

2021년도 한국에너지학회 춘계학술발표회

일시. 2021년 4월 28일(수)~4월 30일(금)

장소. 대구 EXCO

주최. 사단법인 한국에너지학회

주관.  사단법인 한국에너지학회
 사단법인 한국에너지학회



영남대학교 청정에너지중점연구소사업단



영남대학교 IT에너지 소재공정 미래화공인재 양성 교육연구단

후원.  에너지경제연구원

 한국에너지기술연구원
 KIER KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH

 DANSUK

 K water

 한국아이티오 (주)

 dcvb 대구컨벤션뷰로

 고려대학교
 KOREA UNIVERSITY

 DGIST 대구경북과학기술원

 한국전력기술

 KCFST 한국과학기술단체총연합회

2021 한국에너지학회 춘계학술발표회 조직위원회

대 회 장 : 박진호 회장

조직위원장 : 한승욱 수석부회장

조직위원 : 김종남, 김철진, 안지환, 이관영 부회장

운영위원장 : 임종세 이사

부위원장 : 이기백, 김원배 이사

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, 김영규, 김한곤, 김호빈, 안관식, 염학기, 이상훈, 이승현,
이형묵, 임종원, 정광성, 최양미, 하종한

(편집이사) 박은덕, (학술이사) 김범석, 김태형,

(재무이사) 이창현, (총무이사) 윤재호

자문위원장 : 곽병성 상임고문

자문위원 :

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

춘계학술대회 참가안내

2021 KOES SPRING CONFERENCE

■ 등록

· 사전등록 : 전자계산서 요청, 온라인카드결제, 계좌입금

전자계산서는 4월 26일까지 학회 메일(kosee@kosee.or.kr)로 요청하시면 발급해드립니다.

· 등록대 운영시간 : 4. 29(목) 10:00 ~ 4. 30(금) 12:00 (논문발표는 오후2시부터 진행)

· 등록비

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

- 춘계학술대회는 COVID-19 방역 지침에 따라 만찬을 진행하지 않습니다. 참가자분들께는 중식쿠폰을 1회 배부합니다. (엑스코 2층 다담뜰 한식뷔페)
- 학술대회 프로시딩은 프로그램북으로 대체하며, 발표논문 초록은 파일로 배포합니다.
- 학술대회 등록자를 대상으로 기념품 배부 및 경품추첨 행사가 준비되어 있습니다.
[경품추첨 일시 : 4월 29일(목) 17시~18시 개회식 종료 후, 그랜드볼룸B]

■ 발표 안내

[구두 발표]

- 발표날짜 및 시간을 확인하시기 바랍니다. 29일(목)~30일(금) 양일간 진행됩니다.
- 발표시간은 질의응답을 포함하여 15분입니다
- 노트북과 무선프리젠티어는 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 규격 : 가로 90cm 세로 120cm
- 포스터 양식은 자유이며, 필요하실 경우 학회홈페이지에 있는 양식을 사용하시면 됩니다.

춘계학술대회 참가안내

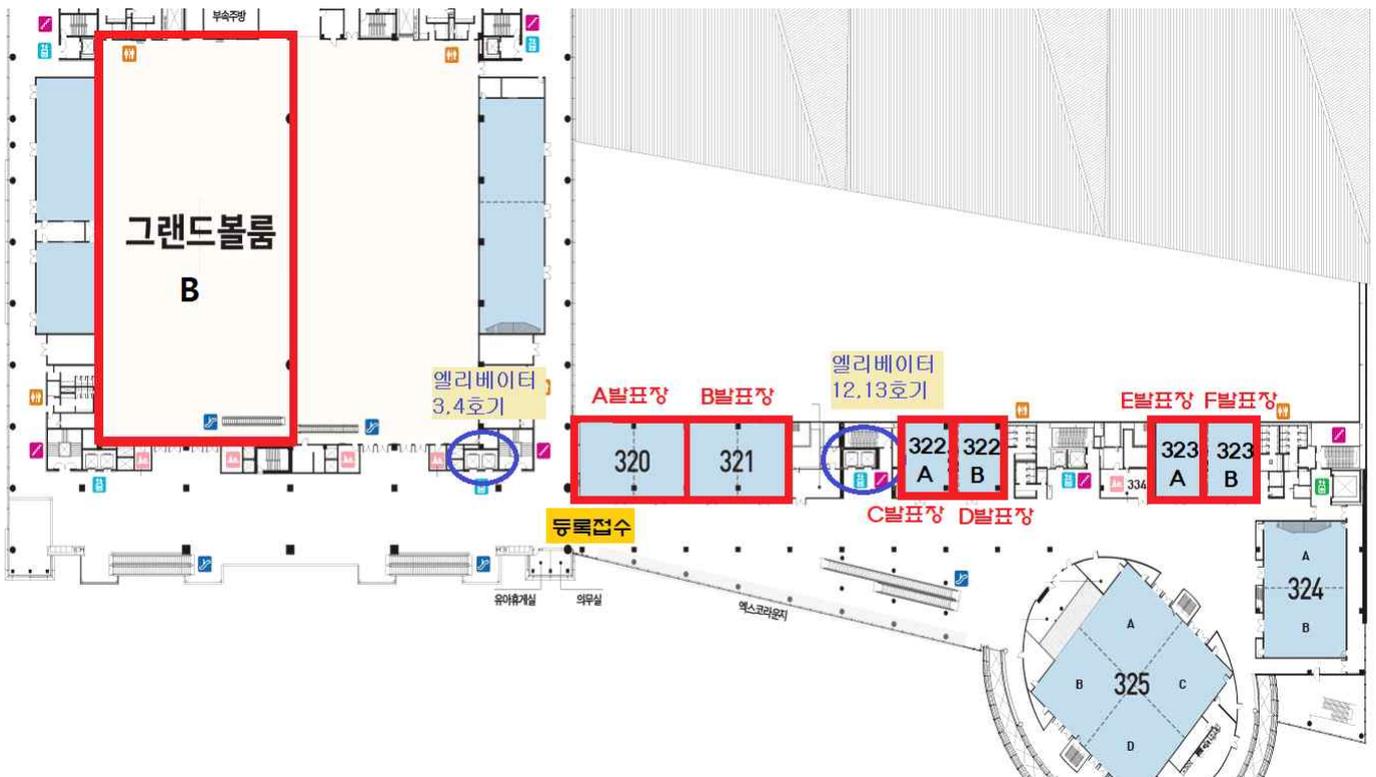
2021 KOES SPRING CONFERENCE

■ 코로나바이러스감염증-19 예방을 위한 협조 안내

- 14일 이내 해외를 다녀오셨거나, 발열 및 호흡기 증상이 있는 경우 참석 자제 부탁드립니다.
- COVID-19 확산방지를 위하여 엘리베이터 및 출입문을 일부만 사용하므로 양해 부탁드립니다.
- 행사장 내에서 항상 마스크 착용 부탁드립니다.

■ 세미나실 위치

- 엑스코 1층에서 방역절차 통과 후 입장 가능합니다.



2021년도 한국에너지학회 춘계학술발표회 총괄일정

- 일시 : 2021년 4월 28일(수) ~ 4월 30일(금)
- 장소 : 대구 엑스코 3층(대구광역시 북구 엑스코로 10)

▶ 4월 28일(수)

시간	행사내용
16:00~18:00	분과회의

▶ 4월 29일(목)

시간	A 발표장	B 발표장	C 발표장	D 발표장	E 발표장	F 발표장	포스터
	320호	321호	322-A호	322-B호	323-A호	323-B호	
10:00~17:00	국제그린에너지엑스포 (엑스코 전시장)						
10:00~18:00	춘계학술대회 등록접수						
	특별세션1	특별세션2	특별세션3	특별세션4	특별세션5	일반세션	포스터발표 I
13:00~14:00		에너지인력양성 사업 성과공유 워크숍 (한국에너지기술평가원)	바이오가스의 수송용 연료화 기술 개발 연구 융합클러스터 (한국에너지기술연구원)	수소인프라 확충을 위한 수소용 장치 개발 (한국가스안전공사)	탄소중립을 위한 한국형 탄소광물화 (한국지질자원연구원)	분과별 구두발표	
14:00~16:30	저탄소 에너지공유 커뮤니티 플랫폼 기술 (한국에너지기술연구원)						
Break time							
17:00~18:00	개회식 개 회 사 : 한국에너지학회 박진호 회장 축 사 : 대구광역시 홍의락 경제부시장 (사진촬영) 기조강연 강연주제 : 기후위기 대응과 미래물관리 추진전략 초청연사 : 한국수자원공사 박재현 사장 2021년도 한국에너지학회 시상식 및 임시총회						개회행사 : 그랜드볼룸B

▶ 4월 30일(금)

시간	A 발표장	B 발표장	C 발표장	D 발표장	E 발표장	F 발표장	G 발표장	포스터
	320호	321호	322-A호	322-B호	323-A호	323-B호	325호	
9:30~12:00	등록							
	특별세션6	특별세션7	특별세션8	일반세션	일반세션	일반세션	H2MI 컨퍼런스 (10:30~15:45)	포스터발표 II
10:00~12:30	탄소중립 실현을 위한 신재생에너지 역할과 도전과제 (에너지경제연구원)	2050 탄소중립을 위한 정책적 노력 (한국에너지기술연구원)	탄소중립을 위한 원자력 역할 (한국전력기술)	분과회의	분과별 구두발표	분과별 구두발표		
10:30~15:45	H2MI (Hydrogen Market Insights) - 325호							

※ 코로나19 상황에 따라 일정이 변경될 수 있습니다.

특별세션 1

abstract p.29~p.38

- **일 시** : 2021년 4월 29일(목) 14:00~16:30
- **장 소** : EXCO 3층 320호
- **주 관** : 한국에너지기술연구원
- **1세부** : 저탄소 에너지공유 커뮤니티 플랫폼 기술
- **2세부** : 기존 건축물 저탄소 에너지효율화 리모델링 기술
- **좌 장** : 1세부 : 김종규(한국에너지기술연구원) / 2세부 : 김종훈(한국에너지기술연구원)

발표 제목	발표자	소속
저탄소 에너지공유 커뮤니티 구현을 위한 복합 에너지공유 플랫폼 파일럿 실증 분석	김민휘	한국에너지기술연구원(KIER)(1세부)
Symmetric Stackelberg Equilibria in Shared Energy Storage System	유지환	한국과학기술원(KAIST)
p2p 에너지 거래 시스템에서의 블록체인 모델 연구	안유준	차세대융합기술연구원(AICT)
저탄소 에너지공유 커뮤니티 기술의 구현을 위한 실증단지 개발	김용	GS건설
건축물간 에너지공유를 위한 커뮤니티 내 건축물 설계 방안 연구	최경석	한국건설기술연구원(KICT)(1세부)
압축공기의 유동특성을 이용한 유효누기면적 산정법의 유효성 검증	한설이	한국에너지기술연구원(KIER)(2세부)
그린 리모델링을 위한 설비 정보체계 구축에 관한 연구	양자강	대한기계설비산업연구원(KRIMFI)
건물군의 에너지 공유 계획 및 운영을 위한 에너지 밸런스 평가 및 예측 방법에 대한 연구	이용준	비이엘테크놀로지(BEL)
기존 건축물 저탄소 에너지효율화 리모델링 기술 개발 연구	이한솔	한국건설기술연구원(KICT)(2세부)
공공과 민간펀드를 고려한 그린리모델링 사업의 경제성 및 환경성 분석 프레임워크	안중백	연세대학교(YONSEI)

특별세션 2

- 일 시 : 2021년 4월 29일(목) 13:00~16:30
- 장 소 : EXCO 3층 321호
- 주 관 : 한국에너지기술평가원
- 세션명 : 에너지인력양성사업 성과공유 워크숍

시 간	주요내용	소속
13:00~13:20	탄소중립시대 대응 에너지인력양성 방향	산업부 에기과
13:20~13:40	에너지인력양성사업 소개	한국에너지기술평가원
< 에너지 융합인력양성 성과공유 >		
13:40~14:10	에너지-AI 융합대학원 추진경과 및 운영계획	전북대학교
14:10~14:40	FLEX 에너지 융합대학원 추진경과 및 운영계획	GIST
14:40~15:10	에너지안전 융합 인력양성	한양대학교
15:10~15:20	Coffee Break	
15:20~15:50	에너지산업 기술금융 인력양성	UNIST
15:50~16:20	지능형 산업/건물 에너지관리 융합 인력양성	경북대학교
16:20~16:50	수소산업 융복합 인력양성	영남대학교

특별세션 3

abstract p.39~p.44

- 일 시 : 2021년 4월 29일(목) 13:00~16:30
- 장 소 : EXCO 3층 322A호
- 주 관 : 한국에너지기술연구원
- 세션명 : 바이오가스의 수송용 연료화 기술 개발 연구 융합클러스터
- 좌 장 : 양정일(한국에너지기술연구원)

발표 제목	발표자	소속
바이오가스 수송용 연료화 기술 개발	양정일	한국에너지기술연구원
구체적 사례를 통한 바이오가스 생산, 활용 연구	조경환	(주) 스칸디나비아안 바이오가스 코리아
니켈담지 알루미늄 촉매의 CO2 Methanation 반응적용: 전구체 담지법의 영향	고창현	전남대학교
플라즈마를 이용한 바이오가스의 Thermo-neutral 개질 공정	송호현	한국기계연구원
바이오가스 시설 확대 활성화 방안	김세훈	전북녹색환경지원센터
물 흡수 공정을 이용한 바이오가스 고질화 기술 개발	김선형	한국에너지기술연구원

특별세션 4

abstract p.45~p.51

- 일 시 : 2021년 4월 29일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : EXCO 3층 322B호
- 주 관 : 한국가스안전공사 가스안전연구원
- 세션명 : 수소인프라 확충을 위한 수소용 장치 개발
- 좌 장 : 임상식(한국가스안전공사 가스안전연구원)

발표 제목	발표자	소속
액화수소 저장탱크 제조기준 관련 국제기준 분석	김수현	한국가스안전공사
액체수소 저장탱크 적용을 위한 위험구역설정 연구	이민경	한국가스안전공사
수소충전소 계량 관리 현황 분석 및 법정계량 표준모델 개발	최진영	한국가스안전공사
수소충전소 성능평가 방법 현안 및 해결 방안	임상식	한국가스안전공사
수소 precharging을 통한 Ex-situ 수소 취성 시험법 연구	윤별희	한국가스안전공사
해외기준 벤치마킹을 통한 수소취성 검사방법 국내기준 개발 연구	이회영	한국가스안전공사
균열결함(Crack-like Flaws)의 수치해석을 통한 파괴역학계산 고찰	김정환	한국가스안전공사

특별세션 5

abstract p.52~p.56

- 일 시 : 2021년 4월 29일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : EXCO 3층 323A호
- 주 관 : 한국지질자원연구원
- 세션명 : 탄소중립을 위한 한국형 탄소광물화
- 좌 장 : 안지환 (한국지질자원연구원)

	발표 제목	발표자	소속
14:10~14:30	한국형 탄소광물화 기술의 지자체 적용 모델 개발	안지환 단장	한국지질자원연구원
14:30~14:50	차수성시멘트 및 폐광산 채움재 실증	최성웅 교수	강원대학교
14:50~15:10	복합탄산염 폐광산 채움재 시공을 위한 수치해석 사례연구	전석원 교수	서울대학교
15:30~15:50	세계 LEDS 제출국들의 LEDS 비교 분석	황의덕 기술위원장	한국광업협회
15:50~16:10	생활계 연소재(SRF) 등 무기부산물 활용 복합탄산염 제조 특성	조계홍 소장	한국석회석신소재연구소
	종합토론	조진상 박사	한국석회석신소재연구소

특별세션 6

abstract p.57~p.61

- 일 시 : 2021년 4월 30일(금) 10:00~12:30
- 장 소 : EXCO 3층 320호
- 주 관 : 에너지경제연구원
- 세션명 : 탄소중립 실현을 위한 신재생에너지 역할과 도전과제
- 좌 장 : 김기환(에너지경제연구원)

	발표 제목	발표자	소속
	제 5차 신재생에너지 기본계획 주요내용과 향후과제	공지영	에너지경제연구원
	주요 에너지원별 국내·외 LCOE 비교 분석	이철용	부산대학교
	격자-LCOE 연산 기반 잠재량 산정 모델을 활용한 태양광 시장잠재량 및 LCOE 산정에 관한 연구 : 한국의 사례	임덕오	에너지경제연구원
	커뮤니티 솔라 제도 도입을 통한 태양광 보급 활성화 방안 연구	김아름	에너지경제연구원
	E-Mobility 성장에 따른 신재생에너지 산업 대응 전략 연구(2/4)	조일현	에너지경제연구원
	토론 및 Q&A	차경수(부산대학교), 최봉석(대구대학교), 최성희(계명대학교)	

특별세션 7

abstract p.62~p.64

- 일 시 : 2021년 4월 30일(금) 10:00~12:30
- 장 소 : EXCO 3층 321호
- 주 관 : 한국에너지기술연구원
- 세션명 : 2050 탄소중립을 위한 정책적 노력
- 좌 장 : 박민희 (한국에너지기술연구원 기후기술전략실장)

발표 제목	발표자	소속
탄소중립과 기술혁신 - 10대 핵심기술 개발 방향	박민희 실장	한국에너지기술연구원 기후기술전략실
탄소중립과 기후적응 - 제3차 국가기후변화적응대책	신지영 센터장	한국환경정책·평가연구원 국가기후변화적응센터
탄소중립 실현을 위한 한국에너지기술연구원 국제협력	백운호 선임행정원	한국에너지기술연구원 글로벌전략실

특별세션 8

- 일 시 : 2021년 4월 30일(금) 10:00~12:30
- 장 소 : EXCO 3층 322A호
- 주 관 : 한국전력기술
- 세션명 : 탄소중립을 위한 원자력 역할

시간	주요내용	발표자
10:00~10:10	인사말 및 전문가 소개	학회장/좌장
10:10~10:40	발제	정용훈 KAIST 교수
10:40~11:40	패널 토의 및 Q&A	조성경 명지대학교 교수 노동석 서울대학교 원자력정책센터 연구위원 남영미 한국여성원자력전문인협회 회장 김한곤 한수원 중앙연구원 원장 오시덕 블루이코노미전략연구원 대표
11:40~11:50	마무리	좌장

[H2MI(hydrogen market insights) 국제심포지엄]

- 행사명 : 제1회 H2 마켓 인사이트 (H2 Market Insights)
- 일 시 : 4월 30일(금) 10:30-15:45
- 장 소 : 엑스코 3층 325호
- 홈페이지 : <http://h2mi.co.kr/kor>(별도등록 필요)

www.h2mi.co.kr

동시 개최 | 제1회 International Green Energy Expo & Conference
국제그린에너지엑스포
 2021.4.29(목) - 30(금) | 대구 엑스코

온·오프라인 동시 진행

H2MI Market Insights

수소 - 새로운 지평으로

수소 경제를 선도하는 국제 비즈니스 컨퍼런스

주요 연사

 Ali Izadi Head of APAC Research Bloomberg NEF	 Ralf Wehrspohn Full Professor University of Halle	 Pierluigi Mancarella Chair Professor of Electrical Power System University of Melbourne	 Masakazu Sugiyama Professor The University of Tokyo
--	--	--	--

주요 참여기관 단체

BloombergNEF	한국수소산업융합지원사업단	HYUNDAI	東京大学	MARITZ LUTHER UNIVERSITY	영남대학교
한국에너지기술연구원	한국에너지학회	THE UNIVERSITY OF MELBOURNE	한국에너지연구원	우석대학교	

2021년 4월 29일(목) - 4월 30일(금) 2일간 EXCO

글로벌 수소 시장동향과 전망	국내외 수소 산업 정책과 시장 동향
-----------------	---------------------

• 사전등록 기간 | 2021.4.23(금)까지 •
 ※ 사전등록 특별할인, 전시회 무료 입장, 동시 통역 제공 ※

컨퍼런스 사전등록

논문발표 세부일정

● ● ● 4월 29일(목) / F발표장

>>> 에너지신산업융합 / 에너지정책		page
A01 14:00~14:15	건축물에너지절약계획서를 선박의 거주구 부분에 적용하여 에너지 절감 설계안 김규벌 · 조현정* 한국부동산원 에너지평가부, *한국전력공사 전력연구원	67
A02 14:15~14:30	Net-zero 달성을 위한 도심발전소 현장 배기가스 대상 콤팩트 CO ₂ 포집 및 탄소자원화 융복합 공정 실증 장원석 · 신경아 · 장미희 · 김경민 · 신혜현 · 남궁형규 · 이현철 · 유지혜 한국지역난방공사 미래개발원	68
A03 14:30~14:45	코로나19 기간 국내 전력 산업의 온실가스 배출 요인 분해 분석 Nyun-Bae Park(박년배) *R&D Planning and Coordination Division, Korea Institute of Energy Research	69
A04 14:45~15:00	고체연료 화력발전소의 비용평가 성능시험 효율과 실제효율 차이에 대한 정성적 연구 김태형 · 박병철 · 함영준 한국남동발전 인재기술개발원	70
A05 15:00~15:15	친환경·고성능 단열재의 표준화 및 개발동향 정승영 · 서준식 한국건설생활환경시험연구원 에너지소재센터	71
>>> 자원개발순환 / 수소연료전지		page
A06 15:30~15:45	판형 열교환기 전열판의 틈부식 발생 원인 분석 송민지 ¹ · 최가현 ¹ · 채호병 ¹ · 김우철 ² · 김현철 ² · 송봉용 ² · 임종원 ² · 이수열 ^{1*} 충남대학교 신소재공학과 ¹ , 한국지역난방공사 미래개발원 ²	72
A07 15:45~16:00	수용성 관점에서의 HyNet 사업전략 사례 검토를 통한 수소 충전 사업의 발전 방향에 대한 제언 오시덕 · 서석호 · 차종환 · 오승언* · 성낙철** (주)블루이코노미전략연구원, *효성중공업(주), **HyNet	73
A08 16:00~16:15	Mod HP장 개질로 튜브의 현장 수명평가를 위한 석출물 정량화 방법 방효중 · 류형기 · 르 띠 지양 · 윤기봉* 중앙대학교 대학원, *중앙대학교 기계공학부	74

논문발표 세부일정

● ● ● 4월 30일(금) / E발표장

>>> 수소연료전지 / 청정화력		page
B01 10:00~10:15	이동식 수소충전소 사고 시나리오에 따른 피해 영향 분석 이수민 · 김동환 · 조충희 · 강승규* 한국가스안전공사 가스안전연구원 수소제품연구	75
B02 10:15~10:30	수소충전소 위험요인 분석 및 안전관리 방안 강승규 · 윤진희 · 김혜람 · 최성준 한국가스안전공사 가스안전연구원 수소연구실	76
B03 10:30~10:45	바이오가스로부터 수소생산을 위한 기체분리막 공정 적용 이충섭 · 임진혁 · 공동욱 · 김세종 · 한상훈 · 장원석* · 하성용 (주)에어레인, *한국지역난방공사 미래개발원	77
B04 10:45~11:00	폐지될 노후 석탄화력발전소의 순환경제 모델 수립을 위한 잔존가치 평가 방법 송정수 · 류형기* · 배재현* · 윤기봉** 중앙대학교 에너지안전연구소, *중앙대학교 대학원 **중앙대학교 기계공학부 여정수 · 박성환 한국남동발전 발전처	78
B05 11:00~11:15	탈질설비 AIG 형상 변화에 따른 질소산화물 및 초미세먼지 배출 저감효과 분석 남궁형규 · 홍성창* · 박재홍** · 장원석 · 신혜현 · 장미희 · 신경아 한국지역난방공사 미래개발원 신성장연구부, *경기대학교, **(주)금강씨엔티	79
B06 11:15~11:30	SIMULINK 확장을 통한 가스터빈 다이내믹 시뮬레이션에 관한 연구 조재민 · 손기현 서강대학교 기계공학과	80

논문발표 세부일정

● ● ● 4월 30일(금) / F발표장

>>> 청정화력 / 원자력		page
C01 10:00~10:15	석탄화력발전소 옥내저탄장 내부 유동 평가 조현정 · 이정근 · 이인영 · 하현철* 한국전력공사 전력연구원, *창원대학교 환경공학과	81
C02 10:15~10:30	발전소 고차압 제어밸브의 내부누설 손상 유형과 개선 방법론 연구 권갑주 · 이광한 · 송봉용* · 장재혁* *브이아이브이인터내셔널(주) 기술연구소, *한국지역난방공사	82
C03 10:30~10:45	2030년대의 초소형원자로 세계 시장 전망 이태준 한국원자력연구원, 미래전략본부, 혁신전략부	83
C04 10:45~11:00	저압 급수가열기 고-고 수위 원인 분석 송석윤(Seok Yoon Song) 한국수력원자력(주) 중앙연구원(KHNP-Central Research Institute)	84
C05 11:00~11:15	개선형 POSRV 성능시험 분석 송석윤(Seok Yoon Song) 한국수력원자력(주) 중앙연구원(KHNP-Central Research Institute)	85
C06 11:15~11:30	혁신형 소형모듈형원자로(SMR) 개념개발 우선순위 연구 김문수 한국수력원자력(주) 중앙연구원	86

포스터발표 I

● ● ● 4월 29일(목) 14:00-16:00

번호	발 표 주 제	page
P1-1	축소화 모델을 이용한 건물용 고분자 연료전지 대면적 유동장에서의 유체 유동 연구 박동환 ^{1,2} · 김민진 ^{2,3} · 손영준 ^{2,3} · 홍종섭 ¹ ¹ 연세대학교 기계공학부, ² 한국에너지기술연구원 연료전지연구실, ³ 과학기술대학원대학교 신에너지 및 시스템 공학	89
P1-2	PEMFC 5kW급 일체형 연료처리장치 반응기 개발 우경택 · 손성효 · 김봉규 · 김재동 한국가스공사 가스연구원 수소기술연구소	90
P1-3	과산화수소 직접합성용 팔라듐-플래티넘 나노구조 촉매의 특성과 반응성의 이해 한근호 · 김민철** · Xiangyun Xiao* · 한상수** · 유태경* · 이관영 고려대학교 화공생명공학과, *경희대학교 화학공학과, **한국과학기술연구원	91
P1-4	Rhenium을 조촉매로 사용한 Pt/Al ₂ O ₃ 촉매에서의 Perhydro-dibenzyltoluene 탈수소화반 응 활성 향상에 관한 연구 장지수 ¹ · 김찬훈 ¹ · 이관영 ¹ · * ¹ 고려대학교 화공생명공학과, *KU-KIST 에너지환경대학원 그린스쿨	92
P1-5	A Study on Changes in Activity of Direct Synthesis of Hydrogen peroxide according to the type of ligand 이석호 · 한근호 · 이관영* 고려대학교 화공생명공학과*	93
P1-6	음이온 교환막 연료전지를 위한 향상된 기계적 및 전기화학적 성능을 가지는 rGO/TiO ₂ /PAES/Xwt% 복합막의 특성연구 김상희 ¹ · 유동진 ^{1,2*} ¹ 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력 양성사업단, ² 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과	94
P1-7	Synthesis and characterization of Iron-nickel core-shell@ 3D porous carbon used as efficient Oxygen evolution reaction S. Ramakrishnan ¹ · Ae Rhan Kim ¹ · Dong Jin Yoo ¹ · * ¹ Department of Life Science and, Jeonbuk National University,	95

● ● ● 4월 29일(목) 14:00-16:00

번호	발 표 주 제	page
P1-8	AEMFC 적용을 위한 Morpholine으로 기능화된 수지상 고분자의 Side Chain 길이에 따른 특성연구 김현진 ¹ · 김애란 ^{2,3} · 유동진 ^{1,3*} ¹ 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, ² 전북대학교, 생물환경화학과, 캔유택 연구개발센터, ³ 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과	96
P1-9	Ultrafine tri-metals developed over CeO2 on NS doped reduced graphene oxide as an efficient oxygen reduction reaction electrocatalyst for ethanol fuel cells Logeshwaran Natarajan ¹ · Dong Jin Yoo ^{1,2*} ¹ Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University, ² Department of Life Science, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea.	97
P1-10	Synthesis of ZnCo2S4 supported Graphene oxide on electrocatalyst system for Hydrogen Evaluation Reaction Ramasamy Santhosh kumar ¹ · Dong Jin Yoo ^{1,2*} . ¹ Graduate School, Department of Energy Storage/Conversion Engineering, Jeonbuk National University, ² Department of Life Science, Graduate School, Department of Energy Storage/Conversion Engineering, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University	98
P1-11	음이온 교환막 연료전지 응용을 위한 기능화된 TiO ₂ 를 기반 유/무기 복합막에 확장된 이온 전도 클러스터 이규하 ¹ · 유동진 ^{1,2*} ¹ 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과, ² 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단	99
P1-12	우수한 전기화학적 성능을 갖는 음이온 교환막 연료전지 응용을 위한 펜던트 단위체 유무에 따른 폴리(아릴렌 이써) 기반 음이온 교환막의 연구 이상혁 ¹ · 유동진 ^{1,2*} ¹ 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, ² 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과	100
P1-13	우수한 알칼라인 안정성을 갖는 기능화 된 GO를 포함하는 폴리 (아릴레 이써 케톤) 기반 가교결합 된 음이온 교환막의 연구 주지영 ¹ · 유동진 ^{1,2*} ¹ 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과, ² 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단	101

● ● ● 4월 29일(목) 14:00-16:00

번호	발 표 주 제	page
P1-14	Studying the effect of silver doping on the properties of chemical bath-deposited In ₂ S ₃ for photocatalytic applications <u>Bo Gyeong Mun</u> , Salh Alhammadi, Abdelrahman M Rabie, Mostafa Saad Sayed, Jae-Jin Shim and Woo Kyoung Kim 1School of Chemical Engineering, Yeungnam University	102
P1-15	글로벌 신재생 및 전통전원 LCOE 비교 분석 <u>우종하*</u> · <u>이다한*</u> · <u>신훈영**</u> · <u>박종배*</u> *건국대학교 전기전자공학부, **상명대학교 전기공학전공	103
P1-16	산소환원반응 활성이 우수한 비귀금속 촉매의 제조 및 아연-공기 이차전지로의 응용 <u>이수진</u> · 김동건 · 정성권 · 이은희 · 정혜원 · 김필* 전북대학교 반도체·화학공학부	104
P1-17	실리콘/탄소 나노복합체의 전·후처리에 따른 리튬 이차전지 음극활물질 성능 특성 <u>정성권</u> · 김동건 · 이수진 · 이은희 · 정혜원 · 김필* 전북대학교 반도체 화학공학부	105
P1-18	밀도 범함수 이론을 통한 Pt/CeO ₂ 촉매에서의 역수성가스 전환반응 메커니즘 연구 <u>이민우</u> · 이관영 고려대학교 화공생명공학과	106
P1-19	경유혼합 석탄 유래 FT 합성유의 엔진 적용성 연구 <u>민영제</u> · 김재곤 [†] 한국석유관리원 석유기술연구소	107
P1-20	바이오연료 혼합 비율별 경유의 품질 특성 변화 <u>이미은</u> · 김재곤* *한국석유관리원 석유기술연구소 연구개발팀	108
P1-21	투명후면전극을 이용한 Cu(In,Ga)Se ₂ 박막태양전지 제조 및 특성 분석 <u>전동환</u> · 김영일 · 박시내 · 이재백 · 성시준 · 양기정 · 황대규 · 김대환* · 강진규* DGIST 에너지융합연구부, DGIST 박막태양전지센터	109

●●● 4월 29일(목) 14:00-16:00

번호	발 표 주 제	page
P1-22	에너지 효율 향상을 위한 냉동기의 인버터 성능 개선 <u>김원섭</u> · 하현호* 전남도립대학교 신재생에너지전기과, *(주)신우이엔지	110
P1-23	ESS용 PCS 모듈 정밀체결제어시스템 개발 <u>배정섭</u> · 김병진* (재)대구기계부품연구원, *(주)이노알앤씨	111
P1-24	비가역적 리튬 손실과 전해액 고갈에 따른 리튬이온전지의 방전 거동 예측 모델 개발 <u>김병목</u> , 이동철, 신치범 [†] , 장일찬 [‡] , 송진주 [‡] , 우중제 [‡] 아주대학교 에너지시스템학과; [‡] 광주바이오에너지연구개발센터 한국에너지기술연구원	112
P1-25	리튬이온전지 모듈의 전기적 거동 및 열적 거동 예측 모델 개발 <u>강서희</u> , 이동철, 신치범 [†] 아주대학교 에너지시스템학과	113
P1-26	전기자동차 리튬이온전지의 리튬 플레이팅을 방지하는 급속충전 모델 <u>이동철</u> , 김병목, 신치범* 아주대학교 에너지시스템학과	114
P1-27	친환경자동차 보급 활성화를 위한 LNG 자동차 충전의 안전기준 분석 <u>백지효</u> · 유철희 · 유근준 한국가스안전공사 가스안전연구원	115
P1-28	육상에서 선박으로의 LPG 연료 공급 도입 방안 연구 <u>김소현</u> · 최슬기 · 유철희 한국가스안전공사 가스안전연구원	116
P1-29	LNG 인수기지 내 충전시설 안전관리 현황 검토 <u>최영주</u> · 유철희 · 유근준 한국가스안전공사 가스안전연구원	117
P1-30	리튬이차전지 음극 활물질 종류(Graphite, Si, Graphene, CNT 등)에 따른 기술 개발 트렌드 <u>이명래</u> , 박현기 솔머티리얼즈 연구개발팀	118

● ● ● 4월 29일(목) 14:00-16:00

번호	발 표 주 제	page
P1-31	물 전기분해 기체 라디칼 반응의 엔진 연소 응용 신미수 · 장동순 · 김용주* · 김희용** 충남대학교 환경공학과, *(주)동서건설링 **(주)헤즈 홀딩스	119
P1-32	다중필터를 활용한 원전 경보최소화 방법 고찰 김우정* *한국수력원자력	120
P1-33	원전 노형별 제어불편차 통합감시시스템 개발 김우정 *한국수력원자력	121
P1-34	원자력발전소 저출력 과도상태 감시 프로그램 개발 김우정* *한국수력원자력	122
P1-35	실시간 데이터를 활용한 원전 상태감시 방안에 대한 고찰 김우정 *한국수력원자력	123
P1-36	개선된 NDE 기술(TFM 및 FMC) 연구개발에 대한 고찰 문균영 · 이태훈·김왕배 한국수력원자력(주) 중앙연구원 기계연구소	124
P1-37	원자로냉각재 아연 주입량에 따른 계통선량 저감효과 평가 최진수, 이경희, 조용상, 권혁철, 김초룡, 송규민 한국수력원자력 중앙연구원	125
P1-38	Numerical Study on Core Makeup Tank Volume for Integral Reactor 신수재 · 유승엽 · 김유나 · 김영인 한국원자력연구원 혁신원자력시스템연구소	126
P1-39	대형원전 일체형원자로상부구조물(IHA) 분해 및 조립 절차 연구 한성흠, 이도환 한국수력원자력(주) 중앙연구원	127
P1-40	UV/H ₂ O ₂ 공정을 사용하여 시트르산 농도에 따른 분해평가 김초룡 · 김정주 · 최진수 · 김학수 한국수력원자력(주) 중앙연구원	128

● ● ● 4월 29일(목) 14:00-16:00

번호	발 표 주 제	page
P1-41	중수로 해체원전 계통제염 범위 평가 김초룡* · 김정주* · 김학수* · 박병호** *한국수력원자력(주) 중앙연구원. **한국전력기술(주)	129
P1-42	연구용 원자로에서 흑연 외부반사체의 최대온도 평가 정민규 · 박기정 · 서경우 · 김성훈 한국원자력연구원	130
P1-43	인쇄기판형 증기발생기의 열성능에 대한 2차측 압력의 영향 김석 · 김상지 한국원자력연구원	131
P1-44	SMART100의 비안전계통 규제조치 이행 문주형 · 유승엽 한국원자력연구원	132
P1-45	열수력 성능에 대한 지그재그형 유로 형상 인자의 영향 장정봉 · 조현준 · 유승엽 한국원자력연구원 SMART계통기술개발부	133
P1-46	원전 인접해안 냉수대 유입 시 복수기 집수정 양이온전도도 증가원인 분석 이경희 · 조용상 · 김초룡 · 권혁철 · 최진수 · 송규민 한국수력원자력(주) 중앙연구원	134
P1-47	국내 가압경수로원전 2차계통 pH 상향에 따른 복수기 양이온전도도 증가영향 분석 이경희 · 조용상 · 이상호 · 권혁철 · 최진수 · 송규민 한국수력원자력(주) 중앙연구원	135
P1-48	수조수상실사고를 고려한 연구용 원자로 일차냉각계통 개념 연구 박홍범 · 서경우 · 김성훈 한국원자력연구원 수출용신형연구로실증사업단	136
P1-49	연구용 원자로 플랩밸브의 단힘 압력 평가를 위한 개념 설계 박기정 · 박홍범 · 서경우 · 김성훈 한국원자력연구원	137
P1-50	정비데이터 기반 원전 예방정비 프로그램 개선 방안 염동운 · 이상대 · 김정운 한국수력원자력(주) 중앙연구원	138

● ● ● 4월 29일(목) 14:00-16:00

번호	발 표 주 제	page
P1-51	해외원전의 기능적중요도결정 프로세스 적용 추세 이상대 · 염동운 한국수력원자력(주) 중앙연구원	139
P1-52	미국 원자력발전소 핵심설비 가동중 안전정비 수행전략 연구 조경수 · 김용수 · 김정운 한국수력원자력(주) 중앙연구원	140
P1-53	원자력발전소 데이터 인공지능 자연어처리 가능성 고찰 <u>현진우</u> 한국수력원자력 디지털혁신추진단	141
P1-54	증강현실 기술을 적용한 발전소 실시간 변수 데이터 모니터링 김영국 한국수력원자력 디지털혁신추진단 디지털융합실 디지털혁신부	142
P1-55	발전소 주급수 유량계 정비를 통한 출력손실 회복 정량화 고찰 <u>최문호</u> 한국수력원자력 중앙연구원	143
P1-56	상류측 압력 크기가 캐비테이션 벤츄리 유동 특성에 미치는 영향에 관한 수치적 연구 <u>이공희*</u> · 배준호 한국원자력안전기술원 규제검증평가실	144
P1-57	노심출력분포 편차에 따른 국부과출력보호 정지설정치 영향 평가 김영애 · 류의승 · 박동환 한국수력원자력(주) 중앙연구원 안전연구소	145
P1-58	LAPLACE 시험설비에 대한 SPACE 모델링 및 예비해석 <u>이석호</u> , 임상규, 천 중, 이상원 한국수력원자력 중앙연구원	146
P1-59	설계기준 초과 자연재해 시 사고대응설비 해상운송 방안 <u>윤석중</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원	147
P1-60	원전 운영혁신 안전 발굴 및 개선 방안 연구 김문수, 염동운 한국수력원자력(주) 중앙연구원	148

● ● ● 4월 29일(목) 14:00-16:00

번호	발 표 주 제	page
P1-61	원전 제어시스템 사이버보안 대안조치 방법 연구 이수일 한국수력원자력(주) 디지털혁신추진단	149
P1-62	원전 제어시스템 물리적방호 연계 보안조치 방법론 개발 이수일 한국수력원자력(주) 디지털혁신추진단	150
P1-63	휴대용 방사선계측장비 교정 결과에 대한 적합성 평가방식 고찰 김형진· 원유호* 한국수력원자력 중앙연구원	151
P1-64	원전 해체사업에 적용가능한 WBS 수립 분석 유지환· 서형우· 김기림· 이상현* 한국수력원자력(주) 중앙연구원 방사선해체연구소 원전사후그룹 *한국수력원자력(주) 디지털혁신추진단 디지털융합실 디지털혁신부	152
P1-65	인공지능 운전지원 시스템 시험을 위한 통합시험 환경구축 박대승, 김윤구 한국수력원자력(주) 중앙연구원 계전연구소 운전기술그룹	153
P1-66	빅데이터 분석을 통한 중국과 한국의 미세먼지의 상관관계 분석: 코로나 이전과 이후 비교 천세학* · 이기욱** · 장재원*** *서울과학기술대학교 경영학과 교수, **서울과학기술대학교 건설공학과, ***서울과학기술대학교 기계공학과	154
P1-67	신규 Top-down 과제 기획관리 사례 연구 성민아 · 박년배 · 이원용* 한국에너지기술연구원 연구기획조정실	155
P1-68	전력수급계획의 환경-경제적 효과 비교 김승수 · 정환삼 한국원자력연구원 혁신전략부	156
P1-69	LPG 선박 충전을 위한 안전기준 연구 최슬기 · 백지효 · 유철희 한국가스안전공사 가스안전연구원	157
P1-70	탄소중립을 위한 국내외 동향 분석 연구 김혜진 · 배치혜 · 정혜림 · 박민희* 한국에너지기술연구원 기후기술전략실	158

포스터발표 II

●●● 4월 30일(금) 10:00~12:00

번호	발 표 주 제	page
P2-1	Highly Porous Copper aerogel monoliths– Synthesis, Characterization and Application <u>윤정원</u> ^{1*} · Ramya Ramkumar ¹ · 김우경 ^{**} ¹ School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan–si, South Korea	159
P2-2	Analysis of design variables and performance parameters of hydrogen liquefaction process using machine learning <u>민성용</u> · 무하마드 압둘 퀴엄 · 이문용* 영남대학교 화학공학부	160
P2-3	에너지 저장용 폴리아닐린 포장된 MnMoO₄ 연구 <u>Asiya M. Tamboli</u> · Mohaseen S. Tamboli · Bomyung Kim · Chinho Park School of Chemical Engineering, Yeungnam University	161
P2-4	광전기화학 물 분해 성능 향상을 위한 BiVO₄/Graphene 광음극 연구 <u>Mohaseen S. Tamboli</u> · Asiya M. Tamboli · Vasudeva Reddy Minnam Reddy · Bomyung Kim · Chinho Park School of Chemical Engineering, Yeungnam University	162
P2-5	Potentials and Challenges for Liquid Air in Energy Network <u>Amjad Riaz</u> · Muhammad Abdul Qyyum · Moonyong Lee* School of Chemical Engineering, Yeungnam University,	163
P2-6	CO₂ solidification–based biogas upgrading followed by bio–LNG production <u>Ahmad Naquash</u> · Muhammad Abdul Qyyum · Moonyong Lee† School of Chemical Engineering, Yeungnam University	164
P2-7	Ruddlesden–Popper oxide with in situ grown CoNi alloy nanoparticles as a solid oxide electrolysis cell cathode catalyst for CO₂ electrolysis <u>박성민</u> · 윤원근 · 이승준 · 최준일 · 박민선 · 한정현 · 강송규 · 김원배 포항공과대학교 화학공학과	165
P2-8	CO₂ electrolysis Ruddlesden–Popper cathode prepared with in situ exsolved Fe nanoparticles in solid oxide electrolysis cell <u>최준일</u> · 박성민 · 이승준 · 박민선 · 김지훈 · 김원배 포항공과대학교 화학공학과	166

●●● 4월 30일(금) 10:00~12:00

번호	발 표 주 제	page
P2-9	Development of Electrochemical Sensors and Sensing Technology for Hydrogen Fuel Cell Vehicle Applications <u>Soon-Won Jung</u> · Min Jae Jho Division of Energy & Optical Technology Convergence, Cheongju University	167
P2-10	고분자 전해질막 연료전지의 산소 환원 반응 향상을 위한 전이금속-질소-탄소 촉매 개발 <u>손동균</u> · 이유현 · 김난경 · 김지수 · 이기백* 영남대학교 화학공학과	168
P2-11	산소환원반응용 백금-니켈 합금 촉매의 구조 제어 <u>김동건</u> · 이수진 · 정성권 · 이은희 · 정혜원 · 김필* 전북대학교 반도체·화학공학부	169
P2-12	철이 배워된 탄소전구체로부터 제조한 촉매의 특성분석 및 산소환원반응 성능평가 <u>이은희</u> · 김동건 · 이수진 · 정성권 · 정혜원 · 김필* 전북대학교 반도체·화학공학부	170
P2-13	돼지혈액을 이용하여 제조한 촉매의 열처리 조건에 따른 산소환원반응 성능 평가 <u>정혜원</u> · 김동건 · 이수진 · 정성권 · 이은희 · 김필* 전북대학교 반도체화학공학부	171
P2-14	배열회수보일러 상향식 핀(Fin) 튜브 내면 결함평가에 관한 연구 <u>서정석</u> · 길두송 · 정계조 · 허재실 한국전력공사 전력연구원	172
P2-15	봄철 발전소 주변지역 고농도 미세먼지 사례의 유기성분 특성 <u>강수지</u> · 성진호 · 천성남* 전력연구원 에너지환경연구소 미세먼지솔루션프로젝트팀	173
P2-16	미세먼지 제거를 위한 교류전원 이용 전기집진기 개발 <u>성진호</u> · 강수지 · 김연진 · 천성남* 전력연구원 에너지환경연구소 미세먼지솔루션프로젝트팀	174
P2-17	석탄화력발전소 옥내저탄장 내부유동 전산해석 평가 <u>이정근</u> · 조현정 · 이인영 · 하현철* 전력연구원 에너지환경연구소, *창원대학교 환경공학과	175

●●● 4월 30일(금) 10:00~12:00

번호	발 표 주 제	page
P2-18	이산화탄소 포집을 위한 막분리 공정 파일럿 현장 실증 연구 <u>이충섭</u> , 한상훈, 김세종, 임진혁, 장원석*, 하성용 (주)에어레인, *한국지역난방공사 미래개발원	176
P2-19	옥내저탄장에서 발생하는 휘발성유기화합물 배출 특성에 관한 연구 <u>조현정</u> · 이정근 · 이인영 한국전력공사 전력연구원	177
P2-20	가스터빈 블레이드 회전시험용 지그의 구조해석 <u>김태형</u> 청주대학교 항공학부 항공기계공학전공	180
P2-21	가압중수로형 원전 압력관 내경증가에 따른 드라이아웃 출력 민감도 분석 <u>류의승</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원 안전연구소	181
P2-22	MHD 발전 플라즈마 전도도 향상을 위한 변수 특성 분석 <u>강태욱*</u> · 김희령 울산과학 기술원 '원자력 공학과'	182
P2-23	Ce계 촉매를 이용한 SCR 설비 슬립 암모니아 저감연구 <u>이효진</u> · 양지선 · 김준한 한국전력공사 전력연구원	183
P2-24	발전소 공정용수 생산을 위한 하수처리수 재이용 개선공정 개발 <u>이현철</u> · 장원석· 신경아· 장미희· 신혜현· 유지혜 한국지역난방공사 미래개발원	184
P2-25	폐 태양전지 재활용 기술 현황 <u>김영진</u> · 서준형 · 조진상 · 조계홍 한국석회석신소재연구소	185
P2-26	다양한 합성법으로 제조된 Zn 도입 HZSM-5 촉매의 에탄 탈수소방향족화 반응 활성 연구 <u>박예림</u> · 이병진 · 이관영 고려대학교 화공생명공학과	186

●●● 4월 30일(금) 10:00~12:00

번호	발 표 주 제	page
P2-27	Effect of XGa/HZSM-5 (X=0,1,3,6,10) Catalyst in Co-dehydroaromatization Reaction of Natural Gas 이현민 · 이병진 · 이관영* 고려대학교 화공생명공학과, *고려대학교 화공생명공학과	187
P2-28	천연가스의 X/HZSM-5(X=Mo, Ga)를 이용한 직접 방향족화 반응에서 코크의 산화를 통한 촉매 재생 김상윤 · 이현민 · 이병진 · 이관영* 고려대학교 화공생명공학과	188
P2-29	수계 알루미늄 이온 배터리를 위한 나노구조의 금속 바나데이트 전극 개발 김난경 · 김지수 · 손동규 · 이유현 · 이기백* 영남대학교 화학공학과	189
P2-30	고성능 포타슘 이온 하이브리드 커패시터 개발을 위한 탄소나노섬유의 포타슘 이온 저장 능력 향상 연구 이유현 · 손동규 · 김지수 · 김난경 · 이기백* 영남대학교 화학공학과	190
P2-31	고안정성 및 고성능 알루미늄 이온 배터리 개발을 위한 니켈-코발트-황화물@탄소 복합체 개발 김지수 · 김난경 · 손동규 · 이유현 · 이기백* 영남대학교 화학공학과	191
P2-32	가압중수로 원전 운전이력에 따른 사고해석 열수력 초기조건 평가 류의승 한국수력원자력(주) 중앙연구원 안전연구소	192
P2-33	비상디젤발전기 고속기동 시간지연 원인 고찰 김영철 한국수력원자력(주) 중앙연구원	193
P2-34	비상디젤발전기 부하운전 안정성 향상 사례 김영철 한국수력원자력(주) 중앙연구원	194
P2-35	마일드환경 기기의 기기검증 기술기준 검토 허남용 한국수력원자력(주)	195

●●● 4월 30일(금) 10:00~12:00

번호	발 표 주 제	page
P2-36	기기검증 수명에 있어 환경요인 영향 검토 <u>허남용</u> 한국수력원자력(주)	196
P2-37	케이블 화염시험 기술기준 변경 검토 <u>허남용</u> 한국수력원자력(주)	197
P2-38	원자력발전소의 가동중 설계변경 품질향상 방법 <u>신혜영 · 박태성</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원	198
P2-39	탄력운전 핵설계 영향 예비평가 <u>유극중</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원	199
P2-40	공압 구동기(Actuator)의 CGID 필수특성 선정방법 고찰 <u>홍태화 · 양창석</u> 한국수력원자력(주), 중앙연구원	200
P2-41	폐지 PID 제어를 이용한 온도제어 알고리즘 개선 <u>이현용</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원	201
P2-42	적용 PID 제어를 이용한 과열도 제어 알고리즘 개선 <u>이현용</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원	202
P2-43	LQG 제어를 이용한 압력제어 알고리즘 개선 <u>이현용</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원	203
P2-44	온도지시계 & 스위치의 필수특성에 대한 고찰 <u>이현용</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원	204
P2-45	적용 PID 제어를 이용한 핫가스 바이패스 밸브제어 알고리즘 개선 <u>이현용</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원	205

●●● 4월 30일(금) 10:00~12:00

번호	발 표 주 제	page
P2-46	화재방호체의 품질등급 및 기기검증 요건에 대한 고찰 김경덕 한국수력원자력(주)	206
P2-47	원전 전체 3D모델 체계 개발 김우중, 변수진, 김종명 한국수력원자력(주) 디지털혁신추진단	207
P2-48	3D모델 기반 원전 설계요건 추적성 표현 김종명·변수진·김우중 한국수력원자력(주) 디지털혁신추진단	208
P2-49	안전등급 Heater Element 필수특성 검증 방법에 대한 고찰 조은일 한국수력원자력 중앙연구원	209
P2-50	안전등급 분류기 필수특성 검증 방법에 대한 고찰 조은일 · 홍영희 · 허희무 한국수력원자력 중앙연구원	210
P2-51	변환기 수락기준 선정에 관한 고찰 조은일 한국수력원자력 중앙연구원	211
P2-52	절연게이트 양극성 트랜지스터 평가 방법에 대한 고찰 조은일 · 정선철 · 최재훈 한국수력원자력 중앙연구원	212
P2-53	터미널 블록 검증 필수특성에 대한 고찰 허희무 한국수력원자력(주) 중앙연구원	213
P2-54	지락 보호계전기의 건전성 확인 방법에 대한 연구 허희무 한국수력원자력(주) 중앙연구원	214
P2-55	역방향 저지 3극 사이리스터의 특성 평가에 관한 연구 허희무 한국수력원자력(주) 중앙연구원	215

●●● 4월 30일(금) 10:00~12:00

번호	발 표 주 제	page
P2-56	솔레노이드 코일의 기능 확인 방법 허희무 한국수력원자력(주) 중앙연구원	216
P2-57	납 축전지의 기능 확인 방법에 대한 연구 허희무 · 최재훈 · 정선철 한국수력원자력(주) 중앙연구원	217
P2-58	Extensive optical studies of Sb ₂ Se ₃ thin film absorbers Ji Hyeon Noh · Sreedevi Gedi · SalhAlhammadi ·*Woo Kyoung Kim School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea	218
P2-59	Studies on Cubic Tin Sulfide Thin Films for PV Application Sreedevi Gedi · Ignatius Andre Setiawan · Ji Hyeon Noh and ·*Woo Kyoung Kim School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea	219
P2-60	Preparation of SnS ₂ thin film by chemical bath deposition for thin film CIGS solar cell application Salh Alhammadi ¹ , Sreedevi Gedi ¹ and Woo Kyoung Kim ^{*1} ¹ School of Chemical Engineering, Yeungnam University	220
P2-61	유도가열 기법을 이용한 태양전지 솔더링 성능 개선 조민재 · 차형우 · 김광호 * 청주대학교 전자공학과, 청주대학교 에너지융합학과 *	221
P2-62	태양광 응용을 위한 비 진공 방법에 의한 Cu ₂ ZnSnS ₄ 및 Cu ₂ ZnSnSe ₄ 박막 합성 Meenakshi Sahu · Vasudeva Reddy Minnam Reddy · Chinho Park* · Pratibha Sharma** *School of Chemical Engineering Yeoungnam University, **Indian Institute of Technology Bombay Powai Mumbai-400076 India	222
P2-63	공동 주택 태양광 보급사업의 대안 제시 이찬우 · 배성수 · 이여진 (주)씨에스텍 기업부설연구소	223
P2-64	고효율 CZTSSe 태양전지 강진규 · 손대호 · 김승현 · 류혜선 · 김성연 · 성시준 · 황대규 · 양기정 · 김대환 대구경북과학기술원(DGIST), 박막태양전지연구센터	224
P2-65	고효율 케스터라이트계 박막 태양전지와 열처리 공정과정과의 상관관계에 관한 연구 류혜선 · 손대호 · 김승현 · 김성연 · 성시준 · 황대규 · 양기정 · 김대환 · 강진규 대구경북과학기술원(DGIST), 박막태양전지연구센터	225

특별세션

[특별세션1. 저탄소 에너지공유 커뮤니티 플랫폼 기술/기존 건축물 저탄소 에너지효율화 리모델링 기술]

저탄소 에너지공유 커뮤니티 구현을 위한 복합 에너지공유 플랫폼 파일럿 실증 분석

Experimental analysis of pilot-scale convergence energy sharing
platform for low-carbon energy sharing community

김민휘 · 이동원 · 안영섭 · 윤재호*

한국에너지기술연구원 재생에너지연구소

본 연구에서는 저탄소 에너지공유 커뮤니티 구현을 위한 전력 및 열 복합에너지 공유 플랫폼에 대한 파일럿 실증에 대한 분석을 실시하였다. 저탄소 에너지공유 커뮤니티의 실증단지인 부산 스마트시티 국가시범도시인 에코델타스마트시티(EDC)에 대한 실증에 앞서, 개발된 복합에너지 공유 플랫폼에 대한 요소기술 성능 검증을 위해 파일럿 스케일의 실증설비를 구성하였다. 본 파일럿 실증설비는 대전 한국에너지기술연구원 본원에 위치한 리모델링 주택인 플러스에너지하우스(KePSH)-I과 II를 대상으로 진행하였으며, 두 주택 간의 에너지 공유 및 최적 운영플랫폼을 구현하여 실증을 진행하였다. KePSH-1은 지붕에 15.1 kW의 건물일체형 태양광시스템(BIPV)와 4.3 kW의 건물일체형 태양광·열시스템(BIPVT)가 설치되었으며, 5 kWh의 에너지저장시스템(ESS)이 설치되어 운영되고 있다. 주요 열생산설비는 5 RT의 공기식 히트펌프(ASHP)에서 냉열과 온열을 동시에 생산하여 건물의 냉방, 난방 및 급탕을 공급하며, BIPVT에서 생산된 열을 800 liter의 온수탱크(TES)로 공급되어 난방 및 급탕에 필요한 열을 보조한다. KePSH-II는 8.3 kW의 BIPV와 3.3 kW의 BIPVT가 설치되었으며, 5 kWh의 ESS가 설치되어 운영되고 있다. 두 주택을 대상으로 에너지공유 플랫폼을 적용하여 하이퍼레저 블록체인기반 RTU를 통해 에너지 생산 및 소비량에 대한 데이터를 커뮤니티 에너지공유 플랫폼(CEMS)로 보내지고, ESS와 TES-ASHP를 활용한 전력 및 열에너지 설비는 인공지능 기반 에너지 공유시스템 운영 의사결정 지원시스템을 통해 운영된다. 본 연구에서는 이러한 플랫폼의 시운전 기간 동안에 대한 운영 결과를 나타내고, 운영 결과에 따른 경제성 도출 및 향후 부산 EDC 스마트빌리지 실증단지에서의 운영 효과에 대해서 예측하였다.

본 연구는 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원(과제번호 : 21PIYR-B153277-03)의 지원을 받아 수행되었음.

[특별세션1. 저탄소 에너지공유 커뮤니티 플랫폼 기술/기존 건축물 저탄소 에너지효율화 리모델링 기술]

Symmetric Stackelberg Equilibria in Shared Energy Storage System

유지환 · 조재연

KAIST 산업 및 시스템공학과, KAIST 산업 및 시스템공학과

The co-ownership of energy storage system (ESS) has been proposed to relieve the cost and maintenance of ESS. It introduces complex strategic interactions among users who operate the shared ESS and the users who utilize it. Different from the conventional centralized energy generation/distribution scheme, the smart grid is being operated in a more decentralized manner such that each user can determine whether to sell or buy the energy from their users, ESS operator, or central grid; and the smart grid operator can make a decision for regulating/facilitating the energy trading among users. In order to model the problem with a hierarchy among self-interested decision makers, it is adequate to approach the given problem as a Stackelberg game. In this study, we provide a new game formulation for a shared ESS energy trading game (EET game) and proved the existence of a generalized Stackelberg equilibrium and suggest the generalized computational method of the symmetric Stackelberg game. Then, we validated the effectiveness of the proposed approach compared with the individual model, random price model, and generalized subgame perfect Nash equilibrium model, in terms of total energy cost, and peak to average ratio of the energy demand, by using numerical simulation with the real energy consumption of users.

[특별세션1. 저탄소 에너지공유 커뮤니티 플랫폼 기술/기존 건축물 저탄소 에너지효율화 리모델링 기술]

p2p 에너지 거래 시스템에서의 블록체인 모델 연구

Blockchain Model Study in p2p Based Energy Transaction System

안유준 · 이재규 · 최중인

(재) 서울대학교 차세대융합기술연구원

본 연구는 p2p 에너지 거래 시스템에서의 블록체인 구현을 위한 기술 및 정책 모델에 대한 연구이다. 블록체인 기술은 에너지 분야에서 도입되어 에너지 거래 시스템을 효율적으로 구축할 수 있는 방안으로 작용한다. 일명 ‘에너지 블록체인’이다. 에너지 블록체인은 에너지를 거래하는 누구나 에너지 사용정보를 기록하여 거래내역을 분산원장에 공유하는 거래시스템으로써 투명한 에너지 거래를 할 수 있는 역할을 할 수 있다. 서류나 화폐로 실물 거래를 하는 것이 아닌 온라인으로 ‘에너지’ 그 자체를 주고받고 거래 및 정산의 신뢰성과 용이성을 보장하므로 공급자, 수요자의 개념 상관없이 p2p 방식으로 에너지를 자유롭게 거래할 수 있어 에너지 공급이 효율적으로 활성화된다.

에너지 거래에서의 블록체인은 현금성, 개방성, 종속성으로 구분하여 그 기능과 정의를 결정할 수 있다. 현금성이라 함은 다른 재화와의 가치 비교가 가능하여 실질적인 지급결제 수단의 역할을 하는지에 대한 속성이며, 개방성은 익명의 불특정 다수가 블록체인에 포함될 수 있는지 여부, 종속성은 특정 플랫폼 내에서만 허가가 되는지 아니면 다른 플랫폼과의 연동이 되는지에 대한 속성이다.

현재의 p2p 에너지 거래는 에너지 설비와, 거래 및 정산 시스템 보급을 위한 기술 개발 및 시범 보급 단계이므로, 경제성과 신뢰성의 확보를 위하여 커뮤니티 단위의 기술 적용이 타당하다. 이러한 커뮤니티 내의 에너지 거래 시스템에서 서비스의 이용을 위한 utility token으로써의 속성, 플랫폼 내에 종속된 Dapp(Decentralized Application), private 특성을 지향하는 Hyperledger Fabric 등의 기술이 어떻게 에너지 거래 시스템에서 효율적으로 적용될 수 있는지에 대하여 살펴보고자 한다.

본 연구는 2021년도 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 연구비 지원을 받아 수행한 연구과제 결과의 일부임 (과제번호 : 21PIYR-B153277-03)

[특별세션1. 저탄소 에너지공유 커뮤니티 플랫폼 기술/기존 건축물 저탄소 에너지효율화 리모델링 기술]

저탄소 에너지공유 커뮤니티 기술의 구현을 위한 실증단지 구축

A Study on Construction of Test Bed
for Low Carbon Energy Share Community Technology Validation

김용* · 박시삼 · 차희운 · 박준 · 최형진

*지에스건설 기반기술연구팀, 지에스건설 기반기술연구팀

최근 전 세계적으로 급속하게 증가하고 있는 도시화에 따라, 도시 내 자원과 에너지의 효율적인 활용을 위한 인프라 구축과 운영 기술에 대한 요구가 증대되고 있다. 우리나라의 경우 도시화율이 91.8%에 달하고, 특히 전체 에너지사용량 중 26.2%를 차지하는 건물에너지분야(산업 49.7%, 수송 24.1%)의 효율화 기술에 대한 관심이 높아지고 있다.

본 연구에서는 이러한 요구에 발맞추어 다양한 에너지수요프로파일을 갖는 단위 건물(주거, 상업, 업무 등)에 대한 Passive 및 Active 솔루션 기술 적용과 함께 이를 바탕으로 한 커뮤니티 단위의 에너지 공유/거래에 대한 실증을 통하여 도시 단위의 에너지효율화 기술 및 사업모델을 개발하고자 한다.

이를 위하여 현재 부산 EDC 스마트시티의 첫 번째 완공되는 주거단지인 스마트빌리지(총 56세대 및 커뮤니티시설)를 대상으로 본 연구의 개발 기술을 반영하여 건축설계를 2020년 완료하였으며, 2021년 12월 준공을 목표로 공사를 진행 중에 있다. 해당 단지는 스마트빌리지 내부 및 내외부 간의 에너지 공유 및 거래기술의 효과적인 실증을 위하여, 스마트빌리지의 주택과 커뮤니티시설에서 소비되는 기본적인 에너지의 제로화가 가능하도록 설계 초기 단계부터 Passive/Active 기술과 신재생에너지 설비의 검토를 수행하였고, 효율적이고 최적의 단계적 에너지 절감 설계를 위한 에너지 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통하여 주거 19세대 및 커뮤니티시설에 대하여, 각각 건축물에너지효율 1+++등급 및 제로에너지건축물 1등급의 예비인증과 함께 녹색건축인증 최우수등급인 그린1등급 예비인증도 취득하였다.

또한, 단지 간 에너지거래/공유모델의 구현을 위하여 스마트빌리지 주변에 위치한 스마트정수장(업무시설, 2021년 준공)와 어반테크(업무시설, 2021년 준공)에 대한 건축설계와 함께 에너지공급설비에 대한 설계를 진행하고 있다. 해당 시설에는 BIPV, 연료전지와 같은 신재생에너지설비 및 ESS, TES와 같은 에너지저장설비의 적용을 통하여 효율적인 에너지수급체계를 구축함으로써, 스마트빌리지와의 에너지거래/공유 모델 실증을 위한 기반을 마련하고자 한다.

[특별세션1. 저탄소 에너지공유 커뮤니티 플랫폼 기술/기존 건축물 저탄소 에너지효율화 리모델링 기술]

건축물간 에너지공유를 위한 커뮤니티 내 건축물 설계 방안 연구

A study of building design method of a community for energy sharing
between buildings

전수민· 강재식· 김성식· 이용준*· 최경석

한국건설기술연구원, *BEL

이 연구는 에너지공유 커뮤니티를 통한 에너지 효율화를 도모하기 위한 설계 기반 기술을 개발하는 것을 목표로 한다. 이를 위하여 시흥 ABC행복학습타운, 신현동, 부산 EDC 건축물들이 한 커뮤니티 안에 존재하는 것으로 가정하여 해당 건축물별 데이터를 기반으로 방법론을 도출하기 위한 연구를 다음과 같이 진행하였다. 첫째, 커뮤니티 구축 초기단계에 건축물 구성과 건축물별 최적 에너지성능을 결정하기 위하여 커뮤니티 내에 존재하는 다양한 건축물 용도별 에너지 부하 패턴을 측정하여 분석하고, 건축물 간의 에너지밸런스를 분석하는 방법론을 도출하였다. 둘째, 건축물의 형태가 결정된 후 에너지공유 커뮤니티 내 건축물간 에너지 사용을 분석하고 예측하는 방법론을 도출하였다. 셋째, 커뮤니티 내 에너지흐름에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 고려하기 위해 에너지관련 요인들을 조사하고, 그 요인간의 관계를 정의하였다. 넷째, 건축물 용적을 등의 특성에 따른 커뮤니티의 에너지성능 변화를 분석하였다. 이 연구의 결과는 건축물 구성에 따른 에너지공유 커뮤니티의 에너지흐름을 예측하고, 최적의 에너지성능을 가진 건축물을 설계하기 위한 기반 기술로 활용될 것이다.

[특별세션1. 저탄소 에너지공유 커뮤니티 플랫폼 기술/기존 건축물 저탄소 에너지효율화 리모델링 기술]

압축공기의 유동특성을 이용한 유효누기면적 산정법의 유효성 검증

Validation of Effective Leakage Area Calculation Method using Flow Characteristic of Compressed Air

한설이 · 김서훈 · 김종훈

한국에너지기술연구원 에너지ICT융합연구단

국내 기존 건축물 중에서 30년 이상 경과한 노후 건축물은 전체의 약 37.8%로 국가 온실가스 감축 및 건물부문의 에너지효율화 추진을 위해서는 기존 건축물의 리모델링이 활성화가 매우 시급한 실정이다. 이러한 리모델링의 보급을 촉진하고 실효성을 높이기 위해서는 기존 건축물의 실제 성능을 정확하게 파악하여 적절한 요소기술을 적용함으로써 리모델링의 사업성을 높이는 방안이 필요하다. 이를 위해 기존 건축물의 단열 및 기밀성능의 현장진단 방법에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 기밀성능의 경우 냉·난방에너지 절감뿐만 아니라 건물의 결로방지 및 내구성을 위해 매우 중요한 역할을 수행한다.

기밀성능 측정법에는 추적가스법과 가·감압법(Blower door test)이 있으며, 가·감압법은 외기와 접해있는 개구부에 팬을 설치한 후 가압 또는 감압을 통해 실내외 압력차가 임의의 설정값에 도달했을 때 팬의 풍량을 측정하여 침기량을 산정하는 방식으로 가장 널리 사용된다. 이 방식은 팬을 통한 실제 유량이 팬 속도와 공간 누설에 의해 영향을 받기 때문에 사전 교정이 필요하며, 개구부의 틈에 누설없이 장착되기 때문에 틈새로 누출되는 유량은 감지하기 어렵다는 단점이 있다. 또한, 설치 절차가 복잡하고 많은 시간이 투입되기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위한 효과적인 방법 개발이 필요하다.

이에 본 연구에서는 소형압축기와 솔레노이드 밸브가 장착된 실험 기구를 통해 압축공기의 유동특성을 이용한 유효누기면적 산정법(ECA법)에 대한 유효성 검증을 수행하였다. 각 실험법의 ELA를 비교하기 위해 실험대상을 선정 후 Blower door test와 ECA법을 수행하였다. 실험대상은 소규모 주택으로 선정하였고 재현성 비교·분석을 위해 동일조건에서 5회 반복실험을 수행하였다.

실험 결과, Blower door test의 평균 ELA_{50} 은 111.66cm^2 , ECA법의 평균 ELA_{50} 은 105.35cm^2 로 두 실험법간 오차율은 약 5.66%로 산출되었다. 재현성 비교를 위한 반복실험 결과는 Blower door test의 경우 ELA_{50} 표준편차가 2.91cm^2 , ECA법은 2.60cm^2 로 Blower door test에 비해 ECA법의 표준편차가 약 12.1% 낮아 재현성이 높은 것으로 나타났다. ECA법의 유효누기면적 실험 결과가 Blower door test 결과와는 일부 차이가 있으나, 기밀성능 측정을 위한 실험법 개발 측면에서 유의미한 결과라고 판단된다. 향후 영향도 분석을 위해 지속적으로 연구를 수행할 예정이며, 이를 통해 신뢰도 및 적용성을 향상시킬 수 있는 기밀성능 측정법 및 프로세스를 마련하고자 한다.

[특별세션1. 저탄소 에너지공유 커뮤니티 플랫폼 기술/기존 건축물 저탄소 에너지효율화 리모델링 기술]

그린 리모델링을 위한 설비 정보체계 구축에 관한 연구

A Study on the Establishment Mechanical Equipment Information System for Green Remodeling

양자강 · 박선호

대한기계설비산업연구원 미래전략실

건물부문의 온실가스 감축을 위해 많은 국가들이 제도구축 및 법적규제 등을 통하여 노력하고 있으며, 우리나라 또한 그린리모델링 사업을 통해 건물의 노후화로 에너지효율이 저하된 기존건축물을 개선하여 에너지성능 및 생활환경을 향상하는 노력을 하고 있다. 이에 본 연구에서는 리모델링 수행 과정 중 효율적인 기계설비 시스템 적용을 위한 설비 정보체계구축에 대하여 제안하고자 한다.

본 연구에서 제안하는 설비 정보체계 구축 과정은 다음과 같다. 먼저 기계설비 장비를 생산하는 업체의 카다로그를 참고하여 표준화 항목을 선정하였으며, 조달청의 나라장터, 공동주택관리법 시행규칙 등 유관법령 및 사례를 조사하여 비용최적모델을 위한 항목을 선정하였다. 선정된 표준화 항목에는 장비명(모델명), 장비용량, 장비효율, 소비에너지, 인증정보 등이 있으며 비용최적모델항목은 가격정보(장비가격,노무비), 수선주기, 교체주기 등이 있다.

다음으로 선행 구축할 장비를 분류하였다. 장비 분류는 기계설비법을 근거로 하는 기계설비분류체계를 활용하였으며 크게 냉동기, 보일러, 냉온열원, 공조설비, 신재생에너지 로 구분하여 항목별 해당하는 값을 입력하였다. 그리고 원하는 장비의 해당 값을 조회할 수 있는 조회 시스템을 구축하였으며 그 예시는 다음 그림1과 같다.



그림1. 설비 정보체계 DB(좌) / 설비 정보체계 조회 시스템(우)

본 연구에서는 기존건축물 리모델링 수행 과정 중 효율적인 기계설비 시스템 적용을 위한 설비정보체계 구축 시스템을 제안하였다. 추후 설비 정보체계 시스템의 고도화를 위하여 기계설비산업 정보화전략계획 수립과 연계한다면 활용범위가 넓어질 것으로 기대된다.

[특별세션1. 저탄소 에너지공유 커뮤니티 플랫폼 기술/기존 건축물 저탄소 에너지효율화 리모델링 기술]

건물군의 에너지 공유 계획 및 운영을 위한 에너지 밸런스 평가 및 예측 방법에 대한 연구

A study on energy balance evaluation and prediction method for energy sharing planning and operation of building groups

이용준 · 오은주

(주)비이엘테크놀로지 친환경외피공학연구소

- 단일 건물의 에너지 소비 저감 기술은 소비량을 제로화하고 에너지 자립을 확보할 수 있는 수준으로 진화하고 있으며, 제도화를 통하여 건물 에너지 저감 및 자립 기술의 적용이 확대되고 있다. 그러나 개별 건물 단위로 기술을 적용할 경우 건물의 용도, 지역, 건립 시기에 따른 성능 차이 등에 의하여 저감되거나 자체 생산된 에너지를 효율적으로 활용하지 못하게 되고, 과도한 설비 비용이 소요될 수 있는 문제점이 있다.
- 이에 건물의 용도, 에너지 소비 특성(기간, 계절별 소비 시점의 차이 등)에 따른 잉여 에너지의 건물간 공유를 위한 기술들(에너지생산, 저장, 공유 및 거래)이 개발되고 있으며, 개발된 기술을 공유 대상 건물군에 적용하기 위한 계획 수립 및 이후 운영을 위한 건물군의 에너지 소비 및 생산에 대한 시간에 따른 밸런스 평가 및 예측 방법도 연구되고 있다.
- 건물군의 에너지 밸런스 평가는 에너지 공유 대상 건물 간의 공유 효과를 극대화할 수 있는 기술 요소별 설치 용량 최적 계획 수립 시 활용을 목적으로 하며, 신축 또는 에너지 소비 정보가 부재한 기축 건물군의 시간당 에너지 소비량 및 생산량과 해당 시간의 에너지 공유 효과를 평가하기 위하여 건물 및 신재생 에너지원의 에너지 소비 및 생산에 대한 물리 모델에 기초하여 평가법을 구축하는 것을 목적으로 한다.
- 건물군의 에너지 밸런스 예측은 건물군에 대한 에너지 공유를 위한 실제 운영 단계에서 운영 중 획득되는 환경 정보(지역 기상 데이터)와 건물군의 실사용량 및 실생산량 데이터를 기초로 기계학습 모델을 활용하여 에너지 소비 및 생산량을 예측하고 이에 대한 최적 공유 효과를 위한 운영 전략을 판단 예측하는 방법을 구축하는 것을 목적으로 한다.
- 개발된 계획 및 운영 단계별 모델을 적용한 평가 및 예측 방법을 구성하고 있으며, 개발될 방법의 활용이 가능하도록 S/W로 개발을 진행하고 있다. 개발 중인 프로그램에 적용된 평가 및 예측법은 이후 확보되는 실증 데이터를 활용하여 검증 및 수정, 보완하여 실무 적용 가능성을 확보하고자 한다.

[특별세션1. 저탄소 에너지공유 커뮤니티 플랫폼 기술/기존 건축물 저탄소 에너지효율화 리모델링 기술]

기존 건축물 저탄소 에너지효율화 리모델링 기술 개발 연구

A Study on the Development of Low Carbon Energy Efficiency Remodeling Technology for Existing Buildings

이한솔* · 서성모 · 채창우 · 최경석

*과학기술연합대학원 대학교 건설환경공학과, 한국건설기술연구원 국민생활연구본부

제로에너지 건축물에 대한 정부 정책은 2009년 제로에너지건축물 의무화 로드맵이 정부의 녹색건축 활성화 방안에서 최초 제시된 이후, 2017년 패시브 건축 의무화 공시 단계를 거쳐 2020년 공공 건축물을 대상으로 제로에너지 건축물 의무화가 시행되었다. 이에 본 연구는 제로에너지 빌딩을 구현하기 위하여 기존 건축물에 적용 가능한 그린 리모델링, 리트로핏 기술을 개발하여 건물에너지 성능을 향상시키고자 한다. 기존 건축물을 대상으로 리모델링 단계별 공사비용이 최대 30 % 절감되고 냉난방부하를 최대 50 %까지 저감하는 것을 목표로 기존 건축물 저탄소 에너지효율화 기술 패키지를 개발하였다.

기존 건축물에 적용 가능한 프리패브 리모델링용 건식 벽체 모듈은 고단열, 고기밀, 고성능 창호 적용이 가능하며, 재실형 리모델링 구현을 통하여 공사기간 단축과 시공품질 향상이 가능할 것으로 예상된다. 프리패브 모듈 스마트 배선시스템은 기존 천장, 벽체, 바닥 노후배선의 분리된 배선을 통합하고 모듈화, 일체화 달성이 가능하여 건물 리모델링 공사 시 편의성 및 효율성을 향상시킬 수 있다.

개발된 보급형 기술 패키지 성능을 평가하기 위하여 시흥시에 위치한 실증대상지 2개소의 기존 건축물을 선정하였고 실증 건물에 적용하여 리모델링 전·후의 건물에너지 성능을 검토하고자 한다. 기존 건축물의 현황을 파악하기 위하여 열화상 촬영, 재실자 면담 등을 통하여 현장진단을 수행하였으며, 추후 리모델링 기술패키지 기술을 대상 건물에 시공할 예정이다. 프리패브 건식 벽체 모듈 적용에 따른 냉난방 부하 저감 예측을 기반으로 리모델링 시나리오를 도출함에 따라 기존 건축물 에너지효율화 기반 에너지공유형 커뮤니티 실증이 가능할 것으로 판단된다. 기존 리모델링 대비 기술패키지 적용으로 최대 30 %의 공사비용을 절감하고 리모델링의 품질 확보가 가능 할 것으로 예상된다. 또한 기존 건축물에 적용 가능한 리모델링 기술패키지 개발을 통해 단위공정이 연결되는 과정에서 발생하는 간접사항과 시행착오에 의한 공기지연과 비용을 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

[특별세션1. 저탄소 에너지공유 커뮤니티 플랫폼 기술/기존 건축물 저탄소 에너지효율화 리모델링 기술]

공공과 민간펀드를 고려한 그린리모델링 사업의 경제성 및 환경성 분석 프레임워크

A Framework for Economic and Environmental Analysis of Green Remodeling Project considering Public and Private Funds

정광복 · 안중백* · 홍태훈*

세종대학교 건축공학부, *연세대학교 건축공학과

지구온난화 등 기후변화 문제를 해결하기 위해 2015년 체결된 파리협정에 따라 2021년부터 신기후체제(POST-2020)가 출범되었다. 이로 인해, 선진국과 개발도상국을 포함한 모든 당사국은 자발적으로 수집한 국가 온실가스 배출량 감축을 이행해야 한다. 대한민국 정부는 2019년 제2차 녹색건축물 기본계획을 발표하여, 2030년 배출전망치(BAU) 대비 37% 감축 목표(건물부문은 2030년 BAU 대비 32.7%)를 수립하였다. 특히, 2017년 기준 우리나라의 건물 부문의 온실가스 배출량은 약 22%를 차지하는 만큼, 건물에서의 에너지 소비 절감 및 효율화가 필수적인 상황이다. 특히, 국내 전체 건축물 727만동 중 75%를 차지하는 15년 이상 경과된 노후화된 기존 건축물의 에너지 성능을 개선하는 그린리모델링은 건물부문 온실가스 배출 절감 목표 달성에 효과적인 방법이다. 이에 따라, 정부는 2020년 그린 뉴딜을 발표하고, 공공건축물 그린리모델링 지원사업을 통해 약 840동 이상(2020년 12월 기준)의 공공건축물에 대한 그린리모델링 사업을 지원하고 있다. 하지만, 공공건축물과 달리, 전체 건축물의 약 97%를 차지하는 민간건축물의 그린리모델링 사업 활성화는 제한적인 상황이다. 또한, 이미 시행한 민간건축물 그린리모델링 사업은 대부분 창호를 교체하는 수준에 머무르고 있다. 이는, 민간건축물 소유주를 위한 금전적·제도적 지원책이 제한적이고, 그린리모델링 사업성 판단에 한계가 있기 때문이다. 이에 따라 본 연구에서는 공공과 민간펀드를 고려한 그린리모델링 사업의 경제성·환경성 분석을 위한 프레임워크를 제시하고자 하며, 이는 3단계로 구성된다. 첫째, 그린리모델링 사업의 경제성·환경성 분석의 기본 자료가 될 수 있는 다양한 정보를 수집한다. 예를 들어, 건축물 정보(지역 정보, 물리적 정보, 에너지 사용량 정보 등), 그린리모델링 기술 정보, 비즈니스 모델 정보 등을 고려할 수 있다. 두 번째, 그린리모델링 기술별 적용 시나리오를 수립하고, 분석을 위한 조건(분석기간, 실질할인율, 비용 등)을 가정하여 경제성·환경성 분석을 수행한다. 세 번째, 유전자 알고리즘을 이용하여, 경제성·환경성 측면에서 최적의 그린리모델링 기술을 선정한다. 본 연구의 결과는 다음과 같이 활용될 수 있다. 첫째, 건물 소유자, 관리자, 건축사 등 다양한 의사결정자가 그린리모델링의 초기단계에 사업진행여부를 결정하는데 활용할 수 있다. 둘째, 기존 건축물의 온실가스를 저감할 수 있는 다양한 패키지 기술에 대한 경제성·환경성 평가를 수행하여 기술 적용을 확대할 수 있다.

[특별세션3. 바이오가스의 수송용 연료화 기술 개발 연구 융합클러스터]

바이오가스 수송용 연료화 기술 개발

Development of biogas for transportation fuel

양정일* · 강신욱 · 박지찬 · 이학근

*한국에너지기술연구원 청정연료연구실

- 2018년 6월 미국 Global America Business Institute의 발표에 의하면, 신재생에너지 중 하나인 바이오가스는 유기성 폐기물에 대한 해결책으로 탁월한 환경적, 경제적 효과가 있다고 보고되고 있으며, 한국에서도 바이오가스 산업은 유기성 폐기물에 의한 환경(Environment) 보호와 화석연료(Energy) 고갈 대비에 꼭 필요한 산업으로 여겨진다. 특히, 2018년 IEA의 OECD 국가 재생에너지원별 전력 생산 연평균 증가율을 보면 태양광 34.8%, 풍력 21.2%에 이어 바이오가스 12.2%로서 3번째로 큰 비중을 차지하고 있으며, 재생에너지를 이용한 분산 발전 기술에도 바이오가스가 포함되어 있어, 재생에너지 자원인 바이오가스를 이용하는 기술은 온실가스 저감과 지역별 에너지 자립을 위한 친환경 분산 발전 기술로 크게 기대된다.

- 바이오가스는 국내에서는 주로 열(heat) 및 전기(electricity) 생산에 집중하고 있으며, 기술 선진국인 유럽에서는 최근에는 연료(fuel)로서 LNG나 CNG 생산에도 사용되고 있고, 수소나 차량용 액체 연료로서 가솔린, 디젤 등의 생산 기술이 개발되고 있다.

- 본 융합 클러스터의 비전은 바이오가스 고품위화를 통한 수송용 연료 생산 기술로서, 바이오가스를 이용한 수소나 가솔린, 디젤 등의 연료 생산 기술이며 온실가스인 바이오가스 주성분 CH_4 과 CO_2 이용하는 새로운 CCU 기술 개발로서 온실가스 저감 기술이다. 또한 각 지역에서 가용할 수 있는 로컬(local) 에너지인 바이오가스를 이용하여 소규모로 수요지 주위에 분산 배치하여 에너지를 생산하는 분산 발전 기술이며, 국내 가용 자원인 소규모 바이오가스를 원료로 하는 지역별 에너지 자립과 에너지원의 다양성을 통한 국가 에너지원 안보 확립 기술이다.

- 최근 2021년 2월에 발표된 미국 바이든 행정부의 기후혁신 핵심 강령에는 탄소를 배출하며 생산된 수소에 비해 더 저렴한 무탄소 수소가 포함되어 있는데, 바이오가스 리포밍 기술은 탄소 배출이 없는 그린 수소 생산 기술로서 앞으로 기술 개발이 크게 기대된다.

[특별세션3. 바이오가스의 수송용 연료화 기술 개발 연구 융합클러스터]

구체적 사례를 통한 바이오가스 생산, 활용 연구

조경환

스칸디나비아 바이오가스 코리아 대표이사

2020년 환경부에서 발표한 ‘유기성 폐자원 바이오가스 활용시설 현황’에 따르면 음식물류 폐기물, 가축분뇨, 하수슬러지등의 유기성폐자원 처리를 통하여 바이오가스를 생산 활용하는 시설은 2019년 현재 101개소, 연간 바이오가스 생산량은 3.5억 m³ 로써 조사 개시년도인 2008년 생산 활용시설 38개소, 연간 생산량 0.4억m³ 대비하여 괄목할 만한 양적 성장을 이루었다.

이러한 과거 10년간의 양적 성장은 바이오가스 산업에 대한 인식 변화도 가져왔다. 폐자원의 처리 과정에서 부수적으로 발생하는 에너지의 수집, 활용이라는 수동적 인식에서 벗어나, 대규모의 바이오가스 생산 시설 건설, 산업용 연료 판매 또는 수소 생산 원료 활용 등 또 하나의 산업 생태계를 구축하는 방법을 적극적으로 모색하고 있다. 하지만, 그 과정에서 바이오가스의 생산 효율 및 운영 안정성 등 기술적 문제 뿐 아니라, 바이오가스의 이용률 증대 및 판매처 확보 등 사업 경제성에 대한 문제점이 함께 대두 되었으며, 이로 인해 유기성 폐자원 바이오가스의 사회적 가치에 대한 인식은 아직 미미한 단계로써 우리 사회의 지속 가능한 성장을 위해 필요한 요소임을 인정받기 위해 아직 많은 노력이 필요하다.

이제 유기성 폐자원 바이오가스의 사회적 부가가치 제고를 위하여 바이오가스 산업의 질적 성장에 대한 고민이 필요하며, 이를 위해서는 바이오가스의 생산과 함께 그 활용에 중점을 둔 논의를 통해 그 사회적 가치를 올바르게 인식해야 한다.

바이오가스 산업의 질적 성장을 위해서는 기존의 폐기물 처리 방법의 전환이라는 접근 방식에서 벗어나, 바이오가스의 생산 활용 자체를 하나의 독립된 산업으로 인식하고, 기존 타 산업과의 연계 활용에 중점을 둔 사업 개발과 수행 방법에 대한 논의를 해야 한다. 이는 자연적으로 유기성 폐자원 바이오가스의 기술 적합성, 운영 안정성, 사업 경제성을 제고하여 바이오가스를 중심으로 하는 하나의 산업 생태계를 구축할 것이며, 이를 통해 바이오가스의 사회적 가치를 인정받고, 지속가능한 성장이라는 선순환을 이룰 수 있을 것이다.

당사는 북유럽과 한국에서 바이오가스 생산 및 활용시설을 5곳을 건설, 운영하고 있으며 각각의 생산시설에서 생산된 바이오가스는 차량용 연료, 산업용 연료, 선박 연료로써 공급하고 있는바 이러한 실제 활용사례를 소개하여 여러 관계자들에게 바이오가스의 활용에 대한 사회적 부가가치 제고에 대한 계획과 실행에 도움이 되고자 합니다.

[특별세션3. 바이오가스의 수송용 연료화 기술 개발 연구 융합클러스터]

니켈담지 알루미나 촉매의 CO₂ Methanation 반응적용: 전구체 담지법의 영향

Nickel Supported on Alumina Catalysts for CO₂ Methanation Reaction:
Effect of Precursor Deposition Method

조의현 · 박광열 · 고창현*

전남대학교 화학공학부

온실가스로 인한 기후변화에 대한 우리가 화석연료 사용을 제한하면서 지속가능한 탄소-에너지 순환을 구현하기 위한 다양한 연구들이 최근 활발하게 진행되고 있다. 신재생에너지인 태양광과 풍력을 통해서 생산되는 잉여의 전기에너지를 수전해를 통해서 수소(H₂)로 저장하거나 혹은 이러한 방식으로 생산된 H₂를 이용해서 이산화탄소(CO₂)를 메탄(CH₄)으로 전환시키는 CO₂ methanation 반응은 많은 관심을 끌고 있다. 유럽연합에서는 이러한 전력-가스 전환(Power to Gas)과 관련된 연구들이 상당히 많이 진행되고 있으며 독일에서는 이미 상용화된 플랜트가 존재하고 있다.

촉매를 이용한 CO₂ methanation에서 불균일계 촉매는 매우 중요한 역할을 한다. 이 반응에 사용되는 불균일계 촉매는 주로 니켈과 같은 전이금속이 표면적이 넓고 반응성이 없는 금속 산화물 지지체(예: 알루미나)에 담지된 구조인데 저온에서도 반응물인 CO₂가 효율적으로 CH₄로 전환되기 위해서는 많은 촉매활성물질이 담지되어야 하며 담지된 촉매활성물질이 효율적으로 사용되기 위해서 가능한 작은 크기를 유지해야 한다. 이러한 조건의 촉매를 제조하기 위해서 많은 연구들이 진행되고 있다.

본 연구에서는 촉매의 지지체로 표면적이 넓고 열적 안정성이 비교적 우수한 감마-알루미나를 선택하였으며 촉매활성물질로 가격이 비교적 저렴한 금속상태의 니켈을 선정하였다. 금속상태의 니켈이 높은 표면적을 유지하기 위해서 다양한 전구체 담지방법들(Incipient wetness impregnation, wet impregnation, melt-infiltration)을 시도하였으며 열처리 조건(소성온도, 환원온도 등)을 최적화시켰다. 적절한 환원조건을 통해서 얻은 금속상태 니켈의 입자크기는 10 nm 수준으로 낮출 수 있었다. 금속상태 니켈입자의 크기를 줄일수록 CO₂ 전환율과 CH₄ 선택도는 증가하는 경향을 보였다. 이러한 전구체 담지법에 따른 효과는 니켈이 담지된 알루미나 촉매의 CO₂ methanation 반응 적용가능성을 높인 것으로 판단된다.

[특별세션3. 바이오가스의 수송용 연료화 기술 개발 연구 융합클러스터]

플라즈마를 이용한 바이오가스의 Thermo-neutral 개질 공정 Plasma based thermo-neutral reforming process of biogas

이대훈 · 송호현 · 강홍재 · 김유나 · 이희수 · 김관태 · 송영훈

한국기계연구원, 환경시스템연구본부

탄소중립2050의 발표와 더불어 에너지, 자원 분야에서 탄소저감을 실현하기 위한 다양한 노력들이 진행되고 있다. 국내 바이오 가스의 경우 자원화 활용될 수 있는 용량이 충분한 발생원이 많지 않은 편으로 대규모 발생원의 경우는 발전 형태로 활용이 되고 있으나 중.소 규모 발생원에서는 분리 후 기상상태로 기존 소각 및 연소 설비에 활용되거나 대기방출 혹은 단순 소각 형태로 처리되어져 왔다. 이러한 형태의 활용 과정에서 바이오가스가 포함한 CO₂ 성분은 활용되지 못하는 게 되고, 분리된 메탄 성분 또한 고품질의 연료로 활용되지 못하는 한계를 가지고 있다.

한편 바이오가스를 개질해서 활용하기 위한 다양한 시도들이 진행되고 있지만 대부분 강한 흡열 특성을 가지는 건식 혹은 습식(스팀) 개질 형태의 반응 조건으로 인해 추가적인 열원의 공급이 필요하며 이 과정에서 부가적인 이산화탄소가 발생되기도 한다.

본 연구에서는 외부 열원 없이 바이오가스를 개질 할 수 있는 공정을 제안하고자 한다. 바이오가스 공급량의 일부를 연소시켜 CO₂/CH₄ 비를 개질 당량비에 적합하게 조절하면서 연소과정에서 발생한 열을 개질 촉매에 공급하여 흡열반응에 요구되는 열량을 충족시키게 되면 열적으로 독립적인 개질 공정을 수립할 수 있게 된다. 이 과정에서 발열량 및 공급량의 변동이 많은 바이오가스의 특성과 무관하게 연소기 내에서 안정적으로 화염을 유지할 수 있도록 플라즈마 버너 기술을 적용하도록 한다. 한편, 촉매 개질 과정에서도 공급 기체의 변동성을 감안해 개질 촉매를 플라즈마와 함께 활용할 경우 열량 부족과 변동에 따른 부족분을 플라즈마로 공급하는 형태로 전력 사용량을 최소화 할 수 있고, 장기간 운전에 따른 coking 이나 촉매 피독을 재생하기 위한 용도로도 플라즈마 반응기의 활용이 가능하다. 본 발표에서는 플라즈마 버너, 플라즈마-촉매 개질 공정 등 열적으로 독립적인 바이오가스 개질 시스템 구성을 위한 요소기술의 특성에 대해 소개하도록 한다.

[특별세션3. 바이오가스의 수송용 연료화 기술 개발 연구 융합클러스터]

바이오가스 시설 확대 활성화 방안

A Measure to Expand Domestic Biogas Facilities

김세훈 · 박경호*

전북바이오에너지지원센터, *카길애그리퓨리나 환경솔루션

본 연구에서는 국내에서 유기성 폐기물의 처리를 위한 다양한 바이오가스 시설의 현황을 살펴보고, 이에 따른 운영특성과 에너지화로의 전환에 대한 한계점을 이해하며, 지역 재생에너지 생산에 부합하는 바이오가스 시설 확대를 위한 방안을 제시하려고 한다.

먼저 바이오가스 생산이 가능한 시설의 최근 운영현황(2017년 기준)을 보면, 처리대상 폐기물로 음식물류 폐기물(7.7%), 하수슬러지(5.3%) 및 가축분뇨(87.0%)가 주를 이루고 있으며, 대도시의 경우 음식물류와 하수슬러지가, 도지역의 경우 가축분뇨 처리가 중심을 이루고 있다. 공공처리내 음식물류의 경우 346개소 중 대략 10%정도가 바이오가스화 시설이며, 나머지는 건식/습식 사료화, 퇴비화 및 감량화(소멸화)시설로 구성되어 있다.

2018년 기준으로 총 4111개의 하수처리시설 중에 유기성 슬러지의 감량목적으로 운영되는 가스생산이 가능한 혐기소화 시설은 63개소(1.5%)이며, 이중 발전되고 있는 시설은 18개소(29% 정도)이다. 가축분뇨공공처리시설의 경우 전국적으로 95개의 시설에서 8개소(8.4%)만이 바이오가스(일부 퇴액비 공동생산)를 생산하고 나머지는 대부분 정화처리하여 하천방류중이다.

또한 축산업체가 운영하는 바이오가스 시설의 경우 대략 17개소가 운영중이며, 처리용량은 전체 1.5%정도 밖에 되지 않으며, 나머지는 주로 지자체 축분공공처리와 민간처리시설에 위탁처리되고 있다.

바이오가스의 용도별 이용현황을 보면, 전체 생산량의 18.5%가 발전, 외부공급이 25.6%, 자체 전기이용 30.1%이며, 미활용되고 연소처리되는 양이 대략 16.5%에 달한다.

유기성 폐기물(폐수) 처리와 부산물 재활용 관점에서 바이오가스 생산시설로의 가능성은 매우 높으며, 천천히 확대되어가고 있지만 기술개발 수준보다는 처리운영능력의 부족(음식물류), 낮은 유기물 농도(축산)와 지역의 높은 민원갈등, 여러 유기성폐기물을 이용한 통합소화의 증가에 비해 아직까지도 저조한 시설 신뢰도 등으로 인하여 효과적으로 활용되지 못하고 있다.

특히 최근 바이오가스가 기존에 메탄 고질화 내지 생물학적 수소 수율의 증대에서 액상화를 통한 연료화, 수소추출 등의 기술개발은 생산된 바이오가스의 활용도를 높이는 기술의 강화 쪽으로 진행된다고 볼 수 있다. 이러한 기술경향은 오래전부터 문제점으로 지적되어 왔던 생산가능한 시설의 낮은 운영수준을 높이는 것과 함께 다양하게 발생하는 유기성 폐자원의 바이오가스화의 한계를 극복하고 현실적으로 기존 시설에서 적용가능한 바이오가스화시설로의 전환 등을 통해 생산량 확대라는 절실한 필요성을 나타내고 있다고 본다.

이와 관련하여 바이오가스화 시설의 확대에 필요한 방안으로, 기존에 지자체별 가축분뇨공공처리시설의 혐기성소화공법으로 전환, 전환시 지역내 발생하는 음식물류 등 유기성 폐기물처리시설의 통합소화화, 폐기물 에너지생산시설에 대한 사회갈등 해소를 위한 협력기구의 마련 및 에너지 자립을 위한 분산형 집단에너지 체계 구축의 모델 및 확대 등이 요구된다.

[특별세션3. 바이오가스의 수송용 연료화 기술 개발 연구 융합클러스터]

물 흡수 공정을 이용한 바이오가스 고질화 기술 개발

Development of Biogas Upgrading Technology Using Water Scrubbing

김선형 · 이찬현 · 범희태 · 김종남

한국에너지기술연구원 청정연료연구실

인도네시아, 말레이시아, 태국 등 동남아시아의 팜유(Palm oil) 공장에서는 매년 막대한 양의 팜유잔사물(POME, Palm oil mill effluents)을 배출하고 있으며, 일부 팜유 공장에서는 혐기소화조를 설치하여 POME로부터 바이오가스를 생산하고 이를 보일러, 가스엔진, 열병합발전 등에 사용하고 있다. 생산되는 바이오가스의 양에 비해 공장에서 필요로 하는 열, 전기 사용량이 적고 공장이 도시와 멀리 떨어져 있어 에너지를 수송하는 것 또한 쉽지 않기 때문에, 대부분의 잉여가스는 태워져 버려지고 있어 심각한 환경 및 에너지 문제를 초래하고 있다. 바이오가스 내 포함되어 있는 H₂S, CO₂, 수분 등의 불순물을 제거한 후 생산되는 고순도의 바이오메탄은 천연가스와 거의 동일한 스펙을 갖고 활용될 수 있으며, 효율적인 저장과 운송을 위해 바이오메탄을 다시 고압으로 압축하여 생산하는 바이오 CNG는 자동차 연료 또는 도시가스로 사용될 수 있다.

바이오가스 내 CO₂를 제거하는 고질화 공정은 흡수, 흡착, 막분리, 침냉법 등 다양한 기술이 있으며, 본 연구에서는 동남아 현지 적용을 위해 운전이 용이하고 유지보수가 안정적인 물 흡수법(Water scrubbing)을 적용하였다. 물 흡수법은 CO₂와 CH₄ 가스의 물 용매에 대한 용해도 차이를 이용한 기술이며, 바이오가스 고질화 기술 중 41%로 가장 높은 점유율을 보이고 있다. 본 연구에서는 흡수탑, 플래시 드럼, 탈거탑으로 이루어진 벤치 규모의 물 흡수 공정 장치를 이용하여 물 유량, 물 온도, 흡수탑 압력, 플래시 드럼 압력 등 다양한 조건에서의 CO₂ 제거 실험을 수행하였고, 상용 소프트웨어 Aspen Plus 기반의 공정 모사기를 구축하여 실험 데이터와 비교를 통해 모사기를 검증하였다. 벤치 규모의 공정 실험 결과와 공정 모사 결과가 비교적 잘 일치하는 결과를 보였으며, 개발된 공정 모사기는 스케일 업을 위한 기초 데이터로서 파일럿 규모의 공정 설계 시 물질 및 열 수치, 운전 조건, 장치 디자인 스펙을 결정하는데 사용되었다.

[특별세션4. 수소인프라 확충을 위한 수소용 장치 개발]

액화수소 저장탱크 제조기준 관련 국제기준 분석
Analysis of International Standard for the Manufacturing of
Liquefied-Hydrogen Storage Tank

김수현 · 유근준 · 길성희 · 김정환 · 이민경
한국가스안전공사 가스안전연구원

수소는 인류가 당면하고 있는 에너지 문제와 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 에너지 원으로서 주목받고 있다. 그러나 수소를 에너지원으로 활용하기 위해서는 수소의 생산/저장/이송/활용을 위한 사회 인프라 구축이 필수적이다. 수소의 저장은 여러 가지 방법이 있는데, 그 중 액화수소 저장 방식은 기체수소를 극저온에서 액화하여 약 800배 부피를 감소시키는 것으로, 기체수소에 비해 고밀도 저장으로 대용량의 수소를 저장할 수 있다.

액화수소는 대기압 조건에서 저장이 가능하기 때문에 고압 기체 저장 방식에 비해 안전성이 높고, 화학적 방법에 비해 고 순도로 저장할 수 있다는 장점이 있다. 수소 활용 초기에는 현재 인프라가 일부 구축되어 있는 기체수소 기반 저장/ 운송 시스템이 적절하나, 수소 활용이 본격화되는 시점에서는 대용량 저장, 도심지에서의 안전 측면, 인프라 구축비용을 포함한 경제성 측면에서 액화수소 기반 인프라가 경쟁력을 가지며, 궁극적으로 미래 수소사회의 핵심 인프라가 될 것으로 예측된다.

하지만 현행의 고압가스 안전관리법과 관련 법령, 기타 평가 기준 등에는 ‘액화수소’에 관련된 기준, 규격, 요건 등이 부족한 상황이고 현행 고압가스 안전관리법 및 관련 법령상 고압가스에 관한 규정을 액화수소의 생산, 보관, 운송, 충전(소) 또한 그대로 적용할 수 있는지 여부가 불분명한 실태이다. 따라서 본 연구에서는 액화수소 저장탱크에 대한 국제기준을 분석하고 국내에 적용하기 위한 방안을 알아보하고자 한다.

본 연구는 2021년도 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (21IHTP-B153609-03)

[특별세션4. 수소인프라 확충을 위한 수소용 장치 개발]

액체수소 저장탱크 적용을 위한 위험구역설정 연구 A Study on Area Classification for Liquid Storage Tank

이민경 · 김수현 · 김정환 · 길성희 · 유근준

한국가스안전공사 가스안전연구원

국제적으로 온실가스 배출로 인한 지구온난화 및 기후변화는 인류가 당면한 문제로 인식되고 있다. 수소는 온실가스가 배출되지 않아 효과적인 온실가스 감축 방안 떠오르는 에너지원이다. 수소를 에너지원으로 활용하기 위해서 수소의 생산/저장/이송/활용을 위한 사회인프라 구축이 필수적이라 할 수 있다. 현재 수소는 고압의 가스로 저장되어 사용하고 있다. 그러나 이를 액화하여 액체 형태로 저장하게 될 경우 기체상의 수소보다 800배의 저장 효율을 확보할 수 있다. 수소의 액체 저장방식은 낮은 압력으로 인해 안전성이 높다.

액체수소 저장탱크 설치에 안전상 주요 고려사항으로 재료, 시설 등이 있다. 본 연구에서는 액체수소 저장탱크 설치시 고려할 사항 중 하나로 저장탱크 운영상황을 가정하여 온도, 압력, 누출공의 크기, 환기 조건 등을 고려한 위험구역설정을 진행하고자 한다. 위험구역설정은 한국가스안전공사의 가스시설의 폭발위험장소 종류 구분 및 범위 산정에 관한 기준(KGS CODE GC101)에 의하여 수행되었다. GC101은 가스시설의 위험구역에 사용되는 전기기기 등에 의한 사고를 예방하기 위해 적용되는 기준이다. KGS CODE GC101은 국외 기준인 IEC 60079-10-1:2015(Classification of area-Explosive atmospheres), EI15(Area classification for installations handling flammable fluids) 등의 해외 기준을 토대로 제작되었다. 본 연구를 통해 국내 액화수소 기반 조성에 있어 안전성 향상에 기여하고자 한다.

본 연구는 2021년도 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (21IHTP-B153609-03)

[특별세션4. 수소인프라 확충을 위한 수소용 장치 개발]

수소충전소 계량 관리 현황 분석 및 법정계량 표준모델 개발

Analysis of Metrological Controls and Development of Legal Metrology
Standard Model in Hydrogen Station

최진영 · 한원국 · 길성희 · 유근준 · 김영규

한국가스안전공사 가스안전연구원

2019년 정부의 수소경제 활성화 로드맵 발표 이래, 2020년 국내에서 보급한 수소차는 10,945대로 세계 최다이며, 수소충전소 또한 73기를 구축하는 등의 성과가 도출되고 있다. 더불어 지난 3월에는 ‘수소상용차 선도 지자체 프로젝트’의 추진 등 수소 모빌리티 활용 확대를 위한 정부의 전방위적 지원 방안이 제시되었다. 이처럼 수소 활용이 확대됨에 따라 수소충전소 안전성 확보에 대한 연구도 다양하게 이루어지고 있다. 그 중에서도 수소충전소의 계량 관리는 수소 과충전에 따른 사고를 예방하기 위해 매우 중요하다. 현재 수소충전소에서 충전량 제어는 SAE J2601(미국 자동차 기술자 협회에서 발간한 수소연료전지차에 대한 충전 프로토콜)에 의한 정상상태 기반 온도·압력 제어 방식으로 이루어지고 있다. 그러나 수소 충전 시 온도 및 압력이 급격히 변동하므로 이로 인한 폭발 사고가 우려된다. 또한 밀도 기반(SAE J2601) 산출 질량값을 이용하여 수소연료전지차에 과충전이 되지 않도록 충전량을 제한하는 것이 중요하나, 이 질량값을 검증할 수 있는 기술·기준이 없는 실정이다. 수소충전소의 밀도 기반 산출 질량값을 검증하기 위해서는 질량계량법 또는 기준유량계법을 이용한 비교 검증 기술이 필요하다.

이에 본 연구에서는 국내외 수소충전소 계량 관리 현황을 조사하였으며, 질량계량법·기준유량계법을 통해 밀도 기반 산출 질량값의 검증을 수행하기 위한 제도를 마련하고자 한다. 또한 이를 통해 수소충전소 계량 성능 평가 장치를 구축하고 가이드라인을 개발·보급함으로써 수소 과충전에 의한 폭발사고를 예방하고자 한다.

본 연구는 2020년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No.20202910100060)

[특별세션4. 수소인프라 확충을 위한 수소용 장치 개발]

수소충전소 성능평가 방법 현안 및 해결 방안

A Pending Issues and Resolve the Issues on Performance Evaluation for
the Hydrogen Station

임상식 · 김정환 · 길성희 · 유근준

가스안전연구원 안전연구실, 한국가스안전공사

우리나라는 수소경제활성화 정책에 의거 수소충전소의 보급이 확대되고 있으며, 초기 연구·개발 목적에서 현재는 상용화를 위한 수소충전소의 구축이 이뤄지고 있다. 2021년 2월 기준 구축 완료된 수소충전소는 총 64기이며, 구축 완료 예정인 수소충전소는 46기, 구축하기 위해 기술검토를 완료한 수소충전소는 70기로 파악되고 있다.

이렇게 구축된 수소충전소에 적용되는 안전기준은 「고압가스안전관리법」 시행규칙 별표 5에 해당되며, 상기 제도는 수소연료전지자동차에 충전하기 위한 최소한의 안전 기준으로 구성되어 있다. 수소충전소에서 수소연료전지자동차에 충전함에 있어, 「고압가스안전관리법」에 의한 안전기준 외에도, 수소연료전지자동차에 고압·저온(70 MPa, -33 °C 이하)의 수소를 안전하게 충전하기 위한 충전 프로토콜의 준수 여부 확인 또한 필요하다. 수소충전소에서 안전 기준 외에 중요하게 다뤄지는 것이 계량에 관한 성능이다. 수소충전소 사업자가 수소연료전지자동차 소유주와 수소를 거래함에 있어, 정량이 충전되고 있는지를 확인하는 것이 수소충전소의 계량성능을 확인하는 것이다.

즉, 수소충전소에서 수소연료전지자동차에 고압·저온의 수소를 충전함에 있어, 자동차와 충전소의 안전을 위해 충전 프로토콜의 성능확인, 정량의 거래가 이뤄지는지 확인하는 계량 성능의 확인이 추가적으로 이행되어야 하는 것이다.

하지만 수소충전소를 구축하는데 적용된 시설·기술기준은 「자동차관리법」에 따른 자동차에만 충전 할 수 있도록 구성되어 있어, 충전 프로토콜 성능평가 및 계량성능평가를 위한 별도의 장치에 충전하기 위해서는 제도적·기술적 한계를 극복하기 위한 방법의 제시가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 수소충전소의 충전 성능평가 및 계량성능평가 장치에 충전 행위에 수반되는 제도적·기술적 현안을 살펴보고, 이를 해결하기 위한 방안을 모색하고자 한다.

[특별세션4. 수소인프라 확충을 위한 수소용 장치 개발]

수소 precharging을 통한 Ex-situ 수소 취성 시험법 연구
Ex-situ hydrogen embrittlement test method study through hydrogen
precharging

윤별희, 한원국, 김정환, 길성희, 김영규
한국가스안전공사 가스안전연구원

2019년 정부에서 발표한 '수소경제 활성화로드맵'에 따르면 2022년까지 수소전기차 67,000대, 2040년까지 290만대를 국내보급목표로 하고 있으며, 이에 따른 수소 충전소도 지속적으로 구축하고자 한다. 수소충전소는 핵심 설비는 수소압축기, (고압/중압)수소 저장 용기, 제어패널, 수소충전기(디스펜서)로 구성되며 이들 설비는 대부분 일본, 미국, 이탈리아 등에서 수입되고 있다. 수소전기차 보급에 핵심적인 수소충전소 구축을 위해서는 핵심 설비의 국산화가 필수적이다.

앞서 명시된 수소 저장 용기를 제작하기 위해서는 재료선택이 가장 중요하다. 수소는 원자 중 크기가 가장 작아(1.06Å) 금속 격자 사이(2~3Å)를 이동하기 용이한 성질을 가지고 있다. 수소취성은 재료에 수소가 침투하게 되면서 많은 양이 금속 격자 내로 들어가게 되고 이로 인해 연성을 잃게 만드는데 이로 인해 재료의 결함이 발생할 확률이 크게 증가하기 때문에 초기 재료 선정을 통해 수소 취성을 방지하는 것이 결함을 줄이는 가장 중요한 방지책이 된다.

본 연구에서는 수소 저장 용기의 재료 적합성을 판별하기 위해 국외 기준(ANSI/CSA CHMC 1)에 제시되어있는 수소가 충전된 재료의 Ex-situ 수소 취성 시험법을 설명하고자 합니다.

본 연구는 2020년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No.20011230)

[특별세션4. 수소인프라 확충을 위한 수소용 장치 개발]

해외기준 벤치마킹을 통한 수소취성 검사방법 국내기준 개발 연구
A Study on National Standards Development for Hydrogen Embrittlement
Test Method by Benchmarking International Standards

이화영 · 이민경 · 김정환 · 길성희 · 유근준 · 김영규
한국가스안전공사 가스안전연구원

수소경제 활성화를 위한 국내 수소 인프라 구축 및 수소충전소 설치가 확대됨에 따라 안전한 수소충전소 운영을 위해 수소충전소용 고압 수소충전 압력용기에 대한 안전성 확인이 필수이나 이에 대한 국내 검사방법 및 기준은 미비한 실정이다. 미국기계엔지니어협회(ASME)에서 발간한 기준에 따르면 이음매 없는 압력용기는 41MPa 이상, 용접 압력용기는 17MPa 이상의 압력으로 수소를 보관하면 수소취성 검사를 반드시 해야 한다. 압력용기의 수소취성을 판단하기 위해서는 고압의 수소분위기에서 파괴시험과 피로파괴시험 실시하여 압력용기의 내구한계를 측정하고, 사용수명을 결정하는 과정 거친다. 국제기준에 따라 수소취성을 판단하는 방법이 다양하므로 본 연구에서는 수소취성을 판단방법에 대한 국제기준을 조사 및 분석하여 국내 고압 수소용 압력용기에 적용할 수 있는 방안에 대해 알아보고 국내 기준 개발의 기초자료로 활용하고자 한다.

[특별세션4. 수소인프라 확충을 위한 수소용 장치 개발]

균열결함(Crack-like Flaws)의 수치해석을 통한 파괴역학계산 고찰
Consideration on Fracture Mechanics Calculation of Crack-like Flaws by
Numerical Method

김정환 · 이화영 · 이민경 · 길성희 · 유근준 · 김영규
한국가스안전공사 가스안전연구원

수소충전소의 빠른 확장 및 설치와 동시에 수소충전소의 고압수소 충전 압력용기에 대한 안전 검사가 매우 중요하게 이루어져야 한다. 이 중 ASME에 따르면 심리스 압력용기의 경우 41MPa 이상, 용접 압력용기의 경우 17MPa 이상의 수소 분위기면 수소취성 검사를 반드시 해야 한다. 수소취성 검사의 주된 시험방법으로 고압의 수소분위기에서 파괴시험 및 피로파괴시험을 실시해야 하며, 이를 통해 수소 분위기에서 압력용기의 내구한계를 측정하고, 사용한계를 결정하도록 되어 있다. 세부적으로 Stress intensity factor(K)로부터 한계 균열깊이를 계산하고, da/dN (피로성장율)로부터 사용수명을 결정할 수 있다. API579-1/ASME FFS-1 part 9에서 crack-like flaws의 모드에 따른 계산방법을 제시하고 있으나, 플레이트, 실린더 등 다양한 형태의 형상에 대하여 균열의 형상, 위치 등에 의하여 대략 55개 모드가 있고, 상당히 복잡한 수식으로 인하여 쉽게 접근을 못한다. 본 연구에서는 엑셀 및 VBA를 통하여 수치해석적으로 파괴역학계산하는 방법을 소개하고자 한다.

[특별세션5. 탄소중립을 위한 한국형 탄소광물화]

한국형 탄소광물화 기술의 지자체 적용 모델 개발

이상희, 안지환

한국지질자원연구원 탄소광물화사업단

최근 UNFCCC 파리협정(COP21) 체결 이후, 신 기후체제가 출범하면서 '기후변화 대응'이 전 세계의 핵심 아젠다로 부각하고 있다. 우리나라도 기후변화에 대응하기 위해 온실가스 저감 목표를 2030년까지 37%로 감축목표로 설정되어 많은 노력을 수행하고 있다. 온실가스를 저감하기 위해서는 CO₂를 안정적이고 대량으로 저감할 수 있는 탄소광물화 기술이 주요기술로 대두되고 있다. 미국은 2012년 미국 DOE를 통해 에너지 분야의 새로운 패러다임을 제시하여 기존 이산화탄소 포집(CCS)에서 이산화탄소 포집활용(CCUS) 분야로 전환하였으며 프로젝트 예산을 점차 증가하고 있다. 한국은 한국지질자원연구원이 2000년부터 무기성 폐기물이나 부산물을 활용한 CO₂ 활용 원천기술을 확보하였으며, 2012년에 실증화 연구를 추진하여 미국 등 선진국보다 기술의 우위를 점하였다. 이를 통해 국내 및 해외의 탄소광물화 기술을 비교하여 온실가스 저감 목표를 위한 한국형 탄소광물화 기술의 지자체 적용 모델을 개발하고자 한다.

특히 차수성시멘트 생산기술 개발 및 시생산을 기반으로 신규 CDM 방법론을 등록하였다. 국가보유의 세계적인 원천기술인 탄소광물화 기술을 활용한 차수성시멘트 생산기술개발 및 실증을 통해 클링커생산량 감소에 따른 CO₂와 화석연료 감축 등 국내외 감축분을 확보하였다.

본 연구에서는 탄소광물플래그십 실증사업을 통해 저농도 CO₂를 직접적으로 활용하여 복합탄산염 생산기술, 골재, 도로기층제, 제지산업 및 폐광산 채움재 원천기술을 확보한 후 국내 지자체 및 국외 CO₂ 배출 기업에 기술 이전을 추진하여 실증 상용화를 추진하고자 하며 이를 통해 이산화탄소 감축 효과를 기여하고 탄소광물화 기술을 활용한 제품 생산을 통해 경제적 가치 창출 효과를 얻을 수 있는 것으로 기대한다. 또한, 탄소광물화 기술을 적용한 석탄재에 포함되어 있는 희토류를 친환경적으로 농축시켜 이를 추출해 CO₂ 고정화로 인한 온실가스 감축 효과 및 희토류 자원의 자급화의 효과를 기대한다.

사사 :

본 연구는 정부(과학기술정보통신부, 환경부, 산업통상자원부)의 재원으로 한국연구재단-탄소자원화 국가전략프로젝트사업(NRF-2017M3D8A2084752)의 지원으로 수행되었습니다.

[특별세션5. 탄소중립을 위한 한국형 탄소광물화]

차수성시멘트 및 폐광산 채움재 실증 An Empirical Study on CSA Cement and Backfill Material for Abandoned Mine Openings

이현우 · 김병렬* · 최성웅

강원대학교 에너지자원공학과, *한국석회석신소재연구소

Pilot 킬른을 통해 시생산된 CSA(Calcium Sulfoaluminate) 클링커는 CFBC(Circulating Fluidized Bed Combustion) 발전회 등의 원료와 함께 다양한 배합설계를 통해 채움재 시공 현장에 적용가능한 저투수성 차수재로 개발되며, 또한 복합탄산염과 CFBC 발전회 등으로 만들어진 폐광산채움재는 적용대상 공간의 특성에 따라 다양한 시공형태가 반영된다. 본 논문에서는 실험실수준으로 확인된 저투수성 차수재의 물리·역학적 특성의 현장적용성과 폐광산채움재의 현장시공성 등을 규명하기 위해 수행된 현장실증시험의 결과를 요약하고 있다. 즉, 그림 1에서 보는 바와 같이 광산채굴지에서 수행된 저투수성 차수재의 뿔칠시공 결과, 재령 28일 기준의 압축강도는 목표치인 19.0MPa를 초과하는 53.2MPa를 나타내는 것으로 확인되었으며 투수계수 또한 목표치인 $1 \times 10^{-12} \text{m/sec}$ 을 상회하는 $7.2 \times 10^{-13} \text{m/sec}$ 을 나타내는 것으로 확인되는 등 실험실에서 검증된 각종 물성값들의 현장적용성이 확인되었다.



<차수재 시공 장비> <차수재 뿔칠시공> <차수재 시공 완료> <차수재 몰드>
그림 1. 차수성 시멘트의 현장시공 (강원도 삼척시 **광업소)

복합탄산염과 CFBC발전회 및 석분 등을 적절한 배합비로 구성한 폐광산채움재는 운송용 파이프라인의 설계형태 및 채굴적 내로의 투입형태에 따라 다양한 유동특성을 나타낼 수 있으므로, 본 연구에서는 그림 2에서 보는 바와 같이 야외에서의 이송특성시험을 통한 최적 변수 선정, 채굴적 현장에서의 적용 및 검증 등의 현장시험을 수행하였으며, 이때 결과값의 신뢰도 향상을 위해 LiDAR를 이용한 3D 분석 등을 도입하였다. 또한 이를 통해 채움재의 압송 시 plugging 현상을 유발하는 가장 큰 원인요소인 수평방향 90° 엘보우 파이프를 최대한 지양해야 함을 분석하였다.



<채움재 시공영역의 LiDAR 분석> <채움재 이송특성 분석 야외시험> <갱내 채굴적 대상 채움재 이송시험> <충진효과 검증을 위한 LiDAR해석>
그림 2. 채움재 이송특성 분석을 위한 야외시험 및 갱내시험 (강원도 삼척시 **광업소)

사사

본 연구는 2020년도 정부(과학기술정보통신부, 환경부, 산업통상자원부)의 재원으로 한국연구재단-탄소자원화 국가전략프로젝트사업(NRF-2017M3D8A2085342)과 국가과학기술연구회 창의형 융합연구사업(No. CAP-18-09-KIGAM)의 지원을 받아 수행되었습니다.

[특별세션5. 탄소중립을 위한 한국형 탄소광물화]

복합탄산염 폐광산 채움재 시공을 위한 수치해석 사례 연구

윤영민, 전석원

서울대학교 에너지시스템공학부

탄소배출 저감을 위한 복합 탄산염 채움재의 폐광산 주입 기법은 세계적으로 CCS(Carbon Capture and Storage)기법의 낮은 경제성과 저장한계를 극복하기 위한 대안으로 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 복합 탄산염 채움재 시공설계에 대한 합리적인 기준 마련의 일환으로 수치해석을 통한 국내광산에서의 탄소광물화 채움재의 최적 주입량 및 주입위치 선정 사례연구를 수행하였다. 실제 폐광산 3D CAD자료와 지표면 정보, 그리고 Auto meshing기능을 활용해 현실적인 모델을 구축하였고, 강도감소법을 이용해 광산의 안정성 평가를 수행하였다. 국내 ○○탄광의 경우, 채움재 주입전의 안전율은 2.84였고, 채움재 주입후의 안전율은 3.39로 안전율이 상당히 증가하였으며, 광산침하 예상지역 또한 변화되었음을 확인할 수 있었다. 또한, 채굴적을 달리하여 복합 탄산염 채움재를 주입하는 수치해석을 수행한 결과, 채굴적의 부피와 높이, 각도가 가장 큰 채굴적에 채움재를 주입했을 때 지반보강효과가 가장 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다. 지반침하는 광산의 채굴적의 크기와 형상에 영향을 많이 때문에 채움재 주입 시 이를 고려한 주입량 및 주입위치 선정이 중요함을 확인할 수 있었다.

사 사

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부, 환경부, 산업통상자원부)의 재원으로 한국연구재단-탄소자원화 국가전략프로젝트사업의 지원을 받아 수행함. (NRF-2017M3D8A2085654)

[특별세션5. 탄소중립을 위한 한국형 탄소광물화]

세계 LEDS 제출국들의 LEDS 비교 분석

Comparative Analysis of LEDS Reports Submitted to The UNFCCC

황의덕, 한승우, 김해수

한국광업협회 기술위원

- 1. 연구 목적

파리협정은 기후변화 대응 정책의 장기적 비전 관점에서 각 당사국에게 장기 저탄소 발전전략(LED S, Long-term Low Green House Gas Emission Development Strategy)을 2020년까지 수립하도록 권고하고 있다. 교토의정서에 참여한 195개국 이 점진적 국가 기여(NDC, Nationally Determined Contribution) 안을 제출키로 합의하였으나 많은 국가들이 각종 이유로 제출하지 않았고 이후 2015년 12월 파리협정체제로 바뀌면서 참여 각국이 장기 저탄소 발전 전략 보고서를 2020년 말까지 제출하고 5년마다 이행보고서를 기후변화에 관한 유엔기본협약(UNFCCC, UN Framework Convention on Climate Change)에 내기로 하였다. 하지만 2016년 1월부터 2020년 12월 31일 현재 장기 저탄소 발전전략 보고서를 제출한 국가는 우리나라와 미국 등 27개국에 불과하다.

본 연구에서는 이 27개국이 제출한 보고서를 면밀히 검토, 제출국들의 지구온난화 가스 배출 현황 및 각국의 파리협정 이행 계획과 정책을 알아보고 이들을 서로 비교 분석해 봄으로써 향후 파리협정 목표를 달성하기 위한 세계적 노력, 각국의 정책 방향이 어떤 경향인지를 파악하고자 하였다.

나아가서 파리협정에서 달성하고자 하는 2050년의 목표인 탄소중립의 가능성도 최대한 예측하는 것을 목표로 하였다.

- 2. 연구 방법

본 분석 연구는 2016.1. ~ 2020.12. 사이에 UNFCCC에 제출된 우리나라와 미국 등 27개국의 장기 저탄소 발전전략 보고서를 기초로 하여 분석하였다. 또한, UNFCCC 비서실에서 각국이 2015년까지 제출한 점진적 국가기여 보고서(NDC)를 종합한 2015년 10월 보고서 'Synthesis report on the aggregate effect of the intended nationally determined contributions'와 2016년 5월 보고서 'Aggregate effect of the intended nationally determined contributions: an update'를 참조 자료로 활용하였다.

- 3. 연구 결과

미국은 국가 에너지의 82%를 전세계 평균은 84%를 화석연료(석탄, Oil, LNG, LPG)에 의존하고(2012년말 통계) 있느니 만큼 탄소중립의 과제는 매우 달성하기 힘든 목표이다. 이는 LED S 제출국이 27개국이라는 현실만 보아도 단적으로 알 수 있다. 하지만 이들 보고서를 잘 분석함으로써 향후 우리나라 산업과 산업정책의 미래를 예측할 수 있다. 끝.

사 사

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부, 환경부, 산업통상자원부)의 재원으로 한국연구재단-탄소자원화 국가전략프로젝트사업의 지원을 받아 수행함 (NRF-2020M3D8A2113833).

[특별세션5. 탄소중립을 위한 한국형 탄소광물화]

생활계 연소재 등 무기부산물 활용 복합탄산염 제조 특성

Preparation characteristics of carbonated composites using inorganic byproducts such as SRF ash

김영진 · 서준형 · 조진상 · 조계홍

한국석회석신소재연구소

이산화탄소(Carbon dioxide, CO₂)는 화석연료의 사용으로 인해 발생하는 온실가스이며, 전체 온실가스 배출량의 90% 이상을 차지하는 지구온난화의 주요 원인으로 알려져 있다. 세계 주요 선진국에서는 지구온난화 문제 해결을 위해 기후변화협약 및 탄소배출권 거래제 등의 다양한 정책과 함께 CO₂를 감축하기 위한 포집 및 저장 등의 다양한 연구도 수행하고 있다. 광물탄산화(Mineral carbonation)는 CO₂를 물리화학적으로 안정한 탄산염으로 전환시켜 산업에 활용 가능한 처리방법으로, 열역학적으로 안전하게 CO₂를 고정할 수 있는 특성이 있어 다양한 방식으로 연구되고 있다.

본 연구에서는 국내 열병합발전소에서 발생한 고형폐기물연료(Solid Refuse Fuel, SRF) 비산재(SRF-Fly ash, SRF-FA)와 순환유동층보일러(Circulating Fluidized Bed Combustion Boiler, CFBC)에서 발생한 비산재(CFBC-Fly ash, CFBC-FA)를 실험대상으로 선정하고, 반건식 탄산화 공정을 적용하여 CO₂ 처리 특성을 확인하였다. 실험을 위해 비산재와 증류수를 먼저 혼합한 후, 혼합된 시료에 CO₂를 주입시켜 탄산화 처리 특성 실험을 실시하였다. CO₂ 처리 효율에 대한 평가는 실험 전, 후 비산재의 QXRD 결과를 계산하여 분석하였다. 실험조건으로 CO₂ 투입시간, 수분함량 및 첨가제(NaOH)량을 비교하였으며, CO₂ 농도 및 투입 속도는 고정하고 실험하였다. SRF-FA는 시료 성분 중 탄산화 처리를 하기 위한 Ca-계 물질이 확인되지 않았으며, 실험조건과 관계없이 탄산화 처리가 어려웠다. CFBC-FA의 경우, 탄산화 처리에 따른 CaCO₃ 성분이 수분 함량증가와 함께 peak가 점차 증가하였으나, 수분함량 50% 이상부터는 탄산화 처리율이 감소되었다. 이러한 결과는 시료 입자의 수분 함량이 높아짐에 따른 반응속도 감소로 생각되며, 첨가제 투입 및 투입량 변화에 따라 탄산화 반응이 빠르게 나타났다.

사 사

본 연구는 2019년도 정부(과학기술정보통신부, 환경부, 산업통상자원부)의 재원으로 한국연구재단-탄소자원화 국가전략프로젝트사업의 지원을 받아 수행함.
(NRF-2019M3D8A2113444)

[특별세션6. 탄소중립 실현을 위한 신재생에너지 역할과 도전과제]

제5차 신재생에너지 기본계획 주요 내용과 향후과제¹⁾

A Review of the 5th New and Renewable Energy Basic Plan

공지영 · 조상민

에너지경제연구원 신재생에너지연구팀

제5차 신재생에너지기본계획(이하 제5차 기본계획)은 정책과제에 대한 심층 분석과 검토, 각계의 의견수렴을 통해 지난 12월 확정되었다. 신재생에너지기본계획은 10년 이상을 계획기간으로 5년마다 수립한다. 신재생에너지 보급을 위한 비전, 추진전략, 목표를 제시하고 있으며, 신재생에너지 기술개발과 이용·보급 촉진을 목적으로 한다. 금번 제5차 기본계획에서는 2034년까지 중기 목표 및 정책과제와 더불어 2050년 탄소중립 실현을 위한 혁신 과제를 제시하였다는 점이 특징이다. 중장기 과제에서는 보급 주체 다변화, 시장 효율성 제고, 수요 창출, 계통보강, R&D 개발과 산업 혁신 제고 등의 큰 방향성은 동일하지만, 장기과제에서 제시하는 대응방향의 깊이가 다르다. 예를 들어 계통부문에 중기 과제로는 안정적인 운영체계를 구축하기 위해 ESS 등의 유연성 자원을 도입하고 신재생에너지 예측시스템을 강화한다면, 장기 과제에서는 그린수소 도입과 공급섹터 커플링 활성화 등 전력계통 대전환을 도전과제로 제시한다. 제5차 기본계획을 성실하게 이행하고 효과적으로 수행하는 것이 쉬운 일은 아니다. 그럼에도 정부를 중심으로 한 각계의 노력이 뒷받침된다면 신재생에너지 보급 목표를 달성할 수 있을 것으로 보인다. 또한, 정부는 효과적인 정책 추진을 위해서 외부 전문가 그룹을 통해 객관적으로 이행과정을 평가하고, 세부계획 수립 및 보완에 반영할 필요가 있다.

1) 본 원고는 제5차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획(산업통상자원부, 2020)을 참고하여 작성된 것임.

[특별세션6. 탄소중립 실현을 위한 신재생에너지 역할과 도전과제]

주요 에너지원별 국내·외 LCOE 비교 분석
Comparative analysis of domestic/overseas LCOE by major energy
source

이철용 · 이현진* · 장명진* · 윤가혜** · 오정환** · 안영환*

부산대학교 경영학과, *숙명여자대학 기후환경융합학과, **한국에너지기술평가원

기후변화 이슈 등의 세계 에너지 시장의 변화 속에서 다양한 에너지원의 가격경쟁력을 파악하는 것은 매우 중요하다. 본 연구의 목적은 국내 최신 자료를 반영한 에너지원별 균등화비용(Levelized cost of energy, 이하 LCOE)을 추정하고 국내·외 기존 LCOE 결과와 비교하는 것이다. 분석 대상은 재생에너지인 태양광, 육상풍력, 해상풍력이며, 전통에너지인 원자력, 석탄, 가스발전이다. 추정결과 국내 재생에너지 LCOE는 해외 LCOE보다 높은 수준을 유지하고 있는 반면, 원자력 발전의 LCOE는 해외 LCOE보다 낮은 수준을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 한편 본 연구에서 추정한 국내 LCOE 추정 결과는 기존 국내 연구 결과보다 재생에너지의 경우 낮아졌으며, 전통에너지는 높아진 것으로 확인되었다. 본 연구의 결과는 향후 에너지 전환 정책 및 에너지 R&D 전략 수립 등에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

[특별세션6. 탄소중립 실현을 위한 신재생에너지 역할과 도전과제]

격자-LCOE 연산 기반 잠재량 산정 모델을 활용한 태양광 시장잠재량 및 LCOE
산정에 관한 연구 : 한국의 사례

A Study on the Solar Market Potential and LCOE Calculation using
Grid-LCOE Calculation Potential Estimation Model : A case of South Korea

임덕오 · 조상민 · 윤창열*

에너지경제연구원 신재생에너지연구팀, 한국에너지기술연구원 신재생자원지도연구실*

본 연구에서는 잠재량과 LCOE를 연계하여 분석할 수 있는 GLCPE(Grid-LCOE Calculation Potential Estimation Model) 모델을 구축하고, 이를 활용하여 한국의 태양광 시장잠재량과 LCOE를 실증 분석하였다. 우선 선행연구에 기반하여 태양광 잠재량의 정의 및 분류체계를 확립하고, 분류체계 단계별 잠재량 영향요인을 식별하였다. 전 국토를 나눈 10만개의 격자에 잠재량 영향요인을 입력하여 DB화 한 후, 각 격자별로 LCOE 분석 및 잠재량 산정을 수행하였다. 이처럼 격자별로 영향요인을 반영하여 잠재량과 LCOE를 분석하는 것, 그리고 잠재량과 LCOE를 연계하여 분석하는 것이 GLCPE 모델의 특징이다. 이렇게 구축된 GLCPE 모델을 활용하여 각 격자별 잠재량과 LCOE를 분석하여 태양광 공급곡선을 도출하였고, 태양광 공급곡선을 활용하여 2017년 태양광 시장잠재량과 2030년까지의 연도별 태양광 보급목표에 상응하는 태양광 최적 LCOE를 추정하였다.

[특별세션6. 탄소중립 실현을 위한 신재생에너지 역할과 도전과제]

커뮤니티 솔라 제도 도입을 통한 태양광 보급 활성화 방안 연구

A study on policies for promoting PV through introducing community solar system

안재균 · 김아름

에너지경제연구원

최근 국내외를 막론하고 ‘에너지전환’과 ‘저탄소사회’로의 이행을 위해 재생에너지 보급 확대정책이 강화되고 있다. 정부는 재생에너지 보급 목표 달성을 위한 기본방향을 ‘참여형 에너지체제로의 전환’으로 정하고 주민 참여 활성화를 주요 추진전략으로 제시하였다. 이에 태양광 주민 참여 사업인 ‘커뮤니티 솔라(Community Solar)’에 주목할 필요가 있다. 커뮤니티 솔라는 가입자가 공동의 태양광 설비의 지분 또는 발전량 일부를 구매하여 이를 전기 사용량에서 차감함으로써 보상받도록 한다. 커뮤니티 솔라의 장점은 태양광 이용에 있어 소득 계층 간 형평성을 확대하고 재생에너지 발전설비에 대한 수용성을 제고한다는 것이다. 즉, 경제적, 공간적 이유로 태양광 설비를 소유하기 어려운 주민들에게 태양광 사업에 참여할 수 있는 유인을 제공할 수 있다. 개인이 설치하는 소규모 태양광 발전에 비해 경제성이 개선된다는 장점도 있다. 본 연구는 미국의 커뮤니티 솔라 프로그램의 정책 및 비즈니스 사례를 살펴봄으로써 다양한 프로그램 유형이 존재하고 있음을 확인하였다. 또한 보조금 제도와 금융지원제도를 통해 저소득층 참여자들에 대한 지원 제도가 운영되고 있음을 알아보았다. 본 연구를 통해 도출된 커뮤니티 솔라의 국내 활성화 방안은 다음과 같다. 첫째, 커뮤니티 솔라 운영에 필요한 가상요금상계를 적용할 수 있도록 하는 제도적 근거가 필요하다. 둘째, 건물 단위 프로그램처럼 저소득층 가입자들에게도 유효한 커뮤니티 솔라 프로그램 설계에 노력해야 한다. 마지막으로 잠재적 이용자의 선호를 충족시킬 수 있는 제도 및 세부 프로그램을 마련하는 것이 중요하다. 이를 위해 정부 유관기관, 전력판매회사, 산업체, 지역주민 등 이해당사자들이 커뮤니티 솔라 프로그램의 필요성을 인식하고 시범사업을 실시하여 이를 보완하고 확대시키는 노력이 필요하다.

[특별세션6. 탄소중립 실현을 위한 신재생에너지 역할과 도전과제]

E-Mobility 성장에 따른 신재생에너지 산업 대응 전략 연구(2/4)

A Study on the Response Strategy of the Renewable Industry to the
E-Mobility Growth(2/4)

조일현 · 조상민 · 박상규 · 전우영*

에너지경제연구원 신재생에너지연구팀, *전남대학교 경제학부

본 연구는 빠르게 동시에 증가하는 전기자동차와 재생에너지가 향후 전력계통에 미치는 영향과 전기자동차의 유연성자원으로의 효과를 분석하고자 하였다. 우리나라 2030년을 모의하여 전기차와 재생에너지 보급이 동시에 이루어졌을시 전력계통의 상호영향을 MPSOPF 모형을 통해 분석하였고 스마트 충전시 전기차의 유연성 자원으로의 가치를 추정하였다. 추정 결과 전기차의 전력계통 내에서의 가치는 전기차에 대한 제어수준, 신재생에너지 보급 수준, 전기차의 스마트 충전 참여율에 따라 차별적인 것으로 나타났다. 또한, 전기차 사용자를 대상으로 조건부 가치측정법(CVM) 설문을 통하여 전력계통에서 V2G 충전 서비스로 인해 발생하는 편익과 소비자의 수용의사액을 비교하여 스마트 충전 실현 가능성과 예상 참여율을 분석하였다. 분석 결과 전기차 운전자의 스마트 충전 서비스 참여에 대한 월 수용의사액은 28,786원이었으며 해당 수준의 보상 하에서 2030년 전기차의 V2G 충전 서비스 참여율 가능 비율은 약 28%로 도출되었다.

[특별세션7. 2050 탄소중립을 위한 정책적 노력]

탄소중립과 기술혁신 - 10대 핵심기술 개발 방향

Net-Zero and Technology Innovation - 10 Core Technologies R&D Strategy

박민희 · 배치혜 · 김혜진 · 정혜림

한국에너지기술연구원 기후기술전략실

‘2050 탄소중립’은 기존의 기후변화대응 정책 연장선에서 강화된 기후변화대응과 함께 경제 성장을 동시에 달성하는 도전적인 목표이다. 특히 선진국 대비 높은 석탄발전 비율과 에너지 집약적 산업 구조를 가지고 있는 우리나라는 발전/산업/수송/건물 전 부문에서 혁신적인 온실가스 감축방안을 확보할 수 있는 기술개발이 필요한 상황이다. 따라서 장기저탄소발전 전략(LEDs, ‘20)을 기반으로 글로벌 환경변화, 국가 정책과의 연계성, 부문별 온실가스 감축 기여도, 주력산업 연관성 등을 검토하여 ①에너지 전환 ②산업 저탄소화 ③수송 ④건물 부문과 연관된 탄소중립 10대 핵심기술을 도출하였다.

※ 10대 핵심기술 : 태양광·풍력, 수소, 바이오에너지, 철강·시멘트, 석유화학, 산업공정 고도화, CCUS, 수송효율, 건물효율

무탄소 전기 공급의 핵심 에너지원인 태양광과 풍력은 현재 상용기술을 대체할 차세대 초격차 기술개발과 함께 국산 기술 확보에 주력한다. 무탄소 전기 공급 및 연료 대체(fuel switching) 가능한 수소와 바이오에너지는 가격 경쟁력과 대량 생산 기술을 확보하고자 한다.

철강/시멘트/석유화학 산업은 현재 사용 중인 화석 연·원료들을 저탄소 연·원료로 대체하는 기술을 개발하고, 반도체 및 디스플레이 산업은 공정가스 배출저감 효율 향상 및 지구온난화 지수(GWP)가 낮은 대체가스를 개발하는데 주력한다. 아울러 산업 공정 전반에 ICT를 활용한 효율 최적화도 추진한다.

수송 및 건물 부문에서는 차세대 배터리, 고속 충전, 모빌리티 다양화 등을 통해 무탄소 차세대 모빌리티 기술들을 개발하고, 차세대 냉난방 기술, 건물 ICT 융합기술 개발 등을 통해 제로에너지건물 경제성 확보와 효율향상을 추진한다. 또한 우리나라가 기술적 우위를 선점하고 있는 ICT기술을 기반으로 발전/산업/수송/건물 전 부문의 에너지효율을 최적화하고자 한다.

마지막으로 CCUS 기술은 상용급 포집 가격경쟁력을 갖추고 CO₂ 전환 제품 가격경쟁력을 확보하는데 집중할 예정이다.

‘2050 탄소중립’은 경제·산업과 더불어 사회·문화적으로 많은 부분이 바뀌어야만 가능한 도전이고, 목표달성을 위해 많은 비용이 예상된다. 기술혁신을 통해 탄소중립으로 가는 지름길을 발견하고, 조속히 이를 수 있기를 기대한다.

※ This research was supported by the Technology Development Program to Solve Climate Changes through National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science and ICT(NRF-2017M1A2A2081249).

[특별세션7. 2050 탄소중립을 위한 정책적 노력]

탄소중립과 기후변화 적응 - 제3차 국가기후변화적응대책

Net-Zero and Climate Change Adaptation - The 3rd Korea National
Climate Change Adaptation Plan

신지영 · 박진한 · 박현주

한국환경정책·평가연구원 국가기후변화적응센터

인간 활동에 의한 온실가스 배출은 지구 온난화를 가속화 시켜 기후 시스템의 변화를 초래하였다. 기후변화는 환경·사회·경제 시스템에 영향을 주게 되는데, 이러한 영향은 인간으로 하여금 이제까지와는 다른 지구 생태계 환경에서 어떻게 살아가야 하는지 나아가서는 생존을 고민해야 하는 기후 위기의 문제이다. 인간 활동에 의한 배출을 최대한 줄이고, 남은 온실가스를 흡수, 제거하여 실질적인 배출량을 0이 되도록 하는 탄소중립 사회로의 전환에 대한 많은 해법이 대부분 온실가스 완화의 측면에서 논의되고 있다.

탄소중립을 통해 지구온도 상승이 억제된다 하더라도 이미 변화된 기후환경과 이로 인한 영향을 피할 수 없는 것을 감안할 때 기후적응이 시급하나 여전히 온실가스 완화에 비해 인식이나 중요도가 낮게 평가되고 있는 것이 현실이다.

우리나라는 「저탄소 녹색성장 기본법」 제48조 및 동법 시행령 제38조에 국가기후변화적응대책(이하 적응대책)을 수립·시행토록 명시하여 1차('10.10) 및 2차 대책('15.12)에 이어 제3차 적응대책을 수립하고('20.12) 시행 중에 있다. 제3차 적응대책은 계획기간(2021~2025) 중 2℃ 상승에도 대비하는 것을 목표로 수립되었으며 기후리스크 적응력 제고, 감시·예측 및 평가 강화, 적응 주류화 실현이라는 3대 정책을 기조로 마련되었다.

탄소중립이 강조되고 있는 시점에서 제3차 국가기후변화적응대책의 방향과 주요내용을 바탕으로 탄소중립과 연계·추진이 가능한 부분을 검토하여 온실가스 완화와 적응의 시너지가 가능한 부분을 도출하였다. 이를 통해 현재 기후변화 대응에 대한 우리사회의 인식수준에서 기후변화 적응정책의 필요성을 강조하고 적응정책의 실효성을 제고할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다.

※ 본 연구는 한국환경정책·평가연구원에서 수행 중인 환경부의 민간 대행사업 「기후변화 적응대책 이행 지원(2021-001-01)」으로 진행되었습니다.

[특별세션7. 2050 탄소중립을 위한 정책적 노력]

탄소중립 실현을 위한 한국에너지기술연구원 국제협력
KIER's International Cooperation to Realize Carbon Neutrality

백운호 · 정지후 · 최상진*

한국에너지기술연구원 글로벌전략실

최근 한국 및 주요국들이 앞다투어 탄소중립선언을 하고 있으며, 이를 성공적으로 이행하기 위한 국가 전략을 수립하고 있다. 본 연구에서는 한국의 탄소중립 정책 및 이의 실현을 위한 과학기술 국제협력의 중요성에 대해서 살펴보고자 한다. 탄소중립 실현을 위한 한국에너지기술연구원의 국제협력 활동을 과학기술외교 유형²⁾별로 소개하고자 한다. 과학기술역량강화를 위한 미국 에너지부 및 국립연구소와의 국제공동연구 기획, 수소분야 국제공동연구 활성화 네트워크 운영, 충남 수소 기업 국제공동연구 발굴을 위한 국제협력 활동은 유형1(과학기술 역량강화를 위한 외교)에 해당한다. 탄소중립 실현이라는 글로벌 문제해결을 위한 국제기구 활동은 유형2(과학기술 국제기구 활동)에 해당되며, 2019년 G20정상회의에서 출범한 RD20 청정에너지기술연구기관장회의의 한국 대표 활동, IEA 국제에너지기구, ISO 국제표준화기구, IEC 국제전기기술위원회에서 각 기술별 전문가들이 활동하고 있다. 그 외 개도국과의 과학기술 협력으로 한국의 기술을 확산하고 함께 탄소중립에 대응해 나가는 유형3(외교문제 해결을 위한 과학기술)으로 모로코, 몽골, 인도네시아 사례가 있다.

2050 탄소중립은 향후 30년 동안 장기적으로 정부/기업/연구계가 함께 모니터링하면서 이행해야 하므로, 과학기술 국제협력에 대해서도 장기 계획 및 이행 방법이 필요하다. 본 연구에서는 한국에너지기술연구원에서 최근 인터뷰 및 자문을 통해 발견한 문제점 및 개선책을 바탕으로 장기계획 수립의 필요성을 제안해 보고자 한다.

2) 한국에너지학회 춘계학술대회 특별세션 한국에너지기술연구원 연구전략본부 정책연구 (2020.11.22.) 발표자료

구 두 발 표

건축물에너지절약계획서를 선박의
거주구 부분에 적용하여 에너지 절감 설계안
The building energy saving plan is a ship's
A Design Proposal for Energy Saving by Applying to Residential Area

김규별 · 조현정*

한국부동산원 에너지평가부, *한국전력공사 전력연구원

현재 국가적으로 에너지를 통계를 내면서 에너지 사용량의 추세를 파악하고 각 부분별 에너지의 사용량을 낮추어 에너지 생성에 쓰이는 탄소 배출량을 줄이는 정책을 피어가는 추세이다. 현재 한국은 산업, 건물, 수송 3가지로 크게 사용하는 수요처를 분류하여 조사하고 이에 따라서 에너지 사용량을 줄이고 있다. 특히 건물 부분은 신축이나 증축에 냉난방을 하는 일정 이상의 면적에는 에너지절약계획서를 에너지절감 설계에 따라서 작성하여 거주구에 많은 에너지를 줄이고 있다. 이와 마찬가지로 수송부분의 선박에 거주구를 설계 할 때에도 적용이 가능 할 수 있도록 선박 거주구 에너지를 적용하고자 한다. 중 대형 선박의 거주구는 5층 정도의 공동거주구역의 크기이며 현재에 에너지 절감에 관한 규정이 딱히 없는 사항이다. 이러한 기준이 없어 처음으로 현재 국내에 적용하고 있는 건축물의 에너지절약계획서를 적용함으로써 수송부분의 거주구는 건축물과 같이 간주하여 에너지 절감 및 선원의 쾌적한 환경을 조성하는 것을 연구 목적으로 한다. 연구 방법으로는 현재 국내에 적용하고 있는 건축, 기계 전기, 신재생 부분을 각각의 규정을 선박의 선체, 기계, 전기, 신재생 파트에 적용하여 의무 부분에 적용하고 성능지표 부분에 대하여서는 의무 부분을 충족할 수 있는 최소한의 규정에 맞게 적용을 한다. 비교 부분은 이전에 선박설계에 사용하는 SNAME의 단열 규정을 적용한 선박을 기준으로 거주구 부분의 열취득 및 기계, 전기 부분을 이용한 일반적 선박을 선정한다. 에너지절약계획서를 적용한 선박은 규정에 맞게 가설계하여 선박 거주구 부분만 일반적인 선박과 절약설계가 적용된 두 선박의 열취득률을 수치적으로 계산하고 기계 및 전기 부분은 비교하여 개선 된 사항에 확인 하는 것으로 한다. 기존의 선박의 외벽의 열관류율은 $0.491 \text{ W/m}^2\text{k}$ 이며 건축물에너지절약계획서 적용 결과 $0.380 \text{ W/m}^2\text{k}$ 정도의 낮은 열관류율을 얻고 선박의 법적 전압강하 기준은 5%이내 이며 건축물에너지절약계획서는 2%이내로 적용하여 전력손실은 0.0384%p의 에너지가 절감된다. 기타 대기전력 절감 스위치 및 인버터 시스템, 외기냉방 방식 등을 적용한다고 하였을 때 부가적인 에너지절감이 기대된다. 선박의 거주구를 건축물의 기준으로 보았을 때에 건축 부분과 유사하게 생각을 하여 융합형 기술을 만들 수 있는 기본 개념을 제시하였다는 의의가 있으며 이 두 분야의 서로 상호 보완적 작용으로 선원의 거주구를 건축적 미학과 현 제로에너지 빌딩 등의 개념을 도입하여 선박내에 과도하게 사용하고 있는 에너지를 줄임으로써 이산화탄소 및 NOx, SOx의 주범연료인 선박용 벙커C유의 사용량을 절감하는 기대를 예상한다.

Net-zero 달성을 위한 도심발전소 현장 배기가스 대상
컴팩트 CO₂ 포집 및 탄소자원화 융복합 공정 실증
Demonstration of convergence process using compact CO₂ capture and
utilization on flue gas of urban CHP plants for Net-zero

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

한국지역난방공사 미래개발원

최근 정부가 한국판 그린뉴딜정책을 추구하는 시점에서 ‘저탄소’가 아닌 ‘탈탄소’를 달성하기 위해서는 중장기적으로 ‘50년까지 ‘탄소배출 Net-Zero’를 목표로 이를 달성할 수 있는 확실한 기술 개발이 시급한 실정이다. 이러한 상황에서 기존 CCS공정은 발전소내 넓은 부지에 설치되어 연소배기가스내 CO₂를 고온 고압조건에서 흡수제로 포집, 분리한 후 원거리 수송하고 이를 깊은 지반층 저장하는 것으로 고가의 처리비용(8~10만원/CO₂톤)만이 소요되고 가스 특성상 지반균열시 누출위험 존재하는 문제점을 가지고 있다. 특히 흡수제의 재사용을 위해 재생탑에서 상당량의 스팀을 사용하기 때문에 이것이 발전효율에 큰 영향을 미치고 있다.

하지만 도심발전소는 공간이 협소하여 기존 CCS설비를 설치하기 매우 어려운 상황이기 때문에 좁은 공간에서도 저렴한 비용으로 효과적인 CO₂ 포집분리를 하고 후처리로 이를 이용해 고가물질로 전환할 수 있는 새로운 컴팩트 포집 및 탄소자원화기술의 융복합 공정 개발과 실증이 필요한 상황이다.

그래서 본 연구에서는 도심에 위치한 LNG 열병합발전소와 연소배기가스에 대해 협소한 공간(기존대비 1/8)에서도 설치가 가능하며 빠르고(기존대비 5배) 저렴한 비용(기존대비 1/2)으로 효과적인 처리가 가능한 컴팩트 분리막 공정을 적용하여 배기가스내 CO₂ 농도가 처리전 8%에서 3단 처리후 90%까지 농축되는 성공적인 결과를 확인하였다.

또한 농축된 배기가스(CO₂ 90%)에 대해 탄소자원화 기술인 광물화 공정(폐콘크리트 미분말 이용)을 통해 18%까지 저감(처리율 80%)시키는 결과를 얻었고 이때 반응을 통해 생성되는 칼슘분말의 고함량(30~60%)을 확인하였으며 이를 활용하여 건자재 몰탈 및 압축패널을 제작하여 양생한 결과 압축강도가 6kgf까지 측정되었는데 이는 기존 상용제품과 유사한 결과값으로 상용화 가능성을 확인할 수 있었다. (고칼슘재 : 30만원/톤, 건자재: 1.5만원/톤)

한편 광물화 공정 처리후 배기가스와 분리막 처리후 처리가스를 1 : 3 비율로 혼합하면 CO₂농도가 5%정도를 유지되고 이를 미세조류 광배양공정으로 처리하면 광합성 반응을 통해 CO₂를 고정화하여 평균 30%정도 처리할 수 있으며 이때 배양된 미세조류인 헤마토코쿠스는 증식 및 유도 단계와 같은 2단 배양공정을 통해 아스타잔틴이라는 고가(3000달러/kg)의 천연 항산화물질을 생산할 수 있는데 이는 기존 미세조류 공정에서 생산되는 바이오디젤(1달러/kg)에 비해 수천배 높은 수익을 얻을 수 있기 때문에 충분히 사업성이 있을 뿐만아니라 최종적으로 배출되는 처리가스의 CO₂ 농도는 1%이하로 맞출 수 있기에 최종목표인 Net-Zero에 근접한 결과를 얻을 수 있었다.

결론적으로 협소한 도심발전소에서도 컴팩트 분리막 공정을 통해 빠르고 효율적인 CO₂포집분리와 이때 농축된 배가스를 활용한 탄소자원화 공정(광물화+미세조류)을 통해 처리하게 되면 고가의 수익성과 높은 CO₂처리효율을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

코로나19 기간 국내 전력 산업의 온실가스 배출 요인 분해 분석
Decomposition analysis of greenhouse gas emissions in the power
industry in Korea since the COVID-19 outbreak

Nyun-Bae Park (박년배)

*R&D Planning and Coordination Division, Korea Institute of Energy Research

Korean electricity demand has decreased by 2.2% compared to the previous year since the COVID-19 outbreak in 2020. By sector, industrial use decreased by 4.0%, service use decreased by 2.0%, and public use decreased by 3.4%, while household use increased by 5.1%. Monthly electricity demand declined the most in August 2020 by 6.2% compared to the previous year. In 2020, electricity production decreased by 1.9%. By energy sources, nuclear power increased by 9.8%, renewable energy increased by 19.8%, while coal decreased by 13.6%. Monthly power generation decreased the most in May 2020 by 6.2%. In 2020, greenhouse gas emissions from fuel consumption in the electricity generation decreased by 14.1%. Population growth and increase in power surplus production caused an increase in emissions, but the effect of a decrease in per capita income, a decrease in electricity sales divided by GDP, mix of fossil power generation, and a decrease in emission intensity of fossil power generation were more effective. However, as electricity sales and greenhouse gas emissions gradually recover to the previous year's level from the end of 2020, measures such as demand management, transition to a decarbonized generation, and emission intensity reduction need be strengthened to achieve Korea's carbon neutrality by 2050.

Acknowledgements : This work was conducted under framework of the research and development program of the Korea Institute of Energy Research (C1-2443).

고체연료 화력발전소의 비용평가 성능시험 효율과 실제효율 차이에 대한 정성적 연구

Qualitative study on the difference between the cost evaluation
performance test efficiency and the actual efficiency of a solid fuel
thermal power plant

김대형 · 박병철 · 함영준
한국남동발전 인재기술개발원

우리나라의 전력거래는 발전사업자가 보유한 발전기의 효율계수와 연료비 인자를 고려한 비용을 평가하여 입찰·정산을 통해 전력거래가 이루어진다. 이러한 전력거래를 위해 가장 필요한 것이 발전기별 효율계수를 산출하기 위한 시험이다, 이를 발전비용평가 성능시험이라 하며, 한전 전력연구원이 담당해 오고 있다. 그러나, 이 시험에 의한 효율계수 값에 의한 지표가 실제 운전되는 효율과 편차가 발생한다는 내용에 대해서는 이미 일반화된 사실이다.

국내 석탄화력 기준 석탄화력 발전기의 성능시험 효율과 실제 운전효율에 대한 편차가 통상 1 ~ 2 %p 정도 차이가 나고 심지어 2 %p 이상 차이가 나는 경우가 발생한다. 만약 2 %p 정도의 효율차이가 발생하면 전기출력 및 연료의 열량에 따라 다르긴 하지만 대략 시간당 10t/h 정도의 편차가 발생할 것이며 연간으로 환산하면 8만 7천톤 정도의 연료에 대해 정산을 받지 못하는 것이다. 석탄 톤당 구입비용이 5만원라고 가정하면 연간 약 43억 정도의 손실이 발생한다.

이는 평가방법에 대한 차이에서 비롯된다. 이를 개선하기 위해 비용평가 성능시험의 효율산정 방식 대비 실제 운전효율을 보다 정확하게 평가하기 위해 에너지정산법을 준용하여 비용평가 성능시험을 개선할 수 있다. ASME PTC 4(미국기계학회 Steam Generator 성능시험 표준)코드를 활용한 에너지 정산법에서는 여러 가지 손실과 부가입열을 고려하여 효율을 계산하도록 되어 있다. 때문에 효율산정 시 단위 질량당으로 계산되는 손실과 부가입열로 인해 측정 불확도가 큰 연료의 사용량을 고려하지 않아도 되며, 비용평가 성능시험의 평가방법인 입출력법의 효율보다 더 정확하게 계산 할 수 있다.

본 연구에서는 위와 같이 어떠한 요인이 성능시험을 통해 산정된 효율과 실제 운영효율과의 차이를 발생시키는지, 고체연료에 대한 비용평가 성능시험 규격이 어떠한 방향으로 개발되어야 하는지 그리고 이 규격과 기존에 적용된 비용평가 성능시험 규격과의 차이점 및 실제 운전 효율을 얼마나 반영하는지에 대해 정성적으로 나타내고자 하였다.

친환경·고성능 단열재의 표준화 및 개발동향

The Standardization and Trend of Technology of Eco-Friendly and High-Performance Thermal-Insulation

정승영 · 서준식

한국건설생활환경시험연구원 에너지소재센터

정부의 에너지 절감 정책 강화에 따른 고성능 단열재 필요성 증가, 건축물의 화재 안전사고 예방을 위한 화재안전 성능 강화, 글로벌 환경규제에 따른 친환경 발포제 적용 단열재의 필요성 증가, 장기 사용에 따른 내구성능 평가 필요성 증가 등은 단열재 국내·외 표준화 관련 4가지 주요 이슈사항이다. 최근 국내에서 빈번하게 발생하는 건축물의 화재사고 및 건축물의 에너지절약설계기준 강화, 온실가스 감축을 위한 탄소-제로 정책 추진 등으로 미루어 볼 때, 친환경성과 고성능을 지닌 단열재의 필요성이 급증하고 있는 실정이다. 관련하여, 친환경·고성능 단열소재인 에어로젤 단열재 및 마이크로포러스 단열재의 표준화가 필수적으로 요구되는 상황이다. 이에 본 연구에서는, 에어로젤 단열재 및 마이크로포러스 단열재의 ISO 및 KS 한국산업표준 제정을 위한 표준화 진행현황을 기술하고, 더불어 최근 이슈가 되고 있는 친환경 발포 단열재의 필요성 등에 대해 기술하고자 한다.

이 논문은 2021년 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20011158)

판형 열교환기 전열판의 틈부식 발생 원인 분석

Analysis of the cause of crevice corrosion in the plate heat exchanger

송민지¹ · 최가현¹ · 채호병¹ · 김우철² · 김현철² · 송봉용² · 임종원² · 이수열^{1*}

충남대학교 신소재공학과¹, 한국지역난방공사 미래개발원²

지역난방은 열 생산시설에서 생산한 열의 손실을 최대한 줄이기 위해 열수송 배관망을 통해 대단위 지역으로 공급하며, 주로 물을 열 매체로 이용하여 사용시설에서 열을 전달한 뒤 다시 회수된다. 열을 전달하는 방법은 열 교환기를 통해 이루어지며, 열교환기 형태에 따라 다양한 특징을 가진다. 열교환기 중 판형 열교환기는 우수한 열 전달 효율과 소형화가 가능하다는 특징을 가지기 때문에 많은 곳에서 사용되고 있다. 판형 열교환기는 얇은 스테인리스 전열판을 겹겹이 위치시켜 열 생산시설로부터 오는 지역난방 공급수와 사용자 시설의 물이 섞이지 않고 열을 효과적으로 교환하는 역할을 한다. 이때 중요한 점은 설비 관리를 위해 공급수와 사용자 시설물의 혼합이 발생해서는 안 된다는 점이다.

하지만 결함에 의해 물의 혼합 또는 가스켓 손상, 전열판 스케일 형성이 종종 발생하고 있으며, 이로 인해 누수 및 열전달량 감소로 이어져서 적절한 유지관리 보수가 요구된다. 육안으로 확인되는 결함의 경우 유지관리 및 보수가 원활히 이루어지지만 보이지 않는 미세 결함은 원인 분석을 통해 적절히 관리방안이 도출되어야 한다. 따라서 본 연구를 통해 판형 열교환기의 전열판에서 발생한 결함을 정밀 분석하여 원인을 도출하고 적절한 관리방안을 제시하고자 한다.

육안검사를 통해 부식 및 결함 위치를 판독하였으며, 육안으로 확인 불가능한 부식 및 결함 탐지를 위해 액체침투탐상검사를 수행하였다. 샘플링을 통해 광학현미경, 주사전자현미경, 에너지분산형 분광분석법을 이용해 샘플 표면의 부식 상태 및 성분 분석을 수행하였다. 판형 열교환기로 공급되는 물과 사용시설의 물을 각각 채수하여 이온크로마토그래프, 유도결합플라즈마질량분석기를 이용해 성분을 분석하였으며, 전열판의 재질인 스테인리스 강 부식을 일으키는 원소가 포함되어 있는지 확인하였다.

육안 및 액체침투탐상검사결과, 전열판 표면에 부식에 의한 표면 패임(pit)이 관찰되었고, 규칙적인 위치에서 발견되었다. 약 150 μm 수준의 pit이 관찰되었으며, 그 주변으로 산화물이 관찰되었다. 표면 성분분석을 통해 산화물 외의 이물질이 발견되었으며 스테인리스 재질과 다른 성분이므로 외부에서 유입된 물질로 판단된다. 부식 저항성이 높은 스테인리스 강을 부식시킬 만큼의 열악한 수질 환경은 아니지만 설비 구조상의 원인으로 인해 부식이 발생한 것으로 보이며, 요약하면 판형 열교환기의 구조상 얇은 전열판이 서로 맞대어 있어 금속-금속 간의 틈이 형성되며, 표면의 이물질 및 산화물은 틈을 더 좁게 형성시켜 틈 부식이 가속화시킨 것으로 판단된다.

수용성 관점에서의 HyNet 사업전략 사례 검토를 통한 수소 충전 사업의 발전 방향에 대한 제언

Suggestion for the Development of Hydrogen Charging Business Directions through Case Study of HyNet Business Strategy according to Acceptance Perspective

오시덕 · 서석호 · 차종환 · 오승언* · 성낙철**

(주)블루이코노미전략연구원, *효성중공업(주), **HyNet

1. 연구 배경 및 목적

우리 정부는 “세계 최고 수준의 수소경제 선도국가 도약”을 목표로 2019.1월에 「수소경제 활성화 로드맵」을 발표하고, 「수소경제 육성 및 수소안전관리에 관한 법률(약칭:수소법)」을 제정(2020.2.4.)하여 수소 경제 활성화를 위한 법적 근거를 마련하고, 에너지기본계획(2019.6), 신·재생에너지 기술개발 및 이용 보급 계획(2020.12), 「2050 탄소 중립」 추진전략(2020.12) 등 관련 계획에 반영하여 정책적 기반을 확충하고 있다. 또 수소 경제 활성화 로드맵의 핵심과제인 수소 전기차의 보급확대를 위해 한국가스공사 및 현대 자동차 등 11개사가 투자하여 SPC(특수목적법인)인 수소에너지네트워크(주)(이하 HyNet)를 설립하고, 현재 40개소의 충전소를 구축하고 있다.

본 연구에서는 특수목적법인인 HyNet의 수소 충전소 구축 및 운영 사업전략 사례를 수용성의 관점에서 분석하고, 그 결과로 도출되는 수소 충전소 구축 및 운영사업의 지속 가능한 발전을 위한 사업 방향에 대하여 논의하고자 한다.

2. 연구 내용

에너지 및 환경 관련 사업의 추진을 위한 중요한 사회적 현안으로 나타나는 수용성은 관점에 따라서 시장 수용성(재무), 사회·정치적 수용성(경제성(공공성) 및 정책성) 및 주민 수용성(설치 대상 지역의 수용성) 등으로 세분화할 수 있다. 따라서 사업의 지속가능성은 관점에 따라 서로 다른 의미로 이해되는 수용성을 어떻게 높일 것인가?, 상호의존적인 특성을 갖는 현안들을 수용성의 관점에서 선순환되도록 조치할 수 있는가? 등에 영향을 받게 된다.

본 연구에서는 충전소의 유형(복합, 단독), 운영 방식(직접, 위탁), 정부 프로그램 참여 방식(국토부, 환경부, 산업부), 설비구축 현황(25kg/h 및 50kg/h) 및 유지보수 방안 등 HyNet의 사업전략 요소와 최근에 현장에서 직면하고 있는 수소 충전소 구축 및 운영과 관련한 다양한 현안들을 시장 수용성, 사회·정치적 수용성 및 주민 수용성의 관점에서 분석한 결과, 주요 전략 요소들은 시장 수용성 및 사회·정치적 수용성 제고에 편중되어 있고, 주민 수용성은 주민설명회 등을 통하여 충전소 구축의 안전성을 홍보하는 등 사회적 수용성 제고 범주의 활동과 부지 이전 등 소극적인 전략을 선택하고 있는 것으로 판단되었다.

3. 연구결과 및 고찰

수소 전기차 보급과 수소 충전소 보급은 상호의존적인 관계가 있어서 사업전략 요소는 시장 수용성 및 사회·정치적 수용성 제고에 편중된 것으로 분석되었고, 특히 주민 수용성은 사회적 수용성 제고 및 단기적 회피전략을 병행하고 있어 장기적인 관점에서 사업의 지속가능성을 담보하는 데 한계가 있다. 따라서 시장 수용성 및 사회·정치적 수용성 제고를 통하여 창출되는 편익이 주민 수용성 제고로 이전될 수 있도록 사업모델을 개선할 필요가 있다.

Mod HP강 개질로 튜브의 현장 수명평가를 위한 석출물 정량화 방법 Quantitative Evaluation of Area Fraction of Precipitated Carbides in Modified HP Reformer Tubes for On-site Life Assessment

방효중 · 류형기 · 르 띠 지앙 · 윤기봉*

중앙대학교 대학원, *중앙대학교 기계공학부

석유화학 플랜트의 개질로는 수소를 많이 포함하는 탄화수소의 개질에 고온 증기를 사용하는 고온 가열로이다. 개질로에 사용되는 고온 튜브는 Modified HP강으로서 고온 Ni-Cr 내열강에 Nb를 첨가하여 900-1050°C의 환경에서 크리프 저항성과 기계적인 강도를 높인 강종이다. 개질로 튜브의 설계 수명은 100,000 시간이지만 많은 플랜트에서 설계 수명보다 더 빠른 시간에서 조기 파단이 발생하는 것으로 보고되고 있다. 따라서, 설계 수명 이전에도 정기 검사 기간 중에 개질로 튜브의 사용수명 및 잔여수명을 평가하기 위한 검사를 수행한다. 정확한 방법은 개질로 튜브를 취외하여 잔여수명을 실측하는 크리프 시험을 수행하지만, 이런 경우 튜브의 보수가 필요하며 측정 오차를 줄이기 위해 여러 튜브에서 시편을 채취하여야 하는 불편이 있다. 따라서 본 연구에서는 튜브를 취외하지 않고도 사용된 튜브의 표면에서 표면복제(Replication) 검사만을 수행하여 간접적으로 잔여수명을 평가하기 위한 기준 수명 데이터를 얻기위하여 연구하였다. 사용된 개질로 튜브의 외표면에 석출된 탄화물의 면적분율은 튜브의 노화(aging)과 관계가 있으므로, 튜브의 잔여수명을 평가할 수 있는 기준이 된다. 따라서 이러한 석출 탄화물의 면적분율을 튜브의 사용기간에 따라 정량적으로 평가하여 이를 활용하여 정량적인 수명평가에 활용할 수 있도록 기준 데이터를 제시하였다.

본 연구에서는 실제 산업체 개질로에서 17년 가량 사용한 튜브를 여러 단계의 노화 튜브를 확보하여, 사용시간에 따른 개질로 튜브의 탄화물 석출량을 측정하였다. 동일한 플랜트의 950°C 온도조건에서 신재, 1.8년, 6.0년, 7.2년, 8.5년, 9.7년, 16.2년 사용된 개질로 튜브의 표면을 연마후 광학현미경을 사용하여 미세조직내의 탄화물을 관찰하였으며, 탄화물의 정량적인 면적분율을 측정하기 위해 영상분석 프로그램인 Image J 프로그램을 사용했다. 미세조직 분석은 튜브의 내표면(Inner r-surface), 외표면(Outer r-surface), 절단된 축방향 윗면(Z-surface) 3종류에 대해 측정하였다. 사용시간에 따른 각각의 표면에 석출된 탄화물의 양을 분석한 결과, 사용시간이 증가함에 따라 모든 면에서 탄화물의 면적분율이 증가하는 추세선 그래프가 측정할 수 있었다. 튜브 외표면과, 절단된 축방향면에서 측정된 추세선은 오차범위가 작은 신뢰할 만한 관계식을 나타내었지만, 시편을 절단하지 않고 현장에서 측정 가능한 튜브 외표면의 관계식이 유용하게 적용될 수 있다. 측정된 관계식의 신뢰성을 검증하기 위해 다른 플랜트에서 11.5년간 사용한 개질로 튜브를 취외하여 관계식을 검증하여 본 연구에서 얻은 관계식이 유용함을 보였다.

본 연구 결과를 통해 현장에서 개질로 튜브를 취외하여 잔여수명 평가를 진행하지 않고도 튜브 외표면에 대해 표면복제법을 적용해 금속조직 샘플을 채취하여 조직 내 석출된 탄화물의 양과 사용시간의 상관관계 그래프를 통해 비교적 간단하고 쉽게 사용 중인 튜브의 잔여수명을 정량적으로 평가할 수 있을 것이다.

이동식 수소충전소 사고 시나리오에 따른 피해 영향 분석
Analysis of Damage Effects of Mobile Hydrogen Charging Station
Accident Scenarios

이수민 · 김동환 · 조충희 · 강승규*

한국가스안전공사 가스안전연구원 수소제품연구

2021년 3월 30일 기준, 국내에 구축된 수소충전소는 73개소, 운영 중인 수소충전소는 총 68개소이며 수소전기차의 원활한 충전을 위하여 충전소 보급 가속화가 필요한 실정이다. 이를 위한 방법의 일환으로 이동식 수소충전소를 구축하는 방법이 있다. “이동식 수소자동차 충전소”란 수소를 연료로 사용하는 자동차에 수소를 충전하기 위하여 필요한 설비(필요한 경우 충전설비는 제외할 수 있다)가 차량에 장착되어 있어 이동이 가능한 것으로서 처리능력이 30m³이상인 것(압축기 등 가압장치 없이 자압에 의해 충전하는 설비는 제외한다)으로 산업부 “용·복합, 패키지형 및 이동식 자동차충전소 시설기준 등에 관한 특례기준”에 정의되어 있다. 이동식 수소충전소 보급이 활성화 된다면 기존 이용자들 뿐만 아니라 단독 수소충전소에 접근성이 낮은 지역의 사용자에게 충전 인프라를 제공할 수 있다.

본 연구는 이동식 수소충전소 부지 내 압축기, 저장용기, 디스펜서, 제어판넬을 갖춘 충전 차량과 주변 구조물을 구성한 후 위험 요인 분석을 통해 사고시나리오를 도출하였다. 이에 따른 누출 및 폭발사고를 모사하여 피해 영향을 검토하고 이동식 수소충전소의 안전한 구축에 대한 방향성을 제시하고자 한다.

본 연구는 산업통상자원부 및 한국에너지기술평가원의 2021년 산업기술혁신사업 지원으로 수행되었습니다. (No.20192910100160, 이동식 수소충전소 성능평가 및 안전관리 기술개발)

수소충전소 위험요인 분석 및 안전관리 방안
Analysis of Hazard Factors and Safety Management Measures for
Hydrogen Refueling Stations

강승규 · 윤진희 · 김혜림 · 최성준

한국가스안전공사 가스안전연구원 수소연구실

탄소중립을 통한 기후변화 대응을 위해 전 세계는 청정에너지 사회로의 전환을 가속화하고 있다. 한국은 수소경제활성화 로드맵(2019년 1월), 한국판 그린뉴딜정책(2020년 7월) 그리고 2050탄소중립 추진전략(2020년 12월)등을 발표하며 온실가스 저감에 총력을 기울이고 있다. 그 중심에 수소경제가 자리 잡고 있으며, 수소경제의 중추적인 역할을 담당하는 것이 수소 모빌리티 분야이다. 자동차를 중심으로 선박, 열차, 드론 등 활용분야를 점점 다양화하여 수송 분야에서의 탄소중립 실현을 지향하고 있다. 이러한 모빌리티의 보급 활성화를 위해 필수적인 요소가 충전인프라이다. 정부는 공격적인 예산 투입으로 2040년까지 1,200기의 충전소를 보급하겠다는 목표이나, 2021년 현재 약 73기가 보급되어 정부의 목표에는 미치지 못하고 있는 실정이다. 충전소 보급에 가장 큰 장애요소는 안전에 대한 불안감으로 인한 주민수용성이 낮다는 점이다. 이에 본 논문에서는 수소충전소가 가지고 있는 위험요인이 무엇인지를 살펴보고, 현재의 안전조치가 무엇이며 향후 수소충전소의 안전을 확보하기 위한 방안이 무엇인지 살펴보고자 한다.

(감사의 글)

본 연구는 중소벤처기업부의 규제자유특구혁신사업육성 실증 및 기술개발사업 지원을 받아 수행한 “수소연료전지 선박용 수소충전소 구축 및 실증” 과제에 의해 감사드립니다.

바이오가스로부터 수소생산을 위한 기체분리막 공정 적용
Application of Gas Separation Membrane Process for Hydrogen
Production from Biogas

이충섭 · 임진혁 · 공동욱 · 김세종 · 한상훈 · 장원석* · 하성용

(주)에어레인, *한국지역난방공사 미래개발원

현대사회는 에너지소비 증가로 화석연료 자원고갈과 지구온난화 문제가 대두되고 있으며 전 세계적으로 신재생에너지 보급을 위한 기술개발 및 정책이 확대되고 있다.

국내에서는 국가에너지기본계획으로 신재생에너지 보급비율을 높이고 신재생에너지 공급 의무화제도(발전분야의 RPS, 수송분야의 RFS, 열분야 RHO)를 추진하고 있으며 발전용 연료전지 의무화제도(HPS) 신설방안을 계획하고 있다.

바이오가스는 유기성폐자원(음식물쓰레기, 하수슬러지, 축산분뇨 및 폐기물 등)의 혐기 소화공정을 거쳐 발생하는 CH₄, CO₂, 기타불순물이 주성분인 가스로 불순물과 CO₂ 분리정제를 통해 고질화하여 바이오메탄(CH₄ 95%이상)을 얻을 수 있다. 바이오가스는 발전 및 보일러연료로 적용분야가 한정적이나 고질화를 통한 바이오메탄은 저장 및 이동이 용이하여 도시가스배관망 주입, 수송용연료, 수소생산 및 연료전지에 적용이 가능하다.

기체분리막은 기체의 분리막 용해도와 분리막 내에서의 확산속도 차이로 기체투과속도차이가 발생하며 투과속도가 빠른 가스와 느린 가스를 분리 정제할 수 있는 기술이다. 기체분리막 기술은 공급가스의 조성 및 유량변화에 대응이 용이하고 설치비 및 유지보수비용이 저렴하며 설치면적이 작은 장점으로 인해 바이오가스로부터 수소생산공정에 적용분야가 다양하다.

본 연구는 바이오가스로부터 수소생산을 위한 기체분리막 적용연구로 바이오가스 고질화, 수소생산 CO₂ 분리포집 공정 설계를 위하여 운전변수에 따른 성능시험을 진행하였으며 시험결과를 바탕으로 현장에 적용 가능한 분리막 공정을 설계하였다.

폐지될 노후 석탄화력발전소의 순환경제 모델 수립을 위한 잔존가치 평가 방법

A method for evaluating the residual value for establishing a circular economy model of aged coal-fired power plants to be retired

송정수 · 류형기* · 배재현* · 윤기봉**

중앙대학교 에너지안전연구소, *중앙대학교 대학원 **중앙대학교 기계공학부

여정수 · 박성환

한국남동발전 발전처

온실가스과 미세먼지 저감을 위한 에너지전환의 세계적 추세에 따라, 2020년 12월 28일에 확정·공고된 제9차 전력수급기본계획에는 선제적 수요관리 측면에서 ‘원전의 점진적 감축’과 ‘재생에너지 확대’의 정책적 큰 틀을 유지하면서 안정적 전력수급을 전제로 ‘석탄발전의 보다 과감한 감축방안 추진’을 제시하고 있다. 특히, 석탄발전 폐지 대상에 제8차 기본계획에 반영된 10기(3,3GW) 포함하여 2034년까지 가동 후 30년이 도래되는 30기 모두가 포함되었다. 제8차 기본계획에 포함된 6기(삼천포 1·2호기, 보령 1·2, 호남 1·2호기)를 제외한 24기는 LNG 발전으로 전환될 예정이다. 다만, 폐지 대상 석탄발전소도 그동안 지속적으로 성능개선을 위한 설비보강 등에 투자를 진행하였으므로, 정부의 ‘脫석탄’ 에너지전환 정책에 따라 폐지되는 설비의 잔존가치가 좌초되어 발생하는 비용을 관리하여 좌초자산을 최소화하는 것이 타당하다. 이에 노후 석탄발전소 좌초자산을 최소화를 위한 순환경제 모델 수립에는 설비의 잔존가치 평가가 선행될 필요가 있다.

본 연구에서는 발전소 시스템별·호기별 잔존가치 평가를 위해서 설비 위치별·계통별·종류별 분류에 기초하여 설비분류체계를 수립하였다. 폐지 대상 발전소의 설비 단위로 잔존가치 평가를 위하여 설비유형에 따라 i) 고정기기의 경우 잔여수명에 기초한 결정론적 수명평가 방법과 ii) 회전기기의 경우 고장률에 기초한 확률론적 수명평가 방법을 결정하였다. 최초 도입비용과 기준시점의 물가상승 배수를 고려한 재조달원가, 유효수명, 폐지시 예상 잔존가치에 기초하여 개별 감가상각 방법을 적용한 설비의 잔존가치 평가 방법을 제시하였다. 더 나아가 폐지 대상 발전소의 개별 설비들의 잔존가치에 기초한 시스템별·호기별 잔존가치 평가 방법을 제시하였다.

폐지될 노후 석탄화력발전소에 대한 순환경제 모델 수립의 일환으로 연구하여 제시한 잔존가치 평가 방법을 통해서, 탈석탄 로드맵 상 폐지 일정에 따라 설비의 수명주기와 수명관리 비용 투자를 최적화 할 수 있다. 이로써 발전사는 좌초 자산의 최소화 방법과 설비의 잔존가치를 활용한 자산 선순환 방법 등을 파악하여, 상향식(bottom-up) 제언을 통해 정부 정책을 추진하는데 효율성 및 신속성을 확보할 수 있다.

탈질설비 AIG 형상 변화에 따른 질소산화물 및 초미세먼지 배출 저감효과 분석

Analysis of NO_x and ultrafine dust emission reduction effect according
to ammonia injection grid(AIG) change of SCR

남궁형규 · 홍성창* · 박재홍** · 장원석 · 신혜현 · 장미희 · 신경아

한국지역난방공사 미래개발원 신성장연구부, *경기대학교, **(주)금강씨엔티

최근 미세먼지에 의한 대기오염이 큰 사회적 문제로 대두됨에 따라 발전설비에서의 초미세먼지 유발물질 배출 저감을 위한 노력이 지속적으로 이루어지고 있다. 대표적인 초미세먼지 유발물질은 질소산화물(NO_x), 황산화물(SO_x) 등이 있다. 석탄, 유류 등을 연료로 사용하는 발전설비와는 다르게 LNG를 연료로 사용하는 발전시설에서는 질소산화물이 가장 큰 대기오염물질 비중을 차지하고 있으며, 그 제거를 위해 선택적촉매환원법(SCR, selective catalytic reduction), 선택적비촉매환원법(SNCR, selective non-catalytic reduction) 등의 방지설비가 최적가용기법으로 적용되고 있다. 그 중 LNG열병합발전에서는 설비 특성상 HRSG 내부에 탈질설비가 설치되어야 하며, 선택적촉매환원법이 가장 많이 사용되고 있다. 선택적촉매환원법은 환원제 보관부, 환원제 유입부, 촉매부로 구성되어 있으며, 촉매의 성능에는 변화가 없다고 가정하고 환원제 유입설비의 개선을 통해 탈질효율을 높일 수 있다.

본 연구에서는 LNG열병합발전소에서의 NO_x 배출을 최소화하기 위해 탈질설비의 운영자료 분석을 통해 설비 개선사항을 도출하였으며, 전산유동해석을 통해 설비개선에 대한 효율을 검토하였다. 또한 설비개선에 따라 NO_x 배출 저감량이 초미세먼지의 생성 저감에 기여하는 정도를 초미세먼지 배출계수로 계산하였다.

먼저 탈질설비 운영자료의 검토를 통해 한난에서 운전중인 탈질설비 중 질소산화물 저감효율이 떨어지는 지사를 선택하여 원인을 분석하였으며, 전산유동해석을 통해 환원제 유입설비에 문제가 있는 것을 확인하였다. 환원제 유입설비의 전산유동해석을 통해 촉매단에 도달하는 유량 편차가 +8%에서 -12%까지 발생하고, 암모니아 농도 편차는 +33%에서 -83%까지 발생하였다. 유량 및 농도 편차를 줄이기 위해, 탈질설비 유입부 AIG 형상을 대칭형에서 비대칭형으로 변경하였을 때, 유량편차는 ±1%, 농도편차는 ±4%로 줄어들었다. 탈질설비 개선을 통해 저감되는 질소산화물 배출 저감량을 초미세먼지 배출계수를 통해 초미세먼지 배출 저감에 대한 기여도를 분석하였다. 초미세먼지 배출계수는 국내 환경부에서 적용한 0.079(CF, 환경부, 2017)와 네덜란드에서 보고된 0.3835(ReCipe, 네덜란드, 2016)등을 적용하여 저감 기여도를 분석하고자 한다.

SIMULINK 확장을 통한 가스터빈 동역학 시뮬레이션에 관한 연구 A Study on Dynamic Simulation of Gas Turbine Extending SIMULINK

조재민 · 손기현

서강대학교 기계공학과

탄소중립 정책으로 인한 석탄발전 감축의 필요와 함께 청정화력으로 액화천연가스 발전용 가스터빈에 대한 관심이 고조되고 있다. 가스터빈 기술은 세계적으로 기술개발경쟁이 매우 치열하며, GE에서는 업계 최초로 가스터빈 발전 효율을 64%까지 향상하고 있다.

가스터빈의 효율 상승과 안정적인 운전을 도모하기 위해서는 가스터빈의 운전과정을 동역학적으로 시뮬레이션 할 수 있는 모델이 필요하다. 발전용 가스터빈은 압축기, 연소기, 터빈, 발전기 그리고 제어 밸브 등의 컴포넌트가 복잡하고 다양하게 연결되어 있으며, 시뮬레이션 모델을 수작업 코딩으로 개발하는 것은 매우 비효율적이다. 가스터빈을 위한 GUI 기반의 시뮬레이션 툴이 이미 개발되어 있으나, 대부분 외국제품으로 로열티 절감을 위해서는 국산화가 필요하다. 이러한 GUI 기반의 시뮬레이션 툴은 가스터빈의 디지털 트윈 개발을 위한 초기 버전으로 활용될 수 있다.

본 연구에서는 가스터빈 시뮬레이션 툴로서 공학 소프트웨어로 많이 사용하고 있는 Matlab의 Simulink의 GUI와 Netlist 기능을 활용하였다. Simulink는 제어로직을 위한 연결에 따른 순차적 연산을 위해 개발되어 있어 가스터빈 공정 시뮬레이션에 필요한 유량/압력/온도에 대한 동역학 특성 구현에 적합하지 않다. 유량/압력/온도에 대한 전용 Vector port를 정의하고 컴포넌트 간의 질량과 운동량 보존식 적용에서 도출되는 압력 방정식을 행렬연산으로 풀 수 있는 알고리즘을 개발하여 적용하였다.

가스터빈의 공정을 구성하고 연료 밸브와 입구 가이드 베인 각도 변화를 통한 출력의 변화 및 운전정지 식에 터빈 속도 감속에 대한 시뮬레이션을 통하여 Simulink를 확장한 유량/압력/온도 솔버에 대한 타당성을 확인할 수 있었다.

석탄화력발전소 옥내저탄장 내부 유동 평가

Evaluation of Flow indoor Coal Storage Shed in Thermal Power Plant

조현정 · 이정근 · 이인영 · 하현철*

한국전력공사 전력연구원, *창원대학교 환경공학과

석탄화력발전소에서는 대부분 석탄을 옥외저탄장에 적재하였다. 하지만 석탄 비산먼지가 외부로 날리면서 주변의 환경 민원을 일으킬 수 있다. 이에, 비산먼지 저감 강화 대책을 포함한 대기환경보전법이 강화되면서 석탄화력발전소의 옥외저탄장은 모두 옥내화해야 한다. 옥외에 저장하던 석탄을 옥내화 함으로서, 외부로 날리는 비산먼지는 감소했지만, 석탄을 단순히 격리하는 방식이기 때문에, 석탄에서 발생하는 석탄 비산먼지와 유해물질들의 근본적인 저감이 이루어지지 않아 옥내저탄장 작업자의 안전을 위협하는 요소가 될 수 있다. 본 연구는 이런 문제를 해결하기 위해 옥내저탄장 내부 유동을 평가하여, 유해물질들의 거동을 파악하여 효과적인 처리방안을 제시하고자 한다.

현재 운영 중인 옥내저탄장을 선정하여 현장 기류분석을 수행함으로써 내부 유동을 평가하였다. 석탄 비산먼지와 유해물질들은 기류를 따라 이동하기 때문에, 본 내부 유동 평가를 활용하여 효율적인 유해물질 저감 방법을 제시할 수 있다. 이를 위해서는 실제 옥내저탄장에서 발생하는 내부 유해물질의 분포와 유동 흐름에 대한 이해가 필요하다.

대상 화력발전소 옥내저탄장은 쉼터형(Shed)형으로 370m×135m×73m이며, 최대저탄량은 65만 톤이다. 지리적으로 동쪽은 바다로 개방되어있고, 서쪽은 건물과 같은 높이의 언덕으로 막혀있다. 북쪽에는 상시 개방하는 출입문 2곳, A, B가 있고, 남쪽에는 개방하는 출입구가 없다. 저탄장 측면에너 넓이 1.4m×1.4m 루버창이 설치되어 있다. 기류 흐름을 분석하기 위해 연기 발생기(Atari, Z-100II)를 이용해 기류 발생 실험 수행을 통해 연기의 흐름을 파악하고, 열선 풍속계를 이용하여 기류 유속 분포를 측정하였다.

출입문에서 연기를 발생시킨 결과 A 출입문을 통해 내부 공기가 유출되고, 반대로 B 출입문을 통해 외부 공기가 내부로 유입되었다. 동쪽은 해풍의 영향으로 외부에서 루버창을 통해 유입되는 외기량이 반대쪽보다 3~4배 많기에, 동쪽의 유해물질들이 서쪽으로 이동하는 경향을 보였다. 전체적으로 동쪽 출입문에서 출입문 반대편까지 기류가 이동하다가 서쪽으로 이동이 이루어졌다. 서쪽의 기류는 동쪽과 같이 출입문에서 유입되어 반대편 쪽으로 이동하며 정체되었다.

기류 유속 측정은 저탄장 하부와 상부 각각 12곳에서 수행하였다. 저탄장 상층부에서는 평균 0.1m/s, 하부에서는 평균 0.2m/s로서 기류 흐름이 거의 없는 것으로 나타났다. 연구 결과를 바탕으로 유해물질 저감설비를 내부 기류가 집중되는 위치에 설치하여 강제 환기를 통해 효과적으로 제거할 예정이다.

발전소 고차압 제어밸브의 내부누설 손상 유형과 개선 방법론 연구
A Study on the Type of Leakage Damage and Improvement Methodology
of High Differential Pressure Control Valve in the Power Plant

권갑주 · 이광한 · 송봉용* · 장재혁*

*브이아이브이인터내셔널(주) 기술연구소, *한국지역난방공사

발전소에서는 주로 물과 증기를 사용하며 온도와 압력이 150℃, 100kg/cm² 이상의 제어밸브에서는 내부누설 같은 고장이 발생하는 경우가 많아 발전소의 해당 시스템의 운전 성능을 떨어뜨리고 밸브 운전 위치에 따라서는 에너지의 손실과 효율을 저하시킨다. 또한, 제어 밸브 중에서 전후단에 높은 차압이 형성되는 경우에는 내부누설 고장이 더욱 많아지며 내부 부품과 트림이 크게 손상된다. 이러한 고장 원인과 손상 유형을 분석하기 위해 연구대상 발전소를 선정하였다. 연구대상 발전소와 다른 발전소에서 발생하는 고장 사례를 조사하였고 비교 분석함으로써 고장의 공통점을 도출하였다. 본 연구는 밸브의 고장 공통점을 근간으로 하여 내부누설 고장을 개선할 수 있는 밸브 설계와 제작에 대한 실용적인 방법론을 제시한다.

2030년대의 초소형원자로 세계 시장 전망

Global Market Potential for Micro Nuclear Reactors in 2030s

이태준*

한국원자력연구원, 미래전략본부, 혁신전략부

초소형로는 방사선 사고 위험만 없다면, 신 기후체제하에서 인류의 저탄소 기반 경제사회 발전을 주도할 수 있을 뿐만 아니라 4차 산업혁명 시대에 크게 부상할 분산·독립형 에너지 시장을 주도하며 창조적 파괴형 혁신(Disruptive innovation)을 창출할 것으로 기대되고 있다. 그러나 2021년 1월 현재 세계적으로 초소형로는 대부분이 개념설계 중이거나 일부만이 기술 실증 단계에 있다. 따라서 초소형로의 미래 시장 규모는 여전히 매우 불확실하다. 이 같은 상황에서 본고에서는 2030년대 초에 세계적으로 도입·확산될 것으로 전망되는 초소형로의 시장의 유형과 규모를 예측하였다. 즉 세계적으로 2031년부터 2035년까지 5년 동안 초소형로가 진입 가능한 시장의 누적 규모를 전망하였다. 이를 위해서 세계적인 전문기관의 마이크로그리드용 발전기 시장과 초소형로의 세부수요를 토대로 한 시장전망 결과를 본 고에서 설정한 수요지향적 초소형로의 기능과 성능 요건으로 검토·수정하였다. 그리고 미래 시장의 불확실성을 고려해서 설정한 두 가지 시나리오를 토대로 초소형로의 시장 수요와 규모를 전망하였다.

이를 위해서 먼저 시장조사기관인 MarketsandMarkets(2020)의 조사결과를 활용해서 2031년~35년까지의 세계 마이크로그리드 시장에서 발전기 시장 규모를 전망하였다. 이를 통해서 초소형로의 잠재적 시장의 최대 한계를 파악하였다. 2031년~35년까지 5년간 마이크로그리드용 발전기 시장의 총 누적규모는 165GWe로 전망되었다. 초소형로가 이용가능한 수요를 바탕으로 시장을 조사한 NUVIA(2016)의 결과를 본 고에서 도출한 초소형로의 수요요건을 기준으로 검토하고 5MWe급 초소형로의 배치가능성이 높은 잠재 시장 최대 규모를 재분석하였다. 초소형로가 배치될 가능성이 높은 잠재 시장 최대 규모가 NUVIA(2016)는 18.8GWe, 본 고에서는 24.4GWe로 전망되었다.

이를 토대로 2031년부터 2035년까지 5년 동안 초소형로의 시장 규모는 안전성에 대한 사회적 수용성의 개선 여부를 기준으로 두 가지로 전망되었다. 초소형로의 수요가 사회적으로 제약되는 경우에는 원격지와 군사시설을 중심으로 2,125MWe(5MWe급 425기), 사회적 제약에서 벗어나는 경우에는 원격지와 군사기지 뿐만 아니라 광역전력망, 산업시설 등에서 새로운 초소형로 시장이 창출되어, 초소형로 잠재 시장은 사회적 시나리오의 경우보다 두 배 이상 증가한 4,900MWe(5MWe 980기)까지 확대될 것으로 전망되었다.

현재 대부분의 독립형 소규모 에너지 시장은 디젤발전과 에너지저장시설이 차지하고 있으며, 최근에 신재생에너지가 유입되고 있다. 이들 시장의 특징은 에너지 안보가 매우 취약하며 에너지 공급가격도 매우 비싸다. 초소형로가 원자력 사고의 위험을 절대로 수반하지 않고 핵안보 위험이 개선된다면, 그리고 수요에 적합하게 초소형로의 장점의 최적으로 조합한다면, 초소형로는 미래 수요/시장의 경쟁자들에 대해서 더욱 경쟁 우위를 확보하고 시장을 확대할 수 있을 것으로 전망된다. 본 고에서는 초소형로의 수요별 잠재시장을 전망할 때, 세계적인 전문기관의 자료를 대부분 그대로 이용하였다. 그러나 본 고의 전망치에 대한 신뢰성을 높이기 위해서는 각각의 시장에서 가정한 초소형로의 시장점유율에 대한 보다 합리적인 근거가 필요하다.

저압 급수가열기 고-고 수위 원인 분석

Analysis on Hi-Hi Level Cause for Low Pressure Heaters

송석윤(Seok Yoon Song)

한국수력원자력(주) 중앙연구원(KHNP-Central Research Institute)

1. 서론

국내의 원자력발전소에서 운전되고 있는 급수가열기(Feedwater Heater)는 30년 이상 사용됨에 따라 운전 및 정비 비용이 증가되고 있다. 침식, 부식 및 진동에 의한 전열관(tube)의 손상으로 인한 누설과 동체(shell) 내부 및 구성품 감육(wall thinning)이 급수가열기의 주된 고장이다. 일부 저압급수가열기는 관막음을 과다로 개별세관들이 교체되었으며, 다음 주기 출력운전 중 전열관 누설을 경험하여 다시 많은 세관들이 관막음 되었다.

저압급수가열기 1C는 전 출력운전 중에 고-고 수위가 발생되어 저압 급수가열기 한 계열이 격리되어 발전기 출력이 26 MWe 감소되었다. 따라서 본 논문에서는 급수가열기 수위 불안정 현상을 파악하고, 급수가열기 성능과 수위를 분석하여 저압 급수가열기 1계열이 고-고 수위에 의해 격리가 발생된 원인을 분석하였다.

2. 저압 급수가열기 성능 및 수위 분석

원전에 설치되어 운전되는 급수가열기는 많은 급수측 유량과 동체측에 많은 유량의 습증기가 흐르는 환경에서 운전되고 있다. 저압 급수가열기 고-고 수위로 한 계열 격리가 발생된 발전소는 출력최적화 후 응축수 배수 유량과 온도가 증가하였다. 3,4단 저압 급수가열기는 배수냉각영역에 위치한 세관들이 많이 관막음 되어 응축영역에서 넘어온 배수의 냉각을 제대로 못하기 때문에 배수온도가 높게 배수되고 있다.

3단 저압급수가열기에서 2단 저압급수가열기로 배수되는 제어밸브 개도는 50~60%/50~60%/40~50%로 변동되며 운전되고 있다. 2단 저압급수가열기에서 1단 저압급수가열기로 배수되는 제어밸브 개도는 60%/62%/25~68%로 변동되며 운전되고 있다. 1단 저압급수가열기에서 복수기로 배수되는 제어밸브 개도는 74%/50~100%/80~87%로 변동되며 운전되고 있다.

3. 결론

3,4단 저압 급수가열기는 배수냉각영역의 세관들이 많이 관막음되어 응축수 배수 온도가 계속 증가되어 배수유량 불안정성을 유발할 가능성이 높다. 1단 저압급수가열기 B/C에서 복수기로 배수되는 제어밸브 개도는 일정 범위에서 변동되며, 너무 많이 열려 운전되므로 외란이 발생되면 제어 기능을 상실할 가능성이 크다. 따라서 비상 배수밸브의 개도를 증가시켜 제어밸브의 개도를 적정한 범위로 회복할 필요가 있다. 응축수 배수 계통은 약간의 운전변수 변화에도 큰 체적유량 변동을 초래할 수 있다.

개선형 POSRV 성능시험 분석 Analysis of Performance Test for Upgraded POSRV

송석윤(Seok Yoon Song)

한국수력원자력(주) 중앙연구원(KHNP-Central Research Institute)

1. 서론

POSRV(Pilot Operated Safety Relief Valve)는 원자력발전소에서 원자로냉각재계의 과압 보호 및 급속감압 기능을 수행한다. 가압기 상부에 4대의 POSRV가 설치되어 있고, 1대의 POSRV는 2개의 스프링구동과일롯트밸브(SLPV), 2개의 모터구동격리밸브, 2개의 수동격리밸브, 이중모터구동과일롯트밸브(MOPV)로 구성되어 있다.

APR1400 초도설비로 도입된 POSRV는 주 밸브와 파이롯트(pilot) 밸브의 누설을 여러 번 경험하였다. 따라서 구성 밸브의 누설을 방지하기 위해 설계개선을 추진하여 기존 설계 대비 기밀성, 동작성 및 안정성을 개선하였다. 본 논문에서는 POSRV 성능시험 결과를 분석하였다. 이를 통해 성능시험 수행과정에서나 정상 출력운전에서 밸브의 내부 누설에 영향을 미치는 인자를 분석하고, 누설을 방지하기 위한 방안을 도출하였다.

2. 개선형 POSRV 성능시험 분석

POSRV 주 밸브(main valve)는 수평으로 설치되어 있고, 챔버 내의 유체에 노출되어 있다. 시트는 밸브몸체에 용접되어 있어서 밸브몸체의 온도 변화에 따라서 수축/팽창이 일어나는 구조로 되어있다. SLPV, MOPV 동작 시 방출된 증기에 의한 주 밸브의 방출배관의 냉각 및 격납용기 대기로의 방열과 주 밸브 내부 챔버의 고온 유체에 의한 전열에 의해 온도가 변하게 된다.

주 밸브 챔버 내부에 비응축 가스가 존재하면 열적특성이 달라지며, 포화증기에 의한 밸브몸체의 지속적인 가열을 방해하여 밸브몸체 상부의 온도가 감소하게 된다. 이 상태에서 주 밸브나 SLPV 등에 의해 일부 비응축 가스가 방출되면 주 밸브 내부 챔버에는 포화증기가 보충되어 밸브몸체의 온도가 상승하게 된다.

3. 결론

원전에서 운영되는 POSRV는 밸브 내장품 개선과 성능시험 조건을 변경하여 운영측면을 개선하였다. 그럼에도 개선형 POSRV 성능시험에서 주 밸브에서 내부 누설이 발생되었다. 따라서 POSRV 운전환경과 성능시험 과정에서 운전변수를 분석하고, 주 밸브 분해점검 결과를 분석하였다. 주 밸브의 내부 누설은 밸브내부 챔버 운전환경의 변화와 SLPV, MOPV 동작 시 방출된 증기가 단열 팽창되어 상부로 이동하여, 주 밸브의 방출배관의 냉각에 기여하게 된다. 방출배관의 온도에 따라 팽창과 수축이 발생되며, 여기에 연결된 주 밸브 온도도 변화되어 팽창/수축이 일어난다.

혁신형 소형모듈형원자로(SMR) 개념개발 우선순위 연구

Development of Innovative Small Modular Reactor Concept and Study for Priority

김문수

한국수력원자력(주) 중앙연구원

한국수력원자력(이하 한수원)에서는 우리나라의 최신 원자력발전소인 APR1400 개발 이후 신성장 동력 차원에서 발전사업 이외에 다양한 분야에서 활용 가능한 소형모듈형원자로(SMR) 개발을 추진 중이다. SMR 개발 국내 연구동향은, 한국전력기술(주) SD가 2011년부터 독자적으로 50~60 MWe급 육상용 및 해상용 SMR을 개발 중이고, 한국과학기술원(KAIST) 등 4개 대학은 2016년부터 100 MWe급 가압경수로형 SMR인 'ATOM 원자로' 개념을 개발 중이다. 이에 앞서 원자력연구원에서는 100 MWe급 소형일체형원자로인 'SMART'를 1997년부터 2012년까지 약 3,000억원의 연구비를 투입하여 개발하였으며, 2012년 표준 설계인가(Standard Design Approval, SDA)를 확보한바 있다.

한수원은 'SMART' 보다 높은 안전성 및 경제성이 향상된 한수원 고유의 SMR 개발을 통한 전력생산, 신재생 연계, 원전 수출시장 다변화를 추진하고 있다. 한수원 고유 SMR 기술개발 과제는 'SMART'의 단점을 극복하고 안전성 및 경제성을 획기적으로 개선하기 위한 기술개발 과제로서, 일부 'SMART' 개발 경험을 활용할 수는 있으나 최상위 요건부터 'SMART'와 차별하여 개발할 계획이다. 기본적인 전략 및 우선순위는 다음과 같다.

- 원자로건물 제거, 원격운전, 복수모듈 적용 등을 통한 가격 경쟁력 확보
- 피동형 안전계통 채택(고유 안전특성과 단순화된 계통, 피동냉각계통 등으로 외부전원이나 운전원조치 없이도 원전의 안전성을 유지)
- 대형원전 대비 1/10 수준의 노심손상확률(Core Damage Frequency, CDF) 경쟁노형 동등이상[CDF : $1.0e^{-9}$ 이하]

상기 우선순위는, 출력이 낮은 SMR 특성상 대형 원전 대비 낮을 수 밖에 없는 경제성의 한계를 극복하기 위해서는 하나의 원자로건물 안에 다수의 모듈을 배치하여, 출력 범위를 유연성 있게 확보하면서 전체 건설 물량의 절약으로 경제성을 확보하는 방법이 필요하다는 전략과, 사고시 원자로, 원자로건물, 사용후 핵연료를 모두 피동계통으로 냉각하여, 안전급 교류전원 및 이를 사용하는 펌프 등의 능동형 설비가 필요 없이, 발전소정전대처시간을 증대할 수 있는 장점을 활용하고, 이러한 피동 안전계통도 최대한 단순화하여 발전소 안전수준을 한층 높일 수 있는 전략적 판단 결과이다.

향후, 혁신형 SMR을 개발하기 위한 연구를 진행하며, 기존에 개발되었으나 사용되어지지 않은 핵심기술들(무봉산 노심 설계 기술, 상부 탑재형 노내계측기 설계 기술, 내장형 제어봉 구동장치 설계 기술 등)을 적용하는 방안에 대해서도 적용성 검토가 진행될 예정이다.

포 스텍 발 표

축소화 모델을 이용한 건물용 고분자 연료전지 대면적 유동장에서의 유체 유동 연구

Study on Fluid Flow in a Large Active Area Flow Field for Polymer
Electrolyte Membrane Fuel Cell for Buildings Using a Downsizing Model

박동환^{1,2} · 김민진^{2,3} · 손영준^{2,3} · 홍종섭¹

¹연세대학교 기계공학부, ²한국에너지기술연구원 연료전지연구실,

³과학기술대학원대학교 신에너지 및 시스템 공학

연료전지 스택의 주요 부품 중 하나인 분리판은 반응 기체를 MEA(Membrane Electrode Assembly)전면에 균일하게 공급 및 분배하고 전기화학반응에 의해 생성된 전자를 전달하며, 다수의 셀 적층 시 MEA 및 GDL(Gas Diffusion Layer)같은 기계적 강성이 낮은 부품들의 지지체 역할을 수행한다. 기존의 건물용 연료전지 분리판은 높은 전기전도성과 화학적 안정성을 갖는 카본(carbon) 계열 분리판을 주로 사용하였다. 하지만 소재 및 공정 단가가 고가이기 때문에 가격경쟁력 확보를 위해선 분리판이 가져야 할 물성을 만족하면서도, 가격이 저렴한 새로운 건물용 연료전지 분리판 개발이 필요하다. 본 연구는 차량용 연료전지 분리판으로 주로 사용되고 있는 금속(Metallic) 분리판을 적용하여 저가형 건물용 연료전지 분리판을 개발하기 위한 기초 연구 수행이며, 실제 스택을 제작하기 전에 Downsizing Single Cell을 설계, 해석, 제작하여 다양한 유동장과 GDL을 대상으로 실제 유체 유동 균일성을 파악하고, 이를 통해 유동장 종류별 최적의 GDL 물성치를 도출하는 것을 목표로 한다.

연구 수행에 앞서, 사전 연구 분석을 통해 건물용 연료전지 분리판에 적용 가능한 금속 분리판 유형과 발생할 수 있는 문제들을 조사 하였고, 총 3가지의 금속 분리판 유동장을 적용하였다. Channel Type의 유동장, Metal Foam기반 유동장, 그리고 3D Fine Mesh Type의 유동장이 그것이다. 또한, 활성 면적이 대면적이 되면서 발생할 수 있는 문제점으로 원활하지 못한 물 제거로 인해 발생하는 Flooding과 적층압력에 의해 GDL이 응력 변형되어 가스 공급 채널로 침투하는 GDL 침입이 검토되었다. 연구의 정확성을 높이고, 시행착오를 줄이기 위해 실험계획법(Design of Experiments)을 사용하여 모델링 및 실험에 적용할 요인(Factor)과 수준(Level)을 각 유동장별로 선정하였고, COMSOL Multiphysics을 이용하여 40cm²의 활성 면적을 갖는 Downsizing Single Cell의 전산 유체 시뮬레이션을 진행하였다.

그 결과, GDL의 다공률(porosity)이 반응물의 균일한 공급에 가장 큰 영향을 미친다는 것을 확인했으며, 동일 운전조건에서 Metal Foam 유동장이 Channel Type 유동장 보다 반응 유체의 균일한 분배 및 물 제거 효과에 있어 더 뛰어나다는 것을 확인할 수 있었다. 향후 건물용 연료전지 특성(고전압 저전류 운전, 350cm² 이상 대면적 MEA 활용)을 고려한 시뮬레이션과 실험을 통해 실제 작동 환경에서의 성능과 내구성을 확인하고, 이를 통해 대용량 건물용 연료전지 대상 대면적 금속 분리판 설계의 시행착오를 줄이는데 기여하고자 한다.

PEMFC 5kW급 일체형 연료처리장치 반응기 개발
Development of PEMFC 5kW compact steam methane reformer

우경택 · 손성효 · 김봉규 · 김재동
한국가스공사 가스연구원 수소기술연구소

본 연구에서는 STR반응기와 shift반응기를 분리시키지 않고 각 촉매들의 반응온도를 제어하기 위한 반응기 열교환기를 최적의 유로로 설계하였다. 열물질 수치해석 후 일체형 5kW급 연료처리장치를 제작하여 개질기 성능을 평가한 결과 컴팩트한 반응크기, 높은 개질효율, 낮은 운전압력, 높은 열효율을 확인하였다.

과산화수소 직접합성용 팔라듐-플래티넘 나노구조 촉매의 특성과 반응성의 이해

한근호 · 김민철** · Xiangyun Xiao* · 한상수** · 유태경* · 이관영

고려대학교 화공생명공학과, *경희대학교 화학공학과, **한국과학기술연구원

과산화수소는 친환경 산화제로, 고전적인 용도의 펄프 및 제지의 표백부터 최근 화학물질 합성, 반도체 식각용 재료, 폐수처리 그리고 의,약학용 산업에 그 쓰임새가 확장되고 있음. 상용 과산화수소 합성 공정인 안트라퀴논 산화/환원 반응의 환경 파괴적 단점을 보완하고 더욱 작은 규모의 공정에서 경제성을 확보할 수 있는 신공정으로, 과산화수소 직접합성 공정이 연구/개발되고 있음. 수소와 산소로부터 과산화수소를 직접 생산하는 본 공정은 친환경 용매를 사용하고, 단일 반응단계로 간단한 장점이 있음. 하지만, 열역학적으로 선택적인 과산화수소의 합성과 지속적인 누적이 상당히 어려워, 수십 년의 연구 개발에도 상용화 공정으로 도달하기 어려운 도전적인 반응과제임.

선택적인 과산화수소 합성에 가장 효율이 좋은 단일 활성금속 팔라듐으로부터 전기화학적 특성을 개질해 과산화수소 수율을 높일 수 있는 방안으로 플래티넘을 도입함. 플래티넘을 도핑하거나 코어-셸 구조로 활용했을 때 팔라듐의 표면 전자구조를 제어할 수 있으며 벌크 결정구조의 물리화학적 특성을 바꿀 수 있음. 적정한 표면 개질은 팔라듐-플래티넘 이중 금속 시스템에서 과산화수소 선택도를 크게 향상시켰으며, 이상적으로 반응물의 전환율과 생성물의 선택도를 동시에 향상시킬 수 있는 촉매를 개발함.

Rhenium을 조촉매로 사용한 Pt/Al₂O₃ 촉매에서의
Perhydro-dibenzyltoluene 탈수소화반응 활성 향상에 관한 연구

Promoting effects of Rhenium with Pt/Al₂O₃ catalysts in
dehydrogenation of Perhydro-dibenzyltoluene

장지수¹ · 김찬훈¹ · 이관영¹ *

¹고려대학교 화공생명공학과, *KU-KIST 에너지환경대학원 그린스쿨

기후협약에 따라 온실가스배출에 대한 규제가 강화되면서 신재생에너지에 관한 연구가 주목받고 있다. 하지만 신재생에너지의 간헐성 및 불확실성, 에너지 수요지와의 먼 거리 등의 단점 때문에 에너지 저장기술이 대두되어 수소를 이용한 에너지 저장기술이 연구되는 추세이다. 특히 수소에너지 저장기술 중에 Liquid Organic Hydrogen Carrier(LOHC)는 단위 부피, 질량 면에서 우수하며 에너지 운송 및 저장 면에서 안정성이 높아 수소 운반체로 이용하는데 이점이 있어 촉망받고 있는 분야이다.

최근 연구되고 있는 Dibenzyltoluene(DBT)는 높은 수소저장 능력과 안정한 물성으로 유망한 LOHC 물질로써 평가받고 있다. 하지만 DBT는 290 °C 미만의 저온에서 탈수소화반응 전환율이 매우 낮다고 보고되어 있으며, 실제 공정에서는 300 °C 이상의 고온 조건에서 반응을 진행한다. 하지만 높은 온도에서의 반응은 촉매의 부반응을 촉진하여 촉매의 비활성화 및 반응물의 분해를 통해 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, TPR, XPS, Raman spectroscopy를 이용하여 분석하였다.

A Study on Changes in Activity of Direct Synthesis of Hydrogen peroxide according to the type of ligand

이석호 · 한근호 · 이관영*

고려대학교 화공생명공학과*

The hydrogen peroxide, which is considered to be the most environmentally friendly oxidizing agent, can be used in various ways in the production of chemicals through the bleaching of pulp, oxidation process, and wastewater treatment.

However, such hydrogen peroxide is mainly manufactured by the process of an anthraquinone oxidation process (AO process) having various problems such as using a complex process structure and a large amount of organic solvents. However, there is a direct synthesis reaction that directly produces hydrogen peroxide from hydrogen and oxygen gases. This reaction has several advantages that can solve the problems of existing processes, but there are still several problems such as low selectivity which blocks commercialization of DSHP processes. Therefore, as part of the catalytic development for this direct synthesis of hydrogen peroxide, most commonly used palladium-silica catalyst was tested by attaching alkyl silane ligand with different carbon chain lengths, and the change of activity was observed. Various characterization analyses were conducted to find out the cause of activity enhancement.

음이온 교환막 연료전지를 위한 향상된 기계적 및 전기화학적 성능을
가지는 rGO/TiO₂/PAES/Xwt% 복합막의 특성연구

Characterization of rGO/TiO₂/PAES/Xwt% composite membrane with
improved mechanical and electrochemical properties for anion exchange
membrane fuel cell

김상희¹ · 유동진^{1,2*}

¹전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D
인력양성사업단, ²전북대학교, 자연과학대학 생명과학과

음이온 교환막 연료전지(anion exchange membrane fuel cell, AEMFC)의 주요 부품인 음이온 교환막(anion exchange membrane, AEM)은 과도한 이온 교환 작용기 도입에 따라 막의 기계적 강도가 감소되는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 향상된 기계적 및 전기화학적 성능을 가지는 AEM을 개발하기 위해 나노무기물인 rGO, TiO₂를 함유한 4차화된 폴리(아릴렌 이써 설펜)(rGO/TiO₂/PAES/Xwt%) 복합막을 설계하였다. 실험 단계로는 먼저 4,4'-bis[(4-chlorophenyl)sulfonyl]-1,1'-biphenyl), 4,4'-(9-fluorenylidene)diphenol), 및 4,4'-(hexafluoroisopropylidene)diphenol) 단위체를 이용하여 PAES 랜덤공중합체를 합성하였다. 다음으로 PAES 랜덤공중합체에 4차 암모늄 작용기를 도입하기 위해 chloromethyl methyl ether와 ZnCl₂를 이용하여 클로로메틸화 반응을 진행하였고, trimethylamine을 이용하여 4차화 반응을 진행하여 pristine QPAES막을 제조하였다. 추가적으로, rGO/TiO₂/PAES/Xwt% 복합막은 rGO함량(2 wt%)을 고정한 후, TiO₂ 함량(1, 3, 5, 및 7 wt%)에 따라 제조하였다. 제조된 rGO/TiO₂/PAES/Xwt% 복합막은 ¹H NMR, FT-IR, XRD를 통해 구조분석을 진행하였고, ionic conductivity, water uptake, swelling ratio, ionic exchange capacity 측정을 통해 전기화학적 특성을 확인하였다.

Synthesis and characterization of Iron–nickel core–shell@ 3D porous carbon used as efficient Oxygen evolution reaction

S. Ramakrishnan¹ · Ae Rhan Kim¹ · Dong Jin Yoo^{1*}

¹ Department of Life Science and, Jeonbuk National University, Jeollabuk–do 54896, Republic of Korea

Development of 3D porous core–shell nanostructures with highly active, durable and low cost electrocatalyst has a significant role in development high power efficiency energy storage and conversion application. Herein, a novel synthesis method was developed for fabrication of the nickel and iron core–shell on highly 3D porous carbon (core–shell NF@3D porous carbon) by facile hydrothermal calcination route. The porosity and core–shell structure of electrocatalyst was obtained using calcination of electrocatalyst at 600° C. The resulting catalyst was characterized using various analysis techniques such as X–ray diffraction analysis, micro–Raman, X–ray photo spectroscopy, scanning electron microscope and transmission electron microscopy. Owing to large surface area, 3D porous network and strong metal core and shell interaction, the optimized electrocatalyst shows excellent electrocatalytic activity with lower overpotential 240 mV at current density of 10 mA cm⁻² as compared to benchmark catalyst of RuO₂. Further, we investigation OER durability test using chronopotentiometry over 30 h at constant current density of 10 mA cm⁻², results shows there no significant changes in the potential over 30 h. Which confirm excellent durability of electrocatalyst of core–shell NF@3D porous carbon. This work provides new pathway for development and designing of 3D porous core–shell electrocatalyst for energy conversion and storage applications.

AEMFC 적용을 위한 Morpholine으로 기능화된 수지상 고분자의 Side Chain 길이에 따른 특성연구

A study on Properties of Branched Morpholine-Functionalized Copolymers according to Side Chain Length for AEMFC Application

김현진¹ · 김애란^{2,3} · 유동진^{1,3*}

¹전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, ²전북대학교, 생물환경화학과, 캔유택 연구개발센터, ³전북대학교, 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, side chain 길이에 따른 세 가지 종류의 작용기를 비교 실험하여 수지상 구조에서 나타나는 특성을 보고자 하였다. 먼저 비스페놀a, 비스(4-하이드록시페닐)설펀, 테카플루오로비페닐을 이용하여 친핵성치환반응을 통해 폴리(아릴렌 이써 설펀)(PAES) 랜덤 공중합체를 합성하였다. 이후 준비된 랜덤공중합체는 4,4',4''-트리하이드록시트리페닐메탄과의 합성을 통하여 블록공중합체와 유사한 정렬된 수지상 형태의 고분자를 합성하였다. 합성된 폴리(아릴렌 이써 설펀)은 ¹H NMR, 겔 투과 크로마토그래피(GPC) 측정을 통해 구조 분석을 진행하였고, 열적 특성을 평가하기 위해 열중량 분석기(TGA)를 측정하였다. 이온 전도도 등의 막의 전기화학적 성능평가를 통해 음이온 교환막으로서의 유망함을 입증하고자 한다.

Ultrafine tri-metals developed over CeO₂ on NS doped reduced graphene oxide as an efficient oxygen reduction reaction electrocatalyst for ethanol fuel cells

Logeshwaran Natarajan¹ · Dong Jin Yoo ^{1,2*}

¹Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea. ²Department of Life Science, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea.

An economical utilization of precious rare earth material is far-reaching, focusing on current and upcoming researchers in fuel cell applications. Tri-metal based electrocatalyst exhibits efficient electrochemical activity and stability in Oxygen Reduction Reaction (ORR) and Alcohol Oxidation Reaction (AOR), respectively, for both acidic and basic electrolyte media. Herein we have developed a low weight percentage of precious earth metals on highly radical scavenging non-precious CeO₂ supported with sulphur and nitrogen co-doped reduced-graphene oxide (NS-r-GO) foam. Typically obtained tri-metals on CeO₂-NSG show enhanced electrochemical activity and more extended stability on AOR and ORR applications in acidic and basic mediums compared with commercial Pt-C. Further characterization, morphology and chemical states analyses (HR-TEM, FE-SEM, XRD, XPS) of (tri-metals on CeO₂-NSG) were carried out before and after electrochemical performance tests. Overall, this unique tri-metal core-shell tetrahedra structure design provides a new pathway to improve the stability of Pt for diverse reactions and provides new insight for the rational design of efficient Pt-based catalysts. This synthetic strategy provides novel visions into the synthesis of multi-metallic electrocatalysts for energy storage and conversion applications.

Synthesis of ZnCo₂S₄ supported Graphene oxide on electrocatalyst system for Hydrogen Evaluation Reaction

Ramasamy Santhosh kumar¹ · Dong Jin Yoo^{1,2*}.

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

²Department of Life Science, Graduate School, Department of Energy Storage/Conversion Engineering, Hydrogen and Fuel Cell Research Center, Jeonbuk National University, Jeollabuk-do 54896, Republic of Korea

Constructing collective materials with a smart nanostructure, by using various transition metal sulfide, metal selenides and oxides carriers as building blocks, economical noble metal-free catalysts for hydrogen evolution reaction (HER). We have synthesized a novel ternary composed of Co₃S₄ and ZnCo₂S₄@rGO, via a facile and well-controlled hydrothermal approach to synthesize ZnCo₂S₄@rGO with super lattice structure and hollow multi-porous architecture. The results revealed that ZnCo₂S₄ nanostructure had been successfully epitaxial deposited onto the surface of Graphene oxide to form ZnCo₂S₄@rGO nanostructures on surface of the rGO. In an alkaline environment, the ZnCo₂S₄@rGO composite exhibits much better electro catalytic activity and durability towards HER than individual Co₃S₄@rGO, ZnCo₂S₄, electrocatalysts, which facilitate the HER kinetics.

음이온 교환막 연료전지 응용을 위한 기능화된 TiO_2 를 기반 유/무기
복합막에 확장된 이온 전도 클러스터

Extended Ion Conduction Cluster of Organic/inorganic Composite
Membrane based on Functionalized TiO_2 for Anion Exchange Membrane
Fuel Cell Application

이규하¹ · 유동진^{1,2*}

¹전북대학교, 자연과학대학 생명과학과, ²전북대학교 대학원, 공과대학교
에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단

본 연구에서는 음이온교환막 연료전지(AEMFC)로 응용을 위하여 기능화 된 TiO_2 (TiO_2 -PTMA)를 함유한 4차화 된 폴리(아릴렌 이써 케톤) (QN-PAEK)/ TiO_2 -PTMA 복합막을 TiO_2 -PTMA 함량(1, 3, 5, 7, 및 9 wt%)에 따라 준비하였고, 무기나노물질의 함량비에 따른 음이온 교환막(AEM)의 물리적 특성, 전기화학적 성능 및 화학적 안정성을 조사했다. 먼저 PAEK 랜덤공중합체는 우수한 이온전도성과 알칼리 안정성을 갖는 AEM의 개발을 위하여 4,4'-(9-Fluorenylidene)diphenol, decafluorobiphenyl, 4,4'-(hexafluoroisopropylidene)diphenol를 이용하여 성공적으로 합성했다. 랜덤공중합체의 이온작용기를 도입하기 위해 클로로 메틸화 및 4 차화 반응은 진행하였으며, 합성 된 PAEK, 클로로 메틸화 된 PAEK(CM-PAEK)의 구조를 ¹H-NMR로 확인하여 클로로메틸화 정도를 비교분석하였다. 이후 TiO_2 -PTMA가 포함 된 PAEK 기반 복합막은 TiO_2 -PTMA 함량에 따라 용액 주조 방법으로 제조되었으며, 준비된 복합막은 유연하고 우수한 물리적 특성을 보여주었다. 복합막은 우수한 열적/치수 안정성을 보였으며, 무기 나노 필러의 친수성 및 TiO_2 -PTMA의 4 차 암모늄 그룹으로 인해 기존 막보다 증가된 이온전도도를 나타냈다. 결과적으로 QN-PAEK/ TiO_2 -PTMA 복합막은 우수한 전기화학적 특성과 알칼리 안정성을 나타냈으며 AEMFC용 전해질막으로 응용을 위해 매우 유용한 것으로 입증되었다.

우수한 전기화학적 성능을 갖는 음이온 교환막 연료전지 응용을 위한
펜던트 단위체 유무에 따른 폴리(아릴렌 이써) 기반 음이온 교환막의 연구
A Study on Anion Exchange Membrane based on Poly(Arylene Ether)
according to Introducing Pendant Unit for Anion Exchange Membrane
Fuel Cell Application with Excellent Electrochemical Performance

이상혁¹ · 유동진^{1,2*}

¹전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D
인력양성사업단, ²전북대학교, 자연과학대학 생명과학과

연료전지는 전해질의 종류에 따라 양이온 교환 막 연료 전지(PEMFCs, Proton Exchange Membrane Fuel Cells)와 음이온 교환막 연료 전지(AEMFCs, Anion Exchange Membrane Fuel Cells)로 분류 할 수 있다. 일반적으로 PEMFCs는 높은 이온 전도도, 우수한 물리 화학적 특성인 치수 안정성 및 기계적 특성을 가지는 것으로 유명하다. 그러나 값비싼 촉매의 사용으로 인한 높은 제조비용이 PEMFC의 단점으로 꼽히고 있으며, AEMFC는 비 백금 촉매의 사용 및 빠른 산소 환원 속도로 인하여 PEMFC를 대체 할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. AEMFC의 중요한 구성 요소 중 하나인 음이온 교환막은 낮은 알칼라인 안정성과 이온 전도도 문제로 AEMFCs의 상용화를 지연시키고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위해 이온 그룹과 주사슬 및 곁사슬, 작용기, 가교결합, 및 유/무기 복합막 등 다양한 연구가 광범위하게 진행되고 있다.

본 연구에서는 음이온 교환막의 주요 문제점인 알칼리 안정성과 이온 전도도를 향상시키기 위해 고분자 주사슬에 펜던트 단위체 유무에 따른 성능 비교를 통해 주요 문제를 해결하고자 하였다. 먼저 hydroquinone, decafluorobiphenyl, phenolphthalein을 이용하여 펜던트 단위체를 갖지 않는 랜덤공중합체를 합성 했고, 2-phenylhydroquinone, decafluorobiphenyl, phenolphthalein을 통하여 펜던트 단위체를 포함하는 랜덤공중합체를 준비했다. 이후 준비된 각각의 고분자 주사슬에 1,1,2,2-tetrachloroethane, ZnCl₂, CMME를 이용해 chloromethylation을 진행하였고, 이후 casting solution법을 통해 제막한 후 TMA, DABCO로 준비된 각각의 막에 4차화 반응을 진행하였다. 합성된 고분자들은 GPC(겔 투과 크로마토그래피), ¹H NMR, FT-IR을 통해 구조 분석을 진행하였고, 추가로 물리화학적 특성 및 전기화학적 성능 분석을 통하여 음이온 교환막으로서 잠재력을 입증하였다.

우수한 알칼라인 안정성을 갖는 기능화 된 GO를 포함하는 폴리 (아릴레
이써 케톤) 기반 가교결합 된 음이온 교환막의 연구

A Study of Poly(Arylene Ether Ketone) based Crosslinked Anion
Exchange Membrane Containing Functionalized GO with Excellent
Alkaline Stability

주지영¹ · 유동진^{1,2*}

¹전북대학교, 자연과학대학 생명과학과, ²전북대학교 대학원, 공과대학교
에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단

본 연구에서는 우수한 이온전도도 및 향상된 알칼라인 안정성을 갖는 음이온교환막의 개발을 위하여 신규 기능화된 graphene oxide(f-GO)를 도입한 유/무기 복합막 구조를 설계하였다. 먼저 고분자 매트릭스를 만들기 위하여 2-phenyl hydroquinone과 decafluoro-biphenyl을 이용하여 F-올리고머를 합성하였고, bisphenol A와 4,4'-difluorobenzophenone을 이용하여 OH-올리고머를 합성하였다. 준비된 F-올리고머와 OH-올리고머를 1:1 비율로 반응하여 블록공중합체를 합성하였으며, 이후 4차 암모늄화 작용기를 도입하기 위해 클로로메틸화 반응을 수행하여 유무기 복합막 지지체를 합성하였다.

신규 무기물인 f-GO는 -SO₃H를 말단기로 갖는 methyl orange(MO)를 도입하여 신규 GO-MO형태로 합성하였으며, 팬던트 그룹을 포함하는 고분자 지지체에 기능화 된 GO(f-GO)를 도입하여, 필러의 함량에 따른 복합막의 기계적 강도, 치수 안정성, 전기화학적 성능, 및 화학적 내구성을 세세하게 조사하였다. 준비된 막의 형태학은 FE-SEM을 통하여 확인하였으며, TGA를 통하여 무기물 변화에 따른 열적 거동을 보여주었다. 복합막은 무기나노필러의 함량이 증가함에 따라 향상된 이온전도도를 나타내었으며, 화학적 내구성 또한 증가하는 경향성을 나타내었다.

Studying the effect of silver doping on the properties of chemical bath-deposited In_2S_3 for photocatalytic applications

Bo Gyeong Mun, Salh Alhammadi, Abdelrahman M Rabie, Mostafa Saad Sayed, Jae-Jin Shim and Woo Kyoung Kim

1School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do 712-749, Republic of Korea

In this work, we studied Ag doping effect on In_2S_3 nanoparticles properties and on corresponding photocatalytic applications. The In_2S_3 deposition was carried out using cost-effective simple chemical solution method. The XRD results showed that's all the prepared nanoparticles have a polycrystalline cubic crystal structure with a (111)-plan preferred orientation. Also, The XRD results showed that's all the prepared nanoparticles have a polycrystalline cubic crystal structure with a (111)-plan preferred orientation. The XRD results indicates Ag doping didn't affect the In_2S_3 crystal structure due to the absence of foreign phases. Further, the Ag-doped In_2S_3 XRD peaks were shifting to lower 2θ indicating the success incorporation of Ag inside the In_2S_3 lattice. 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 methylene blue dye (MB), rhodamine b (Rhb) 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. In addition, the production of hydrogen via water splitting process was investigated and showed the Ag-doped In_2S_3 samples have higher performance than pure In_2S_3 .

\

글로벌 신재생 및 전통전원 LCOE 비교 분석

A Comparative Analysis for LCOE for global renewable and conventional plant

우종하* · 이다한* · 신훈영** · 박종배*

*건국대학교 전기전자공학부, **상명대학교 전기공학전공

9차 전력수급계획에 의하면 2034년까지 신재생에너지 설비용량을 57.7GW 신규설치할 계획이며 LNG 발전은 17.8GW 신규설치 계획이다. 신규 발전설비 계획을 실현하기 위한 가장 중요한 것은 발전설비들의 경제성이다. 균등화발전원가(LCOE, Levelized Cost of Electricity)는 발전원의 경제성을 평가하는 데 대표적으로 사용되는 지표이며 돈의 시간적 가치를 고려하여 발전량, 비용(건설비, 연료비, 운전유지비 등)을 연도별로 균일하게 증가화하여 발전원가를 산정한다. LCOE를 산정할 때 다양한 지표들에 대한 정의와 가정이 필요한데 이는 산정기관마다 달라질 수 있다.

본 논문에서는 다양한 기관에서 발표한 국내외 LCOE와 그리드 패리티에 관한 비교·분석을 하는 것을 연구 목표로 한다. 먼저, IEA와 EIA 모두 미국 내 재생에너지 LCOE는 꾸준히 감소하고 화력발전 LCOE는 증가할 것으로 전망하였다. 증감 추이는 비슷하게 예상하였으나 LCOE 계산을 위한 요소에 대한 정의와 가정을 다르게 하였기 때문에 증감 정도는 상당히 상이하게 예측하였다. 산정된 LCOE를 바탕으로 EIA에서는 미국 내 해상풍력을 제외한 재생에너지와 가스복합발전의 그리드 패리티 시점을 2024년으로 전망하였다. 하지만 IEA에서는 이미 2019년에 가스복합발전과의 그리드 패리티가 발생했다고 분석하였다. 이런 예측의 차이는 기관마다 (1) COVID 영향의 고려 정도 (2) 발전설비 수명 가정 (3) 비용 요소 선정(예: 탄소 비용, 설비 해체비용)의 상이하기 때문에 발생한다.

EIA (AEO2020)에서는 IEA(WEO2020)와 달리 COVID 영향을 고려하지 않아서 경제성장과 이에 따른 전력수요 감소를 반영하지 못했다. 요소별로도 가정이 다르며, IEA는 LCOE 산정에 있어 발전량 계산 시 태양광, 풍력의 수명을 25년으로 잡는 반면 EIA는 30년으로 잡으며 이용률 또한 발전원별로 다르게 산정한다. 더 나아가 EIA와 달리 IEA는 탄소비용과 해체비용을 추가로 고려하여 사회적 발전단가를 산정하기 때문에, IEA에서 예측한 재생에너지원과 전통전원의 그리드패리티가 EIA보다 빠르게 나타나는 주요 원인이 된다.

에너지연구원 보고서에 따르면 한국도 CAPEX의 감소로 인해 미국과 마찬가지로 재생에너지 발전비용은 해가 지날수록 줄어들 것으로 전망한다. 특별한 점은 발전공기업이 추진하는 재생에너지 사업 대부분은 1MW이상의 사업이고 개인 혹은 소규모 기업이 추진하는 사업은 100kW 이하임 것을 고려하여 태양광을 용량에 따라 다른 할인율을 적용하여 전망한다. 현재 해상풍력에 대해 발전단가 분석이 추진되지 않았으나, 2030년 태양광 발전의 LCOE는 100kW이하는 106.2원/kWh, 100kW~3,000kW는 89.4원/kWh, 3,000kW이상은 71.3원/kWh, 육상풍력의 LCOE는 122.7원/kWh, 가스복합은 98.71원/kWh으로 전망한다. 따라서 100kW이상의 태양광 발전과 가스복합의 그리드 패리티는 2027년에 발생할 예정이며 국내 육상풍력 및 해상풍력은 2030년까지 그리드 패리티를 달성하지 못할 것으로 예상된다.

본 연구는 2020년도 POSCO의 지원을 받아 수행한 “신재생 · 천연가스 산업 동향 및 시장 전망”의 연구 과제입니다.(No.2020Z033)

산소환원반응 활성이 우수한 비귀금속 촉매의 제조 및
아연-공기 이차전지로의 응용

Preparation and applications of non-precious metal catalysts with high
oxygen reduction activity to zinc-air secondary battery

이수진 · 김동건 · 정성권 · 이은희 · 정혜원 · 김필*

전북대학교 반도체·화학공학부

아연공기전지는 높은 에너지 밀도를 가지고 수용액계의 전해질 사용으로 우수한 화학적 안정성을 가져 리튬이온전지를 대체할 수 있는 차세대 이차전지 중 하나로 주목 받고 있다. 그러나 양극에서의 높은 과전위로 원하는 출력을 내기 위해서는 우수한 산소환원반응 활성을 가져야한다. 이때 귀금속 촉매가 다량으로 사용되며 이는 시스템 가격상승의 원인이 된다. 가격 경쟁력을 높이기 위해 귀금속 촉매를 대체 할 비귀금속 기반의 촉매 연구가 필요하다. 최근 활성점이 원자 수준으로 분산된 전이금속 질화물-탄소 복합체 구조가 높은 산소환원반응 활성을 나타낸다는 연구결과가 보고되었다.

본 연구에서는 탄소지지체에 산소환원반응 활성이 우수하다고 알려진 매크로사이클 구조의 철-프탈로시아닌(FePc)을 담지하고 소성로에서 열처리하여 철 질화물-탄소 복합체 구조의 촉매를 제조하였다. 이때 활성성분의 응집과 FePc의 손실을 최소화하기 위해 열처리 조건을 조절하였으며 제조된 촉매는 고온 열처리 이후에도 활성점이 원자수준으로 분산되어 우수한 산소환원반응 활성을 가졌다. 제조된 촉매는 아연-공기 이차전지의 양극 활물질에 적용하였을 때 100시간의 충·방전 사이클 이후에도 우수한 성능을 나타냈다.

실리콘/탄소 나노복합체의 전·후처리에 따른 리튬 이차전지 음극활물질 성능 특성

Performance characterization with pre- and post-treatment of
silicon/carbon nanocomposite for the anode materials of lithium ion
batteries

정성권 · 김동건 · 이수진 · 이은희 · 정혜원 · 김필*

전북대학교 반도체 화학공학부

전기자동차와 소형 전자기기 시장의 성장으로 높은 에너지 밀도와 출력 밀도를 가진 리튬 배터리에 대한 수요가 증가하고 있다. 이를 위해 양극, 음극활물질의 다양한 연구가 진행되고 있다. 현재 흑연은 음극재로서 가장 많이 사용되고 있지만 에너지 밀도와 출력 밀도를 높이는 데 한계가 있다. 이를 위해 흑연을 대체하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

그 중 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. 이는 실리콘 입자가 분쇄되면서 불안정한 고체전해질 계면을 파괴·재생성 과정을 반복하면서 전해질을 소모해 사이클 안정성을 떨어지게 만든다.

본 연구에서는 실리콘/탄소 나노복합체를 제조해 리튬 이차전지 음극활물질로서 전·후처리에 따른 전기화학적 성능을 평가한다. 실리콘/탄소 나노복합체의 탄소는 불안정한 고체 전해질 형성을 막고 전도도를 높여 리튬 이온의 빠른 확산을 촉진시킨다. 또한 실리콘과 탄소 사이 리튬 이온 삽입과정에서 발생하는 부피 팽창 응력을 감소시켜 사이클 안정성을 높이게 된다.

밀도 범함수 이론을 통한 Pt/CeO₂ 촉매에서의 역수성가스 전환반응 메커니즘 연구

Reaction mechanism of reverse water-gas shift reaction on Pt/CeO₂ catalyst calculated from density functional theory

이민우 · 이관영

고려대학교 화공생명공학과

화석연료의 사용으로 지구 온난화가 가속화되면서, 온실가스인 이산화탄소(CO₂)의 배출 규제가 강화되고 있음. 이에 따라 배출되는 CO₂를 저감하기 위해 CO₂ 흡착 및 전환에 관한 연구가 활발히 진행되고 있음. CO₂를 활성화하여 메탄올(CH₃OH), 포름산(HCOOH), 메탄(CH₄) 혹은 합성가스(CO+H₂)등으로 전환하는 반응에 관한 연구는 오랜 기간 진행되어 왔으나, CO₂는 화학 및 열역학적으로 안정한 물질이기 때문에 전환이 쉽지 않음.

현재 CO₂ 배출량을 감축하기 위해 화석연료기반 경제에서 신재생에너지를 활용하는 수소 경제로 넘어가려는 노력이 전 세계적으로 진행 중임. 이러한 관점에서 수소(H₂)를 필요로 하는 CO₂ 전환반응은 신재생에너지를 활용하여 CO₂를 추가적으로 저감할 수 있는 장점을 지님.

이중 역수성가스 전환반응(reverse water-gas shift reaction)은 CO₂와 H₂를 반응시켜 일산화탄소(CO)와 물을 생성하는 반응임. 이를 통해 생성된 CO는 H₂와 함께 합성가스로 활용될 수 있으며, 합성가스는 Fischer-Tropsch 반응을 통해 석유를 생산할 수 있음.

역수성가스 전환반응에는 CeO₂ 기반의 촉매가 많이 활용되고 있음. 이는 CeO₂의 oxygen vacancy에 CO₂의 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/CeO₂ 촉매에서의 역수성가스 전환반응의 반응메커니즘에 대해 연구를 진행하였음.

경유혼합 석탄 유래 FT 합성유의 엔진 적용성 연구

Diesel engine application of coal-derived FT synthetic fuel mixed with diesel fuel

민영제 · 김재곤†

한국석유관리원 석유기술연구소

에너지 소비 증가로 인한 자원 고갈 위기에 대응하고 온실가스 배출 증가에 따른 자연 생태계를 보호하기 위해 전 세계적으로 에너지원의 다양화 연구가 진행되고, 신재생에너지 보급 활성화 정책이 확대되고 있다. 이에 따라 정부에서는 수송 부문에서 신재생에너지 연료 혼합의무화(RFS)제도를 개선하여 신재생에너지 연료 혼합율을 3%에서 3.5%로 상향할 예정이다. FT 합성유는 천연가스, 바이오매스 및 석탄 등의 다양한 원료로부터 얻은 합성가스(CO/H₂)를 Fisher-Tropsch 반응으로 합성한 연료로서 황 함량 및 방향족 함량이 매우 낮은 특성을 나타낸다. 연료 성분의 대부분이 파라핀 혼합물로 이루어져 있고, 세탄지수와 산화안정도가 높아 차량에 적용할 경우 soot 발생량을 40%, NO_x 배출량을 20%까지 저감할 수 있다. 본 연구에서는 기존의 석유제품(자동차용 경유)과 석탄 유래 FT 합성유를 혼합한 연료의 물성 분석과 엔진 성능평가(연비 및 배출가스)를 실시하였다. 그 결과, FT 합성유의 함량 증가에 따라 세탄지수 향상 및 황함량 감소 등의 물성변화를 보였으며, 연비 향상 및 배출가스 감소효과가 나타났다. 따라서, 경유와 유사한 물성을 가진 FT 합성유는 경유 대체 및 온실가스 배출을 저감할 수 있는 청정연료로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

바이오연료 혼합 비율별 경유의 품질 특성 변화

Changes in quality characteristics of biofuel blends in diesel

이미은 · 김재곤*

*한국석유관리원 석유기술연구소 연구개발팀

세계적으로 석유 소비 증가로 인한 자원 고갈과 온실가스 배출 증가에 따른 기후변화 문제를 해결하기 위해 에너지원의 다양화 연구 및 신재생에너지 보급 활성화 정책이 시행되고 있다. 우리나라 역시 신재생에너지 보급을 위해 수송부문에서 신재생에너지 연료 혼합의무화(Renewable Fuel Standard, RFS) 제도가 운영되고 있으며, 이는 혼합의무자에게 일정 비율 이상의 신재생에너지 연료(바이오디젤)를 수송용 연료(자동차용 경유)에 혼합하여 공급하도록 의무화하는 제도이다. 2021년 7월부터 연간 혼합비율이 3.5%로 상향되며, 정부는 단계적으로 2030년까지 5%로 상향할 계획이다. 현재 '석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시'의 자동차용 경유 품질기준에 따라 바이오디젤을 2~5% 혼합할 수 있다. 해외에서도 신재생에너지 사용 비율이 증가하는 추세이며, 특히 동·식물성 유지에 수소를 첨가하여 파라핀계 탄화수소로 합성한 바이오연료인 HVO(Hydrotreated Vegetable Oil)은 자동차 및 항공 연료로 사용할 수 있으므로 향후 사용량이 더욱 증가할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 국내 자동차용 경유에 바이오디젤과 HVO를 혼합하여 연료의 특성과 변화를 분석하였으며, 혼합 연료의 저장안정성을 평가하였다.

투명후면전극을 이용한 Cu(In,Ga)Se₂ 박막태양전지 제조 및 특성 분석
Characterization of a Cu(In,Ga)Se₂ thin film solar cells on transparent
back contact

전동환 · 김영일 · 박시내 · 이재백 · 성시준 · 양기정 · 황대규 · 김대환* · 강진규*
DGIST 에너지융합연구부, DGIST 박막태양전지센터

CIGS 박막 태양전지 구조에서 일반적으로 몰리브데늄(Mo)을 후면전극 물질로 사용한다. 몰리브데늄은 4원계 Cu(In,Ga)Se₂ 칼코젠 광흡수층과 비슷한 열팽창계수를 가지며, 고온 열처리 공정 중에 Se과 반응하여 MoSe₂을 형성한다. 생성된 MoSe₂ 박막은 흡수층과 Mo 후면전극 간에 오믹접합(ohmic contact)를 형성하여 좋은 접합특성을 나타낸다. 하지만 몰리브데늄 후면전극은 열악한 반사특성을 나타내기 때문에 최근에는 고반사/고전도성 산화물 박막을 후면전극으로 적용하는 연구들이 진행되고 있다. ITO, IZO 및 FTO 같은 전도성 산화물은 CIGS 태양전지 구조에서 고반사/고전도성 투명전극으로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 여러 후보 중 ITO(Indium doped Tin Oxide)와 FTO(Fluorine doped Tin Oxide) 기판 위에 CIGS 광흡수층을 형성하여 그 특성을 비교하였다. 준비된 ITO, FTO 기판 위에 동시증발증착기를 이용하여 3-stage 공법으로 CIGS 광흡수층을 형성하였다. 이어 CBD(chemical bath deposition)을 이용하여 CdS(cadmium sulfide) 버퍼층을 형성하고 스퍼터로 윈도우층을 증착하여 태양전지 소자를 제작하였다. 투명전극 기반 CIGS 광흡수층의 성장 특성을 확인하기 위하여 TEM/EDS 분석을 진행하였으며, 제조된 태양전지 소자를 측정하여 전기적 특성을 관찰하였다.

Acknowledge

This work was supported by Technology Development Program to Solve Climate Changes of the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Ministry of Science & ICT (2016M1A2A2936781).

에너지 효율 향상을 위한 냉동기의 인버터 성능 개선

Improvement of inverter performance of refrigerators for energy efficiency improvement

김원섭 · 하현호*

전남도립대학교 신재생에너지전기과, *(주)신우이엔지

Abstract : We have been working on improving energy efficiency. Research was conducted to improve energy in refrigerators. In order to improve the inverter performance, various defenses were considered. The study of two stage cascade refrigerating machine brought high energy efficiency. Energy efficiency was achieved by using expansion tank and corrol panel. In this way, high energy efficiency was achived.

1. 서론 및 본론

에너지의 효율 향상을 위한 냉동장치의 개발에 대하여 여러 가지 연구를 했는데 냉동기 압력장치 디지털회로화로 인한 성능향상과 응축기 팬 인버터 콘크롤 시스템 장착으로 효율 증진을 하고 압축기의 인버터 시스템의 성능개선 향상 증진과 압축 트랜스미터 설치로 인한 냉동기 성능향상과 개선을 하며 응축기의 성능향상을 위한 개선장치 장착으로 성능개선 효과를 목표로 하여 연구를 하여 여러 가지 방법에 의한 연구 개발을 하여 효과를 얻었다.

효율증대를 위한 압축기 장치와 성능향상을 위한 장치 개선을 함으로서 디지털 장치를 이용과 성능향상에 관한 시험을 하였으며 인버터의 규격에 맞는 장착으로 냉동기의 성능 향상, 흡수기와 재생기의 성능개선으로 효과적인 이용과 장치의 효율과 성능개선을 통한 냉동 효율 증진을 하였고 압축기의 사이클 형성과정에 따른 효율향상과 장치운용를 운용하였다. 또한 압축기 운용 전동기의 효율 향상과 방법개선이 이루어졌고 기체상태의 냉내의 효과적인 압축과 액화 효과를 활용하고 냉각효과를 위한 증발기 주위의 효율 개선과 방법을 이용한 연구 개발을 하였다.

2. 결론

연구 결과 냉동기 제조 공정을 위한 기술력 확보로 생산성 확대 기대할 수 있으며 압축기의 제조기술과 설비기술의 향상으로 경쟁력 확보 기대되며 냉동기 압력장치 디지털 회로화로 인한 성능향상 효과를 이루었으며 압축기 인버터 시스템의 성능개선 향상 증진과 제품 생산 활용 및 개선된 기술활용한 제품 생산시 매출증대와 경제적 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

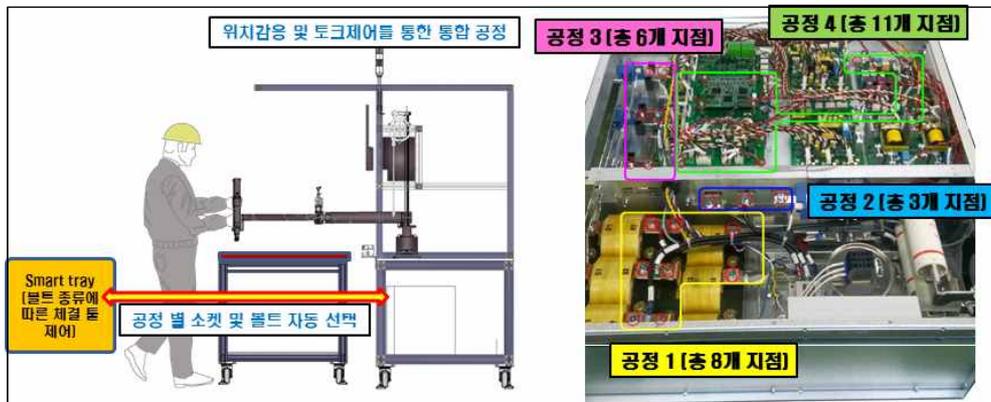
ESS용 PCS 모듈 정밀체결제어시스템 개발 Development of Precision fastening Control System of PCS Module for ESS

배정섭 · 김병진*

(재)대구기계부품연구원, *(주)이노알앤씨

본 내용은 ESS용 PCS 모듈 정밀체결제어시스템 개발에 관한 내용이다. 기존 ESS용 PCS 모듈은 다양한 사이즈의 볼트 체결로 구성되어 있고, 체결시 수작업에 의한 진행으로 체결 오류 및 체결력 편차 등에 의한 휴먼 에러가 종종 발생하고 있다. 이로 인해 ESS 설치 환경 및 가동 영향으로 PCS 모듈 내 전기부하가 발생하여 화재 등 사고 발생 가능성이 높아진다. 이를 해결하기 위해 체결 볼트 선택 감지 및 정밀 체결 토크값 제어가 가능한 체결시스템이 요구되어진다. 정밀 위치제어가 가능한 스마트 암으로 위치감응을 통하여 해당 위치의 볼트 선택 및 체결순서 오류 발생을 사전 차단하고, 정밀한 토크 제어 및 체결데이터 이력관리가 가능한 시스템을 개발하였다.

본 연구는 중소벤처기업부 지역특화산업육성사업(S2936195)으로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.



< Fig. 1 Application Configuration of Precision Fastening Control System >



< Fig. 2 Shape of Precision Fastening Control System >

비가역적 리튬 손실과 전해액 고갈에 따른 리튬이온전지의 방전 거동 예측 모델 개발

김병목, 이동철, 신치범[†], 장일찬¹, 송진주¹, 우중제¹

아주대학교 에너지시스템학과; ¹광주바이오에너지연구개발센터 한국에너지기술연구원

리튬이온전지는 높은 에너지 밀도로 고용량, 고효율 특성을 통해 전기자동차의 핵심 동력원으로 사용되고 있다. 하지만, 전기자동차의 주행거리가 늘어날수록 노화의 정도가 심해지는 단점이 존재한다. 이러한 리튬이온전지의 정확한 상태 진단과 잔존 수명을 예측하기 위해 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히, 전지의 성능을 나타내는 방전 곡선을 통해서 노화현상을 예측할 수 있다. 따라서 리튬이온전지 시스템의 최적의 설계를 위해서는 열화 요인들을 고려한 방전 거동을 예측하는 모델 개발이 필요하다.

본 연구에서는 비가역적인 리튬 손실과 전해액 고갈이 NCM622 양극, 천연흑연 음극, 유기 전해액으로 구성된 리튬이온전지의 성능 저하에 미치는 영향을 연구하기 위한 수학적 모델을 개발했다. 전극에서의 분극 특성에 기초하여 옴의 법칙과 전하 보존법칙을 지배방정식으로 하여 비가역적 리튬 손실과 전해액 고갈에 따른 전기적 거동을 계산했다. 모델을 이용하여 얻은 계산 결과는 시험 결과와 잘 일치하는 것을 확인했다. 검증된 모델을 기반으로 복합적인 열화요인에 대해 크리깅 방법으로 모델링을 진행하였다. 모델링 결과는 시험 결과와 비교하여 정확성을 검증하였다.

리튬이온전지 모듈의 전기적 거동 및 열적 거동 예측 모델 개발

강서희, 이동철, 신치범*

아주대학교 에너지시스템학과

전 세계적으로 신재생에너지원이 증가하고 고효율 중심의 개발이 추진됨에 따라 고용량, 고효율의 배터리기반 에너지저장장치(Energy Storage System)에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 리튬이온전지는 긴 충·방전 사이클로 에너지 수요에 따라 에너지 저장 시간을 조정할 수 있고 다른 에너지저장장치 기술과 비교해 높은 에너지효율을 가지기 때문에 전력 계통에 부합하는 특성을 가진다. 따라서 고품질의 전력을 안전하게 공급하기 위해서는 에너지저장장치용 리튬이온전지의 다양한 작동 조건에서의 전기적 거동과 열적 거동을 예측하여 최적의 운전 시스템을 개발해야 한다.

본 연구에서는 에너지저장장치용 리튬이온전지 모듈의 열적 거동을 예측하기 위해 3차원 전산모사를 하였다. 전극의 전위와 전류 밀도 분포의 전산모사 결과에 근거하여 전극 내의 열 발생량을 계산하여 다수의 셀이 직·병렬로 연결된 모듈의 열적 거동을 해석하였다. 개발된 모델에 팬의 다양한 공기 유입 속도를 고려하여 온도 분포 변화를 분석하였다. 해석 결과는 실험 결과와의 비교를 통하여 시뮬레이션 모델의 타당성을 검증하였다.

전기자동차 리튬이온전지의 리튬 플레이팅을 방지하는 급속충전 모델

이동철, 김병목, 신치범*

아주대학교 에너지시스템학과

기후변화협약 이후 지구온난화 방지를 위한 국제사회의 대응이 진행되면서 전기자동차의 보급 확대와 관련 기술개발이 활성화되고 있다. 특히 전기자동차의 주행거리 연장과 충전시간을 단축할 수 있는 급속충전 기술에 대한 수요가 증가하고 있다. 그러나 리튬이온전지의 충전율이 너무 높은 경우 리튬이온이 음극 내부에 삽입되지 못하고 표면에서 석출되는 리튬 플레이팅 현상이 발생한다. 리튬 플레이팅은 전지의 성능저하를 일으킬 뿐만 아니라 내부단락 등의 안전성 문제를 야기할 수 있다. 따라서 리튬 플레이팅 현상을 방지하는 조건 하에서 최적의 급속충전 알고리즘 개발하여 리튬이온전지의 수명을 연장하고 안전성을 확보하는 것이 필수적이다.

본 연구에서는 급속충전이 진행되는 SOC 구간에서 리튬이 석출되는 라인을 도출하고, 일정한 안전 마진 값을 가지는 안전 한계 라인을 따라 급속충전을 수행하는 알고리즘을 개발하였다. 안전 한계 라인에 따른 정량화된 지수를 개발하여 급속충전 알고리즘의 안전한 정도와 효율성을 판단하였다. 또한 개발한 급속충전 알고리즘이 리튬이온전지의 전기적 거동과 열적 거동에 미치는 영향을 모델링 하였다. 모델링 결과는 실험 결과와 비교하여 모델의 타당성을 검증하였다.

친환경자동차 보급 활성화를 위한 LNG 자동차 충전의 안전기준 분석
An Analysis on Safety Standards for LNG Automobile Refueling to
Promote the Supply of Eco-friendly Automobile

백지효 · 유철희 · 유근준
한국가스안전공사 가스안전연구원

친환경 정책 추진에 따라 LNG 자동차 보급이 확대될 전망이다. LNG 자동차는 경유 차량 대비 청정성 및 안전성 측면에서 장점을 가지고, LNG 자동차 보급 확대에 따라 미세먼지 감축 및 배출가스 규제 등 환경 개선 효과를 기대할 수 있다.

국내 LNG 자동차 충전사업은 도시가스사업법 시행규칙 제2조제3항제4호에 따라 고정식 LNG 충전사업 기준만을 규정하고 있다. 하지만 LNG 자동차 충전소는 수요가 저조한 초기 시장에 고액의 충전소 설치에 대한 부담과 LNG를 장시간 저장 시 BOG(Boil Off Gas) 발생으로 충전소 운영의 어려움이 있다. 따라서 LNG 자동차 충전 인프라 확장을 위한 소규모 LNG 자동차 충전소 보급 활성화가 필요하다. 현재 이동식 LNG 충전사업은 항만 내 야드 트랙터에 자동차에 고정된 탱크를 통한 액화도시가스 충전이 가능하도록 이동식 액화도시가스 야드 트랙터 충전사업이 추가되었고('20. 8. 개정), 특례를 통한 이동식 LNG 자동차 충전소 실증 사업이 추진 중이다. 이러한 소규모 LNG 자동차 충전소를 통해 LNG 수요량 및 보급 시기에 따른 시장 대응이 가능할 것으로 보인다.

본 연구에서는 국내·외 LNG 자동차 충전소에 대한 기준을 비교·분석하고, LNG 자동차 보급 활성화를 위한 소규모 LNG 자동차 충전시설의 도입 필요성을 검토하고자 한다.

육상에서 선박으로의 LPG 연료 공급 도입 방안 연구

A Study on the Introduction of LPG Fuel Supply form Land to Ship

김소현 · 최슬기 · 유철희

한국가스안전공사 가스안전연구원

국내에 운항 등록된 선박은 '20년 기준 10,038척으로 이 중 약 3.4%의 선박에 친환경기술을 적용하고 있으며 대부분 디젤엔진을 장착한 선박이다. 디젤기관의 배기가스에 포함된 오염물질(디젤 분진, 질소산화물, 황산화물 등)로 인한 대기오염은 심각한 수준으로 이에 대한 해결 방안으로 조선·해운산업의 발전과 깨끗한 해양환경 조성을 위하여 「환경친화적 선박의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률(이하 친환경선박법)이 시행에 따라 국내 선박에서 배출되는 유해가스의 저감이 요구된다. 또한, 국제해사기구의(IMO, International Maritime Organization) 규정에 따르면 2020년부터 국제 항해에 종사하는 모든 선박에 대하여 전 해역에서 황 함유량이 0.5% 이하인 연료유의 사용을 의무화하고 있어 LNG, CNG, LPG 등 친환경 연료를 사용하는 선박기술의 개발 및 보급 확산을 위한 연구 등이 활발하게 수행되고 있다. 유럽연합의 발표에 따르면 2025년 내 추진 선박 에너지원의 약 25%가 기존 디젤유에서 가스 및 전기 등으로 대체될 것으로 예상된다.

친환경선박 연료로 LNG, CNG, LPG 등이 활용 가능하며 LNG의 경우 극저온 냉각·액화가 필요하나, LPG는 상온에서 액화가 가능하므로 저장과 운송이 편리하고 대규모 병커링 시설이 필요하지 않아 기타 가스연료에 비해 경제성이 높다. LPG 선박은 연료공급시스템이 비교적 단순한 구조로 구성되어 있어 LNG 선박 구축비용의 약 30%의 비용이 소요된다. LPG 선박의 연료 공급은 기존 LPG 육상 운송에 사용되고 있는 탱크로리를 활용하는 방법이 있으나, 현재 액화석유가스안전관리법 및 사업법에 따르면 선박으로의 LPG 충전이 법에서 규정하고 있는 사업 허가 대상에 포함되지 않아 향후 제도 마련이 필요하다.

본 연구에서는 LNG, CNG, 수소, 메탄올 등 친환경선박의 비교 및 국내외 LPG 선박 인프라 구축 현황 등을 분석하였으며, 향후 육상으로부터 해상 선박에 LPG 연료 공급의 제도화를 위한 기초자료로 활용할 계획이다.

LNG 인수기지 내 충전시설 안전관리 현황 검토

The Review of Safety Management Status of Facility for Filling of Cylinders and Tanks Fixed on Vehicles in LNG Terminal

최영주 · 유철희 · 유근준

한국가스안전공사 가스안전연구원

액화천연가스(LNG, Liquefied Natural Gas)는 메탄을 주성분으로 하는 천연가스를 가스전에서 채취 후 -162°C 이하로 액화시킨 것으로 운송방법으로는 배관과 선박으로 운송하며, 국내의 경우, 육상으로의 수송이 어려워 LNG 운반선을 통하여 받은 LNG는 항만 또는 해안 근처 육상구역에 건설된 LNG 인수기지 또는 터미널에 저장하여, 배관 등의 방법으로 전국에 천연가스를 공급하고 있다.

국내 천연가스 공급 및 저장을 위한 LNG 인수기지는 평택, 통영, 제주 등에서 도시가스사업법상 도매사업자인 한국가스공사가 운영하고 있으며, 기화된 천연가스를 압축한 천연가스를 압축시킨 압축천연가스(CNG, Compressed Natural Gas)를 배관망을 통하여 전국에 도시가스를 공급하고 있다. 또한 배관을 통해 천연가스 공급이 어려운 경우에는 차량에 고정된 탱크를 통하여 LNG를 수송하고 있으며, LNG 인수기지 내 충전시설을 구축하여 탱크로리에 충전하여 수요가 필요한 곳에 공급하고 있다.

국내에서 도시가스 충전 사업을 하기 위해서는 허가된 지역에서만 충전을 하여야 하며, 국내 LNG 자동차 충전사업은 도시가스사업법 및 KGS FP654를 통하여 안전기준을 운영 중이다. 하지만 자동차 충전시설에 대한 기준이 있으나 인수기지 내 차량에 고정된 탱크 및 초저온용기에 충전하는 기준은 부재한 상황으로 현재는 한국가스공사 자체 기준 및 매뉴얼을 통하여 충전 작업을 하고 있어, 관련 시설·기술 기준 마련을 통한 안전관리 강화가 필요하다.

본 연구에서는 LNG 인수기지 별 충전 시설 현황 파악 및 안전관리 현황 검토를 통하여 LNG 인수기지 내 충전시설의 잠재적 위험요소 제거 및 사고 우려 요인 감소에 기여하고자 한다.

리튬이차전지 음극 활물질 종류(Graphite, Si, Graphene, CNT 등)에 따른 기술 개발 트렌드

이명례, 박현기

솔머티리얼즈 연구개발팀

환경문제에 대한 인식이 높아지면서 고용량 전기 자동차 생산에 대한 기업들과 소비자의 요구가 앞으로 더 증가할 것으로 예상된다. 이러한 고용량 리튬이차전지 개발을 위해서는 리튬이차전지에 사용 가능한 음극 활물질들의 특성을 먼저 파악해야 한다. 고용량 리튬이차전지를 요구하는 시대에 흑연의 용량(372 mAh/g)은 부족한 현실이며, 이를 해결하고자 실리콘을 활물질로 도입하는 방안이 꾸준히 제시되어 왔다. 실리콘의 경우 4000 mAh/g의 고용량이지만 충방전 시 부피팽창이 300%에 달하는 안정성 문제로 상용화에 걸림돌이 되고 있다. 부피팽창과 용량 문제를 해결하기 위해 실리콘-CNT 등 복합물 제작을 통해 해결점을 제시하고 전기화학적 특성을 파악하였다. 또한, SEM 분석을 통해 전극의 재료 분산도를 파악하고 Raman 분석으로 복합물의 완성도를 파악하였다. 충방전 사이클링 테스트를 통해 내구성과 효율을 파악하였고 전류 속도 변화를 통해 변화하는 환경에 따른 성능도 파악하였다.

물 전기분해 기체 라디칼 반응의 엔진 연소 응용

Application of engine combustion in radical reaction of water electrolysis gas

신미수 · 장동순 · 김용주* · 김희용**

충남대학교 환경공학과, *(주)동서컨설팅 ** (주)헤즈 홀딩스

화석연료를 이용한 고효율 청정연소나 동력 발생 장치의 개발은 전기차나 수소차 시대 도래에도 여전히 해결하여야 할 중요한 사안 중의 하나이다. 보통 고효율 청정연소는 희박 연소를 전제로 한다. 그 이유는 공기 과잉의 상태에서의 난류혼합강도 증가와 화염온도 하강에 의한 결과에 기인한다. 그러나 등가비가 1.7~1.8 이상으로 증가할 경우 화염 불안정에 의한 misfire가 문헌에 보고되고 있다. 이것은 우수한 자동차 회사에서 꿈의 엔진이라고 불리던 가솔린과 디젤엔진의 장점을 결합한 HCCI(Homogeneous Charging Compressed Ignition)엔진이 3000~3500 rpm 이상에서 그 고효율 기능을 상실하는 것과 같다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 “Modified HCCI” 엔진 연구에서 Bahng 등(2016, Applied Thermal Eng.)은 가솔린과 같은 화석 연료량을 50% 이상 감소하고 그 감소한 화석연료 발열량의 5% 정도에 해당하는 물 전기분해가스(HHO, $H_2+1/2O_2$)를 첨가하여 성공적으로 HCCI의 문제점을 해결하는 결과를 얻었다. 이 경우 수소와 산소 당량비 혼합 연료의 빠른 반응 속도에 의해 다양한 발동기에서 50% 이상의 높은 효율상승이 가능하다는 것이 보고되었다. 그러나 화석연료 열량의 5~10%에 해당하는 다량의 HHO가 부식성이 강한 물 전기분해장치에서 만들어져야 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 실질적인 양의 HHO 대신에 아주 소량의 HHO가 엔진의 화염속에서 고속 연쇄반응을 촉진시키는 H^+ 와 OH^- 와 같은 라디칼 공급원의 역할을 하는 메커니즘을 창안하였다. 이러한 목적을 확인하고 달성하기 위해 본 연구는 ㈜헤즈 홀딩스에서 개발한 소형의 고분해 전해질막(polymer Electrolyte Membrane)이용한 물전기분해장치(하이오)를 이용하였다. 이 때 사용된 HHO의 양은 극소량으로 연료 몰수 기준으로 약 1% 정도이고 공기중 농도는 약 0.01~0.1%에 해당한다. 이러한 HHO를 연료와의 라디칼 생성과정에서 interference를 피하고 효과적으로 엔진에서 역할을 유도하기 위해 에어 필터를 통한 공기와 혼합하여 엔진에 주입하였다. 그 결과 건설현장의 중장비와 자동차 등 지난 3년간 150대 이상의 수많은 사례에서 보통 연비가 30%정도 상승하는 결과를 얻었다. 일부 결과를 표 1에 나타내었다. 본 연구는 비록 Bhang(2016)의 결과에 비해 효율은 다소 떨어지는 것으로 보이나 그 방법과는 다른 기전으로 매우 소량의 HHO를 사용한다는 점에서 그 실용성 및 활용 분야가 매우 넓다고 판단된다.

표 1. 하이오 장치 장착 후의 연비 비교

차종(년식)/연료	공식 연비(km/L)	장치 장착후 연비(km/L)
울뉴카니발(2019)/디젤	11.3~11.4	16.9
산타페(2010)/디젤	13.2	16.4
그랜저 TG(2008)/가솔린	9.7	13.2
르노마스터(2020)/디젤	10.9~11.1	15.0
SM7(2010)/가솔린	9.0	11.4

다중필터를 활용한 원전 경보최소화 방법 고찰

Nuclear power plant alarm minimization method using multiple filters and centralized integrated monitoring

김우정* Woo-Jung Kim

*한국수력원자력 KHNP (Korea Hydro & Nuclear Power Co.)

초록 : 복수의 발전소 개별 감시시스템 및 조기경보시스템은 예측모델 및 알람설정 데이터를 기반으로 운전 상태에 대해 감시 데이터를 생성 수집하고, 네트워크 중계 장치를 통해 실시간으로 원격 감시지로 데이터를 전송한다.

개별 감시시스템은 복수의 발전소에서 발생하는 알람을 개별 감시모니터에서 각각 시각, 청각을 통한 경보를 발생시켜 원격감시지에 다수의 경보를 발생하나, 전담인원의 제한된 자원과 감시집중도 문제 등으로 효율적이고 정확한 복수호기 감시를 위해 다중경보필터를 이용한 경보최소화와 중앙집중식 경보통합 방법 및 인간공학적 측면에서의 통합감시시스템 필요하다.

복수 발전소 감시시스템별 데이터는 개별 시스템에서 구동되며, 각 시스템에서 생성되는 감시데이터는 원격감시지로 전송 감시됨. 개별로 운영되는 감시모니터의 개별 경보 신호들을 통합경보 가시화시스템으로 집중시키고 각 시스템에서 발생하는 알람을 다중필터기능을 이용 주요 경보만을 감시자에게 전달하고, O/H등 발전소 상황에 맞추어 감시여부를 자동판단, 시스템 알람 발생 시 특화된 가시화 시스템을 이용하여 중앙집중식 감시가 가능하다.

개별경보 및 자체발생 경보들은 그룹화된 시스템 항목에 따라 개별필터의 설정을 통해 여과된 최종 알람 정보를 가시화 시스템에 표현 하고 구현된 가시화 시스템에 경보신호를 감시할 수 있도록 표현한다.

다중필터기능 및 중앙집중식 가시화시스템을 활용 불필요한 경보 최소화로 감시 집중도 향상 및 가시화를 통한 감시 최적화로 발전소 안전성 강화에 이바지 할 것이다.

원전 노형별 제어봉편차 통합감시시스템 개발 Development of Rod Deviation Monitoring System

김우정* Woo-Jung Kim

*한국수력원자력 KHNP (Korea Hydro & Nuclear Power Co.)

초록 : 원전의 제어봉 시험 중 제어봉 오정렬에 의한 원자로 자동정지, 원자로 수동 정지 등 제어봉편차 감시부재로 반응도 제어감시 문제가 지속적으로 발생하여 각 노형 및 호기별 제어봉 감시기능 강화의 필요성이 대두되고 있다.

표준형(OPR), APR1400 원전의 운전제한조건 16.8Cm(6.6 inch), W/H 원전 (12Step)등 노형별 각각의 운전제한조건과 MCR의 경보 설정치 이전에 실시간으로 제어봉 그룹내 편차, 그룹간 편차, 제어봉집합체연산기(CEAC) 편차를 감시하고, 원격지에서 각 노형별 제어봉 상태를 확인 할 수 있는 통합감시시스템 필요하다.

노형별 원자로의 제어봉의 실시간 데이터를 수신하여 제어봉그룹별로 그룹핑후 각 그룹내편차, 그룹간 편차, OPR, APR의 경우 CEAC 채널간 편차를 실시간으로 감시 하여 운영제한치 및 MCR 알람 이전에 알람을 발생시키고 실시간 최대편차를 나타내는 제어봉 그룹의 상태를 확인 할 수 있다.

각 노형별, 호기별 최대편차를 나타내는 그룹간, 그룹별 실시간 계산 데이터를 한눈에 볼 수 있으며 제어봉 알람 경보 내역 그리고, 각 노형별 제어봉 모델도 확인이 가능할수 있도록 구성하여, 다수 호기의 통합감시가 가능하며, 시험 및 기동 시 발생하는 제어봉관련 데이터 추이를 실시간으로 확인하고 편차를 계산하여 제공, 현재의 작동 상태를 신속하게 파악하고 문제를 사전에 예방할 수 있어 발전소 안전성 강화에 기여할수 있다.

원자력발전소 저출력 과도상태 감시 프로그램 개발
Development of low power transient monitoring program for
Nuclear Power Plant

김우정* Woo-Jung Kim

*한국수력원자력 KHNP (Korea Hydro & Nuclear Power Co.)

초록 : 한국수력원자력 원전종합상황실에서는 AAKR(Auto-Associative Kernel Regression) 알고리즘 기반의 조기경보시스템(Early warning system)을 활용하여 전 원전의 안전상태를 감시하고 있다. 조기경보 기술은 빅데이터와 인공지능의 융합으로 발전소 설비에서 운전 중 발생하는 정상운전 신호 데이터와 사전에 학습된 데이터를 비교분석하여 패턴이 벗어나면 경보가 발생하는 원리로서 설정치 기반의 주제어실(MCR : Main ControlRoom)보다 경보시점이 빨라 사전조치를 취할 수 있는 시간확보가 가능하다. 조기경보의 기본 알고리즘은 패턴학습 기반으로 현장에서 운전중인 발전소 설비(터빈, 펌프, 밸브 등)에 부착된 계측기로부터 취득된 수천 개의 감시변수(온도, 압력, 유량 등)를 대상으로 정상운전상태 신호를 사전 학습과정을 통해 정상운전상태 패턴모델을 만든 후 패턴모델을 통해 생성되는 예측값과 실제 운전중인 설비에서 실시간으로 측정되는 감시변수들의 현재값과 비교하여 두 값의 잔차(residual) 크기에 따라 경보가 발생하는 원리이다. 설비의 이상징후 식별판단에 필요한 패턴 도출을 위해 데이터 기반의 비선형(Non-linear), 비모수((Non-parametricRegression) 커널 회귀분석인 AAKR(Auto-AssociativeKernel Regression)을 적용하였다. 이런 조기경보 기술은 발전소 전출력(100%) 상태의 감시변수들의 값을 활용하여 학습된 데이터를 기반으로, 전출력이 아닌 출력상승구간 및 출력강하 구간에서의 감시는 현실적으로 어려운면이 있어 이에 대한 해결방안이 필요하다.

이를 위해 원전의 출력상승 또는 하강구간에 사용가능한 최적의 감시 모델을 선정하기 위한 해석을 수행하였다. 각 변수에 따른 감시 가능성을 확인하기 위해 여러 가지 알고리즘을 토대로 최적의 감시 모델을 선정하였다.

참고문헌

(1) KHNP, 2019, Byoung-Oh Lee, Dae-Woong Kim and Ji Ho Min , Development and Operation of Online Integrated Monitoring and Early Warning System for NPPs using Big-Data based AI Technology

실시간 데이터를 활용한 원전 상태감시 방안에 대한 고찰
An Investigation from the Nuclear Power Plant Condition Monitoring Plan
Using Real-Time Data

김우정* Woo-Jung Kim

*한국수력원자력 KHNP (Korea Hydro & Nuclear Power Co.)

Abstract: Numerous facilities operating in nuclear power plants provide real-time data of tens of thousands of real-time data (temperature, pressure, flow, open/close, operation, stop) acquired from attached measuring instruments to users through each system PLC(Programmable Logic Controller), DCS(Distributed Control System), PCS(Process Control System), PI(Plant Information).

A vast amount of real-time data is being used for simple data acquisition and status monitoring for research and analysis, and data is provided and stored to each user through a closed network. Using this data, several monitoring systems have been produced to remotely monitor the entire nuclear power plant, and the current program is being used.

초록 : 원자력발전소에서 운전중인 수많은 설비들은 부착된 계측기로부터 취득된 수만 개의 실시간데이터(온도, 압력, 유량, 개폐, 기동, 정지 등)를 각각의 시스템 PLC(Programmable Logic Controller), DCS(Distributed Control System), PCS(Process Control System), PI (Plant Information)등을 통해 실시간데이터를 사용자에게 제공하고 있다.

방대한 양의 실시간 데이터들은 연구 및 분석을 위한 단순 데이터 취득 및 원전별 상태감시에 활용되고 있으며, 원전 폐쇄망을 통하여 각 사용자들에게 데이터를 제공 하고, 저장되고 있다. 이러한 데이터를 활용하여 전 원전을 원격감시하기 위해 여러 감시시스템이 제작되었으며, 현재 한수원 원전종합상황실 등에서 실시간 PI 데이터를 활용한 감시 프로그램들을 활용하고 있다.

개선된 NDE 기술(TFM 및 FMC) 연구개발에 대한 고찰
A Study on the Management Method of Advanced Ultrasonic Methods
TFM(Total Focusing Method) and FMC(Full Matrix Capture)

문균영 · 이태훈 · 김왕배

한국수력원자력(주) 중앙연구원 기계연구소

1. 개요

- NDE 혁신기술을 여러 분야에 적용하기 위한 다양한 연구 및 활동이 비파괴장비 제조 업체 및 EPRI(미) 등을 통하여 수행 중이다. 국외 연구동향에서는 개선된 NDE 기술을 통해 좀 더 정확한 결함 부위 확인 및 분석 시간을 단축 할 수 있는 방법들을 제시하고 있다.

2. FMC(Full Matrix Capture) 기법

- FMC는 위상배열 탐촉자에서 가능한 모든 송수신 조합의 A-scan 데이터 전체를 수집하는 신호수집 방법이며, FMC 데이터의 후처리를 통해 기존 위상배열 초음파와 동등한 이미지뿐만 아니라 기존 위상배열 초음파에서 구현하지 못하는 다양한 이미지 합성이 가능하다.
- FMC 기법으로 수집된 신호는 가공되지 않은, 다양한 정보를 가진 데이터이기 때문에 후처리를 통해 다양한 초음파 영상으로 합성할 수 있다.
- 기존 위상배열초음파와 동등한 성능으로 조향 및 집속된 초음파 영상을 합성 할 수 있을 뿐만 아니라 가상적으로 관심영역 모든 지점에 초음파를 집속시킨 영상인 TFM(Total Focusing Method) 이미지 합성으로 선명도, 분해능, 신호 대 잡음 비율(S/N) 등의 개선이 가능하다.

3. 개선된 NDE 기법 주요내용

- PAUT 기술은 한 번에 다양한 굴절 각도로 검사할 수 있으므로 검사 속도를 향상할 수 있고, 형상이나 용접부로 인해 검사영역에 제한된 대상에 대해서도 탐촉자의 이동을 최소화하여 적용할 수 있다. 또한 감도 및 S/N비가 우수하고, 결과를 이미지와 같은 직관적인 정보로 제공하기 때문에 신호 분석과 결함 판정에 유리하며 검사의 신뢰도를 향상할 수 있다.
- FMC/TFM 알고리즘 기술을 사용하여 후처리를 통해 불규칙한 표면 검사에서 시험체 내에 일정한 초음파 빔 생성을 가상한 초음파이미지를 합성할 수 있도록 하였다. 이 결과는 기존 UT와 PAUT 검사기법에서 얻지 못한 검사 신뢰도를 향상할 수 있는 연구라고 판단된다.
- 기존 초음파검사 및 위상배열 초음파검사를 대체하여 불규칙한 용접표면에 대하여 초음파검사를 효과적으로 현장 적용 및 검사 신뢰도 향상을 위해서는 향후 FMC/TFM을 응용한 ATFM 알고리즘 기술 개발이 필요하다.

4. 적용현황 및 활용방안

- 주요 내용은 이러한 향상된 NDE 기술을 통하여 좀 더 정확한 결함 부위 확인 및 분석 시간을 단축 할 수 있는 분석방법들을 제시하고 있으므로, 향후 해당 기술에 대한 연구개발 동향 및 원전적용 현황 파악을 통해 국내적용 타당성 검토가 필요하다.

원자로냉각재 아연 주입량에 따른 계통선량 저감효과 평가

최진수, 이경희, 조용상, 권혁철, 김초롱, 송규민

한국수력원자력 중앙연구원 (jinsoochoi@khnp.co.kr)

원전의 가동 년 수 증가에 따라 계통내 방사성물질의 축적으로 운전원의 방사선 피폭량이 증가하게 되어 방사선량 저감 필요성이 대두되었다. 원자로냉각재계통(RCS)의 아연주입은 1차계통의 선량 저감 및 부식 지연을 목적으로 발전소 운전 중 아연을 주입하는 기술로써, 해외 경수로 원전의 약 30 %에 해당하는 90기 원전에서 적용되고 있다.

아연은 1차계통 부식산화막에 존재하는 방사성 부식생성물(Ni, Fe, Co 등) 보다 높은 치환에너지를 가지고 있어 산화막에서 방사성 부식생성물을 방출시키고 치환하여 안정한 산화막으로 개질하는 특성이 있다. 이러한 효과를 위해 선량저감을 목적으로 하는 경우에는 5~10 ppb의 농도로, 부식저감을 목적으로 하는 경우에는 15~40 ppb의 농도로 아연주입을 운전하고 있다.

국내의 경우 선량저감을 목적으로 5 ppb 농도로 원자로냉각재에 아연 수용액을 주입하고 있으며 현재 7개 호기의 원전에서 아연주입을 시행하고 있다. 아연주입의 선량을 저감평가를 위해서 미국 EPRI Standard Radiation Management Program을 검토하여 아연주입 원전 대상으로 아연주입 전/후에 동일 지점 및 시점에 계통 표면 선량률을 측정하였다. 원자로계통 배관 표면에서의 선량률은 현장에서 활용하고 있는 Teletector (6112MH)를 이용하여 선량측정을 수행하였다. 아연주입량은 0.9 ~ 13.4 kg 으로 발전소별로 주입기간에 따라 주입량에 차이가 있었으며, 계통 선량저감효과는 5 % ~ 67%로 평가 되었다. 평가 결과 아연주입 기간 및 주입량(ppb*days)에 따라서 선량저감 효과가 더 높은 것으로 분석되었으며, 아연 노출량(주입 기간 및 주입량)에 따라서 계통선량이 지속 저감될 것으로 평가되었다. 본 연구 결과는 후속 국내 원전 원자로냉각재 아연주입 기술적용에 활용 될 예정이다.

Keywords : 원자로냉각재, 아연주입, 계통선량률

Numerical Study on Core Makeup Tank Volume for Integral Reactor

신수재 · 유승엽 · 김유나 · 김영인

한국원자력연구원 혁신원자력시스템연구소

후쿠시마 사고 이후로 전기가 없어도 사고완화가 가능한 완전피동개념에 필요성이 요구되어 이에 대한 후속 연구가 진행 중이다. SMART와 같은 일체형 원자로에서는 완전피동개념을 위해 능동계통인 안전주입펌프를 대신하여 피동안전계통인 노심보충탱크, 안전주입탱크, 자동감압계통, 피동잔열제거계통을 설치하여 사고시 교류 전원이 없어도 72시간 동안 원자로를 안전한 상태로 유지할 수 있다. 이 중 노심보충탱크는 정상운전시 차가운 고농축의 붕산수로 채워져 있으며, 주로 비냉각재상실사고시 일체형 원자로냉각재계통의 체적 수축량을 보상해주며, 냉각재상실사고시 초기 노심수위 유지에 중요한 역할을 한다. 또한 위 사고시 고농축의 붕산수를 원자로냉각재계통에 제공하여 반응도를 조절하는 역할을 한다.

대표적인 비냉각재상실사고에는 증기관 파단사고, 급수계통고장, 원자로냉각재 유량 완전상실 등이 있다. 이 경우 원자로냉각재계통의 냉각재 누출은 없으며 피동잔열제거계통의 작동에 따라 일체형원자로의 압력 및 온도가 감소하게 된다. 일체형원자로의 감압 및 감온에 따른 냉각재 체적 수축이 일어나므로 노심보충탱크는 일체형 원자로에 냉각수를 주입하여 이 수축량을 보충해 주어야 한다. 또한 비냉각재상실사고시 노심보충탱크 수위와 연계된 자동감압계통의 작동을 방지하도록 노심보충탱크와 일체형원자로의 평형 수위가 자동감압계통 설정수위보다 높게 유지되도록 노심보충탱크의 용량을 산정해야 한다.

비냉각재상실사고시 사고 유형에 따라 가압기 고압력 또는 저압력 정지신호에 따라 원자로가 정지하게 된다. 이어서 피동잔열제거계통이 작동하게 되어 원자로냉각재계통의 감압 및 감온이 이루어지고, 노심보충탱크 작동신호에 따라 노심보충탱크 주입배관에 설치된 격리밸브가 개방되어 노심보충탱크 내 냉각수가 원자로냉각재계통으로 주입된다. 이 경우 노심보충탱크의 주입은 가압기 수위와 평형을 이루는 점에서 중단된다. 그러므로 노심보충탱크의 설치 위치 및 체적량에 따라 노심보충탱크의 주입량이 결정된다. 비냉각재상실사고시 노심보충탱크가 주입되더라도 노심보충탱크 수위가 자동감압계통이 작동되는 작동 수위 이상으로 유지하고, 노심보충탱크 단일고장을 가정하더라도 적절하게 원자로냉각재계통의 수축 체적량을 복구해야 한다.

이를 위해 노심보충탱크의 체적과 작동 계열수를 바꾸어 가며 비냉각재상실사고시 원자로냉각재계통과 노심보충탱크의 평형 수위를 수치적으로 민감도 분석을 수행하였다. 또한 노심보충탱크 냉각수 온도와 노심보충탱크 계열 수에 따른 노심보충탱크 평형 수위 변화를 민감도 분석을 하였다.

최적화된 노심보충탱크의 체적량은 비냉각재상실사고 시 자동감압계통의 작동 없이 원자로냉각재계통의 체적 수축량을 복구할 수 있는 노심보충탱크의 최소 체적이며 여러 민감도 분석을 통하여 결정할 수 있었다.

대형원전 일체형원자로상부구조물(IHA) 분해 및 조립 절차 연구 Study of large NPP IHA disassembly & assembly procedure

한성흠, 이도환

한국수력원자력(주) 중앙연구원

대형원전(APR+) 일체형원자로상부구조물(Integrated Head Assembly, IHA)는 해당 노형에 적합하도록 개발되었으나, IHA 중량의 증가로 지진하중이 증가하였고, 제어봉구동장치(Control Element Drive Mechanism, CEDM) 용접부 검사의 편리를 위한 IHA 설계개선 필요성이 제기되어 내진성능 향상 등을 위한 IHA 설계최적화 연구를 2016년 6월부터 3여년에 걸쳐 수행한 바 있다. 본 논문은 IHA 설계최적화 연구내용중 대형원전 IHA 설치, 분해 및 조립 절차의 영향성 검토 수행 내용에 대하여 소개하고자 한다.

본 연구에서는 IHA 설치 절차 검토시 가동원전 IHA에서 수행되었던 설치 절차를 기본으로 하고 설계최적화에 따른 IHA 변경 사항을 적용하여 IHA 설치 절차를 검토하였다. IHA 분해/조립 절차 역시 상용원전 IHA에서 수립된 분해/조립 절차를 기본으로 하고 설계최적화에 따른 IHA 변경 사항을 적용해 IHA 분해/조립 절차를 검토 및 수립하였다.

IHA는 각 집합체 별로 조립된 후 납품되고 현장에서 IHA 조립은 각 집합체간 조립이 주된 절차이다. 설계최적화 IHA의 설계개선 사항에 따른 IHA 집합체간 조립의 어려움은 없으며, IHA 설치 절차에도 별다른 영향이 없는 것으로 검토되었다. IHA 설치 절차 수립 결과 IHA의 현장 설치시 문제가 없음으로 확인하였다.

본 연구는 CEDM의 가동중 검사를 대비하여 IHA 분해 및 조립시간을 단축하고 CEDM 용접부 접근성을 향상시키도록 수행되었다. 설계최적화에 따라 CEDM 용접부와 CEDM플레넘판 및 IHA 구조물에 의한 간섭이 감소하였고 이를 통해 용접부 접근성이 크게 향상되었다. 가동중 검사에 따른 IHA 분해시 하부냉각슈라우드집합체의 분해가 불필요해져 IHA의 분해/조립 절차가 단순화되었으며 IHA 분해/조립 시 별다른 문제가 없음을 확인하였다.

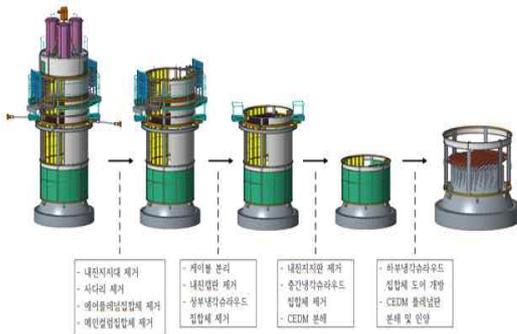


그림 1 IHA 분해 절차

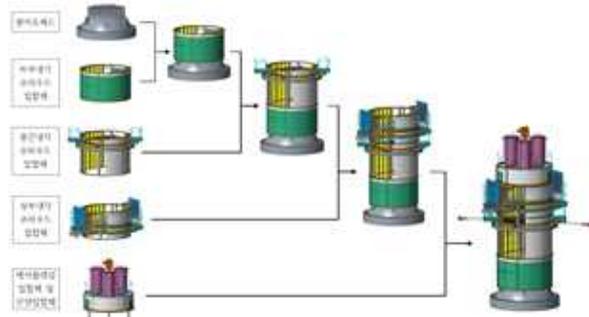


그림 2 IHA 조립 절차

UV/H₂O₂ 공정을 사용하여 시트르산 농도에 따른 분해평가 Decomposition evaluation according to citric acid concentration by UV/H₂O₂

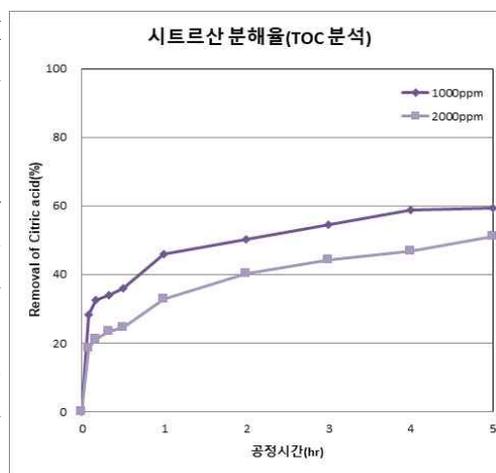
김초룡 · 김정주 · 최진수 · 김학수

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력발전소에서는 장기간 운전을 통해 배관, 펌프, 열교환기 등 각종 설비의 내부표면에 방사성 오염물질이 쌓이게 되며, 이는 작업자의 피폭을 초래하게 된다. 이를 방지하기 위해 옥살산, 시트르산 등과 같은 다양한 종류의 유기산을 사용하여 방사성 오염물질을 제거하기 위한 화학제염이 수행된다. 주입된 유기산은 Fe 이온과 결합하여 착화합물 형태로 계통수 내에 존재하게 되며, 착화합물과 잔류 유기산을 제거하기 위해 산화제(크롬산, 과망간산칼륨 등)를 이용하는 방법, 이온교환수지(이온교환법)를 이용하는 방법 등 다양한 방법이 사용된다. 하지만 이러한 방법은 최종 처리액 내 금속이온이 잔류하거나, 처리약품이 과다하게 사용되어 과량의 폐기물을 발생시키는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 수처리분야에서는 AOP(Advanced Oxidation Process) 공정을 주로 사용하는데 이 공정은 O₃, UV, H₂O₂와 같은 산화제를 조합하여 OH 라디칼의 생성을 촉진시켜 유기산을 분해하는 것이다. UV/H₂O₂ 공정은 UV를 이용하여 H₂O₂를 광분해하고 여기서 생성된 OH 라디칼로 유기물을 분해시키는 방법으로 AOP 공정 중 가장 많이 사용되고 있다.

본 연구에서는 UV/H₂O₂ 공정을 적용하여 시트르산 농도에 따른 분해 정도를 평가하였다. 시트르산의 분해 효과를 높이기 위해 촉매제로 철염을 첨가하였다. 실험 장치는 UV 반응조 (254 nm UVC 사용), 혼합탱크, 순환펌프, 정량펌프로 구성하였으며, 시트르산 농도는 탄소강 화학제염 실험결과를 바탕으로 5.20 mM, 10.41 mM로 하여 수행하였다. 철의 농도는 2 mM로 고정하였고, 과산화수소의 농도는 시트르산의 농도와 동일농도로 하였고, 유량은 5 LPM으로 하여 5시간동안 수행하였다.

시트르산 농도에 따른 분해율 평가결과, 10.41 mM 시트르산의 경우 1시간 경과 후 제거율이 32%로 나타났으며, 5시간 경과 후에는 51%의 시트르산이 제거됨을 확인할 수 있었다. 5.20 mM 시트르산의 경우 1시간 경과 후 46%, 5시간 경과 후에는 60%가 제거되는 것으로 나타났다. 이를 통해 시트르산은 농도가 증가함에 따라 분해효율이 낮아지는 것을 확인할 수 있었으며, 옥살산 분해결과(3시간 경과 시 95% 이상 분해)와 비교하였을 때, 시트르산은 UV/H₂O₂ 공정에서도 90% 이상 분해되지 않음을 확인할 수 있었다.



중수로 해체원전 계통제염 범위 평가

Evaluation of System Decontamination Range of the Decommissioned PHWR

김초룡* · 김정주* · 김학수* · 박병호**

*한국수력원자력(주) 중앙연구원, **한국전력기술(주)

해체원전의 계통제염은 원전의 소 생애주기 동안 오염원을 품고 있는 원자로냉각재와 직간접적으로 접촉하고 있는 계통이나 기기 등의 내부표면에 고착되어 있는 방사성오염물질을 화학약품을 이용하여 제거함으로써 해체작업자 방사선피폭 저감, 방사성폐기물 저감, 오염확산 방지를 위해 수행된다. 계통제염을 실시하기 위해서 최우선적으로 계통제염 범위를 선정해야 한다. 중수로 해체원전의 계통제염 범위 선정에 위해서는 정상 출력운전 중에 핵분열생성물 및 방사성 부식생성물을 포함하거나 포함될 가능성이 있는 계통 분류가 선행되어야 한다. 그러나 이렇게 분류된 모든 계통이 반드시 계통제염 범위에 포함되는 것은 아니며, 방사선원에 따른 오염, 계통 재질 특성, 화학제어 및 운전 특성 등을 평가하여 계통제염 범위를 선정해야 한다.

방사선원향에 영향을 받는 계통은 냉각재계통 및 그의 보조계통, 감속재계통 및 그의 보조계통, 연료교환계통, 사용후핵연료 저장조, 액체영역제어계통, 환형기체계통, 차폐냉각계통, 중수세정 및 공급계통, 액체폐기물관리계통, 폐수지처리계통, 원자로건물 중수 증기회수계통이다. 각 계통별 정화계통에서 폐수지의 방사성물질 핵종분석 결과를 통해 냉각재계통 및 액체방사성폐기물관리계통이 방사능준위가 가장 높은 계통으로 평가되었으나, 액체방사성폐기물관리계통은 1차 계통 제염과는 직접적인 관련이 없는 계통으로 제염 범위에서 제외하였다. 중수로 주요계통의 운전조건 및 재질 특성을 조사한 결과, 중수로 원전의 1차계통은 경수로

원전과 비교할 때 낮은 운전압력 및 온도로 운전되며, 특히 감속재계통의 경우 낮은 온도(69°C) 및 낮은 압력(대기압)으로 운전되고 있는 것으로 파악되었다. 냉각재계통의 주요 재질은 탄소강이며 탄소강은 다른 재질에 비해 부식률 및 방출률이 2~10배 정도 높은 것으로 나타났으며, 특히 출구자관의 감육으로 인해 입구자관과 증기발생기 전열관에 자철광 형태의 방사성 물질이 많이 침적되어 방사능준위를 높이는 것으로 평가되었다. 감속재계통의 주요 재질은 스테인리스강으로 경수로 원전의 1차 계통 주요 구성 재질과 동일하며 낮은온도 및 압력으로 운전되고 있어 오염정도는 냉각재계통에 비해 낮을 것으로 판단된다.

이와 같은 평가 및 조사 결과를 바탕으로 중수로 해체원전 계통제염 범위는 일부 보조계통을 포함한 냉각재계통(그림 1 참조), 정지냉각계통 및 감속재계통(감속재 정화계통 포함)으로 선정하였다.

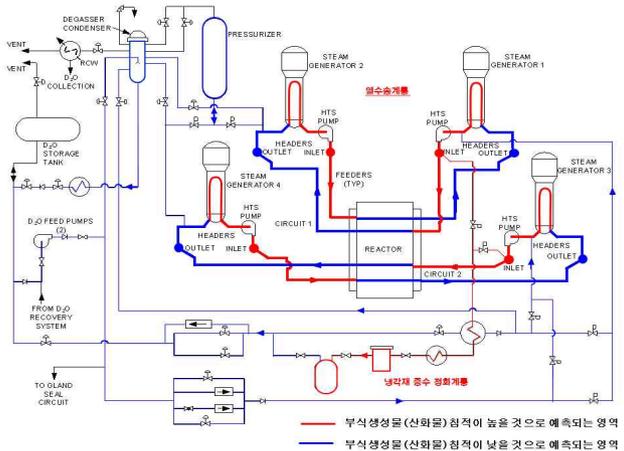


그림 8. 중수로 냉각재계통 및 보조계통

연구용 원자로에서 흑연 외부반사체의 최대온도 평가

Evaluation of Maximum Temperature for Graphite Out-Core Reflector in Research Reactor

정민규 · 박기정 · 서경우 · 김성훈

한국원자력연구원

연구용 원자로는 일반적으로 수조에 잠긴 개방 수조의 형태로 설계되며, 핵연료를 포함하는 원자로 내부는 일차냉각계에 의해 강제 냉각된다. 반면에 원자로 외부에 설치된 반사체의 경우 발열량 평가를 통해 강제대류 혹은 자연대류로 냉각이 수행된다. 반사체는 핵분열에 의해 발생한 중성자가 노심 외부로 누설되는 것을 방지하고 노심 내의 중성자 밀도를 유지하는 역할을 하며, 중수, 흑연, 베릴륨 등이 대표적인 반사체 재료이다. 이 가운데 흑연은 비교적 저렴하며 열전도도가 우수한 장점을 갖고 있지만, 원자로 수조에 활용하기 위해서는 알루미늄 캔에 넣어서 활용해야 하며 조사에 의한 재료 손상이 발생할 수도 있다. 따라서 흑연을 외부반사체로 활용하기 위해서는 외부반사체 설계 및 재료 선정 과정에서 정상상태에서의 온도 평가와 더불어 사고 상황에서의 온도 변화를 평가해야 한다.

흑연 반사체는 알루미늄 캔에 넣어서 활용해야 하는데, 이때 흑연의 조사 성장을 고려해서 여분의 공간을 배치하게 된다. 여분의 공간은 공기로 채워지게 되며, 공기는 매우 낮은 열전도도를 가지고 있어 흑연 반사체 냉각에 불리하게 작용한다. 본 연구에서는 외부반사체 형상설계 및 재료 선정 과정에서 흑연 외부반사체의 최대온도 평가를 수행하였다. 영역별로 강제 및 자연대류 냉각성능 및 전도에 의한 냉각평가를 수행하였으며, 이에 따라 흑연 반사체의 최대온도를 평가하였다. 본 연구를 통해 연구용 원자로에서 사용하는 흑연 외부반사체 설계에 도움을 줄 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 과학기술정보통신부에서 시행한 연구로 공학기술 연구과제의 연구개발 성과입니다.

인쇄기관형 증기발생기의 열성능에 대한 2차측 압력의 영향
Effects of Secondary-side Pressure on Thermal Performance of
Printed Circuit Steam Generators

김석 · 김상지

한국원자력연구원

인쇄기관형 증기발생기(PCSG, Printed Circuit Steam Generator)는 기존 인쇄기관형 열교환기(PCHE, Printed Circuit Heat Exchanger)와 동일한 공정으로 제작되지만, 열교환기 내에서 유체의 상변화를 일으킨다는 점이 서로 다르다. 인쇄기관형 열교환기에서는 1차측(고온) 및 2차측(저온) 유체가 모두 단상유동(single-phase flow)으로 흐르지만, 인쇄기관형 증기발생기에서는 2차측 운전압력을 낮춰 2차측 유체가 비등(boiling)하여 2상유동(two-phase flow)이 되도록 한다. 따라서 2차측 입구에서는 과냉수(subcooled water)가 주입되고, 2차측 출구에서는 과열증기(superheated steam)가 배출된다.

여기서 2차측 압력은 인쇄기관형 증기발생기 내 과냉수의 비등점(boiling temperature)을 변화시키기 때문에 1차측 유체와 2차측 유체의 온도차에 민감한 영향을 미친다. 그리고 이는 최종적으로 인쇄기관형 증기발생기의 열성능을 변화시키므로 이에 대한 정량적인 예측이 필요하다.

본 연구에서는 인쇄기관형 증기발생기의 열성능에 대한 2차측 압력의 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 수치계산을 수행하였다. 본 연구에 사용된 수치계산 프로그램은 1차원 유한체적법(FVM, Finite Volume Method)을 이용하여 1차측 및 2차측 유동의 열전달 및 압력강하를 예측할 수 있다. 이로부터 인쇄기관형 증기발생기의 정상상태 열수력 거동을 모사할 수 있으며, 최종적으로 인쇄기관형 증기발생기의 열성능을 평가할 수 있다. 본 연구의 수치계산을 통해 2차측 압력을 5.0 MPa에서부터 6.5 MPa까지 변화시켰으며, 이때 인쇄기관형 증기발생기의 열출력은 376.3 MWt에서 339.4 MWt까지 변화하였다.

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음. (No. 2018M2A8A4081307)

SMART100의 비안전계통 규제조치 이행 Implementation of the RTNSS for SMART100

문주형 · 유승엽

한국원자력연구원

비안전계통에 대한 규제조치(RTNSS, Regulatory Treatment of NonSafety Systems)란, 피동형 원자로에서 노심손상빈도 및 대량방출빈도가 설계 안전 목표를 만족시킬 수 있도록, 안전에 중요하지만 비안전등급으로 설계되는 구조물, 계통 및 기기에 대해 신뢰도 및 가용도를 부여하는 일련의 과정을 뜻한다. 안전등급과 비안전등급은 전통적인 결정론적인 방법에 의해 결정되며, 안전에 중요함과 중요하지 않음은 확률론적인 방법으로 결정된다. 따라서 비안전계통에 대한 규제조치에는 결정론적인 방법과 확률론적인 방법이 모두 고려된다.

피동안전계통은 기존 능동형 원전의 안전계통과 비교하여 볼 때, 운전경험이 불충분하고 계통을 작동하게 하는 구동력의 크기가 작기 때문에 안전주입수 공급, 원자로심 잔열 제거, 원자로격납건물 냉각 등의 안전기능 수행 능력에 불확실성이 존재한다. 이를 고려하여 피동안전계통의 안전기능에 대한 심층방어적 기능을 제공하는 능동 비안전계통은 높은 수준의 신뢰도를 확보할 수 있도록 설계된다. 예를 들어 피동안전계통이 충분한 시간(예 : 72시간) 동안 작동된 이후에, 피동안전계통에 사용되는 냉각수를 보충하거나 또는 원자로심, 원자로 격납건물을 직접 냉각하는 기능 제공용으로 능동 비안전계통을 사용할 수 있다.

피동안전계통을 보조하는 비안전계통을 규제기관 입장에서 처리하는 방안에 대한 논의는 이미 미국에서 1990년대에 시작되었고, 미국원자력규제위원회는 2007년 규제지침서 1.206 및 2014년 표준심사지침 19.3 등으로 규제 요건을 마련하였다. 그러나 우리나라의 경우, 안전에 중요한 비안전계통을 선정하는 방법이나 절차 등은 아직 구체적으로 마련되지 않은 상태이다. 한국원자력안전기술원에서 발간된 경수로형 원전 안전심사지침에는 비안전계통에 대한 검토가 8.2절, 15.2.3절, 15.2.7절에서 일부 언급되고 있기는 하나, 구체적인 방법은 미국원자력규제위원회 규제지침서 1.206을 참조하라고 기술하고 있다.

본 연구에서는 비안전계통에 대한 규제조치를 적용하는 방법론과 절차에 대해 살펴보고 이 규제조치의 대상이 되는 구조물, 계통 및 기기들을 선정하는 기준을 다룬다. 이를 대한민국의 소형모듈형원자로인 SMART100의 설계에 적용시킨 결과, 비안전계통에 대한 규제조치가 필요한, 안전에 중요하지만 비안전등급으로 설계되는 구조물, 계통 및 기기들의 목록을 도출하였다. 본 연구 결과는 SMART100의 표준설계인가 획득에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

열수력 성능에 대한 지그재그형 유로 형상 인자의 영향
Effect of Geometrical Parameters for Zigzag Flow Channel on The
Thermal-hydraulic Performance

장정봉 · 조현준 · 유승엽

한국원자력연구원 SMART계통기술개발부

인쇄기관형 열교환기는 크기 대비 높은 열전달 성능과 함께 고온 고압의 환경에서 뛰어난 내구성을 제공하므로 다양한 산업 분야에서 활용되고 있다. 인쇄기관형 열교환기는 화학적 식각에 의해 미세유로가 생성된 얇은 유로 판들을 확산 접합하여 제작된다. 미세유로는 인쇄기관형 열교환기에 부피 대비 넓은 열전달 면적을 제공하고, 인쇄기관형 열교환기의 성능은 채택되는 미세유로의 형상에 따라 달라진다. 따라서 미세유로의 형상에 따른 압력손실 및 열전달 성능을 확인하기 위한 다양한 연구들이 수행되었다.

인쇄기관형 열교환기에서 일반적으로 사용되는 유로는 직관형 유로와 지그재그형 유로이다. 지그재그형 유로는 직관형 유로에 비해 열전달 성능을 크게 증가시킬 수 있지만 압력손실 또한 증가한다는 단점이 있다. 압력손실의 증가량을 줄이면서 열전달 성능을 증가시키기 위하여 S형 유로와 에어포일 핀 형 유로 등이 제기되었다. 본 연구에서는 지그재그형 유로의 형상에 따른 압력손실과 열전달 성능 변화를 확인하고자 한다. 지그재그형 유로의 형상은 기울임 각도와 반복되는 단위 지그재그형 유로의 길이에 의해 결정된다. 지그재그형 유로의 형상에 관련된 연구는 주로 낮은 Reynolds 수 영역에서 수행되었으므로, 본 연구에서는 높은 Reynolds 수까지 범위를 확장하여 지그재그형 유로의 형상에 의한 성능변화를 확인하고자 한다.

본 연구는 상용 CFD코드인 FLUENT를 이용하여 수행되었다. 계산량을 줄이기 위하여 단위 지그재그유로에 주기적 경계조건을 부가하여 해석을 수행하였다. 물성치가 일정한 비압축성 단상 유체가 가정되어, 3차원 정상상태 난류유동이 해석되었다. 난류유동해석을 위해 SST $k-\omega$ 모델이 사용되었고, 압력과 속도의 연결을 위하여 SIMPLE 알고리즘이 사용되었다. 해석결과들은 기울임 각도가 증가하고 단위 지그재그형 유로의 길이가 감소할수록 압력손실과 열전달 성능이 증가함을 보여주었다. 또한 Reynolds 수가 증가할수록 압력손실은 감소하고 열전달 성능은 증가함을 보여주었다. 해석결과들을 이용하여 기울임 각도와 단위 지그재그형 유로의 길이 변화에 따라 압력손실과 열전달 성능과 관련된 무차원 수인 Fanning 마찰계수와 Nusselt 수를 예측할 수 있는 상관식을 도출하였다.

후기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음 (NRF-2020M2D7A1079178)

원전 인접해안 냉수대 유입 시 복수기 집수정 양이온전도도 증가원인 분석

이경희 · 조용상 · 김초롱 · 권혁철 · 최진수 · 송규민

한국수력원자력(주) 중앙연구원

발전소에서 복수기는 터빈에서 배출되는 증기를 응축시키고 이를 집수정(Hotwell)에 수 집하여 증기발생기의 급수로 순환하는 역할을 한다. 국내 원자력발전소는 복수기에서 증기를 응축시키는 냉각원으로 해수를 사용하고 있다. 해수의 온도는 사계절 기온에 따라 변화하며 복수기 또한 온도, 진공도, 수위 등이 변화한다. 특히 우리나라 동해안에 위치한 원자력발전소에서는 매년 1~4월 중 인접해안의 냉수대 유입으로 해수 온도가 일시적으로 급격히 감소되곤 한다. 이때 발전소에서는 복수기 진공도의 증가와 함께 복수기 집수정의 수질 지표 중 양이온전도도(Cation Conductivity) 또한 일시적으로 증가되는 경향이 나타나고 있다. 양이온전도도는 계통수 중의 음이온 오염성분의 총 농도를 감시하기 위한 지표이다. 발전소에서는 복수기 집수정의 양이온전도도를 통해 염소, 황산 등의 음이온 성분의 농도 증가여부를 확인함으로써 복수기 관 누설로 인한 해수 유입 여부를 실시간으로 감시한다. 현재 동해안에 위치한 발전소들의 경우 해수 온도의 변화에 따라 복수기 집수정측 양이온전도도에 영향을 주어 이로 인해 복수기 관 누설 감시업무에 혼선이 유발되고 있다. 이와 관련하여 본 연구에서는 해당 발전소의 운전자료 및 수질자료를 분석함으로써 해수 온도 감소에 따른 복수기 집수정측 양이온전도도 증가 원인에 대해 검토하였다.

A 발전소를 대상으로 관련 운전자료 및 수질자료를 분석한 결과, 해수 온도가 감소한 시점에 복수기 집수정의 아세트산 이온 농도가 10 ppb 이상 증가하였다. 이를 양이온전도도로 환산하면 발전소에서 실측한 증가 값과 유사한 값(편차($\pm 0.01 \sim 0.04 \mu\text{S}/\text{cm}$))으로 평가되었다. 이로써 복수기 집수정측 양이온전도도 증가의 원인물질로 아세트산 이온임을 규명하였다. 아세트산은 발전소 2차계통에 pH 조절 목적으로 주입되는 에탄올아민(Ethanolamine)의 열분해산물 중 하나로 복수기 집수정의 양이온전도도 증가는 복수기 관 누설로 인한 해수 유입이 아님을 확인하였다. 아세트산의 거동에 대해서 해안 냉수, 복수기 온도 감소 및 진공도 증가, 복수기 내부 증기 회수량 및 응축량 증가, 양이온전도도 증가에 대한 상관관계를 도출하였다. 이를 검증하기 위하여 수화학 예측프로그램(Plant Chemistry Simulator) 코드를 통해 관련계통의 아세트산 농도를 평가하였다. 그 결과 관통부 연결계통 중 습분분리기 배수계통의 아세트산 농도가 가장 높았으며 기타 계통 대비 4~40배 이상일 것으로 예측되었다. 이로써 발전소의 인접해안 냉수대 유입 시 복수기 집수정 양이온전도도 증가원인은 복수기 온도 감소에 따른 진공도 상승과 이로 인해 습분분리기 배수계통과 같이 아세트산 농도가 높은 증기계통의 복수기 회수량 증가로 인한 영향으로 파악되었다.

국내 가압경수로원전 2차계통 pH 상향에 따른 복수기 양이온전도도 증가영향 분석

이경희 · 조용상 · 이상호 · 권혁철 · 최진수 · 송규민

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력발전소 2차계통 배관은 탄소강 위주로 구성되어 있으며 탄소강의 부식 저감을 위한 수화학 운전으로 pH 제어법이 있다. 국내 경수로 원전은 2차계통 pH 조절을 위해 에탄올아민(Ethanolamine, 이하 ETA)을 주입하며, 이를 통해 주급수 pH_{25°C} 9.6 이상을 목표로 관리하고 있다. 현재 2차계통 배관 부식을 보다 저감하기 위하여 주급수 pH_{25°C} 9.8 이상 상향 관리가 요구되며, 이때 ETA의 주입량 증가로 인한 ETA 열분해생성물(아세트산, 폼산, 글리콜산 등 유기산류로 음이온성분)의 발생 증가로 2차계통 전반의 양이온전도도(Cation Conductivity, 이하 CC) 또한 증가하게 된다. 발전소 2차계통에서 특히 복수기 집수정(Hotwell)측 CC는 복수기관 누설(해수 유입)과 같은 유사시 수질변화를 조기 인지하여 비상 대응하기 위해 설정된 감시항목이다. 현재 대다수의 경수로 원전에서 복수기 집수정의 CC 관리값이 0.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 설정되어 있으며, 이는 고 pH 운전을 고려하지 않은 해수 유입과 관련된 감시값만 반영한 것이다. 하지만 고 pH 운전 시 복수기 집수정의 CC에 영향을 주어 기존 관리값에 고 pH 운전에 해당하는 관리값을 검토하여 추가 반영해야 한다. 본 연구에서는 국내 경수로원전 노형별 대표 발전소들을 대상으로 주급수 pH 증가에 따른 2차측 주요지점별 CC 변화를 평가하였다. 이를 기반으로 현 ETA 수처리 환경에서 2차계통 pH 상향 조건에 맞게 복수기 집수정의 CC 관리 기준값에 대해서 제시하고자 한다.

국내 경수로원전 노형별 대표 발전소들을 대상으로 주급수 pH 증가조건에 따른 2차측 주요지점별 CC 변화를 수화학 예측프로그램(Plant Chemistry Simulator, 이하 PCS)을 사용하여 평가한 결과, 대부분의 발전소에서 주급수 pH_{25°C} 9.8 이상 도달 시 현 복수기 집수정측 CC 관리기준값인 0.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 를 초과할 것으로 예측되었다. 특히 증기발생기 취출수 등 농축수가 회수되는 복수기 집수정의 경우 주급수 pH_{25°C} 9.7 이상 조건에서도 조기에 0.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 를 초과할 것으로 평가되었다. 따라서 현 복수기 집수정측 CC 관리기준값($\leq 0.2 \mu\text{S}/\text{cm}$)은 ETA 수처리 환경에서 이의 열분해생성물(유기산류)의 증가영향이 반영되지 못한 매우 낮은 제한값으로 판단된다. PCS를 통해 주급수 pH 증가 조건별(pH_{25°C} 9.8/9.9/10.0) 2차계통 CC 값 변화를 예측한 결과와 실제 발전소의 pH 상향 한계를 고려하였을 때, 국내 경수로원전의 현 ETA 수처리 환경에서 2차계통 pH 상향 관리를 위해서는 복수기 집수정의 CC 관리 기준값을 " $\leq 0.3 \mu\text{S}/\text{cm}$ "으로 상향함이 적절한 것으로 평가되었다.

수조수상실사고를 고려한 연구용 원자로 일차냉각계통 개념 연구 Concept of primary cooling system against LOCA in a research reactor

박홍범 · 서경우 · 김성훈

한국원자력연구원 수출용신형연구로실증사업단

개방수조형 연구용 원자로(연구로)에서 수조수상실사고는 연구로 안전성과 관련된 가장 중요한 이슈 중의 하나이다. 개방수조형 연구로에서 수조수상실사고가 발생하면 대처설비가 없다는 가정 하에 기기배치의 특성으로 인해 원자로수조수가 대부분 상실되며, 노심이 공기 중에 노출되어 손상될 수 있다. 대부분의 연구로에서는 공학적안전설비를 설치하는 방법으로 수조수상실사고에 대처를 하는데, 공학적안전설비는 안전 기능을 수행하기 때문에 설계 단계에서 운영단계까지 높은 품질 등급, 검증 시험, 정주기시험 등의 다양한 요건이 포함되고 이와 연결되는 고가의 안전등급 보조 설비들과 설치 공간이 요구되므로 추가할 경우 건설 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 개념 설계를 수행하였다.

기존 연구용 원자로의 일차냉각계통은 노심 유동 방향과 일차냉각계통 펌프의 유효흡입수두 등을 고려하여 일차냉각계통 기기의 일부가 노심보다 아래에 설치된다. 이 때 노심보다 아래에 설치된 일차냉각계통 배관에서 파손이 일어날 경우, 사이폰 현상으로 인해 수조수가 유출되고 이를 방지하기 위해 공학적안전설비로 사이폰차단기가 설치된다. 수조수상실사고를 고려한 일차냉각계통 설계에서는 배관 파단 시 사이폰 현상을 막기 위해 일차냉각계통 기기들을 노심보다 높은 위치에 설치한다. 노심보다 높은 위치에 일차냉각계통 펌프를 설치할 경우 펌프의 필요 유효흡입수두로 인해 노심상향유동 냉각으로 설계한다. 또한 노심 상향유동 냉각 시 원자로구조물집합체의 구멍을 통해 빠져나온 방사성물질을 가진 수조수가 원자로수조 상부로 상승하는 것을 방지하기 위해 우회유로 배관을 원자로구조물집합체 상부에 설치하여 수조수의 상승을 막는다. 일차냉각계통 기기실 배관 파단이 일어날 경우 일차냉각계통 기기실에 유출되는 일차냉각재를 원자로수조로 되돌리기 위해 기기실 바닥에 모인 일차냉각재를 원자로수조로 되돌리는 배관을 설치하여 원자로수조수의 수위를 유지한다.

본 연구를 통해 수조수상실사고의 영향을 줄일 수 있는 일차냉각계통의 개념 설계를 수행하였으며 이는 향후 고출력 연구로의 수출 시 일차냉각계통 설계에 활용할 예정이다.

후 기

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

연구용 원자로 플랩밸브의 닫힘 압력 평가를 위한 개념 설계 Conceptual Design for Evaluation the Closing Pressure of Research Reactor Flap Valve

박기정 · 박홍범 · 서경우 · 김성훈

한국원자력연구원

일반적으로 연구용 원자로는 원자로 냉각과 차폐 관점에서 유리한 개방 수조형으로 설계되며, 수조 하부에 원자로가 설치된다. 또한, 원자로 노심을 냉각하기 위한 일차냉각계통이 설치되어 정상 운전 시 노심에서 발생하는 열을 제거한다. 원자로가 정지하게 되면 정지 후에도 방사선 붕괴로 인한 노심 잔열이 생성되기 때문에 원자로 정지 후에도 적절한 노심 냉각이 수행되도록 설계되어야 한다. 만일 노심의 잔열이 적절하게 제거되지 않는다면, 노심의 온도가 상승하여 핵연료 및 원자로 구조물의 건전성을 위협하게 되므로 냉각상실 사고가 발생할 수 있다. 이에 원자로 정지 후 일차냉각계통이 정지하게 되면, 노심 잔열제거를 위해 자연대류 냉각이 필요하며 자연순환 유로 확보를 위한 플랩밸브가 설치된다.

플랩밸브는 일차냉각계통 펌프가 가동될 동안에는 닫혀 있다가 펌프가 정지하면 밸브 양단의 차압 감소에 따라 중력에 의해 개방되도록 설계된다. 즉, 펌프가 정지하면 열림 상태를 유지하다가 운전이 시작되면 수동으로 닫히게 된다. 일차냉각계통 펌프가 가동하여 일정유량 조건에서 밸브가 닫힐 때, 일차냉각계통 배관 방향으로 순간적으로 강한 압력파가 작용할 수 있다. 이 압력파는 핵연료 및 일차냉각계통 펌프의 건전성에 영향을 줄 수 있기 때문에 닫힘 압력에 대한 평가가 필요하며, 이때 발생하는 최대 압력(Peak pressure) 예측을 통해, 닫힘 압력을 줄일 수 있는 완충장치를 설계하여 핵연료 및 기기 건전성을 확보해야 한다. 본 연구에서 플랩밸브의 닫힘 조건을 예측하고 밸브 닫힘 시 발생할 수 있는 압력을 평가하기 위한 개념 설계를 수행하였다. 향후 본 평가 결과는 연구용 원자로 플랩밸브 설계에 반영할 예정이다.

후 기

본 연구는 과학기술정보통신부에서 시행한 연구로 공학기술 연구과제의 연구개발 성과입니다.

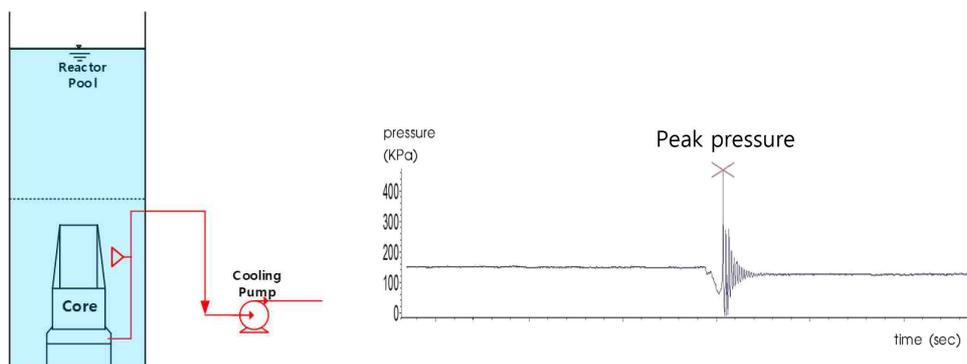


Fig. 1 개방 수조형 연구로의 수조 내 플랩밸브 설치 개념도 및 최대 닫힘압력 예측 결과

정비데이터 기반 원전 예방정비 프로그램 개선 방안

An Improvement of Preventive Maintenance Program for Operating Nuclear Power Plants

염동운 · 이상대 · 김정운
한국수력원자력(주) 중앙연구원

국내 원전에 설치되어 있는 설비들의 정비체계는 크게 고장정비와 예방정비로 구분된다. 고장정비는 운전 중 고장이 발생한 설비를 허용 설계기준 내에서 본래의 기능을 발휘할 수 있도록 단순정비, 분해정비 또는 교체 등을 수행하는 것이며, 예방정비는 설비의 운전 성능이 설계기준 범위 내에서 유지될 수 있도록 고장 예방을 위해 사전에 주기적으로 수행하는 정비활동이다. 고장 및 예방정비 후에는 각 설비에 대한 정비데이터를 SAP System에 입력하고 있으며, 누적된 정비데이터는 최근 원전 스마트플랜트 구축 추진 일정에 따라 그림 1과 같이 체계적인 활용 방안이 검토되고 있다.

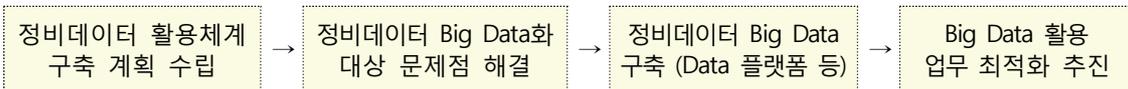


그림 1 정비데이터 빅데이터화 및 활용 체계 구축 흐름

설비 고장정비 데이터는 설비기본정보, 고장부품, 고장모드, 고장원인 및 작업방법 등이 있으며, 예방정비 데이터는 설비 중요도, 유지보수품목 및 작업전상태코드(AFCC¹⁾) 등이 있다. 고장 및 예방정비 데이터는 그림 2에서 보는 바와 같이 데이터 생성, 데이터 필터링, 분석 및 평가 등을 통해 정비개선 대상 도출 시 활용하고, 발전소 엔지니어가 엔지니어링종합운영시스템의 제공정보를 이용 해당 설비의 예방정비 프로그램 개선 검토를 추진하는 방안이 연구되고 있다. 향후 이와 같은 정비데이터 기반 예방정비 프로그램 개선 체계 구축 시 가동중인 원전의 설비 신뢰성 향상에 크게 기여할 것으로 사료된다.

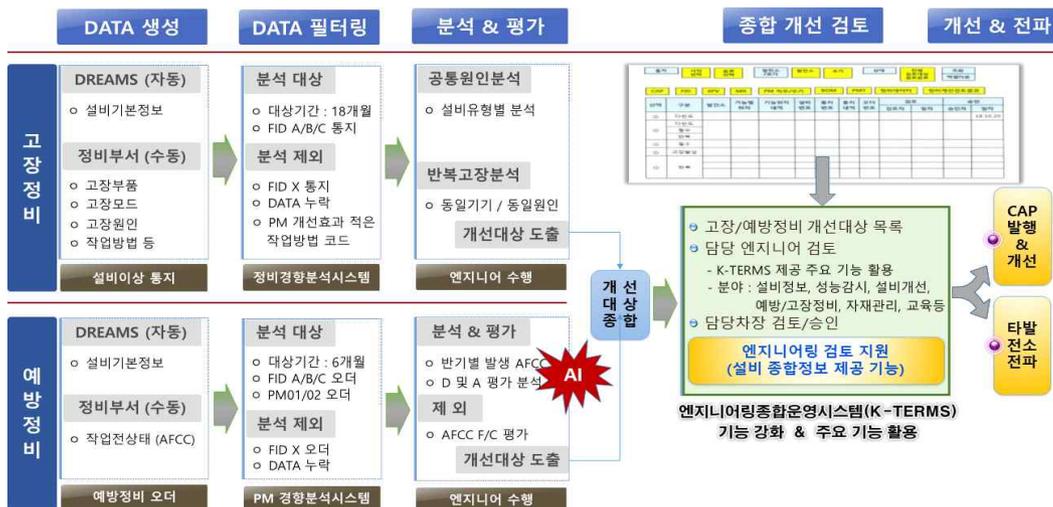


그림 2 정비데이터 활용 예방정비 개선 체계 구축 개략도

1) AFCC : As-Found Condition Code (작업전상태코드)

해외원전의 기능적중요도결정 프로세스 적용 추세

A Study of Application Trend of Functional Importance Determination Process in Overseas Nuclear Power Plants

이상대 · 염동운

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원전 기능적중요도결정(FID) 프로세스는 발전소를 구성하는 모든 설비를 대상으로 안전성, 신뢰성 및 운전가능성을 기준으로 설비의 기능적 중요도를 분류하는 것이다. 중요도 분류는 구조물이나 설비 고장으로 인해 중요한 기능이 무효화되거나, 성능이 저하되어 용인되지 않는 영향이 발생할 경우 해당 설비는 필수기기로 분류되어 관리하며 그렇지 않은 경우에는 비필수 설비 혹은 고장허용설비(RTF)로 분류한다. 최근 해외 발전사들은 효율적인 방식으로 높은 수준의 발전소 안전성과 신뢰도를 유지할 수 있도록 중요도 분류 기준을 변경하는 활동을 추진하고 있다.

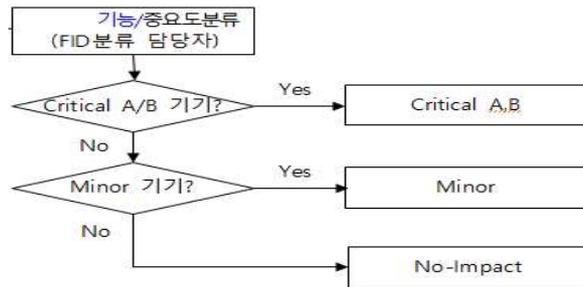


그림 1 일반적인 기능적중요도결정 프로세스

미국 원자력발전협회(INPO)는 설비성능지원 방문 그리고 미국 및 타국가 발전사 벤치마킹에서 얻은 경험을 반영하여 필수기기 정의를 다음과 같이 변경하였다.

- 원자로 비상정지(scram) 또는 트립(발전정지유발기기)
- 20% 이상의 심각한 출력 과도상태(출력 상실 사건)
- 완화계통성능지표(MSPI : mitigating system performance index) 감시 기기 고장
- 다음과 같은 필수 안전기능의 어떤 것이라도 완전히 상실되도록 할 수 있는 단일 고장
 - 노심, 원자로냉각재계통(RCS) 또는 사용후핵연료저장조(SFP) 잔열 제거
 - 격납건물 격리, 온도 또는 압력
 - 반응도 제어, 필수 교류 전원
- 정비규정(Maintenance Rule)의 고안전중요도(HSS : high safety significant) 기능 또는 고위험도(RS : risk significant) 기능 상실을 초래할 수 있는 단일 설비 고장

해외 발전소들은 설비 안전성 뿐만 아니라 경제성을 고려하여 지속적으로 설비 신뢰성을 향상시키는 활동을 수행 중이며, 이러한 활동의 일환으로 설비 중요도결정을 변경시키고 있다. 국내 원전도 이러한 해외 발전소의 설비관리 추세를 적극적으로 검토 및 반영해야 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

미국 원자력발전소 핵심설비 가동중 안전정비 수행전략 연구 A Study of Implementation Strategy Critical Component On-line Preventive Maintenance at US Nuclear Power Plants

조경수 · 김용수 · 김정운
한국수력원자력(주) 중앙연구원

미국원전의 경우 확률론적리스크평가(Probabilistic Risk Assessment), 리스크감시시스템을 활용하여 핵심설비 가동중 안전정비¹⁾(Critical Component On-line Preventive Maintenance) 개념을 도입하여 운영하고 있다. 10CFR50.65, "Requirements for monitoring the effectiveness of maintenance at nuclear power plant"는 원전의 주요 구조물, 계통, 기기(SSCs)에 대하여 미래 성능 및 상태에 대해 예측하고 정비의 효과성을 분석함으로써 발전소 안전성을 유지 시키는데 목적이 있다.

정비효과성감시요건 (a)(3)는 발전사업자가 정비를 통해 SSCs에 대한 신뢰도 향상이 최대 이용가능성과 균형을 유지하도록 하고 있으며, (a)(4)는 발전사업자가 정비전 리스크를 평가하여 계획된 정비로 인해 증가된 위험도를 관리하도록 하고 있다. 미국원전의 경우 가동중 안전정비 수행을 위해 그림 1과 같이 EPRI에서 개발한 정비전 리스크 평가 프로그램인 EOOS(Equipment Out of Service)을 활용하여 물리적·시간적 위험도 정보를 활용하여 최적의 예방정비를 수행하고 있다. 현재 국내에서는 예방정비 수행을 위해 인위적인 운전제한조건(Limiting Conditions for Operation) 진입을 불허하고 있어 안전계통에 대한 예방정비 활동이 계획예방정비 기간에 집중되어 있다. 그러나 그림 2에서 보는 바와 같이계획예방정비에 집중된 정비자원의 효율적 배분, 안전설비에 대한 리스크를 고려한 선제적 예방정비를 통해 설비 신뢰성을 향상시키고, 원전운영 분야에 대한 수출 경쟁력 강화를 위해서 핵심설비 가동중 안전정비는 반드시 필요하다고 판단된다. 이를 위해 향후 국내원전 APR1400 적용을 위한 기반기술에 대한 지속적인 기술연구가 필요할 것으로 사료된다.

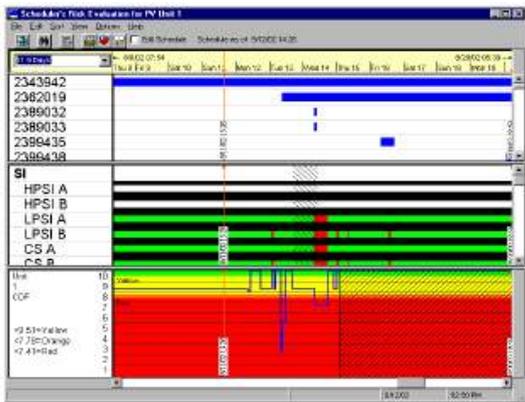


그림 1 형상 위험도 관리 평가 결과

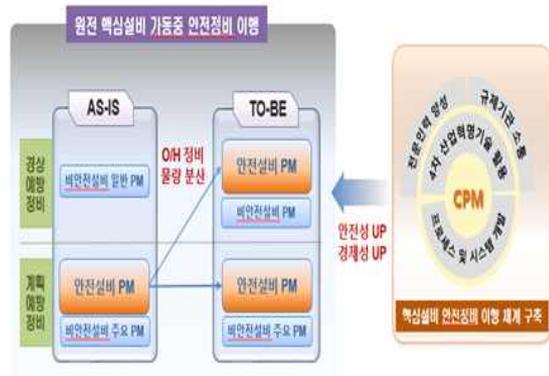


그림 2 핵심설비 가동중 안전정비 이행

1) 핵심설비 가동중 안전정비(Critical Component On-line Preventive Maintenance): 출력운전 중 기술지침서에 명시된 안전관련 기기들에 대해 운전불능을 감수하고 운전제한조건(Limiting Conditions for Operation)에 진입하여 주어진 허용정지시간(Allowed Outage Time) 내에 예방정비 수행

원자력발전소 데이터 인공지능 자연어처리 가능성 고찰 AI natural language processing possibility of Nuclear Power Plant data

현진우

한국수력원자력 디지털혁신추진단

국내 원자력발전소는 상당한 양의 운전경험과 정비경험을 데이터로 가지고 있다. 하지만 대부분이 보고서나, 일반 텍스트 형태의 자연어로 이루어져 있어 데이터로서 활용이 매우 어려운 것이 현실이다. 최근 4차산업혁명 기술개발에 대한 요구가 증가하고 빅데이터, 인공지능을 활용한 데이터 분석 및 처리기술이 크게 발전하고 있는바 이를 활용한 원자력발전소의 비정형데이터인 자연어처리 가능성에 대하여 논하여 보고자 한다. 현재 자연어처리 분석에 대한 요구는 여러 산업계에서 다양하게 요구되고 있다. 예를 들어 건설회사에서 입찰문서 작성 리스크관리를 위한 발주자 요청문서 분석, 발전회사 등의 정비이력 내용의 빅데이터를 위한 long text 분석, 각종 보고서 분류 등 인간이 만든 모든 지식에 대한 학습/분석 요구가 있다고 할 수 있다.

- 자연어처리(NLP : Natural Language Processing) : 컴퓨터를 이용하여 자연어를 분석하고 처리하는 기술

자연어처리 분야 중 가장 최근의 기술은 구글에서 사용하는 버트(BERT)라는 기법이 앞서가는 기술로 평가받고 있는데 이 모델의 핵심은 인터넷에서 사용할 수 있는 방대한 양의 텍스트를 활용해서 훈련을 한다는 것이다. 대화형 형태로는 챗봇 인터페이스가 상당한 기술발전을 보이고 있으며 인간의 감성분석까지 수행하고 있다. 하지만 아직까지 일반문서 특히 자연어로 구성된 자료를 분석하고 학습하여 유용한 정보를 얻는 것은 여전히 어려움과 한계가 존재하는 것도 사실이다.

특히 원자력발전소와 같은 특정분야는 자연어 분석을 통해 원하는 결과를 도출하기에는 데이터가 제한적이고 선례가 거의 없다. 또한 많은 자료가 컴퓨터로 바로 인식할 수 없는 비정형데이터인 수기문서(스캔문서)로 저장되어 있는바 우선적으로 디지털화 하는 작업이 선행되어야 한다. 추가적으로 문서 형태와 필요한 데이터의 범위, 형식 등에 대한 Categorization이 필요하며 주요 단어에 대한 키워드분석을 위하여 원자력분야에서 사용되는 전문용어에 대한 동의어 분석 등 전처리 작업이 수행되어야 할 것이다.

현재로서는 다소 미비한 점이 있고 불확실성이 존재하지만 자연어 분석을 통한 기대효과가 크고 확장성이 무궁무진하기 때문에 우선은 사람이 직접 개입하여 규칙을 만들어 분석하는 규칙기반(rule-based)방식을 사용하고 점차적으로 데이터가 쌓이면 기계학습을 통한 본격적인 인공지능 적용이 가능할 것으로 생각된다. 원자력분야에서는 지능형 자료검색 등에 일부 활용 가능성을 검토 중이며 향후 경험과 기술이 쌓이면 고장예방을 위한 진단기술, 예측정비 등에도 효과적으로 활용 될 수 있을 것으로 기대한다.

증강현실 기술을 적용한 발전소 실시간 변수 데이터 모니터링 A Real-time Data Monitoring Using Augmented Reality

김영국

한국수력원자력 디지털혁신추진단 디지털융합실 디지털혁신부

발전소를 비롯한 각 산업현장에서는 실시간으로 변화하는 수치를 모니터링 해야 할 대상이 다수 존재한다. 모니터링 패널 또는 시스템이 갖추어지지 않은 곳이나 접근성이 어려운 현장의 경우 직접 지시값을 확인하기 위해 작업자가 현장에 투입되어야 하는 경우가 존재한다. 하지만 지시값을 확인해야 하는 위치가 매우 다양하고 복잡하며 담당자가 변경되는 경우 매번 배관 및 계장도와 같은 도면정보를 먼저 확인 후 현장을 트래킹해야 하는 번거로움이 발생 가능하다. 이러한 문제점 또는 불편함을 해소하기 위해 현장의 실시간 변수 데이터 모니터링 대상에 증강현실 기술을 적용하여 필요한 변수 정보를 손쉽게 확인 할 수 있는 방법을 고안하였다.

우선 발전소 현장에서 대표적으로 모니터링 해야 하는 변수 대상을 분석하고 현장의 배관 위치와 지시값 확인 위치를 배관 및 계장도와 현장을 비교하여 파악하였다. 그 중 접근이 용이하지 않은 변수값들을 최종 대상으로 선정하였다.

대상 구조물 또는 기기에 대한 증강용 3D 모델링을 수행하고 지시값을 증강해줄 위치와 UI를 구성하였다. 또한 실시간으로 변화하는 지시값을 별도의 서버를 통해 증강시스템에 전송할 수 있는 환경을 구축하였다.

증강모델의 Hololens2 장비를 이용한 구현에 있어 아직까지 자동으로 대상기기 실물에 증강된 3D 모델이 오버랩 되는 기능이 없기에 사용자가 직접 증강모델을 잡고 해당기기에 맞춰 크기와 각도를 조정하는 부분이 필요하다. 모델을 정위치에 두고 나면 서버에서 전송되는 실시간 데이터 값을 현장에서 직접 이동하여 지시값을 확인하지 않아도 편한 위치에서 볼 수 있게 되었다.

원자력발전소의 경우 모니터링 대상 변수 값이 존재하는 위치가 단순 물리적 접근이 어려울뿐더러 방사선 제한구역으로 작업자가 피폭을 받을 수 있는 위험성이 존재하는 위치도 다수 존재한다.

그 외에 산업현장에서도 변수값 모니터링을 위해서 때로는 특수장비를 다 갖추어야지만 접근해야 하는 공간이 존재 하는 등 접근성이 제약되는 위치에 존재하는 변수값을 실시간으로 모니터링하는데 증강현실 기술이 적용된다면 작업자의 안전성도 확보 할 수 있고 시간을 절약할 수 있을 것으로 기대한다.

4차 산업 기술 중 증강현실(AR)은 전 세계적으로 산업현장에 적용되어 안전성, 경제성, 업무효율성 증대에 큰 기여를 하고 있으며 원자력발전과 같이 모니터링 또는 기록관리 해야 하는 변수가 많은 경우 증강현실 기술을 이용한 실시간 변수 모니터링 시스템 구축으로 업무를 효과적으로 수행하는데 활용이 가능하다.

발전소 주급수 유량계 정비를 통한 출력손실 회복 정량화 고찰
A Case Study on a Recovery of Electric Power Loss through
Maintenance of a Feedwater Flowmeter

최문호

한국수력원자력 중앙연구원

국내 OPR1000 발전소에서 최근 전기출력이 관리기준 대비 3 MWe 이상 감소한 원인을 분석한 결과 2차계통 BOP에 특별한 성능저하 없이 주터빈에 공급되는 주증기 유량이 감소하였다. 추가로 2차계통 주요 운전데이터를 상세분석한 결과 발전소에서 사용 중인 차압식 주급수 유량계에서 차압을 과다지시함으로써 주급수 유량 및 원자로 열출력을 과다지시한 것으로 분석되었다. 발전소 계획예방정비 기간 중 차주기 전기출력 손실을 회복하기 위해 해당 유량계 내부를 점검한 결과 압력 측정탭에 이물질이 발견되어 세척을 수행하였고, 재사용 가능성을 판단하기 위해 재교정을 수행하였다. 유량계 교정데이터를 분석한 결과 제작 초기 수준을 회복하여 재사용 가능한 것으로 평가되었다. 이를 통해 현재 계획예방정비 중인 해당 발전소의 차주기 전기출력 수준을 예상하였다.

상류측 압력 크기가 캐비테이팅 벤츄리 유동 특성에 미치는 영향에 관한 수치적 연구

Numerical Study on the Effect of Upstream Pressure Magnitude on the
Flow Characteristics inside the Cavitating Venturi

이공희* · 배준호

한국원자력안전기술원 규제검증평가실

현재 국내 원자력발전소에서는 원자로 가동기간동안 시간의 경과에 따른 안전관련 펌프 및 밸브에 대한 취약화 정도를 감시·평가하기 위해 가동중시험(in-service testing)을 수행하고 있다. 캐비테이팅 벤츄리는 가동중시험 관련 범주에 포함되는 보조급수계통 공통 배관에 설치되어 증기발생기로 공급되는 최대 유량을 제한하는 기능을 수행한다. 급격한 유동 가속 및 이에 수반되는 압력 강하로 인해 벤츄리 목(throat) 및 확산부에서 캐비테이션이 유발될 수 있으며, 이로 인해 캐비테이팅 벤츄리의 성능저하 및 구조적 손상이 발생할 수 있다. 저자는 선행 연구를 통해 캐비테이팅 벤츄리의 주요 기하 형상 인자들인 수렴부 경사각, 목 직경, 확산부 경사각 등이 캐비테이션 유동 특성에 미치는 영향을 수치적인 방법으로 평가한 바 있다. 본 연구에서는 상류측 압력 크기가 캐비테이팅 벤츄리 유동 특성에 미치는 영향을 파악하기 위해 상용 전산유체역학 소프트웨어인 ANSYS CFX R19.1을 이용한 수치해석을 수행하였다. 해석 모델은 상류 직관부, 수렴부, 목, 확산부 및 하류 직관부로 구성된 캐비테이팅 벤츄리이다. 본 연구에서는 비압축성, 정상(steady), 다상(multi-phase) 조건하에서 Shear Stress Transport (SST) $k-\omega$ 모델을 사용해서 캐비테이팅 벤츄리 내부의 난류 유동을 계산하였다. 입구 경계조건으로 200 ~ 500 kPa의 절대압과 일정한 크기의 난류 강도 및 난류 점도비를 적용하였다. 출구에서는 입구 압력 대비 출구 압력의 비율(p_r)이 0.26 ~ 0.75 범위가 되는 절대압을 적용하였다. 해석 결과, 상류측 압력 크기에 큰 상관없이 압력비 $p_r=0.72$ 부근까지는 캐비테이팅 벤츄리를 통과하는 유량이 일정하게 유지되다가 압력비 p_r 이 더 증가하게 되면 입,출구 압력차가 줄어들면서 캐비테이팅 벤츄리를 통과하는 유량이 점차 감소하였다. 동일한 압력비에서는 상류측 압력 크기가 증가할수록 질량 유량 역시 증가하였다. 한편, 특정 상류측 압력 크기에서 압력비 p_r 이 감소할수록 캐비테이팅 벤츄리 확산부에서 캐비테이션 유동 영역이 확대되었다.

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

노심출력분포 편차에 따른 국부과출력보호 정지설정치 영향 평가 Impact Assessment of Regional Overpower Protection Trip Setpoint by Core Flux Tilts

김영애 · 류의승 · 박동환

한국수력원자력(주) 중앙연구원 안전연구소

천연 우라늄을 연료로 사용하는 중수로는 임계유지를 위하여 정상운전 중 연료교체를 수행한다. 380개 연료채널로 구성되어있는 노심을 총 14개 영역으로 구분하고 연료교체 등으로 인해 발생하는 국부적인 출력변동은 14개 경수영역제어기를 통하여 제어한다. 이와 별개로 출력변동에 따른 제논극복 및 출력분포 평탄화를 위해 21개 조절봉이 노심에 상시 삽입된 상태로 운전된다. 단계출력감발과 같은 과도상태가 발생하거나 원자로 정지를 위해서 삽입하는 4개의 흡수봉과 28개 정지봉은 상시 인출된 상태로 운전된다. 중수로 노심은 좌우, 상하, 축방향 출력편차가 발생하지 않는 영역별 목표출력을 만족하도록 설계한다. 정상운전 중인 노심의 출력분포는 설계출력분포를 따른다고 할 수 있다. 그러나, 노심의 상태는 다양한 원인으로 인해 변할 수 있으므로 과도상태 발생 시 노심을 감시하고 보호하는 계통이 필요하다. 중수로는 국부적인 과출력으로 인한 연료에 드라이아웃이 발생하기 전에 원자로를 정지시키기 위해 2개의 독립된 정지계통을 운영하고 있다. 각 정지계통은 3개의 안전채널을 통해 발생하는 정지신호로 작동하게 되는데 3개 채널 중 2개 채널에서 정지신호가 들어오는 경우에 원자로를 정지시킨다. 안전채널은 8~11개의 노내계측기로 구성되어 있으며 그 중 단 1개의 계측기라도 정지설정치에 도달하게 되면 그 안전 채널은 정지신호를 발생하게 된다. 노심 전반적인 감시를 위하여 총 58개의 계측기가 고르게 설치되어 있으며 정지신호를 발생하게되는 계측기의 정지설정치는 연료의 손상이 발생하지 않는 여유도와 최대한의 운전범위를 확보할 수 있는 범위에서 평가된다. 정지설정치는 노심의 출력분포와 열수력계통 조건에 따라 연료가 손상될 수 있는 드라이아웃 출력 발생 이전시점으로 정해지고 출력분포와 열수력조건에 따라 정지설정치의 변동성이 좌우된다고 할 수 있다. 그러나, 실시간으로 정지설정치를 평가해서 적용할 수 없으므로 노심 설계조건과 운전조건 등을 고려해서 발생 가능한 출력분포와 평가시점을 기준으로 하는 열수력조건에서 정지설정치를 평가해 가장 보수적인 값을 시스템에 적용하고 있다.

본 연구에서는 출력편차가 발생하는 노심과도상태 발생 시 정지설정치 변동을 평가하고 운전원 조치시간 및 절차에 대한 가이드라인 예비평가를 수행한다. 노심 내 제논분포를 의도적으로 변형하여 상하 및 좌우 출력편차를 발생시키도록 모델링하였다. 노심 모델 및 정지설정치 평가 전산프로그램은 각각 RFSP 및 ROVER-F를 활용하였다. 정상운전 조건 정지설정치 대비 출력편차 발생조건의 정지설정치를 비교한 결과, 좌우편차가 발생한 경우 상하편차가 발생한 경우보다 낮은 정지설정치로 평가되었다. 즉, 노심 내 좌우출력편차가 발생한 조건의 경우 국부과출력보호 측면에서는 상하 출력편차조건 보다 정지여유도가 낮다는 의미이다. 실제 설치된 정지설정치는 모든 노심조건에 대하여 가장 보수적인 정지설정치를 사용하므로 연료의 드라이아웃에 대한 여유도는 이미 충분히 확보하고 있지만 향후 출력편차의 크기와 시간에 따른 정지설정치 변동경향을 보다 상세하게 분석함으로써 좌우출력편차 발생 시 운전원 조치 및 관리를 위한 가이드라인을 평가할 필요가 있다.

LAPLACE 시험설비에 대한 SPACE 모델링 및 예비해석
Modeling and Pre-test Analysis for a LAPLACE Test Facility
using SPACE System Analysis Code

이석호, 임상규, 천 종, 이상원
한국수력원자력 중앙연구원

피동보조급수계통(PAFS, Passive Auxiliary Feedwater System)은 수출 전략형 국내고유 원전인 중형원전(APR1000)의 계통구성에 채택되어 설계가 진행되고 있으며, 현재 대용량 10MWth 규모(PAFS 최대 열제거 설계용량의 1/16)의 실험수행을 위해 LAPLACE (LArge Scale PAFS Loop for Assessment of Condensation Effectiveness)로 명명된 성능 시험설비를 구축 중에 있다. 동 설비는 자연순환으로 구동되며, 증기발생기 내의 비등열전달 및 열교환기 내 응축열전달 등의 복잡한 현상이 발생한다. 동 논문에서는 시험장치에서 발생하는 이상유동 현상을 사전에 예측하고, 열교환기의 열제거 성능을 평가하기 위해 SPACE 모의내용 및 예비해석 결과를 기술하고 자 한다.

LAPLACE는 원형 PAFS를 축소 모의한 시험장치로써 열출력은 최대 10MW, 높이/길이 비 1:1, 열교환기 튜브 축소비 15/240(1/16), 열교환기 계열 축소비 1/4, 증기유량 축소비 1/16, 계통 차압비 1:1 등을 주요 설계기준으로 하며, 크게 증기발생기, 피동응축냉각수조, 피동응축열교환기 및 배관(증기관, 응축수 회수관)으로 구성된다. SPACE 모델에서는 증기발생기, 피동응축냉각수조 및 열교환기를 PIPE 컴포넌트로 모델링하였으며, 증기발생기 히터와 열교환기에는 열원의 공급과 전달을 위해 열구조체를 추가하여 증기 생성 및 응축 현상이 발생토록 하였다. 피동응축냉각수조는 가열부와 비가열부를 구분하지 않고, 단일채널로 모의하였으며, 열교환기는 15개 튜브를 단일채널로 모델하고 총 24개의 CELL로 구성하였다. 증기관 및 응축수 회수관은 상세설계가 진행 중으로 기존 PASCAL 시험설비의 자료를 상향 스케일하여 반영하였다. SPACE 예비해석은 기준 열출력인 8.1MW를 가하는 준정상상태 해석으로써 자연순환이 발생하는 조건부터 모의되었으며, 열교환기의 응축열전달 효율이 낮을수록 평형상태에 도달하는 증기 조건이 높음에 따라 해당 관점에서 평가가 수행되었다. 우선, 자연순환이 발생하는 계통 내 유량은 전반적으로 안정적인 거동을 보였으며, 증기생성량과 열교환기의 응축량이 평형을 이루고 있음을 확인할 수 있었다. 증기압력과 열교환기 입구 유량은 해당 운전조건인 8.4MPa 및 5.7kg/sec.와 유사한 결과를 예측하는 것으로 나타났다.

LAPLACE 시험설비에 대한 SPACE 전산코드 기본모델을 개발하였고, 예비해석을 수행한 결과 주요 열수력 변수들이 적절하게 예측되는 것으로 확인된다. 2022년 상반기에 성능 시험이 완료되면 시험결과와 분석 및 코드 해석을 통한 상세 성능분석이 수행될 것이며, 그에 앞서 개발된 기본모델을 이용한 민감도 평가, 모델링 개선, 상세설계 자료의 반영 등을 통해 모델개선이 수행될 것이다.

설계기준 초과 자연재해 시 사고대응설비 해상운송 방안
A study on sea transportation of MACST equipments
at extreme natural hazards

윤석중

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력발전소의 설계기준을 초과하는 자연재해(지진, 해일 등)가 발생할 경우, 최종열제거원상실(LUHS, Loss of Ultimate Heat Sink) 또는 장기교류전원상실(ELAP, Extended Loss of All AC Power) 등의 사고가 발생할 수 있다. 해당 사고는 원자력발전소 한 호기뿐만 아니라 부지내의 다수호기에서 동시에 발생할 수 있어서, 이에 대한 대응전략 및 대응설비가 요구된다.

한국수력원자력에서는 설계기준을 초과하는 자연재해 사고에 대한 대응전략으로 3단계로 구성된 MACST(Multi-barrier Accident Coping Strategy) 전략을 수립하였다. 1단계는 소내고정형설비, 2단계는 소내이동형설비, 3단계는 소내·외 모든 가용한 설비를 이용하여 설계기준 초과 자연재해 사고상황에 대응한다. 이때, 3단계 소외 가용 설비를 지원해야 하는 경우, 다른 부지에 있는 사고대응 이동형설비를 정해진 시간 내에 신속하고 효율적으로 사고 지점으로 이동하여야 한다. 설계기준 초과 자연재해가 발생하면, 교량 등의 붕괴 가능성이 있고 부지간 이동경로 상에 있는 구조물들의 건전성이 보장되지 않을 수도 있다. 따라서 원자력본부간 효율적인 지원을 위해 해상을 통한 사고대응설비의 이동을 고안하였고, 본부간 해상지원 운송체계를 구축하여 발전소 실증평가를 통해 유효성을 검증하였다.

부산에 위치한 고리 원자력본부에서 다수호기 동시사고가 발생하였다고 가정하고, 타 본부와의 사고대응 이동형설비들의 지원능력에 대하여 평가하였다. 사고본부의 지원 요청시 계류지에 있는 가용한 바지선을 이용하여 지원본부의 사고대응 이동형설비를 해상운송을 통해 사고본부로 이송하였다. 이때, 구체적인 평가 기준을 마련하여 지원본부 보관장소에서 사고본부 가상사고지점까지 이동경로상의 주요 자연 및 인공물(물량장, 사면, 교량, 첩탑 등)의 위치 및 이동경로의 폐쇄 가능성을 확인하였고 물량장과 바지선간 이동 및 선적, 양하가 적절히 수행됨을 확인하였다. 구체적으로 전기 계통, 중대사고, 내진, 인간공학적 관점에서 이동형설비의 이동, 운영 절차 및 지원 대응 체계를 점검하였다.

다수호기 동시사고를 가정한 고리 원자력본부의 운영기술능력을 평가한 결과, 해상 운송을 통한 사고대응 이동형설비의 소외 지원 유효성이 검증되었다. 이번 평가에서는 신규 개발한 원전본부간 비상대응설비 지원절차서를 사용하였고 해당 지원 절차의 유효성을 검증했다. 향후 한국수력원자력에서는 본 실증평가 결과를 활용하여, 본부간 해상지원 운송체계를 완성하고 극한자연재해시에도 원전의 안전성을 강화할 계획이다.

원전 운영혁신 안전 발굴 및 개선 방안 연구

Results of the Finding and Review about Improvements for KHNP-NPPs Innovation

김문수, 염동운

한국수력원자력(주) 중앙연구원

대내외 원전 운영환경 급변에 따라 글로벌 기업들과의 경쟁에서 살아남고 국민의 신뢰를 얻기 위해서는 국내 원전의 안전성 및 효율성 제고를 위한 각고의 노력이 요구되고 있으며, 이러한 내·외부 요인에 의해 변화를 지속적으로 선도하고 글로벌 기업으로 성장하기 위해서 회사 전반에 걸친 비효율성을 도출하여 철저한 운영혁신과 변화를 통한 재도약을 “전사 운영혁신”이라는 기치아래 한수원 중앙연구원을 중심으로 진행 중이다.

이를 위해, 발전소 밀착형 현장기술지원 필요분야를 중점적으로 발굴하여 혁신안전 도출 및 과제화를 추진함으로써 스마트플랜트 기반을 구축하고 있다. 구체적 추진 내용은, 업무 효율성 향상 기반 프로세스 개선 및 표준화를 통해 발전소 현장에 실질적 도움이 되며, 가치 있는 성과창출을 목표로 하였으며, 발전소 운영업무 전반의 개선 주안점을 제시하는 방향으로 안전조사를 실시하였다. 특히 발전소·노형·분야별 운영혁신 안전 발굴을 위해 각 발전소에 개선 필요 현안조사, 본사 차원의 개선 필요성 검토 및 중앙연구원의 현장 업무 수행 경험 분석 등 다방면의 입체적인 활동을 통해 전사 운영혁신 개선안 184건을 발굴하고 이 중 총 111건을 과제화하여 4년에 걸친 전사 운영혁신을 추진계획을 세웠으며, 과제의 시급성, 중요성, 혁신성 등에 우선순위를 두어 핵심(30건), 일반(81건) 과제를 구분하여 혁신 역량을 안배하였다. 구체적 활동 분야와 발굴안전의 개선방향 내용은 다음 표와 같다.

혁신활동분야	주요 발굴안전 및 개선 방향
안전(52건)	운영절차서(노심, 확률론적 안전성평가, 화재)표준화, 업무지원시스템 개선 등
발전(28건)	운전절차서/지침서 표준화, 운전 친화적 운영기술지침서 개발 등
정비(31건)	동일 노형·기기 정비절차서 표준화, 계획예방정비 공정 정확도 확보 등
엔지니어링(39건)	정비작업 서류 전산화 및 데이터 표준화, 설비신뢰도 프로세스 개선 등
방사선·화학(34건)	방사선 출입절차 개선, 화학분석 자동화, 방폐물 관리시스템 개선 등

한수원 중앙연구원은 운영혁신 과제로 확정된 발굴된 안전들에 대해 R&D과제 및 기술지원 과제화 하여 각각 이행관리카드 작성 및 이행계획을 수립하였으며, 전사 관련부서들의 협업과 운영혁신추진협의체 활동을 통해 체계적인 이행을 추진하고 있다. 이러한 과정을 통해 향후 발전소 업무 프로세스, 시스템 및 절차서 등에 내재된 비효율적인 부분이 획기적으로 개선될 것으로 판단된다. 특히 중앙연구원의 발전소 현안해결을 위한 기술지원 프로세스가 개선되고 장기간 집중연구를 통해 개선안 도출이 필요한 핵심 기술 사안에 대한 R&D 연구과제 추진을 통해, 원전 운영의 효율성이 향상되고 글로벌 리더로 도약하기 위한 기반이 확보될 것으로 기대된다.

원전 제어시스템 사이버보안 대안조치 방법 연구

A Study on Alternative Security Measures for Control Systems in Nuclear Power Plants

이수일

한국수력원자력(주) 디지털혁신추진단

국내 원전은 사이버보안계획 이행을 위해서는 발생 가능한 사이버 위협으로부터 원전 제어시스템을 체계적으로 보호하는 보안성 평가 방법을 통한 적절한 보안조치 이행이 필수적이다. 이를 위해 NEI 13-10 지침에 기반한 단계적보안조치 방법론 개발하고 유효성 검증을 통해, 현재 보안성 평가 및 이행에 적용하고 있다. 단계적보안조치 방법론은 원전의 대상 자산 중 핵심기능을 수행하는 자산에 집중적으로 보안조치를 적용하는 중요도기반 접근법으로서, 자산의 중요도 평가를 수행하고, 기존 원전의 안전설계 특징, 사이버침해 경로, 설비 기능 등을 고려하여 가장 효율적인 보안조치 집합을 도출한다.

미국 원자력안전위원회의 Reg. Guide 5.71는 기술적, 운영적, 관리적 보안조치를 이행을 요구하고 있으며, 실제 이행될 수 없다면 각 보안조치와 연계된 위협을 제거하기 위해 대안조치 적용 문서화, 사이버공격에 대한 영향분석 등을 수행하여야 한다.

사이버 보안조치 대안조치 방법으로는 물리적방호 프로그램 연계 방법론, 단계적보안조치 방법론과 연계된 효율적인 대체방법(공통 보안조치, 기술적 상속 보안조치, 타입평가, 클래스와 연계한 공격벡터 완화, 디지털 노출 평가) 등을 고려할 수 있으며, 본 논문에서는 단계적보안조치 방법론과 연계한 대안조치 방법에 대해 제시하고자 한다. 공통 보안조치 방법은 특정 보안조치를 다수의 대상기에 공통으로 적용하여 보안조치를 이행하는 방법으로 발전소, 계통, 설비 단위 등 공격벡터가 동일하여 공통으로 보안조치가 가능한 경우 적용한다. 대표적인 적용 예시는 공동구역에 함께 존재하는 설비에 대해 출입통제 조치방법이다. 기술적 상속 보안조치는 특정 설비가 통신으로 연결되어 있는 다른 설비의 보안조치를 상속받아 사이버 공격 위협을 제거하는 기법으로, 이미 기술적으로 보안조치가 되어있는 설비로부터 그 기능을 상속받을 수 있어 중복으로 보안조치를 수행하지 않아도 되므로 효율적인 보안 이행이 가능하다. 대표적인 적용예시는 상위기능을 담당하는 설비와 하위 설비 간에 독립적인 네트워크가 연결되어 있을 경우, 상위 설비의 기술적 보안조치 이행에 따라 하위 설비는 보안조치를 이행하지 않아도 되는 방법이다. 타입평가는 설비의 여러 가지 속성에 따라 클래스를 분류하고, 각 클래스에 따라 규제에서 요구하는 보안조치 자체를 체계적으로 평가하는 방법이다. 소프트웨어 속성, 하드웨어 속성, 기기의 위치, 정보의 중요성 등의 속성을 고려할 수 있다. 클래스와 연계한 공격 벡터 완화 방법은 타입평가에서 분류한 클래스에 따라 사이버 공격벡터 존재유무를 파악하고 해당 공격벡터에 대한 보안조치를 직접적으로 이행하여 효율적인 보안조치가 가능한 방법이다. 디지털 노출 평가 방법은 디지털 노출 정도를 평가하여 침투경로를 제공할 수 있는 잠재적인 공격벡터가 있는지 확인하는 평가 기법이다.

국내원전의 보안조치를 이행할 경우 일부 제약사항이 존재할 수 있을 수 있으나, 체계적인 사이버보안 대안조치 방법론은 원전의 보안조치 적용 프로세스를 최적화하는 하나의 방안이 될 수 있을 것이다.

원전 제어시스템 물리적방호 연계 보안조치 방법론 개발

A Development of Security Control Methodology in conjunction with Physical Protection Program for Control Systems in Nuclear Power Plants

이수일

한국수력원자력(주) 디지털혁신추진단

미국 원자력안전위원회는 2010년 Reg. Guide 5.71을 제정하여 기술적, 운영적, 관리적 보안조치 항목 147개를 사이버공격으로 부터 보호해야할 대상인 필수디지털자산에 적용하여 체계적으로 보호하도록 요구하고 있다. 또한 국내 원자력안전위원회는 KINAC/RS-015 기술기준서를 2013년에 제정하여 기술적, 운영적, 관리적 보안조치 항목 101개의 적용을 요구하고 있다. 하지만, 사이버보안을 고려하여 설계되지 못한 발전소 환경과 안전설계 특성에 따라 일부 보안조치가 적용될 수 없는 제약사항이 존재할 수 있다. 이에 따라 원전 대상설비에 보안조치를 이행할 수 없을 경우, 사이버공격에 고유의 기능이 영향이 없도록 대안조치 적용 방법을 고려하여야 한다.

본 논문에서는 사이버 보안조치 대안조치를 위한 하나의 방법으로 물리적방호 프로그램을 연계한 대안조치 방법론을 제시하고자 한다. NEI 13-10 지침은 원전을 대상으로 한 대표적인 공격벡터 5가지를 제시하고 있는데, 이는 직접적인 물리적 접근(Direct Physical Access), 직접적인 네트워크 연결(Direct Network Connectivity), 무선 네트워크 능력(Wireless Network Capability), 휴대용 미디어 및 장비(Portable Media and Equipment), 공급망(Supply Chain)으로 구성되어 있다. 이러한 공격벡터를 완화하는 동시에 대안조치 방법이 될 수 있는 물리적방호 프로그램의 세부 기술은 출입통제, 출입감시, 검색시스템 등이 있다.

우선 규제에서 요구하는 기술적, 운영적, 관리적 보안조치 중에 물리적방호 프로그램과 연계할 수 있는 항목을 분석하여 분류하였다. 이후, 각 보안조치에서 요구하고 있는 세부사항을 분석하여 하나의 물리적방호 기술 또는 여러 개의 물리적방호 기술의 집합을 통해 대안조치가 적용 가능한 방법을 분류하였다. 이러한 대안조치 방법으로 규제에서 요구하는 보안조치 항목의 모든 세부사항을 만족할 수는 없지만, 대안조치 방법과 발전소 운영 프로세스 등의 연계를 통해 보안조치와 동등한 수준 또는 사이버공격에 영향을 최소화 하는 방향으로 사이버보안 프로그램을 구축할 수 있을 것이다.

물리적방호 프로그램과 연계한 대안조치 방법의 예시를 들면, 기술적 보안조치 항목인 ‘최소특권’은 출입통제와 출입감시 시스템의 조합을 통해 이행될 수 있으며, ‘휴대용 매체 및 모바일 기기 접근통제’ 보안조치 항목은 출입통제, 출입감시, 검색시스템간의 조합을 통해 대안조치를 이행할 수 있게 된다. 또한, 운영적 보안조치 항목인 ‘필수디지털자산 화면 접근통제’는 출입통제와 출입감시 기술 간의 조합으로 이행될 수 있다.

국내원전에서는 체계적인 사이버보안 프로그램 구축과 보안조치 이행을 위해 다양한 대안조치 방법론이 개발되고 있으며, 이를 통해 보안조치 이행의 제약사항을 극복하고 현실적인 보안조치 이행에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

휴대용 방사선계측장비 교정 결과에 대한 적합성 평가방식 고찰

Study on the Conformity of Evaluation method for the Calibration results of Portable Radiological Instruments

김형진· 원유호*

한국수력원자력 중앙연구원

한수원 중앙연구원 내 KOLAS 공인교정기관을 운영하고 있으며 전원전 휴대용 방사선계측장비를 대상으로 연간 8,000 건에 달하는 교정 기술지원을 수행하고 있다. 교정 결과는 교정인자와 확장불확도로 보고하고 있으며 교정 결과에 대한 적합성 평가는 장비사용 보류 판단을 목적으로 일부 장비에 한하여 수행하고 있다. KOLAS 규정에서는 고객이 요청할 경우 교정결과에 대한 적합성을 진술하도록 요구하고 있으며 최근 개정된 KOLAS 지침에는 리스크 기반의 의사결정 방식을 반영하고 있다. 향후 교정결과에 대한 합리적인 적합성 진술을 수행하기 위해 KOLAS 지침을 기반으로 현재 중앙연구원의 적합성 평가방식을 고찰하였다.

교정결과의 적합성 진술을 위한 의사결정은 크게 세 가지 요소로 구분된다. 첫 번째는 허용한계 및 채택한계로 교정인자의 적합, 부적합을 결정하는 기준으로 사용된다. 두 번째는 보호대역으로 수학적으로 규격한계와 채택한계의 차이로 정의되며 보호대역의 설정에 따라 채택한계가 결정된다. 다시 말해 요구하는 장비 규격보다 낮은 채택한계를 설정함으로써 의사결정을 잘못할 확률을 감소시킬 수 있으며 통상 측정불확도 또는 리스크를 기반으로 해당 구역의 크기를 결정할 수 있다. 세 번째는 의사결정 규칙의 종류로 보호대역의 설정 유무와 진술 방식에 따라 단순채택에 따른 이분법적 진술(적합/부적합), 보호대역 설정에 따른 이분법적 진술(적합/부적합), 보호대역 설정에 따른 비이분법적 진술(적합, 조건부 적합, 부적합, 조건부 부적합)로 구분할 수 있다. 상기 세 가지 요소를 기준으로 중앙연구원의 적합성 평가방식을 검토하였다. 중앙연구원이 교정하고 있는 장비는 감마선서베이미터를 포함하여 약 6 종류이며 현재 적합성 평가기준이 설정된 장비는 2 종(감마선서베이미터, 표면오염감시기)이다. 이에 따라 장비 품목별 허용한계와 채택한계의 설정이 필요하며 ISO 설계 요건 및 구매 규격을 참고할 수 있을 것으로 판단된다. 다만 장비의 사용년수가 통상 10년 이상 이므로 노후 장비에 최초 설계 요건을 적용하였을 경우 구매 필요량, 장비 불용의 증가 등 비용 문제가 발생할 수 있으며 한계를 증가시킬 경우 측정 신뢰성 문제를 유발할 수 있으므로 적절한 기준이 필요하다. 채택한계의 설정과 관련하여 보호대역은 절차에 따라 0 또는 측정불확도(95% 신뢰수준, 정규분포)로 설정되어 있다. 효율적인 운영을 위해 의사결정 방식을 단일화할 필요가 있다. 또한 보호대역의 크기는 채택, 불채택 수량의 차이를 좌우할 뿐만 아니라 의사결정 리스크를 동반한다. 보호대역의 크기가 감소하면 잘못 채택할 확률이 증가하고 실 사용자의 리스크를 증가시키지만 보호대역의 크기가 증가되면 잘못 채택할 확률이 감소하는 반면 장비 사용가능 수량이 감소한다. 또한 진술방식에 따라 리스크가 변한다. 한수원의 특성상 장비관리자와 고객이 공존한 상황이므로 적절한 리스크를 고려할 필요가 있으며 적합성 진술 의사결정에 따라 기존 교정 결과를 재평가하여 비용, 리스크 등 현장적용성을 점검한 후 최종적으로 의사결정 방식을 선정할 수 있을 것으로 판단된다.

원전 해체사업에 적용가능한 WBS 수립 분석

An Analysis for the Establishment of Work Breakdown Structure (WBS) Applicable to NPP Decommissioning Project

유지환 · 서형우 · 김기립 · 이상현*

한국수력원자력(주) 중앙연구원 방사선해체연구소 원전사후그룹

*한국수력원자력(주) 디지털혁신추진단 디지털융합실 디지털혁신부

원전해체에 필요한 철거공사를 위해서는 사업관리 프로그램 마련이 필수적이다. 사업관리에는 작업연계구조라고 불리는 Work Breakdown Structure (WBS)를 기반으로 해체일정을 수립해야 하고 단위 인자가 근거가 되어야 한다. 본 논문은 해체원전에 필요한 WBS를 수립하는데 고려해야 할 단위인자 및 단위비용 인자 즉, 작업인수, 소요시간, 재료비용, 장비사용료 등의 적용을 통해 원전해체 비용에 산정할 내용과, 특히 작업내용에 필요한 단위 인자의 구성내용을 분석하여 기술하고자 한다.

원전해체 프로젝트는 일반적으로 크게 4 가지로 나누어 구분할 수 있다. 준비활동 (Preparation activity), D&D 작업 시공 (Decontamination & Dismantling work commencement), 부지복원(Site restoration), 임시저장 시설 운영 및 종료(Temporary storage facility operation and closure) 등이며 이것이 Level 1 으로 정의될 수 있다. 4가지 구분의 주요업무는 사전 제염 작업, 시설 영구정지 활동, 안전 보관 및 매물을 위한 추가적인 활동, 관리구역에서 철거 활동, 방사성폐기물 처리절차, 저장 및 처분, 부지 인프라 및 운영, 비방사성 물질 철거 활동, 폐기 및 부지 복원, 사업관리, 엔지니어링과 지원, 연구와 개발, 핵연료 및 방사성물질 관리 등이다. 특히 D&D 작업 시공에서는 사전 제염, 위험물질 제거, 주기기/계통 철거, 비방사성 기기/계통 철거, 방사성 기기/계통 철거, 철거 물질 제염, 건물 제염, 건물/구조물 철거, 유틸리티 운영 등으로 구체적으로 나타낼 수 있으며 이는 Level 2로 정의되며, 작업이 이루어지는 위치를 레벨 또는 격실별로 구역을 나타낼 수 있는데 이는 Level 3로 정의될 수 있다. WBS의 단위인자는 위와 같이 정의할 수 있으며, 이러한 WBS의 수립을 통해 해체사업 수행시 관리지점과 정확한 마일스톤(Milestone)을 지정할 수 있으며 원전해체와 관련된 이해당사자들에게 사업의 범위를 설명하는데 활용할 수 있는 자료가 될 것이다. 또한 WBS는 사업의 총 범위 시간 및 비용산정에 더 정확한 예측을 제공한다. 더 나아가 자료의 품질과 추적성을 보장하기 위해 재고량, 단위 인자, 기록 유지, 자료 보호가 추가적으로 연계되어야 할 것이다.

이와 같이 본 연구는 원전해체에 필요한 WBS 구성을 단계별로 구분하여 서술하였고, 원전해체 사업에 필요한 비용산출의 구성과 공사 내용을 단계별로 구분하여 WBS의 수립에 필요한 정보를 살펴보았다. 체계적인 WBS 구성은 문서, 비용, 공사, 폐기물, 안전 분야를 통합으로 사업관리 절차를 개발하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

인공지능 운전지원 시스템 시험을 위한 통합시험 환경구축
Development of Integrated Test Environment for AI(Artificial
Intelligence) based Operator Support System

박대승, 김윤구

한국수력원자력(주) 중앙연구원 계전연구소 운전기술그룹

한국수력원자력 중앙연구원에서는 “인공지능 기반 원전 기동 및 정지 운전지원 기술개발” 과제의 일환으로 기동/정지 운전지원 기술개발, 비정상 운전상태 판단 기술개발, 그리고 운전상태 감시 기술개발 등 다양한 운전지원 기술들이 개발되고 있다. 해당 과제는 원자력 발전소의 주제어실에서 복잡한 계산 및 운전변수 확인, 발전소 상태감시 등 여러 업무를 복합적으로 수행하는 운전원의 운전지원을 통해 인적 오류를 효과적으로 줄이는 것을 목표로 하고 있다.

본 논문은 운전원의 운전지원을 위해 개발 중인 다양한 운전지원 기술의 통합시험 과정과 통합시험이 가능한 환경구축의 필요성 그리고 시험 방향에 대해 고찰해 보고자 한다. 현재 개발 중인 시스템의 발전소 적용을 위해서는 대상 발전소를 미리 정해야 한다. 해당 시스템은 APR1400(Advanced Pressurized Reactor 1400MW)에 최적화되어 개발 및 제작이 되었고 개발과정에서 사전 연계시험을 진행하여 통합시험에 대비하였다. 통합 인터페이스 구축을 위해 시스템과 APR1400 시뮬레이터 간 데이터베이스(DB)를 최적화하였으며 최적화된 DB를 기준으로 시스템과 시뮬레이터 간 연계를 완료하였다. 통합시험 이전 운전자동화 시스템 적용에 따른 효과를 정량적 관점(운전원의 조작빈도)과 정성적 관점(운전원 작업 부하 경감률)을 평가해보았고 자동화 시스템 적용이 작업부하와 조작빈도를 낮춰주는 것으로 평가되었다.

개별 시스템과 APR1400 시뮬레이터 간 통합 인터페이스의 연계가 완료되고 난 이후에는 운전원이 직접 개발된 시스템을 활용하여 기동/정지 운전 시험이 가능한 환경구축을 완료하고 개발된 시스템의 검증을 위해 운전원의 업무부하 및 수행도를 포함한 인간공학 평가를 수행하게 된다. 해당 시스템의 적용 가능성을 보기 위해서는 향후 설치될 현장과 가장 유사한 환경을 구축하여 설치하고 먼저 시험해 보아야 한다. 한수원 중앙연구원은 APR1400 노형의 발전소에 대응하는 주제어실 검증설비를 갖고 있으며 통합시험 환경 구축은 해당 검증설비에서 진행 예정이다.

통합시험 환경구축을 통한 시험 계획은 향후 발전소 적용을 위한 단계이며 실제 가동원전에 적용할 수 있도록 실용화 방안을 수립하고 인허가가 필요한 사안에 대해서는 인허가에 필요한 기술보고서 작성을 계획하고 있다. 이렇게 검증되고 평가가 완료된 운전지원 시스템은 가동원전에 적용하여 인적오류 저감에 기여하게 될 것이다.

빅데이터 분석을 통한 중국과 한국의 미세먼지의 상관관계 분석: 코로나 이전과 이후 비교

Correlation Analysis between China and Korea for PM2.5 and PM10 using Big Data: Comparison of Before and After Covid-19

천세학* · 이기욱** · 장재원***

*서울과학기술대학교 경영학과 교수, **서울과학기술대학교 건설공학과,

***서울과학기술대학교 기계공학과

우리나라의 미세먼지, 초미세먼지의 원인은 국내 내부적 요인도 있겠지만 많은 국민들은 중국의 요인도 상당하다고 생각한다. 이는 중국 황사의 영향으로 국민들이 많은 고통을 호소하고 있고, 마찬가지로 미세먼지, 초미세먼지도 중국의 영향을 배제할 수 없다는 생각을 하고 있다. 이는 국내 미세먼지, 초미세먼지를 예측할 때, 정부의 보고서도 풍향, 강수량외에 중국 산둥성, 베이징, 허베이성 지역의 에어로졸 농도를 이용하고 있다는 것은 이를 반영하고 있다. 특히 미세먼지가 나쁨일 경우는 풍향은 서풍이었고, 산둥성, 산시성, 베이징-허베이성 등의 중국 지역의 에어로졸 농도가 매우 높은 경우라고 밝힌 바도 있다.

본 연구에서는 2015년 1월부터 2017년 3월까지의 중국 베이징과 서울의 시간별 데이터를 이용하여 베이징과 서울의 미세먼지, 초미세먼지의 상관관계를 분석한다. 풍향과 강수에 따라 상관관계가 달라질 수 있기 때문에 이에 관하여 ANOVA분석도 한다. 특히 국내 입장에서 서풍이고, 베이징의 미세먼지가 높을 때 서울의 미세먼지가 풍속에 따른 시간 차를 두고 같이 높다면 이 두 도시간의 미세먼지는 상당한 관련성이 있다는 가설에 기반한다. 또한 2020년 2월 이후 Covid-19이후 국내 미세먼지가 급격히 줄어든 이유가 과연 Covid-19로 인한 국내의 제조생산활동의 감소, 에너지사용율 등의 감소로 인한 이유인지, 아니면 중국의 생산활동, 에너지사용율의 감소로 인한 이유인지 살펴보고자 한다. 중국의 경우 2018년 이후에 미세먼지, 초미세먼지에 대한 데이터를 확보하는 것이 어려워 중국의 제조활동의 척도로 볼 수 있는 월별 자동차 생산량과 국내 월별 평균 미세, 초미세 농도와와의 관계를 살펴본다. 특히 2020년 2월 이후 일별 국내 코로나 환자수와 미세먼지와와의 관계를 살펴보고, 동시에 중국의 코로나 확진자 수의 증가율에 따른 국내 미세먼지의 상관관계도 살펴본다. 이는 중국의 코로나 확진자 수가 증가하는 것은 중국의 생산시설가동율이 낮아질 수 있다는 가설이고, 이로 인해 중국의 미세먼지가 줄어들 수 있고, 이것은 결국 국내 미세먼지 농도도 중국에 영향을 받지않아 낮아질 수 있다는 가설에 기인한 것이다. 다만, 인구가 세계적으로 1,2위를 다투는 중국이 국내의 코로나 확진자 수보다 작은 것을 분석해야하는 어려움이 있어 중국에서 발표하는 코로나 확진자 수의 증가율을 이용하여 분석해야하는 한계점도 있다.

핵심어: 초미세먼지, 미세먼지, 빅데이터, Covid-19, 상관관계, 회귀분석

신규 Top-down 과제 기획관리 사례 연구 A Case Study on the Top-down R&D Planning Process

성민아 · 박년배 · 이원용*

한국에너지기술연구원 연구기획조정실

한국에너지기술연구원은 국가의 에너지 산업의 환경 및 시장 변화에 선제적으로 대응하기 위해 에너지기술을 개발하고 관련 정책 수립에 기여하고 있다. 탄소중립, 그린뉴딜, 수소경제 등 정부 정책과 연계하여 기관 R&R을 바탕으로 국가·사회 현안과 기업 수요에 대한 문제를 해결할 수 있는 에너지기술을 개발하기 위해서는 연구과제 기획이 중요하다. 한국에너지기술연구원은 2020년 3월 정부출연연구기관 최초로 미래 시장수요에 기반한 핵심 이슈를 도출하여 이를 해결하기 위한 방안의 R&D 주제를 Top-down 방식으로 발굴하기 위해 연구기획조정실을 신설하고 R&D 기획전문위원(Program Director(PD)) 제도를 도입하였다. 연구기획조정실과 R&D PD는 신규 과제 기획, 진행과제의 마일스톤 점검 등 전주기적인 과제 관리 임무를 주요 역할로 수행하고 있다. 본 논문을 통해 Top-down 과제 발굴 및 관리 프로세스와 2020년 성과를 소개하고, 향후 Top-down 과제 발굴, 기획 방향에 대해 제시하고자 한다.

2020년 Top-down 과제는 연구원 중점 기술과 수요분석을 통해 미래 시장과 사회문제 해결을 위한 핵심 현안들로 도출되었다. 연구원내 24개 연구실의 총 46개 중점기술에 대한 value chain 분석을 통해 공백 분야 융합과제 후보를 도출하였으며, 동시에 에너지 관련 산업 동향 분석(국내외 정책 동향, 산업체 수요기술 및 메가트렌드 분석 등)을 통해 후보과제 분석을 바탕으로 Top-down 후보과제를 확정하였다. 또한, 기획과제의 전주기 관리 고도화 차원에서 기획과제의 목표관리체계 및 현장실사 체계를 확립하였다.

본 사례분석을 통한 시사점은 다음과 같다. 연구기획조정실과 PD 주도로 미래 시장성, 사회문제 해결등 공익기여도와 연구원 중점기술에 기반한 Top-down 연구주제를 발굴함으로써 외부 수요와 내부 역량이 동시에 반영이 된 Top-down 과제 기획을 고도화하였으며, 과제의 목표와 TRL을 동시에 관리할 수 있는 전주기 관리 체계 프로세스를 추가 구축하여 체계적이고 장기적으로 과제를 관리하여 주요사업 운영체계의 완성도를 향상시킬 수 있다는데 의의가 있다. 2030 국가온실가스 감축목표(NDC)와 2050 장기저탄소발전전략(LEDS)에 기여할 수 있는 부서간 협력에 의한 대형 융·복합기술과 게임 체인저로서의 한계돌파형 기술 도출을 위한 기획을 강화하고, 마일스톤 점검과 전문가 컨설팅 기능 강화를 통해 Top-down 기획과제 전주기 관리를 고도화할 예정이다.

본 연구는 한국에너지기술연구원 주요사업으로 수행한 결과입니다(C1-2443).

전력수급계획의 환경-경제적 효과 비교

The comparison of environmental and economic performances for the basic plans for long-term electricity supply and demand

김승수 · 정환삼

한국원자력연구원 혁신전략부

최근에 발표한 우리나라의 전력수급기본계획은 깨끗하고 안전한 에너지 사용을 추구하는 에너지전환 정책에 초점을 맞추어 환경성과 안전성을 고려해 수립되었다. 본 연구는 기존의 전력수급계획들이 내포하고 있는 속성 중에서 환경-경제적 효과에 중점을 두고 비교하였다. 분석의 대상으로 한 전력수급계획은 제7차에서 제9차에 이르는 최근의 계획을 대상으로 하였다.

이 연구에서 비교적으로 삼은 환경적 효과는 글로벌 기후변화의 핵심 원인인 온실가스 배출과 대기오염의 최대 위협요인으로 대두된 미세먼지 배출을 비교하였다. 이들 요인들은 발전단(end of pipe)에서 본 배출이 아니라 발전부문 전과정(whole life cycle)에서의 발생량을 기준으로 하였다. 이들 오염물들은 발전소 입지주변 뿐 아니라 글로벌 사회 영향을 미치고 우리나라 발전 전과정이 해외의 value chain에 상당부분 연계되어 있기 때문이다. 그리고 경제적 효과는 사업주의 비용을 포함한 우리나라의 균등화발전원가(LCOE)를 기준으로 산정하였다.

분석대상 전력수급기본계획들의 환경-경제적 효과를 제7차 기본계획 기한인 2029년을 기준으로 보면 제8차와 제9차 기본계획에서 온실가스 발생은 각각 0.8%와 5.3% 저감되고 미세먼지 발생은 각각 13.0%와 17.9% 줄어드는 것으로 추정되었다. 이에 비해 전력생산비용 총액은 각각 4.8%와 6.9% 증가하였다. 이러한 결과는 원자력발전과 같은 가성비 높은 저탄소발전원의 활용을 심도 있게 검토할 필요가 있음을 시사하고 있다.

이 연구는 발전량과 부하율 등 연산에 드는 파라미터 조달의 어려움으로 인해 실적자료를 통해 추정치를 만들어 사용하였다. 우리나라 전환부문의 환경-경제적 영향이 매우 높다는 점에서 전문가 기여를 높이기 위한 정보의 공유가 필요하다. 이는 세계 9위 수준의 온실가스 배출국이자 세계 최하위 수준의 미세먼지 영향 국가로 평가되는 우리나라에서 신뢰성 있는 준거값(reference value) 생산과 효율적인 전력정책 수립을 위한 초석이 될 것이다.

Key words : 전환부문, 환경-경제적 효과, 온실가스, 미세먼지, 균등화 발전비용, 전력수급 기본계획

References :

- (1) 산업통상자원부, 차수별 전력수급기본계획, 해당연도
- (2) 에너지경제연구원, 에너지통계연보 2020
- (3) Eco Invent 3.1
- (4) IAEA, Climate change and nuclear power, 2020
- (5) IEA and NEA, Projected Costs of Generating Electricity 2020 Edition, 2020

LPG 선박 충전을 위한 안전기준 연구 A Study on Safety Regulations for LPG Bunkering

최슬기 · 백지효 · 유철희
한국가스안전공사 가스안전연구원

국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)의 국제해양오염방지조약(MARPOL) Annex VI규정 14에 따라 2020년부터 국제항해에 종사하는 모든 선박은 모든 해역에서 황 함유량 0.5%이하의 연료유를 사용해야 함에 따라 저유황유를 사용하거나 배기가스에 포함된 황산화물 등 유해가스를 제거하는 장치를 장착하고 있다. 또한 친환경 연료 추진선박을 개발하여 사용하는 방안이 부각되고 있다.

경제성 및 안정성을 고려하였을 때 대체연료를 사용하는 친환경 연료 추진선박이 해양 환경 규제 강화에 가장 효과적으로 대응할 수 있다고 고려되고 있다. 친환경 연료로는 LPG, LNG, CNG 등이 고려되었으나, 설비가 간단하고 취급이 용이하며, 열량 대비 작은 저장공간이 필요한 장점을 가지고 있는 LPG를 연료로 사용하는 선박을 개발하고 있다.

「액화석유가스의 안전관리 및 사업법 시행령」 제3조에서 액화석유가스 충전사업으로는 용기 충전사업, 자동차에 고정된 용기 충전사업, 소형용기 충전사업, 가스난방기용기 충전사업, 자동차에 고정된 탱크 충전사업, 배관을 통한 저장탱크 충전사업 등 6개 사업만을 규정하고 있다. 따라서 LPG를 연료로 사용하기 위해 선박에 고정되어 있는 탱크에 충전하기 위해서는 해당 충전사업이 규정되어야 하며, 이에 따른 시설기준, 기술기준 및 검사기준이 제정되어야 한다. LPG 선박 개발 및 보급화 지원을 위한 실증 기반으로 안전기준을 마련하고 위험성 평가, 개선안 마련 등을 통해 안전관리 법규 및 KGS Code를 제개정하고자 한다.

탄소중립을 위한 국내외 동향 분석 연구
Study on Global Trends Analysis for Net-zero

김혜진 · 배치혜 · 정혜림 · 박민희*

한국에너지기술연구원 기후기술전략실

지구온난화로 인한 이상기후 현상이 세계 곳곳에서 빈번하게 발생함에 따라 국제사회는 기후위기를 극복하기 위한 정책적 노력을 강화하고 있다. 유럽(EU)을 시작으로 일본, 미국, 중국 등 세계 약 130개국은 탄소중립(Net-zero)을 선언하였으며, 이미 일부 국가는 법제화를 완료하는 등 2050년까지 온실가스 순 배출을 제로(0)화하기 위한 국가차원의 강한 의지를 표명하고 있다. 국제사회의 노력에 발맞춰 우리나라도 2020년 10월 ‘2050 탄소중립’을 선언하였고, 2020년 12월엔 ‘탄소중립 추진전략’과 ‘2050 장기저탄소 발전전략’을 잇따라 발표하였다. 석탄발전과 제조업 비중이 상대적으로 높은 우리나라가 탄소중립 사회로 전환한다는 것은 매우 도전적인 과제이며, 탄소를 획기적으로 저감할 수 있는 탄소중립 혁신기술을 확보하는 것이 필요한 상황이다. 본 연구에서는 주요 국가들의 탄소중립 관련 정책·전략·기술·산업 현황을 파악·분석하고, 관련된 정보를 추출함으로써 우리나라의 ‘2050 탄소중립’을 견인할 수 있는 정책·전략 수립을 위한 기반자료로 활용될 것으로 기대한다.

Acknowledgements : This research was supported by the Technology Development Program to Solve Climate Changes through National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science and ICT(NRF-2017M1A2A2081249)

Highly Porous Copper aerogel monoliths— Synthesis, Characterization and Application

윤정원^{1*} · Ramya Ramkumar¹ · 김우경^{**}

¹School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan—si, South Korea

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

Abstract: Highly porous metal aerogels have unique properties such as high porosity, low density, large volume and high surface area. Highly conductive and active copper aerogels are found to be efficient electrode materials in energy storage applications. We have successfully synthesized copper aerogels using room temperature approach using a one—pot method 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. The electrochemical properties of the aerogels were analyzed using Cyclic Voltammetry (CV) and Electrochemical Impedance Spectroscopic (EIS) techniques.

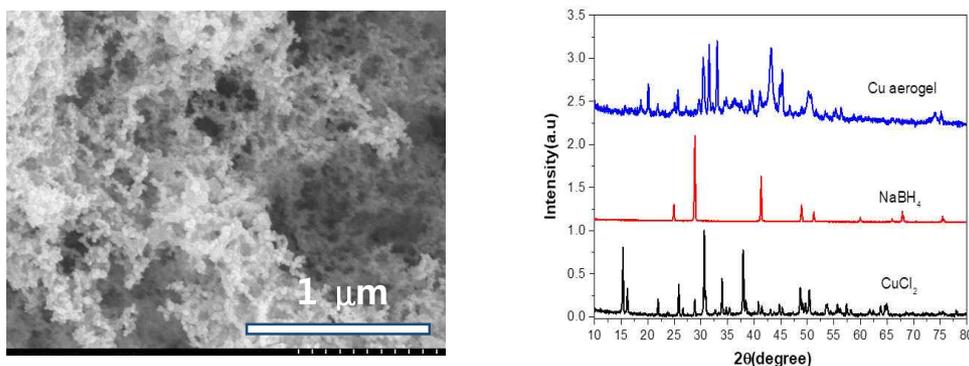


Figure 1: SEM image and XRD spectra of copper aerogels.

Analysis of design variables and performance parameters of hydrogen liquefaction process using machine learning

민성웅 · 무하마드 압둘 퀴엄 · 이문용*

영남대학교 화학공학부

* Corresponding Author: Prof. Moonyong Lee (mynlee@yu.ac.kr)

Hydrogen is the most abundant element in the universe and at the same time has a very high specific energy, proving its value as a new fuel for recent years. However, energy efficiency improvement is necessary in transportation and storage, and various methods are being developed to solve this. Hydrogen liquefaction was judged to be the most appropriate in terms of energy consumption from storage to use, and research for maximizing the energy efficiency of the hydrogen liquefaction process is actively underway. This is closely related to the optimization of the process, and the parameters in the process are represented by the relationship between a number of independent and dependent variables. Based on this part, this study will conduct machine learning-based big data analysis on a typical hydrogen liquefaction sample process, organize and visualize a large amount of case study data, and discuss whether the results are valid. For the design and performance data of the process, a well-known commercial simulator Aspen Hysys is used and thermodynamic evaluation of exergy destruction and performance parameter is performed.

에너지 저장용 폴리아닐린 포장된 MnMoO_4 연구

Polyaniline-wrapped MnMoO_4 for Energy Storage Application

Asiya M. Tamboli · Mohaseen S. Tamboli · Bomyung Kim · Chinho Park

School of Chemical Engineering, Yeungnam University

The sharp increase of research passion in the new-generation energy storage in recent years has resulted in a new trend in two types of material to enhance the energy storage performance. We report the synthesis of MnMoO_4 -PANI nanocomposites by using in situ polymerization method by using various concentration of MnMoO_4 with respect to PANI. The prepared MnMoO_4 -PANI composites were characterized by X-ray diffraction analysis and Fourier transform infrared spectroscopy for the phase and formation, respectively. The surface morphology was investigated by using FESEM, which revealed the formation of the MnMoO_4 -PANI composite. The electrochemical properties have been examined using cyclic voltammetry (CV), galvanostatic charge-discharge, cycling stability and electrochemical impedance spectroscopy. The electrochemical study of MnMoO_4 -PANI composites showed the highest specific capacitances of 348 F/g at a current density of 3 A/g. The cyclic stability demonstrated the specific capacitance after consecutive charge-discharge cycles at a constant current density of 3 A/g, which is also higher than that of pristine MnMoO_4 . Thus, the electrochemical properties of the fabricated symmetric supercapacitor device with the MnMoO_4 /PANI electrode suggested its great potential for commercial applications.

광전기화학 물 분해 성능 향상을 위한 BiVO₄/Graphene 광음극 연구
BiVO₄/Graphene Photoanode for Enhanced Photoelectrochemical Water
Splitting Performance

Mohaseen S. Tamboli · Asiya M. Tamboli · Vasudeva Reddy Minnam Reddy · Bomyung
Kim · Chinho Park

School of Chemical Engineering, Yeungnam University

Hydrogen fuel is generated using renewable energy instead of fossil fuels. Photoelectrochemical (PEC) water splitting is a promising approach to convert water into H₂ and O₂ using solar energy. Hence, the generation of a renewable H₂ fuel serves as a clean energy for transportation, manufacturing, and many more. Bismuth vanadate (BiVO₄) is an attractive and efficient photoanode for photoelectrochemical(PEC) water splitting due to excellent visible light activity and good photo-chemical stability. However, due to poor charge separation and low charge carrier mobility hinder the improvement of PEC performance of BiVO₄. However, graphene has been demonstrated as active co-catalysts and photosensitizers to facilitate surface water oxidation kinetics. Therefore, to improve the over all efficiency, we propose two component system BiVO₄/graphene hybrid composites. BiVO₄ and BiVO₄/Graphene nano-structures have been prepared by chemical method. XRD shows the phases of BiVO₄/graphene hybrid composites and FE-SEM and TEM reveled strong interface between BiVO₄ and graphene. Surface area and active sites plays a very important crucial role in photocatalysis. The pristine material with graphene incorporation, showed an excellent photocatalytic activity under natural sunlight. Therefore, the developed material is a promising candidate for potential photocatalysis applications.

Potentials and Challenges for Liquid Air in Energy Network

Amjad Riaz · Muhammad Abdul Qyyum · Moonyong Lee*

School of Chemical Engineering, Yeungnam University,

* Corresponding Author: Prof. Moonyong Lee (mynlee@yu.ac.kr)

Energy storage systems have become more important because of increased use of renewable energy sources. Among others cryogenic energy storage systems show much promise. Liquid air energy storage is a budding technology, and many integral studies are being presented recently. This study aims to gauge the potential and highlight the challenges associated with this technique.

CO₂ solidification-based biogas upgrading followed by bio-LNG production

Ahmad Naquash · Muhammad Abdul Qyyum · Moonyong Lee†

School of Chemical Engineering, Yeungnam University

† Corresponding Author: Prof. Moonyong Lee (mynlee@yu.ac.kr)

CO₂ solidification-based cryogenic biogas upgrading is an innovative and un-conventional technique. Cryogenic upgrading is integrated with liquefaction mainly because of its dual benefit (biogas upgrading and precooling of biomethane). Therefore, a CO₂ solidification-based biogas upgrading process is proposed and integrated with bio-LNG production process. The proposed process is simulated and investigated in Aspen HYSYS and validated against experimental data. Modified coordinate descent approach is used to optimize this integrated process aiming to reduce energy consumption. The optimized results show significantly low energy consumption (0.49 kWh/kg) than the base case (1.57 kWh/kg) process leading to 68.6 % energy savings. Further, the exergy analysis shows 23.7% exergy efficiency. The economic evaluation suggests total annualized cost savings of 37.6%. Concluding, the proposed process show comparatively significant advantage in terms of process configuration, energy and exergy efficiency, and process economics.

Ruddlesden–Popper oxide with in situ grown CoNi alloy nanoparticles as a solid oxide electrolysis cell cathode catalyst for CO₂ electrolysis

박성민· 윤원근· 이승준· 최준일· 박민선· 한정현· 강송규· 김원배
포항공과대학교 화학공학과

We have developed in situ grown CoNi alloy nanoparticles socketed on the Ruddlesden–Popper catalyst and its use as an effective catalyst for high temperature CO₂ electrolysis in a solid oxide electrolysis cell (SOEC). This catalyst is obtained by in situ annealing a perovskite–derivative of (La,Sr)(Co,Ni,Mn)O₃ in flowing H₂ at the operation temperature and in situ exsolved CoNi alloy nanoparticles were confirmed by use of XRD, SEM, TEM and EDS. The current density value of 703 mA/cm² was achieved at 1.3 V and 850 °C with a high faraday efficiency. More importantly, no sign of performance degradation is exhibited as observed by stability test over a period of 90 h operation in an H₂S–contained CO₂ gas condition. Therefore, this Ruddlesden–Popper material with in situ exsolved CoNi alloy nanoparticles could served as the promising cathode material for practical application to H₂S–contained CO₂ gas conditions that are emitted from power stations or steel making plants.

CO₂ electrolysis Ruddlesden–Popper cathode prepared with *in situ*
exsolved Fe nanoparticles in solid oxide electrolysis cell

최준일 · 박성민 · 이승준 · 박민선 · 김지훈 · 김원배

포항공과대학교 화학공학과

To reduce the CO₂ gas in atmosphere, CO₂ electrolysis has been getting attention as useful way to reuse the emitted gas by converting to useful materials. In this study, *in situ* exsolved Fe nanoparticles socketed on Ruddlesden–Popper support (Fe–R.P.LSMF) was adopted as cathode catalyst for CO₂ electrolysis in SOEC. The button cell of LSMF–GDC|LSGM|LSCF–GDC was prepared and used as high temperature CO₂ electrolysis system with annealing in H₂ at cathode side before the CO₂ electrolysis test. High current density value at 1.5V and 850°C with an almost 100% Faraday efficiency was reported, and even long and stable performance was observed over the 100h continuous operation. Therefore, the Fe–R.P.LSMF is highly promising candidate with high performance and stability for CO₂ electrolysis cathode in SOEC.

Development of Electrochemical Sensors and Sensing Technology for Hydrogen Fuel Cell Vehicle Applications

Soon-Won Jung · Min Jae Jho

Division of Energy & Optical Technology Convergence, Cheongju University

Proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs) are among the most promising clean power system technologies being developed for transportation applications. However, the use of hydrogen and other combustible gases for automotive applications requires safety sensors and controls to prevent fire and explosion hazards. In addition, fuel cell manufacturers have indicated that they have a strong need for a hydrogen sensor. For storage systems, the sensor is needed because fuel cell vehicles use exhaust gas recirculation, and, therefore, there could be build up of water, nitrogen, and other diluents in the fuel stream. Therefore, hydrogen sensor is needed in order to protect and to efficiently operate the PEMFCs.

In this study, we report recent progress in our work to develop potentiometric electrochemical hydrogen sensor and sensing technology for future hydrogen fuel cell vehicles. The proposed sensor consists of two electrodes on an oxygen ion-conducting electrolyte. One electrode serves as a "reference" and the other as a "sensing" electrode. The electrode materials are selected so that they have different catalytic activities toward the oxidation of hydrogen gas. This causes the electrodes to individually reach a potential that is dictated by electrochemical kinetics. The sensor operates by measuring the potential difference between these electrodes, and the hydrogen concentration can be correlated with the magnitude of this potential difference.

Acknowledgements

This research was supported by Industry University Convergence Area R&D Program from Ministry of Trade, Industry and Energy through Chungbuk Energy Institute for Industry-University Convergence(CBE-2020-03).

고분자 전해질막 연료전지의 산소 환원 반응 향상을 위한
전이금속-질소-탄소 촉매 개발

Development of M-N-C Catalysts for the Oxygen Reduction Reaction in
PEMFCs

손동규 · 이유현 · 김난경 · 김지수 · 이기백*

영남대학교 화학공학과

The increase in carbon dioxide emissions has been a direct cause of climate change in recent years. One of the most promising alternative renewable energy sources is fuel cells that are green energy with no carbon emissions. Among various types of fuel cells, the polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC) is attracting attention as a system that can replace fossil fuels in the future with zero carbon emission, high efficiency, and low-temperature operation. The oxygen reduction reaction (ORR) is also particularly important in the energy conversion system of fuel cells. However, the ORR reaction takes place more slowly at the opposite electrode and requires a highly active catalyst. To date, a lot of research has been conducted using platinum catalysts, which has the disadvantage of high cost and dissolving platinum. Therefore, in PEMFC, a lot of effort has been made to improve performance and durability by using inexpensive platinum alloys or transition metals to replace expensive platinum with carbon supports.

In this study, a metal hybrid nitrogen-doped carbon nanofiber catalyst (M-N-C, M=Fe,Co,Ni) was synthesized through electrospinning. In addition, by synthesizing a bimetallic metal using two transition metals, performance improvement is expected due to the interaction between metals and N-doped carbon nanofibers. Since transition metal catalysts are cheaper than conventional platinum catalysts and they have more stable durability in acidic environments, they are being studied as a next-generation catalyst to replace platinum. The as-prepared M-N-C catalyst was characterized by SEM, TEM, XRD, BET, and XPS analysis. The effect of M-N-C on ORR activity and PEMFC performance have been systematically investigated. Their electrochemical studies were measured in oxygen-saturated perchloric acid solutions using a rotating disk electrode (RDE). This work provides in-depth insight into the electrocatalytic activity of oxygen reduction reactions and the best PEMFC performance enhancement.

산소환원반응용 백금-니켈 합금 촉매의 구조 제어

Structure control of Pt-Ni alloy catalysts for oxygen reduction reaction

김동건 · 이수진 · 정성권 · 이은희 · 정혜원 · 김필*

전북대학교 반도체·화공학부

양이온 교환막 연료전지의 산소극에서 일어나는 산소 환원 반응은 일반적으로 높은 과 전위를 수반하며 속도론 적으로 느린 반응이다. 따라서 연료전지가 높은 성능을 내기 위하여 활성이 높은 전극 촉매가 필요하며, 주로 백금 기반의 촉매가 사용된다. 하지만 백금 촉매의 성능 한계와 높은 가격이라는 단점이 있어, 기존의 촉매보다 활성을 개선하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 다양한 문헌을 통해 중공형 형태의 백금-비귀금속 합금 촉매는 높은 활성과 내구성을 나타내는 것으로 알려졌으며, 중공형 구조의 입자는 갈바니 치환반응을 이용하여 형성할 수 있다. 하지만 대기 중에서 쉽게 발생하는 비귀금속 산화물은 백금 이온과의 치환반응을 방해하기 때문에 금속의 산화를 막을 수 있는 합성 조건의 최적화가 필요하다.

본 연구에서는 pH에 따라 갈바니 치환반응으로 형성되는 입자를 관찰하여 중공형 백금-니켈 입자를 형성하기 위한 2가지 경로를 파악하고 촉매의 합성 조건을 최적화하였다. 촉매는 탄소 담체에 담지 된 니켈 입자를 소성하고 백금 이온과의 치환반응을 통해 합성하였다. 합성된 촉매는 전기화학적 분석 방법을 통해 산소 환원 반응 성능을 검증하고, 투과전자현미경, X선 회절분석법, X선 광전자 분광법 등을 이용하여 물성 분석을 하였다.

철이 배워된 탄소전구체로부터 제조한 촉매의 특성분석 및 산소환원반응 성능평가

Characterizations and ORR performance evaluation of catalysts prepared by using iron-coordinated carbon precursors

이은희 · 김동건 · 이수진 · 정성권 · 정혜원 · 김필*

전북대학교 반도체·화학공학부

연료전지는 기존 내연기관을 대체할 차세대 친환경 에너지 변환 장치로 주목받고 있다. 그러나 전극에 사용되는 백금 촉매가 높은 가격으로 시스템 비용을 높이는 문제가 있다. 또한 양극에서 산소환원반응이 일어날 때의 높은 과전위 때문에 원하는 출력을 얻기 위해서는 많은 양의 백금과 같은 귀금속 촉매가 필요하다. 이러한 단점을 극복하기 위해 비귀금속을 활용한 전극 촉매를 개발하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 비귀금속을 활성점으로 하는 질소가 배워된 M-N-C 촉매가 알칼라인 환경에서 백금 촉매에 준하는 우수한 산소환원반응 성능을 나타내는 것으로 보고된 바 있다.

본 연구에서는 질소종을 포함하는 탄소전구체인 1,8-Diaminonaphthalene의 주입 속도를 조절하여 최종 몰 수비 1:1로 철을 담지하였다. 이후, 열처리 및 산처리를 진행하여 촉매를 제조하였다. 제조된 촉매는 TEM, XRD 등 물성분석과 전기화학적 성능평가를 수행하였다. 산소환원반응 성능평가 결과, 1,8-Diaminonaphthalene를 0.5몰 먼저 주입하여 제조한 촉매인 X2→X1 800-800이 가장 우수한 성능을 보였다.

돼지혈액을 이용하여 제조한 촉매의 열처리 조건에 따른 산소환원반응 성능
평가

Effect of heat treatment conditions on the oxygen reduction reaction
over pig blood-derived catalyst

정혜원 · 김동건 · 이수진 · 정성권 · 이은희 · 김필*

전북대학교 반도체화학공학부

수소연료전지는 최종적으로 물을 생성함으로써 오염물질, 공해 물질 배출이 거의 없는 청정 발전원이다. 수소연료전지의 양극에서 산소환원반응이 일어나는데 활성과 내구성이 뛰어난 백금 기반 촉매를 사용하고 있다. 하지만 백금 기반 촉매는 비싸다는 단점을 가지고 있기 때문에 고가의 백금을 대체할 비귀금속 촉매의 개발이 필요하다. 바이오매스는 낮은 비용으로 높은 활성을 가질 수 있고 질소를 포함하는 유기물로 구성되어있어 전극 물질 전구체로 사용 가능하다. 돼지 혈액은 Fe-porphyrin 구조로 되어 있기 때문에 버려지는 혈액을 이용하여 비귀금속 촉매를 제조할 수 있다.

본 연구에서는 돼지 혈액을 활용하여 고성능의 산소환원반응 촉매를 제조하고 열처리 조건에 따라 TEM, XRD, ICP, XPS 등의 특성분석을 진행하였다.

배열회수보일러 상향식 핀(Fin) 튜브 내면 결함평가에 관한 연구
A Study on Inner Defect Evaluation of Fin Tube for Upward Heat
Recovery Steam Generator

서정석 · 길두송 · 정계조 · 허재실

한국전력공사 전력연구원

발전설비 중 보일러는 가혹한 환경에서 가동되기 때문에 부속 기기가 여러 원인으로 손상되며, 일반적으로 경년에 따라 손상정도(열화)가 심화 되는 양상을 띠게 되고 설비의 손상은 불시정지와 운전 및 정비비용을 상승시켜 설비의 경제적 운영을 저해시키는 원인이 되고 있다. 복합화력발전소의 배열회수보일러(HRSG : Heat Recovery Steam Generator) 튜브는 내면의 다양한 손상 메커니즘에 의해 누설 및 고장이 빈번하게 발생하고 있으며, 배열회수보일러 튜브의 외면은 핀(Fin)이 부착되어 있어 접근이 어려울 뿐만 아니라 외부 육안점검에 의한 손상 부위 판별이 어려워 실제 누설이 발생 되기 전까지 적절한 검사방법이 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 발전설비 중 배열회수보일러의 헤더(Header)로부터 위쪽 방향으로 설치된 상향식(Upward Form) 핀(Fin) 튜브의 내면검사를 위하여 이송장치를 튜브 헤더(Header) 내부에 장착한 후 초당 10cm의 고속으로 구동시켜 원격에서 배열회수보일러에 설치된 핀(Fin) 튜브의 내면을 안정적이고 빠르게 검사함으로써 핀(Fin) 튜브의 상태를 보다 정확하게 제공하기 위한 연구를 수행하였다.

봄철 발전소 주변지역 고농도 미세먼지 사례의 유기성분 특성 Characteristics of Organic Components on the High PM_{2.5} concentration observed at Power Plant Area in Spring Season

강수지 · 성진호 · 천성남*

전력연구원 에너지환경연구소 미세먼지솔루션프로젝트팀

우리나라의 고농도 미세먼지 현상은 다양한 원인에 의해 발생한다. 특히, 봄철에 집중되는 고농도 미세먼지의 출현은 국외적 요인과 국내적인 요인이 결합되어 그 지속시간이 길고 1차 배출 오염물질의 이동 및 축적뿐만 아니라, 오염원을 통해 배출된 가스상 전구물질들이 대기 중 화학반응과 기체-입자 변환과정을 거쳐 생성된 2차 미세먼지가 혼합되어 있는 복잡한 특성을 갖는다. 2차 생성 미세먼지는 가스상으로 배출된 오염물질 중 미세먼지 생성에 관여하는 오염물질(전구물질)이 대기 중에서 화학반응을 거쳐 만들어지는 것으로 이들은 대부분 그 크기가 작고 반응에 관여하는 전구물질에 따른 화학성분을 가지게 되므로 경우에 따라서는 화학적 독성도 높아질 수 있는 것으로 알려져있어 1차 미세먼지보다 관심을 가지는 것이 필요하다.

최근에는 고농도 미세먼지 발생원인을 규명하기 위하여 실시간 분석을 통해 화학반응과 발생원인을 분석하는 연구가 대도시 중심으로 진행되고 있으며 특히 에어로졸 질량분석기(Aerosol Mass Spectrometer, AMS)를 이용하여 대기 중 미세먼지의 물리 화학적 특성을 파악하여 배출원을 추정하는 다양한 시도들이 진행되고 있으나, 해안가 및 산업단지 등 자연적/인위적 배출원이 밀집된 발전소 지역을 대상으로 한 관련 연구는 부족한 실정이었다.

본 연구에서는 미세먼지/전구물질 측정시스템을 이용하여 봄철(2018.3.19~4.16) 서해안에 위치하여 국외 오염물질의 이동에 따른 유입특성을 관측할 수 있고, 석탄화력발전소, 석유화학단지, 철강단지 등 대형 배출원이 입지한 당진지역에서의 실시간 모니터링한 대기질 측정자료를 이용하여 1 μ m 이하의 극초미세먼지의 물리화학적 특성을 평가하여 대기 중 2차 유기성 미세먼지 생성 거동을 파악하기 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

측정기간 중 발생된 고농도 미세먼지일의 화학적 조성비, 일간변동 특성을 비교하여 정리하였으며, 특히 유기성분의 그룹(C_xH_y, C_xH_yO, C_xH_yO_z)과 원소조성을 파악하여 H/C, O/C, OM/OC를 산정하여 산화수준(Oxidant State)를 파악하였다. 측정된 전체 기간 동안 극초미세먼지 구성은 Organic 39%, Nitrate 22%, Sulfate 20%을 구성하였고, 일 변동 특성은 새벽에는 감소하다 오전에 증가하다 10시~12시경에 최대를 나타내는 특성을 확인 할 수 있었다. 유기성분의 이온 그룹은 C_xH_y 32%, C_xH_yO 44%, C_xH_yO_z 24%이었고, 산화수준을 나타내는 m/z 44(CO₂⁺)/m/z 43(C₂H₃O⁺)의 비율은 3.01이며, O/C 0.83, H/C 1.91 OM/OC 2.31으로 나타났다. 반면, 고농도 미세먼지 사례의 경우 Organic 38%, Nitrate 29%, Sulfate 14%로 질산염의 증가 폭이 가장 큰 것으로 나타났다. 이때의 O/C 0.87, H/C 1.72, OM/OC 2.34로 O/C는 증가하고 H/C는 감소하는 경향을 보였으며 유기성분의 산화수준이 비교적 더 높음을 확인 할 수 있었다.

미세먼지 제거를 위한 교류전원 이용 전기집진기 개발 Development of Electrostatic Precipitator using Alternative Current Power for Removing Fine Particle

성진호 · 강수지 · 김연진 · 천성남*

전력연구원 에너지환경연구소 미세먼지솔루션프로젝트팀

초미세먼지는 호흡기질환, 심장질환, 혈관질환 등 인체의 건강에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 세계보건기구의 국제암연구소에서는 초미세먼지를 1군 발암물질로 지정하였다. 이에 국민들의 미세먼지에 대한 걱정을 지속적으로 증가하고 있다. 정부는 대기 중 미세먼지 농도 감축을 위해 발전소 미세먼지 배출 저감 목표를 지정하였다. 현재 석탄화력발전소는 배가스 중 미세먼지를 제거하기 위해 전기집진기를 운영하고 있다. 하지만 전기집진기는 큰 입자에 대한 제거효율은 높지만 작은 입자의 제거효율이 낮다는 한계점을 가지고 있다. 이러한 이유로 발전소 배가스 중 PM₁₀과 PM_{2.5}의 분율은 90%와 70%를 차지하고 있다. 이에 발전소의 미세먼지 배출을 비용 효과적으로 해결할 수 있는 제거기술의 개발이 필요하다. 본 연구는 교류전원을 적용하여 입자를 응집조대화하는 기술을 개발하고, 이 기술을 발전소에 적용하여 전기집진기의 제거효율을 증진시키는 것을 목적으로 하고 있다.

본 연구에서는 발전소에서 운영하고 있는 집진기를 운영, 설계자료를 분석하여 전기집진기의 입경별 이론 제거효율을 계산하였다. 이후 조대화가 필요한 입경을 도출하였다. 또한 응집 이론을 적용하여 교류전원 적용에 따른 조대화 가능성을 확인하였다. 또한 이 가능성을 검증하기 위해 실험실규모 집진/조대화 장치를 설계하고 제작하였다. 발전소 모사환경 내에서 직류전원 인가 시 입자의 제거효율을 확인하였고, 교류전원 인가 시 주파수에 따른 입자의 제거효율 변화를 확인하였다.

발전소에서 운영하는 전기집진기의 입경별 제거효율을 분석한 결과 0.04~2 μm의 크기를 가지는 입자의 제거효율이 최소 60%까지 감소하는 것으로 계산되었다. 따라서 이 영역의 입자의 제거효율이 필요하며, 다분산입자 응집이론을 적용한 결과 150 °C에서 응집계수는 $1.68 \times 10^{-11} \text{ cm}^3/\text{s}$ 로 계산되었고, 전기집진기의 체류시간인 2초를 적용한 결과 2.5 μm의 입자는 최대 약 7 μm까지 조대화될 수 있을 것으로 계산되었다. 이와 같은 응집효율을 가지는 조대화기구를 전기집진기에 적용하면 PM₁₀ 제거효율이 기존 90%에서 최대 98%까지 증가할 수 있을 것으로 계산되었다. 이와 같은 이론적 고찰을 바탕으로 약 6 m³/min 용량의 실험장치를 구축하였다. 투입 입자는 발전소 전기집진기에서 배출된 비산재를 사용하였고, 입자의 제거효율은 실험장비 운영 전/후의 입자농도를 이용하여 계산하였다. 입자의 농도는 입자계수기 (Grimm, Model 11D, Germany)를 이용하여 측정하였다. 투입한 비산재는 0.4에서 0.6 μm의 크기를 가지는 입자가 가장 많이 존재하였고, 그 농도는 약 4.5×10^6 개/L였다. 직류전원을 인가할 경우 코로나 방전은 전기장 세기가 약 -2 kV/cm부터 개시되었고, 이는 발전소의 운영조건과 유사하였고, 이론효율과 유사한 제거효율을 나타내었다. 교류전원을 인가할 경우 코로나 방전은 전기장 세기가 약 1.6 kV/cm부터 개시되었고, 주파수의 영향은 없었다. 그러나 인가 주파수가 낮아짐에 따라 설비 내에서의 입자의 거동이 변화함에 따라 제거효율은 증가하였고, 직류대비 50%의 전기장세기로 유사한 제거효율을 나타내었다. 향후 이 기술은 scale up인자를 도출하여 실증실험을 수행할 계획이다.

석탄화력발전소 옥내저탄장 내부유동 전산해석 평가

A Study on CFD Analysis for Coal Shed in Thermal Power Plant

이정근 · 조현정 · 이인영 · 하현철*

전력연구원 에너지환경연구소, *창원대학교 환경공학과

석탄화력발전소의 연료인 석탄은 그동안 주로 옥외에 저탄되었다. 하지만, 미세먼지가 사회적 이슈로 대두되자, 정부에서는 비산먼지 저감강화 대책을 포함한 대기환경보전법을 강화하였고, 여기에는 석탄화력발전소의 석탄을 모두 의무적으로 옥내에 저장하는 것을 포함하였다. 하지만 석탄의 옥내저장은 외부로 날리는 비산먼지를 저감시켜 주변의 환경개선 효과가 있지만, 석탄 자체에서 발생하는 미세먼지와 화학물질들을 근본적으로 제거하는 것은 아니기에 옥내저탄장 내부의 환경을 악화시키고 내부작업자의 안전을 위협하는 요인이 된다. 이러한 환경의 개선을 위해 본 연구에서는 옥내저탄장의 내부유동을 평가하고 전산해석을 수행함으로써, 옥내저탄장 내부의 유해물질의 거동을 파악하고 이 물질들의 효과적인 제거방법을 제시하고자 한다.

전산해석을 수행한 옥내저탄장은 쉘드형(Shed) 옥내저탄장으로 370m×135m×73m(L×W×H)의 크기를 가지고 있으며 최대저탄용량은 65만톤이다. 지리적으로는 동해에 인접해 있으며, 서쪽에는 건물의 높이와 비슷한 높이의 언덕이 있다. 북쪽에는 상시 개방되는 출입문이 2개 있고, 동쪽과 서쪽 측면에는 넓이 1.4m×1.4m의 루버창이 설치되어 있다. 전산해석의 정확도를 높이기 위해 저탄장내부의 온도분포를 2곳에서 24시간 측정하였으며, 내부의 5곳을 높이별로 실시간 온도측정하였다. 또한, 저탄장으로 유입되는 기류의 분석을 위해 열선풍속계를 이용하여 루버창 4곳과 내부의 2곳을 높이별로 측정하여 전산해석의 경계조건으로 반영하였다. 그리고 계절별 외부환경 평균데이터를 경계조건으로 반영하여 전산해석을 수행하였다

전산해석이 수행은 옥내저탄장 내부의 기본적인 유동과 특정 셀에서 자연발화가 발생되었을 때를 고려하여 수행되었다. 기본적인 유동해석결과 저탄장 내부의 셀간 벽으로 인하여 저탄에서 발생된 물질은 저탄된 셀을 벗어나지 않고 해당 셀 상부에 체류하는 것으로 확인되었으며, 내부기류를 통해 옥내저탄장 상부에서 확산되는 것으로 확인되었다. 자연발화가 발생되었을 때는 저탄된 곳에 열원이 있는 것과 동일한 조건이 되어 해당셀의 유동이 더욱 활발해 지며 옥내저탄장 상부의 유동속도를 빠르게 만드는 원인이 되었다. 또한 북측에서 유입되는 외기가 남측으로 유입되어 저탄에서 발생하는 물질들이 옥내저탄장 남측 상부에 체류하고 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통해 옥내저탄장에서 발생하는 내부유동 흐름에 대한 이해와 이 흐름을 통한 물질의 분포를 예상해 볼 수 있었으며, 이를 통하여 저탄에서 발생하는 물질의 효과적인 제거를 위한 방안을 제안할 수 있었고, 추후 저감설비의 설계 및 제작에 반영할 예정이다.

이산화탄소 포집을 위한 막분리 공정 파일럿 현장 실증 연구
Field-test studies of CO₂ separation membrane pilot plant for carbon
capture

이충섭, 한상훈, 김세종, 임진혁, 장원석*, 하성용
(주)에어레인, *한국지역난방공사 미래개발원

Membrane-based gas separation process is one of the next generations' gas separation processes for carbon capture and storage (CCS). Increasing global warming and the upcoming CO₂ reduction plans to 2030 require demonstration and commercialization of post-combustion capture technologies. In accordance with the development of various materials and processes, the membrane process was also tested in lab-scale and bench-scale, and accordingly, 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, Korea Institute of Energy Research, and Halla Cement. The design, demonstration, operation and evaluation of research evaluated by various emission sources will be presented.

옥내저탄장에서 발생하는 휘발성유기화합물 배출 특성에 관한 연구

A study on the VOCs Emission Characteristic in Cola storage shed

조현정 · 이정근 · 이인영

한국전력공사 전력연구원

대부분의 화력발전소에서는 석탄을 연료로 발전하고 있다. 석탄은 경제성은 우수하나, 취급과정에서 여러 유해물질을 발생시킨다. 특히, 석탄을 다량으로 저장하는 저탄장의 유해물질의 외부 유출을 방지하기 위해 대기환경전법을 강화하여 옥외 저탄장의 옥내화가 의무화되었다. 하지만 옥외에 저장하던 석탄을 옥내화 함으로서, 외부로 날리는 비산먼지는 감소했지만, 석탄을 단순히 격리하는 방식이기 때문에, 석탄에서 발생하는 석탄 비산먼지와 유해물질들의 근본적인 저감이 이루어지지 않고 옥내에 농축된다. 석탄의 자연발화가 촉진되어, VOCs, CO 등의 유해물질 발생량이 야외에서 저장할 때보다 증가할 수 있다. 이를 해결하기 위해 옥내저탄장에서의 유해인자들의 측정과 관리대책이 필요하지만, 옥내저탄장 규모가 매우 크고 다양한 VOCs가 발생하여 현장측정이 어려운 실정이다. 본 연구는 옥내저탄장에서 발생할 수 있는 다양한 VOCs 성분과 발생량을 예측하기 위해, 석탄 가열 실험을 통해 발생하는 VOCs를 직접 포집하여 분석하였다. 분석 대상 VOCs는 환경부 고시기준 휘발성 유기화합물 37종 중 기체상 물질 34종을 선정하였다.

16cm×16cm×15cm의 서스챔버에서 플레이트를 이용해 석탄 가열실험을 수행하였다. 저열량탄인 Bayan탄을 대상으로 별도의 수분 제거를 하지 않고, 석탄 1251.39g을 플레이트 160℃로 5시간을 가열한 후, 테들러백에 챔버 내부 가스를 포집하였다. 이를 채취된 샘플 가스를 GC-MS와 석탄에 수분이 많아 수용성 기체의 경우 LC로 분석하였다. 실험 후 석탄 표면과 내부 온도는 각각 55℃, 76℃였다. 또한, 같은 석탄에 대해 헤드스페이스 분석(Headspace analysis)을 통해 발생하는 VOCs를 분석하였다. 표 1과 같이 분석결과 34종의 기체상 물질중 7종의 VOCs가 검출되었고, 그중 실내공기오염물질로 잘 알려진 폼알데하이드, BTEX 중 일부가 포함되었다. 챔버에서 포집한 샘플의 VOCs 농도가 낮은 것은, 실험 도중 챔버에서 일부 누출된 것으로 추측한다. 본 결과를 바탕으로 효과적인 옥내저탄장 VOCs 저감방안 연구를 진행할 예정이다.

표 5 석탄 가열 실험 및 headspace analysis 실험 결과

분석항목	단위	VOCs 발생 방식	
		석탄 가열 실험	headspace analysis
아세트알데하이드	μg/L (g)	99.8	1660
폼알데하이드	μg/L (g)	1.4	5014
메탄올	μg/L (g)	N.D	341.9
아세트산	μg/L (g)	1943	26684
에틸벤젠	μg/L (g)	33.6	121.5
톨루엔	μg/L (g)	N.D	74.5
자일렌	μg/L (g)	12.8	112.6

석탄 1. 또한, 자연발화를 방지하기 위해 상시 물을 뿌려주고 있어서, 수분을 많이 하지만 석탄 비산먼지가 외부로 날리면서 주변의 환경 민원을 일으킬 수 있다. 이에, 비산먼지 저감 강화 대책을 포함한 대기환경보전법이 강화되면서 석탄화력발전소의 옥외저탄장은 모두 옥내화해야 한다. 옥외에 저장하던 석탄을 옥내화 함으로서, 외부로 날리는 비산먼지는 감소했지만, 석탄을 단순히 격리하는 방식이기 때문에, 석탄에서 발생하는 석탄 비산먼지와 유해물질들의 근본적인 저감이 이루어지지 않아 옥내저탄장 작업자의 안전을 위협하는 요소가 될 수 있다. 본 연구는 이런 문제를 해결하기 위해 옥내저탄장 내부 유동을 평가하여, 유해물질들의 거동을 파악하여 효과적인 처리방안을 제시하고자 한다. 석탄 자연발화시 발생하는 휘발성유기화합물의 효과적인 저감을 위해.

자연발화 현상을 연구하기 위해 저온산화반응 가스 포집 장치를 구축하여 자연발화시 발생하는 휘발성유기화합물들을 분석하였다. A 석탄화력발전소 옥내저탄장에서 저장하고 있는 석탄을 이용하여 160 °C 시간 반응시켰다.

A 석탄화력발전소 옥내저탄장은 자연발화를 방지하기 위해 상시 스프레이를 가동하여 석탄에 수분이 많은 상태이다. 반응장치를 구축하여 에서는 대부분 석탄을 옥외저탄장에 적재하였다. 하지만 석탄 비산먼지가 외부로 날리면서 주변의 환경 민원을 일으킬 수 있다. 이에, 비산먼지 저감 강화 대책을 포함한 대기환경보전법이 강화되면서 석탄화력발전소의 옥외저탄장은 모두 옥내화해야 한다. 옥외에 저장하던 석탄을 옥내화 함으로서, 외부로 날리는 비산먼지는 감소했지만, 석탄을 단순히 격리하는 방식이기 때문에, 석탄에서 발생하는 석탄 비산먼지와 유해물질들의 근본적인 저감이 이루어지지 않아 옥내저탄장 작업자의 안전을 위협하는 요소가 될 수 있다. 본 연구는 이런 문제를 해결하기 위해 옥내저탄장 내부 유동을 평가하여, 유해물질들의 거동을 파악하여 효과적인 처리방안을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 챔버를 이용한 고수분탄의 VOC 배출 특성에 관한 승온실험 연구를 수행하였다.

현재 운영 중인 옥내저탄장을 선정하여 현장 기류분석을 수행함으로써 내부 유동을 평가하였다. 석탄 비산먼지와 유해물질들은 기류를 따라 이동하기 때문에, 본 내부 유동 평가를 활용하여 효율적인 유해물질 저감 방법을 제시할 수 있다. 이를 위해서는 실제 옥내저탄장에서 발생하는 내부 유해물질의 분포와 유동 흐름에 대한 이해가 필요하다. 연구 결과를 바탕으로 유해물질 저감설비를 내부 기류가 집중되는 위치에 설치하여 강제 환기를 통해 효과적으로 제거할 예정이다.

■ 2021년도 한국에너지학회 춘계학술발표회 ■

분석항목	단위	정량한계	승온A	승온H
아세트알데히드		-	99.8	1660
아세틸렌		1	N.D	N.D
아세틸렌 디클로라이드		1	N.D	N.D
아크롤레인		1	N.D	N.D
아크릴로니트릴		1	N.D	N.D
벤젠		1	N.D	N.D
1,3-부타디엔		1	N.D	N.D
부탄		1	N.D	N.D
1,-부텐, 2,-부텐		1	N.D	N.D
사염화탄소		1	N.D	N.D
클로로포름		1	N.D	N.D
사이클로hex산		1	N.D	N.D
1,2-디클로로에탄		1	N.D	N.D
디에틸아민		1	N.D	N.D
디메틸아민		1	N.D	N.D
에틸렌		1	N.D	N.D
포름알데히드		-	1.4	5014
n-헥산		1	N.D	N.D
이소프로필알콜		1	N.D	N.D
메탄올		-	N.D	341.9
메틸에틸케톤		1	N.D	N.D
메틸렌클로라이드		1	N.D	N.D
MTBE		1	N.D	N.D
프로필렌		1	N.D	N.D
프로필렌옥사이드		1	N.D	N.D
1,1,1-트리클로로에탄		1	N.D	N.D
아세트산		-	1943	26684
에틸벤젠		-	33.6	121.5
니트로벤젠		1	N.D	N.D
톨루엔		-	N.D	74.5
테트라클로로에틸렌		1	N.D	N.D
자일렌		-	12.8	112.6
스티렌		1	N.D	N.D

가스터빈 블레이드 회전시험용 지그의 구조해석 Structural Analysis of Jig for Rotation Test of Gas Turbine Blade

김태형

청주대학교 항공학부 항공기계공학전공

본 연구에서는 고온 환경에서 블레이드가 체결된 디스크의 회전에 대해 열-구조 유한요소해석을 수행하여 구조적 안정성을 예측하였다. 블레이드 및 디스크 해석모델은 회전대칭 조건을 반영하여 1/4로 구성하였으며 상용유한요소해석 소프트웨어 AnsysWB 2019버전을 사용하였다. 블레이드와 디스크 해석모델에 두 대칭면(cyclic region)을 지정하였으며, 블레이드와 디스크가 접촉되는 면에 접촉조건(No separation)을 설정하였다. 이때 고속회전에 의한 접촉강성의 증가로 특정 절점에서의 응력특이해 발생을 예방하고자 Normal stiffness 옵션을 활용하였다. 먼저 1000°C의 온도가 블레이드 상부 면에 인가하고 나머지 부위에는 Convection 조건을 설정하여 열 해석을 수행하였다. 열 해석 후 디스크 지그에 전달된 온도는 약 330°C를 보여 충분히 온도가 낮아짐을 확인하였다. 열 해석 후 회전속도 4300rpm에 대한 구조해석을 수행하였으며 블레이드 및 디스크의 최대유효응력을 확인하였다. 디스크 회전을 위한 플랜지 축의 끝 단에 축 및 원주방향으로 변위를 구속하였고, 접선방향으로는 자유롭게 회전되도록 하였다. 또한 지그의 중량 및 설치 형태를 고려하여 중력가속도 옵션을 반영하였다. 구조해석 후 블레이드 및 디스크 지그 모두 각각 재료의 항복강도보다 낮음을 확인하였다. 궁극적으로 1000°C 고온환경에서 4300rpm으로 블레이드의 회전시험을 위한 지그는 구조적으로 건전할 것으로 예측된다.

가압중수로형 원전 압력관 내경증가에 따른 드라이아웃 출력 민감도 분석 Sensitivity Analysis of Dryout Power with Increasing Diametral Creep of Pressure Tube in PHWR

류의승

한국수력원자력(주) 중앙연구원 안전연구소

중수로 원전의 압력관은 고온고압의 조건에서 장기간 중성자 조사를 받게 되면 조사크립 현상에 따라 내경이 증가하게 된다. 압력관 크립은 연료다발 상부로 우회하는 냉각재 우회 유량을 증가시켜 연료의 임계열속(CHF) 및 드라이아웃 출력(Dryout Power)을 감소시킨다. 캐나다 및 국내 중수로 원전은 압력관 크립 증가 현상을 안전 운영에 반영하고자 임계열속(CHF) 시험을 수행하고, 시험 데이터를 기반으로 생산한 임계열속 상관식을 적용하여 정상상태 및 사고조건에서의 열수력적 해석을 통하여 안전운전을 위한 운전조건을 제한한다. 현재 국내 중수로 원전에서는 2008년도 시행한 압력관 0%, 3.3% 및 5.1% 크립 임계열속 시험으로 생산된 상관식을 사용하고 있으며, 중수로 산업계를 통하여 보다 확장된 상관식 필요성이 대두됨에 따라 6.8% 크립조건에 대한 추가시험을 2018년도 수행하였다. 6.8% 크립 시험자료와 기존 0%, 3.3% 및 5.1% 크립 시험자료를 통합하여 새로운 임계열속 상관식을 생산하였고, 최근에는 정상상태 열수력 조건을 평가하는 중수로 전산해석 코드인 NUCIRC에 신규 상관식을 반영한 개정작업을 완료하였다. NUCIRC 전산코드는 발전소 경년열화 현상을 반영한 국부과출력보호(ROP) 정지설정치 평가에 사용된다.

본 분석에서는 기존 5.1% 크립에서 확장된 압력관 크립을 적용한 ROP 정지설정치 평가 프로세스 수행 전 단계로서, 실제 발전소 열수력자료를 기반으로 NUCIRC 전산코드를 실행하여 기존 크립과 최근 시험된 6.8% 크립과의 드라이아웃 출력 민감도를 평가하는데 목적이 있다. 기존 분석 모델은 최근 월성원전을 대상으로 수행된 ROP 평가모델에 사용된 동일한 열수력 조건을 기반으로 자관 및 이음관 표면거칠기, 오리피스 보정계수, 1차측 펌프 보정계수 등의 경년열화에 따른 물리적인 변수를 동일하게 가정하였고, 노심출력은 수백 개의 ROP 분석용 출력분포 중 정상상태 출력분포를 사용하여 정상운전조건을 근거로 한 민감도 계산을 수행하였다. 단, 임계열속과 기포발생시작점(OSV)은 앞서 언급한 신규로 생산한 상관식을 적용하였다. 압력관 크립에 대한 드라이아웃 출력 민감도 평가 조건은 노심의 전체 380개 채널을 동일하게 1)0%, 2)3.3%, 3)5.1% 및 4)6.8% 크립된 조건으로 가정하여 평가하였다. 각 케이스 별로 380개 채널의 드라이아웃 출력을 계산하고, 채널별로 비교하였다.

드라이아웃 출력 분석결과, 크립이 없는 조건인 0% 압력관 크립 평가결과 대비 3.3% 크립조건은 -8.0%, 5.1% 크립조건은 -13.1%, 6.8% 크립조건은 -18.5% 평균적으로 감소됨을 확인하였다. 결론적으로, 5.1% 압력관크립을 상회하는 경년열화조건에서도 드라이아웃 출력은 비선형적인 구간없이 선형적인 형태로 드라이아웃 출력이 감소되는 경향을 보였다.

MHD 발전 플라즈마 전도도 향상을 위한 변수 특성 분석

An Analysis on the Characteristics of Variables for Improving Plasma Conductivity in MHD Generation

강태욱* · 김희령

울산과학 기술원 '원자력 공학과'

- MHD 발전 운동 에너지와 열에너지를 전기 에너지로 직접 변환하는 시스템으로 화력발전에서 방출되는 고온의 열의 플라즈마화를 통해 추가적인 발전 효율을 높이는 시스템이다. 그러나 고온의 배기 가스 자체의 전기 전도도는 낮기 때문에 알칼리 금속의 seed 물질이 투입되어야한다. 본 논문에서는, 전도도 향상을 위해 투입되는 시드 소재가 분석되었다. 시드 비율, 채널 길이, 연소 온도 등이 전체 플라즈마 전도도에 영향을 미친다는 점을 토대로 플라즈마 전도도 향상 방안에 대해 분석했다. 결론적으로 채널 길이가 10~20cm로 설계되면 10 S/m 이상의 전기전도도를 유지할 수 있다. 이러한 매개 변수를 고려할 때 연소 온도 약 2800K, 시드율 1% 및 채널 길이 20cm의 전기 전도도는 약 13 S/m이며 출력은 약 700 MW의 발전을 구동할 수 있다.

This research was supported by Korea Electric Power Corporation.(grant number : R18XA06-26)

Ce계 촉매를 이용한 SCR 설비 슬립 암모니아 저감연구
An Experimental Study on SCR Slip Ammonia Reduction
under Ceria-based Catalysts

이효진 · 양지선 · 김준한

한국전력공사 전력연구원

고정원 및 이동원에서 배출되는 질소산화물을 저감시키는 기술 중 암모니아를 환원제로 사용하는 선택적 촉매환원(SCR, Selective Catalytic Reduction) 공정은 질소산화물을 90% 이상 제거할 수 있는 기술로써, 일반적으로 활용되고 있는 촉매기술이다. 암모니아 SCR 반응은 300~400°C 온도에서 산소의 존재하에 진행되며, 일반적으로 연소 배기가스에 포함된 NO_x는 NO가 90% 이상 존재하기 때문에 NH₃와 NO의 화학 양론비는 몰비 기준 1:1 반응이지만, 미세먼지 전구물질인 질소산화물의 추가저감을 위해 탈질설비에 과량의 암모니아를 주입하여 반응효율을 높이고 있다. 그 결과 반응에 참여하지 않은 암모니아가 탈질설비 후단에서 배출되는데 이러한 현상을 암모니아 슬립이라 한다.

암모니아는 불쾌하고 자극적인 냄새를 가지는 무색의 유독성, 부식성 기체로 생물학적 및 인위적 오염원에서 배출된다. 산업안전보건법상 유독물질로 분류된 암모니아는 대기 중으로 배출되어 NO_x, SO_x 등 미세먼지 전구물질과 반응하여 2차 미세먼지를 생성하며, 배가스 처리 계통 내 설비 부식 및 배관 막힘 현상으로 인한 설비 trip 등으로 이어질 수 있으므로 안정적인 설비 운영을 위해서는 적절한 처리가 필요하다.

암모니아 제거기술로는 촉매법, 흡수법 등의 화학적 처리기술, 바이오필터, 미생물 등을 이용한 생물학적 처리기술과 흡착법, 플라즈마법 등을 이용한 물리적 처리기술이 있으며, 상기의 다양한 처리 기술 중 고정원에서 기존 설비를 이용하는 등 비용 효과적인 기술개발을 위해서는 촉매를 이용한 화학적 처리기술을 통한 제거방법이 적절하다.

암모니아 산화촉매는 미반응된 암모니아를 질소와 물로 전환하는 기술로 다양한 배출원에서 암모니아에 의한 오염문제의 해결책이 될 수 있다. 암모니아 산화촉매에서 가장 중요한 포인트는 배가스의 추가 가열을 피하기 위해 상대적으로 저온(<400°C)에서 높은 활성과 NH₃ 산화에 의한 N₂ 선택도이다. N₂ 뿐만 아니라 N₂O와 NO가 암모니아 산화반응에 의해 생성될 수 있으므로 암모니아 전환율 기반의 높은 성능 외에도 반응조건과 촉매시스템에 영향을 받는 선택도가 암모니아 산화반응에서 매우 중요하다.

본 연구에서는 암모니아 산화촉매로 우수한 활성을 보이는 CeO₂를 각 지지체와 활성물질로 제조하여 XRD 등을 통해 촉매 합성 상태에 대해 비교 분석하고 200~400°C에서의 온도별 활성 변화를 통해 암모니아 저감효율을 평가하였다.

발전소 공정용수 생산을 위한 하수처리수 재이용 개선공정 개발
Development of Improvement Process for Wastewater Reclamation for
Power Plant Process Water Production

이현철· 장원석· 신경아· 장미희· 신혜현· 유지혜
한국지역난방공사 미래개발원

우리나라를 포함한 국제적 산업의 고도화에 따라 다양한 용도의 용수 수요가 증가하고 있다. 이와 동시에 해당 용수의 수질과 수량에 대한 높은 안정성, 안전성 모두가 요구되고 있다. 하지만 실정은 수요에 비해 공급량이 부족할 뿐 아니라 적합한 수질을 맞추는 것은 매우 어렵다. 이에 따라 꾸준히 많은 양으로 발생하는 하수를 처리하여 재이용하는 기술에 대한 관심이 커지고 있다. 관련 기술 중 분리막을 이용한 기술이 오랜 기간동안 다양한 분야에서 성능을 검증받아 가장 대표적인 재이용 공정이라 할 수 있다. 그러나 하수처리수의 경우 하수를 처리했다 해도 다양한 유·무기물 그리고 미생물이 포함되어 있어 분리막을 이용한 수처리 공정에서 전처리, 화학세정 등의 다양한 공정이 필요하다. 분리막 자체의 성능도 중요하지만 전처리 방법, 화학세정의 주기 등에 따라 생산수의 효율이 크게 달라져 다양한 연구가 요구되며 지속적인 연구가 진행 중에 있다.

본 연구에서는 기존의 하수처리수 재이용 공정인 ‘하수처리수→응집→UF→RO→공정용수’ 중 응집처리 대신 오존을 이용한 고도산화처리를 하였다. 그리고 AGS(Aerobic Granular Sludge)를 이용해 RO 농축수를 재처리하여 고농도 농축수 처리에 대한 문제점을 해결하였다. 본 연구는 파일럿 설비(30m³/d)에서 6개월간의 장기 운전을 통해 실험하였다. 오존을 이용한 고도산화처리를 통해 EfOM, Colloidal material과 Particle와 같은 고분자물질을 저분자화시켜 전처리 분리막인 UF 투과성능의 개선효과를 확인했다. 기존의 공정에서는 UF의 투과성능이 80LMH에 그치는데 반해 개선 공정에서는 하절기에는 160LMH로 2배, 동절기에는 120LMH로 1.5배의 성능 향상을 확인할 수 있었다. 동시에 투과성능 개선으로 인해 분리막 화학세정 주기가 늘어났고, 수질 측정 결과 유입수 대비 탁도는 42%, 색도는 25%로 감소되었으며 UV₂₅₄의 경우 56%로 감소되어 오존산화 공정의 효과를 확인할 수 있었다. AGS를 이용한 RO 농축수 처리의 경우 총질소는 2%로, 총인은 46%로, 난분해성 용존COD_{mn}는 85%로 감소됨을 확인할 수 있었다. AGS의 경우 질소와 인의 방류수 기준(T-N 20mg/L, T-P 1.0mg/L이하)을 충족시켜 직방류에도 무방한 수질 결과를 얻을 수 있었다.

기존의 분리막을 이용한 하수처리수 재이용 공정을 실제 산업에 적용하는데 있어서 높은 처리수 생산단가와 고농도의 농축수 처리의 어려움이 가장 큰 문제점이라 할 수 있다. 그러나 본 연구를 통해 개발된 개선 공정의 경우 장기간의 오존 산화 공정과 AGS 공정을 통해 고효율, 저약품 그리고 안정적으로 안전성이 확보된 하수처리수 재이용공정이 가능함을 확인할 수 있었다. 또한 기존의 시수를 사용하였을 때의 수도권 기준 평균비용과 비교하여 약 69.8%의 비용으로 동일한 처리수를 생산할 수 있어 실제 하수처리수 재이용 공정인 5,000m³/d 기준으로 연간 24억의 비용절감이 가능함을 확인할 수 있었다.

폐 태양전지 재활용 기술 현황

Research Trends for recycling of waste solar panel

김영진 · 서준형 · 조진상 · 조계홍

한국석회석신소재연구소

태양광에너지를 신성장 동력 에너지로 활용하기 위해 태양전지 관련 연구 및 산업이 세계적으로 활발하게 진행되고 있다. 국내의 경우, 태양전지 관련 산업이 크게 발전하고 있으며, 생산량도 계속적으로 증가하고 있다. 이러한 이유로 폐 태양전지의 발생량도 발생하고 있으며, 향후에도 계속 증가될 것으로 예상되고 있다. 원자재가 부족한 우리나라는 자원 확보 및 환경 영향을 최소한으로 하기 위해 폐 태양전지를 처리하여 재이용 및 재활용하는 기술이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 폐 태양전지 재이용 및 재활용 기술 현황에 대해 조사하였으며, 향후 필요한 확보 기술 부분에 대해 검토하였다. 현재 사용하고 있는 대부분의 태양전지는 Si-wafer를 사용한 태양광 패널이며, 다수의 모듈로 구성되어 있다. 모듈은 강화유리, 접착제, 태양전지셀, 접착제, 백시트의 층상구조로 이루어진다. 이 중 태양전지 셀과 강화유리의 가격이 높은 특성이 있어, 셀과 강화유리를 재이용하기 위한 분리 기술이 태양전지 재이용의 핵심기술로 판단된다. 셀과 강화유리를 분리하기 위해서는 중간 접착제를 제거하는 기술이 요구되며, 이러한 기술로는 유기용매법, 질산법, 열분해법 및 초음파 처리법 등으로 확인되었다. 재활용 공정으로는 강화유리를 포함함 파/분쇄 및 침지를 통한 접착제 분리 및 셀에 포함된 유가금속 성분의 침출공정으로 확인되었다. 태양광 분야의 지속적인 발전을 위한 검토가 필요한 연구로는 폐 태양전지 단체분리에 관한 처리 기술 연구가 필요하다고 판단된다.

다양한 합성법으로 제조된 Zn 도입 HZSM-5 촉매의 에탄 탈수소방향족화
반응 활성 연구

Ethane dehydroaromatization activity of Zn-containing HZSM-5
catalysts prepared by various synthesis methods

박예림 · 이병진 · 이관영
고려대학교 화공생명공학과

Advances in shale gas and natural gas extraction technology have led to an increase in production of ethane, the second largest component of natural gas, and a decrease in price. The process of producing high value-added substances such as olefins and aromatic compounds from ethane is attracting attention.

In this study, Zn-containing HZSM-5 catalysts were prepared by different methods such as incipient wetness impregnation, ion exchange, physical mixing, and direct synthesis. The introduced Zn species acted as an active species for ethane dehydrogenation and the reaction performance was greatly increased. The chemical composition, textural properties, acidity, and distribution of Zn species of the catalysts were characterized by XRD, ICP-AES, N₂ adsorption/desorption, NH₃-TPD. The influence of these properties of catalysts on ethane dehydroaromatization performance was tested. The catalysts prepared by mechanical mixing and direct synthesis showed good initial activity, but the deactivation proceeded rapidly and showed a rapid decrease in activity within 1 to 2 hours from the start of the reaction. On the other hand, the catalysts prepared by ion exchange and incipient wetness impregnation showed a rather low initial activity, but relatively stable.

Effect of XGa/HZSM-5 (X=0,1,3,6,10) Catalyst in Co-dehydroaromatization Reaction of Natural Gas

이현민 · 이병진 · 이관영*

고려대학교 화공생명공학과, *고려대학교 화공생명공학과

Shale gas and natural gas reserves and confirmed reserves are increasing every year globally. Dehydroaromatization reaction of alkane, which accounts for most of natural gas components, has increased due to directly synthesize natural gas into high value-added products such as aromatics compounds (Benzene, Toluene, Xylene).

In this study, in order to increase the yield of aromatic compounds through co-conversion of methane, ethane, and propane mixture gas, the reaction proceeds using a simulated gas (methane:ethane:propane=85:10:5) having a composition similar to that of natural gas. Through the reaction of the XGa/HZSM-5(X=0,1,3,6,10) catalyst in the simulated gas at 650 °C, the effect of the co-dehydrogenation aromatization reaction of methane, ethane, and propane mixture gas was demonstrated with the olefin and aromatic compounds yield. The characterization of the catalyst was done with XRD, N₂ adsorption-desorption, XPS, H₂-TPR, Al-NMR. The analysis was used to confirm the active species in the reaction process and the characteristics of coke.

천연가스의 X/HZSM-5(X=Mo, Ga)를 이용한 직접 방향족화 반응에서
코크의 산화를 통한 촉매 재생

Regeneration of X/HZSM-5(X=Mo, Ga) through combustion of coke in
oxidative condition on non-oxidative dehydroaromatization of natural gas

김상윤 · 이현민 · 이병진 · 이관영*

고려대학교 화공생명공학과

*kylee@korea.ac.kr

메테인을 통해 고부가가치 화합물인 BTX(Benzene, Toluene, Xylene)을 직접 합성하는 메테인 탈수소 방향족화 반응(MDA, methane dehydroaromatization)은 제올라이트 촉매를 기반으로 연구되는 추세이다. 최근, 메테인이 주성분인 셰일가스의 매장량이 많다고 밝혀짐에 따라 셰일가스와 천연가스를 탈수소 방향족화 반응에 적용하는 사례가 생기고 있다. 반응이 진행되며 동시에 침적되는 코크로 인해 촉매가 비활성화되게 된다. 코크의 산화 및 환원을 통한 재생 기술의 개발을 통해 촉매의 수명 장기화 및 수율 증가를 기대할 수 있다.

본 실험에서는 천연가스와 조성이 비슷한 모사 가스를 이용해 실험을 진행하였다. Mo와 Ga를 담지한 HZSM-5 촉매의 활성 실험을 통해 촉매별 활성을 확인하였다. 시간대별 샘플의 분석을 통해 촉매의 비활성화 과정과 그 때의 촉매의 변화를 분석하였다. 이를 통해 각 시간대별 코크의 형태 및 위치에 기반한 산화 재생조건을 확립해 재생실험을 진행하였다. XRD, NH₃-TPD, 질소 흡탈착 분석을 통해 촉매의 특성화 분석을 진행하였고, TGA, XPS, Raman Spectroscopy, TPO 분석을 이용해 coke를 분석하였다.

수계 알루미늄 이온 배터리를 위한 나노구조의 금속 바나데이트 전극 개발
Investigating Novel Nanostructured Metal Vanadate as a Cathode for
Rechargeable Aqueous Aluminum-ion Batteries

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

Aluminum Ion Batteries (AIBs) are considered promising next-generation energy storage systems due to their low cost, fast charging capability, excellent cycle performance, and stability. In addition, aluminum is a trivalent metal-rich 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 drawbacks of large-scale applications. To improve these drawbacks, safe and inexpensive alternative aqueous electrolytes are being studied. In aqueous AIBs, transition metal oxides, transition metals, and graphite materials, which can reversibly charge and discharge aluminum ions, are widely used as cathode materials. Among them, vanadium exhibits various cations ranging from divalent to pentavalent 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, $\text{H}_{11}\text{Al}_2\text{V}_6\text{O}_{23.2}$ (HAVO) has excellent stability and reversibility with no structure deformation. The pillars in HAVO are the V-O layers which make fast diffusion of Al^{3+} ions intercalation/de-intercalation 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) HAVO hollow spheres were synthesized and analyzed as cathode materials in aqueous AIB. The morphology of HAVO was studied using FE-SEM and TEM. Physical properties were investigated by XPS and XRD. Their electrochemical properties have been studied by cyclic voltammetry, constant current charging and discharging, and electrochemical impedance spectroscopy.

고성능 포타슘 이온 하이브리드 커패시터 개발을 위한 탄소나노섬유의
포타슘 이온 저장능력 향상 연구

A Study on Enhancing Potassium-ion Storage using Carbon Nanofibers
for Superior Performance in Potassium-ion Hybrid Capacitors

이유현 · 손동규 · 김지수 · 김난경 · 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. Since the first report of a lithium-ion hybrid capacitor (LIHC) assembling an activated carbon (AC) cathode and a graphite anode in 1999, many LIHC with various assemblies of anodes and cathodes have been developed and launched into the market. However, lithium-ion batteries are limited to large-scale applications due to performance issues such as safety and low power density, and high cost because of the lack of lithium reserve. So, recent research works are being focused on replacing it with another material to apply to large-scale ESS. Potassium-ion hybrid capacitors (PIHCs) are considered as promising alternatives to lithium- and sodium-ion hybrid capacitors (LIHCs/SIHCs). Potassium has a wide potential window of -2.93 V similar to that of the standard reduction potential of lithium (-3.05 V vs. SHE). However, the sluggish kinetics of potassium ion battery (PIB) is due to its larger ions (1.38 Å) compared to lithium ions (0.76 Å), which leads to poor performance. The development of anode materials for PIBs is still faced with many serious problems, such as low capacity and poor cycling performance.

In this study, we develop a potassium-ion hybrid capacitor (PIHC) that potentially offers complementary superiorities to that of PIBs. Particularly a low-cost preparation of electrospun aided carbon nanofibers were synthesized and assembled with metal phosphide for long cycle stability of PIHC. The surface morphology of materials was studied using a field-emission scanning electron microscope (FE-SEM) and Transmission electron microscopy (TEM). The physical properties of the materials were also investigated by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and X-ray diffraction (XRD) analysis. Their electrochemical characteristics using half-cell and full-cell were carried out to measure the long cycle life and capacity of PIHC by cyclic voltammetry (CV), and electrochemical impedance spectroscopy (EIS).

고안정성 및 고성능 알루미늄 이온 배터리 개발을 위한

니켈-코발트-황화물@탄소 복합체 개발

High-Performance Al-ion Batteries with Enhanced Stability using

Nickel-Cobalt-Sulfide@Carbon Composite Cathodes

김지수 · 김난경 · 손동규 · 이유현 · 이기백*

영남대학교 화학공학과

Rechargeable aluminum ion batteries (AIBs) have gained much attention for 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 caused 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 nickel-cobalt-sulfide (NiCo_2S_4) was investigated as a cathode material for AIBs. 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 morphologies of NiCo_2S_4 composites were investigated by scanning electron microscopic (SEM) and X-ray diffraction (XRD) methods. The electrochemical properties of NiCo_2S_4 and NiCo_2S_4 /carbon matrix as efficient Al storage cathodes in AIBs by studying the galvanostatic charge/discharge cycling and long-term cycling stability at the ultrahigh-rates.

가압중수로 원전 운전이력에 따른 사고해석 열수력 초기조건 평가
 Evaluation of Thermal Hydraulic Initial Conditions for Safety Analysis
 by Aging in PHWR

류의승

한국수력원자력(주) 중앙연구원 안전연구소

중수로 원전은 경년열화가 진행됨에 따라 압력관 크립 증가, 증기발생기 1차측 세관 및 자관 내 마그네타이트 침적에 의하여 냉각재 유량, 입구모관 온도, 모관간 차압 등의 발전소 열수력 운전조건이 변동된다. 이러한 변동은 운전이력 즉, 유효전출력일(Effective Full Power Day, 이하 EFPD)이 증가함에 따라 열적여유도 측면에서 감소 요인으로 작용한다. 중수로 원전은 필요에 따라 경년열화 진행에 따른 열수력 초기조건을 반영한 사고해석을 수행하여 발전소 안전성을 평가하고 있다. 중수로 사고해석은 대형냉각재상실사고, 소형냉각재상실사고, 비냉각재상실사고 범주에서 단일사고, 다중사고의 다양한 사고 시나리오를 해석함으로써 대중의 안전확보 여부를 입증하는 안전성을 평가한다. 국내 중수로 노형인 월성 원전의 사고해석은 설계국인 캐나다의 기술기준, 설계요건 및 해석방법론을 바탕으로 수행한다. 한편, 가장 최근의 국내 중수로원전에 대한 사고해석은 중수로 개량연료(37M) 상용화를 목적으로 수행된 결과로서 2019년 말 규제기관으로부터 안전성을 입증 받은바 있다.

본 분석은 최근 분석된 사고해석 경년열화 시점을 기준으로 추가적으로 운전이력이 증가하게 될 때 열수력 조건이 정량적으로 어떻게 변동되는지에 대해 사고해석 초기조건을 기준으로 모델 및 고찰하였다. 사고해석 초기조건을 생산하기 위한 데이터 수집 및 분석단계로서 발전소 운전데이터 취득, 경향 분석, 경년열화 변수 예측 등의 단계를 수행하였다. 추가적인 운전이력 증가는 최근 분석된 경년열화 시점에서 1,500 EFPD가 증가되는 시점의 변동을 예측하였다. 입구모관 온도, 모관간 차압, 출구 압력 등의 발전소 운전데이터는 최신자료 기준 약 15년간의 이력을 취득하였으며, 변수 각각에 대하여 추세선을 만들어 경향성을 분석하였다. 예측된 경향성을 기반으로 중수로 정상상태 열수력 전산코드인 NUCIRC를 사용하여 경년열화 변수인 자관 및 이음관 표면 거칠기, 오리피스 보정계수, 열수송 펌프 보정계수, 증기발생기 열전달 계수 등을 예측하였다. 최종적인 사고해석 초기조건은 중수로 계통해석 전산코드인 CATHENA를 사용하여 모델 하였다. NUCIRC로부터 생산된 경년열화 변수들을 입력하여 CATHENA 코드로 발전소 전체 계통을 모사하여 1,500 EFPD 증가에 따른 사고해석용 열수력 초기조건을 생산하였다.

최종 사고해석 모델은 기존 모델과 비교하여 정상상태 및 사고조건에서의 유효성을 추가로 평가하였다. 분석결과 현재 사용되는 사고해석 초기조건 대비 1,500 EFPD 증가 시점의 입구모관 온도는 0.5°C, 출구모관 건도는 약 0.3% 증가되었고, 모관간 차압과 노심 유량은 거의 동일한 것으로 보였다. 압력관 크립은 상대적인 비율로 최대 2.5% 증가되어 사고해석 평가시 가장 큰 영향을 줄 것으로 판단된다. 연료 및 압력관 건전성 평가에 사용되는 O6, S10, W10 등의 단일 채널 유량은 대부분 증가되나, 모관압력 재분포에 따라서 감소되는 채널도 존재하는 것으로 나타났다. 결론적으로 1,500 EFPD 증가되는 시점의 사고해석 초기조건은 당연히 변수별로 증감의 형태를 나타내지만, 정량적 크기는 사고해석 결과에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 판단된다.

비상디젤발전기 고속기동 시간지연 원인 고찰

A Study on the cause of the fast start time delay of the Emergency Diesel Generator

김영철(Young Cheol Kim)

한국수력원자력(주) 중앙연구원(KHNP-Central Research Institute)

원전(原電)의 비상디젤발전기는 원자로를 안전하게 정지시키기 위한 공학적 안전설비에 전원을 공급하기 위한 설비로서 안전모선에 전원이 상실된 직후 기동되어 10초 이내에 정격 주파수(여기서는 회전속도와 혼용하여 사용함.)의 $\pm 2\%$ 범위에서 운전되어야 한다.

비상디젤발전기의 기동과정은 4개 구간, 1구간(시동공기에 의해 엔진이 회전하기 시작하는 구간), 2구간(Air run => Fuel Run으로 작동 유체가 전환되는 구간), 3구간(연료가 최대 공급되어 회전속도가 급격하게 상승되는 구간), 4구간(급격한 승속구간 말기에 연료량을 조정하여 엔진의 회전속도를 제어하는 구간으로 나누어 볼 수 있다.

상기 각 구간에 대해 다음과 같은 영향인자가 고려될 수 있다. 1구간 : 기동 솔레노이드 밸브의 동작 상태, 시동공기 압력 등, 2구간 : 연료유 배관 내 수분 또는 공기 흡입 등 연료유의 성상, 3구간 : 연료랙(또는 기계식 조속기)의 Load Limit 등 기계적 연료 제한 장치, 4구간 : 전기식 조속기의 응답 상태 등이 각 구간의 영향인자 일 수 있다.

각 구간 영향인자들의 변동에 따라 비상디젤발전기의 기동시간에 변동이 발생할 수 있으며 성능개선 방안은 다음과 같다. 1구간의 성능개선 방안은 솔레노이드 밸브 구성품(밸브 내장품, 구동 코일, 전자접촉기)의 교체, 2~3구간의 성능개선 방안은 연료유의 Vent, 연료랙의 조정, 4구간의 성능개선 방안은 제어기(전기식 조속기)의 제어 변수 조정 등을 들 수 있다. 2~3구간에서는 목표값과 현재값의 오차(Error)가 너무 크기 때문에 연료랙은 기계적 리미트에 의해 제한되어 연료량이 최대로 공급되며 조정되지 않는다.

고찰의 대상이 되는 비상디젤발전기는 엔진 분해정비 전 주파수 도달 시간이 10.56초를 나타내었으며 엔진 분해정비 후 정격 주파수 도달 시간은 7.48초로 개선되었다. 이후 전기식 조속기 제어변수를 조정하여 기동 시간을 7.48초에서 7.29초로 개선하였다.

비상디젤발전기 부하운전 안정성 향상 사례

Causal study on improving the stability of emergency diesel generator load oscillation

김영철(Young Cheol Kim)

한국수력원자력(주) 중앙연구원(KHNP-Central Research Institute)

원전(原電) 비상디젤발전기의 안전모션 정기시험을 수행하는 중 24시간 부하 운전 시험에서 발전기 출력이 7,287~7,077kW 범위에서 운전되어 110%부하 시험요건²⁾을 불만족하는 사례가 발생하였다.

비상디젤발전기 전기출력의 변동폭은 계통 주파수 변동에 대한 비상디젤발전기 민감도의 영향일 수 있다. 이때, 비상디젤발전기의 민감도를 나타내는 변수를 Droop이라고 한다.

KS R ISO 8528-5에서는 디젤발전 세트의 성능 등급을 G1~G4로 분류하고 있으며 G1 등급이 “Droop≤8%”로 가장 높은 기준값을 요구한다. 기존에 출력 변동폭이 기준값을 초과할 시에 Droop 설정은 6%였으며 부하운전 안정성 향상을 위해 9%로 상향 조정하였다. ISO 규격보다 높은 Droop 설정값의 적정성을 확인하기 위해 실제 부하운전 결과 출력 변동폭이 210.3 kW에서 169.2 kW로 개선되었다. Droop 10% 이상에서 주파수가 불안정하게 Swing하므로 운전이 불가능하였다.

다만, Droop 설정값이 증가함에 따라 기동 후 주파수가 감소하며 Droop 9%에서는 61.3Hz로 기준 범위인 ±2%(58.8Hz~61.2Hz) 보다 낮게 유지됨이 확인되었다. 이는 조속기의 설계 특성에 의한 것이며 조속기 내부에서 오차(현재값과 목표값의 차이) 신호를 계산하는 회로의 특성이다. Droop 설정값이 증가할수록 기동 후 회전속도가 낮아지는 것으로 확인되었다.

$$\text{목표값} - \text{현재값(엔진 회전속도)} - A \times \% = E$$

$$\therefore \text{엔진회전속도} = \text{목표값} - A \times \%, (E = 0)$$

$$A : \text{Droop 설정값}, E : \text{오차신호}$$

출력 변동을 안정시키기 위해 필연적으로 발생하는 기동 후 엔진회전속도(주파수) 감소는 Offset 값을 조정하여 보상하였다.

본 논문의 대상이 되는 비상디젤발전기는 국내에 관련 기술력이 없어 어려움을 겪고 있었다. 이번 사례를 통해 Droop 향상을 통한 부하운전의 안정성 향상 가능성과 일반적인 코드 요건 이상의 Droop 설정값으로도 안정적으로 운전됨을 확인하였다. 또한, Droop 10% 이상에서 주파수 Swing에 의해 운전이 불가능함을 확인하였다.

2) 전기 출력을 110%~105%로 유지할 것, 발전기 출력을 6,825~7,150kW로 상승시키고 발전기의 역률은 0.8~0.9로 2시간 이상 유지할 것.

마일드환경 기기의 기기검증 기술기준 검토

Review of Equipment Qualification Requirements for Mild Environment Equipment

허남용

한국수력원자력(주)

원전에서 사용되는 기기검증 부품은 환경기준이 열악한 위치와 온화한 위치에 설치되어 있으며 또한 검증시에도 적용을 달리한다. 기기검증의 기본적인 기술기준은 IEEE 323이며 여기에는 주로 열악한 환경의 기기에 대한 검증기준을 제시한다.

열악한 환경에 위치한 기기의 검증은 검증전 인수검사 및 성능을 측정하고 열화시험(방사선 및 열노화)을 거쳐 원자로냉각재상실 등의 설계기준사고 모의시험과 내진시험을 거쳐 검증을 하며 각 단계별로 기기의 성능을 확인하여 이러한 환경 및 지진에도 성능이 유지 또는 기기 건전성을 확인하여 검증한다. 반면 온화한 환경에 위치한 검증기기는 심각한 경년열화 메커니즘이 없는 기기는 검증수명이 요구되지 않고, 공학적 관행 및 제작자 권고에 따른 설계와 구매시방서가 요구되며 이 구매시방서에는 특정지역의 정상조건과 공기조화계통 기능 상실 등의 비정상 환경에서서 기능요건을 기술하여서 이를 공급시 반영해야 한다. 또한 보수 및 감시활동을 통해 예방정비 등의 관리가 되면 설계수명기간 동안 검증된 것으로 간주한다. 이와 같이 마일드 환경의 기기에 대한 검증기준은 IEEE 323에 기술되어 있으나 구체적인 적용 측면에서는 별도 기술된 문서와 표준이 없어 표준적으로 적용을 위해서는 지침이 요구되며 최근의 기술기준에서는 기기별로 기술기준을 마련하여 적용을 확대하려는 경향이 있다.

따라서 현재에 이루어지는 마일드 환경 기기검증 기준과 적용현황 및 향후 경향을 예측하고 개선방향을 고려함으로 마일드환경 기기검증에 대한 관련자의 동일한 이해 및 적용을 확대하며 향후 대응을 하고자 한다.

기기검증 수명에 있어 환경요인 영향 검토

A Study on the Effect of Environmental Factors on the Qualified Life

허남용

한국수력원자력(주)

기기검증 설비 및 부품은 검증시 각 환경요소에 대한 기준이 제시된다. 환경요소는 온도, 압력, 습도, 방사선, 지진 등으로 검증기기가 설치되는 환경을 대표한다. 즉, 기기가 설치된 환경요소에서 정해진 기간동안 건전성을 유지하고 또한 기능을 유지함을 확인하는 것이 기기검증의 목적이 된다.

기기검증에 대한 기술기준은 IEEE 323을 따르며 기술된 규정에 따라 검증을 수행한다. 기기검증에 있어서 온도는 매우 큰 영향을 미친다. 이 온도는 비금속재료의 열화에 공통적으로 큰 영향을 미치며 열화수명에 해당하는 노화의 가속온도와 시간을 결정한다. 가속노화에 또한 지대한 영향을 주는 것은 활성화에너지이다. 활성화에너지는 화학반응을 일으키기 위해 반응물에 공급해야 하는 최소에너지로 정의된다. 즉 활성화에너지가 작은 재료는 작은 에너지에도 화학반응(물성)이 쉽게 일어나 안정되지 못하는 재질이며 반면 활성화에너지가 큰 재료는 외부에너지에 안정적인 특성을 보인다. 압력 및 습도의 영향은 비교적 크지 않다. 단, 온도·습도에 취약한 축전지 및 충전기가 있는 설비는 온습도 시험(스트레스 시험)을 통해 해당 환경에서 건전성을 확인한다. 방사선은 원자로내 핵연료의 분열 반응을 통해 발생하는 것으로 40년 운전기간과 또한 사고를 가정하여 방사선량을 계산하여 반영하며, 방사선 시험을 통해 해당 방사선량에 노출시켜 건전성을 확인하고 성능을 확인하며 수명기간에 선형적으로 방사선량이 산출된다.

기기검증 수명에 가장 영향을 주는 요소는 온도이며 이는 기기의 활성화에너지에도 지대한 영향을 준다. 따라서 온도를 정확히 적용하는 것이 검증수명을 바로 적용하는 것이라 해도 과언은 아니다. 방사선 검증값은 발전소 설계데이터를 기준하기 때문에 수명을 연장할 시에는 이를 반영하여야 한다. 결과적으로 검증수명을 확대하는데 온도의 요소가 핵심적이므로 온도에 내성이 강한 재질의 적용이 필요하며 방사선량도 고려할 필요가 있다.

케이블 화염시험 기술기준 변경 검토 A Study on Changes in Cable Flame Qualification Requirements

허남용

한국수력원자력(주)

케이블의 화염검증은 원자력발전소 환경에서 매우 중요한 요소이다. 케이블은 기계, 전기 및 계측 기기와 연결하여 전기를 공급하거나 제어를 할 수 있도록 하는 매개체로 한 번 설치하여 발전소 수명까지 사용하여야 하므로 화염검증시험에 대한 요건을 충분히 이해하고 검증을 수행한 후에 설치하여야 한다.

케이블 화염검증의 기술기준은 가동원전에 있어서 IEEE 383-1974, IEEE 1202-1991 또는 NFPA 262-2002을 따른다. IEEE 383-1974는 케이블 검증기술기준에 화염검증 요건을 포함하여 기술하였으며 그 이후에는 IEEE 383-2003에는 명시한 별도의 기준인 IEEE1202-1991에 따라 케이블의 화염검증 요건을 적용하였다.

이러한 화염시험 요건의 변화에는 IEEE 383-1974에 화재시험 요건의 구체성이 부족하였고 또한 이를 보완하기 위해서 개선하였다. 또한 NRC는 다양한 시험을 통해 기존의 재료의 특성을 반영하고자 하는 노력이 반영되었다. IEEE 383-1974의 요건에 비해 구체성을 가미한 것은 크게 영향을 받지 않으나 버너의 설치높이와 화염인가 각도의 변경이나 시험환경의 자연환기실이나 통풍이 없는 방에서 공기통풍이 있는 방으로 변경이나 합격 판정기준이 시험체의 2.4m에서 자연소화에서 1.5m 이내에서 자연소화로 엄격해진 것은 케이블 화염시험에 큰 변화이며 내화성능 검증에 영향을 준다. 따라서 케이블을 제작하여 공급하는 제작자는 새로운 기술기준을 만족하기 위하여 화재에 내성이 있는 재료의 개발에 자극이 되었으며 최종 사용자인 원자력발전소에는 케이블 내화성능에는 개선을 가져오는 효과를 기대할 수 있게 되었다.

원자력발전소의 가동중 설계변경 품질향상 방법
Quality Improvement Method for Design Change of
Operating Nuclear Power Plants

신혜영 · 박태성

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력발전소는 설계, 건설, 운영 및 폐로 단계의 생애주기를 거치면서 운전경험 및 기술 개발 반영, 개선 또는 강화된 규제요건 충족, 그리고 기기 제작사를 포함한 설비 공급망의 생태변화를 고려하여 설비교체 또는 설비개선을 수행한다. 이 과정에서 설계 또는 설계변경의 품질확보를 위해 美 연방 에너지법인 10CFR Part 50 Appendix B 및 미국기계학회(ASME) NQA-1 코드 또는 전력산업기술기준(KEPIC) QAP 코드로 제시되는 원자력품질보증기준을 따른다. 원자력발전소의 설계는 제작, 설치, 시공 및 시운전 등 건설과정에서 확보한 높은 수준의 품질이 운영 중 설계변경 사항에 대해서도 동등한 수준으로 유지될 수 있도록 엄격한 설계변경 품질관리를 요구하며 이를 위해 설계검증이라는 도구가 사용된다. 설계검증은 설계과정을 거쳐 생산된 설계결과물이 설계요건에 부합한 설계적합성을 갖추고 있는지를 여러 방법을 통해 검토, 확인 및 구체화하는 과정으로서, 원 설계에 참여하지 않은 개인 또는 조직에 의해 독립적으로 수행된다. 설계검증은 설계프로세스의 일부로서 기본적으로는 설계사에 의해 수행되나 가동원전의 중요 설계변경사항에 대해서는 사전 기술검증 강화와 설비신뢰도 증진을 위해 원전 운영사가 별도 설계검토 조직을 갖추고 자체 설계검토 절차를 도입하여 독립적인 설계검증을 수행해오고 있다. 본 논문은 설계검증에 대한 일반론과 가동원전 설계변경 절차 및 대상 구조물·계통·기기에 대한 설계변경 추진 시 작성되는 기술문서인 설계변경서의 구성 및 작성방법을 설명하였다. 또한, 원전 운영사가 수행하는 설계검증 대상이 되는 중요 설계변경사항 선정기준, 원 설계와 동등한 수준의 설계품질 확보를 위해 가동원전의 설계변경에 적용되는 주요 설계기술과 검토방법, 검토영역 및 분야별 검토 주안점, 설계검증결과 처리를 위한 의사결정체계 등을 다루었다. 아울러 원자력발전소의 안전성 및 경제성 향상에 기여하는 가동중 설계변경 품질 향상을 위한 추가 방안 및 방법을 제시하였다.

탄력운전 핵설계 영향 예비평가

Preliminary Evaluation on Nuclear Design for Flexible Operations

유극중

한국수력원자력(주) 중앙연구원

간헐적인 신재생에너지의 발전량 증가에 따라 기저부하로 운영중인 원자력발전소도 출력변화 운전의 필요성이 증대되고 있다. 원자력발전소에서는 전력의 수요에 맞추어 출력을 조절하는 운전방식을 출력변화량과 변화속도에 따라 부하추종운전과 주파수조절운전으로 구분하고 있으며 이러한 운전방식을 탄력운전이라 한다. 탄력운전을 발전소 설계에 적용하기 위해서는 원자로 노심이 장기간 탄력운전 동안 겪게 될 출력변화를 반영해야하며 그 노심을 바탕으로 노심설계와 안전해석 수행 후 안전성을 확인해야 한다. 따라서 본 연구에서는 Bounding Approach 방법을 사용하는 현 설계방법에 적용 가능한 보수적인 탄력운전 노심모형을 도출하였고 이 노심모형을 이용하여 안전해석 수행에 필요한 노심연계자료를 생산/검토하였다. 탄력운전 노심모형은 출력변화를 예측할 수 없는 주파수조절운전을 포함할 수 있는 대표적인 일일부하추종운전 출력변화를 고려하였다. 탄력운전 노심모형을 생산하기 위하여 전출력 제어봉삽입 한계까지 제어봉을 삽입하여 전출력으로 임의의 탄력운전 기간 동안 노심을 연소시키는 방법을 도출하였다. 이 방법은 일정한 탄력운전 기간 동안 출력을 실제로 변화시켜 운전을 하는 것보다 보수적인 출력첨두계수를 생산하는 방법으로 탄력운전 기간을 실제출력변화 없이 단순하게 모사할 수 있는 장점이 있다. 또한 도출된 탄력운전 노심모형을 사용하여 안전해석 수행시 노심설계에서 생산/제공해야 하는 연계자료를 생산하였다. 생산된 연계자료는 감속재/핵연료온도계수, 최소 정지제어봉가 및 축방향출력분포 등 주요 핵설계자료와 특정 안전해석에 사용되는 제어봉관련 연계자료들이다. 이러한 연계자료들을 기존 설계자료들과 비교/검토해본 결과 제어봉삽입과 관련된 반경방향첨두출력계수 값이 기존 설계자료 값보다 큰 값을 보였다. 또한 제어봉관련 안전해석에 사용되는 첨두출력계수 값들이 초기노심에서 설계 값보다 큰 결과를 확인하였다. 이러한 결과는 장기간 탄력운전을 수행할 경우 노심 연소이력 변화 등으로 인한 노심의 상태가 변화되어 이를 반영한 안전해석이 수행되어야 함을 의미한다. 따라서 향후에는 본 연구에서 생산된 탄력운전 안전해석 연계자료를 이용한 안전해석을 수행하여 안전성을 확인할 계획이다.

공압 구동기(Actuator)의 CGID 필수특성 선정방법 고찰 A Study on CGID Critical Characteristics Selection Method for Pneumatic Actuator

홍태화 · 양창석

한국수력원자력(주), 중앙연구원

1. 서론

구동기(Actuator)는 안전성등급(Q등급) 품목으로 국내외 원자력 예비품 유자격 공급사로부터 공급받고 있지만 점차 원전 기자재 납품업체로부터의 공급에 차질을 빚고 있는 실정으로 국내외 원전 발전사업자로부터 불량 소재 납품사례가 소개되고 있는 실정이다. 이의 대응방안으로 역설계(Reverse Engineering)를 통한 대체품 공급방법이 하나의 대안으로 제시되고 있으나 구동기에 대해 국내에서 직접 수행한 사례는 없는 것으로 파악되고 있다. 대체품 또는 일반규격품을 안전성 등급 품목으로 대체하기 위한 품질검증 방안이 필요한 실정이다.

본 논문에서는 평가자의 경험과 숙련도와는 상관없이 동일한 검증 결과가 나올 수 있도록 원자력 발전소 안전성 등급으로 공압 구동기(Pneumatic Actuator)를 사용하기 위한 검증필수 특성을 고찰하고자 한다.

2. 국내외 사례분석을 통한 Actuator 검증의 필요성 증가

NRC(Nuclear Regulatory Commission)는 Hydramotor사의 AH90 and NH90 series의 스프링이 5160 Type Steel 대신 1060-1070 Type Steel로 제작되어 강도가 저하되어 스트로크가 설계 값보다 더 크게 나타났음을 보고하였으며, 98년 미국의 Clinton 1에 설치된 Hydramotor사의 relief/dump valves에서 다이어프램에 오일 누유상황을 파악한 결과 작업불량으로 판단하였다. 국내원전에서도 주급수 제어밸브 Actuator 가이드 부싱 및 O-ring을 교체('15.6)한 사례를 보고하고 있다. Velan, ASCO, Weir Valve, Dresser, SSM Industries, Fisher Controls international사에 대해 NUPIC(Nuclear Procurement Issues Corporation)에서 발행한 Audit Report를 통해 확인한 결과 공통적으로 Material, Dimensions, Mechanical Functional Test를 주요특성으로 선정하였다. 위 기관들에서 선정한 특성은 설계특성을 고려한 모든 시험이 아니라 일반규격품 검증특성에 적합하도록 일부 특성을 선정한 것으로 절대적 보증이라 볼 수 없지만 주요 특성을 선정한 것으로 판단된다.

3. Pneumatic Actuator의 필수특성 고찰

국내외 사례에서 볼 수 있듯이 Pneumatic Actuator의 고장 중 70%이상이 비금속 소재의 부품에서 발생되고 있다. 고장모드 영향평가를 통해 확인결과 다이어프램 파손, 액츄에이터 스템/스프링 파손, 밀봉재 마모 등을 고장형태로 선정하였으며, 고장형태 별 필수특성으로는 Chemical Property, Durometer, Material, Leak Test, Stroke time(Length), Dimension, Function Test, Hardness, Tensile Strength, Torque를 도출하였다. 고장형태 별로 설계기준 및 계통의 영향평가를 통해 중복된 필수특성이 다수 도출되었다. 그 중 CGID를 위한 합리적 보증을 위해 필수특성으로 Material, Function Test(Seal Leak Test, Hydro Test 등), Dimension, Stroke time(Travel)을 선정하였다.

4. 결론

Pneumatic Actuator의 필수특성 고찰을 통해 구동기의 재질특성과 성능시험 과정에서 이들 구성품의 운전성을 평가함으로써 검증의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단한다. 유자격 공급자가 본 논문에서 제시한 검증특성을 적용할 경우 동일한 검증결과를 예상할 수 있어 일반규격품품질검증 제품에 대한 높은 신뢰성을 높일 수 있는 계기가 될 것으로 판단된다.

퍼지 PID 제어를 이용한 온도제어 알고리즘 개선

The Improvement of Temperature Control Algorithm using Fuzzy PID Controller

이현용

한국수력원자력(주) 중앙연구원

주거건물의 쾌적한 환경을 만들기 위해 적용되는 냉난방시스템은 건물에너지 소비의 약 50%이상이 사용된다. 건물전체의 에너지 절감은 냉난방시스템의 에너지 효율을 높이는 것이 필요하고, 이를 위해 건축시스템 최적화와 제어알고리즘 개발 등 에너지 절감을 위한 다양한 연구가 진행 중이다. 본 논문에서는 난방시스템은 에너지 효율을 증가를 위한 연구로 외기온도의 변화와 건물내부의 부하량을 고려하여 최적의 상태로 운전함으로써 에너지 성능 향상 증가시킬 수 있는 제어 알고리즘을 제안한다.

난방시스템은 구조는 외부공기와 실내 되돌림(Return) 공기를 혼합시켜 AHU(air handling unit)의 입력에 사용되고, 출력은 난방코일(Heating Coil)에 전기 또는 가열된 오일이나 물을 이용한 열 교환을 통해 난방에 필요한 실내 공급(Supply)공기이다. 에너지 절감을 위해 외기와 되돌림 공기의 혼합비를 조절하여 가열된 되돌림 공기를 최대한 이용하면 에너지 효율을 높일 수 있다. 그러나 실내 이산화탄소 수치를 조절하기 위해 적절한 외기를 유입해야 한다. 외기온도 및 유입량 변화에 따라 실내 공급온도 및 되돌림 공기 설정 값을 보상하는 제어시스템이 필요하다. 외기공기의 유입과 내부 부하의 변화에 따라 공급온도 설정값의 최적화가 필요하고 이러한 불확실성은 상대적으로 느리게 변화기 때문에 온도 설정값의 명령 추종 및 제어성능이 뛰어난 제어알고리즘이 필요하다.

난방시스템에 사용하는 제어시스템은 구조가 간단하고 안정성 보장 때문에 PID제어가 많이 사용되고 있다. PID 제어기의 설계는 일반적으로 지글러-니콜스(Ziegler-Nichols)방법을 이용하여 적절한 게인 값을 선정하고 입출력의 반복적인 실험을 통해서 개선된 PID 게인 값을 조절한다. 외기온도와 건물내부의 부하량이 변화는 경우 PID 게인 값을 시스템의 파라미터를 추정 및 PID값을 게인 값을 조절하는 방법이 필요하다. 퍼지 PID제어기는 시스템 출력, 설정값(set value)에 의해 오차(error), 오차 변화의 환산계수(scaling factor), 제어출력 환산계수, 퍼지 제어규칙에 의해 PID 제어기의 파라미터를 상태변화에 따라 적응(adaptation)시키는 형태로 PID 게인 값을 적절하게 조절할 수 있다. 난방시스템의 불확실성 및 외란의 영향으로 외기, 실내부하 변화에도 명령추종 성능 향상을 위해 퍼지 PID 제어를 적용하면 파라미터의 헌팅을 감소시키고 안전성을 높일 수 있다. 제안한 제어알고리즘을 실험을 통해서 효율성이 검증된다면 외부환경 변화 및 부하변동에 따라 최적제어를 함으로써 에너지 효율을 높일 것으로 기대된다.

적응 PID 제어기를 이용한 과열도 제어 알고리즘 개선
The Improvement of Superheat Control Algorithm using
Adaptive PID Controller

이현용

한국수력원자력(주) 중앙연구원

공조시스템은 압축기 용량제어와 증발기 과열도 제어를 이용하여 온도 제어 및 에너지 효율을 증가 시킬 수 있다. 에너지 절감 및 부하변동에 대응하기 위해서 멀티 압축기, 증발기 적용이 필요하며 복잡한 시스템 제어변수 변화에 따라 과열도 설정 값을 선정하고 명령추종(Command Following) 특성을 가져야 한다. 공조시스템의 안전성과 제어성능을 향상시키기 위한 과열도 제어 알고리즘을 제안한다.

공조시스템은 압축기 용량제어와 증발기 과열도 제어를 통해서 AHU(air handling unit) 공급(supply) 공기온도를 제어한다. 변동하는 전체부하를 고려하여 되돌림(return) 공기온도를 제어 변수로 설정하여 전체 부하에 대한 제어가 가능하다. 하지만 되돌림 공기온도의 늦은 응답속도 때문에 과열도 및 용량 제어 시 실제 온도 및 압력의 헌팅이(Hunting) 발생할 수 있다. 온도 제어 성능을 향상시키기 위해 핫 가스(Hot Gas) 제어방법, 멀티 압축기의 용량제어, 과열도(Super heat degree)제어로 서로 영향을 주는 복잡한 시스템 형태로 구성되어 있다. 그래서 과열도 제어는 증발기의 과열도 뿐만 아니라 압축기 및 핫 가스 제어의 변수값을 고려하여 과열도 설정 알고리즘이 필요하다. 되돌림 온도 변화에 따라 공급 온도 설정값을 변화 시켜 최적의 과열도 목표값을 재설정하여 정밀한 온도제어, 압축기로의 액냉매 유입을 방지, 냉각 시스템의 안전을 확보할 수 있다. 과열도 설정 조정 알고리즘을 적용하면 되돌림 온도의 늦은 응답성 때문에 파라미터가 헌팅하는 현상을 줄일 수 있다.

공조시스템의 복합적으로 파라미터 변동이 발생하는 경우 PID 제어를 적용하면 제어대상의 특성이 변화하여 제어성능이 저하된다. 단점을 보완하기 위해 적응 제어를 접목하여 외기변화에 따른 제어오차를 측정 및 이용하여 적절하게 파라미터를 변환할 수 있다. 과열도 명령추종 성능을 향상 시킬 수 있는 적응 PID 제어기를 적용하면 파라미터의 헌팅을 감소시키고 안전성을 높일 수 있다. 제안한 제어알고리즘을 실험을 통해서 효율성이 검증된다면 외부환경 변화에 따라 최적제어를 함으로써 에너지 절감에 크게 기여할 것으로 기대된다.

LQG 제어를 이용한 압력제어 알고리즘 개선

The Improvement of Pressure Control Algorithm using LQG Controller

이헌용

한국수력원자력(주) 중앙연구원

HVAC(Heating, Ventilation, Air Conditioning)시스템은 건물의 쾌적한 환경을 만들기 위해 온도 및 습도를 최적의 상태로 유지한다. 시스템의 구성은 증발기(Evaporator), 팽창밸브(Expansion Valve), 압축기(Compressor), 응축기(Condenser), 난방코일(Heating Coil)로 구성되어 있다. HVAC시스템에서 필요한 압력제어는 왕복 압축기(Reciprocating Compressor), 스크류 압축기(Screw Compressor)를 사용한다. 일반적으로 가격이 저렴한 왕복 압축기가 많이 사용되며, 정밀한 용량제어가 필요한 경우 스크류 압축기가 사용된다. 정밀 용량제어에 필요한 경우 압력값의 추정 및 제어 조건을 만족시킬 수 있는 압력제어 알고리즘을 제안한다.

HVAC시스템은 부하조건 변화에 대한 AHU(Air Handling Unit) 공급(Supply) 공기온도를 제어의 강인성을 가지기 위해 전자식 팽창밸브를 이용한 증발기의 정밀 과열도 제어와 압축기의 정밀용량제어가 필요하다. 스크류 압축기의 압력제어는 부하변동 시 설계 압력 구간을 유지하기 위해 선형적으로 압축단계를 증가(Increase) 또는 감소(Decrease)하면서 제어한다. 최적의 용량제어를 하기 위해서 부하조건 변화, 공급온도 변화, 과열도 변화 등 여러 가지 변수를 제어할 수 있는 제어알고리즘이 필요하다.

HVAC 다변수 시스템을 제어하기 위해서는 모든 상태변수를 측정해야 하지만 현실적 구현이 불가능하다. 그래서 시스템이 안정가능, 검출가능하다면 최적 추정과 제어 이론인 LQG (Linear Quadratic Gaussian)제어 방법을 이용하여 다변수 제어가 가능하다. LQG 제어시스템의 설계는 최적제어 이론에 기반을 둔 설계파라미터 G 와 최적추정 이론에 기반을 둔 Kalman필터를 포함한 설계파라미터 H 를 선정한다. 센서잡음과 외란 등 입력에 대한 Kalman필터를 설계하여 시스템의 공칭안정도와 가격함수를 최적화한다. 설계된 LQG 제어시스템은 최적 추정과 최적제어를 적용하여 압력 파라미터를 추정하고 압력 헌팅을 감소시켜 성능 및 안전성을 높일 수 있다. 제안한 압력제어 알고리즘을 실험을 통해서 효율성이 검증된다면 HVAC시스템의 외부환경 변화 및 부하변동에 따라 최적제어를 함으로써 시스템의 제어 성능과 에너지 효율을 높일 것으로 기대된다.

온도지시계 & 스위치의 필수특성에 대한 고찰

A Study on Critical Characteristics of Temperature Indicator & Switch

이헌용

한국수력원자력(주) 중앙연구원

온도 지시계는 온도 센서를 이용하여 온도를 측정하고 해당 온도의 지시값을 아날로그 또는 디지털 형태로 확인하며, 온도 스위치는 온도 지시계에서 설정된 온도값보다 측정값이 낮거나 높을 경우 이를 접점 신호로 출력하는 기기이다. 온도 지시계는 측정 방식에 따라 팽창식 온도계, 압력식 온도계, 저항 온도계, 열전쌍(Thermocouple), 방사 온도계 등으로 분류 된다. 일반적으로 가장 많이 사용하는 바이메탈식 온도 지시계는 바이메탈 나선(Bimetallic helix), 축(Shaft), 눈금판(Dial), 지침(Pointer), 케이스(Case) 등으로 구성된다. 나선형 바이메탈은 열팽창의 정도가 다른 두 개의 금속을 기계적으로 접합시킨 소자라고 형태가 나선형이고 온도변화가 발생하면 바이메탈은 휘어지게 된다. 이와 같은 변화를 이용하여 축에 고정되어져 있는 바이메탈의 휘어짐의 정도에 따라 지침의 변위가 생겨 측정된 온도값을 지시한다. 온도 스위치의 접점 동작은 지시계의 지침과 설정침의 기계적 동작을 통하여 접점 스위치로 전달된다. 온도 스위치는 설정침을 이용하여 온도의 상한(High), 하한값(Low)을 설정하고 현재 측정 온도값을 지시하는 지침이 설정된 상한, 하한값을 넘어서면 접점 신호를 출력하는 역할을 한다. 바이메탈 손상 및 기계적 구조 연결부 손상이 발생하여 온도 지시계가 정상적인 온도 지시 기능을 수행하지 못하거나, 온도 스위치 접점이 손상이 발생하므로 건정성 확인이 중요하다. 이를 위해 고장모드 영향분석에 기반을 둔 필수특성의 도출과 시험 및 검사를 통한 검증이 필요하다.

온도 지시계 & 스위치의 고장모드는 지시계 허용오차 초과, 스위치 접점 출력 이상, 절연 손상으로 구분 할 수 있다. 온도 지시계의 바이메탈 손상 및 기계적 구조 연결부 손상이 발생하는 경우 온도 지시계가 정상적인 온도 지시 기능을 수행하지 못해서 허용오차를 초과해 필수특성으로 정확성, 반복성을 고려하여야 한다. 온도 스위치의 스위치 설정 장치 손상 및 기계적 구조 연결부 손상이 발생하는 경우 설정된 온도값에 따른 정상적인 접점 신호 출력 기능을 수행하지 못해 스위치 접점 출력을 확인하기 위한 필수특성으로 접점 동작을 고려하여야 한다. 온도 지시계 & 스위치 절연연체 사이의 절연 성능 저하가 발생하는 경우 누전이 발생하여 주변기기 구성요소, 부품 및 시스템에 전기적 손상을 발생시키고 누설전류 증가로 인하여 정상적인 접점 신호 출력 기능을 수행하지 못한다. 따라서 절연 성능 저하를 확인하기 위한 필수특성으로 절연 저항과 내전압을 고려하여야 한다. 온도 지시계 & 스위치의 건전성을 검증하기 위해 정상적인 온도 지시와 고장저해요소에 중점을 두고 고장원인 및 고장모드 영향분석을 실시하고 필수특성을 도출하였다. 본 논문에서는 일반적인 아날로그 온도 지시계 & 스위치에 대해서만 다루었으나 다른 구조 및 동작원리에 따라 검증 필수특성을 추가 적용할 수 있을 것이다.

적응 PID 제어를 이용한 핫가스 바이패스 밸브제어 알고리즘 개선 The Improvement of Hot Gas Bypass Valve Control Algorithm using PID Adaptive Controller

이현용

한국수력원자력(주) 중앙연구원

공조시스템은 사계절 쾌적한 실내 환경을 유지하기 위해 냉방 및 난방시스템이 이용된다. 계절의 변경 및 일교차가 큰 시간에는 냉방시스템의 100% 전 부하(Lode)를 사용되지 않고 부분 부하로 운전하게 된다. 저 부하 운전은 증발기의 부분 동작과 압축기의 용량제어를 적용한다. 변동 부하 조건에서도 효율적인 용량제어를 위해 터보 압축기의 Guide Vane 각도 제어, 압축기 모터의 인버터를 적용한 주파수 제어 등 가변 부하에 대응하는 방법이 많이 사용되고 있다. 하지만 저부하(0~20%)일때 Guide Vane각도 및 인버터 주파수가 낮을 경우 시스템이 불안정한 문제가 발생 발생한다. 본 논문에서는 저부하 조건에서 시스템 안정도를 향상하기 위해 핫가스 바이패스 밸브의 최적 설정값을 유지하는 제어 알고리즘을 제안한다.

핫가스 바이패스 밸브는 압축기의 출구에서 나온 고온고압 기체상태 냉매를 증발기 입구로 바이 패스시켜서 냉매 유량 조절 및 부하조건을 조절한다. 압축기 출구에서 증발기 출구, 압축기 출구와 응축기 출구 냉매를 혼합해서 증발기 출구로 바이패스 시키는 방법도 있지만 시스템 안정도가 높은 증발기 입구로 바이패스 시키는 방법에 핫가스 바이패스 최적 설정값 제어 알고리즘을 적용한다. 변동 부하에는 터보 압축기의 Guide Vane 각도 제어, 압축기 모터의 인버터를 적용한 주파수 제어를 이용하여 효율적인 운전을 하고, 저부하 조건인 Guide Vane이 20%이하로 낮아지거나, 압축기 주파수가 최저일 때 핫가스 바이패스 설정 값을 높여서 필요한 부하를 생성하여 냉방시스템의 안정성을 높일 수 있다.

공조시스템의 부하변동에 따라 온도 설정값 및 과열도 설정값 변화, Guide Vane각도 및 압축기의 회전수 등 복합적으로 파라미터 변동이 발생하는 경우 PID 제어를 적용하면 제어 대상의 특성이 변화하여 제어성능이 저하된다. 단점을 보완하기 위해 적응 제어를 접목하여 부하변화에 따른 제어오차를 측정 및 이용하여 적절하게 파라미터를 변환할 수 있다. 핫가스 바이패스 밸브 설정값의 명령추종 성능을 향상 시킬 수 있는 적응 PID 제어를 적용하면 파라미터의 헌팅을 감소시키고 안전성을 높일 수 있다. 제안한 제어알고리즘을 실험을 통해서 효율성이 검증된다면 외부환경 변화 및 부하변동에 따라 최적제어를 함으로써 에너지 효율을 높일 것으로 기대된다.

화재방호체의 품질등급 및 기기검증 요건에 대한 고찰

A Review of Quality Grade and EQ Requirement of the Fire Retardant Board and Blanket

김경덕

한국수력원자력(주)

최근 가동중 원자력 발전소 안전관련 케이블 및 케이블 트레이의 보강을 위해 화재방호체를 신규로 구매하기 위한 구매 기술 규격서가 각 사업소 별로 진행되어 일부발전소는 기 설치되었고 일부 발전소는 구매 및 설치를 진행 중에 있으나, 발전소별로 구매기술 규격서의 품질등급과 기기검증 요건에 대한 요구사항이 상이하어, 공급업체로부터 민원 및 이의신청이 접수되었다. 이에 따라 화재방호체에 대한 기술요건 중 품질등급 및 기기검증요건에 대한 전면적인 검토가 필요하고 이를 바탕으로 해당 화재방호체의 구매기술규격서를 표준화할 필요성이 대두되었다.

원자력 발전소 건설시 화재방호체는 주기기나 보조기기(BOP)와는 달리 발전소별 주 시공사에 의해 현장에서 직접 구매되어 설치되는 지입자재로서 설계사 또는 한수원에 의해 직접적으로 공급자 문서를 검토하는 과정이 생략되었다. 따라서 당시에는 해당자재에 대한 설계 검토의 필요성이 미미하였으며, 현재 해당 자재에 대한 공급자 문서 또한 발전소로 이관되지 않아 보관중인 자료가 없다.

건설원전 당시 공사용 구매규격서(이하 CP Spec)에 의해 구매된 지입자재를 가동원전의 설계변경 또는 노후화로 인해 사급자재로 구매하기 위해 설계용역사를 통해 자재의 구매기술규격서를 새롭게 작성하였으나, 용역을 수행한 각각의 설계용역사는 해당 자재의 설계개념 및 품질등급, EQ요건에 대한 충분한 검토 없이 구매기술규격서를 작성하였다. 그에 따라 발전소별 설계를 담당한 설계용역사별로 화재방호체의 구매 기술규격서의 품질등급 및 기기검증 요건이 상이하게 작성되어있다.

본 고찰에서는 가동원전의 안전관련 케이블 및 케이블 트레이의 화재방호를 강화할 목적으로 신규로 구매된 화재방호체의 기기검증 요건을 검토하던 중 발전소별로 구매규격서의 요건이 다르게 적용되었음을 확인하여, 향후 일관된 기기검증 요건 및 품질등급을 적용하기 위하여 최초의 화재방호체 관련 구매규격서가 발행된 A발전소의 CP Spec부터 가동 중 원전 및 B발전소에 이르는 전 발전소의 CP Spec의 규격서 내용 및 관련 기술기준을 검토하였으며, 또한 품질등급이 “Q” 등급이 적용된 사유가 들어 있는 공문까지 추적하여 검토하였다.

검토 결과 화재방호체의 품질등급은 “A”등급이상이면 만족되는 것으로 확인되었으며, 기기검증요건과 관련하여서는 본 자재인 화재방호체는 기기검증 대상 기기로 분류되지 않으므로 따라서 내환경검증은 요구되지 않으나 구조물의 건전성을 평가하기 위한 내진검증(건전성평가)은 필요한 것으로 판단된다.

원전 전체 3D모델 체계 개발

Development of Full 3D Model Structure for Nuclear Power Plant

김우중, 변수진, 김종명

한국수력원자력(주) 디지털혁신추진단

국내 원전산업은 건설비용 절감과 설계, 구매, 시공에서 사용될 모든 정보가 3D CAD 기법으로 생성된 데이터(객체) 단위 수준으로 통합되고 관리하는 혁신적인 설계기법으로 전환을 모색하고 있다. 현재 원전의 적용된 3D설계 결과물은 설계단계 간섭검토용 3D모델이 주를 이루고 있으며 시공단계가 진행됨에 따라 운영단계를 고려한 3D모델의 필요성이 대두되고 있다. 이에 따라 설계 3D모델의 고도화 사업이 진행중에 있으나 시공단계와 운영단계 3D모델을 포함한 전체 3D 모델 개발이 필요한 상황이다.

현재 원전의 3D모델의 구성체계는 원전 PBS(Physical Breakdown Structure)을 고려한 건물, 레벨별 모델 체계를 가지고 있다. 하지만 시공 및 운영 단계를 활용을 위해선 계통, Room, 객체 단위를 포함한 3D모델 체계 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 현재 원전의 3D모델 구성체계 및 현황을 분석하고 원전 전체 3D 모델체계 구성방안을 제안한다.

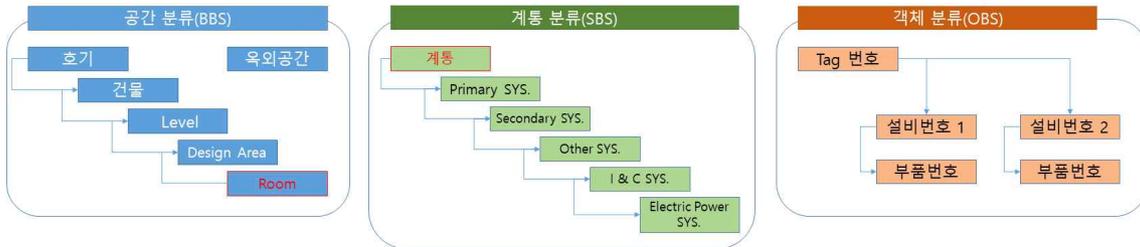


그림 15 . 원전 3D모델 분류체계(안)

3D모델 기반 원전 설계요건 추적성 표현

Traceability Viewing of NPP Design Requirement based on 3D model

김종명·변수진·김우중

한국수력원자력(주) 디지털혁신추진단

원전산업계에서는 최근 설계도서-설계결과물의 불일치 사건을 예방하고자 원전 형상관리의 중요성이 대두되었고, 국외에서는 미국 원자력 규제위원회(U.S. NRC)/ 국제 원자력기구(IAEA)에서부터 국내 원자력안전위원회에서도 관심이 커지며 관련 규제를 강화하고 있다. 이에 따라 국내에서도 관련 규제에 선제적으로 대응하고, 원전의 설계-결과물 일치성을 강화하기 위해 최신원전에서부터 데이터기반 형상관리 시스템을 개발하는 등 형상관리의 일치성을 확보하기 위한 노력을 하고 있다. 최신원전에는 설계요건-도면과의 일치성 확보를 위해 설계도서를 단락/장/절 단위로 DB화하여 각자의 상/하위 레벨을 정의하여 추적성확보를 통해 설계요건의 추적성을 확보하기 위한 데이터기반 설계요건 관리기능을 형상관리시스템의 주요 기능중 하나로 개발하고 있다. 이렇게 구축된 추적성은 설비 기준으로는 어떤 설계도서를 참조하면 각종 파라미터별 설정근거 등을 찾을 수 있어, 규제대응에 유리할 뿐만 아니라 신입사원이나 해당 기기를 처음 다루는 직원들도 쉽게 설비에 대해 파악할 수 있다. 설계도서 기준으로는 설계도서의 설계요건이 상위의 어떤 규제요건/상위 설계도서에서 유래된건지 파악할 수 있고 어떤 설비가 해당 설계요건에 해당되고 있는지 파악할 수 있어, 원전 설비를 다루는 원전산업 종사자 입장에서 굉장히 의미있는 내용을 도출할 수 있다. 그러나 설계요건별로 연계되는 설비는 상이하어, 작게는 0개부터 수백개까지 다양한 설비가 연계된다. 수백개가 연계되는 설계요건의 경우에는 테이블로 나타내기에는 한눈에 들어오지 않아 해당 설계요건이 어떤 설비들에게 영향을 주는지에 대한 영향도를 판단하기 어렵다.

본 논문에서는 설계요건과 연계된 설비를 단순 설비번호 기준 테이블로 보여주는 것이 아닌 3D모델 기준으로 설비와 연계된 3D모델을 하이라이트 해줘, 사용자가 설계요건에 영향을 받는 설비가 어떤 설비들이 있는지 한눈에 파악 할 수 있는 기능을 구축하고자 하였다. 설계요건에 관련 설비정보를 연계하기 위해, 첫번째로는 설계요건별 설비번호 매핑 테이블을 작성하였다. 두번째로 원전 3D모델 구성 단위모델내 설비번호 목록을 작성하여, 설비번호 매핑테이블과 3D모델 구성 단위모델을 매핑하여 단위모델-설비번호 매핑테이블을 작성하였다. 세번째로 전체모델을 항상 띄우기엔 속도저하가 있으므로, 속도관리를 위해 최소 단위 테스트를 하여 영향도분석 효율을 고려해 기본 뷰잉단위를 레벨로 결정하였다. 위의 과정을 통해 시스템내에서 설계요건에서 설비영향정보를 클릭했을때, 해당 설계요건에 연계된 설비가 속한 레벨을 띄워주고, 하나의 레벨에 속하지 않았을경우 사용자가 조정하여 3D모델 뷰잉범위를 정할 수 있도록 고려하였다. 위의 3D모델기반 설계요건 추적성 표현 모듈을 통해 단순 추적성을 테이블로 확인하는것에서 3D모델 가시화시점으로 영역을 확장하여 사용자가 직관적으로 설계요건의 설비영향도를 파악할 수 있게 되었다. 그러나 레벨 단위 뷰잉의 한계로 인해 추후 설비모델의 경량화작업을 추가하여 레벨단위 뷰잉이 아닌 전체 모델 뷰잉으로의 개발이 필요하다.

안전등급 Heater Element 필수특성 검증 방법에 대한 고찰

A Study on the Evaluation of Critical Characteristics for Safety Class Heater Element

조은일

한국수력원자력 중앙연구원

Heater Element(전열기)는 발열체에 전류가 흐르면 열이 발생하는 발열작용을 이용하여 전기에너지를 열에너지로 변환하는 장치로써 전기1급(Class-1E) 공기조화 계통 및 오일 탱크 등에 설치되어 공기 및 오일의 온습도를 조절하며 관련 설비를 보호하는 안전기능을 수행한다. 전열기의 종류에는 시스 전열기, 코일 전열기, 석영관 전열기, 주물 전열기 등이 있으며 본 논문에서는 시스 전열기에 대한 내용을 기술한다. 전열기에 대한 고장모드 영향 분석(FMEA : Failure Mode Effect Analysis)을 통하여 필수특성을 도출하고 효과적인 검증 방법을 서술하고자 한다.

Heater Element의 고장모드로는 절연파괴(Dielectric Breakdown)을 들 수 있다. 오염, 부식, 습분유입 등의 원인으로 인해 절연재가 손상되어 발열체와 메탈 시스 사이의 절연이 파괴될 수 있다. 이는 누설전류가 증가하고 발열체에 전류공급을 방해하여 안전기능에 영향을 미치므로 절연저항(Insulation Resistance), 내전압(Withstand Voltage)을 필수특성으로 하여 검증함이 마땅하다. 또한, 충격, 진동, 부식 등으로 인해 시스 손상(Damage of Sheath) 고장이 발생할 수 있다. 시스에 과열점이 발생하거나 정격 전류보다 과도하게 부족 또는 큰 전류가 흐름으로써 목표로 하는 기능을 달성할 수 없게 된다. 따라서 엘레먼트 저항(Resistance), 전력(Power Rating), 화학분석(Material) 등을 통해 시스의 건전성을 점검하는 시험이 필요하다.

내전압(Withstand Voltage) 시험절차는 KS C 60398을 참고하였다. 시험 전압의 파형은 전원과 같은 주파수의 Sinewave여야 하고, 정상 동작 시 함께 연결되고 접지되는 서로 다른 노출 금속부 사이에 인가하여야 올바른 시험이라 할 수 있다. 급격한 전압 변화를 막기 위해 $U_t/2$ 에서 10초 정도 점진적으로 상승시켜 U_t 에 도달한 후 1분동안 유지한다. 정격 절연전압(U_i)에 따른 시험전압(U_t)는 해당 기술기준의 표를 참고한다. 예를 들어, U_i 가 500V 이상일 경우 $2U_i+1000V$ 의 시험전압을 인가하게 된다. 엘레먼트 저항(Element Resistance)은 체적저항률(ρ)을 엘레먼트의 단면적(A)로 나눈 값으로 정의한다. 도체 저항 시험은 KS C 2603에 따라 수행하며 선의 규정치수에 대한 도체의 저항은 KS C 2601 부표 1, 띠에 대한 도체저항은 부표 3에 규정되어 있다. 저항의 허용오차는 제작사의 도면, Datasheet 등에 따르되 정의되어 있지 않다면 위 기술기준을 참고한다. 히터 엘레먼트의 재질에 대한 화학분석(Material)은 필요 시 재질분석기 등으로 직접 시험하거나 재질성적서(MTR)을 확인하는 방법으로 수행할 수 있다.

안전등급 분류기 필수특성 검증 방법에 대한 고찰

A Study on the Evaluation of Critical Characteristics for Safety Class Shunt

조은일 · 홍영희 · 허희무

한국수력원자력 중앙연구원

분류기(Shunt)는 원자력발전소 전기1급(Class-1E) 인버터 등과 같이 대전류를 다루는 회로에 Parallel로 설치되어 전류 측정 및 기기를 보호하는 안전기능을 수행한다. 전기회로의 구성요소가 감당할 수 없는 대전류가 회로에 흐를 경우 병렬로 연결된 분류기로 우회하여 흐르도록 하여 구성요소를 보호하게 된다. 또한, 전류계로 대전류를 측정할 경우 분류기를 병렬로 연결하여 일부를 전류계로 흐르게 하고 나머지는 분류기로 우회시켜 전류계가 손상되지 않고 측정이 가능하도록 한다. 본 논문은 고장모드 영향분석(FMEA : Failure Mode Effect Analysis)을 통하여 분류기의 특성을 도출하고 합리적인 검증 방법에 대해 고찰하고자 한다.

분류기의 고장모드로는 먼저 개방(Open)이 있다. 충격, 열화, 부식 등에 의해 도전체가 일부 또는 전체 개방되어 저항이 변화하면 전류분배 기능을 제대로 수행할 수 없으며 목표로 하는 전류 제어동작을 수행하지 못해 모기기의 구성요소에 영향을 미치게 된다. 개방 고장모드를 검증하기 위해 허용오차(Accuracy), 전압강하(Voltage Drop) 등의 특성을 확인할 수 있다. 또한, 절연대가 있는 경우 분류기를 절연하는 절연대가 열화되어 누설전류가 증가하면 주변 부품 및 시스템에 전기적인 손상을 발생시킬 수 있으므로 내전압, 절연저항을 필수특성으로 하여 검증하는 것이 바람직하다.

위 필수특성에서 절연특성을 검증하는 2가지 특성 중 절연저항은 KS C 1705에 따라 기준 값을 정할 수 있다. 마찬가지로 내전압 시험도 동 기준에 따르되 분류기의 특성에 맞춰 시험 전압 값을 조절할 수 있다. 전압강하(Voltage Drop)의 경우 제작사의 기술 문서에 별도 시험 전류가 정해져있지 않은 경우, 정격 전류를 단자 간에 흘려 전위차계 또는 밀리전압계 등을 사용하여 측정한다. 좀 더 간단한 방법으로 저항치를 확인하려면, 정격 전류를 양단에 흘려 Bridge 방식 또는 기타 계측기나 저 저항을 계산하는 방법으로 구할 수 있다. 허용오차(Accuracy)란 분류기 출력 값이 갖는 오차의 한계치로써 (측정된 전압강하 - 정격 전압강하) 값을 정격전압강하로 나눈 백분율로 정의한다. 허용오차 시험의 경우 착수 전의 통전시간이나 전류는 KS C 1303의 표준시험 절차를 참고하고 분류기를 지시계(Indicator)와 조립하여 사용한다면 원칙적으로는 함께 사용될 기기 허용오차의 약 0.5배가 되도록 정하는 것이 좋다. 고장모드 영향분석 및 필수특성 도출 결과 분류기를 안전등급으로 사용하고자 할 때 상기 필수특성들을 포함한다면 효과적인 검증방법이라 할 수 있을 것이다.

변환기 수락기준 선정에 관한 고찰

A Study on the Evaluation of Acceptance Criterion for Safety Class Transducers

조은일

한국수력원자력 중앙연구원

변환기(Transducers)는 전기1급(Class-1E) 전력기기나 교류전원 등에 설치되어 각종 전 기량(전류, 전압, 유효전력, 무효전력, 주파수, 역률)들을 직류 전압 또는 전류로 변환하여 지시계에 전달하는 안전기능 수행을 수행한다. 종류에는 전압변환기, 전류변환기, 유효전력 변환기, 무효전력 변환기, 주파수 변환기, 역률 변환기 등이 있다. 본 논문에서는 변환기 고 장모드 영향분석(FMEA : Failure Mode Effect Analysis)을 수행하여 필수특성을 선정하고 그 필수특성들에 대해 검증하는 과정을 기술하고자 한다.

변환기의 고장모드로는 먼저 변환처리부 손상을 들 수 있다. 물리적인 원인이나 과전압 등으로 인하여 변환처리부 회로가 손상되면 측정된 교류 전기량을 올바르게 변환하지 못하 여 비정상적인 출력신호가 나타나게 된다. 변환처리부의 건전성을 검증하기 위해 정확도 (Accuracy), 응답시간(Response Time) 특성 시험이 필요하다. 또 다른 유형의 고장모드로는 입출력부 손상이 있다. 여러 가지 원인으로 입력부 또는 출력부가 손상되면 목표로 하는 제어동작을 수행할 수 없어 모기기의 안전기능에 영향을 미치게 된다. 입출력부 손상은 위 의 두 가지 필수특성에 더하여 출력 리플(Output Ripple) 특성에 대하여 짚고 넘어가야 한 다.

변환기의 입, 출력 간 응답시간(Response Time) 시험은 IEC 60688을 참고하였다. 응답 시간 측정 시, 변환기는 표준 상태(Reference Condition)에 있어야 하고, 보조회로는 전처 리 시간(Pre-conditioning) 시간동안 전력을 공급받아야 한다. 제조사에서는 응답시간에 관 한 기술규격을 명기해야 하며 출력신호가 기준값(Fiducial Value)의 0%부터 90%까지 변경 이 가능하도록 입력단계에서 결정해야 한다. (단, 주파수 변환기 및 0점이 없는 변환기에 대해서는 제조사의 가이드를 따른다) 측정된 교류 전기량의 출력값이 갖는 오차의 한계를 정확도(Accuracy)라 하며 변환기의 등급(Class)에 따른 오차의 한계가 IEC 60688에 정리 되어 있다. 다만 공칭 사용범위(Normal Range)를 넘는 경우 다음 사항을 참고하여야 한다. 1) 명시된 등급(Class Index)의 정확도가 유지될 수 없거나, 2) 설계된 동작 수명 (Designed operational lifetime)이 단축될 수 있다. 출력 리플(Output Ripple)은 정격 입력 전압에 대해 측정할 교류전기량을 0-100%범위에서 5포인트 이상 Sweep하여 측정하며 외 부 노이즈 등의 이유로 peak-to-peak 값의 판독이 불가능할 경우 rms값을 적용할 수 있 다. 변환기의 필수특성 및 수락기준을 선정할 때 위 사항들을 고려해야 효과적인 검증이라 할 수 있을 것이다.

절연게이트 양극성 트랜지스터 평가 방법에 대한 고찰

A Study on the Evaluation of Characteristics for Insulated-gate Bipolar Transistors

조은일 · 정선철 · 최재훈

한국수력원자력 중앙연구원

절연게이트 양극성 트랜지스터(IGBT : Insulated-gate bipolar transistors)는 AC/DC 모터, 주파수 변환기, 무정전 전원장치 등에 설치하여 스위칭 기능을 통해 직류 입력전압을 원하는 크기 및 주파수의 교류 출력으로 변환하는 역할을 수행한다. 빠른 스위칭 속도와 전력손실이 적은 MOSFET과 구동 전류 용량이 큰 BJT의 장점을 조합한 것으로 MOSFET의 Gate를 입력으로 하고, BJT의 Collector, Emitter를 출력으로 하는 특징을 가진다. 본 논문에서는 고장모드 영향분석(FMEA - Failure Mode Effect Analysis)를 통하여 절연게이트 양극성 트랜지스터의 특성을 도출하여 합리적인 평가 방법에 대해 고찰하고자 한다.

IGBT의 고장모드로 단락(Short)와 개방(Open)이 있다. 물리적 또는 전기적 충격에 의해 트랜지스터 역병렬 다이오드의 출력단자가 단락 또는 개방되면 목표로 하는 제어동작을 수행할 수 없어 기기의 안전기능에 영향을 미칠 수 있다. 위 고장모드를 검증하기 위해 스위칭 시간(Turn on, off times)을 시험해야 한다. 또한, 소자의 반복적인 동작이나 전기적 스트레스로 인해 열화되면 규정된 입력전압에서 오동작이 발생하여 원하는 역할을 수행할 수 없다. 이 때문에 Collector-emitter saturation voltage (V_{CEsat}), Gate-emitter threshold voltage($V_{GE(th)}$)와 Collector cut-off current(I_{CES})에 대한 검증이 필요하다. 이 외에도 시험자의 판단에 따라 IEC 60747-9 6장의 다른 조항들을 선별적으로 적용 가능하다.

컬렉터-이미터 포화전압(V_{CEsat})은 IGBT의 컬렉터 전류가 게이트-이미터 전압에 독립적 일 때, 컬렉터-이미터 전압 곡선이 완만해지는 지점으로 IGBT 내부 저항에 의한 전압 손실을 나타내는 척도이다. $V_{GE(th)}$ (Gate-emitter threshold voltage)는 일정 컬렉터-이미터간 전압에서 규정된 컬렉터 전류가 흐를 수 있도록 하는 게이트-이미터간 전압으로 Collector-emitter voltage V_{CE} 를 주어진 규정된 값에 고정시키고 Collector current I_C 값에 도달할 때까지 gate-emitter voltage V_{GE} 를 증가하는 방법으로 측정이 필요하다. 컬렉터 차단전류(I_{CES} , Collector cut-off current)는 게이트와 이미터가 단락된 상태에서 컬렉터에 규정된 전압을 인가했을 때 컬렉터 전류의 최대값으로 AC Method와 DC Method 두 가지 시험방법이 가능하다. V_{CE} 를 규정된 값에 도달하도록 증가시켜 전류 프로브로 I_{CE} 가 Saturation되는 값을 측정할 수 있다. 그 외 가능한 추가시험으로 Collector-emitter sustaining voltage (V_{CE*sus}), Gate leakage current I_{GES} , Input, Output, Reverse transfer capacitance, Turn on, off times 등이 있으며, 이를 측정함으로써 IGBT의 특성을 평가하는데 좋은 척도가 될 수 있다.

터미널 블록 검증 필수특성에 대한 고찰
A Methodology Study on Verification Critical Characteristics
of Terminal Block

허희무

한국수력원자력(주) 중앙연구원

터미널 블록은 여러 소자로 구성되는 전기 회로에서 적당한 구획을 만들어 회로를 정돈할 목적으로 구획마다 다른 구획과 편리하게 결합하기 위한 소자이다. 케이블간의 연결을 위한 도전쇠와 절연체로 구성된 장치로 주로 전기 및 계측제어 캐비닛, 제어반, 배전반 등의 내부에 설치되어 케이블간의 연결 기능을 수행한다. 본 논문에서는 전기 및 계측제어 캐비닛, 제어반, 배전반 등의 내부에 설치되어 케이블간의 연결을 위하여 사용되는 터미널 블록에 대한 고장모드 영향분석(FMEA, Failure Mode Effect Analysis)을 실시하고 그 결과로써 도출된 성능 및 품질 검증 필수특성에 대해 살펴보고자 한다.

터미널 블록은 그 연결방식에 따라 나사 연결방식, 스프링 연결방식, 푸쉬-인 연결방식으로 구분된다. 가장 오래 사용되고 있는 나사 연결방식은 가장 일반적인 케이블 연결방법으로 케이블을 압착단자에 끼운 후 단자나사를 조여 연결한다. 푸쉬-인 연결방식은 케이블을 밀어서 삽입하면 점점 스프링이 자동으로 열리고 도전쇠에 압력이 가해져 연결된다. 스프링 연결방식은 나사 연결방식이 진동에 약한 단점을 보완하기 위해 개발된 방식으로 드라이버를 사용해 단자점을 열고 케이블을 삽입한 다음 드라이버를 제거하면 케이블이 자동으로 연결되는 방식이다.

터미널 블록의 FMEA를 통해 분석한 고장모드로는 크게 개방(Open)과 절연 손상(Insulation Damage)을 들 수 있다. 도전쇠가 개방된 경우 케이블간의 연결 기능을 상실하여 연계신호를 전달하지 못하므로 개방고장을 확인하기 위하여 전압 강하를 고려하여야 하며, 터미널 블록의 절연 성능이 저하된 경우 누설전류가 증가하고 누전이 발생되어 주변기기 구성요소, 부품 및 시스템에 전기적 손상을 발생시킨다. 따라서 절연 성능 저하를 확인하기 위한 필수특성으로 절연 저항, 내전압을 고려하여야 한다. 본 논문에서는 일반적인 터미널 블록에 대해서만 다루었으나 각 특성을 고려하여 적용한다면 보다 심도 있는 검증 수행이 가능해 질 것이다.

지락 보호계전기의 건전성 확인 방법에 대한 연구

A Study on the Verification Method for Ground Protection Relay Integrity

허희무

한국수력원자력(주) 중앙연구원

보호계전기는 전기회로에 단락이나 맴돌이 전류 등의 이상 상태가 일어났을 때, 그 부분을 회로에서 절단시키는 장치이다. 일반적으로 보호계전기의 목적은 전력계통에서 단락이나 접지사고가 발생했을 경우, 과부하 및 기타 원인으로 이상상태가 발생할 경우의 현상을 검출하여 신속하게 전력계통을 분리하는 데에 있으며 종류로는 과전압 보호계전기, 부족전압 보호계전기, 과전류 보호계전기, 지락 보호계전기 등이 있다. 본 논문에서는 전선 또는 전로 중 일부가 직접 또는 간접으로 대지(접지)에 연결되어 발생하는 지락 사고(Line to ground fault)로부터 감전재해나 전력설비의 손상 등을 보호하는 지락 보호계전기에 대한 건전성 확인 방법을 기술하고자 한다.

지락 보호계전기는 전선 또는 전로 중 일부가 직접 또는 간접으로 대지(접지)에 연결되어 발생하는 지락 사고 시 영상 변류기를 통하여 지락 전류를 검출하여 감도 전류값보다 높은 경우 접점 신호를 출력하여 연계된 기기를 제어하거나 상태를 표시하는 기능을 수행하며, 내부 구조는 검출부(Current Detecting Circuit), 제어부(Current Setting, Op-Amp, Time Setting), 출력부(Output Circuit, Relay, Indicator)로 나뉜다. 외부의 영상 변류기(ZCT)로부터 제공되는 전류신호를 검출하여 지락 보호계전기에 설정된 감도 전류값과 비교하여 릴레이 접점 출력을 결정한다.

지락 보호계전기의 고장 원인으로는 접점 출력 동작 이상, 접점 출력 시간 비정상, 절연 성능 저하 등을 들 수 있다. 보호계전기의 입력부, 제어부, 출력부 회로 손상 및 전류 설정 장치 손상 등이 발생하게 되면 지락 보호계전기가 지락 발생 시 정상적인 접점 출력 기능을 수행하지 못하게 된다. 따라서 접점 출력 동작 이상을 확인하기 위한 필수특성으로 접점 동작을 고려하여야 한다. 또한 지락 보호계전기의 시간 지연 설정 장치 손상 및 제어부 회로 손상이 발생하는 경우 지락 보호계전기가 지락 발생 시 설정된 시간 이내에 접점 출력 기능을 수행하지 못하므로 접점 출력 시간 비정상을 확인하기 위한 필수 특성으로 동작 시간을 확인하여야 한다. 마지막으로 지락 보호계전기의 접촉부와 절연물 사이의 절연 성능 저하가 발생하는 경우에는 누설전류 증가 및 누전이 발생하여 지락 보호계전기가 소손되고 주변기기 구성요소, 부품 및 시스템에 전기적 손상을 발생시키게 되므로 절연 성능 저하를 확인하기 위해 절연저항과 내전압을 필수적으로 확인하여야 한다.

역방향 저지 3극 사이리스터의 특성 평가에 관한 연구

A Study the Evaluation of Characteristics for Reverse Blocking Triode Thyristor

허희무

한국수력원자력(주) 중앙연구원

사이리스터(Thyristor)는 PNPN접합의 4층 구조 반도체 소자를 총칭하며 일반적으로 실리콘 제어 정류 소자(SCR : Silicon Controlled Rectifier)라 불리는 역방향 저지 3극 사이리스터(Reverse Blocking Triode Thyristor)를 말한다. 오프 상태에서 온 상태로 또는 그 반대로 스위칭 될 수 있는 3개 또는 그 이상의 접합으로 이루어진 쌍안정 반도체 소자인 사이리스터의 종류에는 실리콘 제어 정류 소자, 트라이액(TRIAC: Triode Alternating Current switch), GTO(Gate Turn-Off Thyristor), 다이악(DIAC: Diode Alternating Current switch) 등이 있다.

역방향 저지 3극 사이리스터는 제어단자인 게이트(Gate)로부터 캐소드(Cathode)로 전류를 흘리며 애노드와 캐소드 사이가 도통되어 스위칭 기능을 수행한다. 또한, 애노드와 캐소드 사이가 도통되었을 때 제어단자인 게이트에 인가되는 전압의 위상을 제어하여 전압이 순방향일 때만 흐르도록 하여 정류 기능을 수행한다. 이러한 역방향 저지 3극 사이리스터의 고장모드에는 단락(Short), 개방(Open), 규정된 트리거 조건에서 동작하지 않는 경우(Triggering Fail), 규정된 비트리거 조건에서 동작하는 경우(Abnormal Triggering)가 있다.

역방향 저지 3극 사이리스터의 그 기능에 중점을 두고 고장원인 및 고장모드 영향분석을 실시하고, 고장 여부를 확인할 수 있는 기능 확인 필수특성들을 도출해 보면 사이리스터의 건전성 확인할 수 있다. 역방향 저지 3극 사이리스터 내부의 애노드-캐소드가 단락되거나 출력 단자가 단락이 된 경우 스위칭 동작 기능과 상관없이 예상되지 않는 출력 제공에 따른 오동작을 유발할 수 있다. 따라서 단락고장을 확인하기 위해 그 필수특성으로 반복 피크 오프상태 전류를 고려하여야 하며, 내부의 애노드-캐소드 또는 게이트-캐소드가 개방되거나 출력 단자가 개방된 경우에는 스위칭 동작 기능을 수행하지 못하여 목표로 하는 제어동작을 수행할 수 없기 때문에 개방고장을 확인하기 위한 필수특성으로 피크 온상태 전압을 고려하여야 한다. 또한 사이리스터의 성능 저하로 규정된 트리거 조건에서 스위칭 되지 않는 경우 스위칭 동작 기능을 수행하지 못하여 목표하는 제어동작을 수행할 수 없으므로 규정된 트리거 조건에서 스위칭 되지 않는 경우를 확인하기 위한 필수특성으로 게이트 트리거 전류와 게이트 트리거 전압을 고려하여야 한다. 마지막으로 사이리스터의 성능 저하로 규정된 비트리거 조건에서 스위칭 되는 경우 스위칭 동작 기능을 수행하여 예상되지 않는 출력 제공에 따른 오동작을 유발할 수 있으므로 규정된 비트리거 조건에서 스위칭 되는 경우를 확인하기 위한 필수특성으로 게이트 비트리거 전류와 게이트 비트리거 전압을 고려하여야 한다.

솔레노이드 코일의 기능 확인 방법
The Method of Functional Verification
of Solenoid Coil

허희무

한국수력원자력(주) 중앙연구원

코일(Coil)은 인덕턴스(Inductance)를 유도하기 위하여 권선을 통형이나 나선형으로 감은 것을 말하며, 자기철심의 유무에 따라 공심 코일(Air-core Coil)과 철심 코일(Iron-core Coil)로 구분된다. 공심 코일은 축 주위를 둘러싼 권선에 전원을 인가하여 축 방향의 자속 밀도를 만들어 자기장을 발생시키며 종류로는 솔레노이드 코일(Solenoid Coil)과 허니컴 코일(Honey-comb Coil)등이 있다. 철심 코일은 철심에 권선을 감을 것으로 저주파 트랜스(Audio Frequency Transformer)나 전원 트랜스(Power Transformer) 등으로 사용된다. 본 논문에서는 저공심 코일 중 솔레노이드 코일의 기능 확인 도출 방법에 대해 기술하고자 한다.

솔레노이드 코일은 권선을 원형으로 감은 형태로 권선에 전류를 인가하면 권선 내측에 자기장이 발생된다. 그러나 코일만 가지고는 큰 힘의 자기장을 얻기 힘들어 연철로 된 둥근 막대를 코일 속에 넣어 큰 힘을 갖는 자기장을 형성하게 되며 이때 솔레노이드 코일에 전류를 인가하면 자기장이 발생되어 철심을 끌어당기게 된다. 즉, 솔레노이드 코일이 자화되어 자기장이 형성되고 연철에 자력이 생겨 철심을 끌어당기게 되는 것이다. 솔레노이드 코일에 인가된 전류가 사라지면 솔레노이드 코일은 비자화되어 자기장이 사라지고 연철이 자력을 잃어 철심은 원위치로 돌아간다. 솔레노이드 코일의 이러한 원리를 이용하여 밸브를 OPEN/CLOSE할 수 있다.

솔레노이드 코일의 권선이 개방된 경우 코일에 전류가 흐르지 않아 자기장을 형성하지 못하여 목표로 하는 제어동작을 수행할 수 없다. 따라서 권선 개방을 확인하기 위해 정격 소비전력을 확인하여야 한다. 또한 솔레노이드 코일의 전압공급 단자가 단락된 경우 전압 인가 시 합선으로 과전류가 발생하여 주변기기 구성요소, 부품 및 시스템에 전기적 손상을 발생시킨다. 따라서 단자 단락을 확인하기 위해 정격 소비전력도 고려하여야 한다. 마지막으로 솔레노이드 코일과 절연부 사이의 절연 성능이 저하된 경우 누설전류가 증가하고 누전이 발생되어 주변기기 구성요소, 부품 및 시스템에 전기적 손상을 발생시키므로 절연 성능 저하를 확인하기 위해서는 절연저항과 내전압을 확인하여야 한다.

납 축전지의 기능 확인 방법에 대한 연구 A Study on the Method of Functional Verification of Lead Battery

허희무 · 최재훈 · 정선철
한국수력원자력(주) 중앙연구원

축전지는 전기 에너지를 화학 에너지로 바꾸어 모아 두었다가 필요한 때에 전기로 재생하는 장치이다. 축전지는 양과 음의 전극판과 전해액으로 구성되어 있어, 화학작용에 의해 직류기전력을 발생하여 전자기기의 전원으로 사용할 수 있는 장치이다. 화학에너지와 전기에너지 사이의 전환이 일어날 수 있도록 만들어 졌으며, 사용 횟수가 1회에 한정된 축전지는 1차 전지, 여러 번 충방전이 가능한 것은 2차 전지라 부른다. 2차 전지에는 화학성분에 따라 납 축전지, 나트륨유황 전지, 니켈카드뮴 전지, 리튬이온 전지 등이 있다. 본 논문에서는 2차 전지 중 납 축전지의 기능 확인 방법을 도출을 위해 FMEA(Failure Mode Effect Analysis, 고장모드에 대한 영향분석)를 실시한 결과를 기술하고자 한다.

납 축전지는 묽은 황산 용액에 이산화 납으로 된 양극과 납으로 된 음극을 넣은 축전지로 보통은 자동차용 축전지로 쓰이며, 방전시 재충전하여 다시 사용할 수 있다. 화학적 에너지를 전기적 에너지로 변환하여 전원을 공급하는 기능(방전)과 외부 전원으로부터 공급된 전기적 에너지를 화학적 에너지로 변환하는 기능(충전)을 수행한다.

방전은 화학에너지를 전기에너지로 변화되는 과정을 말하며, 음극판과 양극판에 부하를 연결하면, 외부회로에서 전류(I)는 양극으로부터 부하를 거쳐 음극으로 흐르게 된다. 반면에 전자는 음극에서 양극으로 이동한다. 즉, 전해액에서 전류의 흐름은 음극판에서 양극판으로 운반되는 H^+ 이온에 의해 이루어진다. 충전은 전기에너지를 충전기를 사용하여 화학에너지로 변환시키는 과정을 말하며, 충전 시에는 외부 전원 즉, 충전기의 양극과 납 축전지의 양극, 충전기의 음극과 납 축전지의 음극을 서로 연결한다. 충전 전류는 납 축전지의 양극으로부터 납 축전지 내부의 부하를 거쳐 납 축전지의 음극으로 흐르게 된다.

납 축전지의 고장 원인으로는 장시간 방전, 높은 방전 전류, 불충분한 충전 반복, 불순물 혼입, 전해액 부족, 충격, 부식, 오염, 높은 충전 전압, 과충전 등을 들 수 있다. 이로 인해 납 축전지의 설페이션(Sulfation) 현상, 극판의 부식, 내부 격리판 파손으로 인한 단락, 연결부 이완 및 부식, 납 축전지의 방전 전압과 용량이 낮아질 수 있으며 결국 정상적인 전원 공급 기능을 수행하지 못하게 된다. 따라서 납 축전지의 방전 전압과 용량의 저하를 확인하기 위한 필수특성으로 정격 용량과 출력 전압을 고려하여야 한다.

Extensive optical studies of Sb_2Se_3 thin film absorbers

Ji Hyeon Noh · Sreedevi Gedi · SalhAlhammadi ·*Woo Kyoung Kim

School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

Currently, antimony selenide (Sb_2Se_3) has attracted worldwide attention as a solar absorber due to its desirable optoelectrical properties and binary composition with environmentally friendly elements. In the present work, Sb_2Se_3 films were prepared by the two-step process. At first, the metallic antimony (Sb) layers were deposited by DC sputtering on glass substrates and selenium (Se) layer of 1 μm thickness was deposited on Sb layers. Finally, the bilayers were annealed in rapid thermal process (RTP) system. The consummate optical analysis of such films is indispensable for more preponderant designing of heterojunction solar cells because only the optical properties give the information to understand their electronic properties and band structures. Therefore, an exhaustive investigation on the optical properties of Sb_2Se_3 films was made using the transmittance and reflectance measurements. The absorption coefficient was $>10^4 \text{ cm}^{-1}$ for all the films. The band gap of the layers was determined from the differential reflectance spectra that varied in the range of, 1.32–1.21 eV. This study has also conclusively shown that the Sb_2Se_3 films prepared are suitable for solar cell absorbers.

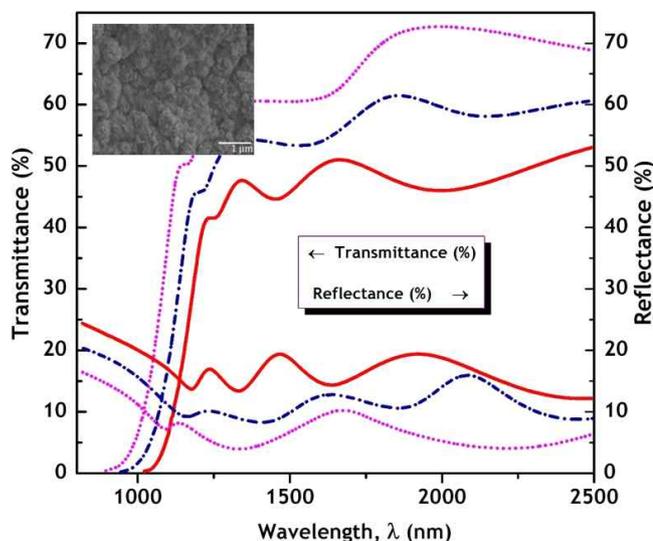


Figure: Optical transmittance and reflectance spectra of Sb_2Se_3 absorbers
(inset: SEM image).

Studies on Cubic Tin Sulfide Thin Films for PV Application

Sreedevi Gedi · Ignatius Andre Setiawan · Ji Hyeon Noh and ·*Woo Kyoung Kim

School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

Cubic SnS (π -SnS) is a promising semiconducting metal chalcogenide for photovoltaic applications. It exhibited interesting characteristics such as a high absorption coefficient of 10^{-4} cm^{-1} in the visible region, a direct optical bandgap of 1.7 eV, and a p-type conducting nature with dark conductivity of about $10^{-6} \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$, and had good photoconductivity response. In the present work, π -SnS thin films were prepared using cubic tin sulfide nanoparticle ink by the drop-casting technique. The samples were then dried in air at 65 °C on a hot plate for 1 min to eliminate the remaining solvent which is used for the preparation of ink. The thickness of the deposited thin film could be precisely monitored and replicated through the repeated coating and drying processes. The prepared π -SnS thin film was annealed at 300 °C for 2h, and the physical properties of the nanocrystalline π -SnS thin films were examined using suitable characterization methods. The XRD patterns of the as-deposited thin film exhibit peaks related to the cubic structure of SnS (π -SnS). In the case of the annealed thin film, the amplitude of all diffraction peaks is strengthened. The SEM images revealed that the as-deposited π -SnS thin film has slightly smaller grains ($\sim 56 \text{ nm}$) than the annealed π -SnS thin film ($\sim 64 \text{ nm}$). Thus, the annealing treatment enhanced the crystallinity and morphology of the π -SnS thin films.

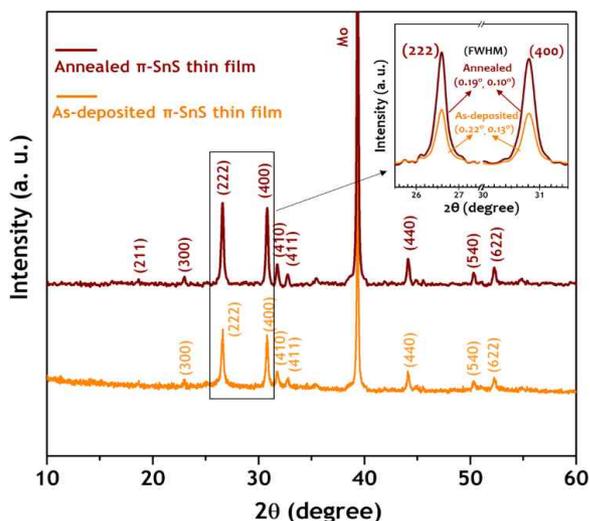


Figure. XRD patterns as-deposited and annealed π -SnS thin films.

Preparation of SnS₂ thin film by chemical bath deposition for thin film CIGS solar cell application

Salh Alhammadi¹, Sreedevi Gedi¹ and Woo Kyoung Kim^{*1}

¹School of Chemical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do 712-749, Republic of Korea

Currently, as an alternative buffer layer to the toxic cadmium sulfide (CdS), the 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 Cu(In, Ga)Se₂ light absorber. Further, the SnS₂ consists of low-cost, earth 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 has a stoichiometric composition of Sn and S. The Raman spectroscopy has showed a characteristic peak at 316 cm⁻¹ that 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 (~5%) close to the efficiency (~7%) of device fabricated with CdS as reference buffer layer.

유도가열 기법을 이용한 태양전지 솔더링 성능 개선
Improvement of solar cell soldering performance using induction
heating technique

조민재 · 차형우 · 김광호 *

청주대학교 전자공학과, 청주대학교 에너지융합학과 *

태양전지 모듈의 솔더링 기법은 hot air, IR lamp 방식이 주류를 이루고 있지만 계절별 기온 변화에 따른 히터 또는 램프에 의존한 온도조절 기법에 대한 문제 및 높은 분위기 온도에 의한 fume 발생에 따른 설비의 유지보수가 필요하다. 이러한 문제 해결을 위해 유도가열 방식을 이용한 솔더링 기법이 연구되었지만 접촉 위치에 따른 접촉성능 개선에 대한 연구 필요성이 부각되어지고 있다. 본 연구에서는 솔더링 공정 조건과 Flux 성분에 대한 연구를 통해 접촉 성능을 개선하였으며, 실험 진행은 태양전지와 리본제의 접착성능(Peel test), Void 잔량, 저항성, 출력을 이론적 결과와 비교 분석하여 솔더링 성능에 대한 개선이 가능함을 알 수 있었다.

태양광 응용을 위한 비 진공 방법에 의한 $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ 및 $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ 박막
합성

Synthesis of $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ and $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ thin film by non-vacuum
method for photovoltaic application

Meenakshi Sahu · Vasudeva Reddy Minnam Reddy · Chinho Park* · Pratibha Sharma**

*School of Chemical Engineering Yeoungnam University, **Indian Institute of
Technology Bombay Powai Mumbai-400076 India

Solution ink-based methods attempt an important attention for photovoltaic applications. It is high throughput, eco-friendly and better utilization of material. The best reported prepared by non-vacuum process CZTSSe-based solar cell with 12.6% power conversion efficiency suffers from the use of a toxic and explosive solvent. Contemporary literature shows that the development of ink-based process is reliable, benign, non-toxic, harmless and green.

Keeping this fact in view, the wet ball milling technique has been used for the preparation of CZTX (X=S and Se) nanoparticles in pure phase with kesterite crystal structure. In a typical synthesis of nanoparticle, elemental powder of Cu, Zn, Sn, S or Se and butanol solvent were used. The ink have been formulation by using synthesized nanoparticles. In this process, azeotropic solvent (methyl ethyl ketone and ethanol) are used. PEG-400 and Tween-80 are used as surfactant and bonder respectively.

Thin films were deposited by spin coating and annealed at different temperatures (500 - 550 °C) in the tube furnace in the presence of sulphur/selenium powder under N_2 inert atmosphere. The prepared samples were characterized using various characterization techniques. XRD and Raman confirm the pure phase kesterite structure in the prepared samples. FESEM analysis shows that deposited thin films on substrate is uniform and densely packed while EDX used to measure the chemical composition or stoichiometric. The opto-electrical properties were investigated and all films were showed p-type nature with improved electrical properties after annealing at high temperature.

공동 주택 태양광 보급사업의 대안 제시

Proposed Solar Power Promotion Policy for Multi-residential Houses

이찬우 · 배성수 · 이여진

(주)씨에스텍 기업부설연구소

본 논문은 공동주택 태양광 보급사업의 대안을 제시한다. 한국에너지공단 신재생에너지센터 통계에 따르면 신재생에너지 보급사업으로 2013~2018년까지 태양광사업에 보조금 약 1,345억원 지원했으며, 2019년 에너지통계연보에 따르면 자가용 태양광 보급량이 2018년 2,191MW를 기록하였다. 주택보급사업의 경우 태양광 설치가 용이한 단독주택의 옥상 수요가 높은 편이며 이는 도심외곽지역에 한정된다. 그러나 실제 전기소비량이 높은 도심지역에 태양광 보급이 필요하며 공동주택과 같은 환경에서 태양광 설치를 위한 대안 마련이 시급하다. 2017-19년 행정구역별 가구수를 살펴보면 서울, 경기지역을 포함한 광역시가 70%로 높은 편이며 그 외 지역은 30%이내이다. 최근 3년 간 데이터를 기준으로 그 외 지역은 가구수 비율은 감소하고 있는 추세이다. 이를 통해 도심지에 점차 더 많은 가구가 밀집되어 태양광 주택보급사업 설치 가능 비율이 높을 것으로 판단된다.

도심지의 경우 공동주택 옥상의 면적과 입면의 면적의 차이가 고층으로 분류 될수록 높게 나타난다. 따라서 공동주택 입면에 태양광 모듈을 설치하는 것을 고려해야한다. 기존의 BIPV의 경우, 공동주택 외벽의 구조적 변경이 필요하거나, 신규 건물을 초기 설계단계에서 BIPV를 채택하는 경우가 대다수이다. 본 논문에서 제안하는 폴딩형 태양광 발전시스템의 경우 기존 외벽의 변경이 불필요하며 차양기능과 추가적인 태양광 발전을 접목해 냉난방효과로 인한 에너지절감효과를 넘어 에너지플러스 빌딩으로의 기술 경쟁력 확보 및 사업성이 높을 것으로 판단된다.

33평 공동주택 기준, 높이 2.3m, 넓이 3.2m을 기준으로 진행한다. 공동주택 구조적인 조건으로 인해 직병렬 9×3 으로 태양전지 400W 모듈 기준으로 약 150W 설치 가능하며 폴딩형 태양광 패널 4개가 설치 가능하다. 모듈 전면부에 기존 공동주택 유리가 없는 조건에서의 발전량 예측을 위해 남향 수직 설치로 PVsyst를 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 결과, 대구지역에 수직형 태양광 모듈을 설치할 경우, 연평균 2.8시간 발전 할 수 있다. 모듈각을 설정하여 설치 할 때보다 약 78%의 발전효율을 낼 수 있는 것으로 나타났다. 실제 현장에서 전압값을 측정된 결과 실내 유리에 부착한 모듈과 외부에 수직으로 설치한 모듈과의 전압차가 약 10~20%차이가 나타났다. 따라서 연평균발전시간이 외부보다 10~20% 낮게 나타날 것으로 예상되며 이를 해결하기 위한 프레넬 렌즈에 대한 연구가 필요하다.

자가소비형 신재생에너지 계통연계의 경우 설비 인증이 필수적이며, 건물일체형 태양광은 인증기준이 없어 대규모 사업화 진행에 어려움이 있다. 본 논문에서 제안하는 폴딩형 태양광 발전시스템의 경우, 실외가 아닌 실내 설치를 제안하는 것임으로 보급화를 위해서는 인증기준 마련이 필요하다.

고효율 CZTSSe 태양전지

Research for high-efficiency CZTSSe solar cells

강진규 · 손대호 · 김승현 · 류혜선 · 김성연 · 성시준 · 황대규 · 양기정 · 김대환

대구경북과학기술원(DGIST), 박막태양전지연구센터

범용 무독성 특성을 가진 CZTSSe 박막 태양전지는 차세대 태양전지의 분야에서 꾸준히 연구 개발되고 있다. 그러나, CIGS나 페로브스카이트 등 다른 태양전지에 비하여 낮은 효율로 인하여 상용화에 걸림돌이 되고 있다. CZTSSe 태양전지의 효율을 높이기 위해서는 CZTSSe 광흡수층 내부에 생성되는 macro defect 뿐 아니라 밴드갭의 deep level에 형성되는 mid-gap defect인 Sn 관련 point defect를 최소화 하는 것이 필요하다. 본 발표에서는 광흡수층 소자 공정의 최적화가 defect 형성에 끼치는 역할을 파악하였다. 또한 고효율 CZTSSe 태양전지의 응용을 위하여 플렉시블 태양전지를 연구하여 고효율 플렉시블 태양전지 제작 결과를 발표한다.

고효율 케스터라이트계 박막 태양전지와 열처리 공정과정과의 상관관계에
관한 연구

Research for the correlation between high-efficiency kesterite solar
cells and annealing processes

류혜선 · 손대호 · 김승현 · 김성연 · 성시준 · 황대규 · 양기정 · 김대환 · 강진규

대구경북과학기술원(DGIST), 박막태양전지연구센터

구리, 주석, 아연, 황, 셀레늄으로 이루어진 케스터라이트 기반 박막 태양전지는 차세대 태양전지로 연구되어 왔으나, 오랫동안 12.6% 이상의 효율을 획득하지 못하고 있다. 그 주된 이유로 현저히 낮은 개방전압이 꼽히고 있으며, 낮은 개방전압은 주로 광흡수층으로 사용되는 케스터라이트 박막 내 deep level defect 형성으로 인해 발생한다고 알려져 있다. 본 문 제점을 해결하고자 defect 형성 원인에 대한 조사가 이루어졌으며, 최근 광흡수층 제조 시, 열처리 공정과정이 광흡수층 내 defect 종류를 형성하는 데에 영향을 미친다는 연구결과가 보고되고 있다. 이에 본 발표에서 고효율 케스터라이트계 박막 태양전지의 효율과 흡수층 제조 시 열처리 공정과의 상관관계에 대해 밝히고자 한다.

한국에너지학회 2021년도 춘계학술발표회

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 4월 28일

발행인 : 박 진 호

인 쇄 : 동신인쇄사

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