

2025년도

한국가스학회

봄 학술대회 논문집

일시. 2025년 5월 21일(수) ~ 23일(금)

장소. 제주 오리엔탈호텔

주관.  서울가스안전협회 한국가스학회  한국CCUS추진단



산업재해예방
안전보건공단
산업안전보건연구원

 한국도시가스협회

 한국가스안전공사
KOREA GAS SAFETY CORPORATION
가스안전연구원

 되고시스템
DUEGO SYSTEM

 eSology
(주)이솔로지

 한국가스공사

 ST 에스텍이엔씨(주)
SAFETY ENGINEERING AND CONSULTING

 MERI
MEXA 213-Code Research Institute

 해양에너지

구독형
안전보건관리 플랫폼
안전보건체계구축 시스템

되고세이퍼



AI 분석 및 자동수집 + 신호등체계로 더 스마트한 안전관리

위험성 평가

유해 · 위험요인 및
개선방안 자동 도출

화학물질 MSDS 정보 / 성상별 분리보관

법규준수

내 사업장에 맞는
맞춤 법령 추진



되고세이퍼 강력한 AI 탑재

AI(LLM) 활용한 유해 · 위험요인 및 개선방안 자동 도출



AI 서버



AI 촬영 이미지 분석

용접/연삭 작업 중
불꽃 및 비산물의 의한
화상 및 눈 손상

유해 · 위험요소목록



문서자동추천

화학물질관리시스템

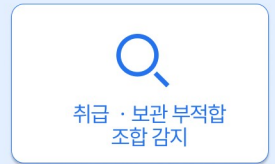
AI를 적용하여 화학물질의 제품정보 및 분리보관 정보 제공



모바일 기기로 병 라벨 촬영



성상별 분리보관 DB

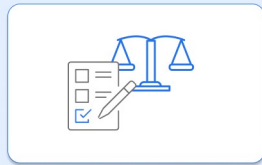


취급 · 보관 부적합
조함감지

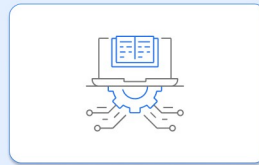
제품정보 및 분리보관 정보제공

법규준수

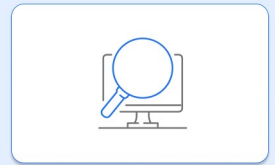
나의 사업장에 해당하는 AI 법규 추천



내 사업장에 맞는 맞춤 법령 추천



5천 여 법령 실시간 업데이트



사업장 맞춤형 법령 자동 추천



2025년도 한국가스학회 봄 학술대회 논문집

- 일시 : 2025년 5월 21일(수) ~ 23일(금) (3일간)
- 장소 : 제주 오리엔탈호텔
- 주관 : 한국가스학회, 한국CCUS추진단

회장: 이근원(아주대학교)

총괄위원장: 채충근(미래기준연구소)

조직위원장: 신동일(명지대학교)

조직위원

부회장

정승호(아주대학교)
한정옥(에이블맥스)
안중길(한국가스공사)
양윤영(한국가스안전공사)
김우경(삼성전자)
박귀철(한국가스신문사)

주원돈(한국가스안전공사)
이정환(전남대학교)
전진만(E1)
이계정(한국가스공사)
김대중(경동도시가스)
문중삼(한국에너지기술평가원)

이광원(호서대학교)
정돈영(한국아이티오)
김창기(한국기계연구원)
김대성(크리오스)
조규선(호서대학교)

이사

김범수(한국도시가스협회)
마병철(전남대학교)
강찬규(한경대학교)
김동민(한국가스공사)
김동준(경일대학교)
이선엽(한국기계연구원)
임옥택(울산대학교)
장호창(강원대학교)
최성웅(경상국립대학교)
홍기훈(고등기술연구원)
김동현(렉터스)
이동훈(한국가스안전공사)
유병태(한국교통대학교)
전기중((주)마이크로투나로)
채정민(한국가스공사)
김형태(한국가스공사)
오정석(한국가스안전공사)
유선일(DNV)
남궁윤(한국가스공사)
박명남((주)GL 환경기술)
채창근(김앤장법률사무소)
김지훈((주)한국RMC)
최민호(한국가스안전공사)
김영균(한국가스공사)
김태호((주)셈아이웍스)
방부형(경기과학기술대학교)
신원협((주)엔케이)

김완진(투데이에너지)
이선자(안전정보)
조남준(에너지데일리)
최인수(에너지신문)
채제용(이투뉴스)
강승규(한국가스안전공사)
양원백(송실사이버대학교)
조승현(동양미래대학교)
허관회(한국교통대학교)
권순일(동아대학교)
손한암(부경대학교)
왕지훈(한양대학교)
이영수(전북대학교)
민현진(한국LPG배관망사업단)
박재성(대한LPG협회)
황병조(경기대학교)
김정균(한국가스공사)
신상민(부산도시가스)
우재화((주)JB)
황주석(서울도시가스)
김태훈(호서대학교)
정선식(안전보건공단)
임용순(화학물질안전원)
장성수(한국가스안전공사)
강웅(한국표준과학연구원)
박병홍(한국교통대학교)
이정운(한국가스안전공사)

조형환(강원테크노파크)
김민섭(삼성전자)
김한상(가천대학교)
이상규((주)패리티)
장원준(아주대학교)
김용규(미래기준연구소)
고재필(한국가스공사)
서정대(화성밸브)
구기영(한국에너지기술연구원)
박철웅(한국기계연구원)
박재혁(원익머트리얼즈)
김용필(퇴고시스템)
김정훈(에스텍이앤시)
윤형준((주)유티이씨)
임동호(DNV Energy Korea)
민미미(아주대학교)
최이락(한국산업안전보건공단)
강정욱(한국가스공사)
이종권(한국가스기술공사)
한종일(한국가스기술공사)
최형준(새빛테크(주))
강만구(안전보건진흥원)
한정민(한국가스공사)
주중울((주)공정안전기술원)
심우섭(화학물질안전원)
임지표(한국안전보건공단)
김형석((주)헤르스)

감 사 : 김의수(한국교통대학교) 박태영(우리회계법인)

01

봄 학술대회 행사 안내



01 초대의 글

존경하는 한국가스학회 회원 여러분,

안녕하십니까?

2025년 봄 학술대회가 5월21일(수)부터 23일(금)까지 아름다운 섬 제주로 초대하게 되어 매우 기쁩니다. 이번에는 예년과 달리 탄소감축 목표를 앞당기기 위해 노력하고 있는 한국CCUS추진단과 공동으로 개최합니다.



이번 학술대회에서는 도시가스, 수소생산 및 활용, 안전환경 및 CCUS 세션 등 200편 이상의 다양한 주제의 논문 발표가 예정되어 있습니다. 또한, 수소충전소 안전성 검증, 유해화학물질 사외배관 안전관리 및 암모니아 전주기 기술 등 5개의 특별세션이 마련되어 있습니다.

이번 학술대회를 통해 가스산업과 탄소 감축 기술에 관한 산·학·연 전문가들이 최신 기술 동향과 연구 결과를 발표하고, 회원 간의 소통과 정보를 교류하는 소중한 자리가 될 것입니다. 특히, CCUS 기술은 탄소 감축과 기후 변화 대응 관련 연구와 실천 사례들을 공유하는 뜻깊은 자리가 될 것입니다.

성공적인 학술대회 개최를 위해 헌신하여 주신 학회 수석부회장과 학술부회장 등 관계하신 이사님들께 감사를 드립니다. 또한, 변함없는 지지와 후원을 보내주신 한국가스안전공사, 한국가스공사, 한국도시가스협회, 한국가스기술공사 및 산업안전보건연구원 그리고 광고 협찬을 해 주신 단체회원사, 화학물질안전원 등 특별세션 개최 등 후원을 해 주신 관계 기관과 이사님들께도 감사의 마음을 전합니다.

이번 학술대회에 회원 여러분들의 적극적인 참여와 관심을 부탁드립니다. 여러분들의 연구와 실무에 큰 도움이 되기를 바랍니다. 제주에서 회원 여러분들을 만날 수 있기를 기대하며, 가정에 건강과 행복이 함께 하시길 기원합니다. 감사합니다.

2025년 05월
한국가스학회 회장 이근원 드림

I 행사 등록

- 사전납부 : 전자계산서 및 온라인카드 결제, 5월 16일(금) 마감
- 현장 납부 및 등록은 2F 한라홀앞 등록데스크에서 진행됩니다.
- 운영시간 : 5월 21일(수) 13:00 ~ 23일(금) 12:00
- 등록비

구 분	정회원	비회원	학생회원	학생비회원
사전 납부	150,000원	200,000원	100,000원	110,000원
현장 납부	180,000원	220,000원	110,000원	120,000원

I 구두발표 안내

- 특별세션 및 일반 분과별 구두발표는 5월 22일(목) ~ 23일(금) 양일간 진행됩니다.
- CCUS세션 발표는 5월 21일(수)에 진행됩니다.
- 일반세션 발표시간은 질의응답을 포함한 시간입니다.
- 노트북과 무선프리젠티어는 발표장에 준비되어 있습니다.
- 발표자료는 세미나실에 비치되어 있는 노트북에 미리 저장해두시기 바랍니다.

I 포스터발표 안내

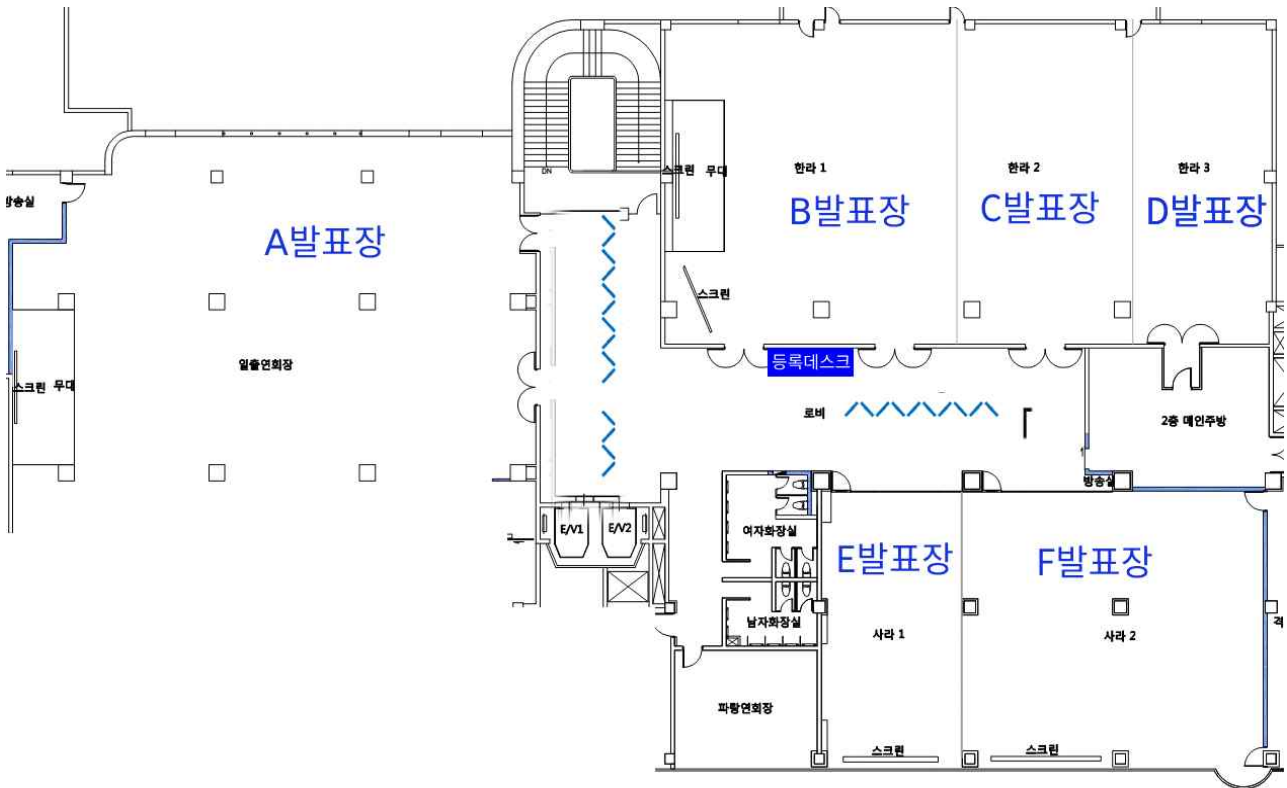
- 포스터 발표는 5월 22일(목)~23일(금) 양일에 진행되며 P1, P2로 나뉘어 있습니다.
- 포스터P1 22일(목) 13:30~16:30
- 포스터P2 23일(금) 09:00~12:00
- 규격 : 가로 90cm 세로 120cm (규격외 가능)
- 발표 시간 전까지 본인 번호가 붙어있는 자리에 포스터를 부착하시고 발표 시간이 끝난 후 수거 바랍니다.
- 포스터 양식은 자유이며, 필요하실 경우 첨부에 있는 학회 양식을 사용하시면 됩니다.

오리엔탈호텔 오시는 길

제주국제공항	택시 이용시	요금	약 7,000원
		소요 시간	10분~15분
		거리	3.8km
제주항		요금	약 4,000원
		소요 시간	약 5분
		거리	2.2km

- 제주특별자치도 제주시 탑동로 47(삼도2동)
- Tel. 1588-1235/064-752-8222

오리엔탈호텔 2층 발표장



I 총괄일정

5월 21일(수)

시간	A 발표장 (일출)	B 발표장 (한라1)	C 발표장 (한라2)	D 발표장 (한라3)	E 발표장 (사라1)	F 발표장 (사라2)	포스터
13:00-13:30	등록(2F 등록데스크)						
13:30-17:00					ccus세션 (수송, 저장, 정책)	ccus세션 (포집, 활용)	
18:30-20:00	지하1층 몽블랑		한국가스학회 이사회				

5월 22일(목)

시간	A 발표장 (일출)	B 발표장 (한라1)	C 발표장 (한라2)	D 발표장 (한라3)	E 발표장 (사라1)	F 발표장 (사라2)	포스터
8:30~18:00	등록 및 접수(2F)						
9:00~10:00							
10:00~11:00	[특별세션] 수소충전소 설계 및 운전 안전성 검증 사전 진단프로그램 개발	[특별세션] 도시가스			수소, 안전환경	수소, 천연가스	
11:00~12:00							
12:00~13:00							
13:00~14:00	[특별세션] 유해화학물질 사외배관 안전관리체계 구축	[특별세션] 도시가스	수소 생산 및 활용	자원	[특별세션] 천연가스 산업과 저탄소에너지 전환	[특별세션] 미래에너지 암모니아 전주기 기술	P1 (1-34)
14:00~15:00							
15:00~16:00							
16:00~17:00					수소, 천연가스		
17:00-17:20							
17:40~18:30	일출홀	개회식 및 시상식					
18:30~	한라홀	저녁만찬					

5월 23일(금)

시간	A 발표장 (일출)	B 발표장 (한라1)	C 발표장 (한라2)	D 발표장 (한라3)	E 발표장 (사라1)	F 발표장 (사라2)	포스터
8:30~11:30	등록(2F 등록데스크)						
9:00~12:20	안전환경	수소			정책/기준. 천연가스	수소, 안전환경	P2 (1-30)

02

봄 학술대회 세부 일정

- ▮ 특별세션
- ▮ 일반세션 구두발표
- ▮ 일반세션 포스터발표
- ▮ CCUS세션



특별세션

1 수소충전소 설계 및 운전 안전성 검증 사전 진단프로그램 개발

- ◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 10:30-12:10
- ◆ 장 소 : A발표장(일출)
- ◆ 주 관 : 한국가스기술공사

좌장 : 한종일(한국가스기술공사)			
01	10:30-10:50 (20')	국내수소충전소 경제성 분석 사례를 통한 실증 충전소 구축 타당성 연구 이승호 한국가스기술공사	
02	10:50-11:10 (20')	수소충전소 사전 진단을 위한 위험성 평가 프로그램 개발 연구 임동휘, 강석민, 서재민 (주)세이프티아	41
03	11:10-11:30 (20')	외부로부터 6m3급 액화수소 저장탱크에 유입되는 열유속 특성 분석 한정옥, 오세진, 이창열, 심정연 에이블맥스(주)	42
04	11:30-11:50 (20')	수소 연료전지 차량 충전 시 유동 조건 기반 대류 열전달 계수 계산을 통한 저장 탱크 온도 예측 심규석, 박병홍 한국교통대학교 화공생물공학과	43
05	11:50-12:10 (20')	공정 시뮬레이터 기반 수소충전소 경제성 평가 및 민감도 분석 연구 채충근, 임경태, 이지선 (주)미래기준연구소	44

Chair



이름: 한종일(Han, Jong il)
직책: 책임연구원

이력사항
 2009.02 고려대 화공생명공학 공학석사 졸업
 (현)한국가스기술공사 신에너지연구원 / 책임연구원.
 한국가스공사 연구개발원 / 연구원
 포스코 SNG사업본부 / 매니저
 한화건설 플랜트사업본부 공정설계팀 / 매니저

특별세션

2 유해화학물질 사외배관 안전관리체계 구축

- ◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 13:00-15:50
- ◆ 장 소 : A발표장(일출)
- ◆ 주 관 : 화학물질안전원
- ◆ 좌 장 : 윤준현 과장(환경부 화학물질안전원)

발표 시간	발표 제목	발표자
13:00-13:20(20')	접수	
13:20-13:40 (20')	석유산단 안전관리 고도화플러스 사업	한국건설생활환경시험연구원 박형민 책임연구원
13:40-14:00 (20')	IoT기술을 활용한 사외배관 안전관리 방안	스마트오션 박재용 대표
14:00-14:20 (20')	사외배관 GIS 시스템 구축 및 활용	이지커넥트 백대하 대표
14:20-14:30 (10')	휴식	
14:30-14:50(20')	지뢰발 배관정보, 사고대응정보로 활용하자	화학물질안전원 전병훈 연구사
14:50-15:10(20')	유해화학물질 사외배관 관련 제도개선 방향	화학물질안전원 박한옥 연구사
15:10-15:30 (20')	유해화학물질 사외배관 시설검사 방법	한국환경공단 조민우 대리
15:30-15:50 (20')	정유·석유화학 플랜트 지하매설배관의 건전성 확인을 위한 인텔리전트 피킹 활용방안	(주)나로 최용석 대표

Speaker



박형민
책임연구원

한국건설생활환경시험연구원
2015 UNIST 에너지공학박사
2017 KRICT 산업연구원
현재 KCL 전남센터 책임연구원



박재용
책임연구원

스마트오션
2025 전남대 공학석사
2017 ㈜대한엔지니어링 소장
현재 스마트오션 대표이사



백대하
대표이사

이지커넥트
2012 상군관대 공학석사
2024 아라엔지니어링 SE
현재 이지커넥트 대표이사

Organizer



심우شم
정책이사

화학물질안전원
2009 NCSU 고분자공학박사
2021 고용부 화학사고예방과장
현재 NICS 사고예방심사1과 연구관



전병훈
공입연구사

화학물질안전원
2018 충북대 이학석사
2019 ㈜조광에인트 대리
현재 NICS 심사1과 연구사



박한옥
공입연구사

화학물질안전원
2017 전북대 화학공학 박사
2018 전북대 박사후연구원
현재 NICS 제도개선TF 연구사



조민우
대리

한국환경공단
2016 우식대 지역공학 학사
2017 한국환경공단 입사
현재 KECO 전북본부 대리



최용석
대표이사

(주)나로
2020 이수기술부장협의회 회장
2024 LG화학 책임연구원
현재 (주)나로 대표이사

Chair



윤준현
과장

화학물질안전원
2004 고려대 농화학 박사
2013 NIER 화학물질안전관리센터장
현재 NICS 사고예방심사1과 과장

3 도시가스세션

- ◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 10:00-16:45
- ◆ 장 소 : B발표장(한라1)
- ◆ 주 관 : 한국도시가스협회

좌장 : 김대중(경동도시가스), 오광호((주)해양에너지)

01	11:00-11:15 (15')	국내·외 유틸리티 기관의 IoT 활용 굴착공사 관리 방안 및 유형별 굴착공사 제도개선 연구 김범수 · 김보식 한국도시가스협회	45
02	11:15-11:30 (15')	AI 정압설비 예지보전 시스템 개발 최가진 씨엔씨티에너지	46
03	11:30-11:45 (15')	도시가스 공급사업 안전관리 사례: Top 5 Risk 중심의 개선 활동 이주호 (주)해양에너지	47
04	11:45-12:00 (15')	맨홀 철개 속뚜껑 재질 개선 어석원 (주)부산도시가스	48
05	12:00-12:15 (15')	경남에너지 정압기 표고차에 따른 원격압력조절장치 소개 이준석, 김정환, 김현우, 정동영, 박용수 경남에너지(주)	49
06	12:15-12:30 (15')	충북지역 도시가스 배관망의 수소 혼입에 따른 압력손실 변화 고찰 이도협 충청에너지서비스(주)	50

3 도시가스세션

- ◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 10:00-17:15
- ◆ 장 소 : B발표장(한라1)
- ◆ 주 관 : 한국도시가스협회

좌장 : 김대중(경동도시가스), 오광호((주)해양에너지)			
07	13:30-13:45 (15')	기밀시험 장비의 온압보정기술 도입 방안 연구 권 유, 황보창국, 김대중 (주)경동도시가스	51
08	13:45-14:00 (15')	매설 배관 위치 실시간 측정 시스템 구축을 통한 배관관리 효율성 및 정밀도 향상 방안 김중원 미래엔서해에너지	52
09	14:00-14:15 (15')	도심 환경에서 사설 기준국 기반 RTK 수신율 개선 효과 분석 김태균, 박원철, 도형경, 천재민 씨앤피에스 기술연구소	53
10	14:15-14:30 (15')	AR기술을 활용한 도시가스 매설배관 관리 임병수 씨엔씨티에너지	54
11	14:30-14:45 (15')	난방전환 아파트의 에너지 사용량 및 경제성 비교분석 김기웅, 최대열, 이수연 대륜이엔에스	55
	14:45-15:00 (15')	break time	
12	15:00-15:15 (15')	지역정압기용 RTU 자체 개발 강대원 (주)해양에너지	56
13	15:15-15:30 (15')	도시가스 매설배관 천공 및 연결작업 장비 현황 소개 손주오, 김세진, 전희섭, 김옥환 경남에너지(주)	57
14	15:30-15:45 (15')	도시가스 산업에서의 생성형 AI 활용:법적·기술적 질의 및 사고 예방 지원 김동연 영남에너지서비스(주)	58

특별세션

3 도시가스세션

- ◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 10:00-17:15
- ◆ 장 소 : B발표장(한라1)
- ◆ 주 관 : 한국도시가스협회

좌장 : 김대중(경동도시가스), 오광호((주)해양에너지)			
15	15:45-16:00 (15')	PE 배관의 장기사용 성능 실증을 통한 안전성 검증과 사용확대 방안 연구 연승경 , 김태강, 김대중 (주)경동도시가스	59
	16:00-16:15 (15')	break time	
16	16:15-16:30 (15')	글로벌 RNG(Renewable Natural Gas) 시장 동향 및 시사점 연구 - NG를 넘어 RNG로 - 정희용 , 방유진, 김연경 한국도시가스협회	60
17	16:30-16:45 (15')	드론 정사영상을 활용한 도시가스 공급시설물 절대좌표 취득 방법 연구 최원혁 , 김동근, 강동현, 신상민 (주)부산도시가스	61
18	16:45-17:00 (15')	전기누설로 인한 가스보일러 금속플렉시블 호스 손상 및 가스누출 화재사례 연구 주정근 미래엔서해에너지	62
19	17:00-17:15 (15')	해외 가스산업 규제기관의 진흥기능 비교 및 시사점 연구 정희용 , 이수진 한국도시가스협회	63

Chair



김대중
상무

(주)경동도시가스
공급안전부문장
한국도시가스협회
안전위원회 부위원장
한국가스학회
도시가스부회장

Chair



오광호
전무

(주)해양에너지
안전관리본부장
한국도시가스협회
안전위원회 부위원장
광주광역시 남구
안전관리위원회 위원

특별세션

4 천연가스 산업과 저탄소에너지 전환

- ◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 13:00-14:40
- ◆ 장 소 : E발표장(사라1)
- ◆ 주 관 : 한국가스공사

좌장 : 남궁윤(한국가스공사)			
01	13:00-13:20 (20')	검침구 효과를 고려한 용도별 도시가스 수요예측모형 이성로, 최용욱* 한국가스공사 경제경영연구소, 중앙대학교 경제학부*	64
02	13:20-13:40 (20')	LNG 직수입발전사의 동계 발전량 감소 현상 분석 송형상 한국가스공사 경제경영연구소	65
03	13:40-14:00 (20')	글로벌 유틸리티기업들의 가스 탈탄소화 전략 남궁윤 한국가스공사 경제경영연구소	66
04	14:00-14:20 (20')	재생에너지 중심의 에너지 시스템에서 섹터커플링의 개념과 역할 이태의 에너지경제연구원	67
05	14:20-14:40 (20')	메탄 열분해 기반 청록수소 생산기술 현황 및 산업 전망 임선후 한국가스공사 경제경영연구소 에너지미래연구팀	68

Organizer & Chair



남궁윤

정책이사

(현) 한국가스공사
경제경영연구소 책임연구원

아주대 에너지공학박사
일본 에너지경제연구소 파견
국제가스연맹(전략분과) 위원

5 미래에너지 암모니아 전주기 기술

- ◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 13:00-17:20
- ◆ 장 소 : F발표장(사라2)
- ◆ 주 관 : 한국기계연구원

좌장 : 김창기 (한국기계연구원)			
01	13:00-13:20 (20')	계산과학을 통한 암모니아 연소 및 촉매 반응에 대한 이해 권형욱 , 김택, 최민기 서울과학기술대학교 미래에너지융합학과	69
02	13:20-13:40 (20')	청정수소 생산을 위한 암모니아 크래킹 기술 개발 동향 정운호 , 구기영, 박용하 한국에너지기술연구원 수소연구단	70
03	13:40-14:00 (20')	선박용 암모니아-디젤 이중연료 엔진의 착화용 디젤연료 분사 특성에 따른 연소 및 배출성능 장일표 , 박철웅*, 김민기**, 박찬수*, 김용래*, 박경태, 김경훈, 이정우 충남대학교, *한국기계연구원	71
04	14:00-14:20 (20')	500 kg/day 암모니아 기반 수소 생산 실증 박재혁 , 박명곤, 이승용, 박종권 (주)원익머트리얼즈	72
	14:20-14:30 (10')	break time	
05	14:30-14:50 (20')	친환경 에너지 전환을 위한 국내 암모니아 연료 활용 산업 전망 및 암모니아 기반 공급시설 안전관리 규제 검토 최영주 , 강승규 한국가스안전공사 가스안전연구원	73
06	14:50-15:10 (20')	탱크로리 활용 암모니아 병커링 국내외 동향 분석 및 시설 위험성 평가를 통한 안전관리 향상 방안 연구 강혜민 , 유지수, 최영주 한국가스안전공사 가스안전연구원	74
07	15:10-15:30 (20')	암모니아 배관의 사고원인 분석 및 안전기준에 대한 연구 이선규 한국가스안전공사 가스안전연구원	75

특별세션

5 미래에너지 암모니아 전주기 기술

- ◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 13:00-17:30
- ◆ 장 소 : F발표장(사라2)
- ◆ 주 관 : 한국기계연구원

좌장 : 김창기(한국기계연구원)			
08	15:30-15:50 (20')	석탄-암모니아 혼소 발전 암모니아 공급시설 안전성 평가 절차 도입을 위한 사고피해영향분석 연구 유상윤 , 유지수, 최영주 한국가스안전공사 가스안전연구원	76
	15:50-16:00 (10')	break time	
09	16:00-16:20 (20')	한국기계연구원의 1kW급 암모니아 직접 주입형 고체산화물연료전지(SOFC) 스택 개발 현황 배용균 , 이동근, 박진영, 김영상, 이상호*, 장형준*, 이선엽* 한국기계연구원 무탄소발전연구실, *한국기계연구원 친환경모빌리티연구실	77
10	16:20-16:40 (20')	HD현대중공업의 선박용 e-fuel 엔진 기술 : 암모니아 연료 분무 특성 유영수 , 박현춘, 이경록, 윤옥현 HD현대중공업 엔진연구소 그린동력시스템연구실	78
11	16:40-17:00 (20')	암모니아 추진 선박의 안전성 확보를 위한 IMO 임시지침 소개 김학찬 , 김상훈, 강수민, 문건필 사단법인 한국선급	79
12	17:00-17:20 (20')	부분 산화 반응을 이용한 암모니아 촉매 산화에 관한 연구 이상호 , 장형준, 박찬수, 이선엽 한국기계연구원 친환경모빌리티연구실	80

Organizer & Chair



김창기
 암모니아/신재생가스 부회장
 한국기계연구원(KIMM)
 1999 KAIST 기계공학 박사
 2-4기 가스기술기준위원
 환경시스템연구본부장
 현재 KIMM 연구위원

일반세션

1 일반세션:수소 생산 및 활용

- ◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 13:00-17:00
- ◆ 장 소 : C발표장(한라2)

좌장 : 이정운(한국가스안전공사)			
C01	13:00-13:17 (17')	미코파워 SOFC 시스템 기술개발 현황 박진안 , 박진수, 김재현 (주)미코파워	83
C02	13:17-13:34 (17')	소형 수전해 설비의 안전기준 연구 강대훈 , 유수연, 김민우, 이정운 한국가스안전공사 가스안전연구원	84
C03	13:34-13:51 (17')	HyAxiom의 PEM 수전해 솔루션 전현종 HyAxiom 한국지사	85
C04	13:51-14:08 (17')	선박용 암모니아 연계 연료전지 시스템의 안전기준 개발방향 도출 연구 김민우 , 김진선, 추지안 한국가스안전공사 가스안전연구원	86
C05	14:08-14:25 (17')	삼성E&A 수전해 기술 개발 현황 허연혁 , 박상현 삼성E&A	87
C06	14:25-14:42 (17')	수전해 스택 성능인증 안전기술 개발 박승용 , 강대훈, 이정운 한국가스안전공사 가스안전연구원	88
C07	14:42-15:59 (17')	재생에너지 기반 알칼라인 수전해 장치 고안전성 확보를 위한 핵심기술 개발 및 실증 김정식 , 신현수, 현준택, 임태은, 이승현 (주)테크윈	89
C08	15:59-15:16 (17')	그린수소 생산을 위한 원자력 발전을 이용 수전해 설비의 안전기준 개발 김효린 , 강대훈, 정재환 한국가스안전공사 가스안전연구원	90
C09	15:16-15:33 (17')	AEM 수전해 장치 상용화 사례 및 개발 현황 박태성 , 강민제, 성원호 (주)에스티	91

1 일반세션:수소 생산 및 활용

◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 13:00-17:00

◆ 장 소 : C발표장(한라2)

좌장 : 문중삼(한국에너지기술평가원)

C10	15:35-15:52 (17')	수소 무인비행체 실증을 위한 규제 샌드박스 진행 현황 박영철, 김현정 현대자동차	92
C11	15:52-16:09 (17')	수소 트랙터 및 수소 건설기계 실증 현황 박주연, 고범수, 원중보, 박영철 현대자동차	93
C12	16:09-16:26 (17')	암모니아 크래커 통합형 PEMFC System 개발 박정건 DMI(두산모빌리티이노베이션)	94
C13	16:26-16:43 (17')	비행체용 이동형 연료전지 안전기준 개발 연구 정재환, 이제욱, 이정운 한국가스안전공사 가스안전연구원	95
C14	16:43-17:00 (17')	민군 이동형 수소연료전지 발전기의 안전기준 개발 연구 김해용, 추지안, 유수연, 김민우 한국가스안전공사 가스안전연구원	96

2 일반세션:자원

◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 13:00-16:40

◆ 장 소 : D발표장(한라3)

좌장 : 권순일(동아대학교), 김기홍(한국가스공사)

D01	13:00-13:20 (20')	스마트 프록시 모델을 활용 다중목적최적화를 통한 울릉 분지에서의 단층 안정성 고려 지질학적 CO ₂ 저장 운영 설계 <u>유성준</u> , 김규현, 김다연, 왕지훈* 한양대학교 자원환경공학과	97
D02	13:20-13:40 (20')	CO ₂ 지중 저장에서 GPTMS-SiO ₂ 나노유체의 주입-저장 효율 개선 성능 평가 <u>강인구</u> , 김혜연, 이정환† 전남대학교 에너지자원공학과	98
D03	13:40-14:00 (20')	탄소 광물화로 인한 컬럼비아강 현무암에서의 화학적 특성 변화 실험 분석 <u>김다연</u> , 김규현, 유성준, 왕지훈* 한양대학교	99
D04	14:00-14:20 (20')	고갈가스전 지질요소에 따른 수소지중저장 회수효율 분석 <u>고승모</u> , 박홍규*, 이태환*, 장호창** 강원대학교 수소안전융합학과, *강원대학교 에너지공학부, **강원대학교 그린에너지공학과	100
D05	14:20-14:40 (20')	대수층 내 CO ₂ 저장을 위한 최적 주입증진공법 선정 연구 <u>이영빈</u> , 주관우, 이영수 전북대학교	101

일반세션

2 일반세션:자원

- ◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 13:00-16:40
- ◆ 장 소 : D발표장(한라3)

좌장 : 권순일(동아대학교), 김기홍(한국가스공사)			
D06	15:00-15:20 (20')	수소 지중저장 및 재생산 특성 규명을 위한 핵심 요소기술 고찰 김영민 , 이원석* 한국지질자원연구원 해저지질에너지연구본부	102
D07	15:20-15:40 (20')	가스화력발전소 특성에 맞는 탄소 포집 공정 연구 김지성 , 김순호, 김정환, 오세영 SK이노베이션 E&S	103
D08	15:40-16:00 (20')	유·가스 생산정 부식에 영향을 주는 요소 김창우 , 손한암 부경대학교	104
D09	16:00-16:20 (20')	CCS 사업에서 해저 배관망 내 CO ₂ 유체 불순물에 따른 유동 안정성 평가 김기홍 , 서준우, 윤준일, 모철훈, 박승수 한국가스공사	105
D10	16:20-16:40 (20')	석유·가스 생산 환경에서의 생산용 화학약품의 역할과 고온고압 환경 부식 억제제 연구 송현영 , 이용진, 안유빈*, 김재윤*, 권순일* 유니코정밀화학, *동아대학교 에너지·자원공학과	106

일반세션

3 일반세션:수소, 안전환경

- ◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 10:00-12:20
- ◆ 장 소 : E발표장(사라1)

좌장 : 홍기훈(고등기술연구원)			
E01	10:00-10:20 (20')	인도네시아 현지 CNG 부지 활용 모듈형 제조식 수소충전소 모델의 위험성 평가 홍기훈 , 오종연, 위수빈 고등기술연구원	107
E02	10:20-10:40 (20')	고압 수소 배관소재의 국산화 기술 개발 및 설계코드 적용성 평가 박요한 , 김정환, 김예원, 김소영 한국가스안전공사 가스안전연구원	108
E03	10:40-11:00 (20')	고분자 물질의 열분해에 따른 덕트 침착 및 리스크 관리 정상영 , 윤종석*, 신동일** 명지대학교 재난안전학과, *(주)서영 엔지니어링, **명지대학교 화학공학과·재난안전학과	109
E04	11:00-11:20 (20')	수소충전소 내 핵심설비의 운전성능 이상감지를 위한 추세 추정 변이형 오토인코더 모델 개발 오종연 , 현규환, 홍기훈 고등기술연구원 수소에너지솔루션센터	110
E05	11:20-11:40 (20')	배터리 팩 열적 위험 감소를 위한 액침냉각 열관리 시스템 성능 향상 방안 문재원 , 김승영, 문명환, 마병철† 전남대학교 화학공학과, †전남대학교 화학공학부 교수	111
E06	11:40-12:00 (20')	CFD를 활용한 암모니아 안전밸브 누출 사고 영향 평가 이찬우 , 박지훈, 이근원*, 정승호* 아주대학교 대학원 환경공학과, *아주대학교 환경안전공학과	112
E07	12:00-12:20 (20')	해양폐기물 기반 연료 생산 및 대기오염 물질 활용 공정 최적 설계 임종훈 , 송형운 고등기술연구원 수소에너지솔루션센터	113

일반세션

4 일반세션:수소, 천연가스

- ◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 15:00-17:20
- ◆ 장 소 : E발표장(사라1)

좌장 : 장갑만(한국가스안전공사), 방효중(한국가스안전공사)			
E07	15:00-15:20 (20')	도시가스 수소혼입 안전성 검증 및 제도화 추진 현황 한원국 , 복인규, 이동원, 양윤영, 서원석 한국가스안전공사	114
E08	15:20-15:40 (20')	액화수소 안전성 확보를 위한 검사지원센터 및 충전소 모니터링 시스템 구축 김현우 , 김필중 한국가스안전공사	115
E09	15:40-16:00 (20')	LNG 펌프 고장 진단을 위한 전류 분석 연구 최원목 , 고재필, 권순길 한국가스공사 가스연구원	116
E10	16:00-16:20 (20')	온습도 조건에서 수소반복시험이 수소용기 및 배관모듈 재료에 미치는 영향 연구 임원섭 , 이민경, 장갑만, 김홍철*, 신동일** 한국가스안전공사*, 명지대학교**	117
E11	16:20-16:40 (20')	수소자동차용 내압용기 급속 충전에 따른 용기재료에 미치는 영향 고찰 장갑만 , 이화영, 김주리, 임원섭, 김홍철* 한국가스안전공사*	118
E12	16:40-17:00 (20')	KSMR 액화공정을 적용한 중·소형 천연가스 액화플랜트에 개념설계 연구 박창원 , 권용수 한국가스공사 가스연구원 초저온기술연구소	119
E13	16:40-17:20 (20')	압축 수소 가스 저장 용기 화염 노출 시험을 위한 안전 기술 개발 현황 정해관 · 유철희 · 이지원 · 임대영 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터	120

일반세션

5 일반세션:수소, 안전환경

- ◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 10:00-12:00
- ◆ 장 소 : F발표장(사라2)

좌장 : 강웅(한국표준과학연구원)			
F01	10:00-10:20 (20')	수소 누출 결과해석 도구 HYRAM과 EFFECTS 비교 김성훈 , 방부형* 네레이드안전컨설팅, *경기과학기술대학교	121
F02	10:20-10:40 (20')	지반침하-구조변형-배관누출-화재 및 폭발 연쇄 사고 해석 연구 민동철*, 방부형** *(주)테크에버, **경기과학기술대학교	122
F03	10:40-11:00 (20')	화학물질 보관·저장업의 소방용수 수계유입 방지대책 마련 한규진 , 도지석, 민미미, 이근원*, 정승호* 아주대학교 대학원 환경공학과, *아주대학교 환경안전공학과	123
F04	11:00-11:20 (20')	혼소 발전소에서 암모니아 누출 시나리오에 따른 위험성 비교 도지석 , 허광범, 한규진, 이근원*, 정승호* 아주대학교 대학원 환경공학과, *아주대학교 환경안전공학과	124
F05	11:20-11:40 (20')	수소 운송용 금속-고분자 복합소재의 압력용기의 안전성 검증을 위한 기준 연구 김예원 , 황재석, 박요한 한국가스안전공사 가스안전연구원 기기장치연구부	125
F06	11:40-12:00 (20')	수소충전소에서의 KRISS 수소유량 현장교정시스템의 실증 연구 강웅 · 신진우 · 백운봉 한국표준과학연구원	126

일반세션

6 일반세션:안전환경

- ◆ 일 시 : 2025.5.23.(금) 09:00-11:40
- ◆ 장 소 : A발표장(일출)

			좌장 : 민미미(아주대학교)
A01	09:00-09:20 (20')	<p>사전감지를 목표로 한 대기오염 물질 변화 모니터링 시스템 개발 및 구현</p> <p>조민선, 조규선*</p> <p>호서대학교 일반대학원 안전행정공학과</p>	127
A02	09:20-09:40 (20')	<p>지구온난화 가스인 PFCs 저감을 위한 친환경 화학반응 고정제 연구</p> <p>정탁교*, 김대성**, 조규선*</p> <p>*호서대학교 일반대학원 안전행정공학과 , **한국세라믹기술원</p>	128
A03	09:40-10:00 (20')	<p>가스감지 경보기 감지시간에 대한 고찰</p> <p>홍충렬, 박정남*, 조규선**</p> <p>호서대학교 일반대학원 안전행정공학과</p>	129
A04	10:00-10:20 (20')	<p>초음파 센서 어레이 기반 가스 캐비닛 누출 감지 기술 개발</p> <p>김정섭, 이선민*, 배수호, 황선길, 신창현*, 김영기</p> <p>(주)에스엠인스트루먼트, *화학물질안전원</p>	130
A05	10:20-10:40 (20')	<p>신기술 적용 공정의 안전성 향상을 위한 사전 위험성 검토 체계 도입 필요성 연구</p> <p>김보경, 성화경, 박중돈, 신창현</p> <p>환경부 화학물질안전원 사고예방심사2과</p>	131
A06	10:40-11:00 (20')	<p>반도체 공정가스의 특성별 살수설비 저감 효율 고찰</p> <p>정종민, 손덕영, 이근원*, 정승호*</p> <p>아주대학교 대학원 환경공학과, *아주대학교 환경안전공학과</p>	132
A07	11:00-11:20 (20')	<p>제지공장 백수의 사용구조별 황화수소 발생 비교 분석</p> <p>-제지공장 A사업장 중심으로-</p> <p>김대호, 조규선</p> <p>호서대학교 일반대학원 안전행정공학과</p>	133
A08	11:20-11:40 (20')	<p>LCA를 활용한 음료 용기(폴리에틸렌 테레프탈레이트)의 환경영향 평가</p> <p>노경희, 이영진*, 조규선</p> <p>호서대학교 일반대학원 안전행정공학과 , *건국대학교 신소재공학과</p>	134

일반세션

7 일반세션:수소

- ◆ 일 시 : 2025.5.23.(금) 09:00-12:00
- ◆ 장 소 : B발표장(한라1)

좌장 : 김정환(한국가스안전공사)			
B01	09:00-09:20 (20')	수소튜브트레이러 실시간 질량 측정 시스템 개발 윤주영 , 김영운, 윤석문, 김효준 두산에너지빌리티	135
B02	09:20-09:40 (20')	K_{IH} 와 da/dN 으로부터 한계사용횟수(N) 계산시 적분 방법에 따른 오류 분석 김정환 , 이화영, 오정석 한국가스안전공사 가스안전연구원	136
B03	09:40-10:00 (20')	극저온 저장 탱크의 BOR 성능 시험 방법 연구 전수성 , 최근철, 이장원, 고성진, 신득규, 김동진, 심규은 한국조선해양기자재연구원	137
B04	10:00-10:20 (20')	수소 전소/혼소용 보일러 연소기의 국산화를 위한 안전성 평가 및 안전기준 개발 연구 이화영 , 조영광, 신현국, 오정석 한국가스안전공사 가스안전연구원	138
B05	10:20-10:40 (20')	수소 충전소용 Type I용기의 수소취성 측정 연구 백운봉 , 박재영, 배경오 한국표준과학연구원	139
B06	10:40-11:00 (20')	한국형 수소 혼입 도시가스의 호환지수를 이용한 한계가스 도출에 관한 연구 박태준* , 박영준*, 이창언** *인하대학교 대학원 기계공학과 **인하대학교 기계공학과	141
B07	11:00-11:20 (20')	액체수소 저장탱크의 충전 비율별 가압 특성 해석 및 최적화 연구 이성우 , 김영훈, 최성웅 경상국립대학교	142
B08	11:20-11:40 (20')	고정형 LH2 저장탱크의 BOR 성능에 미치는 단일특성 분석 오세진 , 이창열, 심정연, 한정옥 에이블맥스(주)	143
B09	11:40-12:00 (20')	radXiFoam v2.0을 이용한 수소충전소 수소폭발 가상사고 시 방호벽 높이 변화에 의한 피해저감 효과 평가 강형석 ¹ , 이현우 ² , 유철희 ² ¹ 한국원자력연구원 지능형사고대응연구부, ² 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터	144

일반세션

8 일반세션:정책/기준, 천연가스

- ◆ 일 시 : 2025.5.23.(금) 10:00-11:20
- ◆ 장 소 : E발표장(사라2)

좌장 : 이시훈(전북대학교)			
E14	10:00-10:20 (20')	석유 메이저 기업들의 전략 조정 <u>이슬비</u> 한국가스공사 경제경영연구소	145
E15	10:20-10:40 (20')	OPEC+의 증산결정 원인과 LNG 시장에 미치는 영향 <u>최영집</u> 한국가스공사 경제경영연구소	146
E16	10:40-11:00 (20')	산업용 도시가스 직수입이 도시가스사 소매공급비에 미치는 영향 <u>백중현*</u> , 이성직*, 이승용*, 홍현우** *가스산업정책연구소, **충남대학교 경제학과	147
E17	11:00-11:20 (20')	전과정평가 방법론을 이용한 발전 부문의 연료 전환이 탄소 배출에 미치는 영향 연구: 석탄화력에서 LNG 복합화력으로 이하은, <u>이시훈</u> 전북대학교	148

일반세션

9 일반세션:수소, 안전환경

- ◆ 일 시 : 2025.5.23.(금) 09:00-11:40
- ◆ 장 소 : F발표장(사라2)

좌장 : 박진형(한국요꼬가와전기)			
F07	09:00-09:20 (20')	LOPA Tool 효율성 개선방안 박진형 한국요꼬가와전기	149
F08	09:20-09:40 (20')	액체수소 화물운송시스템 성능평가 기술 개발 및 실증 방법 연구 신득규 , 전수성, 이장원, 최근철, 김동진, 고성진, 심규은 한국조선해양기자재연구원	150
F09	09:40-10:00 (20')	RCM(Reliability Centered Maintenance) 분석에 의한 LNG생산기지 유지보수 방법 전환 가능성 연구 고재필 , 최원목, 김영완, 권순길 한국가스공사 가스연구원	151
F10	10:00-10:20 (20')	제철소 가열로 배기가스의 SCR 처리를 위한 센서검정 및 불확실성 분석의 기계학습 NOx 가상센서 개발 고홍철, 김아름, 고성근 , 조영은, 김지완* (주)테크다스, *현대제철(주)	152
F11	10:20-10:40 (20')	다중점 오염원 모델을 통한 액체상 화학물질의 누출 및 확산 모델링 장기원 , 이승준, 정승호*, 이근원* 아주대학교 대학원 환경공학과, *아주대학교 환경안전공학과	157
F12	10:40-11:00 (20')	도시가스 배관망 수소혼입 비금속 재료 정량적 위험성평가에 관한 연구 정현선 , 허승건, 김승환, 서국진 한국가스안전공사 가스안전연구원	158
F13	11:00-11:20 (20')	수전해설비 P&ID기반 정량적 위험성평가 연구 김재경 , 정해관, 유철희 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터	159
F14	11:20-11:40 (20')	수소충전소 유형별(기체/액체) 안전 모니터링 시스템 비교 김승환 , 조진영, 김민아 한국가스안전공사 가스안전연구원	160

1 포스터세션 I

◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 13:30~16:30

좌장 : 오정석(한국가스안전공사)

P1-1	CO ₂ 해상 운송에서의 선박 재액화의 경제적 영향 분석 노현정 , 강관구* 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 해양플랜트산업지원센터	163
P1-2	이산화탄소 셔틀 기술을 적용한 블루수소 생산기지 전환 박성수 , 김인재, 김경덕** 한국가스기술공사 신에너지연구원	164
P1-3	저품위 데일링으로부터 유가금속 회수공정기술 연구 이승민 한국생산기술연구원	165
P1-4	가스 하이드레이트의 열역학적 특성 분석: CO ₂ 이송과정에 염이 미치는 영향 박지유 , 이승민 한국생산기술연구원	166
P1-5	PEM 수전해 시스템의 안전 관리 향상을 위한 고장 유형 및 영향 분석(FMEA) 이철호 , 이재용 고등기술연구원 에너지환경연구센터	167
P1-6	Failure Modes Effects Analysis를 활용한 철도 환경 내 수소충전소의 위험 평가 이철호 , 이재용 고등기술연구원 에너지환경연구센터	168
P1-7	수소 생산을 위한 석유코크스 기반 합성가스 고농도 탈황 시스템 파일럿 규모 운전 특성 이철호 , 윤덕규, 윤용승 고등기술연구원 에너지환경연구센터	169
P1-8	멀티 보일러 시스템의 대수제어 기반 부하 분배 최적화를 위한 CAE 성능 해석 및 운전 전략 이철호 , 이재영, 김일호, 김영배 고등기술연구원 에너지환경연구센터	170
P1-9	GTR No.13기반 수소용기 화염시험을 활용한 TPRD 작동성 검증 이지원 * 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터	171

1 포스터세션 I

◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 13:30~16:30

좌장 : 오정석(한국가스안전공사)		
P1-10	<p>액화수소 기반 인프라 확산을 위한 검사 지원 시스템 도입</p> <p>김형조, 김필중 한국가스안전공사 수소안전정책처</p>	172
P1-11	<p>액화수소검사지원센터 건립 및 충전소 모니터링 시스템 개발을 통한 액화수소 안전 인프라 구축</p> <p>허혜영, 김현우, 김필중 한국가스안전공사, 수소안전기술원</p>	173
P1-12	<p>고압 수소 가스의 방출속도 제어에 따른 배출 소요시간 특성 연구</p> <p>윤성필, 류상오, 김일호, 전동환 고등기술연구원</p>	174
P1-13	<p>Dynamic mesh를 적용한 내접 기어펌프의 CFD 해석</p> <p>브릴이안토 리발도 멀시스, 박건영 한국자동차연구원</p>	175
P1-14	<p>복합화력발전소 튜브트레일러 이용 수소공급설계에 대한 위험요인별 피해영향 저감방안 도출</p> <p>김다희*, 이민철***</p> <p>*인천대학교 공학대학원 안전환경시스템공학과, **인천대학교 안전공학과, **소방방재연구원</p>	176
P1-15	<p>수소저장합금 지게차 및 수소충전시설 기준/기술 동향 분석</p> <p>김다운, 김승환, 이한주 한국가스안전공사 가스안전연구원</p>	177
P1-16	<p>국내 가스 제조업의 업종별 유통 흐름과 주요 용도 분석</p> <p>최우수, 한지혜*, 윤준현** 화학물질안전원 사고예방심사1과</p>	178
P1-17	<p>시험설비 구축을 위한 안전 요구사항 고찰</p> <p>이용우 한국항공우주연구원 발사체제품보증실</p>	179
P1-18	<p>구조안전성이 확보된 가스배관 건설용 경량화 웰딩하우스</p> <p>권순길, 김준호 한국가스공사 가스연구원</p>	180

1 포스터세션 I

◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 13:30~16:30

좌장 : 오정석(한국가스안전공사)

P1-19	LNG 펌프의 비정상 진동신호 대응방안 권순길, 고재필, 최원목 한국가스공사 가스연구원	181
P1-20	CFD-FEA를 통한 수소충전소 증기운 폭발에 따른 방호벽 구조 응답 평가 오세현*, 심승현*, 백승현**, 마병철*** *전남대학교 화학공학과, **전남대학교 공정혁신 시뮬레이션센터	182
P1-21	바이오연료용 폐식용유의 열적 안정성 및 화재 위험성 연구 최이락, 김천동, 서동현 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원	183
P1-22	천연가스발전소 화재·폭발·누출 비상대응시간 단축에 관한 연구 임상민, 강찬규 환경국립대학교 사회안전시스템공학부 안전공학전공	184
P1-23	제조식 수소충전소에 대한 3년간의 운영 고장 분석 및 신뢰성 평가 오종연, 정대용, 현규환 고등기술연구원 수소에너지솔루션센터	185
P1-24	실증 데이터를 활용한 바이오메탄 기반 제조식 수소충전소의 수익성 분석 윤종혁, 오종연, 송형운 고등기술연구원 수소에너지솔루션센터	186
P1-25	실증 데이터로 검증된 수소충전 시스템의 열역학 모델링 및 시뮬레이션 오종연, 현규환, 홍기훈 고등기술연구원 수소에너지솔루션센터	187
P1-26	유기성폐기물 활용한 바이오가스(CH ₄ , CO ₂) 중 메탄-가스를 농축하여 하이브리드 연료 및 가스생산연구 한종일*, 이승호**,민진원***, 김수완*** 한국가스기술공사 신에너지연구원	188
P1-27	특수가스 공급 보조용 저온 제어 시스템의 작동 안정성 평가 백성훈*, 류한일, 김민수, 박대일, 홍숙영 삼성전자 글로벌제조&인프라총괄 GCS팀	189

1 포스터세션 I

◆ 일 시 : 2025.5.22.(목) 13:30~16:30

좌장 : 오정석(한국가스안전공사)		
P1-28	파괴저항성평가(K_{1H}) 시험장비 구축 및 시험방법 확립 신민하 , 김철만, 김영표, 장운찬* 한국가스공사 가스연구원 설비기술연구소	190
P1-29	FG-SAGD 공법의 생산성 효율 분석 박준서 , 조성학, 이정환* 전남대학교 에너지자원공학과	191
P1-30	마이크로모델 기반 CO₂ 주입 거동 분석 장치 설계 및 제작 박세진 , 이석영, 김시은, 이정환† 전남대학교 에너지자원공학과	192
P1-31	천연가스 공정용 GC 산업 환경 분석 주우성* , 이승호, 고유진, 서홍석 한국가스공사 가스연구원 초저온기술연구소	193
P1-32	천연가스 액화공정용 감압컨트롤 밸브의 Multi Stage Trim의 유동 특성 분석 이영철 한국생산기술연구원	194
P1-33	화학사고 증가에 따른 방재훈련 프로그램의 확대 방안 연구 이상화 , 서경석, 권동욱, 임용순 화학물질안전원 교육훈련혁신팀	195
P1-34	공정의 온실가스 저감 및 지속가능성 향상을 위한 LLM기반 설계·개선 AI 에이전트 신동일 명지대학교 화학공학과·재난안전학과 지능형시스템연구실	196

2 포스터세션 II

◆ 일 시 : 2025.5.23.(금) 09:00~12:00

좌장 : 한정옥(에이블맥스)

P2-1	<p>가스시설의 부적절한 시공에 따른 가스 호스 이탈에 관한 실증 연구</p> <p>최성원, 천지훈, 김용희, 조근옥, 전호림, 우지형</p> <p>한국가스안전공사</p>	197
P2-2	<p>대용량 FCEV 탱크 고속 충전 시 충전 방식에 따른 유동 분석</p> <p>김규현, 박병홍*</p> <p>한국교통대학교 화공생물공학과</p>	198
P2-3	<p>슬로싱에 의한 연료저장용기 내 액체수소 유동현상 3D 전산모사</p> <p>이효은, 박병홍*</p> <p>한국교통대학교 화공생물공학과</p>	199
P2-4	<p>고유량 수소 충전 시 열유속 변화 분석</p> <p>정재민, 박병홍*</p> <p>한국교통대학교 화공생물공학과</p>	200
P2-5	<p>Zero-Gap 구조 알칼라인 수전해 1D 시뮬레이션을 통한 셀 성능 모사</p> <p>이민우, 박병홍</p> <p>한국교통대학교 화공생물공학과</p>	201
P2-6	<p>수소 생산 개질기 공정의 안정성 확보를 위한 열 및 물질수지 기반 공정 해석 및 과도상태 예측</p> <p>김인재, 김경덕*</p> <p>한국가스기술공사</p>	202
P2-7	<p>수소용기 및 충전소 부품시험 기반구축을 위한 수소제품시험평가센터 건립</p> <p>김관우, 이화영, 최재환, 김주리, 강수민, 임원섭, 장갑만, 김홍철*</p> <p>한국가스안전공사*</p>	203
P2-8	<p>수소레귤레이터의 고압셀의 축편심 및 런아웃 영향 분석에 대한 연구</p> <p>김예진, 오정환*, 남충우, 전동희*, 강용현**</p> <p>한국자동차연구원 수소연료전지기술부문, *현대자동차남양연구소, **모토닉기술연구소</p>	204
P2-9	<p>트럭용 액체수소 저장시스템의 공급밸브 및 PRV의 극저온 환경 성능 평가 방법 정립에 관한 연구</p> <p>김예진, 남충우, 이세동*, 이경원**</p> <p>한국자동차연구원 수소연료전지기술부문, *LT정밀, **유니크기술연구소</p>	205

2 포스터세션 II

◆ 일 시 : 2025.5.23.(금) 09:00~12:00

좌장 : 한정옥(에이블맥스)		
P2-10	액체 수소 공정에서 직교류 인쇄기관형 열교환기의 동적 모델링 서준교 , 김진재, 신현용 서울과학기술대학교 화공생명공학과	206
P2-11	FM3232, ISO7240-29 기준을 활용한 AI 기반 영상화재감지기의 성능 평가에 관한 실험적 연구 최유정1 , 김시국2* 호서대학교 소방방재연구센터, *호서대학교 소방방재학과	207
P2-12	혼소발전소의 암모니아 저장탱크 위험성 평가 이다은 , 전보일, 이근원, 정승호* 아주대학교 대학원 환경공학과, *아주대학교 환경안전공학과	208
P2-13	암모니아 가스공급시설의 가스 감지기 연동 처리설비 위험성 분석에 관한 연구 현혜림** , 이선민*, 신창현*, 강찬규** *화학물질안전원, **한경국립대학교	209
P2-14	GTR 규정에 따른 압축수소저장시스템 화염시험 사전검증 및 온도조건 평가 김태현 , 정해관, 유철희 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터	210
P2-15	도시가스 배관망 수소 혼입에 대한 해외 정책 동향 분석 박기연 , 김지은, 임대영, 김태현 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터 화재폭발연구부	211
P2-16	수소혼입 해외 기준 분석과 안전성 검증 필요성 임대영 , 김태현, 김지은, 박기연 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터	212
P2-17	Pruning 기반 YOLOv8 모델 경량화 및 연산 효율 최적화를 통한 가스 누출 탐지 성능 향상 연구 구윤정 한국전자기술연구원	213
P2-18	수소 용기 화재 실증 시험에 대한 안전성 확보 방안 곽병관 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터	217

2 포스터세션 II

◆ 일 시 : 2025.5.23.(금) 09:00~12:00

좌장 : 한정옥(에이블맥스)

P2-19	<p>고압가스 공급설비 용기 누출 확산거동 실증실험 및 위험분석 연구 이희은, 이현정, 황운하, 강찬규 국립환경대학교 사회안전시스템공학부 안전공학전공</p>	218
P2-20	<p>정화조 메탄가스 폭발 위험에 대한 3단계 위험성 평가 이희은, 이현정, 강찬규 국립환경대학교 사회안전시스템공학부 안전공학전공</p>	219
P2-21	<p>암모니아 연소 조건에 따른 질소산화물 발생 특성 연구 박종권**, , 박명곤**, 이승용**, 문중호*, 박재혁** *충북대학교, **원익머트리얼즈</p>	220
P2-22	<p>천연가스배관 자동용접부 기계적 특성 평가 김철만, 신민하, 장운찬, 김영표 한국가스공사 가스연구원</p>	221
P2-23	<p>이상고압대에서 석유시추 현장사례에 대한 조사 이인재, 김정우, 이동하, 정희윤, 추동구, 손한알 국립부경대학교</p>	222
P2-24	<p>수소혼입 메탄 지중저장에서 휴지기에 따른 mixing zone 영향 분석 김유진, 박홍규*, 양시준*, 장호창** 강원대학교 에너지자원융합공학과, *강원대학교 에너지공학부, **강원대학교 그린에너지공학과</p>	223
P2-25	<p>가스레인지 삼발이 커버 사용에 따른 일산화탄소 중독 위험성 실증 연구 오동석, 조근욱, 최성원, 김용희, 전호림 한국가스안전공사</p>	224
P2-26	<p>고압수소배관 재료 관련 KGS Code, 日‘특정설비검사규칙’의 비교 분석 김소영, 김예원, 김정환, 박요한 한국가스안전공사 가스안전연구원</p>	225
P2-27	<p>KGS Code 및 인허가 절차에 따른 수전해설비 안전성 확보방안 유철희, 정해관, 김재경 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터</p>	226

2 포스터세션 II

◆ 일 시 : 2025.5.23.(금) 09:00~12:00

좌장 : 한정옥(에이블맥스)

P2-28	유한요소해석을 활용한 Type 4 수소저장용기의 안전성 평가프로세스 설계 김건우, 김혜원, 박한민, 강세진, 조경석, 박범수, 김한상 가천대학교 기계공학과	227
P2-29	유한요소해석을 활용한 Type 4 수소저장용기 피로수명 평가 프로세스 설계 김건우, 김혜원, 박한민, 강세진, 조경석, 박범수, 김한상 가천대학교 기계공학과	228
P2-30	기계학습을 활용한 Type 4 수소저장용기 최적설계 김혜원, 김건우, 박한민, 김한상 가천대학교 기계공학과	229

1 CCUS 세션(수송, 저장, 정책)

- ◆ 일 시 : 2025.5.21.(수) 14:00-16:20
- ◆ 장 소 : E발표장(사라1)
- ◆ 주 관 : 한국CCUS추진단

			좌장 : 김종수(한국석유공사)
01	14:00-14:20 (20')	탄소중립 전략과 국경통과CCS 임지우 한국CCUS추진단	233
02	14:20-14:40 (20')	Ammonia Market Outlook: 2025 UPDATE 최우정 Lloyd's Register Asia	234
03	14:40-15:00 (20')	CO₂ 해저주입을 위한 이송/주입 배관 내 유동안정성 연구 이승민, 박지유 한국생산기술연구원	235
04	15:00-15:20 (20')	이산화탄소 수송 파이프라인용 소재 평가 서명균, 이유경, 김규태, 차수호*, 이승민** 현대제철, *현대건설, **한국생산기술연구원	236
05	15:20-15:40 (20')	CO₂ 주입 성상에 따른 고갈 가스전 CCS 플랜트 설계 비교 박인선, 차수호, 박성현, 박성훈 현대건설	237
06	15:40-16:00 (20')	이산화탄소 저장소 조건 검증을 위한 평가 프로세스 이우찬 한국석유공사	238
07	16:00-16:20 (20')	일본에서의 CCUS 입법정책 김동련 신안산대학교	239

2 CCUS 세션(포집, 활용)

- ◆ 일 시 : 2025.5.21.(수) 13:30-17:00
- ◆ 장 소 : F발표장(사라2)
- ◆ 주 관 : 한국CCUS추진단

좌장 : 박동민(한국CCUS추진단)			
01	13:30-13:50 (20')	청정수소 대응을 위한 배출 배기가스의 포집/액화 기술 정준교, 윤현식, 공준, 김신현, 김재봉 (주)에니스	240
02	13:50-14:10 (20')	배출 메탄 온실가스 제거에 적용하기 위한 높은 수분 저항성을 갖는 고성능 고내구성 메탄 산화 촉매 최준환, 정호진, 류승희, 김기영 한국재료연구원	241
03	14:10-14:30 (20')	DAC 기반의 에너지 전환 시대 김홍식 로우카본	242
04	14:30-14:50 (20')	CCS/CCU 시장 성장과 CO ₂ 압축기술 동향 이진성 만에너지솔루션즈	243
05	15:00-15:20 (20')	시멘트 산업을 중심으로 CCUS 산업육성 방안 조진상 한국석회석신소재연구소	244
06	15:20-15:40 (20')	이산화탄소 셔틀 기술을 이용한 탄산칼슘 제조 시스템 개발 박성수, 김인재, 김경덕 한국가스기술공사 신에너지연구원	245
07	15:40-16:00 (20')	가축분뇨 에너지화를 통한 탄소배출 저감 김창섭, 양남철 바이오씨앤씨(주)	246
08	16:00-16:20 (20')	석탄재 유래 알카리 활성 용액의 탄소광물화 공정을 통한 소형 모듈 원자로 개발용 고부가가치 제품 회수 Lai Quang Tuan, Kim Mi-kyung, Kwon Seok-ong, Ahn Ji Whan 한국지질자원연구원	247
09	16:20-16:40 (20')	Applying Industrial Solid Wastes as Raw Material in Calcium Sulfoaluminate Clinker Production and Carbon Mineralization in CFBC Fly Ash Adrian Javier Sing Jethmal, Tuan Quang Lai*, Chae Minsang*, Mohd Danish Khan*, Ahn Jiwhan* Korea National University of Science and Technology, *한국지질자원연구원	248
10	16:40-17:00 (20')	Evaluation of MSWI Fly Ash as a Partial Replacement for Ordinary Portland Cement: Impacts on CO ₂ Emissions, Heavy Metal Stabilization, and Carbon Mineralization Potential Mihret Melese*, Minjeong Kim*, Jiwhan Ahn* Korea National University of Science and Technology, *한국지질자원연구원	249

특별세션.

수소충전소 사전 진단을 위한 위험성 평가 프로그램 개발 연구

임동휘, 강석민, 서재민
(주)세이프티아

A Study On The Development of a Risk Assessment Program for Pre-diagnosis of Hydrogen Charging Station

Donghui Lim, Seok Min Kang, Jae Min Seo
SafèTia Co., Ltd.

요 약

최근 수소충전소의 위험 요인 진단이 미흡하게 진행되면서, 설계 및 운영 중에 발생한 설비 고장과 사고들이 빈번하게 일어나 경제적 손실을 초래하고 있다. 이에 따라 수소충전소의 설계 및 운영 안전성 강화를 위한 사전진단 프로그램 개발의 필요성이 커지고 있다. 본 연구에서는 국내 수소충전소에 적합한 LOPA(Layer of Protection Analysis) 프로그램과 공정해석 프로그램을 개발하였다.

액화수소 저장형 충전소에 대한 추가 안전기준에 따르면 일부 정성적 위험성 평가와 LOPA 분석을 의무적으로 수행해야 하지만, 국내 수소충전소 설계 및 운영 사업장에서 이를 적용하는 데 어려움이 존재한다. 이에 본 연구에서는 수소의 특성을 반영하여, 국내 수소충전소에 적합한 정성적 위험성 평가 및 LOPA 평가 절차와 양식을 적용하여 평가의 객관성과 신뢰성을 높였다. 주요 구성은 다음과 같다: 1) LOPA 평가를 위한 PHA(Process HAZOP) 기법을 활용하여 정성적 위험성 평가를 수행하도록 설계, 2) PHA 모듈과 LOPA 모듈을 국내 수소충전소 실정에 맞게 평가 절차 및 양식으로 구성, 3) 시나리오 불러오기 기능과 라이브러리에서 제공되는 수소충전소 관련 사고 데이터를 조회하여 평가에 활용, 4) PHA 및 LOPA 평가에서 도출된 개선 사항을 자동으로 관리할 수 있도록 개선 조치 관리 시스템을 구축하였다.

외부로부터 6m3급 액화수소 저장탱크에 유입되는 열유속 특성 분석

한정옥, 오세진, 이창열, 심정연
에이블맥스(주)

Analysis of Heat Flux Characteristics Entering a 6m3 Liquid Hydrogen Storage Tank from Outside

Han JeongOk, Oh SeiJin, Lee ChangYeol, Shim JeongYeon,
ableMAX Ltd.

요 약

액화수소 저장탱크의 단열특성을 이해하는 것은 액화수소 충전시스템의 공정해석을 위해 중요한 요소이다. 저장탱크마다 고유의 단열 특성을 가지고 있으며 열의 흐름을 파악하는 것은 상태파악과 전체 공정에 미치는 영향을 파악하는데 중요하다. 현재 가장 많이 접근하고 있는 단열방법으로 고진공 다층단열(MLI, multi layer insulation) 기술이며 MLI와 진공단열의 조합을 통해 대류와 복사 열전달을 최소화하는 기술이다.

본 연구에서는 6.3m3 용량을 갖는 입형 액화수소 저장탱크에서 외기(15°C)로부터 탱크 내조에 유입되는 열유속(heat flux)을 해석적인 방법으로 고찰하였다. 해석 조건으로는 대류열전달 계수를 대기상태에서 일반적으로 적용되는 수준인 10W/m²_K를 적용하고 저장탱크의 단열 특성은 6m3급 저장탱크의 단열성능 기준인 1.5%를 만족하는 수준을 적용하였다.

탱크상태는 벤트밸브를 상시 개방된 조건과 닫힌 조건에 대해 각각 3일간의 열유입 특성을 분석하였다. 밸브가 상시 개방된 조건은 BOR을 평가하는 조건과 동일하며 단열특성 결과를 도출할 수 있다. 벤트밸브가 닫힌 조건은 열유입에 따라 압력이 상승한다. 탱크 내의 액유량이 30%, 50%, 90%인 조건에 대해 탱크 내조에서 액상과 기상으로 유입되는 열유속을 각각 도출하고 벤트밸브 개폐에 따른 특성을 비교하였다. 이를위해 ANSYS사의 Thermal Desktop을 사용하였으며 탱크 내의 액면에서 응축과 증발에따른 열흐름 뿐만 아니라 기상부와 액상부의 내벽으로부터 유입되는 열유속을 도출할 수 있다.

해석결과 90% 레벨 기준으로 벤트밸브를 개방한 경우(31.2W)가 닫힌 경우(22.9W)에 비해 열유입이 약 26% 큰 것으로 분석되었다. 또한 액상영역으로 유입되는 열유속량이 기체영역으로 유입되는 양보다 월등히 높으며 90% 이상이 액상영역으로 유입되고 액면이 낮아지면 열유입량도 감소하였다.

수소 연료전지 차량 충전 시 유동 조건 기반 대류 열전달 계수 계산을 통한 저장 탱크 온도 예측

심규석, 박병흥†
한국교통대학교 화공생물공학과

Temperature Prediction of a Hydrogen Storage Tank Through Convective Heat Transfer Coefficient Calculation Based on Flow Conditions During Fuel Cell Electric Vehicle Refueling

Gyu Seok Shim, Byung Heung Park†
Department of Chemical and Biological Engineering, Korea National University of Transportation
† b.h.park@ut.ac.kr

요 약

전 세계적으로 탄소 중립을 향한 움직임이 가속화됨에 따라 수소 에너지는 대표적인 청정 에너지원으로 주목받고 있다. 수소 모빌리티는 탈탄소화가 시급한 운송 부문에서 화석 연료 소비를 대체할 수 있는 유력한 대안으로 간주되며, 수소 연료전지 차량의 상용화가 본격화됨에 따라 수소 충전 기술의 고도화 또한 중요한 과제로 떠오르고 있다. 고압 수소를 차량 내 저장 탱크에 주입하는 충전 과정에서는 내부 온도가 급격히 상승하게 되며, 이는 탱크의 안정성과 관련되기 때문에 충전 중 온도를 정확히 예측하는 것이 필수적이다.

본 연구에서는 수소 충전 시 저장 탱크 온도를 정밀하게 예측하기 위해, 충전 시간 동안 변화하는 유동 조건을 반영하여 대류 열전달 계수를 동적으로 계산할 수 있는 모델을 개발하였다. 유입 유량, 압력, 온도 등의 운전 조건 변화에 따라 탱크 내부 유동이 시간에 따라 비정상적으로 변화하며, 이에 따라 열전달 특성 또한 변화하게 된다. 이러한 점을 고려하여, 시간에 따른 Re 수 및 Nu 수를 계산하고 이를 바탕으로 위치별 대류 열전달 계수를 연속적으로 갱신함으로써 실제 충전 환경에 가까운 조건을 반영하였다. 제안된 모델은 기존의 고정 계수 기반 모델과 비교하여 저장 탱크 내부 온도 예측 정밀도를 향상시키는 것으로 확인되었으며, 수소 저장 시스템의 열적 안전성 평가 및 충전 프로토콜 최적화뿐만 아니라, 향후 충전 시스템의 설계 및 실시간 열 제어 전략 수립에도 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글: 본 연구는 산업통상자원부와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (과제번호: 20227310100060)

공정 시뮬레이터 기반 수소충전소 경제성 평가 및 민감도 분석 연구

채충근, 임경태, 이지선

(주)미래기준연구소

Economic Evaluation and Sensitivity Analysis of Hydrogen Refueling Stations Based on Process Simulation

Chungkeun Chae, Gyeongtae Im, Jisun Lee

Mirae EHS-Code Research Institute

본 연구에서는 수소충전소의 전체 공정(Tube Trailer, 압축기, 저장탱크, 충전기, 수소차량)을 통합적으로 모사할 수 있는 공정 시뮬레이터를 개발하였다. 개발된 시뮬레이터는 다양한 입력 조건과 운전 시나리오를 기반으로 공정 해석을 수행할 수 있으며, 이를 통해 각 설비의 사양을 과학적이고 합리적으로 도출할 수 있다. 산출된 공정 사양은 수소충전소의 자본적 지출(CAPEX) 및 운영비용(OPEX) 산정에 활용되며, 이를 바탕으로 충전소의 경제성을 정량적으로 평가할 수 있다. 또한 민감도 분석을 통해 주요 변수들이 경제성에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였으며, 이를 통해 경제성에 결정적인 영향을 미치는 핵심 요인을 도출하였다. 본 논문은 공정 기반 시뮬레이션을 경제성 평가에 직접 연계한 통합적 분석 방법론을 제안하며, 이는 향후 수소충전 인프라의 기획 및 투자 의사결정에 실질적인 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

This study presents the development of an integrated process simulator capable of modeling the entire workflow of a hydrogen refueling station, including the Tube Trailer, compressor, storage tanks, dispenser, and hydrogen vehicles. The simulator enables comprehensive process analysis under various input conditions and operating scenarios, thereby facilitating the rational and scientific determination of equipment specifications. The derived specifications are used to estimate both capital expenditures (CAPEX) and operational expenditures (OPEX), providing the basis for a quantitative economic evaluation of the refueling station. In addition, a sensitivity analysis is conducted to systematically examine the impact of key variables on economic performance, allowing for the identification of critical factors that influence profitability. This paper proposes an integrated methodology that directly links process-based simulation with economic assessment, offering a practical and precise decision-support tool for the planning and deployment of hydrogen refueling infrastructure.

국내·외 유틸리티 기관의 IoT 활용 굴착공사 관리 방안 및 유형별 굴착공사 제도개선 연구

김범수 · 김보식
한국도시가스협회

A management plan for excavation work using IoT by domestic and foreign utility institutions and A Study on the Improvement of Excavation System by Type

Bum-Su Kim · Bo-Sik Kim
Korea City Gas Association

요 약

굴착공사 원콜시스템(EOCS) 제도가 도입된 지 약 17년이 경과하고 있지만, 최근 5년간 굴착공사에 의한 도시가스배관 파손 사고는 연평균 6.8건 정도나 발생하고 있으며, 굴착공사 관리는 도시가스사의 배관 위험성 평가 관리에서도 50%의 비중을 차지할 정도로, 그 중요도가 매우 높은 의무 관리 대상이라 판단 된다.

본 연구에서는 국내·외 유틸리티 기관의 IoT를 활용한 첨단·과학화된 굴착공사 사고 예방 적용 기술을 조사해 보았으며, 굴착공사 관리의 중요도 및 도시가스 관련 법령에만 의존할 수 없는 상황으로 건축물, 교육시설, 굴착장비 중 천공 작업 등 다양한 유형별 굴착공사 사고 예방을 위한 법령 개정 추진 제도개선 방안을 도출하고자 한다.

Abstract - About 17 years have passed since the excavation work one-call system (EOCS) was introduced, but there have been about 6.8 cases of damage to city gas pipes due to excavation work annually over the past five years, and excavation management is considered to be a very important mandatory management target, accounting for 50% of the city gas company's pipe risk assessment management.

This study investigated advanced and scientific excavation accident prevention technology using IoT by domestic and foreign utility institutions, and due to the importance of excavation management and the inability to rely solely on city gas-related laws, we intend to derive measures to improve the law revision promotion system to prevent excavation accidents by various types, including drilling among buildings, educational facilities, and excavation equipment.

Key worlds : excavation accidents, prevent city gas piping, pipe risk assessment management, excavation accident prevention technology

AI 정압설비 예지보전 시스템 개발

최가진
씨엔씨티에너지

Development of AI-based Predictive Maintenance System for Pressure Equipment

gajin Choi
CNCITY Energy

요 약

도시가스 공급 시스템의 핵심 설비인 정압기는 고장 발생 시 대규모 공급 장애로 이어질 수 있다. 기존의 정압기 점검 방식은 계획에 의존하는 정기점검 위주로 고장 징후가 있어도 사전 인지가 어렵다.

AI 정압설비 예지보전 시스템은 정압기의 이상 작동상황을 AI 기반 예측 모델을 통해 정압기의 이상 징후를 조기에 예측하고 이를 선제적으로 대응하여 공급중단 Zero화 및 안정적인 도시가스 공급을 위한 데에 그 필요성이 있다.

정압기의 현재 상태를 수치화하여 표현한 상태지수를 개발하고 각 상태지수의 변화를 추적, 분석하여 건전성 지수를 산정한다.

시스템에 적용된 딥러닝 기반의 AI 모델은 실시간 1,2차 공급압력 변화추적, 과거 및 기준데이터와의 유사도, 증감패턴, 관련 정압기들간의 상관관계, 정압기 정비이력 등을 융합 및 분석하여 항목별 현재의 상태지수를 산출하고 이를 통해 미래의 건전성 지수를 예측한다.

정압기 건전성 지수는 정압기가 정상적으로 작동할 수 있는 상태인지, 고장 위험이 있는지를 판단하기 위한 정량적 지수로 정압기의 이상징후를 조기에 예측하고 예방정비 및 예지보전의 기준이되면 유지보수 우선순위와 정비 시점을 정량적으로 결정하는데 중요한 요소로 활용될 수 있다.

정압기 건전성 지수를 활용한 관리 체계 개선으로

- (1) 이상 상황 실시간 경보 : 실시간 상태지수 변화에 따른 예측 경보
 - (2) 정비 시점 예측 및 최적화 : 정압기 상태 변화에 따른 사전 점검, 정비 우선순위 자동 분류
 - (3) 정압기별 장기 건전성 지수 추세 분석/예측으로 정압기 상태 및 노후 설비 교체 시점 판단
 - (4) 지역별, 모델별 성능 비교 및 적정 관리 기준 마련
 - (5) 정압기의 상태를 수치로 실시간 모니터링하여 운영자 판단의 명확성과 신속성 향상
- 도시가스 인프라의 디지털 전환을 촉진하며, 운영자의 경험에 의존하던 관리체계를 수치 기반 표준화된 관리로 전환하여 AI를 기반으로 한 도시가스 설비의 지능형 관리 체계를 구축이 가능하도록 할 수 있다.

Keyword : AI 정압설비 예지보전 시스템, SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 시스템, 딥러닝, AI 기반 예측모델, 압력예측

도시가스 공급사업 안전관리 사례: Top 5 Risk 중심의 개선 활동

이주호
(주)해양에너지

Safety Management in City Gas Supply: Improvement Initiatives Focused on Top 5 Risks

Ju Ho, Lee
HaeYang Energy Co., Ltd.

요 약

도시가스 공급 과정에서 반복적으로 발생하거나 중대 사고로 이어질 수 있는 유해·위험요인을 체계적으로 발굴하고, 이를 연1회 'Top 5 Risk'로 선정하여 집중 관리하는 사례를 다룬다. 위험요인은 발생 가능성과 중대성을 기준으로 평가되며, 선정된 항목에 대해서는 프로세스 개선, 교육강화, 보호장비 보완, 협력업체 안전관리 등 다양한 개선활동을 통해 위험도를 저감하였다.

이러한 지속적인 개선 프로세스를 통해 사업장의 전반적인 안전 수준이 향상되었으며, 향후에도 정량적 위험성 평가와 예방 중심의 안전관리 체계 고도화를 통해 안전문화를 지속 정착시킬 계획이다.

Abstract - This paper presents a case study on the systematic identification and management of hazardous and risk factors in the city gas supply process, particularly those that are recurrent or have the potential to cause major accidents. Each year, the top five risks are selected based on assessments of their likelihood and severity. For each selected risk, targeted improvement activities such as process optimization, enhanced training programs, upgrades to personal protective equipment (PPE), and strengthened contractor safety management have been implemented to mitigate risk levels. As a result, the overall safety performance of the workplace has improved. The organization plans to further enhance its safety culture by advancing a prevention-oriented safety management system and continuing to apply quantitative risk assessment methods.

맨홀 철개 속뚜껑 재질 개선

어석원

(주)부산도시가스

manhole potential inner cover method improvement

Seok Won Eo

Busan City Gas. Co. Ltd

요 약

‘도시가스 사업법’ 제17조1항 및 동법 시행규칙 제25조6항에 따라 가스공급시설에 대하여 매년 1회 한국가스안전공사로부터 공급시설물의 유지관리 상태에 대한 정기검사를 실시하고 우리회사는 자체적으로 매년 1회 가스공급시설에 대한 유지관리상태를 확인한다. 부산은 바다를 접하고 있는 곳으로 특히 해안가 주변은 염분으로 인해 시간이 지남에 따라 공급시설물 철개를 비롯해서 철개 내부 속뚜껑이 부식되어 고착 및 본연의 기능이 저하되고 있다. 맨홀 철개는 2021년부터 특정규격으로 플라스틱 엔지니어링 소재의 신규 및 교체품으로 사용하고 있으나 내부 속뚜껑은 외부 유입물 방지의 기능을 상실한채 단종으로 수급도 어려웠다.

이에 기존과 동일한 사이즈로 내열성과 강도가 큰 플라스틱을 재질로 제작하여 부식의 가능성이 없고 가격의 경제력과 특히 경량으로 작업 시 구성원의 근골격계 질환 원인 제거로 측정자 피로도 감소 및 작업공정의 안전성을 입증하였다.

향 후, 부식되는 속뚜껑 교체 관련 비용을 절감하는 역할을 할 것으로도 기대된다.

경남에너지 정압기 표고차에 따른 원격압력조절장치 소개

이준석, 김정환, 김현우, 정동영, 박용수
경남에너지(주)

Gas Governor Remote Pressure Control System

Junseok Lee, junghwan Kim, hyunwoo Kim, dongyoung Jung, yongsu Park,
KyoungNam Energy.Co., Ltd

요 약

당사 정압기 원격압력조절장치 RPC(Remote Pressure Control)는 정압기 설치위치 표준고도 차이에 따른 압력상승 현상을 해소하고 정압기 출구압력을 효율적으로 관리하기 위해 도입하였다.

도시가스사에서 운영되는 정압기 대부분은 2개소 이상 Loop로 배관을 연결하여 정압기 출구압력이 서로 상호보완적으로 연동되어 공급되고 있으며 정압기 설치 고도에 따라 기본적으로 가스비중 영향으로 압력차가 발생한다.

도시가스 공급규정에 따른 공급가스 압력은 최소 0.98kPa ~ 최대 2.45kPa를 유지 하여야 하며 가스사용량 변화와 정압기 고도가 높은 곳에 설치된 수용가의 공급가스 압력이 최대 2.45kPa를 초과 될 수 있기 때문에 연중 2~3회 이상 정압기 출구압력 조절이 필요하게 된다.

RPC 도입 전 기존에는 정압기 출구압력 변경을 위해 Loop된 전체 정압기를 출입하여 압력을 조절 해야 하는 번거로움과 불편함이 있었고, 압력조절 시간 차이로 인한 Loop된 정압기의 출구 압력이 안정화 될 때까지 지속적으로 반복적인 압력조절 관리가 필요하게 된다.

따라서 원격압력조절장치 RPC를 통하여 Loop된 정압기 출구압력을 원하는 시점에 동시에 승압 또는 감압함으로써 Loop된 전체 정압기의 출구압력을 안정적이고 효율적으로 관리가 가능하다.

또한, 표준설정 압력만 입력하면 고도에 따른 정압기 설정 압력차이를 RPC에 자동으로 설정될 수 있도록 프로그램을 개발하여 현장 적용 및 지속적으로 개선 작업을 이어가고 있다.

창원진해구 지역 전체 RPC 설치를 통한 압력조절 사례와 관련 압력조절 인자 등을 소개하고자 한다.

충북지역 도시가스 배관망의 수소 혼입에 따른 압력손실 변화 고찰

이도협

충청에너지서비스(주)

Analytical study on pressure loss change due to hydrogen mixing in city gas pipeline network in Chungbuk

Lee Do Hyup

Chungcheong Energy Service

요 약

전 세계적으로 온실가스배출 감축이 화두가 되고 있고 국내에서도 이와 발맞추어 정부의 탄소중립목표에 대응하고자 도시가스업계에서도 기존 도시가스배관망에 20%의 수소 혼입을 목표로 진행 중에 있다. 이와 같은 목표를 달성하기 위해 수소취성에 의한 도시가스 누설 및 사용자시설 연소기 실사용에 대한 연구가 진행 중에 있으나, 압력에 미치는 영향에 대한 검토는 미진한 부분이다. 이에 따라 수소혼입률에 따른 도시가스 배관망에서의 압력손실 변화를 고찰하였다.

본 자료에서는 도시가스 배관망해석 소프트웨어인 DNV社 Synergi Gas를 활용하여 충북지역의 실제 도시가스 조성을 설정하고 잠재수요를 반영한 해석Model內 수소혼입률을 5%, 10%, 15%, 20%까지 증가시키면서 관말 압력 변화를 관찰하였다.

본 자료의 Simulation Model에서는 일반 가정용 도시가스 장비의 변경 없이 천연가스 배관망에 수소를 혼입할 수 있는 수소혼입률 범위를 최대 20%로 가정하였으며 수요 지점에서 Simulation 기준을 체적 유량과 열량 유량으로 고정하여 각각의 결과를 평가하였다. 일정한 체적 유량을 공급하는 조건에서 수소 혼입률이 증가함에 따라 배관망에서 발생하는 압력 손실이 감소하는 결과를 확인하였다. 일정한 열량 유량을 공급하는 조건에서는 수소 혼입률이 증가함에 따라 열량 유량을 유지하기 위해 체적 유량이 증가하여 배관망에서 발생하는 압력 손실이 증가하는 결과를 확인하였다. 각 지역별로 형성된 공급망(GS, 관경, 연장, 수요량)이 상이함에 따라 해당 자료의 결과값은 충북지역에 국한되며, 각 지역별로 수소혼입에 따른 압력 예측을 통해 선제적인 안정공급 환경을 구축할 필요가 있다. 또한 비교적 정확한 결과값 도출을 위해 신뢰도 높은 해석Model을 구축하는 것이 중요하다고 판단된다.

기밀시험 장비의 온압보정기술 도입 방안 연구

권 유, 황보창국, 김대중
(주)경동도시가스

Research on the Implementation of Temperature and Pressure Calibration Technology for Confidential Testing Equipment

Yue Kwon, Chan-gkug Hwangbo, Dae-Jung kim
KyungDong City Gas, Korea

요 약

도시가스 공급관의 설치가 완료되면 사용하기 전에 그 시설의 안전성 여부를 확인하기 위하여 내압 및 기밀시험을 실시하게 되며, 내압 및 기밀시험은 가스시설의 안전성을 확인하는데 매우 주요한 공정 중의 하나이다.

본 연구는 도시가스 공급관 기밀시험의 정확성과 신뢰성 확보를 위해 기밀시험의 불합격 사례를 분석하였다. 총 718건의 기밀시험 사례를 대상으로 조사한 결과, 합격 481건(66.9%), 온도 영향으로 인한 불합격 233건(32.4%), 취급 부주의로 인한 불합격 4건(0.7%)으로 나타났다. 분석 결과, 대부분의 불합격 원인이 외부 온도에 기인하며, 외부 온도 상승에 따른 압력 보상 현상으로 미세 가스 누출에도 불구하고 정상 합격 판정을 받는 경우가 발생하는 것으로 확인되었다. 또한, 기밀시험에는 주로 부르돈관 형태의 자기압력기록계(PRG)가 사용되며, 이 기기의 구조적 특성상 온도 변화에 영향이 큰 것으로 나타났다. 이에 본 연구는 기밀시험 시 온도의 영향을 면밀히 분석하고, 온압보정기의 도입 및 보정을 통해 도시가스 공급관 기밀시험의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

이를 위해 온압보정기를 활용하여 시계열화된 온도와 압력을 측정 후, 이를 보정산출압력 산식(측정압력×[273.15 / (측정온도 + 273.15)]×[1 / 압축비])을 적용하여 자기압력기록계의 데이터와 비교 분석하였다. 실험은 현장 여건과 유사한 환경에서 진행되었으며, 현장 및 사내 실험장에서 시간대별, 임의누출(50%)과 미누출(50%) 조건으로 구분된 총 120건의 데이터를 분석한 결과, 온도 변화에 따른 자기압력기록계의 압력 오류가 26건(21.6%)으로 확인되며, 해당 기기가 온도 변화에 민감한 것으로 나타났다.

본 연구로 첫째, 기밀시험에서 온도가 미치는 영향을 정량적으로 분석하는 것과, 둘째, 온압보정기를 도입함으로써 기밀시험의 신뢰성을 개선할 수 있는지를 검증하였다. 이를 통해 기밀시험의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 근거를 마련하고, 이론적·실무적 시사점을 도출함으로써 기밀시험의 정확성 및 신뢰성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

Key world : Airtightness Test, Magnetic Pressure Recorder, Temperature Pressure Corrector, Calibration Instrument Output Pressure, Reference Pressure, Long-Time Trend Analysis

매설 배관 위치 실시간 측정 시스템 구축을 통한 배관관리 효율성 및 정밀도 향상 방안

김종원

미래엔서해에너지

Development of a Real-Time Measurement System for Buried Gas Pipeline Locations to Enhance Management Efficiency and Accuracy

Jong Won Kim

Mirae'N SeohaeEnergy

요 약

지하시설물 중 도시가스 매설 배관은 시공 이후 정확한 위치 확인이 어려워 유지보수 및 타공사와의 간섭 문제가 지속적으로 제기되고 있다. 본 연구는 매설 배관의 위치를 실시간으로 측정 및 관리할 수 있는 시스템을 개발하여, 공사 및 배관 관리 프로세스의 효율성을 제고하고, 배관 위치의 정밀도 향상과 오차 최소화를 목표로 한다. 실시간 위치 정보는 지리정보시스템(GIS)에 자동 등록·연계되며, 데이터 기반의 공사 및 유지보수 체계를 구현한다.

주요 개발 요소로는 공사 현장 측량 시 측량장비 APP과 내부 시스템의 실시간 연계 기능 및 일일 공사 진행 상황을 종합적으로 파악 가능한 관제 시스템, 작업자 편의를 고려한 측량 장비 전용 애플리케이션(APP) 개발 및 사용자 UI 개선, GIS 편집 프로그램과의 실시간 데이터 자동 연동 기능 등이 있다. 이와 같은 기능은 공사 현장에서 측정된 정보를 신속히 시스템에 반영하여, 위치 정확성과 업무 효율성을 동시에 확보할 수 있도록 한다.

실증 테스트 결과, 측량-등록-검토 전 과정이 자동화됨에 따라 기존 수작업 방식 대비 업무 효율은 40% 이상 개선되었으며, GIS 상 배관 위치의 오차 범위는 평균 0.3m 이내로 정밀도가 크게 향상되었다. 특히 측량 정보는 공공측량 성과 심사에 적합한 형식으로 제공 가능해, 공공기관 제출용 데이터로의 활용도 확보하였다.

앞으로 이 프로세스가 도시가스 배관의 안전성 제고와 체계적인 시설물 관리에 기여 할 것으로 기대된다.

도심 환경에서 사설 기준국 기반 RTK 수신율 개선 효과 분석

김태규, 곽원철, 도형경, 천재민
씨앤피에스 기술연구소

Analysis of RTK Reception Rate Improvement Using Private Base Stations in Urban Environments

Taegyu Kim, Woncheol Kwak, Hyunggyeon Do, Jaemin Cheon
CNPS R&D Center

요약

본 연구에서는 회사 내 사설 기준국을 설치했을 때, 측량 현장에서의 RTK 수신기 성능이 유의미하게 향상되는지를 검증하고자 한다. RTK 알고리즘은 수신기(Rover)와 기준국(Basestation)의 거리(Baseline)가 가까우면 가까울수록 보정 성능이 향상되는 특성을 가지고 있다. 회사 내에 사설 기준국을 설치한다면 국토지리원 VRS보다 측량현장과 상대적으로 가까운 기준국을 사용하게 되는 것이고, RTK 성능향상을 기대할 수 있다. 이를 검증하기 위해 현장에서 필드 테스트를 진행하였고, 테스트 결과를 바탕으로 사설 기준국의 효용성을 도출할 수 있었다.

또한, RTK 장비는 국토지리정보원에서 제공한 기준국 서버를 통해 위치점을 보정하고 작업을 진행하는데 국토지리정보원의 기준국 점검이 잦을수록 RTK 장비는 사용을 할 수 없게 된다. 이로 인해 작업이 일시적으로 중단되거나, 추가적인 비용 및 시간 소요가 발생하게 되어 업무 효율성이 저하될 수 있다. 하지만 회사가 사설 기준국을 보유하게 되면 국토지리정보원 기준국 운영 상태에 상관없이 작업이 가능하기 때문에 지속적인 측량 환경을 구축이 가능하다. 따라서 본 연구는 2가지 가설을 제시하며, 연구 결과가 도시가스 업계에 긍정적인 효과를 가져올 것으로 기대한다

This study aims to verify whether the performance of RTK receivers in field surveying improves significantly when a private base station is installed within the company. The RTK algorithm exhibits improved correction performance as the baseline—the distance between the receiver (rover) and the base station—becomes shorter. By installing a private base station on company premises, it becomes possible to use a station that is relatively closer to the survey site compared to the National Geographic Information Institute’s VRS, thereby potentially enhancing RTK performance. To validate this, a field test was conducted, and based on the test results, the effectiveness of the private base station was evaluated.

RTK equipment relies on correction data provided by the NGII base station servers to determine accurate positioning during operations. However, frequent maintenance of NGII base stations can render RTK systems temporarily unusable. This leads to operational delays, additional costs, and reduced work efficiency. By contrast, when a company maintains its own private base station, surveying operations can proceed regardless of the operational status of NGII infrastructure, thereby enabling a continuous and stable surveying environment. Accordingly, this study proposes two hypotheses and expects that the research findings will have a positive impact on the urban gas industry.

AR기술을 활용한 도시가스 매설배관 관리

임병수

씨엔씨티에너지

CITYGAS Pipeline Management Based On AR(Augmented Reality)

Lim Byungsoo

CNCITY Energy

AR(Augmented Reality)는 현실공간과 가상공간의 융합으로 우리의 현실공간에 다양한 정보를 Device(태블릿, 글래스 등)를 통해 제공하는 기술이다. 도시가스 배관관리에 있어 AR 기술은 유관으로 볼 수 없는 매설된 배관의 정보를 직관적으로 보여줄 수 있다는 것에 활용도가 높다. 우선적으로 도시가스 회사의 타공사 관리(도시가스 시설 외의 지하매설물 공사로 인한 도시가스 배관 안전관리)에 활용할 수 있다. 도시가스 배관위치를 AR 기술로 직관적으로 보여줌으로써, 사고를 미연에 방지할 수 있다. 향후 AR배관망은 GIS 정보에 기반으로 하여, 모든 안전관리 정보를 하나로 연결해 주는 역할로 발전할 것을 기대한다.

AR (Augmented Reality) is a technology that provides various information in our real space through devices (tablets, glasses, etc.) by merging real space and virtual space. In the management of city gas pipes, AR technology is highly utilized because it can intuitively show information on buried pipes that cannot be seen as related. First of all, it can be used for the management of other construction works of city gas companies (safety management of city gas pipes due to underground facility construction other than city gas facilities). By intuitively showing the location of city gas pipes with AR technology, accidents can be prevented in advance. In the future, the AR pipe network is expected to develop into a role that connects all safety management information based on GIS information.

Keyword : AR(Augmented Reality)

난방전환 아파트의 에너지 사용량 및 경제성 비교분석

김기웅, 최대열, 이수연
대륜이엔에스

A Comparative Study on Energy Consumption and Economic Feasibility of Heating System Conversion in Apartment Buildings

ki-woong Kim, Dae-youl Choi, Su-Eon Lee
DaeryunE&S

요 약

최근 에너지 비용의 지속적인 상승으로 인해 지역주민들의 경제적인 에너지 사용에 대한 관심이 증가하고 있고, 노후 지역난방 아파트를 개별난방으로 전환하고자 하는 문의도 증가하고 있다. 난방 방식의 전환은 초기 투자비용, 에너지 요금의 변동, 아파트 구조, 주민들의 난방 사용 행태 등 다양한 요인이 복합적으로 작용하기 때문에 개별세대에서 경제성을 명확히 비교하기 어렵다. 이에 본 연구는 실제 개별난방으로 전환한 사례를 바탕으로, 전환 전후의 에너지 효율 및 경제성을 실증적으로 분석하고자 하였다.

본 연구는 서울지역 난방전환 아파트 단지를 대상으로 지역난방에서 개별난방으로 전환한 이후의 난방비 및 에너지 사용량 데이터를 분석하였다. 그 결과, 개별난방 전환 이후 난방비 절감과 에너지 효율 향상이 나타났으며, 그에 따라 일정 기간 경과 시 초기 투자비의 회수가 가능한 것으로 평가되었다. 또한 관리비 경감 및 사용자 만족도 측면에서도 긍정적인 변화가 확인되었다. 본 연구 결과는 향후 난방방식 전환을 고려하는 입주 주민의 의사결정은 물론, 정부의 에너지 정책 수립에도 실질적인 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract - The continuous increase in energy costs has led to growing interest among residents in adopting more economically efficient energy usage practices, with a corresponding rise in inquiries regarding the conversion of aging district heating systems to individual heating systems. However, the decision to transition heating methods involves multiple factors, such as initial investment costs, fluctuations in energy prices, building structure, and residents' heating usage behaviors, making it challenging to clearly compare the economic feasibility of individual households. Therefore, this study aims to empirically analyze the energy efficiency and economic viability before and after the heating system conversion, using real-world cases of transitions to individual heating.

This study focuses on apartment complexes in Seoul that have transitioned from district heating to individual heating, analyzing heating costs and energy consumption data post-conversion. The results indicate that the switch to individual heating led to a reduction in heating costs and an improvement in energy efficiency, with the recovery of the initial investment deemed possible over a certain period. Furthermore, positive changes were observed in terms of reduced maintenance fees and increased resident satisfaction. The findings of this study are expected to serve as valuable reference material for residents considering heating system conversions, as well as for policymakers involved in the formulation of energy policies.

지역정압기용 RTU 자체 개발

강대원
(주)해양에너지

Development of RTU for district governor

Kang, Dae Won
HaeYang Energy Co., Ltd.

요 약

도시가스 지역 정압기의 실시간 정보를 상황실로 전송해 주는 통신 장비인RTU를 회사에서 자체적으로 개발하여 운용.

정압기 통신 장비인 RTU(Remote Terminal Unit)는 H/W, S/W, IT, SCADA 분야의 전문성이 필요하여 외부 업체를 통해서만 제작과 운용이 가능한 설비였다. 하지만 도시가스 업계의 작은 시장 규모로 인하여 영세한 업체가 대부분이고, 이에 따른 업체의 갑작스러운 폐업, 기술 지원 중단 등의 문제가 발생하였다. 불필요한 개발 및 설치 비용이 발생하고, 기존 장비의 고장 시 대응이 안 되어 안전관리에 위협이 되고 있다.

이에 회사는 자체적으로 RTU를 개발하여 잠재적인 위협요인에 대응하고, 원천 기술을 보유하고자 한다.

지금까지 폐업하여 기술 지원이 중단된 구형 RTU의 문제 발생 시 현재 계약한 업체의 신형 RTU로 교체 공사를 진행해야 했다. 교체에 따른 공사비가 발생하고 공사 시간이 오래 걸려 원격감시 공백이 발생하였다. 하지만 개발 RTU는 별도의 공사 없이 RTU만 교체하면 되도록 제작되어 교체 비용과 시간을 크게 절감하였다.

특히 본 자체 개발 RTU를 통해RTU 원천 기술을 확보하여 RTU 개발 업체의 폐업이나 기술지원 중단에도 유연하게 대처할 수 있게 되었다. 또한 원천 기술 확보로 인하여 RTU 외 다른 분야에도 응용이 가능하여 안전관리 선진화 연구개발에 대한 기술력을 확보하였다.

도시가스 매설배관 천공 및 연결작업 장비 현황 소개

손주오, 김세진, 전휘섭, 김옥환
경남에너지(주)

Instruction of The Equipment Status for Urban Gas Pipeline Drilling and Connection Work

Juo Son, Sejin Kim, Whiseop Jeon, Okhwan Kim
KyungNam Energy Co., Ltd.

요 약

도시가스의 배관 공사는 고도의 안전성과 작업 효율성이 요구되며, 공급 중단 없는 작업조건 등을 충족하고, 특히 높은 압력의 차단 및 제어, 제한적인 작업공간 및 긴급상황에서 장비의 신속한 운용과 운용의 편리성이 핵심 요건으로 작용한다.

과거 유압식 차단 장비를 활용한 방식은 장비의 대형화 및 고중량화로 협소한 현장에서 적용이 어렵고 작업자에게 큰 부담을 안기며, 가스를 차단하는 기능에 우선하여 개발되어 절단부 전·후단의 압력 감시 불가 등 다양한 작업조건에서의 활용에 한계가 있었다.

이에 따라 경남에너지는 위에서 언급한 요구사항을 해소하고자 차단 장비를 자체 개발하여, 장비의 경량화와 이동 및 사용의 용이성, 사전 준비 및 작업시간의 단축과 작업자의 안전 확보, 작업의 신뢰도 향상을 실현하였고 중단 없는 가스공급을 위한 활관 작업시에도 안전성을 확보할 수 있었다.

또한, 굴삭기 부착 썰기형 긴급 배관손상부 차단 장비, 방산형 응급조치 패드, 분기 차단 장비, 차단 장비 내부 압력경보장치 등을 개발하여, 현장 적용 및 개선을 이어가고 있다.

본 자료에서 경남에너지에서 사용 중인 천공 및 연결작업 장비와 긴급조치 활용을 위해 개발한 장비를 종합 정리하고 활용 실적을 공유함으로써 동종업계 종사자들에게 실무적인 활용 정보를 제공하고, 위험 작업별 유용한 차단 및 연결에 관한 장비를 상세히 소개하고자 한다.

도시가스 산업에서의 생성형 AI 활용: 법적·기술적 질의 및 사고 예방 지원

김동언
영남에너지서비스(주)

Application of Generative AI in the City Gas Industry: Legal and technical inquiries & accident prevention support

Dongeon-Kim
Yeongnam Energy Service Co.,Ltd.

요 약

본 논문은 도시가스 업무 및 산업 현장에서의 법적·기술적 질의 대응과 안전 관리 강화를 목적으로, Chat GPT 기반의 맞춤형 인공지능 시스템인 '도시가스AI'를 개발하고 그 활용 방안을 제시한다. 본 시스템은 도시가스 관련 법령 및 한국가스안전공사의 기술 기준에 기반하여 사용자의 질의에 객관적이고 정확한 정보를 실시간으로 제공하는 기능을 핵심으로 하며, 각 응답에는 해당 조항의 출처를 명확히 제시하여 정보 신뢰도를 제고하였다. 그리고, 산업안전보건공단의 사고사례 공개 데이터를 자동 수집·연계함으로써, 현장 작업자들이 당일 작업과 유사한 사고 정보를 즉시 확인하고, 사전예방 중심의 안전관리를 수행할 수 있도록 지원한다. 또한, 도시가스 시설물 작업현장에 맞는 기술기준 및 품질기준에 관한 정보를 제공하는데 활용이 가능하다. 본 연구는 도시가스 산업의 디지털화 및 안전관리 고도화에 기여할 수 있는 생성형 AI 응용의 구체적 방향을 제시한다.

Abstract - This study presents the development and application of a customized ChatGPT-based artificial intelligence system, City Gas AI, designed to support legal and technical inquiries and enhance safety management in the city gas industry. The system is built to provide users with objective and accurate responses in real time, grounded in relevant city gas legislation and technical standards issued by the Korea Gas Safety Corporation (KGS). Each response includes clearly cited legal or regulatory sources, thereby improving the transparency and reliability of the information provided. And the system is integrated with the publicly available incident case database of the Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA), allowing field workers to promptly access examples of past accidents related to the daily tasks. This feature encourages a proactive safety mindset and facilitates risk-aware operations. In addition, it can be used to provide information on technical and quality standards suitable for city gas facility work sites. This research offers a practical framework for the application of generative AI in the digital transformation and advanced safety management of the city gas sector.

Keywords: ChatGPT, City gas industry, Legal compliance, KGS code, Industrial Accident Cases

PE 배관의 장기사용 성능 실증을 통한 안전성 검증과 사용확대 방안 연구

열승경, 김태강, 김대중
(주)경동도시가스

A Study on Safety Verification and Expansion of Use Through Long-term Use Performance Demonstration of PE Piping

Seung-Kyeong Yeom, Tae-Kang Kim, Dae-Jung Kim
KyungDong City Gas, Korea

요 약

폴리에틸렌(PE) 배관은 1960년대 저밀도 폴리에틸렌(PE63), 1970년대 중밀도 폴리에틸렌(PE80), 1980년대 고밀도 폴리에틸렌(PE100)의 개발과 함께 발전해 왔으며, 해외에서는 PE100 배관을 적용하여 7~8 bar의 중압 가스를 공급하고 있는 반면, 국내에서는 주로 PE80 배관을 사용하여 4 bar 이하의 저압 가스를 공급하도록 규정되어 있다.

울산 및 경남 양산 지역에 설치된 도시가스 PE 배관은 1996년부터 지하에 매설되어 2023년 말 기준 약 1,330 km에 이르며, 경과 연도별 배관 현황은 10년 이하(약 525 km, 39%), 10년 초과 20년 이하(약 556 km, 42%), 20년 초과 30년 이하(약 249 km, 19%)로 나타난다.

이와 같이 장기간 사용된 저압 PE 배관에 대해 도시가스사업 법에 따른 기밀시험(15년 이상 배관에 대해 5년마다 실시) 등 법적 안전점검과 자율점검이 이루어지고 있으나, 정밀 안전진단과 같은 심층 검사는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 매설 가스 배관으로 활용된 PE 배관의 안전성 검증 방법을 종합적으로 검토하고, 중장기 사용 배관을 대상으로 내압 크리프, 단기 내수압, 인장강도 등 기계적 성능과 밀도, 열안정성, 용융질량흐름지수 등 물리적 성능에 관한 육안 검사 및 물성 시험을 수행하여 배관의 상태와 성능을 평가하였다. 또한, 국내외 사용 현황 조사 및 실증 실험을 통해 적정 사용 압력을 도출하고, 이를 바탕으로 PE80 배관의 중압 가스 공급 확대 적용 방안과 PE100 배관 도입 시의 적용 방안을 제시하고자 한다.

Key worlds : PE, Safety Verification and Expansion of Use, Performance Demonstration

**글로벌 RNG(Renewable Natural Gas) 시장 동향 및 시사점 연구
- NG를 넘어 RNG로 -**

방유진, 정희용, 김연경
한국도시가스협회

**A Study on Global RNG(Renewable Natural Gas) Market Trends and
Implications
- Change from NG to RNG-**

Yu-jin Bang, Hee-yung Chung, Yeonkyung Kim
Korea CityGas Association

요 약

세계 각국은 탄소중립과 에너지 전환을 위한 다양한 정책과 기술, 신에너지 공급에 진력하고 있다. 재생에너지가 에너지전환을 선도하지만, 간헐성과 지속가능성 측면 등 다양한 한계점을 갖고 있다.

한편, 우리나라는 그동안 천연가스가 청정에너지시대를 앞당겼으며, 천연가스 인프라는 규모(주배관 5천km, 지역배관망 56천km)는 물론 그리드 측면에서도 도서 지역을 제외하고 전국을 환상망 구조로 연결하는 최적의 공급시스템을 갖고 있다.

기존 천연가스 인프라를 활용할 수 있는 신에너지는 수소, E-메탄 등이 있으나, RNG는 기술성, 자원(Sourcing) 확보와 자원순환경제, 확장성, 제도 수용성 등에 최적의 신에너지로 평가받고 있다.

이 논문의 미국, 유럽 등 글로벌 RNG 시장 동향을 분석하고, 주요 국가와 글로벌 유틸리티 기업들의 RNG 전략을 분석하여 우리나라의 RNG 전략 수립에 도움을 주고자 한다.

Abstract - Countries around the world are focusing on supplying new energy, technology, and various policies for carbon neutrality and transformation of energy. Although renewable energy leads the energy transition, it has various limitations such as intermittence and sustainability.

Meanwhile, in Korea, natural gas has advanced the era of clean energy, and the natural gas infrastructure has an optimal supply system that connects the whole country in an annular network structure, except for island areas, in terms of the grid.

New energy that can utilize existing natural gas infrastructure includes hydrogen and E-methane, but RNG is evaluated as the best new energy for technology, resource securing, resource circulation economy, scalability, and system acceptance.

This study analyzes global RNG market trends in the United States and Europe, and analyzes RNG strategies of major countries and global utility companies to help establish RNG strategies in Korea.

Keywords: carbon neutrality, RNG, hydrogen, natural gas, e-methane, etc.

드론 정사영상을 활용한 도시가스 공급시설물 절대좌표 취득 방법 연구

최원혁, 김동근, 강동현, 신상민

(주)부산도시가스

Acquiring Absolute Coordinates of City Gas Supply Facilities Using Drone-Based Orthophotos

Won Hyeok Choi, Dong Geun Kim, Dong Hyun Kang, Sang Min Shin

Busan City Gas. Co. Ltd

요 약

도시가스 공급시설물의 위치정보 정확도 확보를 위해, 현장에서는 일반적으로 GNSS 장비를 활용하여 절대좌표를 취득하고 있다. 그러나 GNSS 장비는 측정을 위해 현장 접근이 필요하며, 날씨, 교통량이 많은 간선도로, 음영 지역 등 다양한 환경적 제약으로 인해 좌표 취득에 어려움이 있다. 본 연구에서는 드론으로 촬영한 정사영상을 활용하여 이러한 제약을 극복하고, 도시가스 공급시설물의 절대좌표를 효율적으로 취득하는 방법을 제안하였다. 그 결과, 현장 업무의 간소화와 함께 좌표 취득의 효율성과 정확성이 향상되었음을 입증하였으며, 향후 도시가스 공급시설물의 체계적인 공간정보 관리 기반 마련에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

전기누설로 인한 가스보일러 금속플렉시블 호스 손상 및 가스누출 화재사례 연구

주정근

미래엔서해에너지

A Case study on Gas Leakage Fires due to Damage of Gas Boiler Flexible Metal Hoses Caused by Electrical Stray Currents

Jung Geun Ju

Mirae'N SeohaeEnergy

요 약

가정 및 산업시설에서 가스보일러는 필수적인 설비로 자리 잡았으며, 설치 유연성을 위해 금속 플렉시블 호스가 널리 사용되고 있다. 그러나 건물 내 전기 설비의 노후화나 관리 미흡으로 발생한 누설 전류가 도시가스 배관을 통해 흐르면서 예상치 못한 위험을 야기할 수 있다. 특히, 2010년 이전에 주로 설치되었던 고무패킹 구조의 구형 금속 플렉시블 호스는 누설 전류에 취약한 지점으로 작용한다. 누설 전류가 상대적으로 전기 저항이 큰 고무패킹 부위를 통과하면서 발생하는 줄열 또는 아크로 인해 패킹이 용융, 탄화, 파손되어 가스 누출을 유발하고, 이 누출된 가스가 스파크나 외부 점화원에 의해 발화하여 화재나 폭발 사고로 이어질 수 있다.

2025년 발생한 금속플렉시블 호스손상으로 인한 가스누출 화재사고 사례를 심층적으로 검토하였다. 사례 분석 결과, 화재가 발생한 세대 외 점검 대상13세대 중2세대에서 동일한 플렉시블 호스 연결부(고무 부분)의 손상(용융)이 추가로 확인되어, 누설 전류로 인한 동시다발적 손상 및 사고 발생 위험성이 매우 높음을 실증적으로 확인하였다. 이는 관련 선행 연구들의 실험 결과에서 확인된 누설 전류 조건 하 구형 호스 연결부의 발화 메커니즘 및 연소 확대 위험성과 일치하는 결과이다.

한국가스안전공사(KGS)는 이러한 위험을 인지하고2010년KGS Code AA535 개정을 통해 보일러용 플렉시블 호스의 내열 기준을 강화하고 신규 설치 시 플레어 타입 사용을 의무화하였으나, 여전히 개정 이전에 설치된 수많은 구형 호스가 교체되지 않고 사용 중이며, 심지어 보일러 교체 시 비용 절감 등의 이유로 구형 호스를 재사용하는 관행이 문제점으로 남아있다.

따라서 본 사례는2025년 발생한 실제 사고 분석을 통해, 전기 누설 전류로 인한 구형 금속 플렉시블 호스의 가스 누출 화재 위험성이 규제 개정 이후에도 여전히 심각한 문제임을 재조명하고, 현재 사용 중인 구형 호스의 신형 호스로의 적극적인 교체 필요성과 건물 내 전기 안전 관리 강화의 중요성을 강조하여 향후 유사 사고 재발 방지에 기여하고자 한다.

해외 가스산업 규제기관의 진흥기능 비교 및 시사점 연구

정희용, 이수진
한국도시가스협회

Comparative Study on the Promotion Functions of Overseas Gas Industry Regulatory Authorities and Implications

Hee-Yung Chung, Soo-Jin Lee
Korea City Gas Association

기후위기에 따라 가속화되고 있는 에너지 전환시대에 천연가스는 여전히 가교 에너지원으로서 중요한 역할을 수행하고 있다. 또한, 천연가스 인프라는 수소, RNG, E-메탄 등 신에너지 공급확대를 위한 최적의 에너지 공급 시스템으로 평가받고 있으며, CCUS 등 혁신 기술과의 융합 가능성도 점차 높아지고 있다.

세계 주요국들은 가스산업의 탈탄소화를 앞당기기 위하여 가스 규제기관의 제도적 역할 강화와 기술혁신 기반 확보에 중점을 두고 있다. 아울러 가스산업의 인프라 투자 안정성과 기술 수용성을 높이기 위해 규제기관의 산업진흥 기능을 적극 활용하고 있으며, 이는 민간투자 유도와 장기적인 에너지 전환정책의 실현 가능성을 좌우하는 핵심 요소로 부각되고 있다.

이 논문은 해외 주요국의 가스산업 규제기관 기능과 운영체계를 비교·분석하고, 이들 기관의 산업진흥을 위한 역할에 대해 연구함으로써, 국내 가스산업 규제기관의 미래지향적 진흥기능 확대를 위한 시사점을 도출하고자 한다.

Abstract - In the era of accelerated energy transition driven by the climate crisis, natural gas continues to play a crucial role as a bridge energy source. Furthermore, natural gas infrastructure is recognized as an optimal energy supply system for expanding the provision of new energies such as hydrogen, RNG, and e-methane, and its potential for integration with innovative technologies like CCUS is also steadily increasing.

Major countries around the world are focusing on strengthening the institutional role of gas regulatory agencies and securing a foundation for technological innovation to accelerate the decarbonization of the gas industry. In addition, to enhance the stability of infrastructure investment and the technological adaptability of the gas industry, regulatory agencies are actively utilizing their industrial promotion functions, which are emerging as key factors in attracting private investment and realizing long-term energy transition policies.

This paper aims to compare and analyze the functions and operational systems of gas industry regulatory agencies in major countries abroad, and to study the roles of these agencies in industrial promotion, thereby deriving implications for the future-oriented expansion of industrial promotion functions of domestic gas industry regulatory agencies.

Keywords: Regulatory agencies, Natural Gas industry, Global energy policy

검침구 효과를 고려한 용도별 도시가스 수요예측모형

이성로, 최용욱*

한국가스공사 경제경영연구소, 중앙대학교 경제학부*

Forecasting models for sectoral city gas demand considering billing cycle phenomenon

Sungro Lee

Research Institute of Economics and Management in Korea Gas Corporation,

Yongok Choi

School of economics, Chung-Ang University

요 약

본 논문은 국내 용도별 도시가스 수요의 월단위 예측모형을 제시한다. 국내 도시가스수요는 2013년 이후 급락하면서 장기적인 추세요인이 감소하고 기온과 가격과 같은 단기적인 요인의 영향력이 높아지고 있다. 이런 이유로 과거 총수요를 이용한 모형에서 세부수요를 이용한 도시가스 수요예측모형의 필요성이 제기되었다. 그동안 도시가스 용도별 수요예측모형을 구축하는 것의 가장 큰 걸림돌은 검침구 효과(billing cycle phenomenon)로 인한 용도별 도시가스수요의 측정오차를 처리하는 것이었다. 측정오차는 복수의 도시가스 검침일로 인해 발생한다. 월중 도시가스 검침은 용도별 사용량 집계시, 해당 월 사용량뿐만 아니라 전달 사용량도 함께 포함되기에 이에 대한 기온 영향도와 요일효과를 정확히 측정하기 어려웠다. 본 연구는 한국가스공사 공급량과 도시가스협회 용도별 판매량을 결합하여 용도별 도시가스 판매량의 측정오차 문제를 해결하였다. 또한 용도별 도시가스 수요 월 단위로 집계되기에 기존의 방법으로는 공휴일에 수요가 감소하는 특수일효과를 추정할 수 없었으나, 본 연구는 산업용 수요의 지역별 비중을 이용하여 민수용과 산업용 도시가스수요의 특수일효과 추정법을 제시하였다. 마지막으로 구축된 용도별 수요예측모형의 예측력 평가를 제시했다.

LNG 직수입발전사의 동계 발전량 감소 현상 분석

송형상

한국가스공사 경제경영연구소

The Analysis on Reducing Power Generation by LNG Direct Importers in Winter

Hyungsang Song

KOGAS, Research Institute of Economics & Management

요 약

본 연구는 2022년 에너지 위기 기간 전·후로 직수입사의 동계 발전량 감소 현상을 살펴본다. 분석결과, 민간 5개 직수입사 모두 2021년 동계, 2022년 동계 발전량은, 2020년 동계 발전량 대비 감소한 것으로 나타나, 에너지 위기 기간 직수입사의 동계 발전량 감소가 균질적으로 발생한 것으로 나타났다. 이어서, 직수입사의 동계 직수입 발전량의 변동성이 큰 원인을 직수입사의 LNG 현물가격에 따른 전략적 선택의 관점에서 살펴보았다. 직수입사의 동계 직수입 발전량 증감이 LNG 현물가격 등락과 역방향으로 움직이는 것을 확인하였고, 직수입사의 동계 직수입 발전량이 급격하게 감소하게 되면서 SMP가 크게 상승하는 것을 2021년 동계와 2022년 동계 사례를 통해 확인하였다. 마지막으로, 직수입사의 발전수익 분석을 통해, 직수입사는 120% 이상의 수익 증가와 13.5%~15.6% 수준의 높은 매출액세전순이익률 달성한 것을 발견하였다. 에너지 위기 시기 직수입사의 이와 같은 높은 수익성은 국내 동종업계 및 전체산업 뿐만 아니라 일본, 독일 등의 해외 동종업계의 수익성과 비교하여도 과도하게 높은 수준인 것으로 분석된다. 향후, 직수입 제도 개선을 통해 가스시장과 LNG 발전시장의 가격안정성과 수급안정성이 제고되고, 기업과 가계의 에너지 부담이 완화되기를 기대해 본다.

글로벌 유틸리티기업들의 가스 탈탄소화 전략

남궁윤

한국가스공사 경제경영연구소

Gas Utilities Decarbonization Strategies

Yoon Namgoong

Research Institute of Economics & Management, Korea Gas Corporation

요 약

기후변화 대응과 탄소중립 이행은 전 세계적인 흐름으로서 국내 가스산업도 가스 탈탄소화를 위한 세부적인 전략과 저탄소에너지 기술 개발 및 인프라 구축이 필요한 상황이다. 주요국들 및 글로벌 기업들은 가스시장의 효율성 제고와 수소경제 조기 진입 관점에서 가스 탈탄소화를 위한 구체적 이행 방안을 수립한 이후 단계별 전략을 추진해 나가고 있다.

국내 가스산업도 e-메탄과 수소를 가스 탄소중립을 위한 주요 방안으로 활용할 계획이나, 수소 인프라 구축과 메타네이션 기술 개발 및 실증사업을 위해서는 막대한 투자비가 소요되기 때문에 적절한 투자 환경이 조성되어야 할 것이다. 또한 장기간이 소요되는 수소 및 e-메탄의 국제 공급망 구축을 위해 국제 협력과 조속한 사업 발굴이 이루어져야 할 것이다.

Key words 저탄소가스, 바이오메탄, 청정수소, e-메탄

재생에너지 중심의 에너지 시스템에서 섹터커플링의 개념과 역할

이태의
에너지경제연구원

The Concept and Role of Sector-coupling in Integrated Energy System

Tae Eui LEE
Korea Energy Economics Institute

요 약

현재의 에너지 시스템은 업스트림 산업을 중심으로 석유가스와 같은 1차에너지를 생산하고, 전력과 열 등의 2차 에너지로 전환해서 최종에너지의 수요 부분인 산업, 건물, 수송 등에 공급하거나, 1차에너지를 수요부분에서 직접소비하는 단방향의 에너지 공급 시스템이다. 이러한 에너지 시스템은 다양한 섹터로 구분이 된다. 기후변화에 대응하기 위한 재생에너지의 등장은 이러한 에너지섹터의 통합에 큰 의미를 부여하게 되었다. 섹터커플링의 핵심 기술은 P2G, P2H, V2G로 대표된다. 사용하고 남은 재생에너지를 열로 전환하면 에너지를 저장해서 활용할 수 있고, 또 수전해를 통해 전력으로 수소를 생산해서 공급하면 탄소중립에 필수적인 그린수소의 공급원으로 재생에너지를 적극적으로 활용할 수 있다. 각각의 기술은 대응 속도, 양, 기간의 측면에서 에너지 시스템에서의 활용 및 운영방식이 상이하다. 본 연구는 우선 섹터커플링을 정의하고 그 의미를 구체적으로 제시하고자 하며, 대표적인 섹터커플링의 기술의 운영방식에 따른 역할을 분석하였다.

Key words 섹터커플링, 재생에너지, 수소경제, Power to Gas

사사

본 연구는 2025년도 한국연구재단(NRF-2023S1A5A221085534)의 지원을 받아 수행 중인 연구의 일부입니다.

메탄 열분해 기반 청록수소 생산기술 현황 및 산업 전망

임선후

한국가스공사 경제경영연구소 에너지미래연구팀

Turquoise Hydrogen from Methane Pyrolysis: Technology Status and Market Prospects

Sun Hoo Ihm

Energy Future Research Team, Research Institute of Economics, Korea Gas Corporation

요 약

기후위기 대응과 탄소중립 실현을 위한 청정수소 수요가 급증하고 있는 가운데, 청록수소가 새로운 대안으로 주목받고 있다. 청록수소는 메탄을 열분해하여 수소와 고체탄소로 분리 및 생산하는 방식으로, 이산화탄소 발생 없이 수소를 제조할 수 있다는 점에서 환경성이 뛰어나다. 특히 기존 천연가스 인프라를 적극적으로 활용할 수 있고, 부산물인 고체탄소의 산업적 활용 가치가 높아 경제성 측면에서도 경쟁력이 있다.

본 연구는 청록수소의 정의 및 생산방식인 메탄열분해 기술의 유형(플라즈마, 고체촉매, 용융촉매 등)과 국내외 기술개발 동향을 살펴보고, 환경성과 경제성을 분석하였다. 국내외 주요 기업들의 상용화 수준을 비교한 결과, Monolith, Hazer, C-Zero 등의 선도 기업이 TRL 6 이상으로 진입하고 있지만, 국내는 아직 실증단계에 머물러 있어 정책적 지원과 기술개발이 요구된다.

청록수소의 타당성 평가 결과 2030년 기준 청록수소의 배출량은 $2.77 \text{ kgCO}_2\text{eq/kg-H}_2$ 로 국내 청정수소 인증 기준($4 \text{ kgCO}_2\text{eq/kg-H}_2$)을 충족하고 있으며, 경제성 측면에서도 그린수소 및 블루수소 대비 청록수소가 상대적 가격 우위를 가진 것으로 나타났다.

청록수소는 수소 대량 생산의 과도기적 수단이자, 탄소 중립 사회로의 이행을 위한 실질적 대안으로 평가되며, 향후 수소-LNG 혼소발전 및 도시가스 수소혼입 등 국내 수소인프라 확대와 연계하여 중요성이 더욱 부각될 것으로 전망된다.

Key words 탄소중립, 수소에너지, 청정수소, 청록수소, 메탄열분해, 천연가스산업

계산과학을 통한 암모니아 연소 및 촉매 반응에 대한 이해

권형욱, 김택, 최민기

대한민국, 서울특별시 01811, 서울과학기술대학교, 미래에너지융합학과

Computational Insights into Ammonia Combustion and Catalysis

Hyunguk Kwon, Taek Kim, Mingi Choi

Department of Future Energy Convergence,

Seoul National University of Science and Technology, Seoul 01811, Republic of Korea

요약

암모니아는 탄소를 포함하지 않는 차세대 청정 에너지원으로, 수소 저장 매체이자 자체 연료로서의 활용 가능성으로 인해 최근 에너지 전환 분야에서 크게 주목받고 있다. 특히 암모니아를 연소 및 고체산화물 연료전지 시스템의 연료로 활용하는 연구가 활발하게 수행되고 있으며, 이에 따라 암모니아가 관여된 고온 화학 반응의 메커니즘을 이해하는 것이 에너지 시스템의 효율적 설계와 운전 안정성 확보를 위해 점점 더 중요해지고 있다.

본 발표에서는 계산과학적 접근을 바탕으로 암모니아 활용 연소 및 고체산화물 연료전지 전극에서의 화학 반응에 대한 이해를 넓히고자 한다. 첫 번째로, 전산유체역학(CFD) 방법을 통해 암모니아-메탄 혼합 연료의 연소 과정에서 형성되는 화염 구조, 연소 특성, 그을음 생성에 대해 분석하고, 이를 바탕으로 기존에 널리 사용되는 연소 메커니즘의 예측 성능을 평가한다. 두 번째로, 밀도범함수이론(DFT) 계산을 통해 고체산화물 연료전지의 음극에서 암모니아 연료 활용 시 발생하는 성능 저하 메커니즘을 원자 단위에서 규명함으로써, 연료전지의 내구성 향상 방향성을 제시하고자 한다. 계산과학을 통한 본 연구의 결과는 암모니아 기반 에너지 기술의 진보를 위한 중요한 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

청정수소 생산을 위한 암모니아 크래킹 기술 개발 동향

정운호, 구기영, 박용하

한국에너지기술연구원, 수소연구단

Development Trends of Ammonia Cracking Technology for Clean Hydrogen Production

Unho Jung, Kee Young Koo, Yongha Park

Hydrogen research department, Korea Institute of Energy Research

요 약

수소는 대표적인 에너지캐리어로서 청정에너지의 대용량 운송 측면에서 많은 관심을 받고 있다. 수소의 대량운송을 위한 수소캐리어로 액화수소, 암모니아, 액상유기수소화합물 등이 고려되고 있다. 이러한 수소캐리어 중 암모니아를 가장 우선적으로 고려하고 있는 이유는 기술의 성숙도와 시급성 때문이다. 암모니아는 이미 비료산업의 원료물질로 사용되고 있어 생산과 운송기술이 충분히 성숙되어 있다. 현재 보유기술을 활용하여 전세계로 청정수소를 공급할 수 있는 유일한 수단이라고 볼 수 있다. 따라서 단기적으로는 전세계적으로 암모니아 합성/크래킹을 통해 수소를 활용하는 방안을 고려해야 한다. 암모니아 크래킹 수소추출 기술은 700도 이상의 고온에서 작동하는 촉매반응 기술이다. 이렇게 생산된 수소를 적절히 정제함으로써 발전, 정유, 제철, 화학산업 등 다양한 분야에 적용할 수 있다. 국내의 경우 귀금속인 Ru계 및 비귀금속인 Ni 촉매 개발과 중소형 규모의 암모니아 크래킹 시스템 개발이 진행 중이다. 청정수소 캐리어인 암모니아에 대한 많은 관심에 비해 연구개발 분야에서의 성과는 크지 않은 편이다. 국외의 경우에도 대용량 암모니아 크래킹 플랜트 기술과 모빌리티 분야에서 암모니아 크래킹 시스템 개발 연구가 진행 중이지만 실제 제품개발로 이어지는 사례는 많지 않다. 우리나라와 같이 대량의 암모니아를 수입하여 활용하려는 계획을 갖고 있는 나라의 경우에는 특히 암모니아 크래킹 기술과 이를 활용하는 기술에 대한 준비가 필요할 것이다.

선박용 암모니아-디젤 이중연료 엔진의 착화용 디젤연료 분사 특성에 따른 연소 및 배출성능

장일품, 박철웅*, 김민기**, 박찬수*, 김용래*, 박경태, 김경훈, 이정우
충남대학교, *한국기계연구원,

Combustion and emission of marine ammonia-diesel dual fuel engine with micro-pilot injection characteristics change

IlPum Jang, Cheolwoong Park*, Minki Kim, Chansoo Park*, Yongrae Kim*, Gyeongtae Park, Gyeonghoon Kim, Jeongwoo Lee**
*Chungnam National University, *Korea institute of Machinery and Materials*

요 약

최근 지구온난화로 인한 온실가스 배출 규제가 강화되면서, 친환경 연료를 사용하는 엔진에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 배경에서 암모니아는 향후 화석연료를 대체할 수 있는 유망한 연료로 주목받고 있다. 그러나 암모니아는 기존 연료와는 다른 연료 특성을 가지므로, 암모니아의 점화를 위해 디젤을 점화원으로 활용하는 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 선박용 12L급 단기통 암모니아-디젤 이중연료 엔진에서 마이크로 파일럿 (MP) 디젤 인젝터의 분사 유량 및 분사 타이밍이 연소 및 배출 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 실험에 사용된 인젝터는 두 종류로, 첫 번째는 더 많은 수의 큰 노즐을 가진 고유량 마이크로 파일럿 인젝터(HMPI), 두 번째는 적은 수의 작은 노즐을 가진 저유량 마이크로 파일럿 인젝터(LMPI)이다.

엔진 부하 조건을 일정하게 유지하면서 암모니아와 디젤의 에너지 비율을 일정하게 유지하기 위해, 분사 시간을 조절하였고 MP 디젤 분사 시점을 크랭크 각도 기준 5도(CAD) 간격으로 변화시키며 성능 및 배출 특성을 평가하였다. 실험 결과, HMPI는 LMPI에 비해 높은 효율과 더 우수한 미연소 암모니아 및 아산화질소 배출 특성을 보였다.

500 kg/day 암모니아 기반 수소 생산 실증

박재혁, 박명곤, 이승용, 박종권

(주)원익머트리얼즈

Demonstration of 500 kg/day ammonia-based hydrogen production

Jae Hyeok Park, Myung Gon Park, Seong Yong Lee, Jong Kwon Park

Wonik Materials Co. Ltd.

요 약

탄소경제로부터 시작된 기술의 발전은 온실가스 증가와 함께 기후변화라는 지구환경 문제가 대두 됨에 따라 많은 국가가 탄소중립을 글로벌 목표로 설정하고 온실가스 감축을 목표로 하고 있다. 세계 7위의 온실가스 배출국가인 한국은 2030년까지 전망치 대비 24.4%의 온실가스 감축을 목표로 온실가스 감축에 동참하고 있고, 2050년까지 탄소중립을 달성하겠다는 목표로 산업 변화를 진행중에 있다. 암모니아 기반 수소 생산 기술은 수소 경제 활성화를 위한 중요한 기술 중 하나로, 암모니아를 효율적으로 수소 원료로 활용하는 방법이다. 기존의 수소 생산 방법인 천연가스 개질법이나 물의 전기분해는 에너지 소비가 크고 탄소 배출을 동반할 수 있지만, 암모니아를 기반으로 한 수소 생산은 상대적으로 낮은 탄소 배출과 높은 효율을 제공할 수 있다. 암모니아는 수소의 수송과 저장에 유리한 화합물로, 액체 상태에서 고압이나 저온의 특수한 저장 조건 없이도 안전하게 저장 및 운반이 가능하다. 따라서 암모니아를 수소 공급의 주요 원료로 활용하는 기술은 수소의 분산 생산과 글로벌 공급망 구축에 중요한 역할을 할 수 있다. (주)원익머트리얼즈는 암모니아 기반 수소 생산 공정 개발을 위하여 2018년부터 2021년까지 암모니아 분해촉매 기술 내재화 및 파일럿 규모 암모니아 분해 평가를 통한 분해 반응기, 정제 기술 내재화를 진행하였다. 2021년 암모니아 기반 수소추출기에 대한 규제를 해소하기 위하여 중소벤처기업부 주관 규제자유특구사업을 수주하여 정부지원하에 규제를 해소하기 위한 실증을 수행 중에 있다. 본 발표에서는 현재 개발된 모듈형 암모니아 추출 수소의 생산 기술에 대해 설명하고, 500 kg/day 암모니아 기반 수소 생산 실증 운전 결과에 대하여 발표하고자 한다. 본 기술은 향후 수소의 안정적인 공급과 더불어, 탄소 배출을 최소화하는 데 기여할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 또한, 암모니아 기반 수소 생산은 산업적인 대규모 적용이 가능하여, 글로벌 수소 시장에서의 경쟁력을 높이는 중요한 기술로 자리매김할 것으로 기대된다.

친환경 에너지 전환을 위한 국내 암모니아 연료 활용 산업 전망 및 암모니아 기반 공급시설 안전관리 규제 검토

최영주, 강승규

한국가스안전공사 가스안전연구원

A Review on the Prospects of Domestic Ammonia Fuel Utilization Industries and the Safety Management Regulations regarding Ammonia-based Supply Facilities for Environmentally Friendly Energy Transition

YoungJoo Choi, Seungkyu Kang

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

요 약

글로벌 기후변화 위기 극복을 위하여 국내 정부는 산업별 탄소배출 규제 정책을 실시하고 있으며, 각 산업별로 친환경 연료를 확대하기 위한 연구개발 및 실증을 추진 중이다. 특히, 화석연료를 많이 사용하는 해운 및 발전산업 분야에서 탄소배출 저감이 시급함에 따라, 기존 연료를 친환경 연료로 대체하기 위한 정책이 수립되고 산업계에서 온실가스 저감을 위해 노력하고 있다. 조선·해운산업 분야에서는 액화천연가스(LNG, Liquefied Natural Gas), 액화석유가스(LPG, Liquefied Petroleum Gas), 수소, 암모니아, 메탄올 등을 연료로 활용한 선박 엔진 개발이 이루어지고 실제 운항이 가능한 친환경 연료 추진선박들이 건조·인도되고 있으며, 발전 분야에서는 수소 및 암모니아 등 무탄소 연료 활용 기술이 개발 중이다.

친환경 연료로 암모니아는 대표적인 무탄소 연료로 수소경제의 중요한 운반/수송 수단으로 사용이 가능하며, 직접 연료로 사용하기 위한 연구개발 및 실증이 진행 중이다. 조선·해운분야에서는 이미 암모니아를 연료로 활용한 엔진이 개발되었으며, 국내외 조선사는 암모니아-디젤 이중연료(DF, Dual Fuel) 엔진을 통한 선박을 건조하고 있다. 발전 분야에서는 국내와 일본 등이 석탄과 암모니아 혼소발전을 추진하고 있으며, 석탄에 20% 암모니아를 혼소하여 국내에서는 '27년 시운전을 목표로 실증을 준비 중이다. 선박 및 발전 시설에 암모니아를 연료로 사용하기 위해서는 각 산업 특성에 맞게 암모니아 공급이 이루어져야 하며, 관련 공급시설이 고압일 경우, 「고압가스 안전관리법」에 따라, 안전관리 절차가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 해운(조선)·발전 산업 분야의 암모니아 활용 관련 정부 정책 방향을 분석하고 각 산업별 활용 전망을 검토하였으며, 연료 활용을 위한 암모니아 공급과 관련하여 산업별 적용이 필요한 「고압가스 안전관리법」 기반 안전관리 규제 적용에 대해 검토하였다. 조선 및 발전산업 분야에서 암모니아 연료의 확장성 분석 및 암모니아 연료 공급시설에 대한 규제 검토 결과를 토대로 향후 필요한 규제 합리화가 가능한 항목들을 도출하여 암모니아 연료 활용 확대 및 독성가스 시설의 철저한 안전관리가 될 수 있도록 기여하고자 한다.

탱크로리 활용 암모니아 벙커링 국내외 동향 분석 및 시설 위험성 평가를 통한 안전관리 향상 방안 연구

강혜민, 유지수, 최영주
한국가스안전공사 가스안전연구원

Study on ways to improve safety management through analysis of domestic and international trends in ammonia bunkering using tank lorry and facility risk assessment

Hyemin Kang, Jisu Yu, Youngjoo Choi
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

요 약

2025년 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization) 산하 해양환경보호위원회(MPEC, Marine Environment Protection Committee) 회의에서 온실가스 감축안을 채택, 중기 조치 승인 및 채택된 후 2027년에 국제적으로 발효될 예정이다. 이에 따라 국내외에서 해운산업의 온실가스 감축을 위한 정책들이 진행되고 있으며, 해운 업계에서는 질소와 산소로 이루어진 무탄소 연료, 암모니아를 친환경 선박 연료로 선정하고 그에 충족하는 선박들을 발주 및 건조하고 있다. 2024년 7월, 일본 요코하마항 혼모쿠 부두에서 발전사 JERA와 NYK Line이 탱크로리를 활용한 암모니아 벙커링을 수행하였으며, 같은 해 12월 중국 다롄에서도 TTS(Truck-to-ship) 벙커링 작업이 완료되었다. 국내에서는 ISO 탱크 컨테이너를 활용한 암모니아 벙커링이 규제자유특구(부산/경남)를 통해 올해 실증 예정이다.

벙커링은 선박에 연료를 공급하는 과정으로, 해상에서 추진선과 벙커선에 호스를 연결하여 공급하는 STS(Ship-to-ship) 방식, 육상에서 탱크로리 및 호스를 활용해 선박에 연료를 공급하는 TTS 방식, 육상 저장탱크 및 배관/로딩암 등을 활용해 벙커링하는 PTS(Pipe-to-ship) 방식 등 크게 3가지 방식으로 구분한다. 이 중 TTS 벙커링은 다른 벙커링에 비해 낮은 인프라와 유연한 운영이 가능하여 산업화 초기 단계에서 활용성이 높다.

본 연구에서는 암모니아 연료 공급을 위한 TTS 벙커링의 해외 동향을 자세히 분석하고 국내 TTS 벙커링 수행 과정에서 발생할 수 있는 누출 위험 및 누출에 따른 독성가스 확산 영향범위를 검토하였다. 또한, 가상의 사고 시나리오에 따른 화재 및 폭발 등의 시나리오 모델링을 활용하여 위험성 평가를 수행하였다. 위험성 평가 결과를 바탕으로 TTS 암모니아 벙커링 적용 관련 철저한 안전관리가 될 수 있도록 안전관리방안을 제시하였으며, 향후, TTS 방식 암모니아 벙커링 수행을 위한 제도개선에 기여하고자 한다.

※ 본 연구는 2025년도 산업통상자원부 조선해양산업기술개발사업(암모니아 연료 추진 선박 벙커링 안전기준 및 누출 안전관리 기술 개발) 자원에 의한 연구임[20026527]

암모니아 배관의 사고원인 분석 및 안전기준에 대한 연구

이선규

한국가스안전공사 가스안전연구원

An Analysis of Accident Causes and Safety Standards in Ammonia Piping System

Sunkyu Lee

Institute of Gas safety R&D, Korea gas safety Corporation

요 약

탄소중립을 위해 각국은 무탄소 에너지를 활용한 공급망 다각화를 위해 노력하고 있으며, 최근에 저장 및 운송 시 액화하기 쉬운 물질 특성이 있는 암모니아가 신에너지로 주목받고 있다. 특히 암모니아는 비료 사용 목적으로 100년 이상 배관을 활용한 공급 및 운영해 왔으며, 축적된 데이터를 통해 안전성을 확보할 수 있다. 이러한 장점으로 정부 정책으로도 청정수소 생태계 조성방안(2021년)과 수소안전관리로드맵 2.0(2023년)에서는 암모니아 거점화 및 암모니아와 석탄의 혼소 발전을 추진하고 있다. 현재 안전과 관련한 가스 법령으로는 고압가스 안전관리법과 KGS code가 있으며, 사업자 안과 사업자 밖으로 구분하여 안전기준이 명시되어 있으나, 현장에 적용하기에는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 암모니아 배관에서 발생했던 사고를 원인별로 분석하고, 국내외 암모니아 배관과 관련한 운영현황과 안전기준을 비교 분석할 예정이다. 해당 연구는 추후 암모니아 배관의 안전성 평가를 진행하여 국내 산업에 적합한 안전기준을 도출하는 기반이 될 것으로 보이며, 최종적으로는 암모니아의 배관망 확대에 기여할 것으로 기대된다.

※ 본 연구는 산업통상자원부 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(0042870)

석탄-암모니아 혼소 발전 암모니아 공급시설 안전성 평가 절차 도입을 위한 사고피해영향분석 연구

유상윤, 유지수, 최영주
한국가스안전공사 가스안전연구원

A Study on Consequence Analysis to Introduce Safety Assessment Procedure for Ammonia Supply Facilities in Coal-Ammonia Co-Firing Power Generation

Sangyoon Yoo, Jisoo Yoo, Youngjoo Choi
Institute of Gas Safety R&D, Korean Gas Safety Corporation

요 약

국내 정부는 2050 탄소중립의 달성을 위한 단계로 2025년 2월, 「제11차 전력수급기본 계획(전기본)」을 확정하였다. 제10차 전기본에서는 석탄발전에 암모니아 20% 혼소 발전을 도입하였으며, 제11차 전기본에서는 수소·암모니아 혼소 발전을 전기본에 처음 반영, 기술개발, 인프라 구축 및 시장제도 마련 촉진 등 무탄소전원 확대 방향을 제시하였다. 이에 따라, 국내 발전사업자는 석탄-암모니아 혼소 발전소 구축을 계획하고 있으며, 암모니아 공급시설은 「고압가스 안전관리법(“이하 고법”）」에 따른 절차를 준수하여 구축하고자 한다. 다만, 현재 고법 상 발전소 내 발전사업자 암모니아 공급시설은 안전성 평가 대상 시설로 적용되지 않기에 대용량 암모니아를 취급하는 공급시설의 안전성 평가가 필요하며, 발전사업자가 안전성 평가를 수행할 수 있도록 관련 절차가 필요하다.

현재, 한국남부발전의 USC급 유동층 보일러는 암모니아와 석탄의 혼소 발전 실증 예정이며, 암모니아 하역부터 저장탱크, 배관, 기화기 등 공급설비 설치를 통해 암모니아 연료를 공급할 예정이다. 발전사업자는 공급설비를 설치하는 시설에서 고법의 일반제조 허가를 기반으로 기술검토 - 시설(중간 및 완성)검사 - 정기검사 순서로 검사를 받아야 하며, 안전관리규정을 한국가스안전공사의 검토를 받아 마련해 허가권자에게 제출하여야 한다. 고법 상 일반제조 시설은 안전관리규정에 안전성 평가가 의무 사항이 아니므로 포함되지 않으며, 대용량 고압가스 시설이 안전성 평가가 이루어지지 않을 가능성이 크다. 이에 따라, 대용량 고압가스(암모니아) 저장시설을 갖춘 시설이 위험 요인으로부터 사고 발생 가능성 및 사고 피해 영향에 대한 분석이 필요하다.

본 연구에서는 석탄-암모니아 혼소 발전소 내 가스 공급시설에 대한 안전성 평가 절차 마련을 위해 가상의 시나리오를 기반으로 피해 영향 범위를 분석하고 피해 영향을 낮추는 방안을 제시해 안전성 평가 절차 도입에 기여하고자 한다.

Acknowledgement

본 연구는 2025년도 산업통상자원부 USC급 보일러 암모니아 혼소발전 기술개발 및 실증 사업 지원에 의한 연구임[00240702]

한국기계연구원의 1kW급 암모니아 직접 주입형 고체산화물연료전지(SOFC) 스택 개발 현황

배용균, 이동근, 박진영, 김영상, 이상호*, 장형준*, 이선엽*
한국기계연구원 무탄소발전연구실, *한국기계연구원 친환경모빌리티연구실

Development of 1kW-class Ammonia-fueled solid oxide fuel cell stack by KIMM

**Yonggyun Bae, Dongkeun Lee, Jinyoung Park, Youngsang Kim, Sangho Lee, Hyeongjun
Jang, Sunyoup Lee**

Department of Zero-carbon Power Generation, Korea Institute of Machinery and Materials

**Department of Eco-friendly Mobility Power, Korea Institute of Machinery and Materials*

요 약

연소 혹은 에너지 변환 과정에서 탄소를 배출하는 화석 연료와 달리, 암모니아는 무탄소 에너지 캐리어로 주목받는 연료로 그 가치를 인정받고 있다. 한국기계연구원에서는 암모니아를 효율적으로 변환하기 위한 에너지 변환 기술로 고온형 연료전지를 선택하였으며, 그에 따른 원천 기술 개발 연구를 수행하고 있다. 분산 발전용 전력 공급원으로 큰 관심을 받고 있는 고체산화물연료전지(SOFC)는 높은 전기적 효율, 연료 자유도 및 양질의 폐열 활용 가능성 등의 우수성을 바탕으로 차세대 친환경 발전 시스템으로서의 가능성을 보인다. 특히, 높은 작동 온도(700~800℃)로 인해 무탄소 수소 캐리어인 암모니아를 직접 활용이 가능하다는 큰 장점을 가지고 있는 기술이다. 하지만 암모니아 SOFC의 경우 셀 혹은 촉매 레벨의 기초 연구개발이 이루어지고 있는 단계로, 실제 디바이스 레벨에서 발생하는 현상에 대해서는 알려진 바가 많지 않다. 본 발표에서는 현재 한국기계연구원에서 수행 중인 1kW급 암모니아 직접 주입형 고체산화물연료전지 스택 개발 방법론 및 과정에 대한 전반적인 내용을 소개할 것이며 현재까지 확보한 기초 데이터(셀간 편차, 스택 IV, 이용률 테스트 등)를 공유할 예정이다.

HD현대중공업의 선박용 e-fuel 엔진 기술 : 암모니아 연료 분무 특성

유영수, 박현춘, 이경록, 윤옥현

HD현대중공업 엔진연구소 그린동력시스템연구소

HD Hyundai Heavy Industries's marine e-fuel engine technology : Spray characteristics of ammonia

Young Soo Yu, Hyunchun Park, KyungRock Lee, WookHyeon YOON

요 약

전 세계적으로 지구온난화 및 기후 변화에 대응하기 위해 탄소 배출을 감소시키기 위한 다양한 정책을 세우는 노력을 하고 있다. 이러한 탄소 감축 정책이 선박에 대한 규제까지 확장되면서 선박용 엔진에 대해서도 배출가스 규제가 강화되고 있다. 최근 다양한 국가 및 기관에서 탄소 감축을 줄이기 위해 석유 기반 연료의 사용을 감소하고 메탄올, 암모니아, 수소 연료와 같은 친환경 연료를 사용하는 엔진을 개발하기 위해 활발한 연구를 수행하고 있다.

선박용 엔진에 사용되는 친환경 연료 중 암모니아 연료는 탄소 원자가 포함되어 있지 않은 연료로서 연소생성물로 물과 질소만 형성되는 장점이 있다. 하지만, 암모니아 연료는 기존 디젤, 메탄올 연료와 달리 낮은 화염전파속도와 높은 자발화 온도로 인해 자발적 점화의 어려움이 존재하는 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 친환경연료의 엔진 개발을 위하여 분무/연소가시화 시험을 통해 연료별 분무 발달 특성 및 착화 특성을 비교 분석하였다. 분무/연소가시화 시험을 통해 취득된 정량적 데이터는 3D 분무모델 튜닝 및 검증에 사용되어 1D/3D 해석모델의 정확도를 높일 수 있었다.

이처럼 친환경 연료 엔진 개발을 위하여 다양한 연구를 수행하고 있는 HD현대중공업은 2022년에 세계 최초로 메탄올 이중연료 엔진(모델명 : H32DF-LM)을 개발하였고, 2024년 10월에 고압 직분사 방식의 세계 첫 고출력 암모니아 이중연료 엔진(모델명 : H22CDF-LA)을 개발하였다. HD현대중공업의 친환경 연료 엔진인 메탄올/암모니아 이중연료 엔진은 기존 이중연료 엔진과 달리 하나의 인젝터로 디젤(pilot 분사 포함)과 메탄올/암모니아 연료 모두 연소실내 직접 분사 가능하도록 설계하였다. 메탄올/암모니아 연료를 사용하는 엔진 외에도 수소 연료를 사용하는 엔진도 2025년에 단기통 엔진 시험을 토대로 다기통엔진 설계에 착수할 예정이다.

HD현대중공업은 2000년에 국내 최초로 독자 개발한 선박용 중속 디젤엔진을 시장에 출시한 이후, 후속 모델 엔진을 꾸준히 개발하여 현재는 선박용 디젤 및 LNG 이중연료엔진 시장 점유율 세계 1위를 유지하고 있으며, e-fuel(메탄올/암모니아/수소)엔진에 대해 다양한 출력 라인업을 선제적으로 구축하여 선박용 중속 이중연료엔진 시장을 리더할 예정이다.

암모니아 추진 선박의 안전성 확보를 위한 IMO 임시지침 소개

김학찬1, 김상훈1, 강수민1, 문건필1

사단법인 한국선급

Introduction of the Interim Guidelines For The Safety Of Ships Using Ammonia As Fuel by IMO

KIM Hakchan1, KIM Sanghoon1, KANG Soomin1, MOON Gunfeel1

Korean Register

요 약

국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에서는 해운 분야의 온실가스 배출을 줄이기 위한 노력으로 산하 관련 위원회인 해양환경보호위원회(the Maritime Environment Protection Committee)를 통해 2050년까지 온실가스 배출량 Net-Zero를 목표로 설정하고, 이를 달성하기 위한 점진적 규제 도입을 추진하고 있다. 강화되는 규제에 대응하기 위해서, 선박엔진 운전에서 사용하는 연료가 종래의 화석연료 대비 탄소 함량이 적거나 없는 대체연료로의 전환이 예고되고 있으며, 이 중 암모니아가 대체연료의 유력한 후보로서, 암모니아 연료 선박 엔진 및 관련 기술개발이 활발히 진행되고 있다.

기존의 선박 및 인명의 안전을 확보하기 위한 관련 국제 협약인 SOLAS(The International Convention for the Safety of Life at Sea)에 포함된 내용만으로는 LNG, 암모니아와 같은 디젤 대비 인화점이 낮은 가스연료를 사용하는 선박의 안전을 보장하기에 부족함이 있었다. 이에 LNG 추진 선박 요건을 기반으로 하는 저인화점 연료 선박의 안전을 위한 기준(International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuel, IGF Code)이 개발되어 2017년부터 적용되었고, 이를 기반으로 메탄올, 연료전지, LPG, 암모니아 등 다른 연료에 대한 추가요건을 검토하여 확대 개발되고 있다. 암모니아 추진 선박에 대한 안전기준은 암모니아의 독성, 부식성과 같은 물리·화학적 특성에 대해 선박 및 인명의 안전을 도모하기 위해 임시지침, 해사안전위원회(the Maritime Safety Committee, MSC) 109차 회의에서 승인되어 임시지침의 형태로 배포(MSC.1/Circ.1687)되었다.

암모니아 추진 선박 잠정지침은 기존의 IGF Code를 기반으로, 선박의 설계 및 배치, 연료준비실(Fuel Preparation Room), Bunkering station, 환기 설비 등 요건에 대해 암모니아의 특성을 고려하여 추가로 요구되는 사항을 제시하고 있다. 특히 암모니아의 독성으로부터 안전을 확보하기 위해, 독성 구역(Toxic areas)의 설정 및 이와 관련한 배치 등의 요건 및 독성 구역으로부터 지정된 구역까지 암모니아가 220 ppm을 초과하여 확산되지 않도록 요건을 제시하였다. 또한 암모니아 연료 선박에서 방출되는 암모니아를 최소화하기 위한 설비(Ammonia Release Mitigation System, ARMS) 구성이 요구되며, 이러한 ARMS를 통해 처리된 암모니아의 농도를 110 ppm 미만으로 제한하도록 규정이 마련되었다.

동 지침은 잠정지침으로 향후 정식 발효 시까지 실제 암모니아 연료 추진 선박의 건조 및 운용, 관련 연구 등을 통해 보완될 가능성이 있고, ARMS 운용 등을 통해 선내에서 발생하는 암모니아수의 처리 방안 등 해결해야 할 과제가 남아있다. 한국선급에서는 암모니아 연료 선박엔진과 관련된 기자재를 시험·평가할 수 있는 설비를 구축·안전하게 운용하고 있으며, 이를 바탕으로 암모니아 시스템의 안전한 설계 및 운용, 암모니아수의 관리 방안 등 연구를 통해 보다 안전한 암모니아 연료 선박 관련 기술 확보를 위해 노력을 지속할 계획이다.

* 본 연구는 해양수산부 2025년도 친환경선박 혼합연료 기술개발 및 실증사업의 일환(과제번호 20210606)으로 수행되었습니다.

부분 산화 반응을 이용한 암모니아 촉매 산화에 관한 연구

이상호, 장형준, 박찬수, 이선엽
한국기계연구원 친환경모빌리티연구실

A study on ammonia catalytic oxidation using partial oxidation

Sangho Lee, Hyeongjun Jang, Chansu Park, Sunyoup Lee
Department of Eco-friendly Mobility Power, Korea Institute of Machinery & Materials

요 약

탄소를 포함하지 않는 암모니아를 연료로 사용하면 이산화탄소 배출의 저감이 가능하다. 특히, 암모니아는 비료산업에서 오랜 기간 사용되어 생산 및 수송을 위한 인프라가 구축되어 있으며, 상온에서 압축을 통해 액화가 가능해 에너지 저장밀도가 높고 수송에 유리하다. 이에 신재생에너지로 그린암모니아를 생산하고 수송하는 많은 실증 프로젝트가 진행되고 있다. 하지만, 암모니아는 점화에너지가 높고 화염속도가 느려 연소가 어렵고 연소과정에서 NO_x가 발생하여 내연기관의 연료로는 사용에 어려움이 있다. 이에 비해 암모니아 연료전지는 연소과정 없이 전기화학 반응을 통해 암모니아의 화학 에너지를 직접 전기에너지로 전환한다. 다만, 암모니아 연료전지의 시동 과정에서는 암모니아 분해를 통한 수소 공급이 필요하며, 이를 위해 암모니아의 연소를 통한 열 공급이 필요하다. 본 연구에서는 암모니아 연료전지의 시동과정에서 NO_x 배출을 저감하면서 열을 공급하기 위하여 부분 산화 반응을 이용한 암모니아 촉매 산화에 관하여 연구하였다. 부분 산화 반응기에서 생성된 가스를 촉매 연소기로 공급하여 연소하였으며, 촉매 산화를 통해서 발생한 열은 수소를 생산하기 위해 암모니아 분해에 공급하였다. 암모니아 산화에 공급된 전체 공기량과 부분 산화에 공급된 공기량은 람다(Lambda)와 O₂/NH₃비율로 각각 정의하여 실험 변수로 설정하였다. 촉매 연소기에서 발생하는 NO_x는 chemiluminescence 분석기로 측정하였으며, 암모니아 분해 반응기의 암모니아 전환율은 fourier transform infrared spectroscopy 분석기를 통해 미분해된 암모니아 농도를 측정하여 계산하였다. 실험에서는 부분 산화 반응기의 O₂/NH₃ 비율을 0.1에서 0.2까지 변화하였으며, O₂/NH₃ 비율이 0.2일 때 NO_x 배출이 가장 낮게 나타났다. 이는 O₂/NH₃ 비율이 높을수록 부분 산화 반응기에서 암모니아의 산화가 많이 진행되고 온도가 증가하여 미연소 암모니아가 수소와 질소로 분해되어 촉매 연소기로 공급된 결과이다. 하지만, 부분 산화 반응기의 O₂/NH₃ 비율이 0.2를 초과하면 부분 산화 촉매 온도가 850℃를 넘어 안정적인 운전이 불가하였다. 한편, 람다 값은 1에서 3까지 변화하였으며, 람다가 1일 때 촉매 연소기의 NO_x 배출을 최소화 되면서 암모니아 분해 반응기의 암모니아 전환율이 가장 높았다. 결론적으로 부분 산화 반응기의 O₂/NH₃ 비율을 0.2로 전체 공기 공급량을 람다 1로 설정하는 것이 NO_x 배출을 최소화하면서 암모니아 분해 반응기에 효과적으로 열을 공급하는 최적의 조건임을 확인하였다. 향후 본 연구 결과를 암모니아 연료전지와 연계한 시동에 활용할 계획이다.

구두 발표.

미코파워 SOFC 시스템 기술개발 현황

박진아, 박진수, 김재현
(주)미코파워

Current Status of Technology Development on MiCoPower's SOFC System

Jinah Park, Jinsu Park, Jaehyun Kim
MiCoPower Ltd.

요약

전 세계적으로 2050년 탄소중립을 목표로 온실가스 배출을 줄이거나 배출하지 않는 청정발전원에 대한 관심이 커지고 있다. 다양한 신재생에너지원을 활용한 분산전원의 확대 또한 활발히 이루어지며 시장이 확대되고 있다. 연료전지는 연료와 공기 중 산소의 전기화학 반응을 통해 직접 전기를 발생시키는 발전원으로, 발전효율이 높고 설치 면적과 소음이 작기 때문에 건물용 및 분산 발전 시장에서 각광받고 있다.

고체산화물 연료전지(이하 SOFC)는 타 연료전지 대비 높은 운전온도(650°C 이상)에 기인하여 발전 효율이 50% 이상으로 매우 높고, 수소, 도시가스, 바이오가스 등 다양한 연료 활용이 가능하며, 시스템 구성이 간단하여 양산 시 경제성 확보가 용이하다는 장점을 갖는다. 또한 높은 수준의 열을 활용할 수 있기 때문에 소형 열병합발전(mCHP)으로서 종합 효율을 극대화할 수 있다. 반면 SOFC는 제조 공정 기술 개발의 난이도가 높기 때문에, 전 세계적으로도 상용화 기술을 보유한 기업이 드물다.

미코파워는 SOFC 셀, 스택, 시스템 제조 공정 기술을 모두 보유하고 있는 국내 유일의 기업으로, 현재 2MW 양산 라인을 구축하여 운영하고 있으며 이를 바탕으로 2kW와 8kW SOFC 시스템으로 본격적으로 연료전지 사업을 추진 중이다. 본고에서는 주로 미코파워의 SOFC 스택 제조 기술 및 SOFC 시스템 기술에 대한 개발 현황을 공유하고자 한다.

본 연구는 2022년도 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원 연구비('20020284)와 2024년 한국에너지기술평가원 연구비('RS-2024-00419270) 지원에 의한 연구임

소형 수전해 설비의 안전기준 연구

강대훈, 유수연, 김민우, 이정운
한국가스안전공사 가스안전연구원

Study on safety standard for small-capacity electrolyzer

Daehoon Kang, Suyeon Yu, Minwoo Kim, Jungwoon Lee
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

요약

실험실용, 반도체 공정용, 의료용 등 다양한 목적으로 소용량의 수소를 사용하는 곳에서 고압의 수소 탱크를 배치하기보다(off-site) 소형의 수전해 설비를 설치하여 현장에서 직접 생산하려는(on-site) 수요가 많다. 대한민국은 수소법 제정 이후 수전해 설비는 용량과 관계 없이 KGS AH271 Code의 적용 범위에 따라 코드기준에 부합하여 제품을 생산하고 검사해야 한다. 하지만 현재 소형 수전해 설비 제품들은 코드의 모든 기준에 적합하기 어려운 실정이다. 본 연구는 국내외 소형 수전해 설비의 안전기준을 종합하고, 위험요소를 분석하여 Code의 개정 항목을 분석하였다. 안전기준의 제도화를 통해 소형 수전해 설비의 상용화 및 보급에 기여하는 것을 목표로 한다.

HyAxiom의 PEM 수전해 솔루션

전현중

HyAxiom 한국지사

HyAxiom's PEM Electrolyzer Solutions

Hyeonjong Jeon

HyAxiom Korea Office

요 약

HyAxiom(舊 두산퓨얼셀 아메리카)은 60년 이상의 연료전지 기술 경험을 바탕으로 설립된 수소 기술 선도 기업입니다. 아폴로 우주 임무에 사용된 연료전지 기술로 신뢰성을 입증했으며, 1960년대부터 연료전지 분야의 선구자로 자리매김해왔습니다. 1991년 200kW 고정형 연료전지 상용화, 2009년 440kW PureCell M400 출시, 2020년 세계 최대 직접 수소 연료전지 전소 완공 등 주요 성과를 이루었습니다. 2000년대 이후 글로벌 확장을 통해 2023년까지 650MW 이상의 고정형 연료전지를 판매하며 한국 시장에서 68%의 점유율을 확보했습니다.

HyAxiom은 PEM 수전해 솔루션과 모듈형 수소 생산 시스템을 통해 고순도 수소 생산을 지원하며, 1MW부터 100MW 이상까지 확장 가능한 시스템을 제공합니다. 한국에서의 운영 및 유지보수 서비스 제공을 준비하고 있으며, 그린 수소 사업의 글로벌화를 추진하며 EU, 중동, 호주 등 다양한 지역에서 파트너십을 확대하고, 재생에너지 발전 사업자 및 산업 가스 회사와 협력한 사업 확장을 도모하고 있습니다. 미래를 위한 투자 전략으로 PEM, AEM 전해조, SOFC, SOEC 등 다양한 기술에 집중하며, 두산의 차별화된 솔루션을 통해 윈스톱 패키지를 제공합니다. 지속적인 연구개발로 그린 수소 생산 분야에서 경쟁력을 강화하고 있는 HyAxiom의 전반적인 사업 현황과 기술력을 소개합니다.

선박용 암모니아 연계 연료전지 시스템의 안전기준 개발방향 도출 연구

김민우, 김진선, 추지안
한국가스안전공사 가스안전연구원

Research on Drawing the Development Direction of Safety Standards for Fuel Cell Systems Connected to Ammonia for Ships

MINWOO KIM, JINSUN KIM, JIAN CHOO
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

요 약

최근 전 세계적으로 기후변화의 징후가 뚜렷하게 체감되고 있으며, 국가별로 온실가스 배출 저감을 위한 다양한 정책이 발표되고 있다. 또한 UN 산하 국제해사기구(IMO)는 해운업계의 탄소중립을 위해 2050년까지 탄소 순배출량을 제로화하겠다는 목표를 제시한 바 있다. 이로 인해 국제 해운업계는 선박의 추진전원 및 보조전원용으로써 연료전지를 적용하여 이산화탄소의 배출없이 전력을 생산하고자 하는 움직임이 일어나고 있다. 국내에서도 연료전지 선박 개발을 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 상용화를 위한 안전기준 개발도 병행하여 준비중이다.

국내에서는 선박에 연료전지가 탑재되면 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률(이하 수소법)」에 따라 한국가스안전공사로부터 수소용품으로써 이동형연료전지 검사를 받아야 한다. 현재 이동형연료전지는 활용처별로 지게차용, 드론용의 KGS Code(KGS AH372, AH 373)가 개발되어 운영 중이며, 향후 선박용의 추가 개발이 필요한 상황이다. 한편, 「선박안전법」에서는 한국해양교통안전공단이 선박수소연료전지설비 잠정기준을 통해 검사를 실시하고 있으며, 향후 잠정기준을 지속적으로 보완하여 2025년까지 정식기술기준을 마련할 계획에 있다. 그리고 IMO에서 연료전지 선박의 안전을 위한 잠정기준이 발행됨으로써, 한국선급에서는 선박용 연료전지 시스템 지침을 개발하여 형식승인을 실시하고 있다. 이처럼 국내에서 선박용 연료전지 시스템을 검사하는 기관이 다수 존재함에 따라, 수소용품인 선박용 연료전지의 적용범위 도출이 필요할 것으로 판단되며, 또한 안전기준 개발 초기단계에서부터 안전기준간 서로 상충되는 부분이 있는지 검토하는 과정이 필수적이라 판단된다. 본 연구에서는 수소법과 선박안전법 등 법령 검토, 각 기관별 검사항목 및 세부내용에 대한 분석을 실시하여 선박용 연료전지의 KGS Code 개발방향을 도출하였다. 향후에는 해당 시스템의 위험요소 분석, 업계 의견수렴 등을 통해 안전기준을 제도화할 예정이며, 이를 통해 선박용 연료전지 시스템의 안전한 사용과 상용화에 기여하고자 한다.

삼성E&A 수전해 기술 개발 현황

허연혁, 박상현
삼성이앤에이 수전해기술팀

The Current Status of Samsung E&A's Water Electrolysis Technology Development

Yeon-Hyuk Heo, Sang Hyun Park
Water Electrolysis Technology Team, Samsung E&A

요 약

전통적으로 EPC(설계, 조달, 시공) 사업을 중심으로 성장해온 삼성 엔지니어링은 에너지 전환(Energy Transition) 시대를 선도하기 위해 사업 영역을 확장하며, 사명을 삼성 E&A로 변경하였다. 특히, 탄소중립 실현의 핵심 수단인 그린수소 생산에 주목하며, 신재생에너지 기반의 수소 및 e-Fuel 생산을 가능하게 하는 수전해 기술 개발에 집중하고 있다.

이 중에서도 고체산화물수전해(SOEC: Solid Oxide Electrolysis Cell) 기술은 고온 운전 특성을 통해 전기 에너지 소비를 줄이고, 전체 효율을 크게 향상시킬 수 있는 장점을 갖고 있어 대규모 고효율 수소 생산에 매우 적합한 차세대 수전해 기술로 평가받고 있다. 특히, SOEC는 CO₂ 를 함께 전환할 수 있는 co-electrolysis 기능을 통해 합성가스(Syngas), 전기연료(e-Fuel) 생산까지 확장 가능하다는 점에서, 산업 전반의 탈탄소화에 기여할 수 있는 기술적 잠재력을 지닌다.

삼성 E&A는 이러한 기술력을 확보하기 위해 SOEC 시스템 국산화 및 실증을 위한 독자 개발을 진행 중이며, 현재 100kW급 SOEC 실증 단지 구축을 포함한 다수의 R&D 프로젝트를 수행 중이다. 동시에, 저온 수전해 기술을 포함한 통합 수소 생산 솔루션도 개발하고 있으며, 이를 통해 다양한 산업군과의 연계를 고려한 유연하고 경제적인 수소 생산 체계 구축을 추진하고 있다.

또한, 최근에는 글로벌 수소 전문 기업인 Nel Hydrogen(노르웨이)의 지분을 인수하고, 전략적 파트너십을 체결함으로써, 글로벌 수전해 시장 진출 및 기술 내재화에 박차를 가하고 있다. 이를 기반으로 삼성 E&A는 단순한 EPC 기업을 넘어, 수전해 원천 기술 보유 기업(Licensor)으로의 도약을 목표로 하고 있다.

본 발표에서는 삼성 E&A의 수소 사업 전략 중 핵심 축인 SOEC 기술 개발 현황과 실증 현황, 그리고 저온 수전해 기술을 중심으로하는 통합 수소 생산 솔루션의 개발 방향을 소개할 예정이다. 이를 통해 에너지 전환 시대에 있어 삼성 E&A가 수전해 기술을 통해 수행하는 전략적 역할과 지속 가능한 에너지 생태계 구축을 위한 비전을 공유하고자 한다.

수전해 스택 성능인증 안전기술 개발

박승용, 강대훈, 이정운*
한국가스안전공사 가스안전연구원

The safety technology development to certify water electrolysis stacks

Seungyong Park, Daehoon Kang, Jung Jae Hwan, Jungwon Lee[†]
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

요약

전 세계적으로 탄소중립 실현과 이산화탄소 배출 규제가 강화됨에 따라, 신재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히, 재생에너지 전력을 기반으로 청정수소를 생산하는 수전해 기술의 연구와 개발이 활발히 진행 중이다. 최근에는 MW급 수전해 시스템의 실증사업 확대와 더불어, 해외에서는 대규모 수전해 단지 구축이 본격화되면서 설비의 대형화가 빠르게 이루어지고 있다. 이러한 흐름 속에서, 고압(10 bar 이상) 운전을 통해 수전해 장치의 부피를 줄이고 수소 압축 비용을 절감하려는 기술적 시도가 이어지고 있다. 국내의 경우, 수소경제 육성 및 안전관리를 위한 「수소법」이 시행되면서, 수전해 설비는 KGS AH 271(수전해 설비 제조의 시설 기술 검사 기준)에 명시된 성능 및 안전요건을 충족해야 한다. 하지만 핵심 구성 요소인 수전해 스택에 대한 명확한 안전성 평가 절차와 판정 기준은 아직 부족한 실정이며, 특히 고압 운전을 고려한 안전 기준의 정비가 시급하다.

본 연구에서는 수전해 기술의 발전 방향에 대응하고자, 다양한 스택 유형 및 운전 조건에서의 위험 요인을 분석하였다. 이를 바탕으로 국내외 안전 규정 및 선행 연구를 종합하여 KGS AH 271의 개선 방향을 제안하였으며, 스택 안전성 확보를 위한 성능 평가 프로토콜과 안전 기준 마련을 목표로 한다.

* 본 연구는 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (RS-2023-00232657, 수전해 스택 성능인증 안전기준 개발)

**재생에너지 기반 알카라인 수전해 장치 고안전성 확보를 위한
핵심기술 개발 및 실증**

김정식, 신현수, 현준택, 임태은, 이승현
(주)테크윈

**Key technology development and demonstration of alkaline electrolyzer
coupled with renewable energy resources for high safety**

Jungsik Kim, Hyunsu Shin, Juntaek Hyun, Taeun Lim, Seunghyun Lee
Techwin Inc.

요 약

2050년 탄소중립 실현을 목표로 정부와 민간 부문에서 무탄소 청정에너지원인 수소에 대한 관심이 급증하고 있다. 재생에너지를 기반으로 하는 물 전기분해 방식의 수소 생산 기술은 탄소 배출이 없어 탄소중립 실현을 위한 핵심 에너지원으로 각광받고 있다. 대표적 수전해 기술 중 하나인 알카라인 수전해 장치는 대용량화와 상용화에 성공하였으나, 다공성 분리막 사용에 따른 가스 크로스오버(crossover) 현상으로 인한 시스템 안전성 저하 문제가 주요 기술적 한계로 지적되고 있다. 이에 알카라인 수전해 기술의 한계 극복 및 출력 변동성이 높은 재생에너지와 연계한 수소 생산 기술에 대한 안전성을 확보하고자 연구원과 대학, 기업으로 구성된 12개 기관이 컨소시엄을 이루어 수전해 핵심소재 개발과 안전기준(안) 법제화, 고안전성 알카라인 수전해 시스템 개발 및 실증을 통한 기술 안전성 검증 개발사업을 수행하였다.

본 발표에서는 표제의 사업과 알카라인 수전해 시스템 구축 과정에 대한 설명, 그리고 수요기관인 한국동서발전 동해발전본부가 제공한 동해 실증부지에 설치된 100kW급 알카라인 수전해 장치를 1,000h 이상 운전하며 모니터링한 실증 결과를 소개하고자 한다.

Acknowledgment

본 연구는 2020년 정부(산업통산자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2020-KP002321).

그린수소 생산을 위한 원자력 발전을 이용 수전해 설비의 안전기준 개발

김호린, 강대훈, 주원돈, 정재환[†]
한국가스안전공사 가스안전연구원

Development of safety standards for water electrolyzer using nuclear power for green hydrogen production

Kim Hyorin, Kang Daehoon, Jung Jaehwan[†]
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation
1390 Wonjung-ro, Maengdong-myeon, Eumseong-gun, Chungcheongbuk-do, Korea

요 약

국제사회는 온실가스로 인한 환경문제로 탄소중립을 추진하고 그 과정에서 수소를 활용한 물류, 난방, 운송 및 에너지 저장이 세계적으로 각광받고 있다. 현재 수소 생산의 대부분은 화석연료를 사용하는 열화학적 생산 방식으로, 이산화탄소가 발생하는 Gray 수소로 분류된다. 이산화탄소 배출이 거의 없는 원자력 및 재생에너지를 전원으로 사용하는 수소 생산 방식은 주로 수전해 방식이 적용되며 많은 전력이 요구된다. 이때 원자력 발전은 안정적이고 효율이 높으며 연속적으로 대량 생산이 가능한 특성을 가지고 있다. 원전은 무탄소 전원이며 발전 단가가 저렴하기에 낮은 단가의 청정수소 생산과 대규모 수전해 설비 가동에 적합하며 수소경제 이행을 위한 현실적인 수단이 될 수 있다.

하지만 원전 부지에 인접한 수소 생산은 수소로 인한 화재와 폭발이 없도록 안전한 관리가 더욱 필요하다. 또한 설비가 대용량화되며 계통의 위험 요소 분석이 필요하며, 현장에 직접 설치되므로 새로운 검사 방법도 필요하다.

본 연구는 원자력 발전을 이용한 수소 생산의 안전기준의 개발 방향 동향을 소개한다. 현재 대한민국은 수소법이 존재하며, 수전해 설비는 KGS AH271 code를 통해 관리하고 있다. 기존의 고압가스 시설의 안전기준들을 정리하고, 원자력 이용 시 적용할 사안들을 도출하였다. 마지막으로, 수전해설비의 안전기준 개발을 위한 미래 연구 방향을 제시하고자 한다.

Acknowledgement : 본 연구과제는 산업통상자원부 및 한국에너지기술평가원의 ‘2024년 신재생에너지핵심기술개발사업(과제번호: RS-2024-00432233)’의 지원을 받아 수행되었습니다.

AEM 수전해 장치 상용화 사례 및 개발 현황

박태성, 강민제, 성원호
(주)에스티

Commercialization Cases and Development Status of AEM Electrolyzer Systems.

Tae-Seong Park, Min-Jea Kang, Won-Ho Sung
YEST Corporation,

요 약

그린수소 에너지 정책의 확대와 친환경 에너지원에 대한 수요 증가에 따라 수전해 기술의 개발과 관련 제품에 대한 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 현재 상용화를 목표로 활발히 연구가 진행되고 있는 대표적인 수전해 기술로는 고분자 전해질막(PEM) 수전해, 알칼리 수전해(AWE), 음이온 교환막(AEM) 수전해, 고온 수전해(SOEC) 방식 등이 있다. 이 중 AEM 수전해 기술은 PEM과 AWE 방식의 단점을 보완하고 두 기술의 장점을 결합한 형태로 개발된 기술로, 높은 기술적 잠재력과 상용화 가능성을 바탕으로 주목받고 있다.

본 연구는 AEM 수전해 장치의 상용화 사례와 기술적 적용 동향을 체계적으로 조사하고, 국내외 기술 개발 현황을 종합적으로 분석하였다. 이를 통해 국내 수전해 장치 구축 및 수소경제 실현을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

본 연구는 산업통상자원부/한국에너지기술평가원 신재생에너지 핵심기술개발사업 “순수 기반 차세대 고성능 고내구성 AEM 수전해 핵심 기술 개발(20213030040590)”과제의 지원을 받아 작성되었습니다.

수소 무인비행체 실증을 위한 규제 샌드박스 진행 현황

박영철, 김현정

현대자동차 수소연료전지개발센터

Progress of Regulatory Sandbox for the demonstration of Hydrogen Unmanned Aircraft Mobility

Young Chul Park, Hyunjeong Kim

Hyundai Motor Group, Hydrogen and Fuel Cell Development Center

요 약

2022년 2월 5일부터 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」(이하 “수소법”이라 한다)에 따라 국내에서 개발/유통되는 모든 수소용품은 수소법에 따라 용품검사를 받아야 한다. 현재 수소용품 검사를 받을 수 있는 제품군으로는 고정형 연료전지, 이동형 연료전지(지게차용, 드론용), 수전해 설비, 수소추출 설비로 총 5종에 대한 검사 코드가 마련되어 있다. 위 5종에 해당되지 않는 수소용품의 경우 산업통상자원부의 규제 샌드박스 제도를 통하여 실증을 진행 할 수 있다. 당사는 에너지기술평가원의 「최대이륙중량 200kg급 비행체용 순전격출력 30kW급 연료전지 파워팩 시스템 개발」 과제를 통하여 무인비행체용 연료전지 시스템을 개발하였으며 지상시험과 비행시험을 수행하기 위해 산업통상자원부의 규제 샌드박스 제도를 활용하였다. 자체안전관리위원회를 구성하여 안전성 평가를 진행하고 여기서 도출된 사항들을 추가안전기준안에 반영하고 실증 구역에 안전 조치사항들을 반영하였다. 본 발표에서는 규제 샌드박스 승인 후 사업개시 전까지 수소 용품을 탑재한 어플리케이션의 실증 운전 준비과정을 설명하고 진행상황에 대해 설명하고자 한다.

※ 본 연구는 산업통상자원부의 에너지기술개발사업(20213030030100, 최대이륙중량 200kg 급 비행체용 순정격출력 30kW급 연료전지 파워팩 시스템 개발)에 지원을 받아 수행되었습니다.

수소 트랙터 및 수소 건설기계 실증 현황

박주연, 고범수, 원종보, 박영철
현대자동차 수소연료전지개발센터

Hydrogen Tractors and Hydrogen Heavy Duty Machinery Demonstration Status

Zuh Youn Vahc, Beom Soo Ko, Jong Bo Won, Young Chul Park
Hyundai Motor Group, Hydrogen and Fuel Cell Development Center

요 약

무한 청정에너지인 수소는 미래 주요 에너지원으로서 철도, 선박, 지게차, 드론들의 다양한 비차량 어플리케이션의 동력원으로 활발히 연구되고 있다. 연료전지는 배터리에 비해 높은 에너지밀도와 짧은 충전시간 등의 장점을 가지고 있어, 굴착기, 휠로더 등 건설 중장비 및 대형 농기계 트랙터의 디젤 엔진을 대체하려는 연구들이 진행되고 있다. 그러나 2022년 2월 5일부터 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」(이하 “수소법”이라 한다)에 따라 국내에서 개발/유통되는 모든 수소용품은 수소법에 따라 용품검사를 받아야 하나 수소용품의 검사코드가 제정되지 않은 경우 산업통상자원부의 규제 샌드박스 제도를 통하여 개발·실증이 진행해야 한다. 당사는 정부과제를 통해 “수소 트랙터와 수소 건설기계용 연료전지시스템의 개발 및 실증”을 진행하고 있으며, 본 발표에서는 Heavy duty용 연료전지시스템 개발 현황 및 규제 샌드박스를 활용한 수소굴착기, 수소휠로더, 수소트랙터의 실증 진행현황에 대해 설명하고자 한다.

※ 본 연구내용은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 친환경 동력원 적용 농기계 기술 개발 사업(과제번호322047-5)의 지원을 받아 수행되었습니다.

암모니아 크래커 통합형 PEMFC System 개발

박정건

두산모빌리티이노베이션(DMI)

Development of PEMFC System Integrated with Ammonia Cracker for Ship

Jeonggun Park

Doosan Mobility Innovation(DMI)

요 약

(주)두산모빌리티이노베이션은 건물용 LNG-PEMFC System 제품이 주력 사업분야이고, 소형 무인드론용 파워팩 제품에 대한 사업을 진행 중이며, 중장기적으로 사업확대를 위해 건설기계용 파워팩 및 선박용 연료전지 시스템 개발을 진행 중이다.

친환경 선박용 연료전지 시스템에 있어 어떤 연료를 사용하는지가 중요하며, (주)두산퓨얼셀 파워는 암모니아를 연료로 사용하고, 암모니아 크래커를 통해 개질 수소를 생산한 후 이를 PEMFC System에 공급하는 방식을 선정하였으며, 이는 향후 사업화를 위하여 순수 수소 대비 암모니아의 공급 인프라 구축이 용이하고 가격 경쟁력이 보다 우수하다고 판단하기 때문이다.

두산모빌리티이노베이션 시스템의 차별점은 암모니아 크래커를 통해 생산된 수소 75%, 질소 25%의 개질수소를 순수 수소로 정제하지 않고 그대로 연료전지 스택에 공급하는 것과, 스택에서 배출되는 미반응 개질수소의 재활용을 통해 효율을 극대화 하는 것이며, 이를 만족시킬 수 있는 암모니아 크래커 통합 PEMFC System 기술 개발 국책과제를 수행 중이다.

본 과제에는 파나시아, 한국에너지기술연구원, 한국과학기술연구원, 서울과학기술대학교, 충남대학교 등 암모니아 크래커 전문 기관과 코오롱, 유한정밀, 연세대 등 스택 소재 전문 기업과 크래커와 PEMFC를 통합 운영하기 위한 하이어스 그리고 관련 인증 규격 개발을 위해 KGS와 KR이 참여하고 있으며, 본 발표에서는 과제의 1차년도 성과에 대해 공유하고자 한다.

비행체용 이동형 연료전지 안전기준 개발 연구

정재환, 이제욱, 이정운*
한국가스안전공사 가스안전연구원

A study on the development of safety standards for mobile fuel cells for aircraft

JAEHWAN JUNG, JEWOOK LEE, JUNGWOON LEE*
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

요 약

환경문제로 인한 온실가스 감축 노력은 여러 산업분야에서 활발하게 진행되고 있으며, 항공분야 또한 예외는 아니다. 항공여객 수송량이 전세계적으로 꾸준히 증가하면서 항공산업에서 배출되는 온실가스는 전체 온실가스 배출량의 약 2.5%를 차지하고 있다. 항공분야의 온실가스 감축을 위해 연료 다변화, 엔진 효율 향상 등 많은 실행 과제들이 있으나 수소 연료전지의 전기발전 출력을 활용한 비행체는 탄소를 전혀 배출하지 않기 때문에 온실가스 감축을 위한 좋은 대안이 될 수 있다. 2023년 전 세계 수소항공기 시장 규모는 5억 3천만 달러이며, 2032년까지 51억 2천만 달러로 성장할 것으로 예측되고 있다. 한국 또한 2019년 수소경제활성화로드맵, 2020년 한국형 도심항공교통(K-UAM) 정책 등을 통해 수소 연료전지를 활용한 친환경 항공 모빌리티의 개발 및 보급 확대 정책을 수립하면서, 수소항공 모빌리티의 개발이 활발히 진행되고 있다. 현재 드론용 연료전지에 대한 안전기준은 수소법에 따른 KGS AH373 Code에 규정되어 있으며, 적용범위는 항공안전법 시행규칙 제5조제5호가목에 해당하는 무인동력비행장치로, 정격출력 전압이 220V 이하, PEMFC로 한정되어 있다. 본 연구는 비행체용으로 사용되는 이동형 연료전지에 대한 제품 기준 개발 연구로, 비행체별 운전환경 분석, 운용 환경에 따른 고도, 온도, 기압 등 물리적 환경 요소 등의 검토를 통해 수소항공 모빌리티용 이동형 연료전지에 대한 안전기준을 개발하는 것을 목표로 한다.

* 본 연구는 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (과제번호 : 20213030030100, 최대이륙중량 200kg 급 비행체용 순정격출력 30kW급 연료전지 파워팩 시스템 개발)

민군 이동형 수소연료전지 발전기의 안전기준 개발 연구

김해용 · 추지안 · 유수연 · †김민우
한국가스안전공사 가스안전연구원

A Study on the Safety Standards Development for Mobile Hydrogen Fuel Cell Systems in Civil-Military Applications

haeyong Kim, jian Chou, suyeon Yu, †minwoo Kim
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

요 약

전 세계적으로 탄소중립 목표 실현을 위한 친환경 에너지 기술이 주목받으며, 수소 에너지는 지속 가능한 전력 공급원으로 각광받고 있다. 특히, 유럽, 미국, 일본 등의 주요 국가들을 중심으로 수소에너지의 비중이 계속 확대될 것으로 전망되고 있으며, 한국 정부 또한 ‘수소경제 활성화 로드맵’을 통해 청정 수소 생태계 구축과 수소 연료전지 기반 기술 개발을 추진하고 있다. 이 가운데, 군 또한 기동무기체계에 수소연료전지를 적용하는 기술개발 등을 적극 고려하고 있다.

군사 및 민간 분야에서 이동형 수소연료전지 발전기는 친환경, 저소음, 장시간 운용 가능성 등의 다양한 장점으로 인해 기동무기체계에 활용하고 비상전력공급시스템에도 적합한 대안으로 떠오르고 있다. 이에 본 연구에서는 이동형 수소연료전지 발전기 관련 국내외 안전기준 상호 비교 분석 하였으며, 해당 시스템에서의 고압가스 용기 저장에 따른 국내 고압가스법 시설기준(KGS FU111, FU211, FP216, FP217 등) 및 용기 제품기준(AC417, AC418, AC419)등의 분석을 함께 실시하였다. 이를 통해 안전기준 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 하며, 향후 이동형 수소연료전지 발전기의 제도화를 통해 제품 보급 및 상용화에 기여하고자 한다.

* 본 연구는 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (RS-2024-00394122, 민군 이동형 수소연료전지 발전기의 안전기준 개발)

스마트 프록시 모델을 활용 다중목적최적화를 통한 울릉 분지에서의 단층 안정성 고려 지질학적 CO₂ 저장 운영 설계

유성준, 김규현, 김다연, 왕지훈*
한양대학교 자원환경공학과

Multi-Objective Optimization of Geological CO₂ Storage Design considering Fault Stability in the Ulleung Basin using Smart Proxy Model

Seongjun You, Kyuhyun Kim, Dayeon Kim, Jihoon Wang*
Department of Earth Resources and Environmental Engineering, Hanyang University

요 약

대염수층은 넓은 분포와 큰 저장 용량 등의 장점으로 유망한 GCS(Geological CO₂ Storage) 후보지로 주목받고 있다. 하지만, CO₂ 주입으로 인한 공극압 상승은 단층 재활성화, CO₂ 누출, 표면 용기 등 다양한 지구역학적 위험을 유발할 수 있다. 이를 완화하기 위해서는 지구역학적 안정성 분석과 감압정 운영을 통한 공극압 제어가 필요하다.

본 연구에서는 과압 대염수층인 동해 돌고래 구조에서 1D-CNN(1-Dimensional Convolutional Neural Network) 기반의 스마트 프록시 모델(Smart Proxy Modeling) 기법을 통해 지구역학적 안정성을 고려한 주입정-감압정 최적 운영 설계를 도출하고자 하였다. 해당 돌고래 구조에 존재하는 두 개의 시추공을 각각 주입정과 감압정으로 전환하는 것을 가정하여, 향후 30년간 최대 CO₂ 주입 및 최소 염수 생산을 목적함수로 설정하였다.

상용 시뮬레이터인 CMG를 활용하여 60개의 결과를 도출하였고, 이를 SPM 구축을 위한 학습 데이터로 이용하였다. 또한, 신규 변수 추출을 통해 추가적인 학습 데이터를 확보하여 1D-CNN 모델을 구축하였으며, 블라인드 테스트를 통해 모델의 성능을 평가하였다. 이후, NSGA-II 알고리즘을 활용하여, 향후 30년간 누적 CO₂ 주입량 최대화, 누적 염수 생산량 최소화를 목적함수로 설정한 후, 다중목적 최적화를 수행하여 최적 GCS 운영 설계를 도출하였다. 본 연구의 결과는 과압 대염수층에서 GCS 수행 시, 주입정-감압정 운영 설계에 효과적으로 응용될 수 있을 것으로 기대한다.

사 사

본 연구는 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 해외자원개발협회의 지원 (No.2021060002, 디지털 오일필드)과 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. RS-2023-00251053)을 받아 수행된 연구입니다.

References

- [1] Song, Y., S. Jun, Y. Na, K. Kim, Y. Jang, and J. Wang, "Geomechanical Challenges During Geological CO₂ Storage: A Review", *Chemical Engineering Journal*, 456, 140968, (2023)
- [2] Bahrami Moghaddam, A. J., "A Review of Proxy Modeling Highlighting Applications for Reservoir Engineering", *Geothermal Power Plants*, 53 - 83, (2022)

CO₂ 지중 저장에서 GPTMS-SiO₂ 나노유체의 주입-저장 효율 개선 성능 평가

강인구, 김혜연, 이정환[†]
전남대학교 에너지자원공학과

Evaluation of GPTMS-SiO₂ Nanofluids for Improving Injectivity and Storage Efficiency in the CO₂ Geological Storage

Ingu Kang, Hyeeyeon Kim, Jeonghwan Lee[†]
Dept. of Energy and Resources Engineering, Chonnam National University

요 약

대염수층에서의 네 가지 주요 CO₂ 저장 메커니즘 중 잔류 포획(residual trapping)의 효율은 계면장력(interfacial tension, IFT), 접촉각(contact angle, CA), 모세관압(capillary pressure)과 같은 암석-유체 간의 상호작용에 따라 크게 좌우된다. 특히 IFT와 CA는 유체의 흐름 및 분포에 직접적인 영향을 미치며, 결과적으로 CO₂ 주입 및 저장 효율에 결정적인 역할을 한다. 이때, 나노입자는 암석-CO₂-유체 시스템 사이의 IFT와 CA를 낮추고 암석의 습윤도(wettability)를 친수성(water-wet)으로 변화시켜 잔류 포획을 통한 CO₂ 저장 효율을 높일 수 있다. 하지만 대염수층의 고온·고염 조건에서 분산 안정성을 확보하지 못한 나노유체는 입자 간 응집(aggregation) 현상이 발생하여 CO₂ 저장 효율을 감소시킨다. 따라서 본 연구에서는 CO₂ 저장 효율 향상을 위한 주입 유체로써 (3-glycidoxypropyl)trimethoxysilane (GPTMS)으로 입자 표면을 개질한 해수(seawater, SW) 기반의 실리카 나노유체를 합성하고, 이를 활용해 분산 안정성 및 성능을 평가하였다. 분산 안정성 평가 결과, 1.0 wt% 이상의 나노유체는 고온·고염 조건에서 평균 유체역학적 지름이 100 nm 이하로 유지되어 안정성을 확보한 것으로 나타났다. 이후, 합성한 나노유체의 습윤도 개선 성능을 평가하기 위해 IFT 및 CA를 측정하였으며, 마이크로 규모의 CO₂ 주입 실험을 통해 나노유체의 CO₂ 저장 효율 향상 능력을 확인하였다. 그 결과, 실리카 나노유체는 해수(seawater, SW)보다 IFT와 CA를 각각 최대 30%, 39.1% 감소시켰으며, 마이크로모델 전체 면적과 저장된 CO₂ 면적비를 통해 산출한 CO₂ 저장 효율은 약 20%까지 향상되었다. 따라서 본 연구에서 합성한 1.0 wt% 이상의 실리카 나노유체는 고온·고염 조건의 대염수층에서 CO₂ 저장 효율 향상을 위한 주입 유체로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었으며(No. 20212010200010), 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행한 연구 과제입니다(과제번호 RS-2022-00143541).

[†] Corresponding Author(이정환), E-mail: jhwan@jnu.ac.kr

탄소 광물화로 인한 컬럼비아강 현무암에서의 화학적 특성 변화 실험 분석

김다연, 김규현, 유성준, 왕지훈*
한양대학교, 서울특별시 성동구 왕십리로 222

An Experimental Study of Chemical Property Changes Induced by Carbon Mineralization in Columbia River Basalt

Dayeon Kim, Kyuhyun Kim, Seongjun You, Jihoon Wang*
Hanyang University, 222, Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul, Republic of Korea

요 약

효율적인 CCS(탄소 포집 및 저장) 기법 적용을 위해서는 트랩 메커니즘을 고려한 설계가 필수적이다. 광물 트랩은 주입된 이산화탄소가 암석 내 금속 이온과 반응하여 탄산염으로 전환되는 탄소 광물화(Carbon Mineralization)를 통해 발생하는 트랩 메커니즘을 의미한다. 4개의 트랩 메커니즘 중 가장 오랜 시간이 소요되지만, 누출 위험성이 낮아 가장 안정적이며, 영구적인 것으로 알려져 있다. 현무암은 일반적으로 금속 이온 함량이 높아 상대적으로 짧은 시간 내 탄소 광물화가 발생하는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 컬럼비아강 현무암을 초임계 이산화탄소와 장기간 반응시켜 온도 조건 및 반응 기간에 따른 탄소 광물화 반응성을 분석하고, 탄소 광물화에 의한 암석의 화학적 특성 변화를 분석하였다. XRF, XRD를 활용하여 원소 함량 및 광물 조성 변화를 확인하였다. 현무암의 경우, 이산화탄소와의 반응이 시료 표면에서 발생하기 때문에 SEM 이미지를 통해 표면에 침전된 결정의 종류, 크기 및 분포 양상을 분석하였다. 해당 결과는 국내외 현무암 층을 대상으로 한 CCS 기법 적용 시 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 해외자원개발협회의 지원(No.2021060002, 디지털오일필드)과 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. RS-2023-00251053)을 받아 수행된 연구입니다.

- [1] Snæbjörnsdóttir, S. Ó., Sigfússon, B., Marieni, C., Goldberg, D., Gislason, S. R., & Oelkers, E. H. (2020). Carbon dioxide storage through mineral carbonation. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(2), 90-102.
- [2] Marieni, C., Matter, J. M., & Teagle, D. A. (2020). Experimental study on mafic rock dissolution rates within CO₂-seawater-rock systems. *Geochimica et cosmochimica acta*, 272, 259-275.

고갈가스전 지질요소에 따른 수소지중저장 회수효율 분석

고승모, 박홍규*, 이태환*, 장호창**

강원대학교 수소안전융합학과, *강원대학교 에너지공학부, **강원대학교 그린에너지공학과

Impact of Geological Factors on Underground Hydrogen Storage Recovery Efficiency at Depleted Gas Reservoirs

Seungmo Ko, Honggyu Park*, Taehwan Lee*, Hochang Jang**

Department of Integrative Engineering for Hydrogen Safety, Kangwon National University,

**Division of Energy Engineering, Kangwon National University,*

***Department of Green Energy Engineering, Kangwon National University*

요 약

수소지중저장(underground hydrogen storage, UHS)은 대용량 수소를 암염돔이나 고갈 저류층 같은 지질구조에 저장하는 방식이다. UHS 시행 전, 원활한 수소 회수와 저류층 내 유동으로 인한 수소 유출을 방지하기 위하여 수소보다 밀도가 높은 질소나 이산화탄소를 쿠션가스(cushion gas)로 주입한다. 쿠션가스는 지중에 영구히 저장되는 것이 가장 이상적이지만 회수 과정에서 혼합될 수 있다.

본 연구에서는 저류층 시뮬레이션을 통해 고갈가스전의 지질특성이 수소지중저장에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위하여 가상의 고갈가스전 모델을 구축하였고 투과도와 저류층 경사도에 따른 수소 회수율을 분석하였다. 쿠션가스는 온실가스 감축 효과가 있는 이산화탄소를 선정했으며, UHS 사이클 전 1년간 주입하였다. 수소의 주입/회수는 6개월/4개월간 진행하였고 주입과 회수 종료 후에 한 달을 휴지기(shut-in period)로 설정하였다. 가스 회수량은 모든 시나리오에서 동일하며, 수소 회수량으로 회수율을 계산하였다. 그 결과, 저류층 투과도가 낮을수록 수소 주입 과정에서 외각으로 밀려난 쿠션가스가 회수정도의 유동이 저하되어 회수 수소의 순도가 높아졌다. 회수율은 가장 낮은 투과도였던 40 md에서는 100 md 대비 2.89% 더 높은 결과를 보여줬다. 저류층의 경사도가 커질수록 쿠션가스와 수소는 밀도 차이로 분리되어 저류층 경사도가 20° 이상일 때 수평 상태의 저류층 대비 3.66% 높은 회수율이 나타났다. 따라서 수소지중저장 부지를 선정할 때 상대적으로 낮은 투과도와 경사가 큰 부지를 선택한다면 높은 회수율을 유지할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 한국에너지기술평가원의 지원(20224000000080, 강원대학교 수소안전 클러스터 융합대학원)과 2025년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 해외자원개발협회의 지원(2021060001, 데이터사이언스 기반 석유·가스 탐사 컨소시엄)을 받아 수행된 연구입니다.

† Corresponding Author(장호창), E-mail: hcjang@kangwon.ac.kr

대수층 내 CO₂ 저장을 위한 최적 주입증진공법 선정 연구

이영빈, 주관우, 이영수
전북대학교

Selection of Optimal Injection Strategies for CO₂ Storage in Saline Aquifers

Youngbin Lee, Gwanwoo Ju, Youngsoo Lee
Jeonbuk National University

요약

대수층은 방대한 잠재 저장 용량과 우수한 투과도 및 공극률을 갖추고 있어 CO₂를 지중에 주입하여 장기간 안정적으로 격리할 수 있다. 현재 대수층 내 CO₂ 저장에 관한 다양한 연구가 진행되고 있으나, CO₂ 주입증진공법에 초점을 맞춘 연구와 기술 적용은 미비한 실정이다. 본 연구는 대수층의 다양한 주입 조건과 지질학적 특성을 고려하여 대수층별 최적의 CO₂ 주입증진공법을 선정하고자 한다. 연구 수행을 위해 CMG사의 시뮬레이터를 활용하여 대수층 기초 모델을 구축하였다. 모델 구축 시 다양한 시나리오의 결과를 도출하기 위해 현장 자료 및 공개된 학술 자료 DB의 지층 두께, 투과도, 공극률, 초기 압력 등을 참고하여 기초 모델을 구축하였고, 다양한 시나리오의 시뮬레이션 결과를 도출하였다. 또한, 시뮬레이션을 통해 얻은 결과 데이터를 학습 데이터로 활용하여 인공지능 모델 구축하였고, 알고리즘별 예측 정확도와 성능 점수를 평가하고 비교 분석하여 최적의 성능을 갖는 인공지능 예측 모델을 개발하였다. 본 연구에서 제안된 방법론과 결과는 향후 대수층 CCS 프로젝트 수행 시, 각 대수층의 지질학적 조건에 적합한 주입증진공법 선정 및 최적의 주입 패턴 설계에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 이 성과는 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2024-00410397).

수소 지중저장 및 재생산 특성 규명을 위한 핵심 요소기술 고찰

김영민, 이원석*

한국지질자원연구원 해저지질에너지연구본부

Review of Key Technologies for Characterizing Underground Hydrogen Storage and Recovery

Young Min Kim, Won Suk Lee*

Marine Geology & Energy Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

요 약

에너지 전환기에 수소(H₂)의 계절적 수급 변동을 완충하기 위해서는 대규모 및 장기간의 수소 지중저장(underground hydrogen storage, UHS)이 필수적이다. 본 연구에서는 다공성 지층(고갈가스전, 대수층)을 대상으로 수소 저장 및 재생산 기술 특성 규명에 필요한 저류층 시뮬레이션 핵심 요소기술을 파악하고자 한다. 분석 결과, UHS 분야에서는 유체역학적 모델링이 가장 활발히 연구되고 있으나, 장기 저장 과정에서 발생하는 지구화학 반응과 암석역학 안정성 연구는 상대적으로 부족한 것으로 나타났다. 지구화학적 모델링에는 수소 용해, 이온 교환, 미생물에 의한 수소 소비 및 순도 저하가 포함되며, 이러한 반응은 장기적인 수소 손실과 저장소의 물리적 변화를 발생시킬 수 있다. 암석역학적 모델링에서는 Biot 법칙과 Mohr Coulomb 기준을 적용해 지층 파괴 가능성을 예측하고, 유체-암석 상호작용을 반영해 지반 변형 및 단층 활성화를 분석하는 접근이 필요함을 확인하였다. 또한 UHS 시나리오 분석 연구에서는 저장소 유형뿐만 아니라 주입량, 생산량, 주입/생산 사이클 빈도와 길이, 운영정 수, 쿠션가스 종류 등 제어 가능한 운영 변수에 따른 UHS 성능이 분석되었다. UHS 효율을 정량적으로 분석하기 위해 수소 회수효율, 순도, 주입성, 물 생산량, 저장용량 등 다양한 성능 지표가 종합적으로 고려되었다. UHS 핵심 요소기술 분석 결과, 수소의 낮은 점성과 밀도, 확산성, 화학적 반응성, 지반 안정성, 저장소 유형 차이를 반영한 맞춤형 모델 개발이 필수적이다. 이러한 통합 모델링을 통해 UHS 타당성 분석 및 최적 주입·생산 전략 수립이 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원의 기본사업(GP2023-005)의 지원으로 수행되었습니다.

*Corresponding Author: 이원석(wslee@kigam.re.kr)

가스화력발전소 특성에 맞는 탄소 포집 공정 연구

김지성, 김순호, 김정환, 오세영
SK이노베이션 E&S

Study on Carbon Capture Process Suitable for the Characteristic of Gas-fired Power Plants

Jisung Kim, Junghwan Kim, Seyoung Oh, Soonho Kim, Yunje Lee*, Kwangsoon Lee**
SK Innovation E&S

요 약

가스화력발전은 첨두 부하 전력원으로 활용되며, 운전 부하가 시간에 따라 크게 변동하는 특징을 가진다. 석탄화력발전과 비교했을 때, 가스화력발전의 배가스는 상대적으로 낮은 CO₂ 농도와 높은 산소 농도를 포함하고 있어, CO₂ 포집 공정에서 대형 장치가 요구되며, 흡수제가 산화 변성에 취약한 문제가 있다. 이에 따라 가스화력발전의 운전 특성과 배가스 조성에 최적화된 CO₂ 포집 기술 개발이 필요하지만, 현재까지 해당 분야에 대한 연구는 제한적인 수준에 머물러 있다. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 (1) 발전소 부하 변동에 대응하는 포집 공정의 동적 거동 분석 및 운전 전략 연구와 (2) 공정 내 흡수제의 산화 변성을 방지하기 위한 공정 최적화 연구를 수행하였다.

첫 번째 연구는 발전소의 부하 변동이 CO₂ 포집 공정에 미치는 영향을 실험적으로 분석하는 것으로, Lab scale 실험 장치를 활용하여 진행하였다. 시간에 따른 발전소 부하 변화를 배가스 유량 변동으로 모사하였으며, 포집 공정의 동적 거동 data를 도출하고자 하였다. 부하 변동 패턴은 SKI E&S 파주발전소의 이용률 변화를 분석하여 설정하였으며, 실험을 통해 CO₂ 포집율, Regeneration energy, 온도 분포 등의 주요 공정 변수 변화를 모니터링하였다.

두 번째 연구는 가스화력발전의 높은 산소 농도로 인해 발생하는 흡수제의 산화 변성을 저감하는 방안에 대한 연구로, 용존산소(Dissolved Oxygen, DO)를 감소시키기 위한 N₂ Sparging 시스템을 Lab scale 실험 장치에 도입하였다. 산화 변성은 흡수제의 성능 저하뿐만 아니라, 분해 생성물의 축적으로 인한 거품 발생, 부식, 흡수제 교체 비용 증가 등의 문제를 야기할 수 있다. 따라서 용존산소 농도의 변화를 시간에 따라 측정하고, 다양한 운전 조건에서 N₂ Sparging의 효과를 평가함으로써, 흡수제의 안정성을 향상시킬 수 있는 최적의 운전 방안을 도출하고자 하였다.

본 연구를 통해 가스화력발전의 특성을 반영한 CO₂ 포집 공정 최적화 및 흡수제 안정화 기술 개발에 기여할 것으로 기대된다.

유·가스 생산정 부식에 영향을 주는 요소

김창우, 손한암
부경대학교

Factors Affecting the Corrosion of Oil & Gas Production Well

Changwoo Kim, Hanam Son*
Pukyong National University

요 약

저류층으로부터 유·가스를 생산하는 과정에서 CO₂, H₂S 등의 생산가스(Sour gas)가 동반생산될 수 있다. 이러한 과정에서 생산관에 부식현상이 발생하고, 최악의 경우에는 생산관 균열이 발생할 수 있다 (Ramachandran et al. 2015; Perez, 2013).

이 연구에서는 유·가스 생산정의 부식발생 현장사례를 살펴보고, 생산정 부식속도에 영향을 미치는 요소에 미치는 영향에 대해서 소개하였다. 특히, de Waard et al. (1991)을 통해서 부식속도모델에 대해서 살펴보고자 한다. 또한 기존 연구자들의 연구결과를 바탕으로 온도, 압력, 저류층 유·가스의 생산량, 산성가스 성분비, 물생산비(water cut) 등이 생산정 부식에 미치는 영향에 대해서 소개하고자 한다. 이러한 생산정 부식현상을 기반으로 하여 UAE 현장자료를 기반으로 생산정 부식발생 모델구축 과정과 향후 추가적인 연구에 대한 진행과정을 제시하고자 한다.

이러한 연구는 향후 저류층 조건에 따라 부식 발생 정도를 예측할 수 있기에 부식 발생 정도에 따라 생산관의 수명 및 부식방지제의 사용량 등을 결정할 수 있는 기본적인 정보를 제공하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

- [1] Ramachandran, S., Al-Muntasheri, G., Leal, J., Wang, Q., "Corrosion and scale formation in high temperature sour gas wells: chemistry and field practice", SPE conference paper. (2015)
- [2] Perez, "Corrosion in the oil and gas industry: an increasing challenge for materials", *J. Met.*, **65**, 1033-1042, (2013).
- [3] Asadian, M., Sabzi, M., Mousavi Anijdan, S.H., "The effect of temperature, CO₂, H₂S gases and the resultant iron carbonate and iron sulfide compounds on the sour corrosion behaviour of ASTM A-106 steel for pipeline transportation", *Int. J. Press. Vessels Pip.*, **171**, 184-193, (2019).
- [4] de Waard, C., Lotz, U., Milliams, D.E., "Predictive model for CO₂ corrosion engineering in wet natural gas pipelines", *Corrosion*, **47**(12), 976-985 (1991).

이 연구는 중소벤처기업부에서 지원하는 2023년도 중소기업기술혁신개발(R&D) 수출지향형(수출강소)의 '에너지채굴 및 블루수소생산을 위한 CCS용 고온고압 부식억제제 개발(RS-2023-0026728)' 과제의 일환으로 수행되었습니다.

CCS 사업에서 해저 배관망 내 CO₂ 유체 불순물에 따른 유동 안정성 평가

김기홍, 서준우, 윤준일, 모철훈, 박승수
한국가스공사

Flow Assurance Considering the CO₂ impurities for Subsea Pipeline in the CCS

Kihong Kim, Junwoo Seo, Junil Yoon, Chulhun Mo and Seungsoo Park
Korea Gas Corporation

요 약

최근 지구 온난화로 인해 전 세계적으로 탄소 의존 경제에서 저탄소 및 친환경 중심 경제 체계로 에너지 패러다임이 급격하게 변화하고 있지만, 에너지 안정성 등을 감안하면 중기적 관점에서 천연가스의 중요성이 증가되고 있다. 국내의 경우 지정학적 특성으로 인해 천연가스 도입 시 천연가스를 LNG로 변환하는 과정이 필수적으로 요구되는데, 변환 과정에서 LNG 톤당 대략 0.15 ton의 CO₂가 배출하는 것으로 알려져 있다. 따라서, 최근 LNG 사업개발자들도 신규 LNG 사업 추진 시 공정설비 개선(설비최적화, 전력 선택 등) 및 지중저장 방안까지 고려하고 있는 것이 현실이다.

CO₂ 지중저장은 주로 격리성이 담보된다고 알려져 있는 고갈가스전을 주요 대상 지층으로 보고 있지만, LNG 액화기지 주변에 고갈가스전이 존재하지 않는 경우 덮개암이 존재하는 대염수층을 대안으로 적용 중이다. 셰브론사는 호주 내 LNG 액화플랜트에서 배출되는 CO₂를 인근 대염수층에 연간 200만톤 저장하는 고르곤 프로젝트를 19년도부터 상업적으로 운영하고 있지만, 아직까지 지중저장 기술이 LNG 사업에 범용적으로 적용되지는 않아 관련 기술 자료를 확보하는데 어려움이 존재한다. 특히, CCS 사업의 경우 비용 절감이 주요 이슈이며, 배관망 분야에서도 해당 연구가 중요하다.

본 연구에서는 LNG 액화플랜트부터 가스전 인근에 존재하는 대염수층 상부 해저 지역까지 CO₂를 수송하는 통합 유동관 모델(해저배관망-주입정)을 구축하였다. 그리고 해저 배관망 경로의 경우 주 해저배관망은 가스전 생산 수송경로에 기반하여 선정하였고, 주입정과 연결된 부해저 배관망은 해저면 경사도를 감안하여 결정하였다.

모델 내 적용되는 CO₂ Feed(조성, 유량) 정보는 문헌값을 바탕으로 보수적인 값으로 선정하였고, 가장 경제적인 CS(Carbon Steel)재질의 해저 배관망 선정을 위해 필요한 적정 수분 함량을 도출하였다. 해당되는 CO₂ 불순물(조성, 수분함량) 하에서 설계유량(Design, Base, Low) 변화에 따라 발생하는 유동성 평가를 수행하였고, 이를 통해 적정한 압력구배 및 유동 안전성을 담보하는 주(main)·부(Sub) 해저배관망 적정 내경을 산출하였다. 또한, 해당 CO₂ 불순물 조건 하에서 전체 통합 주입 시스템 내 하이드레이트 위험성 평가를 통해 주입 및 워크오버(Work-over) 기간에 유동안정성 평가도 분석하였다.

사 사

본 연구는 한국가스공사 가스연구원의 자체 연구(RD2024-0021)로 수행되었습니다.

석유·가스 생산 환경에서의 생산용 화학약품의 역할과 고온고압 환경 부식 억제제 연구

송헌영, 이용진, 안유빈*, 김재윤*, 권순일*
유니코정밀화학, *동아대학교 에너지·자원공학과

The Role of Production Chemicals in Oil and Gas Operations and the Development of Corrosion Inhibitors for High-Temperature, High-Pressure Environments

Heonyeong Song, Lyongjin Lee, Yubin An*, Jeayun Kim*, Sunil Kwon*
*Unicoh Specialty Chemicals, *Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University*

요 약

석유 및 가스 개발 산업에서 생산용 화학약품(Production Chemicals)은 변화하는 생산 환경 속에서도 설비 무결성(Integrity), 유동 안정성(Flow Assurance), 생산 최적화(Production Optimization)을 위한 핵심 요소로 작용한다. 이들 화학약품은 설비의 부식을 방지하여 수명을 연장하고 안정적인 운전을 가능하게 하며, 스케일, 파라핀, 아스팔텐, 하이드레이트 등에 의한 침적 및 막힘 현상을 예방하여 유체 흐름의 연속성을 확보한다. 또한, 유동 개선 및 유수 분리 효율을 증가시켜 생산성 향상에 기여한다.

특히, 최근 석유 및 가스 개발이 극한의 환경으로 확장됨에 따라, 생산용 화학약품의 성능과 적용 범위를 지속적으로 향상시키는 것이 중요해지고 있다. 본 발표에서는 다양한 생산용 화학약품의 기능을 개괄하고, 그 예로 고온고압(High-Temperature High-Pressure, HTHP) 조건에 적합한 부식 억제제 개발 연구를 소개한다. 오토클레이브 및 전기화학적 시험을 통해 억제제의 부식 방지 성능을 평가하였으며, API 5L X65 강종을 대상으로 ASTM G170 기준에 따라 시험한 결과, 120°C의 H₂S/CO₂ 복합 환경에서 0.075 mm/year 이하의 부식 속도를 달성하였다. 이 결과는 유사한 부식 환경에서의 효과적인 부식 관리 전략 수립에 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 2025년도 중소벤처기업부의 기술개발사업(RS-2023-00267289, 에너지 채굴 및 블루수소 생산을 위한 CCS용 고온고압 부식억제제 개발)과 2025년도 산업통상자원부의 재원으로 해외자원개발협회의 지원을 받아 수행된 연구임(2021060001, 데이터사이언스 기반 석유·가스 탐사 컨소시엄).

인도네시아 현지 CNG 부지 활용 모듈형 제조식 수소충전소 모델의 위험성 평가

홍기훈¹, 오종연¹, 위수빈¹

¹고등기술연구원, 17180 경기도 용인시 처인구 백암면 고안로 51번길 175-28

Risk Assessment of a Modular On-site Production Hydrogen Refueling Station Model Utilizing Existing CNG Sites in Indonesia

Gi Hoon Hong¹, Jongyeon Oh¹, Subeen Wi¹

¹Institute for Advanced Engineering, 175-28, Goan-ro 51 beon-gil, Baegam-myeon, Cheoin-gu,
Yongin-si, Gyeonggi-do, 17180, KOREA

요 약

기후변화 대응 및 지속가능한 에너지 시스템 구축을 위해 전 세계적으로 수소 경제 전환이 가속화되고 있으며, 핵심 인프라로서 수소충전소 확충의 중요성이 대두되고 있다. 특히 개발도상국의 경우, 수소 인프라 초기 구축 단계에서 법적/제도적 미비점, 전문 인력 및 기술 인프라 부족 등의 어려움에 직면해 있으며, 인도네시아는 이러한 배경 속에서 수소에너지 도입을 위한 국가적 정책 수립 및 실증 연구를 활발히 추진하고 있는 대표적인 국가이다.

본 연구는 인도네시아 현지의 기존 CNG 충전소 부지에 모듈형 제조식 수소충전소를 구축하고자 인도네시아 내 2개소의 CNG 충전소 부지를 모델 사이트로 선정하고, 제조식 수소충전소 배치 설계안을 기반으로 HyRAM+를 활용하여 수소 누출 및 화재/폭발 시나리오에 대한 피해 규모 및 범위를 해석하였다.

본 연구를 통해 얻어지는 안전성 분석 결과는 인도네시아를 포함한 개발도상국에서 모듈형 수소충전소의 구축 및 운영에 필요한 기반 데이터로 활용하여 초기 수소 인프라 확산에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

keyword: 수소추출기, 모듈형 수소충전소, 제조식 수소충전소, 위험성 평가

*본 결과물은 산업부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 현지 맞춤형 현장 제조식 수소 충전 설비개발 및 실증과제의 지원을 받아 연구되었음 (No. RS202400437134)

고압 수소 배관소재의 국산화 기술 개발 및 설계코드 적용성 평가

박요한, 김정환, 김예원, 김소영
한국가스안전공사 가스안전연구원

A Study on the Localization of High-Pressure Hydrogen Piping Materials and the Applicability of Design Codes

Yohan Pak, Jeonghwan Kim, Yewon Kim, Soyeong Kim
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

요약

수소경제 인프라 확대에 따라, 고압 수소 배관 시스템에 적용 가능한 원천소재의 국산화가 시급한 과제로 부상하고 있다. 본 연구는 고압(≥ 70 MPa) 수소 환경에 적합한 배관용 금속 소재 개발을 목표로, 소재 설계, 제조 및 수소환경 적합성 평가 기술을 통합적으로 개발할 예정이다. 특히 국내외 수소배관 관련 설계 코드에 대한 체계적인 분석을 수행하였다. 미국 ASME B31 시리즈 중 B31.3, B31.8 및 수소 전용 규격인 B31.12를 중심으로 적용범위 및 수소 취성 저감 설계 요소(Mf, Hf) 반영 여부를 비교 분석하였으며, 국내 KGS 코드(FP111, FP217, FP451 등)와의 연계성 및 개선 방향도 도출하였다.

또한, 고압 수소 분위기 하에서의 소재 성능평가를 위해 수소취성 한계 응력확대계수(KIH) 측정 및 SSRT(저속변형인장시험)를 수행할 예정이며, 이를 위해 고압 수소 가압이 가능한 소형 시험 챔버를 적용한 in-situ 평가 시스템을 구축하였다. 시험 조건은 ASME Sec.VIII Div.3 기준을 참조하고, 국내 수소배관 설계에 적용 가능한 KGS AC111 코드 기반으로 수립되었다. 본 연구 결과는 수소 배관용 원천소재의 신뢰성 확보 및 관련 설계 기준 정립에 기여함으로써, 수소 인프라 확대와 안전성 강화에 실질적인 기반을 제공할 것으로 기대된다.

※ 본 연구는 과학기술정보통신부 나노 및 소재기술개발사업 “고압 수소 배관용 원천소재 국산화를 위한 소재 설계, 제조 및 평가 기술개발”(과제번호: RS-2024-00445038)의 지원으로 진행됨.

고분자 물질의 열분해에 따른 덕트 침착 및 리스크 관리

정상영, 윤종석*, 신동일**

명지대학교 재난안전학과, *(주)서영 엔지니어링, **명지대학교 화학공학과 · 재난안전학과

Duct Deposition and Risk Control of Polymer Pyrolysis Products

Sangyoung Jeong, Jongseok Yoon*, Dongil Shin**

Dept. of Disaster, Safety and Sustainability Eng., Myongji University

**Seoyoung Engineering Co.*

***Dept. of Disaster, Safety and Sustainability Eng. and Dept. of Chemical Eng., Myongji University*

요약

산업이 첨단, 고도화되면서 공정내에서 사용하는 물질의 종류도 점점 다양화되고 있으며 그에 따른 위험의 종류도 점점 복잡화되고 있다. 그 중 접착, 필름, 건축, 자동차, 전기/전자 등 다양한 분야에서 많이 사용되고 있는 Polyvinyl Butyral (PVB)는 공정내에서 바인더 및 가소제의 역할이 끝나면 열분해 과정을 통해 다양한 가스와 부산물로 변환되어 그 위험성을 높이고 있다. 특히, 전기/전자 산업에서 PVB 바인더는 건조, 소성공정에서 다양한 물질로 전환되고 있으며, 이들은 대부분 덕트를 통해 외부로 배출되는 과정에서 덕트 내부에 침착됨으로서 화재 등 잠재적인 위험요인으로 작용하고 있다.

덕트 화재는 내부 인화물질의 퇴적 과정을 확인하기가 매우 힘들어 접근성이 나쁘고, 일단 화재가 발생하면 기류에 의해 급속히 화재가 확산되어 발화점과 멀리 있는 지역까지 피해를 줄 정도의 확산성이 높으며, 화원의 확인이 어렵고 내부가 막혀 화재 진압에도 매우 까다로운 특징을 가지고 있다. 따라서 PVB의 열분해 산물과 위험성을 구체적으로 정의하고, 발생된 부산물의 덕트 내부에서의 이전 특성을 명확히 확인하는 것이 화재예방과 확산방지를 위한 선결 조건이라고 말할 수 있다.

열분해 반응 및 배출까지의 열유동 모델링과 시뮬레이션 기반의 예측과 더불어 덕트화재의 위험성을 관리하기 위해서는 덕트의 설계부터 예방, 대응 등 다양한 측면에서 접근해야 할 필요성이 있다. 즉, 면밀한 덕트의 설계를 통해 적정한 덕트의 형태, 크기를 결정하고, 재질에 있어서도 저항이 적고 내부 정전기 발생을 최소화할 수 있는 재질이 우선 고려되어야 할 것이다. 또한 시공 단계에 있어서도 덕트 이음부나 굴곡부의 damper 등에 마찰손실이 적은 시공방법이 선택되어야 할 것이다. 덕트의 적정 구배와 drain port 설치를 통해 위험물의 축적을 최소화하고, 일정 규모 이상의 덕트는 덕트 내부에 온도 센서, sight glass, in-duct sprinkler를 설치하는 등 기술/관리적으로 표준화된 기준이 제시되어야 할 것이다.

수소충전소 내 핵심설비의 운전성능 이상감지를 위한 추세 추정 변이형 오토인코더 모델 개발

오종연, 현규환, 홍기훈
고등기술연구원 수소에너지솔루션센터

Anomaly Detection for Primary Facilities in Hydrogen Refueling Station: Trend-Aware Variational Autoencoder

Jongyeon Oh, Kyuhwan Hyun, Gihoon Hong
Hydrogen Energy Solution Center, Institute for Advanced Engineering, Yongin 17180, Korea

요약

탄소중립 정책의 일환으로 수소 모빌리티 산업이 확장됨에 따라, 수소충전소의 구축이 활발히 진행되고 있다. 그러나 수소충전소는 기존의 전통적인 산업에 비해 운영 노하우가 부족하여, 설비의 고장 및 장시간 유지보수로 인한 충전소의 운영률이 저하되는 문제가 발생한다. 이러한 운영 중단은 수소 모빌리티 운행에 지장을 초래하고, 지역 주민의 생활 불편으로 이어진다. 이에 따라 충전소 핵심설비의 고장과 성능 저하를 조기에 감지하여 유지보수 시간을 단축하고, 전반적인 설비 가동률을 향상시킬 수 있는 시스템의 도입이 요구된다.

본 연구는 국내에서 3년간 실증운전 중인 상업용 수소충전소의 운전 데이터를 활용하여, 핵심설비의 운전성능 저하를 조기에 감지할 수 있는 딥러닝 기반 이상감지 알고리즘을 제안한다. 제안된 모델은 데이터의 전반적인 추세변화를 학습할 수 있도록 기본적인 Autoencoder의 구조를 일부 변형하여 설계되었다. Autoencoder의 기본 구조인 출력 재구성 계층(output layer) 외에 데이터의 추세를 독립적으로 학습하는 trend layer를 추가한 구조로 설계하여 설비 성능의 점진적 감소 패턴을 효과적으로 인식할 수 있다. 이를 통해 기존 임계값 기반 이상감지 기법보다 앞선 시점에서 성능저하를 감지하여 고장의 주요 원인 중 하나인 설비 열화(degradation)를 선제적으로 탐지하는 데 유의미한 성능을 보였다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구임. (RS-2024-00437134, 현지 맞춤형 현장 제조식 수소충전 설비개발 및 실증)

배터리 팩 열적 위험 감소를 위한 액침냉각 열관리 시스템 성능 향상 방안

문재원, 김승영, 문명환, 마병철[†]
전남대학교 화학공학과, [†]전남대학교 화학공학부 교수

Improving immersion cooling performance to reduce thermal hazard in battery pack

Jae Won Moon, Seung Young Kim, Myong Hwan Moon, Byng Chol Ma[†]
Chonnam National University School of Chemical Engineering,
[†]*Corresponding author: anejon@jnu.ac.kr*

요 약

리튬이온배터리는 고속 충방전시 빠른 화학 반응으로 인해 배터리 셀의 온도 상승과 내부 손상이 유발되어 열폭주 발생 위험이 증가한다. 열폭주가 발생하면 인화성가스가 방출되어 화재나 폭발사고로 이어질 위험이 있으므로 최근에는 액침냉각 방식의 열관리 기술을 활용해 배터리 온도를 15 °C~35 °C사이의 안전한 범위로 제어하는 냉각 방식이 각광 받고 있다. 그러나, 액침냉각 열관리 시스템은 기존의 공기냉각 열관리 시스템에 비해 고 비용, 고중량 등의 경제적 측면에서 한계를 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 액침냉각 열관리 시스템의 경쟁력 향상을 위해 냉각 효율 증진 방안을 탐구한다. 먼저 ANSYS Fluent 시뮬레이션을 활용하여 동일한 전력량을 소비하는 배터리 시스템을 구성하여 냉각 유체의 물성에 따른 냉각 성능 영향인자를 분석하였다. 이후 동일한 크기의 배터리 팩에서 셀의 배열각도를 0°, 15°, 30°, 45°로 다르게 하여 냉각 시뮬레이션을 구동한 후 냉각 성능 개선방안을 도출하였다. 그 결과, 동일한 전력량을 소비하는 배터리 팩에서는 유체의 점도에 따라 22.23 %의 셀 최대온도 차이가 발생하였으며, 동일한 크기의 배터리 팩 내에서 셀 배열 각도를 증가시킬수록 배터리 팩의 평균 온도를 1.86 % 감소시켜 냉각 성능을 증진할 수 있음을 확인하였다. 본 연구의 결과는 유체 물성에 따른 냉각효과 비교를 통해 액침냉각 배터리 열관리 시스템의 영향인자를 파악하였으며, 동일한 크기의 배터리 팩에서 셀 배열 변화를 통해 냉각 효과의 증진 가능성을 시사하였다. 이를 통해 배터리 팩의 온도 균일화를 증진하여 배터리 팩의 안전성을 확보하고 액침냉각 시스템의 성능 및 경쟁력을 극대화할 수 있을 것으로 기대한다.

해양폐기물 기반 연료 생산 및 대기오염 물질 활용 공정 최적 설계

임종훈, 송형운

고등기술연구원 수소에너지솔루션센터

Optimal design of marine waste-to-fuel production process with air pollutants utilization

Jonghun Lim, Hyoung Woon Song

Hydrogen Energy Solution Center, Institute for Advanced Engineering, 175-28, Goan-ro 51beon-gil, Baegam-myeon, Yongin-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

요약

In the sea and ocean, the discharge of a large amount of marine waste poses a significant global ecological and economic challenge. However, the marine waste, which includes hydrocarbons from waste plastics and alkaline substances from waste seashells and desalination wastewater, can be transformed into valuable fuels and chemicals, utilizing air pollutants. Here, this work developed a framework for marine waste-to-fuel production with air pollutants utilization, and outlines six pathways according to the method of producing fuel using three types of marine waste and reducing and utilizing air pollutants. To demonstrate the economic and environmental feasibility of each pathway, techno-economic and environmental evaluations are conducted across five countries. The results reveal that the viability of fuel production from marine waste varies widely, influenced by factors such as the each marine waste discharge rate, the market prices of fuels and hydrogen, and the energy costs specific to each country. Sensitivity analyses reveal that electricity prices as a critical factor for economic viability and demonstrate shifting pathway preferences under varying carbon pricing, emphasizing the need for adaptable strategies considering both current economic conditions and future environmental policies. This study provides valuable insights for five countries, offering decision-making strategies on utilizing the proposed framework to achieve a balance between economic efficiency and environmental protection.

도시가스 수소혼입 안전성 검증 및 제도화 추진 현황

한원국, 복인규, 이동원, 양윤영, 서원석
한국가스안전공사

Progress of Safety Verification and Institutionalization of Hydrogen Blending in City Gas

Wonguk Han, Inkyu Bok, Dongwon Yi, Yunyoung Yang, Weonseok Seo
Korea Gas Safety Corporation

요약

정부의 탄소중립 목표에 따라 도시가스 분야에서 온실가스 감축을 위한 방안으로 도시가스 수소혼입 계획이 수립되었다. 도시가스에 수소 20vol% 혼입 시 연간 약 765만톤의 이산화탄소 감축 효과를 보일 것으로 예상되고, 도시가스 배관을 통해 연간 107만톤의 수소 공급이 가능하여 수소경제 활성화에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

하지만 도시가스에 수소를 혼입하여 사용할 시 금속재료에서의 수소 취성 위험성, 연소기에서의 역화현상, 고무호스에서의 수소 투과 등의 안전문제가 예상됨에 따라, 기존 도시가스 설비의 수소 혼입 환경에서 안전성 검증이 진행되고 있다. 현재 도시가스 배관분야, 연소기 분야, 핵심부품 분야로 구분하여 수소 최대 20% 혼입 환경에서의 안전성을 검증하고 있고, 향후 장기간 사용에 따른 내구성 검증, 도시가스 배관 지역실증이 예정되어 있다.

본 발표에서는 도시가스 수소혼입에 따른 전주기 안전성 검증 현황 및 계획을 공유하고, 향후 지역실증 및 제도화 추진 방향에 대해 논의해보고자 한다.

본 연구는 2023년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행 중인 연구과제입니다. (RS-2023-00234827, 도시가스 배관망 수소 혼입 전주기(제조-공급-사용) 안전성 검증 기술개발/실증)

액화수소 안전성 확보를 위한 검사지원센터 및 충전소 모니터링 시스템 구축

김현우, 김필종
한국가스안전공사

Establishment of an inspection support center and a monitoring system for ensuring the safety of liquid hydrogen

HYUNWOO KIM, PILJONG KIM
Korea Gas Safety Corporation

요 약

정부는 ‘19년 수소경제 활성화 로드맵에 따라 수소사회로의 전환을 위해 2040년 까지 연간 526만톤 규모의 수소 공급목표를 설정하였으며, ‘22년 제5차 수소경제위원회에서 2030년 까지 수소상용차 3만대, 액화수소 충전소 70곳 구축을 발표하였다. 정부 정책 이행 및 안정적인 수소 공급을 위해 기체수소를 액화 하기 위한 추가 비용이 발생하나 부피 1/800, 운송비용 1/10 등 운송·저장이 뛰어난 액화수소 기술 보급 및 확대가 필수적이다.

산업현장에서 액화수소를 안전하게 사용 및 저장하기 위해 극저온 상태 유지, 저장탱크 온도상승 및 진공단열 등을 확인하여야 하나 현재 국내에서 액화수소 설비의 성능 검사 및 시험 등을 할 수 있는 곳이 없어 정부는 2022년 액화수소 검사 인프라 구축하기 시작하였다.

2025년 11월 개소 예정인 액화수소검사지원센터는 ‘26년 1월부터 저장탱크, 용기, 탱크로리의 진공·단열성능시험과 밸브류의 극저온 안전성능시험 등을 실시하고 액화수소 충전소에 대한 실시간 모니터링 시스템을 본격적 운영할 예정이다. 이를 통해 국내에서 액화수소 검사를 실시함으로써 국내업체의 글로벌 경쟁력 확보 및 액화수소 설비의 안전성 강화에 기여하고자 한다.

Key words : Liquid hydrogen(액화수소), Safety Inspection(안전검사), Monitoring system(모니터링 시스템), Liquid hydrogen refueling station(액화수소 충전소)

LNG 펌프 고장 진단을 위한 전류 분석 연구

최원목, 고재필, 권순길
한국가스공사 가스연구원

Study on Current Analysis for Diagnosis to LNG Pump

Choi Won Mog, Ko Jae Pil, Yoon Ik Geun, Kwon Sun Gil
KOGAS Research Institute

요약

LNG 생산기지의 설비 중 하나인 LNG 펌프는 생산기지 프로세서에 매우 중요한 설비로 주기적인 정비를 수행하고 있다. LNG 펌프는 3상 유도전동기로 구동되며 shaft와 impeller로 LNG를 목표 압력까지 승압 시켜 다음 프로세서로 이송하는 기능을 한다. LNG 펌프의 상태 모니터링을 위해 진동 센서를 펌프에 설치하였으며 센서에서 측정된 진동 데이터는 진동 모니터링시스템(VMS, Vibration Monitoring System)에서 분석 하여 펌프 상태를 진단하고 있다. 진동 모니터링시스템은 shaft, impeller, bearing, rotor 등 기계적으로 회전하고 있는 부품에서 발생한 결함을 진단할 수 있지만 stator와 권선 그리고 절연과 같은 모터 자체에 발생한 결함은 진단이 불가능하다. 또한, 진동 모니터링시스템 이상시 LNG 펌프 상태를 진단할 수 있는 방법이 없다. 모터 고정자 전류 분석법(MCSA, Motor Current Signature Analysis)은 stator 권선의 전류를 측정하여 분석하는 기술로 stator와 권선 그리고 절연 결함뿐만 아니라 부하측의 shaft, impeller, bearing, rotor 등에 발생한 결함도 진단할 수 있다.

본 연구는 LNG 펌프의 진동 모니터링시스템 이상시 전류 분석법을 이용한 LNG 펌프의 상태 진단 가능성에 대한 연구로 7가지 LNG 펌프 고장을 정의 하였고 그 고장에 대한 전류 분석법의 진단 가능성을 진동 분석 결과와 비교하여 실험적으로 검증하였다. LNG 생산기지에서 가동 중인 LNG 펌프에서 전류 데이터와 진동 데이터를 동시에 취득 하여 FFT(Fast Fourier Transform) 분석을 수행하였다. 그리고 7가지로 정의된 LNG 펌프 고장 주파수 발생여부를 비교·평가한 결과 전류 분석과 진동 분석 결과가 잘 일치하여 진동 모니터링시스템 대안으로 전류 분석법을 이용하여 LNG 펌프의 상태 진단이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

온습도 조건에서 수소반복시험이 수소용기 및 배관모듈 재료에 미치는 영향 연구

임원섭, 이민경, 장갑만, 김홍철*, 신동일**
한국가스안전공사*, 명지대학교**

Study on the verification of compressed hydrogen material through DampHeat Test

Won-Sup Lim, Min-Kyung Lee, Kap-Man Jang, Hong-Cheol Kim*, Dong-il Shin
Korea Gas Safety Corporation*, Myongji University**

요 약

탄소중립과 친환경 에너지 전환이 중요한 글로벌 과제로 대두되면서, 수소에너지는 지속가능한 미래를 위한 핵심 기술로 자리잡고 있다. 특히, 수소저장 인프라(충전소, 저장용기)와 수소모빌리티(수소차, 수소버스, 수소트럭, 수소트램, 수소드론)의 확산은 수소경제 활성화의 중요한 요소로 평가받고 있다. 하지만, 수소용 재료는 장기간 고온·저온·고습 환경에서 사용될 가능성이 높으므로, 이러한 조건에서의 재료의 물리적·화학적 변형, 수소 투과율 변화, 기계적 강도 저하 여부 등을 면밀히 분석하는 것이 중요하다.

본 실증시험으로 이러한 문제를 해결하기 위해 Dampheat Test(내습-내열성 시험)를 적용한 압축수소용 재료의 건전성 실증시험을 수행하였다. Dampheat Test는 온습도 및 저온(-10~65℃, 80~95% RH) 환경 변화에서 압력 반복 가압 시험(2MPa~87.5MPa)을 반복적으로 적용하는 방식으로, 다양한 극한 조건에서 압축수소 재료의 내구성과 안전성을 평가할 수 있도록 한다. 반복적인 온습도 및 저온 환경에서 재료가 미세 균열 및 강도 저하 여부 확인, 수소투과율 변화여부 확인, 급격한 온도 변화에 따른 결로현상으로 내외부 부식 가능성 관찰, 반복적인 압력 가압과 극한 환경 조건이 지속될 경우 피로 파괴 가능성 증가 등을 확인할 수 있다.

본 연구의 결과는 향후 수소 관련 소재 개발 및 설계 최적화에 대한 기준 설정 및 안전성 강화에 중요한 근거를 제공할 것이며, 수소에너지를 활용한 미래 수소충전 인프라 및 수소모빌리티의 안전성 향상에 기여하는 것을 목표로 한다.

본 연구는 2022년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었습니다. (NO. 20223030040090)

Corresponding author : silverback@kgs.or.kr

수소자동차용 내압용기 급속 충전에 따른 용기재료에 미치는 영향 고찰

장갑만, 이화영, 김주리, 임원섭, 김홍철*

한국가스안전공사*

Experimental study on temperature change inside the cylinder due to hydrogen gas fast filling

Kap-Man Jang, Hwa-Young Lee, Joo-Ri Kim, Won-Sup Lim, Hong-Cheol Kim*

*Korea Gas Safety Corporation**

요 약

수소연료전지 자동차에 70Mpa고압의 수소를 충전하기 위해서는 급속충전을 하고 있으며, 수소 급속 충전 과정에서는 수소의 급속 충전으로 인한 용기입구에서 줄-톰슨 역효과 (Joule-Thomson negative effect), 용기 내부에서 단열압축으로 인해 수소 저장탱크 내부의 온도가 급격히 상승하는 현상이 발생하게 된다. 온도 상승 현상은 수소용기 재료인 라이너에 영향을 줄 수 있어 GTR No. 13 기준에 -40℃ ~ 85℃의 온도를 유지하도록 하고 있다. 수소용기 내구성을 평가하기 위해 수소가스반복가압시험을 1,000회 하도록 되어 있는데, 온도조건을 유지하면서 시험하기 위해 충방전 1사이클 시간이 길어질 수밖에 없는 실정이다.

본 연구에서는 수소 용기 급속 충전시 온도변화에 대해 실험을 진행하였다. 이를 통해 용기의 설계단계 검사시 수소가스반복시험시 용기재료의 설계온도 범위에서 최적화된 유량 및 온도 조절방안에 대해 살펴보고자 한다. 온도 조건 최적화를 통해서 1,000회의 수소반복시험기간을 단축시킬수 있을 것이다.

Keyword(s)

Hydrogen(수소), GTR(Global technical Regulation, 국제기술기준), Fast filling(급속 충전)

Acknowledgment : 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE) 및 한국산업기술진흥원(KIAT)의 2024년 소재부품산업기술개발기반 구축사업의 지원으로 수행되었습니다.(No.RS-2024-004694490, 수소 산업용 고인성·내수소취화 금속소재 실증기반 구축)

Corresponding author : hyl0019@kgs.or.kr

KSMR 액화공정을 적용한 중·소형 천연가스 액화플랜트에 개념설계 연구

박창원, 권용수

한국가스공사 가스연구원 초저온기술연구소

Conceptual Design Study of Small and Medium-Scale LNG Liquefaction Plants using KSMR Liquefaction Process

Changwon Park, Yongsoo Kwon

Cryogenic Technology Research Division, KOGAS Research Institute, Korea Gas Corporation

요 약

지속 가능한 에너지 체계 구축을 위한 노력이 전 세계적으로 확산되면서, 이산화탄소 배출량이 적고 환경 영향을 최소화할 수 있는 천연가스의 활용이 증가하고 있다. 특히, 천연가스(LNG)는 저장 및 운송이 용이하여 원거리 가스전 또는 소규모 가스 자원의 효율적인 활용을 가능하게 한다. 이에 따라, 최근 중/소형 LNG 액화플랜트의 필요성이 증대되고 있으며, 기술적·경제적 측면에서 이를 지원할 수 있는 맞춤형 공정 개발이 요구되고 있다. 한국형 액화공정(KSMR: Korea Single Mixed Refrigerant)은 혼합냉매를 활용한 간단한 구조의 공정으로, 높은 에너지 효율과 적은 설비 구성으로 CAPEX와 OPEX가 낮은 장점을 가지고 있다. 또한 일일 100톤 규모의 LNG 생산 플랜트에 대한 설계 및 운영 기술을 확보하고 있다. 이를 활용하여 향후 전 세계 액화플랜트 시장 진출을 위해서 선행적으로 KSMR 공정을 활용한 중·소형 천연가스 액화플랜트 적용에 대한 타당성 연구는 반드시 필요하다.

본 연구에서는 중·소형 천연가스 액화플랜트에 KSMR 공정의 적용을 위한 기술 검토 및 개념설계 연구를 목적으로 한다. 대상공정인 액화플랜트 용량은 소형 액화플랜트는 0.1 MTPA(MTPA: Million Ton Per Annual), 중형 액화플랜트는 1.0 MTPA급으로 선정하였다. 각 대상공정에 대한 KSMR 공정의 기술적 특성과 장점을 분석하고, 이에 대한 타당성 연구를 수행하였다. 이를 바탕으로 KSMR 공정 최적화, LNG 액화 용량산정을 위한 주요기술 선정 연구 통한 개념설계를 수행하였다.

압축 수소 가스 저장 용기 화염 노출 시험을 위한 안전 기술 개발 현황

정해관 · 유철희 · 이지원 · 임대영 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터

Statud of safety technology for fire test compressor hydrogen storage system(Haegwan Jeong)

Hae Gwan Jeong · Jee Won Lee · Tae Hyeon Kim · Dae Yeong Lim Fire Explosion Research Department, Korea Gas Safety Corporation

친환경 수소자동차의 안전성 평가를 위하여 수소가스에 대한 적합성 평가, 내구성능을 확인하기 위한 유압 및 극한 환경 사이클링 시험 및 수소가스에 대한 방전 효과 등을 확인하는 수소가스 압력 반복 시험을 모두 만족한 제품에 대하여 화재 안전성 평가를 진행한다. 이와 더불어 수소자동차와 관련된 관련 국제 기준이 개정됨에 따라서 화재시험에 대한 시험 기준이 더욱 세분화되었다.

한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터는 개정된 화재 안전성 평가 시험 기준을 만족할 수 있는 고압용기 화염노출 시험장비 갖추고 있으며, 이와 관련하여 수소자동차 충전 조건을 만족할 수 있는 성능도 갖추고 있다. 본 시험 장비를 활용함으로써 시험 준비 과정에서 용기 내부 라이너의 손상 등으로 발생할 수 있는 오류를 최소화함으로써 시험에 대한 유효성을 확보하여 시험에 대한 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 기대한다.

Acknowledgement: 본 연구는 산업통상자원부- 한국산업기술기술평가원(KEIT) 지원으로 수행한 연구 과제입니다.(상용 수소전기차용 70MPa급 대형 수소저장용기의 고속충전·내화성능 및 생산성 향상 기술 개발/ 과제번호: 20015346)

수소 누출 결과해석 도구 HYRAM과 EFFECTS 비교

김성훈, 방부형*

네레이드안전컨설팅, *경기과학기술대학교

Comparison of Consequence Analysis Results of HYRAM & EFFECTS

Sung-Hoon Kim, Boohyoung Bang*

*Nereid Safety Consulting, *Gyeonggi University of Science And Technology*

요 약

고압의 기체수소가 누출되면 증기운 확산(Dispersion), 증기운 화재(Flash fire), 제트 화재(Jet fire), 폭연(Deflagration) 혹은 폭굉(Detonation) 등의 사고로 이어질 수 있으며, 이러한 사고의 규모를 예측하기 위해 다양한 도구가 개발되고 있다. 이러한 도구 중 미국 Sandia National Laboratory사에서 개발하여 무료로 배포하는 HyRAM, 그리고 노르웨이 Gexcon사에서 개발한 EFFECTS가 있다. 본 연구는 이 두 도구를 이용해 확산 거리 및 농도 분포, 제트화재에서의 열유속 크기, 그리고 Baker-Strehlow-Tang(BST) 모델에 사용되는 증기운 질량 및 폭압 크기 등을 비교하여 경향성을 확인하고자 한다. 각 도구가 사용하는 모델의 차이와 결과 사이의 관계가 유의미하게 파악된다면, 무료인 동시에 소스코드를 제공하는 HyRAM의 활용도를 높일 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 결과의 물리적 비교뿐만 아니라 사용성 및 특징에 대한 차이점 역시 논의할 것이다.

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2021-KA163162).

지반침하-구조변형-배관누출-화재 및 폭발 연쇄 사고 해석 연구

민동철*, 방부형**

*(주)테크에버, **경기과학기술대학교

A Study on the Analysis of Ground Settlement-Structural Deformation-Piping Leakage-Fire and Explosion Chain Accidents

Dongchul Min*, Boohyoung Bang**

*Techever, **Gyeonggi University of Science And Technology

요 약

에너지를 생산, 공급, 혹은 활용하는 플랜트는 저장탱크 등의 수많은 설비와 그 설비들을 연결하는 배관으로 이루어져 있으며, 이들은 외부적 요인에 의한 변위가 발생할 수 있다. 이러한 원인으로 발생하는 손상은 안전사고로 이어질 수 있으므로 이를 막기 위해 아래에는 기초 매트 콘크리트나 파일 등과 같이 구조적 안정성을 제공하는 하중 지지구조물이 존재한다. 하지만 지진, 지하수 유입이나 대규모 지하공간과 같은 자연적 혹은 인위적인 다양한 요인에 의하여 지반이 오랜 시간에 걸쳐 서서히 가라앉는 지반침하 현상이 발생하면 지중의 구조물도 지반처럼 침하하며, 변위가 발생한다. 구조물이 항복강도 이상의 응력을 발생시키는 변위를 겪으면 상대적으로 취약한 배관 등의 설비는 변형 혹은 파열될 수 있으며, 이어서 배관 내부 가연성 물질들의 누출이 발생한다. 이때 가연성 물질의 점화 지연 여부에 따라 화재 혹은 폭발과 같은 비극적인 사고를 초래할 수 있다.

최근 안전 문제에 있어 위와 같은 도미노 효과 혹은 사고 시퀀스는 다물리역학(Multi-physics)을 통해서 연구되고 있다. 과거 결정론적 위험도 해석에서는 누출 및 확산 이후부터의 시나리오에만 국한되었다. 하지만 최근 계산속도 향상, 해석방법의 다양화 등과 같은 과학기술의 발전으로 사고 시나리오는 더 정교해지고 있고, 누출 이전 단계에서부터 구조 변형 원인 진단 및 가연성 물질의 누출과 같은 후속 이벤트 발생 가능성 여부를 판단하는 한 단계 발전한 형태의 다물리 시퀀스 해석 시나리오 기법이 이용되고 있다. 이러한 사고 시퀀스를 해석하기 위해 다양한 역학적 해석 방법이 필요하며, 이러한 연구의 일환으로 지반역학-구조역학-유체역학-열(연소)역학 시퀀스 해석이 연구되었다. 그리고 각 해석방법에서는 다시 이론적, 경험적, 그리고 수치해석적 해 중에서 가장 타당하면서 경제적인 방법이 활용된다. 해당 연구결과를 활용하여 사고 발생 과정에 대한 보다 근본적인 이해와 주요 시설물의 안정성을 확보할 수 있다. 동시에 사고의 연관성을 파악함으로써 도미노 효과를 막을 수 있는 대책 역시 안전 설계 과정에서 마련할 수 있다.

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2021-KA163162).

화학물질 보관·저장업의 소방용수 수계유입 방지대책 마련

한규진, 도지석, 민미미, 이근원*, 정승호*

아주대학교 대학원 환경공학과, *아주대학교 환경안전공학과

Measures to Prevent the Inflow of Firefighting Water into Water Bodies in Chemical Storage Facilities

Gyujin Han, Jiseok Do, Mimi Min, Keunwon Lee*, Seungho Jung*

Department of Environmental Engineering, Graduate School of Ajou University

*Department of Environmental and safety Engineering, Ajou University

† Corresponding author : processsafety@ajou.ac.kr

요약

화학물질 보관·저장 시설에서 발생하는 화재·폭발 및 누출 사고 대응 과정에서 사용된 대량의 소방용수는 유해 화학물질과 혼합되어 인근 하천 등 수계로 유입되어 2차 환경오염을 유발할 수 있다. 이러한 사고는 화학사고 발생 시 소방용수의 수계 유입을 방지하기 위한 체계적인 대응체계 마련의 필요성을 시사한다.

본 연구는 화학물질 보관·저장업 사업장에서의 수계 유입 방지 대책 마련을 목적으로, 경기도 내 73개 사업장을 대상으로 현장조사를 수행하였다. 각 사업장의 유해화학물질 종류 및 저장량, 소화설비 및 저류시설의 보유 현황 등을 조사하였으며, 「KOSHA GUIDE P-42」 화학설비의 소방용수 산출 및 소방펌프 유지관리에 관한 기술지침의 기준에 따라 제4류 위험물의 종류 및 저장량에 기반한 소방용수 발생량을 산정하였다.

이후 사업장별 수계 유입 가능성과 환경 피해 영향도를 반영한 위험도 평가체계를 개발하였으며, 이를 매트릭스 방식으로 분류하여 위험도에 따라 ‘높음’, ‘중간’, ‘낮음’의 세 등급으로 나누고, 각 등급별로 차단대책과 대응 가이드라인을 제시하였다. 주요 차단대책으로는 유출경로별 물리적 차단시설 설치, 농수로·맨홀 등 연결 경로의 긴급 폐쇄 방안 등을 도출하였다.

이러한 연구 결과는 사업장 맞춤형 수계 유입 방지대책 수립에 기여할 수 있다는 점에서 의의가 있다. 향후 화학사고로 인한 2차 환경피해를 예방하고 환경안전 체계를 강화하는 기반 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

* 본 연구는 환경부의 한국환경산업기술원의 화학사고 예측·예방 고도화 기술 개발사업의 지원(과제번호: RS-2022-KE002224, 화학사고 예측·예방 고도화 기술 개발사업)과 산업통상자원부의 한국산업기술진흥원의 산업혁신 인재성장 지원사업의 일부 지원을 받아 수행되었습니다.(P0012787, 2410007480)

혼소 발전소에서 암모니아 누출 시나리오에 따른 위험성 비교

도지석, 허광범, 한규진, 이근원*, 정승호*
아주대학교 대학원 환경공학과, *아주대학교 환경안전공학과

Risk Assessment Based on Ammonia Leakage Scenarios in Co-Firing Power Plants

Jiseok Do, Gwangbeom Heo, Gyujin Han, Keunwon Lee*, Seungho Jung*
Department of Environmental Engineering, Graduate School of Ajou University
**Department of Environmental and safety Engineering, Ajou University*
† Corresponding author : processsafety@ajou.ac.kr

요 약

탄소중립(Net Zero) 목표 달성을 위해 전 세계적으로 화력 발전의 감축이 가속화되고 있으며, 국내에서도 제11차 전력수급기본계획을 통해 무탄소 발전 기술 확대 전략을 발표하였다. 그러나 신재생에너지 및 수소에너지를 전력 산업에 본격적으로 활용하기 위한 대규모 상용화 기술 개발은 아직 미비한 실정이며, 이를 보완할 수 있는 과도기적 기술이 필요한 상황이다. 이러한 맥락에서 무탄소 연료인 암모니아를 활용한 발전 기술이 주목받고 있다. 암모니아는 연소 시 이산화탄소(CO₂)를 배출하지 않는 무탄소 연료로서, 화력발전소에서 혼소(co-firing)할 경우 온실가스 감축 효과를 기대할 수 있다. 이에 따라 국내 발전사들은 암모니아 혼소 기술 개발을 추진하고 있다. 그러나, 암모니아는 높은 독성과 인화성을 지닌 물질로, 누출 시 환경 및 인명 피해의 우려가 크며, 폭발 위험성도 존재한다. 따라서 암모니아 연료의 저장 및 공급하는 과정에서 체계적인 위험성 평가를 통한 안전성 확보가 필수적이다.

본 연구는 암모니아 혼소 설비 설치를 계획 중인 국내 발전소를 대상으로 암모니아 연료 공급 설비 위치에 따른 누출 시나리오를 선정하였으며, 위험성 평가 프로그램인 EFFECTS v12를 통해 독성 영향 및 폭발 피해 반경을 산정하였다. 영향평가 결과를 바탕으로 F-N 곡선을 도출하여 정량적 위험성 평가를 수행하였다. 암모니아 저장탱크 설치 위치에 따른 위험성을 비교 분석하여, 저장탱크 설치 위치에 따른 안전성을 확인하였다. 본 연구 결과를 통해 암모니아 혼소 화력발전소에서 발생할 수 있는 암모니아 누출 사고 위험성에 대해 예방 및 완화조치 대책을 수립하고, 안전성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

* 본 연구는 환경부의 한국환경산업기술원의 화학사고 예측·예방 고도화 기술 개발사업의 지원(과제번호: RS-2022-KE002224, 화학사고 예측·예방 고도화 기술 개발사업)과 산업통상자원부의 한국산업기술진흥원의 산업혁신 인재성장 지원사업의 지원을 받아 수행되었습니다.(P0012787, 2410007480)

**수소 운송용 금속-고분자 복합소재의
압력용기의 안전성 검증을 위한 기준 연구**

김예원, 황재석, 박요한
한국가스안전공사 가스안전연구원 기기장치연구부

**Standard study for safety verification of pressure vessels made of
metal-polymer composites for hydrogen transport**

YeWon Kim, JaeSeok Hwang, YoHan Park
Appliances & Equipment Research Department Safety Research Division, Korea Gas Safety

요 약

수소경제 활성화와 인프라 구축을 위해서 수소연료의 저장기술 및 운송 분야는 지속적으로 발전되고 있으며 중요한 연구 대상이다. 기존의 범용 Type 4 용기의 경우 비금속 라이너와 복합재로 구성되어 있으며, 수소 충전시 용기의 내압을 견디는 기능은 복합재만이 담당하고 있다.

위 연구목표는 탄소섬유 50wt%를 고강도 스틸 와이어로 대체하여 더 많은 양의 수소를 저장하고, 내압 성능은 유지하며 궁극적으로는 제조원가를 줄여서 수소경제 활성화에 기여하기 위함이다.

따라서, 본 연구에서는 기존 Type 4 용기에 대한 국내외 표준에 대하여 비교하였고, 이에 관련된 시험 규격에 대해서 확인하였다. 또한, 수소 취성 평가에 있어 수소 환경에서의 1차 스크리닝에 필요한 시험 및 평가 방법에 대해 소개하고자 한다. 이를 통해 향후 수소 운송용 복합재 용기에 대한 평가를 진행하고, 국내 관련 기술 기준 적립에 기초자료로 활용하고자 한다.

수소충전소에서의 KRISS 수소유량 현장교정시스템의 실증 연구

강 응 · 신진우 · 백운봉
한국표준과학연구원

Research for On-site Test of KRISS Hydrogen Flow Field Test Standard at Hydrogen Refueling Stations

Woong Kang, Jin-Woo Shin, Un-Bong Baek
Korea Research Institute of Standards and Science

요 약

지구 온난화 및 대기 환경문제로 인해 친환경 자동차 개발에 대한 관심이 증대되면서, 정부는 수소경제 활성화 로드맵에 따라, 2040년 수소전기차 620만대와 수소충전소 1,200개소 구축을 목표로 다양한 정책을 수립하고 추진중이다. 현재 한국과 일본에서 개발 및 상용화되고 있는 수소전기차의 일반 사용자로의 보급 확대를 위해서는 수소 충전관련 인프라구축과 더불어 수소충전소와 수소전기차간의 수소충전 상거래 계량정확도 확보가 필요하다.

국내 수소충전소에 이송된 수소를 가압 및 단계 저장하여 디스펜서를 통해 수소전기차량에 공급하는 과정은 높은 압력의 변화(700bar)와 과도적인 온도(-40°C ~80°C)의 상태가 수반되기 때문에 기존의 유량측정방식으로는 정확한 유량측정이 어렵다. 현재 디스펜서 내부에는 코리올리스 질량유량계를 사용하고 있으나, 유량계의 신뢰성 확보를 위한 교정이 수소가 아닌 다른 매질(물)로 수소 주입시의 높은 압력이 아닌 상압에서 이루어지고 있다. 수소충전소에서의 수소전기차로의 수소충전 계량정확도를 확보하고, 수소충전소와 수소전기차를 이용하는 소비자들을 보호하기 위한, 상거래 질서 확립을 위해서는 국가측정표준에서 소급된 교정방법으로 실제 수소가 충전되는 고압, 저온의 조건에서 수소충전기내 수소유량계를 교정하는 기술이 필수적이다. 2018년에 개정된 국제법정계량기구(OIML) 규정은 정확도 등급(2, 4)에 따라 수소유량계의 최대허용오차를 1.5% ~ 2.0%로 정하고 있으나, 고압 및 저온의 수소로 수소유량계를 교정할 수 있는 설비는 국내에는 전무하며, 외국 사례(일본, 미국)에서 초기 단계의 연구로 활용되기 시작하였다.

본 연구에서는 국가 유량 측정표준으로부터 소급된 중량식 현장교정방법으로 수소충전소에서 수소전기차로 수소가 주입되는 방식과 동일하게, 시스템내의 수소저장탱크에 고압, 저온조건으로 수소기체를 충전하고, 충전된 수소기체의 질량을 정밀 저울로 측정하여 계량정확도를 검증할 수 있는 KRISS 수소유량 현장교정시스템(KRISS Hydrogen Flow Field Test Standard)을 개발하였다. 국내 지역별 수소충전소에서 수소충전기 내 수유량계의 계량정확도를 평가하기 위한 실증 실험수행하여 국제법정계량기구의 규격 및 기준에 따라 결과를 검증하였다.

사전감지를 목표로 한 대기오염 물질 변화 모니터링 시스템 개발 및 구현

조민선, 조규선*

호서대학교 일반대학원 안전행정공학과

Development and implementation of air pollutant change monitoring system aimed at pre-sensing

Min Sun Cho, Gyn Sun Cho*

Hoseo University

요 약

대기오염물질 총량관리제도 및 대기관리 권역법 시행에 따른 환경규제 강화로 대규모 배출 사업장의 대기오염물질 배출에 대한 관리가 중요해지고 있다. 이에 따라 굴뚝 원격 감시시스템(TMS) 구축하여 상시 변화를 측정하고, 사업장 자체적으로 모니터링 시스템을 설치하여 관리하고 있다. 그러나 환경부의 발표에 따르면, '23년에 대기오염물질 배출 기준 위반으로 행정처분을 받은 사업장은 74개소이며, 2019년부터 2023년까지 5년 평균 배출 기준을 위반한 사업장 또한 89개소로 개선이 필요하다. 따라서 본 연구는 대기오염 물질 배출의 사전예측과 관리를 위한 기술을 개발하는 것을 목적으로 한다. 현재는 굴뚝에서 배출되는 물질의 변동 발생시 사용처에서의 문제인지 처리장치의 문제인지 알 수가 없다. 본 연구는 첫번째 유해화학물질 사용 장비의 사용량 변화 감지를 통해 오염원의 양이나 농도 변화 발생을 사전에 감지하고, 두번째 유해 잔류가스 처리 설비의 연소비, 배기온도 등의 주요 매개변수의 변화를 감시하여 처리 효율을 모니터링하고, 셋째 최종 처리 설비의 성능을 모니터링하여 사용, 처리, 배출 3단계의 변경점을 사전예측하고자 한다. 이를 통해 대기오염물질 배출의 사전예측과 관리가 가능해져, 환경규제 강화에 따른 사업장의 대기오염물질 배출관리에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 지속적인 모니터링을 통해 위험 요소의 변화를 관찰하고 필요한 조치를 취함으로써 사고를 예방하는데 의의가 있다.

※ 본 연구는 2025년 환경부의 자원을 받아 수행되었습니다.

지구온난화 가스인 PFCs 저감을 위한 친환경 화학반응 고정제 연구

정탁교*, 김대성**, 조규선*

*호서대학교 일반대학원 안전행정공학과, **한국세라믹기술원

Research on eco-friendly chemical reaction fixatives to reduce global warming gases PFCs

Tak-kyo Jung*, Dae-sung Kim**, Gyu-sun Cho*

*Safety and Administrative Engineering Hoseo University,

**Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology

요 약

반도체 및 디스플레이 제조 공정 중 식각, 증착 공정에서 주로 사용되는 PFCs(PerFluoro Compounds, 과불화화합물) 가스는 지구온난화 지수가 CO₂에 6,000~25,000배에 달하는 강력한 온실가스이다. 본 연구에서는 이러한 지구온난화 가스의 처리 기술 중 저온에서 PFCs의 분해 및 흡착이 가능하고 처리과정에서 부산물로 생성되는 대기오염물질(HF, NO_x, SO_x 등)의 배출저감에 효과적인 촉매와 흡착제에 관해 시험하였다. PFCs 가스로는 범용적으로 사용되는 CF₄, SF₆, NF₃ 가스를 대상으로 하였으며 반응기 온도는 500~700℃ 수준에서 GHSV 4,000 cm³·g⁻¹·h⁻¹ 공간속도 조건을 적용하여 촉매 및 흡착제의 성능을 비교하였다. 촉매제로는 일반적인 PFCs 분해반응에 가장 널리 사용되는 γ-Al₂O₃를 비롯하여 최근 각광을 받고 있는 FeO, Fe₂O₃ 및 CaCO₃, SrCO₃, fly ash등과 같은 흡착제를 대상으로 실험을 진행하였다. 실험 결과 촉매로서의 분해성능은 γ-Al₂O₃, fly ash, Fe₂O₃ 순으로 우수한 성능을 보였으며, 흡착성능은 CaCO₃와 fly ash가 비교적 우수한 것으로 나타났다. 추가적으로 우수한 성능이 확인된 촉매제와 흡착제를 부분 선별하여 혼합비를 달리한 여러 형태의 혼합 성형제에 대해서도 실험을 진행하였으며 γ-Al₂O₃ + CaCO₃ (4:6비율)의 성형제가 SF₆ 가스 기준 95% 이상의 처리효율을 보였으며 대기오염물질인 HF, NO_x, SO_x 등도 부산물로 생성되지 않음을 확인하였다.

본 연구의 연구결과를 기초로 추가 연구를 통해 촉매제와 흡착제의 혼합 성형 내구성 및 성능 최적화를 진행한다면 상대적으로 저온에서도 효과적인 PFCs 분해·흡착이 가능한 친환경 PFCs 처리시스템 개발이 가능할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 중소벤처기업부의 산학협력기업부설연구소 설치지원사업인 “지구온난화 가스인 PFCs처리를 위한 친환경 저온 화학반응 고정제 시스템 개발(1425053867)”의 기술개발결과임을 밝힙니다.

가스감지 경보기 감지시간에 대한 고찰

홍충렬, 박정남*, 조규선**

호서대학교 일반대학원 안전행정공학과

A Study on the Detection Time of Gas Detection Alarms

Choong Ryeol Hohg, Jung Nam Park*, Gyu Sun Cho**

Hoseo University

요 약

유해·위험물질 취급하는 공장은 유해·위험물질을 분리·이송·저장·취급하고 있는 설비와 장치가 서로 연결된 생산 공정에서 액체나 기체 상태로 독성(Toxic), 반응성(Reactive) 가연성(Flammable)물질 등이 많은 에너지를 가진 상태로 존재하고 있는데 이러한 화학공장에서 유해·위험물질이 누출될 경우 사업장의 근로자 및 인근 주민들에게 피해를 끼칠 수 있으므로 사업장의 유해·위험물질 취급에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 유해·위험물질의 누출사고를 예방하기 위하여 산업안전보건법 및 화학물질 관리법에서는 누출을 초기에 대응할 수 있도록 가스누출감지경보기를 설치하도록 하고 있다. 구체적인 감지시간을 규정한 부분은 “가스누출감지경보기 설치 및 유지보수에 관한 기술 지침(KOSHA Guide P-166-2020)1 6.3 가스감지기의 성능요건 중 (2)항의 인화성 가스감지기는 대기압에서 감지기를 청정공기에 안정화시킨 다음 측정범위의 95~100 %LEL 시험 가스에 갑자기 노출시켜 12초 이내에 60 %LEL을 지시하여야 한다.” 고 규정이 되어 있으며 화학물질관리법에서는 산업안전보건법상 규정을 따르고 있다. 각 법령에서는 가스 누출 감지기에 따른 최소감지 시간만을 규정되어 있으므로 일반적으로 많이 사용되고 있는 인화성가스(프로판가스)로 가스감지기의 감지 측정 시간에 대한 기준을 제안하고자 한다. 유해·위험물질의 누출률(kg/sec)은 e-CA를 사용하였고 이를 가장 대중적인 확산모델링인 ALOHA 5.47을 사용하여 감지시간별 확산범위를 선정함으로써 사업장 근로자 및 인근 주민들에 대한 안전성을 확보하고자 한다.

※ 본 연구는 2025년 환경부의 지원을 받아 수행되었습니다.

초음파 센서 어레이 기반 가스 캐비닛 누출 감지 기술 개발

김정섭, 이선민*, 배수호, 황선길, 신창현*, 김영기

(주)에스엠인스트루먼트, *화학물질안전원

Development of Gas Cabinet Leak Detection Technology Based on Ultrasonic Sensor Array

JUNGSUB KIM, *Sun Min Lee, SOOHO BAE, Seongil Hwang, *Chang-hyun Shin, YOUNGKEY KIM

*SM Instruments inc, *National Institute of Chemical Safety*

반도체 제조 공정에서는 인화성, 독성, 부식성 등의 유해·위험 물질이 다수 사용되며, 특히 건식 식각과 같은 필수 공정 단계에서는 염소(Cl_2), 삼염화붕소(BCl_3) 등 치명적인 독성 가스 및 암모니아(NH_3), 실란(SiH_4) 등 폭발성 고압가스가 광범위하게 사용된다. 이러한 가스는 일반적으로 가스 캐비닛 내부에 보관되고 있다. 현재 가스 누출 탐지를 위해 흡입식 전기화학 감지기가 주로 사용되고 있으나, 흡입 시간, 전기화학반응에 소요되는 시간, 간섭현상 등의 이유로 누출 탐지에 10~30초, 특정 가스는 최대 60초까지 시간이 소요되어 경보발생에 지연이 발생하며, 이는 심각한 안전 문제를 초래할 수 있다. 또한 새로운 화학물질을 사용할 때 특성 물질에 맞는 새로운 가스 감지기를 개발해야 하는 부담도 있다.

본 연구에서는 고압가스가 누출될 때 발생하는 초음파를 통해 간섭현상 없이 신속하게 탐지하고 가스종류에 무관한 범용적으로 누출을 감지할 수 있는 방식을 제안하였다. 고압의 가스가 외부의 저압 환경으로 누출될 때, 빠른 기체 이동으로 인해 공기와의 마찰이 발생하고, 그 과정에서 난류 및 다양한 크기의 와류가 생성되며, 이로부터 사람이 듣지 못하는 20kHz 이상의 초음파가 발생한다. 초음파를 이용하여 누출을 감지하기 위해 여러 개의 초음파 센서로 음파를 측정하고 빔포밍 기법을 적용하여 가스 누출 외의 배경소음 영향을 최소화하여 헛팅 없이 신속하게 (0.5초 이내) 가스 누출을 감지할 수 있다. 이를 위해 다중 마이크로폰 어레이를 활용한 빔포밍 기술을 적용하고, 마이크로폰 개수에 따른 노이즈 저감 효과를 실험적으로 분석하였다. 실험 결과, 빔포밍을 통해 배경 소음의 영향을 줄이면서 미세한 누출까지 신속, 정확하게 감지할 수 있음을 확인하였다.

신기술 적용 공정의 안전성 향상을 위한 사전 위험성 검토 체계 도입 필요성 연구

김보경, 성화경, 박중돈, 신창현
환경부 화학물질안전원 사고예방심사2과

A Study on the Need for a Pre-Design Risk Assessment System to Enhance Safety in Chemical Processes Applying New Technologies

Bokyeong Kim, Hwa Kyung Seong, Joong Don Park, Shin, Chang-Hyun
Ministry of environment, National Institute of Chemical Safety

요 약

유해화학물질을 취급하는 기업은 「화학물질관리법」, 「위험물안전관리법」, 「고압가스안전관리법」, 「산업안전보건법」 등 다양한 법령에 따라 시설 기준을 준수하고, 사고 예방을 위한 여러 제도적 활동을 수행하고 있다. 그러나 현재의 제도 내에서는 신규 사업장(공정)이 설치되는 경우, 설치검사 개시일로부터 60일 전 또는 착공일 30일 전에 각 법률에 따라 안전성이 검토되고 있어 전문기관 및 다양한 분야의 전문가들에 의해 개선 사항이 제안되더라도 실제 설계에 이를 반영하는 데 한계가 존재한다. 이러한 제도적 제한은 사고 예방의 실효성을 저해할 수 있으며, 사전 예방 중심의 안전관리체계를 구축하는 데 어려움을 야기한다.

특히 이차전지분야 등 신공정(기술)을 적용하는 시설의 경우, 외국의 기술을 유입하여 국내 시설 기준에 맞춰 변경하는 과정 등에서 예상하지 못한 위험성이 발생할 확률이 높아, 국내외 유사사례와 비교 평가 하는 등 다양한 시각에서의 위험성 검토가 필요하다. 또한, 신사업 특성 상 착공 전 설계를 완료하기 어렵고 수시로 설계변경이 이루어지는 만큼 검토 시기도 설계 진행 단계를 고려하여 정해질 필요가 있다.

본 연구는 이러한 제도적 제한점을 보완하기 위해, 설계 초기 단계 또는 완료 이전에 전문기관이 공정위험성에 대한 평가에 참여될 수 있도록 진행한 기술지원 사업의 방법과 그 효과를 공유하여 공정 위험성 사전 검토 체계 도입의 필요성을 제안하고자 한다.

반도체 공정가스의 특성별 살수설비 저감 효율 고찰

정종민, 손덕영, 이근원*, 정승호*

아주대학교 대학원 환경공학과, *아주대학교 환경안전공학과

Investigation of the Reduction Efficiency of Water Spray Equipment According to the Characteristics of Semiconductor Process Gases

Jongmin Jeong, Deokyoung Sohn, Keunwon Lee*, Seungho Jung*

Department of Environmental Engineering, Ajou University

**Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University*

요 약

반도체 제조공정은 총 8개의 주요 단계로 구성되며, 각 공정에서는 특성별로 다양한 고순도 및 특수가스가 사용된다. 이러한 반도체 공정가스를 공급하는 대표적인 시스템이 가스 캐비닛이며, 캐비닛 내 고압의 가스 실린더에서 누출 발생 시 인체 및 주변 환경에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 이러한 위험을 방지하기 위해 누출된 가스를 배기덕트를 통해 이송하고 살수설비를 활용하여 처리하고 있으나, 살수설비의 특성별 적정성 입증은 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 가스 특성별 대표 물질인 암모니아(수용성), 이산화탄소(비수용성), 사염화규소(물반응성)를 선정하여 실험실 규모의 모사 실험을 수행하였다. 살수설비는 스크러버와 방호수막으로 선정하였으며, 각 실험체는 실제 사업장의 배기 환경 및 설비 사양을 반영하여 제작하였다. 이후 각 살수설비의 전·후단에 농도 센서를 설치하여 가스 농도 저감 효율을 정량적으로 분석하였다. 실험 결과, 스크러버의 농도 저감 효율은 암모니아 및 사염화규소 모두에서 98.3% 이상으로 매우 우수한 것으로 나타났으며, 방호수막의 경우 암모니아는 97.3%, 사염화규소는 86.7%의 높은 효율을 보였다. 반면, 비수용성인 이산화탄소는 두 설비 모두에서 농도 저감 효과가 나타나지 않았다.

이상의 연구 결과는 반도체 공정에서 사용되는 가스의 특성에 따른 살수설비의 적정성과 저감 효율을 실험적으로 입증한 것으로, 향후 반도체 산업 현장에서 효과적인 위험관리 체계 구축과 안전설비의 설계 및 운용 기준 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

* 본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 화학사고 예측·예방 고도화 기술개발사업의 지원(RS-2023-00218759, 1485019604)과 산업통상자원부의 일부 재원으로 한국산업기술진흥원의 산업혁신 인재성장 지원사업의 지원을 받아 수행되었습니다.(P0012787, 2410007480)

제지공장 백수의 사용구조별 황화수소 발생 비교 분석
-제지공장 A사업장 중심으로-

김대호, 조규선

호서대학교 일반대학원 안전행정공학과

Comparative Analysis of H₂S by White Water Usage Structures in Paper Mills
-Focusing on Paper Mill A-

Dae ho Kim, Gyu sun Cho

Hoseo University

요 약

밀폐공간은 사고 발생 가능성에 비해 치명도가 매우 높은 작업환경으로, 황화수소(H₂S)와 같은 유해가스가 발생할 경우 단시간 내 중대재해로 이어질 수 있다. 특히 제지공장에서 사용되는 백수(White water)는 청수를 재활용한 공정용수로, 유기물과 무기물이 다량 포함되어 있어 황산염 환원균의 활동을 촉진시켜 황화수소 발생의 주요 요인으로 작용한다. 그러나 현장 근로자들은 백수 사용 공간에서의 질식 위험을 단순한 냄새 발생으로 인식하는 경향이 강해 실제 위험성에 대한 경각심이 낮은 실정이다. 이는 ‘화학물질 및 물리적 인자의 노출기준’(노동부 고시)에서도 최고노출기준(C)이 적용되는 유해인자가 아니며, ‘KOSHA GUIDE(H-117-2019) 황화수소 취급근로자의 중독예방 및 응급대응 지침’에서도 노출수준에 따른 사업장 내 구역의 구분은 규정하고 있으나 그 농도가 치명적인 수준으로 높으므로 이에대한 사업장 내부의 지침수립이 별도로 필요하다.

본 연구는 A 제지공장을 대상으로 밀폐공간 내 황화수소의 방출 특성을 사용구조별(완전 개방형, 부분 개방형, 완전 밀폐형)로 비교군 형성하여 시간 흐름에 따라 분석하고, ‘거품효과(Soda can effect)’가 유발되는 시간을 일반화 시켜서 규명하고자 하였다. 특히 백수를 사용하는 공간내에서 교반기 가동 전·중·후 시점에 따라 황화수소의 방출량과 방출 속도 곡선을 비교 분석함으로써 위험 농도가 급증하는 구간(거품효과)을 도출하여 사용구조별로 향후 밀폐공간 질식사고 예방을 위한 안전가이드라인 수립 활용을 목표로 한다.

※ 본 연구는 환경부 주관 2025년도 「화학물질 안전관리 특성화대학원」 사업을 통한 성과물임을 밝힙니다.

LCA를 활용한 음료 용기(폴리에틸렌 테레프탈레이트)의 환경영향 평가

노경희, 이영진*, 조규선

호서대학교 일반대학원 안전행정공학과, *건국대학교 신소재공학과

Environmental Assessment of Beverage Containers (Polyeth-ylene Terephthalate) Using LCA

Noh Kyoung Hee, Yong-jin Lee*, Cho Guy Sun

Hoseo University, *Department of New Materials Engineering, Konkuk University,

요 약

현재 플라스틱으로 인한 환경오염 문제를 해결하기 위해 다양한 환경 규제가 확대되고 강화되고 있다. 이에 따라 플라스틱을 사용하는 제품에 대한 환경영향 평가와 탄소배출 저감 활동이 더욱 활발해지고 있지만, 이를 뒷받침할 연구 결과는 아직 부족한 실정이다. 기업들은 플라스틱 사용으로 인한 환경 영향을 줄이기 위한 다양한 활동을 추진하고 있으며, 이러한 활동은 LCA (전과정평가)와 EPD (환경성적표지)를 통해 평가되고 환경 정보가 공개되고 있다. 그러나 환경 성능을 도출하는 기준은 대륙별로 상이하다. 이에 본 연구는 생수를 대상으로 용기 소재로 사용되는 PET에 재활용 플라스틱을 적용했을 때와 라벨 사용 여부에 따른 환경 성능 결과를 비교하였다. 또한, 한국과 유럽의 방법론을 적용하여 탄소배출량의 차이를 비교하였다.

Abstract: Currently, various environmental regulations are being expanded and strengthened to solve the environmental pollution problem caused by plastics. Therefore, environmental impact assessment and carbon emission reduction activities for products using plastics are becoming more widespread, but research results to support this are insufficient. Companies are promoting various activities to reduce the environmental impact caused by plastic use, and environmental information is disclosed through LCA(Life Cycle Assessment) and EPD (Environmental Product Declaration) to evaluate the activities, but the standards for deriving environmental performance differ by continent. Therefore, this study selected bottled water and compared the results of environmental performance in terms of the application of recycled plastic to PET used as a container material and the use of labels. In addition, carbon emissions were compared when applying the Korean and European methodologies.

Keywords : Bottled water; EPD; LCA; Carbon footprint; Environmental Impact; rPET

※ 본 연구는 환경부 주관 2025년도 「화학물질 안전관리 특성화대학원」 사업을 통한 성과물임을 밝힙니다.

수소튜브트레일러 실시간 질량 측정 시스템 개발

윤주영, 김영운, 윤석문, 김호준
두산에너지빌리티

Development of real-time mass measurement system for hydrogen tube trailer

Juyoung Youn, Youngwoon Kim, Seockmoon Kim, Hyojun Kim
Doosan Enerbility

요 약

개질공정이나 수전해 공정을 통해 생산된 수소는 200 barg로 압축한 후 Type 1의 수소 튜브트레일러에 저장하여 출하기지 또는 수소 충전소로 운송된다. 국내 수소 상거래 시, 대부분 질량 유량계를 통해 측정된 수소 질량을 적산하여 정산하는 방식이 대부분이지만, 수소 질량 유량계의 정확성 및 계량 표준화 등의 문제로 생산자와 수요자간 분쟁이 발생할 우려가 있다. 전통적으로 주로 사용되는 PVT 상태방정식을 이용한 수소 질량 측정 방식은 온도에 따른 수소 밀도의 변화가 극심한데 비해 저장되어 있는 수소 가스의 온도 측정이 이루어지지 못해 정확한 질량 측정이 어려운 한계를 가지고 있다.

본 발표에서는 두산에너지빌리티의 수소 튜브트레일러의 실시간 원격 감시 시스템 개발에 있어 수소 거래 정산 시 기준으로 삼을 수 있는 수소 질량 측정 방법에 대해 소개하고자 한다. 이 시스템은 수소튜브트레일러에 장착된 GPS 센서를 통한 실시간 위치 정보와 함께 온도 센서 및 디지털 압력 센서를 통해 계측된 온도 및 압력 정보를 무선 통신 시스템을 통해 서버로 전송하는 기능을 구현하고, 수소 튜브트레일러에 저장되어 있는 수소 가스의 온도 예측을 통해 수소의 밀도 보정 및 수소의 질량을 실시간 계산하도록 하였다.

K_{IH} 와 da/dN 으로부터 한계사용횟수(N) 계산시 적분 방법에 따른 오류 분석

김정환, 이화영, 오정석
한국가스안전공사 가스안전연구원

Impact of Numerical Integration Schemes on Fatigue Life Assessment Using K_{IH} and Crack Growth Rate (da/dN)

Jeong Hwan Kim, Hwa-Young Lee, Jeong-Seok Oh
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

요 약

수소 압력용기의 피로 수명(N) 예측은 일반적으로 균열성장률 모델 $da/dN = C(\Delta K)^m$ 과 수소취성 임계응력강도계수 K_{IH} 를 활용하여 수행되며, $K_{MAX} \leq K_{IH}$ 조건하에 $dN/da = 1/C(\Delta K)^m$ 를 수치적으로 적분하여 산정한다. 본 연구는 일본 JSW에서 관찰된 사례에서 출발하였다. 당시 Excel 기반의 순차적 계산에서 전진 오일러 방식(Forward Euler)을 사용하여, $a_{n+1} = a_n + \Delta N \cdot C(\Delta K_n)^m$ 형태로 반복 계산이 수행되었으며, $K_{MAX} \leq K_{IH}$ 조건에서 피로 수명이 예측되었다. 그러나 계산량을 줄이기 위해 $\Delta N=5,000$ 과 같은 큰 보폭(step size)을 적용한 결과, 정상적인 세분화 계산 대비 최대 1.5배까지 과도한 수명 예측 결과가 도출되었다. 이는 피로 수명 기반의 안전관리 및 재검사 주기 산정에 중대한 영향을 미칠 수 있으며, 실무 적용 시 과소평가된 위험요소로 작용할 수 있다. 이에 본 연구에서는 총 4가지 적분 방법을 비교 분석하였다.

- (i) 전진 오일러 방식,
- (ii) 역함수 dN/da 기반 중간점 방식
- (iii) 그래프 면적 적분 방식 (Origin 기반),
- (iv) Taylor 급수를 활용한 수치 근사 방식

이들 방식에 대해 동일한 피로 조건에서 비교한 결과, 중간점 방식과 Taylor 근사 방식이 수명 과대평가를 효과적으로 억제함을 확인하였으며, 적분 방식의 선택이 예측 정확도에 큰 영향을 미친다는 점을 강조하였다. 본 연구는 수소환경에서의 피로 수명 평가 시 적절한 수치적분 전략의 선택이 중요함을 실무적으로 제시한다.

극저온 저장 탱크의 BOR 성능 시험 방법 연구

전수성, 최근철, 이장원, 고성진, 신득규, 김동진, 심규은
한국조선해양기자재연구원

A Study on BOR performance test method of cryogenic fluid storage tank

Soosung Jeon, Geunchul Choi, Jangwon Lee, Seongjin Ko, Deukgyu Shin, Dongjin Kim,
Kyueun Shim
Korea Marine Equipment Research Institute

요 약

IMO의 MEPC 제80차 회의에서 2050년 해운 분야 탄소 배출 감축 목표를 기존 2008년 대비 50%에서 100%로 상향하는 초기전략 개정이 가결되었다. 이에따라 선박의 탄소배출 저감을 위해 저탄소, 무탄소 연료에 대한 관심이 높아지고 있다. 선박의 친환경 연료로 LNG, LPG, 수소, 메탄올, 암모니아등이 있으며, 극저온 영역에는 LNG와 액화수소가 해당 된다.

LNG 및 액화수소는 -163℃/-253℃로 냉각해서 액화시키면 가스와 비교해 약 1/600, 1/800 정도의 부피를 가지게 되어 매우 효율적으로 이송이 가능하다. 이러한 극저온 유체를 운송하기 위해서는 저장탱크 내부를 상압에서 약 -163℃/-253℃의 극저온 상태로 유지해야 하는데, 외부로부터 저장탱크로 유입되는 열을 100% 차단할 수 없기 때문에 운송 중에 저장탱크 내에서는 지속적으로 유체가 자연 기화되면서 증발가스(Boil-Off Gas, BOG)가 발생한다. 운송 효율을 높이기 위해서는 BOG 발생량을 관리하는게 필수적이며, 관련 기술 개발이 이루어지고 있다. BOG 발생량을 예측하여 관리하는 기술은 실험적 연구가 필요하지만, 실제 유체를 사용한 실험은 아직 이루어지지않고 있다.

한국조선해양기자재연구원에서는 극저온용 기자재에 대해 실제 선박 운영 상황(실제 유체 사용 및 선박 운동 구현)을 반영하여 성능시험 평가를 수행할 수 있는 장비를 운영중에있다. 본 논문에서는 극저온 시험 설비와 선박운동모사장비를 활용하여 실제 유체에대한 BOR 예측 시험 방법에 대한 연구 내용을 기술하였다.

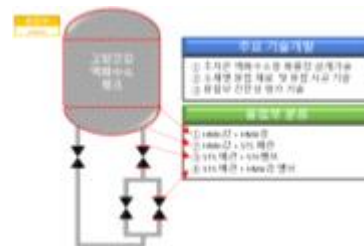


그림 1. 극저온 저장 탱크의 BOR 성능 시험 개념도

수소 전소/혼소용 보일러 연소기의 국산화를 위한 안전성 평가 및 안전기준 개발 연구

이화영, 조영광, 신현국, 오정석
한국가스안전공사 가스안전연구원

A Study on Safety Assessment and Development of Safety Standards for Domestic Production of Hydrogen Combustion Boiler Combustor

HWA YOUNG LEE, YOUNG-KWANG JO, HYUN-GOOK SHIN, JEONG SEOK OH
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

요 약

탄소중립 실현을 위한 에너지 전환이 전 세계적으로 가속화됨에 따라, 청정에너지인 수소의 활용이 주목받고 있다. 특히, 건물 및 산업부문의 열수요를 대응할 수 있는 수소 보일러는 기존 화석연료 기반 보일러를 대체할 수 있는 중요한 수단으로 부상하고 있다. 우리나라도 탄소중립 실현을 위해 수소경제이행계획 등의 정책을 시행 중이며, 수소도시 조성 및 수소 혼입 도시가스 실증 사업 등을 통해 수소 보일러의 도입 기반을 마련 중이다. 유럽과 일본 등에서는 수소 100% 전용 보일러 및 수소-천연가스 혼소 보일러 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 유럽의 BDR Thermea는 2020년 영국에서 100% 수소 보일러의 실증 프로젝트를 진행하여 수소 보일러가 기존의 천연가스 보일러와 동일한 성능을 발휘하면서, 탄소 배출 제로화를 달성할 수 있음을 증명하였다. 또한, 일본의 가와사키는 2015년 수소 전소 보일러 개발을 시작으로 2020년에는 수소 혼소 가스터빈 개발에 성공하였다.

이처럼 국제적으로 활발한 기술개발에 대응하기 위해 국내에서도 수소 보일러용 연소기 개발이 필요한 상황이다. 하지만 수소 보일러가 실제 시장에 보급되기 위해서는 무엇보다도 안전성 확보가 선행되어야 한다. 수소는 낮은 점화에너지, 높은 확산성 등의 특성으로 인해 사고 발생위험이 높으며, 연소 안정성과 누출 위험으로부터 대비가 필요하다. 이에 본 연구에서는 수소 보일러의 사고 예방을 위한 안전 요소를 도출하고, 이를 기반으로 연소기 설계, 누출 감지 및 차단 시스템, 설치환경 조건, 제도적 안전 확보 방안 등을 중심으로 종합적인 분석을 수행하였으며, 본 연구 결과는 향후 수소 보일러의 상용화 및 국내 안전기준 마련에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물·대기환경산업 경쟁력 강화를 위한 핵심 기자재 국산화 기술 개발 사업의 지원을 받아 연구되었습니다.
(RS-2023-00219971)

수소 충전소용 Type I 용기의 수소취성 측정 연구

[†]백운봉, 박재영, 배경오
한국표준과학연구원

A Study on Hydrogen Embrittlement Sensitivity Index to Evaluate Hydrogen Compatibility

Un Bong Baek, Jaeyeong Park, Kyung-Oh Bae

Hydrogen Energy Group, Korea Research Institute of Standard and Science (KRISS), Daejeon, 34113, Rep. of Korea

요 약

수소의 영향을 받은 금속 재료의 역학적 특성(mechanical property)을 평가하기 위해 다양한 방법론이 사용되고 있다. 그 중에서 가장 널리 알려져 있는 기법은 매우 느린 변형률속도(strain-rate)에서 수행되는 일축 인장(uniaxial tensile) 시험이며, 일반적으로 저속 변형률속도 인장(slow strain-rate tensile, SSRT) 시험이다⁽¹⁾. 시험편의 크기가 부피 제약으로 제한되는 상황에서 미소 시험편(miniaturized specimen)을 사용하여 수소 적합성(hydrogen compatibility)을 평가하는 것이 주목 받고 있다. 그 중에서 주목할만한 한가지 방법은 얇은 디스크를 사용하는 소형편치(small punch, SP) 시험으로, 재료의 특성 저하(degradation)를 평가하는 데 매우 유망하고 효과적인 것으로 간주된다⁽²⁾. 또 다른 방법으로는 디스크 압력 파열(disc pressure rupture) 시험이 있는데, SP 시험편과 유사한 얇은 판(plate) 시험편을 사용한다⁽³⁾. 이러한 시험법의 가장 큰 장점은 시험 크기인 구조 건전성(structural integrity)에 손상을 주지 않고 구조 요소(structural component)로부터 시험 샘플을 얻을 수 있다는 것이다. 그러나 두 가지 방법 모두 수소 감수성(susceptibility)을 평가하는 방법론이 다르다. 또한 구조용 재료의 수소 적합성을 평가하거나 수소에 노출된 구조 요소의 구조 건전성을 평가하기 위해, 미소 시험편 결과에만 의존하는 것은 매우 보수적일 수 있다⁽⁴⁾. 따라서 이러한 시험법은 재료의 역학적 특성을 신속하게 평가하거나 선정(selection)하기 위한 스크리닝 기법으로 사용될 수 있지만, SP 시험 또는 디스크 파열시험 결과의 해석에는 면밀한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 앞서 언급한 다양한 기법을 사용하여 Cr-Mo 강에 대한 수소 적합성 평가를 수행하였고, 각 시험으로부터 얻은 결과로부터 수소취화 민감도 지수(HE sensitivity index)를 도출하여 비교 분석하였다.

Keywords: Cr-Mo steel (Co-Mo강), Hydrogen embrittlement (수소취성), Slow strain-rate tensile (저속 변형률속도 인장), Small punch (소형편치), Disc pressure rupture (디스크 압력 파열), Hydrogen compatibility (수소 적합성), Hydrogen embrittlement sensitivity index (수소취화 민감도 지수)

후 기

This research was supported by Development of Reliability Measurement Technology for Hydrogen Refueling Station funded by Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS - 2024 - GP2024-0010).

참고문헌

- (1) ASTM G142-98, 2011, “Standard Test Method for Determination of Susceptibility of Metals to Embrittlement in Hydrogen Containing Environments at High Pressure, High Temperature, or Both,” ASTM International.
 - (2) CEN Workshop Agreement CWA 15627, 2007, “Small Punch Test Method for Metallic Materials - Part B: A Code of Practice for Small Punch Testing for Tensile and Fracture Behaviour,” Comite Europeen de Normalisation (CEN; European Committee for Standardization).
 - (3) ISO 11114-4, 2005, “Transportable Gas Cylinders - Compatibility of Cylinder and Valve Materials with Gas Contents, Part 4: Test Methods for Selecting Metallic Materials Resistant to Hydrogen Embrittlement,” British Standards Institution, London.
 - (4) Nguyen, T. T., Park, J. S., Kim, W. S., Nahm, S. H., and Beak, U. B., 2020, “Environment Hydrogen Embrittlement of Pipeline Steel X70 under Various Gas Mixture Conditions with In-situ Small Punch Tests,” *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 781, pp. 139114.
-
-

† Kyung-Oh Bae, bae-ko@kriss.re.kr

한국형 수소 혼입 도시가스의 호환지수를 이용한 한계가스 도출에 관한 연구

박태준*, 박영준*, 이창언**
*인하대학교 대학원 기계공학과
**인하대학교 기계공학과

A Study on Determining Limit Gases Using the Interchangeability Index for Korean Hydrogen Mixed Natural Gas

Tae-joon Park*, Young-joon Park*, Chang-Eon Lee**
*Graduate School of Mechanical Engineering, Inha University
**Dept. Mechanical Engineering, Inha University

요 약

최근 전세계적으로 탄소 배출 저감 정책의 일환으로 화석연료 사용을 줄이고 친환경 에너지로의 전환을 확대하고 있는 추세이다. 수소 연료는 기존의 화석연료와 달리 지구온난화의 주범으로 인식되고 있는 이산화탄소를 발생시키지 않기 때문에 친환경 연료로 주목받고 있다. 최근 한국에서도 도시가스 수소 20% 혼입 상용화라는 목표를 실현하기 위해 NG 라인에 수소를 혼합하여 공급하기 위한 NG-H₂ 연료의 호환성 판정법 개발 및 검증 연구가 수행되고 있다.

국내 도시가스 기기의 안전성 기준은 KS B 8101 연소기기 시험법에 제시한 한계 가스들에서도 안정한 화염이 생성되는가를 기준으로 하고 있다. 이 한계성 가스는 1, 2, 3번 가스로 정의하는데 각각 불안전 연소, 역화 부상 한계가스를 의미한다. 또한 R가스는 국내 도시가스의 표준 조성을 의미하며 성능을 시험하는 가스로 규정하고 있다. 이 안전성 기준은 2011년에 수행한 “가정용/업소용 연소기기 호환성 판정법 개발 및 KS B 8101 연소기기 시험가스 개정안” 연구를 기반으로 제정된 것이다.

본 연구는 수소 20% 혼입 도시가스를 대상으로 이전 연구를 활용하여 한계성 가스(안)을 도출하는 것이다. 한계성 가스는 2011년에 수행된 시험가스 개정안 연구의 원칙들을 분석하여 SG-WI Diagram을 이용하여 도출하였다. 도출된 한계성 가스는 아직 수소 20% 혼입 전용 도시가스 기기가 없어 국내 KS 기준과 유사한 AGA 호환지수를 이용하여 검증하였으며, 역화 한계가스는 기존 R가스와 역화가스의 연소속도 비율과 같도록 도출되었다.

후 기

이 논문은 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. (RS-2023-00237341, 주택용/산업용 연소기·가스기기 연소성능 안전성 검증 및 안전기술 개발)

액체수소 저장탱크의 충전 비율별 가압 특성 해석 및 최적화 연구

이성우 · 김영훈 · 최성웅*

경상국립대학교

요 약

석탄, 석유 등 화석연료의 연소 과정에서는 이산화탄소, 아황산가스, 질소산화물, 미세먼지와 같은 공해물질이 발생한다. 특히 석탄 연소 시 발생하는 CO₂ 는 전체 화석연료 배출량의 40% 이상을 차지하며, 1톤당 약 2.86톤의 CO₂ 가 생성된다. 이로 인해 산업혁명 이후 대기 중 CO₂ 농도는 급증했으며, 지구 평균기온 상승과 빈번해진 폭염, 가뭄, 집중호우 등 기후변화의 주요 원인으로 작용하고 있다. 이에 기후변화를 극복하기 위해 화석연료 대신 수소 같은 청정에너지 사용을 모색하고 있다. 수소는 친환경적이고 지속 가능한 에너지원으로, 현대 에너지 시스템에서 주목받는 중요한 자원이다. 수소에너지는 연소 시 물만 배출하는 친환경 특성으로 기후위기 대응 핵심 기술로 주목받고 있다. 특히 기체 수소를 20K(-253℃)로 액화하여 얻을 수 있는 액체수소는 20K에서 기체 대비 부피를 1/800로 축소시켜 저장·운송 효율을 7배 이상 향상시킬 수 있다. 하지만 액화 상태로 수소를 저장 시, 열 침입에 의해 탱크 내에서 BOG(Boil-Off Gas)가 발생하고 내부 압력 증가로 이어지며 기술적 난제인 상황이다. BOG는 저장탱크 내 열유입으로 인해 시간당 0.3~0.5%의 수소가 기화하면서 발생하며, 이로 인한 내부 압력상승은 저장용기 파손 위험과 에너지 손실을 초래한다. 본 연구에서는 액체수소 저장 탱크 내 액체질소의 충전 비율에 따라 발생하는 자체 가압 현상을 분석하고, 이를 바탕으로 열전달 효율을 향상시킬 수 있는 방안을 모색하였다. 가압 현상의 열전달 과정을 해석하기 위해 수치 해석 프로그램을 활용하여 가압 현상 열전달 모델을 구축하였으며, 350L 용량의 액체수소 저장 용기를 사용하여 액체질소 충전 비율(30%, 50%, 90%)별 실험을 진행하고 그 결과를 시뮬레이션 결과와 비교·검증하였다. 이러한 연구 결과는 앞으로 액체수소 저장 용기의 실험적 설계 및 운용에 필요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글: 본 연구는 2024년도 소재부품기술개발사업(RS-2024-00443505)의 재원으로 한국 산업기술기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구되었음에 감사드립니다.

고정형 LH2 저장탱크의 BOR 성능에 미치는 단열특성 분석

오세진, 이창열, 심정연, 한정옥
에이블맥스(주)

Analysis of Insulation Characteristics on BOR Performance of Fixed LH2 Storage Tanks

Oh SeJin, Lee ChangYeol, Shim JeongYeon, Han JeongOk
ableMAX Ltd.

요 약

-253°C라는 극저온 상태의 액체 수소를 안정적으로 저장하기 위해 필수적으로 요구되는 성능은 바로 단열특성이다. 아직 수소 사용이 활성화되지 않은 상황에서 액화수소에 관심을 가지는 이유는 에너지 밀도에 있다. 고 에너지 밀도의 특성으로 수송용 에너지에 적합하며 특히 모빌리티 에너지원으로 기대가 큰 것이 사실이다. 그러나, 열흐름을 완벽하게 차단하기는 한계가 있으며 고효율 단열방법에 대한 기술적 진보가 지속적으로 이루어지고 있다.

현재 가장 많이 접근하고 있는 단열방법으로 고진공 다층단열(MLI, multi layer insulation) 기술이며 MLI와 진공단열의 조합을 통해 대류와 복사 열전달을 최소화하는 기술이다. 또한 외조와 내조를 연결하는 구조 지지체(support)의 열전도를 최소화하는 설계 기술이 구조의 강건성과 더불어 중요한 핵심 기술이다.

액화수소(LH2)를 저장하는 탱크의 경우 고정형과 이동형으로 나눌 수 있으며 이들 모두 요구되는 기준을 충족하기 위한 기술개발이 활발한 상황이다. 개발 단계나 성능 개선 시 유용한 수단으로 단열 방법에 따른 증발률(BOR, boil off rate) 해석 기술은 또 다른 기술적 접근이며 극저온 유체 특성상 실험을 통한 접근이 용이하지 않은 현실을 고려하면 매우 효과적인 방법이다. 현재 단열특성을 반영하여 BOR을 예측할 수 있는 툴로 ANSYS사의 Thermal Desktop이 있으며 상변화(phase change)가 수반되는 탱크에서 다양한 단열조건에 대한 성능 해석이 가능하다.

본 연구에서는 6m³ 및 60m³급 고정형 액화수소 저장탱크에서 진공도, MLI 및 구조 지지체 및 단열구조에 대한 상세한 조건이 없는 경우 단열특성변수를 도입하여 외부 환경조건과 탱크 타입에 따른 BOR 특성을 파악할 수 있는 방법을 적용하여 탱크 내조에 유입되는 열유입량(heat rate)과 단열특성 변수 및 BOR 과의 관계를 도출하였다. 이 결과를 통해 두 탱크에 대해 BOR 기준을 충족하기 위한 열유입량 한계를 제시하였다. 또한 탱크의 BOR 산출 방법과 고려사항에 대한 시사점을 도출하였다.

탱크내부에서 발생하는 BOG를 예측하기 위해 Thermal Desktop 6.3을 사용하여 액면에서 발생하는 응축과 증발 현상을 반영하고 단열특성변수를 사용하여 열유입 특성을 고려하였다. 가스 상태 방정식은 Leachman, J.W. 모델을 사용하였고 상변화에 따른 물성치는 NIST 자료인 REFPROP를 사용하였다.

radXiFoam v2. 0을 이용한 수소충전소 수소폭발 가상사고 시 방호벽 높이 변화에 의한 피해저감 효과 평가

강형석¹, 이현우², 유철희²

1 한국원자력연구원 지능형사고대응연구부
2한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터

An Evaluation for the Effects of a Variation of Barrier Height during a Vapor Cloud Explosion in a Hydrogen Refueling Station Using the radXiFoam v2. 0 code

Hyung-Seok Kang¹ , Hyeonu Lee², Chul-Hee Yu²

1 Intelligent Accident Mitigation Research Division, KAERI
1 Energy Safety Empirical Research Center, KGS

요약

수소에너지의 안전한 사용을 위해서 “ 수소충전소 화재폭발 시 피해저감을 위한 방호벽 설계기술 및 안전기준 개발” 연구가 산업통상자원부의 후원과 한국가스안전공사(KGS) 에너지안전실증연구센터의 주도로 진행되었다. 본 연구과제의 최종결과 중 의 하나로 수소충전소에서 발생할 수 있는 수소증기운 폭발사고 시 방호벽에 의한 피해저감 효과를 3차원으로 해석할 수 있는 radXiFoam v2. 0 코드가 오픈소스 OpenFOAM- v21.1.2 기반으로 개발되었다. 본 코드를 사용하여 KGS가 수행한 수소- 공기 혼합가스 화재폭발 시험을 포함하여 총 3개의 국내외 소/중/대 규모 실증시험의 측정 데이터에 대해 검증해석을 수행하여 수소증기운 폭발 시 방호벽에 의한 피해저감 효과를 약 ± 30% 오차 내로 예측할 수 있는 해석방법론이 제시되었다. 개발된 radXiFoam v2. 0 코드와 해석방법론을 사용해서 수소충전소에서 누출사고로 인해서 수소 17 kg이 대기 중에서 폭발한 경우를 가정하여 설치된 방호벽 높이가 5 m, 7 m 로 변화할 때 방호벽 후단에서부터 거리 17 m까지 폭풍파(Blast Wave) 전파에 의해서 과압(Overpressure) 의 변화 정도를 평가해 보았다. 또한 폭풍파가 방호벽이 설치 된 방향과 설치되지 않은 방향으로 각각 전파해 나갈 때 거리에 따른 과압의 변화 정도를 서로 비교하여 방호벽 설치여부 및 높이 변화 영향에 대해서 평가해 보았다. 평가결과에 의하면, 방호벽 높이 7 m 일 때의 과압 감소 효과가 방호벽 높이 5 m에 비해서 약 20- 40% 증가하였다. 방호벽 높이 5 m 일 때 과압이 감소되는 정도는 방호벽이 설치되지 않은 경우에 비해서 약 53- 72% 이었다. 이와 같이 수행된 평가 결과는 본 연구과제의 최종결과인 KGS 기준 개정의 참고자료로 활용될 계획이다.

본 연구는 한국에너지기술평가원의 연구비 지원으로 수행되었습니다 (예기평 과제번호: 2021 581 01 00020, RS- 2024- 00432233) .

석유 메이저 기업들의 전략 조정

이슬비

한국가스공사 경제경영연구소

The Recalibration of Oil Major's strategy

Seulbee Lee

KOGAS, Research Institute of Economics & Management

요 약

전 세계적으로 기후변화 대응에 대한 공감대가 형성되면서 각국 정부는 탄소중립 정책을 수립했다. 이러한 추세에 발맞춰 화석연료 사업을 주력하던 석유 메이저들 또한 핵심 전략을 탈탄소로 설정하고 2050년~2060년 탄소중립 달성을 선언했다. 하지만 러시아-우크라이나 전쟁에서 비롯한 공급 우려로 인해 에너지 안보가 주요 화두로 떠오르게 되고 대외 환경 여건의 불확실성까지 확대됨에 따라 에너지 전환 속도 조절론이 제기되었다.

기업들을 둘러싼 환경이 나날이 급변함에 따라 일관된 전략 추진이 어려운 상황이다. 특히 석유 메이저들은 각국 정부로부터 상류부문 투자 확대 및 증산을 요구받고 있어 시장에서는 이들이 기존 탈탄소 전략을 둔 채 어떻게 대응하는지 주목하고 있다. 석유 메이저들은 대외 환경 변화에 따라 상류부문에 다시 집중하는 한편 저탄소부문을 축소하는 방식으로 전략을 조정하고 있다. 그 중에서도 LNG를 포함한 천연가스의 경우 유럽계 메이저를 중심으로 에너지안보와 에너지 전환이라는 두 마리 토끼를 잡는 차원에서 역할이 강조되고 있다.

전 세계는 지속성과 안정성, 합리적인 가격의 에너지가 필요하다. 또한 장기적인 관점에서 탄소중립 추진에 따른 에너지 전환은 불가피하다. 하지만 대외 여건의 불확실성이 확대됨에 따라 여러 한계점을 가진 청정에너지 기술을 긴 호흡으로 추진하고, 현실적인 대안인 천연가스가 더욱 주목받을 것으로 예상된다.

OPEC+의 증산결정 원인과 LNG 시장에 미치는 영향

최영집

한국가스공사 경제경영연구소

Reason of OPEC Decision to Raise Production and its Effects on LNG Market

Choi, Youngjib

Korea Gas Corporation

요 약

2025년 2기 트럼프 정부(트럼프2.0)가 출범한 이후, 글로벌 에너지 시장은 극심한 혼란을 겪고 있다. 유럽과 중동의 지정학적 불안요소가 소강상태에 접어든 반면 미국의 화석연료 친화정책, 이란·베네수엘라 등 산유국 경제제재 및 관세정책은 에너지 시장의 불확실성을 확대시키고 있다. 미국 중심 비OPEC 산유국의 성장세와 美 관세정책에 따른 세계 석유수요 둔화 전망에 하락세가 국제유가 하락세가 지속되고 있으나, 석유 수출국 기구(OPEC)는 과거 공급조절을 통해 유가부양을 추구하고 있던 과거와 달리 증산을 선언했다. 이러한 증산 결정에는 OPEC 내부의 증산요구, 美 트럼프 정부의 증산요구와 관련된 정치적 판단 등이 복합적으로 작용했을 것으로 예상된다.

OPEC의 증산결정의 첫 번째 원인은 내부결속으로 판단된다. OPEC는 코로나19 이후 장기간 감산정책을 시행 중으로, 감산 장기화는 OPEC 내부의 불만을 야기했으며 일부국가는 증산을 요구하거나 생산쿼터를 위반하기도 했다. 때문에 증산결정은 OPEC 내부의 감산 피로감을 해소해 결속을 다지고 생산규모 조절 능력을 강화하는 기회가 될 수 있다. 또 다른 증산결정 원인은 사우디와 미국의 정치적 관계에 기인한 것으로 예상된다. 트럼프 대통령은 취임 후 OPEC에 증산을 요구했다. OPEC을 주도하는 사우디는 증산결정을 통해 오랫동안 정치·종교·경제적 갈등 관계에 있는 이란에 강한 경제제재를 시행 중인 트럼프 대통령과 우호관계를 공고히 하는 동시에 對이란 견제 효과를 기대할 수 있다. 미국의 산유국(이란·베네수엘라) 경제제재로 시장에 여유가 생긴 것 또한 증산결정 요인 중 하나로 예상된다.

OPEC의 증산은 국제유가의 하락을 가속화 할 것으로 예상되며, LNG 시장에도 영향을 미칠 것으로 보인다. LNG 장기계약은 주로 국제유가(Brent)에 연동되는 Oil-Index 방식을 활용하고 있다. 때문에 국제유가의 하락은 장기계약으로 도입하는 LNG 가격에 하방압력으로 작용할 것으로 기대된다. 반면 미국산 LNG의 경우 가스가격(헨리허브; HH)과 연동(Gas Indexed)한 방식이 대부분이다. 미국 에너지청(EIA)에 따르면 美 천연가스 생산의 20% 이상이 석유생산 시 동반되는 수반가스(Associated Gas)로 구성되어 있다. 그러나 국제유가 하락이 지속되면 석유생산 수익성 약화로 미국 석유생산 규모가 감소하게 되며, 수반 가스의 생산량 또한 줄어들게 된다. 수반가스 생산 감소는 미국 가스가격(헨리허브; HH) 상승으로 이어져 HH에 연동(Gas Indexed)된 미국산 LNG 가격 상승효과를 유발할 것으로 예상된다.

산업용 도시가스 직수입이 도시가스사 소매공급비에 미치는 영향

백종현*, 이성직*, 이승용*, 홍현우**

*가스산업정책연구소, **충남대학교 경제학과

Effect of Industrial City Gas Liberalization on Retail Supply Cost of City Gas Companies

Jong-Hyun Baek*, Seong-Jik Lee*, Seung-Yong Lee*, Hyunwoo Hong**

*Institute of Korea Gas Industrial Policy, KOGAS Labor Union, Daegu 41062, Korea

**Department of Economics, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

요 약

2024년 국내 LNG(Liquefied Natural Gas) 총수입 물량은 2023년 대비 5% 증가한 4,633만 톤이다. 한국가스공사(KOGAS)가 수입한 LNG는 3,419만톤 그리고 자가소비용직수입자가 수입한 LNG는 1,223만톤이다[1]. 자가소비용직수입자(직수입자)는 도시가스사업법 제2조 9호에서 정의한 자기가 발전용·산업용 등 대통령령으로 정하는 용도로 소비할 목적으로 천연가스를 직접 수입하는 자를 말한다[2]. 정부는 자기가 소비할 목적의 천연가스 수입을 사전 승인제에서 사후 신고제로 1998년 석유사업법을 개정하여 직수입 제도를 시행하였다[3].

2024년 KOGAS가 수입한 3,419만톤 LNG 중 도시가스용이 1,846만톤이며 발전용은 1,573만톤이다. 도시가스용 중 주택용은 796만톤이며 이외의 물량은 1,050만톤이다[4]. 직수입된 LNG 물량은 1,223만톤으로 이 중 736만톤은 발전용이며 487만톤은 산업용이다.

제15차 장기 천연가스 수급계획에 따르면 안정적인 도시가스 공급을 위해 천연가스 주배관이 추가로 건설될 예정이며 한국가스공사를 통하지 않고 LNG를 직접 수입하는자(LNG 직수입자)들도 자기소유배관을 건설하고 있으며 이에 따라 소매도시가스시장의 문제점이 발생할 수 있다. LNG 직수입자들이 자기소유배관을 건설하여 이용하면 도시가스사의 재정적 어려움이 발생하고 이는 가정용 소비자에 대한 가스공급의 불안 요인으로 작용할 수 있다. 소매 도시가스사의 단위당 공급비용은 총공급원가를 도시가스사를 통한 총공급용량으로 나누어 결정되고, LNG 직수입자가 자기소유배관을 이용하면 도시가스사를 통한 총공급용량이 낮아진다. 도시가스사를 통한 공급용량 중 산업용 직수입 LNG가 차지하는 비중이 클수록, 자기소유배관 배관을 이용하는 용량의 비중이 클수록 도시가스사의 공급비용은 크게 증가 할 것으로 예측된다.

참고문헌

- [1] 최인수, “[기획] 발전공기업, 최적 LNG 포트폴리오 찾아라”, 에너지신문, 2025.3.21, <https://www.energy-news.co.kr/news/articleView.html?idxno=211921>
- [2] 도시가스사업법, [시행 2025. 3. 21.] [법률 제20440호, 2024. 9. 20., 일부개정]
- [3] 석유사업법 (약칭: 석유사업법) [시행 1999.3. 24.] [법률 제5575호, 1998.9.23., 일부개정]
- [4] 금융감독원 전자공시시스템, 한국가스공사 사업보고서(2024년, 제42기), 2025.3.21., <https://dart.fss.or.kr/dsaf001/main.do?rcpNo=20250325000742>

전과정평가 방법론을 이용한 발전 부문의 연료 전환이 탄소 배출에 미치는 영향 연구: 석탄화력에서 LNG 복합화력으로

이하은¹, 이시훈^{2*}

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

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

Impact of Fuel Transition on Carbon Emissions Using LCA methodology: From Coal to LNG Power

석탄화력발전에서 LNG 발전으로의 전환은 발전 부문의 탄소 배출 저감을 위한 주요 전략으로 고려되고 있다. 본 연구에서는 1 GWe급 발전소를 대상으로 전과정평가 방법론을 적용하여 연료 전환이 환경에 미치는 영향을 분석하였다. 연료의 채굴부터 가공, 운송 등 전력이 생산되기까지의 전체 수명주기를 고려하였으며, 이를 통해 LNG로의 전환에 따른 탄소 저감량을 정량적으로 평가하였다. CO₂ 배출량 분석에는 IPCC 2021 방법론이 적용되었으며, 기타 환경영향(PM, NOx)은 ReCiPe 2016을 활용하여 분석하였다. 연구 결과, LNG로의 전환은 전과정을 고려하더라도 석탄화력발전 대비 CO₂ 배출량을 최대 43%까지 저감 할 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 미세먼지(PM) 및 질소산화물(NOx) 분석 결과 LNG가 가장 낮은 배출 수준을 보이며 환경적 이점이 확인되었다. 본 연구는 연료 전환이 환경에 미치는 영향을 종합적으로 평가함으로써 지속 가능한 에너지 전환 정책 수립에 유용한 시사점을 제공한다.

Keywords: Life Cycle Assessment(LCA), LNG Power Generation, Fuel Transition, Coal-to-LNG

LOPA Tool 효율성 개선방안

박진형

한국요코가와전기

The Improvement Proposal of Efficiency for LOPA Tool

Jinhyung Park

Yokogawa Electric Korea

요 약

위험과 운전분석기법(Hazard and Operability Study, HAZOP)은 정성적인 분석방법이라 현재안전조치(Safeguards)가 충분한지 아닌지 판단하기 힘든 위험성평가기법이다. 이런 단점을 보완하기 위해 방호계층분석기법(Layer of Protection Analysis, LOPA)이라는 반정량적인 위험성평가방법으로 방호계층의 개수가 허용가능한 리스크까지 낮출 정도로 충분한지 평가할 필요가 있다. 국내에서 제시되고 있는 대표적인 LOPA방법은 환경부 장외영향평가서 작성안내서(II)와 KOSHA GUIDE P-113-2012가 있는데 LOPA Workshop진행을 효율적으로 하기에는 불명확한 부분들도 있고 구체적인 양식이 제시되지 못하다는 점도 있다. LOPA보고서를 CCPS LOPA Handbook양식이나 MS Excel양식으로 하는 경우도 많은데 이 경우 HAZOP에서 정의된 Hazard를 따르지 못하는 경우도 발생할 수 밖에 없고 각 Hazard Scenario에서 반복되는 안전계장기능(Safety Instrumented Function)을 종합적으로 정리하기 힘들다는 불편한 점도 나올 수 밖에 없다. 이런 점들을 감안하여 결국 최종 LOPA보고서에는 수동으로 여러 Hazard Scenario에서 반복되는 SIF를 종합적으로 정리해서 가장 높은 Target SIL을 결정하는 보고서를 따로 작성할 수 밖에 없다. 이번 발표에서는 이런 불편한 사항들을 해결할 수 있는 LOPA Tool을 개발하여 방향을 제시하고자 한다.

액체수소 화물운용시스템 성능평가 기술 개발 및 실증 방법 연구

신득규, 전수성, 이장원, 최근철, 김동진, 고성진, 심규은
한국조선해양기자재연구원

A Study on the Development and demonstration of Performance Evaluation Technology for Liquid Hydrogen Cargo handling System

Deukgyu Shin, Soosung Jeon, Jangwon Lee, Geunchul Choi, Dongjin Kim, Seongjin Ko, Kyueun Shim
Korea Marine Equipment Research Institute

요 약

기후변화 대응 및 탄소중립 사회로의 전환은 국제사회의 필수 과제로 대두되고 있으며, 해운분야에서도 IMO의 온실가스 감축 정책 강화에 따라 친환경 선박 기술 개발이 요구되고 있다. 특히, 에너지 수입 의존도가 높은 대한민국의 경우, 2050 수소경제 구현을 위한 해외 수소의 안정적인 공급이 필수적이며, 이를 위한 대륙 간 수소 운송 수단으로 액체수소운반선의 개발 필요성이 증대되고 있다.

액체수소는 고압 기체 대비 높은 저장 밀도와 공정 단순성 등의 이점을 가지나, -253°C 의 초저온 상태를 유지해야 하는 단열 기술, BOG(Boil-off Gas) 처리 시스템, 극저온 화물창 설계 등 높은 기술 난이도를 가진 복합 시스템의 개발이 요구된다. 특히, 기존 LNG 운반 기술보다 10배 이상의 단열 성능을 요구하는 액체수소 화물창 및 저장 시스템의 기술 확보는 조선업의 미래 경쟁력 확보를 위해 필수적이다.

본 연구에서는 액체수소운반선의 개발을 위한 주요 기술 요소와 산업 생태계 조성 방향을 제시하고, 핵심 기자재의 국산화 및 실증을 통한 상용화 전략을 논의한다. 이는 향후 수소경제 전환에 따른 국내 조선산업의 지속가능한 성장 기반 마련에 기여할 것으로 기대된다.

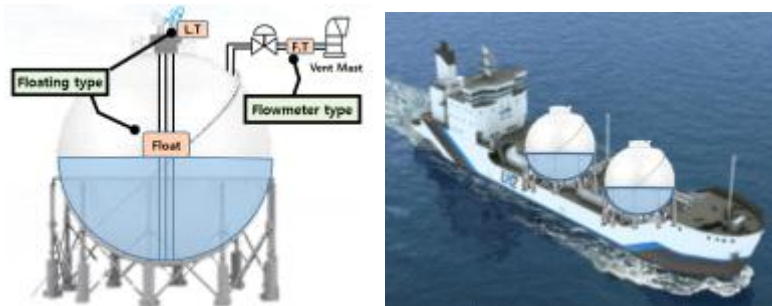


그림 1. 화물운용시스템(CHS) 육상실증 & 해상 적용 구성도

RCM(Reliability Centered Maintenance) 분석에 의한 LNG생산기지 유지보수 방법 전환 가능성 연구

고재필 · 최원목 · 김영완 · 권순길
한국가스공사 가스연구원

Study on the possibility of changing the Maintenance method of LNG Receiving Terminal through RCM(Reliability Centered Maintenance) analysis

Jae Pil Koh · Won Mog Choi · Young Wan Kim · Sun Gil Kwon
Korea Gas Corporation Research Institute

요 약

한국가스공사 LNG 생산기지에는 LNG를 수송, 압축하기 위한 LNG 펌프와 해수를 소화용으로 사용하거나 기화기로 보내기 위한 해수 펌프들 등 다양한 회전기기들이 운전되고 있다. 고압 LNG 펌프, 저압 LNG 펌프, 기화해수펌프 및 BOG 압축기에 대해 각 설비의 FMEA 분석을 위한 경계 범위 설정, 기능 정의, 고장 상태 정의, 고장모드 정의, 고장 영향 정의 등의 FMEA 분석을 수행하였다.

고장모드와 관련된 고장 확률(PoF, Probability of Failure), 고장 영향과 관련된 고장 파급 결과의 심각도(CoF, Consequence of Failure), 그리고 고장 확률과 고장 파급 결과의 심각도로 이루어진 위험 등급 매트릭스에 대한 기준 정의하기 위해 알라돈(Aladon)의 RCM 위험도 평가 기준과 현재 우리 공사에서 운영 중인 ‘공정 설비 한국가스공사 위험성 평가 척도’를 활용하였고, 평택기지본부 전문가와 협의하여 정량적인 고장 확률과 정성적 고장 파급 결과의 심각도 및 위험 등급을 정의하였다.

위험도 분석을 통해 분류한 고장모드 중, 매우 높음(High)와 높음(Significant)에 한하여 최적 정비전략을 수립하기 위해, 의사결정 구조는 RCM에서 제시한 RCM 의사결정 트리를 단순화하여 정의하였으며, 정의된 최적 정비전략에 따라 CFT에서 각 설비의 고장모드에 대해 최적 정비전략을 찾아내었다.

유지보수 기술 향상 방안 중, 대상 설비의 정비전략이 TBM에서 CBM으로 전환하기 위한 의사결정을 지원하기 위해 LNG 생산 계통의 설비에 대해 신뢰도 정의 및 특징과 신뢰도 척도의 종류 및 정의를 이해하고 LNG 생산 계통의 설비에 대한 신뢰도 및 가용도 로직을 이용하여 설비에 대한 신뢰도 및 가용도를 이해하고 활용할 수 있는 방법론을 제시하였으며, LNG 생산기지의 고압 LNG 펌프에 대해 신뢰도 및 가용도 로직의 활용 가능성에 대해 시뮬레이션을 실행하였으며, 수행 결과 신뢰도 및 가용도 로직은 활용할 수 있으며 또한 정비계획을 TBM에서 CBM으로 전환해도 큰 문제가 없을 것으로 판단되었다.

Key Words: RCM, LNG Receiving Terminal

제철소 가열로 배기가스의 SCR 처리를 위한 센서검정 및 불확실성 분석의 기계학습 NOx 가상센서 개발

고흥철, 김아름, 고성근, 조영은, 김지완*
(주)테크다스, *현대제철(주)

A Machine Learning-Based NOx Virtual Sensor for SCR Treatment of Steel Mill Furnace Flue Gas with Sensor Validation and Uncertainty Analysis

Hong-Cheol Ko, A-Reum Kim, Sung-Geun Ko, Young-Eun Cho, Ji-Wan Kim*
TechDas Co., Ltd., *Hyundai Steel Co., Ltd.

1. 서론

지속가능한 산업 운영과 탄소중립 정책 강화에 따라 제조공정의 배출량을 효율적으로 제어하는 기술이 중요해지고 있다. 국내 전체 온실가스 배출량의 약 32%가 산업부문에서 발생되며, 특히 철강산업은 에너지 소비와 배출량이 모두 많은 대표적인 다배출 업종이다. 철강산업의 가열로는 철강 소재를 1200°C 이상으로 가열하는 고온 연소설비로, NOx를 다량 배출한다. NOx는 오존 및 2차 미세먼지의 전구물질로 국내 배출 기준은 50~70ppm 수준으로 엄격히 제한된다. 이를 제어하고자 가열로 후단에 SCR(Selective Catalytic Reduction) 설비를 설치하여 NH₃를 주입하여 환원시킨다.

그러나 대부분의 NOx 분석기는 수십 초 ~ 수 분의 시간 지연이 있으며, 분석기 고장과 보정 오류 등이 빈번하게 발생해 분석값의 신뢰성과 즉시성이 크게 저하되는 문제가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 빅데이터 기반의 NOx 농도 예측 가상센서를 개발하였다. 가상센서는 연료 유량, 산소 농도, 배가스 온도 등의 실물센서 데이터를 활용하여 NOx를 실시간 예측하는 소프트웨어 센서이며, 하드웨어 분석기 없이도 SCR 운전에 필요한 NOx 정보를 제공하여 현장 적용성이 높다 [1].

그러나 기존 가상센서는 입력 데이터에 노이즈나 고장이 포함된 경우 예측 오차가 급격히 증가하고, 연료 성분이나, 운전 모드, 제품 종류 등의 운전상태가 변하면 모델의 정확성이 나빠진다. 이러한 문제를 개선하고자 본 연구에서는 가상센서 출력 전에 입력 센서의 이상 여부를 진단하고, 운전상태 변화에 따른 NOx 예측값의 불확실성을 분석하고자 한다. Fig. 1에 도시된 바와 같이 센서 데이터 전처리, 이상 센서 탐지 및 보정을 위한 센서 검정, 기계학습 기반의 NOx 예측, 예측값의 신뢰도를 정량화하는 불확실성 분석의 4단계로 구성된다.



Fig. 1 The procedure of a self-validation virtual sensor for emissions monitoring

2. 이론

센서검정은 시료 데이터에 대해 센서고장 탐지, 고장센서 식별, 오지시 보정을 포함한다. 본 연구에서는 주성분분석법(PCA)을 적용하였다. PCA는 데이터 행렬 X를 최대 분산을 설명하는 소수의 주성분으로 구성하여 모델을 구성한다. 주성분을 구하는 방법은 잘 알려져 있듯이 데이터 행렬 X의 공분산 행렬을 이용하여 구한다. 먼저 센서고장 탐지는 Yue와 Qin[2]이 제안한 Hotelling T²와 SPE의 통합지수를 이용하였다.

$$\phi = \frac{T^2}{\tau^2} + \frac{SPE}{\delta^2} \tag{1}$$

여기서 T²는 시료 데이터가 좌표의 중심에서 벗어난 정도를 나타내는 통계량으로 $x^T P \Lambda^{-1} P^T x$ 이

고 SPE 는 PCA 모델의 예측력을 판단하는 통계량으로 $x^T \tilde{P} \tilde{P}^T x$ 이다. P 는 PCA 모델에서 사용하는 고유벡터의 상수행렬이고, \tilde{P} 는 사용하지 않는 나머지 고유벡터의 상수행렬이다. Λ 는 고유값의 대각선 행렬이다. ρ^2 과 δ^2 은 각각 Hotelling T^2 와 SPE 의 제어상한선을 의미한다. 식 (1)의 고장탐지 지수를 x 에 대해 제곱 형태의 수식으로 표현하면

$$Q(x) = x^T M x \tag{2}$$

이다. 시료 데이터 x 에 대해 식(2)의 $Q(x)$ 가 95%(또는99%)의 제어상한선을 초과하면 센서고장이 존재하는 것으로 센서고장을 탐지한다. 고장센서는 고장탐지 지수에 기여한 정도가 가장 큰 센서를 고장으로 식별하는 이상기여도 분석법을 이용한다. 본 연구에서는 스며듬(Smearing) 현상을 줄이기 위하여 Alcalá와 Qin[3]이 제안한 RBC를 이용하였다. RBC는 고장센서를 보정한 후에 보정값과 측정값의 차이로 이상기여도를 결정하는 방법으로 센서고장 상황 e 에서의 이상기여도는 다음과 같다.

$$RBC_e = (\Xi_e^T M x)^T (\Xi_e^T M \Xi_e)^{-1} (\Xi_e^T M x) \tag{3}$$

여기서 Ξ_e 는 고장방향벡터로 단일 센서고장뿐만 아니라 다수의 센서고장을 표현하는 행렬이다. 만일 센서 i 와 센서 j 가 고장이라면 Ξ_e 는 i 번째 요소가 1인 단위벡터(identity vector)와 j 번째 요소가 1인 단위벡터 두 개로 구성된 행렬이다. RBC_e 는 센서고장 상황 e 의 오지시의 제곱이므로 오지시를 보정한 측정값 시료 데이터는

$$x_e = x - \Xi_e (\Xi_e^T M \Xi_e)^{-1} (\Xi_e^T M x) \tag{4}$$

이다. 따라서 Ξ_e 만 알 수 있다면 오지시 시료 데이터를 보정할 수 있다. 본 연구에서는 Ξ_e 를 구하는 문제를 다음과 같이 최적화 문제로 정의하였다.

$$\arg \min (e_i) \quad \| M^{1/2} x_e \|^2 + w \sum e_i \tag{5}$$

$$s.t. \quad \| M^{1/2} x_e \|^2 \leq I^2$$

$$x_e = x - \Xi_e (\Xi_e^T M \Xi_e)^{-1} (\Xi_e^T M x)$$

$$e_i \in 0, 1 \quad i = 1, 2 \dots N$$

여기서 최적화 변수 e_i 는 0 혹은 1을 갖는 정수이며, 1이면 i 번째 센서가 고장이 있는 것을 의미하며, e_i 를 이용하여 Ξ_e 를 구성한다. w 는 고장센서 탐색에서 고장센서의 개수를 제한하는 비중인자이다. 본 최적화 문제는 고장탐지 지수가 제어상한선 I^2 보다 작은 제약조건을 만족하도록 고장센서의 조합인 고장방향행렬 Ξ_e 를 결정한다.

배기가스 가상센서 학습을 위해 본 연구에서는 회귀성능이 우수한 부분최소제곱법(PLS), 인공신경망(ANN), 오토인코더(AE-ANN), 엑스지부스터(XGBoost)로 4가지 기법을 적용하였다. 주어진 문제의 노이즈, 비선형성, 데이터 분포 등에 따라 기법들의 성능 우열이 달라지므로 학습 결과를 비교하여 최적의 기법을 선택하도록 하였다. 가상센서 기법은 저자의 별도 논문[4]에 기술하였다.

가상센서는 간접적인 측정 방법이므로 불확실성을 분석할 필요가 있다. 불확실성이 일정 기준보다 크면 가상센서 예측값을 거부하도록 하여 가상센서의 신뢰성을 강화하였다. 본 연구에서는 모델 학습 불확실성과 데이터 드리프트 불확실성으로 구분하였다. 전자는 시료 데이터와 관계없이 학습 단계에서 발생하는 불확실성으로

$$U_{model} = t_{a/2, N-df} S \tag{6}$$

이며, 여기서 a 는 t 분포의 유의수준, N 은 학습 데이터의 개수, df 는 자유도, S 는 예측 오차의 표준편차를 의미한다. 데이터 드리프트 불확실성은 앞의 센서검정에서 도출한 고장센서의 오지시 크기를 이용하여 구하였다.

$$U_{drift} = \sqrt{\sum \left(\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \Delta x_i \right)^2} \tag{7}$$

여기서 f 는 가상센서 모델 예측값을 의미하며, $\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)$ 는 비선형 모델의 경우 수치해석적으로 구할 수 있다. 새로운 시료 데이터에 대한 가상센서의 불확실성은 개별 항목의 제곱 합의 제곱근으로 구한다.

$$U_{sample} = \sqrt{U_{model}^2 + U_{drift}^2} \tag{8}$$

3. 실험 및 결과 고찰

본 실험에서는 Fig. 2의 제철소 가열로 배기가스, 즉 SCR 전단 배기가스의 NO_x 예측 가상센서를 개발하였다. 가열로에 설치된 80여개의 센서 중에서 NO_x에 대한 상관성이 높은 13개의 센서를 추출하였다. 약 2주간의 운전 데이터를 1분 간격으로 총 20,160세트를 수집하였으며, 이 중 70%는 학습용으로, 30%는 시험용으로 사용하였다.

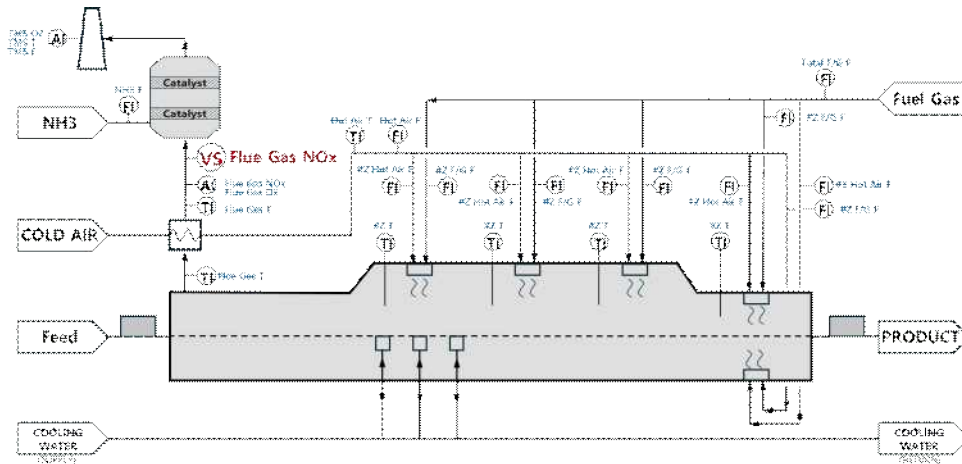


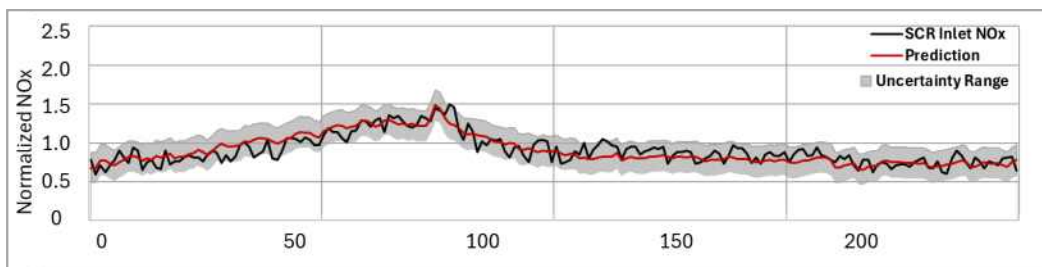
Fig. 2 Schematic diagram of the reheating Furnace in steel mill

센서검정을 위한 PCA 모델은 고유값의 99%를 설명하는 기준에 따라 주성분 6개로 구성하였다. 센서고장 탐지를 위한 제어상한선은 식 (1)의 통합지수의 95% 신뢰수준으로 설정하였다. 학습용 데이터를 이용하여 PLS, ANN, AE-ANN, XGBoost 4가지 기법으로 NO_x 가상센서를 개발하였으며, 시험용 데이터로 가장 정확한 기법을 선택하였다. Table 1과 같이, 네 기법 모두 상대오차(RE) 20% 미만의 미국 환경부의 정확성 규격을 만족하였다[5]. 네 기법의 정확성은 큰 차이가 없었으나, XGBoost가 RE 11.82%로 가장 우수하였다. 특히 XGBoost는 트리 기반의 앙상블 기법으로 과적합을 방지하는 장점이 있다고 알려져 있다[6].

Table 1 Comparison of four machine learning techniques.

Classification		PLS	ANN	A-ANN	XGBoost
Train	RE(%)	12.28	11.96	13.35	9.96
Test	RE(%)	13.63	12.21	12.95	11.82

센서검정과 불확실성의 성능을 분석하기 위하여 센서 측정값에 인위적으로 노이즈를 부여하고 시험하였다. 가상센서의 영향력이 큰 SCR 입구 가스온도와 댐퍼 개도율의 센서 측정값에 표준편차의 3배수를 최대로 무작위 노이즈를 주입하였다. 시험 결과는 Fig. 3과 같으며, (a)는 노이즈를 부여하기 전의 정상값 결과로 NO_x 측정값과 가상센서 예측값, 그리고 불확실성 범위의 그래프이다. 다음은 SCR 입구 가스온도와 댐퍼 개도율 두 개의 센서에 노이즈를 부여한 데이터에 대한 결과로 (b)는 센서검정을 실시하지 않은 그래프이고, (c)는 센서검정을 실시한 그래프이다. Fig. 3의 (b)를 통해 알 수 있듯이 인위적으로 부여한 노이즈로 인해 가상센서가 부정확하고 불확실성이 커졌다. 센서검정을 실시하여 노이즈를 보정함으로써 가상센서의 정확성이 증대하고, 그에 따라 불확실성도 감소하였다.



(a)

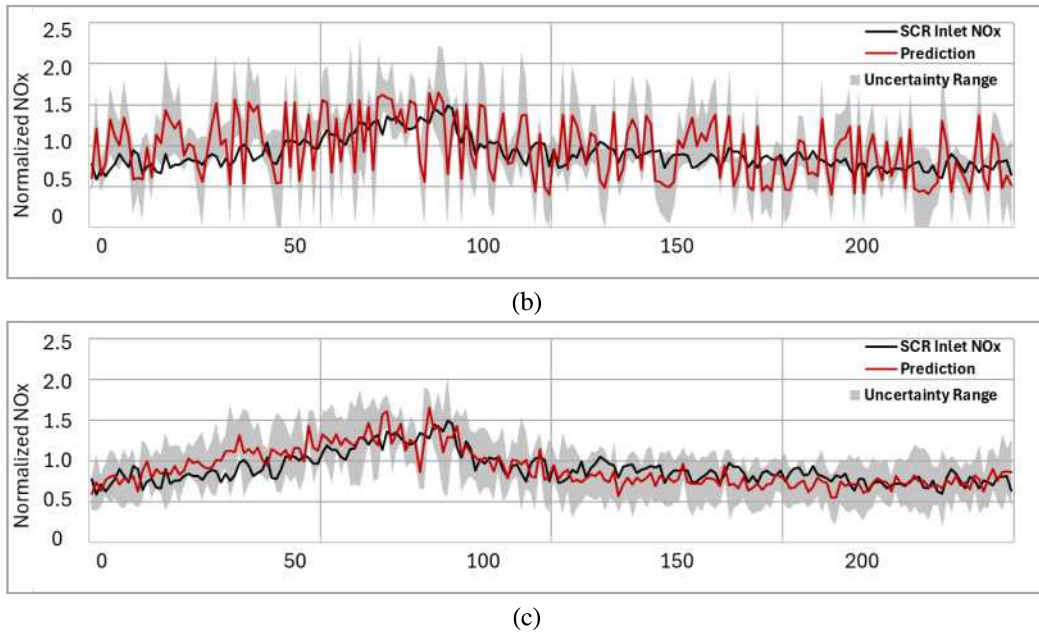


Fig. 3. Test results of the NOx virtual sensor with artificial noise injected into SCR inlet temperature and damper opening: (a) noise-free case, (b) noise-injected data without sensor validation, and (c) noise-injected data with sensor validation.

시험 결과 중에서 센서검정(SV) 적용 여부에 따른 NOx 가상센서의 예측 정확도와 불확실성의 크기를 Table 2에 나타내었다. 노이즈를 주입한 경우, RE는 10.59%에서 34.76%로 나빠지고, 불확실성은 19.93ppm에서 37.90ppm으로 증가하였다. 반면에 센서검정을 실시하면 RE는 14.17%, 불확실성은 29.11 ppm로 개선되었으며, 이는 각각 59.2%, 23.2%의 성능 향상에 해당한다.

Table 2 Comparison of NOx Virtual Sensor results between no noise and noise-injected data

	no noise	w/ noise	
		no SV	SV
RE(%)	10.59	34.76	14.17
Uncertainty(ppm)	19.93	37.90	29.11

4. 결론

제철소 가열로 배기가스의 NOx 처리 SCR에서 최적의 NH3 주입량 결정을 위하여 배기가스 NOx 예측 가상센서를 개발하였다. 가상센서의 신뢰도를 높이기 위하여 센서검정 기술과 가상센서 불확실성을 분석하였다. 본 연구에서는 센서검정에 있어서 다수의 고장센서를 다룰 수 있도록 최적화 문제를 정의하였으며, 기존의 학습 데이터 불확실성에 데이터 드리프트 불확실성을 포함하였다.

가열로 운전 데이터에 인위적으로 두 센서에 노이즈를 부여하여 센서검정과 불확실성 분석의 성능을 시험하였다. 센서검정 전후를 비교한 결과 가상센서 상대오차는 59.2%, 불확실성 범위는 23.2%가 개선되었다. 본 연구에서 제안한 다수의 고장센서에 대한 센서검정과 데이터 드리프트 불확실성 분석을 통해 NOx 가상센서의 신뢰성을 높일 수 있었으며, 제철소 가열로의 배기가스를 처리하는 SCR의 환원제 주입량 결정에 사용할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2024년도 서울특별시 재원으로 서울경제진흥원의 지원을 받아 수행된 첨단제조 기술사업화 지원사업(과제번호 HM240004)으로 지원에 감사를 드립니다.

참고문헌

[1] M. Song, J. Xue, S. Gao, G. Cheng, J. Chen, H. Lu, Z. Dong, "Prediction of NOx Concentration

- at SCR Inlet Based on BMIFS-LSTM”, Atmosphere, Vol. 13, 2022, pp. 13-16.
- [2] H. H. Yue, S. J. Qin, “Reconstruction-Based Fault Identification Using a Combined Index”, Industrial and Engineering Chemistry Research, Vol. 40, 2001, pp. 4403 - 4414.
- [3] C. F. Alcalá, S. J. Qin, “Reconstruction-Based Contribution for Process Monitoring”, Automatica, Vol. 45, 2009, pp. 1593 - 1600.
- [4] 고성근, 김치관, 정주화, 고흥철, “연소설비 배기가스의 NO_x/CO/O₂ 예측을 위한 자기진단 기능의 기계학습 가상센서 개발”, 제68회 KOSCO SYMPOSIUM 초록집(2024년도 추계학술대회), 2024, pp. 13~16.
- [5] US EPA 40 CFR Part 60, PS-16, “Performance Specification 16—Specification and Test Procedures for Predictive Emission Monitoring Systems in Stationary Sources”, 2023.
- [6] M. Si, K. Du, “Development of a Predictive Emissions Model Using a Gradient Boosting Machine Learning Method”, Environmental Technology & Innovation, Vol. 20, 2020.

다중점 오염원 모델을 통한 액체상 화학물질의 누출 및 확산 모델링

장기원, 이승준, 정승호*, 이근원*

아주대학교 대학원 환경공학과, *아주대학교 환경안전공학과

Modeling of Liquid-Phase Chemical Release and Dispersion Using a Multi-Point Source Approach

Kiwon Jang, Seungjun Lee, Seungho Jung*, Keunwon Lee*

Department of Environmental Engineering, Ajou University

**Department of Environmental and safety Engineering, Ajou University*

요 약

물질의 물리적 상태에 따라 구분되는 화학물질 누출 사고 중, 액체 누출은 누출 직후 지면에 액체 Pool을 형성하고, 이 Pool에서 증발된 물질이 대기로 확산되는 특징을 갖는다. 이러한 확산 거동의 정밀한 예측은 화학사고 예방을 위한 사고영향평가 및 위험성 평가에서 중요한 요소이다. 그러나 기존의 확산 모델링 기법은 단일점 오염원을 기반으로 하며 풍하 방향의 확산만을 고려함으로써, Pool 증발로 인한 다중 확산 양상을 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다.

본 연구에서는 가우시안 확산 모델을 기반으로, 다중점 오염원을 고려한 새로운 확산 거리 예측 모델을 제안한다. 제안된 모델은 기체 누출 시나리오에 우선 적용하여, 다수의 점 오염원이 주변 대기 중에 어떻게 확산되는지를 분석하였다. 마찬가지로 액체 누출 시 형성된 Pool 증발에 확장 적용하여, Pool 표면을 다수의 증발점으로 분할하고 이를 다중점 오염원으로 간주해 확산 거동을 정밀히 모사하였다.

각 점 오염원의 배치는 Midpoint Algorithm을 활용하였으며, 확산 농도 계산과 시각화는 Excel VBA 환경에서 구현하였다. 모델링 결과는 기존의 대표적인 확산 예측 도구인 EFFECTS, ALOHA, KORA와 비교하여, 각 모델 간의 농도 분포 및 계산 방식의 차이를 분석하였다. 연구 결과, 다중점 기반 확산 모델링을 기체 및 액체 누출 시나리오에 모두 적용 가능하며, 다양한 화학사고 상황에 활용할 수 있는 예측 기법으로 제시하고자 한다.

Keyword : 가우시안 확산 모델, 다중점, Excel VBA, 위험성 평가, 액체 Pool 증발

* 본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 산업혁신인재 성장사업 (과제번호: P0012787)으로 수행되었습니다.

도시가스 배관망 수소혼입 비금속 재료 정량적 위험성평가에 관한 연구

정현선, 허승건, 김승환, 서국진
한국가스안전공사 가스안전연구원

Quantitative Risk Analysis of Non-Metallic materials in Hydrogen Blending into Natural Gas Pipeline

Hyunseon Jung, Seunggeon Heo, Seunghwan Kim, Kugjin Suh
Institute of Gas Safety R&D Korea Gas Safety Corporation

요 약

탄소중립을 위한 하나의 정책으로 LNG 배관망에 수소를 혼입하고자 한다. 110대 국정 과제 이행계획에서 최대 20% 수소 혼입 시 연간 765만 톤의 이산화탄소를 감축시킬 수 있다고 발표했으며, 기존 도시가스 배관망 및 관련 시설을 유지한 채 수소를 혼입하기에 구축 비용 또한 크게 절감할 수 있다. 이러한 장점에도 불구하고, 작고 가벼운 수소의 특성으로 인해 수소 혼입에 따른 위험성 검증이 필요하다. 수소의 작은 입자가 고무와 같은 비금속 재료에 투과될 경우 수소 누출이 발생할 수 있다. 또한, 수소의 빠른 연소 속도와 넓은 폭발 범위로 인하여 기존 도시가스보다 폭발하한 범위가 증가할 수 있다.

현재 독일, 영국 등에서 수소혼입 실증은 활발히 연구 중이지만, 핵심부품(조정기, 콕, 밸브류, 호스, 전기절연이음관 등) 비금속 재료에 대한 안전 기준은 존재하지 않는다. 본 연구를 통해 도시가스 배관망에 수소를 단계별(5~20%)로 혼입했을 시 수소의 누출 및 폭발 상황을 가정하여 주변의 위험도를 분석하고자 한다. 이때, 도시가스는 누출하지 않는다는 가정하에 수소의 누출만을 비교한다.

비금속 재료의 내구성 및 적합성 평가를 위해 실증단지를 구축해 Pilot Test를 진행할 예정이며, 위험성 평가 프로그램을 이용해 수소혼입 환경 비금속재료 누출에 의한 폭발 시뮬레이션을 수행한다. 정량적 위험성 평가(QRA)를 통해 핵심부품의 비금속재료에서 수소가 누출할 경우를 가정하여 주변의 수소 누출 농도를 분석한다. 폭발범위에 따라 실증 시험 및 수소혼입 도입 시 화재와 폭발의 위험성을 낮추고 안전성을 확보할 수 있다. 평가 결과를 통해 위험성을 낮추기 위한 시설 개선 사항을 도출할 수 있으며, 추후 Pilot Test 실증에 대한 위험도를 낮추는 데 활용할 수 있다. 또한, 이를 통해 핵심부품 비금속재료에 대한 기준안 개정 자료로 활용 가능하다.

※ 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE) 및 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지기술개발사업(과제번호: RS-2023-00234839)연구비 지원으로 수행되었습니다.

수전해설비 P&ID기반 정량적 위험성평가 연구

김재경, 정해관, 유철희
한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터

Quantitative Risk Assessment study based on P&ID of electrolysis facility

Jea-gyeong Kim, Chul-hee Yu, Hae-gwan Jeong
Korea Gas Safety Corporation Energy Safety Emprical Research Center

요약

국내 수소생산량을 늘리기 위하여 정부와 국내기업에서는 AWE(Alkaline Water Electrolysis), PEM(Proton Exchange Membrane) Electrolyser 실증 및 신기술 개발 등 여러 방안들을 모색하고 있다. 국내 수소 생산기술을 확보 및 상용화하기 위해선, 생산기술 및 설비에 대한 안전을 확보하는 것이 중요하다. 가스 취급시설에서는 누출, 화재, 폭발 등 다양한 사고가 발생한다. 본 연구에서는 전문 QRA(Quantitative Risk Assessment)프로그램을 활용하여, 수전해설비의 P&ID를 기반으로 발생 가능한 사고유형을 도출하였다. 또한 각 사고유형에 따른 피해규모를 분석하여 가장 피해규모가 큰 사고유형의 원인을 기계적 결함(Machine Failure) 측면에서 분석 하였다. 본 논문에서는 연구 결과를 기반으로 수전해설비에서 발생할 수 있는 사고유형과 피해범위를 언급하고, 사고 피해를 저감할 수 있는 방안 에 대해 언급하고자 한다.

Acknowledgement: 본 연구는 산업통상자원부-한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원으로 수행한 연구 과제입니다.(대면적 알칼라인 수전해 시스템 개발/ RS-2023-00234654)

수소충전소 유형별(기체/액체) 안전 모니터링 시스템 비교

김승환, 조진영, 김민아†
한국가스안전공사 가스안전연구원

A Comparative Study on Safety Monitoring in Gaseous and Liquefied Hydrogen Fueling Stations

Kim Seunghwan, Cho Jinyeong, Kim Minah†
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation
1390 Wonjung-ro, Maengdong-myeon, Eumseong-gun, Chungcheongbuk-do, Korea

요 약

최근 수소 에너지 수요 증가에 따라 수소충전소의 구축이 활발히 진행되고 있으며, 이에 따라 기체수소충전소뿐만 아니라 액화수소충전소의 비중도 점차 확대되고 있다. 기체수소충전소는 설비 구성이 비교적 단순하고 기술적으로 안정화되어 있어 관리가 용이하다는 장점이 있는 반면, 저장 밀도와 장거리 운송 효율이 낮다. 이에 반해 액화수소충전소는 동일 부지 내에서 더 많은 수소 저장이 가능하고 장거리 운송에 유리하지만, 진공단열 관리와 극저온 유지에 따른 에너지 소비와 복잡한 설비 운용 등의 기술적 부담이 존재한다.

특히, 기체 및 액화수소충전소는 수소의 물리적 상태에 따라 설비 구성과 운용 환경이 상이하므로 이에 따른 안전 모니터링 시스템에도 차이가 존재한다.

본 연구에서는 수소충전소를 유형별(기체/액체)로 구분하여, 각각의 위험신호(가스 검지기, 불꽃 검지기, 긴급차단장치 등) 및 경고신호(압축기, 압축가스설비, 충전기 등에서 발생하는 압력·온도·유량 이상)를 중심으로 안전 모니터링 시스템의 구성 방식과 운용 특성을 비교·분석하였다.

본 연구결과를 바탕으로 수소충전소의 특성과 상황에 적합한 안전 관리 전략 수립을 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 향후 효율적이고 체계적인 모니터링 시스템 설계에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 산업통상자원부 및 한국에너지기술평가원의 ‘2022년 산업기술혁신사업(과제번호: 2022731010005C)’의 지원을 받아 수행되었습니다.

포스터 발표.

CO₂ 해상 운송에서의 선박 재액화의 경제적 영향 분석

노현정, 강관구*

한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 해양플랜트산업지원센터

Economic Assessment of Onboard CO₂ Boil-Off Gas Reliquefaction in CO₂ Shipping

Hyonjeong Noh, Kwangu Kang*

Offshore R&BD Center, Korea Research Institute of Ships and Ocean engineering

요 약

세계적으로 탄소 중립 목표 달성을 위한 노력이 강화되면서, 탄소 포집 및 저장(Carbon Capture and Storage, CCS) 기술이 핵심 전략으로 주목받고 있다. CCS 기술의 효율적인 구현을 위해서는 포집된 이산화탄소(CO₂)를 대량으로 장거리 운송할 수 있는 방안이 필수적이다. 이와 관련하여, 해상 운송은 파이프라인 대비 장거리 수송의 경우 경제적이고 효율적일 수 있는 유망한 대안으로 간주되고 있다. 이에 따라 해상 기반의 장거리 CO₂ 운송에 대한 경제적·기술적 평가의 중요성도 함께 강조되고 있다.

선박을 이용한 CO₂ 해상 운송은 크게 세 가지 압력 조건-저압(5.5~9.8 barg, -55~-41°C), 중압(14~20 barg, -30~-20°C), 고압(45~72 barg, 10~30°C)-에서 이루어진다. 이 중 저압 조건은 보다 큰 탱크 용량을 허용하여 한 번의 많은 량의 CO₂ 를 운송할 수 있어 대용량 및 장거리 수송에 특히 유리하다고 보고되고 있다. 그러나 저압 조건에서는 상대적으로 낮은 온도로 인해 Boil-Off Gas(BOG)가 더 많이 발생할 수 있어 이를 관리하기 위한 재액화 설비가 필수적으로 요구된다. 본 연구에서는 장거리 저압 운송이 필연적인 재액화 장비의 비용과 경제적 영향을 중점적으로 분석하였다. 운송 조건을 압력 7 barg, 온도 -50°C로 설정하고, 재액화 설비를 갖춘 40,000, 80,000, 120,000 CBM 용량의 대형 액화이산화탄소(LCO₂) 선박을 대상으로 연간 100만 톤, 200만 톤, 500만 톤, 1000만 톤의 CO₂ 운송에 대한 경제적 타당성을 평가하였다. 운송 거리는 1,000, 5,000, 10,000, 15,000, 20,000km까지 다섯 가지 시나리오로 설정하였다.

본 연구에서는 LCO₂ 선박과 비슷한 운송조건을 가지는 LPG 선박의 계약단가를 반영하여 CAPEX를 추산하였다. 운영비용(OPEX)은 고정 운영비(foPEX)와 변동 운영비(voPEX)로 구성하였다. 여기서 foPEX는 유지보수, 인건비, 보험료 등의 연간 운영 비용을 포함하며, 변동 운영비는 연료 소비량 등을 반영하였다. 연료는 해양 디젤유(Marine Diesel Oil, MDO)로 가정하였다.

연구결과 운송 거리가 증가할수록 총 운송 비용은 증가하지만, 톤당 CO₂ 운송 비용은 연간 운송량이 증가할수록 감소하여 규모의 경제 효과를 나타내었다. 대형 선박은 일반적으로 대규모 운송 및 장거리 운송에서 비용 절감 효과를 제공하였다. 그러나 선박 크기가 더 커질수록 연료 효율성 증가에 따른 비용 절감 효과는 점차 감소하는 경향을 보였다. 모든 상황에 적용될 수 있는 최적의 선박 크기는 존재하지 않았고, 비용 효율적인 선박의 크기는 운송 거리와 연간 운송량에 따라 달라지는 것을 확인할 수 있었다. BOG 재액화 비용은 전체 운송 비용에서 약 3.0%에서 6.0%를 차지하였고, 선박 CAPEX와 비교해보면, 약 15.1%에서 17.0%를 차지하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 CO₂ 해상 운송 프로젝트가 규모와 거리 면에서 확장됨에 따라 재액화 공정을 최적화하는 것이 비용 효율성을 유지하는 데 중요한 역할을 할 것임을 의미한다.

이산화탄소 셔틀 기술을 적용한 블루수소 생산기지 전환

박성수¹, 김인재¹, 김경덕^{1*}

대전광역시 유성구 대덕대로 1227, 한국가스기술공사 신에너지연구원

Development and Application of Carbon Dioxide Shuttle Technology for Blue Hydrogen Production Facility Conversion

SungSu, Park¹, InJae, Kim¹, Kyungduk, Kim^{1*}

Energy Research Center, 1227, Daedeok-daero, Yuseong-gu, Daejeon, 34007, Korea

요 약

국가 2050 탄소중립 목표 달성을 위해 세계적으로는 태양광, 풍력 등 재생에너지가 주요 수단으로 개발되고 있으나, 우리나라는 지리적 특성 상 재생에너지 자원이 부족하여 원자력 발전 및 CCUS 기술을 적용한 화석연료의 개발이 필수적이다. 이에 한국가스기술공사는 국가 2050 탄소중립 목표 달성에 기여하기 위해 이산화탄소 셔틀 기술을 통해 블루수소 생산기지로 전환하여 천연가스 탈탄소화를 실현하고자 한다.

이산화탄소 셔틀 기술은 외부 열에너지의 투입 없이 배기가스 내 이산화탄소를 선택적으로 포집하여 경질탄산칼슘을 생산하고 포집 과정에서 필요한 약품(수산화나트륨)을 공정 내에서 재생하여 약품 사용량을 절감할 수 있는 기술이다. 외부 열에너지 투입이 없기 때문에 전력 비용이 저렴하고, 소석회를 투입하여 고부가가치를 가진 경질탄산칼슘을 생산하기 때문에 경제성과 탄소 저감을 동시 실현 가능하다.

본 기술을 한국가스기술공사의 완주 수소생산기지 300Nm³/hr 수소개질기를 대상으로 실증을 진행 중에 있으며, 이후 사업을 전국으로 확대하고 시장 수요에 따라 선택적으로 저품질 탄산칼슘을 생산하고 인근 폐탄광에 매립하여 탄소배출권을 확보할 수 있도록 2단계 연구과제를 기획하고 있다.

저품위 테일링으로부터 유가금속 회수공정기술 연구

이승민¹,
한국생산기술연구원¹

A Study on the Process Technology for Recovering Valuable Metals from Low-Grade Tailings

Seungmin Lee¹
Korea Institute of Industrial Technology¹

요 약

전 세계적으로 탄소중립과 저탄소 성장 정책에 따라 알루미늄 산업의 생태계 전환이 활발히 진행되고 있다. 알루미늄은 자동차, 건축 등 다양한 산업에서 활용되며, 이에 따라 생산 및 응용 과정에서 에너지 저감 기술 개발이 중요해지고 있다. 본 연구에서는 우즈베키스탄 앙그렌 지역에 부존된 비보크사이트로부터 친환경적인 알루미늄 회수 기술을 연구하였다.

본 연구에서는 비보크사이트 광물에서 알루미나를 회수하는 공정을 개발하고, 이를 활용하여 2N급 이상의 고순도 알루미늄을 회수하는 실험을 수행하는 것이다. 이를 위해 광물의 정성 분석과 성분 분석을 통해 불순물을 제거하는 기술 확보하기 위해 연구하였다. 또한 회수된 알루미나 분말의 알루미늄 제련 원료로서의 적용 가능성을 평가하여 고온 전해정련 공정을 통해 2N 이상의 고순도 알루미늄을 회수하기 위한 실증 연구를 수행하였다.

본 연구의 결과는 저품위 광물, 폐광석, 광미 등에서 유용 광물을 추가 추출 및 생산하는 기술로 확장될 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 이번 연구를 통해 개발된 기술은 알루미늄 산업의 지속 가능한 발전에 기여할 수 있으며, 저탄소 성장 목표를 실현하는 데 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.

가스 하이드레이트의 열역학적 특성 분석: CO₂ 이송과정에 염이 미치는 영향

박지유, 이승민
한국생산기술연구원

Study on the thermodynamic properties of Gas hydrate: Influence of salt on CO₂ transport process

Jiyu Park, Seungmin Lee
Korea Institute of Industrial Technology

요약

최근 극단적인 기후 현상에 의해 CO₂ 지중저장 기술의 개발 중요성이 빠르게 증가하고 있다. 포집 CO₂의 이송 및 저장 시 파이프라인에서는 수분의 존재와 저온 및 고압의 운전 조건 아래 가스 하이드레이트의 형성이 발생할 수 있다. 따라서 수분에 의한 공정 문제 발생 억제 기술에 대한 산업적 수요가 커지고 있다.

본 연구에서는 저장소와 연결된 파이프라인 내 존재하는 지하수의 영향을 고려하여 CO₂ 하이드레이트 형성 및 해리에 대한 기초연구를 수행하였다. CO₂ 지중저장 과정 중 다양한 압력과 온도 조건에서 발생할 수 있는 가스 하이드레이트의 특성과 수분 및 염의 영향에 따른 열역학적 안정성 조건을 제시하였다. 또한, 고압 마이크로 시차 주사 열량계를 이용하여 정압·변온 조건에서 하이드레이트의 해리열을 분석하여 염수 및 수분의 영향에 따른 CO₂ 하이드레이트 열량 변화를 다양하게 측정하였다.

이러한 결과는 CO₂ 지중저장의 유동안정성을 위한 가장 기본적인 데이터가 되어줄 것으로 사료된다.

키워드: CCS, Gas Hydrate, phase equilibrium, enthalpy

**PEM 수전해 시스템의 안전 관리 향상을 위한
고장 유형 및 영향 분석(FMEA)**

이철호, 이재용
고등기술연구원 에너지환경연구센터

**Failure Modes and Effects Analysis(FMEA) for Safety Management
Improvement in PEM Electrolysis Systems**

Chul-ho Lee, Jae Yong Lee
Institute for Advanced Engineering

Abstract

Ensuring the safety and reliability of hydrogen production systems is crucial for industrial applications. Proton Exchange Membrane (PEM) electrolysis, a widely used method for green hydrogen production, faces challenges related to equipment durability and operational risks. To systematically identify potential failure risks and enhance safety measures, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) is applied to PEM electrolysis-based hydrogen production processes. This study evaluates key failure modes by assessing their likelihood, severity, and detectability to establish a proactive safety management framework. Based on the FMEA results, recommendations are provided to improve system resilience and mitigate risks, contributing to the development of safer and more reliable hydrogen production technologies.

acknowledgment

This work was supported by a grant (2410000018) from "Development of hydrogen production and charging facility safety evaluation model and safety monitoring system in railway area" funded by Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE, Korea)

Failure Modes Effects Analysis를 활용한 철도 환경 내 수소충전소의 위험 평가

이철호, 이재용

고등기술연구원 에너지환경연구센터

Risk Evaluation of Hydrogen Refueling Stations in Railway Environments Using FMEA

Chul-ho Lee, Jae Yong Lee

Institute for Advanced Engineering

Abstract

The installation of hydrogen refueling stations in railway environments offers the potential to utilize regenerative braking energy for sustainable hydrogen production, but ensuring operational safety is a key challenge. This study applies Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) to systematically assess potential failure risks and develop risk mitigation strategies for hydrogen refueling stations in railway settings.

Following an 8-step FMEA process, critical failure modes were identified, and risk levels were quantified based on Severity, Occurrence, and Detection rankings to derive the Risk Priority Number (RPN). The results indicate that hydrogen leakage and compressor malfunctions are major safety concerns, and the unique constraints of railway environments, such as spatial limitations and operational interference, may further increase risk levels. Based on these findings, design and operational improvements were proposed to enhance safety in railway-integrated hydrogen refueling stations.

This study provides a quantitative risk assessment framework for hydrogen refueling infrastructure in railway environments and offers insights for improving safety in future implementations. The findings contribute to the development of safer hydrogen refueling stations and support the establishment of safety guidelines for railway-based hydrogen infrastructure.

acknowledgment

This work was supported by a grant (2410000018) from "Development of hydrogen production and charging facility safety evaluation model and safety monitoring system in railway area" funded by Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE, Korea)

수소 생산을 위한 석유코크스 기반 합성가스 고농도 탈황 시스템 파일럿 규모 운전 특성

이철호, 윤덕규, 윤용승
고등기술연구원 에너지환경연구센터

Pilot-Scale Operational Characteristics of High-Concentration Desulfurization System for Syngas from Petcoke-Based Hydrogen Production

Chul-ho Lee, Deok-Kyu Youn Yong Seung Yun
Institute for Advanced Engineering

Abstract

Global interest in hydrogen energy has been increasing due to its role in reducing carbon emissions and addressing environmental concerns. Among hydrogen production methods, gasification of low-grade fuels, such as petcoke, is gaining attention. However, sulfur compounds like carbonyl sulfide and hydrogen sulfide present in the gas must be removed to ensure the system's efficiency. This study investigates a pilot-scale high-concentration desulfurization system, combining COS hydrolysis and H₂S wet removal to remove high-concentration sulfur, along with unreacted low-concentration gas removal via an adsorption tower. A 1,000 Nm³/h pilot plant was operated to analyze the system's effectiveness in sulfur removal under real-world conditions.

acknowledgment

This research was supported by a grant (2050000079) from "Development of Demonstration-scale Hydrogen Production Technology using Petroleum coke" Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korea government.

멀티 보일러 시스템의 대수제어 기반 부하 분배 최적화를 위한 CAE 성능 해석 및 운전 전략

이철호, 이재영, 김일호, 김영배[†]
고등기술연구원 에너지환경연구센터

CAE-Based Performance Analysis and Operational Strategy for Load Distribution Optimization Using Operating Number Control in Multi-Boiler Systems

Chul-ho Lee, Jae Young Lee, Il Ho Kim, Young Bae Kim[†]
Institute for Advanced Engineering

Abstract

Operating number control is a fundamental operational strategy in industrial boiler systems, enabling efficient response to load variations while maximizing energy efficiency and optimizing fuel consumption. In this study, CAE simulation was conducted to evaluate the effectiveness of operating number control in multi-boiler systems and to develop an optimal load distribution strategy. Using AMESim-based analysis, the effects of boiler operating number and load ratio on system performance were examined, and an optimized load allocation approach was proposed for various operational conditions. The results demonstrate that optimizing load distribution through operating number control significantly enhances thermal efficiency and minimizes fuel consumption, providing applicable control and operational strategies for multi-boiler systems.

acknowledgment

This work was supported by Korea Environment Industry & Technology Institute(KEITI) through R&D of Localization technology for core equipment and materials to strengthen competitiveness in the water/air environmental industry project, funded by Korea Ministry of Environment(MOE)(RS-2023-00219971)

GTR No.13기반 수소용기 화염시험을 활용한 TPRD 작동성 검증

이지원*

한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터

Verification of TPRD Activation through Fire Testing of Hydrogen Cylinders
Based on GTR No.13

Jeewon Lee

Korea Gas Safety Corporation Energy Safety Empirical Research Center

요약

본 연구는 GTR No.13 Phase 2의 ‘5.1.4. Verification Test For Service Terminating Performance in Fire’의 요구사항에 따라, 수소용기 화염시험 시 TPRD(온도감응형압력방출장치) 설치 예상 위치에서의 열환경 특성을 확인하고자 수행되었다.

GTR No.13은 용기 화재를 가정한 상황에서 TPRD가 설치될 위치는 차량 탑재 시 가장 보호가 잘되어 화재가 마지막에 도달할 가능성이 높은 부분(예: 용기 끝단, 프레임 부 등)으로 설계하고, 해당 위치에 화염을 직접 노출하여 작동성을 검증할 것을 요구한다. 본 실증을 통해 실제 TPRD가 설치될 가능성이 높은 위치에 대한 열 환경을 확인하고, 화염 노출 위치에 따라 열전달 특성이 어떻게 달라지는지 분석하였다.

실험 조건은 1,650mm 버너에 1,800mm 가상의 용기를 가정하여 용기의 양단, 상단, 하단에 총 16개의 Thermocouple(TC)를 설치하여 용기 주변의 온도 분포를 측정하였다. 총 3가지 Case로 진행하였으며 Case1은 가상의 용기 중심을 버너의 중앙에 위치, Case2는 시료의 왼쪽 TPRD 설치 위치를 기준으로 확장영역버너(Engulfing burner Zone)의 끝부분에 위치, Case3는 용기 중앙부의 위치를 국부영역버너(Localized burner Zone)의 왼쪽 끝부분에 위치하도록 하여 용기의 양측, 중앙부에 TPRD 설치 예상 위치에 따라 화염에 의한 온도 변화를 관찰하였다.

시험 결과, 화염 노출 위치에 따라 TPRD 설치 예상 위치의 열 환경이 상이하게 형성되는 경향을 확인할 수 있었으며, 이러한 조건 변화에 따라 TPRD 작동 환경에 영향을 줄 수 있는 요소로 판단된다. 본 연구는 GTR No.13에 따른 화염시험 수행 시 TPRD 위치 및 수량을 고려한 시험조건 설정의 중요성을 실증을 통해 제시하며 향후 수소용기 안전 기준 적용 및 시험 절차 설계 시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

액화수소 기반 인프라 확산을 위한 검사 지원 시스템 도입

김형조, 김필중

한국가스안전공사 수소안전정책처

Implementation of an Inspection Support System to Promote the Expansion of Liquid Hydrogen Infrastructure

HYEONGJO KIM, PILJONG KIM

Hydrogen Safety Policy Division, Korea Gas Safety Corporation

요약

최근 수소경제 활성화에 따라 액화수소 저장 및 운송 인프라의 확대가 가속화되고 있으며, 이에 따른 설비의 안전성과 신뢰성 확보가 중요한 과제로 대두되고 있다. 특히 액화수소는 극저온 및 고압 환경에서 운용되기 때문에 기존의 가스설비와는 다른 수준의 검사 및 안전관리 체계가 요구된다. 본 초록에서는 액화수소 기반 인프라의 확산을 위한 검사 지원 시스템의 주요 검사 항목과 시설, 장비 구축 현황 및 기대효과를 다루었다.

액화수소검사지원센터는 액화수소 기반 인프라 확산을 위한 검사를 지원하기 위해 충북 음성군에 2025년 2월 준공되었다. 액화수소검사지원센터의 주요 검사 항목으로는 액화수소 저장탱크 및 용기, 탱크로리의 진공단열검사와 밸브류(안전밸브, 긴급차단밸브)의 극저온 작동상태 검사 등이 있다. 주요 시설로는 시험 시 액화수소 공급을 위한 시험가스설비실이 있으며, 저장탱크, 용기, 탱크로리의 진공 단열 성능시험을 위한 저장탱크시험동, 그리고 액화수소용 안전밸브, 긴급차단장치 등 제품류에 대한 성능시험 및 법정검사를 위한 제품시험동이 있다. 각 시험동의 구축중인 설비로는 액화수소를 안전하게 운반 및 저장하기 위해 필요한 저장탱크, 초저온 용기, 운반 차량에 장착되는 탱크 등이 있으며 액화수소 시설에서 사용되는 안전밸브, 차단밸브 등 제품의 성능시험 및 법정 검사를 지원하기 위한 설비가 구축 예정이다. 또한 진공단열 성능시험을 위한 표준증발률 시험장비, 극저온 성능시험 장비 등 액화수소 안전성 검증을 위한 다양한 시험 장비가 설치될 예정이다.

센터의 건축과 설비 및 장비의 구축은 2025년 6월 완료될 예정이며, 시운전을 거쳐 같은 해 12월에 개소되어 액화수소 저장탱크, 안전밸브, 긴급차단장치 등의 제품 안전성 기반 마련과 더불어 국내 수소 기업이 글로벌 액화수소 시장에서 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

Key words : Liquid Hydrogen(액화수소), Infrastructure(인프라), Inspection Support System(검사지원시스템)

**액화수소검사지원센터 건립 및 충전소 모니터링 시스템 개발을 통한
액화수소 안전 인프라 구축**

허혜영, 김현우, 김필종
한국가스안전공사, 수소안전기술원

**Establishing liquid hydrogen safety infrastructure
by building a liquid hydrogen inspection center and
developing a charging station monitoring system**

HYEYOUNG HEO, HYUNWOO KIM, PILJONG KIM
Hydrogen Safety Policy Division, Korea Gas Safety Corporation

요 약

화석연료에 대한 대체제이자 지속 가능한 미래의 청정에너지원으로써 수소에너지가 주목받고 있는 가운데 기체수소 대비 대용량 저장·운송(동일 저장공간 기준 약 800배)이 가능한 액화수소의 활용에 대한 필요성이 대두되고 있다. 이러한 외부환경에 맞춰 액화수소 플랜트 및 충전소에 대한 지속적인 구축이 예상됨에 따라 액화수소 안정성 확보를 위해 산업통상자원부에서는 액화수소검사지원센터 및 액화수소충전소 모니터링 시스템 구축을 진행하고 있다. 액화수소검사지원센터는 저장탱크, 초저온용기, 안전밸브, 긴급차단밸브 등 액화수소용 특정설비류에 대하여 극저온 액화수소 환경에서의 시험평가를 진행할 예정이다. 또한, 액화수소충전소 모니터링 시스템은 충전소의 이상신호(위험/경고)에 대한 알람 및 주요설비의 상세운영데이터(온도, 압력, 유량 등)를 실시간 모니터링하여 이상상황 발생 시 신속하고 효과적으로 대응하고자 한다. 이처럼 액화수소 안전 인프라 구축을 통해 액화수소용 제품에 대한 안전성 확보 및 충전소의 안정적 정착과 사고예방에 기여할 것으로 기대된다.

Key words : Liquefied Hydrogen(액화수소), Safety Inspection(안전검사), LH2 station(액화수소 충전소), Monitoring System(모니터링 시스템)

고압 수소 가스의 방출속도 제어에 따른 배출 소요시간 특성 연구

윤성필, 류상오, 김일호, 전동환
고등기술연구원

A study on the characteristics of discharge need time according to the discharge velocity control of high-pressure hydrogen gas

Sung Pill Yun, Sang Oh Ryu, Il Ho Kim, Dong Hwan Jeon

Institute for Advanced Engineering

Abstract

수소경제 활성화를 위한 인프라 구축의 일환으로, 고압 수소의 안정적 공급을 위한 배관망

기반 실증 사업이 활발히 진행되고 있다. 배관망을 활용한 수소 공급은 기존 차량 운송 방식에 비해 대량 수소를 신속하게 이송할 수 있어 수소에너지 활용 확대와 산업 성장에 기여할 것으로 기대된다. 그러나 수소의 금속 취성, 넓은 연소범위, 낮은 점화 에너지 및 빠른 연소속도 등 고유 특성으로 인해 안전 확보가 필수적이며, 특히 이송 배관 내 수소를 비상 상황 시 대기 중으로 안전하게 배출할 수 있는 배출장치의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 고압 수소 이송 배관 내부의 수소를 안전하게 배출하기 위한 장치 개발을 목표로 Lab-scale 고압가스 배출 시험장치를 구축하였다. 시험장치는 길이 100 m, 직경 1인치 배관으로 구성하였고, 다양한 크기(1/4~1인치)의 배출 배관과 밸브를 통해 배출 유량을 조절할 수 있도록 설계하였다. 또한 배출관 말단에는 진동 센서 및 피토투관 방식의 유속 측정기를 설치하여 실시간 데이터 수집이 가능하도록 하였다. 고압 상태의 공기를 주입한 후 100 bar 도달 시 차단하고, 대기압 도달 시까지 배출 실험을 수행하였다. 본 실험은 향후 고압 수소 배출 시의 안전성 확보 및 배출장치 성능평가에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

Keyword: 고압 수소공급 배관망, 고압 수소배출장치, 고농도 수소, 소음, 진동

감사의 글

본 연구는 중소벤처기업부 재원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 수행한 연구 결과입니다. (No RS-2024-00454664)

Dynamic mesh를 적용한 내접 기어펌프의 CFD 해석

브릴리안토 리발도 멀시스, 박건영
한국자동차연구원

CFD Analysis of a Internal Gear Pump using Dynamic Mesh

Rivaldo Mersis Brilianto, Gunyoung Park
Korea Automotive Technology Institute

Abstract

This study presents a computational fluid dynamics (CFD) analysis of an internal gear pump used in a hydrogen recovery energy system, consisting of inner and outer gears rotating with a ratio of 6:7. The objective of the research is to develop a simulation technique capable of predicting the pressure difference between the inlet and outlet, as well as the mass flow rate at the outlet, under an inlet pressure of 16 bar. A torque input that linearly increases from 0 to 10,000 N·mm is applied to both the inner and outer gears, simulating a dynamic loading condition. A dynamic mesh is implemented using a user-defined function (UDF) developed specifically for this study to accurately model the motion of the gears and the resulting volume changes during rotation. The results demonstrate that the proposed method successfully captures the transient behavior of the internal gear pump, providing reliable estimations of flow characteristics under time-varying torque conditions. The study concludes that the use of a dynamic mesh combined with a UDF is effective for simulating the internal flow and performance of internal gear pumps, and can be further extended to optimize pump designs in future research.

후기 : 이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술기획평가원 (KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (No.RS-2024-00507688)

복합화력발전소 튜브트레일러 이용 수소공급설계에 대한 위험요인별 피해영향 저감방안 도출

김다희*, 이민철**,****

*인천대학교 공학대학원 안전환경시스템공학과, **인천대학교 안전공학과,
***소방방재연구센터

Identification of Damage Impact Mitigation Measures by Risk Factors for Hydrogen Supply Using Tube Trailers for Combined Cycle Power Plant

Da Hee Kim*, Min Chul Lee**,****

**Dept. of Safety and Environmental System Engineering, Incheon National University Graduate School of
Engineering*

***Dept. of Safety Engineering, Incheon National University*

****Fire Disaster Prevention Research Center, Incheon National University, Incheon 22012,
Korea*

요 약

지속가능한 수소경제사회 실현을 위해서는 밸류체인을 구성하는 생산, 공급, 활용의 각 단계가 유기적으로 연결되어야 한다. 단일 영역이 아니라 전체 영역이 통합적으로 개발되어 긴밀하게 연계될 때 효율적이고 성공적인 에너지 전환 및 수소경제사회를 구축할 수 있을 것이다. 그러나, 밸류체인의 중간 과정인 공급 단계는 생산된 수소를 소비자와 활용처에 안정적으로 전달하기 위한 핵심 역할을 수행함에도 불구하고 수소의 생산과 활용 분야에 비하여 상대적으로 연구가 미흡한 실정이다. 특히, 복합화력발전소에서는 수소를 외부로부터 공급받아 사용함으로써, 현재 국내에서 수행 중인 수소터빈의 실증 프로젝트의 목표를 성공적으로 달성하기 위해서는 수소의 안정적인 공급이 필수적이다. 따라서, 본 연구에서는 향후 수소터빈 상용화의 중요한 근본 인프라 구축의 일환으로써 복합화력발전소 수소공급체계의 위험요인을 도출하고 이에 대한 안전대책 방안을 마련하고자 하였다.

수소의 생산처에서 복합화력발전소까지 수소를 운송하여 공급하는 방식은 튜브트레일러, 파이프, 탱크로리, 선박이 있다. 본 연구에서는 튜브트레일러로 수소를 공급하고 있는 A 발전소를 대상으로 연구를 수행하였다. 튜브트레일러 시설 설계에 물리적 안전장벽(=이격거리 산정)과 기능적 안전장벽(=가스누출 감지 및 자동차단 시스템)을 추가하여 사고 발생 시 수소 누출량을 최소화함으로써 위험요소별 정량적인 피해영향범위를 감소시키고자 하였다. PHAST(Process Hazard Analysis Software Tool)와 ALOHA(Areal Location of Hazardous Atmospheres) 소프트웨어를 활용하여 사고의 피해영향범위를 분석하였으며 설계 내 물리적 안전장벽과 기능적 안전장벽의 추가한 결과, 종합위험도가 PHAST와 ALOHA 소프트웨어에서 각각 88.3 %, 90.6 %가 축소됨을 확인하였다.

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(00236869, 300MW급(H급) 가스터빈 50% 수소혼소 변환 기술개발 및 실증)

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2023-00270080, 수소터빈 연소기 시험평가 기술개발, 기여율 50%)

수소저장합금 지게차 및 수소충전시설 기준/기술 동향 분석

김다은, 김승환, 이한주
한국가스안전공사 가스안전연구원

Analysis of Trends in Hydrogen Storage Alloy Forklifts and Hydrogen Refueling Facility Standards/Technologies

Kim Daeun, Kim Seunghwan, Lee Hanjoo
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation
1390 Wonjung-ro, Maengdong-myeon, Eumseong-gun, Chungcheongbuk-do, Korea

요 약

정부는 탄소중립 정책의 일환으로 2030년까지 수소차 30만 대, 수소충전소 660기 보급 계획을 수립하였다. 이와 함께 물류 및 제조업 분야에서도 수소 모빌리티의 도입이 작업 환경 및 운영효율 개선을 위한 혁신적인 대안으로 주목받고 있으며 전 세계적으로 실증과 보급이 활발히 진행 중이다. 수소의 저장 방식은 수소 모빌리티 상용화에 있어 중요한 기술적 과제 중 하나로 고압 탱크를 이용한 저장 방식은 안전성 문제를 동반하며 액화수소는 극저온 저장 방식으로 인해 높은 에너지 소모와 비용 등의 부담이 따른다. 이에 반해 수소저장합금의 경우 상대적으로 저압 기술 적용이 가능하여 더 효율적이고 안전한 수소 저장 기술을 제공할 수 있다.

해외에서는 코카콜라, 월마트, 홈디포 등 대형 기업들이 실내 환경에서 수소연료전지 지게차에 수소연료를 직접 충전하며 수소 에너지를 활발히 사용하고 있다. 이러한 사례들은 수소연료전지 기반의 모빌리티가 실내 환경에서도 안전하게 운영될 수 있음을 보여준다. 그러나 국내에서는 실내 충전에 대한 안전기준이 부재하여 수소 실내 충전시설을 운영할 수 없으며 수소 실내 충전시설을 실증하기 위해서는 실증특례 제도를 활용해야 한다. 향후 실증특례 제도를 적용하여 수소저장합금 지게차 및 실내 충전시설의 실증을 추진할 계획이며 이를 통해 지게차와 충전시설의 안전성, 효율성을 검증하고 제도 개선의 근거를 마련하고자 한다.

본 연구의 일환으로 국내와 국외로 구분하여 수소저장합금 지게차 및 수소 충전시설에 대한 기준/기술 동향을 비교·분석하였다. 해당 연구 결과를 바탕으로 수소저장합금 지게차 및 실내 환경에서의 안전을 확보하기 위한 법령 개정에 기초 자료로 활용될 수 있다.

Acknowledgement : 본 연구과제는 산업통상자원부 및 한국에너지기술평가원의 ‘2024년 신재생에너지핵심기술개발사업(과제번호: RS-2024-00459712)’의 지원을 받아 수행되었습니다.

국내 가스 제조업의 업종별 유통 흐름과 주요 용도 분석

최우수¹, 한지혜^{2*}, 윤준현^{3**}
화학물질안전원 사고예방심사1과

Analysis of Distribution Flows and Major Applications by Sector in the Korean Gas Manufacturing Industry

WooSoo Choi · Jihye Han* · Junheon Yoon**

Division 1 of Accident Prevention and Assessment, National Institute of Chemical Safety(NICS),
Ministry of Environment

요 약

본 연구는 2022년 화학물질 통계조사를 활용하여 국내 주요 가스 제조업에서 물질 흐름 구조를 해석하고자 하였다. 이를 위해 업종별 유통형태와 비율을 분석하여 주요 조달 방식과 공급 흐름의 특성을 파악하였으며, 취급 용도별 해석을 위해 제조, 수입, 구매된 후 각각 사용 또는 판매되는 경로를 세분화하여 분석하였다. 총 취급량은 약 1억 700만톤으로, 산업용 가스 제조업이 70.0%, 연료용 가스 제조 및 배관공급업이 24.3%, 증기·냉온수 및 공기 조절 공급업이 5.6%를 차지하였다.

산업용 가스 제조업에서는 반도체용 물질, 중간체, 연료, 산화제의 경우 제조자와 사용자가 분리되어, 판매 형태로 유통이 많이 되었다. 반면 세정제와 세척제 용도 가스는 구매나 판매량의 비중이 매우 낮아 대부분이 자체 사용을 목적으로 제조되는 것으로 추정되었다. 에어로졸 추진제는 외부에서 구매되어 직접 사용되었고, 연료첨가제는 구매 후 판매되는 방식으로 유통되었다. 또한, 용접제, 열전달제, 집착제·결합제 등은 생산과 구매를 병행하여 외부로 판매되었고, 흡수제와 흡착제는 제조 또는 수입을 통해 자가 사용되었다.

연료용 가스 제조업에서 연료를 수입하거나 구매하여 대부분 판매로 유통하였다. 연료첨가제, 용접제는 수입량은 미미하였으며, 외부에서 구매되어 판매되었다. 반면, 증기, 냉·온수 및 공기 조절 공급업과 증류기, 열 교환기 및 가스 발생기 제조업에서는 연료와 충전제를 국내에서 구매하여 직접 사용하는 형태로 유통되었다. 본 분석은 업종별·용도별 유통 특성에 대한 이해를 제공하며, 향후 산업 내 물질 흐름관리와 정책 수립의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

keyword: Gas Manufacturing Industry, Chemical Handling, Distribution Patterns, Statistical Analysis, K-REACH

시험설비 구축을 위한 안전 요구사항 고찰

이응우

한국항공우주연구원 발사체제품보증실

A Study on Analysis of Safety Requirements for Test Facility Establishment

Eungwoo Lee

KARI Launch Vehicle Product Assurance Office

요 약

국가 우주 개발 역량 강화 및 독자적인 우주발사체 확보를 위한 연구개발이 활발히 진행됨에 따라, 개발된 시제품 및 개발품의 성능 검증을 위한 핵심 인프라인 시험설비의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 시험설비는 액화산소와 같은 극저온 추진제, 고압가스, 유독 물질로 분류되는 추진제 등 고위험 에너지 물질을 대량으로 취급함에 따라 이러한 시험설비의 구축 단계에서부터 잠재된 위험 요소를 체계적으로 식별하고 관리하기 위한 심층적인 안전성 검토가 필요하다.

따라서 본 발표에서는 우주발사체 시험설비와 같이 고위험 요소를 다수 포함하는 시설의 안전한 구축을 위해 계획, 제작, 시운전 등 전주기 전반에 걸쳐 수행되어야 할 핵심 안전성 검토 사항 및 관리 방안을 고찰하고자 하였다.

이를 위해 해외 구축사례 및 요구조건, 국내 기준 등을 다각적으로 검토하여 단계적으로 검토되고 수행되어야 할 지상설비 안전중요항목(SCIL)을 도출하고자 하였으며 최종적으로 안전한 연구개발 환경 조성에 만전을 기하고자 하였다.

구조안전성이 확보된 가스배관 건설용 경량화 웰딩하우스

권순길, 김준호

한국가스공사 가스연구원

Lightweight Welding House with Structural Safety for Gas Pipeline Construction

Sun-Gil Gwon, Joon-Ho Kim

Research Institute, Korea Gas Corporation

요 약

한국가스공사는 매설 가스배관 건설현장에서 배관의 이음부 용접 및 비파괴 검사 시 토사 붕괴 및 비산물 낙하에 대한 작업자의 안전을 확보하기 위하여 웰딩하우스를 설치하여 운용하고 있다. 그런데 현장에서 사용하고 있는 웰딩하우스는 배관 용접 위치로 이동시키기 위해서 무거운 중량으로 인해 매번 크레인이 필요하여 이동 및 설치에 번거로움이 있다. 또한 기존 웰딩하우스는 지붕이 있는 작업자 보호용과 지붕이 없는 비파괴 검사용으로 각각 제작 및 사용되고 있는 상황이므로 이와 같은 비효율성에 대한 개선이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 웰딩하우스에 대하여 구조안전성도 확보하면서 경량화를 달성할 수 있는 개선안을 제시하였다. 개선된 웰딩하우스는 20인치 및 30인치 배관용으로 구분되며, 상단에 개폐식 커버가 설치된다. 그리고 기존 웰딩하우스와 전체 폭, 길이, 높이는 동일하면서 재료와 부재 단면 사이즈를 달리 하였다. 경량화를 달성하기 위하여 고려한 재료는 고강도로 부재의 단면을 최적화할 수 있는 SM420과 경량재료인 FRP 및 알루미늄이다. 하중조건으로 토압에 의한 수평하중과 차량통행에 의한 상재 수직하중을 고려하여, 각 재료의 웰딩하우스에 대하여 설계기준을 만족시키도록 부재단면을 설계하였다. 그리고 2D요소를 활용한 상세 구조해석을 수행하여 결과를 검증하였다. 검증 결과, 세 가지 안 모두 구조안전성을 확보할 수 있으며, 알루미늄 웰딩하우스의 중량이 가장 작은 것으로 나타났다. SS275로 제작된 기존 웰딩하우스와 비교하면, 알루미늄 웰딩하우스는 절반 수준의 중량이며서 제작단가는 더 낮은 수준으로 산출되었다. 따라서 알루미늄 웰딩하우스는 경량화를 달성할 수 있을 뿐만 아니라 구조안전성과 경제성도 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

LNG 펌프의 비정상 진동신호 대응방안

권순길, 고재필, 최원목
한국가스공사 가스연구원

Countermeasure against Abnormal Vibration Signal of LNG Pump

Sun-Gil Gwon, Jae-Pil Koh, Won-Mog Choi
Research Institute, Korea Gas Corporation

요 약

한국가스공사는 액화천연가스(LNG)를 이송 및 압축하기 위한 다수의 저압 및 고압 LNG 펌프를 운용하고 있다. LNG 펌프는 회전기기로서 운전 중에는 항상 진동이 발생하며 설비 내 이상이 있는 경우 평소보다 더 큰 진동이 발생하게 된다. 따라서 LNG 펌프에는 일반적으로 두 개의 가속도센서가 설치되어 있고 진동이 상시 모니터링 되고 있다. 가속도센서 신호는 신호선을 따라 진동감시시스템(Vibration Monitoring System, VMS)으로 전송되며, VMS에서는 사전에 설정된 진동기준에 따른 현재 진동값의 수준(양호, 주의, 경고 등)을 보여준다. 또한 VMS로부터 취득한 실시간 진동데이터의 주파수 분석을 통하여 LNG 펌프의 부품별 이상유무를 판단할 수도 있다. 특히 LNG 저장탱크 내부에 위치하여 육안 점검이 어려운 저압 LNG 펌프의 경우 이러한 진동신호는 상태진단을 위한 매우 중요한 데이터이다. 따라서 진동신호가 가속도센서로부터 VMS까지 정상적으로 도달할 수 있는 환경이 마련되어야 한다.

본 연구에서는 우리공사의 천연가스 생산기지 내 비정상 진동신호가 발생하는 저압 LNG 펌프에 대하여 다양한 진동 측정을 통하여 원인을 분석하고 대응방안을 제시하였다. 해당 펌프는 VMS에서 매우 큰 진동신호가 나타나고 있어 정상적인 모니터링이 불가능한 상태였다. 비정상 진동신호의 원인을 찾기 위하여 총 4가지의 진동신호를 측정하였다. 첫 번째로, 저장탱크 상부에 있는 Junction Box(JB) 내에서 가속도센서로부터 오는 신호를 측정하였으며 정상으로 나타났다. 두 번째로, JB 내에서 증폭기를 거쳐 나오는 신호를 측정하였으며 비정상적으로 나타났다. 세 번째로, JB에서 VMS로 가는 케이블에 가진기 설치 후 VMS에서의 신호를 측정하였으며 정상으로 나타났다. 마지막으로, JB 내 증폭기 대신 Voltage Repeater(VR)를 설치하여 VR에서 나오는 신호를 측정하였으며 비교적 양호한 신호를 취득할 수 있었다. 따라서 해당 펌프의 비정상 진동신호는 펌프의 기계적인 결함이 아닌 JB 내 증폭기의 비정상적인 작동이 원인인 것으로 판단되며, VR을 통하여 일부분 해결할 수 있는 것으로 나타났다.

CFD-FEA를 통한 수소충전소 증기운 폭발에 따른 방호벽 구조 응답 평가

오세현*, 심승현*, 백승현**, 마병철**

*전남대학교 화학공학과, **전남대학교 공정혁신 시뮬레이션센터

Evaluation of Structural Response of Barrier in a Hydrogen Refueling Station Due to Vapor Cloud Explosion Using CFD-FEA Coupling

Se-hyeon Oh*, Seung-hyun Shim*, Seung-heon Baek**, Byung-chol Ma**

*Dept. of Chemical Engineering, Chonnam National University, **Center for Process Innovation Simulation, Chonnam National University

요 약

수소는 화석 연료를 대체할 에너지로 떠오르고 있다. 수소는 다양한 분야에서 활용되고 있고 특히, 운송 분야에서는 지속적으로 성장하고 있어 이에 수소충전소 건설도 증가할 계획에 있다. 수소충전소에서는 액화된 수소가 아닌 고압 기체로 저장한 수소를 비용적인 이유로 현재까지 더 많이 활용하고 있다. 하지만, 수소는 넓은 인화 범위와 쉽게 점화되는 특성에 따라 폭발·화재로부터 위험하다. 이에 폭발로부터 피해를 최소화하기 위한 방호벽 설치에 대한 연구도 진행되고 있다. 수소 누출에 따른 증기운 폭발은 대부분 폭연 특성을 가져 양압과 부압 구간이 TNT와 같은 폭굉과 달라 구조물에 미치는 영향이 다르다. 따라서, 본 연구에서는 시뮬레이션을 활용하여 수소충전소에서의 수소 누출에 의한 증기운 폭발로부터 방호벽에 미치는 영향을 평가하고자 한다. 이를 위해 고압 수소저장탱크에서의 누출로 사고시나리오를 결정하고, FLACS 시뮬레이션을 통해 증기운 폭발을 시뮬레이션한다. 이때, 점화 위치는 화학양론농도에서와 방호벽 전면에서로 정하여 방호벽에 미치는 과압을 도출한다. 폭발 하중은 FLACS 시뮬레이션 결과인 폭발 과압을 활용하여 방호벽에 맵핑(mapping)하여 증기운 폭발로부터 방호벽에 미치는 구조 응답을 ANSYS Explicit Dynamic 시뮬레이션으로 분석한다. 그 결과, 방호벽 설계 기준에 따라 설계된 방호벽에 파괴 및 붕괴는 발생하지 않음을 알 수 있었다. 이처럼 증기운 폭발로부터 실험 또는 시뮬레이션을 통해 도출한 과압을 구조 해석에 적용한다면 수소충전소에서의 방호벽 설계 및 수소 취급시설에서의 안전성 향상에 도움이 될 것으로 기대한다.

바이오연료용 폐식용유의 열적 안정성 및 화재 위험성 연구

최이락, 김천동, 서동현

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

Study on Thermal Stability and Fire Hazard of Waste Cooking oil for Biofuel

Yi Rac Choi, Chun Dong Kim, Dong Hyen Seo

요 약

바이오연료는 식물, 동물, 미생물 등과 같은 바이오매스를 원료로 얻어지는 친환경에너지이며, 석유제품과 화학적으로 유사하여 기존 내연기관과 인프라를 변경할 필요 없이 사용가능한 대체연료로 분류된다. 폐식용유는 바이오연료 중 바이오디젤, 바이오항공유, 바이오선박유에서 사용되고 있는 핵심 원료로써 식물성 원료유의 수입을 대체하고 생산 비용을 절감할 수 있어 수거 확대 노력과 전처리 기술개발 및 설비 투자가 이어지고 있다. 폐식용유와 같은 유지를 저장탱크에서 장기간 방치하는 경우 산패작용 등으로 발생한 가연성가스가 체류할 가능성이 크며, 용접 등의 화기 작업 중 발생한 불티가 탱크 내부로 비산할 경우 폭발 및 화재가 발생할 수 있다. 2006년과 2022년 폐식용유 저장탱크 상부에서 용접 작업 중 발생한 폭발사고로 각각 3명, 1명이 사망한 사례가 대표적이다.

본 연구에서는 폐식용유 재활용업 사업장에서 채취한 폐식용유와 사용되지 않은 식용유 3종을 대상으로 시차주사열량계(DSC), 열중량분석(TGA), 인화점 등의 시험을 통해 열안정성 및 화재 위험성을 평가하였다. 또한 사고 원인을 분석하여 폐식용유 저장 및 취급시 화재·폭발사고 예방을 위한 안전대책을 제시하였다.

천연가스발전소 화재·폭발·누출 비상대응시간 단축에 관한 연구

임상민, 강찬규

한경국립대학교 사회안전시스템공학부 안전공학전공

Study in the Reduction of Emergency Response Time in the Event of Fires, Explosions, and Leaks at Natural Gas Power Plant

Sangmin Lim, Chankyu Kang

Dept. of Social Safety System Engineering, Hankyong National University

요 약

2050 탄소중립을 실현하기 위한 중간단계로 정부는 제11차 전력수급기본계획을 통해 2025년부터 2038년까지 노후 석탄화력발전소 40기를 단계적으로 폐쇄하고, 이를 액화천연가스(LNG)와 양수발전 등으로 대체하겠다는 에너지 전환 정책을 수립하였다. 또한 가스 터빈의 관성모드 운전은 태양광 등 재생에너지의 급속한 확대에 전력계통 주파수 불안정 해소방안으로 채택되었다. 이러한 정책 변화는 온실가스 감축과 대기환경 개선 등 긍정적 효과를 기대할 수 있으나, 동시에 도심지에 지어지는 천연가스 발전소의 특성상 천연가스의 누출·화재·폭발 등 새로운 유형의 중대시민재해 가능성이 증가함에 따라 보다 정교한 공정안전관리(PSM)가 요구된다.

기존의 발전소 비상대응에 대한 연구는 주로 원자력전소에 초점이 맞춰져 있으며, 대규모 재난 상황에 대한 가능성과 피해 영향에 대한 설명하고 있다. 이에 본 연구는 천연가스발전소의 화재·폭발·누출 주요 사고 시나리오에 대해 KOSHA GUIDE P-107-2020 「최악 및 대안의 누출시나리오 선정에 관한 기술지침」을 기준으로 진행했다. 피해예측 프로그램 특성상 적용이 어려운 내용은 현장 상황에 맞게 변경하여 정량적 위험성평가(Quantitative Risk Assessment, QRA)를 수행한다.

또한 2024년 신규 개정된 KS C IEC 60079-10-1 「인화성가스 및 증기에 대한 폭발위험 장소 계산 기준」을 적용하여 QRA에 의한 이론적 피해영향범위를 실제 적용 가능한 폭발반경으로 반영하고자 하였다. 이를 통해 천연가스발전소의 화재·폭발·누출 시나리오 중 발생 가능성이 높고 중대성이 큰 시나리오를 발굴한다.

본 연구의 목적은 천연가스발전소의 화재·폭발·누출 비상조치 프로세스를 체계적이고 효율적으로 개선하여 기존의 화재·폭발·누출 재난상황에 대한 비상대응시간을 단축시키고자 한다.

제조식 수소충전소에 대한 3년간의 운영 고장 분석 및 신뢰성 평가

오종연, 정대웅, 현규환
고등기술연구원 수소에너지솔루션센터

Failure Patterns and Reliability Assessment from Three Years of On-Site Hydrogen Refueling Station Operation in Korea

Jongyeon Oh, Daewoong Jung, Kyuhwan Hyun
Hydrogen Energy Solution Center, Institute for Advanced Engineering, Yongin 17180, Korea

요약

제조식 수소충전소(On-site HRS)는 수소의 지역 내 생산 및 공급을 통해 외부 유통망에 대한 의존도를 줄이는 이점이 있으나, 아직 설치 사례가 제한적이고 장기 운영 데이터가 부족해 설비 신뢰성과 운영 특성에 대한 체계적인 분석이 미흡한 실정이다. 본 연구는 2022년부터 2024년까지 3년간의 실제 운영 데이터를 기반으로, 특히 2023년도 데이터를 중점 분석하여 주요 고장 유형, 고장 원인별 정비 소요 시간, 유지보수 효율성 등을 평가하였다.

총 74건의 고장 중 가장 빈번하게 발생한 항목은 개질기 내 CO 제거 설비(PSA) 열화로 인한 고장 23건(31%), 저압 압축기의 피스톤 및 가스켓 마모 13건(18%), 칠러 냉매 누출 5건(7%) 순이었다. 개질기 고장은 수소 순도 저하로 이어졌으며, 평균 19.5시간의 정비 시간이 소요되었고, 압축기 고장은 효율 저하 및 가스 누출을 유발하며 평균 4.3시간의 복구 시간이 필요했다. 대부분의 장시간 정비는 설비의 기술적 미성숙성과 시스템 신뢰성 한계에서 기인하였으며, 이에 대한 개선은 향후 현장형 수소충전소의 장기적 신뢰성 확보 및 상용화 확대에 핵심적인 과제로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구임. (RS-2024-00419764, 수소충전소내 핵심설비와 부품 내구성 및 효율향상)

실증 데이터를 활용한 바이오메탄 기반 제조식 수소충전소의 수익성 분석

윤종혁, 오종연, 송형운
고등기술연구원 수소에너지솔루션센터

Profitability Analysis of Biomethane-Based Hydrogen Refueling Station using Real-World Operational Data

Jonghyuk Yoon, Jongyeon Oh, Hyoungwoon Song
Hydrogen Energy Solution Center, Institute for Advanced Engineering, Yongin 17180, Korea

요약

제조식 수소충전소는 수소경제로의 전환 과정에서 핵심적인 역할을 수행하고 있다. 특히, 바이오메탄 기반 수소 생산은 탄소중립 달성 가능성과 경제적 타당성 측면에서 기존 화석연료 기반 수소 생산의 유망한 대안으로 주목받고 있다. 본 연구는 국내 상업용 바이오메탄 기반 수소충전소의 실운전 데이터를 활용하여, 다양한 운영 시나리오에 따른 수익성 평가를 수행하였다.

총 12개의 시나리오를 구성하여 장비 내구성, 바이오메탄 조달 방식, 이산화탄소 포집 및 활용(CCU), 자본적 지출(CAPEX) 등의 요소 변화에 따른 재무 성과를 분석하였다. 주요 수익성 지표로는 순현재가치(NPV), 수익성지수(PI), 내부수익률(IRR)을 적용하였다. 분석 결과, 장비 내구성 향상과 무상 바이오메탄 공급이 이루어지는 시나리오에서 가장 높은 수익성이 나타났으며, 해당 시나리오에서는 NPV가 198만 달러 이상, IRR은 16%를 초과하는 것으로 분석되었다. 또한, 이산화탄소 판매 수익은 운영 비용을 상쇄하는 데 기여하여 수익성 향상에 긍정적인 영향을 미쳤다. 반면, 높은 초기 투자비용(CAPEX)과 바이오메탄 구매 비용이 수반되는 시나리오는 재무적 타당성이 낮게 나타나, 정부 보조금 등 초기 투자 확보 방안의 필요성과 비용 효율적인 프로젝트 관리의 중요성을 시사한다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구임. (RS-2024-00419764, 수소충전소내 핵심설비와 부품 내구성 및 효율향상)

실증 데이터로 검증된 수소충전 시스템의 열역학 모델링 및 시뮬레이션

오종연, 현규환, 홍기훈
고등기술연구원 수소에너지솔루션센터

Thermodynamic Modeling and Simulation of Hydrogen Fueling Systems Validated with Real-World Data

Jongyeon Oh, Kyuhwan Hyun, Gihoon Hong
Hydrogen Energy Solution Center, Institute for Advanced Engineering, Yongin 17180, Korea

요 약

수소연료전지차(HFCEV)의 고압수소 충전 과정은 차량탱크 내 온도상승과 충전속도 지연이라는 두 가지 주요 과제에 직면해 있다. 대부분의 수소충전소에서는 이러한 문제를 캐스케이드 시스템을 통해 해결하고 있으나, 다양한 충전소 구성과 운전 조건에 따른 충전 시스템 성능을 평가할 수 있는 필요성이 대두되고 있다. 그러나 이를 위한 일반화된 검증 시뮬레이션 코드가 부족하고, 실험 결과 또한 제한적인 상황이다.

본 연구에서는 실제 HRS 구성을 반영하여 캐스케이드 시스템을 포함한 수소충전 과정을 모사할 수 있는 모델을 개발하고, 이를 바탕으로 다양한 사례 연구를 수행하였다. 기존 연구보다 정교한 수학적 모델과 시뮬레이션 코드를 구현하여, 경량 차량뿐만 아니라 중대형 차량에 대해서도 다양한 운전 조건 및 연료 탱크 유형을 고려한 충전 과정을 정확하고 광범위하게 모사할 수 있도록 하였다. 개발된 모델의 신뢰성은 실제 운용 중인 수소충전소에서 수집한 극한 운전 조건을 포함한 실측 데이터를 통해 검증하였다. 본 연구에서 구현한 시뮬레이션 코드는 오픈소스로 제공되며, 향후 수소충전소의 구성 및 운전 지침 수립에 유용하게 활용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구임. (RS-2024-00419764, 수소충전소내 핵심설비와 부품 내구성 및 효율향상)

유기성폐기물 활용한 바이오가스(CH₄, CO₂) 중 메탄-가스를 농축하여 하이브리드 연료 및 가스생산연구

한종일^{1*}, 이승호^{2**},민진원^{3***}, 김수완^{4***}
한국가스기술공사 신에너지연구원

Research on Fuel and Clean gas Production by Concentrating Methane gas from Biogas using Organic Waste

Han Jong il^{1*}, An hyun^{2**}, Min jin Won^{3***}, Kim Soo Wan^{4***}
Korea Gas Techinology Corporation New Energy Center

요 약

국가온실가스감축목표(NDC)에 따라 2030년까지 달성해야 하는 탄소감축량의 10%를 수소로 2050년에는 총감축량의 25%수소를 달성하겠다고 한다. 탄소중립 달성 위해 조기 확보가 필요한 에너지기술의 신속 개발 및 혁신적 원천기술의 단계적 개발 실증 필요하다. 유기성폐기물(음식물류, 폐기물, 가축분뇨, 하수슬러지, 폐과일등)은 인간 사회에서 부득이하게 발생될 밖에 없는 폐기물로서, 다른 폐기물 보다 에너지화 가능성이 크고 추가적인 CO₂를 배출하지 않아 이를 자원화 할 경우 폐기물 처리와 대체 에너지의 생산이라는 2가지 효과를 기대할 수 있다. Biogas의 주성분은 메탄(45~75%)과 이산화탄소(30~48%)이며, 황화수소(H₂S)를 비롯한 암모니아(NH₃), 수소(H₂), 질소(N₂), 일산화탄소(CO) 등 미량가스(trace gas)를 포함한다. Raw-바이오가스에 포함되어 기기의 부식을 유발하는 수분, 황화수소(H₂S) 및 할로젠화합물을 제거하는 것을 전처리 혹은 Cleaning기술개발이 필요하다.

본 연구에서는 하이브리드 수열탄화(Hybrid hydrothermal carbonization (Hybrid HTC) 기술을 활용하여 국내 유기성폐기물을 대상으로 온도 및 반응시간의 변화에 따라 발열량 및 수율 등에 미치는 영향에 대하여 평가하였다. 불순물 가스의 공정변수를 최적화하고 전 공정 플랜트의 에너지 효율성을 향상 시킬 수 있으며, 수열탄화 기술에서 분해되어 가스가 생성되는데 이때 수소(H₂) 및 메탄(CH₄)등 제조 및 고형원료생산 기술개발을 할 수 있다. 본 연구 결과를 토대로 유기성 바이오 폐기물 (0.5t/day)실증 물질수지 및 에너지수지 도출과 함께 경제성도 평가하였다. 최종생산물인 고형연료(SRF)는 우드펠릿 대체효과로 보일러 및 발전소에 사용이 가능하며 또한 차세대 청정가스는 바이오항공유(SAF(합성 연료(e-fuel)활용과 바이오수소충전소, 도시가스 Gas- Grid, 수소에 공급하는 등 Natural Gas를 대체하여 에너지원으로 활용할 수 있다.

*사사 : 본 연구는 산업통상자원부와 한국에너지기술평가원(20227310100060)의 지원받아 수행한 과제입니다.

특수가스 공급 보조용 저온 제어 시스템의 작동 안정성 평가

백성훈*, 류한일, 김민수, 박대일, 홍숙영
삼성전자 글로벌제조&인프라총괄 GCS팀

Evaluation of Operation Stability of a Low-Temperature Control System for Specialty Gas Supply Assistance

Sunghoon Baek*, Hanil Ryu, Minsu Kim, Daeil Park, Sookyoung Hong
GCS Team, Samsung Electronics

요 약

A low-temperature control system is an essential equipment that provides a reliable storage environment for thermally-sensitive specialty gases utilized in the semiconductor industries. B_2H_6 (diborane) is known as a representative material that the molecules readily experience thermal decomposition and rapidly degenerate to various forms of higher boranes even under the room temperature condition. Fortunately, thermal decomposition of diborane can be effectively inhibited by storing a diborane gas container at the temperature of 2-4 °C. Most semiconductor companies also have mainly adopted a temperature control system based on a vapor-compression refrigeration cycle, which utilizes a fix-speed compressor, due to its structural robustness, design flexibility, and low energy consumption. However, in the field, the control systems have often failed to provide a sufficient cooling capacity, resulting in that the temperature inside a cooling jacket storing the gas container was unable to reach the target temperature range. Thus, in this study, we carried out studies on the cycle operation design of the low-temperature control system in terms of refrigeration engineering. Specifically, we performed technical refrigeration cycle experiments on two operating conditions and analyzed the detailed thermodynamic behavior of the refrigerant in each cycle diagram. As a result, it is found that thermodynamic state of refrigerant at an inlet of an expansion valve did not enter the subcooling regions. In addition, it is evaluated that the insufficient subcooling in the condenser results in a reduction of cooling capacity and an ununiformity of the refrigerant flow rate, which ultimately leads to the reduction of the cooling performance. In the presentation, we will discuss practical methods to increase the heat transfer rate in the condenser and improve the stability of the low-temperature control system.

파괴저항성평가(K_{IH}) 시험장비 구축 및 시험방법 확립

신민하, 김철만, 김영표, 장윤찬*
한국가스공사 가스연구원 설비기술연구소

Establishment of Test Method and Build of Equipment for Determining Threshold Stress Intensity Factor under High Pressure H₂ Gas

Minha Shin, Cheol-Man Kim, Young-Pyo Kim, Yun-Chan Jang*
KOGAS Research Institute, Gas Technology Research Division

요 약

최근 지구 온난화에 따른 이상기온현상으로 각종 자연재해가 크게 증가하고 있으며, 이에 대한 대책 중의 하나로 온실가스 감축 문제를 제기하고 있다. 국내 천연가스는 메탄(CH₄)이 주요 성분으로, 최대 20%까지 수소가스로 대체하여 공급할 경우 연간 765만톤의 온실가스(CO₂)를 감축시킬 수 있다고 한다. 현재 한국가스공사는 국내 수소혼입 로드맵(*22.2)에 따라 공사 천연 가스 배관망을 수소 혼입 배관으로 전용하기 위한 사용적합성을 연구하고 있다.

ASME B31.12(2023)에 따르면, API 5L X65 등급 이상의 소재를 배관(line pipe)으로 사용할 경우, 최대운영압력(MOP)을 10 MPa 미만이 되도록 제한하고 있다. 또한 배관의 두께는 2가지 선택 방안(Option A & B)을 제시하고 있다. Option A는 개념기반으로, 수소배관 전용 두께 수식을 사용하며, 신규 배관을 설치할 경우 적합하다. Option B는 성능기반으로, 수소분위기에서의 파괴저항성평가(K_{IH})와 피로균열성장(FCGR) 특성 등을 포함한 일부 시험조건을 만족시키면 기존 천연가스배관을 수소가스배관으로 변경하여 사용할 수 있는 기준이다. 따라서, 기존 배관에 수소가스를 혼입하기 위해서는 Option B를 선택하여야 하며, Option B의 시험항목 중 수소분위기 파괴저항성평가(K_{IH}) 시험을 수행하기 위하여 글로브 박스와 고압용기, COD게이지와 디지털 인디게이터 등 시험설비를 구축하였으며, 이에 가스배관의 수소혼입에 따른 내수소취성 평가 결과의 신뢰성을 향상시키기 위하여 최적의 시험방법을 정립하고자 한다.

수소분위기 파괴저항성평가(K_{IH})는 ASTM E1681(2023)에 따라 수행하였다. 배관 소재는 4가지(X52, X65, X70, AISI 4340)이며, 볼트 하중 CT(Bolt-load Compact Tension) 형태의 시험편을 제작하여 피로 예비균열을 제작하였다. X52는 ASME B31.12에서 수소배관용으로 추천하는 재료이며, X65와 X70은 현재 국내에서 사용하고 있는 천연가스 배관이다. AISI 4340은 비교대상으로 선택하였다. 산소와 수분을 1 ppm 미만으로 유지하는 글로브 박스 안에서 다양한 조건의 응력확대계수(K)에 도달하도록 시험편에 볼트 하중을 가하였다. 고압용기 내에서 8MPa의 수소가스 압력으로 1,000시간(약 42일) 동안 유지 후 시험편을 파단시켜 균열 전파 길이를 측정하였다. 0.25 mm이하인 경우 내수소취성 재료로 판정한다.

현재 수소 100 %, 8MPa의 분위기로 각 시험편별 K_{IH} 계수를 도출해 내기 위한 시험이 진행 중이다.

후기 : 본 연구(RD2024-0081, 가스배관 수소혼입을 위한 내수소취성 평가)는 한국가스공사의 지원으로 수행된 연구결과 중 일부이며, 지원에 대해 진심으로 감사합니다.

FG-SAGD 공법의 생산성 효율 분석

박준서, 조성학, 이정환*
전남대학교 에너지자원공학과

Analysis of Productivity Efficiency in the FG-SAGD process

Junseo Park, SeongHak Cho, Jeonghwan Lee*
Dept. of Energy and Resources Engineering, Chonnam National University

요 약

캐나다에 막대한 매장량을 보유하고 있는 오일샌드(oil sands)는 일반적으로 고온·고압의 스팀을 저류층 내로 주입하여 오일 점성도를 낮추는 SAGD (steam assisted gravity drainage) 공법을 통해 생산된다. 하지만 SAGD 공법은 스팀 생산 과정에서 높은 에너지 소비와 다량의 이산화탄소(CO₂) 배출로 인해 환경 문제가 발생하며, 스팀 주입 시, 주변 지층으로의 열 손실(heat loss)로 인해 생산 효율이 저하되는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 스팀 발생기에서 배출되는 질소(N₂), CO₂로 구성된 배가스(flue gas)를 함께 주입하는 FG-SAGD (flue gas-SAGD) 공법과 함께, 주입정의 수직 구간에 단열을 적용함으로써 환경적 문제를 완화하고 오일 생산성을 향상시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 상용 저류층 시뮬레이터인 CMG社의 STARS 모듈을 이용하여 캐나다 Athabasca 지역의 저류층 물성을 바탕으로 저류층 모델을 구축하였다. 이때, 오일 물성은 Black Pearl社의 BRI PORTAGE well (2-36-76-18) 물리 검층 데이터를 기반으로 구성하였다. 주입하는 배가스는 10%(N₂ 80% + CO₂ 20%)로 설정하였으며, 주입정 수직 구간에는 열전도율 0.006 W/m·k의 진공 단열관(vacuum insulated tubing, VIT)을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과, 단열 적용 시, 스팀 품질(steam quality) 감소는 주입 조건 대비 3% 미만으로 나타났으며, 누적 오일 생산량(cumulative oil production)은 SAGD공법에 비해 약 10% 향상되었다. 또한, 주입된 스팀의 양과 생산된 오일의 비율을 나타내는 누적 스팀-오일 비(cumulative oil steam ratio, cSOR)는 약 18% 감소한 것으로 확인되었다. 이는 유정 단열과 주입 유체의 시너지 효과로 인해 열전달 효율과 오일 점성도 감소 효과가 동시에 향상된 것으로 사료된다. 본 연구는 FG-SAGD 공법 설계 시, 주입정 단열을 통해 높은 스팀 품질 유지 및 오일 생산성 향상 효과를 확인하였으며, 향후 경제성 평가에 대한 기초 자료로 활용될 수 있다.

사 사

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(과제번호 RS-2022-00143541). 또한, 본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20212010200010).

† Corresponding Author(이정환), E-mail: jhwan@jnu.ac.kr

마이크로모델 기반 CO₂ 주입 거동 분석 장치 설계 및 제작

박세진, 이석영, 김시온, 이정환*

전남대학교 에너지자원공학과

Design and Set-up of Micromodel-Based Apparatus for Analyzing CO₂ Injection Behavior

Sejin Park, Sukyoung Lee, Sion Kim, Jeonghwan Lee*

Dept. of Energy and Resources Engineering, Chonnam National University

요 약

산업화로 인해 발생하는 기후변화에 대응하여 국제사회는 탄소 중립(net-zero) 달성을 위한 정책과 기술을 수립하고 있으며, 이를 실현할 핵심 수단으로 이산화탄소(CO₂)를 포집한 후 저장 지층에 주입하는 탄소 포집 및 저장(carbon capture and storage, CCS) 기술이 주목받고 있다. 이때, 저장 지층 내로 주입된 CO₂는 기존 존재하던 공극수와 비혼합상(immiscible phase)을 이루며, 잔류 트랩(residual trapping) 형태로 저장된다. 이러한 저장 메커니즘은 CO₂ 저장 효율에 직접적인 영향을 미치므로, 저장 지층 내에서의 CO₂ 거동 양상을 시각화하여 과정을 관찰하는 것이 매우 중요하다. 하지만 실제 다공성 매체의 경우, 구조적 특성상 내부 유체 흐름을 직접 관찰하기 어렵다는 한계가 있다.

따라서, 본 연구에서는 공극 규모에서 유체의 거동을 가시화할 수 있는 Micronit社의 붕규산 유리(borosilicate glass) 재질의 마이크로모델을 사용하여 CO₂ 주입 거동 분석 장치를 제작하였다. 분석 장치에는 Teledyne technologies社의 1000D syringe pump 2대를 설치하여 마이크로모델 내부로 염수와 CO₂를 정량적으로 주입하고, 저장 지층 압력을 유지하도록 설계하였다. 또한, 아크릴 박스 및 스티로폼으로 제작한 항온 수조와 Bosch社의 GHG 20-63 온도 조절 장치를 통해 공급된 열의 손실을 줄여 설정한 저장 지층의 온도 조건을 유지하도록 구성하였다. 실험 과정 동안 Nikon社의 Z7II 카메라와 마이크로 렌즈를 이용하여 동영상으로 기록하도록 하며, 녹화 영상에서 이미지 추출한 후, Java 기반 이미지 처리 프로그램인 ImageJ를 통해 CO₂ 면적을 계산하여 저장 효율을 정량적으로 평가할 수 있도록 고안되었다. 본 연구는 CO₂의 주입 거동 관찰과 저장 효율을 평가할 수 있는 장치를 제안하였으며, 이 측정장치는 향후 나노유체 적용을 통한 CO₂ 저장 효율 개선 성능 평가에 활용할 예정이다.

사 사

본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었으며(No. 20212010200010), 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행한 연구 과제입니다(과제번호 RS-2022-00143541).

* Corresponding Author(이정환), E-mail: jhwan@jnu.ac.kr

천연가스 공정용 GC 산업 환경 분석

주우성*, 이승호, 고유진, 서흥석
한국가스공사 가스연구원 초저온기술연구소

Analysis of GC Industrial Environment for Natural Gas Processes

Ju WooSung, Lee SeungHo, Go YooJin, Seo HeungSeok
Cryogenic Technology Research Division, KOGAS Research Institute, KOGAS

요 약

천연가스를 발전사 및 도시기사사에 공급하기 위해서는 요금 정산을 위하여 정확한 발열량과 유량 측정 필요하며, 이를 위해서는 실시간 천연가스 조성 분석이 선행되어야 한다. 따라서 한국가스공사는 LNG생산기지 및 공급관리소에서 공정용 GC를 이용하여 공급하는 천연가스의 데이터(조성, 열량 등)를 측정하여 제공하고 있다.

한국가스공사에서 운영하고 있는 공정용 GC 시스템은 전량 해외에서 도입하여 사용하고 있으며 4개 회사의 GC가 주로 설치되어 있다. 해외 제작사에 따라 운영 방법에 차이가 있어 운영, 유지 및 보수에 어려움이 있으며 고장 발생 시 빠른 대응이 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 국내외 천연가스 공정용 GC 산업 환경을 분석하여 천연가스 공정용 GC 국산화에 필요한 추진 전략을 체계적으로 수립하는데 있다.

천연가스 액화공정용 감압컨트롤 밸브의 Multi Stage Trim의 유동 특성 분석

이영철
한국생산기술연구원

Flow Characteristics of Multi Stage Trim of Joule Thomson Valve for Liquefaction Process of Natural Gas

Young Cheol Lee
Korea Institute of Industrial Technology

요 약

최근 LNG에 대한 수요가 증가하면서 일부 프로젝트에서는 대형 LNG액화 플랜트보다 대규모 기반 시설이 필요하지 않는 중·소형 LNG액화 플랜트 개발에 관심을 보이고 있다. 특히 천연가스 수송을 위한 파이프라인 건설이 어려운 지역의 자원개발 및 에너지 공급을 위해 중 소형 LNG 액화플랜트의 개발이 활발하게 진행되고 있으며, 일부 지역에서는 다수의 소형 액화플랜트를 사용하여 현지 사정에 맞게 공급하는 방안이 적용되고 있다. 이러한 소형 LNG 액화플랜트에는 감압컨트롤밸브(Joule Thomson Valve)를 LNG액화 공정에 적용하고 있다. 감압컨트롤밸브는 캐비테이션 방지를 위해 단계적 감압 및 효율증가를 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 감압컨트롤 밸브는 기체 및 액체의 유동특성 변화 폭이 커 보다 정밀한 해석이 요구되며, 오리피스 관로의 형상에 따른 유동특성 변화에 대한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 CFD를 통하여 Trim 내부의 오리피스 관로의 형상에 따른 유동관 내부에서 발생하는 Turbulence 및 Eddy 변화와 압력 강하 및 유속변화, 운동에너지 발생에 따른 진동에너지 증가를 규명하였다.

화학사고 증가에 따른 방재훈련 프로그램의 확대 방안 연구

이상화, 서경석, 권동욱, 임용순
화학물질안전원 교육훈련혁신팀

A Study on the Expansion of Disaster Prevention Training Following the Increase in Chemical Accidents

Sang Hwa Lee, Kyung Seok Seo, Dongwook Kwon, Yong Sun Im
National Institute of Chemical Safety

요 약

산업의 활성화로 화학물질의 사용 및 활용성이 점차 증가함에 따라 화학사고도 빈번히 발생하고 있다. 2022년 67건, 2023년 116건, 2024년 113건으로 증가하는 추세를 보이고 있으며, 이는 화학물질관리법 시행 직후인 2015년 114건과 근접한 수치다. 화학물질은 물질별 유해·위험성을 지니고 있기에 화학물질 누출 사고 발생 시 인근 지역에 환경 및 인체에 유해한 영향을 미칠 가능성을 갖고 있다. 2024년 1월 경기도 화성에 위치한 사업장에서는 화재가 발생하여 진압 과정 중 방재가 제대로 이루어지지 않아 화학물질을 포함한 소화수가 인근 관리천으로 유입되면서 환경피해를 초래하였으며, 수질측정 결과 특정 수질유해물질은 기준 대비 2~36배 초과, 생태독성은 16배가 초과하였다.

전문가들은 이러한 피해를 최소화하기 위해 방재활동의 중요성을 강조하고 있으며, 방재활동에는 크게 누출 사전 차단, 신속 대응, 대응 인력 훈련, 대응체계 구축 등을 포함한다. 하지만 현재 국내에서는 민간 사업장의 경우 경제적 부담, 장비 부족, 훈련 공간 협소 등의 이유로 실질적인 방재훈련에 어려움을 겪고 있으며, 화학사고 대응과 관련된 유관기관인 소방, 해경, 경찰 등의 기관에서도 방재에 대한 전문성의 한계가 있어 역량을 강화할 프로그램 등이 필요한 실정이다. 이에 화학물질안전원에서는 저장, 제조, 하역 3가지 훈련시설을 기반으로 유해화학물질 누출을 가정한 다양한 시나리오를 구성하여 실제 방재장비를 활용한 대응 훈련이 가능하도록 프로그램을 마련하였다. 또한 2024년에는 운송차량 훈련시설을 추가하여 운송차량 전복 시 인근 하천 및 농경지로 유해화학물질이 유입되는 것을 차단하는 방재훈련 등을 포함한 프로그램을 마련하였다.

총 4가지 시설 유형에 따른 각 시나리오별 교육·훈련프로그램을 마련함으로써 방재역량을 강화하고, 반복 가능한 실습 중심 교육을 통해 실효성 높은 방재훈련을 구현함으로써 실제 사고 발생 시 대응력을 높이는 데 중점을 두고 있다. 이를 통해 대응인력의 역량을 강화하고, 자율적인 방재체계 구축 및 대응 능력 향상과 사고발생 시 화학물질 누출로 인한 국민 건강 및 환경 피해를 최소화하는 데 기여할 것으로 기대된다.

공정의 온실가스 저감 및 지속가능성 향상을 위한 LLM기반 설계·개선 AI 에이전트

신동일

명지대학교 화학공학과·재난안전학과 지능형시스템연구실

LLM-Based Design and Improvement AI Agent for Greenhouse Gas Reduction and Sustainability Enhancement in Industrial Processes

Dongil Shin

Intelligent Systems Engineering Lab, Dept. of Chemical Engineering and Dept. of Disaster, Safety and Sustainability Engineering, Myongji University

요약

탄화수소 (연소)반응 기반의 석유화학, 발전, 철강 등 공정산업은 에너지 효율 향상과 함께 불가피하게 발생하는 기후변화 물질 배출량 감축이라는 중대한 과제에 직면해 있다. 이는 단순한 환경 규제 준수를 넘어 산업의 지속가능성 확보 및 장기적인 생존을 결정짓는 핵심 요소로 부각되고 있다. 본 연구는 공정산업의 온실가스 배출 저감 및 지속가능성 향상에 기여할 수 있는 혁신적인 설계/재설계/공정개선 접근 방안으로, 대규모 언어 모델 (LLM) 기반의 자율 설계 AI 에이전트를 제안한다. AI 에이전트는 공정의 핵심 정보를 입력받아 심층적인 분석을 수행하며, 사용자는 공정의 기본 개요, 투입되는 원료의 종류 및 조성, 주요 전환 반응 메커니즘, 생성되는 주요 배출 물질의 종류와 특성 등을 텍스트 형태로 입력할 수 있다.

LLM은 내장된 방대한 화학 반응, 촉매 특성, 배출 물질 저감 기술, 공정 설계 및 운전 지식을 활용하여 입력된 정보를 종합적으로 이해하고 분석하며, 목표 저감 성능을 달성하기 위한 최적의 반응 경로 및 공정 개선 방안을 자율적으로 탐색하고 설계한다. 이를 위해, AI 에이전트는 다음 핵심 기능을 수행한다: (a) 운전 조건 분석 및 최적화: 현재 플랜트의 운전 온도, 압력, 유량 등의 운전 조건을 분석하고, 목표 저감 성능을 만족시키면서 에너지 효율을 극대화할 수 있는 최적 운전 조건 제안, (b) 공정 구조 개선 방안 설계: 기존 공정의 병목 지점을 파악하고, 반응기 형태 변경, 추가적인 분리 및 정제 공정 도입, 에너지 회수 시스템 통합 등 공정 구조 개선 방안 설계, (c) 저감 요구 물질 분석 및 맞춤형 저감 기술 추천: 배출되는 온실가스 및 특정 유해 물질의 종류와 양을 분석하고, 각 물질에 최적화된 흡수, 흡착, 촉매 전환 등의 저감 기술 추천 및 추천된 저감 기술을 기존 공정에 통합 위한 구체적인 설계 방안 제시, (d) 개선된 공정 흐름도(PFD) 자동 설계: 제안된 반응 및 공정 개선 방안과 최적 운전 조건을 반영하여, 목표 저감 성능을 달성할 수 있는 개선된 PFD를 자동으로 생성 하여 사용자에게 제공.

개발된 LLM 기반 자율 설계 AI 에이전트의 Selective Catalytic Reduction (SCR) 등 실제 공정산업 적용 가능성을 검증하기 위해, (연소)반응 기반의 대표 공정을 대상으로 온실가스 배출량 감축, 에너지 효율 증대, 부산물 가치 증진 등 지속가능성 향상 사례연구를 실시하였다. 연구에서 제안한 LLM 기반 AI 에이전트는 공정 설계의 자동화 및 지능화를 통해, 인력 의존도를 낮추고 설계 시간을 단축함으로써 무인 자율 제조 플랜트 구축에도 핵심적인 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대된다. 이는 미래 공정산업의 혁신적인 변화를 선도하고, 보다 안전하고 효율적이며 환경친화적인 생산 시스템 구축에 기여할 수 있을 것이다.

가스시설의 부적절한 시공에 따른 가스 호스 이탈에 관한 실증 연구

최성원, 천지훈, 김용희, 조근욱, 전호림, 우지형
한국가스안전공사

Experimental Study on Gas Hose Detachment Caused by Improper Installation in Gas Supply System

Choi Sungwon, Cheon Jihun, Kim Yonghee, Jo Gunwook, Jeon Horim, Woo Jihyeong
Korea Gas Safety corporation

요 약

가스시설에서의 부적절한 시공은 가스 누출 및 화재, 폭발 등의 중대한 안전사고로 이어질 가능성이 있다. 특히, 높은 압력의 가스가 흐르는 구간에 저압용 제품으로 부적절하게 시공될 경우, 가스호스 이탈 등의 위험이 발생할 수 있다. 본 연구는 이러한 부적절한 시공이 실제로 가스호스 이탈에 미치는 영향을 실험적으로 검증하고자 하였다.

실험은 부적절한 시공으로 발생한 LP가스 사고 사례를 바탕으로 LP가스 대신 질소가스를 사용하여 가스용기, 가스호스, 푸즈콕, 조정기, 푸즈콕, 가스호스, 가스레인지 순으로 구성된 실험 설비에서 수행되었으며, 사고현장과 동일하게 푸즈콕은 가스호스 방향의 역방향으로 설치하였다. 질소가스는 사고 당시를 고려한 사용압력을 가함으로써 호스 이탈 여부를 관찰하였으며 조건별 이탈 발생 여부를 비교하였다.

그 결과, 소요된 시간에는 차이가 있었으나 호스밴드의 유무와 상관없이 가스호스가 이탈되는 현상이 관찰되었다. 이러한 결과는 가스시설이 기본적인 시설 기준에 따라 설치되지 않을 경우, 호스 이탈이라는 잠재적 위험이 발생할 수 있음을 확인하였다. 따라서 시공자에 대한 교육 강화와 더불어 공급자를 통한 안전점검이 철저히 이루어질 수 있는 대책 마련이 필요한 것으로 사료된다.

슬로싱에 의한 연료저장용기 내 액체수소 유동현상 3D 전산모사

이호은, 박병흥*

한국교통대학교 화공생물공학과

3D Computational Simulation of Flow Characteristics in a Liquid Hydrogen Storage Tank Under Sloshing Effects

Hyo Eun Lee, Byung Heung Park

Department of Chemical and Biological Engineering, Korea National University of Transportation

**b.h.park@ut.ac.kr*

요 약

액체수소는 높은 에너지 밀도와 우수한 저장 효율로 인해 차세대 수소 에너지 저장 매체로 각광받고 있다. 하지만 극저온 조건에서 저장 및 운송되는 특성상 외부 진동이나 가속도에 의해 내부 유체가 불규칙하게 움직이는 슬로싱(sloshing) 현상이 발생할 수 있으며, 이는 저장 시스템의 안전성 확보에 있어 중요한 고려 요소로 작용한다. 특히 반복적인 유체 운동은 저장탱크 내부의 압력 분포와 유동 특성에 영향을 줄 수 있으므로, 이에 대한 정량적 해석이 요구된다.

본 연구에서는 3차원 전산유체역학(CFD) 기법을 활용하여 슬로싱 현상이 액체수소 저장탱크 내부 유동장에 미치는 영향을 분석하였다. 시뮬레이션을 통해 시간에 따른 유체의 비정상 유동과 압력 변화 양상을 도출하였으며, 탱크 내부 특정 위치에서 유동 속도 및 압력이 주기적으로 변동하는 경향을 확인하였다. 본 연구 결과는 슬로싱 환경에서의 액체수소 저장 시스템 내 유체 거동에 대한 이해를 높이는 데 기여하며, 향후 관련 시스템의 안전성 평가 및 운용 전략 수립에 유용한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글: 본 연구는 산업통상자원부와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (과제번호: RS-2024-00432233)

Zero-Gap 구조 알칼라인 수전해 1D 시뮬레이션을 통한 셀 성능 모사

이민우, 박병흥

한국교통대학교 화공생물공학과

Investigation of zero-gap structure alkaline water electrolyzer by 1D simulation

MIN WOO LEE, BYUNG HEUNG PARK

Department of Chemical and Biological Engineering, Korea National University of Transportation

Chungju-si, Chungcheongbuk-do, 27469, Korea

요약

화석 연료의 지속적 사용으로 인해 발생하는 지구온난화는 기후 변화의 가장 큰 원인이며 지속적인 에너지 사용을 위해서는 반드시 해결해야 할 주요 과제이다. 지구온난화를 억제하기 위해 산업혁명 이후 과도하게 의존하고 있는 화석연료의 사용을 줄여, 탄소배출이 없는 청정에너지를 사용하는 것이 주요 해결 방안으로 인식되고 있다. 청정에너지원들 중에서 수소는 다양한 방법으로 생산할 수 있어, 접근성이 좋은 에너지로 지역간 불균형이 없는 대체 에너지원이다.

청정한 수소를 생산하기 위해선 재생에너지로 생산한 전기를 사용하여 물을 분해하는 수전해 기술을 사용하는 것이 현재까지 가장 경제적인 친환경 대용량 수소 생산 방식으로 인식되고 있다. 수전해 기술 중 알칼라인 수전해는 기술적 성숙도가 높은 방식으로 전극과 분리막의 간격을 제거한 Zero-Gap 구조를 적용하여 효율성을 높일 수 있다.

본 연구에서는 알칼라인 수전해 Zero-Gap 구조를 모델링하여 기존의 구조의 I-V 곡선의 경향을 비교 분석하였으며 전극과 분리막의 간격이 전해질, 기포 및 셀 저항에 미치는 영향을 확인하였다.

감사의 글: 본 연구는 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원(KAIA) 지원을 받아 수행된 연구입니다. (과제번호: 21OHTI-C163280-01)

수소 생산 개질기 공정의 안정성 확보를 위한 열 및 물질수지 기반 공정 해석 및 과도상태 예측

김인재, 김경덕*
한국가스기술공사

Process Analysis and Transient-State Prediction Based on Heat and Material Balance for Ensuring the Operational Stability of a Hydrogen Reforming System

Injae Kim, Kyungduk Kim*
New Energy Resaerch Institute, Korea Gas Technology Corporation

요 약

수소 개질 공정은 온도, 압력, 유량 등 복합적인 운전 조건 하에서 연속적으로 반응이 이루어지기 때문에 공정의 해석과 운전 안정성 확보가 매우 중요하다. 특히 개질기(SMR), 수성가스전이 반응기(WGS), PSA 등의 주요 설비로 구성된 수소 생산 설비는 각 장치 간 유기적으로 연결되어 있으며, 이상 상황 발생 시 전체 시스템의 성능 및 수소 품질 저하로 이어질 수 있다. 이에 본 연구는 실제 설계된 수소 개질기 공정을 노드(Node)로 구분하여 정상 운전 조건의 타당성을 평가하고 주요 노드의 과도상태 시나리오에 따라 운전 조건 변화가 공정 전반에 미치는 영향을 분석함으로써 운전 안정성을 확보하고자 한다.

공정 해석은 ASPEN PLUS로 열 및 물질수지(Heat and Material Balance)를 검토하여 각 장치와 공정 흐름 내 유체의 상태 등을 정량적으로 평가하였다. 또한, Flomaster를 이용하여 시스템의 유동 경로에서 발생하는 압력 손실을 모델링하고, 운전 압력과 유량에 대한 적합성을 검증하였다. 각 장치의 Datasheet를 기준으로 시뮬레이션 하였으며, 그 결과 최종 목표인 2,000kg/day 고순도 수소(순도 99.999%) 생산이 가능함을 확인하였다. 또한, 주요 노드에 대해 6가지 과도상태 시나리오를 정의하고 이에 따른 공정 거동 변화를 정량적으로 해석하였다.

본 연구는 수소 개질 공정의 정량 해석을 통해 설계의 적정성과 운전 안정성을 체계적으로 검증하였으며, 실제 운전 중 발생할 수 있는 과도상태 시나리오에 대해 공정 특성 변화를 확인하였다. 이를 통해 공정 설계의 보완, 제어 시스템 개선 등을 도출할 수 있다.

Acknowledgment : 본 연구는 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(20213030040500, 수소가격 경쟁력 강화를 위한 2,000kg/day급 탄소배출 저감형 고효율 중대형 개질기 기술 개발)

수소용기 및 충전소 부품시험 기반구축을 위한 수소제품시험평가센터 건립

김관우, 이화영, 최재환, 김주리, 강수민, 임원섭, 장갑만, 김홍철*
한국가스안전공사*

Construction a Hydrogen Products Test and Evaluation Center of a hydrogen station component and hydrogen cylinder verification test

Kwan-woo Kim, Hwa-Young Lee, Jae-Hwan Choi, Joo-Ri Kim, Su-min Kang, Won-Sup Lim, Kap-man Jang, Hong-Cheol Kim*
*Korea Gas Safety Corporation**

요 약

정부는 2023년 12월 관계부처 합동 제6차 경제위원회에서 “수소 전기 자동차 보급 확대 방안”을 발표하였다. 주요 내용은 수소자동차와 수소충전소를 확대하는 내용을 골자로, 먼저 상용차 중심의 수소차 보급 확대를 위해 지자체와 협력하여 시내버스, 단거리 시외버스, 광역버스를 수소 버스로 전환, 공공부문 직영버스 교체를 유도하고 있으며 2030년까지 21,200대로 확대할 예정이며, 또한 전국 어디에서나 수소 충전이 가능하도록 충전소를 확대, 2030년까지 660기로 확대할 계획이다. 이에 맞추어 국내 수소용기 제조를 희망하는 기업들이 증가하고 있으며, 충전소도 매년 증가하고 있다.

수소용기는 최초 형식승인검사인 설계단계검사를 약 15개의 시험항목에 따라 검증을 하여야 하며, 수소제품시험평가센터가 건축되기 전까지 대부분의 시험은 국내에 시험기관이 없어 국외의 시험기관에 의뢰하여 장기간 고비용으로 시험을 의뢰하고 있었다. 이러한 시험기관 부재로 인한 국내기업의 어려움을 해소하기 위해 2020년부터 2023년 까지 약 4년간에 걸쳐 충북 음성 성분산업단지에 약 20,000m² 부지에 수소상용차용 내압용기 및 수소충전소용 밸브 시험인증장비를 구축하였다. 이러한 시험설비를 구축함으로써 국내 내압용기 제조사의 해외시험기관에 고비용의 안전성 검증시험을 국내에서 수행할 수 있게 되어 국내기업의 경쟁력향상에 기여할 것으로 기대된다.

Keyword(s)

Hydrogen(수소), Hydrogen cylinder test(수소용기시험), Hydrogen station component(수소충전소 부품)

Acknowledgment : 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE) 및 한국산업기술진흥원(KIAT)의 2024년 소재부품산업기술개발기반 구축사업의 지원으로 수행되었습니다.(No.RS-2024-004694490, 수소 산업용 고인성·내수소취화 금속소재 실증기반 구축)

Corresponding author : hyl0019@kgs.or.kr

수소레귤레이터의 고압셀의 축편심 및 런아웃 영향 분석에 대한 연구

김예진, 오정한*, 남충우, 전동희*, 강용현**

한국자동차연구원 수소연료전지기술부문, *현대자동차남양연구소, **모토닉기술연구소

Influence of Shaft Eccentricity and Runout on High Pressure Sealing Performance in Hydrogen Regulator

KIM YEJIN, OH CHUNGHAN*, NAM CHUNGWOO, JEON DONGHEE*, KANG YOUNG HEON**

Hydrogen Fuel Cell Technology R&D Department, Korea Automotive Technology Institute,

**Vehicle safety verification team, Hyundai-Motor Company, **MOTONIC R&D*

요약

수소전기차의 충전 과정에서 PRV(압력 릴리프 밸브)의 비정상적인 개방 및 충전 중단 현상이 반복적으로 발생하고 있으며, 이로 인해 고객 불만과 품질 문제가 지속적으로 제기되고 있다. 이러한 문제는 레귤레이터 후단 압력이 설정 기준을 초과함으로써 유발되는 것으로 판단되며, 본 연구는 이의 근본 원인을 규명하고자 수소전기차용 레귤레이터 내 고압 에너지저장 셀의 성능에 영향을 미치는 요인을 체계적으로 분석하였다.

고압 셀의 내압 성능은 사용 온도, 셀 재질과 형상, 사용 시간, 그리고 extrusion gap과 같은 다양한 요소에 의해 영향을 받는다. 특히 축 편심(eccentricity) 및 런아웃(runout)에 따른 셀의 접촉 상태 변화는 기밀 성능 저하와 직접적으로 연관되며, 이는 수소 누설의 주요 원인이 될 수 있다.

본 연구에서는 두 종류의 고압 셀 시편(A, B)을 대상으로 내·외경의 진원도와 치수 편차를 정밀 측정하고, Hertz 접촉이론을 적용하여 접촉면 변형과 이에 따른 누설 가능성을 평가하였다. 특히 에너지저장 셀의 립(LIP) 구조에 주목하여, 단면 반경 차이를 통해 축 편심 여부를 진단하고, 실측값과 해석값을 기반으로 0.05mm 수준의 치수 편차가 품질 규제 기준으로 적용 가능한지를 검토하였다.

조립 전후 내경 변화와 스프링 복원력의 영향을 분석한 결과, 고압 셀의 초기 품질과 조립 조건에 따라 접촉 압력 분포와 기밀 성능이 크게 달라질 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 고압 수소 셀의 내구성과 신뢰성 확보를 위한 기초 자료를 제공하며, 향후 품질검사 기준 수립 및 검증 프로토콜 개발에 활용할 예정이다.

본 연구는 산업통상자원부의 신재생에너지핵심기술개발사업(2022303004020B, 수소저장시스템 기능부품 내구성 및 신뢰성 확보를 위한 기술개발)에 지원을 받아서 이루어졌습니다.

트럭용 액체수소 저장시스템의 공급밸브 및 PRV의 극저온 환경 성능 평가 방법 정립에 관한 연구

김예진, 남충우, 이세동*, 이경원**

한국자동차연구원 수소연료전지기술부문, *LT정밀, **유니크기술연구소

A Study on the Establishment of Performance Evaluation Methods under Cryogenic Conditions for the Supply valve and PRV of Truck Liquid Hydrogen Storage System

KIM YEJIN, NAM CHUNGWOO, LEE SEDONG*, LEE GYOENGWON**

*Hydrogen Fuel Cell Technology R&D Department, Korea Automotive Technology Institute, *LT PRECISION, **UNICK R&D*

요 약

최근 미국에서는 대유량 충전방식을 기반으로, 1회 충전량 100kg@10min, 최대 유량 300g/s의 기체수소 저장시스템 및 기체수소 충전설비 개발이 활발히 진행되고 있으며, 이에 따라 SAE J2601-5 표준도 개정될 예정이다. 따라서 1회 주행거리 800km 이상을 목표로 개발 중인 액체수소 트럭의 상용화 시점은 2030년으로 전망되고 있으며, 액체수소 인프라 및 기존 기체수소 저장시스템 대비 비용적 차별성 확보가 요구되고 있다. 이러한 배경 속에서 액체수소 기능부품 개발을 위한 성능평가 장치 구성은 필수적이다.

그러나 현재 국내 고압가스안전관리법상 액화수소 저장탱크 및 차량용 저장시스템에 대한 명확한 제조 및 검사 기준은 부재한 상황이며, 기존에는 기체수소용 엔지니어링 스펙(Engineering Specification)만 존재하고 있다. 이에 따라 선행개발 단계에서 부품의 요구 성능 충족 여부를 평가하기 위한 시험방법 정립이 시급한 과제로 부각되고 있다.

본 연구에서는 극저온 기능부품 개발을 위해, 설계된 제품이 고객 요구사항을 만족하고 정상적으로 작동하는지를 검증하고자, 극저온 환경을 활용하여 공급밸브(Supply Valve) 및 압력방출장치(PRV: Pressure Relief Valve)에 대한 평가장치 구성 및 평가방법을 도출하였다. 이를 위해 극저온 기능부품의 요구사항을 분석하여 공통 요구사항을 도출하였으며, 환경온도 조건을 기존(저온/상온/고온) 체계에서 극저온/상온/고온 체계로 변경하여, 극저온 상태에서의 평가환경, 시험횟수, 노출시간 등의 조건을 체계적으로 정립하였다.

특히 액체수소(-253℃)와 액체질소(-196℃)의 물리적 특성 차이(열팽창계수, 작동내구성 열화 등)를 고려할 때, 양자를 동일한 조건으로 적용하는 것은 불가능하지만, 개발 여건과 초기 투자비 절감을 고려하여 액체질소 및 온도 환경을 모사한 보수적 평가방법을 제시하였다. 이를 통해 특성 차이를 인지한 상태에서 부품 강건성을 확보하고자 기본 성능평가 방법을 수립하였다.

본 연구는 향후 액체수소 환경에서 부품 성능평가 방법의 타당성을 비교·검증하는 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 산업통상자원부의 자동차산업기술개발사업(2000185942, 액체수소저장시스템용 요소기능부품 기술개발)에 지원을 받아서 이루어졌습니다.

액체 수소 공정에서 직교류 인쇄회로형 열교환기의 동적 모델링

서준교, 김진재, 신헌용
서울과학기술대학교 화공생명공학과

Dynamic modeling of crossflow printed circuit heat exchangers for Liquid hydrogen

Seo Jungyo, Kim Jin Jae, Shin Hun Yong
Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Seoul National University of Science & Technology

요 약

액체 수소는 에너지 저장 및 운송에서 중요한 역할을 하며, 재생 가능 에너지의 보조원으로 주목받고 있다. 수소 연료전지 자동차 및 산업 프로세스에서의 활용이 증가하고 있으며, 탄소 중립화를 위한 중요한 수단으로 인식된다. 그러나 보급 및 안정적인 공급체계를 구축하는 부분에서는 여전히 과제로 남아있다.

수소의 운송 방식은 압축하여 고압의 가스 상태로 운송하는 방법과 극저온(-235℃)에서 액화하여 액체 수소의 형태로 운송하는 방식이 있다. 수소를 액화시켜 운송하는 방식은 수소의 부피를 800배 축소할 수 있기에 운송 및 저장 용기의 부피를 현저하게 줄일 수 있다. 이와 같은 액화된 수소를 안정적으로 처리하기 위하여 세부 장치로 기화기의 사용이 필요하며, 기화기에서의 수소의 거시적 거동의 시뮬레이션은 필수적이다.

본 연구에서는 Ansys를 통해 액체 수소를 위한 인쇄회로형 기화기를 디자인하였고 이를 통한 유체의 거동을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 모델을 생성하고 기화기에서 기체의 승온에 사용된 열 매체유류의 유량 및 상태변화, 기화기 내의 압력 및 관의 길이 등의 변화에 따른 토출되는 수소의 상태 변화를 확인하였다. 액화수소를 사용하기 위한 기화기의 CFD 해석을 통하여 안정성을 고려한 액화수소 처리 장치의 설계에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구개발은 산업통상자원부가 지원하고 한국에너지기술평가원이 관리하는 「액화수소 핵심부품 성능검사 기술 및 안전기준 개발」(과제번호: 20227310100090)의 지원으로 수행되고 있습니다.

혼소발전소의 암모니아 저장탱크 위험성 평가

이다은, 전보일, 이근원, 정승호*

아주대학교 대학원 환경공학과, *아주대학교 환경안전공학과

Risk Assessment of Ammonia Storage Tanks in Co-Firing Power Plants

Da-Eun Lee, Bo-il Jeon, Keunwon Lee*, Seungho Jung*

Department of Environmental Safety Engineering, Ajou University

**Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University*

요약

암모니아는 탄소중립 사회 실현을 위한 차세대 에너지원으로 주목받고 있으며, 수소 운반체로서의 활용 가능성도 높다. 그러나 암모니아는 독성과 인화성을 지닌 물질로, 대규모 저장 및 취급으로 인한 사고 발생 시 인명 및 환경 피해를 초래할 수 있다. 따라서 사전 안전성 확보가 매우 중요하다. 특히 발전소 내 암모니아 저장탱크는 누출, 착화, 폭발로 이어질 가능성이 있어 체계적인 위험성 평가가 요구된다.

본 연구는 LNG-암모니아 혼소발전소 내 암모니아 저장탱크를 대상으로 사고 시나리오를 도출하고, 사고 가능성을 정량적으로 평가하였다. 이때, 결함수 분석(Fault Tree Analysis, FTA)과 사건수 분석(Event Tree Analysis, ETA)을 결합해 원인-결과 분석(Cause-Consequence Analysis, CCA)을 적용하였다. FTA 분석 결과, 장비 고장과 작업자 실수가 주요 원인으로 나타났으며, ETA 분석을 통해 점화 확률을 확인하였다. CCA 분석을 통해 즉시 점화 시 Fireball과 Jet fire로 이어질 확률은 $1.38E-10/yr$ 이며, 지연 점화의 경우 방출 조건에 따라 Jet fire($6.51E-11/yr$), Flash fire + Jet fire($3.31E-10/yr$), Gas release(최대 $4.13E-10/yr$) 등 달라짐을 확인하였다.

연구 결과를 통해 사고 빈도를 줄이기 위해 작업자 대상의 안전 교육 강화, 주기적인 설비 점검 체계 구축, 비상 대응 절차 수립 등이 필요함을 확인하였다. 따라서, 암모니아 저장시설의 안전성 향상을 위한 실질적인 기반 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

* 본 연구는 환경부의 한국환경산업기술원의 화학사고 예측·예방 고도화 기술 개발사업의 지원(과제번호: RS-2022-KE002224, 화학사고 예측·예방 고도화 기술 개발사업)과 산업통상자원부의 한국산업기술진흥원의 산업혁신 인재성장 지원사업의 일부 지원을 받아 수행되었습니다.(P0012787, 2410007480)

암모니아 가스공급시설의 가스 감지기 연동 처리설비 위험성 분석에 관한 연구

현혜림^{*,**}, 이선민^{*}, 신창현^{*}, 강찬규^{**}
^{*}화학물질안전원, ^{**}한경국립대학교

A Study on the Risk Analysis of Gas Detector Interlocking Treatment Facilities in Ammonia Gas Supply Systems

Hye-Rim Hyeon^{*,**}, Sun-Min Lee^{*}, Chang-Hyun Shin^{*}, Chan-kyu Kang^{**}
^{*}National Institute of Chemical Safety, ^{**}Hankyong National University

요 약

반도체·디스플레이 업종은 첨단 산업으로 특히 산업 다변화로 인해 기술 혁신속도가 타 업종보다 빠르다. 공정 특성상 다양한 유해화학물질이 사용되고 있으며, 이는 화학물질안전원 종합정보시스템 내의 배출량 통계 결과에서도 취급 화학물질과 배출량이 점진적으로 늘어나는 추세로 확인된다.

두 업종 모두 유해화학물질을 공급하는 방법은 성상에 따라 액상과 기상(가스)로 구분되며, 원료는 공급시설을 거쳐 생산설비로 이송된다. 이 중 기상 물질의 경우 주로 가스 캐비닛 내에서 실린더 형태로 배관을 통하여 VMB(Valve Manifold Box)로 이송되고, 연결 배관을 통해 FAB의 생산설비에 공급된다. 최종적으로 생산설비에 공급된 가스는 생산설비에 연결된 덕트를 통해 배출처리설비를 통하여 적정 처리된 후 대기로 방출된다.

한편, 가스공급시설인 캐비닛 내 실린더 손상 또는 연결 배관에서 유해화학물질 누출 사고가 발생할 경우를 대비하여 캐비닛 상부의 비상 배출 배관을 통하여 처리설비로 이송되어 대기로 배출되는 시스템이 있다. 그러나, 배출처리설비의 형태 중 하나인 댐퍼 전환형 배출 처리설비의 경우 사고 시 가스 감지기와 연동하여 처리설비로 전환되는 구조로 설계되어 있는데, 가스 감지기 작동 시간이 늦어지면 댐퍼 전환이 지연되어 처리설비가 가동되지 않고 유해화학물질이 대기로 누출될 위험이 발생할 수 있다.

가스공급시설에 설치된 감지기는 주로 전기화학방식으로 가스감지기를 통하여 누출된 가스를 호스(tube)를 통하여 흡입하고 이송된 가스에 대한 화학반응을 일으켜 전기적 신호를 생성하여 감지 유무를 판단한다. 감지 시간은 가스 흡입에 대한 호스의 이송시간과 반응시간으로 합산되며 흡입 호스가 길어지거나, 반응시간이 길어지면 감지가 지연되고, 이로 인해 댐퍼 전환이 늦어져 처리설비가 작동되기 전에 유해화학물질이 대기 중에 방출될 가능성이 있다.

특히 암모니아의 경우 대기 확산이 빨라 일반 유해화학물질이 경보농도의 1.6배 농도의 누출 시 30초 이내 경보를 발신해야 하는 것과는 달리 60초 이내 경보를 발신할 수 있도록 법적으로 관리되기 때문에 감지 시간이 길어지게 되어 이와 연동된 처리설비가 늦게 작동되는 문제점이 발생할 수 있다. 이에, 본 연구에서는 가스공급시설에 설치된 암모니아 가스감지기 호스 길이에 따른 감지 시간과 감지가 지연 될 경우에 발생할 수 있는 처리설비의 부적절한 가동으로 인한 위험성을 분석하고 이에 대한 개선방안을 도출하는데 기여하고자 한다.

GTR 규정에 따른 압축수소저장시스템 화염시험 사전검증 및 온도조건 평가

김태헌, 정해관, 유철희
한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터

Preliminary Verification and Temperature Condition Assessment of Compressed Hydrogen Storage System Bonfire Test According to GTR No.13

Taeheon Kim, Haegwan Jeong, Cheol-hee Yu
Energy Safety Empirical Research Center, Korea Gas Safety Corporation

요약

최근 수소 저장 안전성 확보를 위한 국제 기준이 강화되면서, 고압 수소저장시스템에 대한 화재 안전성 검증이 중요해지고 있다. GTR No.13에서는 차량 탑재용 수소저장시스템이 화염에 노출되는 상황에서 파열 없이 견딜 수 있거나, 과압방출장치를 통해 안전하게 가스를 방출할 수 있어야 함을 요구하고 있다. 이를 위한 Bonfire Test는 일정한 온도 조건이 만족되어야만 유효한 시험으로 인정되는데, 실제 시험환경에서 해당 조건이 충족 되는지를 사전에 검증하는 과정이 필수적이다.

본 연구에서는 이러한 목적을 위해 사전시험(pre-test)을 수행하고, 시험 설정값에 따라 저장시스템 표면 온도가 시간에 따라 어떻게 변화하는지 계측하였다. 열전대를 이용해 저장시스템 외부의 온도 분포를 측정하고, 국부(Localized) 및 전체(Engulfing) 화염 조건이 규정된 기준을 만족하는지 여부를 확인하였다. 이를 통해 본시험 수행 전 시험조건이 적 정성을 판단할 수 있는 기초 데이터를 확보하였으며, GTR Bonfire Test 수행의 신뢰성을 높이기 위한 기반 자료로 활용할 예정이다.

Acknowledgement: 본 연구는 산업통상자원부-한국산업기술기획평가원의 지원으로 수행한 연구 과제입니다. (해외인증 대응을 위한 고효율의 Type-4 압축수소 저장시스템 및 수소가스를 이용한 에너지 회수 기술개발/ RS-2024-00507688)

도시가스 배관망 수소 혼입에 대한 해외 정책 동향 분석

박기연, 김지은, 임대영, 김태현
한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터 화재폭발연구부

Analysis of International Policy Trends on Hydrogen Blending into Natural Gas Pipeline Networks

KiYoun Park, JiEun Kim, DaeYong Lim, TaeHeon Kim
Korea Gas Safety Corporation, Energy Safety Empirical Research Center, Fire Explosion Research Department

요약

본 연구는 정부의 수소경제 활성화 및 탄소중립 목표 달성 전략으로 추진하고 있는 도시가스 배관망 내 수소 혼입에 대해, 해외 주요국의 사례를 중심으로 정책적·기술적 동향을 분석하였다. 수소 혼입은 새로운 인프라 구축 없이 기존 도시가스 배관망을 활용하여 수소를 천연가스와 같이 공급하는 방식으로, 초기 수소경제 이행 단계에서 매우 효율적인 전환 수단으로 평가받고 있다. 특히, 도시가스 배관망은 전국에서 광범위하게 구축되어 있어 수소의 보급 확산을 위한 기반 인프라로 가능할 수 있다는 점에서 주목된다. 주요국들은 혼입 비율 설정, 법·제도 정비, 기술 검증 및 인프라 투자 등 다양한 접근을 통해 도시가스 배관망의 수소 혼입을 실현하고 있으며, 이러한 사례는 우리나라가 정책 수립 시 참고해야 할 중요한 기준점을 제공한다. 그러나 수소는 천연가스 대비 에너지 밀도가 낮고 확산성이 높아, 기존 배관망 내 압력 조정과 유량 관리 등 기술적 고려가 반드시 필요하다. 따라서 국내에서도 수소 혼입의 기술 표준화, 안전성 확보, 법적 기반 마련을 포함한 통합적 정책 접근이 필수적이다. 이를 통해 수소경제로의 원활한 이행과 함께 온실가스 저감, 에너지 전환 가속화를 기대할 수 있을 것이다.

Acknowledgement: 본 연구는 산업통상자원부-한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원으로 수행한 연구 과제입니다. (도시가스 배관망 수소혼입 안전성 평가/실증 및 안전기준 개발/ RS-2023-00236237)

수소혼입 해외 기준 분석과 안전성 검증 필요성

임대영, 김태현, 김지은, 박기연
한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터

Analysis of International Standards for Hydrogen Blending and Associated Safety Verification

DaeYeong Lim, TaeHeon Kim, JiEun Kim, KiYoun Park
Institute of Gas Safety R&D, Energy Safety Empirical Research Center

요약

본 연구는 도시가스 배관망에 수소를 혼입하여 공급하기 위한 해외 선형 사례 및 기준을 분석하고, 이를 바탕으로 안전성 검증의 필요성을 제시한다. 현재 유럽연합(EU)은 수소 20% 혼입 실증을 완료한 후, 수소혼입 5%를 허용하여 공급을 시행하고 있다. 반면 국내는 도시가스 배관망에 수소를 최대 20%까지 혼입하는 것을 목표로 실증을 진행 중이며, 아직 상용화 이전 단계로 안전성 검증이 필수적임을 확인하였다. 특히, 수소와 메탄 간의 밀도 차이에 따라 발생할 수 있는 가스 층분리 현상, 계절 및 온도 변화에 따른 승압과 같은 위험 요소를 고려한 체계적인 실증 시험의 필요성이 강조되고 있다.

국내 도시가스 배관망의 수소 혼입 최종 목표(20%) 달성을 위해, 단계별(0%, 5%, 10%, 20%) 농도 혼입 실증 방안을 제안한다. 이를 통해 점진적으로 수소 혼입 비율을 높이며, 각 단계에서 안전성을 검증하고자 한다. 또한, 수소의 경량 특성으로 인해 수직 배관 내에서 발생할 수 있는 가스 층분리 및 승압 현상을 분석하기 위해, 혼합 가스의 압력 및 온도 변화, 높이 별 가스 농도 분포를 정밀하게 측정하는 실증 시험이 필요하다.

본 논문에서는 국내 도시가스 배관망에 수소를 단계적으로 혼입하기 위한 실증 방안을 제시하고, 수소 혼입에 따른 주요 안전성 이슈를 체계적으로 분석하였다. 이를 통해 수소 혼입 비율을 점진적으로 확대함에 따라 발생할 수 있는 가스 층분리, 승압 현상 등의 위험 요소를 최소화하고, 국내 도시가스 배관망의 안전하고 효율적인 수소 혼입 공급 체계를 구축하는 데 기여하고자 한다.

Acknowledgement: 본 연구는 산업통상자원부-한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원으로 수행한 연구 과제입니다. (도시가스 배관망 수소혼입 안전성 평가/실증 및 안전기준 개발/ RS-2023-00236237)

Pruning 기반 YOLOv8 모델 경량화 및 연산 효율 최적화를 통한 가스 누출 탐지 성능 향상 연구

구윤정

한국전자기술연구원

Enhancing Gas Leak Detection Performance through Lightweight YOLOv8 Model Optimization Based on Pruning

Yunjeong Gu

Korea Electronics Technology Institute

1. 서론

석유·화학산업은 일반 제조업과 비교하여 고온·고압의 설비와 다양한 유해·위험 물질을 취급하고 있으므로 가스 누출로 인한 화재, 폭발 및 파열 등의 발생 비율이 높다. 이러한 산업재해 예방을 위해 센서 기반 모니터링 시스템 구축 등 관리체계 강화를 위한 노력이 지속되고 있으나 여전히 과거와 유사한 사고가 반복적으로 발생하고 있어 기존 안전관리 체계의 문제점 분석 및 개선이 요구된다.

산업현장에서 가스 누출에 의한 화재 및 폭발 사고를 예방하기 위하여 전기화학식 및 반도체식, 비분산적외선 가스센서가 적용되고 있으나 위 센서들은 공통적으로 국부적인 영역에서만 감지할 수 있으므로 가스 누출 사고가 발생하는 경우 즉각적인 대응이 어려운 한계가 있다. 또한, 대부분의 가스는 눈에 보이지 않기 때문에 대규모 배관 네트워크로 구성된 석유화학산업단지의 경우 가스 누출 시 누출 위치를 정확하게 확인하기 어려워 사고 대응이 늦어지고 더 큰 사고를 야기할 수 있다.

이러한 한계를 극복하기 위한 대안 중 하나는 초음파 카메라를 이용한 가스 누출의 시각화 기술이다. 초음파 카메라는 가스 누출 시 공기 중 압력 차에 의해 발생하는 난류성 초음파를 감지하고, 빔포밍 기법을 통해 RGB 영상 상에 음원의 위치를 시각화함으로써 누출 지점을 직관적으로 파악할 수 있다. 이와 같은 음원 시각화 기술을 바탕으로 누출 위치를 자동으로 탐지하는 딥러닝 기반 객체 탐지 모델 개발이 가능하며, 선행연구에서는 YOLOv8 모델을 활용하여 가스 누출 시 생성되는 빔포밍 이미지를 학습하여 누출을 탐지하는 모델을 제안하였다. 그러나 실제 산업현장에서는 Wi-Fi, LTE 및 유선 네트워크 환경이 미비하거나 부재한 경우가 많아 경량화된 엣지 디바이스를 통한 모델 구현이 필수적이다. 이 경우 모델의 복잡도가 높아질수록 연산 속도 저하 및 메모리 사용 증가를 초래하므로, 딥러닝 모델의 경량화 및 최적화를 통한 연산 효율 개선이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 YOLOv8 모델을 기반으로 가스 누출 탐지 성능을 유지하면서도 연산 효율을 극대화하기 위해 Unstructured Pruning과 Structured Pruning을 각각 적용한 모델을 구현하고 경량화 수준, 연산 속도 개선 그리고 탐지 정확도 유지 여부에 대해 비교·분석하였다[1, 2]. 특히, Structured Pruning의 경우 모델의 계층적 구조와 연산 의존성을 고려하여 실제 빔포밍 기반 초음파 이미지에 대한 객체 탐지 성능에 미치는 영향을 정량적으로 평가하였다.

2. 실험

가스 누출을 재현하기 위해 산업현장과 유사한 배관 구조를 나타내는 테스트베드를 구성한 후 데이터를 수집하였으며, 동일한 배경의 이미지 데이터를 학습하는 경우 모델의 과적합 우려가 있으므로 다양한 각도(정면, 반측면, 하면)에서 가스 누출 및 비누출 시의 이미지 데이터를 수집하였다. 또한, Roboflow를 이용하여 데이터 증강(Augmentations)을 실시하였다. 데이터 증강 기법으로 Brightness(-15% and +15%), Blur(Up to 2.5px), Noise(Up to 1.96% of pixels), Cutout(5 boxes with 17% size each)을 적용하였으며 총 1,680장의 dataset(Train set 1,470장, Valid set 140장, Test set 70장)을 구축하였다. 모델 학습은 대표적인 객체 검출 알고리즘인 YOLO(You Only Look Once)v8을 사

용하였으며, Pruning을 적용하지 않은 YOLOv8-Original과 Unstructured Pruning 및 Structured Pruning을 각각 적용한 YOLOv8-Unstructured 및 YOLOv8-Structured 모델을 개발하였다. Pruning을 적용한 모델은 이후 fine-tuning을 거쳐 모델 최적화를 진행하였다.

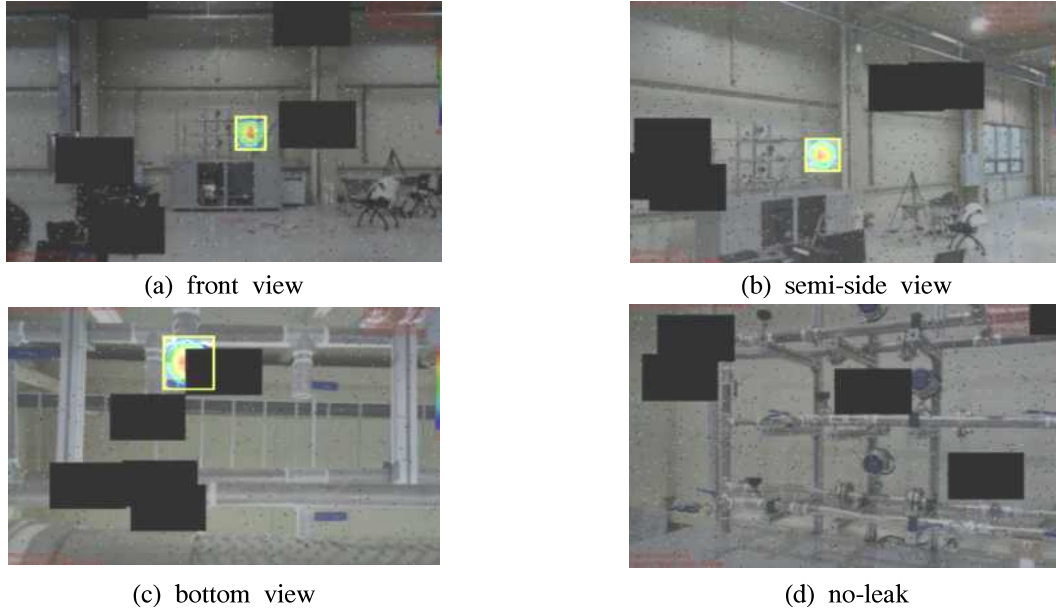


Fig.1. beamforming image dataset of gas leak

3. 결과 및 고찰

모델의 성능 평가는 Precision, Recall, mAP(mean Average Precision), Fitness Score, 그리고 Inference Time을 기준으로 수행하였다. 세 가지 모델 모두 Precision과 Recall에서 0.93 이상의 높은 값을 기록하여, 전반적인 탐지 정확도가 우수함을 확인할 수 있었다. 한편, IoU(Intersection over Union) 임계값이 95%로 상승함에 따라 mAP는 전반적으로 감소하는 경향을 보였으나, YOLOv8-Structured pruning 모델은 mAP(IoU 50-95%) 기준에서 0.956로 가장 높은 성능을 나타냈다. 또한, 해당 모델의 Fitness Score 역시 0.959로 세 모델 중 가장 우수한 결과를 보였다.

YOLOv8-Structured pruning 모델의 성능 향상은 구조적 경량화를 통해 중요도가 낮은 채널을 제거함으로써 모델 구조를 최적화한 결과로 해석된다. 이러한 구조 최적화는 모델의 복잡도를 낮추어 일반화 성능을 강화하고, 과적합(overfitting)으로 인한 오탐지 가능성을 감소시키는 데 기여한 것으로 판단된다.

Table 1. Comparisons of Inference results

	YOLOv8-Original	YOLOv8-Unstructured	YOLOv8-Structured
Precision	0.9995	0.9995	0.9995
Recall	1.0	1.0	1.0
mAP(IoU 50%)	0.995	0.995	0.995
mAP(IoU 50-95%)	0.936	0.933	0.956
Fitness Score	0.942	0.939	0.959
Inference Time (ms)	11.24	2.58	2.80

Inference Time의 경우, Pruning을 적용하지 않은 YOLOv8-Original 모델은 11.24 ms로 가장 느렸으며, YOLOv8-Unstructured와 YOLOv8-Structured 모델은 각각 2.58 ms, 2.80 ms로 나타나 YOLOv8-Original 대비 약 5배 이상 빠른 속도를 나타내었다. YOLOv8-Unstructured 모델은 전체 네트워크 구조를 유지하면서 weight 값이 0.3 이하인 파라미터를 0으로 치환하여 연산 효율을 개선한 반면, YOLOv8-Structured 모델은 Convolution(Conv) 레이어에서 불필요한 출력 채널을 제거하여 전체 연산

량을 줄인 데 기인한다.

Fig.2는 validation data를 이용한 예측 바운딩 박스 결과이다. 빔포밍 이미지는 음파의 세기 및 측정 거리에 따라 원 형태의 패턴이 다르게 나타났으며, 제안한 3가지 모델은 해당 패턴 내 객체를 정확히 탐지하고 바운딩 박스로 표시하였다. 특히, 실제 빔포밍 이미지가 존재하지 않은 경우에도 세 가지 모델 모두 오탐지(False positive) 없이 안정적인 결과를 보였다.

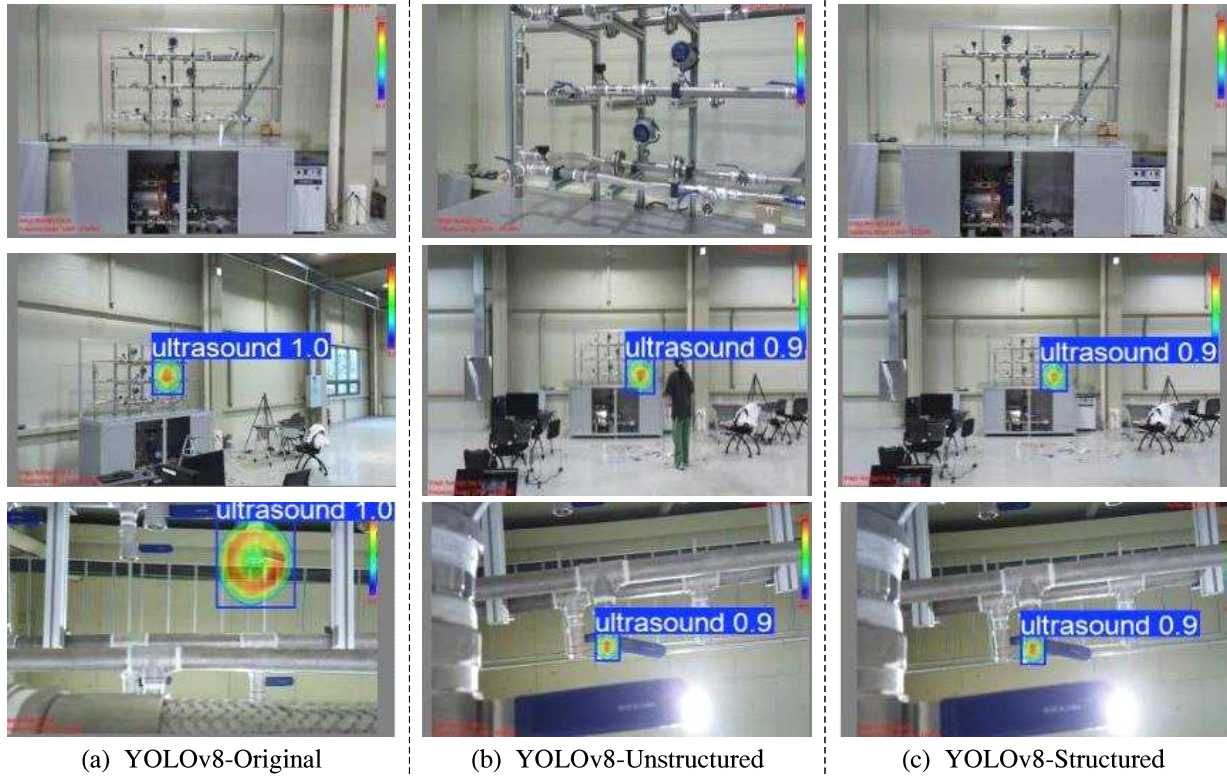


Fig.2. Validation results of Yolo models

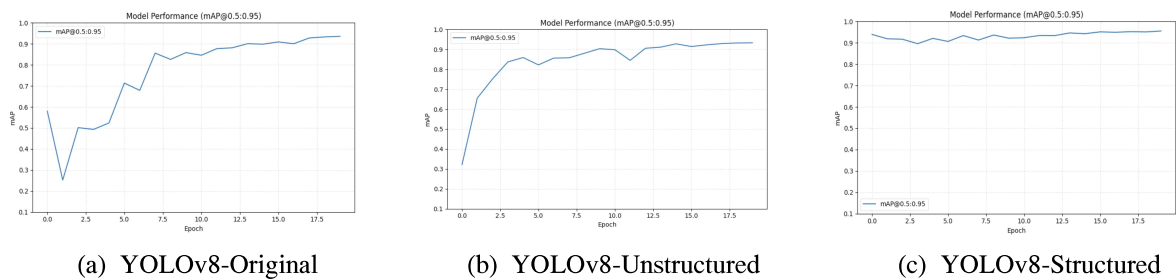


Fig.3. mAP(IoU 50-95%) metrics of YOLO model

Fig. 3는 IoU 50~95% 기준에서 학습 epoch에 따른 mAP 변화를 나타낸 그래프이다. (a)와 (b)의 경우, epoch 10 이후부터 mAP가 0.8 이상으로 상승하였으며 이후 비교적 안정적인 성능을 유지하거나 점진적으로 향상되었다. 반면, (c)에서는 초기 epoch부터 mAP가 0.9 이상을 기록하였으며, epoch 20까지 0.95 이상의 수준을 안정적으로 유지하였다. 일반적으로 epoch 증가에 따라 mAP는 상승한 후 일정 수준에서 수렴하는 경향이 있으나, YOLOv8-Structured 모델의 경우 초기부터 매우 높은 mAP 수치를 나타내는 특징이 있었다.

이러한 현상에 대해 세 가지 가능성을 추정할 수 있다. 첫째, 본 연구에서 사용한 YOLOv8은 대규모 dataset으로 사전 학습된 모델이므로, 소량의 새로운 데이터에 대한 미세조정(fine-tuning)만으로도 성능이 급격히 향상될 수 있다. 둘째, 탐지 대상인 객체의 형태가 명확하고 일관되어 있어 모델이 상대적으로 쉽게 학습할 수 있었을 가능성이 있다. 셋째, 초기 학습에서 과적합(overfitting)이 발생하여 훈련 데이터에서는 오차가 감소하나, 실제 테스트 데이터에서는 성능 저하가 나타날 가능성도 존재한다. 이에 따라, 모델의 과적합 여부를 검증하기 위해 구글 검색을 통해 수집한 가스 누출 상황의 빔포밍 이미지 10장을 별도로 활용하여 각 모델의 일반화 성능을 평가하였다(Fig.4).

Fig.4는 구글 검색을 통해 수집한 총 10장의 빔포밍 이미지 중 1장을 대표 예시로 제시한 것이다. 제안한 3가지 모델 모두 전체 빔포밍 이미지(10장)에 대해 100%의 객체 탐지 정확도를 보였으며, 이를 통해 각 모델의 일반화 성능을 확인할 수 있었다. 특히, YOLOv8-Structured 모델은 빔포밍 이미지와 같은 명확한 형태의 객체 탐지를 위해 YOLOv8이라는 사전학습 기반 모델을 활용함으로써, 학습 epoch 수가 20으로 제한되었음에도 불구하고 높은 탐지 성능을 달성하였다. 또한, Structured pruning 기법을 적용하여 모델 구조의 경량화로 인해 탐지 성능이 강화되는 효과를 나타냈다. 결과적으로 YOLOv8-Structured 모델은 본 연구에서 비교한 세 가지 모델 중 연산 속도와 탐지 성능(precision, recall) 면에서 모두 우수한 성능을 보였으며, CPU 및 GPU 환경 모두에서 효율적인 연산이 가능한 최적화된 구조를 구현하였다.



(a) YOLOv8-Original

(b) YOLOv8-Unstructured

(c) YOLOv8-Structured

Fig.4. Test results of Yolo models

4. 결론

본 연구는 석유·화학산업에서 발생할 수 있는 가스 누출을 자동 탐지하기 위해 YOLOv8를 활용하였으며, 모델 경량화를 위한 Unstructured 및 Structured Pruning 기법을 적용하여 성능을 비교·분석하였다.

(1) YOLOv8-Original 모델의 객체 탐지 성능은 mAP(IoU 50-95%) 0.936으로 우수했으나 연산 속도가 11.24ms로 가장 느리게 나타났다.

(2) YOLOv8-Unstructured 모델은 Unstructured Pruning을 적용하여 연산 속도가 향상되었으나 mAP(IoU 50-95%), Fintness score이 YOLOv8-Original 모델보다 다소 낮은 성능을 보였다.

(3) YOLOv8-Structured Pruning 모델은 Structured Pruning을 통해 중요도가 낮은 채널을 제거함으로써 mAP(50-95%) 0.956으로 가장 높은 정확도를 나타내었으며, 동시에 기존 모델보다 약 5배 빠른 탐지 속도(2.8ms)를 나타내어 높은 연산 효율성을 확인하였다. 또한, 구글에서 수집한 외부 이미지에서도 모두 100% 탐지 성능을 나타내어 모델의 일반화 성능을 입증하였다.

향후 연구에서는 다양한 누출 조건(누출 유형, 유량 등 입력조건, 주변소음 등)을 반영한 확장 실험을 통해 모델의 적용성을 더욱 강화할 예정이다. 더불어, 다양한 경량화 기법 적용 방안을 모색하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 2024년 한국전자기술연구원 자체자금으로 수행한 기본연구사업의 지원을 받아 수행되었습니다. (초음파 이미지 기반 가스 안전 모니터링 시스템 개발)

참고문헌

- [1] Guanyu Liu, Yuzhao Li, Yuanchen Song, Yumeng Liu, Xiaofeng Xu, Zhen Zhao, Ruiheng Zhang, A lightweight convolutional network based on pruning algorithm for YOLO, 12705, SPIE, (2022)
- [2] Shanshan Hu, Guoxin Tang, Kang Yu, Wen Chen, Zhiwei Wang, Embedded YOLO v8: Real-time detection of sugarcane nodes in complex natural environments by rapid structural pruning method, 242, Measurement, (2025)

수소 용기 화재 실증 시험에 대한 안전성 확보 방안

곽병관

한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터

A Way to Secure of safety of hydrogen container fire demonstration test

Kwak Byoeng Kwan

Korea Gas Coporation Energy Saferty Empirical Research Center

Songhakjucheon-ro, Jucheon-myeon, Yeongwol-Gun, Gangwon-do, 1467-51, Korea

요 약

전 세계적으로 탄소 중립이 새로운 패러다임으로 대두되고 있는 가운데, 수소차가 상용차 대안으로 주목받고 있다.

이에 에너지안전실증연구센터 화재폭발연구부에서는 핵심부품인 Type-4 수소저장시스템 성능 고도화를 위하여 고효율 Type-4 압축수소저장시스템 및 수소가스를 이용한 에너지 회수 기술 개발을 지원하고 있으며, 개정된 글로벌 기술 규정(GTR No.13 Phase2)에 따라 수소차용 Type-4 용기에 대한 화재 실증 시험을 실시하고 있다.

Type-4 용기 화재 실증 시험은 700bar 이상의 고압 수소를 사용하는 만큼 여러 위험이 존재하므로 초격자 기술 개발 지원의 지속성을 위한 화재 실증 시험의 위험성에 대한 안전성 확보 방안을 소개하고자 한다.

고압가스 공급설비 용기 누출 확산 거동 실증 실험 및 CFD 시뮬레이션 해석

이희은, 이현정, 황운하, 강찬규

사회안전시스템공학부 안전공학전공

Experiment and Risk Analysis of High-Pressure Gas Supply Facility Container Leak Diffusion Behavior

Lee Hee-eun, Lee Hyeon Jung, Hwang Un Ha, Chankyu Kang

Hankyong National University Social Safety System Engineering

요 약

최근 반도체 및 화학산업에서 고압가스 누출 사고는 발암성 물질 노출, 화재, 폭발 등 다양한 위험을 초래하며, 특히 독성 및 반응성이 높은 가스를 다루는 반도체 제조 공정에서 안전 관리의 중요성이 커지고 있다. 고압가스 공급설비인 가스 캐비닛에서의 누출 시 확산 거동을 정확히 파악하고 실효성 있는 안전 기준을 마련하는 것이 시급한 과제이다. 본 연구는 반도체 공정용 특수가스 캐비닛의 누출 특성을 실증 실험과 전산유체역학(CFD) 시뮬레이션을 통해 비교 분석하는 것을 목표로 하였다.

실험은 실제 크기의 가스 캐비닛에서 드라이아이스를 사용하여 다양한 압력(1.5~7bar), 누출 위치(상·하), 누출 각도(0° , 90° , 135° , 180°) 조건에 따른 가스 누출 유동을 시각적으로 확인하고 정량적으로 측정하였다. 유량 센서 및 초고속 카메라로 수집된 데이터는 SST k- ω 모델 기반의 CFD 해석 결과와 비교하여 모델의 신뢰성을 검증하는 데 사용되었다.

실험 결과, 누출 압력, 위치, 각도가 외부 누출 속도 및 거동에 큰 영향을 미치는 주요 인자임이 확인되었으며, 특히 하단 135° 누출 조건에서 높은 속도가 관찰되었다. 중요한 점은 실험에서 가스의 육안 확인까지 약 10초가 소요된 반면, CFD 시뮬레이션에서는 0.003초 이내에 외부 확산이 예측되어, 평균 반응 시간이 30초~1분인 현재 가스 감지 시스템의 신속 대응 한계 가능성이 제기되었다.

결론적으로, 본 연구는 실증 실험과 CFD 시뮬레이션의 통합적 분석을 통해 가스 누출 위험을 정량적으로 평가하고, 기존 감지 및 대응 시스템의 개선 필요성을 확인하였다. 이를 바탕으로 1초 이내 감지가 가능한 고속 감지 센서 도입, 즉각적인 자동 차단 시스템 구축, 강화된 비상 대응 프로토콜 마련 등 반도체 제조 공정의 안전성 향상을 위한 실질적인 사고 예방 대책을 제시하였다. 이러한 안전 조치는 반도체 산업의 안전 수준을 높이고 글로벌 경쟁력을 확보하는 데 기여할 것으로 기대된다.

정화조 메탄가스 폭발 위험에 대한 3단계 위험성 평가

이희은*, 이현정*, 강찬규**
사회안전시스템공학부 안전공학전공

A 3-Stage Risk Assessment of Methane Gas Explosion Hazards in Private Sewage Treatment Facilities

Lee Hee-eun*, Lee Hyeon Jung*, Chankyu Kang**
Hankyong National University Social Safety System Engineering

요 약

밀폐공간인 정화조는 메탄 등 유해가스 축적으로 폭발 위험이 높으며, 실제 사고 발생 시 약 50%의 높은 치명률을 보인다. 그러나 정화조의 특성을 고려한 현행 안전 관리 기준이 미흡하여, 체계적인 위험성 평가 및 선제적 예방 대책 마련이 시급한 상황이다. 본 연구는 실제 정화조 사고 사례 40건 분석을 바탕으로 4M 분석, Bow-Tie 분석, 그리고 HAZOP 분석을 통합한 3단계 위험성 평가 프레임워크를 적용했다. BowTieXP 소프트웨어와 6x5 위험 매트릭스를 활용하여 정량적 위험 수준을 평가하고, 설정된 안전 방벽의 효과성을 분석 및 교차 검증하였다. 3단계 위험성 평가 결과, 정화조의 주요 위험요인(환경/물질적, 설비적) 도출 및 사고 시나리오 시각화가 가능했으며, Bow-Tie 분석 기반 예방/완화 방벽 적용으로 초기 식별된 고위험(9건) 및 중고위험(7건) 항목이 모두 효과적으로 제거되었다. HAZOP 분석을 통해 추가 공정 위험을 식별하고 방벽의 효과성을 재확인하여 낮은 위험 등급을 달성하였다. 이를 통해 정화조의 메탄가스 폭발 등 복합적 위험에 대한 체계적 위험성 평가 방법론의 현장 적용성과 효과를 입증하였다. 이러한 3단계 위험성평가 프레임워크는 안전관리 기준 강화, 맞춤형 비상 대응 절차 수립 및 관련 제도 개선을 위한 실질적인 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

암모니아 연소 조건에 따른 질소산화물 발생 특성 연구

박종권^{*,**}, 박명곤^{**}, 이승용^{**}, 문종호^{*}, 박재혁^{**}

^{*}충북대학교, ^{**}원익머트리얼즈

Characteristics study of nitrogen oxide generation according to ammonia combustion conditions

Jong Kwon Park^{*,**}, Myung Gon Park^{**}, Seung Yong Lee^{**}, Jong Ho Moon^{*}, Jae Hyeok Park^{**}

^{*}Chungbuk National University, ^{**}Wonik Materials

요약

세계적으로 탄소 중립과 탈탄소화가 주요 에너지 정책의 방향으로 자리잡으며, 이에 부합하는 차세대 연료 개발이 활발히 이루어지고 있다. 암모니아는 이산화탄소 배출이 없는 연료로 주목받고 있으며, 수소 운반체로서의 역할뿐만 아니라 연소 자체를 통한 에너지 생산 수단으로도 활용 가능성이 크다. 특히 기존 인프라인 일부 활용할 수 있다는 점에서 경제성 측면에서도 장점을 가진다. 그러나 암모니아는 분자 자체에 질소를 포함하고 있으며, 연소 온도가 높기 때문에 연소 과정에서 질소산화물이 다량 생성될 수 있다는 단점이 존재한다. 본 연구에서는 NO, NO₂ 외에 온실가스로서 기후변화에 높은 영향을 끼치는 아산화질소(N₂O)까지 포함하여 질소산화물을 포괄적으로 정의하였다. 이들 물질은 대기 오염과 환경 규제의 대상이 되며, 암모니아 연소 시스템의 상용화를 위해서는 질소산화물 저감이 반드시 고려되어야 한다.

본 연구에서는 암모니아에 수소와 질소를 혼합한 연료를 사용하여 다양한 연소 조건(공기 과잉률, 연료 혼합 방식, 희석 가스 첨가 등)이 NO_x 및 N₂O 배출에 미치는 영향을 실험적으로 분석하였다. 연료와 공기는 Swirler를 통과하기 직전에 혼합되며, 고정된 Diffuser를 통과하여 연소가 이루어지는 실험 시스템을 구성하였다. 실험 조건에 따라 연소 안정성과 온도 분포, 질소산화물 배출 특성을 측정하여, 이를 기반으로 각 조건이 질소산화물 생성에 미치는 영향을 정성적으로 비교하였다. 본 연구 결과는 암모니아 활용 연소 및 수소 추출 공정에서 질소산화물을 연소 과정에서 조절이 가능한 최적 운전 조건을 설계자료로 제공할 수 있는 기초 자료로 활용할 예정이다.

천연가스배관 자동용접부 기계적 특성 평가

김철만, 신민하, 장윤찬, 김영표

한국가스공사 가스연구원

Mechanical property evaluation for automatic welding joint of natural gas pipeline

Cheol-man Kim, Min-ha Shin, Yun-chan Jang, Young-pyo Kim

KOGAS Research Institute

요 약

국내 용접사의 고령화와 3D 직업 기피 현상으로 인하여 산업계에 종사하는 용접인력이 급격히 감소하는 추세에 있다. 반면 최근 산업 전반에 걸쳐 산업용 로봇을 활용한 용접 자동화 기술이 각광을 받고 있다. 이에 주배관 건설 현장에도 자동용접 적용이 필요하게 되었으며, 자동용접부의 기계적 특성을 평가하여 용접부 건전성을 입증하고 현장 적용을 위한 기초 데이터를 확보하고자 한다.

가스배관은 12 m 길이의 강관을 지하 1.5 m 깊이에서 원주방향으로 용접하여 매설한다. 원주용접은 1~2층은 GTAW, 3층 이상은 SMAW 방식으로 수행한다. 특히 초층 용접 시 내부 용접 비드 높이는 0~2 mm 범위가 되어야 한다. 고품질의 용접부를 만들기 위하여 1~2층은 수동으로, 나머지 3층 이상은 자동용접기를 적용하였다. API 5L X65 재료 등급의 외경 20인치, 두께 11.9 mm 배관과 X70 재료 등급의 외경 30인치, 두께 15.9 mm의 두 배관에 대하여, API 1104 기준에 따라 1~2층은 수동용접, 나머지 층은 자동용접을 수행하였고, 총 4개 위치에서 시험편을 각각 제작하였다. 용접 수행 중에 전류, 전압, 순수 용접시간 등을 측정하여 각 패스별 입열량을 계산하였다. 용접 배관별 4개 위치에서 매크로 조직시험, 인장시험, 닉브레이크시험, 굽힘시험(root/face bend, side bend)을 위한 시험편을 제작하여 기계적 특성을 평가하였고, API 1104의 요구 조건에 따라 합격 여부를 결정하였다. 모든 시험편은

API 1104의 자동용접부 특성 기준을 만족시켰으며, 충분한 건전성을 확보하고 있음을 확인하였다. 주배관 건설현장에 자동용접을 적용할 경우 생산성 향상, 용접품질 확보, 안전성 향상 등의 효과가 있으며, 나아가 수소전용배관에 자동용접 공정을 확대하여 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

이상고압대에서 석유시추 현장사례에 대한 조사

이인재, 김정우, 이동하, 정희윤, 추동구, 손한암
국립부경대학교

Investigation on the Field Cases for Oil Drilling in High-Pressure Zones

Injae Lee, Jeongwoo Kim, Dongha Lee, Heeyoon Jeong, Dongsoo Chu, Hanam Son
Pukyong National University

요약

이상 고압대는 지층에 압력이 가해져 지층의 공극압력이 정상압력보다 고압 상태인 상태를 의미한다. 세일과 같은 저투과도 지층이 빠르게 퇴적되어 형성될 경우, 공극의 유체가 빠져나가지 못하고 비정상적으로 높은 지층압력이 발생할 수 있다. 이상 고압대는 시추과정에서 높은 지층으로 인해 지층유체가 시추공으로 유입되는 킁(kick)이 발생할 수 있으며, 최악의 경우는 유정폭발(blowout)이 발생할 수 있다(Yin, 2020; Erivwo and Makis, 2021; Abdelaal, 2021; Abdelaal, 2022). 따라서 이상 고압대에서 시추를 위해서는 지층의 압력보다 높은 시추공 압력 유지가 필수이며, 이를 위해서는 이수의 비중을 높여서 시추를 진행해야 한다.

2010년 미국 멕시코만에서 이상 고압대 시추 중 킁이 발생하여 딥워터 호라이즌(Deepwater Horizon)이 폭발하는 사고가 있었으며, 국내에서도 2022년 6월 동해 가스전에서 북동쪽으로 44km 떨어진 ‘방어 구조’에서의 시추를 시도하다가 이상 고압대를 만나 안전상의 문제로 시추를 중단한 경험이 있다. 이 연구에서는 국내외의 관련 문헌들을 조사하여 이상 고압대에 시추사례를 소개하고자 한다. 이상 고압대에서 시추시의 문제점을 살펴보고, 시추방법 및 해결책(예를 들어, 킁을 방지하면서도 지층의 파괴압력 이내에서 이수비중을 조절하는 유정제어 사례 등)을 살펴보고자 한다.

- [1] Yin, Q., Yang, J., Li, Z., Huang, Y., Wang, B., Tyagi, T., Xu, G., “A field case study of managed pressure drilling in offshore ultra high-pressure high-temperature exploring well in the south China sea”, *SPE Drill & Compl.* 35 (04), 503-524, (2020).
- [2] Erivwo, O., Makis, V., “Improved abnormal formation pressure detection from drilling performance data in a partially observable setting”, *J. Pet. Sci. Eng.*, 206 108947, (2021).
- [3] Abdelaal, A., Elkatatny, S., Abdurraheem, A., “Data-driven modeling approach for pore pressure gradient prediction while drilling from drilling parameters”, *ACS Omega*, 6(21), 13807-13816 (2021).
- [4] Abdelaal, A., Elkatatny, S., Abdurraheem, A., “Real-time prediction of formation pressure gradient while drilling”, *Scientific Reports*, 12, 11318, (2022).

이 연구는 중소벤처기업부에서 지원하는 2023년도 중소기업기술혁신개발(R&D) 수출지향형(수출강소)의 ‘에너지채굴 및 블루수소생산을 위한 CCS용 고온고압 부식억제제 개발(RS-2023-0026728)’ 과제의 일환으로 수행되었습니다.

수소혼입 메탄 지중저장에서 휴지기에 따른 mixing zone 영향 분석

김유진, 박홍규*, 양시준*, †장호창**

강원대학교 에너지자원융합공학과, *강원대학교 에너지공학부,

**강원대학교 그린에너지공학과

The effect of shut-in period on the mixing zone in underground storage of hydrogen blended methane

Yujin Kim, Honggyu Park*, Sijun Yang*, †Hochang Jang**

Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Kangwon National University,

*Division of Energy Engineering, Kangwon National University,

**Department of Green Energy Engineering, Kangwon National University

요 약

수소 생산량이 급증하면서 대용량으로 수소를 저장할 수 있는 UHS(underground hydrogen storage)가 해결책으로 떠오르고 있다. 지하공간에 순수 수소만 주입하게 되면 파이프라인 등에 부식을 일으켜 누출 위험성이 생긴다. 이러한 위험을 없애기 위해 새로운 인프라를 구축해야 하지만, 수소혼입 메탄을 사용한다면 기존 인프라를 사용할 수 있다. 영국의 'HyDeploy' 프로젝트에서는 수소 비율 20%까지 파이프라인에 영향을 주지 않는다는 것을 확인했다. 수소혼입 메탄도 순수 수소를 지중에 저장할 때처럼 쿠션가스 사용이 필수적인데, 이때 쿠션가스와 수소혼입 메탄이 섞이는 부분인 mixing zone이 발생한다.

본 연구에서는 고갈 가스전에 수소혼입 메탄을 저장할 때 각 사이클의 주입과 생산 사이에 휴지기(shut-in period)를 도입하여 mixing zone과 생산 효율을 분석하였다. CMG사의 GEM 모듈을 이용하여 동해-1 고갈 가스전 물성을 바탕으로 모델을 구축하였다. 수소혼입 메탄의 비율은 수소가 20%이고, 메탄이 80%인 가스를 주입하였으며, 쿠션가스 종류로는 이산화탄소(CO₂)를 사용하여 사이클 시작하기 전 1년 동안 주입하였다. 총 10년간 수소혼입 메탄 주입/생산을 반복하였으며, 기존 모델은 휴지기가 없이 12개월을 기준으로 주입/생산 기간이 6개월/6개월이다. 휴지기를 도입한 모델은 주입/생산 기간을 5개월/5개월이며, 주입이 끝난 후 1개월과 생산이 끝난 후 1개월을 휴지기로 설정하였다. Mixing zone은 쿠션가스 비율이 0.1에서 0.9인 구간으로 지정했다. 시뮬레이션 결과, 휴지기의 도입은 이산화탄소의 거동에 뚜렷한 변화를 유도하였다. 초기 5년 사이클에서는 mixing zone 내부에 돔 형태의 공간이 형성되는 특성을 보였으나, 10년 사이클 종료 시점에는 쿠션가스로 주입된 이산화탄소가 상부에 거의 존재하지 않고 대부분 하부로 이동하는 경향을 보였다. 한편, mixing zone의 부피는 휴지기를 포함한 모델에서 초기 1년 사이클이 끝난 후 기존 모델 대비 약 3.5% 증가하였고, 5년 및 10년 사이클에서는 각각 약 12.5%, 23.1% 증가하여 사이클이 경과할수록 부피 차이가 확대되는 경향을 나타냈다. 이산화탄소의 생산량은 휴지기를 포함한 모델에서 약 27.3% 감소하여, 쿠션가스의 손실이 줄어들었다. 이러한 결과는 휴지기의 도입이 mixing zone의 부피를 늘리며, 결과적으로 이산화탄소의 생산을 줄여 수소 혼입 메탄의 생산 속도 향상에 긍정적인 영향을 가진다고 해석할 수 있다.

사 사

본 연구는 2025년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 해외자원개발협회의 지원(2021060001, 데이터사이언스 기반 석유·가스 탐사 컨소시엄)과 한국에너지기술평가원의 지원(20224000000080, 강원대학교 수소안전 클러스터 융합대학원)을 받아 수행된 연구입니다.

† Corresponding Author(장호창), E-mail: hcjang@kangwon.ac.kr

가스레인지 삼발이 커버 사용에 따른 일산화탄소 중독 위험성 실증 연구

오동석, 조근욱, 최성원, 김용희, 전호림
한국가스안전공사

An Experimental Study on the Risk of Carbon Monoxide Poisoning Associated with the Use of Gas Stove Trivet Covers

Oh Dongseok, Jo Gunwook, Choi Sungwon, Kim Yonghee, Jeon Horim
Korea Gas Safety corporation

요 약

가스소비량 절감을 통한 가스비 절약, 조리 화력 강화 및 바람막이 등을 목적으로 제작된 가스레인지 삼발이 커버를 가정용 주방에서 사용하는 사례가 증가하고 있다. 그러나 가스레인지 제조사에서 제조하지 않은 추가 부품의 사용은 연소 과정에서 영향을 주어 일산화탄소와 같은 유해 가스의 발생을 초래할 수 있으며, 실내일 경우 중독에 의한 인명 피해가 발생할 가능성이 있다.

본 연구에서는 가스레인지 삼발이 커버 사용으로 발생한 일산화탄소를 측정하여 중독 위험에 미치는 영향을 실험적으로 규명하고자 하였다. 표준 가정용 가스레인지를 활용하여 실내에서 실험을 수행하였으며, 삼발이 커버의 사용 유무, 밀폐 환기 조건 및 조리 기구 크기 등을 변수로 설정하여 일산화탄소 농도를 측정하였다. 그 결과, 가스레인지에 삼발이 커버를 사용할 경우 일산화탄소 농도가 유의미하게 상승하였으며, 일부 실험에서는 인체에 치명적인 영향을 줄 수 있는 기준을 단시간 내 초과하는 수치를 기록하였다.

이러한 결과는 일상적인 가정용 주방 환경에서 간과되기 쉬운 안전 위험 요소를 부각시키며, 비표준 추가 부품의 사용이 연소 안전성을 저해할 수 있음을 나타내고 있다. 이에 따라 일산화탄소 노출로 인한 건강 피해를 예방하기 위해 위험성에 대한 교육·홍보 등의 검토 및 제도적인 관리 방안 마련이 필요할 것으로 사료된다.

고압수소배관 재료 관련 KGS Code, 日‘특정설비검사규칙’의 비교 분석

김소영, 김예원, 김정환, 박요한
한국가스안전공사 가스안전연구원

Comparative Analysis of KGS Code and Japan’s ‘Specific Equipment Inspection Regulations’ for High-Pressure Hydrogen Pipeline Materials

Soyoung Kim, Yewon Kim, Junghwan Kim, Yohan Pak
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

요 약

수소는 운송, 발전, 산업 등 다양한 분야에서의 활용뿐만 아니라, 잉여전력을 수소로 변환하여 저장하고 활용하는 방식으로 재생 가능 에너지의 잠재력을 극대화할 수 있는 가능성을 지닌 탈탄소화 및 카본 뉴트럴 사회를 실현하는 데 중요한 역할을 하는 에너지원이다.

한국은 2021년 세계 최초로 ‘수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률’을 제정하며 수소 산업 육성을 위한 기반을 조성하고자 그 초석을 마련하였고, 정부는 소재·부품·장비 경쟁력 강화 위원회를 통하여 원천기술 확보와 사업화 촉진, 공급망 강화 등을 지원하고 있다.

일본 또한 2017년 「수소기본전략」을 수립하여, 수소를 재생 가능 에너지의 중요한 선택지로 선택, 수소 사회 실현을 위한 로드맵을 제시하였고 신에너지산업기술종합개발기구(NEDO)는 「경쟁적 수소 서플라이체인 구축을 위한 기술개발 사업」으로서 고압수소 배관의 국내 기준화를 향한 배관재료의 수소 적합성과 내진설계에 관한 연구개발을 추진하는 등 국가 전반에 걸친 연구가 계속되고 있다.

수소 산업의 핵심 인프라 중 하나로 평가받는 고압 수소 파이프라인에 대한 안전성 및 신뢰성을 확보하기 위해서는 수소 취화 특성, 장기적인 안전성 평가, 그리고 이에 대한 인증 절차가 중요한 역할을 한다.

본 연구는 한국의 고압 수소 배관 안전 관리 기준과 일본의 특정설비검사규칙을 비교 분석함으로써, 양국의 차이점을 파악하고, 향후 수소 배관망 수요의 증가 및 사용처 확대에 따른 안전기준 개정 방향에 대해 논의하고자 한다.

KGS Code 및 인허가 절차에 따른 수전해설비 안전성 확보방안

유철희, 정해관, 김재경
한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터

Proposal of safety measures for electrolysis facilities according to KGS Code and licensing procedures

Chul-hee Yu, Hae-gwan Jeong, Jea-gyeong Kim
Korea Gas Safety Corporation Energy Safety Emprical Research Center

요약

수소경제 활성화를 위하여, 많은 국가들이 수소 생산량 확대 방안을 모색하고 있다. 수전해 설비란 전기분해 방식을 활용하여 수소를 생산하는 설비로 ‘급수 밸브로부터 스택, 전력변환 장치, 기액분리기, 열교환기, 수분제거장치, 산소제거장치 등을 통해 토출되는 수소배관의 첫 번째 연결부’까지를 수전해 설비로 지정하고 있다.

국내 수전해설비는 취급압력에 따라 적용되는 법령이 상이한데, 10 bar 이상의 수소가스를 취급하는 경우에는 고법으로, 10 bar 미만의 수소가스를 취급하는 경우에는 수소법을 적용한다. 본 논문에서는 가상의 수전해 시스템을 구축하고, 해당 설비에 대하여 적용되는 KGS Code 및 인허가 절차에 대해 소개하고자 한다.

Acknowledgement: 본 연구는 산업통상자원부-한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원으로 수행한 연구 과제입니다.(대면적 알칼라인 수전해 시스템 개발/ RS-2023-00234654)

유한요소해석을 활용한 Type 4 수소저장용기의 안전성 평가 프로세스 설계

김건우, 김혜원, 박한민, 강세진, 조경석, 박범수, 김한상[†]
가천대학교 기계공학과

Design of Safety Evaluation Process for Type 4 Hydrogen Storage Vessel using Finite Element Analysis

Gunwoo Kim, Hyewon Kim, Hanmin Park, Sejin Kang, Gyeongseok Cho, Beomsoo Park,
Hansang Kim[†]

*Department of Mechanical Engineering, Gachon University, 1342, Seongnam-dearo, Sujeong-gu,
Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea*

요 약

고압의 수소가스를 안전하게 저장하고 운송하기 위해서는 수소저장용기의 구조적 안전성을 평가하는 것이 필수적이다. 그러나, 실제 안전성 평가 시험을 진행하는 것에 있어 상당한 시간과 비용이 소모되고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해, 본 연구에서는 유한요소해석을 활용하여 시험별 Type 4 수소저장용기의 구조적 안전성을 평가하는 프로세스를 설계하였고, 이를 통해 다양한 안전 성능 평가 시험 조건하에서의 구조적 안전성을 검토함으로써 향후 개발 시의 시간과 비용을 절감하고자 하였다. 이를 위해, 상용 구조해석 소프트웨어인 ABAQUS를 활용하여 Type 4 수소저장용기의 유한요소해석 모델을 구축하였고, 각 시험 조건에서의 구조적 안전성과 주요 영향 요인에 대해 평가 및 분석하였다. 이와 같은 일련의 프로세스를 설계 및 분석함으로써 유한요소해석을 활용한 Type 4 수소저장용기의 안전성 평가 기반을 마련하였고 개발 비용과 시간을 절감할 수 있는 토대를 마련하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 “소재부품기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (No. 20022511)

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 “에너지기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (No. RS-2023-00234839)

유한요소해석을 활용한 Type 4 수소저장용기 피로수명 평가 프로세스 설계

김건우, 김혜원, 박한민, 강세진, 조경석, 박범수, 김한상[†]
가천대학교 기계공학과

Design of Fatigue Life Evaluation Process for Type 4 Hydrogen Storage Vessel using Finite Element Analysis

Gunwoo Kim, Hyewon Kim, Hanmin Park, Sejin Kang, Gyeongseok Cho, Beonsoo Park, Hansang Kim[†]

Department of Mechanical Engineering, Gachon University, 1342, Seongnam-dearo, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

요 약

최근 주요국의 환경 규제에 따른 수소 산업의 연구가 활발하게 이루어지는 추세이며, 이 중 수소 저장 및 운송 분야에서 활용되는 수소저장용기의 안전성 평가에 관한 연구가 대두되고 있다. 이전부터 내부 압력과 같은 단일 하중 조건에서의 수소저장용기의 구조적 안전성을 평가하는 연구가 활발하게 수행되고 있으나, 반복 하중 조건에서의 수소저장용기의 구조적 안전성 및 피로 수명을 평가하는 연구는 많이 수행되고 있지 않다. 이에 따라, 본 연구에서는 Type 4 수소저장용기의 파트별 피로 수명을 평가할 수 있는 유한요소 해석 프로세스를 설계하고 평가함으로써 반복 하중 조건에서의 노화 및 손상, 균열의 영향 및 안전성을 평가할 수 있는 토대를 마련하고자 하였다. 이를 위해, 상용 구조해석 소프트웨어인 ABAQUS를 활용하여 수소저장용기의 각 파트들을 유한요소해석 모델로 구성하였고, 각 압력 조건에서의 수소저장용기의 구조적 성능을 평가하였다. 또한, 구조해석 결과 데이터를 기반으로 한 피로 해석을 수행하고자 파이썬 코딩을 활용하여 구조해석 모델 데이터를 재구성하였고 앞서 수행된 내압별 응력 결과를 기반으로 반복 하중을 재구성하였으며, 해당 조건을 기반으로 수소저장용기의 피로 거동과 수명을 평가하였다. 본 연구에서는 이와 같은 일련의 프로세스를 설계함으로써 수소저장용기의 소재별, 조건별 피로 수명을 평가할 수 있는 기반을 마련하였고, 향후 개발 시간과 비용을 절감할 수 있는 결과를 도출하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 “소재부품기술개발 사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (No. 20022511)

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 “에너지기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (No. RS-2023-00234839)

기계학습을 활용한 Type 4 수소저장용기 최적설계

김혜원, 김건우, 박한민, 김한상[†]
가천대학교 기계공학과

Optimal Design of Type 4 Hydrogen Storage Vessels Using Machine Learning

Hyewon Kim, Gunwoo Kim, Hanmin Park, Hansang Kim[†]
Department of Mechanical Engineering, Gachon University, 1342, Seongnam-dearo, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

요 약

대한민국의 수소 경제 성장세에 발맞춰 국내외 기관의 다양한 분야에서 수소의 활용이 확대되고 있으며, 특히 수소저장용기의 경량화 및 안정성 향상은 수소 운송 및 저장 시스템의 핵심 과제로 대두되고 있다. 그 중, Type 4 수소저장용기의 복합재료부는 경량화와 구조적 안전성 확보가 동시에 요구되는 핵심 요소로 수소저장용기의 개발 과정에서의 복합재료부의 최적설계는 필수적이다. 본 연구에서는 최적 설계 프로세스의 효율성을 높이기 위해, 인공신경망(Artificial Neural Networks, ANN) 및 딥러닝(Deep Learning, DL) 기법과 유전 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)를 결합한 최적화 방법을 비교 분석하였다. 먼저, 유한요소해석(FEA) 소프트웨어인 ABAQUS를 활용, 다양한 설계 변수 조합에 따른 용기의 구조적 거동 Data를 확보하고 이를 학습 Data Set으로 구축하였다. 이를 기반으로 ANN과 MLP 신경망 모델을 각각 학습시키고, 이는 GA의 적합도 함수(Fitness Function)로 활용되어 최적화를 수행하였다.

최종적으로 도출된 최적 설계안들은 ABAQUS를 통해 구조적 성능을 확인하였으며 그 결과, 두 방법론 모두 기존 FEA 기반 최적화 대비 계산 시간을 획기적으로 단축하면서도 우수한 최적해를 도출하였다. 특히, MLP 기반 모델을 활용한 MLP-GA 방식은 ANN 기반 방식보다 더 높은 예측 정확도와 개선된 최적화 성능을 보인 것을 확인하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 “소재부품기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (No. 20022511)

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 “에너지기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (No. RS-2023-00234839)

CCUS.

탄소중립 전략과 국경통과CCS

임지우

한국CCUS추진단

요약

본 연구는 국경 간 이산화탄소(CO₂) 이동 및 저장 협정의 법적·제도적 조건을 검토하고, 이를 통해 향후 탄소중립 이행을 위한 국제 협력의 방향성을 탐색하고자 하였다. 대한민국은 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC)와 2050 탄소중립 시나리오를 통해 이산화탄소 포집·저장(CCUS) 기술을 주요 수단 중 하나로 제시하고 있으며, 자국 내 저장 한계에 대응하기 위한 해외 저장소 연계의 필요성이 점차 커지고 있다.

이에, 런던의정서의 주요 조항과 개정안 현황을 검토하고, 우리나라의 잠재적 파트너국들을 파악하고, 향후 필요한 절차에 대해 분석하였다. 더불어 유럽 내 국경 간 CCS 협력 사례를 비교 분석함으로써, 허가 절차, 환경 기준, 정보 공유 및 책임 분담 등 실무적으로 요구되는 협정/약정 체결 시의 구성 요소를 도출하였다.

Ammonia Market Outlook: 2025 UPDATE

최우정

Lloyd's Register Asia

요 약

The maritime industry is undergoing a rapid and imperative energy transition driven by environmental, social, and regulatory pressures to reduce emissions. Unlike previous shifts in propulsion technology, this transition is not solely motivated by technological advancements or economic factors. The industry faces significant challenges in achieving decarbonisation swiftly. Lloyd's Register (LR) is committed to guiding the maritime sector through this transition with trusted advice and analysis. The "Fuel for Thought" series explores decarbonisation options, focusing on policy developments, market trends, supply and demand mechanics, and safety implications.

Ammonia is emerging as a prominent long-term combustion fuel choice, with the first ammonia-powered ships expected by 2025. Engine manufacturers such as Wärtsilä, MAN Energy Solutions, and WinGD have made substantial progress in developing ammonia-capable marine engines, supported by successful testing programs and the development of fuel supply and safety systems. Global ammonia production currently stands at approximately 180 million tonnes per year, primarily used for fertiliser manufacturing. By 2050, marine fuel demand could reach 688 million tonnes annually, necessitating a significant increase in production capacity.

The maritime fuel sector will be a major driver of future ammonia demand, alongside its continued use in fertiliser and power generation sectors. The coming years are crucial for both decarbonising global shipping and implementing ammonia as a marine fuel.

CO2 해저주입을 위한 이송/주입 배관 내 유동안정성 연구

이승민¹, 박지유²

한국생산기술연구원¹, *한국생산기술연구원²

Flow assurance in transfer/injection piping for CO₂ subsea injection

Seungmin Lee¹, Jiyu Park^{2*}

*Korea Institute of Industrial Technology¹, *Korea Institute of Industrial Technology²*

요 약

지구 온난화로 인한 기후위기 대응을 위해 전 세계적으로 CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage) 기술 개발이 가속화되고 있으며, 특히 CO₂ 해양지중저장(Marine Geological Storage) 기술이 대규모 탄소 감축 수단으로 주목받고 있다.

본 연구는 CO₂ 해저 저장 주입 시 발생할 수 있는 배관 내 다상유동안정성(Multi-phase flow)와 CO₂ 하이드레이트 형성에 따른 주입 공정상의 위험요인을 실험적으로 규명하고자 하였다.

CO₂ 이송 배관 내 다상유동 현상을 모사할 수 있는 실험설비를 설계 및 구축하고, *in-situ* 상태에서 다양한 유속 조건에서 기-액 유동 특성을 관찰하였다.

유속 변화에 따라 기-액 분포 및 유동 패턴이 달라지는 것을 확인하였으며, 특정 조건에서 불안정한 유동 및 슬러그 흐름(Slug Flow)이 발생함을 관찰하였다. CO₂ 하이드레이트의 형성 온도 및 압력 조건을 실험적으로 도출하였고, 하이드레이트 및 CO₂ 드라이아이스 형성에 따른 배관 막힘현상 등에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구 결과는 해저 CO₂ 주입 공정의 안정성 확보를 위한 설계 및 운전 조건 최적화에 기초자료로 활용될 수 있으며, 향후 CO₂ 해양지중저장 기술 상용화 및 대규모 탄소 감축 실현에 기여할 것으로 기대된다.

이산화탄소 수송 파이프라인용 소재 평가

서명규1, 이유경1, 김규태1, 차수호2, 이승민3

1)현대제철 2)현대건설 3)한국생산기술연구원

국제에너지기구(IEA)는 2050년 탄소중립 달성을 위한 핵심 전략으로 탄소포집·활용·저장(CCUS)의 중요성을 강조하고 있다. 전 세계적으로 CCUS 인프라가 국가 정책 및 실증 사업을 통해 빠르게 확대되고 있으며, 이에 따라 액체 또는 초임계 상태의 고밀도 이산화탄소(CO₂)를 파이프라인을 통해 수송하는 기술이 주목받고 있다. 이러한 고밀도 상태는 경제적 이점으로 인해 주요 수송 방식으로 자리잡고 있다.

CO₂ 수송용 파이프라인 소재를 설계할 때는 두 가지 핵심 요소를 고려해야 한다. 첫째, 수송 중 발생하는 고압 환경을 견딜 수 있어야 하며, 둘째, 포집원에 따라 이산화탄소 내 수분 및 불순물의 함량이 다르기 때문에 내부 부식에 대한 저항성이 요구된다.

본 연구에서는 CO₂ 수송 파이프라인에 적용되는 소재의 평가 방법에 대해 개괄적으로 소개한다. 이를 위해 실제 CCS 파이프라인 조건을 모사할 수 있는 설비를 구축하였으며, 이를 통해 압력, 불순물, 유속, 다상 흐름 등 다양한 인자가 소재 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구 결과는 CO₂ 수송을 위한 보다 신뢰성 있고 내구성 있는 소재 개발에 기여하고자 한다.

주요어: CCS 수송 파이프라인, CO₂ 수송 불순물, 내압성, 내부 부식, 소재 평가

CO₂ 주입 성상에 따른 고갈 가스전 CCS 플랜트 설계 비교

박인선, 차수호, 박성현, 박성훈
현대건설

A Comparison of Depleted Gas Field CCS Plant Engineering according to CO₂ Injection Characteristics

Insun Park, Suho Cha, Sunghyun Park, Sunghoon Park
Hyundai Engineering & Construction

요 약

CCS(Carbon Capture and Storage) 사업은 수소 생산, 발전, 제철, 시멘트, 석유화학 산업 등에서 발생하는 이산화탄소(CO₂)를 포집하여 이를 정제하고 압축한 후, 육상이나 해양 지중에 주입하여 저장하는 기술 및 사업을 의미한다.

이러한 기술은 온실가스 감축을 위한 핵심 수단 중 하나로 주목받고 있으며, 전 세계적으로 다양한 프로젝트가 추진되고 있다.

대표적인 CCS 프로젝트로는 노르웨이의 노던라이트(Northern Lights), 호주의 고르곤(Gorgon), 그리고 네덜란드의 포르토스(PORTHOS) 프로젝트가 있다.

이들 프로젝트는 주로 해양의 대염수층 또는 고갈된 가스전을 CO₂ 저장소로 활용하고 있다.

해양 지중에 CO₂를 주입하기 위해서는 해안에 허브 터미널이 필요하며, 해저 파이프라인과 해상 플랫폼 등의 기반 시설도 필수적으로 갖춰야 한다.

이러한 플랜트는 주입되는 CO₂의 물성, 즉 기체 상태인지 액체 상태인지에 따라 구성과 설계 방향이 달라진다. CO₂의 성상은 저장소까지의 이송 방식, 압력 및 온도 조건, 저장소의 형태 등에 큰 영향을 미친다.

현재 진행 중인 고갈 가스전을 활용한 CCS 프로젝트 중 하나로 국내의 동해가스전 CCS 실증사업이 있다. 이 사업은 액체 상태의 CO₂를 주입하는 개념을 바탕으로 진행되고 있다.

반면 네덜란드의 포르토스(PORTHOS) 프로젝트는 기체 상태의 CO₂를 저장하는 방식으로 사업이 추진되고 있다. 두 프로젝트는 주입되는 CO₂의 성상이 다르기 때문에 플랜트 구성에서도 차이가 발생한다.

액체 CO₂ 주입의 경우, 높은 압력을 유지하면서 이송하는 것이 중요하며, 이에 적합한 설비가 필요하다. 기체 CO₂의 경우 상대적으로 압력이 낮아도 되지만, 부피가 크기 때문에 저장소 설계에 영향을 미친다.

따라서 주입 성상의 차이는 허브터미널 설계, 해저 파이프라인의 재질 및 두께, 저장소 압력 유지 방식 등에서 차이를 만든다.

본 연구는 이러한 차이를 바탕으로 액체와 기체 CO₂ 주입 방식의 플랜트 설계를 비교·분석하고자 한다.

이산화탄소 저장소 조건 검증을 위한 평가 프로세스

이우찬, 김종수, 김준식, 조재경
한국석유공사

Site Qualification Process for CO₂ Storage

Woochan Lee, Jongsoo Kim, Junsik Kim, Jaekyoung Cho
Korea National Oil Corporation

요약

본 연구는 이산화탄소 지중저장(CCS)을 위한 저장소 조건 검증 프로세스를 제시하고, 이를 동해가스전 지중저장사업에 적용한 사례를 통해 설명한다. 저장소 조건은 프로젝트의 목표 저장량, 주입성, 안정성을 충족시켜야하며 이의 검증 프로세스는 지하구조 및 주입 시스템에 대한 통합적인 분석과 모델링 기반의 평가로 구성된다. 먼저, 지질·지구물리 자료를 활용한 Subsurface 모델링을 수행하여 저장소 구조 및 저류 특성을 정밀하게 파악하였다. 이후, 다양한 주입 시나리오를 가정한 이산화탄소 주입 시뮬레이션을 통해 저장소의 저장가능량 및 압력 거동을 분석하였고, 이를 활용하여 저장소의 안정성을 평가하기 위해 열역학적 효과를 포함한 지질역학(geomechanical) 분석을 수행하여 이산화탄소 주입에 따른 저장소 저장지층과 덮개암의 변형 및 파쇄 가능성을 평가하였다. 또한, 하이드레이트(Hydrate) 및 염(Salt) 발생 가능성을 고려한 Flow assurance 평가를 통해 수송 및 주입성을 검토하였다. 향후 현재까지 수행한 다양한 모델링 결과를 통합하여 주입 시스템 전반에 걸친 주입 안정성 평가 모델을 구축할 계획이며 이를 동해가스전 지중저장사업 운영 시에도 활용할 계획이다. 본 발표는 CCS 프로젝트 초기단계에서의 저장 대상 지하구조의 저장소로서의 적합성 검증에 있어 복합적인 지하구조 모델링 기법을 기반으로 한 통합 평가 사례 소개를 통해 향후 국내의 추가 지중저장사업의 저장소 평가 시 참고가 될 수 있을 것으로 기대된다.

일본에서의 CCUS 입법정책¹⁾

김동련*
신안산대학교

CCUS Legislative Policy in Japan

Kim, Dong Ryun
Shin AnSan University

요약

일본 정부는 2023년 예산에 CCS 모델 사업에 35억 엔을 책정하였으며, 경제산업성에서 탈탄소화를 가속화하기 위한 탄소포집 장기 로드맵을 제시했다. 2030년까지 매년 600만 톤에서 1200만톤의 탄소 매립이 가능한 저장소를 확보하겠다는 내용이다. 일본 정부는 CCS 기술이 2050년까지 탄소 중립을 달성하는데 필수적이라고 보고, 지난 4월 이번 프로젝트를 공개 입찰했다.

CCS 시설 구축을 위한 후보지로는 이산화탄소의 포집, 운반, 저장 가능 규모 등 다양한 요소를 고려해 총 7개 지역이 선정됐다. 홋카이도 북부, 토호쿠, 니가타 및 수도권 등 일본 국내 5개 지역과 말레이시아, 오세아니아 등 해외 2개 지역이 포함됐다.

일본은 카본 뉴트럴을 통한 탈탄소화를 달성하기 위하여, 2030년까지 민간사업자가 CCS사업을 개시하기 위한 사업 환경을 정비하는 것으로 하고(GX추진전략 2023년 7월 각의 결정), 공공의 안전을 유지하며 해양환경의 보전을 도모하면서 그 사업 환경을 정비하기 위해서 필요한 저장사업 등의 허가 제도 등을 정비할 필요성이 부각되어, ‘이산화탄소의 저장사업에 관한 법률(二酸化炭素の貯留事業にする法律, 이하 “CCS사업법” 이라 한다)’ 과 「탈탄소 성장형 경제구조로의 원활한 이행을 위한 저탄소 수소 등의 공급 및 이용의 촉진에 관한 법률」(이하 “저탄소수소촉진법” 이라 한다)이 제정하였다.

일본은 2030년까지 민간 사업자가 CCS사업을 개시할 수 있도록 하는 환경을 조성하기 위해 CCS사업법안을 입법했다. 이 법안은 저장사업과 시추허가제도, 저장권/시추권의 권리로 인정하였다. 또한, 저장사업자, 이산화탄소 수송 사업에 대한 사업 규제 및 보안 규제 등을 규정하고 있으며, 이산화탄소를 저장하기 위한 지층을 확인하기 위한 시굴권과 실제 저장하는 저류권을 부여하며, 누출 사고 발생 시 보안 책임을 규정하고 있다.

이 법률의 내용을 분석하고 관련한 유사점을 검토하여 관련 국내입법의 정비에 도움이 되고자 한다.

1) 이 논문은 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(20214710100040, CCUS 법률안 정비 및 수용성을 포함한 제도적 기반 구축)

청정수소 대응을 위한 배출 배기가스의 포집/액화 기술

정준교¹, 윤현식¹, 공준¹, 김신현¹, 김재봉¹
(주)에니스¹

Capture and Liquefaction Technologies for Emission Gases in Response to the Clean Hydrogen Initiative

요 약

기후변화가 가속화되며 기후위기라는 용어가 새롭게 발표되고 있습니다. 이에 대한 대응기술로 많은 기술들이 개발되어 적용중이고 기후변화를 가속화 시키는 탄소를 저감하기 위해 노력 중입니다. 하지만 산업에 적용 가능한 기술은 경제성의 부족으로 한계를 보이고 이는 실정이며 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 이산화탄소의 효율적 포집을 수행하기 위해 다양한 포집기술(습식 포집, 분리막 포집)을 동시에 적용하고 이로 발생할 수 있는 다양한 문제를 해결하여 포집된 이산화탄소의 활용이 가능한 형태로 변환하는 연구를 수행하고자 합니다.

이산화탄소 발생원으로는 새로운 에너지원으로 주목받고 있는 수소생사시설을 고려하였으며 수소 생산 시 발생하는 이산화탄소를 포집 하고자 합니다. 천연가스를 스팀개질(SMR) 하게 되면 수소가스와 이산화탄소가스 만을 배출하게 되며 일반적으로 배기가스 내 20% 내외의 이산화탄소를 배출하는 것으로 알려져 있습니다. 또한 1톤의 수소생산 시 약 10톤의 이산화탄소를 배출한다고 보고되고 있으나 다량의 이산화탄소를 배출하는 수소 생산 사업장은 국내에 다수 설치되고 있습니다. 이러한 에너지 생산 패러다임의 변화는 온실가스의 포집기술 적용을 반드시 수반 되어야 한다는 인식과 정부 정책의 패러다임 변화를 가져오고 있습니다.

본 연구에서는 상용급 수소 플랜트에서 발생하는 다량의 이산화탄소를 전량 포집하기 위해 평택 수소생산기지 내 상용급 플랜트(80톤/일)를 설치하여 수소 생산 시 발생가스를 모두 포집하는 실증을 수행하고자 합니다. 본 실증 시설은 평택시 포습읍 원정지구내 설치 중이며 포집기술로는 중공사막을 이용한 이산화탄소 분리 포집기술과 에너지기술연구원 개발 KIERSOL를 적용한 습식 포집 설비로 각 각 40톤/일을 처리할 수 있도록 설치 운영 예정입니다. 또한 분리된 이산화탄소는 액화탄산 공정을 통해 -30℃, 30bar 의 압력으로 비응축가스를 분리하여 고순도의 액화탄산가스를 제조하고 이산화탄소 활용처에 공급 또는 직접 활용을 계획하고 있습니다. 향후 안정적으로 당 시설이 운영된다면 연간 약 17,700톤/년의 이산화탄소를 저감할 것으로 기대하고 있습니다.

배출 메탄 온실가스 제거에 적용하기 위한 높은 수분 저항성을 갖는 고성능 고내구성 메탄 산화 촉매

최준환[†], 정호진, 류승희, 김기영
한국재료연구원

Highly Durable Methane Oxidation Monolith Catalysts with excellent performance under wet conditions

Joon-Hwan Choi[†], Hojin Jeong, Seung-Hee Ryu, Giyeong Kim
Korea Institute of Materials Science
[†]Corresponding author: jchoi@kims.re.kr

요약

전 세계적으로 메탄 온실가스 감축을 위한 규제 및 협정이 시행되어 왔고, 특히 유엔기후변화협약 당사국총회(COP26)에서 2030년까지 메탄 배출을 2020년 대비 최소 30% 줄이는 ‘국제메탄서약’에 우리나라를 포함한 100개국 이상 국가가 서명하는 등 최근 들어 메탄 온실가스 배출에 대한 관심이 커져 왔다. 특히 선박 배출가스 규제 타임라인이 개정되어 2050년(경)까지 net-zero 실현이 목표로 잡혀 있고, 해운업계 탄소세(부담금) 부과 합의 및 메탄을 CO_{2eq}로 적용하는 것이 논의되고 있다. 또한 최근 몇 년간 LNG 연료 추진 선박의 발주가 급격히 증가하였고, 가스엔진으로부터 배출(slip)되는 메탄을 제거하기 위한 기술 개발도 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 또한 메탄을 주연료로 사용하는 (복합)화력발전소에서도 메탄 슬립을 줄이려는 노력이 지속적으로 진행되고 있다. 제조 산업 분야에서도 메탄 버너를 사용하는 경우 메탄 슬립이 발생할 수 있어 향후에는 이와 관련된 기술 개발 및 적용도 확대 될 것이라 예상된다.

배출(slipped) 메탄 제거를 위한 대표적인 기술로 메탄 산화 촉매(MOC)를 들 수 있는데 메탄은 탄화수소 중 가장 안정한 성분 중 하나로 제거가 어려운 분자로 잘 알려져 있다. 특히 배(기)가스에 존재하는 다량의 수분으로 인한 촉매 피독 및 내구성 저하 문제가 MOC의 상용화를 방해하는 주요 걸림돌이 되어 왔고, 이러한 내구성 저하를 보완하기 위해 다량의 귀금속 촉매를 사용하는 등 비용면에서도 문제점이 있어 왔다.

본 발표에서는 한국재료연구원(KIMS)에서 개발하고 있는 메탄 제거를 위한 다양한 기술들과 lab bench test를 통해 수분 저항성 및 내구성이 확인된 MOC용 모노리스 촉매 기술에 대한 소개를 하고자 한다. MOC 촉매의 수분 저항성 향상을 위한 접근 방법은 여러 가지 있을 수 있는데 본 연구에서는 palladium 촉매량이 적정 범위(약 100 g/ft³ 또는 그 이하) 내에 있으면서 수분조건(5% H₂O) 하에서 light-off 특성 및 장기 내구성이 우수한 KIMS 개발 촉매를 소개하고자 한다. 분말 촉매를 통해 screening test를 실시 하였으며 지름 1인치 허니컴 모노리스 촉매를 제작하여 lab bench test를 수행하였다. 모노리스 촉매 테스트의 경우 공간속도는 20,000 /h를 기준으로 하였다. 주입 메탄 농도는 2,000 및 1,000 ppm을 기준으로 하였고, 주입 수분 농도는 5%로 하였다.

DAC 기반의 에너지 전환 시대

김홍식¹

¹로우카본, 59205 전라남도 강진군 성전면 강진산단로 2길 127

The Era of Energy Transition Powered by Direct Air Capture

Hong Sik Kim¹

¹127, Gangjinsandan-ro 2-gil, Seongjeon-myeon, Gangjin-gun, Jeollanam-do, Republic of KOREA

전 세계 에너지 시스템은 DAC(Direct Air Capture) 기술을 기반으로 한 새로운 전환의 시대로 접어들고 있다. 탈탄소화의 필요성이 갈수록 커지는 가운데, DAC는 탄소중립 연료 및 지속 가능한 에너지 시스템을 실현하는 핵심 기술로 부상하고 있다. 이러한 변화는 이미 시작되었고 국제해사기구(IMO)의 탈탄소화 정책이나 유럽연합(EU)의 e-fuel 지원 정책 등에서도 그 흐름을 확인할 수 있다. 국내 역시 DAC 분야에 대한 대규모 투자를 통해 ‘DAC to Fuel’ 분야의 경쟁력을 확보할 필요성이 커지고 있다.

미국 에너지부(DOE) 산하 국립에너지기술연구소(NETL)가 2025년 1월에 발표한 보고서 ‘Direct Air Capture: Definition and Company Analysis’에 따르면, 전 세계적으로 약 142개의 기업이 DAC 기술을 개발 중이지만 현재 실제 운영 중인 DAC 시설들의 총 포집 능력은 연간 약 2만 톤 수준에 불과하며, 대형화된 시설은 극히 일부에 지나지 않는다. DAC 기술의 대형화는 향후 수십억 톤 규모의 이산화탄소 제거를 실현하기 위한 핵심 과제, 국내외에서 기술 상용화를 앞당기고 원가절감의 핵심 수단으로 주목받고 있다.

본 발표에서는 DAC to fuel 관련 DAC 정책 흐름과 기술 발전방향을 중심으로 DAC 기술의 대형화 필요성 및 최신 기술 개발 동향을 소개하고자 한다.

Key words DAC(Direct Air Capture), e-fuel, CDR(Carbon dioxide removal)

참고문헌

1. Faber, G., “Direct Air Capture: Definition and Company Analysis”, U.S. DOE, NETL, (2025)
2. Council of the European Union. (n.d.). Clean and sustainable mobility. (2025)

CCS/CCU 시장 성장과 CO₂ 압축기술 동향

이진성

만에너지솔루션즈

CCS/CCU Market Growth and CO₂ Compression Technology Trends

Jinseong Lee

MAN Energy Solutions

본 연구는 CCS/CCU 시장의 성장 전망과 함께 CO₂의 효율적 포집, 압축, 운송 및 저장 기술을 고찰하였다. CO₂는 초임계 상태에서 파이프라인 운송이 효율적이며, 포집 방식에 따라 다양한 압축 및 건조 기술이 적용된다. MAN Energy Solutions의 고효율 압축기는 단계별 냉각 및 에너지 절감 기능을 갖추고 있어 대규모 CCS/CCU 프로젝트에 적합하다. 실제 글로벌 프로젝트 사례를 통해 기술적·경제적 효과가 입증되었으며, 본 연구는 산업 현장에 적용 가능한 CCS/CCU 시스템 설계에 기초자료를 제공한다.

This study reviews the growth prospects of the CCS/CCU market along with technologies for efficient CO₂ capture, compression, transportation, and storage. CO₂ is most efficiently transported via pipeline in a supercritical state, and various compression and drying technologies are applied depending on the capture method. MAN Energy Solutions' high-efficiency compressors, featuring stage-wise cooling and energy-saving functions, are suitable for large-scale CCS/CCU projects. The effectiveness of these technologies has been demonstrated through global project case studies, and this research provides fundamental data for designing CCS/CCU systems applicable to industrial sites.

시멘트 산업을 중심으로 CCUS 산업육성 방안

조진상

한국석회석신소재연구소

Promoting for CCUS Industry with a Focus on the Cement Industry

Jin-Sang Cho

Korean Institute of Limestone and Advanced Materials

요 약

우리나라 시멘트 산업에서 발생하는 온실가스(이산화탄소)는 연간 약 4천만톤 정도로 산업부문에서 철강, 석유화학산업 다음으로 많은 양의 이산화탄소를 배출하고 있다. 국가 탄소중립 선언으로 각 분야 온실가스 감축을 위한 부처별 로드맵을 수립하고 단계별 목표달성을 위한 사업을 수행하고 있다. 시멘트 산업은 2030년까지 약 4백만 톤, 2050년까지 1천8백만 톤의 이산화탄소 배출을 감축해야 하는 목표를 수립하였다. 감축기술 분야로 화석연료 대체기술, 비탄산염 원료 활용 기술, 혼합재 증대활용 기술, 시멘트 클링커 저온소성기술, 에너지효율향상 기술 및 CCUS 기술을 선정하였다. 우리나라 온실가스 감축 시나리오에 따르면 CCUS 기술로 2030년까지 약 1천1백만 톤의 온실가스를 감축해야 하며 각 산업의 온실가스 감축분의 약 15~30% 정도가 CCUS 기술을 통해 달성되어야 할 것으로 전망된다. 현재 시멘트 산업에서의 온실가스 감축을 위한 CCUS 기술개발이 산업통상자원부 연구개발사업을 중심으로 진행되고 있다. 메탄올 제조사업, 콘크리트 in-situ 탄산화 사업, CO₂ 반응경화시멘트 제조 및 이를 이용한 CO₂ 양생 기술개발 사업 및 시멘트 산업 발생 부산물을 활용한 탄산화 기술개발 사업 등이다. 이런 연구개발 사업을 토대로 충청북도에서는 단양군을 중심으로 중부내륙권의 CCU산업 육성을 전략산업으로 하여 각종 인프라 구축사업, 기업지원사업 및 산업단지 고도화 사업을 추진하고 있다. 본 발표에서는 시멘트산업 중심으로 수행중인 CCUS 사업 현황과 충청북도 단양군의 CCU산업육성 방향 및 전망에 대해서 소개하고자 한다. 본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “시멘트산업이산화탄소저감 종합실증센터구축 사업”(과제번호 P0027571) 으로 수행된 연구결과입니다.

이산화탄소 셔틀 기술을 이용한 탄산칼슘 제조 시스템 개발

박성수¹, 김인재¹, 김경덕^{1**}

대전광역시 유성구 대덕대로 1227, 한국가스기술공사 신에너지연구원

Development of System for Calcium Carbonate Production using Carbon Dioxide Shuttle Technology

SungSoo, Park¹, InJae, Kim¹, Kyungduk, Kim^{1**}

Energy Research Center, 1227, Daedeok-daero, Yuseong-gu, Daejeon, 34007, Korea

요 약

우리나라의 화석연료에 의한 CO₂ 배출량은 전체 배출량의 약 80% 이상을 차지하고 있으며 정부는 2030년까지 2018년 탄소 배출량(727.6백만t)의 40%(291백만t)를 감축하는 것과 2050 탄소중립을 선언하였다. 이를 실현하기 위한 탄소자원화(CCU)는 CCS의 방식과 달리 각종 산업 현장에서 배출되는 이산화탄소를 자원으로 간주하여 이를 유용한 산업의 소재로 재생산하는 것으로 조속한 기술 개발이 필요하다.

현재 세계 각국이 수소사회로의 전환에 노력을 다 하고 있으나 수소 생산의 95% 이상은 화석연료를 개질하여서 수소를 생산하고 있으며 수소 1kg(그레이 수소)을 생산하면 CO₂는 7~10kg이 발생하고 있어서 이 문제를 시급히 해결할 필요성이 있다. 또한 재생 에너지를 활용한 그린수소는 경제성과 효율성의 문제를 극복하고 상용화되기까지는 상당한 기간이 필요하므로 2021년 정부는 청정수소에 블루수소를 포함시켰다. 2050 탄소 중립 달성과 수소사회로의 전환을 위해서는 블루수소의 확산이 필요하므로 이에 본 이산화탄소 셔틀(CO₂ Shuttle) 기술을 이용한 CCU 기술 개발의 필요성이 있다.

본 연구 과제에서 개발하는 기술의 개념은 경제성 확보와 환경 편익 증진에 중점을 두고 있으며 수산화나트륨 (NaOH)을 이산화탄소 포집 매개체로 활용하여, 이를 산화칼슘 (CaOH) 슬러리에 이산화탄소를 전달하여 탄산칼슘 고체와 탄산이온 사이의 화학반응에 의해 고순도 탄산칼슘을 제조하면서 동시에 수산화나트륨을 재생, 재활용하는 개념이다.

가축분뇨 에너지화를 통한 탄소배출 저감

김창섭, 양남철
 바이오씨앤씨(주)

Carbon Emission Reduction through the Energy Conversion of Livestock Manure

Kim chang-sup, Yang namcheol
 Bio C&C co., LTD

요 약

본 연구는 가축분뇨의 에너지화 기술을 활용하여 온실가스, 특히 탄소배출을 저감할 수 있는 가능성을 분석하였다. 축산업에서 발생하는 가축분뇨는 메탄(CH₄) 및 아산화질소(N₂O)와 같은 강력한 온실가스를 배출하는 주요 원인 중 하나로, 이를 적절히 처리하고 자원화하는 것은 탄소중립 사회로의 전환에 있어 중요한 과제로 부상하고 있다.

본 연구에서는 가축분뇨 바이오차 생산 및 가축분뇨 고체연료 사용을 통해 기대되는 탄소배출 저감 효과를 정량적으로 평가하였다.

특히 가축분뇨를 열분해할 때 발생하는 바이오-신가스가 전체 건조, 탄화공정에서 필요한 에너지의 40% 상당을 대체할 수 있는 것으로 분석되었다.

결론적으로 가축분뇨의 에너지화는 단순 폐기물 처리 이상의 환경적·경제적 가치를 지니며, 지속가능한 축산업 및 국가 온실가스 감축 목표 달성에 기여할 수 있는 전략적 수단임을 확인하였다.

Ⅰ 가축분 바이오차 온실가스 예상 감축량

○ 350℃ 생산 바이오차 100ton을 발에 사용(한국농업기술진흥원, 2022년)
 (단위 : tCO₂eq/100ton-바이오차)

구분	산정경계	온실 가스	식물계		가축분뇨			
			왕겨	목재	젖소	돼지(육돈)	닭(육계)	
탄소 고정량	토양 탄소 고정 (A)	CO ₂	124.824	95.517	119.604	110.409	109.465	
베이스라인 배출량	가축분뇨 처리	CH ₄	-	-	49.273	78.378	5.981	
		N ₂ O	-	-	39.413	90.908	83.252	
	가축분뇨 처리 소계 (B)		-	-	88.686	169.286	89.234	
	가축분뇨 퇴비 토양(논)시비	직접배출	N ₂ O	-	-	6.227	14.363	13.154
		대기휘산	N ₂ O	-	-	3.269	7.541	6.906
		수계유출	N ₂ O	-	-	4.110	9.480	8.682
가축분뇨 퇴비 토양시비 소계 (C)		-	-	13.607	31.384	28.741		
사업 배출량	바이오차 토양(밭)시비	직접배출	N ₂ O	-	-	12.666	17.245	21.678
		대기휘산	N ₂ O	-	-	2.660	3.621	4.552
		수계유출	N ₂ O	-	-	3.344	4.553	5.723
	바이오차 토양시비 소계 (D)		-	-	18.669	25.419	31.953	
감축량(A+B+C-D)			124	95	203	285	195	

참고자료 : 농업기술진흥원

석탄재 유래 알카리 활성화 용액의 탄소광물화 공정을 통한 소형 모듈
원자로 개발용 고부가가치 제품 회수

**Carbon Mineralization of Coal Ash-Derived Alkali-Activated Solution for
the Recovery of Valuable Products Supplying for Small Modular Reactor
Development**

Lai Quang Tuan, Kim Mi-kyung, Kwon Seok-ong, Ahn Ji Whan

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

Abstract

Coal combustion generates vast quantities of coal ash, an unconventional but promising source of valuable elements, including silicon (Si), aluminum (Al), and rare earth elements (REEs). This study focuses on utilizing alkali activation and accelerated carbonation techniques to recover high-value Si and Al products from fly ash (FA)-derived solutions.

Through alkali activation, the Si-O-Si and Al-O-Si covalent bonds in the amorphous aluminosilicate structure were efficiently broken down, dissolving Si and Al into the solution. Subsequently, direct accelerated carbonation enabled the successful precipitation of these elements, achieving recovery efficiencies of 96.7% for Si and 99.2% for Al. The alkali activation process was governed by a three-stage mechanism involving extraction, extraction-precipitation, and diffusion. pH and conductivity monitoring during carbonation provided critical insights into the precipitation behaviors of Si and Al, respectively.

Additionally, two-step carbonation revealed the transformation from amorphous to crystalline phases, with sodium carbonate phases dominating in the amorphous residues. The integration of Ca(OH)_2 facilitated the regeneration of NaOH and the solidification of CO_2 into calcium carbonate, promoting a sustainable and recyclable process. These findings offer significant potential for supplying critical materials in support of Small Modular Reactor (SMR) development.

Acknowledgement

This study was supported by the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources project, “Investigation on the recovery of clean rare earth elements from coal ash and the production of high value-added materials (24-5102)

Applying Industrial Solid Wastes as Raw Material in Calcium Sulfoaluminate Clinker Production and Carbon Mineralization in CFBC Fly Ash

**Adrian Javier Sing Jethmal, Tuan Quang Lai*, Chae Minsang*, Mohd Danish Khan*,
Ahn Jiwhan***

*Korea National University of Science and Technology, *Korea Institute of Geoscience and
Mineral Resources*

Abstract

Concrete, the second most used substance after water, has held its commercial formula for decades without major changes. Conventional concrete is made from a standard mixture of water, coarse and fine aggregates with the addition of the binding agent, the Ordinary Portland Cement(OPC). Cement, as it is, consists of the clinker which is produced from the processing of natural resources like limestone, clay, silica sand, iron ores and others. Clinker has a huge impact on the total CO₂ emissions of cement production and presents an opportunity for mitigating the overall unfavorable environmental effect.

A sustainable approach for clinker production can be found in the use of secondary source raw materials on the likes of industrial solid wastes. This study presents two byproducts of high output, CFBC coal fly ash and bauxite residue (red mud). Their relevant contribution to the required clinker composition is evaluated and tested by formulating a material mix design whose outcome is the high-performance-known Calcium Sulfoaluminate (CSA) clinker. A series of clinker mixes whose oxide composition provided essential elements for CSA mineral synthesis were burned at a range of 900 to 1300 degrees Celsius resulting in sintered products which later were grinded and characterized by X-Ray Diffraction. The green clinker in this study produced the sought CSA mineral (ye'elimite) successfully and at an even lower temperature than OPC's clinker, showing promising potential in the application of industrial byproducts CFBC coal fly ash and bauxite residue (red mud) as alternative raw materials for the cement clinker production.

Brief introduction is also given on further works that contemplate the implementation of carbon mineralization in the CFBC coal fly ash for later use of it as clinker substitute.

Acknowledgement

This study was supported by the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources project, "Investigation on the recovery of clean rare earth elements from coal ash and the production of high value-added materials (24-5102).

Evaluation of MSWI Fly Ash as a Partial Replacement for Ordinary Portland Cement: Impacts on CO₂ Emissions, Heavy Metal Stabilization, and Carbon Mineralization Potential

Mihret Melese*, Minjeong Kim*, Jiwhan Ahn*

*Korea National University of Science and Technology, *Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources*

Abstract

Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) fly ash, a byproduct of waste-to-energy plants, presents both environmental challenges and opportunities for sustainable material development.

This study explores the potential of utilizing MSWI fly ash as a partial replacement for Ordinary Portland Cement (OPC) in cementitious binders, with a focus on its impact on CO₂ emissions reduction and heavy metal stabilization. Incorporating MSWI fly ash into cement offers a promising solution to mitigate the environmental impact of cement production, which is traditionally responsible for a substantial portion of global CO₂ emissions.

Furthermore, the heavy metals contained in MSWI fly ash are effectively stabilized within the cement matrix, reducing their environmental mobility and addressing the waste disposal concerns associated with MSWI fly ash itself. These findings suggest that, with proper treatment and dosage control, MSWI fly ash can serve as an effective and environmentally beneficial additive in sustainable construction practices.

Acknowledgement

This study was supported by the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources project, “Investigation on the recovery of clean rare earth elements from coal ash and the production of high value-added materials (24-5102).

2025년도 봄 학술대회 논문집

발행처 (사) 한국가스학회
서울시 서초구 서초중앙로24길 55 208호
Tel : 02-445-4857 Fax : 02-445-4850
홈페이지 : www.kigas.or.kr

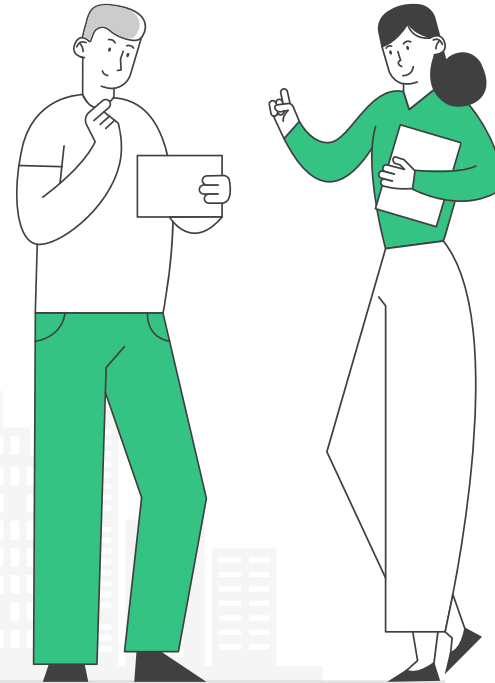
발행일 2025년 5월 14일

발행인 사단법인 한국가스학회 회장 이근원

[이 발표논문집은 산업안전보건연구원의 지원을 받아 발간되었음.]

OSHRI :View

연구전문지 소식을 간편하게
메일로 받아보세요!



● OSHRI:View란?

산업안전보건의 최근 연구동향 및 전년도 연구과제를 소개하는 뉴스레터 형식의 연구전문지입니다.

● 내용

- 산업안전보건 이슈에 대한 연구과제 소개
- 현재 OSHRI연구진이 수행하는 전문활동 안내

● 신청방법

뉴스레터 이제 메일로 간편하게 신청하세요!

[연구원 홈페이지 >](#)

[연구원 소식 >](#)

[메일링 신청 >](#)

*

문의 :052-703-0832