오존 산화공정의 후단으로 배출되는 미반응 오존을 제거하기 위한 오존 분해촉매로서 Mn-Cu계 촉매를 KMnO₄ 산화법으로 제조하였으며, 제조된 촉매의 표면반응 거동을 조사하였다. 오존 분해를 위한 반응공정은 고정층 촉매반응 공정으로서 오존이 함유된 공기가 촉매층을 통과하면서 분해반응이 일어난다. 이때 Mn-Cu계 촉매 상에서 오존은 O₂와 O*(표면흡착 산소)로 분해되어 O₂는 촉매표면으로부터 탈착되고, O*는 표면에 흡착된 흡착산소와 결합하여 O₂로 전환된 후 기상으로 탈착되는 것으로 보고되고 있다. 상온에서 오존 분해 반응 시 초기에는 오존이 완전히 제거되지만, 시간이 지나면서 따라 촉매층 출구에서 서서히 오존의 농도가 증가하는 경향을 나타낸다. 이와 같은 반응기 출구에서의 오존의 파괴되는 원인으로는 오존의 분해로부터 생성된 표면흡착 산소가 누적되어 활성점을 점유하기 때문으로 판단된다. 이와 같은 현상을 확인하기 위하여 본 연구에서는 촉매층의 온도를 증가시키면서 표면 흡착산소 간의 반응에 의한 2O* → O₂ 반응속도를 증진 시키고자 하였다. 온도에 따른 실험결과, 촉매층의 온도가 높아질수록 반응기 출구에서 오존의 유출 농도가 감소하는 것을 확인하였다. 또한, 유입되는 오존의 농도와 공간속도를 변화시킨 결과, 오존 농도가 낮아질수록 오존 분해효율이 증가되었고, 공간속도가 낮아질수록 오존 분해효율이 증가되었다. 이로부터 촉매 표면에서 오존의 분해속도 대비 흡착산소가 O₂로 제거되는 반응이 율속이기 때문으로 판단된다. 그러므로 오존 분해용 촉매의 활성을 높이기 위해서는 촉매 표면에 흡착된 산소 간의 반응으로 O₂로 탈착속도를 높일 수 있는 촉매의 설계가 필요하다.

Acknowledgement

본 연구는 (주)인우 에코의 자문연구로부터 수행되었습니다. 장비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Tatibouet, J.-M., Valange, S., Touati, H., *Applied Catalysis A: General*, **569**, 126-133 (2019).
2. Kim, M., Park, E., Jung, J., *Powder Technology*, **325**, 368-372 (2018).
3. Jia, J., Zhang, P., Chen, L., *Applied Catalysis B: Environmental*, **189**, 210-218 (2016).

폐플라스틱 열분해유내 함유된 염소성분 제거

강석환^{1*}, 김현지¹, 김진호¹, 이수철², 장치승³
¹고등기술연구원, ²경북대학교, ³(주)대한실업

Removal of chlorine contained in waste plastics pyrolysis oil

Suk-Hwan Kang^{1*}, Hyunji Kim¹, Jin-ho Kim¹, Soo-Chool Lee², Chiseung Jang³
¹Institute for Advanced Engineering (IAE), ²Kyungpook National University, ³Daehan corporation

최근 포장용기와 비닐봉투 등 플라스틱 수요가 급격히 증가함에 따라 이의 재활용과 에너지화를 위한 노력이 지속되고 있다. 반면, 기존의 소각 방식은 환경문제로 인해 해결책으로 인식되지 못하고 있다. 이의 대안으로 열분해 기술을 적용하여 다양한 화학 원료를 생산하는 방안이 고려되고 있으며, 이와 함께 탄소 중립에 대응하기 위해 재활용(MR), 화학적전환 등과 같은 자원순환 개념을 도입하여 추진하고 있다. 그런데도 폐플라스틱의 활용방안으로 주목받고 있는 열분해 기술은 저유가와 활용처의 부재로 인해 열분해유의 소비처 감소 문제점으로 활용 폭이 제한되었다. 이러한 문제점을 해결하고 폐자원을 이용한 에너지 생산 및 활용 확대라는 측면에서 새로운 에너지원 전환 기술 개발과 원료·연료화 기술 개발이 필요하다. 특히 열분해유의 활성화를 위해서는 부식성이 강한 염소 성분을 제거하는 것이 필수적인데, 본 연구에서는 여러 흡착제를 제조하여 이들의 성능과 분석을 통해 염소 제거 특성에 관하여 소개하고자 한다.

키워드 : 폐플라스틱, 열화학적 전환, 열분해유, 염소 제거

사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 폐플라스틱 활용 원료 연료화 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (2022003490004, 폐플라스틱 연속식 열분해 공정 기반 윤활기유 생산 기술 개발)

* Corresponding Author(Suk-Hwan Kang) : Phone: +82-31-330-7880; E-mail: shkang@iae.re.kr

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

청정수소

(포스터발표)

2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀

다른 종류의 저가 촉매를 이용한 목재-플라스틱 합성물의 촉매가스화를 통한 수소 생산

심지민, 서지현, 심하늘, 박영권*
서울시립대 환경공학부

Hydrogen Production from Catalytic Gasification of Waste Wood Plastic Composite using Different Low Cost Catalysts

Jimin Sim, Jihyeon Seo, Haneul Shim, Young-Kwon Park*
School of Environmental Engineering, University of Seoul

목재 플라스틱 복합체(WPC)는 일반 목재에 비해 우수한 기계적 강도와 환경 친화성으로 인하여 주로 바닥재 및 외벽 재료로 사용된다. WPC는 여러 번 재활용될 수 있지만 내구성을 잃으면 고품 폐기물로 처리됩니다. 미국환경보호청(EPA)에 따르면 최근 몇 십 년간 생활폐기물(MSW)의 배출량이 증가하고 있으며, WPC는 MSW의 일부를 차지하므로 WPC를 처리하기 위한 효율적이고 환경 친화적인 공정을 찾아야 하는 실정이다. 흥미로운 점은 이러한 WPC가 가스화, 열분해 및 연소와 같은 열화학적 공정을 통해 가치 있는 합성가스로 전환될 수 있다는 것이다. 이러한 과정에서 촉매를 사용하면 수소, 메탄 및 일산화탄소와 같은 유용한 가스 생산량이 증가하고 가스화 반응 중에 타르의 생성을 억제할 수 있게된다. 특히 니켈은 타르 감소에 매우 효과적이며 다른 촉매 금속에 비해 저렴하여 상업화에 유리하며 주로 촉매로 사용되는 제올라이트는 우수하지만 비용이 높다는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 WPC 가스화 반응에 미치는 영향을 저가 촉매와 비교하기 위해 Dolomite, Olivine 및 Red Mud를 사용하여 합침법으로 제조한 Ni 기반 촉매가 제조되었으며, 본 연구의 목적은 Dolomite, Olivine 및 Red Mud와 같은 저렴한 촉매의 효과를 비교하고 가스화 실험을 통해 바이오 수소를 생산하는 것이다. 효과를 확인하기 위하여 온도, Ni 함량 및 ER 값의 영향을 평가했다. 온도를 변화시킨 경우(700, 750, 800°C), 모든 촉매에 대해 가장 높은 H₂ 선택도는 800°C에서 얻어졌으며 특히 Red Mud를 사용한 경우 48.93% 부피로 가장 높았다. Ni 기반 촉매(10wt%)를 사용하면 균열이 잘 발생하여 H₂, CO 선택도 및 가스 수율이 증가했다. 이 경우 10wt% Ni를 함유한 Red Mud가 56.00% 부피로 가장 높은 H₂ 선택도를 보였다. ER 값을 0.2로 설정한 경우 H₂, CO 및 메탄(CH₄) 선택도가 0.25 또는 0.3으로 설정한 경우보다 높았지만 가스 수율과 CO₂ 생성이 적어졌다. 본 실험 결과를 바탕으로 Red Mud 촉매를 사용한 공기 가스화는 폐WPC를 보다 고부가가치의 물질인 수소로 변환하는 새로운 기술을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

환경부에 지원 및 한국환경산업기술원에서 주관하는 탈플라스틱특성화대학원의 사업비로 집행하였음

Autothermal Reforming-전기분해를 이용한 청정수소 생산 하이브리드 시스템 설계

조서연¹, 노원준¹, 이인규^{1*}
¹부산대학교 응용화학공학부
 *inkyu.lee@pusan.ac.kr

청정수소는 생산 및 사용 과정에서 탄소 배출이 적은 에너지원이다. 수소는 생산방식에 따라 그레이, 블루, 그린수소로 나뉜다. ATR(Autothermal Reforming)을 이용한 블루수소 생산은 메탄이 개질되는 과정에서 순산소가 필요하다[1]. SOEC(Solid Oxide Electrolysis)를 이용한 그린수소 생산은 고온의 스팀이 필요하다[2]. 이러한 특징은 각 수소 생산 공정에서 극저온 공기 분리 장치와 전기가열 히터를 필요로 하기 때문에, 공정의 에너지 및 경제적 성능을 감소시킨다. 본 연구는 ATR 공정과 SOEC 공정을 통합하여 필요한 물질과 열원을 공유하는 hybrid 공정을 설계함으로써 공정의 성능을 개선하고자 하였다. 공정의 통합을 통해 SOEC에서 발생한 부생산소를 ATR에 공급하고, ATR의 Heat Process에서 발생한 열을 활용하여 생산한 고온의 스팀을 SOEC에 공급한다. 이를 통해 제안 공정은 각각의 수소를 자립적으로 생산하는 경우보다 열역학적 효율이 높고 전기 사용량이 적으며 생산단가가 낮은 결과를 나타냈다.

참고문헌

1. Oni A.O. et al, "Comparative assessment of blue hydrogen from steam methane reforming, autothermal reforming, and natural gas decomposition technologies for natural gas-producing regions," Energy Convers. Mang., 254, 115245 (2022).
2. Ni M. et al, "Energy and exergy analysis of hydrogen production by solid oxide steam electrolyzer plant," Int J Hydrogen Energy, 32, 4648-4660 (2007).

고순도 수소 생산을 위한 고온수성가스전이반응용 Cu/CeO₂-MgO 촉매

김창현, 윤은수, 유지민, 심재오*
원광대학교

Cu/CeO₂-MgO catalyst for high temperature water-gas shift reaction for high-purity hydrogen production

Chang-Hyeon Kim, Eun-Su Yoon, Ji-Min Yu, Jae-Oh Shim*
Wonkwang University

초록

Cu 기반 촉매는 수성가스전이(WGS: Water-gas shift)반응에서 높은 활성을 나타내지만, 고온에서 비활성화가 되는 특징을 가지고 있어 고온수성가스전이(HT-WGS)반응에서는 적합하지 않다. 그러나 적절한 지지체를 Cu 촉매에 적용할 경우 HT-WGS 반응에서 높은 활성을 보인다. 본 연구에서는 분무열분해법으로 CeO₂-MgO 지지체를 합성하였고, CeO₂와 MgO의 비율은 75/25로 설정하였다. Cu의 담지량에 따른 활성 차이를 알아보기 위하여 지지체에 Cu를 5~25 wt%로 함침하여 HT-WGS 반응을 수행하였다. 반응 결과 15 wt%의 Cu를 함침한 촉매가 가장 높은 촉매 활성을 보였으며, 촉매의 물리화학적 특성을 파악하기 위해 XRD, XPS, N₂O-화학흡착 분석을 진행하였다.

Keywords : 고온수성가스전이(HT-WGS)반응, Cu/CeO₂-MgO 촉매, 분무열분해법

다양한 담체를 활용한 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응용 Ru계 촉매 개발

김민준¹, 공지현¹, 전경원², 장원준^{1,2,*}

¹아주대학교 환경공학과

²아주대학교 환경안전공학과

Development of Ru-based catalysts for Steam Reforming of Mixed Alkane Hydrocarbons Reaction Using Various supports

Min-Ju Kim¹, Ji-Hyeon Gong¹, Kyung-Won Jeon², Won-Jun Jang^{1,2,*}

¹Department of Environmental Engineering, Ajou University,

²Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University

본 연구는 혼합 알케인 탄화수소로부터 수소 생산을 위해 Ru계 촉매에 다양한 담체(CeO₂, Al₂O₃, ZrO₂, SiO₂, MgO)를 활용하여 촉매를 개발하였다. 제조된 촉매는 Ru 담지량을 1 wt.%으로 고정하여 함침법으로 제조하였다. 촉매 성능 평가를 위해 H₂O/C 비 7.0, 반응온도 850 °C에서 12시간 동안 안정성 테스트를 진행하여 알케인 전환율과 H₂ 물수를 구하였다. 또한, 제조된 촉매의 특성 분석을 위해 H₂-TPR, NH₃-TPD, Chemisorption, BET 및 XRD 분석을 수행하여 성능과의 상관관계를 파악하였다. 반응 결과, Ru/MgO와 Ru/Al₂O₃는 거의 100%의 CH₄ 전환율을 유지하였다. 반면에 Ru/ZrO₂는 반응 초기 1.9 %에서 점차 감소하여 -75 %까지 감소하였다. 또한, Ru/SiO₂는 -103 %에서 점차 감소하여 -124 %까지 감소하였다. 두 촉매 모두 CH₄ 전환율이 음의 값을 띄었는데 이는 크래킹 반응(C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀ → CH₄)에 의해 CH₄이 생성되어 일어난 현상으로 판단된다. 또한, Ru/MgO와 Ru/Al₂O₃의 성능 차이를 확인하기 위해 더욱 가혹한 조건(1,521,915 ~ 4,092,082 mL·h⁻¹·g_{cat}⁻¹)에서 반응을 진행한 결과 Ru/MgO가 더 높은 CH₄ 전환율을 보였다. 이는 TPR과 Chemisorption 결과에서 나타난 쉬운 산화환원능력과 높은 분산도에 의한 것으로 판단되며, XRD 결과에서 다른 촉매에 없는 Cubic 형태의 Ru이 나타난 것도 영향이 있었다고 판단된다. 따라서, 다양한 담체를 적용한 Ru계 촉매 중에서 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응에 적합한 촉매는 1% Ru/MgO 촉매이다.

담체 및 조촉매 첨가에 따른 Ni계 촉매의 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응 성능 평가

공지현¹, 김민주¹, 전경원², 장원준^{1,2,*}

¹아주대학교 환경공학과

²아주대학교 환경안전공학과

Evaluation of Steam Reforming of Mixed Alkane Hydrocarbons Performance in Ni-based Catalysts through Supports and Promoters Addition

Ji-Hyeon Gong¹, Min-Ju Kim¹, Kyung-Won Jeon², Won-Jun Jang^{1,2,*}

¹Department of Environmental Engineering, Ajou University,

²Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University

본 연구에서는 다양한 담체 및 조촉매가 첨가된 Ni계 촉매를 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응에 적용하여 촉매의 성능을 확인하였다. 담체와 조촉매는 중량비 9:1로 함침법을 통해 제조하였다. 담체는 CeO₂ 및 Al₂O₃를 선정하였으며, CeO₂ 담체에 조촉매 Al₂O₃, La₂O₃, MgO, ZrO₂를 담지하였고 Al₂O₃ 담체에 조촉매 CeO₂, La₂O₃, MgO, CaO를 담지하였다. 그 후 Ni의 담지량을 15 wt.%으로 고정하여 함침법으로 제조하였다. 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응 수행을 위해 동일한 몰비로 CH₄, C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀을 혼합하여 반응 가스로 이용하였다. 반응 온도 850 °C, H₂O/C 비 7.0 조건에서 12시간 동안 반응을 수행하여 촉매의 성능 및 안정성을 평가하였다. 실험 결과, Al₂O₃ 기반 촉매보다 CeO₂ 기반 촉매가 높은 알케인 전환율을 나타냈으며, 특히 Ni/MgO/CeO₂ 촉매가 가장 우수한 성능을 보였다. 또한, 제조된 모든 촉매가 12시간 동안 안정하게 활성을 유지하였다. 수증기 개질 반응을 통해 생산된 H₂ 몰수는 알케인 전환율과 비슷한 경향을 보였다. 촉매의 활성과 상관관계를 파악하기 위해 제조된 촉매의 특성 분석을 수행한 결과, CeO₂ 기반 촉매는 Ni 분산도에 큰 영향을 받지만 Al₂O₃ 기반 촉매는 산도에 영향을 많이 받는 것을 확인하였다. TGA 분석을 진행하여 CeO₂ 기반 촉매는 탄소침적이 형성되지 않음을 확인하였다. 반면, Al₂O₃ 기반 촉매는 Ni/CaO/Al₂O₃를 제외하고 400 °C 이상의 온도 구간에서 무게가 감소하였으며, 이는 탄소가 침적되었음을 의미한다. 따라서 다양한 담체 및 조촉매를 첨가한 Ni계 촉매 중 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응에 적합한 촉매는 우수한 성능 및 탄소침적 저항성을 나타낸 Ni/MgO/CeO₂ 촉매이다.

메탄 분해에 의한 수소 생산을 위한 액체 금속 기포탑 반응기의 설계

박동균, 김효식, 류재홍*
고등기술연구원, 청정에너지전환센터

Design of a liquid metal bubble column reactor for hydrogen production by methane cracking

Dong Kyoo Park, Hyo-Sik Kim, Jae-Hong Ryu*
Clean Energy Conversion Research Center, Institute for Advanced Engineering

Abstract

지난 몇 세기 동안 인류는 화석연료의 사용을 통해 단기간에 상당한 기술적 진보를 이루었지만, 화석연료 사용의 증가로 인한 지구의 오염은 더 이상 방치할 수 없는 상황에 이르렀다. 그중 가장 눈에 띄는 것은 기후변화다. 기후 변화로 인해 인류가 지구적 위기에 직면해 있으며, 이 문제를 해결하기 위해 많은 과학자들이 에너지 시스템의 저탄소 전환을 강조하고 있다. 에너지 시스템의 저탄소 전환은 글로벌 탄소 완화에 중요한 역할을 한다.

수소는 미래 사회에서 가장 중요한 에너지원이 될 것으로 예상되며, 석유, 석탄, 가스 등의 화석연료와 달리 지구상 어디에서나 사용할 수 있는 무한한 청정에너지라는 강점을 가지고 있다. 현재까지 화석연료를 이용한 수증기 개질이 가장 경쟁력 있는 수소 생산 방식이지만 이 경우, 높은 CO₂ 배출량에 대한 해결책이 필수적이다. 한편 재생에너지를 이용한 수전해 기술은 수소 생산 비용이 높아 아직까지 널리 활용되지 못하고 있는 실정이다.

최근 친환경 수소 생산기술로써 메탄의 열(촉매) 분해 반응을 이용한 수소 생산기술이 각광받고 있다. 본 기술은 메탄을 고온 조건에서 분해 시켜 수소(H₂)와 고체 탄소(C)로 전환시키는 기술로서, 이론적으로 이산화탄소의 발생 없이 수소를 생산할 수 있다. 이와 같이 이산화탄소의 배출 없이 생산된 수소는 청록수소(Turquoise Hydrogen)로 분류되며 블루수소(Blue Hydrogen) 생산 기술에 비해 진일보한 기술로 평가된다. 이는 청록수소 생산 공정의 경우 블루수소 생산에 비해 전력 소모가 적고 부산물로 생산된 고체 탄소는 결정 형태에 따라서 타이어 등의 원료물질인 카본블랙, 이차전지 음극재 등으로 사용되는 인조 흑연의 원료로 활용이 가능하다.

본 연구에서는 메탄 분해를 이용한 수소 생산을 위한 액체 금속 기포탑 반응기의 설계 기술에 대하여 고찰하였다. 액체 금속 물질로 비스무트(Bismuth), 주석(Sn)을 이용하였으며, 메탄 분해 반응의 온도 및 압력 조건은 800°C ~ 1200°C, 1 ~ 6 bar로 하였다. 이를 위해 메탄가스는 반응기 공급 전 고체 입자가 제거된 반응 생성 gas와 열교환을 통한 예열과정을 거치며, 반응 후 생성 gas는 고순도 수소 분리 과정을 거친 후 미반응 메탄은 다시 메탄가스와 혼합되어 반응기에 재공급된다. 해당 반응 조건에서 메탄의 전환율은 열역학적 반응평형 계산을 통해 68.7% ~ 99.4%로 나타났다. 메탄 분해를 위한 액체 금속 기포탑 반응기의 설계는 메탄 분해반응에 대한 평형조성과 더불어 반응 속도, 메탄 공급 조건에 따른 기포탑 내부 기상 체류량(Gas Holdup, ϵ) 및 압력강하(Pressure Drop, ΔP) 등 수력학적 특성을 같이 고려하였다. 이를 통해 기상 체류량에 따른 기상 체류시간을 도출할 수 있었으며, 이에 따른 최적 반응 체적과 반응기 직경 및 높이를 결정할 수 있었다. 본 연구 결과는 메탄 분해 액체 금속 기포탑 반응기의 모듈화 기술 개발 및 최적화를 위한 주요 자료로 활용할 예정이다.

사사

본 연구는 2022년도 중소벤처기업부의 재원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 수행한 연구결과입니다. [NO. RS-2022-00165632]

한국청정기술학회 2023년도 추계 총회 및 학술대회

청정일반

(포스터발표)

2023년 9월 21일(목) 13:00~14:50
모나 용평리조트 타워콘도 에메랄드홀

산화세륨(CeO_2) 나노입자의 표면개질 및 분산효과 연구

황재연, 장학룡, 신민창, 김시은, 박정훈*
 동국대학교 화학생물공학과

A Study on Surface Modification and Dispersion effect of Cerium Oxide (CeO_2) Nanoparticles

Jae Yeon Hwang, Xuelong Zhuang, Min Chang Shin, Si Eun Kim, Jung Hoon Park*
 Department of Chemical and Biochemical Engineering, Dongguk University

초 록

산화세륨(CeO_2) 나노입자는 발광 특성을 가진 세라믹 소재로서 내연기관 자동차의 배기가스 정화 및 반도체 소재의 연마(Polishing)에 확실한 이점이 있다. 그러나 산화세륨은 표면 에너지가 높기 때문에 용액 내에 용해될 때 나노입자들끼리 서로 응집되기 쉽다. 일반적으로 응집체의 크기는 나노입자보다 매우 크기 때문에 입자가 응집됨에 따라 성능이 저하된다. 이에 따라 산화세륨 나노입자를 효율적으로 용액 내에 균일하게 분산시키는 연구가 진행되었다. 고분자 용액 내 산화세륨 나노입자의 분산 성능을 향상시키기 위해 CTAB 와 본 연구실에서 제조한 분산액을 사용하여 산화세륨 입자의 표면개질을 수행 하였다. 산화세륨 나노입자의 표면개질 및 분산특성을 분석하기 위해 FT-IR, PSA, XPS 분석이 수행되었으며 나노입자가 표면 개질을 위한 입자층에 의해 감싸짐에 따라 표면에너지가 낮은 고분자 용액 내에 잘 분산되었고 결론적으로 산화세륨 나노입자의 표면개질 효과가 있음을 확인할 수 있다.

전이금속 실리사이드 코팅된 실리콘/결정성 탄소 복합 마이크로스피어 합성 및 리튬 이차전지 음극소재로의 적용

김정연 조중상*
충북대학교 공업화학과

최근 기후 변화 문제가 대두되며 에너지 저장 장치 수요가 급증하고 있고, 이로 인해 높은 작동 전압과 에너지 밀도를 가진 리튬 이차전지 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서 현재 상용 음극 소재인 흑연을 대체하기 위해 고용량 및 고출력 특성을 가진 비 흑연계 음극소재 연구가 주목받고 있다. 그중 실리콘은 높은 이론용량(4,200 mA h/g)으로 인해 유망한 음극 소재로 간주되고 있으나, 충·방전 과정에서 일어나는 과도한 부피팽창으로 인한 구조적 붕괴와 낮은 전기전도도($\sim 10^{-2}$ S/cm)로 인한 출력특성 저하 문제가 있다. 본 연구에서는 분무열분해 및 후열처리 공정을 통해 전이금속 실리사이드 코팅된 실리콘/결정질 탄소 복합 마이크로스피어를 합성하여 리튬 이차전지 음극소재로 적용하였다. 후열처리를 통해 실리콘 표면에 형성된 고 전도성 전이금속 실리사이드층은 전도성 배리어 역할을 하여 실리콘의 부피팽창을 억제하였을 뿐만 아니라 활물질의 전기전도도를 향상시켰다. 결정질 탄소 매트릭스 또한 실리콘 입자 사이 전자의 이동을 원활히 하고 마이크로스피어 간의 접촉을 강화하여 소재의 출력특성 향상에 기여하였다. 그 결과, 전이금속 실리사이드 코팅된 실리콘/결정성 탄소 복합 마이크로스피어는 1.0 A/g의 전류밀도에서 600 cycle 후에 908 mA h/g의 높은 방전 용량을 유지하였으며 3.0 A/g의 높은 전류밀도에서 1,000 cycle 후에도 379 mA h/g의 방전 용량을 나타내었다.

Effect of solvent polarity levels on ultrasound-negative pressure cavitation methanol-water fractional precipitation of (+)-dihydromyricetin

Chaeyeon Kim^{1,2}, Hyunji Oh^{1,2}, Ji Hyun Um^{1,2}, Myeong Heon Um^{1,2}, Jin-Hyun Kim^{1,2*}

¹Center for Future Sustainable Technology, ²Dept. of Chemical Engineering, Kongju National University, Cheonan 330-717, Korea

Abstract

This study presents the ultrasound-negative pressure cavitation methanol-water fractional precipitation to dramatically improve the precipitation efficiency of (+)-dihydromyricetin from biomass. The precipitation conditions (solvent composition, precipitation time, temperature, etc.) for the fractional precipitation of (+)-dihydromyricetin were optimized, and the kinetics and thermodynamics of precipitation process were analyzed. Precipitation efficiency has been dramatically improved, and the time required for precipitation has been reduced compared to conventional methods. The Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov equation was applied to the experimental data to obtain the rate constant and to calculate the activation energy. Thermodynamic parameters, such as standard enthalpy, standard entropy and standard Gibbs free energy change, were investigated. In addition, the ultrasound-negative pressure cavitation precipitation behavior was quantitatively investigated by calculating the precipitate size and diffusion coefficient of (+)-dihydromyricetin.

Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Government of Korea (MSIT) (Grant Number: 2021R1A2C1003186).

Chromatography-free purification of (+)-dihydromyricetin by three-step tandem cavitation fractional precipitation

Hyunji Oh^{1,2}, Ji Hyun Um^{1,2}, Myeong Heon Um^{1,2}, Jin-Hyun Kim^{1,2*}

¹Center for Future Sustainable Technology, ²Dept. of Chemical Engineering, Kongju National University, Cheonan 330-717, Korea

Abstract

In this study, a chromatography-free purification process through a three-step tandem cavitation fractional precipitation (CFP) was developed to obtain high-purity (+)-dihydromyricetin. Ultrasound and negative pressure were introduced simultaneously into three types of precipitation solutions (acetone-water, methanol-water, and ethanol-water) and precipitation was performed for 30 min. The purity of (+)-dihydromyricetin after the three-step tandem CFP was >98 % and the overall yield was >90 %. In addition, the impurity removal patterns at each precipitation step were observed through reverse phase-high performance liquid chromatography analysis, and the chemical structure of (+)-dihydromyricetin finally purified through the three-step tandem CFP was confirmed through Fourier-transform infrared spectroscopy analysis.

Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Government of Korea (MSIT) (Grant Number: 2021R1A2C1003186).

A non-chromatographic method for the purification of paclitaxel from *Taxus chinensis*

Da-Yeon Kang^{1,2}, Phil Rip Jeon^{1,2}, Myeong Heon Um^{1,2}, Jin-Hyun Kim^{1,2*}

¹Center for Future Sustainable Technology, ²Dept. of Chemical Engineering, Kongju National University, Cheonan 330-717, Korea

Abstract

In this study, a chromatography-free process using tandem cavitation fractional precipitation was developed for the purification of high-purity paclitaxel. Paclitaxel was purified with a purity of 98.8% and an overall yield of 91.1% through a three-step fractional precipitation using acetone/pentane (1:9, v/v), methanol/water (61.5:38.5, v/v), and acetone/water (1:2, v/v) systems. In addition, the precipitation characteristics and step-by-step impurity removal behaviors were observed through reverse phase-high performance liquid chromatography, and the structure of the paclitaxel purified by tandem cavitation fractional precipitation was confirmed through Fourier-transform infrared spectroscopy.

Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Government of Korea (MSIT) (Grant Number: 2021R1A2C1003186).

Effect of ultrasound and negative pressure cavitation on the adsorption efficiency of paclitaxel from cell-free culture supernatants of *Taxus chinensis* onto Diaion HP-20

Yeji Kang^{1,2}, Da-Yeon Kang^{1,2}, Phil Rip Jeon^{1,2}, Myeong Heon Um^{1,2}, Jin-Hyun Kim^{1,2*}

¹Center for Future Sustainable Technology, ²Dept. of Chemical Engineering, Kongju National University, Cheonan 330-717, Korea

Abstract

In this study, an ultrasound-negative pressure adsorption characteristics of paclitaxel from the cell-free culture supernatants of *Taxus chinensis* by adsorbent Diaion HP-20 were investigated using different parameters (ultrasonic power, negative pressure intensity, initial paclitaxel concentration, adsorption temperature, and contact time, etc.). The adsorption amount according to the ultrasonic power and negative pressure intensity was investigated, and the experimental data were fitted to various adsorption isotherms (Langmuir, Freundlich, Temkin, and Dubinin-Radushkevich) in order to study the adsorption characteristics. In addition, the feasibility and nature of the adsorption process were investigated through kinetic and thermodynamic analyses.

Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Government of Korea (MSIT) (Grant Number: 2021R1A2C1003186).

Adsorption isotherm, kinetic and thermodynamic studies for the negative pressure-assisted adsorption of paclitaxel from cell-free culture supernatants of *Taxus chinensis* using Diaion HP-20

Sangmin Yun^{1,2}, Da-Yeon Kang^{1,2}, Phil Rip Jeon^{1,2}, Myeong Heon Um^{1,2}, Jin-Hyun Kim^{1,2*}
¹Center for Future Sustainable Technology, ²Dept. of Chemical Engineering, Kongju National University,
Cheonan 330-717, Korea

Abstract

The negative pressure adsorption characteristics of paclitaxel from plant cell cultures of *Taxus chinensis* by the commercial adsorbent Diaion HP-20 were investigated using different parameters such as negative pressure intensity, initial paclitaxel concentration, adsorption temperature, and contact time. The experimental data were fitted to four adsorption isotherms including Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich and Elovich in order to study the adsorption mechanisms and characteristics. Also, kinetic analysis was performed using the pseudo-first-order, pseudo-second-order, and intraparticle diffusion models. Furthermore, the thermodynamic parameters, isosteric heat of adsorption, and activation energy were quantitatively examined in order to evaluate the feasibility and nature of the adsorption process.

Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Government of Korea (MSIT) (Grant Number: 2021R1A2C1003186).

Effect of the NiO particle size on the activity of Mo/HZSM-5 catalyst physically mixed with NiO in methane dehydroaromatization

Jangeon Roh, Hae Won Ryu, Kihun Nam, Yong Hyun Lim and Do Heui Kim*
School of Chemical and Biological Engineering, Institute of Chemical Processes, Seoul National University

Methane dehydroaromatization is an effective reaction that directly converts methane to benzene, toluene, xylene (BTX), and hydrogen in a non-oxidative atmosphere. Our previous study reported that when commercial NiO was added to Mo/HZSM-5 via a simple physical mixing method, the methane conversion and BTX selectivity were significantly improved. In this study, the efficiency of NiO particles with various sizes (4, 22, 36, 45, and 101 nm) as promoters was evaluated, and it was found that NiO (36 nm) has the optimum size for enhancing the activity of Mo/HZSM-5. The results of temperature-programmed reduction of methane, X-ray diffraction, transmission electron microscopy, and CO chemisorption revealed that among the samples analyzed, NiO (36 nm)-Mo/HZSM-5 had the highest dispersion of MoCx active sites because it had the lowest reduction temperature for NiO and MoOx. When the NiO particle size was smaller than 22 nm, the formation of inactive NiMoO₄ was preferred, which caused the severe agglomeration and low dispersion of MoCx.

가시광 광촉매(ZnIn_2S_4)의 pH 조건에 따른 과산화수소 생산량 비교

신혁진, 김영훈*
광운대학교

다양한 산업 분야에 필수적인 과산화수소는 생산 과정에서 귀금속 촉매를 이용하여 경제성이 떨어지며 온실가스 배출로 인해 환경 문제를 야기한다. 이에 따라 최근 연구에서는 태양광을 이용해 과산화수소를 생산할 수 있는 친환경적인 무기 금속 광촉매 연구가 활발히 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 태양광의 40 % 이상을 차지하는 가시광 영역에서 활성을 보이는 ZnIn_2S_4 를 광촉매 입자로 선정하였다. 광촉매를 통해 수중 내 생산된 과산화수소를 정량적으로 계산하기 위해 Ce (Cerium)의 환원 방법을 사용하였다. 별도의 pH 조절을 하지 않은 경우에는 과산화수소의 생산이 불안정하였으며, 염기 조건에서는 과산화수소가 안정적으로 생산되는 것을 확인하였다. 이를 통해 pH 조건에 의해 광촉매 입자가 이온화되어 과산화수소 생산에 영향을 미치며 pH 최적화를 통해 친환경적이며 지속적인 과산화수소 생산이 가능할 것을 기대한다.

도로변 바닥먼지 내 함유된 TWP, CB, 중금속 함량의 입자 크기별 비교

신혁진, 이민규, 정우석, 권정택, 이재웅, 김영훈*
광운대학교, 국립환경과학원 위해성평가연구과

바닥먼지는 풍화 과정을 거친 토양, 암석, 금속, 도로 마모 및 타이어 마모입자(TWP)에 의해 생성된다. 그 중 바닥먼지 내 포함되어 있는 금속의 함량은 대형 차량의 교통과 인접한 산업 활동에 밀접한 관련이 있다. 본 연구에서는 고중량 차량 통행이 많은 제철단지, 철강 관련 산업단지와 인근 주거지역을 조사 지역으로 선정하였고 포집한 도로먼지를 5 가지 크기 범위로 구분하여 TWP, Carbon black (CB), 금속의 함량을 분석하였다. 그 결과 45 μm 이하 크기에 대한 자력선별을 통해 제철단지는 34.4 wt%, 철강 관련 산업단지는 50.9 wt%가 분류되었다. 입자크기가 작아질수록 Fe, Mn, TWP의 함유 질량은 증가하였다. Mn, Zn, Ni의 농축계수가 2 이상으로 제철 산업활동과 관련이 있었다. 또한 TWP와 CB의 함량은 고중량 차량의 통행이 많은 제철단지와 산업단지에서 높게 나타났다. 연구를 토대로 바닥 먼지에 대한 미세 입자 노출을 줄이기 위한 방법을 제안할 수 있다.

Hollow-CuS를 함유한 PDMS 스폰지를 이용한 광열 물증발

류현정, 김영훈*
광운대학교

물 부족 및 오염 문제에 대응하여 안전하고 지속 가능한 담수를 확보하기 위한 방안은 전 세계적으로 다양한 연구를 통해 제시되고 있다. 그 중, 광열 입자의 국소 표면 플라즈몬 공명 현상을 이용한 태양열 담수화가 주목받고 있다.

본 연구는 광열 입자인 Hollow-CuS 나노입자를 poly(dimethyl siloxane) (PDMS) sponge에 담지한 친환경적인 광열 물증발 시스템을 제시한다. 좁은 밴드 갭을 가진 p형 반도체인 Hollow-CuS 나노입자는 자유 전자 캐리어가 적어 긴 파장의 NIR 흡수가 가능하여 넓은 파장대의 태양열을 충분히 사용할 수 있어 태양열 증기 생성에 매우 효율적이다. PDMS는 NaHCO₃를 이용하여 다공성 구조의 sponge 형태로 제조하였다. 다공성 담지체는 수면 위에 부유하며, 기공을 통한 수분 흡수와 투과성을 개선하여 효율적인 열전달과 빠른 물 증발을 촉진한다. 태양광 모사 장치에 cut-off 필터를 사용하여 자외선, 가시광선 및 적외선 각 영역의 광을 조사하였을 때의 물 증발 효율을 평가하였다. 이를 통해 수분 증발을 향상시키는 데 있어 자외선 영역이 가장 크게 기여하였으며, 광열 물증발 효율의 최적화를 위해 전 영역의 광을 이용하는 것이 가장 효율적임을 확인하였다.

광전환형 초소수성/초친수성 스테인리스스틸 메쉬를 이용한 유수분리

정소희, 김영훈*
광운대학교

최근 기름 유출 및 산업 폐수로 인한 환경 문제의 심각성이 대두되어 효과적이고 지속 가능한 유수분리 연구에 대한 수요가 급증하고 있다. 기존의 방식으로는 화학 처리, 여과 및 막 분리와 같은 다양한 기술이 있으며, 나노입자를 이용하여 초소수성/친수성 재료를 융합한 메쉬가 유수분리를 위한 효율적인 방안으로 주목받고 있다. 본 연구는 TiO_2 나노입자를 딥코팅한 광전환형 초소수성/친수성 메쉬를 개발하여 효율적인 유수분리를 위한 메쉬 표면 거칠기와 광전환 속도 조절 메커니즘을 제안한다. TiO_2 등의 무기 입자를 코팅한 표면은 자외선에 반응하여 소수성이 친수성으로 전환되지만 상대적으로 회복 시간이 길어 신속한 유수분리 적용을 방해한다. 이에 초음파 처리 기법을 제시하여 가역적인 표면 특성 회복 속도 향상 가능성을 평가하였다. 제작된 메쉬는 95 % 이상의 높은 유수분리 효율을 나타내며, 광전환 속도 향상을 통해 유수분리 공정에 적용 가능한 고효율 필터의 가능성을 입증하였다. 따라서 본 연구에서는 신속하고 선택적인 유수분리 메커니즘의 접근 방식을 제시하며, 환경 보호 및 산업 분야에서의 지속 가능한 활용 방안을 모색하는데 기여할 것으로 기대된다.

Cryo-milling 기법을 이용한 환경노출평가용 타이어 마모입자 제조

정소희, 류현정, 현민승, 권정택, 이재웅, 김영훈*
광운대학교, 국립환경과학원 위해성평가연구과

Particulate matter (PM)는 공기 질을 저하시키고 인체에 위해한 오염물질 중 하나이다. 또한 도로 마모, 타이어 마모 및 브레이크 마모 부산물과 같은 비배기 PM은 공기 중 오염물질의 중요한 원천이다. 100 μm 미만의 도로 먼지는 타이어 마모입자(TWPs)를 포함하며, 물리화학적 풍화작용에 의해 수십 마이크로미터 크기로 분해된다. TWPs는 빗물을 통해 운반되며 수계를 오염시켜 수생 생태계에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 cryo-milling 기법을 이용하여 TWPs의 입자 크기를 275.0 $\mu\text{m/d}$ 의 속도로 줄인 TWPs를 생성하고, 수중에서의 TWPs의 분산 안정성을 평가했다. 분산 후 cryo-milling된 TWPs은 2.02 μm 의 지름을 가지며, 다른 환경에서 풍화된 TWPs에 비해 수중에서 더 안정적이었다. 따라서 본 연구는 cryo-milling된 TWPs가 수계 노출 평가에 사용될 수 있다는 가능성을 제시한다.

Photothermal water evaporation by hydrophilic/hydrophobic PDMS sponge containing gold nanorods under UV, visible, and infrared irradiation

Jaehwan Hong, and Younghun Kim*

Sustainable access to clean drinking water is an escalating global concern amid changing environmental challenges. This study investigates the efficacy of solar-driven water evaporation, offering potential advantages in terms of energy efficiency and scalability, using a hydrophilic gold nanorod (AuNRs)/porous polydimethylsiloxane (PDMS) sponge matrix. Differing light sources were categorized by wavelengths, and their individual contributions of ultraviolet (UV), visible (vis), and infrared (IR) light sources to evaporation rates were assessed using a cut-off filter. Results show that while UV light contributed most effectively due to its high energy, substantial evaporation was also enabled by vis and IR light sources. This expands the adaptability of the technology across various lighting conditions. The AuNRs/PDMS sponge matrix, showcasing superior water wettability and photothermal efficiency, demonstrates the potential for improving water evaporation. Our study provides crucial insights into optimizing the photothermal effect via particle tailoring for enhanced light absorption at specific wavelengths, setting the groundwork for pioneering water evaporation technologies with broad applications and significant environmental benefits.

전과정평가를 이용한 폐마스크의 환경영향평가

홍재환, 정소희, 류현정, 김영훈*
광운대학교

As the production and disposal of disposable health masks exponentially increases during the COVID-19 pandemic, interest in their environmental impact is growing. In this study, an environmental assessment was conducted on all stages including pre-manufacturing, manufacturing, use, and disposal of KF94 masks, and a hypothetical scenario was applied in which the incineration rate would increase step by step from the current 68 % to 100 % when discarding masks. As a result of the characterization when the incineration rate was increased to 100%, eutrophication of marine and freshwater and non-carcinogenic toxicity to humans were reduced by 63 %, 31 %, and 18 %, respectively, among the 22 environmental impact categories considered, showing the largest environmental impact. Ecotoxicity in marine and freshwater was also reduced. On the other hand, stratospheric ozone depletion increased by 10 % and human carcinogenicity by 1 %, and the effects were negligible in the other categories.

Therefore, when disposing of KF94 masks, incineration rather than landfill seems advantageous in terms of human health, ecosystem, and resources.

4-NP 환원을 위한 CuS 기반 광열광촉매 메쉬의 제조

이민규, 김영훈*
광운대학교

다양한 산업분야에서 발생하는 4-nitrophenol (4-NP)은, 신경계에 작용해 영향을 줄 수 있는 독성물질로 분류된다. 따라서 4-NP를 보다 독성이 적은 물질인 4-aminophenol 로 환원시켜 제거하려는 시도가 활발히 이루어지고 있다. 4-NP를 환원시키기 위해서는 환원제뿐만 아니라 이를 도와줄 촉매가 반드시 필요하다. 본 연구에서는 4-NP 환원을 위한 촉매로 태양광 전 범위에 걸쳐 효율적으로 빛을 흡수하고, 회수 및 재사용이 용이한 광촉매인 CuS 메쉬를 제시하였다. CuS 메쉬는 빛을 받았을 때 열을 내는 광열효과를 가지고 있어 발생한 열이 4-NP 환원에서의 촉매반응을 향상시킬 수 있다. CuS 메쉬에 태양광 모사 장치를 이용하여 빛을 조사하였을 때, 표면의 발열로 인하여 CuS 메쉬의 온도가 향상되었으며, 암조건에서 보다 촉매 활성이 향상되었음을 확인하였다. 이를 통해 광열효과를 통한 온도의 상승이 촉매의 성능 향상에 기여한다는 것을 확인할 수 있었으며, 4-NP 환원 뿐만이 아닌 다른 반응에서의 효과도 기대할 수 있다.

매질흐름법을 이용한 폐마스크의 환경노출평가

이민규, 신혁진, 김영훈*
광운대학교

코로나 바이러스 감염증 이후, 마스크 사용이 급증하며 폐기된 마스크의 환경에 대한 부정적인 영향이 부각되었다. 무분별하게 폐기된 마스크는 미세플라스틱을 방출하여 생태계에 악영향을 미친다. 본 연구에서는 일회용 마스크로부터 방출된 미세플라스틱의 환경 분포를 매질흐름법을 통해 평가하였다. 마스크 폐기 방법중 매립 비중이 약 99.7 %로 가장 많으며, 이에 따라 방출된 미세플라스틱 또한 토양에 가장 많이 존재한다. 시나리오 분석 결과 폐마스크를 소각하여 처리할 시 매립지로 이동하는 미세플라스틱의 양이 크게 줄어드는 것을 확인하였다. 따라서 폐기물 소각을 통한 처리 비율을 점진적으로 늘리는 것이 폐마스크를 매립하여 처리하였을 때 보다 환경에 부정적인 영향을 감소시킨다는 결론을 도출하였다. 더 나아가 오직 소각만을 이용한 폐마스크 처리방법은 지속가능한 발전을 위해 적합하지 않으며, 소각 과정에서 공동발전과 같은 에너지 회수 시스템을 포함시킨다면 보다 미세플라스틱으로 인한 환경 영향을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

광열효과를 지닌 Hollow AuNPs를 함유한 PNIPAM 필름 제조 및 살균 평가

현민승, 박민, 김영훈*
광운대학교

피부에 상처가 발생할 경우, 병원균에 노출될 수 있다. 이로 인한 감염을 막기 위한 방법으로 건조 드레싱과 항균제가 있으며, 각각 상처의 회복이 더디고 내성이 생긴다는 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 광열효과를 지닌 금속 나노입자 중 Hollow AuNPs (HAuNPs)를 고분자인 PNIPAM 필름에 첨가하여 광열특성을 평가하였다. HAuNPs는 근적외선 영역에서 빛을 흡수하고 열로 변환하여 필름의 온도를 상승시키는 역할을 하고, 이를 통해 필름의 살균 특성을 향상시킨다. PNIPAM은 Lower critical solution temperature 이상에서 물을 방출하며 수축하고 습윤한 환경을 제공한다. 또한 수중에서 다시 팽창하며 원래 상태로 돌아오는 것을 확인했으며, 재사용이 가능해 내구성도 우수하다는 점을 확인했다. HAuNPs를 함유한 PNIPAM 필름의 살균 성능을 집중하기 위해 근적외선을 반복 조사하였고 E.coli의 성장 억제 효과를 가시적으로 도출하였다. 더 나아가 다른 외부 병원균에 대해서도 이와 유사한 살균 효과가 있을 것으로 기대된다.

The Effect of Various Solvents on Process for the Synthesis Precipitated Calcium Carbonate Using Oyster Shell

Yu Jeong Yun^{1,2}, Si Jeong Park¹, Yangdo Kim² and Young Bok Ryu^{*}

¹Green Materials and Process R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology(KITECH),

²School of Materials Science and Engineering, Pusan National University

<Abstract>

Oyster shells, one of the industrial wastes, were illegally disposed or neglected, resulting in poisonous odors (NH₃, H₂S) and difficulties in maintaining and controlling landfills. The synthesis of Precipitated Calcium Carbonate (PCC) using oyster shells could not only recycle oyster shells but also create value-added product through the carbonate synthesis. In this study, the effect of different solvent types on the synthesis of PCC using oyster shell powder were investigated. Ca ions were extracted from the oyster shell using hydrochloric acid, ammonium chloride, acetic acid, nitric acid, formic acid and oxalic acid. Oxalic acid produced the Ca compound, and ammonium chloride showed lower Ca extraction rate compared to other solvents. Therefore, oxalic acid and ammonium chloride are unsuitable as the solvent and were excluded from the subsequent experimental stages. And then, solubility was high in the order of nitric acid, hydrochloric acid, formic acid, acetic acid. After extraction, the pH of the Ca solutions was adjusted to 11 using sodium hydroxide in order to eliminate impurities such as Fe and Al. In addition, sodium hydroxide was injected during the carbonation to maintain pH in the range 10.5-11.0, facilitating the formation of CO₃²⁻. After that, the behavior of carbonation was observed according to the type of solvents and carbonation time. The Ca conversion was high in the following order : nitric acid, hydrochloric acid, formic acid, acetic acid. In addition, in the case of acetic acid and formic acid, the morphology of PCC was ellipsoidal or sphere, whereas hydrochloric acid and nitric acid resulted in cubic and polyhedral shapes.

References

Citation and writing guidelines of the reference documents follow the Instructions to Authors of the journal 'Clean Technology'.

1. Ha et al., "Calcination characteristics of oyster shells and their comparison with limestone from the perspective of waste recycling", J Mater Cycles Waste Manag 21, 1075–1084 (2019).
2. Lu, J. S. et al., "Scalable recycling of oyster shells into high purity calcite powders by the mechanochemical and hydrothermal treatments", J. Clean. Prod., 172(20), 1978-1985 (2018)

The Morphology Change of Precipitated Calcium Carbonate synthesis from Oyster Shells Depends on the Type and Concentration of the Eluent Used

Si Jeong Park^{1,2}, Yu Jeong Yun^{1,3} and Young Bok Ryu^{1*}

¹Green Materials and Process R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology(KITECH),

²Department of Chemistry, University of Ulsan

³School of Materials Science and Engineering, Pusan National University

<Abstract>

Every year, a vast amount of oyster shells are illegally dumped, reclaimed, and laid out. This leads to environmental pollution, such as wastewater, dust and odor. This study aims to observe the effect of eluent type and concentration on the production and morphology change of PCC from oyster shells. Several eluents, including Nitric acid(HNO₃), Acetic acid(CH₃COOH), Phosphoric acid(H₃PO₄), and Sulfuric acid(H₂SO₄), were used at various concentrations (0.1 M, 0.5 M, 1.0 M, 1.3 M, and 1.5 M) to extract Ca ions from the oyster shell. In the case of H₂SO₄, Ca ions were not eluted due to the formation of other Ca compounds during the Ca elution stage. Additionally, H₃PO₄ produces other Ca compound during the pH control stage. Therefore, the experiment was conducted for each concentration using CH₃COOH and HNO₃, excluding the two eluents. The Ca-rich solution was raised to pH 11 using 3M Sodium Hydroxide (NaOH) to eliminate impurities and adjust the carbonation environment. Subsequently, the carbonation behavior was investigated according to type and concentration of the eluents. As the concentration of both eluents increased, CaCO₃ production increased linearly to specific concentration (HNO₃: 1.0 M, CH₃COOH: 0.5 M). Above the concentration, the production rate increased slightly. As the concentration increased, morphology of the PCC particle was formed in cubic shape at HNO₃ sample, and gradually transformed cubic into sphere at CH₃COOH sample.

References

Citation and writing guidelines of the reference documents follow the Instructions to Authors of the journal 'Clean Technology'.

1. Ha et al., "Calcination characteristics of oyster shells and their comparison with limestone from the perspective of waste recycling", *J Mater Cycles Waste Manag* 21, 1075–1084 (2019).
2. Lu, J. S. et al., "Scalable recycling of oyster shells into high purity calcite powders by the mechanochemical and hydrothermal treatments", *J. Clean. Prod.*, 172(20), 1978-1985 (2018)

Cu₂O Nanocubes with Capping Agents: Synthesis, Antimicrobial activity, and Dispersion Stability in Nonpolar and Polar Solvent

Jeongyeon Park^{1,2}, Siwoo Lee¹, Yangdo Kim^{2,*} and Youngbok Ryu^{1,*}

¹Green Materials and Process R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH) ²School of Materials Science and Engineering, Pusan National University

Previous studies have shown that antimicrobial textiles employing inorganic Nanoparticles (NPs) are effective in controlling bacteria, microbial, etc. However, it is still challenging to disperse inorganic NPs into fiber matrix uniformly, especially for melt-blown nonwoven. In this work, the dispersion stability of capped Cu₂O NPs was investigated in different solvents (Hexane and DMF:Acetone = 3:2 (vol%)) and compared the antimicrobial activity of Cu₂O NPs. The nonpolar properties of the PP resin were simulated by Hexane. A mixture of DMF and Acetone, polar solvent, was used for electrospinning. The Cu₂O NPs were prepared by chemical reduction method and the capping agents (PVP, SDS, PEG, CTAB) were added during the precursor solution preparation. The presence of the capping agent on surface was confirmed by Fourier-Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy. To analyze the effect of capping agents on dispersion stability, the transmission of colloidal solutions (capped Cu₂O in solvents) at different heights and times was measured by using Turbiscan. The morphology and crystal structure of Cu₂O NPs were characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM) images and X-ray Diffraction (XRD). Antimicrobial activity of Cu₂O was evaluated by the Dry Rehydratable Film Media method.

흐름식반응기를 이용한 액체연료의 분해 특성 연구

신민창, 황재연, 장학룡, 고민영, 한성우, 박정훈*
 동국대학교 화학생물공학과

A Study on the Decomposition Characteristics of Liquid Fuel Using a Flow Reactor

Min Chang Shin, Jae Yeon Hwang, Xuelong Zhuang, Min Yeong Ko,
 Sung Woo Han, Jung Hoon Park*
 Department of Chemical and Biochemical Engineering, Dongguk University

초음속의 속도로 비행하는 물체는 공기마찰로 인해 표면이 1000 °C 이상의 고온에 노출되어 심각한 내구성 저하를 유발한다. 이를 억제하기 위한 냉각 기술로 비행체 표면을 따라 연료를 흘려 열을 흡수하고 동시에 연료를 분해시켜 연소 효율까지 높이는 기술이 활발하게 연구되고 있다. 이러한 과정 속에서 연료가 관을 따라 흐르며, 주위 열을 흡수하고 분해될 때 나타나는 특성을 파악하는 것이 매우 중요하다.

본 연구에서는 흐름식 반응기를 구성하고 이를 토대로 액체 연료의 분해 특성을 확인하였다. 분해 시 나타나는 heat sink를 계산하여 흡열 성능을 파악했으며, 가스와 액체로 각각 분해된 물질은 GC-FID, GC-TCD, GC-MS를 통해서 분석을 수행하였다. 그리고 반응기 후단에 설치된 필터와 실험 전, 후의 반응기 무게를 측정하여 코크 분석도 수행하였다.

마이크로 패터닝과 광열효과를 이용한 소수성 PDMS 제조

정우석, 김민성, 김영훈*
광운대학교

최근 코로나와 같은 바이러스 및 병원균 문제가 심각해짐에 따라 병원균들이 표면에 부착되면서 부식을 야기하고 병을 유발하는 문제점이 대두되고 있다. 하지만 기존의 살균방식은 환경적이지 않고 국소적인 부분에서의 활용도가 낮다. 따라서 친환경적이고 경제적인 살균을 위해 나노입자를 이용한 연구가 주목받고 있다. 본 연구에서는 부착된 병원균들을 제거하기 위한 효율적인 방안으로 광열효과를 이용하여 살균이 가능한 소수성 Patterned - CuS@polydimethylsiloxane (p-CuS@PDMS)를 제안한다. PDMS는 저독성 물질로, 투명하여 광투과성이 높은 물질이지만 소수성이 낮아 실제 적용범위가 작다는 한계점이 있다. 소수성을 증대시키기 위한 방안으로 마이크로 패터닝 기법과 Perfluorodecyltrichlorosilane (FDTS)을 함유하는 방법을 제시한다. 광열 살균을 위해 넓은 영역에서의 광흡수가 가능한 CuS 나노입자를 첨가하여 광열 성능을 평가하였다. 또한 접촉각 측정을 통해 제작된 p-CuS@PDMS는 기존의 PDMS에 비해 소수성이 향상되었음을 확인하였다. 마이크로 패터닝 기법의 적용과 소수성 물질의 첨가로 새로운 친환경적이고 경제적인 광열 살균 처리 방법을 제시하며 다양한 산업 분야에서의 활용이 기대된다.

N 도핑된 C 층이 코팅된 다공성 구조 MoSe₂ 및 탄소 복합 마이크로스피어 합성: 소듐 및 포타슘 이차전지 음극 소재의 적용

백건우¹, 조중상^{1,*}
¹충북대학교

현재, 친환경 에너지 저장 기술의 중요성이 대두되며 대용량 에너지 저장 시스템(Energy Storage System, ESS), 전기 자동차 및 신재생 에너지 분야에서 리튬 이차전지의 활용 연구가 확대되고 있다. 그러나 리튬의 희소성으로 인해, 물리·화학적 특성이 유사한 소듐 및 포타슘이 리튬 이차전지를 대체할 만한 잠재력을 가지고 있어, 해당 분야에서의 연구가 더욱 활발히 진행 중이다. 본 연구는 분무 열분해 공정, 후 열처리 및 액상 기반 공정을 통해 N 도핑된 C 층이 코팅된 다공성 구조 MoSe₂와 탄소가 복합된 마이크로스피어를 합성하였다. 음극 소재로 적용한 결과, 소듐 이차전지는 0.5 A g⁻¹의 전류밀도에서 200 사이클 후 479 mA h g⁻¹, 25 A g⁻¹의 고전류밀도에서 185 mA h g⁻¹의 방전용량을 나타냈다. 또한 포타슘 이차전지는 1.0 A g⁻¹의 전류밀도에서 150 사이클 이후 251 mA h g⁻¹, 10 A g⁻¹의 고전류밀도에서 152 mA h g⁻¹의 방전용량을 기록하였다. 분무 열분해 중 형성된 메조 기공과 N 도핑된 C 층에서 기인한 마이크로 기공은 전해질과의 접촉 면적을 증가시키고 소듐 및 포타슘 이온의 추가 활성 부위를 제공하여 율속 특성을 향상시켰다. 고전도성을 갖는 N 도핑된 C 층은 전자의 이동 경로를 추가적으로 제공하여 고전류 밀도에서도 높은 방전용량을 유지했고, 다공성 구조로 인해 충·방전 과정에서 MoSe₂의 부피 변화를 완화하여 전지의 수명 특성을 향상시켰다.

질소-도핑 흑연질 탄소 매트릭스로 구성된 다공성 탄소나노섬유의 설계 및 포타슘 이차전지 음극소재 특성 평가

이재섭^{1,2}, 조중상^{1*}

¹충북대학교 공업화학과, ²고려대학교 신소재공학부

최근 고르지 않은 지질분포와 희소성으로 인해 값비싼 리튬 원소를 대체하기 위해 소듐 및 포타슘 이차전지 연구가 지속되고 있다. 특히, 포타슘은 풍부한 매장량으로 인한 저렴한 비용뿐만 아니라 소듐 (-2.71 V vs. E°)에 비해 상대적으로 낮은 산화환원전위 (-2.93 V vs. E°)로 인해 각광받고 있다. 하지만 리튬 (0.76 Å)과 소듐 이온 (1.02 Å)에 비해 큰 포타슘 이온반경 (1.38 Å)은 느린 확산속도로 인한 출력 특성 저하와 이온의 반복적인 삽입·추출에서 기인한 급격한 용량 감소를 초래하기 때문에 해결이 필요한 문제이다. 따라서, 본 연구에서는 상기 문제의 해결책으로써 전기방사 및 후열처리 공정을 통한 질소-도핑 흑연질 탄소 매트릭스로 구성된 다공성 탄소나노섬유를 설계 및 합성하여 포타슘 이차전지의 음극소재 특성을 평가 및 보고한다. 질소-도핑 흑연질 탄소 매트릭스로 구성된 다공성 탄소나노섬유를 포타슘 이차전지 음극 소재로 적용했을 때, 0.2 A g⁻¹의 전류밀도에서 2250번의 충방전에도 불구하고 145 mA h g⁻¹의 방전 용량을 지속적으로 유지하였다. 질소-도핑 흑연질 탄소 매트릭스는 활물질 내 전자의 빠른 이동 경로를 제공할 뿐만 아니라 구조적 무결성을 강화하였으며, 다공성 섬유구조는 소재와 전해질의 접촉 면적을 확대하고 포타슘 이온의 확산거리를 줄여 이온의 확산속도를 개선하였다. 포타슘 이차전지의 음극소재로써 합성된 다공성 나노섬유는 체계적인 설계로 인해 합리적인 출력 특성과 매우 안정적인 수명 특성을 나타냈으며, 향후 포타슘 이차전지 소재 분야의 발전을 위한 기반데이터가 될 수 있다.

참고문헌

1. Cui et al., *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **14**(10), 12551-12561 (2022).
2. Jian et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **137**(36), 11566-11569 (2015).
3. Wang et al., *Rare Metals*, **40**(1), 448-471 (2021).
4. Xie et al., *Dalton Trans.*, **50**(28), 9669-9684 (2021).
5. Seon et al., *Compos. B: Eng.*, **237**(1), 109856 (2022).

Rationally designed functional interlayers comprising N-doped graphitic carbon-coated CoSe₂ nanocrystals entangled in conductive and porous three-dimensional rGO-CNT microspheres for Li-S batteries

Sarooha Rakesh¹, Jung Sang Cho*¹

¹Chungbuk National University

Three-dimensional porous microspheres consist of a highly conductive framework made of reduced graphene oxide-carbon nanotube (rGO-CNT) with well-embedded nanocrystals of cobalt selenide (CoSe₂) coated with N-doped graphitic carbon (NGC) and named “P-CoSe₂@NGC/rGO-CNT” microspheres, were synthesized using spray pyrolysis technique. This innovative nanostructure was then utilized as an electrocatalytic interlayer to enhance the performance and durability of lithium-sulfur (Li-S) batteries. The incorporation of the NGC layer and rGO-CNT framework not only enhances the electronic conductivity significantly but also offers numerous conductive pathways (primary and secondary) for efficient electron transport. Macropores ($\phi = 100$ nm) formed by the decomposition of PS nanobeads ($\phi = 200$ nm) guarantee effective electrolyte penetration and short diffusion pathways, enabling faster redox kinetics. Moreover, CoSe₂ nanocrystals offer a multitude of polar active sites that effectively anchor polysulfide intermediates. Benefiting from the merits of the nanostructure, Li-S cells featuring a P-CoSe₂@NGC/rGO-CNT-coated separator and a conventional sulfur electrode demonstrated outstanding rate capability (up to 2.0 C) and remarkable cycling stability (1,000 cycles at 2.0 C).

Design and Synthesis of Three-Dimensional Porous TiO₂ Microsphere Compositing with N-Doped Graphitic Carbon as Anode Material of Lithium-Ion Battery

Hye Seon Ka¹, Jung Sang Cho*¹

¹Chungbuk National University

Recently, the utilization of lithium-ion batteries (LIBs) has been expanded in various applications due to the increasing concern about climate change. The LIBs have played a vital role in energy storage, primarily due to their high energy density. Hence, it has been intensively studied to improve rate capability and cycling properties of anode materials. In this study, three-dimensional porous TiO₂ microspheres composited with N-doped graphitic carbon (NGC) are synthesized *via* spray pyrolysis process and post heat-treatment process. Utilizing porous TiO₂ microspheres as anode material for LIBs, the discharge capacities after the 2,000 and 5,000 cycle are 219 and 160 mA h g⁻¹ at 2.0 and 3.0 A g⁻¹, respectively. Moreover, the TiO₂ microspheres indicate the final discharge capacities of 300, 248, 215, 184, 167, 143, 126, and 105 mA h g⁻¹ at current densities of 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 7.0, and 10 A g⁻¹, respectively. The NGC and the porous structure contributes to high electrical conductivity and electrolyte infiltration inside the electrode, respectively, thereby enhancing rate capability. Additionally, the stable cycling properties are results of the porous structure to accommodate the volume expansion, coupled with the low volume expansion of TiO₂ (~4%).

Enhancing Cu₂O Nanoparticle Dispersion in PP Films and Masterbatches for Improved Antibacterial Performance

Taejong Jang^{1,2}, Siwoo Lee¹, Yangdo Kim² and Young Bok Ryu¹ *

¹Green Materials and Process R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology(KITECH),

²School of Materials Science and Engineering, Pusan National University

<Abstract>

Due to their low cost, non-toxicity, and abundance, Cu₂O nanoparticles are widely used as antibacterial agents in various industries. Through the use of polypropylene(PP) masterbatches that contain Cu₂O NPs as antibacterial agents nonwoven materials with antibacterial activity could be produced. However, when Cu₂O NPs aggregate within the nonwoven fabric, localized concentration variations can lead to inconsistent overall antibacterial performance. Therefore, achieving uniform dispersion of Cu₂O NPs within the nonwoven fabric is essential to maintain consistent and reliable antibacterial performance across the fabric. In this study, PP films were produced using PP masterbatches containing Cu₂O NPs at 0.1wt%, 0.25wt%, and 5wt% to investigate the dispersibility of Cu₂O NPs in the PP matrix. In order to investigate the influence of mixing time on the dispersion of Cu₂O NPs during PP films production, the use of a masterbatches and the direct mixing of Cu₂O NPs with PP pellets were compared. Additionally, polyethylene glycol(PEG) was added during the synthesis of Cu₂O NPs to assess the effect of a dispersant on the dispersion of NPs within the PP film. The dispersibility of the film samples was evaluated using HAZE measurements, tensile testing, scanning electron microscopy, and energy dispersive spectroscopy.

유기물 첨가제를 분무 열분해 공정에 활용하여 합성된 마이크로스피어의 합성기전 규명 및 리튬 이차전지 음극소재 성능평가

정도원¹, 조중상^{1*}
¹충북대학교 공업화학과

분무 열분해 공정은 연속식 공정으로써 대량 생산이 가능하고, 균일한 구형 입자를 합성할 수 있다. 또한 다양한 첨가제 및 공정변수 조절을 통해 다공 구조, 노른자-겉질 구조 등 다양한 형상을 지닌 구조체를 합성할 수 있으므로 이차전지 음극소재를 설계하기 적합한 공정이다.

본 연구에서는 유기물 첨가제를 분무 열분해 공정에 활용하여 합성되는 마이크로스피어의 합성기전과, 리튬이차전지 음극소재로서의 성능을 평가한다. 먼저 분무 열분해 공정의 전구체 용액으로써 금속염과 고분자, 유기물 첨가제가 포함된 수용액을 제조하였다. 이후 전구체 용액을 분무 열분해하여 탄소-금속산화물 복합 마이크로스피어를 합성하였다.

SEM(Scanning Electron Microscope) 및 TEM(Transmission Electron Microscope)을 통해 마이크로스피어의 형상을 분석한 결과, 중공형 마이크로스피어 내부에 다공성 중공구조가 발달된 막대형 구조체가 복합되어 있음을 확인하였다. 막대형 구조체는 전구체 용액의 금속염과 유기물 첨가제의 결합에서 기인한 것이다. 수용액 상에서 합성된 금속염-유기물 첨가제 복합 구조체에 있던 유기물 첨가제가, 분무 열분해 과정의 고온으로 인해 분해되면서 빈 공간을 형성했기 때문이다.

리튬이차전지의 음극소재로 적용시 1.0 A g⁻¹의 전류밀도에서 700 사이클 후 409 mA h g⁻¹의 높은 가역 용량 및 장주기 특성을 나타내었다. 이는 다공성 및 중공 구조로 인해 리튬 삽입 및 탈리시 수반되는 응력을 효과적으로 수용하였고, 유기물 첨가제 및 고분자에서 유래된 질소가 탄소에 도핑됨으로써 전기전도도가 향상되었기 때문이다.

참고문헌

1. Lee et al., "Three-dimensional hierarchically porous micro sponge-ball comprising anatase TiO₂ nanodots and N-doped graphitic C as anodes for ultra-stable Li-ion batteries," *J. Energy. Storage.*, **66** 107396, 1-14 (2023).
2. Park et al., "Advances in the synthesis and design of nanostructured materials by aerosol spray processes for efficient energy storage," *Nanoscale*, **11**, 19012-19057 (2019).
3. Jo et al., "Coral-Like Yolk-Shell-Structured Nickel Oxide/Carbon Composite Microspheres for High-Performance Anodes in Li-Ion Storage," *Nanomicro Lett.*, **11**(3), 1-18 (2019).

극성 전이금속 황화물 나노촉매를 포함하는 중공형 메조다공성 탄소 나노구조체 합성 및 리튬-황 전지 인터레이어로의 적용

조성우, 조중상*
충북대학교 공업화학과

리튬-황 전지는 높은 이론적 에너지 밀도(2567 Wh kg^{-1})를 가지고 있어 기존 다양한 분야에 활용되고 있는 리튬 이온 전지를 대체할 차세대 에너지 저장 장치로 주목받고 있다. 황물질인 황(S_8)은 풍부한 매장량과 낮은 생산 비용으로 광범위한 가용성을 가지지만 황의 절연성과 큰 부피 변화로 인한 낮은 수명 특성이 존재한다. 또한, 황이 전기화학적 충·방전을 거치면서 생성되는 중간 산물인 리튬-폴리설파이드(Li_2S_x , $4 \leq x \leq 8$)는 전해질에 용출되어 두 전극 사이를 이동하며 황물질 감소, 전해질 오염 그리고 리튬 음극 자가 방전 등을 야기하여 장기적 성능 감소의 주된 원인이 된다. 그리하여 리튬-황 전지의 성능 개선을 위해서는 물리·화학적 흡착 소재를 필요로 한다. 본 연구는 극성 전이금속 황화물 나노촉매를 포함하는 중공형 메조다공성 탄소 나노구조체를 합성하여 리튬-황 전지 인터레이어로 적용한다. 그 결과, 0.1 C 의 전류밀도에서 250 사이클 후에도 656 mA h g^{-1} 의 방전 용량을 나타냈으며, 1.0 C 의 전류밀도에서 300 사이클 후 395 mA h g^{-1} 의 방전 용량을 나타냈다. 극성 전이금속 황화물 나노촉매는 높은 전기전도도로 황과 Li_2S 간의 빠른 전환에 기여하며 효과적인 리튬-폴리설파이드 흡착 부위로 리튬-폴리설파이드 용출을 억제한다. 중공형 메조다공성 탄소 나노구조는 전해질 침투를 촉진하고 넓은 비표면적으로 많은 리튬-폴리설파이드를 흡착하며 황의 부피 변화를 억제하여 리튬-황 전지의 우수한 전기화학적 특성을 보여준다.

탄소나노튜브를 성장시킨 실리콘/전이금속 화합물 복합 마이크로스피어 합성 및 리튬이차전지 음극소재로의 적용

안현선 조중상*
충북대학교 공업화학과

리튬이차전지는 높은 작동 전압과 에너지 밀도로 현재까지 광범위하게 연구되고 있으며 최근 기후변화에 대한 관심 증가와 함께 급증하는 에너지 수요에 대응하기 위해 연구 범위가 확대되고 있다. 특히 음극소재적 관점에서 현 리튬이차전지의 에너지 밀도를 증가시키기 위해 흑연보다 고용량 특성을 갖는 실리콘을 차세대 음극소재로 선정, 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 하지만 실리콘 소재는 낮은 전기전도도와 부피팽창으로 인한 박리 문제를 지녀 이를 보완할 연구가 지속되고 있다. 본 연구에서는 분무열분해 공정 및 후열처리 공정을 통해 탄소나노튜브를 성장시킨 실리콘/전이금속 화합물 복합 마이크로스피어를 합성하여 리튬이차전지 음극소재로 적용하였다. 탄소나노튜브를 성장시킨 실리콘/전이금속 화합물 복합 마이크로스피어는 리튬이차전지 음극소재로 적용 시, 1.0 A/g의 전류밀도에서 700 cycle 후 615 mA h/g의 방전 용량을, 3.0 A/g의 전류밀도에서도 1,500 cycle 후 806 mA h/g의 안정적인 가역 방전 용량을 나타내었다. 이론용량이 높은 실리콘은 구조체에 복합되어 높은 용량을 구현하였으며, 전이금속은 후열처리 과정 동안 결정질 탄소 매트릭스 및 탄소나노튜브 형성의 촉매 역할을 하였다. 구조체 표면에 성장한 탄소나노튜브는 우수한 전기전도도를 통해 활물질간 전기적 접촉을 향상시켜 유효속특성을 개선하였으며, 활물질의 부피팽창에 의한 응력을 효과적으로 수용하여 수명특성 개선에도 기여하였다. 후열처리 공정을 통해 형성된 전이금속 화합물은 용량에 기여할 뿐만 아니라 실리콘의 부피팽창을 억제하여 용량 증가 및 수명특성 향상에 기여하였다.

Polycyclic aromatic hydrocarbons로부터 BTXE와 C₁₀-C₁₃ aromatics의 제조에 Desilicated 촉매가 미치는 영향

박영서, 홍수연, 한기보¹, 정병훈², 전종기*
 공주대학교, ¹고등기술연구원, ²국방과학연구소

Effect of Desilicated Catalysts on the Production of BTXE and C₁₀-C₁₃ Aromatics from Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

Yeongseo Park, Sooyeon Hong, Gi Bo Han¹, Byunghun Jeong², Jong-Ki Jeon*
 Kongju National University, ¹Institute for Advanced Engineering, ²Agency of Defense Development

석유 자원 고갈에 따라 석유화학공정 부산물의 고부가가치가 요구되고 있다. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)는 2-ring aromatic hydrocarbons 및 3-ring aromatic hydrocarbons로 구성되어있어 점도 조정제나 공정 연료로 쓰이고 있으나 최근 PAHs를 benzene, toluene, xylene, ethylbenzene(BTXE) 혹은 디젤 연료 같은 고부가가치 화합물로 전환하는 기술에 관심이 모아지고 있다. 본 연구는 hydrocracking을 통해 PAHs로부터 BTXE와 열안정성 연료의 핵심 성분인 C₁₀-C₁₃의 mono-aromatic rings 그리고 di-aromatic rings를 얻고자 했다. 지지체로는 desilication을 진행하여 mesopore를 제작한 H-beta, HUSY, ZSM-5로 선정하였다. Co와 Mo를 각각 3, 5 wt% 담지한 mesoporous 촉매의 화학적 및 물리적 특성은 N₂-adsorption and desorption, X-ray fluorescence(XRF), NH₃-temperature programmed desorption(TPD) 그리고 H₂-temperature programmed reduction(TPR)을 이용하여 분석하였다. 제조한 촉매들은 trickle bed reactor에서 안정화 및 활성화를 진행한 후, PAHs의 수침분해반응을 수행하였다.

참고문헌

1. Upare, D. P., Park, S., Kim, M. S., Jeon, Y.-P., Kim, J., Lee, D., Lee, J., Chang, H., Choi, W., Park, Y.-K. and Lee, C. W., "Selective hydrocracking of pyrolysis fuel oil into benzene, toluene and xylene over CoMo/beta zeolite catalyst," J. Ind. Eng. Chem., 46, 356-363 (2017).
2. Jung, M.-J., Jung, J.-Y., Lee, D. and Lee, Y.-S., "A new pitch reforming from pyrolysis fuel oil by UV irradiation," J. Ind. Eng. Chem., 22, 70-74 (2015).
3. Lee, J. and Park, S.-K., "Research Papers : Synthesis of Carbon Materials from PFO, Byproducts of Naphtha Cracking Process," Appl. Chem. Eng., 22(5), 495-500 (2011).
4. Shin, J., Oh, Y., Choi, Y., Lee, J. and Lee, J. K., "Design of selective hydrocracking catalysts for BTX production from diesel-boiling-range polycyclic aromatic hydrocarbons," Applied Catalysis A: General, 547, 12-21 (2017). Nov. 16, Houston, TX, (2004).
5. T. Jia, S. Gong, L. Pan, C. Deng, J.-J. Zou, X. Zhang, Fuel, 2020, 264, 116843

Enhancement of adsorption-based heat storage of zeolite-type water adsorbent

Kanghee Cho *

Department of Chemistry and Chemical Engineering, Inha University, 100 Inha-ro, Michuhol-gu, Incheon 22212, South Korea

Zeolite 13X with various cations was tested for water-adsorption heat storage. The improvement of adsorption thermal storage requires high water uptake at high temperature. Thermogravimetric analysis and Differential Scanning Calorimetry measurements were performed for the zeolites, showing that the amount of heat stored during water desorption is varied with respect to the type of the cations. Detail results will be present in this poster.

흑연질 탄소로 코팅된 금속셀렌화물을 포함하는 그래핀-탄소나노튜브 복합 다공성 3차원 구조체 합성 및 리튬-황 전지 인터레이어로의 적용

최현호, 조중상*
충북대학교 공업화학과

최근 전기자동차 시장이 확대됨에 따라 고용량·고출력 특성을 가지는 전지에 대한 수요가 급증하고 있다. 하지만 기존에 폭넓게 사용되고 있는 리튬 이차전지는 이론 용량의 한계가 뚜렷해 이에 대한 대체 수요가 급증하고 있다. 리튬-황 전지는 부피당 에너지 밀도(2800 Wh L^{-1})와 중량당 에너지 밀도(2600 Wh kg^{-1})가 높고, 활물질인 황은 매장량이 많고 저렴하여 기존에 폭넓게 사용되고 있는 리튬 이차전지를 대체할 차세대 전지로서 각광받고 있다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고 리튬-황 전지는 황($10\text{-}30 \text{ S cm}^{-1}$)과 최종 생성물(Li_2S_x , $10^{-13} \text{ S cm}^{-1}$)의 낮은 전기전도도, “셔틀링 효과”로 알려진 중간 리튬 폴리설파이드의 생성 및 확산으로 인한 활물질 감소, 충/방전 과정 중 구조체의 부피 변화로 인한 구조적 불안정성 등의 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 전략 중 하나로 리튬 폴리설파이드의 확산을 억제하고, 부피 팽창으로 인한 응력을 수용하기 위해 인터레이어를 도입할 수 있다. 본 연구에서는 분무 열분해 공정과 후 열처리 공정을 통해 흑연질 탄소로 코팅된 금속셀렌화물을 포함하는 그래핀-탄소나노튜브 복합 다공성 3차원 구조체를 합성하여 리튬-황 전지 인터레이어로 적용하였다.

그 결과, 2.0 C의 전류 밀도에서 1,000 사이클 후에도 278 mA h g^{-1} 의 방전 용량을 나타냈으며 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 C의 전류 밀도에서 각각 1,234, 1,034, 925, 818, 725, 616, 413, 278, 그리고 162 mA h g^{-1} 의 방전 용량을 나타냈다. 다공성 구조는 전해질 확산 거리를 단축하여 효율적인 전해질 침투가 가능하게 했고, 비표면적을 크게 증가시켜 활물질의 활용도를 높였다. NiSe_2 나노 결정을 둘러싸고 있는 질소가 도핑된 흑연질 탄소층은 전자 수송을 위한 1차 전자 이동 경로 역할을 했고, 그래핀-탄소나노튜브 골격은 구조적 안정성을 향상시키는 것 이외에도 2차 전자 이동 경로 역할을 하여 율속 특성 향상에 기여했다. 또한 극성을 가진 NiSe_2 나노결정은 리튬 폴리설파이드를 화학적으로 흡착하여 셔틀링 효과를 최소화하고 활물질의 활용도를 높였다.

폐수의 질소 제거를 위한 PVA Core-Shell 미생물 담체의 개발

심재훈¹, 설지우², 남지수¹, 권인택¹
¹(주)엔케이앤씨, ²로터스 E&T

A development of PVA Core-Shell bio-carrier to nitrogen removal in wastewater

Jaehoon Shim¹, Jiwoo Seol², Jisu Nam¹, Intaek Kwon¹
¹ENKI E&C Co.,Ltd., ²LOTUS E&T Co.,Ltd.

최근 폐수처리에서 혐기성 암모늄 산화(ANAerobic AMMonium OXidation, ANAMMOX process)가 주목받고 있다. 혐기성 암모늄 산화는 폐수로부터 질소를 제거하는 방법의 하나로, 암모늄 산화 미생물(Ammonia oxidizing bacteria, AOB)에 의해 암모늄 이온을 아질산 이온으로 전환한 후, ANAMMOX 미생물이 암모늄 이온과 아질산 이온을 질소로 전환하는 과정을 의미한다. ANAMMOX process는 기존 생물학적 방법에 비해 폭기조의 공기 유량이 30~40%정도로 적은 양이 필요하고, 미생물 성장을 위한 탄소 공급원이 필요하지 않아 기존 폐수처리장의 질소 처리 공정에 첨가제로 사용되는 대량의 메탄올 등을 절약할 수 있어 경제적인 질소 제거 방법으로서 오래전부터 주목받고 있었던 공정이다.

하지만 ANAMMOX process에 관여하는 미생물은 혐기성 조건에서 활성을 나타내며 기질로 사용되는 NO₂가 ANAMMOX 미생물에 독성을 나타내어 공정의 제어가 어렵고 ANAMMOX와 같이 성장하는 질산화 미생물(Nitrite Oxidizing Bacteria, NOB)이 NO₂를 ANAMMOX 미생물이 활용하기 전에 산화시켜버려, 기질 공급이 저해되는 문제가 있어 고농도의 암모늄이 포함된 폐수를 처리하는 공정을 제외하고는 실용화가 되지 못하고 있었다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 PVA를 사용하여 Core-Shell 구조의 미생물담체에 ANAMMOX 미생물과 AOB를 고정된 복합 미생물 담체를 개발하고자 한다. 종래에 개발된 복합 미생물 담체의 활용 방법은 균질한 미생물 담체에 2종 이상의 미생물을 부착, 증식시켜 사용하는 방법이였지만, 이 연구에서는 미생물 담체의 Core-Shell의 공극률을 다르게 제조하여 각 기질과 저해 요소들의 침투력을 제한하여 실용화를 위한 여러 문제를 해결하고자 한다.

이 연구에서 개발하는 복합 미생물 담체의 상용화가 진행된다면 상대적으로 저농도의 암모늄이 포함된 폐수를 처리할 수 있을 것으로 기대되며, 폐수처리장의 초기 설치비용의 감소, 운영비용의 감소 등의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Wang, J. et al. "A new pattern of the partial nitrification and Anammox immobilized gel beads: core-shell embedded carrier," *Environ. Res.*, 214(1), 113816 (2022)
2. Boran, K. et al., *Advances in Microbial Physiology*, Vol 60., Academic press, 211-262(2012)
3. Wonsang, Y., "Determination of optimum foaming agent content of PVA/Alginate carrier for growth and maintenance of ANAMMOX microorganism," master's thesis, Yeungnam University, Gyeongsan, (2018).

전이금속산화물/탄소 복합 다공성 마이크로스피어의 합성 및 리튬-황 배터리의 인터레이어로의 적용

오건희, 조중상*
충북대학교 공업화학과

리튬이온배터리는 높은 중량당 에너지 밀도(250 Wh kg^{-1}) 및 부피당 에너지 밀도(700 Wh L^{-1})로 인해 개인형 이동장치, 휴대용 전자 기기 등 다양한 어플리케이션으로 폭넓게 활용되고 있다. 하지만 현재 리튬이온배터리는 에너지 밀도 측면으로 이론적 한계에 근접한 상황이며, 이의 해결방안으로 리튬-황 배터리가 제안되고 있다. 리튬-황 배터리는 리튬이온배터리에 비해 높은 이론 에너지 밀도($2,600 \text{ Wh kg}^{-1}$) 및 이론 용량($1,675 \text{ mAh g}^{-1}$)를 가지며, 활물질인 황이 가지는 자원적 풍부함과 낮은 비용으로 인해 차세대 배터리로 활발한 연구가 진행되고 있다. 그럼에도 불구하고 황의 높은 절연성(상은 $10^{-30} \text{ S cm}^{-1}$), 리튬 폴리설파이드(Li_2S_x , $4 \leq x \leq 8$)의 용출에서 기인한 셔틀링 효과, 충전 및 방전 과정 중 활물질의 큰 부피 변화로 인해 수반되는 부피응력 등의 문제점이 존재한다. 따라서 상기 문제들을 해결하기 위해 리튬 폴리설파이드의 용출을 억제하고, 황의 부피 변화를 수용할 수 있는 소재가 필요하다. 본 연구에서는 *spray drying* 및 후속 열처리 공정을 통해 전이금속산화물/탄소 복합 다공성 마이크로스피어를 합성하였다. 최종 구조체를 리튬-황 배터리의 인터레이어로 적용하였을 때, 극성을 띄는 전이금속산화물과 *polystyrene nanobead*로부터 유래된 메조 기공으로부터 리튬 폴리설파이드의 물리·화학적 흡착이 가능하며, 다공성 구조가 활물질의 부피 변화를 효과적으로 수용하였다. 그 결과, 0.1 C 의 전류 밀도에서 500 사이클 후에도 495 mA h g^{-1} 의 방전 용량을 나타냈을 뿐만 아니라 2.0 C 의 높은 전류 밀도에서도 324 mA h g^{-1} 의 방전 용량을 나타냈다. 추가적으로, 치밀한 구조의 탄소 마이크로스피어와 수명 특성을 비교한 결과, 0.1 C 의 동일한 전류 밀도에서 350 사이클 후 임에도 불구하고 371 mA h g^{-1} 의 낮은 방전 용량을 나타냈다. 이를 통해 전이금속산화물/탄소 복합 다공성 마이크로스피어의 구조체적 이점이 리튬-황 배터리의 성능 향상에 기여했음을 확인하였다.

폐플라스틱 열분해 생성 왁스의 촉매열분해에 관한 연구

홍재민, 임현지, 심하늘, 박영권*
서울시립대학교 환경공학과

A Study on the Catalytic Pyrolysis of Wax Produced by Waste Plastic Pyrolysis

Jaemin Hong, Haneul Sim, Hyunji Lim, Young-Kwon Park*
School of Environmental Engineering, University of Seoul

현대 사회의 발전에 따라 플라스틱의 사용이 증가하였고, 폐플라스틱의 발생량 또한 증가해 왔습니다. 폐플라스틱의 재활용 방법은 물질 재활용 방법과 열화학 재활용 방법으로 구분할 수 있습니다. 그중 폐플라스틱의 처리 방법으로 열처리 방법의 열분해에 대한 많은 연구가 진행되고 있습니다. 그러나 혼합 플라스틱을 주로 함유하고 있는 폴리프로필렌(PP)과 폴리에틸렌(PE) 열분해의 경우 열분해 과정에서 활용도가 낮은 왁스 등의 고점성 물질이 다량으로 생성됩니다. 이는 다양한 공정 운영에 장애를 초래하기 때문에 열분해 반응기에서 나오는 왁스 오일을 산업체에 판매하거나 저비점 고품질 오일로 전환할 수 있는 일반 열분해 오일과 분리할 필요가 있습니다. 본 연구에서는 폐플라스틱 단일 PP, PE 및 혼합 PP-PE에 따라 생성되는 왁스의 촉매 열분해를 통해 저비점 고품질 오일의 발생 차이를 보이고자 합니다.

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원(KEITI)에서 주관하는 탈플라스틱 특성화대학원의 사업비로 수행한 과제입니다.

Decomposition of Hydroxylammonium Nitrate Solution using Metal Oxide Coated on Metalfoam Catalyst

원세연, 유달산, 전종기
공주대학교

Seyeon Won, Dalsan Yoo¹, Jong-Ki Jeon
Kongju National University

Hydrazine has been generally used as a liquid propellant in the aerospace industry. Hydroxylammonium nitrate (HAN) is well-known green propellant. HAN is high density, specific impulse, stability and low freezing point resulting in reduction of fuel tank size and increase in fuel efficiency. However, since it is dissolved in water to maintain the aqueous solution, very high temperature is required for initial ignition. Therefore, the catalytic decomposition is necessary to lower the ignition temperature. In this study, metalfoam catalysts were prepared by wet impregnation of coated monoliths. Coated supports have been impregnated by metal precursors in order to deposit metal active phases; for example; H_2PtCl_6 salt precursor for Pt-based catalyst. HAN decomposition experiments were carried out in a lab-scale batch reactor. During the decomposition of the HAN solution, the temperature of the catalyst increased sharply because of a strong exothermic reaction. The point at which the temperature started to increase is referred to as the decomposition onset temperature. With regard to thermal decomposition without a catalyst in the decomposition reaction of the HAN-solution, the decomposition onset temperatures was 122 °C. Using the metal oxide/metalfoam catalysts, the decomposition onset temperature could be lowered to 83 °C.

Synthesis of Biodiesel from Nepalese Jatropha Oil using Dolomite Bead Catalysts

Yehee Kim¹, Minsok Sim¹, Seunghee Lee¹, Rajendra Joshi², and Jong-Ki Jeon¹

¹*Department of Chemical Engineering, Kongju National University*

²*Department of Chemical Science and Engineering, School of Engineering, Kathmandu University*

Biodiesel is used in the transportation industry by mixing a fixed amount with existing diesel worldwide. Biodiesel consists of fatty acid methyl esters (FAME) and is produced by transesterification of oils and methanol. Homogeneous catalysts such as NaOH and KOH are mainly used for the transesterification. However, vegetable oils contain free fatty acids (FFA), as well as fats, compared to animal oils, so they react with base catalysts to form salts. In addition, since it uses a homogeneous catalyst, it has the disadvantage of increasing cost in the process of separating from biodiesel and treating wastewater. In this study, the free fatty acid content was lowered using the heterogeneous acid catalyst, Amberlyst-15, to reduce the cost of wastewater treatment and to extend the life of the catalyst. Then, a transesterification reaction was performed using a Dolomite pellet as a heterogeneous base catalyst. Reaction conditions were optimized by varying the amount of methanol, the amount of catalyst, the calcination temperature of the catalyst, and the reaction temperature.

Trickle bed reactor에서 백금/알루미나 bead 촉매를 이용한 1-methylnaphthalene 수소화 반응

홍수연¹, 오승교¹, 한기보², 정병훈³, 전종기^{1*}

¹공주대학교

²고등기술연구원

³국방과학연구소

Hydrogenation of 1-Methylnaphthalenes over Bead-type Pt/Alumina Catalysts in Trickle Bed Reactor

Sooyeon Hong, Seung Kyo Oh¹, Gi Bo Han², Byunghun Jeong³, Jong-Ki Jeon^{1*}

¹Kongju National University

²Institute for Advanced Engineering

³Agency for Defense Development

석유화학 공정의 NCC공정에서 납사는 대부분 석유화학 원료를 생산하기 위해 열분해 과정을 거치면서 원치 않는 많은 부산물이 배출된다. 이러한 부산물 중에는 다량의 다환 방향족 화합물(Polycyclic aromatic hydrocarbon, PAHs)이 포함되어 있어서 연소 중 미세먼지, NOx, 불완전 연소한 탄화수소 등이 배출된다. 정제된 디젤 연료 또한 높은 방향족 성분을 지니고 있어 연료 품질을 낮추고 배기가스에 바람직하지 않은 배출물을 형성하게 된다. 또한, 정부 환경 규제 강화에 따라 경유에 포함된 방향족 함량도 규제도 강화되고 있기에, 이를 제거하기 위한 새로운 촉매 개발 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 백금의 담지량을 변화하여 알루미나 지지체에 담지하고 bead 형태의 촉매를 제조하였다. 또한 질소흡착실험, 암모니아-TPD, H₂-TPR등의 분석법을 이용하여 촉매의 특성을 분석하였다. PAHs의 model reactant로써 1-methylnaphthalene을 이용하여 Trickle-bed reactor를 통해 촉매의 수소화 능력을 확인하였다. 백금 담지량이 촉매의 특성과 수소화 반응 성능에 미치는 영향을 고찰하였다.

폐플라스틱 재활용을 위한 국내·외 정책 동향 분석

강태진¹, 김효식¹, 김현지¹, 이예지², 이수출², 강석환¹

¹고등기술연구원 청정에너지전환센터

²경북대학교 차세대에너지기술연구소

Analysis of Domestic and International Policies for Recycle of Waste Plastics

Tae-Jin Kang¹, Hyo-Sik Kim¹, Hyun-Ji Kim¹, Yeji Lee², Soo Chool Lee², and Suk-Hwan Kang¹

¹Clean Energy Conversion Research Center, Institute for Advanced Engineering, 175-28,
Goan-ro 51, Yongin city, Gyeonggi-do, 17180, KOREA

²Research Institute of Advanced Energy Technology, Kyungpook National University,
80 Daehakro Bukguk Daegu, 41566 KOREA

플라스틱은 여타 다른 재료들에 비하여 단단하면서 가볍고 저렴해 다양한 형태로 일상생활에서 사용되고 있으며, 우리 생활의 필수품이 되었다. 플라스틱 생산량은 2000년 2억 3,400만 톤에서 2019년 4억 6,000만 톤으로 크게 늘었으며, 2000년부터 2019년까지 플라스틱 폐기물 발생량은 1억 5,600만 톤에서 3억 5,300만 톤으로 2배 이상 증가하였다. 2050년까지 플라스틱 생산에서 소비까지 약 18억 톤의 온실가스 배출 및 누적 총 400억 톤의 플라스틱이 생산될 것으로 전망된다. 미세먼지와 함께 온실가스의 주범으로 취급받는 폐플라스틱을 이용한 폐자원에너지화 정책 및 기술개발이 전 세계적으로 주목받고 있다. 국내를 비롯한 전 세계가 플라스틱 폐기물의 영향을 받고 있으므로 플라스틱의 사용·폐기 및 재활용 등 전주기(또는 가치사슬) 전략 마련이 필요하다. 폐플라스틱 매립에 따른 분해 기간은 수십에서 수백년이 소요되며, 소각을 할 경우 유해가스 배출에 따른 대기오염 등의 2차적인 문제를 갖고 있어 폐플라스틱의 활용을 통한 에너지화는 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 폐플라스틱의 재활용을 위한 국내·외 정책 동향을 분석하였다.

참고문헌

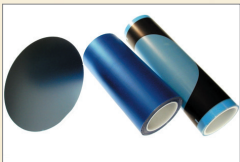
참고문헌의 인용 및 작성요령은 학회지, 'Clean Technology' 투고요령에 준한다.

1. Mitrano, D. M., and Wagner, M., "A sustainable future for plastics considering material safety and preserved value" *Nature Reviews Materials*, 7(2), 71-73 (2022).
2. 조지혜, 신동원, 김영희, & 오세천., "폐플라스틱 열분해 추진여건 및 정책과제" 1-126 (2022)

산업용특수테이프 분야를 선도하는 화인테크놀로지



반도체용 점착 TAPE



DICING TAPE

FPC MATERIL



COVERLAY TAPE

산업용보호 TAPE

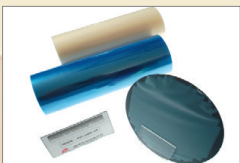


건축자재용 보호 TAPE

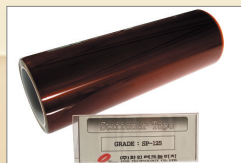
세라믹가공·발포용 TAPE



라벨스티커



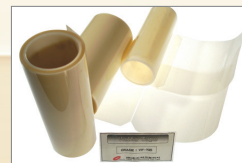
BACK GRINDING TAPE



STIFFENR TAPE(보강판)



건축자재용 보호 TAPE



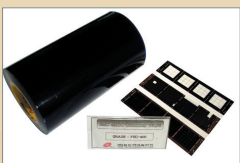
HEAT SEAL TAPE



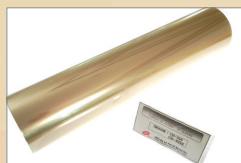
CARRIER TAPE



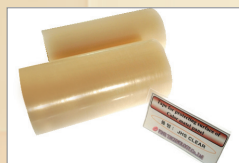
자동차 부품용 보호 TAPE



EMC MOLD CUTTING TAPE



CARRIER TAPE



자동차 부품용 보호 TAPE



(주)화인테크놀로지
www.finetechnology.co.kr

경남 양산시 어곡공단1길 10
TEL : 055)362-8110 FAX : 055)362-8113

한국청정기술학회 2023년도
추계총회 및 학술대회
초록집

2023 THE KOREAN SOCIETY OF CLEAN TECHNOLOGY FALL CONFERENCE