2019년도
한국에너지학회
춘계학술발표회

일시. 2019년 5월 15일(수)~17일(금)

장소. 제주글로벌연구센터(JGRC) 혼디모앙동

주최. 사단법인 한국에너지학회 KOREAN ENERGY SOCIETY www.koes.or.kr / 한국에너지기술연구원 KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH

협찬. SK가스, 한국지역난방공사, (주)단석산업, 한국아이티오(주), (주)에어레인

사단법인 한국에너지학회 KOREAN ENERGY SOCIETY www.koes.or.kr

2019 한국에너지학회 춘계학술발표회 조직위원회

대 회 장 : 곽병성 회장

조직위원장 : 서용석 한국에너지기술연구원 부원장
조직위원 : 김철진, 안지환, 이관영, 한승욱 부회장

운영위원장 : 박중구 수석부회장
운영위원 :
박년배 총무이사, 박상용 재무이사
김석민, 김우경, 김중배, 김진영, 김태형, 김필, 백성현, 송재천, 유동진,
유승훈, 임종세, 정지철, 정진석, 조철희, 천원기, 홍준희 (이상 학계 이사)
명성호, 박진호, 방기성, 이호무, 장원석, 장태연, 조길원, 최병일
(이상 연구계 이사)
권종택, 김대룡, 김도완, 김동섭, 김홍대, 양재구, 이중용, 정돈영, 최승환, 탁현수
(이상 산업계 이사)
고명석, 고영규, 김한곤, 김호빈, 안용모, 이상훈, 정광성, 하종한 (이상 기관 이사)

자문위원장 : 김경원 상임고문
자 문 위 원 :
정근모 명예회장, 선우현범, 박이동, 박원훈, 김상돈, 권영진, 손재익,
최기련, 윤맹현, 박달영, 강주명, 김지윤, 한문희, 김래현, 남인석, 황주호,
윤기봉, 안남성, 이기우, 남기석 고문

사단법인 www.koes.or.kr
한국에너지학회
KOREAN ENERGY SOCIETY

한국에너지학회 2019년도 춘계학술발표회

☐ **일시 :** 2019년 5월 15일(수)~5월 17일(금)

☐ **장소 :** 제주글로벌연구센터 혼디모앙동(세션발표 및 개회식), 라마다제주함덕호텔(만찬)

시간	2019년 5월 15일(수)								
17:00~18:00	분임토의								
시간	**2019년 5월 16일(목)**								
	A 발표장	**B 발표장**	**C 발표장**	**D 발표장**	**E 발표장**	**F발표장**	**G발표장**	**H 발표장**	**I 발표장**
9:00~18:00	**등록접수 (1층접수처)**								
10:00~12:30	**특별세션1** **한국에너지기술연구원** (스마트시티)	**특별세션2** **한국에너지기술연구원** (차세대 변환소재 기술)	**특별세션3** **한국에너지기술연구원** (제주지역 특화 친환경 에너지 기술)	**일반세션1** **분과발표** 에너지정책 에너지 산업·효율·안전	**일반세션2** **분과발표** 전력 및 원자력 신재생에너지	-	-	-	-
12:30~14:00	**점심식사**							**이사회**	**포스터발표** P01-P80
14:00~16:30	**특별세션4** **한국지역난방공사** (집단에너지 기술)	**특별세션5** **한국에너지기술연구원** (수소사회)	**특별세션6** **한국에너지기술연구원** (기후변화 적응기술)	**특별세션7** **한국건설생활환경시험연구원** (건축물 안전 및 에너지기술)	**특별세션8** **한국가스안전공사** (가스시설 및 배관 안전성)	**특별세션9** **한국에너지기술평가원** (에너지인력 양성)	**특별세션10** **한국에너지기술연구원** (성과확산)	**일반세션3** **분과발표** 에너지 산업·효율·안전 에너지정책	
16:30~16:50	**coffee break**								
16:50~17:10	**개회식 행사 (JGRC 2층 대강당)**	**개회식** (JGRC 2층 대강당) 개회사 : 한국에너지학회 **곽 병 성** 회장 (한국에너지기술연구원 원장) 축 사 : 제주에너지공사 **김 태 익** 사장							
17:10~17:40		**기조강연** 강연주제 : 한국의 2040 에너지 비전과 주요 정책과제 초청연사 : 제3차 에너지기본계획 워킹그룹 **김 진 우** 총괄위원장							
17:40~18:00		**우수논문상 시상식 - 2018년 추계학술발표회 우수논문**							
18:30~20:00	**만찬 행사 (라마다제주 함덕호텔)**	**만 찬** (라마다제주함덕호텔)							
20:00~20:20		**경품추첨**							
시간	**2019년 5월 17일(금)**								
	A 발표장	**B 발표장**	**C 발표장**	**D 발표장**	**E 발표장**	**I 발표장**			
9:00~12:00	**등록접수 (1층접수처)**								
9:30~12:15	**특별세션11** **한국에너지기술평가원** (에너지효율향상)	**특별세션12** **한국에너지기술연구원** (건물에너지 효율화기술)	**특별세션13** **에너지경제연구원** (집단에너지 정책)	**일반세션4** **분과발표** 에너지 산업·효율·안전	**일반세션5** **분과발표** 전력 및 원자력	**포스터발표** P81-P156			

특별세션1. 스마트시티

abstract p.39~p.43

- 일 시 : 2019년 5월 16일(목) 10:00~12:30
- 장 소 : 제주글로벌연구센터 A발표장
- 좌 장 : 이동원 (한국에너지기술연구원)

발표 제목	발표자	소속
진천 친환경에너지타운 기반 제로에너지타운을 위한 BC분석 적용을 통한 경제성 분석	김민휘	한국에너지기술연구원
스마트 시티 적용을 위한 건물용 태양광 기술	황혜미	한국에너지기술연구원
건물군 냉난방 부하계산을 위한 차수축소모델링	김의종	인하대학교
주요 변수 추출 기법을 이용한 실시간 열에너지 수요예측 머신러닝 모델 개발	장지훈	연세대학교
‘2030 에너지 환경 변화 대응 건축, 도시 에너지 최적화 기술개발’ 기획과제 추진현황	김종규	한국에너지기술연구원

특별세션2. KIER 차세대 에너지 변환소재 기술

abstract p.44~p.54

- 일 시 : 2019년 5월 16일(목) 10:00~12:30
- 장 소 : 제주글로벌연구센터 B발표장
- 좌 장 : 장보윤 (한국에너지기술연구원)

발표 제목	발표자	소속
한국에너지기술연구원 차세대 에너지 변환소재 개발 현황	장보윤	한국에너지기술연구원
2차원 소재의 구조-물성 상관관계: 음이온이 혼합된 층상 페로브스카이트 사례 연구	유충열	한국에너지기술연구원
Bio-inspired surface functionalization of porous carbon nanosheets for high-performance electrohcemical capacitors	윤하나	한국에너지기술연구원
Two-dimensional Graphene Micro-supercapacitors for 3D Printable Energy Storage	유정준	한국에너지기술연구원
A Development of Metallothermic-reduced Nano-materials for Energy Storage Systems	최신호	한국에너지기술연구원
SiOx 나노구조체의 합성과 이를 이용한 이차전지 음극재로의 적용	최선호	㈜테라테크노스
방전가공 절단공정 기반 단결정 실리콘 웨이퍼의 표면 결함 제어 연구	이우영	한국에너지기술연구원
Effects of Carbon Coated Silicon/Graphite Composites Microstructure on Their Electrochemical Properties as Lithium-Ion Battery Anode	Ivana Pivarnikova	한국에너지기술연구원

포스터 세션

포스터 제목	발표자	소속
리튬이차전지 음극을 위한 SiOx 나노입자의 Pre-lithiation이 초기 가역 효율에 미치는 영향	김낙원	한국에너지기술연구원
Ti 기반의 Mxene 2D nanosheet의 층간 거리 제어에 따른 알루미늄 이온 전지의 전기화학특성	남성주	한국에너지기술연구원
리튬이온전지 음극소재용 실리콘산화물 입자의 비표면적이 전기화학특성에 미치는 영향	이보라	한국에너지기술연구원

특별세션3. 제주지역 특화 친환경에너지기술 개발

abstract p.55~p.59

- 일 시 : 2019년 5월 16일(목) 10:00~12:30
- 장 소 : 제주글로벌연구센터 C발표장
- 좌 장 : 황교식 (한국에너지기술연구원)

발표 제목	발표자	소속
RED 전극 구조 개선을 통한 효율 향상 기술 개발	한지형	한국에너지기술연구원
제주 해역에 적합한 수평원기둥 파력발전장치의 연간 에너지 생산량 추정	이혜빈	제주대학교
예지적 유지보수를 위한 상태감시 시스템 개발	곽성조	한국에너지기술연구원
풍력단지 저소음 운영을 위한 소음 전파 해석 기술	손은국	한국에너지기술연구원
에너지융복합시스템을 위한 현장형 시험평가 설비 개발 현황	김병기	한국에너지기술연구원
폐배터리 재활용센터 구축 현황	김창윤	제주 TP

특별세션4. 한국지역난방공사 - 집단에너지 기술

abstract p.60~p.65

- 일 시 : 2019년 5월 16일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : 제주글로벌연구센터 A발표장
- 좌 장 : 이재용 (한국에너지기술연구원)

발표 제목	발표자	소속
흡착식 냉동기의 온수조건에 따른 성능특서 연구	우성민	삼중테크(주)
전산유체역학방법을 이용한 SCR 기화기의 성능해석 및 최적화	이찬	수원대학교
기후변화의 시대에 지속가능한 집단에너지 사업의 방향과 전망	임용훈	한국에너지기술연구원
생활배수열과 지역난방을 연계한 열공급 모델링 관련 연구	홍성국	한국에너지기술연구원
국내 공동주택 스마트미터링 보급체계와 정책안	정범진	한국외국어대학교
지역난방 사용자시설의 온수 사용에 대한 연구	이재용	한국에너지기술연구원

특별세션5. 미래 수소사회를 위한 기술개발 및 정책 동향

abstract p.66~p.72

- 일 시 : 2019년 5월 16일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : 제주글로벌연구센터 B발표장
- 좌 장 : 박석희 (한국에너지기술연구원)

발표 제목	발표자	소속
연료전지 국제 표준 현황 및 국내 대응 방향	이원용	한국에너지기술연구원
수소 경제 구현을 위한 수소 도시 실증	황문현	고려대학교
수소경제 구현을 위한 수소 연료전지 기술 개발 방향	양태현	한국에너지기술연구원
수소충전소용 천연가스-수증기 개질공정의 모델 기반 스케일-업 설계 전략	김우현	한국에너지기술연구원
특수목적형 연료전지 시스템의 개발동향	김승곤	한국에너지기술연구원
상용모재기반 알칼라인 수전해 전극 기술 개발	강경수	한국에너지기술연구원
수소경제 활성화 로드맵과 수소생산 기술	박진남	경일대학교

특별세션6. 기후변화대응을 위한 적응기술 개발

abstract p.73~p.78

- 일 시 : 2019년 5월 16일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : 제주글로벌연구센터 C발표장
- 좌 장 : 최지연 (한국에너지기술연구원)

발표 제목	발표자	소속
해수담수화 연계 역전기투석 염분차발전용 패턴분리막 개발	정남조 박사	KIER
RED/RO 경제성 평가 및 모델링 기술 개발	이상호 교수	국민대학교
RED-RO 연계 저에너지 해수담수화 공정 최적화 기술 개발	최준석 박사	KICT
유기 나노 첨가제를 이용한 고성능 역삼투 분리막의 제조 및 분석	이종찬 교수	서울대학교
이온교환막의 패턴 최적화를 통한 역전기투석 성능 향상	곽노균 교수	한양대학교
생물막오염 저감용 기능성 스페이서 개발 및 성능 평가	김종오 교수	한양대학교

특별세션7. 건축물 안전 및 에너지 기술

abstract p.79~p.84

- 일 시 : 2019년 5월 16일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : 제주글로벌연구센터 D발표장
- 좌 장 : 김성래 (한국건설생활환경시험연구원)

발표 제목	발표자	소속
친환경 · 고효율 에어로젤 단열재의 개발동향 및 표준화	정승영 주임	한국건설생활환경시험연구원
건물일체형 태양광 시스템(BIPV)의 전력발전부 설계를 위한 SysML기반 시스템 모델링	이승준 박사	한국건설생활환경시험연구원
극서지역에서의 열쾌적성을 고려한 전기냉방기 자동제어 시스템의 냉방전력 저감 효과에 관한 실험 연구	박재성 선임	한국건설생활환경시험연구원
건축 외피의 내진성능 평가방법	오명환 주임	한국건설생활환경시험연구원
에너지 독립형 접이식 태양광 발전 시스템의 성능평가	신대욱 박사	한국건설생활환경시험연구원
건축 구성재 단열성능 참조데이터 생산 · 평가를 위한 공정 개발	홍승훈 주임	한국건설생활환경시험연구원

특별세션8. 가스시설 및 배관 안전성

abstract p.85~p.89

- 일 시 : 2019년 5월 16일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : 제주글로벌연구센터 E발표장
- 좌 장 : 길성희 (한국가스안전공사)

발표 제목	발표자	소속
안전밸브 성능측정의 직접측정방법 및 간접측정방법에 대한 기술 분석	임상식	한국가스안전공사 가스안전연구원
수소 충전소 안전성 확보를 위한 충전 프로토콜 적용 타당성 분석	한원국	한국가스안전공사 가스안전연구원
저장탱크용 신개발 재료의 기준 등록 및 사용을 위한 실증	김정환	한국가스안전공사 가스안전연구원
LPG 배관이음부와 전기설비와의 이격거리 기준 적정성 연구	이민경	한국가스안전공사 가스안전연구원
가스배관의 내진성 평가	길성희	한국가스안전공사 가스안전연구원

특별세션9. 에너지인력양성

abstract p.90~p.93

- 일 시 : 2019년 5월 16일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : 제주글로벌연구센터 F발표장
- 좌 장 : 유영일 (한국에너지기술평가원)

발표 제목	발표자	소속
에너지자원(석유, 가스 등) 거래기술 전문가 고급트랙	서병기	울산과학기술원
FOMC 발표 기간의 예상된 미국 기준금리 변화와 에너지 가격	장현웅	울산과학기술원
네트워크 기반 유체기기 고효율화 기술 고급트랙	김동현	군산대학교
해양하중의 변동성을 고려한 해상풍력터빈 지지구조물의 피로해석	이기남	군산대학교
제로에너지 건물의 패키지화 엔지니어링 고급트랙	이승복	연세대학교
창문 부착형 자연환기 장치의 환기성능 평가	박한결	연세대학교
탄성파와 전자탐사자료 복합역산을 통한 정밀탐사 GET-Future 연구실	변중무	한양대학교
자성강화 프로판트 활용 수압파쇄 모니터링을 위한 전자탐사 역산의 위치기반 변수화 기법 개발	노규보	한양대학교
에너지인력양성사업 개편(안)	김다정	한국에너지기술평가원

특별세션10. 에너지기술 성과확산을 위한 기술사업화 전략

abstract p.94~p.100

- 일 시 : 2019년 5월 16일(목) 14:00~16:30
- 장 소 : 제주글로벌연구센터 G발표장
- 좌 장 : 김준우 (한국에너지기술연구원)

발표 제목	발표자	소속
에너지기술 맞춤형 기술사업화 전략 및 추진방안	김준우	한국에너지기술연구원
수소에너지 기반기술 분석 및 기술 사업화 방안	홍성욱	(주)에스와이피
해외 성과확산을 위한 북미 기술이전 플랫폼 활용 및 북미 연구기관 벤치마킹	김성욱	특허법인 남앤남
건물용 연료전지를 위한 천연가스 연료 개질기의 기술사업화 모델 구축	정수영	특허법인 명
국내 에너지 기업의 신남방 진출을 위한 산학연 협력 프로그램에 관한 연구	조성한	(주)내비온
수요자 중심의 기술마케팅	이무진	(주)아이피온
에너지 기술의 이전 · 사업화와 사후관리	최재혁	법무법인 다래

특별세션11. 차세대 전력반도체 및 고효율 전력변환장치 개발 관련

abstract
p.101~p.102

- 일 시 : 2019년 5월 17일(금) 9:30~12:00
- 장 소 : 제주글로벌연구센터 A발표장
- 좌 장 : 정인성 (전자부품연구원)

발표 제목	발표자	소속
차세대 전력반도체를 이용한 초고효율 고전력밀도 전력변환장치 개발	정인성	전자부품연구원
WBG 소자의 저손실 구동 공통 기술 개발	최준혁	전자부품연구원
SiC 디바이스를 이용한 전기차용 1MVA급 멀티채널 충전기 개발		
GaN 디바이스를 이용한 차세대 이동통신망용 고효율 초고밀도 통신전원공급모듈 개발		

특별세션12. 건물에너지 효율화 기술

abstract p.103~p.113

- 일 시 : 2019년 5월 17일(금) 9:30~12:00
- 장 소 : 제주글로벌연구센터 B발표장
- 좌 장 : 정학근 (한국에너지기술연구원)

발표 제목	발표자	소속
에너지복지의 지속가능성 확산을 위한 개념적 고찰 - 기본권 차원의 에너지이용환경 개선을 위한 논의 중심-	장영길	한국에너지재단
저소득가구 에너지복지 향상을 위한 기술	한혜심	한국에너지재단
스마트 스킨의 성능 측정 방법 개발을 위한 기초연구	김석현	한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실
보일러 사용량 분석을 통한 저소득층 난방비용에 관한 연구	오상우	한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실
실제기상데이터와 표준기상데이터에 따른 건물에너지 결과 분석	박세영	한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실
건물 내 전기요금 절감을 위한 ESS의 최적 충·방전 제어 알고리즘 개발	강모세	한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실

포스터 세션

포스터 제목	발표자	소속
건물용 ESS의 제어 정확도 향상을 위한 데이터 기반 배터리 모델링 기법	홍선리	한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실
창호 구성에 따른 단열 성능 변화에 관한 연구	김석현	한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실
제로에너지건축물 구현을 위한 패키지기술 연구	한설이	한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실
독립 계통의 시스템 주파수 편차 개선을 위한 풍력발전기와 에너지저장장치 간의 협조 제어	강모세	한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실
저소득층 에너지효율개선사업을 통한 주거용 표준모델 개발 방법론 연구	남혜령	한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실

특별세션13. 에너지전환 시대의 집단에너지 경쟁력

abstract p.114~p.117

- 일 시 : 2019년 5월 17일(금) 9:30~12:00
- 장 소 : 제주글로벌연구센터 C발표장
- 좌 장 : 최병렬 (에너지경제연구원)

발표 제목	발표자	소속
새로운 집단에너지 사업모델과 경제성	마용선	에너지경제연구원
국내 집단에너지 기술 R&D 투자의 해외 비교와 개선 방안	오세신	에너지경제연구원
집단에너지사업용 CHP 발전효율 산정방안에 관한 검토	김덕진	엔테스
국내 가구의 난방용 에너지소비효율 분석: 열에너지와 도시가스를 중심으로	신동현	에너지경제연구원

구두발표

●●● 5. 16(Thu.) D발표장 10:00~11:45

>>> 에너지정책	좌장: 오세신(에너지경제연구원)	page
D01 10:00~10:15	산업용 스팀에 대한 수요함수 추정 **김가은** · 임슬예* · 유승훈 서울과학기술대학교 에너지정책학과, *한국지역난방공사	121
D02 10:15~10:30	산업연관분석을 이용한 에너지원별 물가파급효과 분석 **조상연** · 김효진 · 유승훈 서울과학기술대학교 에너지정책학과	122
D03 10:30~10:45	OECD 국가의 조세구조 현황분석을 통한 국내 에너지세제의 문제점 분석 **이재신** · 윤성만* · 유승훈 서울과학기술대학교 에너지정책학과, *서울과학기술대학교 경영학과	123
D04 10:45~11:00	고효율 가전제품에 대한 소비자 선호 및 구매의사 분석 **허성윤** 서울과학기술대학교 에너지정책학과	124
D05 11:00~11:15	에너지전환 정책에 대한 국민 수용도 분석 **김주희** · 조상연 · 유승훈 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과	125
D06 11:15~11:30	주민참여형 신재생 발전사업에 대한 국민 수용성 평가 **이혜정** · 허성윤 · 이철용* 서울과학기술대학교 에너지정책학과, *부산대학교 경영학과	126
D07 11:30~11:45	열요금 규제 방식에 따른 지역난방 열원 구성의 변화와 시사점 **오세신** 에너지경제연구원	127

●●● 5. 16(Thu.) D발표장 11:45~13:15

>>> 에너지 산업·효율·안전	좌장: 길성희(한국가스안전공사)	page
D08 11:45~12:00	인위결함을 삽입한 가스용 PE배관 전기융착부의 위상배열초음파 검사기술에 대한 연구 **길성희** · 김영규 · 고영규 한국가스안전공사 가스안전연구원	128
D09 12:00~12:15	표준유량계법을 활용한 수소 충전소의 계량 정확성 평가 **한원국** · 임상식 · 길성희 · 김영규 한국가스안전공사 가스안전연구원	129
D10 12:15~12:30	수소 충전소 등 위험시설의 KGS GC101에 따른 폭발위험구역 계산 **김정환** · 이민경 · 길성희 · 김영규 · 고영규 한국가스안전공사 가스안전연구원	130
D11 12:30~12:45	벌크로리를 통한 국내 LPG 공급시스템 안전성에 대한 평가 **이화영** · 이민경 · 김정환 · 길성희 · 김영규 한국가스안전공사 가스안전연구원	131
D12 12:45~13:00	고Mn강 LNG 저장탱크의 건전성 고찰 **이다은** · 김정환 · 길성희 · 김영규 · 배종수* · 이승주** · 장성록*** 한국가스안전공사 가스안전연구원, *한국가스안전공사 경남지역본부, **한국가스안전공사 산업시설진단처 ***한국가스안전공사 부산지역본부	132
D13 13:00~13:15	LP가스(20kg) 용기로부터 누출량 측정에 대한 연구 **이민경** · 송보희 · 길성희 · 김영규 한국가스안전공사 가스안전연구원	133

●●● 5. 16(Thu.) E발표장 10:00~12:45

>>> 전력 및 원자력 / 신재생에너지	좌장: 조준현(한국에너지기술연구원)	page
E01 10:00~10:15	붕산수 재순환 펌프 자동예측진단 기술 적용 방안 분석 **맹효영** 한국수력원자력(주) 중앙연구원	134
E02 10:15~10:30	원자로건물 범용 보수도장 시스템 연구 **임상준** 한국수력원자력 중앙연구원	136
E03 10:30~10:45	고리1호기 영구정지원전 주기적 안전성평가 **김동욱** 한국수력원자력-중앙연구원	137
E04 10:45~11:00	대규모 신재생에너지 대응 열이용 전력저장 기술의 현황 **조준현** · 신형기 · 노철우 · 최봉수 · 조종재 · 이범준 · 이길봉 · 나호상 · 백영진 한국에너지기술연구원 열에너지시스템 연구실	138
E05 11:00~11:15	수백kW급 초임계 이산화탄소 발전 테스트루프의 개발 현황 **최봉수** · 조준현 · 조종재 · 신형기 나호상 · 노철우 · 이길봉 · 이범준 · 왕은석 · 백영진 한국에너지기술연구원 열에너지시스템연구실	139
>>> 전력 및 원자력 / 신재생에너지	좌장: 강상희(한수원 중앙연구원)	page
E06 11:15~11:30	고압비상충수계통의 APR1400 적용성 예비 평가 **강상희** · 이재민 한국수력원자력 중앙연구원	140
E07 11:30~11:45	건설원전 형상상태평가 방안에 대한 연구 **박유진** 한국수력원자력 플랜트설계연구소	141
E08 11:45~12:00	해양복합온도차 발전설비의 천이상태 해석을 통한 발전소 영향평가 **전어진*** · 허균영* · 정훈** *경희대학교 원자력공학과, **한국전력공사 전력연구원	143
E09 12:00~12:15	KOGAS형 5kW급 연료처리장치 개발현황 및 고온 고분자 연료전지 시스템 적용 **김봉규** · 김재동 · 김진욱 한국가스공사 가스연구원 이노베이션연구소	144
E10 12:15~12:30	평관형 고체산화물전지를 이용한 양방향 수전해-연료전지 셀 및 스택 기술 개발 **최현종** · 서두원 · 김태우 · 변세기 · 황효정 · 우상국 · 김선동* 한국에너지기술연구원 에너지소재연구실	145
E11 12:30~12:45	온실가스 포집 및 처리 기술의 개요 및 국제표준화 현안 **임상식** · 길성희 · 김영규 안전연구실, 가스안전연구원, 한국가스안전공사	146

●●● 5. 16(Thu.) H발표장 14:00~16:30

>>> 에너지산업효율안전 / 에너지정책	좌장: 이동훈 (한국가스안전공사)	page
H01 14:00~14:15	LNG 냉열을 활용한 공기 액화 에너지 저장과 발전 시스템의 공정 설계 **이춘식** · 윤문규 · 박은진 · 임동렬 고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터	147
H02 14:15~14:30	수소충전소 확대를 위한 기준 연구 **허윤실** · 강승규 한국가스안전공사 가스안전연구원	148
H03 14:30~14:45	패키지형 수소충전소 안전성 향상 연구 **강승규** · 허윤실 한국가스안전공사 가스안전연구원	149
H04 14:45~15:00	수소전기차 인증기준 개선 방향에 관한 연구 **이동훈** · 김완진 · 김부근 · 백동현 · 김홍철* 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터	150
H05 15:00~15:15	수소 융·복합 스테이션 운영 모니터링 및 실증 기반 제도화 연구 **김필종** · 김동환 · 구연진 · 박송현 · 허윤실 한국가스안전공사 가스안전연구원	151
>>> 에너지산업효율안전 / 에너지정책	좌장: 김필종 (한국가스안전공사)	page
H06 15:15~15:30	분산발전용 고체산화물 연료전지 스택 안전성능 실증 평가 **박태성** · 이은경 · 방효중 한국가스안전공사 가스안전연구원	152
H07 15:30~15:45	국내 수소경제 활성화 방향 정책 연구 **김창종** · 김다현 · 조윤성 · 최경진 · 이예빈 수소융합얼라이언스추진단	153
H08 15:45~16:00	한국 환경기업의 연구개발 역량과 경제적 성과 간 관계 연구 : 혁신 실현의 매개효과를 중심으로 **김근우** · 류재호 · 박중구 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과	154
H09 16:00~16:15	한국 환경기업의 혁신에 영향을 미치는 산업혁신체제 분석 **류재호** · 김근우 · 박중구 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과	155

●●● 5. 17(Fri.) D발표장 9:30~12:00

>>> 에너지 산업·효율·안전	좌장: 류영돈(한국가스안전공사)	page
D21 9:30~9:45	CNG-수소 복합충전소 실시간 모니터링 데이터 분석에 관한 연구 **김동환** · 구연진 · 박송현 · 김필종 · 허윤실 한국가스안전공사 가스안전연구원	156
D22 9:45~10:00	LPG-수소 융·복합충전소 모니터링 데이터 분석 및 활용 방안 연구 **박송현** · 구연진 · 김동환 · 김필종 · 허윤실 한국가스안전공사 가스안전연구원	157
D23 10:00~10:15	PET 소재를 적용한 경량 복합소재 고압용기 개발 **노경길** · 조성민 · 방효중 · 고영규 한국가스안전공사 가스안전연구원	158
D24 10:15~10:30	유압구동밸브 상태진단 기술 및 장비 개발 **류호근** · 김진량 · 김재형* (주)수산인더스트리, *한국기계연구원	159
D25 10:30~10:45	유럽의 이동식 LNG 자동차 충전소 현황 **류영돈** · 최영주 · 유철희 · 김영규 · 고영규 한국가스안전공사 가스안전연구원	160
>>> 에너지 산업·효율·안전	좌장: 박석희(한국에너지기술연구원)	page
D26 10:45~11:00	수소연료전지차 저장용기의 성능 평가를 위한 기준 분석 **김다은** · 조성민 · 방효중 · 고영규 한국가스안전공사 가스안전연구원	161
D27 11:00~11:15	수전해 단위스택 안전성능 평가장치 제작 및 실증평가 **김지혜** · 이은경† · 김민우 · 이정운 한국가스안전공사 가스안전연구원	162
D28 11:15~11:30	ZnO-SnO2 기반의 반도체식 가스센서 모듈의 개발 및 성능시험 **권대환** · 김인겸 · 신상호 · 박규태 · 유철희 한국가스안전공사 가스안전연구원	163
D29 11:30~11:45	RTK-GPS기반 메탄가스검지 드론의 비행궤도 오차 개선 **김인겸** · 박규태 · 신상호 · 권대환 · 유철희 · 윤명섭* · 이준희** 한국가스안전공사 안전연구원, *선두전자㈜, **㈜월드아이	164
D30 11:45~12:00	원거리 레이저 메탄검지기의 레이저 발진 및 수광 회로 구현 및 특성 시험 **신상호** · 박규태 · 김인겸 · 권대환 · 유철희 · 윤명섭* 백영삼* 한국가스안전공사 안전연구원, *선두전자(주)	165

●●● 5. 17(Fri.) E발표장 9:30~12:15

>>> 전력 및 원자력	좌장: 서정관 (한수원 중앙연구원)	page
E21 9:30~9:45	원전 공기조화 설비 진동저감 방안 고찰 **오승환** · 김원택 한국수력원자력(주) 중앙연구원	166
E22 9:45~10:00	최신규제요건을 반영한 SMART100 포괄적 진동평가 프로그램 **권순국** · 이강헌* 한국수력원자력, *한국원자력연구원	167
E23 10:00~10:15	원자력 발전소 이동형 발전차 신뢰도 향상에 관한 고찰 **강승희** 한국수력원자력 중앙연구원 기계연구소 기계기술그룹	168
E24 10:15~10:30	원자력 발전소 비상디젤발전기 신속기동에 관한 고찰 **강승희** 한국수력원자력 중앙연구원 기계연구소 기계기술그룹	169
E25 10:30~10:45	SMART100 표준설계인가를 위한 설계특성 **서정관** 한국수력원자력(주) 중앙연구원	170
>>> 전력 및 원자력	좌장: 하체웅 (한수원 중앙연구원)	page
E26 10:45~11:00	판형 열교환기의 성능 평가 분석 **송석윤** 한국수력원자력(주) 중앙연구원	171
E27 11:00~11:15	보조급수펌프 후단 배관감육 억제를 위한 적정 유량 수치해석 **최문호** · 이혁순 · 오승환 · 송석윤 한국수력원자력 중앙연구원	172
E28 11:15~11:30	원전 대형 펌프 베어링 온도 편차 원인 분석 **김원택** 한국수력원자력(주) 중앙연구원	173
E29 11:30~11:45	APR1400 미국 규제기관 표준설계인가 취득 **하체웅** 한국수력원자력(주) 중앙연구원	174
E30 11:45~12:00	증기터빈 배기손실과 전기출력 영향고찰 **이우광** · 정혁진 한국수력원자력 중앙연구원	175
E31 12:00~12:15	수직펌프 구동기 변경 시 구조공진 회피 설계 및 검증 대책 고찰 **송우석** · 김원택 한국수력원자력(주)	176

포스터발표

- 좌장 : 임종세(한국해양대학교), 김태형(청주대학교)

●●● 2019. 5. 16(Thu) 13:30-16:30

번호	발 표 주 제	page
P01	**셀 간 채널 너비 구배에 따른 고분자 전해질 연료전지 스택 유동 분포에 대한 연구** 정병학 · 손영준 · 김민진 · 이원용 · 오환영 · 김승곤 한국에너지기술연구원 연료전지연구실	179
P02	**Effect of agar as electrolyte additives on the aluminum-air batteries** Woo-Hyuk Lee · Seok-Ryul Choi · Jung-Gu Kim* School of Advanced Materials Science and Engineering, Sungkyunkwan University	180
P03	**팔라듐 분리막을 이용한 저농도 일산화탄소를 포함한 수소 생산에 관한 연구** 도한영 · 김창현[1] · 한재윤[1] · 이신근[2*] 연세대학교 화공생명공학과, 고려대학교 화공생명공학과[1], 한국에너지기술연구원 에너지효율소재연구본부[2*]	181
P04	**Advanced Bioethanol Production from Hardwoods by BRC Sequential Fermentation** 송연호 · 박찬송 · 오치훈 · 배현종* 전남대학교 바이오에너지 연구소, *전남대학교 바이오에너지공학과	182
P05	**Converting Mandarin Peel Waste into Value Added bioethanol through BRC Enzymatic Bioprocess** 조은진 · 이윤교 · 배현종* 전남대학교 바이오에너지 연구소, *전남대학교 바이오에너지공학과	183
P06	**Pt/C 촉매반응기를 이용한 바나듐 레독스 흐름전지용 $V^{3.5+}$ 전해액 제조에 관한 연구** 한재윤 · 김창현 · 도한영[1] · 허지윤[2] · 전명석[3] · 김희탁[2] · 이관영 · 이신근[3*] 고려대학교 화공생명공학과, 연세대학교 화공생명공학과[1], 한국과학기술원 생명화학공학과[2], 한국에너지기술연구원 에너지효율소재연구본부[3*]	184
P07	**이동층 흡착 및 탈착을 통한 복합 휘발성 유기화합물의 효과적 처리 방법** 전동혁 · 임혁 · 최호경 · 유지호 · 임영준 · 김상도 · 김수현 · 임정환 · 이시훈 한국에너지기술연구원 청정연료연구실	185
P08	**고순도 수소 생산용 팔라듐 수소분리막을 이용한 메탄습윤 개질 반응에 관한 연구** 김창현 · 도한영[1] · 한재윤 · 이신근[2*] 고려대학교 화공생명공학과, 연세대학교 화공생명공학과[1], 한국에너지기술연구원 에너지효율소재연구본부[2*]	186

●●● 2019. 5. 16(Thu) 13:30-16:30

번호	발 표 주 제	page
P09	**액체 공기 에너지 저장 기술(LAES)의 경제성 분석** **고아름** · 박성호* · 류주열 · 박종포 고등기술연구원 에너지환경연구팀	187
P10	**3D 프린팅 FT 촉매 잉크 최적화** **박선주 · 한상영 · 성아람* · 박홍현* · 윤희숙* · 곽근재** 한국화학연구원, *재료연구소	188
P11	**원자력 발전 설비와 가장 유사한 가상환경 구현 방법에 관한 연구** **임병기** 한국수력원자력 중앙연구원 플랜트설계연구소	189
P12	**사고관리계획서 중대사고 사고영향평가 수행현황** **이만규** · 최유정 한국수력원자력(주) 중앙연구원	190
P13	**중대사고 시 격납건물 내 핵분열생성물 거동 예비 분석** **이만규** · 최유정 한국수력원자력(주) 중앙연구원	191
P14	**냉각탑 물회수 및 백연저감을 위한 외기이용기법 효과 및 개선 방향** **이길봉** · 이범준 · 노철우 · 왕은석 · 나호상 · 최봉수 · 이영수 · 조준현 · 신형기 한국에너지기술연구원 열에너지시스템연구실	192
P15	**리튬이온이차전지 분리막 내열성 향상을 위한 코팅 연구** **노진희** · 손화진 · 이호철* · 박정현* (재)대구테크노파크, *명성티엔에스㈜	193
P16	**해상풍력 지지구조물 연결부의 피로 저항 성능 개선에 대한 연구** **고원희** · 김홍현 · 이유진 · 지광습 고려대학교 건축사회환경공학과	194
P17	**건물의 에너지소비량 최적화를 위한 디자인 가이드라인** **강혜진*** · 이기용* *서울기술연구원	195
P18	**넓은 곡면의 세정을 위한 브라스팅 노즐의 설계 및 성능시험** **장용재** · 곽준구 · 김태형 · 이세창* · 이상규** 청주대학교 항공기계공학과, *지엠테크 대표, **3D컨트롤즈(주) 연구소	196

●●● 2019. 5. 16(Thu) 13:30-16:30

번호	발 표 주 제	page
P19	**터빈 로터 변형 교정을 위한 햄머피닝 유한요소해석 변수 연구** 안효득 · 김태형 · 김태웅* · 안명재** · 최광민*** 청주대학교 항공기계공학과, *한국산업기술대학교 기계설계공학과, **한전KPS(주) 플랜트서비스센터, ***한전KPS(주) 기술연구원	197
P20	**제로에너지 구현을 위한 PV + ESS 융복합 시스템 시뮬레이션** 우성민 · 문진철 · 김용하* 충북테크노파크 차세대에너지센터, *인천대학교 전기공학과	198
P21	**딥러닝 기반 수요반응 예측** 김재문 · 강지명 한국전기연구원	199
P22	**가공칩에 대한 와전류탐촉자 검출능 분석** 김인철* · 김준우 한국수력원자력(주) 중앙연구원	200
P23	**와전류검사 데이터 자동 신호평가 프로그램 개발** 김인철 · 한경석* 한국수력원자력(주) 중앙연구원	201
P24	**원전 가동중검사 결과에 대한 효율적인 정보 모니터링방법** 유현주 · 김준우* 한수원 중앙연구원	202
P25	**증기발생기 전열관의 2차측 잔류물질에 의한 마모형상별 체적변화 경향 분석** 한경석 한국수력원자력 중앙연구원	203
P26	**증기발생기 전열관의 원주균열에 대한 보빈탐촉자와 Array 탐촉자의 탐지성능 비교** 한경석 한국수력원자력 중앙연구원	204
P27	**37M 연료다발 임계열속 상관식 비교 분석** 류의승 · 최훈 한국수력원자력(주) 중앙연구원 안전연구소	205
P28	**중대사고 완화를 위한 설비 기기생존성 평가 방법론 연구** 신정민 · 이만규 한국수력원자력(주) 중앙연구원	206

●●● 2019. 5. 16(Thu) 13:30-16:30

번호	발 표 주 제	page
P29	**APR1400 노형 과압보호 설계 최적화 방안 연구** **이석호*** 한국수력원자력 중앙연구원	207
P30	**크러드 열저항 효과에 대한 냉각재상실사고 민감도 분석** **이석호*** 한국수력원자력 중앙연구원	208
P31	**고리1호기 해체 작업자 피폭선량 계산 방법론** **윤창연** 한국수력원자력 중앙연구원 방사선해체연구소 원전사후그룹	209
P32	**원자로 용기 및 내부구조물 절단 작업 피폭선량 계산 소프트웨어 개발** **윤창연** · 김광표* · 박진호* 한국수력원자력 중앙연구원 방사선해체연구소 원전사후그룹, *경희대학교 원자력공학과	210
P33	**대기안정도에 따른 부지별 대기확산특성 평가** **정윤희** · 김정미 한국수력원자력 중앙연구원	211
P34	**APR-1400 사용후핵연료 저장조 냉각기능상실사고 열부하 평가** **김도연** 한수원(주) 중앙연구원 노심해석그룹	212
P35	**하나로 연소시험을 대비한 신호취득시스템 노이즈신호 분석** **김도연** 한수원 중앙연구원 노심해석그룹	213
P36	**원전 방진기 수명감시방안에 대한 고찰** **조용배** · 한경석 한국수력원자력 중앙연구원 기계연구소	214
P37	**원전 격납건물 라이너플레이트 검사현황** **조용배** · 한경석 한국수력원자력 중앙연구원 기계연구소	215
P38	**원자력발전소 원자로냉각재펌프 결함 감시 개선 방안** **김태희** · 김희찬 · 김주식 · 맹효영 한국수력원자력(주) 중앙연구원	216
P39	**안전중요도 평가 프로세스 도입 방안 연구** **신태영** · 양창근 · 변충섭 한국수력원자력(주) 중앙연구원	217

●●● 2019. 5. 16(Thu) 13:30-16:30

번호	발 표 주 제	page
P40	**미국의 위험도정보활용 규제를 통한 국내 규제 방향 예측** **신태영** · 양창근 한국수력원자력(주) 중앙연구원	218
P41	**원전의 Enterprise엔진 비상디젤발전기의 엔진상태진단 수행** **정우근** · 한경석 한수원 중앙연구원 기계연구소 비파괴기술그룹	219
P42	**증기발생기 전열관 다중파단사고 시 1차측 감압수단 적용성 평가** **김민정** 한국수력원자력(주) 중앙연구원	210
P43	**OPR1000과 APR1400형에서의 안전주입탱크 격리 전략** **김민정** · 윤덕주 · 홍춘식 · 김선민 한국수력원자력(주) 중앙연구원	221
P44	**원전 부품 및 설비에 대한 인·검증 기술정보 데이터베이스 개발** **허남용**, 정선철, 윤현석 한국수력원자력(주)	222
P45	**국내외 원자력시설 변경허가 규제동향 분석** **양창근** · 신태영 · 변충섭 한국수력원자력(주) 중앙연구원	223
P46	**설계기준사고 방사선원항 규제동향 분석** **양창근** · 신태영 · 변충섭 한국수력원자력(주) 중앙연구원	224
P47	**최종열제거원 상실사고 대처시간에 따른 OPR1000형 발전소 열수력 거동 분석** **송준규** 한국수력원자력(주) 중앙연구원	225
P48	**최종열제거원 상실사고 대처전략 개발** **송준규** · 김세윤 · 추봉식 · 김창현 · 홍춘식 한국수력원자력(주) 중앙연구원	226
P49	**형상 기반 증기발생기 2차측 이물질 마모 깊이 측정에 관한 고찰** **천근영** · 한경석* 한수원 중앙연구원	227
P50	**대체 와전류검사기술사양서 인정을 위한 동등성 비교** **천근영** · 한경석* 한수원 중앙연구원	228

●●● 2019. 5. 16(Thu) 13:30-16:30

번호	발 표 주 제	page
P51	**에너지 플랜트 분야에서의 유럽 인더스트리 4.0 현황 및 도입 방안** 이원규 · 조성한 · **맹효영** 한국수력원자력(주) 중앙연구원	229
P52	**수소경제 이행을 위한 수소기술 국가 R&D 투자 현황 분석** **김혜진** · 서정윤 · 이아름 · 박민희* 한국에너지기술연구원 기후기술전략센터	230
P53	**수소경제 활성화 지원을 위한 기술 협력 네트워크 구축 기반 연구** **이아름** · 서정윤 · 김혜진 · 박민희 한국에너지기술연구원 기후기술전략센터	231
P54	**딥러닝 기법을 이용한 서울의 미세먼지와 초미세먼지 예측** **천세학*** · 고갑승 · 강성빈 · 구지인 · 김재욱 *서울과학기술대학교 빅데이터경영 연계전공, 서울과학기술대학교 빅데이터 연계전공	232
P55	**빅데이터 분석을 통한 중국과 한국의 미세먼지의 상관관계 분석** **천세학*** · 고갑승 *서울과학기술대학교 빅데이터 연계전공, 서울과학기술대학교 빅데이터경영 연계전공	233
P56	**탄소나노튜브 중공사막 전극을 이용한 미생물 전기생합성 시스템의 이산화탄소 전환 효율 향상** **한승엽** · 이미영 · 정구륜 · 양성민 · 이혁준 · 강석태* *한국과학기술원 건설 및 환경공학과	234
P57	**산성가스 처리를 위한 저에너지형 흡수제 재생** **백일현*** · 남성찬 · 박성열 · Umair H. Bhatti 한국에너지기술연구원 온실가스연구실	235
P58	**액화플랜트 설계 결과를 반영한 스마트플랜트 자동화 구현에 대한 연구** **차규상** · 김안나 · 김석순 · 이철구 한국가스공사 가스연구원 신성장연구소	236
P59	**리튬이차전지 적용을 위한 질화티타늄-그래핀 나노복합체의 합성 및 특성분석** **이종하** · 손연선 · 이지호 · 김동건 · 이수진 · 김필† 전북대학교 반도체 · 화학공학부	237
P60	**조류-미생물 연료전지용 양이온 교환막 개발을 위한 폴리이미드계 멤브레인의 합성 및 응용 연구** **김상규** · 김상희 · 유동진* 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지 저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, *전북대학교 자연과학대학 생명과학과	238

●●● 2019. 5. 16(Thu) 13:30-16:30

번호	발 표 주 제	page
P61	**알칼리 연료전지용 폴리(아릴렌 에테르 설폰)고분자의 합성과 bromination 조절을 통한 막의 특성 분석** 김준하 · 김상희 · 유동진* 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지 저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, *전북대학교 자연과학대학 생명과학과	239
P62	**Studies of electrochemical property of PBI based high temperature PEMFC using MeOH reformer in the various temperature** Sung Kwan Ryu · Kim Sang Hee · Dong Jin Yoo* Department of energy storage/conversion engineering Hydrogen and fuel cell research center Chonbuk National University, *Department of life sciences Chonbuk National University	240
P63	**원전 부품 및 설비에 대한 인·검증 온라인 시스템 템플릿 개발** 윤현석 · 허남용 한국수력원자력(주)	241
P64	**안전등급 인버터 및 충전기 내 커패시터의 고장률 분포와 신뢰도 수준 적용검토** 양창석 · 홍영희 · 허희무 한국수력원자력 중앙연구원 계전연구소	242
P65	**설계마진 평가를 통한 전원공급기 신뢰성에 대한 고찰** 최재훈 · 허희무 · 조은일 한국수력원자력 중앙연구원	243
P66	**DC 그리드 환경에서 다중 재생에너지시스템의 실시간 제어관리** 김종만 · 김원섭 · 신동용* · 홍석훈** 전남도립대학교 신재생에너지전기과, *제주한라대학교, **(주)티이에프	244
P67	**원자력발전의 물발자국 평가 시 주의점** 정환삼* · 김승수* · 정익* · 이준재** *한국원자력연구원 에너지환경연구실, **한국환경산업기술원 환경인증팀	245
P68	**균일 유동 형성을 위한 순환 쟈켓의 최적 설계에 관한 수치해석적 연구** 오상현 · 김성일 · 박기호 · 전원표 · 유병혁* 한국에너지기술연구원 에너지효율연구본부, *충남대학교 기계공학과	246
P69	**마이크로웨이브를 이용한 유전 가열관의 승온 특성 분석** 전원표 · 박기호 · 김성일 · 오상현 · 유병혁 · 이현구* 한국에너지기술연구원 에너지효율소재연구본부, *(주)세지테크	247

●●● 2019. 5. 16(Thu) 13:30-16:30

번호	발 표 주 제	page
P70	**건물용 연료전지의 유럽 인증환경 분석 및 실증환경 조성에 관한 연구** **방효중** · 한수진 · 김민우 · 이정운 한국가스안전공사 가스안전연구원	248
P71	**천연가스 인수기지의 밀폐형 플레어 설계 및 설치 기준에 관한 연구** **이효렬** · 최슬기 · 최영주 · 김영규 · 유철희 한국가스안전공사 가스안전연구원	249
P72	**부탄캔 장착 야외용 온수보일러 안전성 평가 연구** **최영주** · 최슬기 · 유철희 한국가스안전공사 가스안전연구원	250
P73	**이동형 소형 LNG 플랜트 및 훈련 컨텐츠 개발** **유철희** · 최슬기 한국가스안전공사 가스안전연구원	251
P74	**4종 가스센서의 측정회로가 결합된 멀티 가스검지기의 상용화 개발** **박규태** · 최슬기 · 유철희 · 김영규 · 안상국* · 김영규* · 지차환** 한국가스안전공사 가스안전연구원, *(주)알에프엔진, **(주)익성전자	252
P75	**도시가스 황부취제 및 무황부취제 비교 실증** **최슬기** · 유철희 · 김영구 한국가스안전공사 가스안전연구원	253
P76	**차량용 12V AGM 납산 배터리 노화모델을 이용한 내구수명 및 거동 예측** **이재우** · 조재성 · 신치범 · 류기선* 아주대학교 에너지시스템학과, *현대자동차	254
P77	**모델링을 통한 리튬이차전지 외부단락상황의 안전성 연구** **조재성** · 구보람 · 이재우 · 신치범 · 하윤철* 아주대학교 에너지시스템학과, *전기연구원	255
P78	**리튬 손실에 따른 리튬이온전지 방전 모델링** **이동철** · 구보람 · 이재우 · 신치범 · 장일찬* · 송진주* · 우중제* 아주대학교 에너지시스템학과; *광주바이오에너지연구개발센터 한국에너지기술연구원	256
P79	**초고층 건축물 연돌현상 저감을 위한 대책 연구** **박동식** · 정황훈 · 임호철 ㈜포스코오앤엠	257
P80	**초고층 건물에 있어 단열필름을 활용한 실내온도 비교에 관한 연구** **이길종** (주)포스코인터내셔널	258

●●● 5. 17(Fri.) 9:30~12:00

번호	발 표 주 제	page
P81	**GOTHIC 축대칭 모델을 활용한 피동 원자로건물냉각계통 실험에 대한 수치해석** **하희운** · 이재민 한국수력원자력 중앙연구원	259
P82	**CFX 코드를 활용한 피동 원자로건물냉각계통 실험에 대한 수치해석** **하희운** · 서정수 한국수력원자력 중앙연구원	260
P83	**복합발전소 폐열회수용 흡수식 히트펌프의 부분부하 성능에 관한 연구** **박병철 · 김태형 · 김광수** 한국남동발전 전문원부	261
P84	**신뢰도를 고려한 원자력 비상디젤발전기 여자시스템 부품 기대수명분석** **이상희** 한국수력원자력 중앙연구원	262
P85	**피동원자로건물 냉각계통 축소모형 실험장치 구축 현황** **이재민** · 임상규 · 천종 · 이상원 한국수력원자력(주) 중앙연구원	263
P86	**원자력발전소 설비고장 경향분석시스템 개발 방안** 염동운 · 현진우 · **이상대** 한국수력원자력(주) 중앙연구원	264
P87	**원자력발전소 표준엔지니어링모델 개발 (성능개선분야)** 현진우 · 염동운 · **이상대** 한국수력원자력(주) 중앙연구원	265
P88	**원자력발전소 형상관리모델 구축** **이상대** · 염동운 · 현진우 한국수력원자력(주) 중앙연구원	266
P89	**정전사고에 대비한 피동비상노심냉각계통 운전 방안 개선 및 적용성 예비 평가** **허선** · 이재민 · 정의주 한국수력원자력(주) 중앙연구원	267
P90	**경수로 결함연료 보관통 성능 및 설계요건 개발** **이광호 · 유성창 · 이서정** 한국수력원자력(주) 중앙연구원	268
P91	**피동형 원전 RTNSS 관리 방안 고찰** **김광홍**(Kim Kwang Hong) · 이근성 (Lee Keun Seong) · 김대준(Kim Dae Jun) 한국수력원자력(주) 중앙연구원(KHNP-Central Research Institute)	269

●●● 5. 17(Fri.) 9:30~12:00

번호	발 표 주 제	page
P92	**피동 경수로 원전 비안전계통 평가기준 검토 : SRP 19.3 중심으로** 김광홍(Kim Kwang Hong) · 양원석 (Yang Won Seok) · 황도현 (Hwang Do Hyun) 한국수력원자력(주) 중앙연구원(KHNP-Central Research Institute)	270
P93	**바나듐 노내계측기 실증장전시험 10CFR50.59적용 평가** 최유선 한수원 중앙연구원	271
P94	**원전 수출을 위한 리스크 기반 원전 계통, 구조물, 기기 안전등급 분류** 황도현 · 김대준 · 양원석 한국수력원자력(주) 중앙연구원	272
P95	**국내 원전 열병합발전 가능성 검토** 황도현 · 김광홍 한국수력원자력(주) 중앙연구원	273
P96	**신뢰도 평가와 전력손실 최소화에 의한 신재생에너지 용량 및 위치 선정** 나문수 · 이종혁 · 김진오* 한양대학교 전기공학과	274
P97	**원자력발전소 기동 운전 절차 조건 확인을 위한 운전지원 기능 요건 설계** 최선미 한국수력원자력(주) 중앙연구원	275
P98	**우분 바이오가스화율 향상을 위한 돈분 및 음식물류폐기물 통합소화 연구** 이모권* · 임성원 · 김상미 · Alsayed Mostafa, 문충만**, 김동훈 인하대학교 사회인프라공학과, *대전보건대학교 환경보건과, **대전세종연구원 미래전략실	276
P99	**CeO_2-ACNTs/Nafion composite membrane for low humidity proton exchange membrane fuel cell applications** Mohanraj Vinothkannan · Lee Min Hee · Dong Jin Yoo Department of Life Science Graduate School of Department of Energy Storage/Conversion Engineering Hydrogen and Fuel Cell Research Center Chonbuk National University	277
P100	**Synthesis and characterization of 3D architecture ultrafine Pt nanoparticles MoS_2/N-doped reduced graphene oxide as efficiency electro catalyst Oxygen Reduction Reaction** Shanmugan Ramakrishnan · Lee Min Hee· Dong Jin Yoo* R&D Education center for whole life cycle R&D of fuel cell systems Chonbuk National University, *Department of Life Science Graduate School of Department of Energy Storage/Conversion Engineering and Hydrogen and Fuel Cell Research Center Chonbuk National University	278

●●● 5. 17(Fri.) 9:30~12:00

번호	발 표 주 제	page
P101	**자발적 환원반응에 의해 생성된 Pd 조촉매가 도입된 GDE의 전기화학적 분석 · 성능평가** 송민호 · 이홍기* · 이민희 · 유동진** 전북대학교 대학원 공과대학교 에너지저장·변환공학과 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, *우석대학교 수소연료전지센터, **전북대학교 자연과학대학 생명과학과	279
P102	**높은 water storage capacity를 갖는 hollow mesoporous silica(HMSS)를 기반으로 한 하이브리드 음이온 교환 막** 이민희 · 유동진* 전북대학교 대학원 공과대학교 에너지저장·변환공학과 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, *전북대학교 자연과학대학 생명과학과	280
P103	**Sulfonated Poly (vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene)/ Sulfonated Graphene Oxide(SGO) composite membrane for Direct Methanol Fuel Cell(DMFC)** Ranganathan Hariprasad · Kim Sang Hee · Dong Jin Yoo* Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School Hydrogen and Fuel Cell Research Center Chonbuk National University, *Department of Life Science Chonbuk National University	281
P104	**Synthesis and characterization of Pt-CoS_2/N-rGO and its electro catalytic activity to ward oxidation of Glycerol** Logeshwaran Natarajan · Ramakrishnan shanmugamab · Kim Sang Hee · Dong Jin Yoo* Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School Hydrogen and Fuel Cell Research Center Chonbuk National University, *Department of Life Science Chonbuk National University	282
P105	**우수한 이온전도도를 갖는 음이온 교환막 개발을 위한 quaternary ammonium 기반 poly(arylene ether sulfone) 블록 공중합체의 합성 및 특성분석** 주지영 · 이민희 · 이규하 · 유동진* 전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, *전북대학교 자연과학대학 생명과학과	283
P106	**양면수광형 태양광 PV 스트링의 발전성능 향상에 관한 연구** 유영균 · 박현욱 · 김민수 · 김우경 · 장성호* 영남대학교 화학공학부, *LG전자	284
P107	**Indoor test와 Outdoor test에 따른 태양광모듈 내구성 평가** 서영주 · 이유리 · 박현욱 · 김우경 영남대학교 화학공학부	285
P108	**양면 수광형 one cell 미니 모듈의 특성 평가** 박현욱 · 유영균 · 서영주 · 장성호* · 박상환* · 문세영* · 이종하* · 김우경 영남대학교 화학공학부, *LG 전자	286

●●● 5. 17(Fri.) 9:30~12:00

번호	발 표 주 제	page
P109	**결정질 태양전지의 crack이 PV모듈에 미치는 영향 연구** 이유리 · 서영주 · 김홍명 · 정재학* 영남대학교 화학공학부	287
P110	**다이캐스팅 공정용 플런저 팁 열변형에 관한 연구** 김종우 · 이상직* · 이승용** (재)대구기계부품연구원, *핫프로, **한국폴리텍6대학 구미캠퍼스 컴퓨터응용기계과	288
P111	**에어졸 트리거 노즐 내부 분사체 종류에 따른 유동해석** 김종우 · 서헌욱 · 서영재 · 김병환* · 이승용** (재)대구기계부품연구원, *대성산업, **한국폴리텍6대학 구미캠퍼스 컴퓨터응용기계과	289
P112	**UHD급 4K Distributor 기기의 전자기적합성 분석을 통한 성능평가** 서헌욱 · 이주민 · 김종우 · 신성호* (재)대구기계부품연구원, *소통인스투르먼트	290
P113	**SSPA용 고효율 DC/DC Convertor 전자기적합성 분석을 통한 성능평가** 서헌욱 · 김종우 · 정일봉* · 김대관* (재)대구기계부품연구원, *(주)에이앤디	291
P114	**복합환경진동시험기용 챔버 열분포 분석** 배정섭 · 장은실 (재)대구기계부품연구원	292
P115	**분산형에너지 핵심부품 경쟁력 향상을 위한 성능시험 및 인증지원** 안정훈 · 배정섭 · 노해진 · 서헌욱 · 김종우 (재)대구기계부품연구원 스마트에너지연구팀	293
P116	**용도별 적재부 교체가 가능한 미니(500kg) 전동리프트 개발** 안정훈 · 전규성* · 마승복* (재)대구기계부품연구원, 성민웰텍*	294
P117	**바이오디젤 합성용 고체 촉매 제조 및 에스테르화 반응** 나용규 · 이민호 · 김재곤 한국석유관리원 석유기술연구소	295
P118	**국내 항공연료의 연간 품질 변화 추이 분석** 도진우 · 전화연 · 연주민 · 이민호 · 김성룡* 한국석유관리원 석유기술연구소, *한국항공우주연구원	296
P119	**자동차용 경유의 세탄가의 분석방법에 따른 연관성 연구** 전화연 · 김신 · 이민호 한국석유관리원 석유기술연구소	297

●●● 5. 17(Fri.) 9:30~12:00

번호	발 표 주 제	page
P120	**디젤발전 시스템 모델링을 통한 조속기 설계에 관한 연구** **김영철** 한국수력원자력 중앙연구원	298
P121	**고리 1호기 해체 액체방사성폐기물의 종류 및 특성** **김현민*** *한국수력원자력 중앙연구원 방사선해체연구소 원전사후그룹	299
P122	**원전해체 부지의 토양, 지표수 및 지하수 복원기술 분석** **유지환** · 오재용 한국수력원자력(주) 중앙연구원 방사선해체연구소	300
P123	**엑스선 기준조사 평가를 위한 열형광선량계 판독 비교시험** **김형진** · 민제호* · 원유호 · 장한기* · 조문형 한국수력원자력(주) 중앙연구원, *한국방사선진흥협회 의료정도관리센터	301
P124	**원전 케이블의 재질분석을 위한 방법론** **박형규** · 정선철 한국수력원자력㈜ 중앙연구원	302
P125	**원전 케이블의 잔여수명 평가 방법론** **정선철** · 박형규 한국수력원자력㈜ 중앙연구원	303
P126	**등가온도를 적용한 전해 커패시터 수명산정 방법 연구** **고영준** · 차한주* · 홍영희 한국수력원자력(주), 충남대학교*	304
P127	**원자로냉각재펌프 예측진단기술 개발을 위한 고장현황 분석** 김희찬 · **김태희** 한국수력원자력 중앙연구원	305
P128	**자동예측진단 기술개발을 위한 예측정비 데이터 사용 방안** 김주식 · **김태희** · 이원규 한국수력원자력(주) 중앙연구원	306
P129	**국내 원전의 주제어실 내 화재로 인한 원격정지제어반에서의 안전정지 실패확률에 대한 민감도 분석** **이한설** 한국수력원자력(주) 중앙연구원	307
P130	**대형원전 일체형 원자로상부구조물 구조해석** **한성흠** · 이도환 한국수력원자력(주) 중앙연구원	308

●●● 5. 17(Fri.) 9:30~12:00

번호	발 표 주 제	page
P131	**원전 소구경배관 소켓용접부 관리방안** 문균영 · 한경석 한국수력원자력(주) 중앙연구원 기계연구소 비파괴기술그룹	309
P132	**원전 압력용기 용접부 자동초음파탐상검사 적용 현황** 문균영 · 한경석 한국수력원자력(주) 중앙연구원 기계연구소 비파괴기술그룹	310
P133	**후쿠시마 원전사고 대응전략 고찰** 김윤중 한국수력원자력(주) 중앙연구원	311
P134	**현실적인 파단모델을 적용한 CANDU 6형 중수로 대형냉각재상실사고 예비 열수력 분석** 고동욱 · 김성민 한국수력원자력(주) 중앙연구원	312
P135	**장기교류전원상실사고 발생 시 증기발생기 수위 유지를 위한 다중방어운영전략 개발** 추봉식 · 김세윤 · 송준규 · 김창현 · 홍춘식 한국수력원자력(주) 중앙연구원	313
P136	**APR1400형 원전의 사용후연료저장조 냉각기능 상실사고 대처방안 평가** 남경호 한수원㈜중앙연구원	314
P137	**대기확산계수 산출을 위한 난류 관측 실험 설계** 김정미 · 조현준 한국수력원자력(주) 중앙연구원	315
P138	**SMART100 표준설계인가 신청 계획** 강덕지 · 서정관 한국수력원자력(주) 중앙연구원	316
P139	**RCP test facility heat exchanger U-tube crack caused by excessive expansion.** 최해섭 · 김석* , 조석* 한국원자력연구원, *원자력안전·환경연구소·열수력중대사고 안전연구부	317
P140	**서지보호기 특성 평가에 관한 고찰** 조은일 · 최재훈 · 지영화 · 홍영희 한국수력원자력 중앙연구원	318

●●● 5. 17(Fri.) 9:30~12:00

번호	발 표 주 제	page
P141	**특정 노심사분면 노내계측기 안내관 제거 시 노심출력분포 계산 유효성 평가** **문상래** · 김도연 한국수력원자력(주) 중앙연구원 안전연구소 노심해석그룹	319
P142	**가압경수형 원전 24개월 장주기 운전 계통영향성 평가** **문상래** 한국수력원자력(주) 중앙연구원 안전연구소 노심해석그룹	320
P143	**웨스팅하우스형 원전 RCP 밀봉누설에 따른 원자로 냉각재계통 거동 연구** **김세윤** · 추봉식 · 송준규 · 김창현 한국수력원자력(주) 중앙연구원	321
P144	**평형노심 일일부하추종운전 제어알고리즘 성능 평가** **유극종** 한국수력원자력(주) 중앙연구원	322
P145	**평형노심 일일부하추종운전 성능 향상 방안** **유극종** 한국수력원자력(주) 중앙연구원	323
P146	**APR-1400 증기발생기 전열관 가동전 검사** **주경문** · 한경석 한국수력원자력(주) 중앙연구원(KHNP-Central Research Institute)	324
P147	**중수로원전 노심 내 제어 및 구조재 중분단면적 민감도 평가** **박동환** · 김영애 한국수력원자력주식회사 중앙연구원 안전연구소	325
P148	**모듈형 정전분무 집진기 개발 및 초미세먼지 집진 성능 실험 연구** **최종원*** · 이계중 · 김정근 · 박준수 · 김진한 한국에너지기술연구원	326
P149	**IEC TC82 태양광기술 표준 동향 및 국내 활동** **김경수** 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구소 태양광연구실	327
P150	**Study on the Secondary Particles Production in the Mixture of SO_2 and NO_2 on the Surface of Coal Ash** **Ru-Jiao Song,** Zi-Xiang Xu, Joo-Chang Park, Hueon-Namkung, Li-Hua Xu, Hyung-Taek Kim Ajou University	328

●●● 5. 16(Thu.) 10:00~12:30

번호	발 표 주 제	page
P151	**고 밀폐 방화지역의 이산화탄소 소화설비 설계 농도 적합성에 관한 연구** 김미경 · 김범규 · 김명수 · 임혁순 한국수력원자력 중앙연구원	329
P152	**전자접촉기 검증 필수특성에 대한 고찰** 허희무 · 양창석 · 이헌용 한국수력원자력(주) 중앙연구원	330
P153	**전원공급기 고장원인 분석방법에 대한 고찰** 지영화 · 이헌용 · 조은일 한국수력원자력(주)	331
P154	**ASME 코드와 CGID 대상 기기와의 상관관계 고찰** 홍태화 · 지영화 · 김형관 · 양창석 한국수력원자력(주), 중앙연구원	332
P155	**스위칭 모드 전원공급기 필수특성에 대한 고찰** 이헌용 · 지영화 · 김형관 · 허희무 한국수력원자력(주) 중앙연구원	334
P156	**PID와 적응 제어기를 이용한 온도제어 알고리즘 개선** 이헌용 한국수력원자력(주) 중앙연구원	335

[특별세션1. 스마트시티]

진천 친환경에너지타운 기반 제로에너지타운을 위한 BC분석 적용을 통한 경제성 분석

The economic analysis using benefit-cost ratio for zero energy town based on the Jincheon eco-friendly energy town

김민휘 · 이동원* · 허재혁 · 김득원

한국에너지기술연구원 신재생에너지연구소 태양열융합연구실

본 연구에서는 태양열시스템 및 계간축열조를 활용한 신재생융복합시스템에 대해 열에너지 뿐만아니라 전력을 포함한 제로에너지타운을 구현하기 위해 비용편익분석 (Benefit-cost analysis, BC분석)을 기반으로 한 경제성 분석을 실시하였다. 대상건물은 진천 친환경에너지타운을 기반으로 한 제로에너지타운을 선정하였으며, 6개의 공공건물과 200채의 플러스에너지 주택을 대상으로 분석을 실시하였다. 신재생융복합시스템은 태양광발전을 기반으로한 전력공급시스템과 태양열집열기, 계간축열조 및 다양한 열원의 히트펌프시스템을 기반으로하는 열공급시스템의 조합을 통해 구성되었다. 본 연구의 환경분석 및 경제성 분석을 위해, 각각 CO_2 배출량 및 1차에너지 절감량과 BC분석 및 투자비용회수기간에 대한 분석을 실시하였다. 본 분석을 위해서 기존 시스템으로 개별 가스보일러를 적용하는 방식을 비교대상으로 하여 분석하였다. 이때, 다양한 시스템의 사이즈에 따른 태양열 의존도를 평가하기 위해 태양열의존율(Solar Fraction, SF)을 42.8%에서 91.8%까지 다양한 상태에서의 융복합시스템에 대한 분석을 진행하였다. 그 결과, SF 지수가 높아질수록 CO_2 배출량 및 운영에너지 절감량이 높아지는 것을 확인할 수 있었으나, 초기투자비용 또한 상승하는 것을 확인하였다. 또한, 넷제로(net-zero) 에너지타운 조성을 위해 필요한 전력에너지를 충당하기 위한 태양광시스템의 설치면적은 SF지수가 높아짐에 따라 증대되는 것을 확인할 수 있었다. 초기투자비용을 분석한 결과, SF지수에 따라 태양열시스템과 계간축열시스템의 초기투자비용 상승률이 가장 높은 것으로 나타났다. 결과적으로 SF 지수의 증가에 따라 BC비율이 낮아지는 것을 확인할 수 있었으며, 40%의 SF에서 BC가 1.0에 도달하며, 약 10년의 비용회수기간이 발생하여 가장 높은 경제성을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 한국에너지기술평가원의 에너지기술개발사업(과제번호 : 20182010600010A)의 연구지원과 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단(NRF-2015M3D2A1032742)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

[특별세션1. 스마트시티]

스마트 시티 적용을 위한 건물용 태양광 기술

Photovoltaic Technologies for Smart City

황혜미 · 윤재호 · 박성은 · 이정인 · 곽지혜

한국에너지기술연구원 태양광연구실

최근 태양광 보급 활성화에 따른 수용성 문제가 대두되면서 기존의 주요 설치지역이 아닌 도심지역 건물 및 비 도심지역의 건축물 등에 적용 가능한 태양광 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 한국에너지기술연구원에서는 도심지역 및 비 도심지역의 건축물을 대상으로 적용 가능한 태양광 기술에 관한 연구를 활발히 수행 중에 있다. 특히 기존 건축물이나 취약 구조강도의 건물에도 태양광시스템을 적용할 수 있도록 모듈의 경량화 연구를 수행하고 있으며, 도심지역에서 건물의 심미성을 강조한 모듈 패터닝 기술 및 시스템 유지관리, 모니터링 기술 등 다양한 조건의 건물에 적용 가능한 분야별 기술 개발을 진행 중에 있다.

본 연구에서는 스마트 시티의 핵심 공급기술로 활용 가능한 건물용 태양광 기술의 분야별 연구개발 내용을 소개하고 향후 건물용 태양광기술의 스마트 시티 적용 방안에 대하여 고찰한다.

[특별세션1. 스마트시티]

건물군 냉난방 부하계산을 위한 차수축소모델링

Reduced-order modelling of district heating and cooling demand and loads

김의종*

*인하대학교 건축학부, ejkim@inha.ac.kr

도시에서 상향식(bottom-up) 건물에너지모델 개발은 지역냉난방 열그리드 등 기존 시스템을 확장하거나 최적화하는데 이용될 뿐 만 아니라, 정책에 따른 영향을 분석하는 등 의사결정 도구로 활용되고 있다. 특히 새로운 지구 계획에 따른 건물군 전체의 에너지 믹스 전략을 설계하는데 매우 중요한 요소이다. 설계단계에서 수행된 모델 기반 예측 값과 운영단계의 결과가 일치하지 않는 것이 일반적이나 지속적인 모델링 고도화와 불확실 변수를 분석하는 등 도시 에너지 최적 설계를 위한 요소별 기술 발전이 필수적이다.

건물군 전체의 에너지 소비를 예측하는 데 있어서 건물군 냉난방 부하를 계산하는 것은 가장 기본적인 부분이지만 상당한 계산시간이 요구된다. 수천 개의 건물의 부하를 계산할 때 건물에너지모델링 상용도구를 이용하는 방법은 효율적이지 못하므로 본 연구에서는 차수축소모델링을 제안한다. 디테일이 요구되는 복잡한 형상의 기계 시스템이나 고열용량 지중해석 분야의 해석 방법으로 사용되어 온 이 방법은 개별 건물이나 건물군 전체를 축소된 차수로 상세히 모델링하는데 유리하며, 따라서 향후 다양한 도시에너지 해석 플랫폼에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

기존 상세 건물모델에 선형화기법과 차수축소 모델을 적용한 결과 적은 계산시간으로 우수한 정확도로 부하를 예측할 수 있었으며, 건물군의 경우도 서브영역 분할방식을 이용하면 효율적으로 모델 구축 및 해석시간을 줄일 수 있었다. 결과적으로 전체 건물군의 부하계산을 몇 개의 방정식만으로 계산할 수 있었다. 본 내용은 모델링 방법론에 초점을 맞춘 이론적인 연구이기에 향후 실제 데이터와의 비교를 통한 추가 연구가 요구되며, 아울러 최근 활발한 연구가 이루어지고 있는 데이터 기반 모델링 기법과의 통합을 통한 다양한 응용연구가 가능할 것으로 판단된다.

[특별세션1. 스마트시티]

주요 변수 추출 기법을 이용한 실시간 열에너지 수요예측 머신러닝 모델 개발

Development of real-time machine learning model for prediction of thermal energy by utilizing major feature selection

장지훈 · 백주미 · 손은조* · 이주상*

연세대학교 건축공학과 박사과정,*연세대학교 건축공학과 석사과정

국가 온실가스 감축 로드맵에 따르면 우리나라는 2030년까지 BAU 대비 37%의 온실가스 감축 목표를 설정하였다. 또한, 최근에는 개별 건물의 에너지 사용뿐 아니라, 단지나 도시 단위로 접근하여 건물의 에너지 수요와 분배를 효율적으로 하고자 하는 시도가 계속되고 있다. 이에 도시의 신재생에너지 활용은 필수적이며 이를 효율적으로 이용하기 위해 각 건물 단위에서의 열원 관리에 대한 중요성이 높아지고 있다. 이에 본 연구는 효율적인 열원 관리를 위해 건물의 열에너지 수요량을 머신러닝 기법을 활용해 예측하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 건물 열에너지의 영향 요인 분석 및 주요 변수 추출을 수행하고, 주요 변수를 기반으로 열에너지 수요예측을 위한 머신러닝 모델을 구축한다. 특히 본 연구는 진천 친환경에너지타운을 대상으로 진행되는 「마이크로 열 네트워크 기술개발」 실증 연구의 일부로, 실시간으로 수집되는 많은 양의 데이터들 중 유의미한 데이터의 추출을 통해 효율적으로 열에너지 수요예측 모델을 구현하고자 한다. 최종적으로 본 연구는 건물의 열에너지 수요예측 모델을 통해 효율적인 열원 관리 및 열원 분배를 목표로 진행한다.

본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : 2018201060010)

[특별세션1. 스마트시티]

‘2030 에너지 환경 변화 대응 건축, 도시 에너지 최적화 기술개발’ 기획과제 추진현황

Current Status of Planning Task – Development of Building and Urban Energy Optimization Technologies for Energy Environment Changes

김종규 · 김민휘 · 이동원 · 윤재호 · 혀재혁 · 김득원
한국에너지기술연구원

한국에너지기술연구원에서 수행하고 있는 ‘2030 에너지 환경 변화 대응 건축, 도시 에너지 최적화 기술개발’ 기획과제의 추진 현황에 대해 설명하고자 한다. 본 과제는 국토교통부 녹색건축과에서 담당하는 국토교통연구기획사업으로 건물 중심에서 도시차원으로 확대되는 개념의 에너지 최적화 방안 및 해당 필요 기술에 대한 분석을 통하여 예비타당성 사업을 발굴하기 위한 사전기획 과제이다. 기획초기 제로에너지/플러스에너지 건물을 기반으로 건물간 에너지거래를 확장하는 형태의 도시에너지 네트워크 모델을 목표로 하였고 이를 위하여 수송에너지와 연계된 건물에너지를 검토하였으나 현재는 건축물 단위의 통합 성능에 좀 더 중심을 두고 기획을 진행하고 있다. 이에 따라 패시브 건축, 건축물 적용 액티브 에너지 및 이를 확장한 커뮤니티 에너지 공유로 추진방향을 수정하고 있다. 현재 기획과제가 진행 중에 있어 추진방향은 아직 유동적이나 이번 학회를 통하여 기획 중 검토한 내용에 대하여 공유하고자 한다.

본 연구는 국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : 18RDPP-C150498-01)

[특별세션2. KIER 차세대 에너지 변환소재 기술]

한국에너지기술연구원 차세대 에너지 변환소재 개발 현황

Status of the next generation energy conversion materials of Korea Institute of Energy Research

장보윤

한국에너지기술연구원 효율소재연구본부 분리변환소재연구실

한국에너지기술연구원 분리변환소재연구실에서는 차세대 에너지 변환기술을 위한 다양한 소재들을 연구개발하고 있다. 다양한 에너지 변환기술 중에서도, 태양전지, 열전변환소자 및 이차전지에 대한 연구개발들이 집중 연구되고 있다. 태양전지의 경우, 새로운 개념의 태양전지용 웨이퍼 제조기술이 그 핵심을 이루고 있으며, 열전변환소자의 경우 모듈중심의 변환효율 극대화를 위한 소재개발이 진행 중이다. 차세대 이차전지는 단기, 중기 및 장기 개발전략을 바탕으로 연구개발이 진행되고 있다. 리튬이차전지에서부터 알루미늄이온 전지까지 다양한 이온전지 뿐만 아니라, 새로운 커플링을 이용한 레독스 플로우 베터리 및 3D 프린팅 기반 고집적 수퍼케페시터 등 다양한 기술의 개발 현황을 발표할 것이다. 이와 같은 소재들은 기본적으로 나노구조를 활용한 나노기술이 그 근간을 이루고 있다.

[특별세션2. KIER 차세대 에너지 변환소재 기술]

2차원 소재의 구조-물성 상관관계: 음이온이 혼합된 층상 페로브스카이트 사례 연구

Structure-property relationship of two dimensional materials: A case study of mixed anion layered perovskite

유충열

한국에너지기술연구원, 분리변환소재연구실

New layered perovskite oxyfluorides, $CsSrNb_2O_6F$ and $CsCaNb_2O_6F$ were prepared employing solid state reaction. These phases are derived from the *Dion-Jacobson* family of general formula $A[A'_{n-1}B_nX_{3n+1}]$ with n = 2. Rietveld refinements based on synchrotron X-ray diffraction data showed that $CsSrNb_2O_6F$ has tetragonal cell parameters, a = 3.86716(1) Å, c = 11.45253(2) Å (space group *P*4/*mmm*, Z = 1), while $CsCaNb_2O_6F$ adopts $2a_p \times 2a_p \times 2c_p$ superstructure with orthorhombic cell parameters, a = 7.64817(1) Å, b = 7.67512(1) Å, c = 22.43660(3) Å (space group *Bmmb*, Z = 8). The enlargement of the unitcell of $CsCaNb_2O_6F$ was originated from distortion of local structure, inducing octahedral tilting behavior is caused by size mismatch of Ca^{2+} and NbO_5F octahedron in the perovskite block. The anion distributions of $CsSrNb_2O_6F$ and $CsCaNb_2O_6F$ were confirmed by applying Bond Valence Sum (BVS). The BVS analysis showed that F^- occupy the central sites of corner-sharing NbO_5F perovskite block in both compounds, $CsSrNb_2O_6F$ and $CsCaNb_2O_6F$. We also investigated electronic structure of oxyfluorides with UV-vis diffuse reflectance measurement. The band gap energy was estimated to 3.65 eV for $CsCaNb_2O_6F$ and 3.43 eV for $CsSrNb_2O_6F$. This variation of band gap energy (~ 0.2 eV) can be explained by octahedral tilting angle in perovskite slabs.

[특별세션2. KIER 차세대 에너지 변환소재 기술]

Bio-inspired surface functionalization of porous carbon nanosheets for high-performance electrohcemical capacitors

이영아[a,b] · 유충열[a] · 박상현[a] · 유정준[a] · 조우경[c,*] · 윤하나[a,*]
[a]한국에너지기술연구원, [b]충남대학교 에너지과학기술대학원, [c]충남대학교 화학과

Carbon-based electrochemical capacitors are highly promising energy storage devices that can meet the demands of high power density and long cycle life but they exhibit a lower energy density compared to lithium ion batteries. To increase the energy density of electrochemical capacitors, hybrid electrodes which combine carbon and pseudocapacitive materials are being actively investigated. In recent years, redox-active organic materials have attracted considerable interest as promising pseudocapacitive materials for energy storage applications because they have large gravimetric energy density, low cost and mechanical flexibility.

Interconnected porous carbon nanosheets (IPCNs) are promising candidates for use as the electrode materials of electrochemical capacitors because of their high surface area, efficient ion transport, and three-dimensional (3D) structure. Herein, IPCNs with easily adjustable pore-size distributions, ranging from micro- to mesoporous, are synthesized by the carbonization of alkali metal citrates in a single-step self-templating process. In addition, a facile bio-inspired surface functionalization of the IPCN electrodes is demonstrated through the formation of a polydopamine coating and the subsequent layer-by-layer deposition of ferric ions (Fe^{3+}) and tannic acid, with the aim of developing high-performance electrochemical capacitors. After the deposition of the polydopamine coating, the specific capacitance increases by ~40% as compared to that of an unmodified IPCN electrode. Furthermore, the electrodes coated with both polydopamine and layers of Fe^{3+} and tannic acid exhibit an additional increase in the capacitance to ~244 F g^{-1} at 5 mV s^{-1}, which is ~83% higher than that of the unmodified IPCN electrode. The bio-inspired surface modification of IPCN electrodes demonstrated in this work can potentially be exploited for developing novel pseudocapacitive electrode materials with excellent performances.

[특별세션2. KIER 차세대 에너지 변환소재 기술]

이차원 그래핀 마이크로-슈퍼커패시터 및 3D 프린팅 에너지저장 기술

Two-dimensional Graphene Micro-supercapacitors for 3D Printable Energy Storage

유정준 · 변세기[1] · 유충열 · 이찬우[2] · 백정훈 · 김용일 · 김종휘

한국에너지기술연구원 분리변환소재연구실, [1]한국에너지기술연구원 에너지소재연구실,
[2]한국에너지기술연구원 플랫폼연구실

Micro-supercapacitors are micro-scaled rechargeable energy storage devices that can support or replace batteries in ultra-small electronic devices. We demonstrate two-dimensional high-energy graphene micro-supercapacitors fabricated using a laser-drilled micro-patterning method on "in-plane" structured graphene oxide film, which creates numerous edge planes that yield dramatically high capacitance within a few minutes. The open architecture, graphene edge effect, and well-matched electrolyte enable a volumetric stack capacitance of up to 104 F/cm^3, approximately one order higher than any other micro-thick supercapacitors, and an energy density of 14.4 mWh/cm^3, the highest reported value for most micro-supercapacitors and exceeding that of a lithium thin-film battery. On a one-square-centimeter scale, a 5-V series-connected micro-supercapacitor is established using aqueous electrolyte; hence, devices for high-voltage operation can be fabricated simply in a small confined area using high-resolution laser-drilled patterning. Recently, to obtain practically usable performance of micro-supercapacitors, we adopted 3D printing technologies. We will briefly introduce the 3D printing technologies for energy storage devices here. Two-dimensional high-energy micro-supercapacitors are promising candidates as micro-energy storage devices for subminiature electronic applications requiring high energy density.

[특별세션2. KIER 차세대 에너지 변환소재 기술]

에너지저장 장치를 위한 금속촉매 열환원법을 활용한 나노물질 개발

A Development of Metallothermic-reduced Nano-materials for Energy Storage Systems

최신호 · 김동석*
한국에너지기술연구원(KIER) 울산차세대전지연구개발센터

Nano-materials issue in various industry fields such as semiconductor, chemistry, material science, and medicine. Also, nanostructured materials (e.g., nanoparticle, nanorod, nanotube, nanowire, hollow, and yolk-shell) improve properties of materials for performance enhancement of devices. These nanomaterials have been synthesized using bottom-up and top-down approaches. In the early 2000s, many researchers garnered information and experiences about the nanotechnology that led to innovation and progress in industry and academy of science. As a result, many electronic devices were developed for a convenience of our life.

In this regard, gradual development of energy storage system must need to satisfy this demand for new electric device (e.g. electric vehicle (EV), energy storage system (ESS), even drone) As one of the powerful energy storage systems, lithium-ion batteries (LIBs) are critically important to operate portable electronic devices. However, they cannot meet requirements for more advanced applications, like electric vehicles and energy storage systems due to limitations of conventional cathode/anode materials in high power and high energy density. To overcome these limitations, several strategies have been developed for last five decades, including nanostructured design of electrode materials, coating of active materials with electrically conductive layers, and control of electrode architectures.

Herein, we develop a simple, cost-effective and unique synthesis method of various shaped functional materials by metallo thermic reduction process. Also, we conduct research about a mechanism of reduction reaction, key for synthesizing nanomaterials, change of chemical reaction in experiment. So, the developed materials appear outstanding properties such as structural stability, chemical stability in electrochemical test, and mainly used energy storage system. (e.g. LIBs)

[특별세션2. KIER 차세대 에너지 변환소재 기술]

SiOx 나노구조체의 합성과 이를 이용한 리튬이차전지 음극재료의 적용

Synthesis of SiOx Nanostructures and Application of Anode Materials for Lithium Ion Secondary Batteries

최선호* · **정천영** · **강덕윤** · **장보윤**

(주)테라테크노스, *R&D 센터

한국에너지기술연구원, 분리변환소재연구실

SiOx 나노분말(NPs), 나노와이어(NWs) 및 나노구상입자(NSs)의 나노구조체(Nanostructures)를 특수 제작된 흑연 도가니를 활용하여 산화반응 유도용융시스템으로 합성하였다. 휘발-응축법을 통해 반응기내의 실리콘 용탕에 산화가스를 주입하여 SiOx로 반응시켰다. 특히, 스팀 주입량, 공정 압력, Si 용탕의 온도와 같은 다양한 공정 변수에 따라 최종 미세구조와 물리적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 미세구조 분석 결과 SiOx NPs, NWs 및 NSs의 혼합물이 형성되었고, NWs의 생성 비율은 작동 압력, 휘발량 및 Si 용탕 온도에 따라 증가함을 보였다. 또한, 합성된 SiOx의 물리적 특성들도 의존적이었다. HR-TEM 분석을 통해 SiOx 나노구조체는 나노 크기의 Si 결정립이 위치에 따라 불규칙하게 포함되는 것을 관찰하였며, 이들 Si 결정립의 양에 따른 전기화학적 용량이 결정됨을 확인하였다.

[특별세션2. KIER 차세대 에너지 변환소재 기술]

방전가공 절단공정 기반 단결정 실리콘 웨이퍼의 표면 결함 제어 연구

Surface defects on single crystalline silicon wafer sliced by electrical machining

이우영[1] · 장보윤[1*] · 김준수[1] · 남산[2**]

[1]분리변환소재연구실, 한국에너지기술연구원 효율소재연구본부

[2]고려대학교

방전 가공 장치를 이용하여 제작한 단결정 실리콘 웨이퍼의 Wet etching을 수행 한 후, 미세구조를 관찰하여 표면 결함 제어 연구를 수행하였다. 방전 가공 중 발생하는 높은 열에너지로 인한 물리적 결함 및 와이어의 금속 성분으로 인한 화학적 결함 등이 웨이퍼의 표면에 발생한다. 이러한 표면 결함 제거 방법으로, SC-1 cleaning과 같은 습식방식으로 알칼리 금속 및 유기물 등 결함 불순물은 제거가 가능하다. 하지만 물리적 결함 및 전이 금속 오염은 제거가 불가능하다. 본 연구에서는 Wet etching을 추가로 수행하여, 표면 결함 제거 가능성을 확인하였다. KOH를 기반으로 하는 Wet etching 공정 조건에 따른, 표면 결함 구조를 관찰하였다. 표면 분석 결과, 최적의 Wet etching을 수행 한 후, 실리콘 웨이퍼 표면의 결함이 제거 되는 것을 확인하였다. 본 연구를 통해 표면 결함이 제거 된 방전 가공 기반 실리콘 웨이퍼는 태양 전지 적용이 가능 할 것으로 기대된다.

[특별세션2. KIER 차세대 에너지 변환소재 기술]

리튬이온배터리 음극을 위한 탄소 코팅된 실리콘/흑연 복합체 미세구조의 전기화학적 특성 평가

Effects of Carbon Coated Silicon/Graphite Composites Microstructure on Their Electrochemical Properties as Lithium-Ion Battery Anode

Ivana Pivarnikova . 이형진 . 장보윤* . 김준수
분리변환소재연구실, 한국에너지기술연구원 효율소재연구본부

Silicon/carbon (Si/C) composites as a novel material for lithium-ion batteries anodes were obtained using spray drying method. Their microstructure and electrochemical properties were investigated. Using graphite as a carbonaceous matrix can suppress the undesirable volumetric expansion of Si during lithiation/delithiation processes, resulting in both improved capacity and cycling stability of the Si/C composite electrodes. Synthesis of crystalline and amorphous Si nanoparticles was carried out by gas phase decomposition reaction of monosilane using inductive coupled plasma. Two types of Si nanoparticles were incorporated into natural graphite flakes (D90 < 10 μm) and carbon coated using chemical vapor deposition (CVD). The effects of composite microstructure on anode electrochemical properties were investigated. The optimal composite microstructure introduced in this research can be one of the candidates for high capacity lithium-ion batteries.

[특별세션2. KIER 차세대 에너지 변환소재 기술]

리튬이차전지 음극을 위한 SiOx 나노입자의 Pre-lithiation이 초기 가역 효율에 미치는 영향

Effects of Pre-lithiation in SiOx nanoparticle on Initial Reversible Efficiency of Lithium-Ion Battery's Anode

김낙원[1] ·장보윤[1*] ·남산[2**] ·김준수[1]
[1]분리변환소재연구실, 한국에너지기술연구원 효율소재연구본부
[2]고려대학교

SiOx에 다양한 리튬소스를 이용한 Pre-lithiation이 리튬이온전지(LIB) 음극의 초기 가역 효율에 미치는 영향을 연구 하였다. LIB의 음극재로 쓰이는 SiOx 입자는 약 1,500 mAh/g 가역 용량과 높은 용량 유지율을 나타낸다. 하지만, 초기 방전시 생성되는 산화물에 의한 비가역 용량은 초기 가역 효율의 저하 현상을 일으킨다. Pre-lithiation 에 의해 산화물을 미리 생성시켜 초기 가역 효율 저하 현상을 해결할 수 있다. 이러한 초기 가역 효율 향상을 위하여 SiOx 합성 시 Pre-lithiation 공정을 연구 하였다. 구체적으로, 전자기 유도 용융법을 이용한 공정에 리튬 소스를 미리 추가하여 Pre-lithiation이 된 SiOx를 합성하였다. 미세구조분석을 통하여 합성된 SiOx에서 리튬 산화물 또는 리튬실리콘 산화물의 존재 및 그에 따른 미세구조의 변화를 확인하였다. 이를 바탕으로, Pre-lithiation 된 SiOx에서 리튬 산화물 또는 리튬실리콘 산화물 등의 비가역상이 전기화학특성에 미치는 영향을 관찰하였다. 기존 SiOx 대비 Pre-lithiation 된 SiOx의 전기화학특성의 초기 가역 효율이 10~30% 증가함을 관찰 하였다. 이를 통해 Pre-lithiation 된 SiOx가 기존 SiOx의 초기 가역 효율 감소의 문제점을 해결할 가능성을 확인 하였다.

[특별세션2. KIER 차세대 에너지 변환소재 기술]

Ti 기반의 Mxene 2D nanosheet의 층간 거리 제어에 따른 알루미늄 이온 전지의 전기화학특성

Electrochemical Properties of Aluminum-Ion Battery by Modifying D-spacing of Ti-based Mxene 2D nanosheets

남성주 · 윤창식 · 장보윤* · 김준수

한국에너지기술연구원 분리변환소재연구실

2D nanosheet TiAlC을 다양한 개질 방법을 통해 Mxene 구조체를 제어하고, 알루미늄 이온 전지의 전극으로서 전기화학특성을 분석하였다. 기존 알루미늄 이온 전지에 이용되는 전극 물질로는 다양한 카본 소재들이 활용되고 있으나, 높은 용량과 자유로운 층간 거리 제어를 하지 못하는 문제점이 있다. Ti 소재는 높은 전기전도성과 내부식성의 특징을 가지고 있고, 카본 소재에 비해 비교적 이온 삽입 공간을 넓히는 공정이 가능하다. 이에, TiAlC 구조체를 다양한 개질방법을 활용하여 이온이 삽입되는 층간 거리를 넓혔고, 알루미늄 이온 전지의 용량을 높이는 연구를 진행하였다. 즉, Mxene 구조체인 TiAlC를 제조 후, TBAOH 유기 용매를 이용한 물리화학적 개질 방법을 통해 층간 거리를 넓혔다. 개질된 샘플의 XRD 분석을 통해 계산된 층간거리와 만들어진 전극의 Voltage profile, dQ/dV, 및 용량 등의 전기화학적 특성과의 상관관계를 관찰하였다. 결과적으로, TBAOH 유기 용매를 통해 개질을 수행한 전극의 용량이 150% 향상되었다. 이를 바탕으로 2D nanosheet의 개질을 수행한다면, 알루미늄 이온 전지의 성능 향상을 기대할 수 있을 것으로 생각한다.

[특별세션2. KIER 차세대 에너지 변환소재 기술]

리튬이온전지 음극소재용 실리콘산화물 입자의 비표면적이 전기화학특성에 미치는 영향

Effects of Specific Surface Area on Electrochemical Properties of SiO_x Particles as Lithium-Ion Battery Anode

이보라[1] · 김낙원[1] · 장보윤[1*] · 김성수[2]· 김준수[1]**

[1]분리변환소재연구실, 한국에너지기술연구원 효율소재연구본부
[2]충남대학교 에너지과학기술대학원 에너지과학기술학과

실리콘산화물 나노입자의 조대화(granulation)를 통한 비표면적의 변화가 전기화학특성에 미치는 영향을 연구하였다. 나노입자는 높은 표면적과 낮은 밀도로 인해, 초기쿨롱효율이 낮고 전극 제조 공정의 어려움이 있다. 비표면적을 감소시키기 위해, 나노입자에 압력을 가해, 펠렛화(pelletizing)한 후, 열처리(annealing) 및 분쇄하여 조대화 하였다. 압력과 열처리 온도에 따라 입자의 미세구조 및 비표면적이 변화하였고, 이를 바탕으로, 비표면적과 전기화학특성의 상관관계에 대해 확인하였다. 음극소재의 비표면적의 감소는 고체전해질계면(solid-electrolyte interface layer)의 형성을 줄이고, $Li_2Si_2O_5$, Li_2SiO_3 및 Li_4SiO_4와 같은 비가역 반응을 감소시켜 초기쿨롱효율 향상으로 이어진다는 것을 확인하였다. 특히, 비표면적 변화에 따른 조대화 된 입자의 미세구조 변화가 초기 방전현상에 미치는 영향을 자세히 알아보았다. 이외에도, 높은 압력과 일정 온도 이상에서 열처리를 하면, 부분적으로 소결효과에 의한 응집이 일어났다. 이러한 경우, 초기쿨롱효율 향상뿐만 아니라, 향상된 사이클 특성 역시 관찰할 수 있었다.

[특별세션3. 제주지역 특화 친환경에너지기술 개발]

RED 전극 구조 개선을 통한 효율 향상 기술 개발

Electrode system for large-scale reverse electrodialysis

한지형 · 황교식 · 정해준 · 정남조

한국에너지기술연구원, 제주글로벌연구센터

역전기투석 염분차발전 (reverse electrodialysis, RED)은 해수와 담수의 농도차를 통해 전기에너지를 얻는 친환경에너지기술이다. 양이온 교환막 한 장과 음이온 교환막 한 장이 한 개의 셀을 구성하며, 여러 개의 셀을 적층시켜 스택을 구성한다. 스택 안에서의 이온의 흐름은 양 단의 전극에서의 산화환원반응을 통해 전자의 흐름으로 변환된다. 일반적으로 RED 출력에서 전극 저항의 영향은 무시된다. 셀 수가 증가함에 따라, 전체 내부저항에서 전극 저항의 기여도가 현저하게 줄어들기 때문이다. 하지만 수백 셀로 구성된 파일럿 스케일의 RED 시스템에서는 물 산화환원반응에 의해 기체가 발생하기 때문에 버블 저항을 고려해야 한다. 이번 연구를 통해 전극 스페이서안에서의 버블 저항이 출력의 20%를 감소시키는 원인이 된다는 것을 1,000셀로 이루어진 중형 RED 시스템을 통해 확인하였다. 또한 기존 엔드플레이트의 매우 좁은 공간으로 인해 유체 정체가 일어나고 그에 따른 급격한 pH 변화가 일어난다는 것을 페리-/페로시아나이드 (ferri-/ferrocyanide) 산화환원종의 블루 반응을 통해 확인하였다. 버블 저항에 의한 출력 저하와 급격한 pH 변화를 억제하기 위해서 전극 스페이서를 제거하고 오픈형 엔드플레이트를 사용하였다.

[특별세션3. 제주지역 특화 친환경에너지기술 개발]

제주 해역에 적합한 수평원기둥 파력발전장치의 연간 에너지 생산량 추정

Estimation of Annual Energy Production of a Horizontal Cylinder Wave Energy Converter at Jeju Sea

이혜빈 · 조일형* · 배윤혁*

제주대학교 풍력특성화협동과정, *제주대학교 해양시스템공학과

제주도 차귀도 주변 해역은 높은 파랑에너지 밀도, 인근에 위치한 중형 항구, 적은 해상 교통량 등의 이점을 갖는 곳으로 파력발전장치 실해역 시험장의 최적지이다. 본 연구에서는 이 실해역 시험장의 5번 정박지를 설치 대상해역으로 가정하고, 파력발전장치 1차 변환장치의 다양한 형태 중 파랑중 편심된 회전축을 중심으로 횡 운동을 통해 에너지를 추출하는 수평원기둥 로터를 계산 모델로 선정하였다. 로터의 운동 성능에 주된 영향을 미치는 설계변수들을 변화시켜가며 설치 대상해역에서 최대 추출효율을 갖도록 로터 제원의 최적 값을 도출하였다. 설계된 로터의 시간영역 운동해석을 실시하여 불규칙 파랑중 로터의 횡 운동 변위, 속도와 추출파워를 계산하고, 설치 대상해역인 제주도 차귀도에서 얻은 파랑산포도에 나타난 파랑 분포와 빈도수를 고려하여 기계 파워 매트릭스를 구하였다. 최종적으로 2차 변환장치 효율, 운용 효율, 송전 효율을 모두 고려하여 연간 에너지 생산량을 계산하였다.

[특별세션3. 제주지역 특화 친환경에너지기술 개발]

예지적 유지보수를 위한 상태감시 시스템 개발

Development of Condition Monitoring System for Predictive Maintenance of Wind Turbines

최정철 · 곽성조 · 이광세 · 황성목 · 이진재 · 박사일
한국에너지기술연구원

해상풍력은 육상풍력에 비해 3배 이상의 유지보수 비용이 요구되므로, 고장을 미리 예측해야 할 필요성이 있다.

그런데, 풍력발전기는 8,000 여개의 부품으로 구성되어 있고, 모든 부품에 센서를 부착하여 상태를 파악하는 것은 많은 비용이 요구된다. 이에 따라 센서를 부착하지 않은 부품의 상태를 다른 센서들의 신호를 이용하여 예측할 수 있는 인공지능 알고리즘을 개발하였다. 센서 간의 관계식을 작업자가 일일이 파악하는 것은 시간과 비용이 많이 요구되기 때문에, 인공지능 알고리즘을 이용하면 이 작업을 자동화할 수 있다.

아울러 실제 풍력발전기에서 인위적 고장을 일으키는 실험이 사실상 불가능하기 때문에 신뢰성 확보를 위해 풍력 발전기의 상태 진단을 정확히 모니터링 하는 기술이 필요하다.

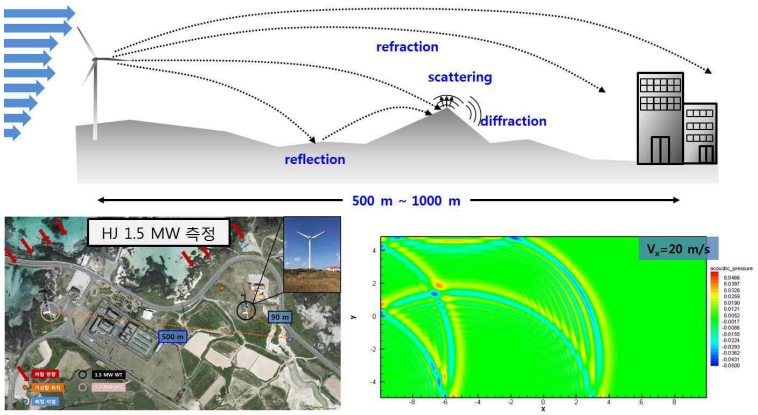
[특별세션3. 제주지역 특화 친환경에너지기술 개발]

풍력단지 저소음 운영을 위한 소음 전파 해석 기술

Noise Propagation Analysis Technique for Low-Noise Operation of Wind Farm

손은국 · 이광세*
한국에너지기술연구원 제주글로벌연구센터

풍력소음의 주요 소음원인 공력소음은 블레이드 표면 근처에서 발생하는 비정상 압력 분포에 대기 난류 유동의 유입, 또한 그로인한 블레이드 뒷전과 난류유동의 상호작용. 블레이드 경계층 내에 분포하는 불안정한 유동상태 및 그로 인한 뒷전에서의 산란. 블레이드 끝단에서 발생하는 와류가 떨어져나가므로 발생하는 와류 흘림 소음 등 다양한 생성 메커니즘을 가지고 있다. 풍력단지에서 문제 시 되고 있는 저주파 소음은 특히 블레이드 회전 주파수 성분과 연관이 있는데, 이는 통상적인 MW 급 풍력발전기의 회전 RPM을 고려해 보면 1 Hz 이하의 초저주파와 연관이 있다. 최근 연구가 이루어지고 있는 풍력 소음의 진폭 변조 현상에서 이 블레이드 회전 주파수 성분이 광대역소음의 진폭변조에 기인하는 것으로 보고 있다. 또한 이러한 저주파 수 성분은 터빈 근처 뿐만 아니라 원거리에도 효과적으로 도달하기 때문에 발전기와 멀리 이격되었어도 저주파수 성분에 의한 괴로움을 호소하는 사례 연구도 있었다. 그러나 발전기 근처에서 계측하여 평가하는 국제 표준인 IEC 61400-11은 이러한 원거리 소음 전파 특성을 반영하지 못하고, 대부분의 상업용 소프트웨어에서는 풍력소음의 전파 해석 시 ISO 9613-1,2를 기반으로 적용하기 때문에 저주파 성분 해석이 어렵다. 따라서 대단위 풍력단지에서 발생하는 소음이 거주지역에 도달하는 과정 그리고 그 크기를 잘 모사할 수 있는 해석 기법이 필요하다. 덴마크의 DTU 및 스웨덴의 KTH를 비롯하여 현재는 주파수 영역 해석기법인 PE에 대한 기술 개발인 진행 중이지만, 움직이는 소음원 및 복잡한 지형에의 적용이 매우 어려운 것으로 알려져 있어 그 적용에 한계가 있다. 본 연구에서는 풍력단지에서 생성되고 전파되는 소음의 크기 및 전파 특성을 예측하기 위하여 시간영역 기반의 해석 알고리즘을 개발 중이며, 또한 풍력 소음만의 고유한 방사 특성을 고려하기 위하여 측정 기반의 소음원 모델링 연구를 진행하기 위한 풍력 발전기 소음 측정 사례 연구에 대해 소개하도록 한다.



[그림 1] 풍력 소음 전파 해석

[특별세션3. 제주지역 특화 친환경에너지기술 개발]

에너지융복합시스템을 위한 현장형 시험평가 설비 개발 현황

Development Strategy of On-site Test facility for Performance Evaluation of Energy Integration System

김병기 · 유경상, 김대진, 고희상, 남양현, 장문석
한국에너지기술연구원 제주글로벌연구센터

최근 신재생에너지원의 안정적 보급·확대를 위하여 ESS연계는 필수적이며, 이를 위한 현장에서의 ESS, EMS 등의 상호 운용성 확보 및 계통연계, 안전, 신뢰성 시험·검증이 필요하고, 분산전원과 ESS가 융합된 사이트에서의 Grid-code를 고려한 현장 시험이 필요한 상황이다. 또한, ESS의 상시운용에 따른 성능을 정기적으로 평가하여, 문제점을 분석하고 수명을 증대시킬 수 있는 평가 시스템을 개발되고 있지 않은 상황이다. 따라서 본 논문에서는 현장에 설치된 ESS에 대하여 다양한 성능을 평가할 수 있도록 1ton 차량 탑재형 30kW급 에너지융복합 현장 시험평가 시스템을 개발 방안을 제안한다. 또한 기존 FAT 시험설비의 구성을 바탕으로 현장시험에 최적화시키기 위한 시험설비로 재구성 및 설계하여 신뢰성을 갖는 시험평가설비로 구현하는 방안을 제시한다.

[특별세션4. 한국지역난방공사 - 집단에너지 기술]

흡착식 냉동기의 온수조건에 따른 성능특성 연구

Study on the performance of adsorption chiller according to hot water condition

우성민* · 이수용* · 김효상* · 홍주화 · 백승원

*삼중테크(주), 한국지역난방공사 미래개발원

정부의 정책적 지원과 온실가스 저감과 같은 대기환경에 대한 관심과 규제가 현실화 되면서 태양열, 연료전지, 공장 배열 등 다양한 신재생에너지 공급이 늘어나고 있으나 여기서 발생하는 온수를 활용할 수 있는 방안은 많지 않다. 따라서 그동안 활용되고 있지 않던 70℃이하의 저온수를 냉방시스템에 활용할 수 있는 흡착식 냉동기에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

본 연구에서는 70℃이하의 저온수를 이용하여 구동되는 35kW급 흡착식 냉동기 시제품의 설계와 성능특성에 대한 실험적 연구를 실시하였다. 본 연구의 주요 목표는 국내 하절기 냉방용 8℃ 냉수를 생산할 수 있는 기기를 직접 개발하는 것이며, 현재 정격 COP0.5 수준까지 성능 향상이 가능함을 확인하였다. 그리고 흡착식 냉동기의 열원을 보다 효율적이고, 폭 넓게 사용하기 위하여 온수조건에 대한 성능특성 연구를 추가로 진행하였으며 온수량과 온수온도의 변화에 따른 성능특성을 분석하였다.

결론적으로 본 연구에서는 온수유량이 50% 수준으로 줄더라도 냉방능력과 COP 등 성능변화는 거의 없었고, 온수온도가 70℃이상에서는 온수가 상승하여도 흡착탑 성능은 거의 변화가 없지만, 온수온도가 60℃까지 감소함에 따라 냉동능력은 약 30% 정도 감소함을 확인할 수 있었다. 본 연구결과로 흡착식 냉동 시스템의 효율적인 온수 유량 조건과 일일 변동부하 특성을 가지는 신재생 열원 연계 흡착식 냉방 시스템에서의 최적 운전 온수온도 범위를 도출 할 수 있었다.

[특별세션4. 한국지역난방공사 - 집단에너지 기술]

전산유체역학 방법을 이용한 SCR 기화기의 성능해석 및 최적화

Performance analysis and optimization of a SCR vaporizer by using CFD method

이찬 · 김효상 · 이재승

수원대학교 기계공학과, 한국지역난방공사 미래개발원

지역난방공사 열병합설비(CHP)의 열원으로 사용되는 보일러 또는 가스터빈은 화석연료의 연소로 인해 필연적으로 배기가스 중에 질소산화물(NOx)를 포함하기 때문에, 이러한 NOx 를 줄이기 위한 효과적인 수단으로서 SCR 및 SNCR 기술이 지역난방공사 열원시설의 현장에서 폭넓게 활용되고 있다.

SCR 시스템에 사용되는 요소수는 배기계통의 기화기(Vaporizer)에 장착된 인젝터(Injector)를 통해 고온의 배기가스에 분사된 후, 열분해 및 가수분해 과정을 통해 암모니아로 전환되어 NOx를 질소(N_2) 와 물(H_2O)로 환원시킨다. 하지만 기화기의 설계가 만족스럽지 못하거나 성능이 저하된 경우, 기화기 내 증발 및 반응 시간의 부족으로 인해 암모니아 슬립(Ammonia slip)과 관련된 몇 가지 문제점들이 초래되고, 이로 인해 SCR 시스템의 현저한 DeNOx 성능 저하가 야기된다. 따라서 요소수 응용 SCR 시스템의 DeNOx 효율을 높이기 위해서는, SCR 기화기 내부의 요소수 인젝터의 위치, 분무노즐 설계 조건에 따른 배기가스와 요소수의 열분해, 가수분해 및 혼합특성에 관한 지속적인 연구가 필요하며, 이러한 연구결과들은 지역난방공사 현장의 SCR 기화기 성능최적화에 적용될 수 있다.

그러므로, 본 연구에서는, 지역난방공사의 열병합 시설 SCR 기화기에 대한 전산유동해석 모델을 확립하였고, 이를 이용하여 여러 가지 기화기 설계사양 및 운전조건에 따른 기화기 내부의 유동장 및 요소수 입자의 궤적 특성을 계산 하였으며, 이를 통해 기화기에서 생성된 암모니아의 전환율(UC:Urea Conversion) 및 혼합 균질도(UI: Uniformity Index)를 계산하였다. 본 연구의 계산결과들로부터, 기화기로 유입되는 배기가스의 온도는 요소의 암모니아 전환율(UC), 혼합 균질도(UI)에 매우 큰 영향을 미친다. 배기가스 온도를 225 ℃ 이상으로 유지하면 암모니아 전환율은 급격히 증가하고, 더 나아가 배기가스의 온도가 300 ℃ 로 유지되는 경우에는 암모니아 전환율은 95% 수준으로 유지된다. 기화기로 유입되는 요소 입자의 초기 액적크기의 효과는 입자직경이 80 μm 인 경우에는 암모니아 전환율(UC)과 혼합 균질도(UI)를 비교적 높게 유지시킨다. 그러나 요소 입자의 초기 액적크기가 160 μm 로 큰 경우에는, 요소의 증발에 훨씬 긴 시간이 걸리므로 이로 인해 요소의 암모니아로의 전환율도 급격히 저하되고, 요소의 기화기 하부로의 퇴적현상이 현저하게 관찰된다. 기화기의 상부에서 요소수를 주입할 때 액적 분무각은 암모니아 혼합 균질도에 큰 영향을 미치며, 액적 분무각을 90도 이상으로 유지하면, 암모니아의 혼합 균질도가 83-87% 의 높은 수준을 유지한다.

결론적으로 기화기내부에서 요소 퇴적물 없이 요소를 효율적으로 암모니아로 전환시켜 배기가스와 균질하게 혼합시키기 위해서는, 요소수 분무 노즐의 설치 시 액적 입자는 80 μm 이하의 직경을 가지고 분사하고 이때 분무각은 90도 이상으로 유지하며, 배기가스온도는 300 ℃ 이상으로 유지되도록 배기가스 유입 덕트 내에 가열장치를 설치하여 가동할 필요가 있는 것으로 판단된다.

[특별세션4. 한국지역난방공사 - 집단에너지 기술]

기후변화의 시대에 지속가능한 집단에너지 사업의 발전 방향과 전망

An Outlook for the Sustainable District Heating and Cooling Business Evolution in the Era of Climate Change

임용훈*

*한국에너지기술연구원 에너지네트워크연구실

본격적인 기후변화로 인한 환경변화는 열병합발전 기반의 고효율성을 경쟁력으로 한 국내·외 집단에너지 사업 환경에도 큰 변화를 가져오고 있으며 사업 보급 확대를 위한 시장 환경측면에서도 전대미문의 도전에 직면하고 있다. 최근 신 기후변화체제로의 본격적인 돌입에 따른 온실가스 배출저감 규제 강화, 탈원전·탈화석 기반의 에너지전환 정책 시행에 따른 전력시장의 변동성 확대, 그리고 날로 심각해지는 초미세먼지 등 환경문제 해결을 위한 지속가능한 에너지 산업 구조 개편에 대한 국민적 열망은 단순한 집단에너지 사업의 수익구조 개선 및 중·단기적 성장률 정체에 대한 현실적인 고민을 넘어 집단에너지 사업의 지속가능성에 대한 보다 근본적인 대안 수립이 필요함을 시사해주고 있다. 당 연구에서는 최근 집단에너지 사업과 관련한 상기한 급격한 사회적·사업적 환경 변화에 대한 영향과 이에 대응하기 위한 발전 방향에 대해 기술적 관점에서 고찰해보고, 본격적인 기후변화의 시대에서 생존해 나가기 위한 지속가능한 집단에너지 사업의 방향성에 대해 살펴보고자 한다.

[특별세션4. 한국지역난방공사 - 집단에너지 기술]

생활배수열과 지역난방을 연계한 열공급 모델링에 관한 연구

A Study on Thermal Modeling of District Heating System integrated with Sewer Heat

홍성국 · 윤영직 · 이동현 · 오정석 · 김경민* · 오문세*
한국에너지기술연구원, *한국지역난방공사 미래개발원

화석에너지 사용 절감 및 신재생에너지 확대 정책에 따라, 도심형 미활용 에너지 활용에 대한 관심이 증가되고 있다. 도심형 미활용 에너지로는 하천수열, 생활배수열, 지하철 배열, 소각장 배열 등이 있다. 이 중 생활배수열은 사용자 시설에 설치된 하수관을 흐르는 생활배수로부터 얻어지기 때문에 연중 12~26도를 유지하면서 안정적으로 공급이 가능하다는 장점을 갖고 있다. 따라서, 생활배수열을 적절하게 활용한다면 보다 효과적으로 에너지 절감을 기대할 수 있다. 본 연구에서는 생활배수열을 지역난방과 연계하여 사용자에게 공급할 수 있는지에 대한 타당성 연구를 진행하였다. 이를 위해 도심 밀집주거지역에서 설치된 하수관에서 배출되는 하수유량 데이터를 근거로 생활배수열의 부존열량을 계산하였으며, 사용처에서 필요하는 열량을 공급하기 위한 생활배수열 연계한 열공급 모델을 설계하였다. 세부적으로는 생활배수열을 회수하기 위한 하수관거 열교환기를 분석하고 회수열량에 맞는 열교환기 사양을 선정하였다. 하수열 및 지역난방열을 이용하여 사용자측으로 공급되는 열을 생산하기 위해 히트펌프를 고려하였으며, 전기식 히트펌프와 흡수식 히트펌프 2가지 경우에 대한 모델을 수립하였다. 최종적으로, 공급열량 및 열생산설비 사양에 따른 열공급 모델에 대한 경제성 분석을 수행하였다.

[특별세션4. 한국지역난방공사 - 집단에너지 기술]

국내 공동주택 스마트미터링 보급체계와 정책안

Smart metering deployment scheme and policy plan for apartment complex in Korea

정범진* · 전영신** · 엄재식**

한국외국어대학교*, 한국지역난방공사 미래개발원**

1960년대 단지식 공동주택이 도입된 이후로 공동주택은 급속도로 보급이 확대되어 현재 전체 주택에서 공동주택이 차지하는 비중은 약 60%이며 세대수로는 약 1,000만호에 다다르고 있는 실정이다. 한편 정부의 지능형전력망계획에 따라 한국전력공사의 저압 수용가대상 스마트미터링 보급이 진행되고 있으며, 2019년 현재 34.7%인 780만호가 구축되었으며, 2020년까지 2,250만호 구축을 목표로 추진 중에 있다. 현재의 보급 일정으로 볼 때, 2020년에 보급 완료는 어려울 것으로 전망되고 있으며, 보급이 완료된다고 해도 약 900만호로 추정되는 고압수전 공동주택의 경우는 한국전력공사의 스마트미터링 보급 대상에 포함되지 않음으로 인해서 상당수의 세대가 스마트미터링 기반의 요금제, 희망검침일 제도 등 여러 서비스를 제공받을 수 없는 실정이다. 이는 고압수전 공동주택의 경우 단지단위로 한국전력과 공급계약이 되어 있음에 따라, 단지 내부의 각 세대는 한국전력과의 상거래 계약이 성립되지 않음으로서 법적으로 한국전력의 스마트미터링 보급 대상에서 제외되어 있기 때문이다. 이와 같은 제도현실하에서 한국전력 주도의 주택부문 스마트미터링 보급이 완료되어 다양한 서비스로 전환될 경우 주택부분과 공동주택 부분간의 전력 서비스간의 불균형은 심각한 사회적 문제로 부각될 것이다.

공동주택의 스마트미터링 보급을 단순한 스마트미터링 시스템의 기술적 구축으로 간주할 경우, 여러 현실적 장애요인으로 인해서 보급 및 확산이 지연될 것이다. 따라서 공동주택에서의 효율적이고 지속가능한 스마트미터링 보급을 위해서는 공동주택의 계량 소유 및 관리체계에 대한 제도적 개선과 더불어서 공동주택 세대 계량기를 포함한 스마트미터링 표준 체계에 대한 기술적 해결, 공동주택에서의 스마트미터링 구축 형태에 따른 비용과 편익 부분에 대한 균형적 검토가 동시에 이루어져야 한다. 국내 공동주택은 국토교통부의 공동주택관리법령과 지자체의 조례에 의해서 공동주택내 계량관리에 대한 법적 근거가 부여되고 있다. 따라서 스마트미터링의 보급 및 요금제를 담당하고 있는 산업자원부와 한국전력은 공동주택에서의 원활한 스마트미터링 보급과 관리를 위해서 국토교통부와 지자체의 협조가 반드시 요구된다. 공동주택에 대한 전력 외에 수도·가스·열 공급에 대해서도 각각의 공급 사업자와 관계 법령이 존재하므로 중장기적인 관점에서 3종 또는 5종 에너지원에 대한 체계적인 스마트미터링 보급 및 관리 방안의 개선이 병행될 필요가 있다.

본 논문에서 국내 공동주택, 세대용 계량기 관리, 스마트미터링 보급 현황 조사, 국내외 공동주택 대상의 스마트미터링 또는 스마트미터 관리 사례 조사 등을 통해서 국내 공동주택의 계량관리 및 스마트미터링 보급을 위해 필요한 제도 개선 방안에 대해서 제시하고자 한다.

[특별세션4. 한국지역난방공사 - 집단에너지 기술]

지역난방 사용자시설의 온수 사용에 대한 연구

A Study on Hot Water Usage in District Heating System

이재용 · 임태수 · 엄재식* · 하태백* · 구기동*

한국에너지기술연구원, *한국지역난방공사 미래개발원

지역난방을 이용하는 공동주택의 사용자 시설에서의 열사용에 대해 많은 연구가 이루어지고 있지만 대부분 난방과 관련된 연구에 집중되어 있으며 상대적으로 온수 사용에 대해서는 알려진 내용이 많지 않은 상태이며 해외에서도 계측의 어려움으로 인해 소수의 분석사례만이 알려지고 있다. 그 이유는 온수의 특성상 단시간에 많은 열을 사용하고 있음에도 불구하고 유량으로만 측정되고 있기 때문이며, 측정 주기가 길고 대부분 과금을 위한 목적으로 계측이 이루지고 있어 최종사용량에 대해서만 관심을 가지기 때문으로 생각할 수 있다.

본 연구에서는 한국지역난방공사에서 세대에 설치한 온수미터를 통해 연간으로 계측 및 수집된 데이터를 바탕으로 다양한 관점에 대해 사용자시설의 온수 사용에 대한 분석을 수행하였다.

[특별세션5. 미래 수소사회를 위한 기술개발 및 정책 동향]

연료전지 국제 표준 현황 및 국내 대응 방향

International Standards on Fuel Cells and Directions in Korea

이원용 · 이홍기* · 조성국 · 양태현 · 박석희**

한국에너지기술연구원, *우석대학교,** 한국정밀화학산업진흥회

연료전지에 대한 국제 표준은 IEC TC105로 진행되고 있으며 현재 16종류의 표준이 완료된 상태이며, 10종류의 표준 개발을 위해 국제회의가 진행되고 있다. 연료전지 표준은 공통분야(Cross cutting), 고정형(Stationary) 연료전지, 휴대 및 이동형(Mobile/portable) 연료전지, 그리고 수송용(Transportation) 연료전지로 나누어 제정되고 있다. 대부분의 국제 표준은 선진국에서 자국의 표준을 기반으로 제안되며, 5개국 이상이 개발과정에 자국의 전문가를 파견하여 2년 이상의 검토와 투표를 통해 완성된다. 현재까지 연료전지 표준은 일본과 독일 등 몇 개국에서 주도하고 있다. 국제 표준에서 중요하게 다루는 성능평가, 안정성 등은 제품인증과 내용이 연계되기 때문에 수출 시장을 위해서는 진행 중인 표준에 대한 적극적인 내용 개진과 더불어 현재 한국이 보유 또는 개발 중인 기술을 기반으로 한국주도의 적극적인 표준제안이 필요한 상태이다. 현재까지의 국제 표준은 주로 단위시스템에 대한 성능, 안정성, 설치에 관한 것이었으며 급격하게 상용화가 예상되는 연료전지 융•복합 시스템과 적용다변화 기술로서 드론, 기관차, 선박, 로봇용 전원 패키지 기술 등에 대한 표준이 진행 중이거나 개발이 예상되므로 적극적인 참여를 통해 국제표준 개발을 주도할 필요가 있다. 이를 위해서는 해당 기술의 개발과 연계된 표준화 작업이 동시에 수행될 필요가 있다.

[특별세션5. 미래 수소사회를 위한 기술개발 및 정책 동향]

수소 경제 구현을 위한 수소 도시 실증

Demonstration of Hydrogen City for Hydrogen Economy

황문현*
고려대학교 융합연구원

2015년 12월 파리에서 개최된 21차 유엔 기후변화협약에서 195개국이 기후변화에 대응하기 위해 온실가스 배출량을 단계적으로 감축하여 지구 평균온도가 2℃이상 상승하지 않도록 협정을 맺은 이후, 신 기후 체제 시대에서 신재생에너지 활용 정책은 모든 국가에서 최우선에 존재하는 에너지 정책의 방향성이라 할 수 있다. 2018년 9월 발표된 DNV-GL의 "에너지 전망 보고서"에 따르면, 2015년까지 재생에너지에 대한 투자비용은 3배까지 증가할 것으로 예측되었다. 그러나 대표적인 재생에너지인 태양과 풍력에 의한 에너지는 전력 생산 면에서 안정성이 떨어지는 단점이 있으며, 국가별 지리적 환경에 크게 영향을 받는다는 점에서 모든 국가가 적극적으로 활용할 수 없다. 따라서 신재생에너지와 수소의 조합은 불안정한 전력 생산 면에서 에너지 carrier와 저장을 동시에 해결할 수 있는 새로운 조합으로서 새롭게 조명되고 있다.

국내에서도 이러한 시대적인 흐름에 편승하여 2019년 1월 수소 경제 활성화 로드맵을 발표하는 등의 수소사회 구현을 위한 다양한 정책적 방향성을 제시하고 있다. 발표된 로드맵은 관계부처들에 의해 통합적으로 만들어 졌으나, 제시된 대부분의 기술적 초점은 수소자동차 및 교통에 맞추어져 있으며, 일부가 수소 발전을 통한 전력 공급에 대한 내용으로 제시되어 상대적으로 국가적인 차원에서 제시해야만 하는 도시 등에 대한 수소 경제 구현을 위한 시스템적 접근이 부족하다고 사료된다. 이러한 시스템적인 접근이 중요한 이유는 수소경제 구현이후 지속가능성 확보를 위해서 인데, 이를 위해서는 실제 에너지에 대한 최종 사용자로서 시민, 지자체 그리고 산업계간의 연계와 경제적 그리고 지속가능성에 대한 검토가 면밀히 진행되어 수소 경제 구현을 위한 기술적 방향성을 제시해야 할 것이다. 국토교통부에서 진행되는 수소그리드 및 수소 도시 구현을 위한 기획은 이러한 점에서 중요하다고 할 수 있다. 이 기획에서는 수소 경제 구현을 위한 인프라 구축과 도시내 수소생태계 구축을 위한 시스템 면에서 접근을 하고 최종적으로 리빙랩 속에서 시민, 지자체와 산업 연계를 통한 지속가능한 수소 도시 구현을 위한 기술적 방향성 제시를 하고자 한다. 현재까지는 국내 도시에서 구현 가능한 소규모 공동체 모델을 8개까지 도출하여 부분적인 수소 생태계 구축을 위한 밑바탕을 구축하였다. 향후에는 여기에서 한걸음 더 나아가 소규모 모델을 연결한 진정한 수소 그리드에 기반을 둔 수소 도시 구현의 비전을 제시하고자 한다.

[특별세션5. 미래 수소사회를 위한 기술개발 및 정책 동향]

수소경제 구현을 위한 수소 연료전지 기술 개발 방향

R&D Strategy of Hydrogen and Fuel Cell for Hydrogen Economy

양태현*· 이원용· 이소정· 이혜진· 박석희

한국에너지기술연구원 연료전지연구실

정부에서는 수소경제 활성화 로드맵을 통하여 수소산업을 미래의 성장동력으로 육성시키는 계획을 발표하였다. 수소산업 공급사슬은 수소를 생산하기 위한 원료, 생산, 저장, 운송, 이용, 안전 및 인프라로 구성되어 있다. 세계 수소시장은 약 165조원/년 규모이고 생산량은 약 5,500만 톤/년 규모이며 생산방식에 따라 천연가스 개질 48%, 석유화학산업 부생수소 30%, 석탄 가스화 18%, 수전해 4% 로 보고되고 있다. 즉 수소의 96%가 천연가스, 납사, 석탄과 같은 화석연료를 가스화, 개질방법을 통하여 생산하고 있다. 국내 수소이용기술은 선진국 수준이나 생산, 저장, 이송, 안전 및 인프라 분야의 경우 기술격차가 상당한 편이다. 천연가스로부터 수소 추출기술은 국산화 개발 중이며 물분해를 통한 수소 생산 기술인 알칼리 및 고분자 전해질 수전해 기술은 국산화가 되어 있으나 해외 기술에 비해 대형화, 저가화, 고효율화 기술이 뒤져있는 상황이다. 고압가스 저장방식은 선진국 수준으로 수소전기차용으로 상용화에 성공하였으며 수소트레일러 및 충전소용 제품을 개발 중이다. 액체수소, 액상수소 기술은 기초 연구단계이다. 수소제조기술은 유럽, 미국의 기업이 선점하고 있으며 기술 수준도 높다. 특히 수전해 기술의 경우 유럽의 넬, 지멘스, ITM Power 등이 시장을 주도하고 있다. 수소전기차는 현대차에서 세계최초로 상용화에 성공하였으며 일본 도요타, 혼다와 경쟁하는 구도이다. 발전용 연료전지는 두산과 포스코에너지가 세계시장의 40%를 점유하고 있으며 최대 경쟁기업은 미국의 블룸에너지와 퓨얼셀에너지이다. 건물용 연료전지는 일본 파나소닉, 도시바, 아이신 3개회사가 전세계 시장의 98%를 차지하고 있으며 두산, 에스퓨얼셀이 추격하는 상황이다. 국내 수소산업이 해외시장을 선도하기 위해서는 원천기술의 확보 및 기술 고도화, 임계점을 넘는 양산규모 시장 확보, 신규 시장 창출과 인증, 규제 해소 지원, 수소 연료전지 기반 융.복합화를 통한 신규 BM 창출, 수출 시장 확대를 위한 노력이 필요하다.

[특별세션5. 미래 수소사회를 위한 기술개발 및 정책 동향]

수소충전소용 천연가스-수증기 개질공정의 모델 기반 스케일-업 설계 전략

Model-based Development and Scale-Up of Reforming Processes for Hydrogen Refueling Stations

김우현 · 서동주 · 박상호 · 황영재 · 조의현 · 하동수 · 김진수 · 윤왕래

한국에너지기술연구원

현존하는 수소 생산 기술 중, 천연가스-수증기개질공정은 가장 낮은 생산단가로 수소를 생산할 수 있으므로 수소연료전지자동차를 위한 수소충전 인프라 확충에 반드시 필요한 기술이다. 이러한 개질기술 기반의 수소생산 공정을 현장 수소생산식 수소충전소에 적용하기 위해서는 열 및 시스템 통합설계를 통한 컴팩트화와 고효율화가 가장 중요한 이슈이다. 이를 위해, 기초 개념설계 단계에서 heat sources (버너, 고온 개질가스, 수성가스전이반응 등)와 heat sinks (개질촉매층, 원료수 예열부 등) 간의 열교환 네트워크의 최적설계가 이루어져야하고 스케일-업 설계 방법론을 구축하기 위한 시스템적 접근 방법이 필요하다. 본 연구에서는, 먼저 상용 공정 모사프로그램을 이용하여 기본 설계 단계에서 최적 열교환망을 구성하였다. 그리고 수소생산 효율에 가장 큰 영향을 주는 개질반응 촉매층의 최적설계를 위해, 디자인 파라미터 변경에 따른 열 및 물질전달 현상을 전산유체역학적모사 기법을 통해 파악하였다. 또한 열교환형 수성가스전이반응기의 설계를 위해 열교환기설계 모델을 활용하여 효율적인 열교환을 위한 최적 설계 파라미터를 도출하였다. 이러한 모델 기반 설계 기법을 이용하여 일 100 kg 및 200 kg 수소를 생산하는 개질기 모듈을 순차적으로 설계하여 운전 성능테스트를 수행하였고, 200 kg/day급 개질 모듈은 steam-to-carbon ratio 3 및 7 기압 운전조건에서 고위발열량 기준 수소생산 효율 75 % 이상을 유지하여 기본 개념설계가 실제 시스템으로 성공적으로 구현되었음을 확인하였다. 그리고 이러한 모델링 기반의 설계 방법론으로 시스템 최적화와 더불어 500 kg/day급의 스케일-업 시스템 설계가 수행되었다.

[특별세션5. 미래 수소사회를 위한 기술개발 및 정책 동향]

특수목적형 연료전지 시스템의 개발동향

Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell systems for special applications

김승곤 · 정병학* · 최윤영 · 김민진 · 손영준 · 이원용 · 김창수 · 박석희

한국에너지기술연구원 연료전지연구실, *과학기술연합대학원대학교 신에너지 및 시스템공학

연료전지는 일반적으로 높은 에너지 밀도와 청정성으로 인해 다양한 용도로 활용되고 있다. 그 용도에 따라 크게 이동용, 건물용, 발전용으로 나눠지며, 연료전지 시스템의 적용 유형에 따라 일반형 또는 특수목적형으로 나뉜다. 일반형 시스템의 경우 시스템의 효율과 내구성, 가격 등이 중요한 반면에, 특수목적형의 경우 시스템 가격에 대한 요구도는 낮은 반면, 초경량, 초고압, 초저온, 산소독립형 등의 시스템 적용환경에 따른 필수사양이 추가적으로 요구된다. 본 연구에서는 한국에너지기술연구원에서 수행된 특수목적형 연료전지 시스템들에 대해 요약하였고 이와 관련한 전반적인 연구동향에 대해 소개하였다.

[특별세션5. 미래 수소사회를 위한 기술개발 및 정책 동향]

상용모재기반 알칼라인 수전해 전극 기술 개발

Alkaline Electrode Development based on Commercial Substrates

강경수 · 박주식 · 김종원 · 정광진 · 배기광 ·정성욱*
한국에너지기술연구원 신재생에너지연구소 수소연구실

Ni를 기반으로 한 Raney Ni를 전기화학적, 물리적 방법을 통해 상용 지지체에 코팅하였다. 코팅된 전극에 대하여 전류 on-off시험과 전압 on-off시험을 진행하였다. 전류 on-off 시험은 동일한 전극을 cathode와 anode에 적용하여 30wt% KOH, 70℃에서 400 mA/cm2과 0 mA/cm2의 전류밀도로 5분 간격으로 on-off test을 실시하였으며 1000회를 실시하는 동안 1.7V에서 1.75V 전압이 상승하였다. 보다 빠른 열화를 유도하기 위해 400mA/cm2의 전류밀도가 나오는 전압에서 5분, Hg/HgO기준으로 0V에서 5분을 반복적으로 하는 실험을 실시하였다. 이러한 방법으로 열화가 빠르게 진행됨을 확인하였으며 전극 제조 방법에 따라 조성의 변화와 표면 형상의 변화를 확인하였으고 열화현상에 미치는 영향을 확인하였다. 직경 40cm의 대형 전극의 내구성을 확인하기 위해 초기 시험을 한 전극을 스택 상태로 8개월간 방치시키고 다시 재조립 중에 공기 중에 노출시키고 시험하였으며 502A에서 셀당 평균 전압 1.75V의 활성이 유지됨을 확인하였다.

[특별세션5. 미래 수소사회를 위한 기술개발 및 정책 동향]

수소경제 활성화 로드맵과 수소생산 기술

Hydrogen Economy Roadmap and Hydrogen Production Technology

박진남
경일대학교 신재생에너지학부

지속가능한 에너지원에 대한 필요성이 대두되고 있으며, 이에 대한 대안의 하나로 “수소경제 활성화 로드맵”이 발표된 바 있다. 수소경제 활성와 로드맵은 수소의 생산, 이송 및 저장, 활용(수소전기차), 활용(발전용 및 산업용)의 네 가지 분야에 대해 구체적으로 제시하고 있다.

수소 경제의 큰 축은 수소전기차이며, 수소전기차의 보급을 위해서는 수소충전소의 확충이 필수적이다. 수소충전소의 확충을 통해 수소의 사용량 확대가 가능하며, 이 과정에서 수소의 생산량 증대 및 가격 저감이 가능해질 것으로 기대된다. 수소의 공급가격이 일정 수준에 도달할 경우, 수소는 발전용 및 산업용으로의 새로운 용도에 사용될 수 있다.

수소충전소의 보급 확대를 위해서는 원활한 수소의 공급이 요구되며, 현재 수소의 공급은 주로 부생수소에 의존하고 있다. 부생수소의 가능 공급량은 현재 연 5만 톤 정도로 예측되며, 장기적으로는 10만 톤까지 공급 가능할 것으로 예상된다. 수소충전소 보급 초기에는 부생수소에 의존하게 되지만, 수소의 이송 비용과 이송을 위한 에너지 소비를 생각하면 부생수소의 산지로부터 100 km 이상 떨어진 지역에 부생수소를 공급하는 것은 효율적이지 않다. 그러므로 부생수소의 산지와 먼 곳은 천연가스를 수증기 개질하여 직접 수소를 생산하는 개질형 on-site 수소충전소를 구축하는 것이 바람직하다. 천연가스 수증기 개질은 기술적 완성도가 높고, 손쉽게 수소공급량을 늘릴 수 있지만, 수소생산 과정에서 탄소배출이 일어나는 단점을 가지고 있다. 가장 좋은 수소공급 방법은 재생에너지 전력을 이용하여 수전해로 수소를 생산하는 것이며, 이 경우 탄소배출 없이 수소생산이 가능하다. 하지만, 이는 투자비가 많이 들고, 수소생산량의 확대가 어려운 단점이 있다. 그 외에 바이오매스의 혐기성가스화와 바이오가스의 수증기 개질을 연계한 수소 생산이 가능하다. 바이오매스는 탄소중립이므로 탄소배출은 없으나, 바이오매스의 공급량에 한계가 있어 수소의 생산량을 확대하기 어려운 단점이 있다.

장기적인 관점에서는 광촉매, 광전기화학셀 또는 물분해 미생물을 이용한 수소 생산도 가능한 기술이나, 이들 기술은 대량생산 공정의 개발에 어려움이 많다. 초고온 원자로와 열화학사이클을 연계한 수소 생산은 에너지 안보 측면에서 가치가 있으나, 원자력에 대한 기피 및 기술의 미성숙으로 실용화는 미지수이다.

우리나라와는 달리 자연적 여건이 우수한 호주와 같은 국가에서는 재생에너지 전력과 수전해를 연계하여 낮은 가격으로 수소를 생산할 수 있으며, 이의 수출을 염두에 두고 있다. 국내의 수소 수요가 증가하게 되면, 궁극적으로는 저가의 수소를 수입하여 사용할 수 있게 될 것이며, 이를 통한 탄소배출량의 대폭적인 감축이 가능할 것이다.

[특별세션6. 기후변화대응을 위한 적응기술 개발]

해수담수화 연계 역전기투석 염분차발전용 패턴분리막 개발

Development of Patterned Ion-Exchange Membrane for Reverse Electrodialysis/Desalination Hybrid Process

정남조* · **최지연** · **김한기** · **김원식** · **양승철** · **남주연** · **황교식** · **좌은진** · **한지형** · **박순철**

한국에너지기술연구원 제주글로벌연구센터

온실가스의 증가에 따른 기후변화는 지구 환경에 큰 영향을 미치고 있으며, 이를 해결하기 위해 많은 노력과 정책적 지원이 세계적으로 시행되고 있다. 국내에서도 신재생에너지 3020 및 다양한 온실가스저감 정책 등을 통해 국가적으로 미래 기후변화에 대응하기 위한 지원을 하고 있다. 특히, 수자원의 안정적인 확보와 활용기술의 개발과 같은 적응 기술은 기후변화에 당면한 문제를 해결하기 위해 매우 중요한 이슈 중 하나로 여겨지고 있다. 해수담수화기술 (Desalination Technologies)은 이러한 수자원 문제를 해결하기 위한 가장 효과적인 기술로 평가 받고 있다. 해수담수화기술의 시장은 매년 약 4.5%의 성장세를 유지하며 향후에도 지속적으로 증가될 것으로 평가받고 있으며, 현재 다양한 기술 중에서 역삼투 (RO. Reverse Osmosis) 해수담수화 기술이 전체 시장의 약 75%를 점유하고 있다. 그러나, RO 공정을 통한 생산수의 생산단가 중 약 30~40%를 차지하는 에너지 소모량이 최적화된 공정에서도 약 3.5kWh/m^3로 아직 높은 편이어서, 이를 보완하기 위한 기술 개발이 요구되고 있다. RO-정삼투 (FO, Forward Osmosis), RO-막분리 (MD, Membrane Desalination), RO-태양광 (PV, Photovotaic) 등 다양한 하이브리드 공정이 대안으로 제시되고 있지만, 현재까지 RO-염분차발전 (SGP, Salinity Gradient Power) 공정이 가장 효과적인 차세대 방식으로 평가받고 있다. RO-SGP 중에서 역전기투석 (RED, Reverse Electrodialysis) 방식을 도입한 RED-RO-RED 공정을 제안할 경우, RO 공정에 사용되는 전체 에너지 소모량에 최대 30% 가장 절감이 가능할 것으로 예상된다. 본 연구에서는 이러한 하이브리드 공정을 위한 핵심 소재인 패턴형 이온교환막을 개발하고자 한다. 기존의 평막을 적용할 경우에 비해 패턴막을 이용하면, 스택 내 압력을 낮게 유지할 수 있을 분 아니라, 장기 운전 시 막 오염에 대한 안정성 확보에 유리하기 때문에 궁극적으로는 전체 시스템의 에너지 효율을 극대화할 수 있는 장점이 있다.

<Acknowledgement>

This research was supported by the Technology Development Program to Solve Climate Changes of the National Research Foundation (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (2017M1A2A2047366)

[특별세션6. 기후변화대응을 위한 적응기술 개발]

RED/RO 경제성 평가 및 모델링 기술 개발

Development of RED/RO hybrid system simulation and economical feasibility evaluation technologies

최용준 · 주재현 · 이상호
국민대학교 건설시스템 공학부

역전기투석 발전은(Reverse Electro-Dialysis; RED) 재생가능한 자원인 해수와 하천수 등의 염농도가 다른 용액이 혼합될 때 발생하는 농도차 에너지를 직접 전기로 변환하는 환경친화적인 기술로서 최근 해수담수화 공정인 역삼투 공정과의(Revere Osmosis; RO) 융합을 통해 기존의 역삼투 공정의 단점인 고농도의 농축수 배출 문제와 높은 에너지 사용량을 낮출 수 있는 대안으로 제시되고 있다. 그러나 역전기투석과 역삼투 공정 등 단위공정을 조합하여 구성하는 담수화 하이브리드 시스템의 경우 이를 구성하는 막소재와 모듈, 장치의 성능이 우수하더라도 적절하게 조합되지 않으면 전체적인 효율의 저하와 비용 증가가 발생할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 RED/RO 기반 하이브리드 담수화 공정의 상용화를 위해서 기존 해수담수화 하이브리드 공정에 대한 이해를 바탕으로 RED/RO 기반 하이브리드 담수화 공정의 성능과 경제성을 평가하고자 하였다. Nernst plank model과 solution diffusion model을 기반으로 RED/RO 개별 공정의 성능 해석 모델을 개발하였으며, 입력변수로 분리막의 특성, 유량 및 원수 수질(TDS, 온도)을 입력하면 운전압력, 생산수의 수질(TDS), 여과플럭스, 전력밀도, 에너지 사용량 등을 결과로서 도출할 수 있다. 수처리 공정의 경제성 평가 방법은 전문가의 경험과 의견을 기반으로 한 경험식에서부터 공정 모사를 통한 물질수지 관계로 가격을 예측하는 방법 등 다양한 방법이 존재하지만, 역삼투 공정의 경우 공정의 구성, 원수의 수질조건, 운전 조건, 회수율 및 세정방법 등에 따라 비용 분석이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 문헌조사를 통해 조사된 다양한 비용 분석 모델 중 경험식을 위주로 한 모델을 선정하여 경제성 평가 모델을 구축하였다. 성능 예측 수행 결과, RED-RO-RED 공정으로 하이브리드 공정을 융합하고, 두 번째 위치한 RED 공정에서 희석된 해수를 다시 첫 번째 위치한 RED 공정에서 재사용하는 것이 가장 에너지 소비율을 낮출 수 있는 공정으로 평가되었으며 RO 단독공정 대비 RED-RO-RED 공정은 에너지 사용량 30% 저감, 생산수 수질 30% 향상이 가능한 것으로 계산되었다. 전력밀도는 고농도 용액과 저농도 용액의 농도와 활동도 곱의 비율에 비례하기 때문에 두 번째 위치한 RED 공정의 경우 유입하수의 농도가 매우 높아지기 때문에 전력밀도가 크게 감소하는 것으로 계산되었으나, RO 농축수를 희석하여 재사용 하도록 하는 기능을 수행하기 때문에 전체 하이브리드 공정에서 매우 중요한 역할을 수행한다. 경제성 평가 결과 RED-RO-RED 하이브리드 공정의 담수 생산 단가는 전력비용, RED 분리막 비용 및 전력밀도에 의해 크게 변화되는 것으로 나타났으며, 전력비용이 높은 지역에서는 RED-RO-RED 공정의 담수생산 단가가 10-20% 더 낮은 것으로 계산되었다. 그러나 농축수 배출에 관한 법적 기준이 수립될 경우 RED-RO-RED 공정은 더 높은 경제성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

[특별세션6. 기후변화대응을 위한 적응기술 개발]

RED-RO 연계 저에너지 해수담수화 공정 최적화 기술 개발

Optimization Technology for Low Energy Seawater Desalination Process Using RED-RO Hybrid System

우윤철 · 박광덕 · 최준석

한국건설기술연구원 국토보전연구본부

기후변화에 따른 물부족 문제는 지속적으로 심화될 것으로 예상되고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위해서 다양한 대체수자원 확보 기술이 개발되고 있다. 이 중 풍부한 해수 수자원을 기반으로 하는 해수담수화 기술이 대체수자원 확보 기술로 급속하게 증가하고 있다.

해수담수화 기술은 1세대 기술인 증발법과 2세대 기술인 역삼투법(Reverse osmosis, RO)으로 구분할 수 있다. 그러나 해수담수화 기술은 다른 수처리 기술과 비교할 때 에너지가 많이 소모되는 단점을 가지고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위해서 다양한 저에너지 해수담수화 기술이 개발되고 있다.

본 연구에서는 저에너지 해수담수화 기술 개발을 위해서 역전기투석(Reverse Electrodialysis, RED) 공정과 역삼투 공정을 연계하여 새로운 개념의 저에너지 공정 기술을 개발하고자 하였다. 기본 개념은 RED-RO 공정을 연계할 경우 해수가 RED 공정을 거치면서 해수의 농도가 낮아지기 때문에 후속 공정인 역삼투 공정에서 기존 공정보다 낮은 압력조건에서 운전이 가능하다. 따라서 낮은 압력조건에서 역삼투 공정이 운전되면 기존 공정보다 저에너지로 담수를 생산할 수 있는 기술 적용이 가능하다.

다만, 이를 위해서는 RED 공정에서 처리되는 해수의 조건이 기존 해수조건보다 낮고 염지하수 조건보다는 높은 염도(Salinity)를 유지할 것으로 예상되며, 이러한 신규 농도 조건에 적합한 역삼투 막소재와 공정 제어 기술이 동시에 개발되어야 한다.

본 연구에서 RED-RO 공정을 연계하여 운영 시 최적의 운전 조건을 도출할 수 있는 역삼투 소재개발과 더불어 공정 개발을 추진하고 있으며, 최적의 설계 및 운영 조건을 제시하고자 하였다. 또한 본 연구를 통해서 저에너지 해수담수화 기술 개발이 가능할 것으로 기대된다.

사사 (Acknowledgement)

본 연구는 연구재단 기후변화대응기술개발사업(NRF-2017M1A2A2047369)의 연구비 지원으로 진행되었습니다.

[특별세션6. 기후변화대응을 위한 적응기술 개발]

유기 나노 첨가제를 이용한 고성능 역삼투 분리막의 제조 및 분석

Preparation and characterization of high performance polyamide composites reverse-osmosis membranes using organic nanomaterials

이종찬* · 공새롬 · 정경화 · 김문현 · 서희란
서울대학교 화학생물공학부

With a continuous demand for seawater desalination technology, the reverse osmosis (RO) system has been world widely attracted in academic and industrial fields. In particular, the membrane is one of the most critical components in the filtration process. A cross-linked polyamide (PA) membrane is commonly used in the RO system due to relatively high water permeability and salt rejection compared to other polymer-based RO membranes. However, the trade-off relationship between water permeability and salt rejection has been raised as a crucial limitation.

In order to overcome the limitation, we have investigated the development of PA nanocomposite membranes using organic nanomaterials such as carbon nanotube (CNT) and covalent organic-framework (COF). CNT was functionalized with oxygen functional groups to partially open the side walls to increase a pore volume. Both materials are intrinsic porous, so they can provide additional channels for water transport which increase water permeability without sacrificing the salt rejection.

In this symposium, the preparation of PA nanocomposite membrane using these organic nanomaterials and the improved separation performance including water permeability and salt rejection will be mainly discussed.

keywords: Water purification, RO membranes, Polymer nanocomposites, Carbon nanotube, Covalent organic framework

[특별세션6. 기후변화대응을 위한 적응기술 개발]

이온교환막의 패턴 최적화를 통한 역전기투석 성능 향상

Power Density Enhancement of Reverse Electrodialysis by Optimizing Patterns on Ion Exchange Membranes

김성훈 · 곽노균*

한양대학교 융합기계공학부

Reverse electrodiaysis (RED) is one of promising energy harvesting processes from sustainable resources, i.e. seawater and brackish water (e.g. river or wastewater). By utilizing juxtaposed ion exchange membranes, RED can extract electric energy directly from the salinity gradient between seawater and brackish water. In RED system with given two water sources, its performance −electric power density− is dominantly determined by the electric resistance of the system. Recently, pattern structures on the membrane have been used to decrease the resistance of the RED cell and enhance ion flux. These patterns are not only can act as a spacer (which creates a room for fluid flows between the membranes) with a minimum screening area, but also mix the fluids to relieve ion concentration polarization (which increases the electric resistance of the system). Many previous studies demonstrated that the RED system with patterned ion exchange membranes shows a higher power density than that with conventional woven or non−woven spacers. Although the previous works successfully verified the advantage of patterned membranes, no one can explain quantitatively that which factors of the patterns (e.g. geometry, alignment, etc.) would be affected to the RED's performance. In this paper, we numerically studied RED systems with various pattern structures on the ion exchange membranes. Under a given pattern shape as 100 μm length cuboid, we adjusted the alignment of the pattern against fluid flow, the angle and the height ratio of two cuboid patterns.

[특별세션6. 기후변화대응을 위한 적응기술 개발]

생물막오염 저감용 기능성 스페이서 개발 및 성능 평가

Assessment and analysis of vanillin-coated spacer to mitigate biofouling in reverse osmosis process

박찬수[1] · 신현서[1] · 이창규[2] · 이용수[1] · 김종오[1]
[1]한양대학교 건설환경공학과
[2](주)RED

Feed spacer is an essential part in spiral-wound reverse osmosis (RO) membrane modules. The feed spacer maintains the gap between the membranes to prevent the membrane from joining and improves the mass transfer in the membrane filtration process. Despite these advantages, long-term operation of the feed spacer has a major impact on the biofouling of the RO membrane filtration process. In this study, the biofouling mitigating effect was obtained by modifying the surface of polypropylene (PP) feed spacer using vanillin which is an environmentally friendly and highly hydrophilic material. Also, vanillin is harmless to human body because of its non-toxic property. A mussel-inspired material, polydopamine (PDA), was also used in the spacer modification to enhance the binding strength of vanillin. In order to analyze the biofouling reduction effect of the modified feed spacer, the PDA was pre-coated on the surface of the PP, then the vanillin coated feed spacer (PDA-V spacer), vanillin co-deposited with dopamine (PCV spacer) were used. A commercial feed spacer was used as a control. PDA-V spacer, and PCV spacer were coated by dip-coating and then evaluated biofouling mitigation performance. The result of the analysis of the biofouling reduction effect using the petri-film confirmed that PCV (co-deposition) samples showed relatively lower number of colonies grow on the surface than PDA-V spacer (Figure 1). PDA-V and PCV samples showed more effective and stable anti-bacterial effect when coated for 2 hours than for 1 hour. Although PCV coated spacers were found to be more effective at mitigating biofouling, this result may be different from the actual RO process operated at high pressure. In addition, in order to maintain the anti-bacterial effect in long-term RO operation, the effect of PCV spacer and PDA-V spacer desorption should be seen.

Acknowledgement
This research was supported by the Technology Development Program to Solve Climate Changes of the National Research Foundation (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning(2017M1A2A2047489).

[특별세션7. 건축물 안전 및 에너지 기술]

친환경·고효율 에어로젤 단열재의 개발동향 및 표준화

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

정승영 · 서준식 · 신현철
한국건설생활환경시험연구원 에너지소재센터

에너지 절감 정책에 따른 단열성능, 건축물의 화재 안전사고 예방을 위한 화재안전성, 장기사용에 따른 장기내구성 평가 등은 단열재 국제표준의 3가지 주요 이슈사항이다. 또한 최근 국내에서 잇따른 대형 빌딩 및 건축물에서의 화재사고 및 건축물의 에너지절감정책 강화, 온실가스 감축 의무와 같은 환경 규제 상황 등으로 미루어 볼 때, 친환경성과 고효율성을 지닌 에어로젤 단열재가 기존의 문제점을 해결할 수 있는 차세대 단열재로 기대된다. 에어로젤은 90 % 이상의 기공율과 50 nm 이하의 나노 기공크기를 갖는 초다공성 물질로서 (0.01~0.02) W/m·K 초단열 및 초경량의 특징을 지닌다. 또한 건축물에 단열재가 실제 적용되어 장기간 수분 및 습기에 노출 되었을 때 발생하는 열전도율 저하와 같은 문제점에 있어서도 에어로젤은 소수성으로 인해 자유로울 수 있다. 국내에서 약 80 %의 시장점유율을 차지하고 있는 유기 단열재가 가지는 가장 큰 단점인 화재 취약성에 대해서도 에어로젤은 불연재료로써 화재 위험성이 현저히 낮아 화재안전성이 보장된 물질이다. 그럼에도 불구하고, ISO 국제표준 및 KS 한국산업표준 등 에어로젤 단열재의 제품 표준은 전무한 상황이다. 국내 에어로젤 제조업체는 현장적용을 위해 제품표준이 아닌 단열성능 평가방법 표준(KS L 9016) 또는 해외표준(ASTM C177, ASTM C1728)등의 성적서를 발급받아 사용하고 있다. 이에 본 연구에서는 에어로젤 단열재의 ISO 국제표준 및 KS 한국산업표준 제정을 위한 표준화 진행현황, KS 표준(안)의 시험항목 설정 및 시험항목에 따른 국내 에어로젤 시판품의 성능평가 현황 등에 대해서 기술하고자 하며, 에어로젤 단열재의 표준화를 통해 국내 에어로젤 단열재 관련 산업의 시장진입 촉진 및 부흥에 이바지 할 수 있을 것이라 기대한다.

이 논문은 2016년 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 10065720)

[특별세션7. 건축물 안전 및 에너지 기술]

건물일체형 태양광 시스템(BIPV)의 전력발전부 설계를 위한 SysML기반 시스템 모델링

SysML-Based System Modeling for Design of BIPV Electric Power Generation

이승준 · 최정진 · 장태연

한국건설생활환경시험연구원(KCL) 에너지본부

건물일체형 태양광 발전(BIPV) 시스템은 건축물에 태양광 발전시스템이 통합되어 건축물 기능과 태양광 발전 기능을 동시에 수행하는 대표적인 통합시스템이다. BIPV 시스템은 건축물 외피의 기능을 수행하면서 동시에 태양광 발전기능을 수행할 수 있다는 장점이 있지만, 건축물 설계 프로세스의 개념설계 단계에서부터 태양광 발전기능이 통합되어야 하고, 동시에 전력발전을 극대화할 수 있는 태양광 발전시스템의 설계가 필요하다. 이러한 요구사항에 대한 선행연구로서, 건축설계 모델기반 BIPV 설계 프로세스에 관한 연구와 태양광 전력발전 성능 향상을 위한 모델기반 컴퓨터 시뮬레이션 결과들이 발표되었다. 그러나, BIPV 시스템의 요구사항이 명확하게 식별되어 체계적으로 반영되지 못하였고, 또한 시스템의 전력발전 설계가 개념설계 단계에서부터 반영될 수 있도록 요구사항에 대한 시스템 아키텍쳐, 구조 및 거동이 정의되지 못하였으며, 그리고 BIPV 시스템의 전력발전 설계를 검증할 수 있는 모델이 제시되지 못하였다. 이러한 문제 들을 해결하기 위하여 본 연구에서는 BIPV 시스템의 요구사항을 체계적으로 모델링 하고 이를 기반으로 체계적인 전력발전 설계 방법을 연구하기 위하여 시스템 모델링 표준 언어인 SysML을 사용하여 전체시스템 관점에서 통합적이고 일관적인 설계 방법을 제시하였다. 구체적으로, 먼저 대상시스템(BIPV)에 대한 관련 표준, 사용자 및 설계자 등을 포함하는 이해당사자 들로부터의 요구사항을 식별하였다. 그리고 나서 domain model을 기반으로 BIPV 시스템 수준의 설계요구사항을 도출하였으며, 시스템 요구사항을 바탕으로 대상시스템의 SysML기반 기능 및 물리 아키텍쳐를 생성하였다. 또한 SysML 구조 모델과 거동 모델에 대한 설계를 구체화 하여 시스템의 구성요소들 사이의 역할과 관계를 정의하였다. 마지막으로, 시뮬레이션이 가능한 SysML 모델(Parametric diagram)을 통하여 BIPV 시스템의 전력발전 성능을 평가하였다. 본 연구에서의 SysML 시스템 모델에 향후 건축물에 적용해야 하는 조건들을 반영하여 시스템 모델을 보강한다면 BIPV 시스템에서 전력발전을 통합적으로 연구할 수 있는 기회가 될 것이다.

감사의 글 : 본 논문은 2016년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지공단 신재생에너지 표준화 및 인증지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(71000151)

[특별세션7. 건축물 안전 및 에너지 기술]

극서지역에서의 열쾌적성을 고려한 전기냉방기 자동제어 시스템의 냉방전력 저감 효과에 관한 실험 연구

Cooling Energy Saving Effect of Air-Conditioning Device considering Thermal Comfort in Middle East Area

박재성 · 김태연*
한국건설생활환경시험연구원, *연세대학교 건축공학과

중동 걸프만에 위치한 쿠웨이트는 열대성 사막기후로 중동지역은 물론 전세계에서 가장 기온이 높은 국가 중 하나이다. 1일 평균기온이 30℃ 이상 유지되는 기간이 5개월 이상이며, 한여름 낮 최고온도는 50℃이상이다. 따라서 국민 삶에 있어 건물의 냉방은 필수적이며, 냉방기기는 건물의 필수적인 설비이다.

쿠웨이트 정부는 국민 복지의 일환으로, 개별 전력요금의 약 90%를 정부가 부담하며, 최근 인구 증가 및 사회기반 시설 확충에 따라 발전소 추가 건설 및 전력 공급에 대한 정부 부담이 지속적으로 증가하고 있다. 개별 전력요금 부담이 없는 쿠웨이트에서 전력 소비량이 가장 큰 분야는 가정(주택)으로, 가정 내에서도 특히 전기냉방기에서 소비하는 전력 소비량이 가장 크다. 쿠웨이트 주택에서는 대부분 전기냉방기를 연중 상시 가동하고 있고, 설정온도 또한 거의 일정하다.

본 연구는 쿠웨이트 정부기관(쿠웨이트국립과학원)과의 에너지국제공동연구로, 쿠웨이트에서 가장 일반적으로 사용되는 전기냉방기, 즉, 정풍량 방식의 전기냉방기(Rooftop Package Unit)의 설정온도 제어에 있어, 실내 열쾌적성을 기준으로 설정온도 자동제어가 가능한 제어장치를 개발하고, 이 제어장치의 적용 여부에 따른 냉방에너지 소비 저감량을 실험을 통하여 규명한다.

쿠웨이트 표준기상데이터를 활용하여, 여름철, 중간기, 겨울철 각각의 대표일(1일)에 대한 전기냉방기 전력소비량을 비교 실측한 결과, 전력소비량이 가장 큰 여름철 대표일에 자동제어장치를 통하여 전기냉방기를 운영하였을 경우, 그렇지 않은 경우에 대비하여, 전력소비량이 약 39.5 % 감소되는 것으로 나타난다. 또한 각각의 실험 환경 하에서 실내 열쾌적성(PMV)를 측정한 결과, 자동제어장치를 통하여 에어컨을 제어하였을 경우의 1일 평균 PMV는 약 0.06으로 나타나며, 제어장치를 설치하지 않았을 경우의 1일 평균 PMV는 약 −1.21로 나타나, 제어장치를 통하여 에어컨을 가동하였을 경우, 실내 열쾌적성이 보다 양호한 것으로 나타난다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 : 20168510011550)

[특별세션7. 건축물 안전 및 에너지 기술]

건축 외피의 내진성능 평가방법

Development of seismic performance evaluation system for building envelope

오명환, 장민수

한국건설생활환경시험연구원

기상청에 따르면 국내 지진 발생의 빈도는 점차 증가하는 추세로 최근 2016년부터 급격하게 증가하여 한해 200회 이상 지진이 발생하고 있는 상황이다. 국내 규모 중 가장 큰 지진은 2016년 9월 경주 5.8규모이며, 두 번째는 2017년 11월 포항에서 5.4규모의 강진이 자주 발생하고 있다. 이처럼 지진의 발생 빈도가 증가하고 규모가 커지고 있는 상황에서 건물 주요 구조부에 대해서는 내진 설계 및 내진 구조기술을 적용하고 있지만, 비구조 요소에 대해서는 내진에 대한 고려가 이뤄지지 않고 있다. 여기서 비구조 요소란 내외부 마감재, 조명기기, 건물 외장재 등 주요 구조물을 제외한 요소를 일컫는다. 특히 커튼월 및 창호와 같은 건물 외장재는 지진 발생 시 진동으로 인해 변위가 발생되고 이로 인하여 유리, 프레임의 탁하로 인한 2차 피해가 발생하고, 인명 및 재물 피해가 발생하게 된다.

따라서 건물 비구조요소인 건축 외피에 대한 내진 설계 및 내진성능이 확보된 창호와 커튼월의 개발이 시급하다. 하지만 내진 창호 및 커튼월을 개발하고 시장에 보급하려 해도 관련된 성능평가 기준 및 평가 시스템이 없어 한계가 있다. 현재 국내에서 커튼월에 대한 내진성능평가는 정적인 방법을 사용하고 있다. 정적 내진성능평가는 실제 현장에 설치될 커튼월의 일부를 커튼월 시험 챔버에 고정시킨 뒤 슬라브에 해당하는 부위에 X축 혹은 Y축으로 층고의 1/100에 해당하는 변위량을 인가한 뒤, 기밀, 수밀 시험을 통해 바람이나 물이 새는지 확인하는 평가 방법이다. 정적 내진성능평가 방법은 지진 발생 시 슬라브의 변위에 의해 변형이 발생 한 후 사용성을 평가하는 시험이지만 지진 발생 시 진동에 의한 유리나 프레임의 탈락 여부를 확인하기에는 어려움이 있다.

반면, 본 연구에서 개발하고자하는 건축 외피의 내진성능평가 시스템은 지진파와 유사하게 모사할 수 있는 동적 평가방법으로 진동에 의한 유리, 프레임의 탈락 여부를 확인 할 수 있는 시스템이다. 기존의 정적 내진성능평가 방법은 AAMA 501.4와 AAMA 501.7을 따르고 있다면, 본 연구로 개발코자 하는 동적 내진성능평가 시스템은 AAMA 501.6(Recommended dynamic test method for determining the seismic drift causing glass fallout from a wall system)을 따르고 있다. AAMA 501.6은 최대 ±150mm의 변위량, 0.8Hz의 진동에서 유리나, 프레임, 부속품의 탈락 여부를 평가하게 된다. 지진을 모사하기 위한 단계별 파형은 6mm까지는 4개 사인파로 구성된 Ramp up과 Constant amplitude 단계로 진동을 가해주고, 75mm까지는 0.8Hz의 파형으로 진동을 가하게 되며, 150mm까지는 0.4Hz의 파형으로 진동을 가해 외장재의 내진성능을 평가한다. 따라서 AAMA 501.6에 의한 내진성능평가 시스템은 실제 지진파와 유사하게 모사가 가능하기 때문에 현장에 적용 될 커튼월 및 창호, 건물 외장재에 대해 내진성능을 평가하고 제품에 대한 성능을 검증하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

이 연구는 2019년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(과제번호:10043685)

[특별세션7. 건축물 안전 및 에너지 기술]

에너지 독립형 접이식 태양광 발전 시스템의 시험평가

Test and evaluation of energy independent foldable photovoltaic power generation system

신대욱 · 송해은 · 김용길
한국건설생활환경시험연구원 기후환경실증센터

본 연구에서는 에너지 독립형 접이식 태양광 시스템의 특성을 고려한 필수 시험 항목과 각 항목을 실제로 시험하기 위한 절차를 제안하고 절차에 따라 시험을 진행하였다. 본 연구의 대상인 에너지 독립형 접이식 태양광 시스템은 40 kW급 전력 생산, 100 kWh급 에너지 저장 장치(ESS)를 이용한 전력 저장, 태양열을 이용한 온수 및 정수 생산 장치가 조합되어 있는 패키지 시스템이다. 수출형 컨테이너를 이용하여 이동 및 보관이 간편하며 시스템 집적도와 공간 활용성을 높일 수 있고, 쉽게 펴고 접을 수 있는 접이식 구조로 되어 있어 사용처(수요)에 따른 다양한 분야에 활용이 가능하다. 이와 같은 접이식 태양광 시스템의 특성에 따라 필수 시험 항목으로서 시스템 출력, 시스템 집적률, 전력 손실률, 내풍압, 진동, 수질 시험을 도출하였다. 도출된 항목 중 시스템 출력은 KS C 8535 태양광 발전시스템 운전 특성의 측정방법 표준에 기반을 둔 시험방법을 제시하고 진행하였으며 시스템 출력의 목표치는 시스템 사용 인원과 1인당 전기 사용량, 발전 가능 시간을 고려하여 결정하였다. 시스템 집적률은 시스템 출력을 시스템을 운반할 컨테이너의 규격인 1AA(40 ft DRY)의 내부 용적으로 나누어 도출하였다. 전력 손실률은 태양광 발전 시스템의 출력량 대비 ESS에 저장되는 용량으로 평가하였다. 시스템의 안정성 중 평가의 일환으로서 내풍압 시험을 위해 건축외장재 및 커튼월 등의 수밀성능 시험방법을 제시하는 미국의 AAMA(American Architectural Manufacturers' Association) 501.1 시험 표준에 기반을 둔 시험방법을 제안하고 시험평가를 수행하였으며, 목표 풍속은 KBC(Korea Building Code)의 풍속기준을 바탕으로 결정하였다. 진동 시험은 전체 시스템의 시험하기 전 단계로서 태양광 모듈과 모듈을 설치하는 틀 간의 파손여부를 판단하였으며, ISTA 2018 Integrity Test Procedure 중 적합하다고 판단되는 1E 방식으로 진행하였다. 시스템의 수질시험은 하천수와 호수물에 대해 진행하였으며, 각 시료의 정수 전후에 대한 수질을 먹는 물 수질 공정 시험기준(국립환경과학원고시 제2018-66호, 2018.12.21)으로 진행하였다. 이 외 다양한 외부환경에서의 성능 및 내구성 시험이 필수적이며, 이를 위해 설치 대상 지역에 대한 온도, 습도, 강우, 강설, 일사, 풍속 등의 기후를 분석하고, 분석된 기후를 실제로 구현 가능한 대형 기후환경 실험시설을 활용하여 전체 시스템에 대한 시험분석을 진행할 예정이다.

본 연구는 산업기술통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(No.20173010013220)

[특별세션7. 건축물 안전 및 에너지 기술]

건축 구성재 단열성능 참조데이터 생산·평가를 위한 공정 개발

Building materials Insulation performance reference Process development for Reference data production and evaluation

홍승훈 · 김성래 · 서준식 · 신현철
(재)한국건설생활환경시험연구원

표준은 인류역사와 함께 시작하여 인류문명과 산업발전에 많은 영향을 끼쳐왔으며 18세기 산업혁명 이후 구미 선진국의 급격한 산업발전도 표준이 있었기에 가능하였다. 선진국들의 표준관련분야 발전 역사를 보면 성문표준, 측정표준, 참조표준의 순서로 발전하여 왔으며, 현재 주요 선진국들은 표준개발 분야 사업을 추진하고 있다. 현대에는 참조표준 데이터를 기반 한 빅데이터 단위 시스템으로 개발되어 각 산업계 전반에 활용하고 있다. 미국은 빅데이터 R&D 계획의 일환으로 미국 4개 지역에 각 지역별 빅데이터 허브를 구축하였으며, 이를 통해 산업계, 학계, 정부, 연구계 등 참여주체 간의 협력 관계를 강화하고 빅데이터 기반의 지역적 문제 해결, 차세대 이력에 대한 교육 및 훈련 등의 중추적인 기능을 수행하고 있다. 일본과 중국의 경우에도 5대 신성장 전략분야에 데이터를 활용한 기반구축(일본) 및 빅데이터산업 발전계획을 발표(중국)하여 빅데이터를 국가 경제·산업 발전 기회로 인식하고 있다. 반면 우리나라의 경우 데이터 생산 및 보급을 위한 인프라 부족으로 기업의 참조표준 데이터 활용율은 9.5% 수준이며, 전 세계 63개국 중 31위에 머무르고 있다. 또한, 우리나라 대부분의 기업들은 그동안 선진국 제품의 모방생산에 의존하여 참조데이터에 대한 필요성을 절감하지 못하였고, 필요하면 선진국의 참조데이터을 도입하여 사용하면 된다는 안일한 사고로 참조표준데이터의 자체개발에 소홀히 하였다.

건축 구성재 단열성능 분야 참조데이터는 국토교통부 "에너지절약설계기준과 해설서"에 제공한다. 해설서에서는 단열재 27 여개, 창호 44 여개, 문 32여개의 열전도율(W/(m·K))데이터를 제공하고, 중공층 열저항 데이터의 경우 3개의 열저항((m^2·K)/W) 데이터를 제공한다. 이는 선진국에서 제공하는 건축 구성재 단열성능 참조데이터에 비해 상대적으로 작은 량이며, 2004년 이후 발전하지 못하였다. 또한, 데이터 생산 및 평가 과정 정보가 전무하다.

따라서 본 연구에서는 건축 구성재 단열성능 참조데이터 생산 및 평가를 위해 국내에 적용되고 있는 건축 구성재를 소재단위(단열재, 유리 등)에서 구성재 단위(창세트, 문세트, 벽체)까지 분류하고, 데이터를 수집, 정리, 분석하는 생산세부절차방법을 개발한다. 여기서 생산된 데이터는 참조데이터(유효데이터 수준에 미치지 못하는 데이터), 유효참조데이터(불확도평가의 적절성까지 만족하는 데이터), 검증참조데이터(예측 가능성 까지 만족한 데이터)과정을 통해 최종 인증데이터(모든 평가단계를 통과하고 전문가에 의해 인증된 데이터)로 평가절차서를 개발한다. 이를 통해 국민이 사용하는 참조데이터의 신뢰성을 높이고, 국가 데이터 시장 경쟁력 상승을 위한 기반을 마련한다.

이 논문은 2018년도 중소벤처기업부의 재원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. S2635622)

[특별세션8. 가스시설 및 배관 안전성]

안전밸브 성능측정의 직접측정방법 및 간접측정방법에 대한 기술분석

A Technical Analysis on between Direct Measurement Method and In-direct Method for PSV Performance Test

임상식 · 길성희 · 김영규
안전연구실, 가스안전연구원, 한국가스안전공사

스프링 작동식 안전밸브의 목적은 공정 또는 장치에 과압(over pressure)이 발생 할 경우 과압 해소를 위해 작동유체(Working fluid)를 일정량 배출 시켜 과압을 해소하는 것이다. 스프링 작동식 안전밸브의 목적은 과압만큼의 분출을 위해 배출 시스템을 작동 시킨 후 시스템을 다시 밀폐계로 만드는 것이다. 이를 확인하기 위해 관련 법 및 기준에서는 안전밸브의 설정압력을 기준으로 분출개시압력(Opening pressure)과 분출강하압력(Blow-down pressure)을 주기적으로 측정하도록 규정하고 있다.

스프링 작동식 안전밸브의 분출개시압력 및 분출강하압력을 측정하는 방법은 방법론에 따라 직접측정방법과 간접측정방법으로 구분된다. 직접측정방법은 안전밸브를 공정 또는 장치에서 채취 후 불활성 기체를 이용하여 압력을 공급하여, 안전밸브의 성능을 측정하는 방법이다. 간접측정방법은 안전밸브를 채취하지 않고, 장착되어 있는 상태에서 압력과 기계적 힘(Mechanical force)을 이용하여 측정하는 방법이다. 안전밸브의 성능을 압력만으로 측정하지 않고, 기계적 힘을 추가로 측정하는 것이므로 간접측정이라 한다.

직접측정방법은 측정방법의 소급성 및 신뢰성이 유지되는 반면, 비용과 안전상의 문제가 있으나, 간접측정방법은 비용과 안전상의 문제는 적은 반면, 신뢰성에 대한 문제가 발생한다. 신뢰성의 문제는 측정방법에 필요한 계측군이 증가하여 발생한다.

본 논문에서는 상기 두 방법에 대한 개념과 현재 기술 수준을 면밀히 비교 분석하고, 간접측정방법의 신뢰성을 향상시키는 방안을 제시하고자 한다.

[특별세션8. 가스시설 및 배관 안전성]

수소 충전소 안전성 확보를 위한 충전 프로토콜 적용 타당성 분석

Evaluation of Metering Accuracy of Hydrogen Stations using Master meter method

한원국 · 임상식 · 길성희 · 김영규
한국가스안전공사 가스안전연구원

수소 디스펜서를 통해 차량으로 충전되는 수소 가스는 급격한 온도 압력변화가 발생하기 때문에 수소 시스템을 안전하게 제어하는 것이 중요하다. 일본, 미국 등 선진국에서는 수소 충전 국제 표준 프로토콜인 SAE J2601에 맞추어 수소 충전소를 운영하고 있으며, 프로토콜 준수 여부를 판단할 수 있는 장비를 개발·활용하여 수소 충전소 인허가를 수행하고 있다. 현재 국내에서는 SAE J2601 프로토콜 준수의무에 대한 법적 근거가 없으며, 이로 인해 실제로 많은 수소 충전소에서 프로토콜이 적용되지 않고 있다. 표준 프로토콜이 준수되지 않을 경우 충전 시 허용온도를 초과하여 충전소와 차량의 안전에 위협이 될 수 있기 때문에 우리나라도 국내 환경에 적합한 표준 프로토콜을 정하여 이에 따라서 충전할 필요성이 있다. 본 발표에서는 해외의 수소 충전 프로토콜의 적용 과정과 현재 운영되고 있는 실태를 조사하고, 국내 프로토콜 적용의 타당성을 분석한 내용에 대해 의견을 나누고자 한다.

[특별세션8. 가스시설 및 배관 안전성]

저장탱크용 신개발 재료의 기준 등록 및 사용을 위한 실증

Empirical Study of New Steel for LNG Storage Tank to Registrate to Application Standards

김정환 · 이다은 · 길성희 · 김영규 · 고영규

한국가스안전공사 가스안전연구원

시작은 포스코에서 저장탱크에 사용되는 기존 강재를 대체할 만한 새로운 강재를 개발하면서부터이다. 현재 LNG 인수기지 등에서 쓰이는 초저온저장탱크 중 평저형 완전방호식 저장탱크의 내조 재료인 9%Ni강을 대체할 수 있는 강재를 개발하였고, 고가의 니켈을 대체하면서 초저온에서의 물성 및 강도는 동등한 고Mn강을 적용하고자 하였다. 저장탱크를 제작할 수 있는 국내 기준은 KGS AC111(고압가스용 저장탱크 및 압력용기 제조의 시설·기술·검사 기준)과 KGS AC115(액화천연가스용 저장탱크 제조의 시설·기술·검사 기준)로 포스코에서는 저장탱크 제작코드에서 사용할 수 있는 재료에 고망간강을 등재하고자 한국가스안전공사에 검토를 요청하였다. 한국가스안전공사는 신재료의 등재를 위하여 1단계로 재료의 물성평가 및 신뢰도 평가를 통하여 타당성 검토를 수행하였고, 산학연의 전문가 집단을 통하여 검증하였다. 2단계로 재료를 제품에 적용하기 위하여 포스코 자체 실증을 위한 특례 산업부 고시를 제정토록 도움을 주었고, 3단계로 신재료를 이용한 저장탱크의 설계 및 운영데이터 모니터링 및 운영 종료 후 해체 물성평가 등을 통하여 사용 가능성을 평가하였다. 2019년 4월 현재 KGS AC111은 개정되어 고망간강이 등재되었고, KGS AC115는 재료등재(개정)을 위하여 모니터링 등을 수행하는 중이다.

[특별세션8. 가스시설 및 배관 안전성]

LPG 배관이음부와 전기설비와의 이격거리 기준 적정성 연구

A Study on the Adequacy of the Separation Distance Between the LPG Piping joint and the Electrical Equipment

이민경 · 한원국 · 송보희 · 길성희 · 김영규
한국가스안전공사 가스안전연구원

액화석유가스 안전관리 및 사업법에는 배관이음부와 전기설비간 이격거리 기준을 명시하고 있다. 최근 전기설비간의 이격거리와 관련된 사고가 거의 발생하지 않고 있고, 이격거리에 대한 위험성을 정량적으로 판단하기 어려워 이격거리 완화에 대한 민원이 꾸준히 발생하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 액화석유가스 안전관리 및 사업법 상의 이격거리에 대하여 가스 누출환경을 조성하고 거리에 따른 점화 여부를 실증 실험을 통해 검증하고자 하였다. 인위적인 누출환경에 대한 점화실험 결과 가스시설의 정상운영 상태에서 발생할 수 있는 미량누출에 대해 점화 가능성이 낮게 나타났으며, 누출량을 증가시킬수록 점화확률이 높아지는 것을 확인하였다. 실증 실험 결과를 활용하여 가스설비 안전성을 높이는데 근거자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

[특별세션8. 가스시설 및 배관 안전성]

가스배관의 내진성 평가

A assessment of seismic reliability for gas pipelines

길성희 · 김영규 · 고영규
한국가스안전공사 가스안전연구원

2016년 9월 경주에서 규모 5.8의 지진이 발생하였는데 이는 국내에서 발생 가능한 지진 규모를 상회하는 지진으로서 국가 주요 시설물에 적용한 재현주기 2,400년 지진 위험도에 대한 재검토가 필요하다는 논의를 불러 일으켰다. 즉 국내에서 발생 가능한 수준의 지진 규모를 초과하는 지진이었기 때문에 현 내진설계 기준에 대한 재검토가 필요하게 되었다.

현재 지하에 매설된 도시가스배관을 내진특등급, 내진1등급 및 내진2등급으로 구분하고 각각의 중요도 등급에 따라 국내 가스기술기준과 일본의 내진설계지침에 따라 각각 내진성 평가를 실시하고 그 결과를 검토하였다.

가스배관의 내진성 검토를 위하여 배관 설계시의 기술기준을 근거로 국내에 시공된 고압 가스배관 및 중저압 가스배관에 대하여 국내 내진설계 기준과 일본가스협회의 내진설계 지침을 인용하여 각각 검토를 실시하였다.

내진성 평가 결과 도시가스배관의 경우에는 현재 적용한 2,400년 재현주기를 최고 규모로 상정한 경우 안전한 수준으로 평가되었으나 지하에서 지상으로 나와 건축물 등에 부착되는 저압 도시가스 배관의 경우 지진 발생시 시설물의 피해에 의한 손상이 예상되므로 이에 대한 보완 대책이 필요할 것으로 판단된다.

[특별세션9. 에너지인력양성]

FOMC 발표 기간의 예상된 미국 기준금리 변화와 에너지 가격

Monetary Policy Rate Expectation and Energy Prices During the FOMC Announcement Period

장현웅 · 서병기
울산과학기술원 경영학부

본 연구는 미국 연방공개시장위원회 (Federal Open Market Committee, 이하 FOMC)의 기준금리 발표 전후 에너지 가격과 예상된 기준금리 변동의 관계를 밝히는 것을 목적으로 한다. 연구는 1985~2016년 동안의 249번의 정기 FOMC 회의와 7773일의 거래일 데이터를 사용하여 기준금리 변동에 대한 예상이 에너지 가격에 어떠한 영향을 미치는지 event-study 방법으로 진행되었다. 에너지 가격으로는 West Texas Intermediate (WTI) crude oil, heating oil, gasoline 선물가격을 사용하였고, 예상된 기준금리 변동과 예상하지 못한 기준금리 변동 (Expected and unexpected monetary policy rate changes)의 계산을 목적으로 연방기금금리 선물 (Federal Funds Futures) 가격을 사용되었다. 본 연구의 결과에 의하면, 에너지 시장은 정기 FOMC 회의 발표 전 비정상적 가격 변화를 보이고, 이 가격 변화는 다음 날 발표되는 FOMC의 기준금리 변동에 영향을 받는다. 또한, 결과는 실제 정책 금리 변동을 시장이 예측한 금리변동과 예측하지 못한 금리변동으로 나누었을 때, 에너지 시장의 비정상적 가격 변화가 시장에서 예측하지 못한 금리변동이 아니라 시장참여자들이 예측한 금리변동에 유의한 영향을 받는다는 것을 보여준다. 마지막으로, 에너지 가격의 변동성은 FOMC 회의 결과 발표일 전날, 예상된 금리변동이 음일 때 증가하는데, 이는 에너지 가격의 비정상적 움직임이 변동성 채널을 통한 pre-announcement effect에 기인할 수 있음을 시사한다.

[특별세션9. 에너지인력양성]

해양하중의 변동성을 고려한 해상풍력터빈 지지구조물의 피로해석

Fatigue Analysis of Offshore Wind Turbine Support Structure considering Ocean Load Variability

이기남 · 김동현*
군산대학교 해양산업공학과, *군산대학교 건축해양건설융합공학부

해양구조물은 바람, 파랑, 조류 등 다양한 환경하중의 영향을 받기 때문에 육상구조물에 비해 피해 위험이 높고, 끊임없이 변하는 해양환경으로 인해 해양구조물에 발생하는 손상은 매년 다를 것으로 예상된다. 그러나 기존 연구들의 경우 구조물의 설계수명동안 단기간의 하중이 반복적으로 작용한다는 제한사항을 둔다. 본 연구에서는 해양환경하중의 시기적 불확실성을 고려하여 해상풍력터빈 지지구조물의 잔존 수명을 평가하고, 확률론적 해석 방법을 제안한다. 응답 시간이력 계산의 시간적 효율성을 높이기 위해 회귀모델을 구성하였으며, 회귀분석에 사용된 독립변수는 풍속, 파고, 파주기, 그리고 종속변수는 응답(응력)이다. 또한 확률론적 피로해석을 위해 시뮬레이션은 독립변수들의 결합 확률모델을 사용하여 수행되었고, 회귀모델과 추출된 샘플을 이용하여 응력 시간이력이 계산되었다. 취약 부재의 손상 계산에는 레인 플로우 사이클 집계 방법, Goodman 방정식, Miner's rule, S-N 곡선이 사용되었다. 하중의 발생 시기와 누적 기간에 따라 계산된 수명은 상이한 결과를 보였고, 특정 시기의 하중이구조물의 설계수명동안 발생 가능한 하중을 대표할 수 없다는 결론을 얻었다. 또한 결정론적 결과와 확률론적 결과로부터 하중의 통계적 특성에 따라 상이한 수명이 산정되었고, 확률론적 수명결과의 변동성은 약 6% 나타나는 것이 확인되었다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20194030202300)

[특별세션9. 에너지인력양성]

창문 부착형 자연환기 장치의 환기성능 평가

Evaluation of Ventilation Performance in Window-attached Natural Ventilation System

박한결 · 나후승 · 최하늘 · 이경수 · 김나리* · 김태연

연세대학교 건축공학과, *VS-A Korea

현대 건물의 기밀화로 인해 창호의 환기 성능을 평가하는 것이 중요해지고 있다. 뿐만 아니라 미적 형태에서도 다양한 시도가 되고 있으며, V-SA Korea에서는 원형창호(이하 Ublo)를 개발하였다. 본 연구에서는 새로운 형태의 창호의 환기 성능을 평가하고자 트레이서 가스법(KS F603)을 사용하였다. CO2가스를 8000ppm까지 분사하여 2000ppm만큼 감소할 때의 추이로 산정하였으며, 환기장치 1개는 국내 환기설비기준(법) ACH0.5회를 만족시키지 못하는 것으로 분석되었다. 2개를 설치한 경우에는 기존 창호(ACH0.62)보다 높은 ACH0.66으로 최소 환기 기준을 만족하였고, 수평배치보다 수직배치가 효율적인 것으로 나타났다. 또한, 필터 종류에 따른 Ublo의 환기량(CMH)을 측정하고자 자연환기설비의 환기성능 시험(KS F2921)을 수행하였다. 케이스는 필터가 없는 경우(Case 0)를 포함하여 6개(통기성이 큰 순서)로 나누었다. 환기구를 통과하는 시간당 공기의 체적은 82.77CMH이다. 이를 원룸형 주거공간(69㎡)에 Ublo 1개소 설치가 된 것으로 가정을 했을 때, Case 1-4의 경우 1.02, 0.85, 0.83, 0.67로 각각 최소 환기량을 상회하는 것으로 분석되었다. Case 5의 경우 미세먼지 차단 성능이 높지만 0.16ACH로 기존 대비 87%만큼 환기량 저감되어 사용에 적절하지 못한 것으로 판단된다.

[특별세션9. 에너지인력양성]

자성강화 프로판트 활용 수압파쇄 모니터링을 위한 전자탐사 역산의 위치기반 변수화 기법 개발

Location-based parameterization of CSEM data inversion for the monitoring of hydraulic fracturing with magnetically enhanced proppants

노규보 · 변중무

한양대학교 자원환경공학과 물리탐사연구실 (RISE.ML)

Injection of fluids with electromagnetic (EM) contrast is regarded as a promising tool for electromagnetic monitoring. We introduce a novel model-based inversion method, designated as a particle mapping (PM) method, as a fit-for-purpose inversion tool for EM monitoring. The PM method optimizes the location of particles while constraining a priori information on the net physical property-volume products in the inversion domain. In addition, as a regularization method for the location-based inversion, a fuzzy clustering method is adapted to integrate the PM method with the geometries of an a priori anomalous distribution. The EM monitoring of hydraulic fracturing is considered as a primary application of the PM method. In particular, numerical experiments focus on the injection of magnetically enhanced proppants and the utilization of the fracture model as a cluster geometry. The numerical experiments also include situational assumptions of incorrect a priori injected amounts of fluids and the distribution of anomalous regions, to fully investigate the practicality of the method. The results demonstrate not only how clear and intrinsically interpretable imaging results can be obtained with the PM method, but also how known or assumed information on injected fluids and the fracture model can be integrated with the EM inversion.

사사: 이 논문은 2019년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (No.20194010201920, 탄성파와 전자탐사자료 복합역산을 통한 정밀탐사 GET-Future 연구실)

[특별세션10. 에너지기술 성과확산을 위한 기술사업화 전략]

에너지기술 맞춤형 기술사업화 전략 및 추진방안

Strategies of the Customized Technology Commercialization for Energy Technology and its application

김준우

한국에너지기술연구원

한국에너지기술연구원은 과학기술분야 정부출연연구기관으로서 에너지기술분야의 산업원천기술을 개발하고 성과확산 등을 통해 국가성장동력의 창출과 국민경제발전에 기여함을 목적으로 설립되어 에너지 효율 향상 기술, 청정연료화기술, 신재생에너지 기술 등 다양한 분야에서 연구성과를 내고 있다. 최근에는 에너지 산업의 패러다임이 신재생에너지 중심으로 옮겨 가면서 한국에너지기술의 주요 연구 결과물들의 성과를 증대시키고 확산해야하는 필요성이 더욱 커져가고 있다. 이에 한국에너지기술연구원 성과확산본부는 보유하고 있는 유망기술을 국내외 산업계로 적극 이전함과 동시에 사업화에 성공할 수 있도록 적극 지원하여, 국내 중소·벤처기업이 신재생에너지에 대응할 수 있는 기술 기반을 강화하고 그 생태계를 구축해나가고 있다. 이를 위해 에너지기술 맞춤형 기술사업화 전략을 수립하여 추진하고자 한다.

먼저, 체계적인 성과확산 추진 체계를 확립하여 외부적으로는 시장중심 사업화 촉진·창업을 확대하고 내부적으로는 성과확산 시너지 협력할 수 있는 추진체계를 확립하였다. 단순한 기술이전이 아닌 이전된 기술이 실질적인 성과로 이어질 수 있도록 지속적인 사업화 지원활동을 수행한다. 기술이전 및 사업화하는 단계에서는 3-Phase 기술사업화 촉진 체계를 구축하여 'IP경영고도화 → 시장기반 기술사업화 네트워킹 → 전략적 기술마케팅'의 기술사업화 전주기 차원의 시너지 창출체계 운영하고 있다.

둘째, 에너지 기술은 기반산업의 특징을 가지고 있어, 기술이 실제로 사업화되고 상용화되기 위해서는 일정 규모 이상의 투자 및 다각화된 사업화 지원이 필요하다. 따라서, 한국에너지기술연구원은 기술의 단순한 이전을 지양하고 연구소기업 및 창업을 통한 성과확산의 극대화를 이루고자 한다. 이에 따라 KST 및 VC투자연계를 통한 창업 기업을 지원하여 초기 창업기업의 사업화 죽음의 계곡을 원활하게 극복할 수 있는 기회를 제공한다. 또한 국내·외 수요기반 기술이전 사업화 밀착 지원 및 기술가치제고 기회를 제공하여 대형·국외 기술이전 및 사업화를 이루고자 한다.

셋째, 전략적 기술마케팅 전략 수립을 통해, 기술공급(Tech Push), 시장수요(Market Pull) 마케팅을 다차원으로 수행하며 기술이전 성공률 제고하고자한다. 또한, 한국에너지기술연구원만의 기술경영 프로그램인 KIER MoT를 구축, IP강건도·시장성숙도·기술성숙도를 평가해 관리기술별 다각화 전략을 수립한다. 이를 통해 진성수요 발굴 및 중점 마케팅이 필요한 高 Marketability 기술 80개 선정하였다.

이러한 에너지기술 맞춤형 기술사업화 전략을 통해서 신기술 혁신 및 시장창출이 가능하게 될 것이며, 에너지기술의 성과확산 극대화라는 목표 달성하게 될 것이다.

[특별세션10. 에너지기술 성과확산을 위한 기술사업화 전략]

수소에너지 기반기술 분석 및 기술 사업화 방안

Analysis of Hydrogen Energy Based Technology and Technology Commercialization Plan

홍성욱

㈜에스와이피

세계적인 탈탄소화 및 청정연료 사용 추세로 수소경제에 대한 관심이 높아지고 있고 수소에너지는 온실가스 감축, 미세먼지 저감, 재생에너지 이용 확대 등 친환경에너지 확산과 에너지원 다각화 등에 기여 가능한 미래 에너지 자원으로 널리 알려지고 있다. 또한 수소에너지는 자동차 등 수송 분야와 전기·열 생산 등 산업 유틸리티분야까지 다양한 새로운 시장과 산업창출이 가능하고, 수소 생산, 운송·저장, 충전소 등 인프라 구축은 연관 산업 효과가 커서 다양한 규모의 기업 투자와 신규 고용창출이 가능한 미래 성장산업으로 인식되고 있다. 이에 따라 우리 정부에서도 다양한 에너지 정책으로 국민의 풍요로운 삶을 직간접 지원하고 있으며 기본 추진 전략은 태양광·풍력등 청정에너지보급, 지역주민과 일반국민의 참여유도, 대규모 프로젝트의 계획적 개발로 삶의질을 높이는 참여형 에너지체제로 전환이며, 최근 혁신 성장 원동력으로 수소경제 활성화 로드맵을 발표하였다.

수소에너지 관련 기술을 분류해 보면 크게 9가지로 분류할수 있으며 그 분류는 수소 생산기술(천연가스의 개질, 신재생 에너지를 활용한 물 전기분해, 산업공정에서 발생하는 부생수소의 활용, 바이오 매스 등), 수소 압축기술, 수소 저장기술, 수소 이동/운송기술, 수소 처리기술, 수소사용 인프라구축 기술, 수소연료 내연기관 기술, 수소연료전지, 수소연료전지 차량기술 등으로 나눌 수 있다.

한국에너지기술연구원은 소재 원천 기술과 시스템 최적 설계 기술을 적용한 수소 기반 신재생 하이브리드 시스템 저가화 및 고효율화를 선도하고 있고 금속 구조체 표면 전처리 및 촉매 코팅기술, 고온고분자연료전지 스택기술 등 다양한 연료전지기술의 선행 연구가 이루어져 있고 이에 대한 기술사업화 전략이 필요하다.

먼저, TLO자체 생존력을 높이고 적극적인 기술사업화체계 구축 및 기술료수입 증대를 위해 선택과 집중을 통해 성과가 날 수 있는 수요기업을 발굴하여 내부의 우수기술과의 매칭 및 투자연계를 통해 기술사업화 촉진하여야 한다. 또한, 실적을 위한 좀비 연구소기업 설립이 아닌 연구소기업 설립 후 투자연계를 통한 우량 연구소기업 설립하여 사전 exit 전략을 마련할 수 있도록 하여야 한다. 이와 함께 대형기술을 획득위한 딜 메이킹과 강한 사업화 니즈를 가진 수요기업을 발굴하여 보유 유망기술과의 매칭을 통해 고자본의 연구소기업을 설립하여 대형 성과 창출이 필요하다. 또한, 기술이전 및 연구소기업 설립 후, 연구원 인큐베이션 프로그램 연결, 보육 중 R&BD사업 추가 기술개발, 투자연계 및 Tech Connect 등 해외 기술 마케팅 활동도 필요하다.

[특별세션10. 에너지기술 성과확산을 위한 기술사업화 전략]

해외 성과확산을 위한 북미 기술이전 플랫폼 활용 및 북미 연구기관 벤치마킹

김성욱
특허법인 남앤남

대한민국의 상품 무역수지는 흑자를 기록하고 있는 반면 기술 무역수지는 지속적인 적자를 기록하고 있다. 이러한 배경 하에 국내 연구결과의 해외로의 성과확산이 다양한 방식으로 시도되고 있다. 에너지기술연구원은 해외 기술이전을 위한 노력을 수년 동안 해왔고 2016년에는 캐나다 기업으로의 기술이전을 성사시켰다. 에너지기술연구원은 다양한 경로로 해외 기술이전을 위한 노력을 하고 있으며, 여기서는 그 중 일부인 북미 기술이전 플랫폼의 활용과 북미 연구기관의 벤치마킹에 대해 설명한다. 에너지기술연구원은 2016년부터 북미 최대 기술이전 행사인 테크커넥트 월드에 지속적으로 참여하여 연구원의 우수 기술들을 소개하고 매년 Innovation Award를 수상하며 기술력을 인정받은 바 있다. 아울러, 테크커넥트 월드에서 주선되는 대규모 기술수요자인 해외 대기업들과의 미팅을 통해 수요 기업이 필요한 기술을 확인하고 이후의 연구 진행 방향 설정에 가이드가 되도록 하고 있다. 이에 더하여, 북미의 대표적인 에너지 분야 연구원인 National Renewable Energy Laboratory와 북미의 우수 대학 연구기관 중 하나인 코넬 대학교의 기술사업화 조직과의 교류를 통해 북미 우수 연구기관들의 기술사업화 활동을 벤치마킹하고 있다.

[특별세션10. 에너지기술 성과확산을 위한 기술사업화 전략]

건물용 연료전지를 위한 천연가스 개질기의 기술사업화 모델 구축

Construction of Technology Commercialization Model of Natural Gas Fuel Reformer for Fuel Cells for Buildings

정수영 · 홍현지
특허법인 명

연료전지 시스템은 촉매, 전극, 전해질, 밀봉재, 분리판 등의 소재로부터 최종 발전 시스템까지 다단계의 Value Chain으로 구성된 기술 집약적 산업으로, 전 세계 연료전지 핵심 시스템 시장의 대부분은 미국, 유럽, 일본 등의 몇몇 선진업체가 독점하고 있다. 한편, 연료전지 개질기는 석탄, 석유, 메탄올, 천연가스 등의 화석연료를 수소연료로 변환하는 장치로서 탈황, 수증기 개질반응, 수성가스 전이반응 및 선택적 산화반응 장치로 구성된다. 한국에너지기술연구원이 개발한 건물용 연료전지를 위한 천연가스 개질기는 1 kW ~ 400 kW 급의 연료전지에 적용 가능하도록 개발되었는데, 연료의 절약과 원하는 시간에 즉시 작동이 가능하고, 동일한 양의 수소 생산 시 도시가스 사용량을 절약할 수 있으며, 연료전지 시스템을 콤팩트화하여 제작비를 절감하고 유지보수의 편리성을 향상시켰지만, 본 개질기의 기술이전 또는 기술 사업화를 위해서는 다양한 비즈니스 모델이 제시될 필요가 있다. 따라서 본 논문은 연료전지 개질기의 국·내외 시장 분석, Value Chain 분석, 상용화, 후속 R&D 및 투자 유치 가능성을 분석하고, 선도 기업의 사업화 모델을 연구함으로써 기술사업화에 필요한 연료전지 개질기의 상품화 비즈니즈 모델을 구축하고자 한다.

[특별세션10. 에너지기술 성과확산을 위한 기술사업화 전략]

국내 에너지 기업의 신남방 진출을 위한 산학연 협력 프로그램에 관한 연구

A Study on Industry-Academic-Institute Cooperation Program for the Overseas Expansion to New South of Domestic Energy Companies

조성한

주식회사 내비온

에너지 산업은 초기 투자비용이 높고, 기술혁신의 요구가 높은 분야로서, 국내 에너지 기업의 자금력이나 기술경쟁력으로 국내 시장진입이나 새로운 시장 창출이 어려운 상황이다. 최근들어, 많은 국가에서는 대학이나 출연연구기관 등 공공연구기관의 연구성과를 활용하여 기술개발을 단축하고, 기술경쟁력을 확보하는 오픈이노베이션 전략이 활성화되고 있다. 또한, 정부의 신남방 정책에 따라 동남아시아 국가와의 외교 및 경제협력이 강화되고 있는 가운데, 신남방 지역의 국가들은 많은 신재생에너지 자원을 보유하고 있음에도 불구하고 에너지가 부족한 상황이어서 국내 에너지 기업이 현지 진출을 통해 많은 기회를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 특히, 인도네시아, 말레이시아 및 싱가포르가 속해있는 시조리 성장 삼각지대는 섬이 많은 지리적 특성과 싱가포르의 자본력을 앞세워 동남아시아 최대 초광역 경제권으로 발전하고 있다. 국내 에너지 기업이 산학연 협력을 통해 기술경쟁력을 확보하여, 에너지 기술의 도입 필요성이 높아지고 있고, 시장진입 환경이 개선되고 있는 신남방 지역에 진출할 수 있는 지원 프로그램에 대한 개발이 필요한 상황이다. 본 연구에서는 공공연구기관의 연구성과를 활용하고 있는 기업을 대상으로 신남방 국가의 협력주체들을 발굴하고 협력체계를 구축할 수 있도록 지원하여 성장 기회를 제공하고자 한다. 이러한 노력을 통해 국내 에너지 기업이 기술 신뢰성을 확보하여 국내 시장과 선진 국가에 진출할 수 있을 것으로 예상된다.

[특별세션10. 에너지기술 성과확산을 위한 기술사업화 전략]

수요자 중심의 기술마케팅

Demand-Driven Technology Marketing

이무진 · 박명현

(주)아이피온

최근 정부주도로 추진된 기술이전 및 사업화 촉진계획을 통해 국내 기술이전·사업화 기반이 조성되었고, 공공부문을 중심으로 기술사업화의 초기단계로서 기술이전이 확대되는 등 점차 그 성과가 가시화되고 있다. 그러나 공공부문의 성과는 연구적 관점에 치중되어 기업이 시장에서 필요로 하는 제품 관점에서의 기술과는 개념적인 차이가 존재한다. 특히 대학·공공연 기술은 기술성숙도가 낮은 초기단계인 경우가 많은 반면, 기업은 어느 정도 검증된 기술을 요구한다는 점에서 이를 극복하기 위한 노력이 필요한 시점이다.

이를 위하여 기업의 수요에 연계하여 기술마케팅을 수행할 수 있는 방안을 제안한다. 상기 방안에는 기업 수요를 발굴하는 방법, 지재권정보를 산업계 중심의 정보로 변환·가공하는 방법, 공공기관의 우수한 특허기술을 산업계로 효과적으로 전달하는 마케팅 방안, 공공(연)과 중소기업과의 다양한 비즈니스 협력방안 등이 포함된다. 에너지 분야의 수요 특성을 분석하고, 이에 부합되는 기술마케팅 방안 또한 포함된다. 이와 같은 수요자 중심의 기술마케팅 방안을 통해 공공기술의 기술이전·사업화 성과가 실질적으로 제고될 것을 기대한다.

[특별세션10. 에너지기술 성과확산을 위한 기술사업화 전략]

에너지 기술의 이전·사업화와 사후관리

A Guideline on Management of Technology Transfer and Commercialization

최재혁
법무법인 다래 기술경영팀 팀장/부장

“기술이전”이란 양도, 실시권 허락, 기술지도, 공동연구, 합작투자 또는 인수·합병 등의 방법으로 기술이 기술보유자(해당 기술을 처분할 권한이 있는 자를 포함한다)로부터 그 외의 자에게 이전되는 것을 말하며, "사업화"란 기술을 이용하여 제품을 개발·생산 또는 판매하거나 그 과정의 관련 기술을 향상시키는 것을 말한다.

기술이전·사업화에 있어서 “사후관리”라 함은 업무의 시간적 순서에 따라 기술이전이나 사업화 이후의 관리적 활동을 총칭하는 것이 가장 일반적인 의미라 할 수 있다. 기술실시계약의 체결 후 관련 계약서의 정리, 관리대장의 작성, 기술료 징수, 상용화 실태 조사 등이 그 대표적인 예이다.

정부는 2000년 1월 28일 제정된 “기술이전촉진법”과 이에 근거한 기술이전·사업화 촉진계획에 따라 대학 및 정부출연연구소 등 공공연구기관이 개발한 기술의 거래와 사업화를 적극 추진해 왔으며, 그 성과로 2017년 기준 공공연구기관의 기술이전 건수는 총 12,503건, 기술이전율은 37.9%, 기술이전 수입은 약 1,827억원에 이르렀다. 2005년 기준 공공연구기관의 기술이전 건수가 8,754건, 기술이전율이 20.7%, 기술료 수입은 687억원이었던 점을 감안해 보면 주목할 만한 성과로 볼 수 있다.

문제는 기술이전·사업화의 방식이 다양해지고, 기술이전 건수 및 기술료 수입이 대폭 증가한 만큼 종래 단순 행정 업무 위주였던 기술이전·사업화의 사후관리 또한 기술료 미납은 물론이고 계약의 해석 및 효력에 관한 다툼, 기술의 하자 보증 문제, 계약의 변경과 해지·해제 등 각종 이슈들로 인해 관련 업무가 복잡해지고 전문성이 필요하게 되었다는 점이다. 나아가 사후관리 이슈의 사전 예방을 위해서는 연구개발을 포함한 기술이전·사업화 전 과정의 프로세스 및 체계를 개선·보완할 필요가 있다.

이에 본 발표에서는 기술이전·사업화의 사후관리 업무에 관한 최신 동향을 살펴 보고, 이를 바탕으로 2019년과 향후 한국에너지기술연구원의 기술이전 사후관리 업무 추진을 위한 시사점 및 개선 사항을 소개하고자 한다.

[특별세션11. 차세대 전력반도체 및 고효율 전력변환장치 개발 관련]

차세대 전력반도체를 이용한 초고효율 고전력밀도 전력변환장치 개발

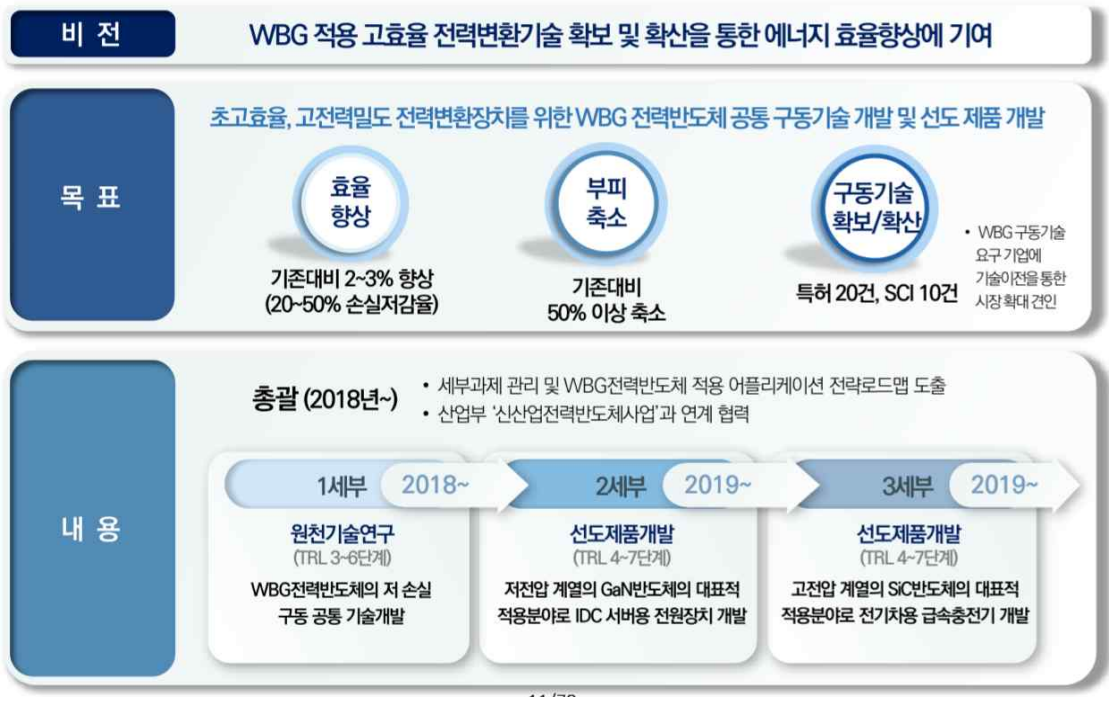
evelopment of High Efficiency, High power density Power Converter using Next-generation Power Semiconductors

정인성 . 박준성 . 지상근*
전자부품연구원, *(주)솔루엠

신재생에너지와 그린카의 보급 확산 등에 따라 전력변환장치의 수요처는 지속적으로 확대되고 있다. 산업 전반에 걸쳐 전체 시스템의 효율, 부피, 무게에 대한 제한이 점점 강화되는 추세로서, 시스템을 구성하는 전력변환장치는 보다 고효율, 고밀도, 고신뢰성을 지속적으로 요구받고 있다. 최근 WBG(Wide Band-Gap) 전력소자의 출현으로, 전 세계적으로 전력변환 기술의 새로운 혁신의 흐름이 커지고 있다. 즉, 기존 Si 전력반도체의 한계를 뛰어넘어 보다 우수한 성능과 고밀도를 구현할 수 있는 여건이 조성되고 있는 것이다.

본 과제는 WBG 전력반도체를 적용하여 전력변환장치의 성능을 극대화 개발시 필요한 다양한 기반기술과 응용기술을 체계적으로 개발함으로써 풍력, 대양광, 전기차, 모터 드라이브 등 에너지 각 분야의 전력변환장치를 보다 고효율로 경쟁력 있게 개발하는 기술을 확보함으로써 에너지 효율향상을 도모코자 하는 과제이며, 하부에 세부과제를 둔 총괄과제이다.

총괄과제로서 세부 연구과제들의 기술개발을 이끌고, 과제간의 기술교류와 협력을 유도함으로써 기술개발의 시너지를 이루는 것을 내용으로 하고 있다. 또한 수요기업, 전력변환기업, 학교/연구소의 관련 전문가들로 구성된 기술자문위원회를 두어 기술개발 방향 및 내용에 대해 주기적인 점검을 가짐으로써 본 기술개발이 국가적으로 적절히 자리매김하고 에너지 효율향상에 효과를 높이고자 한다.



본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20182010106501)

[특별세션11. 차세대 전력반도체 및 고효율 전력변환장치 개발 관련]

WBG 소자의 저손실 구동 공통 기술 개발

Development of Low-loss Driving Common Technology for WBG Devices

최준혁 · 주동명 · 김진홍 · 정인성
전자부품연구원

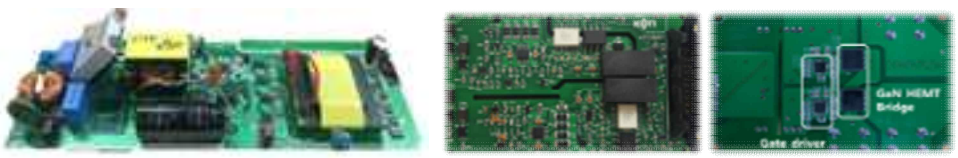
세계적으로 에너지 절감, 대기환경 규제 등의 이슈, 재생에너지 보급 확대 및 4차 산업혁명 진입에 따라 고효율 및 고성능 전력변환장치의 수요가 늘어나고 있다. 현재는 실리콘 기반 전력반도체 소자가 전력변환장치의 핵심 소자로 사용되고 있으나, 실리콘의 물성적 한계로 인해 전력변환장치를 고효율화 및 고밀도화하는 것은 점차 한계상황에 이르고 있다. 반면, SiC(Silicon Carbide) 및 GaN(Gallium Nitride)와 같은 WBG(Wide Band-Gap) 기반 전력반도체 소자는 재료 고유의 물질적 특성이 매우 우수하여 열 특성 향상, 고속 스위칭, 스위칭 손실 저감 등의 탁월한 장점을 갖고 있다. 본 전자부품연구원에서는 이러한 WBG 전력변환장치의 설계 가이드 라인 및 구동/제어 기술을 확보하기 위해 총 44개월간 2개의 국내 기업 및 3개의 대학과 함께 연구를 수행하고 있다.

1차년도의 주요 목표는 WBG 기반 전력반도체 소자의 저손실 구동 연구 플랫폼 구축 및 요소 기술 설계 연구이다. 1차년도 개발 기간 동안 Double pulse test를 통해 소자의 스위칭 특성을 파악하였다. 또한 실제 전력변환장치 적용 가능성을 확인하기 위해 각각 가전기기용 컨버터, 고전압 배터리 충전기 및 계통연계 인버터를 타겟으로 한 500W급 절연형 다출력 컨버터, 50kW급 AC-DC 컨버터 및 3kW급 DC-AC 인버터의 토폴로지 분석 및 설계를 수행하였다. 그 결과 전산모사를 통해 표 1과 같은 결과를 얻었으며, WBG 전력반도체를 적용했을 때 손실 저감 및 고밀도 전력변환장치 설계가 가능함을 확인하였다.

2차년도의 주요 목표는 1차년도 결과물을 바탕으로 한 GaN/SiC기반 전력변환장치 시작품 3종 개발이다. 이를 위해 그림 2와 같이 3종 전력변환장치에 대한 게이트 드라이버, 고주파 자성체 및 기구부에 대한 설계를 수행 중에 있다.

표 1. 1차년도 시뮬레이션 결과

전력변환기기	적용 토폴로지	달성 효율
500W, 600V급 GaN기반 컨버터	Totempole PFC(300kHz) / LLC(800kHz)	PFC 98.8% / 절연형 컨버터 96.4%
50kW, 1200V급 SiC 기반 삼상 인버터	PWM컨버터(50kHz) / LLC(250kHz)	3상 PFC 99% / 비절연 컨버터 98.6%
3kW, 600V급 GaN기반 단상 인버터	부스트컨버터(140kHz) / 단상 인버터(140kHz)	비절연 컨버터 99% / 인버터 99%



(a) 가전기기용 다출력 컨버터 (b) SiC 및 GaN 소자 DPT 시험 회로

그림 1. 1차년도 과제 산출물

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2018201010650A)

[특별세션12. 건물에너지 효율화 기술]

에너지복지의 지속가능성 확산을 위한 개념적 고찰 – 기본권 차원의 에너지 이용환경 개선을 위한 논의 중심 –

A Conceptual Study on the Diffusion of Substantiality of Energy Welfare

장영길 · 최영선 · 박상규
한국에너지재단

에너지복지는 “소득에 관계없이 인간다운 생활을 유지하기 위한 최소에너지는 사용할 수 있도록” 하는 것이라고 할 수 있다. 즉, 에너지복지는 사회구성원이 인간으로서의 적정한 생활을 유지하는 데 필수불가결한 냉난방, 온수, 취사용 연료, 전기 등을 적정한 수준으로 소비할 수 있도록 지원하는 제도, 정책, 프로그램을 모두 포괄한다고 할 수 있다.

정부는 2007년을 에너지 복지 원년으로 선포하고, 에너지 빈곤층을 가구소득 중 광열비 지출 비중이 10% 이상인 가구로 설정하였다. 이후 “소득에 관계없이 인간다운 생활을 유지하기 위한 최소에너지는 사용할 수 있어야 한다”는 입장을 밝히면서 복지 대상을 기초생활 수급자와 차상위 계층으로 확대해 왔다.

그러나 에너지복지의 대상 기준을 “소득에 따른 에너지 구입비용”으로 한정함으로써, 에너지 빈곤의 원인이 다양하여 에너지 복지 사각지대에 대한 에너지 빈곤 해결은 어려움을 겪고 있다.

현대 사회에서 ‘에너지’의 중요성은 누구도 부정할 수 없다. 헌법이 보장한 ‘인간으로서의 존엄과 가치’를 지키는데 에너지는 필수불가결한 요소이다. 더구나 기후변화로 지난해 여름의 기록적인 폭염사태처럼 이상기온이 빈발하고 더위와 추위가 점점 극으로 향해갈 경우, 저소득층 그중에서도 노인, 아동, 장애인, 중증질환자들은 더욱 고통 받을 수밖에 없는 것이 현실이다. 이런 측면에서 에너지는 필수재이고, 에너지복지는 선택의 문제가 아니라 인간다운 삶의 지속에 관한 문제, 즉 기본적인 인권의 관점에서 바라보고 보장해야 할 문제이다.

기본권 차원에서 에너지 취약계층의 에너지이용환경을 개선하기 위해서는,

첫째, 현행 “공급자 중심”에서 실 수혜 대상인 “수요자 중심”으로의 제도 전환이 기본 전제가 되어야 한다. 이를 위해서는 에너지빈곤의 원인을 구체적으로 밝혀내고 빈곤 기준선을 정립하며, 에너지빈곤 실태조사를 정기적으로 실시하여 에너지복지 정책 기반을 조성해 나가야 할 것이다. 이를 위해 에너지 공급과 관련한 DB 전체를 국가 차원에서 취합, 관리하여 에너지빈곤 실태를 명확히 파악해 나갈 필요가 있다.

둘째, 현행 에너지복지사업이 명시되어 있는 에너지법도 개선이 필요할 것으로 보인다. 현 에너지법에는 “에너지이용권” 중심으로 대상가구 발굴을 위한 지자체의 역할이나, 정보시스템의 연계 등이 나열되어 있으나, 그 외 에너지효율개선사업 등은 관련 조항이 없어 대상가구 발굴에 어려움을 겪고 있는 실정이다.

셋째, 에너지복지에 대한 사업이 산업부를 비롯하여 복지부의 연료비 긴급지원사업, 국토부의 주거급여사업 등 각 부처와 기관에 분산되어 있는데, 앞으로는 규모의 경제와 관리의 효율화, 운영 합리화를 위해 각 사업의 성격에 맞게 통폐합 또는 구조조정도 과감한 논의가 필요한 시점이라고 판단된다.

[특별세션12. 건물에너지 효율화 기술]

저소득가구 에너지복지 향상을 위한 기술

Technologies for improving Energy Welfare of Low-income households

한혜심 · 최성철 · 장철용 · 박상규 · 최영선*
한국에너지재단

기본적인 삶을 영위하기 위해 '에너지'는 중요한 요소임에도, 겨울을 따뜻하게 나기 위한 연료를 살 돈이 없거나 충분하게 연료를 떼더라도 주택의 효율이 떨어짐에 따른 연료비 부담으로 에너지 빈곤을 겪고 있는 가구가 많다. 더욱이, '냉방복지'라는 말이 생겨날 정도로 작년 한해는 매우 더웠다. 이와 같은 기후환경의 변화 또한 국내 냉/난방도일 일수의 변화에 영향을 미쳐, 그에 따른 에너지 비용부담이 증가하면서 사회적으로 '에너지복지'에 관한 관심이 높아지고 있는 실정이다.

정부도 이에 발맞추어 주택용 전기요금 누진제 개편, 전기요금 할인 등 다양한 에너지복지 정책을 시행하고 있으며, 요금할인/연료비지원 등의 에너지바우처 지원사업(연간 800억원 규모)과 노후주택의 단열/창호/보일러 공사를 하는 에너지효율개선사업(연간 700억원 규모)을 통해 에너지복지 사업을 실시하고 있다.

다만, 정부차원의 보다 효율적인 '에너지복지' 시행을 위해 '에너지빈곤*'의 가구가 실제 필요한 요구를 파악하는 것이 순서이나, 소득수준(국민기초생활보장법 등)이 복지 수혜를 받는 가구를 구분하는 유일한 기준이 된다.

* 우리나라 주거실태에 맞는 정의가 필요하나 미흡한 실정이며 아직까지는 에너지 구입비용이 가구 소득의 10% 이상인 가구로 정의되는 '에너지빈곤'이란 영국의 기준을 사용

저소득층 에너지효율개선사업을 수행하는 전담기관인 한국에너지재단은 진정한 의미의 에너지복지의 실현을 위해 '14년부터 난방에너지요구량 및 소요량을 계산하여 비용효율적 측면의 지원 우선순위를 선정·지원할 수 있는 주택에너지진단을 동 사업에 반영하고 있다. 또한, '17년부터는 저소득가구가 사용하는 에너지량을 측정하고자 보일러 가동측정 실증실험을 진행하여 전국 5,000여 가구에 도입하였다.

그 결과, 수집되는 저소득가구의 주거 및 에너지사용 실태를 데이터베이스화 하여 분석하고, 이를 통해 연간 23% 수준의 주택부문 에너지절감과 더불어 국가적 온실가스 감축(가구당 0.8T 수준)에 기여할 수 있도록 사업을 시행하고 있다.

사업을 통해 축적되는 데이터베이스와 저소득가구의 에너지 소비실태 분석 내용을 토대로 실질적인 에너지복지 사회 구현 및 신재생에너지 도입 등 취약계층의 에너지자립을 위한 기반자료로 활용하고, 장기적 관점에서 에너지빈곤의 근원을 해소하는 기초데이터로 사용 가능할 것으로 기대한다.

[특별세션12. 건물에너지 효율화 기술]

스마트 스킨의 성능 측정 방안 개선 연구

Improvement research of performance test method about Smart Skin

김석현 · 김종훈 · 정학근 · 조수*
한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실

다양한 건축물의 냉난방 에너지 소비량 절감을 위한 노력이 이루어지고 있는 가운데, 건물 외벽에 위치하고 실내외 환경에 따라 열획득과 열손실이 벽체에 비해 상대적으로 크게 나타나는 창호는 외벽의 단열 성능에 비해 낮은 단열 성능 때문에 단열 성능의 강화가 요구되었고 이를 해결하기 위해 다양한 고단열 창호의 개발과 열손실을 최소화하기 위한 다양한 소재의 개발이 이루어져 왔다. 그러나 실내외 온도차에 의한 열 손실 뿐만 아니라 외부 일사가 실내로 유입될 수 있는 창호의 특성상 일사도입량을 나타내는 일사획득계수(SHGC)나 가시광선 투과율(VT)을 함께 고려하지 않는 한, 실제 창호를 통한 건축물의 열손실 및 열획득을 파악하기 어렵다. 또한 건물 에너지 측면 뿐 아니라 조명 제어 및 실내 공간 목적에 따른 차양 요구 등 기능적인 요구에 따라 단순 고기능성 창호가 아닌 창호의 고도화를 통한 스마트 스킨(Smart Skin)의 개발이 이루어지고 있다. 스마트 스킨은 사용자의 의도에 적합한 환경 조절이나 건축물의 에너지 절감을 위한 능동형 대처 등 다양한 목표를 수행하기 위한 능동적인 창호와 구동부를 함께 지칭하는 말로써, 최근 일렉트로크로믹(Electrochromic) 유리나 SPD(Suspended Particle Device)유리를 사용한 가변형 유리와 자연광을 실내로 유도하는 LGG(Lighting Guide Glass)를 함께 설치하는 스마트 스킨의 개발이 다각도로 이루어지고 있으다. 다만 이러한 복합적인 기능과 구성 재료로 인해 스마트 스킨의 정량적 성능을 확인할 수 있는 측정 방법이 부족한 실정이다. 본 연구에서는 스마트 스킨의 성능을 정량적으로 파악하고 목적에 적합한 스마트 스킨을 선정할 수 있는 기초 자료 제공을 목적으로, 기존 창호의 성능 측정 방법과 관련 기준 등을 확인하고 스마트 스킨의 성능 측정 방법을 제안하였다. 그 결과, 건축물의 냉난방 부하 예측을 위해 스마트 스킨의 열 성능 측정 방법의 수정이 필요함을 확인하였고 기타 성능으로서 스마트 스킨의 내구성, 결로 방지 성능 등의 측정 방법 개선이 필요함을 확인하였다.

[특별세션12. 건물에너지 효율화 기술]

보일러 사용량 분석을 통한 저소득층 난방비용에 관한 연구

A Study on the heating cost through analysis of boiler running time of consumed in Low-income Houses

오상우 · 김석현 · 류승환 · 김종훈 · 정학근

한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실

국내 저소득층의 열악한 에너지 이용환경으로 인해 저소득층의 에너지 빈곤 격차는 지속적으로 확대되고 있다. 이로 인해 소득규모별 연간에너지소비량의 차이가 증가하고 있다. 국토조사연감에 의하면 2000년도 노후주택의 비율이 8.68%, 2010년도 노후주택의 비율이 9.72%, 2015년도 노후주택의 비율이 15.8%로 점차 증가하고 있다. 주로 저소득층이 거주하는 노후주택의 경우 많은 에너지를 투입하더라도 실내의 온열 환경을 쾌적하게 유지하기 어렵다. 저소득층의 주거환경개선을 위해 한국에너지재단 등을 통해 에너지 효율개선사업을 실시하고 있다. 그 중 노후된 보일러의 교체를 통해 난방 효율을 증가시키는 난방 환경개선을 수행하고 있다. 현재, 거주자의 생활 패턴 및 주거환경의 차이에 따라 난방비용에 관한 구체적인 자료는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 저소득층 가구의 보일러에 난방 및 급탕 가동 시작 시간과 가동 종료 시간을 측정할 수 있는 모듈을 설치하여 보일러 사용량을 확인하고 이를 분석하여 저소득층의 예상 난방비용을 확인하였다. 측정한 데이터를 바탕으로 지역구분, 가구면적, 가구규모 등의 기준에 따라 보일러 월별 누적 운전시간 및 난방비용을 산출하였다. 또한 대상 주택을 대상으로 시뮬레이션을 수행하여 쾌적한 실내온도를 유지하기 위한 예상 보일러 사용량과 실제 보일러 사용량을 비교하고 분석하였다.

[특별세션12. 건물에너지 효율화 기술]

실제기상데이터와 표준기상데이터에 따른 건물에너지 결과 분석

Analysis of Building Energy Results according to Real and Typical Meteorological Data

박세영 · 류승환 · 김종훈 · 정학근 · 도성록*

한국에너지기술연구원, 한밭대학교 건축설비공학과*

건물에너지 해석을 위해서는 기상데이터가 필수입력요소이다. 표준기상데이터는 특정지역의 12년에서 30년의 장기적인 데이터를 바탕으로 각 월마다 평균적인 기상의 특성을 나타낼 수 있는 대표기간을 통해 만든 8760개의 시간별 데이터를 의미한다. 일반적인 해석프로그램에서는 TMY, EPW, IWEC2 등과 같은 표준기상데이터를 사용하지만 보다 정확한 해석을 위해서는 실제기상데이터를 반영하는 것이 실제건물에너지 열 획득을 해석하기에 더 적합하다.

따라서 본 연구에서는 실제기후특성 반영을 위해 기상데이터 적용에 따른 건물에너지 시뮬레이션 해석 결과를 분석하고자한다. 이를 위해 주요도시 4곳(대전, 인천, 대구, 광주)을 선정하였고, 기상데이터는 ASHRAE에서 제공하는 IWEC2 기상데이터와 기상청에서 제공하는 과거 3년간 실제기상데이터를 이용하였다. EnergyPlus에서 제공하는 Small Office Model을 통하여 건물부하를 도출하였으며, 그 결과에 기반한 부하 Regression Model을 제작하여 실제기상데이터를 적용하였을 때의 냉난방 부하를 예측하였다. 연구결과를 통해 기상데이터에 따른 건물 냉난방 부하의 일간, 월간, 연간의 차이를 비교·분석하여, 월간 데이터를 바탕으로 RMSE와 CV_RMSE 오차분석을 실시하였다.

본 연구를 통해 건물에너지 해석을 위한 실제기상데이터와 표준기상데이터 차이로 인하여 건물 시뮬레이션 시 실제기상데이터 반영이 필요할 것으로 귀결된다.

[특별세션12. 건물에너지 효율화 기술]

건물 내 전기요금 절감을 위한 ESS의 최적 충·방전 제어 알고리즘 개발

Development of Optimum Charge and Discharge Control Scheme of ESS to Reduce Electricity Charge in Buildings

강모세[1] · 배국열[1] · 정학근[1] · 김종훈[1]
한국에너지기술연구원[1]

에너지 산업의 발전과 국가적인 제도 변화에 따라, 신재생에너지발전원의 수용률이 증가하고 에너지 체계의 분산화가 이루어지면서 에너지저장장치의 도입이 점차 증가하고 있다. 이에 따라, 공장이나 대규모 상업시설 뿐만 아니라 아파트 단지, 빌딩 등의 단위 지역에도 에너지 저장 시스템을 도입하는 사례가 늘고 있다. 이는 태양광 발전과 같은 신재생 에너지 도입이 늘어난 것에도 원인이 있지만, 시간대별 차등 요금제 등 에너지 가격체계에 따라 전기요금에 이득을 가져갈 수 있기 때문으로 분석된다. 또한, 정부에서는 ESS 사용 증가를 위해 ESS 활용촉진요금제와 같은 정책으로 ESS 보급률을 높이고 있다.

시간대별 차등 요금제의 경제적 이득을 위하여 기존 ESS는 스케쥴링 제어를 통해 경부하 시간대에 충전을 수행하고 최대부하 시간대에 방전을 수행한다. 이러한 제어 방식을 통해 전기 요금 중 전력량 요금의 감소 뿐만 아니라 피크 감소를 통해 기본 요금도 절감될 수 있다. 하지만, 중간부하와 최대부하의 부하차이가 많이 나지 않는 경우에는 스케쥴링 제어를 통해 전력량 요금의 감소가 가능하나 피크 감소가 크지 않아 기본 요금을 절감하기 어려운 문제를 가질 수 있다.

본 연구는 건물 내 전기요금 절감을 위한 ESS의 최적 충·방전 제어 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 위의 문제점을 개선하기 위하여 전기요금 체계의 기본 요금과 전력량 요금을 더한 값을 최소로 하는 목적함수를 정하고, 제약조건으로 ESS의 SOC 레벨과 출력 리미트 값을 가진다. 또한, 목적함수에는 ESS 활용촉진요금제에 해당하는 요금식을 함께 적용하여 전체 전기요금을 최소로 하는 ESS의 출력값을 결정한다. 최적화 수행 시 배터리의 효율은 충·방전을 포함하여 80%으로 수행하였다. 결과로, 용인의 한 아파트 단지의 연간 15분 단위 부하를 고려하여 제안한 방식을 적용한 경우 기본 전기요금 대비 연간 약 20%의 요금 절감율을 확인하였다.

[특별세션12. 건물에너지 효율화 기술]

건물용 ESS의 제어 정확도 향상을 위한 데이터 기반 배터리 모델링 기법

Data-Based Battery Modeling Technique for Improving Control Accuracy of Building ESS

홍선리[1] · **강모세**[1] · **백종복**[1] · **김종훈**[2] · **정학근**[1]

한국에너지기술연구원[1], 충남대학교[2]

정부의 전력 공급 불안 해소 정책에 따라 안정적으로 전력을 공급하는 ESS(Energy Storage System)는 주파수조정, 비상전원, 신재생 연계 등의 용도로 다방면에서 규모가 커져왔다. 건물용 ESS는 수요관리용 ESS로 경부하·중간부하·최대부하 시간에 따라 다른 요금에 맞춰 충·방전 또는 비상시 전력공급 목적으로 활용될 수 있다. 이러한 제어 방법이 적용될 때 일반적으로 배터리의 상태판단을 위한 지표로 SOC(State of Charge)를 사용하며 이는 BMS(Battery Management System)에서 추정한다. 따라서 BMS의 정확한 구동을 위한 배터리의 정확한 상태측정은 필수적이며 이는 정확한 배터리 등가모델을 기반으로 한다. 이에 따라, 배터리 등가모델 내 파라미터의 추정 정확도를 높이기 위한 다양한 기법들이 연구되고 있다.

본 연구는 리튬 이온 배터리 셀 실험 데이터를 기반하여 배터리의 등가회로 파라미터를 추정하고, 배터리 동적 특성을 나타내는 RC-ladder의 수를 고려하여 배터리 등가회로의 정확도를 확인한다. 먼저, 배터리 등가회로를 각각 0차, 1차, 2차, 3차 RC-ladder가 있도록 구성하고 이에 대한 회로 방정식을 찾은 후 방정식 내의 R, C 및 시정수 값을 얻기 위하여 배터리 실험 데이터를 사용하였다. 배터리 실험은 배터리 완충 후 일정 간격으로 방전하였을 때 배터리 출력 전압값을 확인하는 실험이며, 이때 방전 후 회복구간을 충분히 주어 배터리 특성이 정상상태에 도달하도록 하였다. 실험을 통해 얻은 데이터를 커브피팅 기법을 적용하여 수식화하였고, 회로 방정식 내 R, C 및 시정수 값을 추정하였다. 추정한 R, C값을 적용한 회로의 정확도를 시뮬레이션을 통해 상호 비교하였으며, 2차 RC-ladder 회로부터 건물용 ESS의 제어 정확도 향상을 위한 배터리 등가회로에 적합함을 확인 할 수 있었다.

[특별세션12. 건물에너지 효율화 기술]

창호 구성에 따른 단열 성능 변화에 관한 연구

A Study on the thermal insulation performance variation of window by component organization

김석현 · 김종훈 · 정학근 · 조수*
한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실

건축물의 냉·난방 에너지 소비량 절감을 위해 다양한 노력이 이루어지고 있는 가운데 건축물 외벽에 설치되는 창호는 고단열 성능을 가진 외벽에 비해 단열 성능이 낮기 때문에 다양한 방법으로 단열 성능 개선 노력이 이루어지고 있다. 창호는 일반적으로 투과체인 유리부(Glazing)와 유리부를 고정하고 벽체와 접합되는 프레임(Frame)으로 구분할 수 있다. 유리부는 과거 단판 유리(Flat glass)를 시작으로 복층유리(Double Glazing), 삼복층유리(Triple Glazing) 등 다수의 판유리를 사용하거나 저방사(Low-e) 유리와 같은 기능성 유리를 도입하고 있으며, 판 유리 사이의 공간을 불활성 기체(공기 또는 아르곤)으로 구성하거나 고단열 성능을 만족하기 위해 판유리 사이의 진공층을 형성하는 진공유리를 도입하기까지 다양한 구성변화와 구성 재료의 조합이 사용되고 있다. 창호의 프레임 또한 재질의 변화뿐 아니라 내부 구조 변화 및 열교차단 재료의 도입까지 다양하게 구성되고 있으나 창호의 열 성능을 나타내는 열관류율의 시험방법은 대체적으로 한국산업규격(KS F 2278)을 이용한 유리부와 프레임이 결합된 창 세트의 물리적 시험 방법을 활용하기 때문에 창호를 구성하여 열 성능 시험을 수행한 이후 창호 구성 변화로 인한 구성 재료 변화가 열 성능에 미치는 영향을 파악하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 창호의 구성에 따른 열 성능 변화를 확인하기 위한 선행 연구로서 기존 창호의 열관류율 측정 방법을 사용해 측정 된 열 성능 자료를 확인하여 연도별, 재질별 창호의 열 성능 변화를 확인하였고 물리적 실험을 통해 측정 된 창호의 열관류율 결과를 분석하여 창호 구성에 따른 열 성능 변화 현황을 파악하였다.

[특별세션12. 건물에너지 효율화 기술]

제로에너지건축물 구현을 위한 패키지기술 연구

A Study on the Package Technology for the Realization of Zero Energy Building

한설이 · 김종훈 · 류승환 · 정학근*

한국에너지기술연구원 에너지ICT·ESS연구실

제로에너지건축물을 구현하기 위해서는 다양한 요소기술의 도입이 필요하며 동일한 요소기술을 적용하더라도 건물의 특성, 기후 조건 등에 따라 에너지 성능은 다르게 발현되기 때문에 적용 기술에 대한 초기 에너지 성능이 매우 중요하다. 대부분의 제로에너지건축물 설계는 고단열, 고성능 창호를 적용하는 Passive 기술을 통해 외피를 통한 열손실을 최소화하고 신재생에너지 등의 Active 기술을 활용하여 에너지소비를 최소화한다.

그러나, 전산센터와 같이 부하를 최소화하기 어려운 용도의 건축물이나 법적 규제에 의해 신재생 의무 설치 비율이 높은 건축물 등은 특정 기술을 적용했을 때 더 높은 효과를 발현하기도 한다.

따라서, 본 연구에서는 제로에너지건축물 구현을 위한 패시브, 액티브, 신재생의 요소기술을 구분하여 건물의 특성에 따라 요소기술을 적용하고, 도출되는 에너지소요량을 분석하여 효과적인 패키지 기술을 제시하고자 한다.

건물 특성 반영을 위해 기상 조건 및 법적 열관류율 기준이 다른 지역을 선정하여 외피 열성능 및 설비기기 성능은 다르게 설정하였고 그 밖에 건물 규모나 적용 설비 등은 동일하게 적용하여 패시브 기술에 중점을 둔 패키지 기술 1안과 액티브 기술에 중점을 둔 패키지 기술 2안을 도출하였다. 건물에너지 성능 분석을 위해 '건축물 에너지효율등급 인증제도'에서 사용되는 ECO2 프로그램을 활용하였다. 1안은 외피의 열성능, SHGC, WWR 등의 패시브 요소를 변경, 2안은 설비 효율 및 신재생 등 액티브 요소를 변경하여 결과를 도출하였다.

에너지 해석 결과, 신재생 설치 비율이 높게 적용된 2안의 에너지자립율이 1안에 비해 높게 산출된 반면, 1, 2안 모두 연간 단위면적당 에너지소요량이 10 kWh/(㎡·a)로 유사하게 산출되었다.

결과적으로, 제로에너지건축물 구현을 위해서는 다중 요소 기술의 적용이 필수적이며 건물의 특성을 분석하여 경제성과 시공성이 높은 패키지 기술을 선정하여 적용하는 것이 필요하다.

[특별세션12. 건물에너지 효율화 기술]

독립 계통의 시스템 주파수 편차 개선을 위한 풍력발전기와 에너지저장장치 간의 협조 제어

Coordinated Control Between Wind Power Generator and Energy Storage to Improve System Frequency Deviation in Isolated Microgrid

강모세[1] · 홍선리[1] · 윤기환[1] · 배국열[1] · 백종복[1]
한국에너지기술연구원[1]

전 세계적으로 신재생에너지 발전원의 수용률을 높이기 위한 구조로 마이크로그리드를 적용하며 마이크로그리드 단위의 제어에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 특히, 독립마이크로그리드의 경우 신재생에너지 발전원의 수용률이 증가함에 따라 불확실한 유효전력 출력에 대한 전력 시스템 주파수 편차가 크게 흔들리는 문제가 발생할 수 있다. 이에 따라, 독립마이크로그리드 내 발전원과 수용가 사이에 전력 공급 및 수요의 불균형을 억제하고 전력 시스템 주파수 편차를 개선하는 마이크로그리드 상위 제어기나 발전원 간의 협조 제어에 대한 연구가 활발히 진행되어 지고 있다.

본 연구는 독립 마이크로그리드 내 신재생에너지발전원 수용률이 증가함에 따라 발생할 수 있는 시스템 주파수 편차 증가 문제를 개선하기 위한 풍력발전기와 에너지저장장치 간의 협조 제어를 제안한다. 제안한 방식은 풍력발전기에 저장된 운동에너지와 에너지저장장치에 저장된 전기 에너지를 각 저장요소의 특성에 따라 시스템 주파수 유지를 위한 제어의 참여율을 조정하도록 한다. 따라서, 풍력발전기는 주파수 제어 시 사용하는 제어 방식인 드룹 제어의 게인을 주파수 변화량과 배터리 SOC에 따라 조정하며 ESS는 드룹 제어의 게인을 주파수 변화량과 풍력발전기의 회전자 속도에 따라 조정하여 주파수 제어를 수행한다. 이에 따라, 마이크로그리드 내 주파수 편차를 개선함과 동시에 불필요한 에너지 손실을 줄여 ESS의 SOC 유지력을 개선하는 효과도 얻을 수 있다.

MATLAB Simulink Simscape Electrical 시뮬레이터를 활용하여 제안한 방식의 성능을 검증하였으며, 풍력발전기와 ESS의 협조제어를 통해 독립 마이크로그리드 내 전력 시스템의 주파수 편차가 개선되며 ESS의 SOC 유지력이 더 개선되는 결과를 확인하였다.

[특별세션12. 건물에너지 효율화 기술]

저소득층 에너지효율개선사업을 통한 주거용 표준모델 개발 방법론 연구

A Study on Development of Standard Model for Housing through Low-income Energy Efficiency Improvement Project

남혜령 · 류승환 · 김종훈 · 정학근
한국에너지기술연구원

사회 양극화, 노후주택의 에너지효율 저하, 에너지 가격 상승 등으로 에너지 빈곤의 격차가 지속적으로 심화되고 있다. 더불어 지구온난화로 인한 폭염·한파와 같은 극한 기후 속에서 저소득층은 그 피해로부터 매우 취약한 상황에 놓이게 된다. 저소득층 가구의 67.7%가 1995년 이전에 건축된 노후주택에 거주하고 있어 적절한 실내 환경을 유지하기 어려운 상황에 놓여있다.

이에 저소득층 가구의 노후주택을 대상으로 단열·창호시공, 보일러 교체 등 에너지 사용환경 개선으로 에너지빈곤 해소에 기여하기 위해 2007년부터 저소득층 에너지효율 개선사업을 진행하고 있다. 연간 3만여 가구를 지원하여 2018년까지 총 46만여 가구를 대상으로 수행되었다.

주택에너지를 효율적으로 개선하기 위해서는 신뢰성 있는 주거용 표준모델을 식별하는 것이 선행되어야 한다. 표준모델을 정의하고 개선안을 제시하는 연구는 꾸준히 진행되어 왔지만 건물용도별 하나의 표준모델로 정의하는 것에 치중되어 있다. 동일한 유형의 건물이더라도 물리적 특성과 에너지 성능이 다르기 때문에 기존의 연구결과를 다양한 건물에 적용하는데 한계가 있다.

본 연구는 실제 건물의 다양한 특성을 보다 정확히 반영하는 표준건물을 정의하는 방법론 제시 및 검증을 목적으로 수행하였다. 주택에너지 진단 프로그램(eco-house)과 저소득층 가구의 에너지 정밀진단을 통해 수집된 데이터를 활용하여 통계분석 방법의 하나인 군집분석 기법을 사용한 표준모델 개발 방법론을 연구하였으며, 제시한 방법으로 도출한 모델이 표준모델로 적합한지 검토하였다.

이후 표준주택모델을 토대로 효율적인 주택에너지 개선 방안에 대한 연구를 수행할 예정이다.

[특별세션13. 에너지전환 시대의 집단에너지 경쟁력]

새로운 집단에너지 사업모델과 경제성

A Study on New DHC Business Model and Its Economic Feasibility

마용선

에너지경제연구원 집단에너지연구팀

대부분의 집단에너지 사업은 열병합발전과 열전용보일러 등의 설비를 통해 열과 전기를 공급하는 사업모델을 채택하고 있다. 연료전지, 히트펌프, 태양열 등의 열생산 설비를 통해서도 일부 열을 공급하고 있지만 그 비중은 매우 낮은 상황이며, 대부분의 지역냉난방 사업의 형태는 발전배열 수열을 포함한 열병합발전이 중심이라고 할 수 있다. 현재 전체 지역냉난방 사업장 중 2개소만 열병합발전 생산열이 아닌 소각열만을 기저열원으로 활용하고 있다. 지역냉난방 사업의 자체 생산의 경우 열병합발전, 열전용보일러를 제외한 기타 열공급 시설의 비중은 0.3%에 불과해 지역냉난방 사업의 형태는 전통적인 열공급 방식이 지속되고 있는 상황이다. 전세계는 신기후체제 발효 및 에너지전환 정책 추진 등으로 집단에너지 정책여건이 크게 변화하고 있으며, 문재인 정부도 전세계적 추세를 반영하여 에너지전환 정책을 추진하고 있지만 집단에너지 사업의 형태는 과거의 형태를 지속하고 있다. 하지만 에너지전환 정책에 따라 집단에너지 산업에서는 다양한 신규 열원의 개발과 신재생 지역냉난방의 확대가 요구되고 있는 상황이다. 하지만 새로운 집단에너지 사업의 경우 경제성이 낮으며 정책적 여건도 우호적이지 않아 새로운 사업 형태의 도입은 쉽지 않는 상황이다. 본 연구에서는 다양한 새로운 열원을 활용한 지역냉난방 사업모델의 경제성과 집단에너지 부문의 기술 진보 등을 검토하여 새로운 사업모형 발굴하고 이를 위한 사업 환경 조성을 위한 정책적 제언을 하고자 한다. 특히 우리나라처럼 집단에너지의 정책적 활용은 크게 미흡한 수준에서는 집단에너지 시장 및 정책의 정상화를 위하여 시장과 정책의 합리성과 효율성이 공히 제고되어야 한다. 에너지전환과 미래시장 대응을 효율적으로 추진하기 위해서는 집단에너지를 적극 활용할 필요가 있다.

[특별세션13. 에너지전환 시대의 집단에너지 경쟁력]

국내 집단에너지 기술 R&D 투자의 해외 비교와 개선 방안

A Study on Comparison of Korean DHC/CHP Technology R&D Investments with European Countries and Some Proposals for the Improvements

오세신 · 신동현
에너지경제연구원 집단에너지연구팀

OECD 국가들 가운데 우리나라는 정부 차원의 에너지기술 R&D 투자가 상당히 높은 편에 속하지만 집단에너지 기술과 관련한 R&D 투자는 상대적으로 낮은 편이다. 특히, 유럽의 주요 집단에너지 이용 국가들과 비교하면 더욱 그러하다. 정부의 관련 R&D 투자뿐만이 아니라 민간 부문에서의 집단에너지 기술 R&D 투자를 비교하면 그 차이는 더욱 두드러진다. 이는 우리나라 정부의 냉난방 에너지 중요성에 대한 인식 부족과 이로 인한 국가 에너지정책에서의 낮은 우선순위에 기인한다고 볼 수 있다. 또한 민간부문에서 집단에너지 R&D에 대해 투자할 유인이 극히 제한적인 것도 그 이유일 것이다. 따라서 국가 전체적으로 집단에너지 기술에 대한 R&D 투자를 활성화하기 위해서는 먼저 정부가 집단에너지를 냉난방 부문의 에너지전환을 위한 중요한 수단으로 인식하고 에너지정책에서의 우선순위를 제고해야 할 것이며, 민간 투자를 활성화할 수 있는 지원 및 유인책을 개발해야 한다. 여기에 더해 민간 R&D 투자의 성과를 높이기 위해 협회에 민간 R&D 협력을 주선하는 기능을 부여하는 것도 고려해 볼만 하다.

[특별세션13. 에너지전환 시대의 집단에너지 경쟁력]

집단에너지사업용 CHP 발전효율 산정방안에 관한 검토

Study on the estimation method of CHP power efficiency for district energy

김덕진
엔테스

CHP의 에너지 효율에는 Mode III의 발전효율과 Mode I의 종합효율이 있다. 일반적으로 에너지 효율은 기계공학적 수식으로부터 정의된다고 알고 있다. 본 연구에서는 에너지 효율은 경제학으로부터 정의된다는 관점을 증명하고, 이로부터 복합발전 및 열전용보일러와 경쟁하는 CHP의 Mode I에서의 발전효율 및 열효율의 수식을 새로이 제안하고자 한다.

에너지 효율의 정의는 투입한 에너지에 대해 이용될 수 있는 에너지의 비이다. 여기서 이용될 수 있는 에너지란 기계공학적 관점이 아닌 경제학적 관점임을 명백히 이해할 수 있다. 연료 F 가 투입되어, 전기 W 를 생산하고, 열 R 을 환경으로 버렸을 때, 그 에너지 효율은 $\eta \equiv W / F$ 이다. 위 수식은 기계공학의 법칙으로부터 유도되지 않으므로, 등호(=)가 아니라 정의(≡)임을 우리는 이해해야 한다. 열역학 제 1 법칙인 에너지 보존식을 적용하면, 연료 F = 전기 W + 방출 R 이다. 위 수식에 경제학을 적용하면 $F \cdot C_F = W \cdot C_W + R \cdot 0$ 이다. 여기서 방출된 열의 단가는 0 원/kJ 이다. 따라서 $\eta \equiv C_F / C_W = W / F$ 가 유도되며, 위 수식을 우리는 효율이라 부른다. 위 수식을 전기 W를 생산하는 발전소에 적용하면 발전효율은 $\eta_W \equiv C_F / C_W = W / F_W$ 이고, 열 Q를 생산하는 보일러에 적용하면 열효율은 $\eta_Q \equiv C_F / C_Q = Q / F_Q$ 이다. 위 수식이 바로 CHP에서의 발전효율과 열효율이다. 즉 η_W 는 CHP와 복합발전의 성능을 비교할 때 적용되며, η_Q 는 CHP와 보일러의 성능을 비교할 때 적용되는 것이다. Mode I의 발전효율을 $\eta_W = W / F$ 라고 주장할 수 있다. 그러나 CHP의 연료 F 는 전기생산을 위한 연료 F_W 와 열생산을 위한 연료 F_Q 의 합이므로, 위의 수식은 $\eta_W = W / F = W / (F_W + F_Q)$ 으로 표현된다. 이 수식은 분모에 F_Q 가 존재하기 때문에 CHP의 발전효율이 아님을 쉽게 이해할 수 있다. 위 오류의 발생 원인은 에너지의 효율을 열역학적 수식으로만 이해했기 때문이다.

위 수식에서 투입연료 F 를 전기생산을 위해 투입된 연료 F_W 와 열생산을 위해 투입된 연료 F_Q 로 분리하는 것이 핵심이며, 그 분리하는 방법론을 연료 비용 배분 방법론이라 부른다. 그 방법론에는 대체설비를 적용하는 약 10여 종의 회계학적 방법론과 엑서지(Exergy)를 적용하는 약 10여 종의 열역학적 방법론이 있다. 어느 방법론을 적용하느냐에 따라 효율 값에 큰 차이가 발생하므로, 어느 방법론이 가장 합리적인가의 신중한 판단이 필요하다. 그 판단 기준 중의 하나가 20 여 종의 방법론에 의한 효율을 각각 계산하여 그 수치의 타당성을 비교 검토하는 것이다.

우리가 현재 이해하고 있는 에너지 효율의 근원은 열역학이 아닌 경제학적 관점으로부터 정의가 된다는 것을 본 연구에서 증명하였으며, 제시된 수식을 기반으로 CHP, 복합발전, HOB 의 성능이 상호 비교되어야 할 것이다. 위 수식의 전개로부터 열역학적 에너지 흐름과 경제학적 비용흐름은 동일한 것이다를 이해할 수 있다. 따라서 전기와 열의 비용배분 방법론은 열역학과 경제학을 혼합한 학문으로부터 출발해야 합리적인 결과가 도출될 것임을 이해할 수 있다.

[특별세션13. 에너지전환 시대의 집단에너지 경쟁력]

국내 가구의 난방용 에너지소비효율 분석: 열에너지와 도시가스를 중심으로

Energy Consumption Efficiency Comparison between Heat Energy and City Gas: Evidences from Households in Korea

신동현

에너지경제연구원 집단에너지연구팀

본 연구는 2015년 국내 2,325가구를 대상으로 에너지소비 실태를 조사한 '가구에너지 상설 표본조사' 자료를 바탕으로 열에너지와 도시가스의 소비 효율을 비교 분석하였다. 전체 에너지 소비량 중 난방용 에너지 소비량 자료를 추출하여 확률경계모형(Stochastic Frontier Analysis)을 이용해 분석한 결과, 열에너지가 도시가스보다 소비 효율이 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 열에너지의 높은 소비효율은 주택 종류, 건축연도, 주택면적, 주택소유형태, 도시규모, 소득수준, 가구원 수 및 가구주 나이 등과 같은 다양한 요인과도 관련이 있는 것으로 분석되었다. 도시가스와 비교하여 열에너지의 소비효율이 상대적으로 높을 수 있다는 분석결과는 가정 부문의 지역난방 보급확대의 근거로 소비자 효용 측면 효율 개선에서 있음을 시사한다.

산업용 스팀에 대한 수요함수 추정

Estimation of the industrial heat for demand function

김가은 · 임슬예* · 유승훈

서울과학기술대학교 에너지정책학과, *한국지역난방공사

국내에 존재하는 30개의 산업용 스팀 공급업체는 산업 생산공정에서 스팀을 생산하고 소비하는 개별 업체보다 에너지 효율이 높고 대기오염물질을 적게 배출한다. 그 이유는 이들 스팀 공급업체는 쓰레기 소각 설비, 발전소, 철강 및 화학 회사의 생산공정뿐만 아니라 열병합발전소 및 보일러로부터 발생한 폐열을 회수하여 사용할 수 있기 때문이다. 온수 또는 스팀의 형태로 공급되는 산업용 스팀은 산업공정에서 중요한 투입요소로 활용되고 있다. 이에 본 연구에서는 전국 257개의 제조업체를 대상으로 조사한 횡단면 자료를 이용하여 산업용 스팀의 수요함수를 추정하고자 한다. 산업용 스팀의 수요함수를 이용하면 산업체의 스팀 수요행태에 대한 정보를 제공하여 가격과 같은 주요 정책변수의 효과를 사전적으로 진단하고 산업용 스팀의 수요를 예측하는 데 유용하게 활용될 수 있다. 본 연구에서는 모수에 대한 강건한 추정치를 얻기 위해 오차항의 분포에 있어서 동분산 및 정규성의 가정을 하지 않는 최소절대편차 추정량을 사용하였다. 분석결과 수요의 가격탄력성 및 수요의 매출액탄력성은 각각 -1.0023 및 0.9445로 추정되었으며 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하였다. 산업용 스팀 수요의 가격탄력성의 절대값은 1보다 크므로 산업용 스팀 수요는 가격 변화에 대해 탄력적임을 알 수 있다. 또한 산업용 스팀 수요의 매출액탄력성 절대값은 0보다 크고 1보다 작으므로 산업용 스팀은 정상재이면서 필수재이며, 매출액 증감에 따라 산업용 스팀의 수요가 크게 변하지 않음을 알 수 있다.

산업연관분석을 이용한 에너지원별 물가파급효과 분석

Using input-output analysis to evaluate price pervasive impacts by energy source in Korea

조상연 · 김효진 · 유승훈
서울과학기술대학교 에너지정책학과

에너지는 일상생활의 필수재이자 산업생산의 주 투입요소로 그 역할이 중요하다. 우리나라의 에너지 산업은 대규모 중공업과 전자, 반도체 등 첨단 산업 시설에 안정적으로 에너지를 공급하며 우리나라 핵심 산업으로 자리 잡았다. 우리나라에서는 경제 발전이 이루어짐에 따라 등유, 경유 등의 1차 에너지가 상대적으로 가격이 자유화된 반면 전력은 전력가격정책의 영향으로 낮은 가격을 유지하고 있다. 이는 최종에너지 소비에서 1차 에너지 대신 전력의 비중이 늘어나는 에너지 소비의 비효율을 초래하였으며 환경·사회갈등 측면에서 외부비용도 발생시킨다. 비합리적인 에너지 소비구조 개선과 유엔기후변화협약의 이행을 위한 온실가스 감축, 미세먼지 이슈 해결 등을 위해서는 합리적인 에너지 가격체계를 갖추는 것이 필요하다. 각 에너지 산업의 물가변동이 국민경제 및 개별 산업에 미치는 영향에 대해 분석이 선행된다면 에너지 가격 및 조세체계 개편을 위한 정책수립 기초자료로 사용될 수 있을 것이다. 이러한 배경하에서 본 연구는 산업연관분석을 이용해 주요 에너지원별 가격변동의 물가파급효과를 분석하고자 한다. 이를 위해 가장 최근에 발표된 2015년도 산업연관표를 사용하여 석탄, 나프타, 휘발유, 등유, 경유, 중유, LPG, 전력, 도시가스, 증기 및 온수공급업 총 10개 에너지원별 물가파급효과를 분석하였다. 분석결과 에너지원별 10% 가격변동이 국민경제 전체에 미치는 물가파급효과는 전력(0.263%), 도시가스(0.126%), 나프타(0.0628%), 경유(0.0614%) 순으로 큰 것으로 나타났으며, 석탄, 등유, 휘발유 증기 및 온수의 물가파급효과는 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 가장 낮은 물가파급효과를 보이는 석탄에 비해 가장 높은 물가파급효과를 보인 전력부문은 약 83.5배의 물가파급효과가 있는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 에너지 관련 정책 수립시 국민경제 전체적으로의 물가의 영향을 최소화하기 위한 참고자료로 활용할 수 있을 것이다.

OECD 국가의 조세구조 현황분석을 통한 국내 에너지세제의 문제점 분석

An Analysis of the Problems of South Korea Energy Tax System through the Analysis of Tax Structure in OECD Countries

이재신 · 윤성만* · 유승훈

서울과학기술대학교 에너지정책학과, *서울과학기술대학교 경영학과

화석연료 사용으로 인한 지구온난화 등의 문제 해결책으로 전 세계가 친환경 에너지전환을 가속화하고 있다. 이러한 문제 해결에 동참하기 위해 국내 에너지전환에 대한 국민적 관심도 고조되고 있다. 에너지 전환은 경제와 산업뿐만 아니라 국민의 삶의 질에 미치는 영향이 크기 때문에 무엇보다 범국민적인 공감대 확산이 선행되어야 한다. 그러나 최근 석탄화력발전 비중이 오히려 증가하는 등 국민이 체감하는 실효성 측면에서 미흡하다는 지적이 제기되고 있다. 이러한 에너지전환의 적극적인 이행을 위해서는 그 수단으로서 국민으로 하여금 에너지를 절약하거나, 에너지원 간의 사용선호도를 전환하도록 유도하기 위해 부과되는 대표적 교정과세인 에너지세제의 합리화가 절실히 요구되는 상황이다. 이에 본 연구는 OECD 국가의 조세구조 현황과 동향에 대한 분석을 통해 국내 에너지세제의 현황을 진단함으로써 합리적인 에너지세제의 개편의 근거를 제공하고자 한다. 이를 위해 총 35개 OECD 회원국을 대상으로 2007년부터 2016년까지의 총 조세에 대한 국민부담률과 조세부담률의 변화추이를 살펴보고, 에너지세제의 현황을 분석하기 위해 세목별 GDP대비 세수비중과 세목별 세수의 비중을 분석하였다. 분석결과 OECD 국가의 국민부담률과 조세부담률은 2010년 이후 지속적으로 상승하였으며, 환경에너지세 세수가 총세수에서 차지하는 비중은 2000년 이후로 감소 추세를 나타냈다. 한국의 국민부담률과 조세부담률은 OECD 회원국 평균보다는 낮은 수준이나 환경에너지세제의 부담률이나 세수비중은 OECD 회원국 평균보다 높은 수준이다. 보다 구체적으로는 2016년 한국의 국민부담률은 OECD 회원국 평균 34.2%보다 낮은 26.3%로 33개 회원국 중 28위를 차지하였으며, 조세부담률은 OECD 회원국 평균 25.2%보다 낮은 19.4%로 체코와 동일한 수준으로 미국(19.8%)보다는 약간 낮은 수준이다. 그러나 환경에너지 세제 부담률은 2.54%로 OECD 회원국 평균 1.61%보다 0.93% 높고, 세수비중은 14.1%로 OECD 회원국 중 4번째로 높은 수준이며, 회원국 평균 8.8%보다 높다. 결과적으로 한국은 환경에너지세제에 대한 부담이 높으며, 총세수에서 차지하는 비중이 높은 만큼 환경에너지세제 개편에 대한 신중한 접근이 필요하다고 할 수 있다.

고효율 가전제품에 대한 소비자 선호 및 구매의사 분석

Consumer preferences and purchase intention for energy-efficient home appliances

허성윤

서울과학기술대학교 에너지정책학과

경제 및 산업구조가 고도화되고 사회가 발전할수록 가정 내 가전기기 보급률 및 사용 시간은 증가하며, 이는 가정의 전체 전력소비 증가로 이어지게 된다. 에너지 사용의 전기화(electrification of energy use) 현상은 국내에서도 발생 중이며, 이에 대한 주요 대응책 중 하나로서 고효율 가전기기 보급의 중요성이 주목받고 있다. 글로벌 에너지 효율 시장 규모 또한 지속적으로 확대되고 있으며, 고효율 가전 제품을 보급하려는 노력이 전 세계적으로 계속되고 있다. 가정 부문에서 에너지 절약 효과를 창출하기 위해서는 에너지 효율 수준이 각기 상이한 가전 제품들에 대한 소비자의 태도 및 구매의사를 정확히 파악하는 것이 중요하다. 고효율 가전제품 보급 활성화를 위한 효과적인 소비 부분의 정책을 개발하려면 무엇보다 에너지효율화 관련 정책에 소비자가 어느 정도 반응하는가에 대한 분석이 선행되어야 하기 때문이다. 전력 다소비 가전은 국가별 경제수준 및 생활양식에 따라 차이가 존재하는데, 많은 아시아 국가들의 경우 전기압력밥솥이 가정 내 전력 소비에서 상당한 비중을 차지하고 있다. 본 연구는 전기압력밥솥에 대한 소비자의 선호도를 에너지 효율 관점에서 분석하고, 한국의 고효율 가전제품 인센티브 지원제도(환급 정책)의 에너지 절약 및 배출 감소 효과를 평가한다. 소비자 선호에 대한 자료는 진술선호기법의 일종인 선택 실험으로부터 수집하며, 수집된 자료는 이산선택모형의 일종인 혼합 로짓 모형을 사용하여 분석한다. 추정 결과 밥솥의 모든 특성에 대한 소비자의 선호도에 이질성이 존재하였으며, 소비자는 가격 속성을 매우 중요시하는 것으로 나타났다. 시뮬레이션 결과를 통해 전기압력밥솥에 대한 환급 정책은 소비자 구매 결정에 상당한 영향을 미치며, 1등급 에너지 효율 제품에 10%의 환급 혜택이 제공될 경우 소비전력 및 이산화탄소 배출량이 상당히 감소되는 것으로 나타났다. 분석 결과를 바탕으로 에너지 효율 정책 및 에너지 라벨에 대한 의미 있는 정책적 함의를 도출한다.

에너지전환 정책에 대한 국민 수용도 분석

Public Opinion on Energy Transition Policy in Korea

김주희 · 조상연 · 유승훈*

서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과

한국 정부는 2016년 기준 2.2%에 불과한 재생에너지 발전량 비중을 2030년까지 20%로 확대하면서 원전과 석탄발전을 줄이는 에너지 전환 정책을 추진하고 있다. 이 정책의 추진으로 온실가스 배출이 줄고 국민 안전이 제고될 것으로 기대되지만 전기요금의 인상도 초래될 것이므로, 현재 에너지 전환 정책에 대한 찬·반 양론이 대립하고 있는 상황이다. 이에 본 연구에서는 무작위로 추출된 전국 1,000명에게 정부의 에너지 전환 정책을 찬성하는지 여부에 대해 조사를 한 후 이에 대한 결정요인들을 분석하고자 한다. 종속변수는 5점 척도로 조사된 에너지 전환 정책에 대한 찬반 의견을 사용하며 독립변수로는 성별, 연령, 교육수준, 소득수준, 수도권 거주여부, 난방방식, 인덕션 사용여부, 일자리와 환경에 대한 인식 그리고 Renewable Energy (RE) 100 캠페인에 대한 사전 인지 여부를 사용하였다. 분석방법으로는 서열 프로빗 모형을 이용하였다. 분석결과 연령, 수도권 거주여부, 난방 방식, 일자리와 환경에 대한 인식, RE100 캠페인에 대한 사전 인지 여부는 응답자의 정부 에너지 전환 정책에 대한 의견에 유의미한 영향력을 행사하는 요인임을 확인하였다. 구체적으로는 응답자가 수도권에 거주할수록, 연령이 적을수록, 난방 방식이 전기난방이 아닐수록, 일자리보다 환경을 더 중시할수록, RE100 캠페인에 대해 들어본 적이 있을 경우 에너지전환 정책에 더욱 찬성하는 것으로 분석되었다.

주민참여형 신재생 발전사업에 대한 국민 수용성 평가

Evaluating the public acceptance of resident-participatory renewable energy projects

이혜정 · 허성윤 · 이철용*

서울과학기술대학교 에너지정책학과, *부산대학교 경영학과

전 세계적으로 기후변화에 대응하고 석탄사용량을 줄이기 위해 신재생에너지 비중을 확대하는 추세이다. 우리나라 역시 세계 에너지 환경 변화에 맞춰 신재생에너지 발전설비 비중을 2017년 기준 11.3GW에서 2030년 까지 58.5GW로 확대할 계획이다. 우리나라는 국토의 약 70%가 산지이고 인구밀도가 높은 편이므로 신재생에너지 발전설비 비중을 약 5배 증가시키기 위해서는 거주지와 근접한 위치에 신재생 발전설비가 들어설 가능성이 높다. 그러므로 정부의 정책을 지속적으로 추진하기 위해서는 신재생 발전설비에 대한 국민의 수용성을 파악하는 것이 중요하다. 신재생 발전설비 사업에 국민의 참여를 유도하기 위해 정부는 주민참여형 신재생 발전설비 사업을 계획하고 있다. 본 연구에서는 한국의 일반 대중과 지역주민들 사이에서 조건부 가치측정법을 사용하여 거주지로부터 약 1km 이내에 신재생 발전설비가 건설될 경우 신재생 발전설비에 대한 수용 의사를 정량적으로 평가하고 비교 분석하였다. 분석 결과에 따르면 신재생 발전설비에 대한 수용성은 일반 대중 보다 지역주민의 경우 훨씬 낮았으며 발전원에 대한 수용성은 일반 대중과 지역주민 모두 태양광, 풍력, 바이오매스 순으로 낮은 수용성을 보였다. 본 연구 결과는 신재생 발전설비에 대한 대중 및 지역주민의 수용성을 파악함으로써 향후 자발적인 사업 참여를 유도할 수 있는 기준 마련에 유용한 정책 자료로 활용될 수 있으며, 일반 대중과 지역주민의 수용성의 차이를 파악함으로써 간격을 줄일 수 있는 차별적인 정책마련의 방향성을 제시할 수 있다.

열요금 규제 방식에 따른 지역난방 열원 구성의 변화와 시사점

The Impact of Price Regulation on District Heating Production Composition and Its Implication

오세신
에너지경제연구원

우리나라의 지역난방 열원 구성은 기본적으로 열병합발전과 열전용보일러에 의해 이루어지고 있다. 이에 따라 민간이 다수를 이루는 국내 지역난방 사업자는 사업 환경을 고려해 이익을 가장 극대화하도록 열원별 용량을 결정할 것으로 짐작해 볼 수 있다. 최근의 국내 지역난방의 열원별 생산량 추이를 살펴보면 열병합발전의 비중이 지속적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 2010년대 이후 전력시장의 수요 증가세 둔화에 따라 SMP가 부진한 상황이 이어지고 있음을 고려하면 전력 도매가격 외에 지역난방의 열원 구성에 영향을 미치는 또 다른 주요한 변수가 있을 수 있음을 가늠하게 한다. 따라서 본 연구에서는 제도적 요인으로서 지역난방의 요금 규제 방식이 지역난방 열원 구성에 어떻게 작용할 수 있는지에 대한 이론적 분석을 시도하였다. 구체적으로 가격상한 규제와 투자보수율 규제에서 지역난방 사업자의 최적 열원 구성이 어떻게 차별성을 보이는지를 분석했으며, 이를 통해 가격상한 규제에서는 경제적 관점에서 지역난방 열원 구성의 최적화를 달성할 수 있는 반면, 투자보수율 규제에서 열병합발전에 대한 투자가 비효율적으로 높게 발생할 수 있음을 보였다. 그리고 환경적 외부효과를 고려할 경우 가격상한 규제에서도 최적의 열병합발전 비중은 보다 확대될 필요가 있으며, 이는 해당 규제 환경에서 열병합발전에 대한 지원이 필요함을 의미한다.

인위결함을 삽입한 가스용 PE배관 전기융착부의 위상배열초음파 검사기술에 대한 연구

A Study of phased array ultrasonic test method on Polyethylene Electrofusion Joints with artificial defects inserted

길성희 · 김영규 · 고영규
한국가스안전공사 가스안전연구원

PE관 전기융착부의 건전성을 평가하기 위한 방법으로 위상배열초음파를 이용한 검사방법이 한국가스안전공사에서 국제 기술표준(TS; Technical Specification)으로 제안되어 국제공동검증시험(Round Robin Test)을 완료되었다..

국제공동검증시험은 ISO DTS16943(PE배관 전기융착부의 위상배열초음파를 이용한 검사방법)의 기술적 검증을 추진하기 위한 목적으로 7개국 총 11개 기관이 참여하여 수행되었다. 각 참여기관은 한국가스안전공사에서 제작하여 배포한 정상융착 시험편과 표준에서 제시한 결함 유형에 따라 제작된 즉 인위적으로 결함이 삽입된 시험편을 가지고 결함 크기 및 위치에 대한 검사를 실시하여 그 결과를 제시하는 방식이다. 참고로 인위적으로 결함을 삽입한 시험편으로는 콜드퓨전 시험편, 융합불량 시험편, 스크레핑을 실시하지 않은 시험편, 분말을 융착부에 삽입한 시험편과 열선부에 배관이 일부만 접촉하도록 제작한 시험편 등이다.

국제공동검증시험 결과 결함 탐상율은 93% 이상이었고 DTS16943에서 제시된 결함 유형 및 탐상 공정에 대한 신뢰도는 확보되었다고 판단할 수 있었다.

향후 이 결과는 국제기술표준 채택을 위해 활용될 예정이며 채택된 이후에는 국제표준으로 트랙을 변경하여 추진할 예정이다.

표준유량계법을 활용한 수소 충전소의 계량 정확성 평가

Evaluation of Metering Accuracy of Hydrogen Stations using Master meter method

한원국 · 임상식 · 길성희 · 김영규
한국가스안전공사 가스안전연구원

올해 1월 정부는 「수소경제 활성화 로드맵」을 발표하며 수소차와 연료전지를 양대 축으로 “세계 최고 수준의 수소경제 선도국가로 도약”을 비전으로 설정하였다. 2040년까지 수소차 620만대(내수290만대)와 수소 충전소 1,200개소 구축을 목표로 이를 위한 다양한 정책이 추진되고 있다. 정부가 목표로 하는 수소차의 보급을 위해서는 이를 뒷받침할 수 있는 인프라 구축이 중요한데, 현재 국내에서는 수소 충전소의 계량 기술의 기반이 부족한 실정이다. 현재 수소 충전기는 법정 계량기로 지정되어있지 않아 관리가 되지 않고 있는데, 오차가 많이 발생하는 수소 충전의 특성 상 수소 충전 시 계량 정확성에 대해 평가하거나 검증할 수 있는 기준이 마련되어야 한다.

본 연구에서는 국내 수소 충전소의 계량 정확성을 평가하기 위해 표준유량계법을 활용하여 상업용으로 운영되고 있는 수소 충전소 순회검사를 수행하였다. 이를 통해 측정한 데이터를 분석한 결과와 이를 기반으로 도출한 국내 수소 충전소 관리방안에 대해 소개하고자 한다.

수소 충전소 등 위험시설의 KGS GC101에 따른 폭발위험구역 계산

Zoning of Hazardous Area of Hydrogen Station according to Guideline of KGS GC101 Code

김정환 · 이민경 · 길성희 · 김영규 · 고영규

한국가스안전공사 가스안전연구원

가연성 가스 또는 위험물 근처에서 전기기기를 사용하고자 한다면 방폭형 전기기기를 위험장소 구분에 맞게 쓰거나, 비위험지역으로 분류된 장소에서 사용해야 한다. 폭발위험구역의 선정과 거리계산에 대한 상세기술기준 KGS GC101 2018(가스시설의 폭발위험장소 종류 구분 및 범위 산정에 관한 기준, 2018.07.12. 시행)의 제정에 따라 향후 가연성 가스시설의 폭발위험구역의 선정 및 계산은 필수 사항이다. 정부의 수소경제 활성화 로드맵에 의하면 2022년까지 310개소, 2040년까지 1200개소의 수소충전소를 확충할 계획으로, 이 충전소 시설 모두 폭발위험구역이 선정되야 하고, 방폭전기기기를 구역에 맞게 사용해야 한다.

이번 연구를 통하여 수소가 누출될 수 있는 포인트의 예시를 한 개 선정하여 위험장소 선정 및 거리계산을 하였고, KGS GC101 코드의 계산을 쉽게 해줄 프로그램 사용법을 소개하고자 한다.

벌크로리를 통한 국내 LPG 공급시스템 안전성에 대한 평가

Evaluation on Safety of Korean LPG Supply System by bulk Lorry

이화영 · 이민경 · 김정환 · 길성희 · 김영규

한국가스안전공사 가스안전연구원

현재 국내의 벌크로리를 이용한 LPG 공급은 10톤 이하의 벌크로리로 3톤 미만의 소형저장탱크에만 공급할 수 있도록 제한하고 있다. 하지만 해외의 경우, 탱크 용량에 관계없이 벌크로리로 저장탱크에 LPG를 공급하고 있다. 정부에서는 이와 같은 해외 기준과 LPG판매사업자의 향상된 안전 관리능력을 반영하여 벌크로리의 공급 범위를 기존의 3톤에서 10톤으로 확대할 예정이다. 따라서 공급 규모 확대에 따른 안전성 확보를 위해 기존의 벌크로리를 통한 LPG 공급 시스템에 대한 기술적 평가가 필요하다.

본 연구에서는 LPG 공급에 사용되는 충전용 어댑터에 대한 안전성 확보를 위한 평가를 수행하였다. 먼저, 충전·판매사업자 대상으로 공급 범위 확대 시 LPG 공급 현장에서 발생할 수 있는 문제점에 대한 설문조사를 진행하였으며, 조사 결과를 바탕으로 현장실사를 진행하여 문제점의 개선방향 및 보완점을 모색하고 다양한 충전 환경에 대한 어댑터의 안전성 여부를 확인하고자 한다.

고Mn강 LNG 저장탱크의 건전성 고찰

A study on the integrity of LNG Storage Tank by High Manganese Steel

이다은 · 김정환† · 길성희 · 김영규 · 배종수* · 이승주 · 장성록*****

한국가스안전공사 가스안전연구원, *한국가스안전공사 경남지역본부,
**한국가스안전공사 산업시설진단처 ***한국가스안전공사 부산지역본부

최근 포스코에서 고Mn강 상용생산 기술을 세계 최초로 개발하였다. 고Mn강은 재료로써 가격 경제성을 갖고 있고, 내마모성, 내충격 성능이 우수하다. 기존 LNG저장탱크 재료 9%Ni강과 항복강도, 인장강도, 충격 안전성도 유사하다.

산업통상자원부 고시, 액화천연가스용 및 액화질소용 저장탱크의 사용재료에 관한 기준에 의하여 고Mn강(KS D 3031), 고Mn강 용접재료(KS D 7142~7145)를 포항 및 광양, 백령도 지역에 한하여 연구 개발 실증용으로 사용할 수 있게 되었다. 포항 RIST 부지에 테스트 베드를 구축하여 20년 수명의 고Mn강 저장용 저장탱크(60㎥), 시험용 저장탱크(2㎥)를 설계 및 제작 설치하였다. 완전비움/채움 시험을 실시하였고, 이충전 반복실험 및 성능평가를 진행하였다. 실험 종료 후 tear-down하여 비파괴 검사, 조직검사, 재료시험 결과를 통해 초저온 안전성능 기준 및 LNG저장탱크 적용 타당성·건전성을 검토하였다.

LP가스(20kg) 용기로부터 누출량 측정에 대한 연구

A Study on Leakage Experiment from 20kg LPG Cylinder

이민경 · 송보희 · 길성희 · 김영규
한국가스안전공사 가스안전연구원

도심지에서 주로 사용되며 배관으로 공급되는 도시가스와 달리 용기로 유통되며 도서 및 낙후 지역에 많이 사용되며 안전관리가 제대로 이뤄지지 않아 사고 발생률이 높다. 한국가스안전공사의 2012~2016년 사고사례 분석에 의하면 전체 가스사고 중 LP가스에 의한 사고는 약 67%로 매우 높은 비율을 차지하고 있다. 그렇기 때문에 LP가스의 경우 타 가스에 비해 인명피해율이 높아 안전관리 강화에 대한 필요성이 꾸준히 제기되어 왔다. 안전관리강화를 위한 방법으로는 실제 발생한 사고 분석을 통해 원인 규명을 진행하여 이에 대한 대응책을 마련하는 방법이 있다. 이러한 분석을 수행하기 위해서는 가스 누출량 예측을 통한 피해예상 등이 수행된다. 사고 현장의 정황을 통해 누출량을 계산하고 있지만 이상적인 수식으로 누출량을 추정하는 것에는 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 한국가스안전공사에서는 1996년에 LP가스 누출실험을 통해 누출량 추정을 하였다. 본 연구에서는 96년 실험을 바탕으로 외기온도, 배관 상태 등의 몇몇 조건을 추가하여 LP가스 용기로부터 가스 누출량 측정을 진행하였다. 이러한 실험적 연구를 통해 사고예방 기술 확보를 위한 기초자료를 만들어 안전관리강화에 기초가 될 수 있을 것으로 기대한다.

붕산수 재순환 펌프 자동예측진단 기술 적용 방안 분석

Automatic Predictive Diagnosis Technology Application Study of Boric Acid Recirculation Pump

맹효영

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력발전소 펌프의 가동 중 시험은 전력산업기술기준(KEPIC) 2005년판 MOB(펌프 가동중 시험)를 따르고 있다. 펌프 시험항목 중 진동에 대해서는 기준 값(Vr)의 2.5배(2.5Vr)를 경고범위로, 6배(6Vr)를 조치범위로 명시하고 있다. 저 진동 펌프(Smooth Running Pump)[1]의 경우 낮은 기준값으로 인해 경고 및 조치 범위도 매우 작게 설정되어 진동의 미세 증가만으로도 운전 허용범위 초과 및 불필요 정비 사례가 다수 발생한다. NRC(Nuclear Regulatory Commission)에서는 낮은 진동 기준 값 운영이 저진동펌프 건전성 관리로는 충분치 않다고 판단하고 예측정비 프로그램[2]의 적용을 통해 진동 기준 값 완화를 승인하고 있다.[3] 이에, 본 논문에서는 국내 최초로 추진 중인 자동예측진단 기술[4] 적용을 통한 붕산주입탱크 재순환 펌프 진동 기준 값 완화 방안을 제시하고자 한다.

우선적으로, 대상펌프의 진동측정 방법 및 예측정비 적용가능성을 분석하였다. 붕산주입탱크 재순환 펌프[5]는 4개 진동 측정점의 총 진동값을 기준으로 설비의 건전성을 관리하고 있으며 각 측정점의 기준 값은 0.2~0.5mm/s이다. 예측정비 도입 측면에서는 고온의 계통수 단열을 위한 보온재가 외부에 설치되어 있어, 진동 이외의 예측정비 프로그램 도입이 곤란하다. 따라서 펌프 건전성 관리를 강화하기 위한 방안으로 계통 운전변수와 진동진단 데이터와의 상관관계를 도출하고 이를 시스템에 반영하여 자동으로 모니터링 하도록 개발하였다. 이는 기존에는 측정된 진동정보에만 국한된 진단방법을 계통 운전변수에까지 확대하여 설비 진단 정보의 유효성 및 정확성을 제고하기 위함이다. 더불어, 각 측정점 별 총 진동값만 관리하던 기존의 방식에서 나아가 Narrow band 기법[6]을 함께 적용하여 기계적 결함 진단 기능을 강화하였다.

위의 모든 변수들은 자동예측진단 시스템으로 입력 및 구현되며 축적된 데이터를 활용한 기계학습을 통하여 최적 결함 진단 모델을 개발하고 이를 이용하여 설비의 결함을 감지할 수 있도록 하였다. 각 변수별로 정상 및 경고 범위를 설정하여 기준 값 도달 시 조기에 경보를 발생하고 결함 부위를 3D 다이어그램으로 표현하여 정비 시 활용 가능하도록 하였다. 이를 통하여, 대상 펌프의 건전성의 강화 및 진동관리 기준치를 완화할 수 있는 체계적인

1) 진동 1.27mm/s 이하의 매우 낮은 진동 기준값(Vr)을 갖는 펌프(KINS/GT-N024 안전관련 펌프, 밸브 가동중 시험(IST) 지침)
2) 다양한 변수들의 주기적 감시를 통해 전반적인 기계 상태를 관리하기 위한 프로그램
3) NUREG-1482 Rev. Guidelines for Inservice Testing at Nuclear Power Plants, 5.12 Smooth Runninmg Pumps
4) 4차 산업기술 국정과제로써 전 원전에 분산 운영 중인 설비 상태감시 시스템을 통합하여 체계적인 진단을 수행
5) 비상시 원자로 정지용 붕산주입탱크의 붕산수를 재순환 시켜 농도 및 온도를 균일하게 유지하고 붕산의 결정화를 방지하는 설비
6) 주파수 대역별로 진동폭을 별도 관리 및 분석하는 설비관리 방법

방안을 수립할 수 있게 되었다.

Fig. 1. 붕산주입탱크 재순환 펌프 자동예측진단 시스템 구현화면(1)

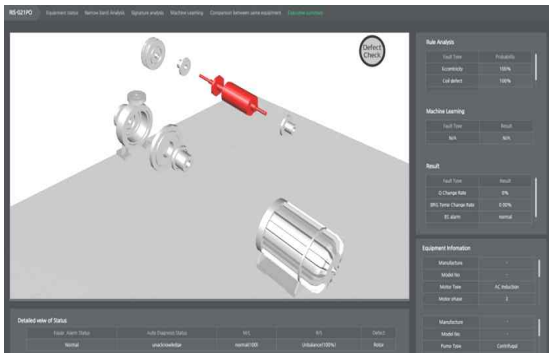


Fig. 2. 붕산주입탱크 재순환 펌프 자동예측진단 시스템 구현화면(2)

원자로건물 범용 보수도장 시스템 연구

Research on Protective Coating System for Extensive Use in Reactor Containment Building

임상준
한국수력원자력 중앙연구원

원자력발전소의 방호도장은 노형별 원자력발전소에서 요구하는 기능을 확보할 수 있도록 설계되어야 한다. 즉, 설계수명기간 동안 방호도장 시스템에서 요구되는 기능을 확보할 뿐만 아니라 정상운전 또는 설계기준사고시 주위 노출 환경조건에서 견딜 수 있도록 안전하게 설계해야 한다.

특히, DBA시 고온/고압 및 Chemical Solution 조건하에서 도막 건전성을 유지하고 도장결함(탈락)으로 인해 발전소 비상노심냉각계통(ECCS, Emergency Core Cooling System)의 정상기능이 방해받지 않도록 설계·시공되어야 한다.

국내 가동중원전의 경우 제한된 계획예방정비(O/H, Overhaul) 기간내에 기존 방호도장의 유지보수를 수행하기 위해서는 부분 보수가 불가피하며, 기존 도장시스템과 보수 도장시스템의 상응성 검증이 수행되어야 한다.

보수도장 시스템은 건설 도장시스템으로 도장 처리된 시편중앙부를 콘크리트 및 철재 소지면까지 제거한 후 신규 도장시스템으로 도장한 시편에 대해 설계기준사고(DBA, Design Basis Accident), 내방사선 조사 및 부착력 시험 등을 수행하여 합격한 도장시스템으로 선정해야 한다.

국내 안전성관련 원전 도장시스템은 고리1,2호기부터 최근의 발전소에 이르기까지 정형화된 도장시스템을 유지하고 있다. 그러나 기능이 향상/발전된 도료가 개발되고 환경규제 요건의 강화로 새로운 친환경 도료의 개발이 요구되거나 경우에 따라서는 기존도료의 생산이 단종되는 등 대체 보수도장시스템을 개발하고 이를 해결하는 일에 상당한 시간과 인력이 소요된다.

대체 보수도장시스템 연구개발은 비용과 시간의 투자가 상당하여 도료업체 혹은 연구소 등에서 접근하기 어려운 분야로 여겨져 왔다. 국내 발전소의 경우 대체도료를 시험하는 방법, 기준 확립, 절차서 확정, 도장시스템 결정 등 표준화되고 구체화되는 과정이 이뤄지지 않고 있으며 아직도 규제만을 단순히 따라가야 하는 것이 원전도장 보수시스템의 현실이다.

따라서, 연구개발과제를 통해 보수도장 시스템을 개발하여 다수의 보수도장시스템 확보가 필요하며, 이를 통해 계획예방정비(O/H, Overhaul) 기간내 즉시 보수시공이 가능하여 원전 안전성 확보 및 가동률 증진이 가능할 것으로 사료된다.

고리1호기 영구정지원전 주기적 안전성평가

Periodic Safety Review for Kori 1 Permanent Shutdown unit

김동욱
한국수력원자력-중앙연구원

한국 최초 원자력발전소인 고리1호기가 2017년 6월 가동을 멈추고 영구정지되었다. 고리1호기는 영구정지되었지만 해체가 이루어지기 전까지는 사용후핵연료저장조계통, 비상전력계통, 방사성폐기물처리계통 등 영구정지 이후에도 운영되는 설비가 안전성을 확보하고 있는지를 확인하기 위해서 주기적 안전성평가(Periodic Safety Review; PSR)가 이루어진다. 원자력발전소에서 주기적 안전성평가의 목적은 운전기간동안 고도의 안전성을 보증하기 위하여 일정주기로 수행되는 체계적이고 종합적인 안전성평가이다. 법규상 영구정지원전의 PSR은 가동원전과 동일한 안전성평가 적용을 요구하며, 단, 영구정지한 원자로시설의 전부 또는 일부를 사용하지 아니하는 부분에 대하여는 안전성평가 예외를 인정하고 있다.

PSR은 기본적으로 IAEA PSR지침서(SSG-25)에 따라 수행하는 것을 원칙으로한다. PSR은 수행범위 및 깊이에 따라 수행비용이 좌우되므로 안전성을 보장하는 전제하에 영구정지원전의 PSR 수행범위와 깊이를 최적화하여, PSR 수행기준과 범위에 대하여 규제기관과 충분히 협의하라는 IAEA PSR지침권고에 따라 도출된 결과를 바탕으로 규제기관(KINS)과 충분히 협의하여 평가범위를 확정하였고 이를 바탕으로 각 분야별 평가를 거치고 2018년 말 규제기관에 제출하였으며 현재 심사가 진행 중이다.

한국에서 영구정지원전 PSR은 고리1호기에서 시범적으로 진행되고 있는 만큼 이번 평가에 대한 심사가 완료되면 영구정지원전 PSR의 수행기준, 수행범위, 수행깊이, 수행절차 등 프로세스 표준화가 이루어지게 되고 향후 영구정지되는 각 발전소는 gap분석을 통해 해당발전소에 해당되는 부분에 대한 추가 또는 제외 항목을 결정하여 수행하면 된다.

본 논문에서는 한국 최초 영구정지원전인 고리1호기의 주기적 안전성평가 범위 선정, 평가내용, 평가결과 등 PSR 프로세스를 기술한다.

대규모 신재생에너지 대응 열이용 전력저장 기술의 현황

Thermal Energy Storage System Technology for Large-scale Renewables

조준현 · 신형기 · 노철우 · 최봉수 · 조종재 · 이범준 · 이길봉 · 나호상 · 백영진
한국에너지기술연구원 열에너지시스템 연구실

인류가 100여년 이상 안정적으로 대규모 전력을 생산해온 기술은 발전사이클(Power Cycle) 기술로, 연료를 열에너지 형태로 바꾼 뒤 터빈을 구동하여 전력을 얻는 방법이다. 현재 국내 전력 생산의 92%는 이러한 방식의 증기터빈과 가스터빈을 통해 얻고 있다. 향후 대규모 신재생 발전단지 구축이 예상됨에 따라, 간헐적인 전력 생산 특징을 가지는 신재생 발전원들의 변동성을 흡수하고, 반나절 이상의 전력 시간 이동(Time Shift)을 통해 그리드의 안정성과 신뢰성을 확보할 수 있는 기술의 필요성이 대두되고 있다. 대규모, 장기 전력저장 기술 대안 중의 하나로, 신재생발전원의 잉여 전력을 전력-열변환 시스템을 이용하여 대규모의 열에너지 형태로 변환, 저장한 뒤, 전력이 필요할 때 발전사이클을 구동하여 열을 대규모의 전력으로 변환하는 방식의 열이용 전력저장 기술 개발이 미국을 중심으로 구체적으로 시작되었다. 전력-열변환 기술로는 초고온 자연냉매 히트펌프 기술이 주로 적용되고, 열저장 매체로는 발전사이클 작동온도 조건에 따라 모래, 용융염, 물 등을 이용하며, 발전사이클로는 상용 스팀 발전, 초임계 이산화탄소 발전, 유기냉매 랭킨사이클 등이 활용된다. 본 연구에서는 열이용 전력저장 기술의 개념 및 레이아웃 구성, 타 에너지저장 기술과의 비교 등에 대하여 다루고자 한다.

사 사

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업 (B9-2432)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

수백kW급 초임계 이산화탄소 발전 테스트루프의 개발 현황

Development of Hundreds of kWe-class Supercritical Carbon Dioxide Test Loop

최봉수· 조준현· 조종재· 신형기· 나호상· 노철우· 이길봉· 이범준· 왕은석· 백영진
한국에너지기술연구원 열에너지시스템연구실

초임계 이산화탄소 발전은 작동유체로 물 대신 이산화탄소를 활용하는 발전방식으로써 설비의 소형화, 적은 부지면적, 건식냉각의 활용, 발전 효율의 상승과 같은 장점으로 최근 많은 관심을 받고 있다. 하지만 기술의 상용화를 위해서는 아직 검증해야 할 사항들이 남아있기 때문에, 전 세계적으로 개발단계에 머물러 있는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 초임계 이산화탄소 발전기술을 파일럿플랜트 규모의 시험 장치에서 검증하고자 하며 주된 목표로는 초임계 이산화탄소 발전에 적합한 소형 터빈과 압축기의 개발 및 성능 시험, 전체 발전 사이클의 제작 및 운전절차의 확립, 운전 시 요구되는 환경제어와 안정성 확보, 터보기기 이외의 기타 구성요소의 설계 및 성능 시험이 있다. 이를 위해 수백kW급 초임계 이산화탄소 발전 테스트루프를 현재 설계 및 제작 중에 있으며, 테스트루프는 2개의 터빈을 활용하는 다단 복열 사이클이다. 주요구성요소로는 터빈 외에 압축기, 복열기, 열원, 재압축 시스템, 이산화탄소 주입 시스템 등이 있다. 본 논문에서는 제작된 구성요소와, 테스트루프의 전체 레이아웃 현황을 살펴보고자 한다.

사 사

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업 (B9-2432)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

고압비상충수계통의 APR1400 적용성 예비 평가

Feasibility Assessment of High-Pressure Emergency Makeup System in APR1400

강상희, 이재민
한국수력원자력 중앙연구원

일본 후쿠시마 원전 사고 후 원전 안전성이 강조됨에 따라 발전소 정전사고 (Station blackout accident, SBO)와 같은 고압상태를 유발하는 사고를 완화하고 원전의 안전성을 강화할 수 있는 고압비상충수계통(High-pressure Emergency Makeup System, HEMS)이 개발되었다. HEMS는 기존의 안전주입탱크(Safety Injection Tank, SIT)와 가압기를 압력평형관으로 연결하고, 고압사고 시 작동하여 원자로냉각재계통(Reactor Coolant System, RCS)에 냉각수를 공급하는 계통으로, 이는 사고 발생 시 노심손상시간을 지연시키고, 사고복구 및 운전원 조치시간을 제공하여, 원전의 사고 대처능력을 향상시킬 수 있다. 고압주입이 가능한 안전주입탱크를 혼합형 SIT (Hybrid Safety Injection Tank, Hybrid SIT)로 명명하였고, HEMS는 APR+ 원전을 대상으로 설계되었다.

본 연구는 APR+ 대상으로 개발된 HEMS의 APR1400 적용 가능성을 평가하기 위해 수행하였다. HEMS는 기존 설계에 따라 파이롯트구동안전방출밸브(Pilot Operated Safety and Relief Valve, POSRV)의 첫 개방 시 작동하여, 이전 Hybrid SIT 수위(10%이하)에 따라 순차적으로 주입되는 것을 기본으로 모의하였고, 작동 설정치의 적정성을 평가하기 위해 Hybrid SIT 수위를 15%, 20%로 변경하여 RELAP5/MOD3.3를 사용하여 예비해석을 수행하였다. SBO 발생 후, 모든 교류전원의 상실로 APR1400의 경우, 터빈구동 보조급수펌프를 이용하여 노심 잔열을 제거할 수 있으나 축전지 용량인 8시간 작동 후에는 펌프가 중단되어 2차측을 통한 냉각이 불가함에 따라 RCS의 압력은 상승하고, 노심손상이 발생한다.

평가 결과 1대의 터빈구동 보조급수 펌프가 8시간 작동 후, 첫 POSRV 개방시 HEMS가 작동하여 RCS에 냉각수를 주입함에 따라 노심손상이 지연됨을 확인하였다. 그러나, 이전 Hybrid SIT 수위 10%이하에서는 4대의 Hybrid SIT 냉각수가 주입되지 못하고, 노심손상이 발생하였고, 15%와 20%의 경우 4대의 Hybrid SIT 냉각수가 모두 주입될 수 있는 것으로 확인되었고, 15%일 때 HEMS 주입으로 인한 가장 오랜 냉각기간을 확보할 수 있었다. 이는 APR1400 노형에 HEMS를 적용하여, 노심손상시간을 지연시켜, 원전의 사고 대처능력을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되며, 향후 APR1400 HEMS 적용 시 활용할 수 있을 것이다.

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20131510101670)

건설원전 형상상태평가 방안에 대한 연구

Study on the Program of Configuration Status Assesment for Under Construction Nuclear Power Plant

박유진

한국수력원자력 플랜트설계연구소

1. 서론

원자력발전소 형상관리는 원전의 SSC(System Structure Component)를 이루고 있는 설계요건(Design Requirement) – 설비형상정보(Facility Configuration Information) – 물리적형상(Physical Configuration)을 일치성을 보증하는 방안으로 최근 원자력안전위원회의 형상관리 규제지침이 제정되면서 건설원전에도 형상관리 기술 적용이 요구되고 있다. 이러한 형상관리 업무를 수행하기 위해서는 형상식별–형상변경관리–형상상태평가 방안 및 건설 공정을 고려한 형상관리 계획수립이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 형상관리 프로세스 중 원전 건설단계에서 형상관리 대상 문서, 변경상태, 승인된 시공형상을 공식적으로 평가하기 위해 현재 건설중 원전을 대상으로 형상상태평가 방안에 대해 논하고자 한다.

2. 본론

2.1 형상상태 평가 범위에 대한 고찰

형상상태평가는 시공이 완료된 물리적형상의 검증을 통해 발전소 준공 전 SSC가 설계 및 기능요건을 만족하는지를 확인하는 과정으로 현실적으로 모든 SSC 및 설비형상정보를 평가할 수 없으므로 평가범위 선정이 선행되어야 한다. 프로젝트 공정률 및 정보연계성으로 고려하여 73개 계통설계요건, Tag(설비) 속성정보/도면(P&ID, ISO DWG, SLD 등)와 같은 설비형상정보, 시공상태보고서/변경관련보고서 등과 같은 시공형상을 평가 대상범위로 선정하였다.

2.2 형상상태 평가 점검항목 및 조치방안

형상상태 평가시 점검항목은 현행 규제지침 및 사업자 업무프로세스를 고려하여 아래와 같이 설계요건 분야와 공통분야를 구분하였다.

구 분		점검내용
공통분야	H/W	단위기기 교체, 재설치, 보수 관련 변경
		단위기기 카드/케이블/단말 변경
		전송기/스위치류 지시범위, 설정치 변경
	S/W	로컬판넬 제어로직 변경(MMIS 외)
		기기제어, 신호, 경보, 설정치 변경(MMIS)

구분	점검내용
설계분야	요건체계별 작성범위의 적절성 (Top-Tier/Plant, System, Tag)
	요건간 추적 및 연계의 적절성
	요건과 관련 설계문서 연계의 적절성

상태평가를 통해 도출된 불일치사항은 원전 건설프로세스 특성에 맞는 조치방법이 필요하며 설계요건 및 설비속성정보의 누락/오류는 건설개선프로그램(Corrective Action Program)을 통해 수행하고 시공형상(위치, 구조)불일치 및 식별오류는 현장설계변경(Field Change Request)으로 조치하고 변경결과를 평가하여 형상관리 3 Ball을 일치시키는 것이 타당한 것으로 검토되었다.

3. 결론

본 연구에서는 형상항목들이 설계요건에 규정된 성능을 발휘하는지, 준공상태와 일치하는지 확인하고 운전형상이 형상문서에 부합하는지 평가하기 위한 방안에 대해 논하였다. 이를 위해 11종의 설계요건문서, 40여종에 대한 도면, 618개의 건설-시운전 계통인계/인수에 대한 평가프로세스를 정의하였다. 이러한 형상상태평가 방안을 실제 프로젝트에 적용함으로서 건설단계부터 형상의 불일치를 방지하고 발전소 준공전 정확한 형상정보이관을 통해 형상관리 규제요건 달성 및 설계변경시 엔지니어링 자체 역량을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

해양복합온도차 발전설비의 천이상태 해석을 통한 발전소 영향평가

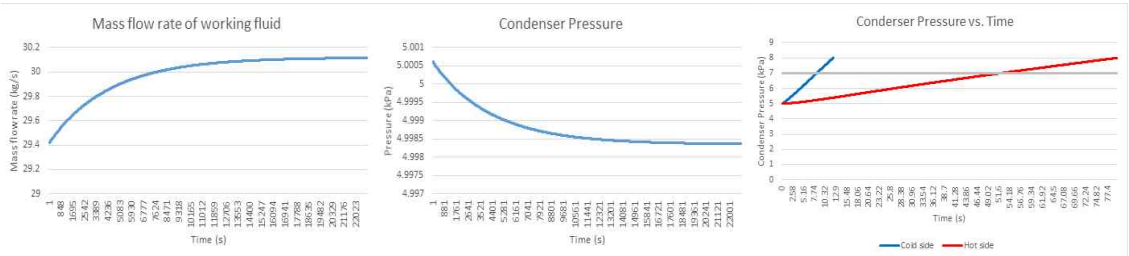
Performance Evaluation in Transient Conditions of Combined Ocean Thermal Energy Conversion

전어진* · 허균영* · 정훈**

*경희대학교 원자력공학과, **한국전력공사 전력연구원

해양복합온도차발전(Combined Ocean Thermal Energy Conversion, C-OTEC)은 발전과정에서 버려지는 복수기의 배기증기를 열원으로 직접 활용하여 친환경 재생 기술을 확보할 수 있는 시스템이다. 선행 연구를 통해 한국남동발전의 영동화력발전소 2호기에 200 kW급 C-OTEC을 설치함에 있어 열평형도 설계, 유동해석, 발전소 영향평가를 수행하여 개념 설계를 완료하였다. 증발기 사이즈로 인하여 복수기 외부에 설치하였으며 설계 전기출력을 생산하기 위해 필요한 취출 증기 유량을 계산하였고 증기유입을 확인하기 위하여 3차원 전산유체해석을 통해 유동 특성을 분석하였다. 심층수 취수를 모사하기 위하여 동절기를 택하여 복수기에 공급되는 해수의 일부를 분지하여 C-OTEC 응축기와 공유하는 설계를 제시하였다.

본 연구에서는 발전소와 C-OTEC의 동적 영향평가를 수행하기 위한 천이상태 모델을 Flownex 소프트웨어를 이용하여 개발하였다. C-OTEC의 목표 출력을 입력함에 따라 PID 제어를 사용하여 C-OTEC의 유량이 조절되고 이에 따른 C-OTEC 주요 변수 및 취출증기 유량, 그리고 영동2호기 발전소의 복수기 압력, 출력 변화 및 해수 배분 유량 변화 등을 확인할 수 있다. C-OTEC의 출력을 10 kW 올렸을 때, 작동유체 유량의 변화와 발전소 복수기의 압력 변화를 그림 1에 나타내었다. 동적 영향평가 모델을 기반으로 작동유체(R-134a) 누설 사고 예측 모델을 개발하였다. 작동유체가 증발기에서 누설되어 복수기의 증기와 섞였을 때의 상황을 모사할 수 있다. 증발기 통과 전(cold side)/후(hot side)로 누설사고의 위치를 달리하여 작동유체가 누설되는 경우, 시간에 따른 복수기 압력 변화 분석을 그림 2와 같이 수행하였다. 본 연구의 개념설계 결과는 상세설계를 거쳐 실증시설 구현에 활용될 예정이다.



[그림 1] C-OTEC 출력 변화에 따른 작동유체 유량 및 복수기 압력 변화

[그림 2] 누설사고시 복수기 압력변화(파손크기 15mm)

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20163010140550)

KOGAS형 5kW급 연료처리장치 개발현황 및 고온 고분자 연료전지 시스템 적용

Development status of KOGAS Fuel Processor and its application for 5kW HT-PEM Fuel Cell

김봉규 · 김재동 · 김진욱
한국가스공사 가스연구원 이노베이션연구소

연료전지 시스템은 천연가스를 기반으로 전기와 열을 생산하는 열병합 시스템으로 수소경제를 이끄는 기반으로 역할을 하고 있다. 2019년 1월에 발표된 수소경제로드맵의 경우 국가적인 수소와 연료전지의 추진방향이 나타나 있으며, 가정·건물용의 경우 2022년 50MW, 2040년 2.1GW의 보급을 추진하고 있다. 현재 건물용 연료전지는 공공기관 의무화 사업 및 서울시·부산시의 녹색건축물 설계기준에 의하여 보급이 진행이 되고 있으며, 수소 경제로드맵의 마일스톤에 의하면 건물용 연료전지의 보급이 더욱 촉진될 것으로 판단된다.

이에 건물용 연료전지 시장에 있어서 연료전지 기술중 PEMFC가 가장 기술 개발수준이 높으며, 상용화가 기대되는 기술이다. 또한 PEMFC는 빠른 시동 특성을 가지고 있어 가정용 및 건물용 열병합 발전시스템으로 주목받고 있다. 그중 고온형 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)는 기존 PEMFC와 발전원리는 동일하나, 기존 PEMFC가 60~80℃에서 운전되던 것과 비교하여 100~200℃에서 운전함으로써 이론적으로 발전 효율 및 열 활용 측면에서 유리하다.

고분자 연료전지 시스템의 주요부품중 연료처리장치는 연료전지 시스템의 성능을 좌우하는 주요부품으로 기존의 업체에서 개발된 연료처리장치는 저온용으로 개발되었으며 또한 각 시스템사에서 개발한 연료처리장치는 외부로 판매를 안 하고 있어 신규 연료전지 업체가 시장에 진입할 수 있는 장벽이 높다. 이에 한국가스공사는 고온 PEMFC 시스템에 적합한 연료처리장치를 연구해 왔으며, 한국가스공사에서 개발한 연료처리장치는 열효율이 75%이상이고, 4,000시간 이상 운영을 하여 내구성도 확보한 상태이며 현재 기술이전을 통해 중소기업에서 제작 판매중으로 신규 및 기존 연료전지 시스템 업체에 공급이 가능하여 연료전지 보급사업에 큰 도움을 줄 수 있다. 현재 고온 PEMFC 연료전지 시스템에 적합한 연료처리장치를 위하여 지속적인 개선을 수행하고 있으며, 그 결과 개발된 연료처리장치를 고온 PEMFC 스택과 연계하여 연료전지 시스템에 적용하여 그 성능을 평가하였다.

고온 연료전지 시스템에 적용하여 운전한 결과 안정된 전력생산이 가능하였고 고온의 배열회수가 가능한 것을 확인할 수 있었다. 또한 한국가스공사에서 개발한 연료처리장치는 저온용 PEM연료전지 시스템에도 많은 수정없이 간단한 설계 개선만으로 적용이 가능하여 5kW급 건물용 연료전지 보급에 크게 도움이 될 수 있다고 사료된다.

평관형 고체산화물전지를 이용한 양방향 수전해-연료전지 셀 및 스택 기술 개발

Development of Reversible Electrolysis-Fuel Cell and Stack Using Flat-tubular Type Solid Oxide Cells

최현종 · 서두원 · 김태우 · 변세기 · 황효정 · 우상국 · 김선동*

한국에너지기술연구원 에너지소재연구실

2016년 파리협약의 발효 이후 국제 사회는 보다 명확하고 구체적인 CO_2 저감 및 친환경 에너지 활용 방안들을 논의하고 이를 실현화하기 위해 노력 하고 있다. 국내에서는 재생에너지 3020 이행 계획을 수행함에 있어 수소사회로의 전환은 본 정책을 이끌어가기 위한 가장 대표적인 방안 중 하나로 손꼽히고 있다. 고체산화물 전지를 이용한 양방향 수전해-연료전지 기술은 하나의 전지에서 운전 방식에 따라 수소 생산 (solid oxide electrolysis cells) 및 전력 생산 (solid oxide fuel cells)을 할 수 있기에 친환경적인 전력 공급 방안만 마련된다면 CO_2 배출량을 zero로 만들면서 대용량의 에너지원을 생산하거나 필요에 따라 전력 공급에 이용될 수 있다.

본 연구에서는 평관형 고체산화물 전지의 대면적화(반응면적 100 cm^2) 및 성능 최적화를 위한 공정 최적화 기술 개발 및 대용량 스택 제조를 위한 기술 개발을 실시하였다. 대면적 전지를 적층하기 위한 주변기술을 최적화하고 이를 이용한 연료전지 출력 성능 평가, 수소 생산 성능 평가를 실시하였으며, 가역 운전 전환 시퀀스 개발을 통한 스택의 안정성 개선 연구를 수행하였다.

온실가스 포집 및 처리 기술의 개요 및 국제표준화 현안

An Outline of Technologies for GHG Capture and Sequestration and A Pending Issues of International Standardization

임상식 · 길성희 · 김영규
안전연구실, 가스안전연구원, 한국가스안전공사

지구온난화의 심각성을 인지하고, 이를 예방하기 위해 국제사회는 1992년 6월에 '기후변화에 관한 국제연합 기본협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, 이하 "UNFCCC")'을 채택하였다. 이후 지구온난화 방지를 위한 온실가스 감축을 국제사회는 다양한 기구를 출범시켰으며, 국제표준화기구(International Organizations for Standardization, 이하 "ISO")에서도 CCS를 전담할 기술위원회(Technical Committee, 이하 "TC")를 2011년도에 설립하였다.

CCS분야의 국제표준문서 개발을 위해 설립된 기술위원회의 정식 명칭은 "ISO TC265 Carbon-dioxide Capture, Transportation and Geological Storage"이며, ISO TC265가 부여받은 작업범위의 권한은 "포집, 운송, 지질학적 저장방법 등에 관련된 활동, 검증, 감시, 계량, 위험관리, 환경계획, 공사, 설계"에 대한 표준 개발이다.

그러나 전 세계적으로 이산화탄소 감축기술이 CCUS로 선회함에 따라 ISO TC265에서도 작업범위에 대한 현안이 발생하였다. 작업범위에 전환(Utilization)이 포함되어 있지 않아, 전환분야에 대한 그 어떠한 국제문서의 작업 착수도 불가능하다. 결국 ISO TC265는 2017년 5월 커라마이(중국) 총회에서 CO2 Utilization에 대한 '임시위원회(Ad Hoc Group)'의 활동을 승인하였으며, 한국 등 11개국이 임시위원회의 멤버로 활동하고 있다. 임시위원회에서는 전환 기술을 5개군 19세부 항목으로 구분하여, ①기술성숙도, ②시장성, ③경제성, ④국제표준의 필요성 등으로 구분하여 보고하였으며, 2018년 7월 ISO TC265에서 임시위원회의 보고 내용을 승인하였다.

전환분야의 기술성숙도, 시장성, 경제성, 국제표준의 필요성을 두고 한국, 프랑스, 독일은 적극적인 수용의 자세가 필요함을 피력하였으며, 미국, 캐나다, 노르웨이는 EOR 등 지중저장이 아닌 이상 수용하기 어렵다는 입장을 견지하고 있다.

본 논문에서는 ISO TC265가 발족되어 현재까지 이뤄진 국제표준화 문서 개발을 위한 프로젝트부터 현재 발생한 현안에 대한 배경과 추후 전망을 살펴보고자 한다.

LNG 냉열을 활용한 공기 액화 에너지 저장과 발전 시스템의 공정 설계

Process design of liquefied air energy storage and power generation system utilizing the cold energy of LNG

이춘식 · 윤문규 · 박은진 · 임동렬
고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터

신재생에너지 발전량 증가에 따른 전력 생산량 예측 불확실성이 높아짐에 따라 잉여 전력을 저장할 수 있는 에너지저장시스템(ESS, Energy Storage System)이 사회적으로 대두되고 있다. ESS 종류에는 양수발전, 압축공기 에너지 저장 시스템(CAES, Compressed Air Energy Storage), 배터리 등 다양하다. 그러나 다른 ESS와 차별화된 액화 공기 에너지 저장 시스템(LAES, Liquefied Air Energy Storage)의 장점은 공기를 액화 시 부피를 1/700로 줄일 수 있어 지역적 제한조건이 덜하고, 배터리와 달리 대용량의 에너지 저장이 가능하며, 환경적이고 긴 수명주기를 들 수 있다. 또한 LAES를 통해 저장된 액화공기를 발전 시에는 전력 공급을 할 수 있는 준비 시간이 5분 정도로 Baseload 플랜트와 함께 운용될 시 시간에 따른 전력 수요 변동을 보완하며 Peak 전력 수요에 대응할 수 있는 방안으로 활용될 수 있다. 이러한 많은 장점에도 불구하고 LAES 시스템이 상용화 되지 않는 이유는 이론적 해석과 달리 공기액화 과정에서는 압축기에 소요되는 전기에너지가 많고 발전단계에서는 공기의 온도가 높지 않아서 발전량이 적어 전체적으로 Round Trip Efficiency가 낮기 때문이다. 물론 상기 예는 LAES의 규모가 클수록, 액화공기를 고압으로 저장할수록 완화되어 실증을 못했지만 이론에 근접할 경우도 배제할 수 없다고 할 수 있다. 다만 본질적으로 액화 단계에서는 열을 저장하여 발전 시 공기 가열에 활용하고, 발전 단계에서는 냉열을 저장하여 액화 시 공기 냉각에 활용하는 시스템의 특성 상 열과 냉열의 저장 효율과 저장된 열과 냉열을 다시 활용하는 단계에서 상당히 많은 에너지 손실은 불가피하다. 따라서 LAES가 성공하기 위해서는 충분한 냉열 및 폐열을 제공할 수 있는 플랜트와 결합되는 것이 바람직하며 세계적 LNG 수입국, 전국적 LNG 터미널 인프라를 구축하고 있는 한국의 상황을 고려할 때 LNG 터미널 사이트에 LAES 시스템을 결합하는 것이 상당한 경제성이 있음이 확인되었다. 이를 증명하기 위해 LNG 냉열을 활용한 LAES와 발전 시스템을 설계 하였으며, 세부적으로 공기액화 공정은 Claude Cycle을 변형한 Kapitza Cycle을 채택하고 발전은 3단 터빈 팽창과정으로 2단 Reheating 과정을 포함하였다. 해석결과 보수적 관점에서 저장된 열 또는 냉열을 절반만 활용할 수 있고 플랜트 기자재에서의 열 및 에너지 손실을 고려하더라도 50% 이상의 Round Trip Efficiency를 얻을 수 있음이 발견되었다.

Acknowledgement

본 연구는 산업통상부의 재원으로 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행되었음.(No. 10067761)

수소충전소 확대를 위한 기준 연구

A Study on the Standard for Expansion of HRS

허윤실, 강승규
한국가스안전공사 가스안전연구원

정부는 2019.1.17.일 발표한 '수소경제 활성화 로드맵'에서 2022년까지 수소충전소 310개소, 2040년까지 1,200개소를 구축하는 목표를 발표하였다,

수소충전소 확대의 가장 큰 걸림돌은 수소충전소를 구축하기 위한 부지 선정이다. 수소충전소 부지 선정시 건축법, 교육환경법, 개발제한 구역에 관한 법과 고압가스안전관리법에서 제약사항이 많기 때문에 이러한 법령을 모두 만족하는 부지는 도심에서 떨어지는 외곽의 부지 밖에 없는 실정이다.

이러한 수소충전소 부지 선정의 문제를 해결하고, 수소충전소 구축 비용을 절감하기 위해 융복합 수소충전소, 패키지형 수소충전소 및 이동식 수소충전소 등 다양한 형태의 수소충전소 모델 연구를 하고 있다.

특히, 패키지형 수소충전소는 압축기, 저장용기 등 수소자동차 충전에 필요한 설비를 하나의 보호함에 장착한 충전시설로 일반적인 고정식 수소충전소 구축비의 2/3정도의 비용으로 구축할 수 있어 초기 수소충전소 시장에 적합한 모델이다.

이러한 패키지형 수소충전소의 위험요인을 파악하여 수소충전소 시설기준을 연구하고자 한다.

본 연구는 산업통상자원부 및 에너지기술평가원의 신재생에너지핵심기술 및 전략기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.
[20163010041780. 패키지형 수소충전소 플랫폼 개발 및 실증]

패키지형 수소충전소 안전성 향상 연구

A Study on Safety Improvement of Packaged Hydrogen Fueling Station

강승규, 허윤실
한국가스안전공사 가스안전연구원

전 세계는 수송부분의 온실가스 감축을 위해 친환경차 보급에 적극적인 대책을 마련하여 발표하고 있다. 그 중에 수소에너지는 운행 중 CO_2 배출이 전혀 없고 오히려 공기청정 효과를 기대할 수 있어 유럽 및 일본의 수소 선진국에서는 수소경제 로드맵을 발표하고 2030년까지 기술개발을 완료하고 2050년부터는 본격적인 수소전기차 보급을 통해 수송부분의 온실가스 감축을 달성할 계획이다. 수소전기차 보급의 활성화를 위해서는 충전인프라의 보급이 뒷받침되어야 한다. 수소충전소의 건설에는 막대한 비용과 더불어 충전소를 건설할 부지의 확보가 필수요소이다. 그러나 차량의 통행이 많은 대도시의 도심지역은 충분한 부지의 확보가 어려운 상황이다. 이런 상황에서 부지면적을 최소화하고 운영의 효율을 극대화할 수 있는 수소충전소 모델이 패키지형 수소충전소 모델이다. 패키지형 수소충전소 모델은 수소압축, 저장, 충전 설비를 콤팩트하게 하나의 패키지 형태로 구성함으로서 충전소 설치 시 부지면적을 줄이는 효과를 가지게 된다. 일본의 경우 현재 약 90개 수소충전소 중 30% 정도가 패키지형 수소충전소로 구축되어 운영되고 있다. 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 충전시스템의 위험요인을 파악하고 정량적 위험성평가를 통해 피해범위 및 영향을 분석하여 안전성 향상 방안을 모색하였다. 또한 안전성 향상을 위해 패키지 시스템에서 누출사고 발생 시 환기 최적화 및 폭발압력 해소 방안을 검토하였다.

* 본 연구는 산업통상자원부 및 에너지기술평가원의 신재생에너지핵심기술/전략기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.[20163010041780. 패키지형 수소충전 플랫폼 모델 개발 및 실증]

수소전기차 인증기준 개선 방향에 관한 연구

The Approach Method of improvement of Certification Criteria for Fuel Cell Electric Vehicle

이동훈 · 김완진, 김부근, 백동현, 김홍철*
한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터

최근 정부는 수소경제로드맵에서 세계 최고수준의 수소 활용 체계 구축을 위한 수소전기차 보급 목표를 2022년까지 국내에 6만 7천대, 이를위한 수소충전소를 310기를 구축하는 것을 발표하였다. 이중 수소버스는 2천대, 승용차량을 6만 5천대 보급하고 있어, 앞으로 몇년간 수소전기차의 보급은 가히 폭발적으로 증대 할 것으로 예상이 된다.

수소전기차의 안전한 운행을 위해서 전세계적으로 수소전기차의 용기 및 부품들이 가져야 할 인증기준을 각국별로 제정하여 운영중이며, 현재 국내에서는 “국토교통부 고시 『자동차용 내압용기 안전에 관한 규정』에 의해 각 부품의 인증기준을 받고 있다. 제정당시 국내의 인증기준은 EC 79(2008)을 근거로 하여 국내의 실정에 맞게 제정되었으나, 이후 수소에 대한 전세계적 관심이 증대되고, 용기의 압력이 350 bar에서 효율성을 증대하기 위해 700 bar 로 증대되는등 많은 변화에 따라 해외의 인증기준은 매년 변화해 왔다. 하지만 국내의 인증기준은 이후 일부개정작업만 거쳐서 전세계에서 가장 높은성능의 수소전기차 양산을 하고 있음에도 불구하고, 제조사의 기준은 해외기준을 근거로 제작되는 현실을 맞이하고 있다. 최근 규제개선등의 목소리가 높아 기준을 강화하는 것은 어려운 것이 현실이나, 현재의 국내 인증기준으로만 본다면 해외기준대비 상대적으로 낮아 해외의 부품이 국내에 들어오기에는 오히려 수월하게되어, 내수시장을 역으로 잠식할 수 있는 상황이 벌어 질 수 도 있다. 특정 선도 분야에 대해서는 대부분의 선진국에서 내수시장 보호를 위하여 자신이 선점하고 있는 기술에 대하여 인증기준을 강화하고 있음을 되짚어 볼 때 세계 최고의 수준으로 개발되고 있는 국내 수소전기차 부품들의 산업 보호 및 원활한 해외 진출을 위하여, 국내기준을 국제부합화 하여 중소 부품제조사들의 2중으로 인증받는 어려움을 해소해 줄 필요가 있다.

이러한 시점에서 본 연구를 통해 전세계 수소전기차 관련 인증기준들을 시험항목별로 분석하여 비교함으로서 국내 기준과 비교해 합리적인 수소전기차의 인증기준에 대한 국제 부합화 방향을 제시하고자 하였다.

수소 융·복합 스테이션 운영 모니터링 및 실증 기반 제도화 연구

A Study and Institutionalization on Hydrogen Multi Energy Fueling Stations : Operation Monitoring and Empirical Analysis

김필종, 김동환, 구연진, 박송현, 허윤실
한국가스안전공사 가스안전연구원

정부는 2015년 6월 발표한 온실가스 배출 목표와 더불어 사회적 이슈로 제기되고 있는 국내 미세먼지 저감을 위해 '친환경차 보급 확대'와 관련된 국정과제를 선정하고, 이를 달성하기 위해 2018년에 '수소경제 활성화 로드맵'을 통해 여러 정책 도입 방안을 제시하였다.

친환경차 보급을 위해 국내 수소충전 인프라를 2022년까지 310개소를 확보하기로 하였으나, 좁은 국토와 높은 인프라 구축 비용, 그리고 고압수소를 사용하기 위한 안전관리 규제 등 인프라 확충을 위해 다양한 방면에서의 노력이 필요한 실정이다.

이에 따라, 산업통상자원부는 2016년 '융·복합 및 패키지형 자동차충전소 시설기준 등에 관한 특례'를 도입하고, 기존 자동차 연료공급 시설(주유소, CNG, LPG 충전소 등)에 수소충전소를 병행하여 설치할 수 있도록 하였다. 또한 이 특례를 통해 융복합으로 시설을 구축할 경우 방호벽 등을 통해 안전거리를 완화하는 등 새로운 기준을 적용하도록 하였다.

특례고시를 일반기준으로 제도화하기 위해 국내 여건을 반영한 위험성평가 시뮬레이션, 실증시험, 운영 모니터링을 통해 보완하고 이를 제도화하고자 한다.

본 연구에서는, 기존시설을 활용한 수소 융·복합 충전소의 설계 기반의 위험성 평가 시뮬레이션을 실시하고, 실제 충전소의 운영데이터를 수집하고 이를 분석하였다. 새로 도입되는 방호벽 기준을 정하기 위해 에너지안전실증연구센터에 국내최초의 고압수소 제트화염 실험이 가능한 설비를 구축하고, 수소 제트화염과 폭압 실증시험도 수행 중에 있다.

수소 융·복합 충전소 특례기준의 고압가스안전관리법, KGS코드 등 제도화를 위해 위험성평가, 모니터링, 실증시험 데이터가 모두 활용될 계획이며, 운영 모니터링은 실제 충전소에 수집된 핵심데이터를 분석하고 있으며, 이 결과를 반영하여, 실시간으로 실증충전소 운영 상태를 한 눈에 분석할 수 있는 형태로 개선되어질 예정이다.

본 연구는 산업통상자원부 및 에너지기술평가원의 에너지안전기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.
[20162220100180. 수소 융·복합스테이션 위험성 평가 및 연구]

분산발전용 고체산화물 연료전지 스택 안전성능 실증 평가

Evaluation of Safety Performance of Solid Oxide Fuel Cell Stack for Distributed Generation.

박태성, 이은경†, 방효중
한국가스안전공사 가스안전연구원

화석에너지 사용으로 인한 환경문제와 미세먼지 문제 등 다양한 문제가 이슈화 되면서 화석에너지를 대체 하기위한 다양한 신재생에너지원에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 또한 최근 정부에서 발표한 “제3차 에너지기본계획”에서도 화석에너지 뿐만 아니라 원자력 에너지사용 또한 감축을 하고 신재생에너지의 비율을 높이는 것으로 발표 되었다. 이에 따라 신재생에너지의 사용화가 더욱 가속화 될 것으로 보여 진다. 그러나 태양광 및 풍력 등의 에너지원은 설치면적이 크고 에너지의 연속성 문제를 보완하고 분산전원으로 사용이 가능한 연료전지의 수요가 증가할 것으로 예상되어진다. 연료전지의 한 종류인 고체산화물연료전지는 연료선택의 폭이 넓고 효율이 매우 높아 건물용 연료전지에 매우 적합한 연료전지이다. 고체산화물연료전지의 안전한 사용 환경을 보장하기 위하여 핵심부품인 고체산화물연료전지 스택의 안전성능에 대한 연구가 필수적으로 선행 되어야 한다.

본 연구에서는 국내외 연료전지 관련 기준 및 규격에 대한 분석을 실시하여 건물용 고체산화물 연료전지 스택의 안전성능 평가항목 및 평가절차를 도출하였으며 이를 통한 분산발전용 고체산화물 연료전지 스택 안전성능 실증 평가를 진행하였다. 분산발전용 고체산화물 연료전지 스택 안전성능 실증 평가에 대한 연구를 통하여, 건물용 고체산화물 연료전지의 안전한 사용 환경제공 및 보급화에 기여할 것으로 기대한다.

본 연구는 2019년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(2016303003185)

국내 수소경제 활성화 방향 정책 연구

A Research on the Korean Hydrogen Economy Road-map

김창종 · 김다현 · 조윤성 · 최경진 · 이예빈

수소융합얼라이언스추진단

미국, 일본, 독일 등 선진국은 수소경제를 주도하기 위하여 적극적인 수소충전소 구축과 비즈니스 모델 발굴에 주력하고 있다. 국내의 경우, 제한된 입지조건 및 낮은 부품 국산화율 등으로 수소경제의 활성화가 늦어지고 있어 세계 최초 '수소차 양산라인 구축'이라는 성과가 퇴색되어질 위기이다. 이를 극복하기 위해 정부에서는 지난 1월 "수소경제 활성화 로드맵"을 발표하였고 대규모 투자가 필요한 인프라 구축에 정부의 지원이 이루어질 예정이다. 또한 국내 수고이용 관련 산학연이 협력하여 기술개발을 통한 원가 절감, 저가형 충전소 모델 개발 등 수소 전 주기 제품에 대한 경제성 확보에 노력을 집중해야 할 시점이다. 본 연구에서는 국내 수소산업의 현황 및 기술개발 동향을 조사하였고 발전방향을 제시하고자 한다.

한국 환경기업의 연구개발 역량과 경제적 성과 간 관계 연구 : 혁신 실현의 매개효과를 중심으로

An Analysis on the Relationship Between R&D Capacities and Economic Performances of Korean Environmental Companies : Focusing on the Mediating Effect of Innovative Practices

김근우 · 류재호 · 박중구
서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과

본 논문은 한국 환경기업의 연구개발 역량이 경제적 성과에 미치는 영향과 경로를 분석하는데 목적이 있다. 첫째, 두 변수 간 직접적인 관계를 확인하고, 둘째, 혁신 실현 변수가 연구개발 역량이 경제적 성과를 제고하는데 매개효과를 가지는지 간접적인 경로를 살펴보고자 한다. 이를 위해 한국 환경기업을 대상으로, R&D인력, R&D투자, 정부출연금 비중 등을 연구개발 역량의 결정요인으로, 제품혁신, 공정혁신, 조직혁신, 마케팅혁신 등을 혁신 실현의 구성요인으로, 매출액, 영업이익률, 시장점유율 등을 경제적 성과의 구성요인으로 설정하여 설문조사를 실시하였다. 총 201개 기업의 응답자료를 토대로 SPSS를 활용하여 각 변수의 타당성 검증을 위해 요인분석을 시행한 후 신뢰도 검증을 위해 변수별로 신뢰도분석을 실시하였다. 다음으로 연구개발 역량이 경제적 성과에 미치는 직·간접적인 영향과 경로를 확인하기 위해 Andrew F. Hayes 교수의 PROCESS macro를 이용하여 매개분석을 실시하였다.

분석의 결과, 한국 환경기업의 연구개발 역량은 기업의 경제적 성과에 직접적인 경로로 유의한 영향을 미치지 못하고 있었다. 반면, 기업의 연구개발 역량은 혁신 실현을 매개로하여 경제적 성과에 간접적인 경로로 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이에 따른 정책적 시사점은 첫째, 국내 환경산업에서 기업의 혁신 실현은 연구개발 역량과 경제적 성과를 연결하는 중요한 매개체이기 때문에, 기업은 적극적으로 혁신을 도입·운영할 필요가 있다. 둘째, 환경기업의 연구개발 역량이 경제적 성과로 직접 이어지기 위한 제도적 보완이 필요하다. 끝으로 본 연구는 기업의 실질통계 확보가 어려워 설문을 통해 분석하였다는 한계점을 지니고 있다.

한국 환경기업의 혁신에 영향을 미치는 산업혁신체제 분석

An Analysis on Sectoral System of Innovation Affecting Korean Environmental Companies

류재호 · 김근우 · 박중구

서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과

본 논문은 한국 환경기업의 혁신 실현에 영향을 미치는 산업혁신체제에 대하여 분석한다. 특히 산업혁신체제(sectoral innovation system)를 구성하는 4가지 요소인 제도, 네트워크, 시장 수요, 기술 등이 현재 한국 환경기업의 제품혁신, 공정혁신, 조직혁신, 마케팅혁신, 환경혁신 등 실현에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고자 한다. 분석방법으로는 한국 환경기업을 대상으로 설문조사를 실시하고, 산업혁신체제의 4가지 요소가 혁신 실현에 미친 영향을 확인하기 위해 다중 회귀분석을 실시하였다.

분석의 결과, 한국 환경기업의 제품혁신 실현에는 시장 수요, 기술 등이 긍정적인 영향을 미치고 있는 반면, 제도, 네트워크는 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 공정혁신, 조직혁신, 마케팅혁신 등의 실현에는 제도, 네트워크, 기술 등이 긍정적인 영향을 미치고 있으나, 시장 수요는 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 마지막으로, 환경혁신 시행에는 산업혁신체제의 4가지 요소인 제도, 네트워크, 시장 수요, 기술 등이 모두 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이에 따른 정책적 시사점으로, 한국 환경기업의 혁신 실현을 위해 산업혁신제제 구성요소 중 제도와 네트워크를 보완하는 방안이 필요하다.

CNG-수소 복합충전소 실시간 모니터링 데이터 분석에 관한 연구

A Study on Real Time Monitoring Data Analysis of CNG-Hydrogen Combined Fueling Stations

김동환, 구연진, 박송현, 김필종, 허윤실
한국가스안전공사 가스안전연구원

신사업을 추진하는 기업들에 기존규제를 면제하거나 유예시켜주는 규제샌드박스 1호로 '도심 수소충전소 설치' 승인을 계기로 외곽지역 아니면 불가능했던 수소충전소를 도심에 설치가 가능해지면서, 수소자동차 보급 및 수소충전소 구축이 적극적으로 추진되고 있다. 수소자동차 상용화를 위한 수소충전소 인프라 구축이 활성화와 함께 충전소 안전확보를 위한 연구도 병행되고 있으며, 국내환경에 적합한 안전기준이 필수적이다.

본 연구에서는 기존시설을 활용한 수소융합충전소(CNG+수소) 구축에 따른 운영데이터 분석을 통해 추후 실시간 모니터링 프로그램 분석 알고리즘 개발 데이터의 기초자료로 활용하고자 한다. 국내의 환경에 맞춰 봄/가을, 여름(혹서기), 겨울(혹한기) 4계절 및 우기, 눈 등의 날씨 조건변화에 따른 모니터링 데이터를 수집하고, 수집된 핵심 데이터를 이용하여 차량의 충전상태에 따라 축압기 및 차량의 충전시 압력, 온도 변화를 분석하였다. 차량의 충전중 압력, 온도 변화 및 고압/저압 축압기의 관계 등 수소차량 충전 시 발생하는 현상 등에 대한 분석을 통해 향후 수소충전소 운영 및 충전과 관련된 안전기준에 반영하여 연구 결과를 활용하고자 한다.

본 연구는 산업통상자원부 및 에너지기술평가원의 에너지안전기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.
[20162220100180. 수소 융·복합스테이션 위험성 평가 및 연구]

LPG-수소 융·복합충전소 모니터링 데이터 분석 및 활용 방안 연구

A Study on Monitoring Data Analysis and Utilization Plan of LPG-Hydrogen Multi Energy Filling Station

박송현 · 구연진 · 김동환 · 김필종 · 허윤실
한국가스안전공사 가스안전연구원

최근 일본은 수소사회 실현을 위한 '수소·연료전지 전략로드맵'을 발표하고, 세계 최초로 상용수소충전소 100개소 구축을 달성하며 수소사회로 진입하고 있다. 우리나라도 울산, 창원, 광주를 중심으로 수소충전소 25개소 구축이 완료되었고, 규제 샌드박스로 도심 수소충전소 구축도 적극적으로 추진되고 있는 상황으로 수소사회를 선도하기 위한 기술개발 및 보급에 투자를 아끼지 않고 있는 상황이다.

정부는 2022년까지 미세먼지 국내 배출량 35% 저감을 목표로 수소차 보급을 활성화하고 수소충전소를 최대310기를 구축할 계획이다. 이에 따라 수소충전소의 안정적운영 및 안전관리를 목적으로 현장의 문제점을 파악 및 개선을 위한 모니터링 데이터 분석의 필요성이 있다. '융·복합 및 패키지형 자동차충전소 시설기준 등에 관한 특례(산업부 고시 제2016-130호)'에 따라 설치된 울산, 광주, 창원의 충전소 중 본 연구에서는 울산 옥동충전소(LPG-수소 융복합충전소) 모니터링 데이터를 분석하였다. 충전소의 설비 온도, 압력 등 설계 인자 8가지를 핵심으로 한 모니터링 해석 모델을 통해 규칙성을 분석하고, 데이터를 토대로 국내에서 수소를 안전하게 공급할 수 있는 알고리즘을 개발을 통해 향후 수소충전소의 기초 자료에 대한 가이드라인을 제시하고자 한다.

본 연구는 산업통상자원부 및 에너지기술평가원의 에너지안전기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.
[20162220100180. 수소 융·복합스테이션 위험성 평가 및 연구]

PET 소재를 적용한 경량 복합소재 고압용기 개발

Development of Lightweight Composite Vessel by using PET material

노경길, 조성민†, 방효중, 고영규
한국가스안전공사 가스안전연구원

고압가스 용기는 소재에 따라 4가지 Type으로 구분된다. 그 중 Type4 용기는 금속소재를 사용하는 Type1, 2, 3 용기에 비해 가볍고 부식의 우려가 없다. 이 때문에 최근 수소에너지가 각광받는 시대에 고압의 수고가스를 운송·저장을 위한 방안으로 주목을 받고 있다. Type4 용기는 비금속 라이너에 탄소섬유를 와인딩하여 제작되며, 라이너 소재로는 주로 PA6, HDPE 같은 소재가 사용되나, 본 연구에서는 용기를 좀 더 경량화하기 위해 라이너를 PET 소재로 제작한 신규 Type4 용기를 설계·제작하고, 시제품 시험을 통해 안전성을 평가해 보았다.

본 연구는 안전을 사용압력 30bar, 내용적 6.8L급 용기 개발을 목표로 하였으며, 구조해석을 통해 라이너 형상 설계와 탄소섬유의 최적 와인딩 패턴을 도출하였다. 그리고 최적 설계방안을 적용한 용기 시제품을 제작하여 실제 파열시험을 통해 설계단계에서 예측한 용기의 파열양상과 비교하여 안전성을 확인하였다.

그 결과 용기 시제품은 해당 시험기준에 제시된 최소파열압력인 900bar를 상회한 1,100bar의 압력에서 파열되었으며, 파열양상은 용기의 실린더부에서 최초 파열이 발생하여 종방향으로 균열이 확산되었다. 이는 구조해석에서 예측한 양상과 유사하며, 국내외 용기관련 안전기준에서 적용되는 안전 파열양상을 만족하는 결과였다.

본 연구에서 PET 라이너를 적용한 복합재 용기 설계방안을 강구하고, 시제품 시험평가를 통해 그 안전성을 확인하였다. 향후, 추가 연구를 통해 좀 더 높은 사용압력을 가진 용기 개발한다면 수소경제 사회를 앞당길 수 있으리라 기대한다.

본 연구는 중소벤처기업부 중소기업기술혁신개발사업(S2498468) 및 산업통상자원부 에너지기술개발사업(20173010041830)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

유압구동밸브 상태진단 기술 및 장비 개발

Development of Condition Monitoring Technology and Equipment for Hydraulic Operated Valve

류호근 · 김진량 · 김재형*

(주)수산인더스트리, *한국기계연구원

고압의 유압으로 차단 밸브 또는 제어 밸브를 작동시키는 유압구동 방식은 분해능이 좋으며 빠른 응답성의 정밀제어 능력이 뛰어나 고온고압의 대형 밸브를 구동시키기에 아주 적합하다. 특히 원자력발전소와 화력발전소의 터빈에 증기를 공급하거나 차단하는 유압구동 밸브는 발전소의 핵심기기로서 성능 확보와 장 시간 고장이 없어야 한다. 따라서 유압구동밸브의 철저한 성능검증 및 상태관리가 필요하나 아직까지 유압구동밸브 상태진단 관련기술 개발은 미비한 실정이다. 현재 유압구동밸브 성능 시험은 현장에서 밸브를 분리하여 공장으로 반출, 성능시험을 수행하고 있으나 성능평가 및 고장진단기술의 부족으로 기본적인 유압구동밸브의 작동성 시험 및 분해 점검을 통한 상태 확인이 전부이며, 이로 인한 시간과 비용의 소요가 과다하게 요구되고 발전설비의 신뢰성 확보에도 영향을 미치고 있다. 본 논문에서는 유압구동밸브를 현장에서 성능진단시험이 가능한 성능시험 기술 및 장비 개발을 위한 기초 연구로 진행중인 유압구동시스템 성능시험 설비 구축 및 유압구동시스템의 핵심 기기인 유압구동기의 성능평가 실험 결과를 제시하였다.

유압구동기 성능평가를 위하여 구동기 전단에 압력센서를 설치하여 구동기 공급 유압을 측정하였으며 구동기 스템에 변위 센서를 설치하여 구동기 행정 거리를 동시에 취득하였다. 유압구동기 제어 신호는 구동기 성능평가 시 시스템의 동적 영향이 미치지 않도록 충분한 시간 동안 천천히 인가하여 열림 및 닫힘 행정을 작동시켜 구동기 성능평가를 수행 하였다.

유압구동밸브 상태진단장비 개발을 위한 선행연구의 일환으로 유압구동기의 성능시험 방법론 개발을 위한 설비를 구축하고 실험을 수행하였다. 본 실험을 통해 구동기의 스프링 상수, 정지 마찰력, 구동기의 유압에 의한 힘을 정밀하게 측정 및 평가할 수 있음을 확인하였다. 향후 유압구동밸브 시스템의 각 구성 기기인 모터, 펌프, 솔레노이드 밸브, 서보밸브, 유압유 등에 대한 상태진단방법 연구를 통하여 유압구동시스템의 종합적인 성능평가 및 상태진단이 가능한 상태진단장비 개발을 위한 연구를 진행할 예정이다.

유럽의 이동식 LNG 자동차 충전소 현황

The Status on Mobile LNG Vehicle Stations in Europe

류영돈 · 최영주 · 유철희 · 김영규 · 고영규
한국가스안전공사 가스안전연구원

국내에서는 LNG 자동차 충전소에 관한 기준을 고정식에 한하여 규정하고 있다. 고정식 충전소의 경우 25톤 또는 50톤 이상의 대형 충전소이며, 충전하는 자동차 수가 적은 경우 BOG(Boil off gas)가 발생하여 연료손실이 발생하고 경제성이 없으므로 LNG 자동차 수가 적은 초기 도입시기에는 소규모 이동식 LNG 충전소 건설이 필요하다.

여기에서는 유럽의 이동식 LNG 충전소 현황을 살펴보고, 충전 기준 및 허가 기준 등에 대하여 조사하고 국내의 현황과 비교하였다.

유럽에는 2017년 현재 1,617개의 LNG 자동차와 126개소의 LNG 충전소가 있다. 유럽의 이동식 LNG 충전소는 10~15개 정도가 있으며, 충전소가 이동을 하므로 정확한 숫자를 파악하는 것은 어려움이 있다. 또한, 이동형 충전소의 경우 어느 한 나라에 한정하여 운영하지 않고 유럽 전체로 이동할 수 있으며, 대부분의 LNG 공급자 또는 운전자는 관련 정보를 영업비밀로 간주하고 있으므로 정확한 이동 충전소의 개수를 파악하는 것은 불가능하다. 이동형 충전소는 단기간에 걸쳐 사용되고, 전시회, 홍보용 등에 사용되고 있으며, 고정형 충전소를 건설하기 전에 과도기적인 단계에서 사용하고 있다.

유럽에서 이동형 충전소를 제조하는 국가는 체코, 독일, 스페인, 프랑스, 벨기에 등이 있으며, LNG를 공급하는 사업자가 자체 설계하고 제조하고 있다. 유럽은 ISO 16924 – Natural gas filling stations – LNG stations for filling vehicles 기준을 따라 이동형 충전소를 건설하고 있으며, 이동형 충전소를 설치하는 경우 승인을 받아야 하는데 고정형 충전소 설치를 승인받는 것보다 더 복잡하고 어렵다.

국내의 경우에는 현재 5개의 천연가스 충전 기준이 마련되어 있다. 자동차 충전기준은 압축천연가스 자동차 충전기준 3개와 1개의 액화천연가스 자동차 충전기준이 있으며, 1개의 선박충전기준이 마련되어 있다. 국내에는 2004년 건설된 대전의 LCNG 충전소 이후 현재까지 7개의 LCNG 충전소가 있으며, 4대의 LNG 자동차가 있다. 또한, 항만의 야드트랙터에 LNG를 공급하기 위한 고정식 LNG 충전소 2개가 부산신항에 건설되어 운영중에 있다.

수소연료전지차 저장용기의 성능 평가를 위한 기준 분석

Analysis of Performance for Vessel in Hydrogen Fuel Cell Vehicle

김다은, 조성민, 방효중, 고영규

한국가스안전공사 가스안전연구원

최근 환경 문제의 원인인 이산화탄소를 저감하기 위해 수소가 친환경연료로 주목받고 있다. 그 중에서 유해배출가스가 배출되지 않고 친환경 대체 에너지로 각광받는 수소연료전지차(Hydrogen Fuel Cell Vechicles)에 대한 관심이 커지고 있다. 수소연료전지차는 수소를 고압으로 저장할 수 있는 고압용기를 비롯하여 연료공급시스템, 연료전지시스템 등으로 구성된다. 700bar 수소를 저장하기 위해서 경량성, 안전성 등의 장점을 가지고 있는 복합재 용기를 사용하고 있으며 다양한 연구가 진행 중에 있다. 수소용기를 시장에 보급하여 운송용 수단으로 사용하기 위해 의무적인 테스트 방법이 필요하다. 이러한 규정으로 EC 79, GTR 등이 있으며, 특히 GTR 규정은 의무적인 규정은 아니지만 연속적이고 더가혹한 조건으로 하기 때문에 최근에 많은 국가에서 차량용 수소용기 내구성 평가에 활용되고 있다.

본 연구에서는 자동차에 장착되는 복합재 용기의 특징과 시장전망을 분석했다. 또한 기존의 규정과 GTR 규정의 시험방법을 비교하여 국제사회에서 통용될 수 있는 국내 기준 제정 마련의 토대를 마련하고자 한다. 따라서 분석으로 인해 국내 국가 정책으로 추진 중인 수소전기차 보급 정책 활성화에 기여할 것으로 예상된다.

후기

본 연구는 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업(10084611) 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

수전해 단위스택 안전성능 평가장치 제작 및 실증평가

Manufacture and Demonstration Evaluation of Safety Performance Evaluation in Water Electrolysis Unit Stack

김지혜, 이은경†, 김민우, 이정운
한국가스안전공사 가스안전연구원

재생에너지의 잉여전력을 활용하는 연구는 전 세계적으로 각광받고 있는데, 이러한 잉여전력으로 수전해를 통해 수소와 산소가스를 생산하여 에너지로 저장하고 저장된 에너지는 연료전지를 통해 전력으로 변환해 재사용하는 이러한 연계 시스템이 각 나라에서 많은 연구를 진행 중에 있다. 하지만 연계시스템 중 정상동작으로 수전해 시스템이 작동되는 경우 외의 이상동작이 발생할 때의 위험상황 등에 대처할 필요가 있고, 분석한 위험요소를 토대로 수전해 스택의 시험 항목을 도출하여 안전성능 시험 프로토콜을 구성하고자 하였다.

본 연구에서는 안전성능 시험 프로토콜을 적용하여 수전해 단위스택의 안전성능 평가장치 시작품을 제작하고, 수전해 단위스택의 안전성능 평가를 수행하였다. 이상 조건하에서의 온도, 유량 및 압력 등 변수로 두어 각 온도, 각 유량마다 전압과 전류를 측정하여 스택의 안전성능을 확인하였다. 본 연구결과를 토대로 다양한 이상 조건에서의 수전해 단위스택의 안전성능 평가하여 수전해 시스템의 안전설계에 도움이 되길 기대한다.

본 연구는 2017년 산업통상자원부 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (NO.20173010140890)

$ZnO-SnO_2$ 기반의 반도체식 가스센서 모듈의 개발 및 성능시험

Development and Performance Test of Semiconductor Gas Sensor's Modules Based on ZnO and SnO_2

권대환 · 김인겸 · 신상호 · 박규태 · 유철희
한국가스안전공사 가스안전연구원

2018년 가스사고통계에 따르면 인천기지 등의 가연성가스 대형저장시설에서는 해마다 크고 작은 가스누출 사고가 발생하고 있다고 보고되고 있다. 이러한 가스저장탱크 누출검사는 검사범위가 넓어 많은 시간과 인력이 필요하다. 그리고 가스누출로 인한 폭발사고 우려로 인하여 안전관리자가 접근하여 직접검사 및 진단을 수행하기 어려운 실정이다. 현재, 대형저장탱크의 가스누출 검사를 위해 사용하고 있는 장비(Remote RMS, Swiss)는 다음과 같은 문제점을 가지고 있음을 현장조사를 통하여 확인하였다. Remote RMS는 저장탱크 상단에 비계를 쌓고, 그 위 삼각대에 장비를 장착하여 스캔하는 방식이다. 이는 고가(6억원)이며, 무게(45kg)가 무거우며, 상용전원을 사용하고 있다. 또한 Remote RMS의 초기검지 속도가 느리고, 측정감도가 낮아서 바람의 방향과 습도의 영향으로 인하여 정확한 누출지점을 발견하기 어려운 문제점을 가지고 있다. 노후 또는 신축 가스저장탱크의 주기적인 검사와 진단을 위한 반응속도가 빠르고 저농도 검출이 가능한 센서와 모듈을 개발하고 시험하였다.

본 논문에서는 $ZnO-SnO_2$ 기반 반도체식 가스센서 및 모듈을 개발하고 그 성능을 시험하였다. 본 논문에서 설계한 금속산화물 반도체 센서는 5단계의 공정을 거친 후 10개을 샘플을 제작하였다. 먼저, 지름 0.25~0.3mm의 Pt Wire를 13~15회 감아서 Pt Coil형태로 권선하였으며, Pt Coil에 Ion Coater를 사용하여 ZnO와 SnO_2의 접착을 위하여 Pt를 10~20nm 증착하였다. 다음으로 200㎖의 증류수에 Tin과 Zinc Powder를 각각 0.1M씩 넣고 교반기에 약 30분간 교반하여 수용액 형태의 촉매를 제조하였다. 제조된 촉매 수용액에 Pt를 코팅한 Pt Coil을 Beaker에 담근 후 고정시키고, 초음파화학증착기(Sonicator)를 사용하여 1시간동안 촉매를 추가로 증착시킨다. 마지막으로 Furnace에서 1시간 동안 열처리를 수행하여, 제작된 Pt Wire를 Spot 용접을 실시하여 센서 전극을 부착하고 cap을 씌워 최종센서를 완성한다.

금속산화물 반도체식 센서 모듈은 LM324 Amplifier를 이용하여 신호를 차동증폭하여 노이즈를 제거하고 유효센서 신호를 생성하였다. 센싱부와 히터부에는 각각 3.5V의 전압을 인가하였다. 센서 표면의 온도를 유지시키기 위해 1분정도 안정화를 시켜준 후 6종 표준메탄가스(15%~40%LEL)를 주입하여 감응특성 시험을 수행하였다. 시판하고 있는 상용 센서의 감도성능과 유사하게 나타나서 향후 대형가스저장탱크 누출검지기에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

※ 본 연구 내용은 산업통상자원부 에너지기술개발사업 "IoT 센서기반 대형 가스저장탱크 및 플랜트 원격 모니터링 시스템의 상용화 개발(과제번호 20172220100450)" 지원으로 진행됨.

RTK-GPS기반 메탄가스검지 드론의 비행궤도 오차 개선

Improvement of Flight Orbit Errors of Methane Gas Detector Drone Based on RTK-GPS

김인겸 · 박규태 · 신상호 · 권대환 · 유철희 · 윤명섭* · 이준희**
한국가스안전공사 안전연구원, *선두전자㈜, **㈜월드아이

GPS(Global Positioning System)는 항공, 선박, 차량 등 위치를 추적하는 항법, 측량 등에 활용되고 있다. GPS 수신기는 3개 이상의 위성과 시간동기화를 위한 1개의 위성에서 수신한 신호의 시간차를 이용해 위치를 결정한다. 이때 GPS신호는 구조적 시간오차와 전리층과 대류층의 굴절, Multipath Fading 등으로 인하여 30~100m의 오차를 가지고 있으며, DGPS(Differential GPS)인 경우 다중으로 구성된 수신기를 이용해 GPS신호의 공통 오차를 상쇄시킴으로써 보다 정확한 위치정보를 얻을 수 있으며, 성능오차는 10~30m를 가진다. 이와 같이 드론에 사용되는 항법 센서는 DGPS를 기반으로 위치정보를 수신하고, IMU(Inertial Measurement Unit)센서를 이용해 위치보정과 자세 제어가 이루어지고 있다.

최근 산업시설 모니터링 분야 등 드론의 활용 범위 증가에 따라 기존보다 정밀한 비행 성능이 요구 되고 있으며, 그 대안으로 RTK-GPS기술이 떠오르고 있다. RTK-GPS기술은 기존의 DGPS의 시간차로 위치를 산출하는 것이 아니라 위성에서 송신되는 파장의 차이로 위치를 계산한다. RTK-GPS는 GCS(Ground Control System)를 GPS Base 기점으로 사용하고, 이때 GCS 기점의 위치 정확도는 0.25m범위 이내의 위도와 경도의 좌표를 표시할 수 있는 성능스펙을 가지고 있다. 이 좌표는 무선통신(RF 915MHz)을 통해 GPS Base 기점에서 드론으로 송신된다. 드론은 탑재된 GPS 수신기와 무선통신을 통해 위성 신호와 GCS 신호를 수신한 후 두 개의 위치 정보를 비교할 경우 GPS 수신기의 오차를 GCS 신호를 통하여 확인할 수 있다.

본 논문에서는 RTK-GPS 수신기(UbloxN8P)와 DGPS 수신기(UbloxM8N)를 활용하여 하드웨어 인터페이스를 제작하고, RTK-GPS 수신기와 드론에 탑재된 DGPS 수신기의 데이터를 확보하기 위하여 ISM(Industry-Science Medical) Band(915MHz)를 사용하였다. 또한, 상기 두 수신기의 데이터를 915MHz 무선통신 모듈을 설계 및 제작을 하고, Mission Planner 소프트웨어와 연동하여 GPS좌표를 수신하였으며, 메탄가스검지 드론에서 사용하는 기존 DGPS수신기를 이용한 비행궤도를 보다 정확한 RTK-GPS 수신기를 탑재하고 그 데이터를 이용 및 보정하여 오차를 개선하였다.

드론의 비행궤도 측정시험을 위하여 먼저, 한국가스안전공사 운동장의 4개의 Way Point 지점을 선정하고, Google Map에서 4개의 지점의 위도, 경도 좌표를 참조하였다. 첫 지점에서 출발, 둘째 및 셋째 지점을 경유하여 마지막 지점으로 돌아오는 경로를 설정하고 각각 경로에 대한 DGPS 및 RTK-GPS의 좌표를 Google에서 구한 좌표와 비교하여 오차를 확인하고 보정 하였다. 향후 RTK-GPS기반 드론의 비행궤도오차 개선 프로그램을 포팅하여 활용할 예정이다.

※ 본 연구는 산업부 에너지기술개발사업 “Smart Drone기반 고층건물 및 교량첨가 가스배관 검사장비 상용화 개발(과제번호 20182220100800)” 지원됨.

원거리 레이저 메탄검지기의 레이저 발진 및 수광 회로 구현 및 특성 시험

Implementation and Characteristics Test Laser Oscillating and Receiving Circuits of a Remote Laser Methane Gas Detector

신상호 · 박규태 · 김인겸 · 권대환 · 유철희 · 윤명섭* 백영삼*

한국가스안전공사 안전연구원, *선두전자(주)

광학식 가스센서는 적외선 Laser Diode(LD)와 Photo Diode(PD)로 구성하여 구현할 수 있다. 광원(LD)에서 방사된 레이저 빔(beam)이 PD에 도달하면 빛에너지는 전기에너지로 전환 될 수 있다. 이때 방사되는 빔 사이에 LD와 동일한 파장대역을 가진 가스를 통과시키면 가스농도에 따라 빛에너지가 흡수되어 감소되는데 이를 이용하여 가스의 존재 유무를 판단하고 농도를 산출하여 가스검지기를 개발할 수 있다. 이 논문에서는 상기와 같은 원리로 고가의 적외선 레이저 다이오드 대신 저렴한 가시광선 레이저를 사용한 메탄센서 모듈의 회로를 설계하고 제작하여 그 특성을 파악하였다. 향후 원거리 메탄가스검지를 위한 1,650nm 대역을 가진 고가의 Butterfly 형태의 LD와 PD모듈을 설계하여 제작하고자 한다.

먼저 원거리 메탄가스검지를 위한 전단계로서 650nm LD(SZH-EKAD-107)와 380nm~800nm의 가시광선 흡수파장대역을 가진 PD(LX1971IDU)를 사용하여 메탄가스 측정회로를 구현하였다. 레이저 모듈을 이용하여 가시광선의 초기 빛 세기를 측정하고 LD와 PD사이에 메탄가스가 흡수될 수 있도록 가림 막을 설치하여 빛의 세기를 감소시키고 빛의 세기를 측정하였다. 이때 가림 막의 갯수는 가스농도와 같은 역할을 한다. 센서모듈 제작에 사용된 MCU는 Arduino Uno 버전을 사용하여 출력신호를 인가하고 입력신호를 측정하였다. 실험은 광원에 2.33V를 인가하고 2M 거리에 있는 PD에 빛을 조사하였다. PD에는 5V의 전압을 공급하였고 회로에는 3V의 공급전압을 인가하고 실험을 수행하였다. 빛에너지는 3가지 방법으로 그 값을 측정하였으며, 첫 번째는 PD에서 출력되는 전압을 오실로스코프를 이용하여 측정하였다. 두 번째는 Arduino를 이용하여 Analog 신호를 측정하였고 10bit의 해상도를 가진 디지털 값으로 변환하였다. 세 번째는 상용 조도 센서인 Laser Power Meter를 이용하여 mW 단위로 빛 에너지를 측정하였다. 레이저 빔이 완전하게 차단되었을 때와 최대의 빔이 가해졌을 때의 전압차이는 0.54V~2.55V로 나타났고 이를 Arduino의 아날로그 입력신호로 변환결과는 약 10진수 64~442의 변화폭을 보였다. Laser Power Meter에서는 0.03㎼~30㎽의 변화폭을 보였다. 그리고 메탄가스와 같은 흡수기능을 수행하는 불투명한 가림 막을 PD에서 30cm 떨어진 곳에 설치하여 도달하는 빛 에너지를 측정하였다. 가림 막은 1~5개를 설치하고 각각의 감소되는 빛 에너지를 5단계로 산출하였다.

향후 1,650nm파장대역의 Laser Diode와 Photo Diode로 대체한다면 상용 원거리 메탄가스 검지기를 개발할 수 있을 것으로 판단한다.

※ 본 연구는 산업부 에너지기술개발사업 “최소 검지농도 100ppm-m급 휴대용 고감도 원거리 레이저 메탄누출검사장비 상용화 개발(과제번호 20172220100330)” 지원됨.

원전 공기조화 설비 진동저감 방안 고찰

Study on Vibration Reduction of a Air Supply Equipment in the Nuclear Power Plant

오승환 • 김원택

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

원전 CPB OFFICE SPLY AHU(Compound Building Office 공기조화 설비)는 모터 무부하 진동이 허용기준(7.1 mm/s)을 초과하는 고진동이 지속적으로 발생하여, 고무 재질의 방진 마운트(Vibration Isolator) 총 8개를 사용하중이 더 큰 제품으로 교체하였다. 교체 후에 진동이 개선되지 않아 방진마운트 조립 볼트를 느슨하게 풀어 다소 완화된 상태이다.

방진마운트 교체 전 공기조화 설비 모터 측에서 시험한 고유 진동 특성은 1, 2차 고유진동 모드가 각각 수평방향, 축 방향으로 10 Hz 근방에서 나타났으며, 3차 모드는 수직 방향으로 30 Hz 근방에서 측정되었다. 고 진동 해소를 위해 사용질량이 큰 방진마운트로 교체한 후 고유진동수 측정 결과, 교체 전 시험 그래프와 거의 흡사하였으며 전체적으로 그래프가 왼쪽으로 이동하면서 주파수가 약간씩 하향하였다. 주파수는 질량과 강성의 함수로 사용질량이 일정한 상태에서 강성이 더 큰 방진마운트 적용 시 고유진동수가 증가해야 하나 반대로 감소하는 경향을 보였다.

상용 유한요소해석 소프트웨어(Abaqus 6.20)을 이용하여 고유모드 해석을 수행하였는데, 고무의 물성치는 50% 미만 작은 탄성 변형률에 사용되는 Neo-Hookean 함수를 적용하였다. 공기조화설비의 베이스 구조물을 모델링하였고 모터 및 팬의 무게 중심점을 지정하여 무게 정보를 입력하여 구조물과 연결하는 Point Mass 기법을 이용하여 모델링을 단순화하였다.

우선 구조물 바닥의 강성이 진동에 미치는 영향을 확인하기 위해 바닥을 전체적으로 구속시킨 경우와 중앙부가 Flexible 한 경우에 대해 각기 해석한 결과 거의 동일한 고유진동수를 나타나는데, 구조물의 바닥면이 거의 진동하지 않으며 방진마운트 위쪽에서만 진동이 일어나기 때문으로 판단된다.

총 10차까지의 고유모드 해석 결과를 산출하였는데, 1차는 축 방향, 2차는 수평방향, 3차는 수직방향과 축 방향이 혼합된 형태의 모드형상으로 모터의 운전주파수와 관련된 모드는 3차 모드라고 할 수 있다.

방진마운트의 고유진동수는 고무의 강성에 따라 결정되며 지지하는 사용질량이 작아지면 고유진동수는 올라가고, 반대로 사용질량이 커지면 내려간다. 고진동 원인은 공기조화 설비의 수직방향 고유주파수가 모터의 회전주파수에 근접하여 발생하는 것으로 판단되며, 교체된 방진마운트의 강성이 기존 제품에 비해 증가하지 않아 계속적으로 운전주파수에 근접하여 공진하는 것으로 판단된다. 따라서 1차 고유진동수가 13~14 Hz 되는 제품으로 교체하면 3차 고유진동수가 회전주파수에서 이격되어 전체적인 진동이 개선될 것으로 판단된다.

최신규제요건을 반영한 SMART100 포괄적 진동평가 프로그램

SMART100 Comprehensive Vibration Assessment Program Considering the Latest Regulatory Requirement

권순국 · 이강헌*
한국수력원자력, *한국원자력연구원

2000년대 중후반 들어서 기존 상용원전과는 차별을 꾀하는 SMR(Small Modular Reactor)이 다양한 형태로 개발 중이다. 미국에서 2009년 BWXT mPower™가 NRC에 설계인증(Design Certification)을 위한 사전안전성검토를 신청하면서 기존 상용원전과 설계상 차이로 인하여 NRC는 설계관련 검토표준(Design Specific Review Standard, DSRS)을 별도로 만들었다. 또한 NRC는 현재 표준설계인허가 중인 NuScale을 위한 DSRS도 별도로 만들었다. 이러한 기조에 맞추어, 규제지침 Reg. Guide 1.20은 원자로내부구조물의 유동유발진동에 의한 구조물의 건전성을 평가위한 종합진동평가프로그램을 수행하기 위한 규정이다. RG 1.20이 2007년 Revision 3 이후 10년만인 2017년에 개정되었다. 종합진동평가프로그램 대상에 SMR이 포함되었다.유동유발진동(FIV), 음향공진(Acoustic Resonance), 음향유발진동(AIV) 및 기기유발진동(MIV)를 원자로내부구조믈 평가에 고려하도록 하고 있다.

SMART100은 지난 2012년 표준설계인가를 마친 SMART원전에 후쿠시마 후속조치 관련한 피동안전설비를 설계에 반영한 노형이다. 유효원형이 없는 prototype으로 축소모형시험을 통해 입증된 방법론으로 전출력운전까지 원자로 내부 구조물에 대한 설계하중 정의가 필요하며, 축소모형시험시 scale차이에 따른 영향분석을 수행할 예정이다. SMART100은 축소모형 및 개별효과 시험을 통해 해석/평가에 필요한 입력을 제공하고 해석방법론 검증에 활용할 예정이다. 또한 시험-해석의 종합적 평가를 통해 해석방법론을 개발하여 추후 SMART100 원형 해석에 활용 및 SMART100 원형의 해석결과를 바탕으로 측정 및 검사계획에 활용하여 건설 단계에서 원형에 대한 종합진동평가프로그램을 통해 SMART100의 구조건전성을 입증할 예정이다.

원자력 발전소 이동형 발전차 신뢰도 향상에 관한 고찰

A Study on Reliability Improvement of Mobile Gas Turbine Generator for Nuclear Power Plant

강승희

한국수력원자력 중앙연구원 기계연구소 기계기술그룹

후쿠시마 원전사고 후속조치로 국내 원자력발전소에 ELAP(Extended Loss of All AC Power) 대처 설비인 이동형 발전차가 도입 되었다. 이후 이동형 발전차 운영은 주기시험 성공유무에 따라 단순 주기시험 반복을 통한 수동적 개념으로 관리되었으나, 최근 규제강화 및 다수호기 동시고장을 대비한 추가 이동형 발전차가 도입 되면서 신뢰도 및 성능감시를 통한 능동적인 신뢰도 향상의 필요성이 대두되었다. 이를 위해 비상디젤발전기에 적용된 신뢰도 프로그램을 기반으로 이동형 발전차 운영특성에 맞게 개선하여 적용하고자 한다.

이동형 발전차 신뢰도 프로그램의 핵심구성요소를 점검, 정비, 성능감시, 추이분석, 데이터시스템, 문제점 종결의 6가지로 구성하였다. 점검요소에서는 주기시험을 통하여 이동형 발전차의 운전이력 및 운전변수 데이터를 취득한다. 정비요소에서는 발전소 예방정비 규정을 준수하도록 하였으며 성능감시 및 추이분석에서는 이동형 발전차의 잠재적인 결함을 발견하고 시정하기 위해 기동전/후, 운전 중 운전변수를 선정하고 취득조건을 제시하였다. 취득한 Data들은 데이터 시스템에 입력하여 Big Data로 구축하고 기동 신뢰도와 부하운전 신뢰도를 곱하여 현재 신뢰도 평가를 수행한다. 주기시험 중 시험실패가 발생하면 기능에 직접적인 영향을 미치는 인자일 경우 유효시험 실패로 처리하도록 하여 해당 고장에 대한 근본원인조사가 이뤄지게 하였다. 이러한 과정을 통해 이용 불능도를 최소화 하고 설비기능을 복구하여 저하된 신뢰도를 신속히 할 것으로 기대된다. 또한 수집된 운전이력을 20, 50, 100회로 구분하여 시험실패 횟수를 제한하였고, 제한횟수 이내의 실패횟수는 목표 신뢰도를 만족한 것이며, 제한횟수를 초과한 고장에 대해서는 근본원인조사 뿐 아니라 신뢰도 프로그램에 대한 전반적인 절차에 대한 검토가 이뤄지도록 하여 목표 신뢰도를 유지할 수 있도록 하였다.

이동형 발전차 신뢰도 프로그램을 운영함으로써 후쿠시마 원전사고 이후 강화되는 비상전력설비 규제기준을 만족하고 제한된 기동 및 부하운전에도 목표 신뢰도를 정량화하여 유지관리 할 수 있게 되었다. 또한 고장발생 시 단순 시험주기 단축의 수동적 개념에서 운전변수 선정 및 추이분석을 통한 잠재적 고장 발견 및 개선으로 능동적으로 목표 신뢰도 유지를 할 수 있을 것으로 기대된다.

원자력 발전소 비상디젤발전기 신속기동에 관한 고찰

A Study on Fast Start of EDG for Nuclear Power Plant

강승희

한국수력원자력 중앙연구원 기계연구소 기계기술그룹

원자력발전소 비상디젤발전기는 소외 교류전원 상실시 발전소 안전정지에 필요한 안전관련 설비에 비상전력을 공급하는 설비이다. 따라서 높은 신뢰도를 확보하기 위해 설계 단계에서부터 엄격한 규제요건을 따르도록 하고 있으며, 발전소 운전기간 중에는 운영기술지침서(Technical Specification)의 점검 요구사항에 따라 정기적으로 시험을 수행하도록 규정하고 있다. 이를 근거로 원자력발전소 정상운전 중 비상디젤발전기는 매월 Slow Start로 엔진을 보호하며 기동하고 6개월 주기로 Fast Start로 기동하여 설계요구사항 인 10초 이내 정격 전압, 주파수 도달여부를 확인하고 있다. Fast Start로의 운전은 엔진에 가혹한 기동조건이지만 설계기준만족 및 규제요건에 반영된 시험방식으로 반드시 만족해야 한다.

본 연구에서는 Fast Start Mode에서의 RPM 승속 과정을 4구간으로 구분하여 Fast Start에 영향을 미치는 영향 인자에 관해 연구하였다. 먼저 기동신호 인가 후 엔진이 기동하기 직전을 1구간, 기동직후부터 엔진속도 정격대비 30% 시점을 2구간, 이후 80% 도달까지를 3구간, 이후 정격 회전수 도달시점을 4구간으로 구분하여 5회에 걸친 RPM Trend를 취득하여 이를 분석해 보았다. 분석결과 1~2 구간의 승속 과정이 10초 이내 도달시간에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며 이 구간에서의 지연이 발생한 경우 3~4 구간에서의 승속과 관계없이 10초 이내 정격 전압/주파수 도달 시간을 지연시키는 것으로 나타났다. 1구간은 기동신호 발생 후 기동용 공기 솔레노이드 밸브의 동작시점이 반영되는 구간이다. 2구간은 기동공기가 공급되는 Air Running구간과 동시에 Fuel Running이 공존함과 동시에 공기차단 이후 Fuel Running으로 전환되는 구간으로 해당구간에서는 연료랙 링키지 윤활여부에 따라 소요시간의 편차가 큰 것으로 나타났다. 3구간에서는 이미 Fuel Running으로 전환되어 제어 할 수 없는 가장 빠른 속도로 RPM이 상승하는 구간이다. 4구간은 정격 전압, 주파수 도달 이후 조속기의 속도제어를 통해 정격 회전수에 도달하는 구간이며 해당 구간은 조속기 제어과정에 직접적인 영향을 받는다.

본 연구를 통해 고속기동 시 10초 이내 기동을 만족하기 위해서는 기동신호 인가 후 엔진이 회전하는 시점에 관련된 관리요소와 연료랙 링키지 윤활에 관련된 관리요소가 중요한 영향요소로 나타난 것으로 볼 수 있으며, 예방정비 기간 중 이를 반영하여 운영 및 정비 관리에 활용한다면 비상디젤발전기 기동신뢰도 유지에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

SMART100 표준설계인가를 위한 설계특성

SMART100 Design Features for the Standard Design Approval

서정관
한국수력원자력(주) 중앙연구원

한국수력원자력(주)는 중소형원전인 SMART100의 해외수출을 위하여 2019년 1월부터 국내 규제기관의 표준설계인가를 추진하고 있다. 2012년 SMART 원전에 대한 표준설계인가를 취득했으나 이후 안전계통이 완전 피동형으로 변경됨에 따라 재인가가 필요하기 때문이다. 기존 능동형 안전계통에서 피동형 안전계통으로 도입된 것은 피동안전주입계통, 피동잔열제거계통, 격납건물감압 및 방사능제거계통 등이다. 이에 따라 안전등급 비상디젤발전기 및 격납건물 살수계통 등이 제거되었다. 표준설계인가를 위해 규제요건 충족을 위한 보완설계가 필요하며 주요 내용은 아래와 같다.

핵연료 분야에서는 수명말(EOL: End of Life) 핵연료 내진성능 검증을 위해 EOL 예측값을 이용한 핵연료 구조건전성 평가, EOL 조건 모사 핵연료 특성 시험, EOL 조건 모사 CPM(Core Plate Module) 생산용 연계자료 개발 등을 수행한다. SMART 운전조건을 고려한 HANA 피복관 내부식 성능 시험을 위해 HANA 피복관 내부식 노외실증시험 장비 제작 및 시험 수행, HANA 피복관 내부식 거동 분석 및 성능 시험 보고서를 작성한다. HANA 연료봉 성능 평가를 위해 HANA 피복관 성능 모델의 검증 및 개선, HANA 연료봉 설계 및 성능 평가 보고서를 작성한다.

유체계통설계 분야에서는 Jet Impingement Load 분석을 위해 Jet Impingement Zone of Influence 분석, Blast Wave 하중 분석, Resonance 현상 검토, 및 BLPB(Branch Line Pipe Break) 하중 주기기 영향 해석을 수행한다. 원자로냉각재계통/피동안전주입계통의 설계기준사고 시 열수력거동 자료 평가 및 화학 및 체적제어계통 열수력거동 자료를 작성한다. 또한, 주요 유체기기 표준설계시방서를 개발하기 위해 설계시방 요건 및 표준양식을 개발한다.

기계설계 분야에서는 포괄적진동평가프로그램(CVAP) 개발을 위해 RG 1.20 Rev.4를 적용한 CVAP 수행 방안 수립 및 요건서 작성, CVAP 구조해석방법론 개발, 핵증기계통 축소모델 CVAP 유동 및 구조 해석, 축소모형 시험설비 구축, 유동시험 및 진동평가를 수행한다. 제어봉구동장치 설계 완전성 확보를 위해 전력, 공기냉각, 가속도, 충격하중 및 코일 특성 시험을 수행한다. 증기발생기 전열관 표준설계 인허가 자료 생산 및 건전성 평가를 위해 유동유발진동 실험 및 평가, 마모 실험 및 평가, 배관파단사고 수력하중 해석, 실험 및 평가, 파열 및 붕괴 압력 실험, 관막음 기준 평가 등을 수행한다.

상기의 결과는 인허가문서에 반영되어 2019년 10월 SMART100에 대한 국내 규제기관 표준설계인가를 신청할 계획이다.

판형 열교환기의 성능 평가 분석

Analyses of Performance Evaluation for Plate Heat Exchangers

송석윤(Seok Yoon Song)
한국수력원자력(주) 중앙연구원(KHNP-Central Research Institute)

1. 서론

판형 열교환기(Plate Heat Exchangers)는 원자력발전소 계통을 구성하는 핵심기기 중 하나로써, 안전관련 및 비 안전 계통에 설치되어 있다. 판형 열교환기는 상부의 carrying bar와 하부의 guide bar 사이에 장착된 얇고 주름진 여러 장의 전열판(heat transfer plate)으로 구성되어 있다. 이 전열판은 두 종류의 유체가 통과하는 유로를 형성해 주며, 전열판에 형성된 주름은 유체의 흐름을 난류로 만들어 주고, 두 유체간의 압력차이 상태에서 판을 지지해주는 역할을 한다. 원전에서 운영되는 판형 열교환기는 여러 가지 원인에 의해 초기에 의도하지 않은 문제로 성능 부족을 경험하였다. 안전관련 판형 열교환기는 원전 운영에 있어 중요한 설비이며, 제 기능을 발휘하지 못하면 원전 이용률에도 막대한 영향을 끼치게 된다.

본 논문에서는 원전에서 운전되고 있는 판형 열교환기의 성능에 영향을 미치는 요소를 검토하고, 원전의 판형 열교환기 성능 평가 실제 사례를 분석하였다.

2. 판형 열교환기의 성능 평가 사례 분석

판형 열교환기 전열판에는 개스킷이 부착되어 있으며, 개스킷은 유로의 형성과 유체가 외부로 누출되지 않도록 밀봉하는 역할을 수행한다. 전열판의 개수는 유량과 유체의 물리적 특성, 압력강하 및 온도조건에 따라 결정된다. 전열판의 조립은 전열판의 표면이 고정지지판 쪽을 향하여 1매 마다 상하 역으로 걸어주어 A 전열판의 표면을 흐르는 유체는 A 전열판 만을 흐르고, B 전열판을 흐르는 유체는 B 전열판 만을 흐른다. 전열판 양쪽의 두 유체의 압력차이가 있는 열교환기에서 저압측 압력강하가 불만족 되었다. 이는 2개 계통의 압력차이가 발생되어 저압측으로 전열판이 휘면서 압력강하와 성능이 변화하게 된다.

출구배관 온도계측기 위치에 따라 온도 편차 현상이 있어, 표면온도 측정결과와 판형 열교환기 유동해석 결과도 온도 편차 현상을 확인했다. 따라서 판형 열교환기의 열전달 과정에서 생긴 유체의 열구배가 완전히 평형이 되지 않으면 성능이 실제와 다르게 평가될 수 있음을 확인했다.

3. 결론

판형 열교환기는 운전환경에 따라 초기 설계된 성능을 발휘하지 못하게 된다. 원전에서 운영되는 판형 열교환기의 성능 부족 사례를 분석한 결과 여러 가지 이유로 성능이 발휘되지 못하게 된다. 따라서 판형 열교환기의 설계 및 운전환경에 따라 어떤 요인이 주로 영향을 미치는지를 분석하였다. 판형 열교환기의 성능 평가에 있어 운전환경을 정확히 파악하고, 대응함으로써 초기 의도한 성능을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

보조급수펌프 후단 배관감육 억제를 위한 적정 유량 수치해석

A numerical study for mass flow for suppressing pipe erosion in auxiliary feedwater system

최문호 · 이혁순 · 오승환 · 송석윤
한국수력원자력 중앙연구원

보조급수계통은 발전소 경상운전 동안 대기상태인 열제거원 중 하나로 최근 보조급수펌프 라인의 감압용 다단 오리피스 후단 배관과의 이종금속 용접부에 캐비테이션에 의한 배관감육으로 핀홀이 발생하였다. 본 배관은 약 2년 전 1,500시간 운전 상태에서 동일한 용접부위에 핀홀이 발생하여 교체된 이력이 있다. 그러나 이번 핀홀은 700 시간 운전 후 발생하였으며, 그 사이 다단 오리피스는 기존의 4단에서 8단으로 단수가 증가되었다. 감육된 배관을 신품 교체 후 한 주기 동안 감압 기능을 문제없이 수행하기 위하여 63시간의 보조급수계통 운전 중 핀홀의 재발을 방지하기 위한 방법으로 보조급수 유량을 조절하는 것이 요구되었다. 따라서 전산유체해석을 통해 감압용 8단 오리피스를 통과하는 유량을 감소시키며 이 때 발생하는 캐비테이션의 분포를 분석하였다. 수치해석 결과 기본 유량 39 ㎥/h에서 감소한 34 ㎥/h까지 오리피스 직후단 단면에서 나타나는 캐비테이션 발생량은 큰 차이가 없으나 캐비테이션의 분포는 유량이 증가할수록 넓게 분포하였으며, 유량을 40 ㎥/h 이상으로 증가시킬 경우 오리피스 직후단에서 나타나는 캐비테이션 발생량이 약 3.3 배 증가하였고 핀홀이 발생한 배관 하부 벽에 캐비테이션 분포가 눈에 띄게 증가하였다. 마지막으로 캐비테이션 발생을 억제시키기 위하여 감소시킬 유량을 베르누이 방정식을 이용하여 유체의 로컬 압력이 포화증기압 보다 높게 되는 유동의 평균속도로 계산했을 때의 유량 대비 전산유체해석 결과 93%의 유량에서 캐비테이션은 여전히 존재하나 오리피스 후단 배관의 건전성에 미치는 영향은 크게 감소하는 결과를 얻었다.

원전 대형 펌프 베어링 온도 편차 원인 분석

The Cause Analysis of Large Pump Bearing Temperature Difference in the Nuclear Power Plant

김원택
한국수력원자력(주) 중앙연구원

최근 산업계에서는 빅데이터를 이용한 기술이 급속하게 발전하고 있다. 발전소를 운영하는 한수원에서도 빅 데이터를 활용한 온라인 모니터링 기술과 예방정비 기술을 적용함으로써 다양한 설비들의 문제를 사전에 인지하고 조치하여 경제적 손실 비용을 줄이고 있다.

본 사례는 오랜기간 운전된 펌프에서 베어링 온도 편차가 발생한 점에 대해 의문점을 갖고 해결책을 찾기 위해 다양한 가능 요인들에 대해 분석을 수행한 내용으로 타 산업계에서도 참고가 될 것으로 생각된다. 통상 펌프는 축을 지지해 주는 베어링이 구동기와 연결되는 곳과 반대편, 2곳에 각각 설치되는데 구동기와 연결되는 곳을 DE(Drive End), 반대편을 NDE (Non Drive End)라고 칭한다. 발전소의 주요 대형 펌프중 하나인 B 펌프에서 NDE 베어링 온도가 동일 펌프인 A의 NDE 베어링보다 약 23℃높았으며, 이는 과거 2010년경부터 나타난 현상이다. 또한 분해 점검시 온도가 높았던 베어링 상태에서 특이사항은 확인되지 않았다. 따라서 베어링 온도편차에 크게 기여할 수 있는 영향인자를 선정하여 분석을 수행하였다. 먼저 베어링에 윤활 및 냉각 기능을 수행하는 윤활유의 조립시 유동 간극을 확인하였는데 큰 차이가 있다면 조치가 필요한 사항으로 볼 수도 있다. 그러나 A, B펌프 모두 0.01㎜ 차이의 비슷한 값으로 기준값 이내에서 양호함을 확인하였다. 다음으로 조립시 축정렬 값을 확인하였는데 축정렬 값이 기준값을 벗어난다면 베어링에 부하로 작용하여 온도 상승 가능성이 있었다. 그러나 A, B펌프 조립시 측정한 축정렬 값은 모두 허용치 이내로 특이사항은 없었다. 다음으로 A, B펌프에 공급되는 윤활유의 온도 및 압력을 비교 검토하였는데 영향이 없는 것으로 확인하였다. 다음으로 베어링 온도 전송기(Temp Transmitter)와 베어링 하우징 온도(TE sensor 실측)를 확인하였는데 온도 전송기가 비정상적으로 높게 나타났다. 또한, 다른 호기에서 온도 전송기를 교체후 NDE 베어링 온도가 이전보다 약 13℃ 상승을 나타내 온도 전송기 자체 또는 교체전 계측 열전대(Thermocouple)의 베어링 표면 접촉 적정성 문제가 제기되었다. 다음으로 A, B펌프의 전체 진동 추이를 확인하였는데 A, B펌프 모두 경보값보다 낮은값에서 안정된 상태를 유지중이며, 온도가 높은 B펌프 진동이 오히려 A 펌프보다 약 60% 작은 진동을 나타냈다. 다음으로 진동 스펙트럼은 A, B펌프 모두 적용 베어링에서 나타나는 주파수 성분외에 특이사항은 없었다. 다음으로 1x 오빗은 정원에 가까운 타원 형태로 작은 진동값에서 안정적인 상태를 나타냈다. 이상과 같은 베어링온도 편차 원인분석결과 온도 전송기 이상 또는 계측 열전대의 베어링 면 접촉상태가 가장 주요한 영향 가능성이 있는 것으로 분석되었다. 베어링 표면과 미소 간극으로 열전대가 설치되어 공기나 윤활유를 통해 열전도가 발생한다면, 최근 측정시 B펌프 DE 베어링이 NDE보다 21.3℃ 낮은 것은 베어링 표면과 열전대사이 약 2㎜ 간극 가능성이 있으며, 분해시 확인예정임. 향후 열전대의 계측온도 신뢰성을 높이기 위해 베어링 접촉면까지 홀 깊이를 정확히 확인후 설치가 중요함을 느꼈다. 베어링 온도를 계측하는 타 분야에서도 참고가 될 것으로 기대한다.

APR1400 미국 규제기관 표준설계인가 취득

Acquisition of Standard Design Approval of APR1400 from U.S. NRC

하체웅
한국수력원자력(주) 중앙연구원

한국수력원자력(KHNP)은 2018년 9월 28일(미국시간) 미국 원자력규제위원회(NRC)로부터 APR1400 신형경수로 설계에 대한 표준설계인가(Standard Design Approval)를 취득하였다. 2014년 12월 23일 NRC에 APR1400 표준설계에 대한 설계인증을 신청하였으며, NRC 심사는 2015년 3월 착수되어 2018년 9월까지 42개월 만에 완료되었다.

42개월은 NRC가 심사착수 당시 수립한 일정으로 계획된 기간 내에 심사가 이루어진 것을 의미한다. 지난 2007년 12월에 설계인증을 신청한 프랑스 EPR 원전의 경우 2015년 2월에 심사를 중단한 상태이고, 같은 시기에 신청한 일본 APWR 원전은 현재까지 심사초기 단계에 머물러 있다. '표준설계'란 동일 원전의 반복 건설을 목적으로 건설부지의 특성을 반영해야 하는 일부 분야를 제외한 전체 원전에 대한 설계이다. 설계인증은 NRC가 신청기관 요구에 따라 표준설계를 심사하고 안전성이 입증되면 연방규정(Code of Federal Regulation) 부록(Appendix)에 법제화시키는 것으로 15년간 유효하다. 미국 내 전력사업자가 설계인증 원전의 건설 및 운영에 관한 인허가를 받고자 할 경우 표준설계가 적용된 부분에 대한 심사는 면제받는다. 표준설계승인은 NRC가 심사결과 안전성이 입증되어 설계인증에 필요한 법제화 절차에 착수함을 의미한다.

NRC에 따르면 APR1400 설계인증은 2019년 7월에 취득될 것으로 예상되는데, 이전 설계인증과 달리 직행절차(Direct Rule making)를 적용하여 법제화 기간을 단축한 일정이다. 일반적인 법제화 절차는 법안에 대한 기본안을 만들고 여론 수렴과정을 거쳐 법안을 완성하는데 반해, 직행절차는 법안을 완성 후 대중에게 공개하여 중대한 설계결함이 없을 경우 그대로 확정하는 것이다. NRC는 APR1400의 높은 설계완성도와 성공적인 심사과정을 볼 때 일부 반대의견이 있더라도 충분히 대응할 수 있다는 판단 하에 결정한 것이라고 배경을 밝혔다.

NRC로부터 SDA 취득으로 APR1400 원전에 대한 안전성을 세계적으로 보여주는 계기가 될 것으로 보이며, 사우디아라비아, 폴란드, 체코 등을 상대로 진행 중인 원전 수출 추진에도 긍정적인 효과를 가져다 줄 것으로 기대된다. 현재 미국에서 설계인증이 유효한 원전은 웨스팅하우스社의 AP1000(개량형 가압경수로)과 GE-히타치社의 ESBWR(개량형 비등경수로)이다. 이 밖에 GE-히타치社가 1997년에 취득했던 ABWR(비등형 경수로) 설계인증에 대한 갱신 신청 심사가 진행 중이며, Nuscale社가 개발 중인 소형모듈원전 설계인증이 심사 중이다.

참고로, APR1400 설계인증 신청 서류에는 APR1400 원전의 주요 설계특성은 개선된 안전주입탱크, 1차측 과압보호설비, 1차측 보온재로 섬유형이 아닌 금속형재질 사용, 향상된 발전소전원상실 대응능력(보조전원으로 가스터빈발전기 사용 등), 설계기준초과사고 대처능력 향상 및 디지털 I&C 시스템 등에 대해서 기술되어 있다. 개별 장 설명을 위해 부지특성 개요, 원자로냉각재계통 및 연결 계통, 전원계통 특성, 증기 및 동력변환 계통 특성, 방사성폐기물관리 내용을 요약하였다.

증기터빈 배기손실과 전기출력 영향고찰

A Study of Influence on Electrical Power with Exhaust Loss in Steam Turbine

이우광, 정혁진

한국수력원자력 중앙연구원

최근 대형 증기터빈은 전기출력을 높이기 위해 저압터빈 최종단 날개를 크게 설계하는 경향이며, 특히 원자력발전소 저압터빈은 1800rpm으로 운전되므로 화력발전소 저압터빈 보다 속도가 1/2로 낮아 최종단 날개 길이를 더 크게 제작하고, 원심력, 증기유량 등에 의한 응력을 날개 뿌리가 견딜 수 있도록 재질과 형상을 개선하여 설계하고 있다. 또한 저압터빈 외부케이싱도 날개와 같이 크게 설계하고, 터빈을 통과한 배기증기의 유로저항을 감소시켜 발전소 출력을 향상을 도모하고 있다.

저압터빈 최종단 날개 크기와 외부케이싱 형상에 영향을 받는 배기손실은 터빈제작사가 사용자에게 증기속도와 손실에너지, 복수기 압력과 손실에너지 등의 형태로 제공하고 있으며, 이 자료를 바탕으로 국내에서 운영중인 대형 발전소 운영환경에 대하여 분석하고, 전기출력의 영향을 검토하여 효율적인 운영방안을 마련과 함께 노후 터빈설비 교체시 최종단 날개를 크게 할 경우 얻을 수 있는 전기출력 이득을 산출하고자 한다.

국내 대형 증기터빈은 대부분 복수기 냉각을 해수로 하고 있으며, 해수 기준온도를 25℃로 설계하며, 실제 해수온도는 계절마다 차이가 있으나 설계보다 5~10℃ 정도 낮은 것이 보통이다. 복수기 설계온도는 증기터빈 출구 설계압력을 결정하고, 복수기 실제 온도는 운전압력을 좌우하게 되며. 이로 인해 최종단 증기의 배기속도를 구할 수 있다. 또한 유로저항은 날개와 터빈케이싱의 형상으로 결정되나 대부분 증기 배기속도에 의해 배기손실이 결정된다. 즉 배기속도를 최적화하여 효율을 높게 하는 설계, 운영방법을 Cold Optimization이라고 한다. 국내 대형 증기터빈 배기속도는 200~400m/s 정도로 운전 중이며, 해수온도가 높은 경우 배기속도가 낮아지고 배기손실이 증가하며, 해수온도가 낮은 경우 배기속도가 높아지고 배기손실이 증가하는 역 포물선 형태의 곡선을 나타내고 있다.

국내 표준원전 1000MW급과 1400MW급 증기터빈의 최종단 날개는 43inch와 52inch급을 사용하고 있으며, 배기손실은 복수기 압력에 따라 차이가 크고 전체적으로 52inch급 날개가 배기손실이 작은 것을 알 수 있다. 만일 동일한 증기유량, 압력조건이라면 1000MW급 43inch 날개를 52inch로 변경했을 경우 배기손실로 인한 전기출력을 년 평균 27.6MW 향상시킬 수 있는 것으로 계산되었으며, 실제 해수온도 운전조건은 10~20℃가 대다수를 차지하고 있어 최종단 날개를 크게 설계하는 것이 전기출력 향상 측면에서 합리적인 것을 알 수 있다.

수직펌프 구동기 변경 시 구조공진 회피 설계 및 검증 대책 고찰

Study on the Design and Verification Countermeasures of Avoiding Structural Resonances when Replacing Drivers for Vertical Pumps

송우석 · 김원택
한국수력원자력(주) (Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.)

수직형 펌프는 플랜트나 산업계에서 용수나 냉각수의 공급을 위해 광범위하게 사용되고 있으며, 초기 설치 후 장기간 사용 후 노후화 등으로 교체 시 기존 모델의 단종이나 제작사의 변경 등 구동기의 단독 변경이 필요한 경우가 발생한다. 수직형 펌프는 설계 시 구조적, 기능적 효율성 측면에서 통상 펌프의 회전체 중량이나 축방향 하중을 구동기의 추력베어링에서 감당하도록 설계하기 때문에 수평형과는 달리 구동기와 종동기간 특성 분리를 위한 Flexible Coupling을 적용하지 않는 경우가 대부분이다. 통상 펌프 제작사는 별도의 제작사로 부터 필요한 성능의 구동기를 구매하고, 입수한 구동기 특성을 반영하여 펌프집합체 설계에 반영하므로 조합된 펌프구조물의 Reed Frequency나 축의 Critical Speed 등 구동기가 조합된 펌프의 진동 특성은 전동기 제작사에서 보유하지 않게 된다.

구동기의 단독 모델 변경이나 제작사 변경은 토크나 동력특성, 지지하중 등 기능적인 측면에서 원 구동기의 특성과 동일한 기준으로 제품 확보를 추진하고, 공장에서 무부하나 부하시험 및 진동검증을 수행하더라도 펌프와 조합 할 경우 구동력 등 성능은 만족해도 진동 측면에서 문제를 나타내는 경우가 발생하며, 기존 구동기 제작사에서 대체 후속모델을 구매한 경우도 마찬가지로 고진동 문제를 나타내는 경우가 있다. 따라서 수직형 펌프의 구동기를 단독 변경하는 경우는 수평형과는 다르게 각별한 주의가 요구되며 초기 펌프 구매 시 요건에 부가하여 설계 및 검증을 위한 추가적 요건 및 대책이 필요하다. 통상 펌프 집합체의 설계요건 상 회전동기진동성분(1xRPM Synchronous Vibration)의 공진회피 이격요건을 다루는 경우가 많고, 해석적 평가를 허용하고 있으나, 모드해석에서 각 체결부의 비선형성에 의한 편차를 반영하지 못하는 해석적 한계로 해석자의 경험에 따라 실제와 큰 편차를 나타내기도 하므로, 체결부가 많은 초도품에서 실험적 검증은 필수적이다. 기존 구동기의 대체모델 설계를 위해서는 기존 펌프에 설치상태에서 (1) 커플링 체결 상태, (2) 미체결 상태, (3) 전동기를 분리 후 체결강성을 알고 있는 정반이나 기초에 단독 체결 상태 등 3개 조건에서 실험적 모드분석, Coastdown Data 취득 분석을 통해 기존 구동기의 특성을 역산하고 신규설계 모델의 목표수준을 결정하여 설계에 반영할 것을 권고하고자 한다. 펌프 집합체의 공진회피 요건을 명시하고 있는 API610이나 HI Standard 등 고유진동수와 회전동기주파수 간 20% 수준의 이격을 권고하고 있고, 실제 볼트 체결구조의 일반적인 펌프 구조물은 감쇠비가 크지 않아 10~15% 이격도 문제를 유발하지 않으나, 출구에 고무 xpansion Joint 등의 영향으로 출구관 방향 진동모드가 4~5%에 가까운 감쇠를 타냄에도 큰 답을 보이는 경우가 드물게 존재하며, 이 경우 20% 이격 시에도 2배 가까이 증폭이 나타나므로 25% 이상 이격이 보수적인 방법이다. 아울러 대형 수직 장축 펌프의 경우 기초의 강성이 지상과 양수관을 완전히 격리하는 것이 한계가 있고, 하부 양수관 측과 동적으로 연성되므로 위변화에 의한 양수관의 동특성 변화는 구동기 등 지상부 구조물의 Reed frequency 및 응답에 영향을 미치게 되므로 양수관측 수위변화가 큰 경우 최고수위와 최저수위에서 추가적 특성 실측을 통한 대체 구동기의 설계목표를 설정하는 것이 바람직하다.

셀 간 채널 너비 구배에 따른 고분자 전해질 연료전지 스택 유동 분포에 대한 연구

A study on flow distribution in PEMFC stack according to the channel width gradient between cells

정병학 · 손영준 · 김민진 · 이원용 · 오환영 · 김승곤
한국에너지기술연구원 연료전지연구실

Proton exchange membrane fuel cells(PEMFCs) continue to attract significant attention because of their various advantages such as high power density, clean energy source, and operation at relatively low temperature and pressure. Generally a single PEMFC can offer a voltage of 0.6~0.7V, a number of single cells are serially connected to build a stack for high voltage. Uniform flow distribution in the stack is necessary to attain high performance and stable operation. The more cells are stacked, the greater pressure drop is induced in the manifold. For this reason, the pressure at the inlet of the each cell varies and it becomes decisive cause of uneven flow distribution. An uneven flow distribution attributes to performance loss as well as malfunction of the stack. In this study, the pressure variation and the flow distribution in a fuel cell stack are simulated by CAE using FLUENT. Also, the channel width gradient between cells is suggested to prevent uneven flow distribution.

Effect of agar as electrolyte additives on the aluminum-air batteries

Woo-Hyuk Lee · Seok-Ryul Choi · Jung-Gu Kim*
School of Advanced Materials Science and Engineering, Sungkyunkwan University

For the performance enhancement in aluminum-air batteries, agar with sulfate ester group is added into the 4 M NaOH solution as an electrolyte additive. The significant suppression of hydrogen evolution reaction is confirmed. The disruptions in aluminum dissolution process of hydrous layer formation is observed due to the extra adsorption of intermediates in the result of the electrochemical impedance spectroscopy (EIS). Also, the existence of the complex between agar additives and aluminum ion is proposed from the analysis of the EIS and Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). The simultaneous interaction of agar additives on the formation of hydroxide layer and the suppression of parasitic hydrogen evolution reaction is attributed to the improvement of the battery performance.

팔라듐 분리막을 이용한 저농도 일산화탄소를 포함한 수소 생산에 관한 연구

A study on hydrogen production with low-purity carbon monoxide using the Pd hydrogen separation membrane

도한영 · 김창현[1] · 한재윤[1] · 이신근[2*]
연세대학교 화공생명공학과, 고려대학교 화공생명공학과[1], 한국에너지기술연구원 에너지효율소재연구본부[2*]

화석연료 기반 수소 생산 공정은 전 세계 수소 생산의 70%를 차지하며, 이 중 천연가스를 이용하여 수소를 생산하는 steam methane reforming (SMR) 공정은 높은 수소회수율을 가진다. 또한, 수소경제시스템 구축에 필요한 수소연료 공급이 on-site, off-site방식으로 나누어짐에 따라 수소연료를 공급하는 다양한 공정들을 기반으로 시스템이 구축되고 있고, 현지에 적합한 경제적인 공급방식을 추가적으로 연구하고 있다. 그리고 차량용 수소스테이션, 건물용 연료전지 등 광범위한 에너지 그리드를 구축하기 위하여 on-site방식이 주로 적용되고 있으며 연료전지용 연료로 사용하기 위한 중·소형급 수소생산 시설이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 중·소형급 연료전지용 수소연료 공급을 위해 소규모 수소 생산 시스템 구성이 용이한 팔라듐 분리막 기반 SMR 공정을 통해 수소를 생산하는 연구를 진행하였다. 분리막 반응기용 수소분리막은 직경 1/2인치, 길이 45cm인 Inconel 600 소재의 튜브형 다공성 금속 지지체 위에 paste blowing coating 및 electroless plating을 통해 팔라듐 복합분리막을 제조하였다. 제조된 팔라듐 분리막은 상용 루테늄 촉매와 함께 튜브형 반응기를 구성하여 SMR 반응을 진행하였다. SMR 반응은 GHSV=1,200 h^{-1}, S/C=6에서 반응온도를 723K, 분리막 차압을 5 bar로 유지하고, 액체펌프를 통해 수증기를 공급하였으며, 원활한 수소배출을 위해 진공펌프를 적용하였다. 특히, 생성된 합성가스에서 이산화탄소 및 일산화탄소 농도를 저감시키는 methanation 반응을 촉진시키기 위해 Ni 촉매를 적용하였고, 적용 후 성능을 확인하기 위해 Ni 촉매 장입 전·후의 합성가스 조성을 분석하였다. 생성된 합성가스는 bubble flow meter를 통해 유량을 측정하고, gas chromatography를 통해 조성을 분석하였다. 그 결과, 723K, 5 bar의 공정조건에서 일산화탄소가 0.0210%(장입 전)에서 0.0004%(장입 후)로 이산화탄소는 1.0560%(장입 전)에서 0.0028%(장입 후)로 감소되었으며, 메탄은 1.3140%(장입 전)에서 2.2245%(장입 후)로 증가되었다. 이러한 결과는 SMR 반응의 생성물 중 일산화탄소와 이산화탄소가 수소투과측에 장입된 Ni 촉매에 의해 methanation 반응이 진행되었음을 나타내었으며 결과적으로 팔라듐 분리막 개질기를 통해 생성된 합성가스의 조성은 일산화탄소 농도가 10 ppm이하로 생성되었으므로 PEMFC의 연료로 적용될 수 있음을 알 수 있었다.

Advanced Bioethanol Production from Hardwoods by BRC Sequential Fermentation

송연호 · 박찬송 · 오치훈 · 배현종*
전남대학교 바이오에너지 연구소, *전남대학교 바이오에너지공학과

According to the Korea Forest Service, coniferous forests have been declining by 10% for four years and influence of deciduous forests are expanding due to the annual average temperature rise by climate change due to global warming. As a result, the amount of hardwood waste which produced by thinning and forest management annually have been increasing. Therefore, new approach to efficiently handle this hardwood waste are urgently needed. In this regard, the hardwood has a very high potential as biomass of bioethanol industry.

Although *Saccharomyces cerevisiae* is widely known as effective yeasts for glucose fermentation for bioethanol production, it has limited improvement of bioethanol productivity because it cannot utilize xylose. On the other hand, the *Pichia stipitis* has been investigated for fermentation of xylose to ethanol. However, *P. stipitis* has limited to use bioethanol industry because it has a low tolerance to ethanol and sugar. Therefore, it is necessary to separate the xylose and ethanol for xylose fermentation while avoiding this problem. In this study, we carry out experiments to investigate the possibility of processing fringe wood sequential fermentation of glucose and xylose via *S. cerevisiae* and *P. stipitis*, respectively.

The fringe wood has difficulties in producing bioethanol due to the low enzymatic hydrolysis by high contents of lignin. The fringe wood was reduced approximately 96.5% lignin by HPAC pretreatment, and hydrolysis efficiency was increased approximately 3.1−fold then raw material. Released glucose was efficiently converted approximately 84.5% by SHF process using *S. cerevisiae*, and ethanol and xylose were separated by pervaporation. The separated xylose showed approximately 76.3% conversion by pentose fermentation using *P. stipitis*. Hence, this strategy, sequential fermentation, enabled the mass production of bioethanol from fringe wood which is high potential as biomass but difficult to produce bioethanol.

Converting Mandarin Peel Waste into Value Added bioethanol through BRC Enzymatic Bioprocess

조은진 · 이윤교 · 배현종*
전남대학교 바이오에너지 연구소, *전남대학교 바이오에너지공학과

Fruit processing industries produce large amounts of waste each year, and the disposal of these wastes is costly, both financially and environmentally. Mandarin peel wastes, which is produced from industrially processed mandarin, is one of major fruit waste materials. We evaluated the use of mandarin peel waste to produce value added products such as bio-ethanol and hesperidin. The carbohydrate content of mandarin peel waste was analyzed and the optimal conversion conditions were evaluated by BRC enzymatic process using varying enzyme mixtures for biosugar production and hesperidin extraction. The optimized enzymatic bioconversion rate of mandarin peel waste to biosugar was over 93.5% with cellulase, pectinase combined mixtures. Hesperidin extraction was carried out after pretreatment and/or enzymatic hydrolysis. After pretreatment and enzymatic hydrolysis, the yield of hesperidin was increased. Ethanol productivity and yield efficiency by *Saccharomyces cerevisiae* were remarked to 3.83 g/L h and 90.5%. Thus, the value of mandarin peel waste can be increased through reuse to produce bioethanol and other valuable active materials such as biosugar and hesperidin.

Pt/C 촉매반응기를 이용한 바나듐 레독스 흐름전지용 $V^{3.5+}$ 전해액 제조에 관한 연구

A study on the $V^{3.5+}$ electrolyte production for vanadium redox flow battery using the Pt/C catalytic reactor

한재윤 · 김창현 · 도한영[1] · 허지윤[2] · 전명석[3] · 김희탁[2] · 이관영 · 이신근[3*]

고려대학교 화공생명공학과, 연세대학교 화공생명공학과[1], 한국과학기술원 생명화학공학과[2], 한국에너지기술연구원 에너지효율소재연구본부[3*]

전 세계적으로 화석에너지에서 재생에너지원으로의 에너지원 이동에 따라 풍력, 태양에너지 등 기후에 영향을 받는 재생에너지 기반 발전의 부하평준화(load-levelling), 첨두부하 저감(peak shaving) 및 출력 안정화 기능을 하는 에너지 저장 장치(energy storage system, ESS)의 중요성이 높아지고 있다. 그 중 바나듐 레독스 흐름전지 (The all-vanadium redox flow battery, VRFB)는 전력의 충·방전에 따른 응답시간이 우수하고, 유지비용이 저렴하며 전해액의 수명이 길어 현재 상용화된 온·오프 그리드 에너지 저장장치의 대안으로써 연구개발과 상용화 관련 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 VRFB 시스템은 바나듐 전해액이 전체 시스템 비용의 50% 이상을 차지하고, 최근 원자재 가격이 상승함에 따라 전해액을 저렴하게 만들어 대량으로 공급하기 위한 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 입자 환원법, 전기 분해법 및 금속 환원법으로 바나듐 전해액을 제조하는 공정에 비하여 대용량/저비용 생산이 용이하며 생산 공정 중 불순물과 산소유입이 억제되어 전해액의 품질유지가 가능한 Pt/C 촉매 반응기를 이용하여, VRFB의 음극/양극에 모두 사용 가능한 $V^{3.5+}$ 전해액을 연속적으로 제조하는 연구를 수행하였다. 실험은 상온(25℃)의 탈이온수와 4.3M 농도의 H_2SO_4 (98%) 및 1M 농도의 $C_2H_2O_4$ (99.5%)를 첨가한 용액에 V_2O_5 분말을 첨가하여 V^{4+} 용액을 제조하였다. 이후 제조된 1.75M 농도의 V^{4+} 용액과 0.44M 농도의 CH_2O_2(95%)를 교반한 후, Pt/C(20nm, 33wt%)가 담지된 카본펠트를 적층한 관형 반응기에 주입하였다. 이때 공정온도는 95℃에서 실시하였고 Pt/C 촉매의 내구성을 평가하기 위해 100시간 동안 $V^{3.5+}$ 전해액을 제조하였다. 자외선/가시광선 분광광도계 분석 결과, 제조된 $V^{3.5+}$ 전해액은 100시간 동안 몰 농도와 전자가수가 유지됨을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과를 통해 Pt/C 촉매반응기를 이용한 전해액 제조 시 연속적인 제조에 의해 생산품의 품질관리가 용이함을 알 수 있었고, 대용량/저비용 생산이 가능함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(No. 20172420108480)

이동층 흡착 및 탈착을 통한 복합 휘발성 유기화합물의 효과적 처리 방법

Moving Bed Adsorption and Desorption System for Treatment of Multi-component Volatile Organic Compounds

전동혁· 임혁· 최호경· 유지호· 임영준· 김상도· 김수현· 임정환· 이시훈
한국에너지기술연구원 청정연료연구실

휘발성 유기화합물은 악취의 주요 원인일 뿐 아니라 SOx, NOx와 함께 광화학 반응으로 초미세먼지를 생성하고, 오존과 반응하여 스모그를 형성하기도 한다. 또한 호흡기 질환이나 신경장애 등을 유발하며, 일부는 발암물질로 지정되어 인체에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이러한 휘발성 유기화합물은 여러 산업 분야에서 발생하는데 그 중 약 80%의 휘발성 유기화합물이 유기용제 사용과 생산공정에서 배출되고 있다. 휘발성 유기화합물은 대부분 단일 성분이 아닌 다성분으로 배출되는데, 이를 흡착제로 제거하는 경우 경쟁흡착 현상이 발생한다. 이는 흡착제와 친화력이 높은 물질이 상대적으로 친화력이 낮은 물질을 밀어내면서 최종적으로 흡착제에 단일성분만 잔류하게 되는 현상이다. 기존의 고정층 흡착탑을 사용하는 경우 경쟁흡착 현상으로 인하여 흡착제의 교체주기가 짧아져 유지관리의 어려움이 발생하고 이는 주변 지역의 대기오염 문제로 직결된다.

본 연구에서는 복합 성분의 휘발성 유기화합물 처리에 적합한 이동층 흡착 및 고농축 탈착 기술을 개발하였다. 복합 휘발성 유기화합물이 흡착될 때 발생하는 경쟁흡착현상을 흡착제의 이동속도 조절을 통해 제어하고, 흡착제의 재생 순환을 통하여 흡착제를 장기간 사용할 수 있도록 하였다. 야자각 활성탄을 이용하여 에탄올, 초산프로필, 사이클로헥산으로 구성된 수용성 용제에 대한 0.2 Nm^3/min 규모의 이동층 흡탈착 실험을 30회 반복 수행하였다. 흡착 성능은 95% 이상 유지하였으며, 약 3%의 흡착제가 손실되었다. 탈착 농축비는 유입가스 농도의 최대 96배를 달성하였다. 이동층 흡착 및 고농축 탈착 기술을 통해 기존 중소기업에서 사용하는 고정층 흡착탑의 유지관리와 흡착제 교체 비용 등의 문제를 해결할 수 있을 것으로 예상된다.

고순도 수소 생산용 팔라듐 수소분리막을 이용한 메탄습윤 개질 반응에 관한 연구

A study on the methane steam reforming for high purity hydrogen production using the Pd hydrogen separation membrane

김창현 · 도한영[1] · 한재윤 · 이신근[2*]
고려대학교 화공생명공학과, 연세대학교 화공생명공학과[1], 한국에너지기술연구원 에너지효율소재연구본부[2*]

수소생산방법에는 전통적 방식인 화석연료 개질반응 및 바이오매스 및 물을 이용한 수전해공정으로 나뉜다. 이 중 메탄습윤개질반응은 높은 수소회수율을 가지기 때문에 전 세계 수소생산의 95%를 차지하고 있다. 메탄습윤개질반응은 충분한 메탄전환율을 확보하기 위해서 700-900℃의 고온 및 20-35 atm의 고압에서 운전하며, 개질 후 수성가스전이반응 및 압력순환흡착 등의 후단 공정들을 통해 고순도 수소를 생산한다. 그러나 기존의 메탄습윤개질반응은 고온, 고압에서 운전함에 따라 개질기 소재 선택이 어렵고 운전비용이 비싸기 때문에 이를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되었다. 이 중 팔라듐계 수소분리막을 적용한 메탄습윤개질반응은 르샤틀리에의 원리에 따라 생성물인 수소를 지속적으로 제거함으로써 정반응이 가속화되어 반응효율을 향상시킬 수 있으며, 특히 공정온도를 500-600℃로 저감할 수 있기 때문에 중·저온용 반응기 소재 구성이 용이하다. 또한 팔라듐계 분리막의 우수한 수소선택성에 의해 고순도 수소생산을 위한 후단 정제 공정을 배제할 수 있으므로 경제적인 수소 생산이 가능하다. 본 연구에서는 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 팔라듐 수소분리막을 제조하였다. 또한, 열·물질 전달이 극대화된 플랜지타입의 반응기에 상용 루테늄 촉매와 수소분리막을 복합 장착하여 분리막 반응기를 구성하였다. 그리고 분리막의 수소투과측에 methanation 반응을 위한 Ni 촉매를 장입하였다. 분리막 반응기의 수소투과·선택 및 수소 생산성능을 확인하기 위하여 공정조건 GHSV = 9,000h^{-1}, S/C=3.0에서 반응온도를 823 K로 유지하고, 액체펌프를 이용하여 수증기를 공급하고, 차압을 8~14 bar로 변화시키면서 메탄습윤개질반응을 진행하였다. 특히, 수소투과측 부분에 진공펌프를 적용하여 수소투과가스 흐름을 용이하게 하였으며, 생성된 합성가스는 가스크로마토그래피로 분석하였다. 그 결과, 분리막은 773K, 0.1 bar에서 6.24 ml min^{-1} cm^{-2}의 수소투과도 및 109,200의 수소선택(H_2/N_2) 성능을 나타내었으며 생산된 수소 순도 및 생산량은 각각 98.8509% 및 0.85Nm^3/h로 나타났다. 또한, 분리막 투과가스에서의 가스조성은 98.8509vol%-H_2, 0.0113vol%-CO, 1.0437vol%-CH_4, 0.0941vol%-CO_2로 측정되었다. 결과적으로, 팔라듐계 수소분리막 반응기를 통해 생산된 합성가스의 일산화탄소 농도는 고온용 PEMFC의 연료로 적합한 것으로 확인되었으며, 직접적으로 수소를 생산 및 적용이 가능한 연료전지의 on-site형 연료공급장치로 적용할 수 있음을 확인하였다.

액체 공기 에너지 저장 기술(LAES)의 경제성 분석

Economic Analysis of Liquid Air Energy Storage(LAES)

고아름 · 박성호*· 류주열 · 박종포

고등기술연구원 에너지환경연구팀

에너지저장시스템(ESS)은 안정적이고 효율적인 전력 수급 체계 구축을 위한 효과적인 수단으로서 주목을 받고 활발히 연구되고 있다. ESS 중 액화 방식을 이용하여 에너지 저장을 하는 액화공기에너지저장기술(LAES)는 성숙된 기술로 알려져 있고, 높은 단위 에너지 밀도와 지형적 제약이 거의 없고 수명이 길다는 장점이 있다. 그러나 단일공정의 낮은 사이클 효율과 아직 초기 단계로서 실제 기업의 수익으로까지 연결되지는 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 LAES에 대한 균등화전력원가(LCOE)방법론, 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR), 회수기간(PP) 등을 산정하여 경제성 분석을 수행하고, 수익성을 보장하기 위한 적정 보상비용 기준을 제시하였다.

사사의 글

본 연구는 한국에너지기술평가원(KEIT)의 지원을 받아 수행한 결과임. (No. 20188550000200)

* 교신저자, E-mail : sh.park@iae.re.kr

3D 프린팅 FT 촉매 잉크 최적화

박선주 · 한상영 · 성아람* · 박홍현* · 윤희숙* · 곽근재
한국화학연구원, *재료연구소

우리는 3D 프린팅 기술을 응용한 촉매 구조체 제조기술 개발 연구를 하였다. 3D구조체의 기계적 강도가 산업에서 사용시 중요한 요소이기 때문에 프린팅용 잉크를 최적화 하였다. 제올라이트 촉매의 3D 구조체 특성을 향상시키기위해 무기 바인더인 보헤마이트를 사용하였으며, 산을 첨가하여 원료를 교질화 시켜 제조하였다. 이때 질산의 양에 따라 3D 모듈형 촉매의 강도와 활성이 달라질수있으며, 이를 확인하기 위해 질산양을 지지체 10g 대비 0.1~7g까지 조절하였다. 질산양 0.5g일 때 가장 좋은 CO 전환율을 보였으며, 질산양이 1g일 때 가장 좋은 강도를 확인하였다. 질산양이 증가할수록 촉매의 강도는 증가하나 너무 과량일 바인더인 보헤마이트가 $Al(NO_3)_3$를 만들어 활성저하가 발생함을 확인하였다

원자력 발전 설비와 가장 유사한 가상환경 구현 방법에 관한 연구

A study on establishing method of virtual environment most similar to nuclear power plant

임병기

한국수력원자력 중앙연구원 플랜트설계연구소

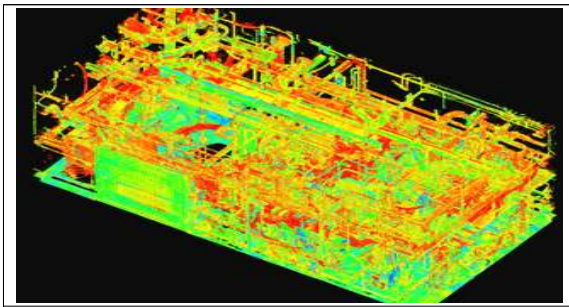
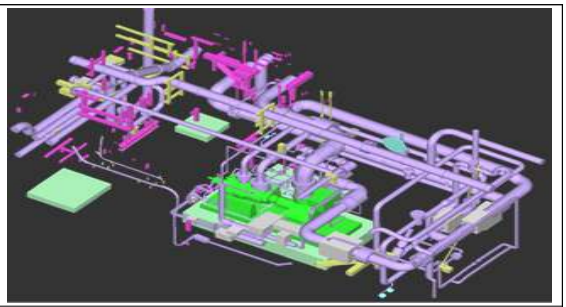
1. Abstract

원자력 발전소 전체 설비를 대상으로 3D 모델 구축, 가상현실 기술과 접목을 통해 건설, 운영, 폐로단계에 활용하기 위하여 2018. 4월부터 2021년 3월까지 원자력 발전소 가상 증강현실시스템 개발과제가 수행중에 있다. 가상공간 환경을 구현하기 위해서는 일반적으로 3D 형상 모델 생성, 가상환경 변환 및 가상공간에서 필요한 기능개발 과정으로 진행된다. 원자력 발전소의 사실감 있는 실제와 가장 유사한 환경을 구현하기 위해서는 BIM에서 제시한 LOD 정의 500(준공도면)의 수준이 요구되며, 이러한 준공 3D 모델을 구현하기 위한 다양한 방법을 모색중에 있다. 따라서 본 연구는 원자력 발전소 전체 형상의 As-Built 모델을 구현하기 위한 최적의 방법론을 도출하여 향후 3D 전체 형상모델 구축 및 가상환경으로 전환하기 위한 3D 형상정보로 활용할 계획이다.

2. 개발 방법 및 개발내용

본 연구는 원자력 발전설비의 가장 유사한 환경을 구축하기 위하여 현재 APR1400의 가장 최신 발전소인 신한울 1호기의 원자력발전소 보조급수펌프룸과 변압기를 대상으로 Laser Scanning, 360° 파노라마 촬영, 3D 입체사진 등 최신 기술을 활용하여 데이터 취득 및 3D CAD 외관 형상을 구축하는 방법론을 제시하는 연구이다.

3. 구축 결과

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>보조급수 펌프 룸 Point Cloud Data</td><td>보조급수 펌프 룸 3D 모델(진행중)</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>보조급수 펌프룸 360° 파노라마 촬영결과</td><td>주변압기(예비품) 3D 입체사진 결과</td></tr>
</table>

사고관리계획서 중대사고 사고영향평가 수행현황

A Performance Status on Severe Accidents Impact Assessment for Accident Management Plan

이만규 · 최유정
한국수력원자력(주) 중앙연구원

후쿠시마 사고의 교훈을 반영하여 국내에서는 중대사고를 포함한 사고관리체계 전반을 포함하는 사고관리계획서가 법제화되었다. 본 계획서는 중대사고와 관련하여 중대사고 완화능력 평가와 함께 사고영향평가를 포함한다. 이것은 원전 중대사고 발생 시 원자로격납건물 건전성 위협요인에 대한 완화능력을 평가하고, 더불어 부지 인근에 미치는 방사선 영향이 허용기준 이하로 관리될 수 있음을 평가하는 것이다. 본 연구에서는 사고관리계획서 관련하여 현재 한국수력원자력이 수행하고 있는 중대사고 사고영향평가 현황에 대해 고찰하였다.

경수로형 원전 규제기준 및 규제지침에 따라 중대사고 완화 단계에서 사고관리를 통하여 달성하고자 하는 부지 제한구역 경계에서의 예상 피폭선량 기준은 유효선량 250 mSv이다. 중대사고 사고영향평가 입력자료로 중대사고 완화능력 평가 결과를 사용할 수 있으며, 이외에 중대사고 사고영향평가를 위해 고려된 주요한 사항들은 다음과 같다. (1) 방사선 피폭선량 관점에서 다양한 중대사고 상태를 포괄할 수 있는 사고경위 선정, (2) 중대사고 완화 평가 시 적절한 사고관리 조치 적용, (3) 보수적 운전변수를 고려한 핵분열생성물 재고량, (4) 노심의 현저한 손상 발생 후 격납건물 대기로 방출되는 방사성핵종 자료(노심재고량 대비 방출분율, 방출시기 등), (5) 원자로격납건물 설계기준 누설률을 고려한 원자로격납건물 누설률, (6) 방사선 피폭경로 선정, (7) 국제적으로 공인된 피폭경로별 선량환산인자, (8) 실제 측정된 부지별 기상자료 등을 기초로 한 대기확산자료 등.

한국수력원자력은 가동원전 및 현 시점 운영허가 취득이 요구되는 건설원전을 대상으로 위 사항들에 대해 현실적 가정과 방법론을 적용하여 중대사고 사고영향평가를 수행 중이다. 중대사고 사고영향평가 결과는 원자력안전법에서 요구하는 2019년 6월에 사고관리계획서의 일부로 제출될 예정이다.

중대사고 시 격납건물 내 핵분열생성물 거동 예비 분석

Preliminary analysis of Fission Products behavior in reactor containment for Severe Accidents in the OPR1000

이만규 · 최유정

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원전 중대사고가 발생되면 노심의 현저한 손상으로 인해 방사성물질이 격납건물 내부로 방출될 수 있다. 중대사고 연구에서 격납건물 내 시간대별 주요 방사성물질 분포와 추이변화는 주요한 분석대상 중 하나이다. 또한 즉각적인 격납건물 손상을 고려하지 않더라도 중대사고 진행과정에서 격납건물 내 방사성물질 거동은 기기생존성 평가 및 사고영향평가에서도 중요한 요인이다. 본 연구에서는 중대사고 시 원전 방사성물질 중 대부분을 차지하는 핵분열생성물에 대한 격납건물 내 거동에 대한 예비분석을 수행하였다.

본 논문은 MAAP 5.03 전산코드를 이용하여 1,000 MWe급 표준형 원전을 대상으로 대형 냉각재상실사고를 초기사건으로 하는 중대사고를 가정하여 연구를 수행하였다. 본 연구는 1)사고경위 및 분석 기본가정을 수립하고 2)핵분열생성물을 방사성 원소별로 분류하여 3)시간대별로 격납건물 내 원소별 존재분율을 분석하였다.

본 예비분석을 통해 격납건물 손상이 없는 조건에서 중대사고 시 격납건물 내 핵분열생성물의 존재분포 및 원소별 거동 특성에 관한 다음의 내용을 확인할 수 있었다. 1) 격납건물 내로 핵분열생성물 방출은 중대사고 진입 후 일정 시간 후에 발생되며 모든 원소의 방출시점은 동일하다. 2) 불활성기체의 경우 노심재고량 분율 중 거의 대부분이 격납건물 내로 방출되고, 존재분율은 감소하지 않는다. 3) 에어로졸 형태로 존재하는 나머지 원소들은 존재분율이 증가하다가 사고완화 조치 후 감소하는 경향을 보이고, 이후 지속적으로 감소하면서 존재분율은 미미해진다. 4) 아이오딘의 경우 에어로졸 형태와 유사한 거동을 보이지만, 원소형 아이오딘으로 인해 사고진행 후기에도 일정한 존재분율을 보인다. 5) 살수계통 작동 시 아이오딘을 포함한 에어로졸 형태의 원소들은 살수계통 미작동 시보다 훨씬 급격한 감소를 보인다. 6) 불활성기체 존재분율은 살수계통 작동과 직접적인 관련이 없다.

중대사고 시 격납건물 내 핵분열생성물의 존재분율 및 거동은 대상 원전 및 사고 시나리오에 따라 차이가 있을 수 있다. 본 예비분석으로 불활성기체 및 에어로졸 형태의 일반적인 핵분열생성물 거동특성을 확인할 수 있었다. 또한 살수계통 작동이 격납건물 대기 중 방사성물질 감소에 효과적임을 확인할 수 있었다.

냉각탑 물회수 및 백연저감을 위한 외기이용기법 효과 및 개선 방향

Effect of Outdoor Air Method on Water Recycle and Plume Abatement of Cooling Tower and Improvement Suggestion

이길봉· 이범준· 노철우· 왕은석· 나호상· 최봉수· 이영수· 조준현· 신형기
한국에너지기술연구원 열에너지시스템연구실

냉각탑은 상업, 산업, 발전플랜트 분야에서 냉각 용도로 많이 사용되고 있다. 국내 발전플랜트에 있어서는, 해안가에 위치한 석탄화력/원자력 발전소에서는 해수를 냉각에 사용함에 반해, 대부분 내륙에 위치한 복합화력 발전소는 냉각탑을 이용해 스팀을 응축시키고 있다. 향후 전력생산 정책에 따라 발전플랜트 운영 비중이 변화하리라 예상되기에, 발전소에 사용되는 냉각탑의 물을 저감할 필요성은 앞으로 점점 높아질 것이다. 또한 산업 설비에 있어서 겨울철 냉각탑 이용 시 자주 발생하는 백연은 주변 거주민과 기업간의 사회적 갈등 요인으로 지속적으로 제기되고 있다. 냉각탑 물을 재회수 하는 것과 백연을 저감하는 것은 모두 배출 공기의 상대습도를 낮춰야 하기에 본질적으로 동일한 기술이 적용될 수 있다. 본 연구에서는 상대습도 저감을 위해 외기를 이용해 재응축하는 모듈의 성능에 대해 검토를 진행하였다. 이 경우 냉각 열원이 필요하지 않는 장점이 있지만 팬 풍량의 과도한 추가가 필요하며, 물회수를 위한 구조가 복잡해지는 단점을 가지게 된다. 수분만 선택적으로 이동시키는 복합분리막을 적용하였을 시 차압형성을 위한 과도한 에너지 불이익을 동반하였다. 또한 검토된 바이패스 방식이 출구 습도를 원하는 수준으로 떨어트리기 위해서는 높은 풍량 바이패스를 요구하기 때문에 외기응축의 경우와 유사한 단점을 내재한다 볼 수 있다. 이러한 실험결과를 바탕으로 후속 연구에서의 외기응축에서는 팬 풍량을 줄일 수 있는 추가 제습/재생 방식을 검토할 예정이며, 복합분리막은 진공방식의 수분 제거를 검토할 예정이다.

사 사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20172010000850) 또한 정부(미래창조과학부)의 재원으로 국가과학기술연구회 융합연구단 사업(No.CRC-15-07-KIER)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

리튬이온이차전지 분리막 내열성 향상을 위한 코팅 연구

A Study on the Coating for the Improvement of the Thermal Stability of LIB Separator

노진희 · 손화진 · 이호철* · 박정현*

(재)대구테크노파크, *명성티엔에스㈜

이차전지는 크게 양극과 음극을 구성하는 전극물질, 전극 간 리튬이온의 전도 역할을 하는 전해질, 양극과 음극의 접촉을 차단하고 리튬 이온의 이동경로 역할을 하는 분리막으로 나눌 수 있다. 이 네 가지 요소 중 분리막은 마이크론(㎛) 이하의 미세 기공을 갖는 필름으로 과전류가 흐를 때 기공을 막아 전자회로를 차단하는 셧다운(Shut down)이라는 안전장치 기능 역할을 하여 전지의 고출력화 및 안전성 향상에 중요한 재료이다.

최근 에너지저장시스템용, 전기자동차용 중대형 이차전지 점유율이 늘어나면서 높은 에너지 밀도 특성을 가지고 있는 리튬이온이차전지 시장이 점진적으로 커지고 있으나 기존의 폴리올레핀 계열의 분리막은 열 안정성이 높지 않아 안전성 확보에는 한계가 있다. 전지 안정성 확보를 위해서는 분리막의 셧다운 특성과 외부적 요인에 의한 추가적 온도상승에 대한 분리막 형상 유지력이 중요하며, 막 형상이 단시간에 손실될 경우 전극의 직접 접촉을 유발해 위험한 상태가 되기 때문에 이를 방지하기 위한 분리막 내열성 향상 연구가 필요하다.

본 연구에서는 전지의 열 안전성을 확보하기 위해 PVDF-HFP(Poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene))를 분리막 양면에 코팅하여 분리막 내열성을 높이고자 하였으며, 코팅층 구조관찰 및 물리적 특성평가를 통한 최적의 코팅 조건을 연구하였다.

"본 연구는 산업통상자원부와 대구시에서 지원하는 경제협력권산업육성사업 지역주도형 기술개발사업(No. P0000809)의 수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다."

해상풍력 지지구조물 연결부의 피로 저항 성능 개선에 대한 연구

Study on improvement of fatigue resistance performance of connection of transition piece of offshore wind support structure

고원희 · 김홍현 · 이유진 · 지광습
고려대학교 건축사회환경공학과

해상풍력 연결부는 타워와 지지구조물을 연결하고, 타워의 하중을 하단의 지지구조물에 안정적으로 전달하는 역할을 수행한다. 해상풍력 구조물의 파괴는 주로 연결부에서 발생하기 때문에 연결부의 안전성 검증이 필요하다. 특히 해상풍력 특성상 규칙적인 교번하중이 작용하기 때문에 피로파괴에 대한 검토가 중요하다. 피로수명이 보장되어야 안정적인 구조성능을 확보할 수 있기 때문이다.

유한요소 프로그램인 ANSYS를 이용하여 연결부의 피로하중 해석을 진행하였고, 응력집중 발생위치를 확인하고 피로 저항 성능 개선에 대하여 연구를 수행하였다. 연결부의 피로하중 해석결과, 캔 접합부의 상단부에 응력집중 현상이 발생되고 목표 피로 수명인 75년을 만족하지 못하였다. 이는 캔 접합부의 상단부에 강판이 부풀어 오르는 변형이 원인으로 판단된다. 이에 대한 해결방안으로 캔의 두께를 증가시키고 캔 상단부에 스티프너를 추가한 모델을 제안하였다. 개선된 모델로 피로하중 해석을 진행한 결과 캔 접합부의 상단부에 응력이 집중됨은 동일하나, 피로 저항 성능이 개선됨을 확인하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (해상공사비 절감을 위한 해상풍력 자켓 지지구조 일체화 설계 및 시공기술 개발 / 20163030024520)

건물의 에너지소비량 최적화를 위한 디자인 가이드라인

A Study on Development of a Comfort and Energy Optimization Model: Focused on Office Building

강혜진* · 이기용*

*서울기술연구원

오피스에서 외피는 다양한 성능, 기준과 디자인 목표를 동시에 고려해야 하는 까다로운 요소 중 하나이다. 특히 외피는 건물의 에너지소비량에 큰 영향을 미치는 요소이므로, 에너지소비량 감소를 위해서는 외피를 결정하는 여러변수를 조절하는 것이 필요하다. 그러나 변수간에 서로 영향을 미치기 때문에 컴퓨터프로그램의 도움이 없이는 모든 변수를 고려하여 디자인한다는 것을 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하여 에너지소비량 및 건물내 쾌적성의 최적화 디자인을 찾는 연구를 수행하였다. 이를 위하여 에너지시뮬레이션(EnergyPlus)과 최적프로그램(Grasshopper)를 활용하였다.

넓은 곡면의 세정을 위한 브라스팅 노즐의 설계 및 성능시험

Curved Blasting Nozzle Design and Performance Test for Wide Surface Cleaning

장용재 · 곽준구 · 김태형 · 이세창* · 이상규**

청주대학교 항공기계공학과, *지엠테크 대표, **3D컨트롤즈(주) 연구소

본 연구에서는 터빈 블레이드 및 휠, 로터 표면 등과 같이 산업용 곡면형 발전설비 부품의 광범위한 표면을 단시간에 세정하기 위한 출구 형상이 곡면이면서 와이드한 보어를 갖는 블라스팅 노즐을 설계하였다. 이 노즐은 총길이가 150mm, 입구 직경은 25mm이며, 출구측 형상은 폭이 70mm, 높이가 1.5mm이며 곡률 반지름은 150mm이다. 설계된 3차원 캐드 데이터를 이용하여 입구측 압력을 4bar로 부여하여 3차원 유동해석을 수행하였다. 이때 유동해석은 상용 해석소프트웨어 ANSYS FLUENT를 이용하였으며, 표준난류모델 k-epsilon realizable을 적용하여 압축성 유체해석을 수행하였다. 해석 후 실린더형 곡면 부품의 표면으로부터 폭이 96mm 높이가 40mm인 와이드한 압력분포를 얻었다. 해석결과의 유효성을 확인하기 위해 3차원 프린팅을 이용하여 설계된 노즐을 제작하였으며 노즐 출구로부터 65mm 전방에 직경이 150mm인 실린더형 시편을 설치한 후 세정 연마재를 분사시켜 블라스팅 성능시험을 수행하였다. 실험결과 폭이 80mm, 높이가 30mm인 세정 면적을 확인하였으며 해석결과와 치수의 오차는 다소 있으나 세정면적의 유형 및 크기가 어느 정도 유사한 경향을 보였다. 따라서 이로부터 넓은 곡면의 표면 세정을 위한 브라스팅 노즐의 설계가 유용함을 확인하였다.

Acknowledgement

본 논문은 2016년도 산업통상자원부 산업기술혁신사업 청정화력기술개발사업(No. 20161120200210)의 연구비 지원으로 수행되었음.

터빈 로터 변형 교정을 위한 햄머피닝 유한요소해석 변수 연구

Study on the Finite Element Analysis Parameter of Hammer Peening for Turbine Rotor Straightening

안효득 · 김태형 · 김태웅* · 안명재 · 최광민*****

청주대학교 항공기계공학과, *한국산업기술대학교 기계설계공학과, **한전KPS(주) 플랜트서비스센터, ***한전KPS(주) 기술연구원

본 연구에서는 전력을 담당하는 산업발전소에서 터빈의 잦은 기동정지 등에 의해 굽힘변형을 가진 터빈 로터의 곡직화를 위한 기술로 현재 사용되고 있는 열침법 및 가압법과 차별된 햄머피닝 기술에 대한 해석적 연구를 수행하였다. 다중충격 햄머피닝 해석에 앞서 2차원 축대칭 해석모델을 수립하여 재료에 대한 물리적 거동특성과 햄머의 운동학적 특성을 고려한 변수연구를 수행하였다. 햄머모델로서 탄성체 모델과 강체 모델을 채용하였으며 재료는 SM45C 소재를 적용하였다. 먼저 재료감쇠비를 0에서 0.5까지 증가시켜가며 충격 후 재료에 생성된 잔류응력 및 잔류변형량을 살펴보았다. 탄성체 및 강체 햄머모델 모두 공통된 감쇠비가 0.5로서 이를 해석모델에 적용하였다. 이후 재료표면과 햄머가 충돌될 때 재료표면에서의 동적 마찰 효과를 살펴보았다. 마찰계수를 0에서 0.5까지 증가시켜가며 잔류응력 및 잔류변형량을 살펴보았고 두 모델들 모두 마찰계수가 0.3부터 수렴하였다. 또한 햄머와 재료의 충돌에 대한 재료의 변형률 속도 효과를 살펴보았다. 해석 후 강체 햄머모델에서는 변형률 속도의 영향이 미미하였으나 탄성체 햄머모델에서는 변형률 속도를 고려한 경우 더 큰 잔류응력 및 잔류변형량을 주었다. 이와 같이 변수연구를 통해 얻은 이들 물리적 및 운동학적 인자들은 3차원 터빈 로터 유한요소 해석모델에 다중충격 햄머피닝을 위한 주요 자료로 활용될 것이다.

제로에너지 구현을 위한 PV + ESS 융복합 시스템 시뮬레이션

Integrated Simulation of PV + ESS System
for Zero Energy Implementation

우성민 · 문진철 · 김용하*
충북테크노파크 차세대에너지센터, *인천대학교 전기공학과

본 연구에서 제로에너지 구현을 위한 건축물에 액티브시스템인 PV와 ESS의 융복합 운용시 PV 와 ESS를 최적으로 운용하고자 하는 본 프로그램의 구성을 3가지 단계로 구성하였다. 1단계는 PV 최적화, 2단계 PV+ESS 최적화, 3단계 최적운용에 의한 결과의 분석으로 구성하였다.

1단계에서는 PV의 최적운전 결정에서 PV에서 생산된 전력중 얼마를 수용가가 자가소비하고 얼마를 역송시키는 것이 수용가가 지불하여야 하는 전기요금을 최소로 하는 최적인지를 결정하였다.

2단계에서는 PV의 최적운전 결정에서 PV에서 생산된 전력 중 어느 정도를 수용가가 자가소비하고 역송시키는 것이 최적인지를 결정하였다. 즉, PV의 최적 역송량이 결정되면 이에 따라 PV의 자가 소비량이 계산된다. PV의 자가 소비량이 결정되면 결국은 수용가의 전기부하가 결정되며, 이 상태에서 ESS의 최적운전을 결정하게 되면 PV와 ESS를 고려한 최적운전을 결정할 수 있게 된다.

3단계에서는 PV+ESS 최적운영 효과의 분석으로 최적 PV 운용량, 최적 ESS 운용량, 최적 PV 운용시 전기요금 절감, 최적 PV+ESS 운용시 전기요금 절감, 투자회수기간이 계산되도록 하였다.

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (20162010104270)

딥러닝 기반 수요반응 예측

Prediction of Demand Response System Based on Deep Learning

김재문 · 강지명
한국전기연구원

기존의 전력 시스템은 중앙 집중형 발전 및 대규모 송전 시스템을 기반으로 하는 공급 주도의 시스템이었다. 하지만 수용가의 전력 수요 패턴이 다양화되고 날씨와 같은 외부 환경 변화에 따라 전력 수요가 급격하게 바뀌기 때문에 전력망을 탄력적으로 운영해야 하는 필요성이 점점 높아지고 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위해 전력거래시장에 수요반응(Demand Response) 시장이 도입되었다.

수요반응은 최종전력소비자가 인센티브 제도 및 요금제에 반응하여 평상시 전력소비패턴을 변화시키는 것으로 정의할 수 있다. 즉, 전력망에서 전력이 부족할 경우 전기 소비자에게 전력 소비 절감을 요청하여 피크 전력 수요를 줄이고, 이에 대해 보상을 하는 개념이다. 수요반응 시장을 이용하면 피크 전력에 의해 결정되는 전체 발전 용량을 줄일 수 있기 때문에 추가적인 발전소 구축비용을 줄일 수 있다. 이러한 수요반응 시장이 잘 운영되기 위해서는 소비자에게 수요반응을 요청했을 때 소비자가 정해진 감축량만큼 전력 소비를 줄이는 신뢰성 확보가 매우 중요하다. 특히, 수요반응 시장에서는 발전자원의 감축 이력이 일정 기준을 만족하지 못할 경우 수요반응 발전자원에서 탈락되기 때문에 수요반응 사업자 입장에서는 소비자의 전력 사용 및 감축 이력을 예측하는 것이 매우 중요하다.

본 논문에서는 소비자의 수요반응을 예측하기 위해 딥러닝 기반으로 전력 사용을 학습하여 예상 감축량을 도출하는 방법을 제시한다. 시간에 따라 전력 소비가 바뀌는 특성을 반영하기 위해 LSTM(Long Short-Term Memory) 기반의 RNN (Recurrent Neural Network) 구조를 적용하여 전력 사용을 학습시키고, 학습된 네트워크를 바탕으로 수요반응 요청에 대한 소비자의 전력 사용 패턴을 예측함으로써 감축량을 예측하는 방법에 대해 논의한다.

가공칩에 대한 와전류탐촉자 검출능 분석

Analysis of Eddy Current Probe Detection Ability on Machined Chips

김인철* . **김준우**
한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력 발전소의 증기발생기 전열관은 1차 계통의 냉각재와 2차 계통의 급수의 압력경계로 매우 중요한 역할을 한다. 대부분 증기발생기 이물질은 운전 또는 정비 작업 중에 부주의로 증기발생기 2차측으로 유입된 것으로 가공칩, 용접 슬래그, 철사, 볼트, 너트 등 재질, 형태가 매우 다양하다. 이러한 이물질이 전열관에 접촉하여 마모를 일으키거나 전열관의 변형을 일으킬 수 있다.

증기발생기 2차측의 이물질을 확인하는 방법으로는 원격 카메라를 이용한 육안검사와 전열관 내면에서 비파괴검사 방법으로 와전류 탐촉자를 이용하여 검사하는 와전류검사법이 이용되고 있다. 이물질 검출을 위하여 육안검사가 가능하면 가장 손쉬운 방법이긴 하지만, 증기발생기 구조는 매우 복잡하여 원격 카메라를 사용하는 육안검사 방법은 한계가 있어 주로 관판(Tubesheet) 상단지역을 검사하고 나머지 지역은 와전류검사 방법을 이용한다.

국내 증기발생기 전열관 와전류검사에서 사용하는 탐촉자는 2가지로 나눌 수 있으며 보빈(Bobbin)탐촉자, 회전형탐촉자(MRPC ; Motorized Rotating Pancake Coil)이다. 보빈탐촉자는 검사속도(40inch/sec)가 빨라 많은 수량의 전열관 검사에 적합하고 체적결함 및 기하학적 형상변화 관찰에 용이하여 기본검사로 사용하고 있으며, 회전형탐촉자는 회전(900rpm)하면서 검사하며 보빈탐촉자의 단점인 원주방향 균열검출과 관판 상단 이물질 검출, 보빈탐촉자에서 관찰된 이상신호 확인용으로 사용하고 있다.

와전류검사를 이용한 이물질 검출능은 크게 재료의 종류, 탐촉자의 코일과 전열관의 거리, 탐촉자 종류에 따라서 크게 달라진다. 본 논문에서는 2차측에서 많이 관찰되는 이물질 중에서 증기발생기 제작 작업 중에 발생하는 여러 형태의 가공칩을 수거하여 보빈탐촉자, 회전형탐촉자의 검출능을 확인하였으며, 국내는 아직 와전류검사에 적용하고 있지 않지만 회전형탐촉자의 검사속도가 느린 단점을 보완한 신형탐촉자인 배열형(Array)탐촉자도 포함하여 가공칩에 대한 검출능을 비교하였다.

와전류검사 데이터 자동 신호평가 프로그램 개발

Development of automated signal analysis program of ECT Data

김인철 · 한경석*
한국수력원자력(주) 중앙연구원

증기발생기는 원자로에서 생산되는 열을 받아 증기를 생산하고, 그 증기가 터빈 발전기를 회전시켜 전기를 생산하게 하는 원자력발전소의 주요 기기의 하나이다. 많게는 약 13,000개의 튜브로 구성되며 증기발생기 튜브의 건전성을 확인하기 위해서 주기적으로 비파괴검사 방법의 하나인 와전류검사(ECT ; Eddy Current Test)를 수행하고 있다.
하지만, 신호평가자는 많은 수량의 데이터를 오랜 시간 평가하기 때문에 피로가 누적되기 쉽고, 여러 요인에 의해 다양하고 복잡한 신호를 형성하는 경우에 신호평가자의 주관이 개입되어 결함신호를 검출해 내지 못하거나 판정오류를 범하는 사례가 있어 해외 원전은 1990년 중반부터 인적오류를 보완하기 위해 컴퓨터 프로그램을 활용한 자동평가를 운용 중에 있다. 보빈탐촉자 자동평가는 중앙연구원이 주도하여 해외 평가프로그램을 사용, 2013년부터 증기발생기 전열관 검사에 독립평가자가 현장에서 적용하고 있다. 회전형탐촉자 자동평가는 국내 기술자립을 목적으로 2014년도에 회전형탐촉자 자동평가 기술 국산화를 위한 과제를 수행하였으며 최근 회전형탐촉자 와전류검사 자동평가 프로그램인 KAAP(KHNP Auto Analysis Program)를 개발하였다.
자동평가 프로그램의 현장 사용 가능성은 미국전력연구소(EPRI)에서 유일하게 주관하는 자동평가 성능인증 시험(AAPDD ; Automated Analysis Performance Demonstration Database)을 통해서 확인되며, 일반적으로 성능인증 시험을 통과하지 못한 자동평가 프로그램은 검사에 사용하지 않게 된다. 중앙연구원은 개발한 KAAP 프로그램의 사용가능성 확인을 위해 미국 EPRI 비파괴센터에서 시행하는 AAPDD 시험에 응시하여 증기발생기 전열관에서 관찰된 마모 결함 등 25가지 결함 종류에 1,000여개 데이터를 자동평가하여 인증기준을 우수한 성적으로 통과하였다. 이는 회전형탐촉자 데이터 자동평가 성능인증 분야에서 아시아 최초이다. 자동평가프로그램 KAAP는 2018년 상반기부터 국내 전 원전에 활용하고 있으며 본 논문에서는 자동평가 프로그램 개발과정 및 알고리즘에 대하여 발표하고자 한다.

원전 가동중검사 결과에 대한 효율적인 정보 모니터링방법

A Method for Efficient Monitoring Information of In-Service Inspection of NPP

유현주 · 김준우*
한수원 중앙연구원

원전 가동중검사는 설비의 건전성을 확인하기 위해 원자력법령에 따라 시행하는 법정검사이며, 이를 위해 한수원에서는 장기가동검사 계획서를 작성하여 규제기관의 승인을 받은 후 원자력발전소 가동중검사 부위에 대한 검사를 수행하고 있다. 가동중검사 대상부에 대한 검사는 UT, VT, PT, ECT 등 다양한 비파괴검사방법을 이용하여 수행하며, 검사가 완료된 부위에 대한 결과는 보고서에 수록되어 책자로 발간되어 발전소 담당부서 및 자료실에서 관리되어 왔다.

원전의 가동 년수 증가 및 신규건설 호기의 증가에 따라 주요기기의 검사대상부에 대한 비파괴검사 결과 및 이력 데이터가 다수 생성되고 있으나 현재 이에 대한 이력 결함 정보를 체계적으로 관리할 수 있는 시스템이 없는 실정이다. 또한 규제기관 및 국회 등에서 가동중검사 이력 결함 데이터 조사 요구 시 현재 산재적으로 관리되고 있는 결함이력 결과보고서를 수작업으로 조사하는 과정에서 많은 시간과 노력이 소요되며 오류의 발생 가능성이 존재한다.

그러므로 한수원중앙연구원에서는 가동중검사결과 이력을 효율적으로 관리하고, 규제업무에 신속히 대응하기 위하여 원전 가동중검사 결과에 대한 효율적인 정보 모니터링 방법을 개발하였다.

본 논문에서는 위에서 기술한 시스템에 대한 개략적인 시스템 구성 및 기능에 대한 설명을 서술하였다. 본 연구를 통해서 원자력발전소의 운영 신뢰성 향상으로 원자력 에너지를 효율적 생산 효과를 기대할 수 있다.

증기발생기 전열관의 2차측 잔류물질에 의한 마모형상별 체적변화 경향 분석

Analysis of Volume Change Trends of Wear Profile by Secondary Side Loose Part at Steam Generator Tube

한경석

한국수력원자력 중앙연구원

국내 운전 중인 원자력 발전소 증기발생기의 전열관 재질은 Alloy 600TT와 Alloy 690TT가 있으며 Alloy 690TT는 기존의 Alloy 600TT와 비교하여 SCC 부식저항 능력이 향상된 것으로 기존의 SCC로 인한 전열관 열화 저항성이 크게 향상되었다. 따라서 한국형 및 신규원전의 증기발생기 전열관은 Alloy 690TT로 제작되며 기존의 Alloy 600TT 재질의 증기발생기도 점차 Alloy 690TT재질의 증기발생기로 교체되고 있다. 현재 적용중인 Alloy 690TT의 현존 열화기구는 아직 보고된바 없으며, 잠재적인 열화기구로서 지지구조물과 잔류물질에 의한 전열관 마모가 있다. 지지구조물에 의한 마모는 간섭되는 지지구조물을 알 수 있고, 마모 형상이 예측가능하나 외부에서 유입된 잔류물질에 의한 마모는 유입되는 잔류물질이 다양하고 예측 불가능하여 그 마모형상이 마모를 유발하는 잔류물질에 따라 다양하게 나타날 수 있다.

전열관의 마모 및 그 깊이는 와전류 탐상검사를 통하여 검사 및 평가 되며 전열관 두께 기준 40%를 초과하는 결함에 대하여 관막음 조치를 취하고 있다. 전열관의 마모 깊이는 Flat Bottom Hall 형태의 모사시험편을 통하여 평가 곡선을 취득하여 평가된다. 그러나 전열관의 마모에 의한 와전류 신호 왜곡은 그 불연속부의 형상과 체적에 영향을 받고, 잔류물질에 의한 마모형상이 다양하므로 마모부위에서 평가되는 와전류 왜곡에 의한 강도는 대비시험편의 Flat Bottom Hall 형태와의 차이에 따라 부정확하게 평가 될 수 있다.

이에 본 연구에서는 실제 발전소 현장에서 관찰되는 전열관의 대표적인 잔류물질 마모 형상 5종을 선정하여 그 형상과 깊이에 따른 마모형상을 3차원 설계를 통해 마모된 체적을 역취득하였다. 얻어진 체적 데이터로 각 형태별 회귀분석 추세선을 작성하여 그 Slope와 결정계수 값을 비교하여 기준이 되는 Flat Bottom Hall의 체적 변화 경향과 비교하였다.

그 결과 FBH 형태의 체적 값과 비교하여 Axial/Circ Groove 마모는 낮은 Slope 값을 나타내었고 Flat/Football/Tapered 마모는 높은 Slope 값을 나타내었다. 또한 결정계수 값은 대부분 형상이 0.98이상으로 비교적 편차가 적은 선형 형태로 분석 되었다. 이를 통하여 현장에서 FBH을 이용한 평가곡선으로 마모 깊이를 평가하였을 때, Axial/Circ 형상의 마모는 상대적으로 과소평가가 될 수 있으며, Flat/Football/Tapered 형상의 마모는 과대평가가 될 가능성이 있다.

결론적으로 위 결과에서 알 수 있듯이 현장에서 잔류물질에 의한 마모 결함 발생이 발생하였을 때 마모형상에 따른 마모깊이 평가 변수를 반영한다면 좀 더 정확한 마모 깊이 평가가 가능할 것으로 판단된다.

증기발생기 전열관의 원주균열에 대한 보빈탐촉자와 Array 탐촉자의 탐지성능 비교

Comparison of Detection Performance between Bobbin Probe and Array Probe for Circumferential Crack in Steam Generator Tube

한경석

한국수력원자력 중앙연구원

증기발생기 전열관의 와전류 검사에 있어 보빈탐촉자는 기본검사에 적용되며, 보빈탐촉자 검사결과 이상지시가 존재할 경우에 회전형 탐촉자로 확인검사를 실시한다. 보빈탐촉자는 전열관의 축방향 불연속부는 검출이 용이하지만 원주방향 불연속부는 검출이 곤란한 특성이 있어 이를 보완하기 위하여 Pancake 및 '+' 형태의 코일을 회전시켜 원주방향 불연속부의 탐지를 용이하게 한 회전형 탐촉자를 적용하고 있다. 그러나 회전형 탐촉자는 보빈탐촉자에 비하여 검사속도가 상대적으로 느리며, 탐촉자를 회전시키기 위한 추가적인 장비가 필요하므로 검사의 효율성이 저하된다. 이와 같은 각 코일의 단점을 보완하기 위하여 Pancake 형태의 코일을 원주방향으로 나열, 수직/수평/대각선 방향으로 인접 코일 간 전자기장을 형성시켜 원주방향/축방향의 탐지가 동시에 가능하며 보빈탐촉자의 검사 속도와 동등한 Array 탐촉자가 개발되어 활발하게 활용되고 있다. Array 탐촉자는 해외에서는 원전의 증기발생기 검사에 적용되고 있으나, 국내는 아직 도입이 되지 않았으며 향후 적용이 예상되므로 Array 탐촉자에 대한 선행적인 성능확인 및 검증이 필요하다.

보빈탐촉자와 회전형 탐촉자의 원주균열 탐지성능은 동 연구원의 증기발생기 전열관에서 발생할 수 있는 원주균열에 대하여 결함길이, 깊이, 폭 및 경사각이 다양하게 제작된 모사시험편을 통해 연구된 결과에 따르면 결함깊이 20%, 결함길이 3mm, 결함 폭 0.15mm 미만의 균열은 탐지가 곤란한 것으로 확인되었다. 또한 경사각의 경우 회전형 탐촉자의 코일 나열 방향에 따라 일정 각도에서 탐지가 가능한 것으로 확인되었다. 이에 본 연구에서는 Array 탐촉자의 탐지성능 비교를 위하여 동일 원주균열 모사시험편 4종을 통하여 Array 탐촉자 와전류 신호를 취득하였다.

그 결과 결함길이, 깊이, 폭 변화 원주균열의 검출능은 보빈탐촉자와 동등이상의 성능을 나타내었으며, 경사각 변화 시험편 또한 Array 탐촉자의 Axial/Circ Focusing 채널에서 일정 경사각을 기준으로 각각 검출이 가능하였다.

결론적으로 Array 탐촉자의 원주방향 균열에 대한 탐지성능은 검사효율성 측면에서 우수하며 증기발생기 전열관 검사에 적용이 가능 할 것으로 판단된다.

37M 연료다발 임계열속 상관식 비교 분석

Comparative Analysis for CHF Correlation of 37M Fuel Bundle

류의승 · 최훈
한국수력원자력(주) 중앙연구원 안전연구소

중수로 원전은 경년열화가 진행됨에 따라 고온의 냉각재와 중성자 조사에 따른 압력관 크립(내경 확관)이 발생되며 크립의 진행은 연료다발과 압력관사이의 우회유량을 증가시켜 연료봉의 임계열속(Critical Heat Flux)을 감소시킨다. 캐나다 Stern Lab. 에서는 중수로 개량연료(37M)에 대한 임계열속 시험을 2008년부터 수차례 수행한바 있다. 현재 캐나다 및 국내 중수로에서 사용되는 임계열속 상관식은 2008년 0%, 3.3%, 5.1% 압력관 크립을 모사하여 수행한 임계열속 시험자료를 기반으로 생산된 상관식을 사용하고 있다. 최근에는 기존 5.1% 압력관 크립에서 확장된 6.8% 압력관 크립 모사체를 사용, 임계열속 시험을 수행하였고 기존에 시험된 시험자료와 통합하여 신규 임계열속 상관식을 개발하였다. 본 평가는 6.8% 크립 시험자료를 포함하여 생산된 신규 상관식과 0%~5.1% 크립 자료만으로 생산된 기존 상관식을 사용하여 비냉각재상실사고인 4등급전원상실과 압력 및 재고량 조절상실 사고를 수행하였다. 4등급전원상실 사고는 사고시 출력상승률이 높아 임계열속에 빠르게 도달하는 사고이며 압력 및 재고량 조절상실 사고는 상대적으로 임계열속이 늦게 발생되는 대표적 사고이다. 중수로 안전해석 전산코드인 CATHENA 코드로 계산하였으며 월성원전 경년열화 노심 계통모델과 비냉각재상실사고에서 사용되는 O6_mod 단일채널 모델에 임계열속 상관식을 적용하였다. 시험된 압력관 크립 지점의 민감도를 비교하기 위하여 시험 시 사용된 0%, 3.3%, 5.1% 크립분포를 평가모델에 각각 입력하였으며 임계열속을 발생시키기 위하여 정지계통은 작동하지 않는 것으로 가정하였다. 두 가지 상관식 차이를 고찰하고자 각각의 케이스에 대하여 임계열속 차이, 임계열속 발생 시간, 피복재 온도 등을 비교하였다. 분석결과 기존 상관식과 신규 상관식의 예측 임계열속 편차는 최소 0.02%에서 최대 2.2%까지 보였다. 0% 와 3.3% 압력관 크립 케이스에서는 대부분 신규 상관식 결과가 기존 상관식 보다 임계열속이 적음을 보였으며, 5.1%에서는 신규 상관식 결과가 일부 크게 나타났다. 임계열속 발생시간은 아래 표와 같이 두 상관식에서 거의 유사함을 보였으며 피복재 온도 및 압력관 온도분포도 거의 동일함을 보였다. 전체 사고들에 대한 비교평가가 수행되지는 않았으나 신규 임계열속 상관식을 사용한 설계기준사고 결과는 기존 상관식을 사용한 결과와 차이가 없을 것으로 판단된다.

<표> 최대 크립별 임계열속 발생 시간

	4등급 전원상실사고 임계열속 발생시간		압력 및 재고량 조절상실 사고 임계열속 발생시간	
최대 크립량	기존상관식(s)	신규상관식(s)	기존상관식(s)	신규상관식(s)
0%	3.43	3.43	39.89	39.89
3.3%	3.65	3.54	37.25	37.03
5.1%	2.77	2.55	34.17	34.72

중대사고 완화를 위한 설비 기기생존성 평가 방법론 연구

A Study on Methodology of Equipment Survivability for Severe Accident Mitigation

신정민 · 이만규

한국수력원자력(주) 중앙연구원

개정된 원자력안전법은 발전용원자로 운영허가를 위하여 2019년 6월까지 전 원전 사고관리계획서를 제출 할 것을 요구한다. 사고관리계획서의 범위에는 중대사고 예방 및 완화에 사용되는 설비에 대한 기기생존성 평가를 포함할 것을 명시하고 있다. 한국수력원자력은 법적 요건 충족을 위하여 중대사고 예방 및 완화 설비에 대한 기기생존성 평가를 수행하고 있다. 본 연구에서는 현재 수행하고 있는 중대사고 예방 및 완화 설비에 대한 기기생존성 평가 중 중대사고 완화 설비 기기생존성 평가 방법에 대해 고찰하였다. 중대사고 완화 설비의 기기생존성 평가에서는 중대사고가 발생하더라도 중대사고 완화설비가 해당 환경조건에서 요구되는 기간 동안 의도된 기능을 수행할 수 있음을 보여야 한다. 현재 경수로형 규제기준 및 규제지침에서 규정하는 내용을 적용하여 중대사고 완화 설비 기기생존성 평가를 수행하였다. 사고관리계획서에서 요구하는 새로운 요건을 만족하기 위한 방법과 기존에 중대사고 관리지침서 개발 시 수행하였던 기기생존성 평가 및 APR1400노형인 신고리3,4호기, 신한울1,2호기 중대사고 종합보고서 작성 시 수행한 기기생존성 평가와의 방법론을 검토 및 비교하였다. 신규 제정된 사고관리계획서 규제기준 및 규제지침의 기기생존성 평가는 기존에 수행된 기기생존성 평가와 다른 방법론을 요구하고 있고 대상기기 범위가 확대 되었다. 평가 대상 기기가 기존의 평가는 격납건물 내부 위치 기기로 한정되어 있었으나 격납건물 경계 외부 위치 대상기기가 포함되었으며 계측기기, 전기기기 등 기기의 대상 폭도 확대 되었다. 그 외에 분석대상 사고경위 선정방법이 변경되었고 환경조건이 확대되었으며 극한재해도 고려하여야 한다. 한국수력원자력에서는 제한된 기간 동안 강화된 규제를 만족하기 위해 기존의 수행 자료를 최대한 활용하고 신규로 요구하는 항목들도 집중 수행하고 있다. 이와 같이 강화된 규제를 만족하는 기기생존성 평가 결과를 2019년 6월까지 규제기관에 사고관리계획서의 일부로 제출할 계획이다.

APR1400 노형 과압보호 설계 최적화 방안 연구

A Feasibility Study on the Overpressure Protection Design Modification in the APR1400

이석호*
한국수력원자력 중앙연구원

기존 표준형원전의 PSV(Pressurizer Safety Valve) 및 SDS(Safety Depressurization System)를 APR1400 원전에서는 POSRV(Pressurizer Pilot Operated Safety and Relief Valve)로 대체함으로써, PSV와 달리 설계특성에 따른 지연시간으로 인해 설계기준사고 시 1차측 첨두압력 상승이 초래되었다. 2차측의 경우 과압보호밸브인 MSSV(Main Steam Safety Valve) 개방 설정치 불확실도 증가와 밸브개방 특성 변경으로 개방 설정치가 10 psi 상향 조정됨에 따라 2차측 첨두압력 상승을 초래한 원인이 되었고, 복수기진공 상실사고 평가 시 독립적인 2차측 첨두압력 관점의 분석 요구로 인해 1,2차측 첨두압력 허용기준 대비 안전여유도가 충분치 않다. 본 논문에서는 이러한 안전여유도 확보를 위해 1,2차측 설계압력 여유도 평가와 설계압력 상향 가능성 검토 결과를 제시하고 자 한다.

고려된 설계 변경(안)은 APR1400형 원전에 대한 원자로냉각재계통과 주증기계통의 첨두압력을 감소시킬 수 있었다. 대표적으로 가압기밀림관 설계 변경 시 원자로냉각재계통의 첨두압력을 상당히 감소시켜 안전여유도를 충분히 확보할 수 있었으며, 2차측의 경우 주증기안전밸브 개방논리 및 개방 설정압력 변경 등은 증기발생기와 주증기관 내부에 잠재된 잉여에너지를 주증기안전밸브를 통해 대기로 신속히 방출함으로써 주증기계통 첨두압력의 안전여유도를 충분히 확보할 수 있었다. 다음으로 설계압력 상향 가능성에 대한 설계 검토가 수행되었다. 원자로냉각재계통과 주증기계통의 설계압력을 각각 약 50 psi 상향 조정하는 경우 각 계통별 연계 기기 및 배관에 대한 검토결과 설계압력 상향에 따른 기기 및 배관의 설계영향은 없는 것으로 확인되었으나, 주기기 설계분야에서 설계 여유도를 평가한 결과 원자로 용기 하부 쉘, 증기발생기 이차측 상부 쉘, 상부 헤드에서 불만족 부위가 확인되어 설계 및 재질 등에 대한 개선 방안을 도출 중에 있다.

도출된 설계변경(안)을 적용한 설계기준 제한사고에 대한 첨두압력 분석 결과 1,2차측 모두 약 30 psi 증가된 안전여유도를 확보할 수 있는 것으로 평가된다. 이러한 첨두압력 감소 방안과 더불어 설계압력 상향에 따른 불만족 부위의 개선 사항 도출 결과는 향후 규제기준 강화에 따른 인허가 현안 대응을 위한 설계 근거자료로 활용될 것이다.

크러드 열저항 효과에 대한 냉각재상실사고 민감도 분석

Sensitivity Analysis on the Effect of CRUD Thermal Resistance during LOCA

이석호*

한국수력원자력 중앙연구원

US-NRC를 중심으로 핵연료의 성능과 특성 기반의 냉각재상실사고에 대한 새로운 규제 기준 안이 제정되었으며, 이에 대한 허용기준의 법제화가 진행 중에 있다. 또한, 국내 규제 기관에서도 이와 병행하여 기술지침 안을 개발하여 사업자와의 의견을 조율 중에 있다. 이에, 선제적으로 APR1400형 원전에 대한 신규 허용기준을 만족할 수 있는 냉각재상실사고 평가모델이 개발 중에 있으며, 관련 요건에 부합한 전산코드의 모델 개발이 진행되어 왔다. 동 논문에서는 신규 허용기준 요구모델 중 하나인 산화층/크러드층의 열저항 효과 반영사항 중 모의된 크러드에 대한 전산코드 모델의 검증을 통해 그 적절성과 유효성을 확인하기 위한 평가내용을 기술한다.

APR1400 원전의 냉각재상실사고 조건에서 SPACE 기반 평가모델 중 크러드 모델의 열저항 효과를 확인하기 위하여 크러드의 두께와 공극률의 변화에 따른 핵연료 온도 거동에 대한 민감도 예비 해석이 수행되었다. 기존 SPACE 전산코드는 산화층과 크러드의 열저항을 고려하기 위해 산화층과 크러드가 혼합된 메쉬로 구성되어 있으나, 산화층과 크러드 두께, 열전도도 및 공극률을 불확실도로 고려하기 위해 개별 열구조체 메쉬로 구분 모델되었으며, 이러한 개별적인 크러드 모델은 산화층보다 낮은 열전도도 때문에 정상운전과 사고해석 기간 동안 열저항 거동이 나타날 것으로 예측된다. 또한, 크러드 공극 내 유체부분은 액체, 증기, 액적의 void 비에 따라 계산되도록 모사되어 있으며, 크러드 내부의 공극의 분포에 따라 열전도도가 다르게 적용될 수 있도록 구성되어 있다. 크러드 두께 증가에 따른 열저항 효과를 확인하기 위하여 기준 계산(크러드가 없는 경우) 대비 10.0, 30.0, 50.0 micron의 두께에 대한 민감도를 수행한 결과 두께 증가에 따라 핵연료 피복재온도가 증가하는 것이 확인된다. 이는 취출기간 및 재관수 기간 모두 증가하는 경향성을 유지하는 것으로 나타나 열저항 효과에 대한 크러드 모의의 유효성을 확인 할 수 있다. 또한, 각 두께 별 공극율 변화에 따른 영향을 확인하기 위하여 0.3~0.9까지의 변화에 따른 핵연료 피복재온도 거동을 확인한 결과 전반적으로 미미한 결과가 예측되었다. 0.3~0.6 공극률에 대해 상대적으로 열전달 저하가 발생하는 것으로 나타났으며, 이는 내부 유체의 물성치가 인접해 있는 냉각재의 그것을 참조함에 따른 차이에 기인한 것으로 여겨진다.

신규 허용기준에서 요구되는 요건들이 SPACE를 기반으로 한 평가모델에 반영되어 있으며, 발전소에 대한 예시 계산이 진행 중에 있다. 동 평가내용은 이러한 예시 계산을 위한 참고로 활용될 것이며, 모델의 보완과 추가적인 검증과정을 통해 냉각재상실사고에 대한 신규 허용기준 평가모델 개발에 활용될 것이다.

고리1호기 해체 작업자 피폭선량 계산 방법론

Calculation Methodology for Decommissioning Radiation Workers' Exposure Dose at Kori-1 Nuclear Power Plant

윤창연

한국수력원자력 중앙연구원 방사선해체연구소 원전사후그룹

2017년 고리1호기 원자력발전소가 영구정지 되었으며 관련 법규에 의거하여 고리1호기 최종해체계획서를 원자력안전위원회에 제출해야 한다. 최종해체계획서에는 다양한 항목이 기술되며 그 중 해체 작업자의 피폭선량을 정량적으로 계산하는 부분이 존재한다. 작업자는 해체 단계 및 구역에 따라 다양한 해체 작업을 복합적으로 수행할 예정이고 이러한 과정에서 필연적으로 발생하는 작업자의 피폭선량을 미리 예측하는 과정이 반드시 필요하다.

해체 작업 작업자의 피폭선량을 계산하는 방법은 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 그 중 단위비용인자(Unit Cost Factor, UCF)와 공간선량률로 계산하는 방법을 사용하였다. 이와 같은 방식은 해외 원전 해체 시에도 사용되었으며 발전소 전체 구역에 대한 피폭선량을 계산하는데 유용하다. 또한 계산한 피폭선량을 통해 적절한 작업자의 수를 산출할 수 있다.

피폭선량은 외부 피폭선량과 내부 피폭선량으로 나눌 수 있다. 내부 피폭은 해체 작업 시 충분한 방호조치를 수행하기 때문에 매우 미미할 것으로 예상되어 본 연구에서는 전체 피폭선량의 대부분을 차지하는 외부 피폭을 계산하는 방법론에 대해 기술하였다.

효율적인 피폭선량 계산을 위해서 발전소를 여러 작업 구역으로 나누는 것이 좋다. 따라서 화재방호구역을 기준으로 발전소를 164개 작업 구역으로 분류하였으며 각각의 작업 구역별로 피폭선량을 계산하였다.

단위비용인자는 해체 시 발생할 수 있는 모든 작업을 비용의 관점에서 표현한 것으로써 해당 단위비용인자를 구성하고 있는 세부 작업, 작업 소요 시간, 작업 소요 인원 등 관련된 모든 항목이 상세히 기술되어있다. 이러한 정보를 기반으로 하여 작업별 기술 작업자와 일반 작업자의 수 및 작업 시간을 도출하였다. 기술 작업자는 계통으로부터 1m 거리에서 작업을 하는 경우, 일반 작업자는 계통으로부터 2m 거리에서 작업을 하는 경우를 기준으로 하였다. MCNP 시뮬레이션을 통해 전산해석을 수행한 결과 기술 작업자가 받는 선량은 일반 작업자가 받는 선량의 10배로 나타나 이를 반영하였다.

공간선량률은 공기 중에서 시간당 흡수되는 방사선량의 비율이며 선원에서 1m 떨어진 지점에서 측정한 공간선량률을 계산에 이용한다. 또한 보수적인 계산을 위하여 여러 번 측정한 공간선량률 중 가장 높은 측정 값을 사용하는 것이 좋다.

해체는 영구정지 이후 약 10년 후에 시작한다고 가정하고 제염계수는 10으로 설정한다. 원자력 규제 위원회에서 2013년에 발간한 Generic Environmental Impact Statement for License Renewal of Nuclear Plants 에 의하면 원자력발전소의 즉시해체 시 작업자의 방사선 피폭을 야기하는 주요 핵종은 Co-60이다. 이러한 가정들을 바탕으로 해체 작업자의 외부 피폭선량을 계산할 수 있는 이론식을 도출하였다.

원자로 용기 및 내부구조물 절단 작업 피폭선량 계산 소프트웨어 개발

Software Development to Calculate Exposure Dose for RV and RVI Cutting Operation

윤창연 · 김광표* · 박진호*

한국수력원자력 중앙연구원 방사선해체연구소 원전사후그룹, *경희대학교 원자력공학과

모든 원자력발전소는 영구정지 된 후 관련 법규에 따라 최종해체계획서를 원자력안전위원회에 제출해야한다. 최종해체계획서에는 방사선방호 항목이 있으며 해당 항목은 해체 작업자의 피폭선량을 정량적으로 평가를 요구한다. 고리1호기가 국내 최초로 영구정지 되었으므로 관련 방법론 및 소프트웨어 개발이 시급한 실정이며 이는 차후 다른 원전들에서도 활용할 수 있을 것이다.

원자력발전소의 해체 시 작업자는 방사선에 피폭을 받으며 이를 정량적으로 계산한다면 안전한 해체에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 예상된다. 해체 작업은 매우 다양하기 때문에 각 작업 별로 작업자에게 미치는 영향 역시 다양하며 그 중 피폭선량이 가장 높을 것으로 예상되는 작업은 원자로 용기(Reactor Vessel, RV) 및 원자로 용기 내부구조물(Reactor Vessel Internal, RVI) 절단작업이다. 따라서 Maine Yankee, San Onofre-1 원전의 경우 RV, RVI 절단 작업을 수중에서 진행하였으며 고리1호기 역시 수중에서 진행할 예정이다. 이는 수중에서 절단할 경우 공기 중에서 절단 작업을 진행하였을 때 발생할 방사성 비산물에 의한 영향을 방지할 수 있고 물의 방사선 차폐 효과가 공기보다 훨씬 뛰어나기 때문이다.

이와 같은 작업조건에서 작업자의 방사선 피폭은 콘크리트와 물의 차폐효과로 인하여 대부분 산란된 방사선으로부터 야기될 것이다. 산란된 방사선의 영향을 고려하여 작업자의 피폭선량을 예측하기 위해서는 방사선수송 전산코드를 이용하여야 한다. 본 연구에서는 원자로 용기 내부구조물 절단작업 시 피폭선량 예측 결과의 정확도를 향상시키기 위하여, 방사선수송 전산코드인 MCNP 전산코드를 이용하여 피폭선량 예측을 위한 데이터를 계산하였다. 해당 데이터는 선원항 평가 자료를 기반으로 하였으며 계산 결과를 데이터베이스로 사용하여 종사자의 피폭선량을 예측하기 위한 프로그램을 개발하였다.

프로그램의 피폭선량 계산 알고리즘은 MCNP Mesh tally 기능을 이용하여 작업자의 동선이 지나가는 격자의 방사선량률을 모두 더하는 방식이다. 만약 작업자가 특정 위치에서 체류할 경우 체류시간을 방사선량률에 곱해줌으로써 계산할 수 있다. 즉, 작업자의 이동 및 정지 작업 등 모든 움직임을 반영할 수 있다.

선원 조건은 가장 보수적인 상황을 고려하여 RVI와 수조 표면 사이의 거리가 가장 가까울 경우, RVI에 방사선원이 모두 존재할 경우로 가정하였다.

해체 시 다양한 상황이 발생하므로 취할 수 있는 데이터가 충분하지 않을 가능성이 많다. 따라서 입력 정보를 최소화하여 작업자의 동선 정보만 입력해도 피폭선량이 빠른 시간 내에 계산되도록 프로그램을 구성하였다. 또한 입력한 작업 동선은 프로그램에서 즉시 업데이트 되고 시각적으로 확인할 수 있어 사용자의 편의성을 고려하고 인적실수를 최소화하였다.

대기안정도에 따른 부지별 대기확산특성 평가

Study on Atmospheric Dispersion Factor according to Atmospheric Stability

정윤희 · 김정미
한국수력원자력 중앙연구원

원자력시설 사고시 환경중으로 방출되는 방사성물질에 의한 주민피폭선량평가를 위해 기상특성을 파악하고 방사성물질의 거동을 예측하는 것이 필요하다. 미국 원자력규제위원회(U.S.Nuclear Regulatory Commission, NRC)에서는 사고시 방사성물질이 확산되는 정도를 나타내는 대기확산인자를 평가하기 위해 Regulation Guide 1.145를 제시하였다. 이를 기반으로 대기 중에서 방사성물질의 이동 및 확산, 침적 등을 고려하기 위해 PAVAN 코드 등의 대기확산모델을 제공하고 있다. 이 코드는 대기안정도, 풍향 및 풍속의 발생빈도분포를 나타내는 결합빈도분포(Joint Frequency Distribution)를 사용하여 방향 및 시간대별로 지표면에서의 상대적 방사능 농도를 계산한다.

대기확산인자를 결정하는 여러 기상 및 지형 특성 중 대기안정도는 대기확산인자 평가에 직접적인 영향을 준다. Regulation Guide 1.23에서는 대기안정도를 분류하는 다양한 방법들을 제시하고 있다. 국내에서는 일반적으로 고도에 따른 기온감율방식을 적용하여 대기안정도를 평가하고 있다.

본 논문에서는 국내 원전 각 부지에서 3년간(2015~2017) 관측된 기상자료를 활용하여 연도별 대기안정도의 발생빈도를 분석하였으며, PAVAN코드를 사용하여 대기안정도에 따른 대기확산인자의 영향을 평가하였다.

고리의 경우 2015~2017년의 대기확산인자 중 2017년도에 5.11E−04 s/m^3로 가장 크게 평가 되었다. 대기안정도 관점에서 2017년도에 안정하거나 확산에 좋지 않은 조건인 D,E,F,G 등급의 발생빈도가 가장 높게 나타났다. 신고리의 경우 2016년도에 대기확산인자가 6.23E−04 s/m^3로 가장 높게 평가되었으며, 동일년도에 대기안정도 D,E,F,G 등급의 발생빈도가 높게 나타났다. 한빛의 경우 2017년에 대기확산인자가 7.20E−04 s/m^3로 가장 크게 평가되었으며, 동일년도에 대기안정도 D,E,F,G 등급의 발생빈도가 높게 나타났다. 월성부지의 경우 2015년에 대기확산인자가 6.74E−04 s/m^3로 가장 크게 평가되었으며, 동일년도에 대기안정도 D,E,F,G 등급의 발생빈도가 높게 나타났다. 한울의 경우 2016년에 대기확산인자가 6.83E−04 s/m^3로 가장 크게 평가되었으며, 동일년도에 대기안정도 D,E,F,G 등급의 발생빈도가 높게 나타났다.

국내 원전 부지별 대기안정도를 산출하여 대기확산인자를 평가한 결과, 대기안정도 등급이 안정하거나 확산에 좋이 않은 등급의 발생빈도가 높을수록 대기확산인자도 높게 평가되는 것을 확인하였다. 본 연구결과는 국내 원전부지 주변의 사고시 방사선량을 예측/평가하는데 기초자료가 될 것으로 판단된다.

APR-1400 사용후핵연료 저장조 냉각기능상실사고 열부하 평가

Evaluation of heat load for cooling loss accidents in spent fuel pool of APR-1400

김도연

한수원(주) 중앙연구원 노심해석그룹

본 연구는 APR-1400 원전의 사용후핵연료저장조 냉각기능상실사고(LOSFPC) 안전성평가를 위한 PLUS7 핵연료집합체의 붕괴열 및 사용후핵연료저장조의 열부하를 평가하였다. 열부하 평가방법은 OPR-1000 원전의 비상충수 대처방안 평가시 적용하였던 설계사의 평가 방법론을 참고하여 수행하였다.

사용후핵연료저장조 열부하 평가를 위해서는 핵연료집합체 붕괴열 평가가 필요하다. 따라서 SCALE 6.1.2 코드패키지를 이용하여 붕괴열을 평가하였다. TRITON 모듈을 통해 PLUS7 핵연료집합체의 단면적을 생성하였으며, 이후 ORIGEN-S 모듈을 이용하여 핵연료집합체의 연소 및 붕괴열 계산을 수행하였다. 평가 대상 핵연료집합체의 농축도는 4.65wt%이며, 비출력은 33.3 W/g이다. 표 1은 ORIGEN-S의 핵연료집합체 연소이력 입력자료를 요약하였다. 주기별 연소도를 고려하기 위하여 1주기 연소도(18 GWD/MTU), 2주기 연소도(36 GWD/MTU) 그리고 3주기 연소도(54 GWD/MTU)를 적용하였다. 또한 각 주기 사이의 30일의 냉각시간을 가정하였다.

표 1 PLUS7 핵연료집합체 연소이력

Operating Cycle	Power (kW/kgU)	Irradiation (days)	Cumulative Burnup (MWD/MTU)	Cooling (days)
1	33.3	540	18,000	30
2	33.3	540	36,000	30
3	33.3	540	54,000	

대상 APR-1400의 사용후핵연료저장조는 총 1,696 다발의 사용후핵연료를 저장할 수 있는 설계용량을 갖추고 있다. 사용후핵연료저장조의 열부하계산을 위한 시나리오는 사용후핵연료저장조 냉각 및 정화계통의 설계기준 부하를 가정하는 방식에 따라 정상, 재장전, 비상운전 3가지 시나리오를 고려하였다. 특히 재장전 주기는 18개월의 주기를 갖고, 주기 당 100개의 핵연료집합체가 방출되며, 핵연료집합체가 이송되는 시간을 고려하여, 원자로 정지 후 100시간 시점부터 시간 당 6다발 속도로 인출되는 것을 가정하였다. 모든 시나리오는 14주기 동안 방출된 사용후핵연료 집합체 수는 동일하게 저장되어 있으며, 각 시나리오에 따라서 마지막으로 저장되는 사용후핵연료의 집합체 수가 다르다. 저장되는 총 집합체 수는 정상, 재장전, 비정상 시나리오 별로 다르며 정상시나리오의 경우 1,500 다발을 가정하였다. 열부하는 시나리오별로 평가되었으며 정상시 7.29 MW로 나타났다. 재장전 및 비정상 열부하 역시 같은 방법으로 평가되었고 각 시나리오별 결과는 APR-1400 사용후핵연료저장조 냉각기능 상실사고 평가에 활용될 예정이다.

하나로 연소시험을 대비한 신호취득시스템 노이즈신호 분석

Noise signal analysis of data acquisition system for HANARO depletion test

김도연

한수원 중앙연구원 노심해석그룹

국내 원자력 발전소의 핵연료 농축도 증가 및 장주기 운전으로 인하여 현재 사용중인 로듐 기반의 노내계측기는 설계수명 이전에 폐기되어 교체비용 및 작업자 피폭량을 증가시키는 문제를 유발하고 있다. 이에 중앙연구원은 노내계측기 설계수명 연장을 위해 바나듐 기반의 장수명 노내계측기를 개발하였다. 개발된 노내계측기의 중성자 검출 물질인 바나듐의 초기민감도, 동특성, 연소성능 평가를 위하여 하나로 연소시험을 계획하고 있다.

바나듐과 로듐의 핵단면적 차이로 인하여 바나듐 검출기 출력신호는 로듐 검출기 대비 작은 신호크기를 갖는다. 노내계측기 조립 및 현장 설치 후에 전체 신호취득장비의 신뢰성 확인을 위하여 바나듐 검출기의 잡음 분석이 선행되어야 한다. 검출기 잡음은 시험 단계별로 신호취득시스템의 자체 노이즈, 하나로 백그라운드 방사선 준위에 의한 노이즈, 출력운전 시 감마선 등에 의한 노이즈로 구분된다. 본 평가에서는 연소시험 이전에 신호취득시스템의 자체 노이즈 신호를 측정하여 신호취득시스템의 기본 노이즈 신호크기를 결정하였다.

그림 1은 바나듐 SPND 신호취득시스템의 연결도를 나타내며 바나듐 검출기는 하나로 장전 캡슐에 장착되어 하나로 노심에 장전된다. 검출기 신호선이 하나로 노심 밖의 Junction Box까지 연장되어 Junction Box 내부에서 커넥터와 연장선을 통하여 신호취득시스템까지 연결된다. 하나로 운전관련 정보는 별도 신호선에 의해 신호취득시스템으로 전송되도록 설치되었다.

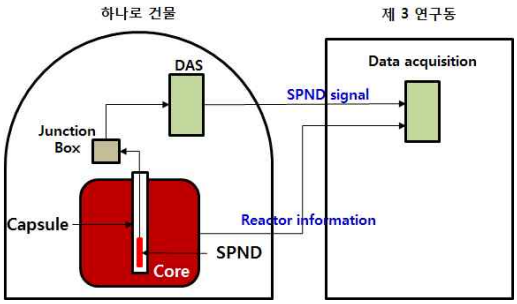


그림 1 바나듐 SPND 신호취득시스템 개요

최종 조립 및 설치 후, 하나로 내부에서의 노이즈 신호 테스트를 통하여 신호취득시스템의 기본 노이즈 신호크기를 확인하였다. 본 시험결과로부터 취득한 신호취득시스템 기본 노이즈 크기는 중성자 조사 및 출력상승 시험시 신호취득시스템 신뢰도 확인을 위한 자료로 활용될 예정이다. 하나로 재가동시 하나로 백그라운드 방사선 준위에 의한 노이즈와 출력운전 시 감마선 등에 의한 노이즈도 측정하여 최종 신호분석에 활용할 예정이다.

원전 방진기 수명감시방안에 대한 고찰

A Study on the Service Life Monitoring of Nuclear Power Plant Snubbers

조용배 · 한경석
한국수력원자력 중앙연구원 기계연구소

1. 서론

원자력 발전소의 운영기간 증가로 기기의 열화정도가 증가함에 따라 기기의 건전성 확보 및 설비의 안전성을 정기적으로 확인하는 가동중검사가 중요시 되고 있다. 원전에 설치된 방진기는 지진 등 비정상 과도상태시 기기 또는 계통에 급격하게 전달되는 하중에 의한 변위를 구속하지만 온도에 의한 변위는 자유롭게 허용하는 기기로 매주기 검사를 수행하고 있다. 대부분의 방진기는 원래 제조사의 권장 설계수명 기간 동안 유지보수가 필요 없다는 전제하에 제작 및 설치되었으나 과거 해외 산업계의 경험은 방진기의 고장이 육안검사 또는 물리적인 움직임에 의해 확인되지 않을 수도 있음을 보여주고 있다. 따라서 일부 샘플만 선정하여 시험하는 현재 방법에서 방진기의 사용 또는 보관 중 경년열화를 평가하는 사용수명감시는 더욱 중요한 역할을 한다. 본 원고에서는 원전 방진기의 사용수명감시(SLM: Service Life Monitoring)방안에 대한 현황을 기술하고자 한다.

2. 방진기 기능 및 시험

방진기는 기기 또는 계통에 급격하게 전달되는 하중에 의한 변위를 구속하지만 온도에 의한 변위는 자유롭게 허용하는 기기로 기계식(Mechanical Type)과 유압식(Hydrauic Type)이 있고 배관, 원자로냉각재 펌프 및 증기발생기에 설치되어 있다. 방진기 성능을 확인하기 위해 매주기 육안검사 100%, 성능시험 10%이상 및 일부 선정된 방진기에 대한 사용수명감시를 수행하고 있다.

3. 방진기 사용수명감시 현황

방진기를 사용 또는 보관 중 경년열화에 대해 감시함으로써 방진기가 사용수명에 이르기 전에 방진기 정비나 교체를 통해 방진기의 작동성을 최적화 하는 활동을 방진기 사용수명 감시라고 한다. 국내의 경우 2007년 부터 방진기 사용수명감시 프로그램을 제정하여 안전등급 1,2 3 기기 및 배관에 설치된 방진기에 대해 온도, 진동, 과도상태, 방사선 영향, 습도 및 공기중 이물질 영향 등 운전환경별로 선정된 대표 방진기에 대해 매주기 방진기 사용수명을 평가하여 다음 주기 동안 계속사용 가능여부를 평가하고 있다.

4. 결론

국내 원전의 경우 유압식 및 기계식 방진기가 다량 설치되어 있지만 방진기와 관련해서는 사용수명 감시 보다는 방진기에 대한 검사와 관리에 더 많은 비중을 두어 왔다. 그러나 진동, 고온 및 오일열화 등 운전환경에 의한 해외 방진기 고장 사례 및 최근 국내 원전 주변에 빈번히 발생되고 있는 지진 등 비정상 과도상태로 원전의 안전성과 신뢰성에 대한 국민적 관심이 증가되고 있다. 따라서 지진 및 과도상태시 기기 및 설비를 지지하는 방진기의 경년열화를 감시하는 사용수명감시가 더욱 중요할 것으로 판단된다.

원전 격납건물 라이너플레이트 검사현황

NPP Containment Liner Plate Inspection Status

조용배 · 한경석

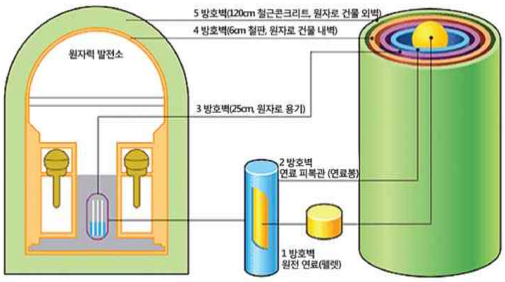
한국수력원자력 중앙연구원 기계연구소

1. 서론

원전 격납건물은 철근, 콘크리트, 텐돈 및 격납용기 라이너플레이트(CLP: Containment Liner Plate)로 구성되어 있고 설계 및 중대사고시 방사성물질의 외부 유출을 막는 구조적 방벽 및 밀폐역할을 수행하고 있다. CLP는 매계획예방정비시 육안 및 초음파검사를 수행하여 건전성을 확인하고 있으나 2016.6월 00발전소 정기검사중 CLP 배면 콘크리트 미채움 및 부식 부위가 발견되었고 그 이후 전호기 후속검사를 수행하였다. 본 논문에서는 국내외 CLP 손상 및 부식 사례를 소개하고 원인과 대책에 대해 기술하였다.

2. 격납건물 구조 및 기능

원전은 연료펠렛, 연료피복관, 원자로용기, 원자로격납건물 내벽(CLP), 원자로격납건물 외벽 등 다중방호시스템으로 구성되어 있다. 격납건물 내벽은 6mm의 두꺼운 강철판으로 설치되어 있고 최종적으로 120cm 두께의 강화된 철근콘크리트의 외벽이 있어 만일의 사태가 발생하여도 방사성물질이 외부환경으로 누출되는 것을 방지한다.



3. 격납건물 CLP 검사 및 평가

격납건물 CLP는 정기적으로 건전성을 확인하기 위해 육안검사 및 초음파검사를 수행하고 있으며 공칭두께(6mm)의 10% 미만의 결함 또는 열화의 경우(5.4mm이상)에는 조치가 불필요하나 10% 이상 두께가 감소된 경우(5.4mm이하)에는 공학적 평가를 통해 건전성을 확인하거나 보수가 필요하다.

4. 격납건물 라이너플레이트 부식 원인

격납건물 CLP에 대한 부식 발생은 해외의 경우 콘크리트 타설시 생긴 내부공극에 물이 고여 CLP 부식이 개시되었고 국내의 경우 연결부위(CJ) 장기노출, CLP와 콘크리트 접합부위 염분 및 수분침투 등이 부식의 원인으로 추정되고 있다.

5.결론

원자력발전소 CLP는 설계 및 중대사고시 방사성물질의 유출을 막는 구조적 방벽 및 밀폐역할을 수행하며 매주기 육안 및 초음파검사를 통해 정기검사를 수행하고 있으나 일부 발전소 정기점검 중 CLP 콘크리트 미채움 부위와 부식부위가 발견되었고 향후 설계개선을 통해 원전 안전성과 신뢰성을 더욱 확보해 나갈 예정이다.

원자력발전소 원자로냉각재펌프 결함 감시 개선 방안

A Improvement of Fault Monitoring for Reactor Coolant Pump in Nuclear Power Plant

김태희 · 김희찬 · 김주식 · 맹효영
한국수력원자력(주) 중앙연구원

1. 연구 목적

본 연구는 원자력발전소 1차계통의 핵심설비인 원자로냉각재펌프(RCP, Reactor Coolant Pump)의 운영에 대한 안전성과 신뢰성 확보를 높이기 위해 설비 또는 부품의 결함 발생 감시에 사용하는 각종 모니터링 시스템들에 대한 운영과 진단방법 측면의 비효율성을 개선할 수 있는 방안을 제시하는 것이 주요 목적이다.

2. 연구 내용

국내 원전에서는 RCP의 결함 또는 이상징후 발생을 조기에 감시하기 위해서 각종 감시시스템들을 운영하고 있으며, 본 연구에서는 현장 조사를 통해 발전소 운전감시에 직접적으로 활용도가 높은 중요 감시시스템들의 유형과 주요기능 및 운영현황을 확인하였다. 그리고 이들 시스템 각각의 설비 감시용 수집데이터와 감시대상 설비/부품 및 적용 감시기술 등을 분석하였다. 이들 결과들을 토대로 기존 감시시스템들이 가지고 있는 RCP 설비에 대한 고장 또는 결함 감시의 주요 문제점과 한계성을 분석하였고, 설비감시 관점에서 기존 시스템들의 주요 개선 방안들을 연구하였다.

3. 연구 결과 및 고찰

조사결과, 대표적으로 RCP 진동상태를 감시하는 RCPVMS, 발전설비 성능을 감시하는 PMS, 계통/설비 이상발생을 조기에 감지하는 PHI, 운전원의 정기 감시 데이터를 이용하여 감시하는 OPMS를 각각 운영중인 것으로 나타났다[1]. 시스템 연계성과 적용 감시기술에 대한 분석결과, 이들 시스템은 각각이 특정 분야(진동, 성능, 운전 등)에 대한 감시를 목적으로 상호 독립적인 운영을 하고 있어 각각의 시스템간의 연동이나 데이터 공유가 없고, 사람이 수동으로 진단하는 것으로 조사되었다. 이로 인해 RCP 비정상 발생 시 각각의 시스템별 수집정보만을 이용하여 단순 이상발생 여부만을 감시할 뿐 진동과 성능 및 프로세스 등을 모두 고려한 종합적인 진단은 어려운 것으로 확인되었다. 즉, RCP에서 어떤 비정상 동작 또는 증상이 발생하였을 때 원인이 외부적 영향(외부 연계 계통)에 의한 것인지 또는 자체 문제(기기/부품 손상 또는 오동작)에 의한 것인지를 식별하기가 어렵고, 고장 부품과 원인을 정확하게 분석하는 데에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 RCP 설비 상태 종합적이고 효과적으로 감시하기 위해서 시스템들의 감시데이터와 진단결과를 공유하여 상호 연관정보를 기반으로 종합 진단이 가능하도록 RCP 감시기술의 개선 방안을 구축하였다.

1) RCPVMS : RCP Vibration Monitoring System, PMS : Plant Monitoring System, PHI : Plant Health Index, OPMS : Operating Parameter Management System

안전중요도 평가 프로세스 도입 방안 연구

A Study on the Introduction of Significance Determination Process

신태영 · 양창근 · 변충섭

한국수력원자력(주) 중앙연구원

우리나라의 원자력발전소는 2005년부터 2010년까지 평균적으로 90%이상의 이용률을 유지하고 있었다. 하지만 2011년 이후 꾸준히 감소하고 있으며, 최근에는 세계 평균인 73%에도 미치지 못하는 70%대의 이용률을 보이고 있다. 후쿠시마 원전 사고 이후 규제가 지속적으로 강화되고 있기 때문이다. 이는 원전 사업 환경이 어려워지는 요인으로 작용하고 있다.

미국은 세계에서 가장 많은 원전을 보유하고 있으며, 90%대의 높은 이용률을 유지하고 있다. 이는 1996년 Maintenance Rule의 도입으로 인한 가동 중 검사(On-Line Maintenance)를 수행하고 있고, 2000년 Reactor Oversight Process(ROP)를 도입했기 때문이다. 이 중 ROP는 미국 원자력규제위원회(Nuclear Regulatory Commission)가 상용 원자력발전소의 안전 및 보안 성능을 검사, 측정 및 평가하고, 성능저하에 대응하기 위해 확립한 것이다. ROP는 7개의 안전초석을 바탕으로 발전소의 안전성능을 감독하는 체제로 안전중요도 평가결과와 성능지표의 감시결과를 통해 발전소의 안전성능을 종합적으로 감독한다. 이러한 ROP 체제에서 검사(Inspection)는 원자력규제위원회의 규정에 따라 원자력발전소가 안전하게 운전되는지 확인하는 것으로 검사 절차(Inspection manual)에 따라 수행되며 검사 지적사항(Inspection Finding)이 발생할 경우 ROP 내의 SDP(Significance Determination Process)에 따라 정량적/정성적 분석을 통해 안전기여도를 고려하여 안전중요도를 결정하게 된다. 이 안전중요도를 활용하여 발전소 정지 여부 및 행정집행(Enforcement)의 정도 등 합리적 의사결정을 수행하고 있다. 하지만 국내의 경우 검사에 따른 지적사항 발생 시 모든 지적사항에 대해서 검사자가 검사지적사항표를 작성하여 원전사업자에게 발급하며, 해당 지적사항에 대해 시정조치를 완료한 후에 검사지적사항을 종결해야 한다. 우리도 검사지적사항과 같은 운영사건 처리시 시간지연요소에 초점을 맞추어 규제 제도의 개선을 고려할 필요가 있다. 다행히도 우리나라는 1994년에 '원자력안전 정책성명'을 통해 위험도기반 안전규제원칙을 천명한 바 있으며, 위험도정보활용 의사결정을 위한 규제 지침을 갖추고 있다.

이에 따라, 본 연구에서는 운영사건 발생시 사안의 안전중요도에 따라 규제하는 안전중요도 기반 규제의사결정 체제에 대해 검토하고 활성화 방안을 논의해 보고자 한다.

미국의 위험도정보활용 규제를 통한 국내 규제 방향 예측

Domestic Regulations Direction Prediction

through the History of Risk-Informed Regulation in United States

신태영 · 양창근

한국수력원자력(주) 중앙연구원

미국 웨스팅하우스사에 의해 건설된 고리 1호기가 1978년 최초로 상업운전을 시작한 이후 국내에는 현재 23개 호기가 상업운전 중에 있다. 초기에 미국의 기술과 도움을 바탕으로 우리나라의 원자력계가 성장했기 때문에 규제 측면에서도 미국의 규제환경 및 제도가 국내에 폭넓게 도입되었다.

미국의 원자력규제기관인 NRC는 처음에는 원자력발전소의 안전에 대해 정량적 분석을 고려하지 않고 많은 규정을 개발했다. 규제 요구 사항은 주로 경험, 테스트 결과 및 전문가 판단에 근거하여 결정론적으로 결정했다. 하지만, 결정론적인 방법을 이용한 규제방법에 한계를 느끼고 미국은 위험도 정보를 활용한 규제 프로그램을 통해 합리적인 규제 프로세스를 구축했다. 그 일환으로 PSA 관련 활동에 중점을 두기 위해 1994년 확률론적안전성평가(Probabilistic Risk Assessment) 이행 계획을 개발했다. 이 계획은 2000년에 위험도 정보활용 규제 이행 계획(Risk-Informed Regulation Implementation Plan, RIRIP)으로 대체되었다. 그리고 2007년 4월 NRC는 RIRIP를 위험도정보활용-성과기반 계획(Risk-Informed Performance-Based Plan, RPP)으로 대체했고 지금까지 유지하고 있다. 이러한 계획들은 모두 NRC가 위험도 정보를 활용하여 규제 제도를 개발하는데 사용되었으며, 우리나라도 미국의 규제환경과 유사하게 기존의 결정론적인 규제방법에서 탈피해서 위험도 정보를 활용한 확률론적방법론을 이용한 규제를 추진하고 있다. 2001년 제 17차 원자력안전위원회에서 중대사고 정책 의결을 통해 전 원전 PSA 수행과 리스크관리체제를 수립하기로 했고, 2006년에는 원자력안전기술원에서 리스크정보활용규제(Risk Informed Regulation) 종합계획을 발표하였다. 그리고 2010년에는 교육과학기술부에서 리스크정보활용 이행계획을 수립하여 원자력안전종합계획에 반영하였다. 하지만 2011년 후쿠시마 사고 이후 규제가 지속적으로 강화되고 있으며 이 과정에서 위험도 정보를 활용한 규제가 원활하게 이루어지지 않고 있다.

이에 따라, 본 연구에서는 미국과 우리나라의 규제 체제의 원칙과 그 역사를 비교, 검토하여 우리의 규제 체제는 어떻게 바뀌고 있는지, 그리고 향후에 위험도정보활용을 이용한 규제환경이 어떻게 바뀔 것인지 예측해보고자 한다.

원전의 Enterprise엔진 비상디젤발전기의 엔진상태진단 수행

Performance of Diagnostic Test for Enterprise Engine of Emergency Diesel Generator in Nuclear Power Plant

정우근 · 한경석

한수원 중앙연구원 기계연구소 비파괴기술그룹

현재 원자력발전소(이하 “원전”) 비상전원계통은 비상디젤발전기설비, 대체교류발전기설비 및 축전지설비로 구성되어 있다. 비상디젤발전기설비는 소외전원상실사건(Loss of offsite power: LOOP) 발생시 자동으로 기동하여 발전소 안전모선에 비상전력을 공급하는 역할을 하는 기기로 원전에서 비상전원계통 확보는 발전소 안전성 확보에 직결되며, 특히 해외 원전 사고에서 보듯이 전력공급 중단은 발전소의 냉각기능이 상실되어 원자로 냉각기능, 격납건물 건전성과 사용후핵연료저장조 냉각기능의 상실을 초래하여 중대사고로 확대된다. 따라서 원전의 비상디젤발전기(EDG : Emergency Diesel Generator)의 신뢰도를 높게 유지하여 항상 운전이 가능하도록 유지 관리가 되어야 한다.

EDG 기동 신뢰도를 확보하기 위해 원전에서는 매 정비주기 동안 엔진을 분해 점검하고 있으나 비상디젤발전기의 신뢰도를 최적으로 유지하면서 불필요한 엔진 정비를 줄이기 위해 정비 전 엔진 상태진단을 통해 열화 증상과 각 부위 설정치의 운전 기술기준 만족 여부 및 이상 증상 등을 사전에 확인하고 정비항목을 도출하여 정비에 반영하고 정비 후 확인함으로서 EDG의 기동신뢰성을 확보할 수 있다.

금번 진단시험 및 분석은 국내 원전 4개호기에 설치된 Enterprise엔진의 비상디젤발전기에 대해 엔진상태진단 장비인 Dynalco사 RT-9260 장비를 사용하여 데이터를 수집하고 분석하였다. 특히 정비 전 수행된 엔진상태진단 결과, 정비 및 조정 등 권고한 사항에 대하여 피드백하고 정비 후 그 결과를 비교 평가하여 엔진의 운전 상태를 확인하였다. 주요 진단시험 변수인 엔진 회전수, 크랭크 각도, 실린더 폭발압력, 엔진 및 연료 분사계통 초음파/진동 신호, 연료랙 위치, 실린더별 배기가스 온도 등이고 실린더 지시마력, 유효압력, 최대폭발압력, 크랭크 각도, 연료분사 펌프 및 흡배기밸브 거동 등을 평가 프로그램으로 엔진상태를 진단하여 모든 실린더가 동일한 부하를 분담할 수 있도록 엔진을 튜닝을 할 수 있었으며 모든 변수가 제작사 기술지침을 만족함을 확인할 수 있었다.

증기발생기 전열관 다중파단사고 시 1차측 감압수단 적용성 평가

A Study on Applicablility of Depressurization Method using Primary System for Multiple Steam Generator Tube Rupture

김민정

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력안전위원회 고시 제2016-02호 “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정”은 아래 9가지 다중고장사고를 필수적으로 고려하여야 하는 사고로 규정하고 있다. 그 중에서도 증기발생기 전열관 다중파단사고는 원자로 냉각재에 포함된 방사성물질이 원자로 건물을 우회하여 이차계통을 통하여 외부로 누출되는 사고로 외부 대기로의 방사성 물질 방출을 제한하고 노심의 핵연료 손상을 방치할 수 있는 적절한 조치가 이루어져야 한다. 증기발생기전열관 다중파단사고가 발생하면 원자로냉각재가 이차계통으로 누출되어 고온관포화온도 원자로정지신호나 가압기저압력 원자로정지신호가 발생하여 원자로가 자동정지되고, 증기발생기 고수위에 의한 주증기격리신호가 발생할 때까지는 주급수에 의해, 주증기격리신호가 발생한 후에는 보조급수에 의해 일차측 잔열제거가 가능하다. 파손된 전열관을 통해 이차측으로 누설되는 냉각재는 증기발생기 2차측의 냉각수와 혼합되어, 터빈 정지 이전에는 터빈을 거쳐 복수기로 보내지며 터빈정지 이후에는 증기우회제어계통(Steam Bypass Control System, SBCS)을 통해 복수기로 보내지거나 주증기안전밸브(Main Steam Safety Valve, MSSV)를 통해 대기로 직접 누출될 수 있다. 증기발생기 전열관 다중파단사고는 고온측 끝단에서 5개의 튜브가 파단된 것으로 가정한다. 이 사고에서는 파단으로 인하여 1차측의 방사성 물질이 2차측으로 유출되는 것을 막기 위해 1차측과 2차측의 압력 거동을 비슷한 수준으로 맞추어 파단유량을 줄이고 정지냉각에 진입 가능한 압력과 온도로 냉각하는 것이 중요하다. 이 때 1차측은 가압기 보조 살수와 원자로 냉각재 배기 계통(Reactor Coolant Gas Vent System, RCGVS)을 이용하여 감압할 수 있고 2차측은 주증기격리우회밸브(Main Steam Isolation Bypass Valve, MSIBV)를 통해 감압과 냉각을 수행할 수 있다. 이 연구는 1차측 감압수단에 따른 각각의 사고완화 효과를 확인하고 효과적인 운전원 조치를 통해 보다 적절한 사고완화 대처방법에 대해 분석하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20161510101840)

OPR1000과 APR1400형에서의 안전주입탱크 격리 전략

Strategy for Safety Injection Tank Isolation in OPR1000 and APR1400 Plants

김민정 · 윤덕주 · 홍춘식 · 김선민
한국수력원자력(주) 중앙연구원

2011년 발생한 후쿠시마 원전사고는 자연재해로 인한 장기간 교류전원 완전상실이 발생하여 발전소 대처능력을 초과하였고 이로 인해 노심손상으로 이어진 사고이다. 이러한 후쿠시마 원전사고를 바탕으로 미국의 가압수로형 원전 소유자 그룹(PWROG)에서는 다양하고 유연한 완화(Diverse & Flexible Mitigation Capability, FLEX)전략을 이행하기 위한 지침으로 NEI 12-06을 제정하고 FLEX 전략을 구현하기 위한 이동형 설비들을 도입하고, 단계별 절차 중심으로 이루어진 지침서(FLEX Support Guideline, FSG)를 개발하였다. 국내에서도 이를 바탕으로 다수호기의 극한재해 대처 전용 설비 및 체계를 구축하여, 미국의 FLEX 전략을 우리나라 실정에 맞게 고유화하고, 극한재해가 중대사고로 발전하는 것을 방지하기 위한 다중방어 개념의 사고 대응 전략(Multi-barrier Accident Coping STrategy, MACST)을 설립하고 이를 구현하기 위한 지침서(MACST Operation Guideline, MOG)를 개발중에 있다. 그 중에서도 안전주입탱크 격리 전략은 교류전원이 상실되었을 때 적절하게 안전주입탱크를 격리하여 1차측으로 질소가 주입되는 현상을 막아 노심 냉각 능력을 유지하기 위한 전략이다. 교류 전원이 상실된 상황에서 적절한 이동형 설비 배치와 전원 가압 및 연동신호 제거를 수행하여 OPR1000 노형과 APR1400 노형의 특성에 따른 각각의 전략을 이용하여 안전주입탱크를 격리 또는 질소 배기를 수행한다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20161510101840)

원전 부품 및 설비에 대한 인·검증 기술정보 데이터베이스 개발

Development of Certification and Qualification Technology Information Database for Parts and Equipment in Nuclear Power Plants

허남용, 정선철, 윤현석
한국수력원자력(주)

국내 원전에서 사용되는 안전기능의 부품 및 설비는 성능검증 단계를 거쳐 납품이 되어야 하며, 이를 위해 공급자는 대상 부품 및 설비에 대하여 성능검증의 단계를 거쳐야 한다. 하지만 이러한 성능검증을 위해서는 신규 공급자 입장에서는 어떻게 시작하여야 할지, 무엇을 하여야 할지, 관련 기술정보는 어디서 얻을지 등 막연한 상황이다. 이를 해소하여 관련 기관에 도움을 주고자 한수원은 정부의 지원을 받아 원자력발전소에서 주로 인·검증이 이루어지는 부품 및 설비에 대하여 필요한 기술정보를 만들에 공급자, 공급업체, 시험기관에서 활용 가능하도록 데이터베이스를 만들었다. 내용으로는 데이터베이스에 포함될 대상설비 선정과 선정된 부품 및 설비에 대하여 KEPIC코드 관련 기술정보 개발이 포함된다. 본 논문에서는 대상설비 선정 과정, 결과와 기술정보 내용에 관하여 논하고자 한다.

먼저, 인·검증 대상의 선정 관련이다. 대상의 선정에 있어서 중요한 관점은 빈도이다. 즉, 자주 구매되어야 하는 설비에 대하여 정보를 공유하기 위함이다. 한수원의 설비관리를 위한 기준마스터 중에서 49개 설비표준클래스와 최적의 설비 성능이 유지될 수 있도록 중요도, 정비항목, 주기를 설정한 241개 예방정비템플릿, 전 원전의 동일 또는 유사자재에 공통으로 적용 가능한 374개 구매기술규격서를 수집, 분류 및 분석하고 중요도, 빈도 등을 고려하여 기계설비 24개, 기계부품 24개, 전기/계측설비 20개, 계측부품 24개 등 총 88개의 항목을 선정하였다.

이렇게 선정된 부품/설비에 대하여 부품/설비별로 기능 정의, 설계요건과 관련 코드 요약정보를 작성하고, 기본설계, 재질/제작, 검사/시험, 검증(내환경/내진/성능) 및 기타사항에 대하여 KEPIC 해당요건 적용 표 및 기술기준 요약자료를 작성하였다. KEPIC 코드와 상응한 ASME/IEEE 코드도 병기함으로 필요시 추적할 수 있도록 하였다. 초기에 88개의 항목의 선정을 기반으로 한 기술정보 개발 외 추가개발이 필요한 8개 부품/설비를 발굴하여 추가 기술정보를 개발하였다.

이렇게 완성된 96개 부품/설비의 기술정보는 원전 설비 및 부품을 제공하는 신규 공급자 및 시험기관에 유용하게 사용될 것이다. 본 정보는 웹기반 원전 인·검증정보지원시스템을 통해 시범적으로 제공되고 있으며 제작자, 공급업체, 시험기관, 대학교 등에서 131명의 회원이 가입하여 활용중이다. 본 개발된 정보는 관련 기관에 유용하게 활용되고 있으며, 향후 더욱 활용이 확대 될 것으로 기대된다.

국내외 원자력시설 변경허가 규제동향 분석

Analysis of Regulatory Trends on Permission to Change the Operation of Domestic and Overseas Nuclear Power Plants

양창근 · 신태영 · 변충섭

한국수력원자력(주) 중앙연구원

최근, 국내 원전의 운영 중 안전현안발생에 의한 계획예방정비 기간연장과 규제 의사결정을 위한 행정처리 소요기간이 증가함에 따라 원전 이용률이 지속적으로 저하되고 있다. 이에 한수원은 운영사건의 합리적이고 신속한 규제 의사결정 측면에서, 원전 재가동 프로세스 개선과 행정처리 소요 인자중 하나인 운영변경허가 제도의 개선방안에 대해 검토 중이다. 따라서 본 논문에서는 국내외에서 운영중인 운영변경허가 프로세스를 검토하고 국내 프로세스의 개선 방안을 제안하고자한다. 우리나라의 경우, 운영변경 허가 대상은 허가받은 사항을 변경하고자 할 경우로 규정함에 따라, 문맥상으로만 볼 때 운영허가 신청 서류 모두 및 그 서류상의 모든 내용이 변경허가 대상으로 해석될 수 있다. 이것은 인허가 심사를 위해 제공되는 과도하게 상세한 정보 모두를 허가받은 대상으로 간주하도록 되어있어서 상당한 변경허가(신고 포함) 발생 소지가 있다. 또한 승인대상과 신고 대상간의 구분을 안전관련 설비란 단순한 기준으로 적용함에 따라 변경허가 대상이 상당히 많이 도출되고 있을 뿐만 아니라, 허가서류에 기재되어 있지 않은 설비의 추가, 변경을 하는 경우에도 안전관련설비 구분에 따라 변경허가나 신고대상으로 간주되고 있다. 이것은 최초 허가받은 FSAR, TS 등 인허가서류에 설비에 관한 모든 사항이 기재되어 있기 때문에 설계변경에 따른 계통 내 부품, 기기의 교체, 추가시 인허가 애로사항이 발생되고 있다. 해외 선진 원전 운영 국가들의 경우, 변경사항의 분류는 안전관련 설비 여부가 아니라 안전 중요도에 따라 이루어지고 안전중요도 영향이 큰 사안의 경우, 규제기관 승인을 받도록 하고 있다. 미국의 경우처럼 변경허가 대상으로서 허가받은 사항을 운영허가 받은 서류 자체로 하지 않고, 운영기술지침서의 기술배경 및 안전성 입증에 사용된 중요한 가정 그리고 안전관련 설비의 이력 정보 등에 집중하여 FSAR를 수정하고 운영 중 관련 내용을 주기적으로 갱신하는 방식을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다. 대부분 국가가 변경 내용의 범주 분류 및 관리 체계에 대해 규제기관에 사전협의 후 그에 따른 운영변경 관리는 어느정도 사업자 자율성이 주어지고 운영되고 있으며, 국내에서 이와 같이 사업자 자율성 및 책임을 강화하기 위해서는 프랑스의 경우처럼, 변경의 식별, 설계, 유효성 확인, 구현 결정, 구현, 운영 방식 및 실행 경험 피드백 등 변경의 유지관리에 대해서 사업자가 종합 변경관리 시스템을 구축하고 규제기관의 동의를 받아 운영하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

설계기준사고 방사선원항 규제동향 분석

Regulatory Trend Analysis for DBA(Design Basis Accident) Source Terms

양창근 · 신태영 · 변충섭

한국수력원자력(주) 중앙연구원

사고 방사선원항은 사고 시에 냉각재, 핵연료 간극, 원자로 노심 등으로부터 외부로 방출되는 핵종 종류, 방출량 및 방출시간, 화학적 형태 등으로 나타나며 궁극적으로 방사능의 환경방출로 인해 주민이 방사선 위해로부터 보호될 수 있는지 평가하는 데 사용되어 왔다. 세계적으로 원전 개발 초기에는 매우 보수적 선원항을 사용하여 부지평가 및 방사선결말 평가 등에 사용해왔으나 실험, 전산코드 개발 및 발전소 벤치마킹 분석 등 중대사고 현상에 대한 지식이 축적되어 옴에 따라 1990년대부터는 좀 더 실제적인 선원항을 도입해 온 것이 일반적 동향이다. 본 논문에서는 해외에서 사고시 선원항에 대한 기술동향 및 규제입장을 분석하고 제시하여 AST 도입시 고려할 사항을 분석하였다. 미국에서는 매우 보수적인 1962년 TID-14844 선원항을 20년 이상의 연구결과를 바탕으로 1996년에 NUREG-1465 선원항(AST : Alternative Source Term)으로 개정하고 ABWR, Sys 80+ 및 AP1000 등 신형원전은 물론 가동원전에도 적용할 수 있도록 하였다. 우리나라는 기존 TID-14844 기반의 부지기준 및 설계기준사고 방사선 결말 분석(이행지침인 RG 1.4)에 사용해오고 있으며 APR-1400 DC에는 AST를 적용하였으나 같은 노형의 신고리 3,4 인허가시에는 TID-14844 선원항을 사용하는 등 AST가 규제체계내에 도입되지 못하고 있는 실정이다. 이는 AST 자체가 보수성을 유지하면서도 실제 현상을 반영한 선원항 임에도 불구하고 매우 보수적인 TID-14844 대비 상대적으로 비보수적인 것이 마치 절대적 보수성을 약화시킨다는 일부 오해에 기인한다고 생각된다. 유럽은 국가마다 다양한 접근 방식을 취해오다 1990년대 초반부터 실험 및 벤치마킹 등을 통한 실제적 선원항 연구를 바탕으로 2001년 실제적 선원항에 기반한 유럽 국가 공통의 선원항을 제안한 바 있다. 이와 같이 중대사고 현상에 대한 지식이 많지 않았던 원전 개발 초기의 매우 보수적 선원항 대신에 실험, 전산코드 개발 및 발전소 벤치마킹 분석 등 지식이 축적됨에 따라 1990년대부터는 보수적이지만 실제적인 선원항을 도입한 것이 보편적 동향이다. 그러나 APR-1400에 대한 NRC DC에는 다시 AST를 사용하여 인허가를 추진하고 있으며, 2015.6월의 사고관리계획서 법제화에 따라 중대사고시 방사선결말 평가 허용기준을 도입함으로서 실질적 노심용융을 상정한 중대사고에 대한 규제가 이루어질 것이다. 따라서 노심용융을 기반으로 결정된 매우 보수적인 TID-14844 설계기준사고 선원항을 유럽식의 실제적 선원항 또는 미국의 AST로 개선하는 것이 필요하다고 판단된다.

최종열제거원 상실사고 대처시간에 따른 OPR1000형 발전소 열수력 거동 분석

Analysis of Thermal Hydraulic behavior for OPR1000 Nuclear Power Plant under LUHS Accident

송준규
한국수력원자력(주) 중앙연구원

최종열제거원 상실사고는 설계기준초과사고이며, 원자력발전소의 최종열제거원인 바닷물을 사용하지 못하는 상황으로, 원전에서 발생하는 열을 정상적인 방법으로 제거하지 못하는 사고를 말한다. 최종열제거원 관련 계통인 1차기기냉각해수계통의 상실로 인해 1차기기냉각해수계통과 열교환하는 1차기기냉각계통의 기능상실을 가정한다. 1차기기냉각계통은 원전의 안전과 밀접하게 관련된 계통 및 기기의 열을 제거하는 계통으로 1차기기냉각계통이 상실하면 원전의 안전성에 매우 큰 영향을 준다.

최종열제거원 및 1차기기냉각계통의 상실을 가정한 상태에서 일어날 수 있는 여러 상황에서 가장 보수적인 상태를 가정하며 그럼에도 불구하고 사용가능한 기기 및 외부자원을 이용하여 원전을 안전하게 유지할 수 있는 대처전략을 기반으로 분석을 수행했다.

최종열제거원 상실사고에 대한 대처 전략의 중요한 요건 중 하나는 운전원이 신속하게 사고 발생을 인지하고 상황에 맞는 적절한 대처를 수행하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 최종열제거원 상실사고를 가정한 시나리오를 바탕으로 운전원의 대처시간에 따른 OPR1000형 원전의 주요 인자에 대한 열유체 거동을 분석하였다. 운전원 조치시간은 10분, 15분, 30분, 60분 및 120분으로 가정하였으며, 운전원 조치는 대기방출 밸브를 이용한 1차측 냉각, 충전펌프 유량 조절 및 원자로냉각재배기계통을 이용한 압력 조절 등을 가정하였다.

운전원 조치시간에 따른 결과는 사고 발생 후 노심은 정지되지만 냉각 및 감압등의 운전원 조치가 수행될 때까지 원자로용기 안쪽은 충전펌프에 의해 가압되며, 내부 압력이 원자로가압기안전밸브 개방 설정치 이상으로 가압되면 밸브가 순간적으로 개방되며 감압이 반복된다. 또한 운전원 조치가 이루어지기 전까지 원자로냉각재 온도는 약 300℃를 유지하고 운전원 조치 후 대기방출밸브 개방 등에 의해 원자로냉각재 냉각이 수행된다.

분석결과를 보면 운전원의 조치가 빠르면 빠를수록 더욱더 안전한 상태를 나타냈으며, 특히 120분의 경우에는 사고발생 후 약 94분 후에 가압기 만수위가 발생하며 가압기를 통한 압력조절이 불가능한 상황이 발생한다. 따라서 OPR1000형 원전에 최종열제거원 상실사고가 발생하면 적어도 90분 이전에 운전원 조치가 필요한 것을 확인했다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20161510101840)

최종열제거원 상실사고 대처전략 개발

Strategy Development on Loss of Ultimate Heat Sink Accident

송준규 · 김세윤 · 추봉식 · 김창현 · 홍춘식

한국수력원자력(주) 중앙연구원

최종열제거원 상실사고의 대처전략 개발은 원전의 최종열제거원인 수원이 상실되는 경우 그 영향을 완화시켜 환경으로의 방사성 물질이 누출되는 것을 최소화하고 적절한 노심 냉각을 통해 고온 대기 및 고온 정지 상태유지 또는 정지냉각계통 운전과 같은 운영절차를 적용할 수 있도록 발전소 조건을 형성하는 것을 목적으로 한다.

지침서는 1차기기냉각해수펌프 출구 저압력 또는 저유량 경보, 1차기기냉각수 열교환기 출구 고온 경보, 1차기기냉각수 열교환기 출구측의 해수 고온 경보 또는 취수구 해수면 저수위 경보 등이 발생할 경우 진입한다. 최종열제거원이 상실되었을 경우, 주요기기의 격실 문을 개방하여 주요기기의 열제거가 최종열제거원에 의해 정상적으로 이루어지지 않더라도 공기 대류에 의해 냉각되며 최종열제거원이 복구될 때까지 기기가 지속적으로 작동할 수 있도록 한다. 만약 필요시 이동형송풍기를 이용하여 강제대류를 발생시켜 원활한 냉각이 이루어지도록 한다. 1차기기냉각수계통 비안전 부하를 모두 차단하여 1차기기냉각수계통의 가용시간을 최대한 확보한다. 최종열제거원 상실로 인해 복수기의 사용이 불가능해지므로 대기방출밸브를 이용한 2차측 냉각재 방출을 통하여 계통을 냉각한다. 1차기기냉각수의 상실로 원자로냉각재 펌프의 밀봉이 손상되면 원자로냉각재가 격납건물 내부로 누출될 수 있다. 지속적인 원자로냉각재 누출에 의해 원자로 노심 노출이 발생할 수 있으므로 원자로냉각재 펌프 밀봉을 통해 발생할 수 있는 밀봉 누설 발생을 방지하기 위해 보조 충전펌프를 이용하여 원자로 내부로 냉각재를 공급해준다. 이러한 조치를 통해 일정시간동안 원전을 안정한 상태로 유지함과 동시에 1차기기냉각해수계통 및 1차기기냉각수계통의 복구를 지속적으로 시도하고 만약 실패할 시, 이동형 펌프 및 열교환기 등의 이동형 설비를 이용하여 최종열제거원을 복구하는 것이 주요한 전략이다.

개발된 전략에서는 13.8kV 원자로냉각재펌프 모선이 가압된 상태에서 원자로냉각재계통이 고온대기, 고온정지 또는 정지냉각계통 운전 조건에서 제어 되도록 하며, 적절한 운영절차서로의 진입조건이 확보될 경우 지침서를 종료하도록 구성하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20161510101840)

형상 기반 증기발생기 2차측 이물질 마모 깊이 측정에 관한 고찰

A Study on the Depth Sizing for SG Secondary Side Foreign Object Wear Based on Wear Shape

천근영 · 한경석*
한수원 중앙연구원

국내외 가동중인 원자력발전소 증기발생기의 경우 2차측 이물질과 증기발생기 전열관 간의 상호마찰에 의해 빈번한 전열관 손상이 보고되고 있다. 이에 따라 증기발생기내로 이물질 유입을 막기 위해 여러 각도로 노력하고 있으며, 유입된 이물질에 대해서는 제거를 원칙으로 원격육안검사 장비를 이용하여 가능한 한 제거하고 있다.
국내뿐만 아니라 세계적으로 증기발생기 전열관 마모를 유발하는 이물질을 검사하는 방법은 원격육안검사 외에 전열관 내면에서 와전류코일을 이용하는 비파괴검사방법이 이용되고 있다. 특히 이물질에 의한 전열관 마모는 매주기 수행하는 와전류검사를 이용하여 검출하고 있으며, 검출된 마모는 전열관 건전성 여부를 확인하기 위해 마모깊이를 정량화하여 건전성평가를 수행하고 있다.
미국 EPRI의 경우 이물질 마모깊이 정량화 정확도를 높이기 위해 각 발전소의 이물질 검출 이력, 이물질 마모 형상 등을 조사 및 분석하여 형상별 마모 시험편을 제작하여 다자간 비교시험을 통해 깊이측정 검사지침서를 제작하는 등 많은 노력을 하고 있다. 국내의 경우 다양하고 포괄적인 마모 형상을 담고 있는 ASME 표준시험편을 적용하고 있으나 이는 현장에서 발생하고 있는 이물질 마모형상과 크기를 충분히 담아내지 못하는 등 실제 마모깊이와 어느 정도 오차가 있는 것으로 보고되고 있다. 국내에서도 미국 EPRI와 같이 이물질 형상에 따른 시험편을 제작하기 위해 증기발생기 전열관 마모형상을 파악해야하는데 가장 신뢰성이 높은 육안검사 사진을 활용함이 좋으나 증기발생기 모든 부위로의 장비 접근성 제한성 등으로 충분한 육안검사 사진 확보가 어려워 대안으로 다른 방법을 찾아야 하는 실정이다.
본 연구에서는 이물질 마모 형상을 추정하기 위해 매주기 검사를 수행하여 충분한 데이터가 확보되어있는 와전류검사데이터를 활용하여 국내에서 발생한 이물질 마모형상을 분류하고 이를 기반으로 형상별 마모시험편을 제작하여 증기발생기 2차측 이물질 마모 측정 방법을 개선하고자 한다.

대체 와전류검사기술사양서 인정을 위한 동등성 비교

A Comparison of Equivalence for Recognition of Steam Generator Alternative ECT Examination Technique Specification Sheet

천근영 · 한경석*
한수원 중앙연구원

원자력발전소 증기발생기 전열관에는 다양한 열화가 검출되고 있어 증기발생기관리프로그램(SGMP) 요건에 따라 검사주기 및 검사범위를 선정하여 주기적으로 와전류검사를 수행하여 건전성을 관리해 오고 있다. 와전류검사는 검사시작 전 발생 가능한 열화기구를 검출하기 위해 사전에 필요한 검사기술을 검토하여 열화기구별 인정된 검사기술을 열화평가보고서에 지정하고 이를 준용하여 수행되고 있다. 국내의 경우 미국 EPRI에서 개발한 와전류 검사기술사양서(ECT ETSS)를 인정된 검사기술로 간주하고 국내의 검사기술인정절차에 따라 재인정하여 사용하고 있다. 이러한 검사기술사양서상에는 신호취득, 신호평가, 장비, 탐촉자 및 건전성평가를 수행하기 위한 필수입력변수인 검사기술 성능변수(열화탐지확률, 크기측정오차 등)등 다양한 정보들이 포함되어있다.

이와 같이 인정된 검사기술사양서를 기반으로 검사를 수행하는 중 열화평가보고서에서 제시한 검사기술사양서의 열화범위를 벗어난 큰 결함이 검출될 경우 검사기술사양서에서 제시한 검사기술 성능변수를 사용할 수 없어 건전성평가를 수행할 수 없다. 이를 위해 현장검사시 검출된 열화와 유사한 별도의 검사기술사양서를 찾아 기존의 인정된 검사기술사양서와 동등하다는 것을 입증한 후 본 검사기술사양서를 사용하여 건전성평가를 수행해야 한다.

본 연구에서는 위에서 기술한 상황이 발생시 유사한 다른 인정된 검사기술사양서를 도입하는 방법을 제시하고자 현장검사에서 인정된 검사기술사양서상의 열화범위를 초과한 구조물 마모 사례를 기반으로 기존 인정된 검사기술사양서상의 변수들과 상호 비교하여 상이한 변수들을 도출하였고 이들 변수들에 대해 실증실험을 수행하여 동등성을 입증하였다.

에너지 플랜트 분야에서의 유럽 인더스트리 4.0 현황 및 도입 방안

European Industry 4.0 Status and Introduction Plans
in Energy Plant Field

이원규 · 조성한 · 맹효영
한국수력원자력(주) 중앙연구원

최근 정보통신기술의 비약적인 발전으로 기계의 도입(1차), 자동화(2차), 정보화(3차)에 이어 기계와 사람, 인터넷 서비스가 상호 연결되는 기술혁신이 일어나고 있다. 특히 유럽에서는 인더스트리 4.0(Industry 4.0)이라는 개념으로 제조업과 같은 전통산업에 정보통신기술을 결합한 스마트 플랜트 구축이라는 혁신적인 변화가 진행 중이다. 본 논문에서는 유럽 인더스트리 4.0 현황을 에너지 플랜트분야 중심으로 살펴보고 우리나라 기업들의 성공적인 도입 방안을 제시하고자 한다.

인더스트리 4.0에서의 대표적인 기술로는 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능(AI)등이 있다. 유럽의 글로벌 에너지 기업들은 이러한 기술들을 플랜트 설비관리에 접목, 가상시운전, 예측진단, 인공지능 기반의 결함검사 등으로 활용함으로써 생산성을 획기적으로 높이고 있다. 가상시운전은 설비를 컴퓨터 프로그램 상에서 가상으로 구현하여 시뮬레이션을 통해 최적의 운영방안을 쉽게 도출할 수 있도록 하는 기술이다. 예측진단은 플랜트에서 발생하는 수많은 디지털 정보를 빅데이터로 구축하여 고장 발생 이전에 미소한 결함을 사전에 감지하여 조치하는 기술이다. 인공지능(AI) 기반 결함검사는 머신러닝, 딥러닝 등의 기술을 접목하여 설비의 미소한 결함을 사전에 감지하여 자동으로 결함원인을 진단하는 기술로 진단 속도와 정확도가 획기적으로 향상되는 장점이 있다.

성공적인 인더스트리 4.0 기술 도입을 위한 방안은 다음과 같다. 첫째, 기업마다 처한 상황에 맞는 현실적인 대응 전략 수립이 필요하다. 기업의 규모, 도입목적 등은 전략 수립에 필수적인 고려 사항이다. 둘째, 디지털 정보를 활용할 수 있는 기본적인 시스템 구축이 선행되어야 한다. 설비 특성정보, 진동, 열화상 등의 측정데이터 등이 하나의 디지털화 된 데이터 형식으로의 통합시키는 솔루션이 확보된 이후에나 머신러닝 등을 활용한 설비 자동 감시가 가능한 스마트 팩토리 구축이 가능할 것이다. 셋째, 정보통신기술 전문가와 현장 전문가의 협업이 원활하게 이루어져야 한다. 아무리 뛰어난 정보통신기술 전문가라도 기술을 접목하고자 하는 현장의 프로세스를 정확하게 이해하지 못한다면 힘들게 개발한 기술이 오히려 현장에 방해물이 될 수 있기 때문이다. 마지막으로 경영진의 지속적인 관심과 장기적인 비전 수립이 중요하다. 경영진은 장기적인 관점에서 작은 사업부터 단계적으로 접근하여 리스크를 줄이고 작은 성공 사례를 통하여 기업 내의 공감대를 확산시켜야 한다.

현재 세계적으로 최첨단 기술들의 융합을 통하여 인더스트리 4.0 이라는 새로운 형태의 기술혁신이 일어나고 있으며 유럽의 에너지 기업들은 이러한 기술혁신을 활용하여 생산성을 비약적으로 향상시키고 있다. 국내 기업들도 이러한 변화에 적극 대응하기 위해서는 유럽의 선진 기업들의 도입사례를 면밀히 검토하고 이를 바탕으로 장기적인 전략수립이 필요하다.

수소경제 이행을 위한 수소기술 국가 R&D 투자 현황 분석

Analysis of National R&D Investment on Hydrogen Technologies

김혜진 · 서정윤 · 이아름 · 박민희*
한국에너지기술연구원 기후기술전략센터

2018년 8월 정부는 3대 혁신성장전략투자 분야로 '수소경제'를 선정한 이후, 세계 최고 수준의 수소경제 선도국가로 도약하기 위해 '수소경제 활성화 로드맵'을 발표('19.1)하였다. 또한, 지난 3월 수소경제 이행을 뒷받침하고자 '수소 기술개발 로드맵' 수립을 착수하여 이를 적극적으로 지원하고 있다. 향후 국내 수소산업 발전 및 국가 경쟁력 강화에 기여하기 위하여 혁신적이고 세계적으로 선도할 수 있는 수소기술의 개발은 반드시 필요하며, 이를 체계적으로 지원하기 위한 중점투자분야를 도출하는 것은 중요하다.

본 연구는 수소경제 이행을 위하여 수소기술 전 주기 분야(생산, 저장·운송, 수송, 발전·산업, 안전·환경·인프라)에 있어 최근 5년간의 국가연구개발사업 투자현황을 분석하여 시사점을 도출하였다. 본 연구결과는 향후 국가 정책·전략 수립 및 기술개발 투자 방향 설정 시 근거자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

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

수소경제 활성화 지원을 위한 기술 협력 네트워크 구축 기반 연구

Study on the Establishment of Technology Cooperation Network for Supporting Hydrogen Economy Activation

이아름 · 서정윤 · 김혜진 · 박민희

한국에너지기술연구원 기후기술전략센터

정부는 2018년 8월 '혁신성장 전략투자 방향' 발표에서 '수소경제'를 3대 전략 투자 분야로 선정하였으며, 이후 수소경제 선도국가 도약을 목표로 '수소경제 활성화 로드맵'을 발표('19.1)하였다. 우리나라는 수소경제로의 이행에 있어 이동형 연료전지 등 어플리케이션 산업이 발달하였고 우수한 기술력 또한 보유하고 있으나, 수소 생산·저장·운송 등 원료 공급 측면에서는 선도국 대비 열세한 상황이다. 따라서 수소경제 조기구현 및 활성화를 위해서는 수소에너지 기술 선진국과 전략적 제휴 또는 공동연구와 같은 다양한 경로를 통해 선진 기술의 습득 및 협력이 필요하며, 이를 지원하기 위한 '기술 협력 네트워크' 구축이 필요한 시점이다.

본 연구에서는 국내외 수소에너지 분야별 기술 협력 네트워크를 구축하기 위해 다음과 같은 2가지 방안을 제안한다. 첫 번째, 기존 네트워크 인프라를 활용하되 정량적 논문·특허 분석을 이용해 우수한 글로벌 기관을 발굴하여 네트워크를 확대하고, 이를 기반으로 성과 공유회 등 다양한 행사를 통해 실효성 있는 운영을 추진한다. 두 번째, 국내외 네트워크를 활용하여 시의 적절한 공동연구를 기획할 수 있는 프로세스를 제안한다. 이는 향후 조기 수소경제 활성화 지원을 위한 기술 협력 네트워크 구축과 실효성 있는 공동연구 성과를 이끌어 낼 수 있는 기반 마련에 활용될 것으로 기대된다.

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

딥러닝 기법을 이용한 서울의 미세먼지와 초미세먼지 예측

Prediction of PM10 and PM2.5 in Seoul using Deep Learning Method

천세학* · 고갑숭 · 강성빈 · 구지인 · 김재욱

*서울과학기술대학교 빅데이터경영 연계전공, 서울과학기술대학교 빅데이터 연계전공

본 연구는 서울의 미세먼지와 초미세먼지를 딥러닝을 이용하여 예측하고자 한다. 관련변수수로서는 베이징, 산둥, 강화도, 인천, 서울의 PM2.5, PM10, So2, No2, CO, O3를 이용하여 서울의 PM2.5, PM10의 농도를 예측하고자 한다. 데이터는 2018년 1월부터 2019년 3월까지의 일별 데이터를 이용한다. 학습데이터는 2018년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지이며, 테스트데이터는 2019년 1월 1일부터 2019년 3월 31일까지이다. 딥러닝의 예측정도를 다른 머신러닝기법들과 비교를 한다. 추후 모델이 완성되면, 더 유의한 독립변수를 보완하고, 데이터 수도 보완하여 딥러닝이 미세먼지 예측에 어떻게 활용될 수 있는지 논의한다.

빅데이터 분석을 통한 중국과 한국의 미세먼지의 상관관계 분석

Correlation Analysis between China and Korea for PM10 using Big Data

천세학* · 고갑숭

*서울과학기술대학교 빅데이터 연계전공, 서울과학기술대학교 빅데이터경영 연계전공

행정안전부 국가정보자원관리원에 의하면, 우리나라의 미세먼지는 풍향, 강우량, 서해안 및 중국 산둥성 지역의 에어로졸 농도, 그리고 초미세먼지의 경우 풍속, 풍향 및 중국 내몽골, 베이징·허베이성 지역의 에어로졸 농도를 주요 예측변수로 발표한 바 있다. 특히 미세먼지가 나쁨일 경우는 풍향은 서풍이었고, 산둥성, 산시성, 베이징·허베이성 등의 중국 지역의 에어로졸 농도가 매우 높은 경우라고 밝힌 바 있다. 본 연구에서는 강화, 서울간의 데이터를 이용하여 서울의 미세먼지 농도가 미세먼지의 내부적 요인이 없는 강화도와 얼마의 시차를 두고 관계가 있는지 살펴보고자 한다. 강화도의 풍향과 풍속, 그리고 강화도의 미세먼지 농도가 서울의 미세먼지농도와 어떤 관계가 있는지 살펴봄으로써 서울의 미세먼지가 외부적요인에 얼마나 영향을 많이 받는지 분석하고자 한다.

탄소나노튜브 중공사막 전극을 이용한 미생물 전기생합성 시스템의 이산화탄소 전환 효율 향상

Carbon nanotube-based hollow fiber membrane electrode for the improvement of microbial electrosynthetic carbon dioxide conversion

한승엽 · 이미영 · 정구륜 · 양성민 · 이혁준 · 강석태*

*한국과학기술원 건설 및 환경공학과

산업에서 발생하는 이산화탄소는 지구온난화를 증가시키는 주범으로 지목되어 다양한 기술을 통해 유용한 자원으로 전환시키는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중, 미생물을 이용한 전기화학적 이산화탄소 전환 시스템은 미생물 연료전지와 결합 시 유기성 폐기물 분해뿐만 아니라 자가 발생하는 에너지로 이산화탄소를 환원전극을 통해 유용한 유기물 (ex. 메탄, 아세트산)으로 전환할 수 있다. 그러나, 전극과 이산화탄소 사이에 느린 물질 이동은 전체 전환 효율과 전환 속도를 제한하는 주요 문제로 남아 있다.

본 연구에서는 미생물 전기생합성 시스템의 물질전달 한계를 극복하고자, 중공사막 형태의 탄소나노튜브 전극을 이용하여 이산화탄소가 용해된 전해질을 전극 내부로 직접투과(Flow-through)시킴으로써 전환 효율을 향상시키고자 하였다. 이를 위해, 인가전압(0.7-1.1 V(vs. Ag/Cl))과 탄산나트륨 농도(6 mM~140 mM)에 따른 전기생합성시스템의 메탄 전환 효율을 평가하였고, 0.9 V(vs. Ag/AgCl)과 70 mM에서 최대 메탄 전환율을 나타내었다. 동일 조건에서 전도성 탄소나노튜브 막전극을 통해 전해질을 통과시킨 경우, 기존 시스템 대비 전류 밀도가 1.4배 증가하였다. 아울러, 메탄 생산 속도도 1.7배 증가하였으며, 이때, 쿨롱 효율은 96%로 나타났다 (기존 시스템 : 82%).

결론적으로, 본 연구에서 개발된 투과성 탄소나노튜브 중공사막 전극을 이용한 직접투과 시스템(Flow-through)은 기존 이산화탄소 전환 시스템의 물질전달 한계를 극복할 수 있을 것으로 기대된다.

산성가스 처리를 위한 저에너지형 흡수제 재생

Energy-Efficient Regeneration of Absorbent for Acid Gas Treatment

백일현* · 남성찬 · 박성열 · Umair H. Bhatti
한국에너지기술연구원 온실가스연구실

Post-combustion CO_2 capture by using amine-based absorbents is the most mature and promising technique to cope with continuously increasing global warming. However, despite the extensive research efforts made in this technology, its large-scale practicality is still hindered due to some major drawbacks including a highly energy intensive stripper column, solvent degradation, and facility corrosion.

In this work, we analyzed the activity of various metal oxides catalysts in amine solvent regeneration and compared the catalytic performance with non-catalytic regeneration results. The benchmark amine solvent i.e. 30 wt. % MEA was taken as a baseline in this study. CO_2 gas was absorbed in 30 wt. % MEA solution at typical absorber conditions. Then the solvent regeneration was studied without and with 5 wt. % catalysts under mild temperature conditions. The results showed that all of the studied catalysts were effective during the solvent regeneration stage and improved the CO2 desorption at low temperatures. This application of this approach can regenerate amine absorbents while consuming lower amount of thermal energy thereby reducing processing cost in acid gas treatment.

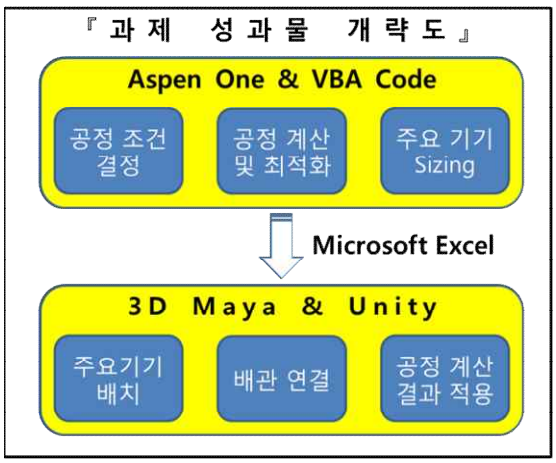
액화플랜트 설계 결과를 반영한 스마트플랜트 자동화 구현에 대한 연구

A study for automation implementation of a smart plant based on results of the liquefaction process design

차규상 · 김안나 · 김석순 · 이철구
한국가스공사 가스연구원 신성장연구소

플랜트 설계 분야에서 플랜트의 3D Modeling을 만들기 위해서는 사전에 요구되는 작업이 많다. 공정 계산 조건 결정, 공정 계산 수행 및 결과 검토 등이 끝난 다음에 3D Modeling을 시작 할 수 있다. 그리고 3D Model을 만든 다음, 조건이 변경된다면 바뀐 조건에 대한 결과는 3D Model에 반영 할 수가 없기 때문에 다시 3D Model을 제작해야하고 이 과정에서 추가로 많은 인적/물적 자원이 소모된다. 하지만, 정보통신 기술이 발전함에 따라 다양한 시도가 이루어지고 있으며, 특히 4차 혁명과 관련하여 기존에는 별개의 단계 또는 영역이었던 지식들이 융합되는 초지식의 사회로 진입하고 있다. 본 연구에서는 이와 같은 트렌드에 따라, 공정 계산 결과를 Microsoft Excel을 사용하여 자동적으로 3D Model에 적용시키는 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 공정 설계 프로그램인 Aspen One과 3D Modeling 프로그램인 Maya 및 Unity, 그리고 공정 설계와 3D Modeling을 연결시킬 Microsoft Excel을 사용하여 수행하였으며, 그 수행 개략도는 아래와 같다.



- 대상 공정
  - KSMR Process
  - 기타 Process (A & B Process)
- 생산 용량
  - 0.5 ~ 2.5 MTPA
- Case 구성
  - 대표 Case 8개 구성

본 연구를 진행하기 위해 공정 및 생산용량별 그리고 적용되는 Sub-Process(Turbo Expander, Scrub Column 등)에 따라 총 8개의 대표 Case를 선정하였으며, 변경된 계산 결과는 Excel을 통해 자동적으로 3D Model에 적용되도록 하였다.

본 연구를 통해 도출 된 결과물은 관련사업 고객 시연용으로 사용되어 보다 원활한 업무 수행이 가능하리라 판단된다.

리튬이차전지 적용을 위한 질화티타늄-그래핀 나노복합체의 합성 및 특성분석

이종하 · 손연선 · 이지호 · 김동건 · 이수진 · 김필†
전북대학교 반도체 · 화학공학부

리튬이차전지는 오염물질을 배출하지 않으며 에너지 밀도가 높기 때문에 다양한 휴대용 기기의 전원 및 친환경적인 에너지저장 장치로 각광받고 있다. 리튬이차전지의 음극활물질로 흑연 등의 탄소재료가 주로 사용되고 있으나 고율 충-방전시 리튬 이온의 이론적 저장용량이 제한된다는 단점을 지니고 있다. 본 연구에서는 박리된 그래핀에 티타늄을 담지하여 질소 및 암모니아 열처리를 통해 결정성이 높은 TiN-Graphene과 TiO_2-Graphene 나노복합체를 제조하여 리튬이차전지에 적용하였다. 제조한 나노복합체는 TEM, XRD, XPS 등의 분석을 통해 리튬이온저장용량과 구조와의 상관관계를 규명하였다.

조류-미생물 연료전지용 양이온 교환막 개발을 위한 폴리이미드계 멤브레인의 합성 및 응용 연구

Synthesis and Application of Polyimide Membrane for Development of Proton Exchange Membrane in Algae-Microbial fuel cells

김상규 · 김상희 · 유동진*

전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지 저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, *전북대학교 자연과학대학 생명과학과

연료전지의 한 종류인 미생물 연료전지 (MIcrobial Fuel cell, MFC)는 유기물의 화학에너지를 생물학적 산화-환원 반응을 통해 전기에너지로 직접 변환하는 장치이다. 미생물 연료전지는 특히 오·폐수의 정화에 적용하여 유기 오염물을 처리할 수 있다. 이러한 과정에서 에너지를 생산하여 정수과정을 통해 사용되는 전력을 줄이고, 전류를 발생할 수 있다는 장점을 갖는다. 전해질막은 미생물 연료전지의 주요 구성물질 중 하나로, anode와 cathode를 분리함과 동시에 수소이온을 이동시키는 중요한 역할을 하고 있으며, 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 현재 대표적으로 사용되는 양이온 교환 상용막인 Nafion은 물리·화학적 특성이 매우 우수하지만 연료전지의 작동에 따라 생성되는 이온들에 의해 수소이온의 이동이 방해되고 높은 가격이 단점으로 지적되어 왔다. 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 물리적으로 안정하면서도 비교적 낮은 가격을 형성하고 있는 polyimide계 양이온 교환막을 개발하여 미생물 연료전지에 적용하고자 한다.

본 연구에서는 우수한 물리·화학적 안정성과 높은 내열성을 갖는 폴리이미드계 고분자를 주사슬로 하는 랜덤 공중합체 양이온 교환막을 합성하였다. 또한 단량체의 몰비를 조절하여 다양한 비율의 랜덤 공중합체를 합성하여 그 특성을 분석하였다. 우선, 4,4'-oxyphthalic anhydride와 4,4'-oxydianiline, 4,4'-diamino-2,2'-stilbenedisulfonic acid를 이용하여 랜덤 공중합체를 합성하였고 화학적 고리화 반응을 통해 폴리이미드를 합성하였다. 합성한 폴리이미드는 용액 캐스팅법을 통해 막으로 제작하였고, proton nuclear magnetic resonance(^{1}H-NMR), fourier transform infrared spectroscopy(FT-IR)을 통해 구조분석을 진행하였다. 열적 안정성을 확인하기 위해 thermogravimetric analysis(TGA)를 측정하였으며, 합성한 막을 이용해 ion conductivity를 측정 하였다. 또한 scanning electron microscopy(SEM)이미지를 통해 막의 형태를 확인하고 미생물 연료전지 작동 동안의 power generation을 측정하였다.

알칼리 연료전지용 폴리(아릴렌 에테르 설폰)고분자의 합성과 bromination 조절을 통한 막의 특성 분석

Synthesis of Poly(Arylene Ether Sulfone) Polymer and Characterization of Membrane with Controlling Degree of Bromination for Alkaline Fuel Cell

김준하 · 김상희 · 유동진*

전북대학교 대학원, 공과대학교 에너지 저장·변환공학과, 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, *전북대학교 자연과학대학 생명과학과

고분자 전해질 막은 작용기의 치환 정도에 따라 전기·화학적 성능, 물리·화학적 안정성, 기계적 특성이 달라진다. 따라서 본 연구에서는 bromination 정도를 조절하여 다양한 막을 합성하고, 그 특성을 연구하였다. 우선 3,3',5,5'-tetramethylbiphenyl-4,4'-diol과 bis(4-chlorophenyl)sulfone을 이용하여 친수성 프리커서를 합성하였고, 소수성 올리고머는 bispenol A 와 decafluorobiphenyl을 사용하여 합성하였다. 친수성 프리커서와 소수성 올리고머를 이용하여 블록공중합체를 합성하였고, bromination 반응을 위해 N-bromosuccinimide(NBS)와 라디칼 개시제로 benzoyl peroxide(BPO)를 이용하였다. Bromination의 정도를 조절하기 위해 다른 조건들은 통일하고 NBS의 양을 조절하여 다양한 막을 합성하였다. 이후, Bromination이 진행된 각각의 고분자와 1,4-Diazabicyclo[2.2.2]octane(DABCO)을 반응시켜 quaternization을 진행하였다. 각 단계의 고분자는 gel permeation chromatography(GPC)를 통해 분자량을 확인하였고, proton nuclear magnetic resonance(^{1}H-NMR), fourier transform infrared spectroscopy(FT-IR)을 통해 구조분석을 진행하였다. 열적 안정성을 확인하기 위해 thermogravimetric analysis(TGA)를 측정하였으며, 합성된 고분자 막을 이용하여 물 흡수도(water uptake), 이온교환능력(IEC, ion exchange capacity)을 측정하였고, ion conductivity를 통해 성능을 평가하였다.

Studies of electrochemical property of PBI based high temperature PEMFC using MeOH reformer in the various temperature

Sung Kwan Ryu · Kim Sang Hee· Dong Jin Yoo*
Department of energy storage/conversion engineering Hydrogen and fuel cell research center Chonbuk National University, *Department of life sciences Chonbuk National University

High-temperature (100-200 ℃) proton exchange membranefuel cells (PEMFCs) have been considered the next generation of fuel cell because of their advantages over those operated at lower temperatures (usually below 80 ℃). These advantages include: (1) faster electrochemical kinetics, (2) improved and simplified water management, (3) effective thermal management and (4) improved contamination tolerance. In particular, PFSA membrane occurs rapidly thermal and structural degradation above 100 ℃ resulting in a significant reduction in the durability of the fuel cell.

In recent years, Many researchers are working to solve these problems, Especially, polybenzimidazole(PBI) membrane has been attracting the attention of many researchers because of its thermal and structural stability at high temperatures. However, the low conductivity of the PBI membrane is not suitable for use in fuel cells, so researchers investigate to improve the conductivity. High temperature PEMFC has been extensively studied for materials such as catalysts and membranes. However, more research is needed on other components such as stack, reformer, BOP of fuel cells.

In this study, We developed the test station equipped with a MEOH steam reformer for single cell performance and electrochemical analysis. we prepared single cell using a commercial phosphoric acid doped PBI membrane. And we used hydrogen and reformed hydrogen as feed gases to observe performance and characteristics. Furthermore the effect of stoichiometry on the single cell electrochemical properties were investigated by electrochemical impedance spectroscopy(EIS) measurements. To observed the single cell durability, we performed 500 h life test.

원전 부품 및 설비에 대한 인·검증 온라인 시스템 템플릿 개발

Development of Certification and Qualification Technology Information On-Line System template for Nuclear Parts and Equipment

윤현석, 허남용

한국수력원자력(주)

국내 에너지 정책의 전환으로 신규 원전사업, 원전 수명 연장이 어려워져 원전 발주 물량이 급격히 감소하면서, 기 운영중인 발전소의 부품이나 설비의 인·검증에 대한 검증 데이터베이스에 대한 관심이 확대되고 있다. 또한, 향후 해외 원전 신규 진출 사업을 위해 원전 기술정보에 대한 데이터베이스화는 꼭 필요하다는 인식이 있다. 이에 국책사업의 일환으로 온라인 시스템 템플릿 개발을 통해 인·검증 데이터베이스를 완성하고, 이를 원전 공급업계에 공유를 목적으로 관련 개발을 추진하였다.

원자력발전소의 부품 및 설비의 인증(Certification)은 규정된 요건에 따라 인원, 공정, 절차 또는 품목의 자격을 서면으로 결정하고 확인하며 증명하는 제도이다. 또한 성능검증(Qualification)은 안전에 중요한 계통설비, 구조물, 기기가 발전소 설계기준사고(Design Basis Accident) 환경에서 설계수명기간 동안 중대한 고장 없이 요구되는 안전성기능을 충분히 발휘함을 입증하는 것이다.

이 인·검증 내용 및 기술정보를 데이터베이스화하기 위해 템플릿 개발에 다음사항을 고려하였다. 첫째, 사용자와 관리자의 접근 용이성을 우선하였다. 먼저 인·검증 제도의 이해를 돕기 위한 내용 및 절차를 요약하여 담았다. 당사에 물품을 공급하기 위한 선행적으로 이해하여야 하는 내용으로 공급업체에서는 꼭 필요할 것으로 사료되었다. 또한 원자력품질보증 및 당사 유자격업체와 성능검증기관을 참조하도록 기관별 정보를 수록하였다. 둘째, 온라인 환경에서 사용자에게 인·검증 정보관리를 위한 GUI를 제공하여 필요정보의 조회/수정/삭제 등의 작업수행을 할 수 있게 하였고, 실제 자료들을 조회/저장/수정/삭제 작업을 수행하는 RDBMS를 구동, 시스템의 규모와 목적에 따라서 동일한 H/W에서 동작하도록 구성하였다. 그리고 검증 가능한 검증기관 정보와 연계 관리함으로써 원전 부품·설비의 적절한 관리 및 시스템 운영 목적에 부합되도록 데이터를 정의하고 이들의 체계적인 연관성을 갖도록 설계하였다. 셋째, 부품 및 설비의 기술기준의 참조는 원자력 전기 및 계측제어(전력산업기술기준 : KEPIC-EN), 원전구조물(전력산업기술기준: KEPIC-SN), 공조기기(전력산업기술지준 : KEPIC-MH)을 기준하였으며, 원전의 안전등급 기계기기 성능검증 분야는 능동펌프 성능검증, 능동밸브 조립품, 동적 구속물 성능검증으로 분류하고 전력산업기술기준(KEPIC-MF)요건에 따른 성능시험을 수행하도록 작성하였다. .

본 온라인시스템 템플릿을 통해 당사에서 중요성과 빈도가 있는 부품, 기기 96종에 대한 KEPIC기술 정보를 담았다. 부가적으로 타 기관에서 개발된 인·검증 교육 내용도 포함하도록 구성하여 향후 콘텐츠가 업그레이드되면 더욱 활용이 증가될 것으로 기대한다.

안전등급 인버터 및 충전기 내 커패시터의 고장률 분포와 신뢰도 수준 적용검토

A Study on Failure Rate Distribution and Reliability Level Application of Capacitor in Class 1E Inverters and Chagers

양창석 · 홍영희 · 허희무

한국수력원자력 중앙연구원 계전연구소

안전등급 인버터 및 충전기는 무정전 전력공급(Uninterrupted Power Supply)시스템의 일부로 발전소 필수부하에 신뢰성있는 전력을 공급하는 기능을 수행한다. 또한 인버터 및 충전기 내 커패시터는 교류파형 개선, Surge전류 저감, 리플(Ripple)전류 저감 등의 기능을 수행한다. 이 중 커패시터는 인버터 및 충전기보다 짧은 수명을 가지고 있어 IEEE 650-1990(Qualification of Class 1E Static Battery Chargers and Inverters)에 따라 부품을 목표수명까지 노화시켜 검증수명을 평가하여야 한다.

커패시터의 검증수명을 평가하기 위해서는 활성화 에너지 값을 구하여 운전온도 조건하에 목표수명까지 동작하는 지 여부를 확인하여야 한다. 활성화 에너지를 산출하기 위해서는 제작사 수명시험 데이터를 활용하여 IEEE 101-1987(The Statistical Analysis of Thermal Life Test Data)에 따라 회귀분석을 수행하여 열-수명 특성곡선을 도시하여 얻을 수 있다. 이렇게 얻어진 활성화 에너지 값에 운전온도 조건과 목표수명을 설정하고, 가속 열 노화 시험을 통하여 목표수명을 검증한다. 일반적인 전자제품의 수명분포는 와이블 분포를 따르나, 초기 고장률(Initial Failure Rate)은 공장 품질검사 및 발전소 인수검사를 통하여 제품 출하 전에 배제되고, 후기 고장률(Wear-out Failure Rate)은 제품의 교체주기를 설정함으로서 배제할 수 있다. 그러므로 커패시터의 고장률은 지수분포(Exponential Distribution)를 따른다는 가정하에 진행하였다. 제품의 고장률이 지수분포를 이루는 경우 MIL-STD-217(Reliability Prediction of Electronic Equipment)을 통하여 신뢰성 시험을 수행하며, 이에 따르는 표본선정 기준은 MIL-STD-690(Failure Rate Sampling Plans and Procedures)의 계수형 샘플링 검사를 적용한다. 계수형 신뢰성 샘플링 검사방법 중 총 시험시간(T) 내 고장개수(c)가 없을 경우(c=0)와 신뢰도 수준 95% 합격시키는 검사방식을 적용하였다. 상업용 전자부품의 신뢰도 수준은 60%, 90%를 적용하고 있으나, 안전등급 인버터 및 충전기 내 커패시터는 보다 높은 신뢰도 수준을 적용하였다.

국내에서는 처음으로 원자력 발전소에 사용하는 개별 커패시터의 활성화 에너지 값을 확보하였다. 또한 커패시터 고장률을 지수분포로 가정하고, 고 신뢰도 수준인 95%를 적용하여 신뢰성 시험을 수행함으로서 합리적인 커패시터 교체주기를 산출하였다. 이를 통하여 국내 원전 내 커패시터의 구매 및 정비비용 절감이 기대되고, 안전등급 인버터 및 충전기의 신뢰도와 설비 안정성 강화의 토대를 마련하였다. 향후 원전 내 사용되는 안전등급 기기 내 다양한 전자부품 검증수명 평가 엔지니어링 업무에 중요한 참고자료가 될 것으로 사료된다.

설계마진 평가를 통한 전원공급기 신뢰성에 대한 고찰

A Study on Power Supply Reliability through Derating

최재훈 · 허희무 · 조은일
한국수력원자력 중앙연구원

전원공급기(Power Supply)는 원자력발전소에 사용하는 수많은 전기·전자기기 계통설비의 구동에 필요한 전력을 공급해 주는 장치이며 입력 전력으로부터 필요한 출력 전력을 생성하는 전력 회로로써 인간의 신체와 비교하면 심장과 같은 기능을 한다. 원자력발전소의 안전성관련 기기에 사용되는 전원공급기는 내환경, 내진, 전자파적합성 등 수많은 시험 및 검증을 통해 성능이 입증된 기기라고 할 수 있다. 성능이 입증된 제품이라 하더라도 사용기간 중 우발고장이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 설계마진 평가를 통해 전원공급기를 구성하고 있는 신뢰성(또는 고장률) 예측과 설계마진 부족으로 발생할 수 있는 잠재적 고장발생 요인에 대해 살펴보고자 한다.

신뢰성 예측은 부품 또는 규정된 운영 및 사용조건에서 제품을 구성하고 있는 각 부품의 고장률을 고려하여 시스템의 MTBF(Mean Time Between Failure, 평균고장간격), 고장률, 가용도와 같은 신뢰성 척도들을 예측하는 것이다. 이런 예측방법에 활용되는 대표적인 규격은 MIL-HDBK-217F Part Stress and Parts count, Telcordia SR-332, IEEE Standard 1413, IEC TR 623850 등이 있으며, 통신업계에서는 Telcordia SR-332 규격을 통한 신뢰성 예측데이터를 활용하여 시스템 유지보수에 사용하고 있다.

설계마진 평가(Derating)는 제품이 정상적으로 동작할 때, 제품을 구성하고 있는 각 회로 부품이 받는 전압, 전류, 소비전력과 같은 전기적 요소와 정상상태의 표면온도 및 반도체 소자의 내부온도를 측정하여 부품의 규격과 비교하여 각 회로 부품에 걸리는 스트레스가 부품의 관리 규격 이내로 설계되었는지 검토하는 것이다. 이러한 설계마진에 활용되는 규격은 MIL-HDBK-1547, MIL-STD-975M, MIL-STD-217F, IPC-9582 등이 있으며, 미국의 경우 설계의 품질을 높이기 위해 설계마진 평가를 많이 적용하고 있다. 이러한 설계마진 평가는 전원공급기 정상동작 중 예상하지 못한 과부하(overstress)에 따른 우발고장을 예방할 수 있는 하나의 방법으로 활용할 수 있다. 설계마진 평가는 설계가 승인된 이후에는 설계변경을 할 수 있는 유연성이 없으므로, 구상 및 계획 단계에서 정의되어야 하며, 설계나 개발 단계에서 실행되어야 한다. 또한 각 부품의 디레이팅 인자와 사용조건 등을 고려하여 관리기준이 수립되어야 한다.

원자력분야와 같이 고 신뢰성 전원공급기를 설계하려면 예상되는 모든 스트레스에 견딜 수 있도록 각 부품의 고장률에 근거한 부품 선정과 적용이 필요하며, 이를 위해서는 적합한 설계마진 평가(Derating) 지침 설정과 적용이 필요하다고 판단된다.

DC 그리드 환경에서 다중 재생에너지시스템의 실시간 제어관리

Realtime control and management system of Various renewable energies in DC grid condition.

김종만 · 김원섭 · 신동용* · 홍석훈**
전남도립대학교 신재생에너지전기과, *제주한라대학교, **(주)티이에프

Abstract : A Nano-Grid technology of DC realtime transmission has been suggested at the main HVDC / LVDC. We researched the technology of DC power system environment through the field of power switching and distribution, among DC transmission and distribution technologies.

The DC power distributor proposed as the switching and distribution system in the existing AC power environment according to the DC environment.

And we also propose an intelligent power transmission system that meets the characteristics of non-standardized DC voltage specifications. By implementing the embedded controller and designing the DC switching and distribution middleware, communication with the cloud server is realized and the technology close to DC Nano-grid type EMS system is presented. Based on the technology presented in this paper, we analyze the performance of the designed device, and propose the scalability and performance complementary points to conclude the paper.

Key Words : the main HVDC / LVDC , DC switching and distribution middleware, ,the scalability and performance complementary

후 기 :

본 연구는 2019년도 커뮤니티비즈니스 활성화사업의 재원으로 산업통상자원부의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

원자력발전의 물발자국 평가 시 주의점

A Guideline on Assessing Water Footprint of Korean Nuclear Power Generation

정환삼* · **김승수*** · **정 익*** · **이준재****

*한국원자력연구원 에너지환경연구실, **한국환경산업기술원 환경인증팀

지정학적으로 고립된 우리나라에서 여러 필수재들이 수입에 의존하고 있다. 수자원도 그 중 하나로 생존재로 여기고 안보 수준에서 다루어져야 한다. World Resources Institute(2013과 2015) 평가에 따르면 우리나라 수자원 환경은 높은 수준의 스트레스 상태에 있는 것으로 평가되고 있다. 이러한 환경은 68% 정도 하계에 집중되는 강우 계절편차, 국토의 65% 차지하는 산악지형으로 인해 대부분의 강수 해양으로 유실, 지하수 개발 증대에 따른 재생가능 수자원량이 세계 146위[2] 수준 등에서 기인하고 있다. 이러한 상황에서 환경부에서는 2017년부터 재화와 용역의 수자원 부담을 물발자국 인증제로 도입하였다. 소비자들의 경제활동이 수자원 고갈에 얼마나 영향을 미치는지 알게 하겠다는 취지이다.

전력부문의 수자원 사용량은 우리나라의 경우 적합한 통계를 찾기 어렵지만, 미국의 경우 United States Geological Survey(2005)는 전력분야가 전체 취수량(withdrawals)의 39%와 소비량(consumption)의 3.3%를 차지하는 것으로 추정하고 있다. 이 연구는 전력부문 물발자국 평가의 중요성에 비추어 우리나라 원자력발전의 수자원 부담성 평가에 있어 주의할 점을 제시한다. 이는 원자력발전에 대한 호·불호 입장에 따라 원자력발전의 수자원 소모량을 여타 신재생발전원에 비해 현저하게 적게 혹은 월등히 많게 주장하고 있기 때문이다.

References

1.1.1. 경향신문, '100만원어치 전기 생산에 물 76억ℓ사용 … 원전이 가장 많이 쓴다', 2018.2.26. [18면]

1.1.2. 경향신문, '바로잡습니다', 2018.2.27. [02면]

1.1.3. 국토교통부, 제4차 수자원장기종합계획 제3차 수정계획(2016-2020)

1.1.4. 김하나, 에너지-물 상호의존성: 한국의 에너지원별 물 이용 집약도의 시사점, 환경정책, 2017.12.

1.1.5. USGS(2005), Estimated Use of Water in the United States in 2005, pp22. [3]

1.1.6. USGS(2014), Withdrawal and Consumption of Water by Thermoelectric Power Plants in the United States, 2010, Scientific Investigations Report 2014-5184,

1.1.7. https://www.wri.org/resources/charts-graphs/water-stress-country (2019.3.)

1.1.8. https://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world-s-most-water-stressed-countries-2040 (2019.3.)

2) 제4차 수자원장기종합계획, pp5

3) 2012-MIT~

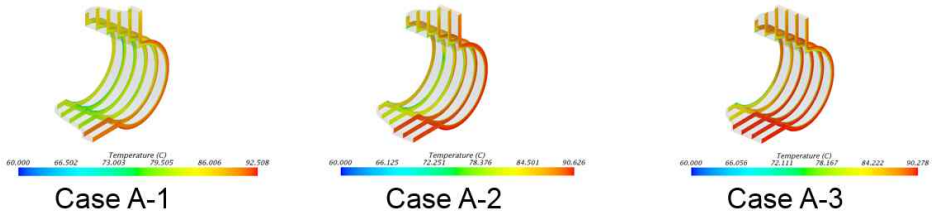
균일 유동 형성을 위한 순환 쟈켓의 최적 설계에 관한 수치해석적 연구

A Numerical Study on the Optimal Design of Jacket for Uniform Flow Distribution

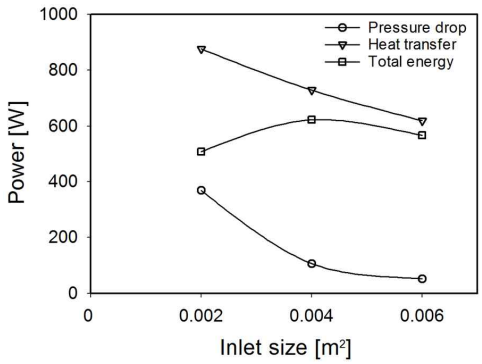
오상현 · 김성일 · 박기호 · 전원표 · 유병혁*

한국에너지기술연구원 에너지효율연구본부, *충남대학교 기계공학과

고점도물질은 물질의 점착성 및 점도 등에 의해 건조에 어려움이 있다. 이를 해결하고자 하이브리드 열풍건조장치를 개발하였다. 본 하이브리드 열풍건조장치는 고점도 물질을 박막 필름형태로 공급후 드럼 및 쟈켓을 통한 열전달을 이용하여 고점도 물질을 건조하는 방식이다. 그러므로 쟈켓에서 공급되는 열풍의 폭방향 균일 유동 형성이 건조품질에 중요한 영향을 미친다. 폭방향 균일 유동 형성을 위해서는 유로의 형상 변화에 관한 연구등을 통해 접근이 가능하다. 하지만 균일 유동 형성은 시스템 전체의 차압을 상승시켜 시스템 운용에 필요한 파워를 증가시킬 수 있으므로, 열전달량과 압력강하의 균형있는 설계가 중요하다. 본 연구에서는 쟈켓의 두께는 20mm로 고정하고, 폭을 100, 200, 300mm로 변화하며 수치해석을 수행하였다. 상용소프트웨어(STAR-CCM+, V.12.06)를 이용하여 계산을 수행하였고, 입구 온도와 쟈켓 내면의 표면 온도는 각각 90℃, 60℃로 하였다. 자켓의 입구형상 및 폭의 넓이 등으로 인해 발생하는 압력강하와 체적유량을 이용하여 유동 투입에 필요한 에너지를 구하였다. 이를 통해 열전달량과 차압을 고려한 총 에너지 관점에서의 최적화를 수행하였다. 해석 결과 폭 200mm (입구 면적 0.004m^2)에서 총 에너지 기준 최적점을 도출하였다.



Case A-1 Case A-2 Case A-3



본 연구는 산업통상자원부와 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No. 201820101066550)

마이크로웨이브를 이용한 유전 가열판의 승온 특성 분석

An Analysis of Increasing Temperature Characteristics of Dielectrics Heating Plate using Microwave

전원표 · 박기호 · 김성일 · 오상현 · 유병혁 · 이현구*

한국에너지기술연구원 에너지효율소재연구본부, *(주)세지테크

본 연구에서는 마이크로웨이브 가열 시스템(Microwave heating system)의 승온 특성을 파악하고 유전 가열판의 온도상승에 미치는 영향 인자을 분석하여 설계 자료로 활용하고자 3kW 마이크로웨이브 기초 실험장치를 이용하여 승온 특성 실험을 수행하였다. 기초 실험장치의 내부 캐비티(Cavity) 크기는 250X250X250mm의 정육면체로 구성하였다. 캐비티 바닥에는 내화벽돌을 설치하였으며, 상부와 측면에는 단열재(세라크울)로 마감 처리하였다. 유전 가열판의 표면 온도를 다양하게 측정하기 위해 내화벽돌 위에 9곳의 열전대(k-type)를 설치하였으며, 열전대는 가변적으로 위치를 조절할 수 있도록 설치하였다. 또한 캐비티 상부 도파관(Waveguide)이 통과하는 측면에 교반기(Stirrer)를 설치하여 마이크로파가 균일하게 조사되도록 하였다. 실험 시료는 세라믹 유전 가열판을 사용하였으며, 실험시료의 크기는 100X100X8tmm, 100X100X10tmm, 50X200X10tmm, 25X100X10tmm, 12X200X10tmm 등 다양한 형태로 분리하여 실험을 수행하였다. 실험은 기초 실험장치의 마그네트론 출력을 2,950W, 최대온도 1,200℃로 설정하여 10~12분 동안 가동하고 가동을 멈춘 후, 케비티내 실험 시료의 온도 분포를 적외선 측정기와 카메라로 측정하여 비교하였다.

가열판의 크기와 두께 및 위치에 따른 다양한 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었으며, 향후 25~75kW 마이크로웨이브 가열 시스템 설계에 활용할 계획이다.

(1) 다양한 실험시료의 크기에 따라 동일면적을 기준으로 폭 12X200X10tmm(4장), 폭 25X200X10tmm(2장), 폭 50X200X10tmm(1장) 기준으로 실험한 결과, 초기 1,000℃까지 상승하는데, 7분 49초에서 9분 34초로 측정되었다. 가열판의 평균온도는 875~944℃로 나타났으며, 가열판의 폭이 적을수록 승온속도가 향상되는 것을 확인하였다.

(2) 가열판의 두께에 대한 승온 특성을 파악하고자 100X100X8tmm(2장), 100X100X10tmm(2장)의 가열판을 대상으로 실험한 결과, 두께 8tmm 가열판의 경우 10분 동안의 평균 승온속도는 98℃/분으로 나타났으며, 10tmm 가열판의 경우 경우 66℃/분으로 나타났다. 따라서 가열판의 두께가 승온속도에 미치는 영향이 크며, 가열판의 두께를 결정할 때에는 승온속도를 높이는 중요한 인자로서 재료의 침투깊이를 고려하여 설계하는 것이 필요하다.

(3) 교반기의 가동 유·무에 따른 승온특성을 파악하기 위해 교반기 가동과 가동하지 않는 경우로 나누어 실험한 결과 교반기를 가동한 경우 약 7%의 승온속도가 향상되었으며, 온도 균일도도 양호한 결과를 얻었다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제 입니다. (No. 20172010105940)

건물용 연료전지의 유럽 인증환경 분석 및 실증환경 조성에 관한 연구

A Study on the Analysis of the European Certification System and Demonstration Research of the Fuel Cell for Buildings

방효중, 한수진, 김민우†, 이정운
한국가스안전공사 가스안전연구원

전 세계적으로 연료전지의 개발 및 상용·보급화가 이루어지면서, 연료전지 시장이 확대됨에 따라, 제품 수출을 위한 요구조건 이슈도 함께 발생하고 있다. 제품 수출을 위해서는 수출을 하고자하는 국가의 제품 인증기준을 만족해야 하며, 나아가 해당제품이 그 국가에서 정상적으로 잘 작동하는지에 대한 검토가 사전에 반드시 필요하다. 특히, 연료전지의 연료가스 내에 포함되어 있는 황, 질소 성분 등은 개질공정에서 피독 현상을 유발함에 따라 연료전지 시스템의 성능을 급격하게 저하시킬 수 있다. 각 국가마다 연료가스의 조성, 전력계통, 공급수 품질이 서로 상이하기 때문에 수출국가에 대한 정보를 사전에 수집하여 이에 대한 실증운전 대비가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 유럽국가의 제품인증 및 시험가스 기준 등을 분석하였으며, 나아가 유럽국가에서 실제 사용하고 있는 연료가스 조성 현황을 추가적으로 검토하였다. 이를 통해 향후 연료전지 수출을 위한 기초자료 및 실증운전을 통한 안전성능 데이터 확보에 활용하고자 한다.

본 연구는 산업통상자원부 및 에너지기술평가원의 에너지안전기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.[20183010032400]

천연가스 인수기지의 밀폐형 플레어 설계 및 설치 기준에 관한 연구

A Study on the Standard of Enclosed flame Flares in Natural Gas Receiving Terminal

이효렬 · 최슬기 · 최영주 · 김영규 · 유철희
한국가스안전공사 가스안전연구원

천연가스 인수기지의 설비 보호를 위한 BOG소각, 시운전 및 설비의 계획 보수를 위한 플레어는 KGS Code FP451 가스도매사업 제조소 및 공급소의 시설·기준·검사·정밀안전진단·안전성평가 기준의 2.8.8에 의하여 설치하도록 되어있다. 기준에 따르면 엘리베이티드 플레어의 설치만 허용하고 있어 플레어링 시 불꽃과 그을음이 외부로 노출되어 인근 지역 주민들의 불안감을 유발 및 민원이 심화되고 있는 상황으로 거주민과의 상생, 민원 해소를 위해 플레어 설계, 설치에 대한 기준 개정이 필요하다.

국외의 경우 미국석유협회(American Petroleum Institute : API) 기준인 API Standard 537 'Flare Details for Petroleum, Petrochemical, and Natural Gas Industries'에 따르면 엘리베이티드 플레어, 밀폐형 플레어, 수평형 플레어, 개방형 그라운드 플레어 등 다양한 형태의 플레어 중 사용 환경 및 목적을 고려하여 설치, 운영된다. 특히 밀폐형 플레어는 연소챔버 내에서 BOG를 소각하기 때문에 화염이 외부로 노출되지 않으며, 챔버의 차폐효과로 인한 소음 감소 등의 장점이 있어 엘리베이티드 플레어 대비 비용이 고가임에도 불구하고 수요가 증가하고 있는 상황이다. 본 연구에서는 천연가스 인수기지에 밀폐형 플레어 시스템 도입을 위해 설계, 설치, 운영 측면에서 필요한 요소를 국외 기준 조사를 통해 우선적으로 파악하였다. 시뮬레이션, 위험성평가 등을 통해 기준의 타당성과 합리성을 확보하고, 국내 고압가스안전관리법과 비교 검토하여 현장 여건에 부합화된 개정(안)을 도출할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 한국가스공사와 한국가스안전공사의 협력연구과제인 『그라운드 플레어 시스템 적용을 위한 기술기준 개발』 과제의 연구비로 수행하였습니다. 이에 감사드립니다.

부탄캔 장착 야외용 온수보일러 안전성 평가 연구

A Study of Safety Evaluation of Outdoor Hot Water Boiler with Butane Canister

최영주 · 최슬기 · 유철희
한국가스안전공사 가스안전연구원

최근 국내에서는 야외용 캠핑 문화 확산에 따라 캠핑 관련 신제품들이 우후죽순 개발되고 있으며, 특히 휴대 및 사용이 편리한 부탄캔을 이용한 신제품 개발이 늘어나고 있음에 따라 이에 대한 제조 및 검사 기준 개발 요구가 늘어나고 있다.

부탄캔을 이용한 캠핑제품 중 온라인을 중심으로 부탄가스 접합용기가 장착된 야외용 온수보일러 제품이 확산되고 있으며, 연소기로 물을 가열하여 얻은 온수를 매트 내부로 순환시켜 야외에서 난방을 목적으로 사용하는 새로운 형태의 제품이 유통되고 있다.

부탄캔 장착 야외용 온수보일러 제품은 온수를 이용하여 임의의 난방을 할 수 있는 기기를 이동식부탄연소기에 연결하고 있어 액화석유가스안전관리 및 사업법 시행규칙 별표 7 제4호 차목 연소기 종류에서 현행 기준으로 분류할 수 없는 이동식부탄연소기 온수보일러로 판단되어 지며, 관련 제품들은 검사기준이 없어 불법용품으로 시장에 유통되고 있다.

현재 유통되고 있는 부탄캔 장착 야외용 온수보일러 제품은 텐트, 차량 내부 등 밀폐된 공간에서의 사용으로 사망사고 등 인명사고가 발생함에 따라 야외용 온수보일러의 사용 실태 및 사고사례를 중심으로 사고 유발 제품을 조사 및 수집하여 관련 제품들의 겨울철 실사용 환경을 반영한 실증실험 및 텐트 내부와 같은 밀폐된 장소에서 사용 시 일산화탄소 및 산소 농도를 분석하여 위험성 검토 및 안전성 평가를 실시하였다.

부탄캔 장착 야외용 온수보일러의 안전성 평가 결과 텐트 내부와 같은 밀폐된 장소에서 사용 시 사망사고와 같은 인명사고 유발 가능성이 있으며, 또한 액화석유가스안전관리 및 사업법 시행규칙 별표 7 제5호 그 밖의 사항에서 “산업통상자원부장관이 안전관리에 지장이 없다고 인정하는 연소기”라는 단서조항에 관련 제품을 사용하면서 인명사고가 다수 발생하며 안전관리에 지장이 없다고 인정하기도 어렵다.

부탄캔 장착 야외용 온수보일러의 경우 사고 위험성이 크며 사고발생 시 인명피해가 발생함에 따라 공공의 안전을 감안하였을 때 해당 제품들의 안전기준 제정 검토는 어려울 것으로 판단되며, 실증실험 결과를 토대로 야외용 온수보일러 제품의 인명사고 예방을 위한 안전사고 홍보에 대한 자료로 활용할 예정이다.

이동형 소형 LNG 플랜트 및 훈련 컨텐츠 개발

Development of Mobile Type Small Onshore LNG Plant and Training Contents

유철희 · 최슬기

한국가스안전공사 가스안전연구원

이동식 컨테이너타입의 LNG 플랜트는 Stick-built 형태의 고정식 LNG 플랜트와는 달리 쉽게 이동이 가능한 형태로 일산 15톤 이하의 소형 규모의 LNG생산에 적합하여 소형 가스전 개발 및 소형 발전설비 등에 사용 가능하다. 중대형 LNG플랜트에 사용되는 C3MR이나 Optimized Cascade 공정의 경우 공정 효율이 높아 대용량 LNG플랜트에 적합하나 공정의 복잡도가 높고 공정에 필요한 장치의 수가 많아 소형 LNG플랜트에는 적합하지 않다. 이에 소형 LNG 플랜트에 적합한 액화 기술인 SMR 공정을 기반으로 이동형 컨테이너 타입의 일산 15톤급 이동형 LNG 플랜트 엔지니어링 패키지 및 실증 플랜트 개발하고자 한다.

이동식 컨테이너 타입의 이동형 LNG플랜트는 해외 선진사를 중심으로 2013년 전 후부터 활발히 개발 중인 최신 기술이며, 대표적인 개발사로는 남미의 Galileo社가 있으며, 이 외에도 Dresser Rand社 그리고 GE社에서 개발을 완료하였거나 개발 중이다. 선진사의 기술을 Self-Refrigerant 공정을 이용하여 개발 중에 있는 것으로 파악되며, 선진사에서 사용 중인 기술은 Feed gas에 질소성분이 높은 경우 액화공정 내부에 질소가 축적되어 공정효율이 매우 낮아진다. 이를 해결하기 위한 아이디어를 개발하고자 Sell & Tube 타입의 초저온 열교환기 사용 대신 소형화 및 운용적 측면에서 장점이 높은 PCHE(Printed Circuit Heat Exchanger) 타입의 초저온 열교환기를 사용함으로써 크기와 무게를 줄여 소형화 액화플랜트의 경쟁력 확보를 하고자 한다. 또한 이동형 소형 LNG 플랜트 운영 및 유지 보수를 위해 가상현실을 활용한 훈련 컨텐츠 개발로 안전 및 안정적인 운전을 지원하고자 한다. 안전관리규정 상의 안전훈련 및 교육 시 상호 호환성 및 인터랙션 기능을 적용하여 다중 협업이 가능한 프로그램으로 설계하고 실제 모델을 기반으로 한 훈련 컨텐츠를 개발 중이다.

4종 가스센서의 측정회로가 결합된 멀티 가스검지기의 상용화 개발

Development of Commercialization of the Multi-gas Detector Interfaced with Measuring Circuits of Four Gas sensors

박규태 · 최슬기 · 유철희 · 김영규 · 안상국* · 김영규* · 지차환**
한국가스안전공사 가스안전연구원, *(주)알에프엔진, **(주)익성전자

According to Gas Risks Yearbook 2018 and recent internet news, leakages of combustible gases frequently have been are occurring in the LNG and LPG storage tanks. In general, hydrocarbon gases used as fuels by LNG and LPG potentially contained risks of explosion owing to gas leaks. Also, monoxide(CO) caused from inefficient combustion is toxic and dangerous for human beings. On the other hand, in the industrial field, workers and safety managers have to be cautious when being lack of oxygen.

In this paper, we developed measuring circuits of 4 kinds of sensors and the multi-gas leak detector using their sensors. For the first time circuits with noise filters are designed and implemented for measuring flammable gases such as LNG, LPG, CO and O_2. And then the structural device is designed to stream gases from sucking mixed gases to 4 gas sensors. Standard gases from 5%LEL to 30%LEL by 5%LEL interval are made to test performances of gaseous sensors. The items of performance tests are accuracy, sensitivities and initial response times. Accuracy is measured and compared by standard gases with 6 types of concentrations every sensor. Sensitivity is tested whether detectable at low concentration gases. An initial response time is measured by firstly recording on screen against gas with a concentration value.

Developed multi-gas leak detector showed good performances that accuracy is under ±3% errors, methane sensitivity is measured with 30ppm less than 1 second, and initial response time is tested to about within 0.5 second. Developed instrument is nearly equivalent in comparison with an imported brand, Japanese R* company.

In near future, the portable multi-gas leak detector will be emerged on market after acquiring Intrinsic Safety Explosion Certificated. Our developed portable multi-gas detector could raise gas risk prevention and efficiency of gas safety management in the industrial fields other than gas detectors even though other newly portable gas leak detectors are developed and imported detectors are appeared on market.

※ Acknowledgment : this research was supported by the Ministry of Trade Industry and Energy, Korea under the theme of "Commercialized Development of the IoT Sensor Basis Remote Monitoring System for Larger Gas Storage Tanks and Plants(Task number 20172220100450)".

도시가스 황부취제 및 무황부취제 비교 실증

An Empirical study of Sulfur odorant and Sulfur-free odorant for natural gas

최슬기 · 유철희 · 김영구

한국가스안전공사 가스안전연구원

천연가스는 깨끗하고 유용한 에너지원으로 각광받아 계속적으로 수요가 증가하고 있다. 그만큼 천연가스는 가정에서부터 산업 전반에 두루 쓰이기 때문에 안전관리가 반드시 필요하다. 천연가스는 특성상 무색무취이므로 누출에 의한 사고를 예방하기 위해 사람이 후각으로 누출을 인지할 수 있도록 경고성 취기를 가진 부취제를 주입하고 있다.

국내 천연가스 공급 시 안전관리를 위해 주입하는 부취제는 TBM (Tert-butyl mercaptan)과 THT(Tetrahydrothiophene)를 각각 30 wt% 및 70 wt%로 혼합한 황부취제로 연소 시 황산화물이 발생된다. 천연가스 사용자의 건강 및 환경을 고려해 독일에서는 주성분이 MA(Methyl acrylate) 및 EA(Ethyl acrylate)로 구성된 무황부취제를 개발 및 상용화하였다.

부취제 조건에 따라 무황부취제와 현재 사용하고 있는 황부취제와의 성능 비교는 MSDS(Material Safety Data Sheet)를 통해 대부분 검토 될 수 있다. 무황부취제의 냄새의 질 및 충격 강도는 황부취제와 비슷한 수준이며, 인지역치 역시 주입량에 따라 만족할 수 있다. 황부취제 및 무황부취제 모두 보통의 독성을 나타내고 있으나, 무황부취제는 연소 후 SOx를 배출하지 않아 황부취제보다 인체 및 환경에 친화적이다. 또한 무황부취제의 증기압(83 mbar @ 25 ℃)은 황부취제의 증기압(20 mbar @ 20 ℃)보다 높아 취기 관리에 좋으며, 무황부취제의 인화점은 5 ℃로 황부취제의 인화점인 -17.8 ℃ 이하보다 높아 취급이 용이하다.

이외에 부취제는 화학적으로 안정해야 하며, 취기 유지를 위해 배관의 흡착성이 낮아야 한다. 부취제의 화학적 안정성 및 배관 흡착성은 부취제의 성분, 가스의 성분, 공급배관의 재질 및 관경, 가스의 공급 압력 등 다양한 환경적 요인에 의해 영향을 받기 때문에 국내에 맞는 실증을 통해 검토되어야 한다.

본 연구는 무황부취제의 가스 안전관리 적정성을 검토하기 위해 부취제 주입 실증을 통한 배관 흡착성 및 화학적 안정성을 검토하였다. 황부취제 및 무황부취제의 각 주입량에 따라 매설배관 전후단의 부취제 성분의 농도 변화를 통해 흡착성을 비교하였으며, 황부취제에서 무황부취제로 전환 또는 무황부취제에서 황부취제로 전환을 가정하여 황부취제 및 무황부취제 혼합 실험을 통해 부취제 성분의 안정성을 검토하였다.

차량용 12V AGM 납산 배터리 노화모델을 이용한 내구수명 및 거동 예측

이재우, 조재성, 신치범, 류기선*
아주대학교 에너지시스템학과, *현대자동차

납산 배터리는 주로 차량용 배터리, 에너지 저장시스템(ESS) 등에 사용되어 왔으며, 종류로는 MF(Maintenance Free Battery), EFB(Enhanced Flooded Battery), AGM(Absorbent Glass Mat) 등이 있다. 장점을 꼽자면 저온에서도 상온과의 거동 차이가 적으며, 가격 또한 저렴하다. 기존의 차량에는 납산 배터리가 SLI(Starting, Light, Ignition) 기능 위주로 사용되었으나, 최근 들어 다양한 연비 신기술(공회전 제한장치, 회생제동 등)이 개발되고, 차량의 전자화로 인하여 배터리에 요구 및 기대되는 성능 수준이 높아지게 되었다. 따라서 이에 맞추기 위해 배터리의 상태를 예측할 수 있는 기술의 확보가 필요하다.

본 연구에서는 노화상태를 고려한 차량용 12V AGM 납산 배터리의 내구수명을 예측 할 수 있는 수학적 모델을 개발하였다. 70Ah AGM 납산 배터리를 이용해 정전류 충/방전에 따른 전압, 전류 등의 전기적 거동을 관찰하였고, 이와 관련지어 배터리 노화와의 상관관계를 분석하였다. 또한 분석 결과를 이용해 배터리 사용에 따른 노화와 이에 따른 거동 변화를 예측하였다.

모델링을 통한 리튬이차전지 외부단락상황의 안전성 연구

조재성, 구보람, 이재우, 신치범†, 하윤철*
아주대학교 에너지시스템학과, *전기연구원

리튬이차전지는 전기자동차나 에너지 저장장치(Energy storage system) 등의 동력원으로서 사용되며, 이러한 분야들에서의 사용은 고용량, 고출력 등의 특성이 요구됨으로 이에 따른 리튬이차전지의 안전성기술 확보가 중요하다. 특히 리튬이차전지를 사용하는 과정에서 안전사고가 발생할 경우 발화 및 폭발의 위험성으로 인해 고 안전성의 문제가 대두되고 있다. 내외부적 원인에 의한 가혹조건 상황은 리튬이차전지사용의 안전온도 및 안전전압 범위를 벗어나게 하며, 이러한 경우 리튬이차전지는 발화 및 폭발할 수 있다. 따라서 리튬이차전지에 대한 이론적인 해석을 바탕으로 실험 및 모델링의 종합적인 연구를 통하여 리튬이차전지의 안전성을 확보할 수 있는 모델링 기술이 필요하다.

본 연구에서는 리튬이차전지에 외부단락이 발생하였을 때 리튬이차전지의 안전성에 영향을 미치는 문제점을 분석하고 모델을 개발하였다. 외부단락 시 리튬이차전지의 전기적, 열적 거동을 예측할 수 있는 모델을 사용하여 설정한 외부단락 시나리오에 따른 리튬이차전지의 전기적, 열적 거동을 예측하였다. 실험에서 외부단락 시나리오의 경우 전지 외부로 연결된 외부단락의 저항 크기에 따라 실험을 진행하였으며, 실험결과와 모델링결과를 비교함으로써 모델링의 타당성을 검증하였다.

리튬 손실에 따른 리튬이온전지 방전 모델링

이동철, 구보람, 이재우, 신치범†, 장일찬*, 송진주*, 우중제*

아주대학교 에너지시스템학과; *광주바이오에너지연구개발센터 한국에너지기술연구원

세계적으로 전기자동차 시장은 급격한 성장을 하고 있으며, 전기자동차(HEV) 및 전기자동차(EV)의 수요가 높아짐에 따라 2020년을 기점으로 약 백만 개 이상의 리튬이온전지가 폐기될 것으로 예상된다. 전기자동차용 전지의 경우 용량, 수명, 출력특성에 대한 요구 조건이 매우 높은 반면, 에너지 저장 시스템용 전지의 경우 상대적으로 mild한 환경에서 사용하므로 요구 특성이 상대적으로 낮다. 따라서, 전기자동차용 전지의 폐기처분 전에 에너지 저장 시스템 분야에 사용할 수 있을 만큼의 전지 성능을 가진다. 이때, 사용된 전지의 재사용 가능 여부를 판별할 수 있는 근거가 필요하며 이에 대한 원천기술의 연구는 현재 미비한 상황이다. 재사용 이차전지의 다양한 운영 및 환경 조건에 따른 전기화학적 특성 변화와 열화 모델 파라미터와의 상관관계 연구하기 위하여 열화 원인에 따른 이차전지의 전기적 거동의 변화를 비교 분석하는 것이 필수적이다.

본 연구에서는 다양한 열화 원인 중 리튬 손실 현상을 모사한 단일 열화 모사 셀에 대한 전기적 거동 모델링을 수행 하였다. 전극에서의 분극 특성에 기초하여 옴의 법칙과 전하 보존법칙을 지배방정식으로 하여 리튬 손실에 따른 방전 거동을 모델링하였고, 실험 결과와의 비교를 통하여 검증하였다.

초고층 건축물 연돌현상 저감을 위한 대책 연구

Research for Reduction of Stacking Phenomenon of Super High-Rise Building

박동식, 정황훈, 임호철

㈜포스코오앤엠

본 연구는 건축물의 높이 경쟁이 치열해지는 요즘 초고층 건축물을 계획하고, 시공하는 모든 사람들 뿐만 아니라 그러한 건축물을 유지관리하는 모든 분야에 걸쳐 문제로 재기되고 인지하고 있는 초고층 건물 연돌현상과 관련하여 현재 해당 건물을 운영하고 관리하며 적용한 대응 방안과 효과에 대해 논하고자 한다.

연돌현상의 문제는 대표적으로 승강기 오작동, 저층과 고층간 난방 불균형, 출입문 안 닫힘 현상, 외기 유입으로 인한 난방에너지 손실 등에 많은 피해를 입히고 있다.

따라서, 현재 인천 연수구 송도동에 위치한 높이 305m 규모의 초고층 건물인 포스코타워 또한 2014년 준공 후 똑같은 문제점으로 고민하고 있었다. 그러한 건물을 4년간 유지관리함에 있어서 연돌로 인한 피해를 줄이고자 크게 3가지 범위의 저감 방안을 마련하여 대책을 강구하였다. 첫 번째, 밀실화를 통한 외기 유입 최소화. 둘째, Zonig 작업을 통한 분리작업, 셋째, 연돌의 근간인 온도차에 따른 밀도차 예방을 위한 온도관리 방식이다. 본 연구에서는 각각에 사례를 적용하기 전후의 승강기 오류 데이터를 분석하여 이러한 대응책이 연돌효과 저감에 어느 정도 효과를 얻었는지 분석하여 결과물을 도출하고자 한다. 마지막으로 연돌의 발생은 필연적이며, 그에 대한 대응책은 날로 신진화 되어야 한다. 따라서, 본 연구를 기반으로 연돌에 대한 더욱 더 적극적이고, 효율적인 대안이 나오기를 기대하는 바이다.

초고층 건물에 있어 단열필름을 활용한 실내온도 비교에 관한 연구

Comparison of Indoor Temperature using Insulation Films in High-rise Buildings

이길종

(주)포스코인터내셔널

인천에 위치하고 있는 포스코타워-송도는 커튼월 유리로 4면이 외기에 접하여 있다.
그로인하여 동서남북 4면에서 인입되는 일사량의 차이가 발생하고 실내온도의 불균형을 유발 시키고 있다.
따라서, 근무자들의 불쾌적에 대한 불편함이 항시 존재하여, 이에 대한 개선책을 마련코자 하였다.
본 연구에 있어서 커튼월 유리로부터 인입되는 일사량을 제어 할 수 있는 요소로 암막 블라인드, 단열필름 등을 검토해 본 결과 시인성을 확보할 수 있으며, 태양으로부터 오는 일사량에 따른 복사열 제어함에 있어 단열필름이 두 가지 조건에 접합함에 따라 단열필름으로부터 실내 온도가 어떻게 보호되는 지 일사량 대비 온도 분포를 측정해 보았다.
그 결과, 단일 방향성에 있어서 단열필름을 붙인 곳과 안 붙인 곳의 온도차이는 약 최고 5.3~8.3℃, 평균 2~6℃ 정도 붙인 곳이 안 붙인 곳보다 낮게 측정되었다.

GOTHIC 축대칭 모델을 활용한 피동 원자로건물냉각계통 실험에 대한 수치해석

Numerical simulation of PCCS experiments using axisymmetric GOTHIC model

하희운 . **이재민**
한국수력원자력 중앙연구원

현재 원자로건물 냉각계통(Passive Containment Cooling System)의 개념설계를 진행 중에 있다. AP1000, VVER-1200, ESBWR등의 최신 해외 원전에 다양한 형태의 PCCS가 적용되고 있으며, 현재 개발되고 있는 PCCS는 열교환기가 원자로건물 내부에 있고 이와 연결된 냉각수 탱크가 외부에 있는 형태를 적용할 예정이다. 본 연구에서는 원자로건물 피동냉각계통 개념설계 개발 과제에서 수행된 단일튜브 성능검증에 대한 개별효과실험 중 강제대류에 의한 실험을 원자로건물 열수력 해석코드인 GOTHIC을 활용하여 모사하였다.

실험장치는 크게 열교환기 튜브가 내부에 있는 실험탱크, 열교환기 튜브에 일정한 유량의 냉각수를 공급하는 순환펌프, 비응축성 가스를 실험탱크 내부로 공급하는 공급계통, 실험탱크 내부에서 일정량의 증기를 발생시키기 위한 히터 등으로 구성되어 있다. 실험은 실험탱크내부 하단에서 물을 끓여 수증기를 생성하고 생성된 수증기는 열교환기 튜브 표면에서 응축되면서 실험탱크내부에서 발생되는 에너지를 제거하게 되고 이때 측정된 여러 측정값을 활용하여 응축열전달 계수 및 열제거량을 구하는 방식으로 진행되었다. 실험조건 범위는 공기분율 : 0~80%, 실험탱크 압력 : 0.2~0.5MPa, surface subcooling : 40~60K, 유량 : 0.1~0.8 kg/s 범위에서 실시되었다. 해석은 대표적인 실험조건에 대해 수행하였다. 해석모델은 기본적으로 실험탱크와 열교환기 튜브를 모사하기 위한 제어체적 2개와 열교환기 튜브에 냉각수 공급을 위한 경계조건 2개로 구성하였다. 이 때, 제어체적은 1/8 축대칭 모델로 작성되었다. 열전도체 내/외부의 열전달 모델은 GOTHIC에 내장된 film/DLM-FM 모델을 사용하였다. 대기 순환에 의한 효과를 확인하기 위해 실험탱크의 제어체적이 lumped model과 sub-divided volume로 이루어진 2개의 모델을 작성하였다.

해석 결과, 냉각수 출구 온도, 튜브 외벽 온도 및 열제거율 등의 주요 결과값이 실험값에 근접하는 결과를 보여, 내장된 열전달 모델을 사용할 경우에도 일정 수준 이상의 성능예측이 가능함을 확인하였다. 실험탱크 제어체적 종류에 따른 해석 결과 차이는 미미 하였으나, sub-divided volume으로 이루어진 모델의 경우 계산시간이 아닐 경우 대비 8배 이상 소요되어 해석 대상의 특성에 따라 적절히 제어체적의 종류를 선택하는 하여야 할 것으로 판단된다. 해석결과는 GOTHIC코드를 활용한 PCCS 성능예측에 활용할 예정이다.

본 연구는 2019년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 201501510400070)

CFX 코드를 활용한 피동 원자로건물냉각계통 실험에 대한 수치해석

Numerical simulation of PCCS experiments using CFX code

하희운 . **서정수**

한국수력원자력 중앙연구원

현재 원자로건물 냉각계통(Passive Containment Cooling System)의 개념설계를 진행 중에 있다. AP1000, VVER-1200, ESBWR등의 최신 해외 원전에 다양한 형태의 PCCS가 적용되고 있으며, 현재 개발되고 있는 PCCS는 열교환기가 원자로건물 내부에 있고 이와 연결된 냉각수 탱크가 외부에 있는 형태를 적용할 예정이다. 본 연구에서는 원자로건물 피동냉각계통 개념설계 개발 과제에서 수행된 단일튜브 성능검증에 대한 개별효과실험 중 강제대류에 의한 실험을 상용 전산유체해석코드인 CFX를 활용하여 해석을 수행하였다.

실험장치는 크게 열교환기 튜브가 내부에 있는 실험탱크, 열교환기 튜브에 일정한 유량의 냉각수를 공급하는 순환펌프, 비응축성 가스를 실험탱크 내부로 공급하는 공급계통, 실험탱크 내부에서 일정량의 증기를 발생시키기 위한 히터 등으로 구성되어 있다. 실험은 실험탱크내부 하단에서 물을 끓여 수증기를 생성하고 생성된 수증기는 열교환기 튜브 표면에서 응축되면서 실험탱크내부에서 발생되는 에너지를 제거하게 되고 이때 측정된 여러 측정값을 활용하여 응축열전달 계수 및 열제거량을 구하는 방식으로 진행되었다. 실험조건 범위는 공기분율 : 0~80%, 실험탱크 압력 : 0.2~0.5MPa, surface subcooling : 40~60K, 유량 : 0.1~0.8 kg/s 범위에서 실시되었다. 해석은 대표적인 실험조건에 대해 수행하였다. 해석모델은 실험장치 구축 보고서 및 성능검증 실험 보고서를 기반으로 형상을 모델링 하였으며, 다양한 실험조건, 한정된 계산자원 및 wall condensation 계산으로 인한 계산시간 증가를 고려하여 챔버, 그 내부에 위치한 열교환기 튜브 및 냉각수 체적에 해당하는 부분을 계산영역으로 한정하였다. 해석 대상은 NC가스 농도, 압력 및 과냉각도에 따른 해석결과를 확인하기 위해 일부 실험을 선택적으로 해석하였다. 해석에 사용된 열수력적 조건 및 초기조건은 각 각의 실험조건을 그대로 사용하였다.

해석 결과, 냉각수 출구 온도, 튜브 외벽 온도 및 열유속 등의 주요 결과 값이 약 15% 내외에서 과소평가하는 결과를 보여, CFX에 내장된 응축 모델을 사용할 경우에도 일정 수준 이상의 성능예측이 가능함을 확인하였다. 해석결과는 CFX 코드를 활용한 PCCS 성능예측에 활용할 예정이다.

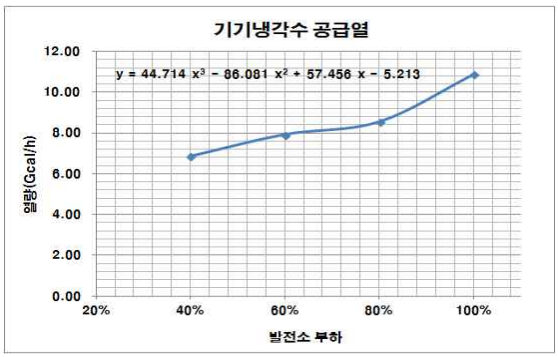
본 연구는 2019년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 201501510400070)

복합발전소 폐열회수용 흡수식 히트펌프의 부분부하 성능에 관한 연구

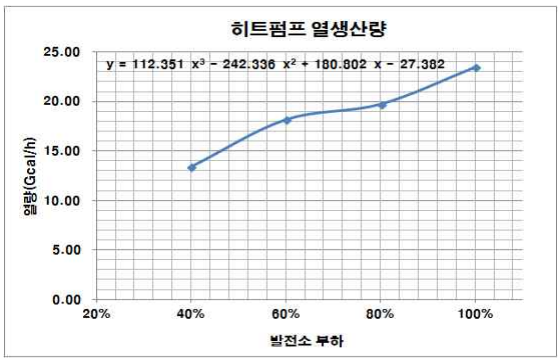
Research on Partial Load Thermal Performance Test Results for the Absorption Heat Pump of Combined Power Plant

박병철 . **김태형** . **김광수**
한국남동발전 전문원부

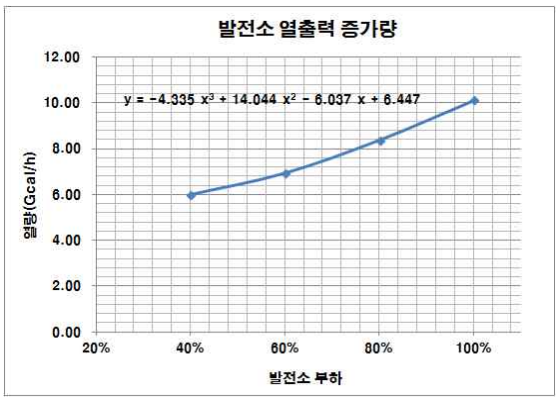
복합화력발전소 에너지절감 사업으로 폐열회수용 흡수식 히트펌프가 설치됨에 따라 부분부하에서의 성능 데이터 확인을 위해 성능시험을 실시하였다. 부분 부하에서 히트펌프 가동에 따른 운전 데이터 변화는 다음과 같다. 기기냉각수(CCW) 배열 및 HRSG로부터 공급되는 LP Steam의 일부가 히트펌프의 열원으로 공급되므로 지역난방열 생산이 증대된다. 그러나 증기터빈으로 공급되는 LP Steam 유량 감소에 따라 증기터빈 출력이 감소된다. 또한 HP-DH 및 LP-DH로 공급되는 HP-터빈 배기 Steam 유량 저하에 따라 HP-DH 및 LP-DH의 열생산량도 감소한다. 부분 부하에서는 정격 부하(Base Load) 대비 히트펌프에 운전에 따른 터빈 출력 저하가 큰 것으로 나타났으며, 이에 따라 부분 부하에서는 열 생산 증가량, 출력 감소량을 종합적으로 고려하여 히트펌프 운전 여부를 결정해야 한다.



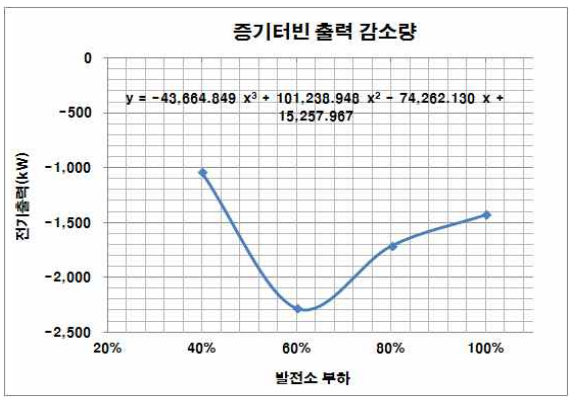
<기기냉각수 공급열 >



<히트펌프 열생산량>



<발전소 열출력 증가량>



<증기터빈 출력 감소량>

신뢰도를 고려한 원자력 비상디젤발전기 여자시스템 부품 기대수명분석

Expected Life Analysis of NPP's Emergency Diesel Generator Excitation System Parts considering Reliability

이상희

한국수력원자력 중앙연구원

국내 원자력발전소의 비상디젤발전기(EDG)는 소외전원 상실 시 비상전원을 공급하는 핵심설비이며 구성기기 중 여자시스템은 발전기 계자 권선에 직류 전류를 공급하여 발전기 출력 단자 전압을 일정하게 유지 또는 조정하는 것으로 목적으로 하고 있으며 발전기 전압제어 기능을 수행하는 제어기, 제어신호를 받아서 필요한 계자 전류를 공급하는 위상제어 정류기, 커패시터·저항으로 구성된 필터, 출력 제어를 위한 릴레이 등으로 구성되어 있다.

전기전자 산업발달에 따라 부품들의 초기 고장률은 줄어들고 수명은 증가하였으며 사용 환경에 따라 차이가 발생 할 수는 있지만 대부분 장시간 운전 성능을 보증한다. 일반적인 제품에서 명시하고 있는 고장까지 평균 시간 MTTF(Mean-Time-To-Failure)는 신뢰도 기준 전체 제품의 63%가 고장인 시간이며 원자력 EDG의 경우 년간 60시간 정도 운전하므로 운전시간에 따른 평균 기대수명(MTTF)을 고려하면 합리적인 부품교체 주기 및 예비품 수량 산정이 어렵다.

신뢰도를 고려한 기대수명을 계산하기 위해 고장률 분석에 사용한 MIL-HDBK-217 Notice2 규격은 온도 중심의 전기전자 부품 열화를 고려하여 고장률 계산방식을 기술하고 있으며 전형적인 고장률 패턴인 욕조곡선에서 초기 고장을 제외한 우발고장 및 마모고장 영역에 적용된다. 이를 적용하여 비상디젤발전기 여자시스템의 부품 수명 분석 결과 다음과 같으며 예로 EDG 운전 환경 온도 40℃를 고려한 변압기의 평균 기대수명(MTTF)는 323년이지만 EDG 신뢰도 0.95를 고려하면 기대수명은 16.5년으로 합리적인 교체 주기 및 예비품 수량 산정이 가능하다.

항목	기본 고장률(λ_b)	부품 고장률(λ_p)	평균 기대수명 (MTTF)	기대수명 (신뢰도 0.95)
변압기(40℃기준)	0.049	0.3528	323년	16.5년
차단기(Power용)	0.34	1.7	67년	3.4년
커넥터(Rack/Panel)	0.021	0.189	603년	30.9년
릴레이(Time delay)	0.021	0.3354372	340년	17.4년
필터(노이즈)	0.12	0.696	164년	8.4년
SCR(Brush)	0.0022	0.1208	944년	48.4년
다이오드	0.0038	0.20064	568년	29.1년
저항(Wirewound)	0.0024	0.4458	256년	13.1년

일반적인 평균 기대수명을 고려하면 EDG 운영기간 동안 부품교체 및 예비품이 필요 없으나 원자력 EDG의 높은 수준의 신뢰도 고려하여 기대수명을 계산 결과 조금 더 합리적인 수준으로 도출되었다. 이를 고려하여 부품 교체주기 선정 및 예비품을 산정한다면 고장발생을 줄이고 고장발생 시 신속한 복구가 가능할 것으로 판단된다. 끝.

피동원자로건물 냉각계통 축소모형 실험장치 구축 현황

The construction status of down scaled PCCS experimental facility

이재민 · 임상규 · 천종 · 이상원
한국수력원자력(주) 중앙연구원

후쿠시마 원전사고 이후, 외부의 전원없이 원자로를 안전한 상태로 유지시킬 수 있는 피동냉각계통의 중요성이 부각되고 있다. 피동형 원전의 설계요건에는 “설계사고 발생시 72시간 동안 운전원의 조치나 비상교류전원의 도움 없이도 원자로를 안전정지 상태로 복구하여 유지시켜야 한다.”고 제시하고 있어 그에 상응하는 장치의 설계가 필요하다. 피동원자로건물 냉각계통(Passive Containment Cooling System, PCCS)은 LOCA등의 사고 발생시 원자로 건물의 압력 및 온도를 안전한 상태로 유지시켜주는 계통으로 격납건물 내부에 설치된 열교환기를 통해 대기로 열을 방출해준다. 열교환기 내부 냉각수의 밀도차이가 구동력으로 작동하여 자연순환을 야기시키고, 그로인해 열을 전달하는 피동방식이다. PCCS 열교환기는 수백개의 단일튜브로 구성되고, 그 열성능은 응축에 의한 열전달량이 대부분을 차지한다. 기존의 연구자들은 수직 단일튜브의 열성능 측정을 위해 다양한 실험을 수행하였고, 열전달계수(Heat Transfer Coefficient, HTC) 상관식을 개발하였다. 하지만 각기 다른 실험조건과 열교환기 형상으로 인해 원자력발전소의 PCCS 설계에 적용하기에는 한계가 있다.

혁신적 안정경수로(iPOWER)에 PCCS를 적용하기 위해 실제 설계사양에서의 열전달계수 측정이 필수적인데, 이를 위해 한국수력원자력(주) 중앙연구원에서 축소모형 실험장치를 구축하였다. 실험장치는 원자로건물을 선형비 1/20으로 축소한 압력용기와 실제 설계사양과 동일한 직경을 가지는 수직 단일튜브 그리고 LOCA 사고를 모사하기 위한 증기공급장치 등으로 구성되어 있다. 사고상황에서의 조건을 반영하기 위해 압력용기 내부 압력, 증기분율 그리고 벽면과냉도(wall subcooling) 등의 실험조건을 고려해야하고, 추가로 튜브다발의 영향(bundle effect)도 살펴야 한다. 중앙연구원에서는 실제 사고조건에 가까운 저-벽면과냉도(low wall-subcooling) 영역에서의 실험결과를 포함한 실험 데이터베이스를 구축하는 중이다.

향후 측정완료된 실험 결과들을 기초로 응축열전달 상관식을 개발할 예정이며, 이를 이용하여 전산해석에 활용하기 위한 열전달 모델 패키지를 개발할 예정이다. 또한, MARS, GOTHIC등의 계통해석코드에 열전달 모델을 적용하여 설계된 PCCS의 열제거 성능을 최종적으로 확인할 예정이다. 본 연구를 통해 응축열전달이라는 기초연구분야의 실험 Database를 구축하고, PCCS 열교환기의 설계변수를 정립할 수 있을 것으로 보인다. 나아가 플랜트 건설분야의 피동냉각계통 안전해석평가를 통해 인허가 지원에 크게 기여할 것으로 기대된다.

원자력발전소 설비고장 경향분석시스템 개발 방안

A Development of Equipment Failures Trending Analysis System in Operating Nuclear Power Plants

염동운 · 현진우 · 이상대
한국수력원자력(주) 중앙연구원

미국 원전에서는 운전 중에 발생한 발전소의 설비고장 정비데이터를 취합 후 체계적인 데이터 선별, 설비유형별 고장 경향분석 및 정비개선 피드백을 통해 발전소 정비전략의 적정성을 확인하고, 발전소 설비들의 신뢰도를 향상시키고 있다. 이러한 경향분석은 한주기 동안에 발생한 고장정비 데이터를 대상으로 주기적으로 수행되고 있으며, 다량의 데이터 처리 및 분석의 정확도 제고를 위해 시스템을 활용하고 있다. 국내 원전에서는 2017년 이후 설비고장 경향분석의 실효성 제고를 위해 발전소 현장에서 정비작업 후 입력하는 설비유형, 고장부품, 고장모드 및 고장원인 등의 정비데이터 입력코드를 예방정비 프로그램과 연계시켜 개선하는 연구를 수행하였고, 2018년 11월부터 전사적으로 활용하는 DREAMS[1)]에 적용하고 있다. 아울러 누적된 정비데이터의 체계적인 분류 및 경향분석의 효과성을 높이고자 2019년 말까지 설비고장 경향분석시스템 개발을 추진 중에 있으며, 본 논문에서는 해당 시스템의 개발 방안을 제시하고자 한다.

국내 원전에서 운영하고 있는 설비들에 대한 고장정비(Corrective Maintenance)는 운전 중 고장이 발생한 설비를 허용 설계기준 범위 내에서 본래의 기능을 발휘할 수 있도록 단순정비, 분해정비 또는 부품교체 등을 수행하는 것이다. 고장정비 후에는 각 설비별 기능위치 및 설비번호와 연계시켜 설비유형별로 고장부품, 고장원인, 고장모드 및 작업내용 등을 정해진 정비데이터 코드에 따라 DREAMS에 입력하고 있으며, 누적된 18개월분의 정비데이터를 바탕으로 각 발전소에서는 매 반기마다 설비고장 경향분석을 수행하고 있다.

설비고장 경향분석에 활용하기 위해 개발하는 시스템은 우선적으로 상기 정비데이터를 활용하여 전사 또는 각 발전소별 18개월 동안의 설비고장 종합현황, 월별 고장추세, 정비분야별 고장현황 및 주요 계통별 고장을 제시하고, 다음으로 발전소에서 고장이 가장 많이 발생한 설비유형, 필수기기 중 고장이 다수 발행한 설비유형, 지난 반기와 비교하여 고장이 크게 증가한 설비유형을 도출 및 발전소별로 고장을 비교할 수 있도록 설계하였다. 마지막으로 선정된 설비유형들에 대한 공통원인분석 및 반복고장 원인분석 기능을 반영하고, 경향분석을 통해 도출된 정비개선 검토 대상들에 대해서는 발전소의 시스템엔지니어가 설비정보관리, 성능감시, 예방 및 고장정비, 설비개선, 작업관리, 자재관리 및 교육훈련 측면에서 체계적인 개선검토를 수행할 수 있도록 시스템을 설계하였다.

현재 한수원에서는 2019년 말까지 시스템 개발을 추진 중에 있으며, 향후 발전소 적용, 정비데이터 체계적인 분석 및 정비개선을 통해 설비관리의 효율성이 한층 높아질 것으로 사료된다.

---

1) DREAMS : Digital Real-time Asset Management System

원자력발전소 표준엔지니어링모델 개발 (성능개선분야)

A Development of Standard Engineering model
for Nuclear Power Plant (Performance Improvement area)

현진우 · 염동운 · 이상대
한국수력원자력(주) 중앙연구원

국내 원자력발전소는 체계적인 설비관리 및 신뢰도 향상을 위해 프로세스 연계를 기반으로 한 통합 업무체계 구축을 위해 해외 엔지니어링 모델을 참고하여 표준엔지니어링모델을 개발하였다. 이를 통해 원전에서 적용하고 있는 설비관리 프로세스들을 체계적으로 관리함으로서 원전설비관리 프로세스들의 특성과 연관관계를 쉽게 이해하도록 하고, 프로세스 결과물이 후속 프로세스에서 명확하게 활용될 수 있도록 하였다. 표준 엔지니어링모델은 크게 7개의 분야로 구성되어 있으며 작업관리를 중심에 두고, 설비신뢰도와 형상관리를 주축으로 자재관리와 리스크감시 프로세스를 배치하였으며 성능개선 및 교육훈련 프로세스가 설비관리 향상을 위해 지원하는 구조로 표현하였다. 본 논문은 이중에 성능개선((PI, Performance Improvement)분야에 대한 엔지니어링모델 개발내역을 소개하고자 한다.

성능개선 프로세스들은 발전소 업무를 주기적으로 평가하여 개선사항을 도출하고 지속적으로 발전소 운영 프로세스들이 개선되도록 하는 프로세스로 엔지니어링 프로세스의 효율적 운영을 위해 필수적인 요소이다. INPO 05-005 성능향상 프로세스를 기반으로 구성되었으며, 아래 그림과 같이 성능감시를 통해 성능목표와 차이분석을 수행하고, 문제점 분석 및 조치계획 수립을 통해 개선사항을 도출하여 시정조치를 수행하게 된다. 또한 수행된 시정조치의 효과는 성능감시를 통해 확인한다. 문제점 분석 단계에서는 필요 시 기술교류그룹을 활용하며 조치계획 중 인적행위 개선이 필요한 경우 인적행위개선을 수행한다. 성능개선 프로세스의 세부 프로세스 구성은 다음과 같다.

- 성능감시(SA/Trend/BM/OE/Eff/Report/MO)
- 문제점 분석 및 조치계획 수립(Cause/AP/BP)
- 시정조치 수행(Task Assignment & Action Tracking)
- 인적행위 개선(Human Performance)
- 기술교류그룹(Peer Group)

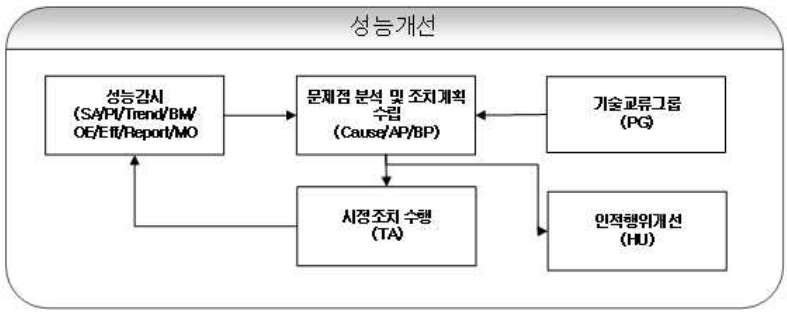


그림 성능개선 프로세스 연계도

원자력발전소 형상관리모델 구축

A Development of Configuration Management Model for Domestic Nuclear Power Plant

이상대 · 염동운 · 현진우

한국수력원자력(주) 중앙연구원

국내 원자력발전소 운영은 그간 설비의 운영·유지관리 능력을 우선시하였으나, 최근에는 각종 규제 및 운영 환경변화에 적절히 대응하고 우수한 성능을 지속유지하고자 설비운영 전반적인 분야에 대해 엔지니어링 체계 구축을 시도하고 있다. 미국의 경우, 1998년 원자력에너지협회(NEI)와 전력사업자원가그룹(EUCG, Electric Utility Cost Group) 및 미국원자력발전협회(INPO, Institute of Nuclear Power Operations)가 공동으로 원전운영표준모델(SNPM, Standard Nuclear Performance Model)을 개발하였다. 이 모델은 발전소 성능 및 원가를 분석하기 위하여 그림1과 같이 프로세스, 성능지표, 원가로 구성되는 3차원 모델을 제시하고 있는데 프로세스와 성능지표는 INPO와 NEI 주도로, 원가 부분은 EUCG 주도로 개발이 이루어졌다.

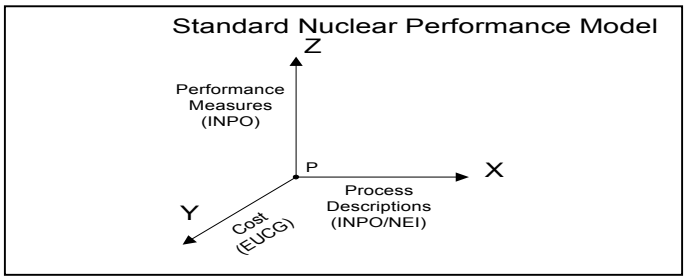


그림1. SNPM 3차원 모델구성도

국내 원자력발전소에는 위 모델을 참고하여 프로세스 및 성능지표 측면에서 적용가능한 형상관리모델 개발을 추진하였다. 형상관리모델은 형상관리 프로그램, 프로세스, 절차서/지침서로 구성되어 있으며, 그림2와 같이 각종 프로세스들의 특성과 연관관계를 쉽게 이해할 수 있고, 프로세스 결과물이 후속 프로세스에서 미치는 영향을 명확하게 파악할 수 있도록 구현하였다.

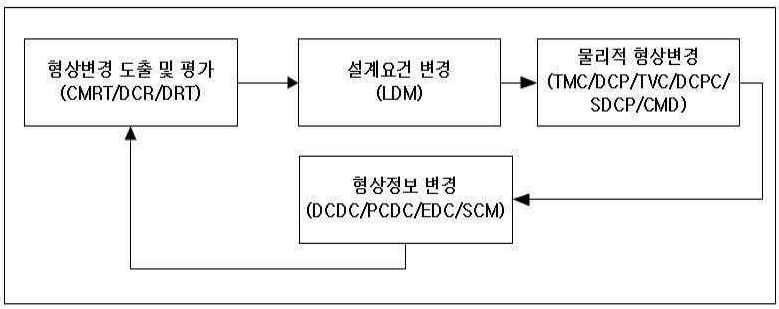


그림2. 형상관리운영모델 프로세스 연계도

형상관리모델은 향후 전산시스템으로 개발하여 경영진의 설비관리 및 운영에 대한 전반적인 이해도를 증진시키고 종사자들의 업무수행 역량향상을 도모할 도구로 활용할 예정이다.

정전사고에 대비한 피동비상노심냉각계통 운전 방안 개선 및 적용성 예비 평가

Preliminary Analysis of Passive Emergency Core Cooling System with Operation Methodology for Station Black-Out

허선, 이재민, 정의주
한국수력원자력(주) 중앙연구원

일본 후쿠시마 제1원전 사고 이후, 발전소 정전사고 대처를 위해 국내 원전에서는 냉각설비 및 전력을 확보하기 위한 다양한 설계 개선 및 대응 방안을 개발·적용하고 있다. 노심냉각을 위해 펌프와 같은 능동기기를 사용하는 경우에는 발전소 정전사고에서 완전히 자유로워 질 수 없으며, 본 연구에서는 밀도차나 수두차, 압력차 등 자연력을 이용하여 교류 전원이 필요 없이 노심을 냉각하는 피동형 비상노심냉각계통을 구성하였으며, 이를 이용하여 발전소정전사고에 대처하기 위한 운전방안을 개발·평가하였다.

혁신적 안전 경수로의 피동비상노심냉각계통은 혼합형 SIT, SIT 및 IRWST 중력주입으로 구성된 3단계 주입계통과, 가압기 및 고온관에 설치된 4단계 감압계통으로 구성된다. 각 주입계통은 고압, 중압 그리고 저압에서의 비상노심냉각수 충수 기능을 담당한다. 감압계통은 주입계통이 정해진 순서대로 원활하게 주입되도록 원자로냉각재계통을 감압하면서도, 감압하는 과정에서 노심 내 냉각수 고갈이나 과열이 발생하지 않도록 감압속도를 조절할 수 있도록 설계되었다. 발전소 정전사고시에는 또 다른 피동안전계통은 피동보조급수계통을 이용할 수 있으나, 본 연구에서는 피동비상노심냉각계통의 성능을 평가하기 위해 피동보조급수계통은 작동되지 않는 것으로 가정하였다.

피동비상노심냉각계통의 1~4단계 감압밸브는 혼합형 SIT의 수위 감소 및 시간 지연에 따라 개방되며, 혼합형 SIT는 증기발생기 2차측 수위, 고온관 냉각수 온도 등의 기동조건이 만족할 경우 기동밸브가 동작하여 개시된다. 발전소정전 조건에서 피동비상노심냉각계통이 적용된 상황을 안전해석코드인 RELAP5 Mod.3.3 코드를 이용하여 해석하였다. 1차 해석 결과 혼합형 SIT가 기동되어 냉각수 주입이 시작되지만, 냉각수 주입초기에 노심의 가열이 발생함을 확인하였다. 이에 대한 원인 분석 결과, 혼합형 SIT가 기동되어 가압되는 시기부터 본격적인 주입이 시작되는 시점까지의 시간지연으로 인해 노심가열이 진행됨을 확인하였다.

정전사고에 대한 대처능력 확보를 위해 정전사고 감지 시 혼합형 SIT을 기동하는 방안을 검토하였다. 즉, 정전사고시에는 조건 변화에 시간이 오래걸리는 냉각수 온도 대신 전력 공급여부를 직접 감지하여 혼합형 SIT을 기동하도록 개선하였으며, 개선된 조건에서의 평가 결과, 노심의 가열이 발생하기 전에 냉각수가 공급되어 노심을 냉각함을 확인하였다. 본 연구를 통해 피동비상노심냉각계통이 설계기준초과사고에 대해서도 노심 냉각을 유지할 수 있음을 확인하였으며, 향후 급수완전상실사고를 포함한 다른 설계기준초과사고에 대해서 적용성을 평가할 계획이다.

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20131510101670)

경수로 결함연료 보관통 성능 및 설계요건 개발

Development of Performance and Design Requirements for PWR Damaged Fuel Canister

이광호 · 유성창 · 이서정
한국수력원자력(주) 중앙연구원

국내 원전의 사용후핵연료 저장용량 한계에 따라 원전 부지 내 건식저장을 추진하고 있으며, 사용후핵연료를 건식저장용기에 보관하기 위해서는 핵연료의 결함여부를 확인하는 검사를 수행하고 결함으로 판정된 것은 적절한 보관통에 넣어 운반 및 저장해야 한다. 한편 대부분의 국내 경수로형 원전은 건설 시 또는 조밀저장대 설치 시 구비한 결함연료 보관통(DFC: Damaged Fuel Canister)을 보유하고 있으나, 이는 습식저장용으로 설계된 것으로 운반 및 건식저장에는 사용하기 어렵다. 따라서 결함으로 분류된 사용후핵연료의 저장(습식/건식) 및 운반을 위하여 별도의 보관통이 필요하다.

결함연료 보관통의 성능 및 설계요건 개발은 결함연료의 안전한 운반 및 저장을 위하여 결함연료 보관통의 안전성을 확보하기 위한 것이며, 결함연료 보관통의 기본적인 성능요건은 다음과 같다.

(1) 1개의 결함 핵연료집합체를 수용해야 함
(2) 결함연료를 삽입 후 밀봉하지 않고 필요시 인출이 가능해야 함
(3) 결함연료 운반용기에 장전 및 인출이 가능해야 함
(4) 결함연료 장입 후 사용후핵연료저장조 및 건식저장용기에 저장이 가능해야 함
(5) 밀봉되지 않아 배기 및 배수가 가능하지만, 상대적으로 큰 핵연료물질 조각(1mm 이상)의 누출은 방지해야 함
(6) 취급기기는 결함연료 보관용기 뚜껑(Lid)과 체결 및 체결해제(탈착)가 가능하고 보관용기 이송, 장전, 인출 중 견고하게 고정할 수 있어야 함

또한 결함연료 보관통은 국내 특성상 장기간 습식, 건식저장이 모두 가능하여야 하고, 운반 및 저장시 임계, 차폐, 구조, 열 및 격납 요건이 충족되어야 하며 정상적인 취급 및 회수가 가능하도록 설계되어야 한다.

결함연료 보관통의 성능 및 설계요건은 결함연료의 저장(습식/건식) 및 운반과 관련된 여러 기술기준 및 설계요건에 따라 개발하였으며, 국내 경수로형 원전에서 발생된 결함연료의 안전한 운반 및 저장을 위한 안전성 평가 및 설계 지침서로 활용하고자 한다.

피동형 원전 RTNSS 관리 방안 고찰

A Review on Availability Control of RTNSS for a Passive NPP

김광홍 (Kim Kwang Hong), 이근성 (Lee Keun Seong), 김대준(Kim Dae Jun)
한국수력원자력(주) 중앙연구원(KHNP-Central Research Institute)

피동형 원전은 사고시 냉각재 주입이나 잔열제거와 같은 안전기능을 담당하는 안전설비의 구동을 AC 전원이나 운전원 조치에 의존하지 않고, 중력이나 밀도차와 같은 자연력을 이용하여 대응하는 피동적으로(Passive) 설계된 원전이다. 피동설비들은 자연력에 의한 안전기능 수행에 대한 운영경험이 제한적이고 비교적 낮은 구동력으로 인하여 설비의 고유 불확실성을 갖게 된다. 이러한 피동 설비의 성능 특성 및 열수력학적 불확실성을 보완하기 위하여 피동설비의 설계를 개선하고 관련 검증시험이 수행되어 왔다. 그러나 본질적으로 내재된(Inherently) 불확실성은 완전히 제거될 수 없기 때문에 이들 피동설비의 기능을 보완하기 위하여 심층방어(Defense-In-Depth) 기능을 제공하는 비안전 능동설비의 중요성이 부각되게 되었다. 이러한 능동설비는 안전성 기준을 만족할 필요는 없으나, 능동설비의 기능에 대한 신뢰도가 제공되어야 하므로 규제 관리의 대상이 될 수 있다. RTNSS(Regulatory Treatment of Non Safety Systems)라 함은 피동원전에서 비안전성 능동 설비에 대한 규제적 관리 계획에 관한 것이다.

이번 조사에서는 해외 사례를 검토하여 RTNSS 관리 방안을 고찰하는 것이다. 검토결과, RTNSS에 관하여 규제의 주요 관심사항은 신뢰도(Reliability)와 이용도(Availability)와 관련된 것임을 확인하였다. 향후 국내 실정에 맞는 RTNSS 관리 방법을 모색할 필요가 있다.

피동 경수로 원전 비안전계통 평가기준 검토 : SRP 19.3 중심으로

A Review on Evaluation Criteria of Non Safety System for a Passive NPP : focused on SRP 19.3

김광홍 (Kim Kwang Hong), 양원석 (Yang Won Seok), 황도현 (Hwang Do Hyun)
한국수력원자력(주) 중앙연구원(KHNP-Central Research Institute)

피동원전의 비안전성관련 계통은 안전성관련 피동계통의 안전 여유도를 확보하고 불확실성을 보완하는 기능을 수행한다. 미국에서는 규제기관과 산업계가 피동원전의 비안전성관련 계통의 중요성을 평가하고 필요에 따라 비안전 관련 능동 계통에 대한 적절한 규제감독을 유지하기 위한 절차를 마련하고 있다. 미국 피동원전에 대한 비안전등급 설비의 평가 기준은 2014년에 발행된 SRP 19.3에 제시되어 있다. SRP 19.3 (NUREG-0800 Standard Review Plan : Regulatory Treatment of Non Safety Systems for Passive Advanced Light Water Reactors)의 기준 및 절차는 SECY-94-084[4] 및 SECY-95-132[5]를 기반으로 하고 있다. SRP 19.3에서는 비안전계통의 평가를 위해 SSC(System Structure Component) 기능별로 5가지 기준(Criterion)을 제시하고 있다.

이번 연구에서는 SRP 19.3에서 제시하는 5가지 기준을 검토하고, 그 평가 사례를 분석하였다. 해외 피동원전은 AP1000 및 ESBWR의 평가 사례를 검토하였다. 검토결과, AP1000 계통은 8개의 확률론적 및 결정론적 기준에 따라 평가되고 선정되었으며, 그 결과를 WCAP-15985[6]를 통해 제시하였다. AP1000의 비안전계통 평가는 2014년 SRP 19.3 Rev.0 발행 이전에 진행되었지만 기본적으로 19.3 요건을 반영하고 있음을 확인하였다. ESBWR 평가기준은 5개로 분류하고 각각을 세부항목으로 구분하여 적용하였다. 두 노형의 기기 선정 및 분류 방법은 다소 다르게 접근하였으나, 평가하는 내용은 거의 동일한 것으로 확인되었다.

4) SECY-94-084, “Policy and Technical Issues Associated with the Regulatory Treatment of Non Safety Systems in Passive Plant Designs”, March 1994
5) SECY-95-132, “Policy and Technical Issues Associated with the Regulatory Treatment of Non Safety Systems in Passive Plant Designs”, May 1995
6) WCAP-15985, “AP1000 Implementation of the Regulatory Treatment of Non Safety Systems Process“, Rev.2, Aug. 2003

바나듐 노내계측기 실증장전시험 10CFR50.59적용 평가

10CFR50.59 evaluation of demonstration test
for Long-lived Incore Instrument

최유선
한수원 중앙연구원

한수원 중앙연구원은 교체주기가 6년으로 제한된 기존 로듐 노내계측기의 수명을 연장하고자 기계적 수명이 10년인 바나듐 기반의 노내계측기 설계를 개발하여 시범 장전을 위한 시작품을 제작 완료하였다. 본 바나듐 노내계측기의 상용화를 성공한다면 교체비용 절감, 교체시 작업자 방사선 피폭 및 고체 방사성폐기물 저감을 기대할 수 있다.

미국 원전의 경우 주요설비 변경 및 시험시 10CFR50.59에 따라 안전관련계통 설비 영향, 고장 및 사고 발생가능성, 안전성분석보고서 요건 충족 여부 등을 검토하여 미검토안전성 문제가 아님을 확인하는 절차를 거치게 하고 있다. 10CFR50.59 평가는 국내 법규에 명문화 되어 있지 않으나 국산 로듐 노내계측기 시범장전 인허가 과정에서도 규제기관의 제출요구가 있었던 바, 바나듐 노내계측기 시범장전에 따른 10CFR50.59 평가를 선제적으로 수행하였다.

시범 바나듐 노내계측기 실증장전에 따른 10CFR50.59 수행 절차는 ① 운영기술지침서 요건 만족여부 및 FSAR 변경사항 유무 확인을 통한 인허가 문서(Technical Specification, FSAR) 변경 필요성 평가 ② FSAR에 기술된 설비의 변경(Change) 및 안전성분석보고서에 기술되지 않은 설비의 변경이나 안전관련 SSC(Structure, System, Component)에 영향있는 변경 검토를 통한 적격평가(Screening) ③ 안전철학에 근거하여 설비변경으로 인한 사고/고장 확률 증가 여부 및 방사능 누출(Dose)량을 공학적 평가 통한 10CFR50.59 평가 수행 ④ 평가결과의 문서화 과정을 따라 진행된다.

상기 기술한 절차에 따라 시범 바나듐 노내계측기 장전노심에 대한 10CFR50.59 적용 평가를 수행하였으며, 기존 백금계측기 시범장전 및 국산 로듐계측기 시범장전 운전 경험 자료를 평가에 참조하였다.

본 바나듐 노내계측기 시범 장전은 기존의 안전해석 및 설정치 분석에 적용된 가정에 영향을 주지 않으며, 고장이나 오작동에 의한 영향, 새로운 문제 발생 또는 안전여유도 감소 등을 유발하지 않는 것으로 평가되었다.

원전 수출을 위한 리스크 기반 원전 계통, 구조물, 기기 안전등급 분류

Risk-based Safety Classification for exporting Nuclear Power Plants

황도현 · 김대준 · 양원석

한국수력원자력(주) 중앙연구원

우리나라가 원전 수출을 추진하고 있는 체코, 영국, 폴란드 등의 유럽 국가뿐만 아니라 사우디, 요르단 등의 중동 및 아프리카 국가들도 원전 최상위 요건으로 IAEA 및 WENRA의 안전요건 준수를 요구하고 있으며, 최근 발행된 유럽사업자요건(EUR Rev.E)에서도 전면 적용하는 것으로 확인되고 있다.

원전 설계의 기본 요소인 계통, 구조물, 기기(SSC)의 안전등급은 현재까지 미국 ANSI/ANS-51.1에 따라 해당 SSC가 수행하는 '결정론적 기능'에 따라 결정되어 왔으나, IAEA는 최근 발행한 안전지침서를 통해 해당 SSC의 '리스크를 고려한 중요도'에 따라 결정토록 요구하고 있어, IAEA와 WENRA 안전요건의 준수 및 EUR 기반 입찰요건을 요구하는 국가에 수출하려는 원전에는 필수적으로 적용되어야 한다.

원전 리스크를 합리적으로 가능한 한 낮게 유지하기 위한 ALARP의 입증은 원전의 안전성과 경제성의 균형을 통해 최적 설계방안을 도출할 수 있는 개념으로서 ALARP의 입증 과정을 통해 수출용 원전의 기술과 가격 측면의 경쟁력을 동시에 성취할 수 있는 수단이다.

원전 SSC 안전등급 분류 목적은 방사선으로부터 대중과 환경을 보호하기 위해 사고 방지 또는 방사선결말을 제한하는 SSC의 역할에 따라 이를 식별하고 분류함으로써 해당 등급에 따라 SSC를 적절히 설계, 제작, 건설, 설치, 시운전, 운영, 시험, 감시 및 유지하기 위함이다.

안전등급 분류에 대해 IAEA는 상위 요건인 SSR-2/1(2014/2016)를 통해 안전에 중요한 SSC를 식별하고, 그 기능(Function)과 안전 중요도 (Safety Significance)를 기준으로 등급을 분류하여야 함을 규정하고 있다. 안전 중요도 분류 방법은 일차적으로 결정론적 방법에 근거하고 확률론적 방법으로 보완해야 하며, 다음과 같은 인자를 고려하여야 한다.

○ 안전기능
○ 해당 안전기능 실패시 결말
○ 해당 안전기능이 요구되는 빈도
○ 해당 안전기능이 요구되는 시점과 기간

IAEA : International Atomic Energy Agency(국제원자력기구)
WENRA : Western European Nuclear Regulators Association(서유럽규제자협회)
EUR : European Utility Requirements(유럽사업자요건)
SSC : Structure System Component(계통, 구조물, 기기)
ALARP : As Low As Reasonably Practicable

국내 원전 열병합발전 가능성 검토

Review on Possibility of Nuclear Combined Heat & Power Generation in Korea

황도현 · 김광홍
한국수력원자력(주) 중앙연구원

한국수력원자력(주)은 국내 에너지 전환 정책으로 인해 국내 원전 건설 전망이 불투명한 가운데 해외 수출을 위한 노력을 경주하고 있으며, 해외 원전 수주를 위해서는 해외 원전 시장에서의 다양한 수요를 충족시킬 필요가 있다.

2017년 IAEA 보고서에 따르면, 2017년 기준으로 지역난방을 위해 원자력발전을 이용한 열병합발전은 러시아, 우크라이나, 헝가리 등 북유럽 국가를 중심으로 50개 이상의 원전이 운영 중에 있으며 10개의 원전이 건설 계획 중에 있다. 따라서 앞으로도 지역난방용 원전 열병합발전에 대한 지속적인 수요가 발생될 것으로 예상된다. 원전 열병합발전은 화력발전에 비해 온실가스 배출 면에서 경쟁력을 확보하고 있으며, 원전 열병합발전과 관련하여 핀란드, 중국 등에서 활발한 연구가 진행 중이다.

우리나라는 제7차 전력수급계획에서 열병합을 정책전원으로 인정하고 있으나, 미국 및 유럽 선진국에 비해서 세부적인 지원정책 기반이 부족한 실정이다. 미국 연방정부의 에너지법에서는 열병합발전을 고효율 전원으로 정의하고 있으며 독일, 벨기에 등에서도 열병합발전을 정책전원으로 인정하고 지원근거를 마련하고 있다.

미국에서는 APS를 통한 AEC 지급, EERS를 통한 투자비 지원을 하고 있으며, 독일 및 프랑스 등에서는 FIP 적용을 통해 열병합발전에 대한 고효율 인센티브를 제공하고 있다. 온실가스 감축 인센티브 측면을 살펴보면, 미국 5개 주에서는 열병합발전에 재생/대체에너지 채권을 지급하고 있고, 독일은 열병합발전에 대해 온실가스 감축의무를 일부 면제하고 있으며, 이탈리아는 RPS 의무를 면제하고 있다.

국내에서도 원전 열병합발전 기술개발과 더불어 에너지관련 법체계 정비 및 원전 열병합발전을 위한 규정 수립을 통해 친환경 및 고효율 원전 열병합발전이 생존 가능한 정책 환경 조성이 필요할 것으로 예상된다.

APS : Agreement on Power Supplied by CHP(열병합발전 전력공급 협정)
AEC : Alternative Energy Certificate(대체에너지 증서)
EERS : Energy Efficiency Resource Standard(에너지공급자 효율향상 의무화제도)
FIP : Feed In Premium(고정가격 매입제도)
RPS : Renewable energy Portfolio Standard(신재생에너지 공급의무화제도)

신뢰도 평가와 전력손실 최소화에 의한 신재생에너지 용량 및 위치 선정

Selection of Size and Location of Renewable Energy
Based on Reliability Evaluation and Loss Minimization

나문수 · 이종혁 · 김진오*
한양대학교 전기공학과

현재 신재생 에너지 촉진안에 대한 관심이 증가하면서 신재생 에너지의 전력 시스템에의 보급률이 상당히 증가 할 것으로 예상된다. 한국은 장기적인 전력 수급 기본 계획에 따라 2029년까지 재생 가능 에너지 비중을 20 %까지 늘릴 계획이다. 태양발전 및 풍력과 같은 대부분의 재생 가능 에너지는 간헐적 특성을 가지며 전력 손실 없이 제어하기가 어렵다. 또한, 간헐적 특성은 전력 및 부하의 불균형을 초래한다. 그러나 일반적으로 풍력과 태양광의 경우 바람이 저녁과 새벽에 많이 불고 일사량은 낮에 강하여, 저녁에는 풍력 발전의 전력 생산이, 낮에는 태양광 발전의 전력 생산이 활발한 경향을 가지므로, 풍력과 태양의 서로 다른 출력 특성을 적절히 이용하면 재생 가능 에너지를 결합하여 해결할 수 있다. 이를 달성하기 위해서는 재생산 가능한 에너지의 최적 결합을 달성하기 위한 방법이 필요하다. 본 논문은 마이크로 그리드 기반의 신뢰성 평가에서 재생 에너지의 최적의 크기와 위치를 제안한다. 발전 COPT(Capacity Outage Probability Table) 행렬과 부하 행렬을 이용하여 새로운 신뢰도 평가 기법을 제안하고, LOLE (Load Expectation의 손실)에 대한 확률론적 방법은 신뢰성을 평가하기 위해 사용된다. 이러한 기법을 이용하여 풍력과 태양광 발전의 투입 최적 용량을 산정하고, 최소손실을 가지는 풍력 발전과 태양광 발전의 위치를 선정한다. 사례 연구에서는 IEEE 34 Bus 시스템을 이용하여 본 알고리즘의 효용성을 보여주고 있다.

원자력발전소 기동 운전 절차 조건 확인을 위한 운전지원 기능 요건 설계

Development of Functional Requirements for Supporting System in order to Confirm Independently for Startup Procedures of Nuclear Power Plant Based on Artificial Intelligence

최선미

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력 발전소는 항상 정해진 절차에 따라 운전원에 의해 확인, 판단, 조작을 수행한다. 특히 APR1400의 경우는 기존에 종이로 되어 있던 절차서를 전산화한 전산화절차서 시스템을 도입하여 사용하고 있다. 전산화절차서를 통해 종이절차서보다 많은 운전지원을 통하여 효율적 운전이 되도록 했으나, 점진적 발전과 인적오류에 대한 저감을 위해 확대된 운전지원의 도입이 필요하다. 전산화절차서 시스템을 통한 절차 수행은 운전원이 발전소의 기기 및 변수 상태를 확인 한 후 절차의 만족여부를 직접 판단하여 조작을 수행하고 있다. 하지만 다양한 조건에 대하여 운전원 혹은 운전조에 따른 개인의 능력에 의존하기 때문에, 누락되거나 오 판단에 따른 잠재적 인적오류의 가능성을 가지고 있다. 잠재적 인적오류를 제거 혹은 최소화하기 위해서 운전원이 운전 절차를 진행할 때 지시문을 판단할 때 별도로 운전지원 시스템에서 판단 및 결과를 제시하여 운전원이 운전지원시스템에서 판단한 결과와 본인이 판단한 결과를 비교하여 판단의 정확도를 높여주거나 독립 확인자 역할을 할 수 있는 운전지원을 개발하고 있다. 기동운전절차서 지시문에 대하여 독립적으로 판단한 할 수 있도록 직무분석 기반으로 논리식을 도출하였다. 기존에 운전원이 직접 판단하고 수행하던 절차에 대해서 논리기반으로 판단 결과를 제시하여 판단 결과의 원인을 정확히 파악하여 조치할 수 있도록 하여 최종 운전원판단의 정확도를 높일 수 있다. 또한 직무분석 및 논리식을 기반으로 운전절차 조건 감시 및 확인을 지원할 때 필요한 주요 기능요건을 개발하였다.

본 연구는 인공지능 기반 운전지원 기능은 시스템 개발의 입력으로 사용할 것이다. 향후 각 기능요건에 부합하는 기동정지 운전지원 프로그램을 개발 및 적용하여 운전원 업무부하를 저감시키고 안전성을 향상시킬 것으로 기대한다.

본 연구는 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20171510102040)

우분 바이오가스화율 향상을 위한 돈분 및 음식물류폐기물 통합소화 연구

Study on anaerobic co-digestion of cattle manure with pig slurry and food waste to increase biogas production

이모권* · 임성원 · 김상미 · Alsayed Mostafa, 문충만, 김동훈**

인하대학교 사회인프라공학과, *대전보건대학교 환경보건과, **대전세종연구원 미래전략실

국내에서 발생하는 우분은 62,433 m^3/일로 전체 가축분뇨 발생량의 36%를 차지하고 있고 현재 대부분 퇴비화 처리되고 있는데, 이 또한 개별 농가에서 직접 처리되는 비율이 높아 퇴비의 품질 규격화 및 관리가 어려운 실정이다. 한편, 우분의 바이오가스화를 통한 에너지 잠재량은 한우, 젖소 포함 약 780천 TOE로 음식물류폐기물 416천 TOE, 하수슬러지 659천 TOE와 비교하여도 가장 높은 것으로 알려져 있다(신재생에너지 백서, 2016). 독일, 덴마크 등 유럽의 낙농 선진국에서는 이미 우분을 이용한 바이오가스화가 진행되고 있으나 국내에서는 돈분 및 음식물류폐기물만 적용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 우분의 바이오가스화의 가능성과 돈분 및 음식물류폐기물의 혼합을 통해 바이오가스 생산을 증대시키고자 하였다.

실험방법은 serum bottle을 이용하여 바이오가스 잠재량을 측정하였으며 우분의 단독 소화에 비해 돈분, 음식물류폐기물의 혼합 시 증가한 바이오가스량을 시너지 효과로 나타내었다. 식종균은 하수처리장 소화조 슬러지를 5.0 g VSS/L로 하여 이용하였다. 우분과 돈분 및 음식물류폐기물의 농도는 10, 20, 30, 40 g/L로 하였고 개별 농도에서 각각의 혼합비율(무게 기준)을 9:1, 7:3, 5:5로 하였다. 운전온도는 35℃, 교반속도는 150 rpm이었으며, 발생한 바이오가스의 성상은 가스크로마토그래피(GC)를 이용하여 메탄, 이산화탄소의 분압을 측정하였다.

연구결과를 살펴보면, 먼저 모든 기질(우분, 돈분, 음식물류폐기물)의 단독소화 시 메탄전환율은 우분의 경우 0.14-0.18 L CH_4/g VS, 음식물류폐기물은 0.38-0.52 L CH_4/g VS, 돈분은 0.23-0.28 L CH_4/g VS로 나타났다. 기질의 농도가 10-40 g/L로 증가함에 따라 메탄전환율은 감소하였지만 이는 기존에 보고된 결과와 비슷한 수준을 나타내었다. 돈분 및 음식물쓰레기를 첨가한 경우 단독 소화에 비해 바이오가스 증대효과가 나타났는데 각 기질의 단독 소화 시 메탄 발생량을 이론값으로 하고 실제 메탄 발생량을 계산한 결과 음식물류폐기물의 첨가 시는 약 1.2-1.8 배, 돈분 첨가 시는 약 1.0-1.4 배의 메탄 증대효과를 확인하였다. 이를 통해 우분을 이용한 바이오가스화 가능성 및 단독 소화 보다는 통합소화가 더 효과적임을 확인하였다.

CeO_2-ACNTs/Nafion composite membrane for low humidity proton exchange membrane fuel cell applications

Mohanraj Vinothkannan· Lee Min Hee· Dong Jin Yoo
Department of Life Science Graduate School of Department of Energy Storage/Conversion Engineering Hydrogen and Fuel Cell Research Center Chonbuk National University

Nafion is a state-of-art solid electrolyte for proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs), suffers from dramatic decline in proton conductivity while reducing relative humidity, which critically restricts the efficient and stable operation of the PEMFC system. In this work, the proton conductivity of Nafion membrane significantly improved by incorporating CeO_2-ACNTs as potential multifunctional fillers. CeO_2-ACNTs/Nafion composite membrane was fabricated via solution casting approach. The membrane was then exploited as potential candidate for PEMFC operating under low relative humidity condition. CeO_2-ACNTs/Nafion composite membrane increases the compactness of ionic domains and enhances the water absorption and ionic conductivity while restricting the gas permeability across the membrane. The 1 wt% CeO_2-ACNTs was incorporated into the Nafion matrix that constructing efficient paths for proton conduction at the CeO_2-ACNTs and Nafion interface. The proton conductivity of CeO_2-ACNTs/Nafion and pristine Nafion membranes were measured at low humidity condition. As a result, CeO_2-ACNTs/Nafion membrane exhibited higher proton conductivity.

Synthesis and characterization of 3D architecture ultrafine Pt nanoparticles MoS_2/N−doped reduced graphene oxide as efficiency electro catalyst Oxygen Reduction Reaction

Shanmugan Ramakrishnan · Lee Min Hee· Dong Jin Yoo*

R&D Education center for whole life cycle R&D of fuel cell systems Chonbuk National University, *Department of Life Science Graduate School of Department of Energy Storage/Conversion Engineering and Hydrogen and Fuel Cell Research Center Chonbuk National University

3D architecture ultrafine Pt nanoparticles stabilized on flowerlike MoS_2/N−doped reduced graphene oxide (Pt@MoS_2/NrGO) electro catalyst were synthesized by two step method. First flower like MoS_2 @ on MS−NrGO by hydrothermal method at 180 °C for 24 hrs and then followed by chemical reduction of Pt precursor to ultrafine Pt nanoparticles by using of ascorbic acid used as reducing agent. The Pt@MoS_2/NrGO nanocomposite have been characterized various characterizations techniques such as Micro Raman spectroscopy, X−ray photoelectron spectroscopy (XPS), X−ray Diffraction (XRD), FT−IR, Scanning electron microscope (SEM) and Transmission electron microscopy (TEM). The morphology analysis (SEM and TEM) confirm the ultrafine (~3nm) Pt nanoparticles decorated on MoS_2 on N−RGO sheet and Pt nanoparticle size was ~3nm. Oxygen Reduction Reaction (ORR) was evaluated by Linear sweep voltammetry curves of Pt@MoS_2/NrGO, Pt-NrGO, and Pt-C electro catalysts in 0.1M $HClO_4$, half−wave potentials 0.895, 0.882, and 0.876 V (versus a RHE) respectively. Pt@MoS_2/NrGO electro catalyst shows excellent catalytic activity and it shows better durability, only 15 mV reduction in the half−wave potential after 30,000 potential cycles.

자발적 환원반응에 의해 생성된 Pd 조촉매가 도입된 GDE의 전기화학적 분석・성능평가

Electrochemical Analysis and Performance Evaluation of Pd Promoted GDE Prepared by Spontaneous Reduction Reaction

송민호 · 이홍기* · 이민희 · 유동진**

전북대학교 대학원 공과대학교 에너지저장·변환공학과 연료전지시스템 전주기R&D 인력양성사업단, *우석대학교 수소연료전지센터, **전북대학교 자연과학대학 생명과학과

고분자 전해질 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)가 전기를 생산하려면 산소가 물로 바뀌는 과정(산소환원반응,ORR)이 필요하다. 이때 반응 촉매로 전기화학적 활성이 우수한 백금(Pt) 기반의 나노 입자가 주로 사용되지만 고가이며 매장량의 한계가 있고 장시간 산성 환경에 노출되면 내구성과 안정성이 떨어지기에 대체할만한 촉매 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서는 건식법을 사용해 백금(Pt) 촉매양은 줄이고 성능을 향상시키기 위해 금속 전구체인 Palladium acetylacetonate, $Pd(acac)_2$를 고분자 표면에 침투, 흡착시킨 후 자발적 환원 반응에 의해 Pd 촉매로 전환시키는 방법을 사용하여 GDE 표면에 조촉매로 도입하였고, 이 GDE를 단전지에 체결한 후 성능 평가를 하였다. 또한 Pd 조촉매 사용 전・후의 전기 화학적 분석과 성능을 비교하였으며, 에너지 분산 분광(EDS)분석을 통해 금속 촉매 원소 분석을 하였고, 주사전자현미경(SEM)을 통해 모폴로지를 관찰하였다.

높은 water storage capacity를 갖는 hollow mesoporous silica(HMSS)를 기반으로 한 하이브리드 음이온 교환 막

Hybrid anion exchange membranes based on hollow mesoporous silica (HMSS) with high water storage capacity

이민희 · 유동진*

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

알칼리 연료전지(alkaline fuel cell, AFC)는 빠른 연료산화 및 산소환원이 가능하기 때문에 Pt촉매 대신 비귀금속 저렴한 촉매사용이 가능하며, 낮은 연료투과도라는 장점으로 인하여 활발하게 연구되고 있다. 하지만 이온 전도도가 낮기 때문에 상용화에 한계가 있고, 이를 해결하기 위해서 water storage capacity를 향상시켜 이온전도도 및 물리적 특성을 개선하려는 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서, hollow mesoporous silica를 기반으로 한 poly(arylene ether sulfone)s (PAESs) 매트릭스로 구성된 하이브리드 음이온 교환 막 합성을 진행하였다. 멀티 블록 공중합체를 진행하기 위해서 bisphenol-A과 decafluorobiphenyl을 이용해 친수성 프리커서를 합성하였고 소수성 올리고머 합성을 위해서 bis(4-chlorophenyl)sulfone와 decafluorobiphenyl을 합성하였다. 이 후 친수성 프리커서와 소수성 올리고머를 이용해 멀티 블록 공중합체 반응을 진행하였다. 친수성 프리커서, 소수성 올리고머 그리고 합성된 멀티 블록 공중합체의 분자량을 gel permeation chromatography(GPC)로 확인하였다. chloromethylation은 75℃에서 168시간 조건에서 Friedel-Craft반응을 통해 성공적으로 이루어졌으며, 고분자 전해질 막에 무기물을 도입하기 위해서, chloromethylated multiblockcopolyemr와 공극크기가 각기 상이한 HMSS을 NMP용매에 녹여 캐스팅 방법을 이용하여 glss plate에 제막하였다. 제작된 복합막의 구조를 확인하기 위하여, FT-IR 및 XRD를 통해 고분자 전해질 막 내에 무기 나노 필러가 형성되었는지 확인하였고, FE-SEM 표면 이미지를 통해 무기물이 고르게 분산되어있는 지를 확인하였다.

Sulfonated Poly (vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene)/ Sulfonated Graphene Oxide(SGO) composite membrane for Direct Methanol Fuel Cell(DMFC)

Ranganathan Hariprasad· Kim Sang Hee · Dong Jin Yoo*
Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School Hydrogen and Fuel Cell Research Center Chonbuk National University, *Department of Life Science Chonbuk National University

Sulfonated Poly (vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene)/ Sulfonated Graphene Oxide (SGO) composite membrane was prepared by using the solution casting method. The prepared composite membrane was characterized by using FT-IR, AFM, FE-SEM and TEM techniques. Measurements such as ion exchange capacity (IEC), water uptake (WU), swelling ratio (SR), oxidative, thermal and mechanical stabilities, proton conductivity, methanol permeability and membrane selectivity were carried out to ensure the performance of the composite membrane. The composite membrane exhibits better thermal stability and proton conductivity than the pristine sPVDF-HFP membrane. We believe that the presence of SGO as a nano-filler in the composite membrane is the reason for those improvements.

Synthesis and characterization of Pt−CoS_2/N−rGO and its electro catalytic activity to ward oxidation of Glycerol

Logeshwaran Natarajan · Ramakrishnan shanmugamab· Kim Sang Hee· Dong Jin Yoo*
Department of Energy Storage/Conversion Engineering of Graduate School Hydrogen and Fuel Cell Research Center Chonbuk National University, *Department of Life Science Chonbuk National University

In recent times the direct glycerol fuel cell (DGFC) has been believed more attention as green power sources for transferable electronics and vehicles due to their high power density, high energy density, long cycle durability and easy handling/storage of liquid alcohol fuel. The DGFC failed to attain a commercial production because of the significant reduction of the anode durability due to easy poisoning of catalyst and its high cost with precious metal electrocatalysts (for example, Pt, Pd, etc.). Catalysts are important components in functioning of DGFC, which plays a crucial role in overcoming sluggish glycerol oxidation reactions (GORs) and oxygen reduction reactions. Here we are reported Platinum decorated cobalt sulfide nanosheets on nitrogen doped reduced graphene oxide (Pt−CoS_2/N−rGO) were synthesized by using hydrothermal method at 180℃ for 12hrs and Pt nanoparticles were deposit on CoS_2−NRGO by using chemical reduction method. Which was used as an efficient electrocatalyst for the glycerol oxidation reaction (MOR). X−ray diffraction data confirmed the presence of Pt and CoS_2 on nitrogen doped reduced graphene oxide. The morphology of Pt−CoS_2/N−rGO have been investigated by Scanning electron microscopy and transmission electron microscopy. The Pt−CoS_2/N−rGO catalyst exhibits better electro−oxidation activity and excellent electro chemical stability compared with commercial catalyst of Pt/C.

우수한 이온전도도를 갖는 음이온 교환막 개발을 위한 quaternary ammonium 기반 poly(arylene ether sulfone) 블록 공중합체의 합성 및 특성분석

Synthesis and Characterization of Quaternary Ammonium Based Poly(Arylene Ether Sulfone) Block Copolymers for the Development of Anion Exchange Membranes with Superb Hydroxide Ion Conductivity.

주지영 · 이민희 · 이규하 · 유동진*

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

본 연구에서는 4차 암모늄 그룹을 갖는 부분 불소화 된 poly(arylene ether sulfone)s (PAESs) 멀티 블록 공중 합체로 구성된 일련의 음이온 교환막을 개발하기 위하여 친핵성 치환 반응을 진행하였다. 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 일련의 PAES 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. Chloromethylation은 Friedel-Craft 반응을 통하여 최적화 된 조건으로 진행되었으며, 이 후 quaternization은 trimethyl amine(TMA)를 이용하여 특정 위치에 성공적으로 도입되었다. CM-PAES 및 QN-PAES 블록 공중 합체에 작용기 도입은 ^{1}H NMR 및 FT-IR을 통해 확인되었으며, 제조 된 QN-PAES 막은 매우 유연하고 투명하였으며, 준비된 막의 열적/물리적 특성은 TGA, water uptake 및 swelling ratio를 통해 확인하였다. 또한, AFM 이미지를 통해 친수성 올리고머 길이가 증가 할수록 뚜렷한 이온 수송 채널을 보여주었으며, 이는 이온 전도도 결과와 연관성을 나타내었다. 마지막으로, 70 ℃의 2 M NaOH 수용액에서 알칼리 안정성 테스트 결과 600 시간 후 QN-PAES 막의 이온 전도도는 약간 감소했지만 FT-IR 스펙트럼에서 눈에 띄는 변화를 나타내지 않았다. 전반적으로, QN-PAES 막은 우수한 전기 화학적 성질을 나타내었고 AFC를 위한 AEM으로써 매우 유용하다는 것이 입증되었다.

양면수광형 태양광 PV 스트링의 발전성능 향상에 관한 연구

A study on the performance enhancement of bifacial photovoltaic string system

유영균 · 박현욱 · 김민수 · 김우경 · 장성호*

영남대학교 화학공학부, *LG전자

태양광발전 산업의 주된 시장은 단결정 및 다결정 실리콘 태양전지이며, 셀 단위의 최고 효율은 이론적 최대 효율에 근접하여 추가로 효율을 상승시키기는 기술적으로 어려움이 있다. 셀 단위에서의 효율 개선도 중요하지만, 실제로 모듈 단위에서의 출력 향상이 실질적으로 유용한데, 이를 위해 전면뿐만 아니라 후면에서도 빛을 흡수하여 전기를 생산하는 양면수광형(bifacial) 태양광 모듈이 많은 관심을 받고 있다. 후면으로 들어오는 빛의 양은 바닥면의 종류 및 특성에 따라 결정되는 반사율(albedo)에 크게 영향을 받는다. 이와 같은 이유로 양면수광형 태양광 모듈은 설치 높이, 각도 및 방향과 바닥의 재질 등 설치 구조와 주위 환경에 많은 영향을 받게 된다.

본 연구에서 사용된 2종의 태양광 모듈은 모두 결정질 실리콘 태양전지 60개를 직렬연결한 60셀 모듈이며, 양면모듈은 6인치 양면수광형 n-type 실리콘 셀에 멀티와이어 버스바(multi-wire busbar) 및 투명 백시트(back sheet)를 적용한 전면 기준 정격출력 315W급 태양광 모듈이며, 단면모듈은 불투명한 흰색 백시트를 적용한 정격출력 315W급 모듈이다. 그리고 우리 주변에 흔히 설치되는 스트링 구조의 태양광 모듈 시스템을 고려하여 315W급 양면수광형 모듈 및 단면수광형 모듈을 각각 6개씩 직렬연결한 1.8kW급 태양광 PV 스트링 시스템을 구성한 후 바닥 조건과 모듈 사이의 간격 변화 등 설치 구조에 따라 단면수광형 태양광 발전시스템 대비 양면수광형 태양광 발전시스템의 발전성능 향상 정도에 대하여 옥외실증평가를 진행하였다.

Indoor test와 Outdoor test에 따른 태양광모듈 내구성 평가

Evaluation of Module's durability as Indoor test and Outdoor test

서영주 · 이유리 · 박현욱 · 김우경

영남대학교 화학공학부

지구온난화의 문제가 대두되는 요즘, 신재생에너지를 이용한 새로운 발전 시스템을 적용하여 온난화 문제를 해결하기 위한 노력을 기울이는 추세이다. 그 중에서도 태양광 에너지는 지구상에서 우리가 가장 쉽게 얻을 수 있는 에너지원 중 하나이다. 그렇기 때문에 태양광을 이용하여 전기를 발전하는 태양광 모듈은 최근 주변에서 손쉽게 찾아 볼 수 있다.

하지만, 태양광모듈은 발전하는 기간이 길어질수록 효율 저하와 발전량 저하가 생기게 되어 모듈 자체의 내구성이 떨어진다. 그러므로 태양광모듈의 테스트를 통해 문제점을 발견하고 해결 방안을 찾아내 적용하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 태양광모듈의 테스트 환경에 따른 내구성 변화에 대해서 기술하고 있다.

태양광모듈을 테스트하는 방법에는 장비를 활용한 Indoor test와 외부환경에서 진행하는 Outdoor test 방식이 있다. 사용자가 가장 궁금하게 생각하는 것은 Outdoor test 상에서의 모듈의 내구성 변화이지만, Outdoor에서 장기간 테스트를 진행하는 것은 환경적인 어려움이 있기 때문에 Indoor test를 통해서 예측한다. 하지만, 정확하게 Indoor test와 Outdoor test의 상관관계가 정확히 분석되어있지 않기 때문에 비교하는데 어려움이 있다. 본 연구에서는 Indoor test 중 고온고습과 온도사이클 장비를 활용한 복합테스트가 Outdoor test와 어떤 상관관계를 가지는지 비교 분석하였다.

양면 수광형 one cell 미니 모듈의 특성 평가

Characterization of Bifacial One Cell Mini Modules

박현욱 · 유영균 · 서영주 · 장성호* · 박상환* · 문세영* · 이종하* · 김우경

영남대학교 화학공학부, *LG 전자

최근 신재생에너지는 전체 수명주기의 비용과 수익을 기준으로 하는 LCOE(Levelized Cost Of Energy)가 중요한 척도로 제시되고 있으며, LCOE 측면에서 양면 수광형 태양광 발전 시스템은 가장 적합한 기술로 평가 받고 있다. 양면 수광형 태양전지의 경우 기존의 태양전지와 달리 앞뒤 양면이 모두 발전에 기여하며 최근 기술의 발달로 후면이 전면대비 80% 이상의 발전이 가능하게 되었다. 기존의 태양전지를 양면 수광형 태양전지로 교체하게 되면 약 15% 정도의 모듈 장 수가 감소하게 되고 이로 인한 설치부지, 부자재 및 인건비 감소로 인해 2028년에는 태양전지 시장 점유율의 약 40%를 차지할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 다양한 백시트(흰색, 투명, 검정색)를 사용하여 제작된 one cell 사이즈의 bifacial 미니 모듈을 평가하였다. 미니 모듈에는 156*156 mm, N-PERT 타입의 양면 수광형 셀이 사용되었고, multi wire 형태의 버스바로 제작되었다. LED 시뮬레이터를 사용하여 다양한 조도 및 스펙트럼에서 IV 분석을 진행하여 백시트에 의한 영향을 분석하였고, 투명한 백시트 미니 모듈의 경우 전면과 후면의 특성분석을 비교하였다. 또한, 이 결과를 실제 양면 수광형 모듈의 outdoor 테스트와 비교하였다.

결정질 태양전지의 crack이 PV모듈에 미치는 영향 연구

A Study on Characteristics of PV Module Depending Crack of Crystalline Silicon Solar Cell

이유리 · 서영주 · 김홍명 · 정재학*

영남대학교 화학공학부

실리콘 결정질 태양전지는 200㎛의 얇은 기판으로 연성이 작아 약한 충격에도 파손되기 쉽다. 태양전지 한 장은 약 0.6V의 출력을 갖기 때문에 여러 장의 태양전지를 직렬연결 후 모듈화 하여 사용 한다. 얇은 결정질 웨이퍼가 태양전지, 모듈로 완성되기까지 수많은 공정을 거친다. 이 때 지속적으로 받게 되는 기계적 스트레스에 의해 태양전지는 crack이 발생될 수 있다. 또한 외부에 노출되어 발전을 하는 동안 눈, 비, 바람, 우박과 같은 자연환경에 의해 crack이 생성 될 수 있으며 이런 영향으로 인해 crack으로 성장하게 된다.

PV모듈 내부에 생성된 태양전지 crack은 수㎛ 내·외의 실금 형태로 육안으로는 식별이 어렵고 초기 전기적 출력 값 또한 안정적이어서 정상 모듈로 소비자에게 공급된다. 하지만 태양전지를 직렬 회로로 구성하고 있는 PV모듈 특성상 crack을 내포하고 있는 태양전지는 장기적으로 crack으로 성장하여 모듈에 출력 부정합(mismatch)을 가져와 단일 모듈은 물론 시스템 전체적으로 발전 성능에 영향을 주게 되며, crack을 내포하고 있는 태양전지는 열점 현상으로 인해 노화 현상이 가속되어 모듈 수명을 단축시키는 주요 원인이 될 수 있다.

모듈의 내구성은 평균적으로 15~25년 동안 약 20%의 내구성 하락을 가지는 것이 자연스러운 현상이다. 하지만 초기 crack 현상에 의해서는 정상적인 내구성하락을 형성하지 못하고 초기에 불량이 나게 된다. 초기의 crack을 찾아낼 수 있다면 갑자기 내구성 하락으로 인한 발전량의 감소 현상을 방지할 수 있다. 이에 초기 데이터상이나 혹은 다른 방식으로 crack을 판별할 수 있는 방법을 연구가 필요하다. 본 연구에서는 실제 crack 발생 후 나타날 수 있는 모듈의 현상을 파악하고 판별할 수 있는 방안을 모색하고 EL image를 확인하였다.

다이캐스팅 공정용 플런저 팁 열변형에 관한 연구

A Study on Plunger tip Thermal Deformation for Die casting Process

김종우 · 이상직* · †이승용**

(재)대구기계부품연구원, *핫프로, **한국폴리텍6대학 구미캠퍼스 컴퓨터응용기계과

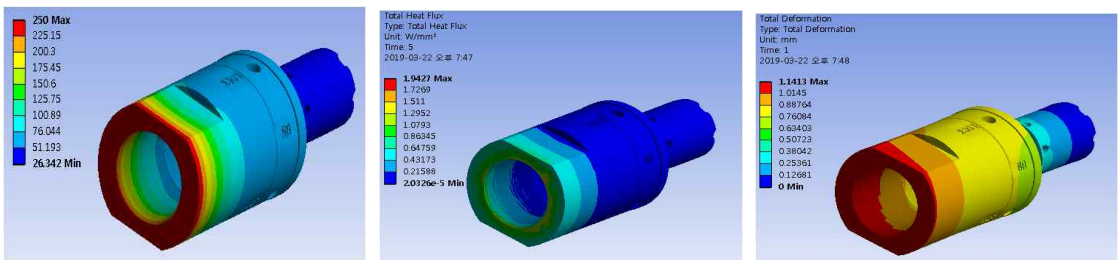
플런저 팁(Plunger tip)은 다이캐스팅 공정장비 내에서 용융된 금속을 슬리브를 통해 일정 압력으로 금형 내부로.밀어주는 핵심부품으로서 치수 정밀도가 높아야 하며, 계속되는 반복 작업에 의한 스트레스가 낮아야하며 고온의 환경속에서 작동됨으로 열변형에 안정 소재와 구조를 가져야 한다. 또한 지속적인 교체를 해야함에 따라 교체비용이 낮아야하고 간결한 교체 구조를 가져야 한다.

본 연구에서는 플런저 팁에 가해지는 열과 압력이 팁에 미치는 영향을 확인하기 위하여 플런저 팁을 모델링하고, Ansys work bench 14.5를 활용하여 열해석에 필요한 구속조건을 부여한 후 플런저 팁 접촉부의 온도조건을 총 10Step에 걸쳐 22℃에서 250℃까지 상승시키도록 온도 조건을 적용하여 100ton의 힘으로 가압하도록 약 981,000N 힘을 해석 조건에 부여하였다.

해석결과, Fig. 1의 (a)와 같이 온도분포는 용융된 다이캐스팅 원료와 접촉되는 부위에서 최대 250℃가 나타났으며, 점차적으로 온도가 낮아짐을 확인할 수 있었다. 유닛의 구조상 후면부의 경우 온도 상승이 미비하게 나타났다. 또한 (b)와 같이 열유동은 열이 가해지는 영역에서 가장 많이 나타났으며, 후면으로 갈수록 점차적으로 낮아짐을 확인할 수 있었다.

열변형은 (c)와 같이 최대 1.14mm가 나타났으며, 내부에 형성된 Thread의 영향과 팁 형상으로 인해 열변형이 팁 측면 모서리에 가장 크게 나타난 것으로 판단된다. 열응력은 (d)와 같이 최대 6,999.1MPa이 나타났으며, 최대 응력치는 냉각 유로 내부에서 나타남을 확인할 수 있었다.

본 연구는 중소벤처기업부 창업성장기술개발사업 “알루미늄 다이캐스팅용 링 교체형 플런저 팁 개발”(과제번호: S2581290)을 통하여 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.



(a)Temperature distribution (b)Heat flow analysis (c)Thermal deformation analysis

<Fig. Result of heat and pressure on the tip>

에어졸 트리거 노즐 내부 분사체 종류에 따른 유동해석

CFD According to Type of Spray in Aerosol Trigger nozzle

김종우 · 서헌욱 · 서영재 · 김병환* · †이승용**

(재)대구기계부품연구원, *대성산업, **한국폴리텍6대학 구미캠퍼스 컴퓨터응용기계과

에어졸 트리거 노즐(Trigger nozzle)은 버튼형으로 이루어져 있는 일반 노즐과 달리 레버 형태의 손잡이를 구비하고 있으며, 정밀 분사가 가능하고 장시간 작업이 필요할 경우에 주로 사용되어 산업뿐만 아니라 가정용으로도 폭 넓게 적용되고 있다. 개발된 제품은 임펠라 분사, 대롱분사, 특수분사(사각)를 갖는 3종 분사가 가능하게 설계하였다. 분사 종류에 따라 사용용도가 달라지고 분사체 종류가 달라질 수 있다. 본 연구에서는 사용 용도에 따른 분사체 별로 노즐 내부 유동해석을 수행하여 압력손실 및 유동 분포를 확인하였다. 이를 통해 분사체 별 용액 출구의 속도 분포를 예측하여 초기 설계의 타당성을 검토하였다.

해석 조건은 분사체 종류별로 구분하였으며, Type-1는 Propane, Type-2는 DME, Type-3은 LPG로 각각 경계조건을 설정하였다. Type별 속도 분포는 노즐내부를 전체적으로 확인할 수 있는 X방향 중앙 단면을 선정하였다. 속도 분포 확인 결과, Type별 유동분포는 거의 동일하였으며, 이는 유동장 형상은 동일하고, 물성 및 압력 차이가 있기 때문에 유동분포에는 큰 차이가 없다고 판단된다. 유동분포는 거의 동일한 분포가 확인되나, Type별 속도 범위의 차이가 나타났다. 최대속도는 입구 면적보다 상대적으로 작은 면적을 가진 출구에서 나타났고, Type1~3 순서로 846m/s, 1174m/s, 587m/s의 최대속도가 확인되었다. Type-1과 Type-2는 입구압력조건이 같지만 점성계수가 더 높은 Type-2의 최대속도가 더 빠르게 나타났다. 아래 Table 1에 Type-1과 Type-2는 입구의 압력조건이 동일하지만 다른 물성으로 평균속도의 차이를 보였다. Type별 입구압력 데이터는 해석조건으로 기입한 수치와 동일하며, Type-1, Type-2의 압력손실은 각각 71.4%, 71.3%로 거의 유사한 압력손실이 발생하는 것으로 확인되었고, Type-3는 60.8%로 Type-1, Type-2와 입구조건이 다르지만 상대적으로 압력손실이 덜 발생한 것을 확인할 수 있었다.

Table 1 Type according to analysis condition

Type	Average velocity(m/s)		Total pressure(Pa)	
	Inlet		Outlet	
Type-1	2.219	256.801	784,000	223,805
Type-2	3.090	355.084	784,000	224,540
Type-3	1.537	177.526	392,000	153,580

본 연구에서는 3종 분사가 가능한 에어졸 트리거 노즐 내부에서 분사체별로 속도 및 압력을 확인하기 위해 유동해석을 수행하였다. Type1~3 각각 846m/s, 1174m/s, 587m/s의 최대속도가 확인되었고, 71.4%, 71.3%, 60.8%의 압력손실이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 출구에서 발생하는 최대속도는 3종의 분사방법에 문제가 없을 것으로 판단된다.

본 연구는 중소벤처기업부 창업성장기술개발사업 “누설방지기능과 3종 분사(일반분사, 특수분사, 대롱분사)가 가능한 에어졸 제품용 트리거(Trigger)노즐 개발”(과제번호:S2621736)을 통하여 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

UHD급 4K Distributor 기기의 전자기적합성 분석을 통한 성능평가

The Performance evaluation of UHD class 4K Distributor equipment through electromagnetic compatibility analysis

서헌욱 · 이주민 · 김종우 · 신성호*

(재)대구기계부품연구원, *소통인스투르먼트

현대시대는 대자본을 소유한 제작사 및 대기업을 위주로 UHD 4K 해상도의 디스플레이 기기 및 영상 콘텐츠가 발전, 대중화가 되고 있다. 그러나 하이엔드 방송사를 제외한 중소규모의 영상방송시스템 환경은 Full-HD(1920*1080)을 지원하는 시스템으로 구축되어 UHD 4K(4016*2160)로 제작된 콘텐츠의 영상을 공급받을 수 없는 실정이다. 개발품은 UHD 해상도를 지원하며 영상소스별 업다운 스케일링을 통한 서로 다른 해상도 영상입출력이 가능한 UHD 4K급 비디오분배장치이다. 상용화를 위해 제품인증이 필수적이며 이를 위한 EMC 및 전기안전성 성능평가를 단계별로 성능평가를 수행하였다. 전자파적합성(EMC)의 주요 인증 시험을 수행하였으며 완제품 인증 취득을 위해 설계단계부터 디버깅 기술을 적용하여 개발 제품의 신뢰성 및 성능을 향상시켰다.

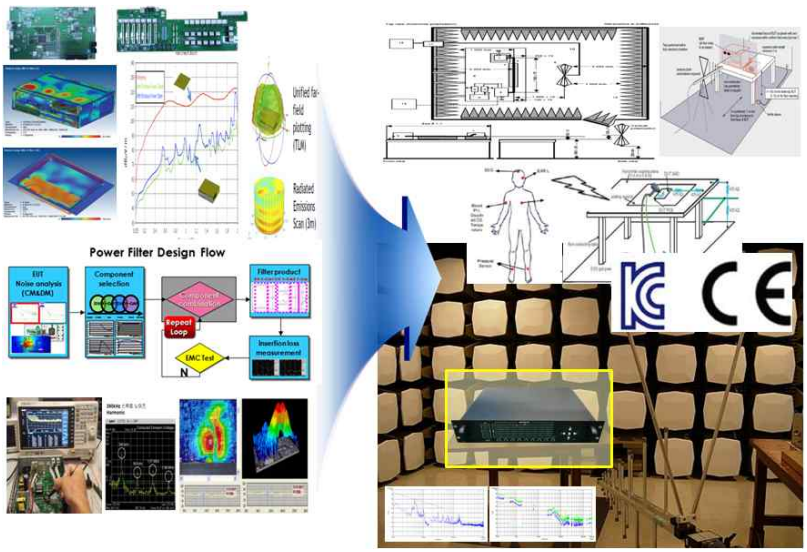


그림 1. EMC 성능평가 프로세스

본 연구는 중소벤처기업부 창업성장기술개발사업 “영상신호 스케일러 기술을 이용한 UHD급 4K Distributor 개발”(과제번호:S2619676)을 통하여 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

SSPA용 고효율 DC/DC Convertor 전자기적합성 분석을 통한 성능평가

The Performance Evaluation of High Efficiency DC / DC Converter for SSPA by Electromagnetic Compatibility Analysis

서헌욱 · 김종우 · 정일봉* · 김대관*

(재)대구기계부품연구원, *(주)에이앤디

최근 레이더의 형태가 수동 배열(TWT, Klystron 등의 단일 송신기 사용)에서 능동 배열 형태로 발전하면서 전력 증폭기의 형태가 진공 소자에서 반도체 소자로 바뀌고 있다. 위상과 이득을 가변할 수 있는 SSPA(Solid State Power Amplifier)나 TRM (Transmitter Receiver Module)을 수십 개에서 수천 개씩 배열하여 공간 합성을 통해 높은 출력 전력을 얻게 되므로, 관련 부품에까지 수요가 파급되고 있다. 본 개발품은 군수용 레이다는 물론 하이 앤드(high end) 산업용 통신장비에 사용되는 SSPA의 주요 부분인 1kW급 전원 공급 유닛(PSU;Power Supply Unit)이다. 스위칭을 이용한 제품으로 전체 시스템에 전자기적 영향을 줄 수 있는 부품레벨에서의 성능평가를 실시하였다. 전자파적합성(EMC) 및 진동내구, 온도변화 등의 주요 인증 시험을 수행하였다. 완제품 인증 취득을 위해 설계단계부터 디버깅 기술을 적용하여 개발 제품의 신뢰성 및 성능을 향상시켰다.

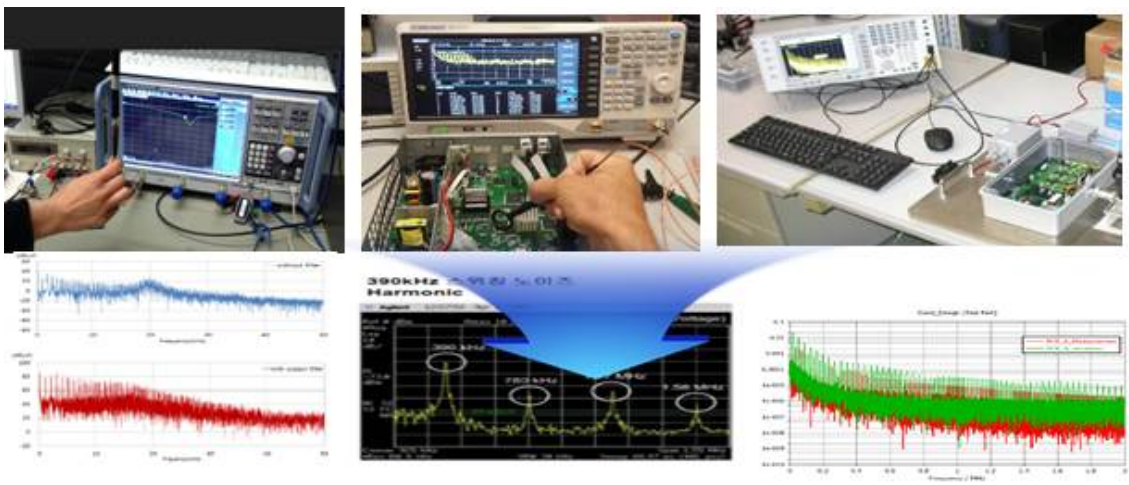


그림 1. 설계단계부터 완제품까지의 EMC 성능평가

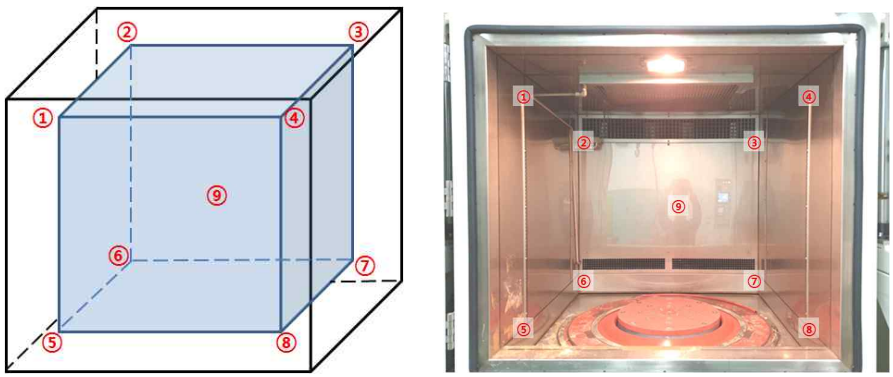
본 연구는 중소벤처기업부 창업성장기술개발사업 “SSPA용 고효율 전원공급모듈 개발 및 제품화”(과제번호:S2585675)을 통하여 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

복합환경진동시험기용 챔버 열분포 분석

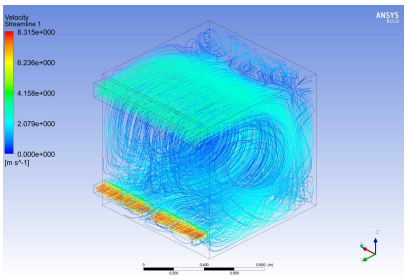
Thermal Distribution Analysis for Chamber of Combined Environmental Vibration Tester

배정섭 · 장은실
(재)대구기계부품연구원

본 내용은 복합환경진동시험기의 챔버 열분포 분석에 관한 내용이다. 환경 챔버 내부의 열 흐름 및 열분포를 분석하여 시험 대상품에 효과적인 열 인가 여부를 확인하고, 측정을 통해 설정 온도와 환경 챔버 내부의 위치별 온도 차이를 파악하고자 한다. 전산해석적인 방법으로 환경 챔버 내부의 열 흐름 및 위치별 열분포를 분석하고, 실제 열분포 분석은 고온의 조건으로 챔버를 가열시 챔버 내부 9지점의 위치별 온도를 측정 분석하였다. 환경 챔버 내부의 열분포를 분석함으로 환경 조건 인가 대상품의 크기에 따른 열 인가 차이 여부를 파악하고자 한다.



< Fig. 1 Shape of Chamber Interior >



< Fig. 2 Thermal Distribution & Flow Analysis through Computer Simulation >

분산형에너지 핵심부품 경쟁력 향상을 위한 성능시험 및 인증지원

Testing & Certification support of Improving competitiveness for Distributed Energy

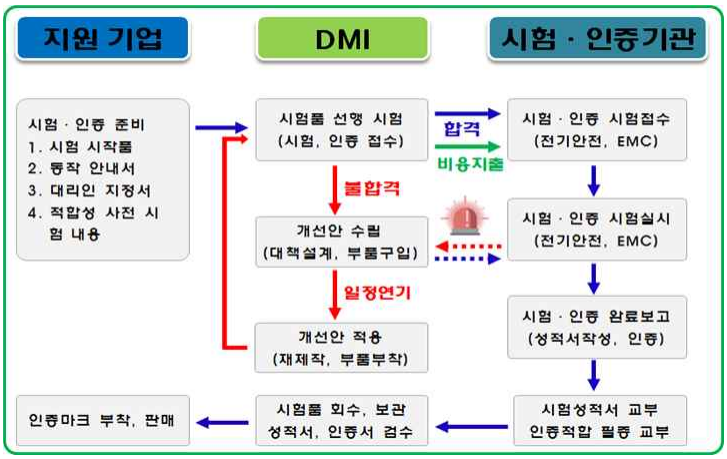
안정훈 . **배정섭** . **노해진** . **서헌욱** . **김종우**
(재)대구기계부품연구원 스마트에너지연구팀

분산형에너지산업은 신재생에너지산업, 전력저장장치 및 인버터 산업, ICT산업 등 다양한 산업군들과의 공급사슬로 직·간접적인 시너지를 극대화 할 수 있는 융복합 기술임. 분산형전원을 마이크로그리드 시스템화 하는 사업은 기존 대규모 지역난방사업과 비교해 초기 투자비용이 감소한다는 장점이 있으며 24시간 내내 안정적으로 전기, 냉난방, 온수를 공급할 수 있어 국민생활편익 증가와 소규모 분산발전 시스템으로 정전방지에도 기여할 수 있음. 따라서 스마트분산형전원산업은 에너지절감 뿐만 아니라 환경친화적 산업이라 할 수 있음.

지원사업은 에너지자립화 시대를 대비한 스마트분산형에너지산업 핵심 거점화를 위한 산업생태계 자생력 확보와 시작품, 시제품에 대한 성능 시험 및 인증지원을 통한 에너지 핵심부품 경쟁력 강화 및 시장 활성화를 목표로 수행되었음.

핵심부품 경쟁력 향상을 위한 위한 시작품, 시제품 시험 및 인증지원을 위한 기술개발 완료기업의 시작품 시험, 인증지원을 중심으로 한 기술지도 실시, KeyMan의 전공과 수행업무에 맞는 지원기업 담당을 통한 전문성 확보지원, 기술지도를 통한 신기술 접목의 R&D 기획지원을 통한 아이디어 구현 지원을 지원하였음.

금번 지원을 통하여 18개 지원기업을 선정, 인증취득 22건, 성능시험성적서 19건을 달성하였음. 결과로 지원기업의 매출증가율 31% 달성 및 신규고용 5명, 지원을 통한 신규 아이템에서 402백만원의 발생매출을 올린 것으로 조사됨.



< 성능시험 및 인증지원을 위한 지원기관의 업무 흐름도>

본 논문(P0002683, 분산형에너지 핵심부품 경쟁력 향상을 위한 성능시험 및 인증지원)의 기업지원은 중소벤처기업부와 대구시의 지원에 의하여 수행되었으며, 지원해 주신 모든 분들에게 감사의 뜻을 전합니다.

용도별 적재부 교체가 가능한 미니(500kg) 전동리프트 개발

Developed an electronic lift that can replace tools depending on th application

안정훈 . **전규성*** . **마승복***

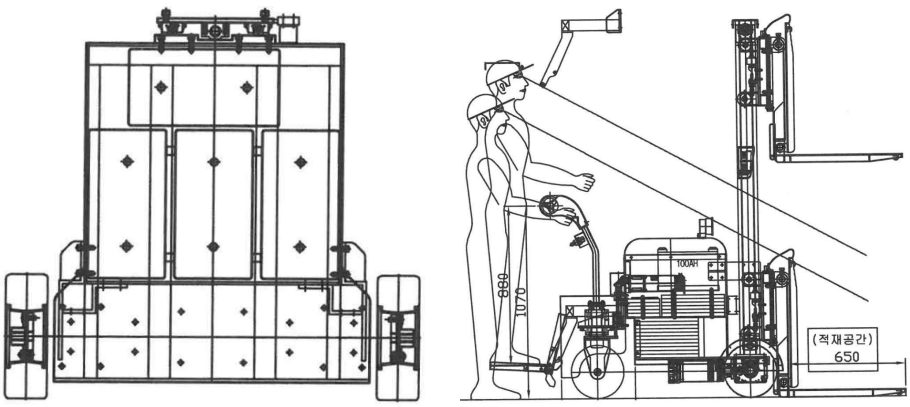
(재)대구기계부품연구원, 성민웰텍*

최근 들어 인구감소로 인한 제조업의 생산인력 부족현상이 심각해 지고 있음. 특히 무거운 중량물의 이동이나 운반, 적재 등 작업자의 안전에 대한 대비책이 없을 경우 심각한 안전사고가 발생되거나 그것을 우려한 작업자의 이직이 심각한 수준임.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 농촌지역에서는 농업용 편의장비 지원사업을 실시하여 부족한 노동력을 해결하기 위하여 애 쓰고 있으며, 일반용으로는 택배업 등 배달업을 중심으로 다양한 몰건을 운반, 적재, 이동 작업등에 활용하고 있음. 또한 산업용으로는 생산을 위한 자재 운반, 생산품의 이동, 적재 등 다양한 환경에서 운용하고 있음.

흔히 사용하는 엔진이 부착된 리프트는 산업현장 실내에서 사용하기에는 소음이 매우 크며, 전동 지게차는 포크리프트를 움직이기 위하여 유압장치를 부착하여 리프트 크기가 매우 커 산업현장 내부에서 움직이기 불편함. 이러한 문제점을 보완하고 손쉽게 사용하기 위하여 최대 500kg 이동이 가능한 전동 리프트와 배터리팩을 동시에 개발하고자 함.

본 과제에서 개발하고 있는 전동 리프트는 구동을 위한 배터리팩이 직류 24V, 100Ah로 직류 12V 산업용 칼슘베터리 두 개를 직렬 연결하여 사용하거나 리튬이온배터리를 이용한 직류 25.2V, 100Ah 배터리팩을 구성하여 전원장치로 활용하고자 함. 또한 체인 구동식 상, 하 리프트를 개발하여 상자 4개를 동시에 이동하거나 고소작업용, 드럼이동용, 박스 및 일반 화물용, 포크리프트 지게차용 등 다양한 부가장치를 개발하여 그 활용성을 높이고자 하였음.



< 적재부 교체가 가능한 전동리프트 및 배터리팩 설계도면 >

본 논문(S2658693, 용도별 적재부 교체가 가능한 미니(500kg) 전동리프트 개발)은 중소벤처기업부의 지원에 의하여 수행되었으며, 지원해 주신 모든 분들에게 감사의 뜻을 전합니다.

바이오디젤 합성용 고체 촉매 제조 및 에스테르화 반응

The preparation of the solid catalyst biodiesel synthesis and esterification reaction

나용규 · 이민호 · 김재곤
한국석유관리원 석유기술연구소

기후변화 대응 및 온실가스 감축 수단으로 최근 많은 국가에서 재생 가능 에너지 소비를 가속화하는 많은 신재생 에너지 정책을 시행하고 있다. 한국 정부도 2015년부터 수송용 연료에 RFS(Renewable Fuel Standard, 신재생에너지 연료 혼합 의무화제도)를 도입하여 시행하고 있다. 바이오디젤은 재생 가능하고 친환경적이며 단쇄 알킬 에스테르로 구성된 청정 연료로 석유제품인 디젤을 대체할 수 있다. 바이오디젤은 식물성 오일이나 동물성 지방을 알코올 및 촉매의 에스테르화 반응으로 합성된다. 지금까지 바이오디젤 등을 포함하는 지방산 알킬 에스테르의 합성을 위한 고체 촉매는 에스테르 전환율이 떨어지며, 물리/화학적 안정성이 떨어져 일정한 촉매능을 유지하기 어려운 문제가 있었다. 본 연구에서는 황산 및 황산염을 혼합하여 고체 촉매를 제조하였고, 지지체 표면에 고르게 설폰기를 분포시켰다. 제조된 고체 촉매를 메탄올과 함께 65℃, 7시간 동안 에스테르화 반응을 시켰다. 제조된 고체 촉매는 에스테르 반응 공정에 반복적으로 재사용해도 촉매능을 보다 안정적으로 유지하였으며, 또한 지방산 알킬 에스테르의 합성 시간을 현저히 감소시켰다. 제조된 촉매를 사용하여 10회 연속 사용에 따른 전환율 감소폭은 현저히 낮은 수치를 나타내었다.

참고문헌

1. Park, Y. M., Lee, D. W., Kim, D. K., Lee, J. S. and Lee, K. Y., “The Heterogeneous Catalyst System for the Continuous Con-version of Free Fatty Acids in Used Vegetable Oils for the Pro-duction of Biosiesel”, *Catal. Today*, **131**, 238-243(2008).

2. Zabeti, M., Daud, W. M. A. W. and Aroua, M. K., “Activity of Solid Catalysts for Biodiesel Production: A Review”, *Fuel Proces. Technol.*, **90**, 770-777(2009).

국내 항공연료의 연간 품질 변화 추이 분석

The Analysis of Annual Quality Change in Domestic Aviation Fuel

도진우 · 전화연 · 연주민 · 이민호 · 김성룡*

한국석유관리원 석유기술연구소, *한국항공우주연구원

국내 정유사에서 생산 및 유통되고 있는 항공유에 대해 약 1년간 품질모니터링을 실시하여 연간 품질 동향을 분석하고, 해외 항공유 품질기준과의 비교분석을 실시하였다. 항공유에 적용되는 대표적인 품질규격은 미국재료시험협회(American Society for Testing and Materials, ASTM)의 D1665, 「Standard Specification for Aviation Turbine Fuels」와 국제항공운송협회(International Air Transport Association, IATA)에서 제정한 「Guidance Material for Aviation Turbine Fuels Specifications」에서 규정하고 있다. 또한, 국내에서는 항공유를 한국산업표준(Korea Standard)에서 품질기준을 설정하고 있다. 본 연구에서는 2016년부터 2017년까지 국내 정유사에서 생산 및 유통되는 항공유(Jet A-1)에 대하여 금속제 용기를 이용하여 채취하고 미국의 재료시험협회인 ASTM 규격에서 정하고 있는 품질기준 및 시험방법을 이용하여 항공유의 방향족 함량, 황 함량 및 증류성상 등 총 6가지 항목에 대하여 분석하였다. 국내 정유사에서 생산된 제품들은 각 분석 항목별로 연간 일정한 품질을 유지하는 것으로 나타났다. 또한, 한국산업표준(KS), 미국재료협회(ASTM) 및 국제항공운송협회(IATA)에서 규정하고 있는 품질기준과의 비교에서도 대부분의 항목들이 기준을 충분히 충족하였으며, 특히, 방향족 함량의 경우는 국내 품질기준이 해외에 비해 다소 낮게 설정되어 있고 실제 제품도 기준에 만족하였다. 본 연구는 국내에서 생산 및 유통되는 항공유에 대하여 일부 항목에 대한 연간 품질모니터링 결과로, 품질기준의 다양한 항목에 대한 장기적인 실측 데이터 측정을 통한 항공유의 품질 특성 변화를 관찰할 필요가 있다.

자동차용 경유의 세탄가의 분석방법에 따른 연관성 연구

Research of Relation Between Measurement of Cetane Number, Derived Cetane Number and Cetane Index for Diesel Fuel

전화연 · 김신 · 이민호
한국석유관리원 석유기술연구소

자동차용 경유를 연료로 사용하는 디젤엔진에서 세탄가는 중요한 품질기준이다. 세탄가는 경유의 착화성을 정량적으로 나타낸 지표이며 이는 자동차의 성능뿐만 아니라 환경적으로 밀접한 연관이 있다. 일반적으로 세탄가가 높으면 착화점이 낮아져 시동성이 좋고 운전이 원활해지나 지나치게 높으면 연소가 불균일해져 매연의 원인이 되고 연료소비량이 증가한다. 국내 자동차용 경유의 세탄가 품질기준은 52 이상, 혹한기 48 이상으로 규정되어 있다. 따라서 경유를 유통하는 정유사뿐만 아니라 석유제품의 품질검사 및 관리를 하는 한국석유관리원에서도 다양한 방법으로 세탄가를 측정하고 있다. 현재 국내의 「석유 및 석유대체연료 사업법령」에 규정되어 있는 세탄가 측정방법은 KS M ISO 5165에 따른 CFR엔진을 이용한 세탄가분석, KS M ISO 4264에 따른 경유의 물성인 밀도와 증류유출 온도를 통하여 세탄가를 산출하는 세탄지수, ASTM D6890 따라 CFR엔진의 단점을 보완하여 고온에서 연료의 연소되는 시간을 통해 세탄가를 측정하는 유도세탄가 등이 있다. 본 연구에서는 규정된 세탄가 측정법들에 대한 연관성을 조사하고자 정유사별, 하·동절기별 시료를 확보하여 각각의 방법으로 세탄가 및 기타요인을 측정하고 이를 분석하여 각각의 세탄가 측정법에 대한 상관관계를 분석하였다. 이를 통하여 재현성 범위 안에서 세탄가, 유도세탄가, 세탄지수 순으로 세탄가가 높게 측정 되는 것을 확인하였다. 현재 편의성을 이유로 많이 사용되는 세탄지수를 계산하였을 때 품질기준에 적합하지만 실제 측정하는 세탄가는 품질미달이 발생할 수 있기 때문에 이로 한 자동차용 경유 소비자들의 피해로 이어질수 있기 때문에 보완연구가 필요할 것으로 보인다.

디젤발전 시스템 모델링을 통한 조속기 설계에 관한 연구

A study on speed governor designing of diesel power generation system by modeling

김영철
한국수력원자력 중앙연구원

디젤발전기를 제어한다는 것은 안정적인 운전 조건을 유지할 뿐만 아니라 디젤발전기의 열효율을 최적화하고 엔진으로부터 방출되는 독성물질을 최소로 하는 것이다.

최근까지도 산업현장에서는 조속기 및 설비의 운전 상태를 설정함에 있어 해당 설비를 기동하여 실제 부하를 급격하게 변경하면서 Bumping test를 통해 운전 특성을 평가하고 있다. 이러한 방법은 반복적인 시험 수행에 따른 시행 착오(Trial and Error)를 통해 조속기의 변수값을 찾는 방법으로 많은 시간과 노력이 투입되고 지속적인 시험이 설비의 건전성을 저해할 가능성도 있다. 또한, 선정된 제어 변수값이 최적값이라고 단정하기도 어렵다.

본 논문은 비상디젤발전기 제어 시스템의 전산 모델을 개발하고 시뮬레이션을 통해 모델의 유효성을 검증하는데 목적이 있다.

Metlab을 사용하여 First Principles 기법을 통해 발전기, 조속기 및 디젤엔진, 여자시스템 및 소내 계통을 모델링하였다. 발전기와 부하(전동기 구동식 펌프)의 특성 파라미터 값은 실측 및 계산된 값을 사용하였으며 여자시스템은 IEEE에서 제시한 자려식(Self-Excitation) 브러시리스(Brushless)형에 해당하는 AC5A 형식을 적용하였다. 조속기 및 발전기 모델은 Reverse Acting 및 PI 제어 특성을 갖도록 설계하고 PI동조(Tuning)를 통해 응동 특성을 개선하였다.

순차적으로 부하가 투입되는 과정에서 조속기 출력(Act' Out), 회전속도(Wm), 기계출력(Pm) 및 전기 출력(Pe)이 안정적으로 응동하며 정격 주파수(회전수)가 순차부하 투입 간격의 60%(3초) 이내에 정격의 ±2% 범위 안에 있으며 어떠한 경우라도 95% 이하로 감소되지 않으므로 Reg. guide 1.9의 요건을 만족함을 확인하였다.

부하 증가 시 전류 증가와 전압 감소는 즉각적으로 발행하며 기계적 출력은 0.03초 정도의 미세한 시간지연 후에 증가함을 확인하였다. 부하 변동과정에서 조속기의 출력이 감소함에 따라 기계적 및 전기적 출력이 증가하는 Reverse Acting 특성을 확인하였다.

Impulse 응답에 대한 전달함수, Bode 선도 및 Pole-Zero Map을 검토하였다. 전달함수 각각의 특성방정식으로 인식되는 분모항은 동일하였으며 분자항이 미세하게 상이하였으므로 각 지점의 전달함수가 갖는 특성은 동일하다고 할 수 있다. 또한 Pole-Zero Map 상의 극점이 S-평면의 좌반면(LHP)에 있기 때문에 조속기 및 디젤엔진 시스템은 안정적인 응동특성을 보이는 것으로 판단된다.

이로서 조속기 및 디젤엔진 모델링 과정에서 수행한 PI동조결과가 양호함을 확인하였다.

고리 1호기 해체 액체방사성폐기물의 종류 및 특성

The Types and Characteristics for Liquid Radwaste of Decommissioning at Kori-1 Nuclear Power Plant

김현민*

*한국수력원자력 중앙연구원 방사선해체연구소 원전사후그룹

원자력안전위원회고시 제2018-10호에 따라 사업자 한국수력원자력(주)은 원자력발전소를 해체하기 위해 최종해체계획서를 원자력안전위원회에 제출해야하며, 최종해체계획서에는 원자력이용시설 해체과정에서 발생하는 방사성폐기물의 특성과 처리·저장·처분 방법 등을 기술해야 한다[1]. 이 논문에서는 국내에서 최초로 해체되는 고리 1호기를 모델로 하여 해체 액체방사성폐기물의 종류와 특성을 예상하여 최종해체계획서 작성과 후속 호기 해체 액체방사성폐기물 특성 분석에 활용하고자 한다.

원자력안전위원회의 폐기물계통 및 환경배출량 방사선원항 규제지침의 방사선원항 정의에 따르면 원자력발전소의 방사선원항을 5가지로 정의하고 있다. 해체 시 발생하는 액체방사성폐기물은 예상선원항에 속하기 때문에 단서 조항에 따라 방사성폐기물계통 방사선원항과 기타(체적제어탱크, 원자로배수탱크 등)를 제외할 수 있다[2]. 또한, 해체 원자력발전소는 영구정지 후 사용후핵연료가 제거된 상태를 가정하기 때문에, 고리 1호기 경우 1차 냉각재 방사선원항과 2차측 계통 방사선원항은 운영 중 발생폐기물로 따로 분류한다. 따라서 고리 1호기 해체 액체방사성폐기물은 크게 사용후연료저장조 및 재장전수조의 방사선원항과 해체를 통해 발생하는 현장 폐액 및 방사성 샤워/세탁폐액으로 정의할 수 있다.

1. 사용후핵연료저장조 냉각수 및 핵연료 재장전수

재장전수조 상부지역, 하부지역, 사용후핵연료저장조, 핵연료이송수로, 사용후연료선적조로 구분되며, 총 부피는 약 2,500m^3이다. 재장전수에 포함된 핵종은 Mn-54, Co-58, Co-60, Nb-97, Ag-110m, Sb-125, Cs-134, Cs-136, Cs-137이 존재하며, 정화 필터와 이온교환기에 의해 저장조 농도가 낮게 관리된다.

2. 현장 폐액 및 방사성 샤워/세탁폐액

해체공사 시 발생되는 방사성액체폐기물로는 콘크리트 제거작업 시 발생되는 현장 폐액과 신체제염 및 작업복 세탁 시 발생되는 방사성 샤워/세탁폐액이 대부분이며, 방사성 샤워/세탁폐액이란 샤워/세탁폐액 중 방사능 분석을 실시하여 방사능이 검출기의 검출한계치 이상인 것을 말한다. 방사성 샤워/세탁폐액은 방사능준위로는 극저준위로 분류되나, 이 폐액에는 각종 불순물 및 세제성분이 포함되어 있으므로 역삼투막에 의한 막분리처리를 수행한다.

추가 연구을 통해 RV/RVI 수중절단 따라 발생하는 비산물을 액체방사성폐기물에 추가하고, 해외 원전해체 사례 및 국내 연구로 해체 경험을 통해 현장 폐액 발생량을 예측하여 최종해체계획서 액체방사성폐기물의 종류 및 특성을 작성하는데 적용하고자 한다.

[1] 원자력안전위원회, 원자력안전위원회고시 제2018-10호, 2018.
[2] 원자력안전위원회, 규제지침 KINS/RG-N12.1

원전해체 부지의 토양, 지표수 및 지하수 복원기술 분석

Review of Remediation Technology of Contaminated Soil, Surface Water and Underwater in Decommissioning Nuclear Power Plant Site

유지환 · 오재용

한국수력원자력(주) 중앙연구원 방사선해체연구소

원전해체 종료를 위한 부지복원의 대상인 토양은 지하수면의 위치에 의해 불포화대(Unsaturated Zone)와 포화대(Saturated Zone)로 구분될 수 있다. 오염된 방사성물질의 토양층 내의 이동은 지하수면의 위치뿐만 아니라, 공극률(Porosity)과 투수성(Permeability)과 같은 토양의 물리화학적 특성에 의한 영향을 받는다. 이외에도 토양층을 통과하는 오염핵종의 특성, 즉 증기압과 화학적 반응특성에 의해서도 영향을 받는다. 따라서 토양의 제염방법을 선정하기 위해서는 부지 내 토양층의 특성과 대상 오염핵종에 대한 사전 평가가 필요하다.

토양 제염 방법에서는 제염작업이 실시되는 위치에 따라 In-situ 제염 기술과 Ex-situ 제염 기술로 나누어지며, 오염 확산 방지를 위한 오염물질 차단기술과 오염물질 제거기술로 구분된다. In-situ 제염 기술은 오염 토양을 현장에서 직접 처리하는 기술로서, 주변 환경으로 오염물질이 노출될 가능성이 낮은 것이 특징이다. 비용은 Ex-situ 제염 기술에 비해 저렴한 편이나, 현장 토양의 불균질로 인해 제거 효율이 제한될 수 있다. 이에 비해 Ex-situ 제염 기술은 오염 토양을 굴착하여 이동시켜 처리하는 기술로서 제염 공정의 관리 및 효율 평가가 용이하다. 그러나 굴착과 이동에 많은 비용이 소요되며 굴착과정에서 지반환경을 교란하여 오염의 확산을 유발할 수 있는 단점이 있다. 적용 기술의 관점에서는 오염 핵종의 제거방법에 따라 생물학적, 물리화학적, 열적 기술로 분류될 수 있다.

지표수는 하천과 강, 호수, 해안의 조수 및 바다를 포함한다. 또한 도랑이나 간헐적으로 흐르는 개울도 지표수로 분류된다. 방사선학적 평가에서 방사성핵종의 지표수 또는 퇴적물로의 이동 가능성을 검토해야 한다. 과거 방출이 의심되지 않는 경우, 향후 방출 가능성은 지표수까지의 거리와 부지에서의 홍수 가능성에 달려있다. 지표토양 및 지하토양에 대해 방사성핵종의 분산 또는 침투에 영향을 주는 계절에 의한 요인[7]과 관련하여 토양과 물 사이의 상호관계를 고려해야 한다.

본 논문에서는 해체대상 원전에 존재하는 방사성 핵종이 토양을 거쳐 지하수계로 유입될 경우에서 토양과 지하수에 적용 할 수 있는 제염 방법과 복원 절차에 대해 기술하며 원전 부지 경계면에서 주기적인 모니터링 등을 통해 오염핵종이 부지 밖으로 배출되지 않도록 관리하는 내용에 대해 기술한다.

7) 결빙, 해동 및 건조(desiccation)로 인한 토양 균열 등

엑스선 기준조사 평가를 위한 열형광선량계 판독 비교시험

Inter-laboratory Comparison on the Performance of X-ray irradiation using TLD dosimeters

김형진 · 민제호* · 원유호 · 장한기* · 조문형

한국수력원자력(주) 중앙연구원, *한국방사선진흥협회 의료정도관리센터

원자력사업자는 원자력안전법에 의거하여 종사자 피폭선량판독업무에 대한 정기검사를 받고 있으며 한수원은 판독업무 정확성 및 신뢰성을 제고하기 위해 매년 자체판독성능시험을 수행하고 있다. 자체성능시험 시 방사선 기준조사를 외부기관에 위탁하였으나 한수원 중앙연구원에서 기준조사를 수행하기 위해 2018년 국제규격의 X선 조사장치 구축을 완료하였다. 이에 따라 본 연구에서는 X선 기준조사에 대한 신뢰성을 검증하고 자체성능시험 수행을 위한 예비평가를 목적으로 열형광선량계(TLD)를 이용한 개인피폭선량판독 기관간 비교시험을 수행하였다.

X선 기준조사는 한수원(A기관)과 한국방사선진흥협회(B기관)가 수행하였으며 조사대상으로 종사자 개인선량계로 사용하고 있는 Panasonic, Harshaw TLD를 사용하였다. 조사범주는 원안법 시행규칙 별표3을 참조하여 X선 빔코드 및 선량에 따라 총 5개 범주(M150:183.87mGy, M30:8.38mGy, M60:8.59mGy, M100:25.93 mGy, M150:21.79 mGy)로 구분하였고 범주별, 선량계 모델별로 각 3개의 선량계를 조사하였다. X선 조사장치는 국가표준기관으로부터 소급받은 이온챔버(Exradin A3)를 사용하여 교정하였으며 해당선량을 조사하기 위한 조사조건(관전류, 조사시간)의 설정은 각 기관의 X선 조사장치 교정결과에 따라 결정하였다.

두 기관의 X선 빔코드 특성을 비교 분석한 결과, NIST 빔코드 요건(제1반가층 5%이내, 균질계수 10%이내)을 만족하였으며 각 빔코드별 교정인자(Gy/C) 오차가 1% 이내인 것으로 확인되었다. 이는 두 기관의 X선 스펙트럼 특성이 유사하다는 것을 의미한다. 또한 조사선량 대비 TLD 판독선량을 분석한 결과 빔코드별로 기관 간 유사한 분포를 나타냈으며 판독성능검사 성능지표는 허용준위 이내로 기준조사 유효성을 검증하였다. 따라서 향후 자체판독성능검사 시 X선 기준조사를 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 다만 그림(좌)과 같이 일부 기준 선량 대비 TLD 판독결과가 최대 24 %, 기관 간 오차가 최대 -13.4 %로 확인되었는데 이는 X선에 대한 TLD 판독 불확도에 기인한 것으로 보이며 X선 빔코드별 TLD 판독특성 평가 등 추가 연구를 통해 한수원 개인선량 판독 정확도 향상에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

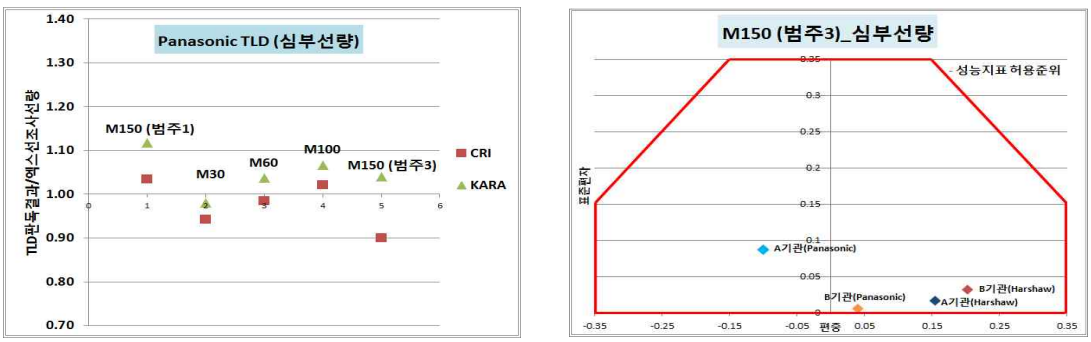


그림. X선 조사선량 대비 TLD판독결과 비교 일부(좌), TLD판독성능지표 분포도 일부(우)

원전 케이블의 재질분석을 위한 방법론

Methodology for Material Analysis of Cable in Nuclear Power Plants

박형규, 정선철

한국수력원자력㈜ 중앙연구원

원자력발전소의 케이블 내환경검증(EQ, Environmental Qualification)은 원자력안전법 시행규칙 및 최종안전성분석보고서의 요건에 따라 만족되어야 한다. 국내 원전에 설치된 케이블의 경우 목적에 따라 전력용, 제어용, 계측용 및 특수용으로 구분되어 있다. 이들 케이블의 사양 및 정보 확인은 외피 표면 임프린트 정보를 통해 케이블 제작사, 규격, 절연체/피복재 재질 등을 대조하고, 케이블 코드와의 연관성을 확인하여 비교작업을 수행하였다. 하지만 임프린트 정보가 없는 케이블의 경우 케이블의 종류를 구별할 수 없다. 이에 따라 적외선 분광기(FT-IR)를 활용, 케이블 표면에 적외선을 조사하여 반사되는 적외선의 스펙트럼을 분석함으로써 케이블의 종류를 확인 할 수 있다.

케이블 재질을 분석할 수 있는 장비로는 UV, NMR, FT-IR등 다양한 장비가 있다. 본 연구에서는 EQ 케이블 시편의 재질 분석을 위해 FT-IR 장비를 사용하여 시편의 스펙트럼을 측정하였다. FT-IR의 경우 스펙트럼을 통해 각각의 분자 지문을 파악할 수 있어 재질 분석을 하는데 용이하다. 또한 스펙트럼을 비교 분석하는 프로그램으로 시편의 동질성을 비교하여 시편 재질의 유사성을 분석하였다. 시편의 동질성은 두 재질의 스펙트럼간의 비교 차이가 작을수록 유사한 시편으로 간주할 수 있다. 케이블 자켓 및 절연체 재질을 확인하기 위해 케이블 표면의 코팅 또는 이물질 영향을 검토하고, 케이블 절연체 내외부의 재질을 측정하였다. 총 5개의 제조사에서 제조된 케이블 시편 14개의 스펙트럼을 프로그램을 사용하여 비교분석하였다.

제조사간 스펙트럼을 측정 및 비교 하였으나 동질성이 매우 낮아 비교대상에서 제외하였다. 하지만 A사와 B사의 경우 재질이 유사할 것으로 예측되어 비교대상에 포함하였다. 측정결과 신규 케이블의 경우 절연체 외부에서 측정한 스펙트럼과 내부에서 측정한 스펙트럼이 매우 유사함을 나타내었다. B사의 케이블 절연체의 표면부분의 스펙트럼을 비교한 결과 시편 간의 유사성이 높았으며, 이를 통해 시편 절연재가 동일함을 알 수 있었다. 또한 A사의 시편과 B사의 시편을 비교 및 분석해본 결과 두 시편의 절연재도 유사하였다.

본 연구의 케이블 재질분석을 위한 방법론은 원전에서 사용되고 있는 케이블을 분석 및 분류하는 데에 유용하게 사용될 것이다. 열 및 방사선에 열화된 케이블은 표면을 매끄럽게 깎아내는 방법 등을 사용하여 표면의 이물질을 완전히 제거한 후, FT-IR으로 스펙트럼을 측정하는 것이 요구된다. 본 연구는 정상 및 과도, DBA 상태에서의 케이블 내환경검증을 수행하기 위한 전단계이며, 관련 기관에 유용하게 활용되고 있다.

원전 케이블의 잔여수명 평가 방법론

Methodology for Residual Life Assessment of Cable in Nuclear Power Plants

정선철, 박형규

한국수력원자력㈜ 중앙연구원

원전 케이블은 전력용, 제어용, 계측용, 특수용으로 분류되어 설계, 제작 및 설치되어 사용되고 있다. 케이블은 전도체를 제외하고 필러, 절연체 및 자켓 등의 비금속 재질로 구성되어 사용 환경조건에 따라 다양하게 영향을 받으며, 대부분 온도 및 방사선 조사에 따라 열화가 진행되어 수명이 감소하고 있다. 원전의 설계 수명은 일반적으로 40년 또는 60년으로 정상 가동을 위해 설치된 케이블은 사용기간의 증가에 따라 열화가 진행된 후에도 정상 및 과도 상태, 설계기준사고(DBA)에 대해 충분한 안전성능을 유지하여야 한다.

케이블 내환경 검증으로 미국은 IEEE323, IEEE383, 프랑스는 RCC-E, IEC60780의 기술기준을 적용하고 있으며, 검증시편 선정 및 사용 환경조건 이상에서 검증시험을 수행하여 설계검증을 수행하고 있다. 검증된 케이블은 발전소에서 사용 중 국부적 열화나 설계수명 이상을 사용 시 잔여수명을 평가하여 계속적으로 사용 가능하다.

잔여수명 평가의 핵심 요소는 일반적으로 검증 시 가정된 조건과 자연노화 차이점 분석, 케이블의 재질이나 설계사항 검토, 수명에 대한 영향인자 확인(내환경 및 운전 측면 등), 중요 노화 메카니즘 결정, 노화 시험으로 다룰 수 없는 노화 메카니즘에 대한 접근 방법 확인, 품질보증 수명 평가방법 수립, 감시, 정비 및 교체 확인 등이 있다. 케이블의 잔여수명 평가에는 직접적인 형식시험, 분석방법 및 조합방법 등 다양하게 적용되고 있다.

본 연구는 장기간 사용된 케이블의 잔여수명 확인 방법으로 인위적 노화, 자연노화 및 이들 기술들의 조합을 사용한 단계별 형식시험 수행으로 환경조건(온도, 방사선 등)에 적합한 잔여수명을 확인하여 계속 사용할 수 있는 근거를 만드는 방법을 제시하고자 한다. 케이블의 자연적인 노화와 실험실에서 가속된 노화에 대한 물리적 특성은 상이하며, 케이블은 온도의 변화에 따라 고온에서 저온으로 열화가 변동되면 성능이 회복되고 저온에서 고온으로 열화가 진행되면 성능 저하되는 것을 문헌과 시험결과로써 확인할 수 있었다. 발전소 현장의 자연적인 노화 상태에서 측정된 잔여수명은 실험실의 가속 노화 상태에서 측정된 케이블 잔여수명 보다 큰 것으로 확인되었으며, 미국의 장기 운영하는 원전 케이블 사례에서 볼 수 있듯이 60년 이상 사용 가능하는 것을 운전경험으로도 찾을 수 있었다.

향후 원전 현장에서 사용되고 있는 케이블의 시편을 다양하게 확보하여 수명 데이터를 축척하면 잔여수명 평가를 보다 정확하여 케이블 수명연장 및 안전성 확인에 도움을 줄 것으로 기대된다.

등가온도를 적용한 전해 커패시터 수명산정 방법 연구

A Study of Methodology on Calculating Lifetime of Electrolytic Capacitor Considering Degradation-weighted Average Temperature

고영준 · 차한주* · 홍영희
한국수력원자력(주), 충남대학교*

전해 커패시터(이하 커패시터)는 다양한 용량과 저렴한 단가로 인해 전자산업, 전력산업 등 산업계에서 널리 사용되고 있다. 그러나 운전온도에 따라 전해물질의 증발로 인한 정격용량 저하 발생 등 열노화에 취약하다는 단점이 있다. 그렇기 때문에 사용자는 설비고장을 사전에 예방하기 위해 제조사가 제시하는 정격수명을 기반으로 커패시터의 실제 사용온도를 고려해서 교체주기를 수립해야 한다. 본 논문에서는 실제 현장온도에 노화인자를 반영하여 산출되는 등가온도를 고려하여 커패시터 수명을 산정하는 방법에 대해 고찰해 보고자 한다.

일반적으로 커패시터 제조사는 카다로그 등 기술자료나 웹페이지 계산도구를 통해서 사용온도에 따른 수명 데이터를 제공하고 있다. 카다로그에는 아레니우스 방정식에 기반을 둔 수명계산식이 명기되어 있거나, 실험데이터를 바탕으로 도식화된 온도-수명곡선이 제시되어 있다. 이를 통해 사용자는 커패시터의 운전온도별 수명 데이터를 취득할 수 있다. 만약 이 2가지 요소가 없을 경우, 온도가 10℃ 상승시 수명은 1/2 수준으로 감소한다는 '10℃ Rule'을 이용하여 정격수명을 기준으로 온도-수명 데이터를 산출할 수 있다. 이렇게 산출한 데이터와 아레니우스 방정식, 회귀분석법을 활용하여 커패시터의 활성화에너지를 도출하면 어떤 예상 운전온도에서도 커패시터의 수명을 평가할 수 있게 된다.

커패시터 수명 산정에 있어서 커패시터의 운전온도를 적절하게 취득하는 것은 매우 중요하다. 인버터나 충전기 패널에 사용하는 커패시터의 운전온도는 패널 주위온도에 패널 내부와 자체발열 온도상승치 각각을 합산하여 계산할 수 있다. 주위온도는 검교정된 실내 온도계를 이용하여 측정하고, 패널 내부 온도는 냉각공기의 출구 온도로 확인이 가능하다. 또한, 커패시터의 자체발열 온도는 검교정된 열화상 카메라로 측정한 커패시터 표면온도에 패널 내부 온도를 차감하여 계산이 가능하다. 이렇게 일회성으로 취득한 온도로 수명을 계산할 수도 있지만, 현장의 실제적인 온도값 취득을 위해서는 발전소 운전정보시스템(Plant Information System, 이하 PIS)을 이용하는 것이 효과적이다.

커패시터는 온도에 의한 주요 노화메커니즘을 갖는 부품으로 정격온도 이상 사용조건에서 급속한 성능저하가 발생하게 된다. 커패시터의 주위온도를 지속적으로 모니터링 해야 하는 중요한 이유이다. 연속적이고 실제적인 온도 데이터를 취득하기 위해 PIS를 활용하고, 이를 기반으로 산출된 등가온도를 이용하면 커패시터의 실질적인 수명산정이 가능할 것으로 사료된다.

원자로냉각재펌프 예측진단기술 개발을 위한 고장현황 분석

Analysis of Failure Status for Predictive Diagnosis Technology Development in Reactor Coolant Pump

김희찬 · 김태희
한국수력원자력 중앙연구원

1. 연구 목적

본 연구는 표준형원전 핵심설비인 원자로냉각재펌프(RCP, Reactor Coolant Pump)의 현장 활용도를 높일 수 있는 최적의 예측진단기술 개발을 위해서 발전소 고장정비 사례와 기존 연구 결과들을 종합적으로 분석하여 발전소별 맞춤형 감시 및 진단정보들을 제공하는 것이 주요 목적이다.

2. 연구 내용

RCP 공급사에 따라 설계특성과 구성설비가 다르므로 예측진단기술 개발 대상발전소인 한국형 원자력발전소의 RCP설비의 중요 기기와 부품들을 살펴보았고, 이들 각각에 대한 기능적 중요도를 조사하였다. 그리고 RCP 운전정지를 유발하는 원인들을 기기와 부품별로 구분하고 국내외 발전소고장사례들을 조사하였다. 국내 경우에는 최근 RCP 고장정비사례와 한국원자력안전위원회의 OPIS시스템 등록 전체 742건(1978년~2018까지)을 각각 분석하였으며, 해외 경우에는 INPO NPRDS DB(1993년~1996년) 등록 고장 사례들을 원인별로 상세분석하였다.

3. 연구 결과 및 고찰

수직 다단형 원심펌프인 RCP의 구성 부품별 기능적 중요도를 분석한 결과 회전력을 제공하는 전동기(6극, 1190RPM, 8800HP), 회전체 부하를 지지하는 TBA(Thrust Bearing Assembly), 회전력을 전달하는 회전체(축/커플링/임펠러 등) 및 냉각재 누설을 방지하는 씰(기계식 밀봉장치)의 건전성 확보가 매우 중요한 것으로 조사되었다. 이와 관련하여 원전 RCP의 고장현황에 대한 조사 결과, 국내에서는 2000년 5월 회전체 접촉/굽힘 사고로 인한 고진동, TBA의 패드/오일 씰 손상 및 2017년 3월 콘너트 이탈사고 등을 포함하여 RCP 감속 또는 정지를 유발하는 고장이 발생하였다. RCP 고장분석 결과, RCP 자체 문제로 인한 정지뿐만 아니라 외부설비의 영향에 의한 정지사례도 다수 확인되었다. 밀봉부와 회전체 부품 손상등의 기계분야, 차단기와 보호기 손상등의 전기분야 및 제어카드와 온도측정 스위치 등의 계측분야의 문제가 발생한 것으로 확인되었다. 해외의 경우 INPO NPRDs DB 자료에 따르면 발전소 정지 및 출력감발을 유발하는 사고가 3년간 총 57건 발생하였으며, 55.4%이상이 진동(vibration)과 누설(leakage)가 원인이었다. 진동발생은 회전체를 구성하는 부품들(축, 커플링 등)과 베어링에서 주로 발생하였으며, 누설은 냉각재 밀봉부와 메커니컬 씰 부위에서 많이 발생한 것으로 확인되었다. 최종분석 결과, 기존에 많이 알려진 회전체 손상과 밀봉부 씰 누설뿐만 아니라 회전체 부하를 지지하는 TBA 손상과 중요 부품들의 냉각과 윤활 관련 문제들의 감시와 진단이 현장에서 매우 중요하다는 것을 확인하였다.

자동예측진단 기술개발을 위한 예측정비 데이터 사용 방안

Using Predictive Maintenance Data to Develop Auto Prognosis Techniques

김주식 · 김태희 · 이원규
한국수력원자력(주) 중앙연구원

1. 연구 목적

본 연구는 각 원자력발전소의 예측정비 데이터를 통합하여 고장징후 사전감지 및 원전 안전성 증진을 위한 자동예측진단 시스템에서 활용이 가능하도록 데이터를 자동으로 변경 및 전송하고 데이터베이스화하여 저장하는 기술 방안을 제시하는 것이 주요 목적이다.

2. 연구내용

원자력발전소에서는 기기성능 또는 운전상태를 정해진 주기에 따라 측정, 분석을 수행함으로서 기기의 고장 가능성을 사전에 예측하여 고장발생 전에 정비를 할 수 있는 예측정비 프로그램을 운용하고 있다. 본 연구에는 예측정비 프로그램을 통해 측정된 진동, 열화상 등의 데이터를 자동예측진단 시스템에서 사용이 가능한 기술방안을 연구하였다. 자동예측진단 시스템에서 예측정비 데이터를 활용하기 위해서는 예측정비 데이터의 데이터베이스 구조(설비의 구성, 설정값, 데이터 측정값 등의 위치 테이블) 분석이 필요하였고 데이터베이스도 자동예측진단 시스템에 맞게 변환이 필요하여 이를 해결하기 위한 기술적 방안을 모색하였다.

3. 연구 결과 및 고찰

자동예측진단 시스템은 설비의 구성, 설정 및 측정데이타 등을 필요로 한다. 이러한 데이터 정보를 자동예측진단 시스템에서 활용하기 위해서 예측정비 파일의 데이터베이스 테이블 구조 분석을 수행하려하였다. 그러나 예측정비 파일은 예측정비 관리 프로그램 제작사에서 제공하는 전용 프로그램을 통해서만 읽어야 하는 문제가 있었다. 이를 해결하기 위해 예측정비 프로그램 제작사에서 제공하는 ODBC[8](Open DataBase Conectivity) Driver와 MS Access[9]를 이용하여 파일의 데이터베이스 테이블 구조를 분석할 수 있었다. 데이터베이스 테이블 구조 확인 후에도 자동예측진단 시스템에서는 예측정비 파일을 바로 읽어 들일 수 없는 문제가 있었다. 자동예측진단 시스템 서버는 PostgreSQL 방식의 데이터베이스 방식을 사용하도록 설계 되어 있어 예측정비 파일의 데이터 형식 변경을 필요로 하였다. 데이터 구조를 파악한 방법과 유사하게 제작사 제공하는 ODBC Driver와 MS Access로 예측정비 데이터를 읽어 들인 후 다시 PostgreSQL ODBC Driver를 사용하여 PostgreSQL 데이터베이스로 전송/저장 할 수 있었다. 본 연구를 통하여 고장징후 사전감지 및 원전 안전성 증진이 가능한 자동예측진단 시스템과 데이터 형식이 다른 예측정비 데이터를 활용 할 수 있는 기술 방안을 제시 할 수 있었다.

8) ODBC : MS사에서 만든 데이터베이스 접근을 위한 표준 규격으로 다양한 데이터 베이스에 동일한 형식의 접근성을 보장
9) MS Access : MS Office용 관계형 데이터베이스로 원하는 데이터베이스 서버로 데이터를 전송하는 역할

국내 원전의 주제어실 내 화재로 인한 원격정지제어반에서의 안전정지 실패확률에 대한 민감도 분석

A Sensitivity Analysis for Failure Probability of Safe Shutdown in Remote Shutdown Panel due to Fire in Main Control Room of Domestic Nuclear Power Plants

이한설

한국수력원자력(주) 중앙연구원

국내 원전에서는, 화재로 인한 위험을 평가하기 위해 화재위험도분석과 같은 결정론적 안전성평가와 더불어 원전 내 화재구역별 점화원의 화재발생빈도 및 자동화재방호설비의 실패확률, 현장의 운전원의 수동화재진압실패확률 등과 같은 확률론적 평가기법을 활용한 확률론적 안전성평가가 수행되고 있다. 국내에서 수행되는 화재 확률론적 안전성평가(PSA, Probabilistic Safety Assessment)는 미국 EPRI(Electric Power Research Institute)에서 발행한 미국 원전의 화재 발생 경험데이터(NSAC-178L)와 화재 확률론적 안전성평가(이하, 화재 PSA) 방법론(Fire PRA Implementation Guide)을 기반으로 수행되고 있다. 일반적으로 화재 PSA는 원전 현장답사를 통하여 원전 내 화재구역의 특성(점화원의 유무, 화재진압설비의 유무, PSA대상기기의 유무, 화재전파경로의 유무 등)을 파악하고 해당 화재구역에 대한 정성적 선별 분석, 정량적 선별 분석 등의 화재구역 선별분석을 수행하여 선별된 화재구역에 대한 상세 평가를 통해 이루어진다. 상세 평가 대상으로 선별된 화재구역은 해당 화재구역 내 화재 발생 후 진행 시간에 따라 초기, 성장, 확산 단계로 나뉘어 화재시나리오가 도출되며 화재 시나리오 별 노심손상빈도(CDF, Core Damage Frequency)평가를 통하여 해당 구역의 화재로 인한 CDF가 도출된다.

주제어실은 원전의 원자로제어와 안전정지를 담당하고 있는 구역이며, 일부 국내 원전에서 가장 중요한 화재구역으로 평가되고 있다. 원전의 노형 특성에 따라 다르지만, 일반적으로 주제어실에는 원전 운영을 위해 운전원이 조작하는 벤치보드와 화재방호패널을 포함한 전기캐비닛들이 설치되어 있다. 또한, 원전의 안전정지를 위한 대체수단으로 원격정지제어반이 계열별로 설치되어 있으며 주제어실 내 발생한 화재의 초기 진압에 실패하여 주제어실의 거주성을 상실할 경우, 운전원은 원격정지제어반으로 이동하여 원전의 안전정지를 수행한다. 벤치보드와 화재방호패널은 주제어실 내 주요 점화원이며 이들 점화원에서 발생한 화재의 진행시간에 따라 주제어실의 화재시나리오가 도출된다. 국내 일부 원전에서 주제어실 내 발생한 화재의 초기 진압 실패 후, 원격정지제어반으로 대피한 운전원의 원전 안전정지 실패확률값이 과도하게 보수적으로 적용되어 주제어반의 주요 화재 특성을 적절히 반영하지 못하거나 타 화재구역의 리스크 기여 인자들을 도출하는데 방해요소가 될 수 있다. 이와 같이 과도하게 보수적인 평가로 인해 화재로 인한 원전의 취약점과 리스크 Insight를 적절히 도출하지 못한다면, 화재 PSA는 리스크평가 척도로서의 역할에만 머무를 우려가 있다. 본 논문에서는, 원격정지제어반에서 운전원의 원전 안전정지 실패확률에 대한 민감도 분석을 수행하여 원격정지제어반에서 운전원의 원전 안전정지 실패확률에 따른 주제어실의 화재로 인한 CDF 변화 추이와 기존에 적용된 확률값의 과도한 보수성을 살펴보고자 한다.

대형원전 일체형 원자로상부구조물 구조해석

Structural Analysis of Integrated Reactor Head Assembly for Large NPPs

한성흠. 이도환
한국수력원자력(주) 중앙연구원

대형원전 일체형 원자로상부구조물(integrated reactor head assembly; IHA)은 중량의 증가로 IHA 지진하중이 증가하였고, CEDM(core element drive mechanism) 용접부 검사의 편리를 위한 IHA 설계개선 필요성이 제기되어 내진성능 향상 등을 위한 IHA 설계최적화 연구를 수행하고 있다. 본 논문은 IHA 주요부품의 기본설계에 대한 구조해석에 대하여 소개하고자 한다.

IHA 기본설계조립은 아래부터 하부, 중간, 상부 냉각슈라우드집합체가 설치되며 구조해석을 위하여 개발된 유한요소 해석모델은 그림1과 같다.

IHA 구조해석은 유한요소해석 방법으로 수행한다. 기본설계가 완료된 IHA의 도면을 바탕으로 상용프로그램인 ANSYS(Version 15.0)을 이용하여 유한요소모델을 생성하였다. 또한 생성된 IHA 유한요소모델은 동특성을 파악하기 위해 모드해석을 수행하였다.

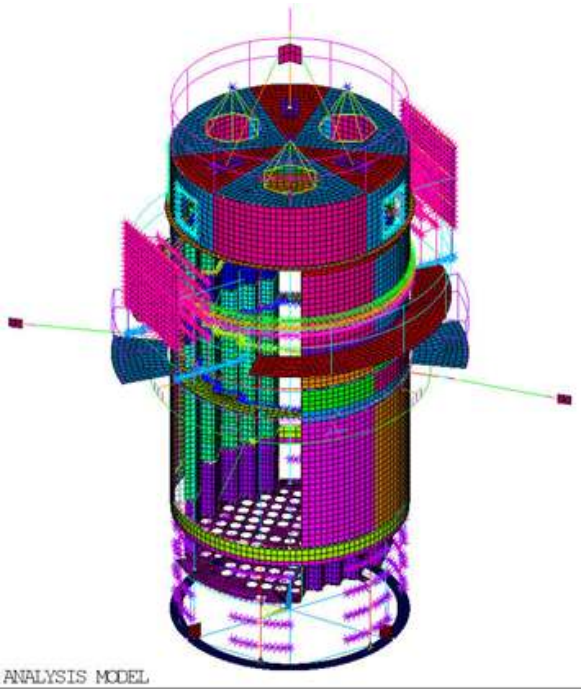


그림 1 IHA 유한요소 해석모델

IHA 구조해석은 크게 정적해석과 동적해석으로 구분할 수 있다. 정적해석에는 IHA에 중력 가속도가 작용하는 조건, 즉 자중해석과 인양하중 해석이 있다. 자중해석은 정상운전 조건에서 IHA가 원자로헤드에 안착된 상태로 1g의 중력가속도가 작용할 때 IHA에 작용하는 하중을 계산하기 위한 것이다. 인양해석은 격납건물 크레인이 IHA와 원자로헤드를 인양할 때 인양가속도가 작용하는 경우에 부재와 연결부 하중을 산출하기 위한 것이다. 동적해석은 안전정지지진 (safety shutdown barthquake, SSE) 하중, 분지관 파단(branch line pipe break, BLPB) 하중, 격납건물내 재장전수탱크 방출(in-containment refueling water storage tank, IRWST) 하중 조건에서 IHA 부재와 연결부에서 발생하는 하중을 계산하기 위한 것으로 응답스펙트럼 해석법을 사용하였다. 구조해석을 통해 산출된 하중은 IHA 응력평가 결과에 따라 IHA 부재의 치수나 형상 등 기본설계에 반영된다.

대형원전 IHA 설계최적화가 완료되면 IHA의 운전 편리성 증진 및 내진성능 향상은 물론 안전성능 향상이 가능할 것으로 기대하고 있다.

원전 소구경배관 소켓용접부 관리방안

Small bore pipe socket weld management plan in nuclear power plant

문균영 . **한경석**

한국수력원자력(주) 중앙연구원 기계연구소 비파괴기술그룹

국내 및 해외 원전에서 소구경배관 소켓용접부 유사 누설사례가 증가함에 따라 소켓용접부에 대한 건전성 확보 필요성이 대두되어 원자로 냉각재계통 기기, 연결배관에 설치된 소구경배관 소켓용접부에 대한 관리지침을 수립 및 운영하여 소켓용접부 누설로 야기할 수 있는 원자로 수동정지를 예방하기 위한 관리방안을 수립하였다. 우선 검사관리 대상은 발전소 소구경배관 소켓용접부를 그룹별 관리대상으로 선정하였는데 그룹1은 원자로냉각재계통 내 차단이 불가능한 첫 번째 밸브까지의 소켓용접부이고 그룹2는 그룹1 범위의 소구경배관에 속하지 않으나, 원자로 정상출력운전 중 누설시 고방사선으로 접근이 불가하거나 누설 격리 조치가 불가능하여 원자로 수동정지를 야기할 수 있는 소구경 소켓용접부이며, 그룹3은 그룹1,2의 범위에 속하지 않으나, 해당 발전소에서 진동 손상경험으로 검사관리가 필요한 소켓용접부로 분류하여 선정하였다. 그룹1 및 그룹2 범주에 속하는 소켓용접부는 모두 목록화 하였으며 용접부 식별번호 및 주요 설계정보, 배관 타입 등이 포함되었다. 또한 소켓용접부는 배관 타입별로 외팔보(Cantilevered Type), 외팔보 외(Complex Type) 타입으로 분류하였다. 소켓용접부의 주요 손상원인인 고주기 피로에 의한 손상 위험도를 평가하기 위해 그룹1,2 관리대상 소켓용접부의 배관은 초기 기동시 등의 운전 중 발생되는 진동을 측정 한다. 외팔보타입의 진동측정은 밸브가 1개인 경우 밸브의 무게 중심점에서 측정하고 밸브가 2개인 경우 밸브와 밸브 사이 중심점에서 최대 가속도 값을 3축 방향으로 측정한다. 외팔보 외 타입의 진동 측정은 지지대를 기준으로 최대 속도가 측정되는 위치에서 최대 속도 값을 3축으로 측정한다. 위험도 분류는 진동 위험도 분류 및 배관 중요도 분류도 구분되는데, 진동위험도 분류는 EPRI MRP-235 Screening Criteria 방법론 또는 KEPIC MOG-5000의 단순방법에 의한 진동평가 결과 진동 위험도를 진동평가 기준으로 백분율로 환산하여 4개 영역으로 분류하며, 배관 중요도 분류는 배관 중요도는 배관 형식별 나타날 수 있는 진동 특성을 고려하여 배관 중요도를 3개 그룹으로 분류되어진다. Cantilevered Type 배관은 기기/모관 분기관 용접부부터 첫 번째 밸브까지 모든 소켓용접부는 동일 그룹으로 분류하여야 하며, Complex Type 배관은 기기/모관 분기관 용접부부터 첫번째 배관 지지대 이내 모든 소켓용접부를 동일 그룹으로 분류한다. 위험도 그룹 분류는 진동 위험도와 배관 중요도에 따라 8개 위험도 그룹으로 분류한다. 검사주기 및 검사방법 설정 위험도 그룹별 검사방법 및 검사주기를 다음과 같이 설정한다. 검사주기 관리는 10년 장주기 동안(6~7회 OH/주기)에 걸쳐 대상 용접부가 전량 검사가 되도록 균등 분배하여 관리한다. 검사방법으로 체적검사는 위상배열초음파탐상검사(PAUT)를 수행하며, PAUT 접근성 등으로 검사 제한이 있는 방사선투과검사(RT) 또는 초음파탐상검사(UT)를 수행할 수 있다. 필요시 표면검사로 액체침투탐상검사(PT)를 수행한다. 새로운 장주기 검사계획 수립시 소켓용접부 검사관리자는 장주기 검사계획의 유효성을 확인하여 필요시 검사계획을 조정한다. 이전 장주기 동안 관리대상 소구경배관 관련 기기 및 모 배관에 설계변경, 회전기기 교체 유무를 확인하여 변경사항이 있는 경우 진동을 측정·평가하여 위험도를 재분류한다. 검사결과 검출지시에 대해서는 가동원전 보수·교체 프로그램에 따라 정비작업이 수행되어지며, 파면분석 결과 균열이 없는 용접결함으로 확인된 보수정비 소켓용접부를 제외하고 균열결함 정비 용접부는 차기 3주기 동안 추적검사를 수행한다.

원전 압력용기 용접부 자동초음파탐상검사 적용 현황

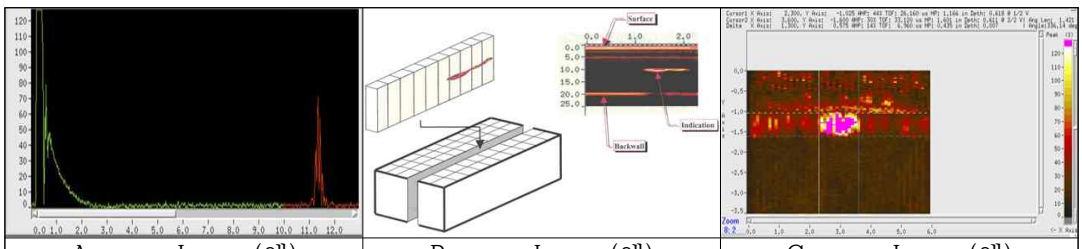
Application of Automatic Ultrasonic Inspection of Nuclear Power Plant Pressure Vessel Weldment

문균영 . **한경석**

한국수력원자력(주) 중앙연구원 기계연구소 비파괴기술그룹

수동초음파검사는 검사 데이터를 실시간 확인 하면서 즉시 검사하기 때문에 저장이 불가능하여 검사자 외에 3자 평가를 할 수 없다는 단점이 있는데 반해, 자동초음파검사는 검사데이터의 저장이 가능하여 검사자 외에 제3자가 확인 및 검증을 위해 데이터를 평가할 수 있다는 장점이 있다. 이로 인하여 자동초음파검사는 현재 원전 가동중검사에서 이상 징후 발견시 과거데이터와 비교평가가 가능하고 신호의 화상처리 및 이미지화가 가능하여 결함 여부를 평가하는데 많은 정보를 제공하므로써 신호평가의 신뢰성을 향상 시킬 수 있다. 이에 따라 자동초음파검사는 국내에 '94년부터 도입되었으며 원전주요 기기인 가압기와 증기발생기의 원주용접부에 한하여 적용중이다.

자동초음파검사에서 검사장비는 미국 Wesdyne사의 5090 Scanner 및 검사업체의 신호수집/평가용 프로그램이 사용된다. 자동초음파검사는 탐촉자가 부착된 Scanner(주사장치)를 컴퓨터에서 원격으로 조정하여 검사 데이터를 취득한다. 수집된 데이터는 신호 화상처리를 통하여 지시의 평가를 용이하게 할 수 있고, 기록의 영구 보존 뿐만 아니라 결함신호의 성장 여부를 파악할 수 있는 등 여러 가지 특징을 갖추고 있다. 검사부위의 검사체적은 용접부 및 인접모재 열 영향 부위까지로 하고 검사 데이터의 신호취득은 0° 종파를 이용하여 표면과 나란한 결함 및 라미네이션의 존재여부를 확인한다. 또한 45°, 60°, 70° 횡파를 이용하여 용접선과 평행한 결함들을 검사하고 가능한 범위 내에서 용접선을 중심으로 양쪽방향에서 스캔하며, 용접선에 대해 수직방향으로 존재하는 결함을 검출하기 위해 시계/반시계 방향으로도 검사한다. 특히, 압력용기(가압기, 증기발생기) 바깥 표면에서의 검사 수행 시 표면에서 1″ 또는 1/4T 내에 있는(Near Field Zone) 결함 탐지를 위하여 70° 탐촉자를 사용하여 검사를 수행한다. 평가방법은 수집된 신호를 C-scan 및 B-scan 영상화면에서 우선적으로 결함신호를 평가한 후, A-scan과 비교하여 신호의 크기, 위치 등을 판정한다.



A-scan Image(예)	B-scan Image(예)	C-scan Image(예)

중앙연구원에서는 사내 기술지원 요청시 압력용기 용접부(증기발생기 및 가압기) 자동초음파검사 신호 전체 데이터에 대하여 독립평가를 수행하고 있으며, 탐촉자 보정, 검사시스템 Setup 및 Scanning 변수 등 제반 검사절차에 대해 유효성을 확인하고 관련 규정과 코드의 요건에 따라 검사가 수행되고 있는지 평가한다. 검사결과 검출된 지시에 대하여는 허용기준을 초과하는지 건전성 평가를 통하여 발전소안전 운전에 기여하고 있다.

후쿠시마 원전사고 대응전략 고찰

Study on Coping Strategy for post Fukushima Nuclear accident of Nuclear Power Plants

김윤중
한국수력원자력(주) 중앙연구원

2011년 3월 11일 일본 동북지역에서 발생한 대지진과 쓰나미(Tsunami)로 인하여 후쿠시마 제1원전이 바닷물에 침수되면서 수소폭발과 방사능 유출사고가 발생하였다. 이로 인하여 가동 중이던 원자로의 핵분열은 긴급 정지됐지만, 공학적 안전설비에 전력 공급이 중단되면서 핵연료의 냉각시스템이 정지되어 핵연료봉이 고열에 노출되어 수소폭발이 일어났으며 방사능 물질을 함유한 수증기가 외부로 유출되었다. 설계기준을 초과하는 극한재해로 후쿠시마 제1,2,3원전은 동시에 심각한 손상을 초래하였고, 발전소 폐로 및 방사성물질 제거 작업은 현재도 진행 중이다. 원전은 사고가 발생하더라도 원자로를 안전하게 정지하고 방사성물질의 유출을 제한하기 위해 설계기준사고(DBA; Design Basis Accident) 조건에서 설계하고 운영한다. 하지만 후쿠시마 원전 사고와 같은 설계기준사고를 초과하는 극한재해가 발생할 경우 주제어실의 기능이 상실되어 다수호기가 동시에 위기에 처할 수 있다. 미국 원전의 경우, 2001년 911 테러 이후 원자력규제위원회(NRC)가 원전의 광역부지의 화재 또는 폭발에 대한 원자로 안전 대책을 마련하였다. 즉, 광역부지손상(LOLA; Loss of Large Area)을 해결하기 위한 대책으로 3단계 대응전략인 “B.5.b”(EDMG:Extensive Damage Mitigation Guidelines) 지침을 수립하였고, 2009년에는 미국 연방법[10CFR50.54(hh)(2)]을 발효하여 원전 부지의 광역손상에 대처할 수 있는 법적 요건을 마련하였다. 일본의 후쿠시마 원전사고 이후로 미국 원전은 “B.5.b” 지침에 FLEX(Diverse and Flexible Coping Strategies Implementation Guide) 전략을 추가하였다. FLEX 전략은 설계기준를 초과하는 사고(BDBA; Beyond Design Basis Accident)가 다수호기 원전에서 발생할 경우 원자로, 격납건물, 연료저장조의 안전을 확보하고 손상을 최대한 완화하기 위한 목적이다. 미국의 FLEX 전략은 설계기준 초과 외부사건[지진, 외부침수, 태풍, 폭설(극저온), 극고온 등]으로 인한 발전소의 장기교류전원상실(ELAP:Extended Loss of alternating current Power)과 최종열제거원 상실(LUHS:Loss of normal access to the Ultimate Heat Sink)의 발생 시 노심 냉각 및 열제거, RCS 제고량 제어, 격납건물 건전성 확보, 사용후연료저장조 냉각을 유지하기 위한 대응전략으로 다음과 같이 3단계로 구성된다. 1단계는 발전소 고정설비를 이용한 초기 사고 대응(Phase Ⅰ)이고, 2단계는 발전소 내에 보관된 이동용 설비를 이용한 사고 대응(Phase Ⅱ)이며, 3단계는 발전소 외부 자원을 이용한 안전기능 복구 또는 유지(Phase Ⅲ) 전략이다. 미국 원전들은 2015년까지 단기적인 대응전략을 완료하였고 현재도 중장기적인 후속조치를 진행하고 있다. 국내 원전들도 후쿠시마 원전사고에 대한 후속조치를 진행하고 있으며 안전성이 더욱 더 향상될 것이다.

현실적인 파단모델을 적용한 CANDU 6형 중수로 대형냉각재상실사고 예비 열수력 분석

A Preliminary Thermal-hydraulic Analysis for CANDU 6 Large Break Loss of Coolant Accident with Realistic Break Opening Model Applied

고동욱* · 김성민
한국수력원자력(주) 중앙연구원

참고문헌(M.J. Kozluk, “Large LOCA Break-Opening Characteristics for PLGS PHTS Piping”, CANDU Owners Group Inc., COG-10-2003, March 2015)에 따르면 CANDU 6형인 포인트레프로 원전에 대하여 대형냉각재상실사고 분석에 적용할 수 있는 새로운 파단모델이 제시되었다. 이는 지금까지 중수로 대형냉각재상실사고 분석에 사용되어온 0.001초 동안에 순간적으로 발생하는 Guillotine 파단이 매우 가능성이 낮아 비현실적이고 매우 보수적이므로 이를 대체할 수 있는 새로운 파단모델이다. 이와같은 새로운 파단모델이 제시됨에 따라 이를 적용한 대형냉각재상실사고 분석결과에서는 안전여유가 증가할 것으로 기대된다. 증가된 안전여유를 정량적으로 확인하기 위해서는 상기한 새로운 파단모델을 적용하여 출력펄스분석, 계통열수력분석 및 연료분석 등의 대형냉각재상실사고 전체 분석분야를 모두 수행해야 할 것이다. 그러나 본 논문에서는 안전여유 증가 여부를 개략적으로 빠르게 확인하기 위하여 계통열수력 분석에만 새로운 파단모델을 적용하여 연료중심선 및 피복재 온도를 관찰하였다. 이때 출력펄스는 기존의 파단모델을 사용하여 생산된 결과가 그대로 적용되었다.

상기한 예비분석에는 월성 중수로를 대상으로 하는 CANDU 6형 계통열수력 CATHENA 모델이 사용되었으며, 원자로출구모관 100% 파단의 경우만 분석하였다. 분석결과 새로운 파단모델을 적용한 경우 파단을 가정한 위치의 모관(원자로출구모관 7번) 압력이 기존모델을 적용한 경우보다 다소 늦게 감소하였고, 파단방출 유량은 0~4초 사이에 큰 차이를 보였다. 연료중심선 최대온도는 초기(0~300초)에 약 20~80℃ 정도가 낮았고, 피복재 최대온도는 초기에 20~200℃ 정도 낮았다. 결론적으로 더욱 현실적이고 새로운 파단모델을 단지 계통열수력 분석에만 적용한 경우에서 연료중심선온도 및 최대피복재 온도가 다소 감소하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 안전여유가 다소 증가함을 알 수 있다. 이러한 예비분석을 통하여 출력펄스 생산을 위한 노물리-계통열수력 전산코드 연계계산부터 새로운 파단모델을 적용할 경우에는 더욱 큰 안전여유를 확보할 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 왜냐하면 노물리-계통열수력 전산코드 연계계산부터 새로운 파단모델을 적용할 경우에는 1차측의 압력감소가 둔화되고 void 생성이 덜하므로 이로인한 반응도 증가가 낮을 것으로 기대되기 때문이다. 즉 현실적인 파단모델을 적용할 경우 출력펄스 자체가 작아질 것이며, 결과적으로 대형냉각재상실사고 발생 초기의 연료파손이 줄어들 것으로 기대된다.

장기교류전원상실사고 발생 시 증기발생기 수위 유지를 위한 다중방어운영전략 개발

Development of MACST to Maintain Water Level of Steam Generator in ELAP Event

추봉식 · 김세윤 · 송준규 · 김창현 · 홍춘식
한국수력원자력(주) 중앙연구원

장기교류전원상실사고(Extended Loss of AC Power, ELAP) 발생 시에는 증기발생기를 통한 원자로냉각재계통 열제거가 가장 효과적인 열제거 수단이 되기 때문에 증기발생기 수위를 정상수위 범위 이내로 유지하는 것이 필요하다. ELAP 사고 시에는 기본적으로 피동형 설비인 터빈구동보조급수펌프를 이용하여 증기발생기에 급수가 이루어지며, 터빈구동보조급수펌프는 최소한 1대의 증기발생기 수위를 정상수위 범위 이내로 복구하고 유지하기에 충분한 용량을 갖도록 설계되어 있다. 만일 보조급수저장탱크의 수위가 탱크중간수위 이하로 감소하거나 터빈구동보조급수펌프 흡입 수원으로 가용하지 않을 경우, 증기발생기의 고갈을 방지하기 위해 제한된 시간 내에 대체 흡입원 (또는 대체 저압 급수원)을 확보하는 전략이 필요하다.

터빈구동보조급수펌프 흡입원 유지를 위한 기본 전략은 대체보조급수펌프 흡입원(보조급수, 복수, 탈염수, 정화된 원수)의 공통연결을 통해 보조급수저장탱크 고갈을 최대한 지연시켜 오염되지 않은 수원을 장기간 증기발생기에 공급하는 것이다. 운전원은 보조급수펌프 운전을 위해 사용할 대체 흡입원을 선택하고 적절한 밸브 배열을 통해 터빈구동보조급수펌프의 유량을 확보하고 제어함과 동시에 보조급수저장탱크를 중력 충수한다. 만약, 모든 대체 흡입원이 가용하지 않거나 보조급수저장탱크의 중력충수가 불가능할 경우, 저압이동형펌프 등의 MACST (Multi-barrier Accident Coping STrategy) 설비를 배치하여 외부주입유로를 통한 보조급수저장탱크 충수를 수행하여 증기발생기 수위를 정상수위 범위 이내로 유지할 수 있다. 만약, 터빈구동보조급수펌프의 운전을 위한 수원배열이 완료되어 대체 흡입원을 이용하여 증기발생기 수위를 장시간 정상수위 범위 이내에서 유지 가능할 경우, 관련된 다중방어운영지침서의 수행을 종료하고 발전소 상태에 적합한 절차서로 복귀할 수 있다.

* 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20161510101840)

APR1400형 원전의 사용후연료저장조 냉각기능 상실사고 대처방안 평가

Evaluation on Cooling Capability for APR1400 during Loss of Spent Fuel Pool Cooling (LOSFPC) Accident

남경호

한수원㈜중앙연구원

APR1400형 원전에서 사용후연료저장조의 냉각기능이 상실되는 경우, 붕괴열에 따른 증발률 및 주요 수위 도달 시간에 대한 평가를 수행하였고, 참조 원전으로는 신고리 3,4호기를 채택하였다. 평가를 위해 재장전 주기와 1회 재장전배출노심은 설계문서를 근거로 18개월의 주기를 갖고, 주기 당 100 다발의 연료집합체가 방출된다고 가정하였다. 원자로 정지 후 100 시간 이후부터 연료가 시간 당 6 다발씩 인출되는 것을 가정하였으며, U-235의 초기 농축도는 4.65 wt%를 가정하였다. 시나리오는 사용후연료저장조 냉각 및 정화계통의 설계기준 부하를 가정하는 방식에 따라 정상, 재장전, 비상운전 시나리오를 고려하였다. 3가지 시나리오에서 14주기 동안 방출된 연료 집합체 다발 수는 동일하게 저장되어 있고, 각 시나리오에 따라서 마지막으로 저장된 연료 집합체 수는 달라진다. 저장되는 총 연료 집합체 다발 수는 정상, 재장전, 비상 시나리오 별로 각각 1,500 다발, 1,641 다발, 1,741 다발이 저장된다고 가정하였고, ORIGEN 코드를 이용하여 붕괴열을 도출하였다. 그리고 추가적으로 계산 된 붕괴열에 불확실도 10%를 고려하였다. 계산 결과, 시나리오 별로 붕괴열은 각각 7.29 MW, 12.63 MW, 15.5 MW로 평가되었다. 도출된 붕괴열을 바탕으로 증발률과 주요 사건 수위에 도달하는 시간을 평가하였다. 에너지 보존 방정식을 이용하여 사고 시점에서 방출되는 최대 붕괴열로 초기 수온을 평가한 결과, 시나리오 별로 각각 44.23℃, 51.01℃, 44.81℃로 평가되었다. 재장전 시나리오의 초기 수온이 비상운전 시의 수온보다 높은 이유는 정상운전과 재장전 시나리오에는 냉각 계통이 1 계열만 운전되고, 비상운전 시에는 2 계열이 전부 운전된다는 가정을 적용하였기 때문이다. 이에 따라서 100℃에 도달하는 시간은 최소 6.19 시간에서 최대 13.31 시간으로 평가되었다. 초기 운전 수위에서 수위가 약 6 cm 감소하면 저수위 경보가 발생하게 되고, 발생 시간은 최소 6.47 시간에서 최대 13.9 시간으로 평가되었다. 방사선 차폐가 유지되는 최저 수위인 연료 상부보다 약 3.05 m 높은 수위에 도달하는 시간은 최소 30.1 시간에서 최대 64.15 시간으로 평가되었다. 최종적으로 연료 집합체 상부에 수위가 도달하는 시간은 최소 48.46 시간에서 최대 103.18 시간으로 평가되었다. 그리고 붕괴열에 따른 증발률은 약 52.12 gpm에서 최대 110.82 gpm으로 평가되었다. 붕괴열이 가장 높은 비상 시나리오를 적용하였을 시, 사고 발생 후 저수위 경보는 약 6.47 시간 이후에 발생하고, 방사선 차폐기능을 유지하는 최소 수위에 도달하는 시간은 약 30.1 시간이다. 이와 같이 평가 시간은 사고 발생 후 외부 수원을 이용하여 충수하기에 충분하고, 주입 유량 또한 최대 증발률인 110.82 gpm보다 높기 때문에, 냉각 기능 상실을 위한 대처 방안이 충분히 확보된다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20161510101840)

대기확산계수 산출을 위한 난류 관측 실험 설계

김정미, 조현준
한국수력원자력(주) 중앙연구원

국내 원전에서는 발전소 운영으로 인해 환경으로 배출된 방사능에 의해 주변 주민이 받는 방사선 영향을 직선궤적 Gaussian plume 모델에 기반하여 평가하고 있다. 이 모델에서 방사능 확산범위를 나타내는 주요 인자가 '대기확산계수'인데, 현재 국내 원전의 대기확산모델에서는 미국 원자력위원회 규제기준(Reg. Guide 1.145)에 제시된 Pasquill-Gifford 확산계수(P-G Curve) 값을 사용하고 있다. 그러나 이 P-G Curve는 평탄지형을 대상으로 도출된 것으로 복잡한 지형을 갖고 있는 국내 원전부지 고유 환경 조건에서의 적용 타당성을 검토할 필요성이 제기되었다. 본 연구에서는 타당성 검토의 일환으로, 한울부지를 대상으로 난류분석을 통한 대기확산계수의 부지적합성 실험을 위한 설계안을 도출하였다.

난류 관측을 통한 대기확산계수 산출 방식에 대해 한국전력기술주식회사에서 수행한 방법론을 적용하였다. 해당 연구에서 수직확산계수 (σ_z)와 수평확산계수 (σ_y) 계산은 균질한 난류에 대한 Taylor의 이론에 근거하며, 확산계수 산출을 위해서는 수직, 수평방향의 풍속 측정과 이의 통계처리가 요구된다. 이를 위해 3차원 초음파 풍향풍속계와 난류 관련 기상측기들을 발전소 부지 내외 다수 지점에 설치하여 관측된 난류 분석으로 부지의 지형학적 및 기상학적 특성이 반영된 대기확산계수를 산정하고 이를 현재 원전 대기확산평가에 사용하는 P-G Curve 값과 비교하는 것으로 실험을 설계하였다.

난류 분석의 핵심 장비인 3차원 초음파 풍향풍속계는 x, y, z 방향의 바람성분 (u, v, w)을 정밀하게 측정하는 장비로 최대 초당 25번(25Hz) 관측을 수행할 수 있으며, 본 실험에서는 초당 10회(10Hz) 측정되도록 설정되었다.

특정 지점에서 관측되는 난류는 풍상측의 footprint 정보를 담고 있으므로 풍향에 따라 다른 값을 나타나게 된다. 따라서 원칙적으로는 모든 풍향의 풍하측에서 난류를 관측하여야 하나 비용과 자료분석의 측면에서 관측설비를 효과적으로 운영하기 위해서 우세 풍향 등을 고려하여 관측망을 구성하였다. 검토를 통해 부지 기상탑(10m, 50m 지점)을 포함한 4개소 5개 지점에 난류 측정장비인 3차원 풍향풍속계를 비롯한 기상측기 설치를 완료하고 1년간 연속 관측을 실시하는 것으로 실험을 설계하였다. 또한 관측자료는 LTE 모뎀을 통해 사무실로 전송되어 실시간 감시가 가능하도록 하고, 자료 처리 방법 및 품질관리는 관련 기술요건들을 준수하여 처리하도록 검토하였다. 이 자료를 통해 최종적으로 산출된 대기확산계수를 통해 현재 원전에서 적용 중인 대기확산계수의 적합성 여부를 검토하였다.

SMART100 표준설계인가 신청 계획

Plan for Application of the SMART100 Standard Design Approval

강덕지 · 서정관
한국수력원자력(주) 중앙연구원

중소형원전(Small and Medium Reactor, SMR)은 에너지원 다변화에 따라 발전 필요성이 부각되고 있으며, 단순한 설계에 따른 안전성 강화와 비발전분야인 해수담수화, 지역난방, 공정 열/증기 생산 등 다양한 용도로 활용될 수 있는 유연성도 갖추고 있다. 특히 많은 개도국들이 국가 전력망 크기를 고려하여 SMR의 도입을 희망하고 있다. 이에 국내에서 KAERI는 SMART(System-integrated Modular Advanced ReacTor) 원자로를 개발하여 2012년에 표준설계인가를 취득하였고, 사우디아라비아와 협력하여 기존 SMART 원자로에 피동안전계통을 적용한 SMART 건설 전 상세설계 사업을 2018년도까지 수행하였다. 2012년도에 표준설계인가를 취득하였으나, 피동형안전계통 도입에 따른 표준설계인가 재추진이 필요한 상황이다. 한국수력원자력(주)는 2019년 1월에 “SMR 원전 수출상품화 기술개발(I)” 과제를 착수하여 SMART100(110 MWe)에 대한 보완설계와 인허가문서 작성, 그리고 심사질의 대응을 통한 표준설계인가를 최종적으로 취득하기 위해 추진하고 있다.

표준설계인가제도에 있어서 심사대상 서류는 표준설계기술서, 표준설계안전성분석보고서, 사고관리계획서 작성계획서, 원자로의 사용목적에 관한 설명서, 원자로의 설계에 관한 기술능력의 설명서이다. 표준설계안전성분석보고서에 포함되는 설계정보의 기술적 상세도는 부지 및 부지 관련 설계 부분을 제외하면 운영허가 신청 시에 제출하는 최종안전성분석보고서에 기재되는 기술정보의 상세도 수준과 유사한 수준이어야 한다. 이에 핵연료, 유체계통설계, 기계설계 등 일부 분야에 대한 보완설계를 수행하여 그 결과를 상세 기술할 예정이다. 표준설계안전성분석보고서 및 표준설계기술서 각 섹션에 대한 작성 기관 및 담당자를 지정하였고, 1차 초안 작성이 4월 초에 완료되었다. 접수된 초안을 취합한 후 전체 표준설계안전성분석보고서 및 표준설계기술서에 대한 기관별 검토가 수행될 예정이다. 이후 6월에 시행될 3자 집중검토회의에서 기관별 담당자들이 모여 상세검토를 통한 조치 필요사항이 도출될 것이다. 집중검토회의를 통해 도출된 조치사항을 이행하고 반영한 예비 최종안이 발행되면 문서 품질 위주로 최종안 완결성 집중검토회의를 9월에 시행할 계획이다. 이때는 영문본에 대한 일치성 검토도 병행하여 진행할 예정이다. 회의를 통해 도출된 조치사항을 반영한 최종본에 대해 한수원 품질검토를 시행하고 국내 규제기관 제출요건에 따라 문서를 준비하여 ‘19.10월 말에 표준설계인가를 신청할 계획이다.

RCP test facility heat exchanger U-tube crack caused by excessive expansion.

최해섭 · 김석* , 조석*

한국원자력연구원, *원자력안전·환경연구소·열수력중대사고 안전연구부

KAERI(Korea Atomic Energy Research Institute)'s RCP(Reactor Coolant Pump) is the only nation-wide available test facility to demonstrate RCP performance before its commercial release. Main validation test includes Cold/Hot hydraulic Performance Test and Stop-Start Tests. Its built standard follows APR1400 power plant, pressure design is set to 18.5Mpa and fixed temperature at 343℃. Maximum flow rate goes up to 11.7m3/s. Electric capacity set to 13.2kV/14MW.

RCP test facility needs a heat exchanger to control designed pressure to run the cold/hot test. Central pipe's heat exchanger designed as TEMA CLASS"R" standard, tube side flow rate is currently at 188.439 kg/cm2, and shell side is at 9.177 kg/cm2. Total used U-tube at Tube side is 682 and pitch set at 23.812 (30°). Its outside diameter is 19.05mm, and the inside is 2.108mm. Tube and Tubesheet joint tightly welded. Tubesheet and U-tube joints connected by No Expanding, Heavy Expanding and Light Expanding section.

During RCP performance test, there was a sudden rise in flow rate and pressure from the shell side of heat exchanger and number of cracking occurred. The point of cracks located near the joints section between U-Tube and Tube sheets, majorly of them appeared to be in Heavy Expanding section.

This research thoroughly validates the effectiveness of U-Tube's strength on tube expansion. Commonly Heavy Expanding requires 6~10% expansion and Light Expanding for 3~5% to weld Tube and TubeSheet tightly. This research focuses on the validation of U-tube's strength under its excessive expansion. The validation drew the comparison between U-Tube's cracks spots under additional expansion on Heavy Expanding and cracks occurred in the primary heat exchanger.

서지보호기 특성 평가에 관한 고찰

A Study on the Evaluation of Characteristics for Surge Protector

조은일 · 최재훈 · 지영화 · 홍영희
한국수력원자력 중앙연구원

서지보호기(Surge Protector)는 부하의 앞단에 설치되어 개폐서지, 순간과도전압 등으로부터 부하를 보호하는 장치이다. 전원 선에 이상전압이 유입되거나 대지전압이 상승하여 설정된 연속운전전압 이상이 되면 이를 분산하여 주변회로를 보호하게 된다. 본 논문에서는 금속 산화물 배리스터(MOV)를 사용한 서지보호기에 대해 다루며 Failure Mode Effect Analysis(FMEA, 고장모드 영향분석)를 통해 특성을 도출하고 필수특성들을 효과적으로 평가하는 방법을 제시하고자 한다.

서지보호기의 FMEA에서 중요한 점은 내부 소자인 금속 산화물 배리스터의 고장여부에 가장 큰 영향을 받는다는 것이다. 금속 산화물 배리스터의 물성 및 절연여부에 따라 다음 세 가지 모드로 분석할 수 있다. 내부 회로의 단락(Short)으로 인해 공칭전압에서 서지보호기로 전류가 유입되거나 물성열화로 인해 제한전압이 증가할 수 있다. 또한 내부 소자들의 절연물이 열화되기 때문에 절연특성의 확인도 필요하다고 할 수 있다. 먼저, 관련 회로의 단락을 확인하는 특성으로는 누설전류(Leakage Current)가 있다. 또한 서지보호기의 내부 물성이 건전함을 확인하는 방법으로 제한전압(Limiting Voltage)을 들 수 있고, 마지막으로 절연열화는 절연저항 및 내전압 시험으로 평가 할 수 있다.

각 필수특성에 대한 평가는 IEC61643-331과 IEC61643-11을 참고할 수 있다. 누설전류(Leakage Current)는 기준전압을 인가하였을 시 내부 회로에서 누설되는 전류량을 측정하며 추가적으로 tanδ로 표현된다. 이 때, 인가전압이 부하 임피던스에 관계없이 일정하여야 하므로 전원장치의 용량이 충분해야 한다. 제한전압(Limiting Voltage)은 해당 서지보호기의 시험등급에 따르지만 일반적으로 8/20 임펄스 전류의 잔류전압을 측정함으로써, 제한전압이 제조사가 제시한 Up값 보다 같거나 작은지를 확인한다. 절연저항(Insulation Resistance) 측정 부위는 모든 단자와 우발적 접촉이 가능한 외함 사이이며 필요시 서지보호기 주회로 단자와 보조회로 단자 사이를 측정할 수도 있다. 제조사가 별도의 방법을 제시하지 않았다면 500Vdc를 1분 동안 가하여 측정한다. 또한, 내전압(Dielectric Withstand) 시험은 규정된 AC시험 전압을 30초이내에 도달시켜 1분동안 유지하며 아크 또는 파열이 발생하지 않아야 한다. 시험 전압을 측정하기 위한 장치는 ±3% 이내의 정밀도를 필요로 한다. FMEA 및 필수특성 도출을 통한 분석 결과 서지보호기의 건전성을 시험하고자 할 때 최소한 상기 특성을 포함하여야 효과적인 평가라고 할 수 있을 것이다.

특정 노심사분면 노내계측기 안내관 제거 시 노심출력분포 계산 유효성 평가

Evaluation of Effect on Core Power Distribution in case of Specific In-Core Instrument Removal

문상래, 김도연

한국수력원자력(주) 중앙연구원 안전연구소 노심해석그룹

국내 웨스팅하우스형 원전은 이동형 노내계측기를 사용하고 있으며, 매월 노심 출력분포 및 첨두계수를 점검하여 노심의 안전성에 관련되는 제반 변수들이 운영기술지침서의 운전제한조건 이내임을 확인함으로써 노심설계의 적절성 및 노심의 비정상 거동 여부를 확인하고 있다. 이동형 노내계측기는 총 50개이며 운영기술지침서(Core Surveillance)에서는 80%(40개) 이상의 안내관에 대해서 자료를 취득하여 출력분포 측정을 하도록 되어 있다. 본 논문에서는 발전소 운전 중에 노내계측기 안내관이 운영기술지침서 제한치까지 고장났다고 가정하여 노심출력분포를 계산한 결과가 유효한지를 평가한 내용을 담고 있다.

DFMS(Dips Flux Mapping System) 설비를 이용하여 이동형 노내계측기 신호를 취득하고, 취득된 노내계측기 신호를 입력으로 INCORE 코드를 실행하여 노심출력분포를 계산한다. 현재 발전소 노내계측기 안내관 건전성 유지 조건 및 운영기술지침서 제한치를 고려하여 1~4사분면당 각각 8개의 안내관을 제거한 후 신호를 취득하여 INCORE 코드를 실행하였다. 특정 노심사분면 노내계측기 안내관 제거 후 계산한 결과와 모든 계측기 신호를 사용했을 때의 결과 즉, 핵연료집합체 출력에 대한 상대오차 및 RMS(Root Mean Square) 오차, 3차원 노심 첨두계수(Fq), 엔탈피증가 첨두계수(Fdh), 사분출력경사비(QPTR, Quadrant Power Tilt Ratio), 노심 축방향 출력분포(AO, Axial Offset) 값이 모두 유사함을 확인하였다. 계측기 안내관이 설치되어 있지 않은 미계측 핵연료집합체의 출력은 인접한 계측기 안내관이 설치된 계측기 출력(신호)을 이용하여 계산되며 INCORE 코드 입력문에 관련 Weighting Coefficients가 고정값으로 입력되어 있다. 우리가 알고자 하는 집합체와 계측기 안내관과의 거리가 Rod Pitch 단위로 설정되어 있으며 측정 및 설계값에 대한 반응률을 이용하여 집합체 출력을 계산한다. 현재 적용되는 주변 계측기는 30 Rod Pitch이며 이 값은 Rod Pitch에 따른 외삽오차를 고려하여 결정된 값이다. 또한, 특정 노심사분면의 계측기 안내관을 제거할 경우, 예측하고자 하는 집합체 주변에 계측된 측정신호가 없기 때문에 대칭위치의 측정된 계측기 신호를 이용하여 미계측 집합체 출력을 예측하게 된다.

결론적으로, 특정 노심사분면 계측기 안내관을 운영기술지침서 최소 제한치까지 제거한 후 계산한 노심 출력분포는 계속 유효하며, 노심출력분포 계산코드(INCORE)의 미계측 집합체 출력은 인접한 계측기 안내관에서 측정된 계측기 신호와 설계값을 Weighting하여 계산되며, 인접한 위치에 안내관 계측신호가 없을 경우에는 대칭위치의 안내관 신호를 이용하여 동일하게 계산한다.

가압경수형 원전 24개월 장주기 운전 계통영향성 평가

Evaluation of Effect on the System of Nuclear Power Plant for 24 Month Fuel Cycle Operation

문상래

한국수력원자력(주) 중앙연구원 안전연구소 노심해석그룹

국내 경수로원전은 12개월부터 18개월까지 핵연료 교체주기를 운영해왔으며, 현재는 경제성 평가 결과 18개월 주기가 최적이라고 판단하여 적용중에 있다. 그러나, 해외 선진 원전 운영사는 12개월부터 24개월까지의 다양한 핵연료주기 전략을 보유하고 있으며, 내•외부 환경에 따른 최적 노심운전 주기를 선택적으로 운용할 수 있도록 인허가 승인을 받았다. 또한, 원자력발전소를 해외에 수출할 경우에는 운영사에서 24개월 장주기 운전이 가능하도록 요구하고 있기 때문에 이에 대한 발전소 계통영향성 평가를 수행하였다.

24개월 장주기 운전 계통영향성 평가를 위해 방사선원항 계산 결과와 그에 따른 방사선량 평가 및 기존 표준주기에 대한 방사선 설계에 미치는 영향 평가, 계측제어기기 건전성 평가를 위해 1차 계통 계측기 드리프트 평가, 계측기 불확실도 및 설정치 분석을 수행하였다. 또한 노심주기길이 증가에 따라 붕소농도 영향 평가를 위해 화학 및 체적제어계통(CVCS, Chemical and Volume Control System) 대용량 탱크, 이온교환기 용량에 대한 안전성을 평가하였으며, 원자로냉각재계통에 대한 유체계통 영향 평가, 원자로내부구조물의 열팽창, 열구배 변화 뿐만 아니라 원자로용기에 미치는 영향을 포함한 핵증기 공급계통(NSSS, Nuclear Steam Supply System) 기기 건전성 평가, 원자로출력 급감발계통(RPCS, Reactor Power Cutback System) 영향 평가를 포함한 안전해석 및 설정치 평가, 그리고 2차계통 안전관련 계측기 불확실도 및 설정치 평가를 수행하였다.

현재 운영중인 발전소는 계측기 드리프트 값을 외삽법에 의한 평가했기 때문에 지나친 보수성을 지니고 있다. 본 연구에서는 계측기 드리프트 평가를 위해 새로운 방법론 AF/AL(As Found/As Left)으로 평가를 하였다. 약 7년간의 발전소 운전이력 데이터를 활용하여 24개월 장주기 운전 시 점검/교정주기 연장에 따른 계측기의 불확실도 요인 중 교정주기에 영향을 받는 드리프트 값을 재평가하고, 계측기의 계기오차 및 설정치 재분석을 통하여 계측기에 대한 장주기운전 타당성을 평가하였다. 24개월 장주기 운전에 따른 계측기 영향 평가는 미국 NRC의 GL 91-04 Enclosure 2로 제시한 교정주기 증가에 따른 타당성 입증을 위한 7가지 조치 사항을 근거로 통계적 기법을 활용한 드리프트 값을 도출하여 계측기 불확실도 평가를 수행하였다.

경수로원전 24개월 장주기 운전 계통영향성 평가 결과, 유체계통 분야는 유량측정불확실도는 유량설계범위를 고려했을 때 큰 영향이 없으며, 원자로 내부구조물, 원자로용기, 가압열충격, 최대흡수에너지 및 원자로감시시편 등 NSSS 기기건전성은 모두 규제요건을 만족하였다. 신규 방법론에 의한 계측기 드리프트 평가 결과도 일부 채널 계측기의 드리프트 값이 변동되나 전체 불확실도 범위를 고려했을 때 설정치에 영향이 없으며, 방사선원항, 안전해석 그리고 사용후연료저장조 평가 분야도 기존의 평가결과 범위내에 수용됨을 확인하였다.

웨스팅하우스형 원전 RCP 밀봉누설에 따른 원자로 냉각재계통 거동 연구

Study on reactor coolant system behavior due to RCP seal leakage in Westinghouse nuclear plant

김세윤 · 추봉식 · 송준규 · 김창현
한국수력원자력(주) 중앙연구원

사고 대처전략에 있어서 다양한 사고조건에 대해 초기 거동을 이해하는 것은 전략수립 및 운영에 있어서 필수적이다. 원자력발전소 안전의 위협조건에 따라 원자로 냉각재 계통에 어떤 한계상황이 발생하는지 분석하기 위해, 기존의 확률론적 안전성평가에 기반하여 가장 보수적인 시나리오를 설정하였고, 이에 따른 분석을 수행하였다. 분석에서 능동형 기기는 사용이 불가하며, 축전지 설계용량 내에서 피동형 펌프에 의해 한 대의 증기발생기로 급수가 공급되는 비대칭 냉각 조건을 가정하였다.

분석 비교대상이 되는 RCP 펌프의 밀봉누설이 없는 조건에 대한 계산결과, 축전지가 고갈되는 4시간 이후 증기발생기 고갈이 발생하고 이에 따라 증기발생기 2차측을 통한 열제거원 상실로 1차측 냉각재의 증발에 의한 열제거가 뒤따라 발생하여 5시간 이후에 노심노출이 발생하는 것으로 분석되었다. RCP 펌프 밀봉을 통한 최대 누설유량을 가정한 시나리오에서는 1차측 냉각재계통의 누설효과가 지배적이어서 2차측을 통한 자연순환 냉각이나 터빈구동보조급수펌프가 가용한 증기발생기를 통한 비대칭 냉각효과가 미미하였다. RCS 압력측면에서는 대량의 누설에 의해 압력이 빠르게 감압되어 2차측과 평형을 이루는 지점에 도달하고, 이에 따라 파단유량도 급격히 감소하는 것으로 계산되었다. 가정된 최대 누설조건에서는 사고발생 1시간 이후 노심노출이 발생하고 핵연료 피복재 첨두온도가 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. 이 분석결과는 사고 대처전략과 정책결정의 기초자료가 될 수 있을 것이다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20161510101840)

평형노심 일일부하추종운전 제어알고리즘 성능 평가

Performance Evaluation on Control Algorithm in an Equilibrium Reactor Core for Daily Load-Following Operations

유극종

한국수력원자력(주) 중앙연구원

원자력발전소의 일일부하추종운전을 위해 개발된 자동 제어봉제어알고리즘은 APR+(Advance Power Reactor Plus) 초기노심을 대상으로 다양한 성능평가를 수행했다. 하지만 개발된 자동 제어봉제어알고리즘을 가동원전 등에 적용하기 위해서는 평형노심을 대상으로 한 다양한 시뮬레이션 및 성능확인이 필요하다.

본 연구에서는 개발된 자동 제어봉제어알고리즘을 평형노심에 적용가능 하도록 제어알고리즘 최적화를 수행하고 일일부하추종운전 시뮬레이션을 통하여 부하추종운전 성능을 확인하였다. 평형노심에 최적화된 제어봉제어알고리즘을 구현하기 위해서는 제어알고리즘에 적용된 비용함수가중치 Q와 R의 민감도를 평가하여 Q와 R값을 결정해야 하나 선행연구에서 수행한 초기노심 평가 결과를 활용하여 평형노심에 적절한 가중치 값들을 결정하고자 하였다. 즉, 초기노심에서 적용된 R 가중치 2는 그대로 사용을 하였고 두 종류의 Q값 중 Tavg (300~700) 가중치 값은 600으로, ASI (100,000~1,000,000) 가중치 값은 200,000으로 변경하였다. Tavg와 ASI 가중치가 초기노심(400, 400,000)에 비하여 변경된 이유는 초기노심보다 큰 MTC 값을 가지는 평형노심의 특성을 반영한 것이다. 즉, 큰 MTC 값으로 인하여 상대적으로 변화가 커진 ASI 값에 큰 ASI 가중치가 더 해지게 되면 제어봉이 더 많이 움직이게 되어 Tavg 제어 성능을 저하시키게 된다. 따라서 Tavg 가중치는 초기노심보다 큰 값을, ASI 가중치는 작은 값을 선택하였다. 이렇게 선택된 가중치 값들을 이용하여 평형노심 주기초 (0MWD/MTU) 부터 16,000MWD/MTU까지 1,000MWD/MTU 마다 일일부하추종운전 시뮬레이션을 수행하였다. 수행결과 전반적으로 초기노심보다 더 큰 ASI 값을 보이나 제어목표값과 편차가 0.1 이내로 제어되고 있음을 확인하였다. 한편 2.0°F 이상 Tavg 편차가 발생하는 구간이 일부 발생하였는데 이는 Tavg를 증가시켜야 하는 구간에서 제어봉이 모두 ARO(all rod out)되어 생긴 현상으로 제어알고리즘 범위를 벗어나는 부분이다. 이를 위해서 평형노심에서는 향후 제어봉삽입운전 등 전략적으로 개선이 필요함을 확인하였다. 결론적으로 개발된 제어봉제어알고리즘은 평형노심에서도 Tavg나 ASI 값들을 잘 제어하면서 일일부하추종운전을 수행할 수 있음을 확인하였다.

평형노심 일일부하추종운전 성능 향상 방안

The Method of Improving Performance in an Equilibrium Core for Daily Load-Following Operations

유극종

한국수력원자력(주) 중앙연구원

국내 원전의 부하추종운전을 위해 개발된 자동 제어봉제어알고리즘을 발전소에 적용하기 위해서는 많은 시뮬레이션을 통한 제어 성능검증이 필요하다. 그 동안 연구를 통하여 초기노심에 대한 제어봉제어알고리즘의 적용성이 확인되었고 최근에 평형노심을 대상으로도 그 적용성을 확인하고 있다. 그러나 평형노심은 물리적으로 초기노심보다 큰 MTC 특성을 가져 초기노심과 다른 제어결과가 예상되고 있다. 즉, 제어봉과 보론이 많이 사용될 것이며 특히 제어봉이 노심의 중반을 넘어 삽입될 경우 축방향 제어성능을 저감시킬 것으로 예상된다. 뿐만 아니라 제어봉제어알고리즘을 보조하는 수단인 붕소의 사용도 증가할 것으로 예상된다. 이러한 이유로 본 논문은 평형노심의 축방향 제어성능 향상과 붕소사용량을 저감시키기 위하여 현행 제어봉의 중첩을 변경하여 그 제어성능을 평가하였다. 현재 국내원전의 출력조절제어봉은 5개의 그룹으로 나뉘어져 있고 각 그룹들은 40%의 중첩을 유지하며 원자로 안으로 삽입/인출된다. 본 연구에서 제안하는 중첩변경 방안은 현재 제어봉 중첩을 72.5%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 27.5% 삽입된 후 후속 제어봉그룹이 삽입되기 시작하며 제어봉 인출시에도 72.5%의 중첩된 거리를 유지하게 된다. 이러한 제어봉중첩 방안을 평가하기 위하여 자동 제어봉제어알고리즘과 원자로 시뮬레이션 프로그램을 수정하고 APR+ 평형노심을 대상으로 0 MWD/MTU에서 부터 16,000 MWD/MTU까지 변경된 중첩을 적용하여 3일간 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 선행제어봉이 27.5% 이상 삽입되는 연소도부터 후행제어봉그룹이 삽입되기 시작하여 연소가 진행될수록 제어봉그룹의 움직임이 기존중첩대비 크게 달라졌다. 15,000MWD/MTU 결과를 보았을 때, 선행제어봉의 삽입량은 50%가량 감소하였고 이에 따라 상부로 편중되는 출력분포도 현상도 많이 개선되었다. 더불어 출력분포 제어에 도움을 주기 위하여 사용되던 붕소사용량도 많이 감소되는 효과를 볼 수 있었다. 결론적으로 제어봉그룹 중첩변경이 자동 제어봉제어알고리즘 성능향상과 붕소사용량 저감에 크게 기여하는 것을 확인하였다.

APR-1400 증기발생기 전열관 가동전 검사

The Pre-Service Inspection of Steam Generator Tubes in Advanced Power Reactor 1400

주경문 · 한경석

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

1. 서론

증기발생기 내부에 ∩자형 형태로 설치된 수많은 전열관은 방사선이 함유된 원자로 냉각재의 압력경계 역할을 수행한다. 전열관은 높은 온도, 압력, 유체 유동률 그리고 재료 특성이 열악한 환경에 노출되면 기계적 마모 및 응력부식균열 등이 발생된다. 전열관에 발생하는 결함의 존재 여부를 확인하기 위하여 주기적인 비파괴검사를 수행하고 있다. 가동전 검사는 가동중 검사에 필요한 기본 데이터를 확보하기 위하여 수행하며, 더불어 구조물 설치 상태 및 이차측 이물질 존재 유무 등을 제한적 조건에서 확인 가능한 검사이다. 검사 범위 및 주기 그리고 적용기술은 발전소 운영기술지침서에 따라 수행이 되고 있다. 본 논문에서는 신한울 2호기 가동전 검사의 기술 및 결과를 살펴보려고 한다.

2. APR-1400 증기발생기 전열관 가동전 검사

APR-1400 증기발생기는 선행호기인 OPR-1000 한국형 증기발생기와 설계 용량, 전열관 및 관지지판 수량 등이 증가되었다. 무엇보다 전열관 전장 길이가 증가하여 와전류 탐상검사 데이터의 수량이 증가되었다. 신한울 2호기 가동전 검사는 검사의 공정성과 독립성을 확보하기 위해 5단계 평가체계가 적용되었다. 검사 기술과 신호 평가자는 성능 검증이 완료되었으며, 검사계획서와 검사기술은 검사관리자와 독립평가 그룹에서 검토하여 현장에 적용되었다. 검사 결과 전체 보고된 지시 중 데이터 품질과 관련된 지시 비율이 제일 높았으며, 결점 의심 및 유사 지시가 차지하는 비율은 SG “01”, “02”, 각각 15%, 6%이다. 전열관 성형 공정중에 발생하는 단조 겹침 신호로 추정되는 NQS(Non-Quantifiable Signal) 지시가 7개 검출되었으며, 이 신호는 검출주파수 300kHz에서 탐지가 가장 우수하고 평균 신호의 크기는 0.11Volts로 아주 작았다. 증기발생기 2차측에 3개소 3개 전열관에서 잔류 이물질 신호가 검출되어 육안 검사를 수행한 결과 잔류 이물질로 확인되어 제거하였다. 비정상적인 저온관 저단 유량분배판 (Baffle Plate Coldleg) 신호가 검출되어, 분석결과 드릴 홀 중 일부가 그루브 형태로 과 가공되어 나타난 신호임을 확인하였다. 제작사 검토 결과 전열관 건전성에는 영향이 없는 것으로 판정되었다.

3. 결론

신한울 2호기 증기발생기 전열관 가동전 검사는 운영기술지침서에 따라 수행되어 가동중 검사에 필요한 기본 데이터를 확보하였으며, 결함 및 결점지시는 검출되지 않았다. 증기발생기 2차측 잔류물질 신호는 3개가 검출되어 제거가 완료되었으며, 저온관 저단 유량분배판 홀 가공이 일부 과 가공되었지만 건전성에는 영향이 없는 것으로 판정되었다.

중수로원전 노심 내 제어 및 구조재 증분단면적 민감도 평가

Sensitivity Analysis of Incremental Cross Section for Control and Structural Materials in CANDU6 Reactor Core

박동환 · 김영애

한국수력원자력주식회사 중앙연구원 안전연구소

가압중수로형 원자력발전소의 노심 내에는 그림 1과 같이 연료장전을 위한 압력관 및 칼란드리아관이 수평으로 배치되어 있으며, 그 외에 반응도제어를 위한 반응도 제어기구와 제어기구의 삽입을 위한 안내관 및 고정체 등이 수직 또는 수평으로 위치하고 있다. 통상적으로 연료다발의 평균연소도 조건하에 각종 제어기구 및 구조체의 증분단면적(Incremental Cross Section)을 생산하고, 노심설계 및 노심관리에 적용하고 있다. 그러나 중수로원전은 설계 특성상 정상운전 중 연료를 교체하여 반응도를 부가하므로, 실제 노심 내에는 다양한 연소도의 연료다발이 존재한다. 그림 2는 일부 예로서 특정채널(O-05,06,07,08)에 대한 연료다발의 축방향 연소도분포를 도식화 한 것이다. 그림 1과 그림2에서와 같이 노심 내 제어기구 및 구조체는 신연료가 장전된 영역 뿐만 아니라, 평균연소도 및 방출연소도 조건의 연료다발에 인접하여 존재할 수도 있다. 따라서 초기, 평균, 방출 연소도 조건에 대하여 증분단면적 민감도 계산을 수행하고, 이에 따른 노심 전체 출력분포의 변동 및 경제성을 평가하였다. 연료다발의 평균연소도 조건에 대한 출력분포 및 잉여반응도 등을 기준으로 평가결과를 비교하고 정리하였다. 표 1은 민감도 계산 수행 후 주요 반응도제어기구의 증분단면적을 비교한 것이다. 평가결과 증분단면적 자체는 초기연소도에서 평균연소도 조건 대비 약 2% 정도의 차이를 나타내지만, 노심 전체 반응도 및 출력분포의 영향은 1% 이내에서 차이를 보였다. 따라서 정상운전 중 적용하는 제어기구 및 구조재의 증분단면적은 연료다발의 평균연소도 조건에서 생산한 결과를 사용하더라도 모델링 방법론에 추가 불확실도는 불필요할 것이다.

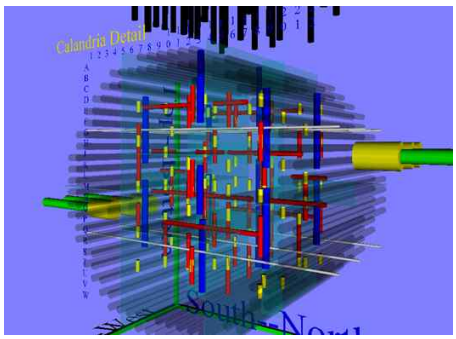


그림 1. 중수로 노심 내 제어기구 및 구조재

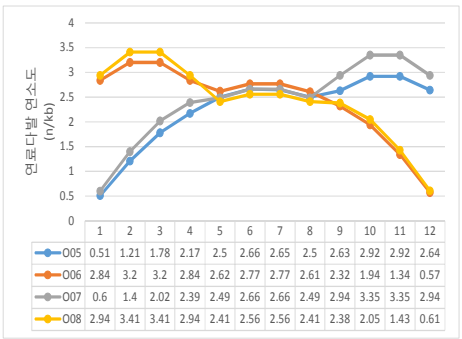


그림 2. 중수로 연료 축방향 연소도 분포

표 11 증분단면적 민감도 계산 수행결과(열중성자 흡수 증분단면적, $\Delta\Sigma_{a2}$) 비교

	LZC	Adjuster (Inner)	SOR
초기 연소도(Fresh)	1.178741E-03	5.829630E-04	4.892260E-03
평균 연소도(Average)	1.204521E-03	6.001300E-04	5.075753E-03
방출 연소도(Exit)	1.209049E-03	6.045100E-04	5.111010E-03

모듈형 정전분무 집진기 개발 및 초미세먼지 집진 성능 실험 연구

Studies on development of modular electrospray precipitator and ultrafine particle collection performance

최종원* · **이계중** · **김정근** · **박준수** · **김진한**
한국에너지기술연구원

최근 초미세먼지 대응을 위한 환경처리 기술에 대한 관심이 국내외적으로 높아지고 있다. 발전소, 소각로, 건설 현장에서 발생하는 초미세먼지에 대한 저감 뿐만 아니라 지하철, 자동차, 도로 내의 초미세먼지 제거 기술 연구에 대해서도 활발히 진행되고 있다. 이 중 지하철 역사의 경우 플랫폼 내에서 진입하는 열차의 바퀴와 선로 사이의 마찰에 의해 Sub-1um 초미세먼지가 높은 농도로 부유하고 있다. 이 범위 내에 있는 먼지를 고효율로 제거하기 위해서는 기존의 관성력, 확산력, 혹은 정전기력 모두에 영향을 받지 않는 크기이므로, 물을 이용한 습식 제거 방법을 도입해볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 극소량의 물로도 초미세먼지를 높은 효율로 제거할 수 있도록 정전분무 습식 전기집진기를 개발하고, 집진 성능에 관한 실험을 수행하였다. 개발된 집진기는 처리 용량에 유연하게 확장성을 갖도록 모듈식으로 설계되었으며, 각 모듈 내에는 좌, 우, 하방에 10개씩 총 30개의 스테인리스 스틸 노즐을 설치하여 소량의 물과 고전압을 공급하여 좌우로 미세액적을 분사할 수 있다. 집진기의 성능 실험은 PM10 먼지 인입 농도 160~200 mg/m^{3}에서 풍동 5.5 CMM인 조건에서 전압과 정전분무를 위해 공급되는 물 유량의 변화에 따라 수행되었다. 집진기의 입구와 출구에 각각 1대의 광학입자계수기(OPS)를 설치하여 집진 성능을 살펴본 결과 인가전압 40 kV, 물 유량 0.3 LPM인 조건에서 PM10은 99.8%, PM2.5는 98.0%, PM1.0은 86.7%로 계산되었다.

IEC TC82 태양광기술 표준 동향 및 국내 활동

Solar Energy Related Standard Development Status in IEC TC 82 and Activity in Korea

김경수*
태양광연구실, *한국에너지기술연구원 신재생에너지연구소

Solar power is made up of solar cells, modules, inverters and other system technologies. In particular, the module, inverter, and system design technology and evaluation are undergoing certification and performance evaluation in accordance with the standards revised in IEC TC82. In Korea, IEC standard documents are issued and applied as KS standard documents in conformity with domestic standards.

Above all, the opinions of the domestic industry and the certification body must be reflected in the revision of the international standard. Standard trends and product pre-evaluation. In Korea, we are actively dispatching domestic solar experts to the IEC TC82 Working Group and General Assembly with the support of the Korea Energy Agency. We are also continuing to investigate trends. We also have a system that enables us to comment on new and revised IEC documents It is equipped.

In this presentation, I will introduce the activities of international industry, research institute, academia and IEC TC82 standard.

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)

Study on the Secondary Particles Production in the Mixture of SO_2 and NO_2 on the Surface of Coal Ash

Ru-Jiao Song, Zi-Xiang Xu, Joo-Chang Park, Hueon-Namkung, Li-Hua Xu, Hyung-Taek Kim

Ajou University, World cup-Ro 206, Suwon city, Gyeonggi-Do 443-749, KOREA

With the rapid development of industry, the consumption of coal has also increased in recent years. The air pollution caused by burning coal is becoming more and more serious, which will have a direct impact on people's lives and health, and the ecological environment will deteriorate rapidly. Harmful substances such as sulfur dioxide produced by coal combustion are the main source of air pollution. The primary particles in the air react with SO2, NOx and other gases under light irradiation to generate secondary particles. Secondary fine particle is an important factor affecting air quality and has a complex chemical composition. Therefore, it is very important for researcher to explore the formation of secondary particles around the thermal power plants and then improve the environment pollution condition. The heterogeneous reaction of mixed gas SO2, NO2 and air on the surface of the coal ash particles was investigated, and the effect of illumination condition, humidity and gas concentration on the secondary particles formation reaction process was also explored in a laboratory-built reactor with a total gas flow rate of 400ccm reaction system under ambient temperature and pressure. Experimental studies have found that ultraviolet light, humidity and gas concentration influence the conversion process of SO2 and NO2 on the surface of coal ash particles.

Keywords: SO2, NO2, coal ash, Secondary particles

고 밀폐 방화지역의 이산화탄소 소화설비 설계 농도 적합성에 관한 연구

A Study on the design conformity of CO_2 extinguishing system for confined fire area

김미경 · 김범규 · 김명수 · 임혁순
한국수력원자력 중앙연구원

이산화탄소 소화설비는 질식 및 냉각작용에 의한 화재진압 설비로써, 주로 전기실이나 케이블포실설, 유류저장실 등 수계 소화설비의 적용이 어려운 방호구역에 적용되고 있다. 이산화탄소 소화설비에 대한 국내외 기술기준인 NFPA 12와 NFSC 106에서는 이산화탄소 소화설비 시스템을 크게 전역방출방식과 국부방출방식, 호스릴방출방식으로 구분하고 각 시스템의 설계기준 및 방법론을 제시하고 있다. 이 중 전역방출방식은 방호대상물의 종류에 따라 질식소화를 위한 이산화탄소의 최소 농도를 설계 기준으로 제시하고 있으며, 설계 농도 달성을 위한 소화약제의 양을 방출계수(Flooding Factor)의 형태로 표현하고 있다. 방출계수에 방호구역의 체적을 곱해 필요 약제량을 산정하게 되며, 가연물 보정계수 및 개구부에 대한 가산량 등을 고려하여 최종적인 소화약제량을 결정하게 된다. 국내 원자력 발전소의 이산화탄소 소화설비 역시 NFPA 12와 NFSC 106에 제시된 자유유출(Free Efflux) 방법론에 기준하여 설계 및 운용되어 왔다. 기존 산업계에서는 설계 기준을 만족한 소화 설비에 대해 별도의 실증시험을 수행하지 않는 것이 일반적이지만 원자력 발전소의 경우 소화설비의 안전성 증진을 위해 성능 평가를 위한 실증시험이 추가적으로 수행되었다. 그 결과 실제 이산화탄소 소화설비의 약제 방출시 질식소화를 위한 요구 농도가 달성되지 못하는 현상이 다수의 방화지역에서 확인되었고, 이러한 문제를 해결하기 위해 설계 약제량의 50%를 추가적으로 주입하여 소화농도를 만족시키고 있다. 이에 본 논문에서는 이산화탄소 소화설비의 전역방출시 설계기준 농도가 만족되지 못하는 원인을 분석하고, 이론적 분석 및 실증시험을 통해 가산된 약제량의 적절성을 검토하고자 하였다. NFPA 12에 따르면 방화지역의 밀폐도가 높은 무유출(No Efflux) 상태의 경우, 약 50% 농도의 소화 약제가 주입될 때 34% 설계 농도를 만족시킬 수 있는 것으로 확인되었다. 9개 방화지역의 실증시험 결과에 따르면 34% 설계 농도 만족을 위해 체적이 큰 방화지역의 경우 45~50%, 체적이 작은 방화지역의 경우 55~60% 농도에 해당하는 약제 주입이 필요함이 확인되었다. 일반적으로 작은 체적의 방화지역은 높은 압력으로 인한 약제 소실을 고려하여 방출계수를 크게 산정하게 되므로 실증시험 결과는 NFPA 12의 무유출 상태와 매우 유사한 경향을 보임을 알 수 있었다. 이는 원자력 발전소 방화지역의 밀폐도가 높아 소화약제의 방출시 약제의 소실량이 매우 낮은 무유출 상태의 거동을 보이기 때문으로 판단되며, 따라서 원전 방화지역의 이산화탄소 소화설비 설계시 50% 이상의 설계 농도를 선정하는 것이 타당함을 확인할 수 있었다.

전자접촉기 검증 필수특성에 대한 고찰

A Methodology Study on Verification Critical Characteristics of Magnetic Contactor

허희무 · 양창석 · 이헌용
한국수력원자력(주) 중앙연구원

전자 접촉기란 전자석으로 제어되는 개폐기로, 계전기(Relay)와 구조적으로는 동등하지만 계전기와 비교하여 개폐하는 전기 에너지가 큰 전기회로의 개폐장치로, 전기적 용량과 함께 개폐 동작에 견딜 수 있는 기계적 구조로 되어 있다. 규정된 전압이 코일에 인가되면 접점 출력을 제공하는 보조계전기로 전자식 보조계전기와 유사한 동작특성을 가지고 있지만 전자식 보조계전기에 비해 큰 접점 용량을 가지고 있어 전동기 구동과 같은 큰 전류가 흐르는 회로에 사용된다. 본 논문에서는 전자 접촉기에 대한 고장모드 영향분석(FMEA, Failure Mode Effect Analysis)을 실시하고 그 결과로써 도출된 성능 및 품질 검증 필수특성에 대해 살펴보고자 한다.

전자접촉기의 고장모드를 살펴보면 크게 코일 손상, 접촉 실패, 규정된 전압범위 내에서 동작하지 않는 경우, 비정상 전압범위에서 동작하는 경우, 규정된 시간 내에 접점이 출력되지 않은 경우의 다섯 가지로 구분 할 수 있다. 코일의 절연손상이나 코일이 손상된 경우 코일에 여자전류의 흐름이 원활하지 않아 접점을 출력하지 못하게 되며, 코일의 절연 및 코일 성능이 저하되면 동작 시 간헐적 접점 접촉 실패가 발생하게 된다. 또한 코일의 성능 저하로 규정된 전압범위에서 접점을 단락 시키지 못하게 되면 전원을 다른 기기나 시스템에 공급하지 못하여 목표하는 제어동작을 수행할 수 없으며, 비정상 전압범위에서 접점이 단락되면 원하지 않는 전원을 다른 기기나 시스템에 공급하여 오동작을 유발할 수 있다. 마지막으로 코일의 성능 저하, 손상, 기계적 노화로 규정된 시간 내에 접점을 단락/개방하지 못하게 되면 전원을 다른 기기나 시스템에 규정된 시간 범위 내에서 공급/차단하지 못하여 목표하는 제어동작을 수행할 수 없게 되며 이러한 모든 경우 모기기의 주기능에 영향을 미친다.

이를 확인하기 위한 필수특성에는 절연저항(Insulation Resistance), 코일저항(Coil Resistance), 접점저항(Contact Resistance), 접점용량(Contact Rating), 동작시간(Operating Time), 동작전압(Pick-up/Drop-Out Voltage)을 들 수 있다.

전자접촉기의 건전성을 검증하기 위해 본 논문에서는 전자접촉기의 기능에 중점을 두고 고장원인 및 고장모드 영향분석을 실시하였으며, 고장 여부를 확인할 수 있는 성능 검증 필수특성을 도출하였다. 본 논문에서는 일반적인 전자접촉기에 대해서만 다루었으나 전자접촉기의 개폐 빈도와 전기적·기계적인 수명에 따라 검증 필수특성을 추가 적용할 수도 있을 것이다.

전원공급기 고장원인 분석방법에 대한 고찰

A Study of Analysis Methodology on Failure Cause of Power Supply

지영화 · 이헌용 · 조은일

한국수력원자력(주)

전원공급기(Power Supply)는 컴퓨터 등 각종시스템에 전력을 공급하는 부품으로써, 관련 기기의 안전성을 결정짓는 중요한 역할을 한다. 만약 안정적으로 시스템에 전원을 공급하지 못할 경우, 시스템이 다운되거나 부팅이 되지 않는 현상이 일어날 수 있기 때문에 시스템에서 차지하는 비중은 매우 크다. 특히 산업계 및 원자력발전소 제어캐비닛내의 전원공급기는 주로 스위치 모드 전원공급기를 사용하며, 캐비닛 내 각종 전자모듈, 계측기, 냉각팬 등에 전원을 공급하여 관련 기기 및 시스템을 안정적으로 제어할 수 있도록 하는 필수적인 부품이다. 그러나 고장 발생시 시스템 정지 등 파급효과가 매우 클 뿐만 아니라, 주변 환경 및 연계된 보조부품 등의 영향으로 인해 정확한 고정원인 분석이 어렵다. 본 논문에서는 제어캐비닛 내에 설치된 전원공급기에서 발생할 수 있는 고장현상 및 고장원인 분석방법에 대해 고찰해 보고자 한다.

전원공급기는 크게 네 부분으로 이루어져 있다. 첫째, 전자파장해(EMI) 필터로 잡음(Noise) 차단, 둘째, 교류-직류 정류부로 교류전원을 직류전원으로 정류, 셋째, 직류-직류 스위칭 변환부로 저대역 필터를 사용하여 리플(Ripple)과 잡음 소거, 넷째, 출력필터 및 출력부로 규격에 맞는 깨끗한 전원을 공급하는 역할을 수행하고 있다. 전원공급기 각 부분에서 부품의 결함, 수명도래, 노화 등에 의해 충분한 역할을 수행하지 못할 경우 전압 출력 상실, 변동, 간헐적인 전압 출력, 전기적 손상 등의 고장현상이 발생한다. 이러한 고장현상은 시험 및 점검을 통해 고장원인 분석이 가능하며, 시험 및 점검항목은 교류 입력라인의 전도성 전기잡음, EMI Filter 성능저하, 입력전압 변동률(Line Regulation), 출력부하 변동률(Load Regulation), 캐비닛 냉각팬 구동 계전기 개폐서지, 전원공급기 내부 라인필터 및 전해커패시터 성능저하, 전원공급기 내부 냉각팬 성능저하, 캐비닛 내부 온도변화, 전기손상 검사 및 시험을 통해 고장현상에 따른 고장원인 분석이 가능하다.

제어캐비닛 내 전원공급기는 내부 부품결함 등에 의한 고장뿐만 아니라 주변 환경(온습도, Surge, EMI 등)에 의해 고장이 발생할 수 있으므로, 고장원인 분석을 위해서는 주변환경에 의한 영향에 대한 시험을 수행되어야 한다. 고장발생시 앞서 제시한 시험 및 점검방법을 통해 원인분석 및 고장원인별 적절한 조치방안 수립이 가능하나, 제어캐비닛 전원공급기 고장은 전체 시스템 제어불능을 초래하여 안전관련 계통의 과도상태 유발 등 파급효과가 매우 크므로 고장이 발생하지 않도록 성능과 품질이 확보된 전원공급기 선정, 예방정비(유한수명소자의 주기교체 등) 철저, 주변 환경개선 등 사전 예방조치가 무엇보다 중요하다.

ASME 코드와 CGID 대상 기기와의 상관관계 고찰

A Study on Correlation Between ASME Code and CGID Items

홍태화 · 지영화 · 김형관 · 양창석
한국수력원자력(주), 중앙연구원

1. 서론

일반규격품품질검증(CGID)은 일반 상용품을 원자력발전소 안전성 등급(Q등급) 품목으로 대체하기 위한 프로세스이다. 최근 원전산업계에서는 원자력 품질보증 프로그램을 포기하는 공급자가 확산되면서 국내 가동원전의 Q등급 품목에 대한 CGID 수요가 증가하고 있으며, ASME 기기중 일부 품목을 CGID 품목으로 공급하는 사례가 발생하고 있다.

ASME Code 기반 안전설비는 설계, 제작 및 시험 등 모든 코드요건을 준수해야하는 절대적인 보증이 필요한 안전성 등급 품목으로 CGID를 통한 조달은 존재하지 않지만, 베어링과 같이 ASME 코드 적용면제 품목이 존재함에도 불구하고 단지 ASME 코드를 적용한다는 이유로 CGID 제외대상으로 인식되어 업무에 혼선을 초래하는 사례가 발생하고 있다.

본 논문에서는 특수베어링일 통한 ASME 코드 적용 기기와 CGID 대상 기기와의 상관관계 분석 및 국내외 사례분석을 토대로 ASME 코드기반 품목에 대한 CGID 가능여부에 대해 살펴보고, 특수 베어링 윤활제에 대한 CGID 필요성에 대해 기술하고자 한다.

2. 본론

가. ASME 코드 면제요건 적용사례 분석

웨스팅하우스社는 ASME B&PV Code Section III 품목인 AP1000 원자로용기(RPV) 지지대(Support)를 CGID 품목인 Lubron Bearing Systems(RBC)社의 GA50 Meehanite 메탈을 적용한 베어링(AE40, AE100 형식)을 적용하였지만 규제기관의 설계문서(DCD-18) 인허가 질의답변(DCP_NRC_003033) 과정에서 별도의 추가질의 없이 CGID 품목을 인정한 사례가 있다.

국내원전의 경우 증기발생기 미끄럼판(Slide)으로 Lubron Bearing Systems사의 Alloy No. 863(Manganese Bronze) B22-C86300과 AE40 Lubricant를 CGID 전문기관을 통해 공급한 사례가 있다. 이 과정에서 모기기의 코드적용요건을 그대로 적용함에 따라 CGID 대상여부에 대한 혼선을 초래하였지만 아래와 같은 ASME 코드와 CGID 대상기기와의 상관관계 검토를 통해 예상되는 문제를 해결한 사례가 있다.

나. ASME 코드와 CGID 대상 기기와의 상관관계 분석

국내 CGID 수행절차는 미국 EPRI(Electric Power Research Institute)에서 발행한 가이드라인인 EPRI 3002002982(Guideline for the Acceptance of Commercial-Grade Items in Nuclear Safety-Related Applications)를 참조문서로 하여 작성되었으며, ASME Code로 설계•제작된 설비는 CGID 수행대상에서 제외하고 있다. 안전등급(Safety Class) 1등급 기기(원자로냉각재 압력경계를 구성하는 설비의 내압부분과 그 지지물), 안전등급 2등급(원자

로격납건물과 안전기능을 수행하는 내압부분과 그 지지물) 등 ASME Section III를 적용한 계통 및 안전설비처럼 절대적 보증이 요구되는 코드적용 품목에 대해서는 CGID 검증대상 품목에서 제외하고 있다. 이는 ASME NQA-1 품질보증프로그램을 보유한 기관에서 CGID 프로세스를 갖추어 품목에 대한 기술평가와 적합성 확인과정만을 수행하는 것만으로 코드에서 요구하는 설계•제작•시험 등의 기술기준 요건을 충족시킬 수 없기 때문이다.

하지만, 안전등급 1등급기기 중에도 ASME Section III의 재료요건 제외품목이 존재함을 간과하는 사례가 발생되어 업무에 차질을 빚는 사례가 발생되고 있다. 안전등급 1등급 기기 중에서 압력유지 기능과 무관한 품목은 ASME Code Section III, NF(KEPIC MNF(2015 Edition) 면제대상(KEPIC MNF 1110)으로 분류하여 CGID가 가능하다. 베어링, 부싱, 개스킷, 패킹, 유압액, 밀봉제, 쐐기, 미끄럼판, 구속링, 스프링, 와셔, 와이어 로프, 전기관통부의 밀봉재료 등과 같이 안전등급 설비 부품이지만 내압부분에 속하지 않는 것으로 확인되는 경우 설계 시방서에 면제품목을 기술 후 면제요건 적용이 가능하다.

다. 베어링 윤활제에 대한 CGID 필수특성 선정의 중요성 분석

Lubron 베어링과 같이 특수베어링을 일반규격품 품질검증 전문기관을 통해 공급할 경우 윤활제(AE40)를 기술평가 과정에서 필수특성 대상에서 제외하고 공급하는 경우가 발생할 수 있다. 특히 Lubron 베어링에 적용된 윤활제(AE30, AE40)의 재료인 정제흑연 윤활제는 불순물 함량이 100ppm 미만인 거의 등방성(Near-Isotropic)의 원자력 등급 흑연으로 불순물 함량 및 속중성자 및 열방사화에 대한 저항성 정도에 대해 적합성 확인과정이 요구되는 특성을 갖고 있는 윤활제로 반드시 필수특성 선정 및 적합성 확인과장이 요구된다. 제작사가 대외비 품목으로 기술정보를 제공하지 않을 경우 공급자 실사 또는 공장검사 입회방법을 적극 활용하여 CGID 품목에 대한 품질 및 안전성 제고를 위해 노력해야 할 부분이다.

4. 결론

ASME Section III 품목은 EPRI CGID 가이드라인과 사업자의 CGID 절차서에 따라 CGID 제외대상 품목이지만, ASME 코드 제외요건 등 사전지식 없이 검증제외 품목으로 판단할 경우 납기지연과 불필요한 품질비용이 발생할 수 있다. 본 논문에서 살펴본 국내외 적용사례, KEPIC MNF 면제요건, 운전경험 및 주의사항 등을 토대로 구매 및 평가업무에 적용할 경우 업무 효율성 제고를 기대할 수 있어 CGID 검증분야 종사자뿐만 아니라 원전산업계 전반에 유익한 정보라 판단된다.

본 논문결과를 토대로 구매시방서 또는 설계시방서 작성자는 코드요건(면제요건 포함)에 대한 사전지식 습득 및 경험전수를 통해 오류예방을 위한 노력이 요구되며, 사업자의 CGID 절차에도 코드 면제대상 품목과 적용기준에 대한 명확한 안내 등 보완이 요구된다. 마지막으로 철저한 CGID 기술평가를 통한 필수특성 누락예방과 다양한 적합성 확인과정 활용을 통한 품질확보 노력이 필요하다 판단된다.

스위칭 모드 전원공급기 필수특성에 대한 고찰

A Study on Critical Characteristics of Switching Mode Power Supply

이헌용 · 지영화 · 김형관 · 허희무
한국수력원자력(주) 중앙연구원

전원공급기(Power Supply)는 선형모드(Liner Mode)와 스위칭 모드(Switching Mode)방식을 사용하여 교류 전원을 안정화된 직류 전원으로 변환하는 장치이다. 선형모드 전원공급기는 변압기(Transformer)로 전압을 조절 후 다이오드를 이용한 정류회로로 직류를 만들어내는 방식이다. 일반적으로 효율이 좋지 못하고, 열이 발행하는 단점이 있다. 스위칭 모드 전원공급기는 전력용 MOSFET등 반도체 소자를 스위치로 사용하여 직류전압을 발생 후 DC-DC컨버터, 출력 전압을 안정화 시키는 궤한 제어 회로를 이용하여 직류 전원으로 변환한다. 선형모드 방식보다 효율이 높고, 내구성이 강하며, 부하에 따라 전류량을 조절하면서 일정하게 전압을 공급하는 장점이 있지만, 스위칭 소자 및 제어회로 고장 시 안정된 직류전원 변환기능이 상실되므로 전원공급기의 건전성 확인이 중요하다. 이를 위해 고장모드 영향분석에 기반을 둔 필수특성의 도출과 시험 및 검사를 통한 검증이 필요하다.

스위칭 모드 전원공급기의 고장모드는 전력용 반도체 소자, DC-DC컨버터, 제어회로의 손상으로 전압 출력이 없거나 간헐적 변동적 출력 발생 및 절연손상으로 구분 할 수 있다. 이를 확인하기 위한 필수특성은 응답특성, 내전압, 절연저항, 부하 및 무부하 출력전압, Line Regulation, Load Regulation, Ripple이다. 반도체 소자, DC-DC컨버터, 제어회로의 손상이 발생하면 직류전압 출력이 없거나 부하변동에 따른 간헐적이고 변동적인 출력이 발생하여 일정한 직류전압 공급하는 기능을 수행하지 못한다. 정상적인 직류전압 출력을 확인하기 위해서 입력 전압을 최소전압에서 최대전압으로 변동, 출력부하를 최소전류에서 최대전류 변동을 고려한 부하 및 무부하 출력전압, Line Regulation, Load Regulation 필수특성을 고려해야한다. 반도체 소자의 스위칭을 이용하기 때문에 스위칭 속도관련 응답시간과 Ripple 필수특성을 고려해야한다. 절연체 간 절연 성능 저하가 발생하는 경우 누전이 발생하여 전원공급기와 연결된 주변기기 및 시스템에 전기적 손상이 발생되고 누설전류 증가로 인하여 목표로 하는 정상적인 전압 출력 기능을 수행하지 못한다. 따라서 절연 성능 저하를 확인하기 위한 필수특성으로 절연 저항과 내전압을 고려하여야 한다.

스위칭 모드 전원공급기의 건전성을 검증하기 위해 정상적인 전원공급과 고장저해요소에 중점을 두고 고장원인 및 고장모드 영향분석을 실시하고 필수특성을 도출하였다. 본 논문에서는 일반적인 스위칭 모드 전원공급기에 대해서만 다루었으나 다른 모드의 전원공급기 구조 및 동작원리에 따라 검증 필수특성을 추가 적용할 수 도 있을 것이다.

PID와 적응 제어기를 이용한 온도제어 알고리즘 개선

A Study on the Improvement of Temperature Control Algorithm using PID and Adaptive Controller

이헌용

한국수력원자력(주) 중앙연구원

중앙 난방시스템(Heating System)은 쾌적한 실내 환경과 에너지 절감 등을 고려하여 여러 가지 제어방법이 연구되고 있다. 태양열, 벽체, 창문 등 외기온도 변화를 고려한 환경변수와 시스템 제어변수 변화에 따라 실내 부하변동 및 에너지 절감을 위하여 각각의 최적의 설정 값을 선정하고 명령추종(Command Following) 특성을 가져야 한다. 본 논문에서는 외기(Outdoor)온도, 실내 되돌림(Return) 공기온도, 실내 공급(Supply)온도 변화를 고려하여 최적의 온도 설정 값을 유지하는 제어 알고리즘을 제안한다.

난방 시스템은 난방코일(Heating Coil)에서 전기 또는 가열된 오일이나 물을 이용하여 실내 공급(Supply) 공기를 가열해서 공급하는 방식으로 열에너지 공급원이 HVAC 시스템의 냉방(Cooling)시스템과 독립적으로 구성되며 제어시스템 구성 시 상대안정도가 뛰어나다. AHU(Air Handling Unit)를 이용한 공급 공기온도 제어는 비교적 쉽게 사용자가 원하는 온도 환경에 도달할 수 있는 구조를 가진다. 에너지 절감을 위해 외기와 되돌림 공기의 혼합비를 조절하여 가열된 되돌림 공기를 최대한 이용함으로써 에너지 절감을 할 수 있다. 그러나 실내 이산화탄소 수치를 조절하기 위해 적절한 외기를 유입해야 한다. 환경변수를 고려하여 외기온도에 따라 실내 공급온도 및 되돌림 공기 설정 값을 보상하는 제어시스템이 필요하다. 외기 보상 제어시스템은 수학적 모델 오차와 불확실성(Uncertainty)가 존재하고 불확실성은 상대적으로 느리게 변화기 때문에 외부환경 변화에 제어성능이 뛰어난 제어알고리즘이 필요하다. 적응제어는 수학적 모델 오차와 불확실성이 존재하는 경우 제어기의 구조나 파라미터를 적절하게 변경하여 주어진 제어시스템의 제어성능을 향상 할 수 있다.

PID제어는 제어출력을 입력으로 되돌려(Feedback) 출력을 외란의 영향을 받지 않고 설정 값에 추종하도록 하는 것이지만, 외부환경 변화가 큰 경우 제어대상의 특성이 변화하여 제어성능이 떨어진다. 적응제어를 접목하면 외기변화에 따른 제어오차를 측정 및 이용하여 적절하게 파라미터를 변환할 수 있다. 난방시스템의 불학실성 및 외란의 영향으로 외기, 실내 부하 변화에도 명령추종 성능을 향상 시킬 수 있는 적응 PID 제어기를 적용하면 파라미터의 헌팅을 감소시키고 안전성을 높일 수 있다. 제안한 제어알고리즘을 실험을 통해서 효율성이 검증된다면 외부환경 변화에 따라 최적제어를 함으로써 에너지 절감에 크게 기여할 것으로 기대된다.