

2018년도 한국에너지학회 춘계학술발표회

일시. 2018년 4월 4일(수)~6일(금)

장소. 메종글래드제주

주최. 사단법인 한국에너지학회

협찬. 한국지역난방공사, (주)단석산업, 한국아이티오(주),
한국지역난방기술(주), 플로우테크(주), 유진에너지컨설팅,
고려대학교 초저에너지 자동차 초저배출 사업단

2018 한국에너지학회 춘계학술발표회 조직위원회

대 회 장 : 김경원 회장

조직위원장 : 이관영 부회장

조직위원 : 박중구, 안지환, 한승욱 부회장

운영위원장 : 곽병성 수석부회장

운영위원 :

안덕용 총무이사, 장원석 재무이사, 고국현 기획이사

김석민, 김우경, 김종배, 김태형, 김필, 백성현, 유동진, 유승훈, 임종세,
정지철, 정진석, 조철희, 천원기, 탁용석, 홍준희 (이상 학계 이사)

명성호, 박진호, 방기성, 이형수, 장태연, 정현, 최병일, 한종희 (이상
연구계 이사)

권종택, 김대룡, 양재구, 이병욱, 이종용, 정돈영, 정창무 (이상 산업계 이사)

고명석, 고재영, 국종양, 김학현, 문종삼, 안용모, 이성민, 이승철, 이정민, 정승교
(이상 기관 이사)

자문위원장 : 남기석 상임고문

자문위원 :

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

2018년도 한국에너지학회 춘계학술발표회

- 일시 : 2018년 4월 4일(수)~4월 6일(금)
- 장소 : 메종글래드제주

시간	2018년 4월 4일(수)									
17:00~18:00	본임토의 및 사전접수									
시 간	2018년 4월 5일(목)									
	A 발표장 컨벤션홀 (1F)	B 발표장 제이드 (2F)	C발표장 사파이어 (2F)	D 발표장 아메티스트 I (2F)	E 발표장 아메티스트II (2F)	F 발표장 루비 (2F)	G발표장 교육실 (1F)	H발표장 개나리실 (1F)	I 발표장 전시장 (1F 로비)	
9:00~	등록접수 (1층)									
10:00~12:30	특별세션1 전차부품연구원 -에너지 융합기술	특별세션2 에너지기술 연구원 -R&D 전략	특별세션5 한전경제 경영연구원 -미래변화와 에너지산업	특별세션6 지역난방공사 -미활용에너지	일반세션 전력 및 원자력 에너지산업 효율·안전	일반세션2 신재생 에너지	특별세션3 에너지기술 연구원- 신소재 기술	특별세션8 집단에너지 연구회-기술	포스터 발표 P01~P80	
	12:30~14:00	이사회 점심식사								
14:00~16:30	특별세션10 석유관리원 -바이오연료	특별세션11 에너지공단 -신재생에너 지	특별세션7 지역난방공사 -융복합기술	일반세션3 에너지정책 에너지산업 효율·안전	특별세션12 건설생활환경 시험연구원 -건물에너지	특별세션4 에너지기술 연구원 -온실가스	특별세션9 집단에너지 연구회-정책	포스터 발표 P81~P167		
	16:30~16:50	coffee break								
16:50~17:10	개회식 (1층 컨벤션홀) 개회사 : 한국에너지학회 김 경 원 회장 (한국지역난방공사 사장) 축 사 : 제주대학교 송 석 언 총장 환영사 : 제주특별자치도 김 현 민 경제통상일자리국장 (에너지 총괄)									
	17:10~17:40	기조강연 (1층 컨벤션홀) 강연주제 : 전력에너지 수급 - 8차 전력수급 기본계획을 중심으로 초청연사 : 전기위원회 박 중 근 위원장								
17:40~18:00	2017년 추계학술발표회 우수논문상 시상식 (1층 컨벤션홀)									
18:00~20:00	만찬 (1층 컨벤션홀)									
20:00~20:20	경품추첨 (1층 컨벤션홀)									
시 간	2018년 4월 6일(금)									
	C발표장 사파이어 (2F)	D 발표장 아메티스트 I (2F)	E 발표장 아메티스트II (2F)	F 발표장 루비 (2F)	G발표장 교육실 (1F)	H발표장 개나리실 (1F)				
9:00~	등록접수 (1층)									
9:30~12:00	특별세션13 가스안전공사 -가스상하역장치 및 저장탱크	일반세션4 에너지 산업 · 효율 · 안전	일반세션5 에너지 산업 · 효율 · 안전 에너지정책	일반세션6 신재생에너지 기후변화	특별세션15 지질자원연구원 -탄소광물적정기술	특별세션14 에너지기술평가원 -에너지기술 동향				

특별세션 I. IOT기반 에너지융합기술

abstract
p.45~p.54

- 일 시 : 2018년 4월 5일(목) 10:00~12:30
- 장 소 : A발표장 1층 컨벤션홀
- 좌장 이상학 (전자부품연구원)

시 간	발표 제목	소속	발표자
10:00~10:15	IoT 기술을 적용한 하폐수 처리시설 에너지 효율향상 기술 연구	전자부품연구원	윤정미
10:15~10:30	산업단지 열 거래를 위한 에너지 운영시스템 설계	전자부품연구원	김태형
10:30~10:45	스마트미터링을 위한 LPWA기반 IoT 프레임워크 구조	전자부품연구원	이승우
10:45~11:00	가스 AMI를 위한 스마트미터링 서비스 아키텍처 연구	전자부품연구원	권영민
11:00~11:15	Break time		
11:15~11:30	독립형 마이크로그리드 운용을 위한 ESS의 CVCF 제어 전략에 관한 연구	전자부품연구원	강준호
11:30~11:45	핫스왑 운용을 위한 모듈라형 DC/DC 컨버터 구성 및 제어전략에 관한 연구	전자부품연구원	차대석
11:45~12:00	단주기 부하 추종을 위한 중소형 건물의 부하분석	전자부품연구원	이민구
12:00~12:15	고효율 블로워용 LSPM 전동기 설계	전자부품연구원	유세현
12:15~12:30	양방향 동일특성 팬의 입구각 변화에 따른 효율 특성에 관한 수치해석 및 실험연구	전자부품연구원	양성진

특별세션Ⅱ. 에너지기술 R&D 전략방향 및 R&D 관리 개선

abstract
p.55~p.59

- 일 시 : 2018년 4월 5일(목) 10:00~12:30
- 장 소 : B발표장 2층 제이드
- 좌장 최상진 (한국에너지기술연구원)

시 간	발표 제목	발표자	
10:00~10:30	KIER 중장기 발전전략	한국에너지기술 연구원	박년배
10:30~11:00	국가 기후변화대응 방향 및 기술개발 전략	한국에너지기술 연구원	박민희
11:00~11:30	국제협력 성과 제고를 위한 전략적 국제공동연구 발굴 프로세스 구축	한국에너지기술 연구원	백운호
11:30~12:00	연구생산성 제고를 위한 R&D 관리 개선	한국에너지기술 연구원	홍종철
12:00~12:30	Strategies for fostering new energy technologies and industries for the next 5 years in Daejeon metropolitan city	한국에너지기술 연구원	이성곤

특별세션Ⅲ. 에너지 신산업 한계극복을 위한 신소재 기술

abstract
p.60~p.65

- 일 시 : 2018년 4월 5일(목) 10:00~12:30
- 장 소 : G발표장 1층 교육실
- 좌장 방형준 (한국에너지기술연구원)

시 간	발표 제목	발표자	
10:20~10:40	극한환경용 섬유강화 복합소재기술의 KIER 기술현황 및 미래	한국에너지기술 연구원	한인섭
10:40~11:00	Mg(OH) ₂ 및 Al ₂ O ₃ 를 이용한 허니컴 성형 및 열화학 열저장	한국에너지기술 연구원	김홍수
11:00~11:20	미세구조 제어를 통한 전고체 전지용 산화물 고체전해질의 리튬 전도 특성 향상 연구	한국에너지기술 연구원	정규남
11:20~11:40	팔라듐계 수소분리막을 이용한 천연가스 습윤 개질 반응 및 이를 위한 고투과 분리막 제조에 관한 연구	한국에너지기술 연구원	이신근
11:40~12:00	가역운전 수전해 셀 수소극 내구성 향상 기술 개발	인하대학교	이민진
12:00~12:20	평판형 고체산화물전지 접속자용 La _{0.6} Sr _{0.4} Fe _{1-x} Sc _x O _{3-d} 의 산화환원 안정성	한국에너지기술 연구원	김선동

특별세션IV. C to X (Carbon Dioxide to X)

abstract
p.66~p.70

- 일 시 : 2018년 4월 5일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : G발표장 1층 교육실
- 좌장 이원희 (한국에너지기술연구원)

시간	발표제목	발표자	
14:00~14:00	전기화학적 CO2 환원 반응을 통한 유용 화합물 제조	한국에너지기술 연구원	박기태
14:30~15:00	고성능 이산화탄소 전환 광전기화학 실리콘 전지	한국과학기술원	오지훈
15:00~15:30	이산화탄소의 메탄올로의 촉매화학적 전환	한국에너지기술 연구원	김학주
15:30~16:00	이산화탄소 수소화 촉매반응을 통한 자원화 연구	국민대학교	윤성호
16:00~16:30	CO2전환 생촉매 기반 바이오리파이너리 플랫폼 기술 개발	한국에너지기술 연구원	김민식

특별세션 V. 미래 변화와 에너지산업의 대응

abstract
p.71~p.77

- 일 시 : 2018년 4월 5일(목) 10:00~12:30
- 장 소 : C발표장 2층 사파이어
- 좌장 박민혁 (한전 경제경영연구원)

시 간	발표 제목	발표자
10:00~10:05	개회 및 모두말씀	한전 경제경영연구원 이병식 원장
10:05~10:25	주요국별 친환경 에너지정책 추진 동향 : 탈석탄/원전 중심으로	한전 경제경영연구원 오승환
10:25~10:45	전력부문 온실가스 배출 요인분석 국가비교: 독일과 스페인을 중심으로	한전 경제경영연구원 김해인
10:45~11:05	국내 열병합발전의 송·변전 회피편익 분석	한전 경제경영연구원 정현우
11:05~11:20	원자력발전 외부비용을 고려한 세금부과의 경제적 효과 분석 : CGE 모형 활용	한국전력 김혜리
11:20~11:30	Coffe Break	
11:30~11:50	전력산업 전환기 글로벌 유틸리티의 비즈니스 전략	한전 경제경영연구원 이한상
11:50~12:10	전력 분야 디지털화 영향과 추진 방향	한전 경제경영연구원 정지홍
12:10~12:30	전력 빅데이터 플랫폼 구축 및 활용 사례	한국전력 최준석

특별세션VI. 집단에너지와 미활용에너지

abstract
p.78~p.84

- 일 시 : 2018년 4월 5일(목) 10:00~12:30
- 장 소 : D발표장 2층 아메티스트 I
- 좌장 김경민 (한국지역난방공사)

시 간	발표 제목	발표자	
10:00~10:20	집단에너지 내 미활용에너지 활용 기술	한국지역난방공사	김경민
10:20~10:40	열수송관용 5kW급 용적식 수차 기초설계 및 성능해석	한국생산기술연구원	김진혁
10:40~11:00	난방수를 활용한 소수력 5kW급 영구자석동기발전기 제작	(주)태양전기	유동근
11:00~11:20	미활용 차압에너지 활용을 위한 back-to-back 전력변환시스템 및 제어 기술 개발	아주대학교	김건영
11:20~11:30	Break time		
11:30~11:50	열 저장장치가 있는 마이크로그리드 아키텍처	가천대학교	홍준희
11:50~12:10	연료전지 연계형 지역난방 수용가시설의 액서지 효율 분석	유진에너지컨설팅	이중용
12:10~12:30	연료전지 배열을 활용한 유기랭킨사이클 발전시스템 개발	한국에너지기술연구원	이동현

특별세션Ⅶ. 집단에너지 융복합기술

abstract
p.85~p.91

- 일 시 : 2018년 4월 5일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : D발표장 2층 아메티스트 I
- 좌장 : 장원석 (한국지역난방공사)

시 간	발표 제목	발표자	
14:00~14:20	발전 · 산업분야의 냉각탑 B/D수 재이용을 위한 전기흡착식 탈염화 기술 개발	두산중공업 기술연구원	최현성
14:20~14:40	지역난방 발전용 보일러 Water wall 튜브의 파손 원인 고찰	충남대학교	홍민기
14:40~15:00	관열 및 표준수 수열을 이용한 지역난방용 이중보온관 외관의 두께 산정기준 검토	한국지역난방공사	김주용
15:00~15:20	외부 환경 분석을 통한 통합운영체계 고도화	한국지역난방공사	이재승
15:20~15:30	Break time		
15:30~15:50	강화학습을 기반으로 하는 열사용자 기계설비의 열효율 개선에 대한 연구	서울대학교 차세대융합기술 연구원	송민구
15:50~16:10	실배출원 이산화탄소 포집을 위한 막분리 공정 설계 및 실증	(주)에어레인	한상훈
16:10~16:30	도심발전소 배기가스내 CO2저감 및 고가물질 생산을 위한 미세조류 실증화 기술개발	한국지역난방공사	장원석

특별세션Ⅷ. 집단에너지 기술

abstract
p.92~p.98

- 일 시 : 2018년 4월 5일(목) 10:00~12:30
- 장 소 : H발표장 1층 개나리실
- 좌장 : 엄병환 (한경대학교)

시 간	발표 제목	발표자	
10:00~10:20	화력발전소 온배수열 활용 시설하우스 열공급에 대한 환경 및 사회적 가치인식 비교 분석	한경대학교	김가희
10:20~10:40	지역냉·난방 온실가스 자원화 이용 기술모델 고찰	한국에너지 기술연구원	임용훈
10:40~11:00	관내 유동 저항 감소를 위한 표면 코팅 및 측정 기술	숙명여자대학교	정영수
11:00~11:10	Break time		
11:10~11:30	Intriguing characteristics of microalgal biomass-based solid fuel system	고려대학교	심상준
11:30~11:50	흡착냉방 적용 지역냉방 가능성 연구: 흡착탑 중심으로	세종대학교	정재동
11:50~12:10	지역난방 사용자시설 열교환기의 화물링에 의한 열성능 저하 특성 연구	수원대학교	이찬
12:10~12:30	집단에너지설비의 연료 대체를 위한 기술성과 경제성 분석	아주대학교	김형택

특별세션IX. 집단에너지 정책

abstract
p.99~p.105

- 일 시 : 2018년 4월 5일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : H발표장 1층 개나리실
- 좌장 : 홍성걸 (국민대학교), 온기운 (숭실대학교)

시 간	발표 제목	발표자	
14:00~14:20	온실가스 감축정책의 부수적인 편익	건국대학교	오인하
14:20~14:40	생산함수를 활용한 집단에너지사업의 규모의 경제성에 대한 추정	덕성여자대학교	백철우
14:40~15:00	The effect of corruption on environmental quality: New evidence from a panel of CIS countries	경희대학교	황윤섭
15:00~15:10	Break time		
15:10~15:30	소형 태양광 접속을 위한 직류 배전망 아키텍처: 나노그리드	가천대학교	홍준희
15:30~15:50	에너지전환 정책과 집단에너지 사업	숙명여자대학교	유승직
15:50~16:10	수도권 열병합발전이 송전망에 미치는 영향	인천대학교	김용하
16:10~16:30	집단에너지발전의 편익산정 및 인증서 가중치 부여 방안	한국전기연구원	이창호

특별세션 X. 지속가능한 바이오연료의 개발과 산업화 전략

abstract
p.106~p.111

- 일 시 : 2018년 4월 5일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : B발표장 2층 제이드
- 좌장 김재곤 (한국석유관리원)

시 간	발표 제목	발표자	
14:00~14:25	국내 휘발유 대체연료로서 바이오알코올 적용성 연구	한국석유관리원	황인하
14:25~14:50	급속열분해 바이오오일 개발과 전망	(주)대경에스코	오창호
14:50~15:15	생물축매를 이용한 폐유지 바이오디젤 생산기술	한국생명공학 연구원	손정훈
15:15~15:25	Break time		
15:25~15:50	대체연료를 활용한 항공분야 온실가스 감축 국내외 동향	한국기후변화 연구원	유종익
15:50~16:15	바이오항공유 제조기술 개요	한국화학연구원	채호정
16:15~16:40	국내 자동차 실연비 산정을 위한 정보분석시스템 개발	한국석유관리원	김기호

특별세션X. 신재생에너지 국제기구 활동 동향

abstract
p.112~p.117

- 일 시 : 2018년 4월 5일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : C발표장 2층 사파이어
- 좌장 김상준 (한국에너지공단)

시 간	발표 제목	발표자	
14:00~14:20	IEA Bioenergy Task 37(Biogas) 기술개발 동향과 한국의 바이오가스 현황	한국에너지 기술연구원	박순철
14:20~14:40	IPHE를 통해서 본 수소경제 실현을 위한 글로벌 동향과 국내의 문제점	연세대학교	설용건
14:40~15:00	IEA SolarPACES 태양열발전(CSP) 세계 동향 분석	한국에너지 기술연구원	강용혁
15:00~15:20	Break time		
15:40~16:00	IEC TC82 태양광 표준 대응을 위한 국내 표준화 활동 현황	한국에너지 기술연구원	김경수
15:20~15:40	IEC TC88 풍력 에너지 발전 국제 표준 현황 및 국내 대응	한국표준 과학연구원	허용학
16:00~16:20	RE100 시대의 스마트 제로에너지 커뮤니티 조성 방안	호남대학교	서천석

특별세션Ⅱ. 건물에너지 효율화 기술

abstract
p.118~p.123

- 일 시 : 2018년 4월 5일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : E발표장 2층 루비
- 좌장 : 조진균 (한국건설생활환경시험연구원)

시 간	발표 제목	발표자	
14:00~14:20	지방사 표면을 접하고 있는 건물 벽체의 공기층 열저항 성능에 관한 연구	한국건설생활 환경시험연구원	홍승훈
14:20~14:40	3중유리 구성에 따른 고정창의 단열성능평가에 관한 연구	한국건설생활 환경시험연구원	김병구
14:40~15:00	수출형 가스엔진 구동 건물에너지 통합 공급시스템의 운전전략을 위한 기초조사 연구	한국건설생활 환경시험연구원	박병용
15:00~15:20	제로에너지빌딩 상용화를 위한 요소기술 통합화 방안	한국건설생활 환경시험연구원	성욱주
15:20~15:30	Break time		
15:30~15:50	대형 종합병원 건물에너지 절감을 위한 수요대응형 통합제어 솔루션 개발	한국건설생활 환경시험연구원	조진균
15:50~16:10	외부 전동 차양장치 결빙내구성능 평가방법 개발 및 연구	한국건설생활환경 시험연구원	안병립

특별세션 XIII. 가스 상하역 장치 및 저장탱크 안전성 평가

- 일 시 : 2018년 4월 6일(금) 9:30~12:00
- 장 소 : C발표장 2층 사파이어
- 좌장 : 길성희 (한국가스안전공사)

발표 제목	발표자	
이동형로딩암의 특징과 현 상황	한화	손영민
가스법의 분류와 설치 기준	한국가스안전공사	유명중
이동형 로딩암의 설치기준 제시 연구	한국가스안전공사	강병익
고망간강 LNG 평저형 저장탱크 실증시험 추진 방안	한국가스안전공사	길성희
고망간강 LNG 입형 저장탱크 실증모니터링 사업 결과	한국가스안전공사	김정환
고망간강 LNG 평저형 저장탱크 실증을 위한 탱크 사양 및 이송전 방안	포스코	박준식

특별세션 XIV. 에너지기술 동향 및 추진전략

- 일 시 : 2018년 4월 6일(금) 9:30~12:00
- 장 소 : H발표장 1층 개나리실
- 좌장 : 방기성 (한국에너지기술평가원)

발표 주제	발표자
제3차 국가에너지기본계획 추진방향	기술개발본부 (한국에너지기술평가원)
2019년도 정부연구개발 투자방향 및 기준	기술개발본부 (한국에너지기술평가원)
5대 신산업 중심 전략투자분야별 중점투자전략	산업통상자원부 전략기획단 /한국에너지기술평가원
'19년도 에너지기술개발사업 기획추진 방향	에너지기술PD (한국에너지기술평가원)

※ close session-발표내용 특성상 해당 세션은 비공개로 진행 될 수 있습니다.

특별세션 XV. 탄소광물 적정기술abstract
p.124~p.134

- 일 시 : 2018년 4월 6일(금) 9:30~12:00
- 장 소 : G발표장 1층 교육실
- 주 관 : 한국지질자원연구원

시간	발표 주제	소속	발표자
9:30~10:00	The Bentonite and Green Cement as Alternative materials for Backfill and High Level Radioactive (HLR) Waste Storage	한국지질자원연구원	Ji Whan Ahn
10:00~10:15	The Recovery of Critical Rare Earth Elements for Clean Energy Applications: Green Solutions	한국지질자원연구원	Jyothi Rajesh Kumar
10:15~10:30	The Anti microbial activity of natural limestone and oyster shell waste	한일시멘트	Chilakala Ramakrishna
10:45~11:00	Synthesis and Characterization of Porous Activated Carbon Derived from Olive Cake by Hydrothermal Process	UST	Mohd Danish Khan
10:30~10:45	An Overview on the Characteristics of Calcium Chloro-aluminate Clinker	UST	Namju Lee
11:00~11:15	The UNESCO action plan and 2030 agenda of sustainable development goals for climate change	한국지질자원연구원	Seungmin Lee
11:15~11:30	The Global Trends of CO2 sequestration for Bauxite Residue	한국지질자원연구원	Hyeon Gyu Kim
11:30~11:45	Environmental Pollution Issues in Phong Khe Paper Recycling Craft Village	한국지질자원연구원	Vu Thi Hong Ha
11:45~12:00	Research on the Implementation of Sustainable Solutions for Water Exploitation and Use of Water Resources in the Limestone Areas in Vietnam	UST	Lai Quang Tuan
12:00~12:15	Identification of Inter-Basin Groundwater transfer Between adjacent Basins	UST	Dure Mulatau
12:15~12:30	Determination of maximum Water Level Rise of Lake Beseka	UST	Lulit Habte

구두발표

●●● **E발표장 4. 5(Thu.)**

>>> 전력 및 원자력		좌장 : 김동학(한국수력원자력(주))	page
E01 10:00~10:15	핵연료집합체 해석모델이 지진조건의 충격하중에 미치는 영향 <u>김동학</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원		137
E02 10:15~10:30	공기압축기 전동기 이음 발생 원인 분석 <u>김원택</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원		138
E03 10:30~10:45	급수가열기 관막음률 변화 분석 <u>송석윤</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원(KHNP-Central Research Institute)		139
E04 10:45~11:00	제어봉중첩 변경을 통한 일일부하추종운전 평가 <u>유극중</u> · 이재곤 한국수력원자력(주) 중앙연구원		140
E05 11:00~11:15	공용염계 상변화물질의 상 분리 방지 및 과냉각 현상 개선을 위해 첨가한 조핵제에 대한 실험적 연구 <u>이석준</u> · <u>홍터기</u> · 이수한 · 남원식 · 박설현* 조선대학교 대학원 기계시스템 · 미래자동차공학과, *조선대학교 기계시스템 · 미래자동차공학부		141

●●● E발표장 4. 5(Thu.)

>>> 에너지산업 · 효율 · 안전		좌장: 김정환(한국가스안전공사)	page
E06 11:15~11:30	계절별 LP가스 용기의 누출량 실증 연구 송보희 · 한원국 · 길성희 · 조영도 · 문종삼 한국가스안전공사 가스안전연구원		142
E07 11:30~11:45	국가산업단지 대상 설문조사를 통한 매설고압가스배관 관리 현황 관련 연구 이경은 · 김정환 · 하유진 · 길성희 · 문종삼 한국가스안전공사 가스안전연구원		143
E08 11:45~12:00	국내 고압가스매설배관 관련 정밀안전진단 분석 하유진 · 김정환 · 이경은 · 길성희 한국가스안전공사 가스안전연구원		144
E09 12:00~12:15	수소자동차 충전기 계량에 관한 연구 한원국 · 송보희 · 길성희 · 조영도 한국가스안전공사 가스안전연구원		145
E10 12:15~12:30	가스확산 센싱실험의 3D Plot에 대한 방법적 논의 김정환 · 길성희 · 조영도 · 문종삼 한국가스안전공사 가스안전연구원		146
E11 12:30~12:45	수출형 중형원전 안전계통 설계 방안 고찰 김지환 · 양원석 · 이근성 한국수력원자력 중앙연구원 신형원전연구소		147
E12 12:45~13:00	국내 영구정지 및 해체원전의 화재방호프로그램 단계별 운영특성 연구 김정운 · 정해영 한국수력원자력(주) 중앙연구원		148

●●● E발표장 4. 5(Thu.)

>>> 에너지 산업효율안전 / 에너지정책		좌장: 유승훈 (서울과학기술대학교)	page
E13	14:00~14:15	가스에너지기반 수요관리형 전기자동차 충전소 김형태 · 채정민 · 조영아 · 이동호* 한국가스공사 가스연구원, *영남이공대학교 전기자동차과	149
E14	14:15~14:30	질소산화물 저감을 위한 연소식기화기 설계 및 수치해석 우경택 · 김동민 · 유현석 · 김건중* · 황성원* 한국가스공사 가스연구원 신에너지기술연구센터 *인하대학교 화학공학과	150
E15	14:30~14:45	국내 제조업에서 활용되는 열의 한계가치 추정 김가은 · 이혜정 · 유승훈 서울과학기술대학교 에너지정책학과	151
E16	14:45~15:00	주택용 도시가스 공급신뢰도 개선의 경제적 가치 김효진 · 김주희 · 유승훈 서울과학기술대학교 에너지정책학과	152
E17	15:00~15:15	에너지절감형아파트에 대한 소비자들의 추가적 프리미엄 조사 김주희 · 김효진 · 유승훈 서울과학기술대학교 에너지정책학과	153
E18	15:15~15:30	해양 바이오수소 기술 개발에 대한 공익적 가치 평가 이혜정 · 김가은 · 유승훈 서울과학기술대학교 에너지정책학과	154
>>> 신재생에너지/산업 및 효율 안전		좌장: 강병익 (한국가스안전공사)	page
E19	15:30~15:45	LNG 저장탱크 질소주입 처리 과정의 최적화 김호연 · 최원재* · 우현규* · 이래춘* 한국가스공사 가스연구원, *인천기지본부	155
E20	15:45~16:00	PE배관 전기용착부 위상배열초음파 검사를 위한 국제공동검증시험 연구 길성희 · 조영도 · 문종삼 한국가스안전공사 가스안전연구원	156
E21	16:00~16:15	수소 국제표준 기반 구축 연구 강병익 · 길성희 · 조영도 한국가스안전공사	157
E22	16:15~16:30	국내 원자력 발전 감소에 대한 사회적 수용성 분석 허성윤 · 김가은 서울과학기술대학교 에너지정책학과	158

●●● F발표장 4. 5(Thu.)

>>> 신재생에너지		좌장 : 유동진 (전북대학교)	page
F01	10:00~10:15	<p>과열증기 사용 건조 석탄의 수분 재흡착에 대한 실험적 연구 <u>박근열</u>^{1,2}, 안성민¹, 이용운¹, 채태영¹, 양 원^{1*}, 이동현², 나익환³, 김낙균³ 1생산기술연구원 고온에너지시스템그룹, 2성균관대학교 화학공학부, 3한국테크놀로지</p>	159
F02	10:15~10:30	<p>Pemfc short stack with metal foam gas distributor <u>Myo-Eun Kim</u>^{1,2}, <u>Chang-Soo Kim</u>² and <u>Young-Jun Shon</u>^{*1,2} ¹Advanced Energy and Technology, Korea University of Science and Technology, Daejeon, Korea ²Hydrogen and Fuel Cell Department, Korea Institute of Energy Research, Daejeon, Korea</p>	160
F03	10:30~10:45	<p>바이오매스의 분쇄성 및 열중량 분석을 통한 미분도 특성 연구 <u>강별</u>^{1,2} · <u>채태영</u>¹ · <u>박유미</u>¹ · <u>류창국</u>² · <u>양원</u>^{1*} 1한국생산기술연구원, 2성균관대학교 기계공학부</p>	161
F04	10:45~11:00	<p>Parametric study on the removal of NOx and SOx from a pressurized oxy-fuel combustion process using direct contact column <u>Tefera Zelalem Tumsa</u>^{1,2}, <u>See Hoon Lee</u>³, <u>Won Yang</u>^{1,2*} ¹University of Science and Technology (UST) ²Korea Institute of Industrial Technology ³Chonbuk National University</p>	162
F05	11:00~11:15	<p>방향성 시추시스템내 이수 유동 특성 모델 연구 <u>한상목</u> · <u>우남섭</u> · <u>김영주</u> 한국지질자원연구원 탐사시스템연구실</p>	163

●●● F발표장 4. 5(Thu.)

>>> 신재생에너지/정책/에너지 산업·효율·안전 좌장: 전영신(한국지역난방공사)		page
F06 11:15~11:30	고순도 수소생산용 가압형 천연가스 리포밍 모듈 개발 윤왕래* · 서동주 · 김우현 · 정운호 · 구기영 · 박상호 · 황영재 수소연구실, 한국에너지기술연구원	164
F07 11:30~11:45	감퇴곡선분석기법 적용 시기에 따른 세일가스 생산량 예측 비교분석 문서윤 · 문영준 · 신호진 · 임종세 한국해양대학교 에너지자원공학과	165
F08 11:45~12:00	인도네시아 소규모 유·가스전 개발 시 민감도 분석을 이용한 경제성 평가 연구 최영일 · 신호진 · 임종세 한국해양대학교 에너지자원공학과	166
F09 12:00~12:15	황 성분이 포함된 액체 연료의 연소과정에서 배출된 미세먼지의 광학특성 김진혁 ¹ · 이수한 ¹ · 장정익 ¹ · 손호진 ² · 이명규 ² · 박설현* ¹ 조선대학교 대학원 기계시스템미래자동차 공학과, ² 조선대학교 기계시스템공학과 *조선대학교 기계시스템미래자동차공학부	167
F10 12:15~12:30	3차원 입체 영상 설계 데이터 속성 및 도서 연계 시스템 적용 박금렬 한국지역난방기술(주) 플랜트IT팀	168
F11 12:30~12:45	발전플랜트 드라이브(On-Off MOV)로직 최적 적용 방안 연구 박건호 한국지역난방기술 계전설계처	169

●●● D발표장 4. 6(Fri.)

>>> 에너지 산업·효율·안전		좌장: 강승규 (한국가스안전공사)	page
D01	9:30~9:45	국내·외 충전소 사고 사례 분석 김혜림 · 강승규 · 허윤실 한국가스안전공사 가스안전연구원 기술정책연구부	170
D02	9:45~10:00	패키지형 수소충전 시스템의 환기 적용 방안 연구 강승규 · 허윤실 · 문종삼 한국가스안전공사 가스안전연구원 미래연구실	171
D03	10:00~10:15	가스상 및 입자상 복합오염물질 동시 처리용 PTFE 멤브레인 필터 개발 황상연 · 류상오 · 윤성필 · 김효식 · 이치원* · 이승우** 고등기술연구원, *(주)마이크로윈, **영남대학교 산학협력단	172
D04	10:15~10:30	햅틱 장비 기반 가상현실 안전훈련 시스템을 활용한 정유공장 RDS 공정 에서 화재 시 플랜트 조업자의 피난 경로에 관한 연구 이춘식 · 이재용 · 김형진 · 박찬국 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터	173
>>> 에너지 산업·효율·안전		좌장: 이창수 (한국가스인협회)	page
D05	10:30~10:45	수소 용·복합 충전소 실증 및 모니터링에 관한 연구 김필중 · 구연진 · 강승규 · 허윤실 · 문종삼 한국가스안전공사 가스안전연구원	174
D06	10:45~11:00	발전소 내진 방진 설비 파열사고에 따른 설비 안전성 연구 이창수 (가)가오창, (사)한국가스인협회	175
D07	11:00~11:15	전산해석을 통한 지역난방시스템 열수송 강관의 용접부 부식에 따른 응력 분포 및 응력확대계수 평가 김용상 · 김우철* · 김정구 성균관대학교 신소재공학과, *지역난방공사 미래개발기술원	176
D08	11:15~11:30	수소 용복합 충전소 실시간 안전 모니터링의 필요성과 방안에 대한 고찰 구연진 · 오동석 · 김필중 한국가스안전공사 가스안전연구원	177

●●● E발표장 4. 6(Fri.)

>>> 에너지 산업·효율·안전 / 에너지정책		좌장 : 최경석 (한국가스안전공사)	page
E23	9:30~9:45	방식전위 원격측정 방법 장단점 비교 류영돈 · 유철희 · 조영도 · 문종삼 한국가스안전공사 가스안전연구원	178
E24	9:45~10:00	플라스틱 배기시스템 개발 및 성능평가에 관한 연구 최경석 · 예아란 · 이창석* 한국가스안전공사, *PPI 평화	179
E25	10:00~10:15	하천횡단 도시가스배관 심도기준 비교 박우일 · 조영도 · 유철희 · 류영돈 한국가스안전공사 가스안전연구원	180
E26	10:15~10:30	현장지향형 안전훈련 시나리오 개발을 위한 고압가스 사고 분석 윤혜주 · 유철희 · 박규태 · 이효렬 한국가스안전공사 가스안전연구원	181
E27	10:30~10:45	과학기술표준분류를 활용한 에너지R&D 사업화를 예측 방법론 연구 박병섭 한국에너지기술평가원	182
E28	10:45~11:00	이동형 수소충전시스템 현황과 모델 구축 필요성 황순일 · 김필종 · 허윤실 한국가스안전공사 가스안전연구원 기술정책연구부	183
E29	11:00~11:15	국내 친환경건축물관련 인증제도의 현황 및 유사성에 관한 연구 한설이 · 김종훈 · 정학근 한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실	184

●●● F발표장 4. 6(Fri.)

>>> 신재생에너지/청정연료 자원 및 순환자원/기후변화		좌장 : 양원 (한국생산기술연구원)	page
F12	9:30~9:45	Oxidation properties of nano-oxide dispersed ferritic stainless steel alloys for solid oxide fuel cell interconnect application MUHAMMAD TAQI MEHRAN · RAK HYUN SONG(송락현)* · SEUNG BOK LEE · TAK HYOUNG LIM Korea Institute of Energy Research(KIER)	185
F13	9:45~10:00	광물탄산화시스템 FEED 프레임워크 개발 연구 김진일 · 염충섭 · 김준영 · 윤문규 고등기술연구원 플랜트SE팀	186
F14	10:00~10:15	상용 고회전율연료사용 연소로에서의 연소장애 및 극복기술 배달희 한국에너지기술연구원 온실가스연구실	187
F15	10:15~10:30	해양복합온도차발전 열평형 설계 및 유동해석을 통한 발전소 성능평가 전어진* · 허균영* · 정훈** · 이상협** *경희대학교 원자력공학과, **한국전력공사 전력연구원	188
F16	10:30~10:45	이산화탄소 포집 저비용화를 위한 가압 순산소 연소 시스템 개발 양원, 이영재, 김동희, 최석천, 목진성, 채태영, 이용운, 테페라젤라랩팀사 한국생산기술연구원 고온에너지시스템그룹	189

●●● F발표장 4. 6(Fri.)

>>> 신재생에너지/청정연료 자원 및 순환자원/기후변화		좌장 : 김봉서 (한국전기연구원)	page
F17 10:45~11:00	가압조건으로의 분체시료 연속공급을 위한 고압주입장치 운전특성 평가 정석우 · 김문현 · 권인구 · 정종선* · 홍성범* 고등기술연구원 플랜트공정개발팀, *(주)썬인텍		190
F18 11:00~11:15	Enhancing Cycle Lives of Rechargeable Li-Air Batteries: An Integrated Approach 김병곤 한국전기연구원 전지연구센터		191
F19 11:15~11:30	고온 변형된 Bi ₂ Te ₂ Se 화합물의 열전특성 김봉서 · 임혜진 · 이지은 · 주성재 · 민복기 · 정재환 · 류병기 · 박수동 · 이희웅 한국전기연구원 창의원천연구본부 열전기술연구센터		192
F20 11:30~11:45	초고온가스로를 이용한 수소생산 복합 사이클의 생산단가 분석 박소영 · 허균영 · 이상일* · 계덕훈* 경희대학교 원자력공학과, *현대엔지니어링(주)		193
F21 11:45~12:00	500℃ 터빈 입구 조건을 만족하는 초임계 이산화탄소 발전 사이클 종합 시험장치 전력 생산 예비 운전 연구 조준현 · 신형기 · 조종재 · 최봉수 · 노철우 · 이범준 · 이길봉 · 나호상 · 백영진 한국에너지기술연구원 열에너지시스템 연구실		194

포스터발표

●●● 4. 5(Thu) 10:00~12:30

좌장 : 김태형(청주대학교)

번호	발 표 논 문	page
P01	노심 수력학적 특성이 보존된 핵연료집합체 모의방법론 개발 김기환 · 권태순* 한국원자력연구원 열수력·중대사고 안전연구부	197
P02	17x17 타입 MOX 핵연료 집합체의 핵적 특성 연구 안효영 · 하창주 한국전력국제원자력대학원대학교	198
P03	대용량 플라즈마 용융설비 개발 이미현 · 조현제 한국수력원자력(주)중앙연구원	199
P04	비평형 균질 응축을 고려한 Marviken free jet 실험에 대한 전산유체해석 하희운 · 서정수 한국수력원자력 중앙연구원	200
P05	GOTHIC코드를 활용한 Marviken free jet 실험에 대한 수치해석적인 모사 하희운 · 서정수 한국수력원자력 중앙연구원	201
P06	APR1400 전력계통 SECY-91-078 부합성 하채용 · 김윤호 한국수력원자력(주) 중앙연구원	202
P07	APR1400 NRC DC를 위한 비안전급 고압모선 이중인입차단기 적용 하채용 · 김윤호 한국수력원자력(주) 중앙연구원	203
P08	중수로 원전 원자로냉각재계통의 다중 오동작 시나리오 분석 배연경 · 이태수 · 이영승 한국수력원자력(주) 중앙연구원	204
P09	중수로 주증기관파단사고에 대한 비상노심냉각계통 저압지속 조건부신호 민감도 분석 고동욱 · 김성민 한국수력원자력(주) 중앙연구원 계통안전연구소	205
P10	APR1400 미국 규제기관 설계인증을 위한 심사질의답변 경험 강덕지 · 김윤호 한국수력원자력(주) 중앙연구원	206

●●● 4. 5(Thu) 10:00~12:30

좌장 : 김태형(청주대학교)

번호	발 표 논 문	page
P11	혼합형 안전주입탱크 형상설계 개발 김대현 한국수력원자력 중앙연구원	207
P12	사용후핵연료저장조 연소도곡선 불만족 해결방안 연구 김도연 한국수력원자력 중앙연구원	208
P13	연소이력을 반영한 사용후핵연료 붕괴열 계산 김도연 한국수력원자력 중앙연구원	209
P14	사고저항성 핵연료집합체 설계 및 특성 분석 김도연 한국수력원자력 중앙연구원	210
P15	APR+ 일체형 원자로상부구조물(IHA) 최적화 설계 연구 한성흡 · 이재곤 한국수력원자력 중앙연구원	211
P16	원자력 발전소용 데스크탑 시뮬레이터 기능적 활용성 제고 김문수 한국수력원자력(주) 중앙연구원	212
P17	월성 1발 시뮬레이터 중대사고 모델 개발 김문수 한국수력원자력(주) 중앙연구원	213
P18	사용후핵연료 운반용기 구조건전성 평가 방법론 개발 김좌영 · 차균호 한국수력원자력(주) 중앙연구원	214
P19	개방 수조형 연구용 원자로의 수조 크기 설계를 위한 예비 연구 박기정 · 김다용 · 서경우 · 김성훈 한국원자력연구원 연구로계통설계부	215
P20	연구용 원자로의 냉각 유동 방향에 따른 조사체 냉각계통 설계 검토 박기정 · 정민규 · 서경우 · 김성훈 한국원자력연구원 연구로계통설계부	216
P21	중수로 안전해석 유효 정지봉 평가 박동환 · 김영애, 류의승 한국수력원자력주식회사 중앙연구원 계통안전연구소	217
P22	중수로원전 화재유발 냉각재펌프 밀봉고장에 따른 누설유량 분석 이영승 · 김명수 · 김범규 한수원 중앙연구원	218

●●● 4. 5(Thu) 10:00~12:30

좌장 : 김태형(청주대학교)

번호	발 표 논 문	page
P23	크러드 침적 저감 후보물질 선정 <u>정진호</u> · 이광호 한국수력원자력(주) 중앙연구원	219
P24	CHP 최적 시뮬레이션 분석을 통한 전력수급계획 변화가 집단에너지 사업자에 미치는 영향 분석 김영국 · 오광민 · <u>김래현</u> 서울과학기술대학교	220
P25	전해 커패시터 노화 영향인자에 관한 고찰 <u>고영준</u> · 지영화 · 조은일 한국수력원자력	221
P26	금속 산화물 배리스터 특성 평가에 관한 고찰 <u>조은일</u> · 고영준 · 지영화 한국수력원자력 중앙연구원	222
P27	신호변환기 시지연에 의한 디젤발전기 여자시스템 전압 불안정 사례 고찰 <u>이상희</u> , 윤영철, 김명훈 한국수력원자력 엔지니어링지원단 기계팀	223
P28	디젤엔진 발전기의 조속기 특성에 대한 실험적 연구 <u>김영철</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원	224
P29	유압 증폭기 검증에 필요한 필수특성 고찰 <u>홍태화</u> 한국수력원자력, 중앙연구원	225
P30	고리원전 주변 해역의 해양관측 및 특성 분석 <u>양양희</u> · 조현준 · 김정미 · 강영승* · 김평중* · 이형래* 한국수력원자력 중앙연구원, *(주)전략해양	226
P31	원전 액체 방사성 유출물 해양확산 평가를 위한 황해 해수순환 모델링 <u>양양희</u> · 조현준 · 김정미 · 강영승* · 김민하* · 이형래* 한국수력원자력 중앙연구원, *(주)전략해양	227
P32	원자로냉각재 유량 불균형이 노심 사분출력경사비에 미치는 영향 평가 <u>문상래</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원 계통안전연구소 노심해석그룹	228
P33	원자력발전소 고속 비상디젤발전기 기동상태 진단 <u>윤영철</u> 한국수력원자력	229

●●● 4. 5(Thu) 10:00~12:30

좌장 : 김태형(청주대학교)

번호	발 표 논 문	page
P34	원전 비상디젤발전기의 실린더 라이너 락커링 현상에 대한 영향 고찰 김명훈 · 이상희 · 윤영철 한수원 중앙연구원 엔지니어링지원단 기계팀	230
P35	APR1400 설계인증을 위하여 원자로에 대한 안전자문위원회 5단계 심사 서정관 · 김윤호 한국수력원자력(주) 중앙연구원	231
P36	원자로냉각재계통 및 관련계통에 대한 안전자문위원회 5단계 심사 서정관 · 김윤호 한국수력원자력(주) 중앙연구원	232
P37	4차 산업혁명 기술 적용을 통한 원전 설비 신뢰성 검토 이병오 · 김대용 · 민지호 한국수력원자력(주) 중앙연구원	233
P38	원전 설비 대상 예측진단기술 개발시 고려사항 연구 이병오 · 김대용 · 민지호 한국수력원자력(주) 중앙연구원	234
P39	고압비상충수계통 연결배관 파단 시 설계 안전성 평가 강상희 · 허선 한국수력원자력 중앙연구원	235
P40	기기연계모듈의 최적화 방법 고찰 최선미 · 김윤구 한국수력원자력 중앙연구원 신형원전연구소	236
P41	1열로 배열된 배관에 충격과 충돌시 2차원 압력거동 해석 권순국 · 김윤호 한국수력원자력(주) 중앙연구원	237
P42	스마트에너지시티 관리 시스템의 기능 요구사항에 대한 고찰 김선정 · 이병철 · 홍인영 한전KDN	238
P43	국제협력 실효성 제고를 위한 에너지 기술 글로벌 기술수요맵 구축 정지후 · 최상진 · 백운호 한국에너지기술연구원 글로벌전략실	239
P44	도시 에너지관리시스템 시험을 위한 강화학습기반 에너지 사용 가상데이터 생성 방안 이병철 · 김선정 · 홍인영 한전KDN	240

●●● 4. 5(Thu) 10:00~12:30

좌장 : 김태형(청주대학교)

번호	발 표 논 문	page
P45	동북아 국가의 발전원별 대기오염 외부비용 비교 정환삼 · 김승수 · 정익 한국원자력연구원 에너지환경연구실	241
P46	탈원전 시대에서의 발전차액지원제도의 고찰과 해외 신재생에너지 지원 정책 논의 천세학 서울과학기술대학교 경영학과	242
P47	에너지정책수립 관점에서의 외부효과 고려 김승수 · 정환삼 · 정익 한국원자력연구원 에너지환경연구실	243
P48	효과적인 이산화탄소 분리를 위한 실리카로 구성된 방향성을 가진 DDR 제올라이트 분리막 정양환 · 최정규 고려대학교 화공생명공학과	244
P49	3단 촉매-흡착 반응기를 이용한 SF ₆ 전환 효율 향상 및 부산물 제거 공정에 관한 연구 한재윤 · 김창현 · 이보름* · 임한권* · 이관영 · 이신근** 고려대학교 화공생명공학과, *대구가톨릭대학교 신소재공학과, **한국에너지기술연구원 분리변환소재연구실	245
P50	아민-실리카 이산화탄소 흡착제의 물리 화학적 안정성 증진을 위한 더블레이어 구조의 효과에 대한 연구 전선빈 · 정현철* · 김성현 · 이기봉 고려대학교 화공생명공학과, *한국화학연구원	246
P51	경제적인 산업배가스 내 이산화탄소 저감을 위한 도심형 미세조류 기반 탄소자원화기술 개발 홍민의 ¹ · 장원석 ² · 심상준 ^{1*} ¹ 고려대학교 화공생명공학과, ² 한국지역난방공사 미래개발원, *고려대학교 화공생명공학과	247
P52	Immobilization and Stabilization of Carbonic Anhydrase for Carbon Dioxide Conversion on Magnetic Mesoporous Silica Coated Chitosan Crosslinking Eunjung Son(손은정) · Kie Moon Woo · Inseon Lee · Sunhyung An* · Jinwoo Lee* · Jungbae Kim Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University *Department of Chemical Engineering, Pohang University of Science and Technology (POSTECH)	248

●●● 4. 5(Thu) 10:00~12:30

좌장 : 김태형(청주대학교)

번호	발 표 논 문	page
P53	Enzymatic CO ₂ Conversion and Its Utilization for the Accelerated Microalgae Growth in One-Pot Bioreactor Subeen Wie(위수빈) · Sung-Gil Hong · Hancheol Jun* · EonSeon Jin* · Jungbae Kim Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University *Department of Life Science, Research Institute for Natural Science, Hanyang University	249
P54	PM (Particulate Matter) 저온 제거를 위한 세륨-프라세오디뮴 혼합 산화물 형상 제어 촉매 연구 정은진 · 이재환 · 박정선 · 이성호* · 이관영 고려대학교 화공생명공학과, *고려대학교 초저에너지 자동차 초저배출 사업단(SULEEV)	250
P55	Influence of activated carbon on properties of Pt/C catalysts Mi Yeon Byun(변미연) · Jae-Ho baek · Dae-Won Park* · Man Sig Lee† Ulsan Regional Division, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH) *Department of Polymer Science and Chemical Engineering, Pusan National University	251
P56	MAPbI ₃ 페로브스카이트 태양전지의 전기장 및 광 열화에 대한 연구 김동환 · 이해석* · 강윤목* · 배수현 · 이상원 · 박세진 고려대학교 신소재공학과 *고려대학교 그린스쿨대학원	252
P57	Recovery of Palladium from the Spent Pd/Al ₂ O ₃ catalyst by Leaching in Sulfuric Acid Ye Eun Kim(김예은)**·Mi Yeon Byun***·Junghwan Kim*·Kwan-Young Lee**· Man Sig Lee*† *Korea Institute of Industrial Technology(KITECH), **Korea University, ***Pusan National University	253
P58	질소 플라즈마로 표면 처리한 그래핀 전극 기반 유기태양전지 제작 조영수 ^{1,2} · 우채영 ¹ · Li Luhe ¹ · Tian Mengdi ¹ · 홍순규 ¹ · 이형우 ^{1,2,*} ¹ 부산대학교 나노융합기술학과, ² 부산대학교 나노에너지공학과	254
P59	알칼리 처리에 의한 제올라이트 촉매의 연료 흡열 분해 특성 변화에 대한 연구 이태호 · 김성현 · 이기봉 · 정병훈* · 한정식* 고려대학교 화공생명공과, *국방과학연구소	255
P60	Dual-layered Ceramic Interconnect Films for Solid Oxide Fuel Cells 최재린 ^{1,2} , 송락현 ^{1,2} , 임탁형 ^{1,2} , 홍중은 ^{1,2} , 이종원 ³ , 이승복 ^{1,2} ¹ 한국에너지기술연구원, ² 과학기술연합대학원대학교(UST), ³ 조선대학교	256

4. 5(Thu) 10:00~12:30

좌장 : 김태형(청주대학교)

번호	발 표 논 문	page
P61	하수슬러지 고형연료와 석탄의 혼합 시 인 성분이 고온 응집물에 미치는 영향 연구 박주창 · 윤상필 · 남궁환* · 허려화 · 김형택 아주대학교 에너지시스템학부, *한국에너지기술연구원	257
P62	고온 PEMFC용 수소제조를 위한 팔라듐 기반 분리막 개질기에 관한 연구 김창현 · 한재윤 · 이관영 · 이신근* 고려대학교 화공생명공학과, 한국에너지기술연구원 분리변환소재연구실*	258
P63	고효율 수소생산을 위한 인첨가 다공성 알루미늄 지지체 기반 니켈 촉매 개발 임은미 ^{1,3} · 우은석 ^{1,3} · 서호준 ² · 문건대 ² · 박대원 ³ · 임동하 ^{1,*} ^{1,*} 한국생산기술연구원 에너지플랜트그룹, ² 한국생산기술연구원 첨단표면공정그룹, ³ 부산대학교 화학공학과	259
P64	합성 천연가스 제조용 메탄화 반응기의 열화학적 해석 황민영* · 김준우* · 김량균* *포항산업과학연구원	260
P65	산란 일사량 가림 및 물질에 따른 반사 일사량 측정 실험을 위한시스템 구축 오명찬 · 구영현 · 박형동* 서울대학교 에너지시스템공학부	261
P66	Screen printed carbon composites as counter electrode of dye sensitized solar cells Xiuting Luo · SooHyung Kim Pusan National University, Nano Fusion Technology Department	262
P67	막전극복합체 면적 대비 유로의 면적이 양자교환막형 연료전지의 효율에 미치는 영향 Yaojia Zhang* · 안지영** · 김민준*** · 김수형*** *부산대학교 나노융합기술학과, **부산대학교 에너지융합기술연구소, ***부산대학교 나노에너지공학과	263
P68	5kW HT-PEMFC 스택의 내구성 및 성능 향상을 위한 구성품 최적화 연구 김지홍 · 김민진 · 손영준 · 정재훈* 한국에너지기술연구원, 과학기술연합대학원대학교 신에너지 및 시스템기술학과, *(주)동아화성	264
P69	플렉서블 CIGS 태양전지를 이용한 태양광 추적식 발전장치 설계 김현석 · 김태형 · *이상진 청주대학교 항공기계공학과, *(주)솔그리드	265
P70	3상 분리형 촉매층을 가진 고분자 전해질 연료전지 서동준 · 김한성* · 김태영 한국에너지기술연구원, *연세대학교 화공생명공학과	266

●●● 4. 5(Thu) 10:00~12:30

좌장 : 김태형(청주대학교)

번호	발 표 논 문	page
P71	저가습용 고내구성 고분자연료전지 전극 최원영 · 김필* · 김태영 한국에너지기술연구원, *전북대학교	267
P72	사출 바렐용 고효율 히팅장치의 세라믹 애자 개발 배정섭 ¹ · 최인호 ² (재)대구기계부품연구원 ¹ , (주)이노알앤씨 ²	268
P73	분산형에너지산업의 품질경쟁력 강화를 위한 시험분석 및 인증지원 성과보고 안정훈, 배정섭, 노해진, 오은지 (재)대구기계부품연구원	269
P74	DR 연계형 산업용 고효율 공기압축시스템 운용프로그램(SACS) 개발 안정훈, 고영주*, 주만식*, 정정훈*, 허기형**, 지성남** (재)대구기계부품연구원, *경원기계공업(주), **(주)한백아이엔티	270
P75	ESS와 EV에 사용 가능한 저가형 30kWh급 배터리팩 시스템 개발 안정훈, 서명수*, 성동길* (재)대구기계부품연구원, *(주)씨오알엔	271
P76	마이크로웨이브 출력에 따른 가열 및 건조 특성에 관한 연구 오상현 · 최종원 · 박기호 · 전원표 · 김성일 한국에너지기술연구원 에너지효율연구본부	272
P77	미세먼지 제거용 PTFE 멤브레인필터를 적용한 탈진에 따른 차압 특성 윤성필 · 류상오 · 김효식 · 황상연 · 정석우 · 이치원* · 이승우** 고등기술연구원, *(주)마이크로윈, **영남대학교 산학협력단	273
P78	원자로 건물 냉각을 위한 1차원 헬앤티브형 열교환기 최적설계 송여울 한국수력원자력 중앙연구원	274
P79	과산화수소 분해를 이용한 폐수처리의 저온 반응을 위한 촉매 개발 김민준 · 이관영 고려대학교 화공생명공학과	275
P80	CFD에 기초한 대면적 표면처리가 가능한 에너지 산업용 블라스팅 노즐 설계 곽준구 · 김현석 · 김선형 · 김태형 · 손명환 청주대학교 항공기계공학과	276

●●● 4. 5(Thu.) 14:00~16:30

좌장 : 임종세 (한국해양대학교)

번호	발 표 논 문	page
P81	회전 수차에서 에너지 저감장치 개발을 위한 연구 김원섭 · 김종만 전남도립대학교 신재생에너지전기과	277
P82	호스의 고장유형 및 영향분석의 고찰 최명중 · 지영화 · 홍영희 한국수력원자력 중앙연구원	278
P83	연구용 원자로 중수 계통의 건설 및 시운전 시 고려사항 최정운 · 윤현기 · 서경우 한국원자력연구원 연구로계통설계부	279
P84	APR1000 중대사고 전용계통 설계 방안 황도현 · 양원석 한국수력원자력(주) 중앙연구원	280
P85	영국 GDA 요건충족 방사선 관련계통 개발 방안 황도현 한국수력원자력(주) 중앙연구원	281
P86	체코 설계요건 충족을 위한 설계확장조건 대처 수단 설계 방안 고찰 양원석 · 김대준 · 김지환 한국수력원자력 중앙연구원	282
P87	열동형 과부하 계전기 검증 필수특성에 대한 고찰 허희무 · 지영화 · 양창석 한국수력원자력(주) 중앙연구원	283
P88	원자력발전소 운전원 직무분석을 통한 인공지능 기반 운전지원시스템 대상 분류 기준 수립 문종설 · 최선미 한국수력원자력(주) 중앙연구원	284
P89	원전 규제현안 관련 환기 측정 방법의 응용 신민우 · 함태규 한국수력원자력(주) 중앙연구원	285
P90	인공지능/빅데이터를 적용한 원자력발전소 설비 감시 및 진단 기술개발 현황 김대웅 · 이병오 · 민지호 한국수력원자력(주) 중앙연구원 설비기술연구소	286

4. 5(Thu.) 14:00~16:30

좌장 : 임종세 (한국해양대학교)

번호	발 표 논 문	page
P91	다중연료 노심설계가 노심비정상출력분포에 미치는 영향 <u>이서정</u> 한국수력원자력 중앙연구원	287
P92	발전소 기동중 Ni, Fe 제거량을 이용한 BOA 코드 화학세정 효율 검증 <u>이서정</u> 한국수력원자력 중앙연구원	288
P93	크리드 증가요인 발생 시 AOA 위험도 저감 방법 고찰 <u>이서정</u> 한국수력원자력 중앙연구원	289
P94	중수로 국부과출력보호계통 정지설정치 평가를 위한 설계기준조건 노물리 모델 생산 <u>김영애 · 박동환</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원 계통안전연구소	290
P95	수출형 신형 원전 APR+ 전출력 내부사건 PSA 결과를 활용한 주요 기기 선정 <u>문호립</u> 한국수력원자력주식회사 중앙연구원	291
P96	고리1호기 제염해체활동 기술분석 <u>유지환 · 오재용</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원 원전사후기술센터 해체기술팀	292
P97	유럽사업자요건(EUR)의 성능평가방법론(PAM)에 대한 고찰 <u>정병준 · 양원석</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원	293
P98	측방향 분리 노심설계에 의한 CIPS 위험도 영향 <u>정지은 · 이서정</u> 한국수력원자력(주)중앙연구원	294
P99	APR+형 원전의 안전주입펌프 설계용량 평가 및 안전해석방법론의 개발 <u>이석호*</u> *한국수력원자력 중앙연구원	295
P100	6.8% 압력관크립 임계열속시험 결과 전산코드 분석 <u>류의승 · 박동환</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원 계통안전연구소	296
P101	중대사고 시 OPR1000형 원전에서의 MCCI 예비평가 <u>송규상</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원 안전기술센터 사고대응기술팀	297

●●● 4. 5(Thu.) 14:00~16:30

좌장 : 임종세 (한국해양대학교)

번호	발 표 논 문	page
P102	냉각재상실사고 시 고연소 핵연료봉 거동에 대한 고유 안전해석코드의 예측 성능 <u>이석호*</u> *한국수력원자력 중앙연구원	298
P103	고리1호기의 해체계획수립시 폐기물관리에 관한 고찰 <u>김영국</u> · 윤태식 · 정혜진 · 유지환 · 오재용* *한국수력원자력 중앙연구원, 원전사후기술센터 해체기술팀	299
P104	Evaluation of Flow Stabilization Integrity in RCP Test Facility <u>최해섭</u> · 조석 · 김연식 · 윤영중 · 박종국 · 김석 · 배병언 · 조윤제 · 전우진 한국원자력연구원, *열수력안전연구부	300
P105	수출형 신형 원전 APR+ 설계 개선 활동을 통한 안전성 향상 사례 <u>문호림</u> 한국수력원자력주식회사 중앙연구원	301
P106	원자력 국제협력 협정에 대한 보도 프레임 분석 <u>장양희</u> 한국수력원자력(주) 중앙연구원	302
P107	스마트변전소를 위한 이중화 네트워크 장치 성능 분석 <u>김재문</u> · 최성수 · 손상우 한국전기연구원	303
P108	APR+ 주증기배관 LBB 적용을 위한 누설감지설비 적용방안 연구 <u>이재민</u> · 김성환 한국수력원자력(주) 중앙연구원 신형원전연구소	304
P109	영구정지원전 사용후연료냉각시스템의 정비규정프로그램 적용 방안 <u>이상대</u> · 김왕배 · 현진우 한국수력원자력(주) 중앙연구원	305
P110	원전 설비고장 정비데이터 입력코드 개선 연구 <u>엽동운</u> · 이경옥 · 주태영 한국수력원자력(주) 중앙연구원	306
P111	미국 NRC 해체 안전성평가 방법론 분석 및 적용방안 <u>조광호</u> , 서형우 한국수력원자력(주) 중앙연구원 해체기술팀	307
P112	원전 무선기기 사용가능성에 관한 고찰 <u>지영화</u> · 고영준 · 허희무 한국수력원자력	308

●●● 4. 5(Thu.) 14:00~16:30

좌장 : 임종세 (한국해양대학교)

번호	발 표 논 문	page
P113	Yankee Rowe 원전의 콘크리트 특성평가 사례 분석 이동희 · 손 옥 한국수력원자력(주) 중앙연구원 원전사후기술센터 해체기술팀	309
P114	국내 원전 예비해체계획서 개발 현황 및 구성 고종현 · 김현민 한국수력원자력(주) 중앙연구원 원전사후기술센터 해체기술팀	310
P115	열동형 과부하 계전기 검증 필수특성에 대한 고찰 허희무 · 지영화 · 양창석 한국수력원자력(주) 중앙연구원	311
P116	Fabrication and characterization of porous stainless steel support for metal-supported Solid Oxide Fuel Cell TAE HUN KIM* · MUHAMMAD TAQI MEHRAN · RAK HYUN SONG* · TAK HYOUNG LIM · SEUNG BOK LEE · JONG EUN HONG Korea Institute of Energy Research(KIER), Korea University of Science and Technology(UST)	312
P117	케나프로부터 반섬유소 및 리그닌 추출을 위한 염산 및 에탄올 2단계 처리 김성주 · 김가희 · 엄병환 한경대학교 화학공학과	313
P118	PEMFC 공기극 백금 촉매로서 내구성이 향상된 티타늄계 지지체 개발 이용준 · 박찬미 · 탁용석† 인하대학교 화학공학과	314
P119	알칼라인 연료전지용 음이온 교환막 개발을 위한 폴리이미드를 기반으로 한 클로로 메틸화 정도에 따른 전기화학적 성능 비교 오병훈 ¹ , 김애란 ² , 유동진 ^{1,3†} ¹ 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과, ² 전북대학교, ³ 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단	315
P120	음이온 교환 막 개발을 위한 포스핀을 함유한 폴리아닐렌이썬의 합성 및 특성 분석 이승연 ¹ · 유동진 ^{1,2†} ¹ 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단 ² 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과	316
P121	중공형 구조로 제어된 Pt@Ni/C 촉매의 합성 및 특성 분석 김동건 · 손연선 · 이종하 · 이지호 · 정재영 · 김필* 전북대학교 반도체 · 화학공학과	317

●●● 4. 5(Thu.) 14:00~16:30

좌장 : 임종세 (한국해양대학교)

번호	발 표 논 문	page
P122	산소환원반응용 Pt@PtAuCu/C 촉매의 제조 및 특성분석 <u>이중하</u> · 손연선 · 이지호 · 김동건 · 김필† 전북대학교 반도체 · 화학공학부	318
P123	지지체 열화시 발생하는 이오노머 재배열 억제 방안 <u>양승용</u> · *한병찬 · 김태영 한국에너지기술연구원, *연세대학교	319
P124	TriGeneration 사업화모델 연구 <u>임해리</u> · 서광일 · 전치홍 · 김형태* 이수에어텍, *한국가스공사 가스연구원	320
P125	폐탄광 지역 광해조사를 위한 증강현실 기술의 적용 <u>최요순</u> · 서장원* 부경대학교 에너지자원공학과, *강원대학교 에너지공학부 에너지자원융합공학전공	321
P126	지하광산 내비게이션 시스템 개발을 위한 블루투스 비콘의 적용 <u>최요순</u> · 백지은 · 서장원* 부경대학교 에너지자원공학과, *강원대학교 에너지공학부 에너지자원융합공학전공	322
P127	광산 안전관리를 위한 충돌방지시스템의 개발현황 <u>최요순</u> · 이채영 · 서장원* 부경대학교 에너지자원공학과, *강원대학교 에너지공학부 에너지자원융합공학전공	323
P128	광에너지 기반 온실환경 제어 모니터링장치 <u>김종만</u> · 김원섭 전남도립대학 신재생에너지전기과	324
P129	국내 하수슬러지 유래 액상연료의 품질 특성 <u>박조용</u> · 김재곤 한국석유관리원 석유기술연구소	327
P130	TiO ₂ 나노입자 내부의 다공성 구조 및 광전극의 다공성 구조가 염료감응형 태양전지의 효율에 미치는 영향 <u>안지영</u> * · 김수형*** *부산대학교 에너지융합기술연구소, ***부산대학교 나노에너지공학과	328
P131	높은 열적/기계적 안정성을 갖는 H ₂ 선택적인 ZIF-8 분리막의 합성 <u>홍성원</u> · 최정규 고려대학교 화공생명공학과	329

●●● 4. 5(Thu.) 14:00~16:30

좌장 : 임종세 (한국해양대학교)

번호	발 표 논 문	page
P132	오리피스 원리를 이용한 실험용 습식 집진 장치의 개발 <u>이세창</u> · 손명환* · 김태형* 지엠테크, *청주대학교 항공기계공학과	330
P133	실시간 시뮬레이션을 이용한 전지관리시스템의 일반 측정 시험 <u>박상현</u> · 조창희 · 전진홍 · 김진욱 · 김철우 한국전기연구원	331
P134	Fe로 도핑된 $PbBi_2Nb_2O_9$ 페로브스카이트 광촉매를 이용한 수중 메틸렌블루 제거 연구 <u>십지수</u> · 이치현 · 임동하 한국생산기술연구원 에너지플랜트그룹	332
P135	전지관리시스템 평가플랫폼의 리튬이온전지 모델 개발과 정확성 검증 <u>김철우</u> · 조창희 · 전진홍 · 김진욱 · 손완빈 · 박상현 · 김성신* 한국전기연구원, *부산대학교	333
P136	전기요금 절감 및 신재생출력 안정을 위한 마이크로그리드 운영시스템 개발 <u>박향아</u> · 김슬기 · 조경희 · 김응상 한국전기연구원 스마트배전연구센터	334
P137	에너지저장장치 설계 프로그램 및 홈페이지 개발 <u>조경희</u> · 김슬기 · 박향아 · 김응상 한국전기연구원 스마트배전연구센터	335
P138	목재 연소시 char 생성이 화염전파에 미치는 영향 <u>장정의</u> ¹ · 김진혁 ¹ · 이명규 ² · 박설현* ¹ 조선대학교 대학원 기계시스템 미래자동차 공학과, ² 조선대학교 기계시스템공학과, *조선대학교 기계시스템미래자동차공학부	336
P139	Performance evaluation of Compton microPET according to detector modalities – a Monte Carlo study <u>윤창연</u> · 이원호* 한국수력원자력 중앙연구원, *고려대학교 보건환경융합과학부	337
P140	LPG 배관망 적용 과류차단밸브의 내부유동 및 작동 특성 <u>이종화</u> · 김현준 · 백세권 · 유기종 · 전형택 · 김재하 (주)폴리텍, *(주)심사이	338
P141	Study on the Mechanism of Secondary Fine Particles Formation on the Surface of Al_2O_3 under Different Experiment Condition <u>Rujiao Song</u> · Zixiang Xu · Joo-Chang Park · Li-Hua Xu · Hyung-Taek Kim Department of Energy Systems Research, Ajou University	339

●●● 4. 5(Thu.) 14:00~16:30

좌장 : 임종세 (한국해양대학교)

번호	발 표 논 문	page
P142	The reactivity of SO ₂ and NO ₂ on different mineral oxides <u>Zi-Xiang Xu</u> · Ru-Jiao Song · Joo-Chang Park · Li-Hua Xu · Hyung-Taek Kim* Department of Energy Systems Research, Ajou University	340
P143	석탄과 비교분석을 통한 하수슬러지 고형연료 및 바이오매스의 부식 특성 연구 <u>조경주</u> · 박주창 · 남궁훤* · 허려화 · 김형택 아주대학교 에너지시스템학부, *한국에너지기술연구원	341
P144	소듐이차전지를 위한 Black Phosphorus/Graphite Heterostructure 음극재: 제일원리연구 <u>이홍우</u> ^{1,*} , 이관영 ¹ · 한상수* ¹ 고려대학교 화공생명공학과, *한국과학기술연구원 계산과학연구센터	342
P145	이온전도성 세라믹 미소 채널 내 산소 투과의 수학적 해석 <u>이대근</u> * · 정우남 · 유지행 한국에너지기술연구원 에너지효율·소재 연구본부	343
P146	H ₂ O의 존재 하 대형 기공 구조 촉매를 이용한 soot oxidation 반응 <u>박정선</u> · 이재환 · 정은진 · 이성호* · 이관영 고려대학교 화공생명공학과, *초저에너지 초저배출 사업단 (SULEEV)	344
P147	차량용 12V AGM 납산 배터리 노화 예측모델 개발 <u>이명규</u> , 조재성, 구보람, 이동철, 신치범*, 류기선 [†] 아주대학교 에너지시스템학과; [†] 현대자동차	345
P148	Zinc-Bromine 흐름전지 스택의 충·방전 거동 및 성능 예측 모델 <u>이동철</u> , 구보람, 신치범*, 김동주 [‡] , 강태혁 [‡] 아주대학교; [‡] 롯데케미칼	346
P149	외부단락 조건하에서 모델링을 통한 리튬이차전지의 안전성 해석 <u>조재성</u> , 구보람, 신치범*, 하윤철 [†] 아주대학교 에너지시스템학과, [†] 전기연구원	347
P150	3성분의 하이브리드 (Fe ₃ O ₄ /PANI/rGO)의 합성과 선택적이고 민감한 비 효소 글루코스 센싱으로의 적용 <u>Jane Cathleen Gabunada</u> ¹ · 유동진 ^{1,2†} ¹ 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지 시스템 전주기 R&D 인력양성사업단, ² 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과	348
P151	실버 나노 입자의 친환경 합성 및 민감성 및 선택적 과산화수소 검출에 대한 촉매 활성 <u>Kumarasamy Ramachandran</u> ¹ · 유동진 ^{1,2†} ¹ 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, ² 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과	349

●●● 4. 5(Thu.) 14:00~16:30

좌장 : 임종세 (한국해양대학교)

번호	발 표 논 문	page
P152	연료 전지의 연장 발전을 위한 비공유 기능화 된 그래핀 산화물이 함침 된 나피온 복합막 Mohanraj Vinothkannan ¹ · 유동진 ^{1,2†} ¹ 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, ² 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과	350
P153	연료전지 고분자 전해질 멤브레인을 위한 카르복실기를 포함하는 술폰화된 SGO 복합막의 특성분석 박철진 ¹ · 김애란 ² · 유동진 ^{1,3†} ¹ 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, ² 전북대학교, ³ 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과	351
P154	양이온 교환막 개발을 위한 새로운 펜던트형 단량체를 함유한 술폰화된 블록공중합체의 합성 및 이의 특성분석 이규하 ¹ , 유동진 ^{1,2†} ¹ 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, ² 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과	352
P155	높은 전기화학적 성능을 갖는 음이온 교환막 개발을 위한 4차 아민을 함유한 poly(arylene ether sulfone)의 합성 및 특성분석 주지영 ¹ , 김애란 ² , 유동진 ^{1,3†} ¹ 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, ² 전북대학교, ³ 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과	353
P156	고분자 전해질형 연료전지용 술폰화된 비스(4-클로로페닐) 설펜을 함유한 폴리(아릴렌 이써 설펜) 블록 공중합체 합성과 특성연구 한다습 ¹ · 유동진 ^{1,2†} ¹ 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지 시스템 전주기 R&D 인력양성사업단, ² 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과	354
P157	고온형 PEMFC용 폴리벤즈이미다졸 랜덤 공중합체의 합성과 특성분석 한다운 ¹ · 유동진 ^{1,2†} ¹ 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, ² 전북대학교, 자연과학대학 생명과학과	355
P158	이리듐이 도핑된 팔라듐-니켈질화물 합금 촉매의 산소환원반응 성능평가 손연선 · 이종하 · 김동건 · 이지호 · 남기석 · 김필† 전북대학교 반도체·화학공학부	356

●●● 4. 5(Thu.) 14:00~16:30

좌장 : 임종세 (한국해양대학교)

번호	발 표 논 문	page
P159	산소환원반응용 금-구리 이성분계 합금 촉매의 제조 및 특성분석 이지호 · 손연선 · 김동건 · 이종하 · 김필* 전북대학교 반도체·화학공학부	357
P160	약 200°C에서의 수증기 분리용 하이드록시 SOD 제올라이트 분리막 개발 Arepalli Devipriyanka · 조철희 충남대학교 에너지과학기술대학원 에너지과학기술학과	358
P161	아세트산 탈수용 낮은 Si/Al 몰비의 ZSM-5 제올라이트 복합 분리막 개발 Aafaq ur Rehman · 조철희 충남대학교 에너지과학기술대학원 에너지과학기술학과	359
P162	올레핀/과라핀 분리용 FAU 제올라이트 복합 분리막의 미세구조 결함을 줄이기 위한 노력 민혜현 · 조철희 충남대학교 에너지과학기술대학원 에너지과학기술학과	360
P163	나노니들구조의 MOR 제올라이트를 이용한 물 선택성 MOR 제올라이트 복합 분리막 개발 김영무 · 이두형 · 조철희 충남대학교 에너지과학기술대학원 에너지과학기술학과	361
P164	열저항 제올라이트 복합 분리막 합성을 위한 제로 또는 낮은 CTE 세라믹 모세관 지지체 개발 강태영 · 조철희 충남대학교 에너지과학기술학과	362
P165	이산화탄소 흡착 선택성을 갖는 계층구조의 CHA 제올라이트 형성 메커니즘 김민지 · 김영진 · Syed Fakhar Alam · Pankaj Sharma · 이해련 · 조철희 충남대학교 에너지과학기술대학원 에너지과학기술학과	363
P166	광 수소생산을 위한 MOF/2차원 나노시트 혼성화 컴포지트의 광촉매 성능 향상에 대한 연구 김태우 · Muhammad Sohail · 김현욱 에너지소재연구실, 한국에너지기술연구원	364
P167	Acid catalyzed hydrothermal fractionation of barley straw and evaluation of fuel properties of fractionated residue Kyeong Keun Oh ^{1,2} · Won Il Chol ¹ · Hyun Jin Ryu ¹ ¹ R&D Center, SugarEn Co., Ltd., Yongin, Gyeonggi-do 16890, Korea ² Dept. of Chemical Engineering, Dankook University, Yongin, Gyeonggi-do 16890, Korea	365

[특별세션 I. IOT기반 에너지융합기술]

IoT기술을 적용한 하폐수 처리시설 에너지 효율향상 기술 연구
Energy Efficiency Improvement Technology of Wastewater Treatment Facility
applying IoT

윤정미 · 김병민 · 이상학

전자부품연구원

하폐수 처리를 포함한 물 인프라는 에너지 다소비시설로, 전세계 에너지의 7% (Teratech/2012년), 미국의 경우 3-4%를 차지하는 실정이다. 그럼에도 불구하고 강화되는 수질기준에 따라서 높은 에너지 투입이 요구되는 수처리 공정이 도입되어 평방미터당 250~625kWh/m³의 에너지가 투입되고 있다. 현재 하폐수처리장의 운영은 부하에 관계없이 처리장 내 시설은 일률적으로 일정한 운영하는 방식이 일반적이다. 그러나 실제, 하수처리장 내 부하는 인간의 활동을 시작한 오전7시 이후 서서히 부하가 증가하기 때문에 이를 정밀하게 분석하면, 전기부하 Peak가 감소되는 시간에 하수처리장을 운영하는 부하 회피 방안을 적용할 수 있다. 회피기술을 적용할 수 있는 시설로 펌프시설, 생물반응조의 송풍기, 건조시설, 탈수시설 등을 들 수 있다.

본 연구에서는 유입 부하, 단위공정별 처리 효율 등을 포함하는 하·폐수처리시설 운영 및 에너지 소요 관련 빅데이터를 분석하여, 처리장 운영 중/장기 scheduling 수립하고, IoT 기반 소형수질측정모듈을 통해서 얻는 실시간 운영 자료를 이용하여 하·폐수처리시설 공정 시뮬레이터를 통해 긴급한 유입부하 변동에 대응하여, 처리수질 준수는 물론, peak 시간 전력 수요 피크 회피 등 처리장 내 에너지 수요/공급관리를 효율적으로 수행할 수 있는 Engineering 기술 package을 제안한다.

폭기조의 DO와 폭기시간, HRT는 하수처리공정 에너지 소비와 가장 큰 관련이 있고 우리나라의 대표적 공정인 A2O의 경우 폭기에 소요되는 에너지가 전체 에너지 소모량에 40~60% (4p 참조) 를 차지한다.

이에 폭기량 제어가 적절히 시행되면 (저부하시 폭기량 제한, 고부하시 낮은 DO 유지한 채 폭기 등, 유입량 변동에 따른 HRT 조절(처리장내 펌프 조정)) 10% 이상의 에너지 절감가능함을 확인할 수 있다.

또한 IoT기반 소형 수질 자동 측정모듈을 통해서 얻는 실시간 오염부하 데이터와 기존처리장에서 운영 중인 수질TMS 데이터를 상호 비교 분석하여 검증/피드백이 가능하도록 유입 오염부하변동에 따른 자동 공정제어를 구현하여 전력수요관리에 최적화된 부하설비 운전을 결정하고 하수처리시설의 본래의 목적에 어긋나지 않는 안정적인 방류수질을 관리할 수 있는 기술을 제안한다.

[사 사]

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (No. 2017010000780) .

[특별세션 I. IOT기반 에너지융합기술]

산업단지 열 거래를 위한 에너지 운영시스템 설계

A design of operating system for thermal energy trades in industrial complex

김태형 · 박영수 · 김제현 · 함경선

전자부품연구원

산업단지 내 산업체는 대부분 한전에서 수전 받아 생산설비를 운영하고 있으나 열병합발전기를 소유한 산업체의 경우 기본요금 절감을 위한 피크 관리, 최대부하/중부하 시간대 전력요금 절감을 위한 용도로 발전기를 사용하고 있으며, 또한 발전기를 가동하여 나오는 배열(스팀, 온수 등)을 생산설비에 활용하고 있다. 그러나 발전기 가동에 따른 배열의 경우 100% 자체 수급이 어려워 잉여 열 에너지가 발생하고 있는 상황이다.

이에 산업단지 내 열에너지에 대한 수요는 많으나 열병합발전기가 없어서 자체 열 생산설비를 운영하고 있는 사업체에 대해 잉여 열 에너지를 공급함으로써 수요업체의 생산설비, 급탕 등에 활용하여 에너지 이용률 향상을 높이는 열 거래 네트워크 구축이 필요하다.

본 논문에서는 이러한 산업단지 내 열 거래 네트워크를 구축하고 운영하기 위한 요구사항을 분석하고, 열 에너지 수요예측을 기반으로 한 에너지 운영시스템을 설계하였다.

산업단지 내 공급업체 및 수요업체의 열 거래를 위해서는 수요업체의 열 수요량에 대한 예측이 필요하며, 또한 공급업체는 전기 및 열이 동시에 생산되는 열병합발전기 가동을 통해 전력, 스팀 등을 소비하고 잉여 열 에너지를 수요업체에 공급하므로 공급업체의 전기 및 열에 대한 수요 예측이 필요하다. 이에 전기 및 열 등 시계열 기반의 데이터 수요 예측을 위한 빅데이터 플랫폼을 구축하고 데이터 수집, 처리, 적재, 분석, 시각화를 고려한 시스템 구조를 설계하였다.

또한 전기 및 열 수요 예측을 위해 수집되는 정보(공급업체 가스미터, 스팀 유량, 배기가스 온도, 발전기 전력량, 수요업체 소비 열량 등)는 대부분 데이터 종류, 형태 등이 정형화되어 있으므로 데이터베이스는 Column 기반의 NoSQL인 HBase를 적용하였다.

운영시스템의 열 거래 매커니즘은 공급업체의 전기 및 열 수요 패턴과 수요업체의 열 수요 패턴을 통해 어떤 시점에 공급업체의 열병합발전기를 운전해야 가장 비용 효율적인 열 에너지 거래가 이뤄질 것인지 판단하므로 SVR, ANN 등 예측모델을 통해 전력 및 열 수요 예측 분석엔진을 설계하였다.

전력 수요 예측은 산업단지 내 열 거래 공급업체의 전력 소비 패턴을 분석하여 열병합발전기 가동에 따른 기본요금 절감, 실시간 피크 관리 등을 통한 에너지 비용을 산출하여 운영시스템의 에너지 거래 매커니즘에 반영한다. 또한 열 수요 예측은 산업단지 내 열 거래 공급업체 및 수요업체의 열 소비 패턴을 분석하여 수요업체의 시간대별 열 소비량에 따른 공급업체의 열병합 발전기 가동 시점 결정, 수요업체별 열 에너지 공급량 및 시점 결정 등 운영시스템 거래 매커니즘에 반영한다.

본 논문에서 설계한 에너지 운영시스템은 열 거래 네트워크 구축 및 운영을 위한 필수적인 사항만을 담고 있다. 향후 실증사이트의 데이터 확보를 통해 산업단지 내 산업체 특성에 맞는 최적화된 운영시스템에 대한 연구를 진행할 예정이다.

[특별세션 I. IOT기반 에너지융합기술]

스마트미터링을 위한 LPWA기반 IoT 프레임워크 구조
LPWA based IoT Framework Architecture for Smart Metering System

이승우 · 권영민 · 송민환 · 이상신

전자부품연구원

기업과 가정에서 사용되는 에너지 소비 정보를 실시간으로 수집·관리하기 위한 스마트미터링 기술은 다양한 디바이스와 통신 기술 및 ICT 기술을 결합해 소비자 중심 에너지 관리 서비스를 제공을 가능하게 한다. 본 논문에서는 대규모 계량기로부터 검침 데이터로부터 효율적으로 에너지 사용 데이터를 수집하고, 사용자에게 스마트미터링 서비스를 제공이 가능한 IoT 기반의 스마트미터링 프레임워크를 제안한다. 제안되는 프레임워크는 스마트미터링 시스템 구축을 위하여 저전력 광대역 통신 네트워크 (LPWAN: Low-Power Wide-Area Network) 기술을 활용하여 LoRaWAN 프로토콜 기반 계량기로부터 원격 검침 데이터를 수집 구조 및 기기종의 다양한 디바이스로 부터의 연결성 보장 및 관리와 검침 데이터 저장 및 사용자로의 서비스 제공을 위한 oneM2M 국제 표준 기반의 사물인터넷 플랫폼, 그리고 개인정보 보호를 위한 보안 시스템을 포함한다.

[특별세션 I. IOT기반 에너지융합기술]

가스 AMI를 위한 스마트 미터링 서비스 아키텍처 연구
Study of Smart Metering Service Architecture for Gas AMI

권영민 · 이상신 · 송민환

전자부품연구원

도시가스 보급률은 2016년 기준 80.7%, 전국 1,718만 가구에 공급되는 국민 에너지로 성장하였으나 계량, 검침, 안전등의 분야는 여전히 서비스 초기방식을 크게 벗어나지 못하고 있다. 가스계량기는 '87년 도시가스보급 이래 유사한 형태로 보급·사용·관리 중으로, 전국 대부분의 세대가 통신기능이 없는 기계식 계량기를 사용 중이다. 1인 가구 및 맞벌이 가구의 증가로 검침 및 안전점검의 효율이 하락하고 있으며, 검침원 방문에 의한 사생활 침해, 검침원 사칭 범죄 등은 사회적 문제로 대두되고 있다. 또한 사용자의 부재시 자가 검침 및 인정고지 허용으로 인한 사용량에 대한 지속적인 민원이 발생하고 있는 실정이다. 도시가스는 산업적 측면에서 성숙단계에 진입하였으며 지역난방, 전기등 타 에너지원과의 경쟁 심화로 가정내 도시가스 소비는 지난 10년간 35.1% 감소하여 가스 산업 경쟁력 제고를 위한 가스 AMI 도입의 필요성이 제기되고 있다.

본 논문에서는 가스 AMI 관련 스마트가스미터, IoT 무선통신, 플랫폼 등의 국내외 기술 개발 동향을 살펴보고, 원격검침 등의 스마트 미터링 서비스를 위한 아키텍처 연구를 통하여 노후화된 가스 계량 및 검침의 선진화를 위한 시스템 요구사항을 도출하였다. 스마트가스미터는 가스 AMI를 구성하는 기본 요소로써 안전을 최우선으로 고려해야하는 도시가스의 특성상 가스안전 확보를 위하여 상전을 사용할 수 없어 검정유효기간 5년 동안 배터리 필수적이다. 또한 가스미터 시설물 설치 특성상 대부분 실내에 위치하고 있어 설치와 운영의 효율성을 확보하기 위해서는 무선통신이 필수적이다. 현재 가스 요금 과금을 위해서는 검침원에 의한 월 1회의 적산 유량을 검침하고 있으나, 가스 에너지 빅데이터의 활용을 위해서는 최소 1시간 단위 가스 유량 데이터가 요구되며 국내 서비스 중인 LoRa, NB-IoT 등 IoT 통신망을 경우 1시간 단위(일 24개) 데이터 세트를 일 1-4회에 걸쳐 전송이 가능할 것으로 예상 된다. 스마트가스미터는 저전력 장거리 IoT 통신을 활용하여 대규모로 운영되는 시스템으로 34개 지역 가스 사업자가 공통으로 활용 가능한 스마트미터링 표준 플랫폼개발이 요구된다. 개인정보 보호 및 원격 계량정보의 신뢰성 확보를 위한 스마트가스미터 전자봉인, IoT 통신보안, 가스미터와 플랫폼간의 종단 간 보안 기술의 확보 또한 주요한 과제이다.

노후화된 가스 계량검침시스템은 판매량차 발생, 사생활 침해, 소비자 신뢰성 저하 등 소비자 불만 등으로 이어져 가스 검침과 계량의 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 스마트가스미터 보급이 반드시 필요하다. IoT 융합기술 기반의 스마트 미터링 서비스 아키텍처를 연구 하였고 가스미터 계량, 검침, 관리등의 지능화를 통하여 계량 및 검침의 신뢰성 확보가 가능하다.

[특별세션 I. IOT기반 에너지융합기술]

독립형 마이크로그리드 운용을 위한 ESS의 CVCF 제어 전략에 관한 연구
A Study on CVCF of ESS based control strategy for Management of
stand-alone microgrid

강준호 · 최정식 · 차대석 · 오승열 · 박병철
전자부품연구원 에너지변환연구센터

상용전력의 공급이 어려운 도서지역에 디젤 발전기, 마이크로가스터빈과 같은 내연 발전기 관, 풍력, 태양광 발전과 같은 신재생 에너지, 에너지저장 및 신재생 에너지 출력 보상을 위한 BESS(Battery Energy Storage System) 등의 분산전원으로 구성된 독립형 마이크로그리드에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 주 전원을 디젤 발전기로 이용해 전력을 공급하는 도서지역의 발전단가는 588원/kWh로 육지계통의 6배에 달하며, 화석연료의 보관 및 이산화탄소 배출과 같은 문제점뿐만 아니라 디젤발전기의 속응성 문제로 급격한 부하변동 시 전력계통에 안정성 확보가 어려운 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 BESS를 주전원으로 운용하며 SOC(State of Charge)의 기준에 따라 시스템을 운용할 수 있고, 부하에 따른 배터리 및 신재생에너지원에 대한 안정적 운용을 위한 연구를 진행하고 있다.

이에 본 논문에서는 신재생 전원의 비중이 높은 독립형 마이크로그리드에서 배터리 저장장치가 주전원으로 동작하면서 CVCF(Constant Voltage Constant Frequency) 운전을 실행하고 예비 전원으로 디젤 발전기가 있는 경우에 대한 최적 운영 알고리즘을 제안한다. CVCF ESS의 경우 잉여전력과 부족전력에 대한 충·방전 제어는 PMS 단에서 특별한 제어 없이 자동으로 운전된다. 그러나 마이크로그리드 시스템 전체 계통의 안정성 확보를 위해 ESS의 SOC에 따른 수요공급 제어 알고리즘이 요구된다. 특히 SOC가 만충 상태에서 발전량이 부하량 보다 높을 경우 발전량에 대한 출력제한을 해야 하며 이에 대한 출력제한 양에 대한 정보를 PMS에서 제어해야 한다. 또한 SOC가 낮은 상태에서 신재생에너지 등의 발전량이 부하량 보다 부족할 경우 전력 경보 알람과 동시에 디젤발전기를 자동 운전할 수 있는 제어 알고리즘이 필요하다. 이에 대한 알고리즘을 검증하기 위해 실제 타겟 도서지역의 1/10 규모에 해당하는 마이크로그리드 테스트베드를 구축하여 제시한 알고리즘 및 시나리오에 대한 실험을 수행하였다. 제시한 시나리오는 주 전원을 유지하는 배터리의 SOC 상황에 따라 달라진다. SOC가 정상범위 내에 있을 경우 신재생에너지원의 발전량 및 부하량을 순시 적으로 계산하여 ESS 인버터에서 자동으로 충·방전을 수행한다. 또한 SOC가 높고 잉여전력 대비 부하량이 낮을 경우 과충전보호를 위한 신재생에너지원의 출력 제한을 수행하며 이 제한 값은 부하량과 같도록 PMS에서 제어하여 최대한 발전량을 이용할 수 있도록 하였다. 또한 연속 부조일 수나 부하량이 발전량보다 클 경우에는 디젤발전기를 구동하여 전력의 안정성 확보를 위한 제어 시퀀스를 추가하여 실험하였다. 이를 통한 테스트 베드 내의 실험은 ESS 충·방전, 신재생에너지 출력제한 및 전력예비율 경보 시험을 진행하였으며 이를 통해 발전기의 연료비를 감축할 수 있고 시스템의 안정적인 운용을 확인할 수 있었으며 이로서 본 논문의 타당성을 입증하였다.

[특별세션 I. IOT기반 에너지융합기술]

핫스왑 운용을 위한 모듈라형 DC/DC 컨버터 구성 및 제어전략에 관한 연구

A Study on the configuration and control strategy of modular DC/DC converter for hot-swap operation

차대석 · 강준호 · 최정식 · 오승열 · 박병철

전자부품연구원 에너지변환연구센터

전력소모량의 증가와 고품질의 전력요구에 따라 분산형 전력시스템의 응용이 늘고 있다. 기존의 집중형 전력시스템은 전력변환 효율과 전력밀도가 낮고, 컨버터와 부하간의 거리 증가 시 선로에서 발생하는 소실로 인해 전압 제어 성능이 떨어지게 된다. 이러한 문제로 분산형 전력 시스템이 적용되고 있으며, 고품질의 전력생산을 위해 다중 모듈라 컨버터의 응용이 늘고 있다. 수 kW 이상의 대 전력용 다중 모듈라 컨버터는 단일 모듈라 컨버터에 비해 전기적, 열전 피로가 적어 시스템의 신뢰성이 향상되고, 스위칭 소자의 열원 분산으로 방열판의 부피 및 크기를 줄일 수 있다. 또한, 다중 모듈라 컨버터의 스위칭 주파수는 인터리브드 제어를 통해 단일 모듈라 컨버터에 비해 증가시킬 수 있어 필터의 크기 및 입력전류 리플을 줄일 수 있다. 입력전류 리플 감소와 시스템 안정성이 높아 배터리를 사용하는 에너지 저장 장치 시스템(ESS) 및 전기자동차 충·방전 컨버터에 많이 적용된다.

최근 모듈라 형 ESS 제어 기술은 다양한 소비자의 니즈(NEEDS)에 만족하고, 유지보수 및 교체 비용 절감 기술에 대한 관심이 고조되고 있다. ESS의 정상 동작이 지속적으로 유지되면서 구성 요소들의 교체와 수리가 가능하기 위해 시스템 동작의 연속성을 확보할 수 있는 핫스왑(Hot Swap) 구조와 운용 기술 확보가 필요하다.

이를 위해 본 논문에서는 핫스왑이 가능한 ESS용 모듈라 DC/DC 컨버터를 제안한다. 제안한 모듈라형 DC/DC 컨버터는 4 leg 인터리브드 토폴로지 형태로 Leg별 위상 제어를 통해 입력 전류의 리플을 감소시킬 수 있으며, Leg 고장 시 위상 변화를 통해 컨버터 내 Hot-swap 운용이 가능하다. 또한, 배터리 수명에 의한 교체 및 컨버터 수리가 필요할 시 Cascade 형태의 Module Bypass를 통해 우회할 수 있어 지속적으로 ESS 운용을 할 수 있다. 제시한 모듈라형 컨버터 토폴로지는 출력이 직렬로 구성되어 인버터의 DC link 고전압 구성이 용이하며 배터리의 SOC 조건에 따라 전력의 균등제어와 차등제어를 위하여 출력전압 제어가 수행된다. 본 논문에서 제시한 모듈라형 DC/DC 컨버터의 Hot-swap 운용 및 배터리 SOC에 따른 충방전 제어 알고리즘 성능 분석을 위하여 배터리 및 양방향 DC 전원 공급장치를 이용하여 실험을 수행하였고, 각 단일 컨버터의 정상동작 및 컨버터 내 Hot-swap 동작과 Module Bypass를 통한 모듈라 컨버터의 정상동작과 및 Hot-swap 동작에 대한 성능 및 제시한 알고리즘에 대한 타당성을 입증하였다.

[특별세션 I. IOT기반 에너지융합기술]

단주기 부하 추종을 위한 중소형 건물의 부하분석
Load Analysis of Small and Medium-sized Buildings
for Short-term Period Load Follow-up

이민구 · 박용국 · 이태훈

전자부품연구원

기존 중소형 건물 내의 분산전원 및 부하 연계형 그리드 운영 방법은 태양광, 풍력 등과 같은 신재생 발전원의 발전 예측량, 에너지 저장장치의 충·방전 상태 값 및 부하 예측량을 바탕으로 수 시간 혹은 하루 단위 이상의 장주기 예측 스케줄링을 통한 운영이 주를 이루었다. 이러한 분산 자원 운영 방식의 경우 신재생 발전원의 발전 예측량과 부하 예측량에 대한 정확한 추정을 바탕으로 하되 추정오차를 대비하여 지나친 공급 예비력을 고려하여 운영 스케줄을 생성함으로써 자원의 낭비와 함께 운영비용의 증가가 초래될 가능성이 매우 높은 상황이다.

따라서 중소형 건물 내의 자원낭비와 운영비용의 증가를 막기 위한 실시간 부하 변동에 따른 예측 오차를 최소화하기 위해 해당 규모의 건물에 대한 부하 분석을 토대로 기계학습 등을 통한 부하 예측 성능을 향상 시키는 것이 필요하다.

본 연구에서는 중소형 건물의 계시별 부하 패턴에 대한 분석을 통해 부하 변동성을 기반으로 한 단주기 부하 추종의 적용 시나리오 및 적용 가능성을 분석하였다. 1년간 수집된 데이터를 기반으로 건물의 층별 에너지 소모에 대한 분석 및 HVAC, 조명 등과 같은 건물 에너지 소모의 대부분을 차지하는 요소 별 분석을 통해 해당 부하가 요일 별, 계절 별, 시간 별 어떠한 특성을 나타내는지 분석했으며 이를 바탕으로 추후 부하 예측을 통한 단주기 부하 추종의 적용 시나리오 도출 및 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

이를 위해 서울에 소재하고 있는 업무용 중소형 건물을 대상으로 실제 부하분석을 수행하였으며, 세부 적용으로는 시간별, 일간별, 요일별, 계절별 부하의 소비 분석과, 지하1층에서 9층에 대한 건물 층별 소비패턴 부하분석, 건물 내에서 사용되고 있는 기기 특성별(전열, 전등, 운수기, 히트펌프, AC 등) 소비 패턴에 대한 부하분석 작업을 수행하여 중소형 건물의 에너지 소비가 건물 내 거주자의 업무 및 생활 패턴과 상관관계가 매우 높게 나타나는 특성을 확인할 수 있었으며, 이를 통해 중소형 건물의 단주기 부하 추종 적용 시나리오 도출 및 적용이 가능함을 확인할 수 있었다.

에너지 소비에 관한 세밀한 예측은 앞으로의 중소형 건물의 에너지 계획 수립에 큰 역할을 할 것이라 생각된다. 수집된 부하 정보를 바탕으로 앞으로의 신재생 발전원 및 에너지 저장 장치의 운영 계획 효율성을 제고할 수 있으리라 본다. 추후 분석된 부하 정보를 바탕으로 한 중소형 건물의 단주기 부하 추종 스케줄러에 관한 연구를 진행하고자 한다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20171210200810)

[특별세션 I. IOT기반 에너지융합기술]

고효율 블로워용 LSPM 전동기 설계
Design of the LSPM Motor for High Efficiency Blower

유세현 · 살만칼리크 · 이기덕 · 김래은
전자부품연구원 지능메카트로닉스연구센터

Three phase Induction Motors (IMs) suffer from lower operational efficiency due to excitation penalty and higher rotor losses. To alleviate this problem, Line Start Permanent Magnet (LSPM) motors are replacing IMs due to its higher efficiency, the absence of rotor losses along with line start capability [1]. LSPM motors can start directly from the grid due to the electromagnetic induction in the rotor cage bars, which produces cage torque during the asynchronous starting operation. Once the motor achieves rated speed, cage torque vanishes, and it behaves like permanent magnet synchronous motor (PMSM). Therefore, LSPM combines the advantages of IM, (line starting ability and robustness) and that of a PMSM, (higher efficiency and almost unity power factor). Therefore, LSPM is widely used in applications like compressors for air conditioning and refrigerators.

In this paper, the performance of two models of LSPM is compared in terms of power factor, efficiency, and demagnetizing resistance against the magnetomotive force (MMF) of high starting current. The 2-pole LSPM models are developed by inserting PMs by amending an off the shelf three phase IM, HHT-05, considering minimum manufacturing cost. Both LSPM models use the same stator dimensions and electrical design. Fig. 1 (a-b) shows the rotor assembly of LSPM models. Only rectangular shaped PMs are utilized in both models to mitigate the manufacturing cost associated with the unconventional PM shapes. Model 2 uses flux barriers to reduce leakage flux, while model 1 does not have any flux barriers to maintain the robustness of the structure. Rotor cage bars were skewed by one slot pitch to reduce the torque ripple. Initially, both models were analyzed with Finite Element Analysis (FEA) to assess the output performance.

In this paper, we compares the steady state back EMF of LSPM models. Both models exhibit a sinusoidal back EMF, while, model 2 shows higher back EMF, i.e., 191 V compared to Model 1, i.e., 170 V due to the sinusoidal spread of PM around the shaft and lower leakage flux due to the presence of flux barriers. Also, we shows the output torque of both models under rated load condition. It shows that both models have the similar ability to synchronize after about 0.3 S of starting.

During the starting of LSPM, stator magnetomotive force (MMF), which rotates at a different speed than the rotor, can come directly opposite PM's MMF and can cause irreversible demagnetization. Therefore, irreversible demagnetization consideration is essential during LSPM rotor design. Initially, all the analysis was performed at a PM operating temperature of 60 °C, at which both models showed no demagnetization. Moreover, at a higher PM operating temperature, the risk of PM demagnetization is

more as knee point value, where irreversible demagnetization occurs, decreases with the temperature increase. Therefore, to analyze the resistance against demagnetizing stator MMF in both models, further analysis at higher PM operating temperature was performed. In this paper, we shows the demagnetization ratio, which is the amount of demagnetization from standard magnetization, of both models at 120 °C. It shows that the model 1 is more resistant to demagnetizing fields compared to model 2, due to the increased magnetizing length in the former. A significant portion of middle PM piece in model 1 is demagnetized about 30 %, while only a small area at PM corners is demagnetized in model 1. Furthermore, insertion angle of PM also affects the demagnetization phenomenon. However, as the rotor dimension and cage design were kept same, there was less freedom regarding insertion angle while maintaining manufacturing constraints and achieving higher performance at the same time. Although model 1 utilizes higher magnet volume and shows slightly lower performance than model 2, its ability to withstand the demagnetizing field of starting current at higher temperature, makes it more suitable for industrial application, i.e., compressor, in which temperature on the air gap side of stator winding can rise up to 100 °C. If the temperature rise can be limited with efficient cooling, LSPM model 2 is shows an overall better performance.

Acknowledgments

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20162010104100).

References

- [1] D. Mingardi and N. Bianchi, "Line-Start PM-Assisted Synchronous Motor Design, Optimization, and Tests," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 12, pp. 9739–9747, Dec. 2017.doi: 10.1109/TIE.2017.2711557

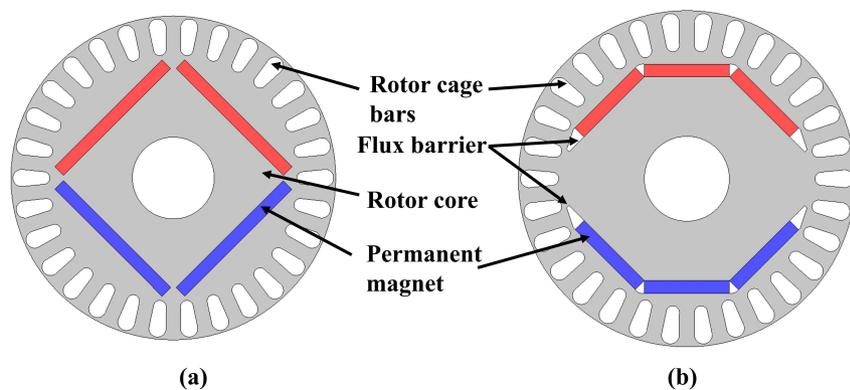


Fig. 1. (a–b) LSPM rotor: (a) Model 1, (b) Model 2

[특별세션 I. IOT기반 에너지융합기술]

양방향 동일특성 팬의 입구각 변화에 따른
효율 특성에 관한 수치해석 및 실험연구

Experimental and Numerical Study on the Efficiency Characteristics
affected by Blade Angle ($\beta-1$) Variations of an Axial Type
Bi-Directional Flow Fan

양성진* · 박세진 · 이명성 · 김주한

전자부품연구원 지능메카트로닉스연구센터

최근 산업용 팬 모듈 수요는 에너지 소비절감, 쾌적한 환경, 저가격화 등에 대한 요청이 증가함으로 인해 에너지 절감형 팬 모듈에 대한 요구가 매우 높아지고 있다. 특히 냉각 목적으로 사용되고 있는 냉각팬의 사용이 크게 증대되고 있는 실정이다.

국내 수요가 급증하고 있는 산업용 환기 냉각팬의 경우 실내 온도를 조절하기 위해 외부의 공기를 실내로 가져오는 경우(흡기)와 공기를 외부로 방출하는 경우(배기)가 있는데, 이러한 경우 각각의 팬을 설치하여 상황에 맞게 사용하고 있는 실정이다. 이는 팬을 2개 사용해야 되므로 팬 비용, 설치 공간, 에너지 소모량 측면에서 애로사항이 있다.

양방향 팬은 정방향 및 역방향으로 팬의 회전 방향을 바꾸어 요구되는 상황에 따라 유동 방향을 가역적으로 조정할 수 있는 축류 팬의 일종이며, 생활공간 및 생산 설비의 환기 및 증소형 기기의 냉각에 널리 사용될 수 있다. 단방향 팬 2 개를 사용하는 것과 비교하면 설치 공간을 최소화하여 공간 절약과 비용 절감의 이점을 갖기 때문에 최근 사용이 많아지고 있는 추세이다.

본 연구에서는 양방향 팬의 공기 역학적 성능 특성을 수치 해석과 실험적 방법으로 분석하였다. 2W 양방향 팬 블레이드 대상으로 전산수치기법을 이용한 유동해석을 수행하여 블레이드 주변의 유동특성 및 공력성능을 예측하고 분석하였으며, 특히, 팬 블레이드의 입구각 변화가 정역 방향의 성능 편차에 미치는 영향을 상세히 고찰하였다. 변수 조정된 각 블레이드 설계안에 대하여 실제 제작을 수행하여 풍동실험기법으로 공력성능을 측정하였고 해석결과와 비교함으로써 정압-풍량의 성능곡선을 산출하였으며 최대효율과 양방향 풍량 오차 등 공력성능 최적화를 수행하였다.

실험과 수치해석 연구를 통해 출구각 -3° 모델의 경우 정역방향 공력성능 편차가 가장 크게 나타났으며, 출구각 $+3^\circ$ 모델의 경우 성능편차가 가장 적게 나타나는 것을 확인하였다. 결론적으로 출구각 $+3^\circ$ 모델의 경우 정방향 풍동 실험 시 최대유량 (2.05 CMM) / 최대정압 (110 Pa) 및 역방향 실험 시 최대유량 (2.03 CMM) / 최대정압 (106 Pa)의 성능을 제시하였으며 최대효율지점에서 2.3%내의 정역방향 풍량 오차를 확인하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 산업기술혁신사업의 일환으로 수행한 연구 과제이다. (No. 20162020107040)

[특별세션Ⅱ. 에너지기술 R&D 전략방향 및 R&D 관리 개선]

한국에너지기술연구원의 중장기 발전전략 2035 Mid- and Long-term R&D Strategy toward 2035 of KIER

박년배 · 최상진 · 홍종철 · 홍성준 · 김경택 · 이성곤*

한국에너지기술연구원 미래전략본부

에너지·환경 변화와 미래 불확실성에 대응하고, 에너지기술 분야 전문 연구기관으로 미래사회와 시장 요구를 선도하는 R&D 전략을 수립하기 위하여, 한국에너지기술연구원(KIER)은 2035년까지 미래 사회와 글로벌 시장 수요에 부합하는 중장기 R&D 전략과 자원투입계획을 포함한 중장기 발전전략을 수립하고 있다.

중장기 발전전략의 수립 절차는 4단계로 구분된다. 1단계는 문헌 검토와 전문가 의견 수렴을 통해 2035년 미래 트렌드를 사회(S), 과학(T), 경제(E), 환경(E), 정책(P)의 5가지 관점에서 분석한다. 2단계는 1단계에서 도출된 5대 메가트렌드에서 에너지기술의 역할을 분석한다. 3단계는 미래 사회상 실현을 위한 한국에너지기술연구원의 중점 R&D 영역과 기술개발 방향, 2035년 중점 타겟을 제시한다. 마지막으로 4단계에서는 인력, 예산 등 중점 R&D 영역에 대한 자원투입전략을 수립한다.

문헌 검토와 전문가 의견을 토대로 브레인 스토밍, 키워드 스크리닝, 워드클라우드 분석을 한 결과, 2035년 메가트렌드로 사회 분야에서는 도시화, 기술 분야에서는 초연결, 경제 분야에서는 공유경제, 환경 분야에서는 탈탄소, 정책 분야에서는 국제공동체가 도출되었다. 또한 5대 메가트렌드로 특징되는 2035년 사회를 그림으로 형상화하였다.

5대 메가트렌드에서 에너지 기술이 어떤 역할을 담당해야 하는지를 분석하였다. 일례로 도시화 트렌드에서 에너지 기술은 고층 건물과 산업 등 도시의 에너지 수요를 자체적으로 충족하는 에너지 공급체계, 즉 스마트시티 구축 등이 요구된다.

3, 4월에는 중장기 발전전략 수립의 3단계인 KIER의 중점 R&D 영역과 기술개발 방향에 대해 KIER 연구본부와 외부전문가로부터 의견 수렴을 진행하여 KIER의 중장기 R&D 전략 방향을 도출하고, 5월에는 자원투입전략을 수립할 예정이다.

중장기 발전전략은 한국에너지기술연구원의 역할과 책임에 맞게 향후 중점 R&D 영역과 기술개발 방향을 담은 청사진으로 활용될 예정이며, 현재 정부에서 추진하고 있는 4차 에너지기술개발계획에도 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

사사 : 본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업(B8-2462)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

[특별세션Ⅱ. 에너지기술 R&D 전략방향 및 R&D 관리 개선]

국가 기후변화대응 방향 및 기술개발 전략

Direction and technology development strategy of national climate change

박민희 · 배치혜 · 박미라 · 김혜진

한국에너지기술연구원 기후기술전략센터

기후변화대응은 전지구적 대응이 필요한 이슈로써 2015년 파리기후협정(Paris Agreement) 체결 이후 선진국과 개도국 모두 기후변화대응에 동참하고 자발적인 감축 노력을 시행하는 新기후체제가 출범하게 되었다. 미국, EU, 중국, 일본 등 주요국들은 재생에너지를 확대하고 환경규제를 강화하는 등 기후변화대응을 지속적으로 강화할 예정이며, 이를 위한 정책, 투자, 제도개선 등을 추진하고 있다. 우리나라도 적극적인 온실가스 감축 목표('30년 BAU 대비 37% 감축)를 제시하고, 신재생에너지 확대, 친환경 전원기반 마련 등 관련 정책 추진에 대해 적극적인 의지를 표명하고 있다.

또한 우리나라를 포함한 20여개 주요국들은 Mission Innovation을 출범하여 기술혁신을 통해 기후변화대응의 돌파구를 찾을 수 있도록 국가 주도의 R&D 투자를 확대하고 민간 투자를 유도할 예정이다. 우리나라는 이에 대한 이행을 위해 신재생에너지, 에너지 효율향상, 수요관리, 이산화탄소 포집 및 활용 등의 분야에 대한 공공투자를 '16년 기준 5,600억 원에서 '21년까지 2배 확대해 나갈 계획이다.

본 발표에서는 국가 기후변화대응 방향을 감축(Mitigation)과 적응(Adaptation) 측면에서 설명하고, 온실가스 감축과 더불어 신산업(신시장) 창출을 목표로 추진하고 있는 국가 기후변화대응 기술개발 전략을 소개하고자 한다.

[특별세션Ⅱ. 에너지기술 R&D 전략방향 및 R&D 관리 개선]

국제협력 성과 제고를 위한 전략적 국제공동연구 발굴 프로세스 구축
Development of Co-beneficial Global Research Process
for International Cooperation Performance

백운호 · 정지후 · 최상진

한국에너지기술연구원 글로벌전략실

최근 과학기술분야의 중요한 화두 중의 하나는 4차 산업혁명이며, 인공지능, 사물인터넷, 빅데이터로 대표되는 첨단 정보통신기술이 사회경제 전반에 융합되어 혁신적인 변화를 일으키는 것으로 설명된다. 이러한 4차 산업혁명의 주요 키워드는 연결, 공유, 융합이며, 과학기술분야의 국제협력을 4차 산업혁명의 키워드인 연결, 공유, 융합의 관점으로 본다면, 최근까지 국내 과학기술분야의 국제협력은 해외 선진기관과의 네트워크 구축이 목표가 되는 단순 연결이 주류를 이루었다고 판단된다.

반면 미국과 유럽 등의 일부 선진국가들은 연결 단계를 넘어 지리적, 학문적 세계를 통합하는 공유와 융합 중심의 국제협력 즉, 전략적 국제공동연구를 추진하고 있다. 한국은 지난 2010년 국제협력 선진화 방안을 수립하여, 과학기술 연구개발 국제협력을 국가 R&D 중점 전략으로 채택하고, 이를 통해 글로벌 기술경쟁력을 확보하고 선진연구기관과의 협력 기반 확대를 위해 다양한 노력을 하고 있다. 그러나 국제협력을 위한 기초 정보 부족과 미흡한 전략으로 인해 투자한 예산에 비해 성과가 부족하다는 지적을 받고 있다.

따라서 본 연구에서는 국제협력 실효성 제고를 위한 전략적 국제공동연구 발굴 프로세스 구축 과정을 제시하고자 한다. 먼저 국제공동연구의 현황 진단 및 문제점 분석을 위해 최근까지의 국제공동연구 내역을 조사하여, 주요국별 기관별 예산투자 대비 연구성과를 파악하였다. 다음으로 국제공동연구 해당기관들과의 연구개발 기술수준 격차 및 국제공동연구 수요 등을 분석한 국제협력 기술수요맵을 작성하였다. 해외유관기관들의 기술수준 분석을 위해 국내 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하여 연구분야별 선진기관 리스트, 기술수준 격차 등을 정성적으로 분석하였고, 특허조사를 수행하여 각 기관 기술들의 권리성, 경제성, 기술성 등을 정량적으로 비교하였다.

종합적 기술수준 평가를 바탕으로 대표기술에 대한 공동연구 대상 기관을 선정하고, 국제 네트워크를 활용해 기술수요를 발굴한 뒤 이를 반영하여 공동연구과제들을 도출하였다. 다음으로 기술수요맵을 통해 도출된 공동연구과제들의 시급성, 파급효과 등의 기준을 바탕으로 공동연구 포트폴리오와 중장기적 공동연구 로드맵을 수립하였다. 향후 지속적으로 기술수준 분석을 수행하여 기술수요맵의 객관성과 신뢰도를 제고할 필요가 있으며, 성과창출 연계를 위한 체계적인 지원 등을 통해 국제공동연구 발굴 프로세스를 보완한다면, 더욱 실효성 있는 국제공동연구를 수행할 수 있을 것이라 기대한다.

[특별세션Ⅱ. 에너지기술 R&D 전략방향 및 R&D 관리 개선]

연구생산성 제고를 위한 KIER R&D 운영체계 개선

Improvement of KIER R&D management system to increase research productivity

홍종철 · 홍성준 · 이유아 · 김경택 · 이석락 · 이상열 · 권오경 · 박년배 · 최상진 · 곽병성
한국에너지기술연구원 미래전략본부/정책연구실 · 기획조정본부/사업관리실

정부출연연구원은 기관 고유의 임무영역에서 성과창출을 위해 정부 출연연구비를 활용하여 기관 자체적으로 연구 사업을 운영하고 있다. 기관 자체 운영사업은 주요사업으로 구분되고 있으며, 2010년대 초반부터 안정적인 인건비 지원 확대 정책과 더불어 규모가 확대되어 왔다.

한국에너지기술연구원은 주요사업 비중확대와 더불어 그 동안 과제 발굴, 기획 및 과제선정, 수행 및 사후관리 등을 포함하는 R&D 운영체계를 구축해 왔으나, 선진 기관 및 기업의 체계와 비교하여 연구생산성 향상을 위한 R&D 체계의 효율성 측면에서 부족함이 있는 것으로 인식하였다. 특히 과제 기획 및 연구개발 수행 단계에서 과제 결과의 활용 가능성(End-in-mind)을 더욱 중요하게 고려하고, 단순히 설정된 목표치의 달성만을 추구하기 보다는 해당 기술분야의 실질적인 기술적 진보를 가져올 수 있는 진실 추구형 과제 수행을 통해 성공 가능성을 높이고 매몰비용을 최소화할 필요성이 제기되었다. 아울러 과제의 선정과 수행평가 과정에서의 전문성과 객관성에 대한 문제 역시 중요하게 보완해야 할 문제로 인식되었다.

한국에너지기술연구원에서는 2017년부터 기존 주요사업 운영체계를 보다 효율적이고 정교하게 개선하여 연구생산성을 향상시키는데 많은 노력을 기울였다. 먼저 주요사업 운영절차를 Stage-Gate-System에 기반한 운영체제로 전면 개편하였다. 아이디어 발굴에서부터 사업화에 이르기까지의 연구 활동을 연구단계별로 명확히 구분하고, 각 Stage와 Gate 단계에서 필요한 의사결정의 방법과 주체, 판단 기준을 설정하여 시스템적으로 효율적인 성과관리가 이루어지게 함으로써 결과가 연구생산성 향상으로 이어질 수 있도록 하였다. 또한 SAB(Scientific Advisory Board, 최고의 전문성을 갖춘 원로급 내외부 전문가로 구성) 제도 도입을 통해 과제 선정과 수행평가 과정의 전문성과 객관성을 확보하였다. 기술성과 성과의 활용성을 기준으로 한 포트폴리오 분석을 통해 과제별 현재 수준을 진단하고 앞으로 보다 높은 가치를 창출하기 위한 발전전략 컨설팅과 함께 추진전략이나 연구 성과 측면에서 전망이 불확실한 과제에 대해서는 보다 심층적인 검토과정(CER ; Cold Eye Review)을 통해 보다 유망한 연구주제에 기회를 부여할 수 있는 제도적 기반을 마련하였다. 아울러 현장 수요에 기반한 연구주제 도출의 중요성을 인식하여, 기업의 마케팅 및 기술기획 전문가로 Technology Sensing Group을 구성하여 운영하고 있다. 향후에는 과제 및 핵심기술별 TRL 관리체계 구축을 통해 과제 선정 및 연구원의 R&D 전략 포트폴리오의 탄탄한 토대를 구축할 것이며, 개발 기술의 경제성을 사전적으로 평가하여 보다 큰 연구 성과 창출을 추구할 수 있는 기술경제성 분석 역시 강화해 나갈 계획이다. 한국에너지기술연구원은 주요사업 운영체계의 정교한 개선을 통해 연구생산성을 향상시키고, 이를 바탕으로 도전적으로 설정한 2019년 기술이전 목표 100억을 달성할 계획이다.

사사 : 본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업(B8-2462)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

[특별세션Ⅱ. 에너지기술 R&D 전략방향 및 R&D 관리 개선]

**Strategies for fostering new energy technologies and industries
for the next 5 years in Daejeon metropolitan city**

Seongkon LEE · Deokki LEE · Nyunbae PARK · Jiseok AHN · Yeongjin HA*

Energy policy research team, Daejeon, Republic of Korea

*Corresponding author: yjha@kier.re.kr

Korea's regional energy plan is required by law to be implemented every five years. The fourth regional energy plan in Daejeon metropolitan city was terminated as of 2017. It is time for Daejeon to strategically cope with changes in energy environment over the next five years from 2018, and to implement its strategic regional energy plan to boost the local energy industry and create jobs. Regional energy plan is built by taking into account diverse factors, such as population trends, energy supply and demand status, regional economic activities and industrial structure. This research implements six measures to achieve Daejeon's energy vision through regional energy plan. This paper focuses on strategies for fostering new energy technologies and new industries in Daejeon's regional energy plan.

Key word: Regional energy plan, Fostering new energy technologies, Promoting new industries

Acknowledgements: This project was carried out as part of Daejeon's regional energy plan. We thank the experts in KIER and Daejeon metropolitan city official in Energy industry division.

[특별세션Ⅲ. 에너지 신산업 한계극복을 위한 신소재 기술]

극한환경용 섬유강화 복합소재기술의 KIER기술현황 및 미래
Technology Status and Future of Fiber Reinforced Composite Materials
for Extreme Environment in KIER

한인섭

한국에너지기술연구원 에너지소재연구실

섬유강화 복합소재기술은 항공우주나 군수, 원자력 분야와 같은 극한환경용 핵심소재로 활용됨에 따라 공공성이 매우 큰 미래국가전략 기술이다. 그 중 세라믹 섬유강화복합소재 (ceramic matrix composites)는 고온환경에서 사용되는 고비중 수퍼합금 소재의 경량화 대체재로 우주 발사체나 추진체뿐 아니라 항공기 가스터빈 엔진 및 연소기 노즐 등 에너지시스템 분야에 활용되는 극한환경용 첨단소재이다. KIER는 기존 초내열합금이 한계를 보이는 초고온·초고압 분위기에서 내구성(인성·강도·내열성)을 담보할 수 있는 복합소재 공정 개발과 소재 신뢰성 확보를 위한 연구에 집중하고 있으며, 대형 구조체의 성형이 용이한 LMI(Liquid Metal Infiltration) 공정으로 특화된 극한환경용 섬유강화 세라믹 복합소재 (CMC, Ceramic Matrix Composites)를 세계최고 수준으로 개발하고 있다. CMC소재는 섬유/기지상의 계면제어 기술, 3차원 대면적/복잡 부품 형상화 기술, LMI 기반 기지상 고밀도화 기술이 핵심기술이며, 이를 위한 저가/단순 전구체 기반 PyC-BN 멀티코팅 기술, 섬유 적층/배향에 따른 3차원 형상화 기술, 입자상 필러(filler) 강화에 의한 성형체 고밀화 기술, Si-alloy 용융침투 공정 기반 LMI 기술에 대한 차별화된 원천기술을 확보하였다. 최근에는 가스터빈 및 엔진 부품 등 에너지·환경 및 항공우주, 국방 산업 적용을 목표로 고강도, 초내삭마 물성 (인장강도 > 150MPa, 삭마량 < 0.01mm/sec)을 보유한 Cf/SiC 복합소재 개발을 수행하고 있다.

[특별세션Ⅲ. 에너지 신산업 한계극복을 위한 신소재 기술]

Mg(OH)₂ 및 Al₂O₃를 이용한 허니컴 성형 및 열화학 열저장
Honeycomb extrusion and thermochemical heat storage using Mg(OH)₂ and Al₂O₃

김홍수¹ · 김태우¹ · 서두원¹ · 김시경¹ · 김근희¹ · 김혁주² · 임태수² · 이재용²

¹한국에너지기술연구원 에너지소재연구실

²한국에너지기술연구원 에너지네트워크연구실

열에너지는 전기에너지와는 달리 손실 없이 오랫동안 에너지를 저장하기 어렵다. 열화학 열저장 기술을 이용하면 장기간 열저장이 가능하게 되고, 고온 사용시 필수적으로 발생하는 손실 열을 이용하여 열을 저장할 수 있다. 열화학 열저장 방식으로 저장된 열은 가까운 곳으로 수송하여 필요한 시점에 사용할 수 있다.

열화학 열저장 소재는 다양한 종류가 있으나 MgO, MgSO₄, CaO, 제올라이트 등 물과 화학 반응 혹은 흡착 반응을 일으킬 때 발열 반응을 일으키고, 열을 가하면 가역적으로 물과 분리되는 소재가 많이 사용되고 있다.

열화학 열저장 소재의 화학반응 속도를 증가시키기 위해서는 열화학 열저장 소재의 반응물 사이의 접촉면적을 넓혀주어야 한다. 예를 들면 MgO는 물과 반응하여 Mg(OH)₂를 형성하면서 발열하는데, 일반적으로 수분과 반응하면 agglomeration 현상이 발생하여 연속적으로 축방열을 실시할 때 접촉면적이 줄어드는 현상이 발생한다.

본 연구에서는 일반적으로 사용하는 펠렛 성형 대신 허니컴 압출을 사용하였으며, 압출용 소재로서 MgO 대신 Mg(OH)₂를 사용하여 압출과정에서 MgO에 물을 혼합할 때 Mg(OH)₂가 형성되면서 가소성을 잃는 문제점을 해결하였다.

한편 Mg(OH)₂를 압출할 때 사용한 유기바인더는 축열 특성이 없으며 축방열 온도 범위에서 열분해되기 때문에 축방열시험 이전에 바인더를 제거하였는데, MgO의 소결온도보다 낮은 500°C에서 바인더를 제거했기 때문에 강도가 크게 낮아진다. 본 연구에서는 압축강도를 증가시키기 위해 Al₂O₃를 5, 10, 15, 20 mol% 첨가하였다.

본 연구에서는 직경 40 mm, 길이 30 cm, 셀 크기 40 cells/in² 원형 허니컴을 제작하였으며, Mg(OH)₂:Al₂O₃ 비가 9:1인 7개의 허니컴을 장착한 축방열시험을 실시하였으며, 550°C의 건조 공기를 통과시킨 결과 30 cm 크기의 허니컴 하다 당 130W의 열이 저장되었고, 100°C의 포화증기를 통과시킨 결과 100W의 열이 방열되었다.

[특별세션Ⅲ. 에너지 신산업 한계극복을 위한 신소재 기술]

미세구조 제어를 통한 전고체 전지용 산화물 고체전해질의
리튬 전도 특성 향상 연구

Enhanced Li ion conduction in oxide-based solid electrolytes for
all-solid-state Li batteries *via* microstructural engineering

정규남 · 양정훈 · 신현섭 · 류명현 · 유원규

한국에너지기술연구원 분리변환소재연구실

상용화된 리튬 이온 전지(Li-ion battery)에 사용되는 유기계 전해질(aprotic liquid electrolyte)의 경우 발화 및 화재의 위험성이 높아 전지 안전성 향상을 위해, 최근 유기계 액체 전해질을 무기계 기반(inorganic-based)의 고체전해질(solid electrolyte)로 대체한 전고체 이차전지(all-solid-state battery) 기술 개발이 활발히 진행 중이다.

무기계 기반 고체전해질 중 황화물(sulfides) 및 산화물계(oxides) 소재가 가장 큰 관심을 받고 있다. LPS, LGPS 및 유리질-세라믹 계열의 황화물 고체전해질 소재는 유기계 액체 전해질 소재와 유사할 정도의 높은 리튬 이온 전도 특성을 보이는 장점을 지니고 있으나, 구조적 불안정성 및 수분과의 반응성 등으로 인하여 대량 생산 및 기존 이차전지 공정 프로세스에 직접 적용하기에 어려움을 지니고 있어 이에 대한 해결책이 필요한 실정이다. 산화물계 고체전해질의 경우 황화물계 고체전해질 대비 화학적, 기계적 안정성이 뛰어나며, 우수한 입내 이온전도 특성(bulk conductivity)을 보여 최근 많은 관심을 받고 있는 실정이다. 하지만 산화물계 고체전해질의 경우 제조시 높은 온도의 소결 공정이 필요하며, 특히 높은 입계면 저항(grain boundary resistance)으로 인한 낮은 리튬 이온전도 특성은 전고체전지에 실제 적용하기 위해서는 필수적으로 해결되어야 할 문제이다.

본 연구에서는 산화물계 고체전해질 중 대표적인 NASICON 및 Perovskite 구조를 갖는 $\text{Li}_{1.4}\text{Al}_{0.4}\text{Ti}_{1.6}(\text{PO}_4)_3$ (LATP) 및 $\text{Li}_{3x}\text{La}_{2/3-x}\square_{1/3-2x}\text{TiO}_3$ (LLTO) 고체전해질내에 입계 계면 구조를 제어할 수 있는 구조 제어 소재(structure modifier)를 적용하여 산화물 고체전해질의 소결 온도 저감 및 리튬 이온전도 특성을 향상시키기 위한 연구를 수행하였다. 특히, 소결 열처리 온도 및 구조 제어 소재 적용에 따른 고체전해질 내 미세구조 및 이온전도 특성 변화를 고찰하였으며, LATP 및 LLTO 고체전해질 모두 향상된 이온전도 특성을 나타내는 것을 확인하였다. 향상된 고체전해질의 이온전도 특성이 전고체전지 성능에 미치는 영향을 평가하기 위하여, LATP 고체전해질 소재가 적용된 전고체 전지를 제작하여 충방전 용량, 율 특성 및 충방전 수명에 대한 평가를 수행하였다. LLTO 고체전해질 소재의 경우 PEO기반의 dry polymer 소재와 복합화를 통하여, 유무기 복합 고체전해질을 제조하였고, 이를 bipolar 형태의 전고체 전지 셀로 구성하여 전압 및 에너지밀도 특성이 향상된 전지 특성을 확인하였다.

[특별세션Ⅲ. 에너지 신산업 한계극복을 위한 신소재 기술]

**팔라듐계 수소분리막을 이용한 천연가스 습윤 개질반응 및 이를 위한
고투과 분리막 제조에 관한 연구**

Steam methane reforming of natural gas via membrane reactor equipped with
Palladium based membrane having high permeance

이신근 · 한재윤 · 김창현

한국에너지기술연구원 분리변환소재연구실

온실가스 배출과 지구온난화 문제로 인하여 화석연료를 대체할 수 있는 신재생에너지 개발 및 확산의 중요성이 강조되고 있으며, 특히 청정에너지원인 수소가 주목을 받고 있다. 수소생산 방법에는 전통적 방식인 화석연료 개질반응 및 바이오매스 및 물을 이용한 생산으로 나뉜다. 이 중 화석연료 개질반응은 전 세계 수소생산의 95%를 차지하며, 특히 메탄습윤개질 반응은 높은 수소회수율을 가지기 때문에 가장 보편적인 수소생산방법이다. 상용화된 메탄습윤개질반응은 충분한 메탄전환율을 확보하기 위해서 700-900°C의 고온 및 20-35 atm의 고압에서 운전하며, 이후 수성가스전이반응 및 압력순환흡착 등의 후단 공정을 통해 고순도 수소를 생산한다. 그러나 기존의 메탄습윤개질반응은 고온, 고압에서 운전함에 따라 개질기 재질 선택이 어렵고 운전비용이 비싸기 때문에 이를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되었다. 이 중 팔라듐계 수소분리막을 적용한 메탄습윤개질반응은 생성물인 수소를 지속적으로 제거함으로써 르샤틀리에의 원리에 따라 반응효율을 향상시킬 수 있으며, 특히 개질기 온도를 500-600°C로 저감할 수 있기 때문에 중·저온용 반응기 구성이 가능하다. 또한, 팔라듐계 분리막의 우수한 수소선택성 때문에 고순도 수소생산을 위한 후단 정제 공정을 배제할 수 있음에 따라 공정구성이 용이하며 경제성이 우수하다.

본 연구에서는 고수소투과 특성을 가진 팔라듐계 분리막이 적용된 메탄습윤개질반응을 통해 수소를 생산하였다. 분리막은 직경 1/2인치, 길이 45cm인 Inconel 600 소재의 다공성 튜브형 지지체 위에 블로잉 페이스트 코팅법 및 무전해 도금법을 통해 분리막을 제조하였다. 열·물질 전달이 극대화된 플랜지타입의 분리막 모듈에 상용 루테늄 촉매 및 분리막을 장착하여 분리막 반응기를 구성하였다. 반응기의 수소투과·선택 및 메탄습윤개질반응의 성능을 확인하기 위하여 공정조건 $GHSV=6,000h^{-1}$, $S/C=3.0$ 에서 반응온도를 833 K로 유지하고, 액체펌프를 이용하여 수증기를 공급하고, 분리막 차압을 8~14 bar로 변화시키면서 메탄습윤개질반응을 진행하였으며, 메탄전환율, 수소회수율, 합성가스 조성을 분석하였다. 그 결과, 분리막은 773K, 0.1 bar에서 $4.62 \text{ mols}^{-1}\text{m}^{-2}\text{Pa}^{-0.5}$ 의 수소투과도, 70의 수소선택도(H_2/N_2)를 나타내었고, 8~14 bar에서 메탄전환율은 62.7~79.9%로 증가하였으며, 수소회수율은 14bar에서 93%를 달성하였으며, 생산된 수소 순도 및 생산량은 각각 89% 및 $0.6Nm^3/h$ 로 나타났다. 또한, 분리막 투과가스에서의 가스조성은 89vol%-수소, 0.4vol%-일산화탄소, 4.9vol%-메탄, 5.7vol%-이산화탄소로 측정되었다. 이러한 결과는 본 연구의 팔라듐계 수소분리막 반응기를 통해 생산된 합성가스의 일산화탄소 농도는 고온용 PEMFC의 연료로서 적합한 것으로 확인되었으며, 직접적으로 수소를 생산 및 적용이 가능한 연료전지의 on-site 연료처리장치로 적용할 수 있음을 확인하였다.

[특별세션Ⅲ. 에너지 신산업 한계극복을 위한 신소재 기술]

가역운전 수전해 셀 수소극 내구성 향상 기술 개발
Development of a durable fuel electrode for reversible steam
electrolyzer cells

이민진 · 신재화 · 황해진
인하대학교 신소재공학과

고체산화물전해셀 (solid oxide electrolysis cell, SOEC)은 고온에서 수증기를 전기분해하여 수소를 제조하는 전기화학 디바이스이다. SOEC는 고체산화물연료전지 (SOFC)의 역반응을 활용하는 기술로서 필요에 따라 수소로부터 전기를 생산하기도 하고 전력으로부터 수소를 제조하는 차세대 전력생산 및 저장 시스템에 활용을 목적으로 하고 있다. 한편 SOEC는 수소극에 고온/고압의 수증기를 공급한다는 점과 공기극에서는 산소가 매우 빠르게 방출된다는 점 때문에 SOFC에 비하여 셀 및 스택의 열화가 크고 상업화의 걸림돌이 되고 있는 상황이다. 본 연구에서는 SOEC의 수소극 성능 및 열화에 미치는 작동 조건의 영향에 대하여 조사하였으며 수소극의 내구성을 향상하기 위하여 Ni/YSZ의 산화를 억제하는 소재 기술을 검토하였다. 수소제조용 셀은 공기극으로 LSCF를, 수소극으로 Ni-YSZ 사용하여 구성하였고 전해질(YSZ) 및 전극 지지형 셀을 제조하여 실험에 사용하였다. 제조한 셀에 대하여 SOFC/SOEC 모드에서의 분극저항과 $j-V$ 특성을 평가하였다. 셀에 0.1 A/cm^2 의 전류 밀도를 인가한 상태에서 10, 30, 50%의 수증기 분압 변화에 따라 전압의 변화를 관찰하였으며 SOFC-SOEC 전환운전에 따른 전압의 변화를 측정함으로써 셀의 내구성을 평가하였다. 또한 수증기 분위기에서의 수소극 (Ni-YSZ)의 산화를 억제하기 위하여 방식 (anti-corrosion)기술을 응용한 금속 복합화 수소극을 제조하였고, Ni의 산화 억제에 따른 미세구조의 안정성과 장기내구성의 향상을 확인할 수 있었다.

[특별세션Ⅲ. 에너지 신산업 한계극복을 위한 신소재 기술]

평판형 고체산화물전지 접속자 용 of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_{3-d}$ 의 산화환원
안정성

Redox Stability of of $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_{3-d}$ for Flat-tubular Solid Oxide
Cells interconnector

최현중 · 광민준 · 김태우 · 서두원 · 이상국 · 김선동

한국에너지기술연구원 에너지소재연구실

Sc-substituted $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_{3-d}$ (LSFSc) has been synthesized for utilization as an integrated ceramic interconnector of tubular-solid oxide cells (SOCs). Redox stability and electric conductivity of LSFSc were improved by optimizing the scandium (Sc) doping concentration, the pH of the synthetic solutions and the calcination temperature of the organic precursors. The crystalline phases of LSFSc were stable when the pH of the synthetic solution was below 2 and the calcination temperature was over 1200 °C. As the Sc concentration increased, redox stability was improved while the electrical conductivity decreased. To consider the trade-off relationship between electrical conductivity and phase stability, $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x\text{O}_{3-d}$ can be considered as one of the stable compositions for an integrated ceramic interconnector of tubular-SOCs.

[특별세션IV. C to X (Carbon Dioxide to X)]

전기화학적 CO₂ 환원 반응을 통한 유용 화합물 제조
Electrocatalytic CO₂ reduction into valuable chemicals

박기태, 강성필, 김학주, 정순관, 이원희, 김영은
한국에너지기술연구원 기후변화연구본부 온실가스연구실

이산화탄소 전환 기술은 온실가스인 이산화탄소를 원료로 탄소화합물 및 연료를 생산하는 기술로서 지속적인 탄소원의 활용 및 고부가 가치의 화합물 생성을 통한 이익 창출 등이 기대됨에 따라 최근 많은 관심을 받고 있다. 특히 포집된 이산화탄소를 안정적으로 저장할 수 있는 저장소가 부족한 우리나라와 같은 경우 이산화탄소 전환 기술 개발이 더욱 필요한 실정이다. 다양한 이산화탄소 전환 기술 중에서도 전기 에너지를 이용한 이산화탄소 전환 기술은 유용한 화합물 생산 이외에도 신재생에너지 저장 기술로 활용할 수 있어서 최근 그 중요성이 부각되고 있다. 그러나 이산화탄소 환원 반응은 많은 에너지를 필요로 하므로 기술의 경제성 확보 및 실질적인 탄소 중립을 구현하기 위해서는 생성물에 대한 높은 선택성을 가지는 고성능 촉매의 개발 및 효율적인 반응을 위한 전기화학 반응 시스템 개발이 필수적이다. 본 연구에서는 한국에너지기술연구원에서 수행 중인 전기화학적 이산화탄소 환원반응을 통하여 개미산을 제조하기 위한 전기화학 촉매 및 반응 시스템 개발 결과를 소개하고자 한다.

[특별세션IV. C to X (Carbon Dioxide to X)]

고성능 이산화탄소 전환 광전기화학 실리콘 전지
Photoelectrochemical CO₂ reduction silicon cells with high efficiency and stability

오지훈

한국과학기술원 (KAIST) EEWS 대학원

광전기화학 전지는 태양광 에너지와 물을 재료로 반도체 표면에서 이산화탄소를 다양한 화학 피드스톡과 화학 연료로 전환할 수 있는 친환경 에너지 기술로 많은 관심을 받고 있다. 특히 실리콘은 가시광 영역대의 태양광을 흡수할 수 있어 고성능 차세대 광전기화학 이산화탄소 전환 전지 소재로 쓰일 수 있다. 그러나 실리콘은 이산화탄소 환원 시 과전압이 높고 이산화탄소 전환의 경쟁 반응인 수소 생성 반응이 동시에 일어나는 단점이 있다. 본 연구에서는 이산화탄소 전환 효율과 선택도를 향상시키기 위해 실리콘 표면에 나노 구조 조촉매를 형성하였다. 조촉매로는 이산화탄소를 CO로 전환하는 금 박막을 이용하였고, 특히 전기화학적으로 금 박막을 산화하고 환원하는 방법을 통해 다공성 나노 구조의 금 박막을 형성하여 이산화탄소 전환 효율과 선택도를 향상시켰다. 또한 실리콘 전지의 태양광 흡수를 향상시키기 위해 그리드 형태로 나노 다공성 금 박막을 형성하여, AM 1.5G 태양광 조사시 CO₂/CO 환원 전위 보다 양의 값에서 90% 이상의 CO 전환 Faraday 효율을 획득하였다. 본 발표에서는 다양한 나노 다공성 금 박막의 형태에 따른 이산화탄소 전환 특성 변화와 전지 수명의 변화에 대해서 자세히 논하고자 한다.

[특별세션IV. C to X (Carbon Dioxide to X)]

이산화탄소의 메탄올로의 촉매화학적 전환
Catalytic conversion of carbon dioxide to methanol

김학주 · 문종호 · 박기태 · 정순관

한국에너지기술연구원 온실가스연구실

산업혁명 이후 화석연료의 지속적인 사용으로 인하여 배출되는 온실가스로 지구 온난화와 기상이변 현상이 발생하는 것으로 예측되고 있다. 이러한 환경 문제를 해결하기 위하여 대단위로 온실가스를 배출하는 산업시설에 온실가스의 한 종류인 이산화탄소를 포집하여 저장하는 CCS(Carbon Capture & Storage) 설비를 설치하여 대기 중에서 온실가스 농도가 증대되는 것을 억제시키고자 하는 방안이 제안되고 있다. 최근에는 포집한 이산화탄소를 원료로 활용하여 고부가가치의 화합물로 전환하여 이용하는 CCU(Carbon Capture Utilization) 기술로의 패러다임 전환이 모색되고 있다. 본 발표에서는 한국에너지기술연구원 에서 진행되고 있는 촉매화학적 기반 이산화탄소 전환연구 동향을 개괄적으로 설명하고자 한다. 특별히 저온 메탄올 공정에서의 촉매개발과 생성물 내 물을 반응 중 연속적으로 제거 하는 공정 개발에 대한 내용을 소개한다.

[특별세션IV. C to X (Carbon Dioxide to X)]

이산화탄소 수소화 촉매반응을 통한 자원화 연구
Development of Carbon dioxide hydrogenation catalysis

윤성호

국민대학교 응용화학과

비교적 저렴하고 무해한 금속/리간드 전구체로 구성된 고효율 및 재활용 가능한 불균일 촉매의 개발은 비용 효율적이고 환경 친화적인 CO₂ 이용 방법 개발에서 가장 중요한 목표 중 하나이다. 이번 발표에서는 최근 본 연구실에서 이룩한 루테늄 양이온 처리된 피리딘-함유 공유 결합 트리 아진 골격(CTF)이 38,800 h⁻¹의 전례없는 수소화 반응 촉매활성을 보고하고자 한다. 촉매 [bpy-CTF-RuCl₃]를 활용하여 2.5 시간 만에 이산화탄소를 수소화하여 2.1 M의 최대 최종 포름산염 생성을 확인할 수 있었다.

[특별세션IV. C to X (Carbon Dioxide to X)]

CO₂전환 생촉매 기반 바이오리파이너리 플랫폼 기술 개발

Development of CO₂ converting biorefinery platform based on bio-catalysts

김민식, 이상민, 이수연, 민경선, 박권우, 이준표, Hana Nur Fitriana, Susila Hadiyati, Azka Nur Afifah, 이진석

한국에너지기술연구원 광주바이오에너지연구센터

파리 기후 협약 이후 신기후 체제에서 CO₂ 포집 및 탄소자원화에 대한 수요는 계속 높아지고 있는 실정이다. 그러나 대부분의 CCS 기술의 경우 높은 에너지 비용이 들거나 포집된 CO₂를 다시 땅속에 묻는 비중이 높아 궁극적인 해결책이 되지 못하고 있다. 이에 비해 높은 에너지 비용이 들지 않으며 CO₂를 포집과 동시에 전환할 수 있는 생물학적 전환 기술이 이에 대한 새로운 대안으로 제시될 수 있다. 특히 바이오 유래 폴리머 시장은 지속적인 시장 성장이 예측되어 이에 대응한 선제적 기술개발이 요구되고 있다.

일반적으로 CO₂를 흡수하는 생물체들의 경우 태양에너지를 이용하여 광합성을 진행하기 때문에 그 배양에 있어 환경에 제한적이며 대량 생산을 위해 넓은 배양 면적을 필요로 하는 것을 그 한계로 한다. 또한 Rubisco를 이용한 광합성 기작의 경우 그 기작의 복잡성으로 인해 느리게 진행되는 단점을 지니고 있다. 이러한 기술적 한계를 극복하기 위해 태양에너지 대신 전기 등의 외부 환원력을 제공하고 CO₂를 빠르게 동화할 수 있는 새로운 pathway를 미생물에 도입하여 CO₂를 고부가 화합물로 전환하는 기술을 개발하고자 한다. *In silico* 분석을 통한 서열 유사성 확인을 통해 CO₂를 포름산으로 전환할 수 있는 신규 단백질 촉매 후보군을 선별하였으며 신규 유전자 서열 합성에 성공하였다.

발표자: 김민식

교신저자: 이진석

[특별세션 V. 미래 변화와 에너지산업의 대응]

주요국별 친환경 에너지 정책 추진 동향 : 탈석탄/원전 중심으로
A Study on the Policy Trends of Eco-friendly Energy in Major
Countries : Focus on Closing Coal and Nuclear Plant

오승환 · 이상호 · 김준형
한국전력공사 경제경영연구원

본 연구에서는 주요 5개 국가(英, 獨, 美, 中, 日)의 에너지전환 정책 수립 배경 및 이행 사례를 분석하고, 국가별 정책 비교를 통해 시사점을 도출하였다. 주요국들은 공통적으로 신재생 발전 확대를 주요 에너지전환 정책으로 추진하고 있으나, 석탄 및 원자력 발전에 대해서는 각국의 부존자원 수준, 기술력 차이, 전력수요 증감 등의 차이로 상이한 모습을 보이고 있다. 석탄발전의 경우 영국은 '25년까지 폐쇄 계획을 수립한 반면, 독일은 전력공급 안정성 등의 문제로 폐쇄에 이견이 존재하고 있다. 원자력 발전의 경우 독일은 '22년까지 전면 폐쇄를 공식화 하였지만, 영국과 중국은 원전 추가 건설을 계획하고 있고, 일본은 후쿠시마 사고 이후 정지된 원전의 재가동을 추진 중이다. 미국의 경우는 가스 및 신재생 발전의 경제성 개선으로 인해 석탄 및 원자력 발전이 점차 감소하는 추세를 보이고 있다. 각국 사례를 종합해보면 친환경 전원믹스 전환 시 전력수급 안정을 최우선으로 고려하고 있으며, 이를 위해 각국은 ① 전력수요 정체 혹은 감소 시 적극적인 에너지전환 정책 추진, ② 에너지 자급률을 고려한 자원을 중심으로 전원믹스 전환, ③ 주변국과의 계통 연계 등 비상전원 확보, ④ 자국의 발전기술(신재생, 친환경화력 등) 경쟁력을 고려한 정책을 수립·추진하는 모습을 보이고 있다.

[특별세션 V. 미래 변화와 에너지산업의 대응]

전력부문 온실가스 배출 요인분석 국가비교: 독일과 스페인을 중심으로
Comparison between key factors of the Greenhouse Gas Emission in
Electric Power Industry using Decomposition Analysis
: Cases of German and Spain

김해인 · 양지용 · 구자열 · 이상호

한국전력공사 경제경영연구원

최근 우리나라의 온실가스 배출량은 경제성장률에 비해 낮게 유지되는 등 정부의 감축의지가 점차 효과로 나타나고 있다. 이러한 온실가스의 감소는 여러 가지 요인에 의해서 발생하는데, 경제활동(Activity), 에너지 효율(Efficiency), 산업구조(Structure) 등 다양한 요인들이 복합적으로 얽혀져 있다. 본 연구는 분해분석(Decomposition Analysis)을 통하여 독일과 스페인의 전력산업 온실가스 배출의 기여도를 정량적으로 분석하고, 이들 간 비교를 통하여 정책적 시사점을 살펴보았다. 적용한 연구방법은 LMDI(Logarithmic Mean Divisa Index)으로서, 영향 요인의 종류는 IEA 기준인 탄소집약도, 발전효율, 화력비중, 총발전량에 전력집약도와 GDP를 추가한 6종으로 분석하였다. 독일의 경우, 1990년에서 2014년 동안 발생한 온실가스 감축량의 상당부분을 전력집약도와 발전효율 개선을 통해서 이루어 내었다. 같은 기간 경제성장으로 인한 배출량 증가가 약 400% 수준임을 감안할 때, 이를 상쇄할 만큼 큰 감축효과였다. 가장 높은 영향을 주었던 전력집약도의 경우, 산업구조를 제조업에서 서비스업 중심으로 재편하고 저전력 생산체제를 구축한 것이 주요 원인이었고, 발전효율의 경우 석탄 보일러의 열효율 개선이 주도하였다. 온실가스 감축이 상대적으로 적은 스페인의 경우, 주된 감소요인은 화력발전믹스와 화력발전 비중 변화에 있었다. 화력믹스는 석탄에서 가스로의 전환, 화력비중은 신재생 보급 확대에 의하여 온실가스가 큰 폭으로 감소되었다. 그러나 같은 기간 전력집약도의 경우 오히려 온실가스를 가중시켜, 에너지 저소비 성장으로의 체질 변화를 유도하지 못하였다. 결국, 온실가스 감축효과는 장기적인 관점에서 수요관리를 통한 효율제고 노력이 공급측면에서의 전원믹스 변화보다 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 두 국가 모두 신재생으로의 전원믹스 변화는 온실가스 감축에 상당부분 영향을 준 것으로 나타나 신재생확대 전략은 필수적인 것으로 보인다.

[특별세션 V. 미래 변화와 에너지산업의 대응]

국내 열병합발전 송·변전 회피편익 분석

An Analysis on Avoided Benefit of Transmission and Transformation
in Domestic Combined and Heat Power

정현우 · 서인용 · 이병식

한국전력공사 경제경영연구원

열병합발전은 분산전원의 대표적인 자원 중 하나로 생산된 에너지(열 또는 열과 전기)를 주거지역, 상업지역 또는 산업단지 내의 다수 사용자에게 일괄적으로 공급 판매하는 사업으로 정의된다. 이러한 열병합발전은 수요지 인근에 위치하거나, 배전선로에 소규모로 연결되며, 온실가스 감축, 송변전망 건설 회피, 중앙 집중적인 대용량 화력발전 건설 회피 등의 효과 창출이 가능하다. 특히, 열병합발전은 장거리 송전회피에 따른 다양한 환경 및 민원문제를 대응할 수 있는 역할이 있다. 이러한 열병합발전의 가치를 확인하기 위해서 정확한 송변전 회피편익 산정이 필요하다.

송변전 회피편익을 산정하는 방안은 북상조류 선로관련 765kV 송전선로(북경남 선로제외), HVDC 건설비용 및 관련 변전소 설치비용과, 북상조류 관련 345kV 4개 송전선로(선로길이 기준 247km) 및 8개 변전소의 설치비용은 전체를 반영하고, 수도권 및 인근의 345kV 선로는 북상조류가 수도권 내부의 모든 부하까지 전력을 공급하기 위해서는 수도권 및 인근의 345kV 계통은 반드시 필요하며, 반면에 북상조류만이 아니라 수도권 내부의 발전소에서 나온 전기도 설비를 공유하므로, 수도권 및 인근의 송전선로(선로길이 기준 2243.5(전체 345kV선로의 50% 반영치)-247(북상조류 4개 선로 길이 차감)=1996.5km) 및 변전소(약 30개로 추정)는 수도권 최대부하에 대한 북상조류의 양만큼 비율로 반영한다. 즉, 2016년 8월 12일(하계피크일) 기준 최대전력수요 85,183MW에 대한 수도권 최대수요를 추정(전체 수요의 43%로 추정됨)하여 보면, 36,629MW가 추정되며, 이에 대한 용통전력 11,200MW의 비율을 계산하여 적용한다.(11200/36629 = 30.6% 적용)

종합하여 보면, 용통선로 4개선로와 8개 변전소의 비용은 100%를 반영하고, 더불어 수도권 및 인근의 345kV선로와 30개 변전소는 비용을 30.6%만 반영하여, 2개의 비용을 합한 후에 분모를 11,200MW로 나누어 최초 송변전 회피단가를 계산한다.

- 345kV, 765kV, HVDC 송전선로 및 변전소 총 건설비용(억원) = 81,688(억원)
- 운전유지비 총 합 (HVDC는 765kV와 동일하게 산정) = 4,860 [억원]
- 송변전 회피편익 산정 : $(81,688 + 4,860) / (11,200 \text{MW}) \times \text{비수도권 발전회피비율}$
- : 시나리오 3(유연탄 10%, LNG복합 90% 회피 기준) = 0.773 [억원/MW]
- : 시나리오 2(유연탄 50%, LNG복합 50% 회피 기준) = 3.864 [억원/MW]
- : 시나리오 1(유연탄 발전 100% 회피 기준) = 7.728 [억원/MW]

[특별세션 V. 미래 변화와 에너지산업의 대응]

원자력발전의 외부비용을 고려한 세금부과의 경제적 효과 분석
: CGE 모형 활용

Analysis of economic effect of tax imposition considering external costs of
nuclear power generation

김혜리

한국전력공사 영업처

원자력발전은 가격 경쟁력을 가질 뿐만 아니라 온실가스를 배출하지 않는 전원이라는 인식이 보편적이었다. 그러나 후쿠시마 원전사고로 인한 안정성 문제, 사후핵처리 문제 등이 제기 되면서 원전에 대한 우려의 증가로 8차 수급계획에서는 이를 반영하여 원자력발전에 대한 단계적 감축을 제시하였다. 또한 원전에 대한 정책비용, 안전대책비용, 인체건강 및 환경오염비용과 같은 외부비용 고려에 대한 필요성이 강조되었다.

이론적으로 외부비용의 발생은 세금부과를 통해 해결이 가능하다. 그래서 본 연구는 원전의 외부비용을 세금을 부과하는 형태로 반영하였고, 이에 따른 경제적 효과를 분석하였다. 전력의 경우 우리나라의 모든 산업의 중간 투입물로 투입될 뿐만 아니라 최종수요의 소비재로 소비되기 때문에, 원전의 세금부과에 따른 경제적 효과를 분석하기 위해서는 특정 부문의 효과 분석에 중점을 둔 부분균형 분석이 아닌 경제 전반에 미치는 영향 분석이 가능한 연산가능일반균형(Computable General Equilibrium, CGE) 모형을 이용하였다.

분석 시나리오는 원자력발전가격 대비 5%, 10%, 15%로 세금을 부과하는 형태로 적용하였고, 원전의 세금부과를 통해 늘어난 정부의 세수입은 향후 원전의 사고 발생처리 비용으로 사용할 수 있으므로 정부의 저축을 증가시키는 형태로 모형을 설정하였다. 이러한 시나리오를 적용하여 전력 가격 및 다른 전원의 상대가격, 전력 및 산업별 생산량, 실질 GDP, 가계 소비 변화 등을 살펴봄으로써 경제적 효과를 종합적으로 분석하였다.

[특별세션 V. 미래 변화와 에너지산업의 대응]

전력산업 전환기 글로벌 유틸리티의 비즈니스 전략

Business Strategy of Global Utilities in the Era of Energy Transition

이한상 · 허준혁 · 원동규 · 임금주

한국전력공사 경제경영연구원

19세기 말 이후 전력산업의 사업환경은 몇 차례의 변혁을 겪었지만, 최근의 변화는 과거에 비해 변화의 폭과 속도가 비교할 수 없을 만큼 큰 상황이다. 이로 인한 유틸리티들의 중요 이슈들은 전력판매의 둔화 또는 감소, 신기술로 무장한 새로운 기업의 등장에 따른 경쟁의 심화, 고객 니즈의 변화 등으로 나타난다. 전력산업의 변화가 빠르게 진행되고 있는 선진국의 유틸리티들은 자신들의 상황에 맞춰 사업 전략을 새롭게 구상하고 있다.

미국 유틸리티의 재무상황은 비교적 안정적으로 보이지만, 깊이 살펴보면 수익성의 악화가 서서히 진행되고 있음을 알 수 있다. 또한 DER과 새로운 경쟁기업이 유틸리티의 시장을 잠식하고 있는 상황이다. 이에 따라 유틸리티들의 사업전략은 크게 세 가지 방향으로 진행되고 있다. 첫째는 직접 DER 시장에 참여하여 새로운 수익을 창출하는 것이다. 둘째는 DER의 확대에 따라 발생할 수 있는 전력시장과 전력망 운영의 문제를 완화하기 위한 통합 운영체제 구축과 전력망 현대화 사업이다. 마지막으로 신사업 창출과 고객이탈 방지를 위해 플랫폼 사업을 추진하는 것이다.

유럽 유틸리티는 2010년 이후 재무적 어려움이 극심하게 나타나고 있으며, 전 세계에서 저탄소화를 가장 강하게 시행하는 정책환경에 노출되어 있다. 이를 극복하기 위해 FIT 등을 통해 안정적 현금흐름이 창출되는 신재생사업을 확대중이며, 해외사업의 중심지는 신흥국에서 신재생 수요가 높은 유럽·미국 지역으로 전환되고 있다. 또한 스타트업 등을 M&A하여 에너지신사업 비중을 높이고, 스마트그리드 기반의 플랫폼 비즈니스를 추진중이다. 마지막으로 조직개편을 통해 빠르게 변화하는 사업환경에 민첩하고 효율적으로 대응할 수 있는 사업구조를 구축하고 있다.

[특별세션 V. 미래 변화와 에너지산업의 대응]

전력 분야 디지털화 영향과 추진 방향

Digitalization's impact and implementation on electricity power

정지홍 · 양진석 · 박민혁

한국전력공사 경제경영연구원

디지털화는 지능정보 기술 발달, 소비자 인식 변화 및 효율성 향상 필요에 기인하여 빠르게 확산 중에 있다. 기업들은 사물인터넷, 빅데이터 등의 기술을 활용하여 산업 생산성 증대와 함께 고객과의 양방향 소통을 통해 다양한 신규 비즈니스를 창출하고 있다. 디지털화 개념은 기술 개발 및 시대적 환경에 따라 지속적으로 변화하고 있으며, 오늘날에는 인프라 구축 뿐만 아니라 디지털 기반 비즈니스, 경영전략도 포괄하고 있다.

전력 분야 디지털화는 해외 유틸리티를 중심으로 다양한 분야와 방식으로 진행 중에 있다. 해외 유틸리티는 디지털화를 중심으로 한 에너지 전환 전략을 추진 중에 있으며, 하드웨어, 소프트웨어, 플랫폼 전문기업들과의 협력과 기술 확보를 통해 역량을 강화하고 있다. 이를 통해 기존 설비 업그레이드 확대와 고객 중심의 에너지 솔루션을 제공하고 있다.

국내 전력산업 디지털화는 아직 초기 단계이며, 디지털화를 위한 역할 정립과 종합 전략이 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 국내외 문헌조사 및 사례분석 결과를 바탕으로, 디지털화 적용분야를 디지털 자산, 디지털 네트워크 및 디지털 서비스로 구분하고 향후 추진 방향을 제시하였다.

[특별세션 V. 미래 변화와 에너지산업의 대응]

전력 빅데이터 플랫폼 구축 및 활용 사례 Development and use case of Power Big Data Platform

김용배 · 최준석 · 정재훈 · 장민영
한국전력공사 ICT융합기획처

빅데이터는 21세기의 원유라고도 한다. 기업들은 빅데이터를 활용한 사업에 주력하고 있으며 한국방송통신전파진흥원에 따르면 국내 빅데이터 시장은 연평균 27.9% 성장해, 오는 2020년에는 약 9억달러에 달할 것으로 전망하고 있다. 이렇게 빅데이터 시대의 도래와 함께 다양한 데이터가 폭증하고 있고, 빅데이터를 실시간으로 분석하여 사회 전반적으로 활용하려는 요구가 증가하고 있다.

이런 시대흐름에 발맞춰, 한국전력공사에서는 2014년 부터 AMI 구축을 위해 보급된 스마트미터로부터 생성된 대량의 데이터를 수집하여 소비자의 전기소비 패턴을 분석한 후 실시간으로 전기요금을 예측하고 유사 업종 및 규모와 비교정보를 제공하여 소비자가 자발적으로 전기소비량을 줄이도록 유도하였으며, 2016년 부터 주 사업분야인 송변전, 배전 분야에서 설비의 이용효율을 극대화하거나 고장예측을 지능화할 수 있는 전력분야 빅데이터 통합 플랫폼 조성이 필요한 실정이었다.

그래서 한국전력공사에서는 2017년 Hadoop기반의 고성능 클러스터를 구성하여 588TB 규모의 대용량 데이터를 저장하고 분석할 수 있는 인프라를 구축하였으며, 송변전감시시스템(SCADA), 배전지능화시스템(DAS) 등 8종 내부시스템의 기준정보와 설비감시, IoT 데이터 등을 누적 및 저장하였고, 인구, 토지, 기상 등 빅데이터 신사업모델 개발에 필요한 외부 데이터 32종을 확보하여 연계 수집하였다.

또한, 빅데이터 자원 및 지식을 공유할 수 있는 서비스 포털을 개발하여 전 직원을 대상으로 사용자 수준별 맞춤형 분석 서비스가 가능하도록 분석자원을 할당하였으며, 데이터 및 분석결과를 공유할 수 있도록 통합플랫폼을 구축하였다.

특히 배전변압기 용량산정 최적화, 전기차 충전소 최적입지 선정 모델 개발 등 전력분야 효율화를 위한 과제들을 수행하였으며, 소상공인 영업시간 알림, 도시안전 제고를 위한 취약점 모델 개발 등을 통해 국민 생활에 편의를 제공할 수 있는 서비스 개발을 검증하였다.

그 결과, SCADA, DAS, IoT 시스템 등에서 버려지는 데이터를 저비용 분산 저장할 수 있었고, 오픈소스 기반의 유연성 및 확장성 확보로 데이터 보관 및 분석비용 95%를 절감하였으며, 배전 변압기 용량 최적화 모델 개발로 고장예방 및 변압기 자재비 연간 36억원(전체 변압기의 0.5% 기준)을 절감할 수 있었다.

결론적으로 경제성 분석 및 예상 수익정보 제공 등 전력산업에 새로운 가치 창출이 가능한 서비스 개발로 충분한 사업성이 존재함을 확인할 수 있었으며, 외부 데이터와 한전 보유 데이터의 종합적 분석으로 지역경제 활성화 및 국민 건강복지 향상을 위한 공익 서비스도 개발 가능함을 확인할 수 있었다.

[특별세션VI. 집단에너지와 미활용에너지]

집단에너지 내 미활용에너지 활용 기술

Development status of power generation and its control system
using differential pressure of district heating pipe

김경민* · 오문세* · 박성용* · 유동근** · 김진혁*** · 이교범****

*한국지역난방공사, **㈜태양전기, ***한국생산기술연구원, ****아주대학교

기후변화와 도시화에 따른 온실가스 문제 대응을 위해 국내외적으로 미활용에너지 발굴 및 활용에 대한 기술과 이를 이용한 비즈니스 모델을 육성하는 국가 R&D 프로젝트들이 진행되고 있다. 따라서 집단에너지 내에서도 그 동안 활용되고 있지 않던 에너지를 발굴하고 이를 집단에너지 사업과 연계하여 활용하고자 중장기 연구개발 로드맵에 따라 연구를 추진 중에 있다.

이와 관련된 기술 중 하나는 지역난방 열수송관 내에서 그 동안 활용되고 있지 않던 차압 에너지를 활용하는 것이다. 열수송관을 통해 중온수를 공급할 때 고압의 중온수로부터 열사용자 설비(지역난방 열교환기)를 보호하고 온도조절을 원활히 하고 유체의 원거리 공급을 위해 차압유량조절밸브를 통해 압력을 조절하거나 압력을 감소시키고 있다. 하지만, 고압 유체 사용에 따라 압력조절밸브에서 캐비테이션이 발생하여 잦은 고장 및 오작동을 유발하여 많은 문제가 발생하고 있으며, 사업자 및 사용자 모두에게 에너지 손실 및 민원 유발 등의 원인이 되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 1차측 차압유량조절밸브를 수력터빈으로 대체하여 차압에너지를 전기에너지로 변환하고, 전기를 2차측 펌프의 동력으로 활용하는 에너지를 절감하는 기술을 개발 중에 있다. 이는 압력조절 한계를 가진 기존 차압밸브를 대체하는 동시에 미활용에너지를 활용하는 장점을 가지고 있다.

이와 더불어 신재생에너지 열(분산형 발전폐열 포함)과 주변 다양한 종류의 미활용열을 지역난방과 연계하고 활용하기 위해, 다양한 종류의 열원과 지역난방을 연계하는 시스템의 표준정립 및 열에너지 프로슈머와 지역난방 사용자의 에너지 생산/소비를 지능적으로 관리하여 열에너지를 효율적으로 이용하는 에너지 플랫폼 구축을 위해 연구 중에 있다. 이와 같은 연구를 통해 저가열원 부족 등으로 경영이 악화된 지역난방 사업자에게 저렴한 열공급을 하기 위해 연구를 추진 중에 있다. 현 연구의 결과로 도출된 미활용 열과 지역난방 연계를 위한 연계 열 표준화 작업은 현재 정부 주도하에 진행 중인 국가열지도 결과와 함께 배포되어, 집단에너지 사업자의 경영개선에 도움을 줄 것으로 사료된다.

따라서 현재 소개된 2가지 기술인 열수송관 내부 차압에너지를 이용한 발전 및 활용 기술과 미활용열과 지역난방을 연계한 도심형 열네트워크 모델 개발에 대해 소개하고자 한다.

[특별세션VI. 집단에너지와 미활용에너지]

열수송관용 5kW급 용적식 수차 기초설계 및 성능해석

Preliminary design and performance analysis of 5kW positive displacement hydraulic turbine used for district heating pipeline

김진혁*** · 소나왓 아리한트*** · 김승준*** · 최영석*** · 이경용* · 김경민*** · 이용갑****

*한국생산기술연구원 열유체시스템그룹

**과학기술연합대학원대학교 신에너지 및 시스템기술 전공

***한국지역난방공사 미래개발원

****애플릭스(주)

지역난방의 열수송관망은 고압의 유체로부터 사용자 설비를 보호하고 유체의 원거리 공급을 위해 일반적으로 밸브를 통해 압력을 조절하거나 압력을 감소시키는 시스템을 사용하고 있다. 그러나 이러한 압력조절밸브는 고압 유체의 사용으로 인해 캐비테이션이 발생하여 잦은 고장 및 오작동을 유발하여 많은 문제가 발생하고 있으며, 특히 이는 에너지 손실 및 민원 유발의 원인이 되고 있다.

본 연구에서는 열수송관망에 잦은 문제가 되는 압력조절밸브를 대체하여 미활용되고 있는 차압에너지를 회수하고 이를 활용하여 전력을 생산하고자 5kW급 수차를 설계하였다. 열수송관의 고낙차 저유량 조건에 따른 저비속도로 인해 수차타입은 로브형 런너를 가진 용적형으로 선정하였다. 기본설계는 용적식의 체적유량을 고려하여 형상 크기를 설계하였고, 여러 문헌으로부터 공개된 실험식을 통해 수차의 간극에 따른 누설유량을 고려하여 이론유량을 계산하였다. 기본설계 시 향후 제품양산을 위해 두 러너 간의 샤프트축 사이의 거리는 상용 기어 크기를 고려하여 설계하였다.

기본설계된 용적식 수차 형상은 전산유체역학에 따른 삼차원 비정상 정밀수치해석을 통해 출력 및 효율과 같은 주요 파라미터들을 예측하였다. 그 결과, 설계점에서 약 55%의 수력효율이 예측되었고, 이는 기본설계 시 계산한 약 64%의 효율과 비교하여 볼 때 약 9%의 효율 차이를 보이고 있으므로 본 연구에서 사용한 기본설계기법도 신뢰할만한 것으로 판단되었다. 더불어 회전수 및 차압 변화에 따른 탈설계점에 대해서도 비정상 정밀계산을 수행하여 운전이 가능한 전 영역에서의 성능맵을 예측하였다.

용적식 수차는 일반적으로 회전 시 급격한 체적의 변화로 인해 압력 맥동 현상이 발생하게 되는데, 이러한 현상은 수차의 구조적 안정성과 직결되므로 이를 저감시키기 위한 설계가 필수적이다. 기본설계된 용적식 수차의 삼차원 비정상 정밀수치해석 결과에서도 마찬가지로 동일한 압력 맥동 현상이 발생되었다. 이러한 현상은 향후 최적화 설계 시 반드시 고려해야만 하는 주요 목적함수이고, 트위스트 각도와 같은 설계인자를 토대로 런너의 형상 최적화를 통해 저감이 가능하다. 향후 연구로서 런너의 형상과 유입부 및 토출부 배관의 형상을 토대로 수치최적화를 통해 고효율 및 맥동이 저감된 용적식 수차를 설계할 예정이다.

본 연구는 ‘수력 차압밸브 대체를 통한 전력생산 및 제어시스템 개발’ 신재생에너지핵심기술개발사업(No. 20172020108970)의 일환으로 수행되었음을 밝힘.

[특별세션VI. 집단에너지와 미활용에너지]

난방수를 활용한 소수력 5kW급 영구자석동기발전기 제작
Manufacture of 5kW permanent magnet synchronous generator for
small hydropower used district heating water

유동근* · 고창식* · 서상우* · 홍영우* · 박문수* · 김경민 · 장석명*****

*(주)태양전기

**한국지역난방공사 미래개발원

***SEMs-eng

규모가 작고, 지역적으로 운용하는 소수력 발전소는 전력화 증진, 산업발전 촉진, 농업을 향상시키는데 기여하며 환경에 대한 영향이 상대적으로 작기 때문에 많은 나라들이 적극적으로 개발하고 있다. 우리나라에서는 3,000kW이하인 수력발전을 소수력발전으로 정의하고 있으며 재생에너지자원을 활용하여 전력을 생산할 수 있으므로 지방자치단체 및 민간참여 사업으로도 적극 진행되고 있다.

본 연구에서는 한국지역난방의 열수송관망에 설치운용 하는 압력조절밸브를 대체하여 미활용되고 있는 차압에너지를 활용하여 전력을 생산하는 5kW급 영구자석동기발전기를 제작하였다. 열수송관의 낙차를 활용한 수차타입은 로브형 런너를 가진 용적형이며 난방수를 사용하는 패턴을 분석하여 가장 경제적이라고 판단한 발전용량을 선정하였다.

소수력 발전기는 동기발전기와 유도발전기가 있으며 넓은 운전범위와 고효율, 높은 출력밀도가 가능한 영구자석형 동기발전기를 채택하였고 주요치수의 선정은 초기설계에 있어 전기기기 설계시 사용하는 장하분배법을 이용하여 발전기 크기를 결정하였다. 회전수는 900rpm을 정격으로 기본설계 하였고 출력전압은 3상 380V, 주파수는 60Hz로 하였다. 기본적인 사양점을 확정하고 수계산과 유한요소해석 프로그램을 사용하여 정격부하저항에서 회전속도의 변화에 따른 발전전압 및 토오크와 전류에 대해 조사하였으며 설계한 발전기의 타당성을 검증하였으며 그 결과 사양점에서 효율 95.0%를 예측하였다.

시제품 제작으로 발전기 고정부와 회전부의 철심코어는 50PN400을 사용하였고 와이어커팅으로 코어를 제작하였다. 회전부의 자석은 표면부착(Surface permanent magnet)형 타입이며 자석모양은 C형으로 선정하였고 재질은 높은 자력의 특성인 네오디움 타입으로 선정하였다. 베어링 선정은 일반적인 전동기 설계시 적용하는 회전수와 최대 토오크를 고려한 수명시간을 계산하여 볼베어링 6208타입으로 결정하였다. 축 사이즈와 냉각팬의 설계 또한 일반 유도전동기 설계기법을 적용하여 제작하였다. 본 연구에서 사용한 설계기법을 기준으로 제작 하였으며 M-G 세트 구성된 시험설비에 의한 시험결과 효율이 93.2%로 측정되어 설계 및 제작의 신뢰성을 확인 하였다.

영구자석형 발전기는 기동불능, 진동을 발생시키는 코깅 토오크 저감 설계와 원가비중이 큰 자석 타입과 등급에 대해 추후 최적화 연구를 하고자한다.

이 연구는 ‘수력 차압밸브 대체를 통한 전력생산 및 제어시스템 개발’ 신재생에너지핵심기술개발사업(No. 20172020108970)지원으로 수행함.

[특별세션VI. 집단에너지와 미활용에너지]

미활용 차압에너지 활용을 위한 back-to-back 전력변환시스템 및 제어 기술 개발

Development of back-to-back power conversion system and control technique to utilize unused differential pressure energy

김건영 · 박영수 · 이교범

아주대학교

지역난방 시스템의 열공급을 위한 열수송관망에는 차압 유량 조절 밸브(Differential Pressure Control Valves, DPCV)가 널리 사용된다. 이러한 DPCV는 일반적으로 원거리 지역으로의 열수송을 위한 압력 조절에 사용되지만, 지역난방 시스템에서는 고압유체를 사용하므로 DPCV의 오작동과 고장을 일으키는 캐비테이션이 발생할 확률이 높다. DPCV의 비정상적인 동작은 순환 펌프의 동력 과다 소모 및 난방수의 회수 온도 상승을 야기하여 지역난방 시스템의 신뢰성을 저하시킨다. 최근에는 지역난방 시스템에서 광범위하게 사용되는 DPCV를 대체하기 위해 차압에너지를 이용한 발전 및 제어 시스템 개발이 진행되고 있다.

본 연구에서는 차압에너지 활용을 위한 back-to-back 전력변환시스템 및 제어 기술을 제안한다. 제안된 시스템 및 제어 기술을 통해 수차 발전기를 제어할 수 있으며, 이를 통해 지역난방 시스템에서 고압유체의 일정 차압 제어를 수행할 수 있다. 제안된 back-to-back 시스템은 차압 제어 과정에서 생성된 전력을 AC-DC-AC로 변환하여 DPCV의 제어 과정에서 기계적 손실로 낭비되는 차압 에너지를 전기 에너지로 회수할 수 있다. Back-to-back 전력변환시스템의 제어 대상이 되는 수차 발전기는 5 kW급 표면부착형 영구자석 동기 발전기(Surface-Mounted Permanent-Magnet Synchronous Generator, SPMSG)를 사용하며, 수차 발전기 제어 및 전력 변환을 위해 3상 2-레벨 인버터 2대를 직렬 연결한다.

수차 발전기를 이용한 차압 제어를 위한 제어 시스템은 동기 좌표계 상에서 속도 및 토크 제어기가 직렬 연결된 구조로 설계한다. 각 제어기는 비례-적분(Proportional-Integral, PI) 제어 구조를 가지며, 토크 제어기는 회전자 기준 벡터 제어 방식을 통해 순시적으로 토크를 제어한다. 실험을 통해 속도 제어 및 토크 제어 수행 시, 속응성이 우수하고 정상상태 오차가 없음을 확인하였다. 또한, 수차 발전기에서 회수된 에너지를 활용하기 위한 계통연계 제어 시스템이 요구된다. 계통연계 시에는 계통의 위상 정보가 요구되므로 위상 고정 루프(Phase Locked Loop, PLL) 제어를 수행하며, 동기 좌표계 상에서 전압 및 전류 제어기가 직렬 연결된 구조로 설계한다. 각 제어기는 PI 제어 구조를 가지며, 전류 제어기는 계통 위상각 기준 벡터 제어를 수행한다. 실험을 통해 계통연계 전류 제어 및 전압 제어 수행 시, 속응성이 우수하고 정상상태 오차가 없음을 확인하였다.

[특별세션VI. 집단에너지와 미활용에너지]

열 저장장치가 있는 마이크로그리드 아키텍처 Microgrid Architecture with Heat Storage Systems

홍준희 · 최승호 · 이재복

가천대학교 가천에너지연구원

최근 열병합 발전 시스템의 에너지 효율 및 운전율을 높이기 위해 열 또는 전력을 공유하는 다양한 에너지 시스템이 제안되고 있다. 그 중 대표적인 시스템인 마이크로 그리드 시스템은 열 에너지 시스템 및 신재생 에너지(풍력터빈, 태양광발전 등)와 같은 분산형 에너지 시스템의 로컬 네트워크다. 신재생에너지 확산이 본격적으로 늘면 기존 전력망에 열저장 시스템을 포함시켜 전기와 열을 통합 최적화하는 운영기술이 필요하다. 특히 마이크로그리드 시스템에 열 저장장치를 갖추면 전기만을 다루는 기존 방법이 해결하지 못하는 많은 기술적, 경제적 문제를 해결할 수 있기에 전기와 열을 통합적으로 다루는 기술은 신재생에너지가 많은 전력망에 필수적인 기술이라 할 수 있다.

한편 미국을 중심으로 마이크로그리드 시장이 점점 확산되고, 이를 위한 제품과 서비스 상품을 많은 글로벌 기업들이 개발하고 있다. 하지만, 국내의 경우 신재생 보급률이 낮고 전력망 사정이 좋아서 아직 시장이 미미한 수준이라 몇몇 도서지역을 제외하고는 상용성을 가지고 구축되는 사례가 없다. 그런 연유로 기술 개발의 동기도 약하고, 시장 경쟁력을 만들지 못하고 있다. 특히 마이크로그리드에 들어가는 태양광모듈이나 배터리, 인버터 등 단품 위주로 제품이 개발되다 보니 이를 통합하고 운영하는 기술이 부족하다.

이미 해외에서는 마이크로그리드 시장이 활짝 열리고 있는데, 아직 경쟁력을 갖춘 국내 기술이 없다는 것은 심각한 문제점이다. 향후 10년 내에 한국을 포함한 아시아가 마이크로그리드 시장의 70%를 차지한다는 분석이 있으므로 세계표준적 기술개발을 서둘러야 할 것이다.

마이크로그리드 도입의 어려움은 대상 지역 및 수요자의 구성이 모두 다르다는 점이다. UPS, 디젤발전기, 태양광 발전, 태양열 발전, 풍력 발전, 연료전지, 양방향 전기차 충전설비, 다양한 에너지 저장장치 등의 여부와 용량에 따라 마이크로그리드 구성과 운영방식이 현저하게 달라진다. 이런 이유로 마이크로그리드 도입은 비용이 크고, 시간도 많이 걸렸다.

본 연구에서는 마이크로그리드 도입환경의 다양성을 극복할 수 있는 유연하고 개방적인 아키텍처 설계를 제시한다. 또한 각 에너지 자원의 특성과 발전량 예측을 통한 최적화 설계에 대한 접근법을 제시한다. 다양한 분산자원 구성을 가진 마이크로그리드 사이트에 적용할 수 있는 적용형 설계를 설명하고 태양광/풍력 등 신재생 유무에 따라 ESS를 구축할 때 사용하는 AC 연계형, DC 연계형, 하이브리드형에 대하여 논한다.

[특별세션VI. 집단에너지와 미활용에너지]

연료전지 연계형 지역난방 수용가시설의 엑서지 효율 분석

Exergy Analysis of Demand Side District Heating System Connected to Fuel Cell

이중용 · 박형우

유진에너지컨설팅

최근 들어 지구 곳곳에서 이상기후 현상이 자주 발생하면서 기후변화에 대한 국제적 관심이 점차 높아지고 그에 따라 온실가스 배출량 저감을 위한 각국의 노력이 활발하게 이루어지고 있는 가운데 연료전지가 하나의 대안으로 각광을 받으면서 소규모 분산형 전원과 대규모 발전시설로서 그 역할이 확대되고 있다. 특히 우리나라와 같이 전력의 생산처와 사용처가 멀리 떨어져 있는 경우는 분산형 전원의 확대가 더욱 절실히 요구된다. 그러나, 분산형 전원으로 연료전지를 이용한다 하더라도 연료전지로부터 발생하는 열은 적절히 이용되지 못하고 있는 실정이므로 이에 대한 활용방안을 마련하는 것이 필요하다.

우리나라는 현재 수도권과 전국 주요지역 약 250만 세대 이상에 지역난방을 공급하고 있다. 지역난방은 열원시설에서 생산한 중온수를 수용가에 공급하고, 수용가 기계실에 설치된 열교환기에서 이 열을 공급받아 각 세대에 공급하는 방식으로 대규모 열공급 네트워크로 연결되어 있다. 지역난방의 가장 큰 장점은 네트워크를 구성하고 있기 때문에 열공급 네트워크 인근에 있는 미활용 열을 활용하기에 용이하다는 것이다. 따라서, 분산형 전원으로 연료전지를 활용할 경우 연료전지에서 발생하는 열을 활용하기에 좋은 대안이 될 수 있다.

본 연구에서는 지역난방 수용가시설에 연료전지를 설치하여 전기와 열을 생산, 이용하는 소규모 분산형 열병합 시스템을 대상으로 엑서지 분석을 수행하였다. 연료전지는 도시가스를 연료로 하여 440kW의 전기와 162kW의 중온수(105°C) 및 292kW의 저온수(55°C)를 생산한다. 연료전지로부터 생산된 전기는 수용가시설의 각종 전기기기를 구동하는데 이용되고 중온수와 저온수는 각 세대에 난방 및 급탕 공급용으로 이용된다. 시스템의 엑서지 분석은 연료전지 열을 급탕 가열용으로 사용하는 경우(CASE 1)와 난방수 가열용으로 사용하는 경우(CASE 2)의 두 가지에 대하여 분석 후 효율을 비교하였다.

분석 결과, 연료전지와 연계된 지역난방 수용가시설의 시스템 엑서지 효율은 CASE 1이 35.17%, CASE 2가 34.62%로 CASE 1의 엑서지 효율이 약간 높은 것으로 분석되었다. 시스템 내의 각 기기들 중 히트펌프의 엑서지 효율이 CASE 1에서 5.11%, CASE 2에서 2.08%로 매우 낮게 나타났으며, 이는 엑서지 가치가 높은 전기를 이용하여 엑서지 가치가 낮은 저온 열을 생산하기 때문인 것으로 분석된다. 또한, CASE 1에서 급탕 열교환기는 기준 환경을 가로지르는 엑서지 전달이 발생함에 따라 엑서지 오류 현상이 나타나는 것을 알 수 있었다.

[특별세션VI. 집단에너지와 미활용에너지]

연료전지 배열을 활용한 유기랭킨사이클 발전시스템 개발
Development of an Organic Rankine Cycle Power Systems for
Phosphoric-Acid Fuel Cell

이동현 · 홍성국 · 박천동 · 최재준

한국에너지기술연구원 에너지효율·소재연구본부

신재생에너지 보급 확대 정책에 따라 태양광, 풍력, 연료전지 등 신재생에너지를 이용한 발전이 지속적으로 증가하고 있다. 이중 연료전지는 단위면적당 발전량이 높고, 전기와 열을 동시에 생산할 수 있으며, 오염물질의 배출이 적어 도심 인근에 설치가 용이하여 지역 난방과 연계한 분산형 전원으로서의 가치가 높다. 국내 운영 중인 발전용 연료전지의 전력 생산효율은 연료전지 방식에 따라 41~47%로 발전량과 유사한 수준의 열을 배출하며, 상시 정격운전에 적합한 특성을 가진다. 반면 수요처의 열부하는 계절별, 시간대별로 변동성이 매우 크다는 특징을 가지고 있다. 그러므로 광역망과 연계되지 않은 소규모 네트워크의 경우 별도의 열저장 설비를 구축하지 않으면, 초과 생산된 열을 추가적인 에너지를 소비하며 대기로 방출하여야 한다.

본 연구는 연료전지를 주 열원으로 하는 소규모 실증네트워크상에서 열부하에 능동적으로 대처하기 위한 유기랭킨사이클의 개발 및 네트워크 실증을 목표로 하고 있으며, 그 첫 단계로서 연료전지 및 지역난방과의 연계성을 고려한 사이클 설계를 수행하였다. 주 열원인 연료전지로는 UTC사의 FuelCell[®] Model 400을 고려하였다. 상기 연료전지는 서로 다른 두가지 온도의 열을 생산하며, 고온열과 저온열은 각각 최대 121℃, 60℃이다.

본 연구에서는 고온열만을 이용하는 경우, 고온열과 저온열을 모두 이용하는 경우, 그리고 고온열을 저온열원으로 공급하여 중간 온도의 열을 이용하는 경우에 대하여 유기랭킨사이클 발전시스템에 대한 해석을 수행하였다. 또한, 바이패스 밸브를 이용하여 열부하가 높을 경우 난방 및 급탕을 위한 열원으로, 열부하가 낮을 경우 전력생산에 선택적으로 활용하는 방안과 우선적으로 전력을 생산한 후 유기랭킨사이클의 냉각열을 이용하여 저온네트워크에 공급하는 방식도 비교 검토하였다. 이러한 결과를 바탕으로 실증사이트의 전체 네트워크 구성 및 열부하패턴을 고려하여 최적의 사이클을 선정 후 시스템 개발을 위한 상세설계를 진행할 예정이다.

[특별세션Ⅶ. 집단에너지 융복합기술]

발전 · 산업분야의 냉각탑 B/D*수 재이용을 위한
전기흡착식 탈염화 기술 개발

Development of Capacitive Deionization Technology for Reuse of Cooling Tower
Blowdown* Water in Power & Industrial Applications

최현성 · 이건명 · 유장용 · 안혜련 · 노형근

두산중공업 기술연구원

물부족 현상이 전 세계적으로 심화되면서 지속가능한 수자원 확보를 위한 방안으로 증발법, 막분리법, 이온교환법, 전기투석법등의 탈염 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 증발법이나 역삼투압법을 이용하는 방식은 기술 수준이 이미 성숙기에 도달한 안정적인 기술이나, 에너지 소비량이 높은 단점이 있고, 이온교환법은 저농도 염수의 이온 제거 효과는 뛰어나지만, 재생과정에서 다량의 폐액이 발생하는 문제점이 있다. 이에 최근에는 이온교환법 대체용으로 전기화학 기술을 이용한 전기흡착식 탈염 기술(Capacitive Deionization, 이하 CDI)을 발전 및 산업분야에 적용하기 위한 현장 실증 연구가 추진중에 있다.

CDI 기술은 얇은($<25\mu\text{m}$) 이온교환막이 부착된 활성탄소 전극에 전압을 인가하면 충전시에는 이온의 흡착, 방전시에는 이온의 탈착이 반복되면서 물속에 용해된 이온들을 제거하는 기술로 기존 이온교환법 및 역삼투압법에 비해 에너지소모량(kwh/m^3)이 적고 화학약품 사용이 거의 없는 수처리 기술로 대두되고 있으며 현재까지는 소용량 탈염처리 공정에 적용되고 있는 실정이다. 두산중공업은 고효율 CDI 전극과 2톤/일 모듈 제작 및 시스템 장치들 구축하여, 공급 유량과 용존성 고형물(Total Dissolved Solid)에 따른 탈염성능 및 물회수율 평가를 수행하였으며, 그 결과를 토대로 고효율 CDI 시스템 설계, 제작 및 운전 기술을 확보하였다.

본 연구는 차세대 핵심 탈염 기술인 CDI 기술을 발전 및 산업분야 냉각탑 Blowdown(이하 BD)수에 적용하여 냉각수 내 용존성 고형물 축적 방지, 화학약품 사용량 절감 및 BD수 재이용을 통한 공업용수의 안정적 확보와 환경오염 법적 규제에 대한 대비책을 마련하고자, 두산중공업에서 추진 중인 대용량 20톤/일 단위 모듈로 구성된 CDI 시스템 설비를 한국지 역난방공사 화성지사에 설치하여 2개월(04~05월)동안 현장 실증을 진행할 예정이며, 실험 조건별 에너지소모량, 탈염성능, 물회수율 등의 실험 결과를 분석하여 이온교환법 운전 결과와 비교 분석할 계획이다. 그리고 20톤/일 CDI 단위 시스템 현장 실증 완료 후, 동일 사이트에서 후속 실증 실험으로 Scaled-up된 100톤/일 CDI Pilot Plant 에 대한 성능과 경제성 분석을 평가할 예정이다.

결론적으로 냉각탑 BD수 재이용을 위한 CDI 시스템을 적용할 경우 기술적인 측면에서는 냉각탑 BD수 처리 효율 및 안정성 향상과 역삼투 방식에서 문제되었던 막 오염 해결을 위한 대체 공정 기술 개발이 가능하고, 경제적인 측면에서는 BD수 및 폐수처리 설비의 건설과 운영에 대한 신사업 창출 및 국내외 시장 점유율 확보가 가능할 것으로 판단된다.

[특별세션Ⅶ. 집단에너지 융복합기술]

지역난방 발전용 보일러 Water wall 튜브의 파손 원인 고찰
Failure Analysis of Water Wall Tube at Heat Generation Boiler
in District Heating system

홍민기 · 채호병 · 김우철* · 김정구** · 김희산*** · 이수열

충남대학교 신소재공학과, *한국지역난방공사 미래개발원, **성균관대학교 신소재공학과,
***홍익대학교 재료공학부

지역난방 열 생산시설에서 부식 환경에 노출되어 종종 발생하는 소재의 부식 및 파손은 설비 운영 및 장수명화에 심각한 영향을 초래하기 때문에, 이에 대한 파손 원인 분석을 통한 효과적인 예방 대책의 마련은 매우 중요하다. 본 연구에서는 지역난방공사 보일러용 수냉벽관이 축 방향을 따라 파손된 사례를 통하여 파손 원인 분석을 수행하였다. 튜브의 소재는 보일러용으로 주로 쓰이는 SA-210 Grade A1이며, Low Sulfur Waxy Residue(LSWR)이 연소하여 튜브의 온도를 올려주며, 급수 온도는 약 220, 가동 압력은 약 10 MPa 이다. 파손 원인 분석을 위해 먼저 파손 부의 육안검사를 실시하였다. 파손 및 튜브 두께 감소가 열을 받는 방향을 따라서 일직선상에 놓여 있는 것을 확인하였고, 외부 표면과 내부 부식에 의해 두께가 감소한 부분의 정밀분석을 XRD/SEM/EDS을 이용하여 산화 막의 구조, 형상 및 성분을 분석하였다. 튜브 내부의 부식 표면에서는 나트륨, 철 산화물이 검출되었고, 이를 통해 염기성 부식(Caustic corrosion)과 함께 수소가 생성되고 있음을 알 수 있었다. 또한 균열에서부터 떨어진 각도 별 두께 및 후프 방향으로의 미세조직의 변화를 분석하였고, 균열 주변 특히 튜브 내부 쪽에만 입계를 따라 많은 기공들이 분포하고 있음을 확인하였다. 본 연구에서의 파손은 튜브 위치 별 온도에 따른 튜브 내부 마그네타이트 부동태 막의 안정화 정도와 위치 별 불균일한 온도 분포 및 열 피로에 의해 발생된 튜브 내부 인장 잔류응력 크기의 차이에 의해 영향을 받는 것으로 보이며, 특히 외부의 불꽃을 정면으로 받는 튜브의 내부 쪽이 인장잔류응력이 가장 크고, 온도가 높아 다공성의 불안정한 부동태 막을 형성하는 가장 취약한 위치로 염기성 부식이 집중적으로 일어나며, 이 반응을 통해 수소가 생성되고 수소 취성에 의한 입계 파단을 가져온 것으로 생각된다.

Keywords:

Boiler water wall tube, Caustic corrosion, Magnetite, Stress corrosion cracking, Hydrogen embrittlement

[특별세션Ⅶ. 집단에너지 융복합기술]

관열 및 표준수 수열을 이용한 지역난방용 이중보온관 외관의 두께 산정기준 검토

A study on the criteria for thickness calculation of DH casing pipes
based on the standard dimension ratio and the series of preferred numbers

김주용 · 지준구

한국지역난방공사 미래개발원

지역난방(district heating, DH)은 열병합발전소에서 전력을 생산하고 남는 열이나 열전용 보일러, 쓰레기 소각열 등에서 생산된 열을 열수송관으로 운송하여 아파트나 공동주택과 같은 사용자의 난방 및 급탕에 활용하는 경제적이고 친환경적인 시스템이다. 이 중 열수송시설인 지역난방용 열수송관은 관내를 흐르는 120℃의 중온수를 열손실을 최소화 하면서 운송하기 위하여 강관인 내관(steel carrier pipe), 운송 중 열손실을 방지하기 위한 폴리우레탄(polyurethane, PUR) 보온재, 강관 및 보온재의 외부 누수 및 손상을 방지하기 위한 폴리에틸렌(polyethylene, PE)외관의 적층구조로 구성되어 있다.

열수송관의 개별 구성자재는 시공 및 운영 중 발생 가능한 외력에 대하여 구조적 안정성을 유지하여야 하며 최소 30년 이상의 수명을 유지하기 위한 내구성과 함께 경제성을 고려하여 제작된다. 국내에서 사용되는 열수송관의 경우, 강관의 최소 두께는 토압, 내압 등을 고려한 “마스틴-부즈네스크” 공식을 기초로 하여 산정되고, 여기에 부식 영향성을 고려한 여유 두께를 부여하여 결정된다. 보온재의 두께는 관내 중온수 및 외부 토피의 온도, PUR의 열전도율 등 열전달 변수를 고려하여 운송 중 열손실을 최소화 할 수 있는 두께로 산정된다. 그러나 외관의 경우 지역난방의 운영 특성을 고려한 명확한 산정기준이 정해져 있지 않으며 1980년대 후반 국내 도입 초기 지역난방이 수십 년간 운용되어 온 유럽의 EN규격을 기준으로 지역난방용 이중보온관 외관 두께를 차용하여 30여년 간 동일한 두께를 사용해왔다. 이후 해외에서는 기술개발, 재질변경, 운송·보관·시공환경 등에 대한 개선을 지속하여 외관 두께를 최대 47%까지 축소시켜왔다. 전체 열수송관 가격의 약 1/3을 차지하는 PE 외관의 가격을 고려할 때 외관 두께의 감소는 지역난방 시스템의 경제성에 끼치는 영향도 적지 않다.

본 연구에서는 국내 제작 열수송관의 구성자재 및 운영환경에 적합한 열수송관 외관의 두께 산정기준을 명확히 하기 위한 기초연구로써 EN 등 해외규격과 국내 외관의 두께를 비교 분석하였다. 그 결과 최신 EN규격이 일정한 관열(standard dimension ratio, SDR) 규칙에 의해 산정되어 있음을 확인하고 국내 열수송관에 적용하기 위한 최소두께를 도출하였으며 향후 KS규격으로의 표준화를 대비하여 표준수 수열(series of preferred numbers)을 이용한 적정 외관두께 산정기준을 제시하였다.

[특별세션Ⅶ. 집단에너지 융복합기술]

외부 환경 분석을 통한 통합운영체계 고도화
The Enhancement of the Integrated Operating System
through External Environment Analyses

이재승, 장재혁, 구기동, 송상화*

한국지역난방공사, *인천대학교

한남은 2011년 10월 판교에 통합운영센터를 구축하였으며, 지사 단위의 운영체계에서 전체 네트워크를 통합적으로 관리하는 통합운영체계 도입을 통하여 신속한 의사결정 및 정보관리의 선진화 기초를 마련하였다. CHP 열생산량이 증가하고 열 연계 네트워크가 확대됨에 따라 지사간 열 연계 등 통합운영의 필요성이 향후 더욱 증가할 것으로 예상되며, 전체 네트워크의 효율성을 고려한 통합운영 체계는 향후 집단에너지 사업의 핵심적 역할을 수행할 것으로 기대된다. 그러나, 사업 범위 확대에 따른 운영체계 복잡도 증가와 함께 온실가스 배출권 거래제, 탈원전/탈석탄과 신재생에너지 중심의 전력시장 구조 변화, 광역망 및 사업자간 열 거래, LNG 가격 변동성 및 직도입 등 외부 환경의 변화는 통합운영체계의 기능적 고도화를 필요로 하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 통합운영체계에 영향을 미칠 수 있는 외부 환경변화를 살펴보고, 통합운영체계 내 경제운전 최적화 시스템을 중심으로 외부 환경변화에 대응하기 위한 대응 방안에 대해 살펴보았다. 매5년 수립되는 국가에너지 기본계획은 발전 및 집단에너지 사업 추진의 방향성 정립에 중요한 정책 및 제도이며, '13~'35년 대상의 2차 국가에너지 기본계획에서는 분산형 발전으로의 패러다임 변화를 위해 수도권 집단에너지 공급체계를 강화하고 온실가스 배출권 거래제 등 지속가능성 제고를 중점 과제로 선정하였다. 이에 따라 8차 전력수급계획에서는 탈원전/탈석탄 및 신재생에너지 사용 증가로 LNG 발전의 변동 폭이 매우 클 것으로 예상된다. 천연가스공급정책에 있어 LNG 가격은 하향 안정화될 것으로 예측되며, 수급 안정화 및 가격경쟁력 확보를 위해 도입선 및 도입방식 다변화, 발전사업자의 LNG직도입 자유화에 대한 검토가 이루어지고 있다. 발전사업자에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 온실가스 배출권 거래제는 2015년 1월부터 시행되었으며, 배출권 거래가격의 변동 폭이 증가함에 따라 할당배출권, 상쇄배출권, 외부사업 인 증실적 등의 효과적 거래 전략 개발이 필수적인 상황이다. 집단에너지정책에서는 미이용 에너지의 적극 활용 및 열연계 활성화, 신사업모델 도입등을 추진할 계획이다. 이에 따라 열연계 네트워크 구축에 있어서는 에너지의 효율적 이용을 위하여 사업자간 열 거래가 적극 추진되고 있으나, 국가열지도 사업 등을 통해 로컬망을 광역망으로 연계하고 이 과정에서 다양한 참여자간 효과적 열 거래 및 연계를 위한 통합운영 방안 마련이 시급하다. 외부환경 분석 결과 통합운영체계는 첫째, 공급 중심에서 수요 중심으로의 패러다임 전환, 둘째, 신재생에너지 육성에 따른 LNG 발전 역할 재정립, 셋째, 스마트기술 및 ICT 기반 신사업 모델의 등장에 따른 변화에 적극적 대응이 필요한 것으로 나타났다.

[특별세션Ⅶ. 집단에너지 융복합기술]

강화학습을 기반으로 하는 열사용자 기계실 설비의
열효율 향상에 대한 연구

A Study on the Improvement of Heat Energy Efficiency for Utilities of
Heat Consumer Plants based on Reinforcement Learning

송민구* · 최중인* · 김영곤* · 허결* · 유가은* · 임현서*

구기동† · 엄재식† · 전영신† · 장동하†

서울대학교 차세대융합기술연구원*

한국지역난방공사 미래개발원†

에너지 산업에서 생산성 증대는 장기간 취급되어온 공통적인 문제로서, 이를 해결하기 위해 에너지 효율 개선, 생산 및 유지비용 감소에 대한 연구가 지속되고 있다. 지역난방의 경우, 열사용자 기계실에 있는 설비의 열효율을 향상시키는 문제가 동일한 맥락에서 중시된다.

강화학습(reinforcement learning)은 일반적으로 반복적인 시행착오(trial-and-error)를 거치며, 목적 함수에 대해 순서가 존재하는 입력을 변수로 하여 보상치가 커지는 방향으로 출력을 맞추어가는 기계학습의 한 형태이다.

본 논문에서는 강화학습을 기반으로 하여 지역난방 열사용자 기계실 설비의 열효율 향상을 시도하는 연구를 소개하며, 한 예시로서 모델을 특정하지 않는 강화학습 알고리즘인 딥큐러닝(deep Q learning)을 활용하여 학습 네트워크(DQN)를 구성함으로써 그 방법을 제안한다. 여기서 데이터 측정이 가능하도록 구비된 열교환기 등 일부 기계실 설비를 환경(environment)으로 전제하고, 제어 신호를 생성하며 설비를 운전하는 주체로서 에이전트(agent)를 정의하며, 운전 상태와 제어 신호를 각각 상황(state), 행동(action)으로 같음한다. 이를 통해, 열사용자 기계실 설비의 열효율 향상을 목적으로 하는 큐(Q) 함수에 대한 근사화와 그 출력으로써 최적 운전을 가능하게 하는 정책을 추론할 수 있다. 본 연구에서 열효율 향상의 대상은 기계실의 난방 및 급탕 열교환기로서, 엑서지(exergy) 효율 계산 방법을 그 기준으로 삼는다.

부 록

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20152010103160)

[특별세션Ⅶ. 집단에너지 융복합기술]

실배출원 이산화탄소 포집을 위한 막분리 공정 설계 및 실증
Process design and demonstration of on-site membrane pilot plant for CO₂ separation

한상훈¹ · 김세종¹ · 정수정¹ · 임민수¹ · 이충섭¹ · 장원석² · 하성용^{1,*}

¹(주) 에어레인,

²한국지역난방공사 미래개발원

전지구적인 기후변화와 이에 따른 환경 및 생태계의 변동은 지구온난화에 따른 것으로 18세기 산업혁명 이후부터 급증한 화석연료의 사용, 온실가스의 배출과 대기 중 이산화탄소 농도의 증가 추세의 직접적 연관성이 이를 반증한다. 친환경에너지의 도입을 통한 화석연료의 완전한 대체는 2050년 이후까지 점차적으로 진행될 예정이기 때문에 현재 사용 중인 에너지원에서 발생하는 온실가스 중 이산화탄소를 포집하여 활용, 저장하는 이산화탄소 포집, 이용 및 저장(Carbon capture, utilization and storage, CCUS) 기술은 지구온난화에 대응하는 현실적인 방법으로 즉시 대량배출원에 적용가능하다는 장점을 가진다.

이산화탄소 포집 기술은 배가스의 주요 성분인 이산화탄소, 산소, 질소 등 화석연료의 연소 배출가스에서 이산화탄소를 선택적으로 포집하는 기술을 말한다. 아민 수용액을 이용한 습식 포집, 건식 흡착제를 이용한 건식 포집과 더불어 혼합기체의 투과속도 차이를 이용한 분리막 기술이 주요 기술이며, 이 중에서 막분리 기술은 화학약품을 사용하지 않으며 재생 공정이 없어 재생을 위해 스팀 및 열원을 사용하지 않고 컴팩트한 공정을 설계할 수 있다는 장점을 가진다.

분리막 기술은 고투과선택성 소재, 소재를 이용한 단위 모듈화 기술, 모듈을 이용한 다단 공정 기술로 구성된다. 분리막 소재로는 유무기 금속 소재들 중 고분자 소재가 제일 상용화 되어있으며, 1세대 소재로 폴리에틸렌, 셀룰로오스 아세테이트, 실리콘, 2세대 소재로는 폴리이미드, 폴리에틸렌옥사이드아미드 등이 사용되고 있다. 기체분리막에 있어서는 단위 모듈의 packing density를 높이기 위해 유리한 중공사 분리막(hollow fiber membrane)과 나선형 분리막(spiral-wound membrane)이 가장 많이 사용되고 있으며, 단위 모듈의 크기 및 집적도 향상을 통해 모듈의 처리용량을 향상시키는 것이 핵심 기술이다. 단위 분리막을 2단 이상으로 배치하여 혼합가스로부터 분리하고자하는 기체를 최저 비용으로 높은 농도와 회수율, 처리량을 가지도록 공정조건을 최적화하는 것이 다단 공정 기술이다.

그래서 본 연구에서는 분리막 공정을 이용한 실배출원 소형 파일럿 테스트를 진행하고 이를 통해 다단 막분리 공정 설계를 수행하였다. 소형 컨테이너에 배가스의 추기, 분진 전처리, 열교환기, 가스 압축, 제습 및 막분리 다단 스킴, 진공펌프로 구성된 공정에 압력, 온도, 유량 등의 계측제어 장비를 구비한 이동형 파일럿 시스템을 제작하여, 다양한 배출원에서 이산화탄소 포집 실험을 수행하였다. 주로 배출원의 굴뚝 아래 유희공간에 설치한 파일럿 시스템에서 이산화탄소 4.5%에서 최대 21%까지, 산소는 5%에서 13%까지 포함하는 다양한 배가스로부터 2단 혹은 3단 공정을 이용하여 이산화탄소의 회수율을 85~90%로 유지하면서 다단의 이산화탄소 포집 농도를 최대 90% 이상으로 농축하였다. 이의 공정 운전조건을 바탕으로 실배출원 배출원에서 적용가능한 파일럿 막분리 공정을 설계하였다.

[특별세션Ⅶ. 집단에너지 융복합기술]

도심발전소 배기가스내 CO₂ 저감 및 고가물질 생산을 위한
미세조류 실증화 기술 개발

Development of demonstration technology using microalgae for reduction of CO₂
and production of high-valued materials on flue gas of urban power plant

장원석 · 오문세 · 이영재 · 유지혜

한국지역난방공사 미래개발원

기존 탄소포집저장(CCS)기술은 발전소 배기가스내 CO₂를 흡수제로 포집, 분리한 후 원거리 수송하고 이를 깊은 지반층 저장하는 것으로 고가의 처리비용(15만원/CO₂톤)만이 소요되고 가스특성상 지반균열시 누출위험 존재하는 문제점을 안고 있기 때문에 최근에 전세계적으로 CO₂를 포집한 후 이를 이용하여 고가 유용물질로 전환하는 경제적이고 효율적인 탄소자원화(CCU)기술 개발에 관심이 집중되는 추세이다. 특히 대부분의 탄소자원화 기술이 CO₂를 다른 물질로 전환하기 위해 많은 에너지를 소모하며 이를 통해 더 많은 CO₂를 발생하는 모순된 문제가 발생하기도 하나 미세조류를 이용한 생물학적 전환기술은 에너지 소모가 거의 없이 광합성 반응을 통해 CO₂를 고가물질로 전환할 수 있기 때문에 실질적인 CO₂ 저감기술이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 도심에 위치한 한국지역난방공사 P지사의 열병합발전설비(CHP) 배기가스(평균 CO₂ 농도 5%)를 스택 80m 높이에 설치된 추기설비를 이용하여 미세조류를 배양하고 있는 폐쇄형 광반응시스템에 공급한다. 이때 사용된 미세조류는 헤마토코쿠스(*Haematococcus pluvialis*)인데 이 종은 천연 항산화물질인 아스타잔틴(astaxanthin)을 가장 고농도로 생산할 수 있는 종으로 알려져 있다. 새로운 타입으로 개발된 광반응기에서는 햇빛, 미세조류, 배기가스내 CO₂ 간의 광합성 반응을 통해 CO₂를 고정화하여 평균 30%정도 제거할 수 있으며 미세조류인 헤마토코쿠스(녹색)는 증식 및 유도단계와 같은 2단 배양단계를 거쳐 아스타잔틴을 고농도로 축적하는 수확단계가 되면 적색으로 색상이 변하고 이때 수확된 biomass는 French press나 Germination와 같은 추출분리공정과 생물학적 검화공정과 같은 정제공정 등 다양한 Down-stream공정을 통해 건강식품, 의약품, 사료 등 고가물질을 생산할 수 있는데 이는 기존 미세조류를 이용하여 바이오디젤(\$1/kg)을 생산하는 공정에 비해 수천배 높은 수익(\$3000/kg)을 얻을 수 있으며 실제배가스로 운전한 경제성 평결과, 10톤 플랜트 운전시 투자금 회수기간 1.17년, 수익률(DCFROR: 15%이상 경제성有) 45.2%로 확실한 사업성이 있음을 확인할 수 있었다.

특히 본 공정은 폐쇄형으로 기존 개방형공정에 비해 수직 및 수평 공간을 모두 활용할 수 있는 콤팩트한 설비로 도심과 같은 협소한 공간에서도 미세조류를 광배양기내 고밀도로 유지할 수 있으므로 CO₂ 고정화가 빠르고 단위면적당 높은 생산성과 오염방지 및 공정제어가 수월하다. 그러므로 의약품과 같은 고가물질 생산에 적합한 공정임을 확인할 수 있었고 서 개발된 광반응기 역시 기존 타 반응기보다 훨씬 저렴한 재질을 사용하면서도 재사용이 가능하기에 매우 효과적이고 경제적임을 확인할 수 있었다.

[특별세션Ⅷ. 집단에너지 기술]

시설하우스 대상 발전소 온배수열 에너지 공급에 대한 환경 및 사회적 가치 인식 비교
분석

Evaluation on the environmental and social value awareness of the heat
supply for the rural facility house using cooling water effluent from
power plant

김가희 · 엄병환

한경대학교 화학공학과

최근 기후변화 협약에 따른 온실가스 감축, 화석 연료 소비 절감을 위해 대체에너지에 대한 관심이 높아지고 있는 가운데, 화석 연료에 대한 에너지 집중도를 낮추고, 산업시스템 전반에 걸쳐 미활용 되는 폐열 사용에 대한 필요성이 부각되고 있다. 특히, 발전소를 비롯한 대규모 산업단지에서 발생하는 폐열 및 온배수를 활용하여 열대작물재배, 양식 등 농업분야 에너지 재활용에 대한 정부지원 사업이 활발히 진행되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 발전소 온배수 형태로 버려지는 폐열을 활용한 국내 실증 지역 대상으로 수용자 제고 측면에서 연구를 수행하였다. 이에 사업의 주체들인 공급자 (발전사), 사용자 (농민) 및 이해관계자 (설비업자 및 지자체)를 대상으로 현장인터뷰와 설문형태의 조사를 통하여 정부 지원사업의 전반적인 개선사항 및 타당성을 파악하였다. 본 연구결과는 발전소 온배수열 활용 시설하우스 열원 공급사업의 전국적 확대 보급측면에서 기본적인 사업운영에 대한 방향성을 제시 할 것으로 기대되며, 더불어 지자체의 미세먼지 저감 및 온실가스 감축 대응 역량 강화에도 크게 기여할 것으로 판단된다.

[특별세션Ⅷ. 집단에너지 기술]

지역냉·난방 온실가스 자원화 이용 기술모델 고찰

An Assessment for the Novel Energy Network Model of Carbon Capture and Utilization(CCU) in District Heating and Cooling

윤영직 · 윤시원 · 이찬규 · 임용훈

한국에너지기술연구원 에너지네트워크연구실

1. 최근 들어 지구 온난화의 주요 원인 중 하나인 이산화탄소를 자원화하여 이용하는 기술(CCU; Carbon Capture & Utilization)에 대한 관심이 부쩍 증대되고 있다. 온실가스 포집과 관련한 대표적인 기술 분야라 할 수 있는 CCS(Carbon Capture & Storage) 기술은 온실가스 저감 목표 달성에 있어 가장 주목을 받아오던 기술이며, 향후 글로벌 온실가스 감축 로드맵 수립에 있어 빠질 수 없는 기후변화 대응을 위한 핵심적인 기술 수단임에 틀림없다. 그러나 해당 기술의 상용화 및 실제 시장보급을 통한 실질적인 효과를 거두기까지는 예상보다 더 많은 시간이 소요될 것으로 보는 의견이 지배적이다. 오히려 막대한 이송 및 저장 비용이 요구되는 CCS 기술보다는 이산화탄소를 활용하여 가치 있는 물질로 전환하거나 이산화탄소를 원료로 하여 새로운 에너지를 생산하거나 활용하는 개념인 CCU 기술에 대한 관심이 급격히 증대되고 있다. 향후 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 주요 감축 대상 중 하나로 예상되는 집단에너지 사업 부문에 있어 최근 주목받고 있는 온실가스 에너지자원화 이용(CCU) 기술의 접목을 통해 기후변화의 시대에 적합한 새로운 성장 가능성을 타진해 볼 수 있다는 점은 매우 흥미롭다. CCU 기술의 대표적인 분야로는 이산화탄소를 원료로 하는 물질 전환 분야를 들 수 있으며 이산화탄소를 이용한 플라스틱 생산, 미세조류의 먹이로 활용하여 수소 및 신약 물질을 생산하거나 온실의 작물 생산성 향상을 위해 시비 물질로 활용하는 것이 대표적인 기술이라 할 수 있는데, 여기서는 집단에너지 사업의 특징을 감안, 이산화탄소를 에너지 매질로 활용하여 전통적인 에너지 네트워크 관점에서 고려 가능한 온실가스 자원화 이용 기반의 혁신적인 미래 집단에너지 사업 기술모델 개념에 대해 고찰해보고자 한다.

[특별세션Ⅷ. 집단에너지 기술]

관 내 유동 저항 감소를 위한 표면 코팅 및 측정 기술

Technologies of Coating and Characterization for the Head Loss Reduction of Pipe Flows

김지윤 · 임용훈* · 정영수

숙명여자대학교 기계시스템학부, *한국에너지기술원

본 연구는 전기영동법 (Electrophoretic Deposition)을 이용하여 나노 입자를 관 (Pipe) 내벽에 코팅하여 유동 저항을 절감하는 기술과 그 측정 방법을 제안한다. 최근 지역냉난방을 통한 국가적 에너지 이용 효율 증대가 더욱 활성화되고 있다. 따라서 효율적으로 대량의 냉난방 공급수를 이송할 수 있는 관 개발이 필요하다. 관 내 유동 저항 절감은 공급수 이송 효율을 높일 수 있는 효과적이고 직접적인 방법의 하나이다. 유동 저항 감소 방법은 다양한 접근법이 있으나 표면에서 유체의 전단응력을 줄이는 방법으로 큰 효과를 볼 수 있다. 이를 위해 우리는 관 내벽을 전기영동법을 이용하여 나노 입자로 균일하게 코팅하는 방법을 개발하였다. 잘 분산된 나노 입자 현탁액 내에 전기장을 생성시키면 나노 입자에 정전기력이 발생하여 관 내벽을 코팅할 수 있다. 현탁액의 안정도와 전기장을 조절하면 관 내벽에 생성되는 나노 입자층의 특성을 변화시킬 수 있어 유동 저항에 대한 최적의 표면 특성을 찾을 수 있다. 결과적으로 균일하게 코팅된 나노 다공성 층은 관내 유동 저항을 효과적으로 절감시킬 수 있음을 이론적으로 밝히고 실험을 통해 검증하였다. 또한, 정밀한 유동 저항 절감 효과를 측정하기 위해 새로운 점성 측정 방식을 개발하여 적용하였다. 이를 통해 표면 특성에 따른 정밀한 유동 저항 변화 측정이 가능하여 앞으로 다양한 관 내벽 가공 기술 개발에 사용할 수 있다. 코팅 층의 내구성을 향상하고 대규모 생산 기술에 적용하면 실제 냉난방 공급수 관에 적용하여 이송 에너지 절감에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 개발된 기술은 다양한 유체 이송 기기의 표면 개량에도 사용할 수 있어 앞으로 그 효용성은 더 높아질 것이다.

[특별세션Ⅷ. 집단에너지 기술]

Intriguing Characteristics of Microalgal Biomass–Based Solid Fuel System

최홍일 · 심상준

고려대학교 화공생명공학과

Microalgae have garnered considerable attention for their ability to produce various products utilizing CO₂. Especially, microalgae are considered to be the most promising candidate for biodiesel production platform. However, the production of biodiesel from microalgae requires cumbersome downstream stages – including lipid extraction, transesterification and separation process – and only utilize convertible lipids as fuel source. These properties negate CO₂ reducing effect and energy yield of the biomass energy system. In this point of view, the utilization of microalgal biomass as a direct combustion fuel is worth reconsidering. This is because the strategy only needs simple dehydration system for the practical use and can exploit whole biomass as energy sources. In this study, we studied the various benefits of microalgal biomass as a solid fuel with the heating values, elemental and biochemical compositions, CO₂ abatement abilities, combustibilities, *etc.* Based on the experimental data, we performed comprehensive process assessment on energy consumption, CO₂ emissions and required expenses of the energy production via various pathways (*i.e.*, direct combustion fuel production, extraction and hydrothermal treatment–based liquefaction strategies). We consequently concluded that the solid fuel strategy is very energy–efficient fuel system considering the downstream process ranging from the biomass production to combustion. When an ideally designed fuel production layout is well–established and operated, the non–renewable energy consumption in 1 GJ production with the microalgal solid fuel becomes *ca.* 386.3 MJ which is comparable to that with the already commercialized woody fuel. As a result, we found that microalgal biomass solid fuel chain can largely contribute to reducing CO₂ emissions in the power (electricity) generation sectors.

[특별세션Ⅷ. 집단에너지 기술]

흡착냉방 적용 지역냉방 가능성 연구: 흡착탑 중심으로
Feasibility Study of the Application of Adsorption Cooling for DHC:
Analysis of Adsorption beds

정재동 · Duong Xuan Quang · Cao Ngoc Vi

세종대학교 기계공학과

집단에너지 냉방 열원공급 사업의 95℃ 이상 열원은 흡수식 냉동기로 사용되고 있지만 비교적 낮은 60~80℃의 열원은 사용되지 못하고 있는 실정이다. 흡착식 냉방시스템은 지역 냉방에 필요한 온도 범위에서 높은 잠재력을 지니고 있지만 큰 시스템 크기 및 상대적으로 낮은 성능으로 인해 널리 사용되지 않는 실정이다. 흡착식 냉방시스템은 흡착제(제올라이트, 실리카겔)와 냉매의 가역반응에 따르는 발열, 흡열 현상을 이용하는 것으로서 배열 및 폐열을 직접 사용하여 냉열을 발생시키는 냉동 열기관이다. 저온 열원 (60~80℃ 온수)으로 구동되고 냉매로 물, 메탄올, 에탄올, 암모니아 등을 사용하여 냉방열 (5~15℃) 또는 냉장열 (-20~0℃)을 생산하므로 전기압축 프레온 냉방기를 대체하는 저전력 환경친화적 냉방시스템이다. 본 연구는 열전달을 향상시키고 시스템 크기를 줄일 수 있는 가능성이 높은 흡착식 냉방시스템의 적용에 대한 타당성 조사를 수행하였다. 특히, 흡착식 시스템의 크기 및 성능에 가장 영향이 큰 흡착탑을 중심으로 살펴보았다. 또한, 냉동기 용량의 경우 7 kW급은 이미 상용화되어 보급중이며 전량 수입에 의존하고 있고 상업용 및 업무용 중소형 건물 냉방에 적합한 35 kW(10 RT)급의 흡착식 냉동시스템에 관한 연구개발은 전무한 상황에서, 집단에너지를 활용할 수 있는 제품의 상용화를 위한 기초연구를 수행하고 그 일부를 발표한다.

[특별세션Ⅷ. 집단에너지 기술]

지역난방 사용자시설 열교환기의 화울링에 의한 열성능 저하 특성 연구
Study on the Thermal Performance Deterioration Characteristics due to
the Fouling in Heat Exchanger of User-side Facility of District Heating
System

이찬 · 박형우* · 김훈* · 이중용*

수원대학교 산업기계공학부, *유진에너지컨설팅

본 연구는 지역난방 사용자시설의 난방 및 급탕에 사용되는 판형 열교환기(plate-and-frame heat exchanger)의 화울링에 의한 열성능 저하 특성을 규명하기 위한 이론적 분석 방법을 제시하였고, 제시된 방법을 이용하여 현장에서 열교환기 성능을 진단하고 세정시점을 판단하는데 활용될 수 있는 전산 프로그램을 개발하였다. 본 연구를 위해, 우선적으로 사용자 시설의 난방 또는 급탕 열교환기들에 대한 현장 운전 자료들을 수집하였고, 수집된 자료들에 판형 열교환기에 대한 에너지 및 엑서지 분석 기법들을 적용하여 열교환기의 LMTD, 총열관류율, 전달수(NTU), 에너지 또는 엑서지 유효도(energy or exergy effectiveness)와 같은 열성능 인자들을 분석하였다. 더 나아가 난방 기간 중에 수집된 현장 측정 자료들을 토대로 시간의 경과에 따른 열교환기의 열성능 변화를 진단할 수 있는 엑셀 기반 전산 프로그램을 개발하였다. 본 연구의 분석 방법과 전산 프로그램을 수도권 지역의 실제 사용자 시설들의 열교환기의 열성능을 분석하는데 적용하였고, 이를 통해 화울링에 의한 열교환기 성능저하가 전달수 및 엑서지 유효도 변화에 대한 관찰을 통해 규명될 수 있음을 알 수 있었다. 또한 본 연구의 전달수 및 엑서지 유효도에 관한 분석방법들은 열교환기의 적정 세정주기를 정함에 있어서도 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

[특별세션Ⅷ. 집단에너지 기술]

집단에너지설비의 연료 대체를 위한 기술성과 경제성 분석
A Technological & Economical Analysis for Switching Fuel in
Community Energy Supply Facility.

김형택, 유영돈*, 김수현*, 이상대**

아주대학교 에너지시스템학과, *고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터, **지역난방공사

국내의 집단에너지 사업 중 열병합발전을 활용하는 지역난방 사업은 LNG를 주 연료로 사용하며 그 의존도는 94%이다. 따라서 전력시장 상황과 가스가격이 지역난방 사업의 경쟁력을 결정할 수 있는 중요한 변수가 되며 특히 가스가격은 지역난방 사업에서 경제성 확보 여부를 결정할 수 있는 핵심이라고 할 수 있다. 국내에 도입되는 천연가스 가격은 원유가격과 연동되기 때문에 향후 원유가격의 상승에 따라 천연가스 가격도 동시에 상승할 가능성이 존재한다. 현재의 원유가격은 최고수준을 나타내었던 2011년 이후 일정수준에서 유지되고 있으나 원유가격의 불안정에 따른 국내 천연가스 가격의 불확실성이 존재함에 따라 지역난방 사업의 천연가스 구매 비용 절감 및 경제성 제고를 위한 연료 다변화에 대한 검토가 필요하다. 본 연구에서는 지역난방사업의 대체연료로 DME(디메틸에테르)와 SNG(합성천연가스)를 사용하는 경우에 대한 경제성 확보 여부를 판단하기 위해 다양한 시나리오에 대한 검토를 수행하였다. 단기적으로는 SNG를 사용하는 것이 현실적인 방안으로 검토되었으나 국내 천연가스 도입가격은 유가와 연동되는 특징을 가지고 있기 때문에, SNG를 지역난방사업의 대체연료로 사용할 경우 경제성 확보 여부는 유가변동에 의한 천연가스 도입가격의 변화에 따라 달라지게 되므로 국내외 에너지 가격 상황(유가, 천연가스 도입가격)을 면밀히 검토하여야 할 것으로 판단된다.

[특별세션IX. 집단에너지 정책]

온실가스 감축정책의 부수적인 편익

Ancillary benefit of greenhouse gas mitigation policies

오인하

건국대학교 신산업융합학과

에너지 부문의 온실가스 감축정책은 오염물질(NO_x, SO_x, PM 등) 배출을 줄이는 부수적인 편익을 가져오게 된다. 본 연구는 온실가스 감축에 따른 비용과 오염물질 감소에 따른 부수적인 편익을 비교해보고자 한다. 특히 집단에너지의 에너지믹스 점유율 변화에 따른 시나리오 설정하여 집단에너지 부문의 효과를 중점적으로 관찰한다. 방법론으로는 에너지 부문을 정교화한 연산가능일반균형모형(Computable General Equilibrium) 모형을 구축한 후 부문별 및 에너지원별 온실가스 배출계수 및 오염물질 배출계수 자료를 수집하여 모형 내 설정한다. 또한 오염물질의 톤당 사회적 비용은 최근 IMF 및 EU 등에서 발표된 자료를 사용한다. 집단에너지의 에너지믹스 점유율 변화를 포함한 다양한 온실가스 감축정책에 대한 비용과 부수적인 편익의 크기를 비교 분석할 예정이다.

[특별세션IX. 집단에너지 정책]

생산함수를 활용한 집단에너지사업의 규모의 경제성에 대한 추정
The Estimation of the Economies of Scale in the Integrated Energy
Business of Korea

백철우 · 유승훈* · 김효진*

덕성여자대학 국제통상학과, *서울과학기술대학교 에너지정책학과

국내 35개 집단에너지사업자 중에서 한국지역난방공사는 50% 이상의 시장점유율을 차지하고 있는 시장지배적 기업이다. 본 연구에서는 1988-2014년 기간 동안의 한국지역난방공사의 분기별 자료를 활용하여 Translog 생산함수와 Cobb-Douglas 생산함수를 추정하여 규모의 경제성을 추정하였다. Translog 생산함수 추정결과, 1993-2003년을 제외한 구간에서 규모에 대한 수익(RTS)이 1을 상회하여 규모의 경제가 존재함을 확인할 수 있었다. Cobb-Douglas 생산함수를 추정했을 때에도 전체 기간에 대한 규모에 대한 수익(RTS)이 1.232로 나와 규모의 경제가 존재함을 확인하였다. 이상의 분석결과는 일정 부분 공익성을 확보하면서 한국지역난방공사의 신규시장에 대한 참여규제를 완화할 필요가 있음을 시사한다.

[특별세션IX. 집단에너지 정책]

The effect of corruption on environmental quality: New evidence
from a panel of CIS countries.

Hwang, YunSeop • Danilova Natalia • Yu, Cheon

경희대학교 무역학과

In response to increasing attention to global climate change and efforts to its mitigation, this paper takes into consideration such political factor as corruption and shows its effect on environmental quality for a panel of CIS countries covering the period 2003–2013. Panel 2SLS considering the endogeneity problem between corruption and economic growth and Panel GLS analysis were conducted to estimate the direct and indirect effects of corruption on CO₂. The result shows corruption has shown to increase CO₂ directly, while indirectly decreasing it through obstructing economic growth. The total effect of corruption on environmental quality in for a panel of CIS countries is estimated to be negative not like previous studies in other areas. Therefore it confirms the severity of the corruption problem and necessity for considerable efforts to overcome it in for a panel of CIS countries to prepare for the low-carbon economy. Besides, evidence of N-shaped environmental Kuznets curve is confirmed, showing the possibility of re-degradation after reducing carbon dioxide emissions level.

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2016S1A5B6925462)

[특별세션IX. 집단에너지 정책]

소형 태양광 접속을 위한 직류 배전망 아키텍처: 나노그리드 Nanogrid Architecture for Small PV Systems

홍준희 · 최승호

가천대학교 에너지IT학과

우리의 문제는 현재의 전력 인프라, 특히 그 중에서도 배전망은 역부족이라는 것이다. 많은 어려움이 생기고 있으며, 앞으로 재생 에너지 보급률이 높아지면 더 심해질 것인데 현재의 배전망은 이를 감당하기 어려울 것이다. 재생에너지 3020 정책이 본격적으로 펼쳐지기 전에 미리 준비해서 배전망을 대폭 보강해야 하는 상황이다. 최근 이런 문제해결을 위한 방안으로 나노그리드가 연구되고 있다.

나노그리드는 “전압, 가격, 신뢰성, 품질 및 관리를 위한 단일 도메인”이다. 나노그리드 기반의 로컬 배전망(LPD: Local Power Distribution) 모델이 만들어지면 다양한 분야에 적용해서 기존과 다른 에너지 망 성능, 사용자 경험, 그리고 소비자 가치를 실현할 수 있다. 나노그리드라는 개념이 생소한 듯싶지만 전력망에는 이미 다양한 형태의 나노그리드가 운영되고 있다. 다만 이런 형식을 나노그리드로 인식하지 못하고 있을 뿐이다.

나노그리드든 마이크로그리드든 용도와 목적만을 고려한다면 비슷하다. 전체 전력망의 전력을 효율적으로 순환시켜 에너지 부양능력을 최대화시키는 데 그 목적이 있는 것이다. 다수의 프로슈머를 네트워크로 묶어 양방향 전력교환이 bottom-up 방식으로 가능하도록 한다. 발전과 소비가 최적의 거래를 통해 분산됨에 따라 안정적인 전기공급이 가능해지고, 거대 중앙집중식 발전소에서 말아야 할 전력 생산량이 줄어들며, 재생에너지 발전의 효율적인 이용도 가능하다.

전력망 운영도 차이가 생긴다. 현재의 그리드 혹은 스마트그리드가 수요 관리를 중심으로 전력 생산과 공급의 실시간 균형을 추구하는 반면, 나노그리드 체계에서는 특성이 균일한 단일 영역을 모듈 단위로 삼아 이들 사이에서 전력을 생산하거나 소비하는 자원(발전자원과 수요자원)들이 스스로 거래를 통해 각자의 최대이익을 추구하도록 하는 네트워크 체계를 추구한다. 자율 분산형 운영은 '보이지 않는 손'의; 방식으로 작동하며 이를 통해 시장체계에 상응하는 효용을 창출한다. 그렇기 때문에 나노그리드 체계에서는 거래 참여자 스스로 독립적인 전력 생산과 거래, 소비를 결정한다.

그런 맥락에서 이미 존재하는, 주변에서 흔히 볼 수 있는 나노그리드 시스템이 있다. 중소규모 태양광 발전 시스템은 전형적인 나노그리드 시스템이다. 본 논문에서는 태양광 발전에서의 비제어방식 단일 나노그리드 구현 사례와 제어방식 멀티 나노그리드 구현 사례를 소개한다. 그리고 PV 시스템을 대상으로 나노그리드 구현을 위한 주요 기술 및 방법에 대하여 설명한다.

[특별세션IX. 집단에너지 정책]

에너지전환 정책과 집단에너지 사업

Energy Transition Policy and its implication for Integrated Energy
Supply Industry

유승직

숙명여자대학교 기후환경융합학과

2017년 우리나라 정부는 안전과 환경을 중심으로 한 에너지 정책방향을 발표하였다. 1980년대이후 우리나라 집단에너지 사업은 한편으로는 에너지 절약사업으로, 그리고 다른 한편으로는 수요지 인근에 위치하며 동시에 상대적으로 대기오염물질 배출이 잇점을 활용하여 급속도로 발전하였다. 본 연구에서는 그 동안 발전되어온 집단에너지 사업의 추세와 특성을 계량적으로 분석하고, 국내외 문헌분석을 통하여 기후변화와 친환경에너지 정책을 추진하는 사례를 분석하여, 에너지 전환정책에 있어서 집단에너지 사업의 잠재적 역할을 살펴보고 있다. 또한 대기오염물질 저감과 온실가스 감축에 있어서 집단에너지 사업의 장단점을 규명하고 이를 위한 연료 에너지 가격 정책의 전환, 미활용 에너지 이용 활성화 등을 위한 정책적 대안을 제시한다.

[특별세션Ⅸ. 집단에너지 정책]

수도권 열병합발전이 송전망에 미치는 영향

The Upgrading Adjustment effects of CHP for capital area

김용하 · 임태훈 · 정재훈

인천대학교 전기공학과

현재 북상조류를 담당하는 송전망이 포화상태로 전력망에 혼잡이 발생하고 있으며 세계 최고 수준의 송전망 밀집도와 함께 밀양사태 등으로 추가건설도 갈수록 어려워지고 있는 실정이다. 실제 지역별 전력소비 및 발전량을 비교해보면 서울, 경기 등 수도권은 수요대비 발전량이 3~20[%] 수준에 그치고 있다. 반면 영남과 충청, 호남 모두 소비량에 비해 발전량이 많아 결국 이 전기가 송전망을 통해 수도권에 전력을 공급하고 있는 실정이다.

결국 이 같은 측면에서 분산형 전원 활성화는 선택이 아닌 필수의 문제로 인식되고 있다. 분산형 전원의 전통적 개념은 국가별로 다양하게 정의하고 있으나, 일반적으로 수요지에 인접, 소용량(100[MW] 이하)으로 지역배전망에 전력을 공급하는 전원을 말한다.

보급이 확대되고 있는 신재생에너지의 경우 미래에는 분산형 전원으로서의 충분한 역할이 기대되고 있다. 다만 태양광, 연료전지는 설치비가 비싼 반면 경제성이 낮아 보급 확대가 어렵고, 생산이 일정하지 않아 전력피크 기여도가 낮다는 것이 단점이다. 결국 수도권 전력망 과부하 문제는 전통적 소규모 분산전원을 통해 해소하기에는 아직은 역부족으로 보고 있다.

이에 집단에너지 설비가 주목받고 있다. 전력수요지에 위치하는 것은 물론 전력수급에 기여할 수 있고, 전력피크 시 즉각 운전 가능한 열병합발전이 전력계통의 입장에서 분산전원으로서 가치가 크다는 것이다. 더욱이 난방열을 공급하므로 수도권 도심 입지가 가능하고, 에너지 이용효율이 높아 시장에서 자생할 수 있는 경제성도 보유하고 있다고 분석된다.

따라서 본 논문에서는 수도권 집단에너지의 효과를 고려하여 선로의 정격용량에 대한 사용률을 산정하였으며, 이를 적용하여 송전용량 한계량 및 송전망 이용회피비용을 산정하였다.

이를 위하여 우리나라 실계통을 대상으로 Power-World를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였으며 100% 부하 및 60% 부하에 대하여 수도권 열병합발전이 모두 투입된 경우, 수도권 열병합발전이 모두 정지되고 전력수급계획의 신증설계획을 기반으로 한 다양한 경우에 대하여 결과를 도출하였다.

[특별세션Ⅸ. 집단에너지 정책]

집단에너지발전의 사업성을 고려한 인증서 산정방안

Estimation of the Certificate considering the Feasibility of DHC System

이창호 · 이우남*

한국전기연구원 전력정책연구센터

분산전원으로써 지역내 전기와 열을 공급하는 열병합발전기술을 이용하는 집단에너지는 에너지자원의 분산화, 고효율화, 친환경화 추이에 따라 보급의 필요성이 높아지는 추세이다. 우리나라도 2000년대 이후 신도시 등 대규모 단지개발과 더불어 열병합발전시스템의 보급이 확산되고 있다. 그러나 최근들어 신규 전력설비의 준공, 전력수요 증가율의 정체로 인해 전력시장가격이 하락하였으며 당분간 이러한 추세가 지속될 것으로 예상된다.

이로 인해 집단에너지의 경제성이 악화되고 있으며, 이러한 현상이 지속된다면 향후 집단에너지 공급확대에도 차질이 있을 것으로 보인다. 따라서 기존의 전력시장에 의한 수익구조에서 벗어나 집단에너지가 가지고 있는 분산가치와 환경가치를 반영할 수 있는 새로운 정책수단의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 관점에서 먼저 분산형 집단에너지의 경제성과 편익을 산정함으로써 집단에너지발전이 가지고 있는 에너지자원으로써의 가치를 객관적으로 평가하고자 한다. 경제성 평가는 설비용량을 구분하여 송전 배전 손실 등 분산편익의 발생요소와 용량에 따른 경제성을 반영할 수 있도록 한다, 이러한 분산편익 또는 공급비용과 전력시장가격과의 차이를 산정하여 전력시장을 통해 비회수되는 비용 및 분산편익을 산정하여 이를 인증서 가중치로 제시하고자 한다. 인증서 수준을 추정하기 위해 현재 신재생에너지의무화제도에서 적용하고 있는 신재생에너지인증서(REC)를 대용지표로 활용하였으며 집단에너지발전의 용량에 적합한 인증서가중치의 수준을 추정한다.

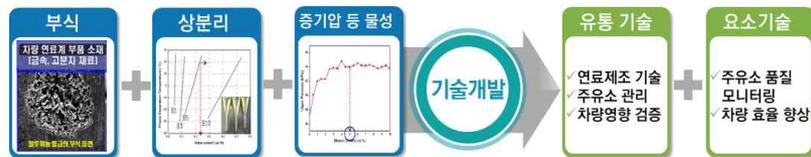
본 연구를 통해 현재 전력시장에서 반영되지 않고 있는 집단에너지의 가치를 합리적으로 평가하고 이를 바탕으로 집단에너지발전에 대해 인증서와 같은 정책수단으로 반영해야하는 지원수준을 제시하고자 하며 나아가 향후 도입이 추진되고 있는 EERS 등 신규 규제시스템을 통해 반영하는 방안으로 활용될 수 있을 것이다.

[특별세션 X. 지속가능한 바이오연료의 개발과 산업화 전략]

국내 휘발유 대체연료로서 바이오알코올 적용성 연구
Study on Application of Bio-alcohol fuels as alternative fuels

황인하 · 김신 · 김재곤 · 이정민
한국석유관리원 석유기술연구소

국제적으로 수송부문의 온실가스 저감을 위한 대책으로 바이오연료인 바이오에탄올, 바이오디젤 및 바이오가스를 사용하고 있다. 해외 각국은 자국의 원료수급이나 인프라 여건 등의 실정에 맞게 자발적 사용이나 의무사용을 위한 정책을 추진하고 있다. 국내는 2035년 신재생에너지 보급비율 11% 달성과 신기후변화체제 대응을 위한 국가 온실가스 감축 목표인 2030년 배출전망치(BAU, Business as usual) 대비 37% 달성을 위하여 수송부문에서 바이오연료의 적극적인 보급 확대가 필요한 실정이다. 한편, 수송부문에 바이오연료로서 자동차용 경유의 대체연료로 바이오디젤을 의무혼합하여 사용케 하는 신·재생에너지 연료 혼합 의무화제도(RFS, Renewable Fuel Standard)가 2015년부터 시행하여 2018년부터 바이오디젤 3.0%를 보급 중에 있다. 그러나, 국내 시행 RFS 제도는 바이오연료 중 상용화하여 사용하고 있는 바이오디젤의 혼합의무비율 로드맵을 제시하고, 바이오에탄올 등은 추후 검토하여 도입이 예정되어 있어 신규 도입 가능한 바이오연료의 산업화를 위한 시장성 확보 기술 개발이 필요하다. 이런 관점에서 국내 자동차용 휘발유의 대체연료로서 바이오에탄올과 바이오부탄올의 혼합 바이오알코올 연료유에 대한 적용성 실증연구가 요구되어 보급을 위한 유통기술과 요소기술에 대한 정부 R&D를 추진하고 있다. 본 연구에서는 국산 바이오에탄올과 바이오부탄올의 혼합 바이오알코올을 자동차용 휘발유에 6% 혼합한 EB6 연료에 대한 연료특성 품질평가와 도로 내구주행에 따른 배출가스 및 연비의 차량 성능평가의 적용성 평가를 수행하고 있다.



	옥탄가 (RON)	증기압 (kPa)	산소함량 (무게%) (발열량, kJ/kg)	재질 부식성	물용해도 (상분리)	가격 경쟁력	CO ₂ 저감 효과	기술수준
바이오에탄올	111	16 (공비현상, 혼합 시 급격 상승)	34.7 (26.8)	***	100	**	카본중립	***
바이오부탄올	100	2	21.6 (-)	**	9.1	*	카본중립	**
ETBE	118	30	15.7 (35.2)	*	1.2	**	약 47%(BE) 카본중립	***
MTBE	117	55	18.2 (35.2)	*	2.1	***	화석연료	***
가솔린	91-94	49-92	0 (44.0)	*	거의 무시	***	화석연료	***

[그림 1] 국내 바이오알코올의 실증연구 개략도

[특별세션 X. 지속가능한 바이오연료의 개발과 산업화 전략]

급속열분해 바이오오일 개발과 전망

The development and prospect of fast pyrolysis oil

오창호

(주)대경에스코

바이오매스를 이용한 바이오에너지 생산기술은 지구온난화와 환경오염 등의 문제를 야기하는 화석연료 과다 사용을 저감시킬 수 있는 친환경 대체 에너지로 주목받고 있다. 근래 세계 각국은 이러한 목적으로 신재생에너지 보급률을 높이기 위한 연구개발을 활발히 진행하고 있으며, 최근 국내 정부도 국가에너지기본계획에 신재생에너지 보급목표를 11%로, 기존 목표인 3.18%에 비해 3.5배 이상 높게 설정하는 등 대체 에너지에 대한 중요성을 국가 정책에 반영하고 있다. 이러한 대체 에너지 생산 기술 개발은 안정적이고, 상용화 가능성이 높은 바이오에너지에 대한 기술개발이 필수적이며, 본 발표에서는 바이오매스를 활용한 바이오에너지 생산 기술에 대한 방법과 성과를 기술하고자 한다. 목질계 바이오매스는 다양한 바이오매스 자원 중 가장 풍부한 자원으로 알려져 있고, 바이오매스를 활용한 바이오오일 생산 기술의 상용화를 위해 확보 용이한 톱밥과 거대역새, 그리고 해외 바이오매스인 EFB(Empty Fruit Bunch)를 원료로 바이오오일을 생산하였다. 톱밥과 거대역새는 현재 국내에서 산림녹화사업 및 상업적 벌채로 인한 임산부산물의 증가로 부존량이 늘어나고 있으며, EFB는 팜오일 생산 공정의 부산물로서 팜오일 최대 생산국인 말레이시아와 인도네시아 등지에서 발생량이 증가하고 있는 목질계 바이오매스이다. 바이오매스의 열화학적 변환과정 중 하나인 급속 열분해기술은 무산소 조건에서 바이오매스를 열분해하여 열분해가스를 생산하고, 생산된 열분해가스를 급속 냉각시켜 바이오오일을 생산하는 공정으로, 급속 열분해 공정의 핵심 운전 기술은 빠른 열전달 속도, 적정 온도제어, 열분해 가스의 체류시간이 중요한 인자로 공정 과정에 따라 생성물의 특성이 상이한 특징을 가지고 있다. 이러한 급속열분해 공정을 통해 바이오오일 생산 기술을 확립하고, 상용화 공정 구축을 위해서 원료별 최적 운전 조건을 도출하였으며, 설비비 및 운전가동비를 낮출 수 있는 바이오오일 회수 공정과 가스 재순환 공정에 대한 실험을 성공적으로 수행하였다. 이를 통한 바이오오일 회수 실험 결과 공정 운전에 필요한 캐리어가스인 질소가스의 사용을 획기적으로 줄였으며, 증류식 열교환기 및 전기집진기를 이용한 바이오오일 회수 공정을 적용하여 원료 무게 대비 60%이상의 바이오오일 회수 및 일일 10시간 이상의 공정 연속 가동을 성공하였다. 이에 2016년에서 2017년 동안 총합 900시간 이상 Pilot급의 급속열분해 공정을 운전하는데 성공하였고, 이를 통한 상용화 공정 기본 설계 인자를 확보 및 경제성 평가를 실시하였다. 생산된 바이오오일의 품질은 23.5MJ/kg 이상의 발열량을 가지고 있으며, 수분은 9%이하로 미국(ASTM D 7544)과 유럽(prEN16900)의 바이오오일 품질 기준에 적합한 연료로 분석되었으나, 국내에서는 아직 바이오매스에서 생산한 바이오 오일에 대한 품질 기준이 마련되어 있지 않아, 당장 활용할 수 없는 실정이다. 이에 바이오매스를 원료로 생산한 바이오 오일을 사용하기 위한 국내 법령 개정 방안을 검토 중에 있다. 급속열분해 바이오오일 생산 기술에 대한 Pilot급의 실험은 성공적으로 수행하였으며, 이러한 기술이 사업화 되도록 하기 위해서는 경제성면에서 해결해야 할 과제들이 남아있고, 국가 정책에 부합하는 신재생에너지 활용을 위한 법령 개정과 상용화급 공정에 대한 연구 개발을 위하여 노력해야 하는 상황이다.

[특별세션 X. 지속가능한 바이오연료의 개발과 산업화 전략]

생물축매를 이용한 폐유지 바이오디젤 생산 기술
Enzymatic production of biodiesel using low quality waste oil

손정훈 · 고현준 · 김미진 · 배정훈 · 성봉현

한국생명공학연구원 세포공장연구센터

바이오디젤(biodiesel)은 동, 식물성 유지와 메탄올이 에스테르 반응을 통해 생성되는 지방산 메틸에스테르(fatty acid methyl ester)로서 기존 석유계 경유와 성질이 매우 유사하며 연소시 공해가 거의 발생하지 않아 석유계 경유와 섞어서 사용할 경우 대기오염의 주범인 자동차 공해를 획기적으로 줄일 수 있는 선진국형 대체에너지이다. 현재 전세계적으로 바이오에너지 의무 사용 확대 정책에 따라 바이오디젤 수요량이 지속 증가하고 있으며 이에 따라 원료에 대한 수급 불균형과 점진적인 원료가격 상승이 예상된다. 바이오디젤 생산원가에서 원료가격이 차지하는 비중이 약 70~80%이며 제품가격을 결정함에 있어서 원료가의 영향이 매우 크다. 원료로는 주로 식용유지(대두유, 유채유 및 팜유 등)를 사용하고 있으며 식용유지의 30% 이상이 이미 바이오디젤 원료로 사용되고 있어 식량문제로 유발한다. 또한 최근 미국과 유럽에서 자국 농민 보호를 위해 팜오일 등 해외자원의 사용을 금지하는 정책을 발표하여 국가간 바이오에너지 원료에 대한 정치적 쟁점이 심화되고 있다. 국내에서도 바이오디젤(60만톤) 및 바이오중유(50만톤)가 생산되고 있지만 국내 원료로는 폐식용유 18만톤 정도가 재활용되고 있으며 나머지는 대부분 수입에 의존하고 있다. 따라서 폐식용유 이외에도 동물성 유지, 음폐유, 슬러지오일 등 미활용 폐유지의 효율적인 활용 뿐 아니라 미세조류 오일 등과 같은 장기적인 대안도 필요하다. 미활용 폐유지는 대부분 자유지방산의 함유량이 매우 높아 기존 사용하던 화학축매로는 매우 복잡한 단계를 거쳐 바이오디젤을 생산하기 때문에 바이오디젤의 생산단가를 높이는 요인이 되며 대량의 폐수 발생 등으로 인한 환경오염 문제도 발생한다. 따라서 원료의 quality와 무관하게 상온, 상압의 단일공정으로 바이오디젤로 전환할 수 있는 생물축매 리파제가 대안으로 떠오르고 있다. 현재 세계적으로 다수의 생물축매 바이오디젤 생산 공장이 운영되고 있으나 대부분 효소독점기업인 Novozyme사의 효소를 사용하고 있다. 본 연구에서는 바이오에너지용 효소 국산화를 위하여 고효성의 리파제 CalB1422를 개발하였고 효모 단백질분비융합인자 기술을 이용하여 10 g/L 수준으로 재조합대량 및 저비용 레진 고정화에 성공하여 다양한 고산가 폐유지를 활용하여 바이오디젤 저비용 생산이 가능하였다. Batch 반응의 경우 원료의 종류에 따라 3~6 시간 이내에 95% 이상 바이오디젤을 200회 이상 생산할 수 있으며 연속 생산 공정을 통해 초기 투입된 5% 효소의 활성저하 없이 약 6개월 이상 사용이 가능하였다. 결론적으로 기존 화학축매와 유사한 축매 비용으로 50% 이상 저렴한 미활용 폐유지를 이용하여 바이오디젤 생산이 가능함을 확인하였다.

[특별세션 X. 지속가능한 바이오연료의 개발과 산업화 전략]

대체연료를 활용한 항공분야 온실가스 감축 국내외 동향
Current Status and Trend on Greenhouse Gas Mitigation Action
using Alternative Fuel for Aviation Sector

유종익 · 정유경 · 김소희 · 정은영

한국기후변화연구원 녹색사업부

전 세계 항공산업은 유상항공승객 30억명 이상으로 매년 5%씩 성장하고 있으며 항공유 사용량은 연간 23.8백만~27.0백만 kL에 이르며 이에 따른 온실가스 배출량은 전세계 온실가스 배출량의 약 2%를 차지하며 국제항공노선에서는 약 1.3%를 차지하는 것으로 보고되고 있다(IPCC 제5차 보고서). 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, 이하 ICAO)는 2050년까지 2010년 대비 약 6배 증가할 것으로 예상하고 있으며 2010년 제37차 총회에서는 2020년부터 온실가스 배출량을 2020년 수준으로 동결하여 탄소배출을 하지 않는 탄소중립성장(Carbon Neutral Growth from 2020, 이하 CNG2020) 달성과 매년 연료효율을 전년대비 2%개선하는 국제항공분야의 환경목표를 설정하였다. CNG 2020을 달성하기 위한 구체적인 감축수단은 기존 항공기 기술·표준 및 항공기 운항기술 개선의 한계를 극복하기 위해 시장기반 조치 도입 및 지속가능한 대체연료 사용을 제시하였다. ICAO는 2017년 10월 지속가능한 항공 대체연료 (Sustainable Aviation Fuel, SAF)에 대한 비전을 제시하였다. 2040년까지 연간 128만 톤의 중기적 항공 대체연료 생산 목표와 더불어 2050년까지의 국제항공 이산화탄소 감축비율을 33%까지 확보하는 장기적 비전을 제시하였으며 이를 위한 각 국가별 정책 및 제도 수립을 요구하였다. 국제항공운송협회(International Air Transport Association, 이하 IATA)는 2010년 이후 합성연료혼합(Synthetic fuel blend)의 경우, 표준항공등유에 약 50%까지 혼합하여 상업용으로 사용할 수 있도록 승인하였으며, 2020년의 바이오연료 기반 시장을 연간 50억불 규모에 이를 것으로 예측하였다. 미국, 유럽, 일본, 독일 등 주요 선진국들은 항공용 대체연료의 제조 및 사용에 대한 중장기적 정책을 이미 수립하였으며 특히 미국은 RFS (Renewable Fuel Standard)제도 내에서 RIN(Renewable Identification Number)을 발행받아 바이오항공유 취급자가 인센티브를 받을 수 있도록 제도화하였고 유럽은 EU-ETS Aviation내에서 바이오항공유 사용에 대한 배출량을 0으로 적용하여 감축활동으로 인정하고 있다. 또한 자원이 풍부한 브라질, 인도네시아, 멕시코 등은 바이오항공유의 원료의 공급 및 생산을 목적으로 프로젝트 실시 및 시장을 확대하고 있다. 이와 비교하여, 우리나라의 경우 수송용 대체연료는 지상운송수단에만 적용되고 있으며 항공분야에 대해서는 바이오항공유 생산을 위한 연구개발은 추진되고 있으나 사용 또는 취급에 대한 연구나 실증은 전무한 실정이다. 본 발표에서는 국내에서의 항공분야 대체연료 사용을 위한 제도적, 사업적 측면을 살펴보고 향후 전망을 제시하고자 한다.

[특별세션 X. 지속가능한 바이오연료의 개발과 산업화 전략]

바이오항공유 제조기술 개요 Overview of bio-jet fuel production technology

채호정, 윤지선, 권미현
한국화학연구원 탄소자원화연구소

2015년 12월 파리기후협정 이후 최근 기후변화 문제의 심각성이 크게 대두되면서 항공유 또한 대표적인 온실가스 배출 요인으로 인식되고 있어 IATA(국제항공운송협회)에서는 기후변화문제에 대비하여 항공업계에서 2050년까지 2005년 수준 대비 50% 온실가스 저감을 목표로 하고 있으며, 특히 EU의 배출규제에 따르면 항공산업은 수십억 달러의 탄소배출권 구매에 직면해 있어 이에 대한 대책을 마련이 매우 필요한 상황이다. 이러한 상황에서 바이오 연료에 대한 관심이 크게 증가하고 있으며, 특히 바이오 항공유의 경우 전기나 다른 신재생에너지원으로 대체가 불가능으로 각국에서 부족한 경제성에도 불구하고 많은 연구개발을 진행 중에 있다. 바이오 항공유 제조 기술로는 크게 바이오매스 가스화/피셔-트롭스 반응 기술을 활용하는 F-T계 바이오 항공유, 바이오오일의 수소화공정 기술을 기반으로 하는 HEFA계 바이오 항공유, 마지막으로 바이오알코올의 탈수/올리고머화 반응에 의한 ATJ계 바이오 항공유 제조 기술로 구분할 수 있다. 본 발표에서는 이러한 바이오 항공유 개발 동향과 특히 현재 연구개발 중인 ATJ계 바이오 항공유에 대해서 소개하고자 한다



[그림] 에탄올 발효산물 이용 바이오항공유 제조 기술 및 제품 개념도

[특별세션 X. 지속가능한 바이오연료의 개발과 산업화 전략]

국내 자동차 실연비 산정을 위한 정보분석시스템 개발

Development of information analysis system for fuel economy on real-road driving of domestic vehicles

김기호 · 이민호 · 임재혁 · 박진성 · 이정민

한국석유관리원 석유기술연구소

자동차 표시연비는 국가적으로 에너지관리 지표로서 활용되며, 자동차 제작사의 기술개발을 유도하고, 소비자 차량구매 시 정보제공의 역할을 담당하고 있다. 2011년까지 국내 자동차 표시연비는 1975년 미국 LA의 주행환경에 기반을 두고 만든 CVS-75라는 시험모드의 차대동력계 시험결과로 연비가 책정되었으나 정부의 표시연비가 체감연비와 상이하다는 소비자 불만이 지속되어 2012년 정부는 보다 정확한 표시연비 측정을 위해 미국의 5-cycle 시험방법을 국내 차량 기준에 맞게 재설정하여 도입하였다. 본래는 다양한 환경조건 및 주행패턴이 반영된 5개의 시험모드를 모두 주행함으로써 측정된 결과 값을 표시연비로 계산하는 방법이지만 소요되는 자원의 급격한 증가에 따른 충격을 완화하기 위하여 2개의 시험모드(도심(FTP-75 mode), 고속도로(HWFET mode))의 결과 값을 5-cycle 시험법으로 계산된 연비 값과 동등한 수준으로 산출하는 5-cycle 보정식을 사용하고 있다. 5-cycle 시험법의 도입으로 기존 표시연비 대비 약 20% 연비가 하향 조정되었음에도 불구하고 차량을 구매하는 소비자들은 정부의 표시연비와 체감연비가 아직까지 상이하다는 불만이 지속되고 있다. 이에 정부는 표시연비와 체감 연비간의 격차를 해소하고 소비자와 자동차 제작사, 정부와의 연비 공감대가 형성될 수 있도록 실연비 산정을 위한 정보분석시스템 개발 및 이에 대한 실증연구를 착수하게 되었다. 카쉐어링 및 소비자 체험단 차량의 통합모듈장치 장착을 통한 실도로 연비정보 수집, 9대 시험차량의 차대동력계를 이용한 누적거리 증가 및 연료 물성변화에 의한 연비영향 분석, 소비자가 공감할 수 있는 표시연비 도출이 가능하도록 실도로 연비시험 코스 및 측정방법 개발 등의 내용으로 연구가 진행 중이다. 차대동력계 시험차량 9대 중 1대는 진행 중이므로 해당 결과에는 제외하였다. 차대동력계를 이용한 누적거리 증가에 의한 연비변화는 0km 기준으로 국내 표시연비 시험차량 누적 주행거리 조건인 6,500±1000km에서 8대 평균 도심모드 약 2.5%, 고속도로모드 약 3.0%의 연비증가를 보였으며, 배출가스 또한 0km 신차 상태보다 감소되는 경향을 보였다. 이는 길들이기를 통한 차량 구동계통 및 윤활유 계열의 마찰력 감소가 연비 증가 및 배출가스에 영향을 미쳤을 거라고 판단된다. 15,000km 길들이기 주행 후 시험차량 연비는 6,500km 상태의 연비 결과에 비해 도심모드 약 0.4%, 고속도로모드 약 1.0%의 연비감소의 경향을 나타내었으며 배출가스 결과 또한 거의 유사한 결과를 보였다. 연료 물성변화에 의한 연비결과는 증기압 및 산소함량이 높은 동절기 휘발유에서 연비가 증가하였고 경유의 경우에는 하절기 경유에서 연비가 증가되었다. 동절기 연료에 첨가되어 결빙현상을 방지하는 유동성 향상제 및 파괴된 탄화수소 제거제로 인한 연소성능 저하가 연비에 영향을 미친 것으로 판단된다.

누적거리 증가에 따른 연비변화 결과와 본 연구에서 수행되는 다양한 결과를 종합적으로 분석하여 소비자가 공감할 수 있는 자동차 실연비 산정을 위한 총체적인 HW+SW 정보분석시스템을 개발하고, 이와 더불어 국내 실도로 및 환경조건, 운전특성 등이 반영된 한국형 연비 보정식을 개발 할 예정이다.

[특별세션XI. 신재생에너지 국제기구 활동 동향]

IEA Bioenergy Task 37(Biogas) 기술개발 동향과 한국의 바이오가스 현황
Policies and technologies development of Biogas in IEA Bioenergy Task 37 and
the development of Biogas in Korea

박순철¹⁾ · 이준표²⁾

- 1) 한국에너지기술연구원 제주글로벌연구센터
- 2) 한국에너지기술연구원 광주바이오에너지센터

바이오가스기술은 바이오매스는 물론이고 유기성 폐기물 (음식물쓰레기, 축산폐수 등)등을 친환경 처리하면서 메탄가스를 공급하고 또 이의 대기중 방출을 억제할 수 있다는 점에서 재생에너지 사용과 온실가스 감축의 핵심기술 중에 하나이다.

한편, OECD국가를 주축으로 하는 국제에너지기구(IEA)는 바이오에너지 이행합의서 산하에 바이오가스 기술위원회(Task 37)을 두고 지금까지 바이오가스 생산 및 이용기술, 바이오가스 이용의 온실가스 배출 등에의 외부영향, 그리고 바이오가스 개발정책 모범사례 분석 및 전과 등의 역할을 해오고 있다. 최근 바이오가스 기술위원회는 향후 3년간의 동분야 기술개발 방향에 대하여 논의한 바 있으며 대강 다음과 같이 요약 할 수 있겠다. 1)먼저 바이오가스 생산이용의 지속성과 환경영향에 관한 연구, 2)농업, 농산가공산업 등과 바이오가스 및 바이오비료를 연계한 순환경제시스템 구축 연구, 3) 바이오가스 에너지 시스템의 여타 신재생에너지원과의 융합 연구 4)그리고 바이오가스의 농축 변환에 따른 수송용 연료로의 이용연구 등이 향후 국제적인 과제로 평가되고 있다.

우리나라도 바이오가스 분야에서 설비용량 및 기술력 측면에서 세계 약 10대 국가에 속하고 있으며 동위원회의 회원국이다. 동 위원회는 매년 회원각국의 바이오가스 개발 현황을 브리핑하여 상호 정보교류를 하고 있으며 이 발표에서 동 “2018년 한국 바이오가스 개발현황 보고서”를 소개드리 고자 한다. 끝

[특별세션XI. 신재생에너지 국제기구 활동 동향]

IPHE를 통해서 본 수소경제 실현을 위한 글로벌 동향과 국내의 문제점

설용진

연세대학교 화공생명공학과

본 발표내용은 IPHE운영위원회와 IEA/HIA 집행위원회의 진행사항과 각 회원국의 Country update내용을 포함하고 있다.

다양한 신재생에너지의 종류에서 우리가 주목해야 할 또 하나의 신재생에너지는 수소에너지이다. 후쿠시마 동일본 대지진이후 일본은 수소에너지 연구에 더욱 박차를 가하고 있다. 일본에서는 수소경제 사회 진입을 위한 기반을 적극적으로 다지고 있다. 현재 우리나라도 수소연료전지 자동차의 양산에 돌입하고 있다. 하지만 연료전지 차량 보급 활성화를 위해서는 수소인프라가 뒷받침되어야 하는데, 국내에서는 인프라 구축에 적극적으로 관심을 보이는 곳이 없어서 국내시장 연료전지 자동차 보급에 어려움을 겪고 있다. 국가적 수소에너지 보급을 통한 수소경제를 위해서는 다시금 정책, 경제적 기획 연구를 통해 선진국 동향 및 우리나라에서의 채택 가능성을 검토하고 판단할 필요가 있으며 특히 수소 인프라 구축의 문제가 시급하다.

IPHE 운영위원회를 통하여, 다수의 국가에서는 수소연료전지에 대한 수소 인프라 구축사업 및 실증사업이 활발하게 진행되고 있으며, 이에 따른 정부의 지원도 확대되고 있다. 또한 연료전지 차량 사업에 대한 환경이 긍정적으로 변화하고 있으며, 이에 우리나라도 주목할 필요가 있다. 신재생에너지로서의 수소에 대한 각 나라의 의견은 참여국이 처한 상황에 따라 다양하게 존재하고 있으며, 장기적으로는 신재생에너지의 확대 의지는 확고함을 알 수 있다.

[특별세션XI. 신재생에너지 국제기구 활동 동향]

IEA SolarPACES 태양열발전(CSP) 세계 동향 분석

(The 93th SolarPACES ExCo Meeting)

강용혁^{1)*}, 김종규²⁾, 박동용³⁾, 김창기⁴⁾, 김현구⁵⁾

Analysis of CSP trends of Task & ExCo Countries in IEA SolarPACES

(The 93th SolarPACES ExCo Meeting)

Yong-Heack Kang^{1)*}, Jong-Kyu Kim²⁾, Dong-Yong Park³⁾, Chang-Ki Kim⁴⁾,
Hyun-Goo Kim⁵⁾

Key words : 세계에너지기구(IEA), 태양열발전(Solar Thermal Power), 태양화학(Solar Chemistry), 태양열발전집행위원회(ExCo Meeting), 고집광태양열발전(CSP, Concentrated Solar Power)

Abstract :

SolarPACES is the leading international network of researchers into thermal solar for dispatchable power and solar chemistry technologies. The SolarPACES vision is that these concentrated solar power (CSP) technologies contribute significantly to the delivery of clean, sustainable energy worldwide.

Currently SolarPACES has 20 members: Australia, Austria, Algeria, Brazil, China, Chile, Egypt, the European Commission, France, Germany, Israel, Italy, Mexico, Republic of Korea, South Africa, Spain, Switzerland, United Arab Emirates and United States of America.

By providing leadership as the international network of independent experts, our mission is to facilitate technology development, market deployment and energy partnerships for sustainable, reliable, efficient and cost-competitive concentrating solar technologies. To realize this mission; SolarPACES coordinates and advances concentrating solar technology research, by focusing on the next generation of technologies; by providing information and recommendations to policy makers and by organizing international conferences, workshops, reports and task meetings.

In this paper, CSP trends are introduced in terms of contents of 93th SolarPACES ExCo Meeting(2017.10, Chile). Contents of this paper are each task (solar thermal power, solar fuel, test guideline, insolation, water treatment) issues and country reports. And future activities in the SolarPACES are introduced.

사사의 글

본 연구는 한국에너지기술연구원 주요사업(B8-2451)으로 수행한 결과입니다.

[특별세션XI. 신재생에너지 국제기구 활동 동향]

IEC TC82 태양광 표준 대응을 위한 국내 표준화 활동 현황
Activities of Standard Development in Korea for IEC TC82

김경수

한국에너지기술연구원 태양광연구실

태양광발전은 태양전지, 모듈, 인버터 및 기타 시스템 기술 등으로 이루어져있다. 특히 모듈, 인버터, 시스템 설계 기술 및 평가는 IEC TC82에서 제·개정되는 표준을 준하여 인증 및 성능 평가가 진행되고 있다. 국내에서는 IEC 표준 문서를 국내 표준과 부합하여 KS 표준 문서로 발행되어 적용하고 있다.

무엇보다 국제 표준의 제·개정에는 반드시 국내 산업체 및 인증기관의 의견이 반영되어야 하며, 표준 동향 및 제품 사전 평가 등을 통하여 경쟁력을 갖출 수 있게 된다. 국내에서는 한국에너지공단의 지원으로 IEC TC82 작업반 및 총회에 국내 태양광 전문가를 적극 파견 및 동향 조사를 지속적으로 하고 있으며, 또한 산업체와 연계하여 IEC 신규 및 개정 문건에 대하여 의견을 개진할 수 있도록 시스템을 갖추어가고 있다.

이번 학술대회 발표에서는 국내 산업체·연구기관·학계의 국제표준 대응 활동에 대하여 소개하고 IEC TC82 표준에 대하여 소개하고자 한다.

This work was supported by Korea Energy Agency (KEA) project fund titled "Constructing Basic Scheme of Photovoltaic Standards". Project number 71000138 (2017.10.01-2019.12.31)

[특별세션XI. 신재생에너지 국제기구 활동 동향]

IEC TC88 풍력 에너지 발전 국제 표준 현황 및 국내 대응
Current status of IECTC 88 international standardization and the measures

허용학

한국표준과학연구원 산업 측정 표준 본부

풍력 에너지 발전 시스템의 국제 표준은 국제표준화 기술위원회 IEC TC88를 통하여 국제 표준 전문가에 의하여 규정되고 있다. 본 국제 표준에서는 풍력 터빈, 육상 및 해상 풍력 발전 단지 그리고 풍력 에너지를 공급하는 모든 전기적 시스템에 연관된 부분을 대상으로 사이트 적 합성, 자원 평가, 설계 요구조건, 공학적 건전성, 모델링 조건, 측정 기술, 시험 절차와 운영 및 관리를 포함한 모든 분야의 표준을 규정하고 있다. 현재 IEC TC88에서는 작업반 (working group)이 3, 프로젝트 팀이 6, 표준유지팀(Maintenance Team)이 9, 합동 작업반 (Join Working group)이 2, 하나의 ad-hoc Group 으로 구성된 전문가 팀이 풍력 국제 표준 문서를 제정 및 개정하기 위한 기술적 작업을 진행하고 있으며, 이를 바탕으로 26개의 표준 문서 출간 과 20여개의 프로젝트가 진행되고 있다.

IEC TC88의 각 작업반에서 진행되는 국제 표준의 제정과 개정에 국내 전문가가 대응하는 조직으로 구성되어 각 표준과 연계되어 활동을 하고 있다. 풍력 에너지 발전 시스템의 생산과 인증 시험 그리고 운영 및 관리에 요구되는 각 표준의 기술의 현황을 소개하고 국내 표준 전문가의 기술적 기여를 소개한다.

[특별세션XI. 신재생에너지 국제기구 활동 동향]

RE100 시대의 스마트 제로에너지 커뮤니티 조성 방안 Planning on Establishing Smart Zero Energy Community in the RE 100 Era

서천석

호남대학교 에너지신산업기술원 초빙교수

2017년 11월 독일 본에서 개최된 UN 기후변화협약 당사국 총회(COP23)에서 프랑스 마크롱 대통령은 2021년까지 프랑스 내 모든 석탄화력 발전소를 폐쇄키로 결정했다고 발표했다. 또한, 영국, 캐나다 등 20개국은 '탈석탄 동맹'(Powering Past Coal Alliance)을 결성하여 2030년까지 석탄화력 발전을 퇴출하기로 하였고, 2018년 폴란드에서 개최될 당사국 총회(COP24)에서는 50개 국가로 늘어날 것으로 전망하였다.

개별기업 차원에서도 재생에너지에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히 재생에너지 100% 사용을 주창하면서 2014년 9월 발족된 비영리 환경단체인 클라이밋그룹(The Climate Group) RE100 회원사는 구글, 마이크로소프트, 월마트, 이케아, BMW, HP, 나이키, 유니레버, 네슬레, Infosys 등 2017년 9월 25일 현재 111개 기업에 달한다. 특히, 구글의 경우 2015년 기준으로 샌프란시스코라는 거대 도시 전체의 전력사용량과 맞먹는 규모의 전력을 사용하고 있는데, 2017년 사용전력의 100%를 재생에너지로 전환하는 데 성공하였다. 또한, RE100 외에도 재생에너지구매자연합(REBA, Renewable Energy Buyers Alliance)이 결성되었는데, GM, Volvo, 애플, 듀폰 등의 기업은 재생에너지만으로 제조하는 것을 전제로 물품을 거래하는 것을 추구하고 있다. 예컨대, 독일 BMW 그룹은 필요한 전력을 재생에너지로 전환하기로 하면서 BMW의 전기자동차에 배터리를 공급하는 국내 기업에도 신재생에너지로 생산한 전력을 사용할 것(2020년 95%, 2021년 100%)을 요청하였다. 향후 무역이나 국가정책에 신재생에너지가 주요 규범이 될 가능성이 높아질 것임을 예고하는 대목임을 알 수 있다.

이처럼 RE100 및 REBA로 대표되는 글로벌 그린 무역장벽에 대응하기 위해서는 국내 기업들이 Google 등 선진기업처럼 직접 신재생에너지 발전설비를 설치하거나 아니면 신재생에너지를 구매해서 쓰거나 혹은 특수목적법인(SPC)을 통해 투자하는 방안을 강구하여야 한다. 이를 위해 이른바 '그린전력증서' 제도가 도입될 필요가 있다. 참고로, 일본의 경우 유니레버재팬이 그린전력증서 제도를 통해 2016년 신재생에너지 100% 실적을 달성한 바 있지만, 국내 삼성전자의 신재생에너지 사용 실적은 한 해 사용하는 전력(16,000GWh)의 1% 수준(181GWh)에 불과한 실정이다.

한편, 중소기업이 밀집되어 있는 기존 산업단지 또는 지식산업센터 빌딩의 밀집지역인 복합단지의 경우 커뮤니티 차원에서 신재생에너지 믹스를 통한 스마트 제로에너지 커뮤니티로 탈바꿈해야 할 필요성이 대두되고 있다. 이를 위해서는 BEMS 및 FEMS를 활용한 건물 단위의 제로에너지 마이크로그리드를 구축하고, 이러한 다수의 마이크로그리드들이 서로 프랙탈 구조로 커뮤니티 차원(CEMS 레벨로) 통합적으로 연계운영될 필요가 있다.

[특별세션 XIII. 건물에너지 효율화 기술]

저방사 표면을 접하고 있는 건물 벽체의 공기층 열저항 성능에 관한 연구
A Study on the Thermal Resistance Performance of Air Layer of
Building Walls facing Low Radiation Surface

홍승훈 · 서준식 · 조병영

(재)한국건설생활환경시험연구원 건물외피기술센터

국내 단열기준은 지속적으로 강화되고 있으며, 이에 대응하기 위한 다양한 소재의 단열 제품이 개발·시공 되고 있다. 이에 따라 강화된 기준을 만족하기 위한 방법으로 단열 제품의 열저항 성능을 향상하기 위한 두께가 증가함에 따라 벽체 전체의 두께가 증가하는 성향을 나타내고 있다. 이는 건축물 전용면적을 저감시키고 공사비를 향상시키는 요인으로 작용하고 있다.

이에 따라 국내 단열재 업체들은 저방사 표면재료를 활용한 공기층 열저항 향상 기술을 접목한 단열제품을 개발하며, 이를 건축 설계 시 반영하고 있다. 이를 통해 건축물 벽체의 단열 성능을 유지 또는 향상하여 단열기준 강화에 대응하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 일반적인 부피단열재의 열전도(Thermal Conductivity) 성능과 공기층을 포함한 등가열전도성능(Equivalent Thermal Conductivity)을 활용한 수치해석 및 Mock-up test를 진행 하였다. 예측 분석을 위해 3차원 정상상태 열전달 해석 도구로 ISO 6946, EN ISO 10077-2 기반의 Physbel, Trisco를 선정하고, KS F 2277 및 ISO 8990 시험 방법을 만족하는 Test device(열관류율 실험장비)를 선정 및 활용 하였다. 공기층 열저항 성능 분석 및 예측을 위한 방법 및 범위로 수치해석 도구 및 실험장비 간 데이터 적합성 검증을 수행한다. 이어서 문헌 조사를 통한 국내·외 벽체가 가지는 공기층 열전도성능 및 열저항 성능 참조데이터 수집 및 분석을 수행한다. 본 연구에 참조 가능한 데이터를 선정 및 본 연구를 통해 생산된 분석 데이터와의 비교분석을 실시한다. 마지막으로 수치해석과 Mock-up test 모델을 수립하여, 재료가 가지는 저방사 영향에 따른 공기층 열저항과 벽체 단열성능 분포를 비교 분석하여 벽체단열성능 향상을 위한 기초자료로 활용하기로 한다. 향후 제품화된 저방사 소재를 기반으로 한 단열재의 성능분석을 통해 국내 실정에 적합 하며, 국제 기준에 부합되는 단열벽체 시스템 개발모형을 설계할 예정이다.

[특별세션 XIII. 건물에너지 효율화 기술]

3중유리 구성에 따른 고정창의 단열성능 평가에 관한 연구

A Study on the Evaluation of Thermal Performance of Fixed Window
according to the Constitution of Triple Glass

김병구 · 조병영

(재)한국건설생활환경시험연구원 건물외피기술센터

창호의 단열성능의 경우 KS F 2278:2017(창호의 단열성 시험방법)에 의거하여 측정되고 있으며 수밀, 차음, 내풍압 등의 시험성능에 따라 제품의 성능을 평가하고 있다. 본 연구에서 분석하고자 하는 알루미늄 창호는 프레임의 단열간봉, 유리구성, 단열재 부착 스펀드럴 등 여러 부재가 접합되어 구성되므로 이들 부재에 대한 효율적인 단열설계가 필요하다. 이러한 모든 부재의 조합과 설계조건에 따라 열성능의 차이가 발생할 수 있으며 커튼월 설계 단계에서 열성능을 효율적으로 높일 수 있는 기본적인 대안이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 커튼월의 단열성능을 중심으로 커튼월을 구성하고 있는 주요구성 부재인 유리구성에 따른 시험과 함께 시뮬레이션을 통한 비교분석을 진행하고자 한다.

국내의 창호 단열 성능 평가 표준인 KS F 2278:2017(창호의 단열성 시험방법)에 의거하여 3중유리의 구성을 달리하여 Mock-up 테스트를 통한 비교분석을 통해 유리구성에 따른 결과의 경향성을 파악하였다.

열관류율은 부재의 단열성능을 나타내는 지표로 건물의 에너지효율에 큰 영향을 미치며 특히 난방기의 실내 쾌적 조건과 결로발생을 판단하는 지표인 내부 표면온도에 영향을 미치는 주요 요인이다. 본 연구의 분석 조건은 첫 번째, 프레임의 형태(프레임 두께, 내부 중공층 형태, 그 외 구성재) 및 크기가 동일한 조건이며 유리구성의 경우 일반유리 또는 로이유리와 공기층이 중첩된 삼중유리로 구성하였다. 이는 창호의 유리 구성에 따른 단열성능의 차이를 평가하는 데 있어서 세부화된 영역별 열전달 특성을 확인하는데 유용하다 할 수 있다.

[특별세션 XIII. 건물에너지 효율화 기술]

수출형 가스엔진 구동 건물 에너지 통합 공급시스템의 운전전략을 위한 기초조사 연구

Study on the basic operation strategies for Integrated building energy
supply systems with gas engines

박병용 · 정용대 · 조진균 · 이상문

(재)한국건설생활환경시험연구원 건물에너지기술센터

글로벌 기후변화의 문제점에 대한 대안으로 온실가스 감축이 가능한 청정에너지 분야의 기술 혁신 및 민생 분야의 안정적인 에너지 공급에 대한 개선이 요구된다. 국제에너지기구는 세계 온실가스 배출량의 약 60%는 에너지소비 부분으로 보고하였다. 특히, 국가 제도적, 경제적 제약이 따르는 동남아시아등의 개도국의 경우 인구증가 및 경제성장이 에너지 소비 증가로 확대되며, 온실가스 배출 증가가 가속화 될 것으로 예측하고 있다. 그러나, 경제발전에 비해 전력공급 인프라 건설비 및 운영의 한계가 있어 충분한 에너지 발전시설을 확보하지 못하고 있는 것이 현실이다. 대표적인 동남아시아 도서지역인 말레이시아, 인도네시아, 태국 등은 국토가 섬으로 구성되어 전력인프라의 구축에 많은 한계점이 있어, 원자력발전 등의 전력화 시설대비 시설 구축이 용이한 가스인프라 구축이 우선시 되었다. 이에, 가스 인프라를 활용한 지역적 특성과 전력 공급 인프라의 한계성 극복 및 안정적인 전력 및 에너지 공급을 위한 건물 에너지 통합 공급시스템의 개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 건물 에너지 통합 공급시스템의 운전전략을 위한 건물 부하 형태에 따른 운전 전략 시나리오 조사를 실시하며, 시나리오별 부하대응 특성 검토를 목적으로 한다. 동남아시아의 에너지 소비 패턴 분석 결과 1990년부터 2010년 건물의 에너지 소비는 2.3% 증가 하였으며, 전기 소비량은 8.6% 증가하였다. 주거용의 경우 약 80%의 에너지원은 취사 및 온수가열에 사용되며, 서비스 건물의 경우 가전제품의 기기 50%, 조명부분 30%, 냉방 6%로 순으로 사용되었다. 이는, 전기와 열에너지 생산과 소비 균형에서 건물의 용도에 따라 전기부분과 열부분의 생산-소비 분배에 대한 운영전략이 필요한 것을 알 수 있었다. 이에, 최적운전전략 수립을 위하여, 에너지소비형태 분석을 통한 시나리오별 운전전략 조사를 실시하였다. 시나리오1, 특정기기의 사용 시에만 에너지부하 급증, 시나리오 2 24시간동안 지속적 적은 부하 발생, 특정기기 사용 시에 에너지 부하 급증, 시나리오 3 24시간동안 많은 부하들이 지속적으로 사용하는 형태이며, 기존전력기초로 운영되는 건물과, 태양광과 가스엔진 구동 발전, 열 생산 시스템이 적용되는 건물에 대한 운전전략 검토 분석을 실시하였다. 태양광의 보급량에 따라 에너지 자립률은 확대되었으며, 가스구동 운전전략에 따라 부하에 대응하는 지연시간 감소를 확인 할 수 있었다. 추후에는 가스엔진 구동 건물 에너지 통합 공급시스템 실증을 통하여 종합에너지 효율 분석 및 운영방안 개선을 실시 할 예정이다.

[특별세션 XIII. 건물에너지 효율화 기술]

제로에너지빌딩 상용화를 위한 요소기술 통합화 방안

The plan of integrating building component technologies for commercializing zero energy building.

성옥주 · 김용길 · 장태연

(재)한국건설생활환경시험연구원 에너지환경사업본부

정부는 'Post 2020 신기후체제'에 대응하기위해서 수요관리 중심의 에너지 비전을 제시하였다. 그 일환으로, 국가 총 에너지소비의 약 30%를 차지하는 건물부문에 대해서는 '제로에너지빌딩(이하 ZEB)'이라는 신산업 육성정책을 제시하였으며, 2017년부터 기존의 '건축물 에너지효율등급'과 연계한 'ZEB 인증제'를 실시하고 있다. 향후, 2020년부터는 모든 공공건축물을 대상으로 ZEB 의무화를 실시할 예정이며, 2025년부터는 민간부분까지 확대될 계획이다. 정부는 범부처(국토부, 산업부, 환경부) 합동으로 ZEB 산업육성을 위한 실증사업 및 각종 인센티브와 금융지원 정책을 추진하고 있다.

그간의 건물에너지관련 R&D의 연구비 집행 현황을 보면, 주로 설계, 재료, 외피, 조명, 설비 등 에너지 효율향상을 위한 요소기술(81%) 개발에 집중되었음을 알 수 있다. 각 분야별 기술수준은 선진기술 대비 약 78%(효율향상 80%, 신재생에너지 65%, 제어/관리 70%)로 제조기술 대상으로 국내 기술수준이 상당부분 향상되었음을 확인할 수 있다. 다만, 신재생에너지 연계 설비시스템과 그 제어기술 분야는 다소 미진한 실정임을 알 수 있다.

제로에너지빌딩은 일반건축물과 달리 고효율의 건자재와 설비기술이 적용되어 건물에서 소요 및 소비되는 에너지를 최소화시키고 신재생에너지기술을 활용하여 그 소비에 필요한 에너지를 생산·공급함으로써 구현이 가능하다. 하지만, 일반 건물에 비하여 추가되는 자재, 설비에 의한 공사비 상승은 제로에너지빌딩의 수용성확대에 큰 걸림돌이 되고 있다. 이를 해결하기 위해서는 고성능 요소기술의 단순 조합을 통한 스펙위주의 설계에서 벗어나 계획·기본설계 단계서부터 기술부문간 호환성 및 유기적인 연계성이 반영된 통합설계가 이루어져야 할 것이다. 이런 통합설계를 통하여 불필요하거나 과한 요소에 대한 비용적 거품을 줄일 수 있으며 시공의 효율성을 향상시켜 제로에너지빌딩의 전체 공사비를 줄일 수 있다.

제로에너지빌딩의 통합설계와 요구성능이 충분히 반영된 차세대 융복합 건축기술을 개발하여야 할 것이다. 이런 차세대 융복합 기술개발은 고효율 건자재를 기반으로 하는 Passive 기술과 설비, 신재생에너지, IT를 기반으로 하는 Active 기술의 비용대비 성능을 극대화할 수 있는 유기적인 패키지(Package)화를 통해 가능하다.

산업체와 소비자를 이어주는 최종단계가 바로 기술과 제품의 신뢰성을 평가하여 적합성 여부를 판단하는 품질인증 절차라 할 수 있다. 현재 제로에너지빌딩은 구현 요소기술 및 제품별로 품질인증이 이루어지고 있는 실정으로 융복합 패키지화에 의한 종합성능을 명확하게 검증·평가하기에는 한계가 존재한다. 따라서 제로에너지빌딩 융복합 패키지화 기술에 대한 한층 진보된 품질인증 시험평가 방법론 개발 및 표준화를 통하여 소비자들에게 명확하고 정량적인 적합성 정보를 제공해야 할 것이다.

[특별세션 XIII. 건물에너지 효율화 기술]

대형 종합병원 건물에너지 절감을 위한 수요대응형 통합제어 솔루션 개발
An integrated energy optimization solution for demand responsive control in large
general hospital buildings

조진균 · 박병용 · 이상문

(재)한국건설생활환경시험연구원 건물에너지기술센터

[배경] 건물부문에서의 에너지소비량은 국내기준으로 전체에너지 소비량의 약 25%, OECD 국가 기준으로 20~40%이고 서울시의 경우 2011년을 기준 55.9%로 선진국 및 국내의 일반적인 건물에너지 사용비중보다 크다. 그 중 업무시설, 병원, 대학교, 호텔, 백화점 등의 대규모 건물이 많아 에너지 다소비건물(연간 2,000TOE 이상의 에너지 소비시설, 이하 대형건물)의 에너지 사용 비중이 매우 큰 것으로 조사되었다. 특히, 병원은 에너지 최다 소비 건물 중 하나로 단위 면적당 에너지 소비량(76.1 kgoe/m²)이 가장 많은 건물유형으로 조사되어, 병원 건물의 에너지 소비량 절감이 필요한 현실이다. 그러나 병원 건물은 병동, 외래, 수술실, ICU, 사무실, 편의시설 등 이용시간과 사용 패턴이 다양한 공간이 혼재하여 부하 구성 및 변동이 복잡한 특성이 있으나, 병원 건물의 대부분은 건물 운영자의 수동 운전에 의존하는 경우가 많아, 보수적인 운전(과운전)으로 에너지 절감이 매우 어려운 상황이다. 본 연구에서는 병원건물의 시설 특성 및 운영 패턴, 에너지 사용 특성에 기반한 설비 시스템의 운영을 통한 에너지 절감 방안 제안하고, 그 대안으로 HIS (Hospital Information System)의 정보(입퇴원 인원, 공간사용 정보 등)를 BEMS와 연계한 수요 대응형 통합제어 솔루션 개발 및 실증으로 병원 건물에너지 소비량 15% 절감을 최종 목표로 하고 있다.

[개발방법] 대형병원 에너지 소비 특성 진단과 병원에너지 수요예측을 위한 해석모델 구축을 통하여 수요 대응형 통합제어 플랫폼을 개발하고 최적제어 알고리즘 및 솔루션을 탑재하여 상용화를 위한 실증 및 수요 대응형 통합제어 플랫폼의 표준화 도출에 관한 연구개발을 진행한다. 여기에는 병원 설비시스템 에너지 진단 및 분석기술, 병원 에너지 성능향상을 위한 수요 대응형 에너지절감 솔루션 구현과 에너지 관리 및 통합 제어 시스템 구축이 핵심 과업이다 그리고 병원 에너지 최적화 운영 기술 실증을 통하여 병원 진단 및 통합제어 시스템 표준화를 궁극적으로 구현한다.

[기술내용] 그 중, 본 논문에서는 병원 건물에너지 소비량을 합리적으로 절감하기 위한 건물부하를 기준으로 병원건물의 HVAC 시스템의 에너지 소비량을 평가하는 방법론을 도출하였다. 또한 이를 활용하여 대규모 병원 건물의 사례분석을 통해 HVAC 시스템의 에너지 특성 및 성능을 분석하고 구성 시스템 및 분야별 에너지 영향도 분석을 수행하였다. HVAC 시스템의 에너지 사용을 절감하기 위한 방법은 부하관리, Software(SW) 및 Hardware(HW)적인 방법으로 구분할 수 있다. HW적인 방법으로는, 약 전체 소비량의 약 17%를 차지하는 공조시스템 공기반송 에너지는 최대 25%의 에너지 저감이 가능하고, 물 반송계통은 약 15%, 열원설비는 운전방법 개선으로 10% 이상이 가능하여 전체적으로는 약 8.0%의 1차 에너지 저감이 가능한 것으로 분석되었다. 그리고 BEMS 등의 SW적인 방법 및 근원적인 부하관리를 통하여 최대 15%까지는 절감이 가능할 것으로 판단된다.

[특별세션 XIII. 건물에너지 효율화 기술]

외부 전동 차양장치 결빙내구성능 평가방법 개발 및 연구
Development of Test Method for Resistance to Operation in Frosty
Conditions of External Venetian Blinds

안병렬 · 신상용 · 김용길

(재)한국건설생활환경시험연구원 기후환경실증센터

건축물 내·외부에 부착되는 차양장치는 구동방식 및 설치부위 등에 따라 다양한 종류로 나뉘며, 하절기 태양에너지(적외선) 유입을 차단하여 실내 온도상승을 억제하고 냉방에너지를 절감시키는 기능을 지니고 있다. 또한 단열재료를 적용한 셔터 및 차양장치의 경우 동절기 열손실을 차단하고 기밀성능 등을 향상시켜 난방에너지를 절감시키는 효과 또한 기대할 수 있다. 이와 같은 기대효과로 차양장치는 건물에너지 효율향상을 위한 핵심요소로 인식되고 있다.

건축물 외피에 부착되는 전동구동형 차양장치(external venetian blinds and shutters, etc)는 외부 기상 상태에 직접적으로 노출되므로, 악조건의 환경에서도 일정 수준 이상의 안전성능을 유지하여야 한다. 특히 동절기 결빙으로 인한 구동부 손상 및 접합부 이탈 등은 제품 자체의 기능 구현에도 문제 발생의 소지가 있을뿐만 아니라, 주변 보행자의 안전 문제 또한 야기할 수 있으므로 제조사 뿐만 아니라 소비자에게도 요구 성능과 작동 조건 등을 명확하게 고지할 필요가 있다.

본 연구에서는 국내·외 차양장치 성능평가 기준을 조사하고, 외부 전동구동형 차양장치의 동절기 결빙내구성능을 평가할 수 있는 시험장치 제안 및 평가용 시료를 활용한 예비실험 수행 절차 및 결과를 분석하였다. 외부 전동구동형 차양장치의 결빙내구성능 평가방법은 크게 평가대상 및 항목, 평가장치 및 시험방법, 성능기준(안) 등으로 구성되어 있으며, 미국 군사규격인 MIL-STD-810G, METHOD 521.3, ICING/FREEZING RAIN(2008) 시험 방법을 참조하였다. 평가용 시료를 통한 예비시험은 표준환경 조성 및 안정화, 시험체 물 분사 및 결빙, 환경조건 도달 여부 확인, 시험체 구동 및 결과 보고 순으로 수행되었으며, 결빙 시 설정온도는 -5°C , -10°C , -15°C 로 설정하였다.

예비시험 수행 결과 3가지 결빙 조건에서 시료의 상승/하강 운전 수행시 모두 정상적으로 구동되었으며, 손상 부위 또한 발생하지 않은 것으로 확인되었다. 그러나 상승 또는 하강 운전시 Slat이 순차적으로 이동되지 않고 일정시간 착빙된 얼음에 의한 고정 상태가 지속되다 동시에 낙하하는 현상, Slat이 포개어지는 과정에서 착빙된 얼음이 낙하하면서 안전상의 문제를 야기할 수 있는 현상 등을 확인 할 수 있었다. 향후 보다 극한 조건(결빙 설정온도 -20°C , 얼음두께 6mm 형성 등) 상태에서 다양한 시료를 적용한 예비시험을 수행함으로써, 차양장치의 형태, 재질, 구동 방식 등에 따른 결빙내구성능 DB를 구축할 예정이며, 이를 통해 외부 전동 차양장치의 결빙내구성능을 평가할 수 있는 효율적이고 신뢰성있는 시험방법을 개발하고자 한다.

[특별세션 XV. 탄소광물 적정기술]

The Bentonite and Green Cement as Alternative materials for Backfill and High Level Radioactive (HLR) Waste Storage

Ji Whan Ahn, Thenepalli Thriveni*

한국지질자원연구원 탄소광물화사업단, *한일시멘트 환경소재팀

Abstract

This work aims to present the review of the various cases of mineral carbonation applications to various kinds of waste such as fly ash, cement waste and concrete waste. The carbonated coal ash and green cement are served as alternative materials for back fill and high level radioactive long term storage. Large amounts of fly ash and its disposal is a major problem and cause several kinds of environmental problems. The present study focuses on the use of the fly ash based composite materials for mine backfilling and high level radioactive waste (HLRW) long term geological storage to evaluate its performance. Bentonite and green cement are the alternatives for the backfilling and also high level radioactive waste storage. The outcome of the research would be useful in reducing the subsidence problem of underground mines as well as increasing the prospect of utilization of fly ash. This investigation was focused on the feasibility study of utilization of fly ash with different composite materials such as lime, green cement and bentonite mineral to enhance the strength of the fly ash.

Acknowledgments

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

[특별세션 XV. 탄소광물 적정기술]

The Recovery of Rare Earth Elements for Clean Energy Applications : Green Solutions

Jyothi Rajesh Kumar · Thenepalli Thriveni[†] · Jin Young Lee · Ahn Ji Whan^{*}

한국지질자원연구원 DMR 융합연구단, [†]한일시멘트 환경소재팀,

^{*}한국지질자원연구원 탄소광물화사업단

Abstract

Rare earths (REs) utilization in modern lives is increasing day-by-day all over the world. The rare earths have an ever growing variety of applications in the modern technology. They provide many an industry with crucial materials and they provide many a customer with benefits. From these beginnings and over many years, industrial applications of rare metals have developed in metallurgy, magnets, ceramics, electronics, chemical, optical, medical and nuclear technologies. Rare earth primary products are mainly used as raw materials for high-purity individual rare earth chemicals, and in making of petroleum and environment protection catalysts and polishing powders.

The separation and recovery of rare and precious metals by hydrometallurgical routes namely precipitation, ion-exchange and liquid-liquid extraction (LLE) was well known. The discovery and isolation of the lanthanide and actinide metals provided impetus for the further development of these technologies, as the closely related properties of these f-group metals stretched the boundaries of knowledge in this young field. Today, LLE is widely employed in a variety of industries for both the upgrading and purification of a range of metals and chemicals. The technology is used in applications as diverse as pharmaceuticals, agriculture, industrial chemicals, petrochemicals, the food industry, the purification of base metals, and the refining of precious metals. Hydrometallurgy is the convenient subject area to recover the REs from primary and secondary resources. The main hunting is green solutions, present article focus on REs recovery by green routes. The detailed discussions and flowsheet will delivered at the time of presentation.

Acknowledgments

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

[특별세션 XV. 탄소광물 적정기술]

The anti-microbial activity of natural limestone and oyster shell wastes

Chilakala Ramakrishna · Thenepalli Thriveni · Seong Young Nam · Chunsik Kim · Seong Myeong Jeong · Ji Whan Ahn*

한일시멘트 환경소재팀, *한국지질자원연구원 탄소광물화사업단

Abstract

Oyster shells are a waste product from mariculture that creates a major disposal problem in coastal regions of southeast Korea. Their improper disposal causes a significant level of environmental concern and also results in a waste of natural resources. Oyster shell is formed by biomineralization and consists mainly of CaCO_3 with a small amount of organic matrix and it is a good alternative material instead of natural lime stone. In the study, the preparation of limestone and oyster shell waste hydraulic activity and its characterization were performed by X-Ray Fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD) and it confirmed the CaCO_3 is the major composition. The calcinated CaO from oyster shells and limestone demonstrated that the ability to inhibit the growth of *Escherichia coli* and other bacterial forms in different aging coffee wastes samples and it utilization as a fertilizers with economic ecofriendly in nature.

Acknowledgments

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

This study was also supported by the Energy Technology Development Project [20141010101880] of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning, financed by the Ministry of Trade, Industry and Energy.

[특별세션 XV. 탄소광물 적정기술]

Synthesis and Characterization of Porous Activated Carbon Derived from Olive Cake by Hydrothermal Process

Mohammad Danish Khan · Seungmin Lee* · Ji Whan Ahn*

과학기술연합대학원대학교(UST) 자원순환공학, *한국지질자원연구원 탄소광물화사업단

Abstract

Highly porous activated carbon was produced from Olive cake and carbonized (hydrothermally) olive cake by activating them chemically. Hydrothermal carbonization was carried out for 2 hours at 240°C while for activation, 700°C for 1 hour was preferred. A comparative study regarding textural properties was performed between olive cake and carbonized olive cake. To achieve this, different ratios of KOH to sample were chosen and resulted activated carbon were characterized by Elemental Analyses, BET, SEM, TGA and pore size distribution. The specific surface area varied significantly with increase in KOH with highest achievable area of $\sim 1155 \text{ m}^2/\text{g}$. Pore size of these activated carbon were fairly large with size $\sim 1.7 \text{ nm}$. Effects of physical mixing of KOH and samples were also discussed. SEM clearly revealed the surface modifications in carbonized olive cake which holds much better textural properties.

Key words: Activated carbon; Olive cake; hydrochar.

Acknowledgments

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

[특별세션 XV. 탄소광물 적정기술]

An Overview on the Characteristics of Calcium Chloro-aluminate Clinker

Namju Lee, Gwang Mok Kim*, Hyeon Gyu Kim*, Ji Whan Ahn*

과학기술연합대학원대학교(UST) 자원순환공학, *한국지질자원연구원 탄소광물화사업단

Abstract

Municipal solid waste incineration (MSWI) ash usually contains 5–10% of chlorine from food salt. Since the chlorine content in MSWI ash leads the deterioration of concretes, the ashes can not be recycled as aggregates for the fabrication of concretes. Therefore, many researchers in previous studies have proposed various methods for the fabrication of calcium chloroaluminate (CCA) clinker to immobilize the chloride contents and to recycle the MSWI ash. The studies on the fabrication and the characteristics of CCA Clinker summarized and the details will be presented.

Acknowledgments

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

[특별세션 XV. 탄소광물 적정기술]

The UNESCO action plan and 2030 agenda of sustainable development goals for climate change

Seungmin Lee, Ahn Ji Whan

한국지질자원연구원 탄소광물화사업단

Abstract

The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) is a specialized agency of the United Nations (UN) based in Paris. Its declared purpose is to contribute to peace and security by promoting international collaboration through educational, scientific, and cultural reforms in order to increase universal respect for justice, the rule of law, and human rights along with fundamental freedom proclaimed in the United Nations Charter. The UNESCO developed a new set of 17 goals for the nations sustainable society. The Organization will continue to actively participate in UN-wide efforts to improve coherence and coordination within the UN system. The 2030 Agenda is first and foremost about shifting the world on to a sustainable and resilient path. UNESCO is supporting countries in making this transformative change, through its work to ensure that all learners have the skills and knowledge they need to become responsible, green, global citizens; to advance science, technology and innovation for the development of sustainable solutions to mitigate and adapt to climate change and other global challenges; to expand access to ICTs to promote socio-economic development; and to ensure that culture is integrated into sustainable development strategies so that they are relevant, effective and adapted to local contexts. It will also continue to play an active role in the follow-up and review processes at the global levels and, as appropriate, at the regional and national levels. The broad goals and objectives of the international community as set out in the internationally agreed development goals, including the Millennium Development Goals (MDGs) underpin all UNESCO strategies and activities. Among these sustainable goals, climate change, water security is more significant. In this paper, we briefly reviewed the seventeen goals by UNESCO.

Acknowledgments

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

[특별세션 XV. 탄소광물 적정기술]

The Global Trends of CO₂ sequestration for Bauxite Residue

Hyeon Gyu Kim, Ahn Ji Whan

한국지질자원연구원 탄소광물화사업단

Abstract

In this paper, we discussed briefly the global trends of CO₂ sequestration of bauxite residue. Several multinational aluminium manufacturing companies carried CO₂ sequestration for the sustainable benefits. A significant risk may exist with the disposal of bauxite residues without proper management. Bauxite residue is highly alkaline. Currently, a very small proportion of the bauxite residues are been managed and stored properly. The manner in which the bauxite residue is handled and stored is determined by factors such as the age of the plant, land availability, proximity to the sea, presence of lod mine, climate, logistics, nature of the residue and regulations. Bauxite contain very low levels of naturally occurring radioactive materilas (NORM); due to the presence of the uranium series and thorium series, which are both found in most mineral raw materials. The concentration of the radioactive species will therefore be proportionately higher in the bauxite residue than the initial ore. This is some times referred to as technologically enhanced naturally occurring radioactive material. A wide range of other components are present at trace levels in the bauxite. Depending on the temperature used in the extraction process some elements will increase in concentrations and other will be lower in the bauxite residue. Here mainly we are going to discuss how mineral carbonation can stabilize the trace elements and also CO₂ sequestration of bauxite residue.

Acknowledgments

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

[특별세션 XV. 탄소광물 적정기술]

Environmental Pollution Issue in Phong Khe Paper Recycling Craft Village, Vietnam

Vu Thi Hong Ha · Seong-Ho Lee · Ji Whan Ahn

한국지질자원연구원 탄소광물화사업단

Abstract

Today, the development of industries and rapid urbanization has a profound impact on the human environment. It can be said that the environment in the craft village is most affected. The Phong Khe ward in the northen of Bac Ninh Province, Vietnam, there are over 204 various size facilities of recycling and producing paper. The paper facilities produce about 200,000 tons of paper each year and the amount of paper produced is not less than 500 tons each day in Phong Khe. According to the households, about 500 - 600 kg coal are needed to produce one ton of paper. Thus, the amount of coal and firewood of the paper production facilities used to produce paper up to 400 - 500 tons/day. Every day, a huge amount of wastewater containing high levels of organic pollutants is discharged. This wastewater then runs directly into domestic canals and Ngu Huyen Khe River, which has a serious impact on the quality of both surface and underground water in Phong Khe. The ambient atmosphere in Phong Khe Commune is smelly and filled with dust and coal smoke. The pollution in the commune has had negative impacts on the health of its people and its agricultural production. There has been an increase in the incidence of various respiratory and skin diseases and a significant area of land is no longer suitable for cultivation. The specific objectives of this study were as follows: (1) provide an overview of paper production process in the Phong Khe paper craft village; (2) comprehensive literature review of the current status of water environment, atmosphere environment, soil environment and solid waste; (3) To analyze the environmental consequences on the human health and socioeconomic.

Acknowledgments

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

[특별세션 XV. 탄소광물 적정기술]

Research on the Implementation of Sustainable Solutions for Water Exploitation and Use of Water Resources in the Limestone Areas

Lai Quang Tuan · Ji Whan Ahn*

과학기술연합대학원대학교(UST) 자원순환공학, *한국지질자원연구원 탄소광물화사업단

Abstract

Limestone accounts for nearly 20% of the surface and in Vietnam. Due to the characteristics of limestone area, the underground water is deep, mainly related to the caves, so the ability to search for surface water is very low. Improving the supply of clean water has been one of the main solutions contributing to sustainable development and effective response to climate change in the limestone areas of Vietnam.

Becoming a Global geopark is a step forward, an important achievement for Dongvan city, Hagiang province, Vietnam, but improving the supply of clean water to local people and increasing number of tourists is expected to increase. Water supply is becoming a top concern and challenge for not only local governments and people, but also national and international organizations and scientists. Recently, The PAT technology (Pump As Turbine) has been testing in the Dongvan karst plateau geopark in the framework of cooperative project between Vietnam and Germany. This solution allows pumping water from the lower water resources up to the reservoir and then distributing water to households without electricity consumption. This solution also allows the power generation for light as well as operates the pump system and water supply system. This solution is expected to contribute to the sustainable solution to deal with water shortage in the limestone areas of Vietnam.

Acknowledgments

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

[특별세션 XV. 탄소광물 적정기술]

Identification of Inter-Basin Groundwater Transfer between Adjacent Basins

Dure Mulatu · Ji Whan Ahn*

과학기술연합대학원대학교(UST) 자원순환공학, *한국지질자원연구원 탄소광물화사업단

Abstract

The inter-basin groundwater transfer between adjacent basins can be identified by using of groundwater head data. Groundwater head data has been used to study the inter-basin groundwater transfer between middle Abay River basin and upper Awash River basin, Ethiopia. Three steady state groundwater flow models were first created and calibrated for the inventoried wells. The first two models were created by considering the surface water divide between the two basins as a no flow boundary. The third model avoids the surface water divide which justifies inter-basin groundwater transfer. The hydraulic head; hydraulic conductivity and surface recharge were used as calibration parameters. The goodness of fit indicators that was obtained for the third model was better than the other two models. This indicates the evidence of inter-basin groundwater transfer between the two basins. These results are useful to study the cross contamination of the groundwater flow system. In addition, the groundwater head distribution for third model showed that the groundwater divide and surface water divide were not coincident. And groundwater is easily accessed within a shallower depth in the upper Awash River basin compared to the middle Abay River basin which shows a significant amount of variation of groundwater accessibility depth within a shorter distance.

Acknowledgments

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

[특별세션 XV. 탄소광물 적정기술]

Determination of maximum water level rise of Lake Beseka

Lulit Habte · Ji Whan Ahn*

과학기술연합대학원대학교(UST) 자원순환공학, *한국지질자원연구원 탄소광물화사업단

Abstract

Environmental degradation has caused the reduction of water level in lakes, rivers and streams. However, the water level of Beseka Lake has been rising for more than three decades. The surface area of the lake has been expanding from 3km² to 46.6km² between 1973 to 2008 with corresponding to rise in lake water level. The expansion of Lake Beseka has caused an irreversible damage to the nearby Awash River which is a resource for the surrounding irrigation schemes and downstream water supply. This paper determined the maximum possible water level rise of the Lake. A numerical ground water model, TAGSAC, has been used for predicting this maximum possible Lake level rise. For the identification, a steady state groundwater model was first created and calibrated for the inventoried wells. The model is conceptualized by considering a constant head boundary condition for the Awash River in locations where the river is perennial. The calibration of the model was made by changing the recharge and hydrogeologic parameters of the basins. The goodness of fit indicators (GoFIs) showed that the measured and simulated heads of the model have a better match. The maximum Lake level rise was determined by raising the lake water level where the flow was reversed away from the Lake by assuming the Lake is contained in its territory. As the result of this study indicates the maximum Lake level where the flow completely reversed is 12m.

Acknowledgments

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

핵연료집합체 해석모델이 지진조건의 충격하중에 미치는 영향 Effect of the Fuel Assembly Analysis Model on the Impact Load under Seismic Loading

김동학

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자로내부구조물 지진평가를 위한 핵연료집합체 해석모델은 지지격자 충격시험 등을 포함하는 일련의 시험을 통하여 결정된다. 지진조건에서 원자로내부구조물에 있는 핵연료집합체의 건전성이 유지되어야 하며, 지진하중에 의한 핵연료집합체의 충격하중은 핵연료집합체의 건전성 평가의 중요한 인자이다. 본 연구에서는 원자로내부구조물 지진해석을 위한 핵연료집합체 모델의 특성 변수에 따른 지진하중에서 핵연료집합체의 충격하중에 대한 영향을 검토함으로써 지진 여유도 확보를 위한 핵연료집합체 구조설계 방향을 수립하고자 한다. 원자로내부구조물 지진평가를 위한 핵연료집합체 해석모델은 보-질량 요소로 구현되며, 핵연료집합체와 인접한 핵연료집합체 또는 원자로내부구조물 벽과의 충돌요소가 구현되어야 한다. 보-질량 요소와 충돌요소의 특성을 나타내는 중요한 변수는 핵연료집합체의 고유진동수와 감쇠비, 충돌강성, 반발계수이다. 핵연료집합체 해석모델의 특성 변수에 따른 지진하중에 의한 핵연료집합체 최대 충격하중의 변화를 조사하였다. 본 연구의 핵연료집합체 특성 변수에 대한 민감도 분석은 APR1400원전의 미국 규제기관인 NRC의 설계인증을 위한 지진하중과 예비 해석모델을 기준으로 조사하였다.

고유진동수가 감소함에 따라서 핵연료집합체에 발생하는 최대 충격하중은 증가한다. 특히, 고유진동수의 제곱에 반비례하여 핵연료집합체 최대 충격하중이 증가한다. 감쇠비가 감소함에 따라서 핵연료집합체에 발생하는 최대 충격하중은 증가한다. 고유주파수가 클수록 핵연료집합체 최대 충격하중에 대한 감쇠비의 영향이 크게 발생한다. 원자로내부구조물에서 핵연료집합체의 충돌은 핵연료집합체의 한 방향(one-side)으로 발생한 경우와 핵연료집합체의 양 방향(through grid)으로 발생하는 경우가 있다. 이를 고려하기 위하여 one-side 강성과 through grid 강성을 결정하고 각각에 대한 충격하중을 계산하여 허용치와 비교한다. 일반적으로 through grid 강도가 one-side 강도와 유사하거나 약간 작다. 하지만 through grid 강성이 one-side 강성에 비하여 크고, through grid 충돌에 의한 변형이 제한되므로 through grid 충돌에 의한 충격하중이 크다. 따라서, through grid 충격강성의 영향을 고려하였다. through grid 강성이 증가할수록 최대 충격하중은 증가하였다. 마지막으로 고려한 핵연료집합체 해석모델의 특성 변수는 반발계수이다. 반발계수는 충돌에 따른 에너지의 흡수 정도를 나타내는 변수로 반발계수가 작을수록 최대 충격하중은 감소한다.

공기압축기 전동기 이음 발생 원인 분석

An Analysis on the Noise Event of Air Compressor Motor

김원택

한국수력원자력(주) 중앙연구원

회전 기기에서 운전 중 이음이 발생하는 것은 종종 있는 일이며 이런 이음은 보통 기계의 이상을 알리는 신호로 여겨진다. 금번의 경우도 공기압축기 운전 중 전동기 외측에서 간헐적으로 이음이 발행한 사례로 이를 해소하기 위한 점검 방안 및 교훈을 소개하고자 한다.

00발전소에서는 공기압축기 전동기를 '14년9월과 '17년6월 신규로 모두 교체 설치하여 운전하였다. 이후 '17년12월 일부 전동기 베어링에서 간헐적으로 이음이 발생하여 그리스를 주입하였다. 이후에도 계속적으로 이음이 발생하여 분해 점검한 사례로 베어링의 열화가 일부 확인되었다. 일반적으로 신규 기기의 경우 제작오차, 설치오차를 간과하는 경우가 있으며 현장에서 이를 확인하는 것은 쉬운 일이 아니다. 그래서 이로 인해 나중에 운전 중에 문제가 발생하기도 한다.

전동기 베어링 이음의 발생 원인을 확인하기 위해 우선적으로 베어링 궤적을 점검하였다. 베어링 내륜, 외륜 궤적에서 편차가 발생하였고, 이는 운전 중 베어링 오정렬 상태로 추력이 발생하여 볼 궤적이 치우친 형태로 나타났다. 이런 과정에서 베어링 내부품 간 기계적 마찰로 이음이 발생한 것으로 보인다. 다음으로 커플링 간극을 점검하였다. 허브와 스플 간 간극이 제작사 도면 치수보다 약 몇 mm 작아 이는 간극사이에 조립되는 디스크 팩의 변형에 기인한 것으로 사료되며, 이로 인해 오정렬 수용성이 낮아진 것으로 보인다.

다음으로 브라켓 동심도, 직각도를 점검하였다. 이 공기압축기 전동기는 측정렬을 수행할 수 없는 구조로 조립시 자동 측정렬이 되도록 설계, 제작되었다. 그러나 브라켓 접촉면 직각도에 편차가 존재하여 전동기 하우징의 오정렬이 발생하고, 이로 인해 베어링 오정렬에 영향을 주었으며 베어링 이음 및 과열 등이 나타난 것으로 보인다. 또한 전동기 베이스 레벨을 점검하였다. 전동기 베이스에는 진동을 감소시키기 위해 플라스틱 재질의 패드가 4곳에 설치되며, 레벨 확인결과 미소 기울기가 측정되어 심 보정작업이 필요하였다. 레벨 편차 존재 시 축 및 베어링 오정렬에 영향을 줄 수 있으므로 향후 지속적인 관리가 요구된다.

다음으로 그리스 보충량 및 보충주기를 점검하였다. 베어링 제작사 SKF 자료에 따르면 전동기 제작사 권고량은 적정하였으며, 보충주기도 크게 무리가 없는 것으로 확인되었다. 또한 주파수 스펙트럼을 검토하였는데 주파수 스펙트럼 성분차이에 대한 원인이 명확히 확인되지 않아 지속적인 검토가 요구된다. 다음으로 기기 교체운전 주기를 검토하였는데 회전 기기의 경우 빈번한 기동, 정지는 회전체 및 베어링에 기계적인 불안정 영향을 미칠 수 있으므로 교체주기 조정이 필요함을 권고하였다.

신규로 제작 설치된 00발전소 공기압축기 전동기에서 이음이 발생한 이번 사례의 주 원인은 조립시 자동적으로 측정렬이 되도록 제작된 공기압축기 전동기 브라켓 조립면에서 직각도 편차, 전동기 베이스의 레벨 편차 및 커플링부의 디스크 팩 변화가 주된 요인이 되었다. 이번 사례는 신제품에 대한 제반 치수 점검 및 설치 시 확인이 필요함을 보여준 것으로 향후 발전소 등 산업 현장에서 신제품에 대한 품질 확보 중요성을 다시금 일깨워주었다.

급수가열기 관막음률 변화 분석

A Change Analysis of Tube Plugging Rate for Feedwater Heater

송석윤(Seok Yoon Song)

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

1. 서론

급수가열기(Feedwater Heater)는 원전 계통을 구성하는 핵심기기 중 하나로써, 주어진 온도, 압력 및 부식 환경에 견디고 발전소 수명기간동안 사용이 가능하도록 설계되지만 가동년수가 증가함에 따라 예기치 못한 원인으로 인하여 손상이나 파손이 발생할 수 있다. 원전에 설치되어 운전되는 급수가열기는 많은 급수측 유량과 동체측에 많은 유량의 습증기가 흐르는 환경에서 운전되고 있다. 급수가열기 전열관(tubes)은 내부 구성품 중에서 가장 많고, 가장 중요한 부품이다. 급수가열기 전열관이 손상되면 해당 전열관을 관막음하게 된다. 따라서 관막음률이 증가하게 되면 계통의 운전변수도 변화되며, 급수가열기 성능뿐만 아니라 발전소 전체 효율도 저하되게 된다.

본 논문에서는 발전소 출력운전 중 급수가열기 관막음률 변화에 따른 운전변수 변화와 성능변화를 분석하고자 한다. 이를 위해 실제 발전소 급수가열기 관막음률 증가 사례를 발전소 운전변수를 분석하여, 주요 운전변수의 변화를 확인하였다. 또한 발전소 열성능 시뮬레이션 프로그램인 PEPSE(Performance Evaluation of Power system Efficiency)를 이용하여 터빈 사이클 열평형 모델을 구축하고 이를 기반으로 급수가열기 관막음률 변화를 모델링하여, 분석하였다.

2. 관막음률 증가 사례 분석 및 모델링 분석

고압급수가열기 관막음률 증가로 급수 출구온도는 $0.8 \sim 2.3^{\circ}\text{C}$ 저하되고, 응축수 배수온도는 $0.6 \sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 증가하였다. 또한 발전기 출력은 1.3 MWe 감소하였다. 터빈사이클 열평형 모델에서 고압급수가열기 관막음률 변화 모델링은 개별, 트레인별, 단별 3가지 유형에서 각각 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% 관막음률 변화 모델링을 하고, 관막음률에 따른 운전변수와 전기출력 감소량을 분석하였다. 운전경험 사례와 시뮬레이션 결과 비슷하게 운전변수가 변화하는 것을 나타내었다. 관막음률이 증가할수록 전기출력은 선형적으로 감소하는 추세를 나타낸다.

3. 결론

급수가열기는 운전년수 증가에 따라 여러 가지 이유로 전열관 손상이 발생하여 관막음률이 증가하게 된다. 급수가열기 관막음률 증가에 따라 운전변수도 변화되며, 급수가열기 성능뿐만 아니라 발전소 전체 효율도 저하되게 된다. 따라서 급수가열기 계속운전, 정비 및 교체 결정을 위해 관막음률에 따른 성능 저하나 발전소 출력 변화 등 정량적인 데이터가 필요하다. 또한 급수가열기 관막음률 변화를 모델링하여 분석해 놓으면 운전변수 변화를 사전에 예측하여 최적으로 운전할 수 있다.

제어봉중첩 변경을 통한 일일부하추종운전 평가
Evaluation on Daily Load-following Operation through Superposition
Change of CEA Groups

유극중 · 이재곤

한국수력원자력(주) 중앙연구원

APR+(Advanced Power Reactor Plus)는 해외 수출을 위해 국내기술로 개발된 원자로로 국내원전 최초로 부하추종운전을 설계에 반영하였다. 특히 일일부하추종운전을 위하여 제어봉을 자동 구동시켜 출력과 출력분포를 동시에 제어하는 부하추종운전알고리즘을 개발하였고 그 성능과 적용성을 평가하였다. 본 연구에서는 제어기의 일일부하추종운전의 성능을 향상시킬 수 있는 방안 중 하나로 제어봉(Control Element Assembly) 그룹들 간의 중첩(superposition) 변경을 제안하였다. 현재 APR+ 및 APR1400, OPR1000 원자로의 조절제어봉들은 5개의 그룹으로 나뉘어져 있고 각 그룹들은 40%의 중첩을 유지하며 원자로 안으로 삽입/인출된다. 본 연구에서 제안하는 중첩변경은 현재 제어봉 중첩을 70%로 증가시켜 초기에 원자로로 삽입되는 후속 제어봉그룹의 양을 증가시키는 동시에 상부로 출력이 편중되는 원자로의 물리적인 현상을 저감하는 것이다. 이 증가된 중첩으로 운전을 할 경우 제어봉 삽입시 선행 제어봉그룹이 30% 삽입된 후 후속 제어봉그룹이 삽입되기 시작하며 제어봉 인출시에도 70%의 중첩된 거리를 유지하게 된다. 이러한 제어봉중첩을 구현하기 위하여 원자로 시뮬레이션 프로그램을 수정하여 부하추종운전알고리즘을 시뮬레이션 프로그램과 연계하였다. 또한 최종 일일부하추종운전 성능평가를 위해 APR+ 초기노심을 선정하고 주기초(0 MWD/MTU)와 주기말(14,000 MWD/MTU)에 각각 변경된 중첩을 적용하여 3일간 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 주기초에는 70% 중첩변경에 따른 제어봉 움직임의 변화가 거의 없어 운전성능에도 변화가 없었다. 하지만 주기말은 40% 중첩결과와 다르게 후속 제어봉그룹이 노심이 조기에 삽입되어 선행 제어봉그룹의 움직임이 현저히 줄어들었다. 또한 이러한 현상으로 인해 노심상부로 출력이 편중되는 현상도 일부 개선되는 효과를 알 수 있었다. 결론적으로 예상한 바와 같이 제어봉그룹의 물리적인 중첩증가가 부하추종운전 성능에 영향을 주는 것을 확인하였다. 그러나 이러한 제어봉 중첩변경은 노심 및 안전해석 등 타 설계분야에 영향을 미치므로 실제 적용을 위해서는 종합적인 검토가 필요하다.

공용염계 상변화물질의 상 분리 방지 및 과냉각 현상 개선을 위해 첨가한 조핵제에 대한 실험적 연구

A experimental study on the nucleating agent added to prevent phase separation and supercooling of Eutectic water-salt PCM

이석준 · 홍터기 · 이수한 · 남원식 · 박설현*

조선대학교 대학원 기계시스템 · 미래자동차공학과, *조선대학교 기계시스템 ·
미래자동차공학부

본 연구는 냉장고의 정온(Isothermal) 기능 향상을 위해 보조냉매로 사용하는 공용염계 상변화물질 (Eutectic water-salt PCM)의 상분리(Phase separation) 방지 및 과냉각(Supercooling) 개선을 위해 조핵제 첨가 유무에 따른 PCM의 열적 특성에 관한 실험적 연구를 진행하였다. Eutectic water-salt PCM은 저온 잠열제로 사용할 때 상변화과정에서 과냉각 및 상분리 현상을 동반하여 PCM의 열적 특성을 저하시키는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하고자 본 연구에서는 제조된 Eutectic water-salt PCM에 과냉각 및 상분리 현상을 개선할 수 있는 조핵제 중 한가지인 고 흡수성 수지(Super absorbent polymer, SAP)를 첨가하고 조핵제를 첨가하지 않은 PCM과 열적 특성을 비교하였다. 냉장고용 Eutectic water-salt PCM은 Na_2SO_4 , Na_3PO_4 , K_2SO_4 , $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, SiO_2 등 7가지 화합물에 증류수에 희석하여 염수화물 수용액 형태로 PCM은 사용 목적에 맞게 상변화 온도 및 잠열량 등의 열적 특성을 고려하여 제조하였다. 제조된 PCM (1wt%, 3wt%, 5wt%) 및 증류수를 Pyrex tube에 각각 100g 씩 준비한 후 SAP을 각각 1g 씩 넣어 Gel 상태로 바뀔 수 있도록 교반시킨다. 조핵제의 첨가 유무에 따라 열적 특성을 비교할 수 있도록 SAP을 첨가하지 않은 PCM (1wt%, 3wt%, 5wt%)와 증류수를 동시에 준비한다. 준비한 PCM 및 증류수를 빙축열냉동시험장치를 이용해 냉각을 진행하고 K-type 열전대와 Data acquisition system을 이용하여 시료의 온도를 측정하고 PC에 기록하였다.

실험 결과 PCM의 농도에 따라 과냉각온도는 $0.3^\circ\text{C} \sim 1.7^\circ\text{C}$ 개선되는 것을 확인 할 수 있었으며, 조핵제를 첨가한 증류수의 경우 4°C 부근에서 확인 할 수 있는 밀도역전현상이 관찰되지 않아 상분리가 발생하지 않음을 확인할 수 있었다. 조핵제를 첨가한 PCM은 조핵제를 첨가하지 않은 PCM 대비 잠열량은 약 2 kJ/kg 차이를 보였으며, 액상비열 및 고상비열은 약 0.03 kJ/kg.K 의 차이를 보였다.

Key word : 공용염계(Eutectic water-salt), 상변화물질(Phase change material, PCM), 상분리(Phase separation), 과냉각(Supercooling), 조핵제(Nucleating agent)

본 연구는 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지인력양성사업으로 지원받아 수행한 인력양성 성과입니다.(No. 20174030201620)

*교신저자 : isaac@chosun.ac.kr

계절별 LP가스 용기의 누출량 실증 연구

A Study on the Experiment of Measurement seasonal amount of release
in LP Gas Cylinder

송보희 · 한원국 · 김성희 · 조영도 · 문종삼

한국가스안전공사 가스안전연구원

보통 용기로 유통되는 LP가스의 경우, 타가스(도시가스, 고압가스)에 비해 사고 발생 건수가 많고 인명피해율이 높아 사고의 대응 및 예방이 중요하다. 특히, 사고 발생시의 누출량 예측은 사고 원인규명이나 피해예측에 필수적 요소이지만, 이론적 누출량은 실제 누출량과 차이가 있어 실제 누출량 규명이 필요하다. LP가스 용기에서의 가스 공급은 용기밸브, 압력조정기, 배관, 중간밸브, 호스, 연소기 등을 통해 이루어지며 각 사고가 발생하는 공급지점, 사용시간, 환경적인 요인(온도 등) 등에 따라 누출량에 차이가 발생한다. 본 연구에서는 누출량 실증을 통해 각각의 요인이 실제 가스 누출량에 미치는 영향을 분석해보고자 하였다. 단순 원인별 LP가스 용기의 누출량 기초 자료 구축을 목표로 실증의 범위를 고의사고 원인(용기밸브 개방, 조정기 후단 호스 절단, 중간밸브 후단 호스 절단 및 분리, 연소기 개방 등)으로 한정하여 계절별로 실증하였다. 실증결과, 가스용품을 거칠수록(용기밸브>조정기>배관>중간밸브>호스>연소기), 외부 온도가 낮을수록(여름>가을>겨울) 누출량이 감소함을 확인하였고, 인위적으로 누출시킴에 따라 결빙이 생성되면서 누출량이 감소함을 확인할 수 있었다.

국가산업단지 대상 설문조사를 통한 매설고압가스배관 관리 현황 관련 연구
A Study on the Management of Buried Pipelines provided Questionnaire
Survey targeting National Industrial Complex

이경은 · 김정환 · 하유진 · 길성희 · 문종삼

한국가스안전공사 가스안전연구원

국내 산업단지 내에 있는 지하매설 배관의 안전관리는 도시가스배관과 산업용 고압배관 모두 설치 시 시공감리와 정기검사 및 EOCS에 관한 제도가 법규화 되어 있다. 하지만 정밀안전진단과 배관안전관리자에 관한 법규는 도시가스배관만 중압은 20년 이상 운영된 배관, 고압은 15년 이상 운영된 배관을 대상으로, 배관 15km 마다 1인의 안전관리자를 선임하라는 법규화가 되어있다. 산업단지 내의 매설 배관은 복잡하게 서로 얽혀 있어 관리 측면의 사각지역이 발생하기 쉬운데, 현재 산업단지 내의 매설배관의 복잡한 상황으로 관리 및 점검이 힘들게 현 실정이다. 본 연구에서는 국가 주요 산업단지에 운영되고 있는 매설고압가스배관의 산업단지별 특성을 분석하고 사업소 내외 매설배관 관리 현황을 분석하기 위해 국가 산업단지 중 대표 산업단지인 울산과 여수 산업단지를 대상으로 매설고압가스배관 관리 현황 및 안전관리자들이 생각하는 매설 배관 안전관리를 위한 필요 항목들을 조사하였으며, 이는 산업용 매설고압가스배관을 대상으로 하는 각 사업소들의 배관 관리 방법 및 관리 주기 파악을 통해 문제점 및 해결점을 찾기 위한 기초자료가 되었다. 이를 토대로 산업용 고압배관에 적용할 수 있는 정밀안전진단 방법 및 규제가 이루어질 예정이다.

본 연구는 산업통상자원부에서 지원하는 에너지기술개발사업으로 수행중인 “매설 고압가스 배관 신뢰도기반 설계 및 평가시스템 개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.
(No. 20162220100030)

국내 고압가스매설배관 관련 정밀안전진단 분석
Analysis of Precision Safety Diagnosis Related to Domestic High
Pressure Gas Buried Pipes

하유진 · 김정환 · 이경은 · 길성희
한국가스안전공사 가스안전연구원

현재 고압가스배관 정밀안전진단에 대한 규제가 명확하지 않다. 국내 주요 산업단지 내 매설고압배관의 관리 및 점검이 제대로 이루어지지 않아 배관의 수명예측 및 운전 상태의 정확한 파악에 어려움이 많다. 전체 고압매설배관의 약 58%를 차지할 만큼 노후화 되어 있는데, 이에 따라 배관 부식 가능성이 높아져 보수 및 공사 시 작은 외부간섭에 의해 배관이 손상될 가능성이 매우 높아질 것으로 추정된다.

본 연구에서는 국내에서 가장 많은 고압배관을 보유하고 있는 여수 및 울산 대상으로 각 사 마다 진행하고 있는 배관진단 및 운영관리에 대한 자료를 조사하고 그 자료를 바탕으로 고압가스배관 안전관리 제도의 개선을 위해 관련된 기준을 비교 분석하였다.

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No.20162220100030)

수소자동차 충전기 계량에 관한 연구

A Study on Metering of a Hydrogen Vehicle Charger

한원국 · 송보희 · 길성희 · 조영도

한국가스안전공사 가스안전연구원

전 세계적으로 온실가스 감축이 현실화되면서 무공해 친환경차의 보급에 대한 관심이 높아지고 있다. 수소자동차는 온실가스를 비롯한 유해물질이 없고 연료충전시간과 주행거리에서 타 친환경차에 비해 강점을 가지고 있다. 이에 국내에서는 2013년 현대자동차가 세계 최초로 수소자동차 양산을 시작하였고, 지금까지 수소자동차 약 130대, 수소충전소 11곳을 보급·운영 중에 있다. 특히 올해는 평창 동계올림픽에서 수소자동차 운행을 통한 지원 및 마케팅 활동과 평창과 강릉에 수소충전소 구축 및 운영, 그리고 3월 현대자동차의 수소전기자동차 NEXO의 판매 시작으로 국내 수소 자동차 보급의 변곡점이 되는 해로 평가받고 있다. 이와 함께 수소자동차 관련 각종 정부 정책과 수소충전소 확대를 통해 수소자동차 보급에 가속이 붙을 것으로 예상된다.

그러나 각종 수소자동차 보급 계획과 달리 보급 후 이를 관리할 수 있는 준비는 미흡한 실정이다. 현재 운영 중인 수소충전소의 충전기 계량과 관련된 기준과 인증이 없어 상거래시 지속적인 문제가 제기되고 있다. 또한 지금까지 충전기 정확도에 대한 실태조사도 없었으며 기술개발 역시 선진국에 비해 미흡한 것이 현실이다. 반면 일본은 2013년부터 “수소스테이션에서의 수소계량관리방법에 관한 연구개발”을 주제로 질량 식 검증 시스템 개발 및 현장 시험 수행 중에 있으며, 미국은 2013년부터 미국표준기술연구소, 미국신재생에너지연구소 등에서 수소충전기 현장시험장치 개발을 통한 수소자동차 충전기 정확도에 대한 연구를 진행하고 있는 등 해외 선진국에서는 수소자동차 충전기 계량에 관한 실태조사 및 기술개발이 활발하게 진행되고 있다. 따라서 국내에서도 수소자동차 보급을 대비한 충전기 실태조사 및 기술개발이 필요할 것으로 예상된다.

이에 본 연구에서는 국내외 수소 충전기 계량 관련 기술개발 및 운영 현황에 대해서 조사 분석하였고, 이와 관련된 해외 사례를 통하여 국내 수소자동차 충전기의 계량 관리를 위한 기술적 제도적 요구사항을 분석하였다. 이를 통해 수소자동차 충전 인프라 구축의 로드맵을 제시하고자 한다.

본 연구는 산업통상자원부 산업기술혁신사업으로 수행 중인 “수소 연료전지기술 국제표준화 기반조성” 과제의 지원으로 수행되었습니다.(71000147)

가스확산 센싱실험의 3D Plot에 대한 방법적 논의
Methodological Consideration of 3D Plotting for Sensing Data of Gas
Dispersion

김정환 · 길성희 · 조영도 · 문종삼
한국가스안전공사 가스안전연구원

지난 2017년부터 국내 폭발위험구역의 설정을 위한 가스누출 실증실험을 진행하였다. 가스의 확산범위를 검지할 수 있는 센서를 공간에 배치하고, LPG 가스를 누출한 후 LPG가스의 농도를 전압값으로 읽어 저장토록 데이터로깅 시스템을 준비하였다. 실험이 종료된 후 가스의 확산을 표현하기 위하여 XY, YZ, ZX 각 면(plane)에서의 확인되는 농도값을 Contour 형식으로 데이터 처리하였다. 상용프로그램 중 Origin을 사용한 방법과 Excel VBA(Visual Basic for Application)를 이용한 방법이 있으며, 센서 고장 등에 의해 데이터가 빈 자리는 내삽의 여러 방법을 사용하였다. 90여개의 센서에서 2초당 한번씩의 데이터를 수분간 저장하려면, 처리해야 하는 Contour map의 수는 감당할 수 없는 양으로, Excel VBA의 매크로를 이용하여 처리하는 방법을 소개하고, 가스확산 실험데이터를 표현하기 위한 더 나은 방법론이 있는지 논의하고자 한다.

수출형 중형원전 안전계통 설계 방안 고찰

Safety Features of 1000MWe Class Reactor for Overseas Market

김지환*, 양원석, 이근성

한국수력원자력 중앙연구원 신형원전연구소

글로벌 원전시장에서 유럽 내륙, 중동 및 동남아의 수요국을 대상으로 주기기 이송 및 전력망 용량, 경제규모 등을 고려한 1000MWe 급 중형원전 개발 필요성이 대두되었다. 한국 수력원자력은 수출시장 다양화를 위해 Gen III+인 APR+와 EU-APR의 주요 설계특성을 반영하여 새로이 국제적으로 강화되는 안전요건을 충족하는 1000MWe 급 중형원전을 개발하고 있다.

본 논문에서는 기존의 OPR1000을 근간으로 과도한 설계변경은 지양하면서도 국제원자력기구(IAEA) SSR-2/1, 서유럽규제자협회(WENRA)의 신형원전 규제 입장, 유럽사업자협회(EUR)가 신규 발행한 Rev. E 요건, 체코 규제요건 등의 최신 요건을 충족하기 위해 필요한 안전계통을 고찰하였다. 강화된 심층방어(Defense-in-Depth) 개념에 부합하도록 발전소 설계 시 예상되는 설계기준조건(Design Basis Conditions) 및 설계확장조건(Design Extension Conditions)에서 안전 정지에 도달하기 위한 안전 기능 및 성능 목표를 설정하였고, 이를 수행하기 위한 공학적 안전설비(Engineered Safety Features), 다양성 안전설비(Diversified Safety Features) 및 중대사고 전용 완화계통(Severe Accident Mitigation Systems) 설계 방안을 제시하였다. 또한, 인위적 재해로서 부각되고 있는 항공기 충돌 및 극한자연재해인 후쿠시마 사고에 대한 대처 방안을 포함하였다. 최적의 안전계통 구성 방안을 도출하기 위해 경쟁노형과의 설계 특성 비교도 수행하였다.

종합적으로 수립된 심층방어 수준별 안전계통과 극한외부재해 대비설계 방안은 안전성과 경제성을 양립하는 수출형 중형원전 개발에 활용되어 결과적으로 한국 노형의 포트폴리오 구축을 통한 경쟁력 확보 및 원전 수출 기반 확대에 기여할 것이다.

국내 영구정지 및 해체원전의 화재방호프로그램 단계별 운영특성 연구

A Study on Operational Characteristics of Process Phase of Fire Protection Program for Permanent Shutdown NPP in Korea

김정운 · 정해영

한국수력원자력(주) 중앙연구원

국내 최초로 고리1호기가 2017년 6월19일 영구정지 되었고 향후 10년 이내 11개호기가 수명이 만료되어 영구정지될 예정이다. 영구정지 및 해체원전의 화재방호프로그램은 가동원전과 크게 다르지 않지만 핵연료를 원자로에서 사용후핵연료저장조로 이송하여 냉각 유지 및 발전소 외부로의 저장 등에 따라 운영특성이 다르다. 현재 국내는 상업로에 대해 해체사업 경험이 없고 세부 법령이 준비 중에 있다. 또한 인허가 문서인 최종해체계획서에 포함된 화재방호 분야도 가동원전 규제법령인 원안위 고시 제2015-12호(화재방호계획의 수립 및 이행에 관한 규정)에 따라 화재방호계획을 수립하도록 되어있다. 따라서 해체원전 사업자는 가동원전 법령 요건을 보수적으로 만족시켜야 하는 입장이다. 하지만 사업 단계별 다양한 형상변경, 다수의 점화원 및 작업 특성으로 인한 화재 가능성을 심층방호 측면에서 특성을 검토하면 해체기간 동안 발전소의 물리적인 형상변경을 고려한 화재방호 분야의 취약점을 사전에 파악하여 화재의 조기감지 및 제어가 가능하여 화재로 인한 방사성물질 누출 방지로 공공의 안전 확보에 만전을 기할 수 있다.

해체사업 단계별 화재방호프로그램 운영특성을 고려하기 위해 고리1호기 해체사업 계획에 근거한 영구정지 후 1단계 해체 인허가 및 해체 사전 준비, 2단계 해체착수 및 처리시설 구축, 3단계 방사성제염·철거·폐기물 처리 및 4단계 부지복원 및 해체완료의 보고에 따른 특성을 파악하여야 한다. 특히, 2단계 핵연료를 사용후핵연료저장조로 이송되는 시점부터 발전소 외부 저장소까지 이동하는 시점까지는 방사성물질 외부로의 누출을 초래하여 영구정지 원전의 안전성에 큰 위해가 없어야 한다. 이러한 배경에는 해체기간 동안 조직 및 형상의 잦은 변경과 다양한 작업관리의 한계가 발전소 안전에 영향을 주기 때문이다.

현재 국내 영구정지원전 및 해체원전에 화재방호 요건이 마련되어 있지 않은 환경이다. 따라서 해체기간 동안에도 원자력발전소 화재방호프로그램이 규제요건인 10CFR50.48에 따라 화재로 인한 방사능 물질의 유출 및 확산을 예방하기 위한 해체 원전의 화재방호 목적이 달성해야 한다. 또한 2001년 제정되어 미국 원전에 이미 적용중인 Reg. Guide. 1.191(Fire Protection Program for NPP during Decommission and Permanent Shutdown)을 참조하여 사업 단계별 화재방호프로그램 규제요건을 고려하여 운영에 적용해야 한다. 특히 사업 2단계 해체착수 및 3단계 방사성제염·철거단계에서는 화재로 인한 피해가 발전소 안전성에 심각한 위해가 예상되므로 첫째, 가동원전 대비 안전에 중요한 역할을 하는 필수기기의 건전성을 확보하기 위한 화재방호프로그램 특성을 고려해야 한다. 둘째, 화재위험도분석시 물리적 형상변경, 방사능 위험 및 운영중인 공용시설의 화재위험을 고려해야 한다. 셋째, 조직·화재 방호설비·구조물 및 가연성물질에 대해 행정관리가 중요하다. 넷째, 화재조기 감지설비·방화 구획·비상대응설비 등 물리적인 화재방호가 중요하다. 이러한 방안은 결국 Reg. Guide. 1.191를 만족시키는 방향으로 운영에 적용될 수 있으며 향후 국내 규제 방향도 동일하게 구축될 것으로 예상된다.

본 논문은 영구정지 및 해체원전의 화재방호프로그램이 사업 단계별 화재방호설비 기능, 형상 및 운영특성을 고려하여 화재 안전을 확보하고 예상되는 규제에 선제적으로 대응하여 향후 영구정지 및 해체 원전의 화재방호 프로그램 운영 준비에도 기여 할 것이다.

가스에너지기반 수요관리형 전기자동차 충전소

Gas Energy-Based Demand Managed Electronic Vehicle Charging Station

김형태 · 채정민 · 조영아 · 이동호*

한국가스공사 가스연구원, *영남이공대학교 전기자동차과

정부의 신재생에너지 보급 확대, 미래에너지변환, 미세먼지 정책 등에 힘입어 친환경자동차의 보급은 빠른 속도로 확대될 것으로 판단된다. 본 논문에 제시된 수요관리형 전기자동차 충전소는 삼중발전(Trigeneration)시스템과 태양광 발전시스템으로 구성되어있다. 가스에너지기반 삼중발전(Trigeneration)시스템에서 생산된 전력과 냉난방 에너지를 전기자동차 충전소에 제공함으로써 충전소 내 편의시설에 별도의 냉난방 열원기를 갖추지 않아도 된다. 또한 삼중발전 시스템에서 생산된 냉방 에너지를 태양광 발전 시스템의 냉각용으로 활용하여 태양광 발전 시스템의 발전 효율을 향상시키는 효과가 있다.

질소산화물 저감을 위한 연소식기화기 설계 및 수치해석
Design of Submerged Combustion Vaporizer and Mathematical for NOx
reduction

우경택 · 김동민 · 유현석 · 김건중* · 황성원*
한국가스공사 가스연구원 신에너지기술연구센터
*인하대학교 화학공학과

최근 대기오염에 관한 문제가 사회적 이슈로 대두되고 있는 가운데 NOx저감에 관한 논의 및 연구가 활발히 진행되고 있다. 대기환경보전법 개정에 따라 2015년부터 한국가스공사의 인천 및 평택기지본부가 대기오염물질 1종 배출사업장으로 분류되어 있고 현재 설치되어있는 장비가 적합하지 않아 저감장치로 인정받지 못하고 있어 SCV Stack에서 배출되는 NOx저감 기술개발이 요구되고 있다. 본 연구는 LNG 기화법 가운데 연소식기화기에서 발생하는 NOx를 저감하기 위해 실험변수를 설정하고 수학적 모델링을 통해 NOx 발생량을 예측하는 것이다. 연소 후 발생하는 NO를 NO₂로 산화시키기 위해 H₂SO₄와 NaClO₂의 영향력을 비교하였다. 본 실험을 통해 NO제거율은 약 40%를 보였고 수학적 모델링을 통해 연소식기화기의 최적의 설계 및 운전조건을 연구하였다. 본 연구결과를 바탕으로 scale-up을 시도하고 있으며 최종적으로는 인천기지 내에 본 연구의 내용을 반영할 것이다.

국내 제조업에서 활용되는 열의 한계가치 추정

Measuring the marginal value of heat in the Korean manufacturing industry

김가은 · 이해정 · 유승훈

서울과학기술대학교 에너지정책학과

Heat is an important input used in industrial production as a form of hot water or steam. In Korea, thirty industrial heat providers use boilers and/or combined heat and power plants. The professional providers show better performance in energy efficiency and air pollutant emissions reduction than do individual companies that produce and consume heat for their own industrial production. Because industrial heat providers in Korea collect not only heat generated by coal- or gas-combined heat and power plants, but also incineration heat and industrial process waste heat to supply heat consumers. Thus, this study tries to measure the marginal value (MV) of heat in the manufacturing industry. To this end, a trans-log production function is estimated using the data gathered from a survey of 256 manufacturing firms in Korea. The MV of heat is estimated to be KRW 203,696 (USD 175.40) per tonne. This estimate is statistically significant at the 1% level. The average price of heat, defined as total expenditure on heat purchased in 2016 divided by total amount of heat purchased in 2016, is KRW 39,455 (USD 34.00) per tonne. Therefore, the MV of heat is about five times as large as the average price of heat. The stable provision of heat to industrial production is quite important for the manufacturing industry in that heat consumed in the manufacturing industry produces much more value than its cost.

주택용 도시가스 공급신뢰도 개선의 경제적 가치

Economic value for improving the supply reliability of residential gas

김효진 · 김주희 · 유승훈

서울과학기술대학교 에너지정책학과

주택용 도시가스는 가정에서 취사, 난방(온수)용으로 사용되고 있다. 2016년말 기준 전국에서 도시가스를 사용하는 가구의 비율이 80.7%를 넘었고, 서울시의 경우 전체 가구에서 도시가스를 사용하는 가구의 비율이 98%를 넘었다. 따라서 주택용 도시가스 공급이 끊어지는 상황이 발생하면 주택용 도시가스 수용가는 큰 피해를 입을 수 있다. 이에 본 논문에서는 주택용 도시가스의 공급신뢰도 개선이 가져오는 경제적 가치를 추정하고자 한다. 이를 위해 무작위로 추출된 전국 1,000 가구를 대상으로 설문조사를 수행하면서 선택실험법을 적용하였다. 도시가스 공급신뢰도와 관련된 속성으로 도시가스 공급중단이 지속되는 시간, 도시가스 공급중단이 발생하는 계절, 하루 중 도시가스 공급중단이 발생하는 시간, 일주일 중 도시가스 공급중단이 발생하는 날 4가지를 고려하였다. 아울러 도시가스 공급중단을 회피하기 위해 추가적으로 지불하고자 하는 도시가스 요금의 수준(%)을 가격 속성으로 반영하였다. 다항로짓모형을 적용하여 효용함수의 모수를 추정하였는데, 추정된 계수는 모두 유의수준 10%에서 통계적으로 유의하였다. 분석결과 주택용 도시가스 수용가들은 도시가스 공급중단 발생 지속시간을 1분 줄이기 위해 도시가스 요금의 0.02%를 추가적으로 지불할 의사를 가지고 있었다. 또한 도시가스 공급중단이 발생하는 계절의 경우 봄, 가을보다는 여름, 겨울에 정전이 발생하는 것을 막기 위해 도시가스 요금의 3.76%를 추가적으로 지불하고자 하였다. 하루 중 도시가스 공급중단 발생 시간이 일과시간외(오후 6시부터 익일 오전 9시)인 것을 피하기 위해 5.34%, 일주일 중 도시가스 공급중단일이 주말(토요일 및 일요일)인 것을 피하기 위해 7.37%를 도시가스 요금에 추가적으로 지불할 의사가 있는 것으로 추정되었다. 이러한 도시가스 요금의 추가적 지불의사 수준은 모두 사전적인 기대에 부합하면서도 통계적으로 유의하였다. 따라서 이상의 정량적 정보는 주택용 도시가스의 안정적 공급을 위한 투자 의사결정분석시 유용한 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

에너지절감형아파트에 대한 소비자들의 추가적 프리미엄 조사

The consumers' premium for the net-zero energy apartment in South Korea

김주희 · 김효진 · 유승훈

서울과학기술대학교 에너지정책학과

The South Korea has been the second highest growth rate of greenhouse gas (GHG) emissions in the OECD countries since 2000. It is also the fifth largest GHG emitter. Therefore, the South Korea pledged to mitigate GHG emissions by 37% from business as usual by 2030 in the Paris Climate Change Accord in 2015. In South Korea, buildings account for more than 25% of the nation's total GHG emissions. Thus, the government aims to make zero energy buildings mandatory from 2025. For the housing sector, the government has recently built and operated a pilot net-zero energy apartment (NZEAs) and plans to expand it to several cities. This study tries to obtain information about the consumers premium for the NZEAs. To this end, households' willingness to pay (WTP) a premium for the NZEAs was investigated, applying the contingent valuation (CV) approach. A national survey of 1000 households was performed. The data on the WTP were gathered employing a dichotomous choice question and analyzed employing the spike model. The mean value of the premium is obtained as KRW 1.53 million (USD 1,400) per 3.3m², which is statistically significant. This value corresponds to 17.0% of the existing apartment price per 3.3m² (KRW 9.10 million, USD 8,039). It can be concluded that the households in South Korea place a significant premium on a NZEA over a conventional apartment. In addition, we have investigated the characteristics of consumers which affect the probability that consumers will pay a premium for NZEA, finding that higher income earners, higher education, and male consumers have a higher probability. These results are useful baseline for understanding the potential implications of NZEA. The government and industry should be aware of how NZEA's potential consumers perceive premiums. For example, it is encouraged to expand the supply of the NZEAs because the consumers gave higher value to a NZEA than a conventional apartment. This study added a contribution to the current literature by deriving the household WTP or premium for living in a NZEA rather than a conventional apartment. The study provided empirical evidence that the CV approach theoretically grounded in microeconomics could be successfully utilized in measuring the premium.

해양 바이오수소 기술 개발에 대한 공익적 가치 평가
Assessing the public value of developing marine bio-hydrogen
technology

이혜정 · 김가은 · 유승훈
서울과학기술대학교 에너지정책학과

The Korean government has invested a considerable amount of money since 2009 in developing marine biological hydrogen (MBH) technology that converts carbon monoxide into hydrogen using marine archaea. If the development succeeds, 10,000 tons of MBH a year, approximately 5% of domestic hydrogen consumption, will be produced by 2020. This article tries to obtain information about household willingness to pay (WTP) for the development, applying the contingent valuation (CV) approach. A survey of 1,000 households was carried out in Korea. The data on the WTP were gathered using a dichotomous choice question and analyzed employing the spike model. The mean WTP estimate is obtained as KRW 2,856 (USD 2.44) per household per year, which is statistically significant. The total yearly WTP expanded to the population is worth KRW 55.1 billion (USD 47.0 million). The information can be utilized in policy-making and decision-making about developing MBH technology.

LNG 저장탱크 질소주입 처리 과정의 최적화

Optimization on the Injection Process of Nitrogen in an LNG Storage Tank

김호연 · 최원재* · 우현규* · 이래춘*

한국가스공사 가스연구원, *인천기지본부

LNG 저장탱크의 보수를 위해서는 개방 전에 탱크 내부에 있는 BOG(Boiled-Off Gas)를 회수하기 위하여 질소를 주입하게 된다. 질소주입 방법에는 하부주입 또는 상부주입 등이 있으며, 그 방법의 결정은 현재까지 실무자의 경험과 질소주입 비용에 의해서 결정되었다. 따라서 본 연구는 LNG 저장탱크의 질소주입 처리에 대한 3차원 유동 시뮬레이션을 통하여 효율적인 질소주입 절차를 수립하는 데 있다. 3차원 유동 시뮬레이션은 CFX 상용팩키지를 사용하였으며, 질소 주입량 및 주입온도의 변화를 통하여 공기나 비용을 절감할 수 있는 여지가 있는지 분석하였다. 본 결과에서 매우 흥미로운 현상을 확인할 수 있었으며, LNG 저장탱크 내부의 메탄가스 농도 변화로부터 공기 단축 및 질소비용을 절감 할 수 있는 영역이 상존한다는 것을 알게 되었다.

PE배관 전기용착부 위상배열초음파 검사를 위한 국제공동검증시험 연구
A Study of Round Robin Test on Polyethylene Electrofusion Socket
Joints using the Phased Array Ultrasonic Testing

길성희 · 조영도 · 문종삼

한국가스안전공사 가스안전연구원

PE관 전기용착부의 건전성을 평가하기 위한 방법으로 위상배열초음파를 이용한 검사방법이 현재 국제 기술표준(TS; Technical Specification)으로 제안되어 국제공동검증시험(Round Robin Test)를 진행 중이다.

정상용착 시험편과 인위적으로 결함을 삽입한 시험편을 제작하여 위상배열초음파를 이용하여 검사를 실시하고 그 결과를 검토하여 현재 검토중인 기술표준(안) ISO DTS16943(PE 배관 전기용착부의 위상배열초음파를 이용한 검사방법)에 제시된 검사방법에 대한 기술적 검증을 추진하기 위한 것이다. 참고로 인위적으로 결함을 삽입한 시험편으로는 콜드퓨전 시험편, 융합불량 시험편, 스크래핑을 실시하지 않은 시험편, 분말을 용착부에 삽입한 시험편과 열선부에 배관이 일부만 접촉하도록 제작한 시험편 등이 포함된다.

11개 기관이 참여한 탐상시험 결과 정상용착 시험편은 약 78% 탐상율을 보였고 결함 시험편에 대한 탐상율은 스크래핑을 실시하지 않은 시험편에 대한 탐상률을 제외할 경우에 약 67%를 나타내었다. 스크래핑을 실시하지 않은 시험편의 경우 약 2%의 탐상율을 나타내어 위상배열초음파를 이용하여 배관 표면부의 산화층을 탐상하는 것이 어렵다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 일정한 길이를 갖는 융합불량 시험편의 경우 약 91%의 탐상율을 나타내어 용착부의 건전성 평가방법으로 위상배열초음파가 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

수소 국제표준 기반 구축 연구
Research of Hydrogen international Standard

강병익 · 길성희 · 조영도

한국가스안전공사

수소는 높은 에너지 발생이 가능하고 이를 바탕으로 질 좋은 에너지 생성이 가능하다. 또한, 수소는 우리가 살아가는 환경에서 손쉽게 구할 수 있어, 수소와 같이 에너지의 질이 좋다고 평가되지만 매장량에 한계가 있는 화석에너지를 대체 할 대표적 자원으로 판단된다. 하지만, 수소가 가지고 있는 큰 유동성과 폭발력 등의 장점은 안전관리 측면에서는 큰 단점으로 작용하여 수소 에너지 상용화에 장애물로 작용할 수 있다. 상기 언급된 문제점을 쉽게 해결할 수 있는 방법이 국제규격 설립이다. 권위높은 국제규격이 설립된다면 효과적인 수소 에너지 사용 방안을 관련자들에게 안전하고 효율적인 수소 에너지 사용 및 관련제품의 시장 진입 방법을 알려줄 것이다.

따라서, 본 연구는 효과적이고 논리적인 수소 국제규격의 기반 구축을 위해서 수행되었다. 상기 연구는 다른 국제규격들과 달리 mother standard가 없는 수소 에너지에 효율적인 국제규격 설립 방향을 알려줄 것이다. 또한, 본 연구를 통해 수소 국제규격 설립의 기초방향이 설정된다면, 그 동안 외국 의존적인 연구와 조사에서 벗어나 수소 에너지 연구의 체계모니를 확보할 수 있고, 수소에 대한 기반지식을 확보할 수 있을 것이다. 또한, 본 연구의 결과물은 수소 관련자들에게 효과적인 연구방향을 제시할 것이다.

국내 원자력 발전 감소에 대한 사회적 수용성 분석
Public acceptance of reducing nuclear power in Korea

허성윤, 김가은

서울과학기술대학교 에너지정책학과

원자력 발전은 고유의 기술적 특수성에 의해 명확한 장단점을 가지며 해당 장단점은 하나를 얻으려면 다른 것을 희생해야 하는 일종의 교환관계(trade-off)의 특성을 가진다. 따라서 원전의 위험성을 감수하고 그로 인한 혜택을 누릴 것인지, 아니면 다른 발전원으로 대체할 것인지는 결국 사회적 가치 판단, 사회적 합의의 문제로 귀결된다. 무엇보다 원자력 발전에 대한 대중들의 관심과 참여도가 증가함에 따라, 향후 원자력에 대한 사회적 수용성은 원자력 정책에 중요한 영향을 미칠 것이다. 특히 우리나라의 경우 에너지 전환 정책의 일환으로 장기적인 관점에서 원자력 발전소의 수 및 발전량을 단계적으로 감축할 계획이다. 본 연구는 예정된 신규 원자력 발전소 건설의 취소와 이에 따른 대체 발전원 사용에 대한 대중들의 의사를 점검하고 그 평균적인 수용성과 사회적 편익을 금전적인 척도로 측정한다. 분석을 위한 방법론으로는 진술선호 자료를 이용한 비시장재 가치평가 기법인 조건부가치평가법과 경제성 평가기법의 일종인 비용-편익 분석을 사용한다. 특히 본 연구는 두 가지 측면에서 기존의 원전 수용성 연구와 차별점을 두고자 한다. 하나는 원전을 축소할 대체원의 종류에 따라 원전 축소에 대한 지불의사액이 영향을 받는지 여부를 점검한다. 또 하나는 도출된 지불의사액을 바탕으로 비용-편익 분석을 시도해 경제적인 관점에서 얼마의 원자력 발전이 대체될 수 있는지를 정량적으로 제시한다. 해당 분석을 통해 본 연구는 향후 한국 정부의 장기적인 원전 축소 계획에 의미 있는 시사점을 줄 수 있다.

과열증기 사용 건조 석탄의 수분 재흡착에 대한 실험적 연구

Experimental study on the characteristics of moisture re-adsorption of dried coal from superheated steam

박근영^{1,2}, 안성민¹, 이용운¹, 채태영¹, 양 원^{1*}, 이동현², 나익환³, 김낙균³

¹생산기술연구원 고온에너지시스템그룹, ²성균관대학교 화학공학부, ³한국테크놀로지

국내 석탄 화력발전소에 주로 사용되는 아역청탄은 역청탄에 비해 수분함량이 많아 보일러 효율에 악영향을 끼치게 된다. 이에 따라, 고수분 석탄을 사전에 건조하여 연소실에 투입하는 공정이 전 세계의 석탄 화력발전소에 이용되고 있다. 사전 건조된 석탄은 친수성으로 인해 저탄장에 있는 동안 수분을 재흡착하는 특징이 있어 이를 명확하게 규명하는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 과열증기를 열원으로 활용하는 건조기를 통해 생산된 건조석탄과 기존의 석탄에 대해 수분 재흡착 특성을 비교 분석하였다. 연구에 사용된 석탄은 인도네시아 산 아역청탄으로 건조 전 원탄의 수분함량은 약 37%이며, 건조된 석탄의 수분함량은 약 20%로 나타났다. 국내 저탄장의 온도를 고려하여 항온항습기의 온도를 20-40°C로 고려하였으며, 습도는 봄, 가을 시즌과 여름 시즌을 모사하기 위해 60%, 90%로 유지하였다. 석탄에 물을 첨가하여 석탄내의 수분함량에 따른 수분재흡착 특성을 항온항습기를 통해 분석하였다. 건조된 석탄은 건조 처리를 하지 않은 원탄에 비해 수분 건조 및 재흡착 경향이 낮았다. 석탄 내부 구조 및 작용기 변화 가능성을 확인하기 위해 BET surface area, Porosity 및 FTIR 분석을 진행하였으며 이를 통해 건조된 석탄과 건조 전 원탄의 수분 재흡착 특성 차이를 확인하였다. 건조된 석탄의 BET surface area가 건조 전 원탄에 비해 작음을 확인하였고 적외선 분광기(FTIR)를 통해 수분 흡착을 가능하게 하는 작용기의 변화가 있음을 확인하였다. 결론적으로, 실증 화력발전에서 과열 증기를 통해 건조된 석탄은 수분 재흡착성이 낮기 때문에 장기간 저탄장에 보관하여 사용하더라도 연소 효율 및 운전 안정성이 향상될 것으로 판단된다.

Keywords : Low rank coal, Moisture re-adsorption, BET surface area, Porosity, FTIR

Pemfc short stack with metal foam gas distributor

Myo-Eun Kim^{1),2)}, Chang-Soo Kim²⁾ and Young-Jun Shon*^{1),2)}

¹⁾*Advanced Energy and Technology, Korea University of Science and Technology,
Daejeon, Korea*

²⁾*Hydrogen and Fuel Cell Department, Korea Institute of Energy Research, Daejeon,
Korea*

** corresponding author (yjsohn@kier.re.kr)*

The performance of 2 cells stack with metal foam as the flow field is investigated. MEA with 70cm² electrode area is fabricated. We tested 2 experimental cases: 1) Conventional graphite serpentine channel bipolar plate 2) Channel-less bipolar plate with metal foam. The porous structure of metal foam have high gas permeability and can reduce the contact resistance between the flow plate and gas diffusion media. The metal foam 2 cells stack shows the performance with 1.8A/cm² at 1.2V (about 14% increment in commercial serpentine structure).

바이오매스의 분쇄성 및 열중량 분석을 통한 미분도 특성 연구
A Study on Grindability of Biomass and Characteristics of Grindability
Using a Thermogravimetric Analysis

강별^{1,2} · 채태영¹ · 박유미¹ · 류창국² · 양원^{1*}

¹한국생산기술연구원, ²성균관대학교 기계공학부

국내 석탄화력발전소는 2012년 시행된 RPS(Renewable Portfolio Standard) 제도로 인해 바이오매스를 석탄과 함께 혼소하여 사용하고 있으며, 그 사용량은 2024년까지 증가될 예정이다. 바이오매스는 탄소중립성 에너지원으로 석탄 대비 탄소와 황 성분이 낮아 이산화탄소와 황산화물 감축 효과라는 이점을 가지고 있다. 그러나 바이오매스를 석탄과 함께 미분기에서 사용할 경우 바이오매스의 낮은 분쇄성으로 인해 미분기의 derating이 발생하고 결과적으로 보일러의 효율 감소로 이어진다. 따라서 바이오매스 혼소율이 제한되며, 바이오매스 분쇄성 측정에 관한 연구가 필요하다. 그러나 석탄과 달리 현재 바이오매스 분쇄성 측정에 대한 표준 방법은 미확립 상태이다. 따라서 본 연구에서는 바이오매스의 분쇄성 관련 분석 및 지수 도출을 목표로 한다.

바이오매스의 분쇄성 측정을 위해 HGI (Hardgrove Grindability Index) machine과 lab-scale ball mill 장치를 이용하였다. 부수적인 장비로는 분쇄 후 입경 분포량 확인을 위한 sieve와 sieving shaker 그리고 저울을 사용하였다. HGI 장치는 석탄을 대상으로 제작된 장치로 바이오매스의 경우 낮은 밀도 문제로 인해 직접적인 측정이 불가하여 ball mill을 이용하여 측정하는 실험을 진행하였다. HGI 장비에서 넓은 범위의 HGI 값을 갖는 물질들로 분쇄성을 측정하고 동일하게 ball mill에서도 분쇄실험을 진행하여 분쇄성 공식을 도출하였다. 이 후 ball mill에서 측정된 바이오매스의 분쇄 후 < 75 μm 입경 분포량을 공식에 대입하여 바이오매스의 분쇄성 지수를 확인하였다. 그리고 열중량 분석의 무게 감소량을 통해 분쇄성에 영향을 끼치는 섬유질 구조를 확인하고 분쇄성 순위와 대조하여 경향성을 파악하였다.

위 연구는 석탄 분쇄성 표준 측정 방법인 ASTM 규격의 방법을 모사하여 진행한 방법으로 기존 석탄 HGI 값과 직접적 비교가 가능하며, 이 후 산업현장 또는 연구 분야에서 분쇄성을 고려한 연료 선택과 혼소율 결정에 중요한 데이터가 될 것으로 판단된다.

Parametric study on the removal of NO_x and SO_x from a pressurized oxy-fuel combustion process using direct contact column

Tefera Zelalem Tumsa^{1,2}, See Hoon Lee³, Won Yang^{1,2*}

¹*Green Process and System Engineering, University of Science and Technology (UST), Cheonan-Si, Chungnam, 331-882, South Korea*

²*Korea Institute of Industrial Technology, Cheonan-Si, Chungnam, 331-882, Korea*

³*Mineral Resources & Energy Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, Jeonbuk, 54896, South Korea*

An integrated removal of NO_x and SO_x using direct contact column is considered as a potential approach for the treatment of pressurized flue gas during carbon capture and storage (CCS). A clear understanding of nitrogen and sulfur chemistry and their interaction among each other under pressurized condition is important during design and performance study of pressurized flue gas treatments in pressurized oxy-combustion systems. This study targeted on parametric analysis and the removal efficiency of NO_x and SO_x in a direct contact column. The process was simulated using Aspen Plus electrolyte model. The kinetics of the reactions implemented in this model is the state of the art NO_x and SO_x reaction mechanism with particular emphasis on the liquid phase interaction. The effects of pressure, pH, water flow rate and recycle ratio on the removal efficiency were evaluated. The removal efficiency of NO_x increased from 70% to 97% when the pressure increased from 15 bar to 30 bar whereas, 99.9% of SO₂ was absorbed from the flue gas at 15 bar. The removal efficiencies of NO_x and SO_x were predicted for different operating conditions; furthermore, preliminary experimental studies are undergoing to validate the model and demonstrate the performance of the direct contact column.

방향성 시추시스템내 이수 유동 특성 모델 연구

A Study on the Mud Flow Characteristics in Directional Drilling System

한상목 · 우남섭 · 김영주

한국지질자원연구원 탐사시스템연구실

We will explain the migration of solid particles with a high flow mixing flow inside an inclined annular pipe in this study. And this is an experimental study of non-Newtonian fluids in the layer region through annular tubes with axial flow and rotation of the inner cylinder. The gravitational force acting on the particle stream plays a very important role in directional drilling, cuttings particle movement and cuttings transport. The pressure drop and particle velocity of the drilling fluid (CMC and Bentonite solution) with the inclination and rotation of the drill pipe were measured. The hydraulic pressure drop from the mixture flow increases between the friction between the wall and the solids and between the solids with high particle feed concentration. In this study, to function advantageously in the particle transport pipe rotation in the inclined annulus was confirmed.

고순도 수소생산용 가압형 천연가스 리포밍 모듈 개발
Development of a Pressurized Natural Gas Reforming Module
for High-Purity Hydrogen Production

윤왕래* · 서동주 · 김우현 · 정운호 · 구기영 · 박상호 · 황영재
수소연구실, 한국에너지기술연구원

파리협정으로 대변되는 신기후 체제 발효에 따른 친환경, 고효율, 저탄소 에너지 경제로의 패러다임 변화가 중요한 시점이다. 특히 수송 에너지 분야에 있어서 친환경 수소자동차의 보급 확대를 위해서는 수소 충전소와 같은 충전 인프라 구축이 선행되어야 한다. 수소충전소 보급 초기에는 천연가스 수증기 개질식 중소형 수소 제조 장치를 이용한 현장 생산 방식(on-site) 수소충전소를 적용할 시 국내에 잘 구축된 도시가스 배관망을 이용하여 장소에 제한 없이 수소의 생산 공급이 가능하므로 수소 인프라 조기 구축에 유력한 방식이 될 수 있다. 본 연구에서는 시장 보급형 고효율/컴팩트 고순도 수소 생산 유닛의 개발을 위하여 가압형 천연가스 리포밍 모듈의 고효율 열전달 설계를 추진하였다. 우선 심한 흡열반응인 수증기 개질 반응기로의 효율적인 열교환이 가능하도록 단위 반응 튜브 형상을 원천 설계하였고 이를 통하여 4기의 반응튜브로 구성된 100 kg/day급 리포밍 모듈을 제작하고 운전조건에 따른 성능을 평가하였다. 개질 압력 8기압, 개질 온도 800 °C, S/C비 2.5의 운전 조건에서 개질효율은 68%(HHV 기준)로 측정되었다. 스케일-업 설계는 반응 튜브 촉매층 선속을 조절하여 유사한 열 및 물질전달 조건이 구현되도록 구성하여 200 kg/day급 천연가스 리포밍 모듈을 설계하였다. 개선된 리포밍 모듈은 고효율/컴팩트화를 위하여 연소부, 예열부, 반응부를 일체화한 구조를 채택하였다. 최적 운전 조건 분석을 통해 개질효율 개선을 추진할 계획이며 향후 PSA 정제 공정과 연계하여 고순도 수소생산 유닛 개발에 적용할 예정이다.

감퇴곡선분석기법 적용 시기에 따른 셰일가스 생산량 예측 비교분석

A Comparative Analysis of Estimated Shale Gas Production depending on timing of Decline Curve Analysis

문서윤 · 문영준 · 신호진 · 임종세

한국해양대학교 에너지자원공학과

풍부한 부존량을 갖고 있는 셰일가스(shale gas)는 수압파쇄(hydraulic fracture)와 수평 시추(horizontal drilling) 기술 발전으로 상업적 생산이 가능해짐에 따라 차세대 에너지원으로 각광받고 있다. 이에 따라 셰일가스 개발은 활발히 진행되고 있으며, 천연가스 생산에 있어 셰일가스의 비중은 계속해서 증가할 전망이다. 셰일가스를 개발하기 위해서는 해당 지역에 대한 평가 작업을 통해 생산성을 신뢰성 있게 예측하는 것이 요구된다. 다양한 생산량 예측 기법 중 생산감퇴곡선분석기법(decline curve analysis)은 시간에 따른 생산량 변화 관계로부터 간편하게 향후 생산성을 평가할 수 있어 널리 사용되고 있다. 그러나 셰일 저류층은 낮은 유체투과도와 장기간 지속되는 천이유동(transient flow), 초기 급격한 생산 감소 등의 영향으로 인해 일반적으로 생산감퇴곡선분석기법 적용 시 예측결과의 불확실성이 존재한다. 또한, 감퇴곡선인자들은 생산 기간에 따라 다르게 도출되며, 이로 인해 예측된 생산량 값에 차이가 발생하게 된다. 따라서 이 연구에서는 셰일가스 생산량 예측 시 생산감퇴곡선 분석기법 적용 시기에 따른 신뢰성을 분석하고자 한다. 이를 위해 미국 Eagle ford 지역의 현장 자료를 이용하여 생산 기간에 따른 생산량을 예측하여 실제 누적생산량과 비교분석하였다. 일반적으로 사용되는 Arps 쌍곡선 함수와 셰일가스의 생산거동을 보완하기 위해 제시된 Modified SEPD, Duong 함수를 분석에 사용하였다. 그 결과 분석에 사용한 생산량 자료의 기간이 길수록 Duong, Modified SEPD, Arps 쌍곡선 함수 순으로 생산량 예측의 오차가 작게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 생산 기간이 짧을수록 누적생산량이 과소 산정되어 정확성이 떨어지는 것을 파악하였다. 또한, Arps 쌍곡선 함수를 사용한 경우에는 셰일 저류층의 초기 감퇴율(initial decline rate)이 클수록 오차가 크게 나타났으며, Modified SEPD는 초기 감퇴구간에 비해 감퇴율이 줄어드는 구간에서 실제 생산량보다 과소 산정되어 누적 생산량에 차이를 보였다. 이를 통해 생산감퇴곡선분석기법 적용 시 생산 특성과 시기에 따라 적합한 방법을 활용하여야 할 것으로 사료된다. 향후 이 연구 결과는 생산감퇴곡선분석기법을 이용한 셰일 저류층의 생산 자료 분석에 활용할 수 있을 것이다.

사 사

이 연구는 산업통상자원부 자원개발특성화대학사업의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

인도네시아 소규모 유·가스전 개발 시 민감도 분석을 이용한 경제성 평가 연구
Economic evaluation using sensitivity analysis
for small scale oil and gas field development in Indonesia

최영일 · 신호진 · 임종세
한국해양대학교 에너지자원공학과

인도네시아는 37억 배럴의 원유를 보유하고 있지만 생산량 보다 소비량이 많아 상당한 양의 원유를 수입하고 있다. 인도네시아 정부는 원유 수입 의존도를 줄이기 위해 적극적으로 소규모 유·가스전 개발에 나서고 있다. 인도네시아 정부는 석유 생산을 늘리고자 생산물 분배계약(Production Sharing Contract, PSC) 방식인 공동개발계약(Kerja Sama Operasi, KSO) 형태의 메커니즘을 통해 소규모 광구들의 개발을 위한 국내외 투자 유치 활성화에 노력하고 있다. 이 연구에서는 인도네시아 소규모 광구 투자 시 해당 광구의 사업성 여부 파악을 위해 KSO 계약상의 이익분배조건을 적용하여 경제성 평가 인자들에 대한 민감도 분석으로 영향 인자를 파악하고자 하였다. 이를 위해 인도네시아 내 소규모 생산광구 중 원유 생산의 경우 500 BOPD 미만, 천연가스 생산은 5MMBTUD 미만의 소규모 광구들을 분류하여 연구에 활용하였다. 경제성 평가 시 유가, CAPEX(Capital Expenditure Investment), OPEX(Operating Expenditure Investment) 등 각 인자들의 범위는 50%를 적용하였으며, 인자들의 민감도에 따른 순현재가치(Net Present Value, NPV)와 내부수익률(Internal Rate of Return, IRR)을 파악하였다. 그 결과 NPV와 IRR에 영향을 미치는 인자는 유가, CAPEX, OPEX 순으로 나타났으며, 이러한 인자에 대한 경제성 평가 결과 소규모 KSO 광구에서의 상업적인 생산은 다소 어려운 것으로 판단되었다. 따라서 석유 운송을 위한 파이프라인이 다소 부족한 인도네시아에서는 석유 증산을 통한 업스트림 개발 이외에도 CNG 또는 Mini-LNG와 같은 미드스트림에 대한 기술 개발을 통해 수익을 창출하는 방법 또한 고려하여야 할 것으로 사료된다. 이 연구에서 수행한 인도네시아 소규모 유·가스전 개발을 위한 경제성 평가는 향후 국내 기업이 인도네시아 자원개발 투자 시 참고 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

이 연구는 산업통상자원부 자원개발특성화대학사업과 에너지국제공동연구사업의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

황 성분이 포함된 액체 연료의 연소과정에서 배출된 미세먼지의 광학특성
Optical Characteristics for Particulate Matters Emitted from Combustion
Process of Liquid Fuel Containing Sulfur Component

김진혁¹ · 이수한¹ · 장정익¹ · 손호진² · 이명규² · 박설현*

¹조선대학교 대학원 기계시스템미래자동차 공학과, ²조선대학교 기계시스템공학과

*조선대학교 기계시스템미래자동차공학부

본 연구에서는 황 성분이 포함된 액체 연료의 연소과정에서 배출된 미세먼지의 광학특성을 알아보기 위해 황 함유량이 서로 다른 4개의 연료를 선정하였고, 이를 비교 분석 하기 위해 황 성분이 거의 포함되지 않은 디젤유를 비교대상으로 연구를 수행하였다. 미세먼지의 대표적인 광학 특성인 광소멸 현상은 무차원 광소멸계수(K_e)를 통해 광산란계수(K_s)와 광흡수 계수(K_a)의 합으로 나타낼 수 있고, 입자의 형상에 의해 결정되는 굴절지수 같은 물리적 형상에 큰 영향을 받는다.

1차 발생원 미세먼지의 광소멸계수 측정을 위해 사용된 방법은 광학적 방법에 의해 측정된 체적분율과 필터로 채집된 입자의 질량 체적분율의 상관관계로부터 역산 하는 방식으로 광소멸계수를 측정 하였다. 각 연료별로 1차 발생원 미세먼지가 동일한 질량으로 실험장치 내부를 통과한 경우 광투과율이 서로 다른 것을 확인할 수 있었다. 이는 연소 연료의 영향은 물론 연소조건에 따라 달라지는 입자의 광학특성을 보여주는 단적인 예이다. 또한 1차 발생원 미세먼지의 라만분광(Raman spectroscopy)을 분석한 결과 입자의 탄소 흑연화 정도(Graphitic degree)를 나타내는 G/D Peak의 비가 황의 함유량이 다른 연료별로 상이함을 알 수 있었다.

본 연구를 통해 연소과정에서 배출된 미세먼지 생성과정에서 결정되는 입자의 물리적, 화학적 특성을 연소 공학적 접근을 통해 체계적으로 분석하고, 이를 통해 미세먼지와 관련된 사회적 문제 해결에 필요한 기초데이터를 제공 할 수 있을 것으로 판단된다.

Key Word : Particulate matter(입자상 물질), Light extinction(광소멸), Graphitic degree(흑연화 정도), Raman spectroscopy(라만 분광), Optical characteristics(광학 특성)

본 연구는 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구 사업입니다.(no.2017R1A2B4006194)

*교신저자: isaac@chosun.ac.kr

3차원 입체 영상 설계 데이터 속성 및 도서 연계 시스템 적용 Integrated & Associated System Application of Data Attribute and Documents for 3D Modeling Design Review

박근렬

한국지역난방기술(주) 플랜트IT팀

현재 플랜트설계에서의 3차원 입체설계는 선택이 아닌 필수 사항으로 진화되고 있습니다. 한국지역난방기술에는 2D 설계에서 벗어나 3D 입체설계로 만으로 진행되고 있으며 소규모 가압장부터 복합·열병합발전소까지 다양한 범위로 수행하고 있고, 이를 위해서는 프로그램 개발 업무를 통한 자동화 Application Tools에 힘써온 결과로 설계품질 향상과 업무 효율성을 높여 설계 생산성 개선효과를 극대화하고 있습니다.

입체영상 설계는 실제 건설현장 공사와 같이 가상공간 내에서 실제와 동일한 개념으로 설계(건설)를 시행하여 사전 오류를 수정·검증하여 것으로 특정된 설계자(배관)만이 3D 입체 설계 추진이 아닌 모든 분야에서 동시에 시공일정과 동일하게 토목, 구조, 전기, 기계, 제어, 설비, 소방, 등 다양한 분야에서 영상설계를 수행하여야 한다. 이에 설계자는 리뷰 프로그램 상에서 형상 및 Engineering data 정보를 쉽게 얻어게 하여 설계 간섭 체크, 유지보수, 설비 별 연계성, 안정성, 경제성, 등 최적의 발전플랜트 설계 성과물 작성을 위해 외형(physical) 뿐만 아니라, data attributes and documents를 리뷰 프로그램에서 정보를 입수가 필요하도록, 리뷰 프로그램상에 연동 될 수 있는 application 개발 및 속성정보 연계에 필요한 schema system 기술 개발을 통해 구현하여야 했다.

기존 3차원 입체영상에서 제공되는 속성정보는 입력단계의 간단한 정보와 불필요한 data field가 주류이었으나, 개선된 표현은 엔지니어링 설계에 필요한 모든 속성 정보를 다 제기 할 수 있도록 하였으며 또한 입체 설계시 모델 입력단계의 휴먼에러 발생 오류가 없도록 데이터베이스 연동체제로 다양한 빅데이터도 처리 가능하도록 하였다. 속성정보는 주로 기기, 배관, 계측목록, P&ID, 등이 주요 자료로써 그 동안은 시각적 효과의 출력물 양식으로 작성에서 대용량의 데이터베이스 양식인 Oracle 이나 MS-SQL이 아닌 MS Access DB 체계로 설계 엔지니어가 관리함으로써 입체 영상 설계에서 상호 연동 체계 구축 및 호환성 갖추도록 하였습니다.

도서 및 도면 연계체계는 그동안 리뷰 프로그램 제작사에서 제공된 링크 체계는 복잡하고 어려우며, 무거운 체계로 구성 되어있어 현업에서 사용 빈도가 떨어지는 단점을 개선 개발 하였습니다. 이 체계는 실시간 DB 링크 연결 방식으로 리뷰프로그램 파일과 별개로 분리된 구성 체계로써 도서 및 도면 연계 구성이 쉽고 단순하며 파일 열기가 매우 빨라 사용자의 편리성에 중점을 둔 방식이고, 또한 리뷰 프로그램상에 Application 개발을 통해 다양한 링크파일 연결과 시각적 효과를 보이도록 하였습니다.

이런 시스템개발은 준공 시 발주자에게 성과물용으로 제출되었을 때 설계 수행 시 활용된 엔지니어링 데이터와 건설시 사용된 도면 및 Vendor Print가 포함된 3차원 모델링 통합관리시스템이 되도록 하였습니다.

발전플랜트 드라이브(On-Off MOV)로직 최적 적용 방안 연구
A study on optimal application of drive (On-off MOV) logic
for power plant

박건호

한국지역난방기술 계전설계처

국내 발전플랜트 발전사와 건설공사 주관사는 오랜 기간의 노하우 축적으로 해외 발전사에 운영 및 운전 노하우 전수는 물론 신뢰성 있는 건설공사 주관사로 입지를 다져왔다. 분산제어시스템 공급사 역시 다양한 개방형 인터페이스 기술 개발과 라이브러리 개발 등 시장요건에 따른 진화를 거듭해 왔다.

드라이브 로직은 플랜트 로직 계층구조에서 가장 기본요소가 되는 로직으로서 현장 드라이브와 직접적인 신호연계가 이루어지는 중요한 로직으로 볼 수 있다. 그러나 각 주요 발전사와 각 건설공사 주관사는 각자의 표현방식을 유지한 채 다르게 발전해 왔다. 이러한 드라이브 로직은 건설공사 과정 중 여러 이벤트 시점에 다수 관련사의 확인과 수정이 필요하거나, 확인과 수정과정을 거치지 않은 드라이브 로직이 일방 적용됨에 따라 시운전이나 플랜트 운전 시 문제점이 발생하고 있다.

이러한 상황에서 로직 완성까지의 과정에서 필요한 관련사와 이벤트, MOV 드라이브 로직의 기본요건, 건설공사 주관사의 MOV 드라이브 설계로직, 분산제어시스템 공급사의 MOV 드라이브 실행로직 검토를 통해 최적 MOV 드라이브 설계로직 적용 방안과 기대효과를 제시하고자 하였다.

국내·외 충전소 사고 사례 분석

A Case Study on Domestic and Overseas Charging station accidents

김혜림 · 강승규 · 허윤실

한국가스안전공사 가스안전연구원 기술정책연구부

현재 인류가 직면하고 있는 심각한 문제들 중 하나는 환경문제 및 화석연료의 가격상승·고갈로 인한 문제이다. 이에 대비해 대기환경 개선을 위하여 친환경에너지에 대한 관심이 높아지고 있으며 수소, LPG, CNG에 대한 수요가 점차 증가하고 있다. 특히, 우리나라는 대부분의 연료를 수입에 의존하고 있기 때문에 연간 200만톤의 높은 생산량과 에너지 자립적 측면에서 매우 유리한 위치에 있는 수소에너지의 개발에 박차를 가하고 있다. 또한, 국내뿐만 아니라 해외에서도 사회, 문화, 경제 등의 전반에 걸친 패러다임의 변화를 인지하여 이에 대응하고 주도하기 위해 투자를 아끼지 않고 있다. 하지만 매년 증가하는 수요만큼 작은 사고부터 대형 폭발·화재 사고까지 충전소에서 발생하는 사고들 또한 다양하게 발생하고 있기 때문에 그에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 국내·외의 충전소에서 발생한 사고 사례들을 조사·분석 하였다. 가스연료는 폭발 시 그 범위가 넓고 위험성이 높기 때문에 안전성에 대한 불신이 팽배하다. 이에, 현재 지속적으로 발생하고 있는 충전소의 가스사고 사례를 조사하고 분석하여 충전소에 대한 안전성을 평가함으로써 사고 피해를 줄이기 위한 방안과 보다 더 안전하게 충전소를 보급 할 수 있는 방안에 대하여 모색하고자 한다.

본 연구는 산업통상자원부 및 에너지기술평가원의 에너지안전기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

[20162220100180. 수소 융·복합스테이션 위험성 평가 및 연구]

패키지형 수소충전 시스템의 환기 적용 방안 연구
A Study on Ventilation Application for Packaged Type Hydrogen
Refueling System

강승규* · 허윤실 · 문종삼

한국가스안전공사 가스안전연구원 미래연구실

패키지형 수소충전소 모델은 수소 압축, 저장, 충전 설비를 콤팩트하게 하나의 패키지 형태로 구성함으로써 충전소 설치 시 부지면적을 줄이는 효과를 가지게 된다. 일본과 유럽에서는 이러한 패키지형 수소충전시스템을 개발하여 보급하고 있으며, 국내에서도 충전소 부지면적을 줄이고, 기존 주유소 및 가스충전소에 복합형태로 수소충전소를 구성할 때 효과적 방법으로 평가 받고 있어 도입을 적극 추진하고 있다. 이러한 패키지 수소 충전시스템은 여러 가지 설비를 하나의 패키지 모듈안에 설치하여 필요면적을 줄이고 설치 시간을 단축하는 장점을 가지고 있는 반면, 누출 위험요소들이 밀집한 공간에 배치됨으로써 누출로 인한 사고 발생 시 다른 설비에 영향을 미칠 수 있어 위험요인을 내포하고 있다. 따라서 본 연구에서는 패키지형 수소 충전시스템에서 가스 누출이 발생할 경우 환기 구조에 대한 평가를 통해 환기의 적정성을 평가하고 적합한 환기 구조 및 설계 방안을 제시하고자 한다. 해외의 패키지 시스템에 대한 환기 기준을 조사 분석하고, 전산해석(CFD)을 통해 다양한 환기 조건에 대한 평가를 수행하였다. 이를 통해 국내 패키지형 수소충전시스템에 대한 안전기준 제정 시 합리적인 환기 조건을 제시하고자 한다.

(감사의 글)

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 “패키지형 수소충전소 플랫폼 모델 개발 및 실증” 연구 과제입니다.(No.20163010041780)

가스상 및 입자상 복합오염물질 동시 처리용 PTFE 멤브레인 필터 개발
Developed PTFE membrane filter for simultaneous treatment of
gaseous and particulate pollutants

황상연 · 류상오 · 윤성필 · 김효식 · 이치원* · 이승우**

고등기술연구원, *(주)마이크로윈, **영남대학교 산학협력단

최근 산업현장에서 발생하는 배출가스는 가스상 및 입자상의 복합오염물질 형태로 배출되고 있으며, 최근 여과집진장치에 사용되는 필터는 고성능 소재 개발 및 필터의 구조 개선 등을 통한 복합오염물질 동시 처리용 고효율 하이브리드 필터 개발이 진행되고 있다. 그러나 국내에서 사용되는 고성능 필터 여재는 대부분 해외에서 고가에 수입하여 사용하고 있는 실정이며, 실용화된 제품의 경우 제조 시스템의 비공개로 인하여 보편화되지 않고 있다. 또한, 사회적으로 이슈가 되고 있는 미세먼지 제거 분야에 관한 기술이 축적되지 않아 주요 핵심 기술은 해외 기술에 의존하는 경우가 대부분이다. 이에, 발전 및 연소시설 등에서 배출되는 배기가스 내 미세먼지 및 가스상 유해물질인 수은을 동시에 처리하기 위하여 250°C 고온 조건에서 사용 가능하고 내열성과 내산성 등 내화특성이 우수한 필터 국산화 개발을 진행하고 있다. 본 연구에서는 fiber 및 여과 media 제조 복합화 기술을 통해 필터 표면의 다공성을 변화시켜 입자상 먼지 입자가 필터 내부로 침투하지 못하고 표면에서 제거되는 미세먼지 제거용 PTFE 멤브레인 필터를 개발하고 필터 표면처리 및 개질을 통한 수은 제거용 흡착제를 코팅함으로써 복합오염물질을 동시에 처리하고자 한다.

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KEPTEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.20161120200170)

참고문헌

1. 박현설, “산업 배가스 처리용 고효율 집진필터의 최근 개발 동향”, 에너지환경기술, pp 61-70, 2001.
2. 이치원, “PTFE membrane 복합 laminating 기술을 이용한 고성능 필터특성”, 공기청정기술, 26권 4호, pp 21-25, 2013.

햅틱 장비 기반 가상현실 안전훈련 시스템을 활용한
정유공장 RDS 공정에서 화재 시 플랜트 조업자의 피난 경로에 관한 연구
A Study on the Evacuation Route of Plant Workers
at Fire Accident in a Refinery Factory RDS Process Using
Virtual Reality Safety Training System Based on Haptic Devices

이춘식 · 이재용 · 김형진 · 박찬국

고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터

4차 산업혁명과 함께 급속하게 발전하고 있는 가상현실(Virtual Reality) 기술은 게임을 넘어 산업계에 적용할 수 있는 방법을 강구하고 있는 중이며, 이를 위해서는 햅틱 장비(Haptic Device)의 적용이 필수적이다. 햅틱 장비는 디스플레이를 제외한 모션인식 장비와 컨트롤러 등을 지칭할 수 있는데 플랜트 안전훈련 분야에 적용하기는 현실감이 떨어져 앞으로 많은 연구개발을 필요로 한다. 상기 햅틱 장비의 수준이 향상되어 가상현실과 접목되었을 때 플랜트 조업자의 훈련 방법과 효과에도 큰 변화를 줄 수 있으며, 대표적인 예로서 화재 및 사고시 조업자의 인명 피해를 예방하기 위한 탈출방법에 관한 것을 들 수 있다. 그동안 화재 시 탈출방법에 관한 많은 조사와 연구가 진행되어 왔으나, 방법론에 있어서 최단거리 탈출경로 알고리즘 개발, 장애물과 이동경로가 한정된 상황에서 탈출경로 외 화재 시 열전달 속도 및 가스 확산 분석 등 단편적인 정보를 제공하는 수준이었다. 이러한 한계를 극복하여 한 차원 높은 대피훈련이 되기 위해서는 첫째 가장 빠른 탈출경로와 함께 빠르면서도 안전한 경로에 대한 제시가 필요하며 둘째 열 및 가스 전파와 함께 조업자의 이동에 대한 위치정보도 실시간 반영되어야 하고 마지막으로 훈련원의 피지컬과 경향에 대한 분석이 요구된다. 즉 제시된 동일한 피난경로가 A라는 사람에게는 최단기간 탈출경로가 될 수 있지만 B라는 사람에게는 극복하기 힘들거나 위험한 경로가 될 수 있기에 개인별 훈련패턴이 다른 것과 유사하게 피난 경로도 상이할 수 있다는 전제가 필요하다. 따라서 결론적으로 본 시스템에서 지향하는 피난 경로는 정유공장 RDS(Residue Desulfurization, 중질유 탈황) 공정을 대상으로 일어날 수 있는 다수 화재사고 유형에 대한 시나리오를 제시하고 훈련원이 가상현실 환경에서 대피 훈련하는 과정을 통해 그 결과에 대한 정보를 지식화 함으로서 유사한 실제 사고 시 모든 근로자의 능동적인 대응을 유도함으로써 안전하게 피난할 수 있도록 정보를 지원해 주는데 있다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 플랜트연구사업의 연구비지원(14IFIP-B085984-02)에 의해 수행되었습니다.

수소 융·복합 충전소 실증 및 모니터링에 관한 연구

A Study on Monitoring and Empirical Analysis of Hydrogen Multi Energy Filling Station

김필중 · 구연진 · 강승규 · 허윤실 · 문종삼

한국가스안전공사 가스안전연구원

2015년 6월, 대한민국 정부는 온실가스 배출 목표로 '2030년 배출전망치(BAU) 대비 37%'를 확정하였다. 또한 2017년 출범한 신정부에서도 국정과제로 '친환경차 보급 확대'를 포함하고 이를 위한 인프라 확충을 추진하고 있다. 그러나 국토면적이 좁고, 신규 인프라를 구축하는 소요비용의 효율적 측면으로 보았을 때, 해외 사례와 같이 기존인프라 내에 친환경 충전소를 융복합 형태로 설치하여 충전인프라를 확충하는 방안이 필요하다.

본 연구에서는 기존인프라에 수소충전소를 융복합 형태로 설치할 경우 발생할 수 있는 위험성을 분석하고, 이에 대한 안전을 확보하기 위해 융복합 충전소의 실증, 모니터링을 실시하고, 이들 충전소에 대한 정량적, 정성적 위험성평가와 수소 제트화염, 폭발에 대한 실증시험을 실시하여 종합적인 안전성 검증을 통해 국내에 적합한 수소 융복합 충전소의 안전기준을 제시하고자 한다.

이를 위해, 먼저 수소 융복합 충전소의 안전기준 개발과 실증의 기본모델을 설계하였다. 국내에 도입가능한 융복합 충전소의 형태를 수소-LPG, 수소-CNG, 수소-유류, 수소-전기, LPG-CNG 형태의 다섯가지 모델로 정의하였다. 이 중 수소-LPG, 수소-CNG 모델을 기반으로 한 충전소는 관련 도면을 토대로 정량·정성적 위험성 평가를 실시하였으며, 추가적인 도면 확보를 통해 수소-유류, 수소-전기 융복합 충전소에 대한 정량·정성적 위험성 평가를 추진할 예정이다.

실증시험은 수소 제트화염, 폭발에 대해 실시하여 실제 수소에서 발생가능한 노즐별 제트화염의 크기와 수소폭압 발생시 영향력을 시험하여 방호벽 설치기준, 안전거리 확보기준의 근거를 마련할 예정이다. 수소 제트화염 시험설비는 에너지안전실증연구센터에 설치가 완료되어 1차 시험을 실시하였으며, 폭발시험설비는 금년중 완공하여 시험을 실시할 예정이다.

실제 충전소 운영을 통한 실증모니터링을 위한 수소-LPG 복합충전소가 2017년 9월에 울산에 준공되었으며, 수소-CNG 복합충전소는 광주, 창원에 2018년 3월, 6월에 각각 준공·운영될 예정이다. 충전소 실증모니터링은 충전소 운영시 발생하는 데이터 중 저장압력, 충전압력, 충전온도 등 8가지의 핵심 실증데이터를 수집하여 분석하도록 하였다.

실증충전소 중 이미 완공된 수소-LPG 충전소의 실증데이터 모니터링을 위해 강원도 영월에 모니터링 센터를 마련하고, 충전소로부터 실증데이터를 수집하고 있으며, 수집데이터를 가시화, 통계화 하기 위한 프로그램을 개발 중에 있다. 충전소 운영을 통해 얻어지는 실증데이터는 전산망을 통해 모니터링을 실시하고 이를 분석하여 위험성평가, 실증시험 결과와 함께 충전소 상세기준 개선시 활용될 예정이다.

본 연구는 산업통상자원부 및 에너지기술평가원의 에너지안전기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

[20162220100180. 수소 융·복합스테이션 위험성 평가 및 연구]

발전소 내진 방진 설비 파열사고에 따른 설비 안전성 연구

A study on the facility safety due to the rupture accident of the seismic facility at Power Plant.

이창수

(가)가오창, (사)한국가스인협회, <http://www.kgm.or.kr>

발전소 내의 발전시설중 발전기 구동을 위하여 공급되는 증기배관의 발전기 인입부에 설치된 내진 방진용 플렉시블 조인트가 파열되어 P건설사 직원이 사망한 사고가 발생함에 따라 동 설비의 안전성을 연구하였다. 국내에서 제조 공급되는 플렉시블 조인트를 구입하여 시험한 결과 여러 가지 문제점이 발견되었다.

일반적으로 사고가 발생하면 사고원인을 조작의 실수로 판단하기 쉬우나 발전소나 위해물질을 사용하는 주요시설의 경우 조작 실수로도 사고가 발생하지 않도록 설계 시공하는 것이 원칙이다. 따라서 설계 및 시공 상의 문제점을 검토해야하고 최종적으로 제품에 결함이 없었는지를 확인해야 한다. 주요시설의 경우 기술사가 설계 감리를 하도록 하고 있는 이유 중의 하나이며 기술사의 무한 책임을 요구하고 있는 것이 일반인의 요구이며 기술사는 기술자로서 최선을 다하고 본인의 서명에 책임을 져야하는 사회적인 이유이기도 하다.

이 사고의 경우 조작자가 매뉴얼을 따랐는지가 주요 쟁점이었으나 조작 동영상을 확인한 결과 큰 오류를 발견할 수 없었으며 설계 시공 감리 부분을 확인한 결과 설계 시공 감리 부분에서 오류가 발견되었다. 시공 중에 설계 변경을 하였으나 이에 대한 안전 확인이 이루어지지 않았고 시공부분은 준공사진을 확인할 수 없어 시공오류를 확정지을 수 없으나 사고 후의 시설 상태가 준공상태와 동일하다면 시공도 잘못되었다고 할 수 있다. 이런 설계 시공 감리의 오류에도 불구하고 동 사고가 발생하면 안 된다는 것은 실험으로 증명되었다. 실험에서는 모두 사용압력 이상의 압력에서 파열되었으며 압력을 견뎌야하는 시설은 기본적으로 사용압력의 1.5배 이상의 압력에서 견디도록 설계하고 제품은 이를 공인 받도록 하고 있다. 공인은 주로 한국가스안전공사, 한국에너지공단, 한국산업안전공단 등에서 법적인 인증을 실시하고 있으나 법적 인증 대상에서 제외된 제품이나 시설은 민간 검사기관이나 시험기관에서 실시하고 있다. 그러나 2013년 원전부품의 허위성적서로 인하여 큰 곤란을 겪었음에도 여전히 개선되지 않고 있으며 이 경우에도 조인트에 대한 성적서가 첨부되었어야하나 첨부된 성적서는 조인트가 아니라 플랜지부분에 대한 성적서가 제출되었다.

허위성적서나 다른 부품의 성적서로 대체할 경우 이의 진위여부는 물론 공인을 확인하기 어렵기 때문에 정부에서 인정하고 있는 검사기관이나 시험기관의 KOLAS 공인성적서가 제출되어야하나 발전소나 기관에서는 발주서 및 검수요건에서 이를 누락시킨 경우가 대부분이다. 수요기관에서 이를 요구하고 있지 않아 KOLAS기관에서조차 KOLAS 성적서가 아닌 책임이 덜 한 일반성적서만 발행하고 있는 현실이다.

본 연구는 안전부분에 대한 확인이나 제도 개선이 설계에서부터 필요하다는 것과 아직도 현장에서는 기본이 지켜지지 않고 있다는 것을 말하고 있다.

#발전소 #KOLAS #허위성적서 #검사기관 #시험기관 #플렉시블 조인트 #파열사고

전산해석을 통한 지역난방시스템 열수송 강관의 용접부 부식에 따른
응력분포 및 응력확대계수 평가

Evaluation of the stress distribution and stress intensity factor of the
pipeline welded joint in district heating system by numerical simulation

김용상 · 김우철* · 김정구

성균관대학교 신소재공학과, *지역난방공사 미래개발기술원

지역난방시스템에서의 열 분배는 유체를 이송하는 강관과 단열을 위하여 해당 강관에 폴리우레탄 그리고 폴리에틸렌을 감싼 이중 보온관을 주로 사용하게 된다. 이중 보온관은 현재 지하에 거미줄처럼 매설되어 있으며, 국내에 매설되어 있는 이중 보온관의 총 길이는 대략 5000~7000 km로 계산되며, 지속적으로 매설의 범위는 증대할 것으로 예상된다. 하지만, 이렇게 많은 강관이 매설되어 있는 만큼 배관의 다양한 파손으로 인한 유지·보수 그리고 이로 인한 경제적인 손실이 발생하고 있는 실정이다. 따라서, 배관파손에 대한 연구 및 보완·개선점을 찾기 위한 노력이 지속적으로 필요하다.

지역난방 이중 보온관은 6 또는 12 m의 길이마다 강관을 연결하기 위한 용접작업이 필요하게 되며, 일반적으로 해당 용접작업의 경우 표준화된 용접 시방서 및 절차를 통해서 이루어지게 된다. 하지만, 일반적으로 용접부의 경우 강한 열과 빠른 냉각속도 등과 같은 고-에너지 반응이 일어나는 부분이기 때문에 모재부와는 다른 미세조직으로 인한 기계적인 취성 특성과 부식적인 측면에서 모재부와 상이한 결과를 나타낼 수 있다. 또한, 용접작업에서 발생하는 다양한 용접 결함들에 의해서 용접부의 응력이 집중되어 파손이 나타나기도 한다. 용접부에서 발생하는 파손 사례의 경우 대부분의 파손형태가 취성 파괴형태로 나타나며, 일반적으로 취성 파손은 파괴역학의 탄성이론에서 계산하는 응력확대계수와 큰 연관이 있다. 특히, 응력확대계수는 마찰, 충격, 부식 등에 의한 표면 손상에 따른 표면 형상의 변화에 따라서 크게 변화하게 되기 때문에, 용접부의 형상과 손상에 따른 표면 형상 변화가 고려되어야 하기에, 단순한 응력확대계수의 예측은 파손의 위험성을 증대시킬 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 용접부와 모재부에서 발생하는 부식현상을 부식 시뮬레이션을 통해서 모사하고 연한에 따른 형상변화를 예측하였으며, 변화된 형상에 따라서 용접부에 발생하는 응력분포와 응력확대계수를 전산해석 시뮬레이션을 통해 계산하였다. 실험결과, 응력확대계수는 초기 형상의 변화에 더욱 민감하게 나타났으며, 오히려 부식이 크게 진행될수록 형상계수의 변화에 의해서 응력확대계수가 감소한 것으로 나타났다. 하지만, 해당 부식 손상부에 작용하는 최대 주응력은 증가하였는데, 이는 응력집중에 따른 영향으로 판단된다. 즉, 초기 부식으로 인한 손상에서는 응력확대계수의 증가에 따른 취성파괴가 주된 원인이거나, 중기 또는 말기의 부식에서는 이러한 취성파괴보다는 작용응력의 증가에 따른 연성 파괴가 주된 원인으로 나타날 것으로 예상된다.

수소 융복합 충전소 실시간 안전 모니터링의 필요성과 방안에 대한 고찰

A Study on the necessity and method of hydrogen multi energy filling station monitoring center.

구연진 · 오동석 · 김필중

한국가스안전공사 가스안전연구원

다양한 분야에 있어서 수소의 이용, 활용을 대대적으로 확대함으로써 대폭적인 에너지 절약과 환경 부하 저감, 에너지, 보안 향상에 크게 공헌하며 새로운 시장을 개척할 수 있는 가능성이 있는 수소를 연료로하는 수소 연료전지 자동차 개발에 총력을 기울이고 있으며, 국내의 경우에도 현재 수소충전소가 운영되고 있다. 또한, 수소충전소와 현재 기 운영되고 있는 충전소를 전문 모니터링 하여 운영하는 기관이 없어 현장의 문제점을 파악 및 개선할 수 없는 실태이다. 이에, 충전소 운전/정지 및 운영현황을 모니터링 할 수 있는 프로그램을 개발하고 시스템을 구축하여 체계적인 안전관리로 사고를 예방하고 충전소내의 안전관리를 위하여 실시간 위험요소를 모니터링 할 수 이쓴 상황센터로 관리되어야 한다.

따라서 본 연구는 국내의 충전소 및 융복합 충전소의 실시간 운영현황을 모니터링하고 빅데이터기반 사고 및 위협데이터의 수집, 분석, 활용으로 충전소 상황센터에서의 모니터링이 실시간으로 가능한 방안에 대하여 모색하였다.

본 연구는 산업통상자원부 및 에너지기술평가원의 에너지안전기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

[20162220100180. 수소 융·복합스테이션 위험성 평가 및 연구]

방식전위 원격측정 방법 장단점 비교

Comparison of Pros and Cons of each Remote Cathodic Protection Potential Measurement

류영돈 · 유철희 · 조영도 · 문종삼

한국가스안전공사 가스안전연구원

도시가스사업법에 따라 매설된 배관에는 부식을 방지하기 위하여 전기부식방지조치를 실시하고 있으며, 방식전위가 정상적으로 흐르고 있는지를 확인하기 위하여 배관길이 300m 또는 500m 마다 테스트박스(TB)를 설치하도록 하고 있다. 또한, 도시가스사업자는 정기적으로 매설배관의 방식전위(cathodic potential)를 측정하도록 하고 있다.

도심의 도로에 설치된 TB에서 방식전위를 측정할 때에는 교통량이 적은 심야 또는 휴일에 방식전위를 측정함으로써 추가적인 비용이 발생하고, 항상 교통사고의 위험이 상존하고 있다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 데이터로거와 무선통신 기술 등을 이용하여 방식전위를 원격으로 측정하고 관리하는 기술이 정부 지원으로 개발되었다.

본 연구에서는 차량을 이용하여 방식전위를 원격으로 측정하는 방법과 유 무선 통신을 이용하여 도시가스사의 상황실 등에서 방식전위를 모니터링하는 방법에 대하여 시범사업을 실시하였고, 두 측정방법의 장단점에 대하여 간단히 알아보았다.

플라스틱 배기시스템 개발 및 성능평가에 관한 연구

Development and Performance Evaluation of Plastic Venting System

최경석 · 예아란 · 이창석*

한국가스안전공사, *PPI 평화

2013부터 2017년까지 5년 동안 가스보일러 사고를 조사한 결과 전체가스사고(고압가스 제외)의 5%를 점유하고 있으며, 그 중 57%는 연통으로 인해 발생한 사고로 높은 비중을 차지하고 있다. 연통으로 인해 발생한 사고를 분석한 결과, 일반보일러, 콘덴싱보일러의 구분 없이 스테인리스 재질의 연통을 사용하여 응축수에 의한 부식, 실링부 마모로 인한 사고, 외부로 배출된 응축수가 얼어서 생긴 고드름이 낙하하여 연통이 탈락되는 사고, 빗물이 보일러 내부로 유입되어 폭발연소로 인한 사고 등 연통의 재질과 구조로 인한 사고가 꾸준히 발생하고 있다. 유럽의 경우 콘덴싱보일러의 특성으로 인한 응축수에 따른 부식을 해결하기 위하여 연통의 재질은 모두 내열·내식성의 플라스틱을 사용하고 있으며, 연통 터미널의 성능평가를 위해 빗물침투시험, 착빙거동시험 등을 수행하고 있다. 최근에도 연통으로 인한 일산화탄소 중독 사고가 잇따라 발생하고 있어 보일러 사고를 방지하기 위해 국제 규격에 준하는 한국형 플라스틱 배기시스템 개발이 필요하다.

본 연구에서는 플라스틱 배기시스템 개발품의 연통구조, 터미널 형상 등에 따른 성능을 분석하였다. 성능시험(열효율 시험, 유품상태시험)은 국내 기준인 KGS AB131을 근거로 수행하였으며, 시험에 사용된 개발품은 일부 부품을 제외하고는 소재개발이 완료된 재료로 제작하였다. 열효율 시험에서 각 제품의 설치 방법(SUS 제품 : 3°-5° 상향설치, 개발품 : 수평설치, 내관 상향구배)에 따라 설치 후 응축수 배출을 확인한 결과, 배기터미널이나 이음부의 누출 문제없이 정상 배출되었다. 배기가스를 분석한 결과 질소산화물, 일산화탄소와 같은 유해물질의 농도는 낮게 측정되었으며, 산소는 높게 측정되어 급배기 및 연소가 원활하게 이루어지고 있음을 확인하였다. 유품시험 결과 SUS제품의 경우 $\alpha=30^\circ$, $\beta=0^\circ$, $v=2.5\text{m/s}$ 조건에서 배기가스가 급기구로 그대로 유입되어 불완전 연소로 인하여 CO값이 높게 측정되었으나, 개발품의 경우 모든 조건에서 정상 작동하였으며 CO값이 안정적으로 측정되었다. 구조적으로 평가한 결과 유럽의 플라스틱 연통의 경우 오링으로 연결 및 고정하지만 개발품의 경우 오링뿐만 아니라 연통의 연결부를 리벳으로 고정하고 있어, 연통 이탈로 인한 일산화탄소 중독 사고를 미연에 방지할 수 있을 것으로 판단된다. 추후 배기시스템 실증시험장치에 의한 열성능시험 및 안전성 평가시험을 통해, 최종적으로 한국형 플라스틱 배기시스템 개발을 완료할 예정이다.

하천횡단 도시가스배관 심도기준 비교

Comparing DOC(depth of cover) standards on urban gas river crossing pipeline

박우일 · 조영도 · 유철희 · 류영돈

한국가스안전공사 가스안전연구원

국내에서는 하천구역을 횡단하여 배관을 매설하는 경우 배관의 매설심도는 원칙적으로 4.0m, 소하천·수로 횡단 시 2.5m, 기타 1.2m 이상, 경암으로 이루어진 하천의 경우 1.2m 이상으로 할 수 있도록 규정되어있다. 하지만 현재 환경적 요인인 하상변동에 따라 설치 당시의 심도가 줄어든 하천횡단 배관이 발생하고 있으나, 이를 안전하게 관리할 수 있는 유지관리 기준이 없다. 영국·호주·캐나다 등 선진국의 경우 우리나라와 달리 최소 매설심도를 규정하고 있으며, 하천의 침식에 대한 평가를 수행한 후에 그 결과를 감안한 깊이로 배관을 매설하도록 규정하고 있다.

영국의 경우 공급배관 기준인 IGE TD/3(Steel and PE pipelines for gas distribution)에 따르면, 하천 횡단배관 설계 시 예측 가능한 사건의 발생 가능성과 그 사건에 따른 피해영향을 확인하며 확인된 위험을 경감할 것을 규정하고 있다. 호주의 경우 배관설계 및 설치기준인 AS 2885.1 (Gas and Liquid petroleum - part 1 : Design and construction)에 따르면, 모든 배관경로에 대해 환경영향평가를 실시해야 하며, 하천횡단의 경우 지질학적, 수리학적 조사를 한 후 침식을 고려하여 설계하도록 규정한다. 캐나다의 경우는 배관설계, 설치, 유지관리 기준인 CSA Z662-15 (Oil and gas pipeline system)에 따라 하천횡단을 포함한 배관시스템은 배관 건전성관리프로그램에 따라 위험이 관리되어야 한다.

본 연구에서는 영국·호주·캐나다의 하천횡단 도시가스배관 설계, 설치 및 안전성평가를 비교하였다.

현장지향형 안전훈련 시나리오 개발을 위한 고압가스 사고 분석
Accidental analysis of High Pressure Gas for Scenario development of
Work-based Safety Training

윤혜주 · 유철희 · 박규태 · 이효렬
한국가스안전공사 가스안전연구원

조업자의 부주의 혹은 규정 위반과 같은 부분이나 운전 경험 미숙 또는 사고시 대처 능력이 미흡하여 사고로 이어질 가능성이 있다. 화학 플랜트 사고의 다수의 원인 중 하나는 인적오류(Human Error)를 들 수 있다. 이에 따라 비상사태를 대비하여 능동적인 대처능력을 키우기 위한 안전훈련 교육이 필요한 실정이나 독성가스나 LNG 및 정압기 등의 장비를 이용하여 직접 훈련하기에는 시공간적 제약과 안전사고의 위험성을 내제하고 있으므로 구현하기 어려운 실정이다. 우리 공사는 효과적인 안전훈련교육을 제공하기 위해 가상현실 기반 안전훈련 교육실을 구축하여 기존의 평면적인 2차원 화면을 몰입감과 현실감이 있는 3차원으로 변환하여 훈련원이 실제 훈련을 하는 것처럼 체감화 할 수 있도록 가상현실 기술을 이용하여 실제 안전사고의 위험이 있는 독성가스 및 고압가스의 훈련을 가상환경에서 실시하고자 한다. 또한 이에 따라 고압가스에서 자주 발생하는 사고를 분석하여 현장에서 적용할 수 있는 현장지향형 안전훈련이 되도록 시나리오를 개발 중에 있다.

(단위 : 건)

구 분	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	계
전체사고	125	121	120	118	122	606
고압가스	9	15	16	15	18	73
점유율(%)	7.2	12.4	13.3	12.7	14.8	12.1

최근 2012년부터 2016년까지 5년간 총 가스사고가 606건 발생하였으며, LP가스가 406건으로 67%, 도시가스가 127건으로 21%, 고압가스가 73건으로 12%를 나타내었다. 또한 연평균 가스사고 점유율에 따른 사고증감률은 LPG 2.5% 감소, 도시가스 1.0% 감소, 고압가스 19.7% 증가하였다. 또한 2016년의 경우 고압가스 사고가 18건이 발생하여 전년 대비 3건이 증가하였으며, 전체사고의 14.8%를 차지한다. 표에서와 같이 최근 5년간 고압가스 사고발생 현황을 보면 연평균 18.9% 증가하는 추세를 보이고 있다. 고압가스가 다른 가스에 비해 사고발생건수는 적게 나타났지만, 사고 증감률이 다른 가스 사고에 비해 높게 나타남을 통해 사고에 대한 발병률이 높아지는 것을 알 수 있으며, 고압가스에 대한 사고 위험 대책을 마련해야 할 것으로 사료되어 한국가스안전공사에서는 고압가스의 대표적인 산업인 석유화학플랜트에 대한 가스 사고를 분석하였다.

이를 바탕으로 석유화학플랜트 RDS공정의 보호구 장비 착용에 대한 매뉴얼 기반으로 독성가스 누출시 보호구를 선택하고, 잘못된 보호구 장비를 선택할 경우 피해와 응급조치 및 화학물질 별 대응방안을 제시하는 등 여러 교육에 실용화하는 방안도 추진 중이다.

본 논문은 국토교통부 플랜트연구사업의 ‘햅틱기반 플랜트 안전훈련시스템 기술 개발(18FIP B087592-05)’ 과제의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

과학기술표준분류를 활용한 에너지R&D 사업화를 예측 방법론 연구
Research on Prediction of Success Rate of Energy R&D
Commercialization using the National S&T Standard Classification System

박병섭

한국에너지기술평가원

산업부 산하 R&D전담기관은 매년 R&D종료과제를 대상으로 종료 후 5년간 성과활용조사·분석을 진행하고 있다. 한국에너지기술평가원(KETEP)도 이에 에너지R&D 종료과제 대상에 대해 매년 성과활용조사·분석을 수행하고 있다.

나날이 국가R&D의 기술사업화에 대한 사회적 관심이 높아지는 상황을 반영하듯 다양한 분석결과 중 사업화 성공률은 대내외적으로 활용도가 높은 수치 중 하나이다. 그간 일반산업에 비해 공공재적 특성이 높다는 이유로 상대적으로 저조했던 에너지R&D의 사업화 성공률도 이러한 관심에서 이제는 더 이상 자유로울 수 없는 상황이다.

이에 그간 사업화 성공률의 과거 추이만을 보여주는 결과의 한계를 넘어서 사업화 목표설정, 기술사업화 지원프로그램의 실효성 증대 등의 미래지향적 방법론 도출을 위한 노력이 필요한 시점이라고 보인다. 본 연구에서는 이를 위해 종료과제들의 과학기술표준분류를 활용하여 에너지R&D 사업화 성공률을 예측하였다.

예측방법은 다음과 같다. (1) 종료과제별 과학기술표준분류 및 가중치를 활용하여 세부사업별 요소기술 영향력 지수를 산정한다. (2) 사업화 단계별(사업화 준비중, 성공, 포기, 기타, 미응답) 요소기술을 영향력 순위로 구분한다. (3) 사업화 단계별 결과를 비교하여 사업화 준비중 요소기술 가운데 사업화 성공 가능성이 높은 기술을 선별한다. (4) 선별된 기술을 보유한 과제를 분류하여 이를 사업화 성공률 산식에 적용한다.

그 결과, 현재시점에서 향후 달성 가능한 에너지R&D 사업화 성공률 범위는 31.6% ~ 34.7%로 예상되었다. 다만, 본 연구에서는 사업화 대상과제 수 변동, 대외적 조건변화 등은 고려하지 않았다. 예측된 사업화 성공률 달성은 과거 사업화 성공률과 성공과제 수 추이로 본다면 목표달성이 쉽지 않을 것으로 보인다. 그러나 현재 에너지R&D 기술사업화 프로그램(사업화 컨설팅, 기술이전 등)의 지원 효과가 올해부터 나타날 것으로 예상됨에 따라 프로그램의 지원효과 정도가 목표달성 시기에 큰 영향을 줄 것으로 보인다.

향후 매년 발생하는 분석 및 기술사업화 프로그램 결과 반영 등 지속적인 연구를 통해 모델의 정확도를 향상시킬 예정이다. 더불어, 이를 기술사업화 프로그램에 활용하여 프로그램 개선에 도움을 주고자 한다.

이동형 수소충전시스템 현황과 모델 구축 필요성

Status of Mobile Hydrogen Charging System and Need to Build Models

황순일 · 김필중 · 허윤실

한국가스안전공사 가스안전연구원 기술정책연구부

화석연료 에너지 고갈 및 저유가시대 종언에 따라 기존 에너지자원은 이미 한계에 도달하고 있으며, 교토의정서 발효 등으로 인해 전 세계적으로 온실가스 배출규제가 강화되고 있어 신·재생 에너지 요구가 가속화되고 있다. 수소에너지는 재생 가능한 무한자원으로 탄소 배출이 없는 환경친화적 에너지로서, 향후 주요 에너지원이 될 것으로 전망됨에 따라 환경과 에너지문제를 일거에 해소가 가능하여 그 대안으로 주목받고 있다.

본 연구에서는 수소이동충전시스템 국내외 현황을 살펴보고, 인프라 구축의 필요성에 대해 논의하고자 한다. “이동식 수소충전소”의 경우, 기술력은 어느 정도 갖추어졌으나 충전소 설치 관련 법제도가 전무하여 실증연구 및 건설된 사례 또한 전무한 상태다.

한편 현재 수소스테이션 시장은 정부 및 지자체의 투자로 이루어지고 있으며, 향후 범정부 차원의 수소스테이션 보급 사업이 구체화되면 2~3년 안에 연간 10~20대 가량의 수소이동충전시스템 수요창출이 발생할 것으로 예상된다. 수소이동충전시스템 개발은 국내 수소자동차 보급초기의 충전인프라 선제구축의 역할을 담당하고, 수소충전소의 고장 등 긴급상황 시의 대체용 충전소로도 활용이 가능하다. 또한 수소자동차 보급 확대에 따라 수소에너지의 수요 증가 시, 기존 타 연료충전소와의 융·복합 충전소 구축을 통하여 지속가능한 사업을 영위해 나갈 수 있을 것으로 전망한다.

일자리 창출 부분에 있어서, 연간 200 ~ 300대의 “수소이동충전시스템”보급 전망에 따라 수소 충전설비 부품제조 및 시스템, 충전시스템의 운영 및 안전관리 부문의 고급기술 일자리 창출이 예상되며, 향후 수소자동차·충전인프라 보급 확대 및 수소사회 실현에 따라 대규모 신규 고용창출효과 발생할 것으로 기대된다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 “패키지형 수소충전소 플랫폼 모델 개발 및 실증” 연구 과제입니다.(No.20163010041780)

국내 친환경건축물관련 인증제도의 현황 및 유사성에 관한 연구
A Study on the Current Status and Similarity of Certification System for
the Green Building in Korea

한설이 · 김종훈 · 정학근

한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실

정부는 자연친화적이며 에너지절약적인 건축물의 실현을 위해 다양한 친환경건축 인증 제도를 시행하고 있다. 현재 각 부처에서 운영하고 있는 친환경 관련 제도는 건축물 에너지효율등급 인증, 녹색건축인증 등을 비롯하여 약 17개에 이른다. 이 제도들 중 일부는 평가항목 및 기준이 유사하여 의무적으로 인증을 취득해야하는 경우 시간적·경제적 손해를 야기한다. 이에 본 연구에서는 평가내용이 유사한 제도들의 항목을 분석하여 문제점 및 유사성을 검토하였으며, 유사 정도에 따라 소폭 또는 대폭 규제로 분류하여 적용 가능성을 검토하고자 한다. 본 연구의 결과는 인증제도의 사회적 비용 절감 및 효율적 제도 운영을 위한 제도 규제를 위한 기초자료로 활용되고자 한다.

Oxidation properties of nano-oxide dispersed ferritic stainless steel alloys for solid oxide fuel cell interconnect application

MUHAMMAD TAQI MEHRAN · RAK HYUN SONG* · SEUNG BOK LEE · TAK HYOUNG LIM

Fuel Cell Research Laboratory, Korea Institute of Energy Research(KIER),
152 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34129, Korea

Abstract:

High temperature operation of solid oxide fuel cells (SOFC) requires an interconnect material with enough oxidation resistance for long-term operation. However, the ferritic stainless steel (SUS430) alloys suffer an extensive growth of the oxide layer in the cathode environment, affecting the performance and life time of the SOFC cells and stack. In this study, we employed the nano-oxides of rare-earth elements (e.g. Ce, La, Y) as dispersion in the alloy and investigated the oxidation properties of the modified alloys for their suitability as an interconnect material of intermediate temperature SOFC. The oxide scales formed on the nano-oxide dispersed stainless steel alloys during 1000h long-term ASR monitoring test at 800 °C in air were characterized by SEM and XRD. It was found that the addition of small amounts of nano CeO₂ in the dispersed phase helps suppress the oxide scale growth, resulting into reduced thickness and ASR values. The microstructural analysis of the developed alloys revealed that the dispersed nano oxides were present at the grain boundaries, thus influencing the diffusion of the cations from the bulk of the substrate to the interface of the oxide scale and the substrate. The developed alloys with nano-CeO₂ dispersion showed ASR increase rate of <20mΩ.cm²/kh, which is quite promising as an interconnect material for intermediate temperature SOFCs

Key words :

Solid Oxide Fuel Cell, Metallic Interconnect, Ferritic Stainless Steel, Oxidation, Nano oxide

*Corresponding author: rhsong@kier.re.kr

광물탄산화시스템 FEED 프레임워크 개발 연구

김진일 · 염충섭 · 김준영 · 윤문규

고등기술연구원 플랜트SE팀

FEED(Front End Engineering Design) 프레임워크는 FEED 단계에서 수행할 활동과 산출물을 정의한 것이다. 그 동안 FEED에 대한 연구가 많이 수행되었으나 대부분 경험에 의존하여 연구마다 서로 조금씩 다른 내용을 주장하고 있는 상황이다. FEED가 무엇이고 어떻게 하는 것이 좋은지에 대한 절대적인 정의보다는 FEED를 해당 사업에 적합하게 정의하고 이에 필요한 활동과 산출물을 정의하는 것이 중요하다. 또한 FEED 프로세스도 경험보다는 국제시스템엔지니어링 프로세스 표준과 같은 확고한 기반위에서 개발하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 FEED를 광물탄산화시스템 개발 사업에 적합하게 정의하고, 이를 만족시키기 위한 프로세스와 산출물을 개발하기 위한 방안을 시스템 엔지니어링 표준 프로세스에 기반하여 제시하였다. FEED 프레임워크는 플랜트의 FEED 단계에서 수행해야 할 업무와 산출물을 말한다. 경험에 의존하여 개발되어온 FEED 프레임워크는 정적일뿐만 아니라 잘 개발되었는지 확인하기 위한 방안이 없다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 광물탄산화시스템의 FEED 프레임워크를 개발하기 위한 프로세스를 제시하였다. 이 FEED 프레임워크에서는 관련된 이해관계자의 요구사항을 체계적으로 도출하고, 수행해야 할 업무를 기능분석을 통해 논리적으로 정의하여 최종적으로 각 산출물의 종류와 내용을 정의하게 된다. 이러한 접근법을 통해 FEED 프레임워크를 개발하게 되면 각 업무와 산출물의 필요성에 대한 근거가 확보되어 개발된 FEED 프레임워크를 잘 개발하였는지 확인이 가능하고, 각 프로젝트에서 변경되는 요구사항에 따라 FEED 프레임워크를 조정하여 사용할 수 있게 된다. 현 단계에서는 접근법만을 제시하였으나 향후 연구를 통해 실제 프레임워크를 개발하여 효과성 입증에 필요하다.

* 본 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부, 환경부, 산업통상자원부)의 재원으로 한국연구재단-탄소자원화 국가전략프로젝트 사업의 지원을 받아 수행함(No 2017086039)

상용 고행연료사용 연소로에서의 연소장애 및 극복기술

배달희*

한국에너지기술연구원 온실가스연구실

최근 보일러에 사용되는 연료의 범위가 생활 폐기물 고행연료로 넓어짐에 따라 연료 다변화 요구에 유동적으로 적용 할 수 있는 순환유동층 보일러 기술의 국산화에 대한 필요성이 대두되고 있다. 이에 따라 석탄과 같은 재래식 화석연료를 사용하던 유동층설비에서 폐기물 고행연료(SRF, Bio-SRF)의 사용이 점차 증가하는 추세이다.

그러나 고행연료의 회재에는 다양한 미네랄 성분이 함유되어 있고, 특히 저융점 염을 생성시킬 수 있는 알카리 금속(Na, K), 알카리 토금속(Mg, Ca) 원소와 황(S) 및 할로젠(Cl) 원소들을 포함한 물질들이 존재하여 연소 후 폐열회수부의 전열튜브에 침적 또는 클링커형태로 부착되어 열 회수율을 낮게 하고, 고온부식 등을 일으켜 보일러의 안정적 운전시간과 수명을 단축시키게 된다.

이에 한국에너지기술연구원과 고행연료 사용 상용보일러 보유기관과 공동으로 다양한 연료사용이 가능하고 높은 열효율과 고급 열에너지 생산, 안정적인 전력생산 등의 많은 장점을 가지는 순환유동층 보일러 기술을 연구하여 왔다. 그리고 최근에는 중부발전에 상용급 10 MWe 급 순환유동층 발전소를 공동으로 건설하고 현재 운전 중이며, 국내의 고행연료 사용 발전소의 운전현황을 모니터링하고 연소장애 극복기술에 대한 연구를 하고 있다.이 연구 과정에서 얻은 결과에 대하여 발표하고자 한다.

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(20163010102160).

해양복합온도차발전 열평형 설계 및 유동해석을 통한 발전소 성능평가 Performance Evaluation of Power Plant by Combined Ocean Thermal Energy Conversion Heat Balance and Flow Analysis

전어진* · 허균영* · 정훈** · 이상협**

*경희대학교 원자력공학과, **한국전력공사 전력연구원

해양복합온도차발전(C-OTEC: Combined OTEC)은 32°C 이상의 기존 발전소 복수기 폐열을 직접 이용하여 기존의 온도차 발전 방식에 비해 높은 효율을 얻을 수 있는 장점이 있다. 한국남동발전의 영동화력발전소 2호기에 C-OTEC을 설치함에 있어 기술적 타당성을 검증하기 위해 열평형도 기본설계, 유동해석, 발전소 영향평가를 수행하였다.

이전 연구를 통해 열평형도 설계, 유동해석, 발전소 영향평가에 대한 개념설계를 수행한 바 있다. 열평형도 기본설계에서는 주요 설계조건, 경계조건, 주요 기기에 대한 제한 조건을 다소 보수적으로 설계에 반영하였다. 시스템의 작동 유체는 R-134a를 사용하였고 영동화력 2호기의 복수기와 C-OTEC의 응축기에 대하여 경계조건을 적용하였다. 터빈 및 펌프와 같은 회전기기의 경우 성능곡선을 이용하여 효율을 반영하였다. 증발기와 응축기에서는 핀치포인트와 중단 온도차를 성능지표로 적용하였다. 기타 입력 자료는 기존의 실증경험에서 얻은 데이터를 반영하였다. 이를 통해 200kW 전기출력에 효율 3.56%를 달성할 수 있음을 확인하였다. 복수기 내부에서의 유동해석을 토대로 기존 발전소의 영향이 최소화되도록 열교환기는 외부에 설치하는 안으로 개념 설계를 결정하였다.

본 연구에서는 개념설계를 토대로 상세설계를 수행한 결과를 제시한다. 증발기와 응축기의 제작성을 고려한 핀치포인트와 중단 온도차를 적용하여 열평형도 설계를 수정하였고, 복수기 외부에 판형 증발기를 설치할 때 3차원 CFD 분석을 이용하여 C-OTEC으로 들어가는 증기의 유동과 압력 분포를 계산하였다. 판형 증발기는 다공성 매질로 가정하여 해석하였으며 열전달이 없는 단상 포화 증기로 유동 특성을 분석하였다. 이를 통해 복수기 내부의 압력 변동과 증발기로 유입되는 유속 분포를 확인하여 판형 증발기가 원하는 목표치의 열교환을 할 수 있음을 확인하였다. 발전소 영향평가에서는 실증설비의 특성상 C-OTEC에 공급될 냉각수를 영동화력발전소 2호기 복수기에 공급되는 해수의 일부 취수하여 사용하는 것으로 설계를 변경하는 경우에 대한 분석을 수행하였다. 결과적으로, 영동화력발전소 복수기로 유입되는 유량을 조절함으로써 C-OTEC에 대한 기존 설계대로 출력 및 효율이 달성될 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제 (No. 20163010140550)입니다.

이산화탄소 포집 저비용화를 위한 가압 순산소 연소 시스템 개발
Development of a Pressurized Oxy-combustion System for Minimization
of Cost for Carbon Capture

이영재, 김동희, 최석천, 목진성, 채태영, 이용운, 테페라젤라렘툼사 · 양 원
한국생산기술연구원 고온에너지시스템그룹

화력발전은 이산화탄소의 대표적인 점배출원으로서 CCS (Carbon capture and storage) 기술이 적용되어야 하는 가장 중요한 설비이다. 그러나, 기존에 주로 개발되어온 이산화탄소 포집 기술들은 기존 발전소의 개조(retrofit)를 위하여 개발된 것으로서, 포집 과정에서 많은 에너지를 사용하기 때문에 적용이 쉽지 않은 것이 현실이다. 가압 순산소 연소 기술은 기존의 화력발전에서 가스측(gas side)을 가압하여 시스템을 콤팩트화하고, 이산화탄소 압축을 위한 압축 동력을 상당 부분 줄일 수 있으며, 가압 조건에서 배가스 내 증발 잠열의 회수가 용이하여 이산화탄소 포집 비용을 최소화할 수 있는 장점을 가지고 있다. 한국생산기술연구원에서는 2016년부터 국가과학기술연구회의 지원으로 가압 순산소 연소 기술을 개발하고 있으며, 본 발표에서는 해당 기술을 소개하고 중요한 기술적 이슈들 및 이를 해결하기 위한 연구 방안을 제시한다.

가압 순산소 연소 기술의 중요한 개발 항목은 연소 시스템 및 보일러 설계 기술 개발, 가압 조건에서의 이산화탄소 1차 정제 및 배가스 증발 잠열 회수 기술로서, 본 발표에서는 이 두 기술에 대하여 실험실 규모 장치에서 수행한 연구 결과를 개략적으로 소개할 예정이다. 또한 전체 시스템의 설계 및 최적화를 위해 수행한 공정해석 및 성능 평가 결과도 함께 소개하고, 향후 연구를 위해 중요한 기술 이슈들 및 전세계적인 연구 전망에 대해서도 함께 논의한다.

가압조건으로의 분체시료 연속공급을 위한 고압주입장치 운전특성 평가
Evaluation of operation characteristics of high-pressure feeding system
for continuous supply of powder to pressurized condition

정석우 · 김문현 · 권인구 · 정종선* · 홍성범*

고등기술연구원 플랜트공정개발팀, *(주)씨인텍

일반적으로 상압상태의 분체시료를 가압상태의 반응기에 공급하기 위해서는 배치식 록호퍼 시스템을 적용하는데, 이러한 록호퍼 시스템은 정상운전 중 주기적으로 고압 상태의 공급호퍼로 분체시료 주입을 위하여 상압 상태에서 분체시료를 록호퍼에 채우고, 고압 상태의 공급호퍼와 동일한 압력까지 질소를 이용하여 가압한 후 밸브를 열어 중력에 의해 하부에 있는 공급호퍼로 분체시료를 주입하며, 주입이 완료되면 다시 밸브를 닫고 록호퍼 내부의 고압가스를 대기 중으로 벤트 하는 복잡한 절차로 이루어지게 된다. 하지만, 연속식 고압 분체연료 공급장치는 정상운전 중 고압 반응기로 분체시료 주입 시 기존 배치식 록호퍼 시스템과는 달리 고압질소를 이용한 가압/감압 과정이 불필요해지므로 고압질소 가스 손실 방지, 분체시료 주입시간 단축, 연속적 주입 등에 따라 효율적인 운전이 가능해지며, 기존 록호퍼 시스템에 비해 설비의 구성이 간단하고 운전 중 고압질소를 사용하지 않으므로 건설비, 운전비 등의 절감이 가능하다는 특징을 가진다.

본 연구에서는 기존 배치식 록호퍼 시스템을 대체하기 위하여 고압 용기 또는 고압 반응기에 미분탄, 촉매, 화학원료 등과 같은 상압 조건의 분체시료를 연속적으로 주입할 수 있는 고압 분체시료 주입장치의 국내 핵심 고유기술 개발을 위하여 다양한 방식의 prototype 분체시료 주입장치 설계안 도출 및 기본/상세 설계, 3종류의 prototype 분체시료 주입장치 제작/시험을 통한 주입특성 파악 및 개선, 연속식 고압 분체시료 주입장치 1차시작품 및 2차시작품 구축, 운전압력과 주입속도 변화에 따른 분체시료의 주입특성 파악 및 성능 시험, 분체시료 종류 및 물성 변화에 따른 주입특성 파악 시험 등을 진행하였다. 그리고 그 결과 10 bar의 가압 조건에서 미분탄을 대상으로 연속적인 주입특성을 확인할 수 있었다. 하지만, 가압상태로의 분체시료 연속주입을 위하여 적용한 압착 플레이트에 의한 고압호스의 손상이 발생함에 따라, 이러한 문제점 해결을 위하여 기존 압착 플레이트 대신 롤러핀 형태로의 주입장치 시작품 개선을 진행하였으며 이를 통해 안정적인 설비의 운전과 함께 분체시료의 연속적이면서도 정량적인 주입특성을 달성하였다.

감사

본 연구는 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No.20163010050070)

Enhancing Cycle Lives of Rechargeable Li–Air Batteries: An Integrated Approach

김병곤

한국전기연구원 전지연구센터

Although rechargeable lithium–air (Li–Air) or lithium–oxygen (Li–O₂) batteries have attracted much attention due to their outstanding gravimetric energy densities, the practical applications of this promising energy system have been impeded by a number of technical issues such as low efficiency, poor cycle life, and instability of cell components. In particular, the parasitic reactions involving the degradation of air–cathode materials or electrolyte are strongly associated with the performances of Li–O₂ batteries. Furthermore, the destabilization of the Li metal interface by crossover water and oxygen from the air–cathode side can also cause as fatal degradation for the cycle life as the irreversibility of the air–cathode. Thus, robust materials which can endure radical attack and chemical degradation as well as protective layer for Li metal should be introduced for stable Li–O₂ batteries. To resolve these issues, here, it reports that 1) blended electrolytes can enhance the stability of electrolyte itself by mitigating radical attack, 2) well–dispersed Pt₃Co catalysts can reduce charging overpotential significantly, 3) radical scavengers can suppress the radical attack toward cell components such as electrolyte and air–cathode, resulting in increased cycling performance, 4) cheap poreless polyurethane separator can effectively suppress oxygen crossover while allowing Li ions to diffuse through selectively leading to enhanced lifespan of Li metal anode, and 5) carbon–free mesoporous TiN cathode combined with redox mediator and polyurethane separator can show stable cycling performance by alleviating carbon–induced decomposition and Li metal destabilization during cell operations. This talk provides a message that the problem should be viewed in a systematic manner to resolve the issues from all of the cell components, and an integrated approach should be introduced to improve the cycle lives of Li–O₂ batteries.

고온 변형된 $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ 화합물의 열전특성

Thermoelectric Properties of Hot-deformed $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ Compounds

김봉서 · 임혜진 · 이지은 · 주성재 · 민복기 · 정재환 · 류병기 · 박수동 · 이희용

한국전기연구원 창의원천연구본부 열전기술연구센터

연구목적

열전변환기술은 고체상태에서 열에너지를 전기에너지로 직접 변환이 가능하여 폐열의 재활용에 응용이 되고 있고, 온도영역에 따라 다양한 재료에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 n-형 Bi_2Te_3 계 열전소재의 성능향상을 위해 고온에서 재가압하여 재료의 이방성을 증가시켜 열전성능을 향상하고자 한다. 또한 고온 재가압에 의해 조직내에 미세 결함, 국부적으로 미세 변형 조직이 유도되어 열전도도를 감소시켜 열전성능을 개선하고자 한다.

실험 방법

5N 이상의 고순도 Bi, Te, Se 등의 원소재를 $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-x}\text{Se}_x$ 조성에 구리를 도핑하고, 용해 및 방전 플라즈마 소결법으로 시료를 제조하였다. 소결체를 다시 고온에서 가압 변형시켜 재료의 이방성을 극대화하였다. 고온 재가압 공정으로 제조된 시료의 열전특성평가를 위해 제백계수, 전기전도도, 열전도도를 측정하여 재료의 무차원 성능지수(ZT)를 계산하였다.

결과 및 고찰

고온에서 가압 변형공정이 적용되고 구리가 도핑된 $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ 화합물의 전기전도도와 제백계수를 그림 1에 나타내었다. 도핑된 구리 조성에 따라서 전기전도도는 감소하고, 구리 도핑에 의해 전기전도도 특성이 변화하였다. 구리 도핑양이 증가할수록 제백계수는 증가하였고, 온도 증가에 따른 변화 거동이 다르게 나타났다. 또한 측정된 열전도도 값과 전기전도도, 제백계수로부터 성능지수를 계산한 결과 고온으로 갈수록 성능지수가 향상되는 것을 알 수 있다. 이것은 고온변형 공정과 구리도핑에 의해 열전도도가 감소하여 성능지수가 향상된 것을 알 수 있다.

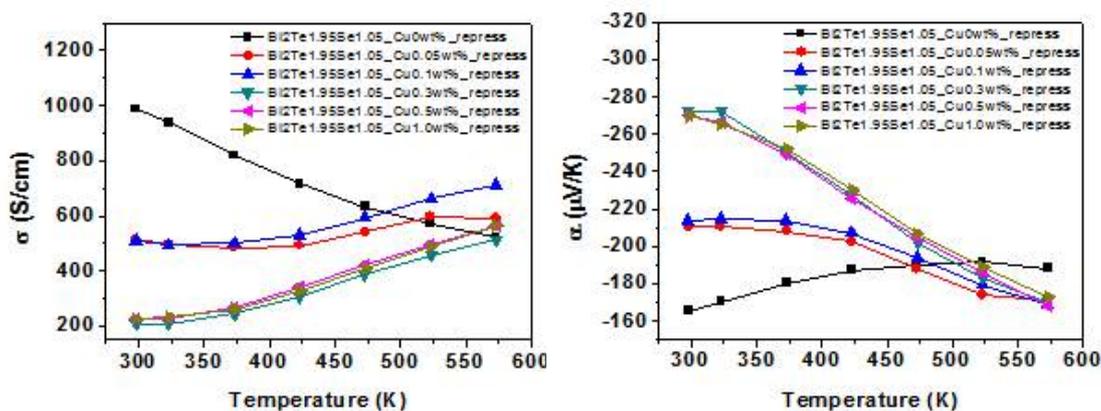


그림 1 구리가 도핑된 $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ 화합물의 전기전도도와 제백계수의 온도의존성

초고온가스로를 이용한 수소생산 복합 사이클의 생산단가 분석
Revenue Analysis of Combined Hydrogen Production Cycles for
VHTR(Very High Temperature gas-cooled Reactor)

박소영 · 허균영 · 이상일* · 계덕훈*

경희대학교 원자력공학과, *현대엔지니어링(주)

배기가스로 인한 환경오염의 염려가 없는 미래의 무공해 에너지로 수소에너지가 각광을 받으면서 현재 고갈되고 있는 석유, 석탄의 대체 에너지원으로 주목을 받고 있다. 그러나 수소에너지는 채굴 가능한 지하자원이 아니므로 기존의 다른 물질에 에너지를 공급하여 생산되어야 하는데 산업에서 사용 가능한 대량의 수소생산을 위해서는 950°C 이상의 고온의 열을 공급할 수 있는 VHTR(Very High Temperature gas-cooled Reactor)과의 접목이 필요하다. 초고온가스로의 고온열을 이용하여 물을 수소로 만드는 방법에는 여러 가지가 있으나, 이중 가장 적합한 방법으로는 SMR(Steam Methane Reforming), HTSE(High Temperature Steam Electrolysis), SI(Sulfur Iodine) 열화학 수소생산 방법 등이 있다.

본 연구에 앞서 17년도 추계 에너지학회 때 초고온가스로에 수소생산루프, 초초임계 사이클(Ultra-supercritical steam cycle: USC)과 초임계이산화탄소(Supercritical CO₂: SCO₂) 사이클로 구성된 열변환계통의 모델링, 그리고 각 지점의 설계변수에 따른 열역학적 타당성 계산에 대한 발표를 한 바 있다. 이번 연구는 기존 연구로부터 더 나아가 350MWt의 초고온가스로로 구성된 일차계통에서 열을 공급받아 이차계통에서 수소, 공정열, 전기를 순서대로 생산하여 열원을 효율적으로 이용한 열변환 계통 모델을 제안하고, 수소생산 방법으로 SMR, HTSE, SI 열화학 방법론에 대해 한국원자력연구원의 데이터를 이용하여 VHTR 출구 온도와 입구온도를 950°C-490°C, 850°C-390°C, 750°C-290°C 3가지 온도 범위로 가정하고 전체 사이클에 대한 열역학적 성능 비교 분석 및 수소, 공정열, 전기로 얻을 수 있는 시간당 비용(Vh)에 대한 평가를 진행하였다. 또한 VHTR을 이용한 수소 생산 방법에서 주요 재료비 투입 비율에 대한 수소로 얻을 수 있는 매출과 이에 따른 공정열, 전기의 생산 비율을 수치적으로 얻을 수 있는 모델을 개발하였다. 그러나 본 연구의 비용 평가 시 설비의 건설, 정비, 운영 기기 등에서 소요되는 비용은 배제되었으며, 운영 시에 투입되는 재료만이 고려되었음을 알린다. 또한 수요시장의 변화로 수소, 공정열, 전기 및 재료의 가격이 변동되고 복합 사이클 내의 유량배분이 달라지면 위 결과와 다른 추세를 보일 수 있음을 알린다.

본 발표에서는 수소에너지의 대량생산이 가능한 초고온가스로 복합 사이클을 모델링하고 VHTR로 최대 수익을 낼 수 있는 열원의 배치를 연구하고 열역학적 계산을 수행함으로써 수소에너지의 신시장 창출에 기여하고자 한다.

본 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 원자력연구개발사업입니다. (NRF-2017M2A8A1018735)

500°C 터빈 입구 조건을 만족하는 초임계 이산화탄소 발전 사이클 종합
시험장치 전력 생산 예비 운전 연구

Preliminary Power Generating Operation of the Supercritical Carbon
Dioxide Power Cycle Test Loop for 500°C Turbine Inlet Condition

조준현 · 신형기 · 조종재 · 최봉수 · 노철우 · 이범준 · 이길봉 · 나호상 · 백영진

한국에너지기술연구원 열에너지시스템 연구실

초임계 CO₂ 발전 기술은 기존 증기로 터빈을 구동하여 전기를 생산하는 방식과 달리 고온·고압의 CO₂로 터빈을 구동하는 기술로, 기존 증기 발전시스템 보다 약 2% 열효율 (@550°C) 상승, 설치면적 약 35% 감소, 생산전력 당 투자비용(\$/kWe) 약 14% 감소, LCOE(Levelized Cost of Electricity) 약 37% 감소의 장점을 가진 미래 신발전 기술이다. 중단기 시장으로 가스터빈 배열, 고온 산업 폐열, 선박 폐열 등 폐열 회수 시장을 목표로 하고 있으며, 이에 상용화를 위하여 약 500°C 작동 조건을 만족하는 시스템 개발이 필수적이다. 한국에너지기술연구원에서는 실험실 스케일에서 kW급의 500°C 터빈 입구 조건을 만족하는 초임계 이산화탄소 발전사이클 종합시험장치를 개발하였다. 반경류형 터빈-발전기 및 고집적 마이크로 채널 복열기, CO₂ 펌프, 투입 히터로 구성된 사이클 시스템을 구성하여 예비 전력 생산 운전에 성공하였으며 477°C/127bar 최고 사이클 조건을 얻었으며, 401°C/112bar 터빈 입구 조건에서 287We 전력을 얻었다.

Acknowledgement

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업 (B7-2414)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다. 또한, 산업통상자원부의 산업핵심기술개발사업(10063187, 산업 폐열 이용 발전계통 설계를 위한 엔지니어링 기술)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

노심 수력학적 특성이 보존된 핵연료집합체 모의방법론 개발 Development of Fuel Assembly Simulation Method Conserving Hydraulic Characteristics in Core Region

김기환 · 권태순*

한국원자력연구원 열수력·중대사고 안전연구부

“부주의한 봉산희석사고”는 원자로냉각재의 봉산농도보다 낮은 봉산농도를 갖는 충전수가 원자로냉각재계통으로 유입되는 사고로 운전원의 부적절한 조치나 봉산보충유로의 고장에 의해 충전펌프로 유입되는 봉산수의 유량이 감소될 때 발생한다. 미국 Nuclear Regulatory Commission (NRC)는 Standard Review Plan (SRP) 15장 사고해석 중에서 15.4.6에 해당하는 부주의한 봉산희석사고에 대한 사고해석을, 통상적으로 운영기술지침서에 정의된, 6개의 운전모드에 대하여 각각 수행하도록 권고하고 있다. 그 중에서 운전모드 4(고온정지)에서 발생하는 부주의한 봉산희석사고는 사건의 감지 및 종결에 필요한 시간이 최소가 되는 것으로 평가되므로 보수적으로 이 사고에 대한 안전성 평가가 수행될 필요가 있다.

일반적으로 안전해석에서는 봉산희석사고 발생 후 노심이 임계 도달하는데 까지 소요되는 시간으로 평가하며, 일반적으로 원자로냉각수가 노심에 이르기 전까지 봉산이 완전히 혼합된다(Perfect Mixing)고 가정하여 해석한다. 이러한 완전혼합가정은 현재까지 국내 노형에 대하여 실험적으로 검증된 바 없으며, 다만 간접적으로 CFD 분석을 통해 완전혼합가정이 비교적 타당하다고 인정하는 수준에 있다.

노심에서의 유동은 복잡 다양한 구조물과 다양한 구동시스템에 의하여 해석적인 방법론으로 접근하기가 상당히 난해하다. 그러므로 이는 주로 대형 실증 실험장치를 이용하여 검증되어야 한다. 봉산희석사고에 대한 실증실험으로는 미국에서 1982년에 수행된 부주의한 봉산희석사고에 대한 Loss-Of-Fluid-Test (LOFT)에서 수행된 실험이 거의 유일하다. LOFT 실험장치는 50 MWt의 PWR을 모의하도록 설계된 종합효과 실험장치이며, 주로 Cold Shutdown Condition (저온정지)에서 실험이 수행되었다. 실험에서는 혼합현상에 기인하는 Direct Flow Path Volume을 정의하고 봉산희석에 대한 실험을 수행하였다. 또한 잔열 제거 계통의 유량에 대한 민감도 실험을 수행하여 실험에 사용한 가정의 타당성을 검증하고자 하였다. 위의 실험의 참조노형은 국내 원전과 상당히 다르다. 그러므로 한국원자력연구원에서는 국내노형을 대상으로 한 실증 실험장치를 구축중이다. 그런데 노심의 모의 방법론에 따라 혼합현상이 상당히 다르게 나타나므로 실제 핵연료 집합체의 수력학적 특징을 대별할 수 있는 방법론이 필요하다.

본 연구에서는 실증 실험장치에서 사용될 수 있도록 한국원자력연구원이 독자 개발한 방법론을 제시한다. 핵연료 집합체의 횡유동 특성과 축방향 압력강하 특성을 기하학적 및 동적 유사성을 고려하여 보존하였고, 핵연료 집합체 최하단 하부지지대를 최신 3D 프린팅 기법을 적용하여 모의하고자 하였다. 본 모의방법론을 통해 향후 부주의한 봉산희석사고를 수행할 계획이다.

17x17 타입 MOX 핵연료 집합체의 핵적 특성 연구

안효영 · 하창주

한국전력국제원자력대학원대학교

가압경수로에서 방출되는 사용후 핵연료에는 약 1 % 정도의 플루토늄 동위원소들이 포함되어 있다. 이 플루토늄에는 열중성자로 핵분열이 가능한 ^{239}Pu 와 ^{241}Pu 가 포함되어 원자로에 재사용이 가능하다. MOX(Mixed OXide) 핵연료는 이 플루토늄에 천연 우라늄을 농축할 때 나오는 농축도 0.25 wt%의 우라늄을 UO_2 와 PuO_2 의 혼합물로 형태로 가공한 핵연료이다.

플루토늄 동위원소의 핵적 특성은 우라늄 핵적 특성과 달라, 원자로의 반응도 및 정지여유도등 노심의 핵적 특성에 영향을 미친다. 이 연구에서는 17x17 타입의 MOX 핵연료와 UO_2 핵연료의 핵적 특성을 비교하기 위해 Moderator-to-Fuel Ratio (MFR)를 이용하여 MTC, FTC, Optimum Moderation Point (OMP)등을 비교한다. 핵연료 집합체의 MFR이 OMP보다 클 경우 이 핵연료 집합체는 양의 MTC를 가지고 이와 반대의 경우에 MTC는 음의 값이 된다.

플루토늄 중량비 2.0 wt%를 가지는 MOX 핵연료 집합체와 우라늄 농축도 2.0 wt%를 가지는 UO_2 핵연료 집합체를 비교하였다. 핵연료봉 직경이 0.819 cm일 경우, MOX 핵연료 집합체의 OMP는 3.81, UO_2 핵연료 집합체의 OMP는 1.68이다. 또한 MOX 핵연료 집합체의 MTC와 FTC는 UO_2 핵연료 집합체보다 큰 음의 값을 가진다.

MOX 핵연료의 중성자 스펙트럼은 UO_2 핵연료에 비해 경화되어 있어 제어봉가가 낮게 평가된다. B_4C 제어봉을 사용하였을 경우 MOX 핵연료 집합체의 제어봉가가 최대 25 % UO_2 핵연료 집합체에 비해 낮게 평가되고, Ag-In-Cd 제어봉일 경우 최대 30 % 낮게 평가되어진다.

대용량 플라즈마 용융설비 개발

Development of Large Capacity Plasma Melting Facility

이미현 · 조현제

한국수력원자력(주)중앙연구원

원전 운영 및 해체 시 다량으로 발생하는 대형 콘크리트 및 금속폐기물, 기타 대규모 혼합폐기물 발생이 예상되는바 폐기물 처리 및 부피 감용을 위한 기술개발이 필요하다. 그 중 금속, 콘크리트, 토양 등 대규모 비가연성폐기물 처리를 위한 플라즈마 기술이 개발 중에 있다. 본 연구는 금속 및 콘크리트 등 비가연성 폐기물 처리기술을 위해 개발되는 플라즈마 설비 구축 현황을 소개하고자 한다.

플라즈마 발생은 두 전극 사이에 고전류를 흘려 Ar, N₂를 이온화 시키면 플라즈마 상태로 전환되며, 번개와 같은 아크가 발생하는 원리이다. 전극방식, 수명, 운전변수 등을 고려하는 세부 기술을 요하며, 개발설비로는 용융로, 토치 시스템, 배기체 처리 시스템, 투입/이송 장치 및 유틸리티 장치 등이 있다.

본 연구에서는 200L 드럼 규모를 직접 처리할 수 있는 플라즈마 설비를 개발 중에 있으며, 현재 개발된 주요 설비인 대용량 용융로, MW급 토치 및 배기체 처리설비에 대한 성능 시험을 통해 대상물질에 대한 공정 자료를 생산하고자 한다.

비평형 균질 응축을 고려한 Marviken free jet 실험에 대한 전산유체해석
CFD simulations for the Marviken free jet tests considering
non-equilibrium homogeneous condensation

하희운 · 서정수

한국수력원자력 중앙연구원

Marviken 실험은 원자력 사업계 전반에 아주 유용한 실험적인 자료로 활용되어 왔다. 본 연구에서는 Marviken 실험중 1980년에서 81년 사이에 실시된 4번째 실험연구인 JIT(Jet Impingement Tests) 프로젝트중 실험 1번 실험내용중 대표적인 증기 방출 경우인 58s 조건을 활용하여 비평형 균질 응축 현상에 의한 영향을 상용 전산유체해석코드인 CFX를 활용하여 검토하였다.

해석모델은 Marviken 실험 1번의 형상 정보를 활용하였으며, 한정된 계산자원과 응축현상 계산으로 인한 계산시간 증가를 고려하여 노즐 출구부터 경계조건의 영향이 관심영역에 미치는 영향을 최소화하기 위한 거리를 설정하여 계산영역을 결정하였다. 모델은 축대칭 모델을 이용하여 작성되었다. 노즐 입구 조건 및 경계조건은 다음과 같이 58s인 순간의 실험 결과를 적용하였다. 입구 조건은 압력 : 785.8kPa, 입구유속 : 470.7116m/s, 온도 176.4°C의 100% 증기가 방출되는 조건, 대기의 경계 조건은 실험에서의 격납건물 조건인 압력 : 136kPa을 각 각 부여하였다. 이때, 대기 경계 조건 중 온도는 계산의 안정성을 위해 150°C를 사용하였다. 난류모델은 k- ω 를 사용하였다. 이와 더불어, 비교 대상으로 동일 조건에서 비평형 응축을 고려하지 않은 계산을 동시에 수행하였다.

결과 비교는 비평형 응축 현상에 의한 효과를 확인하기 위해 중심축에서의 압력 분포를 주로 비교하였다. 해석 결과, 비평형 응축 현상에 관한 여러 논문에서 확인 할 수 있듯이 출구에서 많이 떨어지지 않은 지점에서 평형 응축 현상을 모사한 경우 대비 비평형 응축현상에 의해 압력이 일정부분 상승하는 현상을 확인하였으며 해당 영역 이외에 두 경우 모두 유사한 결과를 도출 하였다. 그러나, 1.5m 지점 부근에서 실험에서 보이지 않는 갑작스런 압력상승현상은 공히 발생하는 것으로 확인 되었으며, 이 부분에 대해서는 추가적인 확인 필요할 것으로 판단된다.

GOTHIC코드를 활용한 Marviken free jet 실험에 대한 수치해석적인 모사 GOTHIC simulations of the Marviken free jet tests

하희운 · 서정수

한국수력원자력 중앙연구원

Marviken 실험은 원자력 산업계 전반에 아주 유용한 실험적인 자료로 활용되어 왔으며, 이에 대한 해석적인 연구 또한 다양한 열수력 코드를 이용하여 진행되어 왔다. 본 연구에서는 Marviken 실험중 1980년에서 81년 사이에 실시된 4번째 실험연구인 JIT(Jet Impingement Tests) 프로젝트중 실험 1부터 4번까지의 free jet expansion 실험의 방출 유량을 원자로건물 열수력 해석 코드인 GOTHIC 코드를 이용하여 예측하였다.

Marviken 실험장치는 가압탱크, 방출배관, ball 밸브, 노즐 및 각종 계측기로 구성되어 있다. 실험은 실험종류에 따라 약간의 차이가 있지만 일반적으로 순수를 가압탱크에 일정 수정까지 채우고 외부 히터를 통해 물을 가열하여 대략 50bar 정도로 가압을 실시한다. 이때 가압탱크내의 수직방향으로 포화조건영역, 전환영역 및 과냉영역의 3개의 구역으로 특징지어 초기 온도를 구성한다. 이후 추가적인 내부 온도 조정을 거친 후 실험을 진행하였다. 해석대상으로 한 실험 1부터 4번까지의 실험조건 범위는 가압탱크 돔 압력 : 4.9~5.24MPa, 가압탱크 돔 온도 : 263~267°C, 가압용기 최저온도 : 213~234°C, 초기 수위 : 7.5~18.6m 범위에서 실시되었다. 해석모델은 가압탱크, 방출배관 및 노즐을 모사하기 위한 control volume 4개와 가압탱크 초기 압력 및 방출 대기 조건 유지를 위한 경계조건 2개로 구성하였다. 각 control volume은 수직방향으로 subdivided volume으로 나누었다. 계통은 모두 단열처리 되어 있다고 가정하여 별도의 열전도체를 사용하지 않았다.

해석 결과, 유로의 choking model 및 가압탱크내의 초기 온도의 변화가 방출량에 가장 큰 영향을 주는 것으로 확인 되었다. 초기 온도의 경우 가압탱크를 정밀하게 수직방향으로 체적을 나누어 수위 및 온도를 실험조건과 근접하게 설정하고, choking 모델의 경우 유로 설정 중 critical 모델 보다는 compressibility 설정을 사용할 때 4가지 실험에 대해 모두 실험결과에 근접하는 방출유량을 예측하였다. 다만, 수위가 낮을 경우 방출 종료 시점 예측 정확도가 떨어지는 것이 확인 되어 이에 대한 추가적인 연구를 수행할 계획이다. 해석결과를 GOTHIC코드를 활용한 계통성능예측에 활용할 예정이다.

APR1400 전력계통 SECY-91-078 부합성
APR1400 Electrical Power System
Conformance to SECY-91-078

하체웅 · 김윤호

한국수력원자력(주) 중앙연구원

미국 원자력규제기관(NRC)은 2015년 3월 한국수력원자력(KHNP)가 제출한 APR1400 원전 설계인증문서에 대한 심사를 착수하였으며, 42개월의 표준 심사일정을 제시하였다. NRC의 원전 설계인증 심사는 총 6단계로 구분되며 1단계: 심사질의서 발행 및 예비안전성 평가보고서 작성, 2단계: 안전성평가보고서(미결항목 포함) 발행, 3단계: 안전자문위원회의 안전성평가보고서(2단계 결과) 심사, 4단계: 안전성평가보고서(미결항목 해소) 발행, 5단계: 안전자문위원회의 안전성평가보고서(4단계 결과) 심사, 6단계: 최종안전성평가보고서 발행으로 진행된다.

NRC는 APR1400원전 설계인증문서 심사 과정에서 전기 계통 설계와 관련하여 다수의 RAI(Request for Additional Information)를 발행하였으며, 이에 대한 적절한 답변이 제공되었었다. 하지만 SECY-91-078 설계 부합성 관련 RAI는 소외전력계통의 가용성과 관련된 RAI로서 NRC와 KHNP 간에 상이한 기술적 입장을 가지고 있어서, 장기간 동안 미결건으로 관리되고 있었다.

이에 따라 KHNP에서는 이를 해결하기 위해서 APR1400 설계가 어떻게 SECY-91-078을 부합하는지에 대한 백서를 발행하였다. 즉, 미국의 거의 모든 원전의 전기 설계의 기본으로 적용하고 있는 EPRI ALWR(Advanced Light Water Reactor) 소외전력회로도도 동일한 소내 보조 변압기 2차측 권선을 통하여 안전급 부하와 비안전급 부하를 모두 공급하고 있으며, 정상운전 시 비안전급 모선과 안전급 모선이 분리되어 있지 않음을 설명하였다. 특히, EPRI ALWR 디자인은 PPS(Primary Power System)와 안전급모선간에 비안전급 모선이 개입 되어 있으나, APR1400은 비안전급 모선이 개입되어 있지 않아, 비안전급 모선 고장 시, 안전급 모선에 영향을 미치지 않음을 설명하였다. 이와 관련하여 비안전급 모선 사고 시 안전모선 영향에 대한 정성적 평가를 수행하였고, EPRI ALWR의 FMEA(Failure Mode and Effects Analysis)와의 비교를 통하여 비안전모선 사고 시 안전급 전원의 가용성이 저하되지 않음을 설명하였다.

백서에 기술된 내용을 가지고 인증심사 3단계 과정에서 NRC 및 안전자문위원회와 재논의하였고, 결과적으로 NRC는 현재의 APR1400 소외전력계통 설계가 SECY-91-078 및 GDC 17 요건을 적절히 만족하는 것으로 판단하였으며, 해당내용을 안전성 평가보고서에 기술하였다.

APR1400 NRC DC를 위한 비안전급 고압모선 이중인입차단기 적용
Application of Double Incoming Breaker on Non-Class 1E
High Voltage Bus for APR1400 NRC DC

하체용 · 김윤호

한국수력원자력(주) 중앙연구원

미국 원자력규제기관(NRC)은 2015년 3월 한국수력원자력(KHNP)가 제출한 APR1400 원전 설계인증문서에 대한 심사를 착수하였으며, 42개월의 표준 심사일정을 제시하였다. NRC의 원전 설계인증 심사는 총 6단계로 구분되며 1단계: 심사질의서 발행 및 예비안전성 평가보고서 작성, 2단계: 안전성평가보고서(미결항목 포함) 발행, 3단계: 안전자문위원회의 안전성평가보고서(2단계 결과) 심사, 4단계: 안전성평가보고서(미결항목 해소) 발행, 5단계: 안전자문위원회의 안전성평가보고서(4단계 결과) 심사, 6단계: 최종안전성평가보고서 발행으로 진행된다.

NRC 설계인증문서 내 전력계통은 스위치 야드를 통하여 2개의 독립된 송전선으로부터 전원을 공급받고, 2개로 분리된 독립된 회로는 Class 1E 소내 전력계통에 연결된다. 소외전원은 소내 보조 변압기와 소내 대기 변압기를 통하여 13.8/4.16kV 비안전급 고압반, 4.16 kV 상시 비안전급 고압반 및 안전급 고압반 모선에 연결된다. 정상 운전 중 발전소의 부하는 50% 용량을 가진 2대의 소내 보조변압기를 통하여 전원을 공급받고, 본 변압기 상실시 안전급 부하는 소내 대기 변압기를 통하여 소외전원을 공급받는다. 소외전원 상실시(Loss of Offsite Power) 안전급 부하는 소내 전원공급원인 비상디젤 발전기에서 전원을 공급받고, 상시 비안전급 부하는 대체교류 발전기에서 전원을 공급받는다. 또한 SBO(Station Blackout) 발생 시 안전급 부하는 대체교류 발전기에서 전원을 공급 받게 된다. 비안전급 고압모선에 설치된 인입차단기는 비안전급 고압모선에서 발생한 고장이 안전급 고압모선에 파급되지 않는 역할을 한다.

NRC는 APR1400원전 설계인증문서 심사 과정에서 전기 계통 설계와 관련하여 다수의 RAI(Request for Additional Information)를 발행하였으며, 이에 대한 적절한 답변이 제공되었었다. 하지만 NRC는 심사 과정에서 소내 보조변압기(소내 대기변압기 포함)는 비안전급 모선과 안전급 모선에 같이 연결되어 있기 때문에 만약 비안전급 모선에서 고장이 발생하였을 때 비안전급 고압모선 인입차단기가 개방에 실패했을 경우 안전급 모선에 고장이 파급될 수 있다며 이에 대한 대책을 강하게 요구하였다. 따라서 KHNP는 이러한 잠재적 위험성을 배제하기 위해서 기존의 비안전급 고압모선 차단기에 직렬로 인입차단기를 하나 더 추가하였다. 즉 비안전급 고압모선 이중 인입 차단기 시스템을 구축하도록 설계를 변경하였고, NRC 질의에 대한 답변으로 제출하였다.

이중 인입 차단기 시스템은 13.8kV 뿐만 아니라 4.16kV 비안전 고압 모선에 모두 적용되어 비안전 고압 모선의 고장이 안전급 모선에 파급될 수 있는 우려를 획기적으로 감소시킬 수 있도록 하여, NRC 요구사항을 해결하였다.

중수로 원전 원자로냉각재계통의 다중 오동작 시나리오 분석
Multiple Spurious Operation Scenario Analyses on Reactor Coolant
System of CANDU Reactors

배연경 · 이태수 · 이영승
한국수력원자력(주) 중앙연구원

2015년 개정된 화재위험도분석에 관한 기술기준(원안위 고시 제2015-11호)에 따르면 화재시 방화지역내 다수 케이블 손상으로 인한 다중오동작 분석을 포함하여 화재안전정지분석을 수행해야 한다. 미국원자력사업자에 의해 발행된 NEI 00-01 문서에는 가압경수로와 비등경수로에 대한 다중오동작 시나리오 목록을 제공하고 있다. 그러나 중수로에 대한 다중오동작 시나리오 목록은 제공하지 않고 있어 해당 방법론에 근거하여 중수로에 적용 가능한 원자로냉각재펌프에 대한 다중오동작 시나리오를 개발하였다.

NEI 00-01 문서의 경수로 일반 다중오동작 시나리오 목록 중 1번부터 5번까지는 원자로냉각재펌프 밀봉냉각 고장으로 안전정지기능 관점에서 냉각재 재고량 제어 기능상실에 해당한다. 각 시나리오를 살펴보면 1번 시나리오는 밀봉주입헤더 격리와 열차폐벽 열교환기 기기냉각수 격리, 2번 시나리오는 밀봉수 전환 배관 열림과 열차폐벽 열교환기 기기냉각수 격리, 3번은 밀봉냉각 상실(시나리오 1&2)과 밀봉냉각 재작동에 관한 것이다. 4번 시나리오는 밀봉냉각 상실(시나리오 1&2)과 RCP 정지불능(또는 기동) 발생, 5번 시나리오는 밀봉냉각 상실(시나리오 1&2)과 함께 RCP 제1밀봉 누설밸브 단힘이 발생하는 것이다.

해당 시나리오를 중수로에 적용한 결과 경수로와 설계 특성의 차이를 보여 적용하기 어려운 것으로 판단하고 3가지 고유 시나리오를 개발하였다. 중수로의 경우 충수펌프를 통해 RCP 밀봉수를 주입하는 배관에는 격리밸브가 없다. 첫 번째 시나리오는 기기냉각수가 상실되고 RCP가 정지를 실패하여 계속 운전중이고 모터 축 베어링으로 가는 배관의 격리밸브가 닫히면 축 베어링의 밀봉 실패로 중수 누출이 발생하게 되는 시나리오이다. 두 번째는 기기냉각수가 상실되어 원자로냉각재계통과 연결된 정화계통의 열교환기의 기능 상실이 일어나고 이 때 자동으로 격리되어야 하는 중수 정화계통 격리가 실패하면 뜨거워진 중수가 중수 저장탱크의 물과 혼합되어 RCP의 밀봉 건전성에 영향을 주는 시나리오이다. 세 번째는 기기냉각수 상실로 탈기냉각기의 기능이 실패하고 탈기응축기 후단 격리가 실패하면 역시 뜨거워진 중수가 RCP의 밀봉 건전성에 영향을 주는 시나리오이다. 중수로 특성을 고려하여 개발된 이 시나리오는 중수로 안전정지 기능 관점에서 냉각재계통과 원자로보조계통을 포함하여 방사성 물질을 포함하는 계통에 breach가 없어야 한다는 핵분열생성물 방벽 기능에 해당한다. 각각의 시나리오는 기기냉각수계통, 원자로냉각재계통 및 냉각재정화계통이 연결되어 있어 대상기기의 도출이 복잡하게 얽혀 있다. 따라서 이를 해결하기 위해 확률론적 안전성평가의 고장수목 기법을 이용하여 시나리오와 관련된 대상기기의 조합을 도출하였다. 개발된 시나리오는 향후 상세 회로분석을 통해 안전정지기능에 악영향을 주는지 확인할 예정이다, 이를 통해 화재 안전성 향상에 기여할 것으로 판단된다.

중수로 주증기관파단사고에 대한 비상노심냉각계통 저압지속 조건부신호 민감도 분석

Sensitivity Analysis of a ECCS Conditioning Signal, Sustained Low PHTS
Pressure on CANDU 6 Main Steam Line Break Accident

고동욱 · 김성민

한국수력원자력(주) 중앙연구원 계통안전연구소

최근 안전성 향상을 위하여 월성 1호기에 비상노심냉각계통(ECCS) 냉각재계통 저압지속 조건부신호 신설을 추진하고 있으며, 이에 따라 저압지속 조건부신호 설정치를 결정해야 한다. 월성1호기에는 월성2,3,4호기와 다르게 ECCS 냉각재계통 저압지속 조건부신호가 없어 그동안 냉각재계통 극소형파단사고시 ECCS 원자로건물 고압 조건부신호가 발생하지 않으므로 운전원이 주입조치를 해야 했다. ECCS 저압지속 조건부신호 설정치를 결정하기 위해 비상노심냉각수가 주입되는 설계기준사고 중 냉각재계통 저압지속 조건부신호의 영향을 받는 사고로서 소형냉각재상실사고, 다중증기발생기세관 파손사고, 주증기관파단사고 등의 선별된 사고를 대상으로 냉각재계통 저압지속 조건부신호의 압력설정치 및 지속시간 등을 변화시켜 사고결과가 허용기준을 만족시키고 안전성을 향상시키는지 검토가 필요하다. 본 논문에서는 이러한 몇 가지 선별된 사고 중 주증기관파단사고에 대해서만 검토하고자 한다. 주증기관파단사고는 유일하게 2차계통 사고로서 냉각재계통 저압지속 조건부신호의 영향이 작을 것으로 예상되지만, 냉각재계통 저압지속 신호신설로 인한 사고시 계통거동의 영향을 확인하고자 민감도분석을 수행하였다. 민감도 분석시 냉각재계통 저압지속 조건부신호의 압력 설정치 및 지속시간을 각각 5~6 MPa 및 5~10분 범위 내에서 변화시키며 계통거동을 검토하였고, 분석대상은 냉각재계통 저압지속 조건부신호 신설의 영향을 받는 원자로건물 외부 주증기관파단 사고 중 증기균형모관 100% 파단 및 단일 증기관 100% 파단의 2개 경우이다. 분석결과 원자로건물 외부 주증기관파단사고 2개 경우는 모두 원자로 트립 후 계통압력이 1 MPa(a) 이하로 빠르게 낮아지므로 냉각재계통 저압지속 압력신호의 변경에 따른 비상노심냉각수 주입시점에 대한 영향은 거의 없었으며, 지속시간 길이에 따라 비상노심냉각수 주입시점이 달라졌다. 또한 피복재 온도도 두 경우에서 냉각재계통 저압지속 조건부신호의 압력설정치 및 지속시간 변경에 따른 영향을 크게 받지 않았으며, 400℃ 이하에서 잘 냉각되었다. 결론적으로 월성1호기에 ECCS 조건부신호로서 냉각재계통 저압지속 신호를 신설함에 따라 압력 및 지속시간 설정치를 결정할 때 주증기관파단사고의 영향은 무시할 수 있으며 소형냉각재상실사고 등의 1차계통 사고만을 고려하면 된다.

APR1400 미국 규제기관 설계인증을 위한 심사질의답변 경험
Lessons Learned from Response to RAI for the APR1400 Design
Certification by U.S. Nuclear Regulatory Commission

강덕지 · 김윤호

한국수력원자력(주) 중앙연구원

한국수력원자력(주)는 2009년부터 APR1400 노형에 대하여 미국 원자력규제기관(U.S.NRC)으로부터 설계인증을 추진하고 있다. 2014년 12월에 APR1400 노형에 대한 설계인증문서(Design Control Documents, DCD)를 미국 원자력규제기관(U.S.NRC)에 제출하였고, 문서 적합성 평가 후 2015년 3월부터 심사가 착수되었다. U.S.NRC는 심사질의서(Request for Additional Information, RAI)를 발행하고 신청자가 제출한 답변서를 토대로 설계인증문서에 대한 안전성을 평가하게 된다. APR1400 NRC DC 사업의 경우 여러 참여 설계기관 담당자들이 심사질의답변을 작성하여야 함에 따라 심사질의답변의 일관성 및 통일성을 위해 작성지침을 수립하여 관리하였다. 이 작성지침에는 문서 크기 및 여백 등의 문서 설정 정보, 답변서 내용 작성 시 유의사항, Impact 항목 작성 정보, Proprietary 정보 표기 방법, 답변서 첨부의 DCD Markup 표기 방법, 제출방법 등을 상세하고 구체적으로 명시되도록 하였다. 이 작성지침과 더불어 답변서 템플릿을 생성하여 문서 작성 시 인적오류를 최소화하고자 하였다. DCD Markup 내용 작성 시 대소문자 구분 등 DCD에서 바뀌는 내용을 정확하게 표기하는 것이 필요하며, SRI (Security-Related Information) 버전의 경우 모든 페이지 상단에 SRI 문구가 삽입되도록 유의하여야 한다. 또한, Proprietary 정보에 대해서는 TS 브라켓 안에 관련내용 전체가 들어가도록 작성이 되어야 하며, Non-Proprietary 버전에서 해당정보가 TS 브라켓 안에 남아 있지 않도록 최종 제출시 확인을 반드시 하여야 했다. 또한 심사질의답변서를 제출 후, U.S.NRC 요구 등에 따라 답변서의 개정 제출이 필요하였다. 이때, 기존에 제출되었던 답변에 대해 추가내용 기술이 필요할 경우에는 Supplemental Response로, 기존의 내용 변경이 필요한 경우에는 Revised Response로 작성 및 제출되었다. 이 개정답변은 여러 차례 개정이 되기도 하였는데, Markup 색상 및 범례를 달리하여 개정 차수 별 DCD Markup 정보가 명확히 구분이 되도록 하였다. 심사질의답변서는 최종적으로 U.S.NRC로 전자제출이 되는데, U.S.NRC에서 지정한 문서요건을 만족하지 못하면 제출이 불가하다. 따라서 각 기관으로부터 접수된 답변서는 최종 제출 전 한번 더 문서요건, 양식, 오류사항 여부를 검토하여 제출하였다. 사업 초반에는 심사질의답변서에서 여러 가지 오류사항이 반복적으로 발견되었으나, 다중검토 및 지속적인 지침 준수 독려를 통해 심사질의답변서 문서의 오류를 최소화하고자 하였다.

혼합형 안전주입탱크 형상설계 개발

Tentative Sizing of Hybrid SIT

김대현

한국수력원자력 중앙연구원

- 1.1. 일본 후쿠시마 사고 이후 외부전원 공급 없이도 사고시 원자로를 안전하게 안전정지 조건까지 도달시킬 수 있는 피동형 원자력발전소 설계에 대한 관심이 증가하고 있다. 국내에서도 혁신적 안전경수로인 iPOWER의 주요 안전계통을 피동형으로 설계하여 원자력 발전소의 안전성을 획기적으로 향상시키기 위해 노력하고 있다.
- 1.2. iPOWER는 핵심안전계통인 노심냉각계통을 피동형으로 설계하였고, 원자로냉각재계통 압력 상승시에도 비상냉각수 주입이 가능하도록 안전주입탱크 상부와 원자로냉각재계통의 저온관을 연결하여 압력평형배관을 통해 동등하게 가압될 수 있도록 설계하였다. 고압주입기능을 담당하는 혼합형 안전주입탱크는 원자로냉각재계통과 동일 압력을 견딜 수 있도록 설계하여 기존의 타원형 헤드 설계 적용이 불가하여, 반구형 헤드 설계로 변경하였다. 설계압력 및 설계온도 상향에 따라 최소 설계 요구 두께를 계산하였고, 반경에 따른 두께 증가를 최소화하기 위해 셸 재질을 고강도 저합금강으로 변경하였다. 탱크 높이는 헤드 형상이 반구형으로 변경됨에 따라 동일한 설계 체적을 유지하기 위해 반경길이 만큼 증가하였다.
- 1.3. 혼합형 안전주입탱크의 초기 형상설계는 기존의 안전주입탱크를 기반으로 설계압력 및 설계온도 상향요건에 따라 동일한 단면적을 기준으로 제안하였고, 원자로건물 일반배치 설계 등 연계설계를 고려하여 확정될 계획이다.

사용후핵연료저장조 연소도곡선 불만족 해결방안 연구

Solution for discontent on permissible burnup curve in spent fuel pool

김도연

한국수력원자력 중앙연구원

국내 OPR-1000 원전의 24개월 장주기 노심을 설계할 경우 핵연료집합체의 초기 농축도가 증가하게 된다. 따라서 현재 사용후핵연료저장조 영역 II 허용 연소도 곡선을 만족하지 못하는 사용후핵연료 집합체가 발생하게 된다. 이에 따라 사용후핵연료저장조 영역II 요건 불만족의 해결방안 탐색 및 임계도평가를 수행하였다.

24개월 장주기 노심의 경우 평형노심에서 방출되는 사용후핵연료집합체 중 일부가 사용후핵연료저장조 영역II 허용 연소도곡선에 만족하지 못하게 된다. 해당 사용후핵연료의 영역II 불만족조건을 해결하기 위해 해당 모듈의 사용후핵연료집합체가 들어가는 저장공간을 줄이고, 중성자 흡수물질의 추가 삽입, 저장 배열의 변경을 검토대상으로 하였다. 이러한 경우 구조물의 설치나 제거 등에 요구되는 작업이 적어 방사선 피폭을 감소시키며 또한 방사성폐기물 발생량 또한 줄일 수 있다.

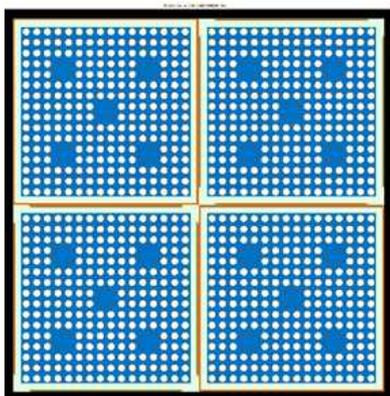


그림 1

사용후핵연료저장조 영역II

임계도 평가는 SCALE 6.1 코드 내의 KENO-V.a 모듈을 사용하였으며, ENDF/B-VII에 기반한 238군 반응단면적을 사용하였다. 그림 1은 본 평가에 사용된 사용후핵연료저장조 영역 II를 나타내고 있다.

첫 번째 해결방안으로 +형 삽입체를 저장 셀에 삽입하는 것이다. 삽입체가 들어가게 되면 저장 셀 영역에 사용후핵연료가 75%만 장전할 수 있는 형태이다. 기준 모델과 비교하여 임계도평가를 수행결과, 약 11,000 pcm의 반응도가 감소한다.

두 번째 해결방안으로 사용후핵연료집합체 사이에 위치하는 BORAL 중성자흡수재를 원통형 삽입체로 Guide tube에 삽입하는 것이다. 사용후핵연료저장조 용량을 모두 활용 할 수 있을 뿐만 아니라, 허용 연소도곡선을 증가시킬 수 있다. 임계도 평가 수행결과, 약 18,000 pcm의 반응도가 감소한다.

본 방안을 적용시 사용후핵연료저장조의 허용 연소도곡선을 증가시킬 수 있으며, 불만족 요건을 해결할 수 있다.

연소이력을 반영한 사용후핵연료 붕괴열 계산

Calculation of Spent Fuel Decay Heat applying the burnup history

김도연

한국수력원자력 중앙연구원

사용후핵연료저장조의 냉각기능상실사고(LOSFPC) 안정성평가지 사용후핵연료의 붕괴열 계산이 요구된다. 붕괴열 계산 모델에는 현재 보수적인 가정이 사용된다. 또한 사용후핵연료저장조 모니터링 시스템에도 보수적인 가정의 붕괴열 계산 모델이 적용되고 있다. 본 계산은 사용후핵연료저장조 모니터링 시스템의 운영여유도 확보를 위하여 사용후핵연료의 붕괴열 계산 방법론 중 최적해석 방법인 연소이력을 적용하는 방법에 대하여 사용후핵연료집합체의 붕괴열을 평가하였다.

국내 OPR-1000 원전의 경우 핵연료집합체는 일반적으로 3주기동안 노심내에 연소한다. 핵연료집합체가 연소하여 발생하는 열은 비출력에 따라 계산 결과에 영향을 미친다. 일반적인 핵연료집합체는 1,2주기에 대부분이 연소된다. 따라서 실제연료이력에 이용하여 붕괴열을 계산할 경우, 현재 보수적인 사용후핵연료집합체의 붕괴열 평가값보다 낮을것으로 예측된다.

본 계산은 SCALE 6.1.2 코드의 TRITON 모듈을 이용하여 PLUS7 핵연료집합체의 단면적을 생성하였다. 이후 ORIGEN-S 모듈을 사용하여 연소계산 및 붕괴열계산을 수행하였다. 또한 대상 원전의 사용후핵연료저장조에 저장된 사용후핵연료집합체의 연소이력을 반영했다.

표 1 핵연료집합체 정보

사용후핵연료 제원	
집합체 타입	PLUS7
U-235 농축도 (wt%)	4.5
1주기 누적 연소도 (MWD/MTU)	20,000
2주기 누적 연소도 (MWD/MTU)	40,000

표 1은 국내 사용후핵연료집합체의 붕괴열 계산의 한 케이스를 나타낸 것이다. 1주기와 2주기에 핵연료집합체가 대부분 연소가 진행되며, 마지막 3주기의 경우 연소도가 약 10,000 MWD/MTU정도 연소하게 된다.

약 30개 사용후핵연료집합체 케이스를 분류하여 계산한 결과, 예상한 바와 같이 보수적인 가정의 붕괴열 보다 연소이력을 반영한 경우에 붕괴열이 낮게 평가되었다. 이는 3주기에 연소되는 핵연료집합체의 비출력이 낮기 때문이다.

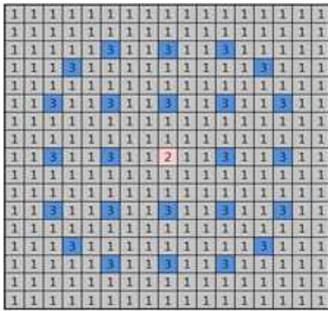
현장 사용후핵연료저장조 운영시 붕괴열 모니터링을 수행하기 때문에 연소이력을 반영한 사용후핵연료의 붕괴열 계산은 운영상 필수적이다. 향후 사용후핵연료의 최적 붕괴열 계산모델을 활용할 수 있도록 모니터링 시스템을 구축할 예정이다.

사고저항성 핵연료집합체 설계 및 특성 분석 Design and Evaluation of Accident Tolerant Fuel

김도연

한국수력원자력 중앙연구원

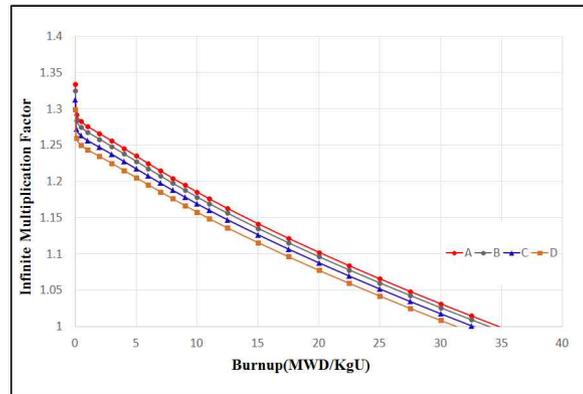
사고저항성핵연료(ATF)는 TMI-2사고(1979)와 후쿠시마 원전사고(2011)와 같은 설계 기준사고 이상의 중대사고 발생시 수소발생을 억제하고 핵분열 생성물의 포집성능이 우수한 신개념 핵연료들을 의미한다. 즉 ATF는 중대사고 시 수소폭발을 예방하고 방사성물질의 대량방출을 억제하여 원자로의 안정성을 크게 향상 시킬 수 있는 핵연료기술이다. 본 분석은 2차원 중성자수송해석 코드인 STREAM 코드를 이용하여 핵연료집합체의 핵특성 평가를 수행하였다.



핵연료집합체의 형태는 iPOWER 노심의 사용되는 17x17타입으로써 264개의 핵연료봉과 24개의 제어봉 안내관, 그리고 1개의 계측관으로 구성된다. 그림 1은 핵연료집합체의 단면도를 나타내었다. 대상연료는 기존 핵연료 소결체(A), 피복관 외부 CrAl 표면코팅(B), UO_2 -Cr 미소셀 소결체(C), UO_2 -Mo 미소셀 소결체(D) 총 4종류의 후보 집합체를 비교계산을 수행하였다.

그림1 핵연료집합체 단면도

그림 2는 4종류 후보 핵연료집합체에 대한 무한증배계수를 나타내었다. 기존 핵연료집합체(A)와 비교하여 모든 사고저항성 핵연료집합체의 경우 무한증배계수가 감소하였다. 핵연료 제원의 변화 없이 노심의 적용하게 될 경우 주기길이의 감소가 나타날 것으로 판단 할 수 있다. 감속재온도계수 역시 A,B 핵연료집합체는 동일하게 나타났으며, 미소셀 소결체를 사용하는 C,D 핵연료집합체의 경우 감소하였다. 핵연료 온도 계수의 경우에는 미소셀 소결체를 사용하는 C,D 핵연료집합체가 다소 감소하는 경향을 보인다.



4종류의 후보 핵연료집합체 중 피복관 외부 CrAl 표면코팅(B)을 한 집합체의 경우가 노심경제성 및 안정성 측면에서 타당하다고 판단된다. 향후, 사고저항성 핵연료집합체의 최적화를 통하여 iPOWER 노심계산을 수행할 예정이다.

APR+ 일체형 원자로상부구조물(IHA) 최적화 설계 연구

Design study for optimization of APR+ Integrated Reactor Head Assembly

한성흡 . 이재곤

한국수력원자력(주) 중앙연구원

APR+ IHA는 해당 노형에 적합하도록 개발되었으나, IHA 중량의 증가로 IHA 지진하중이 증가하였고, CEDM 용접부 검사의 편리를 위한 IHA 설계개선 필요성이 제기되어 내진 성능 향상 등을 위한 IHA 설계최적화 연구를 수행하고 있다. 본 논문은 IHA 설계최적화를 위하여 수행하고 있는 주요부품의 설계 기본개념에 대하여 소개하고자 한다.

먼저, IHA의 지진하중 감소를 위하여 냉각슈라우드집합체, 에어플레넘집합체 및 케이블브릿지 등의 중량감소를 위한 최적화를 수행하고 있다.

다음으로, 내진지지대의 4개 방향 하중지지 설계를 수행하고 있다. 국내 IHA의 내진지지대는 인장하중만 받을 수 있도록 설계되어 있다. 즉, 내진지지대 끝단이 연결되는 재장전 수조벽의 러그에는 지지대 인양이 용이하도록 내진지지대 핀과 러그 홀이 충분히 큰 간극을 갖도록 설계되어 있다. 따라서 IHA가 지진 하중이 작용하는 반대 방향으로 거동할 경우, 내진지지대가 후방으로 구속 없이 이동할 수 있는 공간이 마련되어 압축하중이 작용하지 않도록 설계되어 있다. 지진의 작용 방향에 따라 총 4개의 내진지지대 중 일부로만 IHA 하중을 전달되어, 내진지지대 자체 및 연결 구성품의 하중이 크게 발생하였다. 개선 설계안으로서 내진지지대 끝단 클레비스와 브러켓, 러그의 핀홀과 핀사이의 간극을 정상운전 중 발생하는 IHA 열팽창을 허용하는 범위에서 충분히 작게 함으로써 지진 발생 중 내진지지대 전체가 인장과 압축하중을 전달할 수 있다는 설계 개념을 적용하고자 한다.

또한 IHA 하부가 원자로 헤드 패드 최적화를 수행하고 있다. 패드 수량을 감소시킬 경우, 원자로헤드 패드와 IHA 하부 접촉면적이 감소함에 따라, IHA 열응력 측면에서 감소 효과가 있을 것으로 예상하고 있다.

아울러 냉각팬 성능개선 및 냉각팬 진동감시설비 추가 설치 등을 통하여 운전시 모니터링 기능을 추가하고자 한다.

이와 같은 설계최적화가 성공적으로 수행을 완료할 경우 IHA의 운전 편리성 증진 및 내진 성능 향상은 물론 안전성향상이 가능할 것으로 기대하고 있다.

원자력 발전소용 데스크탑 시뮬레이터 기능적 활용성 제고 Functional Utilization Review of Desktop Simulator for Nuclear Power Plant

김문수

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력 발전소 시뮬레이터는 고도의 안전성과 정밀성을 바탕으로 운전원이 실제 상황과 동일한 환경에서 실습할 수 있도록 해주는 모의훈련 장치이다. 기능적 측면에서 시뮬레이터는 운전원 운전능력 배양, 운전절차서 검증 및 개발, 제어기법 사전 점검 및 안전도 분석, 운전방법 개선 등이 가능해야 한다. 따라서 원자력 발전소의 주제어실과 동일 조건 또는 이와 흡사한 조건을 가져야 하므로 제작 비용이 매우 높고 많은 제작시간 소요 및 넉넉한 설치공간을 필요로 한다.

첨단 디지털 방식의 주제어실을 모사한 APR1400 전범위 시뮬레이터(Full Scope Simulator)는 개발 후 고리훈련센터 및 UAE에서 발전소 운전원 훈련 및 면허시험 등에 활용되고 있으나 참조 발전소별로 각 한 대의 시뮬레이터를 보유하고 있어 다수의 운전원이 동시에 활용하는 데는 시간적 여유를 갖기 어려운 문제가 있다. 이를 개선하기 위해 데스크탑 컴퓨팅 시스템을 기반으로 한, 데스크탑 시뮬레이터를 개발하고 훈련센터 및 발전소 필요 부서에 설치함으로써 시뮬레이터의 접근성을 높일 수 있다. 활용적인 면에서 APR1400 데스크탑 시뮬레이터는 현 훈련센터에 설치된 시뮬레이터와 동일한 시뮬레이터 모델을 사용하여 운전원 훈련 및 면허시험에 활용 가능하고, 또한 발전소 현상을 시뮬레이션하여 발전소 거동을 파악하는 데에 활용도가 높은 장비이다.

데스크탑 시뮬레이터의 제한사항으로는 기존 로형의 주제어실을 그대로 모방하여 훈련센터에 설치된 시뮬레이터와는 달리 안전제어반, 원격제어반 등 하드웨어 설비가 설치되어 있지 않아 이를 활용한 훈련에는 적합하지 않다. 또한, 실제 발전소 주제어실에 있는 듯한 효과를 낼 수 있는 전범위 시뮬레이터를 구현시 여러 시뮬레이션 모델 개발 방법을 선택 가능하지만, 컴퓨터 서버 및 다수의 모니터로만 구성되는 설비 장치의 제한성으로, 데스크탑 시뮬레이터는 MMI(Man-Machine Interface)가 에뮬레이션으로 구현된 모델만 설치가 가능하다는 한계가 존재한다. 이러한 한계 내에서 개발된 데스크탑 시뮬레이터를 통해 운전원에게 최적의 활용을 가능하게 하는 방법론 개발이 수행되고 있다. 운전원 활용성에 대한 인간공학 평가가 필요하며, 이를 위한 여러 민감도 기준이 선정되어 평가가 수행될 예정이다.

에뮬레이션 방식의 시뮬레이션 모델 개발 방법이 다른 개발 방법(Stimulation, Virtual 등)에 비해 기술적으로 부족한 것은 아니며, 오히려 발전소 설계변경 및 빈번한 모델 수정사항 발생시 손쉽게 변경 및 적용 가능하다는 최대의 장점이 있다. 특히나 데스크탑 시뮬레이터의 경우는 그 구조적 한계로 인해 에뮬레이션 방법의 모델링만 가능하다는 한계가 장점으로 작용할 수 있다. 현재 데스크탑 시뮬레이터는 ORSA, 신고리 훈련센터, 새울 1발, 한울 1발 등에 설치되어 운전원 및 교육관련 직원들의 역량 향상에 실질적 도움을 주고 있으며, 쉽게 설치하고 옮길 수 있으며 좁은 공간에서 발전소를 가상으로 제어하는 연습을 할 수 있는 장점으로 점점 더 그 수요가 증대될 것으로 판단된다.

월성 1발 시뮬레이터 중대사고 모델 개발

Development of Wolsung Unit 1 Simulator including Severe Accident Analysis Model

김문수

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력발전소 운전원의 교육훈련 및 면허시험을 위해 사용되어지는 원전 시뮬레이션 기술은 원자력발전소 1,2차측의 물리적 거동을 수학적으로 모델링하고 컴퓨터를 이용하여 각 기능별 시스템 구현 및 통합을 통해 원자력발전소의 거동에 대해 모의(Simulation)하는 기술이다. 최근에는 규제기관으로부터 시뮬레이터에 중대사고 모의 기능을 추가하여 운전원을 대상으로 중대사고 관리지침을 교육할 것을 강력히 권고받고 있는 상황이며, 이를 위해 기존 및 향후 개발되는 시뮬레이터에 중대사고 시뮬레이션이 가능하도록 모듈 추가 혹은 최초 시뮬레이터 개발시에 모의가능 기능에 포함되어져야 한다. 이것은 중대사고시 운전원의 조작에 따라 발전소 거동의 변화를 확인함으로써 중대사고에 대한 운전원의 대처 훈련 효과를 극대화하고자 함이다.

2015년 월성 1호기 계속운전이 원자력안전위원회의 최종 심사를 거쳐 승인된 이후, 규제기관의 심사보고서 및 KINS/민간 검증단의 스트레스테스트 보고서가 심사 자료로 발간된바 있다. 이러한 계속 운전의 조건으로 도출된 수십개의 개선사항 중 중대사고 관련 현안(지진 화재 등 복합재해 상황을 고려해서 외부냉각수 주입 대책 보완, 증기발생기 세관 파단에 의한 방사성물질 방출 평가 및 대책 마련, 격납건물여과배기설비(CFVS)의 개방 압력 등 운영 전략 보완, 피동 촉매형 수소재결합기(PAR)의 설치, 훈련용 시뮬레이터 조기도입 및 사고 대응능력 배양을 위한 불시훈련 강화 등) 관련하여 적극적인 대응이 필요하다.

월성 1호기 시뮬레이터는 이러한 월성 1호기 계속운전과 스트레스테스트 후속조치로 중대사고 구현이 가능한 전범위 시뮬레이터 개발을 목표로 2016년 말부터 추진되었다. 개발되는 시뮬레이터에 적용되는 중대사고 해석 모듈의 가장 큰 특징 세가지는 다음과 같다.

- 정상운전 및 설계기준 초과사고의 경우에는 기존 시뮬레이터와 동일하게 작동.
- CET(노심출구온도) 상승 등 중대사고 증상 발생시 중대사고 해석코드를 구동하여 기존 설계기준 사고까지의 시뮬레이션 해석 변수와 연동.
- 중대사고 해석코드로의 시뮬레이션 전환시 발전소 변수 표시의 연속성(Seamless)을 보장하는 자연스러운 변환.

월성 1호기 시뮬레이터의 중대사고 모듈은 MAAP-CANDU 코드를 사용하여 개발되고 있으며 2017년 말 FAT(Factory Acceptance Test)를 통과하고 곧 최종적인 인수시험인 SAT(Site Acceptance Test)를 월성 교육훈련센터 현장에서 2018년 5월 수행할 예정이다. 향후, 월성 1호기 시뮬레이터용 중대사고 해석 모듈개발을 통해 중수로 중대사고에 대한 운전원 훈련 등에 폭넓게 이용이 가능하게되어, 운전원의 발전소 안전운전에 크게 기여할 것으로 판단된다.

사용후핵연료 운반용기 구조건전성 평가 방법론 개발 Development of the Structural Integrity Evaluation Methodology for the Spent Nuclear Fuel Transport Cask

김좌영 · 차균호

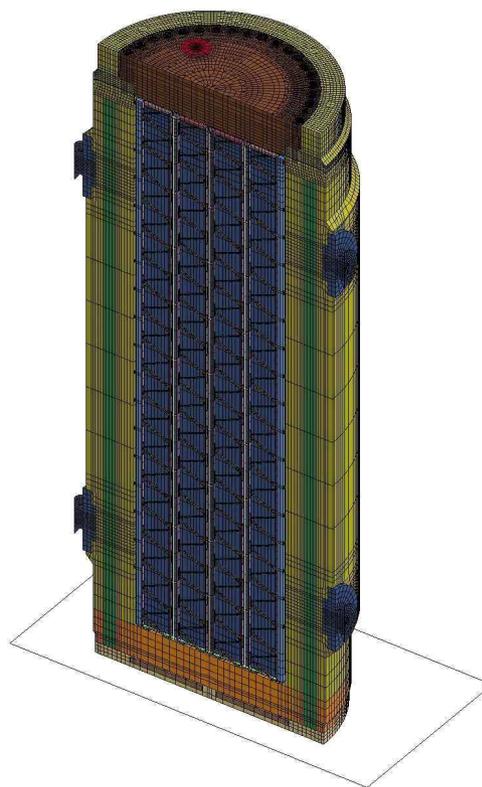
한국수력원자력(주) 중앙연구원

사용후핵연료 운반시 운반용기가 설계요건을 초과하는 낙하사고를 가정한 시나리오에 따라 설계요건 보다 높은 특정높이에서 운반용기가 낙하하는 경우에 대한 구조건전성 평가 방법론을 개발하였다.

사용후핵연료 운반용기는 정상운반 시 상·하부에 충격완충체가 체결되어있는 상태에서 운반되나, 설계요건을 초과하는 경우를 가정하여 충격완충체가 체결되어있지 않은 조건 에서도 구조건전성을 유지하고 있는지 확인하고자 방법론을 개발하게 되었다. 경수로 사용후핵연료 12다발을 운반할 수 있는 운반용기의 유한요소해석모델은 340,135개의 절점, 705개의 보요소, 37,422개의 쉘 요소 및 201,158개의 솔리드 요소로 구성되며 해석모델의 형상은 아래 그림과 같다. 운반용기에 장전되는 사용후핵연료는 동일한 중 량을 갖는 솔리드 더미로 단순화하여 모델링 하였으며, 용기의 대칭성을 고려하여 1/2 만 모델링 하였다.

사용후핵연료 운반용기 낙하해석은 범용유한요소 해석프로그램인 LS—DYNA R7.1을 사용하며 1/2 축 대칭 경계조건을 용기의 대칭 단면에 적용하였다. 운반용기는 강체 바닥판에 수직 충돌하는 것으로 가정하였고 강체 바닥판은 완전 구속조건을 적용하였다. ASME B&PV Code Section III에 따라 용기본 체와 같은 격납경계의 경우 탄성해석을 수행하였으며, 내부 바스켓과 같은 비격납경계의 경우 탄소성 해석을 수행하였다. 낙하해석에서 실제 낙하높이와 동일하게 운반용기와 바닥판 사이의 거리를 적용하여 자유낙하 해석을 수행할 경우 해석시간 측면에서 효율적이지 못하므로, 실제높이에서 낙하한 것과 동 일한 효과를 주기위해 에너지 보존법칙을 이용하여 계산한 낙하속도를 운반용기가 강체 바닥면과 충격 이 발생하는 시점의 초기속도로 적용하였다.

상기와 같은 조건에서 운반용기 구조건전성을 평가하고 사고시 부지경계에서 일반인에 미칠 수 있는 방사선적 영향이 10 CFR 100.11에서 규정하고 있는 제한치 이내임을 입증하고자한다.



<사용후핵연료 운반용기 구조 모델>

개방 수조형 연구용 원자로의 수조 크기 설계를 위한 예비 연구 Preliminary Study for Pool Size Design of Open-pool Type Research Reactor

박기정 · 김다용 · 서경우 · 김성훈
한국원자력연구원 연구로계통설계부

연구용 원자로는 핵분열에 의해 생성된 중성자를 이용하여 재료조사 시험, 의료용 동위원소 생산, 중성자 빔 이용연구 등의 다양한 목적을 위해 건설된다. 일반적으로 연구용 원자로는 개방된 수조 내에 원자로를 설치하며 동위원소 생산, 중성자핵변환도핑 등 수조 상부에서의 조사체 장전, 인출 및 처리의 이용 편의성을 고려하여 개방 수조형(Open-pool type)으로 설계가 된다. 개방 수조형 연구용 원자로 설계 시 설계 초기단계에서 원자로의 안전 정지 및 핵연료 붕괴열(Decay heat)에 대한 자연대류 냉각을 고려하여 원자로 출력에 맞는 수조 크기를 예측해야 한다.

수조 크기를 예측하기 위해서는 핵연료 붕괴열 곡선을 적용하여 원자로 출력에 따른 수조 내 발열량을 계산해야 한다. 이를 바탕으로 개방된 수조 표면에서의 수조수 증발량을 고려하여 시간에 따른 수조 수위 및 수조수 온도를 평가하였으며 수조 크기를 예측하였다. 수조 체적은 수조 높이를 고정하고 수조 표면 단면적을 변화시켜 입력 변수로 적용하였으며, 대용량 연구용 원자로의 원자로 출력을 고려하여 30 ~60 Mwt범위에서 계산을 수행하였다. 계산 결과, Fig. 1과 Fig. 2에서 확인할 수 있듯이 원자로 운전 정지 후 일정 시간이 지나면 수조수 온도는 일정 온도에 수렴하여 더 이상 변화하지 않았으며 수조 수위는 수조 표면 대기와의 온도차에 의해 수조수가 증발하여 지속적으로 낮아지게 되는 결과를 보였다. 원자로 안전 정지 후 수조수 온도를 일정 온도 이하로 유지하기 위해서는 핵연료 붕괴열 냉각 측면에서 수조 체적, 수조 상부 표면적, 수조수 증발에 따른 수위 감소 등의 영향을 고려하여 원자로 수조 크기를 설계해야 한다.

후 기

본 논문은 과학기술정보통신부에서 시행한 연구로 공학기술 연구과제의 연구개발 성과입니다.

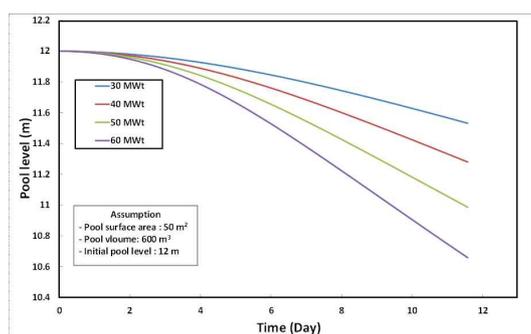
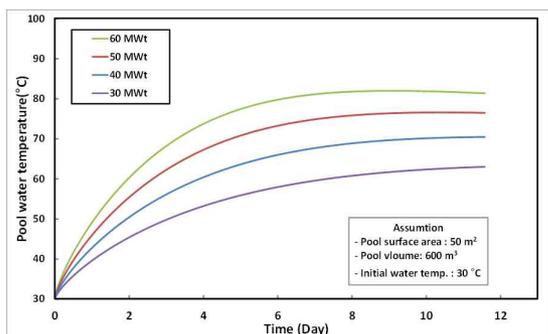


Fig. 1 시간 변화에 따른 수조수 온도 변화

Fig. 2 시간 변화에 따른 수조 수위 변화

연구용 원자로의 냉각 유동 방향에 따른 조사체 냉각계통 설계 검토
 Design Review for Irradiation Positions Cooling System
 by Cooling Flow Direction in a Research Reactor

박기정 · 정민규 · 서경우 · 김성훈
 한국원자력연구원 연구로계통설계부

연구용 원자로는 핵분열 연쇄반응으로 발생한 중성자를 기초 연구에서 산업 및 공학적 응용 연구까지의 광범위한 분야에 걸쳐 이용하는 원자로이다. 이 중성자를 이용하는 가장 중요한 분야 중 하나는 매우 다양하게 사용되는 동위원소 생산 분야이다. 여러 동위원소 중 Mo-99는 전 세계적으로 의학 진단 등의 의료 분야에서 많이 사용되고 있으며, 이에 대한 수요가 해마다 증가하고 있다. 일반적으로 Mo-99와 같은 동위원소를 생산하기 위해서는 노심 내부 반사체에서 조사를 하고 조사 시 발생하는 열은 일차냉각계통에 의해 냉각된다. 그러나 일차냉각계통을 상향유동 방식으로 설계할 경우 Mo-99를 노심 내부 반사체에서 조사할 수 없으며 노심 외부에서 조사를 해야 한다. Mo-99는 조사 시 발생하는 열량이 매우 커 강제대류 냉각을 적용한 별도의 조사체 냉각계통을 설계해야 한다. 일반적으로 연구용 원자로 외부에는 반사체가 설치되며 이 반사체를 이용해 다양한 동위원소를 조사하게 된다. 이 경우 원자로 수조는 여러 조사체의 장전 및 인출 등 이용 편의성을 고려하여 상부 개방형으로 설계된다. 조사체 냉각계통은 외부 반사체 내에서의 냉각수 흐름 방향에 따라 계통 설계가 크게 달라지게 되며, 유동 방향에 따라 상향 유동과 하향 유동으로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 조사체 냉각계통 설계에 적용 가능한 계통 개념을 Fig. 1과 같이 수조 개방형 하향 유동 방식, 가압 폐로형 하향 유동 방식, 상향 유동 방식으로 제안하며 각각의 설계 장점과 문제점을 검토하였다. 검토 결과 조사체 냉각계통은 조사체 장전 및 인출의 운영상의 장점과 추가적인 특별한 장치의 설계가 필요 없이 가장 단순한 계통을 구성할 수 있는 수조 개방형 하향 유동 방식이 가장 적합할 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 과학기술정보통신부에서 시행한 연구로 공학기술 연구과제의 연구개발 성과입니다.

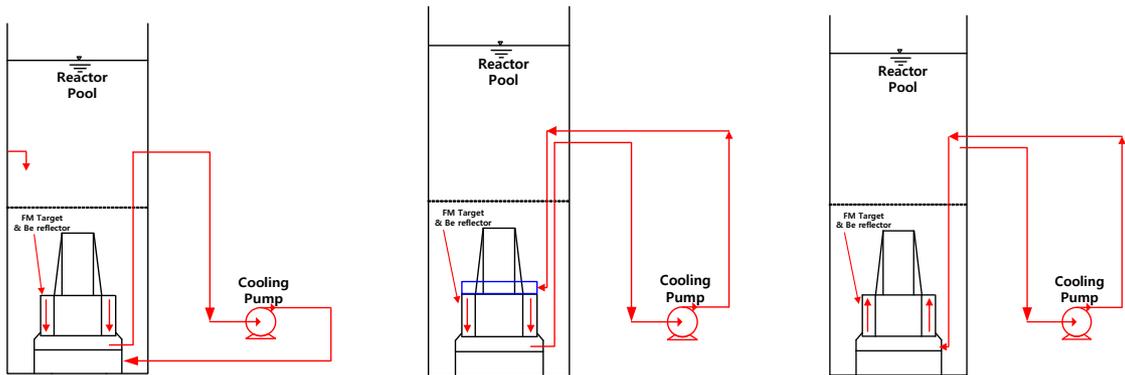


Fig. 1 냉각 유동방향에 따른 조사체 냉각계통 설계 방안

중수로 안전해석 유효 정지봉 평가

Effective SOR Evaluation in CANDU Reactor Safety Analysis

박동환 · 김영애 · 류의승

한국수력원자력주식회사 중앙연구원 계통안전연구소

중수형 원자력발전소는 안전해석 수행을 사건별로 분류하고 해당사건을 전산 수치해석방법을 통한 모의평가를 통하여 안전성여부를 확인한다. 안전해석 시나리오는 냉각재 상실사고(Loss of Coolant Accident, LOCA), 비냉각재 상실사고로 분류할 수 있으며, 냉각재 상실사고는 대형냉각재 상실사고(Large Break LOCA, LBLOCA), 소형냉각재 상실사고(Small Break LOCA, SBLOCA), 노심내 냉각재 상실사고(In-Core LOCA)로 분류할 수 있다. 이중 대형냉각재 상실사고는 상호 격리된 2개의 루프 중 1개의 루프 시스템 내 존재하는 입구모관, 출구모관, 펌프흡입관에서 파단이 발생하여 연료를 냉각시키는 냉각재가 손실되는 사고이다. 안전해석의 보수성을 위하여 원자로 노심 초기조건 변수를 가장 보수적인 조건으로 설정하고, 원자로 정지 시 제1정지계통(정지봉 삽입)만을 적용한다. 이때 제1정지계통은 총 28개의 정지봉으로 구성되어 있는데, 이중 가장 정지능력이 큰 2개의 정지봉을 제외한 26개의 정지봉을 삽입하여 안전성을 평가한다. 2개의 정지봉 선택방법은 정적 노심조건에 대하여 정지봉 반응도가를 평가하고, 그 중 반응도가가 가장 큰 상위 2개의 정지봉을 유효정지봉으로 설정하였다. 현재 안전해석에서 적용중인 유효정지봉은 01번 및 05번이다. 본 연구에서는 경년열화 조건 및 최신의 전산코드를 이용하여 유효정지봉을 재평가하였다. 평가 결과 경년열화조건 및 최신의 전산코드에 대해서도 기존의 01번 및 05번 정지봉이 가장 유효한 정지봉인 것으로 평가되었다. 추가로 다양한 과도조건에서의 정지봉 반응도가 평가가 필요할 것으로 판단된다.

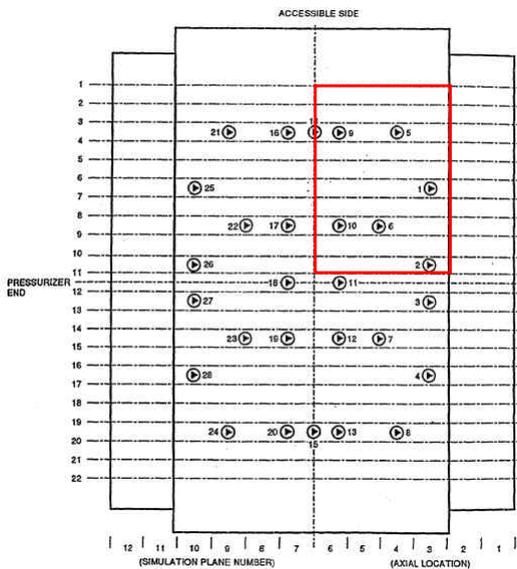


표 2. 정지봉 반응도가 비교(정적노심조건)

비삽입 정지봉		정지봉 반응도가(mk)
모든 정지봉 100% 삽입		-80.20
1	2	-55.01

중수로원전 화재유발 냉각재펌프 밀봉고장에 따른 누설유량 분석
Analysis on RCS Leakage Rate due to Fire-induced Coolant Pump Seal
Failures for Pressurized Heavy Water Reactors

이영승 · 김명수 · 김범규

한수원 중앙연구원

원자력안전위원회 고시 제2015-11호(화재위험도분석에 관한 기술기준)에는 화재안전정지 분석 시 화재에 의한 다중오동작(Multiple Spurious Operation) 분석을 포함하도록 요구하고 있다. 이에 따라 국내 가동원전인 중수로원전도 화재위험도분석(Fire Hazard Analysis) 시 화재로 유발된 다중오동작 분석을 수행해야 한다. 다중오동작 분석을 위해서는 안전정지(Safe Shutdown) 기능별 관련계통에 전기신호로 동작하는 능동기기가 화재로 인해 다중오동작을 하였을 경우 안전정지기능에 악영향을 줄 수 있는 시나리오를 우선적으로 확인해야 된다. 중수로원전은 안전정지기능 중 핵분열생성물 방벽기능(Barrier to Fission Product Release)이 있으며, 이 기능의 요건은 원자로냉각재계통에 냉각재를 보충하는 능력까지 냉각재가 누설이 되더라도 원자로건물의 건전성을 유지하는 것이다. 따라서 본 논문에서는 화재로 인해 냉각재 누설 가능성이 높은 원자로냉각재펌프 밀봉고장에 대해 중수로원전 중대사고 전산코드틀(ISAAC : Integrated Severe Accident Analysis code for CANDU Plants) 사용하여 분석하였다.

코드분석을 위한 가정사항은 1)원자로는 100% 출력운전 중 자동정지, 2)원자로냉각재 보충계통은 정상동작하여 냉각재 누설량을 보충, 3) 증기발생기 주증기안전밸브는 압력설정치에 따라 개폐동작, 4) 보조급수계통 동작 이며, 분석기간은 72시간으로 가정하였다. 가정사항을 기반으로 원자로건물 냉각계통이 동작하지 않는 상태에서 냉각재펌프 밀봉을 통한 누설유량을 각각 15 kg/s, 10 kg/s, 5 kg/s로 설정하여 분석하였다. 분석결과, 냉각재 누설유량이 15 kg/s 인 경우에는 화재이후 약 14시간에 원자로건물 대기압력이 최대로 상승하였다가 감소되며 이때 압력값은 234 kPa(a)이다. 즉 원자로건물 최대상승압력은 설계압력을 초과하는 것으로 분석되었다. 또한 10 kg/s로 누설된 경우에는 원자로건물 최대도달압력은 화재이후 약 21시간에 발생하였으며 이때 압력값은 239 kPa(a)로 분석되었다. 마지막으로 5 kg/s로 누설된 경우에는 약 42시간에 원자로건물 최대압력에 도달되고 이때 압력값은 243 kPa(a)로 분석되었다. 또한 핵분열생성물 방벽기능을 위해 원자로건물 냉각계통인 원자로건물 살수계통과 지역공기냉각기(LAC : Local Air Cooler)를 동작시켰을 경우를 추가로 분석하였다. 분석결과에 따르면 설계특성상 원자로건물 살수계통은 지속적으로 동작할 수 없어 살수계통이 동작하더라도 원자로건물 압력감소 효과는 미미한 반면에 지역공기냉각기를 동작시킬 경우에는 장기적 압력감소 효과로 원자로건물 설계압력이하로 낮출 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서 화재로 인해 원자로냉각재계통 누설발생시 지역공기냉각기가 동작하여야 원자로건물 건전성을 유지할 수 있으며, 이는 핵분열생성물 방벽기능 다중오동작 시나리오는 냉각재펌프 밀봉고장 시나리오와 함께 지역공기냉각기의 고장시나리오도 같이 고려하여야 하는 것으로 분석되었다.

크러드 침적 저감 후보물질 선정

Selection of candidated CRUD reduction materials

정진호 · 이광호

한국수력원자력(주) 중앙연구원

크러드(Chalk River Unidentified Deposit, CRUD)는 원자로 운전 중 원자로 구조물 및 증기발생기 세관 등 1차 계통 압력경계에서 용출된 금속 이온이 노심으로 유입되어 과냉 핵비등이 발생하는 핵연료 피복관 상단에 금속 산화물의 형태로 침적된 것을 의미한다. 크러드는 다공성의 금속산화물로서 낮은 열전도도를 가지기 때문에 피복관 표면온도가 상승하며, 국부적으로 피복관의 산화속도가 증가한다. 뿐만 아니라 크러드 기공에 붕소화합물이 침적되면 축방향 출력편차 비정상(Axial Offset Anomaly, AOA) 위험도 역시 증가하게 된다. 크러드는 원자로 운전 여유도를 감소시키기 때문에 발전소 정비기간에 화학세정운전, 초음파세정 등 발전소 운전 중 발생한 크러드를 제거하기 위해 많은 시간과 예산을 소비하고 있다.

최근 국내·외에서는 피복관 표면에 크러드 침적을 저감할 수 있는 물질을 피복관 표면에 코팅처리 하여 핵연료에 침적되는 크러드를 줄이고자 하는 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 문헌 검토를 통해 크러드 침적 원리 및 이를 저감시킬 수 있다고 알려진 물질을 조사하였다. 크러드의 침적은 피복관과 부식생성물 간의 van der Waals 힘이 주요한 원인이며, 두 입자 사이에 작용하는 힘이 클수록 크러드 침적이 많아진다고 알려져 있다. 해외에서는 Atomic force microscopy를 활용하여 후보 물질과 주요 부식 생성물(NiO, Fe₂O₃ 등) 간 van der Waals 힘을 측정하였다. 이를 통해 후보물질을 선정하였으며, 상압·비유동 조건에서 크러드 저감 능력을 평가하였다. 이를 통해 주요 후보 물질(ZrC, ZrN, TiC, TiN)을 선정하였다. 또한 국내에서는 사고저항성 핵연료 후보재료인 CrAl을 핵연료 피복관에 코팅하여 Autoclave에서 크러드 침적 모사시험을 수행하였다. CrAl 역시 상용 피복관에 비해 크러드 침적 저감능력이 우수한 것으로 평가되었다.

국·내외에서 제안된 물질을 크러드 침적 저감을 위한 후보물질로 선정하고, 향후 추가적인 분석을 통해 크러드 침적 저감을 위한 최적 물질을 도출하고자 한다. 국내·외에서 수행된 모사시험은 압력·유동조건·온도 등 여러 조건으로 미루어 보았을 때 실제 원전 조건을 모사하기에는 무리가 있기 때문에 국내 원전을 모사할 수 있는 크러드 침적 실증시험 장비를 이용하여 국내·외에서 제안된 후보물질의 크러드 침적 저감 능력을 평가할 예정이다. 현재 크러드 침적을 위한 최적 조건을 도출하기 위해 시험운전을 수행하고 있으며, 시험 절차서를 작성 중에 있다. 이후 시험을 통해 제안된 후보물질의 크러드 침적 저감 능력을 평가하고 최적 후보물질을 도출할 예정이다.

CHP 최적 시뮬레이션 분석을 통한 전력수급계획 변화가
집단에너지 사업자에 미치는 영향 분석

Analysis of the Effect of Changes in the Basic Plan for Long-term
Electricity Supply and Demand on the District Heating Business through Optimal
Operation Software of CHP

김영국, 오광민 김래현†

01811 서울 노원구 공릉로 232 서울과학기술대학교 에너지환경대학원

01811 서울 노원구 공릉로 232 서울과학기술대학교 화공생명공학과†

*Department of New Energy Engineering, Seoul National University of
Science&Technology, Seoul, 01811, Korea*

*†Department of Chemical & Biomolecular Engineering, Seoul National University of
Science&Technology, Seoul, 01811, Korea*

요 약

국제사회는 제21차 기후변화협약 당사국총회(Conference of the Parties 21, '15.12)에서
신기후체제 합의문인 파리협정(Paris Agreement)을 채택하였고, 우리나라는 2030년 국가
온실가스 감축목표를 BAU(Business As Usual) 대비 37% 이행을 약속 하였다. 우리나라는
'15년 기준 발전에너지 부문에서의 배출량이 약 249백만톤으로 배출권거래제 할당대상업체
전체의 약 45.9%를 점유하고 있다. 이에 최근 발표된 8차 전력수급 기본계획에서는 원전과
석탄화력의 단계적 감축과 재생에너지 및 LNG발전의 비중 확대를 통해 분산형 전원의 지
속적 확대와 환경을 고려한 전력공급을 계획함으로써, 기저 발전 중심에서 친환경 발전 위
주로 에너지 패러다임의 변화를 공표하였다.

본 연구에서는 이러한 에너지 패러다임의 변화가 온실가스 배출 저감 및 분산형 전원의 현
실적인 대안으로 여겨지는 LNG 열병합발전시스템의 열 생산 패턴을 변화시켜 집단에너지
공헌이익에 미칠 수 있는 정량적인 손익 효과를 분석하는 연구를 수행하였다. 이를 위해 먼
저 상용화된 전력시장 종합분석 프로그램을 활용하여 7, 8차 전력 수급계획별 전력시장 장
기 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 현재 수도권에서 830MW급 CHP를 운영 중인 사업자의
실적 data를 사용하여 CHP 운전 Mode별로 전력생산량과 열 생산량을 산정할 수 있는
CHP 운영모델을 구성하였다. 이를 바탕으로 상용화된 집단에너지 최적운영 프로그램을 통
해 CHP의 Life-Cycle 동안의 최대의 운영수익을 실현할 수 있는 운전 최적화를 수행하였
다. 그 결과 정부의 에너지 패러다임의 변화는 CHP의 급전지시량을 증가시키고, 이로 인해
열 생산원가가 하락하여 사업자의 공헌이익이 30년 동안 909억 증가함을 확인할 수 있었
다.

전해 커패시터 노화 영향인자에 관한 고찰 A Study on Aging Factor for Electrolytic Capacitor

고영준 · 지영화 · 조은일

한국수력원자력

전해 커패시터(이하, 커패시터)는 비교적 저렴하고 대용량 특성을 가지고 있어 전력산업 등에 널리 사용되고 있는데, 각종 전력계통의 전원공급기에서는 주로 정류회로 부품으로 사용되어 안정적으로 전원을 공급하는 역할을 담당한다. 과거 국내의 고장사례를 보면, 조기 열화 등에 따른 커패시터 고장으로 관련 시스템 운영에 영향을 미친 것으로 알려졌다. 이에 본 연구에서는 원자력발전소 온화한(Mild) 환경조건에서 사용하는 전원공급기 내 커패시터의 노화에 영향미치는 인자에 대해 고찰해 보고자 한다.

원전의 온화한 환경조건에서 커패시터의 노화에 영향을 주는 주요 환경인자는 방사선과 온도이다. 방사선의 경우, 재질의 속성을 영구적으로 변화시키는 최저 방사선 흡수선량을 확인함으로써 노화 임계치(Threshold)를 정할 수 있다. 본 고찰의 커패시터 사용조건(Service Condition)에서 방사선 집적 조사량(Accumulated Dose) 최대치는 20Gy(2000 Rads)이다. 커패시터 구성재질의 임계치가 이 수치보다 클 경우 방사선의 영향은 무시할 수 있다. 알루미늄 커패시터는 접속방식에 따라 래디얼(Radial), 스냅인(Snap-in), 스크류볼트(Screw-bolt) 등의 타입으로 구분되는데, 설치구조에 따라 일부 차이가 있지만 단자(Terminal), 슬리브(Sleeve), 용기(Case), 양/음극용 알루미늄박(Anode/Cathode Foil), 분리막(Separator), 접착테이프(Adhesive Tape), 전해질(Electrolyte) 등으로 구성된다. 이들은 고순도 알루미늄, 폴리염화비닐(PVC), 마닐라펄프(Manila Pulp), 폴리프로필렌(Polypropylene)을 원재료로 제조되는데 최저 방사선 임계치를 가지는 재질은 폴리프로필렌(적착테이프)과 마닐라 펄프(분리막)이다. 그리고 그 값은 약 100Gy(100000 Rads)로 노화영향 임계치의 10배를 넘는다. 가상사고 발생시에도 방사선의 영향으로 인한 물성의 변화 없이 안정적일 것으로 보인다. 온도에 따른 커패시터의 노화진행은 주로 전해질의 손실과 이로 인한 정전용량 감소에 기인한다. 대개 커패시터의 최대정격온도 이하의 조건에서는 10°C Rule을 적용하여 노화에 따른 수명을 예상하는데 신뢰도를 높이기 위해서는 시험으로 생산한 데이터를 이용하여 활성화에너지를 산출하고, 가속열화시험을 통해 커패시터 노화에 대한 온도의 영향을 확인할 수 있다. 일반적으로 비정상적 노화현상이 발생하지 않는 범위 내의 가속열화 온도조건은 커패시터의 최대정격온도보다 20~30°C 높은 정도로 알려져 있다.

고장이란 부품 또는 제품을 사용해 가면서 사용환경 등에 의해 열화되어 그 고유의 기능을 상실하게 되는 것을 말한다. 앞서 살펴본 바와 같이 온화한 환경에서 커패시터는 방사선 보다는 온도에 의한 영향으로 고장이 발생할 것으로 추정해 볼 수 있다. 커패시터 열화로 인한 기기의 고장을 예방하기 위해서는 사용온도별 확인수명을 연구하여 커패시터 교체주기에 활용하고, 기기설계시 사용조건에 맞는 커패시터를 선정하는 등 온도에 대한 엔지니어링이 다른 요소에 대한 고려보다 우선시 되어야 할 것으로 본다.

금속 산화물 배리스터 특성 평가에 관한 고찰

A Study on the Evaluation of Characteristics for Metal Oxide Varistor

조은일 · 고영준 · 지영화

한국수력원자력 중앙연구원

배리스터(Varistor)는 양 단자 간 전압에 따라 저항이 변화하는 특성을 가진 소자로 Variable과 Resistor의 합성어이다. 일반적으로 배리스터는 부하의 앞단에 위치하여 서지(Surge) 등 비정상적인 큰 전압이 들어왔을 때 저항이 낮아져 바이패스 시킴으로 부하를 보호하는 역할을 하게 된다. 본 논문에서는 고장모드 영향분석(FMEA, Failure Mode Effect Analysis)을 통해 금속 산화물 배리스터의 특성들을 도출하고 효과적인 평가 방법에 대해 살펴보고자 한다.

금속 산화물 배리스터의 고장모드는 주로 내부 물성치가 변화하는 것에 기인하는데, 정도에 따라 세 가지의 고장모드로 나눌 수 있다. 극심한 변화로 인해 소자 자체가 단락 또는 개방 될 수 있고, 전압-전류 특성에 영향을 주는 물성열화가 있을 수 있다. 소자의 단락을 확인하는 특성으로는 누설전류(Leakage Current)가 있고 개방과 물성열화를 확인하는 특성으로는 클램핑 전압(Clamping Voltage)과 공칭 배리스터 전압(Nominal Varistor Voltage)이 있다. 제작사에서는 이에 대한 데이터를 수치나 특성 곡선으로 제시하고 있다.

각각의 특성에 대한 시험방법은 IEC61643-331(Performance Requirements and Test Methods for Metal Oxide Varistors)을 참고할 수 있다. 누설전류(Leakage Current)는 지정된 전압을 인가하였을 때 나타나는 크기와 파형의 임펄스 전류이다. 측정 시 인가하는 전압이 부하의 임피던스에 무관하도록 충분한 용량의 정전압 전원장치가 사용되어야 한다. 클램핑 전압(Clamping Voltage)은 금속 산화물 배리스터에 피크 임펄스 전류가 흐를 때 전압 클램핑 수준을 측정하는 것이다. 별도로 정의된 요구사항이 없다면 8/20us파형 전류로 시험한다. 공칭 배리스터 전압(Nominal Varistor Voltage)은 제작사가 제시한 규정된 펄스 전류에서 규정된 시간동안 측정된 MOV양단의 전압이다. 제작사가 값을 제시하지 않았다면 일반적으로 1mA전류, 400ms미만의 시간을 사용한다. 또한 전압 공칭 값의 허용오차가 정의되므로 이를 기준으로 시험결과에 대해 판정을 할 수 있다. 측정 시 유의할 점은 부하의 임피던스에 의해 인가하고자 하는 규정된 펄스 전류가 흔들리면 정확한 시험이 불가능하므로 충분한 용량의 정전류 전원장치를 사용해야 한다는 점이다. 금속 산화물 배리스터 소자의 건전성을 평가 할 때 최소한 상기 세 가지 특성을 포함해야 효과적인 시험이라 할 수 있을 것이다.

신호변환기 시지연에 의한 디젤발전기 여자시스템 전압 불안정 사례 고찰
Study on voltage unstable of diesel generator excitation system by time
delay of signal transducer

이상희, 윤영철, 김명훈

한국수력원자력 엔지니어링지원단 기계팀

신호변환기의 시지연에 의한 디젤발전기 여자시스템 전압 불안정 및 문제 해결 과정을 고찰하여, 이와 유사한 시지연 발생 시 참고할 수 있는 사례를 제시하고자 한다. ○○발전소는 디젤발전기의 노후화된 아날로그 타입의 여자시스템을 디지털 타입 여자시스템으로 교체하기 위하여 PLC(Programmable Logic Controller) 기반의 디지털 여자시스템을 제작하여 시운전하였다. 여자시스템 구성은 제어 기능을 수행하는 삼중화 디지털 제어기와 직류전력으로 변환하는 이중화되어 있는 정류기 그리고 발전기 전압, 전류를 입력받아 유무효 전력 신호처리를 위한 신호처리 보드 및 여자전류 및 전류 신호를 변환하는 신호변환기로 구성되어 있다. 디지털 제어기는 자동전압 조절기 및 수동전압 조절기로 구성되어 있으며 자동 전압 조절기는 설정값과 입력받은 발전기 전압을 이용하여 편차를 계산하고 수동전압조절기는 설정값과 입력받은 여자전류를 이용하여 편차를 계산한다. 편차는 비례적분(Proportional and Integral) 제어를 통해 설정값을 유지하도록 여자전류를 조정한다.

제작 후 자동 및 수동모드 기동 시험 과정에서 자동 모드에서는 기동 시 발전기 단자전압이 안정적으로 제어되었으나 수동 모드에서는 여자전류 및 발전기 단자전압이 안정되지 않고 스윙되는 문제가 발생하였다. 수동 모드에서는 발전기 전압의 편차를 제어하는 자동모드와는 다르게 여자전류의 편차를 제어하므로 데이터 레코딩 장비를 이용하여 기동 시 엔진 속도, 발전기 단자전압, 여자전류를 측정하였고 그 결과 여자전류와 발전기 단자전압 사이에 410ms의 시지연이 있음을 확인하였다.

여자시스템에서 입력 시지연의 특성은 시지연이 증가할수록 전압 스윙이 설정값에 수렴하지 않고 유지되는 거나 스윙 폭이 점점 커지고 발산하는 것으로 알려져 있으나 디지털 여자시스템의 여자 전류 입력에 대한 시지연 허용범위는 알려져 있지 않다. 기존 신호변환기 제품의 입력에 대한 출력 시지연을 확인 결과 제작사 사양 기준($\leq 500\text{ms}$) 이내인 460ms였으며 여자전류와 발전기 단자전압 사이의 시지연과 유사한 값을 나타내었다. 제어 불안정 요소를 제거하기 위하여 신호변환기(제작사 사양기준 $\leq 50\text{ms}$) 시지연을 20ms인 제품으로 적용하여 여자시스템 기동시험을 재수행하였고 정상적으로 정격 전압 도달 및 여자전류가 안정적으로 제어되는 것을 확인하였다.

입력 시지연은 제어기의 성능 저하와 제어 불안정을 야기시킨다. 시지연에 의한 전압 스윙을 방지하기 위하여 디지털여자시스템에서 신호변환기 적용 시 시지연 요소를 고려하여 적용하고 시지연의 변화를 측정 관리한다면 디젤발전기 여자시스템의 안정성을 높일 수 있을 것이다.

디젤엔진 발전기의 조속기 특성에 대한 실험적 연구
A experimental Study on Tuning of Diesel Engine Generator Speed
Controller

김영철(Young Cheol Kim)

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

디젤엔진 발전기는 도서지역을 비롯한 일부 지역의 주전력 공급원으로 사용될 뿐만 아니라 대형 발전소를 포함한 산업 시설 및 스마트 그리드의 비상(예비)전원 공급원으로 널리 사용되고 있다. 특히, 원자력 발전소의 비상디젤발전기는 원자로를 안전하게 정지시키기 위한 기기에 전력을 공급하므로 원자로의 안전 유지를 위해 중요한 역할을 수행하고 있다.

비상상황 발생 시 기동 및 부하변동 상황에서 정격 회전속도에 신속하게 도달하는 응답성과 운전 중 정상상태 안정도가 디젤엔진 발전기의 성능을 평가하는 중요한 요소가 될 수 있다. 디젤엔진 발전기의 응답성과 정상상태 안정도는 조속기의 응답상태에 따라 지배적인 영향을 받으므로 적절한 튜닝을 통해 조속기의 응답 상태를 최적으로 설정할 필요가 있다.

본 논문의 실험 대상은 현재 산업계에 사용 중인 W社의 2301A LSSC DD 모델로서 Dynamic(PID 변수)의 변화에 따른 응답 변화 특성을 데이터화하고 튜닝 과정에서 수반되는 Bump Test를 최소화하여 급작스런 부하변동에 따른 기기 손상을 방지하고 튜닝 시간을 단축시키고자 한다.

입력신호는 제어대상인 디젤엔진 발전기의 회전속도 신호와 부하 신호 두 가지를 사용하였다. 회전속도 신호는 제어 대상의 특성에 따라 1회전 당 96 Pulse/Revolution 또는 360 Pulse / Revolution 두 가지를 사용하였다. 부하 신호는 직류 전압 형태로 0 ~ 5 Vdc 범위에서 변화를 주어 Step 형태로 인가하였다. 실험은 디젤엔진 발전기의 전기출력 60Hz에 해당하는 회전속도를 조속기의 설정값으로 입력하고 운전 중 Dynamic(PID 변수)과 직류 전압형태의 부하를 Step으로 주면서 응답 특성을 확인하였다.

시험 결과 W社의 2301A LSSC DD 모델은 I(Reset) 설정값 증가에 따라 $1/\tau$ 가 감소하므로 실제 적분항은 감소하는 특성을 확인하였다.

, E : 설정값과 측정값의 오차

본 특성시험으로 취득한 데이터를 활용하여 조속기 교체 및 기기 성능 변화에 따른 튜닝 수행 시 활용할 수 있는 기초 Data를 확보할 수 있었으며, 조속기 튜닝 시간 및 Bump Test에 따른 기기 손상 가능성을 줄일 것으로 기대된다.

유압 증폭기 검증에 필요한 필수특성 고찰

A Study on Essential Characteristics for Hydraulic Amplifier Dedication

홍태화

한국수력원자력, 중앙연구원

본 논문에서는 가동원전에서 증기터빈의 속도조절 및 출력 제어용으로 중요한 역할을 수행하는 유압증폭기(Hydraulic Amplifier)에 대한 주요특성을 살펴보고 안전성품목으로 대체 사용하는데 필요한 고장모드 분석 및 필수특성에 대해 살펴보고자 한다.

국내 원전의 안전성품목 공급자 감소에 따른 대체품 검증수요 증가에 따라 기계식 조속기, 연료유 및 유압증폭기 등에 대한 관심과 수요가 증가하고 있지만, CGID(Commercial Grade Item Dedication)를 수행해야할 공급자가 부족한 상태로 발전사업자의 부담이 증가하고 있다. 미국의 경우 오랜 경험과 안정적 공급체인이 구축되어 있지만 국내 원전산업의 조달체계는 아직까지 부족한 상태이다. 본 논문에서는 신규 대체품목인 유압증폭기에 대해 국내외 사례 분석과 설계특성을 고려한 필수 검증특성에 대해 살펴보고 앞으로 개선할 사항에 대해 논하고자 한다.

유압 증폭기는 소형 증기터빈에서 주로 대체품 수요가 증가하고 있다. 유압증폭기는 핵심 부품인 Elector-Hydraulic Transducer 타입의 EG-3P Actuator가 동작하고 Actuator의 제어범위를 벗어나는 부분은 기계적 메커니즘을 이용하여 증폭(Amplifier)하고 증기터빈의 스팀량을 조절하여 속도제어 기능을 수행하고 있다. 대체품에 대한 안전성 품목으로 사용하기 위해서는 우선 유압증폭기에 대한 고장모드 영향분석을 수행하게 되는데 이를 위해 유압 증폭기의 설계특성인 기계적 메커니즘에 대한 고찰이 필요하다. 유압증폭기는 Actuator의 전기신호에 따른 움직임을 유압 증폭하여 더 많은 제어를 하기 위해 설계된 것으로서 20~160mA의 낮은 전기입력신호가 Solenoid Coil에 여자 되면 기계적 연결장치와 오일 유압을 통해 회전기계를 동작하여 증기밸브를 제어 한다. 기계식 조속기와 유사한 설계특성에 따라 검증 필수특성도 유사한 특성을 보이고 있다.

Actuator의 Solenoid 코일의 전기 입력신호에 반응하는 최종단의 출력신호(Actuator의 출력 서보위치, 파워 피스톤에 연결된 샤프트의 위치)는 고장모드 영향분석에서 필수적으로 고려되어야 하며 필수 검증특성으로 확인되어야 한다. 이는 모든 기계적 메커니즘으로 연결된 기계장치들이 정상 동작되고 있음을 확인하는데 필수사항으로 Assembly 단위의 검증시 내부 기계부품(파워 피스톤, 스프링, 서보밸브, Servo 피스톤, Return 스프링, Pilot 밸브 플런저 등)의 기술규격을 일일이 확인하기 어려울 때 성능시험을 통해 확인이 가능하다. 또한 유압증폭기 사용 환경에 적합한 오일의 적합성 여부를 판단하기 위해서는 오일성분 분석을 통해 가능하지만 아직까지 국내 검증요건에서 제외되어있는 상태이다.

기계식 조속기 및 유압증폭기와 같은 자재에 대한 검증수요는 지속적으로 증가하고 있지만 유체류(오일)에 대한 검증요건은 제외되었다고 보여지는 상황으로 해외 CGID 전문기관 및 NRC 사례를 참조하여 풀어야 할 과제로 생각한다. 유압 증폭기 대체품 검증의 신뢰성과 실효성 확보를 위해 앞으로 오일 검증을 위한 산업계 전반의 공감대 형성과 인프라 구축 및 노력이 필요한 시점으로 판단된다.

고리원전 주변 해역의 해양관측 및 특성 분석

An Analysis of Ocean Observation and Characteristics around Kori Nuclear Power Plants

양양희, 조현준, 김정미, 강영승*, 김평중*, 이형태*

한국수력원자력 중앙연구원, *(주)전략해양

국내 원자력발전소 주변에 대한 해양희석인자를 산정하기 위해 4개 원전 부지를 대상으로 방사성물질 해양확산평가를 수행하고 있다. 원전 주변 해역에 대한 해양희석인자는 3차원 해양확산 수치모델을 통해 산정하며, 이를 위해 주변 해역에서 해양관측을 이용한 확산 특성 분석이 필요하다.

고리원전 주변 해역의 관측자료를 이용하여 해양특성을 분석하였다. 사용된 자료는 2017년 춘계(5월), 하계(8월) 및 추계(11월)에 관측된 해·조류, 수온·염분과 부표 추적 자료이다. 해·조류 관측은 초음파식 유속계(ADCP)를 해저면(수심 26m)에 설치하여 10분 간격으로 30일간 관측하였다. 수온·염분은 CTD센서를 이용, 15개 정점에 대해 표층에서 저층까지 관측하였다. 부표추적은 GPS 수신장치가 부착된 부표를 이용, 3기의 부표를 동일지점에 동시 투하하여 시간에 따른 이동경로 및 이격거리 등을 관측하였다.

계절별 해·조류에 대한 분석 결과, 춘계, 하계 및 추계에 전층에서 북동~남서 방향으로 왕복성 조류의 특성이 우세하고, 춘계와 추계에는 전층에서 반일주조가 우세하였다. 하계에는 다른 계절에 비해 표층과 중층에서 상대적으로 일주조 성분이 우세하였다. 계절에 따른 수온은 표층에서 춘계 15.20°C, 하계 24.22°C, 추계 21.61°C로 나타났다. 15m 수심의 평균수온은 춘계 14.89°C, 하계 20.41°C, 추계 21.58°C로서, 저층으로 갈수록 낮은 분포를 보였다. 염분의 경우, 표층에서 춘계 34.19psu, 하계 31.89psu, 추계 32.85psu로, 하계에 가장 낮으며, 15m 수심에서는 춘계 34.24psu, 하계 33.12psu, 추계 32.86psu이고 표층과 15m 수심의 평균 염분 차이는 춘계와 추계보다 하계가 1.23psu로 상대적으로 차이가 크게 나타났다.

계절별 부표추적 관측결과를 Okubo 방법을 적용하여 수평확산계수를 산정한 결과, 고리원전 주변 10km 이내에서 춘계 $1.93 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{s}$, 하계 $2.38 \times 10^2 \text{cm}^2/\text{s}$, 추계 $2.21 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{s}$ 이며, 3계절 평균 수평 확산계수는 $8.09 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{s}$ 이다. 관측된 확산계수는 추계에 가장 크고 하계에 가장 작게 나타났는데 이는 관측 당시의 표층해류 및 파랑 등의 영향으로 판단된다.

이상의 결과를 요약하면 해·조류는 전층에 걸쳐 북동-남서 방향의 왕복성 흐름이 우세하며, 수온은 하계에 높은 계절적 특성을 보였다. 염분의 경우, 하계에 가장 낮게 나타났고, 수심에 따른 수온과 염분의 차이는 춘계와 추계보다 하계에 상대적으로 크게 나타났다. 고리원전 주변 10km 이내 수평확산계수는 계절에 따라 상이하게 나타났다.

향후 해양관측 결과를 이용하여 해양확산 모델링을 수행하고, 고리원전 주변해역의 해양희석인자를 산정할 예정이다.

원전 액체 방사성 유출물 해양확산 평가를 위한 황해 해수순환 모델링
Ocean Circulation Modeling of the Yellow Sea for Aquatic Dispersion of
Liquid Radioactive Effluents from Korean Nuclear Power Plants

양양희, 조현준, 김정미, 강영승*, 김민하* 이형래*

한국수력원자력 중앙연구원, *(주)전략해양

국내원전 주변해역에 대한 해양희석인자를 산정하기 위해 한수원은 2006년 동해에 위치한 원전부지에 대해 해양확산 평가체계를 구축한 바 있다. 원전주변 해역의 해양희석인자는 수치모델을 이용하여 산정하는데, 동해 모델의 경우는 일본 큐슈대학 응용역학연구소에서 개발한 RIAMOM(Research Institute for Applied Mechanics Ocean Model)을 이용하여 해양확산평가체계를 구축하였다. 동해와 달리 황해에 위치한 한빛부지 인근 해역은 복잡한 해안선과 얇은 수심 및 넓은 조간대가 분포하여 동해안과는 차이를 나타내고 있다. 또한 해류가 우세한 동해와 달리 황해는 규칙적인 조석성분이 우세한 특성을 가지고 있다. 따라서 해안선이 복잡하고 얇은 수심 특성을 잘 반영하는 MOHID(MODELO HIDRODINAMICO) 모델을 이용하여 확산평가체계를 구축하였다. MOHID 모델은 포르투갈 리스본 대학에서 1985년부터 개발된 모델로 연안과 하구역에 적용할 수 있는 다기능 3차원 수치해석 모델이며 네스팅(Nesting) 기법을 적용하여 보다 정밀하게 관심지역의 해황을 재현하는 특징이 있다. 또한 이 모델은 국내의 국립해양조사원 및 기상청에서도 해황예측을 위해 활용 중에 있다.

한빛원전 가동에 따른 해양확산 평가를 위하여 구축된 해수순환모델은 황해 전체를 포함하는 광역, 중간역 모델과 원전 인근의 협역 모델로 구분된 3차원 해수순환 모델로 구성하였다. 광역모델은 중간역 모델의 초기자료 및 경계자료 추출에 사용되며, 중간역 모델에서 부지반경 10~80km 영역에 대한 해양확산 평가를 실시한다. 또한 격자간격이 약 1km인 중간역 모델을 통해 원전주변 주민선량 평가용 해양희석인자를 산정할 경우 부지경계(약 1km) 부근의 세밀한 평가에 한계가 있기 때문에 협역 모델을 이용하여 부지반경 10km 이내의 해양확산 평가를 실시한다. 본 연구에서는 부지반경 10~80km 영역의 해양확산평가를 위해 구축된 중간역 해수순환모델에 대해 조위, 연속수온 및 연직수온 관측자료를 이용하여 유효성을 검증하였다. 해수순환모델의 유효성 검증에는 국립해양조사원의 5개 조위관측소(어청도, 목포, 서천, 위도, 영광)의 조위자료와 기상청의 파고부이 4개소(군산, 자은, 서천, 영광)의 연속수온 관측자료 및 국립수산물과학원 정선해양관측점 중 중간역 모델 영역내에 위치한 2개 정점(309-2, 310-03)의 연직수온 관측자료를 이용하여 모델계산 결과와 검증을 수행하였다. 조위에 대한 검증결과 5개 조위관측소의 평균결정계수(R^2)은 0.967이고 평균제곱근오차(RMSE)는 0.248m로 모델계산치가 관측치를 잘 재현하였다. 또한 연속표층수온에 대한 검증결과 4개 지점의 평균결정계수(R^2)는 0.810이고 평균제곱근오차는 2.297°C로 모델계산치는 관측수온을 잘 재현하였다. 한편 연직수온분포에 대한 검증결과는 17년간의 평균수온과 비교한 결과, 예측수온은 관측평균수온과 $\pm 3.0^\circ\text{C}$ 이내의 오차범위로 관측수온의 경향을 잘 재현하고 있는 것으로 나타났다.

향후 이와 같이 수립된 해수순환 모델을 이용하여 한빛부지 부근에 대한 액체 방사성유출물의 계절별 해양확산 평가를 수행하여 해양희석인자 산정에 활용할 예정이다.

원자로냉각재 유량 불균형이 노심 사분출력경사비에 미치는 영향 평가 Evaluation of Effect on Core Quadrant Power Tilt by Reactor Coolant Flow Imbalance

문상래

한국수력원자력(주) 중앙연구원 계통안전연구소 노심해석그룹

최근 원자로 누적 운전일수가 증가하면서 노후화된 원자로냉각재 펌프 및 관련 구성품을 교체하고 있다. 본 연구의 목적은 원자로냉각재 펌프 교체 등으로 인한 원자로냉각재유량 불균형 현상이 노심 사분출력경사비에 어느 정도 영향을 미치는지를 평가함으로써 노심 출력분포가 운영기술지침서 운전제한치 이내로 유지됨을 확인하는 것이다.

사분출력경사비(Quadrant Power Tilt)란 상호 대칭방향에 있는 핵연료집합체들의 출력 불평형 정도를 말하는 것으로서 원자력발전소에서는 노심출력분포를 제한하기 위한 수단으로 노심 사분출력경사비를 감시하고 있다. 사분출력경사비를 제한치 이내에서 운전함으로써 냉각재 유량상실사고, 제어봉 이탈사고 또는 원자로보호계통의 원자로정지 기능이 요구되는 가상사고시 1차 핵분열생성물 방벽이 깨져 핵분열 생성물이 원자로냉각재로 방출될 가능성이 있는 핵연료피복재 손상을 제한하거나 방지한다.

핵설계사에서는 노심 장전모형 설계시 핵연료집합체를 원자로에 대칭적으로 장전될 수 있도록 설계하여 이론적인 사분출력경사비는 “0(완전대칭)”의 값을 가진다. 실제 발전소에서는 노심운전제한치감시계통(COLSS, Core Operating Limit Supervisory System)을 이용하여 측정 사분출력경사비가 제한값(0.1)이내에 있음을 실시간으로 감시한다. 노심운전제한치 감시계통에서 측정된 사분출력경사비가 노심보호연산기(CPC, Core Protection System)에 입력된 허용치를 초과하면 운전원에게 경보를 제공한다. 경보 발생시에는 노심보호연산기 사분출력경사비 허용값을 상향 조정하여 원자로운전을 보수적으로 하도록 절차화되어 있다. 또한, 노심보호연산기에 입력된 사분출력경사비 허용값은 핵비등이탈률(DNBR) 및 국부출력밀도(LPD) 계산에 사용되기 때문에 발전소 운전여유도에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 변수이다.

OPR1000형 원자력발전소의 1차 계통은 2-Loop로 구성되어 있으며 원자로냉각재펌프는 총 4대로 구성되어 있다. 최초 운전시 또는 운전중 펌프 교체시에는 원자로냉각재펌프를 정지시켜 유량변화를 측정함으로써 원자로냉각재 유량상실 사고와 같은 안전해석에서 가정된 유량감소(Coastdown) 곡선보다 보수적임을 확인하고 있다.

운영기술지침서 유량제한치(100% ~ 110%) 및 유량감소(Coastdown) 시험을 만족하는 범위내에서 개별 원자로냉각재펌프유량에 대한 편차를 최대로 했을 경우에도 노심 사분출력 경사비 값은 운영기술지침서 제한값 0.1(10%)을 초과하지 않음을 확인할 수 있었으며 운전중 노심연소가 진행될수록 사분출력경사비 값은 점차적으로 감소하여 주기중(MOC, Middle Of Cycle)에는 수렴하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 이전 주기말 핵연료집합체별 연소이력 및 잉여반응도를 고려하여 노심 장전모형을 대칭적으로 설계할 경우 후속주기 사분출력경사비를 최소화할 수 있는 것으로 평가되었다.

원자력발전소 고속 비상디젤발전기 기동상태 진단

Diagnosis of Starting Condition for High Speed Emergency Diesel Engine in Nuclear Power Plant

윤영철

한국수력원자력

국내원자력발전소에서 운영 중인 고속 비상디젤발전기의 기동 건전성 평가를 위하여 실린더 별 초기연소 상태와 기동모터의 동작 상태를 진동신호를 이용하여 진단하였다. 원자력발전소 비상교류전력계통은 소외 교류전원 상실 시 소내정전(station blackout)사고로 인한 노심손상사고의 진전을 방지하기 위하여 짧은 시간 내에 안전관련 부하에 전력을 공급하도록 하고 있다. 신속한 부하수용을 위하여 제한시간 내 정격 전압, 주파수에 도달하도록 하고 있으며 이를 위하여 초기기동 속도를 항상 양호한 상태로 유지해야 한다. 통상 1,000rpm이상의 디젤기관을 고속엔진으로 분류하며 국내원전 및 산업계에서 사용하고 있는 고속 비상디젤발전기는 연소상태를 확인할 수 있는 연소실 압력밸브가 구비되지 않고 최소한의 계측기기가 부착되어 엔진 초기기동상태를 진단하기 어렵다.

엔진을 분해하지 않고 진동 가속도계를 이용하여 각 실린더 별 시간영역(time domain)의 진동신호와 기동 모터의 드라이빙 기어 샵입, 인출 간 발생하는 기계적 충격 신호를 크랭크샵프트 위상신호와 매칭 하여 실린더 별 초기연소 발생 시점과 엔진 승속에 따른 기동 모터 드라이빙 기어의 동작 시점을 비교분석 하였다. 또한 기동 모터 진단 시 기동전압, 전류 변화 상태를 함께 측정하여 기동속도 증가에 대한 모터에 인가되는 부하상태를 예측하고자 하였다. 이후 정격 부하운전 구간에서 초음파 진단기를 이용하여 각 실린더의 압축, 폭발 신호를 동일 위상에서 비교하여 이상누설과 물리적 충격신호를 도출하였다.

실린더 간 시간영역의 진동신호 발생 시점을 크랭크샵프트 위상으로 나열하여 특정 실린더의 실화상태와 초기연소 시점을 확인할 수 있었다. 다년간 운영해야하는 비상디젤발전기 설비특성 상 초기연소 시작 속도 추이를 분석하여 연소기구와 연소실 압축에 관여하는 구성기기의 열화 상태를 평가할 수 있었다. 기동 모터 드라이빙기어 동작에 따른 충격 신호 검출 결과 기동 신호와 함께 샵입되어 설계 인출속도를 초과하여 인출됨을 확인할 수 있었다. 급격한 기동속도의 증가는 초기 연소신호가 발생된 직후 나타났으며 기동속도 증가와 함께 기동모터에 인가되는 기동전류 감소도 함께 나타났다. 정기시험 시 급격한 기동속도 증가 시점을 지속적으로 관찰하여 손쉽게 기동상태 진단이 가능함을 확인할 수 있었다. 정격부하운전 중 실린더 초음파 신호를 시간영역에서 분석한 결과 타 실린더와 부속장치의 외란신호가 검출되지 않고 압축 및 연소로 인해 발생하는 유체흐름 신호를 검출할 수 있어 압축불량에 따른 초기 연소지연 실린더를 진단할 수 있었다.

원전 비상디젤발전기의 실린더 라이너 락커링 현상에 대한 영향 고찰 Study on Influence of Lacquering at Cylinder liner for Emergency Diesel Generator in N.P.P

김명훈, 이상희, 윤영철

한수원 중앙연구원 엔지니어링지원단 기계팀

국내 원자력발전소의 비상디젤발전기(EDG)는 소외전원 상실 시 비상전원을 공급하는 기기로서, 예열 등을 통해 항시 기동 가능한 상태를 유지하며, 매월 성능시험 및 계획예방정비(O/H) 시 종합성능시험을 통해 기기 신뢰성을 확인한다.

최근 국내 가동원전 EDG의 엔진 윤활유 소모량이 비선형적으로 증가하여 확인결과 엔진 외부 누설은 발견되지 않았으나 실린더 라이너 표면이 황갈색으로 착색되었고 호닝(Honing)마크가 사라진 것을 확인하였다. 해당 현상은 라이너 락커링(Lacquering)이라 불리는 현상으로 라이너 호닝(Honing)마크 내 엔진 윤활유 침전물(Deposit)이 형성되는 현상을 말한다.

일반적으로 락커링은 운전시간이 많은 상용엔진에서 주로 발생하고 운전시간이 짧은 EDG의 경우 락커링 현상에 대한 보고가 전무한 상태이다.

락커링이 발생할 경우 라이너와 피스톤 링 사이의 윤활막을 형성하는 호닝마크를 매워 표면이 매끄럽게 되고 윤활막이 얇아져 라이너와 피스톤링 간 마찰력이 증가하여 마모가 증가하게 된다. 또한, 마모에 의해 윤활면의 온도가 상승함으로써 윤활유 소모량이 급격히 증가한다.

락커링은 연료유와 윤활유 잔존물(Ca, Zinc, Salts etc.)들이 불완전연소 시 산화 및 중합 반응을 일으켜 라이너 표면에 점착되고 고온에 의해 경화되는 것으로 추정되고 있다. 이에 대한 원인으로 연료유의 황 함유량과 윤활유의 TBN 수치의 부적합 및 불완전 연소에 따른 영향으로 확인되고 있으며, 고출력 운전 시 자주 발생하는 것으로 알려져 있다.

EDG 실린더를 분해하지 않고 점검하기 위해 엔진 상태진단장비(RT9260) 장비를 이용하여 실린더 연소압력, 실린더 헤드, 연료주입펌프 진동/초음파 신호를 측정하였으며, 그 결과 A뱅크 1번 실린더 헤드 진동/초음파 신호 상 행정 중 크랭크 각도 기준으로 약 70° 간격으로 피스톤링과 라이너의 이상 마찰신호를 확인하였다. 이상 마찰신호에 대한 상태를 확인하기 위해 엔진 정지 중 실린더를 분해하지 않고 라이너 내부를 점검할 수 있는 내부촬영 장비(엔진스캐너)를 이용하였으며 황갈색으로 착색된 락커링 현상을 확인할 수 있었다.

EDG의 락커링 발생은 엔진 윤활유 소모량을 급격히 증가시키며, 해당 실린더의 피스톤링과 라이너의 마모를 야기한다. 점검방법으로는 분해점검이 가장 효과적이거나 원자력발전소와 같이 분해점검이 어려운 경우 엔진 상태진단장비와 내부촬영 장비를 통해 락커링 발생 여부를 확인할 수 있다. 또한 현재 사용하고 있는 연료유와 윤활유의 적합성 확인 및 특정 실린더의 엔진출력 불균형에 의한 불완전 연소를 제거하여 락커링 발생을 방지할 수 있다.

APR1400 설계인증을 위하여 원자로에 대한 안전자문위원회 5단계 심사
Advisory Committee on Reactor Safeguards Phase 5 Review of Reactor
for the APR1400 Design Certification

서정관 · 김윤호

한국수력원자력(주) 중앙연구원

미국 원자력규제기관(U.S.NRC)은 2015년 3월, 한국수력원자력(주)가 신청한 APR1400 원전에 대한 설계인증 심사를 착수하였다. 설계인증은 총 6단계로 구분되며 1단계: 심사질의서 발행 및 예비안전성평가보고서 작성, 2단계: 안전성평가보고서 (미결항목 포함) 발행, 3단계: 안전자문위원회의 안전성평가보고서(2단계 결과) 심사, 4단계: 안전성평가보고서(미결항목 해소) 발행, 5단계: 안전자문위원회의 안전성평가보고서 (4단계 결과) 심사, 6단계: 최종안전성평가보고서 발행으로 진행된다. 2018년 3월 기준, 심사는 4단계 및 5단계를 진행하고 있으며 심사 4단계의 안전성평가보고서는 설계인증문서 18개 장(Chapter) 각각에 대하여 발행되고, 심사 5단계의 안전자문위원회 심사도 각 장에 대하여 수행된다. 본 논문에서는 설계인증문서 4장인 원자로에 대한 안전자문위원회 5단계 심사 내용을 제시한다. 심사 5단계에서는 심사 2단계 및 3단계에서 제시된 미결현안에 대한 처리결과를 주로 설명한다. 심사 2단계 및 3단계에서는 핵연료 연소도 증가에 따른 열전도도 저하영향 평가, 주기말 핵연료집합체 내진성능 입증, 노심보호계산기 설정치 분석 방법론, Versa Vent 안전등급 및 운전경험 등 4개 항목의 미결현안이 있었다. 이를 해결하기 위해 U.S.NRC와 협의 및 심사질의 답변서를 제출하였으며 그 내용을 요약하면 다음과 같다. 열전도도 저하를 반영하기 위해 실험결과에 근거한 penalty 값을 보수적으로 적용하고 분석하였다. 주기말 핵연료집합체 내진성능을 입증하기 위해 미국 웨스팅하우스사 설비를 이용하여 실험을 수행하였으며, 실험결과 핵연료집합체는 지진하중에 대하여 구조적 건전성을 유지함이 입증되었다. 노심보호계산기 설정치 분석 방법론은 신뢰구간 적용 시 단측 검정 및 양측 검정 적용관련이며 단측 검정 적용방법의 보수성을 설명하였다. Versa Vent는 압력경계가 아님을 설명하였고 관련 자료 및 운전경험을 제공하였다. 심사 5단계 결과 모든 미결현안에 대한 답변은 종료되었으며, U.S.NRC는 2018년 9월까지 APR1400 원자로에 대한 최종 안전성평가보고서를 발행할 예정이다.

원자로냉각재계통 및 관련계통에 대한 안전자문위원회 5단계 심사
Advisory Committee on Reactor Safeguards Phase 5 Review
of Reactor Coolant System and Connecting Systems

서정관 · 김윤호

한국수력원자력(주) 중앙연구원

한국수력원자력(주)는 APR1400 원전에 대하여 미국 원자력규제기관(U.S.NRC)의 설계인증을 취득하기 위해 2014년 12월 인허가문서를 제출하였다. U.S.NRC는 2015년 3월, APR1400 원전에 대한 설계인증 심사를 착수하였으며 42개월 목표로 추진 중이다. 설계인증은 총 6단계로 구분되며 1단계: 심사질의서 발행 및 예비안전성평가보고서 작성, 2단계: 안전성평가보고서(미결항목 포함) 발행, 3단계: 안전자문위원회의 안전성평가보고서(2단계 결과) 심사, 4단계: 안전성평가보고서(미결항목 해소) 발행, 5단계: 안전자문위원회의 안전성평가보고서(4단계 결과) 심사, 6단계: 최종안전성평가보고서 발행으로 진행된다. 2018년 3월 기준, 심사는 4, 5단계를 진행하고 있으며 심사 4단계의 안전성평가보고서는 인허가문서 18개 장(Chapter) 각각에 대하여 발행되고, 심사 5단계의 안전자문위원회 심사도 각 장에 대하여 수행된다. 본 논문에서는 인허가문서 5장인 원자로냉각재계통 및 관련계통에 대한 안전자문위원회 5단계 심사 내용을 제시한다. 심사 5단계에서는 심사 2, 3단계에서 제시된 미결현안에 대한 처리결과를 주로 설명한다. 심사 2, 3단계에서는 POSRV 성능, LTOP 분석, 원자로냉각재펌프 모터 관성바퀴 건전성, 안전관련계통 배관 내 비응축가스 축적 방지 등 4개 항목의 미결현안이 있었다. 이를 해결하기 위해 U.S.NRC와 협의 및 심사질의 답변서를 제출하였으며 그 내용을 요약하면 다음과 같다. POSRV 성능과 관련하여 세부 용량근거 및 크기설정 분석결과를 제시하였다. LTOP과 관련하여 질량 및 에너지 분석결과를 제시하였다. 또한, 여기에 사용된 분석 방법, 자료, 입력 및 입력의 보수성을 제시하였다. 원자로냉각재 모터 관성바퀴 건전성과 관련하여 파괴인성 값 제한치, 관성바퀴관련 운전경험, 항복강도 제한치, 피로균열 성장률, 균열크기 검사 허용치, hub 검사방법 등을 제시하였다. 안전관련계통 비응축가스 축적 방지를 위한 검사항목을 제시하였다. 심사 5단계 결과 모든 미결현안에 대한 답변은 종료되었으며, U.S.NRC는 2018년 9월까지 APR1400 원자로냉각재계통 및 관련계통에 대한 최종 안전성평가보고서를 발행할 예정이다.

4차 산업혁명 기술 적용을 통한 원전 설비 신뢰성 검토

Study on the Reliability of Nuclear Facilities through Application of 4th Industrial Revolution Technologies

이병오 · 김대웅 · 민지호

한국수력원자력(주) 중앙연구원

최근 여러 분야에서 핫 이슈되고 있는 4차 산업혁명에 대한 관심은 지난 2016년 1월 스위스의 다보스에서 개최된 세계경제포럼에서 클라우드 슈밥에 의해 소개된 이후 처음 시작되었다. 4차 산업혁명은 인터넷이 이끈 컴퓨터 정보화와 자동화 생산 시스템이 주도한 3차 산업혁명이 시작된 지 불과 반세기 만에 도래한 것으로 디지털, 생물학, 물리학 등의 경계가 없어지고 융합되는 기술 혁명이다.

4차 산업혁명의 핵심기술 중 디지털 기술인 사물인터넷(IoT)은 상호 연결된 기술과 다양한 플랫폼을 기반으로 사물과 인간을 연결하는 새로운 패러다임을 창출하고 있다. IoT 환경에서 생성되는 다양한 데이터를 처리하기 위한 빅데이터(Big Data) 산업이 발달하고 일련의 혁신적인 기술들은 인공지능(AI)이 더해지면서 속도와 범위, 영향력 등 모든 변화가 이전과 비교해 압도적이어서 근본적인 변화를 불러올 수 있다. 2016년 3월 이세돌과 인공지능 컴퓨터 알파고와의 바둑 대결에서, 바둑판 위의 수많은 경우의 수와 인간의 직관 등을 고려할 때 인간이 우세할 것이라는 전망과 달리 알파고가 승리한 것은 AI와 Big Data의 연계 및 융합으로 인해 알파고가 초지능화 수준까지 도달한 대표적인 사례로 볼 수 있다.

이렇듯 AI는 정해진 특정영역에서 인간 초월의 복잡한 문제를 해결하고, 스스로 학습하고 진화를 통해 스스로 주어진 환경을 분석해 자율적으로 판단할 수 있는 등 엄청난 효용을 발휘할 수 있다.

이에 본 논문에서는 4차 산업혁명 핵심기술 적용을 통해 국내 원전 설비 신뢰성 제고 가능성에 대해 검토하였다. 검토 결과, 원전 설비에 IoT, AI 및 Big Data 기술을 적용한다면 감시 및 고장원인 분석 수준을 뛰어넘어 고장시점을 파악할 있는 예측진단까지 가능할 것으로 판단되기 때문에, 국내 가동 원전의 설비 신뢰성은 제고될 것으로 사료된다.

원전 설비 대상 예측진단기술 개발시 고려사항 연구
Study on Consideration in the Development of Predictive Diagnosis
Technology for Nuclear Facilities

이병오 · 김대용 · 민지호
한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력발전소는 무사고 운영 등 안전성을 최우선 목표로 하기 때문에 어떠한 상황에서도 원자력 계통/기기들은 높은 신뢰성을 유지해야 한다. 현재 원전 설비의 신뢰성을 보장하기 위해 현재 일정 기간마다 보수점검을 수행하는 시간기반정비 시스템을 운영하고 있으나, 과도한 유지비용을 유발하고 설비의 갑작스런 고장 및 사고를 예방하지 못하는 한계점이 있다. 이에 반해 고장 진단 및 예지 기술을 적용한 상태기반정비는 설비의 이상을 조기에 감지하고 미래에 발생할 고장을 미리 예측하여 사전조치를 취함으로써 적은 유지비용으로 안정적이고 신뢰성 높게 설비를 관리할 수 있다.

예측진단은 최근 고장예지 및 건전성관리(PHM : Prognostics and Health Management)의 한 요소로, PHM은 센서를 이용하여 대상기기 또는 시스템의 상태를 모니터링하고 고장유무 및 유형을 판단하는 진단기술과 시스템의 고장 시점을 예측하는 기술, 그리고 더 나아가 이를 토대로 건전성을 관리하는 기술까지 포함한다.

예측진단기술은 주로 항공우주시스템에서 활발히 적용되어 왔으며 최근 발전소, 철도 등 기간산업은 물론 자동차 및 대형 건설용 중장비를 대상으로 확대되고 있는 추세이다. 예측진단기술 개발 사례들을 살펴보면 대부분 개발단계로 결과에 대한 검증 제시가 어려워 예측진단 분야 기술 개발이 원전에 적용된 사례는 찾아보기 어렵지만, 원전에 적용된다면 안전성 및 설비 신뢰성은 크게 향상될 것으로 판단된다.

이에 본 논문에서는 원전 설비를 대상으로 예측진단기술 개발에 앞서 장애요인이 될 수 있는 고려사항을 사전에 분석하고 이를 반영한다면 원자력 분야에서 예측진단기술이 확대될 것으로 사료된다.

고압비상충수계통 연결배관 파단 시 설계 안전성 평가
A Design Safety Evaluation of High-Pressure Emergency Makeup
System

강상희, 허선

한국수력원자력 중앙연구원

후쿠시마 원전 사고 후 원전의 안전성에 대한 관심이 높아지면서 발전소 정전사고 (Station blackout accident, SBO)와 같은 고압상태를 유발하는 사고 발생 시 사고를 완화시키고 원전의 안전성을 강화시킬 수 있는 고압비상충수계통 (High-pressure Emergency Makeup System, HEMS)이 제안되었고, 현재 개발 중이다. HEMS는 기존 안전주입탱크(Safety Injection Tank, SIT)의 상부와 가압기의 상부를 압력평형관과 작동밸브로 연결하고, 고압사고 발생시 작동하여 원자로냉각재계통 (Reactor Coolant System, RCS)에 냉각수를 충수하는 계통이다. 이는 사고 발생시 노심손상시간을 지연시키고, 사고 복구 및 운전원 조치시간을 제공하여, 원전의 사고 대처능력을 강화시켜서, 안전성 향상에 기여할 수 있다. 본 연구는 HEMS의 설계 안전성을 평가하기 위하여, 가압기와 안전주입계통 간 연결배관 파단 시 계통 영향을 평가하였다. 가압기와 HEMS 작동밸브까지 연결배관 (6inch, 4inch, 2.5inch)과 HEMS 작동밸브로부터 Hybrid SIT #4 연결배관(2.5inch)의 파단을 모의하였으며, 최적안전해석코드인 RELAP5/MOD3.3로 평가를 수행하였다.

평가 결과 설치된 배관은 파단 측을 통한 1차측 냉각이 가능하고, PAFS가 1대 이상 작동한다면, 연결배관 파단시에도 RCS는 안정된 상태를 유지되는 것을 확인하였다. 또한 4, 6inch 배관의 경우 PAFS가 작동 불능 시에도 파단측을 통한 고압사고로 진행되지 않는다. 그러나, 2.5inch 배관의 경우 PAFS의 작동이 불능일 경우, 일부 고압사고로 진행되지만, POSRV 개방압력 이하로 상승하여, 가용한 Hybrid SIT 설정치에는 도달하지 못한다. 작동밸브와 Hybrid SIT 상부 연결배관 파단의 경우, 파단측을 통한 방출은 크지 않으나, 증기발생기 고갈이후 1차측 압력이 POSRV 작동압력까지 상승하여 POSRV 및 HEMS의 작동밸브의 개방으로 본격적으로 1차측 냉각수가 파단측을 통해 방출되어 노심수위가 급격히 감소한다. 이는 건전한 HEMS를 작동시키는 운전원 조치를 통해 충분히 사고를 완화시킬 수 있을 것으로 판단되며, 본 결과는 설계시 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20131510101670)

기기연계모듈의 최적화 방법 고찰

Analysis of the Method for Optimization of Component Interface Modules

최선미 · 김윤구

한국수력원자력 중앙연구원 신형원전연구소

다양한 산업계의 운전이력으로 입증된 디지털 제어 시스템을 원자력발전소에서 도입하고 운영되고 있다. 원자력 발전소에 도입한 주요 디지털 제어 시스템은 PLC(Programmable Logic Controller) 와 DCS(Distributed Control System)이다. 디지털 제어 시스템은 오류 제로화를 위해 표준화된 확인/검증 절차에 따라 설계 및 제작하여 강인하다. 이런 노력에도 불구하고 디지털 설비의 특성상 잠재적 오류가 내재하고 있어 이를 제거하고자 많은 노력을 하고 있다. 이에 대한 대응방안으로 원자력발전소는 다양성 설계 등을 통하여 극복하고 있다. 그 중 가장 각광받고 있는 설계는 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 이용한 설계이다.

다양성 설계를 위해 기기연계모듈은 보호계통과 다양성보호계통에서의 조작신호를 우선순위를 결정하여 기기로 연결해준다 기기연계모듈은 FPGA를 이용하여 설계/제작되어왔다. 그러나 FPGA에 소프트웨어 확인 및 검증(Software V&V)이 필요한지에 대한 의견이 다양한 상황에서 IEEE 7-4.5.2(2010) 개정되고, NUREG/ CR-7006(2009) 발행됨에 따라 FPGA를 사용한 기기에 대해서는 소프트웨어 확인 및 검증을 수행하거나 모든 경우의 수를 확인하는 100% 시험을 통한 건전성 확인이 요구되었다. FPGA 기반으로 제작한 제품에 대해서는 입력과 출력이 명확하여 확인 및 검증이 가능하다. 하지만, FPGA 제작을 위해 사용한 틀에 대해서는 제작사의 협조가 필수적이고, 엔지니어링 도구가 복잡하여 확인/검증 및 투명성 입증에 많은 기술적 어려움과 시간이 소요할 것으로 예상된다. 따라서, 본 연구에서는 이에 대한 대처로 아날로그 타입으로 기기 개발을 통해 IEEE 1012에 따른 확인 및 검증을 배제하고자 한다.

본 연구는 기기연계모듈 최적 방안 도출을 위하여 국내외 인허가의 부합성, 기기연계모듈 설계의 구현 가능성 및 제작 타당성 측면에서 다양한 검토를 통한 최적설계가 도출되었다. 향후 검토된 아날로그 타입의 후보군의 프로토타입 제작, 기능/성능의 확인 및 검증을 통하여 기기연계모듈의 최적 제작 타입을 결정하고 수출노형 및 신형원전에 탑재할 계획이다.

1열로 배열된 배관에 충격파 충돌시 2차원 압력거동 해석

Two Dimensional Pressure Behavior Analysis for Shock Wave Impact on Pipes Arranged in One Line

권순국 · 김윤호

한국수력원자력(주) 중앙연구원

미국 원자력규제위원회(NRC)는 mPower Design-Specific Review Standard(DSRS)을 통하여 고압배관 파단하중 평가를 위한 ANSI/ANS 58.2(Design Basis for Protection of Light Water Nuclear Power Plant Against the Effects of Postulated Pipe Rupture)의 비보수성을 제기하였다. 본 연구에서는 몇 가지 지적 사항 중 고에너지배관 파단시 발생할 수 있는 충격파에 대한 우려를 검토하고자 한다. 발전소가 보여줄 수 있는 여러 형태의 배관배열 상태 중 Test Case로서 1열로 배열된 배관을 선정하였다. 충격파 충돌시 1열로 배열된 배관 형태에 의한 압력분포가 어떻게 변하게 되는지 전산유체해석을 통하여 확인하였다. 이를 위하여 인접배관을 직접 타격할 수 있는 형태로 양단 순간파단 조건의 고에너지배관을 모델링하였다. 파단시 파단부위에서 주위 공간과 압력 차이에 의한 충격파가 발생하며 충격파 발생과 동시에 배관내부 유체의 분출로 인한 제트가 발생한다. 파단부위로부터 발생하는 충격파와 제트는 관심대상인 1열로 배열된 배관을 직접 충돌한 이후 복잡한 압력분포를 보인다. 아울러 배열형태에 따른 압력분포의 비교를 위하여 종횡으로 배열된 두 개 Case를 각각 모델링하여 그 차이를 비교하였다. 효율적으로 본 해석을 수행하기 위하여 배관 배열 및 형상을 2차원 단면 형태로 형상을 단순화하여 수치해석을 진행하였다. 추후 본 연구를 심화시켜 본 해석을 통한 압력분포를 이용하여 배관 구조해석모델에 적용하여 구조해석 결과를 확인할 예정이다.

스마트에너지시티 관리 시스템의 기능 요구사항에 대한 고찰
A Study on the Functional Requirements of Smart Energy City
Management System

김선정 · 이병철 · 홍인영

한전KDN

최근 전 세계적으로 신기후체제 등장 이후 친환경 에너지 전환 추세로 에너지산업이 변화하고 있으며 새로운 비즈니스 모델이 요구되고 있다. 이러한 에너지산업의 변화와 맞물려 4차 산업혁명이 이슈가 되면서 ICT 기술이 요구되고 있으며, 에너지산업과 ICT 기술이 융합된 사업모델이 급부상하고 있다. 최근 정부도 4차산업혁명 선도 프로젝트로 스마트시티 조성사업을 제안하고 있으며, 이를 신성장동력의 핵심 플랫폼이 될 것이라고 예상하고 있다. 그러나 현재까지 진행된 국내외 스마트 시티의 진행 사례를 보면 교통, 재난, 안전 등에 초점을 맞춰 진행되었고, 최근에 들어서야 에너지 분야가 이슈가 되기 시작했다.

이에 본 논문에서는 에너지 관점에서 스마트 시티 관리 시스템을 구성하기 위해 필요한 기능에 관하여 소개하고자 한다. 먼저 기존 스마트 시티의 국내외 사례를 조사하여 동향을 파악하고, 적용된 기술에 대해 비교·분석을 수행하였다. 또한 선행 연구 되었던 에너지 모니터링 및 관리 시스템들의 아키텍처와 기능을 분석하였다. 이를 바탕으로 스마트 시티에 적용될 에너지 관리 시스템이 필요로 하는 기능 요구사항을 도출하였다.

본 논문에서는 도출된 요구사항과 함께 시티 내 전기, 난방, 가스 등 에너지 인프라를 효율적으로 관리하기 위한 시스템 기능을 제시하며, 이를 바탕으로 에너지 관점에서 스마트 시티 관리 시스템의 설계 모델을 제안한다. 이는 향후 해외진출을 위한 스마트에너지시티의 방향을 제시할 수 있을 것이다.

국제협력 실효성 제고를 위한 에너지 기술 글로벌 기술수요맵 구축
Development of Co-beneficial Global Project
Using Technology Assessment Map

정지후 · 최상진 · 백운호

한국에너지기술연구원 글로벌전략실

전 세계적으로 연구개발에 따른 비용과 위험을 줄이고, 기후변화나 미세먼지 등의 환경문제를 해결하기 위한 수단으로 과학기술 국제협력이 주목받고 있다. 미국, EU, 일본 등 주요 과학기술 선진국들은 국제협력 강화를 국가 R&D 주요 전략으로 설정하여 강력하게 추진하고 있으며, 한국 또한 국제협력 선진화 방안을 수립하여 각 부처별로 국제협력지원 사업을 추진하고 있다. 그러나 국제협력 대상 국가 및 기관에 대한 미흡한 정보와 전략으로 인해 국제공동연구 과제에 성공률이 낮다는 지적을 받고 있다. 특히 해외기관에 일방적인 예산지원 형식으로 진행된 연구들이 많고, 상호호혜적인 연구과제 발굴이 어려워 국제협력 사업의 실효성이 낮은 실정이다.

국제협력의 실효성을 제고시키기 위해서는 협력 대상국가와 기관에 대한 충분한 분석을 바탕으로 전략을 수립하는 과정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 국제협력 대상기관들의 기술 수준과 공동연구 수요 등의 정보가 반영된 글로벌 기술수요맵 구축 과정을 제시하고자 한다. 우선 청정에너지기술 분류 기준을 바탕으로 분석을 위한 주요 에너지 기술을 선정하고 기술별로 과거 국제공동연구 내역을 조사하였다. 다음으로 해외유관기관들의 기술수준 분석을 위해 문헌조사를 실시하여 해외유관기관들의 기초정보를 수집하였고, 국내 전문가를 대상으로 설문조사를 수행하여 연구분야별 선진기관, 해당 기관의 핵심기술, 기술수준 격차 등을 파악하였다.

다음으로 정성적이고 주관적이라는 전문가조사의 한계점을 보완하기 위해 특허분석을 수행하여 각 기관 기술들의 권리성, 경제성, 기술성 등을 정량적으로 비교하였다. 전문가들에게 추천받은 키워드를 바탕으로 특허검색식을 작성하였고, 연구분야별 선진기관들의 보유특허 개수를 조사하여 양적인 측면을 비교하였다. 특허의 질적 수준을 평가하기 위해 피인용지수, 현재영향지수 등을 비교하였고, 해외기관들의 대표특허를 특허전문가들이 평가하고 점수화하여 특허분석의 신뢰도를 제고하였다.

해외유관기관들의 기초정보 조사를 위한 문헌연구와 전문가조사 및 특허분석을 통한 종합적 기술수준평가 결과를 바탕으로 국제협력 기술수요맵을 작성하고, 이를 지도 및 도표 형식으로 시각화하여 연구자들이 신속히 관련 정보를 확인할 수 있도록 하였다. 향후 지속적인 기술수준 분석을 수행하여 기술수요맵 신뢰도를 제고시킬 필요가 있으며, 국제협력 수행시 기술수요맵을 적극 활용하여 상호호혜적이고 실효성 있는 국제공동연구가 이루어지길 기대해 본다.

도시 에너지관리시스템 시험을 위한 강화학습기반 에너지 사용 가상데이터
생성 방안

A Method of Reinforcement Learning Based Energy-Usage Virtual Data
Generation for City Energy Management System Testing

이병철 · 김선정 · 홍인영

한전KDN

도시 에너지관리시스템(City EMS)은 도시 에너지(전력, 가스, 난방) 사용량 계량 데이터를 수집하여 분석하고, 가공을 통해 에너지 소비패턴 및 통계, 수요량 예측, 에너지 사용 취약점 분석, 에너지 수급계획 뿐만 아니라 에너지의 공급·소비를 모니터링하고 제어함으로써 에너지의 효율화와 절감을 목적으로 하고 있다. 그래서 도시 에너지관리시스템(City EMS) 테스트를 위해서는 에너지 공급과 소비에 대한 실시간 데이터가 반드시 필요하다. 하지만 에너지원별 공급 및 운영하는 기관이 상이하여 통합 관리되지 않아 도시 에너지관리시스템(City EMS) 테스트에 어려움이 있다.

그래서 본 연구에서는 도시 에너지관리시스템(City EMS)을 테스트하기 위하여 공공정보 포털과 국토부 등에서 공개하는 도시 에너지(전력, 난방, 가스)의 월 사용량 데이터를 기반으로 에너지 사용 통계 및 패턴정보를 강화학습 기반의 인공지능 알고리즘을 이용하여 가상 데이터 생성 모델을 만들고, 생성된 모델을 통해 에너지의 시간 사용량, 일 사용량을 생성하는 시스템 및 방법을 제시한다.

본 연구에서 제시한 방법은 실 계량 데이터가 없는 경우에도 확보 가능한 에너지 월 사용 데이터만으로 시간, 일, 월 사용량 데이터 생성이 가능하여 도시 에너지관리시스템(City EMS)의 기능 테스트를 할 수 있으며, 이를 통해 완성도 높은 도시 에너지관리시스템 개발이 가능한 장점이 있다.

동북아 국가의 발전원별 대기오염 외부비용 비교

A Simple Estimation of Health Cost of Air Pollution from Power Generation Technology in Northeast Asian Country

정환산 · 김승수 · 정익

한국원자력연구원 에너지환경연구실

매 격년 발간되는 예일대 환경성과평가 2018년 판에 따르면 동북아 국가들의 환경성과 순위는 평가대상 180개국 중에서 대만, 일본, 중국, 한국이 각각 37위, 10위, 136위, 40위로 평가되었다. 이에 비해 호흡기 질환에 치명적인 영향을 미치는 미세먼지(PM2.5) 노출은 각각 158위, 131위, 178위, 173위로 최악의 수준인 것으로 평가되어 있다. 대기오염은 국경을 넘는 동북아지역에 영향을 미친다는 점을 감안할 때, 미세먼지로 부터 국민 보건을 지키기 위해서는 역내 국가별 저감대책도 중요하지만, 지역국들의 공동 노력이 있어야 실질적인 성과를 기할 수 있다.

이 연구는 그 시발점으로 발전부문 대기오염물 배출에 따른 보건영향을 비용으로 추정하였다. 이 추정에는 상용 발전기술들의 전과정(Life Cycle)에서 발생하는 대기오염물 배출량과 이의 역내 확산특성 그리고 이에 따른 외부비용을 국가별 거시경제 지수를 활용하였다.

이 연구는 우리나라를 비롯해 대만, 일본, 중국의 동북아 지역국의 발전원별 배출계수 평가를 기반으로, 보건영향은 유럽의 영향계수를 인용했다는 한계를 갖는다. 이러한 제약에도 불구하고, 지역국 대기오염의 상당한 비중을 차지하고 있는 전력부문의 활동이 대기오염을 통해 국민보건에 미치는 외부비용으로 평가하는 일련의 과정을 제시했다는 점에서 적지 않은 의미를 갖는다.

핵심어) 동북아 국가; 발전부문, 대기오염; 보건영향; 외부비용

Key Word) Northeast Asian country; Power generation sector; Air pollution; Health impacts; External cost

탈원전 시대에서의 발전차액지원제도의 고찰과 해외 신재생에너지 지원 정책 논의

천세학

서울과학기술대학교 경영학과

우리나라의 발전차액지원제도(FIT)는 2002년에 도입하여 2011년까지 시행되다 재정증가와 전기요금 인상 부담에 폐지됐다. 대표적인 원자력 발전 국가인 우리나라로서는 탈원전 정책에 따라 신재생에너지 발전에 더욱 비중을 두는 계획을 세우고 있다. 본 연구에서는 우리나라가 탈원전 이행에 따른 신재생에너지의 발전 의존도를 살펴보고, 해외의 신재생에너지 정책을 비교하면서 우리나라 신재생에너지 산업의 발전방안을 도출하고자 한다.

에너지정책수립 관점에서의 외부효과 고려

Consideration of the external effects for the rational energy policy

김승수 · 정환삼 · 정익

한국원자력연구원 에너지환경연구실

전력을 비롯한 에너지의 공급을 위해서는 다양한 종류의 투입요소와 산출물이 존재하게 된다. 특히 전력수요의 지속적인 증가는 원자력, 석탄화력, 신재생 등의 발전원으로 인한 사회·환경적 영향에 대해 관심을 고조시키고 있다. 전기요금의 비용항목 및 미래 발전원 구성의 합리적 틀을 구축하기 위해서는 이러한 사회·환경적인 외부적 영향에 대해 개념의 체계화, 비용평가 및 내부비용화의 객관적 타당성에 대한 분석이 필요하지만 이에 관련된 연구는 매우 부족한 것이 현실이다. 특정의 에너지원과 관계된 모든 비용과 편익은 정확한 측정과 평가가 가능하다면 원칙적으로 정책결정과정에서 반영되는 것이 효율적 자원배분과 효용의 극대화 측면에서 필요하다. 그러나 현실적인 한계와 불확실성으로 인해 평가과정이 쉽지 않고 합의점을 찾는 것에 많은 어려움이 예상되고 있다. 본 연구에서는 전력부문에서의 외부효과에 대해 논의되고 있는 비용 및 편익항목에 대한 개념적 특성을 조사·분석하고 평가항목에 대한 비교를 통해 정책적 시사점을 도출해 보고자 하였다. 본 논문은 외부효과의 합리적 정책방향설정을 위한 인프라 연구로서 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 향후에는 더욱 광범위하고도 체계적인 조사, 평가방법의 타당성, 발전원간의 형평성, 국내 에너지시장에서의 적용가능성 등에 대한 지속적인 노력이 요구된다.

핵심어) 외부효과, 전력정책, 외부비용

Key Word) External effects; Electricity policy; External cost

효과적인 이산화탄소 분리를 위한
실리카로 구성된 방향성을 가진 DDR 제올라이트 분리막
A Siliceous & Oriented DDR Zeolite Membrane
for Effective Carbon Dioxide Separation

정양환 · 최정규

고려대학교 화공생명공학과

A siliceous deca-dodecasil 3R (DDR) zeolite with a pore size of 0.36×0.44 nm². This pore size of DDR zeolite is desirable for membrane-based separation of CO₂ (0.33 nm) from N₂ (0.364 nm), which is important in the post-combustion carbon capture process, through molecular-sieve effects. For the first time, we acquired hydrophobic and *h0h*-oriented DDR zeolite membranes through the epitaxial growth of a DDR seed layer with a structure directing agent (SDA) of methyltropyinium iodide. The degree of the out-of-plane orientation and inter-growth was increased with the secondary growth time, while reducing the defects that provide non-selective pathways. The resulting DDR membrane showed a CO₂/N₂ separation factor (SF) of as high as 15.9 at 50 °C (typical flue-gas temperature) in the presence of H₂O vapor (3rd largest composition in the flue-gas). The hydrophobicity of the siliceous DDR membrane is beneficial for improving CO₂/N₂ SFs under wet conditions.

3단 촉매-흡착 반응기를 이용한 SF₆ 전환 효율 향상 및 부산물 제거 공정에 관한 연구

The improvement of SF₆ conversion and the process for removal
by-products using the three-stage catalyst-adsorption reactor

한재윤 · 김창현 · 이보름* · 임한권* · 이관영 · 이신근**

고려대학교 화공생명공학과, *대구가톨릭대학교 신소재공학과, **한국에너지기술연구원
분리변환소재연구실

육불화황(sulfur hexafluoride, SF₆)은 높은 절연 상수, 열·화학적 안정성과 더불어 낮은 독성에 의해 다양한 산업과 제조공정에서 사용되고 있다. 반면에, SF₆는 지구 온난화 지수(global warming potential, GWP)가 이산화탄소(carbon dioxide, CO₂)에 비해 23,900배 이상 높고, 대기 중에 800~3,200년간 체류한다. 이러한 SF₆의 배출량 제어는 흡착 및 분해를 통한 제거법이나, 분리 공정을 통해 재활용이 이루어진다. 그러나 흡착과 분리공정은 대량의 배출가스에서의 오염 억제를 제어하는데 처리량의 한계가 있어 분해공정을 통해 해결하려 했으나, 열, 플라즈마 또는 촉매분해를 통해 발생하는 부산물들이 불화수소(hydrogen fluoride, HF) 및 황산화물(sulfur oxides)들로 이루어져 있어 추가적인 처리장치가 필요하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 촉매-흡착제의 3단 구성을 통해 SF₆의 분해율 향상과 함께 부산물로 형성되는 HF와 SO_x를 제거할 수 있는 다단 반응기 구조를 제시하였다. 촉매로는 인산(phosphoric acid, H₃PO₄)기반의 단순 침적법을 통해 제조된 P/γ-Al₂O₃를 사용하였고, 흡착제로는 수산화칼슘(calcium hydroxide, Ca(OH)₂)을 사용하였다. 촉매와 흡착제의 다단 구성을 위해 1인치 직경의 인코넬 반응기에 교대로 적층시켰다. 촉매-흡착제 분해반응 시 SF₆ 농도는 5,000ppm, 수분은 전체 유체의 8%로 주입하였고 공간속도는 2,000h⁻¹의 공정 조건에서 실시하였다. 또한 공정의 신뢰성을 향상시키기 위해 상용 공정 전산모사 소프트웨어인 Aspen HYSYS®(Aspen Tech, USA)를 사용하였으며 실제 실험 결과와의 비교를 통해 오차와 공정 변수들을 제어하였다. 실험 결과 SF₆는 수화반응을 통해 분해되고, 흡착제인 수산화칼슘과 불화물 및 황화물 형성 반응에 의해 부산물들이 제거되었다. 그리고 촉매 단일 반응기에 비해 873K의 공정온도에서 25%, 923K에서 9% 및 973K에서 1.4% 향상된 제거 효율을 보였다. 결과적으로, 전산모사 결과를 기반으로 다단 촉매-흡착제 반응기 구성에 의해 반응 효율을 향상시킬 수 있는 지침을 제시하였고, 기존 촉매 분해반응의 단점인 부산물 문제를 해결할 수 있는 공정방법을 제시하였다.

아민-실리카 이산화탄소 흡착제의 물리 화학적 안정성 증진을 위한
더블레이어 구조의 효과에 대한 연구

Study on the Effect of Double Layer Structure for Amine-Silica CO₂
Adsorbent to enhance Physical and Chemical Stability

전선빈 · 정현철* · 김성현 · 이기봉

고려대학교 화공생명공학과, *한국화학연구원

인류의 산업 활동으로 인한 CO₂의 배출량은 꾸준히 증가해왔으며, 지구 온난화를 유발하는 주요한 요인이 되고 있다. 이러한 CO₂의 배출량을 줄이기 위해 범지구적인 노력이 요구되고 있으며, 특히 이산화탄소의 흡착제 개발에 대한 연구활동이 증가하고 있다. 많은 이산화탄소 흡착제 중에서 아민 기능화 흡착제는 연소 배가스에 포함된 수분 및 저농도의 CO₂ 조건에서도 CO₂에 대한 선택도와 흡착성능이 우수하기 때문에 많은 각광을 받고 있다. 그러나, 아민 기능화 흡착제는 아민의 침출, 증발 그리고 고온 CO₂분위기에서 비가역적인 요소 형성과 같은 물리적, 화학적인 안정성에 문제가 있다고 알려져 있다. 본 연구에서는, 아민-실리카 흡수제가 보유하고 있는 물리적, 화학적인 안정성 문제를 해결하기 위해 새롭게 더블레이어 함침구조를 도입하였다. 첫 번째 레이어에는 epoxy로 개질된 아민을 담지하였고, 두 번째 레이어에는 diepoxide로 개질된 아민을 담지하였다. 제조된 흡수제의 물리적 안정성을 평가하기 위하여, hydrothermal treatment 및 washing treatment를 진행하였으며 이에 대한 분석은 TGA pyrolysis 및 BET N₂ physisorption을 통해 진행하였다. 더블레이어 구조를 형성한 흡착제는 그렇지 않은 흡착제보다 아민의 침출 및 증발을 억제하는 결과를 보여주었으며, 이는 곧 물리적인 안정성이 증진되었다고 평가 할 수 있었다. 화학적 안정성 및 long-term stability를 평가하기 위하여, 15 cycle simulated temperature swing adsorption (TSA) 및 DRIFTS를 진행하였으며, 더블레이어 구조의 흡착제가 화학적 안정성 및 long-term stability도 우수함을 확인하였다.

경제적인 산업배가스 내 이산화탄소 저감을 위한 도심형 미세조류 기반 탄소자원화기술 개발

홍민¹ · 장원석² · 심상준^{1*}

¹고려대학교 화공생명공학과, ²한국지역난방공사 미래개발원, *고려대학교 화공생명공학과

화석연료의 연소를 통하여 얻은 양질의 에너지는 국가 발전의 원동력이지만 이와 더불어 발생하는 대규모 온실가스, 그 중에서도 이산화탄소(CO₂) 처리 문제는 ‘파리기후협약’ 이후로 이제 에너지 산업 전반에 걸쳐 해결해야만 하는 녹록치 않은 과제가 되고 있다. 온실가스 저감을 위하여 신재생에너지(태양, 풍력), 신에너지혁신기술(수소에너지, 핵융합에너지)들이 거론되고는 있지만 기술적 한계, 고비용, 위험성 등의 제약으로 인하여 아직까지는 범용적으로 적용하기 어려워 현실적으로 화석연료 기반의 산업을 상당 부분을 유지할 수밖에 없으므로 이산화탄소 처리 기술의 개발이 어느 때보다 부각되고 있는 실정이다. 한편, 현실적으로 CCS(CO₂ capture and storage) 기술의 경우 비용이 많이 들고, 국내에 다량의 CO₂를 저장할 공간 확보가 쉽지 않은 상황 속에서 버려지는 CO₂를 고부가 유용물질로 탈바꿈하는 미세조류 기반의 생물학적 탄소자원화기술의 상용화는 온실가스 저감과 더불어 사업화도 가능한 일석이조의 효과를 기대할 수 있다. 본 연구에서는 저비용, 저에너지, 고효율의 경제적인 이산화탄소 처리 기술의 확보를 위하여 저비용 도시보급형 광생물반응기 시스템, 태양광, 폐열 및 ‘한국지역난방공사’ 내 실제 산업배가스를 이용하여 고부가기능성물질 생산형 미세조류 배양 시스템을 구축하고, 실증하였으며, 경제성 분석을 통하여 그 사업성을 확인하였다.

Immobilization and Stabilization of Carbonic Anhydrase for Carbon Dioxide Conversion on Magnetic Mesoporous Silica Coated Chitosan Crosslinking

Eunjung Son · Kie Moon Woo · Inseon Lee · Sunhyung An* · Jinwoo Lee* · Jungbae Kim

Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University

*Department of Chemical Engineering, Pohang University of Science and Technology
(POSTECH)

As one of promising carbon dioxide (CO₂) reduction technologies, enzymatic approach has been proposed. Carbonic anhydrase (CA) enzyme can catalyze the conversion of CO₂ to bicarbonate at a high turnover rate (k_{cat}) up to 10^6 s^{-1} , and the bicarbonate can be further utilized for various chemical synthesis including calcium carbonate generation. However, the low stability of CA often hampers its practical uses. In the present work, CA was immobilized and stabilized in magnetically-separable spherical mesocellular siliceous foam (Mag-S-MCF) via crosslinked chitosan coating approach. After adsorption of CA in Mag-S-MCF, chitosan (CS) was adsorbed onto the surface of Mag-S-MCF and crosslinked each other by glutaraldehyde (GA) treatment (ADS-CA/CS-GA). The activity of ADS-CA/CS-GA was maintained for 85 days under shaking (200 rpm). Based on the highly stable ADS-CA/CS-GA, two reactor system was designed for CO₂ conversion and utilization. ADS-CA/CS-GA converted CO₂ to bicarbonate in the first reactor, and the calcium carbonate was generated by the reaction with produced bicarbonate and calcium ion in the second reactor. ADS-CA/CS-GA could be easily reused via facile magnetic separation. ADS-CA/CS-GA was recycled and reused for thirty times for CO₂ conversion. The protocol of crosslinked chitosan coating on the surface of magnetically-separable mesoporous silica can be applied to immobilize and stabilize various other enzymes whose poor stabilities inhibit their practical applications.

Enzymatic CO₂ Conversion and Its Utilization for the Accelerated Microalgae Growth in One-Pot Bioreactor

Subeen Wie · Sung-Gil Hong · Hancheol Jun* · EonSeon Jin* · Jungbae Kim

Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University

*Department of Life Science, Research Institute for Natural Science, Hanyang University

Carbon dioxide (CO₂) in atmosphere can be converted into bicarbonate by using a biocatalyst, carbonic anhydrase (CA). CA can catalyze the hydration of CO₂ to bicarbonate with a fast reaction rate. However, the successful application of biocatalytic CO₂ conversion requires the stabilization of CA activity and the development of appropriate bioprocess. Here, we developed one-pot bioprocess, where CO₂ was converted to bicarbonate with immobilized and stabilized CA, and simultaneously utilized for the microalgae growth. CA was immobilized and stabilized in the form of magnetically separable enzyme precipitate coatings (Mag-EPC) based on carboxylated polyaniline nanofibers (cPANFs). For the preparation of Mag-EPC, enzymes were covalently attached on the cPANFs, followed by the enzyme precipitation and crosslinking with amine-functionalized magnetic nanoparticles. Mag-EPC showed a good stabilization of enzyme activity, and their half-lives was 236 day under shaking condition. Highly stable Mag-EPC was introduced to microalgal culture for the demonstration of one-pot CO₂ conversion and utilization system. Atmospheric CO₂ was converted to bicarbonate under the catalysis of Mag-EPC and the bicarbonate expedited the growth of microalgae. Mag-EPC increased the microalgal concentration by 1.8-fold compared to control sample with no Mag-EPC. Mag-EPC maintained its biocatalytic performance during the three times of recycled use. CA based one-pot CO₂ conversion and utilization system potentially reduces the atmospheric CO₂ concentration, while the reduced CO₂ can be exploited for enhancing the microalgal growth, which produce useful chemicals including biodiesels.

PM (Particulate Matter) 저온 제거를 위한
세륨-프라세오디뮴 혼합 산화물 형상 제어 촉매 연구

PM removal catalyst research by
morphology controlled Ce-Pr mixed oxide catalyst

정은진 · 이재환 · 박정선 · 이성호* · 이관영

고려대학교 화공생명공학과, *고려대학교 초저에너지 자동차 초저배출 사업단(SULEEV)

PM(Particulate Matter)은 내연기관의 불완전 연소에 의해 발생하는 오염 물질로, DPF(Diesel Particulate Filter)를 통해 분리되고 연소된다. 이 때 촉매를 이용하면 저온에서 PM을 제거할 수 있어 후처리 장치에서 추가적인 연료 소모 없이 배출가스 규제를 맞출 수 있다.

산화 촉매의 활성화에 중요한 특징 중 하나는 산소 저장 능력(Oxygen storage capacity, OSC)이며, 대표적으로 세리아(CeO_2) 촉매에서 OSC가 우수하여 널리 연구되고 있다. 세륨에 희토류 금속인 프라세오디뮴(Praseodymium, Pr)을 함께 혼합하여 복합 산화물 형태로 합성하면 OSC가 향상된다는 연구 결과가 보고되어 있다. PM이 고체 물질이기 때문에 촉매-PM 접촉 형태가 산화 능력에 큰 영향을 주며 최근 나노 크기의 다양한 형태의 합성법과 활성이 연구되고 있다.

본 연구에서는 접촉 면적을 증가시킬 수 있는 섬유 형태(fiber)로의 형상 제어 합성법을 이용하여 Ce-Pr 혼합 산화물 섬유 모양 촉매를 합성하였다. 또한, 촉매 특성화 분석과 PM과의 산화 반응 테스트를 진행하여 두 분석 결과 사이의 상관관계에 대하여 연구하였다.

Influence of activated carbon on properties of Pt/C catalysts

Mi Yeon Byun · Jae-Ho baek · Dae-Won Park* · Man Sig Lee†

*Ulsan Regional Division, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH), Ulsan,
Korea*

**Department of Polymer Science and Chemical Engineering, Pusan National University,
Busan, Korea*

Activated carbon (AC) have been used as support for precious group metals (PGMs) catalysts due to excellent electrical conductivity, chemical stability. However, inert surface of carbon requires surface modification to improve of metal and support interaction. There are many AC surface modification method such as acid, base, thermal treatment. Herein, the influence of acid pretreatment of activated carbon on particle size and distribution of Pt was investigated. AC was pretreated with different concentration of HNO₃ and H₂SO₄ solution for 2 h. The Pt/AC catalysts were prepared by deposition-precipitation method. The effect of pretreatment on the properties of the AC supports were studied by XRD, FT-IR, and N₂ adsorption and desorption. The prepared Pt/AC catalysts were further characterized by CO-chemisorption and FE-TEM. The CO-chemisorption results showed that Pt/AC(4M) catalyst had the highest Pt dispersion of 45.1%, whereas the Pt/AC(2M) and Pt/AC(8M) catalyst had relatively low dispersion of Pt. The acid pretreatment of AC have an effect on not only surface functional group but also pore size distribution.

MAPbI₃ 페로브스카이트 태양전지의 전기장 및 광 열화에 대한 연구
Light and Electric field induced degradation of MAPbI₃ perovskite solar cells

김동환 이해석* 강윤목* 배수현 이상원 박세진

고려대학교 신소재공학과 *고려대학교 그린스쿨대학원

Perovskite 태양 전지는 짧은 연구 기간에도 불구하고 23%에 근접하는 높은 효율을 달성하였고 차세대 태양전지로써의 가능성을 보여주고 있다. 하지만 아직까지 태양광 시장에 도입되기 위해 해결되어야 할 문제 또한 존재한다. 특히 모듈화를 통한 상품화시 페로브스카이트 태양전지의 장기 안정성이 입증되어야 한다. 여러 연구 결과들을 바탕으로 페로브스카이트 태양전지는 수분, 자외선, 광, 열 및 전기장 등의 외부에서 인가될 수 있는 환경에 비교적 취약하며 열화가 될 수 있다고 알려져 있다. 여러 환경요인 중 본 연구에서는 페로브스카이트 태양전지의 광 및 전기장에 의한 열화에 대한 연구를 진행하였다. 수분 및 산소 침투를 방지하기 위해 모든 태양전지는 UV 경화 물질로 encapsulation 되었다. 먼저 UV에 의한 열화 관찰을 위해 325nm의 자외선 빛을 조사하며 출력 변화를 관찰하였다. 1000시간 이상의 장기 광조사 실험을 바탕으로 단시간, 장시간에 걸친 열화의 원인이 다름을 관찰하였고, UV에 의한 열화 현상의 메커니즘을 제안하였다. 다음으로 전기장에 의한 페로브스카이트 태양전지의 안정성 확인을 위해 다양한 전압을 태양전지에 인가한 후 출력 변화를 관찰하였다. 측정된 current decay 결과를 바탕으로 전기적 분석을 진행하였고, 태양전지의 열화는 내부의 이온 이동에 기인한 것으로 예상하였다. 최종적으로, 본 연구를 통해 광 및 전기장에 의한 열화 현상의 예상되는 메커니즘을 제안하였다.

Recovery of Palladium from the Spent Pd/Al₂O₃ catalyst by Leaching in Sulfuric Acid

Ye Eun Kim^{*,**}·Mi Yeon Byun^{*,***}·Junghwan Kim^{*}·Kwan-Young Lee^{**}·Man Sig Lee^{*,†}

Ulsan Regional Division, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)^{*}

Department of Chemical and Biological Engineering, Korea University^{**}

Department of Polymer Science and Chemical Engineering, Pusan National University^{***}

Platinum-group metals (PGMs) are widely used in various industrial applications such as catalysts, dental alloys, and jewellery. Recovery of PGMs has been attracting many attention due to their limited resources. Typically, PGMs are extracted through hydrometallurgical and pyrometallurgical process with using HCl, HNO₃, and chloride salt. In this study, we investigated the economic and simple recovery process of palladium (Pd) by using sulfuric acid as leaching solution. The recovery of Pd was divided into two processes. First, the spent catalysts were initially leached in different concentration of sulfuric acid (1M to 5M) to dissolve the spent catalysts. Second, the recovery of Pd in leached solution was performed by reduction process using aluminum as a reducing agent. The crystal structure of the residue was characterized by X-ray Diffraction (XRD). The content of Pd and Al₂O₃ were determined by inductively coupled plasma atomic emission (ICP-AES). The results showed that the efficient leaching conditions were obtained as follows: 5M H₂SO₄ at 110 °C for 2 h. Pd was effectively recovered at 80 °C for 1 h. In addition to, the proper ratio of palladium ion to aluminum powder was 5.

질소 플라즈마로 표면 처리한 그래핀 전극 기반 유기태양전지 제작
Nitrogen plasma treated graphene electrode based organic solar cells

조영수¹ · 우채영¹ · Li Luhe¹ · Tian Mengdi¹ · 홍순규¹ · 이형우^{1,2,*}

¹부산대학교 나노융합기술학과, ²부산대학교 나노에너지공학과

본 연구에서는 그래핀 기반 유기태양전지를 제작함에 있어 질소 플라즈마를 처리한 그래핀 표면 특성 변화 및 광전변환효율을 확인하였다. 그래핀은 높은 전자 이동도 및 투과도를 가지고 있어 태양전지 투명전극으로 사용될 수 있는 뛰어난 특성을 가진 물질이지만 소수성을 띄고 있어 유기 태양전지에 사용되는 친수성 물질이 코팅이 균질하게 일어나지 못하기 때문에 기존의 ITO 기반 유기태양전지에 비해 광전변환효율이 떨어진다. 따라서 친수성 물질인 PEDOT:PSS에 물질을 첨가시켜 소수성 특성으로 변형시키거나 MoO₃ 증착을 통해 그래핀 표면의 코팅문제를 해결하는 연구가 진행되고 있지만 이러한 방법들은 공정과정이 복잡해지는 문제가 있다. 본 연구에서는, 그래핀의 표면특성을 조절하기 위해 그래핀 표면에 질소 플라즈마를 조사하여 표면 특성을 변화시켰으며, 30 W 조건이 그래핀의 손상을 최소화 하면서 그래핀 표면 특성을 친수성으로 변화시킬 수 있는 조건임을 확인하였다. 이를 이용하여 그래핀 전극 기반 유기태양전지를 제작하였으며, 그래핀 적층 개수별 광전변환효율을 측정하여 3층의 그래핀에서 3.7 %의 광전변환효율을 얻었다. 또한 그래핀 도핑을 통해 전기전도도를 향상시켜 그래핀 기반 유기태양전지를 제작하였으며, 3층의 그래핀에서 4.1 %의 광전변환효율로서 pristine 그래핀 유기태양전지에 비해 10 % 향상된 광전변환효율을 얻었다.

* Corresponding author : lhw2010@pusan.ac.kr

알칼리 처리에 의한 제올라이트 촉매의 연료 흡열 분해 특성 변화에 대한 연구

Study on the Change of Endothermic Fuel Decomposition Characteristics of Zeolite Catalyst by Alkali Treatment

이태호 · 김성현 · 이기봉 · 정병훈* · 한정식*

고려대학교 화공생명공과, *국방과학연구소

극초음속의 추진체는 엔진 내부에서 연소 시 발생하는 열과 외부 공기와의 마찰로 인하여 온도가 증가한다. 이 때 열을 제대로 처리하지 못하면 비행체의 구조물질들이 고온에서 변형을 일으켜 비행체 오작동이 발생한다. 따라서 이러한 현상을 방지하고자 냉각기술의 필요성이 제기되었다. 이때 고온, 고압 조건에서 냉각을 위해 사용되는 액체탄화수소 연료를 흡열연료라고 한다. 흡열연료는 엔진에 도입되기 전 고온의 구조물과 접촉함으로써 열을 흡수한다. 열을 흡수한 연료는 고온 상태로 엔진에 도입되는데 고온의 연료는 연소점에 빠르게 도달하여 좋은 연소 특성을 나타낸다. 흡열반응에 의한 냉각효과는 온도 상승에 의한 물리적 흡열인 현열과 열에 의한 크래킹, 탈수소화, 이성질화 같은 화학적 흡열반응의 반응열로 나타난다. 반응열은 전환율과 반응경로에 따라 달라질 수 있다. 이 흡열 연료의 흡열량을 증가시키기 위한 촉매로 제올라이트를 사용하는데, 반응 시간이 길어질수록 분해 부산물인 코크에 의해 촉매 활성도가 감소하게 된다. 이러한 촉매의 비활성화를 방지하고자 본 연구에서는 제올라이트 촉매를 NaOH 용액으로 알칼리 처리하여 촉매의 기공특성을 개질하였다. 그 후 개질한 촉매와 그렇지 않은 촉매의 흡열 반응시 전환율과 흡열량을 측정하여 시간에 따른 변화를 관찰하였다. 실험에 사용한 연료는 exo-tetrahydrodicyclopentadien (exo-THD CP)이고, 실제 반응기와 유사한 흐름형 반응기에서 판 형태로 성형한 제올라이트 촉매를 반응기 튜브 내에 고정층 형태로 하여 실험을 진행하였다.

Dual-layered Ceramic Interconnect Films for Solid Oxide Fuel Cells

최재린^{1,2}, 송락현^{1,2}, 임탁형^{1,2}, 홍종은^{1,2}, 이종원³, 이승복^{1,2}

¹한국에너지기술연구원, ²과학기술연합대학원대학교(UST), ³조선대학교

Solid oxide fuel cells (SOFC) are connected in a stack by using metallic or ceramics based interconnects. As the operation temperature of SOFC is high, the special requirements of an interconnect material include gas tightness and electrical conductivity at high temperature in both oxidizing (cathode) and reducing (anode) conditions. Therefore, high electrical conductivity in both reducing and oxidizing conditions is important. The ceramic interconnects materials such as LSM, which exhibits p-type behavior, have particularly high electrical conductivity under the oxidizing conditions of SOFC cathode. On the other hand, n-type interconnect such as LST have high electrical conductivity under the anodic gas conditions. However, each of these ceramic interconnects exhibit a low level of electrical conductivity under the reverse gas condition in spite of a lot of trials to improve (i.e. doping). Therefore, in this work, we designed a dual-layered interconnect to solve the problem of electrical conductivity in reverse gas condition. We used LSM ($\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$) for p-type material and SLT($\text{Sr}_{0.7}\text{La}_{0.2}\text{TiO}_3$) for n-type materials properties. The sinter-ability and electrical property at different temperatures under H_2 and air were analyzed. A dense dual layered interconnect film was fabricated on anode supported button cell by screen printing and tested for interconnect properties. The long-term stability of the dual-layered ceramic interconnect was analyzed by measuring the Area Specific Resistance (ASR) during 1000 hours and 10 thermal cycles. The results of the study show the dual-layered interconnect can be stable and promising design for SOFCs.

하수슬러지 고품연료와 석탄의 혼합 시 인 성분이 고온 응집률에 미치는 영향 연구

박주창 · 윤상필 · 남궁훤* · 허려화 · 김형택

아주대학교 에너지시스템학부, *한국에너지기술연구원

2015년 12월 12일 파리에서 열린 21차 유엔 기후변화협약 당사국총회(COP21) 본회의에서 온실가스 배출량을 감축하기 위해 파리기후변화협정을 체결했다. 우리나라는 2030년까지 배출전망치 대비(BAU) 37% 감축을 목표로 했다. 이러한 이유로 석탄발전의 비율은 점차적으로 낮추고 신재생에너지 공급의무비율을 지속적으로 증가시키고 있다. 하수슬러지 고품연료를 연소시켜 발전하는 것은 신재생에너지 생산에 해당되는 것으로 전소발전의 경우 1.0, 혼소발전은 0.5의 RPS(Renewable Energy Portfolio Standard) 가중치를 받는다.

석탄과 달리 하수슬러지는 많은 양의 P_2O_5 를 함유하고 있다. 일반적으로 P_2O_5 는 파울링 및 슬래킹에 주요한 영향을 끼치는 성분으로 알려져 있다. 하지만 P_2O_5 에 의한 파울링 생성 메카니즘 규명에 대해서는 더 많은 연구가 필요하다. 인은 용융점이 340°C 로 매우 낮아 저온에서 쉽게 용융되고 동시에 승화되는 특성이 있다. 또한 흡습성이 강하고 물과 반응해 온도에 따라 [Ortho-, Pyro-, Meta] 인산을 생성하는데 이러한 인산은 하수슬러지 고품연료 내 무기물 성분과 쉽게 반응해 용융점이 낮은 새로운 인산 화합물을 형성한다. 이러한 현상을 규명하기 위해 하수슬러지 고품연료 내 포함된 무기물[CaO, MgO, Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2] 성분을 인[P_2O_5] 성분과 혼합하여 합성회 실험을 진행했다. Sieve shaker를 이용하여 Degree of agglomeration을 측정했고 XRD 분석을 통해 $Ca_3Mg_3(PO_4)_4$, $Ca_3(PO_4)_2$, $Mg_3(PO_4)_2$, $AlPO_4$, $FePO_4$ 등의 화합물 생성을 확인했다. 또한 석탄에 하수슬러지 고품연료를 혼소할 때 발생하는 응집 현상을 알아보기 위해 석탄에 하수슬러지 고품연료를 혼합하여 고온 가열했고 Degree of agglomeration을 측정하여 하수슬러지 고품연료 혼합 비율에 따른 연료의 응집률 변화를 알아보았다.

고온 PEMFC용 수소제조를 위한 팔라듐 기반 분리막 개질기에 관한 연구
Hydrogen production with one-step Pd-based membrane reformer for
high-temperature PEMFC

김창현 · 한재윤 · 이관영 · 이신근*

고려대학교 화공생명공학과, 한국에너지기술연구원 분리변환소재연구실*

수소는 석유자원의 대체 에너지원으로써 그 필요성이 증대되고 있다. 특히, 고분자 전해질 연료전지(polymer electrolyte membrane fuel cells, PEMFCs)는 수소를 연료로 사용하기 때문에 가장 매력적인 전력 발전기술 중 하나로 손꼽히고 있다. 최근에, 천연가스를 이용한 증기 개질(steam reforming, SR)은 산업용 수소 생산에 있어 타 공정에 비해 경제성이 우수하기 때문에 수소를 생산하기 위한 가장 일반적인 공정으로 알려져 있다. 이 공정에 사용되는 천연가스는 주로 메탄(methane, CH₄)으로 구성되어 있고, 합성가스에 고순도의 수소를 공급하기 위해 증기 메탄 개질(steam methane reforming, SMR) 공정이 상업적으로 개발되었다. 일반적으로, 기존 SMR 공정은 메탄 개질 후 수소(75~77%), 이산화탄소(10~12%), 일산화탄소(10~12%) 및 메탄(1~3%)의 농도로 연료공급이 이루어진다. 그러나 PEMFCs에서 해당 합성가스를 연료로 사용하게 되면 양극부에서 CO 피독 현상이 발생하여 1% 이하의 낮은 CO농도로 구성되어야 한다. 이러한 저온 PEMFC의 기술적 한계를 극복하기 위해 고온 PEMFC가 개발되었고, 최근 합성가스 중 3%의 CO 농도에서도 우수한 내구성을 나타내는 것으로 보고되었다.

본 연구에서는 고온 PEMFC에 사용되는 연료 공급에 있어 다단 수성가스 전환반응 공정과 같은 CO 정제공정을 거치지 않고, 메탄 개질에 의한 수소 제조와 더불어 1% 이하의 CO농도를 갖는 연료를 공급하는 팔라듐 복합 분리막 개질 공정 연구를 진행하였다. SMR 반응은 팔라듐 복합 분리막과 상용 Ru/Al₂O₃ 메탄 개질 촉매의 복합 구성을 통해 실시하였다. 그리고 팔라듐 복합 분리막은 인코넬 600 지지체를 기반으로 무전해도금 공정을 통해 제조하였다. 또한, SMR 반응은 1013~1418kPa의 차압 범위 내에서 실시하였고, 833K의 공정온도, 증기와 탄소의 비율(steam to carbon ratio)은 3, 그리고 6,000h⁻¹의 공간속도의 공정조건에서 실시하였다. 실험을 통해 얻어진 수소 회수율은 1013kPa, 1418kPa의 차압 조건에서 각각 79.9% 및 93%로 측정되었다. 또한, 개질된 가스의 성분은 수소가 89%, 일산화탄소가 0.4%의 농도로 측정되었다. 결과적으로, 팔라듐 분리막 반응기를 통해 개질된 합성가스는 고온 PEMFC용으로 사용될 수 있음을 본 연구를 통해 증명하였다.

고효율 수소생산을 위한 인침가 다공성 알루미나 지지체 기반 니켈 촉매 개발

The development of nickel catalyst supported on phosphate modified 3-D porous alumina for steam methane reforming

임은미^{1,3} · 우은석^{1,3} · 서호준² · 문건대² · 박대원³ · 임동하^{1,*}

^{1,*}한국생산기술연구원 에너지플랜트그룹, ²한국생산기술연구원 첨단표면공정그룹,

³ 부산대학교 화학공학과

최근 에너지 소비량 증가 및 화석연료의 고갈문제의 대두로 에너지원의 중요성은 더욱 증가 하는 실정이다. 수소에너지는 청정에너지로 환경 및 에너지 문제를 동시에 해결 할 수 있는 미래 에너지로 주목 받고 있다. 현재 에너지 효율이 높은 탄화수소를 주연료로 하여 수소를 생산 하는 개질법은 부분산화(Partial oxidation), 자연개질(Autothermal reforming)에 비해 가장 경제적인 방법으로 알려져 있다. 수증기메탄개질법(Steam methane reforming)은 전체 수소 제조법의 40 % 이상을 차지하는 주된 방법으로 사용되고 있지만 고가의 귀금속 촉매를 대체할 수 있는 저가의 촉매 개발을 통해 수소제조단가를 낮추는 연구가 필요한 실정이다. 니켈촉매는 가격 경쟁력이 높고 귀금속촉매만큼의 고효율 수소생산이 가능하여 많은 연구 가 되고 있지만 고온반응에서의 니켈금속의 소결문제(Sintering), 탄소침적(Carbon coking)에 의해 급격하게 비활성되는 문제를 가진다. 한편, 촉매 지지체는 촉매의 물리적, 화학적 특성을 결정하는 중요한 변수로 금속촉매의 활성점(Active site)를 극대화 할 수 있는 넓은 비표면적을 가지고 고온에서의 안정성이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 고분자 주형(Template)을 사용하여 균일한 크기의 메조기공이 분포된 알루미나 지지체 개발을 통해 지지체의 비표면적을 극대화 하였다. 뿐만 아니라 기존 니켈 촉매가 가지는 탄소침적(Carbon coking) 및 소결현상(Sintering)을 최소화 할 수 있도록 알루미나 지지체에 인(Phosphate)를 첨가하여 고효율 수소제조용 촉매를 개발하고자 하였다. 니켈은 개발 지지체에 함침법으로 제조하였으며, 인산함량 변화를 통하여 함량 최적화를 시행하였다. 개발 촉매는 인(Phosphate)을 첨가 한 후에도 10 nm 미만의 균일한 기공을 형성 하고 니켈의 활성점(Active site)을 높일 수 있는 비표면적을 극대화 할 수 있었으며, 인(Phosphate)는 전기음성도 및 원자가전자가 높아, 촉매 반응에서 전자주개(electron donor)로 작용하여, 탄소침적을 줄이는 효과가 나타났다.

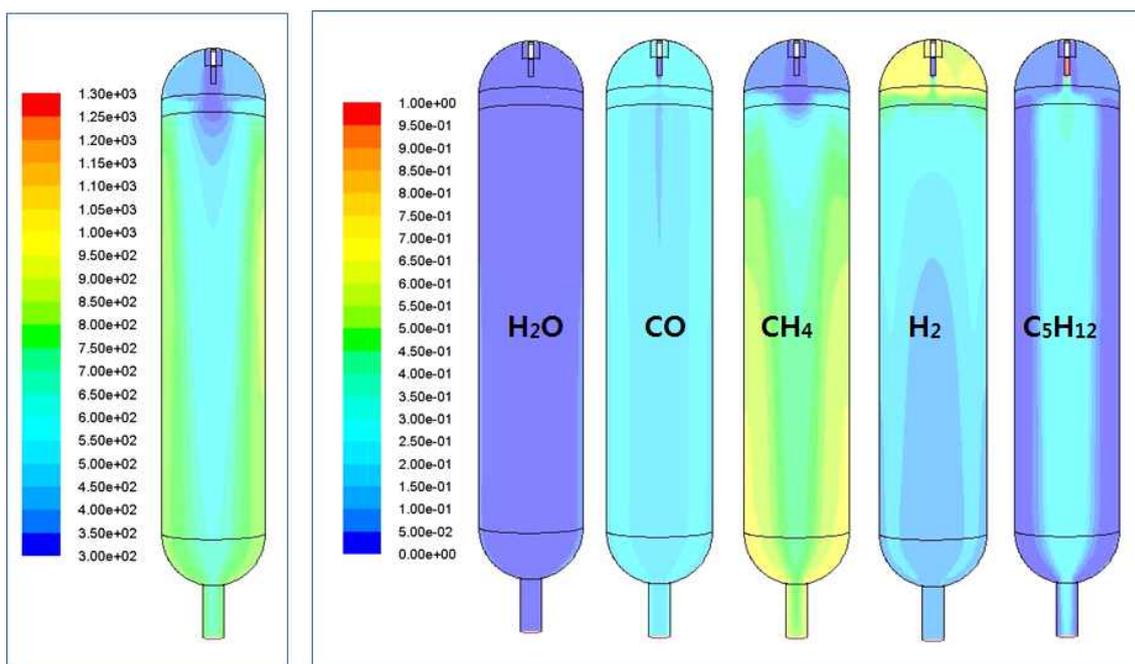
합성 천연가스 제조용 메탄화 반응기의 열화학적 해석

Numerical simulation of methanation reactor for Synthetic natural gas

황민영* · 김준우* · 김량균*

*포항산업과학연구원

최근 제철소나 산업환경에서 공정상에 발생하는 저급 가스 성분들의 활용이 매우 중요해지고 있으며, 에너지를 Mix 할수 있는 연구들이 활발히 진행되고 있다. 이를 위해 다양한 조성의 연료를 실제적으로 활용할수 있는 합성 천연가스로 만들 수 있는 공정이 중요하다. 본 연구에서는 혼합가스를 메탄으로 전환하는 반응기 공정에 대한 전산해석 연구를 수행하여 가상의 조건에서 열역학적으로 메탄으로 전환되는 연료량과 반응기 온도를 도출하였다. 프로그램은 Fluent 18.0 상용코드를 사용하였으며, steady-state 해석을 수행하였다. 복사 열전달은 DO모델, 화학반응은 Finite-rate/Eddy-dissipation모델을 통해 화학반응과 확산속도의 interaction을 고려하였다. 혼합층은 porous media를 활용하여 일정한 크기를 가지는 고정층 배드를 모사할 때 활용하는 Ergun equation을 고려하였다. 공급되는 가스는 CO, H₂, C₅H₁₂를 고려하였으며, CO와 H₂의 몰비를 고정하고, C₅H₁₂의 몰비를 변경하며 계산을 수행하였다. C₅H₁₂의 몰비가 0.3에서 1.3으로 증가함에 따라 전환되는 CH₄는 C₅H₁₂는 0.9에서 최대 전환값을 나타내었으며, 계속 증가시 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 공급가스의 조성과 유량에 따라 전환조성이 변하며, 적정한 반응기 온도도 변화함으로 다양한 파라미터 스터디와 공급 노즐 최적화를 통한 혼합도 개선 해석을 추후 진행할 예정이다.



산란 일사량 가림 및 물질에 따른 반사 일사량 측정 실험을 위한 시스템 구축

System construction for experiment for shading of diffuse irradiance
and measurement of reflected irradiance by materials

오명찬 · 구영현 · 박형동*

서울대학교 에너지시스템공학부

태양광 기술의 발전과 태양광 에너지의 보급률 향상에 따라 태양광 에너지의 잠재량을 정확히 예측하고 그 특성을 파악할 필요가 있다. 특히 주변에 높은 고도를 가진 다양한 사물이 있는 지역이나 높은 반사도를 가진 물체가 있는 경우 단순히 측정 일사량만을 통한 계산에 어려움이 있다. 본 연구에서는 이러한 복잡한 상황에서 일사량이 어떻게 영향을 받는지 측정하여 분석할 수 있는 시스템을 구축하였다. 시스템은 일사량을 측정하는 센서와 데이터 로거, 일사량계를 고정하는 프레임, 주변의 일사량을 차단하는 장치들로 구성된다. 측정 센서는 이차 표준 장비로 구성하였으며 데이터 로거와 배터리를 통해 외부 전원 없이 이동 가능한 형태로 구성하였다. 일사량 측정 프레임의 경우 20도 간격으로 각도를 조절할 수 있으며 일사량계의 높이를 자유롭게 설치할 수 있게 제작하였다. 추가로 일사량계는 전용 거치대를 통해 추가 90도 이내의 자유로운 각도 변경이 가능하게 하였다. 2개의 일사량계와 프레임을 사용하여 동시에 실험군과 대조군을 측정할 수 있도록 시스템을 구축하였다. 반사일사량 반사 실험을 위한 장비는 긴 파이프를 사용하여 직달일사량 외 다른 일사량을 모두 차단할 수 있으며 입사각과 반사각을 다르게 하여 난반사량도 측정이 가능하다. 고정 프레임과 동일한 각도로 구성할 경우 직달일사량의 정반사량과 전체일사량의 반사량을 따로 측정할 수 있다. 이 외 광흡수 재질을 사용하여 주변의 반사량을 최소화 시킬 수 있게 시스템을 제작하였다. 시스템의 설치 장소는 서울대학교이며 같은 지역에 설치된 일사량 측정 자료와 연계하여 연구가 가능하다. 본 연구를 통해 태양광 에너지에 영향을 끼치는 여러 요인을 연구하고 정량적인 분석이 가능해질 것으로 기대한다.

사 사

본 연구는 한국연구재단이 수행하고 주변 사물의 영향을 고려한 특정 산란 및 반사 일사량 실험 기반의 태양광 에너지 계산 모델 구축(과제번호: NRF-2017R1A2B4007623)의 지원으로 수행되었습니다.

Screen printed carbon composites as counter electrode of dye sensitized solar cells

Xiuting Luo · SooHyung Kim

Pusan National University, Nano Fusion Technology Department

Dye-sensitized solar cells (DSSCs) composed of nanostructured carbon materials-accumulated counter electrodes (CEs) were fabricated in this study. As the replacement of expensive Pt, various carbon materials, including 0-dimensional carbon nanoparticles (CNPs), 1-dimensional multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs), and 2-dimensional graphene flakes (GFs) were tested as a suitable charge transfer medium in the CEs of DSSCs. As the results, CNPs were found to result in deteriorating the charge transfer from CE to liquid electrolyte due to the formation of highly aggregated structures with very low specific surface area. However, MWCNTs and their composites (e.g., CNP/MWCNT, MWCNT/GF, CNP/MWCNT/GF) were found to enhance the charge transfer from CE to liquid electrolyte due to the formation of highly networked structures with high specific surface area. The resulting PCE of DSSCs composed of pure MWCNTs- and MWCNTs-added carbon composites-based CEs were very similar with that of DSSCs composed of Pt-based CEs. This suggests that the nanostructured carbon materials especially composed of MWCNTs and their composites (e.g., CNP/MWCNT, MWCNT/GF, CNP/MWCNT/GF) are one of promising candidates to replace the expensive Pt in the CEs of DSSCs.

막전극복합체 면적 대비 유로의 면적이 양자교환막형 연료전지의 효율에 미치는 영향

Effect of open ratio of flow field channel on performance of proton-exchange membrane fuel cells

Yaojia Zhang* · 안지영** · 김민준*** · 김수형***,****

*부산대학교 나노융합기술학과, **부산대학교 에너지융합기술연구소, ***부산대학교 나노에너지공학과

Flow field channel (FFC) in proton-exchange membrane fuel cells (PEMFCs) is one of the key to enhance the performance. In this study, we designed 3 types of FFC and the open ratio of each FFC was varied: 33%, 50%, 80%. The open ratio was calculated as the ratio of the area of the MEA to the area of the FFC. The efficiency of PEMFCs showed different performance according the types and open ratio of FFC.

5kW HT-PEMFC 스택의 내구성 및 성능 향상을 위한 구성품 최적화 연구

A study on optimization of components for durability and performance improvement of 5kW HT-PEMFC stack

김지홍 · 김민진 · 손영준 · 정재훈*

한국에너지기술연구원, 과학기술연합대학원대학교 신에너지 및 시스템기술학과, *(주)동아화성

인산이 담지된 PBI(Polybenzimidazole) 기반의 전해질 막을 사용하여 120~180°C의 높은 온도에서도 안정성을 가지고 운전이 가능한 고온 고분자연료전지(HT-PEMFC)가 주목받고 있다. 기존 건물용 연료전지 연구가 0.7~5kW급 저온 고분자연료전지가 주를 이루는 가운데 HT-PEMFC에 대한 연구는 미비한 상황에서 한국에너지기술연구원은 핵심부품 기술 및 특허 면에서 세계에서 손꼽히는 기술을 보유 중이다. HT-PEMFC는 물관리가 필요 없고 일산화탄소 피독 현상에 대한 강한 내성을 가져 개질가스의 사용이 용이하다는 장점을 가진다. 따라서 LT-PEMFC의 운전에 필요한 가습장치, 일산화탄소 제거 공정, 응축수 처리장치 등이 필요하지 않아 시스템을 간소화하고 전체 비용을 낮출 수 있다. 또한 폐열 회수 온도가 100°C 이상이기 때문에 전력 발전 뿐 아니라 온수 및 냉난방에 모두 건물 등에 활용할 수 있어 삼중열병합 발전이 가능하다. 이처럼 LT-PEMFC의 단점을 보완하고 고효율의 발전이 가능하다는 점에서 건물용 HT-PEMFC의 빠른 상용화가 기대되고 있다.

본 연구에서는 기존 국가과제를 통해 개발된 5kW급 HT-PEMFC 스택의 상용화를 위한 연구를 진행하였으며, 기존 스택의 개선을 위해 변경된 여러 구성품들로 인해 발생할 수 있는 문제점들을 실험적 접근을 통해 해결하였다. HT-PEMFC의 높은 운전 온도는 스택 내부에 많은 열을 축적하고 스택의 내구성과 성능에 영향을 끼치기 때문에 열관리가 아주 중요하다. 본 스택은 금속 재질의 냉각판을 일정 간격으로 투입하고 열매체 오일을 사용하여 유냉식 시스템을 통해 냉각 효과를 주었다. 또한 금속 냉각판의 비싼 제작 비용을 줄이기 위해 기존의 제작 방법을 바꾸고 냉각판과 분리판 사이에서 발생하는 계면 저항을 줄이기 위해 전도성 구조물을 냉각판 사이에 투입시키도록 설계 변경을 하였다. 결과적으로 냉각판의 냉각 성능은 유지하면서도 계면 저항은 평균 33% 감소, 제작 가격은 냉각판 1장당 기존 가격의 27%로 줄이는 성과를 보였다.

사사의 글

본 연구는 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20163010032000)

플렉서블 CIGS 태양전지를 이용한 태양광 추적식 발전장치 설계
Design of Tracking Solar-Blind System using Flexible CIGS Solar Cells

김현석 · 김대형 · *이상진

청주대학교 항공기계공학과, *(주)솔그리드

본 연구에서는 기존 단일 날개 구조의 태양광 블라인드에서 태양광 발전의 효율을 상승시키면서 차광효과를 기대할 수 있는 이중 날개형 태양광 블라인드를 설계하였다. 특히 본 연구에서는 플렉서블 CIGS 태양 전지를 날개에 부착한 후 상시 태양광을 추적할 수 있는 발전장치를 반영하였다. 먼저 하드웨어의 경우 태양광 차단부와 발전부로 나누어 알루미늄 재질의 이중 날개형 경량구조로 설계하였고 시스템 상부에는 이들 이중 날개들이 상하이동 및 개별 회전이 가능하도록 구동모터와 와이어링 모듈을 설치하였다. 또한 좌우측 골조는 태양광의 투사 극대화를 위한 사다리꼴 형상으로 설계하였고 내부에 이중 날개들의 지지 및 상하 이송을 담당하는 캐리어 기어박스가 리니어 가이드 부품과 체결되도록 하였다. 개별 부품들을 가공 및 제작하여 시스템을 완성하였고, 제어에 필요한 회로장치 및 알고리즘 소프트웨어를 개발하였다. 이때 운전모드는 용도 및 계절에 따른 운전이 가능하도록 코딩하였다. 운전 프로그램이 완성된 후 시작품을 제작하였고 발전효율 및 소음, 내구성 시험을 수행하였다. 발전량은 810mm×45mm 크기에서 3.85V를 얻어 효율이 11.8%로 우수하였고, 소음은 하향시 최소 55dB를, 상향시 최대 67dB로 측정되었으며, 이중 날개를 상하 10,000 사이클 작동을 완료하였다. 이로부터 이중 날개형 태양광 추적식 발전장치 설계가 유효했음을 확인하였으며, 이 시스템은 다단식 건축물 등에 충분히 유용하게 사용 될 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 논문은 2016년도 중소기업기술개발 지원 사업 산학연협력 기술개발사업 첫걸음과제(No. C0441983)의 연구비 지원으로 수행되었음.

3상 분리형 촉매층을 가진 고분자 전해질 연료전지

서동준 · 김한성* · 김태영

한국에너지기술연구원, *연세대학교 화공생명공학과

고분자연료전지의 친환경적 발전 기작과 높은 에너지 밀도는 지속가능한 발전을 지향하는 많은 기관과 나라에서 꾸준한 연구를 통해 상용화 가능한 수준의 성능으로 끌어 올렸다. 하지만 백금 촉매를 이용한 전극제작은 높은 가격과 수급문제를 가지고 있기 때문에 적은 양의 백금 촉매를 사용하여 높은 성능을 구현하는 전극에 대한 연구도 진행되고 있다. 이러한 요구를 충족하는 MEA를 제작하기 위해서 본 연구에서는 촉매화학 반응의 기초인 3상계면 (Three phase boundary) 반응을 이해하고 고분자 전해질 연료전지에 적합한 전극층을 디자인하고 그 제작 방법을 제시하려 한다.

기존 전극제작 공정에서는 혼합된 액상의 슬러리를 이용하기 때문에 건조 후 이오노머가 전극층에서 무작위하게 분포되어 반응에 유익한 최적의 위치에 존재하도록 조절하기 힘들었다. 특히 전극층에서 두꺼운 이오노머가 위치한 부분은 기공을 통해 공급된 반응가스가 확산되어 촉매 표면에 도달하기 힘든 구조를 필연적으로 가지고 있으며, 캐소드의 경우 산소는 촉매 표면에서 기공 대비 1/20 수준의 낮은 분압 형성되어 높은 물질 전달저항으로 성능의 한계점을 나타낸다고 알려져 있다.

이에 본 연구에서는 탄소지지체에 이오노머를 입혀 고휘화 시킨 후 이것을 상용촉매와 최적의 비율로 배합하여 전극을 제작하므로써 프로톤의 이동과 전자의 이동 통로를 독립적으로 분리시키며 촉매표면에 높은 산소분압이 형성될 수 있도록 유효한 기공분포를 유도할 수 있는 새로운 전극층 제작 방법을 제시하려고 한다.

또한, 이 방법으로 제작된 전극은 각 요소들의 접촉이 유지되기 때문에 독립적인 이동경로를 도입할 수 있었으며, 이로 인해 반응에 유효한 활성면적을 넓혀 캐소드 $0.2 \text{ mg}_{\text{Pt}}/\text{cm}^2$ 수준의 낮은 담지량으로도 상용화 전극 수준의 성능을 낼 수 있었다. 이 방법은 고가의 백금 촉매를 소량으로 사용하여 낮은 가격에 고성능 전극을 제작 할 수 있고, 특히 제작 방법에 사용된 모든 재료는 상업적으로 판매되고 있으며 특별 제작된 장비를 필요로 하지 않기 때문에 관련 산업에서는 당장 적용이 가능한 이점이 있다.

저가습용 고내구성 고분자연료전지 전극

최원영 · 김필* · 김태영

한국에너지기술연구원, *전북대학교

공기호흡형 고분자연료전지는 개방된 캐소드 구조로 인해 전극내부의 수분이 쉽게 건조되어 저가습 운전 조건에서 낮은 성능으로 운전해야되는 단점을 가지고 있다. 또한 캐소드극의 상시 공기 노출로 인해 애노드극으로 산소농도 증가가 일어남으로써 캐소드 전극의 지지체 부식을 항상 유발시키는 되는 단점을 가지고 있다. 결국 공기호흡형 연료전지는 캐소드극의 지지체 열화 및 저가습 운전에 특화된 전용 전극 개발이 반드시 필요한 상황이다.

본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위해서 우선 탄소지지체 열화시 발생하는 이오노머 재배열을 최대한 억제하면서도 전기화학반응으로 생성된 물을 최대한 잡을 수 있는 친수성 물질을 사용하여 이러한 문제를 극복하도록 했다.

사출 바렐용 고효율 히팅장치의 세라믹 애자 개발

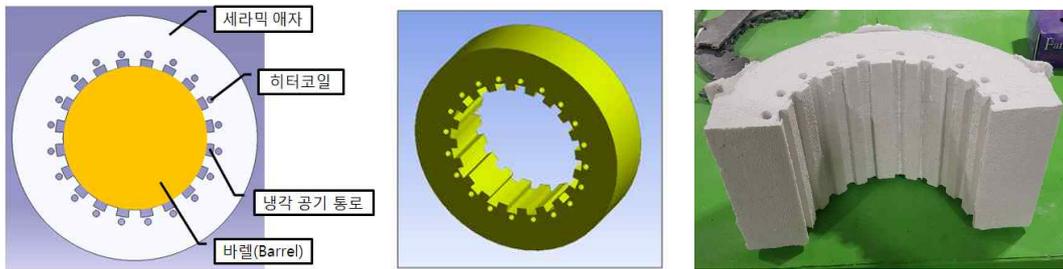
Development of Ceramic Insulator for High Efficiency Heating Device for Injection Barrel

배정섭¹, 최인호²

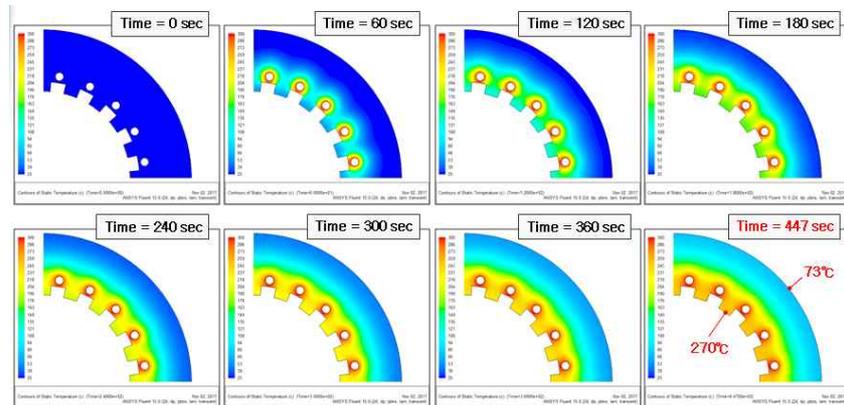
(재)대구기계부품연구원¹, (주)이노알앤씨²

본 기술은 사출 바렐을 위한 고효율 히팅장치의 세라믹 애자 개발에 관한 내용이다. 사출 바렐을 가열하고, 외부로 히팅 열의 발산을 최소화하여 전기 에너지 절감이 가능한 고효율 히팅장치의 세라믹 애자를 개발하였다. 세라믹 소재의 내부에 20개의 히터 코일을 삽입하여 내부면의 바렐을 균일하게 가열시키고, 히팅 열의 발산을 최소화하여 외부 표면온도를 적정 온도 이하로 유지가 가능하도록 애자 형상을 설계하였다. 또한, 애자 내부에 냉각 공기 통로를 구성하여 정밀 온도 조절 및 애자의 냉각이 용이하도록 형상을 설계하였다. 전산해석을 통하여 애자의 내/외부 열전달 시간 및 온도 분포 특성을 분석하고, 실제 가열시 온도 측정을 통해 애자 형상을 검증하여 개발하였다.

본 연구는 중소벤처기업부와 대구시의 지역주력산업육성 R&D기술개발과제로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.



< Fig. 1 Ceramic Insulator Shape of Heating Device >



< Fig. 2 Temperature Analysis of the Insulator through Computer Simulation >

분산형에너지산업의 품질경쟁력 강화를 위한 시험분석 및 인증지원 성과보고
Annual report for Testing & Certification support of Energy Components

안정훈, 배정섭, 노해진, 오은지
(재)대구기계부품연구원

본 지원사업은 국제적으로 온실가스 감축 기조(Post-2020) 강화에 따른 규제 위주의 정책은 제조업 및 CO2 배출이 많은 우리 경제에 큰 도전으로 작용할 것이며, 이에 정부는 에너지의 효율적 사용, 온실가스 감축 등 글로벌 기후변화 체제를 고려한 에너지 정책 패러다임을 마련하였다. 결과로 대규모 중앙집중형 발전시스템에서 에너지 효율을 높이고 유통 중 소실되는 전력량을 최소화할 수 있는 분산형에너지 체계를 확장하여, 기존의 에너지 공급 중심에서 수요관리 중심으로 전환되면서 우리의 강점인 ICT와 수요관리를 융합한 에너지 효율화 정책 추진하고자 한다.

분산형에너지 핵심부품 경쟁력 향상을 위한 시험분석 및 인증핵심부품 경쟁력 향상을 위한 시작품, 시제품 시험 및 인증지원을 통하여 기술개발 완료기업의 시작품 시험, 인증지원을 중심으로 한 기술지도 실시하였으며, KeyMan의 전공과 수행업무에 맞는 지원기업 담당을 통한 전문성 확보지원을 수행하였고, 기술지도를 통한 신기술 접목의 R&D 기획지원을 통한 아이디어 구현 지원을 수행하였다. 또한 분산형에너지 관련부품 인증기관간 협업을 통한 OneStop 인증지원 실시, 인증기관 간 연계를 통한 최단시간 상품화를 추진하였다. 본 지원을 통하여 지원아이템 직접 매출액 49,650백만원, 총 19명의 고용을 달성하였고, 시험분석·인증은 92건, 애로기술자문 23건, R&D 과제기획 7건을 수행하였다.

금번 연구는 중소벤처기업부와 대구지역사업평가단 지역특화산업육성 기업지원, 지역주력 기업지원 사업에 의해 수행되었습니다. 지원해 주신 분들께 감사드립니다.

“지역 분산형에너지 산업의 핵심부품 경쟁력 향상”



DR 연계형 산업용 고효율 공기압축시스템 운용프로그램(SACS) 개발 A Development of Smart Air Compressor System for High Efficiency

안정훈, 고영주*, 주만식*, 정정훈*, 허기형**, 지성남**

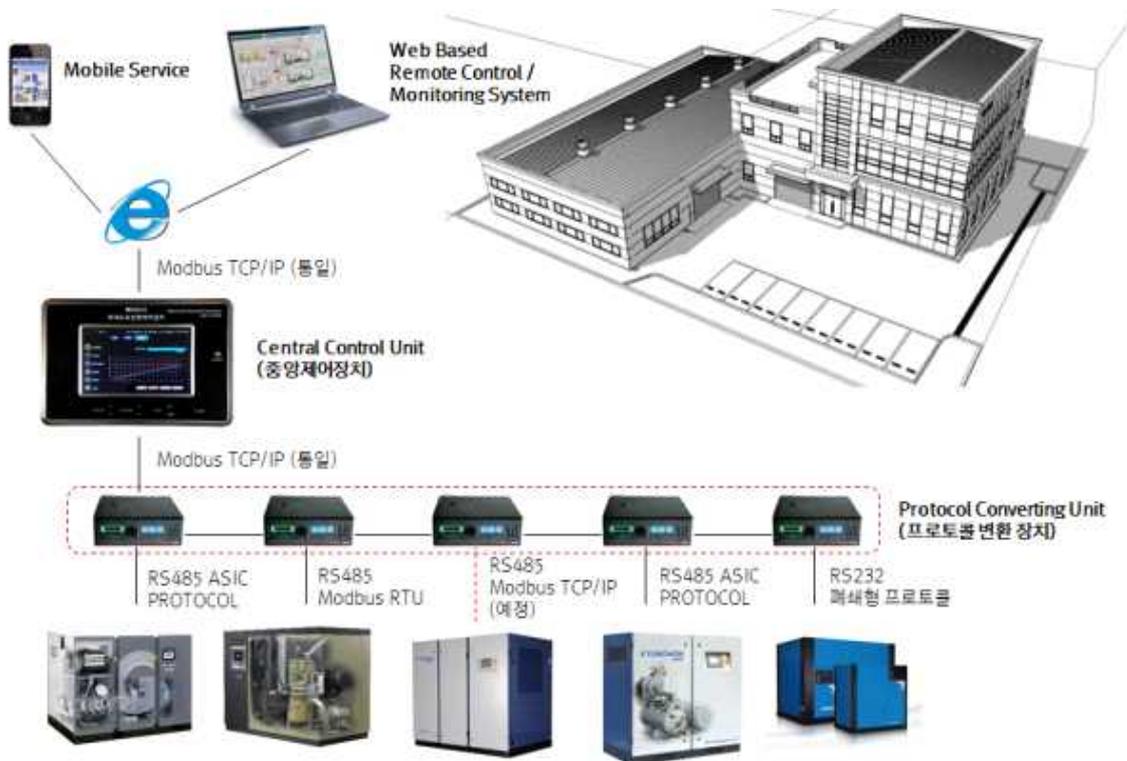
(재)대구기계부품연구원, *경원기계공업(주), **(주)한백아이엔티

본 연구는 스마트 팩토리 기반을 위한 에너지 소비효율 최적화 운전이 가능한 분산제어 기반의 산업용 가변속도 제어형 고효율 공기압축 시스템을 개발하였다.

시스템은 종래 정속 구동형 공기압축 시스템과는 달리 가변속 분산제어 방식을 통해 25%이상의 소비에너지 절감 및 공장설비(에너지) 최적화 운전기반 확보가 가능하며, 고효율 에어-엔드(Air-end), 고밀도 PMSM 드라이버 및 넓은 운전영역에서 높은 효율특성을 갖는 영구자석형 전동기 등의 핵심부품 국산화를 실현하였다. 결과로 공장설비 에너지소비 최적화를 위한 수요반응(DR: Demand Response) 연계형 운전(제어)프로그램 및 SW 기술 확보를 통한 스마트 팩토리 기반을 확보하였다.

향후 시스템의 운전상태와 에너지 절감효과에 대해 효용성을 입증하고, 실제 현장에서 발생하는 문제점에 대하여 지속적인 연구를 수행하고자 한다.

금번 연구는 산업통상자원부와 한국에너지기술평가원 산업기술혁신사업, 에너지기술개발 사업에 의해 수행되었습니다. 지원해 주신 분들께 감사드립니다.



ESS와 EV에 사용 가능한 저가형 30kWh급 배터리팩 시스템 개발 Development of low-cost 30kWh Battery Pack System for ESS & EV

안정훈, 서명수*, 성동길*

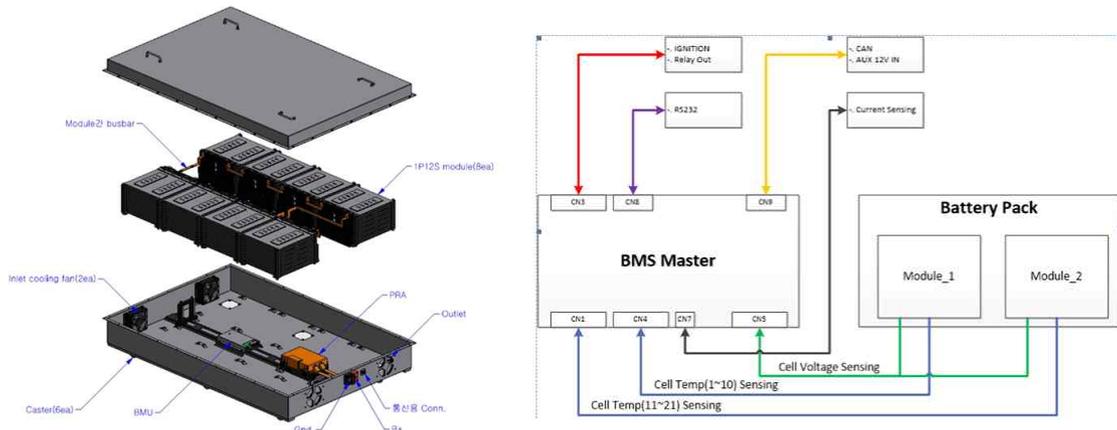
(재)대구기계부품연구원, *(주)씨오알엔

최근 신재생 에너지와 자연재해로 인한 정전에 따른 비상시 전원 장치로 에너지 저장 장치(Energy Storage System)의 필요성이 매우 높아지고 있다. 특히 스마트 그리드와 신재생에너지 보급 확대에 전력계통 효율화와 안정성이 강조됨에 따라 전력 공급, 수요 조절 및 품질 향상에 용이한 ESS가 필수 장치로 떠오르고 있으며, 현재 정부와 전력회사 주도로 실증 검토가 진행되고 있다. 일본에서는 원전사태 이후 제한송전을 대비한 가정용 또는 빌딩용 BESS(Building Energy Storage System) “신재생 + ESS or BESS”의 필요성이 제기되어 가정용 ESS 또는 빌딩용 BESS의 기술 개발이 더욱 요구되고 있다.

본 과제에서는 스프링볼팅 방식의 단자연결 구조 개발(홀더 및 조립체)을 완료 하였으며 기존 웰딩 방식 대비 효율 80%이상의 성능을 확보하였다. 또한 3kWh단위모듈 및 15kWh 하프팩 시제품을 제작 완료하여 성능을 테스트 하고 있다. 특히 배터리의 방열을 해결하기 위하여 단위전지 모듈 냉각부품 및 고정부 열유동 해석을 1차 완료 하였으며, BMS 개발품의 전자과 적합성(EMS) 해석을 진행하였다.

향후 스프링볼트 방식의 연결단자 홀더를 적용한 모듈과 개발된 부품(배터리 홀더, 케이스, BMS)의 최적화 및 개선을 진행하며 최종 배터리팩 시스템 시제품 제조 및 평가를 진행하고자 한다. 또한 배터리팩 시스템의 실제 운영을 위해 사전 데모 테스트 진행하며 DATA 확보를 통해 제품 추가 개선과 배터리팩 냉각부품, 고정부 열유동 해석을 통한 시제품 개발, BMS 전자과 적합성 해석과 전기안전, 전자과 적합성 성능시험을 통한 인증 Pre Test 실시하고자 한다.

금번 연구는 중소벤처기업부와 대구지역사업평가단 지역특화산업육성 기술개발, 지역주력 기술개발 과제에 의해 수행되었습니다. 지원해 주신 분들께 감사드립니다.



마이크로웨이브 출력에 따른 가열 및 건조 특성에 관한 연구
Study on heating and drying characteristics according to microwave
power

오상현 · 최종원 · 박기호 · 전원표 · 김성일

한국에너지기술연구원 에너지효율연구본부

건조는 산업분야에서 다양하게 응용되는 공정이고, 대표적인 에너지 다소비 공정이다. 이러한 건조 공정의 에너지 효율을 개선하기 위하여 다양한 열원 및 운전 방법에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 마이크로웨이브를 열원으로 건조 시 가열 출력에 따른 피 건조물의 건조 특성에 관한 실험적 연구를 진행하였다. 실험을 위해서 교반이 가능한 마이크로웨이브 가열장치를 사용하였으며, 마이크로웨이브의 출력은 2.8kW 이다. 피 건조물로 사용된 시료는 우레탄 바닥재에 사용하는 녹색 분말이다. 분말의 주요 성분은 산화철이며 초기 함수율은 약 52~53% 수준이다. 마이크로웨이브 가열 출력은 0.75, 1.29, 1.83 kW로 하였으며 집중 가열로 인한 불균일 가열 현상을 해소하기 위하여 교반을 진행하였고, 교반기는 20rpm으로 운전하였다. 교반기의 소요 동력은 0.056kW로 측정되었다. 외부에서 유입되는 공기의 유량은 3.5 lpm 이며, 온도는 30°C로 측정되었다. 건조 진행 시 발생하는 수증기 및 흡을 제거할 목적으로 설치된 실험장치 내의 블로워 등에 소요되는 동력은 0.0449 kW이다. 본 연구에서는 시간에 따른 함수율 변화를 측정하였고, 총 투입 동력 대비 증발된 수분의 엔탈피를 이용하여 건조효율을 계산하였다. 증발된 수분은 피 건조물의 초기 함수율과 최종 함수율을 통해서 계산하였다.

본 연구를 통해서 마이크로웨이브를 이용한 건조 시, 초기에 예열에 의해 건조효율이 낮지만 향률 건조 구간에 들어오면 건조효율이 증가하고, 감률 건조구간에 들어오면 건조 효율이 감소하는 공통적인 결과를 얻을 수 있었다. 또한 마이크로웨이브를 이용한 가열 및 건조의 경우 마이크로웨이브의 출력과 건조 효율의 결과는 상의하며, 본 연구에서는 누적 건조 효율을 통한 분석 시 출력 1.29kW에서 최적의 건조효율을 얻을 수 있었다. 이를 통해 마이크로웨이브를 이용한 가열 및 건조 장치 적용의 경우 출력 최적 조건의 선정이 건조 품질 및 건조 효율에 중요한 인자임을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20172010105940)

미세먼지 제거용 PTFE 멤브레인필터를 적용한 탈진에 따른 차압 특성
Differential Pressure Characteristics by Dedusting with PTFE Membrane
Filter for Fine Dust Removal

윤성필, 류상오, 김효식, 황상연, 정석우 · 이치원* · 이승우**
고등기술연구원, *(주)마이크로윈, **영남대학교 산학협력단

석탄은 세계에서 화석연료 연소로 배출되는 이산화탄소의 44%를 차지하는 가장 큰 단일 배출원이며 석탄화력발전은 그 중 가장 큰 부분을 차지하고 있고 1차 에너지공급량 중 29%를 차지하고 있다. 그러나, 석탄화력발전소에서 배출되는 미세먼지는 약 2,752톤으로 전체 배출량의 약 3.4%를 차지하고 있으며, 질소산화물 및 이산화황도 공기 중 화학반응을 통해 2차 생성 초미세먼지를 만들어 장기적으로는 대기오염에 미치는 영향에 주목해봐야 한다.

특히, 세계경제포럼에서 국내의 미세먼지 환경지수가 전체 178개 조사국 중 171위를 차지할 정도로 국내 미세먼지에 대한 노출 위험성이 높은 것으로 나타났으며, 국립환경과학원 연구 결과 미세먼지 농도가 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때마다 65세 이상 노인 등 대기오염에 민감한 집단의 사망률은 0.4%씩 증가하는 것으로 파악되었다. 또한, 미세먼지 농도는 경제협력개발기구(OECD) 주요 도시의 평균에 비해 2배가량 높은 것으로 나타났으며 미세먼지 및 초미세먼지에 대한 개인적·국가적 차원의 준비가 시급하다는 지적이 나오고 있으므로, 저비용 고효율의 미세먼지 제거용 필터 기술을 개발하고자 한다.

본 연구에서는 발전소 및 연소시설 대상 배출가스 내 미세먼지 제거용 PTFE 멤브레인 필터 개발을 위한 기초 특성시험을 파악하기 위해 $150 \text{ m}^3/\text{hr}$ 급 Pilot 시험장치를 이용하였으며, 상용급 Glass 멤브레인 필터와 개발하고자 하는 PTFE 멤브레인 필터를 대상으로 미세입자 공급조건에서 장시간 운전 시 탈진에 따른 차압특성 및 여과성능을 비교 분석 하였다.

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KEPTEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.20161120200170)

참고문헌

1. Simon, X, "Experimental Study of Pulse-Jet of Bag Filters Supported by Rigid Rings. *Powder Technol.* 172, pp 67-81. 2007.
2. Byung Hyun Park, "Filtration Characteristics of Fine Particulate Matters in a PTFE/Glass Composite Bag Filter", *Aerosol and Air Quality Research*, 12, pp 1030-1036, 2012.
3. "국내 석탄화력 발전소 현황 및 문제점", Foresight issue report, pp 1-25, 2016.

원자로 건물 냉각을 위한 1차원 셸앤튜브형 열교환기 최적설계
Design optimization of an one-dimensional shell and tube type heat
exchanger for containment cooling

송여울

한국수력원자력 중앙연구원

원전 사고 시 원자로 건물 내의 열을 제거하는 것이 매우 중요하다. 이때 열교환기는 원자로 내부의 열을 외부로 빼내는데 중요한 역할을 하는 기기 중 하나이다. 원자로 내부의 공간은 한정적이므로 최적의 구조로 최대한의 열을 효율적으로 제거하는 것이 열교환기의 최적 설계의 주요 목적이다. 플레이트형 열교환기, 셸앤튜브형 열교환기, 더블 파이프형 열교환기 등 다양한 종류의 열교환기가 있으며 목적에 따라 선별하여 사용한다. 현재 한수원에서는 차세대 원전에 피동원자로건물냉각계통(PCCS)를 도입하여 사고 발생 시, 외부 전원 도움 없이 열을 제거하는 기기 중 하나로 여러 개의 튜브를 가지는 셸앤튜브형 열교환기를 고려하였다. 셸앤튜브형 열교환기는 동일 크기 대비 열 제거 능력이 뛰어난 특징이 있다. 본 연구에서는 대수평균온도차 법(Log Mean Temperature Difference)을 이용하여 열교환기 성능 및 열 제거량을 계산하였다. 이때 튜브 다발은 1차원으로 가정하였다. 차세대 원전에서는 전원공급이 되지 않았을 때에도 열 제거가 성공적으로 일어나도록 하는 피동 열제거 시스템을 지향하므로 본 연구에서도 관내 열전달을 자연순환, 관외 열전달을 자연 대류로 가정하여 총열전달계수를 계산하였다. 셸앤튜브형 열교환기를 최적화 하는데에는 다양한 변수 설정이 가능하다. 튜브의 개수, 튜브의 길이, 헤더의 크기, 튜브의 지름, 탱크물의 온도 등 설정이 가능하다. 이러한 변수들을 다양한 조합으로 바꾸어 가면서 해석하기에는 많은 시간과 노력이 필요하다. 본 연구에서는 다양한 설계 인자를 고려하기 위하여 실험계획법을 기반으로 해석모델을 구성하고 각각의 모델에 대해 해석을 수행한 다음 최적화 알고리즘인 유전알고리즘을 이용하여 열교환기 최적설계를 수행하였다.

과산화수소 분해를 이용한 폐수처리의 저온 반응을 위한 촉매 개발

김민준 · 이관영

고려대학교 화공생명공학과

다양한 산업 공정으로부터 나오는 폐수의 정화를 위한 화학, 생물학적 처리 방법들의 개발이 최근 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히 과산화수소의 펜톤 반응을 이용한 고도산화 공정 (Advanced oxidation process)은 근래 큰 관심을 받고 있다. 펜톤 반응은 과산화수소의 분해 생성물로 OH 라디칼이 나오는 반응이며 철 이온 (Fe^{2+} , Fe^{3+})이 대표적 촉매로 사용된다. 여기서 생성된 OH 라디칼은 강한 산화력을 가져 유기물 제거에 효과적이다. 촉매의 재사용 및 정화된 물에서 철 이온 제거 단계를 거치지 않기 위해 불균일계 촉매인 철 담지 촉매의 연구가 최근 많이 진행되고 있다.

기존 펜톤 반응을 위해서 적용되는 철 담지 촉매는 주로 $50^{\circ}C$ 이상의 온도에서 높은 활성을 보이는데 대규모의 폐수 처리를 위한 공정으로서 위와 같은 반응 온도는 경제성이 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 과산화수소의 분해 반응을 이용한 폐수처리 반응의 온도를 낮추는 것을 목표로 한다. 과산화수소 분해 반응에 활성을 가지는 금속 물질은 귀금속 계열에 Pt, Pd, Ir 등이 있으며 비귀금속 계열에서는 Fe, Cu, Mn 등이 있다. Mn의 산화물은 과산화수소 분해 반응에 높은 활성을 가지고 있지만 OH 라디칼이 아닌 O_2 를 생성하는 반응이 지배적이므로 Fenton 반응에 적합하지 않다. 비귀금속 계열 중 가장 많이 활용되는 Fe 산화물은 목표로 하는 반응 온도인 $20^{\circ}C$ 에서는 활성이 매우 작기 때문에 활성 개선을 위해서는 높은 과산화수소 분해 활성을 가질 것으로 예상되는 귀금속 물질을 적용할 필요가 있다. 귀금속 불균일계 촉매는 과산화수소 분해 반응을 이용한 폐수 처리 반응에 보고된 바 없으며 본 연구에서 귀금속 중 하나인 Pt를 Fe_2O_3 와 같이 SBA-15에 담지한 촉매를 제조하였다. 제조한 Pt- Fe_2O_3 /SBA-15를 유기물질의 모델물질로 사용한 페놀의 제거 반응에 적용하였으며 활성 비교를 위하여 Pt/SBA-15와 Fe_2O_3 /SBA-15를 제조하여 비교군으로 사용하였다. 페놀 제거 활성 테스트 결과 Pt- Fe_2O_3 /SBA-15가 최고 활성을 보였으며 H_2O_2 분해 활성 측정 및 특성화 분석들을 진행한 결과 Pt의 전자 상태가 주요 활성 요인으로 판단되었다.

CFD에 기초한 대면적 표면처리가 가능한
에너지 산업용 블라스팅 노즐 설계

Design of Blasting Nozzle with Wide Bore used in Energy Industrial
Field based on Computational Fluid Dynamics

곽준구 · 김현석 · 김선형 · 김태형 · 손명환

청주대학교 항공기계공학과

블라스팅 공정은 산업용 설비 및 부속품, 자재 등의 표면에 붙어있는 녹이나 페인팅, 버등을 제거하는 표면처리 기법 중 하나이다. 블라스팅 공정의 효율은 노즐의 출구형상 및 단면적 크기 등에 적지 않은 영향을 받는다. 특히 발전설비용 부품들은 대부분 넓은 면적의 기하학적 형상을 갖는 경우가 많아 블라스팅 노즐의 출구 면적 및 형상에 따라 표면의 균질 상태가 상이하므로 이에 대한 의존도가 높을 수밖에 없다. 통상적으로 많이 사용되고 있는 벤츄리 타입의 원형 노즐의 경우 출구 단면의 형상이 원형이기 때문에 국부적인 표면처리에 적합하다. 또한 작업자의 숙련도에 따라 표면의 균질한 정도는 크게 달라질 수 있다. 이에 본 연구에서는 대면적 표면처리가 가능하고 균질한 표면 상태를 주는 블라스팅 노즐을 설계하였다. 먼저 입구측이 25mm, 출구측이 14mm, 최소직경부가 6.4mm인 상용 벤츄리 타입 원형노즐에 대한 유동해석을 수행한 후 출구로부터 65mm위치의 평판모델 표면에서 압력을 확인하였다. 해석 후 약 10mm의 직경을 갖는 국부적인 유효 면적을 확인하였다. 이때 유동 해석은 상용 해석소프트웨어 ANSYS FLUENT를 이용하였으며, 표준난류모델 k-epsilon realizable을 적용하였다. 이에 대면적 분사가 가능한 다양한 출구 형상의 해석모델들을 수립하여 유동해석 후 최적의 노즐 형상을 선정하였다. 최적의 노즐은 출구 단면 길이가 70mm, 폭이 3mm인 직사각형 형상을 갖는다. 이 노즐 모델을 3D 프린팅으로 출력하여 입구 측에 송풍하여 출구 측에서 넓은 폭으로 분사됨을 확인하였고 이로부터 유동해석에 기반을 둔 에너지 산업용 대면적 블라스팅 노즐의 형상 설계 기법이 실무 적용에 유용함을 확인하였다.

Acknowledgement

본 논문은 2016년도 산업통상자원부 산업기술혁신사업 청정화력기술개발사업(No. 2016112 0200210)의 연구비 지원으로 수행되었음.

회전 수차에서 에너지 저감장치 개발을 위한 연구

A Research for Energy Reduction Device Development on Rotation Motor

김원섭 · 김종만

전남도립대학교 신재생에너지전기과

에너지를 절약하는 회전 수차를 이용하여 물을 정화하는 장치를 개발하였다. 먼저 부유분수형 수질 정화장치를 위하여 회전날개와 부유장치를 개발하였으며 특수 제작된 회전체를 사용하여 펌핑한 물을 분사함으로써 물의 유동을 촉진하여 호소의 용존 산소량을 증가시켜 물의 부패와 오염을 방지하도록 개발 연구하였다. 특히 양수 기술과 LED 조명 기술을 적용하여 특히 야간에는 수질정화 및 아름다운 경관을 연출하는 동시에 제공되는 이동식 부유분수대로서 기존의 분수대보다 설치가 간단하고 유지보수가 용이하도록 개발하였다.

또한 에너지 저감을 위하여 회전 전동기를 개량하였으며 물의 충격과 흐름에 따른 마찰력을 감소하여 에너지를 절약하기에 이르렀다. 세부적인 연구개발로서는 수차의 베이스 판 구조를 물과 수평하게 유지함으로써 마찰력을 감소하여 공급에너지를 절약하도록 하였으며 물의 부유 및 자연현상에 의한 이동식 분수대를 제작함으로써 불필요한 동력에너지를 절약할 수 있었다.

에너지 절약을 위한 회전모터는 여러 가지 형태의 것을 개발하여 이용하였으며 그 중에서도 특히 헬리컬형이 좋은 결과를 얻었다. 거품 제거 장치의 높은 효율을 유지하기 위한 임펠러를 개발하여 적용하였으며 거품뿐만 아니라 수처리가 용이한 정화장치의 부력체를 이용하였다. 이것은 물에 뜨는 구조로서 어떤 형태로든 충격감소와 수질정화가 용이 하도록하여 에너지를 절약하도록 하였다.

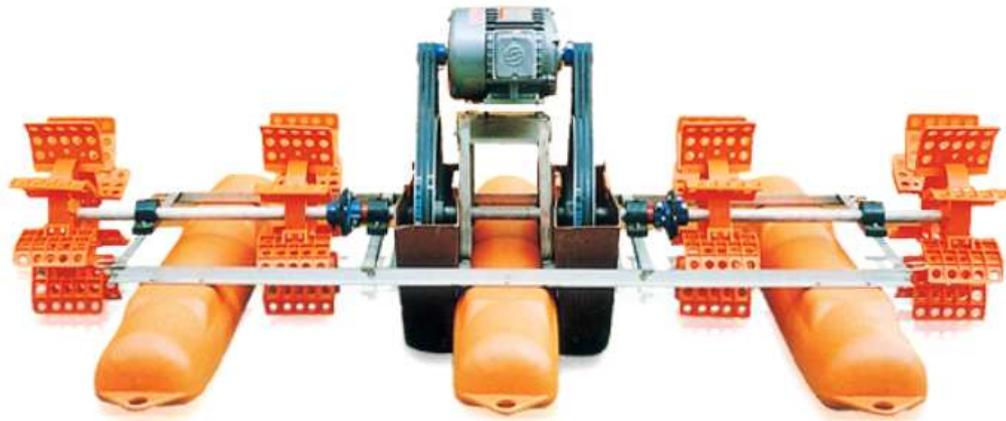


그림 1. 에너지 저감장치를 위한 회전수차 모형

이와 같이 수질정화용 회전 수차에는 베이스판과 정화장치 그리고 회전전동기와 거품제거장치 등을 통하여 물처리가 용이하고 에너지를 저감시킬 수 있는 수차를 개발하였다. 이것을 이용하여 환경오염 개선에 활용하면 많은 에너지 절약과 사회발전에 기여하게 될 것으로 생각된다.

- 키워드 : 에너지절약, 회전수차, 임펠러구조, 베이스판구조, 부유장치 모형

호스의 고장유형 및 영향분석의 고찰

Consideration of FMEA(Failure mode and effects analysis) for Hoses

최명종 · 지영화 · 홍영희

한국수력원자력 중앙연구원

전 세계의 원자력 발전 사업에서 세계 일련의 원자력 발전 사고에 대응하기 위해서 각 안전관련 설비에 대해서 안전성 확보 및 증진을 위해 자재 선택에 있어서 신중을 기하고 있음에 틀림없다. 하지만 고비용의 원자력 안전 프로그램의 유지와 원자력 산업의 위축으로 인한 원자력 발전 부품의 수급 문제가 대두되어 일반규격품 검증이라는 프로그램을 적용하여 이러한 자재 수급 문제를 풀려고 각 국의 원자력 발전 사업체들의 노력이 진행되고 있는 실정이다.

그럼 호스의 기본 기능을 살펴보자면, 부품 간 유체(액체, 기체) 이송을 통해 각 시스템에 동력, 냉각수, 윤활유 및 연료 등을 공급하는 기능을 수행한다. 이러한 호스의 동작 원리는 호스내의 유체는 압력이나 온도차에 의해 정해진 기기에서 기기로 이송된다. 호스의 고장유형을 구분하자면, 먼저 피로 파손(Fatigue Fracture)으로 반복적인 작동유체의 충격압력과 온도변화, 압력변동이나 진동에 따른 호스의 굽힘과 꺾임의 반복동작에 의한 과도한 응력 등의 원인으로 호스에 피로파손이 발생한다. 이로 인해 호스의 피로파손으로 작동유체가 누출되어 시스템에 동력, 냉각수, 윤활유 및 연료 등을 원활하게 공급하지 못하여 안전기능에 영향을 미칠 수 있다. 마지막으로 균열/과열(Crack/Overheating)로 호스가 고온에 노출, 작동유체가 규정된 온도범위와 사용압력을 초과하거나 저온에서 굴곡/구부러짐 등의 원인으로 호스에 균열이 발생하고 균열이 지속되면 호스가 파열 될 수 있다. 호스의 균열/과열로 작동유체가 누출되어 시스템에 동력, 냉각수, 윤활유 및 연료 등을 원활하게 공급하지 못하여 안전기능에 영향을 미칠 수 있을 것이다. 이러한 분석을 바탕으로 설계도면, 기술규격서, 공급자 자료, 산업표준, 산업계 또는 규제기관 발행자료 등을 검토하여 모기기의 안전기능 및 부품의 고장모드를 확인결과를 토대로 적합성 확인에 필요한 필수특성을 도출한다. 그 방법으로는 일반적으로 식별(Identification Attributes), 형상 및 CFSI 검사(Configuration & Counterfeit, Fraudulent, Suspect Item), 치수(Dimensions), 재질 및 물리적 특성(Material & Physical Characteristic), 성능특성(Performance Characteristic)으로 검증을 수행 할 수 있을 것이다.

현재 우리나라에서는 정부의 탈원전 정책으로 인한 원전산업의 기로에 서있다. 그러나 우리나라의 산업 발전의 현주소가 원자력 발전의 덕분이라는 것을 부정할 사람은 없을 것이다. 그러므로 계속 유지되고 있는 원자력 발전의 안정적인 운영을 위해서는 이러한 일반 규격품의 고장유형과 영향 평가의 분석으로 일반 규격품 검증 프로그램에 따라 올바른 부품 사용을 통해서 가능 할 것이라고 사료된다.

연구용 원자로 중수 계통의 건설 및 시운전 시 고려사항

Consideration on Construction and Commissioning of the Closed Loop Heavy Water System in a Research Reactor

최정운 · 윤현기 · 서경우

한국원자력연구원 연구로계통설계부

연구용 원자로는 발전용 원자로와는 달리 핵분열에 의해 생성된 고속중성자를 감속시켜 열중성자를 만들어 재료조사 시험, 의료용 동위원소 생산, 중성자 빔 이용연구 등의 이용분야를 대부분 수용할 수 있도록 다목적 연구로이다. 고속 중성자를 효율적으로 열중성자로 감속시키기 위해 반사체로써 중수를 사용하며, 이를 위한 폐순환 중수계통이 Fig. 1과 같이 구비된다. 원자로의 효율적인 안전한 운전을 위해 계통 내 중수는 고순도($> 99.7 \text{ D}_2\text{O wt\%}$)로 충전되어야 하며 설계수명동안 최소한의 순도저하가 발생되어야 한다. 이를 위해 시공 및 시운전 과정에서 일반적으로 경수를 사용하는 유체계통에 비해 시공 시운전 단계에서부터 주의하지 않으면 원하는 결과를 만족할 수 없다. 계통의 고정정성을 만족하기 위해, 시공에 사용된 모든 배관, 밸브, 피팅, 계측기, 기기 내부 등은 화학용제로 세정하여 내부 표면에 이물질을 모두 제거한 후 완전 건조공정을 고려하였다. 중수 충전 전에 건조 압축공기를 이용하여 물리 흡착된 이물질을 제거하는 과정을 거쳐 계통 배관 말단에서 플러싱 된 공기에 함유된 이물질을 육안으로 확인하는 공정을 고려하였다. 시공된 계통의 압력시험은 건조 압축공기를 사용하고 중수 전 건조압축공기로 충분히 불어낸 후 이슬점을 측정함으로써 경수의 접촉가능성을 최소화함은 물론, 계통 운전에서 따라 축적되는 중수 내 삼중수소를 함유한 중수가 계통 외부로 누설되는 양을 최소화하기 위해 시공된 계통의 기밀성을 확인하여 허용 누설률 이하를 만족하도록 하였다. 고순도 중수를 충전하는 방안을 모색함과 동시에 운전하면서 이온교환기 수지 교체 후 재 충전 과정에서 발생하는 공기 제거작업 중 중수의 누설량 및 방사화된 중수를 포함한 증기 발생량 최소화로 인해 작업의 안전성을 높이기 위해 이온교환기 배기 공정을 설계 변경하였다. 즉, 중수를 사용한다는 특이성으로 인해 충전 전 계통의 청정성, 방사성유체인 중수계통의 유지보수 편의성, 방사성물질인 공기 중 삼중수소 농도 제어, 중수의 순도 관리, 경수의 접촉 가능성 최소화를 고려하여 시공 및 시운전을 수행하면서 발생된 문제 및 해결과정 등을 본 발표에서 논하고자 한다.

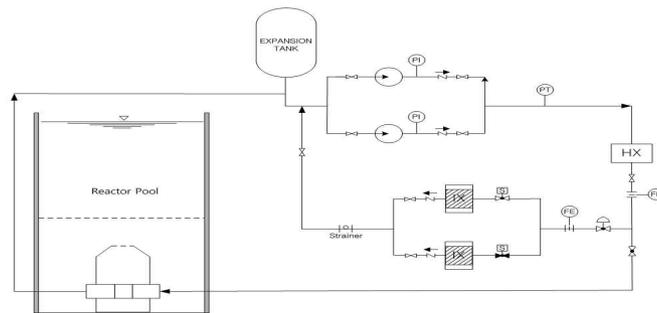


Fig. 1 Schematic flow diagram of heavy water system

후 기

본 논문은 과학기술정보통신부에서 시행한 연구로 공학기술 연구과제의 연구개발 성과입니다.

APR1000 중대사고 전용계통 설계 방안

Design Plan of Dedicated System for Severe Accidents in APR1000

황도현 · 양원석

한국수력원자력(주) 중앙연구원

국내 원전은 표준형원전(KSNP) 및 OPR1000 노형의 개발 및 건설 이후 현재까지 APR1400 노형 및 이를 표준으로 한 1,400 MWe 이상의 대형 노형 개발에 집중해온 결과 원전 수출 품목이 APR1400만 존재하여 치열하게 경쟁하고 있는 해외 원전시장에서 수주 경쟁력이 뒤처지고 있는 현실이다. 이에 한국수력원자력(주)은 유럽사업자요건(EUR) 및 후쿠시마 사고 후속조치 등 최신 규제요건을 반영하여 안전성이 강화된 1,000 MWe 급의 중형원전을 개발하여 해외 원전시장에서의 다양한 수요를 충족시키고자 한다. 또한 최신 규제요건에 추가적으로 현재 중형원전의 가장 유력한 수출 대상국으로 떠오르고 있는 체코의 규제 현안도 추가적으로 참고하여 검토하였다.

APR1000 중대사고 전용계통인 중대사고살수계통(SACSS), 중대사고기기냉각수계통(SACCWS), 중대사고기기냉각해수계통(SAESWS)의 설계를 위해 EUR 요건을 검토한 결과 EUR Rev.D 2.1.4.1.D에서는 중대사고를 포함하는 설계초과조건(DEC) 대처계통에 대해 단일고장을 고려하지 않는 N 설계를 수용할 것으로 해석되는 반면, EUR Rev.D 2.1.6.2.1.A에서는 F1 및 F2 안전기능 수행계통은 단일고장을 고려하여 설계할 필요가 있어 N+1 설계를 요구하고 있어 EUR 내 두 요건 간 충돌이 발생한다. 추가적 검토 대상인 체코 예비안전 성분분석보고서인 ISAR 3.3.1.2.3에 따르면 서유럽규제자협회(WENRA)의 5단계 다중방호개념(Five levels of DiD)을 준용하고 있으며, 또한 ISAR 3.13.1.1.12에 따르면 설계기준사고에 대해서는 단일고장 및 공통원인고장을 고려하라고 명시되어 있을 뿐 중대사고를 포함한 DEC 사고에 대한 언급은 없다. 다만 ISAR 3.3.1.2.5에 따르면 DEC 조건과 연계한 설계는 다음의 세 가지 목표를 충족시켜야 할 것을 규정하고 있다.

- 정지불능예상과도사고(ATWS), 발전소정전사고(SBO)와 같은 복합사고 확률 감소 및 영향 완화
- 원자로건물 손상 방지
- 중대사고 영향 감소

APR1000 중대사고 전용계통 설계를 위해 EUR 및 체코 요건을 모두 고려한 결과, 안전성 강화 및 설계 용이성 측면에서 N+1 설계가 더 유효할 것으로 판단되었다.

EUR : European Utility Requirements

SACSS : Severe Accident Containment Spray System

SACCWS : Severe Accident Component Cooling Water System

SAESWS : Severe Accident Essential Service Water System

DEC : Design Extension Condition

WENRA : Western European Nuclear Regulators Association

ISAR : Initial Safety Analysis Report

영국 GDA 요건충족 방사선 관련계통 개발 방안

Development Plan of Radiation-related Systems to comply with the Requirements of General Design Assessment in England

황도현

한국수력원자력(주) 중앙연구원

2009년 UAE 원전수주 이후 한국수력원자력(주)을 위시한 국내 원전관련 기업들이 해외 원전시장에서 후속원전 수주를 위해 열심히 노력해왔지만 아직까지 수주 소식은 요원한 것이 현실이다. 또한 2017년 새로이 들어선 문재인 정부는 공식적으로 국내 탈원전 정책을 추진하면서 신고리 5,6호기 이후 국내에서 더 이상의 원전건설은 힘든 상황이다. 국내에는 더 이상의 원전 건설을 허용하지 않지만 해외 수출은 적극 독려하겠다는 정부 의도의 진의를 떠나 향후 국내 원전사업의 운명은 해외 원전수주에 달려 있다고 해도 과언이 아니다. 영국의 무어사이드(Moorside) 및 윌파(Wylfa) 원전사업이 가시권에 들어오면서 안전성과 경제성을 동시에 만족하는 영국 신규 원전사업 추진을 위해 해외수출용 APR1400 모델의 영국 일반설계평가(GDA) 인허가 적합성 분석이 필요한 상황이다.

이 논문에서는 '17.11월 유럽사업자요건(EUR) 인증을 취득한 EU-APR 노형을 대상으로 영국 GDA 인허가 요건인 안전평가원칙(SAPs) 및 기술평가지침(TAGs)을 토대로 추가 설계 및 설계보완이 필요한 분야를 도출하였다.

첫 번째로 격납용기 설계와 관련하여 SAP ECV.4 Chemistry 규정에 따르면 방사성 물질을 저장하는 격납용기들은 추가 장벽을 제공하여 설계기준사고로 야기될 수 있는 누설에 대해 충분히 안전한 대처능력을 갖출 것을 요구한다. 또한 TAG(NA-TAST-GD-020, Civil Engineering Containment for Reactor Plant) 5.104에서는 구체적으로 핵연료저장조를 특정하여 누설감지계통의 경보시설을 갖춘 두 개의 독립적인 방수 라이닝을 설치하고 건설기간 중 각각의 라이닝의 누설기밀을 입증할 것을 요구하고 있다. 따라서 핵연료저장조 설계시 누설기밀을 입증할 수 있는 2차 격납구조로 설계함과 동시에 누설감지계통 설계도 수반되어야 할 것으로 판단된다.

두 번째로 방사선 방호와 관련하여 SAP 598에 따르면 대기 방사능의 확산을 감시 및 제어하기 위한 효과적인 수단을 제공할 것을 요구하고 있으며, TAG(NA-TAST-GD-038, Radiological Protection) 5.10에서는 구체적으로 대기 방사선량 감시 및 제어를 위해 표면 오염 및 직접 방사선에 대한 감시 및 제어설비를 설계할 것을 요구하고 있다. 아직까지 국내에서는 일부 구역에 대해 주기적으로 표면오염 측정 후 필요시 제염을 수행함으로써 표면 오염을 관리하고 있어 이 부분에 대한 설계가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

EUR : European Utility Requirements

SAPs : Safety Assessment Principles for Nuclear Facilities

TAGs : Technical Assessment Guides

체코 설계요건 충족을 위한 설계확장조건 대처 수단 설계 방안 고찰
Design Principle of Provisions on Design Extension Condition to comply
with Design Requirements in Czech Republic

양원석 · 김대준 · 김지환
한국수력원자력 중앙연구원

유럽시장 진출 경쟁력 강화를 위한 수출 노형 다양화를 위해 국내 OP1000을 기반으로 서유럽원자력규제자협회(WENRA) 및 국제원자력에너지기수(IAEA) 등 유럽 원전설계에 적용 중인 최신 규제 요건 충족을 위한 1000MWe급 중형원전 설계를 개발 중이다. 한편, 2016년부터 체코 신규원전 사업 참여를 위해 관련 기관간의 협의가 진행되고 있는 상태이므로 본 논문에서는 체코 ISAR(Initial Safety Assessment Report)의 설계확장사고 대처관련 요건 충족을 위한 계통 설계 방안에 대하여 고찰하고자 한다.

원자력발전소 설계 시 사고 방지 및 사고 결과 완화를 위한 중요 수단으로 심층방어개념을 도입하여 설계하여 한다. 심층방어개념과 관련하여 체코의 규제지침은 IAEA SSR 2/1과 같은 5단계의 심층방호개념 적용을 요구하고 있고 ISAR의 설계 요건으로 WENRA Safety Report(2013)와 동일하게 설계기준사고(Design Basis Accident, DBA)에 대응하는 수단은 심층방어 3a단계로 설계확장조건(DEC)에 대응하는 수단은 3b단계로 분류하고 있다. 또한 각 단계별 계통, 구조물 및 기기가 수행하는 안전기능의 중요도에 따른 신뢰성을 확보하기 위해 입증된 기기, 검증, 시험, 다중성, 다양성, 물리적/기능적 분리 설계 원칙을 요구하고 있다.

한편, 체코 규제지침은 DBA에 대응하는 수단의 단일고장 및 한 계열 또는 채널 미연결 시에도 요구되는 안전기능을 수행하도록 다중성 요건을 명시하고 있다. 하지만, DEC 대응 수단에 대해서는 구체적인 요건은 없고 유용한 설비 및 인력을 효과적으로 사용하도록 운전 규정 및 지침이 개발되어야 하고 단일고장과 확률론적 안전성평가 결과를 고려하여 요구되는 다중성의 수준을 평가해야 한다고 ISAR의 설계 요건으로 명시하고 있다.

따라서, 인허가성, 안전성 및 경제성을 고려하여 체코 설계 요건을 충족을 위한 DEC 대응 수단을 설계 원칙은 다음과 같이 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

- DBA 대응 수단과 별도의 독립적이고 다양화된 DEC 대응 전용 수단 구비
- DEC 대응 전용 수단 다중성은 N+1(2계열) 적용
- DEC 대응 전용 수단 계열별로 물리적 분리 배치
- 확률론적 안전성평가 기반 다중성 적정 수준 평가를 통한 다중성 완화 등 설계 최적화

열동형 과부하 계전기 검증 필수특성에 대한 고찰
A Methodology Study on Verification Critical Characteristics
of Bimetallic Thermal Overload Relay

허희무 · 지영화 · 양창석
한국수력원자력(주) 중앙연구원

열동형 계전기는 온도의 변화에 따라 움직이는 계전기로, 계전기 내부에 바이메탈, 히터, 보조접점을 동작시키는 작동스프링 및 레버 등의 구조물들로 이루어져 있다. 열동형 과부하 계전기 내부의 바이메탈(Bimetal)은 팽창, 수축하는 정도(열팽창계수)가 다른 두 종류의 금속을 접합해 온도가 높아지면 열팽창계수가 큰 쪽이 더 많이 팽창하여 굽어지게 되는데, 이때 생기는 물리적 힘으로 보조접점 출력을 발생시킨다. 주회로 단자의 히터에 과전류가 흐르면 열이 발생하고 이로 인해 바이메탈에 변위가 생기면서 트리거 레버가 당겨지고 인장레버도 함께 동작되어 작동 스프링에 의해 접점이 개방된다. 이러한 원리를 이용하여 회로를 구성하면 과부하에 의한 전동기 등의 회로 소손을 방지하기 위한 접점 출력을 제공할 수 있다.

열동형 과부하 계전기의 고장모드를 살펴보면 크게 보조접점 접촉저항 증가, 과전류 및 정상 부하시 보조접점 오동작, 히터 특성열화, 바이메탈 부동작의 네 가지로 구분 할 수 있다. 이를 확인하기 위한 필수특성으로는 접점 저항, 절연저항, 보조접점 용량(Contact ratings), 동작 시간(Operating time)을 들 수 있다. 과부하 계전기의 절연물에 전압을 가하면 아주 미세한 전류가 흐르는데, 이때의 전압과 전류의 비로 구한 저항을 절연 저항이라고 하는데, 단위는 보통 $M\Omega$ 이 쓰인다. 계전기의 선간 격리기능 수행여부를 확인하기 위하여 절연저항을 측정한다. 보조접점 용량은 접점에 통과시킬 수 있는 전류의 최대치를 일컫는다. 일반적으로 열동형 과부하 계전기의 접점 용량은 전류종류(AC/DC)에 따른 사용범주별(IEC 60947-5-1 4.4) 해당범주의 전압범위에 대한 최대 전류치로 제공된다. 접점 용량을 접점에 인가 후 계전기의 파손 흔적 및 고장 발생 여부로 만족 여부를 확인한다. 동작 시간은 동작 전류를 초과하는 과전류 인가시 접점이 단락되거나 개방되기까지의 시간을 뜻하며, 규정된 시간 내에 접점이 단락되거나 개방되는지 확인하기 위하여 동작 시간을 측정한다.

열동형 과부하 계전기의 건전성을 검증하기 위해 본 논문에서는 열동형 과부하 계전기의 기능에 중점을 두고 고장원인 및 고장모드 영향분석을 실시하였으며, 고장 여부를 확인할 수 있는 성능 검증 필수특성을 도출하였다. 본 논문에서는 일반적인 열동형 과부하 계전기에 대해서만 다루었으나 계전기의 특성에 따라 검증 필수특성을 추가 적용할 수도 있을 것이다.

원자력발전소 운전원 직무분석을 통한
인공지능 기반 운전지원시스템 대상 분류 기준 수립

Classification Criteria of Task for Operation Supporting System based on
Artificial Intelligence through Task Analysis of Nuclear Power Plant

문종설 · 최선미

한국수력원자력(주) 중앙연구원

인공지능은 다양한 서비스를 통해 급속도의 글로벌 시장으로 성장하고 있으며 인간이 수행하는 역무를 대신해 줄 수 있는 많은 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다.

원자력발전소의 모든 운전은 운전원이 정해진 절차에 따라 수행하고 있기 때문에, 사고를 제외한 원자력발전소 운전 중에서 기동 및 정지 운전은 주제어실 운전원에게 큰 업무 부하를 주고 있다. 또한 숙련도가 부족한 운전원에게 종합적 상황을 인지하고 판단하는 역무를 요하는 경우에는 훈련을 통한 극복이 이루어지고 있다. 이러한 상황들을 보완하기 위하여 인공지능 기반 지원 시스템을 구축하여 지원 서비스를 제공하고자 한다. 본 연구에서는 인공지능 기반 단계적 운전지원 방법 설계를 위해, 신고리 3호기 직무분석 및 그 결과를 기반하여 운전지원 그룹을 분리 후, 최적지원을 위한 대상그룹을 선정하였다.

원자력발전소 단계적 운전지원 대상은 단순 논리/경고, 인공지능 모델 적용으로 구분하였다. 최적 지원을 위한 운전지원 대상그룹은 두 단계로 분류 된다. 1단계에서는 직무분석 결과에 따른 '안전사고의 유/무', '정보의 형태', '의사결정 방법'의 단순 논리/경고 대상 여부를 결정한다. 추후 2단계에서는 의사결정기준에 따라 '절차기반', '지식기반', '기술기반' 항목으로 구분하여 각기 다른 방식의 인공지능 모델이 적용되도록 한다.

본 연구에서는 운전지원 대상그룹의 단계적 선정 방법에 따라 상온 정지 상태에서부터 고온 대기 상태 운전에 대해 해당 방법론을 적용하여 분류한 후, 선정된 운전지원 대상그룹의 특성을 도출하여 인공지능 모델 선정의 기초자료를 마련하였다. 향후 선정된 지원 대상에 대하여 적합한 인공지능 모델의 선정 및 훈련 등을 통하여 원자력발전소에 최적화된 인공지능 기반 지원 시스템을 개발할 예정이다. 인공지능의 지원기술 도입은 운전원의 인적실수 예방에 기여할 것으로 기대된다.

본 연구는 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20171510102040)

원전 규제현안 관련 환기 측정 방법의 응용 Applications of Ventilation Test Methods for the Regulatory Issues

신민우 · 함태규

한국수력원자력(주) 중앙연구원

환기란 실내에 기류분포를 형성함으로써 발생한 오염물질을 제거하고 재실자에게 신선한 외기를 공급하기 위한 것이다. 실내의 환기량 또는 공기 교환량은 환기에 있어서 가장 기본적인 양으로 실내의 공기질이나 에너지 사용량과 밀접한 관계가 있다. 환기량을 측정하는 방법에는 송풍기 가압방법과 추적가스를 이용한 방법이 있다.

송풍기 가압방법은 실내를 블로어 도어(Blower Door)를 통하여 가압한 상태에서 주입되는 풍량을 측정한다. 틈새 간극을 통한 외기 침투율을 측정하기 위한 것으로서 건물의 밀폐도(Tightness)를 측정하는데 주로 사용된다. 송풍기 가압방법 관련 기술기준으로는 ASTM E779, ASTM E1827, ISO 9972(KS L ISO 9972), ISO 14520-1(KS B ISO 14520-1), NFPA 2001 등이 있다. 송풍기 가압방법의 원전 적용 사례를 살펴보면, 가동원전 이산화탄소 소화설비 성능시험 결과 소화 농도가 기술기준 요건에 불만족하여 문제점을 분석하고 설비개선을 추진하기 위해 적용되었다. 가스계 소화설비의 직접적인 방출 성능시험은 소화설비의 성능을 입증할 수 있는 가장 확실한 방법이나 이산화탄소 소화설비의 경우 직접적인 소화약제 방출시 방화구역내의 온도가 영하로 떨어져 전기 기기 및 전자기기에 손상을 줄 수 있어 시험 전에 기기의 손상 방지를 위한 보온조치가 필요하며, 지구온난화에 따른 환경규제로 간접적인 성능시험이 요구되고 있는 추세이다. NFPA 기술기준을 이용한 간접적인 성능시험인 블로어 도어 테스트를 통하여 방화구역내의 소화약제량 산정 및 소화농도 유지시간을 예측하는데 활용하였다.

추적가스를 이용한 환기량 측정방법은 건물 외피에 영향을 주지 않으면서 외기와의 공기 교환량을 비교적 손쉽게 측정할 수 있다. 추적가스를 이용한 실험방법은 환기량이나 환기효율 측정 뿐만 아니라 건물배기의 재유입 측정시험, 유해물질의 보관성능 시험, 오염원의 강도 측정, 덕트 시스템 내의 풍량 측정, 그리고 유해물질의 확산 및 유동 경로추적 실험 등 응용범위가 많이 있다. 추적가스를 이용한 방법 관련 기술기준으로는 ASTM E741, ASTM E2029, ISO 12569(KS L ISO 12569) 등이 있다. 추적가스를 이용한 방법의 원전 적용 사례를 살펴보면, Inleakage Test를 통한 주 제어실 거주성 평가(Control Room Habitability, CRH)에 적용되고 있다. 주 제어실은 사고조건하에서 운전원이 거주할 수 있도록 방사선 및 유독가스와 같은 위험으로부터 운전원을 보호할 수 있어야 한다. 미국 일부 가동 중인 발전소의 주 제어실 거주성 평가 결과, 주 제어실의 실제 비여과 유입공기량(Unfiltered Air Inleakage)이 설계 가정치를 초과하여 미국 원자력규제위원회(NRC)에서 발전소별 조치현황(GL 2003-1) 및 주 제어실 거주성 입증(Reg. Guide 1.197)을 요구하였다. 국내에서는 규제기관에서 주기적 안전성평가(Periodic Safety Review, PSR)를 통하여 주 제어실 거주성 평가 프로그램을 수립하여 이행할 것을 요구하고 있다. 기술기준 ASTM E741 방식에 따라 추적가스를 이용한 Inleakage Test를 수행하여 주 제어실 지역으로의 오염공기 유입량이 설계 기준치 이하임을 입증하고, 설비개선 및 보완 사항 도출하는데 활용하고 있다.

인공지능/빅데이터를 적용한 원자력발전소 설비 감시 및 진단 기술개발 현황

김대용 · 이병오 · 민지호

한국수력원자력(주) 중앙연구원 설비기술연구소

한국수력원자력(주)에서는 원자력발전소의 안전성과 효율성을 향상시키기 위해 IoT, 인공지능, 빅데이터 등 4차산업혁명 기술을 적용한 원전 주요 설비의 온라인 통합 모니터링 및 진단시스템(Centralized Monitoring and Diagnosis System) 구축을 추진하고 있다. CMD시스템은 전국에 산재해 있는 원자력발전소의 운전상황을 실시간 감시하는 통합모니터링 기능, 발전소 주요 계통 및 설비의 이상 징후를 조기에 감지하는 조기경보 기능, 온라인으로 설비를 실시간 진단하고 상태를 예측하는 자동예측진단 기능 그리고 감시/진단/정비 데이터를 통합하여 설비의 단기 및 중장기 추세를 분석하는 통합빅데이터 분석 기능 등 크게 4가지 기능을 수행하도록 설계되었다.

1단계 과제로 24개 원자력발전소의 주요 계통과 설비를 통합 감시하기 위한 온라인 통합 모니터링 및 조기경보시스템을 구축하였으며(2013. 6 ~ 2016.5) 현재 경주본사 원전종합상황실에서 24시간 운영을 통해 설비의 미세한 고장징후를 사전에 예방하고 있다. 2단계 과제로 원자력발전소 주요 설비를 대상으로 온라인 자동예측진단 기술 개발을 2017년 8월에 착수하였으며, 2018년 2월 세계 최초로 원자력발전소 핵심설비의 고장을 사전에 예측할 수 있는 예측진단용 빅데이터 시스템을 구축하였다. 예측진단용 빅데이터 시스템은 IoT(Internet of Thing) 기술을 활용 24개 발전소별로 분산 운영중인 감시/진단시스템을 온라인으로 연계해 터빈, 냉각수펌프 등 원전 핵심설비를 통합진단 할 수 있는 인프라를 제공하게 된다. 한국수력원자력은 2018년 8월까지 핵심설비 240대에 대해 빅데이터와 인공지능 기술을 융합한 자동예측진단 시스템을 구축하고 대전에 위치한 중앙연구원에서 예측진단센터를 운영할 예정이다. 이후 2020년까지 전 원자력발전소에 설치된 약 300종류의 핵심설비 16,000대에 대해 무선센서 적용, 3D 가상설비 구현을 통한 고장 분석 등이 추가된 자동예측진단시스템 확대 구축이 수행될 예정이다.

다중연료 노심설계가 노심비정상출력분포에 미치는 영향 Effect of Multi-Fuel Core Design on Axial Offset Anomaly

이서정

한국수력원자력 중앙연구원

최근 경수로에서 이슈가 되고 있는 노심비정상출력분포(AOA: Axial Offset Anomaly) 현상이란, 계통 및 증기발생기에서 생성된 부식생성물들이 냉각재 내로 유입된 후 핵연료 표면에 크러드(CRUD: Chalk River Unidentified deposits) 형태로 침착되어 축방향 출력분포의 찌그러짐을 유발하는 것을 의미한다. 크러드는 온도가 높으면 용해도가 낮아지는 특성에 의해 핵연료 표면에 과냉핵비등이 발생할 경우 석출되어 침착된다. 따라서 비등량과 연료 크러드 침착량은 비례관계에 있다. 본 연구에서는 두 타입 이상의 연료가 노심에 공존할 경우의 비등 특성과 크러드 침착량을 평가하여 AOA에 미치는 영향을 분석하였다.

다중연료 노심설계가 이루어지는 경우는 천이주기 노심일 경우이다. 새로 개발된 핵연료로 평형주기를 이루기 위해서는 기존 연료와 새로운 연료가 공존하는 천이주기는 반드시 존재한다. 국내 표준형 발전소를 예로 들면, GUARDIAN 연료를 사용하다가 PLUS7 연료로 교체할 경우 3 배치 노심에서 최소 두 주기는 두 타입의 연료가 공존하게 된다.

크러드의 특성은 앞서 언급된 바와 같이 핵연료 표면에 비등이 많이 발생할 수 있는 신연료에 주로 침착되므로 BOA 코드를 이용한 크러드 침착 분석 시에는 두 타입의 연료가 공존하더라도 신연료 타입만 고려하여 분석하는 것이 타당하므로 BOA 코드 입력으로 사용되는 열수력 데이터 생산 또한 신연료 체원만을 가정하여 분석하여 왔다. 하지만 계산코드의 이러한 가정으로는 실제 발전소 ASI(Axial Shape Index) 측정치를 벤치마킹하지 못함에 따라 실제와 같이 두 타입의 연료가 공존하는 열수력 모델을 새로이 생산하여 평가한 결과, 측정치와 매우 유사한 벤치마킹 결과를 얻을 수 있었다.

평가 대상으로는 국내 OPR1000 노형의 천이주기 노심에서 AOA가 발생한 주기이다. 두 타입의 연료가 공존하는 노심을 단일연료(PLUS7)만으로 설계한 열수력 모델과 다중연료로(PLUS7/GUARDIAN) 설계한 열수력 모델의 비교 결과, 다중연료 설계 모델에서 GUARDIAN 연료채널의 출구온도는 약 2°F 낮아졌으며 이에 반해 PLUS7 연료채널의 출구온도는 6~8°F 가량 높아졌다. 이유는 GUARDIAN 연료가 PLUS7 연료에 비해 연료봉 직경이 조금 더 커 동일 열수력조건일때 PLUS7 연료피복관 표면온도가 더 높아지기 때문이다. 연료특성별 열수력모델을 개발하여 BOA 평가에 적용한 결과 신연료(PLUS7) 비등량 및 크러드 침착량이 증가하여 실제 측정데이터 모사 경향이 개선되었다.

따라서 다중연료 노심일 경우 신연료에 크러드가 주로 침착된다 하여 신연료만을 가정한 열수력 모델 생성은 적절하지 않은 것으로 판단되며 정확한 분석을 위해서는 노심에 존재하는 모든 연료형태를 고려하여 열수력모델을 생성함이 타당하다.

발전소 기동중 Ni, Fe 제거량을 이용한 BOA 코드 화학세정 효율 검증

Validation of Chemical Cleaning Efficiency in BOA code Using Ni and Fe Removal Amount during Start-up Operation

이서정

한국수력원자력 중앙연구원

BOA는 Boron-induced Offset Anomaly의 약자로 1차 계통 수화학 모델을 통하여 연료의 비등, 크러드 생성 및 침착, 크러드 내 붕소침적을 분석한 후 최종적으로 붕소침적에 의한 축방향 출력분포 설계값과 실측값의 편차를 예측하는 코드이다. BOA 코드의 입력으로는 노심 및 연료 제원, 1차 계통 전체 열수력 정보(노심열수력 포함) 및 붕소농도 등 수화학 정보, 그리고 크러드 Source term 정보인 1차 계통 부식률 및 유출률, 배관 및 증기발생기 표면적, 이전주기 화학세정 및 초음파세정 효율 등을 입력할 수 있다. 여기서 BOA 코드가 가정해야 할 입력은 Source term 정보이다. 노심 및 계통의 제원 및 열수력 정보는 최종안 전성분석보고서의 데이터를 사용하며, 붕소농도 및 수화학 데이터도 핵설계보고서 및 발전소 실측값을 사용한다. 하지만 크러드 Source term의 부식률 및 유출률은 EPRI(미국전력연구원)가 측정한 실험데이터를 이용, 배관 표면적은 계산이 불가하므로 EPRI가 작성한 PWR Water Chemistry Guidelines에 명시된 표준값 사용, 이전주기 화학세정 및 초음파세정은 보수적인 값으로 각각 10~40%의 효율을 가정한다. 이처럼 가정사항이 많은 BOA 코드는 축방향 출력분포 편차의 정량적 분석이 어려우며 이전주기에 대한 평가주기의 편차 증가 또는 감소를 정성적으로 평가하는 코드이다. 하지만 BOA 코드도 이전주기들의 벤치마크를 통하여 가정사항들이 실제값과 유사해진다면 충분히 정량적인 평가가 가능하다. EPRI가 실험으로 검증한 데이터들은 큰 차이가 없을 것이며, 주기에 따라 변하지 않는 값들은 모든 주기에 대하여 하나의 값으로 가정할 수 있다. 하지만 정지/기동중 화학세정 효율은 세정시간이나 세정 시 화학조건들로 인하여 매 주기마다 변동이 있는 변수이지만 일반적으로 30%의 효율로 가정하는 실정이다.

국내 OPR1000원전의 노심비정상출력편차 발생 위험도를 평가하기 위하여 BOA코드를 이용한 ASI(Axial Shape Index) 실측값 벤치마크 수행 중, 이전주기까지 벤치마크가 유사하게 이루어짐으로써 결정된 변수를 이용하였지만 30%의 화학세정효율로는 실측값을 모사할 수 없는 주기가 발생하였다. 해당 주기의 기동중 화학세정 시간은 일반적인 12시간을 넘어선 480시간까지 연장한 이력이 있었으며, 화학세정 중 크러드 구성물질인 Ni, Fe 핵종의 제거량은 각각 1.1kg, 1.4kg, 총 2.5kg으로 측정되었다. 이 핵종들이 모두 NiFe₂O₄, NiO 화합물 형태일 경우에는 총 3.37kg까지 제거된 것이다. BOA를 이용한 크러드량 평가 결과 기동중 정화운전 미적용시 노심 잔여 크러드량은 5.76kg이며 50%의 정화효율을 가지면 2.88kg이 제거되는 것으로 2.5~3.37kg 범위내 존재하는 값이다. 50%의 정화효율을 추가로 적용한 결과 해당 주기의 벤치마크는 적절하게 수행되었다.

매 주기 가정해야할 BOA 코드 화학세정 효율은 발전소 정지/기동중 Ni, Fe 제거량 분석을 통해 적절하게 평가될 수 있으며, 이로써 더 정확한 ASI 편차 예측이 가능하다.

크러드 증가요인 발생 시 AOA 위험도 저감 방법 고찰

A Study on AOA Risk Reduction Strategy in case of CRUD Source Term Increment

이서정

한국수력원자력 중앙연구원

노심비정상출력편차(AOA: Axial Offset Anomaly) 현상은 주로 연료의 크러드 침착에 의해 발생하므로 크러드량이 증가할수록 AOA가 발생할 가능성은 높다. 따라서 크러드량이 증가할 수 있는 증기발생기 교체나 아연주입이 예정된 주기에 대하여 AOA 위험도 평가는 반드시 수행되어야 한다. 증기발생기 교체는 U자형 세관 재질을 Alloy600에서 Alloy690으로 교체함에 따라 기계·화학적 특성의 장점을 높이기 위한 목적으로 수행한다. 증기발생기의 부식생성물 유출률은 시간이 지남에 따라 지수함수적으로 줄어드는데, 오래된 증기발생기에 비해 새로운 증기발생기의 유출률이 매우 크다. 아연주입은 작업자의 피폭선량과 PWSCC (Primary Water Stress Corrosion Cracking)를 감소시킬 목적으로 수행한다. 아연은 계통의 산화막인 산화니켈, 산화철의 니켈, 철 이온과 치환되어 아연막을 구성하며, 크러드의 주 성분인 니켈, 철 핵종이 냉각재로 유출되어 크러드량이 증가한다.

크러드가 증가하는 요인 발생 시, 크러드는 비등이 발생하는 연료표면에 침착되는 특성이 있으므로 비등량을 줄이는 노심설계를 수행한다. 하지만 국내 표준형 원전의 증기발생기 교체 주기를 대상으로 AOA 위험도를 분석한 결과, 낮은 비등률을 가지는 노심설계는 해당주기의 AOA 위험도는 감소시킬 수 있으나 후속주기의 AOA 위험도는 증가할 수 있고, 실제 사례로 검증되었다. 증기발생기 교체 주기에 노심 비등량이 작으면 노심에는 크러드가 침착되지 않으므로 AOA 위험도가 낮다. 이때 증기발생기에서 생성된 부식생성물은 노심으로 이동하지 못하므로 증기발생기에 그대로 남아있게 된다. 증기발생기가 머금은 크러드는 후속 주기로 이전되며, 후속주기의 노심 비등량이 이전주기보다 증가하여 증기발생기에 존재하는 크러드는 노심으로 빠르게 이동 및 침착하였다. 결과적으로 후속주기에 AOA가 발생할 가능성이 커진다.

일반적으로 크러드 영향을 감소시키는 방안으로 초음파세정을 수행한다. 초음파세정은 연료에 침착되어 있는 크러드를 초음파를 이용하여 떼어내는 작업이므로 연료에 침착된 크러드량이 적으면 초음파세정의 효과 또한 적다. 위 사례의 후속주기 운영 전 초음파세정 수행을 가정하여 AOA 위험도를 분석한 결과, 이전주기에 침착된 크러드량이 매우 작기 때문에 초음파세정의 효과는 적으며 후속주기는 그대로 AOA가 발생한다는 결과를 보였다.

결론적으로 증기발생기 교체, 아연주입 등 크러드 증가 요인 발생시, AOA 저감용 노심설계를 시행하는 것이 아니라 AOA가 발생하지 않는 범위에서 적당한 비등을 가지도록 현 주기 노심을 설계하고 이에 따라 연료에 크러드가 침착되면 차주기 전에 초음파세정으로 이들을 제거함으로써 후속주기 AOA 위험도를 낮추는 방식을 적용할 필요가 있다.

중수로 국부과출력보호계통 정지설정치 평가를 위한 설계기준조건
 노물리 모델 생산

Design-Basis Flux Shape Modeling for the Trip Setpoint Evaluation of
 Regional Overpower Protection System in CANDU

김영애 · 박동환

한국수력원자력(주) 중앙연구원 계통안전연구소

중수로 국부과출력보호계통(ROP, Regional Overpower Protection System)의 정지설정치는 운전일수가 지남에 따라 감소한다. 이는 연료다발이 장전되는 압력관의 경년열화 현상인 압력관 크립 등으로 압력관내 냉각재 우회유량이 발생하고 상대적으로 연료다발 중심부에 공급되는 유량이 감소하기 때문이다. 유량감소로 인해 국부적인 출력 증가가 발생했을 때 이전 출력보다 낮은 출력에서도 드라이아웃이 발생할 수 있다. 이와 같은 문제로 중수로는 더 낮은 정지설정치를 사용하고 안전운전 여유도를 유지하기 위해 출력을 감발하여 운전 중에 있다. 감소되는 열적여유도 회복을 위하여 연료다발 중심부 유량을 증가 시키는 방안으로 연료다발을 구성하는 37개 연료봉 중 중심봉의 직경을 약 10%정도 감소시킨 중수로 개량 연료를 개발하였다. 연료봉 직경감소로 전체 우라늄양이 감소하고 연료다발 내 출력분포가 외곽봉에서 다소 증가하였으나 이로 인한 노심설계 차이는 크게 발생하지 않는다.

중수로 개량연료 개발의 주요 목적인 국부과출력보호계통 정지설정치 감소 완화를 개량연료 장전노심에 대하여 정지설정치 평가로 확인할 필요가 있다. ROP 정지설정치는 중수로 380개 채널을 대상으로 58개의 계측기에서 98% 이상의 확률로 원자로 정지신호를 발생할 수 있도록 하는 노심내 중성자속 계측기의 설정치이다. 총 58개 노내계측기는 크게 2개의 독립된 정지계통으로 분류되고, 각각 3개의 채널로 구성된다. 각 채널은 8~12개의 계측기로 나누어 채널화 되어 있다. 채널 내 1개의 계측기에서 설정된 정지설정치에 도달할 경우 채널은 정지신호가 발생되며, 각 계통 당 2개 채널에서 정지신호가 발생하면 원자로는 정지된다. 따라서 다양한 노심조건에 대하여 380개 채널의 출력과 그 때 계측기에서의 신호를 생산할 필요가 있다. 노심출력은 설계 공칭 출력분포를 기준으로 경수영역제어기를 비롯한 제어기 위치변화에 따른 출력변화와 연료교체 및 연소도에 따라 발생하는 출력변화를 독립적으로 고려한다. 연료교체 및 연소도에 따른 출력변화는 리플이라 부르고 실제 연료연소이력으로 생산된 출력분포를 이용한다. 제어기 등의 위치변화에 따른 출력변화는 다양한 운전조건을 가정해서 생산한다. 따라서 개량연료 장전노심에 대해 설계기준 운전조건을 고려하여 232개 시나리오에 대한 노심출력분포와 계측기 신호를 생산하였다. 생산된 출력분포는 현재 사용 중인 연료를 대상으로 기 생산된 출력분포와 비교하여 검증하고자 하였으며, 연료와 설계코드 변경에 따른 차이에도 불구하고 동일한 운전조건에서 생산되는 설계출력대비 출력분포 변동에는 큰 차이가 발생하지 않음을 확인하였다. 즉, 기존 연료와 비교해서 개량연료 설계변경에 따른 핵설계 및 노심설계 결과는 국부과출력보호계통의 정지설정치에 직접적인 영향을 주지 않을 것으로 판단된다. 향후 개량연료 장전을 통해 개선된 임계열속 상관식을 적용한 임계채널출력 값을 반영한 ROP 정지설정치 평가로 열적여유도 향상 효과 검증을 수행할 계획이다.

수출형 신형 원전 APR+ 전출력 내부사건 PSA 결과를
활용한 주요 기기 선정

Study on the Selected List of Structures, Systems and Components
using the result PSA for Advanced Power Reactors Plus

문호립

한국수력원자력주식회사 중앙연구원

본 논문의 목적은 확률론적 안전성평가(probabilistic safety assessment; PSA) 결과를 활용하여 수출형 원전 APR+ 주요기기 목록 선정의 절차와 그 결과를 고찰하는데 있다. 이를 위해 본 논문에서는 먼저, APR+ 전출력 내부사건 PSA 결과를 분석하고 관련 절차와 전문가 회의를 통해 설계단계 주요기기를 선정하였다.

설계단계 주요기기 선정을 위하여 사용된 그 절차와 방법은 다음과 같다.

- NUREG-0800 17.4 신뢰도 보증 프로그램
- EPRI, Advanced Nuclear Technology : Design Reliability Assurance Program Implementation Guidance
- NEI 00-04, 10CFR 50.69 SSC Categorization Guideline

APR1400원전의 NRC 설계인증 과정을 통하여 획득된 경험을 활용하여 절차서를 개발하였고 PSA 결과 및 전문가 위원의 의견을 반영하여 전출력내부사건 기준의 APR+ 설계단계 주요기기를 선정하였다.

주요기기의 선정 기준은 다음과 같다

- 단일기본사건 중 FV 중요도가 0.005보다 큰 경우
- 단일기본사건 중 RAW 중요도가 2보다 큰 경우
- 공통원인고장사건 중 RAW 중요도의 최대값이 20보다 큰 경우

선정된 결과는 108개 그룹, 354개의 주요기기가 선정되었다. 설계단계 주요기기 목록은 전출력 Level 1 내부사건 PSA 대상계통 이외의 전반적인 계통에 대한 검토가 반영되지 않았다. 향후 해외 수출을 위한 인허가 신청단계에서 전 범위의 PSA 결과를 활용하여 설계단계 주요기기를 선정하는 것이 필요하다.

고리1호기 제염해체활동 기술분석

Technical review on Decontamination and Decommissioning Activities of Kori unit 1

유지환 · 오재용

한국수력원자력(주) 중앙연구원 원전사후기술센터 해체기술팀

영구정지된 고리1호기의 성공적인 해체를 준비하기 위해서는 부지 및 건물의 해체전 특성분석 결과를 바탕으로 관련 인허가 요건을 만족하는 종합 엔지니어링 기술이 필요하다. 종합 엔지니어링 주요기술은 공정설계 기술, 공사설계 기술, 폐기물처분 기술, 부지복원 기술 등으로 구분할 수 있다. 특히, 공사설계 기술에 포함되는 제염해체활동은 종사자의 피폭 최소화, 설비 및 기기 재질별 재활용, 폐기물 저감 및 부지 복원, 산업안전 등이 종합적으로 고려된 제염목표 최적화를 위해 국내·외에서 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 논문에서는 고리1호기 해체 대상에 대한 적합한 제염 및 절단방법을 기술하여 공사설계 기술에 필요한 공사계획 및 해체 장비 선정 기준을 마련하고자 한다.

적합한 제염방법을 선정하기 위한 고려사항은 안전성, 효율, 경제적 비용, 폐기물 저감, 작업용이성 등으로 크게 나눌 수 있으며 추가적으로 대상 발전소의 운전이력, 대상물의 형태, 재료와 오염 특성도 고려해야 한다. 작업 순서는 해체전 제염 방법, 해체후 제염 방법, 잔존 건물 및 부지 제염 방법으로 나눌 수 있고 작업 방법은 종사자 피폭 최소화를 위한 원격조작 제염방법, 폐기물 처리시설내 제염방법, 현장 제염방법으로 구분할 수 있다. 특히 오염된 금속에 적용할 수 있는 화학적, 전기적, 기계적 등의 제염방법의 특징과 대량발생이 예상되는 콘크리트 제염방법을 기술하였다.

해체활동에는 방사성폐기물을 처분 용기에 담을 수 있도록 적절한 크기로 절단하는데 필요한 절단기술은 기계적, 열적 절단방법으로 구분지어 특성을 요약하였다. 최적의 절단방법을 선정하기 위해서는 장비 설치 및 정비에 필요한 시간, 종사자 피폭 최소화, 장비 고장시의 대책, 원격 조작성, 방사성 확산방지, 소요비용 등을 고려해야 하며 산업계 개발한 신뢰도가 높은 범용 절단 장비를 우선 고려할 수 있다.

기존의 제염 및 절단기술뿐만 아니라 향후 개발되는 국내·외 새로운 제염해체 기술을 지속적으로 파악하여 고리1호기의 해체시점에서 적용가능성을 검증하여 해체활동에 적용해야 할 것으로 예상된다.

유럽사업자요건(EUR)의 성능평가방법론(PAM)에 대한 고찰
Consideration of Performance Assessment Methodology(PAM) in
European Utility Requirements(EUR)

정병준 · 양원석

한국수력원자력(주) 중앙연구원

유럽사업자요건(EUR) 인증 심사자는 원활한 평가를 수행하기 위해 제출한 자료 중 미흡한 부분이 있을 경우 각 챕터별 질의응답을 요구하였다. 이에 따라 EUR 챕터 중 성능평가 방법론(PAM)의 질의응답 결과물을 작성하여 EUR 협회에 제출하였다.

EUR 협회의 PAM에 대한 질의 내용은 대부분 발전소 성능에 영향을 미치는 이용율, 정비기간, 시험, 기기노화 등에 대한 부분이었다. 이에 대응하기 위해 먼저 참조발전소의 이용율, 시험 절차서, 계획예방정비자료, 고장유형 및 영향분석(FMEA) 등의 자료를 수집하여 분석하였다. 또한 한국수력원자력의 고유 프로그램인 발전소 운영 정보 시스템(PMIS), 원전계획예방정비 공정관리 시스템(NPOMS)의 운영 체계 및 참조 발전소의 이용율 및 신뢰도 평가 자료를 바탕으로 답변서를 작성하였다. 그 결과 PAM 챕터의 요건 중 불만족한 내용은 없었으며 향후 개선해야 하는 요건 부분은 있었다.

이번에 수행된 PAM 평가는 참조 발전소의 자료 등을 반영한 결정론적 방법론을 통한 분석이었다. 향후 중형원전이 상세설계에 도달할 경우 확률론적 방법론을 통해 PAM을 평가할 예정이다.

축방향 분리 노심설계에 의한 CIPS 위험도 영향 CIPS Risk Effect by Axially Splitted Core Design

정지은 · 이서정

한국수력원자력(주)중앙연구원

최근 우리나라 원전에서도 노심상부의 크러드 침적으로 인한 축방향 노심 출력 편차가 비정상적으로 발생하는 CIPS(Crud-Induced Power Shift) 위험도가 크게 발생한 적이 있으며, 이에 따라 노심 비정상 축방향 출력편차(AOA, Axial Offset Anomaly) 위험도 분석이 중요한 이슈로 대두되었다. 한국수력원자력의 WH형 발전소에서는 표준형과는 달리 단면적 생산 시에는 연료집합체 상하부 축방향 분리를 하지 않고, 노심 장전모형 설계 후 여러 개의 노드로 분리하여 연소시킨다. 단면적 생산시 축방향의 분리는 노심의 연소도, 침두계수 등의 측면에서 크게 노심설계 결과에 영향을 작용하지 않는다고 볼 수 있으나, 축방향 출력 분포 편차에 주는 영향과 CIPS 위험도 평가 결과에 주는 영향을 분석할 필요가 있을 것이다.

본 논문은 리눅스 운영체제 기반 WH형 코드(Phoenix, ANC)를 사용하여 단면적 생산 및 노심 연소계산을 수행하여, 축방향 분리 설계결과가 AOA 위험도 평가에 어떠한 영향을 줄 수 있는지 분석하였다.

Axial Offset(AO)은 노심상부 1/2의 출력(PT)과 노심하부 1/2의 출력(PB) 편차 관계를 인자로 나타낸 것으로 다음과 같다.

$$AO = \frac{PT - PB}{PT + PB}$$

WH형(집합체당 264개 연료봉, 17×17 배열의 157다발의 집합체) 2개 주기를 대상으로 축방향을 분리하지 않은 단면적생산 노심설계의 연소도별 AO 값과 축방향을 분리한 설계의 연소도별 AO 값을 비교해 보았다.

축방향을 분리한 설계와 분리하지 않은 설계는 대체적으로 주기 중반 이후 AO 측면에서 측정값과 비교하였을 때 각각 차이를 보이며, 축방향을 분리하였을 때 측정 AO값과 유의미한 편차를 보였다. EPRI BOA(Boron-Induced Offset Anomaly) v3.1 코드를 사용하여 AOA 위험도 측면에서 2개 주기별 추이를 비교한 경우에도 CIPS 위험도 평가결과가 상이한 보론침적량 분석결과를 나타내었다. 향후 WH형 노심의 다양한 장전모형 및 주기별 특징을 바탕으로 축방향 분리가 주는 영향을 비교분석하여, CIPS 위험도 평가가 더 정확한 결과를 구현할 수 있는 방안을 마련해야 할 것이다.

[1] The Nuclear Design Report for WH type Nuclear Power Plant, KEPCO NF.

[2] BOA 3.0 Manual, EPRI

APR+형 원전의 안전주입펌프 설계용량 평가 및 안전해석방법론의 개발
Development of safety analysis methodology and evaluation of SIP
design capacity for APR+

이석호*

*한국수력원자력 중앙연구원

국산 고유 안전해석코드인 SPACE 전산코드 및 이를 기반으로 한 APR1400형 원전에 대한 안전해석방법론이 2017년에 국내 규제기관으로부터 인허가를 취득함과 동시에 건설 사업으로 추진 중이었던 후속 노형인 APR+ 원전에 대해서도 이의 적용성 확대 필요성이 요구되었다.

APR+ 원전은 안전해석 관점에서 출력 증가의 영향과 4 Train EDG 채택에 따른 안전주입수 우회율 증가 등에 기인하여 표준설계 인가 당시 대용량의 안전주입펌프(APR1400 대비 130% 용량)를 도입하였다. 그러나, 이후 고유 설계특성 중 하나인 DVI+ 설계에 대한 실험 결과로부터 용량 축소의 여지가 있음이 확인되었으며, 이에 따라 APR+ 원전의 안전해석 방법론 개발에 앞서 안전주입펌프 설계용량 적절성 평가가 선행되어야 한다. 이러한 배경 하에 가장 제한적인 설계기준사고, 즉 대형냉각재상실사고와 주증기관과단사고를 선정하여 각 사고에 대해 우선적으로 기존 코드체계인 RELAP 기반의 KREM 및 CESEC 전산코드를 각각 사용, 평가를 수행함과 동시에 SPACE 전산코드에 대해서도 기존 APR1400 안전주입펌프 용량으로 APR+ 원전에 대한 사고해석을 각각 수행하였다. 그 결과 대형냉각재상실사고의 경우 안전주입펌프 용량 변경은 그 전후에 있어서 크게 다르지 않아 현재의 냉각재상실사고 허용기준을 잘 만족하는 것으로 나타났으며, 주증기관과단사고 해석의 경우 역시 고려되는 모든 사고 Case에 대하여 재임계가 발생하지 않아 기존 펌프용량으로도 인허가 요건을 충족하는 것으로 확인되었다.

따라서, SPACE 전산코드를 기반으로 한 APR+형 원전의 대·소형냉각재상실사고 및 비 냉각재상실사고 적용성 평가에는 표준설계 인가 당시 사용된 대용량의 안전주입펌프 대신 기존 APR1400에 사용되어 왔던 펌프용량이 적용될 것이며, 다양한 고유 설계개념에 대한 민감도 평가를 포함하여 2019년에 SPACE 전산코드 기반 APR+형 원전의 안전해석방법론 3종이 개발 완료될 예정이다.

6.8% 압력관크립 임계열속시험 결과 전산코드 분석

Analysis for CHF Test Data of 6.8% crept PT using ASSERT Code

류의승 · 박동환

한국수력원자력(주) 중앙연구원 계통안전연구소

중수로원전은 운전이력이 증가함에 따라 고온의 냉각재와 연료다발 중성자 조사에 의해 압력관 내경 확관(크립)이 진행된다. 압력관크립의 진행은 연료다발과 압력관 사이에 우회 유량을 증가시켜 연료다발내 냉각재 유량을 상대적으로 감소시킴으로써 낮은 출력에서 연료다발 임계열속(Critical Heat Flux)이 발생되게 한다. 캐나다는 기존연료를 변경하여 설계한 중수로 개량연료를 개발하여 2008년부터 임계열속 시험을 수차례 수행한바 있으며 시험 시 압력관 최대 크립을 0%, 3.3%, 5.1%로 모사하였다. 더불어 국내에서도 중수로 개량연료 도입을 목적으로 시험된 임계열속상관식에 대한 특정기술주제보고서(TR)를 규제기관으로부터 인허가 받은바 있다. 최근 캐나다 산업계는 기존 5.1% 압력관크립에서 확장된 6.8% 압력관크립 모사체를 사용, 89개 유동조건에 대한 임계열속 시험을 수행하였고 기존에 시험된 압력관크립 시험자료와 통합하여 신규 임계열속상관식 개발을 추진하고 있다.

본 평가는 중수로에서 사용되는 열수력 부수로(subchannel) 전산코드인 ASSERT로 시험 유동조건(6.8% 크립)별 임계열속 예측값과 시험 결과자료를 비교하여 해당 부수로 코드의 5.1% 초과 압력관크립 사용 유효성을 검증하고, 기존시험 대비 6.8% 시험자료 경향성을 평가하고자 하였다. 계산에는 ASSERT 코드 검증시 사용되는 시험장치(Stern Lab.) 검증모델이 사용되었고 6.8% 압력관크립 분포는 시험 모사체의 축방향 크립분포를 사용하였다. 현재 ASSERT 코드는 기존 시험자료들을 기반으로 부수로 사이즈, 열전달계수, 연료형상 등 6가지 인자에 대한 보정계수를 생산하여 사용되고 있다. 6.8% 크립 검증결과를 기존 코드 검증결과(0%~5.1% 크립) 에러값 및 불확실도 값 등과 비교하여 현행 코드에서 사용되는 보정계수들을 5.1%~6.8% 크립에서도 사용 가능한지 여부를 확인하고, 이를 통하여 기존시험 대비 6.8% 시험결과가 경향성을 유지하는지도 간접적으로 유추하였다. 최근 수행된 임계열속 시험은 발전소 정상 및 과도상태에서 발생 가능한 유동조건인 압력 8~11MPa, 온도 248~273℃, 유량 13.5~25kg/s, 총 89개 유동영역에서 독립적으로 수행되었다. 평가를 수행한 결과, 89개 유동조건에 대하여 시험 결과자료 대비 ASSERT 임계열속 예측은 평균 2.46% 과소예측 되고, 표준편차가 5.02% 됨이 평가되었다. 이는 현행 ASSERT 코드버전이 가지고 있던 평균 3.0% 과소예측 범위, 표준편차 8.02% 범위 내에 포함됨을 나타내었으며, 예측값을 시험결과와 비교하여서는 동일하게 보수적임을 보였다. 또한, 기존 시험 검증결과 대비 6.8% 검증결과 에러값 및 불확실도가 유사한 점으로 보아 6.8% 압력관크립의 임계열속시험 결과가 압력관 크립에 대하여 경향성을 유지한다는 것을 간접적으로 확인할 수 있었다.

중대사고 시 OPR1000형 원전에서의 MCCI 예비평가

Preliminary assessment of MCCI in OPR1000 under Severe Accident

송규상

한국수력원자력(주) 중앙연구원 안전기술센터 사고대응기술팀

Optimized Power Reactor 1000 (OPR1000)형 원전에서 중대사고가 발생했을 경우 원자로 용기 내로 냉각수가 주입되지 않는다면, 붕괴열 및 산화열로 인한 고온의 노심용융물은 원자로용기 하반구로 이동하게 되고 결과적으로 압력용기 파손을 유발하게 된다. 파손부를 통해 방출된 노심용융물은 원자로용기 밑에 있는 원자로공동으로 재배치된다. 원자로공동 바닥은 노심용융물의 퍼짐과 냉각을 위해 충분한 면적으로 설계되어 있지만 원자로공동 내에 냉각수가 존재하지 않아 노심용융물에서 발생하는 열을 적절하게 제거하지 못할 경우, 노심용융물-콘크리트 상호작용 (Molten Corium-Concrete Interaction, MCCI) 현상에 의해 원자로공동 바닥의 콘크리트가 침식된다.

MCCI 현상으로 발생할 수 있는 잠재적 영향은 다음과 같다. 콘크리트 분해과정에서 다량의 비응축성 기체 및 가연성 기체가 발생할 수 있고, 노심용융물과 콘크리트로부터 방출되는 물질 및 기체와의 화학 반응에 의해 다량의 열이 발생할 수 있으며, 핵분열생성물이 원자로 건물 및 대기로 방출될 수 있고, 마지막으로 콘크리트 침식으로 인해 용융 관통 현상 (Basemat melt through, BMT)이 발생할 수 있다.

위의 현상을 방지하거나 지연시키기 위해 원자로공동을 충분한 냉각수로 충수할 경우, 냉각수는 노심용융물을 냉각시키고 MCCI로 인해 생성된 핵분열생성물을 제거할 수 있다. 따라서 원자로공동을 충수하는 것은 MCCI 측면에서 건조 원자로공동에 비해 유효성이 많은 편이다. 그러나 노심용융물로부터 냉각수로의 열전달은 잠재적으로 상당한 양의 수증기 및 비응축성 기체를 생성하여 원자로건물 전체의 압력을 증가시키는 부작용을 야기할 수 있다.

그러므로 본 논문에서는 OPR1000형 원전에 대해 중대사고 해석 코드인 MAAP (Modular Accident Analysis Program) 전산코드 5.0.3 버전을 이용하여 MCCI 현상을 적절히 모의하는지 예비평가를 수행하였다. MCCI 예비평가를 위해 발전소 정전 사고와 (Station Black-out, SBO)와 대형냉각재파단사고 (Large Break Loss of Coolant Accident, LBLOCA)를 MCCI 분석의 대표 사고 경위로 선정하였다. 사고 시간의 경우 사고 발생 후 24시간을 모의 하였다. 또한, MAAP 전산코드의 입력 변수 중 MCCI 영향을 줄 수 있는 주요 변수인 열전달계수와 상부냉각수와 열전달량과 관련된 변수를 선정하여 민감도 평가를 수행하였다.

예비평가 결과에 따르면 원자로공동 바닥 콘크리트의 침식 및 이에 의해 생성된 가연성기체 등 주요 MCCI 현상이 적절히 모의되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, MCCI 현상에 영향을 주는 주요 변수들의 값에 따라 상이한 평가 결과가 도출되는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 추후 OPR1000형 원전에 대한 상세 MCCI 현상 분석을 위해 민감도 또는 불확실성 분석을 수행할 예정이다.

냉각재상실사고 시 고연소 핵연료봉 거동에 대한 고유 안전해석코드의 예측 성능

Predictability of SPACE code for the behavior of high burn-up fuel rod
during LOCA

이석호*

*한국수력원자력 중앙연구원

냉각재상실사고에 대한 새로운 규제기준이 US-NRC 를 중심으로 핵연료의 성능과 특성을 기반으로 하여 제정되었으며, 연소도의 함수로써 피복재 산화도와 핵연료피복재온도를 평가하는 방식으로의 허용기준 법제화가 진행 중에 있다. 이에, APR1400형 원전에 대해 신규 허용기준을 만족할 수 있는 SPACE 기반의 LOCA 평가모델 개발을 목적으로 연구개발이 진행 중에 있으며, 동 논문에서는 신규 허용기준 개정을 대비하여 고연소 핵연료 모델을 반영하고 있는 SPACE 전산코드가 핵연료의 과도 거동을 적절하게 모사하는 지를 우선적으로 확인하기 위해 수행된 평가 내용을 기술한다.

전산코드 내의 연료봉 모델들이 고연소 핵연료의 과도 거동 해석을 적절히 모사하는 지에 대한 검증의 일환으로 고연소도 연료봉 LOCA 실험(IFA-650)을 활용한 검증 계산이 수행되었다. 평가는 참조 실험으로 650.2(Fresh fuel), 고 연소 핵연료 거동을 대표하는 650.5 (83,000 MWD/MTU) 및 국내 원자력 발전소 제한치 (60,000 MWD/MTU)에 근접한 650.10(61,000 MWD/MTU) 실험을 SPACE 전산코드의 평가대상으로 선정하였다. 이러한 대표적인 일련의 IFA-650 실험평가 결과 SPACE 전산코드는 실험 결과를 적절하게 예측하는 것으로 나타났다. 실험 평가를 통해 예측된 핵연료 온도 거동은 냉각수 고갈, 소성 및 탄성 변형, 그리고 파열에 따른 온도변화를 실험결과와 비교하여 적절히 예측하는 것으로 평가되었다. 일부 실험 데이터를 과대 예측(봉내압)하는 경우에는 실험에서 측정된 자료를 활용하여 유사한 거동의 예측성을 확보할 수 있는 것으로 확인되었다.

결론적으로 신규 허용기준의 만족을 위한 냉각재상실사고 평가모델의 개발을 위해 적용 전산코드인 SPACE가 고연소도 연료봉 실험평가인 IFA-650 LOCA 실험을 적절하게 예측할 수 있는 것으로 확인되었으며, LOCA 신규 허용기준 개정에 대비한 평가모델의 개발에 이의 적용은 가능한 것으로 확인된다. APR1400형 원전을 대상으로 한 신규 허용기준 만족을 위한 LOCA 평가모델의 개발은 2019년에 완료될 예정이며, 이를 위해 추가적인 모델링 요건 등의 반영 여부와 그에 따른 방법론의 개발에 동 평가결과가 활용될 것이다.

고리1호기의 해체계획수립시 폐기물관리에 관한 고찰

Study on Radioactive Waste Management for Decommissioning Plan of Kori unit 1

김영국 · 윤태식 · 정혜진 · 유지환 · 오재용*

*한국수력원자력 중앙연구원, 원전사후기술센터 해체기술팀

국내 최초원전인 고리1호기의 영구정지 후 현재 해체승인을 위한 최종해체계획서가 작성 중이다. 해체가 폐기물에 의해 크게 좌우되며 따라서 최종해체계획서에서 폐기물 관리에 대한 계획수립이 필수적인 만큼 본 논문에서도 이에대한 고려사항을 고려하였다. 해체가 착수 되면 단기간에 다량의 폐기물이 발생될 것으로 예상된다. 한수원은 제염 및 감용을 이용한 폐기물발생량 최소화를 통해, 처분장으로 최종 인도할 해체폐기물량 목표를 약 14,500드립(200L기준)으로 정한 바 있다. 해체 시 발생하는 폐기물은 물리적 상태에 따라 고체·액체·기체 방사성폐기물로 구분할 수 있으며, 준위별로는 국내의 방사성폐기물분류기준에 따라 고준위, 중준위, 저준위, 극저준위 자체처분 폐기물로 분류할 수 있다.

해체폐기물 관리 계획수립 시 특성평가를 통해 발생하는 방사성폐기물의 종류, 형태, 수량, 방사능농도 등을 평가해야한다. 최종 처분해야할 해체폐기물의 물리적 상태와 준위별로 분류해야한다. 각 폐기물을 처리할 수 있는 기술을 선정하고 처분장 이송 전 임시저장계획수립 후 최종적으로 처분장 이송계획까지 수립되어야 한다. 폐기물의 특성을 파악하기 위해 해체준비 및 안전관리기간 내 방사선학적 특성평가를 통해 해체대상 원전에 존재하고 있는 선원향을 분석하여야 한다.

해체 시 발생하는 폐기물의 물리적 상태에 따라 고려할 사항은 고체폐기물은 대표적으로 종류별(금속, 콘크리트, 잡고체 등) 적용될 처리기술이다. 처리기술의 선정은 처분적합성을 만족시키기 위한 포장형태에 맞추어 절단 및 처리 가능여부, 제염목표치 달성을 위해 안전성과 경제성을 고려한 기술 등의 검토가 이루어져야 한다. 액체와 기체폐기물은 필터와 수지(Resin) 등을 통해서 1차적으로 처리한 후 배출농도기준을 만족할 경우 환경으로 배출이 가능하다. 이때 환경배출시 방사능 종류, 양, 농도 평가, 선원향, 모델, 가정사항, 입력자료를 고려해야하며 배출시 감시계획도 수립되어야 한다. 1차처리에서 배출농도기준을 불만족할 경우 유리화, 고화등의 방법을 통해 포장용기를 활용하여 처분장으로 보내야한다.

폐기물분류기준에 따라 고려할 사항은 최종처분장에 처분적합성 만족 여부이다. 경주방사성폐기물 처분장은 IAEA에서 제시하는 준위별 처분방식에 맞추어 중·저준위 방사성폐기물 처분시설을 갖추고 있으며 2단계 표층처분시설을 구축중이다. 처분장 안전성 재평가를 통해 운영폐기물보다는 준위가 다소 높은 중준위 해체방사성폐기물을 처분하기 위해 인수기준이 개정 중이다. 하지만 안전성 재평가 결과가 중준위 해체폐기물을 수용할 수 없다면 해외사레처럼 고준위 건식저장시설(임시저장시설)을 활용하는 처분계획을 세워야 한다. 혼합폐기물의 경우 궁극적으로 해체원전 폐기물관리계획을 성공적으로 수립하기 위해서 구체적인 혼합폐기물 내 유해폐기물의 처분에 관한 정량적인 기술기준의 마련이 필수적이다.

Evaluation of Flow Stabilization Integrity in RCP Test Facility Society for Energy

최해설 · 조석 · 김연식 · 윤영중 · 박종국 · 김석 · 배병언 · 조윤제 · 전우진

한국원자력연구원, *열수력안전연구부

원자력냉각재펌프(Reactor Coolant Pump, RCP)는 원자력 발전소의 원자로냉각재 계통에 호기당 총 4대가 설치되며, 냉각재를 순환시켜 핵연료에서 발생된 열을 증기발생기로 전달하기 위한 펌프로 다음과 같은 주요한 기능을 수행한다. 원자로 냉각재를 순환시킴으로써 원자로 노심의 열 제거 기능 및 열출력 보증의 유량을 제공하며, 펌프의 마찰에너지에 의한 냉각재 가열 및 보조 출력 기능을 한다. 또한 발전소 전원상실사고 시 노심냉각을 위한 충분한 관성 서행 유량(Coastdown Flow)를 제공한다. RCP의 주요한 성능은 Rated head가 114.3m, flow rate은 $7.67\text{m}^3/\text{s}$ 이다. Speed는 1190rpm이며 수명은 60년 기준이다.

한국원자력연구원의 RCP 시험시설은 발전소에 공급하는 RCP의 성능을 Test 할수 있는 국내 유일한 Test Facility 이다. 주요 성능시험에는 Cold/Hot hydraulic performance test와 Stop Start Tests를 수행하고 있다. RCP 시험시설은 APR1400 발전소를 기준으로 설계 되었으며 설계 압력은 18.5Mpa이고 설계 온도는 343°C 이다. 배관내에 최대 유량은 $11.7\text{m}^3/\text{s}$ 이며 Electric Capacity는 13.2kV/14MW 이다.

주요한 측정 변수인 배관내 유량은 Venturi 유량계로 측정하고 있다. Venturi 유량계 전단에는 양쪽 가지관으로 구성된 유량 조절 밸브가 있으며 배관내에 유량을 조절하게 된다. 또한 Venturi 유량계 전단에 유동교란을 막기 위해서 주배관 (914mm)에 Flow Stabilization(FS)가 설치되어 있다. FS는 Etoile 타입으로 크기는 L1000 X T20 이다. 배관내부에 부착된 FS는 Venturi 유량계로 흐르는 유체의 유동교란을 막아주는 정류기 역할을 하게 된다. FS는 배관 내에서 Etoile 타입으로 3개가 맞물려 용접되어 있다.

본 연구에서는 FS의 건전성을 평가하는 것으로 배관내 온도와 유속에 의한 FS에 가해지는 응력을 CFD로 계산하고 계산된 응력으로 유한요소법을 이용해서 FS의 건전성을 평가하는 것이다.

수출형 신형 원전 APR+ 설계 개선 활동을 통한 안전성 향상 사례
Safety Enhancement of Advanced Power Reactors Plus
using Design Improvement Program

문호립

한국수력원자력주식회사 중앙연구원

본 논문의 목적은 수출형 원전 APR+의 표준설계인가 획득 대비 설계 개선 활동과 안전성 향상 결과를 분석하는 데 있다. 이를 위하여 개정된 확률론적 안전성평가(probabilistic safety assessment; PSA) 결과를 분석하고 설계 개선 항목별 향상 정도를 비교하였다.

수출형 원전 APR+는 2014년 8월 표준설계인가를 획득 당시의 노심손상빈도는 $8.99E-07$ 이었으나, 다음과 같은 설계 개선을 통하여 $4.25E-7$ 로 개선되었다.

- PAFS 기능상실시 보조충전펌프의 SG 수동 급수
- 보조충전펌프를 활용한 PCCT 저수위시 자동충수
- RCP seal Fail 후 완화수단으로 안전 주입 고려 (운전 개선)

표준설계인가 획득 당시의 결과와 비교하면 소내/외정전사고로 인한 노심손상빈도는 93% 감소/향상된 것으로 분석되었다. 전체 노심손상빈도에서 차지하는 비중은 13.8%에서 3.8%로 개선되었다. 대형/중형/소형 냉각재 상실고 노심손상빈도는 2%정도 증가하였음에도 불구하고 그 비중은 상대적으로 24.6%에서 50.9%로 증가하였다.

2개의 비상디젤발전기로 구성된 APR1400 원전은 전출력 노심손상 빈도에서 발전소내정전사고의 비중이 높다. 그러나 4개의 비상디젤 발전기(전기적,기계적 완전 4-train)로 구성된 APR+는 소형냉각재상실사고의 비중이 39%로 높으나 상대적으로 발전소내정전사고의 비중은 1.9%로 매우 낮다.

평가에 사용된 데이터는 EPRI URD와 가동원전 경험자료를 활용하였으며, 향후 해외 인허가 신청시에는 최신 데이터를 활용하여 평가될 예정이다.

원자력 국제협력 협정에 대한 보도 프레임 분석

An Analysis of the News Frame on the Nuclear Cooperation Agreement

장양희

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력 분야의 보도는 대부분 논쟁적인 이슈를 다루는 것이 많다. 이러한 보도는 단순 지식전달만인 아니라, 정치·경제적 문제들도 함께 고려해야 되기 때문에 언론이 어떠한 시각을 가지고 어떤 의제를 부각하느냐에 따라 크게 좌우된다. 본 연구에서 다룬 한미원자력협력협정과 같은 이슈는 원자력의 기술적 차원보다는 해당 사안을 둘러싼 정치, 외교안보, 경제 차원의 논의가 복잡하게 얽혀있다는 점에 주목할 필요가 있다. 선행연구에서는 해당이슈에 대해 내용의 난해성(unfamiliarity), 해석의 모호성(ambiguity), 결과 측면에서의 불확실성(uncertainty), 정책차원에서의 복잡성(complexity)을 특성으로 지니고 있다고 밝혔다.

본 연구에서 대표적인 원자력 국제협력 협정 사례라고 할 수 있는 한미원자력협력협정에 대한 보도 프레임이 어떠한지 살펴보았다. 본격적인 협정 체결 전 언론에서 어떻게 해당 사안을 다루는지 확인하고자 2014년 1월 1일부터 12월 31일까지 총 1년 간 신문 및 방송매체를 대상으로 협정에 대한 보도현황과 주요이슈를 조사하였다. 이를 바탕으로 언론매체가 부각시킨 프레임이 무엇인지 분석하였다. 더 나아가 보도의 심층성 및 정보원 특성을 조사하여 보도 내용에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보았다. 신문기사는 한국언론재단에서 구축한 종합 뉴스 DB인 카인즈(www.kinds.or.kr)를 통해 수집하였으며, 방송은 각사 인터넷 홈페이지를 통해 뉴스스크립트를 스크랩하여 분석을 진행하였다. 언론매체 선정은 한미원자력협력협정 이슈에 대한 전반적인 보도 경향을 파악하는 것이 주목적이기 때문에, 특정 언론사를 한정시키지 않고 주요 종합일간지(14개社)와 주요 뉴스방송사(8개社)를 대부분 포함시켜 뉴스기사를 수집하였다.

분석 결과, 언론은 원자력협력협정과 관련하여 주요 7가지 이슈(‘3대 주안점’, ‘타국 협정과 비교’, ‘협정 연장안 발효’, ‘원자력협상 개최 및 결과’, ‘협정 연내타결불가’, ‘미국 중간선거의 영향’, ‘사용후핵연료공론화위원회’)를 주로 보도한 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 언론 보도에서 부각한 프레임을 분석한 결과, ‘기술’, ‘경제’, ‘외교’, ‘안보’, ‘국제정치’, ‘정책의지’ 총 6가지로 분류할 수 있었다. 정보원으로는 ‘정부’, ‘미국 정부’, ‘전문가’, ‘국외전문가’, ‘언론’, ‘민간’ 등을 주로 활용하였다. 결론적으로 언론은 기술, 경제, 외교, 안보, 국제정치, 정책의지 프레임을 보이면서 해당 현안을 좀 더 부각시킨 것으로 확인됐다. 그리고 신뢰성 있는 정보원의 활용이 두드러진 편으로 나타났으나 보도 심층성은 깊지 않은 것으로 판단된다. 즉, 원자력과 같은 전문적인 내용을 포함한 국제협력 협정은 기술적인 측면만이 아니라 국제정치 및 외교안보 문제 등이 복합적으로 고려하여 해당 내용을 전달하는 것으로 나타났다.

스마트변전소를 위한 이중화 네트워크 장치 성능 분석
Performance Analysis of Redundant Network Devices for
Smart Substation

김재문 · 최성수 · 손상우

한국전기연구원

변전소 자동화 시스템(Substation Automation System, SAS)은 국제전기표준회의 (IEC, International Electrotechnical Commission) 61850 표준을 이용하여 통신 기반을 구성한다. IEC 61850 표준은 통신 네트워크의 안정성 및 신뢰성을 확보하기 위해 Process Bus에 IEC 62439-3 이중화 네트워크 (PRP, Parallel Redundancy Protocol) 및 고가용성 네트워크 (High-availability Seamless Redundancy) 표준을 사용할 것을 제안하고 있다. 스마트 변전소를 안정적으로 운영하기 위해서는 이와 같은 이중화 네트워크 구축 및 운영이 필수적이다.

IEC 62439-3 표준은 중복된 이더넷 프레임을 생성하여 네트워크를 이중으로 운영한다. 즉, 이 표준을 지원하는 네트워크 장비는 한 쪽 네트워크에 문제가 생기더라도 다른 쪽 네트워크를 통해 안정적으로 통신을 할 수 있는 기능을 제공한다. 2016년 IEC 62439-3 표준이 정의된 이후 여러 이중화 네트워크 장치 및 IED (Intelligent Electronic Device) 제품이 출시되었다. 하지만, 다양한 네트워크 환경 조건에서 이중화 네트워크 기능을 충실히 수행하는지 확인할 수 있는 통신 성능 평가 및 비교 자료가 없는 상황이다.

본 논문에서는 이중화 네트워크 성능 평가를 위한 평가 환경을 설명하고, 이중화 네트워크 장치가 제공해야 할 성능(대역폭, 지연, 중복제거 능력)에 대해 소개한다. 이러한 평가 항목들을 기반으로 여러 제품들의 성능 측정 및 비교 분석을 진행하며, 각 성능 차이를 유발하는 원인에 대해 논의한다.

APR+ 주증기배관 LBB 적용을 위한 누설감지설비 적용방안 연구
Review on the Application Methods of the Leak Monitoring system
of Leak Before Break Concept to the Main Steam Line of APR+

이재민 · 김성환

한국수력원자력(주) 중앙연구원 신형원전연구소

APR+는 수출경쟁력 제고를 위해 국내 원전중에서는 최초로 주증기배관에 파단전 누설(LBB) 개념을 적용하였다. 이를 위해 기존의 배관재료를 균열안정성이 높은 재료(SA508 Gr.1a)로 변경하였고, 누설감지설비는 RG 1.45에서 직접 인용하고 있는 FLÜS 설비를 검토 중이다. FLÜS 설비는 프랑스 AREVA사가 개발, 해외원전에서 주증기배관의 누설감지를 위해 적용경험이 있으나, 비내진설비로 공급 가능한 설비로 APR+ 설계에 적용가능한지에 대한 검토를 수행하였다. 압력경계(RCPB) 누설감지요건을 제시하고 있는 RG 1.45(Rev. 1)를 검토한 결과, 원자로건물 내 내진범주 I 급으로 설계된 기존 설비(Containment Sump Level 감시기)를 동시에 설치할 예정이므로 비내진등급인 FLÜS의 APR+ 설계 적용은 가능할 것으로 예상된다.

FLÜS system은 Sensing tube, Analog station (A/S), Compressed air station 그리고 Processing station (P/S)으로 구성되며, 이들 구성설비 중 Analog station은 주증기배관 파단시 Sensing tube를 통해 유입된 습분을 직접 감지할 수 있어야 하므로 신호 왜곡 가능성을 최소화하기 위하여 원자로건물 내에 설치할 필요가 있는 것으로 나타났다. 따라서 내방사선 환경을 유지할 수 있는 원자로건물 내 일정 장소에 이를 설치할 예정이다. 검토 초기에는 원전 정상운전 중 수시 접근이 가능한 보조건물 비방사선 구역에 Analog station 설치를 계획하였고, 이로 인해 Sensor tube의 원자로건물 관통부 통과가 불가피한 것을 확인하였다. RG 1.11에 따라 Tube가 관통부를 통과하는 경우에는 격리밸브를 설치해야하고, 이 경우, Sensor tube를 6mm에서 3/4" 배관으로 변경해야 하는 바, 이러한 조건에서 FLÜS의 정상적인 기능을 기대하기는 어려운 것으로 검토되었다. 이와 관련한 해외원전의 FLÜS 운영사례 검토결과, Analog station을 원자로건물 외부에 설치한 사례가 있으나, Tube 확산 등 여러가지 이유로 FLÜS의 정상적인 운영이 어려웠던 것으로 나타났다.

결론적으로 FLÜS 설비의 내방사선 환경조건을 만족시킬 수 있는 Room을 원자로건물 일정 구역에 설치하는 방법으로 FLÜS 설비의 APR+ 적용은 가능할 것으로 예상된다.

영구정지원전 사용후연료냉각계통의 정비규정프로그램 적용 방안
A Study on Maintenance Rule Application for Spent Fuel Pool Cooling &
Cleanup System of Domestic Decommissioning Plant

이상대 · 김왕배 · 현진우
한국수력원자력(주) 중앙연구원

원전은 영구정지 이후 핵연료를 사용후연료저장조에 안전한 상태로 유지하기 위해서 일정기간 동안 일부 설비들의 운전이 필요하다. 가동원전의 경우 설계기준사고시 원자로의 안전한 정지 및 정지상태 유지, 방사선 물질의 유출 방지 기능이 중요하나, 영구정지원전의 경우 사용후연료의 안전한 보관을 위한 사용후연료저장조 냉각기능이 중요 기능이 될 것이다. 이에, 정비규정프로그램을 활용하여 영구정지원전의 사용후연료냉각계통의 설비건전성 감시방안을 제시하고자 한다.

정비규정프로그램을 영구정지원전 사용후연료냉각계통에 적용하기 위해서 해당 계통의 기능분석을 수행한다. 사용후연료냉각계통은 사용후연료저장조 냉각 및 정화 기능으로 구성되어 있다. 사용후연료저장조 냉각 기능은 저장조에 저장된 연료에서 발생하는 붕괴열을 제거하고, 저장조의 물을 냉각 열교환기를 통하여 냉각시킨 후 다시 저장조로 이송한다. 정화기능은 여과기 및 탈염기를 이용하여 사용후연료저장조의 저장수를 정화하며, 부유물 제거장치를 이용하여 수면 부유물을 제거하는데 사용된다.

기능분석 후 각 기능에 대한 안전중요도 결정을 수행하는데, 영구정지원전의 경우 확률론적 안전성평가(PSA)를 수행하지 않으므로 델파이평가를 통해 각 기능의 안전중요도를 결정한다. 델파이평가는 운전, 엔지니어링 및 정비 등 분야의 전문가들이 모여서 각각 기능의 상대적 중요도를 평가하는데, 사전 정해진 질문 항목을 활용하여 각 기능별로 일정한 점수를 부여함으로써 기능의 중요도를 결정하는 것이다. 각각의 사용후연료냉각기능은 델파이 평가결과 저안전중요도 기능으로 결정되었다.

안전중요도결정 후 각 기능에 대한 신뢰도 혹은 이용도성능기준을 수립한다. 신뢰도 성능기준은 기능의 고장 허용횟수를 정하는 것이며, 이용도성능기준은 기능의 허용이용불능시간을 정하는 것이다. 사용후연료저장조 냉각 및 정화기능은 상시 운전하고 있으며, 주요기기인 펌프는 다중 설비로 구성되어 있다. 저안전중요도 기능임을 고려하여 기능의 주요기기인 펌프를 대상으로 고장허용횟수를 기기고장률 데이터를 참고하여 산정하였으며, 이용불능시간은 별도로 추가하지 않았다.

영구정지원전에서 중요한 역할을 수행하는 사용후연료냉각계통에 대해 위와 같은 프로세스로 정비규정프로그램을 적용할 수 있을 것이며, 정비규정프로그램을 활용한 계통 성능감시 방법은 영구정지원전의 사용후연료냉각 및 정화기능의 설비건전성 유지에 기여할 것이다.

원전 설비고장 정비데이터 입력코드 개선 연구
An Improvement of Maintenance Data Inputting Codes
in Operating Nuclear Power Plants

열동운 · 이경옥 · 주태영
한국수력원자력(주) 중앙연구원

미국 원전에서는 운전 중 발생한 설비고장 정비데이터의 체계적인 수집, 분석 및 피드백을 통해 발전소 설비들의 신뢰도 제고 및 운영 효율성을 높이고 있다. 한수원도 2003년 2월 ERP시스템(DREAMS¹⁾) 도입 후 설비 예방정비 최적화 및 설비개선 등 신뢰도 제고를 위한 기반으로 설비고장 정비데이터를 관리하고 있으나 활용도를 높이기 위해서는 일부 데이터 입력코드의 개선이 필요한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 국내 원전의 정비체계 및 정비데이터 입력코드 현황을 살펴보고, 효율성 제고를 위한 개선 방안을 제시하고자 한다.

국내 원전의 정비체계는 크게 예방정비와 고장정비로 구분된다. 예방정비는 설비의 운전 성능이 설계기준 범위 내에서 유지될 수 있도록 고장 예방을 위해 사전에 수행하는 정비활동이며, 주기정비와 예측정비로 분류된다. 고장정비는 운전 중 고장이 발생한 설비를 허용 설계기준 내에서 본래의 기능을 발휘할 수 있도록 단순정비, 분해정비 또는 교체 등을 수행하는 것이다. 고장정비 후에는 설비유형별로 정비데이터를 DREAMS에 입력하며, 누적된 데이터는 체계적인 분석과 피드백 활동을 통해 설비 예방정비 최적화 및 설비개선 등에 반영하고 있다.

국내 원전에서 설비 고장정비 후 DREAMS에 입력하고 있는 정비데이터는 설비유형별로 고장품목, 고장모드 및 고장원인 등이다. 설비유형 입력코드는 펌프 및 밸브 등 49종의 설비들로 대분류되어 있고, 고장품목은 각각의 설비유형에 따라 3~5가지의 포괄적인 품목들로 구성되어 있으며, 고장원인은 총 101개의 일반적인 원인 코드 중에서 선택하고 있다. 따라서 설비 예방정비 프로그램에서 적용 중인 약 250종의 설비유형과 연계성이 부족하며, 설비 예방정비 최적화 및 설비개선을 위해서는 250종 설비유형별 정비데이터 입력코드 개선이 요구되었다.

이에 따라 한수원에서 기존에 수행된 연구개발과제 결과, 한수원 및 미국 전력연구소의 예방정비기준(PMT²⁾) 정보를 기반으로 설비유형 입력코드를 250종으로 분류하고, 각각의 설비유형별로 고장부품 및 세부부품 코드를 나열하였으며, 세부부품별 고장원인 코드를 체계적으로 분류하였다. 아울러 정비데이터 입력코드 개선 방안에 일치하도록 DREAMS 입력화면 개선방안을 연구하였다.

현재 한수원에서는 상기 개선 방안에 따라 DREAMS 개선을 추진 중에 있으며, 향후 발전소 적용 및 누적된 정비데이터의 적극적인 활용을 통해 설비관리 효율성을 제고시킴으로써 원전의 안전성 및 신뢰성 향상에 기여할 것으로 사료된다.

1) DREAMS : Digital Real-time Asset Management System

2) PMT : Preventive Maintenance Template

미국 NRC 해체 안전성평가 방법론 분석 및 적용방안

조광호, 서형우

한국수력원자력(주) 중앙연구원 해체기술팀

국내 최종해체계획서 항목 중 안전성평가는 원자력이용시설 해체에 인한 방사선위험도와 위해도를 가능한 한 정략적인 방법으로 예측·평가하여 규제요건에 적합함을 입증할 수 있도록 분석 및 평가내용 등을 기술하여야 한다[1]. 정상적인 해체작업 활동 및 과정에서 발생 가능성 있는 작업자와 주민에 영향과 비정상적인 사건/사고로 안전성에 영향을 미치는 잠재적 위험성을 확인하는 것이 안전성평가에서 가장 중요하게 고려해야 하는 부분이다. 이 논문에서는 NRC/CR-0130 보고서에 기술되어있는 안전성평가 방법론 분석을 통해 최종해체계획서 6장. 안전성평가 항목에 대한 적용방안을 도출하고자 한다.

일반인에 대한 안전성평가는 정상 해체 시 및 사건 발생 시에 대해 모두 고려되며, 원전을 기준으로 80 km 반경의 원 안에 있는 인구에 대한 방사선량으로 계산한다. 여기에서는 확률론적 위험성 평가를 고려하고 있지 않으며, 기존의 경험과 공학적 판단에 의거하여 분류되었다. 공기 중으로 발생할 수 있는 주요 오염으로는 화학 제염 시 오염된 액체의 분무로 인한 공기 방출, 계통 및 기기 제거 중 오염된 기화 금속의 방출, 오염된 콘크리트 구조물에서의 분진 방출 등이며 안전성 평가 시, 기체 방사성물질을 방출할 수 있는 작업들에 초점이 맞추어져 있다. 이러한 기체 방출을 최소한으로 관리하는데 초점을 맞추어야 한다고 강조하고 있다.

작업자 안전성 평가 역시 방사선학적 영향과 비방사선학적 영향이 모두 평가되었다. 작업자에 대한 누적 방사선량은 경수로 해체를 위한 각 영역에서의 작업 시간과 예상되는 방사선 수준을 기반으로 결정되었다. 이 때, 해체 작업으로 인한 작업자의 부상 및 사망자의 추정치는 원자력과 관련된 사업 경험 데이터를 기반으로 분석되었다. 이러한 경험 데이터는 국내 해체 안전성평가의 위험요소 도출 시 활용할 수 있을 것으로 생각된다. 접근 방법론은 각 작업별로 필요한 인력과 작업을 수행하는 영역의 방사선 준위를 고려하여 집단 선량을 제시하고 있다. 여기에 사용된 방사선 준위는 유지 보수 중인 원자로에서 측정된 값을 기반으로 하였다. 또한, 제염 후 유체계통에서의 측정을 수행하였으며, 제염을 통한 제염계수를 반영하여 감소된 방사선 준위를 적용하여 평가하였다.

운반에 따른 피폭선량은 다른 해체 작업과 별도로 구분하여 평가를 수행하였다. 여기에는 상당히 구체적인 가정이 적용되었다. 저장고 거리, 운반수단, 속도, 운전자와 선적물과의 거리 등을 가정하여 평가하였고, 원전에 남아있는 연료의 양을 고려하여 1개의 운반용기를 28회 운송했을 때 운전자는 3.5 man-rem을, 일반인은 0.9 man-rem을 받는다고 평가되었다.[2]

현재 국내 안전성 평가를 위한 방법론에 대해 연구 중에 있다. NRC 보고서를 통해 가정하여야 할 사항들, 절단 시 공기 중 비산물, 해체 작업들에 대한 선량평가 방법론 등을 활용하여 최종해체계획서 안전성평가 항목을 작성하는데 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

[1] 원자력안전위원회, 원자력안전위원회고시 제2015-8호, 2015.

[2] NUREG/CR-0130, Technology, Safety and Cost of Decommissioning a reference pressurized water reactor power station

원전 무선기기 사용가능성에 관한 고찰

A Study on the Possibility of Using Radio Equipment in Nuclear Power Plant

지영화 · 고영준 · 허희무

한국수력원자력

무선기기(Radio Equipment)는 전선의 제약 없이 휴대가 간편하고 편리하여 산업계에서 통신수단으로 널리 사용되고 있다. 그러나 무선기기에 의한 무선주파수장해(RFI; Radio Frequency Interference)로 설비의 오동작 등 고장이 발생하고 있으며, 특히 증가하는 디지털설비에 민감하게 반응함에 따라 원자력발전소 주요 디지털설비의 원인을 알 수 없는 고장의 요인으로 확인되고 있다. 이에 본 연구에서는 발전소에서 무선기기 사용에 필요한 규정 및 관련기준을 확인하고, 무선기기에 의해 발생하는 무선주파수장해로부터 안전하게 사용할 수 있는 무선기기 사용가능성에 대해 고찰해 보고자 한다.

국내법규(전파법, 정보통신부고시)는 사용 가능한 주파수 및 출력과 일반기기들의 무선주파수장해 기준을 제공하고 있으나, 원자력발전소에 설치된 설비 또는 기기들에 대한 기준은 제공하지 않고 있다. 반면에 원자력발전소에서 무선기기 등 전자기와 장해기기 또는 민감한 기기의 사용은 미 원자력규제위원회(NRC)에서 승인 및 제정된 EPRI TR-102323 Rev. 1(1997년) 및 Regulatory Guide 1.180 rev. 1(2003년)규정에 따라 엄격히 적용되고 있다. 무선기기를 원자력발전소에서 사용하기 위해서는 무선주파수장해의 발생원과 여유도 설정 및 최소 이격(통제)거리를 설정하는 것이 가장 중요하다. 무선주파수장해의 발생원은 고정용과 휴대용 모두(휴대용 무선송수신기, 아크용접기, 전원공급장치 및 발전기 등)를 포함하며, 안전관련 계측제어계통에 규정된 동작영역보다 8dB 이상의 여유도가 유지되어야 한다. 특히 Reg. Guide 1.180 rev.1에서 요구하는 전자기와 내성에 따라 설계 및 검증된 안전관련 계측제어설비가 설치된 지역에는, 고정용과 휴대용 무선주파수장해를 야기하는 무선기기 사용을 금지하는 최소이격거리를 설정해야하며, 설정된 최소이격거리 이내에 무선기기 사용은 엄격히 금지하여야 한다. 그러나 비 안전 기기들은 전자기와 검증 대상기기로 분류되어 있지 않아 각 기기들의 전자기와 내성을 알 수 없으므로, 각 기기와 무선 송·수신기 사이의 정확한 이격거리 설정이 곤란하다.

발전소 내 안전관련 계측제어설비에 대해서는 최소 이격거리를 적용하여 사용이 가능하나, EPRI TR-102323 Rev. 4(2013) 권고에 따라 최소 33cm이상 이격 하여 사용하여야 한다. 그러나 비 안전 기기들은 전자기와 내성을 알 수 없어 발전소 출력영향, 과도현상 및 중요 계측신호 상실을 유발할 수 있는 설비에 근접하여 무선 송·수신기 사용을 금지하여야 하며, 무선주파수장해를 유발하는 무선기기로 부터의 노출을 금지(무선 송·수신기 사용 중 인근 캐비닛 또는 패널 도어 잠금 상태 유지) 하는 등 안전관련 계측제어설비보다 엄격하게 사용기준을 적용하여야 한다.

Yankee Rowe 원전의 콘크리트 특성평가 사례 분석

Case Analysis of Concrete Characterization at Yankee Rowe Nuclear Power Plant

이동희 · 손 욱

한국수력원자력(주) 중앙연구원 원전사후기술센터 해체기술팀

원자력발전소 해체 시 콘크리트의 방사성오염문제를 해결하는 것은 비용측면에서 밀접한 관계가 있으며 해체 기간에도 영향을 미칠 수 있다. 해체 및 복원 과정에서는 4,500만 kg 이상의 콘크리트 폐기물과 오염된 콘크리트를 복원하거나 처분하는데 약 62~92백만 USD 달러의 비용이 발생한다. 이 비용을 최소화하고 해체 일정을 유지하기 위해서는 오염된 깊이와 면적의 특성평가를 통해 충분히 파악해야 한다. 콘크리트의 정확한 특성평가는 해체 계획에 필수적인 정보를 제공한다. 따라서 이 논문은 해체가 완료된 Yankee Rowe 원전의 콘크리트 특성평가 사례를 분석하였다.

Yankee Rowe 원자력발전소는 31년의 상업운전 후 1991년 10월에 영구 정지하였다. 특성평가를 수행하기 전 부지이력조사를 통해 1970년대 1차측 오염 사례와 1980년대 연료봉 파손에 의한 1차측 및 연료 취급건물 오염 사례를 확인하였다. 콘크리트의 오염범위조사(scoping) 및 예비특성평가(initial characterization)는 NUREG/CR-5849의 지침에 따라 1993년부터 수행하였다. 이 조사는 콘크리트 표면을 스미어를 통해 평가하였다. 높은 준위를 가지는 백그라운드 구역에서는 페인트 및 콘크리트를 얇게(100cm²) 제거한 뒤 GM계수기를 이용하여 측정하였다. 잠재적 오염구역은 오염의 정도를 평가하기 위해 샘플링을 통한 특성평가를 수행하였다. 고방사선 구역인 1차계통은 철거하기 전 방사화된 콘크리트 표면을 측정하거나 샘플링 또는 코어링을 할 수 없었기 때문에 MCNP와 같은 3D 방사화평가 코드를 이용하여 콘크리트의 방사화 수준을 계산하였다. 콘크리트의 오염범위조사 및 예비특성평가 결과는 부지를 오염구역과 비오염구역으로 구분, 방사성 폐기물량을 추정한 뒤 해당 지역 내에서 복원이 가능한 구조물의 필요한 정보를 도출하는데 활용되었다.

이처럼 Yankee Rowe 부지의 특성평가를 통해 격납건물 콘크리트의 오염깊이, Reactor Vessel Cavity(RVC)의 핵종 농도, Shield Tank Cavity(STC)의 핵종농도, 표면오염수준 등을 확인하였다. 샘플링이 가능한 구역에 대해서는 직접측정을 통해 결과를 도출하였으며, 고방사선구역의 경우에는 MCNP를 이용한 3D 방사화평가 프로그램을 이용하여 계산하였다. 이처럼 Yankee Rowe 원전의 콘크리트 특성평가 수행 사례 및 결과는 향후 고리1호기의 콘크리트 특성평가를 시행하기 위한 참고자료로 활용될 것이다.

- [1] NUREG/CR-5849, "Manual for Conducting Radiological Survey in Support of License Termination", JUNE 1992.
- [2] EPRI, "Concrete Characterization and Dose Modeling During Plant Decommissioning", 1015502, 2008.

국내 원전 예비해체계획서 개발 현황 및 구성

Development Status and Composition of Initial Decommissioning Plan for Korean Nuclear Power Plants

고종현 · 김현민

한국수력원자력(주) 중앙연구원 원전사후기술센터 해체기술팀

원자력안전법에 따라 원자력발전소 건설허가 신청 시 예비해체계획서(Initial Decommissioning Plan; IDP)를 정부에 제출하여야 한다. 이에 따라 2015년 7월 31일 신고리 5,6호기 IDP를 정부에 제출하였으며 2015년 10월 21일 심사질의 31건을 접수하였고 이에 대한 답변서를 2016년 2월 5일 정부에 제출하여 2016년 6월 27일 건설허가를 취득하였다. 한편, 신한울 3,4호기 IDP는 2016년 1월 8일 정부에 제출하였으며 2016년 10월 21일 심사질의 18건을 접수하였고 이중 9건의 답변서를 2017년 2월 24일 제출하였으나 이후 원전산업 환경변화로 인해 현재 중단된 상태이다. 원자력안전법 부칙의 경과규정에 따라 기존 건설 또는 운영 중인 원전도 IDP를 2018년 7월 20일까지 정부에 제출하여야 함에 따라 2017년 7월 21일에 신한울 1,2호기 IDP를 제출하였으며 2017년 9월 29일에 1차 심사질의 46건을 접수하였고 이에 대한 답변서를 2018년 1월 19일에 정부에 제출하였다. 또한, 2017년 9월 25일에 운영 원전 IDP 15건을 정부에 제출하였으며 2017년 11월~12월에 심사질의 237건을 접수하여 현재 답변서를 작성 중에 있다.

IDP는 12장 및 부록으로 구성되어 있으며 관련 고시 참조 및 심사질의/답변 경험 등을 반영하여 아래 표와 같이 세부 절로 나뉘어 작성하였다[1~2].

항목	절
1. 해체계획의 개요	개요, 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제2장 제5절 “원자로시설의 해체” 준수, 해체대상 시설의 종류와 특성, 주요 건설 및 운영이력, 운영기간 중 시설과 부지주변의 오염사건 및 사고이력, 예비해체계획서의 구성 및 형식, 참고문헌
2. 사업관리	조직, 인력, 해체비용, 재원확보, 참고문헌
3. 부지 및 환경현황	부지현황, 환경현황, 방사선학적 특성, 참고문헌
4. 해체전략과 방법	해체전략과 방법(해체전략, 해체방법과 일정), 참고문헌
5. 해체용이성을 위한 설계특성과 조치방안	설계특성(해체용이성을 위한 설계특성과 조치방안으로 해체용이성을 위한 ALARA 설계특성, 방사성물질 누설 최소화 설계특성, 환경방출 방사성오염 및 운영 중 방사성폐기물 발생 최소화 설계특성, 시설배치 최적화 설계특성), 발전소운영 중 방사성물질의 누설, 방사성오염 및 방사성폐기물 발생 최소화를 위한 조치방안, 주요 기록사항 관리, 참고문헌
6. 안전성평가	방사선 위험도 평가, 위해도 평가, 안전성평가 방법 및 절차, 참고문헌
7. 방사선방호	피폭방사선량의 ALARA 유지, 방사선방호 계획, 참고문헌

[1] 원자력안전위원회 고시 제2015-8호, “원자력이용시설 해체계획서 등의 작성에 관한 규정”

[2] 한국에너지학회 2017년 추계 학술발표회, 김현민, 고종현, “상업용 원자력발전소 예비해체계획서 작성방향 및 시사점”

열동형 과부하 계전기 검증 필수특성에 대한 고찰
A Methodology Study on Verification Critical Characteristics
of Bimetallic Thermal Overload Relay

허희무 · 지영화 · 양창석
한국수력원자력(주) 중앙연구원

열동형 계전기는 온도의 변화에 따라 움직이는 계전기로, 계전기 내부에 바이메탈, 히터, 보조접점을 동작시키는 작동스프링 및 레버 등의 구조물들로 이루어져 있다. 열동형 과부하 계전기 내부의 바이메탈(Bimetal)은 팽창, 수축하는 정도(열팽창계수)가 다른 두 종류의 금속을 접합해 온도가 높아지면 열팽창계수가 큰 쪽이 더 많이 팽창하여 굽어지게 되는데, 이때 생기는 물리적 힘으로 보조접점 출력을 발생시킨다. 주회로 단자의 히터에 과전류가 흐르면 열이 발생하고 이로 인해 바이메탈에 변위가 생기면서 트리거 레버가 당겨지고 인장레버도 함께 동작되어 작동 스프링에 의해 접점이 개방된다. 이러한 원리를 이용하여 회로를 구성하면 과부하에 의한 전동기 등의 회로 소손을 방지하기 위한 접점 출력을 제공할 수 있다.

열동형 과부하 계전기의 고장모드를 살펴보면 크게 보조접점 접촉저항 증가, 과전류 및 정상 부하시 보조접점 오동작, 히터 특성열화, 바이메탈 부동작의 네 가지로 구분 할 수 있다. 이를 확인하기 위한 필수특성으로는 접점 저항, 절연저항, 보조접점 용량(Contact ratings), 동작 시간(Operating time)을 들 수 있다. 과부하 계전기의 절연물에 전압을 가하면 아주 미세한 전류가 흐르는데, 이때의 전압과 전류의 비로 구한 저항을 절연 저항이라고 하는데, 단위는 보통 $M\Omega$ 이 쓰인다. 계전기의 선간 격리기능 수행여부를 확인하기 위하여 절연저항을 측정한다. 보조접점 용량은 접점에 통과시킬 수 있는 전류의 최대치를 일컫는다. 일반적으로 열동형 과부하 계전기의 접점 용량은 전류종류(AC/DC)에 따른 사용범주별(IEC 60947-5-1 4.4) 해당범주의 전압범위에 대한 최대 전류치로 제공된다. 접점 용량을 접점에 인가 후 계전기의 파손 흔적 및 고장 발생 여부로 만족 여부를 확인한다. 동작 시간은 동작 전류를 초과하는 과전류 인가시 접점이 단락되거나 개방되기까지의 시간을 뜻하며, 규정된 시간 내에 접점이 단락되거나 개방되는지 확인하기 위하여 동작 시간을 측정한다.

열동형 과부하 계전기의 건전성을 검증하기 위해 본 논문에서는 열동형 과부하 계전기의 기능에 중점을 두고 고장원인 및 고장모드 영향분석을 실시하였으며, 고장 여부를 확인할 수 있는 성능 검증 필수특성을 도출하였다. 본 논문에서는 일반적인 열동형 과부하 계전기에 대해서만 다루었으나 계전기의 특성에 따라 검증 필수특성을 추가 적용할 수도 있을 것이다.

Fabrication and characterization of porous stainless steel support for metal-supported Solid Oxide Fuel Cell

TAE HUN KIM* · MUHAMMAD TAQI MEHRAN · RAK HYUN SONG* · TAK HYOUNG LIM · SEUNG BOK LEE · JONG EUN HONG

Fuel Cell Research Laboratory, Korea Institute of Energy Research(KIER),
152 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34129, Korea

*Department of Advanced Energy and Technology, Korea University of Science and Technology(UST)

Abstract :

Solid Oxide Fuel Cells(SOFCs) is a fuel cell in which electrolyte is a solid oxide and show high efficiency compared to other fuel cells such as PEMFC, PAFC, DMFC. Generally, an anode supported design is used for high temperature SOFC. However, by replacing the anode support with a metallic component, we can achieve several advantages. For example, the metal-supported SOFC operate at temperatures lower than normal operating temperature($>800^{\circ}\text{C}$), allowing for a wider range of applications, reducing material costs, and having excellent strength. The major requirement of metal support for SOFC include sufficient porosity to supply fuel to toe anode and appropriate strength to provide support for the other SOFC component. Therefore, in this study, we fabricated metallic support with a sufficient strength and porosity by using ferrite SUS430, which has the matching thermal expansion coefficient(TEC) with the electrolyte material such as GDC, YSZ and cathode materials. The powder were mixed with appropriate amounts of pore former and other organics and pressed into pellets by uni-axial pressing and subsequently sintered in hydro gas at different temperature. The porosity and strength of in developed metal-supports was determined and SEM analysis was also conducted for microstructure. The developed porous metal supports showed $\sim 30\%$ porosity and $>500\text{MPa}$ strength meeting the requirement for support of the SOFC.

Key words :

Solid Oxide Fuel Cell, Metal-supported, stainless steels, porous, strength

*Corresponding author: rhsong@kier.re.kr

케냐프로부터 반섬유소 및 리그닌 추출을 위한 염산 및 에탄올 2단계 처리
Two stage treatment by using hydrochloric acid and ethanol fractionation
for extracting hemicellulose and lignin from kenaf

김성주 · 김가희 · 엄병환
한경대학교 화학공학과

Ethanol organosolv fractionation technique is effective procedure for production of high purity lignin from herbaceous biomass. However, the major problem of ethanol organosolv could not use the xylose due to extraction in black liquor after organosolv. The hydrochloric acid fractionation has been suggested as a strategy to solve this drawback prior to organosolv. In this work, kenaf was fractionated with 0.1–0.6 % w/w HCl (solid : liquid ratio 1:10) at 130–190°C for 1 hour. Then, the treated solids were fractionated with 60 % v/v ethanol under various conditions (solid : liquid ratio 1:10, 100–160°C, 20–60 min), and the changes on the composition of treated solids, liquid, and lignin purity after each step were analyzed. Subsequent two stage treatment process under optimal condition was scale-up in a 7L reactor. Two stage fractionations based on hydrochloric acid and ethanol indicated outstanding effective to isolate the cellulose, hemicellulose, and lignin.

PEMFC 공기극 백금 촉매로서 내구성이 향상된 티타늄계 지지체 개발
Stability of Pt catalyst on inorganic Ti support for PEMFC cathode

이용준 · 박찬미 · 탁용석[†]

인하대학교 화학공학과

고분자 전해질 막 연료전지(PEMFC)는 친환경적인 생성물과 높은 에너지 전환 효율의 장점으로 차세대 에너지 전환 장치로 주목 받고 있다. PEMFC에 주로 사용되는 공기극 촉매로서 탄소지지체 기반 백금 촉매는 산소환원반응에 높은 활성을 나타낸다. 하지만 탄소지지체는 PEMFC 장기 운전 환경 하에서 전기화학적 산화로 인한 촉매 성능저하가 발생하므로 구조가 변형된 탄소지지체 혹은 비 탄소계 지지체의 활용이 제시되어 왔다. 비 탄소계 지지체 중 이산화 티타늄은 PEMFC 장기 운전조건 하에서 강한 내구성과 내산성을 가지고 있으나, 금속산화물의 특성상 탄소 기반 지지체에 비하여 낮은 전기전도도로 인한 단점을 지니고 있다.

본 연구에서는 이산화 티타늄과 우레아를 수소 분위기에서 어닐링하여 전기전도도 향상과 함께 높은 내구성을 갖는 질소가 도핑 된 이산화 티타늄을 제조 하였다. 촉매 제조에 있어서 포름산을 이용한 화학적 환원법을 이용하여 전구체 상태의 백금을 제조한 질소 도핑 된 이산화 티타늄에 담지 하였다. 또한, 막-전극 접합체 (Membrane-electrode assembly)는 분리막에 직접 코팅하는 방식인 Catalyst-coated membrane (CCM)법을 이용하였다. 질소 도핑 된 이산화 티타늄의 물리화학적 성질은 XRD, FE-TEM, XPS를 통하여 분석하였다.

전기화학적 분석에는 선형 주사 전압법으로 산소환원능 측정 및 rpm에 따른 물질 전달 저항의 영향을 확인하였으며, 순환 전압전류법으로 전기화학적 표면적 분석을 진행하였다. 또한, 질소 도핑 된 이산화 티타늄은 고전압 범위 (1.0 V ~ 1.4 V)에서의 가속화 시험 결과 상용화된 Pt/C에 비하여 산소환원반응에서의 높은 내구성과 향상된 수소 흡·탈착 성능을 나타냈으며, 막-전극 접합체 (MEA)의 성능 및 열화 현상에 대한 저항성이 증가하였다.

알칼라인 연료전지용 음이온 교환막 개발을 위한 폴리이미드를 기반으로 한 클로로 메틸화 정도에 따른 전기화학적 성능 비교

Comparison of electrochemical performance according to degree of chloromethylation based on polyimide for development of anion exchange membrane for alkaline fuel cell

오병훈¹, 김애란², 유동진^{1,3*}

¹전북대학교, 자연과학대학 생명과학과, ²전북대학교, ³전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단

본 연구에서는 알칼라인 연료전지용 음이온 교환막을 개발하기 위하여 높은 내열성과 함께 우수한 화학적 물리적 안정성, 낮은 유전율과 같은 뛰어난 전기적 특성을 가지고 있어 다양한 분야에서 응용하고 있는 폴리이미드 구조를 기반으로 연구를 진행하였다.

먼저 4,4'-Oxydiphthalic anhydride와 4,4'-Oxydianiline을 이용하여 폴리아믹산에 대한 합성을 진행하였으며, 고리화 반응을 위하여 열적 이미드화 방법을 통하여 실험을 진행하였다. 열적 고리화 반응은 폴리아믹산을 200°C에서 이틀 동안 열처리를 하였으며, 합성한 폴리이미드에 클로로메틸메틸이써(CMME)를 사용하여 클로로메틸화 반응을 진행하였다. 클로로메틸화의 정도에 따른 전기화학적 특성들을 살펴보기 위해 클로로메틸메틸이써의 몰 비를 다양하게 변경하였으며 (1:40, 1:60, 1:80, 1:120), 4차 아민인 TMA(trimethyl amine)을 이용하여 quaternarization을 진행하였다.

합성된 폴리이미드 고분자는 ¹H-NMR, FT-IR를 통해 구조분석을 진행하였으며, 그리고 Thermogravimetric analysis(TGA)와 Differential scanning calorimetry(DSC)를 측정하여 열적 안정성을 확인 하였다. 이 밖에 합성된 고분자 전해질 막의 물리화학적 특성 분석을 위하여 클로로 메틸화 정도에 따른 이온교환능력(ion exchange capacity), 물 흡수도(water uptake), hydroxide conductivity값을 측정하였다.

음이온 교환 막 개발을 위한 포스핀을 함유한
폴리아닐렌이씨설펜의 합성 및 특성 분석

Synthesis of characterization of poly(arylene ether sulfone) containing
phosphine for development of anion exchange membrane

이승연¹ · 유동진^{1,2†}

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

본 연구는 알칼리 연료전지의 내구성 및 화학적, 열적 안정성을 보완하기 위해 질소를 포함한 작용기가 아닌 인을 사용하여 기존의 알칼리 연료전지 상용 막과 특성을 비교하기 위해 진행되었다. 블록공중합체의 합성을 위해 Cl 올리고머와 OH 올리고머를 합성하였다. Cl 올리고머는 bis(4-chlorophenyl)sulfone과 2,2-bis(4-hydroxy-3-methylphenyl)propane을 이용하였고, OH 올리고머는 bis(4-chlorophenyl)sulfone과 4,4'-(hexafluoroisopropylidene)diphenol을 이용하여 합성을 진행하였다. 올리고머의 길이를 다르게 반응하여 각각의 블록공중합체의 물성을 비교하였다. 합성된 블록 공중합체에 N-bromosuccinimide (NBS)와 azobisisobutyronitrile(AIBN)을 사용하여 라디칼 반응인 브롬화반응을 이용해 다양한 포스핀을 결합하는 반응을 진행하였다. 그렇게 합성된 블록 공중합체는 ¹H NMR, FT-IR, 그리고 GPC를 이용해 구조분석을 진행하였고, thermogravimetric analysis(TGA)와 differential scanning calorimeter (DSC)를 측정하여 열적 안정성을 확인하였다. 막의 전기화학적 특성인 이온 전도도를 측정을 하였다. Universal testing machine (UTM)을 이용해 기계적 특성을 확인하고, AFM phase image를 측정함으로써 합성된 블록 공중합체의 막의 표면 상태를 확인하고자 한다.

중공형 구조로 제어된 Pt@Ni/C 촉매의 합성 및 특성 분석

김동건 · 손연선 · 이종하 · 이지호 · 정재영 · 김필*

전북대학교 반도체 · 화학공학부

고분자 전해질형 연료전지의 성능은 상대적으로 반응 속도가 느린 산소환원반응에 의해 결정되기 때문에 우수한 활성을 갖는 촉매가 필요하다. 연료전지 촉매로는 주로 상용 백금 촉매가 사용되는데, 백금은 산소환원반응에 대한 성능이 가장 우수한 금속으로 알려져 있다. 백금과 전이금속을 합금화 할 경우 백금의 사용량을 줄이는 동시에 촉매의 활성을 향상시킬 수 있다. 특히 중공형 구조의 경우 코어-셸 구조와 달리 활성 증대 성분 용출로 인한 성능 감소가 없기 때문에 내구성 또한 우수하다. 기존의 중공형 구조 촉매 합성은 반응 조건이 제한적이고 방법이 복잡하여 조성의 확장 및 응용이 어렵다.

본 연구에서는 니켈 나노 입자를 탄소에 담지한 뒤 다양한 조건으로 환원 및 치환반응을 단일 반응기에서 진행하여 효과적인 방법으로 중공형 구조의 Pt@Ni/C 촉매를 제조하고 합성된 촉매의 물성분석 및 성능평가를 진행하였다.

산소환원반응용 Pt@PtAuCu/C 촉매의 제조 및 특성분석

이중하 · 손연선 · 이지호 · 김동건 · 김필†

전북대학교 반도체 · 화학공학부

고분자 전해질형 연료전지는 우수한 에너지 변환 효율과 높은 에너지 밀도 등 많은 장점이 있어 대체 에너지 원으로 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 내부에서 발생하는 산소환원반응이 매우 느리고 복잡하기 때문에 이에 대한 활성이 우수한 촉매가 필요하다. 연료전지용 촉매로 주로 사용되는 백금 촉매는 초기 활성은 매우 우수하지만 장기간 운전 시 내구성이 낮다는 단점이 있다. 백금 촉매의 활성을 증가시키기 위하여 전이금속과 합금화한 촉매를 제조하는데 이는 cycle이 반복될수록 코어의 활성 증대 성분의 용출로 인해 활성이 저하된다. 이를 해결하기 위하여 높은 표준 환원전위를 갖는 금을 합금화하여 내구성을 향상시키는 연구가 진행되고 있으나, 금의 경우 산소환원반응에 대한 활성이 거의 없기 때문에 함량 및 조성이 촉매 활성에 영향을 미친다.

본 연구에서는 높은 활성 및 내구성을 갖는 촉매를 개발하기 위해 백금과 구리, 금을 합금화 한 뒤 백금과의 갈바닉 치환을 통해 구리를 제거함으로써 다공성의 코어-셸 구조의 촉매를 합성하고, 금의 함량 및 조성에 따른 촉매의 활성 및 내구성을 평가하였다.

지지체 열화시 발생하는 이오노머 재배열 억제 방안

양승용 · *한병찬· 김태영

한국에너지기술연구원, *연세대학교

고분자연료전지는 특수한 환경 조건에서 발생하는 탄소 지지체 및 백금 열화와 같은 약한 내구성은 상용화에 큰 걸림돌로 작용한다. 기존 문헌상에서 제시하는 탄소 열화시 성능 저하의 주요 원인으로 지금까지 보고된 바로는 첫 번째로 지지체 표면의 산화로 인한 플로딩 현상, 두 번째로 지지체 표면의 촉매 탈리, 세 번째로 촉매층내 공극 크기 변화에 따른 산소 전달통로의 변화 정도로 살펴볼 수 있다. 이러한 주요 원인들이 지지체 열화시 발생하는 산소 전달영역에서 보이는 큰 폭의 성능 하락의 원인을 정확히 설명하지는 못하고 있다.

본 연구에서는 과거에 제시된 내구성 하락 원인 인자 이외에 촉매층을 구성하는 요소중 하나인 이오노머 바인더의 관점에서 지지체 열화시 산소확산저항이 크게 증가 및 성능이 저하하는 원인을 자세히 알아보고 실험적으로 이오노머 바인더의 영향력을 알아보았다. 또한 이오노머에 의한 성능 저하특성을 최소화 하기 위하여 다양한 방법을 모색하였다. 지지체 열화시 지지체 표면에 있던 이오노머 재배열을 최소화시킴으로써 전극 열화시 발생하는 산소 전달저항의 변화가 거의 없는 것으로 관찰되었다.

TriGeneration 사업화모델 연구
A Study of Business Model of Trigereneration

임해리 · 서광일 · 전치홍 · 김형태*
이수에어텍, *한국가스공사 가스연구원

천연가스를 에너지원으로 활용하는 Trigereneration은 집중된 전기에너지 수요를 가스에너지 수요로 배분함으로써, 에너지의 이용 합리화와 기존 가스에너지 수요패턴의 문제인 동고하저 문제를 동시에 해결할 수 있는 유용한 시스템이다.

본 연구에서는 Trigereneration 수요가 많이 예상되는 중·소형 건물을 보유한 공공기관 시설과 에너지 다소비 건물에 대한 시장진입 방안에 대한 연구를 수행하였다.

폐탄광 지역 광해조사를 위한 증강현실 기술의 적용
Application of Augmented Reality Technology for Surveying Mine
Hazards in Abandoned Coal Mining Areas

최요순 · 서장원*

부경대학교 에너지자원공학과, *강원대학교 에너지공학부 에너지자원융합공학전공

Conventional mine site investigation has difficulties in fostering location awareness and understanding the subsurface environment; moreover, it produces a large amount of hardcopy data. To overcome these limitations, a mobile tablet application was developed. It enables users to rapidly identify underground mine objects (drifts, entrances, boreholes, hazards) and intuitively visualize them in 3D using a mobile augmented reality (AR) technique. To design the application, South Korean georeferenced standard-mine geographic information system (GIS) databases were employed. A web database system was designed to access via a tablet groundwater-level data measured every hour by sensors installed in boreholes. The application consists of search, AR, map, and database modules. The search module provides data retrieval and visualization options/functions. The AR module provides 3D interactive visualization of mine GIS data and camera imagery on the tablet screen. The map module shows the locations of corresponding borehole data on a 2D map. The database module provides mine GIS database management functions. A case study showed that the proposed application is suitable for onsite visualization of high-volume mine GIS data based on geolocations; no specialized equipment or skills are required to understand the underground mine environment. The application can be used to support abandoned-mine hazard site investigations.

지하광산 내비게이션 시스템 개발을 위한 블루투스 비콘의 적용
Application of Bluetooth Beacons for Developing an Underground Mine
Navigation System

최요순 · 백지은 · 서장원*

부경대학교 에너지자원공학과, *강원대학교 에너지공학부 에너지자원융합공학전공

A Bluetooth beacon-based underground navigation system was developed to identify the optimal haul road in an underground mine, track the locations of dump trucks, and display this information on mobile devices. A three-dimensional (3-D) geographic information system (GIS) database of the haul roads in an underground mine was constructed, and the travel time for each section was calculated. A GIS database was also constructed for 50 Bluetooth beacons that were installed along the haul roads. An Android-based application was developed to visualize the current location of each dump truck and the optimal haul road to the destination on mobile devices, using the Bluetooth beacon system that was installed in the underground mine. Whenever the application recognized all of the Bluetooth beacons installed in the underground mine, it could provide the dump truck drivers with information on the current location and the two-dimensional (2-D) and 3-D haul road properties. The operating time of each dump truck and the time spent on each unit task could be analyzed using recorded data on the times when Bluetooth beacon signals were recognized by the application. The underground mine navigation system that was developed in this study can contribute to the improvement of haul operation efficiency and productivity.

광산 안전관리를 위한 충돌방지시스템의 개발현황
Development Status of Collision Avoidance Systems for Mine Safety
Management

최요순 · 이채영 · 서장원*

부경대학교 에너지자원공학과, *강원대학교 에너지공학부 에너지자원융합공학전공

This study analyzed the development status and applications of collision avoidance systems for mine safety management. The definitions of collision avoidance system used in Australia and USA were compared. Sensing technologies utilized in the collision avoidance systems were reviewed. In addition, several collision avoidance systems developed in oversea mining company, such as MineAlert Collision Awareness System, Cat MineStar, and Intelligent Proximity Detection, were reviewed. In Korea, no collision avoidance system were found. It was identified that the similar system were utilized in construction and railroad industry. Collision avoidance system can prevent unexpected collision accident and thus improve worker's safety in mine. Therefore, it is necessary to analyze and apply sensors and system appropriate for the domestic mining environment via review of overseas collision avoidance system.

광에너지 기반 온실환경 제어 모니터링장치 A Composite Monitoring System for Control of Greenhouse based on Light Energy

김종만 · 김원섭

전남도립대학 신재생에너지전기과

복잡한 온실환경시스템에서 실시간제어를 위한 환경요인은 수분, 온도 및 광조건 등으로 구분되는데, 이 요소 중에서 광 조건을 통해 받아하는 명발아 종자에 성장, 형태 및 색소형성의 에너지원과 조절인자로 작용하며, 생리활성 물질의 생성에도 영향을 미친다. 이와 같이 복잡한 온실환경시스템에 중요한 요인이 되고 있는 인공광 제어부문에 있어서 기존의 형광등과 비교되는 LED제어장치 등을 이용하여 인위적으로 광환경을 제어시키는 방법은 새로운 생산 효과를 가져온다. 이를 위하여 온실하우스의 여러 식물의 재배시 LED 광량의 다양한 색상 조절을 통하여 착색효과 등 새로운 상품을 생산할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 온실환경의 발아와 성장에 중요한 요인이 되고 있는 수분제어의 최적 제어 및 LED 인공광원 시스템을 설계하였으며, 이 장치의 원격제어설비시스템의 자동환경 프로그램을 기반으로 중간 관리 식별이 가능한 최적의 지능 모니터링 프로그램을 구현하였다.

1. 자동화 온실장치의 임베디드 모니터링장치

온실환경의 관수 제어 및 광량 제어장치를 실현을 위하여 자동화 임베디드 제어시스템을 구현하였다. 다음으로, 온실환경의 발아용 기계장치로 부터 관수센서, 온도센서 등 계측 감지된 신호의 데이터 값이 무선신호로 임베디드 CPU로 송신되어 최적의 출력신호로 조절되도록 시스템을 구성하고, 환경 상태 측정을 위하여 웹서버를 이용하여 최적의 모니터링 프로그램을 개발하였다. 광조명장치의 제어반 데이터가 TTL 기반 원격 송수신이 가능하며, LCD 스크린에 온도, 수분(습도량)의 제어 임계치, 기계에 최적 출력되는 상태값(Status Value) 즉, 모터, Solenoid Valve, 히터, 팬, 광량 출력값, RBG 출력 상태 등의 제어값이 디스플레이 작동되도록 설계하였다.

그림 1은 임베디드기반 광환경제어시스템의 블록구성도를 나타내고 있다.

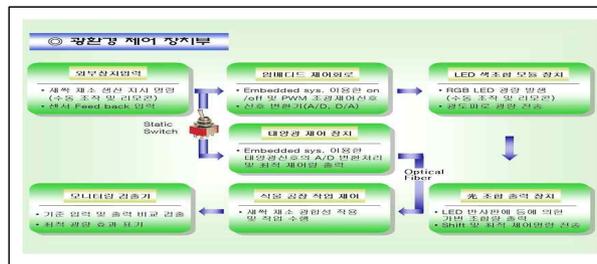


그림 1. 임베디드기반 광환경제어시스템의 블록 구성도

전체 시스템 블록도는 다음 그림 2와 같다. 또한 임베디드 시스템의 이더넷 포트에 랜 케이블을 연결한 뒤 PC의 웹 브라우저를 통해서 LCD화면과 동일하게 데이터를 확인할 수 있다. 이 그림에서 PC의 웹 브라우저에서 임베디드 시스템의 웹서버로 접근하여 데이터를 확인하기 위한 과정을 보여주고 있다.

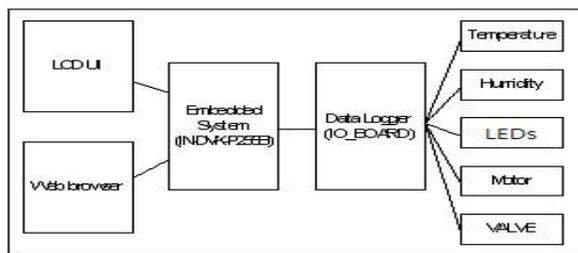


그림 2. 임베디드 제어시스템의 전체 블록도

2. 최적화 설비환경시스템의 시험 및 결과

다음 그림 3에 LED 광량제어용 구성장치의 결과와 색조합 LED모듈 상황을 그림으로 보였다.

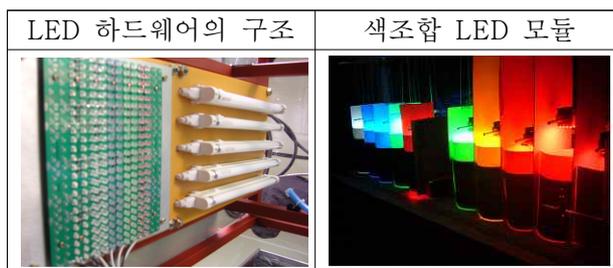


그림 3. LED 제어보드와 색조합 LED모듈

최적화 모니터링시스템의 생산효과 및 우수성을 입증하기 위하여 광질별 효과 및 특성을 입증하기 위하여 특별히 제작한 것으로 청색 LED 460nm를 대조구로 하였으며, 백색 LED 458nm, 녹색 LED 520nm, 황색 LED 596nm, 적색 LED는 632nm이었다. LED 처리조건은 시료의 약 30cm 높이에 광원을 설치하였으며, 광도는 1,500lux, 조광 14시간, 암조건 10시간으로 하였다. 이때 외부광원은 반사필름을 이용하여 차단하였으며, 온도조건은 성장상을 이용하여 주간 25℃, 야간 18℃로 조절하였다.

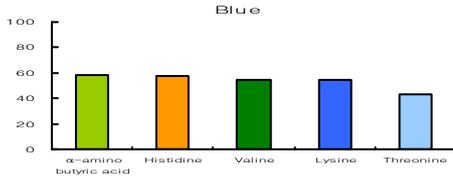
(2) LED 광 처리시 성장반응의 실험 결과

적콜라비의 종자발아에 미치는 LED 광의 영향을 조사한 결과, 1일째에는 녹색광과 백색광에서 7.3%로 높은데 비해 청색광에서는 1.3%로 낮아 광에 따라 발아율에 차이를 나타냈다(Table 1). 다음 표 1에 파종 후 2일째에는 백색광 83.3%를 제외하고는 모두 88.7% 이상을 나타냈으며, 파종 후 3일에는 LED 광의 종류에 관계없이 100%의 발아율을 나타내었다.

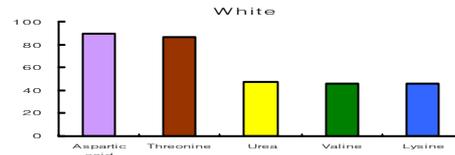
Table 1. Germination speed and rate of rape sprouts as affected by the LED colors as a light.

LEDs	Days after seeding	Total

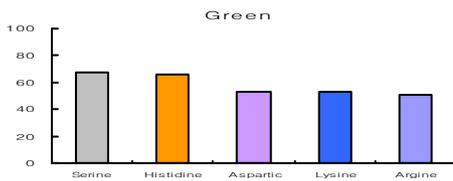
또한 적콜라비 등의 새싹채소 재배과정에서 LED 광에 따른 아미노산 함량 변화를 아미노산 자동분석장치(Sykam S433)로 분석하여 LED 광의 각 색깔별 특정 영향이 확실하게 미치게 됨을 실험하였다. 아래의 그림 4에 실험 결과를 청,녹,적,백,황색 LED의 색깔별 특성 결과값을 그래프로 보였다.



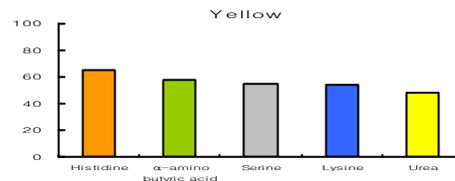
(a) Results of Blue LED



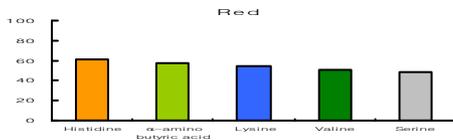
(d) Results of White LED



(b) Results of Green LED



(e) Results of Yellow LED



(c) Results of Red LED

그림 4. Red kohlrabi sprouts as affected by the LED colors(a~e) as a light.

3. 결 론

본 연구에서는 다양한 센서의 자동계측을 위하여 온실환경 생산기계의 최적 생산이 가능한 자동화 임베디드 온실환경 제어시스템을 하드웨어 구현하였다. 아울러 새싹의 발아에 관한 LED 광제어 및 수분제어를 원격 모니터링할 수 있도록 원격제어 시스템 및 모니터링 시스템을 구현하였으며, 각 LED 색깔별 특성실험의 실시간 실험결과가 가능함을 입증하였다.

참고문헌

- [1] Park, Y.S., M.Y. Park, and Y.S. Jo. Storability of loquat fruits as influenced by harvest date and storage temperature. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 23:64-70. 2005.
- [2] Hwang, M.K., C.S. Huh, and Y.J. Seo. Optic characteristics comparison and analysis of SMD type Y/G/W HB LED. J. Killee. 18(4):15-21. 2004.
- [3] K. Yaghmour, "Building Embedded Linux System", O'Reilly, April, 2003

국내 하수슬러지 유래 액상연료의 품질 특성

Quality characteristics of liquid biofuels produced from sewage sludge in
Korea

박조용 · 김재곤

한국석유관리원 석유기술연구소

바이오연료를 생산하기 위해 하수슬러지를 에너지원의 다양화, 지속가능성 측면에서 바이오매스 원료로 이용하고 있다. 열화학적 방법은 하수슬러지를 처리하는 가장 효과적인 방법으로 알려져 있고 하수슬러지로부터 액상연료를 생산할 수 있다. 하수슬러지를 액상연료로 생산하는 공정에는 에스테르전환 반응, 초임계 반응, 열분해 반응 등이 있다. 국내 하수슬러지를 원료로 하여 황산, 메탄올을 촉매로 하여 에스테르전환 반응을 통해 바이오디젤을 합성하고 연료로서의 물리·화학적 특성을 알아보았다. 또한, 물을 초임계 용매로 하여 초임계 반응을 실시하고 생성된 액상연료에 대해 밀도, 동점도, 수분 등의 연료 특성을 분석하였다. 특히, 하수슬러지 유래 바이오디젤은 후처리 공정(탈산, 탈검)을 통해 국내 바이오디젤(BD100) 품질기준인 KS M 2695를 만족하는지 알아보았다.

TiO₂ 나노입자 내부의 다공성 구조 및 광전극의 다공성 구조가 염료감응형 태양전지의 효율에 미치는 영향

Effect of porosity of TiO₂ nanoparticles and photoactive layer on the photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells

안지영* · 김수형**

*부산대학교 에너지융합기술연구소, **부산대학교 나노에너지공학과

본 연구에서는 염료감응형 태양전지의 구성성분 중 광전극의 다공성 여부와 광전극을 구성하는 TiO₂ 입자의 다공성 여부가 염료감응형 태양전지의 광전변환특성에 미치는 영향에 대한 연구를 진행하였다. 광전극의 다공성은 에틸셀룰로오스(Ethyl Cellulose, EC)를 첨가하여 제작하였으며, 광전극을 구성하는 TiO₂ 입자는 계면활성제를 첨가하여 입자 내부의 다공성을 조절하였으며, 에어로솔-젤법 및 열처리를 통하여 다공성 입자를 제작하였다. 본 연구에서는 광전극의 다공성 및 광전극을 구성하는 TiO₂ 입자 내부의 다공성 여부 및 다공성 정도가 염료감응형 태양전지의 광전변환 특성에 미치는 시너지 효과에 대한 연구를 진행하였다. 그 결과 광전극 내부와 광전극을 구성하는 TiO₂ 입자 내부에 다공성이 동시에 존재할 때 광전변환특성이 크게 향상됨을 알 수 있었다.

본 연구는 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2016R1A6A3A11932418)

높은 열적/기계적 안정성을 갖는 H₂ 선택적인 ZIF-8 분리막의 합성
Synthesis of H₂-selective ZIF-8 membranes with high
thermal/mechanical stability

홍성원· 최정규

고려대학교 화공생명공학과

Zeolitic Imidazolate Framework-8(ZIF-8) 분리막은 ZIF-8 기공 구조의 분자체 역할을 통해 H₂를 효과적으로 분리할 수 있다. 이러한 H₂ 선택적인 특성과 더불어 높은 열적 기계적 안정성으로 인하여 ZIF-8 분리막은 수성 가스 전하 반응(Water Gas Shift Reaction)에 분리막 반응기로 사용하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 ZIF-8 분리막의 합성을 위하여 In-situ counter diffusion 방식을 이용하였다. Zn source가 충분히 담지된 다공성 지지대를 2-methylimidazole(mim) 리간드와 반응시켜서 ZIF-8을 합성하는 In-situ counter diffusion 방식은 Zn와 mim의 높은 반응 속도로 인하여 Zn의 확산 속도가 분리막 합성에 영향을 주는 주된 변수가 되게 된다. 본 연구에서는 ZIF-8 분리막의 H₂ 분리 성능과 열적 기계적 안정성을 향상시키기 위하여 In-situ counter diffusion 방식의 주된 변수인 Zn의 확산을 조절하는 실험을 진행하였다. 먼저, 확산 속도를 조절하기 위하여 계층 구조를 갖는 지지대를 합성하였다. 일반적으로 사용되는 α-알루미나 지지대의 표면에 α-알루미나보다 작은 기공 크기를 갖는 γ-알루미나를 코팅하여 계층 구조를 갖게 하였고, 이를 통하여 확산 속도의 조절을 시도하였다. α-알루미나 지지대에 합성한 ZIF-8 분리막(ZIF-8_α)의 경우 일반적인 분리막들과 같이 지지대의 표면에 분리막이 형성되었다. 반면에 γ-알루미나를 코팅한 계층 구조를 갖는 지지대에 합성한 ZIF-8 분리막(ZIF-8_{γα})의 경우 지지대 내부에 침투하여 분리막이 합성되었고 이를 SEM과 EDX 분석을 통하여 검증하였다. 지지대 내부에 침투하여 형성된 ZIF-8_{γα} 분리막의 경우 250도에서 9.9 ± 1.2 의 H₂/CO₂의 분리 성능을 보였으며 이는 일반적인 ZIF-8_α 분리막의 성능인 7.5 ± 0.2 비교하여 향상된 값을 확인하였다. 또한 두 분리막의 열적 안정성을 실험하기 위하여 200도와 250도에서 최대 72 시간동안 분리 성능 실험을 진행하였으며 300도에서도 열적 안정성 실험을 진행하였다. 300도에서의 분리 성능 실험 결과, ZIF-8_α 분리막의 경우 2 시간 이후부터 성능이 저하되기 시작했으나 ZIF-8_{γα}의 경우 10 시간까지 성능이 유지되는 것을 확인하였다. 이를 통해서 ZIF-8_{γα} 지지대의 γ-알루미나 층이 보호층 역할을 하여 분리막의 성능을 유지시켜준 것을 파악하였다.

오리피스 원리를 이용한 실험용 습식 집진 장치의 개발
Development of Experimental Wet-type Dust Collector
using Orifice Principle

이세창 · 손명환* · 김태형*

지엠테크, *청주대학교 항공기계공학과

본 연구에서는 연마기 등 기계장치 내부에서 생성된 분진이 환경오염 방지시설인 습식 집진기를 통과할 때 필터가 물, 분진, 공기를 효율적으로 분리할 수 있도록 하는 집진기 내부의 흡입노즐 형상에 따른 효율 개선을 위한 예비 시험용 장비가 설계되었다. 습식집진기용 송풍기의 공기유량은 최대 28CMM이고 정압은 최대 265 mmAq이다. 습식집진기의 몸체는 SS41 소재를 사용하여 제작되었고 표면의 부식방지를 위해 분체 도장을 실시하였다. 사용된 송풍기의 용량을 기준으로 습식집진기 내부에 물과 공기가 섞이는 흡입노즐의 입구에서 물이 상승되도록 하는 임의의 기준 단면적을 설정하였고 실험으로 성능을 확인하였다. 또한 흡입노즐로 유입된 액체 및 고체들이 습식집진기 상부에 있는 송풍기까지 유입되지 않고 중력에 의해 다시 하부로 낙하되도록 하여 기체만 대기 중으로 방출되도록 몸체 크기를 설정하였다. 실험을 통해 분진이 미세한 틈을 갖는 고체 필터를 통과하지 않아도 물을 사용하여 분진을 분리할 수 있음을 확인하였다. 이는 유동해석에 기초한 흡입노즐 최적화 연구에 활용될 예정이며 향후 에너지 산업용 대기 오염방지 시설 등에서 필터 교체가 불필요하고 연속 가동이 가능한 우수한 습식집진 성능을 기대할 수 있다.

Acknowledgement

본 논문은 2017년도 중소기업기술개발지원사업 산학협력기술개발사업 기업부설연구소설치 지원사업(No. C0563704)의 연구비 지원으로 수행되었음.

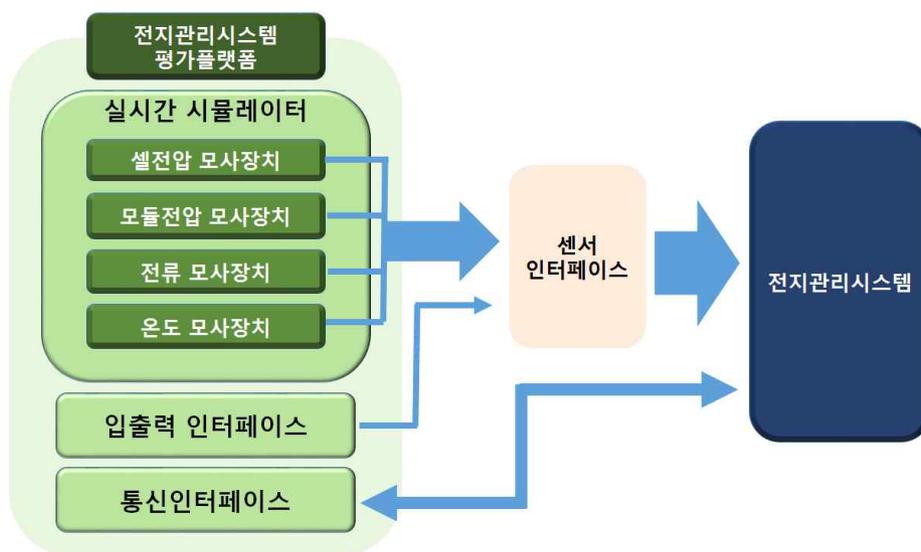
실시간 시뮬레이션을 이용한 전지관리시스템의 일반 측정 시험 General Function Test of Battery Management System using Real-time Simulation

박상현, 조창희, 전진홍, 김진욱, 김철우
한국전기연구원

현대 사회에서는 급속한 산업화에 따라 환경 파괴에 대한 우려와 경각심이 높아졌다. 에너지 시장에서도 환경에 영향을 미치는 화석연료 에너지에서 신재생에너지로 초점을 전환하고 있다. 최근 도서지역에서 태양광, 풍력 발전과 같은 신재생에너지를 효율적으로 운용하기 위하여 리튬이온전지의 도입이 증가하고, 리튬이온전지의 효율성과 안전성을 보장하는 전지관리시스템(Battery Management System, BMS)에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. 하지만 전지관리시스템을 평가하기 위한 방법이나 기준이 제시되어 있지 않다. 따라서 해당 연구를 통해 제시된 전지관리시스템의 평가방법 및 기준을 이용하여 평가플랫폼에서 일반 측정 시험을 수행하였다.

본 논문은 측정 시험을 통해 평가플랫폼에서 생성된 모사값과 전지관리시스템에서 모사값을 피드백한 계측값을 비교하여 측정 시험에 대한 검증 및 평가하고자 한다.

평가플랫폼의 실시간 시뮬레이터에서 모듈전압, 셀전압, 전류, 온도 값을 모사한다. 해당 모사 값들은 센서 인터페이스를 통해 전지관리시스템으로 전송한다. 평가플랫폼에서 실시간 시뮬레이터에서의 모사값과 전지관리시스템에서 피드백 데이터값을 비교를 통해 측정 시험에 대한 검증 및 평가를 도출하였다.



Fe로 도핑된 $\text{PbBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ 페로브스카이트 광촉매를 이용한
수중 메틸렌블루 제거 연구

A Study of Degradation of Methylene Blue in Aqueous Solution
using an Iron Doped $\text{PbBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ Perovskite Photocatalyst

심지수 · 이치현 · 임동하

한국생산기술연구원 에너지플랜트그룹

Aurivillius 상의 페로브스카이트 물질은 $[(\text{Bi}_2\text{O}_2)(\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1})]$ 의 화학구조로 이루어져있고, 발견 당시에는 연구자들이 강유전성에 많은 관심을 보였지만, 최근에는 높은 이온전도성이 알려지면서 광촉매 물질로 활용하고자 하는 연구들이 많이 진행되었다. 그리고 페로브스카이트 물질은 A 사이트와 B 사이트의 이온을 다른 이온으로 교체함으로써 쉽게 밴드갭 에너지 (band gap energy)를 조절할 수 있어 가시광선 조사 하에서도 광촉매 활성이 가능하다는 장점이 있다.

본 연구팀에서는 이전 연구에서 Aurivillius 상의 $\text{PbBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ (PBNO) 페로브스카이트 광촉매를 간단한 고체상 반응 기법 (solid-state reaction)으로 합성하였고, 가시광선 조사 하에서 대표적인 염료물질인 수중 메틸렌블루 제거 실험을 수행하였다. 그 결과, 외부의 가시광선 (Xenon lamp) 조사 하에서 180분 후에 대부분의 메틸렌블루가 제거되는 것을 확인하였다.

본 연구팀에서 합성한 PBNO 광촉매의 활성을 향상시키기 위한 방안으로는 페로브스카이트의 B 사이트 이온의 일정 비율을 Co, Mn, Fe와 같은 환원성 앞전이 금속 (reducible early transition metal)으로 교체하는 방법이 있으며, 이러한 방법을 통해 촉매 반응을 일으키는 산화환원 활성점이 형성되고, B 사이트에 존재하는 2개의 금속성분의 시너지 효과로 촉매활성이 향상된다고 보고되었다.

따라서 본 연구에서는 고체상 반응 기법을 이용하여 기존의 PBNO 광촉매에 Fe 성분을 일정 비율로 도핑한 광촉매 (PBFNOs)를 합성하였으며, SEM/EDX, BET, XRD, TEM, UV-Vis와 같은 분석기기를 이용하여 합성한 광촉매의 물리화학적 특성을 분석하였다. 그리고 기존의 PBNO 광촉매와 활성을 비교하기 위해서 합성한 PBFNOs 광촉매를 이용하여 수중 메틸렌블루 제거 실험을 수행하였다.

그 결과, 외부의 제논램프 조사 하에서 기존의 PBNO 광촉매보다 이른 120분 후에 대부분의 메틸렌 블루가 제거되는 것을 확인하였다. 따라서, 기존의 PBNO 광촉매 보다 PBFNO 광촉매가 가시광선 조사 하에서의 메틸렌블루 제거 효율이 우수한 것으로 확인되었다. 또한 Fe 도핑 비율에 따라서도 메틸렌블루 제거 효율이 변화되는 것을 확인하였다. 향후에는 가시광선 조사 하에서 가장 활성이 높은 PBFNOs 광촉매를 이용하여 기상 이산화탄소를 메탄과 같은 재생연료로 전환하고, 물 분해를 통해 수소를 생산하는 연구를 수행할 계획이다.

전지관리시스템 평가플랫폼의 리튬이온전지 모델 개발과 정확성 검증 Development and Accuracy Verification of Lithium-ion Battery Model of Evaluation Platform of Battery Management System

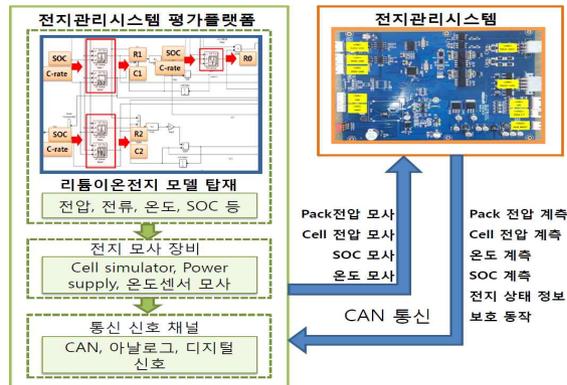
김철우 · 조창희 · 전진홍 · 김진욱 · 손완빈 · 박상현 · 김성신*

한국전기연구원, *부산대학교

세계적으로 온실가스 감축을 위해 풍력이나 태양광 발전과 같은 신재생 에너지의 도입이 증가하고 있으며, 신재생에너지의 불규칙하고 간헐적인 발전 특성을 보완하기 위해 에너지 저장장치가 주목받고 있다. 여러 에너지저장장치 중 높은 출력과 큰 에너지 밀도를 갖는 리튬이온전지가 가장 주목을 받고 있으나, 해당 전지의 안전 확보 및 효율적 관리 등의 이유로 전지관리시스템(Battery Management System, BMS)의 연구가 활발히 진행 중이다. 하지만 전지관리시스템에 대한 공식적인 평가 방법 및 성능 기준 등은 불명확하며, 전지관리시스템 개발 기업에서 정의한 절차대로 수행한다. 한국전기연구원에서는 전지관리시스템의 기능 검증을 위해 전지관리시스템 평가플랫폼 및 전지관리시스템의 평가 방법과 절차를 개발 중이다.

전지관리시스템을 검증하기 위해서는 리튬이온전지를 이용한 반복적 시험이 요구되며, 많은 시간과 비용이 소비될 뿐만 아니라 안전과 관련된 문제도 발생할 수도 있다. 따라서 이러한 점을 해결하면서 실제 리튬이온전지를 활용하는 수준으로 시험을 수행 할 수 있도록 그림 1과 같이 HILS(Hardware-In-the-Loop Simulation) 기반의 전지관리시스템 평가플랫폼을 구성하였다.

본 논문에서는 평가플랫폼에 탑재되어 구동될 등가회로 기반의 리튬이온전지모델에 관한 것이다. 해당 모델은 Mathworks 社의 Matlab/Simulink 환경에서 개발하였으며, 실제 리튬이온전지 시험을 통해 얻은 데이터를 기반으로 전지모델의 파라미터를 추출하였다. 등가회로를 구성하는 각 파라미터들(R_0, R_1, C_1, R_2, C_2)은 SOC(State-Of-Charge), C-rate를 입력 변수로 갖는 Table 형태로 구성하였고, 충방전 시뮬레이션을 바탕으로 모델의 정확성을 검증하였다.



전기요금 절감 및 신재생출력 안정을 위한 마이크로그리드 운영시스템 개발
Development of Energy Management System to Reduce Electricity
Charge and Stabilize Renewable Energy for Microgrid

박향아 · 김슬기 · 조경화 · 김응상

한국전기연구원 스마트배전연구센터

최근 정부가 탈원전 및 탈석탄 발전을 선언하고 신재생에너지 3020 정책 등을 통해, 신재생에너지 관련 에너지정책이 확대될 것으로 전망된다. 이에 따라 신재생전원과 비상발전기, 에너지저장장치 등 마이크로그리드의 복합 발전 제어기술에 ICT 기술을 접목시켜 지능적으로 에너지를 관리하는 에너지관리기술의 중요성 또한 증가하였다. 본 연구에서는 경상남도 C시의 공공기관에 구축된 마이크로그리드를 대상으로 하여 전기요금 절감과 신재생전원 출력 안정을 목적으로 하는 운영시스템인 에너지관리시스템(EMS, Energy Management System)을 개발하였다. 태양광(PV, Photovoltaic), 에너지저장장치(ESS, Energy Storage System), 시스템냉난방장치(EHP, Electric Heat Pump), 비상발전기로 구성된 마이크로그리드의 현황은 다음과 같다. ESS는 연축전지ESS, 리튬전지ESS 두 종류로 연축전지ESS의 용량은 PCS 250kW 2기와 연축전지 1,200kWh 2기 총 2,400kWh이고, 리튬전지ESS의 용량은 PCS 250kW와 리튬전지 405kWh이다. PV 용량은 40kW와 50kW 2기로 총 90kW이다. EHP 부하는 소비자의 사용에 따라 50~500kW 수요관리가 가능하다. 비상발전기는 디젤발전기 3대가 있으며 정격출력이 96kW 2대와 64kW 1대로 총 256kW 발전이 가능하다.

마이크로그리드 운영시스템은 신재생전원 출력과 실시간 소비 전력량, ESS의 가용 용량 등을 시각화하여 모니터링 할 수 있도록 구성되어 있으며, ESS의 특성과 현재 소비전력량, 시간대별 전기요금 단가를 고려한 최적의 운전계획을 수립하고, 신재생에너지 기반 마이크로그리드에서 전력을 안정적으로 공급한다. 또한 사용자는 전기요금 현황 및 ESS 운전에서 따른 요금 절감 등을 확인할 수도 있다. ESS를 이용하여 요금이 비싼 시간대에는 소비전력량을 일정하게 관리하여 기본요금을 절감시키고, 전기요금이 저렴한 시간대에 충전하고 비싼 시간대에 방전하여 전력량요금까지 절감시켜 운영 수익을 극대화 시킨다. 지속적인 모니터링을 통해 운영상의 문제를 방지하고 관리하며, 유연하고 지능화된 소비자 수요반응 및 분산전원을 효과적으로 연계하여 에너지 흐름 및 사용의 시각화와 효율의 최적화(효율적인 전력 활용)를 달성하여 에너지를 관리할 수 있다. 마이크로그리드 운영시스템의 주요 기능으로는 신재생전원의 예측과 부하 예측, ESS 기반 최적 운전 계획, 실시간 지령, ESS 운영 결과 분석, 요금 절감액 분석 등이 있다.

본 연구에서 수행한 마이크로그리드 운영시스템은 에너지를 효율적으로 관리하며, 요금 절감 및 신재생전원 출력을 안정시켜 정부가 추진하고 있는 신재생 3020 정책에 발맞춰 에너지 신산업에 기여할 것으로 기대된다.

에너지저장장치 설계 프로그램 및 홈페이지 개발 Development of program and homepage for design of ESS

조경희 · 김슬기 · 박향아 · 김웅상

한국전기연구원 스마트배전연구센터

2017년 12월 정부의 재생에너지 3020 이행계획안 발표에 의하여, 정부는 2030년까지 재생에너지 누적 설비용량을 63.8GW까지 보급할 계획이다. 출력이 불확실한 재생에너지를 전력저장장치에 충전하였다가 일정한 전력으로 방전할 경우 전력계통의 출력을 안정화 할 수 있어, 신재생에너지 용량이 늘어남에 따라 전력저장장치의 수요는 점점 늘어날 것으로 예상된다. 또한 정부에서 2017년부터 시행해온 ESS 특별 할인 요금제, REC제도 가중치와 같은 인센티브 제도와 ESS 비용 하락으로 인해 ESS의 경제성은 더욱 높아져 그 수요는 점점 더 증가할 예정이다.

발전사업자나 수용가가 이러한 제도를 반영하여 ESS를 경제적으로 설치하기 위하여 용량별 경제성분석이 필요하며, 기존의 연구들을 살펴보았더니 ESS에 대한 일반화된 경제성분석 방법이 제시하거나 실증 결과를 정리한 논문이 거의 없었다. 따라서 본 논문에서는 ESS 실증을 통하여 얻은 노하우를 바탕으로 ESS의 최적용량을 산정하기 위한 일련의 최적용량 설계 절차를 제시하며 이를 구현한 프로그램 및 홈페이지를 소개하고자 한다.

본론에서는 ESS 설계를 위한 한국의 전기요금제도, ESS 운영 모의, 수익계산, 경제성분석 지수 계산 방법의 배경지식을 설명한다. 또한 ESS 설계 절차에 대하여 설명하고 개발된 프로그램 사용방법을 소개한다. 사례연구에서는 본 프로그램을 실제 수용가를 대상으로 하여 대상 수용가 부하의 특징, ESS의 효율을 입력하고, 운영수익과 경제성분석 지수를 계산한 결과를 표로 정리하였다. 이를 실제 대상수용가의 ESS 운영수익 결과와 비교하여 계산식을 검증하였다.

본 에너지저장장치 설계 프로그램을 배포할 수 있도록 홈페이지를 개발하였으며, 사용자는 홈페이지에 접속하여 간단한 회원가입 절차를 진행하고 프로그램을 다운받을 수 있다. 본 프로그램을 이용하여 ESS 경제성을 쉽게 계산할 수 있고 사용자의 목적에 맞는 최적용량 설계가 가능하다. 또한 할인율이나 전기요금인상율과 같은 변화하는 경제성 분석식의 파라미터들의 수정이 가능하므로 여러 상황을 고려하여 분석이 가능하다.

본 프로그램을 이용하여 값비싼 ESS의 투자위험 부담을 최대한 줄일 수 있고 설계 용역 비용과 같은 부대비용을 절감할 수 있을 것으로 사료된다.

목재 연소시 char 생성이 화염전파에 미치는 영향

Effect of char production on fire spread in wood combustion

장정익¹ · 김진혁¹ · 이명규² · 박설현*

¹조선대학교 대학원 기계시스템 미래자동차 공학과, ²조선대학교 기계시스템공학과,

*조선대학교 기계시스템미래자동차공학부

본 연구에서 목재 연소시 char 생성이 화염전파에 미치는 영향을 측정하기 위하여 FDS (Fire Dynamics Simulator)를 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 목재 가연물의 경우 액체나 기체가연물과 달리 화염의 전파에 영향을 미칠 수 있는 열분해 물질로 char가 있다. 가연물이 연소반응을 통해 생성된 char 비율에 따라 열전도에 영향을 끼치기 때문에 최종적으로 화염전파 특성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 char층이 존재 하며 건축에 일반적으로 사용되는 Douglas fir를 이용하여 화염전파 시뮬레이션을 진행하였다.

전체적인 형상은 ISO 5658-2 화염전파 모델을 참고로 하여 장치를 모델링하였으며, FDS 3차원 열분해 전산 해석은 960(W) × 315(L) × 300(H)mm 크기의 공간에서 800(W) × 150(L) × 35(H)mm 크기의 목재를 이용하여 시뮬레이션은 하였으며, 각 벽면은 개방 상태로 설정을 하였고 가연물 후면부는 Low density Ceramic wool로 설정하여 단열 처리 하였다. Douglas fir의 물성치의 경우 화염전파 시뮬레이션 전에 ISO 5660 Cone 시뮬레이션을 통하여 나타난 결과 값과 여러 문헌을 참고하여 Douglas fir의 물성치를 선정하였다. 또한, char의 비율은 0.8, 1.8, 2.8로 나누어 시뮬레이션을 진행하였다.

시뮬레이션 결과 발화 시간의 경우 각각 0.08일 때 20초, 0.18일 때 44초, 0.28은 52초에 발화를 시작 하였다. 또한 화염점파의 속도의 경우는 각 구간에 대해 Char의 비율에 대한 큰 차이를 보이지 않고 있다. 하지만 화염전파의 거리의 경우 char 비율이 0.08일때는 650mm, 0.18 일때는 600mm, 0.28은 550mm로 Char의 비율이 커질수록 화염 최종 전파 거리가 줄어드는 것을 확인하였다. 본 연구를 통해서 목재 Char의 비율에 따라 초기 발화 시간, 전파거리, 화염 위치 별 시간에서도 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

Key Word : Char(탄화), Fire Spread(화염전파), FDS(Fire Dynamics Simulator), Douglas fir(더글라스피), 전산모사(Simulation)

이 논문은 조선대학교 “2017학년도 학부생 새싹형 연구인재 지원프로그램(학부 장학금 사업)”의 지원을 받아 연구되었음.

*교신저자 : isaac@chosun.ac.kr

Performance evaluation of Compton microPET according to detector modalities – a Monte Carlo study

윤창연 · 이원호*

한국수력원자력 중앙연구원, *고려대학교 보건환경융합과학부

본 연구는 방사선 검출기의 종류에 따른 Compton PET 의 성능을 정성적, 정량적인 방법을 통해 평가한 것이다. 사용한 검출기는 현재 PET 장비에 보편적으로 쓰이고 있는 물질 LYSO, 새롭게 각광받고 있는 물질인 LGSO 와 CdZnTe 물질을 사용하였다. 일반적인 PET 의 경우 광전효과로 인해 흡수된 반응들만을 유효한 데이터로 인식하여 영상에 재구성에 이용한다. 하지만 본 연구에서는 Compton tracing technology 를 PET 에 적용하여 Compton scattering 까지 유효한 반응으로 사용하였다. 지오메트리에 따라 차이가 있지만 511 keV 에서는 컴프턴 산란이 광전효과에 비해 약 2배 정도 더 많이 일어나기 때문에 컴프턴 산란을 영상의 재구성에 이용하게되면 검출효율도 증가할 뿐만 아니라 영상의 질도 좋아진다. 본 연구에서는 신틸레이터 PET 과 반도체 PET 을 비교하고 컴프턴 산란을 영상에 반영하였을 때 어떤 변화가 있는지 여러가지 방법들을 통해 확인하였다. 또한 널리 쓰이고 있는 재구성 방법인 MLEM 방법에 컴프턴 산란을 적용하여 영상을 재구성하였을 때 영상의 질이 어떻게 바뀌는지를 측정 및 평가하였다.

연구 결과 Compton scattering 을 유효한 데이터로 사용함으로써 일반적으로 널리 쓰이는 신틸레이터 PET 뿐만 아니라 새롭게 각광받는 반도체 PET 에서도 검출효율이 약 2배 증가한 것을 알 수 있었다. 따라서 본 Compton PET 을 사용하면 동일한 양의 데이터를 얻기 위한 시간이 절반으로 줄어든다.

현재 널리 쓰이고 있는 Micro-Derenzo 팬텀을 재구성하여 비교한 결과 밀도와 유효원자번호가 높은 신틸레이터 PET 이 더 높은 검출 효율을 나타내었다. 하지만 에너지 분해능이 좋고 검출기 픽셀의 크기를 작게 만들 수 있는 반도체 PET 이 훨씬 더 좋은 영상의 질을 나타내었다.

재구성된 영상의 질을 비교하기 위해 RMS, SNR 그리고 RSTD 를 계산하였다. 모든 변수에서 Compton PET 영상의 질이 기존 PET 보다 좋거나 거의 비슷하였다. 즉, 현재 버려지는 Compton scattering 을 유효한 데이터로 사용하더라도 영상의 질이 하락하지 않고 오히려 상승한다는 결론을 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 Compton scattering 을 유효한 데이터로 사용하여 검출 효율을 증가시킴과 동시에 영상의 질은 그대로 유지하거나 상승시킬 수 있었다. 기존의 Compton PET 연구에서는 새로운 검출기를 하나 더 추가하는 방식을 사용하였지만 본 연구는 새로운 검출기를 추가하지 않고 기존의 시스템에서 바로 적용이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 기존의 PET 에 변형을 가하지 않은 상태에서 Compton PET 을 구성하여 검출 효율의 극대화 및 영상의 질 상승을 기대할 수 있을 것이다.

LPG 배관망 적용 과류차단밸브의 내부유동 및 작동 특성

Internal flow and operation characteristics of Excess flow valve in LPG supply pipeline

이종화 · 김현준 · 백세권 · 유기종 · *전형택 · *김재하

(주)폴리텍, *(주)심사이

농어촌 지역은 도시에 비해 상대적으로 소득이 낮음에도 불구하고 값비싼 에너지(LPG 용기, 등유 등)를 사용하고 있어 에너지 불균형이 심화되고 있다. 이에 정부는 도시가스 공급망 개설이 어려운 산간, 도서지역을 대상으로 에너지 복지 향상을 위해 LP 가스 배관망 사업을 2014년부터 추진되었다. 가스배관에서의 안전성을 확보하기 위해서는 타공사 인한 인입 매몰 배관 및 차량에 의한 입상배관 파손 등으로 이상상태가 발생하게 되는 경우 그 위험으로부터 가스의 흐름을 차단할 수 있는 매몰 배관 내부에 설치되는 안전장치가 필요하다. 일반적으로 과류차단밸브(Excess Flow Valve, EFV)란 타공사 등으로 인해 가스 배관망의 파손이 발생하여 과류가 흐르게 되는 경우 가스의 흐름을 자동으로 차단함으로써 대량의 가스누출로 인한 대형 폭발 사고를 방지하는 안전장치이다. 가스의 흐름이 정상 상태일 때는 밸브가 항상 열려 있다가 과류가 발생하게 되면 자동으로 잠기면서 가스 흐름을 일시적으로 중단시킨다. 이 때, 파손된 배관으로부터 발생하는 가스의 누출도 함께 멈추게 된다.

과류차단밸브가 설치되어 배관의 파손 등으로 이상상태 발생시 내부 가스에 의한 항력 증가로 밸브 내 장착된 스프링의 작동에 의해 가스가 차단되게 된다. 과류는 규정량 이상의 기체나 유체가 흐르는 경우를 의미하며, ASTM F2138-12에서는 Trip flow로 규정 하고 있다. Trip flow를 설계하는 요소에는 여러 가지가 있으며, 가스 사용자 환경(공급압력 등) 및 가스 소비량 정보 수집을 바탕으로 세대내 계량기 용량, 예상 가스 사용량 등을 기준으로 설계 검토된다.

본 연구에서는 현재 개발중인 Trip flow 설계 유량에 따라 압력강하 현상을 최소화한 모델을 찾기 위한 내부 유동 해석모델을 수립하고, 유동 해석을 통해 기본시험 데이터를 확인하였다. 또한, 해석결과를 바탕으로 스프링 설계값을 도출 하였으며, 작동 특성 및 성능시험을 진행하였다.

Study on the Mechanism of Secondary Fine Particles Formation on the Surface of Al_2O_3 under Different Experiment Condition

Rujiao Song · Zixiang Xu · Joo-Chang Park · Li-Hua Xu · Hyung-Taek Kim

Department of Energy Systems Research, Ajou University

Secondary aerosol has a significant impact on the global climate and regional environmental quality. Factories burn coal or other fuels to get energy. And then, factories release some dust and gases into the atmosphere, such as SO_2 and NO_2 . These gases will react with aerosol heterogeneously in the air which comes from burned coal or fly ash and are mainly composed of SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 and so on. under the irradiation of ultraviolet light to generate secondary aerosol. In this study, we explore the reaction of SO_2 and NO_2 on the surface of Al_2O_3 aerosols because we know that the reactivity of alumina is higher than other components. The experiment last two hours in room temperature and pressure under different sample weight, gas concentration and relative humidity with the same particle size. After the experiment, IC (ion chromatography) was used to analyze the amount of sulfate formed on the alumina surface. It was found that the production of sulfate increased with the increase of particulates mass and the concentration of reactant gas. And the conversion of SO_2 tends to increase with the increase of relative humidity within a certain humidity range. If the humidity is too high, excessive water molecules occupy the active site on particles surface so it will hinder the contact of the acid gas with the particles and result in lower efficiency and lower yields.

The reactivity of SO₂ and NO₂ on different mineral oxides

Zi-Xiang Xu·Ru-Jiao Song·Joo-Chang Park·Li-Hua Xu·Hyung-Taek Kim*

Department of Energy Systems Research, Ajou University

The contaminants of SO₂, NO₂ and ash will be produced by the widely use of fossil fuels, these pollutants will interact with each other in the complicated troposphere, raising the formation of secondary inorganic aerosols, further causing many kinds of human diseases. Therefore, here we mainly investigate the reactivity of SO₂ and NO₂ react with simulated particles separately (Al₂O₃, MgO, CaO, Fe₂O₃, SiO₂) under the presence of ultraviolet light (intensity ≈ 365nm) to provide some evidences for enhancing the air quality. In this study, A glass-based flow reactor was used to research the heterogenous reaction. The specific surface area of the oxides was authenticated by the BET method. The aerosols were characterized by Energy Dispersive Spectrometer (EDS) and Ion Chromatograph (IC). The results of the surface-active on various particles are shown as below: Al₂O₃ > MgO > CaO >> SiO₂ ≈ Fe₂O₃. Possibly because the difference in physiochemical properties, such as the specific surface area, porosity and hydroxyl groups on particle surface.

Keywords: SO₂, NO₂, Particles, Secondary inorganic aerosols, EDS, IC

석탄과 비교분석을 통한 하수슬러지 고형연료 및 바이오매스의 부식 특성 연구

조경주 · 박주창 · 남궁훤* · 허려화 · 김형택

아주대학교 에너지시스템학부, *한국에너지기술연구원

국내 발전소 및 소각로에서는 부식으로 인한 파손이 빈번히 발생하고 있다. 금속 부식에 따른 경제적 손실은 NOP의 3.5~4%에 이른다. 특히 열교환기는 부식으로 인해 효율 감소와 수명 감소, 환경오염 유발 등의 문제점이 나타난다. 이와 같은 막대한 손실을 막기 위해서는 부식 원인물질을 규명하여 부식방지를 위한 방안을 모색하는 것이 필요하다.

본 연구는 하수슬러지, 석탄 및 바이오매스를 대상 연료로 하여 고온가열 시 SUS316 시편에 대한 부식 특성을 고찰하였다. 하수슬러지 고형연료는 석탄과 달리 P_2O_5 성분이 많고, P_2O_5 는 용융점이 낮아서 증발이 쉬울 뿐만 아니라 다른 무기물들과 쉽게 반응하여 용융점이 낮은 화합물을 형성한다. 바이오매스 연료는 석탄에 비해 K, Na, Cl 성분이 많고, 이 성분들은 NaCl 및 KCl을 형성한다. NaCl, KCl은 배출가스 중의 SO_2 과 반응하여 황산염을 생성하며 황산염은 튜브표면에 용축되어 고온에서 스테인리스강의 부식을 크게 증가시킨다.

먼저 하수슬러지 고형연료 내 P_2O_5 성분이 부식에 미치는 영향을 알아보기 위해 단일 시료(CaO, MgO, Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2)와 단일 시료에 P_2O_5 을 혼합한 시료로 부식 실험을 진행하였고, 바이오매스 내 Na, K, Cl, S 성분이 부식에 미치는 영향을 알아보기 위해 NaCl, KCl, Na_2SO_4 , K_2SO_4 시료로 부식 실험을 진행하였다. 이 결과를 바탕으로 실제 하수슬러지 고형연료, 석탄, 바이오매스 부식 실험을 하였다.

소듐이차전지를 위한 Black Phosphorus/Graphite Heterostructure 음극재: 제일원리연구

이홍우^{1,*}, 이관영¹, 한상수^{*}

¹고려대학교 화공생명공학과, *한국과학기술연구원 계산과학연구원

Portable devices에 에너지원으로서 주로 사용되어지고 있는 Li 기반의 2차전지에서는 음극재로서 주로 흑연이 사용되어 왔다. 그러나, 흑연은 평면 방향으로 우수한 전기전도성과 기계적 특성을 지니는 장점이 있지만, 소듐이온의 크기와 좁은 층간거리의 문제로 인해 음극재로서 사용이 되지 못하였다. 따라서, 흑연과 비슷한 구조를 가지는 흑린 (Black Phosphorus, BP)이 소듐이차전지 음극재로서 조명 받아왔다. BP는 층 간에 van der Waals Interaction을 지니고 있으며, A-B Stacking 구조이다. 또한 BP 내부 층 간 간격이 흑연보다 커서 (흑린: 5.4 Å vs 흑연: 3.4 Å), 분리막을 통과해 온 Na-ion이 음극재 내부 Channel로 더 쉽게 들어갈 수 있다. 그러나, Charge/Discharge 과정에서 무분별한 Sodiation과 Alloying으로 인해, BP는 심한 부피 변화를 동반하게 되고, 이는 결국 나쁜 Cycle Stability로 이어지게 된다. 서로의 장점은 살리고 각각의 단점을 극복하기 위해, Graphene Layer가 BP Layer를 샌드위치 형태로 감싸는 형태의 실험 연구 결과가 있었다. 그렇게 제작된 BP/Graphene Hybrid 구조는 High Specific Capacity (2,440 mAh g⁻¹)와 100 cycle 후에서도 83%의 Capacity를 유지하여 우수한 Cyclic Life를 가진다는 보고가 있다.¹ 하지만 이론적으로, 흑린에 도입되는 복합체 형태가 어떤 Sodiation 과정을 거치는 지에 대해서는 명확히 규명되지 않았다. 이번 발표에서는 제일원리연구를 통해 Black Phosphorus/Graphite Heterostructure가 음극재로서 가지는 Sodiation 과정을 규명하고, 이를 순수 Phosphorus에서의 것과 서로 비교하였다. 우리의 DFT 연구는 BP/G Heterostructure가 순수 흑린 대비, 같은 Sodiation 시간 동안 약 30% 부피 팽창이 감소되는 것을 확인했다. 또한, 전기 전도성이 향상되며, 빠른 Na-ion 확산 채널을 제공해 주는 것으로 나타났다. 이는 소듐이차전지에 빠른 Charge/Discharge 속도와 우수한 Cycling Stability를 가지게 할 것으로 예측되었다.

¹Jie Sun et al. Nature Nanotechnology 10, 980-985 (2015)

이온전도성 세라믹 미소 채널 내 산소 투과의 수학적 해석

Mathematical analysis of oxygen permeation in a micro channel made of ion-conducting ceramic membranes

이대근* · 정우남 · 유지행

한국에너지기술연구원 에너지효율·소재 연구본부

이온전도성 세라믹 분리막을 이용한 고온 산소 제조 기술은 산소를 이용하는 고온의 열 에너지 시스템과 결합될 때 기존의 상용 심냉 분리법 대비 에너지 이용 효율 및 산소 비용 측면에서 유리한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 두 장의 평행한 이온 전도성 분리막이 벽을 이루는 미소 채널 내부에 가압 공기가 공급될 때 분리막을 통한 산소 투과 분포 및 채널 내부 유동장과 농도장을 수학적으로 해석하였다. 2차원 정상상태의 등은 비압축성 유동으로 문제를 단순화하였으며, 유체의 모든 물성들은 상수로 가정하였다. 분리막을 통한 산소 투과는 Wagner 식을 따르는 것으로 하였고, 이는 산소 투과의 체적 유속(volumetric flux)이 분리막 양측 산소 분압의 대수 차(logarithmic difference)에 비례함을 뜻한다. 체적 유속의 특성값(characteristic value)이 채널 내부 유동장의 특성 속도 대비 매우 작을 때 이를 섭동 매개변수(perturbation parameter, $\varepsilon \ll 1$)로 하여 보존 방정식에 포함된 모든 물리량을 점근 전개(asymptotic expansion)한 후에 질량, 운동량 및 화학종 보존 방정식의 해를 수학적으로 구하였다. 주된 해석 결과를 살펴보면, $O(\varepsilon^0)$ 의 기본해는 Reynolds 수와 Peclet 수에 무관하다. 즉 채널 내부에서 대류, 점성 및 물질 확산은 무차원의 속도, 압력 및 농도 분포에 크게 영향을 주지 않는다. 한편 유동장은 Poiseuille 유동과 매우 유사하지만, 그와 달리 유동 방향 총 압력 구배는 일정하지 않다. 또한 산소 투과의 체적 유속은 총 압력의 2차 미분에 비례한다. 이러한 기본해는 $O(\varepsilon)$ 의 1차 수정해에 의해 보정되는데, Reynolds 수와 Peclet 수가 수정해의 크기와 분포에 영향을 준다. 이러한 정성적인 결과를 바탕으로, 산소 투과 체적 유속의 분포 및 산소 소진 길이, 압력 강하 등의 결과를 정량적으로 획득하였다.

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업(B8-2415)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

*연락처

E-mail: dkleee@kier.re.kr

H₂O의 존재 하 대형 기공 구조 촉매를 이용한 soot oxidation 반응

박정선 · 이재환 · 정은진 · 이성호* · 이관영

고려대학교 화공생명공학과, *초저에너지 초저배출 사업단 (SULEEV)

최근 연비향상을 위해 가솔린 차량에 적용되고 있는 gasoline direct injection (GDI)의 엔진의 경우, 배출되는 particulate matter (PM)의 질량 규제를 만족하나, particulate number (PN) 규제는 벗어나게 된다. 따라서 catalyzed gasoline particulate filter (cGPF)를 후처리 기술로 채택하여, 적용하고 있는 중이다.

TWC를 거친 가솔린 배기가스 성분에는 디젤과 달리 NO_x 성분 없이 O₂와 H₂O만 존재하게 된다. O₂는 촉매상에서 해리되어 PM에 활성산소를 공급하고, H₂O는 표면에 강한 산화능력을 가진 -OH 라디칼을 생성하여 PM의 연소온도를 낮춰주는 역할을 한다. 따라서 cGPF에 이용되는 촉매는 O₂해리능력과, H₂O분해 능력이 우수하며 생성된 활성산소와 -OH 라디칼을 PM에 공급하기 용이한 구조를 가져야한다.

따라서 본 연구에서는 PM에 활성산소와 -OH radical을 공급하기 용이한 구조를 알아보기 위해 대형기공 (macropore) 구조 촉매와 중형기공 (mesopore) 구조 촉매를 합성하고 활성을 비교하였다. 이때 대형기공구조 촉매의 활성이 우수하였으며, 산소저장능력 (oxygen storage capacity, OSC)이 우수한 ceria-zirconia 촉매에 대형기공구조를 도입하였다. Ceria-zirconia의 조성에 따른 활성을 평가하였으며, 특성화 분석을 통해 어떤 요인이 H₂O 조건 하 PM 연소에서 중요한지 규명하였다.

차량용 12V AGM 납산 배터리 노화 예측모델 개발

이명규, 조재성, 구보람, 이동철, 신치범*, 류기선†

아주대학교 에너지시스템학과;

†현대자동차

납산 배터리 (lead-acid battery)는 상대적으로 저온에 대한 민감성이 적고, 가격이 저렴한 장점을 지니고 있다. 납산 배터리의 종류는 일반적으로 MF(Maintenance Free Battery), EFB(Enhanced Flooded Battery), AGM(Absorbent Glass Mat)으로 구분하며 에너지 저장시스템, 차량용 12V 전원 등의 다양한 용도로 이용되어 왔다. 과거, 차량에 이용되던 납산 배터리의 경우 SLI(Starting, Light, Ignition) 기능 위주로 사용되었다. 그러나 최근 공회전 제한장치, 회생제동 등과 같이 배터리를 이용한 다양한 연비 신기술이 개발되고 차량 전자화로 인하여 배터리에 요구 및 기대되는 성능이 점점 다양화됨에 따라, 주행패턴 등을 고려하여 배터리 상태를 예측할 수 있는 기술의 확보가 필요하다.

본 연구에서는 차량에 이용되는 12V AGM 납산 배터리의 사용에 따른 노화를 고려하여 내구 수명을 예측할 수 있는 수학적 모델을 개발하였다. 70Ah AGM 납산 배터리의 정전류 충/방전에 따른 전압, 전류를 관찰하였고 배터리 노화와 상관계수를 분석하였다. 분석 결과를 토대로 배터리 사용에 따른 노화와 이에 따른 거동 변화를 예측하였다.

Zinc-Bromine 흐름전지 스택의 충·방전 거동 및 성능 예측 모델

이동철, 구보람, 신치범*, 김동주†, 강태혁†

아주대학교; †롯데케미칼

Zinc-Bromine 흐름전지는 화학적으로 단순하며, 전기화학적인 가역성이 높은 수준이며, 우수한 에너지 밀도 및 전극물질의 풍부함과 낮은 가격 등의 장점이 있다. 따라서, Zinc-Bromine 흐름전지는 여러 가지 모듈의 형태로 다양한 분야에 적용이 가능한 에너지 저장 시스템이 될 수 있다. 흐름전지는 다른 전지와 다르게 전극에 전해질을 공급하고 배출하는 유로가 있다. 전극 내에서 발생한 전류가 유로를 통해 흐르면서 셉트 전류(shunt current)가 발생하며 셉트전류가 증가할수록 전류의 손실이 발생하며 흐름전지의 성능 및 효율이 감소한다. 셉트 전류를 감소시키고 흐름전지의 높은 효율 및 성능을 내기 위하여 수학적 모델을 통해 흐름전지의 전류 분포를 계산하는 것이 중요하다.

이번 연구에서는 Zinc-Bromine 흐름전지의 스택의 충·방전 전류 분포를 계산했다. 지배방정식으로 전극에서의 분극 특성에 기초한 옴의 법칙과 전하 보존법칙을 사용하여 단일 셀에서의 충·방전 전류 분포를 계산하는 방식으로 접근했다. 단일 셀과 양극, 음극에서의 유입 및 유출 흐름과 저항으로 구성된 등가 회로 모델을 기초로 하여 8개의 셀로 구성된 스택의 효율 및 성능을 계산했다. 모델의 타당성은 실험 결과와의 비교를 통해 검증하였다.

외부단락 조건하에서 모델링을 통한 리튬이차전지의 안전성 해석

조재성, 구보람, 신치범*, 하운철†

아주대학교 에너지시스템학과, †전기연구원

리튬이차전지는 다양한 분야의 에너지저장장치로 사용되며, 사용에 있어서 고용량, 고출력 등의 특성이 요구된다. 그리고 리튬이차전지의 사용 중 발생하는 안전사고는 리튬이차전지의 연구 개발 방향을 고안전성으로 집중시켰다. 특히 내외부적 원인에 의해 리튬이차전지의 안전 온도 및 전압범위를 벗어나게 되면 발화 및 폭발로 이어지며, 이러한 위험성으로 인하여 리튬이차전지의 가혹조건 하에서의 고안전성 문제가 대두되고 있다. 따라서 리튬이차전지에 대한 이론적인 해석을 바탕으로 실험과 모델링 사이의 종합적인 연구를 통하여 리튬이차전지의 안전성 향상을 위한 모델링 기술이 필요하다.

본 연구에서는 리튬이차전지의 외부단락이 리튬이차전지의 안전성에 미치는 문제점 분석 및 핵심 이슈를 파악하였다. 외부단락 시 리튬이차전지의 전기적, 열적 거동을 예측할 수 있는 모델개발과 외부단락 시나리오에 따른 리튬이차전지의 안정성을 해석하였다. 외부단락 시나리오의 경우 전지 외부로 연결된 외부단락의 저항 크기에 따른 전기적, 열적 모델링을 진행하였으며, 모델링 결과와 실험결과를 비교함으로써 모델링의 타당성을 검증하였다.

3성분의 하이브리드 ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANI}/\text{rGO}$)의 합성과 선택적이고 민감한 비 효
소 글루코스 센싱으로의 적용

Synthesis of ternary hybrid, $\text{rGO}/\text{PANI}/\text{Fe}_3\text{O}_4$, and its application towards
selective and sensitive nonenzymatic hydrogen peroxide detection

Jane Cathleen Gabunada¹ · 유동진^{1,2†}

¹전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지 시스템 전주기 R&D
인력양성사업단, ²전북대학교, 자연과학대학교 생명과학과

Magnetite (Fe_3O_4) nanorods anchored over reduced graphene oxide (rGO)/polyaniline (PANI) were synthesized and the $\text{rGO}/\text{PANI}/\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GCE}$ electrode was used for the electrochemical detection of hydrogen peroxide as a nonenzymatic sensor. The average diameter of Fe_3O_4 nanorods anchored over the rGO/PANI matrix were observed to be 35–40 nm, while bare Fe_3O_4 nanorods resembled similar shape, structure, and morphology. The formation of ternary hybrid was confirmed by EDX, UV–Visible, FT–IR, RAMAN, XRD, and TGA. By the combined efforts of extended specific surface, active carbon support, more catalytic active sites, and high electrical conductivity, the synthesized ternary hybrid exhibited an improved performance towards electrochemical detection of hydrogen peroxide compared to bare Fe_3O_4 nanorods.

실버 나노 입자의 친환경 합성 및 민감성 및 선택적 과산화수소 검출에
대한 촉매 활성

Facile green synthesis of silver nanoparticles and its catalytic activity
toward sensitive and selective hydrogen peroxide detection

Kumarasamy Ramachandran¹ · 유동진^{1,2*}

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

Silver (Ag) nanoparticles were synthesized via a facile green approach using acorus calamus extract as potential reducing as well as capping agent. Morphological characterizations exhibited the homogeneously distributed Ag nanoparticles with the average size of 20 nm. The crystal structure of Ag nanoparticles was investigated by X-ray diffraction pattern and verified the face centered cubic (fcc) structure of Ag nanoparticles. The plausible functional groups involved in the reduction and stabilization processes have been identified by using FT-IR analysis. The fabricated Ag nanoparticles were exhibited higher sensitivity of 1501 $\mu\text{A mM}^{-1} \text{cm}^{-2}$ toward H₂O₂, wide linear range from 0.1 μM to 3 mM and low detection limit is 57 nM. Thus, the fabricated system is analytically resonance and may provide innovative pathways in the design and development of efficient catalysts applicable for sensors.

연료 전지의 연장 발전을 위한 비공유 기능화 된 그래핀 산화물이 함침 된
나 피온 복합 막

Non-covalently functionalized graphene oxide impregnated Nafion
composite membrane for the extended power generation of fuel cells

Mohanraj Vinothkannan¹ · 유동진^{1,2†}

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

A graphene oxide (GO) nanosheets wrapped with aromatic polymers containing number of sulfonic acid groups were synthesized to incorporate into Nafion, exploited as the composite membrane for the application of polymer electrolyte membrane fuel cells. A great numbers of sulfonic acid domains were selectively and densely grafted into the aromatic polymers via the simple electrophilic substitution. Sulfonic acid groups and conjugated ring structure of aromatic polymers allowed to form a strong electrostatic interaction and Π - Π stacking with the GO nanosheets. Non-covalently functionalized graphene oxide (SP-GO) impregnated into aliphatic Nafion through solvent casting technique and the SP-GO exhibit the uniform dispersion throughout the Nafion matrix as seen from FE-SEM. The TGA curves revealed that the SP-GO /Nafion composite is thermally stable upto 300°C while the bare Nafion stable upto 300°C. Even At 80 °C, the bare Nafion membrane maintains the excellent oxidative stability over a day and exhibit very lower weight loss and was bestowed by the fluorinated dipole (CF₂) existed in the backbone of the Nafion. After incorporation of carbonaceous fillers, the oxidative stability was degraded owing to their hydrophilic nature. The proton conductivity of 88 mS/cm under hydrated conditions, and could be increased upon the variation of filler content. The combined effects of SP-GO and Nafion improved the power generation of fuel cell to 793 mW/cm², which is many folds higher than that of other prepared membranes.

연료전지 고분자 전해질 멤브레인을 위한
카르복실기를 포함하는 술폰화된 SGO 복합막의 특성분석
Characterization of Sulfonated SGO Composite Membranes
Containing Carboxyl Groups for Fuel Cell Polymer Membranes

박철진¹ · 김애란² · 유동진^{1,3*}

¹전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D
인력양성사업단, ²전북대학교, ³전북대학교, 자연과학대학 생명과학과

본 연구에서는 카르복실기를 포함하는 술폰화된 SGO 복합막의 합성과 특성분석을 진행하였다. Decafluorobiphenyl과 4,4'-(1,4-phenylenediisopropylidene)bisphenol(BPP)을 사용하여 올리고머1 부분을 합성하였고, 4,4'-(hexafluoroisopropylidene)diphenol과 4,4'-bis[(4-chlorophenyl)sulfonyl]-1.1'biphenyl(BCPSBP)을 사용하여 올리고머2 부분을 합성하였다. 합성된 올리고머들은 GPC 분석을 통해 각각 올리고머1은 10,000 올리고머 2는 16,100의 평균 분자량을 가진 것을 확인하였다. 올리고머1과 올리고머2의 몰 비율을 1:1로 하여 블록공중합체를 합성하였고, sulfuric acid를 사용하여 후 술폰화 하였다. DMSO(Dimethyl sulfoxide)용매를 사용하여 술폰화된 블록공중합체에 각각 Graphene Oxide(GO) 3 wt%, Sulfonated Graphene Oxide(SGO) 0.5, 1.5, 3, 4.5 wt%를 넣어 혼성화 한 후 캐스팅 방법으로 제작하였다.

복합막은 GPC(Gel Permeation Chromatography), FT-IR(Fourier Transform Infrared Spectroscopy), 및 ¹H-NMR(Proton-Nuclear Magnetic Resonance) 분석을 통해 구조적 특징과 술폰화도를 확인하였고, TGA(Thermogravimetric Analysis)의 열분석 장비로 복합막의 열적안정성을 확인하였다. 그리고 전기화학적 성능을 확인하기 위해 양이온 전도도와 Single Cell Test 측정하였다.

양이온 교환막 개발을 위한 새로운 펜던트형 단량체를 함유한 술폰화 된
블록공중합체의 합성 및 이의 특성분석

Synthesis and Characterization of Sulfonated Block Copolymers
Containing New Pendant Monomers for Development Of Proton Exchange
Membrane

이규하¹, 유동진^{1,2*}

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

현재 온난화 문제와 연료고갈에 대한 문제로 인해 에너지 변환 기술에 대해서 많은 연구가 진행 중에 있다. 그 중 높은 출력밀도와 낮은 작동온도, 그리고 고효율이라는 장점을 가진 PEMFC(proton exchange membrane)는 화석에너지를 대체할 수 있는 가장 유망한 에너지 자원으로 각광받고 있다. 현재 PEMFC의 주요 핵심 부품으로 촉매, 지지체, 그리고 고분자 전해질 막이 있으며, 그 중 전해질은 과불소계 막인 나피온이 사용되어지고 있다. 나피온은 강한 소수성인 주사슬과 친수성인 곁사슬로 술폰산기를 가진 구조로써 높은 이온전도성을 가지는 특성을 가지고 있다. 이러한 구조적인 이점을 응용하여 방향족 고리 화합물에서도 높은 전기화학적 특성을 개선하고자 펜던트형 연구가 수행되어지고 있다.

본 연구는 펜던트형 단량체를 Suzuki-Miyaura 반응을 이용하여 합성하였으며, 이와 4,4'-(hexafluoroisopropylidene) diphenol를 이용하여 친수성 프리커서를 합성하였고, bisphenol A와 4,4'-fluorobenzophenone을 이용하여 소수성 올리고머를 합성하였다. 이후 반복단위가 서로 다른 친수성 프리커서와 소수성 올리고머를 이용하여 블록공중합체를 합성하였고, 황산을 이용하여 고분자 내 술폰산기를 도입하였다.

합성된 3종의 블록공중합체는 ¹H NMR과 GPC를 통해 구조분석을 진행하였으며, 열적/물리화학적 특성을 확인하기 위해 TGA, water uptake, IEC, swelling ratio 그리고 oxidative stability를 측정하여 막의 특성을 확인하였다.

또한 고분자내 친수성 함량에 따라 전기화학적 특성인 proton conductivity를 측정한 결과 친수성 반복단위가 증가함에 따라 이온전도도(131-154mS/cm at 90°C under 100% RH)가 상승되는 것을 확인하였다.

높은 전기화학적 성능을 갖는 음이온 교환막 개발을 위한 4차 아민을
함유한 poly(arylene ether sulfone)의 합성 및 특성분석

Synthesis and Characterization of Poly (arylene ether sulfone)
Containing Quaternary Amines for the Development of Anion Exchange
Membrane with High Electrochemical Performance

주지영¹, 김애란², 유동진^{1,3*}

¹전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D
인력양성사업단, ²전북대학교, ³전북대학교, 자연과학대학 생명과학과

본 연구에서는 음이온 교환막을 개발하기 위하여 친수성 프리커서와 소수성 올리고머를 이용하여 부분 불소화 된 poly(arylene ether sulfone) 블록 공중합체를 친핵성 치환 반응을 통하여 합성하였다. 먼저 4,4'-(9-fluorenylidene) diphenol과 bis(4-fluorophenyl sulfone)을 이용하여 친수성 프리커서를 합성하였고, 4,4'-(hexafluoroisopropylidene) diphenol과 decafluorobiphenyl을 이용하여 소수성 올리고머를 합성하였다. 최종 poly(arylene ether sulfone)블록 공중합체는 서로 다른 length를 갖는 두 종의 소수성 올리고머와 두 종의 친수성 프리커서를 이용하여 합성하였으며 각각의 length에 따른 물성 및 성능을 비교하기 위하여 특성분석을 진행하였다.

합성된 4종의 블록 공중합체는 Friedel-Crafts 반응을 이용하여 chloromethylation을 진행하였으며, 이후 quaternarization 반응을 위하여 4차 아민인 TMA(trimethyl amine)를 이용하였다. 합성된 고분자들은 ¹H-NMR, FT-IR, GPC를 통하여 구조분석이 진행 되었으며 열적 안정성을 확인하기 위하여 TGA, DSC 분석이 진행되었다. 이 밖에도 막의 물리적 특성을 확인하기 위하여 친수성 프리커서와 소수성 올리고머의 length에 따른 water uptake 및 swelling ratio, IEC(ion exchange capacity)등의 분석을 진행하였으며, 친수성 프리커서의 반복단위가 클수록 높은 IEC 값과 함께 높은 이온전도도(89-155 mS/cm)를 나타내는 것을 확인하였다.

고분자 전해질형 연료전지용 술폰화된 비스(4-클로로페닐) 설펜을 함유한
폴리(아릴렌 이써 설펜) 블록 공중합체 합성과 특성연구

Synthesis and characterization of poly(arylene ether sulfone) block
copolymer containing sulfonated bis(4-Chlorophenyl) Sulfone for
Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells

한다습¹ · 유동진^{1,2*}

¹전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지 시스템 전주기 R&D
인력양성사업단, ²전북대학교, 자연과학대학교 생명과학과

지구 온난화와 같은 환경문제에 대한 관심이 높아지면서 신재생에너지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 수소를 연료로 사용하는 친환경 기술인 proton exchange membrane fuel cells(PEMFC)에 대한 연구가 각광받고 있다. PEMFC의 많은 장점이 있지만 상용화하기 위해서는 연료전지의 핵심 부품 중 하나인 막 전극 접합체(MEA)의 가격 절감이 필수적이다. MEA를 구성하고 있는 이온 교환막으로 현재 사용하고 있는 Nafion은 높은 이온 전도도 및 산화 안정성 등의 장점을 가지고 있지만, 낮은 열적 안정성 및 높은 제조 단가라는 단점을 가지고 있다. 이를 대체하기 위하여 낮은 가격과 훌륭한 기계적 안정성을 갖는 방향족 탄화수소계를 이용한 전해질 막의 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구는 고분자 전해질형 연료전지용 멤브레인을 만들기 위하여 bis(4-chlorophenyl) sulfone에 fuming sulfuric acid를 가하여 술폰화된 bis(4-chlorophenyl) sulfone 단량체를 합성하였으며, 합성한 단량체와 4,4'-sulfonyldiphenol을 사용하여 친수성 올리고머를 합성하였다. 소수성 올리고머는 bis(4-chlorophenyl) sulfone과 2,6-dihydroxynaphthalene을 사용하여 합성하였으며, 합성한 친수성 올리고머와 소수성 올리고머를 1:1로 공중합반응을 시켜 sulfonated poly(arylene ether sulfone) 블록 공중합체를 합성하였다.

다음과 같은 과정을 통하여 제조한 술폰화된 블록 공중합체는 ¹H-NMR과 FT-IR을 통해 술폰산기 유무에 따른 구조적 특징과 술폰화도를 분석하였으며, 고분자의 열적 안정성을 확인하기 위해 TGA 및 DSC 측정을 진행하였다. 멤브레인은 DMSO를 사용하여 제막하여 80°C 진공오븐에 건조하였고, 이를 이용해 ion conductivity 값을 측정하였다.

고온형 PEMFC용 폴리벤즈이미다졸 랜덤 공중합체의 합성과 특성분석
Synthesis and characterizations of polybenzimidazole
random copolymers for HT-PEMFC

한다운¹ · 유동진^{1,2*}

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

고온형 연료전지는 저온형 연료전지에서 발생하는 물과 열관리 문제를 해결하고 냉각 시스템에 대한 의존도를 낮출 수 있기 때문에 각광받고 있다. 높은 온도에서 나뉘는 막을 사용하여 연료전지를 가동하게 되면 proton conductivity가 낮아지고, 그 구조가 쉽게 분해된다. 따라서 고온형 연료전지에서 사용할 수 있는 새로운 막 개발이 필요하며, 이를 대표하는 구조로서 이미다졸고리와 벤젠고리로만 이루어져 열적, 화학적으로 안정하다는 장점을 가지고 있는 폴리벤즈이미다졸(polybenzimidazole, PBI)이 있다. 하지만, 견고한 구조적 특성으로 인해 용매에 잘 녹지 않아 가공이 쉽지 않다는 한계점이 있고 고농도로 인산을 도핑해야 하기 때문에 기존보다 더 높은 화학적 안정성이 요구된다는 단점이 있다.

이를 개선하기 위하여 본 연구에서는 suberic acid, 5-aminoisophthalic acid 단량체와 3,3'-diaminobenzidine 단량체를 사용하여 랜덤 공중합체를 합성하였다. 이렇게 합성한 PBI를 150°C에서 MSA(methanesulfonic acid)로 용액 캐스팅 기법을 사용하여 제막하였다. 이와 같이 합성된 PBI는 작용기를 확인하고 구조분석을 진행하기 위하여 FT-IR 분석을 수행하였다. 또한, 열적 특성을 확인하기 위하여 TGA를 측정하였고, Fenton 시약을 이용하여 oxidative stability(산화 안정성)를 측정하여 기존의 PBI막과 비교하였다. 또한, 인산 도핑 레벨과 온도변화에 따른 proton conductivity를 측정함으로써 제조한 막의 성능을 확인하였다.

이리듐이 도핑된 팔라듐-니켈질화물 합금 촉매의 산소환원반응 성능평가

손연선 · 이종하 · 김동건 · 이지호 · 남기석 · 김필†

전북대학교 반도체·화학공학부

고분자 전해질형 연료전지(PEMFC) 내에서 발생하는 산소환원반응의 경우 반응속도가 느리고 매커니즘이 매우 복잡하기 때문에 성능 향상을 위한 우수한 촉매 사용이 필수적이다. 팔라듐의 경우 백금과 전자구조가 비슷하고 산소환원반응 활성이 우수하기 때문에 백금 대체 촉매로 연구되고 있다. 그러나 팔라듐은 백금보다 화학적으로 약한 금속이기 때문에 산소환원반응에 대한 활성뿐만 아니라 내구성 향상에 대한 연구가 필요하다. 팔라듐 합금 촉매는 전기화학적 안정성이 낮아 입자가 불안정하여 코어뿐만 아니라 표면 안정성을 향상시켜야 한다.

본 연구에서는 팔라듐과 비귀금속을 합금화 한 뒤 암모니아 열처리를 통해 팔라듐-니켈 질화물 합금 촉매를 합성하고 표면에 이리듐을 도핑하여 성능 및 내구성이 향상된 코어-셸 나노입자를 제조하고 촉매의 물성 분석 및 전기화학적 특성 평가를 수행하였다.

산소환원반응용 금-구리 이성분계 합금 촉매의 제조 및 특성분석

이지호 · 손연선 · 김동건 · 이종하 · 김필*

전북대학교 반도체·화학공학부

고분자 전해질형 연료전지내의 산소환원반응은 과전위가 크고 반응속도가 느리기 때문에 우수한 성능의 촉매가 필요하다. 연료전지 촉매로써 상용 백금 촉매가 주로 사용되지만 비용이 비싸고 내구성이 낮아 이를 보완하는 연구가 진행되고 있다. 금의 경우 환원전위가 백금보다 높아 내구성이 우수하여 백금 대체 촉매로 연구되고 있지만, 입자의 응집이 쉽고 단일 성분으로 촉매를 합성할 경우 산소 환원반응 성능이 낮은 단점이 있다. 금과 전이 금속을 합금할 경우 입자의 간격 및 d-band center 이동을 통해 산소 흡·탈착 세기를 조절하여 산소환원반응 성능을 향상시킬 수 있다고 보고되고 있다.

본 연구에서는 금-구리 이성분계 나노 입자를 합성하고 다양한 조건에서 열처리를 진행하여 전기화학적 성능이 향상된 촉매를 제조한 뒤 다양한 분석을 통하여 촉매의 특성을 평가하였다.

약 200°C에서의 수증기 분리용 하이드록시 SOD 제올라이트 분리막 개발
Hydroxy-Sodalite (H-SOD) Composite Membrane for Water Vapor
Separation at Around 200°C

Arepalli Devipriyanka · 조철희

충남대학교 에너지과학기술대학원 에너지과학기술학과

Hydroxy sodalite (H-SOD) zeolite was used as a significant water separating material because of its β -cage structure having the pore size of 2.8 Å. In this report, we synthesized the high phase purity of H-SOD particles hydrothermally at 120 °C for 4, 12, and 24 h with molar composition of 1Al:5Si:50Na:1000H₂O. Later, by secondary growth hydrothermal method the H-SOD membrane were fabricated using the above H-SOD particles on the tubular α -Al₂O₃ supports at 120°C for 12 h. The H-SOD particles and fabricated membranes were analysed by using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), Brunauer-Emmett-Teller measurement (BET), and FTIR spectroscopy. The morphology of H-SOD particles showed a cubic-sphere shape with 1 μ m size. A well inter-grown layer with a 28 μ m thickness of the pure H-SOD membrane was formed. Finally, we conducted the single gas permeation and water pervaporation experiments by using above fabricated H-SOD membrane. Water pervaporation experiments showed a reasonable water fluxes (8 kg m⁻²h⁻¹) and separation factor 16 at room temperature. Furthermore, we will show the results of water vapor separation at around 200 °C.

아세트산 탈수용 낮은 Si/Al 몰비의 ZSM-5 제올라이트 복합 분리막 개발
Low Si/Al Molar Ratio ZSM-5 Zeolite Composite Membranes for Acetic
Acid Dehydration

Aafaq ur Rehman · 조철희

충남대학교 에너지과학기술대학원 에너지과학기술학과

ZSM-5 zeolite membrane which has MFI (Mordenite Framework Inverted) framework is one of promising zeolite membranes for the dehydration of organic-water mixtures. The hydrophilicity of ZMS-5 zeolite membrane is directly related to the Si/Al ratio; it increases with increasing the ratio. But, there were a limited number of publications announcing low Si/Al ratio ZSM-5 zeolite membranes. In the present study, ZSM-5 zeolite membranes were prepared on the outer surface of tubular α -Al₂O₃ (14 cm) support by secondary growth hydrothermal synthesis method. Prior to secondary growth, supports were repeatedly dip coated by nano-size (50-100 nm) silicalite-1 seed particles and after complete drying, they were calcined to remove the template at 450°C for 5 h. The membranes with Si/Al molar ratio of 10-40 were synthesized at 180 °C for 48 h using hydrothermal solutions with molar composition of 12NaOH:xAl₂O₃:36SiO₂:1620H₂O:32.4NaF(x:0.45-1.8). The SEM and XRD characterization results indicated high crystallinity and preferential orientation of MFI zeolite crystals grown on the support. In the single gas permeance test at 30°C, it has 7.10 x10⁻⁸ and 2.95 x10⁻⁹ mole.m⁻²sec⁻¹Pa⁻¹ for H₂ and SF₆, respectively. The high H₂/SF₆ permselectivity(24) announces that synthesized membrane has relatively high-quality. We will investigate pervaporative acetic acid dehydration performance of ZSM-5 zeolite membranes with different Si/Al ratio.

올레핀/파라핀 분리용 FAU 제올라이트 복합 분리막의
미세구조 결함을 줄이기 위한 노력

Effort Reducing Microstructural Defects of FAU Zeolite Composite
Membrane for Olefin/Paraffin Separation

민혜현 · 조철희

충남대학교 에너지과학기술대학원 에너지과학기술학과

본 연구에서는 올레핀/파라핀 분리용 NaY 제올라이트 분리막을 제조하기 위해 알루미늄 지지체 표면에 종결정을 진공여과법으로 코팅한 후 $0.75\text{Al}_2\text{O}_3:7.5\text{SiO}_2:14\text{Na}_2\text{O}:840\text{H}_2\text{O}$ 몰비로 제조된 수열용액을 이용하여 $90^\circ\text{C}-110^\circ\text{C}$ 에서 16-24시간 동안 이차성장 시켰다. 제올라이트 분리막 합성에 있어서 종결정의 순도, 크기, 코팅층의 두께 등은 중요한 요소가 된다. 따라서 균일한 제올라이트 분리층을 합성하기 위해서 종결정의 종류 및 크기를 달리 하였다. 상용화 되어있는 HISIV1000 분말을 400rpm, 60-72시간 동안 분쇄하여 나노사이즈의 종결정을 얻었고, 순도높은 종결정을 도입하기 위해서 합성한 종결정의 크기는 50nm이었으며 두 가지의 종결정으로 각각 다른 제올라이트 분리막을 합성하였다. 합성된 분리막의 미세구조 분석결과 두 분리막 모두 $4\mu\text{m}$ 두께의 분리층이 형성되었다. 분쇄된 종결정으로 합성된 분리막에서는 균열이 존재하였으며 이와는 다르게 합성된 종결정으로 합성된 분리막에서는 균열이 존재하지 않았다. 또한 두 분리막의 $\text{C}_3\text{H}_6/\text{C}_3\text{H}_8=90/10$ 의 혼합기체를 이용하여 올레핀/파라핀 분리성능을 분석한 결과, 선택도와 투과도가 각각 2.5, 900GPU와 6, 500GPU로 나타내었다. 순도가 높은 합성된 종결정이 도입된 제올라이트 분리막이 균일하게 형성되었으며, 분리성능 또한 향상되었음을 확인 하였다. 균일하게 형성된 제올라이트 분리막 구조 내에 비제올라이트 기공을 조절한다면 분리성능이 더욱 향상 될 수 있다고 판단되며 향후 비제올라이트 기공을 줄이기 위한 연구를 진행할 계획이다.

나노니들구조의 MOR 제올라이트를 이용한 물 선택성 MOR 제올라이트
복합 분리막 개발

Highly Water-Selective MOR Zeolite Composite Membrane from
MOR Nanoneedles

김영무 · 이두형 · 조철희

충남대학교 에너지과학기술대학원 에너지과학기술학과

본 연구에서는 고순도의 모테나이트 입자로 분리막을 합성하기 위해 천연 제올라이트 시드를 합성하고, 시드입자의 초기 모양을 3가지(바늘모양의 입자가 구형으로 응집된 형태, 분산된 바늘모양의 형태, 분쇄되어 불규칙한 형태)로 가공하여 α -alumina 지지체에 수열합성을 통해 모테나이트 분리막을 합성하였다. 모테나이트 분리막은 170°C에서 24시간 동안 수열합성 하였으며 각각의 시드 초기 모양이 분리막에 미치는 영향을 알아보기 위해 90wt%의 EtOH/H₂O의 조건에서 투과증발 실험을 진행하였다. 위 실험에서 바늘모양의 시드로 합성한 분리막의 선택도가 1000이상 플럭스 0.15 kg/m²h의 높은 성능의 결과를 나타내었다. 또한 3가지의 다른 모양의 시드가 분리막의 미세구조와 배향성에 미치는 영향에 대해서 확인하려고 한다.

열저항 제올라이트 복합 분리막 합성을 위한 제로 또는 낮은 CTE 세라믹
모세관 지지체 개발

Zero or Low CTE Ceramic Capillary Support for Synthesis of High
Thermal Shock Resistance Zeolite Composite Membrane

강태영 · 조철희

충남대학교 에너지과학기술학과

대용량 처리의 요구가 증가되므로 선택도뿐만 아니라 투과도가 우수한 분리막 개발이 필요하다. 따라서 지지체 표면에 분리층이 코팅된 복합 분리막이 폭 넓게 개발되고 있다. 제올라이트 분리막의 경우에도 알루미늄 등의 다공성 지지체 표면에 제올라이트 분리층을 코팅한 제올라이트 복합 분리막이 주로 합성되고 있다. 그렇지만 습기를 머금은 zeolite 분리층은 온도가 증가할수록 수축하는 반면 세라믹 지지체는 온도가 증가 할수록 팽창하기 때문에 고온이나 저온 적용 시에 분리층에 열균열이 발생하는 문제가 일어난다. 따라서 본 연구에서는 다양한 제올라이트 분리막을 위한 지지체를 제조하고 제올라이트 분리막 합성에 적용성을 고찰하여 보았다. 본 연구에서는 NIPS(Non-solvent induced phase separation)와 소결 공정을 혼용하여 다공성 모세관 지지체를 제조하였다. 특히, $0.5\mu\text{m}$ 의 입자 크기를 갖는 Al_2O_3 파우더로 도프용액을 제조하였고, 이 도프 용액을 이용하여 Al_2O_3 모세관 지지체 전구체를 제조한 후에 다양한 온도에서 소결하였다. 소결된 알루미늄 모세관 지지체의 기공 구조 및 기체 투과특성이 평가되었으며, 최적화된 Al_2O_3 모세관 지지체는 외경 1.52mm, 두께 $233\mu\text{m}$ 를 가졌다. 코디어라이트, 실리카 파우더로 도프용액을 제조하여 지지체를 제조한 뒤 Al_2O_3 모세관 지지체와 비교해보고, zeolite층 올려 열팽창계수에 따라 어떻게 달라지는지 알아 볼 예정이다.

이산화탄소 흡착 선택성을 갖는 계층구조의 CHA 제올라이트 형성 메커니즘
Formation Mechanism of Hierarchical CHA Zeolite Thread Ball with
Water and Carbon Dioxide Adsorption Selectivity

김민지 · 김영진 · Syed Fakhar Alam · Pankaj Sharma · 이해런 · 조철희
충남대학교 에너지과학기술대학원 에너지과학기술학과

Sr-incorporated potassium based CHA type zeolite particles were hydrothermally synthesized without using a structure directing agent (SDA). The crystallization kinetics of the Sr-CHA zeolite and effects of synthesis time on the morphology and composition of crystals were investigated. The entire sequence of CHA zeolite crystal growth mechanism involving; initial solid sphere, hollow sphere formation, aggregation, disc and UFO shape secondary intermediate and finishing rotational intergrowth with thread ball shaped CHA zeolite crystal formation. Synthesized CHA zeolite particles have thread-ball shape morphology and these micron sized thread balls of CHA zeolites are actually composed of crystalline nanoparticles (~50 nm). The crystal of thread ball shape is considered to be originated from the formation of hollow spherical particles produced at the initial stage of crystallization. The hollow sphere of 30nm confirmed to consist of Si and Sr ion from EDS analysis, it is coagulated and grown to form a disk shaped crystal of 5 μ m. The disk shape crystals were composed of a plate shape formed by expansion and deforming of hollow sphere, and the rotational intergrowth hierarchical CHA zeolite particle of micron size similar to thread balls. The thread ball particles growth within 10 hr crystallization by consuming amorphous gel particles and improves crystallinity during 120 hr crystallization. Additionally, as-synthesized pure CHA zeolite confirmed the crystallographic completeness and pore structure from water vapor adsorption-desorption behavior and gases adsorption studies. The specific surface area and micropore diameter of CHA zeolite sample obtained crystallization 120 hr is 839.49 m²g⁻¹ and 4.1Å, respectively. Gases adsorption results reveal high adsorption amount of CO₂ (3.7 mmol g⁻¹ at 2bar) and almost infinite CO₂/H₂ selectivity. It is evident that the Sr-CHA zeolite is a promising adsorbent for water dehydration and pre-combustion carbon capture.

광 수소생산을 위한 MOF/2차원 나노시트 혼성화 컴포지트의
광촉매 성능 향상에 대한 연구

Improving photocatalytic performance of Ti-based MOF/2D nanosheet
hybrid composites for solar hydrogen production

김태우 · Muhammad Sohail · 김현욱

에너지소재연구소, 한국에너지기술연구원

A novel photocatalyst of MIL-125-NH₂(Ti-MOF)/ZnCr-LDH nanosheets hybrid composites has been developed for H₂ production from water under visible light irradiation. The hybrid materials was synthesized by growing Ti-MOF in a colloidal suspension of ZnCr-LDH nanosheets under solvothermal reaction. The obtained hybrid materials were systematically characterized by various tools such as powder XRD, FESEM, TEM/EDX, BET, UV-Vis, PL and so on. According to powder XRD and FESEM, the crystallinity and morphology of Ti-MOF after the hybridization with ZnCr-LDH nanosheets became lower and irregular in comparison with pure Ti-MOF. This result implies that ZnCr-LDH nanosheets limit the crystal growth of Ti-MOF. The hybrid composites were tested for photocatalytic H₂ production under visible light irradiation ($\lambda \geq 420$ nm). From the test, we found that the hybrid composites have better performance about three times than pure Ti-MOF. Interestingly, in this work the highly efficient H₂ production of the present hybrid material was achieved without a co-catalyst such as Pt. The improved photocatalytic activity results from the increase of the lifetime of the photoinduced electrons and holes by strong coupling of two materials and their proper band alignment. In addition, the Ti-MOF after hybridization with LDH improved more chemical stability than that before hybridization. In this work, we will discuss in detail about synthesis procedure, structural formation, photocatalytic ability, and mechanism for the present hybrid materials.

Acid catalyzed hydrothermal fractionation of barley straw and evaluation of fuel properties of fractionated residue

Kyeong Keun Oh^{1,2} · Won Il Chol¹ · Hyun Jin Ryu¹

¹ R&D Center, SugarEn Co., Ltd., Yongin, Gyeonggi-do 16890, Korea

² Dept. of Chemical Engineering, Dankook University, Yongin, Gyeonggi-do 16890, Korea

Constant growth in mankind's energy requirements over the last century in addition to the high dependence on fossil fuels has outlined important environmental challenges. In this scenario, renewable energy sources appear to be a sustainable tool to complement and gradually substitute fossil fuels in energy production. Among them, biomass, regarded as a feedstock for co-combustion, presents some advantages such as its neutrality concerning CO₂ emissions during its life cycle. Increasing the utilization of lignocellulosic biomass has recently become an issue of great interest in the biorefinery area; i.e., complete utilization of three main constituents of lignocellulosic biomass (hemicellulose, lignin and cellulose) is important for the commercialization of biorefineries. The most important challenge in the utilization of lignocellulosic biomass is the fractionation process, which is a type of pretreatment designed to separate lignocellulosic biomass into cellulose, hemicellulose and lignin.

In this study, dilute-acid fractionation of barley straw was optimized for improving high xylose recovery. Evaluation criteria for optimization of the fractionation conditions were based on maintaining the high amount of fractionated residues and their fuel characteristics such as fixed carbon and calorific values.

In barley straw under went acid fractionation, the glucan content was increased to 52.3%, at which point 85.8% of the hemicellulosic sugar was extracted from the raw barley straw. The ash content in final fractionated solid residue was decreased 65.9% compared to raw barley straw, on the other hand, 9.8% of high heating value and 10.6% of low heating value, and 16.1% of fixed carbon were increased respectively.

Acknowledgements;

This work has been financially supported by Korea District Heating Corp.