



# 2024년도 한국가스학회 봄 학술대회

- 일시 : 2024년 5월 22일(수) ~ 24일(금) (3일간)
- 장소 : 제주 오리엔탈호텔

# 한국가스학회 2024년도 봄 학술대회 대회조직위원회

**회장:** 이근원(아주대학교)

**총괄위원장:** 채충근(미래기준연구소)

**조직위원장:** 신동일(명지대학교)

## 조직위원

### 부회장

정승호(아주대학교)

한정옥(에이블맥스)

정상락(한국가스공사)

류영조(한국가스안전공사)

김우경(삼성전자)

박귀철(한국가스신문사)

박희준(한국가스안전공사)

이정환(전남대학교)

전진만(E1)

이계정(한국가스공사)

손현익(경동도시가스)

문종삼(한국에너지기술평가원)

이광원(호서대학교)

정돈영(한국아이티오)

김창기(한국기계연구원)

김대성(크리오스)

### 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)

김원진(투데이에너지)

이선자(안전정보)

조남준(에너지데일리)

최인수(에너지신문)

채제용(이투뉴스)

강승규(한국가스안전공사)

양원백(송실사이버대학교)

조승현(동양미래대학교)

허관희(한국교통대학교)

권순일(동아대학교)

손한암(부경대학교)

왕지훈(한양대학교)

이영수(전북대학교)

민현진(한국LPG배관망사업단)

박재성(대한LPG협회)

황병조(경기대학교)

김정균(한국가스공사)

신상민(부산도시가스)

우재화((주)JB)

김종선(해양에너지)

황주석(서울도시가스)

김태훈(호서대학교)

정선식(안전보건공단)

임용순(화학물질안전원)

장성수(한국가스안전공사)

조규선(호서대학교)

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(에스텍이앤씨)

윤형준((주)유티이씨)

임동호(DNV Energy Korea)

**감사 :** 김의수(한국교통대학교) 박태영(우리회계법인)

# 한국가스학회 2024년도 봄 학술대회 행사 안내

## ■ 등록안내

- 사전납부 : 전자계산서 및 온라인카드 결제, 5월 17일(금) 마감
- 현장납부 및 등록
  - 현장 납부 및 등록은 2F 한라홀앞 등록데스크에서 진행됩니다.
  - 운영시간 : 5월 23일(목) 08:30 ~ 24일(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

## ■ 발표안내

### [구두발표]

- 분과별 구두발표는 5월 23(목) ~ 24일(금) 양일간 진행됩니다.  
(22일은 학회 내부 행사이므로 **등록 및 발표는 23일부터 진행됩니다.**)
- 일반세션 발표시간은 질의응답을 포함하여 20분이며 발표 시간을 꼭 지켜주시기 바랍니다.
- 노트북과 무선프리젠티어는 발표장에 준비되어 있습니다.
- 발표자료는 세미나실에 비치되어 있는 노트북에 미리 저장해두시기 바랍니다.

### [포스터 발표]

- 포스터 발표는 5월 23(목) ~ 24일(금) 양일간 진행되며 P1, P2로 나뉘어 있습니다.  
포스터 P1 23(목) 13:00~16:30  
포스터 P2 24(금) 09:00~11:30
- 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.

# 한국가스학회 2024년도 봄 학술대회 일정 안내

## ▶ 5월 22일(수)

시간	장소	일정
16:00~18:00	지하1층	부문별 분과회의
18:30~20:30	만해정	이사회 및 저녁식사

## ▶ 5월 23일(목)

시간	A 발표장 (일출)	B 발표장 (한라1)	C 발표장 (한라2)	D 발표장 (한라3)	E 발표장 (사라1)	F 발표장 (사라2)	G 발표장 (몽블랑)	포스터
08:30~18:00	등록(2F 등록데스크)							
9:00~10:00								
10:00~11:00		일반발표 안전환경	일반발표 수소			전문교육		
11:00~12:00								
12:00~13:00								
13:00~14:00			(비공개세션) 특별세션 PTFE MCA 촉매필터 개발을 통한 NOx 제거율 향상	(비공개세션) 특별세션 주택용/산업 용 연소기.가스 기기 연소성능 안전성 검증 및 안전기술 개발	일반발표 자원			
14:00~15:00	특별세션 도시가스	일반발표 수소 생산 및 활용						특별세션 미래에너지 암모니아 전주기 기술
15:00~16:00								
16:00~17:00								
(17:00-17:20)	MOU체결							
17:20~18:00	2F 일출홀	개회식 및 시상식						
18:00~18:30	2F 일출홀	특별강의: '오름의 속살과 함께하는 제주도 스토리여행' 여원식((주)한라미래비전, 한라평생교육신문)						
18:40~	2F 한라홀	저녁만찬						

## ▶ 5월 24일(금)

시간	A 발표장 (일출)	B 발표장 (한라1)	C 발표장 (한라2)	D 발표장 (한라3)	E 발표장 (사라1)	F 발표장 (사라2)	G 발표장 (몽블랑)	포스터
8:30~11:30	등록(2F 등록데스크)							
9:00~12:30	특별세션 도시가스	일반발표 수소	일반발표 수소	특별세션 CCU를 이 용한 합성 메탄	일반발표 정책/기준	일반발표 LP/산업가스 /천연가스/ 특수가스 자원	일반발표 안전환경	P2 1-28

# A발표장

A-1	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 특별세션. 도시가스</li><li>· 일시: 2024년 5월 23일(목), 13:00~17:00</li></ul>
A-2	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 특별세션. 도시가스</li><li>· 일시: 2024년 5월 24일(금), 09:30~12:00</li></ul>

# A-1. 도시가스

A발표장(일출출)		일시: 2024년 5월 23일(목), 13:00~17:00	
			좌장 : 김종선(해양에너지)
			page
A01	13:00-13:20 (20')	<b>복합(CNG/수소)충전소의 통합 원격감시제어 시스템 구축을 위한 연구</b> <b>서영태</b> , 이원석, 손현익 (주)경동도시가스	43
A02	13:20-13:40 (20')	<b>경남에너지 정압기 관말 압력 연동 시스템 소개</b> <b>정병두</b> , 김명수, 박현석, 이현수, 김진수 경남에너지	44
A03	13:40-14:00 (20')	<b>가스배관 파손사고 예방을 위한 굴착기 자동제어 시스템</b> <b>김경수</b> , 정진범, 이길수, 박은성 건설기계부품연구원	45
A04	14:00-14:20 (20')	<b>초정밀 차량용 가스검지기를 활용한 기밀검사 추가방안 소개 (Tracer Ethane 누출검사 장비)</b> <b>배태우</b> (주)부산도시가스	46
A05	14:20-14:40 (20')	<b>3D 시각화를 위한 도시가스 GIS 배관 데이터 활용 증대를 위한 데이터 표준화 연구</b> <b>권순재</b> , 이형욱 (주)젠스텝	47
	14:40-15:00 (20')	<b>break time</b>	
A06	15:00-15:20 (20')	<b>정류기 수명 연장을 위한 양극 흘 재생 및 양극 보강방안 연구</b> <b>김용술</b> , 손창민, 손현익 (주)경동도시가스	48
A07	15:20-15:40 (20')	<b>교류 간섭으로 인한 배관 부식 의심 사례 소개</b> <b>서정훈</b> , 이인황, 손한영, 장민기 경남에너지	49
A08	15:40-16:00 (20')	<b>시계열 딥러닝 모델 기반의 범용 도시가스 수요 예측 기술 개발</b> <b>한승연</b> , 임동연, 송삼성, 김기철, 임경호*, 박민지*, 이시범*, 배경호* (주)이솔로지, *대성에너지(주)	50

# A-1.

## 도시가스

A발표장(일출출)		일시: 2024년 5월 23일(목), 13:00~17:00	
		좌장 : 김종선(해양에너지)	page
A09	16:00-16:20 (20')	<b>지자체 CCTV 기반 인공지능 굴착공사 탐지 방안</b> <b>김유환</b> , 정동환, 이진욱 제이비주식회사	51
A10	16:20-16:40 (20')	<b>공급배관에 대한 위험성 평가를 통한 장기사용 배관 성능 검증에 관한 연구</b> <b>김태강</b> , 손창민, 손현익 (주)경동도시가스	53
A11	16:40-17:00 (20')	<b>에너지 전환시대 도시가스의 대응과 역할</b> <b>방유진</b> , 정희용, 이수진, 현상호 한국도시가스협회	54

## A-2. 도시가스

A발표장(일출출)		일시: 2024년 5월 24일(금), 09:00~12:20	
		좌장 : 김대중((주)경동도시가스)	page
A12	09:00-09:20 (20')	도시가스업계 공동주택(아파트) 에너지 비즈니스모델 다각화 연구 <u>김동영</u> , 김보식, 방유진 한국도시가스협회	55
A13	09:20-09:40 (20')	TB 전위 측정방법 개선 <u>어석원</u> , 정순재 부산도시가스	56
A14	09:40-10:00 (20')	고장진단 성능 지수를 통한 도시가스 배관망의 다중블록 PCA 구성 연구 <u>고성근</u> , 백연주, 선재영*, 김종선*, 고흥철 (주)테크다스, *(주)해양에너지	57
A15	10:00-10:20 (20')	드론과 디지털 기기를 활용한 하천세굴조사 방법 개발 <u>정동환</u> , 이진욱 JB주식회사	58
	10:20-10:40 (20')	<b>break time</b>	
A16	10:40-11:00 (20')	다중방식 설비 간 간섭완화 사례 <u>양승찬</u> (주)미래엔서해에너지	60
A17	11:00-11:20 (20')	도시가스 본원적 경쟁력 확보를 위한 배관망 해석 운영 고도화 방안 <u>이도협</u> , 류호준 충청ES(주)	61
A18	11:20-11:40 (20')	AI를 이용한 동절기 Peak량 예측 <u>최준원</u> , 이창수 CNCITY에너지	62
A19	11:40-12:00 (20')	공간정보 통합시스템 활용을 통한 도시가스 설계정확도 향상 <u>김대영</u> , 윤영우 (주)해양에너지	63
A20	11:40-12:00 (20')	피복 손상 조사 사례분석 및 관리 방안 <u>박종인</u> (주)미래엔서해에너지	64



## B발표장

B-1	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 일반세션. 안전환경</li><li>· 일시: 2024년 5월 23일(목), 10:00~12:20</li></ul>
B-2	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 일반세션. 수소 생산 및 활용</li><li>· 일시: 2024년 5월 23일(목), 12:50~17:05</li></ul>
B-3	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 일반세션. 수소</li><li>· 일시: 2024년 5월 24일(금), 09:00~12:10</li></ul>

# B-1. 안전환경

B발표장(한라홀1)		일시: 2024년 5월 23일(목), 10:00~12:20	
			좌장 : 조규선(호서대학교) page
B01	10:00-10:20 (20')	수소자동차충전소의 방폭위험지역산정(압축설비 피스톤형과 다이어프램형) 비교에 관한 연구 <b>이욱범</b> , 심재현, 김흥열, 임사환* 경기대학교, *한국가스안전공사	65
B02	10:20-10:40 (20')	연구실에서 흡후드 사용 시 화학물질 노출에 관한 연구 <b>임현중</b> , 조규선 호서대학교	66
B03	10:40-11:00 (20')	알칼라인 수전해장치 매뉴얼 개발에 대한 연구 <b>김현기</b> , 이광원 <sup>*</sup> , 서두현 <sup>*</sup> , 김태훈 <sup>**</sup> , 홍성철 <sup>**</sup> , 이동민, 신단비 호서대학교 안전공학과, <sup>*</sup> 피에스피, <sup>**</sup> 호서대학교 안전행정공학과	67
B04	11:00~11:20 (20')	화학물질 성상별 분리보관 알고리즘 개발에 관한 연구 <b>홍미라</b> , 김용필, 조규선 호서대학교	68
B05	11:20~11:40 (20')	실험실 내 유독물질 누출에 따른 공기 중 확산 거동 특성에 관한 연구 <b>유종철</b> , 조규선 호서대학교	69
B06	11:40~12:00 (20')	감지기 배치 최적화 3차원 시뮬레이터 개발 <b>김형석</b> , 허성민, 김재민, 정승훈, 박기선 주식회사 헤르스	70
B07	12:00~12:20 (20')	가스누출 후 부력이 미치는 영향에 관한 연구 <b>방부형</b> 경기과학기술대학교	71

## B-2.

# 수소 생산

B발표장(한라1)		일시: 2024년 5월 23일(목), 12:50~14:35	
좌장 : 이정운(한국가스안전공사 가스안전연구원)			page
B08	12:50-13:05 (15')	현장에서 제조되는 수전해설비의 국내·외 기준분석 및 안전기준 개발 <b>추지안</b> , 조은성, 정재환, 이정운 한국가스안전공사 가스안전연구원	72
B09	13:05-13:20 (15')	<b>3 Ton/day급</b> 탄소포집형 수소생산기지 구축현황 <b>이승환</b> , 박종한 제이엔케이글로벌(주)	73
B10	13:20-13:35 (15')	수전해 평가장비를 이용한 수전해 셀의 평가분석 방법 <b>양종원</b> , 추천호, 나일채* (주)에티스, *(주)씨엔엘에너지	74
B11	13:35-13:50 (15')	수전해 시스템에서 혼합가스의 형성원인, 문제 그리고 해결 방안 <b>문상봉</b> , 최윤기, 셀리말, 문창환 엘캠텍	78
B12	13:50-14:05 (15')	미코파워의 수소 생산과 활용 기술개발 <b>김정섭</b> , 박진수, 박진아, 최성호 (주)미코파워	79
B13	14:05-14:20 (15')	<b>A comparative study of catalytic ammonia cracking process for green hydrogen: process design and integrative analyses</b> <b>황준호***</b> , 원왕연* *고려대학교 화공생명공학과, **건국대학교 화학공학부	80
B14	14:20-14:35 (15')	알칼라인 수전해 실증 사례 소개 <b>신현수</b> , 현준택, 이승현, 김정식 (주)테크윈	81
	14:35-14:40 (05')	<b>Break Time</b>	

## B-2.

# 수소 활용

B발표장(한라1)		일시: 2024년 5월 23일(목), 14:40~17:05	
			좌장 : 박영철(현대모비스)
			page
B15	14:40-14:55 (15')	수소항공 모빌리티 수소 충전 안전기술 연구 정재환, 김보구, 이정운 한국가스안전공사 가스안전연구원	82
B16	14:55-15:10 (15')	순수 수소 건물용 연료전지 시스템(5·10kW급) 개발 차정경, 김성효 범한퓨얼셀㈜	83
B17	15:10-15:25 (15')	14톤급 건설 중장비용 수소연료전지 파워시스템 안전기준 개발 김보구, 권혁준, 유수연, 이정운 한국가스안전공사 가스안전연구원	84
B18	15:25-15:40 (15')	수소트랙터용 연료전지 파워시스템 개발 및 실증 전략 박영철, 홍진석, 김효진, 우명남, 원종보 현대모비스	85
B19	15:40-15:55 (15')	수소법 하위 트랙터용 이동형 연료전지 안전성능 제품기준 개발연구 서혜원, 유수연, 김보구, 이정운 한국가스안전공사 가스안전연구원	86
B20	15:55-16:10 (15')	모빌리티용 수소연료전지 현황 및 전망 서동준, 오현진, 오동조 한화에어로스페이스	87
B21	16:10-16:25 (15')	수소용품 어플리케이션 실증을 위한 규제 샌드박스 진행 현황 박주연, 원종보, 김현정, 박영철 현대모비스	88
B22	16:25-16:40 (15')	수소충전소 정성적 안전성평가(HAZOP study) 사례 연구 탁송수 극동대학교 친환경에너지공학과	89
B23	16:40-16:55 (15')	암모니아 기반 선박용 연료전지 안전기준 개발 연구 최훈, 김선민, 조은성 한국가스안전공사 가스안전연구원	90
B24	16:55-17:10 (15')	고온 고분자연료전지를 이용한 데이터센터용 CCHP 시스템의 경제성 분석 함성현***, 김수진*, 김민진** *한국에너지기술연구원 연료전지연구실, **과학기술연합대학원대학교 수소에너지공학	91

## B-3.

### 수소

B발표장(한라1)		2024년 5월 24일(금), 09:00~12:10	
		좌장 : 강승규(한국가스안전공사), 신동일(명지대학교)	page
B25	09:00-09:20 (20')	<b>Shutoff valve의 적용에 따른 수소충전소의 정량적위험성평가</b> <b>곽현준</b> , 도지석, 한규진, 이근원*, 정승호* 아주대학교 대학원 환경공학과, *아주대학교 환경안전공학과	92
B26	09:20-09:40 (20')	<b>수소취급설비의 폭발위험장소 구분 및 범위 산정 관련 민감도 분석에 관한 연구</b> <b>한신탉</b> , 김용규*, 박종범**, 공병찬**, 이상미**, 송희원** 인천대학교 안전공학과, *아주대학교 환경공학과, **㈜미래기준연구소	93
B27	09:40-10:00 (20')	<b>수전해설비 셀 스택의 폭발위험장소 구분 및 범위 산정에 관한 연구</b> <b>김용규</b> , 한신탉*, 공병찬**, 송희원**, 박종범**, 이상미** 아주대학교 환경공학과, *인천대학교 안전공학과, **미래기준연구소	94
B28	10:00-10:20 (20')	<b>초저온 기체 수소 제트 누출을 고려한 기체 수소와초저온 액체 간 에너지 밸런스 해석</b> <b>김정민*</b> , 김승환*, 주원돈*, 강승규* 한국가스안전공사 가스안전연구원	95
B29	10:20-10:40 (20')	<b>액화수소 인수기지 안전기술·기준 개발 기획 과제 추진현황</b> <b>강승규</b> , 김현우, 박희준 한국가스안전공사 가스안전연구원	96
	10:40-10:50 (10')	<b>break time</b>	
B30	10:50-11:10 (20')	<b>Convolutional Autoencoder 기반의 수소 회전기기 이상 진단 모델</b> <b>조현수</b> , 김재영, 김종면† (주)에측진단기술	97
B31	11:10-11:30 (20')	<b>GPT 거대언어모델 기반 가스공정 개선 설계 생성 시스템</b> <b>이동현</b> , 신동일 명지대학교 화학공학과 지능형시스템연구실	98
B32	11:30-11:50 (20')	<b>수소저장 내압용기 내화성능 안전성 평가를 위한 안전 기술 개발</b> <b>정해관</b> . 유철희 . 이지원 . 임대영 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터	99
B33	11:50-12:10 (20')	<b>도시가스 공급 배관 수소혼입 관련 해외사례 분석</b> <b>김지은</b> , 정해관* 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터	100

## C발표장

C-1	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 일반세션. 수소</li><li>· 일시: 2024년 5월 23일(목), 10:00~12:40</li></ul>
C-2	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 특별세션. PTFE MCA 촉매필터 개발을 통한 NOx 제거율 향상</li><li>· 일시: 2024년 5월 23일(목), 13:00~16:00</li></ul>
C-3	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 일반세션. 수소</li><li>· 일시: 2024년 5월 24일(금), 09:00~12:10</li></ul>

# C-1.

## 수소

C발표장(한라2)		일시: 2024년 5월 23일(목), 10:00~12:40	
			좌장 : 이상규((주)패리티)    page
C01	10:00-10:20 (20')	<b>PSA Off Gas를 사용한 수소 생산 공정 최적화</b> <b>오택경, 이상용<sup>†</sup></b> 동국대학교	101
C02	10:20-10:40 (20')	<b>천연가스 공급 배관의 수소혼입을 위한 정적 믹서 특성</b> <b>박소진*, 조영아*, 성기찬**, 최경식*, 김형태*</b> *한국가스공사 가스연구원 신사업기술연구소, **한국가스공사 수소 사업처 수소인프라부	102
C03	10:40-11:00 (20')	<b>HyRAM과 Bow-tie기법을 이용한 위험관리 방법에 대한 고찰</b> <b>이재용, 윤덕규</b> 고등기술연구원	103
C04	11:00~11:20 (20')	<b>액화수소 검사지원센터의 수소 누출로 인한 위험 시나리오 연구</b> <b>박주현, 이민경, 김정환<sup>†</sup></b> 한국가스안전공사 가스안전연구원	104
C05	11:20~11:40 (20')	<b>대용량 액체수소 저장탱크의 BOR 성능에 관한 연구</b> <b>서흥석, 이영범, 윤용근</b> 한국가스공사 가스연구원	105
C06	11:40~12:00 (20')	<b>터보팽창형 정압기 개발 사업</b> <b>최경식.김형태.박소진.조영아</b> 한국가스공사 가스연구원	106
C07	12:00-12:20 (20')	<b>액화수소 인수기지 관련 산업·기술 동향 및 전망</b> <b>문종삼</b> 한국에너지기술평가원	107
C08	12:00-12:40 (20')	<b>액체 암모니아 예냉 수소 액화 방법</b> <b>이상규, 민성웅, 심성민</b> (주)패리티	108

## C-2.

### (비공개세션) PTFE MCA 촉매필터 개발을 통한 NOx 제거율 향상

C발표장(한라2)		일시: 2024년 5월 23일(목), 13:00~16:00	
			좌장 : 홍기훈(고등기술연구원) page
C09	13:00-13:20 (20')	<b>고효율 복합필터 용 미세먼지 저감 섬유소재의 성능 및 신뢰성 평가</b> <b>구현진<sup>1</sup>, 조항원<sup>1*</sup></b> FITI시험연구원 지속가능인증본부, *FITI시험연구원 산업환경개선지원센터 <sup>1</sup>	109
C10	13:20-13:40 (20')	<b>저온 열분해 공정을 이용한 폐전선(광케이블,젤리충진케이블) 재활용 기술 소개</b> <b>정진도<sup>1</sup>, 김원태<sup>1</sup>, 최재형<sup>2</sup></b> 호서대학교 <sup>1</sup> , 창신산업(주) <sup>2</sup>	110
C11	13:40-14:00 (20')	<b>DeNOx 촉매 균일 분산성 확보를 위한 PTFE Fiber 및 부직포 제조기술</b> <b>한홍식<sup>1</sup>, 김정환<sup>1</sup>, 전혁수<sup>1</sup></b> (주)마이크로윈, 31026 충청남도 천안시 서북구 입장면 연곡길 368 <sup>1</sup>	111
C12	14:00-14:20 (20')	<b>DeNOx 촉매 코팅 필터의 복합화 방법에 따른 emission 거동</b> <b>김윤진<sup>1</sup>, 윤혜준<sup>2</sup>, 김연상<sup>1*</sup></b> 한국생산기술연구원 섬유솔루션부문 <sup>1</sup> , 한국생산기술연구원 안전융합기술연구부문 <sup>2</sup>	112
	14:20-14:40 (20')	<b>break time</b>	
C13	14:40-15:00 (20')	<b>DeNOx 촉매 담지용 고통기성 PTFE 부직포 제조기술</b> <b>송명순<sup>1</sup>, 김연상<sup>2</sup>, 한홍식<sup>3</sup>, 전혁수<sup>3</sup></b> 일진부직포산업(주) <sup>1</sup> , 한국생산기술연구원 <sup>2</sup> , (주)마이크로윈 <sup>3</sup>	113
C14	15:00-15:20 (20')	<b>저온 DeNOx 활성이 향상된 촉매 연구</b> <b>연태현<sup>1</sup>, 박은덕<sup>2*</sup></b> 제이케이글로벌 <sup>1</sup> , *아주대학교 화학공학과/에너지시스템학과 <sup>2</sup>	114
C15	15:20-15:40 (20')	<b>소각시설 복합오염물질 동시제거용 PTFE MCA 필터모듈 운전특성 연구</b> <b>황상연, 박철우, 김형래</b> 고등기술연구원, 수소에너지솔루션센터	115
C16	15:40-16:00 (20')	<b>PTFE MCA Filter 모듈의 성능 향상을 위한 DeNOx 촉매 코팅법 최적화</b> <b>심지한<sup>1</sup>, 구영애<sup>1</sup>, 전혁수<sup>1</sup>, 황상연<sup>2</sup>, 홍기훈<sup>2</sup>, 박철우<sup>2</sup></b> (주)마이크로윈 <sup>1</sup> , 고등기술연구원연구조합 <sup>2</sup>	116



## C-3.

### 수소

C발표장(한라2)		2024년 5월 24일(금), 09:00~12:10	
좌장 : 마병철(전남대학교), 김정환(한국가스안전공사)			page
C17	09:00-09:20 (20')	수소충전 시스템 내 폭발 위험성 평가에 관한 연구 김부승, 김보명, 이한주, 홍승택† 한국가스안전공사 가스안전연구원	117
C18	09:20-09:40 (20')	수소충전소 압력용기의 복합비파괴 재검사 제도화를 위한 기법 정립을 위한 연구 이민경, 정오현, 박요한, 하상준 한국가스안전공사 가스안전연구원	118
C19	09:40-10:00 (20')	수전해 수소충전소 설치에 대한 안전기준 검토 김정아, 오정석, 김정훈 한국가스안전공사 가스안전연구원	119
C20	10:00-10:20 (20')	국내 개발 수소 연소기 안전성 확보를 위한 성능 평가 방안 도출 연구 이화영, 조영광, 하상준 한국가스안전공사 가스안전연구원	120
C21	10:20-10:40 (20')	액화수소 버퍼탱크의 재료 최소허용온도에 대한 고찰 김정환, 이성우, 하상준 한국가스안전공사 가스안전연구원	121
	10:40-10:50 (10')	break time	
C22	10:50-11:10 (20')	수소충전소 실시간 안전관리를 위한 모니터링 신호 분석 기법 개발 이우귀연, 이진한, 오정석 한국가스안전공사 가스안전연구원	122
C23	11:10-11:30 (20')	수소 누출 및 확산 예측을 위한 정량적 특성-결과 관계(QPCR) 모델 개발 이준서 <sup>1</sup> , 이슬기 <sup>2</sup> , 마병철 <sup>1,2*</sup> 전남대학교 공정혁신시뮬레이션센터 <sup>1</sup> , *전남대학교 화학공학과 <sup>2</sup>	123
C24	11:30-11:50 (20')	수소연료전지 건설·산업기계 특성을 반영한 수소충전 기준안 개발 연구 이한주, 김민아, 한연우, 김승환 한국가스안전공사 가스안전연구원	124
C25	11:50-12:10 (20')	액화수소 충전소 모니터링 시스템 개발 조진영, 김민아 한국가스안전공사 가스안전연구원	125

## D발표장

D-1	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 특별세션. 주택용/산업용 연소기·가스기기 연소성능 안전성 검증 및 안전기술 개발</li><li>· 일시: 2024년 5월 23일(목), 13:00~16:20</li></ul>
D-2	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 특별세션. CCU를 이용한 합성메탄</li><li>· 일시: 2024년 5월 24일(금), 10:00~12:00</li></ul>

**D-1.**  
**(비공개세션) 주택용/산업용 연소기 · 가스기기 연소성능  
 안전성 검증 및 안전기술 개발**

D발표장(한라3)		일시: 2024년 5월 23일(목), 13:00~16:20	
좌장 : 조영광(한국가스안전공사)			page
D01	13:00-13:20 (20')	천연가스 배관 내 수소 혼입에 따른 연소기 제조업체 국내 현황 신현국, 조영광, 하상준 한국가스안전공사 가스안전연구원	126
D02	13:20-13:40 (20')	수소혼입 연소성능 평가장치 분석 조영광, 신현국, 하상준 한국가스안전공사 가스안전연구원	127
D03	13:40-14:00 (20')	수소혼입 환경에서 액화천연가스를 연료로 사용하는 주택용 가스 기기의 배기가스 배출특성 송기중, 강영각, 강재철, 오석호, 김효엽, 이원준, 이민정 한국에너지기기산업진흥회	128
D04	14:00-14:20 (20')	수소혼입 비율에 따른 연소기의 수소-메탄 화염거동 시뮬레이션 조정민, 성재용* 서울과학기술대학교 일반대학원 기계공학과, *서울과학기술대학교 기계·자동차공학과	129
	14:20-14:40 (20')	<b>break time</b>	
D05	14:40-15:00 (20')	수소 농도가 수직배관 내 수소-메탄 혼합가스의 층분리에 미치는 영향 김태균, 성재용* 서울과학기술대학교 석사과정, *서울과학기술대학교 기계자동차공 학과 교수	130
D06	15:00-15:20 (20')	천연가스 수소혼합 비율에 따른 가정용 보일러의 안전성에 관한 실험 적 연구 임재범, 박준규 경동나비엔 기술연구소	131

**D-1.**  
**(비공개세션) 주택용/산업용 연소기 · 가스기기 연소성능  
 안전성 검증 및 안전기술 개발**

D발표장(한라3)		일시: 2024년 5월 23일(목), 13:00~16:20	
좌장 : 조영광(한국가스안전공사)			page
D07	15:20-15:40 (20')	<b>NG-H2 혼소 가스의 수송 물성치 편의 계산법 제안</b> <b>신재훈*</b> , 민세훈**, 문석수** 이창언** *인하대학교 대학원 기계공학과 , **인하대학교 기계공학과	132
D08	15:40-16:00 (20')	<b>수소혼입 비율 변화에 따른 가정용 가스보일러 성능 및 안정성            분석 연구</b> <b>강기섭</b> , 박대환, 이광섭, 정은찬 귀뚜라미 냉난방기술연구소	133
D09	16:00-16:20 (20')	<b>천연가스 배관망내 수소 혼입이 천연가스자동차에 미치는 영향            연구</b> <b>김창기</b> , 박철웅, 김민기, 오세철* 한국기계연구원, *부산대학교	134

## D-2. CCU를 이용한 합성메탄

D발표장(한라3)		2024년 5월 24일(금), 10:00~11:40	
			좌장 : 임옥택(울산대학교) page
D10	10:00-10:20 (20')	국제 e-메탄 공급망 실증사업 추진 전략 및 시사점 <b>남궁윤</b> 한국가스공사 경제경영연구소	135
D11	10:20-10:40 (20')	수소와 이산화탄소로부터 합성연료를 생산하는 기술 <b>전기원</b> 한국화학연구원	136
D12	10:40-11:00 (20')	청정수소 및 CO <sub>2</sub> 를 활용한 E-methane 생산 기술 개발 현황 <b>김수현, 유영돈, 서민혜</b> 고등기술연구원	137
D13	11:00-11:20 (20')	“합성메탄”에서의 CCU의 법률적 검토 <b>김동련</b> 신안산대학교	138
D14	11:20-11:40 (20')	캐나다 블루수소와 CCS/CCU 기술 이용한 합성메탄 도입 및 활용에 대한 분석 <b>김기동, 최용호, 빅터리*, 원자영*, 오정경**, 이시승**, 김태윤***, 이종준****</b> 딜로이트컨설팅, *주한캐나다알버타주 한국대표사무소, **퓨어스에너지솔루션, ***한국남동발전, ****한국지역난방공사	140

## E발표장

E-1	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 일반세션. 자원</li><li>· 일시: 2024년 5월 23일(목), 13:00~14:40</li></ul>
E-2	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 특별세션. 수소충전시스템 사전 안전진단 기술</li><li>· 일시: 2024년 5월 23일(목), 15:00~17:20</li></ul>
E-3	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 일반세션. 정책기준</li><li>· 일시: 2024년 5월 24일(금), 09:00~12:30</li></ul>

# E-1.

## 자원

E발표장(사라1)		일시: 2024년 5월 23일(목), 13:00~14:40	
			좌장 : 손한암(부경대학교) page
E01	13:00-13:20 (20')	<b>울릉분지 UBGH2-6 저류층 물성에 따른 생산 불확실성 분석</b> <b>김영민</b> , 이원석* 한국지질자원연구원 해저지질에너지연구본부	141
E02	13:20-13:40 (20')	<b>암염 공동 내 수소 지중 저장 기술과 연구개발 동향</b> <b>조성학</b> , 강인구, 박경식, *이정환* 전남대학교 에너지자원공학과	142
E03	13:40-14:00 (20')	<b>천연수소의 탐사 동향 조사 및 골든 수소 활용을 위한 기술 검토</b> <b>한정민</b> , 이홍, 윤준일, 서준우, 김기홍, 강일오, 박승수 한국가스공사 가스연구원	143
E04	14:00-14:20 (20')	<b>세일저류층 대상 CS-EGR 최적화 연구</b> <b>이원석</b> 한국지질자원연구원	144
E05	14:20-14:40 (20')	<b>계면활성제 선택이 대염수층 내 CO<sub>2</sub> 저장에 미치는 영향</b> <b>조셉이란지</b> <sup>1,2</sup> , 손한암 <sup>1</sup> 1. 국립부경대학교 에너지자원공학과, 2. 르완다대학 광산학과	145

## E-2.

# 수소충전시스템 사전 안전진단 기술

E발표장(사라1)		일시: 2024년 5월 23일(목), 15:00~17:20	
		좌장 : 한종일(한국가스기술공사)	page
E06	15:00-15:20 (20')	수소충전소 실시간 진단을 위한 디지털 트윈 개발 <b>이진우</b> , 박성수, 민진원, 한종일 한국가스기술공사	146
E07	15:20-15:40 (20')	액화수소충전소에서 LH2 하역 중 증발 손실(BOG) 분석 <b>이창열</b> , 김지영, 심정연, 한정옥 에이블맥스(주)	147
E08	15:40-16:00 (20')	액화수소충전소에 대한 방호계층분석(LOPA) 설계 방안 <b>서두현</b> , 이광원*, 홍성철**, 이동민*, 김현기*, 신단비* 피에스피, *호서대학교 아산캠퍼스 안전공학과, **호서대학교 천안 캠퍼스 산업안전공학과	148
E09	16:00-16:20 (20')	What-if Simulation을 활용한 수소전기차 충전 시 위험 공급 조건 분석 <b>이지선</b> , 채충근, 이동현, 임경태 (주)미래기준연구소	149
E10	16:20-16:40 (20')	수소 충전 배관을 통한 열전달 모델 개발 및 온도 상승의 정량적 영향 분석 <b>박병홍</b> 한국교통대학교 화공생물공학과	150
E11	16:40-17:00 (20')	수소충전소 설계 및 운전 안전성 평가를 위한 사전진단 프로그램 개발에 관한 연구 <b>강석민</b> , 임동휘, 서재민 (주)세이프티아	151
	17:00-17:20 (20')	종합토론	



## E-3. 정책/기준

E발표장(사라1)		2024년 5월 24일(금), 09:00~12:30	
좌장 : 강정욱(한국가스공사), 이성로(한국가스공사)			page
E12	09:00-09:20 (20')	<b>가스 안보를 위한 국제협력 대응</b> <b>강정욱</b> 한국가스공사 정책연구팀, 한국가스공사 경제경영연구소,	152
E13	09:20-09:40 (20')	<b>디지털 기술 기반 도시가스 시설 안전관리 로드맵 수립방안</b> <b>윤해원</b> , 이동원, 류영조 한국가스안전공사	153
E14	09:40-10:00 (20')	<b>내화성능을 보장하는 고압가스실린더 안전보관함 제조규격 EN 14470-2의 국내 도입 필요성 고찰</b> <b>김지현</b> , 손진경, 김기성 (주)제이오텍	154
E15	10:00-10:20 (20')	<b>미검사 수입 가스용품 근절을 위한 방안</b> <b>김상균</b> , 조상현 한국가스안전공사	155
E16	10:20-10:40 (20')	<b>일본 전력·가스시장 자유화의 동향과 평가</b> <b>김낙균</b> 한국가스공사	156
	10:40-10:50 (10')	<b>break time</b>	
E17	10:50-11:10 (20')	<b>고압가스 안전관리 법령체계 개편 방안</b> <b>최민호</b> , 이상윤*, 박세훈* 한국가스안전공사, *한국법제연구원	157
E18	11:10-11:30 (20')	<b>2022년 LNG 직수입발전사의 발전량감소 군집행위와 그 영향</b> <b>송형상</b> 한국가스공사 경제경영연구소	158

## E-3. 정책/기준

E발표장(사라1)		2024년 5월 24일(금), 09:00~12:30	
		좌장 : 강정욱(한국가스공사), 이성로(한국가스공사)	page
E19	11:30-11:50 (20')	<b>액화수소 시장 활성화를 위한 액화수소 임시 실증기준 제도화</b> <u>조윤진</u> 한국가스안전공사 수소안전정책처	159
E20	11:50-12:10 (20')	<b>원자력기반 수소생산 관련 가스법령 적용 검토</b> <u>이용길</u> , 한재식, 류영조 한국가스안전공사	160
E21	12:10-12:30 (20')	<b>제주 지역 발전용 천연가스피크수요 전망</b> <u>이성로</u> 한국가스공사 경제경영연구소	161

## F발표장

F-1	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 특별세션. 미래에너지 암모니아 전주기 기술</li><li>· 일시: 2024년 5월 23일(목), 13:00~17:20</li></ul>
F-2	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 일반세션. LP/산업가스, 천연가스, 특수가스, 자원</li><li>· 일시: 2024년 5월 24일(금), 09:00~12:30</li></ul>

# F-1.

## 미래에너지 암모니아 전주기 기술

F발표장(사라2)		일시: 2024년 5월 23일(목), 13:00~17:20	
좌장 : 김창기(한국기계연구원)			page
F01	13:00-13:20 (20')	<b>암모니아 기반 고순도 수소 생산 공정 개발</b> <b>박용하</b> 한국에너지기술연구원 수소연구단	162
F02	13:20-13:40 (20')	<b>암모니아 수소 저장 및 운송 기술개발 동향</b> <b>손현태</b> 한국과학기술연구원 (KIST) 수소·연료전지연구센터	163
F03	13:40-14:00 (20')	<b>0.1 MW<sub>th</sub> 급 순환유동층 연소시스템에서 20% 이상 암모니아 혼 소 연구</b> <b>문태영*, 김성주, 박성진, 조성호, 임호태</b> 한국에너지기술연구원	164
F04	14:00-14:20 (20')	<b>암모니아 선박 충전 제도화를 위한 벙커링 방식별 표준모델 도출 연구</b> <b>유지수, 최영주</b> 한국가스안전공사 가스안전연구원	165
	14:20-14:30 (10')	<b>break time</b>	
F05	14:30-14:50 (20')	<b>현장제조형 암모니아 기반 수소추출설비 위험요소 분석 및 도출</b> <b>조유림, 추지안, 정재환*, 이정운</b> 한국가스안전공사 가스안전연구원	166
F06	14:50-15:10 (20')	<b>모듈형 암모니아 수소추출설비 안전기준 개발을 위한 안전항목 분석</b> <b>맹주희, 추지안, 정재환*</b> 한국가스안전공사 가스안전연구원	167
F07	15:10-15:30 (20')	<b>고순도 암모니아 생산 및 활용 기술</b> <b>박재혁, 장기찬, 박종권, 김영래, 조병욱</b> 원익머트리얼즈	168

# F-1.

## 미래에너지 암모니아 전주기 기술

F발표장(사라2)		일시: 2024년 5월 23일(목), 13:00~17:20	
좌장 : 김창기(한국기계연구원)			page
F08	15:30-15:50 (20')	<b>HD현대중공업의 선박용 e-fuel(메탄올/암모니아/수소)엔진 기술</b> <b>윤욱현</b> , 유광현, 이용석, 박현춘, 이경록 현대중공업	169
	15:50-16:00 (10')	<b>break time</b>	
F09	16:00-16:20 (20')	<b>암모니아 고체산화물 연료전지의 운전조건에 따른 후연소기의 질소산화물 배출에 관한 연구</b> <b>이상호</b> , 장형준, 이선엽 한국기계연구원 친환경에너지변환연구부 친환경모빌리티연구실	170
F10	16:20-16:40 (20')	<b>암모니아 활용 고체산화물연료전지 시스템 효율 및 경제성 분석</b> <b>김영상</b> , 쿠엔, 이동근, 배용균, 박진영, 이선엽* 한국기계연구원 무탄소발전연구실, *한국기계연구원 친환경모빌리티연구실	171
F11	16:40-17:00 (20')	<b>암모니아 엔진의 후처리 시스템 적용성에 대한 연구</b> <b>박철웅</b> , 김민기, 장일품*, 박경태*, 최용현, 김용래, 최영 한국기계연구원, *충남대학교	172
F12	17:00-17:20 (20')	<b>암모니아 연료 선박의 병커링 실증에 관한 연구</b> <b>조영도</b> , 신아연, 이슬미, 전청민, 이삼수, 김진준 (주)MS가스, 기술연구소	173

## F-2. LP/산업가스, 천연가스, 특수가스

F발표장(사라2)		2024년 5월 24일(금), 09:00~10:20	
			좌장 : 최원목(한국가스공사) page
F13	09:00-09:20 (20')	<b>AHI를 이용한 LNG 펌프의 정량적 상태 평가 연구</b> <u>최원목</u> , 고재필, 권순길 한국가스공사 가스연구원	174
F14	09:20-09:40 (20')	<b>소형 모듈화 원전과 결합된 고효율 액체공기 발전 시스템의 성능 분석</b> <u>이춘식</u> , 염충섭 고등기술연구원	175
F15	09:40-10:00 (20')	<b>Glycol Heating System에 들어가는 Double Pipe Heat Exchanger의 열전달 모델 개발</b> <u>이성우</u> , 최성웅 경상국립대학교	176
F16	10:00-10:20 (20')	<b>고온고압의 연소환경에서 수소-메탄 혼합가스의 가연범위 예측에 관한 연구</b> <u>고성협</u> , 장대진, 이민철 인천대학교 안전공학과	177

## F-2. 자원

F발표장(사라2)		2024년 5월 24일(금), 10:30~12:10	
			좌장 : 권순일(동아대학교)    page
F17	10:30-10:50 (20')	<b>머신러닝 기반 고갈 가스정 CO<sub>2</sub> 주입성 분석 모델 개발</b> <b>김재윤</b> , 안유빈, 정석희, 권순일 동아대학교 에너지자원공학과	178
F18	10:50-11:10 (20')	<b>CO<sub>2</sub> 지중저장 시 공극 탄성 응력을 고려한 단층 안정성 분석 연구</b> <b>이다해</b> , 김규현, 김동현, 양정환, 유성준, 김다연, 왕지훈* 한양대학교 자원환경공학과	179
F19	11:10-11:30 (20')	<b>불순물을 포함한 이산화탄소 주입시 대염수층에서 지화학 반응이 미치는 영향</b> <b>고승모</b> , 김유진*, 장호창** 강원대학교 에너지자원융합공학과, *강원대학교 에너지공학부, **강원대학교 에너지자원화학공학과	180
F20	11:30-11:50 (20')	<b>경사정 시추공 안정성 분석 연구</b> <b>양정환</b> , 김규현, 김동현, 이다해, 유성준, 김다연, 왕지훈* 한양대학교 자원환경공학과	181
F21	11:50-12:10 (20')	<b>시뮬레이션 설정 변경에 따른 해상 CCS 저장소의 주입 시스템 운영조건 분석</b> <b>오유빈</b> , 한아름*, 김대희*, 이영수 전북대학교, *한국CCUS추진단	182

# G발표장

G-1	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 특별세션. 크리오스</li><li>· 일시: 2024년 5월 23일(목), 13:00~17:20</li></ul>
G-2	<ul style="list-style-type: none"><li>· 주제: 일반세션. 안전환경</li><li>· 일시: 2024년 5월 24일(금), 09:00~12:10</li></ul>



# G-1.

## 안전환경

G발표장(몽블랑)		2024년 5월 24일(금), 09:00~12:10	
			좌장 : 정승호(아주대학교)
			page
G01	09:00-09:20 (20')	<b>복합화력발전소 내 암모니아 혼소에 따른 위험성평가: ALOHA &amp; PHAST 프로그램을 이용한 피해영향범위 결과 비교</b> <b>박희경</b> , 최유정, 이민철** 인천대학교 안전공학과, *인천대학교 소방방재연구센터	183
G02	09:20-09:40 (20')	<b>수소충전소 방호과 방화를 고려한 차단벽 최적 설계에 대한 연구</b> <b>오세현</b> , 이선희*, 문명환**, 마병철** 전남대학교 화학공학과 박사과정, *전남대학교 화학공학과 석사과정, **전남대학교 화학공학부 교수	184
G03	09:40-10:00 (20')	<b>radXiFoam v2.0을 이용한 수소충전소 모형장치에서의 증기운 폭발실험에 대한 검증해석</b> <b>강형석</b> , 최근상 한국원자력연구원 지능형사고대응연구부	185
G04	10:00-10:20 (20')	<b>복합화력발전소 내 수소 연료 적용 시 폭발위험장소 산정을 위한 정량적 분석 연구</b> <b>최유정*</b> , 이민철*** *인천대학교 안전공학과, **소방방재연구센터	186
G05	10:20-10:40 (20')	<b>복합화력발전소 내 암모니아 연료 누출 시 가스 확산 및 피난 시 물레이션을 통한 위험성 평가 연구</b> <b>정시우*</b> , 박희경 *이민철** *인천대학교 안전공학과, **인천대학교 소방방재연구센터/안전공학과 교수/	187
	10:40-10:50 (10')	<b>break time</b>	
G06	10:50-11:10 (20')	<b>CFD를 활용한 조선업 도장공장 규모별 VOC 폭발 위험성 연구</b> <b>김진서</b> , 김이수, 손덕영, 정승호*, 이근원* 아주대학교 대학원 환경공학과, *아주대학교 환경안전공학과	188

# G-1. 안전환경

G발표장(몽블랑)		2024년 5월 24일(금), 09:00~12:10	
			좌장 : 정승호(아주대학교) page
G07	11:10-11:30 (20')	<b>공정 안전을 위한 Large Language Model 기반 HAZOP 자동화</b> <b>이훈기</b> , 이진석, 박명남 (주)지엘환경기술*	189
G08	11:30-11:50 (20')	<b>CFD를 활용한 LNG 터미널 플랜트의 누출 및 폭발 위험성 평가</b> <b>민미미</b> , 이근원, 정승호 아주대학교 환경안전공학과	190
G09	11:50-12:10 (20')	<b>주요 개봉 방사성동위원소의 비산율 평가에 관한 연구</b> <b>전보일*</b> , 이도경*, 장가은**, 이다은**, 박병현***, 정승호*** *아주대학교 대학원 환경공학과, **아주대학교 환경안전공학과, ***한국원자력안전기술원	191

# 포스터 발표.

포스터발표장		2024년 5월 23일(목), 13:00-16:30
		좌장 : 한정옥(에이블맥스) page
P1-01	<b>도심항공교통용 압축수소eVTOL 수소저장시스템의 안전기준제정에 관한 연구</b> <b>김의수<sup>†</sup></b> 한국교통대학교 안전공학과	195
P1-02	<b>Type 4 수소저장용기용 고정장치의 구조 안전성 분석에 관한 연구</b> <b>김건우<sup>1</sup>, 강세진<sup>1</sup>, 김동연<sup>2</sup>, 김한상<sup>1</sup></b> <sup>1</sup> 가천대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 가천대학교 물리학과	196
P1-03	<b>Type 4 수소저장용기 시험별 유한요소해석 프로세스 설계에 관한 연구</b> <b>김건우, 박한민, 김혜원, 김한상<sup>†</sup></b> 가천대학교 기계공학과	197
P1-04	<b>기계학습을 이용한 도시가스 수요 예측 자동화 방안 연구</b> <b>이명우, 임동연, 윤경진, 백운성, 강인희, 임경호*, 박민지*, 김용배*, 최한엽*</b> (주)이솔로지, *대성에너지(주)	198
P1-05	<b>단일추진제 충전시설 안전관리 기준 수립</b> <b>이용우, 유승우</b> 한국항공우주연구원 발사체연구소 제품보증실	199
P1-06	<b>LNG 냉열을 활용한 공기액화분리에 대한 연구</b> <b>이치훈, 차규상, 최정환</b> 한국가스공사 가스연구원	200
P1-07	<b>수소 추진선박의 연료전지 공정모사 연구</b> <b>이재용, 박성호</b> 고등기술연구원	201

# 포스터 발표.

포스터발표장		2024년 5월 23일(목), 13:00-16:30
		좌장 : 한정옥(에이블맥스) page
P1-08	<b>의료폐기물 종류별 에너지 생산 공정 에너지효율 비교</b> 홍기훈, 박철우, 장은석 고등기술연구원,	247
P1-10	<b>사고 조사체계 표준화 기반 화학사고 조사 가이드라인 개발</b> 김태호*, 이근원**, 정승호*** *아주대학교 대학원 환경공학과, **아주대학교 환경안전공학과	204
P1-11	<b>오픈 소스를 활용한 탱크 전량 누출에 따른 방류벽의 월파 현상 연구</b> 정종민*, 이찬우*, 정승호**, 이근원** *아주대학교 대학원 환경공학과, **아주대학교 환경안전공학과	205
P1-12	<b>일본과 한국의 화학사고 비교 분석</b> 이다은, 이근원, 정승호, 윤철희* 아주대학교 환경안전공학과, *아주대학교 대학원 환경공학과	206
P1-13	<b>ESG 경영을 위한 산업단지 사고 위험도 분석</b> 장가은, 이근원, 정승호, 윤철희* 아주대학교 환경안전공학과, *아주대학교 대학원 환경안전공학과	207
P1-14	<b>Pool 중심의 풍상방향을 고려한 농도 모델링 방법론</b> 장기원, 이승준, 이진백, 민미미†, 정승호†, 이근원† 아주대학교 대학원 환경공학과	208
P1-15	<b>액화수소용 왕복동 펌프의 로드 및 챔버 구조해석 및 설계</b> 김현세, 함영복, 박중호, 임의수, 최병일 한국기계연구원 탄소중립기계연구소	209

# 포스터 발표.

포스터발표장		2024년 5월 23일(목), 13:00-16:30
		좌장 : 한정옥(에이블맥스) page
P1-16	<p>소각시설 배출 분진 및 질소산화물 동시제거용 PTFE MCA(Membrane Catalyst Assembly) 필터 개발</p> <p><b>박철우</b>, 황상연</p> <p>고등기술연구원 수소에너지솔루션센터</p>	210
P1-17	<p>반밀폐공간 내 수소연료차의 수소 누출에 따른 확산거동에 관한 연구</p> <p><b>이선희*</b>, 백승현*, 임채완*, 마병철**</p> <p>*전남대학교 화학공학과 석사과정, **전남대학교 화학공학부 교수</p>	211
P1-18	<p>다양한 조촉매가 첨가된 Ni계 촉매를 이용하여 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응으로부터 수소 생산</p> <p><b>공지현*</b>, 김민주*, 장원준**</p> <p>*아주대학교 대학원 환경공학과 , **아주대학교 환경안전공학과</p>	212
P1-19	<p>양방향 FSI를 활용한 액화수소 펌프의 적합성 판단에 대한 수치해석적 연구</p> <p><b>강은구</b>, 김준영*, 백세윤*, 신현용*</p> <p>서울과학기술대학교 에너지화학공학과, *서울과학기술대학교 화공생명공학과</p>	213
P1-20	<p>액화수소를 위한 기화기 시뮬레이션</p> <p><b>서준교</b>, 남원제, 신현용</p> <p>서울과학기술대학교 화공생명공학과</p>	214
P1-21	<p>탄소 광물화로 인한 사암 시료에서의 암석 물성 변화 실험 분석</p> <p><b>김동현</b>, 김규현, 이다해, 양정환, 유성준, 김다연, 왕지훈</p> <p>한양대학교</p>	215
P1-22	<p>누출 감지기 설치 최적화를 위한 근거리에서의 누출원 모델링 방법론에 관한 연구</p> <p><b>이승준*</b>, 한규진*, 민미미**, 이근원**, 정승호**</p> <p>*아주대학교 대학원 환경공학과 , **아주대학교 환경안전공학과</p>	216
P1-23	<p>폐탄화수소로부터 수소 생산을 위한 수증기 개질 반응에서의 Ru 촉매 연구</p> <p><b>김민주*</b>, 공지현*, 장원준**</p> <p>*아주대학교 대학원 환경공학과 , **아주대학교 환경안전공학과</p>	217

# 포스터 발표.

포스터발표장		2024년 5월 23일(목), 13:00-16:30
		좌장 : 한정옥(에이블맥스) page
P1-24	<b>수소충전소용 차단밸브 평가 시스템 개발에 관한 연구</b> <b>이동훈</b> , 박지훈, 강민지, 전호병, 하기역, 장성수 한국가스안전공사 가스안전연구원	218
P1-25	<b>캐나다 지역 물리검층 자료를 이용한 딥러닝 기반 투과도 예측 모델 개발</b> <b>김재윤</b> , 안유빈, 권순일 동아대학교 에너지자원공학과	219
P1-26	<b>폐수 슬러지의 화재 폭발 위험성</b> <b>최이락</b> , 정기혁, 이한희 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원	220
P1-27	<b>천연가스배관의 기계적 특성에 미치는 공장피복 온도의 영향</b> <b>김철만</b> , 장윤찬, 백종현, 김영표 한국가스공사 가스연구원	221
P1-28	<b>수소 벤트 스택에서 수소 배출 및 대기 환경 조건이 수소 확산 범위에 미치는 영향</b> <b>박종권</b> , 장기찬, 박재혁, 김영래 원익머트리얼즈	222
P1-29	<b>탄산염암 심부 대수층에 CO<sub>2</sub> 주입을 위한 시추공 안정성 평가</b> <b>유현상</b> , 송차영, 이정환 전남대학교	223

# 포스터 발표.

포스터발표장		2024년 5월 24일(금), 09:00-11:30
		좌장 : 오정석(한국가스안전공사) page
P2-01	수소 매설 배관 위험성평가를 통한 안전성 향상 방안에 대한 연구 김다인, 유지수 한국가스안전공사 가스안전연구원	224
P2-02	암모니아-석탄 혼소 발전용 연료공급설비 적용 고압가스 안전관리법 기반 안전성 평가 절차 분석 오정석, 최영주 한국가스안전공사 가스안전연구원	225
P2-03	도시가스 수소 혼입 제도화 계획 한원국, 서국진, 이동원, 류영조, 곽채식 한국가스안전공사	226
P2-04	안전관리 자동화를 위한 실시간 상태진단 기법 개발 이재용, 이우귀연*, 오정석** 한국가스안전공사 가스안전연구원	227
P2-05	CO <sub>2</sub> 와 H <sub>2</sub> S가 존재하는 가스 생산정에서의 부식현상 김창우 <sup>1</sup> , 조셉이란지 <sup>1,2</sup> , 손한암 <sup>1</sup> 1. 국립부경대학교 에너지자원공학과, 2. 르완다대학 광산학과	228
P2-06	암모니아 스크러버(Scrubber) 설계기준 및 효율에 관한 연구 임채완, 백승현, 이선희, 마병철† 전남대학교 화학공학과	229
P2-07	CFD 모델링을 활용한 알칼라인 수전해 셀의 분리막 두께와 전해질 농도의 영향 분석 이민우, 박병흥 한국교통대학교 화공생명공학과	230
P2-08	세일가스 저류층에서 지지체의 파쇄 저항 측정 실험 연구 유현상, 김혜연, 이정환 전남대학교	231

# 포스터 발표.

포스터발표장		2024년 5월 24일(금), 09:00-11:30
		좌장 : 오정석(한국가스안전공사) page
P2-09	누출된 액체 수소의 확산에 의한 영향 전산모사 <b>이효은</b> , 박병흥* 한국교통대학교 화공생물공학과	232
P2-10	대형 수소 연료 전지 차량을 위한 캐스케이드 충전 방식의 효율성 분석 <b>심규석</b> , 박병흥 한국교통대학교 화공생물공학과	233
P2-11	리튬이온배터리 팩 내 오프가스 모델링 분석 연구 <b>백승헌</b> , 임채완, 이선희, 마병철† 전남대학교 화학공학과	234
P2-12	염수의 CO <sub>2</sub> 용해도 측정을 위한 실험 방법 및 장치에 대한 고찰 <b>장호창**</b> , 김영민*, 유현상** 강원대학교 에너지자원화학공학과, *한국지질자원연구원 해저지질에너지본부, **전남대학교 에너지자원공학과	235
P2-13	삼척 탄전의 CO <sub>2</sub> 지중 저장량 평가를 위한 시뮬레이션 연구 <b>김유진</b> , 고승모* 남연주, 박진영**, 장호창** 강원대학교 에너지공학부, *강원대학교 에너지자원융합공학과, **강원대학교 에너지자원화학공학과	236
P2-14	토치가 체결된 부탄용기의 가스누출 및 폭발화재사고에 관한 연구 <b>이준희</b> , 김대식, 최성원, 김용희, 오동석, 조근욱 한국가스안전공사	237
P2-15	국내의 LPG 벌크로리 안전성 확보 방안 <b>오동석</b> , 김대식, 최성원, 김용희, 이준희, 조근욱, 전호림 한국가스안전공사	238



# 포스터 발표.

포스터발표장		2024년 5월 24일(금), 09:00-11:30
		좌장 : 오정석(한국가스안전공사)    page
P2-16	<b>Structural Changes in Iridium Oxide Catalysts During Polymer Electrolyte Membrane Water Electrolysis Across Varied Load Durability Test Conditions</b> 김성준, <b>현규환*</b> 서울과학기술대학교 화공생명공학과, *고등기술연구원	239
P2-17	<b>Utilizing Ascorbic Acid as an Reducing Agent for Generating Preferred Vanadium Electrolyte in Vanadium Redox Flow Batteries</b> 임예진, <b>현규환*</b> 서울과학기술대학교 화공생명공학과, *고등기술연구원	240
P2-18	<b>건식개질 반응의 코발트 기반 촉매 안정성 향상연구</b> <b>여수연</b> , 박정현 고등기술연구원, *한국화학연구원, 대전광역시 유성구 가정로 141	241
P2-19	<b>ISO 19880-3 개정 건의를 통한 수소충전소 효율성 증대에 관한 연구</b> <b>강민지</b> . 이동훈 . 하기역 . 박지훈 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터	242
P2-20	<b>석유 코크스 가스화를 통해 생산된 합성가스 내 벤치급 고농도 H<sub>2</sub>S 제거설비 운전 특성</b> <b>윤덕규</b> , 이철호, 이승종 고등기술연구원,	243
P2-21	<b>캐나다 셰일 저류층을 활용한 이산화탄소 지중저장 가능성 평가</b> <b>유현명</b> , 한선이, 이영수 전북대학교	244
P2-22	<b>글로벌 CCS Cluster 추진현황 및 한국형 클러스터 구성을 위한 해결과제</b> <b>서준우</b> , 한정민, 강일오, 박승수 한국가스공사	245

# 포스터 발표.

포스터발표장		2024년 5월 24일(금), 09:00-11:30
		좌장 : 오정석(한국가스안전공사)    page
P2-23	<b>VOC 가스 검출을 위한 광이온화 가스 검출기 제작 및 벤젠, 톨루엔 검출 특성 비교</b> <b>박광범, 임채록*</b> 한국전자기술연구원, *(주)태성환경연구소	202
P2-24	<b>대형 수소상용차 충전시간 단축을 위한 멀티포트 충전기술 개발</b> <b>김보명, 장재영, 홍승택</b> 한국가스안전공사 가스안전연구원	248
P2-25	<b>가스사용시설 물리적 폭발 사고 사례에 관한 연구</b> <b>남승, 김현민, 김다정</b> 한국가스안전공사	249
P2-26	<b>액화수소 충전소 구축 연계 안전성 평가/실증 및 안전기준 개발</b> <b>한연우, 유은결, 김민아, 강승규*</b> 한국가스안전공사 가스안전연구원	250
P2-27	<b>LNG 액화플랜트 안전 작업지시서 자동발급 체계 개념연구</b> <b>고정훈*, 윤희준*, 홍재민*, 김학성**</b> * (주)유틸이씨 ** GS건설(주)	251
P2-28	<b>수소혼입 도시가스 배관재료 수소취성 평가 국내외 기술기준 조사</b> <b>이성우, 이화영, 김정환</b> 한국가스안전공사 가스안전연구원	252
P2-29	<b>다중 유해가스 검출을 위한 광대역 적외선 흡수막을 갖는 써모파일 적외선 센서 제작</b> <b>박광범, 이인*, 박정익*</b> 한국전자기술연구원, *(주)이엘티센서	203

**구두 발표.**



## 복합(CNG/수소)충전소의 통합 원격감시제어 시스템 구축을 위한 연구

서영태, 이원석, 손현익

(주)경동도시가스

### Research to build an integrated remote monitoring and control system for combined (CNG/hydrogen) charging stations

Young-Tae Seo, Won-seok Lee, Hyun-Ik Son

*KyungDong City Gas, Korea*

#### 요 약

HCNG 충전소의 인적오류로 인한 안전사고를 예방하고 복합충전소(CNG+수소)의 운영 확대에 대비하여 안전관리 고도화 실현 등의 목적으로 본 연구를 추진하였으며, 과제 수행을 통해 복합충전소의 충전중단 Risk 제거/예방 및 선제적 안전 확보와 운영관리 효율화, 안전관리 고도화를 실현하고자 하였다.

현재 당사는 CNG 충전소 6개소와 복합충전소 2개소를 운영하고 있으며, 24년 이후 복합충전소의 운영 확대에 대비하여 선제적 안전 확보 방안 마련이 필요하다. 또한 현장 위주의 이원화된 안전관리시스템 운영으로 본사 상황실 및 사무실에서의 안전/운영 상황을 실시간 파악이 어려운 상황이다.

이에 국내 최초로 통합(CNG+수소) 원격 감시제어시스템을 구축하고, 복합충전소 선진기술을 접목한 안전관리 고도화를 실현하여 충전중단을 사전 예방할 수 있도록 하였다. 충전소의 실시간 데이터를 원격으로 확인하고 제어할 수 있도록 설계하고, 운영 종료 시간대에도 본사에서 원격으로 데이터를 수집하여 평상시와 다른 데이터 감지 시 자동 알람 경보 전파 시스템을 구현하고자 하였으며 모터에 복합충전소 압축설비 예방보전 기술을 적용하였다.

이를 통해 실시간 통합(CNG+수소)감시가 가능한 시스템을 구성하였으며, 현장 상황을 신속하고 정확하게 인지 및 원격제어가 가능하게 되었다. 또한 원격제어 및 선진기술을 접목한 안전관리 고도화를 실현하였고, 복합충전소 통합 업무를 수행하여 결과적으로 충전중단 예방(63%) 및 조치 시간 감소(68%)를 통한 운영 관리의 효율화 등의 최종 성과를 창출하였다.

**Key Worlds** : CNG(Compressed Natural Gas), Hydrogen, Station, Remote monitoring, Prevention of stopping charging, Reduce action time, Efficiency of Operations Management

## 경남에너지 정압기 관말 압력 연동 시스템 소개

정병두, 김명수, 박현석, 이현수, 김진수  
경남에너지(주)

### Gas Governor End-of-Pipe Pressure Interlocking System

Byoungdoo Jung, Myeongsoo Kim, Hyeonseok Park, hyunsu Lee, Jinsu Kim  
*KyoungNam Energy.Co., Ltd*

#### 요 약

경남지역 창원시를 포함한 9개 시, 군에 도시가스를 공급하는 경남에너지는 가스 시설 안전확보 및 예방 안전을 위하여 직무별 담당자와 리더를 중심으로 안전관리 연구회를 운영하고 있으며, 업무 효율증대 및 안전관리 역량 강화를 실천할 뿐만 아니라 다양한 주제로 토론 및 연구를 통해 의견을 수렴하고 업무개선에 반영하고 있습니다.

도시가스 소비 패턴은 계절적 요인으로 동고하저 경향을 보이고 있습니다. 이에 안정적인 공급 압력을 유지하기 위해 동절기 피크타임 때 배관 압력을 측정 및 배관망해석 프로그램을 통하여 공급 압력을 분석하고 있습니다. 분석된 압력을 기반으로 연중 2~3회 정압기 출구 압력을 조정하였으나 실시간 수용가의 압력 변동사항을 확인하기에는 애로사항이 있어 이번 안전관리 연구회를 통하여 개선하고자 하였습니다.

본 발표내용은 실시간 수용가 압력변동사항에 따라 단독 운영 환경의 GOV'공급 지역에 대해 관 말 압력 변동사항을 반영하여 GOV' 2차 압력 Setting을 자동으로 실시간 조정하여 일정 수준 압력을 유지하도록 운영한 결과와 향후 운영확대 방향, 그리고 최적의 압력 연동시스템 기준을 마련하는데 참고가 될 것으로 생각합니다.

정압기 관 말 압력 연동 시스템을 통해 안정적인 압력 유지와 효율적인 안전관리 사례에 대하여 소개하겠습니다.

## 가스배관 파손사고 예방을 위한 굴착기 자동제어 시스템

김경수, 정진범, 이길수, 박은성  
건설기계부품연구원

### Excavator automatic control system to prevent gas pipe damage accidents

Kyung Soo Kim, Jin Beom Jeong, Kil Soo Lee, Eun Seong Pak  
*Korea Construction Equipment Technology Institute*

#### 요 약

도시가스는 난방, 음식 등 국민의 기본적인 생활을 위해 필수적으로 필요한 에너지원으로 도시가스를 국민들에게 안전하고 신속하게 공급하기 위해 가스배관이 전국에 매설되어 있다. 그러나 도심지에서 발생하는 굴착공사로 인해 빈번히 배관 파손사고가 발생하고 있고, 이러한 사고로 인해 크고 작은 인명사고로 이어지고 있다. 파손사고 예방을 위해 굴착공사 신고제도를 운영하고 있지만 건설기계 운전자의 부주의, 조작미숙, 배관정보 오류 등과 같은 이유로 인한 파손사고는 지속적으로 발생하고 있다. 특히, 굴착공사 신고를 하지 않은 공사로 인한 파손사고를 예방하는 것은 불가능하다. 본 연구에서는 건설기계로 인해 발생하는 파손사고를 예방하기 위해 가스배관 근처에서 작업하는 건설기계를 감시하고, 3D 통합지도 정보에 따라 건설기계가 가스배관을 파손시킬 수 없도록 자동제어기술을 개발하고 건설기계에 적용 및 실차 시험을 통해 성능을 검증하였다.

**Abstract** - City gas is an essential energy source for people's basic needs such as heating and food, and gas pipes are laid across the country to safely and quickly supply city gas to the people. However, pipe damage accidents frequently occur due to excavation work in urban areas, and these accidents lead to large and small casualties. Although an excavation work reporting system is in operation to prevent damage accidents, damage accidents continue to occur due to reasons such as the carelessness of construction machine operators, poor operation, and errors in piping information. In particular, it is impossible to prevent damage caused by construction without excavation work being reported. In this study, in order to prevent damage caused by construction machinery, construction machinery working near gas pipes is monitored, and automatic control technology is developed to prevent construction machinery from damaging gas pipes based on 3D integrated map information. Performance was verified through application to machines and actual vehicle tests.

**Keywords:** gas pipe, excavation work accident, automatic control construction machinery, accident prevention, control system

## 초정밀 차량용 가스검지기를 활용한 기밀검사 추가방안 소개 (Tracer Ethane 누출검사 장비)

배태우  
(주)부산도시가스

### Introduction of additional methods for leak-test using ultra-precision gas detector on vehicle(Tracer Ethane)

Tae woo Bae  
*Busan City Gase. Co. Ltd*

#### 요 약

주기적으로 실시하는 도시가스 배관의 법적 기밀검사시 실제 가스가 통입 되어있는 배관의 가스공급을 중단시키고 기밀검사를 수행하기는 현실적으로 어렵기 때문에, 도시가스사에서는 배관의 노선상 50m 간격으로 보링을 실시하고 FID(수소염이온화식)등의 가스검지기를 이용해 누출여부를 확인하는 것으로 기밀검사를 대체하고 있다. 이때 보링은 작업 중 사고발생, 도로파손 및 후속사고, 지자체와의 마찰 등 다양한 위험을 야기 할 수 있다.

본 자료에서는 기밀검사의 추가 방안으로 정밀하게 가스누출을 점검할 수 있는 누출검사 장비인 Tracer Ethane 장비를 활용한다면 보링 유무와 관계없이 가스 누출을 발견할 수 있다는 가설을 검증한 내용을 소개하고 '21~'24년 동안 우리 회사에서 보링 없이 Tracer Ethane 장비로만 발견한 도시가스 누출 Case를 공유하고자 한다.



## 3D 시각화를 위한 도시가스 GIS 배관 데이터 활용 증대를 위한 데이터 표준화 연구

권순재, 이형욱  
(주)젠스텝

**A study on Data Standardization for the Enhanced Utilization of  
city gas GIS pipe Data for 3D visualization.**

SoonJae Kwon, Hyeunguk Lee  
ZENSTEM co, Ltd.

### 요 약

국내 도시가스 회사는 GIS를 기반으로 측위와 준공 도면으로 지하매설 배관의 정보와 위치를 관리하고 있으며, 지자체와의 정보공유시 shape파일을 활용하여 정보를 공유하고 있다.

땅속에 묻힌 배관을 3D로 시각화하기 위해서는 필수요소를 가지고 있는 공간 데이터를 REST API를 통해 그려진다. 이때 데이터의 양은 방대하다. 그러나, 지하 매설물을 3D 시각화 할 현장의 디바이스 성능은 제한적이다. 즉, 각 도시가스 회사가 관리하는 모든 데이터를 한꺼번에 3D 시각화하는 것은 불가능하다.

이 문제를 해결하기 위해 공간 쿼리 기술을 활용한다. 사용자의 위치를 기준으로 AR 애플리케이션은 일정 범위만 REST API로 데이터를 호출하고 3D 시각화한다. 이 공간 데이터의 정제를 통해 하드웨어 부하 문제를 해소할 수 있다.

각 도시가스 회사들은 GIS팀을 운영하며 공간정보를 지속적으로 갱신하고 있다. 이 과정에서 매설 배관의 속성값, 필드명, 노드 등의 공통으로 정의하는 인자를 표준화 진행한다면 국내 34개 도시가스 매설 배관의 3D 시각화는 다른 지하매설 인프라 산업보다 디지털전환 산업표준화가 충분히 가능하다.

## 정류기 수명 연장을 위한 양극 홀 재생 및 양극 보강방안 연구

김용술, 손창민, 손현익  
(주)경동도시가스

### A Study on the Rehabilitation and Anodes Reinforcement Method of Deep anode Hole for Extending the Lives of the C.P. Rectifier

Yong-Sul Kim, Chang-Min Son, Hyun-Ik Son  
*KyungDong City Gas, Korea*

#### 요 약

지하에 매설되는 가스배관은 탄소강에 내식성 피복을 코팅한 폴리에틸렌 피복강관(PLP)을 주로 사용하고 있다. 이러한 PLP 배관도 완벽한 코팅일 수 없고, 임의의 손상에 의해 자유로울 수 없다는 전제하에 부식 방지를 위한 전기방식 시스템을 도입 하고 있다. 그 중 보편적으로 사용하는 방법이 외부전원법이다. 희생양극법에 비해 여러 장점을 가지고 있지만 특히 내소모성 양극 사용으로 양극 수명이 길고, 정류기에 의한 전류의 인위적 조절이 가능하며, 깊은 보링 홀에 설치되는 양극으로 방식 범위가 넓다. 하지만 이런 장점을 활용해 정류기를 과하게 운전하거나 환경 등 기타 요인으로 당초 설계보다 방식 시스템 및 양극의 수명이 짧아질 수도 있다.

이 경우 양극 홀 보링과 양극 설치공사를 다시 하거나, 여건상 어쩔수 없이 다른 위치로 정류기 이설이나 신설공사를 실시해야 한다.

도시지역에서의 30m~60m 가량의 양극 홀 보링공사는 많은 지하 매설물들을 피하기도 힘들고 함께 수반되는 장시간의 소음과 교통영향 문제 등으로 현실적으로 쉽지않은 상황이다. 또한, 최근 ‘지하안전관리에 관한 특별법’ 개정 시행(2022. 6. 14.)으로 수도권 일부 지자체에서는 정류기 양극 홀 보링공사에 관해 ‘지하안전평가 대상 사업’으로 분류하는 등 굴착 관련 인·허가에 거부 또는 소극적 자세로 일관하고 있어 사실상 정류기 양극 홀 추가 설치는 거의 불가능한 상황이다.

상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 연구과제에서는 기존 양극 홀을 고압의 물과 흡입력을 갖춘 장비를 활용하여 재생/재활용할 수 있는 공법 제시와 추가 양극 보강 등 현장 실증을 통하여 저렴한 비용과 저소음, 짧은 공사시간을 투입하여 정류기 수명을 획기적으로 늘릴 수 있는 하나의 대안으로 제시할 수 있게 되었다.

**Key words** : City Gas, Cathodic Protection, Rectifier, Anode, Deep hole, Deep Well Bed, Impressed Current Cathodic Protection

## 교류간섭으로 인한 배관 부식 의심 사례 소개

서정훈, 이인황, 손한영, 장민기  
경남에너지(주)

### Introduction of Suspected Corrosion of Piping due to AC Interference

Jeonghun Seo, Inhwang Lee, Hanyeong Son, Mingi Jang  
KyungNam Energy Co., Ltd.

#### 요 약

지하에 매설되는 도시가스배관의 건전성 및 안전성 확보를 저해하는 여러 요소가 있다. 그 중에서 교류간섭은 과거 부식을 일으키는데 큰 영향이 없다고 여기어 왔으나, 근래 국내외 교류간섭으로 인해 배관에 영향을 주는 사례들이 나타나면서 교류간섭의 중요성이 점차 강조되고 있다. 유도성 교류간섭의 경우 지중선 및 송전선로가 도시가스 배관과 병행 또는 교차하여 장기간 유도전류가 발생 할 경우 배관 부식을 초래 할 수 있고, 저항성 교류간섭의 경우 낙뢰 및 지락, 누전 등 일시적 이상상태에 의한 고장전류가 발생하여 배관에 높은 교류전압이 유입되는 경우 배관의 피복 및 배관 손상까지 초래 할 수 있다.

경남에너지는 배관 피복손상 보수공사 중 확인 된 배관 손상 형태가 국내외 교류 부식 사례의 형태와 비슷한 형태를 가지고 있어 배관 손상 원인이 교류간섭에 의한 교류부식 가능성을 확인하기 위해 교류간섭 관련 연구 논문 및 미국부식방식협회(NACE) 기준을 근거로 교류부식에 영향을 주는 중요인자들을 조사하고 분석하였다. 미국방식협회(NACE) 기준 자료에 따르면 인체보호측면 교류전압 기준은 15V로 제한하고 있으며, 교류부식이 발생하기 시작하는 교류전류밀도[i ac] 값이 20[A/m<sup>2</sup>]미만 일 경우 부식 없음, 20[A/m<sup>2</sup>]이상 100[A/m<sup>2</sup>]미만 일 경우는 부식 예측불가, 100[A/m<sup>2</sup>]초과 시 부식이 예상 되는 수치로 보고되어 있다.

경남에너지는 이번 피복손상 보수과정에서 확인된 배관 부식의 원인을 확인하고자, DCVG(Direct Current Voltage Gradient)조사, CIPS(Close Interval Potential Survey), %IR조사, 손상지점의 전류 유입-유출 확인, 층간 토양비저항 측정, 배관 및 토양의 폐하[pH]조사, 교류전류밀도 조사, 간섭지점의 AC 주파수[Hz]등의 현장 테스트를 시행하였고, DC전류 유출에 의한 부식가능성은 낮은 반면, 전자기성 유도 간섭에 의한 AC 전류 유출에 따른 부식가능성이 상대적으로 높음을 확인하였다.

본 자료에서는 교류간섭에 의한 부식발생 의심 사례를 소개하고 경남에너지에서 실시한 여러 가지 현장조사 기법과 분석과정 및 결과를 공유하고자 한다.

## 시계열 딥러닝 모델 기반의 범용 도시가스 수요 예측 기술 개발

**한승연, 임동연<sup>†</sup>, 송삼성, 김기철, 임경호<sup>\*</sup>, 박민지<sup>\*</sup>, 이시범<sup>\*</sup>, 배경호<sup>\*</sup>**  
(주)이솔로지, <sup>\*</sup>대성에너지(주)

**Development of universal city gas demand forecasting  
technology based on time series deep learning model**

**SeungYoun Han, Dongyun Lim<sup>†</sup>, Samsung Song, Kichul Kim,  
Kyungho Lim<sup>\*</sup>, Minji Park<sup>\*</sup>, Sibeom Lee<sup>\*</sup>, Kyoungho Bae<sup>\*</sup>**  
*Esology, <sup>\*</sup>Deasung Energy*

### 요약

도시가스 수요 예측은 도시가스 공급 비즈니스에서의 핵심적인 업무 중 하나이고, 그 목적에 따라 용도·기간별로 다양한 형태의 예측이 수행되어야 한다. 용도의 경우 가정용, 일반용, 산업용 등 다양한 용도가 존재하는데, 각각은 다시 세부적인 상품으로 구성되어 있어 각 상품 수준에서의 예측이 필요하고, 기간의 경우 짧게는 일 단위, 길게는 연 단위(최대 5년)로, 다양한 기간별 예측이 필요하다. 이에 도시가스 공급사들은 정해진 주기에 따라 반복적으로 필요한 데이터를 수집하고, 용도와 기간의 조합에 따라 수많은 예측을 수행해내야 하는데, 각각의 예측마다 수요에 영향을 미치는 인자들이 다르기 때문에, 모두 다른 모델을 사용해야 하는 실정이다.

이러한 상황에서 기존 예측 연구에서는 주로 인자 기반의 예측에 초점을 두고, 수요에 영향을 미치는 인자들에 대해 중점적으로 다뤘으나, 특정 용도의 경우 명확한 인과관계를 찾기 어렵고, 미래 시점의 수요 예측을 위해 미래 시점의 인자들을 예측해야 하는 어려움이 있었다. 본 연구에서는 이러한 어려움을 극복하기 위해, 시계열 기반 예측 모델을 사용하여 과거 공급량에 대한 데이터, 즉 자기 자신의 과거 데이터로부터 미래를 예측하기 위한 기술 개발에 초점을 둔다. 또한, 주로 용도별 합산 데이터를 기반으로 예측을 수행했던 기존 예측과는 달리, 본 연구에서는 개별적 사용패턴을 고려한 예측방식을 사용하여 예측오차를 최소화하는 것을 목표로 한다. 이를 위해서는 비교적 큰 규모의 모델이 필요하기 때문에, 시계열을 다루는 모델 중 모델의 규모를 자유롭게 확장할 수 있는 딥러닝 모델을 사용하였다.

도시가스 수요 예측에 있어서, 자기 자신만의 데이터를 사용하고, 개별적인 사용패턴을 고려하여 성공적인 예측을 수행할 수 있다면, 이는 수요 예측을 위한 범용 기술로 활용될 수 있을 것이다.

(※ 개별 도시가스 사용량에 대한 데이터는 개인정보보호법에 따라 공개하기 어렵기 때문에, 본 발표는 도시가스 사용량과 유사한 패턴을 보이도록 생성된 무작위 데이터에 대한 예측으로 진행함을 알립니다.)

**Acknowledgement** : 본 연구는 2023년도 중소벤처기업부의 창업성장기술개발사업 지원에 의한 연구입니다. [RS-2023-00277015]

<sup>†</sup> Corresponding author: pextiger@esology.net

## 지자체 CCTV 기반 인공지능 굴착공사 탐지 방안

**김유환, 정동환, 이진욱**  
제이비주식회사

### Local government CCTV-based artificial intelligence excavation construction detection method

**Youhwan Kim, Donghwan Jung, Jinwook Lee**  
JB Corporation

도시가스사업에서 중요한 요인 중 하나는 안정적인 공급과 동시에 중대시민재해를 야기할 수 있는 물질의 특성상 철저한 안전관리라고 할 수 있다.

하지만, 배관 15km당 안전점검원을 선임하여 순회점검 차량을 기반으로 한 기존의 배관순회점검은 대부분 근무시간(08~18시)을 중심으로 운영되고 있으며, 순회점검 시 단편적 시간에 한하여 현장을 관리하고 있기 때문에 해당 지역의 상시적인 굴착공사 탐지에는 물리적 한계가 존재할 수 밖에 없는 것이 현실이다. 이를 보완하기 위해 한국가스안전공사에서는 굴착공사정보지원센터(EOCS)를 운영하여 굴착자가 24시간 이전에 예정된 굴착공사를 신고하여 도시가스사업자로 하여금 이에 대한 관리를 할 수 있도록 지원하고 있지만 매년 타 공사로 인한 전체 도시가스 사고 비율 중 과반수 이상이 굴착공사 미신고로 인해 발생되고 있다.

이러한 굴착공사로 인한 배관파손 및 가스사고를 선제적으로 예방하기 위해 ICT 기술을 접목한 보조방안을 강구하게 되었으며, 자체적으로 드론, 진동센서, 차량용 인공지능 굴착공사 탐지 등을 적용/운영해본 레퍼런스를 분석한 결과 최종적으로 지자체 CCTV를 기반으로 인공지능 굴착공사 탐지 기술 개발까지 이르게 되었다.

인공지능으로 지자체 CCTV 영상을 분석하여 굴착공사 현장을 탐지함과 동시에 해당 CCTV 영상을 상황실 및 해당 공사구역 안전점검원에게 전달 공유함으로써 인공지능에만 의존했던 심리적 불안감을 해소하였으며 EOCS 정보를 함께 확인할 수 있는 것과 동시에 상황실에서 필요로 하는 기능을 추가 하였다.

현재 본 서비스는 충남 천안시 CCTV 4천여대에 적용되어 운영되고 있으며 해당 정보는 제이비주식회사 상황실 뿐만 아니라 충청남도 통합플랫폼에 공유되어 지자체 상하수도 굴착공사 관리에도 활용되고 있다.

일반적으로 약 12~15m 높이에 설치되어 있는 방범용, 교통용 CCTV의 특징을 분석하고 굴착기 객체에 대한 최적화된 이미지의 학습은 인공지능 학습량 대비 높은 정확도 도출을 가능하게 하였으며, 파일드라이버, 오거, 커팅기와 같은 추가적인 객체학습을 통해 도시가스배관 뿐만 아니라 지하매설물의 안전을 위협하는 굴착공사에 대해서 안전공백이 최소화될 수 있도록 지속적인 연구를 진행할 계획이다.

**Abstract** - One of the important factors in the city gas business is stable supply and thorough safety management due to the nature of substances that can cause serious civil disasters.

However, most existing pipe patrol inspections based on patrol inspection vehicles appoint a safety inspector for every 15 km of pipe and are operated mainly during working hours(08:00-18:00), and the site is managed only for a short period of time during the tour inspection. Therefore, the reality is that there are inevitable physical limitations in detecting regular excavation work in the area. To supplement this, Korea Gas Safety Corporation operates the Excavation Construction Information Support Center(EOCS) to enable excavators to report scheduled excavation work 24 hours in advance and assist city gas business operators in managing it. However, every year, other construction companies More than half of the total city gas accident rate is caused by unreported excavation work.

In order to preemptively prevent pipe damage and gas accidents caused by such excavation work, we came up with auxiliary measures incorporating ICT technology, and we used references from our own application/operation of drones, vibration sensors, and artificial intelligence for vehicles to detect excavation work. As a result of the analysis, it ultimately led to the development of artificial intelligence excavation construction detection technology based on local government CCTV.

By analyzing local government CCTV images with artificial intelligence to detect excavation construction sites and sharing the CCTV images with the situation room and safety inspectors in the construction area, the psychological anxiety of relying solely on artificial intelligence has been resolved, and EOCS information can be checked together. At the same time, the functions needed in the situation room were added.

Currently, this service is being applied and operated to about 4,000 CCTVs in Cheonan-si, South Chungcheong Province, and the information is shared not only with the situation room of JB Co., Ltd. but also on the Chungcheongnam-do integrated platform and is used to manage local government water and sewage excavation work.

By analyzing the characteristics of security and traffic CCTVs, which are generally installed at a height of about 12 to 15 m, and learning optimized images for excavator objects, it was possible to derive high accuracy compared to the amount of artificial intelligence learning, pile drivers, augers, and cutters. We plan to continue research to minimize safety gaps in excavation work that threatens the safety of not only city gas pipes but also underground facilities through additional object learning.

## 공급배관에 대한 위험성 평가를 통한 장기사용 배관 성능 검증에 관한 연구

김태강, 손창민, 손현익

(주)경동도시가스

### A Study on the Long-Term Use Piping Performance Verification through Risk Assessment for Supply Pipes

Tae-Kang Kim, Chang-Min Son, Hyun-Ik Son

*KyungDong City Gas, Korea*

#### 요 약

울산과 경남 양산 지역의 도시가스 배관은 2022년말 기준으로 약 2,500km 배관으로 고객에게 고압, 중압, 저압의 사용처에 적합한 압력으로 가스를 공급하고 있다. 이들 배관의 압력과 경과 연도별 현황은 고압이 약 7.9km이며 중압 648km, 저압이 가장 많은 1,844km가 지하에 매설되어 있으며, 이중 20년 이상 경과 배관은 517km, 21.0%이며, 30년 이상 경과된 배관도 218km로 약 9%를 점유하고 있다.

이러한 장기 사용배관의 증가에 대해서 현재의 안전관리 수준은 크게 변함이 없으며, 도시가스사업법에 의한 정기검사, 정밀안전진단(20년 이상 중압 배관에 대하여 매 5년 마다 검사) 등의 법적인 안전점검과 각 도시가스사별로 자율점검을 수행하고 있으나, 향후에는 장기사용 배관에 대한 차별화된 검사와 관리 방법이 필요할 것이다.

본 연구에서는 석유화학 플랜트 등에 적용중인 위험성 기반 평가 체계에 대해 도시가스 매설배관에도 적용 가능한 평가 로직의 정의와 위험도 등급을 설정하고, 이를 위험성 평가 시스템을 통하여 확률론적 기반의 공급배관 위험성 평가를 실시하였다. 그리고, 장기사용 배관에 대한 배관상태 확인 굴착공사 등의 방법을 통해 위험성이 높은 배관(위험도 5등급 배관)과 30년이상의 장기사용 배관에 대하여 배관상태의 실증과 물성 시험 등을 통해 건전성을 직접 확인하였다.

**Key words** : City Gas, Long-Term Used Pipe-Line, Risk Management

## 에너지전환시대 도시가스의 대응과 역할

방유진, 정희용, 이수진, 현상호  
한국도시가스협회

### Countermeasures and Roles of City Gas in the Energy Transition Era

Yu-jin Bang, Hee-yung Chung, Soo-Jin Lee, Sang-ho Hyun  
*Korea City Gas Association*

#### 요 약

2050년 탄소중립 달성을 위한 우리나라의 신재생에너지 목표('18년 6.2%→'50년 70.8%)는 에너지여건상 도전적인 목표인 동시에 실현 가능한 수단이 제한적이다. 현재 전력의 높은 배출계수로 all 전기화시 온실가스는 오히려 증가하게 되며, 급격한 에너지전환이 불가능한 용도는 도시가스 지속 공급 필수적이다. 결국 현실적인 에너지전환을 위해서는 도시가스가 중요한 역할을 할 수 밖에 없다. 이 연구에서는 에너지전환시대에서 현실적인 에너지원이자 브릿지 역할을 담당할 도시가스의 역할과 시사점을 찾아보고자 한다.

**Abstract** - To achieve carbon neutrality in Korea by 2050, renewable energy must reach 70.8 in 2050 (6.2% in 2018 → 70.8% in 50). However, this goal is a challenging goal in terms of energy conditions, and at the same time has limited feasible means.

Due to the high emission coefficient of current electricity, greenhouse gases increase when all electricity is converted, and the continuous supply of city gas is essential for applications where rapid energy conversion is impossible. After all, city gas has no choice but to play an important role for realistic energy conversion.

In this study, the role and implications of city gas that will serve as a realistic energy source and bridge in the era of energy transition are to be found.

**Keywords:** energy transition, citygas, carbon neutrality, etc.



## 도시가스업계 공동주택(아파트) 에너지 비즈니스모델 다각화 연구

김동영, 김보식, 방유진  
한국도시가스협회

### Research on diversification of energy business models for apartment complex in the city gas industry

Dong Yeong, Kim, Bo sik, Kim, Yu jin, Bang  
*Korea City Gas Association*

#### 요약

우리나라는 지형적 특성에 따라 인구 밀집도가 높아 2020년 기준 국내 전체 가구의 52%인 1,078만 가구가 공동주택(아파트)에 거주하고 있는 실정이다. 이러한 주거 형태는 도시가스의 주택용(가정용) 수요가 중 공동주택의 비중이 약 55%에 달하는 수치를 나타내는 결과에도 그 원인으로써 작용한다. 이와 같은 주거 및 에너지 수요가 형태는 앞으로 공동주택이 새로운 에너지 비즈니스모델을 적용할 수 있는 대표 사례로 활용 가능성을 보여준다.

글로벌 기후 위기에 따른 탄소중립이 대두됨에 따라 공동주택과 같이 에너지 사용량이 높은 건물도 에너지 효율 향상을 위한 수요반응(DR, Demand Response)과 함께 전기자동차(EV, Electric Vehicle) 보급 확대에 따른 충전설비 구축 의무화 등의 규제로 인해 에너지 공급과 사용 간에 합리적인 대응방안 수립이 필요하다. 이러한 관점에서 도시가스업계는 지역 단위 영업망(이해관계)이 충분히 갖춰져 있으며 이를 활용하여 공동주택을 대상으로 한 에너지관리서비스(효율화), 전기자동차 충전인프라 운영 및 관리서비스 등 도시가스 공급 외에 새로운 에너지 비즈니스를 추진할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 사물인터넷(IoT), 인공지능(AI), 빅데이터 등 기술 요소들을 결합하여 도시가스업계가 공동주택을 대상으로 새로운 에너지 비즈니스를 추진할 수 있는 방안을 다방면으로 모색해보고자 한다.

**Abstract** - As carbon neutrality becomes a hot topic due to the global climate crisis, buildings with high energy consumption, such as apartments, need to establish reasonable methods between energy supply and usage. From this perspective, the city gas industry has a sufficient regional sales network and utilizes this to provide services other than city gas supply, such as energy management services or etc. In this paper, we will search various ways for the city gas industry to promote new energy business targeting apartment complexes by combining technologies such as the internet of things, artificial intelligence and big data.

Keywords: Apartment complex, Demand response, EV Charging Infrastructure, Energy management

**TB전위 측정방법 개선  
(Simple TB - 무개폐 전위측정시스템)**

**어석원, 정순재**  
(주)부산도시가스

**TB potential measurement method improvement  
(Simple TB - Non-open potential measurement system)**

**Seok Won Eo, Soon Jae Jung**  
*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 도시가스사에서는 자체적으로 매년 1회 가스공급시설에 대한 유지관리상태를 확인한다. 이때, 배관 방식전위의 적정성여부를 측정하기 위하여 TB(Test Box)를 통하여 배관의 관대지 전위를 측정한다.

부산과 같이 바다에 접하여 있고, 해안가 주변에 위치한 도시가스사에서 관리중인 TB의 경우 염분으로 인한 철개의 고착이 빈번하게 발생하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 TB의 철개를 개방하지 않고, 전위측정기의 단자를 철개상부에 접촉하여 전위측정이 가능하도록 구조를 Simple하게 변경하였다.

이에 따라 고착된 철개를 개방할 때 수반되는 타격 생략으로 근골격계 질환 원인 제거 효과와 작업 단순/간소화로 인한 측정시간 단축 및 측정자 피로도 감소 효과 및 SHE 안전성을 입증하였다. 추가로, 철개 교체 관련 비용을 크게 절감할 수 있을 것으로 사료된다.

## 고장진단 성능 지수를 통한 도시가스 배관망의 다중블록 PCA 구성 연구

고성근, 백연주, 선재영\*, 김종선\*, 고흥철  
(주)테크다스, \* (주)해양에너지

### Configuration of Multiblock PCA for Fault Diagnosis in City Gas Pipeline Networks using Performance Indices

Sung-geun Ko, Yeon-ju Baek, Jae-young Sun\*, Jong-sun Kim\*, Hong-cheol Ko  
*Techdas Co.,Ltd., \*HAEYANG Energy Co.,Ltd.*

#### 요 약

도시가스 배관은 넓은 지역에 분포되며, 계층적으로 복잡하게 연결되어 있다. 지하에 설치된 배관의 압력 상태를 정밀하게 감시하기 위하여 PCA(Principal Component Analysis) 기반의 센서 고장탐지 및 진단 기법을 적용하였다. 도시가스 배관망은 센서의 수가 많기 때문에 상호 연관성이 높은 센서들을 하나의 블록으로 묶어 블록 차원에서 전체 센서를 다루는 다중블록 PCA(MBPCA)를 적용하고자 하였다. 그런데 MBPCA는 센서의 개수가 증가할수록 상관관계 모델의 정확성은 증가하지만, 고장탐지 및 고장 센서 식별 민감도가 나빠지는 문제가 있다. 본 연구에서는 각각의 블록이 MBPCA의 고장탐지 및 고장 센서 식별 성능에 미치는 영향을 판단할 수 있는 고장탐지 성능(fault detectability) 지수와 고장진단 성능(fault identificability) 지수를 제안하였다. 제안한 지수들을 이용하여 (주)해양에너지의 도시가스 배관망의 고장 탐지 및 진단에 적용할 MBPCA를 구성하였으며, MBPCA가 지나치게 커지는데 따른 고장탐지 및 고장 센서 식별 민감도 저하 문제를 해결할 수 있었다.

**Abstract** - The city gas pipeline networks are distributed underground over a wide area and are complexly connected in a hierarchical manner. A PCA-based fault detection and diagnosis technique was applied to precisely monitor the status of multiple pressure sensors that are in a relatively linear relationship. Since the city gas pipeline network has a large number of sensors, it was intended to apply Multiblock PCA (MBPCA) to handle the entire set of sensors at the block level by grouping highly correlated sensors into a single block. However, as the number of sensors increases, the accuracy of the correlation model among sensors increases, but excessive growth can lead to a decrease in fault detection and faulty sensor identification sensitivity. In this study, fault detectability and fault identificability indices were proposed to evaluate the impact of each block on the fault detection and faulty sensor identification performance of MBPCA. The proposed indices were used to configure MBPCA for fault detection and diagnosis of the city gas pipeline network of Haean Energy Co., Ltd., and were able to solve the problems of MBPCA becoming excessively large.

**Key words** : city gas network, multi-block PCA, fault detection and diagnosis, fault detectability, fault identificability

## 드론과 디지털 기기를 활용한 하천세굴조사 방법 개발

정동환, 이진욱  
JB주식회사

### Development of River Scour Survey Method using Drones and Digital Devices

Jung Donghwan, Lee Jinwook  
JB corporation

#### 요 약

하천을 횡단하는 도시가스배관을 매설할 경우, 각 하천 종류에 따라 기준심도 이상으로 설치하고 이를 유지하도록 하고 있으나, 하천 주변의 공사여건 및 준설, 홍수 등의 환경변화로 인해 설치 기준대로 심도를 유지하기 어려운 상황이 많았다.

이에 대응하여 2021년 KGS Code FS551이 개정되어 ‘3.1.4.4 하천 등 횡단 매설배관 유지관리에 관한 기준’이 신설되었다. 이에 따라 도시가스 하천횡단 매설배관의 유지관리를 위해 매 1년마다 가스공사 및 각 도시가스사들은 하천횡단 매설배관 상부의 하상변동을 주기적으로 조사하고 있다.

당사의 경우 매년 약 280개소의 하천에 대한 세굴조사를 시행하고 있으며, 대부분의 경우 자체인력을 동원하여 GPS측정기, Staff 등의 측정 장비를 사용하여 직접 하천에 들어가 수심을 측정하고 있다. 당사 공급권역 내에 하천횡단 매설배관이 존재하는 하천의 폭은 매우 다양하며, 수심의 경우 강수량, 하상구조 및 하천 세굴에 의한 지형변동의 영향을 크게 받아 매번 수심이 일정하다고 판단할 수 없으며, 곳에 따라서는 작업자의 키를 초과하는 곳도 존재한다. 따라서 작업자들이 직접 하천에 들어가 심도조사를 실시할 때 심각한 경우 익사와 같은 안전사고가 발생할 수 있는 불확실성이 존재하며, 안전을 보장할 수 없는 상황이 발생할 수 있다.

본 연구에서는 하천횡단 매설배관의 심도조사 시 발생할 수 있는 인명피해에 대한 리스크를 사전에 제거하는 것을 궁극적인 목표로 한다.

이번 연구를 통해 수심을 측정할 수 있는 디지털 센서에 대한 분석을 시작으로, 디지털 센서를 측정지점까지 이동시키기 위한 방안 구상, 과거 탐측좌표를 드론에 활용하여 원격으로 하천의 수심데이터를 측정하기 위해 거쳤던 수많은 시행착오, 그리고 현장 활용성 확보 및 높은 정확성과 신뢰도를 가진 대체 조사방안으로 발전시키기 위한 여러 과정을 담아 이번 발표를 통해 공유하고자 한다.

마지막으로, 이를 통해 기존 측정방식의 틀을 깨고 원격으로 하천횡단 매설배관의 매설심도를 모니터링 하는 방안에 대한 새로운 인사이트를 제공하여 하천의 하상고 측정 시 도시가스업체의 안전 뿐만 아니라 시간 및 비용절감을 위한 하나의 좋은 사례가 되길 기대한다.

**Abstract** - When gas pipes are installed across rivers, they are typically installed above the standard burial depth and maintained according to the specific characteristics of each river. However, it was difficult to maintain the depth according to the installation standards due to various factors related to river surroundings, such as dredging activities, environmental shifts, and flooding incidents.

In 2021, there was a revision to KGS Code FS551, which introduced new guidelines under 'Section 3.1.4.4 Standards for Maintenance of Underground Pipes across Rivers'. Consequently, KOGAS and each city gas company now conduct annual inspections to monitor changes in the riverbed's topography at sections where underground pipes cross rivers. This measure is aimed at enhancing the maintenance and management of these underground pipelines.

In our company's case, we conduct scour surveys on approximately 280 rivers annually. Typically, our own personnel enter the rivers directly to measure depths using equipment like GPS meters and staffs. However, the width of the rivers where underground pipes cross in our supply area varies significantly. Moreover, factors like precipitation, riverbed structure, and the presence of river caves contribute to fluctuations in water depth, making it challenging to ascertain a consistent depth. Consequently, there are instances where safety cannot be fully ensured for workers conducting in-depth surveys in the rivers. This uncertainty poses a risk of safety accidents, including the serious possibility of drowning.

The primary objective of this study is to eliminate the risk of human harm associated with conducting in-depth investigations of underground pipes crossing rivers.

Beginning with an analysis of digital sensors capable of measuring depth, we would like to share this presentation with the idea of a plan to deploy these sensors to measurement points. We will also discuss the numerous trials and errors conducted to remotely measure the depth by using detection coordinates in drones. And we explore the processes aimed at optimizing field utilization and refining it into an alternative survey method known for its high accuracy and reliability.

Finally, this initiative is anticipated to transcend the limitations of the existing measurement method. Furthermore, it is expected to offer fresh approaches for remotely monitoring the depth of underground pipes across rivers, serving as a valuable model for enhancing safety within the city gas industry and achieving significant time and cost savings in riverbed depth assessments.

Keyword : 하상설치배관, 드론, 매설심도, 하천세굴, 디지털 기기  
underground pipe, drone, burial depth, scour, digital device, digital sensor

## 다중 방식 설비 간 간섭 완화 사례 발표

양승찬

미래엔 서해에너지

### Case Study on interference Mitigation among multiple cathodic facilities

Yang seung chan

*Mirae'N SeohaeEnergy*

일반적으로 배관등의 철강 구조물을 지하에 매설하여 운영할 경우, 철의 산화 환원작용에 의해 부식이 발생하게 되며, 이를 예방하기 위해 통상적으로 배관을 피복하거나 전기방식을 적용하거나 두가지를 모두 적용하여 부식을 방지한다.

그러나 이러한 배관은 전기방식 유지관리 측면에서 단독으로 운영하는 것이 가장 이상적이거나, 산업과 도시의 발달 과정에서 제한된 공간인 도로에 다수의 설비가 동시에 매설되어 운영됨은 필연적 결과라 할 수 있으며, 이로 인해 서로 간에 전기 간섭을 주게 된다.

일반적으로 강재의 방식 배관을 운영할 경우 희생양극법 또는 외부전원법을 사용하며, 이중 외부전원법의 경우 다양한 형태로 주변 시설물에 영향을 주게 되며, 양극간섭·음극간섭 또는 이 두가지가 동시에 나타나는 복합간섭의 형태로 나타나기도 하며, 특히 음극간섭이 발생하는 부위는 방치할 경우 전식으로 배관이 손상되는 것을 쉽게 볼 수 있다.

간섭의 해소는 경제성 및 유지관리 편의성 면에서 가장 이상적인 방법은 간섭이 되는 원인을 제거하는 것이나, 배관 관리상 각자의 전기 방식 상태·운전 조건 등이 상이하여 현실적으로 불가능하며, 이를 대체하기 위한 수단으로 간섭을 완화할 수 있는 다양한 방법이 고안되어 실행되고 있으나 완벽한 제거 보다는 허용범위 내의 감소를 목적으로 시행되며, 통상적으로 간섭을 받는 자 뿐만 아니라 간섭을 주는 측도 문제가 되는 형태를 가지고 있다.

타 방식 시설로 인한 간섭 문제를 해결하기 위해 사전에 반드시 주변 타 방식 시설에 대한 정보 파악 및 정확한 간섭원인에 대한 조사가 선행 된 후 각 현장에 맞는 적절한 완화조치 등이 시행되어야 하며, 간섭이 완화된 구간에 전기방식 운영이 잘못될 경우 오히려 방식 상태를 이전 보다 더 악화 시킬 수 있어 세심한 주의가 필요하다.

계속 운영 중인 시설의 전기방식 관련 문제를 조기 해결하기 위해서는 무엇보다도 방식관리자에 대한 교육훈련 및 타 방식 시설에 대한 모니터링이 필요하며, 방식관리자가 잘못된 방법으로 운영 할 경우 당사자뿐만 아니라 제3자의 방식 운영에 지장을 주기도 하며, 3가지 이상의 방식 설비가 상호간에 영향을 줄 경우 이를 해결하는 과정에서 또 다른 문제가 발생하여 방식 개선 조치 방향이 수정되기도 한다.

따라서 좁은 공간인 도로에 다양한 방식 배관이 운영할 경우 각 운영주체 간 별도의 합의를 통해 운전조건, 시설현황 등 방식관련 정보를 공유하고 협조하는 것은 매우 중요하다 할 것이다.

## 도시가스 본원적 경쟁력 확보를 위한 배관망해석 운영 고도화 방안

이도협, 류호준  
충청에너지서비스(주)

### Plan to advance pipe network analysis operation to secure fundamental competitiveness of city gas

Do Hyup, Lee, Ho Jun, Ryu  
*Chungcheong Energy Service Co., Ltd.*

#### 요 약

전국 도시가스 회사는 1980년대 도시가스 공급을 시작으로 약 40년 이상 에너지 공급을 위해 배관 공사를 병행한 수요처 공급을 지속적으로 확대하고 있으며, 이러한 노력에 따라 지난 2023년 전국 공급을 90%를 달성했다.

하지만 지속적 성장과 더불어 도시가스 공급시설의 장기 공급에 따른 노후화 및 본원적 경쟁력이라 할 수 있는 “공급압력”의 저하로 안정적 공급환경 구축 및 추가 수요개발을 위한 유지 및 보완이 필요한 상황이다.

이에 따라 도시가스 사업을 지속적으로 유지 및 성장하기 위해서는 공급환경의 안정화가 필수적이며, 이를 위해 환경변화(기온변화, 수요공급)에 따른 예측과 선제적 보완이 중요함에 따라 배관망해석 분야의 신뢰도 높은 예측이 선행되어야 한다.

이 자료에서는 위의 상황에 따라 배관망해석 고도화를 위해 현실적으로 실행 가능한 방법에 대해 소개하고자 한다.

**Abstract** - Starting with the supply of city gas in the 1980s, city gas companies across the country have been continuously expanding their supply to consumers through piping construction for energy supply for over 40 years. Through these efforts, the national supply rate of 90% was achieved in 2023. However, in addition to continuous growth, the aging of city gas supply facilities due to long-term supply and the decline in “supply pressure,” which can be considered fundamental competitiveness, require maintenance and supplementation to establish a stable supply environment and develop additional demand. Accordingly, stabilization of the supply environment is essential to continuously maintain and grow the city gas business. To this end, as prediction and preemptive supplementation according to environmental changes (temperature changes, supply and demand) are important, highly reliable predictions in the field of pipe network analysis must be made first. In this material, we would like to introduce realistically feasible methods to advance pipe network analysis according to the above situation.

Keywords: Advanced pipe network analysis, stable supply environment, supply pressure, reliability

## AI를 이용한 동절기 Peak량 예측

최준원, 이창수  
씨엔씨티에너지

### Prediction of Winter Peak Gas amount using AI

Jun Won Choi, Chang Su Lee  
CNCITYENERGY Corporation

#### 요 약

온난화가 진행됨에 따라 최근 10년 동안 평년 대비 평균기온이 1월 0.5℃, 2월 0.6℃ 상승하였다. 이로 인해 소비자의 사용패턴 변동, 난방기기 효율 증대, 건축물 단열효과 증대 등과 같은 변화가 발생하여 가스 소비량에 많은 영향을 미치고 있다. 또한 기존 동절기 Peak(m<sup>3</sup>/h)량 예측 방법을 적용할 경우 지난 4년간 평균 10%의 오차가 발생하였다. 이러한 이유로 최근 급격한 가스 사용량 변화 등을 고려한 데이터로 최대유량 예측 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 가스 소비량에 가장 큰 영향을 미치는 요인 중 기온과 유량의 변동성을 우선 고려하여 동절기 peak 유량과 기상청 예보에 기반한 일별 peak 유량 예측 모델을 개발하였다. 알고리즘은 딥러닝(LSTM), 머신러닝(SVR/CatBoost), 시계열(SARIMA) 세 가지 모델을 비교 연구하였으며, 딥러닝(LSTM) 모델은 3개년 평균 동절기(12월~2월) peak량 예측오차율이 1.3% 이내로 정확도가 뛰어났으며, 시계열 모델은 월평균(12개월) 오차율 6.5%로 뛰어난 결과를 도출했다. 이러한 데이터 기반 운영을 통하여 도시가스사의 동절기 안정적 가스공급과 배관투자 적정성을 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

**Abstract** - As global warming progresses, the average temperature has risen by 0.5℃ in January and 0.6℃ in February compared to the average year over the past 10 years. This has resulted in changes such as changes in consumer usage patterns, increased efficiency of heating devices, and increased insulation effects in buildings, which have a significant impact on gas consumption. Additionally, when applying the existing winter peak(m<sup>3</sup>/h) prediction method, an average error of 10% occurred over the past four years. For this reason, it is necessary to conduct research on predicting maximum flow using data that takes into account recent rapid changes in gas usage. In this study, we developed winter peak flow and daily peak flow prediction model based on the Korea Meteorological Administration forecast by first considering temperature and flow variability among the factors that have the greatest impact on gas consumption. The algorithm was a comparative study of three models: deep learning(LSTM), machine learning(SVR/CatBoost), and time series SARIMA). Deep learning (LSTM) had excellent accuracy, with a three-year average winter season (December to February) forecast error rate of less than 1.3%. The time series model produced excellent results with a monthly average (12 months) error rate of 6.5%. Through this, city gas companies are expected to be able to operate based on data by responding to winter supply and adequacy of piping investment.

Keywords: city gas, winter peak, gas amount, LSTM, SARIMA



## 공간정보 통합시스템 활용을 통한 도시가스 설계 정확도 향상

김대영, 윤영우  
(주)해양에너지

### The Accuracy Improvement of City Gas Pipeline Design by Using the Integrative System of Geospatial Information

Dae Young, Kim, Young woo, Yoon  
*Haeyang Energy*

#### 요 약

도시가스 공급을 위한 배관 매설공사의 시공품질은 설계 도면의 정확도에 따라 결정된다고 할 수 있다. 관로 설계의 정확도에 영향을 미치는 변수들은 여러 가지가 있으나, 그 중에서도 배관을 매설하는 지점의 지하시설물의 위치를 파악하는 것이 매우 중요하다.

지하시설물에는 대표적으로 상수도, 하수도, 가스, 통신, 전기, 송유관, 난방열관시설 등이 있다. 일반적으로 설계단계에서 지하시설물의 위치를 정확하게 파악하기 위해서는, 그 시설물을 매설한 기관에 협조를 요청하여 시설물의 위치 데이터를 받는 방법 밖에 없다.

광주광역시청은 이러한 지하시설물의 위치 데이터 관리를 위하여 공간정보 통합시스템을 구축했다. 해양에너지는 광주광역시청에 협조를 요청하여 시스템에 대한 접근권한을 부여 받았고, 이를 도시가스 설계에 활용하여 정확도를 향상 시키고 있다.

**Abstract** - The quality of pipeline construction for city gas supply depends on the accuracy of design drawing. There are several factors that affect the accuracy of pipeline design. First of all, identifying the location of the underground utilities where the pipeline set is the key factor.

The underground utilities include the water supply, sewer, gas supply, communication line, electric track, oil pipeline, district heating pipe, and etc. Typically, during design stages, requesting the geospatial data of facilities from their related organization is the only one way to find out the exact location of underground utilities.

Gwangju city hall built the integrative system of geospatial information to manage the underground utilities data. Haeyang Energy asked Gwangju city hall for cooperation to access the system and now is using the geospatial information to design the city gas pipeline for its accuracy improvement.

**Keywords:** Integrative System of Geospatial Information, Underground Utility, Accuracy Improvement of Design

## 피복손상조사 사례분석 및 관리방안

**박종인**

미래에너지해에너지

### Case Analysis and Management of pipe's coating defect survey

**Jong In Park**

*Mirae'N SeohaeEnergyt*

#### 요 약

도시가스 중압배관으로 주로 폴리에틸렌피복강관(PLP 강관)이 사용되고 있다. 노후된 폴리에틸렌피복강관은 매 주기마다 정밀안전진단, 정기검사 기밀시험으로 배관 피복의 손상을 확인함으로써 배관의 건전성을 확인할 수 있다. 이를 피복손상조사라고 한다. 피복손상조사의 방법으로는 피복손상부에서 형성되는 전위구배를 검지하는 DCVG(Direct Current Voltage Gradient) Method가 주로 사용되고 있다. 도시가스사에서는 매년 증가하는 노후 PLP 강관으로 많은 양의 피복손상조사를 실시하고 있고 이에 따라 발견되는 피복손상부 또한 증가하고 있다. 이에 따라 지금까지 당사에서 진행해 온 피복손상조사의 사례를 분석해 보았다. 해당 자료는 사례분석을 통해 발생원인을 분석해보고 그에 따른 관리방안을 제시함으로써 피복손상부의 재발을 방지하고 배관건전성을 확보하는데 그 목적이 있다.

**Abstract** - Polyethylene coated steel pipes (PLP steel pipes) are mainly used as city gas medium pressure pipes. Aged polyethylene coated steel pipes can be verified for the soundness of the pipe by confirming defect to the pipe's coating through safety diagnosis and regular inspection's airtight tests every cycle. This is called a pipe's coating defect survey. As a method of surveying coating defect, the DCVG (Direct Current Voltage Gradient) method, which detects the potential gradient formed in the coating defect, is mainly used. city gas companies are conducting a large amount of coating defect survey with aged PLP steel pipes that increase every year, and the number of coating defect found is also increasing. Accordingly, we analyzed the cases of the coating defect survey that has been conducted by the company so far. The purpose of this data is to prevent the recurrence of the coating defect and to secure the soundness of the pipe by analyzing the cause of the occurrence through case analysis and suggesting a management plan accordingly.

## 수소자동차충전소의 방폭위험지역산정(압축설비 피스톤형과 다이어프램형) 비교에 관한 연구

이욱범, 심재현, 김흥열, 임사환\*

경기대학교, \*한국가스안전공사

### The study on the comparison for Ex-HAC according to the compressor's piston type and diaphragm type in H2FS

Uk-Beum LEE, Jae-Hyun Shim, Heung-Youl Kim, Sa-Hwan LEEM\*

*Kyonggi University, \*Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

수소는 친환경적인 에너지원으로서 최근에는 지구온난화 예방을 위한 활동으로 그 용도와 사용량이 대형화되고 있으며, 2050년에는 현재 대비 6배 증가할 것으로 전망하고 있다. 수소는 탄소중립 달성을 위한 핵심수단으로서 많은 장점을 갖고 있지만, 안전상 불리한 점이 많아 새로운 용도와 다량사용에 따른 새로운 안전대책이 그 생산, 저장, 수송 및 사용 등 전 과정에서 공통적으로 필요하게 되었다. 수소자동차충전시설에서의 안전관리는 가장 기본적이면서도 매우 중요한 사항으로 사고를 사전에 방지하고 불안정한 상황을 개선하기 위한 목적을 가지고 있다. 본 연구에서는 수소자동차충전시설에서의 압축설비(피스톤형과 다이어프램형)에 따른 방폭위험지역산정을 비교하고자 한다. 이를 이용하여 수소자동차충전시설에서의 폭발사고 예방 및 안전성 향상을 위한 안전관리에 만전을 기하기를 바란다.

\* H2FS(Hydrogen Filling Station : 수소충전소), Ex-HAC(Explosion Hazardous Area Classification : 폭발위험지역구분)

## 연구실에서 흡후드 사용 시 화학물질 노출에 관한 연구

**임현중, 조규선**  
호서대학교

### Research on chemical exposure when using fume hoods in the laboratory

**Yim Hyunjong, Cho Guy sun**  
Hoseo University

#### 요 약

본 연구의 목적은 연구실에서 화학물질 노출을 최소화하기 위해 사용하는 흡후드의 면속도 변화에 따른 화학물질 노출평가를 통해 흡후드 사용에 대한 기준을 제시하는 것이다. 연구실에서 흡후드 사용 시 연구활동종사자 유무, 흡후드 내부의 장애물 유무 등에 의한 면속도를 측정하여 면속도의 변화를 확인하였으며 연구실에서 대표적으로 사용하고 있는 아세톤을 사용하여 화학노출 여부를 측정하였다. 흡후드 내부 장애물보다 외부의 연구활동종사자에 의한 공기흐름 방해가 더 큰 것을 확인하였으며 내부 장애물 및 외부 연구활동종사자는 공기흐름을 방해하고 와류를 발생시켜 흡후드 내부의 공기를 밖으로 끌어내어 흡후드 내부에서 화학물질을 사용하여도 화학물질에 노출될 수 있는 것을 확인하였다. 비슷한 면속도라도 외부에서 발생한 와류가 흡후드 내부로 들어갈 때 흡후드 공기가 더 많이 밖으로 끌어내 화학물질에 더 많이 노출되는 것을 확인 할 수 있었다. 본 연구를 통해 연구실에서 사용하는 흡후드 내부와 외부 장애물에 대한 면속도 특성 및 화학물질의 노출특성을 파악하여 연구실에서 흡후드 사용기준을 마련하고 화학물질에 노출을 최소화하는 것에 기여하고자 한다.

※ 본 연구는 2024년도 환경부의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 알칼라인 수전해장치 매뉴얼 개발에 대한 연구

김현기, 이광원<sup>†</sup>, 서두현<sup>\*</sup>, 김태훈<sup>\*\*</sup>, 홍성철<sup>\*\*</sup>, 이동민, 신단비  
호서대학교 안전공학과, <sup>\*</sup>피에스피, <sup>\*\*</sup>호서대학교 안전행정공학과

### Research on Development of Alkaline Water Electrolysis Device Manual

**Hyeon-ki Kim, Gwang-won Rhie<sup>†</sup>, Doo-hyoun Seo<sup>\*</sup>, Tae-hoon Kim<sup>\*\*</sup>, Sung-chul  
Hong, Dong-min Lee, Dan-bee Shin**

*Department of Safety Engineering, Hoseo University, <sup>\*</sup>PSP,*

*<sup>\*\*</sup>Department of Safety and Administrative Engineering, Hoseo University*

#### 요 약

탄소사회의 다양한 문제점들을 해결하기 위해 화석연료를 대체하고 수소를 주 에너지원으로 사용하는 수소경제가 주목받고 있다. 물을 전기분해하여 수소를 생산하는 방식인 수전해 방식은 온실가스 및 공해물질이 나오지 않는 그린수소를 생산하는 방식 중 하나이다.

다양한 수전해 기술 중 알칼라인 수전해 공정에 대하여 존재하는 다양한 잠재위험요인, 비상상황 및 공정운전단계에서 작업자의 인적오류 등에 대하여 안전성 확보 및 예방이 필요하다. 현재 KGS CODE AH271에 안전확보를 위한 법적사항이 기술되어 있으나 각 설비/장치별 구체적인 방안이 없어 다양한 비상정지상황에 따라 안전하게 제어 및 관리할 대책을 정성적 위험성평가인 HAZOP을 통해 연구하였다. 또한 작업자의 인적오류에 대하여 정성적 위험성평가인 JSA를 실시하여 발생 가능한 위험성을 도출하고 안전을 확보할 수 있는 방법을 찾아보았다. 전해액으로 사용되는 KOH(수산화칼륨) 및 수소의 누출이 주된 위험성으로 나타났으며 이를 토대로 세분화된 작업절차서, 체크리스트 등을 작성하고 발생한 위험요인들에 대한 대응방안 등을 매뉴얼에 반영하여 고도화시킨다면 작업자 및 설비에 대한 고 안전성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글 : 본연구는 에너지기술평가원 신재생에너지핵심기술사업(20203030040030)에 의하여 연구되었음에 감사드립니다.

## 화학물질 성상별 분리보관 알고리즘 개발에 관한 연구

홍미라, 김용필, 조규선  
호서대학교

### Research on the development of a separate storage algorithm for each chemical substance

Hong Mira, Kim Yongpil, Cho Guy Sun  
*Hoseo University*

#### 요 약

화학물질에 의한 사고는 연구자들의 생명을 위협할 뿐 아니라, 화학물질의 연쇄 반응으로 인해 대형 폭발로 이어지는 경우도 많다. 또한 연구실에서 사용하는 화학물질은 소량 다품종으로 취급하며, 여러 종류의 화학물질을 혼합하고 다양한 용복합 실험을 하기에 사고 잠재 위험이 매우 크다. 연구실의 수는 계속 늘어나고 있으며, 국가나 해당 기관에서 각종 법률이나 제도 등으로 노력하고 있으나 사고 발생은 늘어나고 있다. 연구기관에서의 화학물질은 입고되는 경로도 매우 다양하며, 연구 후에 남아 있는 화학물질에 대한 보관 및 양에 대한 파악이 어렵고 체계적인 관리가 이루어지지 않아 사고 발생 가능성이 크다. 본 연구는 화학사고를 예방하기 위하여 화학물질이 연구실에 들어오는 입고 단계부터 화학물질의 종류 및 현황을 파악하고 관리하는 방안을 제시하고, 화학물질의 성상별 분리보관 정보 및 컬러 관리코드를 활용함에 따라 사용, 보관 및 폐기 시 혼합 및 혼재 사고를 예방하는데 보다 효과적인 위험성 시각화 관리가 가능하게 하였다. 본 연구는 연구실에서 화학물질을 사용하는 데 있어 사용, 보관, 폐기의 단계의 알고리즘을 기반으로 하여 다 품종 소량의 화학물질을 체계적으로 관리하여 연구실 화학물질 사고를 예방하는 데 의의가 있다.

※ 본 연구는 2024년도 환경부의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 실험실 내 유독물질 누출에 따른 공기 중 확산 거동 특성에 관한 연구

유종철, 조규선  
호서대학교

### A study on the diffusion behavior characteristic in the air when a toxic substance is spilled in the laboratory

Yoo Jong Cheol, Cho Guy Sun  
*Hoseo University*

#### 요 약

포르말린은 환원제, 소독제, 살균제 등 다양한 농도로 연구 실험실에서 사용되고 있으며 유독물질, 사고대비물질로서 누출 사고 시 연구활동 종사자에게 치명적인 위험이 있는 물질이다. 본 연구의 목적은 실험실에서 포르말린 사용 중 사고에 의한 누출이 발생하였을 때 포름알데하이드의 공기 중 확산 거동 특성을 확인하여 안전한 사용 기준을 제시하고자 한다. 포르말린의 누출량에 따라 미국산업안전연구원(NIOSH)에서 발표한 생명과 건강에 즉각적인 위험이 있는 즉시위험건강농도(IDLH) 20ppm에 도달하는 시간을 계산하였다. 150m<sup>3</sup> 크기의 실험실에서 포르말린 250ml 누출 시 8.6초, 1000ml 누출 시 2.2초, 4000ml 누출 시 0.5초 만에 IDLH에 도달함을 확인하였다. 국소배기장치가 가동 중인 실험실에서도 다양한 요인에 의해 유독물질이 체류하는 것을 확인하였다. 공조 급기구가 국소배기장치 상부에 있고 배기구는 작업대 상부에 위치함으로써 국소배기장치에 유입된 유독물질이 유출될 경우 급기 기류에 의해 유독물질을 확산하며 배기구가 중앙에 위치하여 실험실 내부 기류가 실험실 중앙 실험대 주변에 정체되어 체감 오염도를 가중시키고 있음을 확인하였다. 본 연구를 통해 다양한 형태의 실험실에서 포르말린 누출 사고 시에도 안전을 확보할 수 있는 적절한 취급 방안 및 안전설비에 대한 기준을 제시함으로써 연구활동종사자의 안전보건 향상에 기여하고자 한다.

※ 본 연구는 2024년도 환경부의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 감지기 배치 최적화 3차원 시뮬레이터 개발

김형석, 허성민, 김재민, 정승훈, 박기선  
주식회사 헤르스

### Development of 3D Simulator for Optimization of Sensor Arrangement

Hyoungseok Kim, Seongmin Heo, Jaemin Kim, Seunghoon Jung, Kisun Park  
HERSS Co. Ltd.

#### 요약

유해·위험 화학물질을 다루는 사업장에서는 이들 화학물질 누출을 감지하기 위한 감지경보설비 설치를 당연하게 받아들이고 있다. 하지만, ‘감지기를 어디에 배치하여야 하는가’에 대한 문제는 아직도 중요하면서도 어려운 문제로 남아있다. 감지경보설비 설치에 관한 화학물질관리법, 산업안전보건법, 고압가스안전관리법 등 관련 법률에서 요구하고 있는 사항이다. 유해화학물질 취급시설 설치 및 관리에 관한 고시(11종)에 따르면 감지기는 설비군 바닥면 둘레 10m마다 1개 이상, 혹은 20m마다 1개 이상 또는 저장탱크마다 1개 이상으로 하는 등 막연하게 규정하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 해외에서는 이미 Detect3D, in:flux(Insight Numerics, LLC)와 같은 감지기 배치 최적화 및 F&G(Fire&Gas) Mapping이 가능한 소프트웨어가 개발되어 누출 감지기 최적화가 가능하지만, 매우 고가의 프로그램으로 일부 대기업에서만 활용되고 있다.

감지경보설비 설치 관련 법령은 물질의 확산 특성, 설치 환경 등의 고려 없이 획일적인 배치를 따르도록 하고 있어 외산 소프트웨어 활용이 가능한 대기업에서는 합리적으로 최적화된 배치 이외에 불필요한 감지기를 설치해야만 하는 문제가 발생하고, 중소 사업장에서는 법적 기준만을 따라 배치하여 사고대비/대응 효율이 떨어지는 배치를 선택하게 되는 문제점이 발생하고 있다. 따라서, 감지기 배치 최적화 3차원 시뮬레이터 보급과 합리적인 법령 개선이 시급한 상황이다.

본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위하여 합리적인 법령 개선의 중요성을 알리고, 고가의 외산 프로그램을 대체할 수 있는 감지기 배치 최적화 3차원 시뮬레이터인 ‘DAS3D’를 소개하고자 한다. ‘DAS3D’는 2025년 상반기 개발 완료를 목표로 개발 중이다. ‘DAS3D’는 외산 프로그램과 동일한 성능의 F&G Mapping 프로토콜과 risk based optimization 기술을 탑재하고 있으며, 전문 배경지식이 없이도 사용자가 손쉽게 사용할 수 있도록 사용자 친화적 인터페이스와 어시스턴트 챗봇을 함께 탑재할 예정이다.

- 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 화학사고 예측·예방 고도화 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (2022003620005)



## 가스누출 후 부력이 미치는 영향에 관한 연구

방부형

경기과학기술대학교

### A Study on the Effect of Buoyancy after Gas Leakage

Boohyung Bang

*Gyeonggi University of Science And Technology*

#### 요 약

대부분의 가연성 혹은 독성 물질들은 고온/고압의 상태로 처리된다. 이러한 물질의 운송 혹은 저장에 사용되는 파이프라인, 탱크와 같은 구조물 혹은 장비들은 노후화, 관리 미흡, 외부 충격 등 다양한 이유로 독성 혹은 가연성 물질을 누출시킬 수 있다. 누출된 가연성 가스는 화재 혹은 폭발과 같은 잠재적인 위험을 초래하기 때문에 유체역학적 특성을 이용하여 모델링하는 것은 플랜트 등과 같은 대형시설물의 위험분석을 수행함에 있어서 매우 중요하다. 손상된 파이프로부터 가벼운 가연성 가스가 누출되어 수직으로 상승하면 부여된 운동량 플럭스(momentum flux)와 부력이 누출된 가스를 지배하며, 이 가스는 난류와 점도(turbulent eddy viscosity)에 의해 감속되며, 동시에 주변 공기와 혼합되며 희석된다.

누출 후 독성/가연성 가스 흐름의 생성은 Prandtl's mixing length theory를 기반으로 주변 대기로 전파되는 자유 경계층 난류 흐름을 고려하여 해석될 수 있다. 그리고 이는 연료/산화물 농도와 속도의 축 대칭 형태에 대해 수치적으로 계산된 결과를 얻을 수 있다. 이때, 운동량 대비 부력의 영향이 지배되기 시작하는 과정 혹은 부력이 미치는 영향을 설명하는 것은 독성 물질의 확산을 해석하기 위한 준비단계로서 중요한 부분이며, 또한 가연성 가스라면 부력에 의한 농도 희석, 환경조건에 의한 확산 전의 단계에서 농도 크기를 해석하기 위해서라도 중요한 부분이다.

본 연구에서의 결과는 독성/가연성 가스 흐름 발생 시 위험 수준을 평가하는 엔지니어에게 유용한 결과를 제공할 수 있으며, 정량적 위험도를 평가하는 방법과 혼용하여 위험도 등고선을 작성할 수 있다.

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

## 현장에서 제조되는 수전해설비의 국내·외 기준분석 및 안전기준 개발

추지안, 조은성, 정재환, 이정운<sup>†</sup>  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Analysis of Domestic and International Standards and Development of Safety Code for Water Electrolysis Facilities Manufactured on Site

JIAN CHOO, EUNSUNG JO, JAEHWAN JUNG, JUNGWOON LEE<sup>†</sup>  
*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

수소법 하위 수소용품에 대한 상세기준인 KGS Code 중 수전해설비에 대한 상세기준인 KGS AH271(수전해설비 제조의 시설·기준·검사 기준)은 2021년 8월 제정되어 현재 시행되고 있다. 해당 기준은 알칼라인 수전해설비, AEM 수전해설비 및 PEM 수전해설비에 대해서 해당 설비와 부대설비에 대한 제조 기준을 규정하고 있다.

현재의 KGS AH271은 수전해설비를 용품으로 고려하여 제정한 기준으로 규모에 대해 별도로 규정하고 있지 않으나 최근 대용량 혹은 현장제조형 수전해설비의 기술 개발이 진행됨에 따라 이에 대해 안전기준 합리화를 진행하고자 한다.

이에 따라, 대형 설비로서 현장에서 제조하고 설치하는 ‘현장제조형 수전해설비’에 대한 추가적인 안전기준 개발을 위해 연구를 진행하고 있다. 이를 위해 본 연구에서는 수전해 설비의 국내·외 기준 분석과 그에 따른 안전기준의 적용 방향을 검토하였다. 또한 이러한 연구 내용을 바탕으로 KGS Code의 개정 방향을 도출하여 일부 사항에 대해 개정을 진행하였다.

본 과제의 최종 목표는 현장제조형 수전해설비에 대한 KGS Code의 개정 방향을 지속적으로 도출하여 수소산업의 발전과 활성화에 맞춰 안전기준 향상에 기여하는 것이다.

### 3 Ton/day급 탄소포집형 수소생산기지 구축현황

**이승환, 박종한**

제이엔케이글로벌(주)

### Status of Construction of 3 Ton/day Hydrogen Production Facility With Carbon Capture Storage and Utilization

**Seung Hwan Lee, Jong Han Park**

*IJNK Global Co. Ltd.*

#### 요 약

2019년 정부의 수소경제활성화 정책이 도래된 이후 현재까지 수소는 수송, 발전 뿐 아니라 전반적인 산업에서 사용되고 있으며, 특히 수송분야에 있어서 넥소 등 수소전기차와 수소버스, 트럭 등 상용 차량을 포함하여 현재 약 22,000대 정도 보급되어 있다. 수소차의 보급은 점차 증가하는 추세이나, 현재 수소의 공급은 다소 제한적이다.

현재 수소는 대부분 화학공정등에서 발생하는 부생가스로부터 생산되어 공급되고 있으나, 이렇게 만든 부생수소는 대부분 각 공정별로 회수하여 자체 소비하며, 수송, 발전 등 소비 목적으로 유통되는 물량은 매우 제한적이며, 이에 따라 수소차의 보급이 증가함에도 불구하고 수소의 공급이 점차로 부족해 질 것으로 예상된다.

수소 공급의 증대를 위해서 현재 여러 가지 방법을 시도하고 있는데, 이 중 경제적으로 수소를 생산할 수 있는 방법으로는 도시가스(천연가스)를 개질하여 수소를 생산하는 것으로 현재 창원, 평택, 삼척, 인천 등에서 산업부 지원으로 분산형 수소생산기지가 구축되어 수소를 생산하고 있으나, 이 과정에서 수소 1kg 생산에 이산화탄소 등 온실가스가 약 10 kg 정도 발생하는 문제가 있다.

정부에서도 이런 점을 의식하여 2023년 탄소포집형 수소생산기지 사업을 진행하였으며, 이 사업에 충북 청주시가 선정되었으며, 제이엔케이글로벌은 이 사업의 컨소시엄에 참여하여 수소생산기지 구축사업 진행하고 있다.

본 발표에서는 현재 기 구축되어 운영중인 수소생산기지 현황 및 청주에 2025년 완공 예정인 3 ton/day급 탄소포집형 수소생산기지 사업에 대한 진행현황에 대해 설명하고자 한다.

## 수전해 평가장비를 이용한 수전해 셀의 평가분석 방법

양종원, 추천호, 나일채\*  
(주)에티스, \*(주)씨엔엘에너지

### Eco-friendly hydrogen production method through water electrolysis technology

**Jongwon Yang, Cheunho Chu, Ilchai La\***  
*ETIS Co.,Ltd, \*CNL Energy Co.,Ltd*

#### 1. 서론

수소는 자연 상태에서는 독립적으로 존재하지 않고 대부분 여러 가지 원소와 결합한 화합물 형태로 존재한다. 따라서 에너지원으로 만들기 위해서 별도의 생산 과정을 거쳐야 한다. 석유화학 공정이나 철강등을 만드는 과정에서 부수적으로 발생하는 ‘부생수소’, 천연가스를 고온 및 고압에서 분해해 생성하는 ‘개질수소’, 물을 전기분해해 수소를 만드는 ‘수전해’가 수소를 생산하는 대표적인 방식이다. 이중 수전해는 태양광, 풍력에너지 등 재생에너지를 통해 물을 전기분해하여 고순도(99.9999%)의 그린수소를 추출할 수 있어 친환경적이며 탄소중립 시대에 궁극적으로 추구해야 할 기술로 각광받고 있다. 수전해에 사용되는 전반적인 기술에 대해 설명하고, 기사에서 수행한 수전해 기술에 대해 소개하고자 한다.

#### 2. 이론

수전해 반응이 일어나는 반응기는 주로 Membrane을 기준으로 산화반응이 일어나는 Anode극과 환원반응이 일어나는 Cathode 극으로 나뉜다. Anode극에서는 전기화학적으로 산소 산화 반응인 OER(oxygen evolution reaction)이 일어나며, Cathode극에서는 전기화학적으로 수소 환원반응인 HER(hydrogen evolution reaction)이 주로 발생한다. 상대적으로 느린 반응인 OER반응이 율속반응이며, 수전해반응에 쓰이는 촉매를 개발한다면 이를 더욱 빠르게 하기 위한 Anode 극 촉매를 주로 연구하며, OER반응이 일어나는 전극의 구조, 재질 등을 변화시키며 전체 반응의 과전압이나 활성화에너지를 낮추는 연구를 많이 진행하고 있다.

또한, 촉매 반응성 증가에 따른 전체적인 성능 증가연구 뿐만 아니라 시스템의 지속적인 수소 생산을 위한 내구성평가도 중요한 항목 중 하나이다. 이를 위해 전극의 내구성, Membrane의 내구성 및 계면에서의 내구성 등 여러 가지 항목들을 비교 평가한다.

생성된 수소를 실제 사용하기 위해서는 수소의 순도 또한 중요한 인자중에 하나이다. 만약 수전해 반응을 통해 수소극인 Cathode 측으로 산소가 넘어가게 된다면, 수소의 순도가 낮아지는 문제 뿐만 아니라 폭발의 위험까지 존재하게 된다. 이를 위해 수전해 반응의 내구 평가항목 중 gas cross-over를 분석하여 실제 반응기에서의 수소 순도 분석이 필요하다.

#### 3. 실험

모든 실험은 CNL에서 제작한 PEMWE(Proton Exchange Membrane Water Electrolysis)용 Single cell 및 Test station에서 진행하였고, Single cell의 active area

는 25cm<sup>2</sup>를 적용하여 평가하였다.

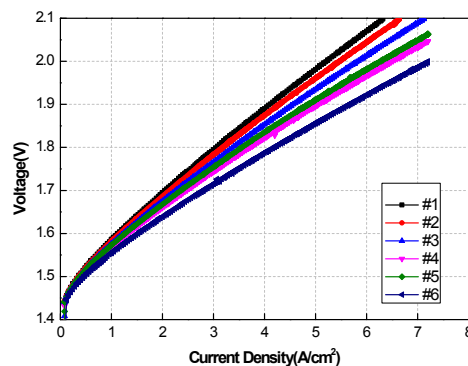
촉매 잉크를 제조하여 Membrane에 데칼 방법으로 도포한 Membrane-electrode-assemblies (MEAs)를 적용하였고, Anode 촉매는 IrOx/ATO를 사용하였고, Cathode 촉매는 Pt/C를 도포하여 사용하였다. 촉매 로딩량은 목표로 하는 타겟 로딩량에 따라 1.0mg/cm<sup>2</sup>~ 4.0mg/cm<sup>2</sup> 까지 다양하게 Anode 촉매로딩량을 변화시키며 최적화 테스트를 진행하였다. Anode전극으로는 Ti 재질의 PTL(porous transport layer)을 적용하였고, Cathode전극으로는 GDL을 적용하여 평가하였다.

연료로 공급하는 증류수의 온도와 Cell의 온도는 80℃로 히팅하여 평가하였다. 외부 전원장치인 power supply를 이용하여 전압과 전류를 기록하였으며, Biologic HCP-803 potentiostat을 이용하여 EIS 분석을 진행하였다. 평가과정에서 생성되는 수소와 산소의 cross-over 율을 평가하기 위해 Anode와 Cathode에서 발생하는 산소와 수소배관에 가스분석기를 설치하여 H<sub>2</sub> in O<sub>2</sub> / O<sub>2</sub> in H<sub>2</sub> 비율을 비교 분석하여 cross-over 정도를 평가하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 Polarization curve

제조한 MEA를 25cm<sup>2</sup> Single cell에 적용하여 Polarization curve 분석을 진행하였고, 1A씩 전압을 증가시키며 변화하는 전압을 측정하였다. 각 촉매 로딩량 및 Membrane의 종류별로 비교 분석하여 각각에 대한 수전해 전류-전압 곡선을 비교하였다.

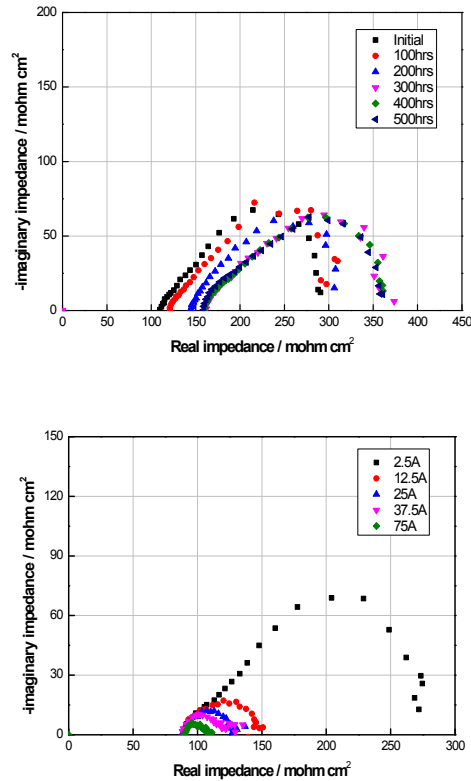


Cell 온도 및 Water 온도 80℃에서 평가를 진행하였고, 전류량을 0A부터 최대 180A까지 측정을 진행하였다. 구동 전압은 2.1V가 넘어가지 않게 Limit Voltage를 선정하였으며, 최대 성능을 나타내는 샘플은 2.0V기준 7.2A/cm<sup>2</sup> 성능을 나타내었다.

### 4.2 EIS

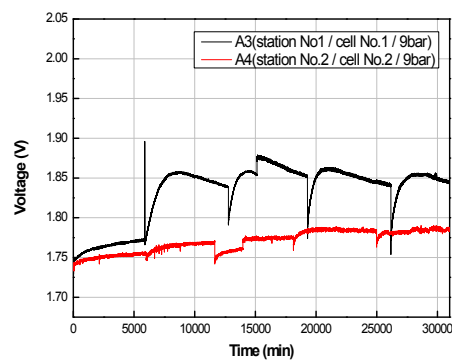
Cell 성능 평가후 EIS 분석을 실시하였다. 동일 전류밀도 0.1A/cm<sup>2</sup> 기준 내구성 평가를 진행한 100h 마다의 샘플에서의 EIS 변화값 분석을 진행하였고, 초기 HFR값인 약 103mΩ\*cm<sup>2</sup> 와 비교하여 500h 후의 HFR값은 160mΩ\*cm<sup>2</sup> 값으로 약 57mΩ\*cm<sup>2</sup> 증가한 것을 확인할 수 있었다.

또한 EIS 분석방법으로 동일샘플에 전류값을 변화시키며 각 전류값에 대한 EIS 변화값을 분석하여 CTR 형상이 어떻게 변화하는지에 대한 분석도 추가로 진행하였다.



### 4.3 Chronoamperometry

2.0A/cm<sup>2</sup>로 500h 동안의 내구성 평가를 진행하였다. 동일 전류밀도대비 전압의 변화를 기록하여 그래프로 나타내었고, 각 샘플은 100h마다 EIS 측정을 하기 위해 Stop/Start를 진행하였다. 또한, 500h 내구성 평가를 진행중에 MEA 및 전극의 내구성 변화에 따른 생성되는 수소 및 산소의 농도를 비교 분석하여, 각각의 가스에서의 cross-over를 기록하였다.



샘플의 특성에 따라 동일 전류량 기준 초기 전압값은 동일하게 시작하였으나, 내구성 평가 중 전압값에 변화가 다른 양상으로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이는 각 Membrane의 안정성, 전극 계면과 내면의 안정성, MEA에 존재하는 촉매의 안정성 등에 영향을 미쳐 점차적으로 성능이 낮아지는 현상이 있음을 나타내었다. 이러한 분석을 통해 수소 생산에 필요한 장기 평가에서의 샘플 안정성을 비교

분석할 수 있다.

## 5. 결론

수전해 평가장비를 이용해 평가조건을 변경하며 여러 가지 평가 방법에 따른 분석을 진행하였다. Polarization curve 분석, EIS분석 및 Chronoamperometric 분석등을 토대로 수전해 연구를 위해 필요한 분석방법등을 소개하였고, 결과에 대한 지표가 될수 있기를 희망한다. 향후 고순도의 친환경 수소를 제조하기 위한 장기 내구성 평가에 대한 고려사항이나, 분석 가능한 부분들에 대해 소개함으로써 앞으로 있을 수소사회로의 디딤돌이 되고자 한다.

## 6. 참고문헌

- [1] A. Nouri-Khorasani., E. T. Ojong., T. Smolinka, and D. P. Wilkinson, The Model of oxygen bubbles and performance impact in the porous transport layer of PEM water electrolysis cells, 42 28665-28680, (2017)
- [2] C. Immerz., M. Paidar., and R.Hanke-Rauschenbarch, Effect of the MEA design on the performance of PEMWE single cells with different sizes, 48 701-711, (2018)
- [3] A. Lim., J. Kim., H. J. Lee., H-J. Kim.m S. J. Yoo., J. H. Jang., H. Y. P., Yung-Eun. Sung and H. S. Park., Low-loading IrO<sub>2</sub> supported on Pt for catalysis of PEM water electrolysis and regenerative fuel cells, 272 118955, (2020)
- [4] A. Lim., J. Kim., H. J. Lee., H-J. Kim.m S. J. Yoo., J. H. Jang., H. Y. P., Yung-Eun. Sung and H. S. Park., Low-loading IrO<sub>2</sub> supported on Pt for catalysis of PEM water electrolysis and regenerative fuel cells, 272 118955, (2020)

## 수전해 시스템에서 혼합가스의 형성원인, 문제 그리고 해결 방안

문상봉, 최윤기, 셀리말, 문창환  
엘켄텍

### Cause, problems, and solutions of mixed gas formation in water electrolysis systems

Sang-bong Moon, Yun-ki Choi, Cellymall Nguina Poussou, Chang-whan  
Moon  
*Elchemtech*

#### 요 약

기후변화 위기에 효과적인 대응중의 하나는 수소를 이용하는 수소경제 모델이며, 이에 수소 기반의 산업은 2019년 이후 세계적으로 빠르게 확산되고 있다. 수소경제 모델의 핵심은 그린 수소를 생산하고 이용하는 것으로, 그린 수소는 물 전기분해에 필요한 전력원을 재생에너지로 이용하고, 물을 분해하여 수소를 생산하는 것으로, 생산 과정에서 CO<sub>2</sub> 발생량을 최소화한 것이 특징이다.

모든 수전해 방식에서 수전해 구성은 산소가 발생하는 양극실, 수소가 발생하는 음극실, 생성된 수소가스와 산소가스를 분리하는 분리막, 전해질로 구성되며, 전해질과 분리막에 적용 방식에 따라 양이온 교환막 수전해 (Proton exchange membrane electrolysis, PEMWE), 음이온 교환막 수전해 (Anion exchange membrane water electrolysis, AEMWE) 및 알카라인 수전해로 구분된다.

모든 수전해의 안전은 수전해에 사용되는 분리막 때문에 발생한다. 분리막은 다공성이기 때문에 음극실의 수소 가스와 양극실의 산소 가스를 완벽하게 차단할 수 없으며, 이에 생성된 가스가 반대편 가스실로 확산 또는 crossover가 일어난다. 분리막 특성에 의해 crossover양은 결정되며, 안전 운전을 위해 혼합가스의 폭발한계인 산소 내 수소농도 2% 이하 조건에서만 운전할 수 있다.

본 발표에서는 수전해 시스템에서의 혼합가스 형성과 문제, 그리고 이를 해결하기 위한 방안에 대하여 논의하고, 엘켄텍에서 수행하고 있는 혼합가스 억제를 위한 스택의 품질관리, 시스템에서 해결 방법 등도 논의할 것이다.



## 미코파워의 수소 생산과 활용 기술개발

김정섭, 박진수, 박진아, 최성호  
(주)미코파워

### Hydrogen Production and Utilization Technology Development of MiCoPower

Jeongseob Kim, Jinsu Park, Jinah Park, Songho Choi  
*MiCoPower*

#### 요 약

SOC(Solid Oxide Cell)는 700~800°C의 고온에서 작동하여 높은 촉매 활성도와 함께 전력생산(SOFC)과 수전해(SOEC) 양방향에서 모두 높은 효율을 가지며, 동일한 전극구성으로 전력생산과 수전해 모드를 운전할 수 있다는 장점을 가진다. 이러한 SOC 기술은 탄소중립을 위한 수소의 생산, 활용분야에 있어 핵심역할을 할 것으로 예상된다.

SOC셀의 구동온도를 낮추면 셀의 열화 속도 감소에 따른 셀의 내구성 향상 및 시스템 부품의 상용소재의 활용으로 시스템의 경제성이 증가한다. 하지만, 일반적으로 SOFC운전보다 SOEC운전에서 열화속도가 빠르기에 최적의 SOEC 스택 운전조건을 도출하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 중저온 SOFC 구동을 위한 미코파워의 셀과 스택의 개발방향과 SOEC 운전에서의 스택 평가특성을 구동조건 중심으로 소개하고자 한다.

본 논문은 2022년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원 소재부품 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 20020284).

## A comparative study of catalytic ammonia cracking process for green hydrogen: process design and integrative analyses

**Junho Hwang<sup>1,2</sup>, Wangyun Won<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Department of Chemical and Biological Engineering, Korea university, Korea*

*<sup>2</sup>Department of Chemical Engineering, Konkuk university, Korea*

### **abstract**

Hydrogen is pivotal chemical element for future carbon neutrality. Green ammonia, produced by renewable energy sources is an essential chemical for hydrogen carrier. Ammonia has a higher boiling point than hydrogen, which means less that energy and carbon emissions are required to liquefy it. Moreover, its stability makes it easy to store and transport over long distances. However, it is energy-intensive to decompose ammonia for hydrogen production. To overcome this, various catalysts for ammonia cracking have been studied, and there is a lack of research on the economic and environmental analysis of the cracking process for various catalysts. In this work, we selected various metal catalysts and designed the ammonia cracking process for each. Techno-economic analysis used to calculate minimum selling price of green hydrogen, and selected promising catalysts that could be used in the actual process.

## 알칼라인 수전해 실증 사례 소개

신현수, 현준택, 이승현, 김정식  
(주)테크윈

### The case study and issues of demonstration plant for alkaline water electrolysis

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

#### 요 약

탄소중립 시대를 위한 핵심 에너지원으로 수소가 주목받고 있다. 재생에너지와 연계되어 그린수소를 생산하는 전세계 수전해 장치 시장은 알칼라인과 PEM 수전해가 양분하고 있으며, 이 중에서도 시장의 75%를 선점하고 있는 알칼라인 수전해 기술은 한국형 탄소중립 100대 핵심기술로 선정되어 중요도가 증대되고 있고, 기술 성숙도가 가장 높은 대형화와 상업화에 가장 근접한 수전해 기술이다. 다만, 강알칼리 수용액을 사용하는 것과 다공성막 사용으로 수소/산소 가스의 교차혼합이 발생한다는 단점이 존재한다. 특히, 재생에너지의 출력 부하변동성에 따른 수소가스Z해되는 것 아닌지에 대한 의구심이 증가되고 있는 상황이다. 이에 본 발표에서는 알칼라인 수전해 장치의 누적 운전 840시간(연속 운전 500시간) 동안의 실증 사례와 수소법에 따른 인허가(KGS code AH271) 사례를 소개하고자 한다.

Acknowledgment : 본 연구는 2020년 정부(산업통산자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.20203030040030).

Key words : Alkaline water electrolysis, Cross over, Licensing, Demonstration case, Green hydrogen

## 수소항공 모빌리티 수소 충전 안전기술 연구

정재환, 김보구, 이정운<sup>†</sup>  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### A study on the hydrogen refueling safety technology about the aircraft using hydrogen fuels

**JAEHWAN JUNG, BOGOO KIM, JUNGWOON LEE<sup>†</sup>**  
*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

지구온난화로 인한 환경파괴를 예방하기 위해 다양한 산업분야에서 CO<sub>2</sub> 배출을 감축하는 정책을 수립 및 이행하고 있다. 항공 산업계에서도 ICAO(국제민간항공기구) 주도로 CORSIA(Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) 정책을 통해 항공운송 분야에 대한 탄소 감축 계획을 수립하여 2050년까지 Net Zero를 달성하기로 합의했다. 국내 또한 도심의 교통혼잡에 대한 사회적 비용 ( '18년 기준 67조원)과 탄소배출 감소를 위해 도심항공교통(UAM)에 대한 연구 및 정책 지원을 확대하고 있다. 항공 모빌리티의 동력원으로 CO<sub>2</sub>를 실질적으로 저감 할 수 있는 기술은 수소를 이용한 연료전지, 가스터빈 기술이며, 전 세계적으로 다양한 연구가 진행되고 있다. 대표적인 기업으로 미국의 ZeroAvia, 독일의 H2FLY 및 APUS, 국내의 경우 현대자동차, 한화솔루션 등의 기업들이 있다. 수소항공 모빌리티의 활용을 위해서는 필수적으로 수소충전 기술 및 인프라가 지원되어야 하나 국내의 경우 수소항공 모빌리티에 수소를 충전하는 시스템은 이제 막 걸음마 단계로 항공 모빌리티 전용 수소 충전소는 없고, 고압가스 용기에 수소를 충전해 탈부착하는 단계이다. 본 연구를 통해 수소항공 모빌리티에 수소를 충전 할 수 있는 다양한 방법들과 법령 또는 KGS Code 등에서 제도적으로 수소 충전이 가능한 기술에 대해 검토하고자 한다. 또한 수소 충전 및 용기 탈부착 과정 중 발생 할 수 있는 위험요소 분석을 통해 수소항공 모빌리티의 충전과 관련된 안전 기술기준을 개발해 향후 수소항공 모빌리티의 연구 및 활용을 위한 수소충전 안전 기술을 제시하고자 한다.

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (과제번호 : 20026641, 2023년)

## 순수 수소 건물용 연료전지 시스템(5·10kW급) 개발

차정경, 김성호  
범한퓨얼셀(주)

### Development of pure hydrogen building fuel cell system(5·10kW class)

**JUNG KYUNG CHA, SEONG HYO KIM**  
*Bumhan Fuel Cell CO.,LTD.*

#### 요 약

연료전지는 수소와 공기(산소)의 화학반응을 통해 전기 에너지를 얻는 친환경 고효율 발전장치이다. 이미 상용화된 발전설비나 자동차 분야 뿐 아니라, 다양한 모빌리티 분야로 적용 가능하며, 특히 친환경 에너지원으로는 궁극적인 대안으로 여겨지고 있다.

본 개발 기술은 순수수소와 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)를 통해 전기를 생산하는 방식으로 수소를 직접 연료로 활용하여 발전효율을 높인 것이 특징이다. 향후 정부의 수소 로드맵에 따라 수소 공급을 위한 수소 인프라가 확대, 궁극적으로 순수 수소 건물용 연료전지가 가정·건물용의 보편적인 발전시스템을 적용될 것으로 예상된다. 하지만 현재의 건물용 연료전지 시장은 과도기를 겪고 있는 상황이다. 건물용 연료전지는 정부의 신재생에너지 공급의무화제도에 따라 보급되고 있지만 높은 도시기스비와 전력생산 단가 등의 이유로 가동률은 50% 수준에 머무르고 있다. 본 개발 순수 수소 연료전지시스템으로 건물용뿐만 아니라 모빌리티용으로도 응용 개발중이다.

“본 연구는 산업통상자원부에서 지원하는 신재생에너지기술개발 사업에 의해 수행되었음.”

## 14톤급 건설 중장비용 수소연료전지 파워시스템 안전기준 개발

김보구<sup>†</sup>, 권혁준, 유수연, 이정운  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Safety Code Development of Fuel Cell Powerpack System for 14ton Heavy Equipment

**BOGU KIM, HYEOKJUN GWON, SUYEON YU, JUNGWOON LEE<sup>†</sup>**  
*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

지난 '23년 정부는 수소 안전관리 로드맵 발표를 통해 수소 생산, 수소 발전, 수소 설비에 대한 안전기준 개발 및 안전관리를 내용으로 수소 강국으로의 도약하겠다는 비전을 밝혔다. 이동형 연료전지는 세계 1등 수소 산업 육성 추진을 위한 7대 전략 분야 핵심 기술 중 하나로써, '22년 2월, 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」에서 수소용품으로 규정됨에 따라 수소용품을 제조하려는 자는 판매 또는 사용하기 전 같은 법 시행규칙 및 상세기준인 KGS Code에서 정하는 시설기준과 기술기준을 준수하여야 한다. 이동형 연료전지 관련상세기준은 현재 2종 [KGS AH372(지게차용), KGS AH373(드론용)]으로 운영하고 있으며 지게차, 드론 이외에도 선박, 건설기계, 농기계, 비행체 등 다양한 수소모빌리티 상용화를 위하여 안전기준(안) 마련을 위한 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 기존 건설기계에 주로 사용되는 디젤엔진 대체 및 차세대 친환경/저소음 건설기계 시장 경쟁력 확보를 위한 14톤급 건설 중장비용 수소연료전지 파워시스템 안전기준 개발에 대해 논하고자 한다. 건설 중장비용 수소연료전지 파워팩 안전기준(안) 도출을 위해 현재의 기술 현황을 파악하고 그에 따른 국내·외 기준의 적용 항목을 분석한다.

최종적으로 건설 중장비용 수소연료전지 파워팩 위험요소 분석 및 위험성평가를 통해 안전기준 제·개정(안)을 도출하는 것이 목표이다. 향후 법제화 추진을 통해 이동형 연료전지 산업 발전 및 활성화에 기여하고자 한다.

\* 본 연구는 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (No. RS-2020-3040030040, 14톤급 건설 중장비용 수소 연료전지 파워시스템 개발 및 실증)

## 수소트랙터용 연료전지 파워시스템 개발 및 실증 전략

박영철, 홍진석, 김호진, 우명남, 원종보  
현대모비스 연료전지시스템개발셀

### Development Strategy of Fuel Cell Power System for Hydrogen Tractor

Young Chul Park, Jin Seok Hong, Hyo Jin Kim, Myeong Nam Woo, Jong Bo Won  
*HYUNDAI MOBIS, FUEL CELL SYSTEM DEVELOPMENT CELL*

#### 요 약

무한 청정에너지인 수소는 미래의 주요 에너지원으로써 철도, 선박, 지게차, 드론 등의 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. New Holland사는 2020년 기존 T6000 플랫폼에 연료전지 시스템과 수소탱크 등을 탑재한 수소트랙터를 발표하였으며, John Deere사는 2008년 마일드 하이브리드 제품 출시를 시작으로 2019년 500kW급 대형 전동화 트랙터 컨셉 모델 등을 발표하였고, 중국 국립농기계혁신 및 창조 연구소(CHIAIC)는 2020년 최대속도 30kph, 최대출력 38kW인 연료전지-배터리 하이브리드 트랙터를 발표하였다. 본 발표에서는 당사에서 현재 개발하고 있는 농기계 트랙터용 수소연료전지 파워시스템 개발 현황 및 실차 실증 전략에 관해 간략히 소개하고자 한다.

※ 본 연구내용은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 친환경동력원적용농기계기술개발사업(과제번호322047-5)의 지원으로 진행됨.

## 수소법 하위 트랙터용 이동형 연료전지 안전성능 제품기준 개발연구

서혜원, 유수연, 김보구, 이정운<sup>†</sup>  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### An Study on the Development of the Product Standards for Safety Performance of Portable Fuel Cells for Tractors under the Hydrogen Law

Hyewon Seo, Suyeon Yu, Bogu Kim, JungWoon Lee<sup>†</sup>  
*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

정부는 수소산업 육성 등 새로운 수소 정책 방향에 맞추어 청정수소 중심의 '수소안전관리 로드맵 2.0'을 발표하였다. 수소경제 전주기 중 활용 부분에 속하는 이동형 연료전지는 현재 다양한 활용처 분야에 적용되고 있으며 농업용 기계 분야에서도 환경오염 문제 해결을 위해 친환경 솔루션으로의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이에 따라 농업용 트랙터 이동형 연료전지에 대한 안전기준의 개발이 재촉되는 실정이다.

본 연구에서는 농업용 트랙터 이동형 연료전지 안전성능 평가항목 도출을 목적으로 기준 분석을 진행하였다. 이후 트랙터의 운전환경을 분석하여 내진동 성능 IP등급 등에 대한 다양한 기준을 분석하고 적절한 안전성능 평가 항목을 도출하였다. 이와 같은 연구를 통해 도출한 기초자료는 수소법에 따른 KGS Code 개정안 개발에 활용되어 트랙터용 수소연료전지의 안정적인 보급에 기여하고 국내 수소 경제의 성장에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 2022년도 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 322047-5)



## 모빌리티용 수소연료전지 현황 및 전망

서동준, 오현진, 오동조  
한화에어로스페이스(주)

### Current State And Forecast Of PEMFCs For Mobility

Dong-Jun Seo, Hyun-Jin Oh, Dong-Jo Oh  
*Hanwha Aerospace*

#### 요 약

온실가스 감축을 위한 전 세계적인 움직임으로 탄소중립 선언 및 탄소기반 무역 규제가 시행되며 기업들의 경영리스크 및 비용투자는 증가하고 있다. 이러한 변화에 발맞춰 모빌리티 산업에서는 탄소저감 기술이 적용된 고효율 내연기관 도입 및 지속 가능한 항공연료(SAF, Sustainable Aviation Fuel) 사용 등을 도입하고 있지만, 궁극적으로는 이산화탄소 배출이 전혀 없는 전기배터리 및 수소연료전지(PEMFC, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell) 항공기 도입을 위한 연구개발로 환경 규제에 대응하기 위한 노력이 필요하게 되었다. 특히, 수소연료전지는 수소의 화학적에너지를 전기에너지로 직접 변환하여 발전하는 방식으로 탄소배출 없이 높은 에너지밀도를 갖고 있어 장거리용 에너지원으로 주목받고 있다.

본 발표에서는 수소연료전지를 항공용으로 설계하여 상용화를 준비하는 주요 업체들의 전략을 분석해 보려고 한다. 또한 선박용으로 설계하기 위해 고려된 수소연료전지 시스템의 특징을 분석하여 모빌리티용 수소연료전지의 현황과 전망을 논하고자 한다.

## 수소용품 어플리케이션 실증을 위한 규제 샌드박스 진행 현황

**박주연, 원종보, 김현정, 박영철<sup>†</sup>**  
현대모비스 연료전지시스템개발셀

### Demonstration of Hydrogen Fuel Cell Non-vehicle Application by Regulation Sandbox

**Zuh Youn Vahc, Jong Bo Won, Hyun Jeong Kim, Young Chul Park<sup>†</sup>**  
*HYUNDAI MOBIS, FUEL CELL SYSTEM DEVELOPMENT CELL*

#### 요 약

「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」(이하 “수소법” 이라 한다)은 2020년 세계 최초로 제정돼 2021년부터 시행된 법안으로 수소용품에 대한 검사는 2022년 2월 5일부터 시행되었다. 현재 수소용품에 해당하는 물품은 고정형 연료전지, 이동형 연료전지 (드론, 지게차), 수전해 설비, 수소추출 설비로 5종에 대한 검사 코드가 마련되어 있으며, 5종에 대한 수소용품 검사는 한국가스안전공사에서 2022년부터 활발하게 진행되고 있다. 수소법에 의하면 검사코드가 있는 위 5종을 제외하고는 법적으로 수소용품의 유통 및 판매, 전기 생산이 제한되어 있어 연구 개발 단계에 있는 비차량용 연료전지 시스템의 실증에 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 정부에서는 2019년부터 규제 샌드박스 제도를 시행하고 있다. 규제 샌드박스는 새로운 제품이나 서비스가 출시될 때 일정 기간 동안 기존 규제를 면제, 유예시켜주는 제도로, 현대모비스에서는 수소연료전지가 적용된 다양한 어플리케이션들의 실증을 이 제도를 통해 진행하고 있다. 본 발표에서는 현대모비스에서 개발 중인 수소용품이 적용된 비차량 시스템을 소개하고 규제 샌드박스를 통한 실증 진행상황에 대해 설명하고자 한다.

※ 본 연구는 산업통상자원부의 에너지기술개발사업(20213030030100, 최대이륙중량 200kg급 비행체용 순정격출력 30kW급 연료전지 파워팩 시스템 개발)에 지원을 받아 수행 되었습니다.

## 수소충전소 정성적 안전성평가(HAZOP study) 사례 연구

**탁송수**

극동대학교 친환경에너지공학과

### A Study on the Qualitative Risk Assessment(HAZOP study) Cases of Hydrogen Refueling Stations

**Tak Song Su**

*Department of Green Energy Engineering, Far East University, Korea*

#### 요 약

2050 탄소중립 사회로의 이행 및 환경과 경제의 조화로운 발전이라는 국가 비전을 실현하기 위한 탄소중립 정책은 매우 중요한 주제이다. 이에 세계 각국에서는 에너지 생산 및 소비, 산업 공정 등 다양한 분야에서 무탄소 및 저탄소 정책들이 추진되고 있다.

우리나라도 “2050 탄소중립”을 국제사회에 천명하고, 2020년 2월 세계 최초로 ‘수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률’을 제정하였으며 2030년까지 수소차 30만대 보급, 수소충전소 660기 이상 구축목표 등 수소를 주요 에너지원으로 사용하는 경제 산업구조의 정책목표를 제시하였다.

그러나, 수소충전소 등 수소인프라에 대한 막연한 국민의 불안감으로 주민 반대 등의 민원이 야기되어 구축이 지연되는 사례가 일부 발생하고 있다. 이에, 본 연구에서는 국민생활과 밀접한 수소충전소에 대해 실제 수행한 정량적 안전성평가(HAZOP) 절차, 내용과 평가결과 도출된 위험요인에 대한 안전조치 강화방안 등 수소충전소의 시공 및 운전상 안전성 확보방안을 공유하고자 한다.

## 암모니아 기반 선박용 연료전지 안전기준 개발 연구

최훈, 김선민, 조은성<sup>†</sup>  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Development of Safety Code for Fuel Cells for Ammonia-Based Ships

Hun Choi, Seonmin Kim, Eunsung Jo<sup>†</sup>  
*Institute of Gas safety R&D, Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

IMO(국제해사기구)의 MEPC(해양환경보호위원회) 80차 회의에서 2050년까지 전 세계 해운업계 온실가스 배출량의 '넷제로(Net Zero)' 달성을 목표로 하는 '2023 IMO 선박 온실가스 감축 전략'이 채택됨에 따라, 해운업 분야에서 온실가스 배출량 감축이 주요 화두로 떠올랐다. 이에 대응하기 위해 연료전지 등 친환경 동력원을 사용하는 선박에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이처럼 늘어나는 수소 수요에 대한 공급 방안으로 암모니아가 유력한 대안으로 제시되고 있다. 차세대 수소 캐리어로 각광받는 암모니아는 기존의 운송 인프라 활용이 용이하고, 단위부피 당 수소 저장 밀도가 액화 수소 대비 1.7배 높다는 점 등의 장점을 가졌다.

이러한 상황에서, 국내 친환경 선박 시장 활성화 방안의 일환으로 제품 검사를 위한 안전기준 개발의 필요성이 대두되고 있다. 현재 수소법에 따른 이동형 연료전지 검사기준은 지게차, 드론 등 두가지의 활용처에 대해서만 KGS Code로 법제화 되어있기 때문에 선박용 연료전지 검사기준은 새로 개발이 필요하다.

본 연구를 통해 국내외 선박, 연료전지 관련 안전기준을 분석하여 전기, 환경시험, 연료전지 성능 및 선박 일반 안전사항 등의 선박용 연료전지 안전프로토콜 마련의 토대로 삼았다. 또한, 선박안전법에 따른 선박수소연료전지 잠정기준 등의 선박용 연료전지 검사 기준을 분석 및 시험 항목 검토를 통해 선박 및 연료전지의 해양 운항 환경에 적합한 시험 항목을 마련하고자 했다. 이를 통해, 선박용 이동형 연료전지 안전기준 초안을 도출하였다. 향후, 친환경 선박 보급 활성화와 산업화 촉진에 기여할 것으로 기대한다.

본 연구는 2022년 중소기업벤처부의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. P0020619)

## 고온 고분자연료전지를 이용한 데이터센터용 CCHP 시스템의 경제성 분석

함성현<sup>\*,\*\*</sup>, 김수진<sup>\*</sup>, 김민진<sup>\*,\*\*</sup>

<sup>\*</sup>한국에너지기술연구원 연료전지연구소

<sup>\*\*</sup>과학기술연합대학원대학교 수소에너지공학

### Economic analysis of CCHP system for data centers using high-temperature polymer fuel cells

Seonghyeon Ham<sup>\*</sup>, Sujin Kim<sup>\*</sup>, Minjin Kim<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Fuel Cell Laboratory, Korea Institute of Energy Research

<sup>\*\*</sup>Department of Hydrogen Energy Engineering, University of Science and Technology

#### 요약

데이터센터의 에너지 소비량이 지속적으로 증가하고 있어 에너지 효율을 향상시키고 탄소 배출을 줄이기 위한 노력이 요구되고 있다. 연료전지는 효율적이고 깨끗하며 안정적인 전원 공급으로 인해 데이터센터를 대상으로 활발히 연구가 진행되고 있지만 연료전지의 수명과 비용은 시스템 상용화를 제한하는 주요 요인이다. 고온 고분자연료전지 (HT-PEFC, High-Temperature Polymer Electrolyte Fuel cells) 기반의 CCHP (Combined cooling, heat and power) 시스템은 순수 수소를 이용하면 탄소 배출을 전혀 하지 않고, 발전하는 동안 발생하는 높은 온도의 폐열을 회수하여 냉열을 제공할 수 있어 높은 효율로 데이터센터의 에너지 수요를 충족시킬 수 있다. 본 연구의 목적은 데이터센터용 HT-PEFC 기반으로 하는 CCHP 시스템의 경제적 타당성을 평가하는 것이다. 제안 시스템 도입 시에 발생하는 경제적인 효과를 기존의 기술과 비교 분석하기 위해 CCHP 시스템의 균등화발전비용 (LCOE, Levelized Cost of Electricity)을 계산하였다. LCOE의 경제성 변수에 대한 민감도 분석을 통해서 2025년과 2050년의 시나리오를 설정하고, 각각 다른 운전 방법이 적용된 사례 연구들을 통해 CCHP 시스템의 경제성을 비교하였다. 또한 CCHP 시스템이 경쟁력을 확보할 수 있는 수소 임계 가격을 계산하여 제안 시스템의 경제성을 분석하였다. 이를 통해 미래 시나리오에 따른 CCHP 시스템의 경제적 타당성을 예측할 수 있었다.

## Shutoff valve의 적용에 따른 수소충전소의 정량적위험성평가

곽현준, 도지석, 한규진, 이근원\*, 정승호\*

아주대학교 대학원 환경공학과

\*아주대학교 환경안전공학과

### Quantitative Risk Assessment of Urban Hydrogen Refueling Station with the Application of Shutoff Valve

Hyunjun Kwak, Jisuck Do, Gyujin Han, SeungHo Jung\*

\*Department of Environmental Engineering, Graduate School of Ajou University

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

#### 요 약

차세대 재생에너지로 주목받는 수소는 기존 화석 연료보다 더 높은 에너지 밀도(143 MJ/kg)를 가지고 있으며 화석 연료, 바이오매스 및 재생 에너지원 등 다양한 방법으로 생산될 수 있다. 하지만 매우 낮은 밀도(0.089 g/L, 101.325 kPa, 0 ° C)로 인해 고압의 공정을 통한 에너지 밀도 상승과정이 필요하며 넓은 폭발범위(4-75%)와 낮은 발화에너지(0.02 mJ)로 인한 위험성이 존재한다. 특히 수소충전소의 경우 튜브 트레일러 또는 저장탱크와 같은 대상시설의 작은 균열을 통해 수소가 누출되어 제트화재, 화염구 및 증기운폭발(VCE)과 같은 잠재적 위험을 야기할 수 있다.

본 연구에서는 도심형 수소충전소 대상설비인 튜브트레일러와 저장탱크의 위험도를 정량적으로 평가하여 안전성을 입증하였다. 안전장치가 추가로 설치된 도심형 수소충전소의 특징을 반영하여 완화장치로 shutoff valve를 적용하였으며 이에 따른 위험도의 완화 효과를 비교하였다. 정량적위험성평가는 DNV사의 위험성평가프로그램인 Phast/Safeti v8.9를 통해 수행되었다. 사고시나리오는 누출공의 크기에 따른 3가지 leak 시나리오와 CR(Catastrophic Rupture) 시나리오로 선정하였다. 영향평가는 복사열강도와 폭발에 따른 영향을 고려하기 위해 4, 12.5, 37.5 kW/m<sup>2</sup>과 1 psi가 도달하는 영향거리를 도출하였다. 분석결과 leak 시나리오에서는 제트화재와 VCE가 발생하였으며 CR 시나리오에서는 화염구와 VCE가 발생하였다. IR(Individual Risk) 분석결과 튜브트레일러가 전체 IR의 47% 이상을 기여한 것을 확인하였으며 이중 shutoff valve의 적용 시 total IR은 HSE(Health and Safety Executive)의 ALARP(As Low As Reasonably Practicable) 기준 아래로 제어되었다. SR(Societal Risk) 분석결과 이중 shutoff valve의 적용 시 SR은 ALARP 기준 아래로 제어되었다. 연구결과 도심형 수소충전소 내 이중 shutoff valve의 적용 또는 PFD(Probability Failure on Demand) 값( $1.21 \times 10^{-2}$ )을 초과하는 안전장치의 적용 시 네덜란드의 ALARP 기준에 따른 안전성을 확인할 수 있었다.

\* 본 연구는 2024년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 산업혁신인재성장사업(과제번호 P0012787)으로 수행되었음.

## 수소취급설비의 폭발위험장소 구분 및 범위 산정 관련 민감도 분석에 관한 연구

한신탁, 김용규\*, 박종범\*\*, 공병찬\*\*, 이상미\*\*, 송희원\*\*

인천대학교 안전공학과, \*아주대학교 환경공학과, \*\* (주)미래기준연구소

### A Study on the Sensitivity Analysis about the Area Classification of Hydrogen Handling Facilities

**ShinTak Han, YongGyu Kim\*, JongBeom Park\*\*, ByungChan Kong\*\*,  
SangMi Lee\*\*, HeeWon Song\*\***

*Incheon National University, \*Ajou University, \*\*Mirae EHS-Code Research  
Institute*

#### 요 약

국내 가연성 물질의 폭발위험장소 구분 및 범위산정 기준은 KS C IEC 60079-10-1, KGS GC101등이 있다. 이 기준들에서는 공학적인 식에 가연성 물질의 물리·화학적 특성, 공정 운전조건, 누출 지점의 특성 등을 주요 인자로 적용하여 누출특성을 산출한다. 산출된 누출특성은 폭발위험장소를 구분하고 그 위험 범위를 산정하는 데 큰 영향을 미친다. 따라서 누출특성을 예상할 수 있으면 그 폭발위험장소와 범위를 추정할 수 있다. 다만, 누출특성을 구할 때에는 산출식이 복잡하고 많은 변수 결정이 필요하므로 방폭에 대한 전문지식이 없는 사람이 관련 업무를 수행하거나 기본 설계 단계와 같이 구체적인 설계조건이 확립되기 전에는 누출특성을 산출하는데 어려움이 따른다.

본 연구에서는 KS C IEC 60079-10-1 또는 KGS GC101에서 제시하는 누출특성접근법을 이용하여 수소를 대상으로 ① 운전온도, ② 운전압력 및 ③ 누출 구멍 크기를 각각 독립변수로 두어 종속변수인 누출특성을 산출하였고, 이를 통해 폭발위험장소 구분 및 범위 산정을 실시하였다. 또한 독립변수가 누출특성에 미치는 영향을 분석하고자 민감도 분석을 수행하였다. 독립변수들의 Case Study를 수행하기 위하여 운전온도는 상온에서부터 1,000℃까지 고려하였고 운전압력은 상압에서부터 50bar까지를 검토하였으며, 누출 구멍 크기는 관련 기술기준에서 제시하고 있는 크기인 0.025 mm<sup>2</sup>에서부터 5 mm<sup>2</sup>까지 각 인자별로 8구간을 구분하여 진행하였다. 인자별 기준점은 PEM수전해설비의 운전온도·압력 및 누출 구멍 크기인 50℃, 10bar, 2.5mm<sup>2</sup>로 하였다.

Case study 결과, PEM수전해설비의 기준조건에서 2종장소로 구분되었고 그 범위는 약 3.2m로 형성되었다. 또한, 독립변수에 대한 민감도 분석 결과, 운전압력과 누출 구멍 크기 값이 증가하면 누출특성이 증가돼 폭발위험장소는 엄격해지고 및 그 범위 또한 증가하는 비례적인 관계를 확인하였다. 반대로 운전온도가 증가하면 누출 특성이 감소하여 폭발위험장소는 완화되고 그 범위가 감소하는 반비례적 관계를 확인하였다.

\* 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지기술개발사업(20203040030110)에 의하여 연구되었음에 감사드립니다.

## 수전해설비 셀 스택의 폭발위험장소 구분 및 범위 산정에 관한 연구

김용규, 한신탭\*, 공병찬\*\*, 송희원\*\*, 박종범\*\*, 이상미\*\*

아주대학교 환경공학과, \*인천대학교 안전공학과, \*\*미래기준연구소

### A Study on the Hazardous Area Classification for the Cell Stack of the Electrolysis

YongGyu Kim, ShinTak Han\*, JongBeom Park\*\* , ByungChan Kong\*\* , HeeWon Song\*\* , SangMi Lee\*\*

*Ajou University, \*Incheon National University, \*\*Mirae EHS-Code Research Institute*

#### 요 약

수전해설비는 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」에 따른 수소용품에 해당하며, 상세 기술기준인 KGS AH271 “수전해설비 제조의 시설·기술·검사 기준”에 의하여 설계, 제작 및 검사가 이루어져야 한다. KGS AH271은 폭발위험장소 내에 설치되는 모든 전기기기에 대하여 방폭 기준을 적용하도록 규정하고 있으므로 전기방폭기기를 설치하기에 앞서 폭발위험장소의 형성 여부와 그 거리를 확인해야 한다. 수전해 시스템에 대한 폭발위험장소 구분 및 범위 산정은 관련 기술기준인 KGS GC101 “가스시설의 폭발위험장소 종류 구분 및 범위산정에 관한 기준”에 따라 수행되어야 한다.

수전해 시스템 내 셀 스택은 물을 전기분해하여 수소를 생산하는 수전해설비의 핵심부품이며, 일반적으로 수소전극, 산소전극, 분리막 등으로 구성된 단위셀을 적층한 후 양 끝에 위치한 경판으로 고정하는 구조이다. KGS GC101에서는 용접으로 제작된 단일 설비는 완전한 기밀형태이므로 가연성 가스가 누출될 가능성이 없는 설비인 것으로 판단하지만 수전해설비의 셀 스택은 물리적인 형상 및 구조 상 완전한 기밀형태로 제작이 불가능하므로 가연성 가스의 누출원으로써 폭발위험장소 구분 및 범위 산정 대상에 포함된다. 셀 스택으로부터 수소가 누출될 수 있는 지점은 수소 토출 배관의 플랜지 또는 나사산 연결부가 일반적이다.

본 연구에서는 수전해설비 셀 스택의 구조 및 형상을 고려하여 수소 가스가 누출될 우려가 있는 지점 또는 위치를 분석하였다. 또한, KGS GC101을 기반으로 누출원 별 누출등급과 누출 홀 크기를 결정하여 폭발위험장소 구분 및 범위 산정을 수행하였다. 그 결과 셀 스택 내부 과압 형성 등으로 인한 단위셀 틈 사이로부터 수소 가스가 누출되는 시나리오를 추가적으로 고려할 시 위험장소 구분 결과가 더 엄격해지고 위험장소 거리가 더욱 커질 가능성이 있음을 확인하였다.

\* 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 신재생에너지핵심기술개발사업(20223030040060)에 의하여 연구되었음에 감사드립니다.



## 초저온 기체 수소 제트 누출을 고려한 기체 수소와 초저온 액체 간 에너지 밸런스 해석

김정민\*, 김승환\*, 주원돈\*, 강승규\*  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Analysis on Energy Balance Between the Gas Hydrogen and the Low-temperature Liquid for the Cryogenic Gas Hydrogen Jet Release

Jungmin Kim, Seunghwan Kim, Weondon Joo, Seungkyu Kang  
*Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

최근 기후 위기 대응으로 온실가스 감축에 대한 관심이 그 어느 때 보다 높은 상황에서 수소는 기존 탄화수소 기반의 연료를 대체하는 대안으로 주목을 받고 있다. 온실가스를 배출하지 않고 단위 질량당 높은 열량으로 많은 장점을 가지고 있지만 낮은 밀도로 상온에서 저장하기 위해서는 높은 압력을 필요하며 이는 잠재적 위험성을 가진다. 한가지 방안으로 기체 수소가 아닌 초저온 액체 수소로 대량으로 보관 및 운송하는 방법이 주목받고 이를 활용하기 위한 많은 연구가 진행 중이다. 하지만 액체 수소는 특정 분야에 한정적인 조건에서 사용과 연구되어왔으며 실제 산업에서 사용되기 위한 연구는 현재 진행 중이다. 특히 안전한 사용을 위해서는 액체 수소가 상온의 대기 중으로 누출되었을 때 어떠한 거동을 보이며 주위에 어떠한 영향을 줄 수 있는지 중요하며 이를 위하여 최근 세계적으로 액체 수소를 직접 제트 누출시키고 그 거동과 영향을 분석하는 연구가 활발히 진행 중이다.

본 연구는 이러한 연구의 일환으로 국내에서 액체 수소의 제트 누출에 관한 연구를 계획하고 있다. 현재 국내의 경우 액체 수소 생산이 시작되어 판매된 지 얼마 되지 않았으며 외부 대기 온도와 급격한 차이로 인하여 실제 누출이 된다면 즉시 기화되어 기체 상태로 누출될 것이다. 이러한 사항을 고려하고 효율적인 실험 진행을 위하여 실제 액체 수소를 사용하는 것이 아니라 기체 수소를 초저온의 액체 질소와 헬륨으로 수소의 비등점 가까이 냉각시켜 사용할 것을 계획하고 있다. 이에 따라서 목표로 하는 기체 수소의 온도를 얻기 위하여 요구되는 액체 질소와 헬륨의 열량을 계산하고자 한다.

본 연구는 수소충전인프라 안전 관리 핵심기술개발사업(과제번호 : 20215810100060) 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## 액화수소 인수기지 안전기술·기준 개발 기획 과제 추진현황

강승규, 김현우, 박희준  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Status of Project Planning for Liquid Hydrogen Terminal Safety Technology and Standard Development

**SEUNGKYU KANG, HYUNWOO KIM, HEEJUN PARK**  
*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation*  
1390 Wonjung-ro, Maengdong-myeon, Eumseong-gun, Chungcheongbuk-do,  
Republic of Korea

#### 요 약

정부는 수소경제 이행 기본계획('21.11)에서 수소를 2030년까지 국내 전체 수요량의 50%, 2050년까지 80%를 해외에서 수입할 것으로 예측하고 있으며, 국내외 청정수소 생산주도 및 해외 청정수소 도입을 위한 액화수소 인수기지 구축 방안을 제시하였다. 또한 수소경제위원회는 수소경제 활성화 정책 발표('22.11)와 연계한 청정수소 공급망 구축 및 세계 1등 수소산업 육성 전략으로 대규모 수소 수요 창출과 그에 맞는 인프라·제도를 구축하여 수소생태계 확장고자 2030년까지 수소 상용차 3만대, 액화수소 충전소 70개소를 보급하고 2036년까지 청정수소 발전 비중을 7.1%까지 확대하는 목표를 제시하였다. 이러한 대용량 수소 수요를 충족하기 위해서는 해외 수소 수입을 위한 액화수소 인수기지의 건설이 불가피하다. 대용량 수소 공급에 유리한 액화수소는 극저온(-253℃) 가스로 대기상태에서 지속적으로 증발되며, 기화될 경우 약 800배의 부피 팽창이 일어나 누출 시 화재폭발 위험성 존재하여 액화수소 인수기지 핵심설비 및 인프라 시설 등의 안전성 확보가 필수적이다.

본 발표는 액화수소 인수기지의 저장탱크 등 핵심설비·시설의 안전관리 기술 확보 및 안전기준 마련 제도화를 위한 핵심과제 도출 현황을 살펴보고, 관련 산·학·연 전문가의 의견 수렴 및 수요조사 통해 안전성 확보를 모색하고자 한다.

\*본 연구는 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(No. RS-2023-00321732. 액화수소 인수기지 안전기술 및 기준 개발 사업 기획)

**Key words** : Liquid hydrogen(액화수소), Import terminal(인수기지), Safety code (안전기준), Safety technology(안전기술), 기술 수요조사(Technology demand survey)

## Convolutional Autoencoder 기반의 수소 회전기기 이상 진단 모델

조현수, 김재영, 김종면<sup>†</sup>

(주)예측진단기술

### An Abnormality Diagnosis Model Using Convolutional Autoencoder for the Hydrogen Rotating Equipment

Hyunsoo Cho, Jaeyoung Kim, Jongmyon Kim<sup>†</sup>

*PDTech Co. Ltd.*

<sup>†</sup>Corresponding author: jmkim07@ulsan.ac.kr

#### 요 약

수소의 대중화를 어렵게 만드는 여러 요인 중 하나로는 수소 충전소의 잦은 고장으로 인한 충전의 불편함이 있다. 고장의 주요 원인으로는 압축기가 있는데, 고장 발생 시 긴 수리 기간으로 인한 많은 사회적 비용이 발생하므로 사전에 고장을 예지하여 예방 정비를 할 필요성이 있다. 압축기는 종류에 따라 베어링이나 벨트, 기어 등 여러 부품으로 구성되는데, 본 논문에서는 음향 방출 센서와 진동 센서를 이용한 고장 진단 알고리즘의 성능을 검증하고 향후 수소 압축기 등 여러 회전 기기로의 적용 가능성을 파악한다. 실험은 베어링과 벨트, 기어로 구성된 선삭기와 머시닝센터에 음향 방출 센서와 진동 센서를 부착하여 데이터를 수집하여 이상 진단 알고리즘의 성능을 검증한다. 고장 진단 알고리즘은 센서로부터 수집된 시간 영역의 데이터를 시간과 주파수 정보를 모두 가지는 spectrogram 이미지로 변환하여 학습 모델의 입력 데이터로 사용한다. 학습 모델은 입력 데이터로 받은 spectrogram 이미지를 autoencoder의 인코더를 이용하여 차원을 축소하여 이미지의 특징을 추출한다. 추출된 특징은 autoencoder의 디코더를 이용하여 이미지를 생성하는 데 사용되며, autoencoder는 디코더를 통해 생성된 이미지가 spectrogram과 최대한 유사하게 되도록 학습된다. autoencoder는 진동 센서 spectrogram과 음향 방출 센서 spectrogram 각각에서 특징 배열을 추출하며 각 특징 배열은 하나의 배열로 합쳐진다. 합쳐진 배열은 차원의 크기가 크기 때문에 multi-layer perceptron(MLP)을 통해 차원 축소 축소를 시킨 후 특징을 추출하여 기계의 상태를 분류한다. 학습 단계는 두 단계로 나뉘며 autoencoder를 먼저 학습한 후 MLP를 학습한다. 학습 단계를 나눔으로써 향후 결함 종류가 증가하더라도 autoencoder는 추가로 학습하지 않고 MLP만 학습하면 되어 향후 결함 종류에 대한 확장성을 기대할 수 있다. 실험 결과, 기계 상태 분류 정확도가 100%가 나왔으며, 음향 방출 센서와 진동 센서를 이용한 이상 진단 알고리즘의 성능을 검증하였다. 향후 수소 압축기 등의 여러 회전 기기로의 적용 가능성이 있을 것으로 예상된다.

이 연구는 2023년도 산업통상부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (20023566), 2023년 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2023-00232515, 수소혼입 도시가스 배관 수소취성 평가 및 수명예측 안전기술 개발/실증), 또한 2023년도 중소벤처기업부의 지역특화산업육성사업 지원에 의한 연구임('S3363408').

## GPT 거대언어모델 기반 가스공정 개선 설계 생성 시스템

**이동현, 신동일**

명지대학교 화학공학과 지능형시스템연구실

### GPT Large Language Model-based Gas Process Retrofit Design Generation System

**Donghyeon Lee, Dongil Shin**

*Intelligent Systems Engineering Lab., Dept. of Chemical Engineering, Myongji University*

#### 요약

수소를 비롯한 가스공정설계 특히 탄소저감의 요구에 따른 개선 공정 설계는 방대한 변수와 다양한 제약조건 하에서 최적의 공정설계를 요구한다. 기존 가스공정 설계는 주로 전문가들에 의해 축적된 heuristics 기반으로 경험에 의존한 설계 경향성이 크다. 경험적 방법론의 한계를 극복하고자 방대한 변수와 제약조건 고려에 특화된 AI기반의 다양한 접근법이 제안되고 있다. 하지만 기존의 데이터 기계학습 기반 접근법으로는 범용적인 공정개선에는 한계가 존재하며 AI의 최적공정 선택 이유에 대한 explainability 또한 낮다. 이에 본 연구는 거대언어모델을 기반으로 지식과 데이터 기반 융합을 통해 범용적 공정에 적용 가능하면서 공정의 개선 과정에 대한 설명력을 또한 높은 Gas Process AI for Retrofit Design을 제안하였다.

거대언어모델 중 가장 높은 성능을 보이는 general solver인 Generative Pre-trained Transformer (GPT)를 가스공정개선에 특화된 solver로 변환하기 위해 prompt engineering 기법 적용을 제안하였다. 순차적인 해결과정을 진행시키기 위한 prompt chaining, 문헌 데이터를 기반으로 최신의 데이터와 범용공정에 대한 정보를 입력할 수 있도록 Retrieval Augmented Generation (RAG), 자동적으로 simulation을 생성해 타 tool을 사용할 수 있도록 Automatic Reasoning and Tool-use (ART) 기법 등을 적용하였다. 이 과정에서 언어모델에 공정정보가 포함된 공정도를 입력하기 위해 본 연구자가 제안한 Detailed Simplified Flowsheet Input-Line Entry-System (DSFILES) 표현법을 사용하였다. 이렇게 자연어형태의 공정도를 prompt engineering을 적용한 GPT에 입력하여 순차적인 과정을 거치면서 개선된 공정도를 생성한다. 특히 최종단계에서는 언어모델 특성상 정밀한 계산의 한계가 존재하므로 공정시뮬레이터중 하나인 DWSIM과 연동하여 simulator 기반 계산 검증을 통해 정확한 정보를 반영한 공정도를 출력하도록 하였다. 사례연구는 recycle, reactor 추가 등의 다양한 개선 방법이 적용된 개선 공정도 생성 결과를 보여준다. 이를 통해, 본 연구는 거대언어모델을 활용하여 탄소중립 관점에서 수소와 원전 열원 도입 등 다양한 재설계를 요구받고 있는 가스공정의 안전성 및 환경성 개선 설계를 자동화하는 새로운 방법론을 제시하였다.

## 수소저장 내압용기 내화성능 안전성 평가를 위한 안전 기술 개발

정해관 · 유철희 · 이지원 · 임대영  
한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터

### Development of safety evaluation of fire resistance performance of hydrogen Storage pressure vessels(Haegwan Jeong)

Hae Gwan Jeong · Cheol Hee Yoo · Jee Won Lee · Dae Yeong Lim  
*Fire Explosion Research Department, Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

파리기후협약을 시작으로 유럽의 일부 선진국에서 자국 내 화석연료를 사용하는 내연기관 자동차에 대한 규제를 강화하고 있다. 수소연료 전지차는 친환경 자동차로 분류하며 내연기관 자동차에 대한 강력한 규제에 대한 대표적인 대안이다. 소형 차량에서 대형 차량으로 필요한 운행 요구 거리를 확대할 경우, 수소연료 전기차가 가장 적합한 차량이다. 대형 차량은 일반적으로 큰 연료용량과 주행거리가 필요로 하기 때문이다. 현재 버스에 사용 중인 용기보다 저장량이 약 2.5배에 해당하는 수소저장탱크를 개발함으로써 무게 효율을 높여 더 많은 주행거리를 확보할 수 있다. 이에 유럽의 일부 국가는 대형화되는 용기 개발 추세에 맞추어 관련 규격인 GTR No.13 (Hydrogen and Fuel cell vehicles)을 인증 규격으로 채택하고 있다. 용기 표면의 화염 온도에 대하여 요구하고 있던 EC 79와 다르게 개정된 GTR No.13의 화재 시험은 열량 기준으로 시험의 유효성을 확보하는 시험이 포함되어 있다. 현재 개발 중인 대형 수소저장용기에 대하여 개정된 규정을 적용한 화재시험에 대한 유효성을 확보하고 대형 수소저장용기의 내화성능을 확인 할 수 있는 버너를 포함한 시험 장비 및 시험방법을 결정하려고 한다.

본 연구는 2023년도 한국산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원으로 수행되었습니다(과제번호: 20015346)

## 도시가스 공급 배관 수소혼입 관련 해외사례 분석

김지은, 정해관\*

한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터

### An Analysis of Overseas Cases of Hydrogen Mixed in Urban Gas Piping Network

**Jieun-KIM, Haegwan-JEONG**

*Korea Gas Safety Corporation, Energy Safety Empirical Research Center*

#### 요 약

글로벌 기후변화를 대응하기 위해, 미국, 유럽 등의 주요 국가는 “2050년 완전 탄소중립”이라는 목표를 설정하였으며, 우리나라도 “2030 국가 온실가스 감축목표(NDC)”를 마련하여 추진 중에 있다. NDC 달성을 위해, 인프라 구축비용 대비 온실가스 저감 효율이 탁월한 “도시가스 배관망 수소혼입” 공급이라는 이행방안을 마련하였으나, 이행을 위한 안전성 검증과 관련 안전기준이 미흡하여, 정부에서는 “도시가스 배관망 수소혼입 전주기(제조-공급-사용) 안전성 검증 기술 개발/실증”이라는 통합형 연구개발 과제를 마련하였다.

한국가스안전공사도 정부 시책에 맞추어 향후 기존의 배관망에 수소혼입 농도별(5%, 10%, 15%, 20%VoL) 실증실험과 해외사례 분석을 통하여 법규 규제를 마련하는 등 내구성과 신뢰성 확보 할 계획이다. 연구계획의 시행착오를 최소화하기 위하여 유럽 등의 주요 국가들 중심으로 어느 정도까지 수소를 혼입 할 수 있는지, 배관망 설비 및 최종 수용가의 기기 등에 어느 정도 영향을 미치는지에 대한 해외사례를 분석 할 예정이다.

본 논문에서는 NDC 달성을 위해 선진국 위주의 도시가스 공급 배관 수소혼입 관련 해외사례 분석을 통한 국내 최초로 실시예정인 대규모 수소혼입 실증설비의 신뢰성 제고, 연구추진의 시행착오 최소화하여 다가올 수소 혼입의 미래에 선제적으로 대비하고 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement: 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행 중인 연구 과제입니다. (과제명: 도시가스 배관망 수소혼입 안전성 평가/실증 및 안전기준 개발, 과제번호: RS-2023-00236237)

## PSA Off Gas를 사용한 수소 생산 공정 최적화

오택경, 이상용<sup>†</sup>  
동국대학교

### Optimization of Steam-Methane Reforming Process Using PSA Off Gas

Taekyeong Oh, Sangyong Lee<sup>†</sup>  
Mechanical Engineering, Dongguk University

#### 요 약

수소의 필요성이 증가되면서 경제적인 수소의 제조에 대한 필요성이 증대되어 지고 있다. 수소의 제조 방법에는 여러 종류가 있고 그중 사용되어지고 있는 가장 대표적인 방법은 전기분해 수소제조와 스팀개질을 통한 수소제조 그리고 열을 이용한 수소제조이다. 이중 현재 가장 경제적인 방법은 스팀개질을 통한 수소제조 이다. 하지만, 이 경우 이산화탄소의 발생을 동반하게 된다는 단점을 가지게 되며 문제의 해결을 위해 생산된 이산화탄소를 분리한 순수소 제조를 위하여 PSA (Pressure Swing Adsorption) 기술을 접목하여 사용하고 있다.

본 연구는 5kW급 LT-PEMFC 시스템에 공급되는 수소 생산 및 정화 과정의 시스템에서 PSA Off Gas를 통하여 손실되는 수소에너지를 활용하여 연료 처리 시스템의 운용 조건을 최적화하는 것을 목표로 수행되었다. 최적화를 위하여 사용된 전체 시스템은 수소 증기 개질 반응기와 Water-gas shift 반응기를 통해 수소를 생산하고 CO 피독에 취약한 LT-PEMFC를 사용하기 위해 PSA를 연계하여 CO 및 불순물을 제거하며 동시에 생산된 수소의 순도를 99.97% 이상 높이는 과정들로 이루어져 있다. 수소 생산 시스템의 생산에너지 사용의 최적화를 위해 PSA 탈착시 불순물과 함께 배출되는 미반응 CH<sub>4</sub>와 H<sub>2</sub> 가스 (PSA Off Gas)를 버너로 recycle하여 Nature Gas (BNG) 공급량을 최소화 하기 위해 PSA Recovery와 Methane 전환률에 따른 운용 조건 최적화를 수행하였다.

작동 조건을 모사하는 프로그램으로 Aspen plus 및 Aspen adsorption 시뮬레이터가 사용되었으며, 일정한 압력조건 하에서 개질 반응 온도와 PSA Recovery 조건을 변경하여 시뮬레이션을 수행하였다. 연구 결과 수행된 조건에 따라 개질 반응기 온도 유지를 위해 투입되는 BNG의 유량이 변동됨을 확인하였고, PSA Off gas를 활용한 수소 생산 공정의 최적화를 수행하였다.

Correspondence: sangyonglee@dongguk.edu

## 천연가스 공급 배관의 수소혼입을 위한 정적 믹서 특성

박소진\*, 조영아\*, 성기찬\*\*, 최경식\*, 김형태\*†

\*한국가스공사 가스연구원 신사업기술연구소

\*\*한국가스공사 수소사업처 수소인프라부

### Characteristics of Static Mixer for Injection of Gaseous Hydrogen into a Natural gas Transmission Pipeline

So-Jin Park\*, Youngah Jo\*, Ki-Chan Sung\*\*, Kyoung-Shik Choi\*, Hyungtae Kim\*† ,

\*New Business Technology Research Division, KOGAS research Institute, Korea Gas Corporation

\*\*Hydrogen Infrastructure Team, Hydrogen business department, Korea Gas Corporation

#### 요 약

전 세계적으로 기후변화로 인한 위기에 대응하고자 2050년 탄소중립 달성을 위해 파리협정을 체결하였다. 우리나라는 2030년까지 국가 온실가스 배출량의 ‘18년 대비 40% 감축하는 것을 목표 (2030 NDC, Nationally Determined Contribution)로 수립하였다. 이러한 목표 달성을 위해 수소는 매우 중요한 에너지원으로 급부상 하였으나 신규 수소 배관 건설을 위해서는 많은 국고 투입과 시간이 걸려 빠른 수소 경제 실현의 장애요인이 되고 있다. 이에 정부에서는 제5차 수소경제위원회(‘22.11.)에서 기존 천연가스 배관망을 활용해 수소를 이송하기 위해 수소취성을 포함한 안전성에 대한 검증은 하고 도시가스배관 기준 최대 20vol.%까지 수소 혼입 실증을 하여 수소혼입시설에 대한 안전기준, 혼입가스의 품질기준 등을 마련하겠다고 발표하였다. 이러한 정부 정책에 맞춰 여러 기관에서 혼입가스가 배관망 설비 및 최종 수용가 기기 등에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 수행중이며 한국가스공사에서도 가스공사가 보유한 배관망 및 공급설비에 대한 영향성에 대해 기술적 검증을 수행 중이다.

발전소, 도시가스사 등 수요처에 균일한 품질의 혼입가스를 공급하고 공급설비들의 수소 호환성 범위 내에서의 안정적 운전을 위해서는 밀도차가 다른 이종가스의 혼합이 필수적이다. 서로 다른 유체를 혼합시키기 위해서는 교반기의 날개를 회전시키는 방법, 두 유체의 압력차를 이용해 희석 또는 혼합시키는 방법, 오리피스나 static mixer를 사용하여 관로 내의 유체 속도에 의해 형성되는 난류를 이용 혼합하는 방법이 있다. 이 혼합방법 중 무동력 혼합기술은 효과와 에너지 및 유지보수 절감을 위해 주로 선택되고 있다.

본 연구에서는 관로 내 설치 할 수 있는 라인믹서의 3가지 종류인 in-line, unflow, x-grid type에 대한 소개와 각 믹서에 대한 특성에 대해 설명과 적절한 엘리먼트의 길이 등에 발표하고 향후 계획에 대해 소개하고자 한다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 천연가스 공급스테이션의 수소혼입 안전성 확보를 위한 설계연구(과제번호:RS-2023-00305219) 사업으로 수행되었습니다.



## HyRAM과 Bow-tie기법을 이용한 위험관리 방법에 대한 고찰

이재용, 윤덕규  
고등기술연구원

### Consideration on Risk Management using HyRAM and Bow-tie Method

JaeYong Lee, Deokkyu Youn  
*Institute for Advanced Engineering*

#### 요 약

수소충전소의 위험성 평가 도구로서 SNL(Sandia National Laboratory)의 HyRAM은 비교적 쉽게 접근할 수 있도록 수소충전소에 특화되어 있다. 하지만 이러한 위험성 평가 결과는 정해진 변수와 시점에서 평가하기 때문에 수소충전소 설계 및 건설에서는 유의미한 결과를 도출할 수 있지만 수소충전소 운영 관점에서는 부족한 부분이 있다. 한편 위험 관리 차원에서 1990년대부터 점차 사용되어지고 있는 Bow-tie 기법은 위험의 관리에는 적합하다고 평가되지만 하나의 Bow-tie 다이어그램을 작성하기 위해 HAZOP과 같은 위험성 평가가 선행되어 위험을 도출해야 하며, 이를 토대로 위협(Threat), 결과(Consequence), 보호장벽(Barrier), 디그레이데이션 팩터(Degradation Factor) 등을 지정해야 한다. 하나의 이벤트에 대해 이와 같이 Bow-tie 다이어그램을 만들기 위해 많은 시간과 노력이 필요하다. 본 논문에서는 HyRAM으로부터 위험을 도출하고 해당 프로그램의 Event Tree와 Fault Tree를 활용하여 보다 간결하게 Bow-tie 다이어그램을 도출하는 방법을 제안한다.

감사의 글 : 이 연구는 2022년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(No. RS-2022-00156544)

## 액화수소 검사지원센터의 수소 누출로 인한 위험 시나리오 연구

박주현, 이민경, 김정환<sup>†</sup>

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on the risk scenario for hydrogen leakage in the liquefied hydrogen inspection support center

Juhyoen Park, Mingyeong Lee, Jeonghwan Kim<sup>†</sup>

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

#### 요 약

현재까지도 수소는 미래의 친환경 에너지원으로 각광 받고있다. 이러한 수소의 상용화를 위해서는 고도의 저장 및 운송기술이 필요하며 현재 관련 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 이 중에서 수소를  $-253^{\circ}\text{C}$  (20K)의 극저온으로 액화하여 저장하는 것이 효율적이며 운송에도 용이한 방법으로 손꼽히고 있다.

액화수소 검사지원센터는 액화수소 관련 제품인 저장탱크, 용기, 안전밸브 등의 법정검사를 위한 검사장비 및 설비를 인프라를 구축하고 '25년 하반기 완공을 목표로 두고 있다. 해당 검사지원센터는 시험용 액화수소 공급설비 구축 핵심 시설로, 수소 누출로 인한 잠재적인 위험 등을 신중하게 고려해야 한다. 이러한 수소는 높은 화염성과 폭발성을 가지고 있기에 수소 누출 사고는 심각한 안전 문제로 작용할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 액화수소 검사지원센터의 수소 누출로 인한 잠재적 위험에 대한 시나리오를 설정하였고, 위험성 평가 프로그램을 활용하여 모델링하고 안전성 평가를 진행하였다. 먼저 수소 누출이 초래할 수 있는 다양한 위험 요소에 대하여 HAZOP Study를 통해 누출 시나리오를 설정하였고 위험성 평가 프로그램을 사용하여 누출로 인한 시나리오에 대해 정량적인 평가를 수행하였다. 또한 이러한 위험 요소를 예방하기 위한 시설 설계의 개선 및 긴급 대응 절차와 같은 대처 방안을 고려하여 위험성평가 프로그램을 통해 얻은 결과를 기반으로 수소 누출 사고의 가능성 및 피해를 최소화하는 대응 전략을 고려하였다. 이는 향후 연구 방향에 대한 전망을 제시하여 액화수소 검사지원센터의 안전성 높이에 기여할 것으로 기대된다.

※ 본 연구는 산업통상자원부 에너지기술개발사업 “액화수소 저장탱크/압력용기류의 진공·단열 성능평가 기술/안전기준 개발” (과제번호 20227310100020)의 지원으로 진행됨.

## 대용량 액체수소 저장탱크의 BOR 성능에 관한 연구

서흥석, 이영범, 윤용근  
한국가스공사 가스연구원

### A Study on BOR Performance of Large Capacity Liquid Hydrogen Storage Tank

Heung Seok Seo, Yeongbum Lee, Yongkeun Yoon  
*KOGAS research Institute, Korea Gas Corporation*

#### 요 약

액체수소의 경제성을 확보하기 위해서는 설비의 대용량화가 필수인데, 아직까지 전 세계적으로 최대 용량 저장탱크는 5,000 m<sup>3</sup>급에 머무르고 있는 실정이다. 가압식 저장탱크의 경우에는 구조적인 한계에 의해 대용량화가 어렵고, 상압식 저장탱크는 적절한 단열성능을 구현하는데 어려움이 있다. 본 연구에서는 상압식 저장탱크를 대상으로 가상의 기본모델을 설정한 후 용량에 따른 BOR 성능을 검토함으로써 향후 개발하고자하는 저장탱크의 성능 목표를 파악하고자 하였다.

저장탱크의 용량은 40,000 m<sup>3</sup> 100,000 m<sup>3</sup> 두 가지로 구분하였고, 압력 조건은 0.2, 0.5, 1.0 barg를 적용하였다. 가상 모델에 적용한 단열 성능은 5, 10 mW/mK 로 구분하여 해석을 수행하였다. 최대 액위에서의 결과뿐만 아니라 50%, 10% 액위에서의 BOG 발생량도 비교 분석함으로써 운전/운영 측면에서 고려할 점도 파악하였다.

해석에 사용한 프로그램은 1차원 유동 해석 프로그램으로 저장탱크의 경우 액체 영역에 해당하는 lump 1개, 기체 영역에 해당하는 lump 1개로 구성하였다. 이때 액체 영역의 lump가 1개로 구성되기 때문에 액체 전체의 평균 온도가 기화온도까지 상승해야 기화가 발생할 수 있는데 이를 보완하기 위하여 경계 조건과 액체 영역 코어(core)를 분리하여 경계 영역부터 기화가 발생할 수 있도록 구성하였다.

## 터보팽창형 정압기 개발 사업

최경식, 김형태, 박소진, 조영아  
한국가스공사 가스연구원

### Development Project of Turbo Expander Generator

Kyoungshik Choi · Hyongtae Kim · Sojin Park · Youngah Cho  
*KOGAS Research Institute* development

#### 요 약

본 논문에서는 한국가스공사 정압기지를 기반으로 하는 터보 팽창형 정압기(Turbo Expander Generator) 국산화 개발 사업에 대해 면밀히 기술하였다. 한국가스공사는 주배관망을 통해 고압의 천연가스를 전국 각 지점의 정압기지로 송출하고 정압기지에서는 감압과정을 통해 중·저압의 천연가스를 수요처로 송출한다. 2018년 한국가스공사는 정압기지 내 미활용 감압에너지 사용을 위한 터보팽창형 정압기 국산화 개발을 시작하였으며 현재 화성의 한 정압기지에서 시험 운영이 진행되고 있다.

본 논문에서는 미활용 압력에너지를 활용하여 전력을 생산하는 터보팽창형 정압기의 개발 과정에 대해 제시하였고 향후 설비 보안을 위한 설계 개선 방향에 대해 검토 하고자한다.

## 액화수소 인수기지 관련 산업·기술 동향 및 전망

문종삼

한국에너지기술평가원

### Industrial technology trends and prospects related to Liquefied Hydrogen Acquisition Base

JongSam Moon

Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning

#### 요 약

독일(Linde), 프랑스(Air Liquide), 미국(Air Products & Chemicals), 일본(가와사키)등이 액화수소 플랜트 전주기(저장설비·액화 공정·플랜트 건설·운전) 기술개발 상용화를 통해 세계시장을 선도하고 있는 실정이다. 미국 NASA의 경우 1960년부터 액화수소 저장탱크(용량 170m<sup>3</sup>) 개발을 시작하여 2021년에는 대용량 저장탱크(용량 40,000m<sup>3</sup>) 개발을 완료하고 상용화 단계에 있으며, 2022년부터는 기존 저장탱크 보다 2배 이상의 대용량(100,000m<sup>3</sup>) 액화수소 저장탱크 개발을 추진하고 있다. 일본은 세계 최초 액화수소 인수기지를 2020년 5월에 준공 하였고, 액화수소 해상 운송선(수소 프론티어, 1,250m<sup>3</sup>)과 이·충전 안전장치>Loading Arm) 개발을 완료 하였으며, 2022년도에는 호주에서 액화수소를 공급받아 해상 운송을 통해 일본 고베항의 액화수소 인수기지에 저장·하역 시스템에 대한 실증을 진행 하였다. 반면, 우리나라는 액화수소 인수기지 설계·시공·운전 관련 국산화 기술과 안전기술/안전기준개발은 초기단계이다. 전 세계 수소 수요량은 2030년 1억 4,000톤에서 2050년 6억6,000톤까지 증가할 것으로 예상하고 있고, 액화수소는 북미 지역에 약 500톤/Day, 아시아 지역에 약 250톤/Day, 유럽 지역에 30톤/day 규모의 생산설비를 구축·운영 중이며, 미국, 유럽 등 글로벌 기업을 중심으로 연간 145천톤을 생산하여 세계 시장을 선도하고 있다. 한편, 국내 수소 수요량은 2020년 기준 약 22만톤에서 2050년 2,790만톤으로 2030년 이후 급격히 증가를 할 것으로 예측하고 있으며, 2030년부터 2050년까지 해외 수소 공급망 40개를 구축하여 수소 자급률 60% 이상 확보를 추진하고 있다. 우리나라 액화수소 산업은 민간기업(SK E&S, 효성 등)을 중심으로 2022년도부터 액화수소 생산 플랜트 기술을 도입하여 2023년12월까지 인천에 연간 3만톤 규모와 창원에 연간 1만7천톤 규모의 액화수소 생산 시스템 구축을 완료하고 2024년부터 본격적인 생산을 준비하고 있다. 또한 2025년까지 충남 보령에 연간 5만톤 규모 및 울산에 1만 3천톤 규모의 액화수소 생산 플랜트를 추가로 구축할 예정이며, 동시시설이 완료되면 2026년부터는 연간 약 9만3천톤의 액화수소를 생산할 수 있을 것으로 전망하고 있다. 이에 따라 우리나라도 액화수소 인수기지 구축 생태계 조성을 위하여 액화수소 핵심설비 및 시설의 안전기술과 안전기준 개발이 필요한 시점이다. 안전기술개발 방향은 첫 번째 액화수소 인수기지 저장탱크 등 핵심 설비 및 시설의 설계·운전상태에 대한 위험성 평가·정밀안전 진단기술 개발과 안전기준을 제도화 하는 것이며, 두번째는 액화수소 극저온(-253℃) 가스를 선박에서 하역작업 공정부터 인수기지까지 전주기 운전상태에 대한 실시간으로 모니터링을 통해 위험상태를 예측하고 비상시 원격 제어를 할 수 있는 디지털 기반 3차원 플랫폼을 개발하고 현장적용 실증하는 것이다. 셋째는 LH2 인수기지 저장탱크, 이·충전장치, 이송 배관망 등에 대한 단열성능 평가기술과 시험장치 개발 및 파일럿 실증을 통해 상용화 하는 것이며, 넷째는 대용량 액화수소 운송선에서 육상의 인수기지 저장탱크로 이송하기 위한 적·하역 시스템에 대한 안전성 평가 기술개발과 안전기준을 제도화 하는 것이다.

## 액체 암모니아 예냉 수소 액화 방법

이상규, 민성웅, 심성민  
(주)패리티

### Hydrogen Liquefaction Method Using Liquid Ammonia Precooling

Sanggyu Lee, Seongwoong Min, Sungmin Shim  
*Parity Inc.*

#### 요 약

대단위 그린 수소의 저장 및 이송에 있어서, 최근 암모니아 저장 및 이송 방식이 부각되고 있다. 다만, 암모니아는 독성 물질로 부가적인 안전장치가 필요하며 취급하기 어렵기 때문에, 발전소나 선박 등과 같이 대단위 에너지 소비설비가 아닌, 가정이나 모빌리티 등과 같은 소단위 설비에서 사용하기 위해서는, 암모니아를 액체 수소로 변환할 필요가 있다. 일반적으로 수소 산업을 위한 액체 암모니아의 대단위 이송 및 저장장치는 상압 (대기압 혹은 그 보다 약간 높은 압력)의 저온 탱크인 경우가 많으며, 대기압의 평형 상태 암모니아 액체는  $-33.3^{\circ}\text{C}$ 이다. 암모니아로부터 수소를 얻기 위해서는 보통 고온의 개질 공정을 수행해야 할 필요가 있으며, 저온 탱크에 저장된 상태의 암모니아를 가열해야 한다. 또한, 암모니아의 개질 공정에 의해 생성된 수소를 저장 및 이송하기 위하여 액화할 경우, 생성된 수소를 다시 저온으로 온도를 낮춰야 할 필요가 있다. 특히 수소 액화 과정에서는 많은 양의 냉매가 사용되기 때문에, 수소뿐만 아니라 냉매를 냉각시키는 과정에서도 많은 냉열이 필요하다. 또한, 발생된 수소를 분리·정제·액화하는 데 많은 에너지가 필요하기에, 이러한 과정에 암모니아를 사용한다면, 대량의 암모니아가 요구될 것이다. 즉, 액체 암모니아로부터 액화 수소를 만든다면, 생성되는 수소에 비하여 대량의 액체 암모니아 냉열을 활용할 수 있으며, 본 연구는 이러한 액체 암모니아 냉열을 예냉으로 활용한 수소 액화 방법에 대한 것이다.

## 고효율 복합필터 용 미세먼지 저감 섬유소재의 성능 및 신뢰성 평가

구현진<sup>1</sup>, 조항원<sup>1\*</sup>

FITI시험연구원 지속가능인증본부<sup>1</sup>, \*FITI시험연구원 산업환경개선지원센터<sup>1</sup>

### Performance and reliability assessment of micro-dust reduction textile materials used in high-efficiency air and gas filters

Hyun-Jin Koo<sup>1</sup>, Hang-Won Cho<sup>1\*</sup>

*Sustainable Certification Dept., FITI Testing & Research Institute<sup>1</sup>,*

*\*Industrial Environment Advancement Center, FITI Testing & Research Institute<sup>1</sup>*

#### 요 약

발전소와 같은 소각 및 연소시설에서 발생하는 다양한 오염물질은 대기에서 미세먼지와 반응하여 2차 오염물질(VOCs, NOx, SOx 등)인 초미세먼지 형태로 변환되어 인체 건강에 심각한 악영향을 미치며 기후변화를 가속화 시키고 있다. 이에 세계보건기구(WHO)는 국제적으로 대기 오염물질을 배출하는 시설에 대한 배출허용기준을 강화하고 있으며, 이에 대응하기 위해 미세먼지를 저감 시킬 수 있는 공기 및 가스 정화용 복합필터 및 필터의 성능을 좌우하는 고기능성 섬유소재의 수요가 증가하고 있다. 이러한 고효율 복합 필터 및 필터용 섬유소재의 미세먼지 저감 성능 및 신뢰성 확보는 국민의 건강 보호, 기후변화 및 환경규제대응을 위하여 필수적으로 요구된다. 본 연구에서는 필터 여재, 촉매, 흡착재 등 미세먼지 저감 섬유소재의 성능 검증, 복합필터의 현장 모사 기반 성능 및 신뢰성 평가, 미세먼지 배출 사업장의 현장 실증 평가로 이루어지는 전주기적인 평가방법을 소개한다.

## 저온 열분해 공정을 이용한 폐전선(광케이블, 젤리충진케이블) 재활용 기술 소개

정진도<sup>1</sup>, 김원태<sup>1</sup>, 최재형<sup>2</sup>  
호서대학교<sup>1</sup>, 창신산업(주)<sup>2</sup>

### Introduction to waste wire (optical cable, jelly-filled cable) recycling technology using low-temperature pyrolysis process

Jin-Do Chung<sup>1</sup>, Won-Tae Kim<sup>1</sup>, Jae Hyeong Choi<sup>2</sup>

저온 열분해 공정을 이용하여 폐전선 (광케이블, 젤리충진케이블등) 에서 구리와 철, 알루미늄과 재생유를 분리하여 재활용하는 기술이다. 발전소나 통신시설에서 나오는 폐젤리 충전 케이블을 구성하는 Cu, 외피, PE, 젤리 중 Cu등 금속류를 제외한 폐합성 수지류를 본 시설에서 열 분해하여 얻어진 연료로 자체 사용하고, 외부 에너지원 공급 없이 저온 저압 열분해 간헐 연속공정을 하여 분리 되어진 재생 물질을 얻는 기술이다. 상업용 플랜트 공정(20톤/일급)에서 얻어진 운영 기술을 소개하고자 한다.



## DeNO<sub>x</sub> 촉매 균일 분산성 확보를 위한 PTFE Fiber 및 부직포 제조기술

한홍식<sup>1</sup>, 김정환<sup>1</sup>, 전혁수<sup>1</sup>

(주)마이크로원, 31026 충청남도 천안시 서북구 입장면 연곡길 368<sup>1</sup>

### PTFE fiber and non-woven fabric manufacturing technology to ensure uniform dispersion of DeNO<sub>x</sub> catalyst

**Hong Sik Han<sup>1</sup>, Jung-Hwan Kim<sup>1</sup>, Heok Soo Jeon<sup>1</sup>**

*Micro-One, 368, Yeongok-gil, Ijang-myeon, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 31026, KOREA<sup>1</sup>*

#### 요 약

최근 산업시설 배기가스에 포함 되어있는 미세먼지 및 원인물질에 의한 대기질 오염 문제가 심각해짐에 따라 배출허용 기준이 점차 강화되어 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 황산화물(SO<sub>x</sub>) 등을 동시에 저감할 수 있는 고성능 소재의 개발 및 공정 개선이 필요한 실정임. 현재 국내 기술의 미흡함으로 인하여 해외 선진 기술의 핵심기술에 의존하거나 주요 부품을 해외에서 고가로 수입하여 사용하고 있어 국내 기술의 개발을 통하여 대기오염물질과 분진을 동시에 제거할 수 있는 제품을 개발하고자 하는 노력이 이루어지고 있음. 본 과제에서는 저온촉매와 PTFE Membrnae을 적용시켜 대기오염물질과 분진을 동시에 제거할 수 있는 PTFE MCA(Membrane Catalyst Assembly) Filter 모듈 제작을 진행하고 있으며, 모듈 내 지지체 역할을 하는 PTFE Fiber 및 부직포의 제조기술 개발을 통하여 DeNO<sub>x</sub> 촉매를 균일하게 분산시킴으로써 탈질효과를 증진시키고자 함. DeNO<sub>x</sub> 촉매를 부직포에 고함량으로 균일하게 분산시키기 위하여 Fiber의 제조 과정 중 PTFE Powder와 DeNO<sub>x</sub> 촉매를 일정비율로 혼합하고 윤활제를 혼합기 내에서 고르게 분사하는 과정을 거쳐 생산하였음. 해당 방식으로 제조한 Fiber는 촉매 슬릿팅이 감소되어 최대 촉매량을 보유한 부직포를 제조할 수 있음. 이후 고벌키성 부직포를 제조하기 위하여 Needle Punching 밀도를 조정하고 DeNO<sub>x</sub> 촉매를 담지함으로써 PTFE 부직포 내 촉매 함유량을 최대화 시키고자 함.

## DeNO<sub>x</sub> 촉매 코팅 필터의 복합화 방법에 따른 emission 거동

김윤진<sup>1</sup>, 윤혜준<sup>2</sup>, 김연상<sup>1\*</sup>

한국생산기술연구원 섬유솔루션부문<sup>1</sup>, 한국생산기술연구원

안전융합기술연구부문<sup>2</sup>

\*yskim@kitech.re.kr

### Emission behavior of DeNO<sub>x</sub> catalyst coated filter depending on composite method

YoonJin Kim<sup>1</sup>, HyeJun Yoon<sup>2</sup>, and YeonSang Kim<sup>1\*</sup>

*Textile Innovation R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)<sup>1</sup>*

*Safety Convergence Technology R&D department, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH)<sup>2</sup>*

#### 요 약

질소산화물, 황산화물, 암모니아, 휘발성 유기화합물, 중금속 등으로 구성 되어있는 것으로 알려져 있는 초미세먼지는 주로 질소산화물과 황산화물에서 발생한다. 질소산화물과 황산화물을 저감 시키기 위하여 SCR(Selected Catalytic Reduction) 공정과 FGD(Flue Gas Desulfurization) 공정을 운영하고 있으며, 이에 따라 대기오염물질 배출규제에 따라 배출 농도를 제어하고 있지만 제조업 분야에서는 여전히 질소산화물을 제거하기 위한 설비가 부족한 상태이다. 산업현장의 NO<sub>x</sub>와 미세먼지 배출규제를 만족시키기 위해 고농도로 촉매를 담지 할 수 있는 벌키성 PTFE 부직포 제조를 통하여 균일한 기공 분포를 가진 저차압 고효율의 PTFE 멤브레인 제조 및 MCA 적용을 위한 복합화 기술 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 물성이 향상된 PTFE fiber를 이용하여 bulky PTFE fiber 부직포를 제조하였으며, 함침 코팅방법을 이용하여 촉매를 코팅하고 촉매 코팅한 필터의 단면, 양면에 emission 거동을 평가하였다. DeNO<sub>x</sub> 촉매를 함량 대비 10-12 wt%로 함침 코팅을 하여 촉매 PTFE 부직포를 제조하였다. 그리고 촉매가 코팅된 PTFE 부직포에 membrane을 단면, 양면으로 laminating 하여 복합 촉매 필터를 제조하여 VDI3926 테스트를 진행하여 emission 거동을 평가하였다. 본 연구에서는 DeNO<sub>x</sub> 촉매 PTFE 부직포 필터백을 개발하고자 DeNO<sub>x</sub> 촉매 PTFE 부직포를 복합화 방법에 따라서 emission 거동을 비교 평가하였다. DeNO<sub>x</sub> 촉매 PTFE 부직포 VDI3926 분석을 통해 압력 손실과 DeNO<sub>x</sub> 제거효율 및 emission 거동을 분석하여 효율적인 복합화 방법을 모색하였다.

## DeNO<sub>x</sub> 촉매 담지용 고통기성 PTFE 부직포 제조기술

송명순<sup>1</sup>, 김연상<sup>2</sup>, 한홍식<sup>3</sup>, 전혁수<sup>3</sup>

일진부직포산업(주)<sup>1</sup>, 한국생산기술연구원<sup>2</sup>, (주)마이크로원<sup>3</sup>

### The development of manufacturing high air permeability PTFE Nonwoven for increasing DeNO<sub>x</sub> catalyst powder contents

Myung Soon Song<sup>1</sup>, Yeon Sang Kim<sup>2</sup>, Hong Sik Han<sup>3</sup>, Heok Soo Jeon<sup>3</sup>

*ILJIN Nonwoven co*<sup>1</sup>, *Korea Institute of Industrial Technology*<sup>2</sup>, *Micro-One, 368, Yeongok-gil, Ijang-myeon, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 31026, KOREA*<sup>3</sup>

#### 요약

산업시설에서 배출되는 배기가스의 미세먼지와 원인물질에 의한 대기질 오염 문제가 국제적으로 높은 관심을 가지게 되면서 배기가스 배출허용 기준이 갈수록 높아지고 있음. 높아지는 배출허용 기준을 충족시키기 위한 개발이 전 세계적으로 이루어지고 있으며, 저온촉매를 이용하여 대기오염물질을 제거하는 기술이 각광받고 있음. 저온촉매를 사용한 필터를 개발하기 위한 방안으로 촉매를 대량 적용시킨 PTFE MCA(Membrane Catalyst Assembly) Filter를 만들고자 하였고, 해당 제품을 제조하기 위하여 PTFE bulky 부직포 제조기술을 개발하고자 함. DeNO<sub>x</sub> 촉매담지 PTFE 부직포를 제조하기 위하여 고통기성 PTFE 부직포는 촉매입자를 최대한 담지할 수 있도록 통기성이 우수하면서 Bag Filter로 사용할 수 있는 강도와 균일성을 보유하여야 함. bulky 부직포를 제조하는 과정 중 Needle Punching 밀도를 낮췄을 때, 강도가 저하되는 문제가 있으며, PTFE 섬유에서 밀도, 크럼프, 정전기 등의 문제로 인하여 균일성을 갖춘 부직포 제조가 어려움이 있음. 본 연구에서는 오프닝 공정조건 연구로 높은 밀도의 PTFE 섬유를 별키하게 하여 밀도를 낮추고, 카딩 및 크로스래퍼 공정조건 연구로 불안정한 크럼프, 정전기 문제를 보완하여 균일한 웹 제조를 하고자 하였음. 이렇게 균일한 웹을 제조한 후 니들펀칭으로 결합시 다양한 Needle Punching 밀도를 변경하여 PTFE 부직포를 제조한 후 물성을 분석하여 통기성이 우수하면서 Bag Filter로 사용 가능한 강도를 갖는 고통기성 PTFE 부직포 제조 공정조건을 확립하고자 하였음.

## 저온 DeNOx 활성이 향상된 촉매 연구

**연태현<sup>1</sup>, 박은덕<sup>2\*</sup>**

제이케이글로벌<sup>1</sup>, \*아주대학교 화학공학과/에너지시스템학과<sup>2</sup>

### Catalyst Development for Low-temperature DeNOx

**Tae Hun Yeon<sup>1</sup>, Eun Duck Park<sup>2\*</sup>**

*JK Global<sup>1</sup>, \*Department of Chemical Engineering and Department of Energy Systems  
Research Ajou University<sup>2</sup>*

#### 요약

탈질반응(DeNOx)은 배기가스 중에 포함된 NO와 NO<sub>2</sub>를 암모니아와 반응을 시켜서 질소로 전환시켜서 제거하는 반응으로 바나듐 계열 촉매를 이용하여 300°C 내외의 중온에서 상업적으로 진행되고 있다. 하지만 대부분의 배기가스의 배출온도가 이 작동온도보다 낮기 때문에 200°C 이내의 낮은 온도에서 탈질반응을 수행할 수 있는 촉매에 대한 관심이 높아져 가고 있다. 특히 미세 입자 등을 동시에 제거하는 백필터와 연계하여 탈질반응을 수행하는 경우 이러한 저온 탈질촉매에 대한 수요가 높은 상황이다. 이를 위해서는 저온에서도 NO와 암모니아와의 반응을 통해 질소로 전환시킬 수 있는 고효성 촉매, 배기가스 중에 포함된 산소와 NO의 반응을 통해 NO<sub>2</sub>를 제조한 다음 소위 fast SCR반응을 통해 NO<sub>2</sub>를 제거하는 다단계 촉매, 배기가스 중에 NOx와 동시에 포함된 SOx에 의해 생성되는 암모늄이황산염을 제어할 수 있는 촉매에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 발표에서는 이러한 저온 탈질촉매에 대한 연구 동향을 고찰하고 본 과제에서 수행 중인 촉매에 대한 실험결과를 일부 공유하고자 한다.

## 소각시설 복합오염물질 동시제거용 PTFE MCA 필터모듈 운전특성 연구

황상연, 박철우, 김형래

고등기술연구원, 수소에너지솔루션센터

### Study on the operating characteristics of PTFE MCA filter module for simultaneous removal of multiple pollutants in incineration facilities

Sang Yeon Hwang, Cheol Woo Park, Hyeong Rae Kim

*Institute for Advanced Engineering, Hydrogen Energy Solution Center*

#### 요 약

국내 산업시설에 적용된 연소 시 발생하는 미세먼지와 원인물질인 질소산화물(NOx) 제거 공정은 백필터를 이용한 여과집진기와 SNCR(Selective Non-Catalytic Reduction) 또는 SCR (Selective Catalytic Reduction) 기술이 주류를 이루고 있으며 이들 공정을 단계별 혹은 동시에 적용하는 하이브리드(hybrid)형 기술도 일부 활용되고 있다. 특히, 대용량 연소공정에서는 대기환경보전법에 의해 배연탈질 설비를 통해 질소산화물 배출을 줄이고 있음에도 불구하고 배출총량의 한계점에 도달하여 환경규제치는 점차 강화되고 있으며 기존 설비의 개선을 요구하고 있다. 그러나, 질소산화물 제거 공정은 상호간 장·단점으로 인해 탈질효율과 경제성이 상충되어 대형 설비의 경우에는 효율이 높은 SCR 공정을 사용하나 설치비 및 운영비가 매우 높은 문제가 있으며, 중소형 설비의 경우에는 효율은 다소 낮지만 경제성을 고려하여 주로 SNCR 공정을 채택하고 있으나 공정 효율이 60% 정도이므로 이를 활용하여 강화된 배출허용기준을 충족하기는 현실적으로 어려울 것으로 판단되므로 기존 공정의 낮은 효율을 보완하고 경제성 확보가 가능한 PTFE MCA 필터를 이용한 탈질 기능을 추가하는 것이 효과적인 대안이 될 수 있다. 이에, 본 연구에서는 250°C 고온 조건에서 사용 가능한 내열성과 내화학성이 우수한 PTFE 소재 적용 복합 필터미디어를 이용하고 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/TiO<sub>2</sub> 계열의 탈질 촉매 담지를 통해 탈질 기능이 첨가된 PTFE MCA 필터를 국산화 개발하고 있으며, pilot 실험 장치를 이용하여 상용설비 운전 모사조건에서 MCA 필터모듈에 대한 차압발생 및 역세특성 등 운전 특성을 파악하고 여과 및 탈질 효율 분석을 통해 성능을 확인하였다.

사사 : 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행한 과제입니다(No.20026357).

## PTFE MCA Filter 모듈의 성능 향상을 위한 DeNO<sub>x</sub> 촉매 코팅법 최적화

심지한<sup>1</sup>, 구영애<sup>1</sup>, 전혁수<sup>1</sup>, 황상연<sup>2</sup>, 홍기훈<sup>2</sup>, 박철우<sup>2</sup>

(주)마이크로원<sup>1</sup>, 고등기술연구원연구조합<sup>2</sup>

### Optimization of DeNO<sub>x</sub> Catalyst Coating Method to Improve Performance of PTFE MCA Filter Module

**Ji Han Sim<sup>1</sup>, Young Ae Koo<sup>1</sup>, Heek Soo Jeon<sup>1</sup>, Sang Yeon Hwang<sup>2</sup>, Gi Hoon Hong<sup>2</sup>, Cheol Woo Park<sup>2</sup>**

*Micro-One, 368, Yeongok-gil, Ipjang-myeon, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 31026, KOREA<sup>1</sup>, Institute for Advanced Engineering, 175-28, Goan-ro 51 beon-gil, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 17180, KOREA<sup>2</sup>*

#### 요 약

최근 산업시설 배기가스에 포함 되어있는 미세먼지와 산성가스(질소산화물(NO<sub>x</sub>), 황산화물(SO<sub>x</sub>), HCl 등을 저감하기 위한 고성능 소재 개발 및 공정 개선 등에 많은 관심 및 연구가 활발히 진행되는 추세이다. 중소형 소각시설과 같은 소규모 기업의 경우 복수 개의 단위설비의 조합 등과 같은 방법은 경제적 및 공간적 문제 등으로 인해 현실적인 해결방안으로는 적용에 어려움이 있어 정부의 대기환경 규제치 강화에 대응이 가능하고 동시에 경제적인 시설 맞춤형 기술이 필요한 시점이다. 또한, 대형 사업장도 설비의 증축이나 추가적인 기술 도입을 통해 강화되는 대기배출허용 기준을 맞추는 것은 부담스러운 실정이다. 본 연구에서는 미세먼지와 질소산화물을 동시에 제거하는 저비용 고효율의 하이브리드 PTFE MCA 필터 제작 및 활용 기술 개발에 대해 연구하였다. 본 연구에 앞서 PTFE 파이버 내 탈질촉매를 담지하여 PTFE 필터미디어를 제작하여 질소산화물 저감 효과를 확인하였으나, 성능 향상을 위해 촉매가 담지된 필터미디어에 추가적인 촉매를 코팅하여 성능을 보완하였다. 정상 및 온도조건이 다양한 배기가스의 맞는 저온활성 촉매, 황(S)의 내성이 있는 촉매 등을 적용하는 연구를 진행하였다. 조건에 맞는 촉매와 용매를 최적 비율로 교반하여 코팅액을 제조하고 이를 Dipping 코팅 방식으로 담지한 후, 스퀴징(Squeezing), 건조(Dry), 합지(Lamination) 공정을 통해 필터미디어를 제작한다. 성능이 향상된 PTFE MCA 필터미디어는 200°C 조건에서 SNCR의 성능보다 우수하며, SNCR과 PTFE MCA 필터모듈을 동시 적용시 SCR과 유사한 탈질제거 효율을 확인하였다. 본 연구에서는 PTFE MCA 필터모듈을 개발함으로써 국산화 기술개발을 통해 독과점적인 외국기술의 의존을 탈피하고, 소각시설 뿐만 아니라 미세먼지 및 질소산화물 배출하는 산업계 전반에 적용이 가능할 것으로 보이며, 공간확보, 생산성 향상 및 원가절감 등 기존 방지 시설 대비 경제성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

## 수소충전 시스템 내 폭발 위험성 평가에 관한 연구

김부승, 김보명, 이한주, 홍승택†  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on the Explosion Risk Assessment on Hydrogen Refueling System

**Boo-Seung Kim, Bo-Myeong Kim, Han-ju Lee, Seung-Taek Hong†**  
*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation, Republic of Korea*

#### 요 약

전 세계적으로 수소 안전 관리에 대한 활발한 연구가 이루어지고 있는 가운데, 수소충전소에 관한 안전영향평가의 방법과 기술 또한 고도화되고 있다. 기존 Oil&Gas 분야에서 신뢰도 높게 사용되는 위험성 평가 Tool들이 수소 취급 시설에 대해서도 범용적으로 사용되고 있다. 그러나 이러한 tool들은 대부분 2D 배경에서의 Open space 위험성 평가를 기본으로 하고 있다. 비록 지표면의 거칠기, Congestion area의 높이 등의 영향을 고려할 수 있도록 만들어져 있지만, 대부분의 고압설비들이 방호벽에 둘러싸여(혹은 기계실 내에 위치하여) 있는 수소충전소에 대한 위험성 평가는 다소 과장된 평가 결과가 나올 우려가 있다.

수소충전소에 대한 위험성 평가 시 고려되는 Consequence analysis 항목으로는 즉시 점화에 의한 제트화염과 지연점화에 의한 Explosion 및 Flash fire가 있다. 그 중 발생했을 시 가장 큰 피해를 불러올 수 있는 것은 지연점화에 의한 Explosion일 것이다. 수소충전소의 안전성 향상과 안전비용의 효율적 관리를 위해서는 이러한 고위험 사고 시나리오인 Explosion 시나리오에 대한 보다 정확한 3D 환경에서의 위험성 평가가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 실제 일반적인 수소 충전소를 CFD Tool을 활용하여 모사하고 기계실 내에서의 고압 수소 누출 시나리오를 구성하였다. 그런 뒤 지연점화에 의한 Explosion 시나리오를 진행하여 Explosion Risk Assessment(ERA)를 수행하였다. 이러한 과정을 통해 기계실 내에서의 폭발에 의한 과압 영향을 3D 환경에서 분석함으로써 수소충전소 안전성 향상을 위해 기여하고자 한다.

**Acknowledgment :** 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE) 및 한국에너지기술평가원(KETEP)의 2020년 산업기술혁신사업 지원으로 수행되었습니다.(No.202003010040010, 수소전기차 다차종 동시충전을 위한 광역수소충전소 핵심기술 개발)

Corresponding author : hongjinny@kgs.or.kr

## 수소충전소 압력용기의 복합비파괴 재검사 제도화를 위한 기법 정립을 위한 연구

이민경, 정오현, 박요한, 하상준  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on Establishing techniques for Complex NDT Re-inspection of Hydrogen filling station TYPE1 Pressure Vessel

Min kyung Lee, Oh Hyun Jeong, YoHan Park, Sang Jun Ha  
*Institute of Gas Safety, Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

최근 전 세계적으로 이슈되고 있는 지구 온난화의 속도를 늦추기 위해 수소는 친환경 에너지원으로 두루 활용되고 있다. 국내에서는 수소 경제의 활성화에 대한 방안으로 수소전기차 보급 및 수소충전소 설치 확대를 통해 수소 활용 활성화를 추진하고 있다. 하지만, 수소의 경우 수소가 갖고 있는 수소취성, 넓은 연소범위 등의 물리화학적 문제에 의해 안전관리에 큰 관심이 필요하다. 수소충전소에 사용되는 고압 수소 저장용기는 국제표준(SAE J 2601)에 따라 수소전기차를 70MPa의 압력으로 충전하기 위해 그 보다 높은 85MPa 이상의 초고압으로 충전되며, 수소충전소가 가혹한 운전조건으로 운영될 시 과부하가 발생 된다면 이에 따른 결함 생성 및 성장으로 인한 압력용기의 건전성 저해 가능성이 높아질 수 있다. 4년마다 이뤄지는 수소충전소용 압력용기의 재검사는 KGS AC116 “고압가스용 저장탱크 및 압력용기 재검사”기준에 의해 재검사가 이뤄지나 현재 육안검사, 두께검사 등 간단한 방법이 검사법이 주를 이루고 있어, 고압으로 운영되는 수소충전소 압력용기 재검사에 한계가 있을 수 있다. 한국가스안전공사 가스안전연구원은 TYPE1 고압용기의 건전성 확인을 위한 복합 비파괴 재검사 방법의 국내 도입을 위한 연구를 수행하고 있다. 복합비파괴검사는 음향방출시험을 통해 확인된 결함의 위치를 위상배열초음파를 통해 결함의 크기를 파악하고 이를 통해 압력용기의 운영 상황에 따른 한계수명을 평가하는 기법이다. 본 연구에서는 복합 재검사 기법의 타당성을 확인하기 위해 가압 반복시험, 다양한 시험편의 활용, CAE를 이용한 분석 등 다양한 분야의 연구를 수행하고 있으며, 이를 통해 정립한 복합 비파괴 재검사 기법은 기존 재검사 방법에 비해 수소충전소용 압력용기의 건전성을 확인할 수 있는 고도화된 방법이라 할 수 있을 것이다. 복합 비파괴 재검사 기법은 수소 경제 활성화에 있어 안전한 수소 사용 환경 조성을 위해 연구되고 있는 다양한 기법 중 한 가지 방법이 될 것으로 기대한다.

본 연구는 2021년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행되었습니다. (No.20215810100040)



## 수전해 수소충전소 설치에 대한 안전기준 검토

김정아, 오정석, 김정훈  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on the Review of Safety Standards for the Field Application of Hydrogen Station with Water Electrolysis Device

**Jeong-Ah Kim, Jung-Suk Oh, Jung-Hoon Kim**  
*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

탄소중립 달성을 위해 친환경 수소 생산 및 공급 확대가 필요한 시점에서 그린수소를 생산하는 수전해 기술은 전 세계의 주목을 받고 있다. 수전해 수소충전소는 수전해 설비로부터 생산한 수소를 바로 사용하는 ON-SITE형 제조식 수소충전소로, 수소 수급에 문제가 발생했을 때 지체 없이 수소연료를 사용할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 국내 수전해 수소충전소는 아직 연구용에 국한되어 있어 상용화가 되지 않은 실정이다.

한국가스안전공사에서 수소용품(수전해설비, 연료전지, 수소추출설비)과 수소충전소 시설에 대한 검사를 각각 진행하고 있으며, 수전해 수소충전소로 구축하는 경우가 설비가 수소충전소에 미치는 위험성에 대한 안전기준은 아직 마련되지 않았다. 즉, 제조식 수소자동차 충전의 시설·기술·검사 기준(KGS FP216)에 따르면, 수소연료 사용시설의 시설·기술·검사 기준(KGS FU671)을 일부 준용하여 수전해 설비 자체에 대한 설치 기준은 있으나 수소충전소 내 다른 고압가스 설비들과의 영향을 고려한 시설 및 기술기준은 미비하다. 따라서 이를 보완한 수전해 수소충전소 설치 관련 안전기준의 확립이 필요하다.

본 연구에서는 국내외 수전해 수소충전소 설치 사례를 검토하고, 관련 법령 및 안전기준을 분석하였다. 향후 수전해 설비 설치 시 발생하는 위험요소와 수소충전소 내 다른 설비들과의 영향력을 분석하여 추가적인 안전기준안을 도출할 예정이다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(No. RS-2022-00156525)

## 국내 개발 수소 연소기 안전성 확보를 위한 성능 평가 방안 도출 연구

**이화영, 조영광, 하상준**  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### **A Study on Performance Evaluation Measures to Ensure Safety of Developed Hydrogen Burners**

**Hay Young Lee, Yeong-Gwang Jo, Sang Joon Ha**  
*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation*

#### **요 약**

환경 분야 문제해결을 위해 세계적으로 에너지 사용의 탄소 배출량을 줄이기 위해 노력하고 있다. 연소 후에 이산화탄소가 발생하지 않는 수소가 주목받고 있으며, 에너지원으로 활용하기 위한 다양한 연구가 수행되고 있다. 국내에서도 2050년도 탄소중립 실현을 위해 수소경제활성화로드맵 수소경제이행계획 등의 정책을 수립하고 있다. 최근에는 수소를 직접 연소하여 발전 및 스팀/온수 보일러로 활용하기 위한 연소기 개발이 추진되고 있다. 수소를 사용하는 연소기는 연소 중 역화, 누출로 인한 사고 발생 등의 위험이 있으므로 안전성을 확보하기 위해 연소 성능, 안전장치 작동 성능 등을 종합적으로 평가할 수 있는 안전기준을 확보할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 개발되고 있는 수소 연소기의 특성 및 해외 안전기준을 분석하여 안전성 확보에 필요한 요소를 도출하여 향후 국내 안전기준의 기초자료로 활용하고자 한다.

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물·대기환경산업 경쟁력 강화를 위한 핵심기자재 국산화 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.  
(RS-2023-00219971)

## 액화수소 버퍼탱크의 재료 최소허용온도에 대한 고찰

김정환, 이성우, 하상준  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Reviewing Minimum Allowable Temperature(MAT) for Liquid Hydrogen Buffer Tank Materials

**Jeong Hwan Kim, Seong-Woo Lee, Sang-Jun Ha**  
*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

2050년까지 탄소 중립을 달성하고 미래 환경 문제에 대응하기 위해 수소의 다양한 활용이 증가하고 있습니다. 수소 수요의 증가에 따라 다양한 공급 및 저장 방법이 연구되고 있으며, 이에는 고압 가스 저장(최대 90MPa), 저온 액체 저장(-253℃), 슬러리 저장, 극저온/고압 저장, 수소화합물 저장, 고체 저장 등이 포함됩니다. 최근에는 금속과 수소가 반응하여 형성되는 고체 수소/고압 수소 방출 합금 소재를 활용한 공급 방법이 연구되고 있습니다. 이에 따라 액체 수소 버퍼 탱크를 설치하여 가스 수소 공급 라인과 최종 사용자 수소 충전소 사이에 -40℃의 최소 설계 금속 온도를 보장하고자 하는 관심이 높아지고 있습니다. 본 연구에서는 ASME 및 API에서 저온 탱크에 사용되는 재료의 최소 허용 온도(MAT)를 결정하는 방법을 소개하고, -40℃의 최소 설계 금속 온도를 보장하기 위한 기술적/이론적 배경을 제공합니다. 또한 MAT를 결정하는 데 필요한 최소 요건과 -40℃를 보장하기 위한 기본 데이터에 대해 논의합니다.

## 수소충전소 실시간 안전관리를 위한 모니터링 신호 분석 기법 개발

이우귀연, 이진한, 오정석  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Development of Monitoring Signal Analysis Methods for Real-time Safety Analysis of Hydrogen Refueling Station

Ugwiyeon Lee, Jeong Suk Oh  
*Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

수소경제종합정보포털에 따르면 2018년에는 18개소에 그쳤던 수소충전소가 빠르게 증가하여 2024년 2월 기준으로 290개소가 구축되었으며 국내 등록된 수소차는 34,872대에 이르게 되었다. 그러나 수소충전소는 다른 가스시설과 비교해서 매우 높은 압력(약 900bar)을 사용하고 있으며, 수소분자의 크기가 매우 작기 때문에 누출이 쉬운 취약성을 가지고 있다. 이에 따라 한국가스안전공사가 독일 BAM(Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung)과 협력하여 수소충전소의 안전관리를 체계화하고 지능화하기 위해 수소충전소 원격 모니터링, 진단, 안전관리를 위한 디지털솔루션을 공동개발하고 있다. 수소충전소는 온도, 압력, 유량, 누출 등 다양한 요소들을 모니터링하여 위험관리와 운영 최적화에 노력하고 있지만, 심층 분석을 통한 잠재된 위험 도출까지는 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구는 수집된 다양한 모니터링 요소들을 위험분석 기법을 적용하여 잠재된 위험을 도출하고 적절한 위험관리 방안을 제시하고자 한다. 또한, 일시적인 분석이 아닌 모니터링 신호의 실시간 분석을 통해 수소충전소 공정 상황에 따라 달라질 수 있는 위험 시나리오를 도출하고 해당 시나리오에 대한 위험 등급(빈도분석+피해영향분석)을 설정하고자 한다. 이를 위해 기존 위험분석 방법을 분석하고 CCPS, TNO, API 기준 등을 바탕으로 실시간 위험분석이 가능한 알고리즘을 구축하였다. 또한 HAZOP 정보와 연계하여 공정 신호에 따른 정성적 위험 시나리오를 도출하여 관리자에게 제공하고자 한다. 시스템 구축은 금년말까지 진행될 예정이며 내년(2025년도)에는 독일에서 실증용으로 구축되는 수소충전소에 시범 적용될 예정이다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20228520040030)

## 수소 누출 및 확산 예측을 위한 정량적 특성-결과 관계(QPCR) 모델 개발

이준서<sup>1</sup>, 이슬기<sup>2</sup>, 마병철<sup>1,2\*</sup>

전남대학교 공정혁신시뮬레이션센터<sup>1</sup>, \*전남대학교 화학공학과<sup>2</sup>

### Developing Quantitative Property-Consequence Relationship (QPCR) Models to Predict Hydrogen Leakage and Dispersion

Junseo Lee<sup>1</sup>, Seulgi Lee<sup>2</sup>, Byungchol Ma<sup>1,2,\*</sup>

Center for Process Innovation Simulation, Chonnam National University<sup>1</sup>, \*Department of Chemical Engineering, Chonnam National University<sup>2</sup>

#### 요 약

환경 친화적이면서 미래 에너지로 각광받는 수소는 누출이 되면 인화성 증기운을 형성하며, 잠재적인 점화원에 의해 화재나 폭발 등 화학사고로 전이될 수 있다. 이를 예방하기 위해 수소의 확산 거동을 예측하는 것은 중요하다. 이 연구의 목적은 RSM(Response surface method)과 ANN(Artificial neural network) 기법을 적용하여 수소의 누출에 따른 확산 정도를 신속하고 정확하게 예측하기 위한 정량적 특성-결과 관계 (QPCR, Quantitative property consequence relationship) 모델을 개발하는 것이다. 먼저 Source model과 dispersion model을 이용하여 8가지 변수를 설정하였으며, 6,561 회의 PHAST 시뮬레이션을 통해 데이터셋을 구축하였다. 이후, BBD(Box-Behnken design) 설계법을 적용한 RSM-BBD 모델, BPNN(Back propagation neural network) 알고리즘을 적용한 ANN-BPNN 모델, 그리고 RSM의 결과를 활용하여 영향력이 작은 4가지의 변수를 분산분석(ANOVA)하여 제거한 후 BPNN 알고리즘을 적용한 Hybrid 모델을 개발하였다. 세 가지 모델 모두 0.99 이상의 결정계수를 나타냈으며, Hybrid 모델의 경우 ANN-BPNN 모델의 해석비용을 97% 절감할 뿐만 아니라 다른 두 모델에 비해 현저히 낮은 MSE(Mean squared error)를 나타내었다. 본 연구의 결과는 낮은 계산 비용으로도 높은 정확도의 QPCR 모델을 얻기 위한 방법론을 제시함과 동시에 다양한 통계적 기법의 접근 가능성을 시사하였고, 이는 화학공정의 안전성 향상을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 수소연료전지 건설·산업기계 특성을 반영한 수소충전 기준안 개발 연구

이한주, 김민아, 한연우, 김승환  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Development of hydrogen refueling technical standards for hydrogen fuel cell construction·Industrial Machinery

**HANJOO LEE, MINAH KIM, YEONWOO HAN, SEUNGHWAN KIM**  
*Institute of Gas Safety R&D Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

최근 전 세계적으로 수소연료전지를 다양한 모빌리티에 적용하는 사례가 증가하고 있다. 수소연료전지는 기존 화석연료 기반의 엔진보다 SOx, NOx, 미세먼지, CO2 등 유해물질의 배출량이 적은 장점을 가지고 있다. 유해물질의 발생량이 많은 건설·산업기계에 대해서도 국내외에서 수소연료전지 기술을 적용하는 사례가 늘고 있으며, 건설·산업기계에 수소연료전지를 적용할 경우 수송 전체 부문의 22%를 차지하는 탄소배출 비율을 획기적으로 감소시킬 것으로 예상된다.

현재 미국, 유럽, 일본 등 해외에서 굴착기, 휠로더 등 수소연료전지 건설기계에 대한 개발·실증을 진행하고 있으며, 특히 수소연료전지 지게차의 경우 기존의 디젤 엔진 대비 유해물질의 발생량이 적고, 배터리 방식 지게차 대비 충전시간을 대폭 줄일 수 있어 월마트, 코카콜라 등 30여개 사업장에서 50,000대 이상의 수소연료전지 지게차를 운영하고 있다.

국내의 경우 현대건설기계, 범한, 두산, 가온셀 등 기업에서 수소연료전지 굴착기, 스킴로더, 지게차 등을 개발하고 있으나, 현행 법령 제약사항이 많아 ‘규제샌드박스’라는 제도를 활용하여 연구 및 실증을 진행하고 있다. 향후 수소연료전지 건설·산업기계의 개발이 완료되었다하더라도, 위에서 언급된 수소모빌리티의 도입 및 활용을 위해서는 수소충전 법령이 정비되어야 충전이 가능하다.

본 연구에서는 규제특례가 승인된 수소연료전지 건설·산업기계용 수소충전소의 정량적 위험성 평가하여 기존의 충전소와 위험도를 비교·분석하였으며, 각 기업에서 실증을 위한 추가안전기준 등 건설 및 산업기계의 다양한 특성을 반영하여 제조·저장·이동식 KGS Code 개정 방향을 도출하였다.

## 액화수소 충전소 모니터링 시스템 개발

조진영, 김민아†

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Development of A Liquid Hydrogen Refueling Station Monitoring System

**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

정부 정책에 따라 액화수소 충전소를 '25년까지 40개소, '30년까지 70개소 보급을 목표로 하고 있다. 액화수소는 기체수소를 20K의 극저온으로 냉각시켜 액화시킨 것으로, 기체수소 대비 동일 부피에 약 800배의 용량이 저장 가능하다. 이로 인해 누출, 화재 등에 대한 위험도가 상승하여 위험요인에 대한 안전성 확보가 필요하다. 이에 고압가스 안전관리법 시행규칙 별표5 제1호나목5)에 근거하여 액화수소충전소 모니터링 시스템을 구축하고, 액화수소 충전소 사고예방 및 위험요소 사전모니터링 체계를 마련하고자 한다.

본 연구에서는 액화수소충전소 위험신호(가스검지기, 불꽃검지기, 긴급차단장치 등) 및 경고신호(압축기, 압축가스설비, 충전기 등 압력/온도/유량 이상발생 시)를 모니터링하고, 액화수소 충전소의 안전성 향상을 위해 액화수소충전소 운영 데이터를 수집 및 분석하여 사고 발생 전 선대응 조치 가능한 시스템을 마련하고자 한다.

Acknowledgement : 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE) 및 한국에너지기술평가원 (KETEP)의 2022년 산업기술혁신사업 지원으로 수행되었습니다.

(No.2022731010005C, 액화수소 저장탱크를 적용한 대용량 수소충전소 전환기술 및 실증)

## 천연가스 배관 내 수소 혼입에 따른 연소기 제조업체 국내 현황

신현국, 조영광, 하상준  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Domestic status of combustor manufacturers according to hydrogen blending in natural gas piping network

Hyun-Gook Shin, YeongGwang Jo, Sang-Jun Ha  
*Institute of Gas Safety R&D Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

지속가능한 에너지 공급을 위해 수소가 각광받고 있으나, 수소의 연료로의 활용은 여전히 새로운 기술적, 환경적 도전에 직면하고 있다. 이에 따라 수소 사회로 단계적인 전환을 진행하고자 기존의 천연가스 인프라를 활용하기 위해 천연가스 배관 내에 수소를 혼입하여 사용하는 연구 또한 세계적으로 활발히 진행 중이며 국내에서도 이와 관련하여 다양한 방면으로 연구가 수행 중이다.

본 연구에서는 천연가스 수소 혼입에 따른 연소기의 영향성을 검토하기 위해 실증에 앞서 국내의 여러 연소기 관련 제조업체들을 방문하여 수소 혼입에 대한 연소기 영향, 중점 검토 사항 및 수소 혼입 전략 등을 검토하였다.

향후 실증 연구를 통한 검증이 이루어지겠지만 소량의 수소 혼입으로 인한 연소기의 영향성에 대해서는 큰 문제가 없을 것으로 예상되지만 일부 특정 연소기의 경우 검토 및 조정해야 할 사항들이 많으므로 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

본 연구는 국내 연소기 제조 업체들과 협력을 통해 수소 혼입 연소기 실증을 위한 사전 연구 자료를 얻을 수 있었다. 이를 통해 향후 유효성 있는 실증 연구를 진행하여 국내 천연가스 산업의 지속가능한 발전과 에너지 전환 정책 수립에 기여할 것으로 기대된다.



## 수소혼입 연소성능 평가장치 분석

조영광<sup>†</sup>, 신현국, 하상준  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Analysis of Combustion Performance Evaluation Device for Hydrogen Blended

YEONGGWANG JO<sup>†</sup>, HYUNGOOK SHIN, SANGJUN HA

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

*1390 Wonjung-ro, Maengdong-myeon, Eumseong-gun, Chungcheongbuk-do, 27738, Korea*

#### 요약

기후변화 문제로 인하여 국제사회는 온실가스 감축목표(2030 NDC)를 설정하고 이산화탄소 배출량을 줄이기 위해 노력 중이다. 온실가스 감축을 위한 방안 중 하나로 도시가스에 수소를 혼입하여 사용 후 배출되는 가스 내 이산화탄소 배출량을 감소시킬 수 있다. 다만, 수소가 도시가스에 혼입되면 연소성능의 변화가 발생하여 안정적으로 사용이 가능한 수소 혼입 농도를 확인하는 실증이 필요하다. 수소는 연소속도가 도시가스에 비하여 빨라 역화의 위험성이 존재하고 연소 시 화염온도가 변화하여 배기가스의 농도에 변화를 줄 수 있다. 본 발표에서는 연소기의 성능을 시험하는 장치에 대해 분석하고 수소 혼입 시 연소성능변화를 확인할 수 있는 평가 방법에 대해 논하고자 한다.

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

## 수소혼입 환경에서 액화천연가스를 연료로 사용하는 주택용 가스기기의 배기가스 배출특성

송기종, 강영각, 강재철, 오석호, 김호엽, 이원준, 이민정  
한국에너지기기산업진흥회

### Emission Characteristics of Exhaust Gases on Residential Appliances with LNG in the Hydrogen-Mixed Environment

**Ki-jong Song, Yeong-gak Kang, Jae-cheol Kang, Seok-ho Oh, Hyo-yeop Kim,  
Won-jun Lee, Min-jeong Lee**  
*Korea Energy Appliances Industry Association*

#### 요약

세계적으로 기후변화에 따른 환경문제가 대두되면서, 이를 해결하기 위해 선진국을 필두로 많은 국가들이 탄소중립 선언과 이행에 동참하고 있다. 이에 따라 국내에서도 2020년 10월 ‘2050 탄소중립’을 선언하고, 관계부처 합동으로 탄소중립 달성을 위한 추진전략을 마련하여 경제구조 저탄소화, 저탄소 산업 생태계 조성 등을 위해 노력하고 있다.

이러한 환경 속에서 주요 탄소 배출원으로 지목되고 있는 화석연료의 사용을 줄이고자 친환경 에너지인 수소로의 전환기술에 많은 관심을 보이고 있다. 다만 아직까지는 수소를 생산하는 과정에서 발생하는 탄소량, 생산가격, 고유 물성으로 인한 취성 및 누출 등 해결해나가야 할 문제들이 많은 실정이다. 이에 따라 수소를 차세대 에너지로 활용하기 위하여 국내·외적으로 연구가 활발히 진행되고 있다.

화석연료에서 수소로 에너지원을 전환하기 위해서는 이들을 연료로 사용하는 기기들에 대한 안전성 평가가 필수적이다. 이와 관련된 연구로 영국에서 ‘HyDeploy 프로젝트’를 통해 천연가스 네트워크에 대한 수소 20% 혼입을 실증하였으며, 미국은 ‘HyBlend 프로젝트’에서 천연 가스 배관망과 기기에 대한 수소 호환성을 분석하였다. 국내에서도 2023년 도시가스 배관 내 수소혼입에 따른 안전성 검증에 대한 실증 연구가 시작되었으며, 기존 가스기기에 대한 연소안정성, 배기가스 중 CO, NO<sub>x</sub>의 증·감 및 수소 취성에 따른 재료 부식 등에 대한 검토가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 ‘주택용/산업용 연소기·가스기기 연소성능 안전성 검증 및 안전기술 개발’ 연구 과제의 결과를 바탕으로 액화천연가스를 모사한 등가가스에 수소가 혼입된 환경에서 기존 주택용 가스기기의 배기가스 배출특성을 소개하고자 한다.

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)

## 수소혼입 비율에 따른 연소기의 수소-메탄 화염거동 시뮬레이션

조정민, 성재용\*

서울과학기술대학교 일반대학원 기계공학과, \*서울과학기술대학교  
기계·자동차공학과

### Simulation of Hydrogen-Methane Flame Behavior of Combustor according to Hydrogen Mixing Ratio

**Jung-Min Cho, Jaeyong Sung\***

*Graduate School of Mechanical Engineering, Seoul National University of Science and  
Technology*

*\*Department of Mechanical & Automotive Engineering, Seoul National University of  
Science and Technology*

#### 요 약

지구온난화와 기후변화에 대한 문제에 대해 국제사회는 온실가스의 실질적인 배출량을 줄이기 위해 탄소중립(carbon neutrality)을 추진하고 있다. 특히 오늘날의 주요 에너지원인 화석연료는 주성분이 탄소(C)로 구성된 탄소화합물로 연소 시 주요 온실가스인 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 배출하므로, 연소과정 또는 연소기기에서 배출되는 탄소를 저감시키기 위한 기술개발이 이슈이다.

한편, 수소(H<sub>2</sub>)는 가연성 기체로 단위질량당 높은 발열량을 가졌으며, 연소반응 후 생성물질이 순수한 수증기(H<sub>2</sub>O)를 배출하므로 꾸준히 화석연료를 대체할 청정자원으로써 고려되어온 물질이다. 특히 최근 수소의 생산, 저장 및 운반 기술이 발전함에 따라 수소에너지의 사용화가 추진되고 있으며, 기존의 탄소화합물을 사용하는 연소기기의 연료에 수소를 혼입하여 사용함으로써 가정 및 산업현장의 연소기기에서 배출되는 이산화탄소 감소 및 안전성 평가를 실증하고자 하는 프로젝트(미국의 HyBlend 프로젝트, 독일의 H2HoWi 프로젝트, 일본의 Harumi Flag 프로젝트 등)가 활발히 진행되고 있다.

그러나, 수소혼입 도시가스의 상용화를 위해선 이산화탄소 감소 및 안전성과 더불어 화염 온도 및 발열량 등의 기초적인 연소특성에 대한 분석이 반드시 선행되어야 한다. 산업현장의 수십만 kcal/h의 용량을 갖는 대용량 열량민감기기의 경우 연료의 연소온도 및 발열량 차이로 인해 운용에 문제가 발생하거나, 규격을 변경해야하는 문제로 인해 큰 경제적손실을 초래할 수 있는 민감한 사항이기 때문이다.

따라서 본 연구는 수소혼입 비율에 따른 연소특성 분석을 위한 연구로, 혼합가스를 사용하는 연소기기의 수소-메탄 화염거동의 시뮬레이션을 수행하여 수소가 혼합된 연소가스의 연소특성을 분석했다.

직경 3mm의 노즐의 단일화염을 형성하는 실제 분젠버너 실험 장치를 참고하여 연소영역을 해석모델로 설계했으며, 층류화염을 형성하는 동일한 유량 조건에서 메탄-수소 혼합연료의 혼합비를 변수로 해석을 수행했다.

연소특성 중 화염의 분석 결과 수소의 혼입 비율이 증가함에 따라 화염의 최고 온도가 상승하는 반면, 화염 길이가 감소하는 현상을 보였다. 연소반응의 생성물의 농도를 분석한 결과는 수소의 혼입 비율이 증가함에 따라 이산화탄소의 배출량은 감소하는 경향을 보였으나, 고온의 화염으로 인해 질소산화물의 생성은 증가하는 경향을 보였다.

## 수소 농도가 수직배관 내 수소-메탄 혼합가스의 층분리에 미치는 영향

김태균, 성재용\*

서울과학기술대학교 석사과정, \*서울과학기술대학교 기계자동차공학과 교수

### Effect of H<sub>2</sub> Concentration on Stratification of H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> Gas Mixture in a Vertical Pipe

**Tae Kyun Kim, Jaeyong Sung\***

Graduate school, Seoul National University of Science and Technology

\* Dept. Mechanical and Automotive Engineering,

Seoul National University of Science and Technology

#### 요 약

오늘날 주요 에너지원으로 사용되는 화석연료는 연소 과정에서 CO<sub>2</sub>와 NO<sub>x</sub> 등 가스가 배출되는데 이 가스들은 환경오염이나 온실효과를 일으키는데 주요원인이 된다. 이를 방지하기 위해 현재 국내에서는 도시가스에 수소를 5%부터 시작하여 20%까지 점차 늘려가며 혼입하여 사용하는 것에 목표를 두고 연구를 하고 있다.

본 연구는 수소 혼입 도시가스의 상용화 및 분석방법 개발 연구로써, 수소 혼입 도시가스 사용 시 밀폐된 배관 내에서의 유동특성 분석을 위해 CFD를 활용하여 밀폐 및 중력만 작용하는 조건에서 되어있는 수직배관 내 흐름이 멈춘 수소-메탄 혼합가스의 유동을 수치해석하여 수소의 농도가 혼합가스의 층분리에 미치는 영향을 분석했다.

해석조건으로 mixture model을 사용하여 배관 내 작동유체는 메탄과 수소로 설계했으며, 메탄-수소의 혼합비를 변수로 설정하여 수소 농도가 수직 배관 내에서 수소-메탄 혼합가스의 층분리 현상에 어떤 영향을 미치는지 연구하였다.

해석한 결과 초기 균일하게 혼합된 상태의 수소-메탄 혼합가스는 중력에 의한 자연대류와 두 기체의 밀도차로 인해 시간이 지남에 따라 층분리가 일어났으며, 층분리 과정에서 무거운 기체인 메탄은 가라앉고 반대로 메탄보다 상대적으로 가벼운 수소는 메탄이 하강하면서 부력을 받아 위로 상승했다. 또한 수소농도가 증가할수록 층분리 현상에서 배관 내에서 분리된 수소가 차지하는 체적이 넓어졌으며, 수소가 밀집되는 밀폐배관의 최상단 영역의 수소농도 또한 높아졌다.

## 천연가스 수소혼합 비율에 따른 가정용 보일러의 안전성에 관한 실험적 연구

임재범\* · 박준규  
경동나비엔 기술연구소

### An Experimental Study on the Safety of Residential Gas Boiler according to the Natural Gas Hydrogen Mixing Ratio

#### 요 약

천연가스 배관에 수소를 혼입하면 천연가스 사용량이 줄어 온실가스 발생을 감축할 수 있다. 본 연구에서는 천연가스 수소혼합 비율에 따른 가정용 보일러의 안전성에 관한 실험적 연구에 대해 진행 하였다. 천연가스 대신에 규격 시험 시 사용하는 R-Gas(Reference Gas)를 사용하여 수소의 혼합 비율(5-20%)에 따른 연소특성 및 기본 성능 변화, 장시간 사용 시 안전성에 대해 평가 하였다. 수소 혼합 비율 증가에 따라 화염 속도 증가로 인해 화염 안전 영역이 소폭 상승하였으며 연료 중 포함되어 있는 탄소량 감소로 인해 CO는 소폭 감소하는 경향이 있었다. 기존 보일러의 오리피스를 변경하지 않고 수소가 혼합된 가스를 적용 할 경우 공기비 증가로 인해 NOx가 감소하는 경향이 있었으며 효율 차이는 1% 이내로 차이가 없었다.

## NG-H<sub>2</sub> 혼소 가스의 수송 물성치 편의 계산법 제안

신재훈\*, 민세훈\*\*, 문석수\*\* 이창언\*\*

\*인하대학교 대학원 기계공학과

\*\*인하대학교 기계공학과

### Proposal of Convenient Calculation Method for Transport Properties of NG-H<sub>2</sub> Mixed Gas

Jaehun Shin\*, Se Hun Min\*\*, Seoksu Moon\*\*, Chang-Eon Lee\*\*

\*Graduate School of Mechanical Engineering, Inha University

\*\*Dept. Mechanical Engineering, Inha University

#### 요 약

기존 연소 시스템은 장기간의 경험을 바탕으로 열교환기, 연소기, 등이 설계되었다. 하지만, 도시가스 내 수소를 혼입하고자 하는 정부 정책이 추진되고 있어, 이에 적합한 연소 시스템을 단기간에 설계해야 한다. 수소는 점성 계수와 열전도 계수, 확산 계수와 같은 수송 물성치가 도시가스와 달라 이를 명확히 분석하여 설계 인자에 반영하면 단기간에 설계가 가능할 것으로 판단된다. 이러한 수송 물성치에 해당하는 점성 계수, 열전도 계수 및 확산 계수를 정의하는 식은 분자운동론에 기반하여 계산되기 때문에 매우 복잡하여 설계 인자로 반영하기에 매우 까다로운 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 복잡한 형태의 수송 물성치들을 쉽게 계산하기 위해 Chemkin transport 데이터베이스에 의거하여 온도에 따라 수송 물성치들을 근사적으로 계산할 수 있는 polynomial 근사식을 제시하는 것을 목표로 하였다. 대상 가스는 국내에 보급되는 도시가스의 주 성분인 메탄 외 대표 연소가스 12종을 대상으로 하였으며, 도시가스 내 수소를 혼입하는 것을 고려하여 수소 혼입률 별 각 수송 물성치를 계산하는 법을 제시하였다.

#### 후 기

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

# 수소혼입 비율 변화에 따른 가정용 가스보일러 성능 및 안정성 분석 연구

강기섭, 박대환, 이광섭, 정은찬  
 귀뚜라미 냉난방기술연구소

## Analysis of domestic gas boiler performance and stability according to changes in hydrogen blending ratio

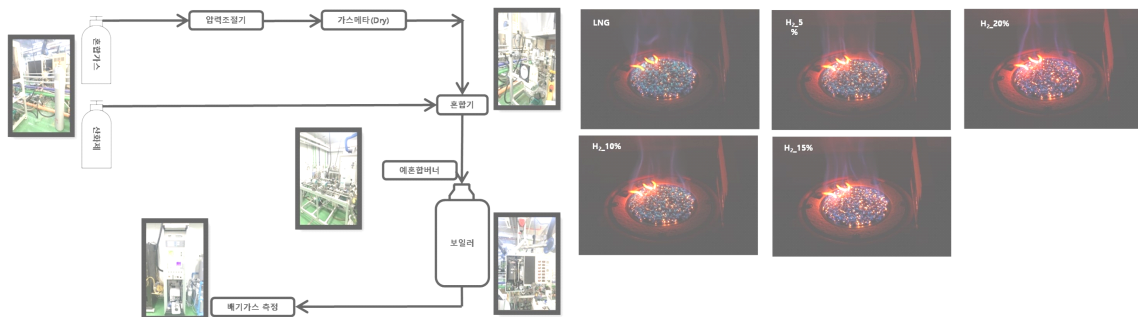
Kie-seop Kang, Dae-hwan Park, Kwang-seop Lee, Eun-chan Jeong  
 Kiturami Air Conditioning and Heating Technology Research Center

### 요약

지구 온난화로 폭염, 폭설, 태풍, 산불 등 이상기후 현상이 세계 곳곳에서 나타나고 있고, 국제사회는 기후변화 문제의 심각성을 인식하고 이를 해결하기 위해 선진국에 의무를 부여하는 ‘교토의정서’ 채택에 이어 선진국과 개도국 모두 참여하는 ‘파리협정’을 채택하였다.<sup>[1]</sup> 정부는 2030년 국가 온실가스 감축목표(NDC, Nationally Determined Contribution) 달성 및 2050년 탄소중립을 위해 건물 부문 온실가스 직접 배출량을 감축하겠다는 목표를 제시하였다<sup>[2]</sup>. 탄소중립을 위한 온실가스 배출량을 줄이고, 수소 공급을 늘려 수소 경제를 활성화 하는 노력의 일환으로 정부는 2026년까지 도시가스에 수소를 혼입하는 것을 목표로 하고 있다. 도시가스에 20% 수소를 혼입한 경우, 연간 약 765만 톤 규모의 이산화탄소를 감축할 수 있으며, 2,708억 원의 탄소배출권 확보가 가능하다.

수소 혼입 시 가정용 가스보일러 및 가스 연소기는 사전에 안전성 검증을 확보해야 한다. 전문가들의 의견은 여전히 분분한 상황이며, 예상치 못한 문제에 대비하여 기기에 대한 안전성 검증 및 실증이 반드시 필요한 상황이다. 안전에 관한 대표적인 문제로 크기가 작고 가벼운 수소의 특성으로 인해 수소취성(Embrittlement), 누출, 도시가스와의 분리 현상, 역화, 화염부상 등이 있다.

본 연구를 통해 가스보일러를 대상으로 수소함량이 증가할수록 열효율, 연소상태 변화, 연속도, 가스누출, 배기가스 농도, 역화현상 등에 대하여 안전성 검증을 수행하였다. 실험 결과 수소 함량이 증가할수록 화염색 변화(적염→청염)하고, 화염의 폭이 소폭 감소하였다. 혼입 농도에 따른 전 구간에서 폭발적 점화 또는 소화 현상, 화염부상, 역화 등의 문제도 발생하지 않았다.



1. 관계부처 합동. 2020 ‘2050 탄소중립’ 추진전략
2. 관계부처 합동. 2021a. 「2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안」.

## 천연가스 배관망내 수소 혼입이 천연가스자동차에 미치는 영향 연구

김창기, 박철웅, 김민기, 오세철\*  
한국기계연구원, \*부산대학교

### The Study on the Effect of Hydrogen Blending in City Gas Pipeline Network on Natural Gas Vehicles

Changgi Kim, Cheolwoong Park, Minki Kim, Sechul Oh\*  
Korea Institute of Machinery and Materials, \*Pusan National University

#### 요 약

지구온난화를 방지하고자 전세계적으로 화석연료의 사용을 줄이고 무탄소 또는 저탄소 에너지로의 전환을 확대하고 있는 추세이다. 대표적인 무탄소 에너지인 수소는 지구온난화 방지에 가장 큰 기여를 할 것으로 기대되지만 이송과 저장에 있어서 다른 에너지에 비해 어려움이 있는 것도 사실이다. 이를 해결하기 위해 최근 EU와 미국을 중심으로 천연가스 인프라를 활용한 수소전환 프로젝트를 진행하고 있으며 도시가스 배관에 최대 20%의 수소를 혼입하는 기술을 개발 및 실증 중에 있다. 국내에서도 정부의 2050 탄소중립 정책을 실현하고자 도시가스 배관망에 수소혼입의 필요성을 인식하고 수많은 실증을 통해 호환성 및 안전성을 확보하고자 노력하고 있다.

본 연구는 천연가스배관망 내에 수소를 혼입할 경우 영향을 받을 수 있는 여러 가지의 천연가스 사용기기 중 천연가스자동차(NGV, Natural Gas Vehicles)에 탑재된 엔진에 대한 실증연구이다. 국내 천연가스자동차의 대부분을 차지하는 천연가스 시내버스의 엔진을 대상으로 최대 20%의 수소를 천연가스에 혼입하는 경우를 적용하고 있으며 기존 천연가스 엔진의 데이터를 수정 없이 사용할 경우와 수소 혼입비율에 따라 최적화를 적용할 경우를 나누어서 비교할 예정이다. 수소 혼입비율에 따른 출력성능과 배기성능 뿐만 아니라 엔진의 운전안정성, 최대 압력, 노킹과 같은 연소안정성을 연구하여 궁극적으로는 수소혼입의 최대 가용 가능한 수준을 확인하고자 한다.

사사: 이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. RS-2023-00237341, 주택용/산업용 연소기·가스기기 연소성능 안전성 검증 및 안전기술 개발)



## 국제 e-메탄 공급망 실증사업 추진 전략 및 시사점

남궁윤

한국가스공사 경제경영연구소

### The Implementation Strategy of International e-Methane Value Chain Pilot Project and Implications

Yoon Namgoong

Research Institute of Economics & Management, Korea Gas Corporation

#### 요 약

탄소중립연료인 e-메탄은 기존 천연가스 배관망에 메탄으로 공급할 수 있을 뿐만 아니라 육해상 연료와 수소 수송 운반체로 활용 가능하기 때문에 최근 관심이 더욱 증대되고 있다. 현재 여러 국가에서 다수의 기업들이 e-메탄 기술개발 및 상용화를 위한 사업성 검토 등 e-메탄을 생산하고 활용하기 위한 다양한 공동 연구와 실증사업을 추진하고 있다.

이에 e-메탄 주요 활용분야 및 국가별 e-메탄 실증사업 동향과 국제 e-메탄 공급망 실증사업 추진 전략을 살펴보았다.

일본 기업들은 자국 내 실증 프로젝트 외에도 미국, 호주, 싱가포르, 페루, UAE 등에서 e-메탄을 제조·액화해 일본으로 운송하기 위해 국제 공급망 구축 실증사업을 추진 중이고 독일도 핀란드, 호주, 미국 등에서 e-메탄 수입을 위한 타당성조사를 수행중이거나 실증사업을 계획 중이다. 한편으로 LNG 수출 산업이 발달하고 재생에너지 가격이 저렴한 미국, 호주, 중동국가들은 e-메탄 수출을 위한 기술개발과 실증사업에 대한 정책적 관심이 증가하고 있다.

국내에서도 도시가스 부문의 탄소중립 실현을 위한 다양한 방안 중 하나로 e-메탄을 활용할 계획이다. 천연가스의 대체제로서 수소를 직접 이용하는 방안은 CO<sub>2</sub>를 배출하지 않기 때문에 바람직하지만 앞으로 높아질 청정수소 해외 의존도를 고려할 때 e-메탄 형태로 도입하여 활용하는 것도 가스 탈탄소화의 또 다른 한 축이 될 수 있을 것이다.

e-메탄은 LNG 산업이 발달한 수출입국에서 기존 천연가스 인프라를 활용할 수 있기 때문에 상당한 메리트가 있다.

현재 추진 중인 국제 e-메탄 프로젝트들은 2030년경 상용화가 개시될 것으로 예상되기 때문에 이러한 미래 트렌드를 파악하여 천연가스 인프라와 노하우가 잘 갖춰져 있는 우리나라도 e-메탄 기술 개발과 상용화를 위한 과감한 투자와 정책적 지원이 시급히 이루어져야 할 시점이다.

## 수소와 이산화탄소로부터 합성연료를 생산하는 기술

전기원

한국화학연구원

### Production of synthetic fuels from hydrogen and carbon dioxide

Ki-Won Jun

*Korea Research Institute of Chemical Technology*

#### 요 약

재생에너지의 비중이 증가함에 따라 잉여 전력을 저장하고 활용하는 기술 개발이 중요해지고 있습니다. 수소와 이산화탄소를 이용한 합성연료 생산 기술은 잉여 전력을 저장하고, 항공, 해양 운송 등 탈탄소화가 어려운 분야에 활용될 수 있는 핵심 기술이다. 재생에너지 수소를 기반으로 합성 탄화수소 연료를 만드는 방법은 Power-to-Gas (PtG)와 Power-to-Liquids (PtL)로 구분된다. PtG는 잉여 전력으로 물을 전기분해하여 수소를 생산하고, 이를 이산화탄소와 반응시켜 메탄(CNG) 또는 합성천연가스(SNG) 등을 생산한다. 장점은 비교적 간단한 기술과 낮은 운영 비용이지만, 에너지 밀도가 낮고 운송 및 저장에 어려움이 있다. PtL은 PtG와 유사하나 Fischer-Tropsch 공정을 통해 휘발유, 디젤, 제트 연료 등 액체 연료로 변환한다. 장점은 높은 에너지 밀도와 기존 액체 연료 인프라 활용 가능성이지만, 복잡한 기술과 높은 운영 비용이 단점이다. PtG와 PtL 기술을 혼합한 하이브리드 기술은 두 기술의 장점을 결합하여 탈탄소화 연료 생산의 효율성을 높일 수 있다. PtL 공정에서 분리하기 어려운 저비점 생산물과 미반응 가스를 메탄화 반응을 통해 SNG로 변환하여 PtG 시스템에 공급하는 방식을 통해 액체 연료 생산 효율을 높이고, 생산물 전체의 에너지 밀도를 증가시킬 수 있다. 결과적으로, 하이브리드 기술은 경제성과 에너지 효율을 최적화 시키는 최적의 방안이 될 수 있다. 수소와 이산화탄소를 이용한 합성연료 생산 기술은 미래 에너지 시스템에서 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. PtG, PtL, 하이브리드 기술 등 다양한 기술 개발을 통해 탈탄소화 목표 달성과 지속 가능한 에너지 시스템 구축에 기여할 수 있을 것이다.

## 청정수소 및 CO<sub>2</sub>를 활용한 E-methane 생산 기술 개발 현황

김수현, 유영돈, 서민혜  
고등기술연구원

### E-methane Production Technology using clean hydrogen and CO<sub>2</sub>

Suhyun Kim, Youngdon Yoo, Minhye Seo  
*Institute for Advanced Engineering*

#### 요약

E-methane은 청정수소와 포집된 이산화탄소를 활용하여 생산할 수 있으며 천연가스의 주성분인 메탄과 유사하다. 무탄소 전원 기반의 청정수소와 대기중 배출된 이산화탄소를 사용하기 때문에 연소 중 이산화탄소가 배출되더라도 탄소 중립에 기여가 가능하며, 기존 천연가스와 화학적으로 비슷하기 때문에 LNG 운반선 및 운송시설, 천연가스 배관망, 천연가스를 활용하는 설비에 이르기까지 기존 인프라를 거의 그대로 활용할 수 있다. 우리나라와 에너지 현황이 유사한 일본에서는 E-methane을 그린수소를 위한 비용 효율적인 운반체로 평가하여 2030년 도시가스 사용량의 1%, 2050년 도시가스 사용량의 90%를 E-methane으로 공급하기 위한 목표를 수립하였다. 탄소중립을 위한 에너지 전환 및 에너지 안보를 위한 안정적인 공급망 확보가 중요하며 이를 위해 청정수소 뿐만 아니라 E-methane과 같은 E-fuel 생산 및 공급망 구축이 필요하다. E-methane 생산을 위한 대표적인 기술은 수전해 기술 및 CO<sub>2</sub> 메탄화 기술로 본 연구에서는 국내외 E-methane 기술 개발 현황 및 향후 전망, 연간 60만톤의 E-methane을 해외도입하는 경우의 균등화메탄가격을 분석하였다.

#### 사사

본 연구는 2021년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.20218801010030)

## “합성메탄” 에서의 CCU의 법률적 검토

김동련\*

신안산대학교

### CCU's Legal Review in “Synthetic Methane”

Kim, Dong-ryun

Shinansan University

#### 요 약

탄소중립을 위한 온실가스 감축 주요 수단으로 에너지 효율 향상, 전기화, 재생 에너지, 바이오에너지, 수요 회피, CCUS 등이 있으며 CCUS 기여도는 18%로 전망되었다(Net Zero by 2050, IEA, 2021).

CCUS 기술 중에 하나가 합성메탄 제조가 있다. 합성메탄은 재생가능 에너지 유래등의 수소와 회수한 CO<sub>2</sub>로부터 합성된다. CO<sub>2</sub>는 수소·재생가능에너지 합성메탄으로서 수요 측에 공급되기 위한 매체이며, 합성메탄의 연소 시에 배출되는 CO<sub>2</sub>는 회수한 CO<sub>2</sub> 이기 때문에 추가적으로 새로운 CO<sub>2</sub>가 배출되는 것은 아니다.

이와 같은, 도시가스 탄소중립화를 위한 관련 제도 및 시스템 검토 필요성이 높아짐에 따라 합성메탄과 바이오메탄 활용에 대한 기술 개발 및 법제도 정비가 요구된다. 특히 일본 정부는 국제 에너지 정세 변화 속에서 세계적인 탄소중립 움직임을 고려, 에너지 안정공급 및 2050년 탄소중립 실현을 위해 도시가스 탄소중립화를 검토 중이다. 현재 도시가스 원료인 액화천연가스(LNG)를 대체하는 가스는 LNG의 주성분이 메탄인 합성메탄 및 바이오메탄 등과 메탄 이외의 가스 형태의 에너지인 수소가 있다.

CCU(Carbon dioxide Capture and Utilization: CO<sub>2</sub>를 회수하여 연료·화학품·건축 자재 등의 제조에 활용하는 것)를 활용한 CO<sub>2</sub> 저감방안 노력에 따른 관련 법률과의 연계를 적극적으로 검토해볼 필요가 있다. 즉, CO<sub>2</sub> 거래 방법 및 환경 가치 이전, 합성 메탄 공급처에서의 카본풋프린트 시산 등으로 활용 방법을 구체적으로 검토해야 할 것이다.

최근 「이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률」이 통과되면서, 이산화탄소를 다양하게 활용할 수 있는 방안이 모색되었다. 그러나 실질적으로 하위법령의 마련이 필요하고 관련 법률과의 연계를 통한 다음과 같은 입법화 연구가 필요하다.

첫째, CCUS법에서 사용하는 포집한 CO<sub>2</sub>에 대한 정의가 필요하다. CCUS법에서는 포집한 CO<sub>2</sub>라는 정의를 하고 있는데, 이는 CO<sub>2</sub> 스트림과 대통령령으로 정하는 CO<sub>2</sub>로 입법적 해석이 요구된다.

둘째, CCU기술에 따른 지원정책에 대한 입법화가 요구된다. CCUS법에서 사용하고 있는 지원정책에 대한 분석을 통한 산업계의 투자와 재원확보가 요구된다.

셋째, 부처에 대한 협력이 요구된다. 산업통상자원부, 과학기술정보통신부, 환

경부 등 다양한 부처가 연계되어 있으므로 이에 대한 협력이 요구된다. 더욱 중요한 것은 컨트롤타워가 필요하다.

이와 같은 입법적 정비 및 하위법령을 마련함으로써 CCU를 활용한 산업의 발전이 이루어질 것이다.

**Key words** 이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률(CCUS법), 탄소중립, 합성메탄, CCU, 입법, 지원정책, 포집한 이산화탄소

### 사사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20214710100040, CCUS 법률안 정비 및 수용성을 포함한 제도적 기반 구축)

### 참고문헌

1. 김동련, CCUS법률에 입법정책적 검토, 토지공법연구, 제105권, 한국토지공법학회, 2024, 253-273면.
2. 김동련, 우리나라의 CCUS 관련 입법 현황과 개선방안, 법학연구, 한국법학회, 제22권제4호, 2022, 43-66면.
3. 한민지, 탈탄소사회와 독일 기후대응법제의 동향 -독일의 최근 「연방 기후보호법」; 위헌 판결을 중심으로, 법학논문집 제45집 제2호, 중앙대학교 법학연구원 2021.
4. <https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=5332006>
5. 임지영, 일본 도시가스부문의 탄소중립화 방법과 추진방향, 세계 에너지시장 인사이트, 제23-17호, 2023. 9. 4

## 캐나다 블루수소와 CCS/CCU 기술 이용한 합성메탄 도입 및 활용에 대한 분석

김기동, 최용호, 빅터리\*, 원자영\*, 오정경\*\*, 이시승\*\*, 김태운\*\*\*, 이종준\*\*\*\*  
 딜로이트컨설팅, \*주한캐나다알버타주 한국대표사무소, \*\*퓨어스에너지솔루션  
 \*\*\*한국남동발전, \*\*\*\*한국지역난방공사

### Analysis of synthetic methane introduction and utilization in Korea using Canadian blue hydrogen and CCS/CCU technologies

Kidong Kim, Yongho Choi, Victor Lee\*, Wonja Young\*, JeongKyung Oh\*\*  
 Siseung Lee\*\*, Taeyoon Kim\*\*, Jongjun Lee\*\*\*\*

*Deloitte Consulting, \*Korean Representative Office in Alberta Embassy of Canada,  
 \*\*Purearthenergy Solutions, \*\*\*Korea South-East Power Co. Ltd, \*\*\*\*Korea District  
 Heating Corporation*

#### 요 약

인간에 의한 화석연료 사용에 의한 온실가스 배출로 발생하는 기후변화를 대응하기 위하여 글로벌에서는 연료를 현재 탄소 다배출 연료에서 저탄소 연료로의 전환이 진행 중이다. 한국도 UN에 제출한 2030년까지 국가온실가스 감축 목표에 따라 기존 화석연료인 석탄, 천연가스 등을 대신하는 저탄소 수소 생산, 저장, 운송(공급) 및 이의 활용에 대해 정부, 산업계 등에서 노력 중이다. 그러나 한국내 재생자원 부족으로 부득히 저탄소 수소도 해외로부터 도입이 필요한 실정이다. 해외로부터 저탄소 수소를 도입하는 대상 국가는 미국 등의 아메리카, 칠레 등의 남아메리카, 호주, 중동 등의 다양한 저정확적 국가가 있지만, 전쟁이 없으면서 공급망이 원활하고 천연자원이 풍부한 캐나다 중에서 특히 알버타주는 저렴하면서 CCS/CCU를 활용하여 생산할 수 있는 블루수소 기반의 수소 자원이 많다. 본 발표에서는 캐나다 알버타주의 천연가스를 기반으로 개질기(SMR, ATR)과 CCS 기술을 적용하여 블루수소 생산과 생산된 블루수소를 한국으로 도입하는 것에 대한 총괄적인 개요 중심으로 발표하고자 한다.

블루수소를 대륙간 운송을 위해서 수소가 기체 연료이기에 이를 액체로 변환하여 선박으로 수입되어야 하는데, 대부분의 프로젝트는 공기 중의 질소를 이용한 암모니아 수소화합물 방법을 적용하였다. 본 분석에는 블루수소를 알버타주 발전소, 산업체에서 대기 중으로 이미 배출하는 이산화탄소를 포집하거나, 한국에서 포집된 이산화탄소를 캐나다 알버타주로 보내서 생산된 블루수소와 반응하여 합성메탄을 생산한 후 중소규모 메탄 액화설비(일명 LNG플랜트)를 이용하여 메탄을 액화한 후 이를 별도 수입할 수 있도록 LNG ISO Tank Container, 그리고 철도 운송 방식을 적용한 한국의 수입에 대한 분석을 하고자 한다. 이러한 방법으로 한국으로 수입 후에는 가스터빈기반 가스 발전소의 기존 천연가스와 합성메탄을 혼합 공급 하는 혼소 발전, 제약 플랜트의 보일러 연료, 부산 가덕도 신공항에서 부산광역시 도심까지 연결 운행될 수소철도의 청정수소 공급용, 국토부의 수소도시 연계형 저탄소 수소 공급, 지역난방용 저탄소 열공급 등으로 활용하는 것을 제시하고자 한다.

## 울릉분지 UBGH2-6 저류층 물성에 따른 생산 불확실성 분석

김영민, 이원석\*

한국지질자원연구원 해저지질에너지연구본부

### Analysis of Production Uncertainty Considering Reservoir Properties of UBGH2-6 in the Ulleung Basin

Young-Min Kim, Won-Suk Lee\*

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

#### 요 약

본 연구에서는 동해 울릉분지에 위치한 UBGH2-6 가스 하이드레이트 저류층의 물성 변화에 따른 생산 특성을 분석하였다. 이를 위해 하이드레이트 포화도 범위가 38.8%~86.2%인 하이드레이트 함유 사질층 14개로 구성된 Class 3 타입의 저류층 시물레이션 모델을 구축하였다. 9 MPa의 감압법을 1년간 적용한 결과, 약 440톤의 가스와 34,240톤의 물이 생산되었고 각 사질층별 감압 전파 및 해리 특성을 확인하였다. 민감도 분석을 통해 19개의 저류층 물성 변화가 생산량에 미치는 영향을 정량적으로 평가하였다. 공극률과 유효 투과도가 생산량과 높은 상관성을 보이며, 열 물성도 하이드레이트 해리 과정에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 민감도 분석을 통해 식별된 12개의 중요 변수에 초점을 맞춰 불확실성 분석을 수행하였으며, 라틴 하이퍼큐브 샘플링(Latin hypercube sampling) 기반 몬테카를로 시물레이션을 사용하여 불확실성 분석 과정에서의 효율성을 향상시켰다. 10년 동안 다양한 물성의 가스 하이드레이트 저류층에서 가스 및 물 생산 잠재력을 평가하기 위해 300개의 저류층 모델을 검토하였으며, 통계 백분위수(P10, P50, P90)를 사용하여 불확실성 정도를 정량화하였다. 분석 결과, 약 7,088톤의 중간 가스 생산량을 보이는 것으로 확인하였다. 본 연구를 통해 가스 하이드레이트 생산에 영향을 미치는 핵심 요소를 파악하였고 울릉분지 UBGH2-6 개발 전략을 수립하는데 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 사 사

본 연구는 한국지질자원연구원의 기본사업(GP2020-006)의 지원으로 수행되었습니다.

\*Corresponding Author(이원석), E-mail: [wslee@kigam.re.kr](mailto:wslee@kigam.re.kr)

## 암염 공동 내 수소 지중 저장 기술과 연구개발 동향

조성학, 강인구, 박경식, †이정환\*  
전남대학교 에너지자원공학과

### A Study on Underground Hydrogen Storage in Salt Cavern and Development Trends

Seonghak Cho, Ingu Kang, Kyoungsick Park, Jeonghwan Lee\*  
Dept. of Energy and Resources Engineering, Chonnam National University

#### 요 약

탄소 중립(net-zero) 달성을 위해 기존의 화석 에너지로부터 탄소 배출이 없는 신재생에너지로 전환이 이루어지고 있으나 발전량 예측이 어렵고, 수송 시 전력의 손실이 발생하는 문제가 있다. 이를 보완하기 위해, 물의 전기 분해를 통해 생산된 수소(hydrogen, H<sub>2</sub>)를 에너지 매체(energy carrier) 형태로 저장 및 활용하는 에너지 가스 전환(power to gas, PTG) 기술이 연구되고 있다. 이때 수소 지중 저장(underground hydrogen storage, UHS)은 생산된 수소를 저장하고 공급 안정성을 확보하기 위해 필수적이다. 본 연구에서는 암염 공동(salt cavern) 내 UHS의 기술 특성과 연구개발 동향을 분석하였다. 암염 공동 저장 방식은 암염(rock salt)의 낮은 공극률과 투과도로 인해 누출 위험이 적어 가스 저장에 적합하다. 또한, 공동 내 압력 유지를 위한 쿠션 가스(cushion gas)의 요구량이 적고 수소와 화학적 반응이 일어나지 않는다. 특히 다수의 주입/회수 사이클을 수행할 수 있어 안정적인 전력 공급에 유리하다. 현장 사례의 경우, 영국과 미국에서 석유화학 산업의 공정에 활용되는 수소를 저장하고자 약 2,262,000 m<sup>3</sup> 규모의 암염 공동을 운영하고 있다. 또한, 독일과 프랑스 등 유럽 지역에서는 PTG와 연계하여 UHS 및 활용을 위한 저장량 평가 및 실증 사업이 추진되고 있다.

#### 사 사

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00143541). 또한 본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20212010200010). 또한 본 연구는 2019년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20152510101980).

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



## 천연수소의 탐사 동향 조사 및 골든 수소 활용을 위한 기술 검토

한정민, 이흥, 윤준일, 서준우, 김기홍, 강일오, 박승수

한국가스공사 가스연구원

### 요 약

2015년 체결된 COP21(유엔 기후변화 컨퍼런스)에서 참가국들은 “2,100년까지 지구의 평균 기온 상승폭을 산업화 이전 수준과 비교해 2도 이하, 나아가 1.5도 이하로 억제하도록 노력한다”라고 결의하였다. 이에 따라 기후체제의 목표는 탄소중립이 되었고 국가 온실가스 감축목표 및 로드맵을 수립하였다. 탄소중립을 달성하기 위한 효과적인 대안으로 수소경제시대가 도래하게 되었다. 이에 수송/발전/산업용 등 각종 분야에서 사용할 수 있는 경제성있는 수소를 생산하기 위하여 여러 기술이 개발되고 있고 블루수소, 그린수소, 핑크수소, 청록수소 등 원료와 에너지원에 따라 매우 다양한 색상코드의 수소에너지가 정의되고 있다.

하지만 지금의 기술로 생산되는 수소가 경제적이고 깨끗하고 충분한 양을 제공할 수 있을지의 여부는 아직 불투명한 상황이다. IEA에서 발표한 자료에 의하면 재생에너지로 생산하는 수소에너지의 단위 비용은 3~7.5불로 블랙, 그레이, 블루수소의 비용보다 월등히 높은 상황이다.

반면 천연수소는 지구상에 자연발생적으로 부존하는 수소이다. 아프리카의 말리에서 2012년부터 생산을 시작하여 에너지원으로 활용되고 있는 천연수소는 현재 세계적 각지에서 발견되고 있으며 특히 미국, 유럽, 호주 등지에서 활발한 탐사가 진행되고 있다.

본 논문에서는 천연수소와 관련된 세계 각국의 탐사 현황과 기술 수준에 대해서 조사하였다. 그리고 천연수소의 생성 메커니즘을 연구하고 수소경제시대를 준비하기 위하여 필요한 경제성있는 수소의 생산을 위해 개발하여야 하는 적정 기술에 대해 검토하였다. 이를 바탕으로 국내 자원개발의 새로운 원동력인 천연수소의 기술 개발 방향을 수립하고 기초 연구를 수행할 수 있을 것으로 예상된다.

## 셰일저류층 대상 CS-EGR 최적화 연구

**이원석**

한국지질자원연구원

### Optimization Study on CS-EGR for Shale Reservoir

**Won Suk Lee**

*Korean Institute of Geoscience and Mineral Resources*

#### 요약

이산화탄소의 포집, 활용 및 지중저장(CCUS)은 온실가스 감축을 위한 가장 중요한 기술 중의 하나로 간주되고 있다. 발전소 등에서 포집된 이산화탄소는 영구 지중저장을 목적으로 대수층이나 유가스 저류층에 주입되게 되는데, 특히 유가스전을 대상으로 할 경우 이산화탄소 지중저장을 통한 영구 처분 뿐 아니라, 회수증진을 통한 경제성 추가 확보를 기대할 수 있다. 유전을 대상으로 한 다양한 회수증진 공법 중 이산화탄소 회수증진(CO<sub>2</sub>-EOR) 공법은 50년 이상의 개발 역사를 가지고 있지만, 이산화탄소 공급원 확보 문제, 고도의 기술 및 경험에 의존적이므로 제한된 업체에서만 운용 가능하며, 또한 단기 자금회수가 어려운 점, 비전통 자원에 대한 기술개발 지원 집중으로 상대적인 기술개발 진전이 느린 점 등으로 인해 크게 성장하지 못하고 있었다. 최근에는 가스 저류층 대상의 이산화탄소 주입을 통한 회수증진 및 이산화탄소 처분(CO<sub>2</sub> Storage-Enhanced Gas Recovery, CS-EGR) 연구가 증가되고 있는 추세이다. 특히 천연가스에 대한 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예측되고 있는 상황에서, 세계적으로 막대한 양이 부존되어 있는 셰일저류층의 경우 이산화탄소 주입을 통한 71 tcm(2,505 tcf)의 천연가스 추가 생산 및 약 281 Gt의 이산화탄소 저장 잠재력이 예측되기 때문에 다양한 활용 가능성에 대한 연구가 진행중에 있다.

셰일저류층 대상의 이산화탄소 주입에 따른 회수증진 및 이산화탄소 처분 최적화 과정은 기존 생산 극대화 최적화 과정보다 복잡한 형태의 분석법이 요구된다. 우선 대표적인 셰일저류층 특성(자연균열, 수압파쇄에 의한 투과도 변화, 암체 확산, 흡탈착 특성, 압력 변화에 따른 공극률, 투과도 변화 등)을 고려하여야 하며, 이를 기반으로 저류층 물성자료 뿐 아니라 주어진 운영 조건에 대한 민감도, 불확실성 분석 및 최적화 과정이 수행되어야 한다. 이 연구에서는 셰일저류층 대상의 이산화탄소 주입에 따른 저장 및 회수증진 최적화 분석을 수행하였다. 우선 셰일저류층의 대표적 유동 기작을 포함한 개념모델을 구축하였으며, 다음으로 목적함수로 메탄 누적 생산량 및 이산화탄소 저장량을 각각 선정하여 저류층 물성 민감도, 불확실성에 따른 변화 양상을 관측하였으며, 운영 조건에 따른 최적화 분석을 수행하였다. 메탄 누적 생산량의 경우 이산화탄소 저장량에 비해 저류층 물성 및 운영 조건에 대한 저류층 민감도 및 불확실성 폭이 크게 나타남을 관측하였다.

본 연구는 한국지질자원연구원의 기본사업(24-3311, 국내 대륙붕 3차원 석유시스템 평가 및 셰일가스전 EGR+ 원천기술 개발)의 일환으로 수행되었습니다.

## 계면활성제 선택이 대염수층 내 CO<sub>2</sub> 저장에 미치는 영향

조셉이란지<sup>1,2</sup>, 손한암<sup>1</sup>

1. 국립부경대학교 에너지자원공학과, 2. 르완다대학 광산학과

### Surfactant type selection and its implication to the CO<sub>2</sub> storage in saline aquifer

Joseph Iranzi<sup>1,2</sup>, Hanam Son<sup>1</sup>

1. Department of Energy Resources Engineering, Pukyong National University

2. Department of Mining, University of Rwanda

#### Abstract

CO<sub>2</sub> storage in the saline aquifer is a rapidly evolving technology with the potential to reduce the environmental impact of fossil fuel usage. CO<sub>2</sub> injection in saline aquifers invokes a capillary fingering, and only a small percentage of the pore space is filled with CO<sub>2</sub>. The surfactant utilization in the CO<sub>2</sub> storage has gained an attention due to its capability to improve CO<sub>2</sub> storage efficiency by reducing the interfacial tension (IFT) or wettability alteration (WA). In saline aquifers, IFT reduction reduces the magnitude of negative capillary pressure, releasing trapped brine. WA improves the percolation of the injected CO<sub>2</sub> into the small pores, which enhance the residual brine displacement. In most cases, IFT reduction and WA happen at the same time. However, depending on the surfactant type, IFT reduction can dominate WA or vice-versa. Therefore, a better surfactant selection leads to the effectiveness CO<sub>2</sub> storage. To evaluate the surfactant selection impacts to the CO<sub>2</sub> storage project, we compared two surfactant types: CO<sub>2</sub>-soluble surfactant (C-ss) (IsotridecylEthoxyltesTDA-11), which can reduce the IFT with constant wettability, and brine-soluble surfactant (B-ss) (SulfonicPOA-25R2), which can induce a coupled effect (by reducing IFT and change the rock wettability simultaneously). We firstly examined the effects of these surfactant to the relative permeability and capillary pressure, which later incorporated in the reservoir simulation. We subsequently performed reservoir simulation using Matlab Reservoir Simulation Toolbox (MRST - CO<sub>2</sub> lab) to evaluate the CO<sub>2</sub> distribution. We found that C-ss induces a better surfactant distribution than B-ss, which reduced the residual brine, increased the maximum CO<sub>2</sub> saturation and improve the injectivity due to the bottom hole pressure (BHP) reduction. However, a reduction of the residual brine impedes the residual CO<sub>2</sub> trapping, which can compromise the CO<sub>2</sub> storage security. Typically, surfactant utilization presented a wide range benefits to the CO<sub>2</sub> storage. However, the effectiveness of the surfactant utilization relied to the surfactant selection, injection condition, which can permit an effective distribution in the reservoir. Therefore, CO<sub>2</sub>-soluble surfactant is most preferable surfactant since improves the surfactant distribution and reduces the additional brine injection. Besides, CO<sub>2</sub>-soluble surfactant is limited to the IFT reduction and insignificant effects to the wettability alteration, which compromise a full utilization of a coupled effects induced by this surfactant.

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF 2022R1F1A1075117)

## 수소충전소 실시간 진단을 위한 디지털 트윈 개발

이진우, 박성수, 민진원, 한종일  
한국가스기술공사

### Development of Digital Twin for Real-Time Diagnosis of Hydrogen Refueling Stations

Jinwoo Lee, Songsoo Park, Jinwon Min, Jongil Han  
*Korea Gas Technology Corporation*

#### 요약

본 연구는 수소충전소 설비에 대한 철저한 안전과 신뢰 기준이 필요함을 인식하고, 이를 위해 디지털 트윈 기술을 활용하여 수소 충전소 설비의 실시간 상태 데이터를 클라우드 환경에서 분석하고 이상상태를 진단하는 방법론을 제안한다.

MATLAB Simscape를 활용하여 수소 충전소 압축 설비 시스템의 가상 모델을 구성하였으며, 실제와 가상 모델의 잔차 데이터를 기반으로 이상상태를 진단하는 함수를 개발하였다. 또한, 디지털 트윈 모델이 작동되기 위해 고성능 및 대용량의 데이터를 처리하는 아키텍처가 필요하므로 클라우드의 대표적인 플랫폼인 AWS(Amazon Web Services)의 Lambda, S3 버킷, IoT Core 서비스를 활용하였다.

설비의 센서에서 측정되는 실시간 상태 데이터는 클라우드로 전송되어, 미리 정의된 함수를 통해 이상 상태를 감지하고 진단한다. 이상 상태가 감지되면 SNS를 통해 현장 담당자에게 알림이 전달되는 체계를 구축하였다. 본 연구는 한국 서산시의 수소충전소에서 수집한 정상 운전 데이터를 통해 프로세스 모델을 검증하였으며, 수소 누출이 발생한 시점의 데이터를 통해 제안한 진단 기법의 견고성을 입증하였다.

Acknowledgement : 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20227310100060)

## 액화수소충전소에서 LH2 하역 중 증발 손실(BOG) 분석

이창열, 김지영, 심정연, 한정옥  
에이블맥스(주)

### Evaporation Loss Analysis during LH2 Unloading at a Liquefied Hydrogen Refueling Station

Lee ChangYeol, Kim JiYeong, Shim JeongYeon, Han JeongOk  
ableMAX Ltd.

#### 요 약

수소충전소에서 LH2(liquid hydrogen) 하역(unloading) 중 발생하는 BOG(boil off gas) 손실은 질량과 에너지 보존에 기반한 열역학 관계를 사용하면 매우 정확하게 예측할 수 있다. BOG는 극저온 유체가 2개의 용기(트레일러에서 스테이션 저장탱크, 스테이션 저장탱크에서 펌프 또는 자동차 탱크) 사이를 이송할 때 그리고 대기와의 열전달로 인해 가열될 때 발생한다. 실제로, 유체가 전체 경로(2상 천이, 과냉각, 과열, 막비등과 같은 불균일 온도 분포)를 따라 이동할 때 2상 유동 상태 파악과 정확한 상태 방정식 적용이 필수적이다.

본 연구에서는 액화수소 기반 충전소에서 하역 중 발생하는 BOG를 예측하기 위해 1D 기반 열유동 해석 도구인 Thermal Desktop 6.3을 사용하여 응축과 증발, 대류와 전도 같은 물리적 현상을 액면 상·하부와 벽면에 적용하였다. 가스 상태 방정식(EOS)은 Leachman, J.W. 모델을 사용하여 실제 가스의 상태를 반영하였고 상변화에 따른 물성치는 NIST 자료인 REFPROP를 사용하였다. 해석모델에서는 대기와의 열전달이 LH2 탱크의 액체 영역과 기체 영역에 각각 적용되도록 설정하였으며 두 탱크 사이의 배관에 대해서는 진공단열 배관 조건을 적용하였다.

LH2 트레일러에서 LH2 충전소의 저장탱크로 하역 과정에서 발생하는 손실은 bottom fill 조건에서 기체 공간의 압축("pdV")으로 인한 효과와 외부 열전달에 의한 증발 효과 그리고 충전 받는 용기의 벤트 압력 크기 및 탱크 초기 압력에 의한 영향을 각각 분석하였다. 이러한 결과는 LH2 충전소에서 저장탱크로 하역시 최적 운전 방식을 정하는데 활용될 수 있을 것으로 본다.

## 액화수소충전소에 대한 방호계층분석(LOPA) 설계 방안

서두현, 이광원\*, 홍성철\*\*, 이동민\*, 김현기\*, 신단비\*

피에스피, \*호서대학교 아산캠퍼스 안전공학과, \*\*호서대학교 천안캠퍼스  
산업안전공학과

### Study on the Design to Layer Of Protection Analysis for Liquefied Hydrogen Filling Stations

Seo Doo-Hyoun, Rhie Kwang-Won\*, Hong Sung-Chul\*\*,

Lee Dong-min\*, Kim Hyeon-ki\*, Shin Dan-Bee\*,

PSP(Process Safety Partner),

\*Department of Safety Engineering, Asan Campus, Hoseo University,

\*\*Department of Industrial Safety Engineering, Cheonan Campus, Hoseo  
University

#### 요 약

청정수소 생태계 조성방안('22.11)의 수소 유통 인프라 구축에 따라 액화충전소  
구축 보조금 확대 및 기체충전소를 액화충전소로 전환 계획에 따라 향후 액화수소  
충전소의 증가가 예상되고 있다. 또한, 유형 및 목적을 고려한 새로운 액화충전모델  
의 개발이 추진되어 지하 매몰형, 이동형, 복합충전소 등 액화수소의 활용에 다양화  
가 요구되고 있다.

그러나, 액화수소의 경우 타 가스에 비해 극저온의 온도와 작은 점화에너지만으로  
도 화재 및 폭발이 발생할 수 있는 위험성이 존재한다.

이러한 잠재위험요인을 포함하고 있는 시설 및 설비에 대해서는 여러 제도에서  
위험성평가 등을 통한 위험요인 확인 및 제거, 감소 대책을 마련하는 등 안전활동을  
요구하고 있다. 기존 수소충전소의 경우 위험요인을 확인하기 위한 방법으로 정  
성적 위험성평가인 HAZOP을 주로 활용하였으며, 피해영향분석(CA) 및 정량적 위  
험성평가(QRA)를 통해 개인적/사회적 위험도를 산출하여 위험도(Risk)의 확인 및  
위험감소 대책을 마련하는 등 안전확보를 도모하고 있다.

그러나, 이러한 활동은 안전장치 및 방호장치가 정상작동을 유지하며, 방호를 완  
벽하기 할 것을 전제조건으로 가정하고 있으나, 실제 발생된 사고 중에는 안전장치  
의 기능상실 및 미작동으로 인한 사례가 존재한다. 액화충전소의 경우 이러한 사고  
가 발생할 경우 피해영향을 매우 클 것이므로, 방호계층의 존재 유무 및 실효성에  
대한 분석이 추가로 필요할 것이다. 이러한 방법은 화학공장을 대상으로 방호계층  
분석(LOPA)를 통하여 사고발생을 줄이는 데에 효과적으로 사용되어지고 있다.

이에 본 연구에서는 기존 화학공장에서 적용 중인 방호계층분석을 액화수소충전  
소에 적용함으로써 액화수소충전소의 안전성향상을 기대할 수 있을 것이라 판단하  
고, 기존 화학공장에 적합하도록 구성된 방호계층분석 방법을 액화수소충전소에 적  
용가능한 방법론을 연구하여 액화수소충전소용에 적합한 방호계층분석을 설계하였  
다.

Acknowledgement : 본 연구는 2022년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가  
원(KETEP)의 액화수소 충전 핵심부품 및 시설 안전 기술개발사업으로 지원받아 수행한 성  
과입니다. (No. 20227310100060)

## What-if Simulation을 활용한 수소전기차 충전 시 위험 공급 조건 분석

이지선, 채충근, 이동현, 임경태  
(주)미래기준연구소

### Analysis of Risky Supply Conditions during Fueling of Hydrogen Road Vehicle Using What-if Simulation

Jisun Lee, Chungkeun Chae, Donghyun Lee, Gyeongtae Im  
*Mirae EHS-Code Research Institute*

수소전기차의 안전한 충전을 위해서는 위험한 수소 공급 조건을 사전에 파악하고 방지하는 것이 필수적이다. 미국 SAE(Society of Automotive Engineers) J2601 충전프로토콜에 따르면, 수소전기차 충전 시 용기 온도는  $-40^{\circ}\text{C}$ 에서  $85^{\circ}\text{C}$  사이, 충전율은 100% 이하, 충전 속도는 60g/s 이하로 제한한다. 특히 공급 가스 온도와 대기 온도가 충전 제한 조건에 가장 큰 영향을 미치는 변수로 작용한다.

본 연구에서는 MATLAB/Simulink를 사용하여 What-if Simulation 기능을 구현하였다. 이를 통해 다양한 공급 가스 온도와 대기 온도 조건에서 수소전기차 충전 시 발생할 수 있는 위험 공급 조건을 파악하였다. 시뮬레이션 결과, 공급 가스 온도와 대기 온도가 일정 범위를 벗어날 경우 수소전기차 용기에 수소 충전 온도와 충전압력이 안전 범위를 초과할 수 있음을 확인하였다.

What-if Simulation을 활용하여 위험 공급 조건 범위를 도출함으로써, 수소 충전 과정에서 용기 손상 및 안전사고로 이어질 수 있는 위험 요인을 사전에 파악할 수 있다. 이는 수소전기차 충전 인프라의 안전성 확보에 기여할 것으로 기대된다.

# 수소 충전 배관을 통한 열전달 모델 개발 및 온도 상승의 정량적 영향 분석

박병흥

한국교통대학교 화공생물공학과

## Development of Heat Transfer Model through Hydrogen Refueling Line and Quantitative Analysis of Temperature Rise Effect

Byung Heung Park

*Department of Chemical and Biological Engineering, Korea National*

*University of Transportation*

*Chungju-si, Chungcheongbuk-do, 27469, Korea*

### 요 약

수소 연료 전지 차량은 화석연료 기반으로 개발되어 있는 운송 분야의 에너지 전환에 필수적인 요소로 수소 충전 인프라 확충과 더불어 탈탄소 정책 실현을 위한 필수적인 산업 분야이다. 수소 인프라의 효율적인 활용을 위해서는 상용차 분야에서 수소의 활용이 선행되어야 하며 충전 기술 또한 대용량 상용차에 맞춰 제안되어야 한다.

현재는 압축 수소를 저장 시스템으로 채택하여 수소 연료 전지 차량이 개발되고 있다. 차량 내 저장 탱크에 수소를 고압으로 충전하는 과정에서 온도 상승은 필수적으로 수반된다. 탱크의 안전성 유지를 위해 차량 내 수소의 최대 온도에 대한 제한이 있으며 이를 맞추기 위해서 충전소에서는 예냉 과정을 통해 차량에 공급되는 수소의 에너지를 사전에 낮추는 방식을 사용하고 있다. 그러나, 예냉 이후에도 충전소와 차량의 배관을 통과하는 과정에서 대기에 노출되어 있는 배관을 따라 열유입이 발생한다. 이는 차량에 도입되는 수소의 온도 상승을 유발하므로 이에 대한 정량적 분석은 충전 방안 개발에 필수적으로 요구된다.

본 연구에서는 충전 배관에서 발생하는 열전달 메커니즘을 분석하여 유량, 대기 온도 등 충전 조건에 따른 열전달 유입 모사가 가능한 모델을 개발하고 이를 이용하여 대용량 고속 충전 등 상용차에 필요한 새로운 충전 방안 개발에서 수소의 유입 온도 상승 영향을 평가하였다.

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



## 수소충전소 설계 및 운전 안전성 평가를 위한 사전진단 프로그램 개발에 관한 연구

강석민, 임동휘\*, 서재민†  
(주)세이프티아

### A Study On The Development of Pre-diagnosis Program for Design and Operation Safety Assessment of Hydrogen Station

Suk Min Kang, Donghui Lim\*, Jae Min Seo†  
SafeTia Co., Ltd.

#### 요 약

최근 수소충전소의 위험 요인 진단 미흡으로 시공 및 운영이 진행됨에 따라 설비 고장 및 사고가 빈번하게 발생하여 경제적 손실이 초래되고 있다. 이에 수소충전소 설계 및 운전 안전성 평가를 위한 사전진단 프로그램 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 국내 수소충전소 실정에 적합한 LOPA(Layer of Protection Analysis) 프로그램 및 공정해석 프로그램을 개발하였다.

액화수소 저장형 충전소 추가 안전기준에서는 일부 정성적 위험성 평가와 LOPA를 의무적으로 시행하게 되어 있으나, 국내 수소충전소를 설계 및 운영하는 사업장에서 해당 규정을 따르기에 어려움이 있다. 이에 LOPA 프로그램은 수소 특성을 고려하여 국내 수소충전소에 적합한 정성적 위험성 평가 및 LOPA 평가 절차 및 양식을 적용하여 객관성과 신뢰성을 높이고자 다음과 같이 구성하였다. 1) LOPA 평가를 수행하기 위하여 정성적 위험성평가 방법 중 PHA(Process HAZOP) 평가를 활용하여 LOPA를 수행하도록 구성하였다. 2) PHA 모듈 및 LOPA 모듈은 수소충전소 특성을 고려하여 국내 수소충전소 실정에 적합한 평가 절차 및 양식으로 구성하였다. 3) 시나리오 불러오기 및 라이브러리에 기 등록된 수소충전소 관련 사고정보를 조회하여 평가에 활용하도록 구성하였다. 4) PHA 및 LOPA 평가에 따른 개선사항 발생 시 개선 조치 관리로 자동 등록되어 관리하도록 구성하였다.

국외 수소충전소 설계/시공사는 설계를 위해 자체 공정해석 프로그램을 보유하고 있으나, 국내의 경우 ASPEN HYSIS 등의 상용프로그램을 이용해 수소충전소 설계를 진행하는 것으로 알려져 있다. 상용프로그램은 충전프로토콜의 시뮬레이션이 불가능하여 수소 충전 공정을 모사하는데 한계가 있다. 이에 공정해석 프로그램은 사용자 편의성을 고려한 최적의 UI/UX 제공 및 수소충전소 설계 지원이 가능하도록 다음과 같은 기능으로 구성하였다. 1) 액화수소 및 압축수소충전소의 Type에 따라 최적화 공정해석이 가능하도록 구성하였다. 2) Tank, Compressor, Dispenser 등의 용량 적정성 평가 기능을 구성하였다. 3) 수소충전소 최적화 판단을 위한 경제성 검증 기능을 구성하였다. 4) 공정조건 및 운전조건 변화에 대한 What-if Analysis 기능을 구성하였다.

## 가스 안보를 위한 국제협력 대응

**강정욱**

정책연구팀, 경제경영연구소, 한국가스공사

### International Cooperations and Responses for Gas Security

**Jeongwook Khang**

*Policy Research Team, Research Institute of Economics & Management  
Korea Gas Corporation*

#### 요 약

가스 안보를 위한 글로벌 대응 가운데 국제적 협력 방안은 한 국가의 에너지 선택과 규제를 넘어서는 제도와 플랫폼 도입이라는 점에서 그 영향력이 매우 크고 중요하다. 최근 가스 안보에 대응하는 국제협력의 동향을 분석하고 시사점을 정리한다.

가스 안보를 위한 국제협력의 중요성은 2022년 유럽발 에너지 위기를 맞아 크게 대두되었다. EC(European Commission)의 역내 위기 대응책 가운데 파이프라인 가스의 대안으로서 LNG 도입과 최소 수준의 가스 저장 의무 도입 등은 가스 안보를 위한 국제협력의 대표 방안이라 할 수 있다.

EU의 에너지관련 규제기관인 ACER는 '23년 권역내 일간 LNG 가격 평가(daily LNG price assessment)와 일간 LNG 가격지표(daily LNG benchmark)를 신규 발간하였다. 또한, 유럽 내 LNG 공동 구매 플랫폼인 AggregateEU를 통해, 34 bcm의 가스 거래를 촉진하였다. 특히, 2050까지 글로벌 가스 안보 관련 국제협력의 기본 요건을 투명성, 유연성, 메탄 감축 수단 등 3개로 꼽은 점은 우리나라의 가스 국제협력 방향성 정립과 관련 준비사항에 시사점이 크다.

국제에너지기구(IEA, International Energy Agency)는 가스 관련 '22년 10월 TF인 TFFS(가스 및 청정연료 시장 모니터링과 공급 안보 TF)를 출범시켰다. TFFS는 발족 이후, 십여 차례 회의와 워크숍을 개최하였다. 또한 장관급 회의 개최 시 TF 권고안을 발표하는 등 회원국의 가스 관련 정보 공유, 월간 가스 동향 보고서 발간 등 활동을 이어오고 있다. 이는 IEA 내부의 가스 전담 최초의 TF라는 점에서 국제협력의 기본적인 토대 구축과 플랫폼 마련의 결과물로서 볼 수 있다.

일본 통상산업성(METI)과 IEA 공동으로 개최된, 제12차 LNG 생산자·소비자 컨퍼런스(LNGPCC, LNG Producer and Consumer Conference, 도쿄, 2023)에서는 장관급 공동 성명과 함께 “글로벌 LNG 전략”(LNG Strategy for the World) 등이 발표되었다.

가스 안보 관련 국제협력의 방향성은 유럽과 일본의 사례에서 나타나듯 데이터 공유와 거래 정보의 투명성 제고로 요약 할 수 있다. 제도의 투명성과 시장 참여자 간 정보의 공유는 가스 안보 확보를 위한 국제협력의 기본 방향이 될 뿐만 아니라, 한 국가의 가스 시장 참여자들의 수급 안정 및 안보를 위해서도 그 의의가 매우 크다.

에너지 공공성을 확보하는 방향은 가스 안보 관련 국제협력에서 요구되는 수준의 투명성과 정보 공유를 시장과 산업에 내재하게 하는 것이다.

## 디지털 기술 기반 도시가스 시설 안전관리 로드맵 수립방안

윤해원, 이동원, 류영조  
한국가스안전공사

**Establishment of Road-map for Safety Management of City Gas**  
**Haewon Yun, Dongwon Lee, Yeongjo Ruy**  
*Korea Gas Safety Corporation*

### 요 약

정부는 디지털 기술을 접목하여 산업의 생산성과 부가가치를 창출하기 위해 디지털 혁신 정책을 추진하고 있다. 도시가스 안전관리 분야에도 급변하는 기술 및 에너지 환경에 대응하기 위해 신기술을 도입·개발하여 기술 기반의 과학적 안전관리 패러다임 변화에 대응 중에 있다. 안전관리 고도화를 위해 신기술 활용이 광범위하게 이루어지는 만큼 표준화된 과학적 안전관리를 도입하고 관련 규정을 개정하고자 로드맵 수립을 위한 기본계획이 수립되었다. 연구용역을 통해 중장기 제도 개선과제 발굴 및 로드맵을 수립하고, 시범사업을 통해 과제의 효용성 및 안전성을 검증하여 그 결과를 바탕으로 디지털 전환의 제도적 교두보를 마련할 계획이다. 본 발표에서는 로드맵 수립 및 실행방안을 공유하고 도시가스 시설 안전관리에 디지털 혁신과 안전 규제 개선 방향에 대해 논의해보고자 한다.

## 내화성능을 보장하는 고압가스실린더 안전보관함 제조규격 EN 14470-2의 국내 도입 필요성 고찰

김지현, 손진경, 김기성  
(주)제이오텍

**Discussion of the need for domestic introduction of EN 14470-2, a manufacturing standard for high-pressure gas cylinder safety cabinet that guarantees fire resistance performance**

**Jihyun Kim, Jin-Kyung Sohn, Gisung Kim**  
*JEIO TECH*

### 요 약

연구 실험실에서는 다양한 실험적 요구로 인해 가연성, 조연성, 그리고 독성을 지닌 여러 가스들을 고압 가스 실린더에 저장하는 경우가 많습니다. 이러한 환경에서 KGS AA913 고압가스 실린더 안전보관함 제조 규격은 내압성, 기밀성, 용접 성능 뿐만 아니라 안전보관함 구조(실린더 전도 방지, 배관부 점검 용이성, 긴급 차단 장치)의 안전성을 보장하여 사용자의 안전을 최우선으로 합니다. 그러나 KGS AA913 규격은 고압 가스 실린더가 화재에 노출될 경우의 안전성을 명시적으로 다루지 않습니다. 이와 대비하여, 독일에서는 TRGS 510 규정을 통해 실내에서 고압 가스 실린더를 보관할 때는 일정 수준의 내화성능을 갖춘 안전보관함 사용을 의무화하고 있습니다. 본 연구에서는 고압 가스 실린더 안전보관함의 화재 노출 위험성을 분석하고, 독일의 고압 가스 실린더 안전보관함 제조 규격인 EN 14470-2에 대해 소개함으로써, 국내 도입의 필요성에 대해 고찰합니다. 이는 실험실 안전을 강화하고, 가스 실린더 저장 시의 잠재적 위험을 최소화하는 데 중요한 기여를 할 것입니다.

## 미검사 수입 가스용품 근절을 위한 방안

**김상균, 조상현**  
한국가스안전공사

### Measures to eradicate uninspected imported gas appliances

**Sangkyun Kim, Sanghyun Cho**  
*Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

최근 야외 레저활동 증가에 따라 이동식 부탄연소기 및 이동식 프로판연소기와 같은 캠핑용품의 수입도 증가하고 있다. 그 중 검사를 받지 않은 연소기가 해외 구매대행을 통해 국내에 유통되는 경우가 발생하여 미검사 연소기에 대한 안전성 우려가 제기되고 있다.

이에 해외 구매대행에 따른 미검사 수입 가스용품으로 인한 사고를 예방하고자 미검사 가스용품 구매대행 금지, 구매대행자 의무사항 고지, 사후관리 등 가스용품 구매대행에 대한 안전관리 제도를 마련하여 「액화석유가스의 안전관리 및 사업법」에서 규정하도록 법령을 개정할 계획이다.

본 발표에서는 가스용품 구매대행에 대한 안전관리 방안을 공유하여 실효성 있고 합리적인 가스용품 구매대행 제도 법제화 방향에 대해 논의해보고자 한다.

## 일본 전력·가스시장 자유화의 동향과 평가

김낙균

한국가스공사

### Current Status and Evaluation of Liberalization of Power and Gas Industry in Japan

Nak-Gyun Kim

*Korea Gas Corporation*

#### 요 약

세계 에너지위기 이후 국민 부담을 경감하기 위한 각국의 정책 대응이 숨가쁘게 돌아간 바 있었다. 일련의 사태가 어느 정도 일단락된 지금, 바람직한 에너지산업과 시장의 구조가 어떠해야 하는지에 대한 논의가 활발히 지속되고 있다. 러-우 전쟁 이후 석유·천연가스 관련 국제시장 가격 급등락은 에너지를 수입에 의존할 수밖에 없는 나라로서는 태생적 취약점이라는 것이 다시 한 번 드러났으며, 따라서 단일 국가의 힘으로 어찌할 수 없는 국제시장 급변동에 대해 강건한 에너지산업 체계를 구축하는 것이 수입국으로서 할 수 있는 최선의 방책이라는 것이 확인되었기 때문이다.

일련의 에너지위기는 시장만능주의와 공공부문 역할 축소지향 정책노선이 최선이라는 주장에 대해 의문을 제기하는 계기가 되었는데, 이는 에너지산업과 시장이 자유화된 유럽시장이 별로 강건한 모습을 보여주지 못했기 때문이다. 물론 유럽이 전쟁터와 지리적으로 가깝고 전통적으로 러시아 의존도가 높았던 점을 들어 여전히 시장 자유화가 유효의 유효성을 주장하는 논진도 있다.

그렇다면 자유화되어 있으면서 유럽에서 멀리 떨어져 있고, 러시아 의존도가 전통적으로 높지 않은 나라들은 일련의 에너지위기에서 과연 강건했는가? 본 논문은 이러한 문제의식 하에서 일본의 전력·가스시장 자유화 정책의 최신 동향을 정리하였다. 주지와 같이 일본은 우리나라와 마찬가지로 에너지를 거의 전량 수입에 의존하고 있으며, 러시아 의존도가 전통적으로 낮고 러-우 전쟁터로부터 지리적으로 멀다. 이와 같이 우리나라와 유사한 에너지수급 구조를 가지면서도, 우리나라의 공기업 중심 체제와 달리 민간기업이 중심이고, 오랜 기간에 걸쳐 시장 자유화를 단계적으로 추진한 끝에 현재는 완전 자유화에 이르렀다는 차이점도 존재한다. 따라서 이를 감안하면 우리나라와 유사한 수급구조 하에서 자유화 정책에 따른 영향을 평가하기에 최적의 시장이다.

본 논문은 먼저 일본의 전력·가스시장의 역사를 살펴보고, 자유화 정책에 따라 산업구조가 어떻게 개편되어 왔는지를 단계별·시점별로 정리한다. 그런 다음 일반적으로 자유화에 따른 긍정적 영향으로 기대된다고 주장되는 요금 저감, 공급 확대, 공급 안정성 문제를 분석 대상으로 삼았다. 일본의 전기·가스요금, 도시가스 보급률의 장기 시계열 자료를 자유화의 각 단계별·시점별로 전후 추이를 비교하였다. 또한 최근 발생한 소위 "전력난민" 사태에 대해서 구체적인 원인을 진단하고, 그 궁극적 원인이 전력시장 자유화에 있음을 밝힘으로서 자유화 정책이 공급 안정성을 거꾸로 훼손할 우려가 높음을 명백히 하였다.

## 고압가스 안전관리 법령체계 개편 방안

최민호, 이상윤\*, 박세훈\*

한국가스안전공사, \*한국법제연구원

### A Study on the Reform of the High-Pressure Gas Safety Control Act System

Choi Min Ho, Lee Sang Yoon\*, Park Se Hoon\*

Korea Gas Safety Corporation, \*Korea Legislation Research Institute

#### 요약

「고압가스 안전관리법」(이하 “고법”이라 함)은 1973년 2월 7일(1973. 9. 1 시행)에, 고법 시행령은 1973년 8월 16일(1973. 9. 1 시행)에, 고법 시행규칙은 1973년 10월 22일(1973. 10. 22 시행)에 각각 제정되어 여러 차례 개정을 거쳐 오늘에 이르고 있고, 가스관계 법령의 기본법적(안전관리 제도·정책 등) 지위를 갖고 있으나, ‘73년 제정이후 전문적이고 복잡·난해한 조문체계 유지를 유지하고 있어 본 연구를 통해 다음과 같은 법령개편 방안을 제시하고자 한다..

- (1) 법제처의 “법령입안심사기준”에 따르면, 법령의 본칙의 조문수가 30개조 이상이 되는 경우, 법령전체의 체계 및 내용을 쉽게 이해할 수 있도록 해당 규정 내용과 성질에 따라 “장”으로 구분하여 적절한 장의 명칭을 부여하고, 총칙·보칙·별칙은 그대로 장의 명칭으로 사용하도록 하고 있으나, 고법 및 동 하위법령은 본칙의 조문수가 모두 총 30개 이상의 조문으로 구성되어 있음에도, “장” 및 “절” 등의 구분 없이 규정하고 있어, 전체 법령체계의 대국민적 이해도를 저하시키고 있어, 이를 정비할 방안을 제시하였다.
- (2) 현행 법령상 주요 기본법의 입법체계 및 내용을 조사·분석하여 시사점을 도출하고, 이에 기초하여 가스의 안전관리에 관한 실질적 의미의 기본법에 해당하는 고법의 기본법적 성격 강화방안을 제시하였다.
- (3) 주요외국(미국, 영국 및 일본 등)의 가스 안전관리 규율체계를 비교·분석하여 시사점을 도출하고, 이에 기초하여 최근 에너지 패러다임 및 산업 환경 변화의 수용성을 높일 수 있는 고법 및 동 하위법령 규율체계 개편방안을 제시하였다.
- (4) 그 밖에 국내·외 가스관계법령의 분석결과를 토대로 가스 안전관리의 법률적·정책적 대응 강화를 위한 입법기술적·법리적 개선방안을 도출하여 고법 및 동 하위법령에 제시하였다.

본 연구를 통해 합리적 규제를 통한 기업성장 및 신기술 개발·적용 기반 마련하고, 가스안전사업의 안정성·지속성 유지 기반을 구축하고, 안전관리 전문화, 산업육성 및 저압수소 등 안전관리 사각지대 해소하여 빈틈없는 안전관리 실시 물론, 章체계 도입 등의 개편을 통해 국민의 법령 이해도 제고에 도움이 되었으면 한다.

아울러, 고법 체계의 구체적인 개편방안은 향후 법령 제·개정의 합리성·편의성을 제고하고, 정부부처의 입법실무에도 기여되길 기대한다.

## 2022년 LNG 직수입발전사의 발전량감소 군집행위와 그 영향

송형상

한국가스공사 경제경영연구소

### Clustering Behavior to Reduce Power Generation by LNG Direct Importers in 2022 and Its Impact

Hyungsang Song

*KOGAS, Research Institute of Economics & Management*

#### 요 약

본 연구는 최근 2021년~2022년 에너지위기 기간 전후로 발전시장에서 나타난 6개 직수입 LNG발전사의 발전량감소 군집행위를 살펴보았다. 분석결과, 직수입 6개사 모두 2022년 직수입 발전량은 2021년 발전량 대비 감소한 것으로 나타나 직수입 발전사의 발전량감소 군집행위가 발견되었다. 반면, 직수입발전사들의 2022년 실현수익은 사상 최대치로 증가하였는데, 그 원인으로는 국제 LNG 가격 상승기에 직수입 발전사의 도입량 급감으로 이를 대체하기 위한 고가의 현물이 국내에 유입되어 발전시장의 SMP가 급격하게 증가하였으나, 직수입 발전사는 도입량감소에 따른 원료비 경쟁력을 유지하면서 발전원료비 마진율이 크게 증가하였기 때문이다. 향후에도 LNG직수입 확대가 예상되는 가운데, 2022년과 같은 직수입발전사의 급격한 도입량 감소와 발전량감소는 국내 에너지시장 안보측면에서 바람직하지 못할 것으로 판단되며, 국내 천연가스 발전시장의 효율적인 운영을 위한 다양한 방안이 적극적으로 모색되어야 할 것이다.



## 액화수소 시장 활성화를 위한 액화수소 임시 실증기준 제도화

조윤진

한국가스안전공사 수소안전정책처

### **Institutional of temporary empirical standards for liquid hydrogen to revitalize the liquid hydrogen market**

YunJin Jo

*Hydrogen New Industry Safety Department, Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

국내 액화수소 실증사업을 위해 액화수소 임시 실증기준이 제정되었으며, 현재는 규제특례 승인을 받아야 사업 추진이 가능하다. 액화수소 안전기준 조기 제도화 추진 필요에 따라 정부는 「수소 안전관리 로드맵 2.0」에 액화수소 전주기 제품·설비 안전기준 마련 과제 총 10개 중 5개 과제를 '24년에 완료하는 것을 목표로 하고 있다. 이를 바탕으로 액화수소 시장현황 및 액화수소 임시 실증기준 제도화 계획에 대해 설명하였다.

## 원자력기반 수소생산 관련 가스법령 적용 검토

이용길, 한재식, 류영조  
한국가스안전공사

### Review of the application of Gas Act to nuclear-based hydrogen production

Yong-gil Lee, Jae-sik Han, Young-jo Ryu  
Korea Gas Safety Corporation

#### 요약

이산화탄소로 인한 기후 변화에 대응하기 위해 세계 각국은 탄소중립 목표를 설정하고 화석연료의 사용을 제한하는 등 청정에너지 사용을 확대하기 위한 다양한 정책을 추진하고 있다. 이런 관점에서 수소는 온실가스, 미세먼지 등 유해 물질을 발생시키지 않아 화석연료를 대체하기 위한 에너지원으로서 그 활용성이 증대되고 있다. 정부는 수소 산업 육성을 통한 위해 ‘수소경제 활성화 로드맵 2.0’, 현장 중심 규제혁신 방안 등 수소경제 활성화를 위한 다양한 정책을 시행하고 있다. 그리고 수소 산업의 안정적 발전과 안전관리를 위해 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」을 ‘21년 2월 세계 최초 제정하여 시행하고 있다.

이런 수소를 안정적으로 생산하기 위해서는 안정적인 전력공급이 선행되어야 한다. 원자력은 날씨에 영향을 받지 않고 전력을 생산할 수 있어 태양광, 풍력 등을 활용한 수소생산 대비 생산 면에서 유리하다. 또한 출력 변동이 적어 대규모 수소생산에 적합하다. 또한 원자력을 활용한 수소생산은 전력 소비가 줄어드는 심야 시간 잉여전력을 활용해 수소를 생산할 수 있다. 또한 원자력의 전력 단가는 재생에너지 대비 상대적으로 저가(약 68.3원/kWh)로 대량의 수소생산설비를 가동하기에 좋은 조건을 가지고 있다. 원자력을 이용한 수소생산은 물을 전기 분해하는 수전해 방식과 도시가스를 개질하는 방식이 있다. 원자력 발전에 활용된 수증기를 재활용하여 수소를 생산하는 경우 수소생산 단가를 낮추고 효율을 높일 수 있는 장점이 있다.

원자력과 수소생산을 위한 설비를 동일한 부지에 설치하는 경우 생산된 수소의 압력에 따라 「고압가스 안전관리법」 및 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」을 적용받는다. 수소의 생산방식과 수소의 압력 및 연료전지 유무에 따른 사례별 가스관련 법령의 적용에 대해 검토해 보고자 한다.

Keyword: 원자력, 수전해설비, 수소추출설비, 수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률, 고압가스 안전관리법

## 제주 지역 발전용 천연가스피크수요 전망

이성로

한국가스공사 경제경영연구소

### Forecasting gas peak demand for Jeju in Korea

Sungro Lee

*Research Institute of Economics and Management in Korea Gas Corporation*

#### 요 약

본 연구는 제주 지역의 천연가스 피크수요 전망에 관한 것으로, 제주도는 제주 지역은 육지와 달리 재생에너지 설비가 많고, 육지 연계선을 통해서도 전력을 공급 받는다. 제주도는 장기적으로 재생에너지 중심으로 전력을 운용하려고 하나, 전력 피크수요시에는 재생에너지 공급이 원활하지 않기 때문에, 필연적으로 조절가능한 발전원이 필요하다. 그 목적에 가장 부합하는 것이 가스 발전이다. 본 연구는 제주도의 전력피크수요 전망치와 발전설비용량 전망치를 이용하여 향후 15년간 제주도 지역의 발전용 천연가스 피크수요 전망에 대한 방법론을 제시한다. 각 발전원의 과거 피크시 이용률을 통하여 미래 피크시 발전원별 이용률을 전망한다. 본 연구의 주요 결과는 향후 제주 지역 천연가스 설비증설량 산정에 기초자료로 활용될 것이다.

## 암모니아 기반 고순도 수소 생산 공정 개발

### 박용하

한국에너지기술연구원 수소연구단

#### 요 약

암모니아는 다른 화학적 수소저장 물질 (예, Methyl cyclohexane) 대비 17.6 wt% 의 높은 수소 저장 용량을 가지고 있어, 수소를 저장하고 운송하기 위한 대표적인 수소 저장 물질로 각광받고 있다. 특히 최근 해외 보고 사례에 따르면 LOHC, 액화수소 대비 암모니아 기반의 수소가 해외 장거리 운송에서 경제적인 것이라 예상하고 있으며, 이에 전세계적으로 암모니아 기반의 수소 무역을 위해 암모니아 합성/공급/운송 인프라를 확장하고 있다. 암모니아에서 수소를 다시 추출하기 위해서는 약 500도 이상의 고온 촉매 반응을 위해 탄소기반 화석 연료를 사용이 필요하여라 암모니아로부터 수소 생산과 동시에 이산화탄소가 배출되는 문제가 있다.

본 연구에서는 암모니아 기반 수소 생산 공정의 이산화탄소 배출을 원천 차단하기 위하여, 암모니아와 수소 정제 공정 (Pressure Swing Adsorption) 의 off-gas 를 반응열원용 연료로 활용하여 암모니아 기반 무탄소 수소 생산 공정을 개발하였다. 암모니아 분해 반응기는 Ru 기반의 촉매를 사용하였으며, 암모니아로부터 약 5 Nm<sup>3</sup>/hr 의 고순도 수소를 생산 가능함을 확인하였다.

암모니아와 PSA 공정 Off-gas 의 연료 활용에 따라 연소 가스 내 질소산화물 분석을 수행하였으며, 일정 암모니아/수소 연소 분위기에서 질소산화물의 선택적 비촉매 환원반응 (Selective Non-Catalytic Reduction) 으로 인해 질소 산화물 생성이 감소되며, 동시에 이산화탄소가 배출되지 않음을 확인하였다. 이를 통해 암모니아 분해 반응에 다른 수소 생산 효율과 연소를 통해 배출되는 질소산화물의 농도의 비교를 통해 최적의 운전조건을 도출하였다.

본 연구를 통해 향후 국내에 암모니아 기반의 해외 수소 도입시 효과적으로 대용량 암모니아를 분해 및 수소 공급에 활용될 수 있으며, 생산된 수소를 활용하여 연료전지 발전 등에 적용하여 궁극적으로 무탄소 발전에 이용될 수 있다.

## 암모니아 수소 저장 및 운송 기술개발 동향

### 손현태

한국과학기술연구원 (KIST) 수소·연료전지연구센터

### 요 약

정부의 제1차 수소경제 이행 기본 계획에 따르면, 2030년 해외로부터 수입하는 수소의 양을 196만톤 정도로 예상하고 이를 전량 암모니아를 통해 가져오는 전략이 포함되어 있다. 암모니아는 대표적인 국가 간 CO<sub>2</sub>-free 운송 수단인 액화수소, 액상유기수소저장체 (LOHC) 보다 단위 부피 및 무게당 저장할 수 있는 수소의 양이 가장 많으며, 현재 전 세계적으로 약 2000만톤 정도 유통이 되고 있어서 암모니아를 선적하고 하역하는데 필요한 국제 인프라가 잘 갖추어져 있다. 우리나라도 암모니아를 연간 약 180만톤 정도 수입하고 있으므로 국내에 암모니아를 저장 및 유통할 수 있는 체계적인 시스템을 보유하고 있다. 암모니아가 국내로 선박을 통해 들어오게 되면 다양한 적용처를 고려할 수 있으며, 이는 다음과 같다: 1) 암모니아 분해 고순도 수소 생산, 2) 암모니아 분해-연료전지 연계 전력 생산, 3) 암모니아 직접 고온 연료전지 전력 생산, 4) 암모니아 부분 분해 후 수소 혼소 전력 생산 (암모니아 엔진 및 터빈), 5) 암모니아 전소 전력 생산. 이처럼 나열된 적용 분야 관련하여 필수적인 요소 기술 연구 개발이 국내에서 활발히 이루어지고 있으며, 관련 기업들의 투자도 증가 추세이다. 본 발표에서는 먼저 암모니아 수소 저장 및 운송 기술과 관련된 연구 개발 동향을 전체적으로 살펴보고, 암모니아 활용에 가장 핵심적인 암모니아 분해 기술에 대해 자세히 알아본다. 특히, 암모니아 분해에서 암모니아 분해 온도를 낮춤으로 전체 공정의 효율을 증가시키는 데 중추적인 역할을 하는 암모니아 분해 촉매에 관해 설명하고, 현재 국내외에서 개발되고 있는 귀금속, 비귀금속 촉매에 대해 알아본다. 또한 암모니아 부분 분해에 필요한 암모니아 자열개질, 암모니아 광분해, 전기가열형 암모니아 분해 장치 등 암모니아 엔진 및 터빈과 연계할 수 있는 암모니아 분해 기술에 대해서 살펴본다.

## 0.1 MW<sub>th</sub> 급 순환유동층 연소시스템에서 20% 이상 암모니아 혼소 연구

문태영\*, 김성주, 박성진, 조성호, 임호태  
한국에너지기술연구원

### Study on Over 20% Ammonia co-firing in a 0.1 MW<sub>th</sub> Circulating Fluidized Bed Combustion System

Tae-Young Mun\*, Seong Ju Kim, Sung-Jin Pak, Sung-Ho Jo, Ho Tae Im  
Korea Institute of Energy Research

#### 요 약

2050 탄소중립 시나리오 초안 발표 당시 ‘무탄소 신전원’이라는 용어와 함께, 암모니아로 탄소 배출 없이 전력을 생산할 수 있다는 ‘암모니아 혼소 발전’ 기술이 처음으로 등장하였다. 이런 배경에는 일본에서 ‘17년 IHI사가 10 MW급 석탄-암모니아 혼소 버너를 개발하여 암모니아 20% 이상 혼소 시 석탄 전소와 비슷한 수준의 연소성과 환경성이 확인됨을 보고하였고 joint venture인 JERA에서는 ‘24년 3월부터 6월까지 1 GW급 헤키난 미분탄 발전소(4호기)를 대상으로 20% 암모니아 혼소 실증 운전을 진행한다고 발표했다. 국내에서는 2-3년 전부터 전력연, 생기원, 에너지연을 중심으로 파일럿 규모 미분탄 연소시스템과 순환유동층 연소시스템을 활용하여 암모니아 혼소 기술을 개발 중에 있으며, ‘23년 4월을 시작으로 ‘27년 까지 미분탄 발전소 2곳, 순환유동층 발전소 2곳에서 20% 암모니아 혼소 운전 실증을 완료하는 연구과제가 진행 중에 있다. 국내 총 석탄화력 발전 용량은 약 40 GW으로 미분탄 발전소와 순환유동층 발전소가 각각 36.9 GW, 3.1GW 차지한다. 순환유동층 발전소가 적음에도 불구하고 상용 순환유동층 보일러를 대상으로 20% 이상 암모니아 혼소를 실증하는 이유는 암모니아 공급인프라가 구축 중이거나 발전소로의 암모니아 공급이 용이하기 때문이다. 이에, 에너지연에서는 0.1 MW<sub>th</sub>급 순환유동층 연소시스템과 암모니아 공급 인프라를 활용하여 20% 이상 암모니아 혼소 운전 중 암모니아 공급 속도 및 공급 위치에 따른 오염물질(CO, NO, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O 등) 농도 변화를 파악하여 최적의 암모니아 공급 방법을 고찰하고자 하였다.

사사: 본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행되었습니다. (No. RS-2023-0025089)

## 암모니아 선박 충전 제도화를 위한 벙커링 방식별 표준모델 도출 연구

유지수, 최영주

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Research for deriving standard models for each bunkering method to institutionalize land ammonia ship charging

Ji Su Yu, Young Joo Choi

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

#### 요 약

기후환경 변화 위기는 우리가 직면한 가장 심각한 문제 중 하나이다. 2015년, 파리협정(Paris Convention)이 모든 유엔기후변화협약(UNFCCC) 회원국들 동의하에 채택되었다. 이는 온실가스의 배출을 제한해 지구온난화를 방지하기 위한 협약으로, 모든 국가들이 자체적으로 온실가스 배출 목표를 정하고 실천하자는 내용을 포함하고 있다. 해상운송분야에서도 선박의 화석연료 사용으로 인한 온실가스가 다량 배출되고 있으며, 선박에서 배출되는 온실가스는 지구 전체 배출량의 약 2.5%를 차지하고 있다. 따라서 탈탄소 목표의 달성을 위해서는 친환경 무탄소 연료 전환이 필연적이며, 친환경 선박연료로는 LNG, 암모니아, 메탄올 및 수소 등이 있다.

친환경 연료 중 암모니아는 기술적 및 경제적으로 상용화와 보급성이 높다고 평가되고 있다. 특히 이미 국제적 거래가 활발히 이루어지고 있고, 수송 관련 항만 인프라가 충분히 확립 및 구축되어 있으며, 공급 인프라가 잘 갖추어져 있다. 이에 따라 암모니아는 보편적이고 수급이 용이한 선박 연료가 될 가능성이 매우 높다. 하지만 가연성 가스이자 독성가스인 암모니아는, 연료의 벙커링 작업 시 안전성 확보를 위한 안전기술 확보가 필수적이다.

본 연구에서는 암모니아 취급 및 벙커링 관련 고압가스 안전관리법, 산업안전보건법 등 국내 안전 관계 법령을 기반으로 한 안전관리절차를 분석하고, 관련 규정 현황을 검토하였다. 그 결과 고압가스 안전관리법 및 KGS Code 기반 ‘육상에서 선박에 고정된 탱크(또는 용기)의 충전 제도화를 위한 표준모델(안)’을 도출할 수 있었으며, 향후 암모니아 벙커링 안전기술 확보에 기여할 것으로 기대된다.

※ 본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술기술평가원의 조선해양산업기술개발 사업 “암모니아 연료추진선박 벙커링 안전기준 및 누출 안전관리 기술 개발”(20026527)의 지원을 받아 연구한 과제입니다.

## 현장제조형 암모니아 기반 수소추출설비 위험요소 분석 및 도출

조유립, 추지안, 정재환<sup>†</sup>, 이정운  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Analysis and Derivation of Risk Factors for Ammonia-based Hydrogen Generators Manufactured on Site

YURIM JO, JIAN CHOO, JAEHWAN JUNG<sup>†</sup>, JUNGWOON LEE  
*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

2021년에 발표된 제1차 수소경제이행 기본계획에 따르면, 현 정부는 2050년 청정수소 공급률 60%(H<sub>2</sub> 공급량 27.0백만톤)을 목표로 하고 있으며, 국내 생산능력 부족으로 인해 22.9백만톤의 수소를 해외에서 도입할 예정이다. 이에, 장거리 수소 운송을 위한 수소 캐리어로 암모니아가 대두되고 있다.

암모니아의 합성 및 운송은 이미 성숙된 기술이지만 암모니아를 분해하여 수소를 추출하는 공정의 경우 전세계적으로 대용량 및 장기간 실증된 바가 없다. 국내 수소추출설비 관련 기준인 KGS CODE AH171(수소추출설비 제조의 시설·기술·검사 기준)은 그 적용범위가 도시가스, 액화석유가스 그 밖에 탄화수소 및 메탄올, 에탄올 등 알콜류에 한정되어 있어 암모니아를 원료로 하는 수소추출설비의 안전기준 개발이 필요한 실정이다. 또한, 기술의 발전으로 암모니아 수소추출설비가 대용량화됨에 따라 제품형이 아닌 현장에서 제조되는 암모니아 기반 수소추출설비의 기준 마련 역시 필요하다.

본 연구에서는 암모니아의 특성을 고려한 수소추출설비의 위험요소를 분석하였으며, 현장에서 제조되는 대용량 암모니아 기반 수소추출설비에 대한 추가적인 위험요소 분석을 바탕으로 현장설치형 암모니아 기반 수소추출설비의 안전기준(안)을 도출하였다. 본 연구의 목적은 암모니아 수소추출설비 안전기준을 개발하고 범제화를 통해 암모니아 기반 수소추출설비의 안전 보급에 기여하는 것이다.

본 연구는 산업통상자원부 신재생에너지기술개발사업(No.20213030040550)연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.



## 모듈형 암모니아 수소추출설비 안전기준 개발을 위한 안전항목 분석

맹주희, 추지안, 정재환\*

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Analysis of Safety Items for the Development of Safety Code for Modular Ammonia Generators

JUHEE MAENG, JIAN CHOO, JAEHWAN JUNG\*

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

#### 요약

국내에서는 청정수소 생태계 조성을 위해 수소경제 관련 정책들을 발표하고 있으며, 제1차 수소경제 이행 기본 계획, 수소경제 활성화 로드맵, 수소 안전관리 로드맵 2.0 등을 수립하여 청정수소 생산설비 기술과 안전기준 개발 및 안전관리 역량을 강화하고 있다. 이에 다양한 수소 캐리어가 연구되고 있는데, 그중에서도 암모니아는 대용량 저장과 장거리 수송이 가능한 수소 캐리어로서의 활용 가치가 매우 높다. 또한 액화수소 대비 동일 부피당 높은 수소 밀도와 에너지밀도, 저온에서 액화가 가능하다는 점에서 경제적인 청정수소 운반체라 할 수 있다. 이러한 장점으로 인해 이산화탄소를 배출하지 않는 진정한 무탄소 연료로 평가받고 있으며, 2050년 청정수소 자급률 60%를 달성할 수 있는 수소 저장매체로 각광받고 있다.

『수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률』(수소법) 시행을 시작으로, 2021년 7월 수소추출설비 검사 및 안전기준인 KGS AH171이 제정되었으나 적용범위가 도시가스, 액화석유가스, 그 밖에 탄화수소 및 알콜류 등의 연료에 기반한 수소추출설비에 국한되어 있다는 점이 있어 암모니아 연료에 대한 수소추출설비의 KGS Code 등 안전 상세기준 마련이 필요한 상황이다. 또한 제품 단위로서 모듈형에 특화된 암모니아 수소추출설비의 특성을 반영하여 안전기준을 마련하고자 한다.

따라서 본 연구에서는 암모니아 및 수소추출설비와 관련된 국제 코드 및 국내·외 기준을 비교하고 분석하여 안전항목을 도출하였으며, 수소추출설비 시스템의 노드 정의 및 노드별 위험항목 분석을 통해 이에 부합하는 안전성능 평가항목을 분석하였다. 본 연구를 통해 모듈형 암모니아 수소추출설비 안전기준(안) 개발 및 법제화로 수소추출설비 시스템에 대한 안전성 확보 및 국내 그린수소 시장 활성화에 기여할 수 있을 것이며, 향후 탈탄소 수소경제뿐만 아니라 신속한 그린수소 생태계 조성 확대에 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 충북규제자유특구 「암모니아 기반 수소 생산·활용 실증(R&D)」 과제(P0020119) 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

## 고순도 암모니아 생산 및 활용 기술

박재혁, 장기찬, 박종권, 김영래, 조병옥  
원익머트리얼즈

### Technology of High-Purity Ammonia Production and Utilization

Jae Hyeok Park, Gi Chan Jang, Jong Kwon Park, Young Lae Kim , Byeong  
Ok Cho  
Wonik Materials Co. Ltd.

#### 요 약

암모니아는 1784년 프랑스 화학자 베르틀로가 분자 구조를 밝혔고, 1909년 하버와 로버트 그 로시놀과 함께 암모니아 합성법을 개발하였다. 이후 1913년 9월 최초의 암모니아 공장에서 매일 3~5 톤의 암모니아가 생산되기 시작하면서 인류는 새로운 시대를 맞이하였다. 2020년 기준 글로벌 암모니아 생산설비 규모는 2억 2,000만 톤이고 평균 가동률이 약 81%로 1억 8,000만 톤의 암모니아가 생산되었으며, 생산량은 계속 증가하고 있다. 암모니아가 특수가스 시장에 사용되기 시작한 것은 2000년 초 반도체, LCD, LED 시장이 커지기 시작하면서 점차 증가하여, 2022년 기준 글로벌 전자등급 시장의 암모니아 시장 규모는 1억 2,600만 달러이다. 이런 전자등급의 고순도 암모니아는 일반적으로 생산된 순도 99.5% 이상의 원료 암모니아를 정제 공정을 거쳐 순도 99.9999% 이상으로 만든 제품이다. 고순도 암모니아는 반도체 공정의 필수로 필요한 특수가스 중 하나로 가격적인 면에서 저순도 암모니아보다 높은 고부가가치 제품이다.

(주)원익머트리얼즈는 2006년 12월 1일 (주)원익IPS의 특수가스 사업부문을 물적분할하여 설립되었으며, 반도체, 디스플레이용 특수가스 및 일반산업용 가스의 충전·제조·정제 및 판매 등을 영위하고 있다. 당사에서는 NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>, PH<sub>3</sub> Mix gas 등의 특수가스를 생산하고 있다.

본 발표에서는 당사가 생산하고 있는 고순도 암모니아의 생산 방식과 활용 분야 및 암모니아 시장에 대하여 알아보고, 당사의 신사업 분야인 암모니아 수소화 사업을 소개하고자 한다.

## HD현대중공업의 선박용 e-fuel(메탄올/암모니아/수소)엔진 기술

윤옥현, 유광현, 이용석, 박현춘, 이경록

HD현대중공업

### HD Hyundai Heavy Industries' marine e-fuel(methanol/ammonia/hydrogen) engine technology

WookHyeon Yoon, GwnagHyeon Yu, YongSeok Lee, HyunChun Park, KyungRock Lee

#### 요 약

해가 거듭될수록 친환경에 대한 국내외의 관심이 증가하고 있다. 특히, 지구온난화로 인한 문제가 커짐에 따라 지구온난화의 주요 원인인 온실가스, 특히 이산화탄소 배출에 대한 규제가 강화되고 있다. 국제적으로 교토의정서를 통해 각국의 이산화탄소 배출량을 제한했고, 감축한 만큼의 탄소배출권을 사고팔 수 있도록 했다. 또한, 발전, 운송, 제조 등 화석연료를 사용하는 다양한 산업 분야에 탄소세를 부과함을 통해 온실가스를 감축하고자 하는 노력이 이어지고 있다. 특히, 선박에는 국제해사기구인 IMO가 2023년에 MEPC(Marine Environment Protection Committee) 80차 회의를 통해서 2050년까지 2008년 배출량 대비 100%를 감축해야 한다(Net-zero)는 것에 대하여 관련 회원국들의 동의를 얻어냈다. 따라서 이러한 국제적 규제에 대응하기 위해서는 기존 화석연료가 아닌 대체연료인 e-fuel(탄소중립연료)로 추진되는 엔진의 개발이 필요하다.

이와 같은 상황에서 메탄올, 암모니아, 수소가 대체연료로 주목받고 있다. 이 연료들은 기존 화석연료 대비 이산화탄소 배출량이 적다는 장점이 있다. 특히 암모니아와 수소의 경우, 분자식에 탄소(C)가 포함되어 있지 않아 완전 반응 시, TtW(Tank to Wake) 관점에서 물과 질소만 생성되는 친환경 연료다. 또한 재생에너지를 활용한 전기분해로 생성된 수소를 사용해 메탄올, 암모니아를 합성한다면, 생애 주기적(LCA, Life Cycle Assesment) 관점에서 이산화탄소를 배출하지 않게 된다. 이렇게 생산된 그린-메탄올, -암모니아, -수소를 사용하면, 강화되는 환경 규제에 대응할 수 있다.

위와 같은 배경으로 HD현대중공업은 먼저 메탄올 이중연료 엔진(모델명: H32DF-LM)을 2022년에 세계 최초로 개발하였고 2024년 3월에는 2번째 메탄올 이중연료 엔진(모델명: H22CDF-LM)을 개발하였으며 2025년 4분기에 3번째 모델(모델명: H25CDF-LM) 개발하여 1~4.5MW의 출력 범위를 완성할 예정이다. 메탄올 이중연료 엔진은 기존 LNG/디젤 이중연료 엔진과 같이 디젤과 메탄올(+디젤 pilot 분사) 2가지 모드로 운전이 가능하지만 기존 이중연료 엔진과 달리 하나의 인젝터로 디젤(pilot 분사 포함)과 메탄올 연료 모두 연소실내 직접 분사 가능하도록 설계하였다. 암모니아 이중연료 엔진도 2024년 3분기에 첫 번째 독자모델을 시장에 출시할 예정이며 수소엔진도 2025년에 단기통엔진 시험을 base로 하여 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)엔진도 “Innovative Leader“의 위치에서 출력 라인업을 선제적으로 구축하여 선박용 중속 이중연료엔진 시장을 리더할 예정이다.

## 암모니아 고체산화물 연료전지의 운전조건에 따른 후연소기의 질소산화물 배출에 관한 연구

이상호, 장형준, 이선엽

한국기계연구원 친환경에너지변환연구부 친환경모빌리티연구실

### A Study on Nitrogen Oxide Emissions from Afterburner according to Operating Conditions of Ammonia Solid Oxide Fuel Cell

Sangho Lee, Hyengjun Jang, Sunyoup Lee

Department of Eco-friendly Mobility Power Research, Eco-friendly Energy Conversion Research Division, Korea Institute of Machinery and Materials

#### 요 약

고체산화물 연료전지는 무탄소 연료인 암모니아를 효율적으로 사용할 수 있는 전기화학적 에너지변환장치이다. 암모니아는 엔진이나 터빈과 같은 연소기반의 에너지 변환장치에서도 사용될 수 있다. 하지만, 암모니아 연소는 화염전파속도가 느리고 많은 점화에너지가 필요하다는 단점이 있다. 또한, 암모니아는 연소과정에서 대기오염물질인 질소산화물의 발생이 쉽다. 반면, 고체산화물 연료전지는 연소과정을 거치지 않고 암모니아의 화학적 에너지를 전기 에너지로 직접 변환이 가능하다. 고체산화물 연료전지에서 대부분의 암모니아는 고온 환경에서 수소와 질소로 분해되어 전기화학 반응에 참여한다. 분해되지 않은 연료극 배기가스 내 암모니아는 후연소기의 연소과정에서 질소산화물을 발생시킬 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 암모니아 고체산화물 연료전지의 운전조건에 따른 후연소기의 질소산화물 배출에 대하여 연구를 진행하였다. 암모니아 고체산화물 연료전지에 적용하기 위한 암모니아 분해 반응기와 일체형인 후연소기를 제작하였다. 제작된 후연소기는 암모니아 고체산화물 연료전지 배기가스를 모사하여 평가하였다. 스택 후단 암모니아 분해율, 공기 과잉률 및 연료 이용률과 같은 고체산화물 연료전지 운전조건에 따른 질소산화물 배출량을 측정하였다. 스택 후단에서 암모니아는 99.99%가 분해되고 공기 과잉률이 2인 조건에서는 가스안전공사의 고정형 연료전지 제조의 시설·기술·검사 기준(KGS AH371)에서 규정하는 질소산화물 배출량 0.26g/kWh 이하를 만족하였다. 연료 이용률은 65.40%에서 81.75%로 증가함에 따라 뚜렷한 경향성을 보이지 않았다. 반면, 공기 과잉률이 3과 4로 증가한 조건에서는 질소산화물 배출량이 0.26g/kWh를 초과하는 것을 확인하였다. 따라서, 공기 과잉률은 암모니아 고체산화물 연료전지 시스템 운전에 있어서 스택 온도와 질소산화물 배출측면에서 동시에 검토가 필요할 것으로 판단된다.

## 암모니아 활용 고체산화물연료전지 시스템 효율 및 경제성 분석

김영상, 쿠엔, 이동근, 배용균, 박진영, 이선엽\*

한국기계연구원 무탄소발전연구실, \*한국기계연구원 친환경모빌리티연구실

### Efficiency and Economic analysis of solid oxide fuel cell system using ammonia

Youngsang Kim, Quyen, Dongkeun Lee, Yonggyun Bae\*\*, Jinyoung Park,  
Sunyoup Lee\*

*Department of Carbon-free Power Generation, Korea Institute of Machinery  
and Materials, \*Department of Eco-friendly Mobility Power, Korea Institute  
of Machinery and Materials*

#### 요 약

암모니아는 친환경 연료로서 배출물이 질소와 물이기 때문에 대체 에너지원으로 주목받고 있다. 또한 고체산화물 연료전지(SOFC)는 700℃ 이상의 온도에서 고효율로 발전할 수 있기 때문에 암모니아를 고체산화물 연료전지의 연료로 활용하려는 연구가 많이 진행되고 있다. 본 연구에서는 암모니아를 활용하는 고체산화물연료전지의 다양한 시스템을 소개하고, 각 시스템의 발전 효율에 대해 비교, 분석하고자 한다. 또한 각 시스템의 경제성 분석을 수행하고, 발전 단가를 낮출 수 있는 다양한 방법에 대해 소개하고자 한다.

## 암모니아 엔진의 후처리 시스템 적용성에 대한 연구

**박철웅, 김민기, 장일품\*, 박경태\*, 최용현, 김용래, 최영**  
한국기계연구원, \*충남대학교

### Study on the Feasibility of After-treatment System for Ammonia Engine

**Cheolwoong Park, Minki Kim, Ilpum Jang\*, Gyeongtae Park\*, Yonghyun Choi, Yongrae Kim, Young Choi**  
*Korea Institute of Machinery and Materials, \*Chungnam National University*

#### 요약

최근 전 세계적으로 가속화 되고 있는 탄소 중립을 위한 선박 및 차량용 모빌리티 분야의 노력에 발맞추어 내연기관에서 배출되는 이산화탄소의 배출을 저감하고자 하는 노력이 여러 방면에서 나타나고 있다. 무탄소 연료 중의 하나로 수소가 주목을 받고 있지만, 수소의 운송 및 보관 등의 현재 기술로 도입 및 운용이 어려운 부분을 대체하기 위한 연료로서 암모니아에 대한 관심이 높아지고 있는 상황이다. 암모니아는 극저온에서 액화가 가능한 수소와 달리 상온 조건에서 쉽게 액화가 가능하고 저장밀도도 상대적으로 높은 장점이 있으며, 비료의 원료로서 이미 구축되어 있는 인프라를 이용할 수 있는 점이 모빌리티용 연료로서 적극적으로 검토되는 이유이다.

다만, 암모니아의 느린 화염속도, 높은 최소 점화에너지 및 좁은 가연한계 등의 내연기관의 연료로서 적합하지 않은 화학적 특성은 암모니아 엔진의 안정적인 운전성 확보 및 이를 통한 보급을 위해 연구를 통해 극복되어야 할 점이다. 특히, 상기와 같은 문제로 인해 암모니아 연료를 연소한 이후 배기관에서 배출되는 미연 암모니아 및 질소산화물의 저감은 내연기관에서 필수적으로 개발되어야 하는 요소임에 분명하다. 이에 본 연구에서는 암모니아 엔진에서 선택적환원촉매를 기반으로 하는 암모니아 후처리시스템을 적용하여 유해배출물의 저감 성능에 대해 살펴보고자 하였다.

## 암모니아 연료 선박의 벙커링 실증에 관한 연구

조영도, 신아연, 이솔미, 전청민, 이삼수, 김진준  
(주)MS가스, 기술연구소

### A Study on the Bunkering of Ammonia Fueled Ships

Young-Do Jo, Shin A-yeon, Sol-mi Lee, Chung Min Jun, Sam-Su Lee,  
Jin-Jun Kim  
*Institute of Technology, MS gas*

#### 요 약

해운 분야는 전 세계 탄소 배출의 약 2.89%를 차지하고 있으며, 이에 국제해사기구 (International Maritime Organization)는 2018년 온실가스 감축 초기전략을 채택하여 2050년까지 2008년 대비 50%를 감축하는 목표를 세웠다. 이 목표를 달성하기 위하여 액화천연가스, 메탄올, 수소 등을 다양한 대체 연료를 연구해 왔지만, 수소 연료는 저장 문제가 있고, 메탄올 등 탄소 포함 연료는 여전히 이산화탄소 발생 문제가 있다. 그러므로 최근에 무탄소 친환경 암모니아에 관심이 고조되고 있으며, 향후 그린 암모니아 시대에 대비하여 부산 및 경남 규제자유특구 사업으로 암모니아 선박 연료의 실증 연구를 추진하고 있다. 처음으로 추진하는 암모니아 연료 선박의 실증에서 암모니아의 독성을 포함한 안전에 대한 문제점 해결과 허용할 수 있는 수준 이하로 위험을 관리하기 위한 제도 마련이 필요하다.

암모니아 벙커링 실증에서는 KGS FP211를 기반으로 추가 안전기준을 마련하였고, ISO 60079-10-1에 의하여 방폭 구역 설정하였고, HAZOP, JSA 등 위험성 평가를 통해 설비의 안전성을 개선하였고, 그리고 환경부의 기준에 따라 사업장 외부 사고 피해 최소화 방안을 마련하였다. 사고 피해 범위를 살펴보기 위하여 암모니아 벙커링 설비의 누출 시나리오에 따라 누출 속도 해석과 대기확산 소프트웨어인 ALOHA를 이용하여 분석하였다.

대기 온도 25℃에서 암모니아 누출 속도는 기상 배관의 누출에 비하여 펌프 전단에서 누출되는 경우 2.5배, 펌프 후단에 누출되는 경우 8.8배 정도로 나타났고, 펌프 전·후의 누출 속도비는 약 3.5배 정도임을 알 수 있다. 주간에 암모니아 벙커링 설비를 운영하는 것으로 가정하여 최악의 기상 조건과 벙커링 설비와 선박 간의 연결 호스 직경의 6% 파열로 누출될 경우, ALOHA를 이용하여 대기확산을 해석한 결과 벙커링 시설로부터 약 300m 이상 떨어진 거리에서는 피해가 거의 없었고, 사망자가 발생할 수 있는 거리는 약 40m 이내로 나타났다. 앞으로 암모니아에 노출 시간 등 다양한 변수에 대한 사고 피해 영향범위와 벙커링 도중 공정 변수들의 상태를 살펴볼 예정이다.

## AHI를 이용한 LNG 펌프의 정량적 상태 평가 연구

최원목, 고재필, 권순길  
한국가스공사 가스연구원

### Study on Quantitative Condition Assessment of LNG Pump using AHI(Asset Health Index)

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

#### 요 약

LNG 생산기지 주요 설비는 안정적인 천연가스 공급과 설비 고장으로 인한 손실을 예방하기 위해 주기적으로 설비를 정비하는 예방 정비(Preventive Maintenance)를 수행하고 있다. 예방 정비를 위해 일정 운영 시간이 경과된 설비를 가동 중단한 다음 Overhaul을 통해 정밀 검사 및 소모품 교체 등을 수행한다. 이러한 예방 정비시 잦은 설비 중단과 불필요한 소모품 교체와 같은 비효율적인 정비로 인해 경제적 손실이 발생하고 있다. 또한, 잦은 Overhaul로 인한 인적 오류로 발생 가능성도 함께 커지고 있다. 이에 최근에는 정기적인 정비가 아닌 설비 상태에 따라 정비 계획을 수립하고 수행하는 상태 기반 정비(Condition Based Maintenance)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 연구는 LNG 생산기지의 주요 설비 중 하나인 LNG 펌프의 상태 기반 정비를 위해 펌프 상태의 정량적 평가 방법 및 절차에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 AHI(Asset Health Index)를 이용한 설비의 상태 평가 방법을 개발하였고 AHI에 사용되는 평가 항목 선정 및 가중치(Weight)를 결정하기 위한 방법론을 제시하였다. 평가 항목을 결정하기 위해 실시간으로 취득 가능한 데이터와 고장 이력 등을 분석하였으며 가중치를 결정하기 위해 델파이법(Delphi Method)을 활용하였다.



## 소형 모듈화 원전과 결합된 고효율 액체공기 발전 시스템의 성능 분석

이춘식, · 염충섭  
고등기술연구원

### Performance Analysis of a High-Efficiency Liquid Air Power Generation System Combined with a Small Modular Reactor

Chunsik Lee · Choongsub Yeom  
*Institute for Advanced Engineering*

#### 요 약

대용량 장주기 에너지 저장 방법의 하나로서 공기액화 에너지 저장 시스템(LAES, Liquid Air Energy Storage)은 환경적 관점에서 장점이 크지만 RTE(Round Trip Efficiency) 또는 에너지밀도가 낮은 단점이 존재한다. 에너지밀도는 단위 체적의 액체공기를 활용하여 발전 시 얻을 수 있는 전력으로 에너지밀도가 높을수록 동일한 액화공정에서 RTE도 증가하게 된다. 에너지밀도 관점에서 LAES 시스템이 압축공기 에너지 저장, 양수 발전 등에 비해 상당히 높기는 하지만 화력발전에 비하면 매우 낮은 수준으로 약 50 kWh/m<sup>3</sup> 수준이다. 따라서 LAES 시스템이 상용화되기 위해서는 액체공기 에너지밀도 개선을 통한 발전출력 또는 RTE 증가가 선행되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 소형 모듈화 원전(SMR, Small Modular Reactor)의 열원 활용 및 터빈 후단 냉각을 위한 방법을 제시하였다. 세부적으로 비경수로형 SMR 원전의 2차 계통 냉각재의 터빈 입구 온도는 550°C 이상, 터빈 출구 온도는 350°C 이상으로 가정하였으며, 복열기를 통해 공기 발전터빈 입구 온도를 상승시키는 방식을 채택하였다. 그 결과 기존 대비 액체공기 에너지밀도가 50% 이상 상승되는 것으로 분석 되어졌다.

#### Acknowledgement

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음 (과제번호 RS-2022-00143652)

## Glycol Heating System에 들어가는 Double Pipe Heat Exchanger의 열전달 모델 개발

이성우·최성웅

경상국립대학교

대부분 에너지자원을 수입하고 있는 우리나라의 상황에서 석탄과 유류와 같은 에너지자원의 경우 연소 시 아황산가스와 같은 공해 물질을 발생시켜 환경에 문제가 있고 원자력 에너지 같은 경우 안전성의 문제가 제기되고 있다. 또한, 환경변화로 인한 기후변화와 재해 등이 인류의 삶을 위협하고 있어 국제적으로 이를 극복하기 위해 미국의 경우 기후변화 대응 파리기후변화 협약 복귀, 유럽의 경우 온실가스 감축목표 상향 및 탄소 국경조정 제안, 일본의 경우 안전을 최우선으로 한 안정적, 탄력적 에너지 공급 등 탄소 중립 시대를 준비하고 있다. 우리나라도 이에 맞추어 ‘2050 탄소 중립’을 선언하였다. LPG의 경우 디젤 대비 16% 정도의 이산화탄소를 저감할 수 있으며, LPG 연료는 LPG운반선을 중심으로 디젤을 대체하는 추진 연료로 사용되고 있다. LPG는 극저온에서 액화되는 LNG보다 저장이 용이하고, 기존 HFO(High Fuel Oil)보다 에너지 밀도에서 크게 떨어지지 않으면서 기존 HFO 대비 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, CO<sub>2</sub> 등의 절감 효과가 있다. LPG운반선에 들어가는 2행정 디젤 사이클에서 LPG의 자연발화 온도는 400°C 이상이므로 점화를 위해 Pilot oil(MDO/HFO/LFO) 사용이 필요하다. 액체 상태의 LPG 연료는 엔진에 50bar로 공급된 후 부스터 밸브를 통해 가압되어 600bar로 연소실 내부에 주입된다. 이때, 엔진에서 요구하는 LPG 연료 공급 온도는 25~45°C이다. 공급되는 LPG의 온도 조건(25~45°C)을 맞추기 위해서 Glycol heating system의 열교환기가 배치되며 중요한 구성 요소이다. Glycol heating system에 들어가는 이중 관형 열교환기(Double pipe heat exchanger)는 두 개의 동심 관으로 구성되는 열교환기로 크기가 타 열교환기들에 비해 작고 유지보수가 용이하며 경제적인 장점이 있다. 이 연구는 선박 내 LPG fuel supply system에서 사용되는 Glycol heating system의 안정성, 성능을 평가하고 개선하는데 목적이다. 현재, LPG fuel supply system 자체에 관한 연구는 많이 진행되고 있으나 연료를 활용한 중형 추진 선박의 경제성 및 환경성 분석에 관한 연구는 미흡한 상황이다. 이에 따라 본 연구에서는 Glycol 순환 시스템의 열 손실을 최소화하고, 효율적인 열전달을 달성하기 위해 수치 해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 Double pipe heat exchanger 열전달 모델을 개발 및 실제 시험 결과와 비교 및 검증을 진행하였다.

## 고온고압의 연소환경에서 수소-메탄 혼합가스의 가연범위 예측에 관한 연구

고성협, 장대진, 이민철  
인천대학교 안전공학과

### A study on the prediction of flammability range of hydrogen-methane mixtures in high temperature and pressure combustion environments

Seonghyeop Go, Dae Jin Jang and Min Chul Lee<sup>†</sup>  
*Dept. of Safety Engineering, Incheon Nat'l Univ.*

#### 요 약

수소는 탈탄소에 있어서 중요한 연료로 주목받고 있다. 하지만, 늘어나는 중요성에 비해 수소에 대한 안전 기준은 아직 미흡한 실정이다. 안전과 관련된 대표적인 물성치인 가연한계에서, 한국산업안전보건공단(Korea Occupational Safety and Health Agency, KOSHA) 가이드에서는 상온-상압에서의 수소 가연한계인 4.0 vol%~75.0 vol%만이 기재되어 있다. 가연한계는 온도와 압력에 따라 변할 수 있는 물성치이기 때문에 고온-고압 환경에 대한 자료가 없는 경우에는 사고의 위험성이 높아질 수밖에 없다. 본 연구에서는 수소연료 가스터빈 설비의 가연 한계를 검증하고 고온고압의 연소환경에 대한 단일화염온도, 당량비, 수소 농도 등을 확인하기 위해 선행 연구를 조사한다. 조사를 통해 각 실험별 연소환경에 따른 가연한계와 KOSHA 및 미국화재예방협회(National Fire Protection Association, NFPA)에서 제시한 가연한계와 차이유무를 분석한다. 온도 및 압력의 변화에 따른 가연한계의 변화특성을 관찰하고 선행연구 데이터를 기반으로 근사식을 도출하여 가연한계를 예측하는 새로운 식을 제시한다. 온도-압력이 동시변화할 경우에 대한 근사식을 검증하며 오차를 최소한으로 하는 것을 목표로 한다. 마지막으로, 실가동중인 발전소 3곳의 연소환경에 대한 가연한계를 도출하고, 동일 환경에 대한 르샤틀리에 원리에 의한 혼합가스의 가연한계를 도출하여 비교 및 분석을 진행한다.

감사의 글 : 본 연구는 한국전력공사의 2022년 착수 기초연구개발 과제 연구비에 의해 지원되었음  
(과제번호 : R22XO02-06)

## 머신러닝 기반 고갈 가스정 CO<sub>2</sub> 주입성 분석 모델 개발

김재윤, 안유빈, 정석희, 권순일  
동아대학교 에너지자원공학과

### Development of a Machine Learning-based Model for CO<sub>2</sub> Injectivity Analysis of a Depletion Gas Well

**Jeayun Kim, Yubin An, Seokhee Jung, Sunil Kwon**  
*Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A  
University*

#### 요 약

CCS(Carbon Capture and Storage)에서 가장 현실적인 방법은 CO<sub>2</sub>를 포집하여 지중에 저장하는 기술로 고갈 유·가스전, 심해 대수층 등이 대상이 될 수 있다. 이중 고갈 유·가스전은 개발이 완료되어 많은 정보를 보유하고 있기 때문에 주입 기술을 활용하여 안전하게 CO<sub>2</sub>를 저장할 수 있다.

대표적인 CO<sub>2</sub> 주입성 해석방법에는 노달분석과 저류층 시뮬레이션 등이 있다. 노달분석 모델은 빠르고 정확도가 높지만, 비전문가가 활용하기엔 어렵고, 저류층 시뮬레이션은 저류층 전체를 분석할 수 있지만 유정 단위로 분석할 때도 불확실성이 큰 많은 수의 입력자료가 필요하다는 한계가 존재한다.

머신러닝 모델은 데이터를 이용해 훈련을 시킨 후 예측 모델을 만들어 특정 결과를 예측하는데 활용 가능하다. 이렇게 만들어진 머신러닝 모델은 비전문가도 활용이 가능하고 입력변수와 출력변수를 조합하여 모델의 활용성도 향상시킬 수 있다.

본 연구에서는 PIPESIM™을 활용해 CO<sub>2</sub> 주입 노달분석 모델을 설정한 후, 훈련 자료를 산출하여 CO<sub>2</sub> 최적 주입량 예측 모델을 개발하였다. 총 5개의 입력변수(저류층 압력, 저류층 두께, 저류층 투과도, 주입관 크기, 주입 압력)를 사용하였고, 랜덤포레스트 기법을 활용해 운영 압력과 최적 주입량을 예측하였다. 전체 데이터의 개수는 900개이고, 데이터의 80%를 훈련자료로, 20%를 테스트자료로 사용하였고, 그 결과로 평균백분율상대오차(MAPE) 값이 6% 이내로 신뢰성 있는 결과를 산출할 수 있었다.

사사 : 이 논문은 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원(No. 20225B10300080, 동남아시아 고갈 유·가스전 대상 CO<sub>2</sub> 저장 유망 후보지 선정 및 해외 저장 사업 추진 모델 개발)과 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 해외자원개발협회의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021060001, 데이터사이언스 기반 석유·가스 탐사 컨소시움).

이 논문은 SLB 사로부터 기부 받은 PIPESIM 소프트웨어를 사용하여 작성함.

## CO<sub>2</sub> 지중저장 시 공극 탄성 응력을 고려한 단층 안정성 분석 연구

이다해, 김규현, 김동현, 양정환, 유성준, 김다연, †왕지훈\*  
한양대학교 자원환경공학과

### Study on fault stability analysis considering poroelastic stress change during geological CO<sub>2</sub> storage

Dahae Lee, Kyuhyun Kim, Donghyun Kim, Junghwan Yang,  
Seongjun You, Dayeon Kim, †Jihoon Wang\*

\*Department of Earth Resources and Environmental Engineering, Hanyang  
University

#### 요 약

최적 CO<sub>2</sub> 지중저장 기법 설계를 위하여 저장소 내/인근의 단층의 지구역학적 안정성 분석이 필수적이다. 기존 단층 안정성 분석 시, 저장소의 공극 내 유체 압력 증가만을 고려하였으나, 최근에는 유체 압력 증가가 미치지 못하는 먼 거리의 단층 안정성 분석을 위해 공극 탄성 응력을 고려한 연구들이 수행되고 있다.

본 연구에서는 피압대수층에서 유체를 주입할 때 공극 탄성 응력 변화를 계산한 Rudnicki(1986)의 수식을 활용하여, CO<sub>2</sub> 저장소의 수리학적/역학적 물성과 유체 주입 시나리오를 기반으로 모델을 구축하였다. 이후, Coulomb Failure Function을 활용하여 각 분석 시점 및 거리에 따른 단층 안정성을 비교하였다.

먼저 미국 오클라호마 주 Arbuckle formation 대상 폐수 주입정 사례를 활용해 모델 검증을 시행하였다. 유체 주입 시 공극 탄성 응력 변화가 200~404 kPa 범위로 나타났으며, 이는 선행 연구의 공극 탄성 응력 변화 범위와 일치하였다. 저장소의 투과도, 주입정 거리에 따른 민감도 분석 결과, 저투과도 저장소(1 mD 이하)에서 최대 공극 탄성 응력이 급격하게 변화하였다. 또한, 단층과 주입정의 거리가 5 km보다 가까운 경우에는 주입 103일 이후에 공극 탄성 응력의 효과가 모두 사라졌으나, 주입정의 거리가 20 km보다 먼 경우에는 주입 3년 이후에도 초기 공극 탄성 응력 변화의 95%가 유지되었다. 따라서 저투과도 저장소의 경우, 주입정과 단층 사이의 거리가 먼 경우에는 CO<sub>2</sub> 지중저장 시 정확한 단층 안정성 분석을 위해 공극 탄성 응력의 변화를 고려해야 하는 것으로 판단된다.

#### 사 사

본 연구는 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 해외자원개발협회의 지원(No.2021060002, 디지털오일필드)과 2022년도 정부(교육부, 산업통상자원부)의 재원으로 K-CCUS 추진단의 지원(KCCUS20220001, 온실가스감축 혁신인재양성사업)을 받아 수행된 연구입니다.

## 불순물을 포함한 이산화탄소 주입시 대염수층에서 지화학 반응이 미치는 영향

고승모, 김유진\*, †장호창\*\*

강원대학교 에너지자원융합공학과, \*강원대학교 에너지공학부,

\*\*강원대학교 에너지자원화학공학과

## Geochemical impact of impure CO<sub>2</sub> injection in a deep saline aquifer

Seungmo Ko, Yujin Kim\*, †Hochang Jang\*\*

Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Kangwon National

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

\*\*Department of Energy Resources and Chemical Engineering Kangwon National University

### 요약

CCS를 위하여 주입한 이산화탄소가 지층수(formation water)에 용해되면 금속이온과 지화학 반응을 통해 지층 물성에 변화를 야기한다. 또한 주입된 CO<sub>2</sub>에 불순물이 포함된 경우 지화학 반응에 변화가 발생하며 이는 CO<sub>2</sub> 저장량에 영향을 줄 수 있다.

본 연구에서는 불순물을 포함한 이산화탄소 주입시 대염수층 지화학 반응이 지층 저장에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위하여 CMG사의 GEM을 사용해 대염수층 모델을 구축하였고 지층수와 광물 조성은 포항분지의 물성을 적용하였다. 이산화탄소와 금속이온의 지화학 반응은 전이상태이론(transition state theory, TST)을 통하여 구현하였다. 불순물은 황화수소와 메탄으로 선정하였으며 농도는 아민계 흡수제로 이산화탄소를 포집할 때 포함될 수 있는 3.5%로 설정하였다. 시뮬레이션에서 주입 기간은 10년으로 하였으며 모니터링을 100년간 진행하였다. 그 결과 이산화탄소 저장량은 메탄이 포함되어 있으면 94.6%, 황화수소가 포함되어 있으면 97%가 저장되었다. pH는 주입 종료 시점에는 황화수소가 포함되어 있을 때 가장 높았지만, 모니터링이 끝난 시점에서는 순수한 이산화탄소가 가장 높은 pH를 보여줬다. 지층 광물 중 방해석(calcite), 조장석(albite)은 용해되었으며 능철석(siderite), 고령석(kaolinite)는 침전되었다. 특히 철 이온을 통해 침전되는 탄산염 광물인 능철석은 순수한 이산화탄소를 주입했을 때 대비 메탄이 포함되어 있으면 74.2%, 황화수소가 포함되어 있으면 52.3%가 침전되었다. 메탄이 포함되어 있으면 침전량과 용해량이 모두 감소하였지만 황화수소가 불순물로 포함되어 있으면 광물의 종류에 따라 용해량과 침전량이 변화하였다.

### 사사

본 연구는 2024년도 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

## 경사정 시추공 안정성 분석 연구

**양정환, 김규현, 김동현, 이다해, 유성준, 김다연, 왕지훈\***  
한양대학교 자원환경공학과

### Deviated Well Stability Analysis Study

**Junghwan Yang, Kyuhyun Kim, Donghyun Kim, Dahae Lee,  
Seongjun You, Dayeon Kim, Jihoon Wang\***

*Department of Earth Resources and Environmental Engineering, Hanyang  
University*

#### 요 약

경사정 시추 시 정확한 시추공 안정성 분석을 위해서는 지층의 이방성을 고려한 응력 분포 도출이 필수적이다. 선행연구에서는 Kirsch 식과 Green-Taylor 식을 활용하여 수직정 및 수평정 시추공 안정성 모델을 구축하고, 응력 분포를 도출한 바 있다. 본 연구에서는 이방성 지층을 대상으로 한 경사정 안정성 분석에 효율적인 것으로 알려진 Lekhnitskii-Amadei 식을 활용하여 분석을 진행하였다.

먼저, 등방성 및 이방성 지층의 현지 응력을 전역 좌표계(Global Coordinate System), 시추공 좌표계(Wellbore Coordinate System), 약한 층리면 좌표계(Weak-Plane Coordinate System) 및 원통형 좌표계(Cylindrical Coordinate System)로의 변환 과정을 통해 시추공 주변 단면 응력 분포를 Contour Plot으로 도식화하여 시추공 주변 최대주응력을 도출할 수 있었다. 또한, 시추공 주향 각도별 최대주응력 값을 비교해 가장 높은 응력이 발생하는 지점을 도출하였다. 본 연구 결과는 이방성 지층을 대상으로 한 시추 설계 시 효율적으로 활용될 수 있을 것이다.

#### 사사

본 연구는 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 해외자원개발협회의 지원(No.2021060002, 디지털오일필드)과 2022년도 정부(교육부, 산업통상자원부)의 재원으로 K-CCUS 추진단의 지원(KCCUS20220001, 온실가스감축 혁신인재양성사업)을 받아 수행된 연구입니다.

## 시뮬레이션 설정 변경에 따른 해상 CCS 저장소의 주입 시스템 운영조건 분석

오유빈, 한아름\*, 김대희\*, 이영수  
전북대학교, \*한국CCUS추진단

### Analysis of Operation Condition for the offshore CO<sub>2</sub> Storage Site with the change of Simulation Settings

Youbin Oh, Ahream Han\*, Daehee Kim\*, Youngsoo Lee  
*Jeonbuk National University, \*Korea CCUS Association*

#### 요 약

시뮬레이션 소프트웨어 활용 시 필요한 유체와 암석 물성의 산출을 위해 다양한 관계식을 사용하게 되며, 일반적으로 기본적으로 선정되어 있는 관계식을 사용하는 경우가 많다. 하지만 특정 압력, 온도 영역에서 사용할 수 없거나 CO<sub>2</sub> 주입과 같은 특수한 상황에 적합하지 않은 관계식들이 존재하여 결과에 큰 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 고갈가스전에 CO<sub>2</sub>를 주입하는 모델링 과정에서 계산 방식, flow correlation, 상태방정식, 시뮬레이션 정확도 향상 방식에 따른 결과의 차이점을 분석하였다. 특히 CO<sub>2</sub>를 주입하면서 주입층의 압력이 상승함에 따라 주입 유체의 증기압곡선 근방에서 상변화가 발생하는 경우, 시뮬레이션 세팅에 따른 차이가 두드러졌다. 주입 유체 온도를 15.6°C로 설정하고 초기 주입층 압력이 500 psi인 조건에서는 유사한 결과를 보였다. 그러나 주입층의 압력이 1000 psi까지 상승할 경우, 주입 유체의 온도, 압력 조건이 CO<sub>2</sub>의 증기압 곡선에 도달하면서 Hagedorn & Brown correlation에서는 계단식으로 온도와 압력이 증가하는 형태를 보였으나 OLGAS correlation에서는 증기압 곡선을 따라 2-phase 유동 형태를 보였다. 이는 PIPESIM의 segment 계산 방식이 Interpolate, Hybrid, Rigorous로 구분되는데 Interpolate는 flash calculation을 진행하지 않고 계산된 지점으로부터의 비율에 따른 계산을 진행하고, Rigorous는 모든 구간에서 flash calculation을 진행하며, Hybrid는 flash calculation이 필요한 구간에서는 Rigorous의 방식을, 그 외의 구간은 Interpolate의 방식을 따르기 때문이다. 해당 세팅을 통해 주입 유체의 온도, 주입정의 경사, 주입 유체의 불순물 여부에 따라 과거 연구결과를 재분석하였고 보다 개선된 결과를 얻을 수 있었다.

핵심어: CCS, 고갈가스전, 주입층 분석, 시뮬레이션 세팅

사사: 이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원(20226A10100020, 해양 CO<sub>2</sub> 주입시스템 핵심기술 자립화)과 2022년도 정부(교육부, 산업통상자원부)의 재원으로 한국CCUS추진단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(KCCUS20220001, 온실가스감축 혁신인재양성사업).



## 복합화력발전소 내 암모니아 혼소에 따른 위험성평가 : ALOHA & PHAST 프로그램을 이용한 피해영향범위 결과 비교

박희경, 최유정, 이민철\*

인천대학교 안전공학과, \*인천대학교 소방방재연구센터

### Risk Assessment of Co-firing Ammonia fuels in Combined Cycle Power Plant : Comparison using ALOHA and PHAST for CA(Consequence Analysis)

Hee Kyung Park, Yoo Jeong Choi, Min Chul Lee\*

Dept. of Safety Engineering, Incheon National University, Incheon 22012, Korea

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

#### 요 약

전 세계적으로 2050 탄소중립을 실현하기 위해 천연가스(NG)기반 연료에서 탈탄소화 연료로의 전환이 활발히 이루어지고 있다. 청정 연료의 암모니아는 이산화탄소 배출량을 저감할 수 있는 장점과, 높은 에너지 밀도로 의하여 발전소 내 저장 및 운송이 용이하여 수소 캐리어의 역할도 가능하여 많은 각광을 받고 있다. 그러나 암모니아는 기존 탄화계 연료와는 다른 연소특성과 물성치를 갖고있어, 가스터빈 연료로 적용될 경우 발전소 내 새로운 위험 요소로 작용할 수 있다.

이에 본 연구는 국내 한 발전소를 대상으로 암모니아 신연료를 안전하게 적용하기 위한 저장 및 공급 방안을 모색하기 위한 위험성평가 연구를 수행하였다. 암모니아 연료 적용시 발생할 수 있는 사고에 대한 피해영향범위를 평가하기 위해 미국 EPA사의 ALOHA 프로그램과 노르웨이 DNV사의 PHAST 프로그램을 사용하였다. 암모니아 저장 및 공급시스템의 설계안을 대상으로 누출·폭발·화재사고 시나리오에 대한 피해영향도를 확산 모델링으로 구현하였다. 두 프로그램 모두 통합분산모델(Unified Dispersion Model, UDM) 기반으로 대기 중으로 방출된 화학물질의 확산을 해석한다. 또한 화재 및 폭발의 경우, 영국 HSE(Health and Safety Executive) 및 네덜란드 TNO가 개발한 상관관계 및 방법론을 통해 모델링하며, 피해영향범위 계산결과를 도출한다. 프로그램에 따라 서로 다른 전산해석 메커니즘을 활용함에 있어 결과에 대한 차이가 있다. 두 가지 CA 프로그램 간의 결과 비교를 통해 결과의 적절성을 교차검증하고 보다 합리적인 결과값을 도출하고자 하였다.

독성가스인 암모니아의 경우 독성에 의한 피해영향범위가 가장 넓게 산출되었으며, 프로그램 별 비교 시 ALOHA 프로그램 위험거리가 더 넓게 나타났다. 다양한 위험요소(독성, 증기운/Pool 화재, 폭발, BLEVE 등)의 CA결과 값을 비교하여 최악의 피해 반경(최대값)을 기반으로 암모니아 연료의 안전성을 확보하고 최대한 안전하고 보수적으로 공정을 설계 및 보완하고자 한다. 발전소 내 운영, 경제, 유지 보수 등의 고려 사항을 반영하여 발전소 내부 뿐만 아니라 인근 업체 및 지역 주민의 피해를 최소화하기 위해 암모니아 연료의 물성치에 적합한 맞춤형 안전관리 방안을 구축하고, 신연료 복합화력 발전소의 안전성을 위한 기초자료로서 기여하고자 한다.

❖ 본 연구는 한국전력공사의 2022년 착수 기초연구개발 과제 연구비에 의해 지원되었음(과제번호 : R22XO02-06)

## 수소충전소 방호와 방화를 고려한 차단벽 최적 설계에 대한 연구

오세현, 이선희\*, 문명환\*\*, 마병철\*\*

전남대학교 화학공학과 박사과정, \*전남대학교 화학공학과 석사과정, \*\*전남대학교 화학공학부 교수

### A Study on the Optimal Design of Barrier Considering Explosion and Fire Protection of Hydrogen Refueling Station

Se-Hyeon Oh, Seon-Hee Lee\*, Myung-Hwan Moon\*\*, Byung-Chol Ma\*\*\*

*Chonnam National University, Department of Chemical Engineering,*

*\*Chonnam National University, Department of Chemical Engineering,*

*\*\*Chonnam National University, School of Chemical Engineering*

#### 요 약

수소는 잠재적으로 화석 연료를 대체할 수 있는 지속 가능하고 재생 가능한 에너지원으로 주목받고 있다. 수소는 높은 확산성, 넓은 가연성 범위, 낮은 전기적 에너지에도 쉽게 점화되어 최소한 마찰로도 화재 및 폭발을 초래할 수 있다. 이에 효과적인 차단벽 설치를 통해 수소의 확산을 크게 제한하고 지연 점화에 의한 폭발과압을 줄일 수 있다. 또한, 즉시 점화에 의한 제트 화재로 발생한 복사열 피해를 차단벽 설치를 통해 안전성을 향상시킬 수 있다. 따라서, 수소충전소에 차단벽 설치 조건 최적화를 위해 차단벽과 누출원의 거리, 차단벽 높이, 차단벽 폭을 입력변수로 사용하고, 반응표면법(Response surface method, RSM), 인공신경망(artificial neural network, ANN)을 사용하여 폭발과압과 복사열이 미치는 거리를 최소화하기 위한 차단벽 최적 설계 조건을 도출한다. 이를 위해 첫째, 시뮬레이션을 통해 차단벽 설계 조건을 분석하고, 설계 범위를 설정한다. 둘째, 설정한 범위에서의 RSM과 ANN을 통해 차단벽 설치 조건을 최적화한다. 셋째, 시뮬레이션을 통해 검증하여 모델식의 신뢰성이 있음을 제시한다. 본 연구를 통해 폭발과압과 복사열에 의한 피해를 최소화할 수 있는 수소충전소의 차단벽 설치 방법을 제시하였고, 이는 수소충전소 안전성 향상을 위한 자료로 활용될 것으로 생각한다.

## radXiFoam v2.0을 이용한 수소충전소 모형장치에서의 증기운 폭발실험에 대한 검증해석

강형석, 최근상

한국원자력연구원 지능형사고대응연구부

### Numerical Analysis for a Vapor Cloud Explosion in a Mock-Up Facility of a Hydrogen Refueling Station Using radXiFoam v2.0

Hyung-Seok Kang, Keun-Sang Choi

*Intelligent Accident Mitigation Research Division, Korea Atomic Energy  
Research Institute*

#### 요 약

수소에너지의 안전한 사용을 위해서 “수소충전소 화재폭발 시 피해저감을 위한 방호벽 설계기술 및 안전기준 개발” 연구가 산업통상자원부의 후원과 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터의 주도로 진행되고 있다. 본 연구과제의 중간결과 중의 하나로 액화수소충전소에서 발생할 수 있는 수소증기운 폭발사고 시 방호벽에 의한 피해저감 효과를 3차원으로 해석할 수 있는 radXiFoam v2.0 코드가 오픈소스 기반으로 개발되었다. radXiFoam 코드의 해석결과가 수소충전소의 정량적 위험성 평가에 사용될 수 있는지를 판단하기 위해서 유럽연합(European Union)에서 HySafe 프로그램으로 수행한 수소충전소 모형장치에서의 수소증기운(Hydrogen Vapor Cloud) 폭발실험에 대해서 검증해석을 수행하였다. 검증대상인 Pre-mixed Cloud Trial은 수소농도 30.88%, 상대습도 42.1%의 수소-공기 혼합기체가 부피 70.19 m<sup>3</sup> (5.4m×6.0m×2.5 m)인 Tent 내부에 균일하게 혼합된 상태에서 전기스파크에 의해서 점화된 다음, 화염이 수소충전기와 승합차 모의 구조물을 통과하면서 가속되어 압력상승으로 폭발할 때 발생한 압력파의 전파특성을 거리에 따라서 측정된 실험이다. radXiFoam 코드로 본 실험을 모의하기 위해서 1/2 대칭조건을 적용한 3차원 격자모델(31.0m×34.2m×31.0m)이 개발되었으며, 생성된 Hexahedra Cell 수는 총 30,432,390개 이다. 본 해석은 폭발현상과 압력파 전파 해석을 위해서 천이과정으로 약 10<sup>-6</sup> - 10<sup>-4</sup> s 정도의 계산시간 크기로 약 130 ms를 계산해야만 했다. 따라서 총 계산시간을 감소시키기 위해서 점화현상을 전기스파크에 의해서 연소가 시작된 후, 화염이 반경 0.12 m까지 균일하게 전파되어 구(Sphere) 전체가 완전연소된 모델을 개발하여 사용하였다. 본 해석결과인 거리에 따른 과압(Overpressure)과 실험에서 측정된 과압을 비교한 결과에 의하면, radXiFoam 코드가 예측된 최고 과압을 약 15% 오차 내에서 정확히 예측하였다. 따라서 radXiFoam 코드는 수소충전소의 정량적 위험성 평가에 충분히 활용될 수 있는 것으로 판단된다.

본 연구는 한국에너지기술평가원과 한국산업기술평가관리원의 연구비 지원으로 수행되었습니다 (예기평 과제번호: 20215810100020).

## 복합화력발전소 내 수소 연료 적용 시 폭발위험장소 산정을 위한 정량적 분석 연구

최유정\*, 이민철\*,\*\*†

\*인천대학교 안전공학과, \*\*소방방재연구센터

### Quantitative analysis study for determining explosion hazard locations in hydrogen fuel applications in combined cycle power plant

Yoo Jeong Choi\* · Min Chul Lee\*,\*\*†

\*Dept. of Safety Engineering, Incheon National University

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

#### 요 약

우리나라는 탄소중립 사회 실현을 목표로 수소경제 활성화 로드맵 및 수소경제이행기본계획을 발표하는 등 적극적인 정책 추진을 진행하고 있다. 탄소중립을 위해 국내·외 발전소에서는 청정연료 사용을 확대하고 있으며, 탈탄소 연료인 수소 연료는 기존 연료와의 혼소, 개질을 통한 사용으로 그 중요도가 높아지고 있다. 수소 등 신연료의 사용이 증가함에 따라 각종 사고사례도 존재한다. 한국가스안전공사 가스연감에 따르면 최근 5년간 발생한 고압가스 사고는 총 62건으로, 그 중 수소 사고가 14건으로 높은 비중을 차지하였다. 물질안전보건자료(Material Safety Data Sheets, MSDS) 상 수소는 인화성 가스이며, 누출될 경우 근로자 및 인근지역으로의 심각한 피해가 우려된다.

이에 본 연구에서는 울산복합화력 내 수소 연료 공급 설비를 적용할 경우 기존 폭발위험장소 대비 증가하는 위험도를 파악하여 영향 범위를 분석하였다. 또한, HAC 프로그램을 통해 합리적인 결론을 도출하였으며 정량적인 평가를 기반으로 향후 신연료 도입 시 필요한 안전성 개선 전략을 수립하였다. 이는 복합화력발전소 내 수소연료 적용을 위한 사전 위험도 평가 과정으로써, 피해를 최소화하기 위한 대책을 제시하고자 한다. 결과를 기반으로 발전소 내 안전한 수소 혼소 인프라 주요 설비 품질 및 성능을 확보하고, 설비 간 안전한 이격거리를 산정하는 등의 안전 조치방안을 수립하는 데 긍정적으로 작용할 것으로 기대한다.

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00236869, 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%)

## 복합화력발전소 내 암모니아 연료 누출 시 가스 확산 및 피난 시뮬레이션을 통한 위험성 평가 연구

정시우\*, 박희경 †이민철\*\*

\*인천대학교 안전공학과

\*\*인천대학교 소방방재연구센터/안전공학과 교수/

### Study of Hazard Assessment through Gas Diffusion and Evacuation Simulation in the Event of Ammonia Fuel Leakage at a Combined Cycle Power Plant

Siwoo Jung\* · Hee Kyung Park · † Min Chul Lee\*\*

\*Dept. of Safety Engineering, Incheon National University, Incheon 22012, Korea

\*\*Fire Disaster Prevention Research Center, Incheon National University, Incheon

#### 요 약

범국가적인 차원에서 탄소 중립 목표 달성을 위해, 국내를 포함한 전 세계의 복합화력발전소에서는 청정 연료 사용을 확대하고 있으며, 이러한 움직임 속에서, 탄소배출이 없는 암모니아 연료가 기존 연료와 혼합되거나 수소 생산의 원료로 사용되어 주목받고 있다. 그러나 암모니아 사용은 그 독성과 환경에 대한 유해성으로 인한 심각한 문제를 가지고 있으며, 화학물질안전원의 공식자료에 의하면 최근 10년 이내(2014~2023) 암모니아 사고 건수(누출, 폭발, 화재)는 평균 8.9건으로 누출로 인한 사고가 가장 많이 발생하였다. 하지만 발전소 내 암모니아 누출로 인한 폭발 및 화재 위험성에 비해 발전소 내 암모니아 누출로 인한 직접적인 노출에 관한 연구는 미미한 실정이다.

본 연구에서는 전산 유체 역학(CFD) 원리를 기반으로 한 전산해석 프로그램인 PyroSim과 피난 시뮬레이션 프로그램인 Pathfinder를 사용하여, 복합화력 발전소 내에서 실제로 설치될 암모니아 연료 공급망 중 실내 배관에서 암모니아가 누출될 경우를 시뮬레이션하였다. 이 연구를 통해 암모니아 누출과 그로 인한 가스 확산 경로를 시각적으로 제시하며, 결과 데이터 기반으로 허용피난시간(Available Safe Egress Time, ASET)을 도출하고 Pathfinder를 통해 대피 경로와 보행자 흐름을 모델링하여 총 피난시간(Required Safe Egress Time, RSET)을 산정하였다. 이 두 결과 값을 비교 분석함으로써 발전소 내 화학 물질 누출 사고에 대한 전반적인 위험성 평가와 대응 계획을 통합적으로 수립하며 발전소의 전반적인 안전성 향상 및 탄소 중립 목표 달성을 위한 지속 가능한 운영 전략에 기여하고자 한다.

감사의 글: 이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2023-00270080, 수소터빈 연소기 시험평가 기술개발) 또한 한국전력공사의 2022년 착수 기초연구개발 과제 연구비에 의해 지원되었음(과제번호 : R22X002-06)

## CFD를 활용한 조선업 도장공장 규모별 VOC 폭발 위험성 연구

김진서, 김이수, 손덕영, 정승호\*, 이근원\*

아주대학교 대학원 환경공학과, \*아주대학교 환경안전공학과

### A Study on the Explosion Hazards of VOCs in the Painting Factory of Shipbuilding According to scale Using CFD

**Jin-seo Kim, Lee-su Kim, Deok-Young Sohn, Seung-ho Jung\*, Keun-won Lee\***

*Department of Environmental Engineering, Graduate School of Ajou University*

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

#### 요 약

현재 조선업에서 사용되는 선박용 도료 내부에는 다양한 VOC 성분이 포함되어 있다. 이에 국내 조선소에서는 낮은 폭발하한계(LEL, Lower Explosive Level)를 가지는 VOC의 특성을 고려하여 자체적인 폭발 위험 장소에 대한 기준을 적용 중이다. 해당 기준에서는 밀폐된 도장실 내부 전체가 1종 장소로 설정되어 있으며 특히 국내 대부분의 도장공장에서는 도장작업을 실시 중인 블록 간 작업구역이 물리적으로 구분되어 있지 않아 공장 내부 전체가 폭발 위험장소로 설정되어 있다. 이로 인해 공장 내부 대부분의 설비는 1종 방폭 구조로 되어 있으며 다른 도장공정과 달리 크기가 큰 피도장체를 도장하여 매우 큰 내부 공간을 지니는 조선업 도장공장 특성상 엔진 구동차량의 공장 내부 운용이 필수적이지만 엔진이 점화원으로 취급되므로 규정상 해당 차량들의 출입이 어려운 점이 존재한다.

본 연구에서는 도장 공장 내부 폭발위험장소에 대한 명확한 기준을 적립하기 위해 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 활용해 도장공장의 규모별(대, 중, 소) VOC 농도 분포 시뮬레이션을 수행하여 폭발위험도를 파악하였다. 또한 시뮬레이션의 신뢰도 확보를 위해 VOC 농도를 측정된 실증 실험과의 결과 검증을 수행하였다. 검증 결과, 측정치와 시뮬레이션 결과가 정성적으로 매우 유사한 경향을 나타내 신뢰성을 확보할 수 있었다. 이후 농도 분포 시뮬레이션 결과, 대규모, 중규모, 소규모 도장공장 내부 VOC 혼합가스의 최대 농도는 각각 456, 289, 545 ppm으로 계산되었으며 이를 %LEL로 환산하였을 때 각각 4.2, 2.9, 4.9 %LEL로 폭발 분위기가 형성되지 않았다. 이는 도장공장 내부의 폭발 위험성이 매우 낮다는 것을 보여준다.

본 연구를 통해 추후 조선업 도장공장의 폭발위험장소 설정에 관한 가이드라인을 제정하고 이를 폭발위험장소 선정시 활용하여 공장내 사고를 예방하는데 도움이 될 것으로 예상된다.

\* 본 연구는 2024년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 일부 받아 수행된 연구임(P0012787, 2024년 산업혁신인재성장지원사업)

## 공정 안전을 위한 Large Language Model 기반 HAZOP 자동화

**이훈기\*, 이진석\*, 박명남\***  
(주)지엘환경기술\*

### Automation of HAZOP for Process Safety Based on Large Language Models

**Hunghi Lee, Jinseok Yi, MyeongNam Park**  
*GL Environment Technology*

#### 요약

화학물질, 석유, 가스 등 고위험 산업에서는 소량의 실수나 장비 고장이 대형 사고로 이어질 수 있다. 공정관련 안전 사고로 인한 인명 손실과 경제적 손실을 최소화하기 위해 HAZOP 등 위험성 평가를 수행하며, 이를 통해 잠재적인 위험 요소를 사전에 감지하고 평가하여, 사고로 이어질 수 있는 위험을 최소화하고자 한다. 하지만 현재 HAZOP 수행 방식은 전문가의 직관과 경험에 크게 의존하고 있으며, 이로 인한 시간과 비용이 크게 소요되며, 주관적 판단의 오류가 발생할 가능성이 높다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Large Language Model(LLM) 기반의 HAZOP 자동화 연구를 수행하고자 한다. LLM 기반의 HAZOP 자동화는 다중 에이전트를 통해 위험성 평가를 단계별로 자동화하며, 각 과정에서 프롬프트 엔지니어링을 활용하여 보다 정확한 답변을 생성한다. 첫 번째 에이전트에서는 위험성 평가를 수행하고자하는 대상공정의 각 노드를 입력 후 분석하여, 공정 변수를 생성한다. 이후 두 번째 에이전트에서 도출된 공정 변수와 가이드워드의 결합을 통해 이탈을 생성한다. 이후 Retrieval Augmented Generation (RAG)을 통해 문헌 데이터를 함께 입력하고 이에 기반하여 해당 이탈의 원인과 결과를 도출한다. 세 번째 에이전트에서는 기존 공정도에 포함된 안전장치와 이탈을 결합하여 개선사항을 도출하고, 최종 출력된 결과물을 HAZOP 테이블을 생성하고, 마지막 에이전트에서 이를 활용하여 자연어 형태의 HAZOP 보고서를 생성한다. LLM 기반의 HAZOP 자동화 시스템은 전문가의 직관과 경험에 크게 의존하는 현행 HAZOP 제도의 문제점을 보완할 수 있으며, 이로 인한 시간 및 비용을 크게 절약하여 안전 관리의 질 향상 뿐만 아니라 경제적인 측면에서 자원 절약이 가능할 것으로 기대된다.

## CFD를 활용한 LNG 터미널 플랜트의 누출 및 폭발 위험성 평가

민미미, †이근원, †정승호  
아주대학교 환경안전공학과

### Leak and explosion risk assessment of LNG terminal plant using CFD

**Mimi Min, Keunwon Lee, Seungho Jung**

*Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University*

*† Corresponding author : [leekw0@ajou.ac.kr](mailto:leekw0@ajou.ac.kr), [processsafety@ajou.ac.kr](mailto:processsafety@ajou.ac.kr)*

#### 요 약

플랜트는 가연성, 독성을 가진 위험 물질을 고온고압의 상태로 다루는 설비로 누출 혹은 폭발시 위험도가 매우 크다. 특히 석유 화학 시설의 경우 공정 및 설비가 복잡하고 대량의 유해화학물질을 다루고 있어 사고가 나게 되면 큰 인명, 재산 피해를 초래한다. 따라서 사고시 영향범위를 사전에 계산하고 예측하여 플랜트 설계 단계부터 피해를 최소화 할 수 있는 안전한 설계를 하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 석유화학플랜트 중 하나인 LNG 터미널을 가상의 파일럿 플랜트로 선정하고 5개의 격리 가능한 섹션으로 나누었으며 그에 따른 다양한 시나리오 구성을 하였다. 그 후 노르웨이 Gexcon사의 FLACS v10.7r1을 이용하여 각각의 시나리오에 대한 CFD 해석을 진행하였다. 이를 통해 플랜트 주요 공정에서 시작된 위험 물질 누출을 기반으로 하는 사고로 인한 플랜트 내외부의 물리적인 영향을 확인하고 플랜트의 위험성을 정량적으로 평가하였다. 특히 누출공 크기 및 다양한 시나리오에 따른 누출 형태와 가스 분포 형태를 파악하고 점화원의 위치에 따른 안전 격벽 설치와 설계 초기 단계의 안전한 설계 방안을 제시하였다.

\* 본 연구는 2024년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 산업혁신 인재성장사업(과제번호 P0012787)으로 수행되었음.



## 주요 개봉 방사성동위원소의 비산을 평가에 관한 연구

전보일\*, 이도경\*, 장가은\*\*, 이다은\*\*, 박병현\*\*\*, 정승호\*\*

\*아주대학교 대학원 환경공학과 \*\*아주대학교 환경안전공학과

\*\*\*한국원자력안전기술원

### A Study on the Evaluation of Evaporation Rate of Major Released Radioactive Isotopes

Bo-il Jeon\*, Dogyeong Lee\*, Gaeun Jang\*\*, Daeun Lee\*\*, Byeonghyeon Park\*\*\*, Seungho Jung\*\*

\*Department of Environmental Engineering, Graduate School of Ajou University

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

\*\*\*Korea Institute of Nuclear Safety

#### 요 약

방사성동위원소(Radioactive Isotopes, RI)는 『원자력안전법』과 동법 시행령에 따라 핵원료물질, 핵연료물질을 제외한 방사선을 방출하는 동위원소로서 면제 수량 및 농도를 초과하는 물질을 뜻한다. RI는 『방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙』에 의하여 “개봉선원”과 “밀봉선원”으로 구분된다. 개봉RI를 안전하게 사용하기 위해 『방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙』에 따라 사용·보관·저장·처리시설에는 [사람이 호흡하는 공기 중 방사성동위원소의 농도가 유도공기중 농도를 초과하지 아니하도록 할 것]을 기술기준으로 적용하고 있으며, 기준치는 『방사선 방호 등에 관한 기준』별표 3, 4에 따라 각 핵종의 연간섭취한도, 유도공기중농도 및 배출관리기준을 적용하여 관리하고 있다.

그러나, 현재 개봉RI를 취급하는 시설에 대한 공기 중 RI의 농도평가 방법론 규정이나 권고사항이 마련되어 있지 않은 상황이다. 현재는 일본에서 수행된 과거의 실험 데이터를 바탕으로 공기 중 RI의 농도를 평가하고 있으나, 평가에 사용되는 실험 데이터가 실제 사용환경과 달라 정확한 평가에 어려움이 있는 상황이다. 이에 따라, 개봉RI를 취급하는 시설의 조건 및 선원의 형태를 고려한 비산을 평가 방법을 개발하고자 한다.

국외의 RI 관리 현황을 조사한 결과, 미국의 경우 원자력 규제위원회(Nuclear Regulatory Commission, NRA)에서 관리하며, (Code of Federal Regulation, CFR)을 통해 관리하고 있다. EU의 경우, 유럽원자력공동체(European Atomic Energy Community, EURATOM)에 따라 기본 규칙을 제정하며, 각국의 현황에 따라 일부 조정하여 RI의 안전관리를 수행하고 있다. 일본의 경우 원자력규제위원회(Nuclear Regulation Authority, NRA)에서 RI 규제를 담당하고 있다.

향후 국내외 RI 비산을 평가법 조사 결과를 바탕으로 기초자료를 구성하고, RI의 비산을 평가를 위해 일반 화학물질에서 적용되는 증발량 계산법을 적용하여 RI에 대한 비산을 평가 기본수식을 구성하고자 한다. 또한, 주요 개봉RI를 취급하는 사용기관의 사용 형태, 실내 환경을 파악하여 비산을 기본수식에 적용할 인자값을 도출한다. 이를 통해 개발된 RI 비산을 계산법과 Computation Fluid Dynamics(CFD) 시뮬레이션 결과와 비교분석을 수행한다. 비교분석 결과를 통해 RI 비산을 계산법의 적합성 여부를 검토한다.

[사사]이 연구는 한국원자력안전기술원의 지원(24-57-FD)을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.



**포스터 발표.**



## 도심항공교통용 압축수소eVTOL 수소저장시스템의 안전기준 제정에 관한 연구

김의수<sup>†</sup>

한국교통대학교 안전공학과

### A Study Establishment of Safety Standards of Compressed Hydrogen Storage System of eVTOL for Urban Air Mobility

Eui-Soo Kim

*Department of safety Engineering, Korea National University of Transportation*

<sup>†</sup> Corresponding author: es92kim@ut.ac.kr

#### 요 약

대도시 도심의 교통 정체를 해결하기 위한 방법의 하나로 전기수직이착륙기(eVTOL)을 활용한 도심항공교통(UAM)의 관심이 증가하고 있다. 도심항공교통은 지상과 항공을 연결하는 3차원 도심 항공 교통체계로, 도심 상공에서 사람이나 화물을 운송할 수 있는 차세대 교통체계로 전기추진시스템을 활용한 eVTOL 항공기는 소음을 절감하고 CO<sub>2</sub> 배기가스를 절감한 친환경적 운용이 가능한 장점이 있지만 리튬이온배터리 사용으로 인한 잠재적인 위험성이 매우 크다할 수 있는데 이러한 한계점을 극복하기 위한 해결책으로 압축수소 연료기반 eVTOL에 대한 연구의 필요성이 제기되고 있으나 압축수소 eVTOL의 압축수소시스템의 경우 수소저장용기의 변형 및 파손으로 인한 화재, 폭발의 위험성이 있어 용기 및 용기 부속품에 관한 안전관리가 필수적이다. UAM에 사용되는 수소저장시스템의 경우 인구의 밀도가 높은 도심 상공에서 운항한다는 점과 추락 시 발생하는 사고의 강도를 고려할 때 체계적인 안전관리와 구체적인 규정 제정이 필요하다. 특히, 압축수소연료기반 eVTOL의 수소저장시스템은 전기를 생산 및 저장하는 연료전지와 배터리 외에 수소를 저장하는 다량의 내압용기 등으로 구성되어 있으며, 이러한 수소 내압용기는 수소전기차 기준 700 bar(70 MPa) 이상의 고압으로 충전되어 내압용기와 수소연료장치에서 결함이 발생할 경우 매우 큰 인적, 물적 피해를 초래할 수 있으므로 압축수소연료 기반 eVTOL의 보급 및 전주기 안전관리에 있어 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 UAM에 사용되는 압축수소시스템의 경우 수소자동차에 사용되는 압축수소 저장시스템의 크기와 개수, 충전압력 등을 고려하여 유사한 형태로 사용될 수 있을 것으로 예상되므로 수소전기차의 안전 규정의 변화와 조화과정 등에 대해 면밀히 분석하고 시스템의 안전을 확보하기 위한 변화될 시험의 특징을 사전 검토함으로써 항공기기술기준 내에 별도의 도심항공교통용 압축수소 저장시스템의 안전기준 제정안을 제시하고자 한다.

감사의 글: 이 논문은 2024년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.

## Type 4 수소저장용기용 고정장치의 구조 안전성 분석에 관한 연구

김건우<sup>1</sup>, 강세진<sup>1</sup>, 김동연<sup>2</sup>, 김한상<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>가천대학교 기계공학과, <sup>2</sup>가천대학교 물리학과

### The Study on Structural Safety Analysis of Mount Block for Type 4 Hydrogen Storage Vessel

GUNWOO KIM<sup>1</sup>, SEJIN KANG<sup>1</sup>, DONGEON KIM<sup>2</sup>, HANSANG KIM<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Gachon University, 1342 Seongnam-dearo,

Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Physics, Gachon University, 1342 Seongnam-dearo, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

#### 요 약

국내외 각국 및 기업에서 신재생에너지를 활용하는 연구가 증가하고 있는 추세이며 그 중, 수소 기술은 저장과 활용 확대 측면에서 항공 및 철강 산업뿐만 아니라 자동차 산업에서도 핵심 기술 중 하나로 인식되고 있다. 이에 따라, 각 업계에서는 수소저장 및 이송을 위한 수소저장용기의 안전성 향상을 위한 연구개발을 주목표로 하며 이에 대한 수 많은 연구가 수행되고 있으나 수소가스 이송 시 수소저장용기의 고정장치에 관한 연구는 미비한 실정이다. 이를 위해, 본 연구에서는 상용 구조해석 프로그램인 ABAQUS를 활용하여 Type 4 수소저장용기용 고정장치에 대한 유한요소해석 모델을 구성하였고 구조 안전성 분석을 위한 유한요소해석 평가 프로세스를 설계하였다. 또한, 구성된 모델과 프로세스를 토대로 선진사의 제품 분석과 차량 방향별 하중 조건에서의 동작성 및 구조적 안전성을 평가 분석하였다. 이후, 분석한 결과를 토대로 선진사 모델에 대한 개선 설계를 수행하였으며 기존 모델 대비 강도와 강성, 무게 효율이 향상된 결과를 도출하였다. 이와 같은 일련의 결과들을 토대로 현재 개발되고 있는 제품에 대해 방향성을 제시할 수 있으며, 다양한 수소저장용기용 고정장치 개발에 있어 설계 및 구조해석의 기초자료로 활용될 수 있는 결과를 도출하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 에너지기술평가원(KETEP)의 “신재생에너지 핵심기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (No. 2022303004020A)

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 “소재부품 기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (No. 20022511)

## Type 4 수소저장용기 시험별 유한요소해석 프로세스 설계에 관한 연구

김건우, 박한민, 김혜원, 김한상<sup>†</sup>  
가천대학교 기계공학과

### The Study on Finite Element Analysis Processes Design for each Type 4 Hydrogen Storage Vessel Test

**GUNWOO KIM, HANMIN PARK, HYEWON KIM HANSANG KIM<sup>†</sup>**  
*School of Mechanical Engineering, Gachon University, 1342  
Seongnam-dearo,  
Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea*

#### 요 약

고압의 환경에서 사용되는 수소저장용기는 대형 사고를 유발할 수 있기에 ISO, GTRs, ECE R, KGS Code 등과 같은 국가별로 정해놓은 규정을 토대로 충분한 검증이 이루어진 재료만을 이용하여 제조하며, 제조 공정에서의 검증 절차와 제조 후의 다양한 시험 절차들을 통해 안전성을 확보하고 있다. 이에 따라, 안전성 향상을 목적으로 하는 연구와 비용 절감을 위한 연구들이 국내외 각국과 기업에서 진행되고 있으나 계속하여 실제 시험을 하는데 있어 시간과 비용이 많이 소모되고 있다. 이를 위해, 본 연구에서는 상용 구조해석 소프트웨어인 ABAQUS와 WoundSim을 활용하여 파열 압력 시험, 축 방향 하중 시험, 충격 시험 및 낙하 시험의 프로세스를 유한요소해석 프로세스로 설계하고 각 시험 조건에 따른 Type 4 수소저장용기의 응력 거동과 영향을 평가 분석하였다. 이와 같은 결과들을 토대로 본 연구에서는 현재 개발되고 있는 Type 4 수소저장용기와 향후 개발 예정인 용기에 소모되는 시간과 비용을 절감할 수 있는 결과와 개발 시의 기초 자료로써 활용될 수 있는 결과를 도출하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 에너지기술평가원(KETEP)의 “신재생에너지 핵심기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (No. 2022303004020A)

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 “소재부품 기술개발사업”의 지원을 받아 연구한 과제입니다. (No. 20022511)

## 기계학습을 이용한 도시가스 수요 예측 자동화 방안 연구

이명우, 임동연<sup>†</sup>, 윤경진, 백운성, 강인희, 임경호<sup>\*</sup>, 박민지<sup>\*</sup>, 김용배<sup>\*</sup>, 최한엽<sup>\*</sup>  
(주)이솔로지, <sup>\*</sup>대성에너지(주)

### Research on automated city gas demand prediction method using machine learning

Myungwoo Lee, Dongyun Lim<sup>†</sup>, Kyongjin Yoon, Woonwung Baek, Inhee Kang,  
Kyungho Lim<sup>\*</sup>, Minji Park<sup>\*</sup>, Yongbae Kim<sup>\*</sup>, Hanyoub Choi<sup>\*</sup>  
*Esology, <sup>\*</sup>Daesung Energy*

#### 요 약

국내 도시가스에서 수요자들에게 판매되는 가스는 한국가스공사에서 공급받아 제공되고 있다. 가스를 일정하게 공급하기 위해서 도시가스사는 매달 사용될 가스량을 예측하여 관리하고 있으며, 이 수요예측 자료는 도시가스사를 운영하는 경영자료로도 활용되고 있다. 이러한 이유로 도시가스사에선 정확하게 수요예측하는 것이 중요하며, 예측하는 담당자의 주관적인 지표가 아닌 객관적이고 표준화된 방법이 필요하다. 이러한 방법을 연구하여 수요예측 업무를 자동화하기 위한 방안을 마련해보고자 한다.

각 도시가스사의 수요예측은 가스의 용도, 각각의 업무 등에 따라 조금씩 다르지만, 이 연구에서는 전체 공급량에 대하여 단기예측, 중기예측, 장기예측을 위한 세 가지 예측 기간을 설정하여 진행하였다. 각각의 예측은, 기계학습에서 널리 사용되는 선형회귀모델과 비선형회귀모델을 사용하여 결과를 분석하였으며, 학습 기간에 따른 예측 변화를 조사하였다.

연구의 결과는 개별 도시가스사에 특화된 인자를 추가함으로써 보다 정확한 예측이 가능할 것으로 기대된다. 또한, 이러한 예측 모델은 시스템 자동화에도 활용될 수 있을 것이며, 공급 체계의 효율성을 향상시키고 비용을 절감할 수 있는 도구로 활용될 것으로 기대된다.

**Acknowledgement** : 본 연구는 2023년도 중소벤처기업부의 창업성장기술개발사업 지원에 의한 연구입니다. [RS-2023-00277015]

<sup>†</sup> Corresponding author: pextiger@esology.net



## 단일추진제 충전시설 안전관리 기준 수립

이응우, 유승우

한국항공우주연구원 발사체연구소 제품보증실

### Establishment of Safety Management Standards for mono Propellant Fueling Facilities

Eungwoo Lee, Seungwoo Yoo

*KARI Launch Vehicle Research Directorate Product Assurance Office*

#### 요 약

우주발사체에 사용되는 단일추진제에는 하이드라진(hydrazine,  $N_2H_4$ )이나 과산화수소( $H_2O_2$ )가 있으며 주로 촉매를 사용해 화학반응을 일으켜 추력을 얻는다. 보통 단일추진제로 얻어지는 추력은 이원추진제에 비해 작기 때문에 로켓의 주엔진보다는 주로 로켓이나 인공위성의 제어용으로 많이 사용된다. 우주발사체 FM4호기에 탑재되는 차세대중형위성 3호는 단일추진제인 하이드라진을 충전하게 된다. 그렇지만 하이드라진은 국내 발사장에서 취급 경험이 없는 물질로 발사장 반입에서 저장, 취급, 발사운용시까지 철저한 안전기준의 수립과 이행이 필요하다.

하이드라진은 폭발범위가 2.9 ~ 98 %로 넓고, 인화점은 38 °C로 가연성이 높은 물질로 화재·폭발에 대한 예방대책 수립이 필요하며,  $LC_{50}$ (경구, 쥐, 4hr)이 570 ppm인 독성물질로 인체에 대한 안전대책 수립이 필요하다.

이에 본 발표에서는 하이드라진에 대한 특성을 검토하여 국내 관계 법령과 해외 우주센터 하이드라진 취급설비에 대한 검토를 수행하여 안전시설에 대한 기준을 수립하여 국내 우주센터 발사장에서 하이드라진 취급과정 중 안전사고가 발생하지 않도록 만전을 기하고자 하였다.

## LNG 냉열을 활용한 공기액화분리에 대한 연구

이치훈, 차규상, 최정환  
한국가스공사 가스연구원

### A Study on Utilization of LNG Cold Energy for Air Separation

Chihun Lee, Cha Kyusang, Choi Jeonghwan  
Korea Gas Corporation Research Institute

#### 요 약

국제 정세의 불안정으로 인해 천연가스를 포함한 원자재 가격이 급등락을 반복해 왔습니다. 특히 최근 몇 년간은 우크라이나 전쟁을 기점으로 겨울마다 천연가스 수급에 어려움을 겪는 국가들이 유럽에 다수 발생하면서 국제 천연가스 가격은 급등하곤 했습니다. 천연가스 도입 가격이 상승하면서 LNG 터미널의 운영에 있어서 운전비용의 절감 노력이 더욱 필요해졌습니다.

LNG의 기화 및 송출에 있어서 당사를 포함한 LNG 도입사들은 각종 기화기를 통하여 LNG 냉열을 활용할 효율적인 방법을 찾지 못하고, 기화를 위해 에너지 소모를 하고 있습니다. LNG 도입사들이 활용하는 기화기의 방식에는 해수를 이용하여 LNG 냉열을 빼앗아 기화시키는 해수식 기화기와 연료를 연소시켜 발생시킨 열로 LNG를 끓여 기화시키는 방식인 연소식 기화기, 공기와의 열교환을 통해 LNG를 기화시키는 공기식 기화기 등의 방법들을 사용하고 있습니다. 이는 고품질의 극저온 냉열을 극저온 냉열이 필요한 곳에 활용하지 못하고, 폐냉열로써 버리기 위해 에너지를 소모하고 있다는 것을 의미합니다. 이에 LNG 냉열의 활용을 통한 LNG 기화를 위한 부가적인 에너지 소모를 줄이는 동시에 LNG 냉열의 활용을 통해 부가 가치 창출을 하기 위한 노력 중 한 가지로 본 연구를 수행하게 되었습니다.

공기액화분리공정은 주로 기체제품인 기체질소, 기체산소 등을 생산하며 액체제품은 백업용으로 생산하거나 수요에 따라 액체 생산비율을 일정 부분 늘립니다. LNG 냉열의 활용을 위해서는 외부로부터 냉열이 필요한 부분이 있어야 하는데, 이는 액체제품을 생산할 때에만 발생합니다. 이에 공기액화분리공정에서 액체 질소를 생산함에 있어서 LNG 냉열을 활용할 때와 활용하지 않을 때, 그리고 LNG의 온도, 압력 조건에 따른 에너지 소모를 살펴보고, 이에 따른 전력소모량, 전력비용, 탄소배출량 등에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보았습니다.

※ 본 연구는 한국가스공사 가스연구원의 연구개발사업(RD2023-0061)의 일환으로 수행되었습니다.

## 수소 추진선박의 연료전지 공정모사 연구

**이재용, 박성호**  
고등기술연구원

### A Study on fuel-cell simulation for hydrogen propulsion ships

**Jae Yong Lee, Sung-ho Park**  
*Institute for Advanced Engineering*

#### 요 약

국제해사기구 및 해양환경보호위원회는 기후위기에 대응하기 위해 황합유 저감 및 온실가스 배출에 대한 규제가 점차 강화되고 있어 현재의 LNG 선박 뿐 아니라 최근 발주가 이루어지고 있는 메탄올 선박도 미래에는 그 기준을 충족하지 못할 가능성이 있어 궁극적으로는 수소를 연료로 하는 선박이 미래 선박이 될 가능성이 높다. 본 논문에서는 짧은 기동시간 및 출력변동에 장점이 있는 PEMFC 타입의 연료전지를 이용한 수소추진선박에 대한 공정모사를 진행하였다. 2MW급 선박에 대한 본 연구결과 충분한 가능성이 있다고 판단이 되며 이 결과를 한국선급의 AIP에 등록을 마쳤다. 향후 보다 고효율의 연료전지 추진 선박이 개발될 가능성이 높아 타 연료전지의 수소추진 선박 적용을 위해 공정모사를 진행 할 계획이다.

감사의 글 : 이 논문은 2020년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(수소운송선박 적하역 및 수소추진선박 연료공급 통합제어 안전기준 개발)”

## VOC 가스 검출을 위한 광이온화 가스 검출기 제작 및 벤젠, 톨루엔 검출 특성 비교

박광범, 임채록\*

한국전자기술연구원, \*(주)태성환경연구소

### Fabrication of a photoionization gas detector for detecting volatile organic compound gases and comparison of benzene and toluene detection characteristics

Kwang Bum Park, C. R. Lim\*

*Korea Electronics Technology Institute,*

*\*Taesung Environmental Research Institute Co.*

#### 요 약

휘발성 유기 화합물(volatile organic compound, VOC)은 산업 시설 및 실내 시설물 등에서 다양하게 발생되고 있으며, 알레르기, 암 및 악취 등의 유발 물질로 국가적으로 관리되고 있는 물질이다. 본 연구에서는 VOC 가스만을 선택적으로 검출할 수 있는 광이온화 가스 센서를 제작하고, 이를 이용하여 이소부틸렌, 벤젠, 톨루엔 가스에 대한 검출 비교 특성을 시험하였다. 제작된 광이온화 가스 센서는 VOC 가스를 이온화시킬 수 있는 10.6eV 고에너지 램프와, 이온화된 VOC 이온들을 검출하기 위한 전극, 고에너지 램프를 구동시키기 위한 AC 고전압 발생 전원회로, pA 수준의 이온전류를 측정하기 위한 신호처리 회로들로 구성 설계 제작되었다. 제작된 광이온화 가스 센서를 사용하여 20ppm, 2000ppm 이소부틸렌 표준가스를 사용하여 가스 농도 조절 장치를 이용하여 농도 조절에 따른 신호 출력 특성을 평가하였다. 제작된 광이온화 가스 센서의 센서 동작 소비전력은 250mW 정도로 측정되었으며, 이소부틸렌 가스 측정한계 농도는 50ppb로 측정되었다. 농도별 반복 측정 특성이 양호하게 나타났다. 또한 농도 500ppm의 이소부틸렌, 벤젠, 톨루엔 가스에 대한 출력신호 비교를 진행하였다. 비교 측정 결과 벤젠, 톨루엔 가스 검출 감도가 이소부틸렌 가스보다 2배 정도 높은 것으로 나타났다. 향후 센서 안정성 및 측정한계 개선이 요구된다.

- [1] M. Suresh, N. J. Vasa, V. Agarwal, J. Chandapillai, "UV Photo-ionization based asymmetric field differential ion mobility sensor for trace gas detection", *Sensors and Actuators B* 195, 44-51, 2014
- [2] Samuel O. Agbroko, James Covington, "A novel, low-cost, portable PID sensor for the detection of volatile organic compounds", *Sensors & Actuators: B. Chemical* 275, 10-15, 2018

## 다중 유해가스 검출을 위한 광대역 적외선 흡수막을 갖는 써모파일 적외선 센서 제작

박광범, 이인\*, 박정익\*  
한국전자기술연구원, \*(주)이엘티센서

### Fabrication of a thermopile infrared sensor with a broadband infrared absorption film for multiple gas detection

Kwang Bum Park, I. Lee\*, J. I. Park\*  
Korea Electronics Technology Institute, \*ELT Sensor Co.

#### 요 약

적외선 센서는 다양한 분야에서 사용되고 있다. 대표적으로 비접촉 온도 측정, 가스 측정 등에 사용되고 있다. 중적외선 대역에서 사용 가능한 적외선 센서는 비냉각식과 냉각식으로 나눌 수 있다. 냉각식 적외선 센서의 경우 InGaAs, InSb, HgCdTe 등의 소재를 사용하여 대부분 77K 이하의 극저온 상태에서 높은 감도로 사용되고 있으며, 비냉각식 적외선 센서의 경우 볼로미터, 써모파일, 초전체로 등으로 이루어져 있으며 감도는 낮으나 상온에서 사용할 수 있는 장점을 갖고 있다. 많은 가스들은 중적외선 파장 대역에서 서로 다른 흡수 파장 특성을 갖고 있다. 본 연구에서는 서로 다른 적외선 흡수 특성을 갖고 있는 다중 가스들 측정에 사용할 수 있도록 광대역 적외선 흡수막을 갖는 써모파일 구조의 적외선 센서를 설계 제작하였다. 써모파일 적외선 센서는 n/p 타입 다결정 실리콘막을 적층하는 구조로 2.7x2.7mm<sup>2</sup> 크기로 설계 제작되었다. 써모파일의 적외선 측정 효율 및 감도를 높이기 위해 핫정선 상부에 형성되는 적외선 흡수막은 적외선 흡수 영역 3~9um 범위에서 흡광율이 70% 이상 되도록 설계하였다. 적외선 흡수막 구성은 유전체막이 포함된 다층 구조로 설계 제작되었다. 제작된 흡수막이 형성된 써모파일 적외선 센서의 신호 출력 특성을 확인하기 위해 흑체복사 광원을 이용하였으며, 광대역 적외선에 대해서 1.48mV 신호 출력이 측정되었다. 광원 변조에 따른 신호 출력이 양호한 반복성을 나타내었다.

- [1] Chih-Hsiung Shen, Shu-Jung Chen and Yi-Ting Guo, "A Novel Infrared Temperature Measurement with Dual Mode Modulation of Thermopile Sensor", Sensors, 19, 336, 2019  
[2] Alexander Graf, Michael Arndt and Gerald Gerlach, "Seebeck's effect in micromachined thermopiles for infrared detection. A review", Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 13, 4, 338-353, 2007

#### [감사의 글]

본 연구는 산업통상자원부의 소재부품기술개발사업(No. 20013061)의 지원을 받아 진행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 사고 조사체계 표준화 기반 화학사고 조사 가이드라인 개발

김태호\*, 이근원\*\*, 정승호\*\*

\*아주대학교 대학원 환경공학과

\*\*아주대학교 환경안전공학과

### Development of Chemical Accident Investigation Guidelines Based on Standardization of Accident Investigation System

Tae-ho Kim\*, Keun-won Lee\*\*, Seung-ho Jung\*\*

\*Department of Environmental Engineering, Graduate School of Ajou University

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

#### 요 약

현대사회는 급속한 산업화로 인해 화학물질 개발과 유통량이 증가하고 있어 국내 화학사고 발생 가능성은 증가하는 추세이다. 국내 화학물질안전원의 화학물질 사고 현황에 따르면 2019년 58건, 2020년 75건이었고, 2021년에는 10월까지 82건으로 증가하는 추세이다. 화학 사고의 경우 국내 부처별로 개별 사고조사 기구가 존재하나 조사목적이 상이하고 표준화되어 있지 못하고 부처별 소관 업무에 국한되어 있으며, 조사 결과가 각각 산재하여 종합적인 근본 대책 마련에 한계점이 노출되고 있다.

본 연구에서는 화학사고 예방 및 관리를 위해 체계적인 화학사고 조사 가이드라인을 도출할 계획이다. 국내 화학사고 조사기관은 환경부 ‘화학물질안전원’, 고용노동부 ‘중대사고 중앙조사단’, 소방청 ‘화재조사단’, 국토교통부 ‘항공·철도사고 조사위원회’, 행정안전부 ‘재난원인조사단’ 등이 있다. 국외에는 미국 ‘NFPA(National Fire Protection Association)’와 ‘CSB(Chemical Safety and hazard investigation Board), 영국의 HSE(Health and Safety Executive) 등이 있다.

국내에서는 환경부, 고용노동부, 소방청, 국토교통부, 행정안전부 그리고 국외에서는 NFPA, CSB, HSE 등의 사고 조사체계를 조사 및 분석했다. 환경부 화학물질안전원은 건강과 환경 영향조사를 통해 종합의견 및 대책 마련 방안을 도출한다. 소방청 화재조사단은 화재 현장 출동보고서, 질문기록서, 화재 현장 조사를 종합한 화재 발생 종합보고서를 작성한다. 국토교통부 항공·철도사고조사위원회에서는 사고 발생 시 여러 조직을 구성하여 조직 회의를 시행한다.

국외 미국의 NFPA에서는 예비 현장 평가 이후 6가지의 본조사 단계를 통해 사고를 조사한다. 미국 CSB는 비교적 피해 규모가 큰 사고와 특수한 경우의 사고를 2~3건을 선정해 사고 발생 전부터 이후 권고안 도출까지 비교적 긴 시간 동안 사고조사를 시행한다. 영국 HSE는 사고조사를 시행한 이후 관련 기관이나 개인을 기소 및 처벌을 하며 사고조사는 5가지 단계로 구성된다.

본 연구는 국내·외 화학사고 조사체계 조사 및 분석을 통해 준비단계, 조사단계, 보고단계 등 총 6가지 단계로 구분했다. 단계별 화학사고 조사원들이 객관적인 판단을 위한 체크리스트 제작을 포함하는 화학사고 조사체계 표준화 가이드라인을 제작하여 화학사고 조사에 대한 가이드를 제공하고자 한다.

\* 본 연구는 2024년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 산업혁신인재성장사업(과제번호 P0012787)으로 수행되었음.

## 오픈 소스를 활용한 탱크 전량 누출에 따른 방류벽의 월파 현상 연구

정종민\*, 이찬우\*, 정승호\*\*, 이근원\*\*

\*아주대학교 대학원 환경공학과

\*\*아주대학교 환경안전공학과

### A Study on the bund overtopping by the Leakage of All Tanks Using Open Source

**Jong-min Jeong, Chan-woo Lee, Seung-ho Jung, Keun-won Lee**

\**Department of Environmental Engineering, Graduate School of Ajou University*

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

#### 요 약

국내 유해화학물질의 사용량이 증가하면서, 이에 따른 유해화학물질 저장시설에 대한 안전관리가 요구되고 있다. 방류벽은 액체 유해화학물질 누출 시 저장탱크 외부로의 확산을 막는 대표적인 방호 설비이다. 2018년 경북 칠곡에 위치한 한 폐기물 처리업체에서는 빈 탱크에 폐황산 2만 300 L를 옮기는 도중, 탱크에 균열이 발생하면서 약 5,000 L의 액체 상태의 황산이 누출되었으나 미리 설치된 방호설비 방류벽으로 확산을 차단했다. 그러나 저장탱크 파열로 인해 유해화학물질이 전량 방출될 경우 액체 유해화학물질이 방류벽의 높이를 넘는 월파 현상이 발생하게 된다. 따라서 월파 현상을 방지하기 위해서는 사고 발생 시 적합한 방류벽의 높이 및 범위를 계산하는 것이 중요하다. 전산유체역학(CFD)은 컴퓨터로 유체의 움직임과 그 효과를 묘사하는 유체역학의 한 방법으로 CFD 시뮬레이션 해석을 통한 탱크 전량 방출 사고 발생 시 구체적인 방류벽의 형상 도출이 가능한 전문적인 대응 기법으로 활용된다.

본 연구에서는 오픈 소스 CFD 라이브러리인 ‘OpenFOAM’ 프로그램을 활용하여 액화가스 저장탱크의 전량 누출 시나리오를 2D로 모사하였다. 해석에 사용된 프로그램 OpenFOAM Solver는 다상 유동 해석을 위한 Volume Of Fluid(VOF) 모델과 시간의 변화를 고려한 비정상상태(transient) 해석을 적용한 interFoam을 이용했다. 본 연구는 선행연구에 따라 기상 조건 및 국내 규정에 만족하는 방류벽을 구현하였고, 전량 방출의 방류벽 월파현상에 따른 수치 모델링을 실시했다. 최종적으로 방류벽 형상, 두께 및 높이에 따른 결과를 바탕으로 한 방류벽 설계 방향을 제시하였다.

\* 본 연구는 2024년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 산업혁신 인재성장사업(과제번호 P0012787)으로 수행되었음.

## 일본과 한국의 화학사고 비교 분석

이다은, 이근원, 정승호, 윤철희\*

아주대학교 환경안전공학과, \*아주대학교 대학원 환경공학과

### Comparative Analysis of Chemical Accidents in Japan and Korea

**Da-eun Lee, Keun-won Lee, Seung-ho Jung, Cheol-hee Yoon\***

*Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University*

*\*Department of Environmental Engineering, Graduate School of Ajou University*

#### 요약

현대사회에서 화학산업이 발전하고 관련 공정이 복잡해지면서, 화학 사고의 발생 위험도 더욱 커지고 있다. 한국은 물론 인접 국가인 일본도 역시, 지난 20년간 사고 발생빈도가 증가해 온 것이 그에 대한 방증이다. 계속해서 발생하는 화학산업 사고를 예방하기 위해서는 객관적 데이터를 기반으로 사고 발생 경향성을 검토하고 향후 예방 전략 수립에 활용해야 한다. 대부분 선행연구에서는 전통적으로 자료 수집이 잘 되어온 유럽 국가의 사고 데이터를 분석했다. 그러나 국내 화학산업 실정에 맞는 안전관리 전략 수립을 위해서는, 유사한 방재계획 틀을 가지고 있는 한국과 일본과 화학사고 데이터 비교분석 연구도 필요하다.

본 연구에서는 한국과 일본의 화학사고 데이터를 비교하고 분석함으로써 두 나라의 화학사고 발생특징을 알아보고자 하였다. 일본의 경우 경제산업성(Ministry of Economy, Trade and Industry)에서 제공하는 사고 데이터베이스를 이용했다. 한국은 환경부 화학물질안전원에서 제공하는 화학사고 데이터베이스를 분석했다. 비교 기준은 연도별, 월별 화학사고 발생 현황과 화학산업 종사자 수 대비 및 에틸렌 생산량 대비 화학사고 발생 현황으로 선정하였다. 화학 사고의 횟수만 단순히 비교하기보다, 화학공업의 규모를 고려한 근로자 수 또는 에틸렌 생산량 대비 사고 발생특징을 비교하고자 하였다. 분석 결과, 화학산업 종사자 수 대비 및 에틸렌 생산량에 대비한 사고 발생 현황은 한국이 더 적었다. 그러나 절대적인 화학사고 발생 횟수는 한국보다 일본이 더 적은 것으로 나타났다. 이는, 한국의 화학공업 규모가 일본보다 더 크기 때문이다. 본 연구를 통해 추후 화학사고의 빈도와 화학공업의 규모를 복합적으로 고려한 사고 분석 방안 도출에 도움이 될 것으로 예상된다.

\* 본 연구는 2024년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 일부 받아 수행된 연구임(P0012787, 2024년 산업혁신인재성장지원사업)



## ESG 경영을 위한 산업단지 사고 위험도 분석

장가은, 이근원, 정승호, 윤철희\*

아주대학교 환경안전공학과, \*아주대학교 대학원 환경안전공학과

### Risk Analysis of Accidents in Industrial Complexes for ESG management

**Ga-eun Jang, Keun-won Lee, Seung-ho Jung, Cheol-hee Yoon\***

*Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University*

*\*Department of Environmental Engineering, Graduate School of Ajou University*

#### 요 약

ESG 경영에 대한 기업과 정부의 관심이 높아지고 국제적으로도 그 중요성이 강조되면서, 각 산업 분야에서는 저마다의 새로운 변화를 준비하고 있다. 특히 탄소 배출이 많은 석유화학 산업에는 더욱, 저탄소 공법이나 친환경 공정으로의 전환 등이 요구되어 진다. 그러나 변화에 앞서, 기존 공정의 사고위험을 명확히 분석하고 안전한 변화를 추구해야 한다. 더욱이 ESG 경영의 본질적 측면에서는, 사고 예방을 통한 환경 영향 관리와 근로자 안전 확보가 무엇보다 중요하다.

본 연구에서는 산업안전공단(KOSHA)에서 제공한 화학사고 데이터들을 바탕으로 산업단지 사고데이터 분석을 통해 공정·작업 단계별 사고 발생 위험도를 평가하고자 하였다. 이를 통해 안전 작업 전략을 세우고 사고 예방 방안 마련에 활용할 수 있도록 하고자 하였다. 사고 예방을 위한 위험도 분석은 3단계에 걸쳐 진행하였다. 첫 단계에서는 사고가 발생한 작업 유형이나 공정 절차 등, 사고 발생 환경 특징에 따라 분류를 진행하였다. 두 번째 단계로, 석유화학 산업의 일반적인 공정 흐름을 일련의 절차로 표현할 수 있는 ‘공정 단계’를 개발해 분류하였다. 마찬가지로 작업 중 발생한 사고에 대해서도 작업 유형별 절차 단계로 나누어 분류하였다. 세 번째 단계에서는, 각 사고의 발생 빈도(건수)와 위해성(사망·부상자 수)을 산정해 점수화 하였다. 그리고 분석 결과에 따라 각 사고 유형마다 주요 위험 단계를 선정하였다. 산업단지 사고는 크게 석유화학 물질을 생산하는 ‘공정’ 중 사고와 그 외 유지보수 중 ‘작업’ 사고로 분류하였다. 작업 중 발생한 사고는 다시 일반작업, 화기작업, 밀폐공간 작업으로 세부 분류하였다. 7단계로 분류한 공정 사고 중에서는 1단계(Raw Material)와 5단계(Pump)가 주요 위험 단계인 것으로 지정하였다. 일반작업은 총 6단계로 분석하였고, 3단계(잠재 유해 위험성 확인)와 5단계(작업)가 주 위험 단계인 것을 확인하였다. 화기작업과 밀폐작업은 각 10단계로, 화기의 6단계(퍼지 및 벤트)와 밀폐의 6단계(가스 농도 측정) 및 8단계(작업)가 주요 위험 단계임을 도출하였다.

본 연구를 기반으로 추후 위험 단계별 안전 작업 전략을 세워 사고 예방에 도움이 되고자 하며, 석유화학 산업의 ESG 대응 전략 마련에 활용가능할 것으로 기대한다.

## Pool 중심의 풍상방향을 고려한 농도 모델링 방법론

장기원, 이승준, 이진백, 민미미<sup>†</sup>, 정승호<sup>†</sup>, 이근원<sup>†</sup>  
아주대학교 대학원 환경공학과

### Concentration modeling methodology considering pool-centered wind direction

Kiwon Jang, Sengjoon LEE, Jeanbaek Lee, Mimi Min<sup>†</sup>,  
Seungho Jung<sup>†</sup>, Keunwon Lee<sup>†</sup>

*Department of Environmental Engineering, Graduate school of Ajou  
University*

<sup>†</sup> *Department of Environmental and safety Engineering, Ajou University*

#### 요 약

화학 사고에서 누출되는 물질은 저장된 물질의 물리적 상태에 따라 가스, 증기, 또는 액체 유출로 분류되며, 특히 액체 유출 사고의 경우, 지표면에 웅덩이가 형성되는 현상이 발생한다. 지표면에 형성된 풀(pool)의 증발률은 주변 온도, 압력, 바람의 속도 및 방향과 같은 환경적 요인에 크게 영향을 받는다. 이러한 상황에서 화학 확산 모델링은 주로 액체 물질 유출 사고 시 형성된 웅덩이가 증발하여 바람에 의해 확산될 때 발생하는 농도를 계산한다. 대부분의 화학 확산모델은 액체 물질 누출 시 형성된 풀이 바람에 의해 증발 및 분산될 때 주로 풍하 방향만을 고려하여 농도를 계산하고 있다.

본 연구에서는 액상의 벤젠이 1000kg 누출되었을 경우 형성된 풀의 증발 및 확산 과정을 모델링하는 과정에서 풀 중심의 풍상 방향의 위치에서의 농도를 계산하는 방법론에 대해 제시하였다. 브레젠함의 원 그리기 알고리즘과 가우시안 플럼 모델을 활용하여 Excel VBA를 통해 최악의 시나리오 대기 조건인 1.5F와 대안의 시나리오 대기 조건인 3D 경우로 나누어 데이터를 산출하였고 다른 화학사고 시나리오 프로그램의 데이터와 비교분석을 하였다. 이를 통해 액체 풀의 중심부터 풍상 방향까지의 영역을 고려하고, 확산된 물질의 농도를 계산하여 화학사고 시 확산되는 화학물질의 농도를 예측하는 모델링 방법론에 대해 고찰하였다.

\* 본 연구는 2024년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 산업혁신 인재성장사업(과제번호 P0012787)으로 수행되었음.

## 액화수소용 왕복동 펌프의 로드 및 챔버 구조해석 및 설계

김현세, 함영복, 박중호, 임의수, 최병일  
한국기계연구원 탄소중립기계연구소

### Structural Analysis and Design of a Reciprocating Pump for Liquid Hydrogen

Hyunse Kim, Young-Bog Ham, Jung-Ho Park, Euisu Lim, Byung-II Choi  
*Research Institute of Carbon Neutral Energy Machinery, Korea Institute of Machinery and Materials*

#### 요 약

수소는 배출가스가 없는 신에너지로 각광받고 있다. 이에 자동차, 항공기, 선박 등의 연료로 이용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 수소를 생산, 이송 및 저장하는 과정에 필수적으로 펌프가 필요하다. 근래에 부피를 줄일 수 있는 액화수소 이송 장치와 이를 저장 공급해주는 수소 스테이션의 개발이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 90 MPa에 이르는 고압으로 압축하기 위해 왕복동 방식의 펌프를 개발하고자 한다. 특히 두 개의 챔버를 연결하여 1차와 2차로 압축을 진행하는 구조로 설계하였다. 이를 위해 로드 및 챔버의 해석을 수행하였다.

우선 로드의 인장강성과 압축강성을 계산한 결과, 로드의 길이  $L$ 이 약 2.1 m 보다 길 경우 인장강성이 더 강한 것으로 나왔다 (지름  $D = 32$  mm 일 때). 또한 로드의 직경  $D$ 가 약 36 mm보다 큰 경우 좌굴강성이 더 강한 것으로 나왔다 ( $L = 2.5$  m일 때).

이번에는 고압의 가스가 채워질 챔버의 변형량을 해석하였다. 유한요소해석 (Finite Element Methods, FEM) 프로그램인 ANSYS를 이용하여 챔버 벽의 변형량을 예측하였다 (재료: STS 316L, 벽두께  $t = 3$  mm). 그 결과 1차 챔버의 원주방향 최대 변형량  $\Delta I_{z1}$ 은 0.003  $\mu\text{m}$  (내부 지름  $D_1 = 84$  mm, 압력 0.6 MPa)로 나왔고, 2차 챔버의 원주방향 최대 변형량  $\Delta I_{z2}$ 는 0.900  $\mu\text{m}$  (내부 지름  $D_2 = 60$  mm, 압력 90.0 MPa)로 나왔다. 이 결과를 이용하여, 액화수소 펌프의 로드의 치수 및 챔버들의 치수들을 상세설계할 때 활용하고자 한다.

Acknowledgement : 본 연구개발은 한국에너지기술평가원연구과제 (20203010040020, 액화수소 충전소용 100 kg/h, 90MPa급 극저온 왕복동 펌프 개발) 및 한국기계연구원 기본사업 (NK249B)의 지원을 받아 수행되었음.

## 소각시설 배출 분진 및 질소산화물 동시제거용 PTFE MCA(Membrane Catalyst Assembly) 필터 개발

박철우, 황상연<sup>†</sup>

고등기술연구원 수소에너지솔루션센터

### Development of PTFE MCA filter for simultaneous removal of dust and NO<sub>x</sub> in incineration facilities

**Cheolwoo Park, Sang Yeon Hwang<sup>†</sup>**

*Hydrogen Energy Solution Center, Institute for Advanced Engineering*

#### 요 약

질소산화물(NO<sub>x</sub>)의 저감을 위해 적용되는 암모니아를 이용한 선택적 촉매환원(NH<sub>3</sub>-SCR)은 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> 촉매가 상용화되어 있으며 이 촉매는 250-400 °C의 온도범위 내에서 90% 이상의 NO<sub>x</sub> 제거율로 높은 공간속도를 보이는 것으로 알려져있다. 하지만 소각시설 등 배가스 온도가 낮은 산업시설의 경우 분진이 포함되어 집진공정이 필요하며, 배출가스 온도가 200 °C 이하로 낮아 재승온을 통해 가스 온도를 촉매 활성 영역에 도달시키는 등 경제성과 효율 측면에서 부적합하여 온도와 배가스 조성, 분진 등을 고려한 공정 개발이 필요하다. 또한 환경오염물질 배출규제가 강화되며 추가설비의 설치가 필요할 경우 기설치된 설비들에 의해 추가 설비를 설치할 공간적 여유가 없는 경우가 많아 이를 해결하기 위해서는 기존 설치된 집진용 백필터를 촉매가 담지된 촉매필터로 교체하여 NO<sub>x</sub> 배출 농도를 저감하면서 동시에 집진을 할 수 있는 PTFE MCA(Membrane Catalyst Assembly) 필터가 적합하다.

사사: 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행한 과제입니다. (No. 20026357)

## 반밀폐공간 내 수소연료차의 수소 누출에 따른 확산거동에 관한 연구

이선희\*, 백승현\*, 임채완\*, 마병철\*

\*전남대학교 화학공학과 석사과정, \*\*전남대학교 화학공학부 교수

## A Study on the Diffusion Characteristics of Hydrogen Fuel Vehicles in Semi Closed Space due to Hydrogen Leakage

Seon Hee Lee\*, Seong Heon Baek\*, Chae wan Lim\*, Byung Chol Ma\*\*

\*Chonnam National University, Department of Chemical Engineering

\*\*Chonnam National University, School of Chemical Engineering

Corresponding author: anejon@jnu.ac.kr

## 요 약

2050년 탄소중립 실현을 위해 정부는 탄소중립 시나리오를 수립하였으며, 그 중 수송부문은 기존의 내연기관 중심 체계에서 무공해차 중심 체계로 전환하기 위해 2030년까지 전기·수소연료차 450만대 보급을 추진하고 있다. 이러한 수소연료차는 청정에너지원인 수소를 활용하여 부산물인 물 이외의 탄소를 배출하지 않는 장점을 지니고 있으나, 차량 하부에 70 MPa인 높은 압력으로 압축되어 있기 때문에 수소 누출시 위험 범위는 더욱 크게 형성될 수 있다. 또한, 수소연료차 보급이 확대됨에 따라 지하주차장 등 반밀폐공간의 경우 수소 누출시 환기가 잘 이뤄지지 않는 취약 공간으로 수소 누출시 화재·폭발사고에 대비하기 위해 적절한 환기설비를 설치해야 한다. 지하주차장 등 반밀폐공간은 상시 환기설비가 설치되어 있으나, 이는 미세먼지나 대기오염 농도를 기준으로 필요 환기량을 규정하고 있기 때문에 수소 누출시 이를 빠르게 감지하여 대비할 수 있는 방안을 모색할 필요가 있다. 뿐만 아니라, 수소는 물질 특성상 공기보다 밀도가 가벼우며 누출원 위치 및 누출공 크기에 따라 확산 거동이 상이하기 때문에 이러한 누출조건을 시뮬레이션 프로그램(PHAST, FLUENT)을 활용하여 수소농도를 해석하고, 가연체적 범위를 분석하여 반밀폐공간 내 수소 누출시 대응방안을 검토하고자 한다. 이를 위해 첫 번째, PHAST 프로그램을 활용하여 시간에 따른 누출량을 산출하고, 누출 직경에 따른 누출량 변화를 분석하였다. 두 번째, FLUENT 프로그램을 활용하여 지하주차장 내 단위면적당 필요 환기량을 기준(건축물의 설비기준 등에 관한 규칙)으로 누출조건(누출원 위치 및 누출직경) 변화에 따른 수소 확산거동 및 가연체적을 분석하였다. 이 때, 누출원의 위치는 일정 간격으로 변화하며 수소 누출시 빠르게 감지할 수 있도록 수소연료차의 위치선정 및 감지기 설치 등 누출 사고 발생 시 비상 대비할 수 있는 방안을 제시하였다. 따라서, 본 연구에서는 수소연료차 보급 확대에 따른 지하주차장 등 반밀폐공간에서 수소 누출 시 이를 감지하여 화재·폭발사고에 대한 피해저감이 가능할 것으로 판단된다. 이를 통해 수소 누출 사고의 위험을 줄이고, 수소연료차에 대한 안전 의식을 높여 지속 가능한 수송분야의 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 다양한 조촉매가 첨가된 Ni계 촉매를 이용하여 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응으로부터 수소 생산

공지현, 김민주, 장원준\*

아주대학교 환경공학과, \*아주대학교 환경안전공학과

### Hydrogen Production from Steam Reforming of Mixed Alkane Hydrocarbons Using Ni-based Catalysts with Various Promoters

Ji-Hyeon Gong, Min-Ju Kim, Won-Jun Jang\*

Department of Environmental Engineering, Ajou University,

\*Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University

#### 요 약

본 연구에서는 혼합 알케인 탄화수소 ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) 수증기 개질 반응을 통한 수소 생산을 최적화하기 위해 다양한 조촉매가 첨가된 Ni계 촉매를 개발하였다. 혼합 반응 가스를 사용하여  $\text{H}_2$ 를 생산하는 과정에서 발생할 수 있는 부반응을 최소화하는 촉매를 연구하였다. 촉매 제조 시  $\text{CeO}_2$  지지체에 조촉매  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ 를 첨가하였으며,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  지지체에는 조촉매  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ 를 첨가하였다. Ni의 담지량은 15wt.%로 고정하여 함침법으로 촉매를 제조하였다. 촉매 성능 평가를 위해 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응은 850 °C에서  $\text{H}_2\text{O}/\text{C}$  비 7.0으로 12시간 동안 수행되었다. 촉매 특성 분석을 위해  $\text{H}_2$ -TPR,  $\text{NH}_3$ -TPD,  $\text{H}_2$ -chemisorption, TGA 분석을 진행하였다.  $\text{CeO}_2$  기반 촉매가  $\text{Al}_2\text{O}_3$  기반 촉매에 비해 높은 전환율 및  $\text{H}_2$  몰수를 나타냈다. Ni/MgO/ $\text{CeO}_2$  촉매가 가장 우수한 성능을 나타냈으며, 이는 Ni 분산도가  $\text{CeO}_2$  기반 촉매에 영향을 준다고 판단하였다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  기반 촉매 중에서는 Ni/CaO/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  촉매가 높은 활성을 보였으며, 이는 촉매의 산도에 기인한 것으로 확인되었다. TGA 분석 결과에서  $\text{CeO}_2$  기반 촉매는 탄소침적이 형성되지 않았으며,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  기반 촉매 중에서는 유일하게 Ni/CaO/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  촉매가 탄소침적에 대한 저항성을 보였다. 따라서, 제조된 촉매 중 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응에 적합한 촉매는 성능 및 탄소침적 저항성이 우수한 Ni/MgO/ $\text{CeO}_2$  촉매이며,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  기반 촉매 중 Ni/CaO/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  촉매도 유망한 후보 물질로 고려된다.

## 양방향 FSI를 활용한 액화수소 펌프의 적합성 판단에 대한 수치해석적 연구

강은구, 김준영\*, 백세윤\*, 신현용\*

서울과학기술대학교 에너지화학공학과, \*서울과학기술대학교 화공생명공학과

### Numerical analysis study on suitability judgment of liquefied hydrogen pump using 2-way FSI

Eun Gu Kang, Jun Young Kim\*, Se Yun Baek\*, Hun Yong Shin\*

Department of Energy and Chemical Engineering, Seoul National University of Science and Technology, \*Department of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University of Science and Technology

#### 요약

지구온난화로 인한 탄소중립이 화두 되고 있다. 우리나라에서는 2050년까지 탄소중립 시나리오를 계획했으며, 세계 각 국에서는 자국에 맞는 탄소 정책을 발표하였다. 탄소중립 시나리오에서 수소에너지는 핵심 에너지이다. 많은 국가에서 존재하는 고압가스 형태의 수소충전소에서 액화수소 충전소로 바꾸며 늘려갈 계획에 있다. 액화수소는 고압가스 수소보다 에너지 밀도가 높으며, 안정성이 높다. 본 연구는 액화수소의 처리공정에서의 안전성을 평가하기 위하여 액화수소에 사용할 펌프의 수치 해석적 연구를 통하여 조업 조건에 따른 토출되는 수소의 상태변화를 계산하였다. 액화수소용 펌프를 통하여 탱크에 저장되는 압력인 100 MPa까지 시뮬레이션을 수행하였다.

ANSYS의 Fluent와 구조 해석을 이용하여 고체 구조체인 피스톤펌프와 펌프 내에서 액화 수소 유동에 따른 상호작용을 2-way FSI(Fluid-Structure Interaction)로 해석하였다. 피스톤 펌프의 분당 회전수를 조절하여 압력을 높일 수 있도록 하였으며 체크 밸브를 설치하여 수소의 압력을 고압으로 유지하도록 하였다. 또한 기어 펌프의 분당 회전수에 따른 압력변화를 계산하였고 피스톤 펌프의 결과와 비교하였다.

본 연구개발은 산업통상자원부가 지원하고 한국에너지기술평가원이 관리하는 「액화수소 핵심부품 성능검사 기술 및 안전기준 개발」(과제번호 : 20227310100090)의 지원으로 수행되고 있습니다.

## 액화수소를 위한 기화기 시뮬레이션

**서준교, 남원제, 신현용**  
서울과학기술대학교 화공생명공학과

### Simulation of vaporizer for liquid hydrogen

**Seo Jun Gyo, Won Je Nam, Hun Yong Shin**  
*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 남아 있다.

수소의 운송 방식은 압축하여 고압의 가스 상태로 운송하는 방법과 극저온(-253℃)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 Ansys 프로그램을 통해 액체 수소를 위한 기화기를 디자인하였고 이를 통한 유체의 거동을 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 모델을 생성하고 기화기에서 기체의 승온에 사용된 내실유류의 유량 및 상태변화, 기화기 내의 압력 및 관의 길이 등의 변화에 따른 토출되는 수소의 상태 변화를 확인하였다. 액화 수소를 사용하기 위한 기화기의 CFD 해석을 통하여 안전성을 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.



## 탄소 광물화로 인한 사암 시료에서의 암석 물성 변화 실험 분석

김동현, 김규현, 이다해, 양정환, 유성준, 김다연, 왕지훈

한양대학교, 서울특별시 성동구 왕십리로 222

### An Experimental Study of Rock Property Changes through Carbon Mineralization in Bandera Sandstone

Donghyun Kim, Kyuhyun Kim, Dahae Lee,

Junghwan Yang, Seongjun You, Dayeon Kim, Jihoon Wang

Hanyang University, 222, Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul, Republic of Korea

#### 요약

안정적인 CCS 기법 적용을 위해서는 4가지의 트랩 메커니즘을 고려한 설계가 필수적이다. 그중 광물 트랩은 주입된 이산화탄소가 지층에 존재하는 금속 이온과 반응하여 광물을 생성하는 탄소 광물화(carbon mineralization)에 의해 탄소가 저장되는 과정을 의미한다. 광물 트랩은 트랩 메커니즘 중 가장 오랜 시간이 소요되지만, 광물화된 탄소는 누출 가능성이 없어 가장 안정적인 저장 형태로 알려져 있다.

최근 연구에서는, 금속 이온 함유율이 높은 암석에서 상대적으로 짧은 시간 내에 광물 트랩이 주요 트랩 메커니즘이 되는 것이 확인되었다. 하지만, 탄소 광물화가 발생할 경우, 공극 내 침전된 광물로 인해 저장소의 암석 물성이 변화하고 궁극적으로 주입성, 저장 용량, 안정성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 효율적/안정적 CCS 기법 설계 및 적용을 위해서는 탄소 광물화로 인한 암석 물성 변화가 분석되어야 한다.

본 연구에서는 반데라 사암 시료를 대상으로 초임계 이산화탄소 주입 기간이 탄소 광물화 반응성 및 암석 물성 변화에 미치는 영향을 실험적으로 분석하였다. 그 결과, 이산화탄소를 3일간 주입한 뒤, 27일간 초임계 조건에서 보관한 시료의 경우, 공극률과 투과도가 각각 5.5%, 9% 감소한 것을 확인하였다. 30일간 지속적인 이산화탄소 주입이 이루어진 시료에서는 공극률이 0.6%로 소폭 증가한 반면 투과도는 51%가 감소한 것을 관측하였다. 마이크로 CT 이미지 분석 결과 시료의 투과도를 크게 감소시킨 요인은 시료 내 공극 구조 변형 때문인 것으로 판단된다. 이는 CCS 수행 시 주입정 인근의 공극률 변화가 매우 작은 경우에도 투과도의 변화는 매우 크게 일어날 수 있음을 의미한다. 본 연구를 통해 이산화탄소 주입 기간이 긴 경우 탄소 광물화로 인한 암석 물성 변화가 심화되는 것을 확인하였다. 해당 결과는 초임계 이산화탄소가 지속적으로 공급되는 주입정 인근 지역의 암석 물성 변화와 그에 따른 주입성 예측에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 사 사

본 연구는 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 해외자원개발협회의 지원(No.2021060002, 디지털오일필드)과 2022년도 정부(교육부, 산업통상자원부)의 재원으로 K-CCUS 추진단의 지원(KCCUS20220001, 온실가스감축 혁신인재양성사업)을 받아 수행된 연구입니다.

[1] Akbarabadi, M., & Piri, M. (2013). Relative permeability hysteresis and capillary trapping characteristics of supercritical CO<sub>2</sub>/brine systems: An experimental study at reservoir conditions. *Advances in Water Resources*, 52, 190-206.

## 누출 감지기 설치 최적화를 위한 근거리에서의 누출원 모델링 방법론에 관한 연구

이승준\*, 한규진\*, 민미미\*\*, † 이근원\*\*, 정승호\*\*

\*아주대학교 대학원 환경공학과

\*\*아주대학교 환경안전공학과

### A Study on the Methodology of Leakage Source Modeling at Near Field

Seung Joon Lee\*, Kyu Jin Han\*, Mimi Min\*\*, † Seungho Jung\*\*, Keunwon  
Lee\*\*

\*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

전 세계적으로 사용하는 화학물질의 종류와 수량이 증가함에 따라 화학물질 누출 사고의 빈도 또한 지속적으로 증가하고 있다. 화학물질 누출사고시 그 피해를 줄이기 위해서는 사고 초기에 누출을 감지하고 확산을 방지하는 것이 중요하다. 누출 감지기는 사업장 내부의 화학물질 사고 위험이 있는 모든 지역에서의 유·누출을 신속하게 감지해야 한다. 이를 위해서는 사고 지점 100m 이내의 근거리에서의 물질 확산 거동을 예측하여 누출 감지기의 설치 간격을 최적화 해야한다. 그러나 현재 사고영향평가 프로그램은 근거리에서의 확산보다는 원거리에서의 확산에 특화된 가우시안 확산 모델을 기반으로 사고 영향평가를 수행하고 있어, 근거리에서의 확산 모델링 방법론에 대한 연구가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 근거리 확산 모델 방법론을 연구하기 위하여 TNO YELLOW BOOK 과 CCPS에서 제시하고 있는 누출률 산정식을 비교 분석하고 GEXCON 사의 TNO EFFECTS를 이용하여 확산거리 계산을 진행하였다. 이를 위해 물질별 누출률과 관심농도(LOC)를 동일하게 고정하고, 사고대비물질 중 상온에서 가스상으로 존재하는 물질의 분자량을 변수로 하여 물질별 확산거리와 확산 양상을 살펴보았다.

\* 본 연구는 2024년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 산업혁신 인재성장사업(과제번호 P0012787)으로 수행되었음.

## 폐탄화수소로부터 수소 생산을 위한 수증기 개질 반응에서의 Ru 촉매 연구

김민주, 공지현, 장원준\*

아주대학교 환경공학과, \*아주대학교 환경안전공학과

### A Study of Waste Hydrocarbons for Hydrogen Production from Steam Reforming over the Ru-based Catalysts

**Min-Ju Kim, Ji-Hyeon Gong, Won-Jun Jang\***

*Department of Environmental Engineering, Ajou University,*

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

#### 요약

본 연구는 혼합 알케인 탄화수소로부터 수소 생산을 위해 다양한 담체(CeO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgO)에 따른 Ru계 촉매를 비교하였다. 제조된 촉매는 Ru 담지량을 1 wt.%으로 고정하여 함침법으로 제조하였다. 촉매 성능 평가를 위해 H<sub>2</sub>O/C 비 7.0, GHSV 1,521,915 mL/h·g<sub>cat</sub>(GHSV(C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) 35,807 mL/h·g<sub>cat</sub>), 반응온도 850 °C에서 12시간 동안 안정성 테스트를 진행하여 알케인 전환율과 H<sub>2</sub> 몰수를 구하였다. 또한, 제조된 촉매의 특성 분석을 위해 BET, NH<sub>3</sub>-TPD, CO-Chemisorption, H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> Chemisorption, H<sub>2</sub>-TPR 및 XRD 분석을 수행하여 성능과의 상관관계를 파악하였다. 반응 결과 1% Ru/ZrO<sub>2</sub>, 1% Ru/SiO<sub>2</sub>에서는 비활성화가 발생하여 CH<sub>4</sub> 전환율이 감소하였으며, CH<sub>4</sub> 전환율을 거의 100% 달성한 1% Ru/CeO<sub>2</sub>, 1% Ru/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 성능 차이를 확인하기 위해 GHSV(4,092,082 mL/h·g<sub>cat</sub>)를 높여 진행한 결과 Ru/MgO가 Ru/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>보다 약 60% 더 높은 CH<sub>4</sub> 전환율(약 84%)을 보였으며, 11시간 동안 안정성을 유지하였다. 이는 TPR과 Chemisorption 결과에서 나타난 쉬운 산화환원능력과 높은 분산도에 의한 것으로 판단되며, XRD 결과에서 다른 촉매에 없는 Cubic 형태의 Ru이 나타난 것도 영향이 있었다고 판단된다. 따라서, 다양한 담체를 적용한 Ru계 촉매 중에서 혼합 알케인 탄화수소 수증기 개질 반응에 적합한 촉매는 1% Ru/MgO 촉매이다.

## 수소충전소용 차단밸브 평가 시스템 개발에 관한 연구

이동훈, 박지훈, 강민지, 전호병, 하기역, 장성수  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### A study of Development of Evaluation System for Shut-off Valves for Hydrogen Refueling Station

Lee Dong Hoon, Jihun Park, Minji Kang, Hobyung Jun, Giyeog Ha, Sungsu  
Jang  
*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

수소경제 활성화를 위해 우리나라는 강점이 있는 수소차를 선도로 보급정책과 안전관리 정책을 추진해 나가고 있다. 히 세계최초로 수소충전소용 밸브 3종에 대해서는 인증품을 사용하도록 하여, 국내 수소충전소 안전성을 향상시켜 왔다. 인증품 사용이 의무화된 3종 밸브는 수동밸브, 체크밸브, 유량조절밸브이며, 2023년을 기준으로 5개사 7종의 밸브가 KS 인증을 취득하였다.

3종밸브 이외에 KS B ISO 19880-3에 정의된 밸브중 차단밸브의 경우에는 국산화 개발 가능성이 높아 21년부터 정부지원으로 개발을 추진하였으며, 최근 관련성능시험들을 성공적으로 완료하여 25년에 인증을 목표로 추진되고 있다. 이를 위해 기존 한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터에서 구축하여 운영중인 수소충전소용 밸브 인증장비들 이외에 차단밸브인증에 필요한 설비들을 추가로 구축하였다.

본 연구에서는 국내에 차단밸브 KS 인증시험을 위한 시험방법 및 구축된 시험설비 및 인증을 위한 시험절차서 개발현황에 대해 소개하고자 한다.

Acknowledgement : 이 연구는 2021년도 산업통상자원부(MOTIE) 및 한국산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(105MPa급 수소충전소용 공압밸브 개발 및 성능 고도화, 20017461

## 캐나다 지역 물리검층 자료를 이용한 딥러닝 기반 투과도 예측 모델 개발

김재윤, 안유빈, 권순일  
동아대학교 에너지자원공학과

### Development of Deep Learning-based Permeability Prediction Model Using Well Logging Data in Canadian Regions

Jeayun Kim, Yubin An, Sunil Kwon

Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Dong-A University

#### 요 약

투과도는 저류층 유체의 생산성과 관련 있는 중요한 저류층 특성 중 하나이고, 저류층 생산성 분석에 사용되기 때문에 측정과 예측이 매우 중요하다. 투과도를 산출하는 방식에는 코어분석, 유정시험, 물리검층 등이 있는데, 코어분석은 취득된 코어에 한정되기 때문에 광범위한 값을 대신하기엔 무리가 있고, 유정시험은 시험을 진행하기 위해 많은 비용이 소요된다는 점이 존재한다.

이 중 물리검층은 지하 지층의 물성을 측정해 지층의 특성과 지층 상태에 관한 정보 등을 획득할 수 있고, 시추 작업 시에 필수적으로 수행되므로 물리검층 자료를 이용하여 투과도를 산출하는 것은 효율적이라고 볼 수 있다.

물리검층 데이터로부터 머신러닝 기법을 사용하여 투과도를 산출하면 경험식을 통해 투과도를 산출할 때 발생하는 정확도의 한계를 극복할 수 있다. 또한 딥러닝은 높은 정확도와 복잡한 문제를 해결할 수 있다는 점이 존재한다.

본 연구에서 사용한 데이터는 총 10개의 입력변수(감마선, 밀도, 중성자, 자연전위, 전기비정향, 셰일부피, 공극률 등)로 구성되어 있고, 데이터의 수는 560개이다. 이 자료에 대해 탐색적 데이터 분석과 석유개발관련 지식을 통해 예측 성능을 저하시키는 자료를 전처리하고, 딥러닝 기법을 사용하여 모델을 개발하였다.

사사 : 이 논문은 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 해외자원개발협회의 지원(No. 2021060001, 데이터사이언스 기반 석유·가스 탐사 컨소시움)과 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국산업기술진흥협회의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 1711199723, 머신러닝을 이용한 굴진을 예측 시스템).

## 폐수 슬러지의 화재 폭발 위험성

최이락, 정기혁, 이한희

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

### Fire and Explosion Hazards of wastewater sludge

**Yi Rac Choi, Ki Hyuk Jung, Han Hee Lee**

*Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA*

#### 요 약

폐수처리공법 중 하나인 증발농축공정은 폐수를 증발농축기에 유입하여 증발 및 농축시킨 후, 증기는 응축을 통해 처리수로 배출하고, 농축액은 건조과정을 거쳐 최종 처리되는 공법으로써 운전비용이 적게 소요되고 처리 효율이 높아 다양한 산업분야의 폐수처리에 사용되고 있다. 폐수의 경우 화학물질에 비해 상대적으로 위험이 낮다고 인식되고 있으나 증발농축기의 진공이 파괴되거나 온도조절에 실패할 경우 내부 온도 증가로 폐수 슬러지의 과건조 및 이상반응 등에 의해 화재폭발이 발생할 수 있다. 2020년과 2023년 폐수수탁업 사업장의 증발농축공정에서 화재폭발사고가 발생하였으며 두 사고 모두 온도 조절 실패로 슬러지가 분출되면서 화재가 발생한 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 발생한 사고의 원인을 파악하고, 증발농축공정에서 생성되는 폐수 슬러지에 대한 열분석, 마찰감도 등의 시험을 통해 화재폭발 특성을 평가하였으며, 향후 동종사고의 재발방지를 위한 안전설비 및 관리적 측면의 개선 방안을 제시하고자 하였다.

## 천연가스배관의 기계적 특성에 미치는 공장피복 온도의 영향

김철만, 장윤찬, 백종현, 김영표  
한국가스공사 가스연구원

### Effect of thermal aging on mechanical properties for natural gas pipeline

Cheol-man Kim, Yun-chan Jang, Jong-hyun Baek, Young-pyo Kim  
KOGAS Research Institute

#### 요 약

가스배관은 부식을 방지하고 지하에 매설하기 위하여 공장에서 피복작업을 수행한다. 3층에 걸쳐 피복을 하며, 강관을 최대 290 °C까지 예열한 상태에서 폴리에틸렌 분말윤착 방법으로 작업을 한다. API 5L X65 20인치와 30인치, X70 30인치의 3종류 가스배관에 대하여, 공장피복 시 가스배관 예열이 기계적 특성에 미치는 영향을 평가하였다. Sub-size 크기의 봉상 인장시험편과 미세조직/경도 시험편을 제작하였고, 공장피복 공정을 재현하기 위하여 열처리로써 시험편을 1시간동안 유지 후 공랭하였다. 공장피복 온도는 약 300 °C이지만, 기계적 특성 변화를 비교하기 위하여 그 이상의 온도에서도 열처리를 수행하였다. 3 µm까지 표면 경면 연마 후 비커스 경도를 측정하였고, 3% 나이탈로 에칭 후 광학현미경으로 미세조직을 관찰하였다. 인장시험은 상온에서 1 mm/min의 속도로 조건당 3회 시험하여 평균 값을 계산하였다.

X65 가스배관의 미세조직은 페라이트와 퍼얼라이트로 구성되어 있다. X70 가스배관은 베이나이트와 침상 페라이트로 구성되어 있다. 공장피복 온도인 300 °C에서는 미세조직의 변화는 거의 없지만, 인장특성과 경도에는 많은 변화를 나타내었다. 항복강도와 인장강도는 공장피복 온도에 의하여 증가하였고, 연신율은 약간 감소하였다. 경도는 강도와 비례관계에 있으며, 150 °C 또는 300 °C 온도까지 증가하다가 그 이상의 온도에서는 감소하였다. 가스배관은 공장피복 공정의 열적 시효처리(thermal aging)에서도 충분한 기계적 특성을 확보하고 있으며, 건전성에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

## 수소 벤트 스택에서 수소 배출 및 대기 환경 조건이 수소 확산 범위에 미치는 영향

박종권, 장기찬, 박재혁, 김영래  
원익머트리얼즈

### The Effect of Hydrogen Emissions from Hydrogen Vent Stack and Atmospheric Environmental Conditions on Hydrogen Diffusion Extent

Jongkwon Park, Gichan Jang, Jaehyeok Park, Younglae Kim  
*Wonik Materials*

#### 요약

수소를 생산하는 과정에서 공정의 안정성 및 긴급상황 등에 대응하기 위하여 공정 내 합성가스 및 수소를 외부로 방출하는 방출관은 수소를 생산하는 시스템에 적용되어 있다. 수소의 폭발 한계 범위는 4~75%로 넓고, 인화 시 연소속도가 빠르고 화염이 눈에 보이지 않는 특징이 있어, 수소 벤트 스택 설계 시 안전하게 배출할 수 있는 설계 조건을 필수적으로 반영해야 한다. 국내의 경우 수소 벤트 스택에 대해서는 KOSHA GUIDE D-42-2012 수소 벤트 스택 및 벤트 배관의 공정설계에 관한 기술지침, KGS FP 111 고압가스 특정제조 시설·기술·검사·감리·정밀안전검진 기준 등에서 지침 및 규정하고 있다. 해외의 경우 수소 벤트 스택에 대해서는 NASA Safety standard for hydrogen and hydrogen systems, NFPA Hydrogen technologies code 등에서 기술하고 있다. 이 지침들은 수소 생산 시설의 수소 벤트 스택 설계 참고 자료로 활용하고 있다.

본 연구에서는 수소 벤트 스택이 설치되는 위치의 주변 지형, 건축물 등과 벤트 유속, 벤트 높이 등에 따라 수소의 착지 농도가 어떻게 변하는지 열유동 해석(ANSYS Fluent)을 통하여 확인하였다. 또한, 수소가 벤트되는 상황에서 불의의 사고로 인하여 수소가 인화되었을 경우를 가정하여 일 500kg의 수소를 생산하는 시설에서 긴급상황에 배출되는 수소의 방사열이 지표면에 어떤 영향을 미치는지에 대한 해석을 수행하였다. 본 연구의 결과는 수소 생산 시설의 수소 벤트 스택 설계의 참고 자료로 활용할 계획이다.



## 탄산염암 심부 대수층에 CO<sub>2</sub> 주입을 위한 시추공 안정성 평가

유현상, 송차영, 이정환<sup>†</sup>  
전남대학교

### Wellbore Stability Assessment for CO<sub>2</sub> Injection into Carbonate Formations with Deep Aquifer

Hyunsang Yoo, Chayoung Song, Jeonghwan Lee<sup>†</sup>  
*Chonnam National University*

#### 요약

본 연구에서는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)를 탄산염암 심부 대수층에 격리하는데 있어 발생할 수 있는 시추공의 불안정성을 평가하고, 지구역학(geomechanic) 모델을 이용하여 장기 CO<sub>2</sub> 저장을 위한 덮개암의 안정성 및 단층이동(fault slip) 가능성을 분석하고자 한다. 영률, 포아송비 등의 암석특성과 강도 결과를 사용하여 취성 지수(brittleness index) 및 인장 파괴 압력을 계산하고 덮개암의 최대 성능을 제시하였으며, 공극압력, 전단 응력, 마찰각도 및 하중 압력을 통합하여 심부 지층의 단층이동 예방을 위한 최대 CO<sub>2</sub> 주입압력을 산출하였다. Woodford 셰일 덮개암의 안정성 평가결과, 취성 지수는 0.21로 낮게 산출되었으며, 임계 파괴 압력은 19,600 psi로 높게 도출되었다. 이는 덮개암이 파쇄 성장(fracture growth)과 붕괴에 대한 저항성이 높음을 의미하며, 주입층 상부에 효과적인 덮개암이 존재함을 의미한다. 또한, 최대 CO<sub>2</sub> 주입압력 계산 결과, 주입압력이 5,300 psi 이상 도달하게 되면 시추공 압력이 12,600 psi까지 증가되어 주입정 근처의 단층이동 가능성이 매우 높아진다.

본 연구의 결과는 CO<sub>2</sub> 저장을 위한 시추공 안정성을 이해하는 데 유용하며, 최대 CO<sub>2</sub> 주입압력 산출을 통해 CO<sub>2</sub> 저장 최적 설계에 활용될 수 있다. 또한, 추정된 암석특성, 지층 압력 및 주요 응력은 주입 이후의 CO<sub>2</sub> 기동 분포에 대한 저류층 시뮬레이션을 구축하는 데 중요한 요소가 될 것으로 판단된다.

#### 사 사

본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제이며(No. 20212010200010), 2022년도 정부(교육부, 산업통상자원부)의 재원으로 K-CCUS 추진단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(KCCUS20220001, 온실가스감축 혁신인재양성사업). 또한, 본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20152510101980).

<sup>†</sup> Corresponding Author: jhwan@jnu.ac.kr

## 수소 매설 배관 위험성평가를 통한 안전성 향상 방안에 대한 연구

김다인, 유지수

한국가스안전공사 가스안전연구원

### A Study on the Safety Improvement Method through Risk Evaluation of Hydrogen Buried Piping

**Dain Kim, Jisu Yu**

*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporations*

#### 요 약

수소 에너지는 이산화탄소를 발생시키지 않는 무탄소 청정에너지이다. 이에 정부는 수소경제 활성화를 위한 정책을 발표하여 큰 관심을 두고 있다. 또한 미래 신산업 창출 가능성이 커 한국 외에도 미국, 유럽 등 선진국들이 경제적으로 수소경제 구축을 위해 막대한 규모의 투자계획을 세우고 있다. 현재 도심지에 수소 매설 배관을 설치하여 수소를 이송하거나 계획하는 지자체(수소 시범도시 등)가 확대 증가하고 있으나 수소 매설 배관에 대한 안전관리 기술이나 시스템은 미비한 상태이다. 수소 매설 배관의 운영, 관리, 안전 현황을 정확히 검토하고 현재 운영과 안전에 미비한 사항들을 해소하여 효과적인 안전성 확보에 기여하는 첨단장비 개발 및 국산화가 절실히 필요하며, 차세대 수소 안전관리 체계와 토대에 부응하고자 개발기술과 제품의 현장 실증이 필수적이다.

본 연구에서는 수소 매설 배관 안전을 위해 타공사 및 가스누출 위치를 감지할 수 있는 하이브리드 센서 기반 지하배관 모니터링 시스템을 개발하고 있으며, 현장 실증에 앞서 수소 매설 배관의 모니터링 시스템 설치 유무에 따른 사고 시나리오를 설정하고 PHAST/SAFETI 프로그램을 활용한 정량적 위험성 평가를 수행 및 비교·분석하였다. 수소 매설 배관에 대한 위험성 평가 대상은 실증 현장인 울산 수소도시 울동지구 내에 매설된 수소 배관으로 선정하였다. PHAST로는 화재·폭발 등의 사고에 대한 피해 영향 범위를 분석하였고 SAFETI를 통해 개인적·사회적 위험도를 확인하였다. 그 결과 모니터링 시스템의 실효성과 필요성을 검토할 수 있었으며, 향후 수소 매설 배관 안전관리 체계 확보의 토대 마련에 기여할 것으로 기대된다.

이 논문은 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(20213030040380, 수소충전소 및 배관망 안전 제고를 위한 필수 장비 국산화 기술 개발)

## 암모니아-석탄 혼소 발전용 연료공급설비 적용 고압가스 안전관리법 기반 안전성 평가 절차 분석

오정석, 최영주

한국가스안전공사 가스안전연구원

### Analysis of Safety Assessment Procedure based on the High-Pressure Gas Safety Control Act for Application of Supply Facilities in Ammonia-coal Co-firing Power Plant

Jung-Suk Oh, Young-joo Choi

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

#### 요 약

국내 온실가스 배출은 꾸준히 증가하고 있는 추세로 국내 온실가스 배출의 90 % 가량은 에너지 분야에서 발생하고 있다. 에너지 분야에서 온실가스 배출은 연료를 연소하는 과정에서 대부분 차지하고 있으며, 그 중 공공전기와 열 생산 분야가 가장 많은 배출량을 차지하고 있다. 또한, 정부는 국가 온실가스 감축목표(NDC, Nationally Determined Contribution)를 상향하였으며, 공공전기 생산 분야에서는 제10차 전력수급기본계획을 통하여 석탄발전 감축 및 무탄소 발전을 통해 온실가스 감축에 기여하고자 한다. 암모니아 혼소 발전은 기존 화력발전시설 운전기술을 활용 및 석탄발전 좌초자산화 방지 등의 장점이 있어 산업통상자원부의 수소경제 미래전략, 제1차 수소경제 이행 기본계획 등에도 암모니아 혼소발전이 포함되었으며, '27년까지 20 % 혼소 실증을 목표로 하고 있다.

암모니아 혼소 발전시설의 경우, 「고압가스 안전관리법」, 「전기사업법」 및 「전기안전관리법」, 「화학물질관리법」 및 「산업안전보건법」 등 여러 관계 법령을 따라야 하며, 「고압가스 안전관리법」에 따른 암모니아는 독성가스이자 가연성 가스로 관리된다. 다만, 「고압가스 안전관리법 시행령」 별표 1에서 전기사업법에 따른 전기설비 중 발전·변전 또는 송전을 위하여 설치하는 전기설비 안의 고압가스는 적용범위에서 제외하고 있으므로 전기설비까지 공급되는 가스시설로 그 안에 설치되는 저장설비, 배관설비, 처리설비, 특정설비 등만 적용될 것으로 판단된다. 이에 따라, 암모니아 혼소 발전시설 내 안전성 평가 대상 선정에 유의하여야 하며, 「고압가스 안전관리법」 기반 안전성 평가를 수행하기 위한 절차가 적용되는지 확인하여야 한다.

본 연구에서는 가스 관계법령에 따른 가스시설 종류별 안전성 평가 대상 및 절차를 분석하고 암모니아 발전시설 중 「고압가스 안전관리법」 적용대상 범위를 설정하여, 안전성 평가 대상을 확인하고자 한다. 또한, 암모니아를 취급하는 시설 특성상 「고압가스 안전관리법」 및 「산업안전보건법」에 모두 적용을 받게 되며, 각 법령에 따라 암모니아 혼소 발전시설 적용 안전관리절차를 분석하여 향후 암모니아 혼소 발전시설에 연료공급을 안전하게 실증할 수 있도록 하고자 한다.

#### Acknowledgements

본 연구는 2024년도 산업통상자원부 USC급 보일러 암모니아 혼소발전 기술개발 및 실증사업 지원에 의한 연구임[00240702]

## 도시가스 수소 혼입 제도화 계획

한원국, 서국진, 이동원, 류영조, 곽채식  
한국가스안전공사

### Plan to Institutionalize Hydrogen Blending in City Gas

Wonguk Han, Gookjin Seo, Dongwon Lee, Yeongjo Ryu, Chaesik Gwak  
Korea Gas Safety Corporation

#### 요 약

정부는 국내 온실가스 감축을 위해 2050 탄소중립 목표와 2030 국가 온실가스 감축 목표를 수립하였고, 산업 부문별 온실가스 감축 대책이 마련되었다. 이에 도시가스 분야에서는 수소를 혼입하여 공급·사용하기 위한 계획이 수립되었다. 도시가스에 수소 20% 혼입할 시 약 765만톤의 온실가스 감축 효과를 보일 것으로 예상되며, 이는 2030 국가 온실가스 감축 목표량의 약 2.63%를 기여할 수 있는 양이다.

하지만 도시가스에 수소를 혼입하여 사용할 시에는 수소 취성, 연소기 역화현상, 고층배관 층분리 현상 등 여러 가지 안전 문제와 수소 혼입에 따른 열량 감소, 기존 검지기의 사용 불가 등 호환성의 문제가 예상된다. 이에 따라 도시가스 수소 혼입 시 발생할 수 있는 문제에 대해 사전에 검증하고자 하는 연구가 진행되고 있고, 이 결과를 근거로 도시가스사업법과 KGS CODE, KS표준 개정 등 제도화를 추진할 계획이다.

감사의 글 : 본 연구는 산업통상자원부와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (과제번호 : 00234827)

## 안전관리 자동화를 위한 실시간 상태진단 기법 개발

이재웅, 이우귀연\*, 오정석\*\*  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Development of real-time condition diagnosis techniques for automation of safety management

JaeWoong Lee, Ugiyeon Lee\*, Jeongseok Oh\*\*  
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

#### 요약

산업현장에서 사용되는 회전기기의 원활한 작동 및 관리를 통한 수명연장은 필수적이다.

기계의 상태진단은 측정된 데이터를 바탕으로 설비의 결함이나 고장여부를 진단함으로써 기계의 신뢰성을 높이는 기술이다. 이를 통하여 예산을 절감하고 인력 효율성도 향상시킬 수 있다. 하지만, 설비진단 분야는 경험에 의존하기 때문에 현장에서 자체적으로 수행하는 것은 한계가 있다.

따라서 이러한 한계를 극복하기 위하여 경험에 기반한 설비진단 기법을 지식화된 코드체계로 구축하여 누구나 간편하게 사용할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다. 이를 통하여 현장의 사용자가 업무를 효율적으로 수행하는데 기여한다. 개발한 시스템의 신뢰성을 구축하기 위하여 석유화학플랜트, 수소충전소, 가스공급시설 등 다양한 현장에서 압축기와 모터를 대상으로 진동진단을 수행했다. 측정된 진동데이터를 기존에 경험에 기반한 분석기술과 개발한 시스템의 분석결과를 비교하여 결함을 판단한 결과의 일치여부를 확인하였다. 이를 통하여 설비의 불평형(unbalance), 축정렬 불량(misalignment), 베어링 결함(bearing fault), 마모된 기어(worn gears), 느슨함(looseness) 등 대부분의 결함을 파악할 수 있다.

더욱 나아가 측정위치 별로 판별된 결함데이터를 수집하고 저장하여 기존의 정상데이터와 비교를 진행한다. 이를 통하여 기계의 수명곡선(bathhtub)을 바탕으로 고장시점을 예측하는 예지보존(predictive maintenance)에 기여한다.

※ 본 연구는 산업통상자원부 및 KETEP의 다중이용 에너지시설 안전진단 및 위험예측 안전기술개발사업(20215910100200, 고위험가스 밀집 시설에서 현장 상황에 따른 위험예측과 사고대응이 가능한 차등적 안전 프로세스 중심의 스마트 안전관리시스템 개발)의 연구 결과로 수행되었습니다.

Key words : 진동분석(Vibration analysis), 예지보존(Predictive Maintenance), 압축기(Compressor), ISO-20816, 상태진단(Condition monitoring)

## CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>S가 존재하는 가스 생산정에서의 부식현상

김창우<sup>1</sup>, 조셉이란지<sup>1,2</sup>, 손한암<sup>1</sup>

1. 국립부경대학교 에너지자원공학과, 2. 르완다대학 광산학과

## Corrosion phenomenon in gas production with CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S

Changwoo Kim<sup>1</sup>, Joseph Iranzi<sup>1,2</sup>, Hanam Son<sup>1</sup>

1. Department of Energy Resources Engineering, Pukyong National University

2. Department of Mining, University of Rwanda

### 요 약

저류층에 존재하는 가스를 생산과정에서 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S 등의 산성가스가 동반으로 생산되고 있으며, 이 과정에서 생산관에서 부식현상이 발생하고 있다[1-2]. 이러한 부식에 의해서 최악의 경우에는 생산관 내 균열이 발생할 수 있으며, 균열을 따라 메탄 등의 천연가스와 더불어 산성가스가 유출될 위험성도 있다[3]. 또한 최근에는 탄소중립 이슈로 인하여 생산정의 케이싱과 시멘팅 등의 부식 및 균열로 인한 CO<sub>2</sub>의 유출이 문제가 중요하므로 생산관에서의 부식문제를 예측하고 방지하는 기술이 중요하다.

이 연구에서는 가스 저류층로부터 발생된 산성가스(CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S)로 인해 생산관에서 부식이 발생하는 현상을 예측하는 연구를 수행하였다. 특히, 생산관 내에서 메탄, 에탄 등 탄화수소가스와 더불어 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S 등 산성가스의 성분비 변화, 저류층의 온도 및 압력의 조건, 저류층 생산 유체의 물 함유 정도에 따라서 부식이 어느 정도 발생되는지에 대해서 조사하였으며, 이에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 이러한 연구를 통해 향후 저류층 조건에 따라 부식 발생 정도를 예측할 수 있기에 부식 발생 정도에 따라 생산관의 수명, 생산관의 부식방지 크롬도금 정도, 부식방지제의 사용량 등을 결정할 수 있는 기본적인 정보를 제공하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

[1] Rahmawati, S.D., Santoso, R.K. & Tanjungsari, F. "Integrated CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S Corrosion-erosion modeling in gas production tubing and pipeline by considering passive layer activity", J Petrol Explor Prod Technol, 11, 3129-3143 (2021)

[2] Qiu, Z., Xiong, C., Chang, Z., Zhao, Z., Zhao, C. & Ye, Z. "Major corrosion factors in the CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S coexistent environment and the relative anti-corrosion method", J Petrol ExplorDevelop, 39(2), 256-260 (2012)

[3] Zhao, X. Huang, W., Li, G., Feng, Y., & Zhang J. "Effect of CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S and applied stress on corrosion behavior of 15Cr tubing in oil field environment", Metals, 10(3), 409 (2020)

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.

## 암모니아 스크러버(Scrubber) 설계기준 및 효율에 관한 연구

임채완, 백승헌, 이선희, 마병철<sup>†</sup>  
전남대학교 화학공학과

### Study on Design Standards and Efficiency of Ammonia Scrubber

**Chaewan Lim, SeongHeon Baek, SeonHee Lee, Byungchol Ma\***

*School of Chemical Engineering, Chonnam National University*

*\* Corresponding author: anjeon@jnu.ac.kr*

#### 요 약

암모니아는 비료생산, 냉각제, 정제 공정 등 산업계 전반에 필수적인 화학 물질로써 사용되고 있다. 또한 탄소경제와 온실가스 감축을 위한 신재생에너지로 수소가 부상함에 따라 운반 방법으로써 암모니아가 주목받는 동시에 혼소를 통한 에너지원으로도 활발히 연구가 이루어지고 있다. 하지만 암모니아는 높은 독성과 인화성을 가져 사용 및 운반, 처리에 주의가 요구된다. 또한 암모니아 누출시 환경에 미치는 위해성이 커 대기환경보전법을 통해 대기 및 폐수 배출을 규제하고 있다.

본 연구에서는 화학 공정에서 암모니아가 누출이 발생 할 경우 사용되는 처리 장치인 스크러버의 설계기준과 현장 사례에 대하여 조사하고 개선 방안을 논의한다. 유입 가스의 조성에 따른 스크러버 설계 전략을 비교하고 Aspen Plus V14를 이용해 암모니아 스크러버를 설계하여 최적의 운전조건을 도출하였다. 또한 운전비용을 고려하여 경제성 평가를 진행하였다. 위 수행 결과를 바탕으로 유해가스 흡수처리를 위한 스크러버 설계기준을 제시하여 암모니아 가스의 안전한 처리와 사업장의 경제성 향상에 기여하고자 한다.

## CFD 모델링을 활용한 알칼라인 수전해 셀의 분리막 두께와 전해질 농도의 영향 분석

이민우, 박병홍  
한국교통대학교 화공생물공학과

### Analysis of Effect of Diaphragm Thickness and Electrolyte Concentration on Alkaline Water Electrolysis Cell using CFD Modeling

MIN WOO LEE, BYUNG HEUNG PARK  
*Department of Chemical and Biological Engineering, Korea National University of Transportation  
Chungju-si, Chungcheongbuk-do, 27469, Korea*

#### 요 약

전세계적으로 사용하는 화석연료는 연소할 때 이산화탄소가 발생한다. 이산화탄소는 온실가스 배출로 인한 기후변화를 야기하며, 인류에게 위협이 되는 긴급한 문제로 여겨진다. 따라서 화석연료를 대체할 자원으로 수소가 주목받고 있으며, 수소 생산은 청정한 미래로 나아갈 발판을 마련하는 것이다.

알칼라인 수전해는 이러한 기후변화에 대해 친환경적이고, 지속가능한 수소생산 해결책 중 하나이다. 수전해는 전기에너지를 이용하여 수소를 생산하는 방법으로, 알칼라인 수전해는 알칼리성 전해질을 이용하는 기술로 다른 수전해 기술들과 비교하여 상업적으로 대용량화 수준에 도달하였다. 수전해 셀은 전해질(KOH), 분리막, 전극으로 구성되어 전력이 공급되면 음극(Cathode)에서는 수소, 양극(Anode)에서는 산소가 발생한다.

본 연구에서는 알칼라인 수전해 시스템에서 분리막의 두께와 전해질의 농도의 변화가 미치는 영향을 분석하였다. 분리막의 두께와 전해질의 농도를 조절하며, CFD 모델링을 활용하여 시뮬레이션하여 전해질의 효율에 대한 정량적 영향을 평가하였다.

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



## 셰일가스 저류층에서 지지체의 파쇄 저항 측정 실험 연구

유현상, 김혜연, 이정환<sup>†</sup>  
전남대학교

### Experimental Study on the Crush Resistance Test of Proppant in Shale Gas Reservoirs

Hyunsang Yoo, Hyecheon Kim, Jeonghwan Lee<sup>†</sup>  
Chonnam National University

#### 요 약

본 연구에서는 셰일가스 저류층에서 지지체(proppant)의 크기 및 분포가 지지체의 파쇄 저항에 미치는 영향을 파악하기 위해 하중 압력에 따른 파쇄 실험을 수행하고, 현장에 공급되는 지지체의 파쇄 저항 성능을 심도 있게 분석하였다. 남부 텍사스에서 취득한 40/140 메시(mesh)의 모래를 사용하였으며, API 파쇄 저항 시험 및 각 메시 크기를 개별적으로 분석하는 새로운 파쇄 실험을 수행하여 다양한 하중 압력에서 각 메시 크기의 지지체에 대한 파쇄 저항을 측정하였다. API 파쇄 테스트의 경우, 8,000 psi에서 92%의 지지체가 가장 작은 메시 크기(140 메시) 이상을 유지하여 시험을 통과하였지만 새로운 파쇄 실험의 경우 약 60%의 지지체만이 기존의 크기를 유지한 것으로 확인되었다. 따라서 API 테스트와 같이 가장 작은 크기의 체(sieve)를 기준으로 지지체의 파쇄 저항 능력을 결정하는 것은 지지체의 성능 평가에 큰 오차를 가져올 수 있다. 또한, 지지체의 입자 크기 분포(particle size distribution) 분석 결과, 40/140 메시 지지체의 약 90%는 40~80 메시의 입자 크기로 구성되어 있어, 일부 입자 크기의 지지체만이 파쇄 저항 성능에 주된 역할을 한 것으로 판단된다.

따라서 기존의 파쇄 저항 시험에 중대한 결함이 있음을 발견하였으며, 지지체의 입자 크기 분포를 고려한 새로운 실험 방법에서 도출된 결과는 파쇄 후에도 원래 크기를 유지하는 지지체의 비율을 나타내므로 현장 적용에 있어 신뢰할 수 있는 지표로 사용될 수 있다.

#### 사 사

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었으며(과제번호 RS-2022-00143541), 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20212010200010). 또한, 이 연구는 2022년도 정부(교육부, 산업통상자원부)의 재원으로 K-CCUS 추진단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(KCCUS20220001, 온실가스감축 혁신인재 양성사업).

<sup>†</sup> Corresponding Author: jhwan@jnu.ac.kr

## 누출된 액체 수소의 확산에 의한 영향 전산모사

이호은, 박병흥\*

한국교통대학교 화공생물공학과

### Computational Simulation of Effect on Dispersion of Leaked Liquid Hydrogen

**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

수소는 화석 연료를 대체하는 에너지로서 환경 오염을 줄이기 위한 미래의 청정 에너지로 평가받으며, 수소 에너지 활용을 위한 많은 연구 개발이 진행되고 있다. 특히 액체 수소는 기체 수소의 부피의 1/800이므로 부피당 에너지 밀도가 높아 많은 용량을 안정적이면서도 효과적으로 저장 및 운반이 가능하기 때문에 고압 및 저온 조건에서 기체보다 안정적인 액체로 저장하여 수소 활용성에서 경제성을 확보할 수 있는 방안으로 고려되고 있다.

이러한 액체 수소를 활용하기 위해 저장 또는 운반을 하는 과정에서 누출이 일어나게 되는 경우에 수소의 가연성에 의해 안전이 위협될 가능성이 있다. 따라서 안전성을 확보하기 위해 액체 수소의 누출 사고가 일어났을 때 액체 수소의 확산에 의한 영향을 확인해야 할 필요성이 있다.

본 연구에서는 수소가 누출되고 시간이 경과됨에 따라 공간 안에서 확산에 의한 영향의 규모와 습도 및 증발 과정에서의 유체의 거동을 모사하기 위해 전산모사를 진행하였다. 시뮬레이션을 진행한 결과 수소와 대기의 질량과 밀도차에 의해 수소의 거동이 수직이 아닌 수평적으로 움직이는 현상을 관찰할 수 있었으며, 시간에 따른 확산의 규모를 확인할 수 있었다.

감사의 글: 본 연구는 산업통상자원부와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (과제번호: 20203010040010)

## 대형 수소 연료 전지 차량을 위한 캐스케이드 충전 방식의 효율성 분석

심규석, 박병흥†

한국교통대학교 화공생물공학과

### Efficiency Analysis of Cascade Refueling Method for Heavy Duty Hydrogen Fuel Cell Vehicles

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

화석 연료의 지속적 사용에 의해 지구온난화의 위협이 날로 심각해지는 가운데, 수소에너지는 친환경 대체 에너지원으로서 그 중요성이 점차 증대되고 있다. 환경 파괴의 주범인 대기 오염과 온실가스의 배출을 현저히 줄일 수 있는 수소에너지는 전 세계적인 주목을 받으며 다양한 분야에서의 연구 및 개발이 진행 중이다. 화석 연료가 대량으로 사용되는 운송 분야에서 수소에너지의 활용은 중요한 전환점을 맞이하고 있다. 화석 연료 기반 차량이 이산화탄소 방출로 인한 지구 온난화와 대기 오염을 가속화하는 반면, 수소 연료 전지 차량은 수소를 연료로 사용해 운행 시 물만을 배출함으로써 환경에 미치는 부정적 영향을 대폭 감소시킨다. 특히, 상용 차량 분야에서 수소 연료 전지 차량은 배터리 전기 차량에 비해 더 빠른 충전 시간과 긴 주행 거리를 제공하는 이점을 가지고 있다. 이러한 수소 연료 전지 차량을 이용하기 위해서는 수소충전소 인프라 구축이 필수적이다. 많은 수소충전소에서 캐스케이드 충전 방식이 사용되며, 캐스케이드 충전 방식은 서로 다른 압력 수준을 갖는 다중 저장 탱크를 활용하여 차량을 효율적으로 충전한다.

본 연구에서는 캐스케이드 충전 방식의 수소충전소를 이용하여 두 대의 상용 수소 연료 전지 차량의 연속 충전을 모사하였으며, 질량 유량과 수소충전소의 다중 저장 탱크의 조합을 변경하여 시뮬레이션하였다. 충전 후 차량의 충전율(state of charge, SOC)을 정량적으로 분석하여 캐스케이드 충전 방식의 성능을 확인하였다.

감사의 글: 본 연구는 국토교통부의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (과제번호:21OHTI-C163280-01)

## 리튬이온배터리 팩 내 오프가스 모델링 분석 연구

백승헌, 임채완, 이선희, 마병철<sup>†</sup>  
전남대학교 화학공학과

### Modeling off-gas in a lithium-ion battery pack

**SeongHeon Baek, Chaewan Lim, SeonHee Lee, Byungchol Ma\***  
*School of Chemical Engineering, Chonnam National University*  
<sup>\*</sup> *Corresponding author: anjeon@jnu.ac.kr*

#### 요 약

최근 배터리 기술이 발전함에 따라 리튬이온 배터리의 에너지 밀도가 향상되면서 전기자동차, 웨어러블 기기, 에너지 저장 시스템(ESS)과 같은 배터리 집약적 응용 분야에서 열폭주로 인한 화재 및 폭발 사고가 발생하고 있다. 이에 따라 안전 관리의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 리튬이온 배터리는 충전 및 방전 과정 중, 혹은 외부 충격에 의한 분리막의 손상, 음극재 및 양극재의 화학 반응으로 내부 온도가 상승한다. 특히 130°C에서는 배터리의 바인더(Binder) 반응, 고체 전해질 계면(SEI) 층의 분해, 음극재와 양극재 간의 화학 반응이 활발히 일어나며, 이로 인해 H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 등의 오프가스가 발생한다. 이러한 가스 혼합물은 폭발 범위를 형성하고, 결과적으로 열 폭주(Thermal Runaway)가 발생하여 심각한 사고로 이어질 위험이 있다. 따라서 열폭주가 발생하기 전 오프가스를 배터리 팩 외부로 배출하는 배기 시스템의 도입이 필요하다. 또한, 셀의 수가 증가하는 디자인 특성으로 인해 각 셀의 상태를 실시간으로 감시하는 것이 제한적이며, 이는 열 폭주, 화재 혹은 화학 반응 발생 후에만 화재를 감지할 수 있다는 의미로, 오프가스의 감지 및 제거 시스템의 필요성이 강조 되고 있다.

본 연구에서 배터리 팩 내 오프가스 거동을 모델링 후 확산 영향 평가를 하기 위해 ANSYS FLUENT 프로그램을 활용하여 모델링을 수행하였다. 이 과정에서 가스 확산은 Species Transport model과 k-epsilon Turbulence model을 사용하였다. 이를 통해 배터리 셀에서 발생하는 오프가스의 유동 특성을 검토하였다. 시뮬레이션 결과는 배터리 팩의 벤트 시스템의 효과성을 입증하였으며, 이를 바탕으로 최적의 가스 감지기 배치 및 가스 배출구 위치를 결정하는 데 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 연구 결과는 배터리 팩 내 오프가스로 인한 열 폭주와 인접 셀로의 전이를 가능성을 감소시키는 데 중요한 역할을 할 것이며, 이는 궁극적으로 배터리 산업의 신뢰성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

## 염수의 CO<sub>2</sub> 용해도 측정을 위한 실험 방법 및 장치에 대한 고찰

† 장호창<sup>\*\*</sup>, 김영민<sup>\*</sup>, 유현상<sup>\*\*</sup>

강원대학교 에너지자원화학공학과, \*한국지질자원연구원 해저지질에너지본부,

\*\*전남대학교 에너지자원공학과

### Experimental method and apparatus to measure the CO<sub>2</sub> solubility in brine

† Hochang Jang, Youngmin Kim\*, Hyunsang Yoo\*\*

*Division of Energy Engineering, Kangwon National University,*

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

*\*\*Department of Energy Resources Engineering, Chonnam National University*

#### 요 약

CO<sub>2</sub>의 지중 저장 메커니즘은 크게 구조/층서, 용해, 잔류, 광물화 격리로 구분된다. 이 중 용해 격리는 염수에 용해된 CO<sub>2</sub>가 탄산, 탄산염이온 등의 형태로 저장되는 것을 의미한다. 용해도는 평형상태에서 염수 내에 용해될 수 있는 CO<sub>2</sub>의 최대값으로서, 전체 CO<sub>2</sub> 지중저장량을 결정하거나 광물화 격리의 잠재성을 평가하는 데 중요한 역할을 한다. 따라서 용해도는 CO<sub>2</sub> 지중저장에서 매우 중요하며 이는 다양한 변수가 고려된 용해도 측정 실험을 통해 도출할 수 있다.

본 연구에서는 용해도 측정을 위한 실험 방법과 실험 장치에 대하여 고찰하고자 한다. CO<sub>2</sub> 용해도는 용매 역할을 하는 염수의 물성을 포함해 온도, 압력과 같은 외부적 요인에 따라 달라질 수 있다. 또한, CO<sub>2</sub>의 주입에 동반되는 각종 첨가제나 CO<sub>2</sub> 포집 시 수반되는 CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S와 같은 불순물의 성분과 비율도 용해도에 영향을 줄 수 있다. 용해도 측정을 위한 실험 방법은 크게 CO<sub>2</sub> 기포의 크기를 측정하는 직접 측정법과 pH나 압력과 같은 지시자를 이용하는 간접 측정법으로 나눌 수 있다. 일반적인 반응기를 변형한 형태를 이용해 압력과 온도 조건을 고려할 수 있는 고압 셀과 변화 정도를 직접 관찰할 수 있는 투시창을 포함한다. 그 외에 빠른 반응을 유도할 수 있도록 믹서기, 폼 발생기를 설치하여 성능을 개선할 수 있다. 본 연구에서 정리된 실험 방법과 실험 장치의 특징단점은 추후 용해도 측정 장비 개발을 위한 기초자료로 활용될 예정이다.

#### 사 사

본 연구는 한국에너지기술평가원의 지원(20224000000080, 강원대학교 수소 안전 클러스터 융합대학원)을 받아 수행된 연구입니다.

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

## 삼척 탄전의 CO<sub>2</sub> 지중 저장량 평가를 위한 시뮬레이션 연구

김유진, 고승모\* 남연주, 박진영\*\*, †장호창\*\*

강원대학교 에너지공학부, \*강원대학교 에너지자원융합공학과,

\*\*강원대학교 에너지자원화학공학과

### CO<sub>2</sub> geological storage evaluation simulation study by Samcheok Coalfield

Yujin Kim, Seungmo Ko\*, Yeonju Nam, Jinyoung Park\*\*, †Hochang Jang\*\*

*Division of Energy Engineering, Kangwon National University,*

*\*Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Kangwon National University,*

*\*\*Department of Energy Resources and Chemical Engineering Kangwon National University*

#### 요 약

2023년 출간된 IPCC 6차 평가보고서의 계산에 따르면 지구 온도가 1.5도 높아지는 데 5년 남았다고 하며, 점점 가속되는 지구온난화를 늦추기 위해서는 탄소중립과 넷제로가 필수적이다. 청정에너지원으로 떠오르고 있는 수소에너지는 이러한 탄소중립의 실현에 중요한 역할을 할 것으로 보인다. 삼척시에서는 SMR(Steam Methane Reforming) 방식을 통해 수소를 생산하고 있으며, 이 과정에서 다량의 CO<sub>2</sub>가 발생한다. 이렇게 생성된 CO<sub>2</sub>를 처리하기 위해서는 CCS로 이산화탄소를 포집 및 저장할 필요가 있다.

본 연구에서는 삼척 탄전을 대상으로 한 CCS 시뮬레이션을 통해 석탄층의 CO<sub>2</sub> 저장량을 도출하였다. 이를 위해 CH<sub>4</sub>의 흡착 특성을 포함한 삼척 탄전의 주요 물성을 이용해 CO<sub>2</sub>의 흡착 곡선을 취득하였다. 또한, CMG사의 GEM 모듈과 정리된 물성 자료를 사용해 3-D 시뮬레이션 모델을 구축하고 주입 시나리오별 CO<sub>2</sub> 저장량을 평가하였다.

그 결과, 몬테카를로 시뮬레이션과 US-METHOD, 물질평형방정식으로 취득한 CO<sub>2</sub> 저장량의 중앙값과 비교해 소폭 감소했지만, 삼척시 수소 생산에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 쓸 수 있는 선택지가 될 것으로 기대된다.

#### 사 사

본 연구는 한국에너지기술평가원의 지원(20224000000080, 강원대학교 수소 안전 클러스터 융합대학원)을 받아 수행된 연구입니다.

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

## 토치가 체결된 부탄용기의 가스누출 및 폭발화재사고에 관한 연구

이준희, 김대식, 최성원, 김용희, 오동석, 조근욱  
한국가스안전공사

### A Study on the Gas Leakage and Explosion Fire Accident of Butane Cylinder with Torch

Lee Junhee, Kim Daesik, Choi Sungwon, Kim Yonghee, Oh Dongseok, Jo  
Gunwook,  
Korea Gas Safety corporation

#### 요 약

국내에서 사용하는 이동식 부탄연소기용 접합용기(이하 ‘부탄용기’라 한다.)는 KGS Code AC311(고압가스용 납붙임 또는 접합용기의 제조의 시설·기술·검사 기준)에 의해 제조 되고 있으며, 토치의 경우 다양한 제조사에서 생산되고 있다. 일반적으로 토치, 이동식부탄연소기 등은 용기와 사용시에만 체결되어 사용하고 그 후에는 분리하여 보관해야 한다. 그럼에도 용기가 체결되어 있는 상태에서 보관 중 사고가 발생하는 경우가 지속해서 발생하고 있다.

이에 따라, 이번 연구에서는 사고 발생한 토치 및 용기의 용융 및 탄화흔적 등을 관찰하고 가스가 누출되어 발생한 폭발·화재사고의 근본적인 원인 분석을 하고자 한다. 토치는 화구와 몸체, 가스결이(아답터) 점화버튼, 가스조절 손잡이 등으로 구성되어 있으며, 용기와 체결시에는 화구 외에는 가스가 누출되지 않는 구조로 되어 있다. 다만, 사고가 발생한 토치에서는 용기와 체결되는 방향에서 강한 탄화흔적이 발생한 특이점이 관찰된다.

이번 연구를 통해 사고 원인의 분석, 안전기준의 마련의 필요성을 확인하고 동일한 사고를 예방하는 데이터로 활용하고자 한다.

## 국내의 LPG 벌크로리 안전성 확보 방안

오동석, 김대식, 최성원, 김용희, 이준희, 조근욱, 전호림  
한국가스안전공사

### A Study on Securing the Safety of LPG Bulk Lorry in Korea

Oh Dongseok, Kim Daesik, Choi Sungwon, Kim Yonghee, Lee Junhee, Jo  
Gunwook, Jeon Horim  
*Korea Gas Safety corporation*

#### 요 약

국내의 다양한 현장에 설치된 LPG 소형저장탱크의 경우, 별도의 충전설비가 설치되어 있지 않아 LPG를 충전하기 위해서는 Pump 또는 Compressor가 부착된 벌크로리가 필요하다. 최근 몇 년간 가스 소비량이 꾸준히 증가함에 따라 소형저장탱크와 더불어 벌크로리 역시 증가하는 추세로 관련 사고도 지속적으로 발생하고 있다. 국내에서 가스산업 초기에 만들어진 벌크로리 관련 법 및 기준 등이 현재 발전된 기술과 구축된 증축 인프라 실정에 발맞추지 못하는 상황으로 사고 발생 시 관련자가 현장에서 초기 대응이 미흡하여 대형 사고로 이어질 가능성이 있다. 벌크로리는 크게 3가지(이입, 이송 및 운반) 작업으로 구분하고 있으며, 작업별로 구동되는 장치가 달라 벌크로리에 설치된 안전장치의 작동 원리 및 조치 방법을 충분히 인지하고 있어야 초기에 빠른 대응이 가능할 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 벌크로리 제조사의 검토 의견과 더불어 국내에서 발생한 사고사례를 작업별, 장치별로 분석하여 사고 발생 시 대응할 수 있는 프로세스를 개발하였고, 또한, 벌크로리의 안전성을 강화하기 위해 현 실정에 맞는 법 및 기준 등의 개정안을 제안함으로써 사고 예방 및 안전 작업에 도움이 될 것으로 사료 된다.



## Structural Changes in Iridium Oxide Catalysts During Polymer Electrolyte Membrane Water Electrolysis Across Varied Load Durability Test Conditions

김성준<sup>a</sup>, 현규환<sup>b</sup>

서울과학기술대학교 화공생명공학과, 서울시 공릉로 232  
고등기술연구원, 용인시 처인구 백암면 고안로51번길 175-28

**Seongjun Kim<sup>a</sup>, KyuhwanHyun<sup>b</sup>**

*[a] Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232, Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Republic of Korea*

*[b] Institute for Advanced Engineering(IAE), 175-28 Goan-ro 51 beon-gil, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Republic of Korea*

### 요 약

Proton exchange membrane water electrolysis (PEMWE) is technically the most suitable technology for the production of green hydrogen on a large scale. Measuring the durability of catalyst is very important for PEMWE's warranty period and pricing. An accelerated durability test (ADT) method is a typical method for acquiring durability data within a set time or short time, which is a method of giving harsh operating conditions to PEMWE to accelerate the degradation rate. In this study, we described the change of iridium catalyst according to the test protocol of PEMWE. We analyzed the crystal structure changes of the iridium oxide catalyst following the operating protocol of PEMWE by XRD(X-ray Diffraction) and TEM (Transmission Electron Microscope) analysis.

## Utilizing Ascorbic Acid as an Reducing Agent for Generating Preferred Vanadium Electrolyte in Vanadium Redox Flow Batteries

임예진<sup>a</sup>, 현규환<sup>b</sup>

서울과학기술대학교 화공생명공학과, 서울시 공릉로 232  
고등기술연구원, 용인시 처인구 백암면 고안로51번길 175-28

Yejin Lim<sup>1</sup>, KyuhwanHyun<sup>2</sup>

[1] Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232, Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Republic of Korea

[2] Institute for Advanced Engineering(IAE), 175-28 Goan-ro 51 beon-gil, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Republic of Korea

### 요 약

Redox Flow Battery (RFB) is a promising candidate for a large-capacity energy storage system because it can increase energy storage capacity by controlling the size of the energy storage tank regardless of the size of the battery that determines power density. The expensive and unstable vanadium price in Vanadium Redox Flow Battery (VRFB) is a serious problem and additional cost and time are required to prepare  $V^{3+}$  and  $V^{4+}$  used as electrolytes.

We researched using ascorbic acid to reduce  $V^{5+}$  to  $V^{4+}$  in vanadium electrolyte production, aiming to cut costs and simplify the process (no heating required). In VRFB single-cell test, energy and voltage efficiencies maintained their performance over 300 cycles, comparable to traditional electrolytes. In conclusion, our method offers faster activation, as well as long-term electrochemical performance that is on par with conventional approaches.

## 건식개질 반응의 코발트 기반 촉매 안정성 향상연구

여수연, 박정현

고등기술연구원, 용인시 처인구 백암면 고안로51번길 175-28

\*한국화학연구원, 대전광역시 유성구 가정로 141

### Research on improving the Stability of Cobalt-based catalysts in Dry reforming reaction

Suyeon Yeo, Jung-Hyun Park

*Institute for Advanced Engineering(IAE), 175-28 Goan-ro 51 beon-gil,*

*Baegam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Republic of Korea*

*\*Korea Research Institute of Chemical Technology(KRICT), 141, Gajeong-ro,*

*Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea*

#### 요 약

건식개질 반응은 메탄과 이산화탄소를 반응하여 합성가스를 생산하는 반응으로, 스팀을 사용하는 습식개질과 달리 이산화탄소를 활용하기 때문에 현 탄소중립시대의 많은 관심을 받고 있다. 그러나 사용되는 촉매의 탄소침적, 금속산화, 소결현상 등으로 인하여 빠른 비활성화 현상이 나타나며 상업화의 어려움을 겪고 있어 다양한 촉매 연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 코발트 기반의 촉매에서 발생하는 산화현상을 억제시키기위해 인을 첨가하였고 이를 통해 안정성이 향상된 것을 확인할 수 있었으며,  $AlPO_4$  상이 형성되어  $CoAl_2O_4$  상으로의 상변화를 억제하였음을 증명하기 위해 XRD, TGA, FT-IR, Pyridine-TPD 등 다양한 분석장비를 통해 이를 수행하였다.

## ISO 19880-3 개정 건의를 통한 수소충전소 효율성 증대에 관한 연구

강민지 · 이동훈 · 하기역 · 박지훈

한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터

### Research on Enhancing the Safety of Hydrogen Refueling Stations through the Revision of ISO 19880-3

**Kang Min Ji, Lee Dong Hoon, Ha Gi Yoek, Park Ji Hoon**

*Institute of Gas Safety R&D, Energy Safety Empirical Research Center*

#### 요 약

수소는 지속가능한 에너지원으로서 중요한 역할을 하고 있으며, 이에 부응하여 우리나라는 수소버스, 상용차, 지게차, 실내 물류 운반기계 등 다양한 수소 모빌리티 활성화를 위해 다양한 정책적 지원과 기술개발에 힘쓰고 있다. 현재 대규모 수소생산, 저장, 운송 시설이 구축됨에 따라 맞춤형 관리가 필요하다는 의견이 제시되면서 수소충전소에 대한 규제를 개선하자는 필요성이 강조되고 있다.

수소안전관리 로드맵 2.0 보고서에 따르면, 수소충전소에서는 초고압 및 극저온 환경에서 수소 누출 위험이 높은 밸브에 대한 철저한 안전관리가 요구되며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 의무 인증 대상이 아닌 충전소용 초고압 밸브 3종(차단밸브, 브레이크어웨이 디바이스, 과류방지밸브)도 안전성 향상을 위해 단계적으로 인증 대상으로 지정하는 것이 제안되었다. 안전 인증의 범위를 넓히는 것으로 목표로 하며, 이 과정에서 밸브에 대한 시험 절차를 규정하는 국제표준인 ISO 19880-3 개정 건의를 통해 수소충전소의 전반적인 효율성 증대에 기여하고자 한다. 개정안은 해당 분야 전문가들의 의견을 통합하고, 시험 운영을 통해 얻은 결과들로 설계되었다. 이는 수소충전소의 효율성을 강화하고, 미래 지향적인 수소 인프라 구축에 기여하며, 국제적인 수소경제의 성장을 지원하는 데 활용할 것으로 기대된다.

본 논문은 수소충전소의 효율성을 증대하는 ISO 19880-3 개정안을 소개하고자 한다.

Acknowledgement : 이 연구는 2021년도 산업통상자원부(MOTIE) 및 한국산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(105MPa급 수소충전소용 공압밸브 개발 및 성능 고도화, 20017461)

## 석유 코크스 가스화를 통해 생산된 합성가스 내 벤치급 고농도 H<sub>2</sub>S 제거설비 운전 특성

윤덕규, 이철호, 이승종

고등기술연구원, 17810 경기도 용인시 처인구 백암면 고안로 51번길 175-28

### Performance of syngas produced petcoke gasification plant with Bench scale H<sub>2</sub>S Removal system

**Deok-Kyu Youn, Chul-ho Lee, Seung-Jong Lee**

*Institute of Korea, 175-28, Goan-ro 51 beon-gil, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Gyeonggi, 17180, KOREA*

#### 요 약

고온·고압 조건에서 석유 코크스를 가스화 반응시켜 일산화탄소(CO)와 수소(H<sub>2</sub>)가 주성분인 합성가스를 제조하는 기술은 청정에너지원을 확보할 수 있는 기술이다. 가스화로부터 생산된 합성가스에는 석유 코크스에 함유되어 있는 황(S) 성분으로 인해 황화합물(COS, H<sub>2</sub>S)과 같은 산성가스가 배출되게 된다. 이러한 황화합물은 수소 생산을 위한 WGS(Water-Gas Shift Reaction) 촉매 및 PSA(Pressure Swing Absorption) 흡착제의 성능을 저하시키므로 정제하여야 한다.

본 연구에서는 저유황 석유 코크스를 1 톤/일급 가스화기로 생산되는 합성가스를 Bench급 정제설비로 Slip stream으로 연계하여 고농도 H<sub>2</sub>S 제거 실험을 진행하였다. 벤치급 H<sub>2</sub>S 제거설비는 철 킬레이트 용매를 분사하는 U자형 흡수탑 2단, Air를 이용하여 2가로 환원된 철 이온(Fe<sup>2+</sup>)를 3가의 철 이온(Fe<sup>3+</sup>)으로 재생시키는 철 킬레이트 재생 및 공급조로 구성하였으며, H<sub>2</sub>S 농도를 실시간으로 측정하여 H<sub>2</sub>S의 제거 효율을 확인하였다.

## 캐나다 셰일 저류층을 활용한 이산화탄소 지중저장 가능성 평가

유현명, 한선이, 이영수  
전북대학교

### An Evaluation of the Potential for Geological CO<sub>2</sub> Storage in Canadian Shale

Hyunmyeong You, Sunlee Han, Youngsoo Lee  
*Jeonbuk National University*

#### 요약

기존 전통 자원의 고갈과 청정연료의 수요가 증가함에 따라 비전통 자원인 셰일 가스는 유망한 자원으로 평가되며 미국, 러시아, 캐나다 등을 중심으로 활발히 개발되고 있다. 특히, 셰일가스는 방대한 자원량이 부존되어 있으며, 수평시추와 수압파쇄 기술의 발달로 인해 경제적 생산이 가능해졌다. 셰일 저류층은 근원암이 동시에 저류암이며, 수압파쇄 영역을 제외한 암체의 공극률과 투과도가 낮아 자체적으로 차폐성을 갖게 되어 CO<sub>2</sub> 누출 위험을 최소화할 수 있기 때문에 CCS(Carbon Capture Storage) 부지로 고려될 수 있다. 또한 셰일가스전에 주입된 CO<sub>2</sub>가 유기물 등에 흡착되어 있던 CH<sub>4</sub>를 탈착시키고 그 위치에 CO<sub>2</sub>가 흡착되어 가스 생산량을 증대시키는 EGR(Enhanced Gas Recovery)-CCS 공법을 활용한다면, 셰일가스 생산과 동시에 안정적인 CO<sub>2</sub> 저장이 가능하다.

본 연구에서는 캐나다 Kaybob 지역의 Duvernay 셰일 저류층을 대상으로 CO<sub>2</sub> 지중저장 가능성을 평가하였다. CO<sub>2</sub> 흡착 실험은 고압 흡착 장비(BELSORP-HP, BEL Japan, Japan)를 사용하였으며, 산출된 흡착량에 Langmuir Equation을 적용하여 실제 현장 압력에서 CO<sub>2</sub> 흡착량을 예측하였다. 실험 결과, 저류층 온도 및 압력 조건에서의 CO<sub>2</sub> 흡착량은 24.44 scf/ton ~ 37.16 scf/ton으로 도출되었다. 이를 주입정 하나당 151 ft의 두께와 1.1백만ft<sup>2</sup>의 면적을 갖는다고 가정하고 CO<sub>2</sub> 저장량을 평가하였을 때, 산출된 셰일과 CO<sub>2</sub>의 밀도를 고려하면 최소 6백만톤의 저장이 가능할 것으로 평가된다. 이를 통해 본 연구의 대상 지층인 Duvernay 셰일 저류층은 EGR-CCS를 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만 본 연구는 셰일의 파우더형 시료를 사용하여 수행한 실험으로 실제보다 비표면적이 크므로 상대적으로 높은 흡착량이 도출되었다. 따라서, 추후 현장 시료를 활용한 실증연구가 요구된다.

**사사:** 이 성과는 2024년도 정부(과학기술정보통신부, 교육부, 산업통상자원부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. RS-2023-00210272)과 K-CCUS 추진단의 지원(KCCUS20240001, 온실가스감축 혁신인재양성사업)을 받아 수행된 연구임.

## 글로벌 CCS Cluster 추진현황 및 한국형 클러스터 구성을 위한 해결과제

서준우, 한정민, 강일오, 박승수  
한국가스공사

### Global CCS Cluster Development Status and Challenges for Establishing CCS Cluster in Korea

Junwoo Seo, Jeongmin Han, Il-Oh Kang, Seungsoo Park  
Korea Gas Corporation

#### 요 약

전 세계는 가속화되는 기후위기에 대응하여 ‘15년 파리협정을 계기로 선진국, 개도국 포함 모든 국가에 온실가스 감축 의무를 부여하는 등 그 압박이 증대하고 있다. 또한 최근 글로벌 RE100 확대, ESG경영 강화, 탄소국경조정세(CBAM) 도입 등 국제사회는 급속히 脫탄소 경제체제 구축에 박차를 가하고 있다. 우리나라도 2050년까지 탄소중립을 목표로 탄소중립 및 녹색성장을 통해 글로벌 중추국가로 도약하고자 한다. 특히 ‘30년 배출량 목표 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향을 통해 ‘18년 온실가스 배출량 대비 40% 감축목표를 설정하고, UN에 제출한 바 있다(‘21.12). 이를 달성하기 위해 전환부문, 산업부문 등에서 직접적인 배출량 감축도 중요하지만, 불가피하게 발생된 온실가스의 흡수 및 제거를 하는 CCUS 기술도 온실가스 감축의 주요 수단의 대두되고 있다. 국가 온실가스 감축목표에서 ‘30년 목표 배출량은 436.6백만톤으로 이중 CCUS에 기대를 하고 있는 감축량은 11.2백만톤이며, 2050 탄소중립시나리오 A안에서도 ‘50년까지 필요한 CCUS 감축량은 55.1백만톤에 달한다. 이런 도전적인 대규모의 온실가스를 감축목표를 달성하기 위해서는 이산화탄소의 지중저장(CCS) 부분의 성공이 뒷받침 되어야하나, 동해 가스 전 외에 적합한 저장소를 찾지 못하고 있는 우리나라는 해외 저장소를 발굴 및 활용을 위한 Transboundary CCS 사업모델을 선제적으로 구축하여야 한다. 이를 달성하기 위해서는 규모의 경제를 달성을 위한 클러스터 구축이 고려되어야 한다.

본 연구에서는 글로벌 CCS 클러스터 추진현황을 개괄하고, 한국형 CCS클러스터 구성을 위해 해결해야할 주요 과제를 살펴보았다. CCS 기술이 대규모의 이산화탄소 배출을 감축시킬 수 있는 핵심기술이나, 포집/수송(선박)/주입/저장/모니터링에 이르는 복잡적이고, 기술·자본 집약적 사업으로 높은 초기 비용 및 국가간 CO<sub>2</sub> 이동에 따른 정책적 불확실성 등 여전히 극복해야할 과제들이 많기에 선도국 사례를 통해 우리나라가 나아가야할 방향을 모색하고자 한다.

우리나라와 유사하게 인근 혹은 주변국 해상에 지중저장을 목표로 하고 있는 영국과 노르웨이의 사례를 살펴보면, 영국은 ‘30년까지 ‘90년 대비 최소 68%의 온실가스를 감축을 목표로 「Net Zero Strategy(‘21년)」, 「CCUS Investor Roadmap(‘22년)」을 잇달아 발표하고, 산업클러스터의 온실가스 감축을 위한 CCUS를 도입하기 위해 Track-1 클러스터 선정 및 심사를 통해 최소 2개 이상의 클러스터를 구축하고 있다. 노르웨이는 Sleipner와 Snøhvit CCS의 경험을 바탕으로 Northern Lights, PreemCCS, CCS haugalandet 등 다양한 CCS 클러스터 연구를 진행하고 있다. 특히 Northern Lights는 4척의 LCO<sub>2</sub> 수송선을 통해 25년간

37.5백만톤 지중저장을 목표로 발 빠르게 진행하고 있다.

본 연구는 해외 선진사례를 바탕으로 성공적인 한국형 CCS 클러스터 구축을 위해 국내 산업단지와 연계한 클러스터를 구성하고, 해외 수송 및 주입을 위한 기술적 구성요소 및 그 리스크를 식별하였다. 이를 통해 성공적인 Transboundary CCS 사업모델 구축을 위한 초석을 다지고자 한다.



## 의료폐기물 종류별 에너지 생산 공정 에너지효율 비교

홍기훈<sup>1</sup>, 박철우<sup>1</sup>, 장은석<sup>1</sup>

<sup>1</sup>고등기술연구원, 17180 경기도 용인시 처인구 백암면 고안로 51번길 175-28

### Case study of energy efficiency of energy production process by type of medical waste

Gi Hoon Hong<sup>1</sup>, Cheolwoo Park<sup>1</sup>, Eunsuk Jang<sup>1</sup>

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

#### 요약

국내 의료폐기물은 코로나바이러스감염증-19 사태 이후 급격하게 증가하여 환경부에서 발표한 '전국 폐기물 발생 및 처리현황' 기준 전국 의료폐기물 발생량이 2021년에는 약 22만 톤, 2022년에는 23만 톤으로 1년 사이에 4.5%가 증가하였고 종합병원, 병원 및 의원에서 80%가 넘는 의료폐기물이 발생하였다.

이렇게 발생한 의료폐기물의 약 97.5%는 위탁처리를 통해 소각장에서 처리되고 있으며 2.5%는 열분해 및 기타 처리방식을 통해 자가처리하고 있다. 국외의 경우 열분해(Pyrolysis), 열수탄화(Hydrothermal carbonization), 반탄화(Torrefaction) 등 전처리를 통해 고체, 액체 및 기체 형태로 전환하여 에너지화하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 의료폐기물 성상에 따라 20~40 MJ/kg 정도 열량을 가지는 연료 생산이 가능하다는 연구 결과를 확인하였다.

본 연구에서는 국내 의료폐기물의 연료화 가능성을 확인하기 위하여 국내 의료폐기물 종류 및 성상별 에너지화 공정 모델을 구축하고 에너지 활용가능량에 따른 에너지 효율을 비교하였다.

keyword: 의료폐기물, 폐기물 전처리, 에너지화, 공정 에너지효율

\* 본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 감염우려 의료폐기물 처리 기술개발 사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (No. 2021003350005)

## 대형 수소상용차 충전시간 단축을 위한 멀티포트 충전기술 개발

김보명, 장재영\*, 홍승택\*\*  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Develop Multiport fueling technology to shorten duration of refueling Heavy duty Hydrogen vehicle

Bomyung kim, Jaeyoung Chang\*, Seungtaek Hong\*\*  
*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

최근 정부의 수소산업 육성 정책에 따라 기술 혁신, 제도 및 인프라 구축 등의 방안들을 발표하였다. 그 중 대규모 수소 수요 창출의 일환으로 2030년까지 수소 상용차를 3만대 보급하고, 이에 따라 수소충전소가 확대 구축될 예정이다. 수소상용차의 경우 수소승용차 대비 약 5배 많은 수소를 짧은 시간 안에 충전해야 하기 때문에 소요시간이 길다는 문제점이 있다. 수소 충전 시간 단축을 위한 충전 방식으로는 대유량 수소공급 방식 또는 멀티포트에 의한 수소 공급방식이 있다. 그 중 본 연구에서는 기존과 동일한 충전압력(700bar)에서 기존과 동일한 유량(60g/sec)으로 수소를 공급함으로써 최소한의 변경만으로 충전시간 단축이 가능한 멀티포트 충전기술에 대해 연구하였다.

수소상용차용 멀티포트 충전기술의 안전성 검증을 위해 QRA와 HAZOP을 통해 구축된 테스트베드 및 수소충전소의 위험요인을 분석하고, 안전거리 확보 및 안전조치의 적절성을 평가였다. 뿐만 아니라 향후 멀티포트 충전방식을 적용한 수소충전소 안전기준의 기초자료 활용을 위해 멀티포트 방식의 수소 충전 실증데이터를 분석하고 안전성을 검증할 계획이며, 관련 기준 및 국제표준 제안의 근거자료로 활용될 수 있을 것이다.

**Acknowledgement** : 본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원 자동차 산업기술개발사업(No.20015048)의 지원으로 수행되었습니다.

**Key words** : Fuel cell commercial vehicles(수소 상용차), Hydrogen fueling(수소 충전), Multi fueling(멀티 충전), Quantitative risk assessment(정량적 위험성 평가), Safety Standard(안전기준)

## 가스사용시설 물리적 폭발 사고 사례에 관한 연구

남승, 김현민, 김다정  
한국가스안전공사

### A Study on the Cases of Physical Explosion in Gas Utilization Facility

Sung Nam, Hyun-Min Kim, Da-Jeong Kim  
Korea Gas Safety corporation

#### 요 약

고압가스안전관리법은 압력용기 등의 제조에 있어 고압가스 특정설비 제조 기준을 준용하여 제품 안전을 확보하도록 규정하고 있다. 하지만, 가스를 사용하여 내용물을 직화 방식으로 제품을 제조하는 회전가마(용기)의 경우, 고압가스안전관리법에 해당하는 대상이 되지 않아 안전에 관련된 검사를 받지 않고 제작할 수 있는 상황이다. 이는 안전에 대한 충분한 고려 없이 회전가마(용기)가 제작되어 대형 사고로 이어질 수 있는 위험성을 내포하고 있다.

본 연구에서는 가스를 이용하여 스팀을 발생시키는 장치가 산업 전반에 널리 사용되고 있음에도 불구하고, 스팀을 이용하는 용기 관련 사고가 다양한 장소에서 빈번히 발생하고 있다는 점에 주목한다. 이러한 사고는 밀폐된 장소에서 가스 누출로 인한 폭발과 달리, 용기 내부 압력 팽창이 물리적 파열로 이어지는 특징을 가지고 있다.

본 연구는 공장 내 자체 제작 용기 파열 사고 사례를 분석한다. 이 사고는 초기에는 가스 폭발로 알려졌으나, 실제 원인은 단열 과정에서의 내부압력 상승으로 인한 파열 사고로 밝혀졌다. 이를 통해 가스를 이용하여 스팀을 이용하는 용기 파열의 위험성을 알아보고, 가스사용시설에서 사고 발생 시 사고 원인 규명에 가이드를 제시 및 추후 유사한 사고를 예방할 수 있을 것으로 기대한다.

## 액화수소 충전소 구축 연계 안전성 평가/실증 및 안전기준 개발

한연우, 유은결, 김민아, 강승규\*  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Safety evaluation/demonstration and development of safety standards for the establishment of liquid hydrogen refueling stations

Yeonwoo Han, Eungyeol Yu, Mina Kim, Seongkyu Kang\*  
*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation*

#### 요 약

가속화되는 기후 위기 대응과 탄소 중립 사회 실현을 위해 수소 에너지가 각광 받고 있다. 우리나라 정부 또한 ‘수소 경제 활성화 로드맵’을 발표하여 2030년 수소차 85만여대 및 수소상용차 3만여대 보급 등 수소차 보급과 수소충전소 인프라 확대를 추진하고 있다. 수소 차량을 충전하는 방식은 고압 기체 충전 방식과 액화 수소 충전방식이 있다. 현재 수소충전소에서 보편적으로 활용하고 있는 고압 기체 수소 충전 방식은 기체 수소를 고압(200bar)으로 압축하여 튜브트레일러 형태로 운반하여 공급하는 방식으로 기술 장벽이 낮은 장점이 있으나, 1회 운송량이 약 250kg으로 소량에 불과하고 고압 압축 상태로 폭발 위험성이 크다. 액체 수소 충전 방식은 수소를 -253℃(20K) 극저온 상태로 냉각 및 액화하여 탱크로리 형태로 운반, 공급하는 방식으로 대용량 공급에 적합하고 약 2bar의 낮은 압력 조건에서 저장할 수 있지만, 국내 액화수소 충전소 기술개발 및 안전성 평가를 위한 기준이 없는 실정이다.

본 연구에서는 대용량(1 ton/day 이상) 액화수소 충전소의 안전성 검증, 설치·유지 관리 등 실증 기반 안전성 평가 및 안전기준을 개발하여 액화 수소 안전기준 제도화 마련을 하고자 한다. 액화수소 충전소 실증 운영 데이터를 통해 설비·부품별 누출 빈도, 누출량을 수집하고 사고 시나리오에 따른 QRA 피해 영향을 분석하여 안전거리를 확보하고 안전조치 적절성을 평가하였다. 도출된 안전조치를 향후 액화수소 충전시스템 모니터링 시스템과 연계하여 국내 실정에 맞는 대용량 액화수소 충전소 구축, 통합관리 모니터링 시스템, 액화수소 모빌리티 충전 시설 기준 제·개정 의 근거자료로 활용할 예정이다.

**Acknowledgement** : 본 연구는 산업통상자원부 및 한국에너지기술평가원 액화수소 충전 및 시설 안전기술 개발(No.20227310100010) 지원으로 수행되었습니다.

**Key words** : Large Scale Liquid Hydrogen Refueling Process System(대용량 액화수소 충전소 공정시스템), Liquid Hydrogen Equipment Technical Specification(액화수소 핵심설비 기술사양서), Safety Assessment/Standards(안전성 평가 및 기준), Real-time Monitoring/Data Acquisition(실시간 모니터링 및 데이터 확보), Prognostic and Diagnostic tool(예지, 진단기술)

## LNG 액화플랜트 안전 작업지시서 자동발급 체계 개념연구

고정훈\*, 윤형준\*, 홍재민\*, 김학성\*\*

\* (주)유티이씨 \*\* GS건설(주)

### Conceptual research of automatic safety job order issuance system for LNG liquefaction plant

Jung Hoon Ko\*, Hyung Joon Yoon\*, Hak Sung Kim\*\*

\* UTEC Co., Ltd., \*\* GS E&C Co., Ltd.

#### 요 약

LNG 액화플랜트는 폭발 위험성이 높은 가스를 취급하기 때문에 안전한 작업 환경을 선제적으로 조성하는 것이 매우 중요하다. 그러나 기존의 작업지시서 발급 체계는 공정데이터 모니터링 체계와 설계데이터 관리체계, 유지보수 데이터 관리데이터가 별도로 관리되고, 플랜트 야외작업 안전에 직접적인 영향을 주는 기상 정보 등의 외부환경 정보도 반영되지 않아서, 이러한 정보들을 종합하여 작업지시서를 발급하는 과정이 발급자 개인의 경험과 역량, 판단력, 그리고 수작업에 의존할 수밖에 없다.

본 개념연구에서는 플랜트 내부 및 외부환경 정보를 통합 분석하여 작업지시서에 자동으로 정보를 표출하거나 출력하는 기술을 개발하여 이러한 문제점을 해결하고, LNG 플랜트 작업 현장의 안전성을 크게 향상하는 것을 목표로 한다.

본 연구는 플랜트 내부 환경 정보 (공정, 설계, 유지보수, 취약지역, 안전정보)와 API를 활용하여 수집된 실시간 외부 환경 정보 (기상 정보)를 통합 데이터베이스로 구성하고, 데이터베이스에 저장된 정보를 자동으로 추출하고 분석하여 작업 지시서에 필요한 정보를 선별적으로 제공하는 시스템을 개발하며, 추출된 정보를 기반으로 작업지시서를 자동으로 생성하고, 작업 현장에 필요한 형식으로 출력하는 시스템을 개발하는 절차를 기본 구조로 설정하였다.

본 연구를 통해 개발된 LNG 액화플랜트 안전 작업지시서 자동발급 체계는 안전 작업지시서 발급을 위한 경험과 역량이 발급자 개인이 아닌 조직의 경험과 역량으로 누적됨으로써, 기존 발급자의 인사이동/퇴직으로 인한 Human Error 가능성이 최소화되어 중대 재해 처벌법으로 인한 기업의 부담을 낮추고, 발급절차 자동화로 신속한 작업지시서 발행 및 유지보수업무의 적시성을 높일 것으로 기대된다.

※ 감사의 글: 본 연구는 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원(과제번호: 21ATOG-C161932-01)을 받아 수행 중이다.

## 수소혼입 도시가스 배관재료 수소취성 평가 국내외 기술기준 조사

이성우, 이화영, 김정환  
한국가스안전공사 가스안전연구원

### Evaluation of hydrogen embrittlement of city gas piping materials mixed with hydrogen, investigation of domestic and international technical standards

Sung woo Lee, Hwa young Lee, Jeong hwan Kim  
*Korea Gas Safety Corporation, Eumseong 27738, Republic of Korea.*

#### 요 약

수소경제 활성화 로드맵 정책('19.1) 및 수소경제 이행 기본계획('21.11)에 의하면 LNG 배관을 활용한 수소 혼입 실증을 통해 수소공급 확대를 제시하고 있다. 도시가스 배관 내 수소혼입은 가스공사 또는 도시가스사의 공급시설 부지에 수소혼입 시설을 설치하여 도시가스 배관망을 통해 수소혼입 도시가스를 공급하는 방식을 말하며 도시가스 배관 내 수소 20 Vol% 혼입시 연간 709만톤 CO<sub>2</sub> 감축할 수 있을 것으로 예상된다.

하지만 도시가스 배관망 수소혼입시 수소환경에 노출되어 수소가 재료 내부로 확산되어 금속재료의 연성을 감소시키고 취성과파괴의 가능성을 증가시키는 수소 취성 발생할 수 있다. 이를 위해 도시가스 배관에 수소 혼입시 화학적 특성과 사용압력을 고려한 수소취성에 대한 안전성 확보가 필요하다. 미국 등은 수소 환경에 적합한 재료를 사용하거나 수소취성 평가/수명예측 실증을 정책적으로 추진중이나 국내는 도시가스 배관 내 수소혼입에 대한 실증 사례가 전무하고 안전기술 개발이 부재하다. 따라서 본 연구에서는 도시가스 내 수소혼입시 발생할 수 있는 수소취성에 평가에 대한 국내외 기술 기준 조사 및 산업의 동향을 분석하여 안전한 수소혼입 방안 마련에 기여하고자 한다.

※ 본 연구는 산업통상자원부 에너지기술개발사업 “수소혼입 도시가스 배관 수소취성 평가 및 수명예측 안전기술 개발/실증” (과제번호 RS-2023-00232515)의 지원으로 진행됨.

# 사단법인 한국가스학회 2024년도 봄 학술대회 논문집

---

발행처 (사) 한국가스학회  
서울시 서초구 서초중앙로24길 55 208호  
Tel : 02-445-4857 Fax : 02-445-4850  
홈페이지 : [www.kigas.or.kr](http://www.kigas.or.kr)

발행일 2024년 5월 22일

발행인 사단법인 한국가스학회 회장 이근원

---

이 발표논문집은 산업안전보건연구원의 지원을 받아 발간되었음

# 2024 산업안전 대진단



## “안전보건관리체계” 진단하고 개선해 보세요!

### 산업안전 대진단, 무엇인가요?

- 중대재해 예방 및 중대재해처벌법 대비를 위해 중소 사업장(5~50인 미만) 83만개소의 안전보건관리체계 구축·이행을 자가진단하고, 정부의 맞춤형 지원사업과 연계하여 안전수준을 개선하는 것입니다.

### 산업안전 대진단, 왜 해야하나요?

- 「산업안전 대진단」을 통해 중소 사업장에서 중대재해처벌법에 대비하고 안전보건관리체계를 구축·이행하는데 도움을 받을 수 있습니다.
- 궁극적으로는 사업장의 안전보건관리체계 구축 등 안전 및 보건 확보 의무를 이행함으로써 중대재해를 예방할 수 있습니다.

### 산업안전 대진단, 어떻게 참여할 수 있나요?

- (온라인) PC·모바일로 접속하며, 접속 방법은 아래의 절차를 따라하세요.

**1단계**

(PC) 안전보건공단 홈페이지 접속  
↳ <http://www.kosha.or.kr>  
(모바일) 우측의 QR Code 스캔



**2단계**

누리집에 표출된 “산업안전 대진단” 팝업을 클릭 후, 절차에 따라 진행

**QR Code**

- (오프라인) 우편·방문을 통해 안내받은 자가진단표를 작성하고, 산업안전 대진단 상담·지원센터를 통해 상담·지원 받을 수 있습니다.
- (산업안전 대진단 상담·지원 문의) ☎ 1544-1133

### 산업안전 대진단, 어떻게 진행 되나요?

**대진단 실시**

- 자가진단표 (10개 항목)
- 온·오프라인 진단



**대진단 결과**

- 안전보건관리체계 수준 확인
- 대진단 결과 확인



**안전개선 노력**

- 정부 지원 신청 (컨설팅/기술지도/재정지원 등)
- 자체개선



**대진단 상담·지원**

- 대진단 상담·지원 센터 운영
- 맞춤형 지원

### 산업안전 대진단, 어떤 혜택이 있나요?

- 첫째, 대진단 실시 후 지원신청 사업장은 신속한 상담·지원을 받을 수 있습니다.
- 둘째, 상담·지원센터에서 사업장 맞춤형 지원을 받을 수 있습니다.
- 셋째, 중대재해를 예방하고, 중대재해처벌법에 대비할 수 있습니다.