

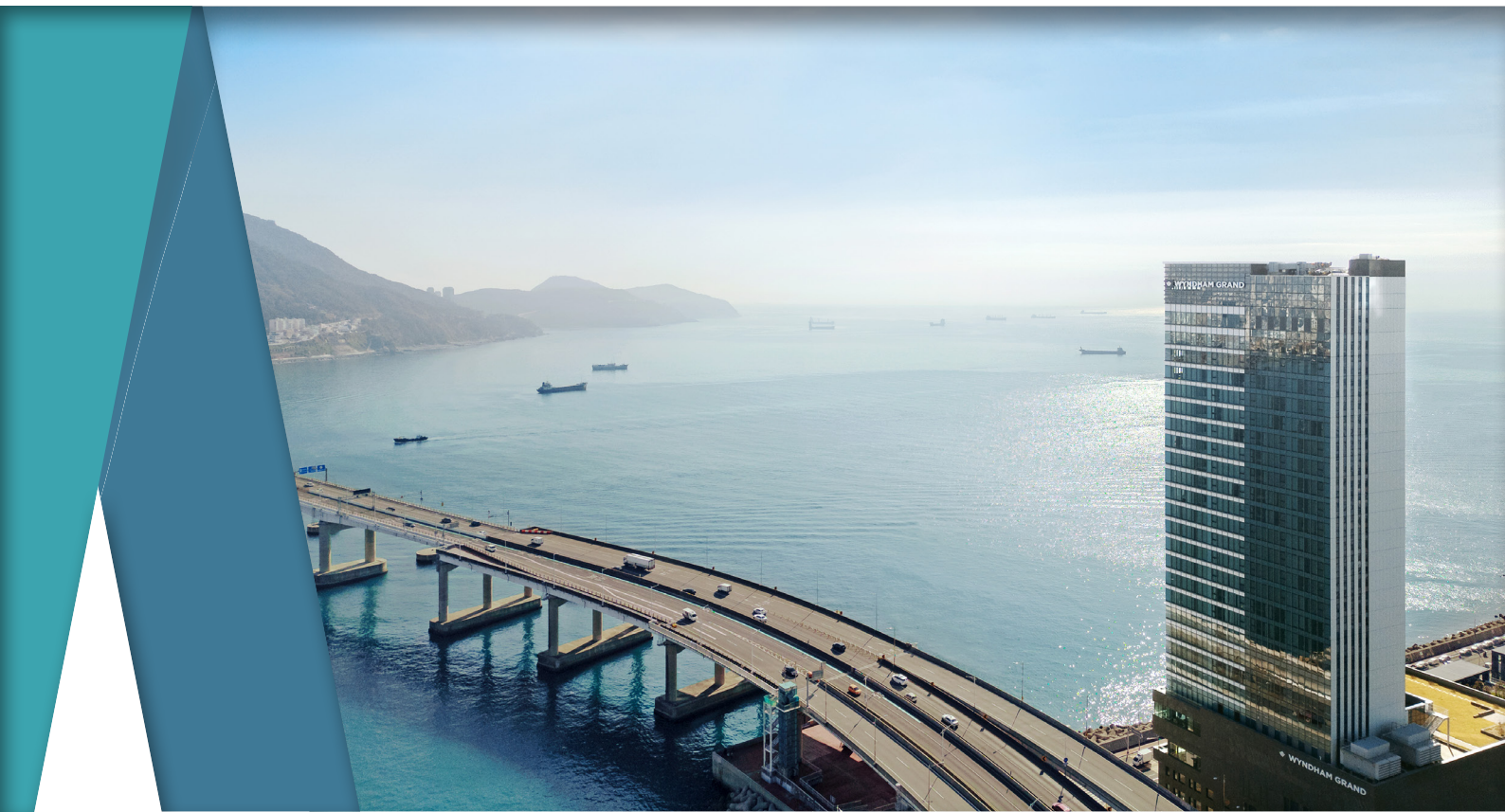
한국청정기술학회 2024년도

춘계 총회 및 학술대회 초록집

2024 THE KOREAN SOCIETY OF CLEAN TECHNOLOGY SPRING CONFERENCE

2024. 3. 27(수) ~ 3. 29(금)

윈덤그랜드 부산



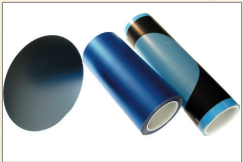
주 최 : 한국청정기술학회

후 원 : 경남정보대학교 에너지신산업 혁신융합대학사업단, 고려아연(주), 동성컴텍,
미래초음파기술, (주)세신금속, (주)씨엔엘에너지, (주)엘아이비에너지, (주)원아테크, (주)윈텍스,
(주)전진엔텍, 제우스유화공업(주), 제이에스솔루션,
충북대학교 기업수요 대응 차세대 이차전지소재 선도연구센터,
(주)태양인더스트리, (주)화인테크놀로지, 윈덤그랜드 부산

산업용특수테이프 분야를 선도하는 화인테크놀로지



반도체용 점착 TAPE



DICING TAPE

FPC MATERIL



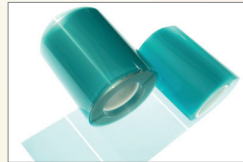
COVERLAY TAPE

산업용보호 TAPE

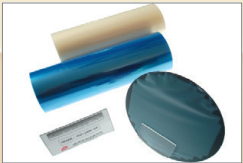


건축자재용 보호 TAPE

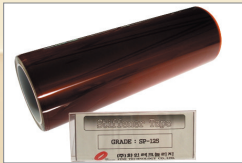
세라믹가공·발포용 TAPE



라벨스티커



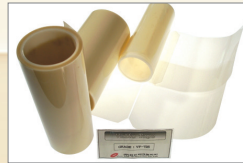
BACK GRINDING TAPE



STIFFENR TAPE(보강판)



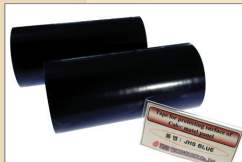
건축자재용 보호 TAPE



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

에너지신산업 혁신융합대학 경남정보대학교 사업단



혁신융합대학이란?

- 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'

사업비전

“ 2030 에너지신산업을 주도하는 창의 융합형 글로벌 인재 양성 ”

사업목표

에너지신산업 기반 맞춤형/리더형 융합 인재 양성

협력전략

대학간 융합 인재 교육프로그램 융합

분야별 협력대학 공유플랫폼 구축

학사제도 개편/디지털 네트워크 연계

- 우수대학간 교육프로그램 융합 제시
- 에너지신산업 기반 강화를 위한 융합인재양성

- 역량별 맞춤형 인재 양성프로그램 체계 구축
- 지역간 협력-공유 기반 교육플랫폼 개발

- 학제간 경계를 허무는 학사제도 개편
- 현장기반 중심의 디지털 네트워크 연계구축



중·고급 기술 인력양성 체계 구축

	수준별 분류			마이크로디그리	
	초급 (1, 2학년)	중급 (3학년)	고급 (4학년)		
에너지신산업 트래킹 분류	에너지 생산	신에너지공학개론 재생에너지공학개론 수소연료전지개론 원자력발전공학개론	에너지반응공학 에너지생산소재공학 바이오메카트로닉스공학	태양에너지공학 지열에너지공학 풍력에너지공학 수소에너지공학 플라즈마에너지공학	에너지 생산 분야 마이크로디그리
	에너지 저장/변환	에너지저장공학개론 에너지소재개론 전기화학에너지저장이론및실험	에너지저장소설계 거대에너지저장 제로에너지시스템	전기차배터리공학 차세대에너지저장변환공학 수소생산과연료전지응용 열에너지변환공학	에너지 저장/변환 분야 마이크로디그리
	에너지 수송/관리	전기에너지개론	차세대전력전송및전기기기 화학적에너지수송 AI기반에너지관리 이산화탄소포집활용저장	무선에너지전달 AI기반시스템최적화 스마트그리드	에너지 수송/관리 분야 마이크로디그리
	에너지 경영	에너지와기술의경제학 에너지환경기술 에너지기후변화 에너지신산업캡스톤디자인1	에너지빅데이터분석 에너지기후변화정책 AI기반에너지안전공학	에너지사업타당성평가 에너지신산업이슈연구 에너지신산업캡스톤디자인2	에너지경영 분야 마이크로디그리
마이크로디그리	에너지신산업 분야 초급 마이크로디그리	에너지신산업 분야 중급 마이크로디그리	에너지신산업 분야 고급 마이크로디그리		
수소/이차전지 교육센터	수소에너지과정	이차전지제조 공정과정			

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

센터소개

센터명

기업수요 대응 차세대 이차전지 소재
선도연구센터

센터 목표

충청권역 이차전지 기업수요 맞춤형 기초-원천기술
개발 및 차세대 연구 R&D 전문 인력 양성

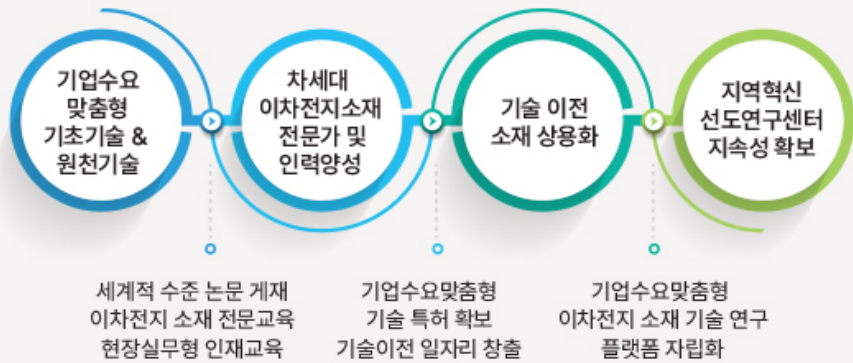


- 센터장 | 충북대학교 화학공학과 정상문 교수
- 사업기간 | 2023. 07. 01. ~ 2030. 02. 29.(7년)
- 총사업비 | 107억원(현금기준)
- 지원기관 | 과학기술정보통신부 NRF 한국연구재단
- 주관연구기관 | 충북대학교
- 공동연구기관 | 충남대학교, 영주대학교
- 참여기업 | EcoPro BM, CSIM, 더블유씨피(주), Puree Chem, EasyChem
- 참여지자체 | 충청북도, 청주시

연구목표

충청권 미래 모빌리티 산업생태계 조기 구현을 위한 이차전지 핵심소재 원천 기술개발 및 고도화

기업수요 대응 차세대 이차전지 소재 선도연구센터 (IR-NBM RLRC)



연구협력 및 네트워킹

기업 수요 | 에코프로비엠, 이지켄, CSIM, 더블유씨피, 퓨리켄
· 기업수요맞춤형 연구 주제 공동 기획 및 실행
· 이차전지 기업 차세대 연구 R&D 전문 인력 수급

연구 특화 | 한국원자력연구원, 한국전자기술연구원, 충북테크노파크, 한국기초과학지원연구원
· 고도 분석 장비 활용을 통한 기술 개발 원천성 확보 계획 구체화

지역산업 생태계 | 충청북도, 청주시
· 이차전지 관련 충청지역 산-학-연네트워크 구축
· 충청권 미래 모빌리티 산업생태계 조기 구현

국제공동 연구 | 이탈리아 La Sapienza, 미국 PNNL, 독일 HIU

센터문의 | 충청북도 청주시 서원구 충대로1, E8-8동 110호(행정실) | E8-10동 209호(연구센터) | E8-10동 707호(실험실)
Tel. 043-249-1681, 1689 | Homepage. <http://ir-nbmrlrc.chungbuk.ac.kr/>



동성켄텍

Dongsung Chemtech

사무실 : 757-1770, 973-2339
팩 스 : 941-2771, 266-0111
H.P : 010 -8751-5543



Hydrogen Analysis GC Valve system & Column 제작, Aldehydes Check HPLC, KNR ATD GC-MSD, Phenomenex Column, Refurbish Chromatograph, 소모품, 실험실 안전장비의 판매/설치/기술지원/응용지원/ 화학 분석장비 AS.

- In Metal Hydrogen 분석용 chromatograph PDD system
- Semicon Gas Impurity check Chromatograph PDD Isolation Valve system
- Chemical Analysis in Polymer impurity BTEX 8890 Gas Chromatograph
- 자동차 부품 중 VOCs 분석을 위한 자동 포집장치 제작 (GCMSD- HPLC 전처리 장치)
- 원자력 발전소 돔내 골조 확산 연구를 위한 SF6 확산실험 분석장치
수소연료전지 발생 가스 분석 시스템(에너지 연구원 연료전지 실험)
- Postech GPS 를 이용한 SF6 해류 확산 Module 형 실험 장치
- 보건환경연구원 미세먼지 칭량을 위한 항온항습 칭량 Chamber 제작

Analytical Laboratory Lab. Consulting, Instrument Sales & Service

사무실 : 부산시 강서구 대저중앙로 341 동성켄텍

분석실 : 부산시 강서구 대저공항로 1309번길 33

공 장 : 부산시 강서구 식만로 251

T : 051-757-1770, 973-2339, F : 051-266-0111

sunginle@gmail.com, <http://www.chemgc.com>

초음파기술의 파이오니어 .. 미래 초음파기술

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

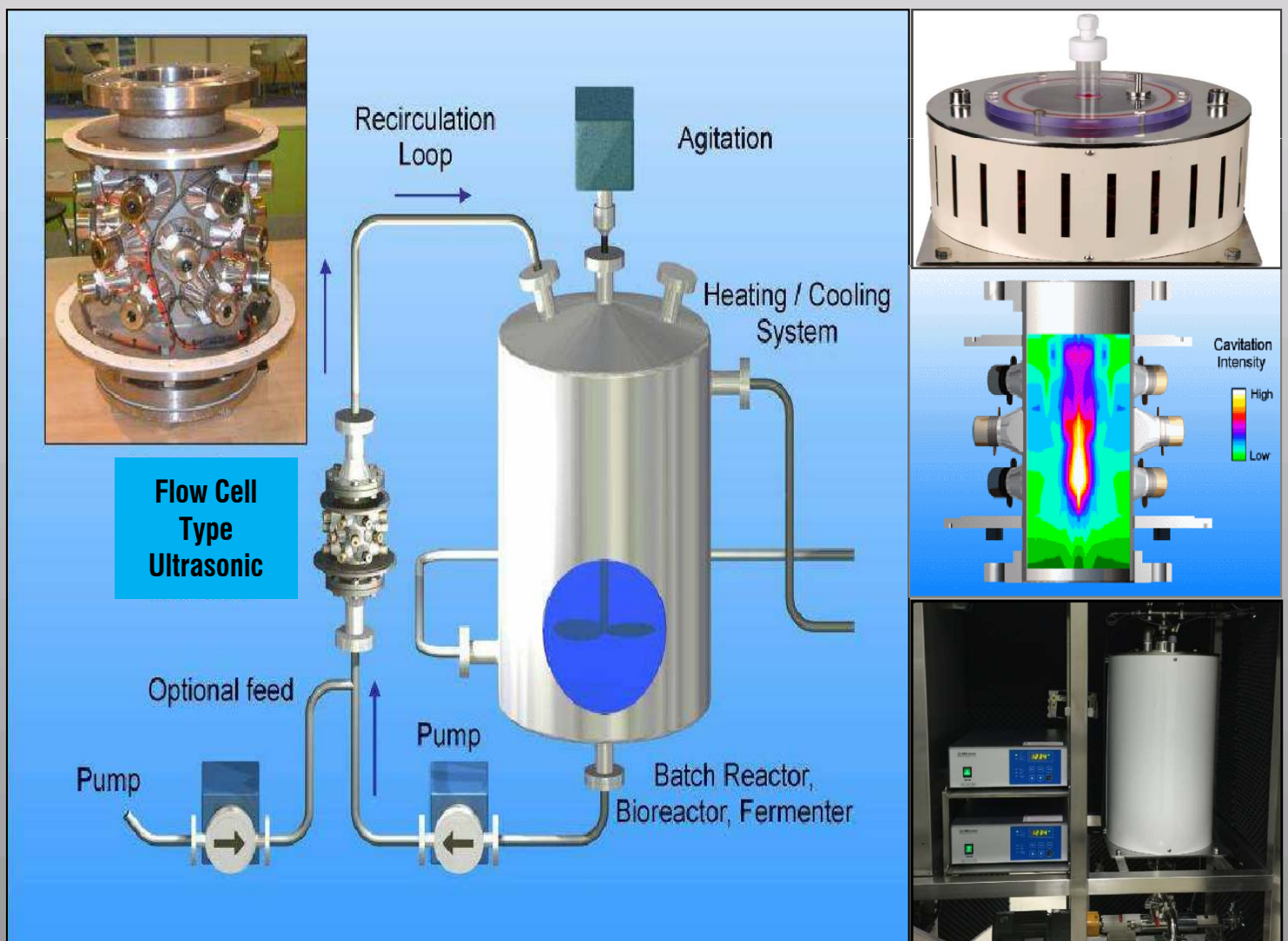
Sonochemistry : New Opportunities for Green Chemistry

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>

촉매 및 전기화학 실험 분석 장비



ZIVE SP1

ZIVE SP2

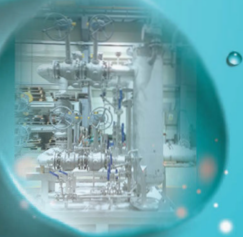
- ◎ 고성능 Potentiostat/Galvanostat/EIS 분석기
- ◎ 넓은 전압 ($\pm 10V$) 과 전류 (SP1:1A, SP2:2A) 범위
- ◎ 초고속 데이터 샘플링 ($2\mu\text{sec}$)
- ◎ 컴팩트한 디자인과 LCD 표시창으로 편의성 강화
- ◎ 18가지 EIS 테크닉 지원으로 다양한 실험 가능
- ◎ 멀티채널 지원과 분석 소프트웨어 패키지 제공



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

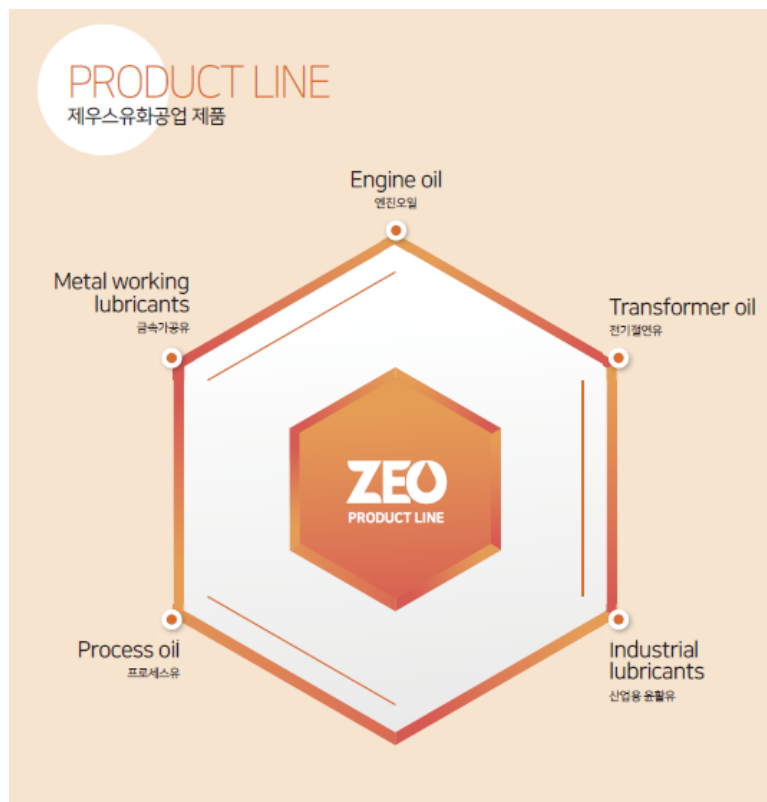


JCONJIN

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



이차전지 교육 훈련장비
자동차 교육용 훈련장비
전기, 전자, 통신, 제어 훈련장비
VR, AR시뮬레이터
3D프린터, 드론공급
Picoscope Pico오실로스코프

경기도 파주시 조리읍 대원로45305/1202호
TEL. 010-6265-0675
FAX. 0504-204-8870
E-mail. j0675@naver.com



(주)태양인더스트리

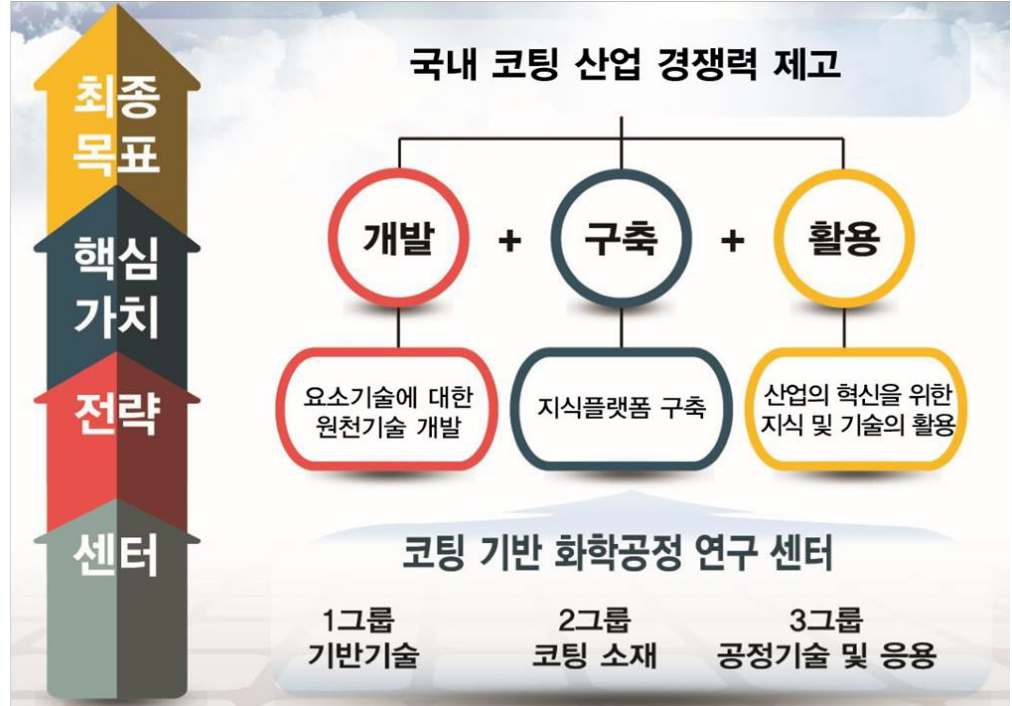
 **현대미포조선** 협력업체

울산광역시 남구 처용로 800

TEL. 052-258-9362

FAX. 052-258-9364

입자계 소재 코팅공정 연구를 통한 국내 산업경쟁력 제고



Engineering Research Center



코팅기반 화학공정 연구센터
Center for Coating Materials and Processing



센터장: 서울대학교 화학생물공학부 안경현 교수

서울대학교 화학공정신기술연구소 (311동) 417호

02-880-1584

<http://ccmp.snu.ac.kr/>



C1 가스 리파이너리 사업단

세상이 원하는 융·복합 핵심 원천기술 개발로 세계의 중심에 우뚝 서다
새로운 화학 산업시장의 선두주자 탄소중립 정책의 중요한 기술적 역할



C1
CGRC



C1 바이오 촉매

C1 바이오 전환관련
원천 효소 및 균주 개발

+



C1 화학 촉매

C1 가스 활성화 및
고부가 가치화 원천 촉매 기술 개발

+



C1 리파이너리

한계돌파형 C1 가스
리파이너리 공정시스템 개발



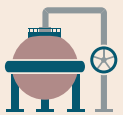
석유부생가스

CH₄



철강부생가스

CO CH₄ CO₂ H₂



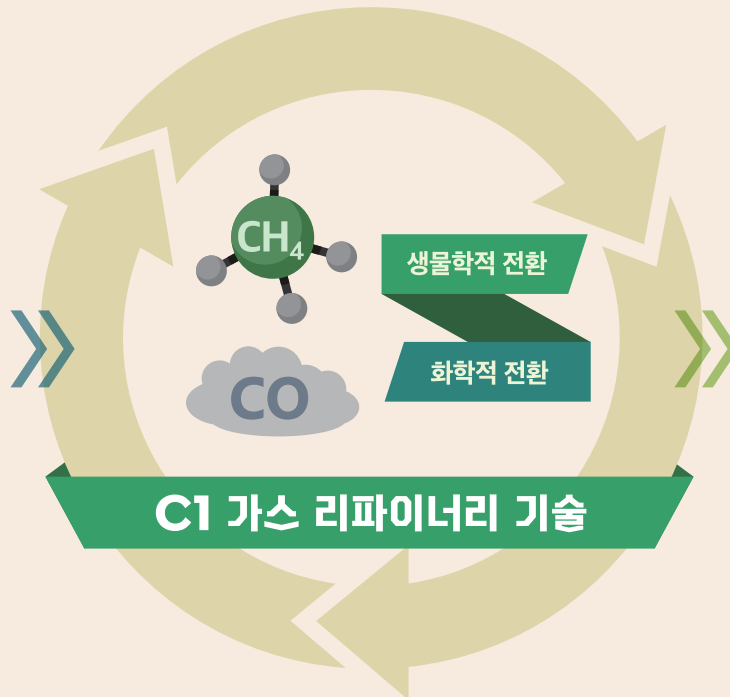
바이오 가스

CH₄ CO₂



폐기물 가스

CH₄



기초화학소재
(olefin 등)



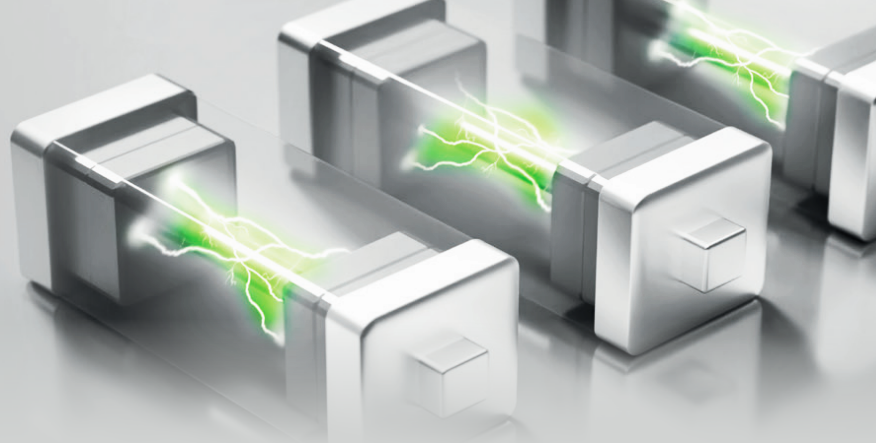
액체연료
(메탄올 등)



수송용연료



고부가 소재



이차전지 Lab Modeling

이차전지 연구장비

이차전지 연구분석

LIV ENERGY'S LAB MODELING



다년간의 이차전지 연구 경력 기반
전지 특화연구 환경 구축

> 연구 효율 ↑



제한된 공간과 연구자 needs를 반영한 연구장비 제안















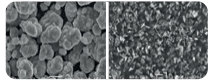
> 연구 공간 활용도 ↑



이차전지 연구시설 설계/제작 실무교육 컨설팅

> 장비&연구 직무능력 ↑

LIV ENERGY'S PRODUCT

소재합성 · 열처리	 <p>진공 TUBE FURNACE (1,100°C, 1,500°C)</p>	 <p>도킹퍼니스</p>	
전극제조	 <p>전극코터</p>	 <p>롤프레스</p>	 <p>히팅롤프레스</p>
전지조립	 <p>글로브 박스</p>	 <p>자동 셀클램핑기</p>	 <p>전극 펀칭기</p>  <p>리튬메탈 펀칭기</p>
전지평가	 <p>충방전기</p>	 <p>전지테스트 등온챔버</p>	 <p>실시간 전극두께측정기</p>
전고체전지	 <p>글로브박스 도킹 시스템</p>		 <p>멀티 전지테스트 등온챔버</p>
Battery Component	 <p>Coin Cell (2032)</p>	 <p>전고체전지 Cell Jig</p>	 <p>전극소재 및 극판</p>

한국청정기술학회 2024년도

춘계 총회 및 학술대회 초록집

2024 THE KOREAN SOCIETY OF CLEAN TECHNOLOGY SPRING CONFERENCE

2024. 3. 27(수) ~ 3. 29(금)

원뎀그랜드 부산

주 최 : 한국청정기술학회

후 원 : 경남정보대학교 에너지신산업 혁신융합대학사업단

고려아연(주)

동성컴텍

미래초음파기술

(주)세신금속

(주)씨엔엘에너지

(주)엘아이비에너지

(주)원아테크

(주)원텍스

(주)전진엔텍

제우스유화공업(주)

제이에스솔루션

충북대학교 기업수요 대응 차세대 이차전지소재 선도연구센터

(주)태양인더스트리

(주)화인테크놀로지

원뎀그랜드 부산

국가의 미래를 위해 나아갈 길, 청정기술

(사)한국청정기술학회

문서번호 청정기술 2024-02 (2024.1.18)

수신 청정기술 전문가 및 소속기관

참조

제목 한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회 개최

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 한국청정기술학회에서 2024년도 춘계 총회 및 학술대회를 아래와 같이 개최하오니 귀 기관의 소속 전문가가 참석할 수 있도록 협조하여 주시길 바랍니다.

- 아 래 -

가. 행사명: 한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

나. 행사일시: 2024년 3월 27일(수) ~ 29일(금)

다. 장소: 원뎀그랜드 부산

라. 등록비:

	정회원	학생회원
사전등록(3월 8일(금) 마감)	160,000원	80,000원
온라인/현장등록(3월 8일(금) 이후)	180,000원	100,000원

(사)한국청정기술학회장



인사말



존경하는 한국청정기술학회 회원 여러분!!

안녕하십니까?

본 학회 춘계 총회 및 학술대회가 오는 3월 27일(수)부터 29일(금)까지 대한민국 제1호 해수욕장인 부산 송도에서 개최됩니다.

본 학회가 청정기술의 가치를 높이고, 젊은 연구자와 다양한 연구자들이 참여할 수 있도록 학술대회와 학회지, 기술 강좌의 질적 수준을 더 높이는 데 최선의 노력을 다하고 있습니다.

이번 학술대회에서는 탄소중립의 시대적 요구에 부응하기 위해 청정에너지, 청정환경 및 청정생산에 걸맞은 수소 및 재생에너지, 에너지저장, 에너지전환, 청정융합, 대기환경, 자원순환, 청정생산 및 공정시스템 등 8개 부문위원회로 개편한 후 각 부문위원회에서 특별심포지엄이 열립니다.

또한 산업체, 연구소, 대학의 인적 네트워크의 확고한 구축을 통해 산·학·연 협력 활동을 펼치며, 탄소중립 시대의 주체로서 국내 청정기술 분야의 연구 결과를 산업 현장에 적용할 수 있는 방안을 모색할 수 있도록 특별세션의 장을 마련하였습니다.

탄소중립 시대에 맞는 “탄소중립과 순환 경제”라는 주제로 한국에너지공과대학교 박진호 총장직무대행의 초청강연이 준비되어 있으며, 미래 세대를 위해 신진연구자 Invited Talk와 젊은 연구자와 학생회원들을 위하여 “청정기술 개발을 위한 기초 분석 장비의 원리 및 응용”이라는 주제로 매년 개최하기로 하여 올해 2회째를 맞이하는 Tutorial 프로그램이 진행될 예정이오니 많은 관심 부탁드립니다.

이번 춘계 총회 및 학술대회에서는 연구비 삭감 등 어려운 연구 환경임에도 불구하고 4개의 특별세션, 9개 부문위원회의 특별심포지엄을 포함하여 구두 발표 99편과 포스터 발표 152편을 합하여 총 251편으로 역대 최대의 학술대회가 진행될 예정이오니 풍성한 연구 결과와 다양한 연구 주제에 대해 진지하게 논의하는 멋진 학술교류의 장이 되기를 바랍니다.

마지막으로 춘계 총회 및 학술대회를 위해 수고해 주시는 임원분들, 이사님들, 부문위원장님들과 물심양면으로 후원해 주시는 기관과 기업 분들께 머리 숙여 감사를 드립니다. 2024년 춘계학술대회가 회원 여러분께 유익하고 즐거운 시간이 될 수 있도록 최선을 다해 준비하겠습니다.

곧 부산에서 뵙겠습니다.

2024년 3월

한국청정기술학회 회장 **허광선**

2024년도 춘계 총회 및 학술대회 진행표

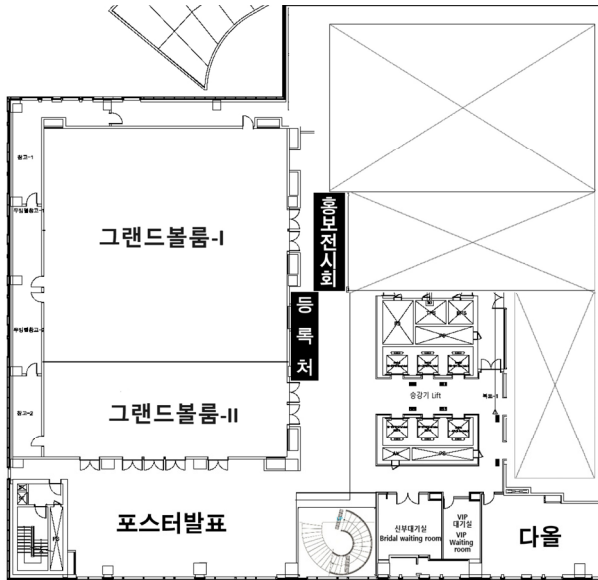
3월 27일(수)	그랜드볼룸-I	3월 27일(수)	그랜드볼룸-II
15:00~17:00	등 록	13:40~17:40	Tutorial: 청정기술 개발을 위한 고도분석 장비의 원리 및 응용
16:00~16:50	자문회의, 부문위원장 회의		
16:50~17:00	휴 식		
17:00~18:00	춘계 평의원회(제3차 운영위원회 포함)		
18:00~	평의원 만찬		

3월 28일(목)	그랜드볼룸-I (2F)	그랜드볼룸-II (2F)	다울 (2F)	마레 (3F)	스텔라 (3F)	로비 (2F)
08:30~17:30	등 록					
09:00~11:00	자원순환 특별심포지엄 09:00~10:40	에너지저장 특별심포지엄 09:00~11:15	청정융합 특별심포지엄 09:00~11:30	청정생산 특별심포지엄 09:00~10:50	청정일반 특별심포지엄 09:20~10:40	포스터발표 I 09:00~11:00
11:00~11:30	휴 식					
11:30~12:00	초청강연: “탄소중립과 순환경제” 박진호 총장직무대행(한국에너지공과대학교) (그랜드볼룸-I)					
12:00~13:00	점 심: 그랜드볼룸-I, II					
13:00~17:30	특별세션(III): 중소중견 기업을 위한 산업 공정 열에너지 전기화 전환 기술 개발 13:00~16:00	특별세션(I): 석유화학산업 탄소중립을 위한 C1 기반 기초유분 생산 13:00~16:00 에너지전환 특별심포지엄 16:10~17:25	특별세션(III): 신진연구자 Invited Talk 13:00~15:00 대기환경 특별심포지엄 15:00~17:25	특별세션(IV): 청정수소 생산을 위한 수전해 성능평가 센터 구축 및 운영기술 개발 13:00~16:20 수소 및 재생에너지 특별심포지엄 16:20~17:35	공정시스템 특별심포지엄 13:00~16:40	포스터발표 II 13:00~15:00
17:30~18:00	총회, 시상, 경품추첨(그랜드볼룸-I)					
포스터발표 I: 공정시스템, 대기환경, 수소 및 재생에너지, 에너지전환, 특별세션(I) 포스터발표 II: 에너지저장, 자원순환, 청정생산, 청정융합, 청정일반						

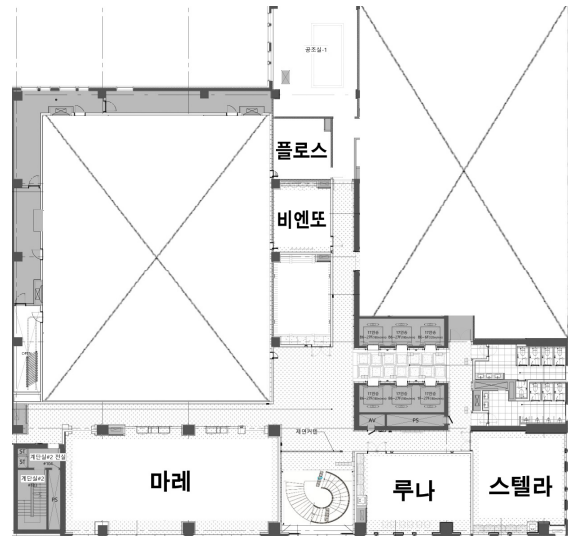
3월 29일(금)	그랜드볼룸-I
09:30~12:00	탄소중립 달성을 위한 청정 기술 개발 방향 (chair: 조강희 교수)

원덤그랜드 부산 발표장 안내

[2층]



[3층]



- 사전 및 현장등록처: 그랜드볼룸 로비
- 초청강연, 총회, 시상, 경품 추첨: 그랜드볼룸-I
- 평의원회, 평의원 만찬: 그랜드볼룸-I
- Tutorial: 그랜드볼룸-II
- 구두발표: 그랜드볼룸-I, 그랜드볼룸-II, 다울, 마레, 스텔라
- 포스터발표: 그랜드볼룸 로비
- 홍보전시회: 그랜드볼룸 로비
- 목요일 점심 장소: 그랜드볼룸-I, 그랜드볼룸-II
- 커피 제공: 그랜드볼룸 로비
- ※ 원덤그랜드 부산 내 wifi 가능

경품추첨 행사



■ 참여방법

- 학술대회 개최 기간에 경품응모권 제출

■ 추첨 및 경품지급

- 추첨: 2024년 3월 28일(목), 17:30 총회 장소(그랜드볼룸-I)
- 갤럭시탭S9 128GB: 1대
- 에어팟 3세대: 2대
- 도서상품권 10만원권 5매, 5만원권 10매

원덤그랜드 부산 오시는 길



주소: 부산광역시 서구 등대로 27(051-993-3000)

[자동차로 오시는 길]

- 경부고속도로 이용: 약 5시간 10분 소요
- 중부내륙고속도로 이용: 약 5시간 10분 소요

[기차로 오시는 길]

- 출발지: 서울
서울역 ↔ 부산역 (약 2시간 48분 소요) ↔ 원덤그랜드 부산(택시 약 15분 소요)
- 출발지: 타지역
대구, 동대구역 ↔ 부산역 (약 40분 소요) ↔ 원덤그랜드 부산(택시 약 15분 소요)
대전역 ↔ 부산역 (약 1시간 35분 소요) ↔ 원덤그랜드 부산(택시 약 15분 소요)

초청강연

- 일시 2024년 3월 28일(목) 11:30 ~ 12:00
- 장소 원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸-I

chair: 이인규 총무이사(부산대학교)

- 11:30(30') 탄소중립과 순환경제
박진호 총장직무대행 (한국에너지공과대학교)

연사소개



□ 주요경력

- 2023.12~현재 한국에너지공과대학교 총장직무대행 겸 교학부총장/연구부총장
- 2021.8~'23.12 한국에너지공과대학교 연구부총장 겸 켄텍연구원장
- 2021.2~현재 정부 제6기 및 제7기 에너지위원회 위원
- 2019.1~'20.12 세계공학한림원평의회 에너지위원회 위원장
- 2016.12~'19.12 산업통상자원 R&D전략기획단 에너지산업 MD
- 2012.7~'23.12 국제에너지기구 태양광발전분과 Task 1 한국대표
- 2011.6~'13.4 지식경제R&D 태양광 PD
- 1994.9~'21.7 영남대학교 화학공학부 교수(산학협력단장 역임)
- 2021 제25대 한국에너지학회 회장
- 2017 제4대 한국태양광발전학회 회장
- 2015 한국화학공학회 학술부회장
- 2015~현재 한국공학한림원 정회원

□ 학 력

- Univ. of Florida 화학공학과 박사
- 서울대학교 화학공학과 박사
- 한양대학교 화학공학과 학사

Tutorial: 청정기술 개발을 위한 고도분석 장비의 원리 및 응용

- 일시 2024년 3월 27일(수) 13:40~17:40
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 그랜드볼룸-II

chair: 조강희 총무이사(인하대학교)

- 13:40('20) 등 록
- 14:00('50) 다공성소재 분석을 위한 기체 흡착 분석법
Gas-sorption analysis for characterizing porous structure
김경수 교수 (전북대학교)
- 14:50('50) X-ray 회절법을 이용한 결정 구조의 이해
Understanding structural properties by X-ray diffraction
조해성 교수 (중앙대학교)
- 15:40('20) 휴 식
- 16:00('50) X선 흡수 분광법 이해: 기초부터 전기촉매 연구에서의 응용까지
X-ray Absorption Spectroscopy: From basics to application in electrocatalysis research
사영진 교수 (광운대학교)
- 16:50('50) 투과전자현미경 분석법의 기초와 응용
Basics & applications of TEM
신재원 박사(기초과학연구원)

■ 등록비(교재포함)

구 분	정회원	학생회원	비회원
사전등록 (3월 8일(금) 마감)	140,000원	80,000원	160,000원
현장등록 및 온라인등록 (3월 8일(금) 이후)	160,000원	100,000원	200,000원

특별세션(I): 석유화학산업 탄소중립을 위한 C1 기반 기초유분 생산

- 일시 2024년 3월 28일(목) 13:00~16:00
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 그랜드볼룸-II
- Organizer 채호정 박사(한국화학연구원)
- 주관 한국화학연구원

chair: 채호정 박사(한국화학연구원)

- 13:00('30) CT-SP1 탄소중립을 위한 석유화학산업에서의 메탄전환기술
박은덕 (아주대학교)
- 13:30('30) CT-SP2 메탄 직접 전환을 통한 에틸렌 제조 촉매 및 공정 기술
김용태 (한국화학연구원)
- 14:00('30) CT-SP3 Development of catalytic process technology for the BTX production through direct conversion of methane
김도희 (서울대학교)
- 14:30('30) CT-SP4 저온 플라즈마 기반 메탄 직접 전환을 통한 에틸렌+ 제조 촉매 및 공정 기술
하경수 (서강대학교)
- 15:00('30) CT-SP5 Aromatics synthesis from CO₂ hydrogenation on tandemly coupled metal oxides with zeolites
배종욱¹, 김태완², 박명준³, 이수출⁴, 남형석⁴, 박노국⁵, 김민규⁵
(¹성균관대학교, ²한국화학연구원, ³아주대학교, ⁴경북대학교, ⁵영남대학교)
- 15:30('30) CT-SP6 C1 기반 기초유분 생산 공정개발 전략
송인협, 백승준 (한국화학연구원)

특별세션(II): 중소중견 기업을 위한 산업 공정 열에너지 전기화 전환 기술 개발

- 일시 2024년 3월 28일(목) 13:00~16:00
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 그랜드볼룸-I
- Organizer 조동우 박사(한국에너지기술연구원)
- 주관 한국에너지기술연구원

chair: 이석구 박사(한국에너지기술연구원), 유경환 교수(순천대학교)

- 13:00('20) CT-SE1 산업공정 열에너지 전기화 전환을 위한 기술 개발
조동우¹, 이효진¹, 추고연¹, 백경철², 이병돈³, 김창곤⁴
(¹한국에너지기술연구원, ²삼우에코, ³전진엔텍, ⁴코카브)
- 13:20('20) CT-SE2 산업 열설비 전기화 전환용 탄화규소 발열체 개발
성영훈, 한인섭, 서두원, 황효정, 김세영, 이슬희 (한국에너지기술연구원)
- 13:40('20) CT-SE3 고급 자동화 소프트웨어 PROMONICON 개발과 상업화 및 적용 사례
성수환^{1,2}, 임창규^{1,2}, 김지윤¹, 이동호^{1,2}, 천유진² (¹경북대학교, ²썬티비비)
- 14:00('20) CT-SE4 열유체 기반 및 전기식 열교환기의 CFD 모델링 및 Fouling 효과 해석
박명준, 이준영 (아주대학교)
- 14:20('20) coffee break
- 14:40('20) CT-SE5 Development of a new data-driven one-shot controller design and tuning method
유경환¹, 김지윤², 성수환² (¹순천대학교, ²경북대학교)
- 15:00('20) CT-SE6 전기식 히터를 이용한 연속식 소둔로 내부의 열전달 해석
노성훈¹, 전택현¹, 정재원¹, 이후경², 백경철³, 강민중³
(¹고려대학교, ²한국에너지기술연구원, ³삼우에코)
- 15:20('20) CT-SE7 연소식 연속 소둔로의 무탄소 전기화를 위한 발열체 모델링 접근방법과 가열로 전열해석 연구
유재진^{1,2}, 정재원², 이후경^{1,3}
(¹한국에너지기술연구원, ²고려대학교, ³과학기술연합대학원대학교)
- 15:40('20) CT-SE8 연속 소둔로 내 전열 효율 향상을 위한 금속 리플렉터 평가
최진현^{1,2}, 이후경^{1,3}, 정재원², 이대근¹
(¹한국에너지기술연구원, ²고려대학교, ³과학기술연합대학원대학교)

특별세션(III): 신진연구자 Invited Talk

- 일시 2024년 3월 28일(목) 13:00~15:00
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 다울
- Organizer 이도연 교수(한밭대학교), 황선미 박사(한국에너지기술연구원)

chair: 이도연 교수(한밭대학교), 황선미 박사(한국에너지기술연구원)

- 13:00('15) CT-SY1 Design and Operation of Sustainable Production Systems
김보은 (국립공주대학교)
- 13:15('15) CT-SY2 Supercritical Fluid Technologies as a Platform Technology for Sustainable Future
윤태준 (서울대학교)
- 13:30('15) CT-SY3 수소 경제 활성화를 위한 알칼라인 수전해 핵심 요소 기술 개발
이해인, 김희수, 임동하 (한국생산기술연구원)
- 13:45('15) CT-SY4 수소 생산을 위한 WGS 반응용 Cu 기반 촉매 연구
장원준 (아주대학교)
- 14:00('15) CT-SY5 FER 제올라이트 내 교환된 Pd 이온의 수분의존적 산화환원 거동과 CO 산화반응 및 NO 흡착에 대한 영향
송인학 (고려대학교)
- 14:15('15) CT-SY6 온실가스의 지속 가능한 전환을 위한 촉매 및 반응기 개발 연구
김선규 (국립부경대학교)
- 14:30('15) CT-SY7 Catalyst design for methane direct conversion to olefin, aromatics, hydrogen, and carbon
한승주 (한국화학연구원)
- 14:45('15) CT-SY8 CaO 기반 고온 이산화탄소 흡착제 개발
윤형진, 김선형, 김종남, 범희태, 박종호 (한국에너지기술연구원)

특별세션(IV): 청정수소 생산을 위한 수전해 성능평가 센터 구축 및 운영기술 개발

- 일시 2024년 3월 28일(목) 13:00~16:20
- 장소 원뎀그랜드 부산 3층 마레
- Organizer 김수현 박사(고등기술연구원)
- 주관 고등기술연구원

chair: 추성훈 박사(한국수자원공사)

- 13:00('20) CT-SC1 수전해 전력 연계 조건에 따른 수소 생산원가 및 온실가스 배출량 분석
김수현, 유영돈, 서민혜 (고등기술연구원)
- 13:20('20) CT-SC2 수전해시스템 성능시험센터 구축 현황 및 운영방안
안양임¹, 오성용¹, 김수현² (¹전남테크노파크, ²고등기술연구원)
- 13:40('20) CT-SC3 알칼라인 수전해 셀/스택 부하변동 운전 시험 분석 방법 및 운전 특성
김완식, 임세진, 심준석, 정영한, 오준석, Asiya Mohassen Tamboli, 김창희
(한국에너지공과대학교)
- 14:00('20) CT-SC4 재생에너지 연계 고분자전해질(PEM) 수전해 운전 열화 특성 분석
박희영¹, 아나스타샤 보로노바¹, 서보라¹ (한국과학기술연구원)
- 14:20('20) CT-SC5 청정수소 생산설비 시험용 재생전력 공급 모사시스템 시험평가 프로파일 설계
오창열, 김기룡, 김태진 (한국전기연구원)
- 14:40('20) coffee break

chair: 서민혜 박사(고등기술연구원)

- 15:00('20) CT-SC6 PSCAD/EMTDC 기반의 MW급 수전해시스템용 E-BOP 전력변환기 모델링 및 성능평가에 대한 연구
심재용, 김동욱, 김용학 (한국전력공사)
- 15:20('20) CT-SC7 제주 풍력발전 출력제한 완화를 위한 수전해 및 에너지저장시스템(ESS) 운용방안 연구
김송미, 남현우, 추성훈 (한국수자원공사)
- 15:40('20) CT-SC8 수소충전소의 압축기 열화상태 추정을 위한 정상상태 성능평가 방법에 관한 연구
조성규, 류경하, 방혜진, 조유희, 이충성, 이태현, 김용진 (한국기계연구원)
- 16:00('20) CT-SC9 그린 수소 생산 시스템 위험성 평가: 종합적 분석
김영현, 이동균, 문일 (연세대학교)

구두발표: 자원순환 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 09:00~10:40
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 그랜드볼룸-I
- Organizer 한요셉 박사(한국지질자원연구원)

chair: 한요셉 박사(한국지질자원연구원)

- 09:00('20) CT-F1 탄소중립 실현을 위한 폐플라스틱 열분해-연소 복합공정 기술 개발
남형석¹, 황병욱² (¹경북대학교, ²한국에너지기술연구원)
- 09:20('20) CT-F2 Development of Selective Adsorbent Materials for the Recovery of Critical Minerals from Lithium Ion Battery Recycling industry wastewater
홍해진, 유희지, 김채린, 송지희 (충북대학교)
- 09:40('20) CT-F3 자원 순환 분야에서의 건식 공정 기술 활용
김영재 (인하대학교)
- 10:00('20) CT-F4 Development of biofilm control agents using natural products as alternatives to chemical substances
박정훈¹, 김한신², 김도형¹ (¹한국생산기술연구원, ²전북대학교)
- 10:20('20) CT-F5 Small water droplet removal from pyrolysis oil
최시영 (한국과학기술원)

구두발표: 에너지저장 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 09:00~11:15
- 장소 원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸-II
- Organizer 조중상 교수(충북대학교)

chair: 박민준 교수(부산대학교), 박상백 교수(충남대학교)

- 09:00('15) CT-B1 분무열분해 공정을 통한 친리튬성 나노결정 및 다공성 카본 복합 소재의 합성과 리튬 메탈 전극으로서의 전기화학적 특성 평가
김영범^{1,2}, 서효영¹, 강윤찬², 박기대¹ (¹충북대학교, ²고려대학교)
- 09:15('15) CT-B2 Chelating Amino Acid Additive for Both Zn and Mn Electrolyte of Zn-Mn Redox Flow Battery
장혁준, 박민준 (부산대학교)
- 09:30('15) CT-B3 Stabilization of Li₇La₃Zr₂O₁₂ solid electrolyte through Ga-based precipitates and the Ga-Au surface layer
김도훈, 천승훈, 권지민, 박시은, 박상백 (충남대학교)
- 09:45('15) CT-B4 Revealing Long-Term Stability and Remarkable Volumetric Capacity of Layered Siloxene Microparticles for Advanced Lithium-Ion Batteries
이태규¹, 박재우¹, Tamal Tahsin Khan¹, 소유진², 김윤호², 전영시¹
(¹전남대학교, ²한국화학연구원)
- 10:00('15) CT-B5 리튬-폴리설파이드 용출 억제를 위한 황화코발트 나노결정 복합 중공 및 다공성 탄소 나노 구조체 합성 및 리튬-황 전지 중간층으로 적용
조성우, 조중상 (충북대학교)
- 10:15('15) CT-B6 분무열분해 단일 공정을 통한 중공 구조의 CoS-C 복합 소재 합성 및 포타슘 이온 배터리 음극 소재로서의 전기화학적 특성 평가
조아연, 김영범, 박기대 (충북대학교)
- 10:30('15) CT-B7 Understanding the synergetic effect of liquid metals and in-situ polymerization for anode-free Lithium metal batteries
Minh Hai Nguyen, 문영민, 김희수, Nhat Minh Ngo, 박상백 (충남대학교)
- 10:45('15) CT-B8 FeS 나노 결정이 캡슐화 된 고다공성 카본 코팅 CNT 복합 소재의 합성 및 소듐 이온 배터리 음극 소재로서의 전기화학적 특성
서효영¹, 김영범², 박기대¹ (¹충북대학교, ²고려대학교)
- 11:00('15) CT-B9 A Physical Approach to Practical Applications of Lithium Metal Anode Using High-Flatness Cu Mesh Inducing Epitaxial Li Plating for All Solid-state Battery
박지한, 박민준 (부산대학교)

구두발표: 에너지전환 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 16:10~17:25
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 그랜드볼룸-II
- Organizer 라호원 박사(한국에너지기술연구원)

chair: 라호원 박사(한국에너지기술연구원), 남형석 교수(경북대학교)

- 16:10('15) CT-C1 Process Demonstration of Biogas Upgrading to Bimomethane Using Water Scrubbing Technology
김선형¹, 범희태¹, 김종남¹, 이찬현² (¹한국에너지기술연구원, ²울산대학교)
- 16:25('15) CT-C2 메탄 직접탈수소 방향족화 반응에서 Mo/HZSM-5의 Mo 산화물 활성화에 대한 Ni과 Mo의 물리적 혼합의 증진 효과
남기훈, 류혜원, 김도희 (서울대학교)
- 16:40('15) CT-C3 메탄 건식 개질 Ni/Al₂O₃ 촉매를 위한 알루미나 비드 특성 조절
황성범, 유은주, 최동섭, 김상빈, 김나연, 주지봉 (건국대학교)
- 16:55('15) CT-C4 CO₂ 수소화 메탄올 합성 연구 및 기본 공정설계
김태영, 유장, 장은호, 남형석, 우진혁, 이수출 (경북대학교)
- 17:10('15) CT-C5 운전 온도 및 체류 시간이 베트남 바가스의 반탄화 품질에 미치는 영향
안성윤, 홍세윤, 여채은, 성호진 (고등기술연구원)

구두발표: 청정융합 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 09:00~11:30
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 다울
- Organizer 장민 교수(광운대학교)

chair: 주지봉 교수(건국대학교), 김우열 교수(KENTECH)

- 09:00('20) CT-D1 Direct observation of photo/electrochemical ammonia oxidation for H₂ production
김우열 (한국에너지공과대학교)
- 09:20('20) CT-D2 고효율 암모니아 생산을 위한 Ru/BaCeO₃ 광촉매 개발
종초은^{1,2}, 장민^{1,2} (1플라즈마바이오효과학연구소, 2광운대학교)
- 09:40('20) CT-D3 Identification and characterization of Laccase-producing bacteria for potential remediation of reactive blue 19
Ghulam Mustafa, Muhammad Tariq Zahid, Nikita Yadav, Duck-Won Kim, 전병훈 (한양대학교)
- 10:00('15) CT-D4 Selective Cultivation of Electrode-attached Cell Enhances CO₂ Conversion to Acetate in Microbial Electrosynthesis
유지인, 김민수, 김은서, 김중래 (부산대학교)
- 10:15('20) CT-D5 Detection and disinfection of free-living amoeba in chlorinated drinking water
Muhammad Tariq Zahid, Ghulam Mustafa, 안현조, 전병훈 (한양대학교)
- 10:35('15) CT-D6 히트펌프 및 열교환기 내 금속 표면 서리 생성 방지를 위한 초발수 코팅 기술에 관한 연구
유현아, 김지율, 김상빈, 황성범, 주지봉 (건국대학교)
- 10:50('20) CT-D7 아르곤 제트 플라즈마와 Ru가 도핑된 Bi-Ce 복합체를 이용한 수중 GenX의 효과적인 제거
류백하^{1,2}, 종초은^{1,2}, 장민^{1,2} (1광운대학교, 2플라즈마바이오효과학연구소)
- 11:10('20) CT-D8 Combined treatment of high-strength fresh leachate from municipal solid waste landfill using coagulation-flocculation and fixed bed upflow anaerobic filter
Chejarla Venkatesh Reddy, 전병훈 (한양대학교)

구두발표: 대기환경 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 15:00~17:25
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 다울
- Organizer 박정훈 교수(동국대학교)

chair: 박정훈 교수(동국대학교)

- 15:00('15) CT-E1 Fe, Ru, Co 기반 유기금속 화합물을 이용한 선택적 NO 흡수 및 전기화학적 전환
정석현^{1,2}, 이현주^{1,2} (¹한국과학기술연구원, ²과학기술연합대학원대학교)
- 15:15('15) CT-E2 액체금속 시스템을 이용한 다중 과불화화합물(PFCs)의 제거 기술 개발
박중현¹, 유성진^{1,3}, 고지호¹, 권성완¹, 이우진¹, 신경호², 서명원³, 정인호², 엄현진¹,
이은도¹, 김휘동¹ (¹한국생산기술연구원, ²서울대학교, ³서울시립대학교)
- 15:30('15) CT-E3 Zn-modified K/Fe catalysts for olefin production through
CO₂ hydrogenation
정혜원^{1,2}, 신지원^{1,3}, 길기장^{1,2}, 정민혜¹, 정순관¹, 이기봉², 황선미¹
(¹한국에너지기술연구원, ²고려대학교, ³성균관대학교)
- 15:45('15) CT-E4 반도체/디스플레이 공정용 저-GWP 대체 가스 개발을 위한 이론계산 연구
최희철, 장현우, 박영춘, 박준형 (한국핵융합에너지연구원)
- 16:05('10) coffee break

chair: 이기봉 교수(고려대학교)

- 16:15('15) CT-E5 Evaluation of Zn contents on Zn_xCo_{1-x}Co₂O₄ spinel catalysts for
low-temperature N₂O catalytic decomposition with inhibitors
Hermawan Prajitno^{1,2}, 김정탁¹, 정민혜¹, 정순관¹, 황선미¹
(¹한국에너지기술연구원, ²과학기술연합대학원대학교)
- 16:30('20) CT-E6 음식물 폐기물 처리 공정에서 습식세정탑을 이용한 악취 물질 처리 효율 평가
오제범, 최석준, 임만규, 송선희, 김경태, 심은혜 (한국환경공단)
- 16:50('20) CT-E7 커피 찌꺼기 기반의 다공성 탄소 제조 및 이산화탄소 포집으로의 적용
이기봉 (고려대학교)

구두발표: 청정생산 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 09:00~10:50
- 장소 원뎀그랜드 부산 3층 마레
- Organizer 이홍식 박사(한국생산기술연구원)

chair: 이홍식 박사(한국생산기술연구원), 윤태준 교수(서울대학교)

- 09:00('30) CT-G1 (Invited Lecture) 초임계 수열 합성법을 활용한 저온 활성 나노촉매의 청정 생산
성기명 (수원대학교)
- 09:30('20) CT-G2 약한 탄소 간 결합을 이용한 고분자의 단량체 회귀식 화학적 재활용
서범준 (서울과학기술대학교)
- 09:50('20) CT-G3 ZrO₂-promoted bimetallic CuPd catalyst for direct one-pot conversion of
cellulose to Sustainable Aviation Fuel components
Deepak Verma, 김재훈 (성균관대학교)
- 10:10('20) CT-G4 High-Throughput, Multiscale Computational Screening of Metal-Organic
Frameworks for Xe/Kr Separation
Guobin Zhao¹, Yu Chen¹, 정용철 (부산대학교)
- 10:30('20) CT-G5 Water assisted Catalytic hydrodeoxygenation for efficient circular
economy: Upcycling of waste PET into sustainable fuels
Vishnu Murali, 제정호 (부산대학교)

구두발표: 수소 및 재생에너지 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 16:20~17:35
- 장소 원뎀그랜드 부산 3층 마레
- Organizer 고창현 교수(전남대학교)

chair: 이규복 교수(충남대학교)

- 16:20('15) CT-A1 Multilateral study on changes in surface properties of Ni-MgO-Al₂O₃ catalyst by controlling calcination condition for dry reforming of coke oven gas
류수진, 김범준, 박호룡, 노현석 (연세대학교)
- 16:35('15) CT-A2 Investigation of ruthenium loaded zeolite beta catalyst performance in vanillin hydrodeoxygenation yielding both monomeric and dimeric cycloalkanes
박재현¹, 김형주¹, 하정명², 김도희¹ (¹서울대학교, ²한국과학기술연구원)
- 16:50('15) CT-A3 High-throughput Screening of Hydrogen Storage in Metal Alkoxide Functionalized Covalent-Organic Frameworks (COF)
Yu Chen, 윤성현, 정용철 (부산대학교)
- 17:05('15) CT-A4 흡착 강화 증기 메탄 개질 반응에서 Ni/Al₂O₃ 촉매와 CaO 흡수제의 비율 및 배치에 따른 영향
최수정, 최동섭, 주지봉 (건국대학교)
- 17:20('15) CT-A5 다양한 담체에 따른 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응용 Ni계 촉매 연구
김민준¹, 공지현¹, 김동현¹, 김형주¹, 전경원², 장원준¹
(¹아주대학교, ²군산국립대학교)

구두발표: 청정일반 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 09:20~10:40
- 장소 원뎀그랜드 부산 3층 스텔라
- Organizer 이재원 박사(한국생산기술연구원)

chair: 조성현 교수(전북대학교)

- 09:20('20) CT-11 구리가 도핑된 SnO₂/TiO₂ 복합체: 안정성과 전자 활용도가 우수한 고효율 광촉매 GenX 제거
장석범¹, 종초은^{1,2}, 장 민^{1,2} (1광운대학교, 2플라즈마바이오과학연구소)
- 09:40('20) CT-12 플라즈마-전기화학적 질소 고정을 통한 암모니아 생성
황건덕^{1,2}, 장 민^{1,2} (1광운대학교, 2플라즈마바이오과학연구소)
- 10:00('20) CT-13 Desulfurized waste as a co-electron donor in an autotrophic denitrification system for nitrate removal from hydroponics wastewater
오상은, Anup Gurung, Suleman Shahzad, 강우창 (강원대학교)
- 10:20('20) CT-14 Functionalized lignin as eco-friendly as dopant for n- and p-type carbon nanotube based semiconductor
Ngoc Tuan Tran, 김희숙, 이현주 (한국과학기술연구원)

구두발표: 공정시스템 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 13:00~16:40
- 장소 원뎀그랜드 부산 3층 스텔라
- Organizer 유준 교수(부경대학교)

chair: 손상환 교수(부산대학교)

- 13:00('25) CT-H1 (Invited Lecture) Techno-economic Analysis and Life Cycle Assessment of Green NH₃ Synthesis
이보름 (전남대학교)
- 13:25('25) CT-H2 (Invited Lecture) 산업용 CO₂ 포집을 위한 저온 분리막 공정 기술 개발
이성훈¹, 남성찬¹, 백일현¹, 김진국² (¹한국에너지기술연구원, ²한양대학교)
- 13:50('20) CT-H3 수소, 암모니아, 그린메탄을 혼소를 통한 탄소 중립 발전: 개발 및 경제성 분석
조성현 (전북대학교)
- 14:10('20) CT-H4 분리막과 PSA 혼성공정을 통한 혼합 가스로부터 CO 분리에 대한 연구
조영주, 조정호 (국립공주대학교)
- 14:30('20) CT-H5 A Feasibility Study on the Vaporization of Liquefied Carbon Dioxide Due to Heat Transfer in Submerged Pipeline with Start-up, Shutdown and Abnormal Dynamic Simulation Scenarios Prediction
Daniel Owusu Asante, Russel J. Galanido, 박일수 조정호 (국립공주대학교)
- 14:50('20) CT-H6 Flexible operation of electrolysis plants for demand-side management
노고산 (충남대학교)
- 15:10('10) coffee break

chair: 안유찬 교수(계명대학교)

- 15:20('10) CT-H7 Design of lithium extraction process from desalination wastewater using waste heat from natural gas combined cycle
임중훈¹, 이혜정¹, 김정환² (¹한국생산기술연구원, ²연세대학교)
- 15:30('10) CT-H8 Optimizing the plastic waste supply chain network model for plastic waste sorting and recycling
천재필, 안유찬 (계명대학교)
- 15:40('10) CT-H9 BreakLab: A GUI Application for Adsorption and Sorption Enhanced Steam Methane Reforming Breakthrough Simulations
Hassan Muhammad, 윤성현, 정용철 (부산대학교)
- 15:50('10) CT-H10 Techno-Economic and Life Cycle Assessments of Decarbonization Strategies in Ethylene Production: South Korea Study Case
Eprillia Intan Fitriasari, J. Jay Liu (부경대학교)
- 16:00('10) CT-H11 Multi-scale Computational Screening of All-silica Zeolites for Adsorptive Separation of Ternary (H₂S/CO₂/CH₄) Mixtures
윤성현, Hassan Muhammad, 정용철 (부산대학교)
- 16:10('10) CT-H12 블루-그린수소 동시생산을 위한 Autothermal Reforming-Solid Oxide Electrolysis 통합 시스템 설계
조서연, 노원준, 이예진, 이인규 (부산대학교)
- 16:20('10) CT-H13 암모니아 열분해를 통한 고순도 수소 생산에 대한 연구
김진혁, 김동선, 조정호 (국립공주대학교)
- 16:30('10) CT-H14 공비점 분리제로써 벤젠을 사용한 무수 에탄올 생산을 위한 공비증류 공정의 최적화에 대한 연구
김진영^{1,2}, 조정호¹, 이병돈² (¹국립공주대학교, ²(주)전진엔텍)

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

포스터발표 I: 공정시스템 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 09:00~11:00
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비
- Organizer 가성빈 교수(울산대학교)

- PH-1 에너지 저장, Allam Cycle, 탄소 포집이 통합된 Near-Zero LNG 공급망
김윤건¹, 이인규², 박진우¹ (¹동국대학교, ²부산대학교)
- PH-2 ATR 기반 청정 수소 생산: 다단 증발법과 고분자 전해질막 수전해 활용
오세빈, 김태현, 박진우 (동국대학교)
- PH-3 Dual Mixed Refrigerants 천연가스 액화공정의 액화공기 냉열 활용 가능성에 관한 연구
신민규¹, 문하늘², 이인규², 박진우¹ (¹동국대학교, ²부산대학교)
- PH-4 천연가스 통합 시스템 구축 연구
김도희¹, 박시환², 이인규², 박진우¹ (¹동국대학교, ²부산대학교)
- PH-5 Development of an Artificial Intelligence Model for Sorting Plastic Waste
손준혁, 안유찬 (계명대학교)
- PH-6 Economic feasibility assessment of pyrolysis process using plastic waste
정효진, 안유찬 (계명대학교)
- PH-7 플라스틱 폐기물로부터 발생하는 미세플라스틱 독성 예측: GAMS 기반 평가와 데이터 분석
조승혁, 안유찬 (계명대학교)
- PH-8 Techno-economic assessment of plastic-to-energy by simulating combined cycle gas turbine
정수빈, 안유찬 (계명대학교)
- PH-9 바이오매스 가스화 공정에서의 수소생산 향상을 위한 이중 유동층 Ca-Looping 공정 시뮬레이션
박한샘, 박현준, 이하은, Jester Lih Jie Ling, Solanki Bhanupratap Singh, 안재원, 이시훈 (전북대학교)
- PH-10 Techno-Economic and Life Cycle Assessments of Decarbonization of Crude Distillation Unit (CDU) with CO₂ Utilization
Muhammad Ansub Khan, J. Jay Liu (부경대학교)
- PH-11 Integrated Naphtha Cracking Center for Decarbonization: A Techno-Economic and Life Cycle Assessment Approach
Wan Nurauni Afiqah Binti Wan Hamdan, J. Jay Liu (부경대학교)

- PH-12 Application of Deep Learning in the Prediction of Wind and Solar Power Curtailment
Saeideh Khakzadkelarijani, J. Jay Liu (부경대학교)
- PH-13 액화수소 냉열을 활용한 전력 생산 시스템: 피크 수요 완화를 위한 액화공기 저장 시스템의 결합
문하늘, 강두호, 이인규 (부산대학교)
- PH-14 Power-to-X 기반 재생에너지 저장 시스템의 설계 및 경제성 평가: 수소 및 메탄을 기반 에너지 저장
박시환, 정혜원, 이인규 (부산대학교)
- PH-15 블루 수소 생산에서 이산화탄소의 전기화학적 활용: 공정 설계 및 기술-경제성 평가
노원준, 안도영, 이인규 (부산대학교)
- PH-16 염색공정에서의 에너지, 엑서지 효율 및 경제성 향상을 위한 스텐터 장치의 폐열 활용 시스템 설계
김정현, 문하늘, 이인규 (부산대학교)
- PH-17 Simulation of membrane gas separation for blue hydrogen production with various membrane properties and multi-stage membrane processes
오선영, 구보람 (전남대학교)
- PH-18 Impact of side feeding on the thermally coupled reactor of the Steam Reforming of Methane and Tri Reforming of Methane
윤재성, 구보람 (전남대학교)
- PH-19 CFD simulations for DRM in a fixed bed reactor packed with eggshell and eggolk catalysts
손수원, 구보람 (전남대학교)
- PH-20 Life Cycle Assessment and Technoeconomic Analysis of Blue Hydrogen Production Using Membrane-Based CO₂ Separation and Oxygen Enrichment
윤지운¹, 유경환², 구보람¹ (1전남대학교, 2순천대학교)
- PH-21 Mathematical modeling and simulation of a rotating packed bed (RPB) absorber for MEA-based carbon capture
김동규, 구보람 (전남대학교)
- PH-22 Novel hybrid bioethanol production process integrated with PVC pyrolysis
윤승관^{1,2}, 박종현³, 권일한³, 조형태¹, 이재원¹ (1한국생산기술연구원, 2연세대학교, 3한양대학교)
- PH-23 Integrated clean hydrogen production process from fishing net waste using renewable energy
이혜정^{1,2}, 조형태¹, 김정환², 정성엽³, 이재원 (1한국생산기술연구원, 2연세대학교, 3경북대학교)
- PH-24 A Comprehensive Approach to Screening Metal-organic Frameworks for Green Hydrogen Purification from Ammonia
안나현^{1,2}, 이재원¹, 조형태¹, 김정환², 가성빈³ (1한국생산기술연구원, 2연세대학교, 3울산대학교)

- PH-25 전산유체역학을 활용한 마이크로버블 크기에 따른 PCC 입자 크기 예측 방법 개발
 유엽¹, 김정환², 이재원¹, 조형태³ (1한국생산기술연구원, 2연세대학교, 3경희대학교)
- PH-26 Appropriate technology : design, modeling and optimizing batch reverse osmosis (BRO) for inland desalination
 김건영, 박기호 (한양대학교)
- PH-27 Predicting permeate flux in forward osmosis desalination and analyzing results using tree-based machine learning model
 송인서¹, 문정우², 김준하², 박기호¹ (1한양대학교, 2광주과학기술원)
- PH-28 Integrated Design of Light Hydrocarbon Separation and Desalination Processes Utilizing LNG Cold Energy
 Jiye Park^{1,2}, Jinwoo Park³, Hyungtae Cho¹, Jaewon Lee¹, Junghwan Kim²
 (1한국생산기술연구원, 2연세대학교, 3동국대학교)
- PH-29 로스팅 공정을 활용한 산업 규모에서의 배터리 재활용 공정 비교: 경제성 평가 및 환경 영향 평가
 정소영, 김정동, 김민성, 김정환 (연세대학교)
- PH-30 CO₂ 및 SO_x 활용을 위한 소금간수와 패각 회수 공정 동시 최적화
 김선우¹, 주종호^{1,2}, 임종훈^{1,2}, 김정환¹ (1연세대학교, 2한국생산기술연구원)
- PH-31 Power-to-X 시스템을 위한 데이터 기반 모델 최적화: 태양광 발전 및 그리드 전기 가격의 불확실성 고려
 최현준, 김정동, 김영근, 김정환 (연세대학교)
- PH-32 플랜트 건설 지역에 따른 신재생에너지 기반의 Power-to-X 공정 변수 최적화
 김영근, 김정동, 최현준, 김정환 (1연세대학교)
- PH-33 CO₂ 수소화를 통한 light olefin 생산 공정의 생산 수율과 에너지 소비 효율을 동시에 고려한 multi-objective 최적화 및 분석
 김지훈, 손상환 (부산대학교)
- PH-34 Simulation & Economic Optimization of Trickle Bed Reactor with Quench Zone for Non-edible Vegetable Oil Hydrotreating
 이용현, 최재훈, 손상환 (부산대학교)
- PH-35 수정진동자를 이용한 라우릭산 용액의 결정화 속도 측정
 김병철, 김봉수, 허광선 (경남정보대학교)
- PH-36 중전압 직류배전(MVDC) 전력망기반 독립형 DTS 아키텍처 및 개념모델 설계에 관한 연구
 임채영, 안성율, 박영수 (고등기술연구원)
- PH-37 An Exploratory Study on the Implementation of Digital Twin Technology Using Artificial Intelligence Models
 Chae-Young Lim, Seong-Yool Ahn, Chae-Eun Yeo, Myung-Ok Lee, Yeong-Su Park, Ho-jin Sung (고등기술연구원)

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

포스터발표 I: 대기환경 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 09:00~11:00
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비
- Organizer 가성빈 교수(울산대학교)

- PE-1 LCA 방법론을 이용한 석탄화력발전에서 암모니아 혼소의 환경 영향성 분석
이하은, Jester Ling Lih Jie, 박한샘, 안재원, Solanki Bhanupratap Singh, 이시훈 (전북대학교)
- PE-2 Surface characteristics of KOH-treated commercial activated carbons applied for carbon dioxide and nitrogen adsorption
김진우¹, 홍웅길¹, 최태승^{1,2}, 윤순도³, 심왕근¹ (1순천대학교, 2S&M Cooperation, 3전남대학교)
- PE-3 태안 습식 포집 테스트베드를 활용한 10톤CO₂/일급 MAB 흡수제 기반 포집 기술의 실증 연구
김나운¹, 김정민¹, 박태성¹, 이승용¹, 정태성², 양진모², 유정균¹
(¹한국에너지기술연구원, ²한국서부발전)
- PE-4 Widening DeNO_x Temperature Window of Combined H₂-SCR and Urea-SCR Aftertreatment System for Efficient NO_x Reduction
이경석, 김철호, 이경복, 오미혜, 오광철 (한국자동차연구원)
- PE-5 저농도 CO₂ 저감을 위한 건식자열개질 성능 평가
김지현¹, 이진희¹, 이다혜¹, 권병찬², 박노국², 강석환¹ (1고등기술연구원, 2영남대학교)
- PE-6 De-NO_x를 위한 V₂O₅-TiO₂ 촉매의 제조 및 촉매 열처리 온도에 따른 반응특성
권세준¹, 권병찬¹, 박노국¹, 심지한² (1영남대학교, 2마이크로원)
- PE-7 XPS 분석에 의한 Mn-Cu계 오존 분해촉매의 표면 흡착산소 제거에 의한 사용 후 촉매 재생에 관한 연구
권민석¹, 권병찬¹, 김민규¹, 박노국¹, 강도형², 공종선³, 공성욱³
(1영남대학교, 2서울과학기술대학교, 3인우에코)
- PE-8 합금막의 특성을 이용한 수소 분리막 설계와 수소 투과 실험 연구
고민영, 신민창, 김시은, 박정훈 (동국대학교)
- PE-9 α-Al₂O₃ 지지체를 이용한 Pd-Ag-Cu 수소 분리막의 제조 및 기체투과 성능
한성우, 장학룡, 신민창, 황재연, 박정훈 (동국대학교)
- PE-10 CeO₂ 표면 개질이 CO₂ 포집 성능에 미치는 영향
황재연, 장학룡, 고민영, 박정훈 (동국대학교)
- PE-11 개시제 종류에 따른 항공유의 흡열분해 특성 연구
신민창¹, 정병훈², 한성우¹, 김시은¹, 박정훈¹ (1동국대학교, 2국방과학연구소)

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

포스터발표 I: 수소 및 재생에너지 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 09:00~11:00
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비
- Organizer 가성빈 교수(울산대학교)

- PA-1 Effects of temperature, particle size, and acid washing on bio-oil properties of cattle manure in a fluidized bed reactor
전재락¹, Syarif Hidayat¹, 김진수², 김승수¹ (1강원대학교, 2경희대학교)
- PA-2 Deoxygenation of dimethyl terephthalate as PET model compound over Bimetallic Ni-Fe/ γ -Al₂O₃ Catalysts
Syarif Hidayat¹, Thuan Anh Vo¹, 전재락¹, 김승수¹, 김진수² (1강원대학교, 2경희대학교)
- PA-3 Oleic acid의 탈산소 반응을 위한 CoMo 촉매 적용 연구
윤은수, 김창현, 유지민, 심재오 (원광대학교)
- PA-4 폐기물 유해 합성가스의 수성가스전이(WGS) 반응을 위한 CoFeOx촉매 개발 연구
임재학, 전이정, 윤채민, 심재오 (원광대학교)
- PA-5 Effect of hierarchical pore structure induced by dextrin addition on Ni-CeO₂-MgO-Al₂O₃ catalyst for dry reforming of methane
박호룡, 류수진, 김범준, 노현석 (연세대학교)
- PA-6 Highly active CuOx catalysts with Oxygen Vacancies supported by Heteroatom-Doped Porous Carbon for Electrocatalytic Nitrate reduction to Ammonia
맹준범, 장대회, 하중섭, 김원배 (포항공과대학교)
- PA-7 전기분해 과산화수소 생산 향상을 위한 polyaniline/cobalt 비율 및 플라즈마 처리 시간 최적화
레니샤^{1,2}, 종초은^{1,2}, 장 민^{1,2} (1플라즈마바이오효과연구소, 2광운대학교)
- PA-8 Effect of pH value on adsorption of Pd using ammonium hydroxide on acidified carbon black
천동환^{1,2}, 김예은^{1,3}, 제정호², 이만식¹ (1한국생산기술연구원, 2부산대학교, 3고려대학교)
- PA-9 Effect of carbon pretreatment of Pd/C catalysts for phenol hydrogenation
박하윤^{1,2}, 김예은^{1,3}, 제정호², 이만식¹ (1한국생산기술연구원, 2부산대학교, 3고려대학교)
- PA-10 유동층에서 Freeboard 높이 및 유동화 속도에 따른 입자 분리 연구
최동섭, 김나연, 김덕우, 주지봉 (건국대학교)

PA-11 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응에서 지지체 및 조촉매에 따른 영향
공지현, 김민주, 문기태, 오유민, 장원준 (아주대학교)

PA-12 바이오매스 고품위화 연료 제조를 위한 오일 코팅 비교 연구
이다혜, 김지현, 김진호 (고등기술연구원)

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회 포스터발표 I: 에너지전환 특별심포지엄

■ 일시 2024년 3월 28일(목) 09:00~11:00

■ 장소 원뎀그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비

■ Organizer 가성빈 교수(울산대학교)

PC-1 NiO-Mo/ZSM-5 성형 촉매를 이용한 methane 탈수소방향족화 반응
원세연¹, 김예희¹, 홍수연¹, 이중엽¹, 이시문¹, 김도희², 전종기¹
(¹국립공주대학교, ²서울대학교)

PC-2 CO₂ to Methanol 합성을 위한 기초연구
장은호, 김태영, 유장, 우진혁, 이수출, 남형석 (경북대학교)

PC-3 CaO 첨가를 활용한 페타이어 열분해유의 황 저감 실험
최수현^{1,2}, 김종수¹, 윤주형¹, 김형진¹, 최수현¹ 서명원², 정수화¹
(¹한국생산기술연구원, ²서울시립대학교)

PC-4 이산화탄소를 이용한 에탄 산화 탈수소화 공정용 La-Cr계 촉매 연구
백승훈, 박상준, 이루세, 김향동, 손정민 (전북대학교)

PC-5 Influence of Sb-doping on Sb-SnO₂/IrTaO_x/Ti Electrode for Selective Chlorine Evolution : Study of Competitive Oxygen Evolution and Chlorine Evolution
전은송, 박이슬 (부경대학교)

PC-6 철계 촉매의 성형 내구성 증진을 위한 Fe계 첨가제 효과
권병찬¹, 장정규¹, 김민규¹, 박노국¹, 이승중², 윤용승² (¹영남대학교, ²고등기술연구원)

PC-7 공침법에 의한 메탄올 및 방향족 화합물 합성용 Cu-Zn-Al계 촉매의 제조 및 성형
권병찬¹, 차원락¹, 장정규¹, 김민규¹, 박노국¹, 김병기², 배종욱², 김태완³, 채호정³
(¹영남대학교, ²성균관대학교, ³한국화학연구원)

PC-8 메탄 건식 개질 Ni계 복합 산화물 촉매의 반응물과 첨가물에 의한 반응성
장정규¹, 권병찬¹, 박노국¹, 김민규¹, 강도형² (¹영남대학교, ²서울과학기술대학교)

PC-9 CO₂ 수소화에 의한 메탄올 합성용 Cu-Zn-Al계 촉매에 Mg첨가 영향
차원락¹, 장정규¹, 권병찬¹, 김민규¹, 박노국¹, 이승우¹, 김병기², 배종욱², 채호정³
(¹영남대학교, ²성균관대학교, ³한국화학연구원)

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회
포스터발표 I: 특별세션(I):
석유화학산업 탄소중립을 위한 C1 기반 기초유분 생산

- 일시 2024년 3월 28일(목) 09:00~11:00
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비
- Organizer 가성빈 교수(울산대학교)

- PJ-1 Highly Stable Platinum Nanoparticle Exsolution on Lanthanum Iron Oxide to Enhance Water-Gas Shift Reaction Performance
김윤경, 장명곤, 한정우 (서울대학교)
- PJ-2 The DFT study on enhancing the performance of non-oxidative coupling of methane with TiO₂ catalysts
임현애¹, 김윤경², 김주찬³, Hoang Phuong Nguyen³, 임채성², 김동현³, 장명곤², 하경수³, 한정우² (¹포항공과대학교, ²서울대학교, ³서강대학교)
- PJ-3 Design of a tandem catalyst for light olefin production from CO₂ and H₂: Screening of mixed oxides on methanol conversion
전우송^{1,2}, Mansurbek Urol ugli Abdullaev³, 김성탁², 김용태^{1,3}
(¹한국화학연구원, ²충남대학교, ³과학기술연합대학원대학교)
- PJ-4 Bimetallic Mo/HZSM-5 catalysts for methane dehydroaromatization
이진주^{1,2}, 이성우¹, 배윤상³, 김용태^{1,3} (¹한국화학연구원, ²연세대학교, ³과학기술연합대학원대학교)
- PJ-5 Controlling catalytic and reaction factors for regulating the distribution of aromatic products in n-butane aromatization over Ga/HZSM-5
노장연, 임용현, 류혜원, 김도희 (서울대학교)

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회
포스터발표 II: 에너지저장 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 13:00~15:00
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비
- Organizer 가성빈 교수(울산대학교)

- PB-1 Revolutionizing Energy Storage: Cu(OH)₂-CuO Nanowires on Cu Foil with Hydrate Formation for Superior Discharge Capacity
Srinivasan Alagar, 김은미, Chandra Sekhar Rout, 정상문 (충북대학교)

- PB-2 **고엔트로피 금속산화물을 이용한 리튬황전지의 전기화학적 특성**
김은미, Xuang Liang Wang, 유호진, 정상문 (충북대학교)
- PB-3 **Exploring Catalytic Cooperation of NixCo_{1-x}S₂ Electrocatalyst System on N-doped Carbon Nanotubes for Rechargeable Li-S Battery Cathode**
지준혁, 박민선, 홍서찬, 박관현, 김원배 (포항공과대학교)
- PB-4 **Anion Storing, Oxygen Vacancy Incorporated Perovskite Oxide Composites for High-Performance Aqueous Dual Ion Hybrid Supercapacitors**
Taehun Kang¹, Puritut Nakhnivej^{1,2}, Kyung Jae Wang¹, Yu Chen³, Yongchul G Chung³, Ho Seok Park (¹성균관대학교, ²University of Warwick, ³부산대학교)
- PB-5 **Electrospray-Based Production of Energy Storage Device Electrode**
김현철, 박호석 (성균관대학교)
- PB-6 **수계 아연 전지의 덴드라이트 성장 억제를 위한 V₂O₅ 코팅**
이태현, 이지원, 엄지현 (국립공주대학교)
- PB-7 **수계 아연 전지 안정화에 대한 PVA와 PVP의 시너지 효과**
이예나, 전민혁, 엄지현 (국립공주대학교)
- PB-8 **수계 아연 전지 안정화를 위한 친수성 고분자 층 도입**
김수연, 조준희, 엄지현 (국립공주대학교)
- PB-9 **피치-유래 흑연질 탄소가 코팅된 실리콘/탄소 복합 마이크로스피어의 합성 및 리튬이차전지 음극으로의 적용**
오건희, 조중상 (충북대학교)
- PB-10 **수계 바인더에 따른 리튬황 전지의 전기화학적 특성**
한진석, 박강환, 김재광 (청주대학교)
- PB-11 **바이오매스 기반 도전재를 적용한 유기 라디칼 전지 전기화학적 특성**
김채경, 김재광 (청주대학교)
- PB-12 **수계 아연 이온 전지용 세라믹 복합 겔 폴리머 전해질**
유승민, 김재광 (청주대학교)
- PB-13 **Li_{1.3}Al_{0.3}Ti_{1.7}(PO₄)₃/PEO 고분자 이종층 전해질을 사용한 Li-CO₂ 전지**
임학범, 장지훈, 김재광 (청주대학교)
- PB-14 **리튬 이차전지용 전극 제작을 위한 1-Methyl-2-pyrrolidinone 대체 친환경 용매 연구**
강채은, 김재광 (청주대학교)
- PB-15 **자가 충전 통합 에너지 모듈 : 페로브스카이트 태양전지 및 리튬-황 배터리의 우수한 광전 저장 효율 특성**
박주은, 김재광 (청주대학교)

- PB-16 분무열분해 공정을 통한 코발트-황-셀레늄 다중 음이온 요크셀 입자 합성 및 소듐 이온 배터리 전기화학 특성 평가
김태하¹, 김영범^{1,2}, 이연오¹, 박기대¹ (¹충북대학교, ²고려대학교)
- PB-17 요크 셀 구조의 카본 셀 두께 조절을 통한 소듐 이온배터리의 음극 소재로서의 니켈 코발트 셀레나이드 카본 요크 셀 합성
최재현, 서효영, 박건희, 박기대 (충북대학교)
- PB-18 분무열분해 공정을 활용한 3차원 계층구조의 코발트-철 셀렌화물 그래핀-탄소나노튜브 복합체 합성 및 포타슘 이온 배터리 음극 특성 평가
김상현, 김태하, 박기대 (충북대학교)
- PB-19 Fabrication of m-SiNPs@C composite with a sturdy carbon coating layer for lithium-ion batteries
정은하, 여규찬, 채수중, 고민성 (부경대학교)
- PB-20 리튬이차전지용 LiMnO₄ 소결 온도에 따른 양극활물질 합성과 전기화학적 특성
김예원, 정은혁, 김병철, 김봉수, 허광선 (경남정보대학교)
- PB-21 리튬이차전지용 LiCoO₂ 소결 온도에 따른 양극활물질 합성과 전기화학적 특성
신준오, 정은혁, 김병철, 김봉수, 허광선 (경남정보대학교)
- PB-22 리튬이차전지용 LiFePO₄ 소결 온도에 따른 양극활물질 합성과 전기화학적 특성
강민승, 신준오, 김예원, 정은혁, 김병철, 김봉수, 허광선 (경남정보대학교)
- PB-23 Lithiophilic Si₃N₄ copper current collector for High Energy Density and ultra-thin Lithium metal Batteries
강지현, 박민준 (부산대학교)
- PB-24 Preparation of Flexible Transparent Conducting Films from Well-dispersed Solution of Single-Walled Carbon Nanotube Using Furfuryl Functionalized Polymers
Bong-Soo Kim, Byung Chul Kim, Kwangsun Huh
(Kyungnam College of Information & Technology)

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회 포스터발표 II: 자원순환 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 13:00~15:00
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비
- Organizer 가성빈 교수(울산대학교)

- PF-1 Polystyrene 열분해 유의 수소화 분해 연구
김규태, 박서영, 정재철, 천현준, 윤동준, 오지현, 이정규 (동아대학교)

- PF-2 NCM계 페리튬이차전지 양극활물질내 알루미늄 제거에 대한 알칼리 농도의 영향
구수진¹, 이민지² (¹한국폴리텍대학, ²에코하이닉스(주))
- PF-3 하수슬러지의 가스화 고품질 잔재물의 순환자원으로서 잠재성 검토: 물리적 선별의 필요
김동현¹, 배성현², 김성민¹, 한성수¹, 한요셉^{1,2}, 권기운³
(¹한국지질자원연구원, ²과학기술연합대학원대학교, ³수도권매립지관리공사)
- PF-4 알칼리 활성화 화학공장슬러지 기반 바이오차를 이용한 수중 Ciprofloxacin 고효율 흡착
이규빈, 박채린, 장형준, 홍혜진 (충북대학교)
- PF-5 안티모니가 도핑된 수소 타이타늄 산화물의 염호수 리튬 추출 적용성 평가
장형준, 유희지, 이규빈, 홍혜진 (충북대학교)

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회 포스터발표 II: 청정생산 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 13:00~15:00
- 장소 원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비
- Organizer 가성빈 교수(울산대학교)

- PG-1 플라즈마 활성화 황산염 라디칼에 의한 제지 공장 폐수 내 TOC의 효과적이고 경제적인 탈염화
노하슬리나^{1,2}, 종초은^{1,2}, 장민^{1,2} (¹플라즈마바이오과학연구소, ²광운대학교)
- PG-2 메조기공 텅스텐 촉매를 이용한 bisphenol F 합성
이중엽, 황서연, 박영서, 김예희, 원세연, 홍수연, 전종기 (국립공주대학교)
- PG-3 외부 표면 산점을 제어한 제올라이트 촉매를 이용한 Bisphenol F 합성
이시몬, 김예희, 원세연, 박영서, 황서연, 홍수연, 전종기 (국립공주대학교)
- PG-4 헤테로폴리산/Y-제올라이트 촉매를 이용한 Bisphenol F 합성
김예희, 박영서, 황서연, 원세연, 홍수연, 전종기 (국립공주대학교)
- PG-5 이타콘산의 수열 탈산소화 반응에 의한 메타크릴산의 제조
이홍식¹, 권도희^{1,2}, 송봉근² (¹한국생산기술연구원, ²홍익대학교)
- PG-6 플라스틱 식품용기의 소각 시 발생하는 다환방향족탄화수소의 정량적 분석
이홍식 (한국생산기술연구원)
- PG-7 탄소중립 이행을 위한 글로벌 CCU 기술개발 동향 분석
강태진, 이진희, 이다혜, 강석환 (고등기술연구원)
- PG-8 염수에서의 리튬 추출을 위한 최적 공정 설계 프레임워크
최종도¹, 임종훈^{1,2}, 김정훈¹, 김정환¹ (¹연세대학교, ²한국생산기술연구원)

PG-9 Hidden role of the defected active sites in dehydration of Lactic acid
김지찬, 제정호 (부산대학교)

PG-10 Electrochemical CO₂ conversion using metal supported on n-doped hierarchically porous carbon catalysts at bio-compatible conditions
김민경, 제정호 (부산대학교)

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회 포스터발표 II: 청정융합 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 13:00~15:00
- 장소 원뎀그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비
- Organizer 가성빈 교수(울산대학교)

PD-1 Enhanced photocatalytic nitrogen fixation *via* Ru-doping of Bi₄Ti₃O₁₂
Swe Jyan Teh^{1,3}, Choe Earn Choong^{1,2}, Min Jang^{1,2}
(¹광운대학교, ²플라즈마바이오과학연구소, ³Methodist College Kuala Lumpur)

PD-2 The effects of bisphenol AP on microalgae: Ecotoxicity, removal mechanisms, and transcriptomic analysis
안현조, Nikita Yadav, Rahul Tanpure, 전병훈 (한양대학교)

PD-3 Intermittent applied potential promotes selective enrichment of electroactive microbial community to convert CO₂ to CH₄ in microbial electrosynthesis cell
김민수, Shuwei Li, 공다슬, 김은서, 손하주, 이창협, 김중래 (부산대학교)

PD-4 Employing *Klebsiella pneumoniae* L17 alongside Zero-Valent Iron and Electrodes for the Conversion of Crude Glycerol to 1,3-Propanediol
공다슬, 김중래 (부산대학교)

PD-5 Enhancement of 1,3-Propanediol Bio-production from Glycerol through Metallic-Electron Donation System (MDS) Using Zero-Valent Iron and *Klebsiella pneumoniae* L17
공다슬, 김중래 (부산대학교)

PD-6 Deciphering the Mechanism of Zero-Valent Iron Oxidation and Microbial Metabolic Transition in Glycerol-to-1,3-Propanediol Conversion
공다슬, 김중래 (부산대학교)

PD-7 Electrodeposited polyaniline on graphite felt (PANI/GF) improves start-up time and acetate productivity of microbial electrosynthesis cell
김은서, 김민수, Shuwei Li, 이창협, 김중래 (부산대학교)

- PD-8 Redox mediated Biosensor: cellular redox stress driven biosensing of organic pollutant Triclosan
Himanshu Khandelwal, Sakuntala Mutyala, 김민수, 김중래 (부산대학교)
- PD-9 CRISPRi-mediated *P. putida* engineering for improved succinate production from acetate under microaerobic conditions
Mutyala Sakuntala, Himanshu Khandelwal, 공다슬, 김중래 (부산대학교)
- PD-10 A nickel-plated carbon paper electrode stably deposited with Prussian Blue for efficient removal and reuse of Cs ions
윤원경, 박이슬 (부경대학교)

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회 포스터발표 II: 청정일반 특별심포지엄

- 일시 2024년 3월 28일(목) 13:00~15:00
- 장소 윈덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비
- Organizer 가성빈 교수(울산대학교)

- PI-1 머신러닝 기반 식품공장 에너지 사용량 예측 모델의 예측 정확도 향상을 위한 하이퍼파라미터 최적화 기법 선정
박종혁, 이형아, 조우진, 김동주, 구재회 (고등기술연구원)
- PI-2 엣지 디바이스를 활용한 AI 시스템 구축
조우진, 이형아, 김동주, 구재회 (고등기술연구원)
- PI-3 데이터 이상 감지 알림 시스템 설계 및 개발
조우진, 김동주, 이형아, 여채은, 구재회 (고등기술연구원)
- PI-4 에너지 네트워크 적용을 위한 축분 기반 반탄화 고형연료 특성 연구
김동주, 박종혁, 구재회 (고등기술연구원)
- PI-5 A Study on the Prediction of LNG Usage in Food Factory applying Bayesian Optimization-based Hyperparameter Tuning
이형아, 김동주, 조우진, 박종혁, 여채은, 구재회 (고등기술연구원)
- PI-6 식품가공공정 에너지절감 기술 적용 FEMS 개발에 관한 연구
여채은, 김동주, 조우진, 이형아, 구재회 (고등기술연구원)
- PI-7 폐차 혼합 플라스틱의 열분해 동향
김형진^{1,2}, 최수현¹, 윤주형¹, 김종수¹, 천승규², 정수화¹
(¹한국생산기술연구원, ²서울과학기술대학교)

- PI-8 폐 타이어 열분해 오일을 이용한 개질 아스팔트 바인더 연구
김중수, 김형진, 윤주형, 최수현, 정수화 (한국생산기술연구원)
- PI-9 LCA 기반 알루미늄 제품의 환경영향 분석
안희경 (한국생산기술연구원)
- PI-10 Leveraging Machine Learning to Predict the Atmospheric Lifetime and the Global Warming Potential (GWP) of SF₆ Replacement Gases
김해원, Guobin Zhao, 양창원, 정용철 (부산대학교)
- PI-11 펜톤 산화에 의한 TPH 오염 토양 정화를 위한 매개변수 최적화
윤소연^{1,2}, 누하슬리나^{1,2}, 장석범^{1,2}, 황건덕^{1,2}, 종초은^{1,2}, 장 민^{1,2}
(¹광운대학교, ²플라즈마바이오효과연구소)
- PI-12 불균일계 H₃PO₄ 촉매를 이용한 프로필렌 수화반응
홍수연, 심민석, 이승희, 전종기 (국립공주대학교)
- PI-13 Egg-shell type Cu/γ-Al₂O₃ 촉매를 이용한 고농도 N₂O 저감에 관한 연구
이은한^{1,2}, 곽인현^{1,3}, 변세기¹, 서두원¹, 황효정¹, 정의순⁴, 김한성², 이신근¹
(¹한국에너지기술연구원, ²연세대학교, ³고려대학교, ⁴유니셈)
- PI-14 저급 유지로부터 바이오연료 생산을 위한 수첨 탈산소 반응에 운전조건이 미치는 영향
한기보, 장정희, 이지은, 장현성, 윤여진 (고등기술연구원)
- PI-15 스팀을 이용한 폐타이어 열분해 오일의 황 저감 및 개질화
최수현, 윤주형, 김중수, 김형진, 정수화 (한국생산기술연구원)
- PI-16 비산재를 이용한 직접수성탄산화 반응 특성
박동규¹, 한승만², 최창식¹ (¹고등기술연구원, ²아주대학교)
- PI-17 폐어망 유래 재생소재를 이용한 열전도성 복합소재 제조 및 특성 연구
김준석, 장은진, 홍민중, 김태현, 오미혜, 윤여성 (한국자동차연구원)
- PI-18 Start-up Performance of Iron-wool in Microbial Electrolysis Cell (MEC) for Hydrogenotrophic Denitrification (HD)
오상은, Aparna Sharma, Syed Ejaz Hussain Mehdi, Suleman Shahzad (강원대학교)
- PI-19 Comparison of lettuce-based aquaponic and hydroponic systems for overall plant growth, nutrient efficiency, and environmental impacts
오상은, Syed Ejaz Hussain Mehdi, Aparna Sharma, 강우창, Suleman Shahzad (강원대학교)
- PI-20 Assessment of the toxicity of water pollution caused by heavy metals is based on a simplified measurement of oxygen consumption with a nitrifying bacterial bioassay
오상은, Suleman Shahzad, Aparna Sharma, Anup Gurung, Ejaz Hussain, 강우창 (강원대학교)

- PI-21 Calcium peroxide (CaO₂) granule-based Advanced oxidation process for the disinfection of aqueous solution
오상은, Fida Hussain, Anup Gurung, Syed Ejaz Hussain Mehdi, Aparna Sharma, Suleman Shahzad, 강우창 (강원대학교)
- PI-22 CCU 기반 폴리올 합성 기술의 환경성평가 검토
이다혜¹, 이해성¹, 김진호¹, 김지현¹, 강석환¹, 김준우² (¹고등기술연구원, ²포항산업과학연구원)
- PI-23 산점 특성이 다른 Al₂O₃를 활용한 Ni/Al₂O₃ 촉매의 메탄 건식 개질 반응 연구
이다해, 이재경 (부경대학교)
- PI-24 메탄 건식 개질 반응에서 Ni/Al₂O₃ 촉매의 조촉매 영향
서현명, 이재경 (부경대학교)
- PI-25 히알루론산을 이용한 마이크로 입자 제조
이철우, 우승한 (한밭대학교)
- PI-26 아민의 분자 특성을 이용한 인공지능 기반 단일 아민 수용액 이산화탄소 흡수 성능 예측 모델 개발
정재빈¹, 주종효^{1,2}, 김정환¹ (¹연세대학교, ²한국생산기술연구원)
- PI-27 청정 흡착제 평가를 위한 웹어플리케이션
진석환, 진현석, 이예은, 가성빈 (울산대학교)
- PI-28 From By-product to Benefit: Supercritical CO₂ Extraction of Valuable Compounds from Korean Rockfish Waste
최민서, 박진석, 이상민, 정정화, 전병수 (부경대학교)
- PI-29 Evaluation of Physicochemical and Bioactive Properties of Makgeolli Ground Extract Treated with Supercritical and Subcritical Fluids
김장우, 박진석, 한지민, 박신원, 전병수 (부경대학교)

홍보전시회 참여 업체

동성캠텍	홈페이지	https://www.chemgc.com
	전화	051-757-1770
	업체 소개 및 전시품목	<ul style="list-style-type: none"> - 업체소개: 동성캠텍은 국내외 장비 업체와 Corwork하여 분석실을 갖추고 분석장비 AS 기술지원, 분리 분석 장비의 임대, 판매를 하고 있음. 주로 Agilent GC, HPLC, GC-MSD, ICP-MS 등 분석 장비에 대한 판매와 전국적인 기술지원 수리 및 분석기기의 부품 공급 및 교육 등 화학분석 응용지원 전문 회사. 국공립 업체와 해외 진출 기업의 현지 실험실 장비 설치 교육 및 분석기 유지관리를 하고 있음. - 전시품목: GC Valve system, HPLC, Phenomenex. Acc. 소모품
(주)엘아이비에너지	홈페이지	www.livenergy.co.kr
	전화	051-623-0320
	업체 소개 및 전시품목	<ul style="list-style-type: none"> - 업체 소개: 다년간의 이차전지 연구 경력을 기반으로 2018년 이차전지 전문기업으로 설립되어 고객 사용 환경과 needs가 반영된 이차전지 LAB MODELING 구축 및 연구, 이론, 실습 교육을 제공하고 있음. 또한, 고객 맞춤형 연구장비 설계 및 제작으로 인하여 이차전지 실험 장비분야를 선도하고 있음. 이차전지 사업분야에 지속적인 개발과 투자로 VISION과 성장을 확보하고 있음. - 전시품목: 제품 홍보브로슈어
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, UHPLC, WPS를 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: GC, TQ GC/MS, WPS

본 사업은 기획재정부의 복권기금 및 과학기술정보통신부의 과학기술진흥 기금으로 추진되어 사회적 가치 실현과 국가 과학기술 발전에 기여합니다.

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

초청강연

2024년 3월 28일(목) 11:30~12:00
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸-I

탄소중립과 순환경제

박진호

한국에너지공과대학교

21세기 들어 인류에게 다가온 가장 큰 위협은 단연코 기후변화 위기라 하겠다. 기후변화가 인간의 경제 활동으로부터 초래된 온실가스에 의한 것이란 사실은 과학기술적으로 이미 입증되었고 따라서 전 세계 대부분 국가들은 기후변화 대응과 지구온도 1.5도씨 이상 상승을 막고자 탄소중립을 선언하고 있다. 온실 가스는 인간의 모든 의식주 및 경제 활동으로부터 초래되므로 탄소중립을 구현하기 위해서는 인간 활동과 관련된 모든 산업 분야와 소비 분야에서의 총체적인 변화를 수반되어야 하는 실정이다. 이는 한편 새로운 기회 요인으로도 작용하고 있다. 또한 Take-Make-Waste라는 선형경제(Linear Economy)의 틀을 벗어나 진정한 의미의 순환경제(Circular Economy)를 이룩하는 것도 우리에게 다가온 숙제이다. 본 강연에서는 탄소중립과 순환경제라는 큰 주제를 먼저 제시하고 이로부터 파생되는 새로운 기회들에 대해 토론하고자 한다.

특별세션(I):
석유화학산업 탄소중립을 위한
C1 기반 기초유분 생산
(구두발표)

2024년 3월 28일(목) 13:00~16:00
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸-II

탄소중립을 위한 석유화학산업에서의 메탄전환기술

박은덕*

아주대학교 화학공학과/대학원 에너지시스템학과

Methane Conversion Technologies in Petrochemical Industry for Carbon Neutrality

Eun Duck Park*

Department of Chemical Engineering/Department of Energy Systems Research, Ajou University

탄소중립은 모든 산업부문에서 구현해야 할 주요 이슈로 떠오르고 있다. 특히 탄소배출이 많은 철강산업과 석유화학산업의 경우 탄소중립을 구현하기 위한 다각도의 노력이 요구되는 실정이다. 석유화학산업의 경우 납사 열분해 공정에서 발생하는 이산화탄소가 주요 발생원으로 지목되며 이를 해결하기 위한 산업부 과제가 2023년에 출범하여 진행중이다. 본 발표에서는 석유화학부문에서 탄소중립을 달성함에 있어서 다양한 메탄전환기술을 살펴보고 이를 바탕으로 시기별 탄소중립에 기여하는 기술개발을 논하고자 한다.

메탄 직접 전환을 통한 에틸렌 제조 촉매 및 공정 기술

김용태
한국화학연구원

Catalyst and process development for ethylene production via direct conversion of methane

Yong Tae Kim
Korea Research Institute of Chemical Technology

탄소집약도가 낮은 화석원료를 사용하는 석유화학 산업의 공정개선은 우리나라의 탄소중립 사회 진입을 위해 필수적이다. 대표적인 열원인 메탄은 대기 배출 시 온실효과가 높을 뿐 아니라 연소 시 이산화탄소를 직접 배출하기 때문에 산업적으로 효율적인 활용이 필요하다. 그중, 메탄을 산화제 없이 탄화수소로 전환하는 기술은 반응 중 이산화탄소를 발생하지 않고 부산물로 수소를 생산할 수 있어 탄소중립 기술로 각광받고 있다. 반면, 화학적으로 안정한 메탄을 최소한의 에너지로 전환할 수 있는 선택적 화학전환 기술의 돌파구가 필요하다. 촉매와 반응기의 적절한 설계는 열역학 내에서 원하는 생성물로의 반응속도를 조절할 수 있어, 에너지 효율 및 탄소효율을 개선하기 위한 방법으로 활용이 가능하다.

본 발표에서는 메탄의 비산화 전환을 위한 촉매 및 반응기 설계에 대하여 논의하려 한다. 에틸렌의 선택도와 수율의 절충안을 살펴보고, 이를 효율적으로 최적화할 수 있는 방법을 살펴보려 한다. 또한, 확대규모의 기술 개발을 통해 메탄의 직접 전환 기술의 나아가야 할 방향에 논의하려 한다.

Development of catalytic process technology for the BTX production through direct conversion of methane

Do Heui Kim

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

As the global warming due to greenhouse gases has become one of the most important worldwide social issues, the demand of technology for producing benzene, toluene, and xylene (BTX), which are the basic petrochemicals, through direct conversion of methane is increasing steadily. Despite extensive research on BTX production through methane dehydroaromatization (MDA) reaction, commercialization remains challenging due to the low reactivity of methane and low catalyst durability.



We are conducting research aimed at operating a pilot process using the MDA reaction. For the design of pilot-scale processes, catalyst development to enhance activity, stability, and regenerability, as well as shaping technology to scale up catalysts, are necessary. Additionally, designing and constructing reactors capable of withstanding high-temperature reaction conditions and achieving the highest efficiency are crucial.

We newly introduced the ball milling method which can be a solvent-free and easy-to-scale-up method for the synthesis of Mo/ZSM-5. The method not only significantly simplified the manufacturing process but also increased the BTX yield by approximately 10% compared to the conventional wetness impregnation method. Furthermore, catalyst improvements through metal promoter introduction, silylation, and other post-treatment are conducted to achieve higher activity. The research is also being conducted on the shaping of catalyst with strong physical properties to bear the weight of catalysts and minimal performance degradation.

저온 플라즈마 기반 메탄 직접 전환을 통한 에틸렌+ 제조 촉매 및 공정 기술

하경수*

서강대학교 화공생명공학과

Development of Catalyst and Process for Ethylene+ through Low Temperature Plasma Method

Kyoung-Su Ha*

Dept. Chem. Biomolecul. Eng., Sogang Univ.

부생가스 혹은 폐가스 유래 메탄 함유 피드를 저온 플라즈마 작동형 촉매를 활용하여 에틸렌+ 물질로 전환하는 기술에 대하여 연구 성과를 발표하고자 한다. 여기서 에틸렌+는 저온 플라즈마 촉매 반응에서 생성되는 경질탄화수소를 모두 이르는 용어이며, 대표적인 생성물이 에틸렌이다.^{1,2)} 본 기술은 서강대의 저온 플라즈마 전환기술을 중심으로, 촉매소재기술, 계산화학 기반 반응경로 추적기술, 공정설계 기술 등에 전문성을 가진 연구기관들이 공동연구를 통하여 벤치 및 파일럿 스케일 단계까지 제조기술을 개발하는 과제로 구성이 되어 있다. 이번 발표는 1차년도 연구성과인 벤치 반응에서의 전환성과 에틸렌+ 물질들의 선택도, TiO₂ 계 촉매의 성능 및 실증 결과, 유사 촉매의 성능 등이 발표되며,³⁾ 향후 반응기 설계/제작/운전 등에 대한 연구방향도 함께 논의될 예정이다. 보다 구체적으로는, TiO₂ 계 촉매 성능 테스트를 통해서, 반응이 안정적이며, 타르나 코크의 발생량이 크게 저감되는 것을 랩스케일과 벤치스케일 모두에서 확인하였고, 전이금속을 조촉매로 활용하여 C2 생성물의 선택도를 증가시킬 수 있는 점을 계산화학으로 일부 예측하고, 반응실험을 통하여 확인하였다. 이에 대한 반응결과와 더불어 계산화학 및 분석결과도 같이 발표될 예정이다. 더불어 반응기 설계 및 제작에 대한 진행상황도 공유될 예정이다.

참고문헌

1. Kim, J., Jeoung, J., Jeon, J., Kim, J., Mok, Y.S., Ha*, K.-S., "Effects of dielectric particles on non-oxidative coupling of methane in a dielectric barrier discharge plasma reactor", *Chemical Engineering Journal* **377** 119896-119908 (2019).
2. Jung, W., Lee, J., Ha, K.-S., "A Combined Production Technology for Ethylene and Hydrogen with an Ethane Cracking Center and Dielectric Barrier Discharge Plasma Reactor", *Chemical Engineering Journal* **462** 142155-142167 (2023).
3. Kim, J., Kim, S., Lee, N., Lim, C., Han, J.W., Lee, J., Ha, K.-S., "Plasma-Assisted Catalytic Effects of TiO₂/Macroporous SiO₂ on the Synthesis of Light Hydrocarbons from Methane", *ChemCatChem* **12** 5067-5075 (2020).

Aromatics synthesis from CO₂ hydrogenation on tandemly coupled metal oxides with zeolites

Jong Wook Bae¹, Tae-Wan Kim², Myung-June Park³, Soo Chool Lee⁴, Hyungseok Nam⁴,
No-Kuk Park⁵, Minkyu Kim⁵

¹*School of Chemical Engineering, SungKyunKwan University (SKKU), 2066 Seobu-ro, Jangan-gu, Suwon, Gyeonggi-do, 16419, South Korea*

²*Chemical & Process Technology Division, Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT), Daejeon 34114, South Korea*

³*Department of Chemical Engineering, Ajou University, Suwon 16499, South Korea*

⁴*School of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, Daegu 41566, South Korea*

⁵*School of Chemical Engineering, Yeungnam University, 280 Gyeongsan 38541, South Korea*

A lot efforts to overcome global warming problems by suppressing CO₂ emission have been largely studied, and CO₂ hydrogenation reaction among various CO₂ utilizations is one of the most attractive ways. Value-added aromatics such as BTX (Benzene, Toluene, Xylene) can be synthesized by CO₂ hydrogenation and successive aromatization of intermediates, where the BTX has been widely used in petrochemical industries for the synthesis of various plastics/polymers and chemical intermediates. There are two possible routes to form aromatics by CO₂ hydrogenation, for example, olefins intermediates can be formed by RWGS (reverse water gas shift) and successive FTS (Fischer Tropsch synthesis) reaction on Fe-based catalysts, which can be transformed to aromatics on solid acid zeolites. With the metal-based catalysts such as Cu-ZnO and In₂O₃, methanol intermediates can be formed and aromatics can be formed on zeolites by aromatization of oxygenates. The hybridized catalysts with tandemly coupled metal oxides with zeolites were investigated for the present direct synthesis of aromatics from CO₂ hydrogenation to verify catalytic activity and properties through catalyst preparation, DFT calculation, process simulation, characterization. The tandemly coupled catalysts were also optimized to enhance aromatics productivity and economic feasibility of the present tandem catalysis is also studied with the help of process simulation as well.

C1 기반 기초유분 생산 공정개발 전략

송인협*, 백승준

한국화학연구원 화학공정솔루션연구센터

Process development strategy for C1-based basic chemical production

In-Hyoup Song*, Baek Seung Jun

Korea Research Institute of Chemical Technology

Abstract

석유화학산업은 대표적 탄소다배출 산업으로 국내에서는 철강산업에 이어 2위의 온실가스를 배출하고 있으며 배출되는 온실가스는 대부분 naphtha를 열분해하여 올레핀과 아로마틱을 생산하는 naphtha cracking complex (NCC) 의 버너나 퍼니스 혹은 보일러에서 hydrocarbon을 연소하는데서 발생을 한다. 이러한 hydrocarbon 연료는 대부분 naphtha의 열분해를 통해 발생하는 반응기 effluent 중 후단 심랭증류 분리 공정에서 응축되지 않는 light 한 부생가스이며, 이외 일부 부족한 일부 연료는 LNG 가스를 구매하여 연소하고 있다.

부생가스 혹은 process fuel 가스는 96~97% 이상 메탄으로 구성되며 3~4%의 수소와 미량의 이산화탄소 혹은 일산화탄소로 구성되어 순수 LNG 가스에 비해 이산화탄소 배출지수는 낮은 편이나 막대한 양이 연소 되어 온실가스 배출량은 대부분을 차지하고 있다.

NCC 의 온실가스 배출을 저감하기 위해 naphtha를 전기로 가열하여 분해하려는 연구개발이 이뤄지고 있고 신재생에너지를 활용할 경우 온실가스 배출이 극단적으로 절감될 수 있다. 그러나, 전기가열을 할 경우 기존에 연소하던 부생가스는 대기 중으로 배출하지 못하고 열원으로 연소도 하지 못하기 때문에 새로운 화학물질로 전환하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 메탄의 촉매 전환을 통한 올레핀과 아로마틱 생산, 그리고 합성가스로의 전환을 통한 메탄올 생산까지 4가지 원천기술에 대해 반응기를 설계하고 최종 제품까지 분리정제하는 통합공정 설계에 있어 최적의 상업화 가능성을 타진하는 공정개발 연구 전략을 수립하여 그 내용을 소개하고자 한다. C1 전환 반응은 once-through 전환율이 낮고 반응 선택도가 낮아 미반응 원료 등의 recycle이 양이 높은 것이 특징이며 C1~C10 정도의 broad 한 제품 spectrum을 갖기 때문에 단독으로 분리공정을 설계 구축할 경우 다단 심랭증류 공정과 전처리 반응 공정, 고압 압축기 등이 설치되기 때문에 생산원가에 투자비가 차지하는 비중이 높아 경제성을 확보하기가 어렵다.

이를 해결하기 위해 C1 전환 반응기를 설치하고 분리공정은 기존 석유화학사의 올레핀, 아로마틱 분리정제 공정을 그대로 활용하는 방안이 필요하며 이때 분리공정의 설비제약을 만족시킬 수 있도록 전기분해되는 납사의 처리량을 낮추는 최적화가 필요하다. 석유화학사 분리공정의 상세 모델링 및 반응기 모델을 개발 적용하여 LCA/TEA 관점에서 최적화 하는 공정 개발을 추진 중으로 이를 위한 공정 연구 전략에 대해 소개하고자 한다.

참고문헌

1. Juchan Kim, Seongseop Kim, Minkyong Ban, Dongmin Lee, Seongbeen Kim, Jinwoo Lee, and Kyoung-Su Ha., *Chemical Engineering Journal*, 475 (2023).
2. Juchan Kim†, Chaesung Lim†, Dongmin Lee, Hayoung Jeong, Jeong Woo Han*, and Kyoung-Su Ha., *Journal of Catalysis*, 115116, 427 (2023).

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

특별세션(II):

중소중견 기업을 위한 산업 공정
열에너지 전기화 전환 기술 개발
(구두발표)

2024년 3월 28일(목) 13:00~16:00
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸-I

산업공정 열에너지 전기화 전환을 위한 기술 개발

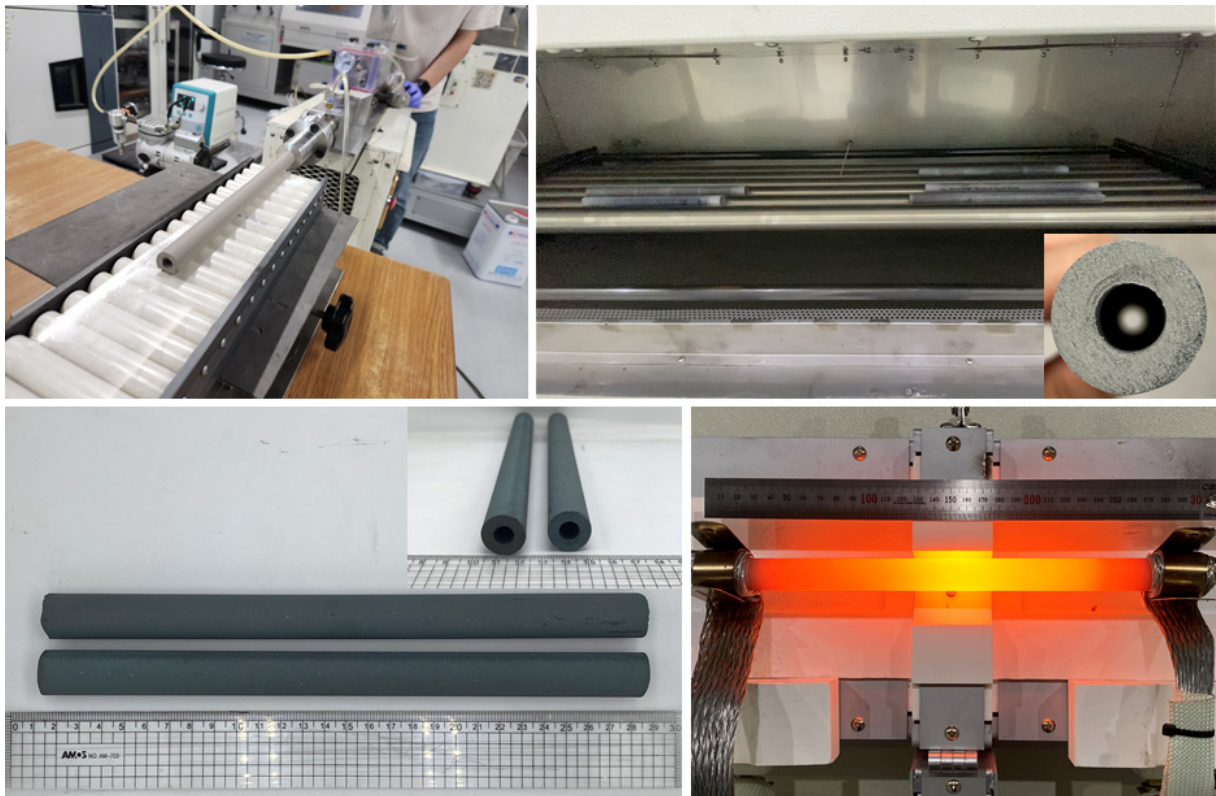
조동우*, 이효진, 추고연, 백경철¹, 이병돈², 김창곤³
한국에너지기술연구원, ¹삼우에코, ²전진엔텍, ³코카브

국가 온실가스 감축 목표 이행을 위해선, 산업 공정에서 사용하는 화석 연료 연소 기반의 열에너지 생산 공정을 무탄소화 열에너지로 전환하는 것이 매우 중요하다. 특히, 국내 산업의 경우, 철강 산업과 정유 및 화학 산업에서 배출하는 온실 가스 양과 비율이 막대한 만큼, 관련 산업 대상 기술 개발이 온실 가스 저감에 있어 미치는 영향이 매우 크다. 본 과제에서 개발하고자 하는 전기화 전환 기술은 탈탄소화, 디지털화, 분산화와 함께 에너지 시스템 패러다임 전환의 주요 트렌드이자 탄소 중립의 중요한 핵심 수단으로서 부상하고 있다. 이에 본 연구에서는 기술적 지원이 절실한 중소중견 사업장을 대상으로 한 열에너지 전기화 전환 설비를 개발하고자, 철강 산업의 소둔로, 화학 산업의 증류기를 대상으로 하는 관련 설비를 개발 및 실증하며, 이러한 단위 공정의 전기화 전환을 지원할 수 있는 극한 발열 소재를 개발하고 적용하여, 온실가스 직접 배출을 차단할 수 있는 단위 공정 모델을 제시하고자 한다.

산업 열설비 전기화 전환용 탄화규소 발열체 개발

성영훈*, 한인섭, 서두원, 황효정, 김세영, 이슬희
 한국에너지기술연구원

온실가스 감축을 위해서는 화석연료를 대체할 수 있는 전기화 또는 무탄소 연료로의 전환이 시급히 요구되며 특히 대표적 에너지다소비 산업인 철강, 석유화학 산업의 탄소중립 전환을 위해서는 재생에너지 가용성 증대와 함께 열처리, 재가열 등의 핵심 공정에서 탄화수소 연료 연소 가열 방식이 아닌 재생에너지 전기 가열 방식으로 전환이 필수적이다. 최대 1600 °C까지 장기 내구성을 갖는 고온용 SiC(silicon carbide) 저항 발열체는 현재 국내에서도 실험실용이나 산업용 배치식 전기로용으로 가장 많이 사용되고 있으나 국산화 기술 연구 사례가 없고 국내 생산 기업이 없어 전량 국외(스웨덴, 일본, 중국, 인도 등) 제품을 수입하여 사용하고 있어 국산화 기술 개발이 반드시 필요한 실정이다. 본 연구에서는 SiC 발열체의 현황, 특성을 분석하고 한국에너지기술평가원의 에너지수요관리 핵심기술개발사업(RS-2023-00234270)의 지원을 받아 수행하고 있는 SiC 발열체 국산화 개발 과정을 소개하고자 한다.



[그림 1] 한국에너지기술연구원의 SiC 발열체 개발 공정 : 압출성형 공정 - 무변형 롤링건조 공정 - 재결정 소성 공정 - 발열 테스트(1000)

고급 자동화 소프트웨어 PROMONICON 개발과 상업화 및 적용 사례

성수환*^{1,2}, 임창규^{1,2}, 김지윤¹, 이동호^{1,2}, 천유진²

¹ 경북대학교, ² ㈜티비비

*e-mail: suwhansung@knu.ac.kr

Development of Advanced Plant Automation Software PROMONICON and Commercialization

Su Whan Sung*^{1,2}, Chang Gyu Im^{1,2}, Jiyun Kim¹, Dong Ho Lee^{1,2}, Yujin Cheon²

¹Kyungpook National University, ²TBB

An advanced plant automation software called PROMONICON(Process Monitoring and Control) is developed to contribute to automation industries and academia through commercializing our research experiences and results. PROMONICON is an all-in-one automation software that provides from basic to advanced functions, required for developing automation systems. It is compatible with a wide array of devices and systems such as PLC, DCS, SCADA, inverters, MES etc. Its flexible development environment is useful to develop complex control logics to meet your specific requirements. Basic features like control functions, process diagram, real-time graph, alarming, data storage, reporting, and remote operation, etc as well as advanced features such as image processing, advanced controllers, virtual processes, etc. can be implemented by simply configuring PROMONICON. PROMONICON has been successfully applied to real industries such as silicon single crystal growers, polymer production plant and petrochemical plant and improved performances of plants. Especially, new advanced control logics such as a cascade control with a differential operator, iterative learning control and double-setpoint PID controller implemented in PROMONCON can contribute to improving control performances much better than conventional control logics.

열유체 기반 및 전기식 열교환기의 CFD 모델링 및 Fouling 효과 해석

박명준^{1,2,*}, 이준영¹

¹아주대학교 화학공학과, ²아주대학교 에너지시스템학과

열유체를 기반으로 운영되는 기존의 재비기의 경우 열에너지를 생성하는 단계에서 다량의 탄소를 배출하는 문제점을 갖는다. 이러한 열유체 기반 단위 공정에 대하여 신재생 에너지 기반 전기화를 도입하여 친환경 공정을 개발하고자 하는 연구가 진행 중이다. 본 연구에서는 재비기 전기화를 위한 기초 연구로서 쉘-튜브형 열교환기에 대한 전산유체역학(CFD) 모델링을 수행하였다. 쉘에 흐르는 유체를 N-Methyl Pyrrolidone (NMP)와 물의 혼합물(NMP mass fraction = 0.8)로 설정하였으며, 튜브의 경우 열유체로서 물을 설정하였다. 전기식 재비기의 경우 튜브의 열유체 대신 일정한 온도를 유지하는 금속 히터를 가정 하였다. 두 열교환기 모두에 대해 fouling에 의한 열교환 성능 저하를 확인하기 위해 fouling layer가 있는 경우와 없는 경우를 비교하였다. 대략 700일 지난 경우 열교환기의 fouling layer가 2.5 mm이고, 1256일 가동한 열교환기 fouling layer의 평균 열전도도가 0.93 W/m/K이므로 fouling layer를 2.5 mm, 전도도를 1 W/m/K로 설정했다. CFD 모사 결과 금속 히터를 사용할 경우 열유체 방식과 유사한 성능을 확인하였으며, fouling layer의 도입으로 인해 열전달 저항 증가 및 승온 성능이 감소함을 확인하였다.

Development of a new data-driven one-shot controller design and tuning method

Kyung Hwan Ryu^{*}, Jiyun Kim¹ and Su Whan Sung¹

Department of Chemical Engineering, Suncheon National University,

¹Department of Chemical Engineering, Kyungpook National University

A novel control approach is introduced by employing the concept of direct control design. In contrast to conventional control methods, the proposed approach reduces the need for expensive and time-consuming control design procedures such as process excitation, process identification, and controller tuning. It simultaneously designs and tunes the controller using only a single set of process data. The proposed method generates fictitious control data (i.e., data such as setpoint and control error) from the obtained process data under the assumption of perfect control. Using these generated data, the controller is directly designed and tuned. Simulation results show that the proposed method ensures superior and more robust control performance compared to PID and PIDA controllers using traditional tuning methods. Its extendibility to control MIMO and nonlinear system is also presented.

전기식 히터를 이용한 연속식 소둔로 내부의 열전달 해석

노성훈¹, 전택현¹, 정재원¹, 이후경², 백경철³, 강민중³
¹고려대학교 기계공학부, ²한국에너지기술연구원, ³삼우에코

Heat Transfer Analysis in a Continuous Furnace Using Electric Heater

Seonghun Roh¹, Takhyun Chun¹, Jaewon Chung¹, Hookyung Lee²,
 Kyeongcheol Baek³, Minjong Kang³
¹School of Mechanical Engineering, Korea University,
²Energy Efficiency Research Division,
³Samwoeco Corporation

최근 발생하는 환경오염 및 지구 온난화에 대한 방지책을 위해 탄소 중립의 중요성이 대두되고 있다. 2021년 기준, 전 세계 산업공정에서 CO_2 배출량은 36.3 Gt으로 사상 최고치를 기록하였으며, 전년 대비 증가율은 6%에 해당한다. 이에 세계 에너지협회(IEA)는 신재생 에너지 개발 및 도입 가속화를 통해 2050년까지 전 세계 CO_2 Net-Zero를 달성하고자 한다.

철강 분야는 대표적인 탄소 집약적 분야로 2019년 기준, 세계 철강산업 온실가스 배출량은 산업부문으로 국한 시 약 25%에 해당된다. 이에 철강 산업 공정의 전기화를 통해 온실가스 배출을 감축시키고자 한다. 설비의 에너지 효율을 주요 고려 요소로 둘 때, 전기식 가열 설비는 기존의 화석 연료 연소 설비에 비해 에너지 효율이 뛰어나며, 유지보수 비용 절감 및 온실 가스 배출 감축 효과가 상당할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 ANSYS Fluent 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 소둔로 내부에서 발생하는 복사 및 대류 현상을 과도열전달 해석을 통해 분석하였다. 복사 모델로는 내부 기체인 공기의 복사열 흡수 및 방출의 무시가 가능한 S2S(Surface to Surface) 모델을 적용하였으며, 등속운동 하는 강관으로의 열전달 해석을 위해 Dynamic mesh 중 layering 기법[2]을 이용하였다. 추가로, 히터와 강관 간의 위치 관계 간 변화를 주어 소둔로 내부를 통과하는 강관 승온 온도장을 분석하여 전기식 가열 소둔로 설계에 필요한 기본 데이터를 제공하고자 한다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. RS-2023-00233397)

참고문헌

1. Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). Introduction to heat transfer. John Wiley & Sons
2. Manual, U. D. F. (2009). ANSYS FLUENT 12.0. Theory Guide, 67.

연소식 연속 소둔로의 무탄소 전기화를 위한 발열체 모델링 접근방법과 가열로 전열해석 연구

유재진^{1,2}, 정재원², 이후경^{1,3,*}

¹한국에너지기술연구원 에너지효율연구본부, ²고려대학교 기계공학과,

³과학기술연합대학원대학교 에너지공학과

Modeling Approach for Zero-Carbon Electrification of Combustion-Type Continuous Steel-Strip Annealing Furnace and Heat Transfer Analysis

Jaejin Yu^{1,2}, Jaewon Chung², HOOKYUNG LEE^{1,3,*}

¹Energy Efficiency Research Division, Korea Institute of Energy Research (KIER), ²Department of Mechanical Engineering, Korea University, ³Department of Energy Engineering, University of Science and Technology (UST)

초록

탄소중립 사회 실현을 위해 철강 산업의 탄소 배출 저감에 기여하고자 천연가스 등 화석연료 기반의 연소 시스템을 전기화하는 연구를 진행 중이다. 구체적으로 Silicon Carbide(SiC) 발열체를 활용하여 연소식 연속 강판 소둔로를 전기화함으로써 SiC 발열체에 인가되는 전기 에너지를 열 에너지로 변환하는 과정을 통해 철강 산업에서의 열 에너지 요구를 충족시키려 한다. 본 연구는 COMSOL Multiphysics®를 활용한 전산유체 역학(CFD) 해석을 기반으로 하며, 보다 실제 상황에 가깝게 모사하기 위해 통상적으로 사용되어온 경계조건 설정방법(표면 또는 부피에 온도 혹은 열유속을 설정)을 벗어나 발열체에 전기를 인가하여 Joule heating 원리를 통해 발열체가 발열되는 상황을 모사하였다. 또한 그에 따른 발열체로부터 피가열물까지 전열되는 복사열전달 과정을 해석하였다 (Fig. 1). 현재 통용되고 있는 SiC 발열체 제작사들(Kanthal, Tokai 등)의 가이드라인에 따르면, SiC 발열체의 발열부(hot zone) 길이에 가열로의 폭을 맞추도록 제한하고 있다. 본 연구에서는 가이드라인에 의거 가열로 폭 길이를 설정하였고 정상상태 해석을 통해 단일 발열체의 발열에 의한 로의 온도구배를 해석하였다. 그 후, 폭 길이 300 mm, 두께 0.45 mm의 강판이 0.1 m/s 속도로 장입되는 과정을 시간에 따라 동적으로 해석함으로써 강판 승온 현상을 구현하였다. 본 연구의 해석 결과는 추후 실험적 연구를 위한 설계 자료로 활용할 예정이며, 해석적 접근방법의 타당성을 입증할 예정이다.

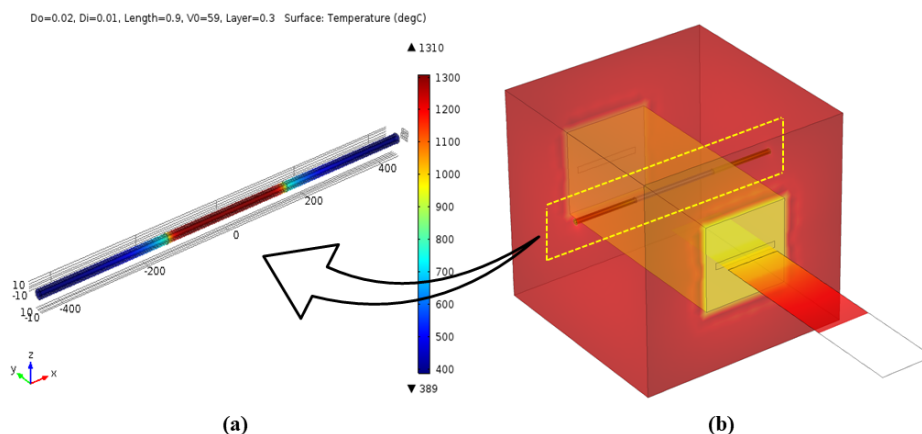


Fig. 1 Heating process of SiC heating elements based on Joule heating method; (a) Diameter = 20 mm, hot zone length = 300 mm, cold end length = 300 mm, Volt = 59 V, (b) Transient model of continuous steel-strip annealing furnace

사사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다 (No. RS-2023-00233397).

연속 소둔로 내 전열 효율 향상을 위한 금속 리플렉터 평가

최진현^{1,2}, 이후정^{1,3}, 정재원², 이대근^{1,*}

¹한국에너지기술연구원 에너지효율연구본부, ²고려대학교 기계공학과,

³과학기술연합대학원대학교 에너지공학과

Evaluation of Metal Reflectors for Improving Thermal Efficiency in a Continuous Steel-Strip Annealing Furnace

Jinheon Choi^{1,2}, HOOKYUNG LEE^{1,3}, Jaewon Chung², Dae Keun Lee^{1,*}

¹Energy Efficiency Research Division, Korea Institute of Energy Research (KIER), ²Department of Mechanical Engineering, Korea University, ³Department of Energy Engineering, University of Science and Technology (UST)

초록

국내 경제성장의 원동력인 철강업의 생산량 확대가 유발하는 탄소 배출량 증가에 따라 산업부문의 탈탄소화는 필수적이다. 그 일환으로 철강 공정 중 최상위 탄소배출 설비인 연속식 열처리 가열로의 전기화에 대한 연구가 수행되고 있다. 본 연구의 대상 시스템인 연속식 강판 소둔로의 경우 기존 LNG 등 화석연료를 사용하는 버너 연소식 가열 방법에서 SiC 발열체에 의한 전기식 가열 방법으로 전환을 고려하고 있다. 전기식 연속 소둔로는 발열체의 복사열에 의한 피가열물을 승온시키는 직접 가열과 그 복사열의 일부를 흡수한 내화벽이 방사하여 가열하는 간접 가열이 공존한다. 여기서 내화벽은 공정시간이 증가함에 따라 열화되어 그 방사율이 시간에 따라 변하는 특성을 보인다. 또한 1,200°C 고온의 소둔로 분위기에서 반사 효율을 높이기 위해 코팅 처리된 내화물을 사용하는 것은 현실적으로 어렵다. 따라서 본 연구에서는 전기 발열 에너지 사용을 극대화하기 위한 리플렉터 사용 가능성을 평가하고자 기초 실험을 진행하였다. 적외선 반사율이 높은 금속 소재를 리플렉터 후보군으로 하였고 소둔로 분위기에 장시간 노출된 리플렉터를 산화 전후로 비교하였다. 반사율 측정을 위해 Fig. 1과 같은 시스템을 구성하였고, 분광계로 판유리의 반사율 시험방법 기준인 KS L 2514 방법에 의하여 측정하였다. 반사율 측정은 상온 환경에서 진행되었고, 광원으로는 할로겐 램프를 사용하였다. 리플렉터는 종류가 다른 시편을 고온 로에서 산화가 되었을 때와 되지 않은 경우를 비교 분석하였다. 이때 고온 가열로 내부에 리플렉터와 주위 산소 간 화학반응을 통해 발생하는 화합물이 반사 특성에 영향을 미칠 수 있으므로 본 실험에서는 리플렉터 시편에 형성된 산화물을 디지털 현미경을 활용하여 분석하였다. 본 연구에서 도출된 결과를 바탕으로 열원인 SiC 발열체에서 방사되는 복사열이 강판 표면에 직접적으로 미치는 가열 영향과 더불어 추후 리플렉터를 소둔로 내 설치 시 발생할 수 있는 영향성을 분석하였다. 반사율 측정 결과, 가시광선 영역은 산화막이 형성되기 전 평균적으로 알루미늄 0.4, 스테인리스 0.45, 인코넬 0.2의 결과가 나왔다. 산화 후에는 기존 대비 알루미늄 50배, 스테인리스 106배, 인코넬 48배 감소하였다. 근적외선 영역은 산화막이 형성되기 전 평균적으로 알루미늄 0.85, 스테인리스 0.7, 인코넬 0.61의 결과가 나왔다. 산화 후에는 기존 대비 알루미늄 19배, 스테인리스 2.8배, 인코넬 13배 감소하였다. 따라서 리플렉터 활용을 통해 산화막 발생 전 단계에서는 반사율로 전열 효율을 극대화하고, 정상상태 도달 후 산화막 발생 시에는 산화막과 리플렉터 그리고 발열체의 방사열을 이용하여 피가열물로의 효율적인 조사가 가능할 것으로 고려된다.

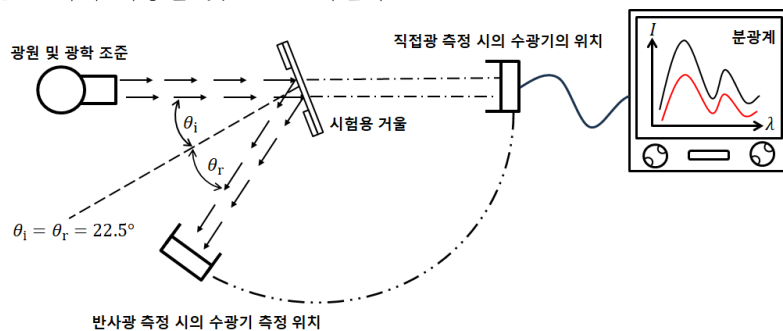


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

사사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다 (No. RS-2023-00233397).

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

특별세션(III):
신진연구자 Invited Talk
(구두발표)

2024년 3월 28일(목) 13:00~15:00
원덤그랜드 부산 2층 다울

Design and Operation of Sustainable Production Systems

Boeun Kim*

Department of Chemical Engineering, Kongju National University, Cheonan-daero 1223-24, Seobuk-gu, Cheonan 31080, Republic of Korea

The optimization-based approach is a systematic and efficient way to design and operate a sustainable production system by identifying the most economically and environmentally sustainable configurations, sizing equipment, schedules, and operating conditions. Here, we address two mixed-integer programming (MIP) models that can account for all possible process/operation alternatives and design/operational constraints. First, a superstructure-based optimization framework is introduced to design an optimal deployment strategy for the carbon capture and utilization (CCU) industry, considering design variables such as time, CO₂ processing scale, objective function, and market competition level. The analysis identifies methanol and dimethyl ether as the optimal short-term and long-term products, respectively, and estimates a maximum CCU industry capacity of approximately 350 Mton CO₂/yr by 2050. Second, a supervised learning approach is employed to analyze the computational complexity of batch production scheduling MIP models that find an optimal schedule to meet the production targets at the minimum makespan/cost or maximum profit. For this, innovative features are introduced to assess the instance difficulty based on problem types and machine learning models, trained on runtime data from diverse instances, show good predictive performances. Also, based on the insights from the developed machine learning models, solution methods are proposed for improving the computational efficiency of batch scheduling MIP models.

References

1. Ryu, K. H., Kim, B., and Heo, S., "Sustainability analysis framework based on global market dynamics: A carbon capture and utilization industry case," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 166, 112639 (2022).
2. Kim, B. and Maravelias, C.T., "Supervised Machine Learning for Understanding and Improving the Computational Performance of Chemical Production Scheduling MIP Models," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **61**(46), 17124-17136 (2022).

Supercritical Fluid Technologies as a Platform Technology for Sustainable Future

Tae Jun Yoon,^{1,2*}

¹*School of Transdisciplinary Innovations, Seoul National University, 1 Gwananank-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-744, Republic of Korea*

²*School of Chemical and Biological Engineering and Institute of Chemical Processes, Seoul National University, 1 Gwananank-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-744, Republic of Korea*

Sub- and supercritical fluid technologies have come a long way since Cagniard de la Tour first discovered criticality in 1822. They have been utilized in a variety of classical chemical processes, including agricultural science, food processing, drying, pharmaceutical production, and polymer production. While transitioning to a carbon-neutral and sustainable society, sub- and supercritical fluids are expected to be a platform reaction and separation media in emerging fields, including microelectronics fabrication, energy production, and resource management and recovery.

In this talk, I would like to review recent applications of sub- and supercritical fluid technologies for sustainability, focusing on theoretical and experimental studies I have been working on. I will first briefly explain the definition and properties of supercritical fluid. After describing the versatility of sub- and supercritical fluids in terms of their thermophysical properties, I will describe how these properties are utilized to make sub- and supercritical carbon dioxide and water as reaction and separation media for sustainable technologies. In the first part, I will focus on high-pressure carbon dioxide as an effective medium for drying, functionalization, and resource recovery. Later, I will describe how sub- and supercritical water technologies are used for resource recovery and waste management. Lastly, considering their incorporation into the grid system, I will tell the future of sub- and supercritical fluid technologies.

수소 경제 활성화를 위한 알칼라인 수전해 핵심 요소 기술 개발

이해인, 김희수, 임동하*
저탄소 에너지 그룹, 한국생산기술연구원 울산본부

Development of Key Technologies for Alkaline Water Electrolysis to Turn the Hydrogen Economy into Reality

Hae In Lee, Hee Soo Kim, Dong-Ha Lim*
Low-carbon energy group, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)

2050년 탄소중립을 실현하기 위해서는 수소 경제로의 전환이 필연적이며, 이를 위해서는 대량의 청정 수소가 공급되어야 한다¹. 수소를 생산하는 방법 중 수전해 기술은 재생에너지의 유휴 전력 활용, 저렴한 발전단가의 전력 활용 등에 적합하며, 특히 알칼라인 수전해 기술은 오래된 역사를 바탕으로 높은 기술 성숙도와 귀금속 촉매를 사용하지 않아도 되는 경제성 등을 두루 갖춘 청정 수소 생산의 대표 기술 중 하나이다. 핀란드에서 진행된 P2XEnable project는 시간 당 500 Nm³를 생산할 수 있는 3 MW급 알칼라인 수전해 시스템에 대한 실증 보고서를 발간 하였고, 이 중 알칼라인 수전해의 성능 저하 원인에 대한 자세한 수치를 제공하였다². 과전압(overpotential)에 의한 에너지 소비량 저하가 약 20.3% 나타났으며, 이 외에도 분리막을 통한 가스 혼합 현상(gas crossover)으로 발생하는 생성 가스의 손실이 2.9 %, 단위전지 적층 시 전해질 매니폴드를 통해 누출되는 누설 전류(shunt current)에 의한 효율 감소가 11.2 %로 나타났다. 본 연구에서는 알칼라인 수전해 시스템 운전 시 스택에서 발생하는 효율 저감 원인을 과전압, 가스혼합, 누설전류, 3가지로 설정하고, 이를 해결하기 위한 핵심 요소 기술 개발을 진행 하였다. 먼저 전극은 일반적으로 사용 되어지는 Raney-Ni 전극에 대한 대면적화 및 상용화를 위한 dip-coating 공정 기반의 쉽고 간편한 제작 공정을 최적화 하였으며, 금속 촉매와 기능성 고분자를 활용한 필름형 전극을 제작하여 알칼라인 수전해 스택의 두께를 감소시켜 원천적으로 내부 저항을 줄이는 연구를 수행하고 있다. 또한 친수성 고분자인 PVA(polyvinylalcohol)와 세라믹 입자들을 혼합한 후 고분자를 강화하여 고 알칼리 환경에서도 장시간 내구성을 가지는 다공성의 고분자 분리막을 제조하는 연구를 최적화하고 있다. 마지막으로 알칼라인 수전해에서 발생하는 누설 전류의 영향을 최소화하고, 더 나아가 해수의 직접 수전해를 실현하기 위한 전해질 유로에 대한 해석과 설계를 수행하고 있다. 본 연구를 통한 연구 결과들은 국내 기술만으로 MW 급 수전해 스택을 제작할 수 있는 능력과 수소 경제 실현을 위한 수소 생산 단가 절감 등에 도움이 될 것이라 생각 된다.

참고문헌

1. Abbasi, R., Setzler, B. P., Lin, S., Wang, J., Zhao, Y., Xu, H., Pivovar, B., Tian, B., Chen, X., and Wu, G., "A Roadmap to Low-Cost Hydrogen with Hydroxide Exchange Membrane Electrolyzers," *Advanced Materials*, 31(31), 1805876 (2019).
2. Sakas, G., Ibáñez-Rioja, A., Ruuskanen, V., Kosonen, A., Ahola, J., Bergmann, O., "Dynamic energy and mass balance model for an industrial alkaline water electrolyzer plant process," *Int. J. Hydrog. Energy*, 47, 4328-4345 (2020).

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).

수소 생산을 위한 WGS 반응용 Cu 기반 촉매 연구

장원준
아주대학교

Cu-based catalysts for hydrogen production via WGS reaction

Won-Jun Jang
Ajou University

수소는 2차에너지로서 에너지의 저장 및 운송, 산업 분야의 탈탄소화를 위해서 필요한 기술이다. 현재 시점에서 경제성을 고려할 때, 화석연료의 개질을 통한 수소 생산이 수소 대량 생산 및 공급을 위해 적합하다. 화석연료의 개질을 통해 수소를 생산하는 과정에서 발생하는 CO는 연료전지를 포함한 다양한 후단 사용처에서 촉매를 피독시키기 때문에 수성가스전이(WGS: Water-gas shift)반응을 통해 전환되어야 한다. 본 연구에서는 저온 영역에서 주로 사용되는 Cu계 기반 WGS 촉매에 대한 연구를 수행하였으며 크게 두 가지 주제로 구분된다. 첫 번째 연구는 해외에서 수입되는 상용 Cu-Zn-Al 촉매의 국산화를 위한 스케일업용 제조변수의 최적화 연구이다. 해당 연구에서는 Cu-Zn-Al를 공침법으로 합성할 때 요구되는 다양한 변수(숙성 온도, 숙성 시간 등)를 조절하고 WGS 반응에 적용하여 촉매의 특성과 활성 간 상관관계를 도출하였다. 두 번째로 Cu 촉매를 폐기물 가스화 합성가스 조건(고농도 CO)과 고온에 적용하기 위해 Cu-Al 촉매에 Ce를 첨가하고 Ce의 첨가 순서에 따른 산소저장능에 미치는 영향을 파악하였다.

참고문헌

1. Roh et al., "An important parameter for synthesis of Al₂O₃ supported Cu-Zn catalysts in low-temperature water-gas shift reaction under practical reaction condition", *Int. J. Hydrogen Energy* 44, 14853-14860 (2019).
2. Roh et al., "Effect of preparation method on the oxygen vacancy concentration of CeO₂-promoted Cu/ δ -Al₂O₃ catalysts for HTS reactions", *Chem. Eng. J.* 306, 908-915 (2016).

FER 제올라이트 내 교환된 Pd 이온의 수분의존적 산화환원 거동과 CO 산화반응 및 NO 흡착에 대한 영향

송인학*
고려대학교

Moisture-dependent redox behavior of Pd ions in FER zeolite enables CO oxidation at low temperatures and mediates NO_x adsorption chemistry

Inhak Song*
Department of Energy Environment Policy and Technology, Graduate School of Energy and Environment (KU-KIST Green School), Korea University

고온처리된 Pd/FER 제올라이트의 특성과 CO 농도에 따른 NO_x 흡착 거동을 연구한 결과, CO의 영향을 이해하기 위한 연구입니다. 연구에서는 제올라이트의 Pd(II) 이온이 건조한 CO 하에서는 안정적이지만, 습한 CO 스트림 하에서는 금속 Pd 클러스터로 쉽게 환원되어 일반적인 현장 분석으로는 모니터링이 어려워진다고 보고되었습니다. 따라서 물이 존재하는 조건에서도 100°C 이하에서 금속성 Pd 클러스터가 쉽게 CO 산화를 촉진한다는 결과가 도출되었습니다. 더욱이, Pd 이온은 여전히 현실적인 조건에서 NO를 저장하는데, 이는 NO의 역할이 경쟁적으로 수화된 Pd(I)-NO 복합체를 형성하여 Pd 이온의 완전한 환원을 방지함으로써 이루어진다는 것이 확인되었습니다. 특이하게도, 습한 조건에서 CO는 NO 저장에 대한 촉진 효과가 더 크게 나타나며, 이는 Pd/FER에 대한 CO의 효과가 NO 저장 동안 Pd(II)를 Pd(I)로 감소시키는 데서 비롯될 수 있음을 나타냅니다. 또한, 더 낮은 CO 농도와 더 적은 양의 Pd가 Pd(II) 이온의 감소를 어렵게 만들어, 이는 Pd/FER 물질의 CO 압력 의존적 NO 저장과 상관관계가 있을 수 있음을 발견하였습니다. 이 연구는 Pd/FER 제올라이트에 대한 복잡한 NO_x 흡착 화학을 이해하는 데 중요한 정보를 제공할 것으로 기대됩니다.

온실가스의 지속 가능한 전환을 위한 촉매 및 반응기 개발 연구

김선균*

국립부경대학교 공업화학·고분자공학부 공업화학전공

이산화탄소(CO₂)와 메탄(CH₄)은 온실가스의 주요 구성 요소로, 이를 고부가 화합물 및 연료로 효과적으로 전환하기 위해서는, 높은 성능과 저전력 소비를 갖는 혁신적인 촉매 및 반응기 개발이 필수적이다. 본 발표에서는 CO₂와 CH₄의 효율적인 변환을 위한 다양한 방법을 통합하는 연구를 소개한다. 우선, 메탄 건식 개질 반응에서 높은 탄소 침착 저항성을 갖는 독특한 구조의 촉매개발[1]을 발표한다. 이어서 이산화탄소의 경질 올레핀로의 변환 효율성과 선택성을 향상하기 위한 이중 촉매개발[2]을 제안한다. 마지막으로, 화학적 루핑 기술을 활용하여 메탄의 탈수소방향족화 반응의 수율 향상을 위한 반응기 결합[3]에 대해 소개 하겠다.

참고문헌

1. Kim, S., Lauterbach, J., Sasmaz, E., "Yolk-Shell Pt-NiCe@SiO₂ Single-Atom Alloy Catalysts for Low-Temperature Dry Reforming of Methane," *ACS Catal.*, **11**(13) 8247-8260 (2021).
2. Kim, S., Jhaveri, C. A., Sasmaz E., "Impact of YSZ on Direct CO₂ Hydrogenation to Light Olefins over a Tandem Catalyst Composed of In₂O₃/YSZ and SAPO-34," *Energy Fuels*, **37**(10) 7361-7371 (2023).
3. Kim S., Annamalai L., Lobo R. F., "Silica-Encapsulated Fe₂O₃ Oxygen Carriers for Selective Chemical Looping Combustion of Hydrogen," *Chem. Eng. J.*, **455**, 140919 (2023).

Catalyst design for methane direct conversion to olefin, aromatics, hydrogen, and carbon

Seung Ju Han

Korea Research Institute of Chemical Technology

Recent interest has surged in methane direct conversion to higher-value performance chemicals as a viable route for decarbonization. However, non-oxidative methane conversion poses a challenge due to the strong C-H bonds (425 kJ/mol)[1], necessitating high reaction temperatures that accompany coke deposition and catalyst deactivation. To overcome this obstacle, periodic regeneration was implemented in methane dehydroaromatization conditions (~700 °C)[2], while novel catalysts such as single atom catalysts[3] or molten metal catalysts[4] were applied in methane pyrolysis conditions (~1,000 °C). This study addresses technologies for methane direct conversion under non-oxidative condition to produce useful platform chemicals such as olefins and aromatics. Additionally, this study delves turquoise hydrogen technology which coproduces carbon and hydrogen through methane pyrolysis.

References

1. Burghgraef, H., Jansen, A.P.J., and van Santen, R.A., "Methane activation and dehydrogenation on nickel and cobalt: a computational study," *Surf. Sci.*, **324**, 345-356 (1995).
2. Kosinov, N., Coumans, F.J.A.G., Li, G., Uslamin, E., Mezari, B., Wijpkema, A.S.G., Pidko, E.A., and Hensen, E.J.M., "Stable Mo/HZSM-5 methane dehydroaromatization catalysts optimized for high-temperature calcination-regeneration," *J. Catal.*, **346**, 125-133 (2017).
3. Guo, X., Fang, G., Li, G., Ma, H., Fan, H., Yu, L., Ma, C., Wu, X., Deng, D., Wei, M., Tan, D., Si, R., Zhang, S., Li, J., Sun, L., Tang, Z., Pan, X., and Bao, X., "Direct, nonoxidative conversion of methane to ethylene, aromatics, and hydrogen," *Science*, **344**, 616-619.
4. Upham, D.C., Agarwal, V., Khechfe, A., Snodgrass, Z.R., Gordon, M.J., and Metiu, H., "Catalytic molten metals for the direct conversion of methane to hydrogen and separable carbon," *Science*, **358**, 917-921.

CaO 기반 고온 이산화탄소 흡착제 개발

윤형진¹, 김선형¹, 김종남¹, 범희태¹, 박종호¹
한국에너지기술연구원

기후 변화 극복을 위해 화력 발전 비중이 축소 예정이지만, 신재생에너지의 간헐성을 보완하기 위한 방안으로 2050년에도 발전의 일정 부분을 담당할 것으로 전망된다. 이러한 관점에서 화력 발전 후단에서 배출되는 이산화탄소를 저감하기 위한 CCUS 기술 개발이 여전히 활발하게 진행되고 있다. 습식, 건식 기술과 같이 여러 후보 기술 중 CaO 기반 흡착제가 배가스 냉각 없이 고온의 이산화탄소를 직접 포집할 수 있다는 점에서 많은 주목을 받고 있다. 많은 선행 연구들이 CaO 기반 흡착제의 흡착 성능을 높이는 합성법에 집중하여 수행되어 왔는데, 평형 흡착량보다 작업 용량 (working capacity) 및 흡착 속도가 중요한 실제 공정에서의 적용 가능성은 낮게 판단된다. CaO 기반 흡착제의 실제 공정 적용 가능성을 높이기 위하여 (1) 흡,탈착 속도, (2) 흡착 성능, (3) 반복 안정성, (4) 펠릿 성형 등의 복합적인 이슈가 보완되어야 한다. 본 발표에서는 다양한 접근을 통해 상기 4 가지 성질 개선에 대한 연구 결과를 다루며, 더욱 나아가 흡착 부과 반응에 적용하여 고순도 수소를 생산하는 방향성을 제시한다

1. H. J. Yoon et al., Introduction of chemically bonded zirconium oxide in CaO-based high-temperature CO₂ sorbents for enhanced cyclic sorption, *Chem. Eng. J.* 355 (2019) 850-857.
2. H. J. Yoon et al., Facile reactivation of used CaO-based CO₂ sorbent via physical treatment: Critical relationship between particle size and CO₂ sorption performance, *Chem. Eng. J.* 408 (2021) 127234.
3. H. J. Yoon et al., Mass transfer enhanced CaO pellets for CO₂ sorption: utilization of CO₂ emitted from CaCO₃ pellets during calcination, *Chem. Eng. J.* 421 (2021) 129584.
4. H. J. Yoon et al., Effects of alkali-metal nitrate salts on hydrotalcite-based sorbents for enhanced cyclic CO₂ capture at high temperatures, *J. CO₂ Util.* 77 (2023) 102610

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

특별세션(IV):

청정수소 생산을 위한 수전해
성능평가 센터 구축 및 운영기술 개발
(구두발표)

2024년 3월 28일(목) 13:00~16:20
원덤그랜드 부산 3층 마레

수전해 전력 연계 조건에 따른 수소 생산원가 및 온실가스 배출량 분석

김수현^{1*}, 유영돈¹, 서민혜¹

¹고등기술연구원

Hydrogen Cost and CO₂ Emission Analysis of Various Water Electrolysis Operation Conditions

Suhyun Kim¹, Youngdon Yoo¹, Munhye Seo¹

¹Institute for Advanced Engineering

재생에너지 출력 변동성을 보완하는 에너지 저장의 방법으로서 수소는 탄소 중립 실현을 위한 핵심 에너지원으로 여겨지고 있으며, 재생에너지를 이용하여 생산된 수소는 이산화탄소를 배출하지 않아 향후 탄소 중립 글로벌 시장에서 재생에너지 발전 확대와 함께 중요한 역할을 차지할 것으로 전망된다. 수소경제 이행 계획에 따르면 국내 그린수소 생산은 2030년 25만톤, 2050년 300만톤을 목표로 하고 있으며, 이를 기반으로 산정한 그린수소 시장규모는 2030년 약 3조, 2050년 약 10조 규모가 될 것으로 예측되며, 글로벌 수전해 시장 규모는 국내 시장 규모의 최소 100배 이상 규모일 것으로 전망되고 있다. 그린수소 시장 확대에 대비한 국내 수전해 기술 확보의 중요성이 높아지고 있으며, 수전해 시스템의 최적 운영 방안이 요구되고 있다. 또한 수전해 시스템의 안정적 운영을 위해 재생전력 공급에 의한 부하변동 범위의 한계, 주변설비의 안정적 전력 공급 비율에 대한 구체적인 검토가 필요하다. 재생전력을 연계하여 수전해 시스템을 운영하는 경우 100% 재생전력을 사용하는 것이 현실적으로 어려워 일정부분 그리드 전원을 활용할 수 밖에 없는 상황이 발생할 수 있으며, 이 경우 온실가스 배출량이 산정될 수 있다. 본 연구에서는 재생 전력 및 그리드 전력 연계 비율에 따른 수전해 시스템 수소 생산시의 비용 및 온실가스 배출량을 산정하고 비용 및 온실가스 배출 측면에서 최적 운영 범위를 검토하였다.

*본 연구는 2021년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20218801010030)

수전해시스템 성능시험센터 구축 현황 및 운영방안

안양임¹, 오성용¹, 김수현²
¹전남테크노파크, ²고등기술연구원

Current Status and Operation of Water electrolysis system Performance Test Center

AN YANGIM¹, OH SUNGYONG¹, KIM SUHYUN*²
¹JEONNAMTECHOPARK, ²Institute for Advanced Engineering

국내 수전해 시스템의 신뢰성 및 운영기술 확보를 위해 수전해설비(알카라인(100kW, 1MW), PEM수전해(100kW, 1MW))와 재생전력모사장치를 포함한 평가설비, 수소출하설비 등 수전해기반 수소 인프라를 수전해시스템 성능시험센터(전남 영광) 내 구축중이다. 22년 수소법의 시행에 따라 수전해기반 수소 인프라 구축시 필요한 법정 검사, 각종 인허가 현황 및 진행사항, 고려사항 등을 소개하고자 한다. 또한 수전해기반으로 수소를 생산하는 그린수소는 현재 생산단가가 높아 경제성이 떨어지는 단점이 있어 그린수소 확산에 제한적인 요소로 작용하고 있다. 그린수소 확산 및 수전해시스템 성능시험센터의 활성화를 위한 평가센터 내 그린수소 생산, 활용 전략과 수익모델을 제안하고, 센터 장기 운영을 위한 전략 및 방안을 논의하고자 한다.

* 본 연구는 2021년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20218801010030)

알칼라인 수전해 셀/스택 부하변동 운전 시험 분석 방법 및 운전 특성

김완식, 임세진, 심준석, 정영한, 오준석 Asiya Mohassen Tamboli, 김창희*
한국에너지공과대학교, 수소에너지, 전남 나주시 혁신로 200, 58330

Characterization method to test dynamic operation in alkaline water electrolysis

Wan Sik Kim, Sejin Im, Junseok Sim, Younghan Jung, Junseok Oh,
Asiya Mohaseen Tamboli, and Chang-Hee Kim*
*School of Energy Technology, Korea Institute of Energy Technology, 200, Hyuksin-ro,
Naju, 58330, Republic of Korea*

Abstract

알칼라인 수전해 기술은 현재 다른 여러 수전해 시스템 (PEM, SOEC 등)에 비해 상당히 기술 발달이 되어 있으며 산업화가 진행 중이다. 다만 최근 태양광, 풍력, 및 파력 등 재생에너지를 발전원으로 수소를 생산하는 그린수소가 각광을 받으면서 알칼라인 수전해의 부하변동 운전 특성을 분석하고 이로 인해 발생할 수 있는 셀 성능의 열화를 해결하는 것이 상용화 단계를 이루기 위한 필수조건이 되었다. 본 연구에서는 알칼라인 수전해의 부하변동 운전 성능을 시험하기 위해 필요한 평가 장치의 구성요소들, 준비 방법, 시험 변수들을 알아보려고 한다. 그리고 부하변동 운전 특성 평가를 위한 핵심 지표 항목들을 설명하고 임의의 시작/정지 부하변동 출력을 인가하여 실제 알칼라인 수전해 단위셀 및 스택의 운전 특성과 운전 조건 및 전극 변화를 통한 성능 변화에 대해 소개하고자 한다.

*본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었습니다.
(No. 20218801010030)

재생에너지 연계 고분자 전해질(PEM) 수전해 운전 열화 특성 분석

박희영^{1*}, 아나스타샤 보로노바¹, 서보라¹
한국과학기술연구원 수소·연료전지연구센터

Analysis of the degradation characteristics of polymer electrolyte membrane (PEM) water electrolysis operation coupled with renewable energy

Hee-young Park¹, Anastasiia Voronova¹, Bora Seo²
Hydrogen-Fuel Cell Research Center, Korea Institute of Science and Technology

화석연료 사용으로 인한 온실가스 증가에 의한 기후위기 대응을 위해 태양광 및 풍력을 포함한 재생에너지의 보급이 주요한 방안으로 대두되고 있다. 이와 같은 재생 에너지는 온실가스 배출을 최소화 할 수 있으나, 발전에 필요한 자원(태양광, 풍력 등)에 시간(일조시간, 기상상황)의 제한이 있고 화석연료를 이용한 발전에 비해 대면적의 공간이 필요하기 때문에 설치 공간의 제약이 있다. 따라서, 이와 같은 시간 및 공간상의 제약을 보완하기 위해 생산된 전기 에너지를 저장하고 필요한 곳으로 운송하여 사용할 수 있도록 하는 기술(저장 및 운송 기술)이 필수적이며, 수전해를 이용한 수소생산이 이와 같은 에너지의 저장 및 운송을 위한 효율적인 기술로써 각광받고 있다.

수전해 장치 중 고분자 전해질막(PEM)을 전해질로 사용하는 PEM수전해는 넓은 운전범위, 빠른 부하추종, 작은 장치 크기 등의 장점으로 인해 재생에너지 연계를 통한 에너지 저장장치로 가장 각광받고 있다. 다만, 강산성의 PEM을 사용하고 높은 전압에서 장치가 운전되기 때문에 소재의 부식 등에 의한 수명저하가 문제점으로 알려져 있다.

이와 같은 PEM 수전해 장치의 수명 저하에 인가되는 전력의 변동성이 주요한 요인 중의 한가지로 알려져 있다. 이와 같은 인가되는 전력에 의한 수명 감소에 대해 소재 수준에서의 연구는 다양한 방법으로 진행되고 있으나, 재생에너지 생산의 간헐성 및 변동성에 대응하기 위해 PEM 수전해 장치의 시동-정지, 부하증가-감소 등을 반복 할 경우에 대한 단위셀 수준에서의 연구는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 태양광 발전 프로파일을 이용하여 열화를 위한 부하 변동 운전 프로파일을 시뮬레이션하고 이를 이용하여 PEM 수전해 단위셀의 열화 특성을 분석하였다. 이를 통해 정격 운전 및 부하 변동에 의한 소재(전극, 전해질막 등) 및 계면(전극-전해질막, 전해질막-확산층 등)의 열화 특성에 대해 논의하고자 한다. 이를 위해, 전기화학적, 현미경 및 분광화학 분석을 통해 분해 특성이 체계적으로 분석하였으며, 이를 통해 과전압 변화, 막 화학적 분해, 촉매 용출/이동/확산, 및 Ti 확산층 열화 등의 특성에 대해 논의하였다.

청정수소 생산설비 시험용 재생전력 공급 모사시스템 시험평가 프로파일 설계

오창열, 김기룡, 김태진*
한국전기연구원

Test Evaluation Profile Design of Renewable Power Supply Simulation System for Clean Hydrogen Production Facility Test

Chang-Yeol Oh, Kiryong Kim, Tae-Jin Kim*
Korea Electrotechnology Research Institute

본 연구는 실제 운전 중인 재생에너지원의 출력 변동 데이터를 기반으로 재생전력 공급 모사시스템이 시험평가를 위해 동작할 전력 프로파일의 설계를 위하여 수행되는 과정 및 결과를 제시한다. 시험평가 프로파일 생성에 활용되는 재생에너지원은 태양광 발전의 기후 및 계절별 운전 데이터를 활용하였으며, 발전량 데이터를 기반으로 프로파일을 생성하는 프로세스를 정립하여 다양한 재생에너지원으로 확장할 수 있도록 정규화하였다.

청정수소 생산설비 시험평가 재생전력 프로파일 설계

수전해 설비 시험평가를 위한 재생전력 프로파일 설계는 태양광 발전의 출력 데이터를 기본 데이터로 활용하여 기후 및 계절별 발전력 데이터를 분석하여 시험평가 시나리오를 구축하였다. 태양광 발전의 일간 발전량 데이터에서 일단위 전력 변동률을 분석하고, 이를 시스템 정격대비 단위 전력 변동률 (P.U., per unit) 구간을 설정하여 시험평가 프로파일 시나리오를 구축한다. 시험평가 프로파일은 P.U. 구간별 발생 빈도를 분석하여 전력 상승구간과 전력 하강구간을 나눠 각각의 빈도에 따라 표본 데이터 기반의 프로파일을 구성하는 과정을 거친다.

제안한 시험평가 프로파일 설계 프로세스를 기반으로 단편적인 수전해 설비 성능평가 뿐만아니라, 청정수소 생산용 설비가 설치되는 위치와 재생에너지원의 특성을 반영한 시험평가를 수행할 수 있다.

PSCAD/EMTDC 기반의 MW급 수전해시스템용 E-BOP 전력변환기 모델링 및 성능평가에 대한 연구

심재용, 김동욱, 김용학*
한국전력공사 전력연구원

A Study on the Modeling and Performance of E-BOP Power Converter for MW Scale Water electrolysis System based on PSCAD/EMTDC

Sim, Jaeyong, Kim Dongwook, Kim Yonghak*
KEPCO Research Insititute

Abstreet

본 연구에서는 MW급 수전해시스템의 전력공급을 담당하는 E-BOP 전력변환기의 시뮬레이션 성능평가를 위해 PSCAD/EMTDC를 이용하여 AC계통모델, E-BOP 모델, 수전해스택모델을 모델링하였으며 부하공급 조건과 운영전략에 따른 전력변환기의 성능 및 전력품질이 달라질 수 있음을 확인하였다.

본론

AC 계통모델과, MW급 E-BOP 전력변환기 모델(AC/DC 컨버터, DC/DC 컨버터), 수전해모델(선형모델)을 결합하여 1MW급 수전해 전력공급 시스템을 그림 1과 같이 구현하여 수전해 스택의 부하변동 및 수전해 시스템 운영전략에 따른 출력성능의 변화를 확인하였으며 경제적이고 안정적인 운영을 위해서는 부하가 변조조건과 운영전략이 동시에 고려되어야 한다는 것을 확인하였다.

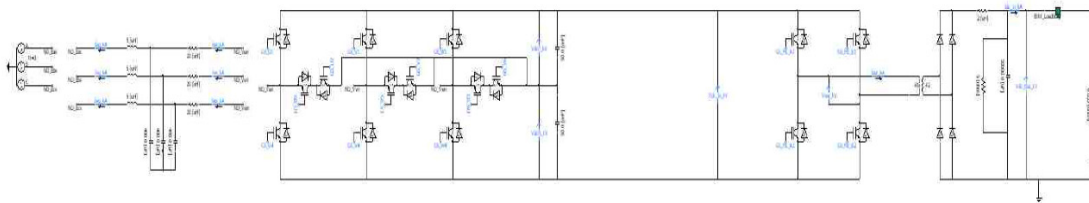


그림 4 MW급 단일모듈 E-BOP 전력변환기 및 수전해스택 PSCAD 모델링

참고문헌

1. Li, Y., Li, X., Li, C., Li, X., Chen, L., Li, J., & Li, H., Analysis and Experiment of High-Power Full-Bridge Phase-Shift DC-DC Converter for PEM Electrolysis System. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 68(7), 5431-5441 (2021).
2. Jin, W., Liu, Y., Chen, X., & Huang, X., A new method of controlling the hydrogen production of proton exchange membrane water electrolysis. International Journal of Hydrogen Energy, 44(28), 14841-14850 (2019).
3. Wang, Q., Luo, Y., Liu, Q., Shi, H., & Sun, Z., Effect of capacitance on the dynamic response of PEM fuel cell hybrid power system. Journal of Energy Storage, 25, 100835 (2019).
4. Seifollahi-Aghmiami, S., & Esmailzadeh, E., A review of proton exchange membrane water electrolysis for hydrogen production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 110, 82-97 (2019).

제주 풍력발전 출력제한 완화를 위한 수전해 및 에너지저장시스템(ESS) 운용방안 연구

김송미, 남현우, 추성훈*
한국수자원공사 K-water 연구원

A study on Optimal Scheduling of Water Electrolysis and Energy Storage System (ESS) for Reducing Wind Curtailment in Jeju Island

Songmi Kim, Hyunwoo Nam, Sunghoon Choo*
K-water Research Institute(Korea Water Resources Corporation)

최근 전세계적으로 기후변화 위기를 직면함에 따라 전통적 화석연료 기반 에너지 소비체계로부터 탄소 배출이 없는 재생에너지를 중심으로의 에너지 패러다임 대전환이 유도되고 있다. 이러한 국제 정세에 대응하여, 2013년 제주특별자치도는 ‘탄소없는 섬(Carbon Free Island 2030)’ 구축 계획을 수립하며 적극적인 재생에너지 설비 보급을 통해 내륙지역보다 높은 피크기여율을 보이고 있다. 그러나 재생에너지의 설비용량이 단기간 급격히 증가됨에 따라 전력 공급과잉으로 이어져 출력제어가 불가피한 실정이다. 이와 같은 재생에너지의 간헐적 발전 특성을 보완하기 위해 에너지저장시스템(ESS)이 대안으로 여겨지며, 특히 그린수소를 생산하는 ‘Power to Gas (P2G)’를 통한 대용량 및 장주기 에너지 저장·활용 기술이 대두되고 있다. 따라서 본 논문은 출력제한이 일어나고 있는 대표적인 제주 사례를 바탕으로 에너지저장장치(ESS)와 수전해 설비를 기반으로 효과적인 섹터커플링 구성 및 운영 방식을 제안하고자 하였다. 이를 위해 2015년~2022년 제주지역 풍력발전 출력제한 패턴을 분석하였고, 특히 최근 2020년부터 3년간의 경향을 바탕으로 출력제한에 의해 발생한 미사용 에너지를 그린수소(P2G)로 전환할 경우 이에 따른 경제성 및 생산 안전성 효과에 대해 고찰하였다.

참고문헌

1. IEA Energy Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells, JRC Scientific and Policy Report (2013).
2. 산업통상자원부, “제10차 전력수급기본계획(2022~2036)” (2023).
3. Jeon, W., et al. "Study on Reduction of Curtailment of Renewable Generation based on Green Hydrogen Sector Coupling“ New & Renewable Energy, 6 Vol. 18, No. 2 (2022).
4. Hwang, S., The Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 32, No. 6, 477-482 (2021).
5. Kim, Y., "탄소중립2050의 길라잡이 제주" New & Renewable Energy, Vol. 01, No. 02, Oct., 41-46 (2021).
6. Myung, H., "Measures to Increase Renewable Energy Accommodation using Energy Mix and Energy Storage System in Jeju" The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 70, no. 8, 1089-1095 (2021).

수소충전소의 압축기 열화상태 추정을 위한 정상상태 성능평가 방법에 관한 연구

조성규, 류경하*, 방혜진, 조유희, 이충성, 이태현, 김용진
한국기계연구원 가상공학플랫폼연구본부 신뢰성연구실

Normal State Performance Evaluation Method for Estimation Compressor Deterioration at Hydrogen Stations

Choi S. G., Ryu K. H.*, Bang H. J., Cho Y. H., Lee C. S., Lee T. H., Kim Y. J.
Department of Reliability, Virtual Engineering Platform Research Division, KIMM

초록

압축기는 공업에서 가장 많이 사용하는 에너지원이다[1]. 이에 압축기의 소비 에너지를 줄이고자 많은 연구가 수행되었다[2]. 본 연구에서는 압축기의 열화상태 평가를 위해 압축기의 정상상태 운영 데이터를 가지고 범용적으로 적용할 수 있는 성능평가 방법을 연구하고자 한다. 압축기의 전 부하 시 소비 전력 성능은 ISO 1217-1996 및 JIS 8341-1995에서 규정된 비에너지량으로 정의된다. 압축기의 성능은 압축기의 실제 소모 에너지량과 압축기의 단위 시간당 소비 에너지량의 비를 통해 압축기의 전효율 추이를 확인하는 것으로 평가할 수 있다[3]. 압축기 효율의 감소 경향을 가지고 열화 상태 지표로 활용할 수 있다. 수소충전소의 압축기는 작동유체가 800bar 이상의 고압 환경이므로 성능평가를 위해 설치해야 하는 측정 센서의 가격과 설치 및 유지비용이 매우 높다. 이에 압축기의 성능평가에 관여하는 측정 변수가 적을수록 저비용으로 압축기의 열화 상태를 확인하는 방법이 효율적이다. 압축기의 성능평가는 압축기의 흡입부와 토출부의 압력차와 압축기의 실제 소모 에너지량과의 상관관계로 평가가 가능하며, 압축기의 정상상태를 나타내는 추정함수와 실제 측정값의 비교로 압축기의 열화 상태를 확인할 수 있을 것이다. 이에 압축기의 정상상태에서의 추정함수를 도출하고 적절한 성능평가를 위해 통계학적 방법을 활용해 압축기의 성능을 시각적으로 표현하는 연구를 수행하였다. 수소충전소의 압축기 성능평가 결과 타원함수 추정 방법과 신뢰구간을 복합적으로 적용하면 정상상태에서의 측정값 경향을 시각적으로 확인할 수 있었다. 추후 연구에서는 장기 운영에 따른 열화상태 평가를 위해 더 긴 기간의 데이터를 심층 분석하여 본 연구에서 적용한 성능평가 방법에 대한 검증 및 신뢰도 향상에 대해 수행할 예정이다.

후기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (20215810100050, 20218801010030)

참고문헌

1. Mousavi S. et al., "Energy Efficiency of Compressed Air Systems", *Procedia CIRP*, 15, 313-318 (2014)
2. Jang J. S. et al., "Effect of the Suction Air Temperature on the Performance of a Positive Displacement Air Compressor", *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, 21(2), 89-94 (2017)
3. Jang J. S., "A Study on the Evaluation of Energy Consumption of the Air Compressor", *Journal of Drive and Control*, 17(2), 38-44 (2020)

그린 수소 생산 시스템 위험성 평가: 종합적 분석

김영현¹, 이동균¹, 문일*¹
¹ 연세대학교 화학생명공학과

Risk Assessment in Green Hydrogen Production: A Comprehensive Analysis

Yeonghyun Kim¹, Donggyun Lee¹, Il Moon*¹
 Yonsei University Department of Chemical and Biomolecular Engineering¹

에너지 전환과 지속 가능성 영역에서 수소는 뛰어난 에너지 속성과 저장 능력으로 인해 중추적인 역할을 담당하고 있다. 탈탄소화를 위한 그린 수소를 생산하기 앞서, 유해·위험요인을 찾아내어 위험성을 추정하고 그 추정된 위험성의 크기에 따라 대책을 세우는 위험성 평가가 반드시 이루어져야 한다. 공정 위험성 평가 방법은 정성적 위험성 평가 및 정량적 위험성 평가 방법으로 구분되어 있으며, 전자의 기법으로 HAZOP, 후자의 기법으로는 사고 영향 평가 및 QRA 등이 수행되었다. 정량적 위험성 평가는 대상의 위험을 분석, 평가, 관리하는 방법으로서 사고로 인한 피해와 사고의 발생 가능성을 합하여 위험도를 산출하고 국가나 관련 기관에서 규제하는 기준 이하로 낮추기 위한 방법을 제시하고자 수행되었다. 잠재 위험성 분석 결과 및 위험성 시나리오를 토대로 사고 발생 시나리오를 작성하고, 사고 발생으로 인하여 발생하는 피해 상황을 분석하여 생산 및 저장설비의 위험성을 정량적으로 평가하였다. 또한, 사고의 종류와 형태, 사고 시의 환경조건, 비상시를 대비한 손실 감소 대책 등에 따라 정량적 위험성 평가의 결과가 상이해지므로 당해 생산 및 저장시설의 설치 환경 등을 상세하게 분석하여 위험성 평가를 진행하였다. 정량적 위험성 평가 기법 중 사고로 인한 영향 및 피해를 분석하는 사고 영향 평가를 통해 화재, 폭발, 독성물질의 누출과 같은 사고가 발생했을 때 인명이나 재산상의 손실 또는 업무 중단 등으로 인한 손실비용 등을 정량적으로 평가하였다. 사고 영향 평가의 경우, 누출원 모델링을 통해 가스의 누출 지점 및 양을 파악하고 누출 시나리오 및 주변 환경에 맞게 대기확산 모델링, 화재 모델링, 폭발 모델링 및 사고 영향 모델링을 선정하여 위험성 평가 결과를 최적화하였다. 사고 영향 평가는 다수의 조건을 고려한 계산을 빠르고 정확하게 수행하여야 하므로 정량적 위험성 평가를 위한 범용 소프트웨어인 PHAST를 활용하였다. PHAST를 사용하여 계산한 사고 영향 범위와 신뢰성 있는 사고 발생 빈도 데이터를 바탕으로 SAFETI를 통해 각 공급 방식 별 사회적 위험도 분석을 실시하며, 이를 F-N 커브로 나타내어 해당 시나리오가 허용 가능한지 판단하였다. 결과적으로 수소의 압력이 높을수록 사고 영향 범위도 증가하였으며, 같은 압력에서는 누출공의 크기가 클수록 사고 영향 범위가 증가하는 경향을 보였다. 설비 중 압축기에서 가장 높은 사회적 위험도를 형성하였으며, 인구밀도가 낮아 전체 위험도는 낮게 형성되었다. 정량적 위험성 평가에서는 보수적으로 안전장치를 반영하지 않았으므로 실제 그린 수소 생산 시스템에서는 더 낮은 위험도가 형성될 것으로 판단된다. 이러한 위험성 평가 결과는 글로벌 에너지 전환의 핵심 주체로서 그린 수소의 지속 가능한 발전을 촉진하기 위한 정보에 입각한 의사 결정, 규제 및 기술 발전을 수립하는 데 도움이 되며, 산업 이해관계자, 정책 입안자 및 연구자에게 유용한 통찰력을 제공한다.

참고문헌

1. Korea Gas Safety Corporation, "2022 Gas Accident Yearbook", Korea, 2023-023 (2023).
2. Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), "Hydrogen Safety Manual", Korea, 11-1492000-000908-01 (2022).
3. Hotellier et al., Safety concept of a self-sustaining PEM hydrogen electrolyzer system, Siemens, Germany.

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

자원순환 특별심포지엄

(구두발표)

2024년 3월 28일(목) 09:00~10:40
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸-I

탄소중립 실현을 위한 폐플라스틱 열분해-연소 복합공정 기술 개발

남형석¹, 황병욱²¹경북대학교, ²한국에너지기술연구원**Development of pyrolysis-combustion combined system for carbon neutral society**Hyungseok Nam¹, Byung-Wook Hwang²¹Kyungpook National University, ²Korea Institute of Energy Research

국내 폐플라스틱 발생량은 약 30,000톤/일 (2019년 기준, 환경부)로 향후에도 매년 증가될 것으로 예상된다. 화학적 재활용은 열분해를 통하여 폐플라스틱을 탄화수소와 가스로 분해하여 연료 및 화합물 원료 등으로 활용하는 방법이다. 국내에는 2020년 기준 10여개의 중소 폐플라스틱 열분해 업체가 1.1만톤을 처리하였다. (2022년 기준 16개여 업체) 환경부 계획에 따르면 2030년까지 폐플라스틱 열분해 처리량 90만톤까지 높일 것이라고 발표하였다. 현 시점에서 폐플라스틱 열분해 실태와 관련 연구과제에 대해 리뷰를 하고 열분해-연소 복합 공정에 대해 소개하고자 한다. 본 공정 개발의 목표는 외부 열원 공급없는 열분해 공정을 통하여 에너지 효율을 높이고 유동층 공정의 난제를 해결하여 폐플라스틱 대용량 처리가 가능하도록 하는 것이다. 또한 내부순환유동층, 신개념 폐기물 주입 시스템에 대한 개발이 이루어지고 있고 나아가 순산소 연소기술을 적용하여 열분해유 생산과 동시에 이산화탄소 동시 포집을 하고자 한다. 유동층 반응기를 이용하여 석유화학 산업에 필요한 재생 납사를 생산하고 나머지는 연료유를 생산하는 것을 목표로 하고 있다. 본 발표에서는 폐플라스틱 열분해유의 석유·화학 원료 확보와 관련 기술 개발에 대한 내용을 공유하고 전반적인 진행 상황을 간략히 소개하고자 한다.

Development of Selective Adsorbent Materials for the Recovery of Critical Minerals from Lithium Ion Battery Recycling industry wastewater

Hye-Jin Hong*, Heeji Yoo, Chaelin Kim, Jihee Song

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, Chungdae-ro 1, Seowon-Gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Republic of Korea

Abstract

Recently, a transition from fossil fuels to clean energy is occurring in response to the climate crisis and the goal of carbon neutrality. Alongside this, the importance of critical minerals such as lithium (Li), cobalt (Co), and nickel (Ni), which are used as battery materials for storing clean energy, has increased. In this study, we developed adsorbent materials for the recovery and reclamation of Li, Co, and Ni from wastewater generated by the secondary battery industry, and analyzed the adsorption and separation characteristics of metal ions. For Li ions, lithium titanium oxide (LTO), a lithium-ion-type adsorbent, was combined with carboxymethyl cellulose (CMCNF), a high-permeability polymer, to create granules of 1 cm² size (LTO-CMCNF granules). The produced LTO-CMCNF granules showed very high permeability, with adsorption loss due to binders being less than 10% compared to powder adsorbents, and demonstrated a tendency not to decrease in adsorption capacity even after 5 reuse cycles. For the adsorption/recovery of Ni, alginate beads attached with glyoxime, which shows excellent selectivity for Ni ions, were produced. Physicochemical property analysis confirmed that the glyoxime functional groups were evenly distributed on the alginate beads, exhibiting Ni adsorption performance of over 70 mg/g. The produced adsorbent materials exhibited the characteristic of selectively adsorbing only Ni under conditions where Co, which has physicochemical properties similar to Ni, coexists, depending on the pH. Furthermore, physicochemical performance evaluations of the adsorbent before and after Ni adsorption proved that Ni adsorption involves not only an exchange reaction with Ca ions in alginate but also the formation of coordination bonds by the attached glyoxime on alginate beads. Finally, a continuous wastewater treatment process using the developed adsorbent materials was proposed, evaluating the feasibility of application to actual wastewater.

자원 순환 분야에서의 건식 공정 기술 활용

김영재¹
 인하대학교 신소재공학과¹

Application of high temperature process in the resource circulation field

Youngjae Kim¹
 Materials Science & Engineering, Inha University¹

자원 순환 분야에서 산업 폐기물을 재활용하는 방식은 야금학적 처리를 통하여 유가 금속을 회수하는 물질 회수법과 다른 산업에서 활용 가능한 공정 첨가물, 원료 소재로 전환하거나 신규 재료를 생산하는 형태의 물질 전환법으로 대별될 수 있다. 본 발표에서는 이러한 물질 회수법과 물질 전환법의 두 가지 트랙에서 건식 공정 기술을 활용하는 요소 기술을 설명하고 실제 연구 사례를 소개하고자 한다.

건식 공정 기술은 고온의 온도와 가스 분압이 제어된 상태에서 물질간의 반응과 최종 상태를 열역학적으로 예측하여, 이를 토대로 공정을 설계하거나 재료를 설계하는 기술로 정의될 수 있다. 기본적으로 열역학적 반응에 대한 이해가 필요하며, 구체적으로는 고온 반응에 따른 상전이와 슬래그의 형성, 반응열의 발생, 가스 분압에 따른 열역학적 안정상의 변화 등이 포함된다. 이러한 건식 공정 기술을 통하여 도시 광산을 포함한 산업 폐기물, 공정 부산물 등으로부터 유가 금속을 회수하는 공정을 설계할 수 있으며, 용융 환원, 염배소 공정 등 공정 온도와 반응, 첨가물의 형태 등에 따라 다양한 형태의 공정이 제안될 수 있다.

또한 건식 공정 기술은 고온 세라믹 합성에 따른 소결 반응, 미네랄의 섬유화, 열처리에 따른 결정상 제어 등 열역학과 반응 속도론에 근거한 다양한 물질 전환 방식에서 활용이 가능하다. 소결 과정에서 소결 온도와 시간은 소결 제품의 강도 등 물성을 결정하는 중요한 변수로 이에 대한 결정을 위해서는 고온 반응 중 무기 입자의 반응과 평형 상태의 이해가 중요하다. 또한 섬유화를 위한 용융 공정 단계에서 열물성의 이해와 세라믹의 열처리를 통한 상전이와 강도 제어 등에서 건식 공정 기술의 활용이 가능하다.

끝으로 이러한 건식 공정 기술을 활용한 폐배터리 리사이클링 공정과 산업 부산물을 활용한 고기공 세라믹 소재 개발, 유리섬유 기술 개발 등을 소개하고, 향후 자원 순환 분야에서 건식 공정 기술의 연구 방향을 제안하고자 한다.

Development of biofilm control agents using natural products as alternatives to chemical substances.

Han-Shin Kim¹, Do-Hyung Kim² and Jeong-Hoon Park^{2,*}

¹*Division of Biotechnology, College of Environmental and Bioresource Sciences,
Jeonbuk National University, Iksan, Jeonbuk, South Korea,*

²*Clean Energy Transition Group, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH),
Jeju-si 63243, South Korea*

Biofilms are composed of one or multiple bacterial species enveloped within extracellular polymeric substances (EPSs), which contribute to the escalation of antibiotic resistance by impeding the transportation of antibiotics to bacterial cells. An alternative strategy for combating microbial resistance involves the utilization of biofilm inhibitors that modulate biofilm formation while preserving bacterial growth. This investigation demonstrates the capability of citrus peel extract from Jeju Island (CPEJ) to impede bacterial biofilm development. Our findings reveal that CPEJ effectively reduces biofilm formation in a concentration-dependent manner, while not exerting adverse effects on bacterial proliferation. Furthermore, CPEJ diminishes the production of extracellular polymeric substances while enhancing bacterial swarming motility. These observations prompt the hypothesis that CPEJ may reduce intracellular bis-(3'-5')-cyclic dimeric guanosine monophosphate (c-di-GMP) levels. Experimental evidence confirms a significant decrease in c-di-GMP concentration attributed to heightened phosphodiesterase activity induced by CPEJ. Taken together, these results underscore the potential of CPEJ as a biofilm inhibitor, with promising implications for pharmacological (e.g., drug development) and industrial (e.g., biofouling control in ship hulls, water pipes, and membrane processes) applications.

References

1. Kim, Han-Shin, et al. "Inhibiting bacterial biofilm formation by stimulating c-di-GMP regulation using citrus peel extract from Jeju Island." *Science of The Total Environment* 872 (2023): 162180.
2. Kim, Han-Shin, and Hee-Deung Park. "Ginger extract inhibits biofilm formation by *Pseudomonas aeruginosa* PA14." *PloS one* 8.9 (2013): e76106.

Small water droplet removal from pyrolysis oil

Siyoung Choi*

Chemical and Biomolecular Engineering, KAIST

To effectively separate emulsions composed of fine, sparsely distributed droplets, traditional methods typically require a membrane with pores small enough to match or even be smaller than the droplets themselves. While this ensures high separation efficiency, it limits the technique's application to emulsions with comparatively large droplets. Overcoming this challenge often involves adding a secondary membrane to reduce pore size, a process that can be both complex and expensive. Addressing the need for a simpler, more cost-effective solution, our study introduces an innovative approach using a pre-wetted mesh membrane. Unlike conventional methods, the pore size of this membrane is significantly larger than the droplets it separates. Created by simply applying water to a hydrophilic stainless-steel mesh, this membrane achieves separation through gravity-driven flow. Remarkably, it maintains a separation efficiency of over 98%, even for droplets approximately ten times smaller than its pores, offering a promising new direction for emulsion separation technology.

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

에너지저장 특별심포지엄

(구두발표)

2024년 3월 28일(목) 16:10~17:25
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸-II

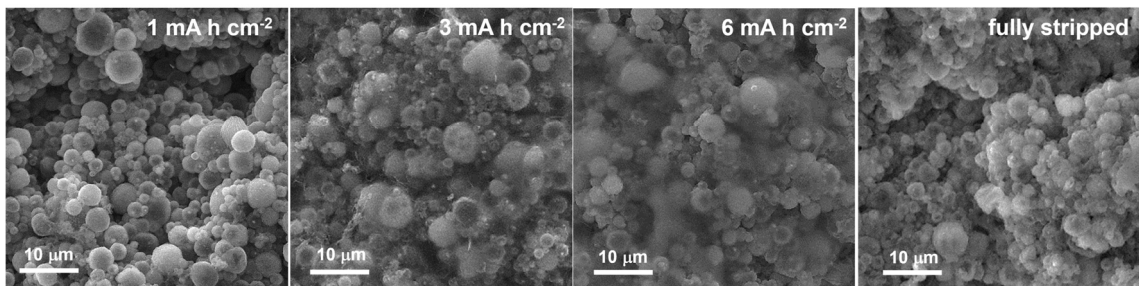
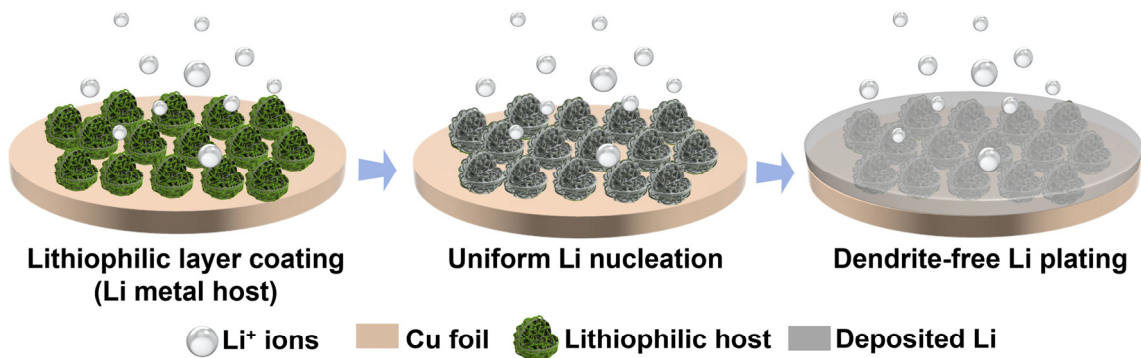
분무열분해 공정을 통한 친리튬성 나노결정 및 다공성 카본 복합 소재의 합성과 리튬 메탈 전극으로서의 전기화학적 특성 평가

김영범^{1,2}, 서효영¹, 강운찬^{2,*}, 박기대^{1,*}

¹충북대학교 신소재공학과

²고려대학교 신소재공학과

최근 전기자동차 및 에너지 저장 시스템의 수요가 증가함에 따라 고 에너지 밀도를 구현을 위한 차세대 전극소재 개발에 관한 관심이 높아지고 있다. 이 중 리튬 금속은 높은 이론용량(3,860 mAh/g)과 낮은 산화환원전위(-3.04V vs. SHE)를 가져, 현재 사용중인 흑연 음극재를 대체할 전극 물질로 주목을 받고 있다. 하지만 리튬 금속은 높은 화학적 반응성으로 인해 전해질과 반응하여 불안정한 계면을 형성하고, 반복적인 충방전 과정에서 리튬 금속이 덴드라이트 형상으로 성장하여 전지의 사이클 수명과 안전성을 저해한다는 치명적인 문제를 갖고 있으며, 이는 리튬 금속 음극의 상용화에 가장 큰 장애물로 작용하고 있다. 이러한 문제점들을 개선하기 위해 본 연구에서는 분무열분해 공정을 이용하여 친리튬성 물질의 나노결정과 다공성 카본이 복합된 소재를 합성하고 이를 리튬 금속 저장체로 이용하여 리튬 덴드라이트의 성장을 억제시키고 계면안정성을 향상시키는 전략을 이용하였다. 합성된 리튬 금속 저장 소재는 다공성 구조와 친리튬성 나노결정의 복합으로 인해 균일하고 안정적인 리튬 증착 특성을 보였으며, 이로 인해 비대칭 셀을 이용한 리튬 증착/탈리 과정에서의 쿨롱 효율 분석, 대칭셀을 이용한 과전압 거동 분석, 양극재를 포함한 완전셀 성능 평가에서 우수한 성능을 보였음을 확인하였다. 한편 리튬 저장소재를 적용시키지 않고 구리 집전체로 동일한 실험을 진행한 결과, 리튬 금속 증착 과정에서 심각한 리튬 덴드라이트의 성장을 보였으며, 이로 인해 본 연구에서 개발된 친리튬성 소재가 안정적인 리튬 금속 전극 구동에 중요한 역할을 할 수 있음을 확인하였다.



A Physical Approach to Practical Applications of Lithium Metal Anode Using High-Flatness Cu Mesh Inducing Epitaxial Li Plating for All Solid-state Battery

Jihan Park^{1,2} and Minjoon Park^{1,2,3} *

¹Research Center of Energy Convergence Technology, ²Department of Nano Fusion Technology,

³Department of Nanoenergy Engineering

Abstract

Lithium metal batteries (LMBs) have been highlighted as next-generation energy storage system due to its high energy density. However, dead and dendritic Li induced by large volume change of Li and inhomogeneous Li⁺ flux during Li plating/stripping hinder the practical application of the LMBs. Especially, the copper foil, which is a two-dimensional substrate, increases the local current density and forms sharp Li nuclei. Furthermore, the repeated volume expansion ruptures the solid electrolyte interface, leading poor battery cycle stability. Therefore, numerous papers introduced 3D hosts (mesh, foam, gauze, and coil) to induce the dense Li deposition via reducing the local current density. In addition, mechanically stable and spacious structure of 3D hosts easily accommodates the internal stress fluctuation. Although these strategies homogenize Li⁺ flux and buffer volume change, they still have low applicability due to the thick thickness of 3D hosts and the poor flexibility of the cathode.¹

Herein, we report high-energy (1-Ah-scale) flexible LMBs with highly flat metal (Cu and Al) mesh substrate using a simple roll-to-roll process. The pressed Cu mesh anode induced dense Li deposition and accommodated volume expansion, exhibiting long-cycle stability over 400 cycles in symmetrical cell evaluation under a current density of 1mA cm⁻². Interestingly, the NCM811 electrode coated on pressed Al mesh achieved a high active material loading level of 30 mg cm⁻² without any performance degradation. Finally, flexible LMB represented high energy density (1,216 Wh L⁻¹) and cyclic lifespan of 500 cycles under frequent mechanical bending. This result demonstrates commercially plausible flexible LMB, broadening the scope of next-generation lithium-based batteries.

References

1. X. He, K. Zhang, Z. Zhu, Z. Tong, and X. Liang, "3D-hosted lithium metal anodes," *Chem. Soc. Rev.*, **53**, 9-24 (2024).

Stabilization of $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ solid electrolyte through Ga-based precipitates and the Ga-Au surface layer

Do-Hun Kim, Seung-Hoon Chun, Jimin Kwon, Si Eun Park and Sangbaek Park*
*Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University,
Daejeon 34134, Republic of Korea*

Abstract: Garnet-type $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ (LLZO) is a promising oxide solid electrolyte with high ionic conductivity and excellent stability toward Li metal. However, the presence of grain boundaries (GBs) cause a decrease in the ionic conductivity and cycling stability of the sintered LLZO. Herein, we promote the Ga precipitation at GBs through excessive doping with Ga/Al/Ta, simultaneously depositing a few nanometers thickness Au layer to form a Ga-Au surface layer. High-temperature sintering of heavily doped LLZO induces Ga precipitation, effectively filling the GB of the pellet. Consequently, the relative density and ionic conductivity are increased. Furthermore, nanoscale Au encounters precipitated Ga and forms a new Ga-Au layer, which reduces the contact resistance. The new layer prevents direct contact between molten Li and Ga-based composites at the GBs, thus enhancing the cycling stability. Therefore, it demonstrates the synergistic effect that the precipitated Ga improves the compactness of the LLZO electrolyte, whereas the Ga-Au layer enhances the cycling stability. It provides a straightforward approach to address the issues originated from GBs and increase the cycling stability of LLZO, thereby contributing to the practical application of all-solid-state batteries.

Keywords: All-solid-state batteries, solid-state electrolyte, Ga precipitation, alloy interlayer.

Revealing Long-Term Stability and Remarkable Volumetric Capacity of Layered Siloxene Microparticles for Advanced Lithium-Ion Batteries

Tae-Gyu Lee¹, Jae-Woo Park¹, Tamal Tahsin Khan^{1,2}, Yujin So³,
Yun Ho Kim^{3,*}, and Young-Si Jun^{1,4,*}

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

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

³Advanced Functional Polymers Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT),
141 Gajeongro, Yuseong-gu, Daejeon 34114, Korea

⁴School of Chemical Engineering, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 61186, Korea

Electrochemical energy storage systems with a high energy density of over 400 Wh/kg are crucial for the extensive use of renewable energy and electric vehicles. Silicon (Si) with high theoretical specific capacity ($\text{Li}_{15}\text{Si}_4$, ~3,579 mAh/g) is a promising alternative to graphite (Li_6C , ~370 mAh/g), but it experiences significant volume changes (270%) during alloying reactions, leading to electrode fragmentation and electrolyte depletion. This study presents a novel approach to tackle the persistent issues associated with Si by utilizing a two-dimensional siloxene (2DSi) as an anode material. The 2DSi shows minimal structural change upon Li^+ intercalation, providing a theoretical capacity of ~810 mAh/g (Li_6Si_6). Moreover, co-imidization with the electrode components including poly(amic acid) binder (2DSi-PAA to 2DSi-PI) enhances mechanical and electrochemical stability of the resulting 2DSi electrode during repeated lithiation/de-lithiation cycles. The 2DSi-PI electrode delivers a reversible capacity of 585 mAh/g under a current density of 350 mA/g over 200 cycles. In addition, the optimized full-cell fabricated with $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ cathode achieves an energy density of 426 Wh/kg at a power density of 1,155 W/kg. Ex-situ and theoretical investigations prove that the improved cycle stability of 2DSi-PI electrodes originates from the increased amount of LiF in the solid-electrolyte-interphase (SEI) layer with high binding affinity with electrodes as a result of the suppression of solvent reduction by surface-bound PI. This study provides the insights that utilizing 2DSi and co-imidizing it with PAA can be a promising strategy for designing a high-energy-dense and stable anode for advanced lithium-ion batteries.

Keywords: siloxene, poly(imide), co-imidization, volumetric capacity, SEI layer

리튬-폴리설파이드 용출 억제를 위한 황화코발트 나노결정 복합 중공 및 다공성 탄소 나노 구조체 합성 및 리튬-황 전지 중간층으로 적용

조성우, 조중상*
충북대학교 공업화학과

리튬-황 전지는 높은 이론적 무게당 에너지 밀도(2567 Wh kg^{-1})를 나타내어 기존 리튬 이차전지를 대체할 수 있는 차세대 에너지 저장 장치로 주목받고 있다. 활물질인 황은 풍부한 매장량과 낮은 원자재 단가로 이점을 가지지만, 황의 높은 부피 변동과 절연 특성으로 인한 낮은 수명 및 출력 특성을 보인다. 또한, 황(S_8)이 충·방전 과정을 거치며 생성되는 리튬-폴리설파이드(Li_2S_x , $4 \leq x \leq 8$)는 전해질에 용출되어 확산되므로 인한 활물질 감소, 전해질 오염, 음극 표면의 부동태 피막 형성 등과 같은 문제를 야기하여 리튬-황 전지의 실적용이 방해받고 있다. 본 연구는 전기전도도가 우수한 황화코발트 나노결정 복합 중공 및 다공성 탄소 나노 구조체를 합성하여 리튬-황 전지 중간층으로 적용한다. 리튬-황 전지 중간층으로 적용 시, 0.1 C의 전류밀도에서 250 사이클 후 656 mAh g^{-1} 의 방전 용량을 나타내었고, 1.0 C의 높은 전류밀도에서 300 사이클 후 395 mAh g^{-1} 의 방전 용량을 나타냈다. 또한, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.8, 1.0, 그리고 2.0 C의 전류밀도에서 각각 1180, 863, 795, 704, 605, 551, 그리고 335 mAh g^{-1} 의 최종 방전 용량을 나타냈다. 황화코발트 나노결정은 리튬-폴리설파이드와의 화학적 흡착으로 활물질의 손실을 억제하고 높은 전기전도도로 폴리설파이드의 전환 촉매 역할을 한다. 중공 및 다공성 탄소 나노 구조는 전해질 침투 촉진과 리튬-폴리설파이드의 물리적 흡착뿐만 아니라 황의 부피 변동을 억제하여 리튬-황 전지의 우수한 특성을 도출할 수 있었다.

분무열분해 단일 공정을 통한 중공 구조의 CoS-C 복합 소재 합성 및 포타슘 이온 배터리 음극 소재로서의 전기화학적 특성 평가

조아연, 김영범, 박기대*
충북대학교 신소재공학과

최근 수요가 급증하고 있는 리튬 이온 배터리는 리튬의 자원 희소성으로 인해 제약이 발생하고 있으며, 이에 따라 이차전지 소재에서 리튬을 대체할 수 있는 차세대 배터리 개발에 관한 관심이 더욱 증가하고 있다. 특히, 포타슘은 리튬에 비해 매장량이 매우 풍부하며, 리튬과 비슷한 환원 전위를 가지고 있어, 이를 이용해 만들어진 포타슘 이온 배터리는 리튬 이온 배터리를 대체할 방안으로 떠오르고 있다. 그러나 포타슘 이온(0.138 nm)은 리튬 이온(0.076 nm)에 비해 큰 이온 반경을 가지고 있어 전기화학 반응에서 느린 반응속도를 유발하고, 포타슘 이온의 삽입 과정에서 큰 부피팽창이 발생하며, 이로 인해 전극반응의 낮은 출력특성과 사이클 안정성을 야기하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 다양한 나노 구조를 가지는 전극소재를 적용시키는 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 분무열분해 단일 공정을 통해 중공 구조의 카본 소재와 CoS 나노결정이 복합된 소재를 합성하였으며, 이를 포타슘 이온 배터리의 음극 소재로 적용시켜 전기화학적 특성을 평가하였다. 또한, 경제적 이점을 위해 본 연구에서는 폐초경 합금으로부터 코발트 성분을 추출하여 이를 분무열분해 공정의 전구체 용액에 적용하였으며, 황산 기반의 재활용 용액으로 인해 후열처리 없이 단일 합성공정으로 CoS 조성의 소재를 합성할 수 있음을 보였다. 개발된 소재의 중공구조는 충 방전 과정에서 발생하는 큰 부피변화를 효과적으로 완화시키고, 포타슘 이온의 확산경로를 감소시켰으며, 이로 인해 우수한 사이클 안정성 및 출력특성을 보였다.

Understanding the synergetic effect of liquid metals and in-situ polymerization for anode-free Lithium metal batteries

Minh Hai Nguyen¹, Youngmin Moon¹, Hee Su Kim¹, Nhat Minh Ngo¹ and Sangbaek Park^{1*}

¹ *Department of Materials Science and Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea*

Abstract: To overcome the safety and energy density challenges of conventional Li-ion batteries, anode-free or zero-lithium excess configurations using only a current collector in anode part have been developed. However, there are major challenges including fast Li dendrite growth, low Coulombic efficiency, safety issue, and thickness problem, which hinder the practical application of anode-free batteries (AFBs) using liquid electrolytes (LEs) and solid electrolytes (SEs). Herein, we report potential AFBs using polymer electrolyte (PE) and Li metal-free anode. The current collector surface is modified by coating a nanocomposite layer comprising C and different liquid metal nanoparticles. We observe that the polymerization depends on the solvent composition and the concentration of Li salt, and the cells containing polymerized electrolyte show better performance compared to other conventional LEs. LMs play a role as materials that rapidly become alloys with Li, resulting in the reduction of nucleation energy barrier for uniform deposited Li formation. Finally, the AFBs with Ag-C composite on CC were also fabricated and compared with our concept using LMs-C composite to examine the differences in cell performance and working mechanism. We believe that our investigation can contribute to future studies related to AFBs using polymer electrolytes and composite interlayers for practical applications.

Keywords: *Anode free batteries; Polymer electrolytes; Liquid metals; Liquid metal-C composites; Ag-C composites.*

FeS 나노 결정이 캡슐화 된 고다공성 카본 코팅 CNT 복합 소재의 합성 및 소듐 이온 배터리 음극 소재로서의 전기화학적 특성

서효영, 김영범¹, 박기대*

충북대학교 신소재공학과

¹고려대학교 신소재공학과

나노 구조화 된 탄소 소재는 물리·화학적 특성이 뛰어나 최근 다양한 분야에서 주목을 받고 있다. 고다공성 카본 소재의 발달된 마이크로 및 메조 공극은 합침 공정을 통해 비금속 또는 금속 나노 결정의 우수한 템플릿으로 활용될 수 있다. 나노 결정을 카본 소재에 완전히 캡슐화 하여 결정 성장을 억제하는 것은 소듐 이온 저장 특성을 향상시키는 효과적인 방법으로 주목 받고 있다. 초미세 금속, 금속 화합물 또는 비금속 화합물과 복합화 된 나노 구조 카본 소재는 배터리 전극 소재의 전기 전도성 및 구조적 안정성에 크게 영향을 미친다. 이러한 소재들은 충·방전 과정 동안 부피 팽창에 의한 구조적 붕괴를 완화시키고 소듐 이온의 이동 경로를 단축시키며 다량 용출을 방지한다. 우수한 전도성 카본과의 결합은 향상된 전극 재료를 개발하는 데 중요한 역할을 한다. 주목할 만한 예는 다양한 전이 금속 화합물과 1차원 카본 나노 튜브(CNT)를 복합화하는 것이다. 또한 알칼리 이온 배터리의 우수한 음극 소재로서 상호 연결된 1차원 CNT와 캡슐화된 금속 화합물이 복합화 된 3차원의 나노 구조체가 광범위하게 연구되었다. 리튬 이온 배터리에 비해 소듐 이온 배터리의 전기화학적 특성, 예를 들어 비가역 용량, 수명 및 율속 특성은 주로 나노 결정의 작은 크기 및 캡슐화 된 위치에 의해 결정된다. 소듐 이온 배터리의 큰 부피 변화 및 느린 이온 이동도로 인해, 소듐 이온 저장 특성을 향상시키기 위한 효과적인 전략으로 카본 내에 완전히 캡슐화 된 초미세 금속 화합물 나노 결정이 제안되었다.

본 연구에서는 나노 결정의 우수한 템플릿으로 사용되는 고다공성 카본 코팅 된 CNT 마이크로스피어를 제안하고, 고다공성 카본 코팅된 CNT 내에 FeS 나노 결정을 캡슐화 하는 전략을 소개한다. 또한, 완전한 캡슐화를 하기 위한 최적의 방법을 결정하기 위해 기상, 액상, 그리고 고상법을 포함한 다양한 방법의 황화 과정을 통해 합성한 후 비교분석 하였다. 고다공성 탄소 코팅 된 CNT 마이크로스피어에 Fe 염이 녹아 있는 용액을 함침하고 S 나노 파우더와의 후 열처리를 진행하여 FeS 결정이 탄소 내부에 완전히 캡슐화 된 FeS-C-CNT 복합 소재를 합성하였다. 다공성의 FeS-C-CNT 마이크로스피어는 충·방전 시 발생하는 부피 변화를 수용할 수 있는 충분한 공간을 제공하여 소듐 이온 배터리의 음극 소재로서 우수한 수명 특성 및 율속 특성을 보였다.

A Physical Approach to Practical Applications of Lithium Metal Anode Using High-Flatness Cu Mesh Inducing Epitaxial Li Plating for All Solid-state Battery

Jihan Park^{1,2} and Minjoon Park^{1,2,3*}

¹Research Center of Energy Convergence Technology, ²Department of Nano Fusion Technology, ³Department of Nanoenergy Engineering

Abstract

Lithium metal batteries (LMBs) have been highlighted as next-generation energy storage system due to its high energy density. However, dead and dendritic Li induced by large volume change of Li and inhomogeneous Li^+ flux during Li plating/stripping hinder the practical application of the LMBs. Especially, the copper foil, which is a two-dimensional substrate, increases the local current density and forms sharp Li nuclei. Furthermore, the repeated volume expansion ruptures the solid electrolyte interface, leading poor battery cycle stability. Therefore, numerous papers introduced 3D hosts (mesh, foam, gauze, and coil) to induce the dense Li deposition via reducing the local current density. In addition, mechanically stable and spacious structure of 3D hosts easily accommodates the internal stress fluctuation. Although these strategies homogenize Li^+ flux and buffer volume change, they still have low applicability due to the thick thickness of 3D hosts and the poor flexibility of the cathode.¹

Herein, we report high-energy (1-Ah-scale) flexible LMBs with highly flat metal (Cu and Al) mesh substrate using a simple roll-to-roll process. The pressed Cu mesh anode induced dense Li deposition and accommodated volume expansion, exhibiting long-cycle stability over 400 cycles in symmetrical cell evaluation under a current density of 1 mA cm^{-2} . Interestingly, the NCM811 electrode coated on pressed Al mesh achieved a high active material loading level of 30 mg cm^{-2} without any performance degradation. Finally, flexible LMB represented high energy density ($1,216\text{ Wh L}^{-1}$) and cyclic lifespan of 500 cycles under frequent mechanical bending. This result demonstrates commercially plausible flexible LMB, broadening the scope of next-generation lithium-based batteries.

References

1. X. He, K. Zhang, Z. Zhu, Z. Tong, and X. Liang, "3D-hosted lithium metal anodes," *Chem. Soc. Rev.*, **53**, 9-24 (2024).

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

에너지전환 특별심포지엄

(구두발표)

2024년 3월 28일(목) 16:10~17:25
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸-II

Process Demonstration of Biogas Upgrading to Biomethane Using Water Scrubbing Technology

Sun Hyung Kim^{1*}, Hee Tae Beum¹, Jong-Nam Kim¹, Chan Hyun Lee²

¹Korea Institute of Energy Research, ²University of Ulsan

We demonstrated pilot-scale process plant of biomethane production from raw biogas. The biogas is generated from anaerobic digester installed in Jeong-Eup Jeongae Farmers Association in which 70% of livestock wastes and 30% of food wastes are treated to produce 80 Nm³/h biogas containing 55% to 60% of methane, 40% to 45% of carbon dioxide and thousands of ppm of hydrogen sulfide. As a research section of KIER, water scrubbing and water adsorption technologies were applied to upgrade the biogas removing carbon dioxide and water vapor, respectively, and thus producing high purity of biomethane of which property is similar to natural gas. The biomethane can be further used to produce bio-CNG or green hydrogen by additional process of compression or steam reforming reaction, respectively. The equipment and utilities were movably packaged for easy transportation and installation. The upgrading process was successfully demonstrated for the production of biomethane that includes higher than 97% of methane and lower than 3% of carbon dioxide and 1 ppm of water vapor without detection of hydrogen sulfide. The experimental data measured in the scrubber filled with structured packing to enhance the contact between vapor and liquid was validated by comparison with the rate-based process simulation results, determining effects of process parameters such as absorber pressures, water flow rates, and water temperatures.



메탄 직접탈수소 방향족화 반응에서 Mo/HZSM-5의 Mo 산화물 활성화에 대한 Ni과 Mo의 물리적 혼합의 증진 효과

남기훈, 류혜원, 김도희*
서울대학교 화학생명공학부

Synergetic effect of physical mixing of Ni and Mo on Mo oxide activation of Mo/HZSM-5 in methane dehydro-aromatization

Kihun Nam, Hae won Ryu, Do Heui Kim*
School of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University, Republic of Korea

메탄은 천연가스와 셰일가스의 주성분으로, 매장량이 풍부해 탄소 공급원으로 이용 가치가 높다. 하지만 현재 메탄만을 이용한 상용 공정이 없다는 점, 그리고 자체의 높은 온실가스 효과로 인해 누출 위험을 최소화할 수 있다는 점에서 메탄의 직접 전환 반응을 주목하고 있다. 이 중에서도 메탄의 직접 탈수소방향족화 반응은 고부가가치 화합물인 벤젠이 주로 생성된다는 장점을 지니고 있다. 선행 연구들을 살펴보면 Mo/ZSM-5 촉매가 가장 범용적으로 연구되고 있는데, 메탄의 직접 탈수소방향족화 반응은 메탄의 높은 안정성으로 인해 700 °C 이상의 높은 온도를 필요로 하면서도 메탄의 낮은 전환율과 코크 생성에 의한 촉매의 빠른 비활성화로 인하여 한계에 부딪혀있다.

본 연구에서는 Mo/ZSM-5에 NiO를 물리적으로 혼합하여 방향족 수율 증대와 코크로 인한 비활성화 억제를 유도하였다. 또한, NiO가 Mo/ZSM-5 촉매에 미치는 영향을 규명하기 위해 X선회절 분석법, 메탄 승온 표면 반응, CO 화학흡착, 투과 전자 현미경, 승온 산화법, 라만 분광법, 질소 흡탈착 분석 등을 수행하였다. 이를 통해 NiO가 Mo/HZSM-5의 초기 Mo 산화물(MoOx) 활성화에 영향을 미친다는 사실을 밝혀내었으며, NiO가 반응 조건에서 Ni 금속 종으로 환원되어 코크 전구체를 흡수하여 탄소 나노 튜브(CNT)로 전환시켜 Mo/HZSM-5의 비활성화를 억제한다는 사실을 밝혀내었다. 이후 실리카 쉘을 도입하여 Ni과 Mo의 시너지 효과를 비교하였다.

메탄 건식 개질 Ni/Al₂O₃ 촉매를 위한 알루미나 비드 특성 조절

황성범¹, 유은주¹, 최동섭¹, 김상빈¹, 김나연¹, 주지봉^{1*}

¹건국대학교 화학공학과

Property Control of Alumina Beads for Ni/Al₂O₃ catalyst in Dry Reforming of Methane

Sung Beom Hwang¹, Eunju Yoo¹, Dong Seop Choi¹, Sang Bin Kim¹, Nayeon Kim¹, Ji Bong Joo^{1*}

¹Department of Chemical Engineering, Konkuk University, 05029, Korea

<Abstract>

Dry reforming (DRM) of methane is a chemical reforming method that produces synthetic gas (syngas) from the reaction of methane and carbon dioxide. However, palletization in a commercialization process for minimizing pressure drop not only changes the properties of the catalyst but also creates a dead-zone in which no catalytic activity occurs and damages overall efficiency. Therefore, in this study, commercially available alumina beads were introduced as supporting materials to minimize pressure drop in the reactor. To improve catalytic performance, we further investigated the effects of acid treatment on commercial alumina bead supports. XRD, BET, H₂-TPR and NH₃-TPD analysis were performed to evaluate the properties of supporting beads and catalyst. By measuring the reaction product gas with GC, catalytic activity performance is evaluated.

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).

CO₂ 수소화 메탄올 합성 연구 및 기본 공정설계

김태영, 유장, 장은호, 남형석*, 우진혁, 이수출
경북대학교

CO₂ hydrogenated methanol synthesis and basic process design

Tae-young Kim, Zhuang Liu, Eunho Jang, Hyungseok Nam*, Jin Hyeok Woo, Soo Chool Lee
Kyungpook National University

Abstract

화석연료 소비가 증가하면서 대기 중 CO₂ 배출량이 많이 증가했고 이는 지구 기후 변화에 돌이킬 수 없는 영향을 미칩니다. 이 문제를 해결하기 위해 여러 가지 연구가 진행되어 왔습니다. 그 중 CCU(Carbon Capture Utilization)기술은 CO₂를 수소화하여 화학산업의 기초원료가 되는 다양한 탄화수소화합물을 생성하고 동시에 온실가스 배출을 줄일 수 있기 때문에 아주 효과적인 탄소중립 방법 중 하나로 간주 됩니다. 여기서 수소화란 수소와 다른 원소를 화합하는 반응을 의미합니다. 저희는 이러한 CCU 기술 중 CO₂ to methanol을 연구하였습니다. 이렇게 생산된 메탄올은 대체 연료로 사용 가능하고, BTX 등 석유로만 만들 수 있던 기초원료를 제작할 수 있습니다. 이번 연구에서 구리 기반 촉매를 이용하여 압력별 (20~50bar) 온도별 (200~300°C) 운전 조건에서 CO₂ 전환율과 메탄올 선택도를 확인해 보았습니다. 열역학적 equilibrium 결과와 비교하였으며 실험조건에 따른 결과를 고찰하였습니다. 추가적으로 실험결과를 공정모사기에 적용하여 통합 공정에 대한 기본 모델링을 수행하였으며, 이를 바탕으로 리사이클의 적용 여부 및 방법 등에 따른 최적화를 수행하여 공정 구조 및 운전 조건을 확립하였다

참고문헌

1. KANURI, Suresh, et al. "Microrod networks CuO-ZnO-Al₂O₃ catalyst for methanol synthesis from CO₂: Synthesis, characterization, and performance demonstration." *Materials Today Chemistry*, 36: 101959, (2024)
2. STANGELAND, Kristian; LI, Hailong; YU, Zhixin. "Thermodynamic analysis of chemical and phase equilibria in CO₂ hydrogenation to methanol, dimethyl ether, and higher alcohols." *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57.11: 4081-4094, (2018)

운전 온도 및 체류 시간이 베트남 바가스의 반탄화 품질에 미치는 영향

안성율*, 홍세윤, 여채은, 성호진
플랜트 엔지니어링 센터, 고등기술연구원

Effect of operation temperature and residence time on torrefaction of Vietnam's bagasse

Seongyool Ahn, Seyoon Hong, Chaeun Yeo, Hojin Sung
Plant Engineering Center, Institute of Advanced Engineering

지구 온난화 문제를 해결하기 위하여 많은 국가가 노력하고 있으며, 파리 협정을 통하여 국가 배출량에 관한 규제를 적용하여 온난화 문제를 해결하고자 많은 노력을 기울이고 있다. 국가 할당량을 국내에서 소화하기 어려운 국들은 해외 감축분을 확보하기 위한 움직임을 보이고 있다. 동남아국가에서는 기후 특성으로 인하여 많은 바이오매스가 생산되고 있지만, 이 중 많은 자원들이 활용되고 있지 못한 실정이다. 이러한 미활용 바이오매스를 활용하여 기존 화석 연료를 대체할 수 있다면, 온실 가스 배출 저감에 많은 도움이 될 수 있다. 특히, 목질계 혹은 초본계 바이오매스는 기존 에너지 시스템을 활용할 수 있으며 탄소 배출 규제에 대응하기 위한 가장 현실적인 대응 방안으로 여겨지고 있다. 본 연구에서는 동남아 국가 중 베트남에서 활용되지 못하고 있는 사탕수수 찌꺼기(바가스, Bagasse)를 활용하여 발전 및 스팀 생산에 활용하고자 한다. 바가스는 설탕 추출 과정에서 많은 수분을 함유하게 되며, 이로 인하여 발열량이 낮으므로 기존 발전 시스템에 직접 활용하기에는 무리가 있다. 그리하여 본 연구에서는 바가스를 기존 발전 시스템에 적용하기 위하여 시료의 수분을 제거하고 품질을 향상시킬 수 있는 전처리 과정인 반탄화 과정에서 운전 조건에 따른 바가스의 반응 특성을 분석하였다. 이를 위하여, 실험실 규모의 실험 설비를 구축하였으며, 내부 반응온도 및 체류 시간에 따른 반탄화의 품질 특성을 분석하여 기존 발전 시스템에 활용하기 위한 최적의 반응 조건을 도출해 내는 것을 목표로 하였다. Fig. 1에는 본 연구를 위한 실험 설비를 나타내었으며, Fig. 2에는 내부 반응온도 및 잔류 시간의 변화에 따른 발열량의 변화를 나타내었다. 실험 결과, 반응온도 및 체류 시간의 증가에 따라 연료의 발열량이 증가함을 확인하였으며, 본 연구에서는 기존 연소로 운영에 필요한 최소 발열량인 4,800 Kcal/kg의 최적 반탄화 조건을 확보하였다.

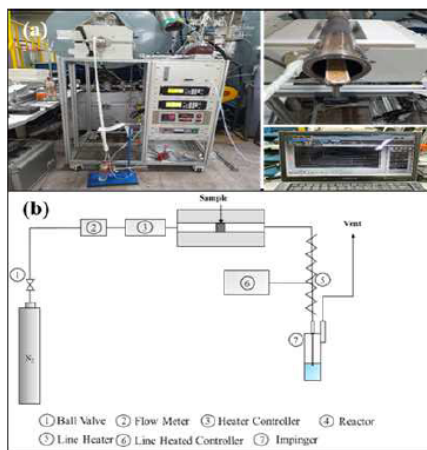


Fig. 1 Lab-scale test system

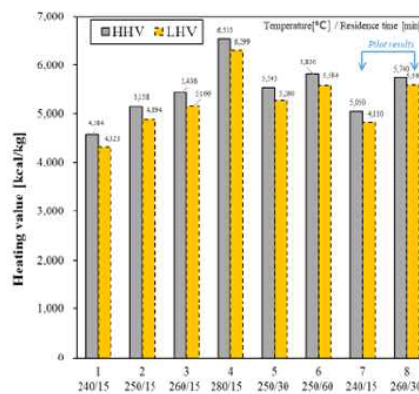


Fig. 2 Heating values according to operating conditions

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

**청정융합
특별심포지엄**
(구두발표)

2024년 3월 28일(목) 09:00~11:30
원덤그랜드 부산 2층 다울

Direct observation of photo/electrochemical ammonia oxidation for H₂ production

Wooyul Kim*

*Department of Energy Engineering / KENTECH Institute for Environmental and Climate Technology, Korea
Institute of Energy Technology(KENTECH), Naju, 58330, Republic of Korea*

*e-mail address: wkim@kentech.ac.kr

The electrochemical ammonia oxidation reaction (AOR) is one of the most prominent applications for the energy and environmental crisis. Ammonia is a promising future fuel as a hydrogen carrier due to its liquid phase at ambient conditions. It also has been used for wastewater remediation and electrochemical sensor which can be great for solving environmental problems. For the ammonia oxidation reaction, two mechanisms were proposed to demonstrate its reaction. The first mechanism (Oswin-Salomon) explains N₂ is formed by dimerization of two N_{ad} atoms, whereas the second mechanism (Gerischer-Maurer) postulates N₂ formation promoted by two NH_x ad groups (where x = 1 or 2) and N_{ad} is a poison for this reaction. Calculation studies were employed to demonstrate the mechanism of this reaction. However, few publications are elucidating this mechanism based on experimental results. In-situ operando ATR-SEIRAS were employed to directly observe the AOR intermediates on Pt catalyst. This study executed the kinetic behavior of intermediates triggering N₂ formation and N_{ad} poisoning on Pt catalyst.

고효율 암모니아 생산을 위한 Ru/BaCeO₃ 광촉매 개발

중초은^{1,2}, 장민^{1,2*}

¹플라즈마바이오효과학연구센터, ²광운대학교 공과대학 환경공학과

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

Ru/BaCeO₃ photocatalyst development for high photocatalytic ammonia production

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

Kwangwoon University Environmental Engineering¹, Kwangwoon University PBRC²

Artificial photosynthesis for ammonia production via photocatalytic nitrogen fixation approach showed promising potential compared to the conventional high energy consumption Haber-Bosch process. However, the kinetic reaction for ammonia production strongly depends on the interaction between the photoexcited electrons and adsorbed nitrogen molecules. In this study, barium cerium oxide (BaCeO₃, BC) was prepared via the sol-gel method and further loaded with Ru (BC/Ru) for photocatalytic N₂ fixation. The Ru doping-induced lattice contraction of BC increased the photocurrent density, reduced the bandgap energy, developed defect, and increased electron decay lifetime. In addition, the liquid phase FTIR analysis demonstrated that Ru improved the interaction between nitrogen species on BC, which enhanced nitrogen fixation. The optimized BC/Ru_{0.5} (0.5% Ru doped) exhibited the ammonium production performance of 123 μmol g⁻¹ h⁻¹, approximately 63 times higher than pristine BC (1.94 μmol g⁻¹ h⁻¹) in the absence of sacrificial chemical. In addition, stable photocatalytic nitrogen fixation performance was achieved over five cycles using BC/Ru_{0.5}. The enhanced photocatalytic performance of BC is attributed to the hot electrons transport channel with Ru. Further, *in-situ* SERS measurement demonstrated the electron transfer from BC toward Ru, revealing that the hot electron transfer channels are built through Ru doping in BC. This work demonstrates that inducing electronic asymmetry improved the photoelectron transfer for photocatalytic nitrogen fixation.

References

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

Identification and characterization of Laccase-producing bacteria for potential remediation of reactive blue 19

Guulam Mustafa, Muhammad Tariq Zahid, Nikita Yadav, Duck-Won Kim and Byong-Hun Jeon*

Department of Earth Resources and Environmental Engineering, Hanyang University, Seoul.

Abstract

Cost-effective and environmentally friendly, biological-based treatment systems represent viable solutions for decolorizing textile effluents Khan, et al. [1]. Microbial enzymes, such as laccase, play a critical role in the biological degradation of synthetic dyes due to the broader range of substrate specificity Liu et al. [2]. The focus of this study was the molecular characterization of laccase-producing bacteria and biodegradation of reactive blue 19. The 16 locally isolated bacterial strains underwent characterization using the culture technique with a guaiacol substrate, and the decolorization potential of isolated bacterial strains was observed. *Serratia marcescens* AY4 (OR625080) demonstrated the most favorable outcomes in terms of guaiacol oxidation by laccase production (brown colony) and was further characterized by 16S rRNA gene amplification. *S. marcescens* AY4 decolorized 94% of RB-19 after 96 h of incubation at 37°C with 5 mM guaiacol, 2 mM copper sulfate, and 100 mg L⁻¹ dye concentration. The laccase activity using guaiacol substrate was estimated by liquid culture method, revealing the 167 ± 3.5 U mL⁻¹ observed. UV-vis estimated the decolorization of dye, and metabolites were identified as 2,4-di-tert-butylphenol and Bis(2-ethylhexyl) phthalate with retention times of 24.110 min and 29.598 min, respectively, using FTIR and GC-MS analytical techniques. The ECOSAR (version 2) was employed to forecast the acute toxicity value (LC₅₀/EC₅₀) and chronic toxicity value (ChV) associated with RB-19 dye and its biotransformed products. Laccase-producing *S. marcescens* AY4 could serve as a practical biocatalyst for continuous decolorization and degradation of textile dyes.

Keywords Textile dyes; Biodegradation; *Serratia marcescens*; Laccase; Guaiacol; Analytical Techniques.

Refereces

1. Khan, Mohammad Danish, et al. "Current perspectives, recent advancements, and efficiencies of various dye-containing wastewater treatment technologies." *Journal of Water Process Engineering* 53 (2023): 103579.
2. Liu, Jiashu, et al. "Chemically induced oxidative stress improved bacterial laccase-mediated degradation and detoxification of the synthetic dyes." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 226 (2021): 112823.

Acknowledgment

This study was supported by the Basic Research Laboratory (No. RS-2023-00219983) through the National Research Foundation (NRF), Ministry of Education, Science, and Technology (MEST) of the South Korean government.

Selective Cultivation of Electrode-attached Cell Enhances CO₂ Conversion to Acetate in Microbial Electrosynthesis

Ji In Yoo¹, Minsoo Kim¹, Eunseo Kim¹, Jung Rae Kim^{1*}

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

Carbon capture and storage (CCU) technologies for a net-zero process have attracted considerable attention. The conversion of CO₂ into useful platform intermediates has been of great importance recently. Microbial Electrosynthesis (MES), one of the biological CCU processes, converts CO₂ into high-value-added products such as acetate and volatile fatty acids. To further increase the productivity and titer of metabolites, it is important to promote microbe-electrode interaction via direct electron transfer (DET) and indirect electron transfer (IET). Biofilm formation on the electrode surface is essential for DET. Medium replacement enhances the selective enrichment of electroactive microbial consortia which attach to the electrode surface. However, the effect of the medium replacement ratio on MES performance has not been extensively examined. In this study, we investigated the effect of medium replacement ratio on acetate production in MES. When the cathodic medium was replaced 100% periodically, the acetate production was improved probably through the DET mechanism. Multiple pili were observed on the cathode-attached cells that allowed a direct connection to the electrode surface through Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) analysis. The MES produced acetate at a rate of up to 6.61 mM/day with 100% medium replacement as compared to the control (80% replacement) of 4.67 mM/day under -1.0 V (vs. Ag/AgCl). These results suggest that the electrode-associated cell mainly produced acetate through DET rather than the suspended cell with IET in MES.

Detection and disinfection of free-living amoeba in chlorinated drinking water

Muhammad Tariq Zahid, Ghulam Mustafa, Hyun-Jo Ahn, and Byong-hun Jeon*

Department of Earth Resources & Environmental Engineering, Hanyang University, Seoul

*Corresponding authors: Byong-hun Jeon (bhjeon@hanyang.ac.kr)

Abstract

Free-living amoebae are waterborne microbial contaminants that cause infrequent but severe nervous, ophthalmic, and respiratory infections. Their ubiquitous presence across diverse environments, including recreational waters and water distribution systems (Holsinger [1]), poses potential threats to humans. In the present study, 115 water samples, eighty-five of which originated from ultrafiltration units and 30 from chlorinated water resources, were collected from March to September 2021 from chlorinated and ultrafiltration drinking water facilities. These samples were cultured on non-nutrient agar plates, seeded with heat-killed *E. coli* to detect the presence of free-living amoebae (Reyes-Battle [2]).

A total of 21 tested positive for *Acanthamoeba* sp., *Allovahlkampfia* sp., and *Vermamoeba vermiformis*, all originating from chlorinated sources. Their trophozoites withstand temperatures up to 37 °C, while the cysts tolerate heat shocks of 60–70 °C. Trophozoites were susceptible to WHO's recommended upper limit of 5 mg L⁻¹ chlorine, but cysts remain viable at concentrations up to 10 mg L⁻¹. FLAs' survival in chlorinated waters is attributed to high cyst tolerance and lower residual chlorine concentrations. These findings highlight the need for ultrafiltration or enhanced chlorination protocols to ensure safer drinking water.

Keywords: Drinking water, Disinfection, *Acanthamoeba*, *Allovahlkampfia*, *V. vermiformis*.

References

1. Holsinger, H., et al. (2021). Evaluation of Residual Disinfectant Levels in Public Drinking Water Distribution Systems in Relation to an *Acanthamoeba* Keratitis Outbreak—Illinois 2002–2009. medRxiv: 2021.2008.2027.21262491.
2. Reyes-Battle, M., et al. (2021). Free living amoebae isolation in irrigation waters and soils of an insular arid agroecosystem. *Science of the Total Environment* **753**: 141833.

Acknowledgment

This study was supported by the Basic Research Laboratory (No. RS-2023-00219983) through the National Research Foundation (NRF), Ministry of Education, Science, and Technology (MEST) of the South Korean government.

히트펌프 및 열교환기 내 금속 표면 서리 생성 방지를 위한 초발수 코팅 기술에 관한 연구

유현아¹, 김지율¹, 김상빈¹, 황성범¹ 주지봉^{1*}

¹건국대학교 화학공학과

Study on Superhydrophobic Coating Technology to Prevent Frost Formation on Metal Surfaces in Heat Pumps and Heat Exchangers

Hyeona Yu¹, Jiyull Kim¹, Sang Bin Kim¹, Sung Beom Hwang¹ Ji Bong Joo^{1*}

¹Department of Chemical Engineering, Konkuk University, 05029, Korea

전 세계적으로 2050 탄소 중립을 달성하기 위해 건물 냉난방 시스템에서 화석연료, 특히 천연가스 사용을 줄이거나 대체하여 에너지 비용 문제를 해결하는 것으로 목표하고 있다. 건물 냉난방 시스템으로 사용되는 히트펌프는 현재 유럽과 미국에서 가스보일러를 대체하기 위해 사용되고 있으며, 에너지 소비 중 가장 큰 부분을 차지하는 냉난방 에너지 절감을 위해 에너지 효율이 높은 히트펌프에 대한 기초 연구 및 실증 연구가 진행되고 있다. 하지만 히트펌프 동계운전 시 습한 공기가 0도 이하의 냉각면과 접촉할 때 표면의 서리층이 형성되며, 이러한 서리가 성장함으로써 실외기의 공기 유동 통로를 차단하여 열교환 효율 및 난방 효율이 저하된다는 문제점이 있다. 현재 서리 생성 문제를 해결하기 위해 히트펌프의 핀이나 열교환기 표면에 초발수 코팅 기술이 사용되고 있다. 초발수 코팅 기술은 표면과 물 사이의 접촉각 및 미끄러짐 각을 조절하여 물방울이 빠르게 제거될 수 있게 하며, 물과 표면의 착상 문제를 지연시키는 방법으로 초기 서리층 생성 방지에 탁월하다. 본 연구에서는 히트펌프 또는 열교환기 표면에 적용하기 전 Chemical bath deposition 방법을 이용하여 다양한 소재에 초발수성을 부여하고자 한다.

참고문헌

1. Hosono, E., Fujihara, S., Honma, I., and Zhou, H. "Superhydrophobic perpendicular nanopin film by the bottom-up process," J. Am. Chem. Soc., 127.39, 13458-13459(2005).
2. Si, Y., Guo, C., Xie, C., and Xiong, Z. "An ultrasonication-assisted cobalt hydroxide composite with enhanced electrocatalytic activity toward oxygen evolution reaction," Materials, 11(10), 1912(2018).

아르곤 제트 플라즈마와 Ru가 도핑된 Bi-Ce 복합체를 이용한 수중 GenX의 효과적인 제거

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

Effective elimination of GenX in water using Argon jet plasma with Ru-doped Bi-Ce composite

Baekha Ryu^{1,2}, Choe Earn Choong^{1,2}, Min Jang^{1,2*}
¹Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University,
²Plasma Bioscience Research Center (PBRC), Kwangwoon University

Perfluorooctanoic acid (PFOA) was widely utilized in the paper and coating industry for its chemical stability. However, its extensive distribution in aquatic ecosystems and carcinogenic nature to organisms raised significant concerns. GenX, the ammonium salt of hexafluoropropylene oxide dimer acid (HFPO-DA), was developed as a substitute for PFOA, which later became a concern due to its widespread presence in aquatic systems. Recent studies have suggested the potential toxicity of GenX to organisms within these systems. Despite attempts to remove GenX using various water remediation technologies such as adsorption and oxidation, their effectiveness was limited by the stable C–F bonds in the chemical structure of GenX. In this study, we employed argon (Ar) jet plasma to degrade GenX, with pristine cerium bismuth composite (Bi-Ce) and various amounts of ruthenium (Ru)-doped Bi-Ce as plasma catalysts. It was observed that plasma containing 0.1% Ru-doped Bi-Ce achieved a 74% degradation of GenX within 30 minutes, exhibiting significant synergy (synergy factor: 1.7) compared to plasma alone (53%). The scavenging test for finding radical oxidative species (ROS) contribution indicated the importance of hydroxyl radicals ($\cdot\text{OH}$) in plasma and plasma catalysis. Notably, singlet oxygen ($^1\text{O}_2$) emerged as a significant contributor to plasma catalysis, a finding supported by the electron paramagnetic resonance (EPR) test. Based on these results, a proposed pathway for GenX degradation via plasma catalysis was proposed.

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).

Combined treatment of high-strength fresh leachate from municipal solid waste landfill using coagulation-flocculation and fixed bed upflow anaerobic filter

Chejarla Venkatesh Reddy, Byong-Hun Jeon*

*Department of Earth Resources & Environmental Engineering, Hanyang University,
Seoul 04763, Republic of Korea.*

Abstract

The coagulation-flocculation mechanism and biological therapy are examined in this study. Two landfill-simulated reactors were built using a 1 m x 1 m x 1.1 m iron sheet (Venkatesh et al.[1]). In this study, landfill reactors were simulated with different operation modes, i.e., Reactor1 (R1) was operated without rainfall, and reactor2 (R2) Operated at the weighted average actual rainfall rate of 50 years, while both contained the waste composition of wet waste (73%) and dry waste (27%). Initially, R1 leachate was used to obtain the effective coagulant in terms of coagulant dose and pH using different conventional coagulants, i.e., potash alum $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, ferric chloride ($FeCl_3$), ferrous sulphate heptahydrate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), calcium hydroxide ($Ca(OH)_2$) and bentonite clay. R1 leachate was utilized for biomass growth/acclimatization, while R2 was used for treatment to evaluate the anaerobic filter's pollution indicator parameter removal effectiveness. The leachate (R1) was characterized before the pretreatment process and showed that the chemical oxygen demand (COD) removal percentage was higher for $FeCl_3$ with 55.4% at pH 5. Leachate from the simulated rainfall reactor (R2) had 20.03% (23,170 mg/L) COD removal in the treatment phase and 23.3% in the up-flow anaerobic filter's acclimatization phase. R2 leachate was characterized before treatment. The study found no substantial COD removal in the conventional anaerobic filter.

Keywords: Laboratory scale landfill simulator; High strength landfill leachate; Coagulation-flocculation process; Upflow anaerobic filter; Solid waste composition.

References

1. C. Venkatesh Reddy, D. Shekhar Rao, A.S. Kalamdhad, Statistical modeling and assessment of landfill leachate emission from fresh municipal solid waste: a laboratory-scale anaerobic landfill simulation reactor study, *Waste Management & Research* 38(10), 1161-1175 (2020).

Acknowledgments

The authors acknowledge the Creative and Challenging Research Program (2021R1I1A1A01060846) and the Mid-Career Researcher Program (2020R1A2C3004237) sponsored by the National Research Foundation (NRF) of the Republic of Korea.

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

대기환경 특별심포지엄

(구두발표)

2024년 3월 28일(목) 15:00~17:25
원덤그랜드 부산 2층 다울

Fe, Ru, Co 기반 유기금속 화합물을 이용한 선택적 NO 흡수 및 전기화학적 전환

정석현^{1,2}, 이현주^{1,2*}

¹한국과학기술연구원, ²과학기술연합대학원대학교

발전소 배기가스에 포함되어 있는 질소산화물 (NOx)은 산성비 및 미세먼지 원인물질로 작용하고 있고, 따라서 우리나라의 모든 화력발전소에서는 선택적 촉매 환원 시스템(SCR)을 이용해 배기가스 중 NOx를 처리하고 있습니다[1]. 그러나 SCR 시스템은 촉매의 비활성화 및 암모니아/요소와 지속적 소모 등의 문제로 인하여, 새로운 NOx 처리 방법이 학계 및 산업계를 중심으로 활발하게 논의되고 있습니다[2]. 유기금속화합물을 이용한 NO의 선택적 흡수법은 가장 가능성 있는 SCR 대체방법으로 떠오르고 있는데, 여기서는 다양한 리간드가 배워된 철 및 코발트 화합물을 이용한 방법들이 보고되어 있습니다[3]. 그러나 지금까지 알려진 화합물들은 저 농도 NO에 대한 선택성이 낮을 뿐만 아니라 배기가스에 함께 존재하는 산소에 의해 그 흡수능이 크게 저하되는 단점을 갖고 있습니다. 본 연구에서는 EDTA, DMPS 등의 리간드가 배워된 Fe, Co, Ru 등의 유기금속화합물을 합성하고, 이를 이용하여 질소와 산소 혼합가스 중 1,000 ppm의 농도로 존재하는 NO에 대한 흡수 성능을 조사하였습니다. 또한 합성된 화합물을 이용하여 NO 포집 후 환원함으로써 암모니아를 고 수율로 합성할 수 있는 전기화학시스템을 구현하였습니다.

참고문헌

1. Guo, L., Shu, Y., Gao, J., "Present and Future Development of Flue Gas Control Technology of DeNOx in the World," *Energy Procedia*, **17**, 397-403 (2012).
2. Choi, S. -W., Choi, S. -K., Baw, H. -K., "Hybrid selective noncatalytic reduction (SNCR)/selective catalytic reduction (SCR) for NOx removal using low-temperature SCR with Mn-V₂O₅/TiO₂ catalyst," *J. Air Waste Manag. Assoc.*, **65**, 485-491 (2015).
3. Pham, E. K., Chang, S. -G., "Removal of NO from flue gases by absorption to an iron(ii) thiochelatate complex and subsequent reduction to ammonia," *Nature*, **369**, 139-141 (1994).

액체금속 시스템을 이용한 다중 과불화화합물(PFCs)의 제거 기술 개발

박중현¹, 유성진¹, 고지호¹, 권성완¹, 이우진¹, 신경호², 서명원³,
정인호², 엄현진¹, 이은도¹, 김휘동^{1*}

한국생산기술연구원 지역산업혁신부문(배출저감)¹, 서울대학교 재료공학부², 서울시립대학교 환경공학부³

반도체 및 디스플레이 산업 설비에서 배출되는 과불화화합물(PFCs)은 높은 지구온난화지수(GWP)을 가지는 대표적인 온실가스로 알려져 있으며, 이를 제거하기 위한 다양한 공정(직접열분해, 플라즈마 분해, 촉매반응 등)이 산업 현장에 활용되고 있다. 현재 활용되고 있는 공정들의 경우 높은 에너지 소모량이 요구될 뿐만 아니라 HF와 같은 부식성 가스가 부산물로 생성되어 스크리버와 같은 추가적인 설비를 필요로 하여 에너지 효율이 높고 추가 공정이 필요 없는 PFCs 제거 기술이 요구되고 있다.

이번 연구는 액체금속 반응기를 사용하여 다중 PFCs를 고부가가치 물질로 전환하는 열화학 전환 공정개발에 관한 연구이며 기존 공정과 비교하여 유해부산물 생성 없이 낮은 온도에서 PFCs를 제거할 수 있다는 것이 특징이다. 주석을 액체금속으로 사용한 경우 NF_3 , SF_6 는 각각 350°C 에서 99%, 660°C 에서 90% 이상 제거되는 것을 확인하였으나 CF_4 같이 결합 해리 에너지가 높은 난분해성 물질은 800°C 의 고온에서도 약 10%의 낮은 저감 효율을 보였다. CF_4 제거 효율을 높이기 위해 새로운 금속을 주석에 첨가한 이종금속(Sn-X)을 액체금속으로 이용하고자 하였으며, 열역학 분석을 통해 반응성, 안정성을 고려하여 신규 금속을 선정하였다. 이종금속의 비율, PFCs의 체류시간 및 반응온도 제어를 통해 주석 단독 액체금속과 비교하여 CF_4 제거효율이 증가한 사실을 확인할 수 있었다. 같은 난분해성 물질인 CHF_3 같은 경우에도 이종금속의 도입을 통해 비교적 낮은 온도인 600°C 에서 제거율 99.9%를 달성함으로써 이종금속(Sn-X)이 PFCs 전환효율 향상에 중요한 촉매임을 확인할 수 있었다.

액체금속 시스템 실용화 기술개발을 통한 산업현장 적용 가능성을 확인하기 위해 실험실 규모 반응기를 Scale up 하여 파일럿 반응기를 제작하였다. 노즐의 배치, 유량, 온도 등을 제어하여 고유량에서 NF_3 , SF_6 의 실험을 진행하였고, 실험실 규모 반응기와 유사한 결과를 도출하였다. 이를 통해 액체금속 시스템을 이용한 PFCs 제거 공정의 상용화 가능성을 확인할 수 있었고 최적의 주입가스의 유량, 온도 제어, 반응기 내 체류 시간 등을 확인할 수 있었다.

Zn-modified K/Fe catalysts for olefin production through CO₂ hydrogenation

HaeWon Jung^{1,2}, JiWon Shin^{1,3}, KiJang Kil^{1,2}, MinHye Jeong¹, SoonKwan Jeong¹,
KiBong Lee² and Sun-Mi Hwang^{1*}

¹Korea Institute of Energy Research, 152 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34129, Korea

²Korea University, 145 Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul, 02841, Korea

³Sungkyunkwan University, 2066 Seobu-ro, Jangan-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 16419, Korea

Abstract

Carbon dioxide (CO₂) emissions cause environmental problems such as global warming and climate change. Carbon capture and utilization (CCU), one of the ways to treat CO₂, Present a promising approach to addressing rising CO₂ levels. This method not only helps reduce CO₂ emissions but also enables the conversion of CO₂ into useful chemicals and fuels [1]. Direct CO₂ hydrogenation is one of the promising pathways for light olefin synthesis due to increased single-pass yield. Fe-based catalysts are considered good candidates for olefin product through CO₂ hydrogenation because they have dual active sites of iron oxide and Iron carbide for RWGS and FTS reactions. However, Fe alone is insufficient to achieve a high olefin yield due to low CO₂ conversion and high CH₄ selectivity. Thus, improving Fe-based catalysts with various metal oxides and alkali metals enhances olefin selectivity olefin selectivity and CO₂ adsorption capacity [2]. In this study, we investigated the effect of Zinc (Zn) in K/Zn-Fe catalysts on the yield of light olefins (C₂⁻-C₄⁻). Addition of Zn to iron matrix formed ZnFe₂O₄ spinel phases and ZnO phase, and caused enhanced interaction between iron and zinc, as well as CO₂ adsorption behaviors. The K/Zn-Fe catalysts showed high activity for CO₂ conversion and many changes in the product distribution.

References

1. Aresta, M., Dibenedetto, A., Angelini, A., "Catalysis for the Valorization of Exhaust Carbon: From CO₂ to Chemicals, Materials, and Fuels. Technological Use of CO₂," *Chem. Rev.*, **114**(3), 1709–1742 (2014).
2. Liu, R., Leshchev, D., Stavitski, E., Juneau, M., Agwara, J. N., Porosoff, M. D., "Selective Hydrogenation of CO₂ and CO over Potassium Promoted Co/ZSM-5," *Appl. Catal. B Environ.*, **284**, 119787 (2021).

반도체/디스플레이 공정용 저-GWP 대체 가스 개발을 위한 이론계산 연구

최희철*, 장현우, 박영춘, 박준형
한국핵융합에너지연구원 플라즈마기술연구소

Theoretical Calculation Research for Low-GWP Alternative Gas Development for Semiconductor and Display Processes

Heechol Choi*, Hyonu Chang, Youngchoon Park, Jun-Hyoung Park
Institute of Plasma Technology, Korea Institute of Fusion Energy

현재 반도체/디스플레이 제조 공정 중 식각과 증착 공정에서 사용되는 CF₄, CHF₃, NF₃, 그리고 SF₆ 화합물들은 화학적으로 매우 안정한 가스로서 대기 중에서 잘 분해되지 않으며 지구온난화를 가속시키는 대표적인 온실가스로 알려져 있다. 국제사회에서는 지구온난화로 인한 기후 문제의 심각성을 인식하고 온실가스 배출 억제를 위해 선진국에 의무를 부여하는 “교토의정서”에 이어 선진국과 개도국이 모두 참여하는 “파리협정”을 채택하였다. 이에 따라 기존 반도체 식각/증착 가스 대비 공정 성능이 우수하며 탄소 중립을 목표로 낮은 GWP를 갖는 대체 공정 가스 개발 연구에 대한 요구가 증가하고 있다. 전 세계적으로 관련 실험 연구가 활발히 진행되고 있으며 양자화학 이론을 포함한 다양한 이론 방법들이 기존 공정 가스 및 대체 후보 가스들의 물리, 화학, 전기적 특성을 규명하기 위한 이론계산 연구에 활용되고 있다. 본 발표에서는 소속 기관에서 진행하고 있는 대체 가스 개발 관련 이론계산 연구 내용과 향후 계획을 소개하고자 한다.

Evaluation of Zn contents on $Zn_xCo_{1-x}Co_2O_4$ spinel catalysts for low-temperature N_2O catalytic decomposition with inhibitors

Hermawan Prajitno^{1,2}, Jeongtak Kim¹, Min Hye Jeong¹, Soon Kwan Jeong^{1,2}, and Sun-Mi Hwang^{1,*}

¹Korea Institute of Energy Research, 152 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34129, South Korea

²University of Science and Technology, 217 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34113, South Korea

Abstract

In order to achieve the carbon neutrality by 2050, there has been rapid development in utilizing ammonia (NH_3) directly as an alternative fuel for both power generation and ships. However, as reviewed by Kobayashi et al. [1], despite being carbon-free, the presence of nitrogen (N) component and the combustion characteristics of NH_3 result in the emission of nitrous oxide (N_2O) as one of the by-product, which cannot be ignored. According to Centi et al. [2], Nitrous oxide (N_2O) is recognized as a potential greenhouse gas with GWP 310 times higher than the CO_2 . Although direct catalytic N_2O decomposition (de- N_2O) technology has been widely developed, the requirement of high-temperature processes and the use of reducing agents such as NH_3 , CO , and CH_4 , make it difficult to be directly apply the technology in treating the exhaust gas from ammonia combustion facilities. Herein, we conducted a study on the development of low-temperature de- N_2O catalysts capable of effectively treating N_2O discharged from ammonia propulsion ships. Zn-doped cobalt spinel catalysts ($Zn_xCo_{1-x}Co_2O_4$) were synthesized by co-precipitation method and the effect of Zn loading on N_2O decomposition catalytic activity with/without the presence of inhibitors (3 vol% O_2 , 3 vol% H_2O , and 200 ppm NO) were evaluated at low temperature (150–400 °C). The results exhibited that introducing an appropriate amount of Zn into Co spinel catalysts could enhance the de- N_2O catalytic activity, reducing the light-off temperature (T_{50}) from 250 °C ($CoCo_2O_4$) to 178 °C ($ZnCo_2O_4$) at 15000 h^{-1} SV. The improvement of catalytic activity was associated with the enhanced electron transfer properties, redox properties, and the reducibility of the catalysts by the addition of Zn. However, increasing the Zn loading resulted in considerable activity reduction in the presence of H_2O or NO_x . The lack of available Co^{2+} active sites and the formation of stable nitrate species were responsible for the deactivation of $Zn_xCo_{1-x}Co_2O_4$ catalysts ($x > 0$). We demonstrated the essential of controlling bulk promoter contents in Co-based spinel catalysts for further practical use in treating real tail gas with various inhibitors.

References

1. Kobayashi, H., Hayakawa, A., Somarathne, K.D.K.A., Okafor, E.C., “Science and technology of ammonia combustion,” *Proc. Combust. Inst.*, **37**, 10 –133 (2019).
2. Centi, G., Dall’Olio, L., Perathoner, S., “In situ activation phenomena of Rh supported on zirconia samples for the catalytic decomposition of N_2O ,” *Appl. Catal. A.*, **194–195**, 79–88 (2000).

음식물 폐기물 처리 공정에서 습식세정탑을 이용한 악취 물질 처리 효율 평가

오제범^{1*} · 최석준¹ · 임만규¹ · 송선희¹ · 김경태¹ · 심은혜¹

¹한국환경공단 K-eco 연구원

Evaluation of treatment efficiency of odorous compounds using wet scrubber in food waste treatment process

Je-beom Oh^{1*} · Seok-jun Choi¹ · Man-kyu Lim¹ · Sun-hee Song¹ · Gyoung-tae Kim¹ · Eun-hye Sim¹

¹Korea Environment Corporation Department of K-eco Research Institute

본 연구는 음식물 폐기물에서 발생하는 악취 물질 처리에 관한 내용으로, 습식세정탑 운전 인자별 악취 물질 처리결과에 따른 습식세정탑 설계와 운영 관점의 가이드라인을 제시하고자 하였다.

문헌 자료에 따르면 음식물 폐기물 처리 과정의 주요 악취 물질은 황, 알데하이드, 지방산, 질소 계열 등이고, 산, 알칼리, 중성 악취 물질이 동시에 발생하기 때문에 고도의 악취 처리기술을 요구하고 있다. 음식물 폐기물을 처리하는 환경기초시설 등에서 악취방지시설은 습식세정탑 적용 비율이 높았는데(169개소), 복합악취 배출허용기준(500배 이하)을 만족하는 시설은 29개소(17.1%)로 낮고, 140개소(82.8%)는 배출허용기준을 초과하였고 특히, 2,000배를 초과하는 시설은 46개소(27.2%)로 악취 물질 처리 효율은 낮은 조건에서 운영되는 것으로 파악되었다.

연구 방법으로, 운전 인자별(급수량, 액·기 비, NaOCl 투입, 세정수 pH 제어, 공탑 속도, 충전층 높이) 처리 효율이 높은 운전 인자를 선택하여 습식세정탑(1-2-3 Scrubber)에 적용하였다. 습식세정탑 운전조건으로 1ST & 2ND Scrubber 세정수 pH는 각각 4(H₂SO₄), 2ND 10(NaOH)으로 유지한 조건에서 차아염소산나트륨을 각각 30 ml/min으로 주입하였고, 3RD Scrubber는 수 세정만 실시한 조건에서 악취 물질 처리 효율을 평가하였다.

연구 결과로, 최적 운전 인자를 적용한 조건에서 복합악취 처리 효율은 88.5%(최초입구 1,442배~3,000배 → 최종배출구 208배~300배)로 배출허용기준(500배 이하)을 만족하였다. 1ST Scrubber에서 총량 관점의 질소 계열 악취 물질(TMA) 처리 효율은 93.2%, 2ND Scrubber에서 황, 지방산 계열은 각각 93.4%, 90.5%, 1ST & 2ND Scrubber에서 알데하이드 계열은 69.8%로 약품과 최적 운전 인자를 적용한 조건에서 악취 물질을 선택적으로 처리하여 복합악취 처리 효율이 향상된 결과를 확인할 수 있었다. 또한 당량비(Equivalence ratio) 관점의 처리 효율로, 질소 계열 악취 물질 처리를 위한 1ST Scrubber(pH4)의 당량비가 약 25.3:1 (H₂SO₄ 22.8 mg/min : TMA 0.9 mg/min)일때 약 93.2%가 제거(0.60 mg/min → 0.04 mg/min)되었다. 반면 황 계열 악취 물질 처리를 위한 2ND Scrubber(pH10)의 당량비가 약 0.5:1(NaOH 0.93 mg/min : 산 계열 악취 물질 1.8 mg/min)일때 45~100%범위에서 처리 효율 편차를 보였는데 이는 낮은 당량비, 악취 물질과 약품의 반응속도 등이 다른 원인으로 판단되었다. 따라서 음식물 폐기물 처리 공정에서 악취방지시설로 습식세정탑을 적용할 경우 악취의 세기 및 발생 특성 등을 고려하여 직렬 2기 이상 설치를 권장하고, Scrubber별 세정수pH는 4이하, 10 이상 유지한 조건에서 악취 물질 유입량(mg Σ /min)을 고려한 당량비 관점의 약품 제어가 중요하고, 중성 계열 악취 물질(알데하이드 화합물) 처리를 위한 적절한 양의 차아염소산나트륨 주입과 더불어 최적의 운전 인자를 반영한 설계와 운영이 복합악취 배출허용기준 준수를 위한 중요한 운전 수단임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 한국환경공단. 2014~2018년 공공환경시설 악취기술진단 사례집 (2020).
2. Seo et al. The Emission Characteristics and Management of Odor Compounds from Public Sewage Treatment Facility. Journal of Korean Society of Odor Research and Engineering. 12(3), 97-109 (2013).
3. Hwang, J. B. A Study on Odor Capture of Primary Sedimentation Tanks in Sewage Treatment Plants. 12-17 (2015).

커피 찌꺼기 기반의 다공성 탄소 제조 및 이산화탄소 포집으로의 적용

이기봉*

고려대학교

*E-mail address: kibonglee@korea.ac.kr

전 세계적으로 지구온난화가 심화되고 기후 변화 문제가 발생하고 있다. 대기 중 이산화탄소의 농도가 증가함에 따라 이러한 현상이 심화되고 있으며, 따라서 발생원으로부터 이산화탄소를 직접 포집하는 carbon dioxide capture and storage (CCS) 기술이 대두되고 있다. 이때 CCS 기술에 들어가는 총 비용 중 70% 이상이 분리 단계에서 사용되기 때문에 효율적인 분리 기술의 개발이 필요하다. 연소 후 포집 기술로는 흡수, 흡착, 막분리법이 주로 이용되는데 이들 중 흡착 기술은 에너지 소모량이 적고 재생이 쉽지만, 흡수법에 비해서는 포집 성능이 낮다는 단점이 존재한다. 따라서 이러한 단점을 보완할 수 있는 우수한 흡착제의 개발이 필수적이다. 흡착제로 사용되는 다양한 물질 중 활성탄은 제조가 간단하고 기공 구조의 조절이 용이하며 특히 가격 경쟁력이 높다는 장점이 있다. 본 연구에서는 커피 찌꺼기를 탄소 전구체로 이용하였고, K_2CO_3 를 활성화제로 사용하여 활성탄을 제조하였다. 커피 찌꺼기 기반의 활성탄은 이산화탄소 포집을 위한 흡착제로 가능성을 보여주었다.

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

**청정생산
특별심포지엄**
(구두발표)

2024년 3월 28일(목) 09:00~10:50
원덤그랜드 부산 3층 마레

초임계 수열 합성법을 활용한 저온 활성 나노촉매의 청정 생산

성기명^{1,*}¹수원대학교 환경에너지공학과

Clean production of low-temperature active nanocatalysts using supercritical hydrothermal method

Seong Gimyeong^{1,*}¹Department of Environmental and Energy Engineering, The University of Suwon

지난 수십 년 동안 에너지 대체와 온실 가스 감축 문제는 계속해서 주목받고 있다. 신재생 에너지의 도입과 발전은 이러한 과제에 대한 중요한 해결책으로 부상하고 있다. 그러나 신재생 에너지의 사용과 기술 적용에서는 여전히 지역적 및 기술적인 차이가 존재하며, 기존 인프라와의 효율적인 통합이 중요한 과제로 떠오르고 있다. 신재생에너지로의 브릿지 역할을 하거나 추가적인 비전통적 에너지원 개발 역시 지속 가능한 에너지 솔루션으로서의 한 부분을 차지한다 [1]. 특히, 비전통적 에너지원인 비튜멘이나 바이오매스 리그닌의 효율적인 개발, 그리고 천연 가스 개질 반응의 저온화는 현존하는 인프라를 적극 활용할 수 있는 효율적인 기술 개발로 주목받고 있다 [2].

그러나 이러한 반응 시스템은 대체로 큰 흡열 반응이기 때문에 높은 열 에너지원의 공급이 필수적이다. 이에 따라 여전히 열 효율성 문제가 상용화를 어렵게 만들고 있다. 높은 반응성과 안정성을 갖춘 촉매를 사용하면 반응 시스템의 활성화 에너지 장벽이 낮아져 운전 온도를 낮출 수 있다. 초임계 수열 합성법은 청정 테크놀로지의 대표적인 방법으로 다양한 나노 촉매의 합성에 유리한 조건을 제공하며 [3], 흐름식 반응기를 통해 고평도 금속 도핑 등 진보된 합성법이 가능하다는 장점이 있다 [4].

본 연구에서는 초임계 수열 합성법을 이용하여 다양한 나노 입자들을 생산하는 방법을 제시한다. 특히, 저온에서 높은 활성을 보이는 세리아 베이스 나노 촉매를 합성하고 활성을 조사하였다 (그림 1). 또한, 이를 이용한 비튜멘 업그레이딩 [4], 리그닌 개질 [5], 천연 가스 스팀 개질 등을 저온에서 효과적으로 반응시키는 과정을 개발하여 지속 가능한 프로세스의 가능성을 제시하였다.

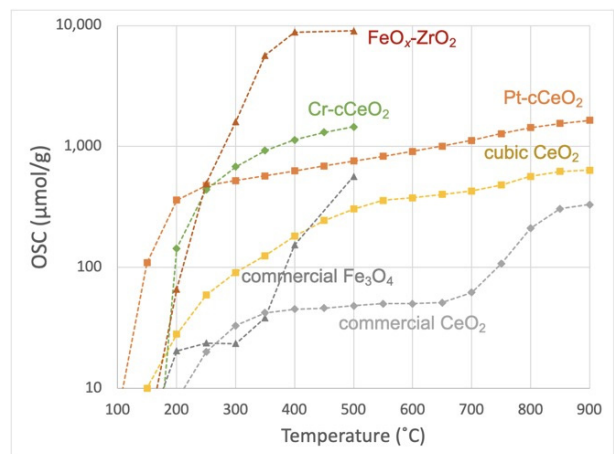


그림 7 초임계 수열법으로 제조한 나노 촉매의 활성

참고문헌

1. Weger, L., Abánades, A., and Butler, T., "Methane cracking as a bridge technology to the hydrogen economy," *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(1), 720-731 (2017).
2. Zhu, X., Wei, Y., Wang, H., and Li, K., "Ce-Fe oxygen carriers for chemical-looping steam methane reforming," *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(11), 4492-4501 (2017).
3. Zhu, Y., Takami, S., Seong, G., Dejhosseini, M., Hossain, M. Z., Noguchi, T., Aoki, N., Aida, T., and Adschiri, T., "Green solvent for green materials: a supercritical hydrothermal method and shape-controlled synthesis of Cr-doped CeO₂ nanoparticles," *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 373, 2057 (2015).
4. Zhu, Y., Seong, G., Noguchi, T., Yoko, A., Tomai, T., Takami, S., and Adschiri, T., "Highly Cr-Substituted CeO₂ Nanoparticles Synthesized Using a Non-equilibrium Supercritical Hydrothermal Process: High Oxygen Storage Capacity Materials Designed for a Low-Temperature Bitumen Upgrading Process," *ACS applied Energy Materials*, 3(5), 4305-4319 (2020).
5. Seong, G., Yoko, A., Inoue, R., Takami, S., and Adschiri, T., "Selective chemical recovery from biomass under hydrothermal conditions using metal oxide nanocatalyst," *The Journal of Supercritical Fluids*, 133, 726-737 (2018).

약한 탄소 간 결합을 이용한 고분자의 단량체 회귀식 화학적 재활용

서범준*
서울과학기술대학교

**Chemical recycling to monomers for polymers with weakened
carbon-carbon bond**

Bumjoon Seo*
Seoul National University of Science and Technology

With the global eco-friendly trend, the full-cycle management of plastics including reuse, recycling, incineration, and decomposition is emerging as a social/environmental issue for achieving net-zero and carbon neutrality. In this regard, the development of eco-friendly materials for establishing closed-loop recycling of plastic materials can contribute to achieving the desired carbon neutrality. Among those, chemical recycling to monomer (CRM) is currently a promising method due to its resource-efficient and semi-permanent characteristics compared to other recycling methods. CRM method returns the polymers to monomers through depolymerization, in contrast to general chemical recycling, where other valuable compounds are obtained through catalytic thermal decomposition. Here, we introduce new polymers which can depolymerize into monomers at near-reversible conditions. Utilizing density functional theory, we found that these polymers possess weakened carbon-carbon bonds that are generally much higher than bonds with a heterogeneous one.

참고문헌

1. Luo, X., Wei, Z., Seo, B., Hu, Q., Wang, X., Romo, J. A., Jain, M., Cakmak, M., Boudouris, B. W., Zhao, K., Mei, J. Savoie, B. M., and Dou, L., "Circularly Recyclable Polymers Featuring Topochemically Weakened Carbon–Carbon Bonds" *J. Am. Chem. Soc.*, 144(36), 16588-16597 (2022).
2. Wei, Z., Wang, X., Seo, B., Luo, X., Hu, Q., Jones, J., Zeller, M., Wang, K., Savoie, B. M., Zhao, K., and Dou, L. "Side-Chain Control of Topochemical Polymer Single Crystals with Tunable Elastic Modulus" *Angew. Chem. Int. Ed.*, 61(49), e202213840 (2022)

ZrO₂-promoted bimetallic CuPd catalyst for direct one-pot conversion of cellulose to Sustainable Aviation Fuel components.

Deepak Verma^{1,2,3} JaehoonKim^{1,2,3*}

¹*School of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University, 2066 Seobu-Ro, Jangan-Gu, Suwon, Gyeong Gi-Do 16419, Republic of Korea*

²*SKKU Advanced Institute of Nanotechnology (SAINT), Sungkyunkwan University, 2066 Seobu-Ro, Jangan-Gu, Suwon, Gyeong Gi-Do 16419, Republic of Korea*

³*School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, 2066 Seobu-Ro, Jangan-Gu, Suwon, Gyeong Gi-Do 16419, Republic of Korea*

*E-mail(jaehoonkim@skku.edu)

Cellulose conversion into selective targeted compound remains a great challenge due to its nature of robust crystallinity and over-functionalized structure with C–O bonds groups. Herein, we firstly report a novel approach to selectively produce 2,5-dimethylfuran (2,5-DMF) with a yield of 33.8% along with its further derived 2,5-hexadione product with a yield of 17.2% (a combined yield of 51.0%) directly from cellulose feedstock in a one-pot catalytic system at 240 °C within 4 h over multifunctional heterogeneous ZrO_x-promoted bimetallic Cu–Pd NPs supported on HY(5.1) catalyst under a supercritical methanol (scMeOH) condition. Product distribution analysis represents the reaction pathway occurred through a sequential cascade reaction (acid-solvolysis, dehydration and hydrogenation-hydrogenolysis). The involvement of proton from solvent in the reaction is also observed which is further verified through H–D exchange mechanism by performing some 5-HMF reactions.

Keywords: Cellulose, 2,5-dimethylfuran, Bimetallic Cu–Pd catalyst, Zeolite Y, cascade reactions.

High-Throughput, Multiscale Computational Screening of Metal-Organic Frameworks for Xe/Kr Separation

Guobin Zhao¹, Yu Chen¹ and Yongchul G. Chung^{1*}

¹*School of Chemical Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Korea (South)*

Accurate evaluation of adsorbent materials' performance requires carrying out process simulations that take an analytical isotherm model as an input. In this work, we report a machine learning (ML) approach to approximate the saturation loading of metal-organic frameworks, an essential parameter for modeling the adsorption-based process simulation. Large-scale grand canonical Monte Carlo simulations were carried out to compute the single-component isotherms for Xe and Kr from the Computation-Ready Experimental Metal-Organic Framework Database 2019. The generated data were used to fit the Langmuir model equation to obtain the saturation loading parameters, which were used as a basis to train several ML models. Ideal vacuum swing adsorption simulations were carried out to screen a large number of MOFs. Finally, we carried out high-fidelity vacuum swing adsorption simulations on Xe-selective MOFs. While the IVSA approach provides quantitative information about the process performance metrics, we found that the commonly used performance metrics, such as Xe/Kr IAST selectivity, work as well as the shortcut methods in ranking the adsorbent materials for Xe/Kr separation.

Water assisted Catalytic hydrodeoxygenation for efficient circular economy: Upcycling of waste PET into sustainable fuels.

Vishnu Murali¹, JunghoJae^{1,*}

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

*Jungho Jae (jh.jae@pusan.ac.kr)

The rapid expansion of industrialization has resulted in a significant increase in the demand for fuels and plastic materials, leading to a surge in waste plastics. Among these, polyethylene terephthalate (PET) is a widely used plastic globally, contributing substantially to the waste stream. However, PET waste holds potential as a resource for generating valuable chemicals and fuels due to its abundance of aromatic rings and ethylene glycol units. In recent years, catalytic hydrodeoxygenation (HDO) has emerged as an innovative method for PET recycling, aiming to convert its prevalent aromatic structures into valuable aromatic monomers or cyclic hydrocarbons. However, Limited studies demonstrated the effectiveness of the supported noble metal catalysts such as Pd/C, Ru-Cu/SiO₂ and Ru/Nb₂O₅ for the HDO of hydrolyzed PET oligomers and monomers by H. Tang et al. [1] and Y. Wang et al. [2].

In this study, here we present an efficient and environmentally friendly method to convert PET into high-density C₆-C₈ cyclic hydrocarbons using a single-step water-assisted hydrodeoxygenation (HDO) process. Our approach utilizes acidic and neutral support-loaded Ru catalysts in a biphasic system. We systematically investigated the PET conversion efficiency using Ru-loaded support in both monophasic and biphasic systems. Our findings reveal that nanoparticle-dispersed Ru on TiO₂ support was particularly effective in the biphasic system for hydrogenolytic conversion of PET. Furthermore, we introduce a significant discovery that, the hydrophilic nature of the catalyst plays a crucial role in PET conversion by facilitating the formation of a stable Pickering emulsion. This emulsion system proved highly efficient in producing cyclic hydrocarbons from PET. The catalyst embedded in the oil-in-water (O/W) emulsion demonstrated remarkable efficacy in breaking down all the C-O bonds present in PET. This was achieved through the synergistic effects of metal acid bifunctionality, hydrophilicity, and the high dispersion of finely sized Ru on the support. Overall, our study presents a promising solution for plastic recycling, addressing white plastic pollution and reducing the carbon footprint.

References

1. Tang,H., H, N. Li, G. Li, A., Wang, Y., Cong, G. Xu, X. Wang and Zhang, T., *Green Chemistry*, **21**, 2709-2719 (2019).
2. S. Lu., Y. Jing., B. Feng., Y. Guo., Liu, X., and Wang, Y., *ChemSusChem*, **14**, 4242-4250 (2021).

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

수소 및 재생에너지 특별심포지엄

(구두발표)

2024년 3월 28일(목) 16:20~17:35
원덤그랜드 부산 3층 마레

Multilateral study on changes in surface properties of Ni-MgO-Al₂O₃ catalyst by controlling calcination condition for dry reforming of coke oven gas

Su-jin Ryu¹, Beom-Jun Kim¹, Ho-Ryong Park¹ and Hyun-Seog Roh^{1*}
Yonsei University¹

Dry reforming of methane ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{H}_2 + 2\text{CO}$) is a promising CCU (Carbon capture and utilization) technology, as it can produce precursors for high value-added chemicals using CO_2 emitted from the industry. The steel industry emits a large amount of CO_2 , which accounts for 25% of the total CO_2 emissions in the industrial sector (Kim et al. [1]). Since COG (Coke oven gas), a type of by-product gas in steel making industry, contains relatively large amount of CH_4 (~27%), it is suitable for utilizing COG in dry reforming of methane as reactant. Given the high hydrogen content in COG (~57%), it is necessary to develop dry reforming of methane catalyst using COG. Here in, the calcination conditions of the Ni-MgO-Al₂O₃ catalysts were systematically controlled to maximize the catalyst performance. The characterization results showed that the physicochemical properties of the catalyst, such as basicity, BET surface area, Ni dispersion, and reducibility were changed depending on the calcination temperature. Additionally, we derived the optimal operating condition which can maximize CO yield and minimize side reaction using thermodynamic equilibrium analysis. Among the prepared catalysts, the Ni-MgO-Al₂O₃ (calcination temperature = 800°C) catalyst showed the best catalytic performance due to large number of Ni active sites and relatively good basicity.

References

1. Kim, B.-J., Park, H.-R., Lee, Y.-L., Ahn, S.-Y., Kim, K.-J., Hong, G.-R., and Roh H.-S., "Effect of surface properties of Ni-MgO-Al₂O₃ catalyst for simultaneous H₂ production and CO₂ utilization using dry reforming of coke oven gas", Catal. Today, 411-412. 113855 (2023)

Investigation of ruthenium loaded zeolite beta catalyst performance in vanillin hydrodeoxygenation yielding both monomeric and dimeric cycloalkanes

Jae Hyun Park¹, Hyungjoo Kim¹, Jeong-Myeong Ha², and Do Heui Kim¹ *

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*

Hydrodeoxygenation (HDO) of vanillin was performed on a collection of bifunctional ruthenium-based zeolite catalysts with different zeolite supports (Y, ZSM-5, and Beta) in a batch reactor. With Ru-loaded zeolite beta catalysts (Ru/HZ β) exhibiting the highest HDO activity among them, the metal loading was varied (0.1, 0.5, 1, 3, and 5) along with reaction conditions such as temperature and hydrogen pressure to observe each of their effects on the product distribution. A high temperature of 200 °C and hydrogen pressure of 50 bar was necessary to fully achieve HDO to cycloalkanes, while the change in metal loading had a remarkable impact on the preferred reaction pathway and product selectivity. The formation of dimeric cycloalkanes of high value, due to their direct use in the blending of biofuel, was also observed when using 0.5 % Ru/HZ β (25) as the catalyst for vanillin HDO. Factors promoting the dimerization of phenolic monomers were closely examined through a series of experiments using a mix of phenolic model compounds as HDO reactant. Specific oxygen containing functional groups contributed to the aldol condensation of aromatic species, and the kinetic diameter of the monomers had a profound effect on the ability to participate in dimerization. Consequently, this study has provided stepping stones for the investigation of the formation of both monomeric and dimeric cycloalkanes crucial for understanding HDO behavior when using zeolite beta catalysts in bio-oil upgrading.

High-throughput Screening of Hydrogen Storage in Metal Alkoxide Functionalized Covalent-Organic Frameworks (COF)

Yu Chen¹, Guobin Zhao¹, Sunghyun Yoon¹, and Yongchul G. Chung^{1,*}

¹*School of Chemical Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Korea (South)*

*Corresponding author. E-mail: drygchung@gmail.com (Y.G. Chung)

Hydrogen is a clean-burning fuel that can be converted to generate electricity without generating any greenhouse gases. Currently, hydrogens are stored either via compression to high pressure (>700 bar) or cryogenic cooling to liquid (<23 K). Therefore, it is essential to develop safe, reliable, and energy-efficient storage technology that can store hydrogen at lower pressure and temperature. In this work, we performed high-throughput computational screening of 2,896 catecholate-functionalized covalent-organic frameworks (COF) structures for room-temperature hydrogen storage applications. MP calculations were performed to compute the hydrogen binding energy on different catecholate-functionalized ligands, which were subsequently used to fit Morse-type force field parameters for modeling the hydrogen adsorption on open metal sites. Using the DFT-derived force field, we conducted large-scale grand canonical Monte Carlo (GCMC) simulations to compute the hydrogen uptakes for catecholate-functionalized COFs. The generated data were subsequently used to evaluate the materials' gravimetric and volumetric storage performance at room temperature.

흡착 강화 증기 메탄 개질 반응에서 Ni/Al₂O₃ 촉매와 CaO 흡수제의 비율 및 배치에 따른 영향

최수정, 최동섭, 주지봉*
 건국대학교 화학공학과

Effect of ratio and placement of Ni/Al₂O₃ catalyst/CaO sorbent in sorption-enhanced steam methane reforming reaction

Soo Jeong Choi, Dong Seop Choi, Ji Bong Joo*
 Department of Chemical Engineering, Konkuk University

기후 문제로 대기 중 온실가스 농도를 줄이는 것이 중요하며, 이를 위한 방안으로 태울 시 오염 물질을 방출하는 화석 연료의 사용을 줄이고 친환경 에너지원인 수소 연료로 대체하여 사용하는 대책이 제안되었다. 수소 대량 생산 및 부생 가스 활용을 통한 수소 생산에 대표적으로 활용되는 공정으로는 Steam Methane Reforming (SMR) 반응으로, 높은 온도에서 메탄과 물이 반응하여 수소를 생성하며, 함께 생성되는 CO가 물과 연속적으로 반응하는 WGS 반응을 통해 최종적으로 수소와 CO₂가 형성된다. 최근 전체 공정의 경제성 확보와 반응 공정 간소화를 위해 반응기 내에서 SMR/WGS 반응과 동시에 CO₂를 제거하는 Sorption-enhanced steam methane reforming (이하 SE-SMR)가 제안되었다. SE-SMR은 SMR 및 WGS 반응에서 발생하는 CO₂를 반응기 내에서 동시 제거하여 농도를 낮추고, 르 샤틀리에의 원리 (Le Chatelier's Principle)에 의해 SMR/WGS 반응의 평형을 생성물 방향으로 이동시켜 메탄 전환을 향상시킴으로써 최종적으로 고순도 수소 흐름을 형성하는 공정이다. 본 연구에서는 CO₂ 흡수제 질량에 따른 고농도 수소 생산량 변화를 조사하고, 촉매/흡수제 총 질량을 동일하게 비율을 달리하여 메탄 전환 및 수소 생산의 거동을 확인하였다. 또한 촉매/흡수제 배치에 따른 공정에 미치는 영향을 확인하여 반응 중 물질 전달 한계를 최소화하는 배치 방안을 제시하였다. 이를 통해 최종적으로 고순도 수소를 생산하는 SE-SMR 공정의 최적의 조건을 제시하였다.

참고문헌

1. Xu, P., Zhou, Z., Zhao, C. and Cheng, Z., "Ni/CaO-Al₂O₃ bifunctional catalysts for sorption-enhanced steam methane reforming," *AIChE J.*, 60: 3547-3556.
2. Xie, M.M., Zhou, Z.M., Qi, Y., Cheng, Z.M., Yuan, W.K., "Sorption-enhanced steam methane reforming by in situ CO₂ capture on a CaO-Ca₂Al₂O₇ sorbent," *Chem Eng J.*, 2012; 207-208: 142-150.
3. Hufton, J.R., Mayorga, S., Sircar, S., "Sorption-enhanced reaction process for hydrogen production," *AIChE J.*, 1999; 45: 248-256.

다양한 담체에 따른 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응용 Ni계 촉매 연구

김민주¹, 공지현¹, 김동현², 김형주², 전경원³, 장원준^{1,2,*}

¹아주대학교 환경공학과, ²아주대학교 환경안전공학과, ³군산국립대학교 에너지신산업학부

A Study on the Ni-based Catalysts of Mixed Alkane Hydrocarbons Steam Reforming Reaction to Various Supports

Min-Ju Kim¹, Ji-Hyeon Gong¹, Dong-Hyun Kim², Hyeong-Ju Kim², Kyung-Won Jeon³, Won-Jun Jang^{1,2,*}

¹Department of Environmental Engineering, Ajou University,

²Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University

³School of Energy and New Industries, Kunsan National University

본 연구는 수소 생산을 위해 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응용 Ni계 촉매 연구를 하였다. 비활성화(크래킹 반응, 탄소 침적)를 억제하고 활성을 높이기 위해 다양한 담체(CeO₂, ZrO₂, Al₂O₃, SiO₂)을 이용하였으며, 비귀금속계 활성물질인 15 wt.% Ni를 담지하여 함침법으로 제조하였다. 다양한 담체의 물리화학적 특성을 파악하기 위해 특성분석(XRD, H₂-TPR, BET, H₂-chemisorption, NH₃-TPD, H₂-O₂ chemisorption)을 수행하였다. 반응가스는 알케인계 탄화수소인 CH₄, C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀을 동일한 몰비로 혼합하였으며, 반응 조건은 650 ~ 850 °C, H₂O/C 비 7.0, GHSV 451,184 mL/h·g_{cat} (GHSV_(C_xH_y) 20,051 mL/h·g_{cat})으로 설정하였다. 반응 결과, Ni/ZrO₂와 Ni/SiO₂는 비활성화에 의해 온도가 증가할수록 CH₄ 전환율(약 0% → -130%)이 감소하였으며, 크래킹 반응으로 인해 CH₄이 생성된 것을 확인하였다. Ni/CeO₂와 Ni/Al₂O₃는 온도가 증가할수록 CH₄ 전환율(약 70% → 94%)이 증가하였다. H₂ 몰수 또한 같은 양상을 보였으며, 이러한 결과는 15% Ni/CeO₂ 촉매의 높은 환원성과 산화환원능력, 낮은 산점 그리고 15% Ni/Al₂O₃ 촉매의 높은 비표면적과 Ni 분산도 특성 때문으로 판단된다. 반응 후 TGA 결과, Ni/Al₂O₃가 높은 산점으로 인해 탄소 침적이 발생하였으며, Ni/CeO₂는 탄소 침적이 발생하지 않았다. 따라서, 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응에 적합한 Ni계 촉매는 15% Ni/CeO₂이다.

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

**청정일반
특별심포지엄**
(구두발표)

2024년 3월 28일(목) 09:20~10:40
원덤그랜드 부산 3층 스텔라

구리가 도핑된 SnO₂/TiO₂ 복합체: 안정성과 전자 활용도가 우수한 고효율 광촉매 GenX 제거

장석범¹, 종초은^{1,2}, 장민^{1,2*}
¹광운대학교, ²플라즈마바이오과학연구소

Copper-doped SnO₂/TiO₂ composite: Unveiling highly efficient photocatalytic GenX removal with superior stability and electron utilization

Seok Byum Jang¹, Choe Earn Choong^{1,2}, Min Jang^{1,2*}
¹Kwangwoon University, ²Plasma Bioscience Research Center (PBRC)

Photocatalysis has been considerable interest in the removal of perfluorooctanoic acid (PFOA) owing to its environmental friendliness and cost-effectiveness. In general, photocatalysis is not suitable for generating a substantial amount of $\cdot\text{OH}$ (2.8 V) to break the strong C-F bonds of PFOA. Additionally, poly/perfluoroalkyl substances (PFAS) with shorter chains than PFOA demonstrated even lower efficiency in photocatalysis when compared to PFOA. GenX, a family of PFAS compounds utilized instead of PFOA, is especially difficult to remove due to the shorter chains. To enhance $\cdot\text{OH}$ generation in photocatalysis, it is essential to improve electron utilization efficiency by minimizing electron-hole recombination, which can be achieved by adjusting the band structure or doping additional metal compounds on the photocatalyst. This study attempted to enhance the production of reactive oxygen species (ROS) by introducing copper (Cu) doping to the composites of SnO₂ and TiO₂ (SnO₂/TiO₂), aiming to mitigate electron-hole recombination and optimize electron utilization efficiency. Aeration was also conducted to enhance the electron utilization efficiency while introducing a source of superoxide radicals ($\cdot\text{O}_2^-$). With an optimal copper coating ratio of 2%, the photocatalyst [Cu(2%)-SnO₂/TiO₂] achieved a remarkable 96.4% removal of 10 ppm GenX within 6 hours at a rate of 0.399 min⁻¹, surpassing the performance without copper coating (73.5% GenX removed at a rate of 0.265 min⁻¹). In ESR analysis, Cu(2%)-SnO₂/TiO₂ demonstrated a significant increase in $\cdot\text{OH}$ and $\cdot\text{O}_2^-$ production compared to SnO₂/TiO₂(undetected), indicating excellent radical production efficiency and potentially enhancing GenX removal efficiency. Additionally, UV-vis DRS, Mott-Schottky plot, and RRDE analyses suggested that adjustments in the band structure facilitate a pathway from $\cdot\text{O}_2^-$ to H₂O₂ and $\cdot\text{OH}$. Simultaneously, the hydrophobicity increment was confirmed through contact angle analysis. This heightened hydrophobicity could potentially improve GenX adsorption on Cu(2%), further augmenting GenX removal efficiency. In Tafel plot analysis, Cu(2%)-SnO₂/TiO₂ exhibited a notable decrease in corrosion energy (-0.030 V) and corrosion rate (1.4×10^{-8} mm year⁻¹) than SnO₂/TiO₂ (-0.954 V and 0.1079 mm year⁻¹), demonstrating excellent stability.

참고문헌

1. Ren, Peng, et al. An atomically dispersed Mn-photocatalyst for generating hydrogen peroxide from seawater via the water oxidation reaction (WOR). *Journal of the American Chemical Society* 145.30 (2023): 16584-16596.

플라즈마-전기화학적 질소 고정을 통한 암모니아 생성

황건택^{1,2}, 장 민^{1,2*}

¹광운대학교 환경공학과, ²플라즈마바이오 연구센터

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

Plasma-assisted electrochemical nitrogen fixation for ammonia generation

Kien Tiek Wong^{1,2}, Min Jang^{1,2*}

¹Kwangwoon University Environmental Engineering, ²Plasma Bioscience Research Center

The current Haber-Bosch (H-B) process is a mature technology that has been utilized for over a century; however, the process requires high temperatures (>400 °C) and pressures (>200 atm) as well as pure N₂ and H₂. Due to the use of hydrocarbon reforming to produce the required hydrogen, the H-B process releases over 450 million metric tons of CO₂ annually. N₂ fixation is a very challenging reaction as it requires enormous cleavage energy for N≡N (410 kJ mol⁻¹). Plasma technology has attracted much attention for clean ammonia synthesis. Plasmas are reported as one of the most efficient approaches for rupturing the triple nitrogen bond at low temperatures. In our study, the combination of air plasma with electrochemical reduction was conducted as an alternative nitrogen fixation method. The rupture of the N≡N bond by air plasma significantly assists the nitrogen reduction into NH₃ with high selectivity under the reducing process by copper nanowire mesh. Plasma discharging can activate N₂ into the ionized state (*N₂) and eventually oxidize into NO₂ and NO₃ at the gas/liquid interface. Then, the reductions of NO₂ and NO₃ have more positive potentials than N₂, which are considered favorable cathodic reactions for NH₃. Sole plasma discharge does not have high selectivity for NH₃ formation, and it is known to have a reverse reaction where NH₃ is oxidized into NO₂/NO₃. The combination of plasma and electrolysis is proved to have high NH₃ concentration production with faradaic efficiency higher than 90%.

Keywords: DBD plasma, NO_x, ammonia, electrolysis

Desulfurized waste as a co-electron donor in an autotrophic denitrification system for nitrate removal from hydroponics wastewater

Sang-Eun Oh^{1*}, Anup Gurung¹, Suleman Shahzad¹, Woochang Kang¹
*Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon-si,
Gangwon State, Republic of Korea*

This study proposes a novel sulfur and desulfurized waste-autotrophic denitrification system by coupling elemental sulfur (S^0) and ferric hydroxide desulfurized waste (FHDW) pellets in columns. The aim was to assess the denitrification performance of the system by continuously feeding hydroponics wastewater at various empty bed contact times (EBCTs). The system's effectiveness was compared with S^0 alone regarding nitrate (NO_3^- -N) removal efficiency and pH levels. The FHDW pellets were demonstrated to serve as both a buffer agent and an additional electron donor. At all tested EBCTs, the NO_3^- -N removal in the system was consistently stable and significantly higher compared to the use of S^0 alone, when S^0 was combined with FHDW pellets as an additional substrate. Moreover, the combination of S^0 and FHDW denitrification system exhibited an average NO_3^- removal efficiency of 91.3 ± 12.34 % as the EBCTs decreased stepwise from 12 h to 4 h, resulting in a low NO_3^- -N concentration of 6.42 ± 9.55 mg/L in the effluent. Therefore, the results obtained in this study demonstrated that FHDW could effectively supplement S^0 as an electron donor in autotrophic denitrification for treating NO_3^- -N-rich wastewater.

Acknowledgment

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. RS-2023-00227531)” Rural Development Administration, Republic of Korea, and by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2023R1A2C1004608).

References

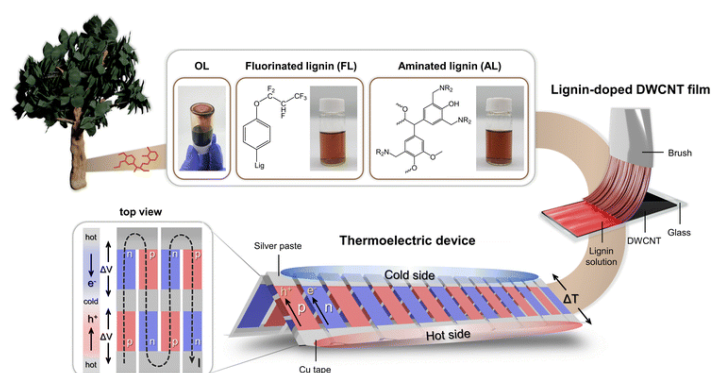
1. Di Capua, F., Pirozzi, F., Lens, P. N. L., and Esposito, G., Electron donors for autotrophic denitrification. *Chem. Eng. J.*, 362, 922-937 (2019).
2. Pang, Y., Hu, L., and Wang, J., Mixotrophic denitrification using pyrite and biodegradable polymer composite as electron donors. *Bioresour. Technol.*, 351, 127011 (2022).

Functionalized lignin as eco-friendly as dopant for n- and p-type carbon nanotube based semiconductor

Ngoc Tuan Tran^{1,2}, Heesuk Kim¹, Hyunjoo Lee^{1,2*}

¹University of Science and Technology, ²Korea Institute of Science and Technology

Lignin has potential applications as a precursor for biobased adhesives and polymers, as well as in the production of biofuels and bio-oil through catalytic reactions. However, its condensed crosslinking structure and the presence of methoxy groups in its para and ortho phenyl unit reactive sites limit its use in materials. In this study, lignin was functionalized via phenolation process to improve its solubility in organic solvents and increase the number of reactive sites (Tran et al. [2]). The phenolated lignin was then reacted with amine and fluorine compounds to prepare n- and p-type dopants, respectively, for a thermoelectric device based on carbon nanotubes (CNTs). The semiconducting properties of doped CNTs were tested using modified lignin as dopants, and the results were stable and reliable. The Seebeck coefficients were $-48.0 \mu\text{V K}^{-1}$ for aminated lignin and $53.9 \mu\text{V K}^{-1}$ for fluorinated lignin, suggesting that the modified lignin-doped CNT films have semiconducting properties. These findings demonstrate that functionalized lignin can be used as a substitute source for petrochemical-derived compounds, especially for applications related to surface charge transfer doping, electronics, or energy (Choi et al. [3]).



References

- Laurichesse, S. and Avérous, L., "Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers," *Prog. Polym. Sci.*, **39**(7), 1266–1290 (2014).
- Tran, T. N., Ko, T., Kim, S., Moon, J., Choi, J. W., Kim, K. H., Kim, C. S., Ha, J. M., Kim, H., Jeong, K., Lee, H., and Yoo, C. J., "Microwave-assisted phenolation of acid-insoluble Klason lignin and its application in adhesion," *Green Chem.*, **24**, 2051–2061 (2022).
- Choi, Y., Tran, T. N., Jang, D., Park, M., Yoo, C. J., Kim, J. Y., Lee, H., and Kim, H., "Eco-friendly conversion between n- and p- type carbon nanotubes based on rationally functionalized lignin biopolymers," *Green Chem.*, **26**, 330-339 (2024).

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

공정시스템 특별심포지엄

(구두발표)

2024년 3월 28일(목) 13:00~16:40
원덤그랜드 부산 3층 스텔라

Techno-economic Analysis and Life Cycle Assessment of Green NH₃ Synthesis

Boreum Lee

*Department of Environment and Energy Engineering, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro,
Buk-gu, Gwangju, 61186, Republic of Korea*

A techno-economic analysis and life cycle assessment was conducted for low-carbon ammonia (NH₃) production with different types of water electrolyzers: alkaline water electrolysis, polymer electrolyte membrane water electrolysis, and solid oxide water electrolysis. The goal of the analysis is to identify when these water electrolysis technologies might meet the target costs for 2030 and 2050 (0.48 and 0.32 USD ton⁻¹ NH₃ respectively). The NH₃ production costs are predicted for three scenarios according to the learning-by-doing effect, anticipated improvements in the energy efficiency of the electrolyzers, and reductions in the levelized cost of electricity. We find that the target low-carbon NH₃ production costs for 2030 and 2050 can be reached only in the best-case scenario. Further, our analysis indicates that solid oxide electrolysis would become the most economically competitive of the three electrolyzers by 2050. We conclude that more widespread adoption and improved energy efficiency of water electrolyzers as well as greater reductions in the levelized cost of renewable energy will be necessary to attain sustainable and competitive low-carbon NH₃ synthesis by 2050.

References

1. Lee et al., "Pathways to a Green Ammonia Future", *ACS Energy Letters*, 7(9), 3032-3038 (2022).

산업용 CO₂ 포집을 위한 저온 분리막 공정 기술 개발

이성훈^{1*}, 남성찬¹, 백일현¹, 김진국²

¹한국에너지기술연구원, CCS 연구단

²한양대학교, 화학공학과

Development of sub-ambient membrane process for CO₂ capture in industrial sectors

Sunghoon Lee^{1*}, Sung Chan Nam¹, Il Hyun Baek¹, Jin-Kuk Kim²

¹CCS Research Department, Korea Institute of Energy Research

²Department of Chemical Engineering, Hanyang University

CO₂ 포집 공정과 관련하여 그동안 발전소 중심으로 많은 연구가 이루어져 왔다. 하지만, 국내의 CO₂ 배출원 대한 조사를 보면, 발전소(석탄, NGCC) 이외에도 철강, 시멘트, 석유화학, 정유 산업 등에서 많은 CO₂가 대기 중으로 배출됨을 알 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 CO₂ 다 배출 산업인 철강, 시멘트, 정유 영역에서의 대표 배가스 7종에 대하여 분리막 공정을 적용하였을 때, 공정 최적화와 경제성 평가를 수행하였다. 특히, 분리막이 저온 환경(약 -3 5°C)일 때, 분리막의 선택도가 2~4배 정도 향상되는 성질을 활용하여, 신규 분리막 공정인 저온 분리막 공정을 개발하였다. 저온 분리막 공정은 MATLAB[®]을 이용하여 개발된 분리막 모델을 UniSim Design[®]에 연동하여, 공정을 구현하였다. 저온 환경은 프로판 냉각 사이클과 열통합 기법을 동시에 적용하여, 에너지 절감형 공정을 적용하였다. 공정 최적화를 위하여, 분리막 공정의 주요 투자비인 분리막, 압축기, 진공 펌프, 열교환기 등과 전기 및 분리막 교체 비용을 고려한 운전비용을 목적함수로 설정하였고, GA(Genetic Algorithm)를 이용하여 최적의 공정을 제안하도록 하였다. 마지막으로, 배출되는 CO₂에 따른 비용이 발생하는 탄소세를 적용하여, CO₂ 포집율과 배출비용을 동시에 고려한 CO₂ 포집 비용을 제안하고 분석하였다. 7종의 배가스에 모두 적용한 결과를 통해서, 탄소세 비용이 증가할수록, CO₂ 포집율을 높이는 것이 합리적임을 보였다.

참고문헌

1. Lee, S. and J.-K. Kim, "Sub-ambient membrane process for CO₂ removal in the industrial sector: Iron and steel, cement, and refinery" J. Membr. Sci. 686, 122018 (2023)
2. Lee, S. et al., "Development of novel sub-ambient membrane systems for energy-efficient post-combustion CO₂ capture" Appl. Energy 238, 1060-1073 (2019)

수소, 암모니아, 그린메탄올 혼소를 통한 탄소 중립 발전: 개발 및 경제성 분석

조성현*

전북대학교 화공생명공학부

Development and Economic Evaluation of Co-firing Systems Using Hydrogen, Ammonia, and Green Methanol for Carbon Neutrality

Sunghyun Cho*

School of Chemical Engineering, School of Semiconductor and Chemical Engineering, Clean Energy Research Center, Jeonbuk National University, JeonJu, Jeonbuk 54896, Korea

전 세계는 기후 위기에 직면해 있으며, 이에 따라 온실가스 배출을 급격히 줄이고 2050년까지 탄소 중립을 실현하는 것이 긴급한 과제로 대두되고 있음. 본 연구는 수소, 암모니아, 그린메탄올을 활용한 혼소발전 시스템의 개발 및 경제성 평가를 통해 탄소 중립 달성에 기여할 수 있는 방안을 모색함. 연구는 첫째, 각 연료의 특성을 고려한 혼소발전 시스템의 설계 및 개발을 진행하였으며, 이를 통해 이들 청정 에너지원의 효율적 활용 가능성을 탐구하였음. 둘째, 경제성 평가를 통해 이들 시스템이 기존 에너지 생산 방식 대비 경제적 이점을 제공하는지, 그리고 어떠한 환경적 영향을 미치는지 분석하였음. 특히, 수소의 가격, 암모니아의 NOx 발생 문제, 그리고 그린메탄올의 CO₂ 배출 문제를 상세히 다루었음. 본 연구의 결론은 혼소발전 시스템이 에너지 생산의 효율성과 환경 보호를 동시에 달성할 수 있는 유망한 방안임을 시사함. 이는 2050년 탄소 중립 목표 달성에 중대한 기여를 할 것으로 기대됨.

참고문헌

1. Kubilay Bayramoğlu et al, "Numerical investigation of the hydrogen, ammonia and methane fuel blends on the combustion emissions and performance", International journal of hydrogen energy (2022)
2. Lupeng Han et al, "Selective Catalytic Reduction of NOx with NH3 by Using Novel Catalysts: State of the Art and Future Prospects", Chemical Reviews (2019)
3. Byung-Hwa Lee et al, "Comprehensive technical review for fundamental characteristics and application of NH3 co-firing with coal", Chemical Engineering Journal (2023)
4. Yishu Xu et al, "Mitigating CO2 emission in pulverized coal-fired power plant via co-firing ammonia: A simulation study of flue gas streams and exergy efficiency", Energy Conversion and Management (2022)
5. Bin Shi et al, "Techno-economic analysis of oxy-fuel IGCC power plants using integrated T intermittent chemical looping air separation", Energy Conversion and Management (2019)
6. Zahra Mohammadi, Mohsen Fallah, "Conventional and advanced exergy investigation of a double flash cycle integrated by absorption cooling, ORC, and TEG power system driven by geothermal energy", Energy (2023)
7. Zongze Lv et al, "Techno-economic analysis on CO2 mitigation by integrated carbon capture and methanation", Applied Energy (2024)
8. Peter Glarborg et al, "Modeling nitrogen chemistry in combustion", Progress in energy and combustion science (2018)
9. Wai Siong Chai et al, "A review on ammonia, ammonia-hydrogen and ammonia-methane fuels", Renewable and sustainable energy reviews (2021)

분리막과 PSA 혼성공정을 통한 혼합 가스로부터 CO 분리에 대한 연구

조영주¹, 조정호^{1*}

¹공주대학교 화학공정연구소

A Study on the Separation of CO from the Gas Mixture Using Membrane and PSA Hybrid Process

Youngjoo Jo¹, Jungho Cho^{1*}

¹Chemical Process Research Laboratory, Kongju National University

KEYWORD: 분리막, PSA, Aspen Adsorption, 흡착 등온식, Permeability Constant

본 연구에서는 CO, N₂, CH₄, H₂ 및 CO₂ 성분들을 포함하는 혼합물을 분리막과 PSA 혼성공정을 통해서 CO를 99%까지 농축하는 공정에 대한 전산 모사 절차를 소개하였다. 분리막 공정에 대해서는 AVEVA 사의 PRO/II with PROVISION에 내장된 Membrane 모듈을 사용하였으며, PSA 공정에 대해서는 AspenTech 사의 Aspen Adsorption 모듈을 사용하였다. 우선 1단 분리막 공정을 통해서 CO의 농도는 32.5%에서 90%로 농축되었으며, CO의 회수율은 81.4%이다. 그리고 이어서 2개의 BED를 이용한 PSA 공정에서는 CO의 최종 순도는 99%이며, 회수율은 87.59%이다. 분리막의 전산 모사를 위한 각 성분 기체들에 대한 Permeability Constant들은 한국화학연구원으로부터 제공 받았으며, PSA 공정의 전산 모사를 위해서는 성분 기체들의 흡착등온 실험 데이터는 문헌으로부터 구하여 Langmuir 흡착 등온식의매개변수들을 회귀분석을 통해서 결정하였다. 본 연구로부터 수행된 분리막과 PSA 혼성 공정은 CO 기체의 분리뿐만 아니라 고순도 수소의 분리 및 수소와 이산화탄소를 동시에 분리해 내는 공정에도 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Gao, Fei, et al. "Adsorption separation of CO from syngas with CuCl@ AC adsorbent by a VPSA process." RSC advances 8.69 (2018): 39362-39370.
2. Jain, S., et al. "Heuristic design of pressure swing adsorption: a preliminary study." Separation and Purification Technology 33.1 (2003): 25-43.
3. Qasem, Naef AA, and Rached Ben-Mansour. "Energy and productivity efficient vacuum pressure swing adsorption process to separate CO₂ from CO₂/N₂ mixture using Mg-MOF-74: A CFD simulation." Applied Energy 209 (2018): 190-202.
4. Park, Yongha, et al. "Adsorption equilibria and kinetics of six pure gases on pelletized zeolite 13X up to 1.0 MPa: CO₂, CO, N₂, CH₄, Ar and H₂." Chemical Engineering Journal 292 (2016): 348-365.

A Feasibility Study on the Vaporization of Liquefied Carbon Dioxide Due to Heat Transfer in Submerged Pipeline with Start-up, Shutdown and Abnormal Dynamic Simulation Scenarios Prediction

Daniel Owusu Asante, Russel J. Galanido, Ilsu Park and Jungho Cho*

Chemical Process Research Laboratory, Department of Chemical Engineering,

Kongju National University, 275 Budae-dong, Cheonan-si, Seobuk-gu, Chungcheongnam-do 31080, Republic of Korea

Abstract

This feasibility study looked at the evaporation of liquefied carbon dioxide (LCO₂) that happens when heat transfer occurs in an underwater pipeline flow. The aim of the research was to evaluate the effects of flow velocity, temperature, and height on the rate of CO₂ evaporation in a submerged pipeline. Two of the simulation tools utilized for the analysis were Aspen Plus and Ansys Fluent. The SRK thermodynamic model was selected for the evaluation. Using Aspen Plus and Aspen Dynamics, start-up, shutdown, and abnormal dynamic investigations were carried out to confirm the pipeline's safe operation. The study provides valuable information regarding the behavior of CO₂ in these pipes and highlights the necessity of accounting for heat transfer in the design and operation of these pipelines.

For pipeline landfall prediction, valid oceanographic and seabed data were acquired along with the related temperatures. The last 200 meters of the pipe segment (N11 to N13) saw a further reduction in pressure from the highest pressure of 76.61 barg, resulting in an outlet pressure of 59.72 barg. Since the fluid was flowing upwards toward the sea platform, gravity was the cause of the pressure drop. The temperature gradually decreased as it went down the pipeline. It was determined that the temperature at the pipe exit was 3.33°C. The study's findings can be used to enhance productivity and reduce the possibility of mishaps when designing and running undersea pipes for the movement and storage of CO₂.

References

1. J. Zhang, B. Zhang, L. Lei, C. Cheng, J. Xu, and N. Zhou, "Experimental Study on Heat Transfer Characteristics of Two-Phase Flow in Square and Rectangular Channels," *Energies*, **15**, 22, 8453 (2022).
2. D. Wu, M. Wei, R. Tian, S. Zheng, and J. He, "A Review of Flow and Heat Transfer Characteristics of Supercritical Carbon Dioxide under Cooling Conditions in Energy and Power Systems," *Energies*, **15**, 23 (2022).
3. M. Drescher, Ø. Wilhelmsen, P. Aursand, E. Aursand, G. De Koeijer, and R. Held, "Heat transfer characteristics of a pipeline for CO₂ transport with water as surrounding substance," *Energy Procedia*, **37**, 1876,3047–3056 (2013).

Flexible operation of electrolysis plants for demand-side management

Kosan Roh^{1*}

*Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry,
Chungnam National University, Republic of Korea¹*

Renewable energy resources that are intermittently available have been penetrating the power grid. As a result, temporal fluctuations in electricity supply and prices get stronger and thus cause the risk of destabilizing the power grid instability. To overcome this challenge, demand-side management (DSM), which means flexible utilization of electric energy, at power-intensive plants has been recognized as an attractive solution for improving the economics of power consumers and/or reducing carbon footprint as well as stabilizing the power grid. This talk introduces two illustrative cases about advanced DSM: (1) the modular and flexible operation of the electrochemical CO₂ reduction system and (2) the flexible operation of water electrolysis for clean hydrogen production. Mathematical formulation and solution strategies for optimal operation of the systems are presented. Then, the economic and environmental potential of the applied DSM is analyzed in various scenarios and the identified major bottlenecks are discussed.

Design of lithium extraction process from desalination wastewater using waste heat from natural gas combined cycle

Jonghun Lim¹, Hyejeong Lee¹ and Junghwan Kim^{*}
Yonsei University, ¹Korea Institute of Industrial Technology

The demand for lithium has rapidly increased with the growth of lithium-ion battery applications. Lithium is mainly stored in continental brines and is extracted using specific extraction processes. However, the lithium extraction process is time-consuming due to natural evaporation and requires large amounts of chemicals and heat, which lowers the production rate and economic feasibility. Here, this work designed lithium extraction process from desalination wastewater using waste heat from natural gas combined cycle (NGCC). The process utilizes desalination wastewater as a lithium resource and decreases heat consumption for Li_2CO_3 precipitation by recovering waste heat from NGCC. Economic analysis was conducted to determine the payback period (PBP), demonstrating the economic feasibility of the suggested process. The outcomes show that utilizing wastewater from the desalination process enables the production of lithium on a significant scale. Additionally, this approach allows for the creation of NaOH absorbents from the same wastewater, effectively capturing a substantial portion of CO_2 emissions and resulting in considerable energy savings through the strategic reuse of waste heat. Economically, the process is viable, offering a rapid return on investment, highlighted by its short PBP. Therefore, this study provides valuable insight into the efficient and environmentally friendly production of lithium using recovered waste heat and desalination wastewater.

References

1. Lee, H. J., Lim, J. H., and Kim, J. H., " Novel lithium production process using desalination wastewater and waste heat from natural gas combined cycle," *Energy Convers. Manag.*, **292**(15), 117396 (2023).
2. Matsuoka, T., Shimizu, K. " Direct observation of a pressure-induced metal-to-semiconductor transition in lithium," *Nature.*, **457**, 186-189 (2009).

Optimizing the plastic waste supply chain network model for plastic waste sorting and recycling

Jaepil Cheon, Yuchan Ahn*

Keimyung University, Department of Chemical and New Material Engineering

The recycling process of plastic can be broadly divided into four stages: collection, sorting, recycling, and disposal. Since plastic is produced from petroleum raw materials, its utilization value is very high. While there has been research focused on the sorting and recycling of plastic, studies related to collection are lacking.^[1] Given that there are facilities that handle specific types of plastic waste, the sorting process before sending plastic to recycling facilities is crucial.^[2] Establishing a foundational collection process for plastic waste prior to the sorting process is essential. The issue of pricing in recycled plastic poses a challenge. While the production of plastic products has seen advancements due to extensive research and optimization, plastic recycling lags behind in terms of cost competitiveness despite its environmental benefits.^[3] As costs are incurred throughout the entire collection, sorting, and recycling processes of plastic, optimizing the collection process becomes essential.^[4] In this study, we aim to optimize the waste plastic supply chain network model considering factors such as waste collection vehicles, collection sequences, types of waste handled by waste facilities, new recycling methods, and time periods.

References

1. Lim, Jonghun, et al. "Optimal sorting and recycling of plastic waste as a renewable energy resource considering economic feasibility and environmental pollution." *Process Saf. Environ. Protect.*, 169, 685-696.(2023)
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. Kim, Jihyun, and Sukjae Jeong. "Economic and environmental cost analysis of incineration and recovery alternatives for flammable industrial waste: The case of South Korea." *Sustainability* 9.9 (2017): 1638.
4. Kim, Dowan et al. "Strategies for Sustainable Management of Agricultural Waste Vinyl in South Korea." *Recycling* 8.2 (2023): 33.

BreakLab: A GUI Application for Adsorption and Sorption Enhanced Steam Methane Reforming Breakthrough Simulations

Hassan Muhammad¹, Sunghyun Yoon¹, and Yongchul G. Chung^{1*}

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

*Corresponding author. E-mail: drygchung@gmail.com (Y.G. Chung)

Adsorption breakthrough simulation is a widely used method to evaluate the performance of fixed bed adsorbers. In this work, we present a user-friendly GUI application, BreakLab, developed in MATLAB, to simulate breakthrough curves for adsorption and sorption-enhanced steam methane reforming processes. BreakLab allows the user to run non-isothermal and isothermal breakthrough simulations with user-defined inputs, such as feed gas properties, adsorber column parameters, adsorption isotherm model etc. BreakLab supports various widely used isotherms like the dual-site Langmuir, dual-site Langmuir-Freundlich, quadratic model, Temkin's approximation etc. BreakLab provides both the Ideal Adsorbed Solution Theory (IAST) and the Extended-Langmuir methods to approximate the mixture isotherm from single component isotherm data. In addition, breakthrough plots, temperature, pressure, and composition profiles across the column are also generated automatically, with the additional utility to save the data and plots in various formats.

Techno-Economic and Life Cycle Assessments of Decarbonization Strategies in Ethylene Production: South Korea Study Case

Eprillia Intan Fitriasaki, J. Jay Liu*

Department of Chemical Engineering, Pukyong National University

Ethylene is a crucial component in petrochemical industry. Ethylene production requires substantial amount of energy to break the carbon chain of naphtha, typically sourced from methane byproducts. This process generates significant carbon emissions, contributing to environmental challenges such as climate change. In line with South Korea's carbon target to reduce carbon emissions by 24.4% by 2030, we propose decarbonization strategies for ethylene production. These strategies involve: 1) retrofitting the cracking furnace to use imported green ammonia and utilizing the methane byproduct to produce more valuable chemical and 2) retrofitting the cracking furnace to use green hydrogen derived from imported green ammonia cracking and utilizing the methane byproduct to produce more valuable chemical. The economic performance and the environmental impacts of these strategies were thoroughly examined and compared with the typical ethylene production as baseline. The proposed processes were modelled and simulated in Aspen Plus to obtain mass and energy balance and design additional equipment. The results of process simulation were used as inputs in the economic and life cycle assessments. Economic assessments were conducted to determine the additional capital cost and operational cost in the ethylene plant. Furthermore, carbon emissions for the proposed process were expected to be reduced. Finally, this analysis enables the calculation of the cost of avoiding carbon emissions, identifying the most viable strategy.

Multi-scale Computational Screening of All-silica Zeolites for Adsorptive Separation of Ternary (H₂S/CO₂/CH₄) Mixtures

Sunghyun Yoon¹, Hassan Muhammad¹, and Yongchul G. Chung^{1,*}

¹*School of Chemical Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Korea (South)*

*Corresponding author. E-mail: drygchung@gmail.com (Y.G. Chung)

Natural gas (NG) consists of H₂S and CO₂, and the presence of these gases are detrimental to the usage of NG for energy generation. Adsorptive separation is a promising avenue to remove H₂S and CO₂ from a mixture NG. Toward this end, identification of high-performing adsorbent materials that could simultaneous remove both H₂S and CO₂ is necessary. In this study, we carried out multi-scale simulations integrating molecular simulations, process modeling, and optimization to screen zeolites anticipated to be efficient for the simultaneous removal of H₂S and CO₂ from a ternary mixture of H₂S, CO₂, and CH₄. The extended dual-site Langmuir–Freundlich (EDSLF) model and ideal adsorbed solution theory (IAST) were employed for process modeling to predict the equilibrium molar loadings of gases in the ternary mixtures. Process cycle optimizations based on a genetic algorithm were performed for 16 zeolites to evaluate their acid gas removal capabilities. Subsequently, process economic optimizations were carried out for zeolites meeting both the criteria of over 95% recovery and 90% purity, resulting in the identification of the optimal zeolite. Furthermore, by comparing the results from the IAST and the EDSLf model, we underscored the necessity on validating isotherm parameters for the application of the EDSLf model.

블루-그린수소 동시생산을 위한 Autothermal Reforming-Solid Oxide Electrolysis 통합 시스템 설계

조서연¹, 노원준¹, 이예진¹, 이인규^{1,*}

¹부산대학교 응용화학공학부

*inkyu.lee@pusan.ac.kr

지속가능한 사회에 대한 관심이 증가하면서 세계적 에너지 패러다임이 기존의 화석연료에서 청정에너지로 전환되고 있다. 특히 블루, 그린수소는 생산과 사용 단계에서 탄소 배출이 적어 청정에너지원으로 인정받고 있다. ATR(Autothermal Reforming)을 통한 블루수소 생산공정은 메탄 개질반응에서 순산소를 필요로 한다[1]. 한편 SOEC(Solid Oxide Electrolysis)를 통한 그린수소 생산공정에서는 반응물로 고온의 스팀이 필요하다[2]. 이러한 특징들은 각 공정이 공기분리장치와 전기가열 히터를 요구하도록 하여, 공정의 열역학적, 경제적 성능의 저해를 초래한다. 따라서 본 연구에서는 ATR과 SOEC가 결합된 hybrid 공정을 설계하여 그 성능을 개선시키고자 하였다. Hybrid 공정은 SOEC의 부생산소를 ATR에 공급하고, ATR의 Heat Process에서 고온의 스팀을 SOEC에 공급하는 특징을 가진다. 제안공정은 블루, 그린 수소를 독립적으로 생산하는 공정보다 낮은 에너지 사용량을 통해 높은 열역학적 효율과 낮은 생산단가를 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).

암모니아 열분해를 통한 고순도 수소 생산에 대한 연구

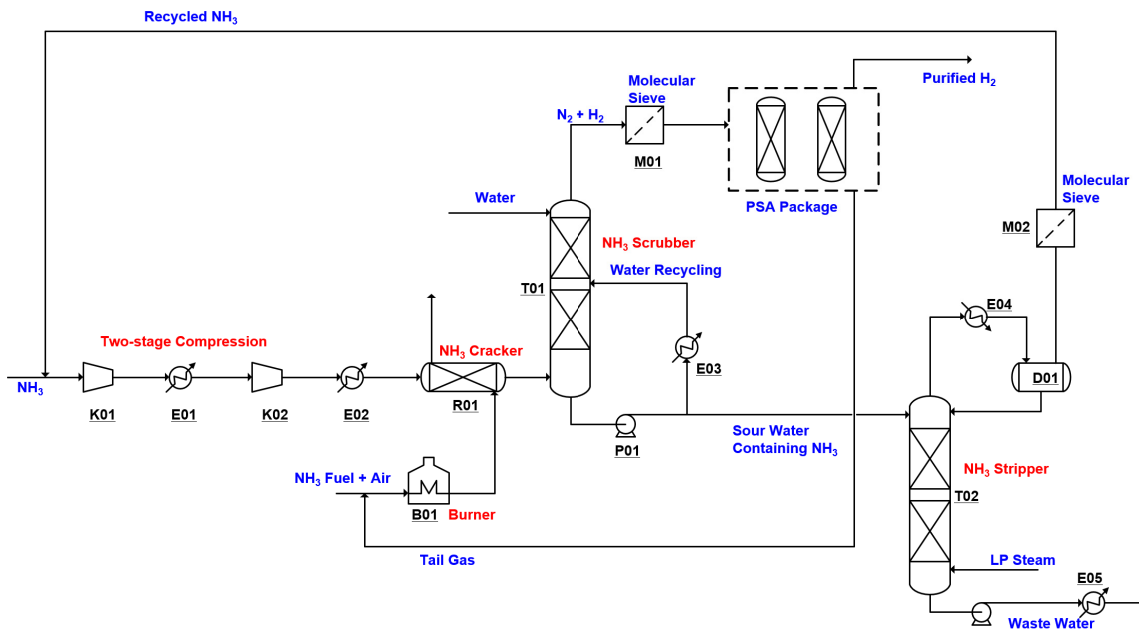
김진현¹, 김동선¹, 조정호^{1*}
¹국립공주대학교 공과대학 화학공학부

A Study on the Production of Highly Purified Hydrogen Through Ammonia Thermal Decomposition

Jin Hyeok Kim¹, Dong Sun Kim¹, Jungho Cho^{1*}
¹Department of Chemical Engineering, Kongju National University

KEYWORD: 열분해, 암모니아, 고순도 수소, 전산모사

본 연구에서는 암모니아의 열분해를 통해서 5N 이상의 순도를 가지는 수소를 생산하기 위해서 아래의 그림과 같이 주어진 공정에 대한 전산 모사를 수행하였다. 전체 공정의 구성은 중간에 냉각기를 가지는 2단 압축공정과 암모니아 열분해 반응기, 암모니아 흡수탑, 암모니아 스트리퍼와 드라이어 및 고순도 수소의 분리를 위한 PSA 공정으로 구성된다. 본 공정의 전산 모사를 위해서 AVEVA사의 상용성 화학공정모사기인 PRO/II with PROVISION V2023.1을 사용하였으며, 열역학 모델식으로는 흡수탑에 대해서는 NRTL 액체 활동도계수 모델식과 Henry의 법칙을 병행하여 적용하였으며, 암모니아의 열분해 반응과 이단압축공정의 전산 모사를 위해서는 SRK 상태방정식을 적용하였다.



참고문헌

- Ilaria Lucentini, Xenia Garcia, Xavier Vendrell, and Jordi Llorca Industrial & Engineering Chemistry Research 2021 60 (51), 18560-18611 DOI: 10.1021/acs.iecr.1c00843
- McCabe, Warren L., Julian C. Smith, and Peter Harriott. Unit operations of chemical engineering. McGraw-hill, 1993.
- J. M. Smith, H.C. Van Ness, and M. M. Abbott (2005), "Chemical Engineering Thermodynamics", 9th edition, McGraw-Hill, Inc., 277-279
- Han, K.; Ahn, C. K.; Lee, M. S.; Rhee, C. H.; Kim, J. Y.; Chun, H.D. Current status and challenges of the ammonia-based CO2 capture technologies toward commercialization. Int. J. Greenhouse Gas Control 2013, 14, 270-281.

공비점 분리제로써 벤젠을 사용한 무수 에탄올 생산을 위한 공비증류 공정의 최적화에 대한 연구

김진영^{1,2}, 조정호^{1*}, 이병돈²

¹국립공주대학교 공과대학 화학공학부

²(주)전진엔텍 기술연구소

An Optimization Study on the Azeotropic Distillation Process Using Benzene as an Entrainer for the Production of Anhydrous Ethanol

Jinyoung Kim^{1,2}, Jungho Cho^{1*}, Byungdon Lee²

¹Department of Chemical Engineering, Kongju National University

²Research and Development Center, Jeonjin Entech, LTD

KEYWORD: 공비증류, 전산모사, 공비점, 열역학 모델식

물과 에탄올 혼합물은 에탄올 농도가 88 mole% 근방에서 물과 공비 혼합물을 형성하기 때문에 통상적인 1기의 증류탑을 사용해서는 공비점 이상의 순도를 얻어낼 수 없다. 따라서 본 연구에서는 공비점 이전의 에탄올 수용액으로부터 99.9 weight% 이상의 순도를 가지는 에탄올을 분리해 내기 위해서 공비증류 공정에 대한 전산모사를 통한 3기의 증류탑의 재비기의 총 heat duty의 합을 최소화시키는 최적화 연구를 수행하였다. 공정 최적화를 위한 조절 변수로는 농축기 상부에서 농축된 에탄올의 농도로 설정하였다. 농축기 상부에서 에탄올의 농도가 높아질수록 농축기의 재비기의 heat duty는 증가하나, 공비 증류탑과 탈거탑의 재비기에서의 heat duty는 감소한다. 따라서 3기의 증류탑의 재비기의 heat duty의 총 합은 농축기 상부의 에탄올의 농도가 증가함에 따라서 감소하다가 다시 증가한다. 농축기(Concentrator), 공비증류탑(Azeotropic distillation column), 경사 분리기(Decanter) 및 탈거탑(Stripper)의 총 3기의 Column으로 구성된 공비증류공정을 구성하였다. 그리고 공비점 분리제로는 벤젠을 사용하였고, 전산모사를 위한 열역학 모델식으로는 NRTL 액체 활동도계수 모델식을 적용하였으며, AspenTech사에서 제공하는 상용성 화학공정 모사기인 Aspen Plus V12.1을 사용하였다.

참고문헌

1. A Study on the Optimization of Process for Ethanol Dehydration Azeotropic Distillation J Cho, J Jeon - Korean Chemical Engineering Research, 2005 - koreascience.kr
2. A comparative study between azeotropic distillation process and extraction distillation process for the production of anhydrous IPA Cho Jung-ho, Lee Byung-don, Park Sang-wook - Applied Chemistry, 2006 - cheric.org
3. Process Design of Low Energy Azeotropic and Extractive Distillation Process for Bioethanol Recovery Jong Hwan Kim, Doug Hyung Lee, Sung Kyu Hong, and Sang Jin Park Department of Chemical Engineering, Dongguk University
4. Application of Energy-Efficient Distillation System in Ethanol Process Department of Chem. Eng., Yungnam University, Korea Department of Chem. Eng., Dong-A Univ.
5. J. M. Smith, H.C. Van Ness, and M. M. Abbott (2005), "Chemical Engineering Thermodynamics", 9th edition, McGraw-Hill, Inc., 277-279
6. W. L. Luyben, Distillation Design and Control Using Aspen Simulation, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., 2013, 145-184.

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

공정시스템 특별심포지엄

(포스터발표 I)

2024년 3월 28일(목) 09:00~11:00
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비

에너지 저장, Allam Cycle, 탄소 포집이 통합된 Near-Zero LNG 공급망

김윤진, 이인규¹, 박진우*
동국대학교, ¹부산대학교

본 연구에서는 천연가스 액화 및 재기화 공정을 통합하고 지속 가능하며 탄소 배출이 0에 가까운 새로운 액화 천연가스(LNG; Liquefied Natural Gas) 공급망을 개발하여 제안하고자 한다. 천연가스 액화 및 재기화 공정은 에너지 집약적인 공정임과 동시에 온실가스 배출이 다량 발생하는 공정이다. 새롭게 제안하는 공정에서는 기존의 LNG 수출 터미널에 극저온 냉열에너지 저장 시스템으로서의 극저온 공기 분리 장치 (ASU; Air Separation Unit)를 통합하여 LNG의 냉열을 효율적으로 회수하고 액화 산소의 형태로 LNG 수입 터미널에 공급하여 천연가스 액화 과정의 에너지 소모를 감소시킨다. 한편, LNG 수입 터미널에 Allam cycle 및 탄소 포집 기술을 통합하여 천연가스 액화에 필요한 에너지를 충당함과 동시에 공정에서 발생하는 CO₂의 99.9%를 포집한다. 새롭게 제안한 공정의 에너지/경제성/환경 분석을 수행하였다. 에너지 분석 결과, 전체 공정에서 필요한 외부 에너지는 1,842kW 이며, 경제성 분석 결과 수출 터미널에서 기존 천연가스 액화 공정 대비 168%의 비용이 감소하였고, 수입 터미널에서는 부산물인 질소의 판매로 추가적인 이익을 얻는다. 환경 분석 결과 125.56 \$/ton-CO₂의 탄소세를 기준으로 하였을 때, 44.4%의 탄소세 비용을 절감할 수 있다. 이러한 연구는 지속 가능하고 친환경적인 LNG 공급망 연구를 위한 기초 자료가 될 것으로 기대된다.

ATR 기반 청정 수소 생산: 다단 증발법과 고분자 전해질막 수전해 활용

오세빈, 김태현, 박진우*
동국대

화석 연료를 대체하여 친환경적인 수소를 중심으로 한 에너지 시스템으로의 전환은 Net Zero 달성을 위한 필수 조건이다. ATR (Autothermal Reforming)을 기반으로 하는 수소 생산 기술은 천연가스를 활용하며 가장 효율적이라 여겨진다. 그러나 순수 산소 대신 공기를 사용하는 것으로 인해 비용 문제로 제한되어 왔다. 본 연구는 이러한 제약을 극복하기 위해 ATR 공정과 PEMEC (Proton Exchange Membrane Electrolysis Cell) 공정 및 MSF (Multi-stage Flash) 공정을 통합한 공정을 제안하였다. 이 통합된 공정은 ATR 공정에 필요한 순산소는 PEMEC에서 공급되며, PEMEC 공정에 필요한 고순도 물은 MSF에서 공급되고, MSF 공정에 필요한 열은 ATR에서 공급된다. 제안 공정의 경제성 평가 결과, 블루 수소와 그린 수소 모두 독립적인 공정보다 더 낮은 생산 비용을 가졌으며, 순현재가치 (Net Present Value)는 3억 4,800만 달러로 도출되었다. 더불어, 매년 5,370만 달러의 추가 이익을 얻을 수 있는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 해수 담수화 및 수전해 기술을 블루 수소 생산 프로세스와 효율적으로 통합함으로써 경제적 가치를 명확히 입증하였다. 이 연구는 환경 보호와 에너지 안정성을 함께 고려하여 미래에는 더욱 중요한 역할을 할 것으로 전망된다.

Dual Mixed Refrigerants 천연가스 액화공정의 액화공기 냉열 활용 가능성에 관한 연구

신민균, 문하늘¹, 이인규¹, 박진우*
동국대학교, ¹부산대학교

천연가스 액화공정은 매우 에너지 집약적인 공정이다. 따라서 에너지소비량을 줄이기 위해 다양한 연구들이 진행되어왔으며, 본 연구는 천연가스 액화공정과 LNG 재기화 공정을 통합적으로 보는 관점에서 액화공기를 접목하여 연구를 진행하였다. 우선 천연가스 액화공정 중 하나인 Dual Mixed Refrigerant(DMR) 공정에 액화공기의 냉열을 공급한 신규 공정을 설계하여 3가지의 DMR 기반의 천연가스 액화공정을 비교하였다. 기존의 공정을 DMR, 액화공기 냉열을 활용한 DMR-LA, 압축된 액화공기의 냉열을 활용한 DMR-HPLA라 칭하고, 해당 공정들 대해서 최적의 공정상태에서의 비교를 위해 최적화를 시행하였다. 최적화된 공정들을 에너지, 경제성 분석을 시행하여, 신규 공정 도입 가능성을 검토하였다. 에너지 분석 결과, DMR-LA, DMR-HPLA는 각각 기존공정대비 25.14%, 30.75% 감소하였다. 또한, 경제성 분석결과 DMR-LA, DMR-HPLA는 각각 기존공정대비 23.79%, 27.51% 감소하였다. 따라서 신규 공정의 도입이 타당하다는 결론을 얻을 수 있었다.

천연가스 통합 시스템 구축 연구

김도희, 박시환¹, 이인규¹, 박진우*
 동국대학교, ¹부산대학교

본 연구에서는 natural gas combined cycle(NGCC) power plant에서 발생하는 flue gas로부터 이산화탄소를 액체 상태로 포집하고, 이를 천연가스 액화 공정에 활용 및 가스전에 저장하여 천연가스 생산 효율을 높이는 새로운 천연가스 통합 시스템을 제안한다. Import site의 NGCC power plant로부터 발생한 flue gas는 MEA-based CO₂ absorption 공정에 의해 90%의 CO₂가 포집되고, 압축 및 냉각 공정을 통해 CO₂가 액체 상태로 포집된다. 액체 CO₂는 import site에서 export site로 운반되고, 운반된 CO₂의 냉열을 천연가스 액화 공정에 활용한다. 제안한 공정을 천연가스 액화 공정 중 가장 상용화된 C3MR 공정과 비교했을 때 천연가스 액화 공정을 하나의 단계로 압축함으로써 공정을 단순화할 수 있는 장점이 있다. 다음으로 C3MR 공정과 본 연구에서 제안한 공정을 energy와 경제성 측면에서 분석하였다. 분석 결과, 본 연구에서 제안한 공정은 C3MR 공정보다 에너지 소비를 16% 감소시킬 수 있으며, 연간 공정 비용을 20% 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 제안한 천연가스 액화 공정은 기존 C3MR 공정 대비 더 효율적이며 경제성이 있는 공정으로 나타났다. 추가로, 천연가스 액화 공정에 냉열을 활용한 액체 CO₂는 열 교환 후 CO₂-EGR법에 활용 가능한 조건을 갖춤으로써 이산화탄소를 가스전에 저장하고, 채취되지 않은 천연가스의 생산 효율을 증가시킬 수 있다. 본 연구에서 제시한 천연가스 통합 시스템 구축 연구는 2050 탄소 중립 달성에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

Development of an Artificial Intelligence Model for Sorting Plastic Waste

Junhyeok Son, Yuchan Ahn*

Keimyung University

Traditional methods of sorting plastic waste rely heavily on manual labor, which is inefficient and time-consuming. This research aims to automate and optimize the sorting process of plastic waste using advanced artificial intelligence algorithms. We employ various AI algorithms to develop accurate identification and classification models for plastic waste. In this research, a large dataset of plastic waste images is collected and preprocessed for model training, utilizing Python libraries for model construction. Extensive testing is conducted to evaluate the accuracy, efficiency, and reliability of the models. The developed models demonstrate the ability to accurately identify and classify different types of plastic waste. Test results of the models show superior performance in the automated sorting system for plastic waste compared to conventional methods, marking a significant advancement in the automation and optimization of recycling processes.

Economic feasibility assessment of pyrolysis process using plastic waste

Hyojin Jung¹ and Yuchan Ahn*
¹Keimyung University, *Keimyung University

This study conducted a simulation model and economic feasibility assessment of the pyrolysis process to convert plastic waste into a pyrolysis oil through pyrolysis as a part of chemical recycling. Thermal decomposition of plastic waste can produce pyrolysis oil through a pyrolysis reaction, and if it is purified through a post-processing step in which impurities are filtered out materials (naphtha, olefin) in petrochemical process. In order to respond to the continuously increasing plastic recycling market, the market for high value-added products through pyrolysis will further expand, and technology development in response to carbon neutrality is also necessary. Therefore, a specific economic feasibility assessment is necessary when recycling plastics waste using the pyrolysis process to achieve the goal of a sustainable chemical process.

In this study, in order to evaluate the economic feasibility of the pyrolysis process using various types of plastics waste (PE, PP, PS, Mixed plastic), the cost for power production was determined by confirming the HHV of the pyrolysis products produced from the pyrolysis process. In addition, since a sorting process is essential to pyrolysis a single plastic, we studied the economic difference depending on whether a sorting process was added.

References

1. Azam, Muhammad Usman, Akshay Vete, and Waheed Afzal. "Process simulation and life cycle assessment of waste plastics: a comparison of pyrolysis and hydrocracking." *Molecules* 27.22 (2022): 8084.
2. Lim, Jonghun, Yuchan Ahn, and Junghwan Kim. "Optimal sorting and recycling of plastic waste as a renewable energy resource considering economic feasibility and environmental pollution." *Process Safety and Environmental Protection* 169 (2023): 685-696

플라스틱 폐기물로부터 발생하는 미세플라스틱 독성 예측: GAMS 기반 평가와 데이터 분석

조승혁, 안유찬*

계명대학교

전세계적으로 인구 증가 및 산업 발달로 인하여 매년 사용량이 증가하고 있는 플라스틱은 가볍고 가공이 쉬우며 저렴한 가격으로 많은 장점을 가지고 있는 소재이다. 하지만 잘 썩지 않고 연소 시 다이옥신을 내뿜으며 환경문제를 일으키는 주범 중 하나로 대두되고 있어 플라스틱과 연관된 독성에 대해 측정하고 평가하여 문제를 해결할 필요성이 있다.

본 연구에서는 일상생활에서 배출되는 플라스틱 폐기물로부터 방출된 미세플라스틱을 GAMS(General Algebraic Modeling System)를 통해 평가하였다. 다양한 플라스틱 종류를 고려하여 독성을 예측하기 위해 광범위한 데이터를 수집하고 분석하였으며, 이를 통해 플라스틱 종류별 9가지 Endpoint에 도달할 확률을 계산하여 독성을 예측했다. 수집된 데이터를 바탕으로 모델을 구축하여 플라스틱의 독성을 예측할 수 있었으며, 이러한 연구 결과는 플라스틱과 관련된 환경문제에 대한 인식을 높이고, 새로운 정책 및 기술 개발에 기여할 것으로 기대된다. 또한, 이러한 연구 결과는 플라스틱 소재의 선택과 재활용 프로세스의 개선에도 도움이 될 것으로 예상된다.

Techno-economic assessment of plastic-to-energy by simulating combined cycle gas turbine

Subin Jung and Yuchan Ahn*

¹*Department of Chemical Engineering, Keimyung University, 1095 Dalgubeol Dae-ro, Dalseo-gu, Daegu 42601, Republic of Korea*

As the amount of plastic waste increases due to global plastic consumption, studies have been conducted to recycle waste plastic [1]. Among waste plastic recycling technologies, waste-to-energy (WTE) includes energy recovery that produces heat energy by incinerating waste plastic. Previous studies on plastic-to-energy focused on power generation based on mathematical modeling and the calorific value of waste plastic [2]. However, while this study focused on the power output achievable from waste plastic, the accuracy of the Process Flow Diagram (PFD) was low, which could significantly impact economic assessment. Therefore, in this study, a Combined Cycle Gas Turbine (CCGT) power plant is simulated using a process simulation program rather than mathematical modeling. Using Aspen HYSYS, waste plastic is burned as fuel, and high, intermediate, and low-pressure steam is produced, after which a gas turbine is employed to generate electricity [3]. Additionally, an economic feasibility evaluation is conducted with a commercially scaled process derived through process simulation. Considering cash flow during the process operation period, the possibility of entering the market and the profitability of the business were quantitatively compared to mathematical modeling research.

References

Citation

1. Chen, H., Li, J., Li, T., Xu, G., Jin, X., Wang, M., Liu, T., "Performance assessment of a novel medical-waste-to-energy design based on plasma gasification and integrated with a municipal solid waste incineration plant." *Energy*, **245**, 123156 (2022).
2. Jung, Subin, Hyojin Jung, and Yuchan Ahn., "Plastic-to-energy: Process and economic–environmental assessment of a recycling technology." *Process Safety and Environmental Protection*, **183**, 1051-1058 (2024).
3. Liu, Zuming, and Iftekhar A. Karimi., "Simulating combined cycle gas turbine power plants in Aspen HYSYS.", *Energy conversion and management*, **171**, 1213-1225 (2018).

바이오매스 가스화 공정에서의 수소생산 향상을 위한 이중 유동층 Ca-Looping 공정 시뮬레이션

박한샘¹, 박현준¹, 이하은¹, Jester Lih Jie Ling¹, Solanki Bhanupratap Singh¹,
안재원², 이시훈^{2,*}

¹ 전북대학교 환경에너지융합학과
54896 전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567

² 전북대학교 자원에너지공학과
54896 전라북도 전주시 덕진구 백제대로 567

Enhanced hydrogen production from biomass by using dual fluidized Ca-Looping gasifier with CuO/CaO

Han Saem Park¹, Hyun Jun Park¹, Ha Eun Lee¹, Jester Lih Jie Ling¹,
Solanki Bhanupratap Singh¹, Jae Won An² and See Hoon Lee^{2,*}

¹Department of Environment and Energy, Jeonbuk National University, 567, Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si,
Jeollabuk-do, Republic of Korea

²Department of Mineral Resources and Energy Engineering, Jeonbuk National University, 567, Baekje-daero,
Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, Republic of Korea

*e-mail: donald@jbnu.ac.kr (Corresponding author)

ABSTRACT

산업혁명을 기점으로 화석연료 사용량이 기하급수적으로 상승하면서, 대기 CO₂ 농도 및 대기오염물질 발생이 심각해졌다. 이에 따라 국제사회는 심화되는 지구온난화와 환경오염을 막기 위해 화석연료 에너지를 탈피하여 지속가능한 에너지를 상용화하기 위한 노력을 거듭하고 있다. 지속가능에너지원인 바이오매스는 태양, 풍력 등의 다른 재생에너지원과 달리 간헐성이 낮고 높은 적용가능성을 가진다는 장점이 있으며, 소비과정에서 배출되는 CO₂는 성장과정 중 흡수하여 탄소중립성도 가지고 있다. 이러한 특성을 적용하여 바이오매스의 열역학적 전환공정에 Carbon capture and storage (CCS)를 적용한 Bioenergy with carbon capture and storage(BECCS)는 CO₂ Negative emission을 실현할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 본 연구에서는 Aspen Plus을 이용하여 바이오매스 가스화 공정에 Calcium Looping(Ca-Looping)을 적용한 BECCS 공정을 시뮬레이션 하였다. 원료는 목질계 바이오매스인 Olive wood가 사용되었으며 최적의 합성 가스 내 수소, 물분율, 가스수율, CO₂ 포집량을 확인하기 위해 가스화 온도, 바이오매스-증기 비율, CuO/CaO 투입량을 공정변수로 설정하였다.

Keywords: Biomass Gasification; BECCS; Hydrogen production; Ca-Looping; Carbon neutral

Techno-Economic and Life Cycle Assessments of Decarbonization of Crude Distillation Unit (CDU) with CO₂ Utilization.

Muhammad Ansub Khan, Jay Liu*
Pukyong National University, Busan, Republic of Korea.

Central to the petroleum refining are the Crude distillation units (CDU), which separate the diverse components within crude oil for further processing. Operating at high temperatures and relying on fossil fuels, CDUs are significant greenhouse gas emitters in refineries, accounting for 15-20% of CO₂ emissions. The expected rise in demand of petroleum-based fuels and the expansion of refining facilities necessitate the reduction of refinery emissions. Thus, this study explores the economic and environmental feasibility of utilizing renewable fuels such as green ammonia and blue hydrogen along with carbon capture and utilization (CCU) for CDU. Simulated using Aspen Hysys, CDU produces a range of products, including light straight run gasoline (LSRG), naphtha, kerosene, diesel, and vacuum residue, with yields of 10.2%, 10.7%, 15.4%, 14.1%, and 18.9%, respectively. Techno-economic analysis estimates that cases 3a and 2a, utilizing 100% blue hydrogen and 100% green ammonia, incurs the highest CAPEX and OPEX, primarily driven by hydrogen production and green ammonia import costs, respectively. Rigorous life cycle assessment (LCA) shows significant global warming potential (GWP) savings for cases 3a and 3b utilizing blue hydrogen as fuel. On the other hand, integration of CCU with the base case increases the GWP by 7.8% but generates 37.7tons of methanol as an avoided product, providing substantial environmental savings by replacing fossil-based methanol. Despite higher costs, Case 3a demonstrates a lower CO₂ avoidance cost of 2.62 USD/kg compared to Case 3b (3.80 USD/kg), suggesting that operating the CDU solely on blue hydrogen is a promising avenue for achieving both economic and environmental objectives.

Integrated Naphtha Cracking Center for Decarbonization: A Techno-Economic and Life Cycle Assessment Approach

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

¹*Department of Chemical Engineering, Pukyong National University*

Amidst global efforts to combat climate change, the chemical industry seeks innovative solutions for decarbonization. This study presents an integrated approach of decarbonization in naphtha cracking through the utilization of steam methane reforming (SMR) and subsequently capturing CO₂ emissions to mitigate environmental impact. The captured CO₂ is utilized in a closed-loop system to reduce emissions, while the methane produced from SMR is harnessed for methanol production. Three case studies were proposed, including Case 1 involved the naphtha cracking base scenario; Case 2 entailed naphtha cracking with carbon capture in the furnace, with the captured CO₂ utilized for methanol production; and Case 3 comprised naphtha cracking integrated with SMR and carbon capture, along with the utilization of captured CO₂ into methanol production. The entire process is simulated using Aspen Plus, with techno-economic analysis and life cycle assessment providing comprehensive insights. Expected results include significant reductions in CO₂ emissions, improved economic viability, and enhanced sustainability, thus offering a promising pathway towards decarbonization in chemical industries.

Application of Deep Learning in the Prediction of Wind and Solar Power Curtailment

Saeideh Khakzadkelarijani and J. Jay Liu*

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

The integration of renewable energy like wind and solar power into the energy mix is crucial for sustainability and reducing the dependence on non-renewable fossil fuels. However, this transition comes with challenges, notably an occasional surplus of generated energy which can threaten the stability and reliability of power systems. To manage this, sometimes it is necessary to cut back, or curtail, the production of renewable energy, leading to a waste of clean power. To minimize such waste, forecasting the curtailment is essential for power system operations, enabling more efficient use of renewable resources. This study uses historical data to anticipate when wind and solar power might need to be curtailed. It employs a deep learning technique called Long-Short Term Memory, which is part of Recurrent Neural Networks, known for their strength in processing sequential data like time series. The study uses a methodical approach starting with data preprocessing and creating sequences that the LSTM network can learn from. The data is split into three parts: training, validation, and test sets. The LSTM model is trained with the training set, its performance is verified on the validation set, and finally, the model is tested on the test set, all using eight years of data. The model shows particularly promising improvements in forecasting solar power curtailment, achieving an 8%, 10%, and 11% reduction in prediction errors during the training, validation, and testing phases, respectively. Conversely, the model was successful in improving predictions for wind power curtailment during the training and validation phases, achieving an 18% and 22% reduction in prediction errors, respectively, but did not exhibit improvements in the test phase.

액화수소 냉열을 활용한 전력 생산 시스템: 피크 수요 완화를 위한 액화공기 저장 시스템의 결합

문하늘, 강두호, 이인규*
부산대학교 응용화학공학부
*inkyu.lee@pusan.ac.kr

액화수소는 재기화 시 버려지는 극저온 냉열을 회수하여 전력을 생산함으로써 수소뿐만 아니라 에너지 운반체 역할을 할 수 있다. 하지만, 전력 수요는 시간에 따라 크게 변하기 때문에 수소 수요와 일치하지 않는다. 이를 해결하기 위해, 본 연구는 액화수소 냉열 기반 전력 생산 시스템에 LAES (Liquid Air Energy Storage system)을 결합하여 전력의 수요변화를 고려한 새로운 전력 생산 시스템을 제안하고자 하였다. LAES의 결합이 전력 생산 시스템에 미치는 영향을 파악하기 위해 1) 공기를 저장하지 않는 no-storage, 2) off-peak 시간에만 공기를 저장하는 partial-storage, 그리고 3) 연속적으로 공기를 저장하는 full-storage 시스템을 각각 설계하여 에너지 및 경제성 측면에서 비교 분석하였다. 그 결과, LAES의 결합을 통해 off-peak 동안 저장해둔 에너지로 on-peak 동안 추가전력을 생산함으로써 피크 수요 완화에 기여할 수 있음을 확인하였다. 또한, 에너지 저장 시스템 설치에 대한 정부 보조금을 고려했을 때, full-storage 시스템이 가장 경제적인 전력 생산 시스템임을 보였다.

참고문헌

1. Mun H. et al, "Liquid hydrogen cold energy recovery to enhance sustainability: Optimal design of dual-stage power generation cycles" Energy, 284 (2023).
2. Gao Z. et al, "Thermo-economic analysis of the integrated bidirectional peak shaving system consisted by liquid air energy storage and combined cycle power plant." Energy Convers. Manag., 234 (2021).

Power-to-X 기반 재생에너지 저장 시스템의 설계 및 경제성 평가: 수소 및 메탄올 기반 에너지 저장

박시환, 정혜원, 이인규*
부산대학교

전 세계 이산화탄소 배출량의 60 % 이상이 산업 및 발전 분야에서 발생하며, 높은 수준의 배출 저감 노력이 요구되고 있다 [1]. 대부분의 공정에서는 다량의 전기 에너지를 사용하고, 이로 인한 간접적인 이산화탄소 배출량 또한 매우 많다. 따라서, 산업 분야에서 발생하는 이산화탄소 배출량을 줄이기 위해서는 전력의 탈탄소화가 필수적이다 [2]. 그러나, 재생에너지는 변동성 및 간헐성이 크기 때문에 발전량을 예측하고 제어하는 것이 어려우며, 이를 해결하기 위해서는 재생에너지의 변동성을 보완할 수 있는 에너지 저장 시스템이 필요하다 [3]. 본 연구에서는 수전해 수소를 활용한 화학물질 기반의 재생에너지 저장 시스템을 설계하고, 경제성 분석을 수행하고자 한다. 수소는 효율적으로 저장하기 위해 고압 상태로 압축하여 저장할 수 있다. 이 경우, 높은 압축기 및 저장 탱크 비용으로 인해 전반적인 비용이 상승할 수 있지만, 비교적 전환 단계가 단순하다는 특징을 가진다. 수소를 이산화탄소와 반응시켜 그린 메탄올로 전환하는 경우, 상압에서 저장이 가능하기 때문에 저장 탱크의 비용을 절감시킬 수 있으나, 추가적인 전환 단계로 인한 비용 상승 및 효율 감소가 발생할 수 있다. 이러한 상관관계를 고려하여 두 시스템을 설계하고, 비용 측면에서 분석하였다. 특히, 에너지 저장 규모 및 저장 시간에 대한 사례 연구를 수행하여 메탄올 기반 에너지 저장 시스템의 장기간 및 대용량 저장 가능성에 대해 분석하였다.

참고문헌

1. IEA, “World Energy Outlook 2022”, Paris, France (2022)
2. Ziyaei et al., “Sustainable power generation through decarbonization in the power generation industry”, *Environ. Monit. Assess.*, 195, 225 (2023)
3. Yekini Suberu et al., “Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 35, 499-514 (2014)

블루 수소 생산에서 이산화탄소의 전기화학적 활용: 공정 설계 및 기술-경제성 평가

노원준¹, 안도영¹, 이인규^{1,*}

¹부산대학교 응용화학공학부

*inkyu.lee@pusan.ac.kr

수소는 탄소 중립을 달성하기 위한 주요한 에너지원으로 주목받고 있습니다. 그러나 현재 전 세계적으로 생산되는 수소는 화석 연료를 기반으로 하여 상당한 양의 이산화탄소가 배출되고 있는 상황입니다. 이러한 문제를 해결하기 위해 수소 생산과정에서 발생한 이산화탄소를 포집하는 블루 수소가 큰 관심을 받고 있습니다. 그러나 이산화탄소 포집 공정의 기술적 및 경제적 한계로 인해 생산 과정에서 여전히 환경적 문제가 발생하고 있습니다. 동시에, 산업적으로 이산화탄소 활용에 대한 기술도 많은 관심을 받고 있습니다. 단독적인 활용보다는 이산화탄소가 발생하는 다른 에너지 및 화학 산업과의 통합은 에너지 및 경제적 측면에서 더 이점을 가질 것으로 예상됩니다. 본 연구는 블루 수소 생산에서 포집된 이산화탄소를 전기분해하는 새로운 공정을 설계하였습니다. 제안된 공정은 수소 생산 과정에서 이산화탄소 배출이 전혀 없다는 특징을 가지고 있습니다. 이산화탄소 전기 분해의 도입은 수소 생산량의 증가 및 에너지 효율의 향상을 보여주고 있습니다. 경제성 평가 결과, 제안된 공정은 수소 생산 단가를 낮추며 전기 가격이 낮아짐에 따라 이러한 비용 절감 효과가 더욱 커질 것으로 분석되었습니다. 본 연구는 블루 수소 생산 및 이산화탄소 전기 분해 기술의 활용에 많은 기여를 할 것으로 기대됩니다.

염색공정에서의 에너지, 엑서지 효율 및 경제성 향상을 위한 스텐터 장치의 폐열 활용 시스템 설계

김정현¹, 문하늘¹, 이인규^{1,*}

¹부산대학교 응용화학공학부

*inkyu.lee@pusan.ac.kr

Stenter는 염색처리가 완료된 원단을 뜨거운 공기를 이용하여 열처리 및 건조하는 장치이다. 열처리 및 건조 과정 이후, 약 180°C의 온도를 가지는 공기는 Scrubber와 같은 장치를 통해 오염물질을 처리하게 되는데, 이 과정에서 열에너지가 버려지게 된다[1]. 하지만, 오염물질의 처리과정 없이 열에너지를 회수하게 된다면 Oil 성분과 같은 오염물질로 인해 장치의 고장을 유발할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 열손실을 최소화 할 수 있는 전기집진장치를 이용하여 오염물질을 제거하고, 버려지는 열에너지를 회수하여 활용하여 염색공정에서의 에너지 효율을 높이고자 세 가지 Case의 열회수 공정을 설계하였다. Stenter에 유입되는 공기를 예열하는 열회수 시스템을 설계한 Case 1, 염색과정에 사용되는 고온수를 대체생산하는 Case 2, 마지막으로 Organic Rankine Cycle을 통해 버려지는 열에너지를 전력으로 전환하는 Case 3의 세 가지 열회수 시스템을 설계하였으며, 각 Case의 폐열 회수 성능을 비교하기 위해 에너지, 엑서지 및 경제성 관점에서 비교평가 하였다. 해당 평가들을 통해 각 Case들을 기존 공정과 비교하였을 때, Case 1이 에너지 사용량에서는 60.7%, 엑서지 파괴량에서는 46.0%, 연간 비용 측면에서는 60.5% 감소한 결과를 나타내었으며, 제안된 열회수 시스템 중 가장 뛰어난 결과를 나타내었다.

참고문헌

1. Mazo-Restrepo R et al., "Analysis of potential waste heat recovery from a stenter in a textile plant." DYNA (Colombia) 2021;88:292-302.

Simulation of membrane gas separation for blue hydrogen production with various membrane properties and multi-stage membrane processes

Sunyoung Oh and Boram Gu*

School of Chemical Engineering, Chonnam National University

Globally, people are becoming increasingly conscious of the impact of fossil fuel consumption on climate change and environmental pollution. As countries worldwide strive to restrict CO₂ emissions, the spotlight intensifies on the importance of carbon capture technology. In the pursuit of sustainable energy alternatives, blue hydrogen is put forth as a compelling option [1]. Hydrogen possesses significant potential as a sustainable future energy source due to its environmental friendliness and cost-effective efficiency. Hydrogen is a clean energy carrier that can be produced from various sources, including renewable energy sources, and can be stored for a longer time than electricity.

Membrane technology is gaining prominence as a solution for CO₂ capture and hydrogen purification. It brings several benefits, such as ease of modularization, operational flexibility, cost reduction in both capital and maintenance, reduced energy consumption, and lower use of chemical substances compared to conventional CO₂ capture [2]. Nevertheless, technological viability becomes a challenge due to the trade-off relationship between the permeability and selectivity of the membrane, especially in cases of low supply concentrations or high purity in the final product. Hence, ongoing research efforts are imperative to resolve this challenge.

In this study, we established a model to investigate gas separation performances through various configurations of modules. Simulations were conducted using various membrane properties to assess the influence of membrane properties on hydrogen purity and product recovery. Additionally, to overcome the limitations arising from the trade-off relationship between permeability and selectivity, we configured a multi-stage setup and investigated their overall performances using a combination of different membrane properties at each stage. Through this, it is possible to identify the optimal combination of different membranes required to achieve the desired product quality and quantity depending on the downstream process.

References

1. M.A. Rosen, S. Koohi-Fayegh, The prospects for hydrogen as an energy carrier: an overview of hydrogen energy and hydrogen energy systems, *Energy Ecol Environ.* 1 10–29 (2016).
2. L. Zhao, E. Riensche, R. Menzer, L. Blum, D. Stolten, A parametric study of CO₂/N₂ gas separation membrane processes for post-combustion capture, *J Memb Sci.* 325 (2008).

Impact of side feeding on the thermally coupled reactor of the Steam Reforming of Methane and Tri Reforming of Methane

Jaeseong Yun, Boram Gu^{1*}

School of Chemical Engineering, Chonnam National University¹

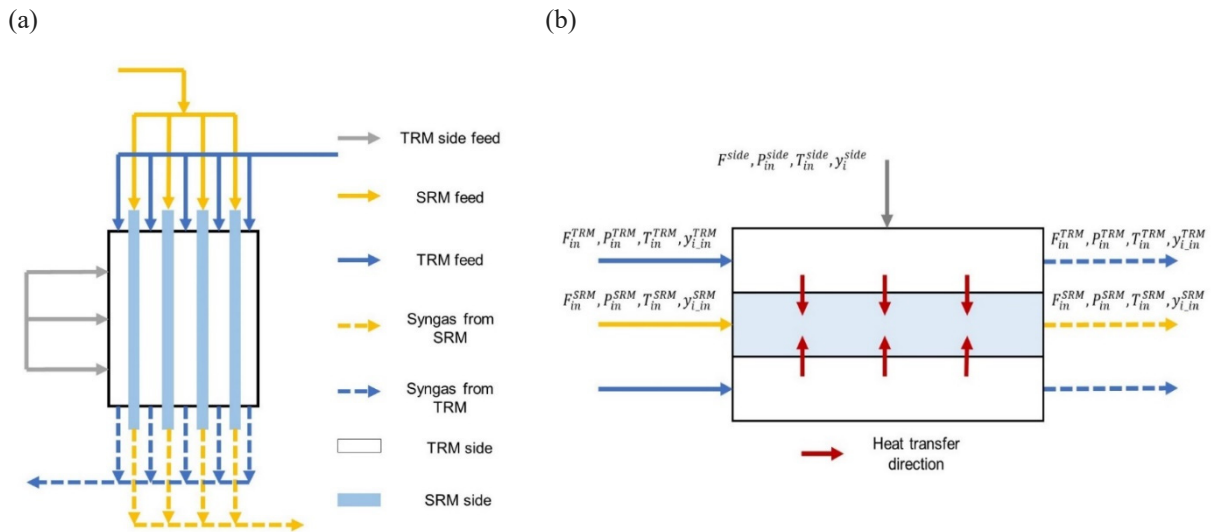


Figure 1. Schematic diagrams of the thermally coupled reactor with side feeding.

Approximately 50% of the current hydrogen demand is supplied through steam methane reforming (SMR) Barbieri et al. [1]. However, its major drawbacks include the requirement for substantial energy due to its intense endothermic reaction and the emission of carbon dioxide. In contrast, tri reforming of methane (TRM) has been developed to address these limitations of SMR. TRM is an integrated process combining dry reforming of methane (DRM), SMR, and methane oxidation, with the distinct advantage of generating the necessary heat through methane oxidation and consuming carbon dioxide, thereby potentially presenting a better alternative to conventional SMR. This study focuses on a hybrid process that leverages a thermally coupled reactor with simultaneous TRM and SMR. The schematic diagram of the reactor is shown in Figure 1. Utilizing MATLAB 2022b, we conducted 1D modeling of this process. Based on our model, we investigated the impact of side feeding on the CH_4 and CO_2 conversion and H_2/CO ratio in the TRM and SRM processes. The results demonstrated that an increase in the frequency of side feeding led to an augmentation in both CH_4 and CO_2 conversion at the expense of the H_2/CO ratio.

References

- Giuseppe Barbieri, Vittorio Violante, Francesco P.Di Maio, Alessandra Criscuoli, and Enrico Drioli Industrial & Engineering Chemistry Research 36(8), 3369-3374 (1997)

CFD simulations for DRM in a fixed bed reactor packed with eggshell and egg yolk catalysts

Soowon Son, Boram Gu

School of Chemical Engineering, Chonnam National University

Hydrogen has gained attention as a feasible renewable energy source with the potential to replace fossil fuels and is drawing significant attention in the global energy discussion. The conversion and utilization of prevalent greenhouse gases, such as methane and carbon dioxide, have become increasingly important due to global climate change. For these reasons, reforming processes, particularly methane dry reforming (DRM) that converts CH_4 and CO_2 into syngas (CO and H_2), are notable for hydrogen production with relatively high efficiency and productivity while consuming greenhouse gases.

The DRM reaction employs a heterogeneous catalyst, susceptible to coking from the adsorption of CH_4 on the catalyst surface, leading to eventual catalyst deactivation. Additionally, the endothermic reaction can induce cold spots within the reactor, accelerating coking within the reactor, which could speed up coking.

In this study, we developed a simulation approach for packed bed reactors with spherical catalysts designed specifically for the DRM process. We used a dual-zone eggshell and egg-yolk model with the active catalyst zone distinctly separate from the nickel support as well as a uniform structure with homogeneously distributed active sites. The study employs a fixed-bed reactor model with integrated equations for mass transfer, heat transfer, and mass and momentum conservation to compute velocity, pressure, temperature and concentration distribution, as well as CH_4 and CO_2 conversion and hydrogen yield. Simulations were performed using COMSOL Multiphysics. Results indicate that the eggshell catalyst model maintains higher temperatures compared to the other models, leading to a consistent increase in reaction rates and thus presenting a more effective catalyst for DRM processes.

References

1. Angeliki, I. L., Olga, A. B, and Nikolaos D.C, *Catalysts*, 12(3), 274 (2022).
2. Dmitry P, Anton C., "International journal of Heat and Mass Transfer ", volume 165, part A, 120617, (2021)

Life Cycle Assessment and Technoeconomic Analysis of Blue Hydrogen Production Using Membrane-Based CO₂ Separation and Oxygen Enrichment

Jiun Yun¹, Kyung Hwan Ryu², Boram Gu^{1*}

¹*School of Chemical Engineering, Chonnam National University, Gwangju, Republic of Korea*

²*Department of Chemical Engineering, Suncheon National University, 225 Jungang-ro, Suncheon 57922, Republic of Korea*

Steam methane reforming (SMR) is currently the most widely used hydrogen production process in chemical and energy industries. However, the SMR process accompanies high CO₂ emissions and requires CO₂ capture for blue hydrogen production. Although the current commercial method for CO₂ capture is mainly performed by MEA absorption Rosen et al[1], there are still several limitations to be overcome; MEA is volatile and prone to oxidative and pyrolysis, resulting in a large amount of solvent loss. In contrast, membrane gas separation is thought to be a promising technology for carbon capture due to its high energy efficiency, easy scale-up, and simple operation. Gu presented a mathematical model for using hollow fibre membranes by accounting for concentration polarisation, one of the most critical phenomena for gas permeation. Gu et al [2] In this study, a steam methane reforming process model using the tubular reactor is developed using gPROMS and combined with membrane gas separation for carbon capture to assess the feasibility and practicality of productivity and cost. Air entering the furnace is separated through additional use of gas separation membranes in order to enrich oxygen used in the furnace, potentially leading to a reduced load for carbon capture. Technoeconomic analysis and life cycle assessment are performed for various process designs and operating conditions to derive optimal cost and capture efficiency.

References

1. M.A Rosen, I. Dincer, "Assessment of CO₂ capture options from various points in steam methane reforming for hydrogen production", *International Journal of Hydrogen Energy* Volume 39, Issue 35, 3 December 2014, Pages 20266-20275 (2014).
2. Boram Gu, "Mathematical Modelling of Membrane CO₂ Capture for Blue Hydrogen Production", *IFAC-PapersOnLine* Volume 55, Issue 7, 2022, Pages 304-309 (2022)

Mathematical modeling and simulation of a rotating packed bed (RPB) absorber for MEA-based carbon capture

Dongkyu Kim, Boram Gu*

School of Chemical Engineering, Chonnam National University, Gwangju, Republic of Korea

Due to growing concerns about global warming, technologies for mitigating greenhouse gas emissions are being actively researched. Among various carbon capture technologies such as absorption, adsorption and membrane, chemical absorption using monoethanolamine (MEA) is the most popular [1]. However, conventional absorbers suffer from large size, leading to high capital and operational costs. Rotating packed bed (RPB) technology has been proposed as a promising alternative that utilizes rotational force to enhance mass transfer rate and increase interfacial area, ultimately reducing the size of the absorber [2].

This study presents a mathematical model for the MEA-based carbon capture process using an RPB absorber. The model consists of a system of ordinary equations for mass and energy balance equations, and the finite difference method (FDM) is utilized to convert them to a set of algebraic equations, where local process variables are linearly correlated in a matrix form. An iterative procedure is used to find solutions for the boundary value problems, particularly for the counter-current configuration. The absorber model is validated against experimental data available in the literature. Subsequently, the effects of reactor size, mole fraction, and initial temperature on CO₂ capture capacity are investigated using the model.

References

1. Dasom Im, Howoun Jung, Jay H. Lee, "Modeling, simulation and optimization of the rotating packed bed (RPB) absorber and stripper for MEA-based carbon capture", *Computers & Chemical Engineering*, Volume 143, 0098-1354 (2020)
2. Lava Agarwal, V. Pavani, D. P. Rao, N. Kaistha, "Process Intensification in HiGee Absorption and Distillation: Design Procedure and Applications", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 49, 20, 10046–10058 (2010)

Novel hybrid bioethanol production process integrated with PVC pyrolysis

Seunggwon Yun^{1,2}, Jonghyun Park³, Eilhann E. Kwon³, Hyungtae Cho¹ and Jaewon Lee^{1*}

¹Low-Carbon Energy Group, Ulsan, Korea Institute of Industrial Technology, 55, Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan, 44413, Republic of Korea,

²Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University, 50, Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 03722, Republic of Korea

³Department of Earth Resources and Environmental Engineering, Hanyang University, Seoul 04763, Republic of Korea

<abstract>

The improper disposal of PVC through methods such as landfills or incineration can lead to serious environmental contamination due to chlorinated compounds (Lee et al. [1]). This study proposes an integrated process for PVC pyrolysis and bioethanol production to address this issue while generating additional value. The pyrolysis process is designed in two stages. In the first pyrolysis stage, PVC is dechlorinated to produce HCl and PVC residue. The generated HCl is utilized for the pretreatment of the bioethanol process. In the second pyrolysis stage, the biomass residue after pretreatment is co-pyrolyzed with PVC residue at 720°C in a CO₂ environment. Consequently, four products are obtained: bioethanol, syngas, oil, and char. This process offers advantages such as eco-friendly PVC treatment, utilization of biomass residue, and increased syngas production through CO₂ environment pyrolysis. Therefore, this process is expected to contribute to resource circulation through eco-friendly waste treatment and additional value from co-products.

References

1. Lee, D. J., Cho, S. H., Park, J., Yim, J. H., Jung, S., Park, J., ... & Kwon, E. E. (2023). Hybridization of the thermo-chemical process of polyvinyl chloride in the production of bioethanol using horse hay. *Chemical Engineering Journal*, 477, 146905.

Integrated clean hydrogen production process from fishing net waste using renewable energy

Hyejeong Lee^{1,2}, Hyungtae Cho¹, Junghwan Kim², Sungyup Jung³, and Jaewon Lee^{1,*}

¹Low-Carbon Energy Group, Korea Institute of Industrial Technology

²Department of Chemical & Biomolecular Engineering, Yonsei University

³Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University

Global energy demand is increasing, leading to a rise in greenhouse gas emissions, urging a transition from fossil fuel-based to clean renewable energy sources [1]. Waste plastics are typically managed through methods such as landfilling and incineration, which emit substantial amounts of environmental pollutants, causing severe pollution of the atmosphere, oceans, and soil. Chemical treatment of waste plastics is a means to enhance the value of waste and can be utilized as a feedstock for producing clean renewable energy, such as hydrogen. Therefore, this study proposes a hydrogen production process utilizing fishing net waste (FNW), which constitute a significant portion of marine waste [2]. Utilizing electrolysis-based clean energy conversion, we have reduced the emission of greenhouse gases produced during fuel combustion [3]. Additionally, integrating FNW into the hydrogen production process can address the energy-intensive nature of steam methane reforming processes and the energy consumption associated with CO₂ capture. This study is expected to serve as a guideline for producing energy-efficient and environmentally clean hydrogen production.

References

1. Ishaq et al. "A review on hydrogen production and utilization: Challenges and opportunities." *International Journal of Hydrogen Energy* 47.62 (2022): 26238-26264.
2. Lee et al. "Hydrogen production from fishing net waste for sustainable clean Fuel: Techno-economic analysis and life cycle assessment." *Chemical Engineering Journal* (2024): 148741.
3. Do et al. "Carbon-neutral hydrogen production from natural gas via electrified steam reforming: Techno-economic-environmental perspective." *Energy Conversion and Management* 279 (2023): 116758.

A Comprehensive Approach to Screening Metal-organic Frameworks for Green Hydrogen Purification from Ammonia

Nahyeon An^{1,2}, Jaewon Lee¹, Hyungtae Cho¹, Junghwan Kim² and Seongbin Ga^{3*}

¹Low-Carbon Energy Group, Korea Institute of Industrial Technology

²Department of Chemical & Biomolecular Engineering, Yonsei University

³Department of Chemical Engineering, College of Engineering, University of Ulsan

This study introduces a thorough, multidisciplinary method for screening metal-organic frameworks (MOFs) to enhance the efficiency of green hydrogen production from ammonia [1]. Existing screening methods relying solely on molecular simulations often provide insufficient evaluations of MOFs, particularly regarding practical applications where competitive adsorption and variable operating conditions are crucial. To overcome this challenge, we propose a multidisciplinary screening approach utilizing an efficient computational algorithm to minimize the number of molecular simulations while generating isotherm models over a wide pressure range. Our algorithm strategically selects simulations for further analysis based on initial outcomes. Employing this innovative approach, we screened 12,020 MOFs. Additionally, as part of our multidisciplinary strategy, we conducted simulations of pressure swing adsorption (PSA) processes to assess the potential of MOFs in purifying green hydrogen derived from decomposed ammonia, which can be sourced from sustainable energy and transported globally. The top-performing MOFs were further evaluated for stability using literature data and MOFSimplify [2], a neural network model estimating thermal stability. Through a consideration of both adsorption process operation and MOF stability, our screening methodology identified 10 high-performing materials, with RAVXIX [3] emerging as the top adsorbent. This comprehensive evaluation represents a significant advancement in the quest for efficient MOFs in green hydrogen production, thereby contributing to the development of a more sustainable hydrogen-based economy.

References

1. Ga, S., An, N., Lee, G. Y., Joo, C., and Kim, J. “Multidisciplinary high-throughput screening of metal-organic framework for ammonia-based green hydrogen production,” *Renew Sustain Energy Rev*, **192**, 114275 (2024).
2. Nandy, A., Terrones, G., Arunachalam, N., Duan, C., Kastner, D. W., and Kulik, H. J. “MOFSimplify, machine learning models with extracted stability data of three thousand metal-organic frameworks,” *Scientific Data*, **9**(1), 74 (2022).
3. Deng, H., Grunder, S., Cordova, K. E., Valente, C., Furukawa, H., Hmadeh, M., and Yaghi, O. M. “Large-pore apertures in a series of metal-organic frameworks,” *science*, **336**(6084), 1018-1023 (2012).

전산유체역학을 활용한 마이크로버블 크기에 따른 PCC 입자 크기 예측 방법 개발

유엽¹, 김정환¹, 이재원, 조형태³

한국생산기술연구원 저탄소에너지그룹, ¹연세대학교 화공생명공학과, ²경희대학교 화학공학과

최근, CO₂를 활용한 CaCO₃생성 광물탄산화 방법은 탄소중립의 이슈로 주목받고 있으나, Precipitated calcium carbonate (PCC)의 입자크기를 예측하고 조절하는 방법이 존재하지 않아 각 산업에서 요구되는 크기로 생산이 어려워 후처리 공정이 필수적이다. 본 연구에서는 마이크로버블 크기 조절이 가능한 탄산화 반응기를 이용하여, 마이크로버블 크기로부터 계산된 질량전달계수와 Computational Fluid Dynamics (CFD) 모델에서 계산한 Turbulence kinetic energy (TKE)의 상관관계를 분석하여 PCC 입자 크기를 예측하는 방법을 개발하였다. 질량전달계수는 Stoke's law equation을 이용하여 계산하였고, TKE는 CFD 모델에서 Moving reference frame 방법을 활용하여 계산하였다. 그 결과, 질량전달계수와 TKE는 일정한 비례관계를 증명하였으며, 본 선형방정식을 기반으로 TKE와 PCC 입자 크기간의 상관관계식을 도출하였다. 결과적으로, 2,500 RPM의 공정 조건으로 실험실에서 합성한 PCC 입자 크기 결과와 CFD 모델을 통하여 예측된 PCC 입자 크기의 오차율이 3.1%로 예측 정확도가 높아 산업 활용가능성이 매우 높은 것으로 확인하였다.

참고문헌

1. Yoo, Y., et al., "Method for Determining Optimum Operational Conditions of Microbubble Scrubber Using Image Processing," J. Environ. Inform., 2 (2021).

Appropriate technology : design, modeling and optimizing batch reverse osmosis (BRO) for inland desalination

Gunyoung Kim, Kiho Park*

*Department of Chemical Engineering, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, Republic of Korea *Corresponding author : kiho138@jnu.ac.kr*

<Abstract>

The consumption of fresh water is increasing globally due to industrial development and the rise in the world population. In specific regions, particularly inland areas, there is a lack of sufficient freshwater supply to meet this growing demand. Batch reverse osmosis (BRO) is being recognized as a suitable solution to answer these challenges, given its high second-law efficiency and compact size. Nevertheless, applying this desalination technology in areas where the pressed energy infrastructure or in remote locations without infrastructure poses some challenges. Therefore, research on desalination technology is needed, especially in areas far from urban centers or with inadequate energy supply infrastructure. In this study, we introduced a mathematical model and a modified configuration for the BRO system, considering appropriate technology. We proposed a model for the power system utilizing alternative power sources in the absence of electricity infrastructure. The study included case studies on alternative power sources, especially in livestock, and proposed operational strategies tailored to the specific characteristics of regions where the BRO system could be implemented. Additionally, we conducted a feasibility analysis of the proposed configuration by comparing water production capacities and characterizing the relevant operating conditions for the BRO system.

Keywords: Appropriate technology, Inland desalination, Optimization, Modeling, Batch reverse osmosis

References

1. Park, K. et al. Design, modelling and optimisation of a batch reverse osmosis (RO) desalination system using a free piston for brackish water treatment. *Desalination* 494, 114625 (2020).
2. Sanna, A., Buchspies, B., Ernst, M. & Kaltschmitt, M. Decentralized brackish water reverse osmosis desalination plant based on PV and pumped storage-Technical analysis. *Desalination* 516, 115232 (2021).
3. Zapata-Sierra, A., Cascajares, M., Alcayde, A. & Manzano-Agugliaro, F. Worldwide research trends on desalination. *Desalination* 519, 115305 (2021).

Predicting permeate flux in forward osmosis desalination and analyzing results using tree-based machine learning model.

Yinseo Song¹, Jeongwoo Moon², Joon Ha Kim², and Kiho Park^{1,*}

¹*Department of Chemical Engineering, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, Republic of Korea*

²*School of Earth Sciences and Environmental Engineering, Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)*

This study developed machine learning models for predicting permeate water flux in forward osmosis (FO) system using boosting models based on decision tree and hybrid model that applied conventional model (mathematical techniques). We trained the model with data from about 700 FO experiments and conventional model. Model validation was conducted to statistically determine the accuracy and bias of the proposed models using R2 and mean square error. We also performed hyper-parameter tuning using bayesian optimization to prevent overfitting. Principle component analysis (PCA) was performed to identify correlations between variables, and k-mean-clustering was performed for data visualization and analysis. Additionally, feature analysis was performed using SHAP values to identify the most influential features on FO permeate flux. This study contributes to the application of machine learning models in FO systems and provides directions for future data collection.

References

1. M.-k. Kim, J.W. Chang, K. Park, D.R. Yang, Comprehensive assessment of the effects of operating conditions on membrane intrinsic parameters of forward osmosis (FO) based on principal component analysis (PCA), *J. Membr. Sci.*, 641 (2022) 119909.
2. A. Shehadeh, O. Alshboul, R.E. Al Mamlook, O. Hamedat, Machine learning models for predicting the residual value of heavy construction equipment: An evaluation of modified decision tree, LightGBM, and XGBoost regression, *Automation in Construction*, 129 (2021) 103827.

Integrated Design of Light Hydrocarbon Separation and Desalination Processes Utilizing LNG Cold Energy

Jiye Park^{1,2}, Jinwoo Park³, Hyungtae Cho¹, Jaewon Lee¹, Junghwan Kim^{2,*}

¹*Low-Carbon Energy Group, Korea Institute of Industrial Technology,*

²*Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University,*

³*Department of Chemical and Biochemical Engineering, Dongguk University*

Liquefied natural gas (LNG) regasification has a wide temperature range from -163°C to 15°C , which is difficult to be fully utilized by a single process. In addition, when integrating processes, different temperature requirements and geographical environments of each process should be considered. This study proposes an integrated process for efficiently utilizing LNG cold energy, combining light hydrocarbon separation and desalination processes. The proposed process consists of the following steps. First, a light hydrocarbon separation process that requires cryogenic temperature (-84°C) recovers high-purity methane, ethane, and LPG from imported LNG utilizing LNG cold energy. During this step, both the seawater utilized in the cryogenic column and the high-purity methane retain cold energy. Second, the remaining cold energy from the light hydrocarbon separation process is utilized in a hydrate formation-based desalination process requiring low temperature (1°C) to produce fresh water. An energy and exergy analysis of the integrated process demonstrates a reduction in exergy loss compared to the single process, thereby proving more efficient energy utilization. Furthermore, a techno-economic assessment reveals that the payback period for the integrated process offers economic viability compared to the single process.

로스팅 공정을 활용한 산업 규모에서의 배터리 재활용 공정 비교: 경제성 평가 및 환경 영향 평가

정소영, 김정동, 김민성, 김정환*

연세대학교 화공생명공학과

현재 폐배터리 재활용 공정은 장시간의 추출, 폐수 오염, 고온 작동으로 인한 에너지 소비 등과 같은 문제가 있다 [1]. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 로스팅 공정이 도입되고 있다. 그러나 이전 연구들은 대부분 실험 규모로 이루어졌거나 [2, 3, 4], 경제성 및 환경적 영향 평가 등이 부족하다. 따라서 본 연구에서는 탄소, 황화, 염소화제를 로스팅 에이전트로 사용하는 산업 규모의 공정을 모델링하고 비교했다. 산업 규모가 커질수록 장비 및 화학 물질 비용이 증가할 수 있으며, 이는 경제적 가치에 영향을 미칠 수 있기 때문에 경제 및 환경 평가가 수행되었다. Carbothermic reduction roasting은 최소한의 에이전트 사용으로 연간 자본지출(CAPEX)이 3.92 백만 달러, 운영 비용(OPEX)이 24.7 백만 달러로 가장 낮았다. 환경 평가에서는 carbothermic reduction이 freshwater eutrophication, ecotoxicity, 그리고 human toxicity 항목에서 우세했다. Sulfation은 global warming과 ozone formation 항목에서 우세했다. 이러한 요인을 고려할 때, 경제적 및 환경적 측면에서 carbothermic reduction roasting 공정이 선호된다. 이는 배터리 음극에 사용된 흑연을 에이전트로 사용하기 때문에 경제적이거나 환경적 이점이 있다. 또한, 다른 두 가지 공정과 비교했을 때, 유해 물질 생성량과 폐기되는 흑연의 양이 적다.

참고문헌

1. Tao, R., Xing, P., Li, H., Sun, Z., Wu, Y., "Recovery of spent LiCoO₂ lithium-ion battery via environmentally friendly pyrolysis and hydrometallurgical leaching", Resour. Conserv. Recycl., **176**, 105921 (2022).
2. Liu, P., Xiao, L., Tang, Y., Chen, Y., Ye, L., Zhu, Y. "Study on the reduction roasting of spent Li_{1-x}Ni_xCo_yMn_{1-y}O₂ lithium-ion battery cathode materials", J. Therm. Anal. Calorim., **136**, 1323-1332 (2019).
3. Chen, H., Hu, P., Wang, D., Liu, Z., "Selective leaching of Li from spent LiNi_{0.8}Co_{0.1}Mn_{0.1}O₂ cathode material by sulfation roast with NaHSO₄·H₂O and water leach", Hydrometallurgy, **210**, 105865 (2022).
4. Huang, Y., Shao, P., Yang, L., Zheng, Y. et al, "Thermochemically driven crystal phase transfer via chlorination roasting toward the selective extraction of lithium from spent LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O₂", Resour. Conserv. Recycl., **174**, 105757 (2021).

CO₂ 및 SO_x 활용을 위한 소금간수와 패각 회수 공정 동시 최적화

김선우¹, 주종효^{1,2}, 임중훈^{1,2}, 김정환^{1,*}

¹ 연세대학교 화공생명공학과, ² 한국생산기술연구원 친환경재료공정연구그룹

습식 배연 탈황 공정에서는 기존 SO_x 흡수제인 고급 석회석의 자원 고갈 문제로 인해, 패각이 대체재로 활용되고 있다 [1]. 그러나 패각을 SO_x 흡수제로 사용하기 위해서는 전처리 공정이 필수적이며, 추가적인 CO₂ 배출이 발생하여 전체적인 경제성이 저하된다 [2, 3]. 본 연구에서는 CO₂ 및 SO_x 활용을 위한 소금간수와 패각 회수 통합 공정을 제안한다. 또한, 유전 알고리즘을 활용하여 SO_x 흡수제로 사용되는 패각과 소금간수에서 분리된 Ca(OH)₂의 최적 혼합 비율을 도출한다. 유전 알고리즘 기반 최적화 프로세스는 총 4단계로 구성된다. 첫째, 제안된 공정 모델을 개발하여 데이터 세트 생성 및 전처리를 진행한다. 둘째, SO_x 흡수제인 5가지 패각과 Ca(OH)₂의 혼합 비율에 따른 석고 순도, CaCO₃ 생산량, CO₂ 배출량을 예측하기 위해 Deep Neural Network (DNN) 기반 대리 모델을 구축한다. 셋째, 총 연간 비용 계산을 위한 수학적 모델을 구축한다. 마지막으로, DNN 기반 대리 모델과 수학적 모델을 활용한 유전 알고리즘을 통해 최적 혼합 비율과 총 연간 비용을 도출한다. 최적화 결과, 최적 혼합 비율은 가리비 패각 (0.03%), 꼬막 패각 (0.03%), 바지락 패각 (13.66%), 굴 패각 (40.31%), 홍합 패각 (28.80%), Ca(OH)₂ (17.18%)로 나타났다. 또한, 제안 공정의 연간 총 비용은 기존 CO₂ 및 SO_x 저감 공정에 비해 최대 10.88%까지 감소함을 확인했다.

참고문헌

1. Lim, J., Jeong, S., and Kim, J., "Deep neural network-based optimal selection and blending ratio of waste seashells as an alternative to high-grade limestone depletion for SOX capture and utilization," *Chemical Engineering Journal*, **431**, 133244 (2022).
2. Lim, J., Kim, D., Cho, H., and Kim, J., "Design of novel seawater bittern recovery process for CO₂ and SO_x utilization," *Desalination*, **540**, 115995 (2022).
3. Kim, S., Hong, B., Lee, J., Cha, W., Kim, K., and Moon, B., "Evaluation of SO₂ Absorption Efficiency for Calcined Oyster Shell Slurry Using a Simulated Spray Type-flue Gas Desulfurization (FGD) System: A comparative study with limestone slurry," *Economic and Environmental Geology*, **52**, 119128 (2019).

Power-to-X 시스템을 위한 데이터 기반 모델 최적화: 태양광 발전 및 그리드 전기 가격의 불확실성 고려

최현준¹, 김정동¹, 김영근¹, 김정환^{1,*}

¹연세대학교 화공생명공학과

전 세계적인 탈탄소화 노력의 일환으로, 에너지 시스템의 근본적인 변화가 요구된다. 화석연료에 기반한 기존의 에너지 시스템에서 신재생에너지 중심으로의 전환은 탄소중립을 실현하는데 필수적이다. Power-to-X 공정을 통해 신재생에너지를 다양한 화학물질로 변환함으로써, 지속 가능하고 실용적인 에너지 프레임워크를 구축하는 것이 가능하다 [1]. 본 연구는 VAE (Variational Autoencoder)를 활용하여 태양광 발전 및 전기 그리드 가격 시나리오를 동시에 생성하여 불확실성과 변동성을 고려하여 최적화한다. 최적화 과정에서는 규칙 기반 모델을 통해 생산 비용의 평균과 분산을 최소화하며 20000개의 시나리오 매번 생성한다 [2]. 신재생에너지 의존도를 높이고 그리드 전기 사용량을 줄이기 위해, GEP(Grid Energy Penetration)를 20% 이하로 유지하는 제약 조건을 설정하였다. 그 결과 SA(South Australia)의 평균 생산 비용은 VIC(Victoria)보다 8% 낮았으며, NSW(New South Wales)는 20% 낮게 나타났다.

참고문헌

1. Weber, Paige, and Matt Woerman., "Intermittency or Uncertainty? Impacts of Renewable Energy in Electricity Markets," (2022).
2. Kim, J., Qi, M., Park, J., & Moon, I., "Revealing the impact of renewable uncertainty on grid-assisted power-to-X: A data-driven reliability-based design optimization approach," Applied Energy, 339, 121015 (2023).

플랜트 건설 지역에 따른 신재생에너지 기반의 Power-to-X 공정 변수 최적화

김영근¹, 김정동¹, 최현준¹, 김정환^{1,*}

¹연세대학교 화공생명공학과

Power-to-X는 신재생 과다발전으로 인해 소비되지 못하는 잉여전력을 화학물질로 변환하는 기술이며 이는 탄소중립을 실현하게 할 해결책으로 여겨지고 있다 [1]. 그러나, 신재생에너지 불확실성에 대응하며 지속적으로 “X”를 생산하기 위해서는 그리드 사용이 필수적으로 요구된다 [2, 3]. 본 연구의 경우, 그리드 전력 비율을 제약 조건으로 사용함과 동시에 지형적 차이로부터 인한 신재생에너지의 시공간적 다양성을 고려한 위치 기반 최적화를 제시하였다. 데이터 기반 최적화 과정에서 필요한 시나리오는 딥러닝 생성모델인 VAE에 의해 생성되었다. VAE를 사용한 생성 시나리오 데이터들은 t-SNE와 커널 밀도함수를 통해 검증되었다. VAE 모델과 규칙기반 PtX 모델은 각 시나리오를 평가하며 NSGA-II는 그리드 전기사용 비율을 20%로 제한하며 “X”의 균등화 생산 단가의 평균과 분산을 목적함수로 사용하는 다목적 최적화를 진행한다. 대조군 생성을 위해 이러한 과정을 전체 연구 지역에 대해서도 진행하였다. 결과적으로, 대조군과 비교하였을 때, 지역을 세부적으로 나누어 최적화를 진행하였을 때 균등화 생산단가의 평균값은 적어지고 분산의 범위 또한 감소하는 것을 관찰할 수 있었다.

참고문헌

1. Wulf, C., Zapp, P., & Schreiber, A., “Review of power-to-X demonstration projects in Europe,” *Frontiers in Energy Research*, 8, 191, (2020).
2. Barton, J. P., & Infield, D. G., “Energy storage and its use with intermittent renewable energy,” *IEEE transactions on energy conversion* 19.2, (2022).
3. Kim, J., Qi, M., Park, J., & Moon, I., “Revealing the impact of renewable uncertainty on grid-assisted power-to-X: A data-driven reliability-based design optimization approach,” *Applied Energy*, 339, 121015 (2023).

CO₂ 수소화를 통한 light olefin 생산 공정의 생산 수율과 에너지 소비 효율을 동시에 고려한 multi-objective 최적화 및 분석

김지훈, 손상환*

부산대학교 응용화학공학부

최근 CO₂ 배출량의 지속적인 증가로 인한 환경 문제가 발생하고 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 CO₂ 수소화를 통해 고부가가치 물질을 생산하는 연구가 진행되고 있다. 그러나 CO₂ 수소화를 통한 light olefin 생산 공정은 높은 에너지 소비와 낮은 수율을 보이고 있다. 따라서 상용화와 scale-up을 달성하기 위해선 현대 열역학 최적화 이론을 사용한 thermal design과 최적화에 대한 연구가 필요하다. 이에 따라, 본 연구에서는 공정의 에너지 효율을 나타내는 지표인 엔트로피 생성 속도와 생산물 수율을 동시에 고려한 최적화를 진행하였다. 최적화를 진행하기에 앞서, CO₂ 수소화에 대한 공정 시뮬레이션 결과를 바탕으로 엔트로피 생성 속도 최소화 목적함수와 생산물 수율 최대화 목적함수가 최적화 변수인 유입 온도, 압력에 대해 trade-off 관계에 있음을 확인하였다. 이에 두 목적함수를 동시에 고려할 수 있는 multi-objective optimization(MOO) 기법을 적용하였다. 특히, MOO의 여러 방법 중, 각각의 목적함수에 가중치를 부여하고 선형적으로 결합하여 최적해를 구하는 weighted-sum method를 사용하였다. 우선, 가중치에 엑서지의 가격과 light olefin의 가격을 반영하여 MOO를 수행하고 그 결과를 분석하였다. 그리고, 외부 환경 변화에 따른 영향을 고려하기 위해 가중치를 조정하여 가중치의 변화에 따른 MOO 문제의 최적해 집단을 바탕으로 pareto front를 구하고, 최적해 위치의 변화를 분석하였다. 특정 가중치를 기준으로, pareto front의 기울기와 pareto-optimal point들의 밀도가 다르다는 점을 통해 약간의 수율 손실을 감수하면 에너지 효율을 의미 있게 증가시킬 수 있는 pareto-efficient한 지점이 다수 존재한다는 것을 확인할 수 있었다.

Simulation & Economic Optimization of Trickle Bed Reactor with Quench Zone for Non-edible Vegetable Oil Hydrotreating

Yonghyun Lee , Jae Hun Choi and Sang Hwan Son*

Department of Chemistry and Biomolecular Engineering, Pusan National University

The use of edible oils as raw materials for bioenergy production raises concerns about potential issues such as food shortages and ecosystem disruption. In contrast, the bioenergy production through the non-edible crops like *Jatropha* is emerging as a new and sustainable source of raw material, independent of food production (Gui et al. [1]). However, since biodiesel, one of the bioenergy produced by transesterification of triglyceride, has low oxidation stability and high CFPP (cold filter plugging point), blending biodiesel with petroleum-based diesel at high ratios is challenging. Conversely, HBD (hydrotreated biodiesel), which is produced by hydrotreating of the vegetable oil, has high oxidation stability and low CFPP than biodiesel. Therefore, it can be blended with petroleum-based diesel at high ratios (Park et al.[2]).

This study covers modeling and simulation of the hydrotreating reactor using *Jatropha* oil as the feedstock. To address the challenge of heat management within the reactor and prevent the formation of hot spots, quench zones are strategically introduced into between the beds (Tirado et al.[3]). This strategy mitigates the risk of catalyst deactivation and contributes to a more stable reaction environment by maintaining optimal temperature conditions. Based on the model with quench zones, optimization is conducted to maximize the profit of the oil hydrotreating process. The optimization variables are the inlet temperature of the reactor and the temperature difference within each bed and each quench zone.

References

1. Gui, M., Lee, K., and Bhatia, S., "Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock." *Energy*, **33**(11), 1646–1653 (2008)
2. Park, J.-Y., Kim, D.-K., Lee J.-P., Park, S.-C., Kim, Y.-J.,and Lee, J.-S., "Blending effects of biodiesels on oxidation stability and low temperature flow properties," *Bioresour. Technol.*, **99**(5), 1196-1203 (2008)
3. Tirado, A., Alvarez-Majmutov, A., Ancheyta, J., "Modeling and simulation of a multi-bed industrial reactor for renewable diesel hydroprocessing," *Renew. Energy*, **186**, 173-182 (2022)

수정진동자를 이용한 라우릭산 용액의 결정화 속도 측정

김병철*, 김봉수, 허광선
경남정보대학교 화공에너지공학과, 부산광역시, 대한민국

Measurement of Crystallization rate of lauric acid solution Using a Quartz Crystal Oscillator

Byoung Chul Kim*, Bong-Soo Kim, Kwangsun Huh
Kyungnam College of Information and Technology

초록

용액에 녹아 있는 용질을 추출하는 과정에서 발생하는 물질 결정화 측정 장비로서 알아보는 것은 매우 중요하다. 하지만 이러한 결정화 과정에서 속도를 실시간으로 알아보는 측정 장비는 많지 않으며 결정화 과정에서 결정화 속도를 제어하기 위한 실측 장비는 많지 않다. 이러한 이유로 용액 중 용질의 결정화 과정을 알아보기 위해 묽은 라우릭산 용액을 사용하여 냉각 결정화에 수정진동자를 이용한 결정화 시스템을 구현하여 보았다. 또한, 생성된 결정핵의 수와 크기를 조사하기 위해 진동자 표면을 전자주사현미경으로 관찰하여 비교하여 보았으며, 관찰 결과와 수정진동자의 주파수 변화를 비교하여 결정핵생성 과정을 설명하였다. 진동자의 공명주파수 변화는 라우릭산의 유화 및 핵생성 순간을 나타내는 것으로 보였다. 실험 결과, 농도가 높은 용액일수록 더 많은 핵이 형성되지만 농도가 높아질수록 결정핵생성 속도는 감소하고 결정핵의 평균 크기는 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 고농도 용액에서는 새로운 핵이 형성되기보다는 결정이 더 많이 성장하게 된다. 또한 이러한 결정핵생성 모니터링 장치는 종종 대형 분석 장비가 필요한 희석 용액의 결정화 과정을 조사하는 데 유용하다는 것이 입증되었다.

참고문헌

1. D. A. Buttry and M. D. Ward, *Chem. Rev.*, **92**, 1355 (1992).
2. K. J. Choi, Y. H. Kim, S. M. Chang, A. Egawa, H. Muramatsu, *Anal. Chim. Acta*, **386**, 229 (1999).
3. B. C. Kim, Y. H. Kim and K. Fukui, *Anal. Chim. Acta*, **491**, 71 (2003).
4. M. Pramparo, S. Prizzon and M. A. Martinello, *Vegetable-Oils*, **56**, 228 (2005).
5. K. Maeda, Y. Nomura, M. Tai, Y. Ueno, K. Fukui and S. Hirota, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **38**, 2428 (1999).
6. G. Sauerbrey, *Z Phys*, **155**, 206-222 (1959).

중전압 직류배전(MVDC) 전력망기반 독립형 DTS 아키텍처 및 개념모델 설계에 관한 연구

임채영¹, 안성율¹, 박영수^{1*}

¹고등기술연구원

A Study on the Design of Medium Voltage Direct Current(MVDC) Distribution Power Grid based Standalone Digital twin based Training System(DTS) Architecture and Conceptual Model

Chae-Young Lim¹, Seong-Yool Ahn¹, Yeong-Su Park¹

¹Institute for Advanced Engineering

온실가스 배출 저감을 위한 신재생에너지 활용의 필요성이 전 세계적으로 증가하고 있는 가운데, 신재생 에너지 지원 접속 용량 증대를 위해 신규로 증설되는 선로는 약 15%의 낮은 이용률을 갖는 신재생 에너지 발전원의 일시적인 피크 발전량을 감당하기 위한 선로로, 그 효율성이 충분히 높지 않다는 문제점이 있다 [1]. 이러한 기술적 요구를 바탕으로 최근 배전 계통에 대한 직류 기술 적용 방안으로 MVDC 기술의 활용이 대두되고 있다. 본 논문에서는 MVDC(Medium Voltage Direct Current) 전력망 운용시 독립형으로 DTS(Digital twin based Training System)를 적용하고자 CPS(Cyber-Physical System) 소프트웨어에 대한 연동 아키텍처를 제안하고자 한다. 제안된 아키텍처는 타 프레임워크 연동과 MVDC CPS를 고려하여 고안된 아키텍처로, 이를 통해 시스템의 요구사항 및 기능을 새롭게 정의한다. DTS 아키텍처 개념모델은 기존의 플랜트용 디지털트윈 플랫폼과 MVDC를 위한 CPS 참조모델을 참고하였다 [2][3]. 제안된 독립형 DTS 아키텍처는 기존 플랫폼의 장점을 채택하고, 필요한 부분을 수정 및 보완하여 더욱 효과적인 연동 아키텍처로 구현하였다. 복잡한 운용체제와 교육을 위한 장비연동에 대응하기 위해 Feature Model을 활용하여 다중 체제 및 연동에 대한 추가 공통요소와 가변요소를 도출하였다 [4][5]. 또한, 설계 과정에서 Single Responsibility, Open-Closed, Liskov Substitution, Interface Segregation, Dependency Inversion의 원칙들을 고려 및 적용하였다. 반영된 접근법은 소스코드의 재사용성과 확장성을 높이는데 기여하였으며, 이에 따라 유지보수와 신뢰성 시험 수행 시간을 단축하는 효과를 기대할 수 있다.

참고문헌

1. "International Energy Outlook 2017", EIA, 2017.9
2. C.Y. Lim, et al., "Design and Performance Evaluation of Digital Twin Prototype Based on Biomass Plant", Journal of the convergence on culture technology Vol. 9, No. 5, pp. 935-940, 2023. DOI: 10.17703/JCCT.2023.9.5.935
3. H. Y. Shin, et al., "A Study on the Establishment of Risk Assessment Criteria for the Dynamic Reliability Test of Performance Improvement Weapon System using Recycling Software", Journal of KIISE, Vol. 49, No. 1, pp. 67-77, January 2022. DOI: 10.5626/JOK.2022.49.1.67
4. C.Y. Lim, et al., "Designing Digital Twin Concept Model for High-Speed Synchronization", Journal of the convergence on culture technology Vol. 9, No. 6, pp. 245-250, 2023. DOI: 10.17703/JCCT.2023.9.6.245
5. H. J. Choi, "A Study on the Software Standardization and Simulator Design for Efficient Reliability Test in Combat System", Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 27, No. 12, pp. 151-159, December 2022. DOI: 10.9708/jksci.2022.27.12. 151

사사

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술 평가원(KETEP)의 '차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발사업'으로 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 202300281219)

An Exploratory Study on the Implementation of Digital Twin Technology Using Artificial Intelligence Models

Chae-Young Lim¹, Seong-Yool Ahn¹, Chae-Eun Yeo¹, Myung-Ok Lee¹,
Yeong-Su Park¹, Ho-jin Sung^{1*}

¹*Institute for Advanced Engineering K-BEST, Republic of Korea*

In recent years, with the development of the Internet of Things and artificial intelligence technology, there has been an increase in research and application cases of collecting and analyzing data in real time in various fields such as manufacturing and smart cities to optimize real-world problems [1]. A typical example is digital twin technology, which supports two-way real-time synchronization with a virtual world that digitizes the real world [2][3]. In this paper, We define a digital twin and propose a digital twin platform that utilizes an Internet of Thing platform to link prediction results of real objects and virtual worlds in real time [4][5]. We will realize an application service that can predict anomalies in advance and prevent accidents. Regarding application services, We demonstrated that the proposed digital twin platform can predict and detect equipment failures through the execution of predefined test cases.

References

1. S. Haag and R. Anderl, "Digital twin – Proof of concept," *Manufacturing Letters*, 15(2), pp.64-66(2018)
2. C.Y. Lim et al. "Design and Performance Evaluation of Digital Twin Prototype Based on Biomass Plant" *The Journal of the Convergence on Culture Technology* 9(5) 935-940 (2023)
3. F. Tao et al. "Digital Twin in Industry: State-of-the-Art," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), pp.2405-2415 (2019)
4. C.Y. Lim et al. "Design and Implementation of IEC62541 based Industry Internet of Things Simulator for Meta-Factory" *The Journal of the Convergence on Culture Technology* 9(3) 789-795 (2023)
5. C.Y. Lim et al. "Designing Digital Twin Concept Model for High-Speed Synchronization", *Journal of the convergence on culture technology* 9(6), pp. 245-250 (2023)

Acknowledgement

This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) Grant funded by the Ministry of Land Infrastructure and Transport (No.RS-2021-KA161883).

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

대기환경

(포스터발표 I)

2024년 3월 28일(목) 09:00~11:00
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비

LCA 방법론을 이용한 석탄화력발전에서 암모니아 혼소의 환경 영향성 분석

이하은¹, Jester Ling Lih Jie¹, 박한샘¹, 안재원², Solanki Bhanupratap Singh¹, 이시훈^{2*}

¹*Department of Environment and Energy, Jeonbuk National University,
567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju, Republic of Korea*

²*Department of Mineral Resources and Energy Engineering, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero,
Deokjin-gu, Jeonju, Republic of Korea*

Environmental potential analysis from ammonia co-combustion in coal-fired power plant using LCA methodology

석탄화력발전은 전세계 발전량의 약 36%를 차지하고 있는 전통적인 발전 방식이나 지구온난화를 심화시키는 온실가스 배출의 주범이기도 하다. 이에 따라 전세계는 석탄화력 발전을 대체하는 재생에너지 발전의 확대를 모색하고 있으나, 기술경제적 문제로 인하여 온실가스 배출이 저감되는 연료 전환을 적극적으로 진행하고 있다. 이에 무탄소 자원들 중의 하나인 암모니아를 석탄화력 발전 플랜트에 적용함에 따른 온실가스 배출 저감을 포함한 다양한 환경 영향성을 전과정 평가(SimaPro, ReCipe 2016 DB) 방법론에 따라 분석하였다. 본 연구에서는 석탄의 종류(역청탄 및 아역청탄)와 암모니아 생산방법(그레이, 블루, 그린)을 주요 분석 인자로 이용하였다. 연구의 시스템 바운더리는 암모니아 생산 및 수입, 석탄 채굴 및 수입, 석탄화력발전소에서의 혼소로 크게 3가지로 분류되며 암모니아는 Gray(천연가스+Haber-Bosch), Blue(그레이+ccs), Green(풍력, 태양광, 원자력을 이용한 수소생산 및 Haber-Bosch)로 구분하여 진행하였다. 평가결과, 발열량이 낮은 석탄인 아역청탄과 원자력에너지를 기반으로 생산된 암모니아를 50% 혼소했을 때 가장 높은 CO₂ 저감량을 나타냈으며 반대로 발열량이 높은 역청탄에 그레이 암모니아를 50% 혼소할 경우 기존 발전 방식보다 CO₂ 배출량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 암모니아 혼소를 도입할 때 석탄의 종류와 암모니아 생산 방법이 중요시 되며, 열량이 낮은 탄을 이용하는 발전소일수록 암모니아 혼소로 인한 CO₂ 저감 효과가 큰 것을 확인하였다.

Surface characteristics of KOH-treated commercial activated carbons applied for carbon dioxide and nitrogen adsorption

Jin Woo Kim¹, Woog Gil Hong¹, Tae Seung Choi^{1,2}, Soon Do Yoon³ and Wang Geun Shim^{1,*}

¹Department of Chemical Engineering, Sunchon National University, South Korea

²S&M Cooperation, South Korea

³Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Chonnam National University, South Korea

In this study, commercial activated carbon was chemically treated using KOH, a representative activator. This allowed for the preparation of activated carbon with various structures and surface chemical properties. The structural and surface chemical properties of the prepared activated carbon were investigated using scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), and differential scanning calorimetry (DSC) and low-temperature nitrogen adsorption analysis. The adsorption properties of the activated carbon were investigated by measuring the isothermal adsorption curves for CO₂ and N₂ gases at three different temperatures and up to 1.0 bar using an automated volumetric gas adsorption apparatus. The experimental isotherm data were found to be consistent with the Langmuir, Freundlich, and Sips equations. The CO₂ and N₂ adsorption characteristics of adsorbents with different structural characteristics were compared and studied by adsorption energy distribution function and isosteric heat of adsorption. In addition, the selectivity values calculated by ideal adsorbed solution theory (IAST) showed that both adsorbents can be sufficiently utilized to selectively separate CO₂ under flue gas composition conditions.

References

1. Atakan Toprak and Turkan Kopac, "Carbon Dioxide Adsorption Using High Surface Area Activated Carbons from Local Coals Modified by KOH, NaOH, ZnCl₂ Agents", Int. J. Chem. React. Eng. (2017)
2. Nor Adilla Rashidi et al., "Isotherm and Thermodynamic Analysis of Carbon Dioxide on Activated Carbon", Procedia Engineering 148, 630-637 (2016)
3. Joanna Srenscek-Nazzal et al., "Comparison of Optimized Isotherm Models and Error Functions for Carbon Dioxide Adsorption on Activated Carbon", Institute of Chemical and Environment Engineering, West Pomeranian University of Technology, Szczecin, ul. Pulaskiego 10, 70-322Szczecin, Poland(2015)
4. Min Song et al., "The comparison of two activation techniques to prepare activated carbon from corn cob", Key Laboratory of Energy Thermal Conversion and Control of Ministry of Education, School of Energy and Environment, Southeast University, Sipailou 2, Nanjing 210096, China(2013)
5. Chiang Yu-Chun and Juang Ruey-Shin, "Surface modifications of carbonaceous materials for carbon dioxide adsorption: A review", Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 71, 214-234(2017)

태안 습식 포집 테스트베드를 활용한 10톤CO₂/일급 MAB 흡수제 기반 포집 기술의 실증 연구

김나운, 김정민, 박태성, 이승용, 정태성¹, 양진모¹, 유정균*
한국에너지기술연구원, ¹한국서부발전

10 tonCO₂/day Scale Demonstration of MAB Solvent Using the Taean CO₂ Capture Test Bed

Na Un Kim, Jeong Min Kim, Tae-sung Park, Seung-yong Lee,
Taesung Jung¹, Jinmo Yang¹, Jong Kyun You*
Korea Institute of Energy Research, ¹Korea Western Power Co., Ltd.

탄소중립 시대의 도래로 인해 온실가스 감축에 대한 적극적인 대응을 위해 CCUS(탄소 포집, 이용, 저장) 기술의 개발이 지속적으로 요구되고 있다. 탄소 포집 기술 중 습식 흡수법은 국내외에서 상용화에 가장 근접하여 탄소중립의 핵심 기술로 각광 받고 있으며, 해당 기술의 에너지 사용량을 대변하는 핵심 지표인 재생열을 저감하기 위해 다양한 흡수제가 개발되어 왔다. 한국서부발전 태안발전본부에서는 실제 석탄화력배가스로부터 90% CO₂를 포집하여 하루 10톤의 CO₂를 포집하는 소규모 실증이 2019년부터 이뤄져왔다. 다양한 국내 흡수제에 대한 성능평가 중, 본 연구에서는 폴리아민계 흡수제인 MAB 흡수제의 성능에 대해 분석하였다. 2,000시간 이상의 실증 운전을 통해 MAB 흡수제의 효율과 안정성을 평가했으며, 최적 운전조건에서 재생열(reboiler heat duty)은 2.3 GJ/ton CO₂ 이하의 성능을 보였다.

Widening DeNO_x Temperature Window of Combined H₂-SCR and Urea-SCR Aftertreatment System for Efficient NO_x Reduction

Kyungseok Lee, Cheolho Kim, Kyoungbok Lee, Meehye Oh and Kwangchul Oh*
Korea Automotive Technology Institute (KATECH)

Abstract

Rapid climate change caused by global warming induces extreme weather events such as floods, rising sea level, and droughts, which lead to significant degradation of life quality, property damage, and environmental and health problems on a global scale. Acknowledging the climate crisis, the international community pursues carbon neutrality by 2050 through its low-carbon development strategy and reduction of carbon-containing emissions. Hydrogen fuel has the potential to make fossil fuels obsolete in future transportation, and hydrogen-powered mobility can achieve carbon-free combustion. However, combustion of hydrogen fuel at high temperature inevitably produces nitrogen oxides (NO_x) [1], which are one of the major air pollutants requiring an introduction of exhaust aftertreatment technologies for their removal. In our recent study, low-temperature hydrogen-selective catalytic reduction (H₂-SCR) was investigated, in which the dual catalyst support, catalytic active phase, and monolithic cordierite cell density affected H₂-SCR activity [2]. The H₂-SCR process induces undesirable by-product, N₂O, which deteriorates the catalyst N₂ selectivity. This study, to the best of our knowledge, introduces a novel combined deNO_x aftertreatment system for mitigating N₂O formation and widening the operational temperature window in future hybrid H₂ internal combustion engine. This system comprises an upstream full-scale H₂-SCR and a downstream urea-SCR, achieving optimal NO_x reduction while suppressing undesirable N₂O by-product that improve the catalyst's N₂ selectivity.

Acknowledgment

This research was supported by the “Technology innovation Program (Development of Direct Injection Hydrogen Engine Source Technology based on Carbon-Free Hydrogen Fuel, 20018473)” funded by the Ministry of Trade, Industry and Energy and supported by the Ministry of Trade, Industry and Energy under the “Regional Innovation Cluster Development Program (R&D, P0025423)” supervised by the Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT).

References

1. Rouleau, L., Duffour, F., Walter, B., Kumar, R., and Nowak, L., “Experimental and Numerical Investigation on Hydrogen Internal Combustion Engine”, *SAE Technical Paper 2021-24-0060*, (2021).
2. Lee, K., Lee, K., Choi, B., and Oh K., “Enhanced low-temperature H₂-selective catalytic reduction performance and selectivity of Pt/ZSM-5–TiO₂ washcoated monolithic catalysts for NO_x reduction”, *J. Clean. Prod.*, 434, 140333 (2024).

저농도 CO₂ 저감을 위한 건식자열개질 성능 평가

김지현, 이진희, 이다혜, 권병찬¹, 박노국¹, 강석환[†]
고등기술연구원, ¹영남대학교

Dry autothermal reforming performance evaluation for low-concentration CO₂ reduction

Jihyeon Kim, Jin-Hee Lee, Da-Hye Lee, Byung-Chan Kwon¹, No-Kuk Park¹, Suk-Hwan Kang[†]
Institute for Advanced Engineering, ¹YOUNG NAM UNIVERSITY

Abstract

전 세계적으로 발생하는 이상기후로 인하여 온실가스 배출에 대한 규제가 강화되고 있으며, 온실가스를 배출하는 산업에 대한 CO₂ 배출량 모니터링을 시행하고 있다. 이에 온실가스 저감 기술에 대한 관심이 증가하면서 CO₂와 CH₄을 동시에 저감시킬 수 있는 건식개질 반응에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 공정배가스 내 저농도의 CO₂를 배출하는 사업장의 경우 배가스 내 희석되어 배출되기 때문에 농도가 낮아 규제 사각지대에 놓여 있는 상황이다.

이에 본 연구에서는 별도의 포집공정 없이 공정배가스 내 저농도 CO₂를 직접적으로 저감하기 위하여 공정배가스 조건의 가스 조성에서 메탄을 공급하여 개질 성능 평가를 진행하였다. 저농도의 CO₂를 포함하는 공정배가스는 CO₂/O₂/N₂=10/5/85 조성으로 산소가 있는 조건에 해당된다. 따라서 실제 반응 수행 전 공정배가스 내 CH₄ 공급 시 나타나는 평형 조성을 먼저 살펴보고, 실제 촉매 반응을 통해 나타나는 조성을 비교하였다.

사사

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 연구재단의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. NRF-2022M3J2A1053003).

De-NO_x를 위한 V₂O₅-TiO₂ 촉매의 제조 및 촉매 열처리 온도에 따른 반응특성

권세준, 권병찬¹, 박노국^{1*}, 심지한²
 영남대학교 화학공학부, ¹영남대학교 청정기술연구소, ²마이크로원

Preparation of V₂O₅-TiO₂ catalyst for De-NO_x and reaction characteristics according to catalyst heat treatment temperature

Se-Jun Kwon, Byung Chan Kwon¹, No-Kuk Park^{1*}, Ji Han Sim²
 School of Chemical Engineering, Yeungnam University
¹Institute of Clean Technology, Yeungnam University
²Micro-One Ltd.

초록

산업 발달과 함께 지속적인 화석연료 사용량의 증가로 인해 NO_x의 배출량이 크게 증가하였다. 이로 인해 환경오염을 일으키는 초미세먼지 또한 발생이 빈번해졌다. 특히, 탄소배출을 감축하기 위한 에너지 전환의 일환으로 석탄화력 발전 중심의 전력생산의 비중이 감소하고 천연가스를 이용한 발전이 증가하고 있는 실정이다. 천연가스를 이용한 발전의 경우 일정 부분의 탄소배출 저감 효과를 얻을 수 있으나, 연소공정에서 필연적으로 발생하는 NO_x의 배출량은 여전히 과부하 상태라 할 수 있다. 천연가스를 사용하는 발전의 경우 일반 화력발전과 달리 탈질공정이 후단부에 배치되기 때문에 탈질공정에서의 배출가스 온도가 낮은 상태에서 운전된다. 이에 저온 탈질 촉매의 필요성이 높아지고 있다. 본 연구에서는 V₂O₅-TiO₂ 촉매를 알콕사이드 가수분해법으로 합성하여 열처리 온도를 변화시켜 그에 따른 촉매의 성능을 측정하고 비교하였다. 합성된 촉매는 250 ~ 550 °C의 범위로 50 °C간격으로 열처리하였다. 열처리된 촉매는 표면적, 결정구조 및 결정성을 조사하였으며, 150 ~ 230 °C의 온도 범위에서 탈질성능을 비교하고 최적화하였다. 실험결과 TiO₂의 anatase 결정성이 높고 촉매의 표면적이 높을 때 가장 높은 활성을 가지는 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. Jae Gu Heo et al., "Low-temperature shift DeNO_x activity of Nanoflake V₂O₅ loaded WO₃/TiO₂ as NH₃-SCR catalyst", Inorganic Chemistry Communications, 137, 109191 (2022).

사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 사업장 미세먼지 지능형 최적 저감·관리 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2022003580004).

XPS 분석에 의한 Mn-Cu계 오존 분해촉매의 표면 흡착산소 제거에 의한 사용 후 촉매 재생에 관한 연구

권민석, 권병찬¹, 김민규¹, 박노국^{1*}, 강도형², 공종선³, 공성욱³
영남대학교 화학공학부, ¹영남대학교 청정기술연구소, ²서울과학기술대학교, ³인우에코

Study on the regeneration of used catalysts by removing surface adsorbed oxygen of Mn-Cu based ozone decomposition catalyst using XPS analysis

Min Seok Kwon, Byung Chan Kwon¹, Minkyu Kim, No-Kuk Park^{1*}, Dohyung Kang²,
Jong Sun Kong³, Seong Wook Kong³
School of Chemical Engineering, Yeungnam University
¹*Institute of Clean Technology, Yeungnam University*
²*Seoul National University of Science & Technology*
³*Inwoo Eco Corp.*

초록

미세먼지를 유발하는 휘발성 유기화합물의 제거는 여러 가지 공정이 적용되고 있으며, 오존 산화법에 의한 휘발성 유기화합물의 제거는 상온에서 처리 효율이 높음에도 불구하고 O₃-slip에 의한 문제가 여전히 해결해야 할 과제로 남아 있다. 본 연구에서는 KMnO₄ 산화법에 의한 Mn-Cu계 촉매를 합성하고 이를 압출성형하여 촉매를 제조한 후 오존 분해 실험을 수행하였으나, O₃의 분해로부터 생성된 촉매표면의 흡착산소가 활성점을 점유하여 촉매의 활성이 서서히 저하되는 결과가 초래되었다. 활성이 저하된 촉매의 재생을 위하여 상온에서 80 °C 범위에서 열처리한 후 표면산소의 제거 가능성을 조사하였다. 촉매표면 흡착산소를 확인하기 위하여 XPS 분석으로 O₃의 분해과정에서 표면 흡착산소의 생성을 확인하였고 열처리 조건에 따라 사용 후 촉매의 표면 흡착산소의 감소를 확인하였다. 본 연구에서는 최적 재생 조건을 실험적으로 제시하고 재생 촉매의 활성을 조사하고자 하였다.

참고문헌

1. Jingjing Pei et al., "Catalytic Decomposition of Ozone by CuO/MnO₂-Performance, Kinetics and Application Analysis", *Procedia Engineering*, 121, 792-800 (2015).

사사

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

합금막의 특성을 이용한 수소 분리막 설계와 수소 투과 실험 연구

고민영, 신민창, 김시은, 박정훈*
동국대학교 화학생물공학과

A study on H₂ separation membrane design and H₂ permeability test using metal alloy membrane properties

Min Yeong Ko, Min Chang Shin, Sieun Kim, Jung Hoon Park*
Department of Chemical and Biochemical Engineering, Dongguk University

Due to the vast compositional range of advanced hydrogen-selective alloys, quantitative and well-targeted development are challenging. An investigation of the relationships between hydrogen permeability and physical-chemical characteristics can be utilized to both create new H₂-selective alloy membranes and improve the efficiency of studied membranes. Pd-based metal membrane has high H₂ selectivity and is stable at high temperatures. However, Pd is expensive and brittle to hydrogen, a non-Pd based metal separator is being developed in this study. Confirming the tendency of new alloys through the existing literature, and the hydrogen permeation performance of the new alloy was predicted and tested accordingly. The prepared new alloy film was analyzed by XRD and SEM, and gas permeation performance was confirmed by Gas Chromatography (GC).

참고문헌

1. Magnone E., Shin M. C., Lee J. I., Park J. H., "Relationship between hydrogen permeability and the physical-chemical characteristics of metal alloy membranes", *J. Membr. Sci.*, 674(15), 121513 (2023)

α -Al₂O₃ 지지체를 이용한 Pd-Ag-Cu 수소 분리막의 제조 및 기체투과 성능

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

Preparation and Hydrogen Permeation Performance of Pd-Ag-Cu Composite Membrane with α -Al₂O₃ Support

Sung Woo Han, Xuelong Zhuang, Min Chang Shin, Jae Yeon Hwang, Jung Hoon Park*
Department of Chemical and Biochemical Engineering, Dongguk University

In this experiment, Pd-Ag-Cu membrane was manufactured using electroless plating on an α -Al₂O₃ support. Pd, Ag and Cu were each coated on the surface of the support through electroless plating and heat treatment was performed for 18 h at 500 °C in H₂ in the middle of electroless plating to form Pd alloy. The surface of the Pd-Ag-Cu membrane was observed through Scanning Electron Microscopy, and the thickness of the Pd membrane was measured to be 7.82 μ m and the thickness of the Pd-Ag-Cu membrane was measured to be 3.54 μ m. Energy dispersive X-ray spectroscopy and X-ray diffraction analysis confirmed the formation of a Pd-Ag-Cu alloy with a composition of Pd-78wt%, Ag-8.8wt% and Cu-13.2wt%. The permeation experiment was conducted under the conditions of 350~450 °C and 1~4 bar in H₂ single gas and H₂/N₂ mixed gas. The maximum H₂ flux of the membrane measured in H₂ single gas is 74.16 ml/cm²·min at 450 °C and 4 bar for the Pd membrane and 113.64 ml/cm²·min at 450 °C and 4 bar for the Pd-Ag-Cu membrane. In the case of the separation factor measured in H₂/N₂ mixed gas, separation factors of 2,437 and 11,032 were measured at 450 °C and 4 bar.

참고문헌

1. X Zhuang, E. Magnone, M. C. Shin, J. I. Lee, J. Y. Hwang, Y. C. Choi, J. H. Park, "Novel TiO₂/GO-Al₂O₃ Hollow Fiber Nanofiltration Membrane for Desalination and Lignin Recovery", *Membranes*, 12, 950 (2022).
2. Ø. Hatlevik, S.K. Gade, M.K. Keeling, P.M. Thoen, A.P. Davidson, J.D. Way, "Palladium and palladium alloy membranes for hydrogen separation and production: History, fabrication strategies, and current performance", *Sep. Purif. Technol.* 73, 59~64 (2010).

CeO₂ 표면 개질이 CO₂ 포집 성능에 미치는 영향

황재연, 장학룡, 고민영, 박정훈*
동국대학교 화공생물공학과

Effect of CeO₂ Surface Modification on CO₂ Capture Performance

Jae Yeon Hwang, Xuelong Zhuang, Min Yeong Ko, Jung Hoon Park*
Department of Chemical and Biochemical Engineering, Dongguk University

The aim of this study is to investigate the effect of surface modification of ceria on its ability to capture carbon dioxide and to investigate it comprehensively using analyses such as FTIR, TPD, TGA and XRD. Firstly, the surface of cerium oxide was analysed by FTIR and the chemical structure and functional group characteristics of the surface were observed. Then, the adsorption capacity of carbon dioxide after different surface modifications was evaluated by programmed temperature rise desorption (TPD) technique. The results showed that the surface-modified ceria possessed higher CO₂ capture capacity, which could be attributed to the increase in surface active sites and improved adsorption properties. In addition, TGA analyses showed that the modified samples were able to start adsorbing carbon dioxide at lower temperatures, further confirming their excellent adsorption properties. Finally, XRD analyses showed that the surface modification did not change the crystal structure of ceria, but may have affected its lattice distortion or crystal size, which in turn affected its carbon dioxide adsorption performance. In conclusion, the comprehensive analyses in this study indicate that the surface modification of ceria can significantly enhance its ability to capture carbon dioxide, which provides a useful reference and guide for the design and development of efficient carbon dioxide capture materials.

참고문헌

1. Azmi A. A., Ruhaimi A. H., and Aziz M. A. A., "Efficient 3-aminopropyltrimethoxysilane functionalised mesoporous ceria nanoparticles for CO₂ capture", *Mater. Today Chem.*, 16, 100273 (2020)
2. Liu Y., Li Y., Li X. M., and He T., "Kinetics of (3-Aminopropyl)triethoxysilane (APTES) Silanization of Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles", *Langmuir.*, 29, 15275-15282 (2013)

개시제 종류에 따른 항공유의 흡열분해 특성 연구

신민창, 정병훈¹, 한성우, 김시은, 박정훈*
동국대학교, ¹국방과학연구소

Study on Endothermic Decomposition Characteristics of Jet Fuel for Kind of Initiator

Min Chang Shin, Byung Hun Jeong¹, Sung Woo Han, Si Eun Kim, Jung Hoon Park*
Dongguk University, ¹Agency for Defense Development

극초음속으로 비행하는 물체는 공기와의 마찰로 인해 표면 온도가 급격하게 상승하여 내구성에 문제를 일으킨다. 이를 해결하기 위해서는 냉각이 필요하며, 냉각 기술 중 하나로 연료의 흡열 특성을 이용한 기술이 있다. 이러한 냉각 기술의 효율을 높이기 위해서 다양한 첨가제를 이용한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 연구에서는 첨가제 중 하나인 개시제를 선정하여 개시제의 종류에 따라서 나타나는 S-1 연료의 흡열 분해 특성을 확인하였다. 흐름식 반응기를 통해 온도, 시간별로 샘플링하여 GC-FID, GC-TCD, GC-MSD를 통해 분석하였으며, 반응 과정에서 전력량을 측정하여 흡열량을 산출하였다.

사사: This research was funded by a Grant-in-aid from the Korean Agency for Defense Development(ADD project No. 912969201) funded by the Korean Defense Acquisition Administration(DAPA) and the Korean Ministry of National Defense(MND).

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

수소 및 재생에너지 특별심포지엄

(포스터발표 I)

2024년 3월 28일(목) 09:00~11:00
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비

Effects of temperature, particle size, and acid washing on bio-oil properties of cattle manure in a fluidized bed reactor

Jae-Rak Jeon¹, Syarif Hidayat¹, 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 to be considered as waste biomass resource, but it contains pathogens or viruses that can have a harmful effect on humans or animals to be used as fertilizer. Pyrolysis was selected among the thermochemical conversion methods to utilize CM as a renewable resource, and fast pyrolysis was carried out with the variations of temperature and particle size. Fast pyrolysis was proceeded using silica sand as a bed material at a reaction temperature of 450 to 550 °C and a particle size of 0.25 to 1.70 mm in a fluidized bed reactor. When the particle size was decreased, the gas yield was increased, and the char yield was increased with increase of particle size [1] In addition, the yield of bio-oil and gas increased as the temperature increased from 450 °C to 500 °C, it was confirmed that the yield of bio-oil was reduced by the secondary decomposition at 550 °C [2]. The highest total liquid yield was reached 31.18 wt% under 500 °C, 0.71 to 1.19 mm, $3U_{mf}$ (U_{mf} =4.5 L/min) The effect of acid washing for CM, as for pretreatment, was examined it was that the yield of bio-oil increased to 42.15 wt% with 20 wt%. Compositions of bio-oil was systematically analyzed using GC-MS, ¹³C-NMR, and TGA, and those of components showed mainly aromatics.

References

1. Shen, J., Wang, X. S., Garcia-Perez, M., Mourant, D., Rhodes, M. J., and Li, C. Z., "Effects of particle size on the fast pyrolysis of oil mallee woody biomass," *Fuel.*, 88, 1810–1817 (2009).
2. Vo, A. T., Ly, H. V., Hwang, I., Hwang, H. T., Kim, J., and Kim, S. S., "Enhancement of biofuel quality via conventional and catalytic co-pyrolysis of bamboo with polystyrene in a bubbling fluidized bed reactor," *Fuel.*, 346, 128403 (2023)

Deoxygenation of dimethyl terephthalate as PET model compound over Bimetallic Ni-Fe/g-Al₂O₃ Catalysts

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

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 Daegyeong-daero, Giheung-gu, Yongin, Gyeonggi-do 17104, Korea

Metal catalysts (5 wt% Ni – 15 wt% Fe/g-Al₂O₃, 10 wt% Ni – 10 wt% Fe/g-Al₂O₃, and 15 wt% Ni – 5 wt% Fe/g-Al₂O₃) synthesized by incipient wetness impregnation were characterized using several analytical methods. The deoxygenation experiments were carried out in a fixedbed reactor at atmospheric condition without H₂ addition and temperature range of 400~500 °C with a reaction time of 60 min. It was observed, 5 wt% Ni – 15 wt% Fe/g-Al₂O₃ catalyst affording higher conversion of DMT and higher deoxygenation degree, and showed high yield of hydrocarbon in comparison with 10 wt% Ni – 10 wt% Fe/g-Al₂O₃, and 15 wt% Ni – 5 wt% Fe/g-Al₂O₃. The main pathway of DMT deoxygenation contains the most important products benzene, ethylbenzene, toluene, p-xylene, m-xylene, and biphenyl via decarboxylation, decarbonylation and hydrogenation. Oxygenated compound products were Methyl ester benzoic acid and 4-methyl-methyl ester benzoic acid. This study demonstrates promising how waste polyethylene terephthalate can be valorized for the generation of hydrocarbon products at low pressure condition.

Oleic acid의 탈산소 반응을 위한 CoMo 촉매 적용 연구

윤은수, 김창현, 유지민, 심재오*
원광대학교

Study on the application of CoMo catalyst for the deoxygenation of oleic acid

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

최근 화석연료 사용에 의한 환경문제가 대두되고, 화석연료의 고갈에 대한 문제점이 제기되고 있어 이를 대체하기 위해 바이오연료 개발을 위한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 Oleic acid를 반응물로 하고 CoMo 촉매를 사용한 탈산소 반응을 진행했다. 반응 온도와 반응 시간을 달리하여 반응을 수행한 결과, 300 °C에서의 압력 변화보다 350 °C에서의 압력 변화가 더 두드러지게 나타났다. 반응 압력이 크게 증가할수록 탈산소 반응이 활발히 진행되기 때문에 350 °C에서 더 높은 활성이 나타날 것으로 예상하였으며, 반응 후 생성물의 특성 분석을 진행한 결과 350 °C에서 반응을 진행한 물질의 점도, Oleic acid 전환율 및 탄화수소계 연료 성분의 선택도가 가장 높았다.

폐기물 유래 합성가스의 수성가스전이(WGS) 반응을 위한 CoFeO_x촉매 개발 연구

임재학, 전이정¹, 윤채민², 심재오*
원광대학교

Development Study of CoFeO_x Catalysts for the Water Gas Shift (WGS) Reaction of Waste-Derived Synthesis

Jae-Hak Lim, I-Jeong Jeon¹, Chae-Min Yoon², Jae-Oh Shim*
Wonkwang University

COVID-19 팬데믹 현상으로 생활 폐기물이 급증한 가운데 폐기물의 처리 과정에 있어 매립지 부족과 소각의 문제점이 대두되었다. 폐기물을 처리하면서 신에너지를 생산할 수 있는 폐기물 가스화 공정이 유망되었고, 생산된 합성가스 내 고농도의 CO를 제거하고 고순도의 수소를 생산할 수 있는 수성가스전이(WGS) 반응이 연구되었다. 본 연구에서는 고온수성가스전이(HT-WGS)반응의 상용 촉매로 사용하고 있는 Fe-Cr촉매에서 생성되는 유해성 물질인 Cr⁶⁺를 대체할 수 있는 촉매를 개발하여 문제점을 개선하고자 하였고, WGS반응의 활성종인 Co⁰와 Fe₃O₄를 함께 가지는 CoFeO_x 촉매를 전기방사법으로 합성하였다. 제조된 porous CoFeO_x, filles CoFeO_x와 bare CoFeO_x촉매의 차이에 따라서 성능 변화를 관찰해 촉매의 활성을 보였다.

keywords : 폐기물 유래 합성가스, 수성가스전이(WGS)반응, CoFeO_x 촉매, 전기방사법

Effect of hierarchical pore structure induced by dextrin addition on Ni-CeO₂-MgO-Al₂O₃ catalyst for dry reforming of methane

Ho-Ryong Park¹, Su-jin Ryu¹, Beom-Jun Kim¹ and Hyun-Seog Roh^{1*}
¹*Yonsei University*

Dry reforming of methane (DRM) has the advantage of utilizing two major greenhouse gases (CH₄ and CO₂) to produce hydrogen and carbon monoxide. In addition, it is attracting attention from a carbon capture utilization and storage (CCUS) perspective in that it can directly utilize CO₂ generated from the conventional steam reforming of methane reaction used for hydrogen production. For this reason, a number of catalytic studies are being conducted to commercialize DRM technology. Meanwhile, the hierarchical pore structured catalysts take both advantage of dispersion from small pores and facile diffusion from large pores which would be the way to balance between dispersion and diffusion (Kim et al. [1]). Here in, the hierarchical pore structured of the Ni-CeO₂-MgO-Al₂O₃ catalysts were systematically synthesized to find optimum point of macro and mesopore ratio by using different amount of dextrin soft templet. The characterization results showed that the physicochemical properties of the catalyst, such as BET surface area, pore size distribution, Ni dispersion, and oxygen vacancy were changed depending on the dextrin contents.

References

1. Kim, B.-J., Seo, J.-C., Kim, D.-H., Lee, Y.-L., Lee, K.-B., and Roh H.-S, "Oxygen defective bimodal porous Ni-CeO_{2-x}-MgO-Al₂O₃ catalyst with multi-void spherical structure for CO₂ reforming of CH₄", J. CO₂ Util., 58. 101917 (2022)

Highly active CuO_x catalysts with Oxygen Vacancies supported by Heteroatom-Doped Porous Carbon for Electrocatalytic Nitrate reduction to Ammonia

Junbeom Maeng, Daehee Jang, Jung Seub Ha and Won Bae Kim*

*E-mail: kimwb@postech.ac.kr

Ammonia synthesis from electrocatalytic nitrate reduction reaction (NO₃RR) is a significant research to substitute the Haber-Bosch process which has some problems of energy consuming. However, low ammonia selectivity due to competitive hydrogen evolution reaction is an issue for the NO₃RR. In this research, porous carbon supports doped with nitrogen and selenium were prepared. CuO_x was supported on these supports and plasma treated to prepare catalysts with different concentrations of oxygen vacancies. CuO_x-H (Ar plasma-treated) with high concentration of oxygen vacancies showed a high NH₃ yield rate and Faradaic efficiency. The high performance of CuO_x-H for the NO₃RR can be resulted from the feature that improvement of conductivity of the supports due to doped atoms and the more oxygen vacancies formed from the plasma treatment could facilitate adsorption and weakening N-O bonds of NO₃. This strategy suggests a novel guidance to the catalyst design for NO₃RR, which requires great improvements in terms of NH₃ selectivity and production rate.

Key words: green ammonia, nitrate reduction, plasma, oxygen vacancies, metal oxide

전기분해 과산화수소 생산 향상을 위한 polyaniline/cobalt 비율 및 플라즈마 처리 시간 최적화

레니샤^{1,2}, 종초은^{1,2}, 장 민^{1,2*}

¹플라즈마바이오효과연구센터, ²광운대학교 공과대학 환경공학과

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

Optimizing polyaniline/cobalt ratio and plasma treatment time for improved electrolytic hydrogen peroxide production

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

Kwangwoon University Environmental Engineering¹, Kwangwoon University PBRC²

Various studies have been ongoing in conductive polymers for higher electrolytic H₂O₂ production through ORR due to the higher surface area, chemical stability, and enhanced electrical conductivity [1]. The incorporation of metal ions into conductive polymers is pivotal in investigating the enhanced catalytic activity of polyaniline (PANI). Treating PANI with Ar jet plasma helps regulate its active sites, contributing to the selective formation of H₂O₂ during electrolysis [2]. In this study, Polyaniline (PANI) was synthesized using aniline as the monomer and APS (ammonium persulfate) as the initiator. used different Co ratios of the carbon felt followed by the Ar jet plasma treatment to get the optimized result of higher H₂O₂ production.-> please revise. I don't get this. The optimum doping amount of Co was determined to be 1 mg with PANI, resulting in a stable production rate of 3853.5 mg L⁻¹ h⁻¹ during three consecutive 2-hour stable cycles. The Ar jet plasma treatment duration was optimized at five minutes, resulting in a production rate that was 6.5 times higher than that of the untreated bare carbon felt. FTIR characterization was conducted to confirm the structure of the prepared PANI. The research emphasizes effective synthesis and treatment methods for PANI to enhance H₂O₂ production through electrolysis. It demonstrates stable rates and improved performance achieved through Co-doping and Ar jet plasma treatment.

Keywords: Conducting polymers, PANI, ORR, Electrolytic H₂O₂, Cobalt, Doping

1. Zhou, Y., et al., *Efficient synthesis of H₂O₂ via oxygen reduction over PANI driven by kinetics regulation of carbon dots*. Applied Catalysis B: Environmental, **322**: p. 122105 (2023)
2. Feng, J.X., et al., *Co (OH) 2 on PANI hybrid nanosheets with 3D networks as high-performance electrocatalysts for hydrogen evolution reaction*. Advanced Materials., **27**(44): p. 7051-7057(2015)

Effect of pH value on adsorption of Pd using ammonium hydroxide on acidified carbon black

Donghwan cheon^{1,2}, Ye Eun Kim^{1,3}, Jungho 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

Precious metal supported on carbon catalysts are commonly employed as heterogeneous catalysts in chemical processes. Among the precious metals, Pt, Rh, Ru, or Ni generally give a selectivity in the range of 50~80 % from phenol to cyclohexanone, Whereas, Pd catalysts are the most studied catalysts due to give a selectivity in the range of 80~100 % [1, 2]. In the strong adsorption method used to absorb Pd from carbon, the electrostatic interactions between metal precursor and carbon black are affected by pH value. Herein, we studied the effect of pH value on adsorption of Pd using ammonium hydroxide on acidified carbon black. Carbon black was acidified with nitric acid and sulfuric acid. The acidified carbon black was adjusted to the selected pH value with ammonium hydroxide. Then, a series of Pd/C catalysts were synthesized via strong adsorption method on pretreated support with various pH values. The activity of the prepared catalysts was evaluated by phenol hydrogenation. As a result, we found that the charge of the metal species in solution is pH value dependent for Pd adsorption. Additionally, found that the catalytic activity is linearly related to the amount of adsorbed Pd as a function of pH value.

References

1. Li, Y., et al., "Highly selective Pd@mpg-C 3 N 4 catalyst for phenol hydrogenation in aqueous phase." *RSC Adv.*, **3**, 27, (2013)
2. Kong, X., et al., "Selective hydrogenation of phenol." *ChemNanoMat.*, **4**, 432-450, (2018)

Effect of carbon pretreatment of Pd/C catalysts for phenol hydrogenation

Hayoon Park^{1,2}, Ye Eun Kim^{1,3}, Jungho Jae² and 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

Carbon is used as a catalyst support and many studies have been reported because of its high surface area, porous structure, and excellent chemical stability. Carbon-supported catalysts have been used in various industrial fields such as hydrogenation, oxidation, reduction reaction and water splitting. Surface modification of carbon is carried out through simple physicochemical treatment such as acid, base, and air treatment. Through the pretreatment process, the surface chemical properties of carbon are improved and catalyst active sites are created. In this study, the effect of the carbon pretreatment process on the characteristics and activity of the catalyst was confirmed. The 5 wt% Pd/C catalyst was prepared by chemical reduction method after acid treatment of carbon. The catalysts were characterized by XRD, N₂-physisorption, FT-IR, NH₃-TPD and CO-chemisorption. Then, catalytic activity was evaluated through phenol hydrogenation under various reaction conditions. As a result, it was confirmed that the amount of functional groups and acid sites increased depending on the carbon pretreatment process, and these characteristics affected the catalytic activity.

References

1. Yuye Xue et al., "Effect of pretreatment method of activated carbon on the catalytic reduction of NO by carbon over CuO", *Appl. Catal. B*, **79**(3), 262-269 (2008).
2. Seok Kim and Soo-Jin Park, "Effect of acid/base treatment to carbon blacks on preparation of carbon-supported platinum nanoclusters", *Electrochim. Acta* **52**(9), 3013-3021 (2007)

유동층에서 Freeboard 높이 및 유동화 속도에 따른 입자 분리 연구

최동섭, 김나연, 김덕우, 주지봉*
건국대학교 화학공학과

Particle separation by controlling fluidizing gas velocity and freeboard height in fluidized bed

Dong Seop Choi, Na Yeon Kim, Deokwoo Kim, Ji Bong Joo*
Department of Chemical Engineering, Konkuk University

바이오매스는 재생 가능한 에너지원 중 하나로 지속 가능하고 환경 친화적이며 탄소 중립이라는 장점이 있다. 바이오매스는 무산소 조건에서 가열하면 연료로 사용 가능한 가스 및 오일, 바이오 차가 얻어지는데, 바이오 오일은 후속 촉매반응 공정을 통해 휘발유, 디젤 등의 연료유, 석유화학 원료 물질을 대체할 수 있으며, 바이오 차는 토양에 매립함으로써 대기 중 이산화탄소를 토양에 격리, 저장할 수 있다. 따라서 바이오매스의 효율적인 활용은 지속 가능한 에너지 사용 및 탄소 중립을 달성하는 데 중요한 역할을 한다.

바이오매스의 열분해 장치에는 고정층, 회분식, 로터리 킬른, 유동층 등의 반응기 형태가 사용된다. 이중 유동층 열분해 반응기는 대량의 바이오매스를 연속적으로 처리할 수 있으며, 후속 공정과 연계할 수 있는 장점을 가진다. 유동층 열분해 반응기에서 바이오 차, 바이오 오일 및 가스는 각각 사이클론, 응축기를 통해 회수될 수 있다. 이중, 바이오 차의 회수는 바이오 오일 및 가스의 회수보다 어려운데, 열분해 반응기 내부에는 모래와 같은 열전달 매체, 열분해 되지 않은 바이오매스, 불완전 열분해 된 바이오 차, 완전 열분해 된 바이오 차가 혼합되어 있기 때문이다.

본 연구에서는 입도 및 밀도 특성이 다른 열전달 매체(Coarse particle), 바이오 차(Fine particle) 모델 입자를 활용하여 입자 분리 실험을 진행했고, Fine particle 의 Elutriation 정도, 입자 분리 효율을 확인했다. 또한, 혼합 물질 유동층에서 열전달 매체(Coarse particle), 바이오 차(Fine particle)의 효과적인 분리를 위해 유동화 속도 및 유동층 반응기의 Freeboard 높이를 조절하였다. 실험결과 최적의 Freeboard 높이 및 유동화 속도가 존재함을 확인했다.

참고문헌

1. Xing Wu, Jingbo Peng, Yu Zhang, Zhiduo Wang, "Elutriation characteristics of multi-component mixtures in a fluidized bed pyrolysis process" *Particuology*, 58, 131-138 (2021)
2. Zheng-hao Yang, Zhen He, Xiang-gang Zhang, Xia Jiang, Zi-heng Jin, Jian-ping Li, Liang Ma, Hua-lin Wang, Yu-long Chang, "In-situ gas flow separation between biochar and the heat carrier in a circulating fluidized bed reactor for biomass pyrolysis" *J. Chem. Eng.*, 472, 145099 (2023)
3. Juping Liu, Xu Chen, Wei Chen, Mingwei Xia, Yingquan Chen, Hanping Chen, Kuo Zeng, Haiping Yang, "Biomass pyrolysis mechanism for carbon-based high-value products" *Proc. Combust. Inst.*, 39, 3157-3181 (2023)

혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응에서 지지체 및 조촉매에 따른 영향

공지현¹, 김민주¹, 문기태², 오유민², 장원준^{1,2,*}
¹아주대학교 환경공학과, ²아주대학교 환경안전공학과

Effect of Support and Promoter in Steam Reforming of Mixed Alkane Hydrocarbons

Ji-Hyeon Gong¹, Min-Ju Kim¹, Gi-Tae Moon², Yoo-Min Oh², Won-Jun Jang^{1,2,*}
¹Department of Environmental Engineering, Ajou University,
²Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University

본 연구에서는 다양한 금속 산화물에 담지된 Ni계 촉매가 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응에 미치는 영향을 조사하였다. C1부터 C4까지의 알케인 탄화수소를 동일한 몰비로 혼합하여 반응을 수행하였으며, 이로 인해 탄소침적 및 크래킹 반응이 발생할 수 있어 지지체 및 조촉매를 다르게 조합하여 촉매를 제조하였다. 지지체는 선행연구에서 우수한 성능을 보인 CeO₂ 및 Al₂O₃를 선정하였고 각각 Al₂O₃, La₂O₃, MgO, ZrO₂와 CeO₂, La₂O₃, MgO, CaO를 조촉매로 선정한 후 지지체:조촉매 비를 9:1로 하였다. 촉매의 성능 및 안정성 평가를 위해 반응은 H₂O/(CH₄+2×C₂H₆+3×C₃H₈+4×C₄H₁₀) 비 7.0으로 고정하고 850 °C에서 12 시간 동안 진행하였다. 제조된 촉매 모두 12시간 동안 활성을 유지하였으며, CeO₂ 지지체 촉매가 Al₂O₃ 지지체인 촉매보다 전환율 및 H₂ 몰수가 높았다. 그중 Ni/MgO/CeO₂ 촉매가 가장 성능이 우수하였으며, Al₂O₃ 지지체 촉매 중에서는 Ni/CaO/Al₂O₃ 촉매가 높은 활성을 나타냈다. 특성 분석 결과를 통해 CeO₂ 지지체 촉매는 Ni 분산도에 영향을 많이 받고 Al₂O₃ 지지체 촉매는 산도에 큰 영향을 받았다고 판단된다. 또한, 탄소침적 형성 여부를 확인하였으며 CeO₂ 지지체인 촉매는 탄소침적 저항성을 보였으나 Ni/CaO/Al₂O₃를 제외한 Al₂O₃ 지지체 촉매는 탄소침적이 형성되었다. 따라서, 제조된 촉매 중 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응에 적합한 촉매는 Ni/MgO/CeO₂ 촉매이며, Al₂O₃ 지지체 기반 촉매 중 가장 높은 전환율과 수소 몰수를 보인 Ni/CaO/Al₂O₃ 촉매도 후보 중 하나로 판단된다.

바이오매스 고품위화 연료 제조를 위한 오일 코팅 비교 연구

이다혜¹, 김지현¹, 김진호^{1*}

¹고등기술연구원, 경기도 용인시 처인구 백암면 고안로51번길 175-28

Comparative study of oil coating for manufacturing biomass high-quality fuel

Lee Da-Hye¹, Kim Ji-Hyeon¹, Kim Jin-Ho^{1*}

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

기후변화에 대응하기 위해 전 세계적으로 화석연료 사용량을 줄이고 온실가스 및 환경적인 문제가 없는 신재생에너지에 대한 수요가 증가하고 있다. 그중 바이오매스는 원료 수급, 경제성, 단기탄소순환 등 여러 방면에서 신재생에너지로서 우수성을 인정받아 에너지 전환기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 이러한 바이오매스 연료를 탄소배출이 많은 식품건조공정에 적용하여 저탄소 식품 공정을 개발하고자 하였다. 특히 에너지 소비량이 많은 건조육가공품 공정을 대상으로 기존 식품가공 제조 공정에서 회수된 폐열과 바이오매스 연료를 활용하여 온실가스 저감하고자 하였고, 이때 식품 건조 공정에 필요한 증기를 화석연료로부터 대체하여 국내에서 사용되지 않았던 미이용 바이오매스를 원료로 활용해 고품질 연료를 제조하였다.

고품질 연료 제조를 위해 네 종류의 바이오매스 펠릿을 이용하여 바이오매스의 발열량을 높이는 실험을 진행하였으며, 그 결과 옥수수대 펠릿의 오일 흡수율이 목표치(>20%)에 도달하여 고품질 연료 제조를 위해 제작한 오일분사시스템 장치에 적용이 적합하다고 판단하였다. 원료 저장 호퍼, 스크류피더, 분사노즐, 연료 저장 탱크 및 오일 순환을 위한 기타 장치들로 구성된 오일분사시스템에 옥수수대 펠릿을 이용하여 오일 분무량별 고품질 연료를 제조하였으며, 이를 분석하여 비교하였다.

사 사

본 연구는 2022년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다 [RS-2022-00207202].

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

에너지전환

(포스터발표 I)

2024년 3월 28일(목) 09:00~11:00
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비

NiO-Mo/ZSM-5 성형 촉매를 이용한 methane 탈수소방향족화 반응

원세연¹, 김예희¹, 홍수연¹, 이중엽¹, 이시몬¹, 김도희³, 진종기^{1,2*}

¹공주대학교 화학공학부

²공주대학교 자원재활용연구센터

³서울대학교 화학생물공학부

Methane dehydroaromatization using NiO-Mo/ZSM-5 molding catalysts

Seyeon Won¹, Yehee Kim¹, Sooyeon Hong¹, Jungyeop Lee¹, Simon Lee¹,

Do Heui Kim³, Jong-Ki Jeon^{1,2,*}

¹Dept. of Chemical Engineering, Kongju National University

²Resource Recycling Research Center, Kongju National University

³Dept. of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University

대기 중 온실가스의 증가를 방지하기 위해 온실가스의 배출량을 감축하는 탄소중립을 이룩하려는 연구가 다방면으로 진행되고 있다. 특히, 부생 메탄을 활용하여 석유화학의 기초유분인 방향족 화합물 benzene, toluene, xylene(BTX) 제조에 관한 연구가 활발하게 보고되고 있다. 현재 메탄의 탈수소방향족화 반응에 가장 활성이 뛰어난 촉매는 Mo/ZSM-5 촉매이며, 본 연구에서는 NiO를 물리적 혼합하여 코크 생성 감소에 효과적인 NiO-Mo/ZSM-5를 사용하였다. Fixed-bed reactor를 이용한 메탄의 탈수소방향족화 반응에서 powder 형태의 촉매는 압력 강하로 인하여 대량으로 사용하는 것이 불가능하기 때문에, 성형 촉매를 사용하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 NiO-Mo/ZSM-5 촉매를 효과적으로 성형할 수 있는 바인더를 탐색하는 것에 초점을 두었다. 유·무기 바인더의 함량 및 형태를 변화시키면서 촉매를 성형하고, 질소흡착실험, Temperature-programmed desorption (NH₃-TPD), Pyridine FT-IR 및 압축강도 측정기를 이용하여 성형 촉매의 특성을 분석하였다. 이를 기반으로 촉매 성형 recipe를 최적화하고, 최적화된 성형 촉매를 이용하여 메탄의 탈수소방향족화 반응실험을 진행하여 촉매의 활성 저하 여부를 확인하였다.

CO₂ to Methanol 합성을 위한 기초연구

장은호, 김태영, 유장, 우진혁, 이수출, 남형석*
경북대학교

Basic research for CO₂ to Methanol synthesis

Eunho Jang, Tae-young Kim, Zhuang Liu, Jin Hyeok Woo,
Soo Chool Lee, Hyungseok Nam*
Kyungpook National University

Abstract

화석연료 소비가 증가하면서 대기 중 CO₂ 배출량이 많이 증가했고 이는 지구 기후 변화에 돌이킬 수 없는 영향을 미칩니다. 이 문제를 해결하기 위해 여러 가지 연구가 진행되어 왔습니다. 그 중 CCU(Carbon Capture Utilization)기술은 CO₂를 수소화하여 화학산업의 기초원료가 되는 다양한 탄화수소화합물을 생성하고 동시에 온실가스 배출을 줄일 수 있기 때문에 아주 효과적인 탄소중립 방법 중 하나로 간주 됩니다. 여기서 수소화란 수소와 다른 원소를 화합하는 반응을 의미합니다. 저희는 이러한 CCU 기술 중 CO₂ to methanol을 연구하였습니다. 이렇게 생산된 메탄올은 대체 연료로 사용 가능하고, BTX 등 석유로만 만들 수 있던 기초원료를 제작할 수 있습니다.

이번 연구에서 구리 기반 촉매를 이용하여 압력별 (20~50bar) 온도별 (200~300°C) 운전 조건에서 CO₂ 전환율과 메탄올 선택도를 확인해 보았습니다. 열역학적 equilibrium 결과와 비교하였으며 실험조건에 따른 결과를 고찰하였습니다. 추가적으로 반응기 내부 구조물 형태를 변경시켜 나오는 CO₂ 전환율과 메탄올 선택도의 활성 변화에 대해 연구하였습니다. 주입 gas와 닿는 촉매의 표면적을 구조적으로 늘리거나 유체의 흐름을 조절함에 따라 CO₂ 전환율과 메탄올 선택도의 변화를 비교할 수 있었습니다.

참고문헌

1. KANURI, Suresh, et al. "Microrod networks CuO-ZnO-Al₂O₃ catalyst for methanol synthesis from CO₂: Synthesis, characterization, and performance demonstration." *Materials Today Chemistry*, 36: 101959, (2024)
2. STANGELAND, Kristian; LI, Hailong; YU, Zhixin. "Thermodynamic analysis of chemical and phase equilibria in CO₂ hydrogenation to methanol, dimethyl ether, and higher alcohols." *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57.11: 4081-4094, (2018)

CaO 첨가를 활용한 폐타이어 열분해유의 황 저감 실험

최수현^{1,2}, 김종수¹, 윤주형¹, 김형진¹, 최수현¹ 서명원², 정수화^{1*}
¹한국생산기술연구원 저탄소배출제어연구부, ²서울시립대학교 환경공학과

Experimental Study on Sulfur Reduction in Waste Tire Pyrolysis Oil using CaO Additive

Su-Hyeon Choi^{1,2}, Jong-Su Kim¹, Hyeong-Jin Kim¹, Joo-Hyeong Yoon¹,
 Myung-Won Seo², Soo-Hwa Jeong^{1*}

¹Low-Carbon Emission Control R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology

²Department of Environmental Engineering, University of Seoul

세계적으로 환경 규제가 강화되고 있으며 ESG(Environmental, Social, Governance) 경영이 점차 확산되는 가운데, 친환경 제품에 대한 관심과 수요가 상당히 증가하는 추세이다. 이러한 변화는 지속 가능한 자동차 산업의 발전과 밀접한 관계를 가진다. 미국에서는 매년 약 3억1500만 개의 폐타이어가 발생하며, 국내에서도 3,000만 개가 발생한다. 이러한 폐타이어의 대규모 발생은 심각한 환경 문제로 이어질 수 있기에 친환경 제품에 대한 수요가 더욱 증가하고 있는 것으로 보인다. 또한, 폐타이어를 매립하는 것은 일반적인 방법이지만, 이는 매우 오랜 시간이 걸리며 추가적인 2차 오염을 초래할 수 있다. 따라서 2차 오염을 방지하고자 화학적 재활용 기술인 열분해가 주목받고 있다. 열분해는 대용량 처리와 부피 감소를 가능케 하며, 고품질 가스 및 오일 생산이 가능하다. 특히 열분해유는 석유화학 제품 원료 및 연료로 활용된다. 이러한 열분해유는 상업성이 우수하기에 정부가 2026년까지 10% 확대하는 방침을 목표로 하고 있다. 그러나 폐타이어 열분해유는 높은 황 함량으로 인해 실제 응용에 제약이 있다. 이를 해결하기 위해 CaO 첨가제가 강한 염기성을 가지고 있어 열분해 가스로 생성되는 H₂S와 같은 산성 물질을 중화시키는 데 효과적이다. H₂S의 경우, CaO와 반응하여 칼슘스플라이트(CaS)로 변환되어 독성을 없애고 처리 가능한 형태로 변환된다. 이러한 반응은 화학적으로 안전하고 친환경적인 방법으로 H₂S를 저감하는데 사용된다. 본 연구에서는 CaO 첨가제의 비율 및 폐타이어와 PP 혼합을 변수로 두어 폐타이어 열분해유 내 황의 거동을 조사하였다.

사 사

본 결과물은 현대자동차 재원으로, 친환경소재연구팀의 기초연구과제 지원을 받아 연구 되었습니다. (No. ROMS23028440000)

이산화탄소를 이용한 에탄 산화 탈수소화 공정용 La-Cr계 촉매 연구

백승훈^{1,2}, 박상준³, 이루세¹, 김향동¹, 손정민^{1,4,*}

¹ 전북대학교 자원·에너지공학과

² 전북대학교 재생에너지섹터커플링연구센터

³ 전북대학교 에너지-AI융합공학과

⁴ 전북대학교 에너지·자원개발연구소

A Study on the La-Cr based Catalyst for Oxidative Dehydrogenation with Carbon Dioxide

Seung Hun Baek¹, Sang Jun Park², Roosee Lee³, Hyangdong Kim¹, Jung Min Sohn^{1,4,*}

¹Department of Mineral Resources & Energy Engineering, Jeonbuk National University

²Laboratory for Renewable Energy and Sector Coupling, Jeonbuk National University

³Graduate School of Integrated Energy-AI, Jeonbuk National University

⁴Research Institute for Energy and Mineral Resources Development, Jeonbuk National University

에틸렌은 폴리에틸렌 (Polyethylene), 폴리에틸렌옥사이드 (Polyethylene oxide), 에틸렌디클로라이드 (Ethylene dichloride), 비닐아세테이트 (Vinyl acetate) 등 다양한 화학물질 생성에 필요한 필수적인 공급원료이다. 이러한 수요를 맞추기 위해 가장 주목받는 기술 중 하나로 에탄을 에틸렌으로 직접 탈수소화하는 에탄 열분해 기술이 있다. 다만, 에탄 직접 열분해 시, 탄소 침적 및 촉매 내 활성 금속의 소결 현상으로 인해 촉매 비활성화가 발생한다는 문제점들이 있다. 에탄 산화 탈수소화 기술은 기존 많이 활용되던 열분해 기술에 비해 더 많은 에너지를 절약할 수 있고 열역학적 전환율이 매우 높다. 또한 열분해 공정에 비해 낮은 온도에서 코크 형성을 억제하며 에틸렌을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 이러한 장점으로 인해, 석유화학 등 올레핀 물질을 필요로 하는 산업에서 최근 주목하고 있는 기술이다. 다만, 산소를 직접적으로 에탄과 반응시킬 경우, 과산화로 인해 연소와 같이 목적하지 않은 반응이 발생할 수 있어 질소와 같은 다량의 불활성 기체를 같이 주입해야 한다는 문제점이 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 약 산화제로 이산화탄소를 활용하는 많은 연구가 진행되었다. 앞선 연구에 따르면, 이산화탄소를 이용한 에탄 산화 탈수소화 공정에서 Fe 및 Cr 산화물에 다양한 지지체와 혼합한 물질들이 좋은 성능을 보인 것으로 보고되었다[1]. 이 중 Cr 산화물의 촉매 성능을 개선하기 위해 Cr₂O₃와 La₂O₃를 결합하여 페로브스카이트 구조를 목적으로 합성하였다. 제조된 물질은 XRD 및 XPS를 통해 상 분석을 하였으며, LaCrO₃ 산화물이 형성된 것으로 확인되었다. 또한 TGA-GC를 통해 Cr₂O₃와 LaCrO₃의 반응에 따른 열중량 변화와 이 때 생성되는 가스 성분을 동시에 확인하여 에탄 전환율, 에틸렌 선택도 등 성능 향상 정도를 확인하였다.

참고문헌

1. Mishanin, N. D., Bogdan T. V., Koklin, A. E., and Bogdan, V. I., "Design of highly selective heterogeneous catalyst for CO₂-mediated ethane oxidative dehydrogenation based on nonoxidative catalysis in stainless-steel reactor" *Chem. Eng. J.*, **446**, 137184

Influence of Sb-doping on Sb-SnO₂/IrTaO_x/Ti Electrode for Selective Chlorine Evolution : Study of Competitive Oxygen Evolution and Chlorine Evolution

Eunsong Jeon, Yiseul Park*

Department of Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

Hypochlorous acid (HOCl), formed through the chlorine evolution reaction (CIER) in a chlor-alkali plant, is a high-value product essential for various chemical industries such as wastewater treatment and disinfection. Over the past 40 years, dimensionally stable anodes (DSA) electrodes, composed of precious metal oxides, have been used as efficient electrocatalysts for the chlorine evolution reaction. However, there has been a demand for the development of cost-effective catalysts for CIER. Antimony-doped tin oxide (ATO) has been studied as an electrode material for CIER. The excess electrons from Sb⁵⁺ play the role of charge carriers, enhancing electrical conductivity without any distortion. Additionally, it effectively suppresses the oxygen evolution reaction. In this study, the optimal doping ratio of Sb with minimal content of interlayer IrTaO_x was investigated to achieve high selectivity for HOCl. In the case of 3-layered 5% Sb-SnO₂/IrTaO_x/Ti, a faraday efficiency of 75% was observed after an hour. This represents an approximately 47.0% improvement compared to the conditions of SnO₂/IrTaO_x without Sb doping.

철계 촉매의 성형 내구성 증진을 위한 Fe계 첨가제 효과

권병찬, 장정규¹, 김민규^{1*}, 박노국^{*}, 이승중², 윤용승²
 영남대학교 청정기술연구소, ¹영남대학교 화학공학부, ²고등기술연구원

Effect of Fe-based additives to improve durability of Red-mud-based spherical type catalysts

Byung Chan Kwon, Jung Kyu Jang¹, Minkyu Kim^{1*}, No-Kuk Park^{*}, Seong Jong Lee²,
 Yong Seong Yun²

Institute of Clean Technology, Yeungnam University

¹*School of Chemical Engineering, Yeungnam University*

²*Institute for Advanced Engineering*

초록

산업발전에 따른 폐기물로 인한 지구 환경을 보호하기 위하여 최근 폐기물의 재활용이 모든 산업부문별로 연구되고 있다. 알루미나 소재를 생산하기 위한 Bayer process는 보크사이트에 함유된 알루미늄 성분을 용출하는 기술로서 철 성분이 다량 함유된 레드머드를 대량으로 배출하고 있다. 레드머드에는 산화철과 산화알루미늄이 주성분이며 산화티탄과 산화칼슘 그리고 산화규소가 소량 함유하여 산업공정에서 배출되는 황화합물 가스를 제거하거나 염소성분을 제거할 수 있는 고흡수제로 활용이 가능하다. 레드머드를 촉매 또는 흡수제 소재로 활용하여 공정에 적용하기 위해서는 내구성이 있는 성형물로 제조하여야 한다. 본 연구에서는 레드머드를 제한법에 의해 구형으로 성형한 후 열처리과정을 거쳐 성형물의 강도를 측정하였다. 이때 성형물의 열처리 후 강도를 증진시키기 위하여 Fe계 첨가제의 첨가량 및 열처리 온도를 변화시키면서 성형물의 강도변화를 조사하였다. Fe계 첨가제의 함량 및 열처리 온도의 증가에 따라 레드머드 성형물의 강도는 증가하였다. 다만, 첨가량에 대한 성형 강도는 최적 함량이 있으며, 열처리 온도의 증가에 따라서 결정구조의 변화가 있으므로 Fe계 첨가제의 첨가량 및 열처리 온도의 최적 조건의 결정이 필요함을 확인하였다.

참고문헌

1. Shijie et al., "Utilization of Modified Red Mud Waste from the Bayer Process as Subgrade and Its Performance Assessment in a Large-Sale Application", *Coatings* 12(4), 471 (2022).

사사

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)의 석유 코크스 활용 수소생산 실용화 기술개발 사업(21PCHG-C163217-01)의 지원으로 수행되었습니다.

공침법에 의한 메탄올 및 방향족 화합물 합성용 Cu-Zn-Al계 촉매의 제조 및 성형

권병찬, 차원락¹, 장정규¹, 김민규^{1*}, 박노국, 김병기², 배종욱², 김태완³, 채호정³
 영남대학교 화학공학부, ¹영남대학교 청정기술연구소, ²성균관대학교 화학공학부, ³한국화학연구원

Synthesis and shaping of Cu-Zn-Al-based catalyst for methanol and aromatic compounds synthesis by co-precipitation method

Byung Chan Kwon, Wonrak Cha¹, Jung Gyu Jang¹, Minkyu Kim^{1*}, No-Kuk Park, Byeong Gi Kim²,
 Jong Wook Bae², Tae-Wan Kim³, Ho-Jeong Chae³
Institute of Clean Technology, Yeungnam University
¹*School of Chemical Engineering, Yeungnam University*
²*School of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University*
³*Korea Research Institute of Chemical Technology*

초록

본 연구에서는 COx의 화학적 전환에 의한 석유화학 제품생산의 일환으로 CO₂ 및 CO의 수소화에 의한 메탄올 및 DME 그리고 탄화수소(HC)를 합성한 후 생성물의 방향족화를 통해 BTX 합성을 수행하기 위한 하이브리드 촉매를 제조 및 성형하였다. COx 수소화 반응은 Cu-Zn-Al계 촉매의 최적화를 통해 조성을 결정하였으며, Aromatics 화합물로 전환하기 위하여 ZSM-5계 촉매를 적용하였다. COx로부터 Aromatics 화합물을 합성하기 위해서는 수소화반응단계와 방향족화 반응단계로 공정을 분리하거나, 하나의 촉매에 수소화 및 방향족화가 동시에 일어나도록 하는 하이브리드형 공정이 운영될 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 공침법으로 제조된 Cu-Zn-Al계 분말촉매와 함께 Cu-Zn계 분말촉매와 ZSM-5촉매가 혼합된 혼성촉매를 제조한 후 압출성형법에 의해서 성형 촉매를 제조하였다. 특히, 혼성촉매의 제조과정에서 분말촉매의 물리적 혼합 또는 ZSM-5 분말 촉매상에서 Cu-Zn계 촉매의 공침으로 분말촉매를 제조한 후 성형하는 방식으로 촉매를 제조한 후 성형하여 두 방식에 따른 촉매 성능차이를 확인하였다.

참고문헌

1. Junfeng Zhang et al., "Hydrogenation of CO₂ into aromatics over a ZnCrOx-zeolite composite catalyst", *Chemical Communications*, 55, 973-976 (2019).

사사

본 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (RS-2023-00261088)

메탄 건식 개질 Ni계 복합 산화물 촉매의 반응물과 첨가물에 의한 반응성

장정규, 권병찬¹, 박노국^{1*}, 김민규¹, 강도형²

¹영남대학교, ²서울과학기술대학교

Methane Dry Reforming of Ni-based Complex Oxide Catalysts : Reactivity by Reactants and Additives

Jung Gyu Jang, No-Kuk Park^{1*}, Minkyu Kim¹, Dohyoung Kang²

¹Yeungnam University, ²Seoul National University of Science and Technology

초록

세계는 기후 변화로 인해 많은 피해를 겪고 있다. 기후 변화의 주범 중 대표적인 것이 온실 가스이다. 세계는 온실 가스를 줄이기 위해 노력을 하고 있으며, 줄이는 동시에 활용할 수 있는 방안을 마련하였다. 그 기술들 중 하나가 바로 CCUS 기술이다. CCUS 기술은 이산화탄소를 포집 및 활용하는 기술이다. CCUS 기술 중 하나인 메탄 건식 개질 반응(Dry Reforming of Methane, DRM)은 주요 온실 가스들 중 하나인 메탄과 이산화탄소를 촉매 반응을 이용하여 공업용 합성 가스인 일산화탄소와 수소를 생산하는 기술이다.

본 연구에서는 메탄 건식 개질 반응에서 촉매로 활용할 수 있는 Ni계 복합 산화물 촉매를 합성하였다. Ni는 산화물 기준으로 10 wt%을 첨가하여 NiAl₂O₄ 촉매를 합성하였으며, 이 촉매들은 공침법과 함침법으로 각각 제조하여 DRM 반응을 조사하였다. 반응 온도는 800°C로 고정해서 CH₄/CO₂ 반응물의 분압을 0.25~4로 변화시키면서 실험을 진행하였으며, 이를 통해 각각의 조건별 전환율과 CO/H₂ 비를 확인하였다. 이를 통해, 촉매의 제조법 및 촉매의 조건별 반응성을 확인하였다.

한편, Ni-Mg-Al₂O₃ 촉매는 공침법으로 합성하였으며, Ni과 Mg는 산화물을 기준으로 하여 각각 7.5 wt%, 2.5 wt%를 첨가하였다. 실험의 반응 온도와 반응물의 분압은 앞서 언급한 조건과 동일하게 하여 실험을 진행하였으며, 조건별 전환율과 CO/H₂ 비를 확인하였다. 그 결과를 통해 Ni 계 복합 산화물 촉매에서 Mg가 반응에 어떠한 영향을 미치는 지를 조사하였다.

참고문헌

1. Y.J.O. Ascencios, E.M. Assaf, "Combination of dry reforming and partial oxidation of methane on NiO-MgO-ZrO₂ catalyst: effect of nickel content" Fuel Process Technol, 106 (2013), pp.247-252

사사

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단(NRF)으로부터 지원을 받아 수행한 연구 결과입니다. (NRF-2022M3J2A)

CO₂ 수소화에 의한 메탄올 합성용 Cu-Zn-Al계 촉매에 Mg첨가 영향

차원락, 장정규, 권병찬¹, 김민규, 박노국^{1*}, 이승우*, 김병기², 배종욱², 채호정³
 영남대학교 화학공학부, ¹영남대학교 청정기술연구소, ²성균관대학교 화학공학부, ³한국화학연구원

Effect of Mg addition on Cu-Zn-Al-based catalyst for methanol synthesis by CO₂ hydrogenation

Wonrak Cha, Jung Gyu Jang, Byung Chan Kwon¹, Minkyu Kim,
 No-Kuk Park^{1*}, Seung Woo Lee*,
 Byeong Gi Kim², Jong Wook Bae², Ho-Jeong Chae³
 School of Chemical Engineering, Yeungnam University
¹Institute of Clean Technology, Yeungnam University
²School of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University
³Korea Research Institute of Chemical Technology

초록

날로 이상 기후 등의 기후변화 현상이 증가하고 있는 가운데 이에 적극적으로 대응하기 위한 방안으로 탄소중립기술의 개발 및 확대가 절실히 필요한 실정이다. 따라서 온실가스 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 이산화탄소를 이용한 화학물질로의 전환은 온실가스의 감축과 함께 사용가능한 화학제품을 생산할 수 있는 장점을 지닌다. 본 연구에서는 이산화탄소의 수소화 반응으로 메탄올 합성을 위한 Cu-Zn-Al계 촉매를 제조하여 50 atm 분위기에서 반응온도에 따른 CO₂ 전화율과 메탄올 수율 그리고 부반응에 의한 DME 및 CO 선택도를 조사하였다. 메탄올의 선택도를 증가시키기 위해서는 메탄올의 탈수반응에 의한 DME의 생성을 억제해야 하므로 메탄올 탈수반응의 활성점으로 작용하는 산점의 세기를 줄이는 것이 필요하다. 이에 Cu-Zn-Al계 촉매 제조를 위한 공침과정에서 Mg 첨가량을 변화시켜 Cu-Zn-Mg-Al계 촉매를 제조하였다. 제조된 촉매 상의 Mg/Al비를 2/1, 1/1, 1/2, 1/3, 1/4로 변화시킨 결과, Mg/Al비가 1/2인 촉매가 가장 높은 활성을 보였으며, 메탄올 선택도 또한 높은 것으로 확인되었다. 그리고 Mg를 첨가한 메탄올 합성용 촉매 상의 반응에서 탈수반응에 의한 DME의 생성은 확인되지 않았다.

참고문헌

1. Binglian Liang et al., "Investigation on Deactivation of Cu/ZnO/Al₂O₃ Catalyst for CO₂ Hydrogenation to Methanol", Industrial & Engineering Chemistry Research, 58(21), 9030-9037 (2019).

사사

본 연구는 한국전력공사의 사외공모 기초연구(단체)에 의해 지원되었음. [과제번호 : R23XO05-06]

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

특별세션(I):
석유화학산업 탄소중립을 위한
C1 기반 기초유분 생산
(포스터발표 I)

2024년 3월 28일(목) 09:00~11:00
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비

Highly Stable Platinum Nanoparticle Exsolution on Lanthanum Iron Oxide to Enhance Water-Gas Shift Reaction Performance

Yunkyung Kim, Myeong Gon Jang and Jeong Woo Han*

Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul, 08826, South Korea.

Exsolution, a controlled reduction process applied to ABO_3 perovskites, yields B-site metal nanoparticles on the surface, offering critical advantages such as uniform metal dispersion and enhanced thermal stability. The water gas shift reaction (WGS), essential in renewable hydrogen production, greatly benefits from exsolution catalysts featuring oxygen vacancies that facilitate efficient CO adsorption and oxidation. In this study, Pt-exsolved $LaFeO_3$ (LFPt-R) was synthesized, exhibiting superior catalytic activity and stability in WGS compared to Pt-impregnated $LaFeO_3$. Through a combination of characterization techniques including HR-TEM, XPS, and DRIFTS, we uncovered the structural properties of the LFPt-R catalyst and elucidated its advantageous mechanisms in the WGS reaction. This underscores the potential of exsolution methods for developing robust high-temperature WGS catalysts with promising applications in sustainable energy.

References

1. Hilaire, S., et al., "A comparative study of water-gas-shift reaction over ceria supported metallic catalysts." *Appl. Catal. A- Gen.*, **215**(1-2): 271-278 (2001).
2. Lindenthal, L., et al. "Modifying the surface structure of perovskite-based catalysts by nanoparticle exsolution." *Catalysts.*, **10**(3): 268 (2020).
3. Mendelovici, L. and M. Steinberg, "Methanation and water-gas shift reactions over $PtCeO_2$." *J. Catal.*, **96**(1): 285-287 (1985).
4. Neagu, D., et al., "Nano-socketed nickel particles with enhanced coking resistance grown in situ by redox exsolution." *Nature comm.*, **6**(1): 8120 (2015).
5. Palma, V., et al., "Platinum based catalysts in the water gas shift reaction: Recent advances." *Metals*, **10**(7): 866 (2020).
6. Parkinson, C., et al., "Reaction of atomic oxygen with a Pt (111) surface: chemical and structural determination using XPS, CAICISS and LEED." *Surf. Sci.*, **545**(1-2): 19-33 (2003).
7. Zhang, X., et al., "A stable low-temperature H_2 -production catalyst by crowding Pt on α -MoC." *Nature*, **589**(7842): 396-401 (2021)

The DFT study on enhancing the performance of non-oxidative coupling of methane with TiO₂ catalysts

Hyeonae Im¹, Yunkyung Kim², Juchan Kim³, Hoang Phuong Nguyen³, Chaesung Lim²,
Dong Hyeon Kim³, Myeong Gon Jang², Kyoung-Su Ha³, and Jeong Woo Han^{2*}

¹*Department of Chemical Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH),
Pohang 37673, Republic of Korea*

²*Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University, Seoul, 08826, South Korea*

³*Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Sogang University, 35 Baekbeom-Ro, Mapo-Gu,
Seoul 04107, Republic of Korea*

The progress in methane-reforming technology holds significant importance in addressing environmental concerns related to climate change and the finite reserves of petroleum. Despite the challenges posed by the inherent stability of methane during conversion processes, the introduction of non-thermal plasma offers a potential solution to overcome this barrier in direct methane conversion. This method has the capability to decrease the activation energy of the rate-determining step and create a new volcano plot by breaking the scaling relation. As a result, even when employing the same catalyst, the use of plasma is likely to boost catalytic activity and reduce the operational temperature.

In this research, we conducted a theoretical analysis to further comprehend the influence of plasma on methane conversion, with a specific focus on TiO₂ doped with 3d transition metals. Notably, previous studies showed that TiO₂ catalysts have resistance to coke formation during methane conversion reactions in a plasma environment¹. Utilizing the TiO₂ catalyst, our analysis initiated by determining the reaction and activation energies for each stage of the process, unveiling a direct or inverse correlation with the oxygen vacancy formation energy. Subsequently, we applied plasma-incorporated microkinetic modeling to compute the turnover frequency (TOF). The results revealed that, under plasma conditions, both catalytic activity and selectivity exceeded those observed in reactions conducted without plasma. Additionally, we identified optimal dopants for TiO₂ catalysts, offering valuable insights for the development of TiO₂-based catalysts tailored for plasma-assisted methane coupling processes. These findings contribute to the efforts to improve the performance and sustainability of methane direct conversion technologies.

References

1. Ha, K. -S., et al., "Plasma-Assisted Catalytic Effects of TiO₂/Macroporous SiO₂ on the Synthesis of Light Hydrocarbons from Methane" *ChemCatChem*, **12**(20), 5067-5075 (2020).

Design of a tandem catalyst for light olefin production from CO₂ and H₂: Screening of mixed oxides on methanol conversion

Woosong Jeon^{1,2}, Mansurbek Urol ugli Abdullaev³, Sung Tak Kim^{2,*}, Yong Tae Kim^{1,3*}

¹Hydrogen & CI Gas Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology

²Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, Chung Nam University

³Department of Advanced Materials and Chemical Engineering, University of Science and Technology

*Email : ytkim@kriect.re.kr, sunnykim@cnu.ac.kr

The rapid increase in greenhouse gas (GHG) emissions, including CO₂ and CH₄, with the advancement of industry has led to unpredictable climate changes. Strategies that utilize CO₂ and CH₄, such as CO₂ hydrogenation and dry reforming, have received industrial attention. Among these, the oxide-zeolite composite catalysts (OXZEO) have recently attracted significant attention because of their excellent selectivity towards light olefins in CO₂ hydrogenation. In the mixed oxide of this catalyst, CO₂ is converted to CO, followed by the production of oxygenates such as methanol and dimethyl ether (DME). These are then converted into light olefins on the zeolitic surfaces. Despite the large number of mixed oxides being studied with molecular sieves such as zeolites and silicoaluminophosphates [1–4], there are challenges in increasing the yield of light olefins while minimizing byproducts to improve the carbon efficiency.

Herein, we demonstrate the screening of mixed oxides (Zn-Cr, Zn-Zr, Zn-In, and Zn-Ga) in the production of light olefins. We chose methanol as a model compound and evaluated its catalytic performance by selecting selectivities for DME, methane, and C₂-C₄ hydrocarbons as the screening parameters. The high-throughput screening results were extended to the CO₂ hydrogenation reaction to validate their potential as tandem catalysts. Through this, we attempted to elucidate the correlation between the catalytic active sites and reaction activity.

References

1. Jiao et al. Selective Conversion of Syngas to Light Olefins. *Science*, 351, 1065–1068 (2016).
2. Cheng et al. Direct and Highly Selective Conversion of Synthesis Gas into Lower Olefins: Design of a Bifunctional Catalyst Combining Methanol Synthesis and Carbon-Carbon Coupling. *Angew. Chem., Int. Ed.* 55, 4725– 4728 (2016).
3. Ni et al. Realizing and Recognizing Syngas-to-Olefins Reaction via a Dual-Bed Catalyst. *ACS Catal.*, 9, 1026–1032 (2019).
4. Gao et al. Direct Production of Lower Olefins from CO₂ Conversion via Bifunctional Catalysis. *ACS Catal.*, 8, 571– 578 (2018).

Bimetallic Mo/HZSM-5 catalysts for methane dehydroaromatization

Jin-Ju Lee^{1,2}, Sungwoo Lee¹, Youn-Sang Bae^{*2}, Yong Tae Kim^{*1,3}

¹Hydrogen & C1 Gas Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon, 34114, Republic of Korea, ²Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University, 50 Yonsei-ro, Seoul, 03722, Republic of Korea, ³Department of Advanced Materials and Chemical Engineering, University of Science and Technology (UST), Daejeon, 34113, Republic of Korea

*Corresponding authors, mowbae@yonsei.ac.kr, ytkim@kriict.re.kr

Abstract

Over the past few decades, numerous attempts have been made to develop a chemical process for converting methane into hydrocarbons, rather than as an energy source. The key carbon neutrality issue is that the methane in the reaction must not produce carbon dioxide. Methane dehydroaromatization (MDA) is a non-oxidative process that satisfies this requirement and has been explored since Wang et al. [1] reported the first active MoO₃/HZSM-5 catalyst in 1993. The metal-acid bifunctionality of MoO₃/HZSM-5 favors the formation of benzene co-produced with hydrogen through the initial C-H activation of methane, followed by a series of C-C couplings and cyclizations. The equilibrium conversion of methane was almost achieved with high benzene selectivity in MDA at 700-750 °C. The key challenge with MDA is how the catalyst increases the deactivation rates, mostly induced by coke deposits [2,3].

Here, we studied the effect of 2nd metals on Mo/HZSM-5 to improve MDA performance. Depending on the type of secondary metal, we found that the proximity between the metallic sites and acidic sites is modulated, which changes the initial activity and stability. This study compares the activities and stabilities of mono- and bi-metallic catalysts to further discuss a better method for the design of MDA catalysts.

References

1. Wang, L., Tao, L., Xie, M. et al. "Dehydrogenation and aromatization," *Catal Lett*, **21**, 35–41 (1993).
2. Schwach, P., Pan, X., and Bao, X. "Direct Conversion of Methane," *Chem. Rev.*, **117**(13), 8497-8520 (2017)
3. Liu, Y., Deng, D., and Bao, X., "Catalysis for Selected C1 Chemistry," *Chem.*, **6**(10), 2497-2514 (2020)

Controlling catalytic and reaction factors for regulating the distribution of aromatic products in n-butane aromatization over Ga/HZSM-5

Jangeon Roh, Yong Hyun Lim, Yeseul Hwang, Kihun Nam, Hae Won Ryu, and Do Heui Kim*
*School of Chemical and Biological Engineering, Institute of Chemical Processes, Seoul National University,
1 Gwanak-ro, Gwanak-Gu, Seoul 08826, Republic of Korea*

<Instructions for abstract>

Benzene, toluene, and xylene (BTX) are valuable feedstocks for chemical industry used in the production of styrene, nylon, and synthetic rubber [1, 2]. Selective production of BTX has the potential to enhance the overall economics of aromatics production and subsequent processes, due to their differing applications in the petroleum industry. Despite the economic significance of such selective BTX production, the individual selectivity of BTX and the corresponding mechanisms of their generation have not been thoroughly investigated. Thus, this study aims at exploring the factors varying the distribution of BTX and their respective trends of variation during n-butane aromatization over Ga/HZSM-5. This study demonstrates that the selective production can be achieved by controlling conditions that significantly influence product distribution, including reaction temperature, extent of catalyst deactivation, and the distribution of acid sites. The selectivity of benzene relative to toluene increased with increasing reaction temperature, while it decreased with an increase in catalyst aging time. In addition, Ga/HZSM-5 with a low Si/Al ratio exhibited a pronounced preference for benzene. Further experiments suggested that the distinct role of protolytic cracking over Brønsted acid sites may contribute to the shift in aromatics distribution towards benzene during the series reaction, whereas the dehydrogenation over Ga Lewis acid sites plays a promotional role in the shift towards toluene.

References

1. Niziolek, A.M., Onel, O., Guzman, Y.A., and Floudas, C.A., "Biomass-Based Production of Benzene, Toluene, and Xylenes via Methanol: Process Synthesis and Deterministic Global Optimization," *Energy Fuels*, 30, 4970-4998 (2016).
2. Kostyniuk, A., Bajec, D., and Likozar, B., "Catalytic hydrocracking reactions of tetralin as aromatic biomass tar model compound to benzene/toluene/xylenes (BTX) over zeolites under ambient pressure conditions," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 96, 130-143 (2021).

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

에너지저장 특별심포지엄

(포스터발표 II)

2024년 3월 28일(목) 13:00~15:00
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비

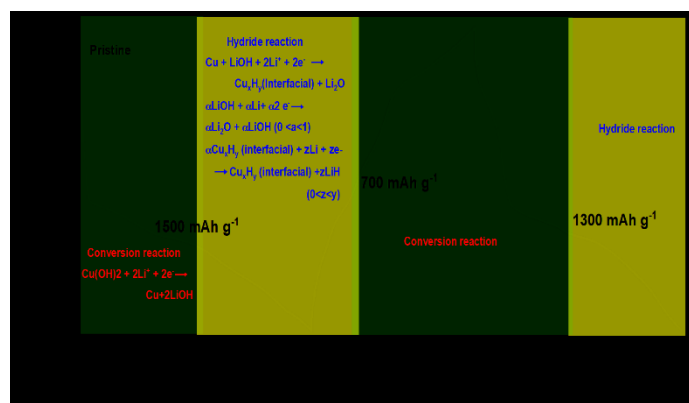
Revolutionizing Energy Storage: Cu(OH)₂-CuO Nanowires on Cu Foil with Hydrate Formation for Superior Discharge Capacity

Srinivasan Alagar, En-Mei Jin, Chandra Sekhar Rout, Sang Mun Jeong*
**Department of Chemical Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 28644, Republic of Korea*

Abstract

Current lithium-ion batteries, rooted in traditional reactions, face challenges in meeting evolving energy demands, particularly for electric vehicles. This research focuses on elevating battery technology through innovative electrochemical phenomena. By precisely tuning electrochemical parameters, Cu(OH)₂ nanowires' dimensions are optimized, showcasing an initial discharge capacity of 3069 mAh g⁻¹, threefold its theoretical value. X-ray diffraction analyses reveal nanoscale Cu metal and LiOH during high-voltage conversion reactions, leading to Cu_xH_y, Li₂O, and LiH formation in low-voltage hydride reactions. This unconventional process yields a capacity surpassing theoretical limit. Integrating Cu(OH)₂-CuO as an anode and LiNi_{0.8}Mn_{0.1}Co_{0.1}O₂ as the cathode in a complete cell demonstrates a notable reversible capacity of 670 mA h g⁻¹, retaining over 70% capacity after 200 cycles. This study enriches our understanding of lithium storage capabilities in nanostructured materials, offering insights for advanced electrode materials with unparalleled energy density, paving the way for the next battery era.

Keywords: Lithium-ion batteries, Electrochemical mechanisms, CuH formation, Energy density, Advanced electrode materials.



References

- Gao, P., Ju, S., Huang, Y., Xia, G., Sun, D., & Yu, X. (2024). Porous Magnesium Hydride Nanoparticles Uniformly Coated by Mg-Based Composites toward Advanced Lithium Storage Performance. *Small Structures*, 2300365.
- Kim, H., Choi, W. I., Jang, Y., Balasubramanian, M., Lee, W., Park, G. O., & Yoon, W. S. (2018). Exceptional lithium storage in a Co(OH)₂ anode: hydride formation. *ACS nano*, 12(3), 2909-2921.

고엔트로피 금속산화물을 이용한 리튬황전지의 전기화학적 특성

김은미, Xuang Liang Wang, 유호진, 정상문
충북대학교 화학공학과

Electrochemical Properties of High Entropy Metal Oxide used Lithium Sulfur Batteries

Eun Mi Kim, Xuang Liang Wang, Ho Jin Yoo, Sang Mun Jeong
Chemical Engineering, Chungbuk National University

초록

리튬황(Li-S) 전지는 차세대 에너지 저장 기술로 각광받고 있으며, 높은 이론 에너지 밀도 (약 2,500Wh/kg)를 가지고 있어, 기존 리튬이온 전지보다 더 많은 에너지를 저장할 수 있으며 이는 전기차의 주행거리를 획기적으로 늘릴 수 있다 [1]. 그리고 Li-S 전지는 지구상에 풍부하고 가격이 저렴한 황을 활성재료로 사용하므로 생산 비용을 줄일 수 있고 또한 황은 비독성 물질로써 환경친화적이다 [2]. 그러나 Li-S 전지는 몇 가지 해결해야 할 과제들도 있다. 리튬황 전지의 가장 큰 단점 중 하나는 상대적으로 짧은 사이클 수명이다. 전지를 충전하고 방전하는 과정에서 황이 리튬과 반응하여 리튬 폴리설파이드(Li₂S_x)를 형성하여 셔틀반응을 일으키게 되는데, 이 과정에서 전극이 점차 비활성화되고 전지의 용량이 감소한다. 황 활물질의 충방전 과정에서의 체적 팽창에 따른 전지의 구조적 안정성이 저하되고 수명 단축을 초래하며, 황은 전기 전도성이 낮아, 전극 내에서 전자와 리튬 이온의 이동을 원활하게 하기 위해 전도성 물질과 반드시 함께 사용해야 한다. 그리고 Li-S 전지에서도 리튬 이온 전지와 마찬가지로 리튬 덴드라이트 형성으로 인한 단락으로 전지의 성능 저하나 안전성 문제를 야기한다 [3,4]. 고엔트로피 금속산화물을 이용한 Li-S 전지는 전통적인 리튬황 전지의 성능을 개선하기 위한 혁신적인 접근 방식 중 하나로, 고엔트로피 합금과 유사하게 5종 이상의 다양한 금속 원소들이 고르게 혼합된 복합산화물을 말한다. 고엔트로피 금속산화물은 다양한 금속 원소의 혼합으로 인하여 산화물의 화학적 안정성을 증가시켜 Li-S 전지의 수명과 성능을 향상시키는 데 기여할 수 있다. 그리고 특정 고엔트로피 금속산화물은 전자와 이온의 이동을 용이하게 하는 뛰어난 전도성으로 전지의 전하 이동 효율을 향상시킬 수 있으며, 고온에서도 안정적인 성질을 유지할 수 있는 높은 열적 안정성을 가지고 있다 [5,6]. 본 연구에서는 이러한 독특한 성질을 갖는 고엔트로피 금속산화물을 다공성 파이버로 제조하여 황 활물질을 로딩하는 담지체로 활용하고자 하였고 이를 이용한 Li-S 전지의 전기화학적 특성에 대해 조사하였다. 본 연구에서는 다공성 중공 구조의 고엔트로피 금속산화물 파이버를 제조하여 황 활물질의 전도성을 높이고 부피팽창 및 셔틀반응 억제하고자 하였으며, 0.1A/g의 전류밀도에서 초기에 약 1,300 mAh/g의 방전용량을 나타내었고 1 A/g의 전류밀도에서 약 600 mAh/g의 방전용량을 나타내었다.

참고문헌

1. Seh Z. W. et al. "Designing high-energy lithium-sulfur batteries," *Chem. Soc. Rev.*, 45(20), 5605-5634 (2016).
2. Manthiram A. et al. "Challenges and Prospects of Lithium-Sulfur Batteries," *Acc. Chem. Res.*, 46(5), 1125-1134 (2013).
3. Wang X. L. et al. "Electrochemical performance of electrospun lotus-root-structure porous multichannel carbon nanotubes for lithium-sulfur battery applications," *J. Electroanal. Chem.*, 878, 114564 (2020).
4. Lin B. et al. "Recent advances in rare earth compounds for lithium-sulfur batteries," *eScience, In press* 100180 (2023).
5. Rost C.M. et al. "Entropy-stabilized oxides," *Nat. Commun.*, 6, 8485 (2015).
6. Talluri B. et al. "High entropy spinel metal oxide (CoCrFeMnNi)₅O₄ nanoparticles as a high-performance supercapacitor electrode material," *J. Energy Storage*, 42, 103004 (2021).

Exploring Catalytic Cooperation of $\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x}\text{S}_2$ Electrocatalyst System on N-doped Carbon Nanotubes for Rechargeable Li-S Battery Cathode

Junhyuk Ji^a, Minseon Park^a, Seochan Hong^b, Gwan Hyeon Park^a, Won Bae Kim^{a,b*}

^a*Department of Chemical Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH), 77 Cheongam-ro, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea (37673)*

^b*Graduate Institute of Ferrous & Eco Materials Technology, Pohang University of Science and Technology (POSTECH), 77 Cheongam-ro, Nam-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea (37673)*

Despite high theoretical energy density, Li-S batteries still need to fundamentally overcome sluggish redox kinetics of lithium polysulfides (LiPSs) and low sulfur utilization. Here, highly active cathode catalyst of nitrogen-doped porous carbon nanotubes (NPCTs) decorated with $\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x}\text{S}_2$ is systematically synthesized as multi-functional electrocatalytic materials. Both experimental and computation-based theoretical analyses validate the electrocatalytic principles of facilitated redox reaction dominated by covalent-site-dependent mechanism; the favorable adsorption-interaction and electrocatalytic conversion of LiPSs occur subsequently by weakening sulfur-bond strength on the catalytic $\text{Ni}(\text{OH})_2\text{-S-Co}(\text{OH})_2$ backbones via octahedral TM-S (TM=Ni,Co) covalency-relationship, demonstrating that fine tuning of $\text{Co}(\text{OH})_2^+$ sites by $\text{Ni}(\text{OH})_2^+$ effectively modulates the binding energies of LiPSs on the $\text{Ni}_x\text{Co}_{1-x}\text{S}_2@\text{NPCTs}$ catalyst surface. Noteworthy, the $\text{Ni}_{0.261}\text{Co}_{0.739}\text{S}_2@\text{NPCTs}$ catalyst shows excellent cyclic stability with a capacity up to 511 mAh g⁻¹ and only 0.055% decay per cycle at 5.0C during 1000 cycles together with a high areal capacity of 2.20mAh cm⁻² under 4.61mg cm⁻² sulfur loading even after 200 cycles at 0.2C. This strategy highlights new perspective for achieving high-energy-density batteries.

Anion Storing, Oxygen Vacancy Incorporated Perovskite Oxide Composites for High-Performance Aqueous Dual Ion Hybrid Supercapacitors

Taehun Kang¹, Puritut Nakhavij^{1,2}, Kyung Jae Wang¹, Yu Chen³,
Yongchul G Chung³, Ho Seok Park^{1,4,5,6}

¹*School of Chemical Engineering, College of Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Republic of Korea*

²*Warwick Manufacturing Group (WMG), University of Warwick, Coventry CV4 7AL, United Kingdom*

³*School of Chemical Engineering, Pusan National University, Geumjeong-gu, Busan,
Gyeongsangnam-do 46241, Republic of Korea*

⁴*SKKU institute of Energy Science and Technology (SIEST), Sungkyunkwan University, 2066, Seoburo,
Jangan-gu, Suwon, 440-746, Republic of Korea*

⁵*SKKU Advanced Institute of Nano Technology (SAINT), Sungkyunkwan University, 2066, Seoburo, Jangan-gu,
Suwon, 440-746, Republic of Korea of Korea*

⁶*Department of Health Sciences and Technology, Samsung Advanced Institute for Health Sciences and Technology
(SAIHST), Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Republic of Korea*

Dual ion storage hybrid supercapacitors (HSCs) are considered as a promising device to overcome the limited energy density of existing supercapacitors while preserving high power and long cyclability. However, the development of high-capacity anion-storing materials, which can be paired with fast charging capacitive electrodes, lags behind cation-storing counterparts. Herein, we demonstrate the anion storage mechanism of pseudocapacitive anion storing perovskite oxide composites and their application in high-performance dual ion HSCs. The oxygen vacancy and nanoparticle size of the reduced LaMnO₃ (r-LaMnO₃) were controlled, while r-LaMnO₃ was chemically coupled with ozonated carbon nanotubes (oCNTs) for the improved anion storing capacity and rate performance. As taken by in-situ and ex-situ spectroscopic and computational analyses, OH ions are inserted into the oxygen vacancies coordinating with octahedral Mn with the increase in the oxidation state of Mn during the charging process or vice versa. Configuring OH⁻ storing r-LaMnO₃/oCNT composite with Na⁺ storing MXene, the as-fabricated aqueous dual ion HSCs achieved the cycle performance of 73.3% over 10,000 cycles, delivering the maximum energy and power densities of 47.5 W h kg⁻¹ and 8 kW kg⁻¹, respectively, far exceeding those of previously reported aqueous anion and dual ion storage cells. This research establishes a foundation for the unique anion storage mechanism of the defect engineered perovskite oxides and the advancement of dual ion hybrid energy storage devices with high energy and power densities.

Electrospray-Based Production of Energy Storage Device Electrode

Hyunchul Kim¹, Ho Seok Park^{1,2,3,4}

¹*School of Chemical Engineering, College of Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Republic of Korea*

⁴*SKKU institute of Energy Science and Technology (SIEST), Sungkyunkwan University, 2066, Seoburo, Jangan-gu, Suwon, 440-746, Republic of Korea*

⁵*SKKU Advanced Institute of Nano Technology (SAINT), Sungkyunkwan University, 2066, Seoburo, Jangan-gu, Suwon, 440-746, Republic of Korea of Korea*

⁶*Department of Health Sciences and Technology, Samsung Advanced Institute for Health Sciences and Technology (SAIHST), Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Republic of Korea*

In recent times, there has been a growing interest in energy storage devices such as supercapacitors and batteries. This interest is driven by the need for efficient energy storage solutions in various applications. In recent years, there have been several studies focusing on the production of electrodes for these devices using a technique called electrospray.

Electrospray, a well-established technique in the field of nanotechnology and materials science, involves the controlled atomization of a solution or suspension through an electric field, resulting in the generation of fine droplets. These droplets can be precisely deposited onto a substrate to form thin films or coatings with high surface area and tailored properties.

The advantages of using electrospray for electrode manufacturing are numerous. Firstly, it allows for the deposition of materials at the nanoscale, which increases the specific surface area and enhances the movement of ions within the electrode material. Secondly, electrospray offers the flexibility to use a wide range of materials, including conductive polymers, metal oxides, and carbon-based substances, allowing for versatile electrode design. Thirdly, this technique provides precise control over the thickness and structure of the electrode, which can be optimized for specific energy storage applications. The ability to create uniform and highly porous electrode structures enhances the overall energy density, power density, and lifespan of these devices.

Consequently, this technology is gaining attention as a promising electrode production method that has the potential to contribute to the development of next-generation energy storage systems, offering improved performance while reducing environmental impact.

수계 아연 전지의 덴드라이트 성장 억제를 위한 V_2O_5 코팅

이태현, 이지원, 엄지현*
공주대학교 화학공학부

Suppression of Dendrite Growth Using V_2O_5 Coating for Aqueous Zinc Battery

Taehyun Lee, Jiwon Lee, Ji Hyun Um*
Department of Chemical Engineering, Kongju National University

현재의 리튬이온전지 기술은 안전성 문제로 인해 대용량 에너지 저장 장치(ESS) 적용에 한계를 가지고 있다. 이러한 문제로 인해 대용량 ESS를 위한 차세대 수계 전지 기술이 개발되고 있다. 수계 아연 전지는 다른 수계 전지와 비교했을 때 친환경적이며 경제성 및 에너지 밀도가 우수하여 적합한 수계 전지로 주목받고 있다. 그러나 수계 아연 전지는 사이클 진행에 따른 아연 금속 덴드라이트(Dendrite)의 발생으로 인해 셀 단락을 야기하여 낮은 사이클 수명을 가지는 문제가 존재한다. V_2O_5 (Vanadium pentoxide)는 친수성 및 안정적인 화학적 특성을 가지고 있으며 경제성이 우수하여 현재 광범위하게 사용되고 있는 무기산 화물이다[1]. 이러한 특성을 가진 V_2O_5 를 아연 음극 위에 친수성 Polyethylene glycol과 혼합하여 코팅한다. 코팅된 V_2O_5 가 아연 이온의 환원을 전극 표면에 일정하게 유도하여 덴드라이트 형성을 억제해 수계 아연 전지의 셀 단락을 예방한다[2]. 본 연구에서는 V_2O_5 의 농도 및 두께 등을 조정하여 코팅 조건을 최적화하였으며 코팅된 전극을 실시간 이미징 분석을 통하여 아연 전극 표면의 덴드라이트 억제 효과를 확인하였다.

참고문헌

1. Indhumathi S.R. et al. "Synthesis of Stable and Highly Oxygen Deficient V_2O_5 Thin Films for Physical Functionalization of Nanofiltration Membranes" Materials Science in Semiconductor Processing 100, 185-191 (2019).
2. Zhang, Qi, et al. "Revealing The Role of Crystal Orientation of Protective Layers for Stable Zinc Anode." Nature Communications 11.1, 3961 (2020).

수계 아연 전지 안정화에 대한 PVA와 PVP의 시너지 효과

이예나, 전민혁, 엄지현*
공주대학교 화학공학부

Synergy Effect of PVA and PVP on Stabilization of Aqueous Zinc Batteries

Yena Lee, Minhyeok Jeon, Ji Hyun Um*
Department of Chemical Engineering, Kongju National University

수계 아연 전지는 높은 안전성과 이론 용량, 적합한 산화환원 전위, 저렴한 비용 및 친환경성을 가진 아연 금속 음극의 장점으로 인해 높은 에너지 및 안전성 에너지 저장 응용 분야에서 각광받고 있다[1]. 그러나 덴드라이트 형성으로 이어지는 불균일한 아연 증착과 아연 음극의 부식 및 수소 발생 반응 등의 아연 금속 음극과 관련된 문제점들은 수계 아연 전지의 낮은 수명 특성에 큰 영향을 준다. 본 연구에서는 아연 음극의 안전성과 효율을 증가시키기 위해 수소가 풍부한 poly vinyl alcohol(PVA)과 아연 금속을 향한 유기층의 강한 부착을 목적으로 하는 poly vinyl pyrrolidone(PVP)으로 구성된 표면층을 설계하였다[2,3]. PVA 및 PVP 단일 코팅 층 대비 PVA와 PVP를 혼합한 코팅 층이 덴드라이트 형성을 억제하고 부식 및 수소 발생 반응을 완화하여 수계 아연 전지의 안전성을 확보함으로써 시너지 효과를 확인하였다.

참고문헌

1. Chen, X. et al., "Polyvinyl Alcohol Coating Induced Preferred Crystallographic Orientation in Aqueous Zinc Battery Anodes," *Nano Energy*, **98**, 107269 (2022).
2. Manavalan, P. et al., "Characterization of Blend Polymer PVA-PVP Complexed with Ammonium Thiocyanate," *Springer*, **22**, 1299-1310 (2016).
3. Koczur, K. et al., "Polyvinylpyrrolidone (PVP) in Nanoparticles Synthesis," *Dalton Trans.*, **44**, 17883-17905 (2015).

수계 아연 전지 안정화를 위한 친수성 고분자 층 도입

김수연, 조준희, 엄지현*
공주대학교 화학공학부

Introduction of Hydrophilic Polymer Layer for Stabilization of Aqueous Zinc Battery

Suyeon Kim, Junhee Cho, Ji Hyun Um*
Department of Chemical Engineering, Kongju National University

금속 아연(Zn)은 낮은 표준산화환원 전위(-0.76 V)와 높은 이론용량(820 mAh/g)으로 인해 수계 전지에 적합한 음극 소재로 간주되고 있다. 아연 기반 전지는 매우 안전하고 낮은 비용을 갖으며 다음 세대 환경 친화적인 에너지 저장 장치로서 주목을 받고 있다[1]. 그러나 수계 아연 전지는 부반응인 수소 발생이 불가피하며, 반복되는 충전/방전 시 셀의 내부 압력이 지속적으로 높아지는 문제를 야기한다. 또한, 덴드라이트 성장 제어 어려움으로 인해 단락, 용량 손실, 사이클 성능과 쿨롱 효율 저하 등의 문제를 초래한다. 이 문제를 해결하기 위해, 아연 전극 표면에 보호 층을 형성하여 아연 전극의 부식을 방지하는 연구가 활발히 진행되고 있다[2]. 본 연구에서는 아연 전극 표면에 친수성 고분자 polyethylene glycol(PEG)을 코팅 층을 도입하여 수소 발생을 억제하고자 하였다. 이 코팅층은 부반응을 억제할 뿐만 아니라 아연 이온의 이동을 제한하여 균일한 아연 증착을 촉진시키는 역할을 하며, 전지의 성능을 향상시키는 데 효과적인 방법으로 제시된다. 이렇게 디자인된 PEG/Zn의 계면 효과를 다양한 분석을 통해 고찰하였다[3].

참고문헌

1. Shin, K.-H. et al., "Effects of Electrolyte Concentration on Growth of Dendritic Zinc in Aqueous Solutions," Transactions of the Korean Hydrogen and New Energy Society, **442**, 390-396 (2012).
2. Lyu, L. et al., "Improving the Cycling Performance of Silver-Zinc Battery by Introducing PEG-200 as Electrolyte Additive," Chem. Phys., **723**, 102-110 (2019).
3. Huyan, X. et al., "Polyethylene Glycol Coating on Zinc Powder Surface: Applications in Dendrite-Free Zinc Anodes with Enhanced Utilization Rate," Appl. Surf., **614**, 156209 (2023).

피치-유래 흑연질 탄소가 코팅된 실리콘/탄소 복합 마이크로스피어의 합성 및 리튬이차전지 음극으로의 적용

오건희, 조중상*
충북대학교 공업화학과

고에너지 밀도의 리튬이차전지에 대한 수요가 급증함에 따라 흑연 음극을 대체할 음극 소재에 대해 많은 관심이 집중되고 있다. 이에 따라 풍부한 매장량과 친환경성, 고에너지 밀도를 장점으로 지닌 실리콘이 차세대 리튬이차전지 음극 소재로서 주목받고 있다. 그러나 실리콘은 합금/탈합금화 과정에서의 큰 부피 팽창(~360%)으로 인한 열악한 수명 특성이 극복해야 할 문제로 제기된다. 본 연구에서는 높은 이론 용량 (3590 mAh/g)을 갖는 실리콘을 분무 건조 공정을 통해 ZIF-8(zeolitic imidazolate framework-8) 및 탄소와 복합하여 마이크로스피어를 합성하였다. 이후 고온의 후열처리 공정을 거쳐 ZIF-8에서 유래한 중공형 탄소 나노 케이지를 생성하여 피치가 구조체 내부에 침투하기 용이하게 하였다. 코팅 공정을 통해 구조체에 균일하게 코팅된 피치는 전기전도성이 높은 흑연질 탄소를 형성하여 율속 특성 향상에 기여하며, 구조체의 밀도를 증가시켜 실리콘의 부피 변화를 효과적으로 수용하였다. 피치-유래 흑연질 탄소가 코팅된 실리콘/탄소 복합 마이크로스피어는 리튬이차전지 음극으로 적용 시, 1.0 A/g의 전류밀도에서 500 사이클 후 653 mAh/g의 방전 용량을 나타내었으며 사이클 당 0.08%의 안정적인 평균 용량 감소율을 보였다. 또한 5.0 A/g의 고전류밀도에서도 314 mAh/g의 가역적인 방전 용량을 나타내었다.

Keywords: 리튬이차전지, 실리콘 음극, 분무 건조 공정, 피치-유래 흑연질 탄소, Zeolitic imidazolate framework-8

수계 바인더에 따른 리튬황 전지의 전기화학적 특성

한진석¹, 박강환¹, 김재광^{2*}

Jinseok Han, Ganghwan Park¹, Jae-Kwang Kim^{2*}

청주대학교 에너지융합학과

E mail: ghi05074@cju.ac.kr

Abstract

리튬황 전지는 높은 이론 용량(1672mAh/g)과 풍부한 자원량을 가지고 있어 가격이 싸다는 장점이 있다. 리튬황 전지의 활물질 제조에 필요한 바인더는 주로 PVDF(Polyvinylidene Fluoride)가 사용되고 있다. 그러나 PVDF는 유럽 및 세계 각지에서 사용을 제한하고 있다. 또한 유기 전해질에서 팽윤이 발생하고 용해와 같은 특성으로 인해 사이클이 진행됨에 따라 전극의 구조가 무너지거나 분쇄된다. 이를 대체하기 위해 수계 바인더에 대한 연구가 상당히 진행되었다. 수계 바인더를 사용한 전지의 전압이 4V대로 증가하면 전극의 구조가 붕괴될 수 있기 때문에 낮은 전압을 가지고 있는 전지에서 사용된다. 또한 독성이 없고 친환경적인 특성을 가지고 있다. 그리고 고로딩화가 필요한 리튬황 전지의 특성으로 인해 점 결합의 PVDF보다 선 결합의 수계 바인더가 더 유리하다.

본연구에서는 상용 바인더인 PVDF와 수계 바인더인 CMC-SBR(Carboxymethyl Cellulose-Styrene Butadiene Rubber), PVA(Polyvinyl Alcohol)와 PVP(Polyvinylpyrrolidene)로 황 전극을 제조하였으며 이 전극으로 리튬황 전지를 제조하였다. PVDF와 수계 바인더인 CMC-SBR, PVA 및 PVP로 제조한 전지의 전기화학적 특성과 거동을 비교하였다.

바이오매스 기반 도전재를 적용한 유기 라디칼 전지 전기화학적 특성

김채정¹, 김재광^{1,*}

¹ 청주대학교 에너지융합학과 (email:jaekwang@cju.ac.kr)

초록

리튬이온전지는 전세계적인 에너지 위기와 환경 오염에 대한 문제를 해결하기 위해 연구되었다. 그러나 제한된 원료로 인해 경제성이 떨어지고 있으며 그에 대한 대체 방안이 필요하다. 유기 기반 산화환원 활성 물질을 적용한 전지인 유기 라디칼 전지는 바이오매스 기반 풍부한 자원을 공급받을 수 있어 리튬이온전지의 문제점을 보완할 수 있는 차세대 배터리의 후보로 유망하다.

본 연구에서는 유기 라디칼 전지의 활물질 중 poly(2,2,6,6-tetramethylpiperidine-N-oxyl-4-vinyl ether) (PTVE) 와 바이오매스 탄소인 대나무 활성탄을 활용하여 친환경 유기 라디칼 배터리를 만들었다. PTVE는 안정적인 산화환원 전위(3.55V), 높은 이론 용량(135mAh/g), 빠른 산화환원 속도로 고속 충방전이 가능하여 안전하면서도 가역적인 특성을 가지고 있다. 유망한 화합물 중 하나인 니트록사이드는 높은 전위(리튬 대비 3.5-4.0v)에서 작동이 가능하여 리튬 이온 전지에 맞먹는 에너지를 가질 수 있다.

우리는 FE-SEM 이미지 분석을 통해 유기 라디칼 활물질의 입자와 대나무 활성탄의 입자 구성을 확인하였으며 XPS, XRD 분석을 통하여 전기 전도도에 대하여 분석하였다. 충방전 그래프를 통해 대략 102mAh/g (이론 용량의 75%)의 용량을 얻었음을 확인하였고 수명과 안전성을 확보하여 친환경 배터리의 전기화학적 특성을 확인하였다.

수계 아연 이온 전지용 세라믹 복합 겔 폴리머 전해질

유승민, 김재광*

Department of Energy Convergence Engineering, Cheongju University,

Cheongju, Chungbuk 28503, Republic of Korea

(Email: youck3817@cju.ac.kr)

리튬이온배터리(LIB)는 전기 에너지 저장장치의 가장 극단적인 응용 사례로서, 고에너지 밀도뿐만 아니라 긴 충전/방전 수명 주기도 보여지고 있다. 그러나 안전 문제, 리튬 금속의 압출, 덴드라이트 성장 및 높은 비용과 함께 리튬 금속의 제한된 자원과 같은 일부 고유한 문제로 인한 리튬이온배터리의 사용이 제한되고 있다. 차세대 전지 중 하나인 아연이온배터리(ZIB)는 높은 이론 용량, 낮은 비용, 풍부한 자원, 낮은 전위, 높은 에너지 밀도 및 안정성으로 인해 위에서 언급한 문제를 해결하기 위한 유망한 후보다. 아연이온배터리는 액체, 고체 상태 및 겔 상태의 세가지 유형의 전해질이 포함되어 있다. 액체 상태의 전해질을 사용하는 수계 아연이온배터리는 일반적으로 초 내재성 배터리로 알려져 있다. 그러나 덴드라이트 성장, 산소 발생반응, 수소 발생반응 및 금속 아연 부식의 다양한 부작용 반응으로 인해 전기화학 반응을 악화시켰다.

본 연구에서는 아연이온배터리의 전기화학적 특성을 향상시키기 위해 전기방사 공정으로 제조된 세라믹 복합 겔 폴리머 전해질을 적용하였다. 다량의 수성 액체 전해질을 포함하는 겔 폴리머 전해질은 전기화학 적 안정성 창을 확장할 수 있는 물의 활성을 가지며 고용량 및 우수한 주기 안정성을 위한 충전/방전에서 좋은 유연성과 수소 이온의 삼입/추출을 제공할 수 있다.

Li_{1.3}Al_{0.3}Ti_{1.7}(PO₄)₃/PEO 고분자 이중층 전해질을 사용한 Li-CO₂ 전지

임학범, 장지훈, 김재광*
 청주대학교 에너지융합학과
 (e-mail: jackwang@cju.ac.kr)

Li-CO₂ 배터리(LCBs)는 환경 문제를 완화하고 우주 응용 프로그램을 구현하기 위한 유망한 전원 시스템으로 주목을 받고 있다. 그러나 양극에서 CO₂의 느린 환원/발생 반응으로 낮은 사이클 안정성과 효율을 보였다.

본 연구에서는 고체전해질 Li_{1.3}Al_{0.3}Ti_{1.7}(PO₄)₃(LATP)와 PEO 기반 고체 고분자 전해질을 사용하여 계면 저항을 감소시키고 사이클 안정성을 높인 높은 Li-CO₂ 배터리를 제작하였다. LATP 고체 전해질은 소결 첨가제와 함께 스프레이 건조법을 사용하여 분말로 합성하였고, 고상법을 이용해 이온전도도가 높은 펠렛을 제작하였다. 산화물 기반의 고체 전해질인 LATP는 높은 온도 안정성과 물리적 견고함을 나타내지만, 리튬 금속과의 금속 치환 반응 및 전극과의 계면 안정성이 낮다. 그러나 이러한 단점은 PEO 고분자 전해질을 사용하여 리튬 금속 전극과 LATP 간의 직접적인 접촉을 차단하여 극복하였다. 양극으로는 탄소 천이 사용되었다. 부족한 전자전도성을 보완하기 위해 탄소 천에 탄소 나노 튜브(MWCNT)를 함침 시켰다. 이온 전도성 또한 향상시키기 위해 액체 전해질인 1M LiTFSI in TEGDME가 탄소 천에 함침되었다. 스프레이 드라이 방법으로 합성된 LATP는 SEM 분석을 통해 균일한 구형 입자 형태를 확인했다. 다양한 온도에서 합성된 LATP 펠렛의 X-선 회절 (XRD) 패턴 조사 결과, 소결 온도가 증가함에 따라 LATP의 피크 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 앞서 설명된 방법으로 LCBs를 제작하여 전기화학적 분석을 진행하였다.

리튬 이차전지용 전극 제작을 위한 1-Methyl-2-pyrrolidinone 대체 친환경 용매 연구

강채은, 김재광*

청주대학교 에너지융합공학과

E-mail: cekang404@naver.com

현재 리튬 이온 배터리 양극 제조에는 NMP(1-Methyl-2-pyrrolidinone)가 용매로 쓰이고 있다. 하지만 NMP는 생식 독성 물질이며 근로자의 경우 단기간/장기간 흡입, 직접적인 피부노출 등을 통해 눈과 피부에 심각한 자극을 일으켜 호흡기 자극을 유발할 수 있다. 또한, 소비자에게도 불합리한 위험을 초래한다. 이는 발달 영향과 많은 관련이 있기 때문에 다소 논란의 여지가 있는 화학 물질이다. 그렇기 때문에 2018년 4월 EU에서는 NMP의 사용을 제한하는 REACH 부속서를 개정하였다. 유럽 뿐만 아니라 NMP를 규제하는 국가는 더 늘어날 예정이다.

본 논문에서는 급변하는 화학물질의 규제에 발빠르게 대응하기 위해 NMP 대체 물질로 친환경 전극 제조 용매인 GVL(Gamma-valerolactone)을 사용하여 리튬 이차전지의 특성을 분석하였다. 그 외에, DMSO(Dimethyl sulfoxide)와 NMP를 사용하여 GVL 용매를 사용한 전극을 제조하여 전지의 특성을 분석하였다. GVL은 완전 분해가 가능한 무독성 친환경 용매이며, DMSO는 극성 및 비극성 화합물을 모두 용해시킬 수 있는 극성비 양성 자성 용매이다. 이 연구결과는 GVL이 NMP를 대체할 수 있는 유력한 친환경 전극 제조 용매 후보가 될 수 있음을 보여주었다.

자가 충전 통합 에너지 모듈 : 페로브스카이트 태양전지 및 리튬-황 배터리의 우수한 광전 저장 효율 특성

박주은, 김재광^{1*}

청주대학교 에너지융합공학과

E-mail : tb1235@naver.com

휴대용 전자기기의 발전과 함께, 다양한 특성에 대한 요구가 증가하고 있다. 대다수 휴대용 전자기기는 충전 가능한 배터리를 전원으로 사용하며, 이는 충전 후 사용 시간이 제한된다. 사용 기간 제한 문제를 해결하기 위한 한 가지 해결책은 에너지 변환 장치와 에너지 저장 장치의 통합이다. 에너지 통합 장치는 자체 충전을 수행하며 휴대용 전자기기의 반영구적인 사용을 허용한다.

본 논문에서는 페로브스카이트 태양전지(PSC)를 에너지 변환 장치로, 리튬-황 배터리(LSB)를 에너지 저장 장치로 하는 통합 에너지 모듈의 높은 광전 저장 효율(PSE)을 보고한다. 4개의 연속된 페로브스카이트 태양전지(PSC)는 1cm² 크기에서 4.5V의 높은 개방전압(VOC)과 16.2%의 변환 효율을 제공할 수 있다. PSC-LSB 모듈은 LSB 기반의 통합 에너지 모듈 중에서 전례 없는 14.6%의 광전 저장 효율(PSE)을 달성하며, 0.16 A/g의 전류 밀도에서 2.1V의 주목할 만한 출력 전압을 제공한다. 더욱이, 리튬 금속 양극과 황 복합 다공 탄소 섬유 음극을 사용한 PSC-LSB 모듈은 200회 주기 후에도 안정적인 수명을 유지하며 87%의 보존 용량을 얻을 수 있었다. PSC-LSB 에너지 통합 모듈의 우수한 특성은 각 PSC 및 LSB 장치의 효율적인 공학 및 공통 전극/기판에 대한 금속 패턴 연결에 기인할 수 있다.

분무열분해 공정을 통한 코발트-황-셀레늄 다중 음이온 요크셀 입자 합성 및 소듐 이온 배터리 전기화학 특성 평가

김태하¹, 김영범^{1,2}, 이연오¹, 박기대^{1*}
충북대학교 신소재공학과¹, 고려대학교 신소재공학과²

현재의 리튬 기반 에너지 저장 기술은 리튬의 고갈, 높은 비용, 그리고 환경적 문제로 인하여 리튬을 대체할 수 있는 새로운 에너지 저장 기술이 필요한 상황이다. 이에, 비용이 낮고 매장량이 풍부한 소듐이 리튬의 대안으로 주목받고 있으나, 기존의 흑연 음극소재와의 낮은 전기화학 반응성으로 인하여 새로운 소듐 이온 배터리의 음극소재가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 폐초경합금으로부터 코발트를 추출하여 분무열분해 공정을 통해 요크셀 구조의 코발트 산화물을 합성하였다. 이후 후속공정을 통하여 황과 셀레늄 다중 음이온 조성의 코발트-황-셀레늄 요크셀 입자를 합성하였으며 이를 소듐 이온 배터리의 음극소재로 적용하였다. 합성된 코발트-황-셀레늄 조성의 요크셀 입자는 첫 충·방전 후 XPS와 TEM 분석을 통해 소듐 이온과의 전환 반응으로부터 이중 계면을 형성함을 밝혔으며, 확산 전위 형성, 높은 전도성, 소듐 이온의 빠른 확산과 부피 팽창 억제 등으로 인해 소듐 이온 배터리의 음극소재로서 전기화학 특성 평가 결과 높은 가역 용량과 뛰어난 율속 특성을 보였다.

요크 셀 구조의 카본 셀 두께 조절을 통한 소듐 이온배터리의 음극 소재로서의 니켈 코발트 셀레나이드 카본 요크 셀 합성

최재현¹, 서효영², 박건희³, 박기대*

충북대학교 신소재공학과

소듐 이온배터리는 풍부한 매장량과 비교적 낮은 제조 비용을 가져 리튬 이온배터리를 대체할 유망한 후보로 떠오르고 있지만, 충.방전 동안의 큰 부피 변화로 구조적 열화가 발생해 적용에 어려움을 겪고 있다. 따라서 요크와 셀 사이에 빈 공간을 가져 충.방전 동안의 구조적인 안정성과 짧은 이온 확산거리의 장점을 가진 요크 셀 구조체가 소듐 이온배터리의 음극 소재로 주목받고 있다. 본 연구에서는 분무열분해 공정을 이용해 다양한 셀 두께를 가진 요크 셀 구조의 카본 구조체를 합성하고 간단한 함침공정을 통해 금속 화합물 카본 구조체를 개발하는 새로운 전략을 제시한다. 새롭게 제안된 카본 구조체는 풍부한 미세 기공을 가지고 있어 금속 화합물의 담지체로서 매우 적합하여, 다양한 셀 두께를 가진 나노 구조화된 카본 요크 셀 구조체에 니켈 코발트 용액을 함침하고 후 열처리를 통해 나노 구조화된 니켈 코발트 셀레나이드 카본 요크셀 복합체를 합성하였다. 다양한 셀 두께의 나노 구조화된 니켈 코발트 셀레나이드 카본 요크셀 복합체 중에서 수명 특성 및 율속 특성 등 다양한 분석을 통해 소듐이온배터리의 음극 소재로서 우수한 전기화학 특성을 보이는 최적의 셀 두께를 밝혀냈다.

분무열분해 공정을 활용한 3차원 계층구조의 코발트-철 셀렌화물 그래핀-탄소나노튜브 복합체 합성 및 포타슘 이온 배터리 음극 특성 평가

김상현¹, 김태하¹, 박기대^{1*}

충북대학교 신소재공학과

포타슘 이온 배터리는 현재 상용화 된 리튬 이온 배터리의 높은 가격과 공급 불안정성과 같은 문제점을 대체할 수 있는 차세대 이차전지로 주목받고 있다. 포타슘은 희소 금속인 리튬보다 매장량이 풍부하여 가격이 저렴하며 리튬이온의 환원전위(-3.040 V)와 유사한 수준의 환원전위(-2.936 V)를 나타내기 때문에 배터리를 높은 작동 전압에서 구현할 수 있다. 본 연구에서는 분무열분해 공정을 활용해 3차원 계층구조의 코발트-철 셀렌화물 그래핀-탄소나노튜브 복합체를 합성하여 포타슘 이온 배터리의 음극재로 적용하였다. 먼저 분무열분해 공정을 활용하여 코발트와 철 산화물을 포함하는 그래핀을 공 형태로 합성했다. 이후 디시안디아마이드 (DCDA)와 함께 후열처리 공정을 통해 환원된 코발트, 철 금속을 촉매로 그래핀 표면에 탄소나노튜브를 성장시켰으며, 이를 통해 그래핀의 고질적인 문제로 여겨지는 적층문제를 해결하였다. 이후 셀렌화 공정을 통해 코발트-철 셀렌화물을 도입한 그래핀-탄소나노튜브 복합체를 합성했다. 해당 복합체는 전해질의 용매를 다양하게 하여 포타슘 이온 음극 특성 평가를 진행했으며, 포타슘 이온과의 전환 반응과 구조적 안정성을 바탕으로 우수한 전기화학 특성을 나타내었다.

Fabrication of m-SiNPs@C composite with a sturdy carbon coating layer for lithium-ion batteries

Eunha Jung¹, Gyuchan Yeo¹, Sujong Chae^{2*}, Minseong Ko^{1*}

¹*Division of Convergence Materials Engineering (Major of Metallurgical Engineering), Pukyong National University, Busan 48547, Republic of Korea*

²*Division of Applied Chemical Engineering (Major of Industrial Chemistry), Pukyong National University, Busan 48547, Republic of Korea*

Silicon (Si) has been considered as a promising candidate for next-generation due to its exceptional gravimetric capacity (3579mAh g⁻¹ or Li₁₅Si₄), low operation potential (<0.4V vs Li⁺/Li), and natural abundance [1]. Among numerous strategies for improving the performance of Si, downsizing silicon in nanoscale (SiNPs) is one of the effective strategies, which provides a shorter Li⁺ diffusion pathway and prevents fracture behavior by accommodating the large strains [2]. However, SiNPs are hindered by poor electrochemical performance such as low initial coulombic efficiency and long-term cycling performance originating from high specific surface area and continuous side reactions with electrolytes [3]. In this study, we propose a micro-sized Si/C composite (denoted as m-SiNPs@C) where micro-aggregated SiNPs are fully covered with a thick and sturdy carbon coating layer. We successfully formed a sturdy carbon coating layer on aggregated SiNPs by aerogel-assisted chemical vapor deposition (AACVD), utilizing benzene as a carbon precursor. This sturdy carbon coating layer provides enhanced electrical conductivity and effectively protects the SiNPs from direct contact with the electrolyte, as well as forming a stable SEI layer due to robust structural design and superior mechanical properties. As a result, the m-SiNPs@C composite exhibits outstanding electrochemical performance compared to SiNPs.

References

1. Ko, M., et al., Scalable synthesis of silicon-nanolayer-embedded graphite for high-energy lithium-ion batteries. *Nature Energy*, 2016. 1(9): p. 16113.
2. Chae, S., et al., *Gas phase synthesis of amorphous silicon nitride nanoparticles for high-energy LIBs*. *Energy & Environmental Science*, 2020. 13(4): p. 1212-1221.
3. Chae, S., et al., *A Micrometer-Sized Silicon/Carbon Composite Anode Synthesized by Impregnation of Petroleum Pitch in Nanoporous Silicon*. *Advanced Materials*, 2021. 33(40): p. 2103095.

리튬이차전지용 LiMnO_4 소결 온도에 따른 양극활물질 합성과 전기화학적 특성

김예원, 정은혁, 김병철, 김봉수, 허광선*
경남정보대학교 화공에너지공학과, 부산광역시, 대한민국

Synthesis and electrochemical characterization of LiMnO_4 cathode materials with different sintering temperature for lithium secondary battery

YeWon Kim, Eunhyuk Chung, Byoung Chul Kim, Bong-Soo Kim, Kwangsun Huh*
Kyungnam College of Information and Technology

초록

각 산업에 사용되는 배터리의 사용처와 안정성을 고려하여 양극재인 LCO, NCA, NCM, LMO, LFP의 첨가물과 제조공정을 달리하여 산업경쟁력이 높은 양극재 개발을 하고 있다. LiMnO_4 의 스피넬형 구조의 물질인데 낮은 가격, 무독성, 안정성 등의 장점으로 리튬 이차전지용 양극 물질로 많은 연구가 진행 중이다. LiMnO_2 은 고온에서 연속적 충·방전 과정 중 용량이 심각하게 감소되는 문제점을 가지고 있다. 양극활성제의 합성법은 사용목적과 활성물질에 따라 마이크로파 합성법, 수열합성법, 유화 건조법, 공침법, 고상합성, 졸겔법 등 다양한 방법이 있다. 본 연구에서는 리튬 이차전지의 양극활물질인 LiMnO_2 를 졸겔법으로 합성하기 위해 출발물질로는 Lithium acetate, Manganese acetate, Citric acid를 사용하여, Manganese acetate의 몰수를 변화시켜 합성한 후 tube furnace에서 아르곤 분위기, 소성온도 $600^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ 로 변화하여 5시간 소성시킨 후 볼 밀로 LiMnO_2 분말을 제조하여 각 조건에 대한 물성을 고찰하였다. 반응 온도를 $600^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ 에서 변화시키며 얻은 전구체 분말에 대하여 SEM으로 표면 형상과 크기, XRD로 결정성을 분석하였다. 제조한 LiMnO_2 분말에 대하여 SEM 표면 형상과 크기, XRD로 결정성을 분석한 결과 스피넬 구조를 확인하였다.

참고문헌

1. Xiao, J., Chernova, N. A., and Whittingham, M. S., *Chem. Mater.*, **22**, 1180 (2009).
2. Lee, K.-S., and Myung, S.-T., *J. Electrochem. Soc.*, **154**, A971 (2007).
3. Liu, W., Oh, P., and Liu, X., *Angew. Chem. Int. Ed.*, **54**, 4440 (2015).
4. Huang, Z., Gao, J., and He, X., *J. Power Sources.*, **202**, 284 (2012).
5. Lee, K., and Kim, K., *J. Electrochem. Soc.*, **147**, 1709 (2000).
6. Zhang, X., Jiang, W.J., and Mauger, A., *J. Power Sources*, **195**, 1292 (2010).
7. Fu, C., Li, G., Luo, D., and Li, Q., *ACS Appl. Mater. Interfaces.*, **6**, 15822 (2014).
8. Yoo, G.-W., and Jeon, H. J., *J. Korean Electrochem. Soc.*, **16**, 59 (2013).
9. Kim, S., Ghoi, S.-H., Lee, E., and Kim, J., *J. Korean Electrochem. Soc.*, **20**, No. 4, 67-74 (2017).

리튬이차전지용 LiCoO₂ 소결 온도에 따른 양극활물질 합성과 전기화학적 특성

신준오, 정은혁, 김병철, 김봉수, 허광선*
경남정보대학교 화공에너지공학과, 부산광역시, 대한민국

Synthesis and electrochemical characterization of LiCoO₂ cathode materials with different sintering temperature for lithium secondary battery

Junoh Shin, Eunhyuk Chung, Byoung Chul Kim, Bong-Soo Kim, Kwangsun Huh*
Kyungnam College of Information and Technology

초록

리튬 이차전지에 사용되는 양극재료는 전해질에 대해 화학적으로 안정성을 가져야 하며 충방전시 가역적인 특성이 좋아야 한다. 또 높은 에너지 밀도를 가지면서도 충전과 방전시 부피의 변화가 크지 않아야 한다. 최근에는 리튬 이차전지의 양극활물질로 리튬 전극에 대해 전위가 높고, 전기화학당량이 높기 때문에 많은 연구를 하고 있다. 양극활성제의 합성법은 사용목적과 활성물질에 따라 마이크로파 합성법, 수열합성법, 유화 건조법, 공침법, 고상 합성, 졸겔법 등 다양한 방법이 있다. 본 연구에서는 리튬 이차전지의 양극활물질인 LiCoO₂를 졸겔법으로 합성하기 위해 출발물질로 Lithium acetate, Colbalt acetate, Citric acid를 사용하여 Colbalt acetate의 몰수를 변화시켜 합성한 후 tube furnace에서 아르곤 분위기, 소성온도 600°C~900°C로 변화하여 5시간 소성시킨 후 볼밀로 LiCoO₂ 분말을 제조하여 각 조건에서 물성을 고찰하였다. 소결온도를 600°C~900°C에서 변화시켜 얻은 전구체 분말에 대하여 입자형태를 SEM으로, 결정성은 XRD로 분석하였다. 질소를 주입하지 않고 대기 중에서 공정을 실시하여 얻은 전구체는 반응 도중에 분말의 산화가 일어나는 것으로 판단된다. 이렇게 산화된 전구체를 사용하여 양극재를 합성할 경우 cation mixing 현상이 발생하여 초기 충방전 용량이 떨어지는 것을 확인할 수 있지만 아르곤 분위기 또는 질소 분위기에서는 합성한 전구체는 cation mixing 현상이 발생하지 않아 충방전 용량이 떨어지지 않는 것으로 알려져 있다. 제조한 LiCoO₂ 분말을 SEM 표면 형상과 크기, XRD로 결정성을 분석한 결과 층상구조임을 확인하였다.

참고문헌

1. Xiao, J., Chernova, N. A., and Whittingham, M. S., *Chem. Mater.*, **22**, 1180 (2009).
2. Lee, K.-S., and Myung, S.-T., *J. Electrochem. Soc.*, **154**, A971 (2007).
3. Liu, W., Oh, P., and Liu, X., *Angew. Chem. Int. Ed.*, **54**, 4440 (2015).
4. Huang, Z., Gao, J., and He, X., *J. Power Sources.*, **202**, 284 (2012).
5. Lee, K., and Kim, K., *J. Electrochem. Soc.*, **147**, 1709 (2000).
6. Zhang, X., Jiang, W.J., and Mauger, A., *J. Power Sources*, **195**, 1292 (2010).
7. Fu, C., Li, G., Luo, D., and Li, Q., *ACS Appl. Mater. Interfaces.*, **6**, 15822 (2014).
8. Yoo, G.-W., and Jeon, H. J., *J. Korean Electrochem. Soc.*, **16**, 59 (2013).
9. Kim, S., Ghoi, S-H., Lee, E., and Kim, J., *J. Korean Electrochem. Soc.*, **20**, No. 4, 67-74 (2017).

리튬이차전지용 LiFePO_4 소결 온도에 따른 양극활물질 합성과 전기화학적 특성

강민승, 신준오, 김예원, 정은혁, 김병철, 김봉수, 허광선*
경남정보대학교 화공에너지공학과, 부산광역시, 대한민국

Synthesis and electrochemical characterization of LiFePO_4 cathode materials with different sintering temperature for lithium secondary battery

Minseung Kang, Junoh Shin, YeWon Kim, Eunhyuk Chung, Byoung Chul Kim,
Bong-Soo Kim, Kwangsun Huh*
Kyungnam College of Information and Technology

초록

LFP(LiFePO_4 , 리튬인산철)배터리는 리튬코발트산화물(LCO)에서 코발트 대신 인산철을 넣어 LFPO(LiFePO_4)로 구성된 양극재를 말한다. LFP 배터리는 그간 삼원계 배터리보다 성능이 낮은 것으로 평가되었는데, 최근 치솟는 원자재 비용 이슈와 맞물리면서 저렴한 비용(코발트, 니켈 미사용)으로 제조 가능한 LFP 배터리가 재조명받기 시작했다. 올리빈 구조의 LiFePO_4 는 리튬 음극과 3.4V의 방전 전압을 나타내며, 170mAh/g의 이론용량을 가지고 또한 Fe를 사용하기 때문에 그 양이 풍부하고 저렴할 뿐만 아니라 독성이 없다는 장점은 물론, 안정한 결정구조 및 우수한 사이클 특성을 보인다고 알려져 있다. 양극활성제의 합성법은 사용목적과 활성물질에 따라 마이크로파 합성법, 수열 합성법, 유화 건조법, 공침법, 고상 합성, 졸겔법 등 다양한 방법이 있다. 본 연구에서는 리튬 이차전지의 양극활물질인 LiMnO_2 를 졸겔법으로 합성하기 위해 출발물질로는 Lithium acetate, Ferrous acetate, Monosodium phosphate(NaH_2PO_4)acetate, Citric acid를 사용하여, Ferrous acetate의 물수를 변화시켜 합성한 후 tube furnace에서 아르곤 분위기, 소성온도 600°C~900°C로 변화하여 5시간 소성시킨 후 LiFePO_4 분말을 제조하여 각 조건에 대한 물성을 고찰하였다. 반응 온도를 600°C~900°C에서 변화시키며 얻은 전구체 분말에 대하여 SEM으로 표면 형상과 크기, XRD로 결정성을 분석하였다. 제조한 LiMnO_2 분말에 대하여 SEM 표면 형상과 크기, XRD로 결정성을 분석한 결과 올리빈 구조를 확인하였다.

참고문헌

1. Xiao, J., Chernova, N. A., and Whittingham, M. S., *Chem. Mater.*, **22**, 1180 (2009).
2. Lee, K.-S., and Myung, S.-T., *J. Electrochem. Soc.*, **154**, A971 (2007).
3. Liu, W., Oh, P., and Liu, X., *Angew. Chem. Int. Ed.*, **54**, 4440 (2015).
4. Huang, Z., Gao, J., and He, X., *J. Power Sources.*, **202**, 284 (2012).
5. Lee, K., and Kim, K., *J. Electrochem. Soc.*, **147**, 1709 (2000).
6. Zhang, X., Jiang, W.J., and Mauger, A., *J. Power Sources*, **195**, 1292 (2010).

Lithiophilic Si₃N₄ copper current collector for High Energy Density and ultra-thin Lithium metal Batteries

Jihyeon Kang¹, Minjoon Park^{1,2*}

Department of Nano Fusion Technology, Pusan National University, Busandaehak-ro 63beon-gil 2, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Republic of Korea¹

Department of Nanoenergy Engineering, Pusan National University, Busandaehak-ro 63beon-gil 2, Geumjeong-gu, Busan, 46241, Republic of Korea²

Lithium metal anode (LMA) with high energy density (400-500 Wh/kg) and theoretical capacity (3860 mAh g⁻¹) has been studied for high-capacity batteries. Although the LMA has a high theoretical specific capacity, there are issues such as unstable solid electrolyte interphase (SEI), and large volume expansion of Li metal anode during charging/discharging. Furthermore, Cu foil as a current collector is low lithiophilic to lithium, which causes difficulty in manufacturing a uniform LMA, thereby forming Li dendrite.

In this study, we report the fabrication of 10 to 50 μm ultra-thin Li metal anodes using copper foil consisting of Silicon Nitride (Si₃N₄) layers by a magnetron sputtering method. With the assistance of lithiophilic Si₃N₄ coating, the Li-Si₃N₄ alloy improved surface wettability, which helps realize the formation of uniform Li metal anodes. Compared to the bare LMA, the Li/Si₃N₄ anode (SNLMA) reduced the nucleation barrier, effectively inhibited the dendrite growth, and showed a long cycle life and high average Coulombic efficiency. We conducted XRD analysis to confirm the lithium silicon nitride alloy on SNLMA, and SEM analysis showed that silicon nitride layer can inhibit the growth of lithium dendrites after 200 cycles. This is because Li₃N and Li₈Si₃N₄ can homogenize the Li⁺ flux, contribute to uniform Li⁺ deposition, and inhibit Li dendrite growth. As a result, the SNLMA exhibited stable cycling with low overpotential (~18 mV), during 1000 cycles in symmetric cell test at 1 mA cm⁻² and 2 mA cm⁻². SNLMA||LCO full cell showed improved capacity retention performance and coulombic efficiency(0.5C, 150 cycles). This work provides a new strategy for next-generation lithium-based batteries with high energy density.

This research was supported by Pusan National University BK21 Four Education and Research Division for Energy Convergence Technology. This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No.2021R1C1C1008349)

Preparation of Flexible Transparent Conducting Films from Well-dispersed Solution of Single-Walled Carbon Nanotube Using Furfuryl Functionalized Polymers

Bong-Soo Kim, Byung Chul Kim, Kwangsun Huh
Kyungnam College of Information & Technology

Carbon nanotubes (CNTs) have been considered promising materials due to their unique electrical properties. In particular, single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) have excellent electrical mobility and conductivity. However, dispersion of CNT remains challenge for fabrication of transparent conductive film because CNT is bundled by strong π - π interaction between intertubes. To overcome these challenge, we synthesized poly((2-dimethylamino)ethyl methacrylate-co-furfuryl methacrylate) as a polymer dispersant for CNT dispersion. Dispersed CNTs were coated on the flexible substrate, polyethylene terephthalate. To enhance electrical conductivity TCFs were chemically treated to remove impurity and p-type doping with HNO_3 and SOCl_2 . The chemically treated TCF shows the sheet resistance and transmittance (at 550 nm), 85.75 Ω/sq at 85% even after 50 bending cycles.

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

자원순환 특별심포지엄

(포스터발표 II)

2024년 3월 28일(목) 13:00~15:00
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비

Polystyrene 열분해 유의 수소화 분해 연구

김규태, 박서영, 정재철, 천현준, 윤동준, 오지현, 이정규*
동아대학교 화학공학과

A Study on the Hydrocracking of Polystyrene Pyrolysis Oils

Kyutae Kim, Seoyeong Park, Jeongjae Cheol, Hyeonjun Cheon, Dongjun Yun,
Jihyeon Oh,
Jung Kyoo Lee*

*Department of Chemical Engineering (BK21 FOUR Graduate Program), Dong-A University,
Busan 49315, Republic of Korea*

*Corresponding author: jklee88@dau.ac.kr

전 세계적인 플라스틱 생산량은 약 4억 톤에 이르고 있으며 재활용률은 9% 수준밖에 되지 않고 있다. 또한 글로벌 정유사들은 폐플라스틱 재활용 활성화를 위해 화학적 재활용을 확대하고 원유 대신 열분해유를 연료로 인정하고 있다. 본 연구에서는 플라스틱 중 8%를 차지하는 폴리스타이렌(PS)을 고부가가치 경방향족 제품으로 전환할 수 있는 순환 시스템을 만드는 일환으로 PS 열분해유의 수소화 분해 실험을 수행하였다.

본 연구에서는 폐쇄계에서 PS 열분해를 수행하여 액체 생성물의 수율이 높은 조건을 탐색하였으며 얻어 열분해유를 상세 분석한 결과 1-ring 방향족 화합물 외 2환 이상의 방향족 화합물의 함량이 높게 나타났다. 얻어진 PS 열분해유를 수소화 분해 처리를 통해 고부가 경방향족의 함량을 높이고, 특히 Benzene과 Xylene의 수율을 극대화 하도록 다양한 수소화 분해 촉매에 대해 선택적 수소화 분해 조건을 탐색하였다. 그 결과 PS 열분해유의 수소화 분해 반응을 통해 1-ring 경방향족 화합물의 수율을 높일 수 있었다.

참고문헌

1. Y. Oh et al., "Selective hydrotreating and hydrocracking of FCC light cycle oil into high-value light aromatic hydrocarbons", Appl. Catal. A, 2019,577, 86-98.
2. Y. Oh et al., "Molecular-size selective hydroconversion of FCC light cycle oil into light aromatic hydrocarbons", Catal. Today, 2020, 352, 329-336.
3. Seonghee Lee, "Current status of plastic regulations in the international community implication", KIEP, 2635-5981 (2022).
4. Safety Surveillance Bureau Life Safety Team, "Survey on delivery food plastic containers", KCA, (2021)

NCM계 페리튬이차전지 양극활물질내 알루미늄 제거에 대한 알카리 농도의 영향

구수진*, 이민지¹
한국폴리텍대학*, 에코하이닉스(주)¹

The Effect of NaOH Concentration on the Removal of Aluminum in NCM waste Lithium-ion Battery Positive Electrode Active Materials

Su-Jin Koo*, Min-Ji Lee¹
Korea Polytechnic*, ECO HYNIX Co., Ltd.¹

Effect of alkali concentration on aluminum removal in cathode active material of NCM-based waste lithium secondary battery

Abstract 전기자동차용 페리튬이차전지 양극재 재활용 기술은 기계적 분리·방전·파쇄과정을 통해 블랙파우더 형태로 회수된다. 블랙파우더는 무기산에 의해 침출 및 용매추출과정을 통해 유가금속(Ni, Co, Mn)으로 회수하고 황산염 형태로 제조 후, 산화물로 전환하여 양극활물질로 사용된다. 이때, 블랙파우더 파쇄과정에서 알루미늄 함유량이 높아진다. 알루미늄 함유량이 높으면 무기산 침출에 의해 알루미늄이 고농도로 포함되어 용매추출과정에서 추출효율을 떨어뜨린다. 그러므로 무기산 침출에 의해 알루미늄이 포함되어 있는 경우, 반드시 알루미늄을 제거하여야 한다.

알루미늄 제거 방법은 황산알루미늄법, 중화법 및 용매추출법 등이 있다. 중화법은 생성된 수산화알루미늄이 여과속도를 악화시키며, 공침에 의해 코발트 및 니켈도 침전된다. 황산알루미늄법은 다량의 황산이 필요하며 용매 추출법은 알루미늄만 회수 가능하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 친환경적이고 경제적으로 알루미늄을 제거하기 위하여 다양한 알칼리 농도가 NCM 페리튬이차전지 양극활물질로부터 알루미늄 추출 효율에 미치는 영향을 조사하였다. 수산화나트륨을 촉매로 사용하여 알루미늄을 알루미늄산나트륨(NaAlO_2)으로 전환시켜 제거하고 이때 발생하는 페알카리페수(pH 12~13)는 폐수처리과정에서의 중화제로 재사용하는 것이 특징이다.

참고문헌

1. Park et al.[1] "The Effect of NH_3 Concentration during Co-precipitation of Precursors from Leachate of Lithium-ion Battery Positive Electrode Active Materials," J. of Korean Inst. of Resources Recycling, Vol. 24, No. 6, 9-16 (2015).
2. Arakawa Junichi, "Reverse Extraction Methods for Aluminum," K.R. Patent NO. 10-2014-0043102 (2014).
3. Kim and Jang[1], "Recovery of lithium and leaching behavior of NCM powder by carbon reductive treatment from $\text{Li}(\text{NCM})\text{O}_2$ system secondary battery scraps," J. of Korean Inst. of Resources Recycling, Vol. 22, No. 4, 62-69 (2013).

하수슬러지의 가스화 고형 잔재물의 순환자원으로서 잠재성 검토: 물리적 선별의 필요

김동현¹, 배성현², 김성민¹, 한성수¹, 한요셉^{1,2*}, 권기운³

¹한국지질자원연구원 자원활용연구본부,

²과학기술연합대학원대학교 자원공학,

³수도권매립지관리공사 자원순환기술연구소

Testing the Potential of Sewage Sludge Gasification Solid Residues as a Circulating Resources: Need for Physical Separation

Donghyun Kim¹, Sunghyun Bae², Seongmin Kim¹, Seongsoo Han¹,

Yosep Han^{1,2*}, Gi Woon Kwon³

¹Resources Utilization Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM),

²Resource Engineering, University of Science Technology (UST),

³Resource Recirculation Technology Research Center, Sudokwon Landfill Management Corporation (SLC)

초록

본 연구에서는 건조된 하수슬러지의 가스화 처리된 고형 잔재물(gasification solid residues, GSRs)에 대한 순환자원으로서 잠재성 검토하고자 대상 산물에 대한 물성평가 및 그에 적합한 물리적 선별 평가를 수행하였다. 먼저, 본 연구에서 사용된 GSRs은 수도권매립지관리공사를 통하여 공급받았으며, 대체적으로 GSRs은 수mm 크기의 다공성 펠렛 형태이었다. 게다가, 부분적으로 검은색 부분은 미연소 및 가스화가 일어나지 않는 탄소로서 확인되었으며, 평균적으로 5%의 탄소 함량을 나타내었다. 게다가, 실리카, 알루미늄 그리고 인 함량이 전체함량 대비 75% 이상으로 존재하였다. 물리적 선별을 수행하기 위해 입자로 제조를 위한 습식 분쇄를 수행하였다. SEM-EDS 분석을 통하여 금속물질이 단체분리 상태로 존재함에 따라 물리적 선별이 가능한 것으로 확인되었다. 5% 정도의 탄소 그리고 금속 성분과 비금속 성분간의 물리적 분리가 필요함에 따라 최종적으로 부유선별 적합함으로 설정하였다. 이에, 상대적으로 많은 비금속 성분의 농축을 위한 금속성분 분리를 위해 양이온 그리고 음이온 계면활성제를 선정하여 분리선별 특성을 확인하고자 하였다. 게다가, 포수제 농도에 따른 부유선별 성능 평가를 수행하였다. 결과적으로 금속성분의 분리보다는 비금속성분인 실리카, 알루미늄, 인 성분이 농축이 가능할 것으로 판단되며, 최적 단위기술 및 공정 설계를 통하여 추후 연구가 필요할 것으로 판단된다.

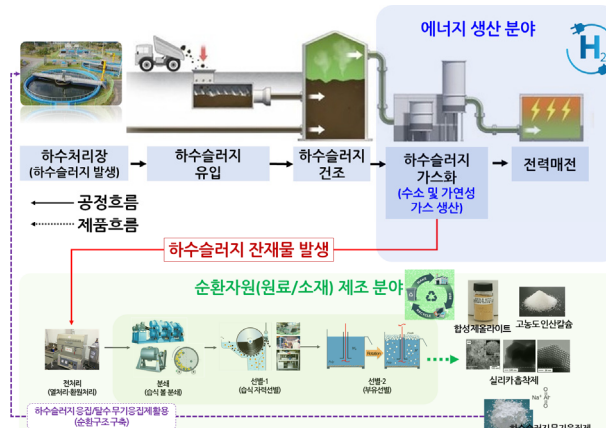


Fig. 1. Process schematic diagram for development of sewage sludge gasification solid residues as a circulating resource

사사

본 연구는 한국지질자원연구원 주요사업인 ‘국내 부존 바나듐(V) 광물자원 선광/제련/활용기술 개발(GP2020-013)’ 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Gao, N., Kamran, K., Quan, C., and Williams, P. T., Pletcher, D., and Walsh, “Thermochemical conversion of sewage sludge: A critical review,” *Progress in Energy and Combustion Science* 79, 100843 (2020).
- Seggiani, M., Puccini, M., Raggio, G., and Vitolo, S., “Effect of sewage sludge content on gas quality and solid residues produced by cogasification in an updraft gasifier,” *Waste Mang.*, 32, 1826-1834 (2012).

알칼리 활성화 화학공장슬러지 기반 바이오차를 이용한 수중 Ciprofloxacin 고효율 흡착

이규빈, 박채린, 장형준, 홍혜진*
충북대학교 환경공학과

Highly efficient adsorption of Ciprofloxacin from water using biochar based on alkali-activated chemical plant sludge

Gyubin Lee, Chaerin Park, Hyung-Jun Jang, Hye-Jin Hong*
Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

국내에서는 연간 727만 톤의 슬러지가 생활 하수, 산업폐수 등에서 발생하며 대부분 유기물로 구성되어 있어 소각, 생분해 등 방식으로 처리 시 많은 양의 이산화탄소(CO₂)를 배출한다. 본 연구에서는 슬러지의 열분해(pyrolysis)를 통해 바이오차(biochar)로 제조함으로써 슬러지의 분해를 방지하고 CO₂ 배출을 최소화하고자 하였다. 또한 이렇게 제조한 바이오차를 난분해성 미량 오염물질인 Ciprofloxacin(CIP)의 흡착소재로 활용성을 증명함으로써, 고부가가치 자원화하였다. 먼저 화학공장 슬러지를 일반 열분해 하여 제조한 바이오차(CB-800)와 알칼리 활성화-산세척 공정을 통해 기능성이 향상된 바이오차(CAB-400, 600, 800)를 제조하여 물성 분석과 CIP 흡착 특성을 평가하였다. 일반 열분해를 통해 제조한 CB는 K, Ca, Fe 등의 다량의 불순물 원소들을 함유하고 있으나, 알칼리 활성화 및 산세척을 한 경우 불순물이 거의 제거되고 C 함량이 95.4%로 매우 순도가 높고 재(ash) 성분이 거의 없는 바이오차가 제조되었다. 특히, CAB는 열분해 온도가 증가할수록 방향족 탄소 구조가 발달하고, 비표면적이 증가하여 800 °C에서 열분해한 CAB-800은 2331.8 m²/g의 매우 넓은 비표면적이 얻어졌다. 흡착등온선 모델에 적용한 결과, 4종의 바이오차는 모두 단분자층 흡착을 가정하는 Langmuir isotherm model에 적합하였고 넓은 비표면적을 기반으로 CAB-800은 555.56 mg/g의 매우 우수한 CIP 최대 흡착량을 나타내었다. 흡착동역학 모델에 적용한 결과, 반응 시작 후 6시간 내에 흡착 평형에 도달하였고, 화학흡착이 율속단계인 Pseudo-second order model에 적합하였다. pH 2~6 범위에서도 CIP 흡착 성능에 변화가 없었고 pH 6 이상인 경우에 조금 감소하지만 약 350 mg/g의 여전히 뛰어난 흡착 성능을 보였다. 또한 다양한 공존이온이 존재하는 모의 지하수에서 수행한 CIP 흡착 성능 평가에서 우수함을 확인하여 CAB-800은 실제 CIP 함유 폐수 처리에 적용될 수 있는 고효율이면서도 친환경적인 흡착 소재로서의 잠재력을 확인하였다.

안티모니가 도핑된 수소 타이타늄 산화물의 염호수 리튬 추출 적용성 평가

Evaluation of the Applicability of Lithium Extraction from Brine using Antimony-Doped Hydrogen Titanium Oxide

장형준, 유희지, 이규빈, 홍혜진*

충북대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

Abstract

최근 자주 사용되는 LIB는 전기자동차 등 다양한 산업 분야에 사용되는데 이에 주된 원료인 리튬은 대부분 염호수에서 회수가 가능하다. 하지만 염호수에는 리튬 외의 다양한 양이온이 존재하기 때문에 리튬만 선택적으로 회수하는 기술이 필요하다. 본 연구에서는 염수로부터 리튬을 회수하기 위해 친환경적이며 경제적인 흡착 방법을 사용하였으며, 흡착제로는 수소 타이타늄 산화물(HTO)을 사용하였다. 기존의 HTO의 흡착성능을 향상시키고자 수소 타이타늄 산화물에 Sb를 도핑하고, 이를 활용하여 염호수, 지열수 및 염지하수 등 다양한 매질에 적용성을 평가하였다. 20%의 Sb가 도핑된 HTO (Sb-HTO)는 일반 HTO에 비해서 약 14.4% 가량 향상된 리튬 흡착성능을 나타내었으며, 일반 HTO는 pH 10 이상의 강알칼리 조건에서만 리튬 흡착이 가능했던 것에 비해 Sb-HTO는 pH 8~14 가량에서 9.65~22.05 mg/g 이상의 리튬 흡착 특성을 나타내어 염수의 적용 pH를 증가시킴을 확인하였다. 공존이온과의 경쟁이 있을 때 대략 3~5 mg/g 가량의 흡착성능이 저하되는 결과를 야기하였지만 Mg와 같은 특정 금속이온에 대하여 큰 저하를 보이지 않음을 확인하였다. 미국의 Great salt lake, Salton sea 지역의 지열수, 염지하수 모사액의 리튬을 추출하기 위하여 Sb가 도핑된 HTO를 모사액에 적용하였다. Great salt lake에 적용한 결과 Na과 K이 리튬에 비해 200배이상 높게 농축되어 조성된 것에도 불구하고 리튬의 Separation factor가 600 이상 높게 나타나 리튬이 잘 분리되어 추출될 수 있는 것을 확인하였고, 염지하수의 경우 리튬의 농축계수(CF) 355 mL/g을 통하여 다른 양이온에 비해 흡착제에 리튬이 고농도로 농축이 가능한 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 Salton sea 지역의 지열수에서는 다른 양이온의 분배계수(Kd) 값이 6 mL/g 이하로 매우 낮게 나타났지만 리튬의 Kd 값은 40 mL/g이상으로 리튬만을 선택적으로 흡착할 수 있음을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 Sb가 도핑된 HTO가 실제 염호수에 적용성이 매우 우수함을 입증하였다.

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

**청정생산
특별심포지엄**
(포스터발표 II)

2024년 3월 28일(목) 13:00~15:00
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비

플라즈마 활성화 황산염 라디칼에 의한 제지 공장 폐수 내 TOC의 효과적이고 경제적인 탈염화

누하슬리나^{1,2}, 종초은^{1,2}, 장 민^{1,2*}

¹플라즈마바이오효과연구센터, ²광운대학교 공과대학 환경공학과

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

Effective and economic demineralization of TOC in papermill wastewater by plasma-activated sulfate radicals

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

Kwangwoon University Environmental Engineering¹, Kwangwoon University PBRC²

This study explored the demineralization of TOC papermill wastewater by applying air dielectric barrier discharge (DBD) plasma in conjunction with various persulfate sources such as peroxydisulfate (PDS), peroxydisulfate (PDS), and sodium persulfate (SPS). The kinetic rate constants for TOC demineralization revealed that plasma PDS exhibited superior efficiency, achieving below Korea TOC guidelines, surpassing sole plasma, plasma-PMS, and plasma-SPS. The introduction of a persulfate source to air DBD plasma led to a significant enhancement in demineralization rates where the synergy factor of plasma PDS is 3.14, compared to 1.7 to 3 of SPS and PMS respectively. Fine-tuning the concentrations of PDS and PMS revealed an enhanced demineralization effect at elevated concentrations. Comparative cost analysis showcased the superiority of air-DBD plasma over commercial ozone generators, demonstrating a more cost-effective treatment approach. Additionally, ozone, ozone-PMS, -PDS, and -SPS exhibited lower demineralization efficacy than their plasma persulfate counterparts. Mechanistic insights into plasma-PDS and plasma-PMS activation were obtained through quenching experiments and electron spin resonance (ESR) techniques. The production of reactive species, including $\cdot\text{OH}$, $\text{SO}_4^{\cdot-}$, $^1\text{O}_2$, and $\cdot\text{O}_2^-$, was clarified during plasma-PDS and -PMS activation. Quenching experiments unveiled the distinct contributions of electrons (e^-) and $^1\text{O}_2$ to PDS and PMS activation. Electrons play a prominent role in PDS activation, whereas $^1\text{O}_2$ is found to be significant for PMS activation. In summary, this research offers insights into the effectiveness and mechanisms of activating persulfate through air DBD plasma for treating papermill wastewater. It presents a promising and economically viable alternative to conventional ozone treatment.

Keywords: Air DBD plasma, PMS, PDS, SPS demineralization, ROS identification

메조기공 텅스텐 촉매를 이용한 bisphenol F 합성

이중엽, 황서연, 박영서, 김예희, 원세연, 홍수연, 진종기*
공주대학교 화학공학부

Synthesis of bisphenol F using mesoporous tungsten catalysts

Jungyeop Lee, Seoyeon Hwang, Yeongseo Park, Yehee Kim, Seyeon Won,
Sooyeon Hong, Jong-Ki Jeon*
Dept. of Chemical Engineering, Kongju National University

Bisphenols 생산이 현대 플라스틱 및 고무 산업에서의 다양한 적용 가능성으로 인해 현대 산업의 주요한 산업으로 주목받고 있다. 특히, bisphenol F는 낮은 점도로 인해 플라스틱 및 고무 산업에 사용되는 액상 수지의 전구체로서 적절하여 그 중요성이 더해지고 있다. Bisphenol F는 산성 촉매 하에서 페놀과 포름알데히드의 반응 메커니즘을 통해 합성된다. 기존 bisphenol F 합성 공정에서는 분리 및 회수가 어려운 균일계 촉매를 사용하여 낮은 경제성을 보였다. 따라서 최근 이를 불균일계 촉매로 대체하려는 연구가 진행되고 있다. 특히 zeolite를 기반으로 한 촉매가 bisphenol F의 합성에 높은 활성을 띠는데, 마이크로 수준의 작은 기공으로 인해 반응 중 형성된 올리고머에 의한 촉매 비활성화가 해결해야 할 문제로 거론되고 있다. 이에 따라 메조 기공을 가진 silica인 MCM-41을 지지체로 사용한 W/MCM-41 촉매를 이용하여 bisphenol F 합성 연구를 진행하였다. 원자층 증착(ALD) 공정을 통해 W/MCM-41 촉매를 제조하였으며, N₂ adsorption, temperature-programmed desorption (NH₃-TPD) 등으로 촉매의 특성을 분석하였다. 또한, 제조된 촉매를 성형하여 fixed-bed reactor를 통해 bisphenol F 합성 실험을 진행한 후, 소성을 통해 재생하여 촉매의 수명을 평가하였다.

외부 표면 산점을 제어한 제올라이트 촉매를 이용한 Bisphenol F 합성

의시몬¹, 김예희¹, 원세연¹, 박영서¹, 황서연¹, 홍수연¹, 진종기^{1,2*}

공주대학교 화학공학부¹

공주대학교 자원재활용연구센터²

Synthesis of Bisphenol F using zeolite catalyst with controlled external surface acid sites

Simon Lee¹, Yehee Kim¹, Seyeon Won¹, Yeongseo Park¹, Seoyeon Hwang¹,

Sooyeon Hong¹, Jong-Ki Jeon^{1,2*}

Dept. of Chemical Engineering, Kongju National University¹

Resource Recycling Research Center, Kongju National University²

에폭시 수지인 폴리에스터 합성 원료로 많이 사용되는 bisphenols 중 bisphenol F(BPF)는 점도가 낮고 용제에 대한 저항성이 우수하여 생산량이 증가하고 있으며 수요 또한 증가할 것으로 보인다. BPF는 일반적으로 액체 산을 이용하여 페놀과 포름알데하이드를 축합하여 제조를 하지만 재활용, 폐산 처리 등 여러 가지 단점이 있다. 따라서 다양한 불균일계 촉매 중 안정적인 결정 구조, 미세 다공성으로 인해 널리 사용되고 있는 zeolite를 이용하여 BPF를 제조하는 연구가 진행 중이다.

그러나 zeolite는 BPF 합성에 높은 활성을 띠지만, 마이크로 수준의 작은 기공으로 인하여 반응이 진행되는 동안 부피가 큰 올리고머들에 의해 촉매가 빠르게 비활성화 되었다. 본 연구에서는 비활성화를 막기 위한 방법으로 분자 크기가 큰 실란화합물을 이용하여 제올라이트의 외부 표면 산점을 제거하였다. 촉매의 물리·화학적 특성은 질소흡착실험, NH₃-temperature programmed desorption, Pyridine-IR 등을 이용하여 분석하였다. Batch reactor를 통하여 BPF 합성 반응 실험을 진행하였다.

헤테로폴리산/Y-제올라이트 촉매를 이용한 Bisphenol F 합성

김예희¹, 박영서¹, 황서연¹, 원세연¹, 홍수연¹, 전종기^{1,2*}

공주대학교 화학공학부¹

공주대학교 자원재활용연구센터²

Synthesis of bisphenol F using heteropoly acid/Y-zeolite catalyst

Yehee Kim¹, Yeongseo Park¹, Seoyeon Hwang¹, Seyeon Won¹, Sooyeon Hong¹, Jong-Ki Jeon^{1,2}

Dept. of Chemical Engineering, Kongju National University¹

Resource Recycling Research Center, Kongju National University²

Bisphenol F(BPF)는 코팅, 접착제, 플라스틱 및 기타 화학 산업 등 광범위한 응용 분야에 사용되어 생산에 대한 관심이 높아지고 있다. BPF는 일반적으로 페놀과 포름알데하이드 하에서 균일계 산 촉매를 사용하지만 낮은 생산성과 높은 비용과 같은 단점이 있다. 따라서 쉬운 분리와 재사용성 측면에서 불균일계 고체산 촉매 중 명확한 형태 및 미세 다공성으로 인해 다양한 촉매 분야에 사용되는 zeolite를 사용한 연구가 지속되고 있다.

본 연구에서는 zeolite Y의 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratio과 heteropoly acid의 담지가 BPF 합성 반응에 미치는 영향을 분석하였다. Y 제올라이트에 heteropoly acid를 담지한 촉매를 제조한 후, 질소 흡착 실험을 통하여 촉매의 비표면적과 기공 특성을 알아보았고, NH_3 -TPD를 이용하여 산특성을 분석하였다. Batch reactor에서 BPF 합성 반응을 수행하고, 반응 조건을 최적화 하였다.

이타콘산의 수열 탈산소화 반응에 의한 메타크릴산의 제조

이홍식^{1*}, 권도희^{1,2}, 송봉근²
¹한국생산기술연구원, ²홍익대학교

Production of methacrylic acid by hydrothermal deoxygenation of itaconic acid

Hong-shik Lee^{1*}, Do Hui Kwon^{1,2}, Bonggeun Shong²
¹Korea Institute of Industrial Technology, ²Hongik University

바이오매스로부터 석유 유래 물질을 대체할 수 있는 화학물질을 경제적으로 생산하기 위한 노력이 다방면으로 이루어지고 있다. 석유와 비교하였을 때 바이오매스의 화학구조에는 높은 함량의 산소가 포함되어 있기 때문에, 이를 제거하는 것이 바이오화학물질 제조 과정에서 큰 비중을 차지한다. 전통적으로 물질에서 산소를 제거하는 방법 중 대표적인 것은 수소화에 의한 환원반응인데, 수소는 물질의 특성 상 저장 및 운반에 드는 비용이 높고 화재 위험이 크다는 단점을 지니고 있다. 이에 대한 대체 방안으로 제시될 수 있는 것 중 하나가 초/아임계수를 이용한 수열반응공정이다. 수열반응 조건에서는 물이 열 및 물질 전달 효율을 높이는 매체로서의 역할뿐만 아니라 수소를 제공하는 공여자로서의 역할 또한 할 수 있어서, 기존의 기체 수소를 사용하는 공정에 비해 비용 및 안전성 측면에서 크게 유리하다는 장점이 있다. 본 연구에서는 바이오전환 공정에서 의해 생산되는 이타콘산을 탈산소화하여 고분자원료인 메타크릴산으로 전환하는 반응을 수열공정에 의해 수행하였다. 메타크릴산의 수율 및 선택도에 미치는 각 반응 변수 및 촉매의 영향을 살펴보고, 생성된 메타크릴산의 회수를 위한 정제공정에 대한 연구를 수행하였다.

플라스틱 식품용기의 소각 시 발생하는 다환방향족탄화수소의 정량적 분석

이홍식*
한국생산기술연구원

Quantitative analysis of poly-aromatic hydrocarbons emission by incineration of plastic food containers

Hong-shik Lee*
Korea Institute of Industrial Technology

세계적 추세에 발맞춰 국내에서도 바이오플라스틱 사용량이 점차 확대되고 있으며, 그에 따라 필연적으로 발생하는 바이오플라스틱 폐기물에 대한 처리 및 재활용 방안의 마련이 시급한 상황이다. 일반 플라스틱과 마찬가지로 바이오플라스틱 또한 전량 분리수거는 현실적으로 불가능하기 때문에 일부가 일반폐기물에 혼입되어 소각 처리될 가능성이 높으나, 소각 시 유해물질의 발생 여부에 대한 조사 및 연구는 이루어지지 않고 있다. 따라서 향후 예상되는 바이오플라스틱 사용량 확대 및 그에 따른 관계법령 정비에 대비하여 바이오플라스틱 소각 처리 시 발생하는 유해물질의 성분 분석 자료를 구축해둘 필요가 있다. 본 연구에서는 플라스틱이 소각될 때 발생할 수 있는 대표적 유해물질인 다환방향족탄화수소의 발생 양상을 정량적으로 분석하였다. 바이오플라스틱을 포함한 여러 종류의 플라스틱 식품용기를 분석 대상으로 하여 플라스틱 종류에 따라 발생하는 물질의 조성을 비교하였다.

탄소중립 이행을 위한 글로벌 CCU 기술개발 동향 분석

강태진¹, 이진희¹, 이다혜¹, 강석환¹
고등기술연구원 청정에너지전환센터¹

Analysis of Global CCU Technology Development Trends for Carbon Neutrality Implementation

Tae-Jin Kang¹, Jin-Hee Lee¹, Da-Hye Lee¹, and Suk-Hwan Kang¹
Clean Energy Conversion Research Center, Institute for Advanced Engineering, 175-28, Goan-ro 51,
Yongin city, Gyeonggi-do, 17180, KOREA¹

기후변화로 인해 전 세계적으로 폭염, 폭설, 산불, 태풍 등 대규모 자연재해가 발생하고 있으며, 미국과 EU를 중심으로 기후대응과 통상정책을 연계시키는 정책을 도입하기 시작해, 2024년에는 기후-통상연계 이행의 경과가 가시화 될 것으로 예상된다. 국제에너지기구(IEA)는 전 세계적인 탄소중립 달성을 위해 CCUS 기술이 필수적이라고 발표하였다. 2023년 8월 미국 시카고대 경영대학원 연구팀에서 전 세계 약 1만 5천개의 상장사들의 탄소배출량을 분석한 결과, 기업의 온실가스 배출량과 온실가스 처리비용은 \$190/톤이며, 탄소피해비용은 기업 영업이익의 평균 44%에 달하는 것으로 추정하였다. 인터스트리아크는 글로벌 CCUS 시장 규모가 2021년부터 연평균 29% 성장하여 2026년에는 약 29조 7,000억 원(253억 달러)에 이를 것으로 분석하였다. 또한, 우리나라는 2030년 국가감축목표 달성 성과를 포함한 격년투명성보고서를 2024년까지 제출해야 하고, 기 제출된 2030년 국가감축목표보다 더 야심찬 2035년 국가감축목표를 2025년까지 유엔에 제출해야 한다. 따라서 본 연구에서는 온실가스 감축목표 달성을 위한 글로벌 CCU 기술 개발 동향을 분석하였다.

참고문헌

1. Kim, G., Kang, G. S., Choi, W., Oh, T. H., Lee, H. J., Oh, J., & Lee, J. “주요국의 탄소중립과 그린성장 전략에 관한 연구: EU, 미국, 중국, 일본을 중심으로 (Carbon Neutrality and Green Growth Strategies EU, US, China, and Japan)” KIEP Research Paper, 연구보고서 (PA), 22-07 (2022).

염수에서의 리튬 추출을 위한 최적 공정 설계 프레임워크

최중도¹, 임중훈^{1,2}, 김정훈¹, 김정환^{1,*}
연세대학교 화학생명공학과¹, 한국생산기술연구원²

리튬은 높은 에너지 밀도와 재충전 가능성으로 인해 배터리의 주 원료로 사용되며, 전기차 수요의 급증에 따라 핵심 원료인 리튬 시장 규모도 증가하고 있다[1,2]. 리튬의 주 원료는 광석 또는 염호에서 추출한 염수이다. 염수를 1~2년동안 증발시켜 농축하고, 불순물 제거 후 탄산나트륨을 반응시켜 탄산리튬을 제조한다[3,4]. 그러나 긴 증발시간으로 인해 연간 생산량이 제한되어 있고, 증발 가능한 염호를 보유한 국가는 제한적이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 해수 또는 지열수에서 리튬을 추출하는 연구가 진행 중이다. 또한 증발법을 대신하여, 용액이나 막분리를 통해 리튬을 직접 추출하는 방법이 개발되고 있다[5,6]. 본 연구에서는 최저 비용의 리튬 생산 공정을 국가별, 원료별로 최적화된 염수 농축법과 리튬 추출 공정의 조합을 제시하는 framework를 개발했다. 대상 원료는 4개국 염호의 염수, 지열수, 해수담수화 폐수이다. 첫째, 리튬이 포함된 자연 증발법, 증류법, 막분리법 중 최적의 공정을 통해 리튬이 포함된 염수를 농축한다. 둘째, 농축된 염수에서 리튬을 추출하기 위해, 침출법, 이온 교환법 및 용해법 중 최적의 공정을 적용한다. 각각의 원료에 대해 농축공정 5가지, 추출공정 3가지를 고려한 총 15가지의 공정에 대한 levelized cost of lithium을 계산하여, 최저 비용을 나타내는 공정을 선정했다. 본 연구를 통해, 리튬 원료에 따른 최적의 증발 및 추출 공정을 적용하여, 리튬 추출 공정의 경제성 향상 및 생산량 증대를 기대할 수 있다.

참고문헌

1. Ye Zhang, Yuehua Hu, Li Wang, Wei Sun, "Systematic review of lithium extraction from salt-lake brines via precipitation approaches," *Minerals Engineering*, 139, 105868 (2019)
2. Jeongdong Kim, Sangyoung Kim, Jonghun Lim, Il Moon, Junghwan Kim, "Sequential flue gas utilization for sustainable leaching and metal precipitation of spent lithium-ion battery cathode material: Process design and techno-economic analysis," *Journal of Cleaner Production*, 380, Part 2, 134988 (2022)
3. Emmanuel Atta Mends, Pengbo Chu, "Lithium extraction from unconventional aqueous resources – A review on recent technological development for seawater and geothermal brines," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11, Issue 5, 110710 (2023)
4. Hyejeong Lee, Jonghun Lim, Junghwan Kim, "Novel lithium production process using desalination wastewater and waste heat from natural gas combined cycle," *Energy Conversion and Management*, 292, 117396 (2023)
5. Abdullah Khalil, Shabin Mohammed, Raed Hashaikeh, Nidal Hilal, "Lithium recovery from brine: Recent developments and challenges," *Desalination*, 528, 115611 (2022)
6. Jeon Woong An, Dong Jun Kang, Khuyen Thi Tran, Myong Jun Kim, Tuti Lim, Tam Tran, "Recovery of lithium from Uyuni salar brine," *Hydrometallurgy*, 117–118, Pages 64-70 (2012)

Hidden role of the defected active sites in dehydration of Lactic acid

Jichan Kim¹, Jungho Jae^{1,*}

¹*Pusan National University*

*E-mail: jh.jae@pusan.ac.kr

Abstract

High-value-added products using biomass have recently been highlighted as an alternative to the petrochemical industry. Lactic acid (LA) produced through fermentation of sugars, is an ideal feedstock for acrylic acid(AA) because of its structural similarity. However, the production of AA from LA has a challenge to produce unwanted products due to its structurally adjacent functional groups. Therefore, to achieve high selectivity, various alkali ion zeolite was used in prior study and showed good activity by adjusting acid/basicity. However, it revealed that it is difficult to achieve high selectivity with the alkali ion itself without salts, especially when it uses alkali-exchanged zeolite, in situ formed Brønsted acid site, leading to deactivation. Therefore, in this study, we aim to prove how defective site in the structural chemistry of zeolites lead to selective dehydration by suppressing inactive sites and suggest insight for selective catalyst design from the mechanism study.

Electrochemical CO₂ conversion using metal supported on n-doped hierarchically porous carbon catalysts at bio-compatible conditions

Min Kyoung Kim¹, Jungho Jae^{1*}
*Pusan National University*¹

For realizing a carbon-neutral society, it is important to develop technologies that can convert carbon dioxide, a greenhouse gas, to valuable chemicals beyond simply capturing and storage technology. So far, various attempts have been made to develop the chemical and biological processes for effective CO₂ upcycling. In this study, bio-electrochemical system was combined with a chemical electrode for achieving the high CO₂ reduction reaction(CO₂RR) efficiency through the chem-bio hybrid conversion. The chief challenge in exploiting this concept is to develop the new electrocatalyst that works at the bio-compatible conditions, such as room temperature, ambient pressure and neutral pH. Hithertu, Tin(Sn) has been reported to have a low applied potential and good conductivity for CO₂RR to formate(HCOO⁻). We report on the activity of the various nanostructured Sn-supported catalysts supported hierarchically porous n-doped carbon at bio-compatible conditions and future perspective.

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

청정융합 특별심포지엄

(포스터발표 II)

2024년 3월 28일(목) 13:00~15:00
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비

Enhanced photocatalytic nitrogen fixation *via* Ru-doping of Bi₄Ti₃O₁₂

Swe Jyan Teh^{1,3}, Choe Earn Choong^{1,2*} and Min Jang^{1,2}

¹Environmental Engineering Department, Kwangwoon University, Seoul, Korea

²Plasma Bioscience Research Centre (PBRC), Seoul, Korea ³Methodist College Kuala Lumpur, Malaysia

As renewable energy usage increases globally, there is a growing demand for alternative methods to the fossil fuel-intensive Haber process for producing ammonia, NH₃ as an energy carrier. Photocatalytic nitrogen, N₂ fixation is a promising technology to convert inert atmospheric N₂ into NH₄⁺ using an 8-electron transfer pathway under solar energy [1]. However, in order to achieve higher NH₄⁺ yield, several challenges must be addressed such as limited light absorption and fast recombination of photogenerated holes and electrons [2]. Herein, we have prepared bismuth titanate perovskite oxide, Bi₄Ti₃O₁₂ (BT) *via* sol-gel method for photocatalytic N₂ fixation. We investigated the effect of Ru-doping (0.05, 0.1, 0.25 and 0.5 wt% assigned as 0.05Ru-BT, 0.1Ru-BT, 0.25Ru-BT, 0.5Ru-BT, respectively) as a co-catalyst to enhance NH₄⁺ yield. The prepared samples were characterized using FTIR-ATR, UV-Vis-DRS, Raman and photoelectrochemical analysis. The Raman spectra of the prepared samples showed the TiO₆ octahedra stretching and bending modes in Aurivillius-type Bi₄Ti₃O₁₂. The band gap (E_g) of pristine BT was calculated to be 3.11 eV *via* Tauc plot. The E_g for 0.05Ru-BT, 0.1Ru-BT, 0.25Ru-BT and 0.5Ru-BT were calculated to be 3.07, 3.05, 3.03 and 2.91 eV respectively, revealing that E_g decreased with increasing Ru doping. As a result, 0.25Ru-BT achieved the highest NH₄⁺ production performance, with apparent quantum efficiency (AQE) of 0.22% at 405 nm. This study demonstrated the synergistic effect of Ru-doping on bismuth titanate photocatalytic performance, prompting further exploration into the impact of various photocatalyst modifications on the N₂ fixation process.

References

1. Wei, Y., Jiang, W., Liu, Y., Bai, X., Hao, D., and Ni, B.J., "Recent advances in photocatalytic nitrogen fixation and beyond." *Nanoscale*, 14(8), 2990-2997 (2022).
2. Li, X., Chen, Y., Tao, Y., Shen, L., Xu, Z., Bian, Z., and Li, H., "Challenges of photocatalysis and their coping strategies." *Chem Catal.*, 2(6), 1315-1345 (2022).

The effects of bisphenol AP on microalgae: Ecotoxicity, removal mechanisms, and transcriptomic analysis

Hyun-Jo Ahn¹, Nikita Yadav¹, Rahul Tanpure¹, Byong-Hun Jeon^{1*}

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

The widespread industrial application of bisphenols led to enormous pollution and has been the subject of increasing scrutiny among the scientific community due to their potential adverse effects on human health and the environment [1]. Eventhough the Bisphenol-AP (BPAP), an analog of endocrine disrupter chemical bisphenol-A, is widely distributed in the environment, its toxicity to aquatic organisms has been studied rarely. Hence, The effect of BPAP on microalgal species was investigated with physiological changes in *Chlorella sorokiana*, *Chlamydomonas mexicana*, *Scenedesmus obliquus*, and *Chlorella vulgaris*, along with their potential to remove the BPAP in water. The result shows that the microalgae have a resistance capacity toward toxicity of BPAP in environmental level concentration, but BPAP can significantly disrupt the photosynthesis system of microalgae. The toxicity test demonstrates that *S. obliquus* (120hr-EC₅₀ 1.509 mg L⁻¹) is the most sensitive species to the toxicity of BPAP compared to *C. mexicana* (120hr-EC₅₀ 4.681 mg L⁻¹), *C. vulgaris* (120hr-EC₅₀ 6.189 mg L⁻¹), and *C. sorokiana* (120hr-EC₅₀ 6.509 mg L⁻¹). After 12 days, *C. mexicana* exhibited the highest removal capacity on 1 mg/L concentration of BPAP with 86.5% removal, along with 86.0, 78.9, and 56.5% removal from *C. vulgaris*, *S. obliquus*, and *C. Sorokiana*, respectively. Moreover, in-depth transcriptomics analysis was conducted to understand the molecular responses of BPAP in *C. mexicana*, which reveals altered expression of energy pathways, degradation, and antioxidation enzymes encoding genes. The biotransformed products of BPAP biodegradation were predicted to be less toxic than the parent compounds. This study demonstrated that microalgae can be used for the removal of BPAP and extended the understanding of the molecular mechanism of its biodegradation.

Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. RS-2023-00219983). This work was funded by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) of the Republic of Korea (RS-2023-00255939).

References

- [1] Yadav, N., Ahn, H.-J., Rane, N.R., Kurade, M.B., Li, X., Park, Y.-K., Khan, M.A., Chung, W.J., Chang, S.W., Jeon, B.-H. 2023b. Comprehensive study on removal of bisphenol-S and its metabolic fate using aquatic macrophytes. *Chemical Engineering Journal*, **455**, 140967.

Intermittent applied potential promotes selective enrichment of electroactive microbial community to convert CO₂ to CH₄ in microbial electrosynthesis cell

Minsoo Kim¹, Shuwei Li¹, Da Seul Kong¹, Eunseo Kim¹, Ha Ju Son¹,
Chang Hyup Lee¹, Jung Rae Kim^{1*}

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

Recently, the development of renewable energy of utilizing biogas (e.g., CH₄, CO₂) generated from anaerobic digestion (AD) progresses, and the need for a biogas upgrading process is emerging. Among them, microbial electrosynthesis can use this power to capture CO₂ and produce valuable compounds such as CH₄ for energy storage. Selective stabilization of electroactive bacteria using inorganic sources such as carbon dioxide rather than organic materials as carbon sources take 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 electrotrophic 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.

Employing *Klebsiella pneumoniae* L17 alongside Zero-Valent Iron and Electrodes for the Conversion of Crude Glycerol to 1,3-Propanediol

Da Seul Kong¹, and Jung Rae Kim^{1*}

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

Crude glycerol is a major byproduct in the production of biodiesel and contains a large number of impurities. The transformation of crude glycerol into valuable compounds such as 1,3-propanediol (1,3-PDO) using clean and renewable processes, like bioconversion, is an important task for the future of the chemical industry. In this study, 1,3-PDO bioproductions from crude and pure glycerol were estimated as 15.4 ± 0.8 and 11.4 ± 0.1 mmol/L, respectively. Because 1,3-PDO is a reductive metabolite that requires additional reducing energy, external supplements of electron for further improvement of 1,3-PDO biosynthesis were attempted using a bioelectrochemical system (BES) or zero-valent iron (ZVI). The conversions of crude and pure glycerol under electrode and iron-based cultivation were investigated for 1,3-PDO production accompanied by metabolic shift and cell growth. The BES-based conversion produced 32.6 ± 0.6 mmol/L of 1,3-PDO with ZVI implementation.

Enhancement of 1,3-Propanediol Bio-production from Glycerol through Metallic-Electron Donation System (MDS) Using Zero-Valent Iron and *Klebsiella pneumoniae* L17

Da Seul Kong¹, and Jung Rae Kim^{1*}

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

Suggested in the context of the Metallic-electron Donation System (MDS), this groundbreaking framework integrates Microbially Influenced Corrosion (MIC) and fermentation processes to enhance 1,3-Propanediol (PDO) production. Utilizing Zero-valent iron (ZVI) as an electron donor, the study investigates the synergistic effects of MDS with Abiotic Anaerobic Corrosion (AAC) in a home-made bioreactor system. A critical aspect identified for increasing PDO yield is the adjustment of pH, revealing higher production yields at pH 7.5 (0.77 ± 0.01 PDO production mM/ glycerol consumption mM in the with ZVI) and 8.5 (0.75 ± 0.27 PDO production mM/ glycerol consumption mM in the with ZVI). The study further explores the introduction of hydrogen, showcasing its potential to accelerate bacterial growth and amplify microbial activity within the MDS context. The research not only pioneers cost-effective and sustainable approaches for chemical production, particularly PDO, but also addresses challenges associated with MIC in diverse industrial applications. The study signifies a significant step toward advancing efficient and eco-friendly processes with broader implications in both industrial and environmental contexts.

Deciphering the Mechanism of Zero-Valent Iron Oxidation and Microbial Metabolic Transition in Glycerol-to-1,3-Propanediol Conversion

Da Seul Kong¹, and Jung Rae Kim^{1*}

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

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.

Electrodeposited polyaniline on graphite felt (PANI/GF) improves start-up time and acetate productivity of microbial electrosynthesis cell

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

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

Microbial electrosynthesis (MES) for CO₂ capture and utilization has been highlighted for carbon-negative intermediate chemical production. Interface engineering of the electrode surface promotes electron uptake by electroactive bacteria through extracellular electron transport systems and is essential for enhancing acetate production from CO₂. This study developed a polyaniline (PANI) electrodeposited graphite felt (GF) electrode to enhance acetate production in MES. The high biocompatibility and electrical conductivity of PANI promoted biofilm formation by increasing the interfacial interaction of electroactive bacteria. The physicochemical properties of PANI/GF were analyzed by Energy dispersive X-ray spectroscopy, Fourier transform infrared spectrometry, Raman spectroscopy, and X-ray diffraction. PANI/GF produced higher acetate levels (61.8 g/m²cat/day) from CO₂ than the unmodified GF (41.6 g/m²cat/day). The specific capacitance (C_p) of PANI/GF (0.018 Fg⁻¹) was 8.7 times higher than that of the unmodified GF (0.002 Fg⁻¹). The PANI/GF electrodes promoted biofilm formation on the surface and improved the enrichment time of MES. In conclusion, the PANI/GF-modified electrodes facilitate electroactive bacteria–electrode interactions and extracellular electron transfer to improve the performance of MES.

Redox mediated Biosensor: cellular redox stress driven biosensing of organic pollutant Triclosan

Himanshu Khandelwal¹, Sakuntala Mutyala¹, Minsoo Kim¹ and Jung Rae Kim^{1*}

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

The bacterial redox sensor has been highlighted since the monitoring and control of cellular redox state influences the cell metabolism. Triclosan, commonly employed in personal care products, its environmental impact is a concern. Triclosan have been reported to have inhibitory effects on NADPH in response to ROS generation. In *E. coli*, SoxRS NADP⁺ reductase gene senses the ROS/oxidative stress and activates transcriptional response to defend against toxic environment. Transcriptional regulation is helpful for bacteria to sense the oxidative stress created by the environmental factors which could be induced by redox mediators or environmental pollutants [1]. Such mechanism could upregulate gene of interest placed downstream of the SoxR-pSox gene. In this study, a plasmid was developed to harbour SoxR-pSoxS gene and LacZ as reporter protein into the *E. coli* BL21 (Δ LacZ SoxRS⁺). The redox stress/ ROS is generated by various redox mediators like pyocyanin and methyl viologen. The SoxR-pSox redox sensor was activated/induced by using redox cycling mediators in aerobic. Activation of redox sensor was measured using β galactosidase activity. Further this property is applied for controlled induction of SoxR-pSox sensor for a biosensing of Triclosan.

CRISPRi-mediated *P. putida* engineering for improved succinate production from acetate under microaerobic conditions

Mutyala Sakuntala¹, Himanshu Khandelwal¹, Daseul Kong¹ and Jung Rae Kim^{*}

School of Chemical and Biomolecular Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Korea

Succinate is a platform chemical for synthesis of bio-based plastics, solvents, adhesives, and resins. Generally, bio-succinate from acetate can be produced via aerobic pathways, notably glyoxylate/TCA pathway. This study was targeted on modulation of two key genes within glyoxylate pathway specifically citrate synthase (*gltA*) and succinate dehydrogenase (*sdhA*). Citrate synthase (*gltA*) gene transcript levels were ~3.4 fold lower under microaerobic condition than aerobic. In order to facilitate microaerobic succinate production from acetate, citrate synthase gene homologous overexpression was implemented. Simultaneously, to mitigate succinate re-assimilation, CRISPRi-mediated downregulation of the succinate dehydrogenase gene was employed. The resultant recombinant strains exhibited a remarkable ~50% enhancement in succinate production when compared to the wildtype counterpart. These findings underscore the promising potential of fine-tuned metabolic engineering in *P. putida*, demonstrating the efficacy of microaerobic conditions for enhanced succinate production from acetate, thereby contributing to the advancement of sustainable bioproduction processes.

A nickel-plated carbon paper electrode stably deposited with Prussian Blue for efficient removal and reuse of Cs ions

윤원경, 박이슬
부경대학교

Cesium(Cs) is a radioactive material that is harmful to the environment and human health due to its high energy gamma rays, long half-life, and high solubility in water. Prussian blue is a promising material for Cs removal adsorbent. Prussian blue(PB) has high selectivity for cesium ions, which is attributed to the crystal structure of PB consisting of iron and cyanide groups. Furthermore, excellent adsorption/capacity is due to the three-dimensional lattice structure that can effectively trap Cs ions. PB has been employed as an adsorbent in powder form, however, post-use recovery has proven challenging. Consequently, there is a need to immobilize PB onto a support material for enhanced usability and easy recovery. In this study, stable and robust PB deposition was achieved by employing a Ni plating process on carbon paper electrodes. Initially, the surface of carbon paper was modified with amine functional group, followed by the deposition of Ni onto amine-functionalized carbon paper. This Ni metal coating substantially enhanced the conductivity and adherence of PB on the carbon paper, ensuring a reliable and durable electrode. We conducted a comprehensive analysis to assess the chemical and electrochemical adsorption of Cs ions, as well as the stability of the PB/Ni-CP electrode, and compared it with the performance of the PB/CP electrode.

한국청정기술학회 2024년도 춘계 총회 및 학술대회

**청정일반
특별심포지엄**
(포스터발표 II)

2024년 3월 28일(목) 13:00~15:00
원덤그랜드 부산 2층 그랜드볼룸 로비

머신러닝 기반 식품공장 에너지 사용량 예측 모델의 예측 정확도 향상을 위한 하이퍼파라미터 최적화 기법 선정

박종혁, 이형아, 조우진, 김동주, 구재회*
고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터 에너지환경IT융합그룹

Selection of hyper-parameter optimization method to improve prediction accuracy of machine learning based food factory energy consumption prediction model

Jong-hyeok Park, Hyung-ah Lee, Woo-jin Cho, Dong Ju Kim, Jae-Hoi Gu*
Energy Environment IT Convergence Group, Institute for Advanced Engineering

초록

하이퍼파라미터란 초매개변수로 머신러닝의 모델 학습 과정에 반영되는 값들을 일컫는 말로, 학습 시작 전에 미리 조정하는 값을 말한다. 큰 범위에서 하이퍼파라미터는 입력 변수로 작용하기 때문에 머신러닝 모델에서 하이퍼파라미터의 최적화는 모델의 성능을 좌우할 수 있는 중요한 변수이다. 하이퍼파라미터의 설정에 따라 구축한 인공지능 모델의 계산 속도, 편차와 정확도 등이 결정된다. 달리 말해 목표하는 바에 따라 모델의 하이퍼파라미터를 조정함으로써 효율적인 인공지능 모델을 구축할 수 있다. 하이퍼파라미터 조정에는 Manual Search, Grid Search, Random Search, Bayesian Optimization 등 여러 기법이 존재한다. Manual Search는 경험적인 선정으로 구축 모델에 일반적으로 사용되는 하이퍼파라미터를 적용하는 방법이며, Manual Search 이외의 다른 기법들을 통틀어 오토 튜닝이라고 한다.

본 연구는 에너지 다소비 업종 중 하나인 식품공장의 에너지 소비량 절감을 위해 공정 설비 및 제어 시스템 개선과 더불어 효율적인 에너지 운영관리를 위해 에너지 소비량을 예측한다. 식품공장의 에너지 사용량 예측을 위해 Multi Layer Perceptron(MLP)를 적용한 인공지능 모델을 구현하였다. 기존 예측 모델의 하이퍼파라미터는 MLP 모델에서 제시하는 초기값을 적용하였다. 이에 구현한 모델의 정확도를 향상시키기 위해 오토 튜닝을 적용하여 MLP 하이퍼파라미터 최적화하고자 한다. 각 하이퍼파라미터 오토 튜닝 기법의 특성을 분석하여 본 프로젝트의 예측 모델에 적합한 하이퍼파라미터 최적화 기법을 선정하여 예측 모델의 정확도 향상하고자 한다.

사사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.20202020800290)

엣지 디바이스를 활용한 AI 시스템 구축

조우진, 이형아, 김동주, 구재희
고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹

Establishment of AI system using edge devices

Woojin Cho, Hyungah Lee, Dongju Kim, Jae-hoi Gu
Energy Environment IT Convergence Group, Institute for Advanced Engineering
†corresponding author: jaehoi@iae.re.kr

초록

국내 에너지 사용량은 2022년을 기준으로 산업 영역은 국가 전체 에너지 사용량의 69.6%를 사용한다. 그렇기에 산업의 에너지 절감 및 효율화가 국가 전체의 에너지 절감에 가장 큰 목표 중 하나이다. 산업단지 는 유사한 에너지 유틸리티를 사용하는 기업들이 모여있는 특성을 지니고 있다. 기존의 산업단지 내의 공 장은 대부분 개별 공장별로 스팀, 압축공기와 같은 유틸리티 공급설비를 설치하여 사용하고 있으며, 에너 지 효율이 낮은 소규모 유틸리티 공급설비를 설치하여 운영하기 때문에 에너지 소모량이 증가하는 요인 이 된다.

따라서 이 문제점을 해결할 수 있는 중소규모 Virtual Utility Plant(VUP) 공유 네트워크를 구축하여 산업단 지 내의 공장들에 스팀 및 압축공기와 같은 유틸리티를 인근 공장들이 공유할 수 있는 네트워크를 구축 함으로써 안정적 공급망을 활용하여 에너지 유틸리티 공급에 안정성과 효율성을 확보하여 에너지를 최적 으로 활용할 수 있도록 공급/수요 분석 및 예측 등을 운영하여 에너지 소비를 줄이는 것이 필요하다. 이 러한 Virtual Utility Plant의 운영을 위해서는 유틸리티 공급량과 사용량에 대한 분석 및 예측 등의 작업을 위해 서버 시스템 등의 효율적인 구축을 필요로 한다.

본 연구에서는 해당 문제점을 개선하기 위해 기존의 서버 시스템에서 구축되었던 AI 시스템을 엣지 디바 이스에 구축하여 기존 서버 시스템의 공간, 에너지 문제를 개선하여 대체하는 연구를 진행하였다. 본 연 구는 엣지 디바이스의 단독 시스템 사용과 신뢰도 확보가 가능함을 확인하였다.

사사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 과제입니다 (No. 20202020900170).

데이터 이상 감지 알림 시스템 설계 및 개발

조우진, 김동주, 이형아, 여채은, 구재희[†]
 고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹

Design and Development of Data Anomaly Detection Notification System

Woojin Cho, Dongju Kim, Hyungah Lee, Chae-eun Yeo, Jae-hoi Gu[†]
 Energy Environment IT Convergence Group, Institute for Advanced Engineering
[†]corresponding author: jaehoi@iae.re.kr

초록

전 세계적으로 전쟁과 기후 위기와 같은 다양한 원인으로 인한 에너지 비용 증가로 인해 에너지 절감과 관리, 에너지 효율 향상 등에 대한 사회적 요구가 증가하고 있다. 이에 대한 해결책으로 에너지 관리 시스템을 활용하는 방안이 한 방안으로 제시되었는데 에너지 관리 시스템은 적용되는 곳에 따라 빌딩 에너지 관리 시스템(BEMS), 주택 에너지 관리 시스템(HEMS), 공장 에너지 관리 시스템 (FEMS)등으로 나누어 분류한다. 이 중 가장 큰 비중을 차지하는 공장 에너지 관리 시스템의 경우 정부에서 제 3차 에너지 기본 계획을 통해 2025년부터 10만 TOE 이상의 에너지 다소비 사업장을 대상으로 의무화되어가고 있으며, 그 보다 작은 공장에서도 에너지 관리 시스템의 적용을 검토 중이다.

이러한 에너지 관리 시스템에서는 데이터 수집이 그 무엇보다 선행되어야 하는데, 데이터 수집은 센서 이상, 수집 시스템 이상, 운전 기기 이상 등의 다양한 이유로 문제가 발생할 수 있다. 이러한 데이터의 문제는 유지 보수 관련 문제와 더불어 데이터 기반 최적화를 진행하는 에너지 관리 시스템에서는 치명적인 문제를 발생시킬 수 있게 된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 에너지 관리 시스템에서 가장 주요하게 사용되는 수집되는 센서 혹은 데이터 자체의 문제가 발생하였을 때 알림을 주는 시스템에 대해 연구를 진행하였다. 실시간으로 수집되는 데이터 스트림을 지속적으로 확인하여 특정 메신저 혹은 메일을 통해 알림을 전송하는 시스템에 대한 연구를 진행하였다. 센서 데이터 감지 이상 알림 시스템 연구는 에너지 관리 시스템, 공장의 안정적 운영에 기여하고, 비정상 운전, 데이터의 이상치 탐지 관련 연구에 기여할 것으로 기대한다.

사사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 과제입니다 (No. 20202020800290).

에너지 네트워크 적용을 위한 축분 기반 반탄화 고형연료 특성 연구

김동주, 박종혁, 구재희*
고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹

Study on the characteristics of livestock manure based torrefied solid fuel for energy network application

Dongju Kim, Jong-hyeok Park, Jae-hoi Gu*
Energy environment IT convergence group, Institute for Advanced Engineering

가축 사육 형태가 기존대비 집단지화, 대규모화됨으로 인해 국내 가축분뇨가 연간 5천만톤 이상 발생하고 있으며, 이들로부터 발생하는 악취 및 수질오염 문제를 해결하기 위한 노력이 계속되고 있다. 최근 가축분뇨를 효율적으로 처리하면서 에너지를 생산할 수 있는 기술이 주목받고 있다. 기존 화석연료에 가축분뇨를 혼소하여 에너지를 생산하는 방식을 통해 화석연료 기준 CO₂ 배출량을 줄일 수 있고 재생에너지 공급을 늘릴 수 있는 가장 경제적이고 효율적인 방법으로 평가되고 있다. 그러나, 가축분뇨의 특성상 높은 수분으로 야기되는 낮은 발열량 및 생분해성으로 인해 혼소에 적용하는 가능성이 제한된다. 반탄화 기술은 바이오매스의 발열량, 에너지밀도 및 소수성을 증가시켜 석탄에 준하는 품질의 고형연료를 생산할 수 있는 열화학 전환공정으로서 가축분뇨에 적용하기 좋은 기술로 평가받고 있다. 에너지 사용 집단이 집중되어 있는 산업단지의 경우 에너지 네트워크를 활용하여 스팀 에너지를 공유할 수 있으며, 이때 축분 반탄화 고형연료를 사용하여 스팀을 생산하는 경우 CO₂ 배출량 저감 효과를 극대화 할 수 있다.

본 연구에서는 가축분뇨를 반탄화 하는 반응온도, 체류시간이 고형연료에 미치는 영향을 조사하였다. 100 kg/일급 반탄화 반응기를 사용하여 가축분뇨를 300°C 15분간 반응한 결과 발열량이 3,842 kcal/kg 수준으로 원재료 대비 8배 증가하는 결과를 확인하였으며, 연료비, 연소성지수 등 연료특성이 크게 증가한 것을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 축분 기반 반탄화 고형연료의 혼소를 통한 스팀 생산 및 에너지 네트워크 공유에 적합한 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 과제입니다. (No. 20202020800170)

A Study on the Prediction of LNG Usage in Food Factory applying Bayesian Optimization-based Hyperparameter Tuning

Hyungah Lee, Dongju Kim, Woojin Cho, Jong-hyeok Park, Chae-Eun Yeo, Jae-hoi Gu*
Energy Environment IT Convergence Group, Institute for Advanced Engineering

Energy management and optimization are important as energy consumption continues to increase in various fields. Accordingly, various technologies related to energy analysis and prediction are attracting attention. In particular, energy prediction improves the efficiency of production and supply management and can reduce unnecessary costs through optimization of energy use. In recent years, prediction research applying machine learning technology, which has the advantage of being able to train models using available data, has been actively conducted. One of the challenges of using these machine learning techniques is the selection of hyperparameters. Hyperparameters are not compatible with all combinations, and countless combinations are possible, making it impossible to check for all cases, and it is difficult to predict the impact of a change in a particular value on model performance. Therefore, as a more effective approach, various auto-tuning techniques are being considered.

In this study, MLP is applied among machine learning algorithms to predict LNG usage in a food factory. For hyperparameter optimization, Bayesian Optimization was applied to find the optimal combination while updating the probability distribution of hyperparameter values to try next based on previous attempts. This study aims to confirm the usefulness of the Bayesian Optimization-based auto-tuning technique by comparing the predictive performance with the base model applying hyperparameters as the default setting. In addition, the results of this study suggest that machine learning-based energy usage prediction technology can be applied to the field to be utilized for practical energy efficiency in the thermal energy sector, which has a large proportion in the food industry.

Acknowledgement

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) grant funded by the Korea government(MOTIE) (No. 20202020800290)

식품가공공정 에너지절감 기술 적용 FEMS 개발에 관한 연구

연채은¹, 김동주¹, 조우진¹, 이형아¹, 구재회^{1*}

¹고등기술연구원 에너지환경IT융합그룹

A Study on the Development of FEMS Applying Energy Saving Technology in Food Processing Process

Yeo Chae-Eun¹, Dongju Kim¹, Woo-Jin Cho¹, Hyungah Lee¹, Jae-Hoi Gu¹

¹Energy Environment IT Convergent Group, Institute for Advanced Engineering

최근 정부에서는 국내 에너지 소비의 61.7%를 차지하는 산업 부문에 있어 공장에너지관리시스템(FEMS, Factory Energy Management System) 구축 지원을 통한 에너지 절감 및 효율 최적화 성과를 얻고자 노력하고 있다 [1]. 그러나 이러한 제도의 도입은 철강, 석유, 정유, 시멘트 등 대규모 공장을 보유한 대기업 위주로 확산되어 왔으며, 이에 대부분의 중소기업체에서는 경제적인 부담으로 인해 FEMS 시스템 구축이 쉽지 않은 실정이다 [2,3]. 그 중에서도 식품가공은 제품 보존 및 품질 유지를 위한 건조, 가공, 살균 등의 다양한 열처리 과정을 거쳐 제품 생산 공정 작업으로 많은 에너지를 필요로 한다. 이에 최적 에너지 사용을 위한 식품가공공정 맞춤형 FEMS 개발은 필수적이다.

본 연구에서는 실증사이트인 식품공장에 설치된 계측인프라 및 제어인프라를 기반으로 에너지 사용 공정 설비별 실시간 에너지 소비 모니터링, data 분석, 수요 예측 및 운전현황, 에너지 소비 분석 및 열에너지 공급 제어 기능이 포함된 식품가공공정 에너지관리시스템을 개발 및 구축하였다. 공정 단위는 에너지 원단위로 가시화하였으며, 생산량에 비례하는 변동에너지 모니터링 및 에너지 절감 분석 기능이 개발되었다. 본 연구에서 개발된 FEMS 운영을 통하여 연간 에너지 절감량 126.49toe, 단위공장 절감율 7.78%를 달성하였다.

참고문헌

1. Abdelaziz, E.A., Saidur, R., and Mekhilef, S., "A review on energy saving strategies in industrial sector," *Renew. Sust. Energy. Rev.*, **15**(1), 150-168 (2011).
2. Korean Environmental Industry&Technology Institute(KEITI), "FEMS technology trend and application plan," *Konetic Report*, **16**, 1-10 (2015).
3. Hong, J., and Song, W., "A Study on the Gas furnace control technology of a process prediction based on FEMS information," *J-KICS.*, 455-457 (2022).

사사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.20202020800290)

폐차 혼합 플라스틱의 열분해 동향

김형진^{1,2}, 최수현¹, 윤주형¹, 김종수¹, 천승규², 정수화^{1*}

¹한국생산기술연구원 저탄소배출제어연구부, 31056, 충남 천안시 서북구 입장면 양대기로길 89

²서울과학기술대학교 에너지화학공학과, 01811, 서울특별시 노원구 공릉로 232

The trend of automotive shredder residue pyrolysis

Hyeongjin Kim^{1,2}, Su-hyeon Choi¹, Joo-Hyeong Yoon¹, Jong-Su Kim¹,
Seung-Kyu Chun², Soo-Hwa Jeong^{1*}

¹Carbon Neutral Technology R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology

²Department of Energy and Chemical Engineering, Seoul National University of Science & Technology

2000년대 이후부터 신차에 대한 수요와 그에 대한 생산량은 꾸준히 증가하는 상황이었지만 2020년 말 코로나 확산으로 재택근무가 늘면서 스마트폰, TV, 노트북 등의 수요가 폭발적으로 늘면서 차량용 반도체 부족으로 인해 생산량이 급감하였다. 그러나, 코로나가 현재 다시 팬데믹에서 엔데믹으로 전환되고, 물가 상승 등으로 스마트폰 같은 IT 제품 수요가 급감하고 차량용 반도체 생산이 다시 늘고 있는 추세로 전환되었다. 그에 따라 신차에 대한 수요와 전체 자동차 생산량도 다시 회복되고 상승하는 추세이다. 이러한 신차에 대한 수요 증가로 많은 양의 수명이 다한 차량 (End-of life vehicle, ELV)도 증가하고 있고 2020년에는 한국에서 약 95만 대의 ELV가 생성되었으며 2017년에는 일본에서 370만, 2018년에는 27개 EU 국가에서 610만 대의 ELV가 발생하였다. ELV는 엔진, 배터리, 연료, 타이어 (20-40 wt.%), 금속 (40-60 wt.%) 및 자동차파쇄잔재물 (ASR, automotive shredder residue) (20 wt.%)을 포함하며 에너지 재활용 및 재순환이 가능한 풍부한 자원의 원천이다.

최근 스웨덴의 iPEC社は 폐타이어 열분해를 목적으로 한 연속식 200 kg/h 처리 용량의 열분해 장비 TDP-2-200 제작을 통해 ASR 분해에도 적용중이다. 영국의 경우 100 kg/hr 용량의 로터리 킬른 반응기를 이용하여 ASR 열분해를 하고 있으며 일본의 경우 ASR 분별 기술에 더 투자 중이며 ASR의 27.1%는 재활용 물질 회수, 69.0%만을 열 회수를 위한 소각을 진행 중이다. 국내의 경우에는 현재까지 ASR 재활용은 주로 소각 및 매립을 통해 열을 회수하는 방식으로 진행되었다. 즉 현재까지도 ASR 열분해를 통한 에너지 자원화를 하는 업체는 없는 것으로 보인다. ASR 열분해를 통해 원료 속 금속 물질들 (예를 들어, 알루미늄, 철, 구리 등)을 좌를 통해 다시 회수 할 수 있으며 발생하는 가스에서 발열량을 활용한 에너지 재활용이 가능하며 오일을 통하여 나프타, 중질유 등을 얻을 수 있으므로 국내에 ASR 열분해 공정이 필요할 것으로 보인다.

키워드 ASR, ELV, 열분해

사사

본 결과물은 현대자동차 재원으로, 친환경소재연구팀의 기초연구과제 지원을 받아 연구 되었습니다.(No. ROMS23076300000)

폐 타이어 열분해 오일을 이용한 개질 아스팔트 바인더 연구

김중수, 김형진, 윤주형, 최수현, 정수화*
한국생산기술연구원 저탄소배출제어연구부

A study of modified asphalt binder by waste tire pyrolysis oil.

JongSu Kim, HyeonGjin Kim, JooHyeong Yoon, SooHyeon Choi, SooHwa Jeong*
Low-Carbon Emission control R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology

우리나라의 고형 폐기물 중 폐타이어는 부피가 크고 발생량이 많아 폐기물 처리 많은 문제를 발생시킨다. 폐타이어로 인한 사회적, 환경적 문제를 해결하기 위하여 다양한 방법을 이용한 폐타이어 처리가 이루어지고 있다. 폐타이어 주 처리 방법 중 매립과 소각이 있지만 매립의 경우 매립지 고갈, 고무의 가교결합에 의한 난분해 및 해중 번식지를 제공하여 소각은 독성가스 생성과 화재 위험 등 2차 환경문제를 야기하여 이를 대체하는 방법으로 열분해 기술이 주목받고 있다.

열분해 기술은 고형 폐기물 처리의 세 가지 원칙인 감소, 자원 회수 및 오염 물질 완화를 충족할 수 있는 폐타이어 처리 분야에서 유망한 재활용 및 에너지, 연료회수 방법이다. 폐타이어의 열분해 시 유기성분을 분해하여 가스, 열분해 오일 및 고체상 물질인 찌를 얻을 수 있다. 폐타이어 열분해 오일의 성상은 경유와 중유의 중간 정도이며 폐타이어 내 가황제 성분으로 인하여 황 성분이 약 1 wt.%가 포함되어 있다. 이러한 오일 내 황을 제거하기 위해서는 수침탈황 (hydrodesulfurization) 공정을 사용해야만 하는데, 고온고압 상태에 수소 및 촉매를 사용해야 하기 때문에 경제성의 문제가 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 폐타이어 열분해 오일을 석유 대체 물질이 아닌 소재로서의 활용 가능성을 알아보기 위하여 아스팔트 원료인 역청에 폐타이어 오일을 혼합하여 아스팔트 바인더로서의 성능을 관찰해보았다. 열분해 오일의 사용량을 아스팔트 대비 0, 5, 10, 15 %를 혼합하여 개질 아스팔트 바인더를 제조하고 이를 이용한 기존의 일반적인 물성평가 (밀도, 산도, 인화점, 침입도, 연화점) 및 공영성 등급 시험(압력노화시험: PAV, 처짐보유동시험: BBR test)을 진행하였다. 이를 통하여 폐타이어 열분해 오일의 사용량에 따른 아스팔트 바인더로서의 특성을 분석하였고, 활용 가능성을 제시하고자 한다.

Key words

폐타이어, 열분해, 오일, 황, 아스팔트 바인더

사 사

본 결과물은 현대자동차 재원으로, 친환경소재연구팀의 기초연구과제 지원을 받아 연구 되었습니다.(No. ROMS23028440000)

참고문헌

1. Ruwona, W., Danha, G., and Muzenda, E., "A Review on Material and Energy Recovery from Waste Tyres," Pro. Manu., 35, 216-222 (2019).
2. Humeyra B. T., "Production and characterisation of waste tire pyrolytic oil – Investigating physical and rheological behaviour of pyrolytic oil modified asphalt binder," Heliyon, 9, e12851 (2023)

LCA 기반 알루미늄 제품의 환경영향 분석

안희경
한국생산기술연구원

Environmental Impact Analysis of Aluminum products based on LCA

Heekyung An
Korea Institute of Industrial Technology

EU의 탄소국경조정제도와 신배터리 규제 대응을 위해 국내외 알루미늄 산업계에서는 알루미늄 제품의 전과정 탄소배출량 산정과 저감 활동을 적극 추진 중에 있다. 알루미늄 제품의 원재료는 **Primary** 알루미늄과 **Secondary** 알루미늄으로 구분되는데, **Primary** 알루미늄은 천연자원을 가공한 알루미늄 원재료를 의미하고, **Secondary** 알루미늄은 재활용 알루미늄을 가공한 원재료를 의미한다. 미국 알루미늄 협회는 **Primary** 알루미늄 생산 대비 **Secondary** 알루미늄 생산의 에너지 효율이 약 95% 높은 것으로 명시하였다 [1]. 따라서 최근 알루미늄 제품 전과정 탄소배출량을 저감하기 위한 방안으로 **Secondary** 알루미늄 연구가 확대되고 있는 추세이다. 본 연구에서는 알루미늄 제품 생산 전단계와 생산 단계를 범위로 탄소배출량을 산정하였으며, **Secondary** 알루미늄의 비율에 따른 탄소배출량을 비교분석하였다. 또한 각 배출원의 배출량을 비교하여, 향후 알루미늄 생산 공정에서의 탄소중립 방안을 제시하였다.

사사

본 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 국가과학기술연구회의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (CCL23191-100)

참고문헌

1. The Aluminum Association, <https://www.aluminum.org/secondary-production-101>

Leveraging Machine Learning to Predict the Atmospheric Lifetime and the Global Warming Potential (GWP) of SF₆ Replacement Gases

Haewon Kim¹, Guobin Zhao¹, Changwon Yang¹ and Yongchul G. Chung^{1,*}

¹*School of Chemical Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Korea (South)*

**Corresponding author. E-mail: drygchung@gmail.com (Y.G. Chung)*

The global warming potential (GWP) is a relative measure of the capability of a molecule to trap the Earth's infrared radiation as heat. The measurement or prediction of the GWP of a molecule is based on two factors: the radiative efficiency and the atmospheric lifetime of a molecule. While the calculation of the radiative efficiency of a molecule using the computational chemistry approach, such as density functional theory (DFT), is well-established and robust, the development of a computational approach to estimate the atmospheric lifetime remains challenging and limited to date. In this contribution, we developed a machine-learning approach to estimate a molecule's atmospheric lifetime and GWP100 based on electronic and geometrical features. We benchmarked the state-of-the-art computational workflow with the developed ML model in estimating the atmospheric lifetime and the GWP100. The developed ML model outperforms the existing approach with the MAE values of 0.234 (ML-predicted atmospheric lifetime), and 0.249 (direct ML model for GWP100) compared with 0.535 (Atkinson's method) and 0.773 (Kazakov et al.) from previous works. The developed models were used to screen >7,000 molecules in PubChem and bigQM7 datasets in a search for SF₆ replacement gas for the electric industry and identified 84 potential candidates.

펜톤 산화에 의한 TPH 오염 토양 정화를 위한 매개변수 최적화

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

Parameter optimization for TPH contaminated soil remediation by Fenton oxidation

So Yeon Yoon^{1,2}, Nurhaslina Abd Rahman^{1,2}, Seok Byum Jang^{1,2}, Kien Tiek Wong^{1,2},
 Choe Earn Choong^{1,2}, and Min Jang^{1,2*}
¹Kwangwoon University, ²Plasma Bioscience Research Center

The oil pollution accounts for 77% of the total soil contamination in South Korea, and TPH (total petroleum hydrocarbon) is identified as the major pollutant for oil pollution. For oil-contaminated soil, a long treatment time is required for natural remediation, and polycyclic aromatic hydrocarbons contained in TPH can damage DNA and cause cancer and skin irritation [1]. Thus, the proper treatment technology and management are required. In this study, the TPH removal experiments using H₂O₂ and synthetic/actual contaminated soil to investigate the effect of H₂O₂ and iron (Fe) content in soil toward TPH degradation. The initial TPH concentration was adjusted to 5,000-25,000 mg/kg TPH by adding diesel. It was found that TPH concentration continuously decreased for 5 days in every synthetic soil. As the injected volume of H₂O₂ increased, the TPH degradation efficiency and TPH removal rate also increased. The higher TPH removal rate was obtained at a higher initial TPH concentration since the contact opportunity between H₂O₂ and diesel increased due to the higher mass transfer. However, as the concentration of additionally injected Fe increased, the TPH degradation efficiency reduced. Interestingly, when the molar ratio of Fe to H₂O₂ exceeded 10, TPH removal efficiency rapidly decreased by less than 80% due to the competition effect of excess Fe, which consumed the hydroxyl radical generated from the Fenton reaction. Therefore, the proper injection of H₂O₂ according to the optimum Fe to H₂O₂ ratio is required for effective TPH soil remediation.

참고문헌

1. Choong, C. E., Wong, K. T., Yoon, S. Y., Kim, H., Shin, M., Chang, Y. Y., Yang, J., Kim, S. H., and Jeon, B. H., Yoon, Y., and Jang, M., A facile acid induced water-based solvent by improving hydrophobicity for simultaneous remediating total petroleum hydrocarbon, heavy metals and benzo (a) pyrene contaminated soil: Laboratory-and pilot-scale studies, Journal of Cleaner Production, 278, 123425 (2021).

불균일계 H_3PO_4 촉매를 이용한 프로필렌 수화반응

홍수연, 심민석, 이승희, 진종기*
국립공주대학교

Propylene Hydration using Heterogeneous H_3PO_4 Catalyst

Sooyeon Hong, Minseok Sim, Seunghee Lee, Jong-Ki Jeon*
Department of Chemical Engineering, Kongju National University, Cheonan, 31080, Korea

Isopropyl alcohol (IPA)은 IT 제품 세정액으로 사용되는데, 이는 프로필렌의 수화반응으로 제조할 수 있다. 본 연구에서는 불균일계 H_3PO_4 촉매를 제조하고 프로필렌의 수화반응에 적용하였다. 이를 위해 지지체로 silica를 사용하고 H_3PO_4 를 담지하여 촉매를 제조하였다. 촉매의 화학적 및 물리적 특성을 N_2 -adsorption and desorption와 NH_3 -temperature programmed desorption(TPD), Pyridine-IR 등을 사용하여 분석하였다. 제조한 촉매를 Fixed-bed reactor에 장착하여 프로필렌 수화반응 활성을 비교하였다. 반응실험은 gas chromatography를 통해 분석하였다. 반응실험이 종료된 후 생성물의 pH를 pH meter로 측정하여 H_3PO_4 가 용출된 정도를 확인하고 반응조건을 최적화하였다. Powder 형태의 silica에 H_3PO_4 를 담지한 후 bead 형태로 성형한 촉매가 우수한 활성을 보였으며, 비활성화가 상대적으로 느리게 진행되었다.

참고문헌

1. Logsdon, J. E., & Loke, R. A., "Isopropyl alcohol", *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, (2000).
2. Zhang, K, Su, Y., Wang, G., Sun, D., & Sato, S., "Enhanced catalytic performance of H_3PO_4/SiO_2 by doping WO_3 and Ag for the vapor-phase dehydration of 1, 2-propanediol to form propanal", *Applied Catalysis A: General*, 633, 118509(2022).
3. Shimizua, K., Takahashib, K., & Ikushimac, Y., "Propylene hydration in high-temperature water".
4. Al-Rabiah, A. A., Boz, I., Akhmedov, V. M, Mostafa, M. M. M., & Bagabas, A. A., "Highly selective gas phase catalytic hydrogenation of acetone to isopropyl alcohol", *Catalysts*, 12(10), 1251(2022).

Egg-shell type Cu/ γ -Al₂O₃ 촉매를 이용한 고농도 N₂O 저감에 관한 연구

이은한^{1,2}, 광인현^{1,3}, 변세기¹, 서두원¹, 황효정¹, 정의순⁴, 김한성², 이신근^{1,*}

¹한국에너지기술연구원, 34129 대전광역시 유성구 가정로 152

²연세대학교 화학생명공학과, 03772 서울특별시 서대문구 연세로 50

³고려대학교 화학생명공학과, 02841 서울특별시 성북구 안암로 145

⁴유니셈, 18510 경기도 화성시 장지남길 10-7

Egg-shell type Cu/ γ -Al₂O₃ catalyst for high-concentration N₂O abatement

Eun-Han Lee^{1,2}, In-Heon Kwak^{1,3}, Segi Byun¹, Doo-Won Seo¹, Hyo-Jung Hwang¹,

Eui-Soon Jeong⁴, Hansung Kim², Shin-Kun Ryi^{1,*}

¹Korea Institute of Energy Research (KIER), 152 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Deajeon 34129, Republic of Korea

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

³Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Korea University, 145 Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul, Republic of Korea

⁴UNISEM, 10-7, Jangjinam-gil, Hwaseong-si, Gyeonggi-do 18510, Republic of Korea

Abstract

N₂O는 지구온난화지수가 CO₂ 대비 310으로 높으며, 대기 중 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. 본 연구는 반도체 및 디스플레이 등 전자 산업시설에서 배출되는 N₂O의 직접촉매분해(deN₂O)를 위한 egg-shell 형태의 Cu/ γ -Al₂O₃ 촉매에 관한 것이다. N₂O 분해 반응은 약 5 mm 크기의 촉매를 Inconel 600 소재의 반응기에 20 mL 장입하여 수행하였다. N₂O 농도는 N₂ 분위기에 1%, 20%가 되도록 공급하였으며, 온도는 400-700 °C, 압력은 상압, GHSV는 1800 h⁻¹에서 촉매반응 특성을 확인하였다. DeN₂O 실험 결과 N₂O 농도가 1% 일 때 약 500 °C에서 완전분해가 가능하였으며, 20% 일 때는 약 550°C에서 완전분해가 가능하였다. 고농도로 배출되는 산업에서의 적용 가능성을 확인하기 위하여 550°C에서 연속 운전을 수행하였으며, 500 시간 동안 내구성 저하 없이 안정적으로 유지하였다. 따라서 egg-shell 형태로 제조한 Cu/ γ -Al₂O₃ 촉매는 반도체 및 디스플레이 등 전자 산업에 적용하여 N₂O 배출량을 저감할 수 있을 것으로 판단한다.

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

저급 유지로부터 바이오연료 생산을 위한 수첨 탈산소 반응에 운전조건이 미치는 영향

한기보, 장정희, 이지은, 장현성, 윤여진
고등기술연구원

Effect of Operation Conditions Characteristics on Hydrodeoxygenation for Hydrotreated Biofuel Production from Low-grade Oil & Fats

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

최근 급격한 기후변화에 대응 가능한 수송분야 탄소중립 목표를 달성하기 위하여 탄소중립 형태의 바이오연료 생산 및 적용에 대한 관심이 높아지고 있다. 도로수송 분야에서는 석유계 경유를 대체할 수 있으며, 항공수송 분야에서는 기존 석유계 항공유를 대체할 수 있는 수첨 바이오연료를 생산하는 기술로 HEFA(Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) 기반 공정기술이 대두되고 있다. 이에 탄소감축에 대응 가능한 원료인 저급 유지를 적용함과 동시에 온실가스 감축 가능한 범위 내에서 바이오연료를 생산하는 기술을 개발하는 것이 중요하다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 이에 대응 가능한 저급 유지로부터 온실가스 감축 가능한 수첨 바이오연료를 생산할 수 있는 HEFA 기반 공정의 일부분으로 수첨 탈산소 반응을 수행하였으며, 다양한 운전조건이 미치는 영향을 조사하였다.

스팀을 이용한 폐타이어 열분해 오일의 황 저감 및 개질화

최수현, 윤주형, 김종수, 김형진, 정수화*
한국생산기술연구원 저탄소배출제어연구부

Sulfur Reduction and Modification of Waste Tyre Pyrolysis Oil Using Steam

Su-hyeon Choi, Joo-Hyeong Yoon, Jong-Su Kim, Hyeong-Jin Kim, Soo-Hwa Jeong*
Low-Carbon Emission Control R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology

최근 자동차 및 타이어 산업 발전에 따라 매년 10억 개의 폐타이어가 발생하는 실정이다. 따라서 폐타이어 처리는 현재 주요 환경 문제 중 하나이다. 폐타이어를 처리하는 일반적인 방법은 매립 및 소각이다. 그러나 이러한 방법은 토양 고갈 및 오염 물질 배출과 같은 환경 문제를 초래한다. 따라서 친환경적 처리 방법이 요구된다. 열분해 처리방법은 산소가 없는 조건에서 열에 의해 크래킹 반응에 의해 열화학적 전환이 되는 기술이며 이산화탄소의 배출이 다른 처리 방법에 비해 적고, 생성물을 재활용할 수 있다는 큰 장점이 있다. 주요 생성물은 오일, 왁스, 가스 및 부산물이 좌가 발생한다. 이 중 폐타이어 열분해 오일(WTPO)은 높은 발열량(≥ 40 MJ/kg)과 고부가 가치 제품으로 간주된다. 또한 석유화학 제품 연료 및 고가의 화학물질의 원료로 재사용이 가능한 장점이 있다. 그러나 폐타이어 열분해 오일 내의 높은 황 함량이 존재하는 것이 나프타나 연료로 사용되기에는 불가피한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 스팀을 사용하여 폐타이어 열분해 오일과 500—600°C의 온도에서 반응을 하여 황을 저감하고자 한다. 반응 후 원소분석을 하여 황 함량을 비교하고 스팀과 열분해 오일, 반응 온도에 따른 열분해 오일 내의 황 함량 저감 영향을 살펴보고자 한다.

사 사

본 결과물은 현대자동차 재원으로, 친환경소재연구팀의 기초연구과제 지원을 받아 연구 되었습니다 (No. ROMS223028440000).

비산재를 이용한 직접수성탄산화 반응 특성

박동규¹, 한승만², 최창식^{1*}

¹고등기술연구원, ²아주대학교

Characteristics of Direct Aqueous Carbonation using Fly Ash

Dong Kyoo Park¹, Seungman Han², Changsik Choi^{1*}

¹Institute for Advanced Engineering, ²Ajou University

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 배출 되는 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 구분 할 수 있으며, 직접 탄산화 반응은 고온, 고압의 건식 반응과 원료물질을 물과 혼합하여 반응하는 수 성 반응 방식으로 다시 구분할 수 있다.

본 연구에서는 소각시설을 대상으로 상용급 탄산화 플랜트의 설계 및 공정 개선을 위한 기초 데이터 확보를 위해 실험실 규모의 이산화탄소 직접 탄산화 실험 설비를 구축하였으며, 일정 조성의 연소 모사가스를 이용하여 탄산화 반응제에 따른 탄산화 반응 특성을 고찰하였다. 탄산화 반응제는 생활폐 기물 및 바이오매스 소각 시설에서 발생하는 비산재 2종류를 이용하였으며, 각 시료의 칼슘 함량은 60% 및 17%로 나타났다. 이와 더불어 시약용 생석회 및 저급 생석회 그리고 탈황 석고를 이용하여 탄산화 반응 특성을 비교하였다. 실험 결과 소각 비산재의 CO₂ 포집율은 평균 55% 수준으로 나타났으며, 생석회 및 탈황석고의 CO₂ 포집율은 각각 73% 및 49%로 나타났다. 본 연구 결과는 이산화탄소 포집, 광물탄산화 기술 개발 및 최적화를 위한 주요 자료로 활용할 예정이며, 탄산화 반응 결과 이산화탄소 전환 탄산칼슘의 건설소재 이용 등을 위한 기술 개발 자료로 활용할 예정이다.

사 사

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

폐어망 유래 재생소재를 이용한 열전도성 복합소재 제조 및 특성 연구

김준석, 장은진, 홍민중, 김태현, 오미혜, 윤여성¹
한국자동차연구원¹

Study on Fabrication and Characterization of Composite Material with Thermal Conductivity Properties Utilizing Waste Fishing Nets

Jun-seok Kim, Eun-jin Jang, Min-jong Hong, Tae-hyeun Kim, Meehye Oh, Yeo-seong Yoon¹
Korea Automotive Technology Institute¹

세계 각국은 기후 변화로 인한 이상기후가 급격히 증가하고 있는 상황에서, 온실가스 감축을 위한 다양한 노력을 기울이고 있습니다. 한국 또한 국제사회의 움직임에 반영하여 탄소중립을 달성하기 위한 다양한 계획을 추진하고 있습니다. 이 중 석유화학 산업에서는 폐플라스틱 원료를 활용하는 방안을 모색하고 있습니다. 폐플라스틱 처리 과정에서 매립되면 분해에 오랜 시간이 소요되고, 소각 시에는 유독가스와 온실가스 배출로 환경오염을 초래합니다. 따라서, 폐플라스틱을 재활용하여 새로운 소재로 활용하는 연구가 진행되고 있습니다. 이를 통해 자원을 효율적으로 활용하고 환경오염을 최소화하는 방향으로 노력하고 있습니다.

폐어망은 바다에 버려진 대형 플라스틱의 70%를 차지하며, 태평양의 거대 플라스틱 쓰레기 섬에서도 대형 플라스틱 중 86%가 폐어망이 차지할 정도로 해양 오염의 주범으로 지목되고 있습니다. 따라서 효율적인 자원의 이용과 환경문제 대응을 위해 폐어망 재활용 소재를 활용한 기술개발이 필요한 실정입니다. 본 연구는 폐어망을 재활용한 재생 소재를 이용하여 방열 소재를 제조하고자 하였습니다. 연구에서는 폐어망을 재활용한 세 가지 종류의 재생 소재와 순수 PA6(폴리아미드 6), 1차 압출 PA6를 비교 대조하기 위해 열전도성 필러 40 wt%와 함께 이축압출기를 사용하여 복합화하였습니다(온도: 260°C, 회전속도: 150 rpm). 열전도도는 guarded heat flow meter법으로 측정하였으며, MS210-05 규격의 환경시험을 진행 후 만능시험기를 이용한 물성 측정하여 분석하였습니다. 열전도도의 경우 모든 시험편에서 비슷한 성능을 보였으며, 기계적 강도는 순수 PA6 대비 재생 소재에서 약 10% 낮게 나타났습니다. 이를 통해 재생 소재의 적용 가능성을 고찰하였다.

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

Sang-Eun Oh*, Aparna Sharma, Syed Ejaz Hussain Mehdi, Suleman Shahzad

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

Abstract

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 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 NO_3^- -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 NO_3^- -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 NO_3^- -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.

Keywords: microbial electrolysis cell, hydrogen evolution reaction, denitrification, iron-wool, biohydrogen.

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).

Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2023R1A2C1004608).

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

Sang-Eun Oh* Syed Ejaz Hussain Mejdī, Aparna Sharma, Woochang Kang, Suleman Shahzad
¹Department of Biological Environment, Kangwon National University, 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 50 kg/m³, fish feed 1% of fish weight, the FCR, SGR, and PER recorded were 1.02, 1.17%/day, and 2.72 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 overall good in terms of both fish growth and crop yield, but plants growth was better in HP system. AP system performance can be enhanced through identification of more sustainable practices to fulfill nutrient requirements in AP system.

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).

Acknowledgment

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. RS-2023-00227531)” Rural Development Administration, Republic of Korea, and by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2023R1A2C1004608).

Assessment of the toxicity of water pollution caused by heavy metals is based on a simplified measurement of oxygen consumption with a nitrifying bacterial bioassay

Sang-Eun Oh^{*}, Suleman Shahzad, Aparna Sharma, Anup Gurung, Ejaz Hussain, Woochang Kang

¹*Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon-si, Gangwon State, 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 of Ag⁺, 4.88 mg/L As³⁺, 24.30 mg/L Cd²⁺, 1.2 mg/L Cr⁶⁺, 2.56 mg/L Cu²⁺, 1.97 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. The relative abundances of ammonium oxidizing bacteria (AOB) species identified in the present study were *Nitrosomonas europaea*, *Nitrosomonas eutropha*, *Nitrosomonas oligotropha* and nitrite oxidizing bacteria (NOB) *Nitrospira moscoviensis*, *Nitrospira lenta*, *Nitrobacter vulgaris* and *Nitrobacter winogradskyi*. Moreover, because of its simplicity, short processing time, and the highly reproducible data obtained and developed procedure can be adapted for field screening check 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 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).

Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2023R1A2C1004608).

Calcium peroxide (CaO₂) granule-based Advanced oxidation process for the disinfection of aqueous solution

Sang Eun Oh*, Fida Hussain, Anup Gurung, Syed Ejaz Hussain Mehdi, Aparna Sharma, Suleman Shahzad, and Woochang Kang

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

The application of calcium peroxide (CaO₂) in the treatment of contaminated sites is expanding because of its favorable environmental properties and ability to release oxygen (O₂) and hydrogen peroxide (H₂O₂). Present study demonstrated the potential of CaO₂ granules based advanced oxidation process (AOP) as a disinfection of aqueous solution, with promising results in the inactivation of *E. coli*. Furthermore, the Fenton reaction, which is based on the use of a mixture of iron ions (Fe²⁺) and H₂O₂ that generates •OH under mild acidic conditions, has been successfully tested as an attractive disinfection alternative. The study also highlighted the efficiency of AOPs involving powerful oxidative hydroxyl radicals (•OH) such as Fenton reactions in bacterial inactivation. These findings suggest that CaO₂ granule-based Fenton could be a potential method for the disinfection of *E. coli*. The present investigation aimed to establish the basis for the possible use of CaO₂ in the inactivation of water-borne microbial diseases by analyzing the processes behind the inactivation of pathogens in actual surface water.

Keywords: Calcium peroxide (CaO₂); fenton system; hydroxyl radicals; disinfection; *E.coli*

References

1. Jeong, W. G., Kim, J. G., Lee, S. M., & Baek, K. (2022). CaO₂-based electro-Fenton-oxidation of 1, 2-dichloroethane in groundwater. *Science of The Total Environment*, 843, 157065.
2. Xue, Y., Sui, Q., Brusseau, M. L., Zhang, X., Qiu, Z., & Lyu, S. (2018). Insight on the generation of reactive oxygen species in the CaO₂/Fe (II) Fenton system and the hydroxyl radical advancing strategy. *Chemical Engineering Journal*, 353, 657-665.
3. Xue, Y., Sui, Q., Brusseau, M. L., Zhou, W., Qiu, Z., & Lyu, S. (2019). Insight into CaO₂-based Fenton and Fenton-like systems: strategy for CaO₂-based oxidation of organic contaminants. *Chemical Engineering Journal*, 361, 919-928.

CCU 기반 폴리올 합성 기술의 환경성평가 검토

이다혜¹, 이해성¹, 김진호¹, 김지현¹, 강석환^{1*}, 김준우²

¹고등기술연구원, 경기도 용인시 처인구 백암면 고안로 51번길 175-28

²포항산업과학연구원, 전남 광양시 금호로 187-12

Life cycle assessment review of CCU-based polyol synthesis technology

Da-Hye Lee¹, Hyesung Lee¹, Jin-Ho Kim¹, Ji-Hyeon Kim¹, 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-so, Jeollanam-do, 57801, Korea

신기후체제 출범 이후 전세계적으로 기후 변화 대응을 위해 온실가스 감축 및 CCU 기술에 대한 관심 이 높아지고 있는 가운데, 우리나라 또한 ‘2030 온실가스 감축로드맵 수정안(‘18)’, ‘제2차 기후변화 대응 기본계획(‘19)’ 등 국가 온실가스 감축목표 달성을 위해 다양한 정책을 수립·발표하였다. 2030 NDC(Nationally Determined Contribution)에 따르면 CCUS 기술을 통해 2030년까지 10.3백만 톤 감축을 목표로 하고 있다. CCU 기술 중 폴리우레탄(PU) 제조 기술은 가장 현실적인 기술로 평가되어 큰 폭으로 수요가 증가하고 있다. 기존의 PU 기술은 일반적으로 납사(naphtha)를 원료로 하여 포스겐(COCl₂)과 의 반응을 통해 이소시아네이트를 합성하고, 이를 폴리올(polyol)과 반응시켜 PU를 합성한다. 본 연구에 서는 유독성 물질인 포스겐 기반 이소시아네이트를 사용하지 않고 화석연료 대신 이산화탄소를 활용하 는 폴리우레탄(NIPU, non-isocyanate polyurethane) 합성 경로를 개발하고자 한다.

본 과제에서 개발한 NIPU는 다양한 경로를 통해 생산될 수 있으며, 포집된 CO₂의 출처와 포집공정 등 에 따라 CO₂ 감축 효과가 다르게 평가될 수 있다. 이에 개발 공정에 대한 환경성평가 결과 도출을 목표 로 전과정평가(Life Cycle Assessment) 기법을 활용하고자 한다. 개발 공정에 적용하기 앞서 기존 PU합 성 기술과 CCU 기반 PU합성 기술에 대한 전과정평가 사례를 비교하여 본 연구에서 개발한 NIPU 제조 기술 의 LCA 적용 방안과 CO₂ 감축량 산정 및 환경적 이점에 대한 내용을 검토하고자 하였다.

사 사

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

산점 특성이 다른 Al_2O_3 를 활용한 $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 촉매의 메탄 건식 개질 반응 연구

이다해, 이재경*
부경대학교 화학공학과

Methane dry reforming using $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ catalysts with different acid properties of Al_2O_3

Da Hae Lee, Jaekyoung Lee
Department of Chemical Engineering, Pukyong National University

메탄 건식 개질(Dry reforming of methane, DRM)은 온실가스인 CO_2 와 CH_4 를 반응물로 하여 H_2 와 CO 의 합성가스를 생산하는 반응으로 최근 온실가스 배출 규제 강화로 인해 DRM에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 개질 촉매로는 주로 $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 연구되어져 왔는데, Ni은 귀금속에 비해 가격이 매우 저렴하고, C-C, C-H 결합 분해력이 우수하다는 장점이 있다. 그러나 고온에서 진행되는 개질반응의 특성 상 Ni 입자의 소결과 Ni-탄소의 강한 결합으로 인해 일어나는 코킹에 의한 비활성화의 문제점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 상용 Al_2O_3 와는 산점 특성이 다른 AACH(Ammonium Aluminum Carbonate Hydroxide) 기반의 Al_2O_3 지지체를 이용해 $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 촉매의 DRM 반응 성능을 개선하고자 하였다. AACH 기반 Al_2O_3 와 상용 Al_2O_3 에 10, 20wt%의 Ni을 담지하여 800 °C에서 소성하였으며, 750 °C에서 환원하였다. 제조된 촉매는 SEM, BET, EtOH-TPD, XRD, H_2 -TPR를 통하여 반응 전 후 특성에 대해 분석하였다. DRM 반응은 700 °C에서 $\text{CH}_4:\text{CO}_2$ 를 1:1로 주입하며 53,000 GHSV $\text{mL}\cdot\text{g}_{\text{cat}}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 조건에서 수행하였다.

메탄 건식 개질 반응에서 Ni/Al₂O₃ 촉매의 조촉매 영향

서현명, 이재경*
부경대학교 화학공학과

Promoters Effect on Ni/Al₂O₃ Catalysts for Dry Reforming of Methane

Hyeon Myeong Seo, Jaekyoung Lee
Department of Chemical Engineering, Pukyong National University

메탄의 건식 개질 반응(DRM)은 대표적인 온실가스인 메탄과 이산화탄소를 합성가스(CO와 H₂ 혼합가스)로 전환할 수 있어 크게 주목받고 있다. 해당 반응의 촉매로는 Ni 활성상과 Al₂O₃ 지지체가 널리 사용되어왔다. 니켈은 C-H 결합 분해 활성이 우수하고, 귀금속에 비해 가격이 저렴하다는 장점이 있다. 하지만 700도 이상의 고온의 반응동안 니켈입자가 소결되고 특히 탄소 침적으로 인한 촉매 비활성화의 한계가 있다. 본 연구에서는 이를 극복하기 위해 조촉매로 격자산소 전달물질로 알려진 CeO₂와 TiO₂를, Al₂O₃의 산점 억제제를 위한 염기성 촉매인 MgO와 약한 산점을 가진 SiO₂를 활용하였고 각각의 조촉매들이 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 한다. 동일 몰수의 CeO₂, TiO₂, MgO, SiO₂ 조촉매를 γ -Al₂O₃에 각각 담지하였고 이후 고온반응에서의 담체 안정성을 확보하기 위해 900도에서 4시간 소성하였다. 이후 10 wt%의 Ni을 담지하고 air 분위기에서 800도 2시간 소성하였다. XRD 분석 결과 담지된 조촉매가 알루미늄이나의 상 안정성에 기여하는 정도가 다르게 나타났고 NiO와 NiAl₂O₄의 비율이 달라졌다. 또한, Ni-Al₂O₃, Ni-조촉매의 상호작용을 알아보기 위해 H₂-TPR 분석을 진행하였고 분석결과 담지된 조촉매에 따라 다양한 Ni-지지체 상호작용을 보이는 것을 확인하였다. 이러한 조촉매 첨가연구는 Ni/Al₂O₃ 촉매의 소결 및 탄소 침적과 같은 고질적인 문제를 개선하며, DRM 반응에서 각 조촉매의 영향을 밝혀낼 수 있을 것으로 판단된다.

히알루론산을 이용한 마이크로 입자 제조

Seung Han Woo and Chul Woo Lee*

*Department of Chemical & Biological Engineering/Rigonal Inovation Center,
Hanbat National University, Daejeon, South Korea*

Abstract:

As interest in skin health increases with the diversification of consumer trends and the aging population, the demand for Cosmetics Medical products for skin care is increasing. However, since the stratum corneum with a thickness of 10 to 60 μ m at the outermost part of the skin prevents external substances from penetrating the body, there is a limit to the absorption rate of active ingredients in the body.

Therefore, a transdermal delivery system is needed to increase the absorption rate of active ingredients. However, liposomes have different absorption rates depending on the substances that make up the liposome, and when the active ingredient is protein, stability maintenance problems occur, and injections or fine needles have good absorption rates, but they also cause considerable pain and infection.

In this study, water-soluble microspic particles were formed in an intaglio mold (Figure 1) using hyaluronic acid as a transdermal delivery system. Unlike conventional microneedle methods with pain, water-soluble microspic particle technology has the advantage of increasing skin delivery of active ingredients such as growth factor peptides and keeping unstable proteins stable for a long time without using mezzo rollers or stamps. However, the previously developed water-soluble microspic particles are water-soluble microspic particles in the form of triangular or polygonal horns with a small tip, and there was a problem that a number of bubbles were formed inside during the manufacturing process of filling and drying in an intaglio mold. In this study, a manufacturing method of water-soluble microspic particles that do not form bubbles inside and are easily separated from the mold was developed as well (Figure 2).

Keywords: Water-soluble microparticles, Hyaluronic acid, Intaglio mold, Cosmetics Medical, Skin delivery of active ingredients

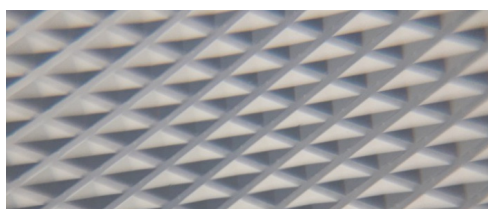


Figure 1: An intaglio plastic mold with a diamond pattern.

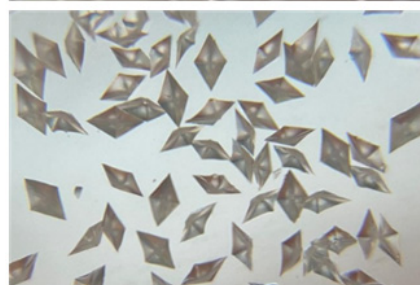


Figure 2: Water-soluble microparticles in the form of diamonds.

References:

1. Ha *et al.* (2017) The Effect of Micro-spicule Containing Epidermal Growth Factor on Periocular Wrinkles. *Ann. Dermatol.* 29(2): 187-193.
2. Bae, W. G. et al. (2019) Snake fang-inspired stamping patch for transdermal delivery of liquid formulations, *Sci. Trans. Medi.*, Jul 31: 11 (503).

아민의 분자 특성을 이용한 인공지능 기반 단일 아민 수용액 이산화탄소 흡수 성능 예측 모델 개발

정재빈¹, 주종효^{1,2}, 김정환^{1,*}

¹연세대학교 화공생명공학과, ²한국생산기술연구원 친환경재료공정연구그룹

아민을 이용한 이산화탄소 흡수 공정은 대표적인 이산화탄소 포집 공정으로, 아민의 종류와 농도, 온도, 압력 등의 조건에 따라 흡수 성능이 달라진다.[1] 일반적으로, 이산화탄소 흡수 성능은 CO_2 로딩 ($\text{mol}_{\text{CO}_2}/\text{mol}_{\text{amine}}$)으로 비교하며, 실험 데이터 및 열역학적 데이터를 통해 값을 예측해왔다.[2, 3] 그러나, 이러한 방법은 반복적인 실험과 복잡한 계산이 필요하며, 단일 종류의 아민에 대한 예측만 가능하다. 위 문제를 해결하기 위해, 본 연구는 분자 특성을 이용하여 인공지능 기반의 CO_2 로딩 예측 모델을 개발하였다. 제시된 모델은 심층 신경망을 사용하였고, 여러 문헌을 참고하여 13 종류의 아민 데이터를 학습에 사용하였다. 아미노기의 개수, 고리의 존재 여부 등 분자의 특성과 관련된 변수 및 온도, 압력, 농도를 포함한 10개의 입력 변수로 CO_2 로딩 예측을 진행하였으며, 모델의 손실 함수는 평균제곱오차(Mean Squared Error, MSE), 활성화 함수는 LeakyReLU를 적용하였다. 모델의 검증을 위해 결정계수(R^2)로 모델의 성능을 측정하였다. 학습된 모델은 평균 0.98 이상의 R^2 을 보여주었으며, 아민 종류별 예측 정확도 또한 준수함을 확인하였다 (MEA $R^2 > 0.99$, DEA $R^2 > 0.98$, PZ $R^2 > 0.98$ 등). 제시된 모델을 이용하면, 향후 고성능 아민 흡수제 개발에 상당한 기여를 할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Hamdy, L. B., Goel, C., Rudd, J. A., Barron, A. R. and Andreoli, E. "The application of amine-based materials for carbon capture and utilisation: an overarching view," *Materials Advances*, 2, 5843-5880 (2021).
2. Chakma, A. and Meisen, A. "Improved Kent-Eisenberg model for predicting CO_2 solubilities in aqueous diethanolamine (DEA) solutions," *Gas Separation & Purification*, 4, 37-40 (1990).
3. Perdomo, F. A., Khalit, S. H., Graham, E. J., Tzirakis, F., Papadopoulos, A. I., Tsivintzelis, I., Seferlis, P., Adjiman, C. S., Jackson, G. and Galindo, A. "A predictive group-contribution framework for the thermodynamic modelling of CO_2 absorption in cyclic amines, alkyl polyamines, alkanolamines and phase-change amines: New data and SAFT- γ Mie parameters," *Fluid Phase Equilibria*, 566, 113635 (2023).

청정 흡착제 평가를 위한 웹어플리케이션

진석환, 진현석, 이예은, 가성빈*
울산대학교 화학공학부

Web Application for Adsorbent Evaluation in Clean Technology

Seokhwan Jin, Hyeon Seok Jin, Yeeun Lee, Seongbin Ga*
University of Ulsan, School of Chemical Engineering

Abstract

Adsorbent 사이트는 주어진 데이터에 적합한 등온선 모델과 모델에 사용되는 parameter를 제시하며, 더 나아가 recovery 또한 제시한다. 사용자는 주어진 흡착 데이터에 대해 어떤 등온선 모델이 적합한지 알지 못하기 때문에, 적절한 등온선 모델을 찾을 때까지 모든 등온선 모델을 테스트해야 하는 어려움이 있다 [1, 2]. 기존의 방법으로는 등온선 모델에 흡착 데이터를 맞출 수 있는 이상적인 흡착 솔루션 이론(IAST)을 사용하여 혼합 등온선 데이터를 얻는 과정이 python을 이용하거나 따로 어플리케이션(application software)을 다운받아서 사용해야한다. [1,2] 이런 번거로운 부분을 해결하기 위해 isofit, simide 및 taipy package를 주로 이용하여 결과값을 얻었고[1], 이를 사이트로 만들어 접근성을 높였다. 흡착 데이터를 업로드하면 간단하게 등온선 모델과 그에 해당되는 parameter 및 물질의 recovery 또한 결과로 얻을 수 있다. 고압, 저압과 같은 operation condition에 따라 달라지는 recovery 결과값 또한 사이트에서 확인 할 수 있다. 이는 python을 잘 사용하지 못하는 비전공자나 주어진 흡착 데이터에 대한 결과를 쉽고 빠르게 얻고 싶어하는 사용자들이 이용하는데 적합하고, 실험 및 연구자들에게도 매력적인 사이트이다.

참고문헌

1. Ga, S., An, N., Joo, C., and Kim, J. "pyAPEP: an all-in-one software package for the automated preparation of adsorption process simulations," *Comput. Phys. Commun.*, 108830, (2023).
3. Kang, M., Yoon, S., Ga, S., Kang, D. W., Han, S., Choe, J. H., ... and Hong, C. S. "High-throughput discovery of Ni (IN) 2 for ethane/ethylene separation," *Adv. Sci.*, 8(11), 2004940. (2021)
2. Ga, S., Lee, S., Kim, J., and Lee, J. H. "Isotherm parameter library and evaluation software for CO2 capture adsorbents," *Comput. Chem. Eng.*, 143, 107105, (2020).

From By-product to Benefit: Supercritical CO₂ Extraction of Valuable Compounds from Korean Rockfish Waste

Min-Seo Choi, Jin-Seok Park, Sang-Min Lee, Jung-Hwa Jung Byung-Soo Chun

Department of Food Science and Technology, Pukyong National University, 45 Yongso-ro, NamGu, Busan 48513, Republic of Korea

Korean Rockfish, a significant contributor to fish production in Korea, faces waste issues with the disposal of heads and viscera. However, these by-products possess valuable nutrients with potential health benefits. This study explores the utilization of supercritical carbon dioxide extraction, a clean process, to extract functional materials from Korean Rockfish by-products. The extraction process was compared with conventional methods to assess its efficiency and environmental impact. Characterization of the extracted oil included proximate composition analysis, physical property evaluation, and fatty acid composition determination. Antioxidant tests were conducted to assess the functionality of the oil. The findings suggest that supercritical carbon dioxide extraction offers a sustainable approach to valorize Korean Rockfish by-products, contributing to waste reduction and resource utilization in marine industries.

References

1. Haque, A.R., Park, J.S., Ho, T.C., Roy, V.C., Ali, M.S., Kiddane, A.T., Kim, G.D., Chun, B.S., “Characterization of oil and amino acids obtained from yellow corvina by-products using subcritical and supercritical fluids”, J. Supercrit. Fluids

Evaluation of Physicochemical and Bioactive Properties of Makgeolli Ground Extract Treated with Supercritical and Subcritical Fluids

Jang-Woo Kim, Jin-Seok Park, Ji-Min Han, Sin-Won Park and Byung-Soo Chun*

¹*Department of Food Science and Technology, Pukyong National University, 45 Yongso-ro, Nam-gu, Busan, 48513, Republic of Korea*

Makgeolli is a typical traditional Korean wine. Makgeolli ground (MG) is generated about 20% of raw materials during manufacturing process. Previous studies have used hydrothermal extraction or organic solvent extraction and suggested that there are various phenolic compounds in the MG. In this study, supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) extraction and subcritical water extraction (SWE) are utilized instead of organic solvent extraction. SC-CO₂ extraction and SWE are both safe, eco-friendly, and harmless to human using CO₂ and water as the solvent, respectively. The properties such as yield, color, acid value, and peroxide value of the oil obtained from MG by SC-CO₂ extraction was determined. Then, the de-oiled MG was extracted using subcritical water extraction at different temperature conditions. Extracts were evaluated for hydrolysis efficiency, pH, color, maillard reaction products, total phenolic content, total flavonoid content, total sugar content, total protein content, antioxidant activity (ABTS⁺, DPPH, FRAP), monosaccharide composition and *in-vitro* bioactivities (anti-diabetic, anti-inflammatory, anti-cholesterol activity). The purpose of this study is to contribute to the zero-waste in the food industry by analyzing the extract obtained from the discarded MG by using eco-friendly clean technology to identify the potential for industrial utilization such as functional food.

References

1. Kim, M. S., Shin, W. C., and Sohn, H. Y., "Application of the Lees of Domestic Traditional Wine and its Useful Biological Activity", *J. Life Science*, 25(9), 1072-1079 (2015)

YOUR NEW DESTINATION

서부산의 새로운 데스티네이션,
윈덤 그랜드 부산에서 잊지 못할 추억을 만들어 보세요.



Rooms

타입	면적	수량
디럭스	29	80
프리미엄	37	129
이그제큐티브	37	38
온돌 스위트	37	3
코너 스위트	62	17
이그제큐티브 스위트	95	2
윈덤 스위트	150	1
윈덤 그랜드 스위트	216	1

- 24개 스위트 객실을 포함한 271개 객실
- 전 객실 바다 전망
- 초고속 무선 인터넷
- 스마트 TV
- 에이스 하이브리드 테크 매트리스
- 구스다운 침구
- 네스프레소 커피 머신
- 발뮤다 커피 포트 및 알트 하우스 티
- 바이레도 다화용 어메니티
- 개별 냉·난방 조절기
- 객실 내 금고
- 객실 내 미니바
- 전 객실 금연
- 프리미엄 객실 이상 욕조 설치

Restaurant & Bar

- 더 델리 | 1F | 051-933-6877
홈메이드 브래드·디저트·시즈널 케이크
- 더 카페 | 1F | 051-933-6877
스페셜 로스팅 커피·시즈널 드링크·칵테일·목테일
- 더 브릿지 | 4F | 051-933-6873
세계의 모든 미식을 경험 할 수 있는 뷔페 레스토랑
- 스시 우미 | 6F | 051-933-6879
프라이빗 오마카세 스시 바

Wyndham Wellness Club

- 피트니스·골프·GX 스튜디오
테크노짐 아티스 라인의 기구
골프존 GDR 시스템의 스크린 골프
- 수영장
남향 대교 전망을 품은 파노라마 오션뷰
유아 전용 수영장과 자쿠지
- 사우나
해수 온천수 제공
건식·습식 사우나와 온수탕

Service

- 다국어 가능 직원
- 24시간 컨시어지 서비스
- 24시간 비즈니스 센터
- 세탁 및 드라이 클리닝 서비스
- 신문
- 발렛 서비스
- 룸 서비스
- 유모차 대여 서비스
- 휠체어 대여 서비스
- 연회 서비스
- 환전
- 리무진 서비스
- 아기용품 대여 서비스



부산광역시 서구 등대로 27
윈덤 그랜드 부산

T. 051-993-3000
F. 051-933-6700

welcome@wyndhamgrandbusan.com

한국청정기술학회 2024년도

춘계 총회 및 학술대회 초록집

2024 THE KOREAN SOCIETY OF CLEAN TECHNOLOGY SPRING CONFERENCE