



사단법인
한국에너지학회
KOREAN ENERGY SOCIETY

www.koes.or.kr

2021년도 한국에너지학회 추계학술발표회

2021년도 한국에너지학회 추계학술발표회

일시. 2021년 11월 3일(수)~11월 5일(금)

장소. 메종글래드제주호텔

주최 및 주관. 사단법인 한국에너지학회

후원.



DANSUK



한국아이티오 (주)



고려대학교
KOREA UNIVERSITY



**CONSTRUCTION
ENGINEERING SERVICE**

사단법인

www.kose.or.kr

한국에너지학회

KOREAN ENERGY SOCIETY

2021 한국에너지학회 추계학술발표회 조직위원회

대 회 장 : 박진호 회장

조직위원장 : 한승욱 수석부회장

조직위원 : 김종남, 김철진, 김환용, 안지환, 이관영 부회장

운영위원장 : 박은덕 편집위원장

부위원장 : 임종세 기획이사, 김범석 학술이사

운영위원 :

(학계이사) 김석민, 김우경, 김종배, 박종배, 송재천, 원장묵, 유동진, 유승훈,
정지철, 정진석, 조철희, 천원기, 탁용석, 허성윤, 홍준희

(연구계 이사) 권기영, 김성수, 김현태, 명성호, 명승엽, 손정락, 송동근,
이광호, 이금정, 이상학, 이호무, 장원석, 장중철, 장태연, 조길원, 정기석,
조상민, 조현춘, 최병일, 황규철

(산업계 이사) 권종택, 김대룡, 김도완, 김동섭, 김홍대, 남기웅, 송양희,
안용모, 양재구, 오승훈, 오시덕, 이종용, 정돈영, 조승호, 최승환, 최지영, 탁현수

(기관 이사) 김경재, 김용식, 김한곤, 김호빈, 안관식, 염학기, 이상훈, 이승현,
이형묵, 정광성, 하종한

(기획이사) 이기백, (학술이사) 김원석, 김태형,

(재무이사) 이창현, (총무이사) 윤재호

자문위원장 : 박중구 상임고문

자 문 위 원 :

정근모 명예회장, 선우현범, 박이동, 박원훈, 김상돈, 권영진, 손재익, 최기련,
윤맹현, 박달영, 강주명, 김지윤, 한문희, 김래현, 남인석, 황주호, 윤기봉,
안남성, 이기우, 남기석, 김경원, 곽병성 고문

추계학술대회 참가안내

2021 KOES AUTUMN CONFERENCE

■ 등록

- 사전등록 : 전자계산서 요청, 온라인카드결제, 계좌입금

전자계산서는 10월 29일까지 학회 메일(kosee@kosee.or.kr)로 요청하시면 발급해드립니다.

- 등록대 운영시간 : 11. 4(목) 12:30 ~ 11. 5(금) 12:00

- 등록비

구 분	정회원·종신회원	비회원	학생회원	학생비회원
사전등록	130,000원	160,000원	90,000원	100,000원
현장등록	150,000원	180,000원	100,000원	110,000원

- 추계학술대회는 COVID-19 방역 지침에 따라 식사는 제공하지 않습니다.
- 등록시 학술발표회 프로그램북을 배부하며, 발표논문 초록은 파일로 배포합니다.
- 학술대회 등록자를 대상으로 기념품 배부 및 추첨 행사가 준비되어 있습니다.

[경품추첨 일시 : 11월 4일(목) 17시~18시 개회식 종료 후]

■ 분과발표 안내

[구두 발표]

- 발표날짜 및 시간을 확인하시기 바랍니다. 4일(목)~5일(금) 양일간 진행됩니다.
- 발표시간은 질의응답을 포함하여 15분입니다
- 노트북과 무선프리젠테는 발표장에 준비되어 있습니다.
- 발표장에 미리 도착하셔서 노트북에 발표자료를 저장해두시기 바랍니다.

[포스터 발표]

- 발표날짜 및 시간을 확인하시기 바랍니다. P1(목)과 P2(금)로 나뉘어 있습니다.
- 발표 시간 전까지 본인번호가 붙어 있는 포스터보드에 자료를 부착하시기 바랍니다.
- 작품 사이즈 : 가로 90cm 세로 120cm (규격외 제출 가능)
- 포스터 양식은 자유이며, 필요하실 경우 학회홈페이지에 있는 양식을 사용하시면 됩니다.

2021년도 한국에너지학회 추계학술발표회 총괄일정

■ 일시 : 2021년 11월 3일(수) ~ 11월 5일(금)

■ 장소 : 메종 글래드 제주 호텔 2층 (제주특별자치도 제주시 노연로 80)

▶ 11월 3일(수)

시간	일정
16:00~18:00	분과회의(비공개)

▶ 11월 4일(목)

시간	A 발표장	B 발표장	C 발표장	D 발표장	E 발표장	포스터
12:30~18:00	등록				이사회(1층)	
13:30~14:00					일반세션	포스터발표 I
14:00~16:30	특별세션 1	특별세션 2	특별세션 3	특별세션 4	분과별 구두발표	
	수소경제	2050 탄소중립을 위한 탄소광물화 기술 (지질자원연구원 탄소광물화사업단)	에너지거래 플랫폼 융합인력양성 추계 워크샵 (건국대학교)	차세대 소형 모듈형 원자력시스템(SMR) 개발 현황 (한국원자력연구원)		
	coffee break					
16:50~18:10	개회식 개회사 : 한국에너지학회 박진호 회장 (한국에너지공과대학교 연구부총장) 축 사 : 한국에너지기술평가원 권기영 원장					
	기조강연 강연주제 : 4차 산업혁명과 에너지전환 초청연사 : 제주에너지공사 황우현 사장					
	2021년도 한국에너지학회 정기총회 및 우수논문시상식					
18:10~	경품추첨					

▶ 11월 5일(금)

시간	A 발표장	B 발표장	C 발표장	D 발표장	E 발표장	포스터
9:30~12:00	등록					
10:00~12:30	특별세션 5	특별세션 6	특별세션 7	일반세션	일반세션	포스터발표 II
	수요분야 탈탄소화	에너지 국제공동연구 (한국에너지 기술평가원)	지속가능형 에너지소재의 최신 동향 (아주대학교)	분과별 구두발표	분과별 구두발표	

※ 코로나19 상황에 따라 일정이 변경될 수 있습니다.

추계학술대회 참가안내

2021 KOES AUTUMN CONFERENCE

■ 등록

- 사전등록 : 전자계산서 요청, 온라인카드결제, 계좌입금

전자계산서는 10월 29일까지 학회 메일(kosee@kosee.or.kr)로 요청하시면 발급해드립니다.

- 등록대 운영시간 : 11. 4(목) 12:30 ~ 11. 5(금) 12:00

- 등록비

구 분	정회원·종신회원	비회원	학생회원	학생비회원
사전등록	130,000원	160,000원	90,000원	100,000원
현장등록	150,000원	180,000원	100,000원	110,000원

- 추계학술대회는 COVID-19 방역 지침에 따라 식사는 제공하지 않습니다.
- 등록시 학술발표회 프로그램북을 배부하며, 발표논문 초록은 파일로 배포합니다.
- 학술대회 등록자를 대상으로 기념품 배부 및 추첨 행사가 준비되어 있습니다.

[경품추첨 일시 : 11월 4일(목) 17시~18시 개회식 종료 후]

■ 분과발표 안내

[구두 발표]

- 발표날짜 및 시간을 확인하시기 바랍니다. 4일(목)~5일(금) 양일간 진행됩니다.
- 발표시간은 질의응답을 포함하여 15분입니다
- 노트북과 무선프리젠테이션 발표장에 준비되어 있습니다.
- 발표장에 미리 도착하셔서 노트북에 발표자료를 저장해두시기 바랍니다.

[포스터 발표]

- 발표날짜 및 시간을 확인하시기 바랍니다. P1(목)과 P2(금)로 나뉘어 있습니다.
- 발표 시간 전까지 본인번호가 붙어 있는 포스터보드에 자료를 부착하시기 바랍니다.
- 작품 사이즈 : 가로 90cm 세로 120cm (규격외 제출 가능)
- 포스터 양식은 자유이며, 필요하실 경우 학회홈페이지에 있는 양식을 사용하시면 됩니다.

2021년도 한국에너지학회 추계학술발표회 총괄일정

■ 일시 : 2021년 11월 3일(수) ~ 11월 5일(금)

■ 장소 : 메종 글래드 제주 호텔 2층 (제주특별자치도 제주시 노연로 80)

▶ 11월 3일(수)

시간	일정
16:00~18:00	분과회의(비공개)

▶ 11월 4일(목)

시간	A 발표장	B 발표장	C 발표장	D 발표장	E 발표장	포스터
12:30~18:00	등록				이사회(1층)	
13:30~14:00					일반세션	포스터발표 I
14:00~16:30	특별세션 1	특별세션 2	특별세션 3	특별세션 4	분과별 구두발표	
	수소경제	2050 탄소중립을 위한 탄소광물화 기술 (지질자원연구원 탄소광물화사업단)	에너지거래 플랫폼 융합인력양성 추계 워크샵 (건국대학교)	차세대 소형 모듈형 원자력시스템(SMR) 개발 현황 (한국원자력연구원)		
	coffee break					
16:50~18:10	개회식 개회사 : 한국에너지학회 박진호 회장 (한국에너지공과대학교 연구부총장) 축 사 : 한국에너지기술평가원 권기영 원장					
	기조강연 강연주제 : 4차 산업혁명과 에너지전환 초청연사 : 제주에너지공사 황우현 사장					
	2021년도 한국에너지학회 정기총회 및 우수논문시상식					
18:10~	경품추첨					

▶ 11월 5일(금)

시간	A 발표장	B 발표장	C 발표장	D 발표장	E 발표장	포스터
9:30~12:00	등록					
10:00~12:30	특별세션 5 수요분야 탈탄소화	특별세션 6 에너지 국제공동연구 (한국에너지 기술평가원)	특별세션 7 지속가능형 에너지소재의 최신 동향 (아주대학교)	일반세션 분과별 구두발표	일반세션 분과별 구두발표	포스터발표 II

※ 코로나19 상황에 따라 일정이 변경될 수 있습니다.

특별세션 1

- 일 시 : 2021년 11월 4일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : 2층 A발표장
- 세션명 : 수소경제
- 좌 장 : 이창현 (단국대학교)

발표 제목	발표자	소속
수소정책 : 국내외 수소정책 동향	박진남 수소PD	한국에너지기술평가원
수소제조	조원철 수소연구단장	한국에너지기술연구원
수소저장 : 탄소중립 실현을 위한 화학적 수소저장기술	윤창원 교수	포항공과대학교
수소활용 : 수소모빌리티와 수소산업 생태계	구영모 본부장	한국자동차연구원
수소안전 : 수소연료전지 안전기준 개발현황	이정운 책임연구원	한국가스안전공사

특별세션 2

abstract p.27~p.36

- 일 시 : 2021년 11월 4일(목) 13:00~16:30
- 장 소 : 2층 B발표장
- 주 관 : 한국지질자원연구원 탄소광물플래그십사업단
- 세션명 : 2050 탄소중립을 위한 탄소광물화 기술
- 좌 장 : 최준현 박사(한국지질자원연구원 탄소광물화사업단)

시 간	주요내용	발표자
14:00~14:05	개회사 - 안지환 한국지질자원연구원 탄소광물플래그십 단장	
14:05~14:20	CO ₂ utilization and rare earths enrichment by integration of carbonation to alkali activation of Circulating Fluidized Bed coal fly ash	Lai Quang Tuan
14:20~14:35	Sustainable Arsenic Removal from Aqueous solution by simultaneous precipitation and Carbonation	Youngju Song
14:35~14:55	Trend of Global Construction Industry and Carbon-neutral Strategy applying Carbon Mineralization/Conversion Utilization Technology	Chaeyeon Lim
14:55~15:10	Removal of Phosphorus from Wastewater using Nano-calcium Hydroxide and Aragonite Synthesized by Hydration or Carbonation of Waste Seashells	Mohd Danish Khan
15:10~15:25	Synthesis of activated carbon pellets from spent coffee ground for the adsorption of odor from waste diaper	Geunho Kim
15:25~15:40	Solid waste and Industrial waste management in Vietnam: Moving towards a Circular Economy by CCUS technologies	Nguyen Van Duc
15:40~15:55	An innovative approach to utilize the heat energy-saving source at abandoned coal mining system	Dayoung Ju
15:55~16:10	CCA clinker synthesis from MSWI fly ash and red mud as carbon mitigated cement supplement	SunO Kim
16:10~16:25	Carbon Mineralization Potential in Coal Fly Ash by Accelerated Carbonation	Sanggyu Lee
16:25~16:35	A preliminary study on carbonation of Ca(OH) ₂ -stabilized human urine for removal of excessive calcium	Lulit Habte

특별세션 3

- 일 시 : 2021년 11월 4일(목) 13:00~16:30
- 장 소 : 2층 C발표장
- 주 관 : 건국대학교
- 세션명 : 에너지거래 플랫폼 융합인력양성 추계 워크숍
- 좌 장 : 노재형(건국대학교)

발표 제목	발표자	소속
(초청강연)		
재생에너지 수용성 제고를 위한 정책수단에 관한 고찰	조기선	한국전기연구원
풍력 변동성을 고려한 장기 단기 시나리오 제작	이두희	건국대학교
솔라커넥트 에너지 서비스 기술 개발 현황	박대현	솔라커넥트
분산전원 연계점 전압 개선을 위한 스마트 인버터의 기능별 태양광 발전량에 대한 영향 분석	공은경	건국대학교

특별세션 4

- 일 시 : 2021년 11월 4일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : 2층 D발표장
- 주 관 : 한국원자력연구원
- 세션명 : 차세대 소형 모듈형 원자력시스템(SMR) 개발 현황
- 좌 장 : 주형국(한국원자력연구원)

발표 제목	발표자	소속
소형/초소형 원자력시스템 개요 및 전망	주형국	한국원자력연구원
i-SMR 혁신기술 개발	강한옥	한국원자력연구원
원자력 수소생산 개요 및 현황	김찬수	한국원자력연구원
원자력-재생에너지 하이브리드 에너지 시스템 개발 현황	방영석	(주)미래와도전

특별세션 5

- **일 시** : 2021년 11월 5일(금) 10:00~12:30
- **장 소** : 2층 A발표장
- **세션명** : 수요분야 탈탄소화
- **좌 장** : 윤재호(한국에너지기술연구원)

발표 제목	발표자	소속
개회 - 한국에너지학회 박진호 회장		
에너지 수요부문 탈탄소화 R&D 전략	이상학 스마트수요관리PD	한국에너지기술평가원
전기자동차의 스마트충전과 V2G 기술	박기준 실장	한전 전력연구원
철강산업의 에너지 전환과제, 수소환원제철기술	이상호 연구위원	포스코
탄소중립과 스마트시티	최종웅 대표	인코어드

특별세션 6

- **일 시** : 2021년 11월 5일(금) 10:00~12:30
- **장 소** : 2층 B발표장
- **주 관** : 한국에너지기술평가원
- **세션명** : 에너지국제공동연구
- **좌 장** : 정승영(한국에너지기술평가원)

발표 제목	발표자	소속
마찰지지 기반 해상풍력 하이브리드 모노파일 기술 개발	정연주 선임연구위원	한국건설기술연구원
초저가 ESS 지향 중저온 구동 평판 Na계 이차전지 개발	양충모 박사	포항산업과학연구원
가동원전 및 신형원전의 설계확장조건 안전성 향상을 위한 규제동향 및 대처능력 개선 방안 연구	조재선 부사장	(주)미래와도전
베트남 기후/경제적 여건을 고려한 고효율 건물에너지 패키지 현실화 실증 및 사업화 기반 구축	성옥주 책임연구위원	한국건설생활 환경시험연구원
드론용 공랭식 패시브타입 초경량 연료전지 무가습 MEA 개발	김진영 책임연구위원	한국과학기술연구원

특별세션 7

abstract p.37~p.50

- **일 시** : 2021년 11월 5일(금) 10:00~12:30
- **장 소** : 2층 C발표장
- **세션명** : 지속가능형 에너지소재의 최신 동향
- **주 관** : 아주대학교
- **좌 장** : 강정민·채상윤(아주대학교)

발표시간	발표 제목	발표자	소속
10:00-10:20	Self-powered electronic skin devices based on silk protein for energy harvesting and tactile sensing	Narendar Gogurla	아주대학교 에너지시스템학과
10:20-10:35	High Voltage Solid-State-Lithium-Battery with Oxide-based Electrolyte	Fouzia Knifif	아주대학교 에너지시스템학과
10:35-10:50	Direct alcohol formation from photocatalytic partial oxidation of methane over TiO ₂ modified by FeO _x	NKENKU ANIMBOM BUMA CARL	아주대학교 에너지시스템학과
10:50-11:10	ZnNiCo hydroxide/graphene-CNT hydrogel on surface-modified current collector for high performance supercapacitors	강정민	아주대학교 에너지시스템학과
11:10-11:25	Au-Pd 촉매 상에서 직접 합성한 과산화수소를 이용한 메탄 부분산화반응	강종규	아주대학교 에너지시스템학과
11:25-11:40	스프레이 코팅을 통한 ITO 박막 특성 제어 및 응용	김다슬	아주대학교 에너지시스템학과
11:40-11:55	펄스 레이저를 이용한 비틀린 이황화몰리브덴 이중층에서의 층별 박피 현상 및 실시간 2차 고조파 이미지 연구	김영철	아주대학교 에너지시스템학과
11:55-12:10	Optimization of catalytic pyrolysis for hydrogen production from CH ₄ without CO ₂ emission	김진아	아주대학교 에너지시스템학과
12:10-12:25	페로브스카이트의 결정 성장 차원에 따른 포논-폴라리톤 동역학 분석	김환식	아주대학교 에너지시스템학과
12:25-12:45	광전기화학적 수소생산을 위한 방식층 개발	채상윤	아주대학교 에너지시스템학과

[포스터 세션] 10:00~12:30

Te-Flux-Controlled Chemical Vapor Deposition Synthesis of In-Plane 1D-2D Metal-Semiconductor Mo ₆ Te ₆ -MoTe ₂ Heterostructures	김현경	아주대학교
Ammonia decomposition catalysts for hydrogen production : a review	김한봉	아주대학교
Large-Area Selective Synthesis of Monolayer and Spiral MoSe ₂ by Flux-Controlled Chemical Vapor Deposition	안주현	아주대학교
Ion exchange reaction and ionic conductivities of ATa ₂ PO ₄ (A = H, Li, and Na)	하준호	아주대학교 에너지시스템학과

논문발표 세부일정

● ● ● 11월 4일(목) E발표장

>>> 신재생에너지/수소연료전지		page
A01 13:30~13:45	LNG 시설 누설 모니터링을 위한 광케이블 구조 연구 <u>이아리</u> , 송석용, 한승준, 한윤섭, 심효민 (주)에피텍	53
A02 13:45~14:00	LNG 냉열이용 데이터센터 기술동향 <u>김호연</u> · 전재연 · 강명수 · 류근창 한국가스공사 가스연구원	54
A03 14:00~14:15	액화수소 저장탱크의 설계 및 단열성능 평가를 위한 해외 기준 분석 <u>이민경</u> · 김수현 · 김정환 · 이재훈 · 유근준 한국가스안전공사 가스안전연구원	55
A04 14:15~14:30	KGS AC111 내수소취성평가에 따른 수소 압력용기 수명계산 <u>김정환</u> · 이화영 · 이민경 · 이재훈 · 유근준 한국가스안전공사 가스안전연구원	56
A05 14:30~14:45	수소충전소용 고압수소배관 적용을 위한 수소배관 설치의 국내외 기준 분석 연구 <u>신동원</u> · 이민경 · 이재훈 · 김정환* 한국가스안전공사 가스안전연구원	57
A06 14:45~15:00	AD2000 규격의 피로평가에 의한 수소 압력용기 허용사용회수에 대한 고찰 <u>이화영</u> · 김정환 · 이민경 · 이재훈 · 유근준 한국가스안전공사 가스안전연구원	58
>>> 에너지신사업융합/정책		page
A07 15:15~15:30	LNG 배가스 이산화탄소 포집을 위한 막분리 공정 파일럿 실증 연구 <u>한상훈</u> , 김세종, 임진혁, 이충섭, 장원석*, 하성용 (주)에어레인, *한국지역난방공사 미래개발원	59
A08 15:30~15:45	도심 LNG발전소 배기가스내 CO2 저감 및 유용물질 생산을 위한 미세조류 및 폐열 활용기술 개발 <u>장원석</u> · 신경아 · 장미희 · 김경민 · 이종준 · 신혜현 · 남궁형규 · 이현철 · 유지혜 한국지역난방공사 미래개발원	60
A09 15:45~16:00	엑서지 및 열경제학적 분석의 R&D 전략수립 적용 가능성에 관한 사례연구- CGAM 열병합발전시스템 <u>이금정</u> · 오시덕*·서석호* · 곽호영* 한국에너지기술평가원/고려대학교 과학관리학 박사과정, (주)블루이코노미전략연구원	61
A10 16:00~16:15	에너지R&D 기술가치평가를 통한 혁신기업 금융지원 시사점 <u>김봉균</u> , 송수원, 이민정 한국에너지평가연구원	63
A11 16:15~16:30	LSA 기법을 활용한 지역난방의 소비자 비시장 가치의 추정* <u>김주희</u> ** · 임슬예*** · 유승훈**** **서울과학기술대학교 에너지정책학과 연구교수, ***한국지역난방공사 미래개발원 연구전략부 선임연구원, ****서울과학기술대학교 에너지정책학과 교수	67

논문발표 세부일정

● ● ● 11월 5일(금) / D발표장

>>> 태양광발전/자원개발순환/수소연료전지		page
B01 10:00~10:15	Room temperature strong luminescence of CdS nano-clusters Byoung-Ju Kim ¹ , Eun-Hye Park ² , Boo-Hwan Ahn ² , Ho-Cheung Kim ² , Chul-Jin Kim ² , Chan-Gyu Park ³ , 강광선² ¹ Smartfarm Development Division Department of Agricultural Engineering ² New and Renewable Energy Department, Kyungil University ³ Mechatronics Department, Kyungil University	68
B02 10:15~10:30	Fabrication of Sb2Se3 thin film solar cells Vasudeva Reddy Minnam Reddy , Sreedevi Gedi, Jihyeon Noh, Salh Alhammadi, Ignatius Andre Setiawan, Hyeonwook Park, and Woo Kyoung Kim* 영남대학교	74
B03 10:30~10:45	폐배터리 Black Powder을 이용한 친환경 탄산리튬 제조 기술 개발 유장용 · 강위관 · 조호용, 이채수 · 장원석* 두산중공업 기술연구원, *한국지역난방공사	75
B04 10:45~11:00	건물용 고체산화물 연료전지 복합배기 평가항목 도출에 관한 연구 김민규 · 권준엽 · 김민우 · 이재진 한국가스안전공사 가스안전연구원	76
B05 11:00~11:15	수소추출설비 안전기준 개발 연구 염지웅 · 이정운* · 유방현 한국가스안전공사 가스안전연구원	77
B06 11:15~11:30	고정형 연료전지 보급확산을 위한 건물용 열효율 평가 개정안 연구 조인록 · 최재욱 · 염지웅 · 이정운 · 김영규 한국가스안전공사 가스안전연구원	78
B07 11:30~11:45	Fuel Gas Supply System using the hydrogen storage in Metal Hydride 김준배 · 최성운 · 조배석 한국조선해양기자재연구원 가스연료기술센터	79
B08 11:45~12:00	드론용 이동형 연료전지 시스템 안전기준 개발 최재욱 · 조인록 · 이정운* · 유방현 한국가스안전공사 가스안전연구원	80
B09 12:00~12:15	건물용 연료전지의 유럽 수출을 위한 안전이슈 분석 및 국내실증 연구 한수진 · 김민우 · 이재진 한국가스안전공사 가스안전연구원	81
B10 12:15~12:30	연료전지 독립운전 및 계통전환을 위한 안전기준 개발 연구 권준엽 · 김민규 · 김민우 · 이재진 한국가스안전공사 가스안전연구원	82

논문발표 세부일정

● ● ● 11월 5일(금) / E발표장

>>> 신재생에너지/정책/원자력/에너지신산업융합		page
C01 10:00~10:15	촉매특성 증대를 통한 섬유형 태양전지 효율 증대 최진우* 한국재료연구원, 표면재료연구본부 에너지전자재료 연구실	83
C02 10:15~10:30	유연한 탄소나노튜브 섬유를 활용한 자가 구동 및 융합형 에너지 생산 및 저장 소자 연구 개발 김재호 · 최진우 한국재료연구원 표면재료연구본부 에너지전자재료연구실	84
C03 10:30~10:45	금속 유기 프레임워크를 이용한 섬유형 염료 감응형 태양전지의 성능 향상 구성준^{1,2} · 최진우¹ ¹ 한국재료연구원, 표면재료연구본부 에너지전자재료 연구실 ² 부산대학교, 나노융합기술학과	85
C04 10:45~11:00	분산편익 보상에 따른 국내 구역전기사업의 경제성 변화 분석 신동현 · 진태영 에너지경제연구원	86
C05 11:00~11:15	산업부문 온실가스 원단위 현황 및 시사점 진태영¹ · 신동현¹ · 박지용² · 김도원* ¹ 에너지경제연구원 집단에너지연구팀, ² 에너지경제연구원 수요관리연구팀 *에너지경제연구원 전력정책연구팀	87
C06 11:15~11:30	엑서지 및 열경제학적 분석의 R&D 전략 수립에 적용 가능성에 대한 사례연구-가스터빈 시스템 오시덕 · 서석호 · 이금정*·곽호영 (주)블루이코노미전략연구원, *한국에너지기술평가원/고려대학교 과학관리학 박사과정	88
C07 11:30~11:45	국내외 에너지전환 정책 현황 비교 및 시사점 정훈 국회미래연구원	90
C08 11:45~12:00	미국의 운전원 수동조치 적용 사례에 관한 연구 박재완 · 오승준 · 설진환 (주)피엔이	91
C09 12:00~12:15	원자력발전소 정상운전조건에서의 NBR의 열화예측 방법론 송인영 · 김지현 울산과학기술원 원자력공학과	92
C10 12:15~12:30	효율적인 스마트에너지 캠퍼스 운영을 위한 딥러닝 기반 건물의 피크시간 전력 소비량 예측 모델 김수희 · 이하은 · 김종은 · 이동훈 · 이동진 · 김관호* 인천대학교 산업경영공학과	93

포스터발표 I

● ● ● 11월 4일(목) 14:00-16:00

번호	발 표 주 제	page
P1-1	원자력 발전용 고온고압 열교환기 성능검증 시험장치의 이차계통 개념 설계 <u>이선일*</u> · 배황* · 방윤곤* · 윤현기** 한국원자력연구원 혁신계통안전연구부*, 한국원자력연구원 수출용신형연구로실증사업단**	97
P1-2	글리세롤 기반 DES의 열수력적 특성 실험 연구 <u>표명현</u> , 서시원, 이재영 한동대학교 기계제어공학과	98
P1-3	온도차 감시방법을 통한 열교환기의 성능 열화징후 감시 <u>이재경</u> · 이효직 한국원자력연구원 핵주기시험평가부	105
P1-4	원자력발전소 배플포머볼트(BFB) 관리방안에 대한 고찰 <u>문균영</u> · 김왕배 한국수력원자력(주) 중앙연구원 기계연구소	106
P1-5	원전 비파괴검사(수동초음파검사)에 영향을 미치는 인적요인에 대한 고찰 <u>조용배</u> · 김왕배 한국수력원자력 중앙연구원 비파괴기술그룹	108
P1-6	원전 해체 전환 시기의 비활성화 실행계획 연구 <u>유지환</u> · 서형우 · 김기림 · 이상현* 한국수력원자력(주) 중앙연구원 방사선해체연구소 원전사후그룹 *한국수력원자력(주) 디지털혁신추진단 디지털융합실 디지털혁신부	109
P1-7	증기발생기 와전류검사신호 노이즈 측정 및 모니터링 방법 고찰 <u>천근영</u> 한수원 중앙연구원	110
P1-8	출구측 오리피스 구멍 직경 크기가 6단 오리피스 내부 유동 특성에 미치는 영향에 관한 수치적 연구 <u>이공희*</u> · 배준호 한국원자력안전기술원 규제검증평가실	111
P1-9	상류측 곡관부에 의한 유동 교란이 버터플라이 밸브 동적성능에 미치는 영향에 관한 수치적 연구 <u>이공희*</u> · 배준호 한국원자력안전기술원 규제검증평가실	112
P1-10	ANSYS CFX를 활용한 벤츄리 유량계 상류측 직관 길이의 수치적 검증; 동일 평면상의 다중 90° 곡관부 <u>이공희*</u> 한국원자력안전기술원 규제검증평가실	113

● ● ● 11월 4일(목) 14:00-16:00

번호	발 표 주 제	page
P1-11	캐비테이팅 벤츄리 확산부 형상 변경에 따른 구조 건전성 평가 결과 비교 <u>이공희</u> 한국원자력안전기술원 규제검증평가실	114
P1-12	최적화된 장기 가동중검사 계획서(LTP:Long Term Plan) 관리 방법 <u>유현주</u> 한수원 중앙연구원	115
P1-13	연구용 원자로에서 감쇠탱크 내 다공판 배치에 따른 체류시간 비교 <u>정민규</u> · 박홍범 · 서경우 한국원자력연구원	116
P1-14	연구용 원자로에서 흑연반사체의 배치에 따른 냉각평가 <u>정민규</u> · 박기정 · 서경우 한국원자력연구원	117
P1-15	국내 원전 주북수기 전열관 비파괴검사 현황 및 전망 <u>김인철</u> · 김왕배 한국수력원자력(주) 중앙연구원	118
P1-16	에너지 정책에 도입되어야 할 에너지 정의 메트릭 제안 <u>정환삼</u> · 김희령* 한국원자력연구원 혁신전략부, * 울산과학기술원 원자력공학과	119
P1-17	가스용 주물연소기 성능시험방법 개선에 관한 연구 <u>김필종</u> · 최슬기 · 유철희 한국가스안전공사 가스안전연구원	120
P1-18	국내 액화도시가스 자동차 충전소 기준 및 현황 분석 <u>백지효</u> · 유철희 · 유근준 한국가스안전공사 가스안전연구원	121
P1-19	국내 이동식 LNG 충전소 모니터링 데이터 분석을 통한 충전소 안전성 검토 <u>봉선중</u> · 최영주 · 유철희 한국가스안전공사 가스안전연구원	122
P1-20	5G기반 산업단지 친환경 에너지 시스템 구축 및 서비스 실증에 대한 연구 <u>윤만석</u> · 주인오 · 이창교 · 고완진 구미전자정보기술원, 미래이동통신연구센터	123

● ● ● **11월 4일(목) 14:00-16:00**

번호	발 표 주 제	page
P1-21	이원냉동기 효율향상을 위한 인버터 성능개선 <u>김원섭</u> 전남도립대학교 신재생에너지전기과	124
P1-22	청소기용 압축기의 공력성능 분석을 위한 수치해석 <u>마상범</u> ¹ · 김 성 ¹ · 우현명 ² · 이영현 ² · 오장근 ² · 김진혁 ^{*1,3} ¹ 한국생산기술연구원 탄소중립산업기술연구부, ² 대영알앤디 주식회사, ³ 과학기술연합대학원대학교 생산기술 전공	125
P1-23	반도체 칩 테스트용 챔버의 유동특성에 관한 수치적 연구 <u>김성</u> ¹ · 이대규 ¹ · 마상범 ¹ · 김정열 ¹ · 김진혁 ^{*1,2} ¹ 한국생산기술연구원 탄소중립산업기술연구부, ² 과학기술연합대학원대학교 생산기술 전공	126
P1-24	스마트 에너지 플랫폼을 활용한제조기업의 맞춤형 에너지 효율화 방안 연구 <u>이재민</u> · 윤만석 · 이창교 · 고완진 구미전자정보기술원, 미래이동통신연구센터	127
P1-25	Co, CeO ₂ 로 구성된 나노입자 촉매 합성과 일산화탄소 및 프로필렌 동시 산화에의 적용 <u>박하늬</u> ¹ · 이은준 ¹ · 이관영 ^{1,2*} ¹ 서울시 성북구 안암로 145, 고려대학교 화공생명공학과, ² 초저에너지 자동차 초저배출 사업단 (SULEEV), 고려대학교 화공생명공학과	128
P1-26	신재생에너지 민간 주도형 보급사업 및 분산 에너지시스템 연구 <u>임의수</u> · 안정훈 · 이주영 (재)대구기계부품연구원 에너지산업지원센터	129
P1-27	Zn가 도입된 MFI 제올라이트의 에탄 탈수소방향족화 활성화에 Zn/(Zn+Al) 비율이 미치는 영향 <u>박예림</u> · 이병진 · 이관영 고려대학교 화공생명공학과	130
P1-28	신재생에너지 보급 활성화를 위한 에너지자립마을 조성 연구 <u>이주영</u> · 안정훈 · 임의수 (재)대구기계부품연구원 에너지산업지원센터	131
P1-29	환경온도에 따른 리튬이온전지의 급속충전 거동 예측 모델링 <u>이동철</u> , 김병목, 신치범 [†] 아주대학교 에너지시스템학과	132
P1-30	비가역적 리튬 손실과 리튬 석출에 따른 리튬이온전지의 방전 거동 예측 모델 개발 <u>김병목</u> , 이동철, 신치범 [†] , 장일찬 ¹ , 송진주 ¹ , 우중제 ¹ 아주대학교 에너지시스템학과; ¹ 광주바이오에너지연구개발센터 한국에너지기술연구원	133

● ● ● 11월 4일(목) 14:00-16:00

번호	발 표 주 제	page
P1-31	작동 조건에 따른 리튬이온전지 모듈의 3차원 열적 거동 모델링 <u>강서희</u> , 이동철, 신치범 [†] 아주대학교 에너지시스템학과	134
P1-32	포타슘 이온 하이브리드 커패시터의 높은 성능, 용량을 위한 음극재 물질인 전기방사된 니켈 셀레나이드를 포함한 탄소 나노 파이버 <u>이유현</u> · 손동규 · 이기백 영남대학교 화학공학과	135
P1-33	고성능 리튬 이온 배터리를 위한 질소, 황을 도핑한 제올라이트성 리튬 티탄늄 산화물 음극재 연구 <u>여서현</u> · 이유현 · 김홍중 · 백진혁 · 이기백 영남대학교 화학공학부	136
P1-34	수계 알루미늄이온배터리를 위한 금속 바나데이트 양극의 전기화학적 연구 <u>김난경</u> · 김지수 · 손동규 · 이유현 · 이기백* 영남대학교 화학공학과	137
P1-35	고성능 알루미늄 이온 배터리용 니켈 코발트 황화물 양극재 개발 <u>김지수</u> · 김난경 · 손동규 · 이유현 · 이기백* 영남대학교 화학공학과	138
P1-36	Urea 기반 이온성 액체 전해질에서의 Aluminum/Perylene polyimide/Graphene 배터리 연구 <u>Michael Ruby Raj</u> · 손동규 · 이유현 · 이기백 영남대학교 화학공학과	139
P1-37	Research about natural gas dehydroaromatization of Ce-incorporated Mo/HZSM-5 catalyst and coke oxidation <u>김상윤</u> · 이관영* *고려대학교 화공생명공학과	140
P1-38	Desulfurization by using Copper Aerogel <u>윤정원</u> * · Ramya Ramkumar · 김우경** School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan-si, South Korea	141
P1-39	우수한 화학적 안정성을 갖는 음이온교환막의 개발을 위해 imide group이 가교제로 도입된 Q-PPO 제조 및 특성분석 <u>주지영</u> ¹ · 유동진 ^{1,2*} ¹ 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과, ² 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과(BK21 FOUR)	142

● ● ● 11월 4일(목) 14:00-16:00

번호	발 표 주 제	page
P1-40	<p>기능화 된 $g-C_3N_4$ 도입을 통해 우수한 화학적 내구성 및 전기화학적 성능을 갖는 음이온 교환막의 개발</p> <p><u>이규하</u>¹ · 유동진^{1,2*}</p> <p>¹전북대학교, 자연과학대학 생명과학과, ²전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과(BK21 FOUR)</p>	143
P1-41	<p>AEMFC 적용을 위한 수지화 정도에 따른 음이온교환막의 특성연구</p> <p>김현진¹ · <u>유동진</u>^{1,2*}</p> <p>¹전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과(BK21 FOUR), ²전북대학교, 자연과학대학 생명과학과</p>	144
P1-42	<p>고분자 전해질 막 연료전지 응용을 위한 우수한 전기화학적 특성을 갖는 rGO 및 TiO_2를 함유한 음이온 교환 복합막의 연구</p> <p>김상희¹ · <u>김애란</u>^{2,3} · 유동진^{1,3*}</p> <p>¹전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과(BK21 FOUR), ²전북대학교, 생물환경화학과, 캔유택 연구개발센터, ³전북대학교, 자연과학대학 생명과학과</p>	145
P1-43	<p>우수한 전기화학적 성능을 갖는 팬던트 단위체 유무에 따른 폴리(아릴렌 이써)기반 음이온 교환막의 연구</p> <p><u>이상혁</u>¹ · 박민우¹ · 유동진^{1,2*}</p> <p>¹전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장 · 변환공학과(BK21 FOUR) ²전북대학교, 자연과학대학 생명과학과</p>	146
P1-44	<p>산소처리에 의해 석유 부산물로부터 메조포러스 탄소 준비</p> <p><u>이송미</u>^{1,2} · 이선호^{1,3} · 박승주^{1,3} · 정두환^{1,2,*}</p> <p>¹한국에너지기술연구원 연료전지연구실 ²과학기술연합대학원대학교 신에너지 및 시스템 공학과 ³연세대학교 화공생명공학과</p>	147
P1-45	<p>수전해법으로 생산된 수소의 LCOH 추정</p> <p><u>김태현</u> · 우종하 · 이다한 · 박종배</p> <p>건국대학교</p>	148
P1-46	<p>비백금계 촉매의 산소 환원 반응 향상을 위한 전이금속-탄소 나노 섬유 촉매 개발</p> <p><u>손동규</u> · 이유현 · 이기백</p> <p>영남대학교 화학공학과</p>	149
P1-47	<p>광 및 전기화학적 수전해를 위한 1D $CuCo-LDH$ nanoneedles/2D $g-C_3N_4$ sheet composite 촉매 개발</p> <p><u>서린마리아니티아요한</u> · 손동규 · 이유현 · 이기백</p> <p>영남대학교 화학공학과</p>	150

● ● ● 11월 4일(목) 14:00-16:00

번호	발 표 주 제	page
P1-48	<p>콜 타르 피치로부터 공기 직접 주입을 통한 바인더리스 코크스 및 고밀도 탄소블록 제조 <u>박승주</u>^{a,b}, Seon Ho Lee^{a,c}, Song Mi Lee^{a,b}, Jin-Woo Park^{a,c}, Doo-Hwan Jung^{a,b,*} ¹Fuel Cell Laboratory, Korea Institute of Energy Research (KIER) ²Advanced Energy and System Engineering, University of Science and Technology (UST) ³Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University</p>	151
P1-49	<p>연료전지용 습식/건식 탄소/CNT/에폭시 바이폴라플레이트 제조 <u>이선호</u>^{1,2} · 이송미^{1,3} · 박승주^{1,3} · 서정국⁴ · 정두환^{1,3,*} ¹한국에너지기술연구원 연료전지연구실, ²연세대학교 화공생명공학과, ³과학기술연합대학 원대학교 신에너지 및 시스템 공학과, ⁴CNT솔루션</p>	152
P1-50	<p>Perhydro-dibenzyltoluene 탈수소화 반응 활성 향상을 위한 Pt/Al₂O₃ 촉매에서 ReO_x의 역할 <u>장지수</u>¹ · 김찬훈¹ · 이관영^{1,2,*} ¹고려대학교 화공생명공학과, ²KU-KIST 에너지환경대학원 그린스쿨</p>	153
P1-51	<p>과산화수소 직접합성반응에서의 소수성 촉매의 효과와 이에 대한 규명 <u>이석호</u> · 한근호 · 이관영* *고려대학교 화공생명공학과,</p>	154
P1-52	<p>수소자동차 충전소의 사고피해영향 분석 <u>권대환</u> · 최슬기 · 유철희 한국가스안전공사 가스안전연구원</p>	155
P1-53	<p>수소자동차용 압력센서 성능평가 관련 국내외 기준 분석 <u>김소현</u> · 최슬기 · 유철희 한국가스안전공사 가스안전연구원</p>	156
P1-54	<p>국내 수소충전소 제트화염 길이 및 복사열 강도에 따른 안전거리 도출 및 피해영향 결과 평가에 관한 연구 <u>임재용</u> · 권대환 · 최슬기 · 유철희 한국가스안전공사 가스안전연구원</p>	157

포스터발표 II

●●● 11월 5일(금) 10:00~12:00

번호	발 표 주 제	page
P2-1	연구용 원자로 수조 내 원자로구조물집합체 유입 유량에 따른 수조 온도 예비 평가 <u>박기정</u> · 김인국 · 서경우 · 김성훈 한국원자력연구원	158
P2-2	원전 비상디젤발전기 신뢰도 관리 현황 <u>정우근</u> · 곽동열 *한국수력원자력(주) 중앙연구원	159
P2-3	원전 비상디젤발전기 진동 기준값 설정 연구 <u>정우근</u> · 곽동열 *한국수력원자력(주) 중앙연구원	160
P2-4	수조수상실사고를 고려한 연구용 원자로 일차냉각계통 유량 설계 <u>박홍범</u> · 서경우 한국원자력연구원 수출용신형연구로실증사업단	161
P2-5	연구용 원자로 판형열교환기 운전조건영향 예비해석 <u>김인국</u> · 박기정 · 박홍범 · 서경우 한국원자력연구원	162
P2-6	수조수상실사고를 고려한 경량화 연구용 원자로의 플랩밸브 및 일차냉각계통 배관 압력 분포 및 속도 계산 <u>서경우</u> · 정민규 · 박기정 · 박홍범 한국원자력연구원	163
P2-7	원자로 하부헤드 관통관 관리 현황 <u>이정석</u> * · 김왕배* *한국수력원자력(주) 중앙연구원	164
P2-8	방사성물질 운반 시 적재한도 기준을 만족하는 방사성핵종별 방사능농도 기준 <u>송지영</u> · 김종진 한국원자력연구원	165
P2-9	원자력이용시설 해체전략방안 수립을 위한 환경요인 분석 및 주요인자 제시 <u>문정욱</u> · 김종진 · 박성빈 한국원자력연구원	166

● ● ● 11월 5일(금) 10:00~12:00

번호	발 표 주 제	page
P2-10	연구용 원자로의 관성서행 계산 모델 개발을 위한 펌프성능실험 분석 <u>곽재식</u> · 김인국 · 정민규 · 서경우 한국원자력연구원 수출용신형연구로실증사업단	167
P2-11	Establishment of Methods to Enhance Nuclear Power Plant Security through Case Analysis of Biometrics Spoofing Attack <u>도태관</u> 한국원자력통제기술원	168
P2-12	소형모듈원자로를 위한 잔열제거계통 예비개념개발 <u>문주형</u> 한국원자력연구원	169
P2-13	규제 검증용 해석 코드 MARS-KS를 이용한 SMART100 피동잔열제거계통 예비해석 <u>이동훈</u> · 손동경 · 나민욱 한국원자력안전기술원 계통평가실	170
P2-14	규제 검증용 해석 코드 MARS-KS를 이용한 APR1400 증기발생기 전열관 다중 파단 사고에 대한 연구 <u>이동훈</u> · 서광혁 한국원자력안전기술원 계통평가실	171
P2-15	Feasibility of unsaturated fatty acid feedstocks as green alternatives in bio-oil refinery JY Jeon · Y Han · YW Kim · YW Lee ¹ · S Hong ² · DW Hwang · <u>황인택</u> Korea Research Institute of Chemical Technology, ¹ Seoul National University, ² Gwangju Institute of Science and Technology	172
P2-16	수소가스 감지를 위한 표면탄성과 제작 및 특성평가 배봉규 ² · <u>이영준</u> ^{1,*} · 한지훈 ¹ · 이은상 ¹ · 김주형 ² ¹ 인하대학교 수소기반 차세대 기계시스템 키우리 연구단, ² 인하대학교 기계공학과	174
P2-17	Rational design of High Durable and Efficient core-shell bimetal oxide@ porous carbon sheet Electrocatalyst for water splitting application Shanmugam Ramakrishnan ¹ , <u>유동진</u> ^{1,2} ¹ Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School(BK21 FOUR), Jeonbuk National University ² Department of Life Science, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University	175

●●● 11월 5일(금) 10:00~12:00

번호	발 표 주 제	page
P2-18	Classification of the efficient electrocatalyst for oxygen reduction reaction application Ramasamy Santhosh Kumar ¹ , <u>유동진</u> ^{1,2} 1Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School(BK21 FOUR), Jeonbuk National University 2Department of Life Science, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University	176
P2-19	Bimetal supported nitrogen doped graphene nanofiber as an efficient electrocatalyst for oxygen evolution reaction Natarajan Logeshwaran ¹ , <u>유동진</u> ^{1,2} 1Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School(BK21 FOUR) Jeonbuk National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea 2Department of Life Science, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea	177
P2-20	Optimized bimetal nanoparticles supported on nitrogen-doped graphene nanofiber for hydrogen evolution reaction <u>Vijayapradeep Subramanian</u> ¹ , Dong Jin Yoo ^{1,2} 1Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School(BK21 FOUR), Jeonbuk National University 2Department of Life Science, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University	178
P2-21	Iridium oxide nanoparticles decorated on MnO₂ nanorods supported reduced graphene oxide as efficient electrocatalyst towards oxygen evolution reaction <u>Karthikeyan S C</u> ¹ , Dong Jin Yoo ^{1,2} 1Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School(BK21 FOUR), Jeonbuk National University 2Department of Life Science, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University	179
P2-22	Effect of high electron density aryl monomer on the conductivity and stability of Anion Exchange Membrane fuel cell (AAEMFC) <u>Iyappan Arunkumar</u> ¹ , Dong Jin Yoo ^{1,2} 1Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School(BK21 FOUR), Jeonbuk National University 2Department of Life Science, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University	180
P2-23	머신러닝을 이용한 bubble column reactor에서의 기포 분산 패턴에 따른 bubble chord length 분류와 예측 <u>여상구</u> ¹ , 김준영 ^{1,2} , 이동현 ^{1,*} ¹ 성균관대학교 화학공학과, ² 성균관대학교 화공융합기술연구소	181

●●● 11월 5일(금) 10:00~12:00

번호	발 표 주 제	page
P2-24	3세대 바이오에너지 활용을 위한 미세조류용 광생물 반응기의 건축 적용성 <u>최승주*</u> · 김재향* · 한승훈** *전남대학교 건축토목공학과, **전남대학교 건축학부 (교신저자)	182
P2-25	이온교환막의 이온 채널 네트워크를 분석하기 위한 수학적 모델 개발 <u>이재경</u> · 박재형 · 차수현 · 권오성* · 손형주 하이젠파워(주), 계명대학교	183
P2-26	구멍 조기에 적용하기 위한 연료전지 발열 시스템 개발 <u>차수현</u> · 박재형 · 권오성* · 이재경 · 손형주 하이젠파워(주), 계명대학교	184
P2-27	PEMFC 5kW 가정용 및 건물용 연료전지 시스템 국산화 <u>손형주</u> · 박재형 · 차수현 · 권오성* · 이재경 하이젠파워(주), 계명대학교	185
P2-28	Synthesis, Characterization, and Photocatalytic Properties of In ₂ S ₃ for Photocatalytic Applications <u>문보경</u> ¹ , Salh Alhammadi ¹ , Sreedevi Gedi, Vasudeva Reddy Minnam Reddy, Abdelrahman M. Rabie, Mostafa S. Sayed, Jae-JinShim, Hyeonwook Park and Woo Kyoung Kim* School of Chemical Engineering, Yeungnam University	186
P2-29	정유분야 탄소중립대응 대체연료 기술개발 동향 연구 <u>김복연</u> · 김재곤 한국석유관리원 석유기술연구소	187
P2-30	곤충 유래 바이오디젤의 국내 자동차용 경유 적용 가능성 연구 <u>주다정</u> · 박조용 한국석유관리원 석유기술연구소	188
P2-31	바이오가스 보일러 스크린 손상 원인 분석 김우철 · <u>이문희</u> · 손홍균* 한국지역난방공사 미래개발원, *한국부식방식학회	189
P2-32	DFT 계산화학을 통한 CeO ₂ 기반 촉매에서의 rWGS 반응 메커니즘 연구 <u>이민우</u> · 이관영 고려대학교 화공생명공학과	190

●●● 11월 5일(금) 10:00~12:00

번호	발 표 주 제	page
P2-33	질화 이중금속 코어-백금 셀 구조를 이용한 고성능 산소환원반응용 촉매의 개발 <u>김동진</u> · 이은희 · 정혜원 · 드잉반하우 · 이수진 · 정성권 · 김필 전북대학교 반도체·화학공학부	191
P2-34	리튬이온전지용 철산화물-탄소 복합체의 음극재 제조 및 특성분석 <u>이은희</u> · 이수진 · 김동진 · 정성권 · 정혜원 · 드잉반하우 · 김필* 전북대학교 반도체화학공학부	192
P2-35	리튬이온전지 음극재용 실리콘-티타늄 질화물 코어-셀 구조의 제조 및 특성 분석 <u>정혜원</u> · 정성권 · 김동진 · 이수진 · 이은희 · 드잉반하우 · 김필* 전북대학교 반도체 화학공학부	193
P2-36	Mechanisitic insights into the effect of newly developed dye anchor counter electrode in enhancing the efficiency of dye sensitized solar cells <u>신규호</u> · Hyojung Jung · Ganesh Koyyada · Jaehong Kim. Department of Chemical Engineering, Yeungnam University	194
P2-37	Wet chemical synthesis and characterization of WO₃ as an effective photoanode for solar water splitting <u>김성우</u> · Seyoung Kim · Sravanthi Burragoni · Jaehong Kim Department of Chemical Engineering, Yeungnam University	195
P2-38	A study of the effect of TADF as an energy Relay dye for fluorescence resonance energy transfer-based solide state dye-sensitized solar cells <u>이지은</u> · Jaemin Jang · Ganesh Koyyada · Jaehong Kim Department of Chemical Engineering, Yeungnam University	196
P2-39	A novel photoelectrochemical cell improvement for hydrogen production using organic dye based on facile wet chemical coating fluorine-TiO₂/WO₃ photoanode <u>오해성</u> · Yuhyun Choi · Mohan Lakavathu · Jaehong Kim Department of Chemical Engineering, Yeungnam University	197
P2-40	Synthesis of SnS₂ Nanoparticles by Facile Chemical Precipitation Method for thin film Cu(In,Ga)Se₂ Solar Cells <u>Salh Alhammadi</u> 1, Sreedevi Gedi, Vasudeva Reddy Minnam Reddy, Woo Kyoung Kim* School of Chemical Engineering, Yeungnam University	198
P2-41	태양광에너지 발전량 변화와 총 부하에 미치는 영향 <u>심상우</u> · 공은경 · 이준희 · 노재형 건국대학교	199

● ● ● 11월 5일(금) 10:00~12:00

번호	발 표 주 제	page
P2-42	미스트 배출량 감소를 위한 금속와이어 필터 구조설계 김태형, Wang Chengan*, 임동균, 이세창**, 서지원**, 이형석**, 이상용*** 청주대 항공학부, 청주대 대학원*, 지엠테크 기술연구소**, 청주대 항공기계공학전공***	200
P2-43	스크롤이 적용된 습식 집진장치의 내부유동분석 이상훈*, 장용재*, 김태형**, 임동균**, 이세창*** 청주대학교 일반대학원*, 청주대학교 항공학부**, 지엠테크 기술연구소***	201
P2-44	보일러 열효율 개선을 위한 물 분사 전략에 관한 기초 연구 유준상 · 문석수* · 조현석 · 기영민 · 배규한 인하대학교 기계공학과	202
P2-45	가정업소용 수소 혼소 보일러의 호환성 기초 연구 조현석 ¹ · 이창언 ^{2*} · 유준상 ¹ · 박태준 ² · 하우석 ² · 이은상 ^{1,2} ¹ 인하대학교 KIURI 사업단, *인하대학교 기계공학과, ² 인하대학교 기계공학과	203
P2-46	원드라이다 정상운전을 위한 기상탑 설계 김건웅 · 김상만 · 문채주 목포대학교 전기공학과	204
P2-47	수계 내 효과적인 중금속 제거 및 자성분리가 동시에 가능한 키토산과 마그네타이트로 개질된 왕겨 바이오차의 개발 김지은 · 정현희 · 강광남 · 허문수 · 장낙영 · 김진희 · 최용근* 에이티이(주), *건국대학교 생물공학과	205
P2-48	글로벌 석유·가스 기업의 저탄소 사업 현황 이대모 · 신호진 · 임종세* 한국해양대학교 에너지자원공학과	206
P2-49	국내외 탄소 포집 및 저장 프로젝트의 현황 및 기술 동향 이다영 · 신호진 · 임종세* 한국해양대학교 에너지자원공학과	207

[포스터발표] 특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향

번호	발 표 주 제	page
P2-50	Te-Flux-Controlled Chemical Vapor Deposition Synthesis of In-Plane 1D-2D Metal-Semiconductor $\text{Mo}_6\text{Te}_6\text{-MoTe}_2$ Heterostructures <u>Hyeonkyeong Kim(김현경)</u> · Youngdong Yoo 아주대학교 에너지시스템학과	47
P2-51	Ammonia decomposition catalysts for hydrogen production : a review 김한볼 · 박은덕 아주대학교 에너지시스템학과	48
P2-52	Large-Area Selective Synthesis of Monolayer and Spiral MoSe_2 by Flux-Controlled Chemical Vapor Deposition. <u>Joohyeon Ahn(안주현)</u> · Seongju Ha · Dong-II Yeom ¹ · Youngdong Yoo 아주대학교 에너지시스템학과	49
P2-53	Ion exchange reaction and ionic conductivities of ATa_2PO_4 (A = H, Li, and Na) <u>하준호</u> · 윤예원 · 김희윤 · 김승주 아주대학교 에너지시스템학과	50



특 별 세 셴

[특별세션2. 2050 탄소중립을 위한 탄소광물화 기술]

CO₂utilization and rare earths enrichment by integration of carbonation to alkali activation of Circulating Fluidized Bed coal fly ash

Lai Quang Tuan^{1,2} and Jiwhan Ahn^{2*}

¹ Department of Resources Recycling, University of Science and Technology, Daejeon, Republic of Korea;

²Center for Carbon Mineralization, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources;

* Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124 Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea;

<34132>, Email: ahnjw@kigam.re.kr

Keywords: CO₂ utilization; alkali activation; carbonation; rare earths enrichment; Circulating Fluidized Bed coal fly ash

Abstract

Global warming and the transition towards renewable- and efficient energy have provoked a circular economy. Byproducts and end-use-products are encouraging to re-introduce to the production process as material, re-use, or convert to energy. Coal fly ash has become a viable substitution source expanding rare earths resources since it has significant rare earths content and the ubiquitous role of rare earths for advanced- and innovative technologies. However, the processes for rare earths recovery from coal fly ash are costly and demanding high techniques. Alkali activation is a popular- and effective method to upgrade the content of the rare earths of fly ash prior to the extraction process. The drawbacks of this method are extensive alkali chemical consumption and high pH waste solution production. The carbonation method is integrated to sustain the enrichment of rare earths content by neutralizing waste solutions and regenerating alkali agents. In addition, a certain amount of CO₂ is utilized during the carbonation process. This research explored the benefits of carbonation method on sustainable alkali activation of Circulating Fluidized Bed coal fly ash for towards rare earths enrichment and CO₂ utilization.

Acknowledgement

This research was supported by the National Strategic Project-Carbon Mineralization Flagship Center of the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT), the Ministry of Environment (ME) and the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE)(2017M3D8A2084752).

References

- Taggart, R. K., Hower, J. C., & Hsu-Kim, H. (2018). Effects of roasting additives and leaching parameters on the extraction of rare earth elements from coal fly ash. *International Journal of coal geology*, 196, 106-114.
- Rybak, A., & Rybak, A. (2021). Characteristics of Some Selected Methods of Rare Earth Elements Recovery from Coal Fly Ashes. *Metals*, 11(1), 142.

[특별세션2. 2050 탄소중립을 위한 탄소광물화 기술]

Sustainable Arsenic Removal from Aqueous solution by simultaneous precipitation and Carbonation

Youngju Song^a · Mohd Danish Khan^a · Ji-Whan Ahn^{a*}

^{a,*}Center for Carbon Mineralization, Mineral Resources Research Division, Korea
Institute of Geoscience and Mineral Resources

Arsenic presence even in trace amount in air, water or soil can be carcinogenic for humans and with other wide range of biological effects. Induction of arsenic in surrounding environment can include natural phenomena such as volcanic emissions, weathering processes etc., and by various of anthropogenic activities including mining, smelting operation, refining operations, pharmaceutical and chemical manufacturing, traditional fossil fuels, and paper production. Literature are evident for the removal of arsenic from wastewater by lime through precipitation process. However, calcium arsenate a resulting precipitate can gradually becomes unstable in CO₂ rich aqueous environment. Therefore, a more stable and effective alternative is required which can sustainably overcome this limitation. In this study, precipitation and accelerated carbonation were carried out simultaneously at atmospheric pressure with varying experimental parameters: CaO dosage, CO₂ gas flow rate, and temperatures. CaO was obtained from waste seashell, calcinated at 1000°C. It was observed that the arsenic removal efficiency was enhanced by increasing CaO dosage and temperature. Whereas, low CO₂ gas flow rate ($\leq 100\text{mL/min}$) favored arsenic removal. The maximal arsenic efficiency reached $\sim 97\%$ with CO₂ gas flow rate, temperature, and CaO dosage of 100mL/min, 60°C, and 5g.

Acknowledgement

This research was supported by the National Strategic Project–Carbon Mineralization Flagship Center of the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT), the Ministry of Environment (ME) and the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE).

This work was supported by the National Research Council of Science & Technology (NST) grant by the Korea government (MSIT) (No. CAP-18-09-KIGAM). (2017M3D8A2084752).

[특별세션2. 2050 탄소중립을 위한 탄소광물화 기술]

Trend of Global Construction Industry and Carbon-neutral Strategy applying Carbon Mineralization/Conversion Utilization Technology

Chaeyeon Lim^{a,b}·Mohd Danish Khan^b·Jiwhan Ahn^b

^aDepartment of Earth Resources Environment Engineering, Hanyang University, Seoul, 04763, Korea. ^bCenter for Carbon Mineralization, Mineral Resources Division, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources, Daejeon, 34132, Korea.

Since industrialization, greenhouse gas emissions have increased rapidly, which has caused natural disasters including climate change such as global warming and rising sea levels. Countries around the world are making efforts in terms of policies and institutions to control carbon dioxide emissions with the goal of carbon neutral by 2050. Carbon dioxide is being emitted in large quantities from steel, chemical, cement industries and coal power plants. To utilize carbon dioxide emitted from those industries, many countries are making all-out efforts to commercialize various technologies. In this paper, the trend of the construction industry, in which carbon mineralization technology with a high level of technology and economic feasibility is mainly used, and the carbon neutral strategy accordingly were analyzed.

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Council of Science & Technology (NST) grant by the Korea government (MSIT) (No. CAP-18-09-KIGAM).

This research was supported by the National Strategic Project-Carbon Mineralization Flagship Center of the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT), the Ministry of Environment (ME) and the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE)(2017M3D8A2084752).

[특별세션2. 2050 탄소중립을 위한 탄소광물화 기술]

Removal of Phosphorus from Wastewater using Nano-calcium Hydroxide and Aragonite Synthesized by Hydration or Carbonation of Waste Seashells

Mohd Danish Khan¹ · Sanghee Lee¹ · Youngju Song¹ · Ji Whan Ahn^{1*}

¹Center for Carbon Mineralization, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (KIGAM),

*Center for Carbon Mineralization, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (KIGAM), 124, Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea<34132>, Email: ahnjw@kigam.re.kr

Phosphorus (P), a vital macronutrient for aquatic organisms, when surpasses its threshold limit can trigger unwanted environmental consequences such as eutrophication. In stagnant water bodies like ponds and lakes, the concentration of P (1–2 mg L⁻¹) can be detrimental for aquatic ecosystem. The removal of high (~ 20 mg L⁻¹) and low (~ 1 mg L⁻¹) P content have rarely been explored, and the processes are either complex or expensive. In present study, a sustainable approach has been suggested where waste bivalve seashells derived nano-calcium hydroxide (NCH) and aragonite crystals were synthesized by hydration and wet carbonation methods and subsequently used to eliminate high and low P content from aqueous solution respectively. The synthesized NCH possessed hexagonal structural with average size ranging between 100–400nm. The NCH were used to eliminate high P content through a combination of surface sorption and chemical precipitation. Moreover, aragonite crystals possessed acicular shape with an average crystal size of 21 μ m. The synthesized aragonite were used to eliminate low P content by sorption process. Response surface methodology highlighted that when NCH was used against high P content, the maximum P removal efficiency(~99%) can be obtained with equilibrium pH(~10.2), Ca/P ratio dosage(2.16), and temperature(25°C) in approximately 10 min of residence time. Similarly, when aragonite was used against low P content, the maximum P removal efficiency(~97%) can be obtained with equilibrium pH(~10.1), dosage(140mg), and temperature(45°C) in approximately 10h of residence time. Semi-quantitative mechanisms have been proposed for both removal processes through analysing experimental data, molecular dynamic simulation, and elemental mapping. In case of NCH, the removal mechanism indicates diffusion-controlled reaction, further confirmed through shrinking core diffusion modelling. However, aragonite involved surface electrostatic adsorption of Ca²⁺ ions along with reactions between the phosphate and calcium ions. Presented work showcased and auspicious potential of waste seashell derived NCH and aragonite for the efficient P(high and low concentration) removal from wastewater along with CO₂ mineralization.

Acknowledgement

This research was financially supported by the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE), Korea, under the “Infrastructure program for industrial innovation” supervised by the Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT)(P0018011). This research was supported by the National Strategic Project–Carbon Mineralization Flagship Center of the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT), the Ministry of Environment (ME) and the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE)(2017M3D8A2084752).

[특별세션2. 2050 탄소중립을 위한 탄소광물화 기술]

Synthesis of activated carbon pellets from spent coffee ground for the adsorption of odor from waste diaper

Guenho Kim¹ · Lulit Habte² · Ji Whan Ahn^{1*}

¹Center for Carbon Mineralization, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (KIGAM), ²Department of Resources Recycling, University of Science & Technology (UST), Daejeon, *Center for Carbon Mineralization, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (KIGAM), 124, Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea <34132>, Email: ahnjw@kigam.re.kr

Research is actively being conducted on recycling spent coffee ground(SCG), that is easily available around us, as adsorbents. It is reported that there is a remarkably high possibility that SCG can be recycled as adsorbents, but it is believed that commercialization technology has not been reached. Compared to other adsorbents, activated carbon is the only adsorbent that can be used for separation or purification without going through a pretreatment step of treating moisture in the air purification process, and because the internal specific surface area is very large, organic molecules with non-polar or weak polarity can be adsorbed more than other adsorbents. In addition, since the adsorption heat or bonding force is lower than that of other adsorbents, it is easy to detach adsorbents and energy required for regeneration can be saved. Therefore, in this study, activated carbon was synthesised from SCG and applied as adsorbent of odor removal of urine and feces from diapers. In the method of synthesizing activated carbon with SCG, the SCG is dried at 100°C for 1 hour in a dryer, and the dried SCG is carbonized at 550°C for 2 hours with N₂ gas using a carbonization machine. A coffee adsorbent is synthesized by supplying steam or carbon dioxide to the activator and performing activation on the carbonized sample. NH₃ and H₂S which are the main components of urine and feces odor respectively were effectively removed by the activated carbon synthesized from SCG. Therefore, this activated carbon can serve as an adsorbent of odor from urine and feces from diapers and can indicate that activated carbon derived from coffee waste can be a major raw material for renewable and sustainable adsorbents.

Acknowledgement

This research was supported by the National Strategic Project-Carbon Mineralization Flagship Center of the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT), the Ministry of Environment (ME) and the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE)(2017M3D8A2084752).

This research was financially supported by the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE), Korea, under the “Infrastructure program for industrial innovation” supervised by the Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT)(P0018011).

[특별세션2. 2050 탄소중립을 위한 탄소광물화 기술]

Solid waste and Industrial waste management in Vietnam: Moving towards a Circular Economy by CCUS technologies

Van Duc Nguyen¹ · SangHee Lee¹ · DaYoung Ju¹ · Changwoo Lee² · JiWhan Ahn¹

¹Center for Carbon Mineralization, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (KIGAM)

²Department of Energy and Mineral Resources, Dong-A University, Busan, Korea

Due to rapid urbanization and economic growth on all fronts in Vietnam, the municipal solid waste and industrial waste have been become increasingly complex because of the variety of reasons, as the increasing quantity, the changing composition of MSW, raising the awareness of the public, and solid waste administration policies surrounding communities and different cities. Based on a decision No. 491/QĐ-TTg signed by the Vietnam Prime Minister in 2018 approving the adjustment of the National Strategy for Integrated Solid Waste Management to 2025, with a vision to 2050, Vietnam is committed to collect, transfer and treat 85% of household waste and 100% of non-household waste by 2025. However, due to the limitation of regulations, policies, and ineffective management methods, solid waste is causing serious health hazards, including several communicable diseases, foul odors, nuisance, and environmental issues. In reality, this plan is still far the government target in 2025. Thus, this research aims to review the present system of solid and industrial waste, addressing various aspects of solid waste generation such as current status, the legal system, and the opportunities of solid and industrial waste recycling. The recycled material volume is minimal comparing to the national economy scale of Vietnam. There are tremendous potential opportunities for moving towards a circular economy in recyclable solid waste in Vietnam. Thus, the innovative solutions by CCUS technologies will propose suitable solid and industrial waste management and recycling strategies that suit these conditions with proven benefits for all stakeholders and sustainable development of the country.

Acknowledgement

This research was supported by the National Strategic Project-Carbon Mineralization Flagship Center of the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT), the Ministry of Environment (ME) and the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE)(2017M3D8A2084752).

This research was financially supported by the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE), Korea, under the “Infrastructure program for industrial innovation” supervised by the Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT)(P0018011).

[특별세션2. 2050 탄소중립을 위한 탄소광물화 기술]

An innovative approach to utilize the heat energy-saving source at abandoned coal mining system

DaYoung Ju¹ · Van Duc Nguyen¹ · SangHee Lee¹ · JiWhan Ahn¹

¹Center for Carbon Mineralization, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (KIGAM)

In recent years, climate change caused by global warming has emerged as a severe problem, and each government has implemented several policies to solve this problem. Therefore, energy resource development focusing on new and renewable energy received special consideration currently. Geothermal energy among renewable energies has been recognized as an efficient resource because climate conditions are not affected. It does not require large spaces and unpolluted the surrounding environment. In addition, underground water in coal mines is stable due to low-temperature changes and relatively low enthalpy, so it was successfully utilized as a geothermal energy resource by many studies worldwide. As a result, using underground water in coal mines as a geothermal energy source can save energy and reduce the amount of CO₂ generated by building cooling and heating systems. This study analyzed and reviewed a heat exchange energy-saving system using groundwater in a coal mine as a potential geothermal resource. The system is analyzed by dividing it into two heat exchange loop systems depending on the building type. The result shows that the groundwater from coal mines can be used as an innovative saving-energy resource.

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Council of Science & Technology (NST) grant by the Korea government (MSIT) (No. CAP-18-09-KIGAM)

This research was supported by the National Strategic Project-Carbon Mineralization Flagship Center of the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT), the Ministry of Environment (ME) and the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE)(2017M3D8A2084752).

[특별세션2. 2050 탄소중립을 위한 탄소광물화 기술]

CCA clinker synthesis from MSWI fly ash and red mud as carbon mitigated cement supplement

SunO Kim¹ · Kwang Seok You¹ · Ji Whan Ahn*

¹Center for Carbon Mineralization, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (KIGAM), *Center for Carbon Mineralization, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (KIGAM), 124, Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea
<34132>, Email: ahnjw@kigam.re.kr

Municipal solid waste incineration (MSWI) are generally disposed to landfills which can cause severe contamination to soil and nearby water bodies with various heavy metals and excess chlorine. Moreover, it is very challenging to secure the landfills (later) which were used to disposed MSWI. To overcome these environmental issues, a sustainable approach is required in which MSWI can be used to synthesize valuable materials to be used by construction industries. In this study, calcium chloroaluminate(CCA) clinker was synthesized by using MSWI fly ash. In contrast to original cement clinker with CaCO_3 as main component, MSWI fly ash contains CaO , so CCA clinker reduce CO_2 emissions during cement process and can substitute original cement clinker in environment friendly way. Red mud, a bauxite residue rich in Al_2O_3 , was added to provide enough aluminum for synthesis of CCA and the experiment was investigated with varying red mud content to determine the optimum ratio of MSWI fly ash and red mud. The experiment was performed at 1000°C , and CCA crystal was analyzed by XRD and SEM analysis.

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Council of Science & Technology (NST) grant by the Korea government (MSIT) (No. CAP-18-09-KIGAM)

This research was supported by the National Strategic Project-Carbon Mineralization Flagship Center of the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT), the Ministry of Environment (ME) and the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE)(2017M3D8A2084752).

[특별세션2. 2050 탄소중립을 위한 탄소광물화 기술]

Carbon Mineralization Potential in Coal Fly Ash by Accelerated Carbonation

Sagnggyu Lee¹ · Mohd Danish Khan¹ · Ji Whan Ahn^{1*}

¹Center for Carbon Mineralization, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (KIGAM),

*Center for Carbon Mineralization, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources, Daejeon, 34132, Korea

Email: ahnjw@kigam.re.kr

The accelerated wet mineral carbonation technology can be an economic approach for the sustainable carbon dioxide solidification. The alkaline earth metals such as calcium and magnesium hold the affinity to form stable carbonate minerals at favorable conditions. Coal fly ash is one such waste available in huge quantity with abundant alkaline metal contents. Literature also suggests various sustainable routes for the utilization of carbonated coal fly ash such as supplements in cement, concrete etc. However, only limited research are available that highlights the carbon mineralizing potential in coal fly ash. As carbon mineralization is strongly dependent on experimental variables, this study focussed on the determination of carbon mineralizing capacity with varying experimental variables such as carbon dioxide flow rate (100 – 1000 mL/min), liquid to solid ratio, and solution temperature (oC).

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Council of Science & Technology (NST) grant by the Korea government (MSIT) (No. CAP-18-09-KIGAM)

This research was supported by the National Strategic Project-Carbon Mineralization Flagship Center of the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT), the Ministry of Environment (ME) and the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE)(2017M3D8A2084752).

[특별세션2. 2050 탄소중립을 위한 탄소광물화 기술]

A preliminary study on carbonation of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -stabilized human urine for removal of excessive calcium

Lulit Habte^{1,2} · Geunho Kim² · Ji Whan Ahn^{2,*}

¹School of Civil and Environmental Engineering Department, Addis Ababa institute of Technology (AAiT), Addis Ababa University, ²Center for Carbon Mineralization, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources (KIGAM), 124, Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea <34132>,

*Corresponding Author: Ji Whan Ahn; ahnjw@kigam.re.kr; Tel.: +82-42-868-3578

A maximum recovery of nitrogen from human urine can be achieved by calcium hydroxide stabilization method that prevents enzymatic urea hydrolysis. This method not only stabilizes hydrolysis of urea but also produces a product to be used as a fertilizer. However, the treated solution is saturated with calcium that could be excessive for plants and also forms scaling if urine concentration by advanced technologies is required. This study, therefore, investigated that carbonation of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -stabilized urine could remove excessive calcium ions in the form of calcium carbonate. First, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ was used to stabilize the enzymatic urea hydrolysis of human urine and calcium phosphate bi-product precipitated out. Then, CO_2 gas was bubbled at a different flow rate to the filtrate. Different concentrations of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and temperature have also been used to study the effect on the stabilization of urine. As a result, 0.1M of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ was found to be effective in the stabilization of urine. Higher dosage of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ caused high pH resulting in the destabilization of urine. Additionally, the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ served as an antibacterial agent for killing bacteria from the human urine. Finally, carbonation of the filtrate removed 80-98% of excessive calcium from the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ stabilized human urine. Additionally, enzymatic urea hydrolysis was not observed although the pH of the stabilized urine was decreased to 8. The carbonation process can also be considered as one way of sequestration of CO_2 gas. Therefore, CO_2 bubbling to a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ stabilized human urine can be used not only to remove excess calcium but also mitigate CO_2 emissions.

Keywords: Stabilization, calcium hydroxide, carbonation, excessive calcium

Acknowledgement

This research was supported by the National Strategic Project-Carbon Mineralization Flagship Center of the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT), the Ministry of Environment (ME) and the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE)(2017M3D8A2084752).

This research was financially supported by the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE), Korea, under the "Infrastructure program for industrial innovation" supervised by the Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT)(P0018011).

[특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향]

Self-powered Electronic Skin Devices Based on Silk Protein for Energy Harvesting and Tactile Sensing

Narendar Gogurla · Sunghwan Kim*

Department of Physics and Department of Energy Systems Research, Ajou University

Email: sunghwankim@ajou.ac.kr

Abstract

Silk protein that resembles real human skin is a promising material for building self-powered electronic skin (E-skin); it can be interfaced with a real skin seamlessly and used as an artificial skin for energy harvesting and tactile mapping. Here, we present various self-powered E-skin devices using silk protein structures or films with integrated metal nanostructures based on triboelectric phenomena that can harvest biomechanical energy and sense tactile activities. By touching the devices with the naked skin, triboelectric signals can be generated. Because of the micro-to-nano structures of the E-skins (with high surface-to-volume ratio), the contact-induced electrification generates the power density of 6 mW/m² and shows the pressure sensitivity of 0.069 kPa⁻¹. The high power generated by these E-skin devices is sufficient to activate low-power electronic devices such as LEDs, oximeters, stopwatches. Additionally, the E-skin can be used as a tactile identifier for finger movements with quantized real-time electrical signals and to monitor whole-body joint movements for motion sensing. Advantages of the silk protein-based E-skin including low-cost, ease of fabrication, biocompatibility, flexibility, and stretchability, empower its usage for a seamless human-machine interfaces, energy harvesting, touch sensor, and wearable bioelectronics.

[특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향]

High Voltage Solid-State-Lithium-Battery with Oxide-based Electrolyte

Fouzia Knifif · 김승주*

아주대학교 에너지시스템학과

The oxide-based lithium ion conductors have the advantages in application of lithium battery due to their high mechanical strength and excellent stability in the air. Among them, LiTa_2PO_8 shows good Li-ion conduction performance even at room temperature, so it can be applied as an electrolyte material for all-solid-state battery. In this study, the solid-state batteries were fabricated based on the solid electrolyte, LiTa_2PO_8 and appropriate cathode materials such as LiFePO_4 and LiVPO_4F . LiTa_2PO_8 was synthesized via solid state method and its structure was confirmed through an X-ray diffraction pattern analysis. The cathode material LiFePO_4 was synthesized via solvothermal method, and surface carbon coating treatment was performed using sucrose. Poly(ethylene oxide)- LiClO_4 , a polymer lithium ion conductor, was applied as a buffer layer to suppress side reactions between LiTa_2PO_8 and the electrodes and to reduce the interface resistance. The all-solid state battery assembled by combining these components showed an initial discharge capacity of 157 mAh/g in a charge/discharge experiment with a current density of 0.1 C. After 100 cycles of charging/discharging processes, it showed 76 % discharge capacity retention versus the initial discharge capacity. We tried to fabricate a solid-state battery with a high operating voltage (3.4 V \rightarrow 4.2 V). LiVPO_4F was synthesized via solid state method (550 °C ~ 700 °C). To improve the interfacial electrical conductivity of LiVPO_4F , carbon coating on the grain surface was attempted. The half cell test with carbon-coated sample exhibited a stable charging/discharging behavior even at a high C-rate (10 C). However, in the case of the all-solid-state battery to which $\text{LiVPO}_4\text{F}/\text{C}$ was applied, it showed a very low initial discharge capacity (about 16 mAh/g), which is about 11% of the LiVPO_4F reversible capacity (~150 mAh/g). The decomposition of the poly(ethylene oxide) binder between the cathodic particles is considered as a main operating-limit factor. To solve this problem, a quasi-solid state battery which includes a liquid electrolyte in the electrode-solid electrolyte interface was assembled and operated. Through this, it was confirmed that high voltage ($\geq 4\text{V}$) operating of the oxide-based solid electrolyte LiTa_2PO_8 is possible.

[특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향]

Direct alcohol formation from photocatalytic partial oxidation of methane over TiO_2 modified by FeO_x

Nkenku Carl · 오현석 · 김진아 · 김유권*

아주대학교 에너지시스템학과, 아주대학교 화학과

Partial oxidation of CH_4 to methanol is a promising route for the utilization and optimization of methane, yet, it comes with great challenges [1, 2]. Thermodynamically, the initiation of the reaction requires a highly energetic condition due to the strong C-H bond (434 kJ/mol), but such a harsh condition is detrimental to the reaction product [3, 4]. Photocatalytic oxidation could provide a chance to drive the reaction selectively with photons rather than non-selective high temperature conditions. Herein, we report the selective oxidation of methane to methanol on TiO_2 Nanosheet and P25 supported iron species with H_2O_2 as the oxidant. The Photocatalytic process was carried out under UV light of $5\text{mW}/\text{cm}^3$ with Pressures of 4 and 8 bar. The structure, composition, and optical properties of $\text{FeO}_x/\text{TiO}_2$ were then characterized by XRD, SEM, UV-vis spectroscopy and XPS. Meanwhile, to investigate the presence of the methanol, FID, Mass spectrometry and NMR analysis was used. We showed that increasing loading of FeO_x on TiO_2 influenced the amount of alcohol produce. Also, with higher concentrations of H_2O_2 , the amount of O_2 evolved increased proportionately which enhance alcohol production to a certain extent. More especially, there were great disparities between the amount of product for P25 and Nanosheet with $\text{FeO}_x/\text{TiO}_2$ (P25) providing a higher amount of products. This difference could have been the result of the difference in surface structures between P25 and TiO_2 nanosheet which could influence the selectivity of the products. The exact nature of the reaction pathway and influence of various conditions is under further investigation.

1. Xie, J., et al., *Highly selective oxidation of methane to methanol at ambient conditions by titanium dioxide-supported iron species*. Nature Catalysis, 2018. **1**(11): p. 889–896.
2. Song, H., et al., *Selective Photo-oxidation of Methane to Methanol with Oxygen over Dual-Cocatalyst-Modified Titanium Dioxide*. ACS Catalysis, 2020. **10**(23): p. 14318–14326.
3. Wang, B., et al., *Advances in methane conversion processes*. Catalysis Today, 2017. **285**: p. 147–158.
4. Schwach, P., X. Pan, and X. Bao, *Direct Conversion of Methane to Value-Added Chemicals over Heterogeneous Catalysts: Challenges and Prospects*. Chemical Reviews, 2017. **117**(13): p. 8497–8520.

[특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향]

ZnNiCo hydroxide/graphene–CNT hydrogel on surface–modified current collector for high performance supercapacitors

강정민 · 김주형*

아주대학교 에너지시스템학과

Ternary transition metal compounds are regarded as potential electrode materials for supercapacitors due to the synergistic effect of multiple metal ions. However, their sluggish redox reaction kinetics and poor conductivity lead to insufficient capacity utilization. In this study, 3D graphene–CNT hydrogel (GCH) is used as a scaffold for ZnNiCo hydroxide, a ternary transition metal compound. The obtained hydrogel is also grown on cationic polyelectrolyte–functionalized Ni foam, which is expected to increase electrolyte–accessible areas and improved ionic/electronic conductivity. The surface modification for Ni foam favors intimate interfacial bonding with active materials, resulting in efficient charge transfer at their interface and good structural stability. Moreover, metal cations in ZnNiCo hydroxide provide multiple oxidation states for redox reactions and high electronic conductivity. As a result, beneficial from close interfacial contact with Ni foam, the synergy of different metal cations and 3D porous structure, the ZnNiCo/GCH electrode exhibits a high capacity, favorable rate capability, and cycling stability.

[특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향]

Au-Pd 촉매 상에서 직접 합성한 과산화수소를 이용한 메탄 부분산화반응 Partial Oxidation of Methane Using H_2O_2 Synthesized *in situ* over Au-Pd Catalyst

강종균 · 박은덕*

아주대학교 에너지시스템학과

메탄은 가장 안정한 탄화수소 중 하나로, 현재 산업적으로 메탄의 활용은 고온·고압에서 일산화탄소와 수소의 혼합물인 합성가스로 전환한 뒤 유용한 탄화수소 화합물로 전환하는 다단계 공정으로 이루어진다. 높은 온도와 압력의 공정은 장치 및 운용 비용을 높이며, 따라서 저온에서 메탄의 직접 부분산화를 통해 메탄올, 포름산 등의 생성물을 얻으려는 연구가 이어지고 있다. 하지만 안정한 메탄의 특성은 C-H 결합을 활성화하기 어렵게 만드며 부반응이나 완전 산화로 인해 메탄을 직접 활용하는데 난항을 겪고 있다.

최근 활발히 이루어지고 있는 연구는 구리 이온을 교환한 제올라이트를 이용한 기상에서 메탄의 직접 산화 반응을 통한 메탄올 합성으로 합성가스를 거치는 간접적인 방법에 비해 저온에서 메탄올을 생성할 수 있다는 점에서 주목받았다. 이러한 장점과 많은 연구들에도 불구하고 촉매의 활성화와 메탄 반응, 촉매 표면의 메탄올을 추출하는 여러 단계가 필요하며 메탄올의 생성속도가 낮다는 단점이 존재한다. 그에 비해 수용액에서 과산화수소를 산화제로 하여 Fe-zeolite을 이용한 메탄 부분산화반응은 메탄의 낮은 용해도에도 불구하고 높은 메탄 산화체 수율을 보였다.

과산화수소는 청정 산화제이나 산소나 공기 등에 비하면 경제성이 떨어진다. 수소와 산소(공기)로부터 과산화수소의 합성과 메탄으로부터 메탄 산화체의 합성을 한번에 수행하려는 시도가 이뤄졌다. Au-Pd 촉매는 이러한 목적에 가장 잘 맞는 촉매로 타이타니아, 제올라이트, 탄소 물질 등을 담체로 여러 연구가 진행되었다. 이번 연구에선 앞서 언급한 선행 연구자들의 결과를 소개하고 70 °C 이하의 저온에서 직접 합성한 과산화수소를 이용하여 메탄 부분산화반응을 수행하였다.

[특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향]

스프레이 코팅을 통한 ITO 박막 특성 제어 및 응용

김다슬 · 김주형^{1,2,*}

¹아주대학교 에너지시스템학과, ²아주대학교 화학공학과

Indium Tin Oxide(ITO)는 투명전극으로서 전기적/광학적 특성이 우수하여 OLED, Solar cell, Electrochromic device 등 다양한 소자에 널리 사용된다. 일반적으로 ITO 필름은 스퍼터링을 통해 증착하며 높은 비용과 많은 시간을 요구하는 한계를 갖는다. 본 연구에서는 간단하고 저비용 공정의 특성을 갖는 스프레이 코팅법을 이용해 이러한 한계를 극복하고자 하였다. 뿐만 아니라, 변수 조절이 쉽고 대면적 증착이 가능한 스프레이 코팅법을 통해 표면 거칠기를 제어하여 고효율의 전극을 제작할 수 있었다. 얻어진 ITO 필름은 투과율 80% 이상의 투과율과 17.03 nm의 RMS 표면 거칠기를 가지며, 이는 스프레이 코팅 과정에서 ITO sol이 작은 droplet으로 분산되며 코팅되기 때문에 분사 용액에 따라 박막의 특성을 제어할 수 있음을 확인하였다. 후에 스프레이 코팅으로 증착된 ITO 필름을 전극으로 사용하여 전기변색장치와 투명 커패시터로 제작하였고 성능 분석을 통해 기존의 평평한 ITO 필름보다 빠른 변색속도와 정전용량 상승을 보여 고효율의 투명 전극으로 사용할 수 있음을 확인하였다.

[특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향]

펨토 초 레이저를 이용한 비틀린 이황화몰리브덴 이중층에서의 층별 박피 현상 및 실시간 2차 고조파 이미지 연구

A Study of Layer-by-layer Ablation and Real-time Second Harmonic
Imaging in Twisted MoS₂ Using Femtosecond Laser

김영철 · 유호성 · 박지용 · 안영환

아주대학교 에너지시스템학과 에너지물리전공

차세대 광전자 및 나노소자의 재료로써 각광을 받고 있는 전이금속 칼코겐화물(transition metal dichalcogenide; TMD)은 원자 층 두께의 소자 제작에 용이하고 다양한 종류의 TMD를 반데르발스 결합으로 적층하여 나오는 새로운 물리적 특성 파악에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 또한 TMD는 반전 대칭이 깨진 구조를 가지고 있어 강한 2차 고조파신호(second harmonic generation; SHG)를 발생시키기 유리하며, 더 작고 얇은 비선형 매질 개발 요구에 부응하는 물질이라고 할 수 있다. 최근에는 두 개의 적층된 TMD의 비틀림 각도(θ_{twist})를 조절하여 독특한 전기적, 광학적 특성을 관측할 수 있기 때문에 많은 관심을 끌고 있다.

본 연구에서는 고주파 레이저 변조와 galvano scanning을 결합해 30dB의 신호대잡음비를 가진 고속(1 frame/sec) SHG 이미징법을 구현하였다. 또한 화학기상증착법으로 합성된 이황화몰리브덴(molybdenum disulfide; MoS₂)을 인위적으로 적층하여 다양한 θ_{twist} 를 가진 이중층을 제작하였으며, θ_{twist} 에 의존하는 SHG 신호를 측정하였다. 뿐만 아니라 별도의 펨토초 레이저를 이용한 레이저 어블레이션을 진행하면서 실시간 SHG 이미지를 관측하였고 θ_{twist} 에 따른 이중층 MoS₂의 어블레이션 효과 및 층별 박피 현상을 실시간으로 관측할 수 있었다.

TMD의 상업적인 응용을 앞당기기 위해서는 실시간으로 높은 결정성을 가졌는지 파악하는 연구와 함께 균일한 두께를 가진 대면적 TMD 필름 제작에 대한 연구가 필요하다. 본 연구를 통해 2차 고조파 이미지를 관측하여 TMD 시료의 결정방향 및 결정의 균질성을 신속하게 파악하고 별도의 펨토초 레이저로 어블레이션을 진행하여 균일한 두께의 TMD 박막 제작 구현에 도움이 될 뿐만 아니라 다양한 저차원 물질의 광열 및 광화학 기작에 대한 이해를 높이고 가공조건을 최적화하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

[특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향]

Optimization of catalytic pyrolysis for hydrogen production from CH₄ without CO₂ emission

김진아 · 오창근 · 김유권*

아주대학교 에너지시스템학과, *아주대학교 화학과

Hydrogen is mainly produced by steam methane reforming (SMR). This process generate significant amount of CO₂ with H₂, thus it is necessary to provide alternatives for the mass production of hydrogen without CO₂. Direct catalytic pyrolysis of natural gas is attracting attention as a new strategy to develop CO₂-free hydrogen production. This process is attractive, with the products from reaction being hydrogen and solid carbon. Also, since carbon floats on the liquid catalyst, it is beneficial to use liquid catalyst for separating the catalyst and the solid carbon. It can prevent an deactivation of the catalyst when carbon grows on the surface of solid catalyst during the reaction.

In this report, we mixed active metal (Ni, Cu) with high melting point and a low melting point metal (Sn, Bi) as the solvent for methane decomposition. We achieved a 20% conversion rate with 14 ml Ni-Sn-based liquid metal for a small scale of bubble column reactor. By adjusting various variables such as, residence time, bubble size, structure of reactor, and the content of active metal, we established factors affecting the methane conversion. In particular, the liquid metal catalyst was controlled by the size of the bubble and the residence time. With this factor, we eventually achieved a methane conversion rate increased above 90% with 14 ml Ni-Sn-based liquid metal.

1. Upham et al., Catalytic molten metals for the direct conversion of methane to hydrogen and separable carbon, Science 358, 917-921 (2017)

[특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향]

페로브스카이트의 결정 성장 차원에 따른 포논-폴라리톤 동역학 분석 Phonon-Polariton Dynamics Analysis According to The Crystal Growth Dimension of Perovskite

김환식 · 안영환*

아주대학교 에너지시스템학과 에너지물리전공

최근 차세대 태양전지 물질로써 많이 연구되고 있는 MAPbI₃는 간단한 스핀코팅법을 통해 고품질의 박막을 제조할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 페로브스카이트를 메타물질에 코팅하여 포논-폴라리톤을 형성하고, 페로브스카이트 박막 결정에 따른 포논-폴라리톤의 의존성을 관찰하였다.

메타물질은 자연물질을 뛰어넘는 특별한 특징을 갖는다. 이를 활용하여 슈퍼 렌즈, 음 굴절률 소자 그리고 센서로 많이 활용되고 있다. 메타물질은 크기와 구조의 변화를 통해 공명주파수를 조절할 수 있으며, 특히 갭 사이에 국소적으로 전기장이 집중되는 효과를 갖는다. 본 연구에서는, 1 THz영역에 포논 공명을 갖는 페로브스카이트 박막을 메타물질에 코팅하여 포논-폴라리톤을 생성시키고 박막결정과의 상관관계를 연구하였다. 다양한 공명 주파수를 갖는 메타물질을 제작하여 포논-폴라리톤의 분산곡선을 성공적으로 획득하였다. 또한, 고속 THz 분광법을 활용하여, 실시간으로 열처리에 따른 페로브스카이트 박막의 결정화 동역학을 연구하였으며, 이를 통해 포논-폴라리톤의 형성 기작과의 상관관계를 연구하였다.

페로브스카이트의 포논에너지가 메타물질의 공명주파수와 일치하게 되면 포논-폴라리톤이 생성되어 Rabi 주파수에 해당하는 에너지 갭이 형성된다. THz 시분해 측정을 통해 Rabi 주파수를 측정한 결과, 1 meV의 에너지갭이 관측되었다. 이를 포논과 메타물질 공명의 반쪽치들과 비교한 결과 강한 결합(strong coupling)영역에 도달하였음을 확인하였다. 연속적인 공명주파수를 지니는 32개의 메타물질을 제작하여 같은 실험을 반복하여, 폴라리톤 분산곡선을 성공적으로 획득하였다. 즉, 페로브스카이트 포논 공명과 메타물질 공명주파수가 일치할 때 뚜렷한 Anti-crossing을 확인하였으며, 이 결과는 FDTD 시뮬레이션을 통해 성공적으로 검증되었다. 또한, 실시간 THz 측정을 통해, 열처리 과정에서 페로브스카이트 박막의 결정정도가 증가함에 따라 Rabi 주파수가 커지는 것을 확인하였다. 흥미롭게도, Rabi 주파수 증가가 나노결정의 성장 차원에 의존함이 관측되었다. 이러한 현상은 국소적인 전기장 증대 효과가 박막의 성장 차원에 의존한다는 가설을 토대로 성공적으로 규명되었다.

[특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향]

광전기화학적 수소생산을 위한 방식층 개발

Design of passivation layer for photoelectrochemical hydrogen evolution

채상윤 · 박은덕*

아주대학교 나노정보융합연구소, *아주대학교 에너지시스템학과 및 화학공학과

친환경에너지 저장 및 생산 기술은 미래 인류에 필수적인 기술로 여겨지고 있다. 수소 에너지는 에너지를 화학결합의 형태로 저장할수 있는 이상적인 운반체로 꼽히지만, 이를 생산하는 친환경적이고 지속가능한 기술이 필요한 실정이다. 따라서 친환경적인 에너지원과 자원인 태양광과 물을 이용하여 광전기화학적으로 수소를 생산하는 반도체 광전극과 그의 효율을 높이기 위해 개발된 방식층에 대하여 연구하였다. 본연구는 수소를 생산할 수 있는 반도체 소재인 황화구리인듐을 이용하여 소재에 적합한 방식층을 디자인하여 빠른 전하 전달 및 광전환 효율을 높이는 결과에 대하여 논의한다.

[특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향]

Te-Flux-Controlled Chemical Vapor Deposition Synthesis of In-Plane 1D-2D Metal-Semiconductor Mo_6Te_6 - MoTe_2 Heterostructures

Hyeonkyeong Kim, Youngdong Yoo^{1,*}

Department of Energy Systems Research, Ajou University, Korea

¹Department of Chemistry, Ajou University, Korea

Mixed-dimensional heterostructures can be utilized as advanced materials for flexible electronics or optoelectronics due to their novel optical and electronic properties. Here we report that we selectively synthesized in-plane 1D-2D metal-semiconductor Mo_6Te_6 - MoTe_2 heterostructures, 1D Mo_6Te_6 nanowires, and few-layer 2H MoTe_2 films through a Te-flux-controlled chemical vapor deposition method. The composition and phase of Mo/Te compounds are controlled by changing Te atomic flux. The 1D Mo_6Te_6 nanowires are synthesized at low Te flux whereas few-layer 2H MoTe_2 films are obtained at high Te flux. Interestingly, in-plane 1D-2D metal-semiconductor Mo_6Te_6 - MoTe_2 heterostructures are formed at medium Te flux. The synthesized 1D-2D Mo_6Te_6 - MoTe_2 heterostructures have sharp interfaces between the 1D Mo_6Te_6 networks and the few-layer 2H MoTe_2 domains. As-synthesized in-plane 1D-2D Mo_6Te_6 - MoTe_2 heterostructures, 1D Mo_6Te_6 nanowires, and few-layer 2H MoTe_2 films are characterized by Raman spectroscopy and scanning transmission electron microscopy. The composition- and phase-controlled synthesis method developed in this study will allow large-scale controlled fabrication of mixed-dimensional heterostructures for various electronic and optoelectronic applications.

[특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향]

Ammonia decomposition catalysts for hydrogen production : a review

김한봄¹ · 박은덕^{1,*}

¹아주대학교 에너지시스템학과

*아주대학교 화학공학과

현재 탄소기반의 화석연료로부터 배출되는 이산화탄소는 대기오염과 지구 온난화와 같은 환경 문제를 일으키기 때문에 대안방안으로서 청정연료 중 하나인 수소가 주목받고 있다.

최근 수소는 대륙간 장거리 수송의 필요성으로 인하여 수소 운반체로서 역할을 할 수 있는 암모니아에 대한 관심이 높아지고 있다. 암모니아는 단위 부피당 수소 저장 밀도가 높고, 저장이 쉬우며 분해 시 탄소 발생 없이 수소와 질소만 생성된다는 장점을 지니고 있다. 암모니아 분해 반응은 흡열반응으로 이루어지며, 저온에서 수행될 경우 적은 에너지를 사용하기 때문에 적절한 촉매의 개발이 필요하다.

지금까지 암모니아 분해 반응에 사용되는 촉매는 Ru, Rh, Pt, Ni, Co 등이 보고되었으며, 그 중 Ru 촉매는 저온 구간에서 가장 높은 활성을 보이는 것으로 알려져 있다. 금속 촉매 외에도 CNT, Al₂O₃, SiO₂, MgO, ZrO₂ 등이 우수한 지지체로서 보고되었으며, La, K, Ce 등의 증진제가 촉매 활성에 효과가 있는 것으로 보고되어있다. 이를 응용한 촉매의 개발은 향후 암모니아로부터 수소 생산, 수송 및 저장에 효과적으로 적용될 수 있으며, 그 밖의 연료전지 혹은 기타 에너지 분야에서도 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

[특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향]

Large-Area Selective Synthesis of Monolayer and Spiral MoSe₂ by Flux-Controlled Chemical Vapor Deposition

Joohyeon Ahn · Seongju Ha · Dong-Il Yeom¹ · Youngdong Yoo^{2,*}

Department of Energy Systems Research, Ajou University, Suwon, Korea

¹Department of Physics, Ajou University, Suwon, Korea

²Department of Chemistry, Ajou University, Suwon, Korea

Transition metal dichalcogenides (TMDCs) are attracting much attention due to their novel electronic, optical and catalytic properties. TMDCs, two-dimensional layered material, exhibit various layer-number-dependent properties such as indirect to direct bandgap transition. Monolayer TMDCs have been extensively used for novel 2D electronics, flexible optoelectronics, and efficient catalysis, due to their exceptional physical and chemical properties. On the other hand, spiral TMDCs prepared by screw-dislocation-driven growth have been utilized as a novel platform for various nonlinear optics due to their interesting optical properties. In addition, spiral TMDCs have been employed as efficient catalysts for hydrogen evolution reactions due to their many active edge sites. However, the large-area selective synthesis of monolayer and spiral TMDCs is quite challenging. Here we report the structure-controlled large-area synthesis of monolayer and spiral MoSe₂ by a chemical vapor deposition method using MoSe₂ powder as a precursor. Monolayer MoSe₂ is synthesized when the MoSe₂ flux is low, whereas spiral MoSe₂ is obtained when the MoSe₂ flux is high. As-synthesized monolayer and spiral MoSe₂ are characterized using optical microscopy, atomic force microscopy, Raman and photoluminescence spectroscopy, and second harmonic generation measurements.

[특별세션7. 지속가능형 에너지소재의 최신 동향]

Ion exchange reaction and ionic conductivities of ATa_2PO_8 (A = H, Li, and Na)

하준호 · 윤예원 · 김희윤 · 김승주*

아주대학교 에너지시스템학과

This work focuses on the crystal structures, phase transition, and ionic transport properties of novel three-dimensional framework oxides, ATa_2PO_8 (A=H, Li and Na). The lithium-ion conducting oxide, LiTa_2PO_8 was synthesized. In the structure of LiTa_2PO_8 , the TaO_6 octahedra and PO_4 tetrahedra are linked via corner-sharing to form an unprecedented anionic framework, $[(\text{TaO}_{6/2})_2(\text{PO}_{4/2})]^-$, providing a 3D pathway for lithium-ion conduction. The sintered pellets exhibit excellent lithium-ion conductivities, with a bulk conductivity of $1.6 \times 10^{-3} \text{Scm}^{-1}$ and total conductivity of $2.5 \times 10^{-4} \text{Scm}^{-1}$ at 25°C . A new proton conducting material, HTa_2PO_8 , was synthesized through a proton ion-exchange reaction on LiTa_2PO_8 . HTa_2PO_8 is isotypic with LiTa_2PO_8 . The protons occupy two different crystallographic sites in the void space of the $[\text{Ta}_2\text{PO}_8]$ -framework. The compound exhibited good proton conductivity: c.a. $2 \times 10^{-6} \text{Scm}^{-1}$ at 300°C , which is superior to those of protonated NASICON-type compounds. NaTa_2PO_8 was also prepared via sodium ion-exchange reaction on LiTa_2PO_8 . NaTa_2PO_8 shows an irreversible phase transition from α - NaTa_2PO_8 to β - NaTa_2PO_8 with increasing temperature. The direction of the phase transition observed for NaTa_2PO_8 is completely opposite to that of LiTa_2PO_8 . The conductivity of α - NaTa_2PO_8 ($5.3 \times 10^{-5} \text{Scm}^{-1}$ at 309°C) is significantly higher than that of β - NaTa_2PO_8 ($1.9 \times 10^{-7} \text{Scm}^{-1}$ at 300°C), which can be attributed to the difference in the sodium conduction pathways of the two structures.



구 두 발 표

LNG 시설 누설 모니터링을 위한 광케이블 구조 연구

The study of Fiber Optic Cable Structure for LNG Leakage Monitoring

이아리, 송석용, 한승준, 한운섭, 심효민

(주)에피텍

Ahri Lee, Sukyong Song, Seungjun Han, Yunseob Han, Hyomin Sim

AP Technologies Inc.

요약

LNG 저장탱크, 밸브, 파이프라인의 안전성은 매우 중요하다. 특히 LNG 선적 또는 하역 시 사용되는 선박 파이프라인의 파열은 유체가 누출되어 기반시설에 위협적인 위험요소이다. 일반적으로 저장 탱크는 가스누설 LNG 외부의 열원에 의해 쉽게 증발되므로 저장탱크 주변에 보냉재를 이용하여 온도차를 유지하지만, 열유입에 의한 가스가 지속적으로 발생하므로 가스누출위험성이 높다.

본 논문에서는 LNG 시설의 가스누설을 감지하기 위하여 DTS(Distributed Temperature Sensor)와 광케이블 이용한 온도감지 방법을 이용한다. 광섬유 센서 케이블을 사용하는 DTS 시스템은 케이블에 전압이 가해지지 않기 때문에 폭발성 가스 환경에서 사용하기에 안전한 시스템이다. 기존의 LNG 저장탱크에 포설된 일반적인 광케이블은 온도 정확성, Loss 등의 많은 문제점이 발생하였다. 광케이블 구조는 소재와 구조에 따라서 흡수력의 차이가 발생하므로 광케이블 구조설계는 매우 중요하다.

본 연구에서는 LNG 저장탱크와 파이프라인에서 효과적인 광케이블의 구조를 연구한다. 제안된 센서 케이블 설계는 총 3가지 구조로 설계되었다. Type-1은 SSLT(Stainless Steel Loose Tube) 구조, Type-2는 SSLT에 강선을 포함한 디자인이다. Type-3는 SSLT, 강선, 폴리에틸렌으로 구성된 케이블이다. 각각의 테스트 타입은 코팅 또는 Soft Jacket이 폴리이미드소재이다.

케이블 구조 테스트는 온도 챔버 테스트, 극저온 테스트로 진행되었다. 각각의 테스트는 온도 정확성과 Loss를 측정하여 각 구조의 데이터를 비교 분석한다. 테스트 분석결과는 Type-3 구조 케이블이 극저온에서 온도 정확성이 다른 구조의 케이블보다 정확한 온도데이터로 분석되었다. 또한 챔버에서의 온도 분석 결과에서도 폴리이미드 소재의 Type-3 구조는 LNG 모니터링에서 가장 효율적인 케이블로 분석되었다. 제안하는 Type-3의 광케이블 구조는 극저온에 온도감지의 정확성과 광케이블의 Loss 분석에 있어서도 다른 2가지 타입의 광케이블보다 광케이블의 손실이 적고, 극저온에서 안정적으로 모니터링이 가능하다. 설계한 케이블은 LNG 시설에서 가스 누설 발생 시 가장 효율적으로 사용할 수 있는 케이블 구조이고, LNG 누수 모니터링 뿐만 아니라, 다른 응용분야에서도 효과적으로 적용된다.

본 논문은 2021년 중소기업 기술개발 사업의 과제비에 의하여 지원되었음.

LNG 냉열이용 데이터센터 기술동향

Technical Trend of Data Center employing the Cold Energy of LNG

김호연 · 전재연 · 강명수 · 류근창

한국가스공사 가스연구원

근래 들어 IT 산업의 급격한 발전은 데이터센터의 증가와 전력 에너지 소비를 가중시키고 있다. 이런 현상은 앞으로 더욱 가중될 것으로 예상되고, 현 정부정책의 하나인 탄소중립과 배치되는 현상이며, 이로 인하여 사회적 비용이 가중될 것이라는 우려를 낳고 있다. 현재, 데이터센터의 운영사들은 탄소중립으로 가기 위하여 친환경적인 신재생에너지 사용에 관심을 가지고 있다. 따라서 본 연구는 전기식 및 냉열식 데이터센터의 기술 동향을 분석하여, 향후 KOGAS만의 독자적 LNG 냉열식 데이터센터 기술을 개발하는 데 기여코자 한다.

우선적으로 국내외 데이터센터의 기술동향은 서버의 고집적화에 의하여 단위면적당 발열량이 증가하는 추세로 데이터센터의 설계 클래스를 상향화 할 수 있는 서버기술 개발이 되고 있다. 또한, 서버에 대한 직접냉각방식이외에 액체냉각이 적용되고 있으며, 외기를 이용한 친환경적인 에너지 사용을 증가시키고 있다. LNG 냉열이용 데이터센터는 상용화된 사례는 전무한 상태이며, 특허기술 및 발표논문이 주를 이루고 있다. 발표논문으로 확인한 냉열이용 데이터센터는 약 32.6%의 비용절감 및 CO₂ 절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한, 특허기술로 확인된 LNG 냉열이용 데이터센터는 열대지방에서 효과가 두드러지는 것으로 나타났으며, 싱가포르의 경우, 내부수익률이 187%로 매우 높다. 특히, 열대지방인 태국의 경우는 전기식 데이터센터 PUE가 2이며, 냉열식으로 데이터센터를 운영할 경우 PUE가 1.36으로 매우 효과적인 것으로 확인되었다. 한국의 데이터센터인 네이버 작은 전기식이면서도 PUE가 1.09로 매우 낮다. 네이버 작은 최첨단 기술의 집합체로 냉각시스템으로 AMU (Air Misting Unit) 및 NAMU I&II 뿐만 아니라 햇빛차단 루버도 설치되어 있다.

결론적으로 KOGAS는 본 연구에서 확보한 데이터센터의 최신 기술 동향을 토대로 데이터센터의 냉각시스템을 최소화할 수 있는 KOGAS만의 LNG 냉열이용 냉각기술을 제안한다.

액화수소 저장탱크의 설계 및 단열성능 평가를 위한 해외 기준 분석 Criteria Analysis of liquid hydrogen storage tank for design and insulation performance

이민정 · 김수현 · 김정환 · 이재훈 · 유근준*

한국가스안전공사 가스안전연구원

최근 탄소중립을 위한 움직임이 전 세계적으로 확산되고 있는 추세이다. 이는 산업혁명부터 시작된 화석연료 사용으로 발생한 지구온난화를 막고자 하는데 목적이 있다. 이를 위해 국·내외에서는 화석연료의 대체 에너지원으로 수소를 사용하는 방안을 추진하고 있다. 수소는 지구상에 가장 많이 존재하는 물질이며, 연소 후 이산화탄소를 발생시키지 않는 이점이 있다. 국내에서도 2019년 수소 적용의 활성화를 위해 “수소경제 활성화로드맵”을 발표하였으며, 이에 수소를 에너지원으로 활용하고자 하는 움직임을 활발히 보이고 있다. 대표적으로 수소 자동차, 충전소의 보급 및 건설이 있다. 또한 기존 기체 수소 사용방식에 비해 액화하여 사용할 경우 많은 이점이 있다. 액화수소는 기체보다 약 800배의 저장효율을 높일 수 있으며, 기체사용방식보다 매우 낮은 사용압력에 의해 안전관리 측면에 이점이 있다. 이에 따라 최근 액화수소플랜트 건설이 매우 활발히 진행되고 있는 상황이다. 액화수소를 도입하기 위해서 기본적으로 생산·저장·운송·활용 등의 액화수소인프라 구축이 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 국내에 안정적인 액화수소 저장탱크를 구축하기 위해 액화수소 저장탱크 관련 국외 기준을 분석하였다.

저장탱크와 관련된 국내기준은 KGS AC111, AC115 등이 있고, CGA, API, ASME, ISO 등에서도 많은 국외기준이 존재한다. 특히 액화수소저장탱크 관련 “CGA H-3 Cryogenic Hydrogen Storage” 기준과 단열성능 시험방법이 제시된 “ISO 21014 Cryogenic insulation performance” 기준을 선정하였다. 액화수소는 극저온(-253°C)에서 저장되므로 탱크의 설계, 재료선정 및 단열성능 확보는 매우 중요한 문제이다. 이를 바탕으로 국내 액화수소 저장탱크 도입 시 필요한 설계, 재료, 단열성능 평가 등에 관한 내용을 확인 및 분석하였다. 본 연구를 통해 액화수소저장탱크의 설계 기준 국내 적용방향 및 단열성능평가 방법을 제시하고자 한다. 이를 통해 국내 액화수소저장탱크의 도입에 기반이 될 것으로 기대한다.

KGS AC111 내수소취성평가에 따른 수소 압력용기 수명계산
Expected Life Calculation of Hydrogen Pressure Vessel according to the
Evaluation Protocol of Hydrogen Embrittlement in KGS AC111 Code

김정환 · 이화영 · 이민경 · 이재훈 · 유근준

한국가스안전공사 가스안전연구원

친환경 연료의 저변 확대에 따라 수소자동차 등 수소 관련 제품의 개발 및 사용이 늘어나고 있으며, 그에 발맞추어 수소 충전소 등에서 수소를 저장할 수 있는 수소 압력용기의 사용 및 설치도 늘어나고 있다. 압력용기의 급격한 증설에 따라서 수소 압력용기에 대한 안전검사가 매우 중요하게 이루어져야 한다. 미국 ASME 등의 압력용기 제조기준에서는 41MPa 이상의 고압에서 수소에 노출되는 강(steel)은 수소취성(hydrogen embrittlement)의 우려가 있으므로 내수소취성에 대한 평가가 필요하다고 말하고 있고, 국내 압력용기 제조기준 KGS AC111(고압가스용 저장탱크 및 압력용기 제조의 시설·기술·검사 기준)에도 동일한 내용으로 내수소취성평가 검사방법이 제시된다. 현재까지 국내에 수소 압력용기는 총 99개소 충전소에 전체 771기가 설치되어 운용되고 있다. 대표적으로 많이 설치된 업체의 압력용기 스펙에 따라서 예상되는 수명을 계산 비교하고자 한다. 내수소취성평가의 기본 개념은 손상허용(damage tolerance) 설계 개념에 따라 균열이 있다고 가정하고, 피로균열성장율에 따라서 허용사용회수(예상수명)를 정하여 정한 바까지만 쓰는 것으로, 수명에 영향을 미치는 인자로 초기균열의 가정이 매우 중요하다. 또한 허용사용회수를 통하여 균열이 발견될 때까지는 재검사 기간을 정할 수 있다. 동일한 반타원형 표면 결함을 가정하고, 동일한 내부 압력을 적용하였을 경우의 예상수명을 계산하여 국내 압력용기의 재검사기간을 산정하고, 향후 KGS AC116고압가스용 저장탱크 및 압력용기 재검사 기준)에 재검사 주기를 개정하는데 기초자료로 사용하겠다.

수소충전소용 고압수소배관 적용을 위한 수소배관 설치의 국내외 기준 분석 연구

Investigation on the domestic and international standard related to
a installation of hydrogen piping for the hydrogen fueling station

신동원 · 이민경 · 이재훈 · 김정환*

한국가스안전공사 가스안전연구원

수소경제 육성을 위한 수소경제활성화 로드맵(산업통상자원부, 2019)과 최근 10월에 발표된 수소 선도 국가 비전에 따라, 우리나라는 수소인프라 확충에 많은 노력을 기울이고 있다. 그 중, 수소충전소는 수소연료전지자동차와 같은 다양한 수소모빌리티의 핵심 인프라로써 2050년까지 전국에 2,000개소 이상으로 확충할 계획이며, 수소충전소의 수소저장탱크, 압축기, 냉각기, 디스펜서 등 각 시스템을 연결하는 고압수소배관은 $-45\sim 120^{\circ}\text{C}$ 온도범위에서 최대 87.5 MPa 수소압력을 지속적으로 견딜 수 있어야 한다. 특히, 고압수소배관은 고압수소에 의한 수소취성이 발생하여, 기계적 특성 저하에 의한 취성파괴가 발생한다. 따라서, 수소충전소의 안전성을 확보하기 위해 고압수소배관 소재는 극히 제한적으로 사용되며, 배관을 비롯한 다양한 수소충전소 설비의 안전기준마련이 필요하다.

본 연구에서는 수소충전소용 고압수소배관 설치와 관련하여 국내 KGS CODE 기반으로 국내 기준 현황을 조사하였다. 그리고, 국외 기준은 ASME B31.3, B31.12에 대해 고압수소배관과 관련된 기준내용을 조사하여, 국내 및 국외 기준내용을 비교분석하였다. 비교 분석된 내용을 바탕으로, 국내 적용 가능한 수소충전소용 고압수소배관 기준 방안에 대한 연구를 수행하였다.

AD2000 규격의 피로평가에 의한 수소 압력용기 허용사용회수에 대한 고찰 A Study on the Allowable Cycle Number of Hydrogen Pressure Vessels by Fatigue Evaluation of AD2000 Code

이화영 · 김정환 · 이민경 · 이재훈 · 유근준

한국가스안전공사 가스안전연구원

수소 충전소의 확대와 더불어 2021년 10월 10일 현재 운영되는 전국의 수소충전소는 95소에 달하며, 충전소 내에 고·중·저압 포함 771기의 압력용기가 건설된 상태이다. 이 중 내 수소취성검사에 해당하는 41MPa 압력 이상에서 운영되는 압력용기는 757기로 98.2%에 해당한다. 현재까지 대부분의 수소 압력용기는 미국 ASME Sec.VIII Div.3 KD-10에 의해 수입 및 제작되었으나, 독일 AD-2000의 특별코드(S2; Analysis for cyclic loading)의 13.2절에 따라 피로평가에 의한 수명계산 후 수소영향인자 0.1을 적용하는 방식을 도입하는 업체가 신규로 나타남에 따라 본 연구에서 피로평가의 방식으로 수소 압력용기의 허용사용회수를 구해보고, 수식의 한계점 및 적용 방안에 대해서 고찰해 보았다.

평가의 순서는 다음과 같다. 5절과 6절에 의해 응력해석을 실시하고, 본 연구에서는 실린더의 원주방향 Hoop stress($PD/2t$)로 일괄 적용하고, 실제 응력해석한 부분과의 차이는 응력인자(stress factor)로 표현하였다. 7절은 사용회수를 정한 상태에서 허용응력범위(allowable stress range)를 구하는 방식으로 계산이 용이하다. 8절은 응력범위를 정한 상태에서 허용사용회수를 구하는 방식으로 순환참조에 의한 수식으로 수치해석적으로 계산해야 한다. 이러한 일련의 계산을 수행하여 실제 업체의 스펙으로 허용사용회수를 결정하고, 이러한 계산 방식에서의 문제점을 도출하고, 해결방안을 토의하고자 한다.

LNG 배가스 이산화탄소 포집을 위한 막분리 공정 파일럿 실증 연구
Pilot testing of membrane separation process for the CO₂ capture from
LNG flue gas

한상훈, 김세중, 임진혁, 이충섭, 장원석*, 하성용

(주)에어레인, *한국지역난방공사 미래개발원

Membrane-based gas separation process is one of the next generation technologies for carbon capture, utilization and storage (CCUS). Increasing global warming and the CO₂ reduction plans up to 2050, so-called to 'net-zero', require scale-up demonstration and commercialization of post-combustion capture technologies. In accordance with the development of various materials and processes targeted to CO₂/N₂ separation, the membrane process was tested in lab-scale and followed by bench-scale. Carbon dioxide capture pilot studies were conducted at power plants and industrial sites. Here, we manufactured a multi-stage process using polysulfone and polyimide membranes as a mobile system, and conducted and evaluated pilot studies at Korea District Heating Corporation. The design, demonstration, operation and evaluation of research evaluated by various emission sources will be presented.

도심 LNG발전소 배기가스내 CO₂ 저감 및 유용물질 생산을 위한
미세조류 및 폐열 활용기술 개발

Development of application technology using microalgae and waste heat for reduction of
CO₂ and production of useful materials on flue gas of urban LNG power plant

장원석 · 신경아 · 장미희 · 김경민 · 이종준 · 신혜현 · 남궁형규 · 이현철 · 유지혜

한국지역난방공사 미래개발원

기존 석탄발전소의 탄소포집저장(CCS)기술은 CO₂를 흡수제로 포집, 분리한 후 원거리 수송하고 이를 깊은 지반층 저장하는 것으로 고가의 처리비용(8만원/CO₂톤)만이 소요되고 가스특성상 지반균열시 누출위험 존재하는 문제점을 안고 있기 때문에 최근에 전세계적으로 CO₂를 포집한 후 이를 이용하여 고가 유용물질로 전환하는 경제적이고 효율적인 탄소자원화(CCU)기술 개발에 관심이 집중되는 추세이다. 특히 대부분의 탄소자원화 기술이 CO₂를 다른 물질로 전환하기 위해 많은 에너지를 소모하며 이를 통해 더 많은 CO₂를 발생하는 모순된 문제가 발생하기도 하나 미세조류를 이용한 생물학적 전환기술은 에너지 소모가 거의 없이 광합성 반응을 통해 CO₂를 고가물질로 전환할 수 있으며 특히 도심 LNG발전소에서 발생한 폐열을 활용하여 온실난방과 바이오매스 건조가 가능하기 때문에 에너지 소모가 거의 없는 실질적인 CO₂ 저감기술이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 도시에 위치한 한국지역난방공사 P지사의 LNG 열병합발전설비 배기가스(평균 CO₂농도 5%)를 스택 80m 높이에 설치된 추기설비를 이용해 광배양기까지 공급하여 미세조류를 배양하는데 이때 사용된 미세조류는 헤마토코쿠스(*Haematococcus*)로 천연 항산화물질인 아스타잔틴(astaxanthin)을 가장 고농도로 생산할 수 있는 종으로 알려져 있다. 경제적인 PE재질로 제작된 광반응기에서는 햇빛, 미세조류, 배기가스내 CO₂ 간의 광합성 반응을 통해 CO₂를 고정화하여 평균 30%정도 제거할 수 있는데 이때 미세조류인 헤마토코쿠스(녹색)는 증식 및 유도단계와 같은 2단 배양단계를 거쳐 아스타잔틴을 고농도로 축적하는 수확단계가 되면 적색으로 색상이 변하고 이때 수확된 biomass는 발전소 폐열을 이용하여 효과적으로 건조가 가능하며 이후 French press나 Germination의 추출공정과 생물학적 검화공정을 통해 건강식품, 의약품, 사료 등 고가물질을 생산할 수 있다. 이는 기존 미세조류를 이용하여 바이오디젤(\$1/kg)을 생산하는 공정에 비해 수천배 높은 수익(\$3000/kg)을 얻을 수 있으며 실제배가스로 운전한 경제성 평가결과, 10톤 플랜트 운전시 투자금 회수기간 1.17년, 수익률(DCFROR: 15%이상 경제성有) 45.2%로 확실한 사업성이 있음을 확인할 수 있었다.

특히 본 공정은 발전폐열을 활용해 난방이 가능한 폐쇄형으로 기존 개방형에 비해 수직 및 수평공간을 모두 활용가능한 콤팩트한 설비로 미세조류를 보다 고밀도로 유지할 수 있기 때문에 CO₂ 고정속도가 빠르고 공정제어가 수월하다. 그러므로 균일한 품질이 요구되는 의약품 원료물질 생산에 적합한 공정임을 확인할 수 있었고 제작된 광반응기 역시 기존 타 반응기보다 훨씬 저렴한 재질을 사용하면서도 재사용이 가능하기에 매우 효과적이고 경제적인임을 확인할 수 있었다.

엑서지 및 열경제학적 분석의 R&D 전략수립 적용 가능성에 관한 사례연구- CGAM 열병합발전시스템

A Case Study on the Applicability of Exergy and Thermoeconomic Analysis to Establish R&D Strategies- CGAM System

이금정 · 오시덕* · 서석호* · 곽호영*

한국에너지기술평가원/고려대학교 과학관리학 박사과정, *(주)블루이코노미전략연구원

1. 연구 배경 및 목적

기후변화에 대한 대응 요구와 5G, 빅데이터 및 AI 등으로 대변되는 기술혁신은 에너지산업의 전환과 변화를 촉진하고 있다. 기존 산업 내, 인접 산업 간의 융합에서 이중 산업 간의 융합으로 혁신의 방향이 바뀌고 있으며, 산업의 경계 확장과 산업 및 산업생태계 간 경쟁이 활발히 이루어지는 등 새롭고 다양한 사업모델이 등장하고 있다. R&D 분야도 섹터커플링과 기술간 융·복합화가 가속되고 있어 연구 대상과 연구목표 설정 및 연구비 규모, 연구비 투입 등 전략적 의사결정이 더욱 중요해지고 있다.

본 연구에서는 사례연구를 통하여 엑서지-열경제학적 분석모델의 R&D 전략 수립에 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 연구 대상 및 내용

사례연구는 압축기(AC), 예열기(APH), 연소기(CC), 가스터빈(GT) 및 배열회수보일러(HRSG)로 구성되며, 30MW 전기출력과 20 bar에서 14kg/s의 증기를 발생시키는 CGAM 열병합발전시스템을 대상으로 하였다.

엑서지 균형식과 MOPSA(modified Productive Structure Analysis)를 이용한 비용 수식을 대상시스템에 적용하면 각 구성기기에서의 연료, 산출물의 엑서지 및 엑서지 손실을 계산할 수 있다. 각 구성기기의 엑서지 손실량은 현재의 기술수준에서 피할 수 있는 부분(AV, avoidable part)와 피할 수 없는 부분(UN, unavoidable part)로 구분할 수 있다. R&D의 다양한 제약요인으로 인해 각 구성기기에는 기술적 한계가 있으며, 이 한계에서 피할 수 없는 엑서지 손실과 생산 엑서지의 비율을 정의할 수 있다. 이 비율을 적용하면 피할 수 없는 엑서지 손실을 구할 수 있고, 이를 사용하여 피할 수 있는 엑서지 손실 및 비용 흐름 또한 구할 수 있다. 여기서 구해진 피할 수 있는 에너지 손실 및 비용 흐름은 R&D 대상기기 선정의 변수가 될 수 있으며, 사례 분석결과를 정리하면 표 1과 같다.

표 1. Avoidable exergy destruction and corresponding cost flow rate for CGAM system

Component	$\left(\frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_P}\right)^{UN}$	Avoidable exergy destruction rate (MW)	Corresponding cost flow rate(\$/h)	Condition to obtain unavoidable exergy destruction
Air Compressor	0.054	0.6	0.784	90 % compressor efficiency
Air Pre-Heater	0.0164	2.056	2.687	10 °C Minimum temperature difference
Combustion Chamber	0.267	6.54	8.546	1000 K for air and 1770 K for products
Gas Turbine	0.027	1.481	1.935	92 % turbine efficiency
Heat-Recovery Steam Generator	0.345	2.63	3.437	10 °C Minimum temperature difference

3. 연구결과 및 고찰

R&D를 통하여 각 구성기기에서 피할 수 있는 엑서지 손실량을 줄일 수 있다면 구성기거나 시스템 효율을 증가시키고, 생산 비용을 감소시킬 수 있을 것이다. CGAM 열병합발전시스템 대상 사례분석에서 R&D를 통하여 연소기, 배열회수보일러, 예열기, 가스터빈, 압축기의 순서로 엑서지 손실의 저감 가능성을 확인하였다.

에너지R&D 기술가치평가를 통한 혁신기업 금융지원 시사점

김봉균¹⁾, 송수원²⁾, 이민정³⁾

초 록

정부는 2020년 10월 2050년 탄소중립을 국가적 목표로 설정하고 12월 탄소중립 추진전략을 발표하였다. 탄소중립 추진전략은 탄소중립과 경제성장 그리고 국민 삶의 질을 동시에 달성하는 것을 기본 방향으로 한다. 나아가 2021년 8월 19일 탄소중립기본법이 국회 환경노동위원회를 통과하면서 2030년 온실가스 감축목표(NDC)도 26.3%에서 35%로 상향되었다. 신재생에너지 보급 증가로 에너지산업의 패러다임은 저탄소, 분산화, 디지털화로 전환되고 있다. 이러한 패러다임 변화에 맞추어 새로운 비즈니스와 기업들의 등장이 가속화 되면서 에너지 산업에서도 이른바 ‘에너지벤처’가 등장하고 있다.

그린뉴딜 정책의 핵심 주체인 에너지벤처의 생성과 성장을 지원하는 정책을 추진하기 위해서는 기업성장을 지원하는 금융지원이 중요하다. 무엇보다 에너지벤처가 보유하고 있는 기술에 기반한 기술금융을 지원받기 위한 가액산정 및 지원여부를 위해서는 기술가치평가가 필수적이다. 그러나 에너지 분야의 특화된 방법론이 부재한 상황이다.

본 연구는 한국에너지기술평가원이 지원한 연구개발사업 수행 기업의 기술을 대상으로 추진한 기술가치평가를 대상으로 한다. 이를 통해 에너지기술의 특징과 가치평가 수행에 있어 시사점을 도출하였다.

연구를 통해 에너지벤처육성을 위한 금융지원방안 및 기술평가를 위한 체계화된 방법론 구성에 기여할 것으로 기대한다.

1) 주저자 : 한국에너지기술평가원, 기술사업화실장 (kibon@ketep.re.kr)

2) 한국에너지기술평가원, 기술사업화실 전임연구원

3) 한국에너지기술평가원, 기술사업화실, 전임연구원

미래 에너지기술혁신을 이끌어 갈 에너지기술개발사업 평가위원 후보단 모집

□ (정의) 평가위원 후보단이란?

- 국가 연구개발(R&D) 사업과 관련한 지원 분야의 발굴, 연구기획, 사업(과제)의 평가 및 관리 업무 영역에서 활동하는 산·학·연 기술, 경제·시장 및 인문·사회과학 전문가를 의미

□ (역할) 평가위원 후보단 주요 역할

- 국가 연구개발(R&D) 사업의 기획부터 신규과제 선정, 연구개발 성과평가 등 국가 R&D 전주기에 걸쳐 핵심 역할 수행

※ 2021년 에너지기술개발사업비 : 신재생에너지 3,379억원, 에너지신산업 3,776억원, 전력원자력 2,186억원, 인력양성·국제협력 900억원 등 총 **1조 242억원**

□ (자격) 평가위원 후보단 신청 자격요건 (1개 이상 해당)

학 계	산업계
<ul style="list-style-type: none"> • 2년제 대학 이상에서 조교수 이상의 교수 	<ul style="list-style-type: none"> • 박사학위 소지자 • 석사(학사)학위 소지자로서 해당분야 5년(7년) 이상 경력자 • 부장급 또는 이에 상당한 직급 이상인 자 • 기술사 소지자
연구계	
<ul style="list-style-type: none"> • 박사학위 소지자 • 석사(학사)학위 소지자로서 해당분야 5년(7년) 이상 경력자 	

※ 관련근거: 산업기술혁신사업 공통운영요령 제6조(산업기술혁신평가위원 후보단)

□ (분야) 에너지·자원기술 등 산업기술 전분야 모집

에너지 수요관리	에너지저장	스마트그리드	에너지안전
에너지효율향상 (열/전기/건물), 온실가스처리, 에너지신산업 등	리튬/레독스흐름/나트륨계/차세대전지 등	전압형 HVDC 시스템 등	가스안전, 전기안전
신재생에너지	청정화력	원자력	자원순환·자원개발
태양광, 태양열, 풍력, 수소·연료전지, 폐기물, 수력, 바이오, 수열 등	고온고압화 발전기술, 석탄 청정화/발전환경 청정화 기술, 발전용 고효율 대형 가스터빈 등	원자력 설계/설비 제작/플랜트 건설/운영평가/해체, 중저준위/고준위 방사성 폐물 관리기술 등	자원 대체·저감, 금속·자원회수, 재제조 등 석유자원, 광물자원

□ (참여) 산업기술혁신평가위원 후보단 등록

- 산업기술혁신평가위원 후보단 등록으로 에너지기술과 산업기술 분야 산업통상자원부 산하 3대 전문기관의 기획·평가·관리 업무에 동시 참여 가능

< 산업기술혁신평가위원 후보단 >

- ▶ 사업의 평가 및 관리 등의 업무에 전문가를 활용하기 위해 산·학·연 기술 및 경제·시장 전문가, 인문·사회과학 등 해당분야의 전문가로 구성하는 평가위원 후보단을 구성
- ▶ 산업통상자원부 산하 R&D 전문기관인 한국에너지기술에기평(KETEP), 한국산업기술평가관리원(KEIT), 한국산업기술진흥원(KIAT) 공동으로 활용



+



+



□ (준비물) 후보단 등록 사전 준비사항 3가지

과학기술인 등록번호	통합연구지원시스템(www.iris.go.kr) 회원가입 → 연구자 전환(우측상단 '국가연구자정보시스템') → '국가연구자번호' 자동 발급 → '연구자정보(상단)' 또는 '기본정보'항목에서 과학기술인등록번호 확인
대표학력	학위기 또는 졸업증명서 등 학력 증빙자료 * 학위 증빙은 대표학위(박사, 석사 등)에 대한 증빙 1건만 필요
대표경력	건강보험자격득실확인서 또는 재직증명서 등 경력 증빙자료 * (건강보험자격득실확인서) 국민건강보험(www.nhis.or.kr) → 자격득실 확인서 발급

※ 대표학력·경력 관련해서 증빙자료 미제출시 평가위원 후보단 선정에서 제외

□ (사이트) 산업기술R&D 정보포털에서 평가위원 후보단 등록신청

- 산업기술R&D정보포털(itech.keit.re.kr) 접속 → (비회원일 경우, 회원가입) → 로그인 → 메인화면 '평가위원 신청 및 변경' 클릭

※ 평가위원 신청서 매뉴얼 : 메인화면 "이용매뉴얼" → 단계별 매뉴얼 → 기타 → 기타 (과제기획, 평가위원 참여)

□ (유의) 평가위원 후보단 등록시 유의사항

- 평가위원 핵심정보 ③~⑧ 항목이 주요 검증대상이므로 중점 작성 필요

구분	입력내용	구분	입력내용
기본정보	①개인정보	신청 기술분야	⑦산업기술분류 (1,2,3 순위) * '에너지.자원' 1개 이상 필수선택!
	②소속기관정보		⑧전문분야(기술 키워드 특허/표준 사업화 등)
	③자기기술서		
연구이력	④경력	기타	⑨활동분야 (학회/협회 등)
	⑤논문		
	⑥지식재산권		

※ 산업기술분류와 관련한 핵심 ⑤논문, ⑥지식재산권 위주로 등록

- 신청 기술분야 (1, 2, 3순위) 중 반드시 1개 이상 '에너지·자원(대분류)' 을 선택하여 신청



산업기술분류 1·2·3순위 중 에너지·자원 분야를 선택하지 않으실 경우
한국에너지기술평가원의 기획·평가위원으로
활동하시는데 제한이 있을 수 있습니다.

평가위원 신청

Join R&D > 평가위원 참여 > 평가위원 신청

1단계 기본정보 > 2단계 상세정보 > 3단계 기술분야 > 4단계 자기기술서 > 5단계 제출

기술분야

기술평가전문을 선택한 경우에는 전문기술분야 키워드를 입력하여야 합니다. 전문기술분야 키워드는 전문가 검색에 활용하고자 하오니 한글, 영문 각각 3개 이상을 입력하여야 합니다. (최대 5개 등록)

순위	에너지.자원	신재생에너지	태양광-결정질실리콘
1순위	에너지.자원	신재생에너지	태양광-결정질실리콘
2순위	기계-소재	소성가공/분말	단조기술
3순위	화학	대기/해양기술	기상장비산업기술

산업기술분류 * 1순위2순위3순위 중 1개 이상(1~3개) 대분류에서 "에너지·자원" 선택

- 연 4회 검증위원회를 통해 평가위원 후보단 등록 확정 (임기: 2년)
- * 수시로 후보단 등록신청 가능, 2년 단위로 현행화 등을 통해 임기 연장

□ (문의) 평가위원 후보단 등록 관련 문의처

- (에너지·자원 분야) 한국에너지기술평가원 디지털혁신기획실 02-3469-8460~2
- (시스템) 산업기술 R&D 콜센터 1544-6633

LSA 기법을 활용한 지역난방의 소비자 비시장 가치의 추정*

김주희** · 임슬예*** · 유승훈****

서울과학기술대학교 에너지정책학과 연구교수, *한국지역난방공사 미래개발원 연구전략부 선임연구원, ****서울과학기술대학교 에너지정책학과 교수

본 연구에서는 소비자가 타 난방방식(중앙난방, 개별난방) 대비 지역난방에 부여하는 비시장적 가치를 추정하고자 한다. 난방 방식별 만족도를 소비자에게 직접적으로 물어본 후 비교하게 되면, 객관적인 평가가 어렵다. 왜냐하면 여러 가지 난방 방식을 동시에 이용하고 있는 사람들이 비교를 통해 만족도에 대해 응답하는 것이 아니라, 하나의 난방방식을 사용하는 사람들이 해당 난방방식에 대해서만 응답하기 때문이다. 이러한 경우에, 삶의 만족도 평가를 통해 비시장 재화의 가치를 평가하는 데 유용하게 활용되고 있는 LSA(Life Satisfaction Approach)라는 경제학적 기법을 적용할 수 있다. LSA 기법을 적용하게 되면, 다른 요인들을 통계적으로 동일하게 통제하면서 난방 방식의 차이만이 삶의 만족도에 미치는 한계적 영향을 평가할 수 있다. LSA 적용을 위해, 2021년 5월 한 달 동안 제주도를 제외한 전국 1,000 가구를 대상으로 가구방문 일대일 개별면접 설문조사를 수행하여, 난방 방식, 삶의 만족도, 가구 및 개인 특성, 몇 가지 주관적 판단 등에 대해 질문하여 자료를 수집하였다. 삶의 만족도에 대해서는 리커트 9점 척도(1=극히 불만족, 2=매우 불만족, 3=불만족, 4=약간 불만족, 5=보통, 6=약간 만족, 7=만족, 8=매우 만족, 9=극히 만족) 중 하나를 선택하게 하였다. 이 자료는 하한과 상한을 가지며, 서수적이기에 통상적인 회귀분석이 적용되어서는 안 된다. 따라서 본 연구에서는 삶의 질 만족도 함수를 추정하는 데 있어서 서열프로빗(ordered probit model) 모형을 적용하였다. 독립변수로 지역난방 더미변수(1=지역난방, 0=타 난방 방식) 외에도 소득, 연령, 교육수준과 같은 특성변수뿐만 아니라 가치 판단과 관련된 변수도 포함되었다. 분석결과 모든 모형에 있어서 지역난방 더미변수의 계수 및 소득 항의 계수는 (+)의 값을 가지면서 통계적으로 유의하였다. 아울러 추정모형에 대한 정형검정 결과 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하였다. 한편 대안으로 이중경계 토빗 모형도 적용하였는데 주요 정성적 결론은 달라지지 않았다. 타 난방방식 대비 지역난방의 소비자 비시장적 가치는 가구당 연간 약 600만원 내외로 추정되었다. 중요한 시사점은 이 값의 크기 자체가 아니라 타 난방 방식 대비 지역난방의 삶의 질 제고 효과가 양으로 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하다는 점이다.

* 본 논문은 한국지역난방공사의 연구과제(집단에너지의 가치분석 및 제고 방안 연구) 결과물에 근거한 것이다. 한국지역난방공사의 지원에 감사드린다.

Room temperature strong luminescence of CdS nano-clusters

Byoung-Ju Kim¹, Eun-Hye Park², Boo-Hwan Ahn², Ho-Cheung Kim², Chul-Jin Kim²,
Chan-Gyu Park³, ⁴Kwang-Sun Kang²

¹Smartfarm Development Division Department of Agricultural Engineering, 310
nongsaengmyeong-ro Deokjin-gu Jeonju-si Jeollabuk-do 54875, South Korea

²New and Renewable Energy Department, Kyungil University, 50 Gamasilgil Hayangup
Gyeongsan, Gyeongbuk 38428, South Korea

³Mechatronics Department, Kyungil University, 50 Gamasilgil Hayangup Gyeongsan,
Gyeongbuk 38428, South Korea

1. Abstract

Room temperature strong luminescence of CdS quantum dot in a waveguide sol gel matrix synthesized with 3-(trimethoxysilyl)propyl methacrylate (TMSPM) doped with 15 wt. % of zirconium was observed. The viscosity of the waveguide sol gel was drastically increased in initial hydrolysis step and slow down thereafter. The UV-visible spectrum shifted to the blue with the increase of the Cd²⁺ concentration after H₂S exposure implying the hydrogen bond and dangling bond formation near by the CdS nanocrystals due to the excess amount of H₂S for the low concentration of Cd²⁺. Luminescence intensity increased as the time passed after H₂S exposure. The band gap energy also increased with the time, which indicated that the extra amount of H₂S gas evaporated in the sol gel matrix and apparent quantum dot size decreased due to the reduction of hydrogen bond and dangling bond around the CdS quantum dot.

Keywords: CdS, sol gel matrix, absorption red shift, luminescence blue shift

1. Introduction

Nano-particle CdS semiconductor room temperature photoluminescence was reported for the first time in 1996 [1]. Cadmium sulfide nano-particles were attracted due to the high photoconducting properties [2-3]. Semiconductor quantum dots form intermediate state between bulk crystal and molecular clusters. Theoretical modeling of the quantum dot properties, such as discrete quantized energy levels, is close to the molecular system. The predicted transition energies for different dot sizes are excellent matches with the absorption spectra, but on the other hand, the photoluminescence (PL) spectra does not match compared with the absorption spectra. The photoluminescence spectra are broader and lower energies. These quantum dot systems can be applied for optical switching, optical amplifier, laser diodes, and

4) The corresponding author should be addressed; Email: kkang@kiu.ac.kr

electroluminescence devices. The ideal system to understand nanoparticles and to apply high quality optical device would be molecularly dispersed quantum system.

The sol gel process can produce high purity glass and control its composition [4]. Sol-gel process can be obtained pure glasses by hydrolysis and condensation of alkoxide monomers. The hydrolysis replaces -OR groups by groups of -OH and the subsequent condensation reactions form Si-O-Si bonds. Hybrid sol gel process replaces -OR groups to -OH groups and subsequently form Si-O-Si bonds for waveguide fabrication [5-7]. Trimethoxysilylpropylmethacrylate (TMSPM) composed of three methoxy groups and one propylmethacrylate group. Many scientists and researchers utilized TMSPM for the lithography due to the easy lithography [8-10]. This paper reports the viscosity with aging time, viscosity and film thickness relationship, CdS quantum dot concentration dependent UV-visible absorption spectra and time dependent PL spectra after H₂S.

2. Experimental

2.1. Sol-gel preparation

TMSPM (0.02 mole) was placed to the round bottom flask and one and half molar ratio of nitric acid solution (0.01 N) was added to the sol gel backbone material. The sol was pre-hydrolyzed for one hour. One to one molar ratio of zirconium isopropoxide and methacrylic acid was added slowly to the pre-hydrolyzed sol. The zirconium doping level was 15 wt. % against sol gel back-bone material. Additionally, 5 wt. % doped TMSPM film and vinyltrimethoxysilane (VTMS) film were prepared to compare the film qualities.

2.2. Viscosity and thickness measurement

The sol-gel was separated from the sol batch. Viscosity measurement was performed at 23 °C with calibrated number four viscometer. The separated sols were spin coated onto silicon wafers at 1800 rpm and preheated at 110 °C for 60 min. The film thickness was measured by an atomic force microscope (VEECO Dimension 3100/Nanoscope V).

2.3. UV-Visible absorption spectra

Cadmium acetate was added after aging the sol-gel for 48 h. Various amounts of cadmium acetate were added to the sol-gel with stirring. UV-visible spectra were obtained with quartz substrate coated with cadmium doped sol-gel before and after H₂S exposure. Depending on the cadmium concentration and exposure time, the film color slowly changed to pale yellow. Using a Thermo Scientific Genesys 10S UV-visible spectrometer, UV-Visible spectra were obtained before heating. UV-Visible spectra were obtained after heating at 85 °C for 5 min

. During the heating process, the film color changed to intense yellow.

2.4. Luminescence Spectra

Due to the photoluminescence intensity is sensitive for sample position and angle, all the sample position and angle were fixed. Less than 0.1 % intensity variation was obtained each set up. Various concentrations of cadmium doped sol gel films were prepared. Using a Hitachi 4500 Fluorescence spectrometer, photoluminescence spectra

were recorded before heat treatment and after heat treatment at 85 °C for 15 h with excitation wavelength at 355 nm.

1. Result and discussion

1.1. Optical microscope images

Cadmium ions were dispersed into the hybrid sol gel matrix. When cadmium acetate dissolves into the sol gel matrix, the Cd^{2+} ion can be easily stabilized due to the sol gel matrix has large amount of $-\text{OH}$ bond, which has two lone pair electrons. Cadmium ion can interact with oxygen molecule and forms cadmium ion and oxygen molecule complex. With this idea, molecularly dispersed cadmium sulfide film was considered. Because the sol gel matrix is flexible before completely heat curing or UV curing, H_2S gas can be easily delivered to the cadmium ion, can react with cadmium ion, and form cadmium-sulfide-oxygen complex due to the large amount of oxygen molecules near by the cadmium ion. Broad photoluminescence spectrum suggests large number of molecules involved in the cadmium resonance structure. The following pictures show different matrix sol gel films. Optical microscope images of 15 wt. % zirconium doped films are shown in Fig. 1(a), 5 wt. % zirconium doped sol gel film in Fig 1(b), and vinyltrimethoxysilane film in Fig. 1(c), respectively, with magnitude of 250. Only 15 wt. % zirconium doped film shows high film quality.

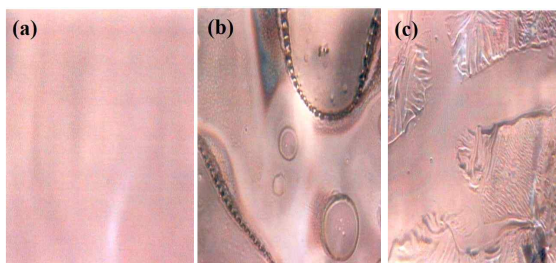


Fig. 1. Optical microscope images of (a) 15 wt. % zirconium doped sol gel film, (b) 5 wt. % zirconium doped sol gel film, and (c) VTMS sol gel film.

3.2. Viscosity and thickness relationship

An investigation of film thickness and viscosity is necessary to fabricate reproducible film thickness. The viscosity was drastically increased for the 15 wt. % zirconium doped sol gel during the initial one-hour prehydrolysis process (2.30 Cp to 7.39 Cp). The viscosity increased 3.16 Cp in 20 min (from 7.39 to 10.55) after zirconium addition. The viscosity slowly increased for 40 h (about 0.13 Cp/h). After 40 h, the viscosity increased at a higher rate (about 0.35 Cp/h) than the former 40 h period as shown in Fig. 2(a). The film thickness and viscosity has linear relationship until 16 Cp and shows out of linear relationship thereafter.

3.3. UV-visible absorption spectra

The bulk CdS band gap is 2.42 eV [11] with direct band gap semiconductor. Various band gap energies of CdS nanostructures were reported including 3.2 eV with thin CdS film (2–3 nm) [12], 2.54–2.65 eV with 8.5–12.5 nm CdS nanoparticles [13], and 2.58 eV with grain size of 10 nm [14]. Fig. 3(a) shows concentration dependent UV-visible absorption spectra. The band gap energies for the 2613, 9795,

14905, 25300, 40297, 66788, and 107043 ppm films based on the optical transition of the first excitonic mode are 3.14, 3.16, 3.18, 3.20, 3.22, 3.25, and 3.31 eV, respectively. Surprisingly the band gap energy shifted toward blue as the cadmium concentration increases. This phenomenon can be explained with the Fig. 2(b) representing high concentration of Cd ion after H₂S exposure and Fig. 2(c) showing low concentration of Cd ion after H₂S exposure. For the low concentration films, extra amount of H₂S may form hydrogen bond nearby the cadmium ion, which feels larger quantum state than the high concentration films and shifts the absorption peak toward red.

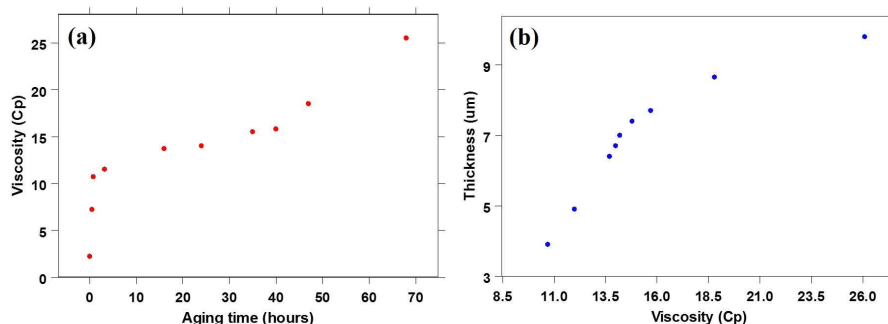


Fig. 2. (a) aging time dependent sol gel viscosity and (b) sol gel viscosity vs. film thickness.

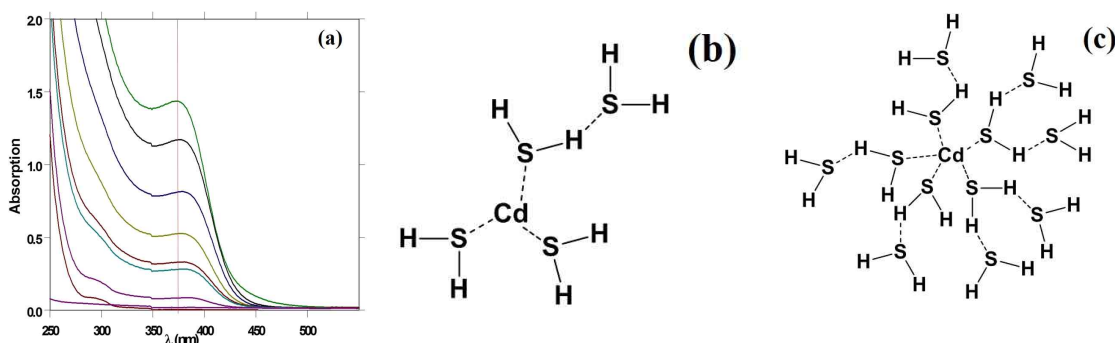


Fig. 3. (a) UV-visible absorption spectra with various concentration of Cd²⁺, conceptual view of (b) high concentration of Cd²⁺ and low concentration of Cd²⁺.

3.4. Luminescence Spectra

Photoluminescence spectra of CdS films were shown in Fig. 4(a) before and after H₂S exposure. Small luminescence peak at 416 nm (2.98 eV) appeared before H₂S exposure due to the silica [15]. The H₂S exposed sample was placed to a desiccator for 2 h and obtained the luminescence spectra. A broad emission peak was observed at approximately 513 nm (2.42 eV) as shown in Fig. 4(a). To investigate the time dependent luminescence characteristics after H₂S exposure, emission spectra were

recorded after H_2S exposure with the passage of time and showed in Fig 4(b). PL intensities increased, and emission peak shifted toward blue as the time passed. The shift of band gap energies was shown in Fig. 4(c), which shifted toward higher energy. These phenomena can be explained that the excess amount of H_2S initially forms hydrogen bonds around the cadmium ion. The extra amount of H_2S gas evaporates and reduces the hydrogen bonds and dangling bonds with the time [16–17].

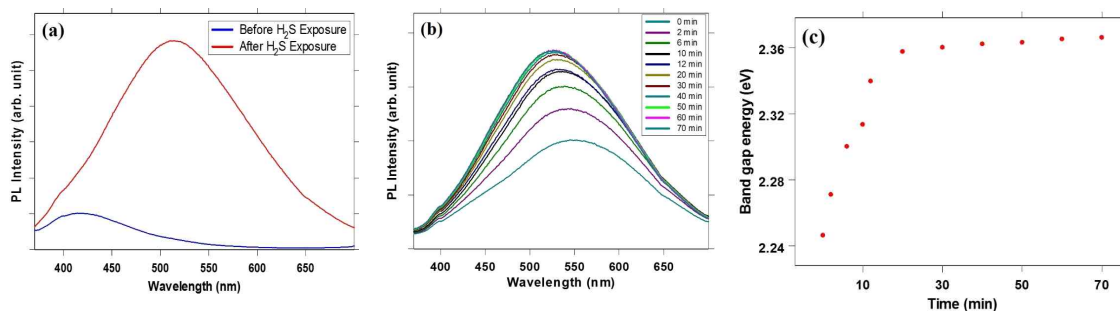


Fig. 4. (a) PL spectra before and after H_2S exposure, (b) time dependent luminescence spectra after H_2S exposure, and (c) time dependent band gap energy shift after H_2S exposure.

4. Conclusions

Zirconium doped (15 wt. %) TMSPM sol-gel was synthesized. CdS nano dots were incorporated to the sol-gel by adding of Cd^{2+} and exposing of H_2S gas. The viscosity of the zirconium doped TMSPM sol-gel were measured each step. The UV-visible absorption peak was shifted to the shorter wavelength with increasing CdS concentration. The photoluminescence intensity was increased and the band gap also increased after H_2S exposure.

Acknowledgements

This work has been supported by Kyungil University in Korea.

References

- [1] J. Butty, N. Peyghambarian, Y. H. Kao, and J. D. Mackenzie, Room temperature optical gain in sol-gel derived CdS quantum dots, *Appl. Phys. Lett.* 69 (21), 1996.
- [2] D.O. Oluwole, J. Britton, P. Mashazi, T. Nyokong, *Synthetic Metals* 205 (2015) 212–221.
- [3] K.K. Kasem, J.C. Olsen, K.M. Baker, C. Santucci, J. Lalla, A.N. Willman, *Synthetic Metals* 217 (2016) 61–67.
- [4] E.V. Abrashova, I.E. Kononova, V.A. Moshnikov, S.S. Nalimova, *Journal of Phys. Conf. series* 572 (2014) 012023.

-
- [5] D. Hadiouche, C. Le Luyer, L. Guy, A. Bensalah-Ledoux, S. Saoudi, H. Khireddine, S. Guy, *Optical Mater.* 36 (2014) 885–891.
 - [6] C. Molina, L.J.Q. Maia, Y. Messaddeq, S.J.L. Ribeiro, *Optical Mater.* 34 (2012) 910–914.
 - [7] Y. Xiang, A. Du, X. Li, W. Sun, S. Wu, T. Li, M. Liu, B. Zhou, *Optical Mater.* 69 (2017) 265–273.
 - [8] K.S. Kang, *Current Photovoltaic Res.* 2 (2014) 84–87.
 - [9] M. Casalbani, I. Dominici, V. Foglietti, F. Michelotti, E. Orsini, C. Palazzesi, F. Stella, P. Proposito, *J. Nanomaterials* 2012 (2012) 186429.
 - [10] B.T. Luong, J.W. Oh, J. Choi, N. Kim, *J. Nanosci. Nanotechnol.* 11 (2011) 4546–4550.
 - [11] D. Lincot, G. Hodes, *Electrochemical Soc.* (2006) 1–56677–433–0.
 - [12] A.I. Oliva, O. Solis-Canto, R. Castro-Rodriguez, P. Quintana, *Thin Solid Films* 391 (2001) 28–35.
 - [13] N. Soltani, E. Gharibshahi, E. Saion, *Chalcogenide Lett.* 9 (2012) 321–328.
 - [14] R. Elilarassi, S. Maheshwari, G. Chandrasekaran, *Optoelectronics and Adv. Mater.-Rapid Comm.* 4 (2010) 309–312.
 - [15] K.S. Kang, *J. Phys. Chem. Solids* 77 (2015) 133–136.
 - [16] R. Rossetti, J.L. Ellison, J.M. Gibson, L.E. Brus, *J. Chem. Phys.* 80 (1984) 4464.
 - [17] K. Kang, K. Daneshvar, *J. App. Phys.* 95 (2004) 646.

Fabrication of Sb_2Se_3 thin film solar cells

Vasudeva Reddy Minnam Reddy, Sreedevi Gedi, Jihyeon Noh, Salh Alhammadi, Ignatius
Andre Setiawan, Hyeonwook Park, and Woo Kyoung Kim*

School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Gyeongbuk 38541,
Republic of Korea

*Corresponding author's e-mail: wkim@ynu.ac.kr

Recently, Antimony selenide (Sb_2Se_3) has attracted global interest as a solar absorber due to its outstanding opto-electric characteristics and binary composition with environmentally favorable components. It possesses a high saturated vapor pressure below its melting point, which opens up promising avenues for developing industrially sustainable vapor deposition processes similar to those used in conventional CdTe solar cells. In the present work, Sb_2Se_3 absorbers were prepared by the two-step process. At first, metallic antimony (Sb) layers of different deposition times (7, 11, 15, 23, and 30 min) were deposited on Mo substrates using DC sputtering and then they selenized in rapid thermal process (RTP) system. The XRD patterns revealed that all the diffraction peaks could be well indexed to the orthorhombic crystal structure of the pure Sb_2Se_3 phase. The Raman scattering spectra showed the characteristics modes of Sb_2Se_3 at 188, 210, and 253 cm^{-1} . The SEM images of prepared films showed the large crystal grain morphology. The optical band gap energy values were found to be varied in the range of 1.1–1.4 eV. Under the simulated AM1.5G solar irradiation, the Sb23 device offered a J_{SC} of 29.8 mA/cm^2 , a V_{oc} of 259 mV, and an FF of 28%, thus achieving an efficiency of 2.13%. The Sb-23 device showed maximum EQE response about ~38% at about 550–650 nm, then declines both at shorter and longer wavelengths. Therefore, this work has conclusively demonstrated that Sb deposition time of 23 min is preferable to the thin film solar cell application.

폐배터리 Black Powder을 이용한 친환경 탄산리튬 제조 기술 개발

The Development of eco-friendly lithium carbonate using B.P(Black Powder)
of Waste Batteries

유장용 · 강위관 · 조호용, 이채수 · 장원석*

두산중공업 기술연구원, *한국지역난방공사

세계는 본격적인 리튬이온 배터리 재활용에 관심이 급증하고 있다. 북미, 아시아 및 유럽국가들, 그리고 중국과 싱가포르를 망라한 세계 각국의 리튬이온 배터리 재활용 기업의 움직임이 주목을 끌고 있다. 세계적 전기차 붐이 일고 있지만 배터리 제조용 희토류 자원인 리튬은 한정돼 있어 자원회수는 간과 할수 없는 산업으로 부상하고 있다. 이에 국내 업체는 황산용액에 B.P을 첨가하여 산침출 및 용매 추출로 황산니켈, 황산코발트 및 황산망간을 제조한 후 남은 황산리튬 용액에 수산화칼슘 또는 탄산나트륨 첨가 후 증발농축 결정화 설비를 이용하여 고순도 탄산리튬 또는 수산화리튬을 제조하는 연구를 수행 중에 있다. 증발농축 결정화 설비는 높은 에너지소비량으로 인해 경제성 확보가 어렵고, 운전이 까다로워 설비 운전애 애로사항이 많은 상황이며, 다량의 화학약품을 사용하는 탄산리튬 제조 공정은 부산물 이외 다량의 Sludge가 발생하여 이에 처리 비용도 높은 부담이다. 이에 두산은 자체 개발한 열처리 및 결정화 기술을 통해 경쟁사 대비 차별화된 저에너지 및 친환경 탄산리튬 제조 기술을 개발하였으며 향후 B.P 기준 하루 5톤을 처리할 수 있는 상용 모델 실증을 추진할 계획이다. 이 기술이 실증에 성공할 경우 향후 폐배터리 재활용 분야에 합리적인 대안으로 다양한 문제점을 타개할 수 있을 것으로 전망된다.

두산의 열처리로 기술은 기존 기술과 다르게 무산소 분위기로 별도의 수소 및 이산화탄소를 공급하지 않고 LNG 또는 LPG을 원료로 공급는 직접 가열 방식으로 500~700℃ 열처리 과정에서 연소 시 발생하는 이산화탄소와 B.P에 함유되어 있는 리튬이온의 화학반응을 통해 탄산리튬을 제조하는 방식이다. 이렇게 열처리된 Black Powder는 수침출 공정을 통해 탄산리튬 이온과 Residue(니켈, 코발트, 망간)로 분리한 후 탄산리튬 용액을 이용하여 두산에서 자체 개발한 RCC(Rotary Capacitive Crystallizer, 회전형 전기흡착식 결정화기)기술을 통해 탄산리튬을 제조하는 방식이다. RCC공정은 전기화학적 원리를 이용해 (+)와 (-)로 인가된 전극으로 탄산리튬 용액을 흘려 보내면 리튬 이온(Li+)은 음전극으로, 카보네이트 이온(CO₃²⁻)은 양전극에 흡착되면서 이온이 제거된다(처리수). 반대로 흡착된 이온은 역전위 인가시 척력에 의해 이온이 탈착되는데 이때 고농도의 이온이 탈착된다(농축수).

이러한 기술에 회전 방식을 적용, 농축수를 고농도로 제조하면 용해도 특성에 따라 탄산리튬은 저농도, 수산화리튬은 고농도에서 결정화된 분말이 생성된다. 특히 결정화된 분말이 RCC 모듈 밖으로 배출시키기 위해서는 스페이서(Spacer) 두께 및 최적 형상이 핵심 설계 기술이다. 본 연구에서 양극 Scrap 및 폐배터리(전기차/ESS) B.P을 이용하여 두산 자체 기술인 열처리로 및 RCC로 탄산 및 수산화리튬을 세계 최초로 제조하는데 성공하여 실증화 사업 추진을 검토 예정이다.

건물용 고체산화물 연료전지 복합배기 평가항목 도출에 관한 연구
A Study of Deduction of Evaluation Items for Common vent applied on
Stationary Solid Oxide Fuel Cell

김민규 · 권준엽 · 김민우* · 이재진

한국가스안전공사 가스안전연구원

국내 전력수요 급증과 더불어 신재생에너지 공급자 의무화 제도(Renewable Energy Portfolio Standard, RPS)의 시행으로 분산전원에 대한 수요가 증가하면서 건물용 분산전원으로 연료전지의 필요성이 함께 대두 되고 있는 상황이다. 제3차 연료전지라 평가받는 고체산화물 연료전지(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)의 사용 확대 방안을 위해 시설의 공간활용적 측면과 분산전원의 배기 효율성 부분에서 복합배기의 적용이 필요하다.

복합배기란 다수의 연료전지 단독 배기구를 하나의 공동연도로 연결하여 배기를 단순화시키고 건물 내 설치를 용이하게 한다. 국내 복합배기는 KGS AB934(가스용 연료전지 제조의 시설·기술·검사기준), KGS FU551(도시가스 사용시설의 시설·기술·검사기준) 기준에 따라 시행하고 있으며 PEMFC(Proton-Exchange Membrane Fuel Cell)는 적용이 가능하나 SOFC 복합배기에 관한 추가 안전기준안 마련이 필요한 상황이다. 해외에서는 실내에 설치하는 보일러와 온수기에 복합배기를 적용하고 있으며 주로 강제수직배기, 캐스케이드 방식을 활용하고 있다. 본 연구에서는 캐스케이드 방식의 복합배기를 건물용 SOFC에 적용하였을 때 나타날 수 있는 문제점과 안전문제를 예방하기 위해 관련 기준을 분석하고 평가항목을 도출하였다. 또한 유체역학적인 요인에 따른 영향을 예측하고 공동연도의 구조 및 배기 시스템 구성 방식을 평가항목에 반영하도록 한다. 본 연구 결과를 통해 건물용 SOFC의 보급 활성화와 안전한 사용 환경이 구축 될 수 있기를 기대한다.

수소추출설비 안전기준 개발 연구

A Study on the Safety Standards of Hydrogen Generators using fuel processing

염지웅 · 이정운* · 유방현

한국가스안전공사 가스안전연구원

수소경제 활성화 로드맵에 따르면 오는 2030년 연간 194톤, 2040년 연간 526만톤의 수소가 필요하다. 이처럼 수소생산량이 기하급수적으로 늘어날 것으로 예상되어지나 관련 안전기준 부재로 수소에너지에 대한 사회적 불안감이 상존하며 수소경제 확산에 걸림돌로 작용되어질 수 있다. 수소경제가 활성화되기 위해선 인프라 구축을 위한 수소생산설비의 안전보급이 그 무엇보다도 중요하다. 현재 수소를 생산하는 방법은 이산화탄소 유무에 따라 크게 2가지로 나뉘는데, 천연가스를 고온·고압의 수증기와 반응시켜 수소를 추출하는 개질방식(그레이수소)과 재생 에너지원에서 생산된 잉여 전력으로 물을 전기분해하여 수소를 생산하는 수전해방식(그린수소)이 있다.

본 연구는 천연가스등 탄화수소를 활용하여 수소를 생산하는 개질방식의 수소추출설비에 대한 안전기준 개발에 대해 진행되었다. 현재 수소에너지 관련 안전법규는 고압에서 활용되는 특정분야를 제외하고는 고압가스안전관리법에 준거하여 운영되어 왔으며, 고압가스안전관리법은 대상의 기준이 1MPa 이상으로 한정되어 있기 때문에 1MPa 이하에서 운전하는 수소추출기 및 기타연계시스템에서는 적용에 한계가 있었다.

따라서 본 연구에서는 ISO 16110(Hydrogen generators using fuel processing technologies)등 수소추출설비와 관련된 국제표준 및 국내·외 기준 비교분석 및 위험요소분석 등을 통한 수소추출설비 안전기준을 제정하였고, 이번 연구를 통해 수소에 대한 대국민 수용성을 제고하고 수소제품 및 시설 안전보급 및 상용화를 달성하고자 한다.

고정형 연료전지 보급확산을 위한 건물용 열효율 평가 개정안 연구

A Study on the amendment to the Evaluation of Thermal Efficiency for Buildings to Spread the Supply of Stationary Fuel Cell

조인록 · 최재욱* · 염지용 · 이정운 · 김영규

한국가스안전공사 가스안전연구원

최근 정부의 신재생에너지 3020 정책에 따라 고정형 연료전지에 대한 보급 확산이 활발히 이루어지고 있으며, 그 중 건물용 연료전지의 열효율 성능에 따른 신뢰성 이슈도 주목되고 있다. 연료전지는 기본적으로 전기와 열을 동시에 생산하기 때문에 통상 연료전지 종합에너지효율을 이야기 할 때 전기와 함께 열 회수 효율이 합산된다. 이렇게 열 회수 효율은 에너지 효율 지표 중 하나로서 수소연료전지 보급 확산을 위해 매우 중요한 수치로 작용되고 있다. 하지만 건물용 연료전지의 열 회수 효율 평가방법은 국내의 경우 KGS AH 372(이동형 연료전지(지게차용)제조의 시설·기술·검사 기준)에 따라 열 회수 효율 성능에 대해 제조업소가 표시한 값 이상인 것으로만 제시되어 있고, 해외 기준인 EN 50465(Gas appliance - Combined heat and power appliance of nominal heat input interior or equal to 70kW) 및 IEC 62282(Fuel cell technologies) 등에서도 열 회수 효율 측정에 대한 자세한 평가방법이 제시되어 있지 않다. 결국, 열 회수 효율 측정에 대한 단순한 평가 방법으로는 종합에너지효율에 대한 신뢰성을 확보하기에 한계가 있었다.

따라서 본 연구에서는 국내·외 건물용 연료전지 효율 평가방법 관련기준 비교분석으로 열효율 평가방법 문제점을 도출하고자 하였고, 다양한 조건 하에서의 열효율 평가 실증실험 및 자문 등 피드백을 통해 KGS AB934(가스용 연료전지 제조의 시설·기술·검사 기준) 안전기준 개정(안)을 도출하고자 하였다. 이번 연구를 통해 표준화된 건물용 연료전지 열효율 평가 프로토콜을 개발하고, 국내 건물용 연료전지의 신뢰성 확보를 통해 보급 확산 가속화를 추진하고자 한다.

Fuel Gas Supply System using the hydrogen storage in Metal Hydride

김준배 · 최성윤 · 조배석

한국조선해양기자재연구원 가스연료기술센터

Metal hydride (MH) is a class of metal alloy to have the property of chemically hydriding or dehydriding from metals(M) by direct chemisorption or dissociation of hydrogen (Hereafter, H₂) gas. Metal hydride stores hydrogen with a high bulk density, and have the advantage of being able to store hydrogen at normal temperature at a relatively low pressure, unlike other hydrogen storage methods such as high-pressure hydrogen or liquid hydrogen. In this research, Ti-Cr-V-Fe alloy is considered for the metal hydride for hydrogen storage in Fuel Gas Supply System (Hereafter, FGSS) of hydrogen ships. The exothermic reaction occurs in the process of hydriding and endothermic reaction appears on dehydriding in this metal hydride.

An electric propelled sea surface cleaner vessel with 2MW class PEMFC is considered as target vessel for MH FGSS installation. The hydrogen stored in MH supplied to PEMFC as fuel. M-BOP (Mechanical-Balance of Plant) system is also equipped for supplying air to PEMFC. The H₂ FGSS consists of MH storage tank, H₂ buffer tank, Heating water storage tank with Water pumps, Electric heaters. Because dehydriding is endothermic process, heating medium supply system is prepared for MH FGSS. When the normal operation condition, H₂ supplying process from metal hydride is progressed by supplying necessary heat (heating medium: circulated heating water through the water pump) to the MH storage tank by dehydriding process until the MH reaches equilibrium pressure. Due to relatively low reaction rate compared to variation of electric power demand, H₂ buffer tank is considered for secure vessel operating stability and a backup battery system also be equipped for corresponding to abrupt electric load change.

In this research, process engineering was conducted using HYSYS (ASPEN SOFTWARE) based on the above mentioned information. Optimal H₂ FGSS operation concept considering with safety would be proposed as a result. The installation of H₂ FGSS on the target vessel was also conducted. And the HAZID was carried out for secure the safety.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 정부(해양수산부)의 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 수소선박 안전기준개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호: 20200456, 수소운송선박 적하역 및 수소추진선박 연료공급 통합제어 안전기준 개발)

드론용 이동형 연료전지 시스템 안전기준 개발

Development of Safety Code for Portable Fuel Cell Power system
applied on Unmanned Aerial Vehicle

최재욱 · 조인록 · 이정운* · 유방현

한국가스안전공사 가스안전연구원

드론이란 무선전파로 조정할 수 있는 무인 비행기로 카메라, 센서, 통신시스템 등의 장치를 탑재할 수 있어 활용처가 다양하다. 농업, 스포츠, 운송, 군사용 등 여러 산업 분야에 활용될 수 있으며, 다양한 산업체에 활용하기 위한 연구개발이 이루어지고 있다. 드론이 다양한 산업 분야에서 효율적으로 활용되기 위해서는 무엇보다 긴 항속시간이 중요하다. 그래서 배터리보다 약 5~7배 에너지 밀도가 높은 연료전지를 드론에 탑재하는 제품개발이 진행되고 있다.

하지만 드론용 연료전지 시스템에 대한 국내외 공인된 안전기준이 아직 마련되지 않은 상황이다. 드론용 제품 특성상 진동에 의한 배관파손 및 나사풀림 문제와 고압가스 수소용기가 실려있어 과압 및 연료누설 문제, 고출력 배터리 화재 등 다양한 안전사고가 발생할 수 있다. 그리고 이러한 안전문제가 발생하여 연료전지가 가동이 중단 될 경우 추락 할 수 있으며 이는 안전사고로 이어진다. 이 때문에 드론용 연료전지 시스템 안전 기준 제정이 요구된다.

본 연구에서는 드론용 안전기준 개발을 위해 국내외 연료전지 관련 안전기준을 분석하고 드론의 운전 특성을 분석하였다. 또한, 위험요소 분석을 통한 안전 이슈를 도출하여 안전기준 개발의 기초자료로 활용하였다. 또한, 전문가 자문회의를 통해 도출된 안전기준 초안에 대한 기술적정성과 국내 기술부합화를 수행하였다.

건물용 연료전지의 유럽 수출을 위한 안전이슈 분석 및 국내실증 연구
A Study on the Analysis of Safety Issues and the Demonstration
Evaluation for Overseas Expansion of Stationary Fuel Cell

한수진 · 김민우 · 이재진*

한국가스안전공사 가스안전연구원

현대 사회에서 에너지원의 확보는 산업 및 경제 발달에 필수적인 요소이다. 하지만 최근 전 세계적으로 화석연료의 무분별한 사용으로 인한 매장량 감소 및 이상기후현상 등의 문제에 직면한 상태이다. 이에 따라 화석연료를 대체할 에너지원에 대한 관심이 증가하고 있으며 기존 탄소 중심 경제에서 청정에너지인 수소 중심 경제로 에너지 패러다임이 변화하고 있다. 이를 위한 발전원으로 도심 내에도 쉽게 설치가능하고 신재생에너지 중 에너지이용률이 가장 높은 연료전지가 대두되고 있다. 국내에서는 건물용 및 발전용 연료전지를 중심으로 개발 및 상용화가 이루어졌으며 해외 수출을 적극적으로 추진 중에 있다.

연료전지의 해외 수출 및 성공적 시장 진입을 위해서는 국가별 연료가스 조성, 전력계통 및 연료전지 기준 GAR(Gas Appliance Regulation), ErP(Energy Related Products), LVD(Low Voltage Directive), EMC(Electro Magnetic Compatibility) 등에 대한 사전파악이 먼저 이루어져야 하며, 이를 적용한 연료전지 실증평가가 수반되어야 한다.

본 연구에서는 유럽 연료전지 제품기준 EN 50465(Gas appliance - Combined heat and power appliance of nominal heat input inferior or equal to 70kW), IEC 62282(Fuel cell technologies), EN 50549-1(Requirements for generating plants to be connected in parallel with distribution networks Part 1: connection to a LV distribution network - Generating plants up to and including Type B) 등을 분석하여 국내에서 실험 가능한 항목을 도출하였다. 이를 바탕으로 유럽 도시가스 모사가스를 적용한 국내 실증운전을 통해 해외 실증운전 시 예상되는 문제점을 파악하고자 한다. 또한 위험성평가를 통해 다양한 설치 환경에서의 실증운전 시 안전이슈를 분석하여 사전에 방지하고자 한다. 이는 향후 연료전지의 해외수출 시 시스템의 경쟁력 확보, 수출력 제고, 국가별 다양한 환경에서의 안전성능 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

연료전지 독립운전 및 계통전환을 위한 안전기준 개발 연구

A study on the Development of Safety Standards for Fuel Cell Islanding
and Grid-Connected Operation

권준열 · 김민규 · 김민우* · 이재진

한국가스안전공사 가스안전연구원

수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률이 제정되어 수소산업에 대한 관심이 고조되었고, 대표적인 수소 사용설비인 연료전지 발전시스템에 대한 개발과 보급이 확산 되고 있다. 연료전지 발전시스템을 전력계통에 연계하여 설치할 경우 정전이 발생하면 연료전지는 안전하게 정지하는데, 이 경우 연료전지는 재가동하여 정격출력을 내는데 까지 많은시간이 소요될 수 있다. 따라서 연료전지의 분산형 전원으로 활용과 연료전지 내 스택(Stack)의 안전성을 위해 계통에 정전이 발생할 경우에도 연료전지는 연속적으로 운전되고, 전력이 복구될 경우 다시 계통에 연결되어야 하며 이에따른 안전 이슈 검토가 필요하다.

본 연구는 연료전지 발전시스템의 에너지 연속성을 향상시키기 위해 독립운전 및 계통연계운전에 대한 위험요소를 분석하고 정전시 안정적인 독립운전 및 계통전환을 위한 안전기준 개발을 목표로 한다. 이를 위해 태양광 발전시스템, 배터리 에너지 저장 시스템 등 다른 분산형 전원을 비교 분석하였고, IEEE 1547(IEEE Guide for design, operation and integration of distributed resource island systems with electric power system), IEC TS 62898-2(Microgrids-Part2:Guide for operation)등 관련 국내외 기준과 소방법 등 국내 관련 법규를 분석하였다. 본 연구결과를 통해 연료전지의 독립운전 및 계통연계운전에 관한 안전성을 향상시켜 제품의 안정적인 확산·보급에 기여하고자 한다.

촉매특성 증대를 통한 섬유형 태양전지 효율 증대

Efficiency enhancements on the fiber type dye sensitized solar cells by introducing catalytic electrode.

최진우*

한국재료연구원, 표면재료연구본부 에너지전자재료 연구실

4차 산업 혁명 속에서, 다양한 IoT(internet of things) 기기들이 활용되고 있으며, 이를 구동하기 위한 에너지원의 개발이 시급한 실정이다. 다양한 종류의 신재생 에너지 중 태양전지는 소형화가 용이하여 포터블 기기에 적합한 장점이 있다. 태양전지 중 염료감응형 태양전지는 화학반응원리를 활용하므로 실내와 같은 저조도 환경에서도 우수한 발전효율을 내는 특징이 있어 특히 유망하다. 본 연구진은 이러한 염료감응형 태양전지 기술을 활용하고, 웨어러블 특성을 증대하기 위해 섬유형태로 태양전지를 제작하였다. 물리브데늄을 활용하여 촉매 특성을 증대한 전극을 도입함으로써 섬유형 태양전지의 효율 증대를 얻을 수 있었다. 최종적으로, 옷에 부착하여 체온을 측정할 수 있는 웨어러블 기기에 적용하였으며, 세탁성과 굽힘 안정성이 우수함을 확인하였다.

유연한 탄소나노튜브 섬유를 활용한 자가 구동 및 융합형 에너지 생산 및
저장 소자 연구 개발

Self-powered and flexible integrated solid-state fiber-shaped energy
conversion and storage based on CNT yarn

김재호 · 최진우*

한국재료연구원, 표면재료연구본부 에너지전자재료연구실

Solar energy is the environmentally clean, renewable, and unlimited energy sources and is a promising alternative to meet the increasing energy needs of modern society. Solar cells have long drawn great attention through intensive research because they can harvest solar energy from sunlight and convert photon into electron with high power-conversion efficiency (PCE). However, the power output of photovoltaic devices can hardly be free from intermittent fluctuations in the intensity of solar radiation. Integrating energy-harvesting and -storage devices as a self-powering system can solve the factors of obstruction by simultaneous storage of the electricity and manipulation of the energy output.

Among various flexible integrated energy sources, the fiber-shaped photocapacitors (FPCs), which consist of the fiber-shaped dye-sensitized solar cells (FDSSCs) and fiber-shaped supercapacitors (FSSs) have raised a great attention. The previously designed FPCs were series-connected structure that shares one electrode of a fiber-shaped solar cell and a capacitor, making it difficult to produce two separate devices. In addition, an inevitable energy loss occurred on the electrodes that connected the two devices.

a flexible carbon nanotube yarn (CNTY) with improved mechanical and electrical properties is used as a shared electrode to create solid-state FPCs (SS-FPCs). In addition, CNTY was doped into n- and p-type using polyethyleneimine (PEI) and iron (III) chloride (FeCl_3) to improve the electrocatalytic behavior of CNTY, respectively. The optimized SS-FPC based on p-type material-doped CNTY, which integrates the high specific capacitance of the solid-state fiber-shaped electrochemical energy storage (SS-FES) unit with 78.26 mF cm^{-2} and a high power conversion efficiency (PCE) of the solid-state fiber-shaped dye-sensitized solar cells (SS-FDSSCs) unit with 5.50%, exhibits a remarkable over all energy conversion efficiency of up to 4.69% and excellent discharging time of about 6 min owing to the synergistic action of the two units.

금속 유기 프레임워크를 이용한 섬유탐 염료 감응형 태양전지의 성능 향상
Enhance Efficiency of Fiber Dye-Sensitized Solar Cells Obtained Using
Metal Organic Frameworks

구성준^{1,2} · 최진우¹

¹한국재료연구원, 표면재료연구본부 에너지전자재료 연구실

²부산대학교, 나노융합기술학과

Fiber-shaped solar cells have been the subject of intensive attention and development in various ways in recent years. Even though this field is only in its infancy, Metal-organic frameworks (MOFs) are one such material that has been utilized to further improve power conversion efficiency (PCE) of solar cells. The MOF-integrated dye-sensitized solar cells (DSSCs) have demonstrated the potential to build solar cell devices as efficiently as traditional solar cells. Herein, the PCE of solar cells was improved by synthesizing MOF-801 into mesoporous-TiO₂ (mp-TiO₂) layer, which was used as a photoanode in fiber-shaped dye-sensitized solar cells (FDSSCs), which are inherent in flexibility. The MOF-801s decorated mp-TiO₂ based FDSSC decreased the R_s value, resulting in effective electron extraction with improved J_{SC} , while also increasing the R_{sh} value to prevent the recombination of photo-induced electrons, resulting in improved FF and consequently high PCE.

분산편익 보상에 따른 국내 구역전기사업의 경제성 변화 분석
Analysis of Economic Feasibility in Community Energy System due to
Benefit Compensation of Dispersed Generation

신동현*·진태영*

에너지경제연구원

구역전기사업은 분산형 전원에 가장 부합하는 에너지공급 사업임에도 불구하고, 사업자 수 감소, 만정적인 적자 등 사업여건이 악화되어 기대했던 분산형 전원으로의 역할을 다하지 못하고 있다. 본 연구는 분산전원 활성화를 위해 분산형 전원의 편익(분산편익)을 보상하는 제도개선이 국내 구역전기사업의 경제성에 미치는 효과를 분석하였다. 분석결과, 현재 구역전기사업자의 전력 생산량을 기준으로 분산편익을 보상하면, 열병합발전소(CHP)의 가동률에 따라 차이가 있으나, 명확한 영업이익 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 CHP의 가동률 수준을 분산편익 보상을 위한 요건으로 하는 경우, CHP 가동률 수준이 올라갈수록 분산편익 보상효과가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 CHP의 연료비 증가, 잉여열의 과다 생산 등이 분산편익 보상을 상쇄하기 때문이다. 본 연구의 결과에 따르면 분산편익 보상을 통해 구역전기사업의 경제성을 개선하기 위해서는 분산편익 보상 수준을 지금 논의되고 있는 수준보다 더 높이거나 CHP의 연료인 LNG 가격을 낮추어야 할 것이다. 또한, 국내 구역전기사업의 열 수요가 제한적임을 고려하여 분산편익 보상을 위한 CHP 가동률 조건을 완화하고, 구역전기사업에 적용되는 역송 단가를 높여야 할 것이다.

산업부문 온실가스 원단위 현황 및 시사점

Current status on industrial greenhouse gases emissions intensity

진태영¹ · 신동현¹ · 박지용² · 김도원*

¹에너지경제연구원 집단에너지연구팀, ²에너지경제연구원 수요관리연구팀

*에너지경제연구원 전력정책연구팀

본 연구에서는 산업별 온실가스 탈동조화 경향성을 에너지 관점에 입각하여 살펴본다. 온실가스 배출량의 경우 환경부 온실가스종합정보센터(<https://www.gir.go.kr>)에서 작성하는 국가 온실가스 인벤토리를 참고할 수 있다. 국가 온실가스 인벤토리에서는 온실가스를 산업 부문별로 나누고 있으나, 에너지 통계 및 부가가치 통계와 일치하지 않는 부분이 있어 분석을 위해선 자료를 가공할 필요가 있다. 에너지 통계의 경우 에너지 밸런스를 참고하고, 부가가치 통계는 국가통계포털(<https://www.kosis.kr>)의 산업부문별 실질 부가가치 통계를 사용하였다. 산업부문에 대한 온실가스 원단위 분석을 위해 온실가스-에너지-부가가치의 산업부문을 통일하였고, OECD에서 발표한 온실가스 탈동조화 지수 기준을 참고하여 탈동조화 지수를 배출계수 및 원단위 변화효과로 분해하였다. 그 결과, 국내 산업부문의 온실가스 탈동조화 지수는 2000년대 이후부터 시작되고 있으나, 그 요인이 작용하는 규모와 시간은 각각 다르게 나타난다. 예를 들어, 에너지원단위 변화효과는 2004년 이후부터 탈동조화 요인으로 작용하는 반면, 배출계수 변화효과는 1995년부터 꾸준히 탈동조화를 이끌고 있다. 주목할 만한 점으로, 배출계수 변화효과는 탈동조화 요인으로 작용하고 있으나 그 영향이 적은 반면, 원단위 변화효과는 2000년대 이후 산업부문 온실가스 탈동조화에 가장 큰 기여를 보여주고 있다. 본 연구는 배출계수의 완화가 온실가스 원단위 하락에 미치는 영향이 점점 낮아진다는 점을 보이며, 에너지전환 정책의 성과를 더 두드러지게 나타나게 하기 위해 1차 에너지 공급 당 배출량을 줄이기 위한 노력이 더 이루어져야 함을 시사한다.

** 이 연구는 환경정책 29권 1월호 (2021.03)에 실린 논문을 일부 참고하였습니다.

엑서지 및 열경제학적 분석의 R&D 전략 수립에 적용 가능성에 대한 사례연구-가스터빈 시스템

A Case Study on the Applicability of Exergetic and Thermoeconomic Analyses to Establish R&D Strategies-Gas Turbine System

오시덕 · 서석호 · 이금정* · 박호영

(주)블루이코노미전략연구원, *한국에너지기술평가원/고려대학교 과학관리학 박사과정

1. 연구 배경 및 목적

기후변화에 대한 대응 요구와 4차 산업혁명이라는 사회·경제적인 요구로 에너지 분야에서 에너지 전환이 가속화됨에 따라서 전 세계적으로 에너지 산업에서의 혁신은 기존 산업 내, 인접 산업 간의 융합에서 이중 산업 간의 융합으로 혁신 방향이 전환되어 산업의 경계가 확장되고, 경쟁 관계도 기존의 제품 간 경쟁에서 생태계 간 경쟁으로 전환되어 새롭고 다양한 사업모델이 등장하고 있다. R&D 분야도 Sector Coupling 등 융·복합화가 가속되고 있어 연구 대상, 연구비 규모 및 투입의 우선순위 등 전략적 의사결정이 더욱 중요해지고 있다.

본 연구에서는 사례 연구를 통하여 엑서지-열경제학적 분석의 R&D 전략 수립에 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 연구 대상 및 내용

사례연구는 436.68kg/s의 공기를 공기압축기(AC)에서 가압하여 연소기(CC)로 전달되고, 가압공기와 9.57kg/s의 천연가스가 혼합되어 연소기에서 연소되고, 연소기에서 나오는 고온의 연소가스로 가스터빈에서 동력을 생산하고, 생산된 동력의 일부는 압축기를 구동하는 데 사용되고 나머지는 전기를 생산하는 가스터빈 발전 시스템을 대상으로 하였다.

엑서지 균형식과 MOPSA(Modified Productive Structure Analysis)를 이용한 비용 수지식을 대상 시스템에 적용하면 각 구성기기에서의 연료, 산출물의 엑서지 및 엑서지 손실을 계산할 수 있다. 각 구성기기의 엑서지 손실량은 현재의 기술 수준에서 피할 수 있는 부분(AV, avoidable part)과 피할 수 없는 부분(UN, unavoidable part)로 구할 수 있다. R&D의 다양한 제약 요인으로 각각의 구성기기에는 기술적인 한계가 있으며, 이 한계에서 피할 수 없는 엑서지 손실과 생산 엑서지의 비율을 정의할 수 있다. 이 비율을 적용하면 피할 수 없는 엑서지 손실을 구할 수 있고, 이를 사용하면 피할 수 있는 엑서지 손실 및 비용 흐름을 구할 수 있다. 피할 수 있는 에너지 손실 및 비용 흐름은 R&D 대상 기기 선정의 변수가 될 수 있으며, 사례연구 결과를 정리하면 표 1과 같다.

Table 10 Avoidable exergy destruction and corresponding cost flow rate for gas turbine system

Component	$\left(\frac{\dot{E}_D}{\dot{E}_P}\right)^{UN}$	Avoidable exergy destruction rate (MW)	Corresponding cost flow rate(\$/h)	Condition to obtain unavoidable exergy destruction
Air compressor	0.1331	13.720	250.2	96% compressor efficiency
Combustion chamber	0.319	67.964	1239.0	No pressure drop
Gas turbine	0.009	5.809	105.91	96% turbine efficiency

3. 연구결과 및 고찰

R&D를 통하여 각 구성 기기에서 피할 수 있는 엑서지 손실량을 줄일 수 있다면 구성기
기나 시스템 효율을 증가시키고, 생산 비용을 감소시킬 수 있을 것이다. 사례 분석에서
R&D를 통하여 연소기, 압축기 및 터빈의 순서로 엑서지 손실의 저감 가능성을 확인하였다.

국내외 에너지전환 정책 현황 비교 및 시사점

Comparison of current status of domestic and foreign energy transition policies and implications

정훈

국회미래연구원

기후위기가 가속화되며 세계 각국이 탄소중립에 동참하여 에너지전환의 중요성이 증대되고 있다. 우리나라도 현 정부 출범이후 에너지전환 정책을 지속적으로 추진하고 있으나 에너지 관련 글로벌 지표를 보면 국제적인 수준에 비해 여전히 미흡한 상황이다. 이에 본 연구에서는 국가별 에너지전환 정책을 평가하는 글로벌 지수를 기반으로 우리나라 에너지전환 정책의 현주소를 살펴보고, 에너지전환 선도국들 사례와의 비교를 통해 향후 에너지전환 정책 방향성에 대한 시사점을 도출하였다. 이를 위해 검토한 글로벌 지수로는 세계경제포럼(WEF)에서 개발한 에너지전환 지수(Energy Transition Index)와 세계에너지 협의회(WEC)에서 개발한 에너지 트릴레마 지수(Energy Trilemma Index)가 있으며, 2020년 평가 결과를 중점적으로 살펴보았다. 또한 해외 에너지전환 선도국으로는 에너지전환 정책을 주도적으로 추진하고 있는 독일, 영국, 프랑스를 대상으로 하였다. 국가별 사회·경제 시스템과 상황이 모두 다르고 성공적인 에너지전환을 위한 최적 경로가 정해져 있는 것은 아니므로, 해외 선도사례를 참고하여 우리나라 상황에 맞는 최선의 에너지정책 경로를 결정할 필요가 있다.

미국의 운전원 수동조치 적용 사례에 관한 연구

A Study on postfire operator manual action application cases in U.S. nuclear power plants

박재완 · 오승준 · 설진환

(주)피엔이

운전원 수동조치(Operator Manual Action, OMA)는 화재 후 운전원이 주제어실(Main Control Room, MCR) 외부에서 고온정지를 달성하기 위해 기기 및 장비를 수동으로 조작하는 행위를 의미한다. 국내 경수로형 원전 규제지침(KINS/RG-N10.06)에 따르면, 하나의 방화지역에 위치하고 있는, 화재안전정지를 달성 및 유지하는 다중의 계통을 보호하는 수단으로 운전원 수동조치가 적용될 수 없으나, 가동 원전에서 화재안전정지를 달성하고 유지하기 위해 운전원 수동조치가 필요할 경우 운전원 수동조치가 안전정지에 악영향을 미치지 않음을 입증하고, 이에 대한 규제기관의 검토 및 승인 하에 운전원 수동조치를 사용할 수 있다고 명시하고 있다. 이와 같이 규제기관의 승인을 받은 사안에 한하여 운전원 수동조치를 활용할 수 있지만, 아직까지 국내 가동원전에서 운전원 수동조치 사용이 승인된 사례는 없다.

본 연구에서는 미국의 규범적 화재방호를 적용하는 발전소의 10CFR50, Appendix R, III.G.2 요건 불만족 사항에 대하여, Indian Point 2, 3호기 외 6개 발전소에서 운전원 수동조치를 활용하여 면제 신청한 사례를 조사하였고, 이와 관련하여 사업자 면제 신청에 대한 미국원자력규제위원회(Nuclear Regulatory Commission, NRC)의 안전심사(Safety Evaluation) 내용을 검토하였다.

검토 결과에 따르면, NRC의 안전심사 주요 평가 요소는 요건 불만족 사항에 대한 기술적인 이유를 포함하여 운전원 수동조치가 요건을 대체할 수 있는지 여부, 요건의 목적 달성 및 적절한 심층방어(Defense In Depth)를 제공하는지 여부, 그리고 운전원 수동조치의 실현가능성(Feasibility)과 신뢰성(Reliability) 확보 여부인 것으로 확인되었다. 국내 가동원전을 위한 운전원 수동조치 개발, 평가 및 승인에 대해서도 이와 같은 주요 평가 요소를 참조하여 절차를 수립하고 운영하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

Keywords : Operator Manual Action, Safety Evaluation, Feasibility, Reliability

감사의 글 : 본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전연구사업의 연구결과입니다. (No. 2105031)

원자력발전소 정상운전조건에서의 NBR의 열화예측 방법론

Thermal degradation prediction model of NBR under normal operation
condition of nuclear power plant

송인영 · 김지현

울산과학기술원 원자력공학과

원자력발전소의 격납건물 내부에서는 운전 시 핵연료에서 방출되는 열이 발생되어 격납건물 대기 중의 온도를 높게 된다. 따라서 대기에 노출되는 소재들은 설계수명 동안 열에 의한 영향으로 열화를 겪게 된다. 기기검증(equipment qualification)에서는 안전 관련 기기들에 대해 여러 절차를 통해 열화환경을 모사하여 안전기능의 수행여부를 검증한다. 하지만, 열화로 인한 소재 단위의 거동에 대한 연구는 비교적 많이 이루어져 있지 않으며, 이에 대한 예측 물리모델 또한 연구가 미비한 실정이다. 특히, 밀봉재나 전선의 절연체 등으로 주로 사용되고 있는 비금속소재는 상대적으로 금속소재보다 원자력발전소의 환경에서 취약하며, 소재의 열화로 인하여 이러한 부품에서 작동성에 영향을 받을 경우 안전관련 기기의 작동성도 영향을 받으며 원자력발전소의 안전 또한 영향을 받을 가능성이 있다.

본 연구에서는 밀봉재나 케이블 절연체로 많이 사용되고 있는 nitrile butadiene rubber (NBR)에 대하여 정상운전 조건에서의 열에 의한 열화 거동에 대해서 살펴보고자 하며, 이에 대한 분석결과에 대한 통계적 요소들을 바탕으로 경도의 예측모델을 제시하였다. 원자력발전소의 정상운전조건에서의 열로 인한 열화를 모사하기 위해 아레니우스 식을 이용한 열화모사 조건을 설정하였다. 아레니우스 식의 적용을 위한 열분해 활성화 에너지는 서로 다른 승온조건의 thermogravimetric analysis (TGA)에서의 결과를 바탕으로 flynn-wall-ozawa 방법을 통해 계산되었다. 중량의 변화가 발생하지 않으면, 화학적인 반응이 일어나지 않는다는 가정 하에 TGA에서 중량의 변화가 없는 온도를 시험온도로 설정하였다. 열화시험 후의 NBR의 기계적 특성을 파악하기 위하여 shore D 경도를 측정하였다. 또한, 열화시간 별 TGA분석을 통하여 열분해 특성을 살펴보았으며, 가열에 따른 중량감소에서 발생하는 기체를 pyrolyzer gas chromatography mass spectroscopy (Py-GC/MS) 통해 분석하였다. 분자 및 작용기 단위에서의 화학적인 변화는 fourier transformed infrared (FT-IR) spectroscopy와 toluene swelling method를 통한 crosslink density 측정을 통하여 분석하였다. 위의 실험결과를 통해 나타난 결과에서 crosslink density, volatilization gas weight, FT-IR peak (CH_{966} , CN_{2335} , CH_{2918})를 normalization한 값에 대하여 상호상관관계에 대한 영향을 배제하기 위해 주성분분석을 수행하였다. 주성분분석을 통해 계산된 2개의 주성분에 대해 linear regression을 수행하였으며, 이를 통해 경도 예측모델을 도출하였다. p-value는 0.0273, correlation coefficient는 0.95로 통계적으로 유의미한 예측모델로 판단되며, 평균절대비오차는 약 5.87%로 나타났다.

효율적인 스마트에너지 캠퍼스 운영을 위한 딥러닝 기반 건물의
피크시간 전력 소비량 예측 모델

Deep-learning based prediction model of peak-time electricity power
consumption in a building for efficient operation of smart energy campus

김수희 · 이하은 · 김종은 · 이동훈 · 이동진 · 김관호*

인천대학교 산업경영공학과

최근 캠퍼스 내 소비 에너지 및 탄소 배출량 절감에 관심이 늘어남에 따라 캠퍼스 내 건물의 전력 소비량 예측의 중요성이 증가하고 있다. 특히, 사용자가 많은 피크시간대의 전력 소비량을 예측하는 것은 효율적인 스마트 에너지 캠퍼스 운영을 위해서 중요한 문제로 고려되고 있다. 그러나 캠퍼스 특성상 주기와 계절, 기후 및 건물의 용도 등에 따라 다양한 전력 소비 패턴을 보이기 때문에 이러한 건물들의 피크시간대 전력 사용량을 예측하는 것은 매우 어려운 문제이다. 따라서 본 논문에서는 피크시간 이전의 전력 소비량, 계절 및 기후 정보를 이용하여 미래 피크시간의 건물 전력 소비량을 예측하는 Deep-Learning 기반의 건물 전력 소비량 예측 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 모델에 실제 캠퍼스 내에서 발생하는 데이터를 통해 실험한 결과 기존의 시계열 예측에서 사용하는 ARIMA나 다른 머신러닝 기반의 모델보다 높은 예측성능을 보임을 확인하였다.

본 연구는 2021년도 산업통산자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20212020900090)



포 스텍 발 표

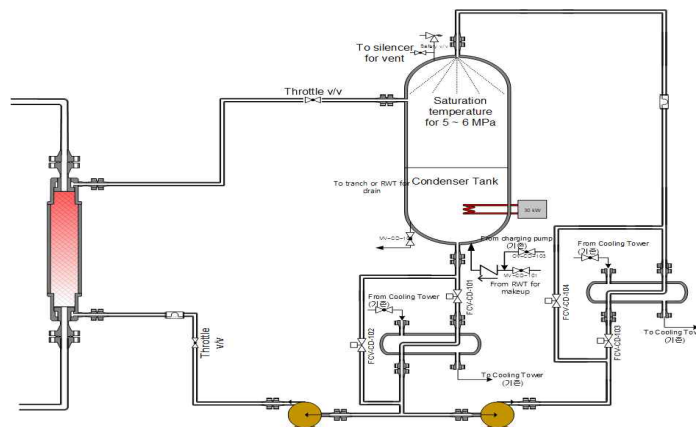
원자력 발전용 고온고압 열교환기 성능검증 시험장치의 이차계통 개념 설계

Conceptual Design on Secondary System of Test Loop for High Temperature and Pressure Heat Exchanger in Nuclear Power Plant

이선일* · 배황* · 방윤곤* · 윤현기**

한국원자력연구원 혁신계통안전연구부*, 한국원자력연구원 수출용신형연구로실증사업단**

이차계통은 일차계통으로부터 전달된 열에너지를 제거하고, 시험의 초기조건 및 시험항목에 규정된 실험을 모의하기 위해 필요한 경계조건을 제공하는 기능을 수행한다. 따라서 터빈을 포함하는 원자력 발전소의 이차계통 전체를 모의할 필요가 없고, 단지 경계조건만 제공하도록 설계되었다. 이차계통은 크게 증기계통, 급수계통, 응축 및 냉각계통 등으로 구성된다. 즉, 증기발생기 이차측에서 발생된 주증기는 주증기배관을 통하여 응축 및 냉각계통으로 공급되고, 응축기에서 응축된 후 열교환기에서 설정온도로 냉각된 급수는 급수펌프에 의해 급수계통을 거쳐 증기발생기 이차측으로 재공급되는 폐쇄회로를 형성한다. 증기계통은 주증기계통은 이차측 출구로부터 응축기까지의 증기공급 라인 및 각종 밸브 및 계측기 등을 포함한다. 증기계통은 초기 heat-up 과정 및 정상운전시 증기를 응축 및 냉각계통으로 제공하는 역할을 한다. 급수계통은 응축기 후단의 급수펌프부터 이차측 주입노즐까지의 배관 및 각종 기기를 포함한다. 급수계통은 실험장치의 초기 heat-up 운전 및 정상운전시 응축 및 냉각계통으로부터 공급된 급수를 증기발생기로 주입하는 기능을 수행한다. 응축 및 냉각계통은 응축기, 응축기히터, 과냉열교환기(HX1), 재순환열교환기(HX2), 재순환펌프 그리고 각종 밸브 및 계측기기 등으로 구성된다. 응축 및 냉각계통은 응축수의 일부를 응축기로 재순환시켜 직접접촉응축을 통하여 증기계통으로부터 공급된 증기를 응축시키고, 응축된 고온의 응축수를 과냉열교환기를 사용하여 과냉하는 폐쇄회로로 구성된다. 응축 및 냉각계통은 증기계통으로부터 전달된 고온/고압의 증기를 응축 및 냉각시켜 급수의 온도를 조절하는 역할을 수행한다. 증기의 응축방식은 증기와 재순환 응축수의 직접접촉에 의한 응축으로 응축기내에서 이루어진다. 응축기로부터 응축된 응축수는 과냉열교환기를 거치면서 급수 설정온도까지 과냉되고, 이후 냉각수는 재순환펌프를 통해 재순환열교환기를 통해 냉각되고 다시 응축기로 보내진다.



글리세롤 기반 DES의 열수력적 특성 실험 연구

표명현*, 서시원*, 이재영*

*한동대학교 기계제어공학과

Experimental study of thermal-hydraulic characteristics of glycerol based DES

Myunghyun Pyo*, Siwon Seo*, Jaeyoung Lee *

*School of Control and Mechanical Engineering, Handong Global Univ., Pohang, 37554, Korea

Key Words: 열수력(Thermal-hydraulic), DES(Deep Eutectic Solvent), 이온액체(Ionic liquid), 저항계수(friction factor), 열전달계수(heat transfer coefficient)

Abstract

DES is a material that is attracting attention as a substitute for ionic liquids, but few DES are known in detail for their thermal-hydraulic properties. Therefore, the dynamic and heat transfer characteristics of glyceline, glycerol-based DES, were studied through this study. This study was limited to only the laminar flow region, and an experiment was performed, and for this, an experimental device was designed and made. Through the friction factor measurement experiment, it was confirmed that glyceline is a Newtonian fluid. And through the HTC measurement experiment, it was confirmed that the result was the same as the heat transfer theory for water. This means that glyceline DES has the same dynamic and heat transfer characteristics as water, which means that the thermal-hydraulic characteristics of glyceline can be judged through the familiar thermal-hydraulic characteristics of water.

1. 서론

지난 20년 동안 이온 액체의 응용을 위해 많은 연구가 수행되어 왔다. 이온 액체는 이온으로만 구성된 용매로서 이온 액체의 합성은 주로 두 가지 범주로 분류할 수 있다. 첫 번째는 금속 할라이드와 유기염의 공용 혼합에 의한 것이고, 두 번째는 불연속 음이온을 포함하는 것이다⁽¹⁾. 유기 용매에 대한 필요성은 증가하는데 반해 이온 액체의 고비용으로 인해 최근에는 이온 액체의 유사체 즉, Abbot et al.(2003)에 의해 소개된 DES(Deep Eutectic Solvent)⁽³⁾에 초점을 맞추고 있다. 기본적으로, DES는 둘 또는 그 이상의 화합물의 혼합물이고, 혼합

물은 각 화합물의 용융점보다 낮은 용융점을 갖는다^(4,5). 더욱이 DES는 염과 HBD(Hydrogen Bond Donor)를 혼합하여 제조되므로 염의 음이온과 수소결합 한다. DES는 다른 종류의 (유기 및 무기)염과 다른 종류의 HBD로 만들 수 있다⁽²⁾. DES의 물리·화학적 특성은 기존의 이온 액체와 유사하다⁽⁶⁾. 하지만 DES는 단순한 합성방법, 저렴한 비용, 무 독성, 환경 및 경제적 이점과 관련한 지속성이 있으므로 기존의 이온 액체에 비해 많은 장점이 있다⁽⁶⁻⁸⁾. 최근에 다양한 응용 분야에서 DES의 적용이 보고되었으며, 그 중 하나는 전분기반 플라스틱의 기능성 첨가제로서 염화콜린(ChCl) 기반

DES를 사용한 것이었다⁽⁹⁾. 염화콜린 기반 DES는 저급 팜유로부터 바이오 디젤 연료를 생산하기 위한 촉매제로도 사용되고 있으며^(10,11), 전기 도금에서 특정 금속의 증착 및 금속의 무전해 도금과 같은 전기-화학 공정에서 전해질로도 사용되어 왔다^(12,13). 또한 효소-촉매를 사용한 에폭사이드 가수분해를 위한 공용매로도 사용되었다⁽¹⁴⁾. 글리세롤은 단순히 폴리올로 정의되는 용매이며 많은 산업 응용 분야, 특히 식품 및 제약 산업에서 광범위하게 사용된다. 하지만 유기 화합물에 대한 용해도가 낮고 폴리올의 고유한 반응성으로 인해 유기변형에서 글리세롤의 사용이 제한적이라는 단점도 있다⁽¹⁵⁾. 이러한 단점을 극복하기 위해 다양한 방법으로 글리세롤의 물리·화학적 특성을 향상시키기 위한 노력이 수행되고 있다^(15,16). 이 방법들 중 하나가 HBD로서 글리세롤을 함유하는 DES를 제조하는 것이다. 글리세롤이 식품 및 제약 산업에서 광범위하게 사용되지만 본 연구에서는 글리세롤을 기반으로 하는 DES를 사용하여 열전달 매체로서의 동특성 및 열전달 특성에 대한 실험 연구를 수행하였다. 본 연구에서 사용될 방법론 및 실험 준비를 2장에서 기술하였고, 3장에서는 마찰저항계수와 열전달계수의 실험결과를 추가하였다. 4장에서는 실험결과에 대해서 기술하였다.

2. 실험 준비

2.1 DES 제조

본 절에서는 염화콜린과 글리세롤을 1:2의 몰비로 혼합하여 만드는 DES인 Glyceline의 제조방법에 대해 언급할 것이다. 또한 Glyceline의 밀도, 점성과 같은 물성치를 측정된 후 타 논문들과 비교를 통해 제조된 DES의 품질을 검증할 것이다. Glyceline은 염으로서의 염화콜린과 HBD로서의 글리세롤을 1:2의 몰비가 되도록 비커나 플라스크에 넣은 후 가열 교반기를 사용하여 75°C의 온도에 600 RPM으로 2시간 동안 혼합하여 그림 1과 같이 제조하였다. 이 제조법에서 염화콜린과 글리세롤의 몰비를 제외한 온도 및 회전수, 그리고 교반 시간은 상황에 따라 달라질 수 있다. 염화콜린의 화학식은 $C_5H_{14}ClNO$ 이고, 용융점은 302°C이며, 분자량은 139.62 g/mol이다. 글리세롤의 화학식은 $C_3H_8O_2$ 이고, 용융점은 17.8°C이며, 분자량은 92.094 g/mol이다.

따라서 Glyceline 2 kg를 제조할 경우, 염화콜린과 글리세롤의 질량비는 862.363g : 1137.637g이 된다.



그림 1 Glyceline 제조 공정 및 결과

Glyceline이 적절하게 제조되었는지 확인도 필요하다. 따라서 제조된 Glyceline의 밀도와 점도를 직접 측정한 후 M. K. Alomar et al.(2016)⁽¹⁷⁾에 의해 알려진 Glyceline의 물성치와 비교하였다.

밀도는 체적과 질량을 측정하여 간단하게 계산 가능하다. 부피를 측정할 수 있는 항온조에 Glyceline을 넣은 후 목표 온도로 일정하게 유지시키면서 무게를 측정한다. 그 다음 측정된 무게를 측정된 부피로 나누어 밀도를 계산한다. 이 시험을 통해 산출된 밀도값은 그림 2와 같다.

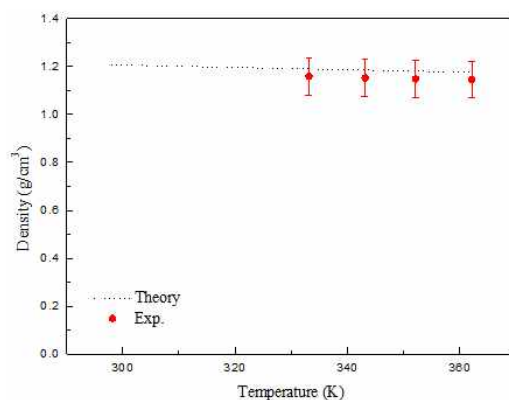


그림 2 제조된 Glyceline의 밀도 측정 결과

본 실험을 위해 제조된 Glyceline의 밀도는 이론값보다 평균 2.5% 낮게 측정되었다. 항온조를 사용한 부피 측정 및 저울을 사용한 질량 측정에 수반되는 불확실도를 반영

하면, 이론값이 측정 오차범위 이내이므로 본 연구를 위해 제조된 Glyceline은 적절하게 제조된 것으로 판단할 수 있다.

점도는 점도계를 사용하여 직접 측정하였다. 사용된 점도계의 사양은 다음과 같다. 점도계의 모델명은 'CL-1'이고 측정범위는 1~ 2,000,000 cP이다. 본 점도계의 정확성은 $\pm 1\%$ (뉴턴유체)이고, 재현성은 0.5% (뉴턴유체)이며, 작동 온도범위는 $-5 \sim 100^\circ\text{C}$ 이다. 점도 측정 결과는 그림 3과 같다. 334K에서의 점도가 측정되었고, 이론값과의 오차는 3.708%임을 확인했다.

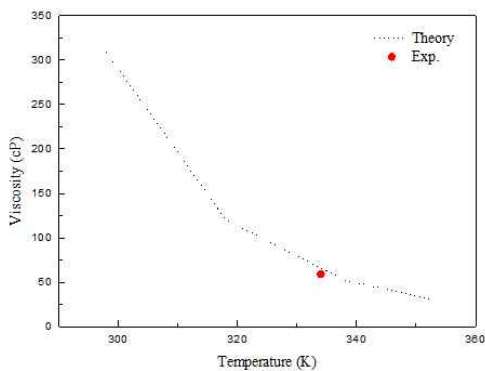


그림 3 제조된 Glyceline의 점도 결과

제조된 Glyceline의 적절성을 검증하기 위해 밀도와 점도를 직접 측정했고, 이론값과 비교한 결과 밀도의 경우 2.5%의 오차, 점도는 3.708%의 오차를 보이는 것을 확인했다. 약간의 오차가 발생하는 이유는 DES 제조 시 염화콜린과 글리세롤의 질량 측정의 부정확성에 의한 부정확한 몰비 때문일 수 있다. 하지만 제조된 Glyceline의 밀도와 점도와 이론값의 차이가 적어 본 실험을 수행하기에 적절하게 DES가 제조되었다고 결론 내릴 수 있다.

2.2 실험 장치

본 연구의 목적은 용융염으로 사용 가능한 Glyceline의 동특성 및 열전달계수를 측정하기 위한 것이다. 따라서 본 목적을 달성하기 위해 실험 장치를 그림 4와 같이 설계 및 구축하였다. 펌프(PM-101)를 사용하여 Reservoir로부터 유체를 시험부로 이송한 후 다시 Reservoir로 순환되도록 순환 회로를 구성하였다. 동특성 실험 시 시험부에 설치된 차압계와 펌프 후단에 설치된 유

량계에서 측정된 유량과 차압 데이터를 사용하여 유체의 friction factor를 계산할 수 있다. 또한 열전달계수 측정 실험 시 DC supply를 통해 시험부에 감겨진 Ni 선으로 열을 가해준다. 이 열에 의한 온도 변화를 열전대들을 사용하여 측정한 후 유체의 열전달계수를 계산할 수 있다. Chiller는 열전달계수 측정 실험 시 시험부를 지나면서 가열된 유체를 냉각하여 reservoir로 유입시킴으로써 reservoir의 온도를 일정하게 유지시켜주기 위해 설치되었다. 유량계 후단의 밸브는 유량조절을 위해 설치되었다.

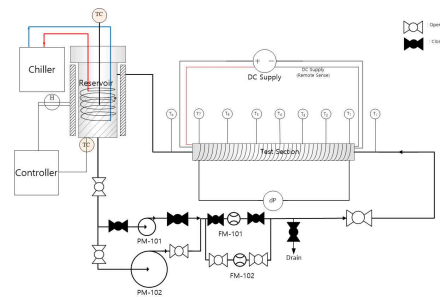


그림 4 실험장치 개략도

실험 장치에 유량계, 차압계, 열전대가 설치되었다. 유량계는 Badger Meter Co.,Ltd.에서 제작되었고, 모델명은 IND OG 1" HF-S-S-ILR740-1-V이며, 유량계의 측정범위는 5.7 - 170 LPM이며 오차는 1.0%이다. 차압계는 SCS Co., Ltd.에서 제작되었고, 모델명은 DWSH00.3M1PH이며, 측정범위는 0 ~ 0.3MPa이다. 본 실험 장치에서 사용된 열전대는 OMEGA에서 제작된 것으로 모델명은 CHROMEGA™ -ALOMEGA™ XL Sheath인 K-type 열전대이다.

3. 결 과

본 장에서는 위에 소개된 실험 장치를 통해 DES의 friction factor 및 열전달계수 측정 결과를 소개한다.

3.1 Friction factor 측정

2장에서 제조된 Glyceline의 friction factor를 측정하기 위한 실험 절차는 다음과 같다. DES를 Reservoir에 넣고 일정한 온도로 유지하면서 일정 유량으로 DES를

순환시킨다. 이때의 유량 및 차압을 측정 한 후 레이놀즈수 변화에 따른 friction factor를 계산하여 원형관에서 물에 대한 friction factor의 이론값인 Poiseuille friction factor와 Blasius friction factor와 비교하였다. 레이놀즈수는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}$$

위 식에서 ρ 는 유체의 밀도(kg/m³)이고 μ 는 유체의 유속이며, d 는 원형관의 지름이다. 그리고 v 는 유체의 점도다. 위 식에서 밀도와 점도, 지름은 고정된 온도에서 일정한 값이다. 따라서 유량을 측정하여 유속을 계산하면 레이놀즈수를 계산할 수 있다. 측정된 차압과 Darcy's formula를 사용하여 friction factor를 계산할 수 있다. Darcy's formula는 다음과 같다.

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{1}{2} \rho v^2$$

위의 식에서 ΔP 는 시험부 입출구 사이의 차압을 나타내고, L 은 시험부의 길이, D 는 시험부의 내경을 나타낸다. 따라서 측정된 차압과 유속 및 다음의 식을 통해 friction factor를 계산할 수 있다.

$$f = \Delta P \frac{D}{L} \frac{2}{\rho v^2}$$

위의 식을 통해 계산된 friction factor를 원형관에서 물에 대한 friction factor 이론식과 비교하여 DES의 동특성을 물과 비교할 수 있다. 층류 영역의 friction factor는 다음의 Poiseuille friction factor를 따른다.

$$f = \frac{64}{Re}$$

또한 난류 영역의 friction factor는 다음의 Blasius friction factor를 따른다.

$$f = 0.3164 Re^{-0.25}$$

DES를 사용한 실험 전에 물의 friction factor를 측정하여 이론값과 비교함으로써 실험장치 설계의 적절성을 평가하였다. 물

로 수행한 실험 결과는 그림 5와 같다. 물을 사용한 실험 결과 측정된 friction factor가 이론값과 정확하게 일치 하는 것을 확인하였고, 이 결과를 통해 본 실험 장치가 적절하게 설계 및 구축되었음을 알 수 있다.

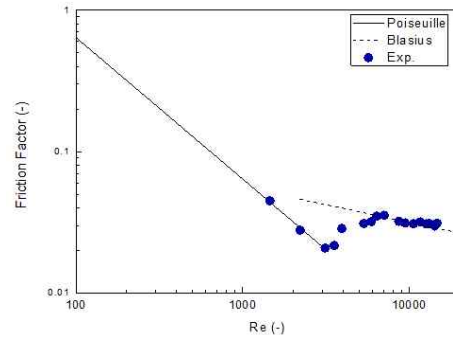


그림 5 물을 사용한 friction factor 측정 실험 결과

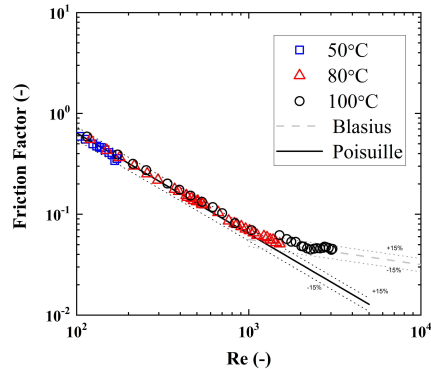


그림 6 Glycine을 사용한 friction factor 측정 실험 결과

Glycine을 사용하여 시험을 수행하였다. Glycine이 50°C, 80°C, 100°C로 일정할 때 차압을 측정하였고, 측정된 friction factor 결과는 그림 6과 같다. 그림 6을 보면 레이놀즈수의 증가에 따른 마찰 계수 측정값을 나타낸다. 층류영역에서의 값이 Poiseuille equation과 오차 범위가 10% 이내로 측정되었으며, 난류 영역에서의 측정값은 Blasius equation과 오차범위 15% 이내로 측정됨을 확인 할 수 있었다. 이는 glycine이 뉴턴유체임을 보여준다.

3.2 HTC 측정

DES의 열전달계수를 측정하기 위한 실험 절차는 다음과 같다. 펌프를 작동시켜 목표 유량으로 DES를 순환시킨다. 또한 Reservoir의 DES 온도가 목표 온도로 일정하게 유지될 때까지 운전을 지속한다. 시험부 입구 유체온도가 정상상태에 도달하면 DC supply를 사용하여 시험부를 가열하고 시험부를 통해 reservoir로 회수되는 DES를 냉각시키기 위해 chiller도 작동시킨다. 정상상태에 도달한 후 데이터를 취득하여 이 데이터를 기초로 열전달계수를 계산한다. 이 실험에서 작동하는 열전달 메커니즘은 대류 열전달이다. 대류 열전달 방정식은 다음과 같다.

$$\ddot{q} = h(T_w - T_\infty)$$

위 식에서 좌변은 열속이고, h 는 열전달계수, T_w 는 벽면온도, T_∞ 는 유체 온도를 나타낸다. 열속은 DC supply에서 열선에 공급하는 열을 열전달 면적으로 나누어 얻을 수 있다. DC Supply에서 열선으로 공급하는 전류에 의해 열이 생성되는데, 이 현상을 Joule 효과라 한다. Joule 효과는 다음과 같은 방정식으로 표현된다.

$$\dot{q} = I^2 R$$

위 식에서 I 는 전류, V 는 전압, R 은 저항을 나타낸다. 본 실험에서 사용되는 시험부는 L원형관이므로 열전달 면적은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$A_{HT} = 2\pi r_i L$$

위의 두 식을 통해 열속은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\ddot{q} = \frac{\dot{q}}{A_{HT}} = \frac{I^2 R}{2\pi r_i L}$$

위의 식에 따라 DC Supplydptj 전류와 전압 또는 저항을 측정하여 열속을 계산하고, 계산된 열속과 측정된 시험부 표면온도 및 유체온도를 다음 식에 대입하여 열전달계수를 계산할 수 있다.

$$h = \frac{\ddot{q}}{T_w - T_\infty}$$

누셀수는 유체 경계면에서 대류 열전달과 전도 열전달의 비를 나타내는 무차원수인데, 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.

$$N = \frac{hD}{k}$$

위 식에서 h 는 열전달계수, D 는 유동관의 특성 길이이다. 원형관의 경우, D 는 직경을 나타낸다. 그리고 k 는 열전도율을 나타낸다. 원형관 내 유동이 층류일 경우, 균일한 열속이 적용된 대류 열전달에 대한 누셀수는 4.36으로 알려져 있다.

위의 이론적 바탕 위에서 DES의 대류 열전달 실험을 수행하였다. 이 실험을 통해 측정된 시험부 벽면 온도 및 유체 온도는 그림 7과 같고, 누셀수는 그림 8와 같다.

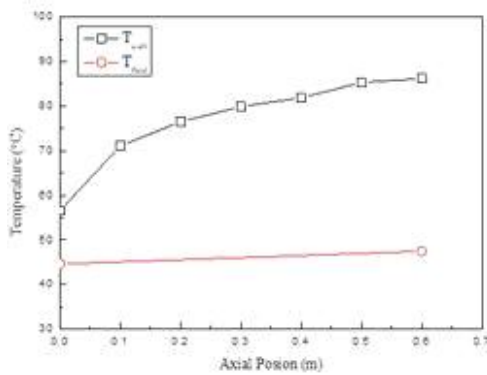


그림 7 열전달 실험을 통해 측정된 시험부 표면 및 유체 온도

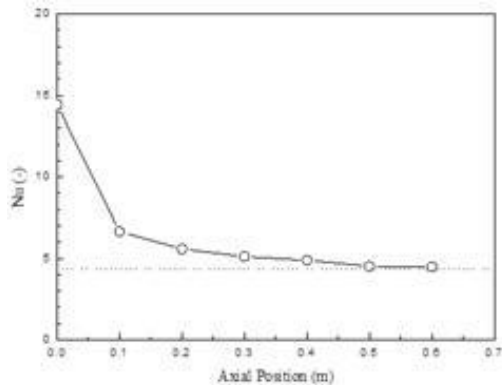


그림 8 열전달 실험을 통해 계산된 누셀수

그림 8에서는 누셀수가 4.36으로 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 층류 영역에서 glyceline의 열전달 특성은 물과 거의 같다.

1. 결 론

이온액체의 대안으로서 고려되고 있는 DES에 대한 동특성 및 열전달 특성을 실험적 연구로 수행하였다. 층류 영역과 난류영역에서 실험이 수행되었고, DES로 glyceline을 선정하여 연구가 수행되었다. Glyceline은 뉴턴유체임을 확인하였고, 층류 영역에서의 friction factor는 Poiseuille friction factor와 거의 동일하게 측정되었다. 실험

결과 Poiseuille friction factor와의 최대 오차는 15%였다. 난류영역에서의 friction factor는 Blasius friction factor와 10%이내로 측정되었다. 또한 층류 영역에서 glyceline의 열전달 특성을 알아보기 위한 실험이 수행되었다. 실험 결과 원형관에서의 열전달 이론과 일치하는 것을 확인할 수 있었다. Glyceline의 동특성 및 열전달 특성이 물과 거의 같다는 것은 이미 잘 알려져 있는 물에 대한 이론들을 적용하여 glyceline의 동특성 및 열전달 특성을 판단할 수 있음을 의미한다.

후 기

This work was (partly) supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No.2017M2A8A4018812 and No.2017M2A8A4018812), and also partly supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) grant funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20214000000010).

참고문헌

- (1) E.L. Smith, A.P. Abbott, K.S. Ryder, "Deep eutectic solvents (DESs) and their applications", Chem. Rev.114 11060-11082, 2014.
- (2) Q. Zhang, K. De Oliveira Vigier, S. Royer, F. Jerome, "Deep eutectic solvents: syntheses, properties and applications", Chem. Soc. Rev.41 7108-7146, 2012.
- (3) A.P. Abbott, G. Capper, D.L. Davies, R.K. Rasheed, V. Tambyrajah, "Novel solvent properties of choline chloride/urea mixtures", Chem. Commun. 70-71, <http://dx.doi.org/10.1039/B210714G>, 2003.
- (4) A.P. Abbott, D. Boothby, G. Capper,

- D.L. Davies, R.K. Rasheed, "Deep eutectic solvents formed between choline chloride and carboxylic acids: versatile alternatives to ionic liquids", *J. Am. Chem. Soc.* 126, 9142-9147, 2004.
- (5) M. Hayyan, F.S. Mjalli, M.A. Hashim, I.M. AlNashef, "A novel technique for separating glycerine from palm oil-based biodiesel using ionic liquids", *Fuel Process. Technol.* 91, 116-120, 2010.
- (6) M. Hayyan, M.A. Hashim, M.A. Al-Saadi, A. Hayyan, I.M. AlNashef, M.E.S. Mirghani, "Assessment of cytotoxicity and toxicity for phosphonium-based deep eutectic solvents", *Chemosphere* 93, 455-459, 2013.
- (7) M. Hayyan, C.Y. Looi, A. Hayyan, W.F. Wong, M.A. Hashim, "In vitro and in vivo toxicity profiling of ammonium-based deep eutectic solvents", *PLoS One* 10, e0117934, 2015.
- (8) M. Hayyan, M.A. Hashim, A. Hayyan, M.A. Al-Saadi, I.M. AlNashef, M.E.S. Mirghani, O.K. Saheed, "Are deep eutectic solvents benign or toxic?" *Chemosphere* 90, 2193-2195, 2013.
- (9) E. Leroy, P. Decaen, P. Jacquet, G. Coativy, B. Pontoire, A.-L. Reguerre, D. Lourdin, "Deep eutectic solvents as functional additives for starch based plastics", *Green Chem.* 14, 3063-3066, 2012.
- (10) A. Hayyan, M.A. Hashim, M. Hayyan, F.S. Mjalli, I.M. AlNashef, "A new processing route for cleaner production of biodiesel fuel using a choline chloride based deep eutectic solvent", *J. Clean. Prod.* 65, 246-251, 2014.
- (11) A. Hayyan, M. Ali Hashim, F.S. Mjalli, M. Hayyan, I.M. AlNashef, "A novel phosphonium-based deep eutectic catalyst for biodiesel production from industrial low grade crude palm oil", *Chem. Eng. Sci.* 92, 81-88, 2013.
- (12) A.P. Abbott, J. Griffith, S. Nandhra, C. O'Connor, S. Postlethwaite, K.S. Ryder, E.L. Smith, "Sustained electroless deposition of metallic silver from a choline chloridebased ionic liquid", *Surf. Coat. Technol.* 202, 2033-2039, 2008.
- (13) A.P. Abbott, G. Capper, K.J. McKenzie, K.S. Ryder, "Electrodeposition of zinc-tin alloys from deep eutectic solvents based on choline chloride", *J. Electroanal. Chem.* 599, 288-294, 2007.
- (14) D. Lindberg, M. de la Fuente Revenga, M. Widersten, "Deep eutectic solvents (DESs) are viable cosolvents for enzyme-catalyzed epoxide hydrolysis", *J. Biotechnol.* 147, 169-171, 2010.
- (15) A. Hamel, M. Sacco, N. Mnasri, F. Lamaty, J. Martinez, F. De Angelis, E. Colacino, C. Charnay, "Micelles into glycerol solvent: overcoming side reactions of glycerol", *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2, 1353-1358, 2014.
- (16) C. Smarrito-Menozzi, W. Matthey-Doret, S. Devaud-Goumoens, F. Viton, "Glycerol, an underestimated flavor precursor in the Maillard reaction", *J. Agric. Food Chem.* 61, 10225-10230, 2013.
- (17) M. K. AlOmar, M. Hayyan, M. A. Alsaadi, S. Akib, A. Hayyan, M. A. Hashim, "Glycerol-based deep eutectic solvents: Physical properties", *Journal of Molecular Liquids*, 215, 98-103, 2016.

온도차 감시방법을 통한 열교환기의 성능 열화징후 감시

Monitoring of heat exchanger performance deterioration through temperature difference monitoring method

이재경 · 이효직

한국원자력연구원 핵주기시험평가부

요약

한국원자력연구원 조사후연료시험시설은 습식저장방식을 통하여 사용후핵연료를 안전하게 보관하고 있다. 그중에서 습식저장방식은 사용후핵연료를 저장수조 내부에서 수중보관하는 방법으로써 수조 내의 저장수의 열관리가 중요하다. 이때 수조 내의 저장수 온도가 상승하는 것을 방지하는 것이 열교환기이다. 본 연구에서는 저장수를 냉각하는 판형 열교환기의 성능평가를 통하여 판형 열교환기의 열화징후 정도를 감시하는 방법을 소개하고자 한다. 열화징후 정도는 온도차 감시방법을 적용하여 평가하고 있다. 온도차 감시방법을 적용하기 위해서는 세 가지 조건이 만족되는 환경에서 적용할 수 있다. 첫 번째, 열교환기에 열부하를 제공하는 열원 및 고온측 유체의 온도와 유동이 각 시험에서 같은 크기이며, 두 번째, 일련의 시험으로 각 시험에서 열부하와 유동을 반복적으로 얻을 수 있으며, 세 번째로 열교환이 이루어지는 과정이 정상상태일때 적용할 수 있다. 열교환기에 열화가 발생여부는 저온측 유체 입구온도에 따른 관심온도의 값이 허용운전 값을 비교하여 판단할 수 있다. 측정된 관심온도의 값이 허용운전 값보다 크다면, 열교환기에 열화가 발생하였다고 판단할 수 있다. 여기서 관심온도는 열교환기를 빠져나오는 고온측 유체의 출구 온도와 열교환기로 들어가는 저온측 유체의 입구온도의 차이로 정의한다. 관심온도는 열교환기로 투입되는 저온측 유체가 열교환기 내부에서 고온측 유체를 얼마나 냉각시킬 수 있는지를 의미한다. 또한 허용운전값은 설계요구조건에서 열교환이 이루어진다고 가정했을 때 계산되는 관심온도의 값으로 정의한다. 허용운전값은 열교환기로 들어가는 고온측 유체와 저온측 유체의 온도를 입력변수로 설계요구치를 열평형 방정식에 대입하면 얻을 수 있다. 즉 측정된 관심온도의 값이 허용운전 값보다 크다면 설계요구조건을 만족시키지 못한다는 것을 의미하며, 이는 열교환기에 열화가 발생하였다고 판단할 수 있다. 이를 토대로 조사후연료시험시설의 습식저장설비용 열교환기의 열화징후를 평가해보았다. 열교환기로 들어가는 고온측 입구온도는 21.4℃, 고온측 출구온도는 14.9℃로 측정되었으며, 저온측 입구온도는 10.2℃, 저온측 출구온도는 17.9℃로 측정되었다. 따라서 측정된 관심온도의 값은 4.7℃이고, 허용운전 온도 값은 5.6℃로 계산되어 열교환기 성능 열화는 발생하지 않은 것으로 평가되었다.

원자력발전소 배플포머볼트(BFB) 관리방안에 대한 고찰

A Study on the Management Method of Baffle Former Bolt in Nuclear Power Plant

문균영 · 김왕배

한국수력원자력(주) 중앙연구원 기계연구소

1. 개요

- 원자력발전소 중요 설비인 원자로 내부구조물은 가동년수가 증가에 따라 방사선 조사취화 등으로 재료 특성 및 열화로 인해 건전성에 손상가능성이 증가하고 있다. '98년 이후 해외 원전에서 배플포머 볼트(BMB¹⁾)의 균열 사례가 보고되었고, 국내 원전에서도 유사 사례가 발생되었고 국내 원전에서도 동일재질 및 유사부위에 결함검출 사례가 있어, 체계적인 대책 수립 및 건전성 제고가 필요하다.

2. 국내·외 사항

- 원자로 BFB 검사는 '89년 프랑스 원전 Bugey #2 와 #5에서 배플포머 볼트헤드 아래에 위치한 균열들이 발견되었다. '05년 벨기에 원전 Doel #1의 316 SST External Hex Lock Bar 타입의 볼트헤드-Shank 계면에서 균열이 발견되었고, Bugey #2에서는 여러 차례 316 SST External Hex Lock Bar 타입의 볼트헤드-Shank 계면에서 균열이 발견되었고, '10년 미국 원전 DC Cook #2에서 5개 볼트헤드가 Shank로부터 분리된 것이 육안검사에서 발견되었다. 이 불건전부의 원인은 일반적으로 방사선 조사에 기인하는 응력부식균열(IASCC, Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking)로 알려져 있다. 현재까지 발견된 모든 불건전부들은 볼트헤드 아래의 영역에서 발견되었다. 미국 산업계에서는 MRP-227A(경수로 원전 내부구조물에 대한 검사와 평가 Guidelines)와 MRP-228(경수로 원전 내부구조물에 대한 검사기준)을 제정하여 규제요건으로 반영하고 있다.
- 국내 원전에서는 해외 결함사례를 근거로 규제기관에서 체적검사를 권고하여 '99년 고리원자력 1호기에서 최초로 수행되었으며 '05년까지 가압 경수로형 모든 호기에 대한 1회 검사가 완료되었다. '13년에 “가동원전 인코넬 600재질 원자로 하부 관통관 종합관리대책”을 마련하여 인코넬600재질 관통관 사용호기에 대하여 기술기준(Code Case N-722-1)에 따라 육안누설검사(2주기마다) 이외에 추가 일회성 체적검사를 수행하고 있다. 원자로 배플포머볼트 검사는 볼트헤드와 Shank 영역에 대한 초음파탐상검사, 볼트헤드와 Locking Bar의 건전성 확인을 위한 근접 육안 검사를 수행하며, 초음파탐상 검사는 MRP-227A와 MRP-228의 요건에 따라서 미국 웨스팅하우스에서 관련 교육을 이수한 검사자가 검사를 수행하고 육안검사는 비파괴검사원 자격부여 절차서의 요구조건에 따라 자격을 부여 받은 자가 검사를 수행하고 있다.

1) BFB(Baffle Former Bolt) : 원자로 내부구조물인 배플포머는 노심을 지지하고, 제어봉 집합체를 안내하며 원자로 냉각재의 유동 통로를 제공한다. 배플판과 포머 판은 다수의 배플포머 볼트로 체결되어 있으며, 배플판도 다수의 볼트로 서로 체결되어 있다.

3. 향후대책

- 향후, 해외 원전의 BFB 검사 및 보수사례 등 지속적인 모니터링 및 기술정보 동향파악으로 국내원전에 대한 지속적인 적용/관리가 필요하며, 해외 결함발생 원인분석 및 정비방법 공유를 통해 국내 원전 결함발생시 긴급정비보수에 활용이 필요하다.

원전 비파괴검사(수동초음파검사)에 영향을 미치는 인적요인에 대한 고찰
A Study on Human Factors Affecting Nondestructive Testing
(Manual Ultrasonic Testing) of Nuclear Power Plants

조용배 · 김왕배

한국수력원자력 중앙연구원 비파괴기술그룹

원자력발전소의 기기, 배관 및 구조물의 건전성을 확인하기 위해 발전소 정지시 정기적으로 비파괴검사가 수행되고 있으며 그중 수동 초음파검사(UT: Ultrasonic Test)시 검사자에게 영향을 미치는 인적요인으로 방사선 피폭, 과도한 소음 등과 같은 환경적 요인과 검사일정에 대한 압박감등 여러 가지 요인이 존재하고 있다, 검사자가 초음파검사를 수행하기 위해서는 일정한 경험을 갖추고 기량검증(PD: Performance Demonstration) 시험에 합격해야 자격을 확보할 수 있고 자격 확보 후에도 매년 정기적인 훈련과 실습을 수행하여야 한다. 이러한 과정에서 검사자들이 많은 스트레스를 받고 있어 자격취득부터 현장검사를 수행하는 비파괴검사 프로세스중 검사자에게 영향을 미치는 인적요인을 고려하는 것은 매우 중요하다. 본 논문에서는 비파괴검사를 수행하는 검사자 능력 및 비파괴검사에 대한 신뢰성 확보 또는 향상을 위한 방안에 대해 수십명의 경험을 가진 검사자를 대상으로 훈련/실습과정, 검사계획/준비, 검사수행, 결과보고 등의 과정에서 인적요인에 영향을 미칠 수 있는 환경에 대해 설문조사, 인터뷰 및 워크숍을 수행하여 얻은 해외 주요 연구 및 분석 결과를 소개하고 국내 원자력발전소 초음파검사에 적용할 수 있는 방안을 소개하고자 한다.

원전 해체 전환 시기의 비활성화 실행계획 연구

An Analysis of Deactivation Implementation Plan for Transition Period of Decommissioning Nuclear Facility

유지환 · 서형우 · 김기림 · 이상현*

한국수력원자력(주) 중앙연구원 방사선해체연구소 원전사후그룹

*한국수력원자력(주) 디지털혁신추진단 디지털융합실 디지털혁신부

국제원자력기구(IAEA)에서는 원전 생애주기의 시점에서 종점을 건설, 운전, 계속 운전, 해체까지를 원전 생애주기로 정의한다. 전환 활동은 원자력시설 생애주기 안에서 운전에서 해체단계 사이에서 발생한다. 운전 중단 및 전환단계에서 첫 번째 활동은 일반적으로 시설을 비활성화하는 것이다. 비활성화의 목적은 시설이 최종적으로 해체될 때까지 장기간 모니터링하고 유지 보수하기에 안전한 폐쇄 상태에서 경제적으로 해체하는 것이다. 대표적인 해체 전환단계에서 이루어지는 업무 그룹은 발전소 잔류 및 상업 운전 결과에 대한 모든 요건 및 역무가 포함된다. 설비 운전정지 및 해체 작업 실행에 대한 관리 역무도 포함이며, 정기검사, 결함 조사 및 관리, 유지관리, 작업지시가 업무 그룹으로 구분된다. 이러한 S&M (Surveillance & Monitoring) 활동은 시설이 작동하지 않고 다시 작동하지 않을 것으로 예상되는 경우를 포함하여 시설 수명주기 동안 지속해서 수행되어야 한다. S&M 활동은 최소한 모든 방사선학적 오염이 적절히 억제되고, 근로자, 일반인 및 환경에 대한 잠재적 위험이 제거 또는 완화 및 관리되도록 하기 위한 구조(Structures), 계통(Systems), 기기(Components)의 주기적 검사 및 유지 보수가 포함된다.

비활성화 활동을 위한 프로세스 지침은 아래와 같이 구분할 수 있다. 1단계는 비활성화에 적용되는 정책 및 운영 문제를 가능한 한 빠르게 식별해야 한다. 2단계는 비활성화 작업 완료 후 합의된 달성해야 할 시설의 최종 상태를 결정한다. 3단계는 비활성화 프로젝트의 범위를 시설 및 관련 지원 시설 및 인프라를 포함하여 결정한다. 4단계는 일반인 및 환경을 보호해야 하며 안전성분석은 비활성화 프로세스 전반에서 반복된다. 5단계는 프로세스의 끝점(End point)을 식별한다. 7단계는 프로젝트 예상 비용, 일정 및 물리적 진행 상황을 정량적으로 표현한다. 8단계는 프로젝트 계획 문서를 발행하여 관련 조직에 전달하고 문서화한다. 9단계는 위험 분석과 비상 대응 절차를 포함하여 각 세부 작업 패키지를 개발한다. 10단계는 앞서 작업 패키지에 대한 프로젝트를 지속해서 재검토하며 실행한다. 이 단계는 비활성화 계획에 명시된 끝점까지 수행된다. 11단계는 작업 패키지를 수행하며 안전을 유지하는데 필요한 S&M 활동의 유지를 확인해야 한다. 12단계는 계획된 끝점과 달성한 끝점이 일치하게 종결되었는지 확인하며, 13단계는 최종 보고서에 비활성화가 종료된 시설의 상태를 포함하여 문서로 만들어 얻은 결과에 대한 명확한 이해를 제공할 수 있도록 한다. 마지막 14단계에서 비활성화의 해제가 달성되며 수신 조직(일반적으로 해체 담당 조직)으로 책임이 이전된다.

이처럼 해체 전환단계에서 이루어질 비활성화에 적용이 가능한 통합 프로세스의 지침을 단계별로 분석하여 제시하며, 이는 해체 전환단계에서 이루어지는 비활성화 활동의 업무 그룹을 도출하는 데 도움이 되기를 기대한다.

증기발생기 와전류검사신호 노이즈 측정 및 모니터링 방법 고찰

A study on the noise measurement and monitoring method of Steam Generator eddy current inspection signal

천근영

한수원 중앙연구원

증기발생기 전열관 건전성을 확보하기 위해 증기발생기관리프로그램(SGMP) 요건에 따라 주기적으로 와전류(ECT) 가동중검사를 수행하고 있다. 와전류 검사신호는 전자기 유도현상에 의해 만들어지는 전자기 신호로써 주위 노이즈에 민감하며 검사신호에 노이즈가 혼입시 신호평가자에게 실제 결함신호와 노이즈를 구별하는데 많은 어려움을 준다. 이에 현장검사시 검사데이터 품질 확보를 위해 노이즈 저감에 많은 노력을 기울이고 있다.

과거 미국 TVA사 인디언포인트 증기발생기의 곡관부에서 노이즈가 균열신호를 마스킹하여 결함검출 실패로 운전중 누설 사고가 발생한 사례가 있었다. 이를 기점으로 미국 원자력안전위원회에서는 원자력 산업계에 노이즈 측정 및 모니터링 방법을 개발하여 현장검사에 적용할 것을 요구하였으며 이에 EPRI를 중심으로 다년간 Pilot Project를 수행 자동으로 노이즈를 측정하고 이를 모니터링하는 방법을 개발하여 EPRI SG Examination Guideline에 수록 미국 내 모든 원전에서 적용중에 있다.

국내의 경우 노이즈를 측정할 수 있는 장비 및 기술 부재로 도입이 미루어지고 있으나 규제기관으로부터 계속적인 이행 요구 압력을 받고 있다. 이에 노이즈 측정 전용장비 확보를 위해 해외 장비사와 접촉중에 있으며 도입장비의 국내 장비와의 호환성 및 측정 방법론 등 도입시 원활한 수행을 위해 다각도로 검토를 수행하고 있다. 본 연구에서는 도입을 위한 사전단계로 노이즈 측정 및 모니터링 방법론의 도출이 필요하여 미국에서 기 수행했던 Pilot Project 수행 결과 및 각종 발표보고서 검토 등을 통해 증기발생기 열화발생 관심구역(ROI)별 Baseline/Current outage 노이즈 측정, 설정임계값 초과 노이즈 모니터링 및 후속처리, 전열관 열화 평가를 위한 열화별 검출능(POD)선도 조절 등에 대한 노이즈 측정 및 모니터링 적용 방법을 고찰하였다. 향후 전용장비 국내 도입시 본 방법을 활용 국내 원전 시범적용 등을 통해 노이즈 측정 및 모니터링이 정착되도록 하고자 한다.

출구측 오리피스 구멍 직경 크기가 6단 오리피스 내부 유동 특성에 미치는 영향에 관한 수치적 연구

Numerical Study on the Effect of an Outlet Orifice Hole Diameter on
the Flow Characteristics inside the Six Stages Orifice

이공희* · 배준호

한국원자력안전기술원 규제검증평가실

국내 원자력발전소에서는 원자로 가동 시간의 경과에 따른 안전관련 펌프 및 밸브의 취약화 정도를 감시하고 평가하기 위해 가동중시험(in-service testing)을 수행하고 있다. 다단오리피스(multi-stage orifice)는 가동중시험 관련 범주에 포함되는 화학 및 체적제어계통, 보조급수계통 등에 설치되어 펌프 보호를 위해 유량을 제한하고 계통 압력을 낮추는 기능을 수행한다. 상기와 같은 다단오리피스 내부에서 유동은 오리피스 구멍을 통과하는 고속 유동, 유동 박리(separation) 및 재부착(reattachment), 재순환(recirculation) 유동 등으로 인해 매우 복잡한 난류 형태를 나타내며, 이로 인해 다단오리피스의 성능저하 및 구조적 손상이 발생할 수 있다. 저자는 선행 연구를 통해 국내 경수로 보조급수계통에 설치된 다단오리피스에서 발생한 캐비테이션 유동 해석 및 구조 건전성을 평가한 바 있다. 본 연구에서는 상용 전산유체역학 소프트웨어인 ANSYS CFX R19.1을 이용하여 정상(steady) 상태, 비압축성, 난류, 단상 유동 조건하에서 출구측(6번째 단) 오리피스 구멍 직경 크기가 6단 오리피스 차압 특성에 미치는 영향을 수치적으로 평가하여 측정값과 비교하였다. 또한, 유선(streamline) 및 속도 분포 등을 통해 출구측 오리피스 구멍 직경 크기에 따른 6단 오리피스 내부 유동 특성을 상세히 파악하였다. 해석모델은 중국 상하이 과학기술대학교의 Wang 등(2013)이 다단 유출(letdown) 오리피스 배관에서 수행한 단상(single phase) 압력 강하 시험에 근거한다. 다단오리피스는 6단으로 구성되며, 6번째 오리피스 단에서 연결 배관 내경 대비 오리피스 구멍 직경의 비는 0.350, 0.525 및 0.584이다. 작동 유체로는 54.4 °C의 물을 사용하였다. 본 연구를 통해 얻은 주요 결과는 다음과 같다. (1) 해당 직경비에서 입구 유량이 증가할수록 다단오리피스 입,출구간 압력 강하 크기는 증가하였다. 다만, 저유량 조건으로 갈수록 측정된 입구 유량-압력 강하 기울기가 감소하는 반면 해석 결과는 거의 일정한 기울기를 유지하였다. (2) 동일 입구 유량조건에서 6번째 오리피스 단의 직경비가 증가할수록 다단오리피스 입,출구간 압력 강하 크기는 감소하였다. (3) 1번째 오리피스 단의 구멍 직경이 나머지 단에 비해 작기 때문에 해당 위치에서 국부 유속의 최대값이 발생하였다. (4) 6번째 오리피스 단의 구멍을 통과한 유동이 배관 하부를 향하므로 primary 재순환 유동은 제트 유동의 상부에서 형성되었다. 상기 primary 재순환 유동 영역은 6번째 오리피스 단의 직경비가 감소할수록 확대되었다.

본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력 안전연구사업의 연구결과입니다(No. 1805007).

상류측 곡관부에 의한 유동 교란이 버터플라이 밸브 동적성능에 미치는 영향에 관한 수치적 연구

Numerical Study for the Effect of Flow Disturbance due to Upstream Bend on the Dynamic Performance of a Butterfly Valve

이공희* · 배준호

한국원자력안전기술원 규제검증평가실

버터플라이 밸브는 대표적인 가동중시험 관련 밸브 유형 중 하나로서 유로 개폐 및 유량 제어와 같은 다양한 용도로 저압/저온 용수계통(예; 기기냉각수계통, 격납건물 환기 및 배기 계통)에 주로 사용되고 있다. 배관 곡관부 하류의 직관 길이가 충분히 길지 않으면 완전 발달된 유동과는 다른 왜곡된 속도 형상의 유동이 버터플라이 밸브로 유입되어 비정상화된 하중 및 응력이 작용할 수 있다. 상기와 같은 상류측 곡관부에 의한 유동 교란이 버터플라이 밸브 동적성능에 미치는 부정적인 영향은 밸브로 유입되는 유량이 많아질수록 증가한다. 미국 상수도협회(American Water Works Association)가 발간한 M49 매뉴얼(Quarter-Turn Valves: Head Loss, Torque, and Cavitation Analysis)에 따르면 우수한 밸브 동적성능을 위해서는 버터플라이 밸브 상류측 직관 길이가 배관 직경의 2~3배 정도는 확보되어야 하며, 2배 미만인 경우 고속 유동에서 밸브 동적성능이 손상될 수 있는 것으로 알려져 있다. 저자는 선행 연구에서 ANSYS CFX R19.1에서 이용 가능한 수치모델링이 직관에 설치된 버터플라이 밸브 주변의 복잡한 유동(유동 박리 및 와류 포함)을 신뢰할 정도로 예측할 수 있는지 검증하기 위해 Lin & Schohl(2004)의 벤치마크 문제를 해석한 후 밸브 각도에 따라 계산된 방출계수(discharge coefficient)를 측정 데이터와 정량적으로 비교한 바 있다. 본 연구에서는 선행 연구에서 사용했던 ANSYS CFX를 포함한 동일 수치모델링을 활용하여 상류측 곡관부에 의한 유동 교란이 버터플라이 밸브 동적성능에 미치는 영향을 평가하였다. 해석 모델로 사용된 버터플라이 밸브의 디스크 직경은 3.53 m, 밸브 닫힘 각도는 0~70°, 입출구 배관 직경은 3.66 m, 곡률 반경은 배관 직경의 1.5배, 상류측 단일 90° 곡관부 종료 지점으로부터 버터플라이 밸브 사이의 직관 길이는 배관 직경의 0.1배~3.1배의 크기를 가진다. 작동 유체는 온도 25°C인 물로 가정하였다. 본 연구를 통해 얻은 주요 결과는 다음과 같다. (1) 단일 90° 곡관부 하류에 설치된 버터플라이 밸브에 작용하는 항력, 양력, 토오크 크기는 밸브 닫힘 각도가 70°인 경우에 직관에 설치된 밸브 대비 가장 큰 차이를 나타내었다. (2) 상류측 단일 90° 곡관부 종료 지점으로부터 버터플라이 밸브 사이의 직관 길이가 0.1배이고 밸브 닫힘 각도가 0°인 경우에 양력 및 토오크는 역방향으로 작용하였다. (3) 전반적으로 버터플라이 밸브 상류측 직관 길이가 증가할수록 버터플라이 하류에서 발생하는 역류 영역 및 속도 크기는 감소하였다.

본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력 안전연구사업의 연구결과입니다(No. 1805007).

ANSYS CFX를 활용한 벤츄리 유량계 상류측 직관 길이의 수치적 검증; 동일 평면상의 다중 90° 곡관부

Numerical Validation of Upstream Straight Lengths for Venturi Tube
Flowmeter using ANSYS CFX; Multiple 90° Bends in the Same Plane

이공희*

한국원자력안전기술원 규제검증평가실

안전 관련 펌프에 대한 가동중시험(in-service testing) 수행시 배관 곡관부 하류의 직관 길이가 충분히 길지 않으면 완전 발달된 유동과는 다른 왜곡된 속도 형상의 유동이 유입되어 벤츄리 유량계와 같은 차압식 유량계의 정확도가 떨어질 수 있다. 이와 관련하여 국내 기술기준인 KEPIC MPT-19.5는 다양한 곡관 배열 형태에 대해서 직경비(배관 내경 대비 벤츄리 목 직경의 비) 크기에 따라 벤츄리 유량계 상류측에 대한 권장 직관 길이를 제시하고 있다. 저자는 선행 연구를 통해 단일 90° 곡관부 및 다른 평면상의 다중 90° 곡관부에 대해 KEPIC MPT-19.5에서 제시한 벤츄리 유량계 상류측에 대한 권장 직관 길이의 적합성을 수치적으로 검증한 바 있다. 본 연구에서는 선행 연구에서 사용했던 전산유체역학 소프트웨어인 ANSYS CFX R18.1을 포함한 동일 수치모델링을 활용하여 동일 평면상의 다중 90° 곡관부에 대해 KEPIC MPT-19.5에서 제시한 벤츄리 유량계 상류측에 대한 권장 직관 길이의 적합성을 수치적으로 검증하였다. 해석 모델로 사용된 벤츄리 유량계는 상류측 직관부, 수렴부, 목(throat), 확산부 및 하류측 직관부로 구성되며, 직경비는 0.5, 0.6 및 0.7이다. 상류측 배관 직경은 100 mm, 곡률 반경은 200 mm 이며, 직관 길이는 배관 직경의 1배~100배의 크기를 가진다. 작동 유체는 온도 25°C인 물로 가정하였다. 본 연구를 통해 얻은 주요 결과는 다음과 같다. (1) 벤츄리 유량계 상류측 직관 길이가 증가함에 따라 압력탭 간 차압은 직관 길이가 배관 직경의 4~5배를 기준점으로 해서 증가한 후 감소하였다. 한편, 직경비가 증가할수록 벤츄리 목을 통과하는 유속이 느려지기 때문에 압력탭 간 차압 크기는 감소하였다. (2) 직경비가 증가함에 따라 차압 및 방출 계수의 구배는 더욱 급격하게 변화하였다. (3) 벤츄리 유량계 상류측 직관 길이가 추가적으로 증가함에 따라 압력탭 간 차압 및 방출 계수는 일정한 크기(직관 길이가 배관 직경의 100배 되는 경우의 방출 계수 값)에 접근하였다. (4) KEPIC MPT-19.5에서 권고한 상류 직관 길이는 완전 발달된 벤츄리 관 유입 유동을 보장하지 못하였다. (5) KEPIC MPT-19.5에서 권고한 상류 직관 길이에서 방출 계수 값은 일정한 방출 계수 크기(직관 길이가 배관 직경의 100배 되는 경우의 방출 계수 값) 대비 거의 최대 편차를 나타내었다. (6) 비록 본 연구에서 사용된 해석 모델이 원자력발전소의 가동중시험 관련 계통에 존재하는 동일 평면상의 다중 90° 곡관부 유형을 모두 포괄할 수는 없으나 상기 연구 결과에 근거하여 KEPIC MPT-19.5에서 권고한 상류 직관 길이 보다 긴 직관 길이를 확보하거나 유동 조절기(flow conditioner)를 설치함으로써 벤츄리 유량계의 계측 정확도가 향상될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력 안전연구사업의 연구결과입니다(No. 1805007).

캐비테이팅 벤츄리 확산부 형상 변경에 따른 구조 건전성 평가 결과 비교 Comparison of the Structural Integrity Assessment Result depending on the Geometry Change of the Cavitating Venturi Diffusion Part

이공희*

한국원자력안전기술원 규제검증평가실

국내 가압경수로의 보조급수펌프에서 증기발생기로 냉각수를 주입하는 주 유로에는 캐비테이팅 벤츄리가 설치되어 과도한 보조급수 유량의 공급으로 인한 악영향을 최소화하는 기능을 수행한다. 급격한 유동 가속 및 이에 수반되는 압력 강하로 인해 벤츄리 목(throat) 및 확산부에서 캐비테이션(cavitation)이 발생할 수 있으며, 결과적으로 고주파 진동 및 재료 침식으로 인해 캐비테이팅 벤츄리의 성능저하 및 구조적 손상이 발생할 수 있다. 저자는 선행 연구를 통해 캐비테이팅 벤츄리의 주요 기하 형상 인자(예; 수렴부 경사각, 목 직경비, 확산부 경사각)가 캐비테이팅 벤츄리 내부에서 발생하는 캐비테이션 유동 형태에 미치는 영향을 평가한 바 있다. 본 연구에서는 상용 구조해석 소프트웨어인 ANSYS Mechanical 2021R1을 사용하여 캐비테이션 발생 조건에서 캐비테이팅 벤츄리 및 연결 배관에 대한 구조해석을 수행하였고 허용 응력 대비 건전성을 평가하였다. 해석모델은 상류 직관부, 수렴부, 목(throat), 확산부 및 하류 직관부로 구성되며, 확산부는 단일 또는 이중으로 구성된다. 구조 해석용 형상은 유동해석용 형상에 벤츄리 및 연결 배관의 두께 및 용접부 등을 추가적으로 고려해서 모델링하였다. 격자 형상은 해석 모델의 정확도 향상을 위해 2차(quadratic) 변위 거동을 나타내는 3차원 SOLID 요소(element)를 적용하였고 격자 민감도 평가를 통해 최종 격자 크기를 결정하였다. 캐비테이팅 벤츄리 입/출구의 플랜지 볼트 부분에서는 구속 조건을, 캐비테이팅 벤츄리 내벽의 압력 조건으로 CFX 유동 해석 결과(전압)를 적용하였다. 캐비테이팅 벤츄리 상류측 압력은 11.4 MPa, 하류측 압력은 2, 5, 9 MPa로 설정하였다. 본 연구를 통해 얻은 주요 결과는 다음과 같다. (1) 출구 압력 크기에 상관없이 가장 큰 유동 하중이 작용하는 입구 부분에서 최대 응력 및 변형이 발생하였다. (2) 고려한 출구 압력들에 대해서 허용 응력에 비해 낮은 응력 결과를 나타내었다. 따라서 캐비테이팅 벤츄리 및 연결 배관의 구조 건전성은 유지되었다. (3) 출구 압력이 감소할수록 입구와 출구 사이의 압력차가 증가하였고 캐비테이션 영역이 확대되었다. 이로 인해 stress intensity 크기는 증가하였다. (4) 고려한 출구 압력들에서 대해 이중 확산부가 단일 확산부에 비해 상대적으로 큰 응력이 발생하였다.

본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력 안전연구사업의 연구결과입니다(No. 1805007).

최적화된 장기 가동중검사 계획서(LTP:Long Term Plan) 관리 방법
A Method for Optimized Management of LTP of In-Service Inspection
of NPP

유현주

한수원 중앙연구원

한수원 중앙연구원에서는 가동중검사결과 이력을 신뢰성 있게 관리하고, 검사된 결과정보의 품질을 높이기 위하여 전 원전을 대상으로 효율적인 검사결과 정보관리를 위해 원전 가동중검사 종합 관리시스템(i-databox)을 개발·운영하는 노력을 기울이고 있다.

원자력법령에 따라 시행하는 법정검사인 원전 가동중검사는 설비의 건전성을 확인하기 위하여 한수원과 산업계가 협업으로 검사결과를 입력하고 있다. 이 정보는 신뢰할 수 있는 원자력발전소의 건전성을 표현하는 중요한 지표이고, 원전 가동중검사 결과에 대한 정확한 정보는 최적·관리됨으로 i-databox의 운영은 점차 비중이 높아지고 있는 실정이다.

장기 가동중검사계획서(LTP : Long Term Plan)는 가동중검사를 10년 주기로 발전소 호기별로 검사해야 할 용접부 수량과 용접부별 비파괴검사방법 등 모든 정보가 결집되어 있는 계획서로 가동중검사의 근간이 되는 아주 중요한 정보이므로 이에 대한 철저한 관리가 필수 불가결인 상황이지만, 상황에 따라 바뀌는 LTP정보로 인해 연동되는 차수별 가동중검사 계획서 등의 정보의 혼선 등 여러 문제가 발생되고 있다. 그러므로 과거 LTP 및 현재 LTP 관리와 이와 연동되는 다른 정보들에 대한 관리가 필요한 실정이다.

본 논문에서는 위에서 기술한 사유로 개발되어 운영 중인 i-databox에서 LTP부분에 대한 개략적인 시스템 구성 및 기능에 대한 설명을 서술하였다. 본 연구를 통해서 원자력발전소의 운영 신뢰성 향상으로 원자력 에너지의 효율적 생산 효과를 기대할 수 있다.

연구용 원자로에서 감쇠탱크 내 다공판 배치에 따른 체류시간 비교
Cooling Assessment according to Graphite Reflector Arrangement in
Research Reactor

정민규 · 박홍범 · 서경우

한국원자력연구원

연구용 원자로에서 감쇠탱크는 N-16 방사능 저감을 위해 설치되며, 요구되는 체류시간 동안 일차냉각재가 머물 수 있도록 매우 큰 부피를 갖는다. 감쇠탱크의 설계는 크게 두 가지 분류로 나눌 수 있는데, 하나는 냉각재 통과 길이를 늘리는 방법이며, 다른 하나는 냉각재 유속을 낮추는 방법이다. 본 연구에서는 큰 탱크 내에서 냉각재 유속을 낮추는 방법의 설계를 선택하였으며, 사용된 감쇠탱크의 형상은 상하부에 타원형 헤드를 포함하는 원통 구조를 갖추고 있다. 추가로 탱크 내로 유입된 냉각재가 탱크 내에 고른 분포를 가질 수 있도록 다공판을 설치하였으며, 이는 다수의 설계를 통해 3개를 배치하였다.

감쇠탱크 내에서 오랜 체류시간을 갖기 위해서는 탱크 내에 유체 정체구역 (dead zone)이 없어야 하며, 최대한 축방향 흐름이 유지되어야 한다. 감쇠탱크 내 유동은 상부 헤드로부터 유입된 냉각재가 첫 번째 다공판에 직접 부딪히면서 축방향 유동이 반경방향 유동을 변경하게 된다. 타원형 헤드 내에서 회전흐름을 만들며, 첫 번째 다공판 하부로 진행하게 된다. 반경방향의 유동이 다공판을 통과하면서 일부 축방향 유동으로 변경되지만 여전히 회전흐름이 관찰되며, 이를 완화하기 위해 두 번째 다공판이 존재하게 된다. 두 번째 다공판을 통과한 흐름은 대부분 축방향 유동을 유지하며, 세 번째 다공판까지 진행된 이후 하부 헤드에 위치한 출구로 빠져나가게 된다. 하부 헤드에서 유동이 모이면서 발생할 수 있는 회전흐름을 세 번째 다공판이 막아주는 역할을 수행하게 된다. 본 연구에서는 감쇠탱크 기본 모델의 체류시간을 평가하고, 첫 번째와 두 번째 다공판 사이 간격에 따른 체류시간을 비교하였다. 평가 결과 다공판 사이 간격이 좁을수록 오랜 체류시간을 갖는 것으로 평가되었다.

후 기

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020M2D5A1078131).

연구용 원자로에서 흑연반사체의 배치에 따른 냉각평가
Cooling Assessment according to Graphite Reflector Arrangement in
Research Reactor

정민규 · 박기정 · 서경우

한국원자력연구원

연구용 원자로에서 반사체는 핵분열에 의해 발생한 중성자가 노심 외부로의 누설을 방지하여 노심 내 중성자 밀도를 유지하는 역할을 한다. 흑연은 반사체로 활용되는 대표적인 재료 중 하나로 비교적 저렴하고 열전도도가 우수한 장점이 있다. 하지만 원자로 수조에 직접 재료 노출이 어렵기 때문에 알루미늄 캔에 넣어 활용하며, 이는 냉각재와 흑연 간의 열전도에 있어 악영향을 받게 된다. 또한 흑연반사체의 경우 초기에는 높은 열전도도를 갖게 되지만, 조사에 의한 재료 손상이 발생하게 되면 열전도도가 1/50 이하로 매우 낮아지게 된다. 따라서 흑연을 외부반사체로 활용하기 위해서는 보다 정확한 냉각성능 평가가 필요하며, 본 연구에서는 수치해석 (Computational Fluid Dynamics)을 활용하였다.

본 연구는 정상상태에서 흑연 외부반사체의 냉각성능 평가를 수행하였다. 해석에 있어 중요한 요건은 정상상태에서 냉각재의 비등이 발생하지 않아야 하며, 흑연의 다양한 열전도도에서 알루미늄 캔의 건전성이 유지되어야 함이다. 흑연 외부반사체는 알루미늄 캔 내부에 위치하며, 흑연의 조사성장을 고려하여 공기층이 존재한다. 알루미늄 캔 외부에는 냉각재가 흘러 흑연-공기-알루미늄-냉각재의 전도를 통해 냉각이 수행된다. 공기의 경우 매우 낮은 열전도도를 가지고 있어, 알루미늄 내 흑연의 배치에 따라 흑연의 냉각성능은 크게 달라질 수 있다. 본 연구에서는 흑연반사체의 배치에 따른 냉각성능 평가를 수행하였으며, 이를 통해 반사체의 건전성을 확인하였다.

후 기

본 연구는 과학기술정보통신부에서 시행한 연구로 공학기술 연구과제의 연구개발 성과입니다.

국내 원전 주북수기 전열관 비파괴검사 현황 및 전망

Current Status and Future Changes of Non-destructive Testing of Main Condenser Tubes in Domestic Nuclear Power Plants

김인철*김왕배

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력발전소 주북수기는 원자력발전소 계통을 구성하는 핵심기기중 하나로, 각각의 동체는 저압터빈 아래에 위치하며 동체 내부의 전열관은 직관형으로 설치되어 있다. 정상운전 중에 저압터빈 배출증기는 주북수기로 하향 유입되어 응축되고 전열관측은 순환수계통으로 해수가 공급된다.

주북수기 전열관은 40,000개에서 100,000개가 설치되어 있으며 외경과 두께가 발전소별로 동일하지는 않으나 대부분 외경은 25.4mm, 두께 0.71mm의 얇은 두께의 티타늄 재질 (ASTM B338 Gr.2)을 사용하며 한울5,6호기에서부터 상단 지역은 Super Stainless 재질 (A249 UNS-S32050)이 설치되어 있다.

검사방법은 전열관 수량이 많고 검사장소가 대부분 협소하기 때문에 검사속도가 빠르고 장비설치가 용이한 보빈(Bobbin) 탐촉자를 이용한 와전류검사(ECT ; Eddy Current Test)를 수행하고 있다.

본 논문에서는 국내 주북수기 전열관 와전류검사 체계 및 현재까지 관찰된 열화 (Degradation) 종류를 소개하고 향후 신호평가자의 결함 검출 능력, 과잉보고 등을 개선하기 위한 자동평가 도입 등 검사체계 변화에 대해서도 수록하였다.

에너지 정책에 도입되어야 할 에너지 정의 메트릭 제안

A metric proposal for energy justice in Korea's energy policy

정환삼 · 김희령*

한국원자력연구원 혁신전략부, * 울산과학기술원 원자력공학과

2021년 5월 29일 출범한 대통령 직속 2050 탄소중립위원회는 2050년 탄소순배출량 '0' 달성을 목표로 조직되었다. 정의(Justice)에 대한 정의는 산업혁명 격변기 영국에 살았던 제레미 벤덤의 '절대 다수 절대 행복'과 같이 공리주의적 관점에서 사회적 가치를 제시하였다. 이에 비해 비슷한 시기에 독일서 살았던 임마누엘 칸트는 공리주의 사고를 거부하고 이성을 가진 인간의 동기성격을 중시한 '개인을 수단이 아닌 목적'으로 여겨 행복을 추구하려는 인간중심의 도덕론을 제시하기도 하였다.

최근 이 같은 도덕철학의 가치를 에너지 정책에 원용하려 하고 있다. 즉 사회적 집단가치와 개인의 사적가치가 상충할 경우 정책이 더 중시해야 할 가치가 무엇일까? 현대사회 에너지는 재화로서 선택적으로 사용하는 정상재 혹은 공공재를 넘어 인간생존에 없어서는 안될 필수재 혹은 생존재로 자리했기 때문이다. 또한 에너지 정책의 의사결정자들은 자신의 결정이 갖는 시공간을 넘는 사회적 책임이 수반되기 때문이다.

이 연구는 최근 에너지 정의에 있어 의미있는 척도를 제시한 연구들을 조사·분석하고, 이들을 우리나라 에너지 정책 환경에 맞도록 메트릭의 재구성을 제안한다. 이는 사적신념이 공적정책으로 되기 위한 공익적 검증이 생략된 채 과도하게 정책에 주입되어, 사회적 수용력을 현저히 떨어뜨리는 최근 에너지 및 환경 정책 수립과정에 고려해야 할 정책요소라 여겨지기 때문이다. 로마 여신 유스티티아(Justitia)가 행하려는 공정과 정의의 가치가 우리나라 에너지 정책에서도 도입해야 할 것을 제안한다.

Key words : 에너지 정책, 공정과 정의, 메트릭 설계

가스용 주물연소기 성능시험방법 개선에 관한 연구

A Study on Improvement of Testing Method for Thermal Effect of Casting Burner for LPG and City-gas

김필중 · 최슬기 · 유철희

한국가스안전공사 가스안전연구원

국내 요식업소, 가정집, 도자기 제작소 등의 장소에서 음식물을 만들거나 도자기를 구워낼 때 고열량 또는 장시간 가열이 필요하기 때문에 그 특성에 맞게 제작된 주물연소기(Casting burner)를 사용하는 경우가 많다. 주물연소기는 다양한 용도로 인해, 버너의 구조와 염공의 모양, 배열 등이 매우 다양하고, 열량의 범위가 넓은 특징을 갖고 있다.

주물연소기는 ‘액화석유가스의 안전관리 및 사업법’에 의해 가스용품으로 분류되어 있으며, 제조를 위한 상세기준으로 ‘가스용 주물연소기 제조의 시설·기술·검사 기준(KGS AB337)’을 준용하고 있다. 본 기준에 의해 적용되는 주물연소기는 전가스소비량이 20만kcal/h 이하이면서 사용압력이 30kPa 이하인 것을 대상으로 하고 있다. 이에 반해 ‘가스레인지 제조의 시설·기술·검사 기준(KGS AB331)’에 제조검사를 받고 있는 일반 가정용 가스레인지는 전가스소비량이 14,400kcal/h이하이고 버너 1개 당 소비량이 5,000kcal/h이면서 사용압력이 3.3kPa 이하인 것으로 정하고 있어 주물연소기에 비해 소비량, 사용압력, 열량이 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

위의 두 기준(KGS AB337, AB331)에서는 연소기에 의한 주변온도 변화 및 연소기 각 부위의 온도상승을 확인하기 위한 성능시험을 정하고 있으며, 목재 함판으로 이루어진 2개의 면이 개방된 사면체 공간(이하 ‘목벽’이라 함) 내에서 연소를 진행하며 목벽의 각 부 온도를 측정하여 온도상승 영향을 확인하게 된다.

앞서 설명한 바와 같이 가정용 가스레인지와 주물연소기의 사용환경과 전가스소비량, 열량, 사용압력 등에서 차이가 있음에도 불구하고, 현행 기준에서는 두 제품의 온도상승 성능 시험 방법, 환경 등에 큰 차이가 없기 때문에, 주물연소기의 고열량, 구조의 다양함 등 특성을 반영한 상태로 온도상승을 측정하는 것이 불가능하다. 따라서 온도상승에 대한 제품의 안전성을 확인할 수 있는 시험방법 마련이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 기존 시험방법에 대한 문제점 개선하고자, 먼저 국내 시장에서 유통되는 주물연소기의 구조, 염공형태, 가스소비량, 용도 등 다양한 분석을 실시하였다. 또한 각 주물연소기의 사용환경을 반영하기 위해 온도상승시험을 위한 목벽의 상단부를 개방, 폐쇄, 후드설치 등 다양한 시험이 가능하도록 개조하여 제품별 온도상승 영향을 시험하고자 하였다. 현재 목벽이 완성되어 성능시험을 실시하고 있으며, 시험 결과에 따른 적정 시험방법을 검토하고 성능시험 기준(KGS AB337)에 대한 개선방안을 도출할 예정이다.

국내 액화도시가스 자동차 충전소 기준 및 현황 분석

An Analysis of Domestic LNG Automobile Refueling Code and Stations

백지효 · 유철희 · 유근준

한국가스안전공사 가스안전연구원

도시가스충전사업은 도시가스사업의 통일적인 규율을 위해 「고압가스 안전관리법」 상의 도시가스충전사업을 「도시가스사업법」으로 이관하여 2010년에 개정되어 시행되고 있다. 현행 도시가스충전은 고정식 압축도시가스 자동차 충전사업, 이동식 압축도시가스 자동차 충전사업, 고정식 압축도시가스 이동충전차량 충전사업, 액화도시가스 자동차 충전사업 및 이동식 액화도시가스 야드 트랙터 충전사업으로 구분되고 도시가스사업법 시행규칙 별표 6의2(도시가스충전사업의 가스충전시설의 시설·기술·검사의 기준)을 따른다.

국내 도시가스 자동차 충전소는 약 230개의 충전소가 설치되어 있으며 LCNG 충전소는 6개소(김포, 광양, 포항, 동해, 대전, 인천)가 설치되어 운영되고 있다. LCNG 충전소는 생산기지에서 탱크로리로 이송된 LNG를 저장탱크에 저장하고 처리설비를 거쳐 CNG 및 LNG 차량에 충전하기 위한 설비를 갖추고 있다. CNG 차량의 충전은 LNG 저장탱크에 저장된 LNG를 LNG 저압펌프 및 LCNG 펌프를 통해 기화기로 공급하고, 기화된 CNG를 저장탱크에 저장 후 CNG 차량에 충전하는 과정을 거친다. LNG 차량의 충전은 LNG 저장탱크에 저장된 LNG를 LNG 저압펌프를 통해 디스펜서(충전기)로 공급하여 LNG 차량에 충전한다.

본 연구에서는 국내 도시가스충전사업에 대한 기준과 LCNG 자동차 충전소 현황 및 처리설비별 특징을 분석하여 액화도시가스 자동차 충전사업의 기준 개정에 관련한 기초자료로 활용하고자 한다.

국내 이동식 LNG 충전소 모니터링 데이터 분석을 통한 충전소 안전성 검토 A Review for Refueling Station Safety through Monitoring Data Analysis of Domestic Mobile LNG Refueling Stations

봉선중 · 최영주* · 유철희**

한국가스안전공사 가스안전연구원

최근 국내 ‘2050 탄소중립’을 공식 선언에 따른 온실가스 배출을 최대한 줄이고, 남은 대기 중 온실 가스는 흡수 및 상쇄시켜 순 배출량을 0으로 만드는 것을 목표로 각 분야에서 온실가스 배출을 줄이기 위한 노력이 이루어지고 있다. PEMS(Portable Emissions Measurement System)에 따르면 액화도시가스(LNG, Liquefied Natural Gas) 화물차는 기존 경유 화물차 대비 온실가스인 CO₂를 19% 까지 저감할 수 있으며, 대기오염물질인 미세먼지(PM, Particulate Matter) 100%, NO_x 96% 까지 저감할 수 있다. 이러한 LNG 연료의 친환경적인 장점을 통해 국내에서는 화물차의 연료를 기존 경유에서 LNG로 전환하는 것이 주목받고 있는 한편 LNG 충전 확산 단계의 초기인 만큼 충전 인프라가 부족한 실정이다.

이에 따라 초기 인프라 보급·확산 단계에서 ‘이동식 LNG 충전소’를 통한 방식이 검토되고 있다. 이동식 LNG 충전소는 이동이 가능한 LNG 탱크로리를 통해 디스펜서와 연결 후 차량에 LNG를 충전할 수 있다. 이러한 이동식 충전의 장점은 민간 사업자가 경제성을 내기 어려운 장소에 고정식 충전소 대비 40% 정도 비용을 절감할 수 있으며, 조기에 구축할 수 있다는 장점으로 초기 미비한 충전 인프라 문제에 효과적으로 대응할 수 있다.

현재 전라북도 군산시 내 특구를 지정하여 이동식 LNG 충전소를 실증하고 있으며, 실증 충전소 데이터 분석을 통한 충전소의 안전성을 검토할 필요가 있다. 본 연구에서는 이동식 LNG 충전소의 저장탱크에 잔량 측정 센서, 디스펜서 및 펌프의 온도 및 압력 센서 및 드레인밸브 개폐 여부 센서 등을 부착하였으며, 실시간으로 저장된 충전소 데이터를 취합 및 분석하여 국내 이동식 LNG 충전소에 대한 안전성을 검토하였다.

Acknowledgements

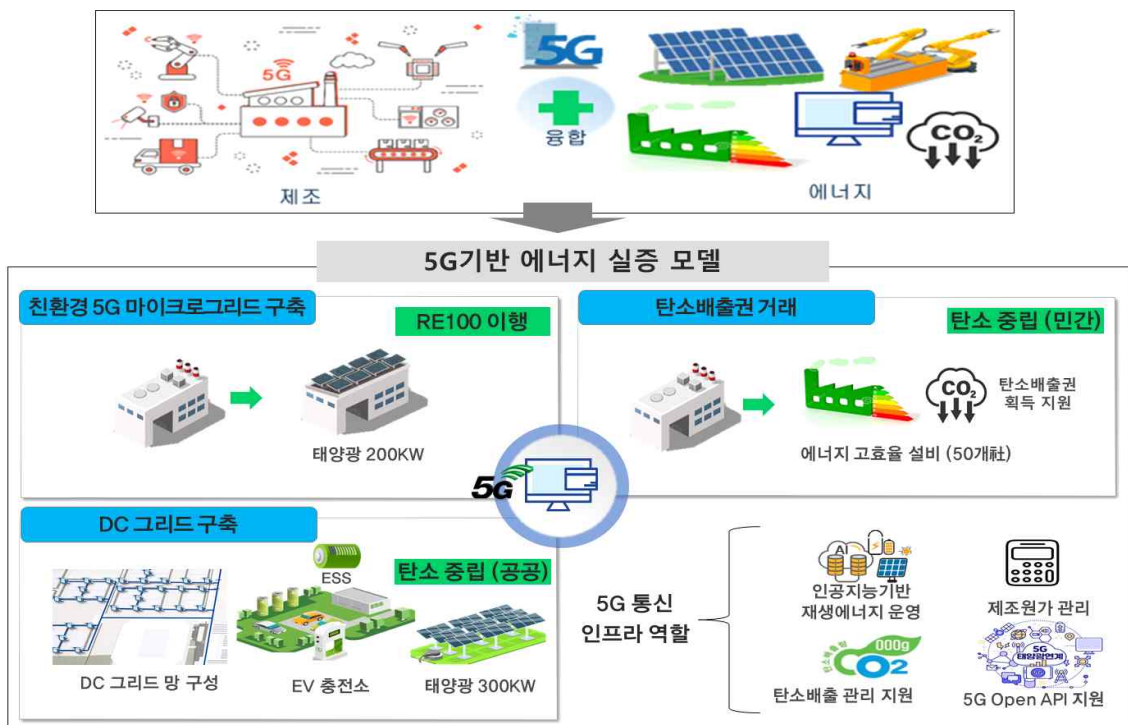
본 연구 내용은 중소벤처기업부 규제자유특구혁신사업의 일환으로 수행 중인 “전북 친환경 자동차 규제자유특구 이동식 LNG 충전소 실증(과제번호 P0012425)”의 지원으로 진행됨.

5G기반 산업단지 친환경 에너지 시스템 구축 및 서비스 실증에 대한 연구 A Study of 5G Based on Green Energy Establishment and Empirical for Industrial Complex

윤만석 · 추인오 · 이창교 · 고완진

구미전자정보기술원, 미래이동통신연구센터

에너지 산업은 산업부문의 에너지 효율화 달성을 위한 첨단기술로 고도화 추세이며, 우리나라는 국내 공급되는 에너지원의 93.4%가 해외 수입에 의존하고 있으며, 산업부문이 61%로 가장 높은 소비 비중을 차지하고 있다. 따라서 에너지 다소비 제조공장이 밀집한 산업단지 중심으로 ICT 신기술을 활용한 고효율·저탄소 에너지효율을 위한 연구개발이 활발히 진행중에 있다. 특히, 5G 이동통신 기술은 자율공정, 협동로봇 기술 구현은 물론 생산 설비의 에너지 효율화와 온실가스 감축에 인공지능, 빅데이터, 딥러닝 등과 접목한 응용 서비스 모델 발굴이 용이다. 또한, 제조라인별 에너지 사용 현황을 모니터링을 실시할 경우 제품의 원자재, 에너지 소비량에 따른 생산단가를 추정과 온실가스 배출량을 파악할 수 있음에 따라 다양한 에너지 서비스 응용 모델 적용이 가능한 장점도 있다. 본 논문에서는 5G 통신 기술을 활용한 산업단지 친환경 에너지로의 기업의 적극적인 참여를 이끌어 낼 수 있는 에너지 시스템(태양광, ESS, 전기차 충전소, 에너지 플랫폼 등) 구축 방안과 에너지 서비스 실증 모델을 제시한다.



이원냉동기 효율향상을 위한 인버터 성능개선

Inverter performance improvement to improve the efficiency of two stage cascade refrigerating machine

김원섭

전남도립대학교 신재생에너지전기과

Abstract : We conducted new research and development to improve the performance of the two stage cascade refrigerating machine. New technologies have been developed for efficient use of energy. Environmental pollution prevention technology using electric energy was used. Energy saving and machine performance improvement system was utilized.

1. 서론 및 본론

냉동기에서 에너지 효율증대를 위하여 다양한 방법으로 연구하여 냉동기의 회전각도를 조절하고 전동기의 회전력에 따른 냉동형태의 효율적인 이용 방법을 연구하였다. 이를 활용하기 위하여 냉동기 흡입구의 개발에 따른 냉동기의 효율 향상을 기대할 수 있게 하였으며 이를 통하여 흡입구와 분사구의 유기적인 관계에 의한 냉동기 효율 증대를 이루었다. 한편 이원 냉동기의 개발에 따른 냉동기의 성능개선과 에너지 저감등 여러 가지 효과를 얻을 수 있었다. 전반적인 운영방법에서 흡입구 유기적인 관계에 의한 냉동기 효율 증대를 가져왔고 전력기기의 회전력에 따른 급냉 형태의 효율적인 이용 방법을 만들었다. 또한 전동기의 효율향상에 따른 기술개발을 위한 연계사항등에 관한 분야를 연구하였으며 이를 토대로 기술 개발 분야를 선정하기 위하여 여러 가지 관련된 시스템개발을 하였다. 이원 냉동기의 냉동 효과와 이를 성능 향상 시스템 개발 기술력 확보하였고 에너지 절약과 장치의 효율적인 활용으로 인한 기술력 증대를 가져와 냉동기 기술의 새로운 분야에 연구 개발을 하였다.

2. 결론

연구 결과 냉동기에서 기술 개발을 함으로서 상품의 생산시 제품의 매출 증대와 경제적 효과 기대 및 생산성 향상 및 기술개발을 통한 기술력 확보로 산업체 역량강화 증대 기술력 향상이 기대되며 제품 수준의 향상과 산업체 매출 상승에 많은 기대가 되고 개선된 산업체의 기술력의 축적과 사회발전에 대한 효과가 기대된다.

본 과제는 2020년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 연구결과입니다.

참고문헌 : w.s.Kim, "Research on Energy Efficiency improvement by reforming the performance of refrigerator inverters" Journal of Jeonnam State Univ. vol.22. p.133

청소기용 압축기의 공력성능 분석을 위한 수치해석
Numerical Analysis for Aerodynamic Performance Analysis of
Compressors of Vacuum Cleaners

마상범¹ · 김 성¹ · 우현명² · 이영현² · 오장근² · 김진혁^{*1,3}

¹한국생산기술연구원 탄소중립산업기술연구부문, ²대영알앤디 주식회사,

³과학기술연합대학원대학교 생산기술 전공

본 연구는 가정용으로 사용되는 무선 청소기의 주요 구성품 중 하나인 압축기를 대상으로 공력학적 성능을 분석하기 위해 3차원 Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) 해석을 수행하였다. 이를 위하여 상용코드인 ANSYS CFX 19.0을 사용하였으며, 계산영역은 구동 모터 유무에 따른 유동손실 분석을 위해 압축기 단품과 구동 모터를 결합한 압축기를 대상으로 하였다. 압축기 단품의 경우 수치해석의 경제성과 수렴성을 위하여 임펠러 블레이드, 디퓨저 베인 및 디스윌러(Deswirlor)를 대상으로 단일 유로로 구성하였고, 구동 모터를 결합한 압축기의 경우 전기용품안전기준 KC 60312 규격에 따른 흡입력 시험 장치를 모사하여 계산영역을 구성하였다. RANS 해석의 난류단점 문제를 위해 Shear Stress Transport (SST) 난류 모델을 사용하였으며, 압축성 유동의 해석을 위하여 작동 유체는 표준 상태의 이상기체로 설정하였다.

수치해석을 통한 압축기의 흡입력은 실험결과와 매우 잘 일치하는 것을 확인하였으며, 압축기의 각 구성요소에 대한 유동손실분석을 수행하였다. 유동손실의 비중은 구동 모터, 디스윌러, 임펠러 블레이드 및 디퓨저 베인 순으로 확인되었으며, 구동 모터의 비대칭 구조에 의한 유로 차폐(Blockage) 현상이 관찰되었다.

본 연구는 기획재정부의 재원으로 한국생산기술연구원의 청정생산시스템기술제조혁신연구개발 사업(No. EO20005)의 일환으로 수행되었음을 밝히며, 이에 감사드립니다.

반도체 칩 테스트용 챔버의 유동특성에 관한 수치적 연구
A Numerical Study on the Flow Characteristic for Chamber of
Semi-Conductor Chip Test

김 성¹ · 이대규¹ · 마상범¹ · 김정열¹ · 김진혁^{*1,2}

¹한국생산기술연구원 탄소중립산업기술연구부문, ²과학기술연합대학원대학교 생산기술 전공

본 연구는 반도체 제조 공정 중에서 반도체 테스트를 위한 챔버 내부의 유동특성을 분석하기 위해 전산유체역학을 이용하였다. 반도체 테스트 공정은 시간 및 비용 절감을 위해 대량의 반도체 칩을 검사를 요구되고 있다. 따라서 반도체 칩 테스트용 챔버 내부의 온도 균일성을 유지 시켜주는 것이 매우 중요하며, 효과적으로 내부의 온도를 균일하게 유지하는 테스트 공정 기술이 요구된다. 반도체 칩 테스트용 챔버 내부의 유속 표준편차 및 유동 특성 분석을 위해 상용 유동해석 프로그램인 ANSYS CFX 19.1 을 이용하였다. 챔버 내부 유동영역은 삼차원 비압축성 정상상태 Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) 방정식을 사용하여 유동해석을 수행하였다. 이때, 반도체 챔버의 주요 구성품은 형상이 매우 복잡하므로 각 구성품의 형상을 단순화하여 다공성 매질로 가정하여 수치해석을 수행하였다. 수치해석을 이용하여 반도체 칩 테스트용의 챔버 내부 유동특성을 분석이 가능하였으며, 반도체 칩 테스트용 챔버의 주요 구성품 형상에 따른 온도 분포 및 유동흐름의 균일성 특성을 확인하였다.

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 기계산업핵심기술개발사업(No. 20009952)의 일환으로 수행되었음을 밝히며 이에 감사드립니다.

스마트 에너지 플랫폼을 활용한 제조기업의 맞춤형 에너지 효율화 방안 연구

A research on customized energy efficiency measures for manufacturers
using Smart Energy Platform

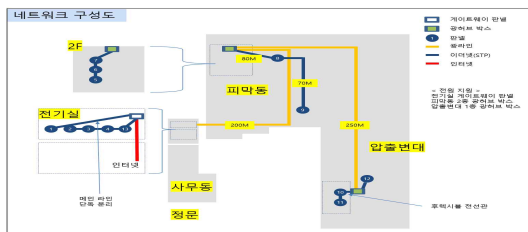
이재민 · 윤만석 · 이창교 · 고완진

구미전자정보기술원, 미래이동통신연구센터

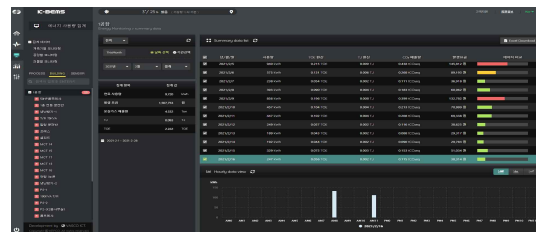
최근 에너지의 생산 및 전달·소비되는 과정에서 첨단 ICT 기술이 융합되는 스마트 에너지 산업이 주목받고 있다. 대부분의 에너지를 해외에서 수입해서 사용하는 우리나라는 효율적인 에너지 관리가 필수적인 상황이다. 대부분의 제조기업들은 에너지가 기업 경영지표에 중대한 영향을 미치는 것과 중요성을 인지하고 있다. 하지만, 에너지 소비량과 주요 손실요인에 대해 확인할 틀 및 방안이 없음에 따른 애로사항이 있었다.

이러한 기업의 애로사항을 해소하고자 스마트에너지 플랫폼을 구축하여 제조기업에는 계측기를 설치하여 개별기업의 에너지 사용현황을 지원한다. 구미전자정보기술원에 구축한 플랫폼은 제조기업의 생산 설비와 주요 유틸리티 설비의 진단을 통해 관제 리스트를 선별하고, 설비와 계측 기간 통신 프로토콜을 EMS 엔진과 연동하여 데이터 수집을 수행한다. 데이터 관리 항목은 전력량, 전력, 전압, 전류, 온·습도 및 가스로 분류하여 관리한다. 수집된 데이터들을 통해 에너지 소비량을 파악하고 분석하여 효율적인 에너지 관리를 지원하고 있다.

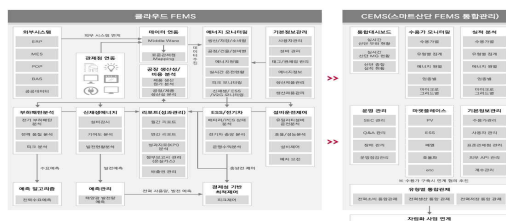
현재 구미전자정보기술원에서 스마트에너지 플랫폼을 구축하여, 30개의 제조기업의 에너지 효율화를 지원하고 있으며, 개별 데이터 정합성을 검수하고 월간, 연간 사용량에 기반한 기업의 에너지 데이터를 활용하여 기업의 에너지 유실요인을 줄이고 에너지 절감을 지원한다. 본 논문은 스마트에너지 플랫폼과 계측기 인프라 구성과 개별 기업의 에너지 효율화를 위한 주요지표 그리고 스마트에너지 플랫폼의 운영 성과에 대해 도출한다.



수용가 네트워크 인프라 구축 구성도



데이터 실시간 모니터링



스마트 에너지 플랫폼 기능 구성도

구미 산단 수용가 에너지 사용량 데이터

Co, CeO₂로 구성된 나노입자 촉매 합성과 일산화탄소 및 프로필렌 동시 산화에의 적용

박하늬¹ · 이은준¹ · 이관영^{1,2*}

¹서울시 성북구 안암로 145, 고려대학교 화공생명공학과,

²초저에너지 자동차 초저배출 사업단 (SULEEV), 고려대학교 화공생명공학과

환경오염 및 인체에 해로운 영향을 미치는 자동차 배기가스 물질들은 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 입자상 물질(PM), 질소산화물(NO_x) 등이 있다. Euro 7, LEV_{III} 등, 세계적으로 환경오염 규제가 심화됨에 따라, 이러한 배출물질들을 저온에서도 산화시킬 수 있는 촉매의 개발이 대두되고 있다. 뿐만 아니라, 자동차가 주행할 때 엔진 내부의 온도가 최대 1000 °C까지 육박하기 때문에, 고온내구성이 우수한 촉매의 개발도 필요하다.

본 연구에서는 위의 자동차 배출가스들 중 일산화탄소와 프로필렌의 저온 연소 및 촉매의 고온 내구성 확보를 목표로 하였다. 귀금속 촉매보다 경제적으로 우수하고, 일산화탄소 및 탄화수소 산화에 유리하다고 알려진 Co를 사용하였고, 산소공급에 유리하다고 알려진 CeO₂를 도입하였다. 또한 촉매의 고온 내구성을 확보하기 위해 Co 나노입자를 cubic 모양으로 합성하여 코어로 사용하였고, CeO₂를 셸로, 코어-셸 구조를 도입하였다. 최종적으로 상기 코어-셸 촉매의 최적 활성을 모색하기 위해 CeO₂의 두께를 달리하며 제조하여 산화반응 실험을 수행하였고, TEM, XRD 등의 특성화 분석을 추가적으로 수행하였다.

신재생에너지 민간 주도형 보급사업 및 분산 에너지시스템 연구 Research on renewable energy private-led supply projects and distributed energy systems

임의수·안정훈·이주영

(재)대구기계부품연구원 에너지산업지원센터

기후변화와 에너지자원 전환 정책 대응을 위한 신기술개발과 친환경에너지 대체 및 분권형 에너지시스템이 확대되고 있다. 파리 신후기후체제 협약이 발효됨에 따라 참여당사자국의 의무적 준수가 요구되고 있으며 우리나라의 목표는 2030년 온실가스 BAU 대비 37% 감축이다. 따라서 국내 에너지정책의 전략은 에너지 전환 로드맵('17), 13차 천연가스수급계획('18), 수소경제 활성화 로드맵('19), 제3차 에너지기본계획('19), 제5차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획('20) 기반으로 안정적 에너지공급과 산업경쟁력 강화에 중점을 두고 있다.

‘솔라시티 대구’를 지정하고 ‘대구 비전 2030’ 추진과 에너지자족도시를 달성하고자 ‘국가 산업단지 블록형 마이크로그리드’ 구축과 함께 ‘신재생에너지 융복합 보급사업’을 실행하고 있다. 해당 사업의 목표는 태양광 설비, 지열 시스템, 연료전지 시스템 등 다각화된 신재생에너지 보급중심으로 자족도시를 실현하는 것이다.

본 과제에서 대구형 신재생에너지 민간 주도형 보급사업과 분산 에너지시스템을 최적화하기 위하여 지역산업 구조를 조사하고 수요중심의 에너지 특화산업을 도출하였다. 더 나아가 대구형 이차전지 및 에너지저장장치(ESS)산업 기반 분산 에너지시스템을 연구하였다.



< 에너지 패러다임 변화와 분산전원형 신재생에너지 자족도시 개요>

본 논문(2021년도 대구광역시 융복합지원사업)은 대구시의 지원에 의하여 수행되었으며, 지원해 주신 모든 분들에게 감사의 뜻을 전합니다.

Zn가 도입된 MFI 제올라이트의 에탄 탈수소방향족화 활성화에 Zn/(Zn+Al) 비율이 미치는 영향

Effect of Zn/(Zn+Al) ratio on the ethane dehydroaromatization
performance over Zn incorporated MFI zeolite

박예림 · 이병진 · 이관영

고려대학교 화공생명공학과

천연가스로부터 BTX를 생산하는 공정은 원유 의존성 탈피와 가격적인 측면에서 주목받고 있다. 특히, 천연가스 구성 성분 중에서 두 번째로 많은 양을 차지하는 에탄은 메탄에 비해 활성화하기 쉬워 이용 가능성이 크다.

본 연구에서는 다양한 Zn/(Zn+Al) 비율로 Zn를 동형치환시킨 MFI 제올라이트를 합성하여 에탄 탈수소방향족화 활성을 비교하였다. XRD 분석을 통해 모든 Zn/HZSM-5에서 Zn 종이 제올라이트의 골격에 도입되었음을 관찰하였다. 도입된 Zn 종은 에탄 탈수소방향족화의 활성화 종으로 작용하여 반응 성능을 크게 향상시켰다. Zn의 양이 증가함에 따라 에탄 전환율은 증가하는 반면, BTX 수율은 Zn/(Zn+Al) 비가 0.3일 때 최대인 볼케이노 곡선을 그리는 것으로 나타났다. 이는 반응이 2단계 메커니즘으로 일어나 Zn/(Zn+Al) 비가 증가하면, 에탄을 활성화하는 Zn의 양은 증가하지만 반응 중간체를 방향족화하는 Bronsted acid site의 양이 감소하기 때문으로 추측된다.

신재생에너지 보급 활성화를 위한 에너지자립마을 조성 연구

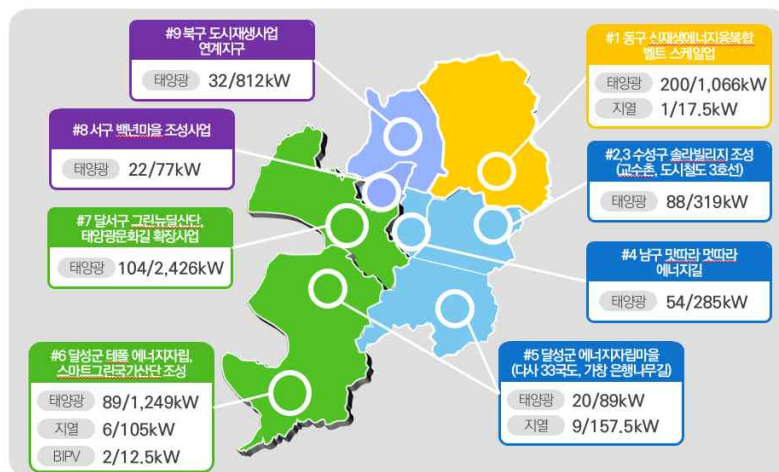
A study on the creation of energy independent villages to promote the supply of renewable energy

이주영·안정훈·임의수

(재)대구기계부품연구원 에너지산업지원센터

최근 기후변화로 인해 지구적 재해 증가와 온실가스에 대한 문제가 대두됨에 따라 신재생에너지에 대한 필요성이 증가하고 있다. 2015년 기후변화협약 파리총회(COP21) 결과 신기후체제 도입이 공식화되고, 우리나라 또한 2030년까지 BAU 대비 37%의 온실 가스 저감계획을 수립하였다. 이에, 국가적으로 온실가스 감축목표를 달성하기 위해 공공, 주택, 상업 부분의 에너지 효율화에 대한 필요성이 대두됨과 더불어 경제적 자치의 기반이 되는 에너지 분야의 분권화를 통해 지방정부의 권한을 강화하고자 하였다. 신재생에너지원의 대부분이 분산형 에너지원으로서 지자체 내에 직접 입지하게 됨에 따라 에너지 분권, 에너지 자립화에 매우 적합한 생산 형태를 갖고 있어 신재생에너지 보급이 핵심 요소로 떠오르고 있다. 현재 안산시에서는 조력발전, 햇빛발전조합 등 신재생에너지의 발전을 진행하였으며 전국 기초지자체 중 최초로 지역에너지 계획을 수립하고 ‘대부도 탄소제로시티’ 및 대부도 분산형 그리드 사업을 진행하고 있다. 다른 지자체들도 에너지 분권화를 위한 에너지 자족도시를 달성하고자 계획수립과 더불어 보급사업을 진행하고 있으며 특정지역의 구역복합에 대한 계획수립이 필요로 되고 있다.

현재 대구시에서는 융복합지원사업 및 다양한 사업들을 통해 에너지 자립화를 위한 신재생에너지 보급이 진행되고 있다. 본 과제에서 진행된 신재생에너지 자원과 더불어 구역형 에너지자립화를 위해 마을 및 구역단위로 에너지자립마을을 조성하는 계획을 수립하였다. 대표적으로 기존에 진행되었던 신재생에너지융복합 벨트, 테크노폴리스 에너지자립도시, 달서문화길 태양광 빌리지 확장과 수성구, 남구, 서구, 북구에 새로운 에너지자립마을 조성을 위한 계획 수립을 위한 연구를 진행하였다.



본 논문(2021년도 대구광역시 융복합지원사업)은 대구시의 지원에 의하여 수행되었으며, 지원해 주신 모든 분들에게 감사의 뜻을 전합니다.

환경온도에 따른 리튬이온전지의 급속충전 거동 예측 모델링

이동철, 김병목, 신치범†

아주대학교 에너지시스템학과

우수한 에너지밀도, 고용량, 안전성 및 장주기 수명으로 리튬이온전지는 전기자동차의 핵심 동력원으로 선호된다. 리튬이온전지의 성능과 수명은 환경온도에 크게 영향을 받는다. 저온에서 리튬이온전지는 전하 이동과 이온 확산속도가 현저히 감소하여 내부 저항 증가로 인해 성능이 저하되며, 음극 표면에서 발생하는 리튬 플레이팅은 전지의 수명과 안전성에 치명적이다. 고온 작동 조건에서 발생하는 전해질 분해, 전극 구조 붕괴는 전지의 급격한 수명 감소를 야기한다. 따라서 환경온도에 따른 최적의 급속충전 프로토콜을 찾고 전기자동차의 전지 시스템을 운용하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 환경온도에 따라 리튬 플레이팅이 일어나지 않는 조건을 찾아 급속충전 프로토콜을 개발하였다. 환경온도 별 급속충전 프로토콜이 리튬이온전지의 전기적 거동과 열적 거동에 미치는 영향을 모델링하였다. 지배방정식으로 전극에서의 분극 특성에 기초한 옴의 법칙과 전하 보존의 법칙을 사용하였다. 전산 모사 결과에 근거한 전극의 전위와 전류 밀도를 통하여 열 발생량을 계산하여 온도를 예측하였다. 모델링 결과의 타당성은 실험 결과와의 비교를 통해 검증하였다.

비가역적 리튬 손실과 리튬 석출에 따른 리튬이온전지의 방전 거동 예측 모델 개발

김병목, 이동철, 신치범[†], 장일찬¹, 송진주¹, 우중제¹

아주대학교 에너지시스템학과; ¹광주바이오에너지연구개발센터 한국에너지기술연구원

리튬이온전지는 소형 어플리케이션인 스마트폰부터 전기자동차(EV), 에너지저장장치(ESS)같은 중대형 어플리케이션에 이르기까지 다양한 용도로 활용되고 있다. 그러나 긴 수명을 요구하는 리튬이온전지에 있어 노화현상은 가장 중요한 문제로 부각되고 있으며 리튬이온전지의 정확한 상태 진단과 유효 수명(service life)을 예측하기 위해 노화현상에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 노화현상은 운영 및 환경조건에 영향을 받으며 비가역적 리튬 손실에 의한 용량 감소, 덴드라이트 형성에 따른 전지의 안정성 문제도 뒤따른다. 따라서 리튬이온전지의 효율적이고 안전한 사용을 위해 전반적인 성능 저하를 유발하는 열화 요인들을 고려하여 용량 감소 및 출력 성능 저하를 예측하는 모델 개발이 필요하다.

본 연구에서는 비가역적인 리튬 손실과 리튬 석출이 리튬이온전지에 미치는 영향과 그에 따른 성능을 예측할 수 있는 수학적 모델을 개발했다. 실험을 위해 NCM 양극, 천연흑연 음극 및 고분자 유기 전해액으로 구성된 코인 셀을 사용했다. 전극에서의 분극 특성에 기초하여 옴의 법칙과 전하 보존법칙을 지배방정식으로 하여 비가역적 리튬 손실과 리튬 석출에 따른 리튬이온전지의 방전 거동을 계산했다. 모델을 이용하여 얻은 계산 결과는 실제 시험과 유사한 결과를 나타냈고 이를 통해 모델의 유효성을 검증하였다.

작동 조건에 따른 리튬이온전지 모듈의 3차원 열적 거동 모델링

강서희, 이동철, 신치범*

아주대학교 에너지시스템학과

신재생에너지 발전에서 에너지원의 간헐성을 보완하고 안정적으로 에너지를 저장 및 운반하기 위해 적절한 에너지저장시스템을 선택하는 것은 중요하다. 리튬이온전지는 긴 충·방전 사이클로 수요에 따라 에너지 저장 시간을 조정할 수 있고 높은 에너지효율을 가지기 때문에 에너지저장시스템에 많이 사용되고 있다. 많은 장점에도 불구하고 리튬이온전지는 정상 작동범위를 벗어날 경우 지속적인 열화로 용량, 출력에 손실이 발생하거나 최악의 경우 폭발이 일어날 수도 있다. 따라서 실제 에너지저장장치 작동 조건에서 리튬이온전지 모듈의 열적 거동을 해석해 에너지저장장치의 화재사고를 예방하고 안전성을 확보해야 한다.

본 연구에서는 작동 조건에 따른 리튬이온전지 모듈의 열적 거동을 예측하기 위해 3차원 모델링을 수행하였다. 리튬이온전지 셀의 전위 및 전류 밀도 분포 모델링 결과를 이용하여 2개의 병렬, 14개의 직렬로 연결되어 총 28개의 셀(2P 14S)로 구성된 리튬이온전지 모듈의 열적 거동을 해석하였다. 모듈 내 특정 위치에서 환경온도와 시간에 따른 배터리의 온도 분포를 계산하였다. 리튬이온전지 모듈의 해석 결과는 실험 결과와 비교했을 때 잘 일치하였다.

포타슘 이온 하이브리드 커패시터의 높은 성능, 용량을 위한 음극재 물질인
전기방사된 니켈 셀레나이드를 포함한 탄소 나노 파이버

Electrospun carbon nanofibers containing NiSe₂ anode for high
performance and capacity in potassium-ion hybrid capacitors

이유현 · 손동규 · 이기백

영남대학교 화학공학과

Hybrid capacitors are considered as one of the best energy storage devices owing to their amazing operating lifespans, high charge-discharge rates, notable power density, cost-effectiveness, and feasible fabrication. Specially, potassium-ion hybrid capacitors (PIHCs) are considered as promising alternatives to lithium-ion/sodium-ion hybrid capacitors (LIHCs/SIHCs). Potassium has a wide potential window of -2.93 V similar to that of standard reduction potential of lithium (-3.05 V vs. SHE). However, the size of potassium ion (1.38 Å) is larger than that of lithium ion (0.76 Å), leading to the sluggish diffusion rate. This problem causes low capacity and poor cycling performance.

In this study, PIHCs that offers complementary superiorities to that of PIBs were developed. At the first, a low-cost preparation of electrospun carbon nanofibers containing nickel(Ni-CNF) were synthesized and followed by the selenization process (NiSe₂-CNF) to increase conductivity and increase capacity, leading to the long cycle stability of PIHCs. The surface morphology of materials were studied using a field-emission scanning electron microscope (FE-SEM) and Transmission electron microscopy (TEM). The physical properties of samples were also investigated by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and X-ray diffraction (XRD) analysis. Their electrochemical characteristics were carried out to measure the long cycle life and capacity of PIHC by cyclic voltammetry (CV), and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) methods. Our work provides new insights and design strategies for developing high-performance potassium hybrid super capacitor for large scale applications.

고성능 리튬 이온 배터리를 위한 질소, 황을 도핑한 제올라이트성 리튬
티탄늄 산화물 음극재 연구

Study for nitrogen and sulfur co-doped zeolitic lithium titanate oxide
anode for high performance lithium-ion batteries

여서현 · 이유현 · 김홍중 · 백진혁 · 이기백

영남대학교 화학공학부

Rechargeable Lithium-ion battery (LIB) with high energy density, long cycling life, and full potential operating window has great demand in our life. Currently, LIBs with graphite anode cannot fully meet the requirements of energy storage applications due to poor stability at high current density and some serious safety concerns. To overcome the limitations of the graphite, many researches on a promising alternative lithium titanate oxide (LTO) material are being carried out, which offer superior cycling stability and high operating voltage (1.55V vs. Li/Li^+). However, LTO also has intrinsic disadvantages of reaction kinetics and low theoretical capacity (175 mAhg^{-1}) originated from its poor electrical conductivity and low diffusion coefficient. Therefore, most researches focus on porous materials and structural change to increase electrical conductivity and facile movement of lithium ions.

In this study, zeolitic LTO structures were synthesized by hydrothermal process using high concentration of lithium hydroxide solution. In addition, N and S co-doped zeolitic LTO was prepared through heat treatment with thiourea, leading to the improvement of electrical and ionic conductivity due to the ratio increase of Ti^{3+} . The crystallinity and chemical properties of zeolitic LTO structure were studied by X-ray diffraction (XRD), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), and Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR). The morphology was confirmed through field-emission scanning electron microscope (FE-SEM) and Transmission electron microscopy (TEM). The surface area and pore size were measured via Brunauer-Emmett-Teller (BET) nitrogen adsorption-desorption analysis. The electrochemical performance was investigated by cyclic voltammetry (CV) and galvanostatic charge/discharge cycling, and electrochemical impedance spectroscopy (EIS).

수계 알루미늄이온배터리를 위한 금속 바나데이트 양극의 전기화학적 연구 Electrochemical Study of Novel Nanostructured Metal Vanadate as a Cathode for Rechargeable Aqueous Aluminum-Ion Batteries

김난경 · 김지수 · 손동규 · 이유현 · 이기백*
영남대학교 화학공학과

Aluminum Ion Batteries (AIBs), regarded promising next-generation energy storage systems, exhibit low cost, fast charging capability, excellent cycle performance, and stability. Furthermore, aluminum is a abundant trivalent metal in reserves and has a theoretical volume capacity (8.04 Ah/cm^3) that is about four times that of lithium (2.06 Ah/cm^3). AIBs have been mainly studied as a non-aqueous system with an ionic liquid ($\text{AlCl}_3[\text{EMIM}]\text{Cl}$) electrolyte. However, high cost and corrosiveness are still major disadvantages of applications. To overcome it, safe and inexpensive alternative aqueous electrolytes are being studied. In aqueous AIBs, transition metal oxides, transition metals, and graphite materials are widely used as cathode materials, which can reversibly charge and discharge Al^{3+} ions. Among them, vanadium exhibits various cations phase ranging from divalent(V^{2+}) to pentavalent(V^{5+}) that can form various compounds, so vanadium-based cathode materials are being studied in various battery systems.

In this study, a vanadium-based material is used as a cathode to study aqueous AIB. Particularly, AlV_3O_9 (AVO) can exhibit reversible intercalation/de-intercalation of Al^{3+} ions and excellent structural stability. In addition, it is possible to improve the electronic conductivity under the influence of the inserted aluminum metal ions. $\text{H}_{11}\text{Al}_2\text{V}_6\text{O}_{23.2}$ (HAVO), in the form of water molecules inserted into AVO, has excellent stability and reversibility without structure deformation. The pillars in HAVO are the V-O layers which make fast diffusion of Al^{3+} ions and improve electronic conductivity. In addition, pre-inserted water molecules can provide electrostatic shielding to metal ions and improve ion diffusion ability. Therefore, three-dimension(3D) AVO and HAVO spheres were synthesized and electrochemically analyzed as cathode materials in aqueous AIB.

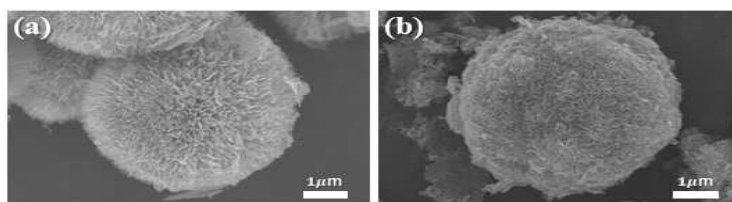


Figure 1. SEM images of (a) AVO and (b) HAVO hollow spheres.

고성능 알루미늄 이온 배터리용 니켈 코발트 황화물 양극재 개발
Nickel Cobalt Sulfide as Cathode Materials for High-Performance
Aluminum-Ion Batteries

김지수 · 김난경 · 손동규 · 이유현 · 이기백*

영남대학교 화학공학과

Rechargeable aluminum ion batteries(AIBs) have been considering as a new generation large-scale energy storage systems and promising post-lithium-ion batteries. It has a lot of advantages compared to lithium-ion batteries, such as the cost-effectiveness of Al metal anode, high energy density, quarter-million cycle life, and chemically stable metallic aluminum anode. Moreover, the AIBs have a high volumetric specific capacity (8.0 Ah/cm^3) compared to that of lithium (2.06 Ah/cm^3) due to the three-electron transfer redox properties. However, AIBs suffer from a lack of reliable cathode materials with desirable intercalation sites for high energy density. Also, the sluggish chloroaluminate anions (AlCl_4^- and Al_2Cl_7^-) diffusion kinetics due to the large size of ions cause the limitation for the practical application. Therefore, the study of the AIBs has recently developed for the conversion reaction of aluminum ions instead of its intercalation. Over the past few years, AIBs have been investigated theoretically and experimentally for finding appropriate conversion cathode materials like V_2O_5 , TiO_2 , NiS , and MoS_2 owing to their high capacitance, superior rate capability, and excellent cycling stability.

In this study, a binary metal sulfide (nickel cobalt sulfide) was investigated as a cathode material for AIBs. The flower-like NiCo_2S_4 was prepared by the facile hydrothermal method. Thereafter, it converted to highly conductive carbon composites, which can be used as promising cathodes for accelerating electrochemical reaction kinetics in AIBs. The structural morphology of NiCo_2S_4 composites was investigated by scanning electron microscopic (SEM) and X-ray diffraction (XRD) methods. The electrochemical properties of NiCo_2S_4 as efficient Al^{3+} ions storage cathodes in AIBs by studying the galvanostatic charge/discharge cycling and long-term cycling stability.

Urea 기반 이온성 액체 전해질에서의 Aluminum/Perylene polyimide/Graphene 배터리 연구

A Study of Aluminum/Perylene polyimide/Graphene Composite Batteries
with Urea-based Ionic Liquid Analogs

Michael Ruby Raj · 손동규 · 이윤희 · 이기백

영남대학교 화학공학과

Recently, rechargeable aluminum-ion batteries (AIBs) have attracted much attention for large-scale energy storage systems as well as promising alternatives for Lithium batteries owing to their high-volumetric-specific capacity and superior safety, low-cost and abundant Al source. However, the lack of cathode materials with the desirable capacity and Al^{3+} insertion/extraction kinetics has severely limited their potential applications. Due to the high abundance of carbon, hydrogen, and oxygen, and structural diversity and flexibility, small organic molecules/polyimides are good choices as the cathode materials for AIBs.

In this study, we report a perylene-based aromatic polyimide with highly conductive graphene (PI-AQ/G) as composite organic cathode material for favorable $[\text{AlCl}_2\text{L}_2]^+$ (where $\text{L} = \text{Urea}$ and $n\text{-Et-Urea}$) uptake kinetics in AIBs by using a low-cost $\text{AlCl}_3/\text{Urea}$ and $\text{AlCl}_3/n\text{-Ethyl-urea}$ ionic liquid electrolytes. AIBs with PI-AQ/G composite cathode exhibited an initial high specific capacity of 265 mAh g^{-1} in $\text{AlCl}_3/\text{Urea}$ IL and 256 mAh g^{-1} in $\text{AlCl}_3/n\text{-Et-Urea}$ IL at a current density of 100 mA g^{-1} with a promising long-term cyclic performance. Various ex-situ experimental studies have also been carried out to reveal and understand the binding site of the carbonyl group of the perylene-based aromatic carbonyl composite through a proposed mechanism. Our work would be provided new insights and guidance on the design of composite organic carbonyl materials for Al-storage performance enhancement.

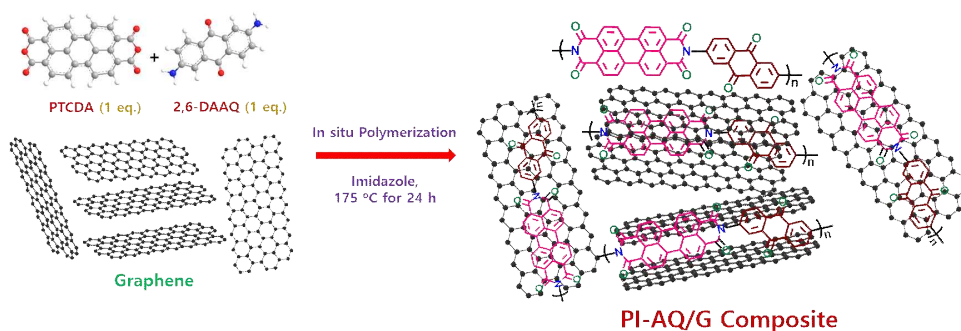


Figure 1. Schematic illustration for the synthetic method of perylene polyimide/graphene (PI-AQ/G) composite cathode for AIBs.

Research about natural gas dehydroaromatization of Ce-incorporated Mo/HZSM-5 catalyst and coke oxidation

김상윤 · 이관영*

*고려대학교 화공생명공학과

Mo/HZSM-5 catalyst, which is representative catalyst for MDA reaction, loses its catalytic activity because of coke accumulation. There are many research in progress to regenerate catalyst by coke oxidation of reduction. By introducing CeO_2 to Mo/HZSM-5, we intended to increase efficiency of coke removal with coke oxidation. CeO_2 catalyst is widely used oxidation catalyst due to its great redox ability generated from different oxidation number of Ce ion. In this research, Ce was introduced by different method, and effects of Ce introduction were studied.

Natural gas dehydroaromatization and regeneration experiments were operated with mixed gas copying composition of shale gas. Catalyst and coke properties were found by XRD, NH_3 -TPD, N_2 adsorption/desorption, and TGA. Effect of CeO_2 introduction to catalytic activity and coke removal were found in this research.

Desulfurization by using Copper Aerogel

윤정원* · Ramya Ramkumar · 김우경**

School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan-si, South Korea

*Presenting author, **Corresponding author: wkim@ynu.ac.kr

Abstract: Metal aerogels have unique properties such as high porosity, low density, large volume and high surface area. We have successfully synthesized copper aerogels using room temperature approach employing a strong reducing agent (NaBH_4) in an ethanol:water mixture. The copper aerogels formed a continuous network with highly porous structure as confirmed by SEM studies and exhibited sharp crystalline peaks as confirmed by XRD techniques. Further, the aerogels were characterized by using BET, TEM, FTIR techniques for understanding the chemical and physical properties in detail. Desulfurization is an essential step to produce hydrogen gas from petroleum coke, and it requires high porosity and high surface area for high efficiency. High porosity and high surface area of copper aerogels indicates high sulfur capacity in desulfurization test by using gas chromatography.

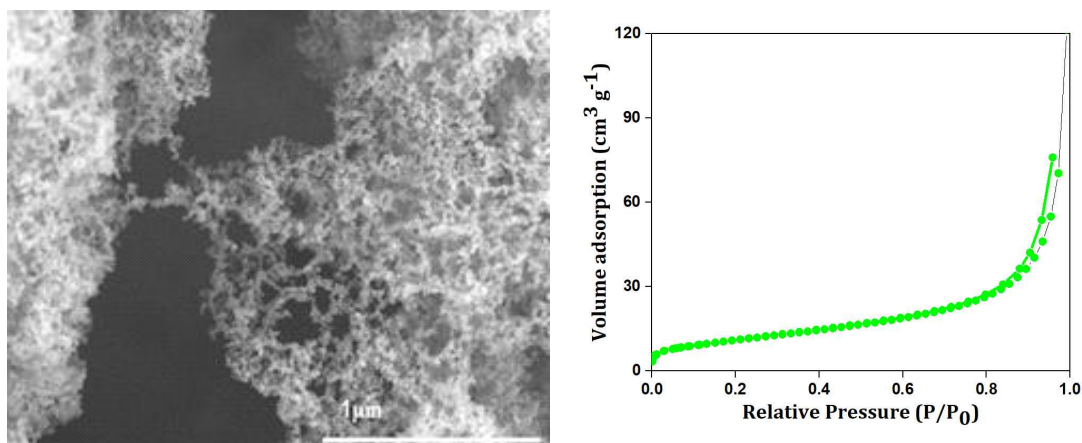


Figure 1: SEM image and BET surface area of copper aerogels

우수한 화학적 안정성을 갖는 음이온교환막의 개발을 위해 imide group이
가교제로 도입된 Q-PPO 제조 및 특성분석

Preparation and characterization of Q-PPO introduced imide group as a
crosslinking agent for the development of an anion exchange membrane
with enhanced chemical stability

주지영¹ · 유동진^{1,2*}

¹전북대학교, 자연과학대학 생명과학과,

²전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과(BK21 FOUR)

본 연구에서는 음이온교환막의 응용을 위해 주요 문제로 제시되고 있는 화학적 내구성의 저하를 해결하기 위하여 우수한 물리화학적 안정성을 갖는 가교결합 구조의 고분자 합성에 대한 연구를 진행하였다. 따라서, 신규 imide group을 가교제로 사용하여 향상된 이온전도도뿐만 아니라 훌륭한 물리화학적 내구성을 갖는 새로운 가교결합 된 음이온 교환막을 개발하였다. 먼저, 우수한 열적 안정성 및 기계적 특성을 갖는 poly(phenylene oxide)(PPO)를 지지체로 사용하였으며, Friedel-Craft acylation 반응을 통해 반응 전구체인 클로로메틸 작용기를 성공적으로 주사슬에 도입하였다. 클로로메틸화 정도는 38%로 조절하였으며, 이후 가교제로써 bifunctionalized imide (BFI) group을 사용하여 4차화 반응을 수행하였다. 4차화 및 가교제인 BFI는 dianhydride와 다양한 구조의 pyrrolidine을 사용하여 1:2 당량비로 합성하여 준비하였으며, 200도 이상에서 열처리를 통하여 고리화 반응을 진행하였다. 이렇게 준비한 BFI 작용기는 클로로메틸화된 PPO (CM-PPO)와 당량비 비율에 따라 고분자의 가교결합정도를 조절하였으며, ¹H NMR 및 FT-IR에 의해 구조분석을 진행하였다. 가교결합된 신규 고분자는 BFI 작용기에 몰비가 증가함에 따라 열적안정성이 증가하였으며, 고온에서 안정된 치수변화량을 보여주었다. 추가로, 가교결합 된 음이온교환막은 펜던트 구조로 4차화 그룹이 도입된 고분자와 비교하여 향상된 화학적 안정성을 보여줌으로써, 알칼라인 연료전지용 음이온교환막으로써 매우 유망하다는 것을 입증하였다.

기능화 된 g-C₃N₄ 도입을 통해 우수한 화학적 내구성 및 전기화학적 성능을 갖는 음이온 교환막의 개발

Development of an anion exchange membrane with improved chemical durability and electrochemical performance through the introduction of g-C₃N₄ derivatives

이규하¹ · 유동진^{1,2*}

¹전북대학교, 자연과학대학 생명과학과,

²전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과(BK21 FOUR)

본 연구에서는 우수한 전기화학적 성능 및 견고한 물리화학적 내구성을 갖는 음이온교환막의 개발을 위하여 기능화 된 g-C₃N₄(f doped porous g-C₃N₄, f-p-g-C₃N₄)가 비율에 따라 도입된 4차화 된 poly(phenylene oxide)(QPPO)기반 신규 유/무기 나노 복합막을 준비하였다. f-p-g-C₃N₄/QPPO 복합막의 무기물 함량에 따른 전기화학적 성능 및 알칼라인 안정성을 확인하기 위하여 f-p-g-C₃N₄의 함량비를 조절하여 음이온 교환막을 준비하였다. 먼저 주 사슬인 PPO에 4차화 작용기(triethylamine, TEA) 도입을 위하여 Friedel-Craft 반응을 진행하였고, 42%의 클로로메틸화 정도를 갖는 클로로메틸화 된 PPO(CM-PPO)에 TEA를 이용하여 4차화 작용기를 도입하였다. 준비된 Q-PPO는 ¹H NMR 및 FT-IR 분석을 통해 작용기 도입이 확인되었고, 합성된 f-p-g-C₃N₄ 무기 나노 물질은 XPS 및 FESEM에 의해 성공적으로 준비되었음을 확인하였다. 준비된 유무기 복합막은 무기물 함량이 증가함에 따라 우수한 전기화학적 성능 및 열적/물리적 안정성을 보여주었다. 하지만 과도한 무기나노필러의 도입은 음이온 교환막으로써 응용을 방해한다는 것을 확인할 수 있었으며, 결과적으로 f-p-g-C₃N₄/QPPO 복합막은 기존 연구된 음이온 교환막들의 비해 우수한 특성을 나타내었다. 따라서 본 연구를 통해 개발된 f-p-g-C₃N₄/QPPO 복합막은 알칼라인 연료전지용 음이온 교환막으로 매우 유망하다는 것이 입증되었다.

AEMFC 적용을 위한 수지화 정도에 따른 음이온교환막의 특성연구

A study on the characteristics of anion exchange membrane according to the degree of branching for AEMFC application

김현진¹ · 유동진^{1,2*}

¹전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과(BK21 FOUR),

²전북대학교, 자연과학대학 생명과학과

PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)는 낮은 온실가스 배출과 높은 에너지 효율로 인하여 유망한 에너지 자원으로서 각광받고 있으나 물관리, 귀금속 촉매 사용 등의 단점으로 비귀금속 촉매를 사용하는 AEMFC(Anion Exchange Membrane Fuel Cell)의 개발 필요성이 대두되고 있다. AEMFC의 필수적 성분으로서 AEM은 anode와 cathode를 나누면서 수산화이온을 전도시키는 역할을 하며 이는 연료전지 성능에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 현재 AEM은 PEM에서 이용되는 수소 이온보다 큰 크기의 수산화이온으로 인해 수송 속도가 느림에 따라 발생하는 낮은 이온 전도도 및 알칼라인 공격 메커니즘에 의한 양이온 그룹 분해로 나타나는 전기적/화학적 안정성의 불충분함을 극복하기 위해 광범위하게 연구되고 있다.

본 연구에서는 낮은 이온 전도성을 보완하기 위해 고분자 주사슬에 수지상 구조의 도입으로 free volume을 형성하여 고분자 얽힘을 줄이면서 이온 클러스터의 형성을 용이하게 하고자 하였으며, 수지화 정도에 따라 side chain 길이에 따른 특성을 비교 실험하여 수지상 구조에서 나타나는 특성을 보고자 하였다. 먼저 비스페놀A, 비스(4-하이드록시페닐)설폰, 테카플루오로비페닐, 4,4,4-트리하이드록시트리페닐메탄을 이용하여 친핵성치환반응을 통해 수지화 정도에 따른 수지화된 폴리(아릴렌 이써 설폰)(BPAES) 랜덤 공중합체를 합성하였다. 이후 준비된 수지화된 랜덤 공중합체는 3-클로로-1-프로판올, 6-클로로-1-헥사놀을 이용하여 윌리엄슨 에테르화 반응을 통해 side chain을 합성하였다. 최종적으로 side chain이 합성된 수지화된 폴리(아릴렌 이써 설폰)(BPAES)을 트리에틸아민으로 담지하여 4차화를 진행하였다. 수지화된 폴리(아릴렌 이써 설폰)(BPAES)는 H-NMR, 겔 투과 크로마토그래피(GPC) 측정을 통해 구조 분석을 진행하였고, 열적 특성을 평가하기 위해 열중량 분석기(TGA)를 측정하였다. 또한, 전기화학적 성능평가를 위해 이온 전도도를 측정하여 음이온 교환막으로서의 유망함을 입증하고자 한다.

고분자 전해질 막 연료전지 응용을 위한 우수한 전기화학적 특성을 갖는 rGO 및 TiO₂를 함유한 음이온 교환 복합막의 연구

A Study of Anion Exchange Composite Membrane Containing rGO and
TiO₂ with remarkable electrochemical properties for Polymer Electrolyte
Membrane Fuel Cell Application

김상희¹ · 김애란^{2,3} · 유동진^{1,3*}

¹전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과(BK21 FOUR),

²전북대학교, 생물환경화학과, 캔유텍 연구개발센터, ³전북대학교, 자연과학대학 생명과학과

음이온 교환막 연료전지(anion exchange membrane fuel cell, AEMFC)는 산소환원반응의 활성화 에너지가 낮아 높은 효율을 가지고, 비귀금속 촉매를 이용하며, 메탄올 및 에탄올 등의 연료를 유연하게 응용할 수 있어 미래에너지 장치로 전망되고 있다. AEMFC의 핵심 부품인 음이온 교환 막(anion exchange membrane, AEM)은 수소이온과 비교했을 때 본질적으로 느린 수산화이온의 이동성으로 인해 전기화학적 성능이 낮은 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 연구는 AEMFC 응용을 위한 향상된 전기화학적 특성을 갖는 AEM을 제작하기 위해 높은 흡습성을 가져 막에 이온 확산속도를 높이는 TiO₂와 이에 따라 야기되는 막의 팽창을 방지하며, 이온 전도도를 향상시킬 수 있는 rGO를 함유한 poly (arylene ether sulfon)(PAES) 고분자 전해질 막을 제작하였다. 먼저 4,4'-(hexafluoroisopropylidene) diphenol, 4,4'-bis[(4-chlorophenyl)sulfonyl]-1,1'-biphenyl 및 4,4'-(9-fluorenylidene) diphenol 모노머들과 K₂CO₃를 이용하여 질소 분위기 하에 중축합과정을 통해 PAES 랜덤공중합체를 합성하였다. 이 후, 음이온을 교환시킬 수 있는 암모늄 작용기를 도입하기 위해 chloromethyl methyl ether와 ZnCl₂를 이용하여 클로로메틸레이션 반응을 진행하였다. 제막을 위해 trichloroethylene(TCE)에 클로로메틸레이션된 PAES 고분자(CM-PAES)를 24시간동안 40℃에서 용해시켰으며, rGO와 TiO₂를 TCE에 12시간 동안 분산시킨 용액을 부어 12시간 이상 교반 후 패트리 디쉬에 부어 캐스팅하였다. 다음으로, 4차화 반응을 진행하기 위해 50℃ trimethylamine에 제작된 막을 담지하고 24시간 후에 1M KOH 용액에 48시간 동안 보관하였다. 그 후, DI water에 여러번 씻고 48시간동안 보관하여 남은 잔여물을 씻어 주었다. 제작된 유무기 복합막의 구조분석은 ¹H NMR, XRD 및 FT-IR을 통해 진행하였으며, ionic conductivity, water uptake, swelling ratio, ionic exchange capacity를 통해 전기화학적 특성을 확인하였다.

우수한 전기화학적 성능을 갖는 펜던트 단위체 유무에 따른
폴리(아릴렌 이써)기반 음이온 교환막의 연구

A study of poly(arylene ether)-based anion exchange membranes
according to the introduction of pendant units having excellent
electrochemical performance

이상혁¹ · 박민우¹ · 유동진^{1,2*}

¹전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과(BK21 FOUR)

²전북대학교, 자연과학대학 생명과학과

고분자 전해질형 연료전지(PEMFC)는 기계적 특성 및 치수 안정성과 같은 물리화학적 안정성에서 매우 우수한 특성을 보이며 높은 이온전도도로 인하여 매우 각광 받고 있으나 고가의 촉매 사용으로 인한 높은 제조비용 때문에 문제가 되고 있다. 이에 반해, 음이온 교환막 연료전지(AEMFC)는 비 백금 촉매의 사용과 빠른 산소 환원 속도를 가지기 때문에 PEMFC를 대체 할 수 있는 잠재력이 있다. 하지만 AEMFC의 중요한 요소 중 하나인 음이온 교환막은 낮은 이온전도도와 알칼리 안정성 문제가 AEMFC의 상용화를 지연시키고 있다. 본 연구에서는 음이온 교환막의 이온전도도와 알칼리 안정성을 향상시키기 위해 고분자 주사슬에 펜던트 단위체 유무에 따른 성능을 비교함으로써 주요 문제점을 해결 하고자 하였다. 먼저 hydroquinone, decafluorobiphenyl, bisphenol A를 이용하여 펜던트 단위체를 갖지 않는 poly(arylene ether) (PAE)를 준비했고, 2-phenylhydroquinone, decafluorobiphenyl, bisphenol A를 이용하여 펜던트 단위체를 갖는 pendant poly(arylene ether) (PPAE)를 준비했다. 이후 준비된 각각의 고분자에 chloromethylation을 진행하였고, 이후 4차화 반응을 통해 작용기를 도입하였다. 합성된 고분자들은 GPC, ¹H NMR, TGA를 통해 구조 분석을 진행하였고, 펜던트 유무에 따른 전기화학적 성능 및 물리적 특성은 세세하게 조사되었다.

산소처리에 의해 석유 부산물로부터 메조포러스 탄소 준비
Preparation of mesoporous carbon from petroleum residue by oxygen
treatment

이송미^{1,2} · 이선호^{1,3} · 박승주^{1,3} · 정두환^{1,2,*}

¹한국에너지기술연구원 연료전지연구실

²과학기술연합대학원대학교 신에너지 및 시스템 공학과

³연세대학교 화공생명공학과

활성탄은 비표면적이 높은 기능성 탄소재료로 수처리, 캐퍼시터 등 다양한 응용분야에서 많이 사용되고 있다. 활성탄은 일반적으로 수증기를 이용한 물리적 활성화 또는 KOH 등의 화학 약품을 사용하는 화학적 활성화 방법으로 제조된다. 국제순수응용화학연맹(International Union of Pure and Applied Chemistry)은 직경이 2nm 미만인 기공을 마이크로 기공, 2-50nm 사이의 기공을 메조 기공, 50nm 이상을 거대 기공으로 정의한다. 일반적으로 활성탄은 표면 기능성 물질로서 수백 내지 수천 m^2 의 높은 비표면적을 갖는 벌크 및 입상 탄소 구조를 나타낸다. 활성탄의 전구체로 야자각이 주된 원료이나, 공급 부족 및 비용상승 등의 문제로 새로운 전구체의 개발이 필요한 상황이다.

본 연구에서는 비표면적 및 메조기공 부피를 향상시키기 위해 석유 부산물을 이용하여 메조포러스 탄소를 제조하였다. 메조포러스 탄소를 제조하기 위하여 석유 부산물에 산화를 수행하였다. 산화에 의한 부산물의 산소 흡수는 메조포러스 탄소의 비표면적 형성과 기공 크기에 강한 영향을 미친다. 산화피치의 조건은 온도와 시간을 변수로 하여 최적의 산화 조건을 도출하였다. 산화 처리된 피치는 스팀활성화를 하여 고비표면적, 메조포러스한 카본을 제조하였다.

제조된 메조포러스 카본의 기공 특성은 BET, BJH, SEM으로 확인하였고 산화 효과는 EA, FT-IR로 분석하였다. 석유 부산물로부터 제조된 메조포러스 탄소의 비표면적 및 메조 기공 비율은 석유 기반 상업용 활성탄(A-BAC)보다 각각 163% 및 487% 높고 코코넛 기반 상업용 활성탄(YP-80F)보다 102% 및 491% 높았다. 석유 부산물의 산소처리는 메조 포러스한 탄소를 제조하는 효과적인 방법이다.

※ 이 연구는 2021년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(20006832, 코크스 기반 내화학·내열성강화 자기윤활성 기계구조용 탄소흑연질 소재 개발), 본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업(C1-2453)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

수전해법으로 생산된 수소의 LCOH 추정 Estimation of LCOH with Water Electrolysis

김태현 · 우종하 · 이다한 · 박종배
건국대학교

온실가스 배출로 인한 기후변화는 최근 범지구적 사회문제가 되고 있으며, 대한민국은 2050년까지 탄소중립(Net-Zero)을 달성할 것을 선언하였다. 그에 대한 방안으로 에너지 주공급원을 기존의 화석연료에서 신재생에너지로 전환하여 온실가스 배출량을 줄일 것을 발표하였다. 현재 수소 경제 활성화 로드맵에 따라 안정적인 수소 공급 확보를 위해 수전해 방식이 대두되고 있으며 재생에너지를 활용한 그린수소 생산 또한 고려되고 있다. P2G(Power to Gas) 기술을 활용한 그린수소는 재생에너지원에서 만들어진 전력으로 물을 전기분해하여 수소가스의 형태로 저장하는 것으로, 생산과정에서 탄소배출이 전혀 없다는 것이 특징이다. 그린수소생산은 재생에너지 확대에 의해 예상되는 전력계통 운영상 문제 해결 및 안정적인 수소 생산·공급시스템 조성에 중요한 역할을 할 것으로 기대되지만, 대한민국의 지리적 특성에서 기인한 재생에너지의 낮은 이용률 및 높은 전력생산단가를 고려한 그린수소의 경제성 평가에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 알칼리 전해조방식(ALK)과 고분자막 전해조방식(PEM)을 구분하여 균등화 수소원가(LCOH, Levelized Cost Of Hydrogen)를 산출하였다. LCOH는 수소 생산단가의 경제성분석 방법으로, 균등화발전원가(LCOE, Levelized Cost of Energy)의 계산법과 유사하게 총비용의 현재가치를 총수소생산량의 현재가치로 나누어 계산하였다. LCOH 산정식의 주요 변수는 이용률, 자본비, 운전유지비이다. 이용률은 수소 생산설비의 최대 생산량 대비 실제 생산량을 의미한다. 운전유지비는 전기요금, 상수도요금, 유지보수 등에 해당하는 비용이다. 자본비는 설비비용 및 부대비용을 포함한 비용을 뜻한다. 수전해기 효율 및 기타 스펙은 IRENA 2017에 발표한 자료를 기반으로 ALK는 77%, PEM은 68%로 선정하고, 수전받는 방법에 따라 시나리오를 두 가지로 나누어 구성하였다. 시나리오A는 원자력 발전소에서 직접 수전한다는 가정하에 땅 이용료를 고려하여 LCOH를 산출하는 것이고, 시나리오B는 P2G 전해조에서 재생에너지만을 수전받는 것으로 가정한다. 이때, 재생에너지원의 이용률은 제 9차 전력수급기본계획을 바탕으로 하였으며, 전력가격 데이터는 전력거래소 및 에너지경제연구원 자료를 토대로 한다. 이와 같이 분석한 결과, 시나리오A의 LCOH는 ALK와 PEM에서 각각 4,185원/kg, 5,045원/kg으로 추정된다. 시나리오B에서 태양광을 이용하였을 때의 LCOH는 각각 9,413원/kg, 12,260원/kg으로, 육상풍력을 이용하였을 때의 LCOH는 각각 9,255원/kg, 11,468원/kg으로 추정되었다. LCOE는 태양광이 더 저렴하지만 풍력발전기의 설비이용률이 더 높기 때문에 이러한 결과가 나온 것으로 분석된다.

<시나리오별 LCOH 및 총 수소 생산량>

	시나리오 A (원자력 정산단가+땅이용요금)		시나리오 B (태양광 LCOE 기준)		시나리오 B (육상풍력 LCOE 기준)	
	LCOH	수소 생산량	LCOH	수소 생산량	LCOH	수소 생산량
ALK	4,185원/kg	163,079 ton	9,413원/kg	32,208 ton	9,255원/kg	15,635 ton
PEM	5,045원/kg	134,070 ton	12,260원/kg	26,422 ton	11,468원/kg	11,367 ton

비백금계 촉매의 산소 환원 반응 향상을 위한 전이금속-탄소 나노 섬유
촉매 개발

Development of transition metal-carbon nanofiber catalysts for oxygen
reduction reaction

손동균 · 이유현 · 이기백

영남대학교 화학공학과

The increase in carbon dioxide emissions has been a direct cause of climate change in recent years. Hydrogen energy is one of the most promising alternative renewable energy sources that can replace fossil fuels. Fuel cells using hydrogen energy are classified into several types according to their use. Among them, PEMFC has the advantage of high efficiency and low operating temperature. The oxygen reduction reaction (ORR) is also a particularly important reaction in the energy conversion system of fuel cells. The catalyst for ORR generally uses a platinum catalyst supported on carbon, which has disadvantages of high price and low durability. Therefore, it is necessary to develop a catalyst to replace it. Today, many researchers are conducting studying to reduce the catalyst price dramatically by using platinum alloys or non-platinum-based transition metals.

In this study, a metal hybrid nitrogen-doped carbon nanofiber catalyst (M-N-C, M=Fe,Co) was synthesized through electrospinning. Electrospinning method used to make carbon nanofibers easily. The active sites on nanofiber-structured carbon for ORR can be increased by doping transition metals. Therefore, nitrogen(N) and sulfur(S) were codoped by using thiourea, leading to the improvement of electrical conductivity and the high performance. The developed M-N-C catalyst can show high performance not only in acid media but also in alkali media. Therefore it can be used as an PEMFC catalyst or water electrolysis catalyst. The as-prepared M-N-C catalyst was characterized by SEM, TEM, XRD, BET, and XPS analysis. The effect of M-N-C for ORR activity and on PEMFC performance have been systematically investigated. Their electrochemical studies were measured in oxygen-saturated perchloric acid solutions and potassium hydroxide solutions using a rotating disk electrode (RDE).

광 및 전기화학적 수전해를 위한 1D CuCo-LDH nanoneedles/2D g-C₃N₄ sheet composite 촉매 개발

A novel noble-metal-free 1D CuCo-LDH nanoneedles/2D g-C₃N₄ sheets heteronanostructure composite as an efficient bifunctional electrocatalyst for photo-electrocatalytic water Splitting

서린마리아니티아요한 · 손동규 · 이유현 · 이기백

영남대학교 화학공학과

The ongoing and ever-increasing energy demand with fast depletion of fossil fuels have created the search for alternative renewable energy resources, such as solar, wind, hydrogen, and biomass. Therefore, development of low-cost photo-electrocatalysts capable of water splitting using highly efficient noble metal-free electrocatalyst is an economical and green approach to generate hydrogen and oxygen. Recently, graphite-like carbon nitride (g-C₃N₄), a metal-free polymeric semiconductor with inherent chemical and thermal stability, and a moderate band gap of 2.7 eV, has generated a lot of interest in various fields like photocatalysts, energy storage materials in battery systems and photo/electrocatalyst for water splitting. Compared to transition metal oxide and sulfides, g-C₃N₄ is composed of strong covalent bonds between carbon and nitride atoms and demonstrates high stability in acidic and alkaline electrolytes, which is favorable for visible light harvesting solar systems.

Herein, a novel copper cobalt layer double hydroxide (CuCo-LDH) nanoneedles and graphitic carbon nitride (g-C₃N₄) sheets composite was prepared purposely to form a hierarchical cactus-like structure. The hybridization between CuCo-LDH and g-C₃N₄ is an efficient electronic coupling between both the hybridized components. Due to their highly conductivity, durability, and long-term stability, containing a carbon hybrid composite is a highly promising material for total water splitting. The field emission scanning energy microscopy (FE-SEM) image reveals that CuCo-LDH nanoneedles grown on surface of g-C₃N₄ sheets is well formed. The overall water splitting performance of the catalyst exhibits a very low cell voltage of 1.53 V to achieve a current density of 10 mA/cm² with a stability of 30 h with no loss of potential. This work provides a new insight into the design and synthesis of highly stable electrocatalyst for commercial water electrolysis in renewable electrochemical energy conversion.

콜 타르 피치로부터 공기 직접 주입을 통한
바인더리스 코크스 및 고밀도 탄소블록 제조

Binderless coke and high-density carbon block production
by air blowing method from coal tar pitch

Seungjoo Park^{a,b}, Seon Ho Lee^{a,c}, Song Mi Lee^{a,b}, Jin-Woo Park^{a,c}, Doo-Hwan Jung^{a,b,*}

¹Fuel Cell Laboratory, Korea Institute of Energy Research (KIER), Daejeon,
34129, Republic of Korea

²Advanced Energy and System Engineering, University of Science and
Technology (UST), Daejeon 34113, Republic of Korea

³Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University, Seoul
03722, Republic of Korea

High-density carbon blocks are much lighter than metals and have excellent mechanical, thermal, and electrical properties. In particular, it maintains excellent physical properties even in harsh environments such as ultra-high temperature, high pressure, and chemical composition. As a result, it is used in automobiles, aircraft, rockets, etc., improves fuel efficiency, and is also used in various heat-dissipating materials, heat insulating materials, electromagnetic wave shielding materials, etc. based on its excellent electrical and thermal characteristics.

In this study, a binderless coke, which is a primary material, was produced by heat-treating at 470°C while flowing a mixed gas of air and nitrogen from a coal tar pitch. Then, using this raw material, a high-density carbon block was produced by cold pressing at 50 to 250 MPa.

By introducing oxygen into the Binderless coke, the volatile matter content can be reduced by inducing the cross-linking reaction of the volatile matter to increase the molecular weight at medium or high molecular weight, and the occurrence of swelling after carbonization can be prevented. Can be made and the tissue can be made finer. And it was found that β -resin and O/C ratio are in a cross-section relationship with each other, which has a great influence on mechanical properties. The tendency of mechanical properties is displayed in the same way, and singular points appear especially when molding at a pressure exceeding 200 MPa. This illustrates the fact that the β -resin content has a greater effect than the O / C ratio when molding at high pressure. As a result, the density of CB-N7A3-250, which appeared with the best physical characteristics, was 1.79 g / cm³, the bending strength was 106 MPa, and the shore hardness was 99 HSD. This is because the β -resin content is the highest at 3.7 wt%, and the physical properties steadily increase even when molded at high pressure.

연료전지용 습식/건식 탄소/CNT/에폭시 바이폴라플레이트 제조
Manufacture of wet/dry Carbon/CNT/epoxy resin bipolar plate for fuel
cell

이선희^{1,2} · 이송미^{1,3} · 박승주^{1,3} · 서정국⁴ · 정두환^{1,3,*}

¹한국에너지기술연구원 연료전지연구실, ²연세대학교 화공생명공학과,

³과학기술연합대학원대학교 신에너지 및 시스템 공학과, ⁴CNT솔루션

흑연으로 이루어진 탄소분리판은 내식성 및 강도를 높이는 데에는 한계가 있으며, 내식성 및 기계적 물성을 향상시키기 위해서는 나노탄소재료와 같은 보강 필러를 이용하여 강도 및 내구성이 높은 탄소복합 양극판 제조가 요구되고 있다. 특성 구조로 인해 에너지부(DOE)는 양극판에 대한 특별한 요구 사항을 가지고 있으며 그 중 가장 중요한 것은 우수한 전기 전도성과 높은 기계적 강도입니다. 탄소나노튜브는 다양한 탄소재료 중 그래핀 시트가 압연된 섬유상 나노카본재료를 말한다. 따라서 연료전지용 바이폴라 기술과 CNT용 컴파운드 기술을 접목한 연구 외에도 고성능 연료전지용 바이폴라판 제조를 위한 혼합 및 성형 방법에 대한 광범위한 연구가 필요하다.

고분자 흑연 혼합물은 흑연, MWCNT, 에폭시, 경화제로 배합하여 전기전도도 및 강도를 증가시켰다. 더하여 소량의 경화 촉진제를 첨가하였다. 혼합 재료로부터 건식 및 습식의 두 가지 방법으로 바이폴라플레이트를 제조했다. 건식법은 흑연과 CNT를 첨가하고 페이스트 믹서에서 교반하여 혼합 분말을 제조하였다. 한편, 습식법은 에폭시, 경화제 및 경화촉진제를 교반하여 용해시켰다. 그 후 회전 증발기를 이용하여 분리 배출하였다. 최종적으로 건조기에서 24시간 동안 건조시켰다. 건식 및 습식 방법으로 제조된 탄소 혼합 분말을 압축 성형했다.

CNT를 새로운 충전재로 사용하여 전기전도도가 높고 기계적 물성이 우수한 흑연계 바이폴라 플레이트를 제조하였다. CNT의 첨가량이 증가할수록 기계적, 전기적 특성이 모두 매우 우수함을 확인했다. 또한, 충전재의 입경도 매우 중요한 인자임을 확인하였으며, 입도가 커질수록 기계적 물성을 향상 할 수 있다. 그 결과, 필러의 개선뿐만 아니라 제조공정의 개선도 바이폴라 플레이트의 물성 개선에 매우 중요한 변수로 고려됨을 알 수 있다. 습식법을 사용할 경우 기존 건식법으로 제조된 양극판에 비해 기계적 물성은 약 120%, 전기적 물성은 약 125% 향상되었다.

※ 이 연구는 2021년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(20006832, 코크스 기반 내화학·내열성강화 자기윤활성 기계구조용 탄소흑연질 소재 개발), 본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업(C1-2453)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

Perhydro-dibenzyltoluene 탈수소화 반응 활성 향상을 위한 Pt/Al₂O₃ 촉매에서 ReO_x의 역할

The role of ReO_x in the Pt/Al₂O₃ catalyst to improve perhydro-dibenzyltoluene dehydrogenation reaction

장지수¹ · 김찬훈¹ · 이관영^{1,2,*}

¹고려대학교 화공생명공학과, ²KU-KIST 에너지환경대학원 그린스쿨

전 세계적으로 환경오염이 문제가 되어, 기후협약에 따라 온실가스배출에 대한 규제가 강화되면서 신재생에너지와 수소에너지에 관한 연구가 주목받고 있다. 신재생에너지는 간헐성 및 불확실성 등 안정적으로 에너지 공급이 어렵다는 단점 때문에 에너지 저장기술의 필요성이 대두되어 수소를 이용한 에너지 저장기술이 연구되는 추세이다. 특히 수소에너지 저장기술 중에 Liquid Organic Hydrogen Carrier(LOHC)는 다른 수소저장기술과 비교하여 단위 부피, 질량 면에서 우수하며 물질의 안정성이 높아 수소저장물질로 촉망받고 있는 분야이다.

최근 연구되고 있는 Dibenzyltoluene(DBT)는 LOHC 물질 중에서도 높은 수소저장 능력과 안정한 물성으로 널리 연구되고 있다. 하지만 DBT는 300 °C 이상의 고온 반응이 요구되어 탈수소화 반응과정에 부반응을 촉진하여 촉매의 비활성화 및 반응물의 분해 등을 통해 촉매 수명 단축 및 수소의 순도 저하를 유발할 수 있다. 이에 기존 탈수소화 공정에서 사용되는 Pt/Al₂O₃ 촉매에 조촉매로써 Rhenium(Re)을 첨가함으로써 저온에서 높은 활성을 보유한 촉매를 개발해 DBT의 한계점을 극복하고자 한다.

개발된 Pt-Re/Al₂O₃ 촉매는 sequential incipient wetness method를 통해 합성하였으며, 합성방법에서부터 기인된 구조적 특성 및 전자적 특성으로 인해 Pt/Al₂O₃의 탈수소화 능력을 향상시킬 수 있다.

과산화수소 직접합성반응에서의 소수성 촉매의 효과와 이에 대한 규명

이석호 · 한근호 · 이관영*

*고려대학교 화공생명공학과,

과산화수소는 수소와 산소로 이루어진 간단한 분자로, 강한 산화능력을 갖는 수산화라디칼을 형성하는 특성으로 인해 많은 반응에서 산화제로 쓰일 수 있는 물질이다. 특히 과산화수소는 이러한 강력한 산화능력과 부산물로 물만을 생성한다는 친환경적인 장점 덕분에 현대 사회에서 중요한 벌크 화학물질 중 하나로 여겨지고 있다.

이러한 과산화수소를 생산하는 기존의 Anthraquinone 공정은 유독한 유기용매를 사용하는 점과 복잡한 다단계의 공정으로 이루어져있다는 단점 때문에 이를 대체하기 위한 여러 가지 과산화수소 생산반응이 연구되고 있는데, 특히 이러한 대체공정중 하나로 가장 활발하게 연구되고 있는 것은 수소와 산소 반응물로부터 과산화수소를 곧바로 합성하는 과산화수소 직접합성반응 (Direct Synthesis of Hydrogen Peroxide)이다. 과산화수소 직접합성반응은 반응구조가 간단하고 친환경적으로 생산할 수 있다는 점으로 인해 각광받고 있지만, 아직까지는 기존 공정대비 낮은 선택도와 수율을 보인다는 점 때문에 상용화되지 못하고 있다.

이에 따라 과산화수소 직접합성반응의 낮은 선택도를 해결하기 위해 알킬 리간드를 이용한 소수성 촉매를 도입하였으며, 이에 대한 활성과 촉매에 대한 특성화분석을 진행하였다. 그 결과, 높은 활성을 위해서는 특정 정도의 소수성이 필요함을 알 수 있었으며, 이에 대한 결과는 실제 상용공정과 유사한 반응조건에 적용되어 해당촉매가 기존 촉매 대비 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다.

수소자동차 충전소의 사고피해영향 분석 Consequence Analysis of Hydrogen Refueling Station

권대환 · 최슬기 · 유철희
한국가스안전공사 가스안전연구원

정량적 위험성평가를 실시하기 위해서는 위험요소 확인 후 사고피해영향 분석(CA: Consequence Analysis)과 사고 빈도 분석 후 위험성척도 계산 및 표현(개인적/사회적 위험도)이 가능하다. 피해예측 분석 평가방법 또는 기술지침으로는 K-CARM(한국산업안전보건공단), KORA(화학물질안전원), ALOHA(EPA, 미국), PHAST(DNV, 노르웨이) 등이 있고 본 연구에서는 수소자동차 충전소의 위험요소 확인 후 PHAST를 활용하여 사고피해영향을 분석하였다. 사고피해영향 분석 결과는 특정한 사고로 인한 피해 또는 부상 가능성을 결정하는데 사용되는 방법론이다. 하나의 사고는 많은 종류의 다른 사고결과를 야기하는데 이러한 결과는 누출원 모델 및 확산(Dispersion)모델과 화재(Jet fire) 및 폭발(Explosions) 모델 등을 사용하여 분석된다.

먼저, 분석에 필요한 부지 위치, 환경, 기후자료 배치도면 등의 정보를 수집하였다. 특히 풍속 및 대기안정도, 대기온도 및 대기습도 등은 KOSHA GUIDE P-107-2012, 최악 및 대안의 누출 시나리오 선정에 관한 기술지침을 참조하였고, 사고 시나리오는 그리고 중요도나 개시사건 여부에 관계없이 모든 사고를 확인하고, 그 중 최악의 가상사고 시나리오인 압축가스설비(고압)의 대누출에 의한 사고피해영향을 분석하였다. 확산, 폭발, 화재모델을 분석하였고, 복사열과 폭발 과압에 대한 영향을 KOSHA GUIDE P-102-2012의 사고 피해예측에 관한 기술 지침을 참조하였다. 최대 확산거리는 폭발하한계(40,000 ppm) 기준 44.5 m, 폭발하한계 1/2(20,000 ppm) 기준 72 m 이고, 최대 화재거리는 복사열 5 kW/m² 기준 24.9 m, 12.5 kW/m² 기준 21.8 m, 37.5 kW/m² 기준 19.1 m 로 도출 되었으며, 최대 폭발 과압 거리는 0.7 bar 기준 76.3 m, 0.21 bar 기준 82.7 m, 0.07 bar 기준 99.5 m 로 나타났다.

※ 본 연구 내용은 산업통상자원부 에너지기술개발사업 “지능형 통합에너지플랫폼 기반 복합에너지 허브 시범구축 및 기술실증(과제번호 20193510100040)”의 지원으로 진행됨.

수소자동차용 압력센서 성능평가 관련 국내외 기준 분석

Analysis of Domestic and International Standards related to Performance Evaluation of Pressure Sensors for Hydrogen Vehicles

김소현 · 최슬기 · 유철희

한국가스안전공사 가스안전연구원

2012년 「저탄소 녹색성장 기본법」에 따라 자동차 온실가스 배출량 및 연비 규제를 위한 제도가 시행되었으며, 현재 국내 자동차 온실가스 배출량 97g/km, 연비 24.3km/L의 기준이 적용되고 있다. 전 세계적으로 자동차 온실가스·연비 기준이 강화(미국 110g/km, 유럽95g/km)됨에 따라 친환경 자동차 기술 개발 및 보급 확대의 중요성이 증가하고 있다. 전기자동차, 수소자동차는 대표적인 친환경 자동차로 '15년 대비 25배 증가하였으며, 특히 수소자동차의 경우 '19년 대비 115%('20.12월 기준) 증가한 것으로 나타났다. 전기자동차의 충전 속도 및 주행 거리에 대한 단점을 극복한 수소자동차는 연료전지 Stack과 수소 연료저장 시스템이 핵심 기술이며, 운전자 안전성 확보 및 주행 효율 향상을 위해 연료전지 Stack에 사용되는 압력 센서는 미압의 환경에서도 안정적으로 작동 가능한 고신뢰성 기술이 요구된다. 수소차 연료시스템에 사용되는 온도·압력 복합 센서의 경우 기술의 고난이도, 고정밀 등의 이유로 전량 외산 부품을 사용하고 있으며, 국내 개발품의 경우 운전자의 안전을 위협하는 성능 결함이 발생하고 있어 국산화 기술 고도화를 위한 연구 및 기술 개발이 필요하다. 수소자동차용 센서는 국토교통부고시 제2020-513호 「자동차용 내압용기 안전에 관한 규정」의 별표 11 「압축 수소가스 내압용기 장착검사 세부기준, 설치방법 및 검사방법」에 따라 한국가스안전공사가 안전성을 확인한 성능 인증품을 사용하도록 규정하고 있다.

본 연구에서는 수소자동차용 연료전지 Stack에 적용되는 수소 센서의 성능 인증을 위한 국내외 기준 운영 현황 및 인증 시험 절차 등에 대한 검토를 통해 향후 수소자동차에 적용되는 센서의 안전성 평가 및 안전관리 확보 방안을 마련하고자 한다.

국내 수소충전소 제트화염 길이 및 복사열 강도에 따른 안전거리 도출 및 피해영향 결과평가에 관한 연구

A Study on the Derivation of a Safe Distance according to the Length of
the Jet Flame and the Intensity of Radiant Heat and Consequence
Analysis in a Domestic Hydrogen Refueling Station

임재용 · 권대환 · 최슬기 · 유철희*

한국가스안전공사 가스안전연구원

국내외에서는 에너지 패러다임을 탄소경제로부터 수소경제 사회로 전환하기 위해 각종 정책을 발표하고 있다. 그 중 국내에서는 2019년 수소경제 활성화 로드맵을 수립하고, 수소 인프라 확충을 진행하고 있다. 그 중 수소충전소를 2040년까지 1200개소 설치 목표로 하고 있어 수소충전소의 보급이 활성화 될 전망이다.

하지만 수소의 공기 중 가연범위는 4~75%로 누출 시 즉시 점화로 인한 제트화염 및 지연 점화로 인한 폭발의 위험이 있다.

본 연구에서는 미국의 SANDIA National Laboratory(SNL)에서 개발한 HyRAM 3.0 프로그램을 이용해 국내에 설치 예정인 수소충전소의 제트화염 길이 및 복사열 강도에 따른 거리를 시뮬레이션을 통해 도출하였다. 또한 HyRAM 3.0에서 계산 가능한 Tsao & Perry의 프로빗 모델을 이용하여 각 설비별 치명도(Fatalities) 및 치명도 순위를 도출하였다.

복사열 강도에 따른 피해 영향은 KOSHA GUIDE(P-102-2012)를 참고하여 분석하였다. 누출 지점으로부터 제트화염 및 4kW/m^2 의 복사열이 도달하는 길이가 가장 큰 시나리오는 디스펜서의 대규모 누출에서 각각 9m, 12m로 분석되었다.

피해영향 결과평가 결과는 디스펜서에서 1.64×10^{-4} fatalities/year의 가장 높은 치명도를 가지는 것으로 분석되었다. 디스펜서는 수소충전소 내에 일반인과 작업자의 유동이 가장 많은 구역으로 예상된다. 따라서 해당 결과로부터 수소 누출 방지를 위한 비상차단밸브, 누출 시 빠른 대처를 위한 자동경보기 등의 안전조치가 필요할 것으로 판단된다.

※ 본 연구 내용은 산업통상자원부 에너지기술개발사업 “지능형 통합에너지플랫폼 기반 복합에너지 허브 시범구축 및 기술실증(과제번호 20193510100040)”의 지원으로 진행됨.

연구용 원자로 수조 내 원자로구조물집합체 유입 유량에 따른 수조 온도 예비 평가

Preliminary Evaluation of Pool Temperature according to Inflow
Flow Rate of Reactor Structure Assembly in Research Reactor Pool

박기정 · 김인국 · 서경우 · 김성훈

한국원자력연구원

일반적으로 중성자 이용과 동위원소 생산을 목적으로 하는 연구용 원자로는 원자로 노심 냉각과 차폐 관점에서 유리한 개방 수조형으로 설계되며, 수조 하부에 원자로구조물집합체(Reactor Structure Assembly, RSA)가 설치된다. 또한, 원자로 노심을 냉각하기 위한 일차 냉각계통이 원자로구조물집합체에 연결되어 정상 운전 시 노심에서 발생하는 열을 제거한다. 일차냉각계통은 노심에서 하향유동으로 설계될 수 있으며, 이 경우 원자로 수조 내 유동 안정화를 위해 원자로구조물집합체에 소량의 냉각 유량이 유입될 수 있는 유동홀(flow hole)이 설계된다. 연구용 원자로의 원자로구조물집합체 외부에는 발열을 하는 반사체가 설치되고, 이 반사체 냉각을 위한 수조 냉각계통이 설계된다.

원자로구조물집합체 외부의 반사체에서 발생하는 열량과 이를 냉각하기 위한 유량에 의해 수조 온도는 변화할 것으로 예상할 수 있으며, 원자로구조물집합체 유동홀을 통한 일차냉각계통 냉각수의 유출입에 의해 수조 온도 변화에 대한 불확실성이 커지게 된다. 일반적으로 일차냉각계통의 냉각수 온도는 원자로구조물집합체 외부의 수조수보다 온도가 낮게 설계되는데, 외부의 반사체 발열에 의해 수조수 온도가 계속 상승할 경우 원자로구조물집합체 내부로 유입되는 유량에 의해 일차냉각계통 냉각수의 유효 온도에 영향을 줄 수 있다. 따라서 원자로구조물집합체 외부의 수조수 온도는 원자로구조물집합체 내부의 일차냉각계통 냉각수의 온도와 차이가 크지 않아야 하며, 유동홀 유출입 유량에 의해 원자로구조물집합체 내부의 일차냉각계통 냉각수의 온도가 변화하지 않도록 설계해야 한다.

본 연구에서는 연구용 원자로의 원자로 수조 내 원자로구조물집합체로 유입되는 유량에 의한 수조 온도 변화를 평가하여 수조 냉각을 위한 최적의 유동홀 유출입 유량을 예측하였다. 평가 결과 유동홀을 통해 유출입되는 유량이 증가할수록 수조 온도는 일정 온도에 수렴하게 되어 수조에서 요구되는 수조 온도에 따라 유출입 유량을 결정할 수 있다. 또한 이 유량을 형성하기 위한 유동홀의 크기도 예측할 수 있다. 원자로구조물집합체 내 일차냉각계통 냉각수 유량은 유출입 유량과 비교해 상대적으로 매우 크기 때문에 원자로구조물집합체 내부 냉각수 온도 변화에는 영향이 없었다. 본 평가는 일차냉각계통이 상세 묘사되지 않아 추후 시스템코드를 이용한 상세 계산이 추가로 필요하며, 평가 결과는 연구용 원자로 수조 냉각계통 유량 설계 및 원자로구조물집합체 유동홀 설계에 반영할 예정이다.

후 기

이 논문은 2021년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020M2D5A1078131).

원전 비상디젤발전기 신뢰도 관리 현황

Reliability Management Status for Emergency Diesel Generator in Nuclear Power Plant

정우근* · 곽동열*

*한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력발전소 비상디젤발전기(Emergency Diesel Generator)는 소외 교류전원 상실시 발전소 안전정지에 필요한 안전관련 설비에 비상전력을 공급하는 설비이다. 비상디젤발전기는 높은 신뢰도를 갖도록 설계되어 전체 서비스 수명 기간 유지되어야 하는데 이것은 적절한 시험, 정비, 운전 프로그램에 의해서 이루어 질 수 있으며 또한 모든 비상디젤발전기 고장의 효과적인 근본 원인 분석을 이행하고 선정된 수준에서 신뢰도를 감시하고 증진시키며 유지하는 것이 필요하다.

따라서 원전 비상디젤발전기 신뢰도 확보를 위하여 수행되는 비상디젤발전기의 주기기시험의 종류와 방법, 신뢰도 설정 그리고 기동전, 운전중, 혹은 정지 후에 주요기능에 대한 성능을 나타내는 주요 변수의 설정 등의 관리를 조사하였다. 비상디젤발전기의 주요기능에 대한 성능을 나타내는 주요 변수의 관찰은 고장을 사전에 예방할 수 있을 뿐만 아니라 고장 원인을 분석할 수 있는 자료로 활용될 수 있다.

본 연구에서는 비상디젤발전기 신뢰도 확보를 위하여 수행되는 사항들의 관리 방법과 그 유효성을 조사하였으며 이러한 신뢰도 관리가 프로그램으로 적절하게 운영되고 있음을 확인하였다.

원전 비상디젤발전기 진동 기준값 설정 연구

A Study for Mechanical Vibration Criteria of Emergency Diesel Generator in Nuclear Power Plant

정우근* · 박동열*

*한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력발전소의 비상교류전력계통은 단일고장 시에도 안전기능을 수행할 수 있도록 충분한 독립성, 다중성, 시험성 등을 확보하고 있으며, 소외 교류전원 상실시 짧은 시간 내에 안전관련 부하에 전력을 공급하기 위하여 비상교류전력계통의 모션에는 비상디젤발전기가 설치되어 있고 소외 교류전원 상실시 교류전원을 공급할 수 있도록 항상 운전가능 상태로 유지 관리되어야 하며 원자로시설의 안전한 운용을 위해 주기적으로 시험을 수행하여 기동 신뢰성을 입증하고 있다.

원전의 Cooper(TDI) 엔진 비상디젤발전기는 주기적 시험 중 엔진의 진동 발생으로 비상디젤발전기가 정지되도록 설정되어 있으나 경고 진동값 및 정지 진동값 등 조치 진동 범위의 적절성이 검토되어 있지 않아 주기시험 시 불필요한 정지를 야기하고 기동신뢰도를 저해할 가능성이 있다. 이번 논문에서는 Cooper사 비상디젤발전기에 대한 정지 진동 값의 적절성을 검토하고 비상디젤발전기의 비상 정지와 무관한 비상디젤발전기 운전상태 점검을 위한 수동 측정값의 진동허용 범위를 고찰하고 제시하고자 한다.

수조수상실사고를 고려한 연구용 원자로 일차냉각계통 유량 설계 Flow design of primary cooling system against LOCA in a research reactor

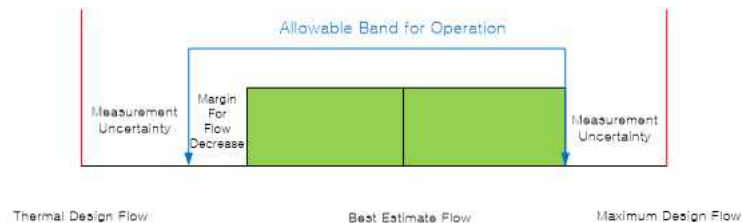
박홍범 · 서경우

한국원자력연구원 수출용신형연구로실증사업단

개방수조형 연구용 원자로(연구로)에서 수조수상실사고는 연구로 안전성과 관련된 가장 중요한 이슈 중의 하나이다. 개방수조형 연구로에서 수조수상실사고가 발생하면 대처설비가 없을 시 기기배치의 특성으로 인해 원자로수조수가 대부분 상실되며, 노심이 공기중에 노출되어 손상될 수 있다. 대부분의 연구로에서는 공학적안전설비로 수조수상실사고에 대처를 하는데, 공학적안전설비는 안전 기능을 수행하기 때문에 설계단계에서 운영단계까지 높은 품질 등급, 검증 시험, 정주기시험 등의 다양한 요건이 포함되고 이와 연결되는 고가의 안전등급 보조 설비들과 설치 공간이 요구되므로 추가할 경우 설계, 구매 및 유지 비용이 크게 증가한다. 수조수상실사고 대처를 위한 공학적안전설비의 추가는 비용에 큰 영향을 미치게 되어 연구로의 수출 경쟁력을 떨어뜨릴 수 있다. 따라서 근본적으로 수조수상실사고를 최소화하여 공학적안전설비를 경량화 함으로써, 연구로의 수출 경쟁력을 늘리는 것이 필요하다. 본 연구에서는 기존의 연구로 일차냉각계통을 개선하여, 수조수상실사고를 최소화하고 수조수상실사고 대처를 위한 공학적안전설비를 제거할 수 있는 일차냉각계통 개념에 대하여, 유량 설계를 수행하였다.

유량 설계를 위해 핵연료의 냉각에 필요한 최소유량인 TDF(Thermal Design Flow)가 정해지면, 일차냉각계통 유량 설계를 위해 계측기의 불확실도를 고려한다. 또한 운전중 일어날 수 있는 유량 손실을 보상하기 위한 여유 유량을 추가하여 일차냉각계통의 최소 유량을 결정한다. 일차냉각계통을 실제로 운전할 유량밴드 및 BEF(Best Estimate Flow)를 정하고 계측기의 불확실도를 고려해 최대 유량을 결정한다.

본 연구를 통해 수조수상실사고를 고려한 연구용 원자로의 일차냉각계통 유량 설계를 수행하였으며 이는 향후 일차냉각계통 배관 및 기기 설계에 활용할 예정이다.



후 기

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020M2D5A1078131).

연구용 원자로 판형열교환기 운전조건영향 예비해석

Preliminary Analysis of the Effect of Operating Conditions on a Research Reactor Plate Heat Exchanger

김인국 · 박기정 · 박홍범 · 서경우

한국원자력연구원

판형열교환기는 높은 열전달 효율과 조밀한 크기, 유지보수 편의성 등의 장점을 가지고 있어 연구용 원자로의 냉각을 위해 다수 사용되고 있다. 운전조건에 따라 판형열교환기의 고온부와 연결된 일차냉각계통의 유량 및 온도가 변경될 수 있으며, 냉각탑과 연결된 저온부는 외기온도에 영향을 받아 계절별 냉각성능이 변하게 된다. 일반적인 판형열교환기는 충분한 열용량을 확보하여 고온부에서 발생하는 열을 제거하는 것을 목적으로 설계를 수행하게 된다. 그러나 연구용 원자로에 사용되는 열교환기는 최소열용량 요건을 포함하여 핵연료 입구온도에 영향을 주는 고온부 최대출구온도 제한기준이 존재하여 운전조건별 판형열교환기의 성능해석이 필요하다.

설계를 위해 열용량 및 열전달성능, 운전온도 등의 주요 인자들을 선정하고 각각의 운전조건에서 판형열교환기의 예비해석을 수행하였다. 원자력 분야에서 열수력해석을 위해 사용하는 MARS-KS 코드를 이용해 계산을 수행하였다. 계산에서는 핵연료를 단순 열구조체를 이용한 열원으로 모델링하고 열교환기는 코드 내 열교환기 모델을 사용하여 운전조건변경에 따른 열용량 및 고온부 출구온도가 제한기준을 만족하는지를 분석하였다. 일차냉각계통은 보수적으로 최저유량 및 최대온도조건으로 유지하였으며, 일차냉각계통의 유량이 증가할수록 입구온도와 출구온도의 온도차가 줄어들고 고온부 출구온도가 높아지는 결과를 얻었다. 열용량이 충분한 판형열교환기의 경우에도 고온부 출구 제한기준을 만족하는 못하는 운전조건이 존재함을 확인하였다. 결과를 반영하여 고온부 출구온도 제한기준을 만족할 수 있는 판형열교환기 열용량을 재산정하고 모든 운전조건에서 제한기준을 만족할 수 있는 최소 설계요건을 수립하였다.

연구를 통해 일반 산업계에서 사용하는 판형열교환기의 설계 기준요건과 상이한 고온부 출구온도 제한기준이 존재하는 경우, 운전조건에 따른 판형열교환기의 성능변화와 주요인자들의 변화에 따른 민감도를 확인할 수 있었다. 연구결과는 국내 연구용 원자로의 설계에 사용할 수 있는 기초자료로 활용될 예정이다.

후기

이 논문은 2021년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020M2D5A1078131).

수조수상실사고를 고려한 경량화 연구용 원자로의 플랩밸브 및 일차냉각계통 배관 압력분포 및 속도 계산

Numerical Analysis of Pressure and Velocity for Primary Cooling System
in an Optimized Research Reactor against LOCA

서경우 · 정민규 · 박기정 · 박홍범

한국원자력연구원

정상운전 시 개방수조형 연구용 원자로는 노심에서 생성되는 열을 제거하기 위해 일차냉각계통 펌프 및 열교환기를 구성하며, 이를 일차냉각계통 배관으로 연결한다. 사고 및 정상정지 시에는 개방형 원자로와 수조를 이용하여, 자연대류에 의하여 원자로에서 발생되는 잔열을 제거한다. 이때 자연대류의 유로 경로를 확보하기 위하여 수조내 일차냉각계통 배관에 플랩밸브와 같은 특수 밸브를 설치한다. 플랩밸브는 정상운전 시에는 노심 우회 경로를 차단하기 위해 닫힘을 유지하고, 원자로 및 펌프정지 시에는 자연대류의 유로 경로를 확보하기 위해 열리도록 설계를 수행하며, 이 플랩밸브는 설계 경량화를 위해 위치가 결정된다.

이와 같이 구성된 일차냉각계통 배관은 수조수를 관통할 때에 수조수상실 사고 발생 후에도 수조수가 항상 원자로보다 높게 위치해서 위의 자연대류에 의한 지속적인 잔열을 제거할 수 있도록 안전하게 설계를 수행한다. 이렇게 수조수를 관통하는 일차냉각계통 배관은 계통의 최상단에 위치하게 된다. 여기에서, 연구로 유체계통 설계 시에 최상단 배관에서의 압력분포는 일차냉각계통의 경량화를 위해 적절한 예측이 필요하며, 플랩밸브 닫힘 요구시에 플랩밸브 배관에서의 유동분포는 플랩밸브의 여단힘 설계에 영향을 미치게 되므로 이에 대한 수치적 계산을 수행하였다.

경량화 연구로의 일차냉각계통 최상단 배관의 압력계산을 위해 수조내 일차냉각계통 배관으로부터 플랩밸브가 위치한 분지배관을 고려하여 최상단 배관까지 CFD 모델링을 수행하였다. Volume mesh는 약 17,000,000개로 구성하였고, 벽면에서의 y^+ 는 5-60으로 모델링하였다. 난류모델로는 realizable $k-\epsilon$ 과 enhanced wall treatment 모델을 적용하였다. 본 계산은 열전달을 고려하지 않는 압력 및 속도분포를 계산하였으므로 상온 상압에서의 물성치를 적용하여, 3가지 case 유량과 함께 압력분포 및 속도분포를 해석하였다.

후 기

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020M2D5A1078131).

원자로 하부헤드 관통관 관리 현황

Management Status for Reactor Vessel Bottom Mounted Instrument

이정석* · 김왕배*

*한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자로 하부헤드 관통관은 운전온도가 낮으므로 균열발생 가능성이 상부헤드 관통관보다 낮은 것으로 분류되나, 일부 해외원전의 Alloy 600 재질 하부헤드 관통관에 균열이 발생한 사례가 있다. 국내원전에서도 동일재질 및 유사부위(상부헤드 관통관)에 결함검출 사례가 있어, 국내 원전 하부헤드 관통관에 대해 해외 원전의 손상사례 및 Alloy 600재질 사용 관통관의 기초 데이터 취득을 위해 일회성으로 전 해당호기에 육안 및 체적검사를 완료하였다. 전 해당호기 검사결과 일부 호기에서 제작관련 지시가 발견되었으나 이 지시는 모두 제작과정 중 발생한 체적성지시이며, 향후 결함화 가능성이 있는 선형지시는 발견되지 않았다. 그러나 최근 검사주기를 10년에 1회로 강화하였으며 국내 발전소에서 최초로 결함이 발견되어 결함정비를 수행하였다. 본 논문에서는 국내 원자로 하부헤드 관통관의 검사 및 정비 등 관리 현황을 조사함으로써 안전성 점검 및 관리를 강화하고 있음을 확인하였다.

방사성물질 운반 시 적재한도 기준을 만족하는
방사성핵종별 방사능농도 기준

Radioactive Concentration Criteria for Each Radionuclide for Satisfying
the Load limit in Transporting Radioactive Materials

송지영 · 김종진

한국원자력연구원

원자력안전법 제72조에 따라 방사성물질 운반 시 원자력안전위원회규칙 제29호 제108조 적재한도를 준수하여야 한다. 적재한도 중 운반물, 덩포장, 화물컨테이너에 대한 방사선량률 기준은 크게 3가지로 구분되어 있다. 운반 수단의 외부표면에서는 시간당 2밀리시버트, 운반수단의 외부표면으로부터 2미터 거리에서는 시간당 0.1밀리시버트, 사람이 승차하는 위치에서는 시간당 0.02밀리시버트를 초과해서는 안된다. 따라서 본 연구에서는 방사성물질 운반수단을 이용하여 적재한도 중 승차 위치에서의 방사선량률을 만족하는 방사성핵종별 방사능농도 기준을 계산하였다.

본 연구에서는 적재한도를 만족하는 방사성핵종별 방사능농도 기준을 수립하기 위하여 운반수단, 선원의 형태, 대상 방사성핵종 등을 가정하였다. 방사성물질 운반량이 많아질수록 방사능농도 기준이 보수적으로 계산되므로, 운반수단은 4.5톤 트럭을 대상으로 하였다. 선원의 형태는 방사성물질의 다양한 성상을 고려하여 가로로 눕혀진 원기둥으로 가정하였으며, 선원 외부의 차폐 효과는 없는 것으로 가정하였다. 대상 방사성핵종은 외부피폭에 대한 기여도가 큰 Co-60과 Cs-137을 대상으로 하였다. 이외 선량에 영향을 미칠 수 있는 인자로, 방사성물질의 종류는 차폐효과를 고려하여 물로 가정하였으며, 방사성물질과 운반작업자 간의 이격거리는 30 cm로 가정하였다. 가정사항을 바탕으로 Microshield 전산코드를 통해 평가한 결과, Co-60과 Cs-137의 방사능농도 기준은 각각 134 Bq/g과 628 Bq/g로 평가되었다. Co-60이 Cs-137보다 더 낮은 방사능농도 기준이 도출되었으며, 이는 방사선 방출 비율(yield)과 방출되는 방사선의 세기와 관련이 되어 있는 것으로 분석하였다.

본 연구에서는 승차 위치에서의 방사선량률 관련 적재한도를 만족하는 방사성핵종별 방사능농도 기준을 계산하였다. 이는 원자력이용시설에서의 방사성물질 운반 시 적재한도를 결정하는데 활용될 수 있으며, 더 나아가 운반작업자를 포함한 운반 절차의 방사선방호 체계 구축에 기여할 수 있습니다.

원자력이용시설 해체전략방안 수립을 위한 환경요인 분석 및 주요인자 제시 Analysis of Major Factors for Selecting Strategies on Decommissioning of Nuclear Facilities

문정욱 · 김종진 · 박성빈

한국원자력연구원

국내 원자력이용시설의 오랜 운영에 따라 노후화 된 원자력발전소 및 기타 시설의 해체가 예상되며, 원자력안전위원회 고시 제2021-10호에 따르면 원자력이용시설의 해체시 해체전략과 방법을 선정하여 제시하여야 하여야 한다. 기본적인 원자력이용시설 해체전략은 크게 이용시설의 영구정지 후 가능한 빠른 시일 내 방사성물질에 오염된 구조물, 계통 및 기기와 부지를 철거하는 즉시해체 방식과, 일정기간 안전하게 유지 및 관리 후 시설 및 부지를 철거하는 지연해체 방식으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 안전하고 효율적인 해체를 위하여 해체전략 수립시 고려가 필요한 환경요인을 분석하였으며, 이 중 국내 여건상 주요하게 고려해야 할 인자들을 제시하였다.

IAEA는 법·규정 및 규제기관의 입장, 철거대상 시설의 특징, 철거 위험성을 포함한 7 개의 환경요인을 해체전략 수립시 필요한 고려인자로 제시하고 있으며, NEA에서는 3 개의 대항목(사회경제적 요건, 기술적 결정 요인, 장기적 요인)과 15 개의 세부항목으로 구분하여 인자들을 제시하였다. 우리나라의 경우 다수의 원자력이용시설이 일부 지역에 집중되어 있으며 추가 원자력이용시설 부지 채택에 어려움이 존재함에 따라 시설의 특징 및 독립성, 부지 이용계획, 환경 등 주변에 미치는 영향, 철거기술의 보유 및 유지, 환경오염의 위험 및 감시체계 운영을 국내 여건상 해체전략 수립시 고려가 필요한 주요인자로 제시하였다.

본 연구는 국내 원자력이용시설의 해체전략수립을 위해 고려해야 할 인자들을 정리하였으며, 국내 여건에 따라 주요 인자를 구분하여 제시하였다. 방사성폐기물의 준위별 처분비용이 동일한 국내 여건상 지연해체의 주요 장점인 방사능 저감에 따른 경제적 효과를 기대할 수 없으나, 향후 2단계 처분시설이 운영됨에 따라 방폐물 준위에 따른 처분비용이 달라질 경우 해체전략 수립시 추가적인 고려가 필요할 것으로 예상된다.

연구용 원자로의 관성서행 계산 모델 개발을 위한 펌프성능실험 분석 Analysis of Experiments for the Development of Mathematical Model for Prediction of Coastdown Period in the Nuclear Research Reactor

곽재식 · 김인국 · 정민규 · 서경우

한국원자력연구원 수출용신형연구로실증사업단

원자로는 냉각재 이송을 위한 펌프를 향한 전력 공급이 중단되어 발생하는 관성서행 상황을 대비한 많은 안전설비를 구축하고 있다. 대표적인 설비중 하나는 펌프에 부착된 플라이휠로서 펌프가 정지하더라도 높은 관성 모멘트를 바탕으로 일정 시간동안 유량을 가지는 관성서행을 확보하기 위한 설비이다. 원자로의 관성서행은 냉각 시스템의 길이 및 설비에 따른 저항 에너지와 펌프 및 플라이휠의 관성 에너지에 의해 결정되는데, 다양한 계산 모델이 있는 반면에 각 모델의 특성에 적합하지 않은 원자로의 경우 계산 결과의 정확성이 떨어진다. 한국원자력연구원에서 개발하는 수출용신형연구로는 수조수 상실사고 대처 및 경량화를 목적으로 배관길이의 축소와 다수의 유체기기의 위치를 수정하는 등의 설계 변경을 수행하며 기존 연구로와 다른 특성의 냉각 시스템을 가진다. 본 연구로의 냉각 시스템에 맞는 관성 서행 예측 모델 개발을 위해 연구로의 냉각 시스템을 모사한 실험 설비에 펌프 성능시험을 위한 실험 설비를 구축하고 예비실험을 수행하였다.

예비실험은 1) 연구용 원자로의 감쇠탱크, 펌프, 노심과 열교환기의 차압을 상사하기 위한 밸브 등으로 구성된 Original loop와 2) 일차냉각계통 경량화 영향을 확인하기 위한 Compact loop에서 유량 및 펌프의 회전수를 변경하며 발생하는 관성서행의 변화를 확인하였다. 예비실험 결과 동일한 시스템에 의해 유사한 압력강하를 가지는 loop의 경우 배관 축소에 의해 발생하는 관성서행의 변화는 크지 않음을 확인하였다. 또한 동일 유량에서 밸브 조절에 의한 압력강하의 변화를 통해 펌프의 회전수가 늘어남에 따라 발생하는 관성서행의 변화를 확인하였으며 높은 회전수의 펌프일수록 초기 관성서행 유량은 낮게, 후기 관성서행 유량은 높게 유지됨을 확인하였다. 본 예비실험 결과를 바탕으로 기존 관성서행 모델과 비교하여 오차 분석을 수행하였으며 추후 관계식을 개선하여 정확성을 높인 모델을 개발하는데 활용될 예정이다.

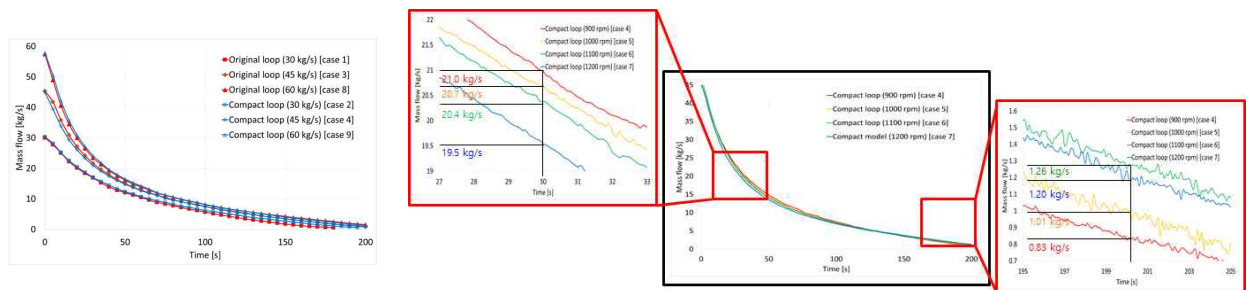


그림. 유량에 따른 관성서행 변화 / 펌프 회전수에 따른 관성서행 변화

Establishment of Methods to Enhance Nuclear Power Plant Security through Case Analysis of Biometrics Spoofing Attack

도태관

한국원자력통제기술원

원자력발전소는 청와대, 국회의사당 등과 같이 ‘가’급 국가중요시설로서 핵물질과 원자력시설을 안전하게 관리·운영하기 위해 「원자력 시설 등의 방호 및 방사능방재 대책법」에 따라 물리적방호 측면에서 출입통제 등이 엄격히 관리되고 있다. 최근 원자력시설 등 국가중요시설에 대한 위협이 증가하고 다양화·고도화되고 있으나 원자력발전소 생체인식 설비에 대한 규제기준 및 관리지침이 부재한 상황이다. 이에 따라, 원자력발전소 생체인식 설비의 안전성·보안성 평가를 통한 규제기준 마련이 시급하다. 본 연구에서는 생체인식 및 위조기술 동향 분석과 사고사례를 조사하여 원전에 적용 가능한 생체인식 위협대응 방안 5가지를 제안하였다. 1) 생체정보별 하드웨어 및 소프트웨어를 기반으로 한 위조 판별 환경 구축, 2) 다중 모달·알고리즘·인스턴스·센서 등을 사용하여 타인수락율(FRR, False Rejection Rate) 저감, 3) ISO/IEC JTC1 SC37의 국제표준 지침(ISO-19795) 등을 기반으로 한 인증 및 성능평가 완료 제품 사용, 4) 템플릿 유출 시 사용자 노출 및 역추적이 불가능하도록 취소 가능하거나 재발급 가능하도록 시스템 설계, 5) 국제표준화기구(ISO, International Organization for Standardization) 및 한국인터넷진흥원에서 발간한 「바이오정보 보호 가이드라인」을 기반으로 한 생체인식 기술 심·검사 지침 마련이 있다. 시사점으로 원전에서 사용하는 생체인식 설비는 단일 생체정보를 사용하고 최신 위협을 필터링 하지 못하는 등 취약점이 존재한다. 따라서 원전에서 사용하는 생체인식 설비의 인증체계, 제조사, 구축년도 등에 대한 전수조사를 시작으로, 생체인식 설비 성능(FRR, FAR(False Acceptance Rate), ERR(Equal Error Rate) 등)의 최적화 기준을 마련하는 연구가 필요하다. 또한, 생체인식 기술이 꾸준히 발전함에 따라 최신 위협대응 기술이 탑재된 생체인식 설비를 구축할 수 있도록 재구축주기를 설정하는 연구가 필요하다. 지문인식 기술은 위조 사고사례가 가장 많은 생체인식 기술로서, 보안성이 높은 생체인식 또는 다중 생체인식 기술을 도입하는 것이 더 효과적인지 관련 연구를 수행해야 한다. 본 연구결과는 원자력발전소 생체인식 설비의 취약성을 분석하고 규제기준 및 관리지침을 마련하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행되었습니다 (No. 2106014).

소형모듈원자로를 위한 잔열제거계통 예비개념개발

Preliminary Conceptual Development of the Residual Heat Removal System for Small Modular Reactors

문주형

한국원자력연구원

후쿠시마 제1원자력발전소 사고가 발생한지 올해로 10년이 되었다. 당시 오나가와 원전은 후쿠시마 원전보다 진앙지에 더 가까워서 더 강한 지진파가 도달하였음에도 불구하고, 사고로 이어지지 않았다. 전자의 경우에는 노심 잔열 제거에 실패하여 큰 사고로 확대된 반면, 후자의 경우에는 잔열이 지속적으로 잘 제거되었다는 차이점이 있다. 이렇듯 원자로의 잔열제거는 원자로의 안전성을 담보하는 매우 중요한 기술이다. 최근에는 원자로의 안전성을 더욱 향상시키기 위하여, 외부의 도움이나 운전원의 조치가 없더라도 노심의 잔열을 오직 자연력만을 이용하여 제거할 수 있는 피동잔열제거계통에 대한 연구가 매우 활발하다.

본 연구에서는 소형모듈원자로에 적용하기 위한 잔열제거계통에 대한 예비개념을 개발하고 이를 통해 소형모듈원자로의 안전성 향상에 기여하고자 한다. 먼저 잔열제거계통에 대한 국내외 요건에 대해 살펴본다. 특히 근래 제정된 피동형 안전계통 설계를 위한 규제지침에서 요구하고 있는 사항을 올바르게 파악하는 것이 중요하다. 다음으로는 세계 각국에서 경쟁적으로 개발하고 있는 소형모듈원자로의 사례를 조사함으로써, 노형별 잔열제거계통 설계의 특징과 기술 수준을 파악하고자 한다. 끝으로 소형모듈원자로에 적용된 잔열제거계통의 국내외 특허를 조사한다.

본 연구결과는 소형모듈원자로를 위한 잔열제거계통의 예비개념을 개발하고 계통의 안전성을 향상시키는 데에 크게 기여할 것으로 기대된다.

규제 검증용 해석 코드 MARS-KS를 이용한 SMART100 피동잔열제거계통 예비해석

A Preliminary simulation of Passive Residual Heat Removal System
in SMART100 using Regulatory Audit Code, MARS-KS

이동훈 · 손동경 · 나민욱

한국원자력안전기술원 계통평가실

국내에서 개발한 중소형가압경수로인 SMART100은 2012년에 표준설계인가를 받은 SMART 표준설계에서 능동형 안전계통을 피동형으로 설계를 변경한 노형이다. 한국수력원자력, 한국원자력연구원 및 사우디 왕립원자력신재생에너지원은 현재 SMART100 표준설계인가 심사를 규제기관에 요청한 상황이다. 규제기관은 완전피동안전계통의 신뢰성과 안전성을 주요 중점 심사 항목으로 선정하여 검토하고 있다. 신청자가 제출한 표준설계안전성분석 보고서에서는 대표적인 완전피동안전계통인 피동잔열제거계통의 성능이 전산해석코드를 이용하여 분석이 되어 있으며, 해당 성능 분석 결과를 심사하기 위한 규제 방향 수립이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 SMART100의 피동잔열제거계통 성능해석 방법론에 대한 규제 방향 수립을 목적으로, 규제검증용 해석 코드인 MARS-KS를 이용한 SMART100의 피동잔열제거계통 예비 해석을 수행하였다. 본 예비 해석은 피동잔열제거계통의 성능해석이 주요 목적이므로, SMART100 피동잔열제거계통 1계열만 독립적으로 모델링하여 해석을 수행하였다. 다음으로 성능 해석결과에 영향을 많이 미치는 모델링 영역을 도출하기 위하여, 두 가지 관점에서 민감도 분석하였다. 첫 번째로, 피동잔열제거계통의 자연순환 루프에 설치되어 있는 주요 기기들의 형상 손실 계수가 자연순환 유량에 미치는 영향을 분석하였다. 두 번째로, 응축열전달이 발생하는 열교환기 모델링과 열침원인 비상냉각탱크 모델링이 냉각 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

향후 본 연구결과를 활용하여 SMART100 피동잔열제거계통 성능 해석 방법론에 사용되는 해석 모델링에 대한 규제 방향을 수립하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 한국원자력안전기술원의 분야별 안전성 평가 및 검증 사업 중 원자력안전규제 계통평가 사업의 일환으로 수행된 것입니다(과제번호: A3FD21030).

규제 검증용 해석 코드 MARS-KS를 이용한
APR1400 증기발생기 전열관 다중 파단 사고에 대한 연구
Study on Multiple Steam Generator Tube Rupture in APR1400
using Regulatory Audit Code, MARS-KS

이동훈 · 서광혁

한국원자력안전기술원 계통평가실

NRC에서 피동형원전에 대해 증기발생기 전열관 다중 파단사고(Multiple Steam Generator Tube Rupture, MSGTR) 분석을 요구하였고, 개량형 원전 및 피동형 원전에 대한 원자로 냉각재의 격납건물 우회가능성을 평가할 것을 제안하였다. 이와 관련하여 미국전력연구소(EPRI)와 Westinghouse는 MSGTR에 대해서 최적해석기법을 적용한 평가를 해야 한다는 입장을 제시하였다. 이와 관련하여 국내에서는 APR1400에서 MSGTR 발생시 운전원 개입 없이 주증기안전밸브의 개방 시점이 사고 후 30분 이후라는 설계 목표를 수립하고, RELAP5/MOD3 전산해석프로그램으로 최적해석 가정을 적용한 분석을 수행하여 APR1400의 설계가 설계 목표를 만족함을 최종안전성분석보고서에 제시하고 있다.

본 연구에서는 최종안전성분석보고서에서 사용된 APR1400 MSGTR 해석 방법론에 대한 규제 방향 수립을 목적으로, 규제검증용 해석 코드인 MARS-KS를 이용한 APR1400 MSGTR 해석을 수행하였다. 일반적으로 운전원 조치가 없는 상황에서의 MSGTR은 전열관 다중 파단, 고온관 포화온도에 의한 원자로 정지, 안전 주입, 건전축 보조급수 주입, 주증기 격리밸브 닫힘, 주증기안전밸브 개방 순서로 진행된다. 따라서 본 연구에서는 안전주입계통, 보조급수계통, 주증기격리계통 해석 모델링(작동 설정치, 지연시간, 주요 기기 설계 특성 등)에 대한 민감도 해석을 수행하여 위 계통들의 모델링이 주증기안전밸브 개방 시간에 미치는 영향에 대해서 분석하였다.

향후 본 연구결과를 활용하여 APR1400 전열관 다중 파단사고 해석 방법론에 사용되는 해석 모델링에 대한 규제 방향을 수립하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 한국원자력안전기술원의 분야별 안전성 평가 및 검증 사업 중 원자력안전규제 계통평가 사업의 일환으로 수행된 것입니다(과제번호: A3FD21030).

Feasibility of unsaturated fatty acid feedstocks as green alternatives in bio-oil refinery

JY Jeon · Y Han · YW Kim · YW Lee¹ · S Hong² · DW Hwang · IT Hwang

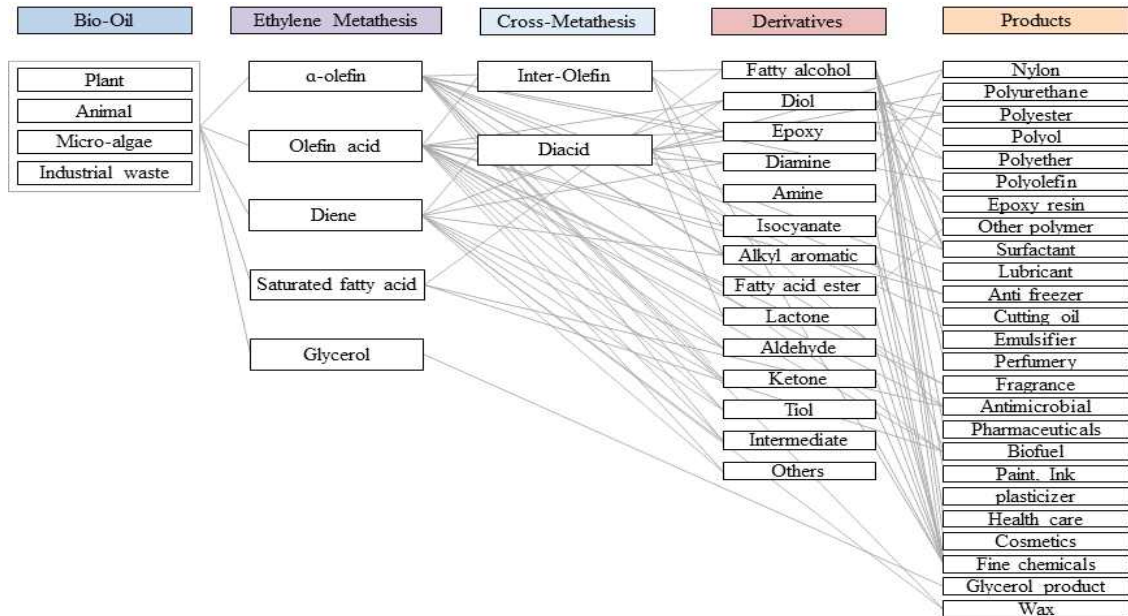
Korea Research Institute of Chemical Technology, 1Seoul National University,
2Gwangju Institute of Science and Technology

Abstract

Bio-oil contains plant, animal, fish, and micro-algae oil, and more than 200 million tons are produced annually. However, many edible and non-edible bio-oils are still under development, and their value and feasibility have yet to be determined. The vast majority of bio-oils produced in the world have a very high unsaturated fatty acid content (70~98%), which could be used as a renewable, eco-friendly alternative to petroleum. Hydrolysis (or transesterification) with ethylene metathesis technology converts unsaturated fatty acids to C₄~C₃₀ oil fragments. These oil fragments are a sustainable chemical technology used in chemical industry platform technology and carbon dioxide abatement green chemical technology, and as a petrochemical substitute. These platform chemicals also have their own market but are used as raw materials for other products (polymers, surfactants, synthetic lubricants, plasticizers, other specialty chemicals, general purpose chemicals, biofuels, etc). The biodegradability and biocompatibility of the polymeric materials made from the oil mean that it is also possible to develop diverse functional products with high added value such as toothpaste, dandruff treatment shampoo, and melanin pigment removal cosmetics, medical and shape memory polymer materials. According to the cradle-to-gate analysis for environmental impact and economics, the total carbon dioxide emission reduction per ton of soybean oil was estimated to be 1.5 kg kg⁻¹ products. Moreover, the metathesis of soybean oil (\$680/ton) with additional raw materials (\$237.4) will generate a value that is 7.5 times higher at \$6857. Due to the biodegradability and biocompatibility of the products made from bio-oils, it is expected that various functional products with high added value will be developed and that industrial applicability will be greatly expanded in the near future. In addition, for the development of various derivatives, fusion and cooperative research in chemical fields such as catalytic engineering, organic chemistry, polymer chemistry, maintenance chemistry, and reaction engineering are essential.

Keywords: bio-oils; fatty acids; refinery; oleo chemicals; platform chemicals; biofuel

<Value chain of products from bio-oil refinery>



수소가스 감지를 위한 표면탄성과 제작 및 특성평가

Fabrication and Characteristics of Surface Acoustic Wave (SAW) Sensor for Detecting Hydrogen Gas

배봉규², 이영준^{1,*}, 한지훈¹, 이은상¹, 김주형²

¹인하대학교 수소기반 차세대 기계시스템 키우리 연구단, ²인하대학교 기계공학과

수소는 미래 청정 에너지원으로 각광을 받고 있으며 최근 수소 경제 활성화를 위해 활용 속도가 빨라지고 있다. 수소 산업 전 분야에서 안정성 문제는 항상 대두되고 있으나 수많은 센서를 통해 수소 산업 관리에서 안정성을 확보하는데 노력하고 있다. 따라서, 수소 산업계의 안전성 확보를 위해 수소를 직접 감지하는 센서의 사용시간과 안정성 확보를 위한 많은 연구가 필요하다.

본 연구에서는 수소 가스 감지를 위해 표면탄성과 (SAW, Surface Acoustic Wave) 센서를 제작하고 이를 이용하여 낮은 농도의 수소를 감지하였다. 이를 위해 quartz 기판에 250 MHz 급 SAW 센서를 제작하고 감지막으로 Pd (Palladium) 분말을 이용하여 수소 가스에 대한 반응 실험을 수행하였다. Pd 분말이 코팅된 SAW 센서는 상온에서 수소농도 1%에서 3%의 범위에서 수소감지 평가를 수행하였으며 수소 농도에 따라 센서의 중심주파수 변화를 보였다. 또한 가스 반응 실험의 반복을 통해 센서의 반복성을 확인하여 제작된 센서의 반복성을 확인하였다.

향후 Pd 감지막을 대체하기 위한 고분자 복합물질에 대한 연구와 소자의 중심주파수 변화를 통한 센서의 가스 반응성을 높이고자 한다.

후기

이 논문은 2021년도 정부 (과기정통부)의 재원으로 한국연구재단 혁신성장 선도 고급연구인재 성장지원 (KIURI) 시범사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2021M3H1A106413511)

Rational design of High Durable and Efficient core-shell bimetal oxide@porous carbon sheet Electrocatalyst for water splitting application

Shanmugam Ramakrishnan¹, Dong Jin Yoo^{1,2}

¹Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School(BK21 FOUR), Jeonbuk National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

²Department of Life Science, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

The creation of high efficiency storage devices is a critical issue for the scientific community, therefore non-precious based electrocatalysts with highly active and long-lasting energy conversion applications are challenging task. Herein, we have synthesis core-shell bimetal oxide on a porous carbon sheet by using solvothermal method and then followed by calcination method. The synthesized core-shell electrocatalyst has been characterized with various analysis techniques such as Transmission electron microscopy, Scanning electron microscope, Micro-Raman, X-ray diffraction analysis, and X-ray photoelectron spectroscopy. The bimetal oxide core-shell on highly graphitic carbon provides a large surface, increased electron conductivity, and good synergistic effect between bimetal oxide and graphitic carbon shell, results electrocatalyst provide excellent durability towards water electrolysis applications. Optimized electrocatalysis shows improved performance of OER ($E_{\eta_{10}} = 225$ mV) and HER ($E_{\eta_{10}} = 210$ mV) and excellent durability test for 30h.

Classification of the efficient electrocatalyst for oxygen reduction
reaction
application

Ramasamy Santhosh Kumar¹, Dong Jin Yoo^{1,2}

¹Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School(BK21 FOUR), Jeonbuk National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

²Department of Life Science, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

Toward realistically design hierarchical nanostructures with unique surface/interface features is very significant due to their multi-functionalization in energy storage and conversion systems. Generally, single metal oxide and tri-metal oxide as electrode material is still unsatisfactory for its slow electron transportation and inevitable structural collapse. To address these issues, oxygen element-induced interface-tailoring hierarchical Ni_3O_4 , NiCo_2O_4 and NiCoMoO_4 nanostructures on supported reduced graphene oxide with high electrochemical activity are reported through a simple hydrothermal process. The hierarchical $\text{NiCoMoO}_4@\text{rGO}$ nanostructures presents excellent oxygen reduction reaction performance with the detailed characterization techniques of high-resolution transmission electron microscope (HR-TEM), X-ray diffraction (XRD), inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES), Raman spectroscopy and X-ray photoelectron spectrometer (XPS) were analyzed. Furthermore, we evaluated the electronic structure and ORR mechanism of Ni_3O_4 , NiMo_2O_4 and NiCoMoO_4 using DFT calculations via the Vienna ab initio simulation package. Thus, the present work paves the way to development of high surface area, hierarchical structured, metal oxide-based electrocatalysts for oxygen reduction reaction.

Bimetal supported nitrogen doped graphene nanofiber as an efficient electrocatalyst for oxygen evolution reaction

Natarajan Logeshwaran¹, Dong Jin Yoo^{1,2}

¹Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School(BK21 FOUR) Jeonbuk National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

²Department of Life Science, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

Hydrogen is considered one of the most important green and clean energies, which aimed to be ruled the energy industry in future. Water splitting technology is a widely convenient technology for the hydrogen production process. Recently, transition metal-metal chalcogenides, especially manganese-based chalcogenides such as manganese-sulfides, selenoids have attracted much research attention because of their abundant earth crust availability, eco-friendly green, and longer stability. However, the limited active sites and significant electron conductivity of transition manganese selenoid materials hinders their better performances in hydrogen evolution reaction (HER) and oxygen evolution reaction (OER) applications. As a result, the combination of bimetal selenoids and conductive materials is supposed to enhance electrical conductivity. Herein, we have reported manganese iron selenoids anchoring on high conducting nitrogen heteroatom doped graphene nanofiber substrates (MnFeSe-NGNF) as an efficient catalyst for OER applications. Detailed characterization techniques of field emission scanning electron microscope (FE-SEM), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), high-resolution transmission electron microscope (HR-TEM), atomic force microscopy (AFM), X-ray diffraction (XRD), thermogravimetric analysis (TGA), inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES), Raman spectroscopy and X-ray photoelectron spectrometer (XPS) were analyzed. Moreover, post-analysis mortem reports also were examined to compare the material deformation after 100 hours of stability and 10000 cyclic voltammetry cycles

Optimized bimetal nanoparticles supported on nitrogen-doped graphene nanofiber for hydrogen evolution reaction

Vijayapradeep Subramanian¹, Dong Jin Yoo^{1,2}

¹Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School(BK21 FOUR), Jeonbuk National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

²Department of Life Science, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

Hydrogen is studied as a promising clean energy source, developing high active and longer durable, cost-effective electrocatalysts becomes inevitable for energy storage and conversion application. Water splitting is considered a promising electrochemical application for hydrogen production. Where oxygen evolution reaction (OER) and hydrogen evolution reaction (HER) are essential core reactions for water electrolysis, in this present study, we developed a non-noble bimetal coated nitrogen-doped graphene nanofiber as an efficient electrocatalyst for hydrogen evolution reactions using a cost-effective and straightforward hydrothermal method. Typically prepared electrocatalyst morphology and structural characterizations were further analyzed with the transmission electron microscope (TEM), field emission scanning electron microscope (FE-SEM), atomic force microscopy (AFM), X-ray diffraction (XRD), thermogravimetric analysis (TGA), inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES), Raman spectroscopy and X-ray photoelectron spectrometer (XPS). Moreover, the post-morphology analysis also were examined to compare the material deformation after 100 hours of stability test and 10000 cycles of cyclic voltammetry test.

Iridium oxide nanoparticles decorated on MnO₂ nanorods supported
reduced graphene oxide as efficient electrocatalyst towards oxygen
evolution reaction

Karthikeyan S C¹, Dong Jin Yoo^{1,2}

¹Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School(BK21
FOUR), Jeonbuk National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

²Department of Life Science, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk
National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

Clean hydrogen becomes a promising candidate for the next generation fuel requirements replacing traditional fossil fuels. But the high cost and limited availability of noble electrocatalyst materials like Platinum, Ruthenium and Iridium limits the widespread usage and commercialization. Recent researches are focused on providing a suitable low cost electrocatalyst with non compromised electrocatalytic activity for oxygen evolution reaction. OER, the cathodic reaction for batteries and water electrolyzers, still remains as an enigma due to their reaction kinetics. It becomes inevitable to overcome the sluggish reaction kinetics in order to enhance the water splitting and other renewable techniques. In this work, we demonstrated a hydrothermal synthesis of Iridium oxide nanoparticles decorated over the MnO₂ nanorods with rGO substrate as an efficient electrocatalyst and analyzed their electrochemical activity towards oxygen evolution reaction. Physico-chemical characterization such as XRD, FE-SEM, TEM and Raman analysis confirmed the formation of the Iridium oxide decorated manganese oxide nanorods supported on the reduced graphene oxide substrate. The Electrochemical characterizations such as cyclic voltammetry, linear sweep voltammetry, electrochemical impedance spectroscopy and chronoamperometry demonstrates its superior electrocatalytic activity with very low overpotentials, faster reaction kinetics and high stability in 1.0 M KOH electrolyte.

Effect of high electron density aryl monomer on the conductivity and stability of Anion Exchange Membrane fuel cell (AAEMFC)

Iyappan Arunkumar¹, Dong Jin Yoo ^{1,2}

¹Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School(BK21 FOUR), Jeonbuk National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

²Department of Life Science, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

Alkaline anion exchange membrane (AAEM) have received widespread attention in the field of energy materials for future energy conversion technology. However, enhancing its hydroxide ion conductivity and mechanical stability is highly challenging for commercialization of alkaline anion exchange membrane fuel cell (AAEMFC). The OH⁻ ion present in the alkaline solution often degrade the polymer backbone and reduce fuel cell performance. Recently, highly stable, conductive Poly (aryl piperidinium) (PAP) based polymers are developed for anion exchange membrane. A series of high electron density membranes are prepared by simple solution casting method. Initially, the anion-conducting polymer synthesized by superacid-Fridel crafts polymerization and quaternized by methyl iodide. The structural characterization of polymer and membrane are analyzed by H¹NMR and FTIR. Surface morphology of the membrane are analyzed by field emission scanning electron microscope (FE-SEM) and atomic force microscopy (AFM). Ionic conductivity and mechanical stability of resulting PAP membranes are studied and discussed briefly. Further, Alkaline stability, oxidative stability, swelling ratio, elongation at break, thermal stability, and water uptake studies depict the utilization of these polymer membrane in alkaline anion exchange membrane fuel cell.

머신러닝을 이용한 bubble column reactor에서의 기포 분산 패턴에 따른
bubble chord length 분류와 예측

Classification and prediction of bubble chord length with gas dispersion
patterns in bubble column reactor with machine learning

여상구¹, 김준영^{1,2}, 이동현^{1,*}

¹성균관대학교 화학공학과

²성균관대학교 화공융합기술연구소
(dhlee@skku.edu*)

Sang Gu Yeo¹, Jun Young Kim^{1,2} and Dong Hyun Lee^{1,*}

School of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University¹

²*Institute of Convergent Chemical Engineering and Technology, Sungkyunkwan
University* (dhlee@skku.edu*)

Bubble column의 orifice에서 기포의 초기 생성은 We/Re^{-8} 값에 따라 크게 (1) Bubbling (2) Jetting (3) Dispersed jetting의 3가지 패턴으로 나누어진다. 이를 기반으로 머신러닝의 정확성을 검증해보고자 0.097 m의 inner diameter, 높이 1.8 m의 원통형 스테인리스 column에서 air-kerosene, He-kerosene을 이용해 도출한 bubble chord length 데이터를 Random forest (RF), Support vector machine (SVM) classifier로 위 3가지 패턴으로 분류를 진행하였다. 이후, RF, SVM regressor를 통해 회귀 분석을 진행하여 각 regime 별 bubble chord length에 대한 prediction data가 experimental data에 잘 들어맞는지 검증하였다. 민감도 분석을 위해 bubble dispersion pattern을 결정하는 input parameter (pressure, opening fraction 등 총 9가지)에 관한 Pearson 상관 계수 값을 구했으며, K-교차 검증을 통해 데이터의 과적합을 방지했다. 모델링 결과, confusion matrix 비교를 통해 SVM (Accuracy: 0.984, F1: 0.984)이 RF (Accuracy: 0.869, F1: 0.871)보다 더 높은 dispersion pattern 분류 성능을 나타냈다. 회귀 분석의 경우, bubbling은 RF, SVM에 대해 R^2 값이 각각 0.503, 0.321를 나타냈으나, jetting, dispersed jetting 패턴에 대해 0.67~0.83의 상대적으로 높은 R^2 값을 도출했다. 위 모델링을 통해 bubble chord length가 감소할 경우, 머신러닝 분류 결과가 experimental data를 잘 예측하였음을 확인하였다.

3세대 바이오에너지 활용을 위한 미세조류용 광생물 반응기의 건축 적용성 Applicability of a Photobioreactor for Microalgae Cultivation to Buildings towards Third-Generation Bio-Energy Utilization

최승주* · 김재향* · 한승훈**

*전남대학교 건축토목공학과, **전남대학교 건축학부 (교신저자)

‘World Energy Outlook 2020 (WEO 2020)’에 따르면 태양광과 바이오매스의 연간 성장세는 2019년도 대비 50% 전후 성장세를 가지며, 여타 신·재생 에너지 유형보다 수요가 높아질 것으로 예상된다. 한국에서도 2021년 7월 기점으로 신·재생 연료혼합 의무화 비율이 상향되었고, 2030년까지 운송연료의 바이오디젤 함유율을 최대 5%까지 늘리려는 정책이 시행되고 있다. 이처럼 바이오매스는 차세대 에너지원이며, 특히 미세조류(Microalgae)는 3세대 바이오매스로서 해양환경이 풍부한 우리나라의 잠재력 높은 자원이다. 한편, 한국의 지형학적 특성과 공간적 한계로 미세조류 배양 플랜트 등 레이스 웨이 (Race-Way) 방식 적용이 어려운 현실이다. 해외에서는 이러한 제약을 극복하기 위해 광생물 반응기를 통한 미세조류 배양 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 독일과 미국의 경우 광생물 반응기를 건축외피에 적용하여 친환경 전략요소로 고도화하고 있다. 이처럼 건축외피는 조망, 채광 등 복합적 기능을 수행하기 때문에 단순히 에너지 생산 효율 외에도 실내공간의 환경 영향성이 명확하게 파악되어야 하지만, 미세조류 적용 건축외피에 따른 실내환경 성능에 관한 연구는 현재까지 미비한 실정이며, 국내의 경우 선행이 많지 않다.

이 연구는 규정된 Mock-Up 공간의 입면에 광생물 반응기를 설치하여 미세조류 배양시간 경과에 따라 나타나는 실내 빛환경 변화를 모니터링했다. 이를 통해 측정된 Mock-Up의 조도 데이터는 국가표준인 ‘KS A 3011 - 조도 기준’과 비교하여 미세조류 건축외피의 적용성에 대해 분석했다. 미세조류 배양이 진행될 광생물 반응 외피 규격은 특허청에 등록된 ‘바이오 에너지 생산을 위한 조류 배양용 창호’와 동일 구성으로 제작하였으며, 미세조류 품종은 농촌진흥청에서 공식 배양기간 및 방법을 명시하고 있는 클로렐라를 활용했다. Mock-Up은 가로 1m, 세로 1m, 높이 1m의 규격이며, 태양 차폐요소를 제거하기 위해 건축물 옥상면에 설치, 운영하였다. 모니터링 시점은 미세조류 배양이 가장 더딘 여름 시점을 중심으로 하였으며, 연중 최장 일조시간을 가지는 하지를 전후로 수행하였다.

분석 결과 미세조류 건축외피 적용 공간의 실내조도는 동일 환경조건에서 VLT 89% 창호 대비 34.46%~71.79% 수준의 투과성능을 보였으며, 최소 실내조도는 39.37lx로 나타났다. KS A 3011 기준으로 살펴볼 때 ‘잠시 단순작업이 가능한 환경’에 속하며, 자전거 경기장, 창고, 병원 동물실, 주택의 차고 및 창고, 옥외시설의 입구 등 환경으로 볼 수 있다. 이는 미세조류 창호가 전반적으로 실내 빛 투과율이 낮으며, 특허청 제공 규격의 미세조류 창호로는 자연채광에 의한 실내공간 요구조도를 확보할 수 없음을 의미한다. 따라서, 미세조류 창호의 건축 적용성을 높이기 위해서는 현재 규격에서 외피 두께 등의 최적화로 배양공간 침투력을 높게 기획하여 빛 투과성능이 증대된 배양외피의 개발이 필요할 것이다.

* 이 연구는 2021년도 한국연구재단 미래선도기술개발사업(과제번호 : NRF-2018M3C1B9088457) 및 전남대학교 Energy+AI 핵심인재양성교육연구단 산학협동프로젝트 지원으로 수행하였습니다.

이온교환막의 이온 채널 네트워크를 분석하기 위한 수학적 모델 개발

Development of Advanced Numerical Approximation Model for Analyzing Ionic Channel Network

이재경· 박재형· 차수현· 권오성*· 손형주

하이젠파워(주), 계명대학교

이온교환막의 성능은 친수성 술폰산기와 물로 이루어진 이온채널 네트워크의 구조에 따라 달라진다. 그러므로 이온교환막의 이해는 필수이나 나노미터 크기의 채널과 함수율에 따라 변하는 성질로 인하여 측정 및 분석이 매우 어렵다. 나노미터 분해능으로 표면의 전하 분포를 측정 가능한 정전기력 현미경은 이온 채널을 측정하기 위한 적합한 방법이라고 할 수 있다. 그러나 측정 후 얻어진 데이터를 분석하기 위한 정밀한 모델이 존재하지 않는다. 본 연구에서는 정전기력 현미경으로 측정된 데이터를 분석하기 위한 정밀한 수학적 모델을 개발하였다. 또한, 개발된 모델을 실험을 통하여 검증하였다. 표면전하를 분석하기 위한 수학적 모델은 나노미터 크기를 가진 정전기력 현미경의 원추형 탐침과 대전된 표면을 나노 크기의 축전기로 가정하고 이들 사이의 정전용량과 분극을 정밀하게 계산할 수 있는 방법을 제공하였다. 정전용량은 이온채널과 직접적으로 연결되어 있어 이를 통해 이온채널의 네트워크의 구조를 정밀하게 분석할 수 있다. 또한, 수학적 모델을 검증하기 위해 대표적인 이온교환막인 나피온을 측정하고 이를 분석하였다. 분석을 기존 발표결과들과 비교했을 때 동일함을 보여주었으며 이는 수학적 모델을 실제로 적용 가능함을 의미한다.

키워드: 고분자 전해질 연료전지, 이온교환막, 이온 채널 네트워크, 정전기력 현미경, 수학적 모델

구멍 조끼에 적용하기 위한 연료전지 발열 시스템 개발

Development of fuel cell heating system for application to life jackets

차수현·박재형·권오성*·이재경·손형주

하이젠파워(주), 계명대학교

해상 조난자가 착용한 구멍조끼가 열을 지속적으로 공급할 수 있다면 저 체온증의 위험을 방지하고 안전하게 구조를 기다릴 수 있을 것이다. 구멍조끼에 열을 공급하기 위한 전력원은 높은 신뢰성과 에너지 밀도가 요구된다. 고분자 전해질 연료전지와 수소화합물을 이용한 수소 공급은 이에 부합하는 시스템이라 할 수 있다. 본 연구에서는 수소화합물 수소공급 시스템을 적용한 소형 수소연료전지를 사용하여 발열 시스템을 개발하였다. 발열 시스템은 소형 연료전지와 수소 공급 시스템으로 구성되었다. 연료전지는 12 W 급으로 Nafion과 흑연 분리판을 사용한 10장의 단위전지를 적층 하여 제작하였다. 연료공급 시스템은 수소화 붕소 나트륨의 가수분해 반응을 통해 안정적으로 수소를 발생 연료전지에 공급 가능하도록 제작하였다. 연료전지와 연료공급 시스템을 통합하고 이를 면상 발열체에 연결하여 발열시스템을 개발하였다. 연료전지, 수소 발생시스템, 그리고 면상 발열체는 각각 최대 전력, 분당 발생량, 그리고 발열량을 평가하였다. 수소 발생장치는 평균적으로 0.17 L의 수소를 10시간 이상 안정적으로 연료전지에 공급했으며 연료전지는 10 W 정도의 전력을 발생하였다. 또한, 연료전지는 10시간 이상 최대 전력을 면상 발열체에 공급하여 안정적으로 열이 발생하도록 하였다.

Keywords : 연료전지, 구멍조끼, 저체온증 예방, 수소공급시스템, 면상발열체

PEMFC 5kW 가정용 및 건물용 연료전지 시스템 국산화

Localizing PEMFC 5kW Stationary Fuel Cell

손형주·박재형·차수현·권오성*·이재경

하이젠파워(주), 계명대학교

고분자 전해질 연료전지 시스템(PEMFC)은 현재 전 세계가 추구하고 있는 탄소제로 정책의 핵심 중 하나이다. PEMFC는 화학에너지를 전기에너지로 직접적으로 전환하여 높은 에너지 효율을 보이며 발전과정에서 탄소를 전혀 발생시키지 않는다. 또, 타 신재생에너지 비교하여 외부 환경요소에 영향을 적게 받는다는 강점을 가지고 있다. 기존의 중형 연료전지 시스템은 자동차나 건설기계 등의 이동형 플랫폼으로 적용을 목적으로 개발되었다. 이 시스템에서는 진동이나 충격에 상대적으로 강한 스택이 요구되며 이는 전체 시스템 가격의 상승을 불러온다. 이러한 특성으로 인하여 주택이나 건물의 적용시 경제성을 담보하기 어렵다. 본 연구에서는 주택이나 건물에 적용하기 위한 새로운 고정형 5 kW 연료전지 시스템을 설계 제작하고 이를 평가하였다. 특히, 연료전지 시스템의 핵심인 양극판을 자체 설계 제작하였으며 이때 양극판은 두 가지 장점을 가진다. 첫 번째, 양극판의 유로를 기존의 사형구조가 아닌 보다 간단하고 효율적인 구조의 적용을 통하여 제작 낮출 수 있었다. 두 번째, 소재를 기존에 널리 사용되는 금속 대신 흑연을 사용하여 소량 양산시 단가를 획기적으로 줄여 경제성을 확보할 수 있었다. 제작된 연료전지 시스템은 한국에너지기술연구원의 10kW 평가스테이션을 사용하여 스택 옴성 저항, 출력, 열화정도를 평가하였다. 연료전지 특성곡선에서 $2.8\Omega/\text{cm}^2$ 정도의 상대적으로 낮은 옴성 저항을 보여주었다. 최대전력은 7kW를 보여주었으며 전력밀도는 $1.4 \text{ W}/\text{cm}^2$ 를 나타내었다. 본 연구에서 개발된 연료전지 시스템은 경쟁 제품들과 비교하여 상대적으로 우수한 성능과 경제성을 보여주었다.

Keywords : 고분자 전해질, 연료전지 시스템, 가정용, 건물용, 탄소 저감

Synthesis, Characterization, and Photocatalytic Properties of In_2S_3 for Photocatalytic Applications

Bo Gyeong Mun¹, Salh Alhammadi¹, Sreedevi Gedi, Vasudeva Reddy Minnam Reddy, Abdelrahman M. Rabie, Mostafa S. Sayed, Jae-JinShim, Hyeonwook Park and Woo Kyung Kim*

School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Gyeongbuk 38541, Republic of Korea

*Corresponding author's e-mail: wkim@ynu.ac.kr

The effect of Silver (Ag) doping on In_2S_3 nanoparticles properties and on the corresponding photocatalytic degradation activity of the organic pollution and on hydrogen production by photoelectrochemical water splitting has been investigated. In this work, pure In_2S_3 and Ag-doped In_2S_3 were prepared using conventional chemical solution process. The different Ag concentration were used to optimize the doping concentration. The XRD results demonstrated that's all the prepared nanoparticles has a polycrystalline cubic crystal structure. The XRD results indicates Ag doping didn't affect the In_2S_3 crystal structure due to the absence of foreign phases which all the appeared peaks are (111), (113), (004), (115) and (044) are corresponding to the cubic crystal structure of In_2S_3 . The chemical bonding states and composition of the prepared nanoparticles were confirmed from XPS results, which the results showed all the samples has identical structure of In_2S_3 . The photocatalytic ability of the pure In_2S_3 and Ag-doped In_2S_3 nanoparticles were investigated systematically and compared for the decomposition of Rhodamine B (RhB), methylene blue (MB) and tetracycline (TC) under visible light illumination. Overall, the Ag-doped In_2S_3 exhibited better performance than pure In_2S_3 of visible-light photocatalytic degradation of TC and MB with higher removal efficiency. Furthermore, the Ag-doped In_2S_3 NPs showed improved hydrogen production via photoelectrochemical water splitting compared to pure In_2S_3 NPs.

정유분야 탄소중립대응 대체연료 기술개발 동향 연구

Study on the development trends of alternative fuel for carbon neutrality
in refinery sector

김목연 · 김재곤

한국석유관리원 석유기술연구소

국제에너지기구(IEA)의 「2050년 넷제로, 탄소중립 로드맵 보고서」에 따르면, 2050년 탄소중립 달성시 석유 수요는 현재의 27% 수준으로 급감하고 바이오연료 수요의 지속 증가를 전망하고 있으나, 청정에너지로 직접 대체가 어려운 분야에는 석유대체연료가 유일한 대안이다. 우리나라의 법적인 석유대체연료는 9종으로 RFS제도와 RPS제도에 사용되는 2종인 바이오디젤, 바이오중유를 제외하고 상용화가 미미한 실정이다. 2030년 국가온실가스 감축 목표(NDC)인 2017년 대비 24.4% 감축을 달성하기 위하여 석유대체연료의 범위 확대와 추가적인 대체연료의 발굴이 요구되고 있다. 유럽, 미국 등 해외에서는 선박 및 항공부문까지 대체연료를 활용하기 위한 기술개발이 진행되고 있으며, 대체연료 상용화를 위한 적절한 수준의 품질을 확보할 수 있는 표준을 설정하고 있다. 신규 대체연료의 국내 도입을 위하여 해외 정책, 보급현황, 기술개발 현황과 표준규격 동향을 조사하였다.

곤충 유래 바이오디젤의 국내 자동차용 경유 적용 가능성 연구
A Study on the Applicablility of Insect-derived Biodiesel for
Automobiles in Korea

주다정 · 박조용

한국석유관리원 석유기술연구소

국내에서 바이오디젤은 자동차용 경유에 의무 혼합되어 사용되고 있으나 원료의 대부분을 차지하는 팜유는 수입에 의존하고 있다. 국산 원료 개발이 시급한 실정이며 그 대안으로 곤충은 지질 함량과 바이오디젤 생산성이 높아 신규 원료로 가능성이 매우 크다. 곤충으로부터 추출한 지질과 메탄올을 황산 촉매 하에서 온도, 시간에 따라 에스테르화 반응을 실시하였고 국내 바이오디젤 품질 기준인 KS M 2965에 따라 전 항목을 분석하였다. 곤충(동애등에) 지질은 라우르산(lauric, C12:0), 올레익산(Oleic, C18:1), 팔미틴산(Palmitic, C16:0) 등의 순으로 높은 함량을 나타냈으며 포화지방산과 불포화지방산의 비는 6.5:3.5 정도로 포화지방산 함량이 높았다. 전산가 1.5 mg KOH/g, 인 함량 343.9 mg/kg, 칼슘 함량 168.6 mg/kg, 황분 함량 0.03%의 특성을 나타내었다. 곤충 지질의 에스테르화 반응은 메탄올, 온도, 시간이 증가함에 따라 수율이 증가하였고, 최대 수율은 89.6%이었다. 곤충 유래 바이오디젤은 FAME(fatty acid methyl ester) 97.5%, 밀도 875 kg/m³, 동점도(40℃) 4.0 mm²/s 등 산화안정도를 제외한 모든 항목을 만족하였고 산화안정도는 첨가제를 사용하여 국내 품질기준의 모든 항목을 만족하여 곤충 유래 바이오디젤의 사용 가능성을 확인하였다.

바이오가스 보일러 스크린 손상 원인 분석 Failure analysis of screen in biogas boiler

김우철 · 이문희 · 손홍균*

한국지역난방공사 미래개발원, *한국부식방식학회

본 연구에서는 음식폐기물 혐기성 소화설비에서 발생하는 바이오가스를 공급받아 운영되는 바이오가스 보일러의 스크린의 파손에 관한 원인분석을 진행하였다. 스크린에서 발견된 이물질과 손상부 분석을 위하여 SEM-EDS 및 XRD, 광학현미경을 이용하였으며, 침출수 분석 및 MIC(Microbiologically Influenced Corrosion)분석을 진행하였다. MIC 분석은 BTI Products LLC사의 MICKit[®]5 시약을 사용하여 5종(LNB, IRB, ANA, APB, SRB)의 박테리아를 분석하였다. 분석결과 스크린에서 발견된 이물질은 철산화물 및 황화물인 것을 확인할 수 있었으며, 손상부 분석결과 스크린의 파손은 부식이 아닌 물리적 충격에 의한 것임을 확인할 수 있었다. 또한, 침출수 및 MIC분석결과 설비 내 침출수의 부식성은 크지 않은 것을 확인할 수 있었으며 MIC 분석결과에서도 부식성 미생물은 발견되지 않았다. 실험 결과를 종합한 결과 바이오가스 보일러 스크린의 파손원인은 가스를 운송하는 배관에서 부식에 의해 발생한 철산화물등의 이물질이 빠른 속도로 스크린과 충돌하여 발생한 물리적 파손임을 확인할 수 있었다.

DFT 계산화학을 통한 CeO_2 기반 촉매에서의 rWGSR 반응 메커니즘 연구

Understanding reaction mechanism of reverse water-gas shift reaction on CeO_2 -based catalyst using DFT calculation

이민우 · 이관영

고려대학교 화공생명공학과

화석연료의 사용으로 지구 온난화가 가속화되면서, 온실가스인 이산화탄소(CO_2)의 배출 규제가 강화되고 있음. 이에 따라 배출되는 CO_2 를 저감하기 위해 CO_2 흡착 및 전환에 관한 연구가 활발히 진행되고 있음. CO_2 를 활성화하여 메탄올(CH_3OH), 포름산(HCOOH), 메탄(CH_4) 혹은 합성가스($\text{CO}+\text{H}_2$)등으로 전환하는 반응에 관한 연구는 오랜 기간 진행되어 왔으나, CO_2 는 화학 및 열역학적으로 안정한 물질이기 때문에 전환이 쉽지 않음.

현재 CO_2 배출량을 감축하기 위해 화석연료기반 경제에서 신재생에너지를 활용하는 수소 경제로 넘어가려는 노력이 전 세계적으로 진행 중임. 이러한 관점에서 수소(H_2)를 필요로 하는 CO_2 전환반응은 신재생에너지를 활용하여 CO_2 를 추가적으로 저감할 수 있는 장점을 지님.

이중 역수성가스 전환반응(reverse water-gas shift reaction)은 CO_2 와 H_2 를 반응시켜 일산화탄소(CO)와 물을 생성하는 반응임. 이를 통해 생성된 CO 는 H_2 와 함께 합성가스로 활용될 수 있으며, 합성가스는 Fischer-Tropsch 반응을 통해 석유를 생산할 수 있음.

역수성가스 전환반응에는 CeO_2 기반의 촉매가 많이 활용되고 있음. 이는 CeO_2 의 oxygen vacancy에 CO_2 의 흡착이 용이하기 때문임. 또한, 귀금속과의 강한 상호작용으로 고분산을 유도하여 귀금속 촉매의 활성을 증대시키는 장점도 가짐. 따라서 본 연구에서는 밀도 범함수 이론을 통한 계산화학을 이용하여 Pt/CeO_2 촉매에서의 역수성가스 전환반응의 반응메커니즘에 대해 연구를 진행하였음.

질화 이중금속 코어-백금 셸 구조를 이용한
고성능 산소환원반응용 촉매의 개발

Development of high ORR performance catalyst with
nitrided bimetal core-Pt shell structure

김동건 · 이은희 · 정혜원 · 드영반하우 · 이수진 · 정성권 · 김필†

전북대학교 반도체·화학공학부

백금 기반의 전극 촉매는 높은 활성으로 인하여 양이온 교환막 연료전지의 양극 촉매로써 이용되었다. 하지만 다량의 백금 사용으로 인한 전극 촉매의 높은 비용은 연료전지 가격을 높이는 문제를 일으켰다. 백금에 의한 비용을 낮추기 위하여 백금 합금을 이용한 촉매가 제조되었으며, 최근에는 nano-particle, nano-frame과 같이 나노 구조 제어를 통한 고성능 합금 촉매가 연구되고 있다. 다양한 나노 구조 중에서 비귀금속 코어-백금 셸 구조의 촉매는 낮은 백금 함량에도 불구하고 높은 산소환원반응 활성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 하지만 지속적인 산소환원반응에서 비귀금속 코어 물질은 용출될 수 있기 때문에 촉매의 성능 저하를 야기할 수 있다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 코어 물질의 내구성을 강화하고 촉매의 성능을 높이기 위한 연구가 필요하다.

본 연구는 티타늄과 니켈로 이루어진 이중금속 합금을 탄소에 담지하고 암모니아 분위기 열처리를 통해 합금을 질화하였다. 이후 합금 입자에 백금 전구체를 도입하여 이중금속 합금 코어-백금 셸 구조의 촉매를 제조하였다. 이에 제조된 촉매는 과염소산 용액에서 측정된 산소환원반응 성능을 평가하고 물성 분석을 진행하였다.

리튬이온전지용 철산화물-탄소 복합체의 음극재 제조 및 특성분석
Preparation and characterization of iron oxide-carbon composite for the
anode of lithium ion batteries

이은희 · 이수진 · 김동진 · 정성권 · 정혜원 · 드영반하우 · 김필*
전북대학교 반도체화학공학부

리튬이온배터리는 이차전지 시스템 중 성능이 우수하여 가장 많이 사용되고 있는 대표적인 에너지 저장장치이다. 긴 거리를 주행할 수 있는 전기자동차를 위해 높은 에너지 밀도와 전력 밀도를 가지는 리튬이온배터리의 개발에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재 상용 음극 물질인 흑연은 리튬이온 저장용량이 제한적이기 때문에 낮은 비용량과 속도성능을 가진다. 이러한 음극의 한계를 극복하기 위한 고용량 음극의 연구가 필요하다. 그 중 변환형 (conversion type) 전극은 전이금속 산화물이나 전이금속 황화물이 이용되며 리튬화 시에 산소 또는 황과 다량의 리튬이온이 결합하여 큰 리튬 저장용량을 가질 수 있다.

본 연구에서는 FeOOH와 글루코스의 수열처리로 얻어진 FeOOH@C를 열처리하여 철 산화물과 금속 Fe을 포함하고 있는 철산화물-탄소 복합체 음극재를 제조했다. Fe₂O₃ 음극재에 비해 복합적인 Fe의 상이 포함되었을 때 우수한 전기전도성을 가져 빠른 리튬이온의 삽입과 탈리가 가능하여 높은 비용량을 나타냈다. 또한 금속 Fe은 철 산화물 기반 전극의 사이클링 중에 나타나는 Fe의 축적을 막아 충/방전 중에 큰 부피변화를 완화하여 구조적 안정성을 향상시켰다. 글루코스는 열처리 과정에서 환원제 역할과 함께 탄화되어 물질의 전기전도도를 높여 성능 향상에 도움을 주었다. 제조한 셀은 100번째 사이클에서 907 mAh/g의 용량을 유지하고 우수한 속도성능을 나타냈다.

리튬이온전지 음극재용 실리콘-티타늄 질화물
코어-셸 구조의 제조 및 특성 분석
Preparation and characterization of silicon-titanium nitride core-shell
for the anode of Li ion batteries

정혜원 · 정성권 · 김동진 · 이수진 · 이은희 · 드영반하우 · 김필*

전북대학교 반도체 화학공학부

전동화 및 무선화 시장이 성장함에 따라 높은 에너지 밀도와 출력 밀도를 가진 리튬배터리에 대한 수요가 증가하고 있다. 이를 위해 양극, 음극활물질의 다양한 연구가 진행되고 있다. 현재 흑연은 음극재로서 가장 많이 사용되고 있지만 낮은 에너지 밀도와 출력 밀도를 갖는 한계가 있어 이를 대체하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

실리콘은 매우 높은 리튬 이온 저장용량과 낮은 방전 전위를 가지고 있어 음극 활물질로서 흑연을 대체할 소재로 각광받고 있다. 하지만 실리콘은 리튬이온의 삽입·탈리 과정에서 매우 큰 부피팽창률을 가지고 있다는 단점이 있다. 집전체와 실리콘 음극재의 전기적 접촉의 탈락과, 지속적인 전해액의 부반응으로 이미 생성된 SEI layer위에 다시 생성된 두꺼워진 SEI layer로 인한 cycle 안정성과 전도도가 감소의 이유로 실리콘 기반 음극재의 상용화가 어려운 원인이 된다.

본 연구에서는 실리콘 표면에 티타늄 질화물이 코팅된 실리콘-티타늄질화물의 코어 셸 구조의 음극재를 제조하고 그 성능을 평가한다. 먼저 실리콘 나노 파티클의 사이즈와 티타늄 질화물 셸 두께에 따른 성능을 비교하고 실리콘 구조와 성능의 관계를 규명한다.

Mechanistic insights into the effect of newly developed dye anchor counter electrode in enhancing the efficiency of dye sensitized solar cells

Gyuhoo Shin, Hyojung Jung, Ganesh Koyyada, Jaehong Kim.

Department of Chemical Engineering, Yeungnam University

Constrained absorption nature of the dye sensitized solar cells (DSSCs) is one of the key limitation in attaining the optimum efficiency. In this report, we have adopted the newly developed DACE technique to achieve panchromatic absorption nature in solid state DSSC. Herein, TVP208 and DPP13 have been synthesized and explored for the DACE based DSSC, and the effect of DACE electrodes have been studied systematically by comparing with the traditional SS-DSSC devices. TVP208 and DPP13 dyes have shown complementary absorption nature, a prerequisite for obtaining panchromatic absorption in DACE. The SS-DSSC device with TVP208 sensitized working electrode and DPP13 based DACE electrode (SS-Device2) has shown higher efficiency of 5.08%. The enhanced efficiency of DACE based SS-DSSC devices than the traditional SS-DSSC devices could be attributed to the improved light harvesting property by employing DACE electrode. The improved IPCE for the DACE based devices signify the contribution of DACE electrode in increasing the device efficiency.

Wet chemical synthesis and characterization of WO_3 as an effective photoanode for solar water splitting

Sungwoo Kim, Seyoung Kim, Sravanthi Burragoni, Jaehong Kim.

Department of Chemical Engineering, Yeungnam University

This work focusses on facile, single step, cost-effective method using to synthesize WO_3 nanostructure as a photo-anode for solar water splitting. The X-ray diffraction (XRD), Scanning electron microscopy (SEM), Diffuse reflectance spectroscopy (DRS), and Linear sweep voltammetry (LSV) have been characterized to investigate the effect of reaction time on structure, morphology, optical and photo-electrochemical properties of the films, respectively. The results have shown that the reaction time is a remarkable parameter that controls morphology, optical and photo-electrochemical characterizations of the product. It is found that the solar water splitting system has achieved 2.08mAcm^{-2} photocurrent density with 2h-photoanode, which is $\sim 58\%$ higher than that of the lowest systems with 4h-photoanode. The improvement could be attributed by the suitable amount of WO_3 on fluorine doping tin oxide – FTOglass that maximizes the charge transfer and separation, and reaction points onto the photo-anode.

A study of the effect of TADF as an energy Relay dye for fluorescence resonance energy transfer-based solid state dye-sensitized solar cells

Jieun Lee, Jaemin Jang, Ganesh Koyyada, Jaehong Kim.

Department of Chemical Engineering, Yeungnam University

The effect of thermally activated delayed fluorescence (TADF) materials, 4CzBN material as an energy donor (energy relay dye) in fluorescence resonance energy transfer(FRET)based solid state dye sensitized solar cell (SS-DSSC) have been studied using TVP208 as an energy acceptor. The performances of the TVP208 dye sensitized SS-DSSCs were compared by systematically changing the concentrations (0.0, 0.05, 0.10 and 0.15 wt%) of donor molecule, 4CzBN. The FRET-based SS-DSSC has achieved 5.17% power conversion efficiency (PCE) with 11.52 mAcm^{-2} current density (J_{sc}) at 0.10wt% of 4CzBN, which was 22% higher than that of the pristine SS-DSSC. The improvement in PCE performance could be ascribed to the enhanced light-harvesting property of FRET-based SS-DSSC device, as demonstrated from the increased incident photon to current conversion efficiency (IPCE). Further, time resolved photo luminescence (TRPL) experiments were performed with and without FRET donor to analyze electron injection (K_{ej}) rate and FRET contribution (η_{FRET}) in enhancing the SS-DSSC efficiency. This study predominantly accentuates the potential of using TADF materials as the ERD in FRET based DSSC, conceivably opening up new insights into the development of highly efficient DSSCs based on TADF materials.

A novel photoelectrochemical cell improvement for hydrogen production
using organic dye based on facile wet chemical coating
fluorine-TiO₂/WO₃ photoanode

Haeseong Oh, Yuhyun Choi, Mohan Lakavathu . Jaehong Kim.

Department of Chemical Engineering, Yeungnam University

A good photo-electrochemical (PEC) anode should possess sufficient light - harvesting properties, charge transportation, and electron-hole pair separation. Herein, we reported a novel WO₃/fluorine-TiO₂/organic dye as an efficient photo-anode by multiple strategy of integrating facile wet chemical coating method and introduction of the organic dye. The as-prepared photo-anode generates high PEC performance with photocurrent density of 1.54 mAcm⁻² measured in phosphate buffer at 1.23V versus Ag/AgCl reference electrode under simulated AM1.5 light illumination, which is 111% and 41% higher than that are of only WO₃ and WO₃/fluorine-TiO₂. The remarkable improvement could be benefited from the high surface area and electron trapping points of the fluorine-TiO₂ that provides better charge transport and separation as well as enhanced light harvesting efficiency by the organic dye introduction.

Synthesis of SnS₂ Nanoparticles by Facile Chemical Precipitation Method for thin film Cu(In,Ga)Se₂ Solar Cells

Salh Alhammadi¹, Sreedevi Gedi, Vasudeva Reddy Minnam Reddy, Woo Kyoung Kim*

School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Gyeongbuk 38541,
Republic of Korea

*Corresponding author's e-mail: wkim@ynu.ac.kr

Currently, as an alternative buffer layer to CdS, tin disulfide (SnS₂) has been investigated due to its suitable wide band gap (~ 2.9 eV) to transmit most of the solar light spectrum to the CIGS absorber. further, SnS₂ consists of low-cost, abundant, and non-toxic elements. This work presents the successful synthesis of SnS₂ nanoparticles using a facile chemical precipitation method. The prepared SnS₂ nanoparticles were used to deposit the SnS₂ thin film by spin coating technique. The X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) results showed that synthesized SnS₂ nanoparticles and SnS₂ films have stoichiometric composition of Sn and S. The raman spectroscopy has also yielded useful results in the study of surfaces which showed a characteristic peak at 316 cm^{-1} corresponding to the hexagonal SnS₂ phase. The calculated band gap energy from absorbance spectra of SnS₂ film is found to be ~ 2.9 eV. The fabricated CIGS device with SnS₂ as buffer showed the conversion efficiency ($\sim 5\%$) close to the efficiency ($\sim 7\%$) of device fabricated with CdS as reference buffer layer.

태양광에너지 발전량 변화와 총 부하에 미치는 영향 Changes of Solar Energy and Their Impact on Total Load

심상우 · 공은경 · 이준희 · 노재형

건국대학교

산업통상자원부가 발표한 제9차 전력수급 기본계획의 신재생에너지에 관한 부분에 의하면 2030년 신재생에너지의 발전량 비중 목표는 20.8%로 2019년 대비 14.3%가 확대된다. 이에 따라 신재생에너지의 발전 비중에서 큰 부분을 차지하는 태양광에너지의 발전량이 늘어날 것이다. 하지만 태양광에너지 발전량은 하루 내에서도 일출, 일몰에 의해 변화가 존재하며 1년 동안에서도 차이가 발생한다. 이러한 태양에너지의 특성을 구체화하기 위해 2020년의 덕 커브(Duck Curve)를 월별로 비교하여 태양광에너지 발전량이 전체 수요에 끼치는 영향을 분석하고 태양광에너지 발전량의 분포를 정규화와 표준편차를 이용해 수치화하는 작업을 생각해보게 되었다.

2020년의 시간별 전력수요를 한 달 단위로 나누어 한 달 동안의 평균을 총 부하(Total Load)로 설정하고 총 부하(Total Load)에서 태양광에너지 발전량을 제거하여 순 부하(Net Load)로 설정한다. 이를 일별로 겹쳐서 그래프로 나타내어 월별 덕 커브(Duck Curve)를 비교한다. 이후 한 달 동안의 태양광에너지의 발전량을 하나의 변수에 모은 후 평균과 표준편

차를 구하고 $p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}\right)$ 식을 통해 정규분포를 나타낸다. 신뢰도 68.2% 구간에 해당하는 1σ , 95.4% 구간의 2σ , 99.7% 구간의 3σ 를 구하고 이를 통해 태양광에너지의 분포가 평균으로부터 얼마나 떨어져 존재하는지 분석한다.

신재생에너지는 미래를 위해 비중이 높아져야 하고 태양광에너지의 발전량도 계속 늘어나야 한다. 하지만 이러한 계획을 충족하기 위해서는 새로운 정책, 신재생에너지 발전기술의 진보와 함께 태양광에너지 발전량의 변화에 대한 대책 또한 필요하다. 태양광에너지 발전량 증가에 따른 다양한 문제를 마주하기 전에 태양광에너지 발전량의 하루 동안의 변화뿐만 아니라 1년 동안의 변화에 대해 분석할 필요성이 있다고 생각하게 되었고 위의 과정을 통해 2020년의 월별 순 부하(Net Load)와 신뢰도 구간에 따른 월별 표준편차를 통해 태양광 발전량을 분석하게 되었다.

본 연구는 2021년도 한국전력공사 전력연구원의 지원을 받아 수행한 “배전망 DMO(Distribution Market Operator) 플랫폼 및 전력시장 연구”의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. R19X002-02)

미스트 배출량 감소를 위한 금속와이어 필터 구조설계 Structural Design of Metal Wire Filter to Reduce Mist Emission

김태형, Wang Chengan*, 임동균, 이세창**, 서지원***, 이형석***, 이상용***

청주대 항공학부, 청주대 대학원*, 지엠테크 기술연구소**, 청주대 항공기계공학전공***

본 연구에서는 대용량 산업용 집진설비에 사용되는 기존 금속와이어를 이용하여 제조된 미스트 배출 감소를 위한 필터의 성능을 향상시키기 위해 이산요소 및 유한요소해석에 기초하여 필터를 설계하였다. 필터는 패드 형상으로 되어 있으며 크게 상부 층, 심재, 하부 층으로 구성된다. 상부 및 하부 층은 단일 층이며 직경이 0.2mm인 와이어가 100, 150, 200 메쉬로 각각 직조된 시트 형상으로 설계하였다. 심재는 격자 한 변의 크기를 2, 4, 6mm로 구성하여 상부 및 하부 층과 여러 형태로 조합하여 구성하였고 10개의 시트를 적층하여 설계하였다. 이와 같이 설계된 단일 층 시트 및 다층 구조의 패드 필터 형상에 대해 약 150 마이크로 크기의 미스트 입자를 이산요소해석 모델로 수립하고 필터링 해석을 수행하였으며, 투과특성을 확인하였다. 해석 후 해석모델들은 미스트 입자가 상부에서는 많은 양이 집진됨을 알 수 있었고, 미스트 일부는 패드를 통과하여 소량이 배출됨을 확인하였다. 또한 집진에 의한 유체 차압에 의해 패드 및 와이어가 인장을 받을 경우 파손에 대한 검토가 필요하다. 이어 유한요소해석을 수행하여 구조적 건전성을 확인하였으며 해석 후 모든 구조의 패드가 항복강도보다 충분히 낮은 유효응력을 주었다. 또한 패드의 휨변형 또한 극히 작은 양을 보여 구조적 안정적임을 확인하였다. 본 해석결과는 습식집진기의 내부 집진챔버에서 유체가 분진을 포집하면서 자유낙하 시 분진은 하강하고 일부 미량의 청정한 미스트는 공기중으로 배출되는데 그 양을 감소시키기 위한 선행연구 결과이다. 이는 미스트의 응집력을 높게 할 수 있는 필터 패드의 최적설계에 사용될 것이다.

Acknowledgement

본 논문은 2020년도 중소기업벤처부 수요기반기술이전사업(S2963240)의 지원에 의해 수행되었음.

스크롤이 적용된 습식 집진장치의 내부유동분석 Internal Flow Analysis of Wet Dust Collector with Scroll

이상훈*, 장용재*, 김태형**, 임동균**, 이세창***

청주대학교 일반대학원*, 청주대학교 항공학부**, 지엠테크 기술연구소***

본 연구에서는 기존의 오리피스 습식 집진장치 내부에 스크롤을 장착하여 내부유동분석을 수행하였으며 물과 공기 혼합물을 고려하기 위해 수렴성이 좋은 다상유동기법인 VOF 기법을 적용하였다. 스크롤 영향성을 고려하기 위해 스크롤이 적용되지 않은 기존 원통형 집진기와 200mm, 400mm, 600mm의 피치를 적용한 스크롤을 구성하여 중심 단면에서의 물-공기 체적비율(VOF)과 와도, 난류 운동 에너지를 비교하였다. 이를 통해 아래와 같이 3가지의 결론으로 요약하였다.

1. 스크롤이 적용되지 않은 형상은 VOF 결과를 통해 공기의 비율이 상대적으로 크게 나타나 외부로 수분이 유출될 수 있음을 알 수 있으며 400mm 피치가 제작비용과 VOF 결과를 볼 때 성능면에서 우수할 것으로 예상된다.
2. 와도 분포를 통해서 스크롤 피치 200mm의 경우 스크롤 전체를 덮는 과도한 와도 발생으로 집진 성능이 저하될 것으로 예상되며 스크롤 피치 400mm, 600mm에서 와도 분포가 집진 성능면에서 상대적으로 우수할 것으로 판단된다.
3. 스크롤이 적용된 형상에서 스크롤 중심부에서 강한 난류 운동 에너지 분포가 나타났으나 스크롤이 적용되지 않은 형상에서는 미미한 난류 운동에너지 분포를 나타내었다.

Acknowledgement

본 논문은 2020년도 중소기업벤처부 수요기반기술이전사업(S2963240)의 지원에 의해 수행되었음.

본 논문은 2021년도 청주대학교 연구장학 지원에 의해 수행되었음.

보일러 열효율 개선을 위한 물 분사 전략에 관한 기초 연구

Preliminary study on water injection strategy to improve boiler thermal efficiency

유준상 · 문석수* · 조현석 · 기영민 · 배규한

인하대학교 기계공학과

현재 가정 및 산업용 보일러 분야는 점차 강화되고 있는 환경 규제에 대응하기 위한 보일러의 열효율 향상 및 유해 배출물 저감기술에 대한 보완과 개발이 필요한 실정이다. 따라서 최근에는 친환경 고효율을 달성하기 위한 폐열회수 가습 보일러에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 폐열회수 가습 보일러는 연소 후 배기 유로에 물을 분사하여 폐열을 온수로 회수하고, 폐열 회수에 사용된 온수를 다시 흡입 유로로 공급하여 흡입 공기를 가습 예열하는 방식을 사용한다. 이는 증기의 잠열이 증가한 만큼 폐열회수량이 증가하게 되어 열효율을 향상되는 효과가 있으며, 가습 예열된 흡입 공기를 통하여 연소실 내부의 화염온도를 낮추어 NO_x 배출물을 저감할 수 있는 효과를 볼 수 있다. 따라서 폐열회수 가습 보일러는 별도의 후처리 장치 없이 유해 배출물을 저감하면서, 열효율을 향상시킬 수 있는 기술이다. 하지만 액체 상태의 물을 배기 온도를 이용하여 기체 상태의 물로 증발시켜 분사하는 방식을 사용하고 있기 때문에 배기 온도가 낮은 영역에서는 스팀이 생성이 안 되거나 스팀 생성량이 적어 흡입 공기에서 필요한 가습 양을 충족시키기 어려우며, 물의 증발량을 예측하여 필요한 만큼 스팀을 정밀하게 공급할 수 없어 제어성이 떨어진다는 단점이 있다. 따라서 정밀한 제어성과 균일한 가습 성능 확보하기 위한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 기존의 폐열회수 가습 보일러의 단점을 개선하고자 물 분사 시스템을 적용가능성을 확인해 보았다. SMD(Sauter Mean Diameter) 실험을 통하여 물 분사 시스템의 분무 특성에 관한 기초연구를 진행하였다. 기초실험을 토대로 물이 분사되는 주파수와 분사기간을 제어하여 미립화 성능을 향상시켜, 물의 증발 성능을 향상시킬 수 있었으며, 정밀한 물 분사가 가능한 것을 확인하였다. 향후 기초 실험의 결과를 기반으로 실제 보일러의 배기/흡입 유로에 물 분사 시스템을 적용하여 열효율 증대 및 배기가스 저감을 위한 최적 제어조건을 도출하고자 한다.

후 기

"이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 혁신성장 선도 고급연구인재 성장지원(KIURI) 시범사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2021M3H1A106413511)

가정업소용 수소 혼소 보일러의 호환성 기초 연구

A Fundamental study on the interchangeability of hydrogen enriched domestic boiler

조현석¹ · 이창언^{2*} · 유준상¹ · 박태준² · 하우석² · 이은상^{1,2}

¹인하대학교 KIURI 사업단, *인하대학교 기계공학과, ²인하대학교 기계공학과

— 전 세계가 급변하는 환경변화에 대응하기 위한 다양한 신재생 에너지의 활용 및 인프라 구축에 적극적인 대책을 마련하고 있는 가운데, 수소는 탄소 중립과 환경 오염의 해결책으로 가장 큰 주목을 받고 있다. 기존의 가정용 및 산업용 보일러에는 천연가스(NG)에 기반한 13A 가스를 사용해 왔으나, 수소를 혼입하여 연소하는 수소 혼소 보일러는 향후 탄소 규제 정책들이 강화되어가는 추세를 해결하는 중요한 기술로 평가되고 있다. 해외의 경우 2007년부터 현재에 이르기까지 현존하는 도시가스 공급망에 수소 혼입 천연가스를 공급하고 연료로 사용하는 연구가 단계적으로 진행되고 있다. 하지만 국내의 경우, 수소 혼입 천연가스에 대한 기초 연구와 호환성 판정에 대한 기준안 등의 연구가 미흡한 실정이다. 기존의 가스기기들은 13A 가스를 기준으로 설계되었기 때문에, 수소 혼입 천연가스를 실제로 사용하기 위해서는 역화, 화염부상, 불완전연소, 착화 특성 등으로 정의되는 (1)화염안정화 특성(Flame stability)와 기기 출력 및 효율, 공해성능, 내구성 등으로 정의되는 (2)기기성능 등의 지표가 허용범위를 만족하는지 선행연구가 반드시 필요하다. 따라서 본 연구에서는 수소 혼입 천연가스의 수소 혼입에 따른 연소특성에 대해 기초 지표들을 정립하고, 수소의 농도에 따른 영향 등을 연구한다. 연소특성의 지표는 열 물성치(비열, 엔탈피, 발열량) 과 수송 물성치 (점성계수, 열전도 계수)를 먼저 정립한 후에 기초 연소 실험 결과를 기반으로 상관관계 및 WI(Wobbe Index)를 통한 호환성 지수 등을 도출하고자 한다.

후 기

"이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 혁신성장 선도 고급연구인재 성장지원(KIURI) 시범사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2021M3H1A106413511)

윈드라이다 정상운전을 위한 기상탑 설계

Design of Meteorological Mast for Normal Operation of Wind Lidar

김건웅 · 김상만 · 문채주

목포대학교 전기공학과

초 록

국내에는 8MW급 초대형 풍력발전기 성능시험이 가능한 대형 기상탑이 없으며 이를 대처하는 방안으로 윈드라이다가 활용되고 있다. 윈드라이다의 경우 0m~40m까지 풍황자료의 오차가 심하여 40m 기상탑을 활용하여 보정하여야 한다. 본 논문에서는 초대형 풍력발전기 성능시험을 위한 윈드라이다와 같이 운영하는 40m 기상탑 설계에 관한 연구이다.

윈드라이다와 같이 운영하는 기상탑은 지선방식의 구조형태이며 총 높이는 39m이고 1m는 센서붐으로 대치한다. 3m 단위로 제작하여 운반 및 설치가 용이하도록 설계하였다. 설계한 40m 기상탑 및 구조부재에 대한 안전성을 확인하기 위해서 하중, 풍속하중, 결빙등급에 대해서 검토를 수행하였으며, 또한 인증을 위한 센서 종류, 수량, 위치에 대해서 제안하였다.

본 연구에서 제안한 40m 기상탑은 초대형 풍력발전기 성능시험시 윈드라이다와 같이 활용할 수 있지만, 그 외에도 소형풍력발전기 성능시험용으로도 활용할 수 있다.

수계 내 효과적인 중금속 제거 및 자성분리가 동시에 가능한 키토산과
마그네타이트로 개질된 왕겨 바이오차의 개발

The development of rice husk biochar with chitosan and magnetite for simultaneous efficient heavy metal removal in aqueous solution and easy magnetic separation

김지은 · 정현희 · 강광남 · 허문수 · 장낙영 · 김진희 · 최용근*
에이티이(주), *건국대학교 생물공학과

In this study, the removal of heavy metal (i.e., Cu(II)) was investigated using chitosan modified magnetic biochar derived from rice husk (CM-RH-BC). Results of XRD and FTIR analyses indicated that the amino groups were chemically bound to the functional groups on the biochar surface after chitosan modification. Moreover mineral contents analyse results show that nitrogen content(%) of chitosan modified RH-BC was higher than non-modified RH-BC. The above-mentioned analyse results also show that magnetite particles were successfully embedded into biochar. To determine the adsorption capacity, batch experiments were conducted to investigate the adsorption effect under different initial concentration ($C_0=1, 2.5, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80$ and 90mg/L) at pH 6 for 24hours. Langmuir and Freundlich adsorption models were used to describe static isotherms and constants. The data fitted well with Freundlich adsorption model at Q_{max} value of 89.60mg/g for Cu(II) ions. This work suggests that chitosan modified magnetic biochars may be used as an effective, low-cost, and environmental-friendly adsorbent to remediate heavy metal contamination in the environment.

글로벌 석유·가스 기업의 저탄소 사업 현황

Status of Low-Carbon Businesses in Global Oil and Gas Companies

이대모 · 신효진 · 임종세*

한국해양대학교 에너지자원공학과

2015년 채택된 파리협정(Paris Agreement)을 바탕으로 지구의 평균기온 상승을 제한하고자 전 세계적으로 기후변화에 대응하기 위한 움직임이 가속화되고 있다. 세계 각국은 기후정책과 더불어 관련 규제를 강화하고 있으며, 배출되는 탄소를 흡수 및 제거하여 순 배출량을 0으로 만드는 탄소중립(Net-Zero) 목표를 수립하고 있다. 또한, 환경·사회·지배구조(Environmental, Social, and Governance, ESG)가 글로벌 의제로 부상하며, 글로벌 석유·가스 기업에서도 기후 위기를 극복하고자 신·재생에너지로의 에너지전환(Energy Transition)과 더불어 저탄소 사업에 투자하고 있다. 이 연구에서는 글로벌 석유·가스 기업의 저탄소 사업 현황과 해당 사업에 활용되고 있는 기술을 파악하고자 한다.

탄소중립을 위해 친환경적인 화석연료 사용기술을 개발하고자 하는 미국계 기업과 달리 유럽계 기업은 신속한 에너지전환을 시도하고 있으며, 정부의 정책적 지원을 기반으로 해상풍력, 수소에너지와 탄소 포집 및 저장(Carbon Capture and Storage, CCS) 등의 저탄소 사업을 수행 중이다. 해상풍력 부문에서는 BP와 Total Energies 등이 미국과 영국 등지에서 다양한 프로젝트를 통해 입지를 넓히고 있으며, Equinor는 노르웨이의 Gullfaks과 Snorre 해상 광구에서 풍력을 연계하여 온실가스 배출량 저감을 시도하고 있다. 글로벌 석유·가스 기업에서는 차세대에너지원으로써 수소에너지의 잠재력을 높이 평가하고 있으며, 그린수소와 블루수소 관련 사업을 확장하고 있다. 유럽 최대규모의 그린수소 프로젝트인 NorthH₂에 Shell과 Equinor가 참여하고 있으며, 2030년까지 북해에 4GW급 해상풍력 발전소를 건설하고 재생에너지로부터 발전된 전력을 활용하여 그린수소를 생산할 계획이다. 또한, 수소 생산 시에 발생하는 이산화탄소를 포집 및 저장하고자 BP와 Shell은 네덜란드에서 Porthos 블루수소 및 CCS 프로젝트를 수행하고 있는 것으로 알려져 있다. 국내 석유·가스 기업에서도 해상풍력과 수소에너지, CCS 사업을 확대하기 위한 계획을 수립하고 있으나, 기술력과 경험이 부족한 실정이다. 이 연구를 통해 글로벌 석유·가스 기업의 저탄소 사업 현황을 파악하였으며, 이는 향후 국내 기업의 저탄소 사업 진입 및 사업계획 수립 시 활용될 수 있을 것이다.

사 사

이 논문은 2021년도 산업통상자원부의 재원으로 해외자원개발협회의 지원을 받아 수행된 연구임.

국내외 탄소 포집 및 저장 프로젝트의 현황 및 기술 동향

Current Status and Technology Trends on Domestic and Overseas Carbon Capture and Storage(CCS) Projects

이다영 · 신효진 · 임종세*

한국해양대학교 에너지자원공학과

2015년 제21차 유엔기후변화협약 당사국총회의 파리협정 체결로 인하여 각국의 온실가스 배출 감축에 대한 필요성이 높아짐에 따라 이산화탄소(CO_2) 감축을 위한 탄소 포집 및 저장(Carbon Capture and Storage, CCS)이 기술적 대안으로 주목받고 있다. CCS는 CO_2 를 포집하여 지중 및 해양에 저장하는 기술로 다수의 프로젝트가 전 세계적으로 진행되고 있으며, 국내의 경우 2020년 발표된 한국판 뉴딜 종합계획에서 대규모 CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage) 통합 실증 및 상용화 구축 계획이 포함되어있다. 이 연구에서는 국내 CCS 사업의 발전을 위하여 국내외의 CCS 프로젝트 사례를 조사하고 기술 동향을 파악하고자 한다.

2020년 기준 전 세계에는 총 65개의 CCS 시설이 개발 및 운영 중이며, 연간 약 40 Mt의 CO_2 를 저장할 수 있다. 대표적인 CCS 프로젝트에는 세계 최대의 탄소 포집 및 저장 시설인 Petra Nova, 세계 최초로 화력발전소를 대상으로 한 Boundary Dam, 석유 회수와 관련하여 CO_2 지중저장을 실행한 Weyburn-Midale이 있다. 또한 북해 중부지역의 가스 생산 플랫폼을 활용한 Peterhead 및 Acorn CCS 프로젝트가 있으며, 각 프로젝트를 통하여 포집·운송·저장 단계의 기술적인 성장을 이루었다. 국내의 경우 기후변화에 대한 대응책으로 ‘국가 CCS 종합 추진 계획’을 수립하였으며, CO_2 포집 기술개발 및 10 kt급의 지중저장 실증, 대량 처리가 가능한 CO_2 전환기술 개발을 목표하고 있다. 이외에도 중부발전 보령화력의 습식 포집과 남부발전 하동 화력의 건식 포집의 기술적 성과를 거두었으며, 포항 분지 해상의 중소규모 CO_2 저장 실증을 위한 연구를 수행하였다. 또한 2022년 6월 생산 종료 예정인 동해 가스전 지층에 30년간 총 12 Mt의 CO_2 를 저장하기 위한 사업이 시작되었다. 이 연구에서는 전 세계적으로 확대되고 있는 CCS의 시장규모와 기반기술 동향을 파악하였으며, 이를 통해 국내 온실가스 감축 목표 달성을 위한 CO_2 저장 시설 및 기술 확보 시 활용할 수 있을 것이다.

사 사

이 논문은 2021년도 산업통상자원부의 재원으로 해외자원개발협회의 지원을 받아 수행된 연구임.

한국에너지학회 2021년도 추계학술발표회

발 행 : 사단법인 한국에너지학회
06038 서울시 강남구 도산대로8길 12(논현동) 305호
전화. 02-451-3630 팩스. 02-451-3631
홈페이지. www.koes.or.kr 이메일. kosee@kosee.or.kr

발행일 : 2021년 11월 3일

발행인 : 박 진 호

인 쇄 : 동신인쇄사

이 발표논문집은 정부재원(과학기술진흥기금 및 복권기금)으로
한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 발간되었음